

РАТКО ОПАЧИЋ

ЗБИРКА ЗАДАТАКА ИЗ ЕЛЕКТРОНИКЕ

ЗА ДРУГИ И ТРЕЋИ РАЗРЕД ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКЕ ШКОЛЕ



ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА

Београд, 1998

Рецензенти

проф. др **МАРИЈА ХРИБШЕК**, Електротехнички факултет у Београду

проф. **ОЛГА ЂУРЂИЋ – ЂУКИЋ**, Електротехничка школа „Никола Тесла” у Београду

Уредник

ДРАГОЉУБ ВАСИЋ

Главни и одговорни уредник

др **ПЕТАР ПИЈАНОВИЋ**

За издавача

проф. др **ДОБРОСАВ БЈЕЛЕТИЋ**, директор

ISBN 86-17-06915-5

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР	4
УВОД	5
ДИОДЕ	7
ПОЈАЧАВАЧИ	27
ФЕТОВИ	62
СЛОЖЕНИ ПОЈАЧАВАЧИ	69
ОСЦИЛАТОРИ	82
ТРАНЗИСТОР КАО ПРЕКИДАЧ	88
ОПЕРАЦИОНИ ПОЈАЧАВАЧИ	94
ИМПУЛСНА КОЛА	147
А/Д КОНВЕРТОРИ И ШУМОВИ	164
ТАКМИЧЕЊА ИЗ ЕЛЕКТРОНИКЕ	169
ЕТШ „Никола Тесла” у Београду – школско такмичење 25. марта 1995. године	169
Окружно такмичење 15. IV 1995. године	176
Републичко такмичење 3. VI 1995. године	184
ЕТШ „Никола Тесла” у Београду – школско такмичење 30. III 1996. године	193
Окружно такмичење 20. IV 1996. године	201
Републичко такмичење 16. V 1996. године	209
Окружно такмичење 10. V 1997. године	216
Републичко такмичење 7. VI 1997. године	223
ЕТШ „Никола Тесла” у Београду – школско такмичење 11. IV 1998. године	233
Републичко такмичење 6. VI 1998. године	242

ПРЕДГОВОР

За успешан рад у области електронике није довољно само теоријски обрадити лекције, него треба израдити већи број задатака. Задаци треба да буду тако конципирани да показују примере решавања проблема у пракси, као на пример израчунавање елемената извора напајања, појачавача, осцилатора итд. Задаци треба и да укажу на грешке које често праве конструктори електронских кола због недовољног познавања полупроводничких елемената, интегрисаних кола итд. Такође треба да помогну разумевању електронских кола која се нису могла добро објаснити током теоријске обраде.

Задаци у овој збирци прате области у електроници I и електроници II. Нису дати задаци из тиристора, јер се ова област изучава у области електронике и телекомуникација више информативно, док се детаљније изучава у области електроенергетике (енергетска електроника).

Прва област збирке обрађује кола са диодама. Већи део задатака обрађује употребу диода у електричним колима, у којима је диода пропусно поларисана. Кола за уобличавање напона су раније (око 1970) имала ширу употребу у аутоматизи, рачунској техници итд; данас су замењена дигиталним колима, па је њихова употреба доста смањена; и даље се користе али ређе, на пример за претварање троугаоног напона у приближно синусни напон код генератора функција. Неколико задатака је дато са диодама које су инверзно поларисане да би се схватили проблеми који у таквим случајевима настају.

Појачавачи са транзисторима су углавном дати у облику у ком се користе у пракси, уз израчунавање појединих елемената. Мало је пажње посвећено нестабилисаним појачавачима јер се они у пракси не користе, осим у неким изузетним случајевима. Доста пажње је посвећено израчунавању капацитивности када је задата доња гранична учестаност.

Фетови су заступљени онолико колико се користе у пракси. Наиме, појачавачи са фетовима се мало користе, јер имају знатно мање појачање од појачавача са биполарним транзисторима. Појачавачи са фетовима се углавном користе у случајевима када је потребна велика улазна отпорност, док се велико појачање остварује са биполарним транзисторима.

Задаци из осцилатора су дати у таквом облику да се лако могу израдити од материјала који се лако набавља. Неки осцилатори се могу испитати приручним средствима (неки помоћу звучника, неки помоћу телевизора итд.).

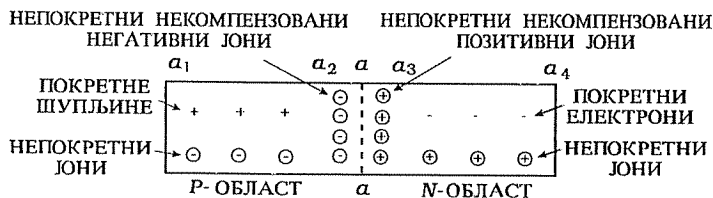
Задаци из унутрашње грађе операционих појачавача служе првенствено за разумевање њиховог рада, док обрада кола са операционим појачавачима служи за њихову примену у пракси.

Обрада дигиталних кола је намењена бољем разумевању њиховог рада, док је обрада импулсних кола намењена њиховој примени у пракси.

Код аналогно-дигиталних конвертора посебно је обрађена грешка која се јавља при коришћењу малог броја импулса; слична грешка се јавља при подешавању у доњем делу опсега.

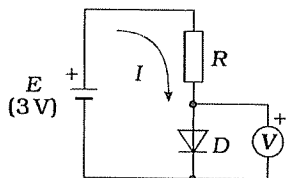
УВОД

Основни појмови о PN -споју. – Пресек PN -споја је приказан на слици 1.1. Видимо да се око места додира P и N слоја формира просторно наелектрисање, где је позитивно наелектрисање у N -области, а негативно у P -области.

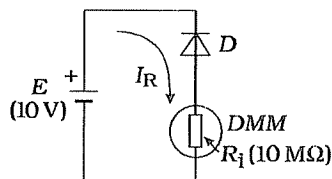


Слика 1.1

Од ових наелектрисања се у PN -споју формира унутрашње електрично поље, усмерено од N ка P области. Разлика потенцијала износи око $0,6\text{ V}$ и не може се измерити волтметром зато што приликом мерења кроз сваки волтметар тече од извора нека мала струја. Просторна наелектрисања су непокретна, тако да нема одакле да тече поменута струја. Ако се на PN -спој прикључи извор са отпорником за ограничење струје, спољно поље треба да надвлада унутрашње да би потекла струја кроз PN -спој. Овакво коло можемо да формирамо према слици 1.2а. Извор E треба да је виши од $0,6\text{ V}$ (на пример



Слика 1.2а

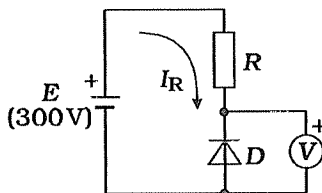


Слика 1.2б

3 V) и тада струја тече кроз коло и напон на PN -споју тада износи обично од $0,6$ до $0,7\text{ V}$ код малих струја, а код већих струја и више, али ретко кад прелази 1 V .

Инверзна струја тече кроз PN -спој када се он инверзно поларише као на слици 1.2б. Ова струја је веома мала (типично 1 pA) и нормалним начином мерења се не може измерити. Један начин мерења ове струје је приказан на слици 1.2б, где је дигитални волтметар везан као амперметар, па сва струја тече кроз њега. Унутрашња отпорност дигиталног мултиметра је обично $10\text{ M}\Omega$, а најнижи опсег мерења напона је од 0 до $199,9\text{ mV}$. Најмања јединица мерења је $0,1\text{ mV}$. Када се овај напон подели са отпорношћу дигиталног мултиметра, добије се минимална струја коју је могуће мерити на овај начин: $I_{\min} = 0,1\text{ mV} / 10\text{ M}\Omega = 10\text{ pA}$. Ако волтметар покаже, на пример, 100 mV , струја износи: $I = 100\text{ mV} / 10\text{ M}\Omega = 10\text{ nA}$.

Испитивање пробојног напона PN -споја. – Код директне поларизације PN -споја тече струја која је одређена углавном спољним елементима кола. Код инверзне поларизације тече врло мала струја, коју је тешко мерити. Нама, углавном, није потребна величина инверзне струје PN -споја него напон код којег долази до пробоја. Овај напон се може испитати помоћу кола које је приказано на слици 1.3. Извор једносмерног напона E треба да буде релативно висок (на пример 600 V), односно виши од напона пробоја PN -споја. Отпорност R треба да буде доста велика (на пример 1 M Ω) да би струја кратког споја била релативно мала ($I_{ks}=600\text{ V}/1\text{ M}\Omega=0,6\text{ mA}$). Овако мала струја пробија PN -спој у инверзном смеру, али га не уништава, јер је снага на њему мала. На пример, ако испитујемо диоду чији је пробојни напон 300 V, кроз коло на слици 1.3 струја $I=(600\text{ V}-300\text{ V})/1\text{ M}\Omega=0,3\text{ mA}$. Снага на диоди је: $P=UI=300\text{ V}\cdot0,3\text{ mA}=0,09\text{ W}=90\text{ mW}$. Ако је пробојни напон виши, на пример 500 V, струја $I=100\text{ V}/1\text{ M}\Omega=0,1\text{ mA}$. Снага на диоди је: $P=500\text{ V}\cdot0,1\text{ mA}=50\text{ mW}$.

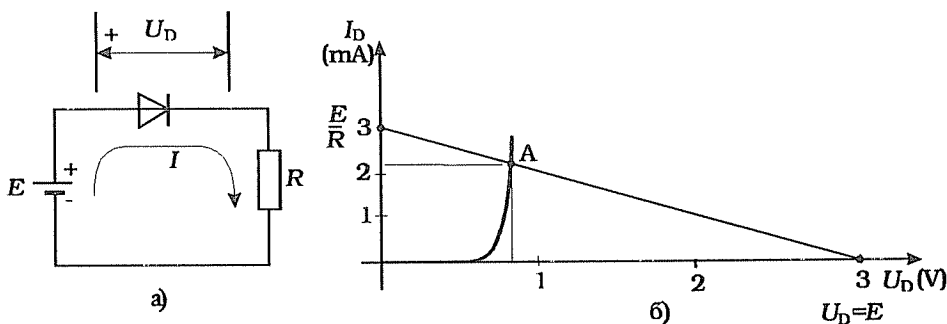


Слика 1.3

ДИОДЕ

2.1.

Наћи напон на диоди и струју кроз коло које је приказано на слици 2.1а ако је $E=3\text{ V}$, $R=1\text{ k}\Omega$, док је карактеристика диоде приказана на слици 2.1б.



Слика 2.1

РАД

Једначина радне праве за коло на слици 2.1а добија се по II Кирхофовом закону: $E - U_D - IR = 0$. Из ове једначине се добије израз за струју у колу:

$$I = \frac{E}{R} - \frac{U_D}{R}.$$

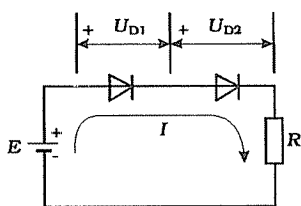
Права се повлачи кроз две тачке: једна тачка се добије из услова да је $I=0$, па се из једначине за струју добије да је $U_D=E$ (у овом случају 3 V); друга тачка се добије на вертикалној оси, где је $U_D=0$: $I=E/R$ (у овом случају $I=3\text{ V}/1000\text{ }\Omega=3\text{ mA}$). На месту пресека радне праве и карактеристике диоде налази се радна тачка A која одређује напон на диоди и струју кроз њу. На слици 2.1б се види да је у радној тачки $U_D=0,8\text{ V}$ и $I_D=2,2\text{ mA}$.

2.2.

Одредити струју кроз коло на слици 2.2 ако је $E=10\text{ V}$ и $R=1\text{ k}\Omega$.

РАД

У оваквим случајевима се обично узима да је напон на диоди која проводи око $0,7\text{ V}$. За ово коло се може написати II Кирхофов закон:



Слика 2.2

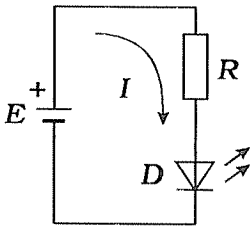
$$E - U_{D1} - U_{D2} - RI = 0.$$

Ако се узме да је $U_{D1} = U_{D2} = 0,7 \text{ V}$, добије се:

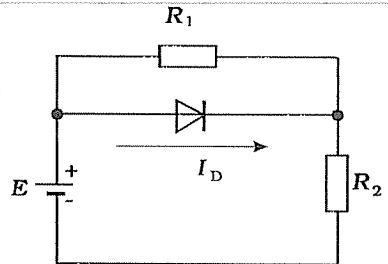
$$I = \frac{10 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 8,6 \text{ mA}.$$

2.3.

Одредити отпорност у колу на слици 2.3 тако да струја кроз светлећу диоду буде 10 mA ако је напон на диоди 2 V.



Слика 2.3



Слика 2.4

РАД

Из једначине за коло на слици 2.1 у претходном задатку добије се:

$$R = \frac{E - U_D}{I} = \frac{10 \text{ V} - 2 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 800 \, \Omega.$$

2.4.

Наћи струју кроз диоду на слици 2.4 ако је: а) $E = 5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ и напон на диоди која проводи је 0,7 V; б) $E = 5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ и напон на диоди која проводи је 0,7 V.

РАД

Ово коло је нелинеарно (струја није линеарно сразмерна напону) и струја се не може увек пронаћи применом Кирхофових закона. Овде се не зна да ли диода уопште проводи или не проводи. Због тога треба најпре наћи напон на крајевима отпорника R_1 , и то као да нема диоде у колу. Овај напон износи:

$$U_1 = \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{5 \text{ V} \cdot 1\,000 \, \Omega}{1\,000 \, \Omega + 10\,000 \, \Omega} = 0,45 \text{ V}.$$

Видимо да је напон на отпорнику R_1 нижи од прага провођења диоде и да је струја кроз диоду једнака нули.

б) Сада је напон на отпорнику R_1 (без прикључене диоде):

$$U_1 = \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{5 \text{ V} \cdot 1\,000 \, \Omega}{1\,000 \, \Omega + 1\,000 \, \Omega} = 2,5 \text{ V}.$$

Када се прикључи диода, овај напон постаје око 0,7 V, а на отпорнику R_2 преосталих 4,3 V. Струја кроз отпорник R_2 је:

$$I_2 = \frac{4,3 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 4,3 \text{ mA}.$$

Струја кроз отпорник R_1 је:

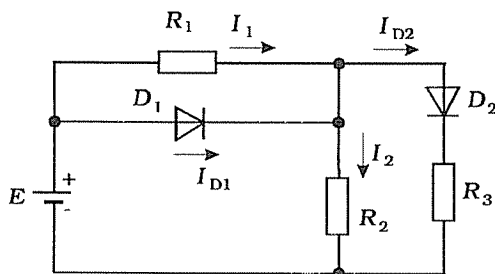
$$I_1 = \frac{0,7 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 0,7 \text{ mA}.$$

Сада струја кроз диоду износи:

$$I_D = I_2 - I_1 = 4,3 \text{ mA} - 0,7 \text{ mA} = 3,6 \text{ mA}.$$

2.5.

На слици 2.5 приказано је коло са две диоде. Одредити струје кроз обе диоде ако је: $E = 10 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ и $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$.



Слика 2.5

РАД

Прво треба испитати да ли уопште тече струја кроз диоду D_1 . Види се да је напон на отпорнику R_1 без диоде D_1 виши од 0,7 V, па се може закључити да ова струја тече. Напон на отпорнику R_2 се добије када се од напона извора E одузме напон на диоди D_1 :

$$U_2 = E - U_{D1} = 10 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 9,3 \text{ V}.$$

Сада је струја I_2 једнака:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{9,3 \text{ V}}{2\,000 \, \Omega} = 4,65 \text{ mA.}$$

Струја кроз диоду D_2 се добије када се од напона U_2 одузме напон на диоди D_2 и подели са отпорношћу R_3 :

$$I_{D2} = \frac{9,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{3\,000 \, \Omega} = 2,87 \text{ mA.}$$

Струја кроз отпорник R_1 је:

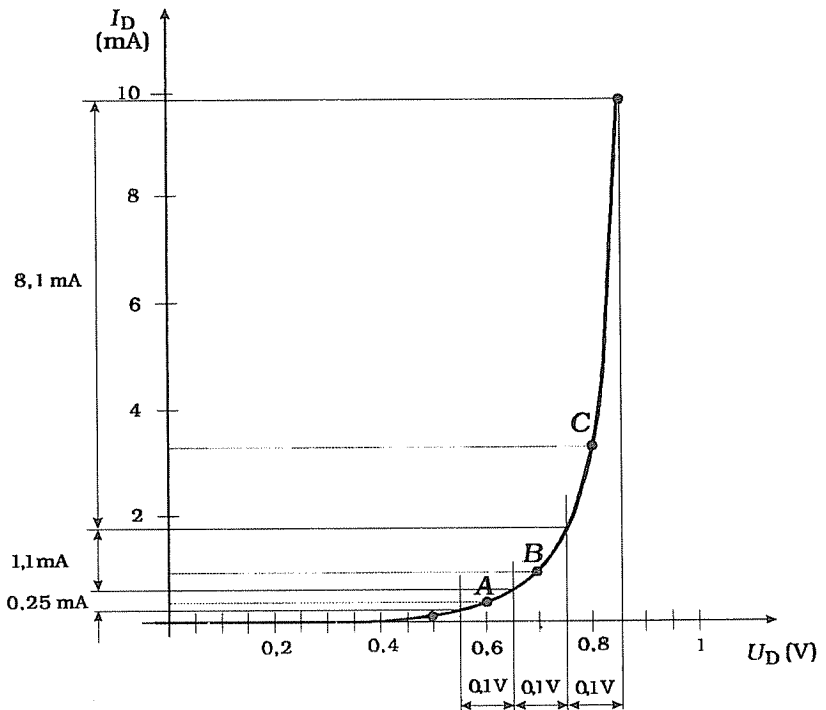
$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{0,7 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 0,7 \text{ mA.}$$

По I Кирхофовом закону збир струја I_1 и I_{D1} мора да буде једнак збиру струја I_2 и I_{D2} . Одавде се добије струја I_{D1} :

$$I_{D1} = I_2 + I_{D2} - I_1 = 4,65 \text{ mA} + 2,86 \text{ mA} - 0,7 \text{ mA} = 6,81 \text{ mA.}$$

2.6.

На слици 2.6. дата је карактеристика диоде. Одредити статичку и динамичку отпорност диоде у тачкама A , B и C . При израчунавању динамичке отпорности узети $\Delta U_D = 0,1 \text{ V}$.



Слика 2.6

РАД

Статичка отпорност у тачки A је:

$$R_A = \frac{0,6 \text{ V}}{0,6 \text{ mA}} = 1\,000 \, \Omega,$$

а динамичка:

$$r_A = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,1 \text{ V}}{0,25 \text{ mA}} = 400 \, \Omega.$$

У тачки B је:

$$R_B = \frac{0,7 \text{ V}}{1,1 \text{ mA}} = 636 \, \Omega,$$

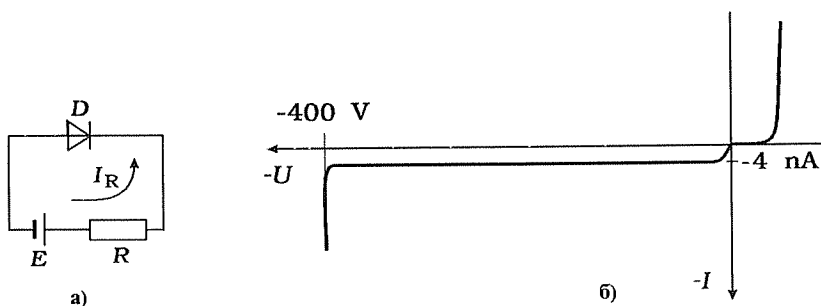
$$r_B = \frac{0,1 \text{ V}}{1,1 \text{ mA}} = 90 \, \Omega.$$

У тачки C је:

$$R_C = \frac{0,8 \text{ V}}{3,3 \text{ mA}} = 242 \, \Omega,$$

$$r_C = \frac{0,1 \text{ V}}{8,1 \text{ mA}} = 12,3 \, \Omega.$$

Диоде поларисане у непропусном смеру – увод. – Диода има карактеристику у непропусном смеру као на слици 2.7б. Код непропусне поларизације тече мала струја (реда неколико nA) која је приближно константна у целој инверзној области. Када се диода веже у коло као на слици 2.7а за ово коло такође може да се напише II Кирхофов закон, као и за коло на слици 2.1. Такође би могла да се нацрта радна права, одреди радна тачка итд. Цртање целе радне праве било би веома тешко на овом дијаграму; једну тачку ($U_D=E$) је лако нацртати. Друга тачка црта се на месту где је $I=E/R$; ту би струја износила неколико mA (што је исто као и неколико милиона nA), а подела на



Слика 2.7

доњем делу вертикалне осе је у нА. Немогуће је на истој оси јасно нанети 5 нА и 2 000 000 нА. Због тога је радна права практично вертикална и окренута на доле.

Струја која тече кроз инверзно поларисану диоду ствара на отпорнику занемарљив пад напона, па је практично сав напон извора пренесен на диоду.

2.7.

Одредити напон на диоди и струју кроз њу код кола на слици 2.7а. ако је:
а) $E=200\text{ V}$, $R=1\text{ M}\Omega$ и $I_R=5\text{ nA}$; б) $E=600\text{ V}$, $R=1\text{ M}\Omega$ и $I_R=5\text{ nA}$. Колика је снага дисипације на диоди?

РАД

а) Види се да је пробојни напон диоде око 400 V. Напон извора од 200 V није довољан да доведе до пробоја, па је струја кроз диоду 5 нА, а напон на диоди је 200 V. Пад напона на отпорнику је $U=RI=1\text{ M}\Omega \cdot 5\text{ nA}=5\text{ mV}\approx 0$.

б) У овом случају је напон извора виши од пробојног напона диоде и долази до пробоја у инверзном смеру. Ако су и струја и снага на диоди мале, не долази до уништења диоде. Напон на диоди је 400 V и остаје приближно константан при променама струје. Струја се рачуна као код диоде поларисане у пропусном смеру, само је сада напон на диоди 400 V.

$$I = \frac{(E - U_D)}{R} = \frac{(600\text{ V} - 400\text{ V})}{1\,000\,000\ \Omega} = 0,2\text{ mA}.$$

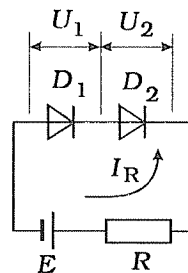
Снага на диоди је:

$$P=UI=400\text{ V} \cdot 0,2\text{ mA}=80\text{ mW}.$$

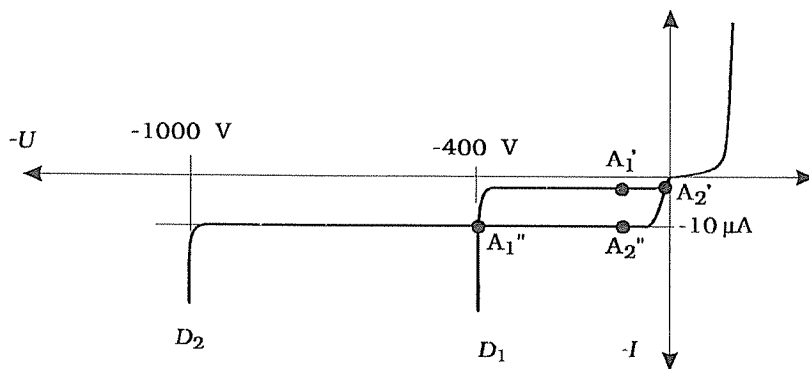
Диоде обично могу да издрже ову снагу.

2.8.

Нека у колу имамо две диоде инверзно поларисане као на слици 2.8а и нека им карактеристике у инверзном смеру изгледају као на слици 2.8б. Инверзна струја диоде D_1 је $2\ \mu\text{A}$, а инверзни пробојни напон је 400 V, док су код диоде D_2 ове величине 10 μA и 1 000 V. Отпорност $R=100\text{ k}\Omega$. Напон извора је а) 100 V, б) 500 V и в) 1 500 V. Наћи напон на диодама и струју кроз њих у сва три случаја. Израчунати снаге на диодама у случају пробоја.



Слика 2.8а



Слика 2.86

РАД

Најпре се треба подсетити неких правила из основа електротехнике. Кроз коло може да тече само једна струја, јер се електрицитет понаша као нестишљив флуид. Ако је напон извора $E=100\text{ V}$, не може да дође до пробоја ни једне диоде, јер је овај напон нижи од пробојног напона било које диоде. Струја кроз диоду не може да се повећа док не дође до пробоја. Пошто диоде не раде у области пробоја, кроз коло тече струја која је мања, тј. $I=2\text{ }\mu\text{A}$. Радна тачка код диоде D_1 је приближно на месту означеном са A_1' и напон на овој диоди је приближно 100 V . Код диоде D_2 радна тачка је на месту обележеном са A_2' и струја кроз њу је $2\text{ }\mu\text{A}$ а напон приближно 0 V .

Ако је напон извора 500 V , сигурно не може да дође до пробоја диоде D_2 , али може да дође до пробоја диоде D_1 . После пробоја напон на диоди D_1 је 400 V , а на диоди D_2 је преосталих 100 V . Струја кроз коло износи $10\text{ }\mu\text{A}$ и радне тачке су A_1'' и A_2'' .

Ако је напон извора $E=1\text{ }500\text{ V}$, пробој је наступио код обе диоде, напон на диоди D_1 је и даље 400 V , а на диоди D_2 је $1\text{ }000\text{ V}$. Струја се у овом колу израчунава као и у задатку 2.7.

$$I = \frac{1\text{ }500\text{ V} - 1\text{ }400\text{ V}}{100\text{ k}\Omega} = 1\text{ mA}.$$

Снага на диоди D_1 је:

$$P_1 = U_1 I = 400\text{ V} \cdot 1\text{ mA} = 0,4\text{ W}.$$

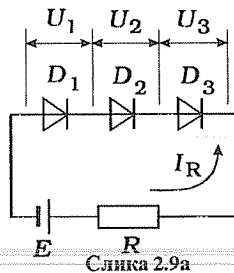
Снага на диоди D_2 је већа због вишег напона и износи:

$$P = UI = 1\text{ }000\text{ V} \cdot 1\text{ mA} = 1\text{ W}.$$

Ове диоде је треба пажљиво одабрати и хладити.

2.9.

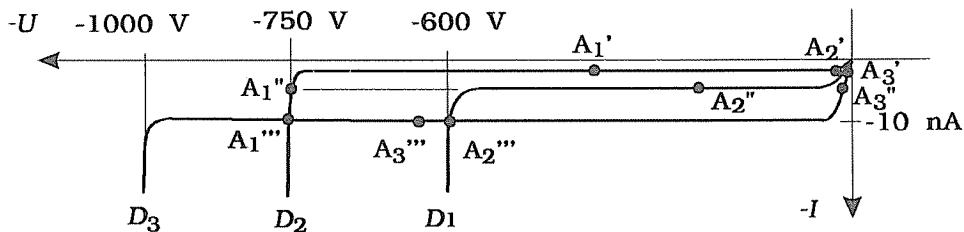
а) У колу на слици 2.9а су три редно везане диоде које су инверзно поларисане. Њихове карактеристике у инверзном смеру имају облик као на слици 2.9б. Диода D_1 има пробојни напон 600 V и инверзну струју 4 nA, D_2 има 750 V и 2 nA, D_3 има 1 000 V и 10 nA. Колика је струја кроз коло, ако је напон извора а) $E=400$ V; б) $E=1\ 000$ V и в) $E=2\ 000$ V?



б) Нека је на слици 2.9а пробојни напон диоде D_1 600 V и инверзна струја кроз њу 7 nA, код диоде D_2 ове величине су 100 V и 10 nA, а код D_3 су 1 000 V и 3 nA. Одредити радне тачке ових диода, ако се на њих прикључи напон инверзне поларизације који укупно износи а) 600 V и б) 1 200 V. Карактеристике ових диода су приказане на слици 2.9в.

РАД

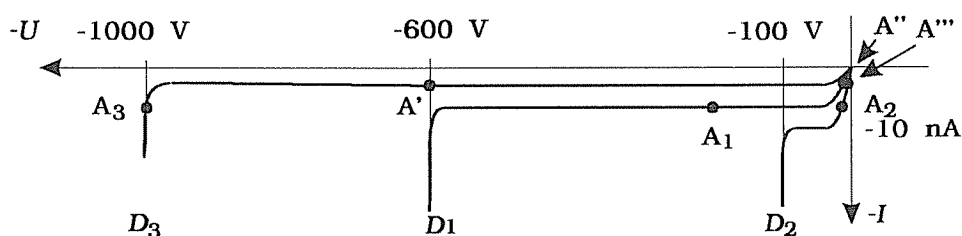
а) Ако је напон извора $E=400$ V, ниједна диода не ради у области пробоја, па је струја 2 nA (слика 2.9б). Практично, сав напон је на диоди D_2 , док је на осталим диодама приближно једнак нули. Радне тачке су A_1' , A_2' и A_3' . Ако је напон извора 1 000 V, долази до пробоја диоде D_2 , па је напон на њој 750 V, а на диоди D_1 је 250 V. Радне тачке су A_1'' , A_2'' и A_3'' . Ако је напон 2 000 V, пробој је наступио код диода D_1 и D_2 , на којима су напони 600 V и 750 V, док је преосталих 650 V на диоди D_3 . Пошто није наступио пробој диоде D_3 , струја кроз коло је 10 nA. Радне тачке су A_1''' , A_2''' и A_3''' .



Слика 2.9б

б) И овде струја у целом колу мора да буде иста. Најмања струја тече кроз диоду D_3 , па је, практично, сав напон на њој, док је напон на диодама D_1 и D_2 приближно једнак нули. Ова тачка је обележена са A' (слика 2.9в) на карактеристици диоде D_3 , док су за друге две диоде ове тачке A'' и A''' .

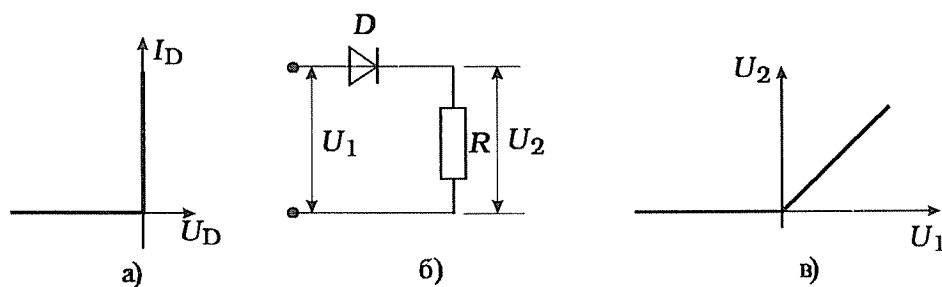
Када се на ову редну везу инверзно поларисаних диода прикључи 1 200 V, прво долази до пробоја диоде са најмањом инверзном струјом, односно до пробоја диоде D_3 . Струја кроз диоду D_3 расте док не достигне вредност инверзне струје код следеће диоде (D_1). Сада напон на диоди D_3 износи 1 000 V, на диоди D_1 је 200 V, а на диоди D_2 је приближно једнак нули. Ове тачке су приказане на слици 2.9в и обележене су са A_1 , A_2 и A_3 .



Слика 2.9в

2.10.

На слици 2.10б приказано је једноставно коло за уобличавање напона (претварање једног облика напона у други). На слици 2.10а приказана је карактеристика идеалне диоде. Она нема прага провођења и почиње да проводи одмах од нуле, а статичка и динамичка отпорност јој је једнака нули. Оваква диода у пракси не постоји, али се појам идеалне диоде понекад употребљава у задацима да би се олакшала анализа кола. Наћи зависност излазног од улазног напона, узимајући у обзир позитиван и негативан напон.



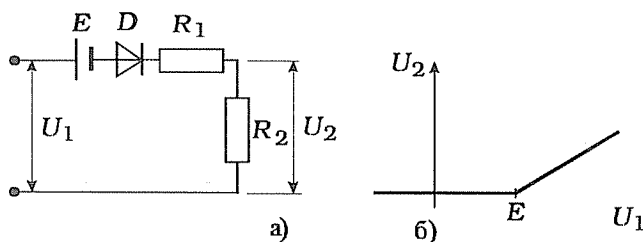
Слика 2.10

РАД

Код негативног напона струја не може да тече, па је у тој области излазни напон једнак нули. Ако је улазни напон позитиван, струја тече кроз отпорник и излазни напон је једнак улазном. Зависност излазног од улазног напона приказана је на слици 2.10в. Треба имати на уму да је овде диода узета као идеална и да је напон на њој једнак нули.

2.11.

Нека коло има облик као на слици 2.11а. Нацртати зависност излазног од улазног напона ако је диода идеална.



Слика 2.11

РАД

Када је улазни напон негативан, диода је инверзно поларисана и струја не тече, па је излазни напон једнак нули. Када је позитиван улазни напон, струја не тече и излазни напон је једнак нули све док улазни напон не постане виши од напона извора E (а код реалне диоде и њеног прага провођења). После преласка преко ове вредности излазни напон зависи линеарно од улазног, али је ослабљен. Промена излазног напона је једнака:

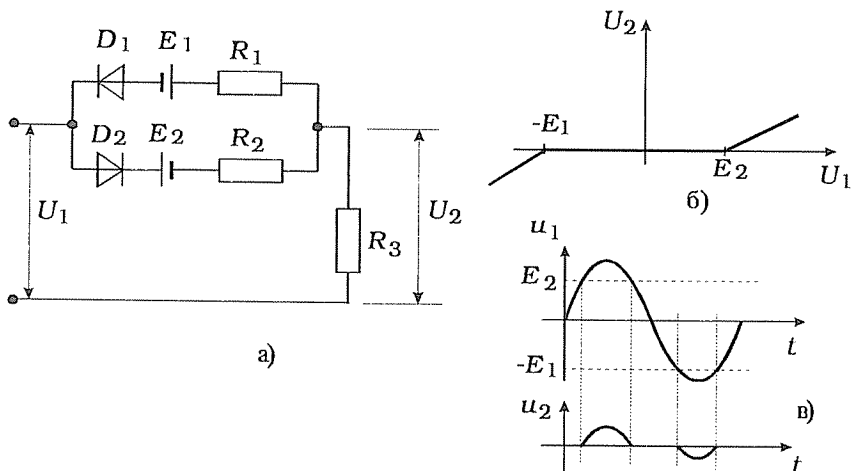
$$\Delta U_2 = \Delta U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

2.12.

Нацртати коло које има карактеристику као на слици 2.12б. Нека је $|E_1| > |E_2|$. Нацртати зависност излазног напона од времена ако је улазни напон синусног облика и ако му је амплитуда виша од апсолутних вредности напона извора E_1 и E_2 . Диоде сматрати идеалним.

РАД

Ово коло може да се реализује на начин који је приказан на слици 2.12а. Код овог кола је излазни напон једнак нули од E_1 до E_2 , а ван тога њихова сразмерност је линеарна. Коло изгледа као на слици 2.12а. Када улазни напон пређе преко напона извора E_2 и прага провођења диоде D_2 , струја тече од U_1 , кроз D_2 , R_2 и R_3 . Промена излазног напона је линеарно сразмерна промени улазног напона. Слично се дешава и код негативног напона.



Слика 2.12

Улазни синусни и излазни напон су нацртани на слици 2.12в. Излазни напон се јавља само у неким временским интервалима и његов облик је затупљенији од улазног, јер је промена излазног напона ослабљена помоћу отпорника.

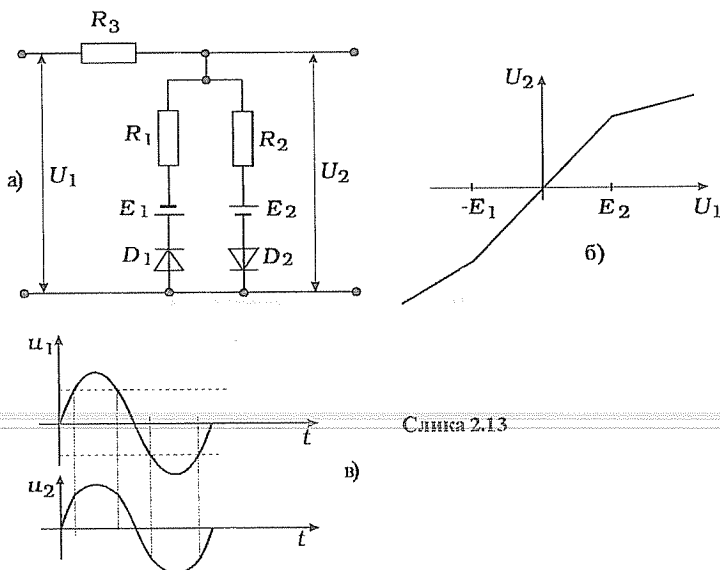
Ово коло може да се изведе и помоћу Ценерових диода.

2.13.

Нацртати зависност излазног од улазног напона за коло на слици 2.13а. Нека је отпорност $R_1 > R_2$ и нека су апсолутне вредности електромоторних сила E_1 и E_2 једнаке. Нацртати зависност излазног напона од времена ако је улазни напон синусног облика и ако му је амплитуда виша од апсолутних вредности E_1 и E_2 .

РАД

У овом колу напон U_2 је једнак напону U_1 у области где струја не тече кроз отпорнике R_1 и R_2 . Када напон U_2 постане виши од напона извора E_2 , кроз отпорник R_2 тече струја. Сада је промена напона U_2 мања од промене напона U_1 јер отпорници R_2 и R_3 чине ослабљивач. Нагиб криве је мањи него у области од $-E_1$ до E_2 . Када напон U_2 постане нижи од напона извора $-E_1$, проводи диода D_1 и промена напона U_2 је мања него промена напона U_1 , јер тада отпорници R_1 и R_3 чине ослабљивач. Видели смо да је $R_1 > R_2$. То значи да је слабљење промене негативног напона мање, па је нагиб карактеристике ближи оном делу између $-E_1$ и E_2 . На слици 2.13в приказана је зависност излазног напона од времена.



Слика 2.13

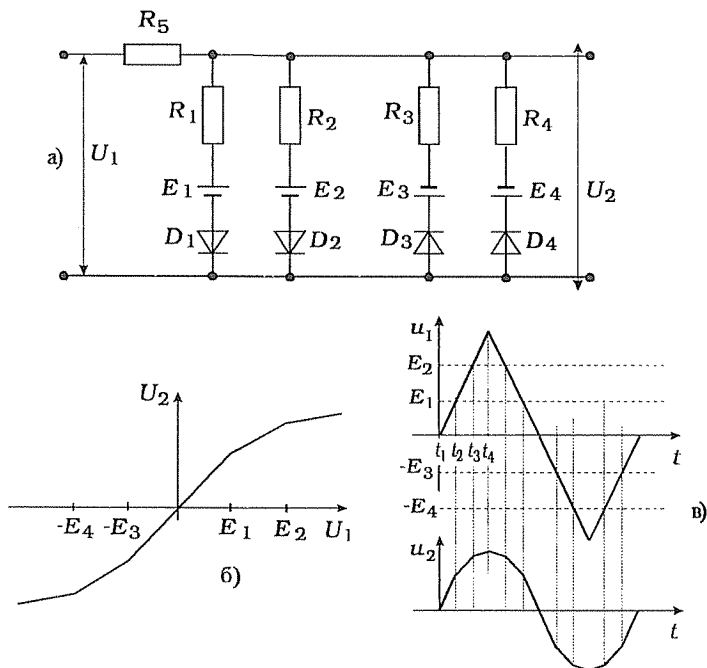
2.14.

На слици 2.14а приказано је коло за уобличавање напона са диодама.
 а) Нацртати зависност излазног напона од улазног. б) Нацртати излазни напон у функцији времена ако се на улаз доведе троугаони напон. Шта се приближно добије од троугаоног напона? Нека је $|E_1| < |E_2|$, $|E_3| < |E_4|$, $|E_1| = |E_3|$ и $|E_2| = |E_4|$.

РАД

На слици 2.14 приказана је преносна карактеристика овог кола. У области од $-E_3$ до E_1 улазни напон је по апсолутној вредности нижи од свих напона извора и ниједна диода не проводи. Излазни напон је једнак улазном напону. Када излазни напон пређе вредност напона извора E_1 , почиње да проводи диода D_1 . Сада излазни напон спорије расте до тачке где излазни напон постаје једнак напону извора E_2 . Од овог напон почиње да проводи диода D_2 и слабљење промене излазног напона је још веће; излазни напон још спорије расте. Карактеристика у негативном делу је слична.

Када се на улаз доведе троугаони напон, на улаз се у суштини доводи напон који расте линеарно са временом, као на слици 2.14в од t_1 до t_4 . Од t_1 до t_2 је излазни једнак улазном напону. У тренутку t_2 улазни напон је прешао преко вредности напона извора E_1 и сада спорије расте јер проводи диода D_1 . Од тренутка t_3 проводи и диода D_2 и излазни напон до тренутка t_4 још спорије расте. Од тренутка t_4 улазни напон се смањује и излазни напон се по облику „враћа уназад” до нуле. У негативној полупериоди је излазни напон истог облика, само је негативан.



Слика 2.14

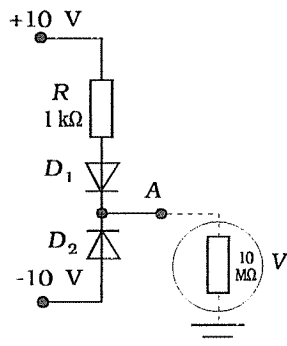
Излазни напон је приближно синусни ако се вредности елемената за уобличавање погоднo одаберу. Слично коло (само са више преломних тачака – више извора, диода и отпорника) употребљава се у ову сврху код неких генератора функција (уређаји који производе правоугаони и троугаони сигнал, а приближно синусни напон се добије уобличавањем троугаоног напона).

2.15.

Наћи потенцијал тачке А (слика 2.15) у односу на масу.

РАД

На овој слици се види да је диода D_1 пропушно, а диода D_2 непропусно поларисана. У колу нигде не тече струја, па је пад напона на отпорнику једнак нули. Ако се узме да је диода идеална, напон на њој је једнак нули и потенцијал тачке А је $+10\text{ V}$. Ако се узме да је диода реална, напон на њој је око $0,6\text{ V}$, па је потенцијал тачке А око $10\text{ V} - 0,6\text{ V} = 9,4\text{ V}$.



Слика 2.15

2.16.

Наћи означене струје у колу на слици 2.16.

РАД

Најпре се проверава колики је потенцијал у тачки А да би се видело да ли диода проводи или не проводи. Струја кроз отпорнике R_1 и R_2 (без прикључене диоде) је:

$$I' = \frac{5 \text{ V} - (-10 \text{ V})}{1\,000 \, \Omega + 4\,000 \, \Omega} = 3 \text{ mA}.$$

Напон на отпорнику R_1 је:

$$U_1 = R_1 \cdot I' = 1\,000 \, \Omega \cdot 3 \text{ mA} = 3 \text{ V}.$$

Потенцијал тачке А без прикључене диоде се добије када се од 5 V одузме 3 V и он тада износи +2 V. Ово значи да је диода пропусно поларисана и да кроз њу тече струја. Ако се претпостави да је диода идеална, напон на њој је једнак нули и потенцијал тачке А је такође једнак нули. Струја кроз отпорник R_1 је:

$$I_1 = \frac{5 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 5 \text{ mA}.$$

Струја кроз отпорник R_2 је:

$$I_2 = \frac{10 \text{ V}}{4\,000 \, \Omega} = 2,5 \text{ mA}.$$

Струја кроз диоду је:

$$I_D = I_1 - I_2 = 2,5 \text{ mA}.$$

Ако се диода посматра као реална, напон на њој је око 0,7 V. Струја I_1 је једнака:

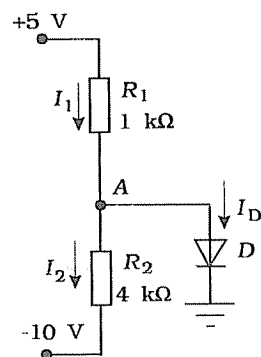
$$I_1 = \frac{5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1\,000 \, \Omega} = 4,7 \text{ mA}.$$

Струја I_2 је једнака:

$$I_2 = \frac{0,7 \text{ V} - (-10 \text{ V})}{4\,000 \, \Omega} = 2,675 \text{ mA}.$$

Сада струја кроз диоду износи:

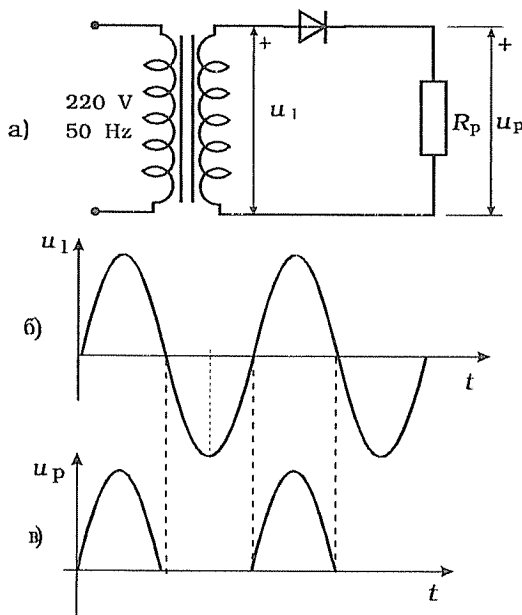
$$I_D = I_1 - I_2 = 4,7 \text{ mA} - 2,675 \text{ mA} = 2,025 \text{ mA}.$$



Слика 2.16

2.17.

На слици 2.17а приказан је једнострани усмерач без кондензатора. Нека је ефективна вредност напона на излазу трансформатора 20 V. Колика је средња и ефективна вредност напона на потрошачу?



Слика 2.17

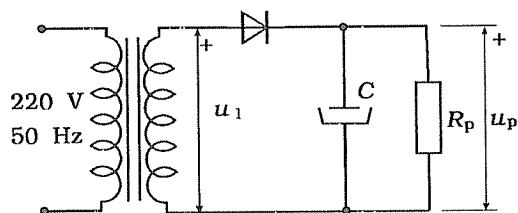
РАД

Амплитуда напона u_1 је $U_{ef} \cdot \sqrt{2} = 20 \text{ V} \cdot 1,41 = 28,2 \text{ V}$. Средња вредност синусног напона током једне полупериоде је $2U_m/\pi$. Када се ова вредност „развуче” на целу периоду, добије се два пута мања вредност: $U_{sr} = U_m/\pi = 28,2/3,14 = 8,98 \text{ V}$.

Ефективна вредност овог напона је (види уџбеник *Електроника I* – једнострани усмерач) $U_m/2 = 28,2/2 = 14,1 \text{ V}$.

2.18.

На слици 2.18 приказан је једнострани усмерач са филтарским кондензатором за једносмерни напон $U_p = 15 \text{ V}$ и струју $I_p = 50 \text{ mA}$. Одредити ефективну вредност наизменичног напона на секундару трансформатора и капацитивност филтарског кондензатора. Колики је највиши инверзни напон који се јавља на диоди?



Слика 2.18

РАД

Једносмерни напон је приближно једнак амплитуди наизменичног напона, па је:

$$U_{ef} = 15 \text{ V} / \sqrt{2} = 10,6 \text{ V}.$$

Капацитивност кондензатора се приближно одређује из једначине $R_p C = 5T$, где је:

$$R_p = U_p / I_p = 15 \text{ V} / 50 \text{ mA} = 300 \Omega.$$

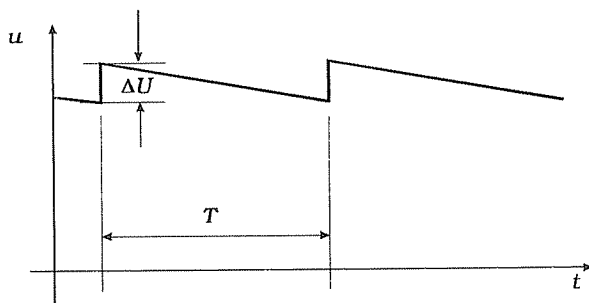
Сада је:

$$C = 5T / R_p = 100 \text{ ms} / 300 \Omega = 333 \mu\text{F}.$$

Максимални инверзни напон на диоди је $U_i = 2 U_m = 2 \cdot 15 \text{ V} = 30 \text{ V}$.

2.19.

Код једностраног усмерача са кондензатором усвојено је да је $RC = 10T$. Наћи колико процената напон на кондензатору опадне за време пражњења. Ради лакше анализе узети да се кондензатор тренутно напуни и да је струја пражњења кроз отпорник приближно константна.



Слика 2.19

РАД

На слици 2.19 приказано је пуњење и пражњење кондензатора. Кондензатор се приближно тренутно напуни, а празни се линеарно током једне периоде. Количина електрицитета која протекне кроз отпорник за време пражњења је:

$$\Delta Q_{\text{pr}} = I_{\text{pr}} \cdot T = \frac{U_m}{R} \cdot T.$$

Опадање количине електрицитета на кондензатору ΔQ се такође може изразити као:

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U.$$

Изједначавањем десних страна ових једначина добије се:

$$\frac{UT}{R} = C \cdot \Delta U.$$

Одавде се добије:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{T}{CR} = \frac{T}{10T} = \frac{1}{10}.$$

Изражен у процентима овај однос износи:

$$\frac{\Delta U}{U} [\%] = \frac{1}{10} \cdot 100 \% = 10 \%.$$

Ако узмемо да је $RC=5T$, овај однос је 20 %, а ако је $RC=20T$, однос је 5 % итд.

2.20.

Наћи капацитивност филтарског кондензатора код Грецовог усмерача, али да напон на њему опадне 5 % за време пражњења. Једносмерни напон на потрошачу износи $U_p=10 \text{ V}$ и струја $I_p=0,5 \text{ A}$.

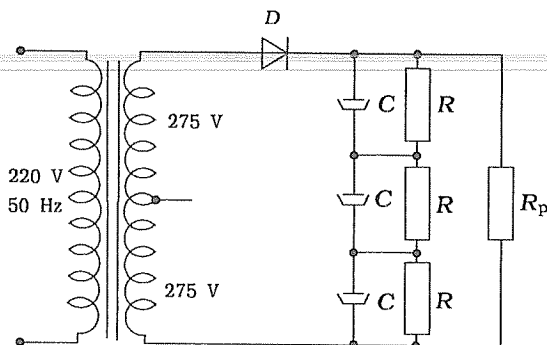
РАД

Најпре треба израчунати отпорност потрошача: $R=10 \text{ V}/0,5 \text{ A}=20 \text{ }\Omega$. Видели смо у претходном задатку да код једностраног усмерача напон опадне за 5 % ако је $RC=20T$. Код Грецовог усмерача време пражњења је два пута краће, па можемо да напишемо да је $RC=20T/2=10T$. Одавде се добије да је капацитивност кондензатора:

$$C = \frac{10T}{R} = \frac{0,2 \text{ s}}{20 \text{ }\Omega} = 0,01 \text{ F} = 10\,000 \text{ }\mu\text{F}.$$

2.21.

Код једностраног усмераача употребљен је мрежни трансформатор из старих радио-уређаја, који има секундарни намотај са изводом и на секундару даје наизменични напон $2 \cdot 275 \text{ V} = 550 \text{ V}$. а) Колики једносмерни напон се добије једностраним усмеравањем укупног наизменичног напона? б) Колика је отпорност потрошача? в) Како се за филтрирање могу употребити електролитски кондензатори који могу да издрже напон до 350 V ако једносмерна струја износи 10 mA ? г) Колики се максимални инверзни напон појављује на диоди?



Слика 2.21

РАД

а) Једносмерни напон се добије множењем наизменичног напона са $\sqrt{2}$:

$$U = 550 \text{ V} \cdot \sqrt{2} = 778 \text{ V}.$$

б) Отпорност потрошача износи:

$$R = 778 \text{ V} / 10 \text{ mA} = 77,8 \text{ k}\Omega.$$

в) Капацитивност кондензатора износи:

$$C = 5T/R = 0,1 \text{ s} / 77,8 \text{ k}\Omega = 1,28 \mu\text{F}.$$

Максималан напон код комерцијално доступних електролитских кондензатора је обично 350 V , што значи да је потребно везати на ред три кондензатора. Три редно везана једнака кондензатора имају еквивалентну капацитивност која је три пута мања од појединачних капацитивности, па је овде потребно везати три кондензатора по $3 \cdot 1,28 \mu\text{F} = 3,84 \mu\text{F}$. Њихова струја цурења није иста код свих примерака кондензатора, па се код редног везивања напон не распоређује равномерно на све кондензаторе. Електролитски кондензатори приликом прикључивања на напон виши од дозвољеног често експлодирају. Кондензатори се ипак могу везати редно и

напон може бити равномерно распоређен ако се паралелно њима вежу отпорници одговарајућих отпорности. Струја цурења код електролитских кондензатора је типично $100 \mu\text{A}$, па струја кроз отпорнике треба да буде много већа од ње (на пример десет пута јер је ово оријентациона вредност). На овај начин напон на кондензатору зависи само од струје кроз отпорнике. Ако усвојимо да струја кроз отпорнике износи 1 mA , укупна отпорност отпорника износи:

$$R_{\text{uk}} = \frac{778 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 778 \text{ k}\Omega.$$

Када се ова вредност подели са три, добију се три отпорника по $260 \text{ k}\Omega$. Снага на једном отпорнику је:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(260 \text{ V})^2}{260 \text{ k}\Omega} = 260 \text{ mW}.$$

па треба усвојити отпорнике од $0,5 \text{ W}$.

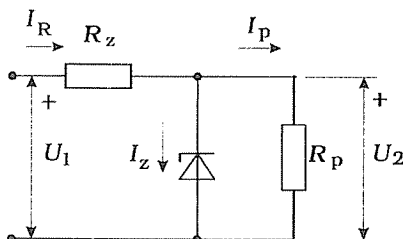
г) Максимални инверзни напон који се јавља на диоди је:

$$U_i = 2U_m = 2 \cdot 778 \text{ V} = 1556 \text{ V}.$$

У овом случају је економичније ставити две диоде по 1000 V на ред него употребити једну диоду која може да издржи 1556 V .

2.22

На слици 2.22 приказан је основни стабилизатор напона са Ценеровом диодом. Напон на потрошачу $U_2 = 10 \text{ V}$, а струја потрошача је $I_p = 20 \text{ mA}$. Нека је улазни напон два пута виши од излазног и нека је струја кроз Ценерову диоду два пута мања од струје потрошача. Наћи отпорност за ограничење струје, снагу на њему и снагу на Ценеровој диоди.



Слика 2.22

РАД

Струја кроз диоду је два пута мања од струје потрошача, односно $I_z = 10 \text{ mA}$. Струја кроз отпорник R је једнака збиру струја потрошача и Ценерове диоде, па износи $I_R = 30 \text{ mA}$. Напон на отпорнику R је једнак разлици улазног и излазног напона и износи $U_R = 10 \text{ V}$. Отпорност отпорника R се налази по Омовом закону:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{10 \text{ V}}{30 \text{ mA}} = 333 \Omega.$$

Снага на отпорнику R износи:

$$P_R = U_R I_R = 10 \text{ V} \cdot 30 \text{ mA} = 300 \text{ mW}.$$

Снага на Ценеровој диоди износи:

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = 10 \text{ V} \cdot 10 \text{ mA} = 100 \text{ mW}.$$

2.23.

На улазу стабилизатора напона на слици 2.22 напон се мења од 15 V до 20 V. Излазни напон је 10 V, а струја потрошача 30 mA. Минимална струја кроз Ценерову диоду је 5 mA. Израчунати отпорност за ограничење струје, као и снаге на елементима код минималног и максималног улазног напона.

РАД

У овом случају улазни напон није два пута виши од излазног и мења се у доста широким границама. Минимална струја кроз Ценерову диоду тече када је улазни напон минималан, односно када је 15 V. Струја кроз отпорник R је и овде једнака збиру струја кроз потрошач и Ценерову диоду и у овом случају износи 35 mA. Напон на отпорнику за ограничење струје је 5 V па се његова отпорност рачуна по Омовом закону:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{5 \text{ V}}{35 \text{ mA}} = 142 \Omega.$$

Снага на овом отпорнику износи:

$$P_R = U_R \cdot I_R = 5 \text{ V} \cdot 35 \text{ mA} = 175 \text{ mW}.$$

Снага на Ценеровој диоди је:

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = 10 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 50 \text{ mW}.$$

Код максималног улазног напона од 20 V, ове вредности су:

$$I_R = \frac{10 \text{ V}}{142 \Omega} = 70,4 \text{ mA},$$

$$P_R = U_R \cdot I_R = 10 \text{ V} \cdot 70,4 \text{ mA} = 704 \text{ mW},$$

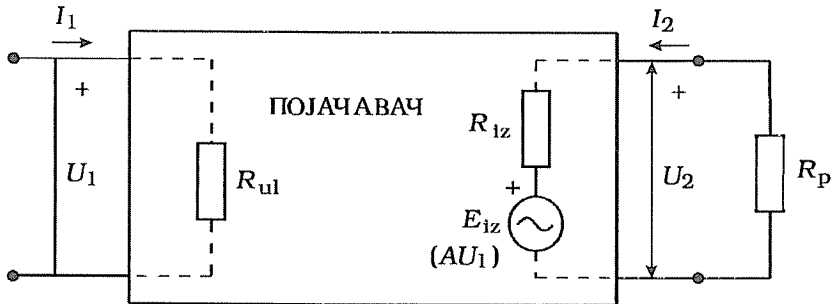
$$I_Z = I_R - I_P = 70,4 \text{ mA} - 30 \text{ mA} = 40,4 \text{ mA},$$

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = 10 \text{ V} \cdot 40,4 \text{ mA} = 404 \text{ mW}.$$

ПОЈАЧАВАЧИ

3.1.

На слици 3.1 приказан је општи облик појачавача са улазном и излазном отпорношћу. На овој слици су приказане и величине за мерење улазне и излазне отпорности појачавача. На овом колу су измерене следеће величине: $U_1=5 \text{ mV}$, $I_1=3 \mu\text{A}$, $U_2=0,2 \text{ V}$ и $I_2=0,6 \text{ mA}$. Наћи појачање напона, струје, снаге и улазну отпорност.



Слика 3.1

РАД

Појачање напона је:

$$A_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{0,2 \text{ V}}{5 \text{ mV}} = 40.$$

Појачање струје је:

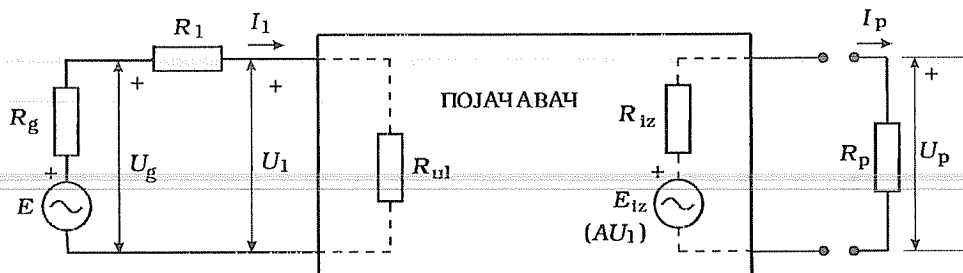
$$A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{0,6 \text{ mA}}{3 \mu\text{A}} = 200.$$

Улазна отпорност је:

$$R_{ul} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{5 \text{ mV}}{3 \mu\text{A}} = 1,66 \text{ k}\Omega.$$

3.2.

На слици 3.2 приказано је коло помоћу кога се могу мерити улазна и излазна отпорност појачавача. Нека је: $U_1=15 \text{ mV}$, $U_g=20 \text{ mV}$, $R_1=2 \text{ k}\Omega$, излазни напон празног хода када није прикључен потрошач $U_{20}=1 \text{ V}$, излазни напон када је прикључен потрошач $U_p=0,6 \text{ V}$ и $R_p=1 \text{ k}\Omega$. Наћи појачање напона, струје, као и улазну и излазну отпорност појачавача.



Слика 3.2

РАД

Ове величине износе:

$$I_1 = \frac{U_g - U_1}{R_1} = \frac{20 \text{ mV} - 15 \text{ mV}}{2 \text{ k}\Omega} = 2,5 \mu\text{A},$$

$$R_{ul} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{15 \text{ mV}}{2,5 \mu\text{A}} = 6 \text{ k}\Omega,$$

$$A_u = \frac{U_p}{U_1} = \frac{0,6 \text{ V}}{15 \text{ mV}} = 40,$$

$$I_2 = \frac{U_p}{R_p} = \frac{0,6 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 0,6 \text{ mA},$$

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{0,6 \text{ mA}}{2,5 \mu\text{A}} = 240.$$

Из једначине по II Кирхофом закону за излазно коло:

$$E_{iz} - R_{iz}I_p - U_p = 0$$

добије се:

$$R_{iz} = \frac{U_{20} - U_p}{U_p} R_p = \frac{1 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{0,6 \text{ V}} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 0,666 \text{ k}\Omega,$$

јер је $E_{iz} = U_{20}$.

3.3.

Нека појачавач има излазну отпорност $R_{iz}=200\ \Omega$, док му је напон празног хода $U_{20}=4\text{ V}$. Када се на излаз појачавача прикључи потрошач, излазни напон се смањи за 20 %. Наћи отпорност и снагу потрошача. Колика максимална снага може да се добије на излазу овог појачавача и за коју отпорност потрошача?

РАД

Смањењем за 20 % напон сада износи:

$$U_p = 0,8 \cdot U_{20} = 0,8 \cdot 4\text{ V} = 3,2\text{ V}.$$

Из једначине за израчунавање излазне отпорности појачавача се добије:

$$R_p = \frac{U_p R_{iz}}{U_{20} - U_p} = \frac{3,2\text{ V} \cdot 200\ \Omega}{4\text{ V} - 3,2\text{ V}} = 800\ \Omega.$$

Снага потрошача је:

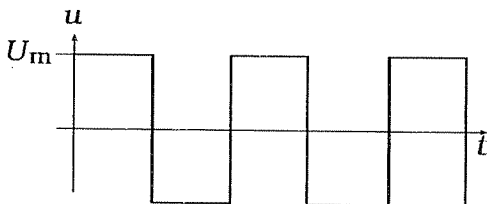
$$P = \frac{U_p^2}{R_p} = \frac{(3,2\text{ V})^2}{800\ \Omega} = 12,8\text{ mW}.$$

Максимална снага на потрошачу се добије (види *Основе електротехнике за први разред* – поглавље *Режим максималне снаге*) када је отпорност потрошача једнака унутрашњој отпорности генератора. То значи да отпорност потрошача треба да буде $200\ \Omega$. Максимална снага износи:

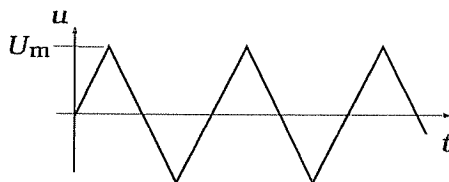
$$P_m = \frac{U_{20}^2}{4R_p} = \frac{(4\text{ V})^2}{4 \cdot 200\ \Omega} = 20\text{ mW}.$$

3.4.

Наћи коефицијент изобличења правоугаоног напона на слици 3.4а и троугаоног на слици 3.4б. Напомена. – Коефицијент изобличења неког напона у пракси се дефинише као количник ефективних вредности виших хармоника и укупног напона:



Слика 3.4а



Слика 3.4б

$$k (\%) = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} \cdot 100 \, \%.$$

Код правоугаоног напона на слици 3.4а постоје само непарни хармоници (први, трећи, пети итд.), а њихова амплитуда је нижа од амплитуде основног хармоника онолико пута колики је њихов ред. На пример, амплитуда трећег хармоника је три пута нижа од амплитуде првог, петог је пет пута нижа итд. Наћи коефицијент изобличења правоугаоног напона на слици 3.4а узимајући непарне хармонике до деветог.

РАД

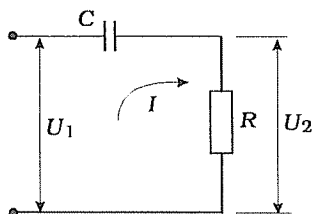
$$k (\%) = \frac{\sqrt{(U/3)^2 + (U/5)^2 + (U/7)^2 + (U/9)^2}}{\sqrt{U^2 + (U/3)^2 + (U/5)^2 + (U/7)^2 + (U/9)^2}} \cdot 100 \, \% = 39,4 \, \%.$$

Код троугаоног напона на слици 3.4б такође постоје само непарни хармоници, где је трећи хармоник $3^2 = 9$ пута нижи од првог, пети је $5^2 = 25$ пута нижи од првог итд. Наћи коефицијент изобличења троугаоног напона на слици 3.4б узимајући непарне хармонике до деветог.

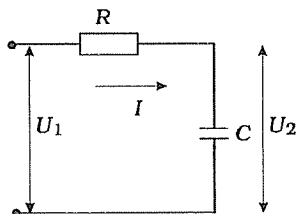
$$k (\%) = \frac{\sqrt{(U/9)^2 + (U/25)^2 + (U/49)^2 + (U/81)^2}}{\sqrt{U^2 + (U/9)^2 + (U/25)^2 + (U/49)^2 + (U/81)^2}} \cdot 100 \, \% = 39,4 \, \%.$$

3.5.

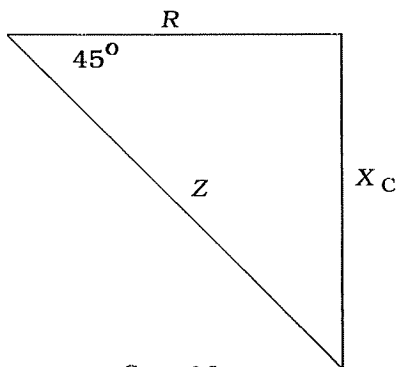
Код појачавача се често са његовог излаза сигнал преноси на потрошач или следећи степен преко кондензатора (слика 3.5а). На средњим учестаностима је импеданса кондензатора занемарљиво мала, па се он третира као кратак спој за наизменичну струју. На ниским учестаностима импеданса кондензатора није занемарљива, па долази до слабљења сигнала преко њега. Напон U_2 је $\sqrt{2}$ пута нижи од напона U_1 када је модуо импедансе кондензатора једнак отпорности отпорника: $1/(\omega C) = R$ (слика 3.5в). Дијагонала квадрата је $\sqrt{2}$ пута већа од странице. Одавде се може наћи доња гранична учестаност: $f_d = 1/(2\pi RC)$. На исти начин се може наћи горња гранична учестаност кола на слици 3.5б.



Слика 3.5а



Слика 3.5б



Слика 3.5в

3.6.

Одредити капацитивност кондензатора преко кога се из појачавача занемарљиве излазне отпорности преноси сигнал на звучник отпорности 4Ω , тако да доња гранична учестаност буде 20 Hz .

РАД

$$C = \frac{1}{\omega_d R} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \text{ Hz} \cdot 4 \Omega} = 0,00198 \text{ F} \approx 2000 \mu\text{F}.$$

3.7.

Наћи капацитивност кондензатора C на слици 3.7, где је у обзир узета и унутрашња отпорност генератора ако је $R_g = 1 \text{ k}\Omega$, $R = 1 \text{ k}\Omega$ и $f_d = 100 \text{ Hz}$.

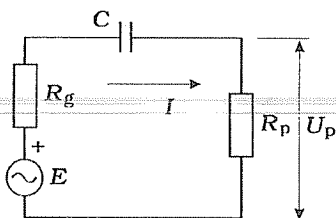
РАД

На средњим учестаностима може да се занемари импеданса кондензатора, тако да се он третира као кратак спој. У овом случају је напон U_p једнак:

$$U_p = E \cdot \frac{R_p}{R_g + R_p}.$$

На ниским учестаностима импеданса кондензатора није занемарљива и тада модуо напона U_p износи:

$$U_p' = \frac{R_p E}{\sqrt{(R_g + R_p)^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C}\right)^2}}.$$



Слика 3.7

Овај напон треба на доњој граничној учестаности f_d (кружна учестаност ω_d) да буде $\sqrt{2}$ пута нижи од напона U_p на средњим учестаностима:

Одавде се добије:

$$\frac{R_p E}{\sqrt{(R_g + R_p)^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{R_p E}{\sqrt{(R_g + R_p)^2}}.$$

$$\frac{1}{\omega_d C} = (R_g + R_p).$$

Знамо да је $\omega = 2\pi f$, па се добије израз за капацитивност кондензатора:

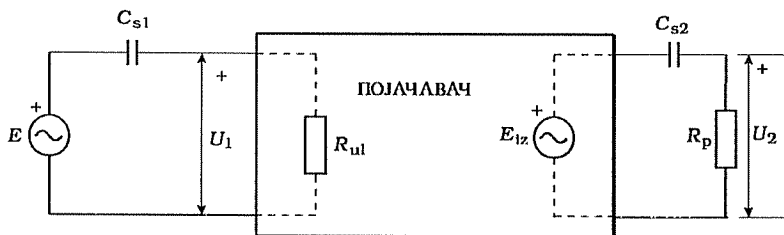
$$C = \frac{1}{2\pi f_d (R_g + R_p)} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} (1\,000 \, \Omega + 1\,000 \, \Omega)} = 0,795 \, \mu\text{F}.$$

3.8.

На слици 3.8 на улазу појачавача је кондензатор за спрегу C_{s1} и на излазу C_{s2} . Одредити њихове капацитивности тако да доња гранична учестаност буде 20 Hz, док је $R_{u1} = 10 \text{ k}\Omega$ и $R_p = 4 \, \Omega$, $R_g = 0$ и $R_{i2} = 0$.

РАД

Оба кондензатора снижавају доњу граничну учестаност. Појачање појачавача од електромоторне силе E до напона U_2 на средњим учестаностима једнако је појачању појачавача A_u . У овом случају су занемарене унутрашња



Слика 3.8

отпорност генератора и излазна отпорност појачавача. На ниским учестаностима узимају се у обзир импедансе кондензатора и модуо укупног преносног односа од E до U_2 износи:

$$A' = \frac{U_2}{E} = \frac{U_1}{E} \cdot A_u \cdot \frac{U_2}{E_{iz}} = \frac{R_{ul}}{\sqrt{R_{ul}^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s1}}\right)^2}} \cdot A_u \cdot \frac{R_p}{\sqrt{R_p^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s2}}\right)^2}}.$$

На доњој граничној учестаности ово појачање треба да буде $\sqrt{2}$ мање од појачања на средњим учестаностима A_u :

$$A' = \frac{A_u}{\sqrt{2}}.$$

Из прегходна два израза добије се:

$$\frac{R_{ul}}{\sqrt{R_{ul}^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s1}}\right)^2}} \cdot \frac{R_p}{\sqrt{R_p^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s2}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Када се ова једначина квадрира, добије се:

$$\frac{R_{ul}^2}{R_{ul}^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s1}}\right)^2} \cdot \frac{R_p^2}{R_p^2 + \left(\frac{1}{\omega_d C_{s2}}\right)^2} = \frac{1}{2}.$$

Када се лева страна ове једначине среди добије се:

$$\frac{(R_{ul} C_{s1} \omega_d)^2}{1 + (R_{ul} C_{s1} \omega_d)^2} \cdot \frac{(R_p C_{s2} \omega_d)^2}{1 + (R_p C_{s2} \omega_d)^2} = \frac{1}{2}.$$

У овој једначини су две непознате: C_{s1} и C_{s2} и она не може да се реши. Ако се у њој стави да је $R_{ul} C_{s1} = R_p C_{s2}$, она постаје:

$$\left[\frac{(R_p C_{s2} \omega_d)^2}{1 + (R_p C_{s2} \omega_d)^2} \right]^2 = \frac{1}{2}.$$

Одавде се добије C_{s2} :

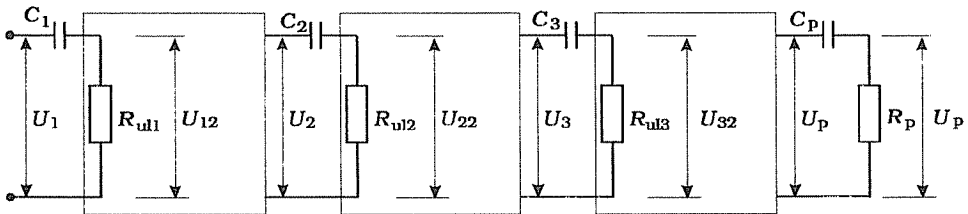
$$C_{s2} = \frac{1,56}{2\pi f_d R_p} = \frac{1,56}{4\Omega \cdot 20 \text{ Hz} \cdot 2\pi} = 3 \text{ } 100 \mu\text{F}.$$

Капацитивност C_{s1} износи:

$$C_{s1} = \frac{R_p \cdot C_{s2}}{R_{ul}} = \frac{4\Omega \cdot 3 \text{ } 100 \mu\text{F}}{10 \text{ } 000 \Omega} = 1,24 \mu\text{F}.$$

3.9.

Нека су три појачавача каскадно везана као на слици 3.9. Сваки кондензатор за спрегу утиче на укупно појачање на ниским учестаностима. Нека је $R_1=R_2=R_3=R_4=R$, а $C_1=C_2=C_3=C_p=C$. Наћи капацитивност кондензатора за спрегу C ако је $R=1 \text{ k}\Omega$ и $f_d=50 \text{ Hz}$.



Слика 3.9

РАД

Видели смо раније да је модуо преносног односа једне RC ћелије на ниским учестаностима једнак:

$$\frac{RC\omega}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}.$$

Ако су четири ћелије исте, преносни однос је једнак производу преносних односа овакве 4 ћелије и на доњој граничној учестаности је једнак $1/\sqrt{2}$:

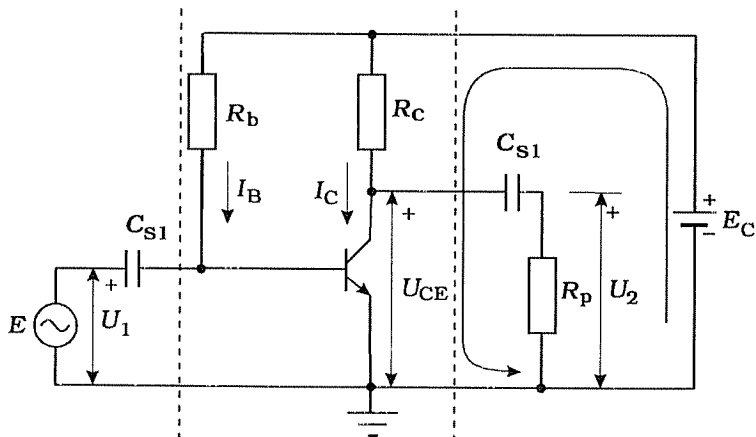
$$\left[\frac{RC\omega_d}{\sqrt{1 + (RC\omega_d)^2}} \right]^4 = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Одавде се добије капацитивност кондензатора C :

$$C = \frac{2,29}{2\pi\omega R} = \frac{2,29}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 1 \text{ } 000 \Omega} = 7,29 \mu\text{F}.$$

3.10.

На слици 3.10а је приказан основни облик појачавача са заједничким емитором, где је $E=10\text{ V}$, $R_C=1\text{ k}\Omega$, $h_{21E}=330$. На слици 3.10б приказане су излазне карактеристике транзистора. Нацртати на њима радну праву и радну тачку на средини радне праве. Одредити отпорност R_B . Одредити радну тачку ако је $h_{21E}=100, 200, 450, 600$ и 900 .



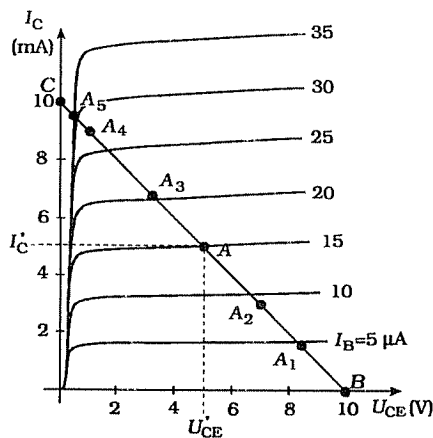
Слика 3.10а

РАД

Једначина праве се добије када се напише једначина по II Кирхофовом закону за назначено коло на слици 3.10а:

$$E_C - R_C I_C - U_{CE} = 0.$$

Из ове једначине добију се две тачке кроз које се црта радна права; за тачку В има облик:



Слика 3.10б

$$U_{CE}=E_C=10 \text{ V},$$

и C :

$$I_C = \frac{E_C}{R_C} = \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}.$$

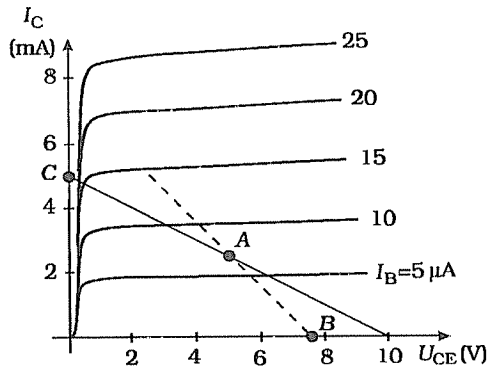
Радна тачка A је на средини радне праве и у њој је $I_C=5 \text{ mA}$, док је $U_{CE}=5 \text{ V}$. У овој тачки је струја I_C приближно триста тридесет пута већа од струје I_B , јер је $15 \mu\text{A} \cdot 330 \approx 5 \text{ mA}$. Отпорност R_b се приближно налази по Омовом закону:

$$R_b \approx \frac{E_C}{I_B} = \frac{10 \text{ V}}{15 \mu\text{A}} = 666 \text{ k}\Omega.$$

Код примерка транзистора где је $h_{21E}=100$, струја $I_C=15 \mu\text{A} \cdot 100=1,5 \text{ mA}$; ова радна тачка је означена са A_1 . Код трећег примерка транзистора је $h_{21E}=200$ и струја $I_C=15 \mu\text{A} \cdot 200=3 \text{ mA}$, док је радна тачка означена као A_2 . Трећа радна тачка је A_3 , четврта A_4 и пета A_5 .

3.11.

Нацртати радну праву за једносмерну и наизменичну струју за коло на слици 3.10а, где је $R_p=R_C=2 \text{ k}\Omega$ и $E_C=10 \text{ V}$.



Слика 3.11

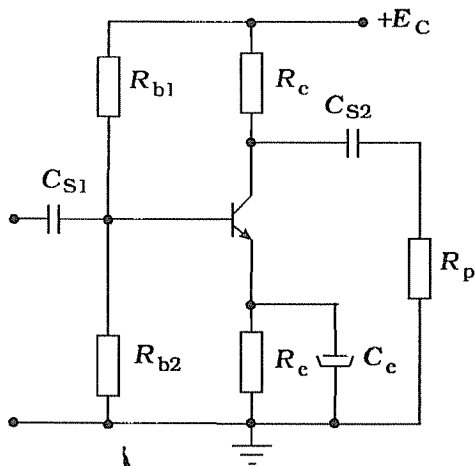
РАД

Тачке једносмерне радне праве су: $(10 \text{ V}; 0)$ и $(0; 5 \text{ mA})$. Радна тачка A се поставља на средину радне праве. Струја може да расте и опада по $2,5 \text{ mA}$. За наизменичну струју је отпорност R_p паралелно везана отпорности R_C , па је нагиб праве два пута већи. Једносмерна и наизменична радна тачка се налазе на истом месту, јер је средња вредност наизменичне синусне струје једнака нули. Радна права за наизменичну струју је на слици 3.11 нацртана испрекиданом линијом. Струја може да расте до 5 mA и да опада до нуле, па је амплитуда струје $2,5 \text{ mA}$. Отпорност у колекторском колу је сада два пута мања, па је амплитуда напона такође два пута мања и износи $2,5 \text{ V}$.

У овом случају је интересно размотрити шта се стварно дешава у појачавачу при појачању наизменичног напона. У позитивној полупериоди излазног напона транзистор постаје непроводнији и део струје кроз отпорност R_c тече даље кроз кондензатор C_{s2} и отпорност R_p , пунећи при том кондензатор. У негативној полупериоди једна компонента струје кроз транзистор тече од извора E_C кроз отпорник R_c ; друга компонента струје кроз транзистор тече из кондензатора C_{s2} . Збир компоненти може максимално да буде 2,5 mA, па свака од њих у овом случају може да буде максимално 1,25 mA.

3.12.

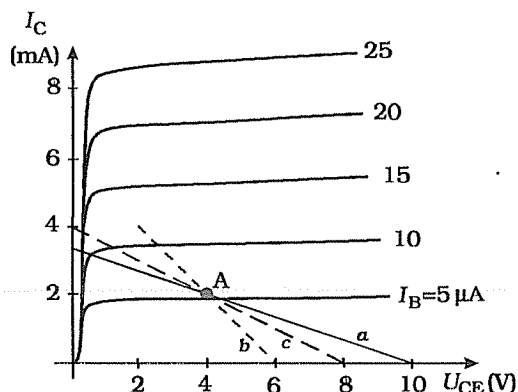
На слици 3.12a приказан је појачавач са стабилисаном радном тачком, где је $E_C=10\text{ V}$, $R_c=2\text{ k}\Omega$, $R_e=1\text{ k}\Omega$ и $R_p=2\text{ k}\Omega$. Нека је усвојено да напон на отпорности R_e буде 2 V. а) Нацртати једносмерну радну праву и обележити радну тачку на њеној средини. б) Нацртати наизменичну радну праву без прикљученог отпорника R_p . в) Нацртати наизменичну радну праву са прикљученим отпорником R_p .



Слика 3.12a

РАД

Једносмерна радна права се црта за отпорност $R_c+R_e=3\text{ k}\Omega$ и напон напајања $E_C=10\text{ V}$. Радна права се повлачи кроз тачке: (10 V; 0) и (0; 3,3 mA). Кроз њих је повучена радна права пуном линијом. Ако се појачава наизменични напон и није прикључена отпорност R_p , у колу постоји само отпорност R_c . Напон на отпорнику R_e је приближно константан и износи 2 V, тако да се коло понаша као да је на транзистор и отпорност R_c прикључен напон напајања од 8 V. Струја може да расте и опада по 2 mA. Радна права се сада црта кроз тачке (8 V; 0) и (0; 4 mA). Ова радна права је нацртана дугим испрекиданим линијама и означена са *c*. Ако се прикључи отпорност R_p ,



Слика 3.125

нагиб радне праве је два пута већи, али струја и даље може да расте и опада по 2 mA. Ова радна права је нацртана кратким испрекиданим линијама и означена са б.

3.13.

На слици 3.13 приказана је улазна карактеристика транзистора за $U_{CE}=10\text{ V}$.

Наћи графички параметар h_{11e} у тачкама А, В и С узимајући $\Delta U_{BE}=0,1\text{ V}$.

РАД

Параметар h_{11e} се дефинише као $\Delta U_{BE}/\Delta I_B$. У тачки А овај параметар износи:

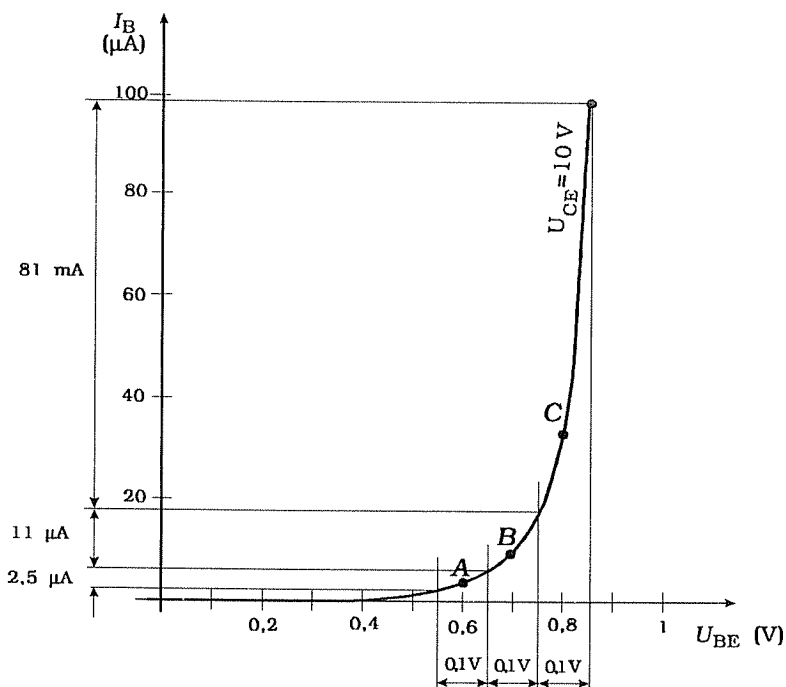
$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,1\text{ V}}{2,5\text{ }\mu\text{A}} = 40\,000\ \Omega.$$

У тачки В овај параметар износи:

$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,1\text{ V}}{11\text{ }\mu\text{A}} = 9\,090\ \Omega,$$

а у тачки С:

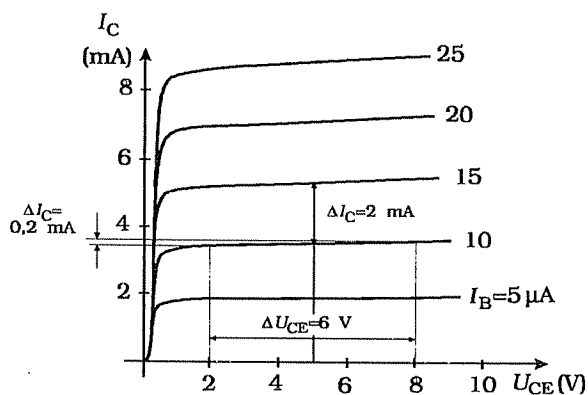
$$h_{11e} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,1\text{ V}}{81\text{ }\mu\text{A}} = 1\,234\ \Omega.$$



Слика 3.13

3.14.

На слици 3.14. приказане су излазне карактеристике транзистора. Наћи параметар h_{22e} узимајући $\Delta U_{CE} = 8\text{ V} - 2\text{ V} = 6\text{ V}$, и то за константну струју базе $I_B = 10\text{ }\mu\text{A}$. Одредити такође параметар h_{21e} за $U_{CE} = 5\text{ V}$, док се струја базе мења од $10\text{ }\mu\text{A}$ до $15\text{ }\mu\text{A}$.



Слика 3.14

РАД

На слици 3. 14 види се да се за $I_B=10\text{ mA}$ и $\Delta U_{CE}=6\text{ V}$ добије $\Delta I_C=0,2\text{ mA}$, па параметар h_{22e} износи:

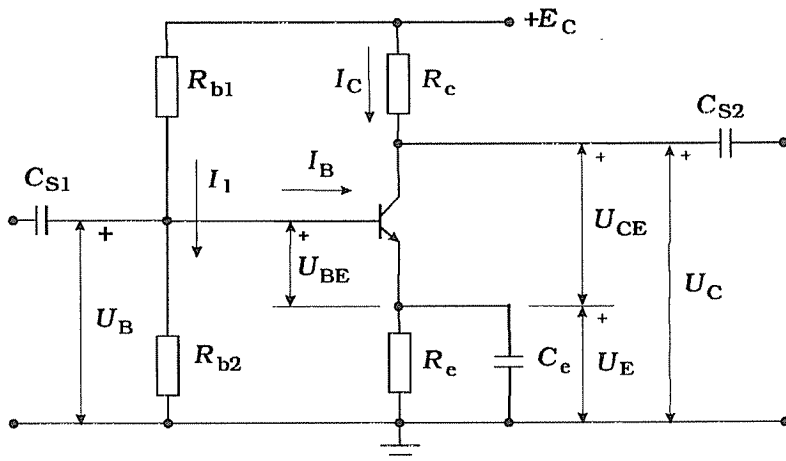
$$h_{22e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} = \frac{0,2\text{ mA}}{6\text{ V}} = 33\text{ }\mu\text{S}.$$

За $U_{CE}=5\text{ V}$ и $\Delta I_B=15\text{ }\mu\text{A}-10\text{ }\mu\text{A}=5\text{ }\mu\text{A}$, добије се $\Delta I_C=2\text{ mA}$, па параметар h_{21e} износи:

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2\text{ mA}}{5\text{ }\mu\text{A}} = 400.$$

3.15.

Израчунати елементе кола за стабилизацију радне тачке према слици 3.15 ако је: $E_C=15\text{ V}$, $R_c=3\text{ k}\Omega$, $h_{21E}=150$, а напон на проводном PN -споју узети $0,7\text{ V}$.



Слика 3.15

РАД

Усвојићемо да је напон $U_E = 20\% E_C = 0,2 \cdot 15\text{ V} = 3\text{ V}$. Преосталих 12 V дели се на два дела, па је $U_{CE}=6\text{ V}$ и $R_c I_C=6\text{ V}$. Из последњег податка струја I_C је једнака:

$$I_C = \frac{6\text{ V}}{3\text{ k}\Omega} = 2\text{ mA}.$$

Отпорност R_e се рачуна по Омовом закону:

$$R_e = \frac{U_E}{I_C} = \frac{3 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 1,5 \text{ k}\Omega.$$

Напон између базе и масе једнак је збиру напона U_E и U_{BE} :

$$U_E + U_{BE} = 3 \text{ V} + 0,7 \text{ V} = 3,7 \text{ V}.$$

Струја базе се добије када се подели струја I_C са h_{21E} :

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{2 \text{ mA}}{150} = 13,3 \mu\text{A}.$$

Струја I_1 треба да буде бар пет пута већа од струје I_B :

$$I_1 = 5I_B = 5 \cdot 13,3 \mu\text{A} = 66,5 \mu\text{A}.$$

Отпорност R_{b2} се рачуна по Омовом закону:

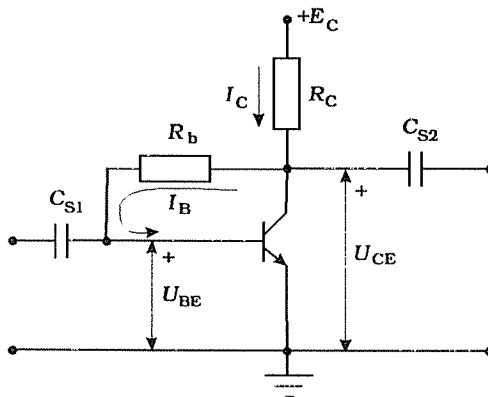
$$R_{b2} = \frac{U_B}{I_1} = \frac{3,7 \text{ V}}{66,5 \mu\text{A}} = 55,6 \text{ k}\Omega \approx 56 \text{ k}\Omega.$$

Отпорност R_{b1} се такође рачуна по Омовом закону као напон на њему подељен струјом I_1 :

$$R_{b1} = \frac{E_C - U_B}{I_1} = \frac{11,3 \text{ V}}{66,5 \mu\text{A}} = 169,9 \text{ k}\Omega \approx 170 \text{ k}\Omega.$$

3.16.

Израчунати елементе за стабилизацију радне тачке код кола на слици 3.16 ако је $E_C = 6 \text{ V}$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$ и $h_{21E} = 200$.



Слика 3.16

РАД

Напон извора E_C се дели на два једнака дела, па је $U_{CE}=3V$ и $R_C I_C=3V$.
Струја I_C се добије када се производ $R_C I_C$ подели са R_C :

$$I_C = \frac{R_C I_C}{R_C} = \frac{3 V}{1 k\Omega} = 3 mA.$$

Струја I_B се добије када се струја I_C подели са параметром h_{21E} :

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{3 mA}{200} = 15 \mu A.$$

Отпорност R_b се рачуна по Омовом закону:

$$R_b = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_B} = \frac{3 V - 0,7 V}{15 \mu A} = 180 k\Omega.$$

3.17.

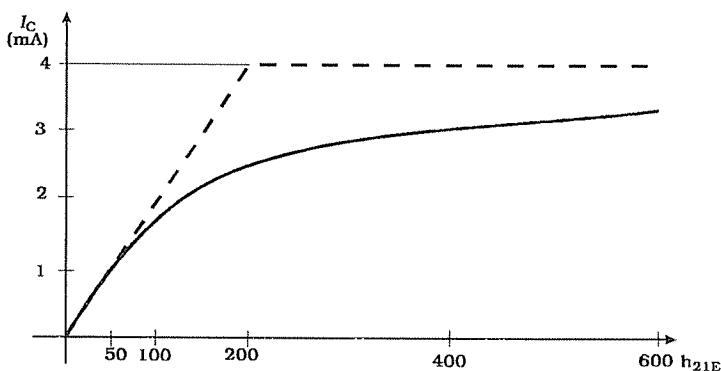
Наћи зависност струје I_C од параметра h_{21E} који се мења од 0 до 600 за коло на слици 3.10а где је $E_C=10 V$, $R_C=2,5 k\Omega$ и $R_b=500 k\Omega$. Максимална струја колектора је $I_{CM}=E_C/R_C=10 V/2 k\Omega=4 mA$. Занемарити напон U_{BE} .

РАД

Ако се занемари напон U_{BE} , струја I_B се може наћи по Омовом закону:

$$I_B \approx \frac{E_C}{R_b} = \frac{10 V}{500 k\Omega} = 20 \mu A.$$

Струја I_C се добије множењем струје I_B параметром h_{21E} :



Слика 3.17

$$I_C = h_{21E} \cdot I_B = h_{21E} \cdot 20 \mu A.$$

Ако је $h_{21E}=0$ и I_C је такође 0. Ако је $h_{21E}=50$, струја I_C је једнака:

$$I_C = 50 \cdot 20 \mu A = 1 \text{ mA}.$$

Ако је $h_{21E}=100$, $I_C = 100 \cdot 20 \mu A = 2 \text{ mA}$. За $h_{21E}=200$, $I_C = 200 \cdot 20 \mu A = 4 \text{ mA}$. За $h_{21E}=400$, ако би се множила струја I_B параметром h_{21E} добила би се вредност 8 mA, што је немогуће јер максимална струја кроз транзистор је $E_C/R_C = 4 \text{ mA}$. То значи да би се транзистор налазио у засићењу за $h_{21E}=400$, као и за све веће вредности овог параметра. Остаје нам још да утврдимо за коју вредност параметра h_{21E} транзистор почиње да ради у засићењу. Ова вредност параметра h_{21E} се добије када се струја засићења транзистора (4 mA) подели са струјом базе (20 μA):

$$h_{21E} = 5 \text{ mA} / 20 \mu A = 200.$$

Зависност струје I_C од параметра h_{21E} код нестабилисаног појачавача је приказана на слици 3.17 испрекиданом линијом.

3.18.

а) Наћи зависност струје I_C од параметра h_{21E} занемарујући напон U_{BE} код кола на слици 3.16. Узети вредности параметра h_{21E} као у задатку 3.17, док су остале вредности: $E_C = 10 \text{ V}$, $R_C = 2,5 \text{ k}\Omega$ и $R_B = 330 \text{ k}\Omega$. Приказати графички ову зависност.

б) Наћи зависност струје I_C од параметра h_{21E} код кола на слици 3.15, и то за исте вредности овог параметра, док су остале потребне вредности: $E_C = 10 \text{ V}$, $R_{B1} = 275 \text{ k}\Omega$, $R_{B2} = 27 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$.

РАД

а) Познато је да је $I_C = h_{21E} I_B$, $U_{CE} = E_C - R_C I_C$ и $I_B = U_{CE} / R_B$. Када се у последњу једначину стави I_C / h_{21E} уместо I_B , добије се:

$$\frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{E_C - R_C I_C}{R_B} = \frac{E_C}{R_B} - \frac{R_C I_C}{R_B}.$$

Када се извуче I_C , добије се:

$$I_C \left(\frac{1}{h_{21E}} + \frac{R_C}{R_B} \right) = \frac{E_C}{R_B}.$$

Одавде се добије:

$$I_C \frac{R_B + h_{21E} R_C}{h_{21E} R_B} = \frac{E_C}{R_B}.$$

Скраћивањем са R_B добије се:

$$I_C = \frac{E_C h_{21E}}{R_b + h_{21E} R_c}.$$

Анализу треба почети за $h_{21E}=0$ и завршити за $h_{21E}=\infty$. Ако је $h_{21E}=0$, према последњој једначини је $I_C=0$. Ако је $h_{21E}=\infty$, према истој једначини је $I_C=E_C/R_c$. За остале вредности параметра h_{21E} струја I_C се налази између ове две вредности. Дobar приказ ове зависности може да се добије узимањем конкретних вредности елемената кола и параметра h_{21E} . За $h_{21E}=50$ струја I_C износи:

$$I_C = \frac{10 \text{ V} \cdot 50}{330 \text{ k}\Omega + 50 \cdot 2,5 \text{ k}\Omega} = 1,09 \text{ mA}.$$

Ако се параметар h_{21E} повећа на 100, струја I_C износи:

$$I_C = \frac{10 \text{ V} \cdot 100}{330 \text{ k}\Omega + 100 \cdot 2,5 \text{ k}\Omega} = 1,72 \text{ mA}.$$

За $h_{21E}=200$, струја I_C износи:

$$I_C = \frac{10 \text{ V} \cdot 200}{330 \text{ k}\Omega + 200 \cdot 2,5 \text{ k}\Omega} = 2,4 \text{ mA}.$$

За $h_{21E}=400$, струја I_C износи:

$$I_C = \frac{10 \text{ V} \cdot 400}{330 \text{ k}\Omega + 400 \cdot 2,5 \text{ k}\Omega} = 3,00 \text{ mA}.$$

За $h_{21E}=600$, струја I_C износи:

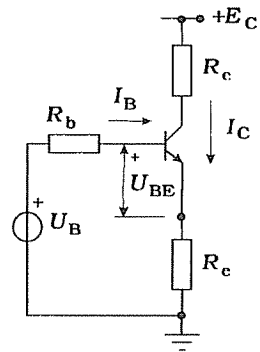
$$I_C = \frac{10 \text{ V} \cdot 600}{330 \text{ k}\Omega + 600 \cdot 2,5 \text{ k}\Omega} = 3,27 \text{ mA}.$$

За $h_{21E}=\infty$, струја I_C износи:

$$I_C = \frac{E_C}{R_c} = \frac{10 \text{ V}}{2,5 \text{ k}\Omega} = 4 \text{ mA}.$$

Када се ове вредности прикажу графички, добије се крива као на слици 3.17 (пуна линија). Ако се параметар h_{21E} мења од 50 до 600, струја I_C се мења од 1,09 mA до 3,27 mA, али не иде до нуле нити транзистор иде у засићење.

б) У овом случају треба отпорнике у колу базе и напон напајања претворити помоћу Тевенинове теореме у еквивалентан генератор са електромоторном силом U_B и унутрашњом отпорношћу R_b . Еквивалентни генератор има електромоторну силу једнаку напону на бази транзистора:



Слика 3.18а

$$U_B = \frac{E_C R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{10 \text{ V} \cdot 27 \text{ k}\Omega}{75 \text{ k}\Omega + 27 \text{ k}\Omega} = 2,64 \text{ V} \approx 2,7 \text{ V}.$$

Еквивалентна унутрашња отпорност овог генератора је једнака паралелној вези отпорности R_{b1} и R_{b2} :

$$R_b = \frac{R_{b1} R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{75 \text{ k}\Omega \cdot 27 \text{ k}\Omega}{75 \text{ k}\Omega + 27 \text{ k}\Omega} = 19,85 \text{ k}\Omega \approx 20 \text{ k}\Omega.$$

Ово коло је приказано на слици 3.18а, где су изостављени елементи који немају утицај на стабилност радне тачке. За улазно коло може да се напише II Кирхофов закон:

$$U_B - R_b I_B - U_{BE} - R_e I_C = 0.$$

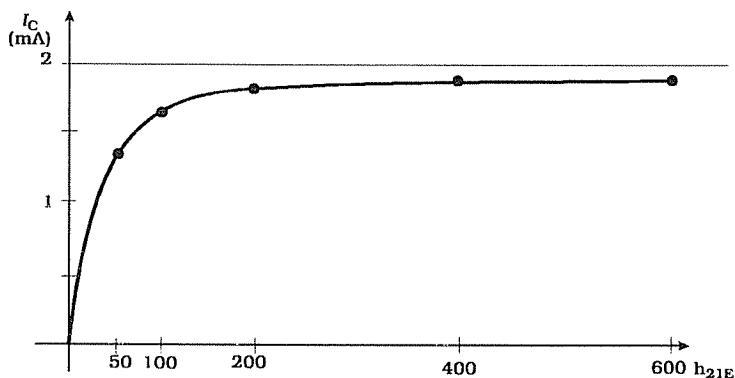
Када се стави да је $I_B = I_C / h_{21E}$, из ове једначине се добије:

$$I_C = \frac{U_B - U_{BE}}{R_e + \frac{R_b}{h_{21E}}}.$$

Овде напон U_{BE} није занемарен јер је близак по вредности напону U_B . Сада можемо да замењујемо вредности параметра h_{21E} :
за $h_{21E}=0$ добије се да је $I_C = I_B \approx 0$;
за $h_{21E}=50$ се добије:

$$I_C = \frac{2 \text{ V}}{1000 \Omega + \frac{20000 \Omega}{50}} = 1,33 \text{ mA}.$$

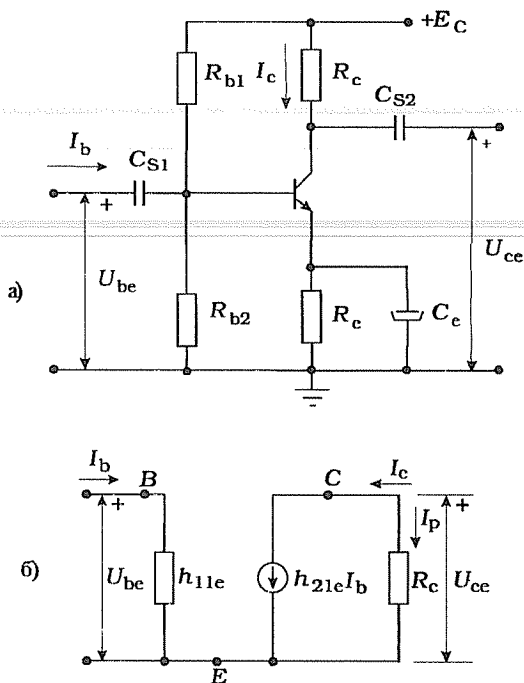
За $h_{21E}=100$ добије се $I_C=1,66 \text{ mA}$, за $h_{21E}=200$ $I_C=1,8 \text{ mA}$, за $h_{21E}=400$ $I_C=1,9 \text{ mA}$, за $h_{21E}=600$ $I_C=1,93 \text{ mA}$, за $h_{21E}=\infty$ $I_C=2 \text{ mA}$. Ова зависност је приказана на слици 3.18б.



Слика 3.18б

3.19.

На слици 3.19а приказан је појачавач са заједничким емитором. Параметри транзистора су $h_{11e}=4\text{ k}\Omega$, $h_{21e}=250$, док је $R_c=3\text{ k}\Omega$. Наћи напонско и струјно појачање, појачање снаге, као и улазну и излазну отпорност.



Слика 3.19

РАД

Напонско појачање појачавача са заједничким емитором износи:

$$A_u = -\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}} = -\frac{250 \cdot 3\,000\,\Omega}{4\,000\,\Omega} = -187,5.$$

Струјно појачање износи:

$$A_i = -h_{21e} = -250.$$

Појачање снаге износи:

$$G_p = A_u \cdot A_i = (-187,5) \cdot (-250) = 48\,875.$$

Улазна отпорност је једнака: $R_{ul}=h_{11e}=4\text{ k}\Omega$. Излазна отпорност је једнака: $R_{iz}=R_c=3\text{ k}\Omega$.

3.20.

На слици 3.19а приказан је појачавач са заједничким емитором. Параметри транзистора су: $h_{21e}=220$, $h_{11e}=3 \text{ k}\Omega$. Одредити отпорност R_c тако да модуо напонског појачања буде 80. Колико износи излазна отпорност овог појачавача?

РАД

Напонско појачање је дато изразом:

$$A_u = -\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}}.$$

Одавде се добије R_c :

$$R_c = -A_u \frac{h_{11e}}{h_{21e}} = -(-80) \cdot \frac{3\,000 \Omega}{220} = 1\,090 \Omega.$$

Излазна отпорност овог појачавача је такође $1\,090 \Omega$.

3.21.

На слици 3.21а приказан је појачавач са заједничким емитором и прикљученим потрошачем R_p . Вредности елемената и параметара су: $R_c=3 \text{ k}\Omega$, $R_p=2 \text{ k}\Omega$, $h_{11e}=2 \text{ k}\Omega$, $h_{21e}=150$. Наћи напонско и струјно појачање, а затим појачање снаге.

РАД

На слици 3.21б је приказана еквивалентна шема овог појачавача за наизменичну струју. Отпорност у колекторском колу за наизменичну струју једнака је паралелној вези отпорности R_c и R_p . Еквивалентна отпорност ове паралелне везе је:

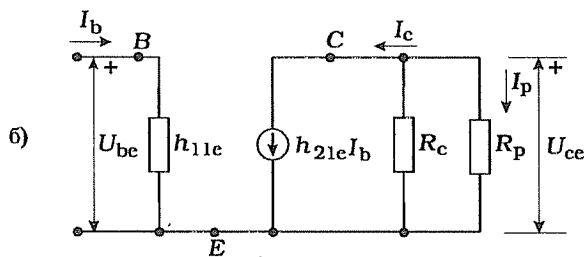
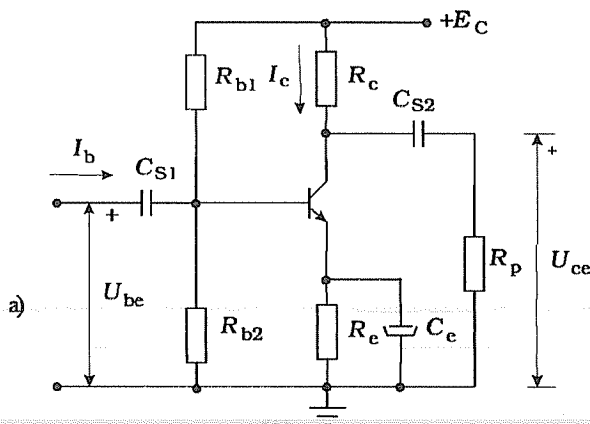
$$R'_c = \frac{R_c \cdot R_p}{R_c + R_p} = \frac{3\,000 \Omega \cdot 2\,000 \Omega}{3\,000 \Omega + 2\,000 \Omega} = 1\,200 \Omega.$$

Сада појачање напона износи:

$$A_u = -\frac{h_{21e}R'_c}{h_{11e}} = -\frac{150 \cdot 1\,200 \Omega}{2\,000 \Omega} = -90.$$

Појачање струје овде треба рачунати као:

$$A_i = \frac{I_p}{I_b}$$



Слика 3.21

У овом случају струја I_p није једнака $-I_c$, него њихов однос треба израчунати. На слици 3.21б види се да је напон U_c једнак производу струје I_c и отпорности R_c' :

$$U_c = -I_c \cdot R'_c = -I_c \cdot \frac{R_c \cdot R_p}{R_c + R_p}.$$

Струја I_p се добије када се напон U_c подели са отпорношћу R_p :

$$I_p = \frac{U_c}{R_p} = -I_c \cdot \frac{R_c}{R_c + R_p}.$$

Сада може да се израчуна струјно појачање:

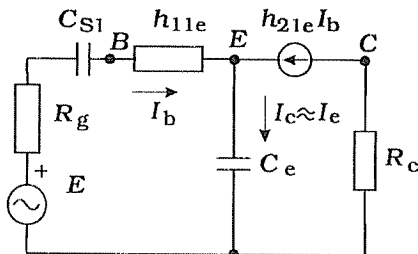
$$\begin{aligned} A_i = \frac{I_p}{I_b} &= -\frac{I_c}{I_b} \cdot \frac{R_c}{R_c + R_p} = -h_{21e} \cdot \frac{R_c}{R_c + R_p} = \\ &= -150 \cdot \frac{3\,000\,\Omega}{3\,000\,\Omega + 2\,000\,\Omega} = -90. \end{aligned}$$

Појачање снаге је и овде једнако производу појачања напона и струје:

$$G_p = A_u \cdot A_i = (-90) \cdot (-90) = 8\,100.$$

3.22.

Наћи капацитивност кондензатора C_e на слици 3.22 сматрајући да је капацитивност C_{s1} кратак спој, ако су познате вредности: $R_g = 1 \text{ k}\Omega$, $h_{11e} = 2 \text{ k}\Omega$, $h_{21e} = 300$ и $f_d = 60 \text{ Hz}$. Поново израчунати нову вредност C_e и C_{s1} узимајући да обе капацитивности имају исти утицај на фреквенцијску карактеристику.



Слика 3.22

РАД

$$\underline{E} - \underline{I}_b R_g + \underline{I}_b h_{11e} + \underline{I}_b \cdot \frac{1}{j\omega C_{s1}} + \underline{I}_c \cdot \frac{h_{21e}}{j\omega C_e} = 0.$$

Сређивањем овог израза добије се:

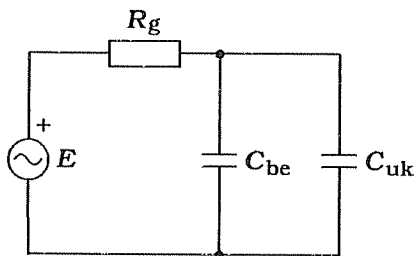
$$\underline{E} - \underline{I}_b \left[R_g + h_{11e} + \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C_{s1}} + \frac{h_{21e}}{C_e} \right) \right] = 0.$$

Стављајући $1/C_{s1} + h_{21e}/C_e = 1/C_{ek}$ добија се:

$$\underline{E} - \underline{I}_b \left(R_g + h_{11e} + \frac{1}{j\omega C_{ek}} \right) = 0.$$

Одавде се добије струја базе:

$$\underline{I}_b = \frac{\underline{E}}{R_g + h_{11e} + \frac{1}{j\omega C_{ek}}}.$$



Слика 3.23

Струја базе опада $\sqrt{2}$ пута када је отпорност у имениоцу овог израза једнака модулу импедансе кондензатора:

$$R_g + h_{11e} = \frac{1}{\omega_d C_{ek}}.$$

Одавде се добије C_{ek} :

$$C_{ek} = \frac{1}{2\pi f_d (R_g + h_{11e})} = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \text{ Hz} (1\,000\, \Omega + 2\,000\, \Omega)} = 0,884\, \mu\text{F} =$$

$$= \frac{C_{s1} \cdot C_e}{C_{s1} + C_e},$$

где је $C_e = C_e / h_{21e}$.

Ако се занемари утицај капацитивности C_{s1} , тада је $C_{ek} = C_e / h_{21e}$, одавкле је

$$C_e = C_{ek} \cdot h_{21e} = 0,884\, \mu\text{F} \cdot 300 = 265\, \mu\text{F}.$$

Ако се узме у обзир и C_{s1} , тада су редно везане капацитивности C_{s1} и C_e / h_{21e} . Из основа електротехнике је познато да две једнаке капацитивности редно везане, дају еквивалентну капацитивност једнаку половини једне капацитивности. То значи да је капацитивност C_{s1} два пута већа од C_{ek} :

$$C_{s1} = 2C_{ek} = 2 \cdot 0,884\, \mu\text{F} = 1,768\, \mu\text{F}.$$

Исту ову вредност треба да има капацитивност C_e / h_{21e} , па је $C_e = 530\, \mu\text{F}$.

3.23.

Наћи горњу граничну учестаност појачавача на слици 3.19 ако су му познате следеће вредности: $C_{be} = 20\, \text{pF}$, $C_{bc} = 1\, \text{pF}$, $R_g = 1\, \text{k}\Omega$ и $A_u = -80$.

РАД

Улазна капацитивност због Милеровог ефекта је једнака:

$$C_{uk} = C_{bc} \cdot (-A_u) = 1\, \text{pF} [-(-80)] = 80\, \text{pF}.$$

Укупна капацитивност се добије сабирањем капацитивности C_{be} и C_{uk}

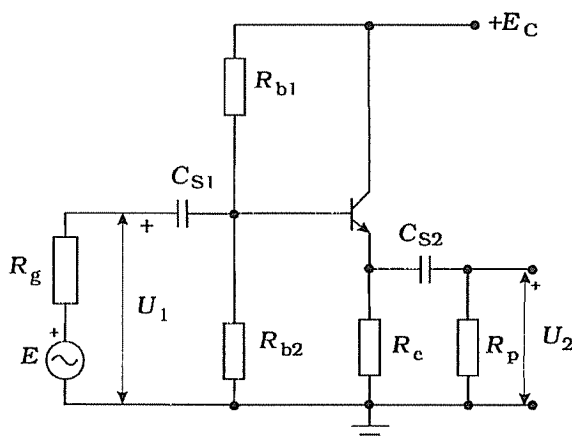
$$C_{uk} = C_{be} + C_{uk} = 20\, \text{pF} + 80\, \text{pF} = 100\, \text{pF}.$$

Горња гранична учестаност се добије из услова да је активна отпорност (отпорност генератора) једнака импеданси кондензатора: $R_g = 1 / (2\pi f_g C'_{uk})$:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_g C'_{uk}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1\,000\, \Omega \cdot 100\, \text{pF}} = 1\,592\,356\, \text{Hz}.$$

3.24.

На слици 3.24а приказан је појачавач са заједничким колектором. Израчунати елементе појачавача тако да му излазни напон може максимално да опада и расте и да му улазна отпорност без утицаја отпорника R_{b1} и R_{b2} и R_p буде $150 \text{ k}\Omega$; $R_g=2 \text{ k}\Omega$, $h_{11e}=3 \text{ k}\Omega$, $h_{21e}=h_{21e}=300$, $E_C=12 \text{ V}$, $f_d=30 \text{ Hz}$ и $R_p=200 \Omega$. Наћи улазну отпорност узимајући у обзир отпорнике R_{b1} и R_{b2} и не узимајући у обзир потрошач. Одредити излазну отпорност овог појачавача.



Слика 3.24а

РАД

Ако је потребно да излазни напон може максимално да расте и опада, напон на отпорности R_e треба да буде 6 V и да буде $U_{CE}=6 \text{ V}$. Једносмерни напон на бази транзистора је виши од напона на R_e за $0,7 \text{ V}$, па је $U_B=6,7 \text{ V}$. Улазна отпорност појачавача без утицаја отпорности R_{b1} , R_{b2} и R_p је: $R_{ul} \approx h_{21e}R_e$. Одавде се добије да је:

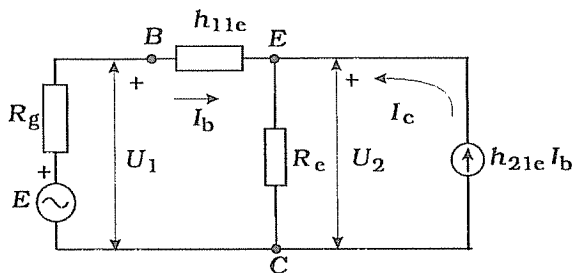
$$R_e = \frac{R_{ul}}{h_{21e}} = \frac{150 \text{ k}\Omega}{300} = 500 \Omega.$$

Једносмерна струја I_C се добије када се подели напон U_E са отпорношћу R_e :

$$I_C = \frac{U_E}{R_e} = \frac{6 \text{ V}}{500 \Omega} = 12 \text{ mA}.$$

Струја базе је h_{21E} пута мања и износи:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{12 \text{ mA}}{300} = 40 \mu\text{A}.$$



Слика 3.246

Струја кроз отпорнике R_{b1} и R_{b2} треба да буде бар пет пута већа и она износи:

$$I_1 = 5I_B = 5 \cdot 40 \mu A = 200 \mu A.$$

Отпорност R_{b1} се налази по Омовом закону:

$$R_{b1} = \frac{5,3 V}{0,2 mA} = 26,5 k\Omega.$$

На сличан начин се одређује R_{b2} :

$$R_{b2} = 6,7 V / 0,2 mA = 33,5 k\Omega.$$

Укупна улазна отпорност се добије када се паралелно вежу отпорности R_{b1} , R_{b2} и R_{ul} . Ова отпорност износи:

$$\frac{1}{R_{ul1}} = \frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}} + \frac{1}{R_{ul}} = 0,0377 \frac{1}{k\Omega} + 0,0298 \frac{1}{k\Omega} + 0,00666 \frac{1}{k\Omega} = 0,0741 \frac{1}{k\Omega}.$$

Из ове једначине се добије: $R_{ul1} = 13,48 k\Omega$.

Излазна отпорност приближно је једнака:

$$R_{iz} = \frac{R_g + h_{11e}}{h_{21e}} = \frac{2000 \Omega + 3000 \Omega}{300} = 16,6 \Omega.$$

Овде треба одредити две капацитивности за спрегу, C_{s1} и C_{s2} , где C_{s1} зависи од R_{ul}' , а C_{s2} од R_p . Обично је довољно узети за капацитивност C_{s1} неколико микрофарада (на пример $2 \mu F$) јер је улазна отпорност велика, док капацитивност C_{s2} треба израчунати. У овом случају импеданса кондензатора на доњој граничној учестаности треба да буде једнака збиру отпорности потрошача и унутрашње отпорности генератора (у овом случају излазне отпорности појачавача): $1/(\omega_d C_{s2}) = (R_p + R_{iz})$. Одавде се добије капацитивност C_{s2} :

$$C_{s2} = \frac{1}{2\pi f_d (R_{iz} + R_p)} = \frac{1}{2\pi \cdot 30 Hz (16,6 \Omega + 200 \Omega)} = 24,5 \mu F.$$

Да би се израчунала и C_{s1} , треба применити образац из задатка 3.8:

$$\left[\frac{R\omega C}{\sqrt{1 + (R\omega C)^2}} \right]^2 = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

где је $C_{s1}R_{ul}' = C_{s2}(R_{iz} + R_p) = RC$. Из ове једначине се добије:

$$RC = \frac{1,56}{2\pi \cdot 30 \text{ Hz}} = 0,00827 \text{ s}.$$

Одавде се добије C_{s1} :

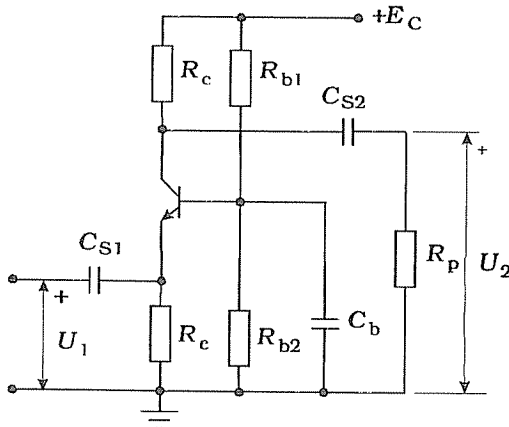
$$C_{s1} = \frac{0,00827 \text{ s}}{R_{ul}} = \frac{0,00827 \text{ s}}{11,5 \text{ k}\Omega} = 0,719 \mu\text{F}.$$

Сада треба поново израчунати C_{s2} :

$$C_{s2} = \frac{0,00827 \text{ s}}{R_{iz} + R_p} = \frac{0,00827 \text{ s}}{216,6 \Omega} = 38,1 \mu\text{F}.$$

3.25.

Прорачунати елементе појачавача са заједничком базом на слици 3.25а. Познате су величине: $h_{21E} = h_{21c} = 80$, $h_{11c} = 4 \text{ k}\Omega$, $R_c = 1 \text{ k}\Omega$, $R_g = 50 \Omega$, $R_p = 1 \text{ k}\Omega$ и $E_C = 12 \text{ V}$. Наћи напонско и струјно појачање, појачање снаге, улазну и излазну отпорност не узимајући у обзир отпорност R_p , а затим узимајући у обзир и R_p . Израчунати вредности капацитивности C_{s1} , C_{s2} и C_b тако да доња гранична учестаност износи 100 Hz ; најпре наћи поједине капацитивности сматрајући остале бесконачно великим, а затим узети све три капацитивности у обзир. Одредити горњу граничну учестаност ако је паразитна капацитивност између колектора и масе 5 pF ; у ову капацитивност је урачуната и капацитивност C_{bc} .



Слика 3.25а

РАД

Отпорници у појачавачу се израчунавају као код појачавача са заједничким емитором (задатак 3.15), па се добије $U_E = 3 \text{ V}$, $I_C = 4,5 \text{ mA}$, $R_c = 666 \Omega$, $I_B = 56 \mu\text{A}$, $I_1 = 280 \mu\text{A}$, $R_{b2} = 13,2 \text{ k}\Omega$, $R_{b1} = 29,6 \text{ k}\Omega$.

Када није прикључена отпорност R_p , појачање струје износи 1, док напонско појачање износи:

$$A_u = \frac{h_{21e} R_c}{h_{11e}} = \frac{80 \cdot 1\,000 \Omega}{4\,000 \Omega} = 20.$$

Када се прикључи потрошач, појачања напона и струје су два пута мања јер је $R_c = R_p$.

Појачање снаге је једнако производу појачања напона и струје и износи 20 када није прикључен R_p . Појачање снаге је четири пута мање и једнако је 5, када се рачуна као количник снаге на потрошачу и улазне снаге, јер је напон на потрошачу два пута мањи. Улазна отпорност је једнака:

$$R_{ul} = \frac{h_{11e}}{h_{21e}} = \frac{4\,000 \Omega}{80} = 50 \Omega.$$

Излазна отпорност без прикљученог потрошача је једнака: $R_{iz} = R_c = 1\,000 \Omega$.

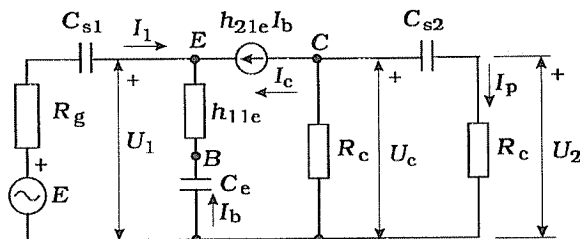
Ако се остале капацитивности третирају као кратак спој, тада се могу наћи појединачне капацитивности:

$$C_{s1} = \frac{1}{2\pi f_d (R_g + R_{ul})} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot (50 \Omega + 50 \Omega)} = 15,9 \mu\text{F}.$$

Капацитивност C_b се одређује из услова да је импеданса овог кондензатора једнака параметру h_{11e} (утицаји R_{b1} и R_{b2} се занемарују јер им је отпорност знатно већа од параметра h_{11e}):

$$C_b = \frac{1}{2\pi f_d \cdot h_{11e}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 4\,000 \Omega} = 0,398 \mu\text{F}.$$

Капацитивност C_{s2} се одређује из услова да је збир отпорности $R_{iz} = R_c$ и R_p једнак импеданси кондензатора C_{s2} :



Слика 3.25б

$$C_{s2} = \frac{1}{2\pi f_d(R_{iz} + R_p)} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot (1000 \Omega + 1000 \Omega)} = 0,796 \mu\text{F}.$$

Анализа утицаја све три капацитивности на доњу граничну учестаност је доста сложена. Најлакше је почети од дефиниције појачања на ниским учестаностима:

$$\underline{A}_u = \frac{\underline{U}_2}{\underline{E}} = \frac{\underline{U}_c}{\underline{E}} \cdot \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_c}.$$

Први количник $\underline{U}_1/\underline{E}$ може да се добије помоћу другог Кирхофовог закона за улазно коло према слици 3.25:

$$\underline{E} - R_g \underline{I}_1 - \frac{1}{j\omega C_{s1}} \underline{I}_1 + h_{11e} \underline{I}_b + \frac{1}{j\omega C_b} \underline{I}_b = 0.$$

Са слике 3.25 види се да је $\underline{I}_1 \approx -\underline{I}_c = -h_{21e} \underline{I}_b$. Заменом ове вредности у претходну једначину добије се:

$$\underline{E} + \underline{I}_b (h_{21e} R_g + \frac{h_{21e}}{j\omega C_{s1}} + h_{11e} + \frac{1}{j\omega C_b}).$$

Одавде се добије струја $\underline{I}_b$:

$$\underline{I}_b = - \frac{\underline{E}}{(h_{21e} R_g + \frac{h_{21e}}{j\omega C_{s1}} + h_{11e} + \frac{1}{j\omega C_b})}.$$

У овој једначини је погодно да се именилац означи са $\underline{Z}_1$, израз $h_{21e} R_g + h_{11e}$ означи као R_{ek1} , а израз $h_{21e}/(j\omega C_{s1}) + 1/(j\omega C_b) = 1/(j\omega C_{ek})$. Сада је струја $\underline{I}_b$ једнака:

$$\underline{I}_b = - \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_1}.$$

Напон $\underline{U}_c$ је по Омовом закону једнак:

$$\underline{U}_c = -\underline{I}_c R_c = -h_{21e} \underline{I}_b R_c = \frac{h_{21e} R_c \underline{E}}{\underline{Z}_1}.$$

Одавде се добије преносни однос $\underline{U}_c/\underline{E}$:

$$\frac{\underline{U}_c}{\underline{E}} = \frac{h_{21e} R_c}{\underline{Z}_1}$$

Сада још треба наћи преносни однос $\underline{U}_2/\underline{U}_c$. Такав случај смо имали у задатку 3.7, па преносни однос износи:

$$\frac{U_2}{U_c} = \frac{R_p}{R_c + R_p + \frac{1}{j\omega C_{s2}}} = \frac{R_p}{Z_2}$$

Укупан преносни однос износи:

$$\frac{U_2}{E} = \frac{R_c h_{21e} R_p}{Z_1 Z_2}$$

На средњим учестаностима импедансе кондензатора су занемарљиво мале, па овај однос износи:

$$\frac{U_2}{E} = \frac{R_c h_{21e} R_p}{R_{ek1} R_{ek2}}$$

Из ових једначине види се да модуо имениоца на ниским учестаностима $Z_1 Z_2$ треба да буде $\sqrt{2}$ пута већи имениоца на средњим учестаностима:

$$|Z_1 Z_2| = \sqrt{2} R_{ek1} R_{ek2}$$

Када се замене вредности импеданси, добије се:

$$|(R_{ek1} + \frac{1}{j\omega_d C_{ek1}})(R_{ek2} + \frac{1}{j\omega_d C_{s2}})| = \sqrt{2} R_{ek1} R_{ek2}$$

Сређивањем израза на левој страни ове једначине добије се:

$$\left| \frac{(R_{ek1} j\omega_d C_{ek1} + 1)(R_{ek2} j\omega_d C_{s2} + 1)}{j\omega_d C_{ek1} j\omega_d C_{s2}} \right| = \sqrt{2} R_{ek1} R_{ek2}$$

У овој једначини постоје две непознате, C_{ek1} и C_{s2} . Она се може решити ако се стави да је $R_{ek1} j\omega_d C_{ek1} = R_{ek2} j\omega_d C_{s2}$:

$$|(R_{ek2} j\omega_d C_{s2} + 1)^2| = \sqrt{2} R_{ek1}^2 \omega_d^2 C_{s2}^2$$

Када се нађе модуо леве стране, добије се:

$$(R_{ek2} \omega_d C_{s2})^2 + 1 = \sqrt{2} R_{ek1}^2 \omega_d^2 C_{s2}^2$$

Сређивањем овог израза добије се:

$$0,41(R_{ek2} \omega_d C_{s2})^2 = 1,$$

односно

$$0,64 R_{ek2} \omega C_{s2} = 1.$$

Одавде се добије C_{s2} :

$$C_{s2} = \frac{1}{0,64 \omega_d R_{ek2}} = \frac{1}{0,64 \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 2000 \Omega} = 1,244 \mu\text{F}.$$

Капацитивност C_{ek1} се добије када се уместо $R_{ek2}C_{s2}$ стави $R_{ek1}C_{s1}$:

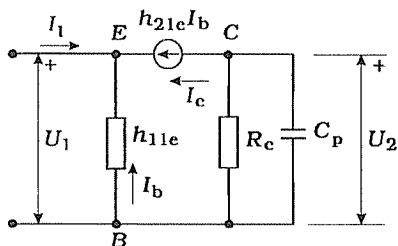
$$C_{ek1} = \frac{1}{0,64\omega_d R_{ek1}} = \frac{1}{0,64 \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 8\,000 \, \Omega} = 0,311 \, \mu\text{F}.$$

Капацитивности C_b и C_{s1} треба да имају једнак утицај на фреквенцијску карактеристику па је C_b два пута већа и износи: $C_b = 0,622 \, \mu\text{F}$.

Капацитивност C_{s1} је h_{21e} пута већа од C_b и она износи $49,76 \, \mu\text{F}$.

Треба напоменути да овако израчунате капацитивности немају исти утицај на фреквенцијску карактеристику, него само C_{s2} и C_{ek1} .

Код појачавача са заједничком базом нема Милеровог ефекта. И паразитна капацитивност између емитора и базе је релативно мала код високофреквенцијских транзистора (типично 20 pF). Она много не утиче на горњу граничну учестаност јер је отпорност генератора на високим учестаностима обично $50 \, \Omega$. На горњу граничну учестаност највише утичу паразитне капацитивности између колектора и масе (преко кућишта) или између „врућег“ проводника и масе. Еквивалентна шема појачавача (без прикљученог потрошача) на високим учестаностима је приказана на слици 3.25в. Види се да је паразитна капацитивност C_p везана паралелно отпорнику R_c . Импеданса ове паралелне везе износи:



Слика 3.25в

$$\underline{Z} = \frac{R_c}{1 + j\omega R_c C_p},$$

а њен модуо:

$$Z = \frac{R_c}{\sqrt{1 + (\omega R_c C_p)^2}}.$$

Струја I_c је константна и излазни напон постаје нижи $\sqrt{2}$ пута када модуо импедансе постане $\sqrt{2}$ мањи од отпорности R_c :

$$\frac{R_c}{\sqrt{1 + (\omega R_c C_p)^2}} = \frac{R_c}{\sqrt{2}}.$$

Из ове једначине се добије:

$$f_g = \frac{1}{2\chi R_p C_p} = \frac{1}{2\pi \cdot 1\,000\,\Omega \cdot 5 \cdot 10^{-12}\text{F}} = 31\,830\,988\,\text{Hz}.$$

Ако се узме у обзир и R_p , активна отпорност у овом случају је два пута мања, па се добије два пута виша горња гранична учестаност.

3.26.

Дати су хибридни параметри за транзистор са заједничким емитором h_{11e} , h_{12e} , h_{21e} и h_{22e} . Израчунати хибридне параметре транзистора са заједничком базом h_{11b} , h_{12b} , h_{21b} и h_{22b} . Приликом израчунавања могу се изоставити параметри h_{12e} и h_{12b} .

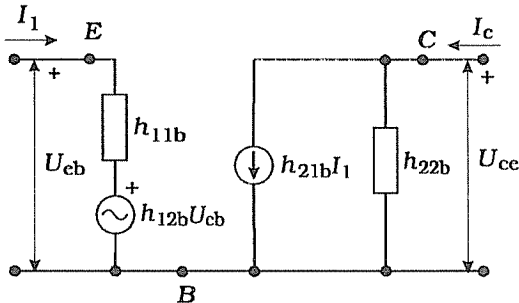
РАД

Улазне величине транзистора у споју са заједничком базом имају улазне величине – улазни напон U_{eb} , улазну струју I_1 , а излазне величине – струју I_c и напон U_{cb} . Једначине транзистора са заједничком базом и h -параметрима имају облик:

$$U_{eb} = h_{11b}I_1 + h_{12b}U_{cb}$$

$$I_c = h_{21b}I_1 + h_{22b}U_{cb}$$

Еквивалентна шема транзистора са овим хибридним параметрима је приказана на слици 3.26а. Транзистор у споју са заједничком базом може да се нацрта и са h параметрима у споју са заједничким емитором као на слици 3.26б, где је изостављен параметар h_{12e} . Овде треба узети у обзир да је струја $I_e = I_c + I_b = I_b(h_{21e} + 1)$. Из једначина за спој са заједничком базом се види да је параметар h_{11b} једнак:



Слика 3.26а

$$h_{11b} = \frac{U_{eb}}{I_1} = \frac{-U_{be}}{-I_e} = \frac{h_{11e}I_b}{I_b(h_{21e} + 1)} = \frac{h_{11e}}{h_{21e} + 1}$$

уз услов да је $U_{cb}=0$. Типична вредност овог параметра је $3000\,\Omega/101 \approx 30\,\Omega$.

Параметар h_{12b} се добије из прве једначине уз услов да је $I_1=0$:

$$h_{12b} = \frac{U_{eb}}{U_{cb}}.$$

јер је $U_{cb} \approx U_{ce}$. На слици 3.26б се види да струје I_c и I_b теку кроз отпорност $1/h_{22e}$, док се напон на отпорности h_{11e} може занемарити, па је:

$$U_{cb} \approx (I_c + I_b) \cdot \frac{1}{h_{22e}}.$$

Када се замени ова вредност напона у претходну једначину, добије се:

$$h_{12b} = \frac{-h_{11e} I_b}{(h_{21e} + 1) I_b \cdot \frac{1}{h_{22e}}} = \frac{-h_{11e} h_{22e}}{h_{21e} + 1}.$$

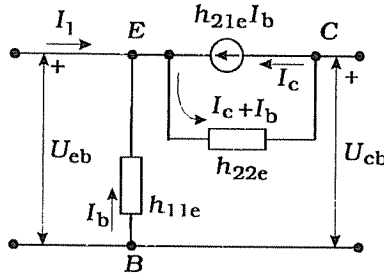
Нека су вредности параметара: $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$, $h_{22e} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ S}$ и $h_{21e} = 100$. Када се ове вредности замене у претходну једначину, добије се $h_{12e} = -0,000891$. Види се да је ова величина занемарљиво мала.

Параметар h_{21b} може се добити из друге једначине уз услов да је $U_{cb} = 0$:

$$h_{21b} = \frac{I_c}{-I_b} = \frac{h_{21e} I_b}{-I_b (h_{21e} + 1)} = -\frac{h_{21e}}{(h_{21e} + 1)}$$

Типична вредност овог параметра је $-100/101 = -0,99$.

Кроз параметар h_{22e} тече струја $h_{21e} I_b$ и струја I_b што укупно даје $I_b (h_{21e} + 1)$, а кроз параметар h_{11e} тече струја I_b . Напон U_{cb} је према слици 3.26б једнак напону на параметру h_{22e} , док се напон на параметру h_{11e} може занемарити:



Слика 3.26б

$$U_{cb} = \frac{I_c (h_{21e} + 1)}{h_{22e}}.$$

На слици 3.26б види се да је $I_c = I_b$ ако је $I_1 = 0$.

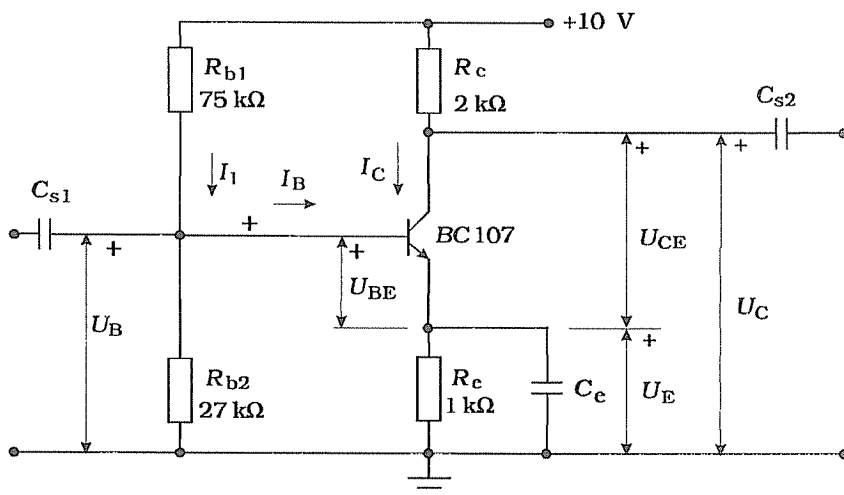
Параметар h_{22b} се такође добије из система једначина уз услов да је $I_1 = 0$:

$$h_{22b} = \frac{I_c}{U_{cb}} = \frac{I_b}{\frac{I_b (h_{21e} + 1)}{h_{22e}}} = \frac{h_{22e}}{(h_{21e} + 1)} \approx \frac{h_{22e}}{h_{21e}}.$$

У пракси је типична вредност параметара $h_{22e}=30 \cdot 10^{-6} \text{ S}$ и $h_{21e}=100$, па је $h_{22b}=30 \cdot 10^{-8} \text{ S}$. Реципрочна вредност овог параметра представља излазну отпорност самог транзистора у споју са заједничком базом, па се добије $1/h_{22b}=1/(30 \cdot 10^{-8} \text{ S}) \approx 3 \text{ M}\Omega$. Види се да је излазна отпорност транзистора у споју са заједничком базом веома велика.

3.27.

На слици 3.27 је приказан појачавач са заједничким емитором. У оваквом колу (као и у другим колима) може да дође до кварова, који се углавном састоје од прекида или кратких спојева, прегоривања појединих елемената итд. а) Колики се напон добије на колектору ако се база кратко споји на масу? б) Колики се напон добије на колектору ако се база откачи? в) Колики се напон добије на колектору ако се отпорник R_{b2} откачи од масе? г) Колики је напон на емитору ако се прекине веза између колектора и отпорника R_c ?



Слика 3.27

РАД

а) У овом случају струја не тече у базу, па не тече ни колекторска струја. Ако не тече колекторска струја, нема пада напона на колекторском отпорнику, па је напон на колектору једнак напону напајања.

б) Ако се база откачи, опет не тече струја базе и напон на колектору је једнак напону напајања.

в) Ако се отпорник R_{b2} откачи од масе, струја I_1 која је кроз њега текла ка маси, сада тече у базу. Струја базе постаје око пет пута (или више) већа, што доводи транзистор у zasiћење и напон $U_{CE} \approx 0$. Сада се напон E_C приближно

распоређује на отпорнике R_c и R_e , ако се узме да је напон засићења транзистора занемарљиво мали. Ако је $R_c=2\text{ k}\Omega$ и $R_e=1\text{ k}\Omega$, тада је $E_C/3$ на R_e , а $E_C \cdot 2/3$ на R_c .

г) Ако се прекине веза између колектора и отпорника R_c , не тече колекторска струја. Сада део струје I_1 тече кроз отпорник R_{b2} , а други део кроз спој база – емитор и отпорник R_e ка маси. Ова струја је мала, па је напон на отпорнику R_e мали. Напон на отпорнику R_{b2} је приближно $0,7\text{ V}$, а струја кроз њега приближно $0,7\text{ V}/27\text{ k}\Omega = 25,9\text{ }\mu\text{A}$. Напон на на отпорнику R_{b1} је приближно $9,3\text{ V}$. Струја кроз отпорник R_{b1} је приближно једнака $9,3\text{ V}/75\text{ k}\Omega = 124\text{ }\mu\text{A}$. Када се од ове струје одузме $25,9\text{ }\mu\text{A}$, добије се струја базе приближно $98\text{ }\mu\text{A}$. Ова струја ствара на отпорнику $R_e=1\text{ k}\Omega$ напон од $0,098\text{ V}$.

Тачна анализа овог проблема је нешто сложенија. За део кола са извором напајања и отпорницима R_{b1} и R_{b2} може се применити Тевенинова теорема. Еквивалентни генератор има електромоторну силу:

$$E_B = E_C \cdot \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = 10\text{ V} \cdot \frac{27 \cdot 10^3\text{ }\Omega}{75 \cdot 10^3\text{ }\Omega + 27 \cdot 10^3\text{ }\Omega} = 2,647\text{ V}.$$

Еквивалентна отпорност овог генератора је једнака паралелној вези отпорности R_{b1} и R_{b2} :

$$R_B = \frac{R_{b1}R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = \frac{75\text{ k}\Omega \cdot 27\text{ k}\Omega}{75\text{ k}\Omega + 27\text{ k}\Omega} = 19,85\text{ k}\Omega.$$

Сада имамо просто коло у којем се налази генератор електромоторне силе E_B , отпорност R_B , спој база – емитор ($0,7\text{ V}$) и отпорност R_e . Струја кроз ово коло износи:

$$I = \frac{E_B - 0,7\text{ V}}{R_B + R_e} = \frac{2,647\text{ V} - 0,7\text{ V}}{19,85 \cdot 10^3\text{ }\Omega + 10^3\text{ }\Omega} = 93,38\text{ }\mu\text{A}.$$

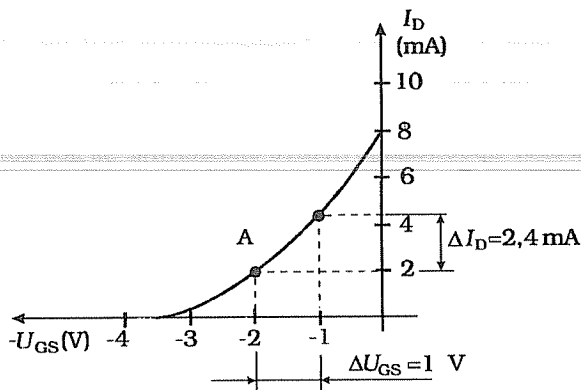
Напон на отпорнику R_e се добије када се ова струја помножи са његовом отпорношћу:

$$U'_E = 1\text{ 000 }\Omega \cdot 93,38 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 93,39\text{ mV}.$$

ФЕТОВИ

4.1.

Одредити параметар g_m фета на преносној карактеристици приказаној на слици 4.1. Узети да је $\Delta U_{GS} = 1 \text{ V}$ и да се мења од -1 V до -2 V .



Слика 4.1

РАД

На слици 4.1 означена је промена напона $\Delta U_{GS} = 1 \text{ V}$ и на вертикалној оси промена струје $\Delta I_D = 2,2 \text{ mA}$. Дељењем се добије да је:

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{2,2 \text{ mA}}{1 \text{ V}} = 2,2 \text{ mA/V}.$$

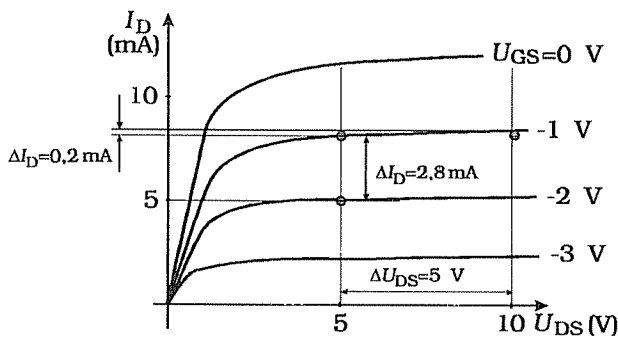
4.2.

На слици 4.2 приказане су излазне карактеристике фета. Наћи параметар g_m за $U_{DS} = 5 \text{ V}$ и да се напон U_{GS} мења од -1 до -2 V . На истим карактеристикама наћи параметар g_o где је $U_{GS} = -1 \text{ V}$ и $\Delta U_{DS} = 5 \text{ V}$ (од 5 V до 10 V).

РАД

На слици 4.2 приказано је одређивање параметра g_m на вертикалној линији код које је $U_{DS} = 5 \text{ V}$. Видимо да је:

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{2,8 \text{ mA}}{1 \text{ V}} = 2,8 \text{ mA/V}.$$



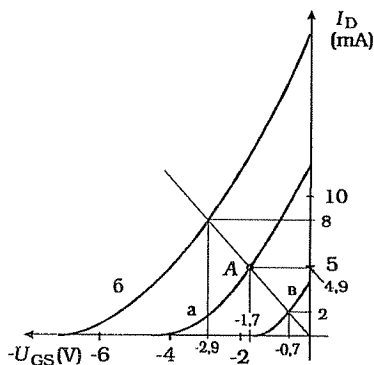
Слика 4.2

На истој слици је приказано одређивање параметра g_0 , и то на карактеристици где је $U_{GS} = -1$ V, а $\Delta U_{DS} = 5$ V. Промена струје I_D износи 0,2 mA, па је овај параметар

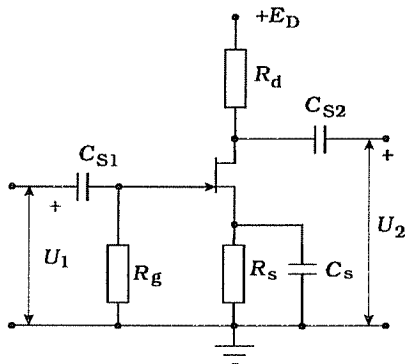
$$g_0 = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{DS}} = \frac{0,2 \text{ mA}}{5 \text{ V}} = 0,04 \text{ mS} = 40 \mu\text{S}.$$

4.3.

На слици 4.3а приказане су преносне карактеристике једног фета. Са а је означена типична, са б максимална и са в минимална карактеристика. Одредити отпорност за добијање аутоматског преднапона R_s у колу сорса тако да радна права пресеца типичне карактеристике приближно по средини. Утврдити да ли је ово најповољнији нагиб радне праве за отпорност $R_d = 1 \text{ k}\Omega$ и $E_D = 15 \text{ V}$.



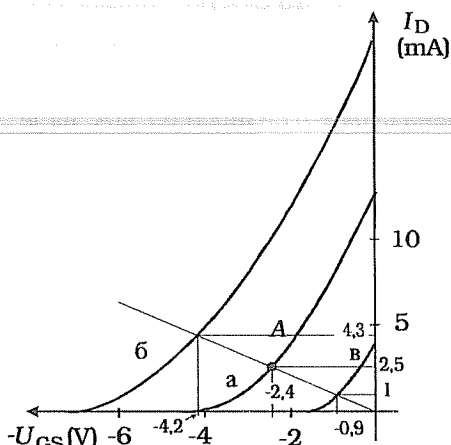
Слика 4.3а



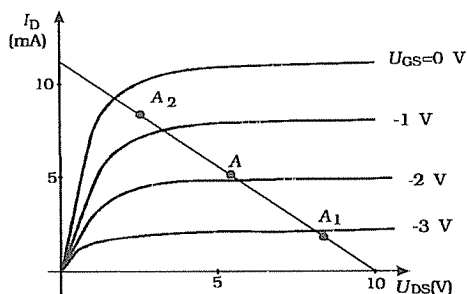
Слика 4.3б

РАД

Радна права је повучена тако да приближно пресеца типичну карактеристику по средини. Код типичних карактеристика добије се струја дрејна 4,9 mA, код максималних се добије 8 mA и код минималних 2 mA. У радној тачки А код типичних карактеристика је струја 4,9 mA и напон $U_{GS} = -1,7$ V. Када се ове величине поделе, добије се отпорност у колу сорса:

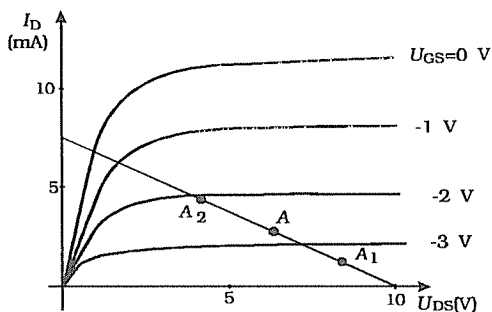


Слика 4.3в



Слика 4.3г

$$R_s = \frac{1,7 \text{ V}}{4,9 \text{ mA}} = 346 \Omega.$$



Слика 4.3д

На слици 4.3г приказане су излазне карактеристике овог фета и на њима повучена радна права за отпорност $(R_d + R_s) = 1\,000 \Omega + 346 \Omega = 1\,346 \Omega$. Видимо да се радна права повлачи кроз тачке (15 V; 0) и (0; 11,1 mA). На овој правој су нацртане радне тачке за различите примерке фетова, и то тако што су узете вредности струја са претходне слике. Код максималних карактеристика добије се радна тачка у закривљеном делу карактеристика и изобличења би била релативно велика.

Видимо да у овом случају није најповољније узети радну тачку на средини типичне карактеристике, па се узима мања струја, као на слици 4.3в. У овом случају је струја на типичним карактеристикама 2,5 mA, на минималним 1 mA и на максималним 4,3 mA. Сада отпорност у колу сорса износи:

$R_s = 2,4 \text{ V} / 2,5 \text{ mA} \approx 1000 \Omega$. На слици 4.3д поново су приказане радне тачке на излазним карактеристикама за исту отпорност у колу дрејна. Видимо да се радне тачке налазе у линеарном делу карактеристика.

4.4.

На слици 4.3б приказан је појачавач са заједничким сорсом. Познате су величине: $g_m = 4 \text{ mA/V}$, $R_d = 3 \text{ k}\Omega$, $R_g = 1 \text{ M}\Omega$ и $f_d = 100 \text{ Hz}$. Наћи напонско појачање појачавача и одредити капацитивности C_{s1} и C_s .

РАД

Напонско појачање износи:

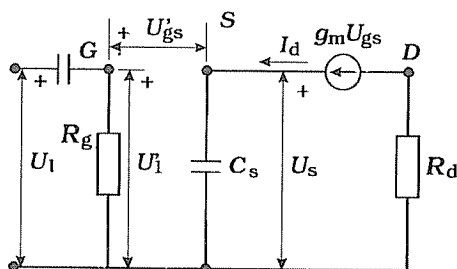
$$A_u = g_m R_d = -4 \text{ mA/V} \cdot 3000 \Omega = -12.$$

Капацитивност C_{s1} (без утицаја капацитивности C_s) износи (види задатак 3.5):

$$C_{s1} = \frac{1}{2\pi f_d R_g} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 10^6 \Omega} = 1,59 \text{ nF}.$$

Капацитивност C_s (без утицаја капацитивности C_{s1}) износи:

$$C_s = \frac{g_m}{2\pi f_d} = \frac{4 \text{ mA/V}}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz}} = 6,36 \mu\text{F}.$$



Сл. 4.4

Ако је потребно израчунати ове две капацитивности тако да имају исти утицај на доњој граничној учестаности, прво је потребно нацртати еквивалентну шему, која је приказана на слици 4.4. Појачање појачавача опадне $\sqrt{2}$ пута када напон U'_{gs} буде нижи $\sqrt{2}$ пута од напона U_1 . Преносни однос $\underline{U}_1 / \underline{U}_1$ је једнак:

$$\frac{\underline{U}_1}{\underline{U}_1} = \frac{R_g \cdot \underline{I}_1}{\left(R_g + \frac{1}{j\omega C_{s1}}\right) \underline{I}_1} = \frac{j\omega C_{s1} R_g}{1 + j\omega C_{s1} R_g}.$$

Напон $\underline{U}_1$ је према слици 4.3 једнак:

$$\underline{U}_1' = \underline{U}_{gs}' + \underline{I}_d \cdot \frac{1}{j\omega C_s} = \underline{U}_{gs}' + g_m \underline{U}_{gs}' \cdot \frac{1}{j\omega C_s} = \underline{U}_{gs}' \left(1 + \frac{g_m}{j\omega C_s} \right).$$

Из ове две једначине добије се однос $\underline{U}_{gs}'/\underline{U}_1$:

$$\frac{\underline{U}_{gs}'}{\underline{U}_1} = \frac{j\omega C_{s1} R_g}{1 + j\omega C_{s1} R_g} \cdot \frac{j\omega C_s}{g_m + j\omega C_s}.$$

Појачање опадне $\sqrt{2}$ пута када модуо овог израза постане једнак $1/\sqrt{2}$:

$$\frac{\underline{U}_{gs}'}{\underline{U}_1} = \frac{\omega_d C_{s1} R_g}{\sqrt{1 + (\omega_d C_{s1} R_g)^2}} \cdot \frac{\omega_d C_s}{\sqrt{g_m^2 + (\omega_d C_s)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

У овој једначини су две непознате (C_{s1} и C_s) и она може да се реши ако се стави да је $R_g C_{s1} = C_s/g_m$; тада ова једначина има једну непознату и постаје:

$$\frac{\underline{U}_{gs}'}{\underline{U}_1} = \frac{(\omega_d C_{s1} R_g)^2}{1 + (\omega_d C_{s1} R_g)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707.$$

Из ове једначине се добије:

$$\omega_d C_{s1} R_g = 1,553.$$

Капацитивност C_{s1} сада износи:

$$C_{s1} = \frac{1,553}{R_g 2\pi f_d} = \frac{1,553}{10^6 \Omega \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ Hz}} = 2,469 \text{ nF}.$$

Капацитивност C_s се добије из једначине:

$$\frac{\omega_d C_s}{g_m} = 1,553.$$

Сада капацитивност C_s износи:

$$C_s = \frac{1,553 g_m}{2\pi f_d} = \frac{1,553 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz}} = 9,89 \mu\text{F}.$$

4.5.

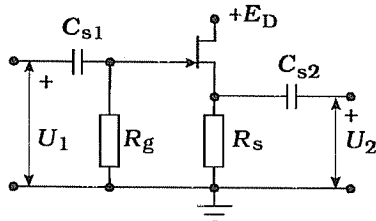
Наћи f_d код истог типа појачавача ако је $g_m = 2 \text{ mA/V}$ и $C_s = 20 \mu\text{F}$ не узимајући у обзир утицај капацитивности C_{s1} .

РАД

$$f_d = \frac{g_m}{2\pi C_s} = \frac{2 \text{ mA/V}}{2\pi \cdot 20 \mu\text{F}} = 15,9 \text{ Hz}.$$

4.6.

На слици 4.6 приказан је појачавач са заједничким дрејном, а на слици 4.3а преносне карактеристике употребљеног фета. Одредити најпогоднију отпорност R_s , тако да код свих примерака фета појачавач ради, као и да се на излазу добије максимални напон код типичних карактеристика. Познате величине су: $E_D=12\text{ V}$, $g_m=3\text{ mA/V}$, $R_{ul}=1\text{ M}\Omega$. Одредити колики се максимални напон може довести на улаз појачавача код максималних, типичних и минималних карактеристика. После одређивања задатих величина одабрати отпорност R_s тако да напонско појачање буде 0,8.



Слика 4.6

РАД

Најпре се повлачи радна права преко средине типичне преносне карактеристике као на слици 4.3а. Видимо да двострука амплитуда улазног напона код типичних карактеристика може да буде 4 V, код максималних 6,5 V, а код минималних 1,5 V. Са слике 4.3а може се наћи отпорност у колу сорса као количник напона и струје у радној тачки:

$$R_s = \frac{U_{GS}}{I_D} = \frac{1,7\text{ V}}{4,9\text{ mA}} = 346\ \Omega \approx 350\ \Omega.$$

Појачање напона износи:

$$A_u = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s} = \frac{3\text{ mA/V} \cdot 350\ \Omega}{1 + 3\text{ mA/V} \cdot 350\ \Omega} = 0,512.$$

Следећи корак је израчунавање отпорности у колу сорса тако да напонско појачање буде 0,8. Из претходне једначине се добије да је R_s :

$$R_s = \frac{A_u}{g_m(1-A_u)} = \frac{0,8}{3 \cdot 10^{-3}\text{ mA/V} \cdot (1-0,8)} = 1,33\text{ k}\Omega.$$

Ако улазна отпорност појачавача треба да буде 2 M Ω , тада је то вредност отпорности R_g .

4.7.

Прорачунати елементе појачавача са заједничким гејтом ако су познате величине као у задатку 4.4.

РАД

Напонско појачање се израчунава као у задатку 4.4, само је позитивног знака и износи 12. Улазна отпорност је:

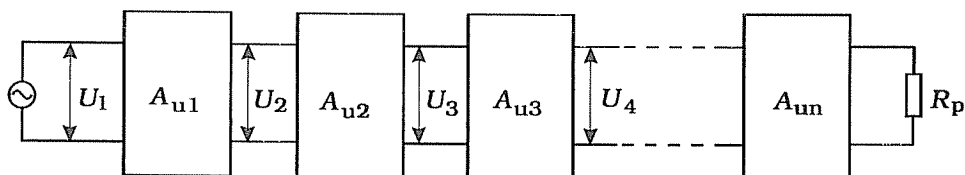
$$R_{ul} = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{4 \text{ mA/V}} = 250 \Omega.$$

Капацитивност C_{s1} се израчунава као у задатку 4.4 и износи $6,36 \mu\text{F}$.
 $R_s = 1 \text{ k}\Omega$. Излазна отпорност је такође $1 \text{ k}\Omega$.

СЛОЖЕНИ ПОЈАЧАВАЧИ

5.1.

На слици 5.1 приказан је вишестепени појачавач код којег је појачање првог степена $A_{u1}=1$, другог $A_{u2}=-20$, трећег $A_{u3}=-60$ и четвртог степена $A_{u4}=-30$. Наћи укупно појачање. Занемарити утицај улазних и излазних отпорности.



Слика 5.1

РАД

Укупно појачање износи:

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdot A_{u3} \cdot A_{u4} = 1 \cdot (-20) \cdot (-60) \cdot (-30) = -3\,600.$$

5.2.

Одредити укупно појачање вертикалног појачавача код осцилоскопа ако улазни напон од 20 mV треба да се појача на 100 V. У појачавачу има пет степени који имају исто појачање. Колико је појачање једног појачавачког степена? .

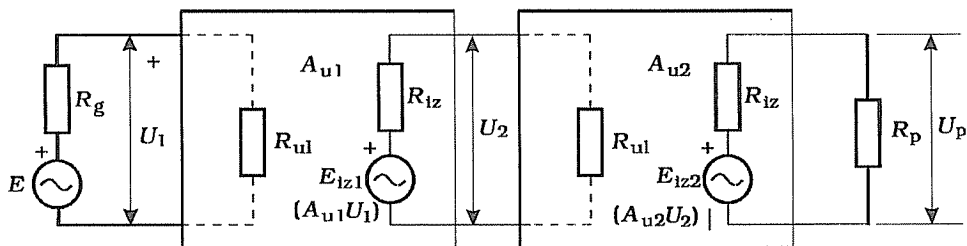
РАД

$$A_u = \frac{100\text{ V}}{20 \cdot 10^{-3}\text{ V}} = 5\,000.$$

Појачање једног појачавачког степена се добије из једначине: $A_u = A_1^5$. Одавде се добије: $A_1 = 5,49$.

5.3.

Одредити укупно појачање појачавача од E до U_p на слици 5.3 ако је $R_g=R_{u1}=R_{iz}=R_p$, $A_{u1}=-20$, $A_{u2}=-30$.



Слика 5.3

РАД

Преносни однос два напона на једнаким отпорностима може да се израчуна на било којем месту. Овде ће то бити израчунато на улазу првог појачавача, као U_1/E :

$$\frac{U_1}{E} = \frac{R_{ul}}{R_g + R_{ul}} = \frac{1}{2}.$$

Укупно појачање појачавача се добије као производ преносних односа и појачања појачавача:

$$\frac{A_1}{E} = \frac{U_1}{E} \cdot A_{u1} \cdot \frac{U_2}{E_{1z1}} \cdot A_{u2} \cdot \frac{U_p}{E_{1z2}} = \frac{1}{2} \cdot (-20) \cdot \frac{1}{2} \cdot (-30) \cdot \frac{1}{2} = 75.$$

5.4.

Наћи напонско и струјно појачање од улаза до потрошача код сложеног појачавача на слици 5.4а. Познате су величине: $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, док је $h_{21e} = 60$ код оба транзистора, $R_{e1} = 1 \text{ k}\Omega$ и $R_p = 1 \text{ k}\Omega$, $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$.

РАД

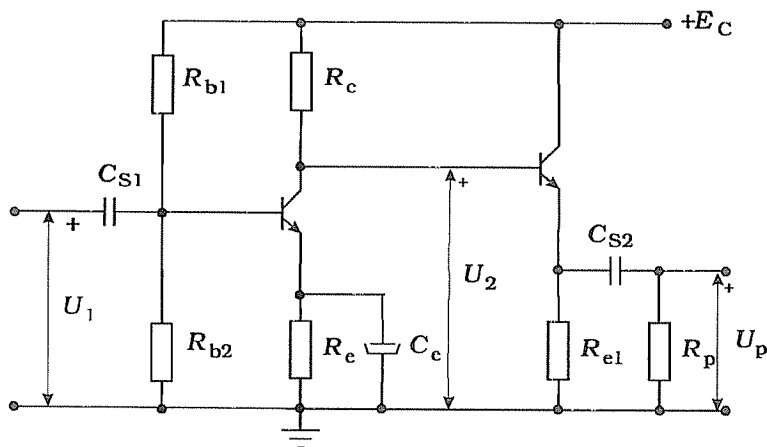
Напонско појачање првог појачавача је:

$$A_{u1} = \frac{-h_{21e} R_c}{h_{11e}} = \frac{-60 \cdot 3 \text{ 000 } \Omega}{3 \text{ 000 } \Omega} = -60.$$

Напонско појачање другог појачавача је приближно 1, па је укупно напонско појачање:

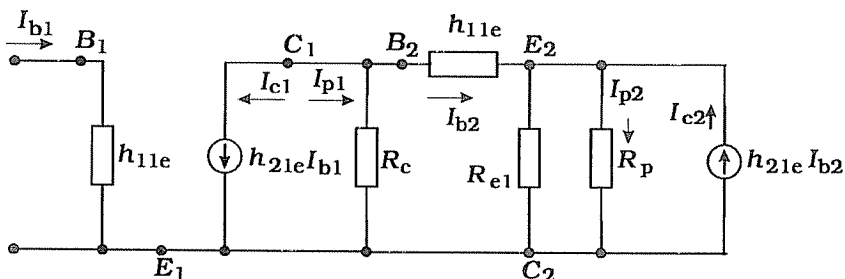
$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} = -60.$$

У овом случају није узета у обзир улазна отпорност другог појачавача јер је много већа од колекторске отпорности првог.



Слика 5.4а

Струјно појачање првог појачавача, које је према слици 5.4б једнако I_{p1}/I_{b1} , јесте -60 . На излаз првог појачавача је прикључена улазна отпорност другог појачавача, која је једнака: $R_{ul2}=h_{21e}R'_e$, где је R'_e еквивалентна отпорност паралелне везе R_e и R_p . Ова отпорност износи:



Слика 5.4б

$$R_{ul2} = h_{21e}R'_e = h_{21e} \cdot \frac{R_e R_p}{R_e + R_p} = 60 \cdot \frac{1\,000\,\Omega \cdot 1\,000\,\Omega}{1\,000\,\Omega + 1\,000\,\Omega} = 30\,\text{k}\Omega.$$

На слици 5.4б нацртана је еквивалентна шема овог појачавача. Укупно струјно појачање је:

$$A_i = \frac{I_{p2}}{I_{b1}} = \frac{I_{p2}}{I_{c2}} \cdot \frac{I_{c2}}{I_{b2}} \cdot \frac{I_{b2}}{I_{p1}} \cdot \frac{I_{p1}}{I_{b1}}.$$

Струјно појачање I_{p2}/I_{c2} једнако је $0,5$ јер је $R_{e1}=R_p$, па једна половина струје I_{c2} тече кроз R_{e1} , а друга половина кроз R_p . Струјно појачање I_{c2}/I_{b2} је једнако $h_{21e}=60$. Струјно појачање I_{p1}/I_{b1} једнако је појачању појачавача са заједничким емитором и износи $-h_{21e}=-60$. Остаје још да се одреди струјно појачање I_{b2}/I_{p1} . Струја I_{p1} тече кроз паралелну везу отпорности R_c ($1\,\text{k}\Omega$) и улазне отпорности другог појачавача, за коју смо утврдили да износи $30\,\text{k}\Omega$.

Еквивалентна отпорност ове паралелне везе је приближно једнака R_c . Напон на отпорности R_c је приближно једнак $R_c I_{p1}$. Струја I_{b2} се добије када се овај напон подели улазном отпорношћу другог појачавача R_{ul2} :

$$I_{b2} = \frac{U_c}{R_{ul2}} = \frac{R_p I_{p1}}{R_{ul2}}.$$

Из ове једначине се добије струјно појачање I_{b2}/I_{p1} :

$$\frac{I_{b2}}{I_{p1}} = \frac{R_c}{R_{ul2}} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{30 \text{ k}\Omega} = 0,0333.$$

Сада се може наћи укупно струјно појачање:

$$A_i = 0,5 \cdot 60 \cdot 0,0333 \cdot (-60) = -60.$$

5.5.

Појачање појачавача без повратне спреге на средњим учестаностима (10 kHz) износи: $A = -100$, док му горња гранична учестаност износи 100 kHz. Одредити коефицијент повратне спреге β тако да горња гранична учестаност буде 300 kHz. Наћи ново напонско појачање појачавача са повратном спрегом.

РАД

Ново напонско појачање појачавача са повратном спрегом на средњим учестаностима биће мање и означимо га са A' . Ово појачање са повратном спрегом на средњим учестаностима може да се изрази преко појачања без повратне спреге A :

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A}.$$

На средњим учестаностима појачање без повратне спреге је A . На $f_g = 100 \text{ kHz}$ појачање опада $\sqrt{2}$, и то због паразитних капацитивности које се могу приказати као на слици 3.5б. Преносни однос овог кола износи:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{1 + j\omega RC}.$$

Модуо овог преносног односа износи:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}.$$

На средњим учестаностима је $\omega RC \ll 1$, па је овај однос приближно једнак 1. На 100 kHz израз у имениоцу је једнак $\sqrt{2}$, што значи да је $\omega RC = 1$. На 300 kHz је $\omega RC = 3$ и преносни однос је једнак $1/3,16 = 0,316$. Када се ови изрази

помноже са појачањем појачавача (-100), добију се појачања, и то: на средњим учестаностима $A_{10} = -100$, на 100 kHz се добије $A_{100} = -70,7$, а на 300 kHz оно износи $A_{300} = -31,6$.

Појачање појачавача са повратном спрегом на 300 kHz мање је од појачања појачавача са повратном спрегом на средњим учестаностима такође $\sqrt{2}$ пута:

$$\frac{A_{300}}{1 - \beta A_{300}} = \frac{A_{10}}{1 - \beta A_{10}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Знамо да је $A_{300} = -31,62$ и да је $A_{10} = -100$. Када се ове вредности замене у претходну једначину, добије се да је: $\beta = 0,0426$.

Појачање појачавача на средњим учестаностима сада износи:

$$A' = \frac{-100}{1 - 0,0426 \cdot (-100)} = -19,01.$$

На 300 kHz појачање појачавача без повратне спреге је $-31,6$ док са повратном спрегом износи:

$$A_{300} = \frac{-31,6}{1 - 0,0426 \cdot (-31,6)} = -13,46.$$

Треба напоменути да је ово само оријентациона анализа, док је тачна анализа веома компликована. Наиме, на високим учестаностима појачање ⁰ и појачање са повратном спрегом може да има другу вредност од израчунате.

5.6.

Израчунати отпорности у колу емитора (слика 5.6) код појачавача са негативном повратном спрегом тако да има напонско појачање -10 ако му је $R_c = 4 \text{ k}\Omega$, $(R_c + R_e') = 2 \text{ k}\Omega$, $R_{b1} = 75 \text{ k}\Omega$ и $R_{b2} = 27 \text{ k}\Omega$, $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$ и $h_{21e} = 200$. Наћи затим улазну отпорност узимајући у обзир отпорности R_{b1} и R_{b2} .

РАД

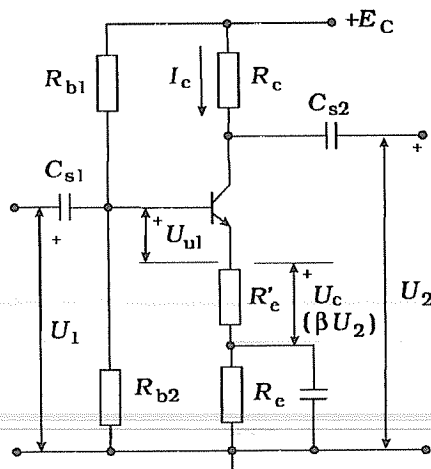
Познато је да је напонско појачање оваквог појачавача приближно једнако:

$$A_u = -\frac{R_c}{R_e'}$$

Одавде се добије вредност:

$$R_e' = -\frac{R_c}{A_u} = -\frac{4 \text{ k}\Omega}{-10} = 400 \Omega.$$

Сада други део отпорности у колу емитора износи:



Слика 5.6

$$R_e = 2 \text{ k}\Omega - 400 \Omega = 1600 \Omega.$$

Улазна отпорност овог појачавача приближно износи:

$$R_{ul} = h_{21e} R_e' = 200 \cdot 400 \Omega = 80 \text{ k}\Omega.$$

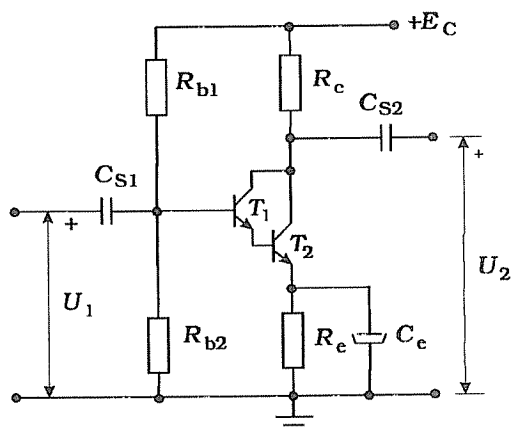
Укупна улазна отпорност појачавача R_{ul}' се добије када се паралелно вежу отпорности R_{b1} , R_{b2} и R_{ul} :

$$\frac{1}{R'_{ul}} = \frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}} + \frac{1}{R_{ul}} = \frac{1}{27 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{75 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{80 \text{ k}\Omega} = 0,0628 \frac{1}{\text{k}\Omega}.$$

Одавде се добије: $R'_{ul} = 15,9 \text{ k}\Omega$.

5.7.

Прорачунати елементе појачавача на слици 5.7 где су уместо једног транзистора стављена два у Дарлингтоновом споју. Познате су величине: $E_C = 15 \text{ V}$, $h_{21E} = h_{21e} = 80$ и $h_{11e} = 2 \text{ k}\Omega$ (за оба транзистора), $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, $R_g \approx 0$, $f_d = 100 \text{ Hz}$. Израчунати капацитивности C_{s1} и C_e појединачно (без утицаја друге). Наћи улазну отпорност, напонско и струјно појачање.



Слика 5.7

РАД

Напон извора напајања од 15 V дели се тако да је 20 % на отпорности R_e , односно $U_E = 3$ V. Од преосталих 12 V одузима се напон засићења Дарлингтоновог споја, који је око 1 V. (Напон база–емитор транзистора T_2 је око 0,7 V и напон засићења транзистора T_1 је око 0,3 V, па укупно износе око 1 V.) Преосталих 11 V се дели на два дела; на транзисторима остаје 6,5 V (5,5 V + 1 V) и на отпорнику R_c такође 5,5 V. Колекторска струја се добије дељењем овог напона са R_c :

$$I_C = \frac{5,5 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} = 1,83 \text{ mA}.$$

Отпорност R_e се добије дељењем напона U_E струјом I_C :

$$R_e = \frac{U_E}{I_C} = \frac{3 \text{ V}}{1,83 \text{ mA}} = 1,63 \text{ k}\Omega.$$

Укупан коефицијент струјног појачања код Дарлингтоновог споја је једнак производу појединачних коефицијената струјног појачања:

$$h_{21Eu} = h_{21E}^2 = 80^2 = 6\,400.$$

Струја базе се добије када се струја колектора подели овом вредношћу:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21Eu}} = \frac{1,83 \text{ mA}}{6\,400} = 0,285 \mu\text{A}.$$

Струја I_1 кроз отпорнике R_{b1} и R_{b2} треба да буде бар пет пута већа:

$$I_1 = 5I_B = 1,43 \mu\text{A}.$$

Напон на бази првог транзистора је једнак збиру напона U_E и $2U_{BE}$:

$$U_{B1} = 3 \text{ V} + 1,4 \text{ V} = 4,4 \text{ V}.$$

Отпорност R_{b2} се добије дељењем овог напона струјом I_1 :

$$R_{b2} = \frac{4,4 \text{ V}}{1,43 \mu\text{A}} = 3,07 \text{ M}\Omega.$$

На сличан начин се израчунава R_{b1} :

$$R_{b1} = \frac{11,6 \text{ V}}{1,43 \mu\text{A}} = 8,11 \text{ M}\Omega.$$

Улазна отпорност Дарлингтоновог споја је приближно једнака производу струјног појачања првог транзистора и параметра h_{11e} другог:

$$R_{ul} = h_{21e} \cdot h_{11e} = 80 \cdot 2\,000 \Omega = 160 \text{ k}\Omega.$$

Ова отпорност је знатно мања од отпорности R_{b1} и R_{b2} , па она приближно представља укупну улазну отпорност појачавача и еквивалентни параметар h_{11eu} . Капацитивност C_e се рачуна помоћу доње граничне учестаности f_d и еквивалентних параметара h_{11eu} и h_{21eu} :

$$C_e = \frac{h_{21eu}}{2\pi f_d h_{11eu}} = \frac{6\,400}{2\pi \cdot 100\text{ Hz} \cdot 160 \cdot 10^3 \Omega} = 63,7\mu\text{F}.$$

Капацитивност C_{s1} се добије изједначавањем импедансе овог кондензатора на доњој граничној учестаности и улазне отпорности појачавача:

$$C_{s1} = \frac{1}{2\pi f_d R_{ul}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100\text{ Hz} \cdot 160 \cdot 10^3 \Omega} = 9,95\text{ nF}.$$

Напонско појачање износи:

$$A_u = \frac{-h_{21eu}R_c}{h_{11eu}} = \frac{-6\,400 \cdot 3\,000\Omega}{160 \cdot 10^3 \Omega} = -120.$$

Струјно појачање је једнако већ израчунатом коефицијенту $-h_{21eu}$:

$$A_i = -6\,400.$$

5.8.

На слици 3.12а приказан је појачавач са заједничким емитором који служи за појачање наизменичног напона. Појачавач појачава наизменични сигнал тако што енергију једносмерног извора претвара у енергију наизменичног сигнала на излазу. Наћи максимални степен искоришћења овог појачавача узимајући да се корисна наизменична енергија добија на отпорнику R_c ; занемарити напон и енергију на отпорнику R_e . Напомена. – Обично је лакше радити са снагама него са енергијама.

Наћи такође максимални степен искоришћења када се на излаз појачавача прикључи потрошач чија је отпорност једнака отпорности у колу колектора, односно $R_p = R_c$. У овом случају се корисна снага добија на потрошачу R_p .

РАД

Максимални степен искоришћења се добије када је наизменични напон на излазу максималан, тј. када је амплитуда наизменичног напона једнака половини напона напајања: $U_m = E_c/2$.

$$P_k = \frac{U_m I_m}{2}.$$

Амплитуда струје је по Омовом закону једнака $U_m/R_c = E_c/2R_c$. Сада је максимална корисна снага једнака:

$$P_k = \frac{E_C}{2} \cdot \frac{E_C}{2R_c} \cdot \frac{1}{2} = \frac{E_C^2}{8R_c}.$$

Снага потрошње се добије када се напон напајања помножи са једносмерном струјом у радној тачки:

$$P_C = E_C \cdot I_C = E_C \cdot \frac{E_C}{2R_c} = \frac{E_C^2}{2R_c}.$$

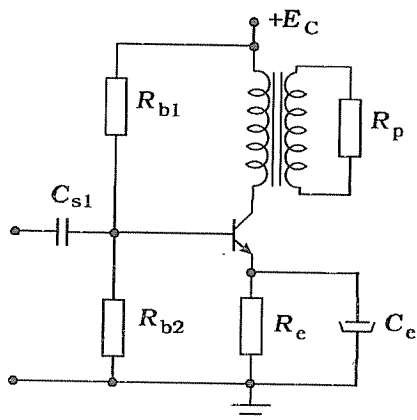
Степен искоришћења се дефинише као количник максималне корисне снаге и снаге потрошње:

$$\eta [\%] = \frac{P_k}{P_C} \cdot 100 \% = \frac{\frac{E_C^2}{8R_c}}{\frac{E_C^2}{2R_c}} \cdot 100 \% = 25 \%.$$

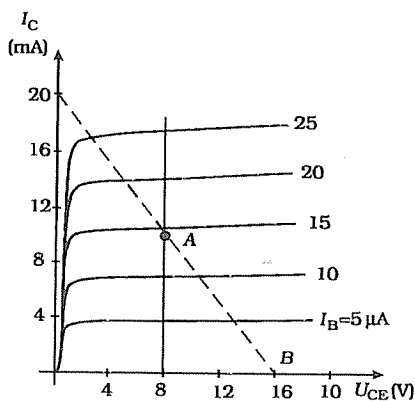
Када се на излаз појачавача прикључи потрошач $R_p = R_c$, колекторска струја остаје иста јер се транзистор понаша као извор константне струје. Еквивалентна отпорност у колекторском колу за наизменичну струју је два пута мања, па је и напон на потрошачу R_p два пута мањи, док је корисна снага четири пута мања. Једносмерна струја кроз транзистор и напон напајања су остали исти, па је максимални степен искоришћења четири пута мањи, односно $\eta [\%] = 6,25 \%$.

5.9.

На слици 5.9а приказан је појачавач са трансформатором у колекторском колу. Нацртати једносмерну и наизменичну радну праву за овај појачавач занемарујући отпорност R_e . Наћи максимални степен искоришћења, занемарујући напон и снагу на емиторском отпорнику и однос трансформације n . $E_C = 8 \text{ V}$, $U_E = 0,5 \text{ V}$, $R_e = 50 \Omega$.



Слика 5.9а



Слика 5.9б

Ради лакше анализе узима се да је отпорност R_e занемарљиво мала. Једна тачка радне праве пролази кроз тачку $E_C, 0$, а друга је бесконачно удаљена, јер је отпорност трансформатора за једносмерну струју занемарљиво мала: усвојили смо да се отпорност R_e такође занемари. Радна права за једносмерну струју је вертикална и на слици 5.9б је приказана пуном линијом. Радна тачка се црта на овој правој и струја колектора је одређена елементима на улазу транзистора и отпорником R_e . Када се од напона на бази транзистора одузме напон U_{BE} , добије се напон U_E на отпорнику R_e . Када се овај напон подели отпорношћу R_e , добије се колекторска струја у радној тачки I_C :

$$I_C = \frac{U_E}{R_e} = \frac{0,5 \text{ V}}{50 \Omega} = 10 \text{ mA}.$$

Код овог појачавача је трансформатор у колекторском колу и преко њега се отпорност потрошача, која је обично веома мала (на пример 4Ω), пресликава у коло колектора као $n^2 R_p$. Трансформатор је овде постављен да прилагоди отпорност потрошача транзистору као појачавачу. У позитивној полупериоди наизменичне струје колектора она тече кроз примар трансформатора и транзистор ка маси. У негативној полупериоди долази до опадања струје; у примару трансформатора се индукује електромоторна сила самоиндукције која има исти смер као и струја која се смањује. Ова електромоторна сила самоиндукције се сабира са напоном извора E_C , па се добије два пута виши напон на колектору од напона извора, односно $2E_C$. Ова тачка је на слици 5.9б означена са B . Кроз ове две тачке је повучена радна права за наизменичну струју. Пресликана отпорност потрошача у колекторском колу треба да буде:

$$R_{ek} = \frac{E_C}{I_C} = \frac{8 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3}} = 800 \Omega.$$

Сада се из једначине $R_{ek} = n^2 R_p$ може наћи преносни однос трансформатора:

$$n = \sqrt{\frac{R_{ek}}{R_p}} = \sqrt{\frac{800 \Omega}{4 \Omega}} = 14.$$

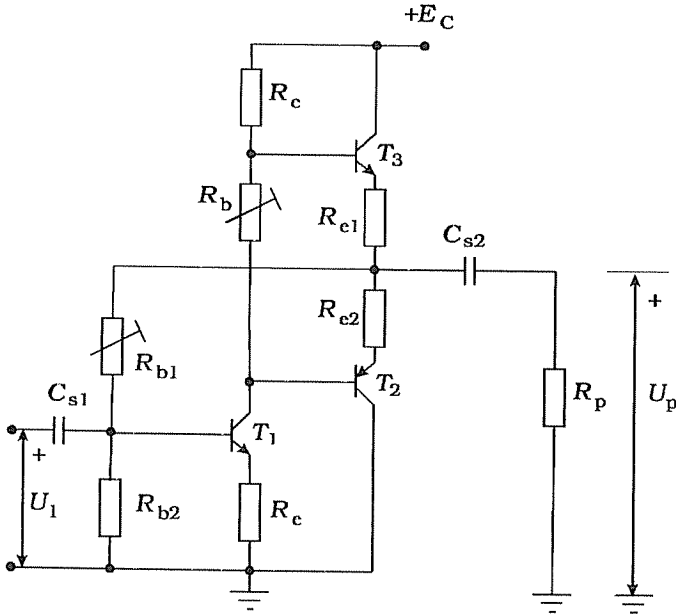
Максимална амплитуда напона на еквивалентном потрошачу R_{ek} је E_C , а максимална амплитуда струје је једнака једносмерној струји у радној тачки I_C . Сада је максимална снага на потрошачу:

$$P_k = \frac{E_C I_C}{2}$$

јер је ефективна вредност напона и струје мања $\sqrt{2}$ пута. Снага потрошње из извора је $P_C = E_C I_C$, што је два пута више од корисне снаге, па је максимални степен искоришћења 50 %.

5.10.

Прорачунати елементе појачавача са комплементарним паром транзистора (слика 5.10), ако је напајање из једног извора $E_C=30\text{ V}$, $R_P=100\ \Omega$, $h_{21e}=h_{21E}=50$ код свих транзистора и $f_d=30\text{ Hz}$. Наћи максималну снагу на потрошачу и максималну снагу дисипације на излазним транзисторима.



Слика 5.10

РАД

Максимална амплитуда наизменичног напона на потрошачу је:

$$U_M = \frac{E_C}{2} = \frac{30\text{ V}}{2} = 15\text{ V}.$$

Максимална струја кроз потрошач износи:

$$I_M = \frac{E_C}{2R_P} = \frac{30\text{ V}}{2 \cdot 100\ \Omega} = 0,15\text{ A}.$$

Максимална струја базе добије се када се максимална струја излазних транзистора подели са h_{21e} :

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{h_{21e}} = \frac{0,15\text{ A}}{50} = 3\text{ mA}.$$

Струја колектора транзистора T_1 треба да буде већа од струје базе бар пет пута, па је:

$$I_{C1} = 5 \cdot 3 \text{ mA} = 15 \text{ mA}.$$

Напон на отпорности R_c је приближно једнак половини напона напајања, односно 15 V. Отпорност R_c се добије када се напон на њему подели са колекторском струјом транзистора T_1 :

$$R_c = \frac{15 \text{ V}}{15 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 1 \text{ k}\Omega.$$

Напон на отпорности R_e треба да омогући негативну повратну спрегу, али да на њему једносмерни напон не буде сувише висок. Усвојићемо $U_E = 2 \text{ V}$. Отпорност R_e је:

$$R_e = \frac{U_E}{I_{C1}} = \frac{2 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 133 \Omega.$$

Напон на отпорности R_b треба да буде 1,4 V, па она износи:

$$R_b = \frac{1,4 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 93 \Omega.$$

Овде треба узети реостат од око 200 Ω ради подешавања мирне струје кроз излазни степен. Струја базе транзистора T_1 добије се када се његова колекторска струја подели са коефицијентом h_{21E} :

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{21E}} = \frac{15 \text{ mA}}{50} = 0,3 \text{ mA}.$$

Струја I_{12} кроз отпорнике R_{b1} и R_{b2} треба да буде бар пет пута већа и она износи:

$$I_{12} = 5 \cdot 0,3 \text{ mA} = 1,5 \text{ mA}.$$

Напон на бази транзистора T_1 је за 0,7 V виши него на емитору и он је $U_{B1} = 2,7 \text{ V}$. Отпорност R_{b2} се добије када се овај напон подели са струјом I_{12} :

$$R_{b2} = \frac{2,7 \text{ V}}{1,5 \text{ mA}} = 1,8 \text{ k}\Omega.$$

Отпорност R_{b1} се добије када се напон на њему подели струјом I_{12} . Напон на њему се приближно добије када се од половине напона напајања одузме напон U_{B1} . Сада је:

$$R_{b1} = \frac{12,3 \text{ V}}{1,5 \text{ mA}} = 8,2 \text{ k}\Omega.$$

Овде треба узети потенциометар од 20 kΩ. Отпорнике R_{e1} и R_{e2} треба узети да су мањи од отпорности потрошача бар 10 пута и они износе по 10 Ω. Капацитивност кондензатора за спрегу је:

$$C_{s2} = \frac{1}{2\pi f_d R_p} = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \text{ Hz} \cdot 100 \Omega} = 53 \mu\text{F}.$$

Максимална снага на потрошачу је:

$$P_{\text{KM}} = \frac{E_C^2}{8R_p} = \frac{(30 \text{ V})^2}{8 \cdot 100 \Omega} = 1,125 \text{ W}.$$

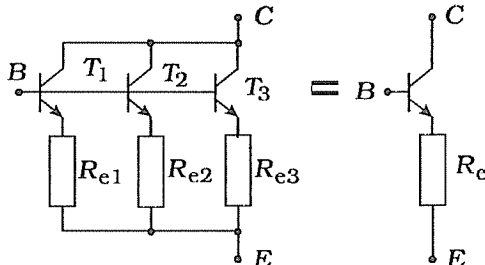
Максимална снага дисипације на оба излазна транзистора је:

$$P_{\text{DM}} = 0,4P_{\text{KM}} = 0,4 \cdot 1,125 \text{ W} = 0,45 \text{ W}.$$

Треба напоменути да се код овог појачавача неће добити снага која је прорачуната, него мања, јер је ово био приближан прорачун. Бољи појачавачи су знатно сложенији и њихов прорачун знатно компликованији.

5.11.

На слици 5.11 приказана је веза три транзистора кроз коју треба да тече једносмерна струја од 15 А, где кроз сваки транзистор треба да тече по 5 А. Напон на отпорницима у емиторском колу треба да буде 0,3 V. Одредити отпорност ових отпорника. Како направити ове отпорнике и како измерити њихове отпорности?



Слика 5.11

РАД

Кроз један отпорник треба да тече струја од 5 А, а напон на њему је 0,3 V. Отпорност овог отпорника се рачуна по Омовом закону:

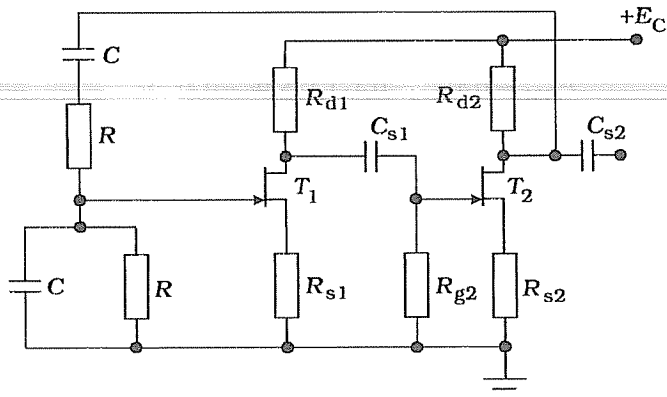
$$R_e = 0,3 \text{ V} / 5 \text{ A} = 0,06 \Omega.$$

Ове отпорнике је врло тешко наћи у продаји, па их треба направити. Најлакше је узети гвоздену поцинковану жицу коју користе пчелари, измерити њен пречник, па израчунати пресек и дужину. Узети нешто већу дужину и четворожичним мерењем скратити је на тачну вредност.

ОСЦИЛАТОРИ

6.1.

Израчунати вредности елемената RC осцилатора са Виновим мостом према слици 6.1 да му учестаност буде променљива од 1 kHz до 10 kHz. $E_C=15\text{ V}$, $R_{d1}=R_{d2}=2\text{ k}\Omega$, $g_m=5\text{ mA/V}$, док се капацитивност сваке секције двоструког кондензатора може да мења од 25 до 250 pF.



Слика 6.1

РАД

Када је капацитивност минимална, учестаност је максимална. За капацитивност од 25 pF учестаност треба да буде 10 kHz. Из ових података може да се израчуна отпорност R у комплексној грани Виновог моста:

$$R = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 25 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 636\,942\, \Omega.$$

Укупно појачање појачавача треба да буде 3, што значи да појачање једног појачавачког степена треба да буде $-1,73$. Појачање фета без повратне спреге износи:

$$A_u = -g_m R_d = 5\text{ mA/V} \cdot 2\text{ k}\Omega = -10.$$

Отпорност R_d је позната, па треба израчунати отпорност R_s . Модуо коефицијента повратне спреге β је код оваквог појачавача једнак количнику отпорности R_s и R_d : $\beta = R_s/R_d$. Израз за појачање појачавача са негативном повратном спрегом је:

$$A_r = \frac{A}{1 - \beta A}.$$

Одавде се добије коефицијент повратне спреге β :

$$\beta = \frac{A_r - A}{A_r A} = \frac{-1,73 - (-10)}{(-1,73)(-10)} = 0,478.$$

Познато је да је по апсолутној вредности $\beta = R_s/R_c$. Одавде се добије да је

$$R_s = R_c \cdot \beta = 2 \text{ k}\Omega \cdot 0,478 = 956 \text{ }\Omega.$$

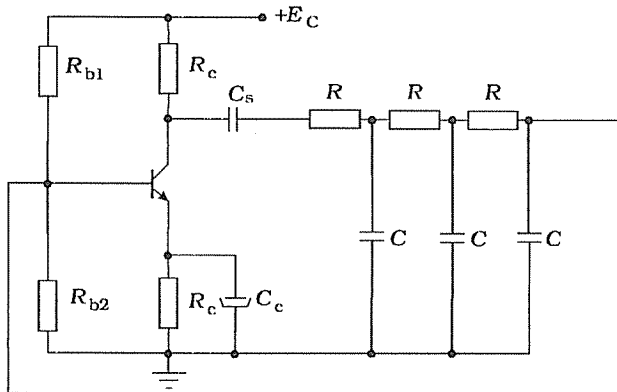
Капацитивност спрежног кондензатора C_{s1} рачуна се тако да његова импеданса буде занемарљиво мала на доњој учестаности, односно да буде бар пет (или још боље десет) пута мања од отпорности која јој је везана редно. Усвојићемо да је $R_{g2} = 1 \text{ M}\Omega$, па ова капацитивност износи:

$$C_{s1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot R_g} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^6 \text{ }\Omega} = 15,9 \text{ nF}.$$

Због тога што се различити примерци фетова доста разликују, после израде овог осцилатора може да се деси да не осцилује или да има изобличен синусни напон. Стога је пожељно да отпорности R_s буду изведене у облику реостата од око $2,5 \text{ k}\Omega$ и да се помоћу њих подешава појачање појачавача.

6.2.

Прорачунати елементе RC осцилатора са фазним померајем према слици 6.2 ако је $E_C = 15 \text{ V}$, $R_c = 3 \text{ k}\Omega$, $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$, $h_{21e} = 100$, $R = 1 \text{ k}\Omega$ и $f = 1 \text{ kHz}$.



Слика 6.2

РАД

Најпре ћемо наћи елементе појачавача. Познато је да напон на емиторском отпорнику износи око $20\% E_C$ и то је 3 V . Преосталих 12 V се дели на два дела по 6 V , па је колекторска струја $I_C = 2 \text{ mA}$. Сада се добије да је $R_c = 1,5 \text{ k}\Omega$, $I_B = 20 \text{ }\mu\text{A}$, $I_1 = 100 \text{ }\mu\text{A}$, $R_{b2} = 37 \text{ k}\Omega$, $R_{b1} = 112 \text{ k}\Omega$. Капацитивност C_e се израчунава као код фреквенцијске карактеристике, само њена импеданса

треба да буде занемарљиво мала (на пример десет пута мања) у односу на $h_{11e}/h_{21e}=30\ \Omega$, како не би дошло до додатних фазних помераја. Из овог услова се добије да је $C_e=53\ \mu\text{F}$. Импеданса капацитивности за спрегу C_s такође треба да буде бар 10 пута мања од отпорности R у колу фазног помераја. Одавде се добије да је $C_s=159\ \text{nF}$. Капацитивности у колу фазног помераја C израчунавају се из обрасца за учестаност осциловања, па се добије:

$$C = \frac{\sqrt{6}}{2\pi f R} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 39\ \text{nF}.$$

Још је потребно проверити да ли појачавач има апсолутну вредност појачања већу од 29:

$$A_u = \frac{-h_{21e}R_c}{h_{11e}} = \frac{-100 \cdot 3\ 000\ \Omega}{3\ 000\ \Omega} = -100.$$

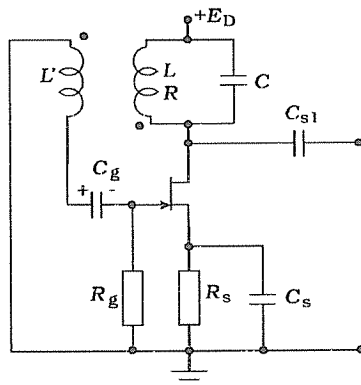
Видимо да је појачање веће него што би теоријски било потребно. Пошто је ово приближан прорачун, апсолутна вредност појачања заиста треба да буде већа од 29 да би осцилатор уопште радио.

6.3.

Прорачунати елементе Мајснеровог осцилатора према слици 6.3 тако да му учестаност осциловања буде максимално 2,25 MHz; $C=25\ \text{до}\ 250\ \text{pF}$, $L=10L'$, $g_m=3\ \text{mA/V}$. Израчунати број навојака калема L ако му је пречник калемског тела 3 cm, а дужина 6 cm (Код калема $L'=L/10$ је пречник 2 cm, а дужина 1,2 cm.)

РАД

Када се капацитивност осцилаторног кола мења у односу 10:1, учестаност се мења у односу 1:3,16, јер се капацитивност у Томсоновом обрасцу налази под кореном. Најнижа учестаност је 3,16 пута нижа од највише и она износи 712 kHz. Индуктивност калема се такође рачуна по Томсоновом обрасцу ако су познате учестаност и капацитивност, па се добије да је $L=200\ \mu\text{H}$. Отпорност R_s се рачуна као и код појачавача са заједничким сорсом (задатак 4.2) $R_s=1\ \text{k}\Omega$. Импеданса кондензатора C_s на најнижој радној учестаности осцилатора треба да буде бар десет пута мања од $1/g_m$ како не би дошло до додатних фазних помераја:



Слика 6.3

$$C_s = \frac{10g_m}{\omega_d} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ mA/V}}{2\pi \cdot 712 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 6,7 \text{ nF.}$$

Обично се узима да је отпорност R_g око $1 \text{ M}\Omega$, па треба израчунати капацитивност за спрегу C_{s1} . Обично се узима да временска константа $C_{s1}R_g$ треба да буде бар десет пута већа од периоде осциловања како се кондензатор не би битно испразнио између два пуњења, што се обезбеђује на најнижој учестаности од 712 kHz и износи:

$$T = \frac{1}{712\,000 \text{ Hz}} = 1,4 \mu\text{s.}$$

Ако се узме да је $R_g C_{s1} = 10T$, одавде се добије да је:

$$C_{s1} = \frac{10T}{R_g} = \frac{10 \cdot 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{10^6 \Omega} = 14 \text{ pF.}$$

Индуктивност једнослојног калема код којег је дужина знатно већа од пречника израчунава се по обрасцу (види *Основе електротехнике*):

$$L = \mu \cdot \frac{N^2 S}{l}.$$

Овде је μ пермеабилност ваздуха ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$), N је број навојака, S је површина пресека калемског тела, а l је његова дужина. У овом случају дужина није много већа од пречника, па ће се добити доста велико одступање од потребне вредности. Површина пресека калемског тела се добије као површина круга:

$$S = r^2 \pi = (1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot 3,14 = 7,065 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Из једначине за индуктивност добије се број навојака:

$$N = \sqrt{\frac{Ll}{\mu S}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 60 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 7,065 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}} = 116.$$

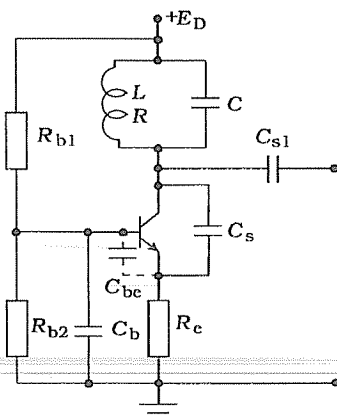
Број навојака калема L' се рачуна на исти начин, па се добије:

$$N' = \sqrt{\frac{L'l}{\mu S}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \cdot 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}} \approx 25.$$

Посебна напомена. – Испитивање овог осцилатора треба обавити осцилоскопом који има фреквенцијски компензоване сонде.

6.4.

Прорачунати елементе осцилатора са капацитивном спрегом према слици 6.4 тако да му учестаност осциловања буде 186 MHz (учестаност десетог канала на телевизији). $C=4$ pF, транзистор је BF 199, који има C_{be} око 20 pF. Наћи приближан број навојака калема користећи образац из задатка 6.3 ако је направљен од лаког изоловане бакарне жице пречника 0,5 mm, док је дужина калема 10 mm, а пречник 10 mm. $E_C=9$ V (батерија). Испитати осцилатор помоћу телевизора.



Слика 6.4

РАД

Отпорници транзисторског појачавача су већ израчунати у задатку 3.15, где је практично свеједно да ли је напон напајања 10 V или 9 V. Индуктивност калема се рачуна по Томсоновом обрасцу, где је $f=186$ MHz и капацитивност 4 pF, па се добије: $L=183$ nH. Број навојака се израчунава као и у претходном задатку и износи: $N\approx 4$. Капацитивност за спрегу C_s треба да је око десет пута мања од капацитивности C_{be} , да би што мање утицала на капацитивност осцилаторног кола, и она износи око 2 pF. Учестаност се може такође подешавати ако се уместо непроменљивог керамичког кондензатора од 4 pF стави полупроменљиви од 1,4 до 10 pF.

Испитивање осцилатора приручним средствима се обавља тако што се укључи телевизор и постави на десети канал. На „+“ крај батерије или на колектор се прикључи као антена комад жице дугачак око 10 cm. Подешавањем учестаности треба да се добију црне пруге или да цео екран буде црн.

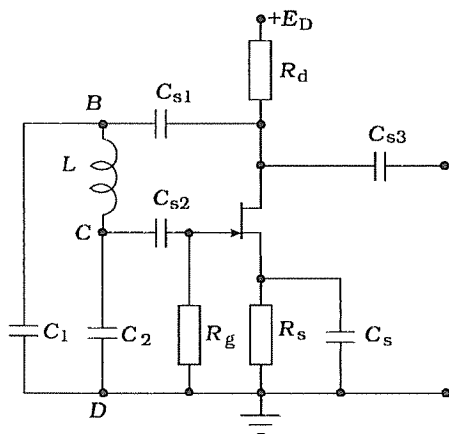
6.5.

Прорачунати елементе Колпицовог осцилатора према слици 6.5 тако да ради на максималној учестаности 3 MHz када су обе капацитивности минималне. Употребљен је двоструки кондензатор из радио-пријемника, односно два кондензатора по 25 до 250 pF.

РАД

Елементи појачавача могу да се узму као у задатку 4.3. Овде су капацитивности везане редно унутар осцилаторног кола, па је еквивалентна минимална капацитивност 25 pF/2=12,5 pF. Капацитивности за спрегу се могу изра-

чунати, али се обично стављају два по 100 pF. Индуктивност се рачуна по Томсоновом обрасцу, па се добије: $L=222 \mu\text{H}$. Димензије калема и број навојака могу се приближно узети као у задатку 6.3.



Слика 6.5

ТРАНЗИСТОР КАО ПРЕКИДАЧ

7.1.

На слици 7.1 приказано је коло у коме се транзистор користи као прекидач. Струја кроз потрошач треба да буде 0,2 А. Колика треба да буде отпорност R_b да транзистор сигурно буде у zasiћењу. $E_C=10\text{ V}$, $U_{BE}=0,7\text{ V}$, $U_1=10\text{ V}$, $h_{21E}=100$.

РАД

Обично се узима да струја базе буде десет пута мања од струје колектора па да и транзистор сигурно буде у zasiћењу. Струја базе је:

$$I_B = \frac{I_C}{10} = \frac{200\text{ mA}}{10} = 20\text{ mA}.$$

Отпорност R_b се одређује по Омовом закону:

$$R_b = \frac{9,3\text{ V}}{20\text{ mA}} = 465\ \Omega.$$

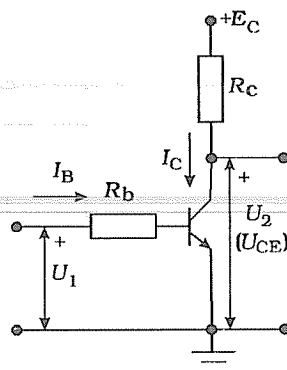
7.2.

На слици 7.2 приказано је коло у коме транзистор ради као прекидач. Побудно коло може да даје релативно малу струју па је употребљен Дарлингтонов спој. Одредити отпорност R_b тако да струја базе буде сто пута мања од струје колектора. Колики је напон U_2 ? Познате су величине:

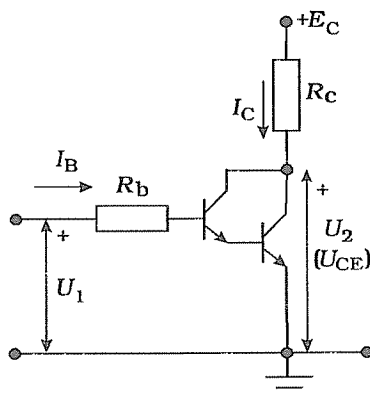
$E_C=20\text{ V}$, $R_C=10\ \Omega$. $U_{BEsat}=0,7\text{ V}$, $U_{CEsat}=0,2\text{ V}$.

РАД

Када је струја колектора максимална, напон U_2 је минималан. Напон база-емитор другог транзистора је



Слика 7.1



Слика 7.2

0,7 V и то је истовремено потенцијал на емитору првог транзистора. Ако се први транзистор налази у засићењу, потенцијал на његовом колектору у односу на масу је $0,7 \text{ V} + 0,2 \text{ V} = 0,9 \text{ V}$. Струја колектора се добије када се напон на потрошачу (R_c) подели његовом отпорношћу:

$$I_C = \frac{19,1 \text{ V}}{10 \Omega} = 1,91 \text{ A}.$$

Струја базе је сто пута мања и једнака је: $I_B = 19,1 \text{ mA}$. Напон између базе првог транзистора и масе је $2U_{BE} = 1,4 \text{ V}$. Отпорност R_b се одређује по Омовом закону:

$$R_b = \frac{18,6 \text{ V}}{19,1 \text{ mA}} = 973 \Omega.$$

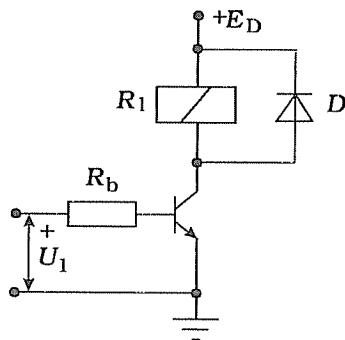
7.3.

На слици 7.3 приказано је коло у коме се релеј укључује преко транзистора. Објаснити зашто се ставља диода и колика струја и када тече кроз њу.

РАД

Приликом укључивања транзистора струја кроз релеј нешто спорије расте због електромоторне силе самоиндукције која има смер супротан смеру струје. Приликом искључивања транзистора електромоторна сила

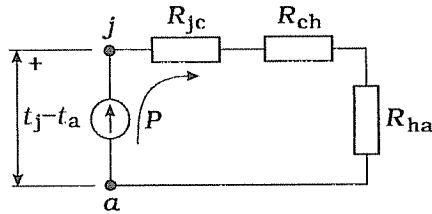
самоиндукције има исти смер као прекинута струја. Величина ове електромоторне силе може да буде више стотина волти и она може да уништи транзистор. Због тога се паралелно релеју ставља диода која кратко спаја електромоторну силу самоиндукције и тако спречава уништење транзистора. Струја кроз диоду је у почетку иста као и прекинута струја, а и на даље опада. На пример, ако је струја кроз транзистор била 100 mA, после прекида ове струје кроз транзистор у почетку кроз диоду тече струја од 100 mA и постепено опада.



Слика 7.3

7.4.

Снага на транзистору је 20 W. Топлотна отпорност између колекторског споја и кућишта $R_{jc} = 2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$, а између кућишта и хладњака је $2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$, максимална температура споја је $t_j = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$, а $t_a = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$. Одредити дужину стране алуминијумског хладњака квадратног облика дебљине 2 mm.



Слика 7.4а

РАД

Једначина по којој треба израчунати топлотну отпорност хладњака има облик:

$$R_{ha} = \frac{t_j - t_a}{P} - R_{jc} - R_{ch} = \frac{200^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}}{20\text{ W}} - 2^\circ\text{C/W} - 2^\circ\text{C/W} = 3,75^\circ\text{C/W}$$

На дијаграму (слика 7.4б) добије се да је страница квадратног хладњака 16 cm.

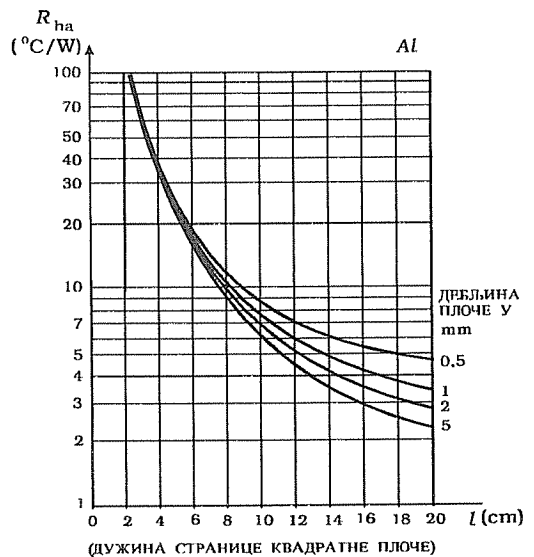
7.5.

Наћи снагу која може да се појави на транзистору ($R_{jc}=1,5^\circ\text{C/W}$) а који је монтиран на квадратни алуминијумски хладњак дебљине 2 mm, чија страница има дужину 20 cm и који је подмазан силиконском машћу без лискуноског изолатора ($R_{ch}=0,1^\circ\text{C/W}$). Температура споја може да иде до 175°C , док је температура околине 45°C . Колика се снага може појавити на транзистору ако се хладњак принудно хлади вентилатором?

РАД

Са дијаграма за одређивање топлотне отпорности види се да је топлотна отпорност $2,8^\circ\text{C/W}$. Сада се може наћи снага која може да се појави на транзистору:

$$P = \frac{t_j - t_a}{R_{jc} + R_{ch} + R_{ha}} = \frac{175^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}}{1,5^\circ\text{C/W} + 0,1^\circ\text{C/W} + 2,8^\circ\text{C/W}} = 29,54\text{ W}.$$



Слика 7.4б

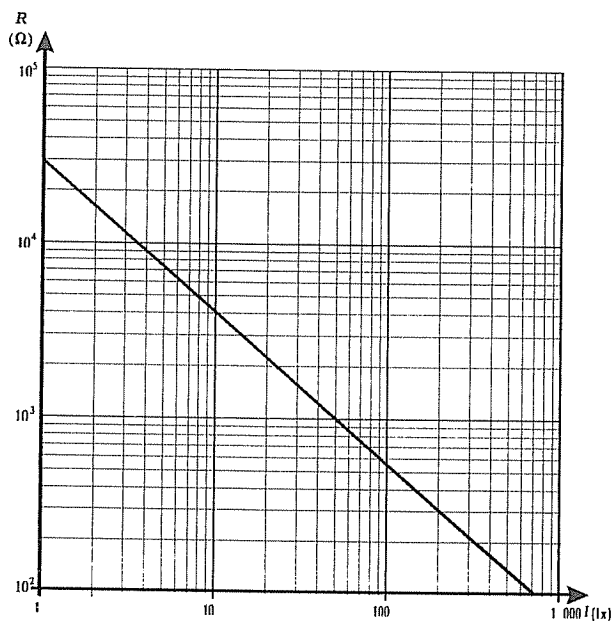
Ако се хладњак принудно хлади вентилатором, његова топлотна отпорност је око десет пута мања и у овом случају износи $0,28\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Сада снага може да буде $69,14\text{ W}$.

7.6.

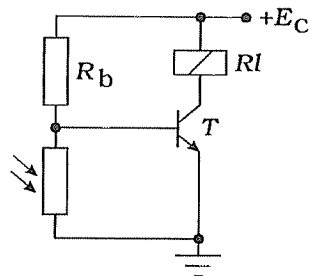
На слици 7.6 приказана је зависност отпорности фотоотпорника од осветљености $RPY\ 82$ фирме „Филипс“. Конструисати уређај са једним транзистором и релејем за укључивање осветљења када осветљеност опадне на 10 lx (сумрак). Употребити релеј који ради на 12 V и чија је отпорност $1\text{ k}\Omega$. Објаснити његов начин рада и одабрати транзистор.

РАД

На слици 7.6б приказано је коло за укључивање релеја када осветљеност опадне испод 10 lx . Када је осветљеност велика, отпорност фотоотпорника је мала и напон на њему није довољан да транзистор постане проводан. Када



Слика 7.6а



Слика 7.6б

осветљеност опадне, отпорност фотоотпорника се повећа и напон на њему постаје довољно велики (већи од $0,6\text{ V}$) да транзистор постане проводан и укључи релеј. Релеј укључује спољно светло. Струја кроз отпорник R_b и фотоотпорник треба да на 10 lx буде толика да на фотоотпорнику створи напон од $0,6\text{ V}$ и да транзистор почне да проводи. На дијаграму (слика 7.6а) види се да је отпорност фотоотпорника на 10 lx једнака $4\text{ k}\Omega$. Сада се може наћи потребна струја кроз ове отпорнике: $I_1 = 0,6\text{ V} / 4000\text{ }\Omega = 150\text{ }\mu\text{A}$. Напон на

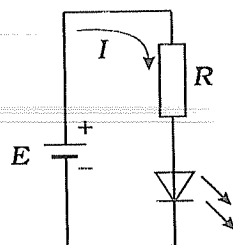
отпорнику R_b је 11,4 V и његова отпорност се добије помоћу Омовог закона: $R_b = 11,4 \text{ V} / 150 \mu\text{A} = 76 \text{ k}\Omega$. Струја базе треба да је бар пет пута мања од струје I_1 , па она износи $30 \mu\text{A}$. Одабраћемо транзистор који има велики коефицијент струјног појачања (на пример BC 108C, код кога је минимални коефицијент струјног појачања $h_{21E} = 450$). Струја колектора се добије када се напон напајања (12 V) подели отпорношћу релеја (1 k Ω) и добије се 12 mA. Струја базе је 450 пута мања и износи 26,6 μA .

7.7.

Одредити отпорност за ограничење струје кроз светлећу диоду (слика 7.7) ако је напон напајања 12 V, струја кроз диоду 5 mA и напон на диоди 1,5 V.

РАД

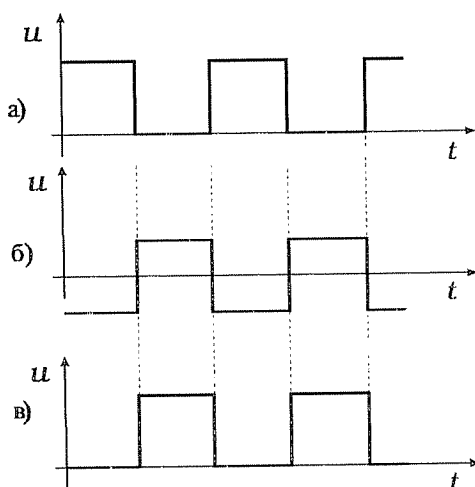
Отпорност за ограничење струје се одређује помоћу Омовог закона. (напон на отпорнику је 10,5 V, а струја 5 mA): $R = 10,5 \text{ V} / 5 \text{ mA} = 2,1 \text{ k}\Omega$.



Слика 7.7

7.8.

Течни кристали раде помоћу наизменичног напона. Помоћу дигиталних кола је лако добити квадратни напон, као на слици 7.8а, али је он једносмеран па се не може користити. Конструисати коло које напон на слици 7.8а претвара у чисто наизменични (али и даље правоугаони) наизменични напон. Како се од овог напона може добити двоструко већи наизменични напон?



Слика 7.8

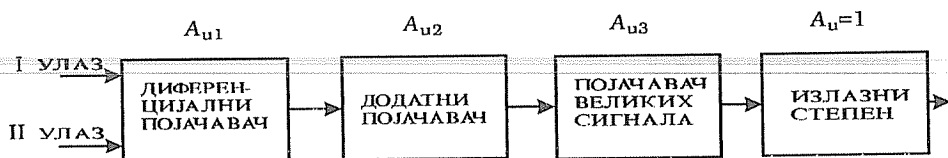
На слици 3.5а приказано је коло за извлачење наизменичне компоненте из једносмерног правоугаоног напона. Једносмерна струја не може да пролази кроз кондензатор. Када се напон мења, кондензатор се пуни и празни. Струја пуњења и пражњења ствара на отпорнику наизменични правоугаони напон.

Двоструко већи наизменични правоугаони напон добије се ако се на једну электроду доведе напон приказан на слици 7.8а, а на другу противфазни правоугаони напон као на слици 7.8в. Један напон се доводи на једну электроду течног кристала, а други на другу электроду. Једном је на једној електроди цео једносмерни напон и њен потенцијал је виши од потенцијала друге електроде за U_m . У другој полупериоди је обрнуто, а прва електрода је за U_m негативнија од прве.

ОПЕРАЦИОНИ ПОЈАЧАВАЧИ

8.1.

На слици 8.1. приказана је блок шема операционог појачавача. Укупно напонско појачање треба да буде 100 000. Појачање првог степена је 50, а појачање појачавача великих сигнала је 6. Колико треба да буде појачање додатног појачавача?



Слика 8.1

РАД

Укупно појачање каскадно везаних појачавача једнако је њиховом производу (види задатак 5.1): $A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdot A_{u3}$. Из овог израза се добије појачање другог степена:

$$A_{u2} = \frac{A_u}{A_{u1} \cdot A_{u3}} = \frac{100\,000}{50 \cdot 6} = 333.$$

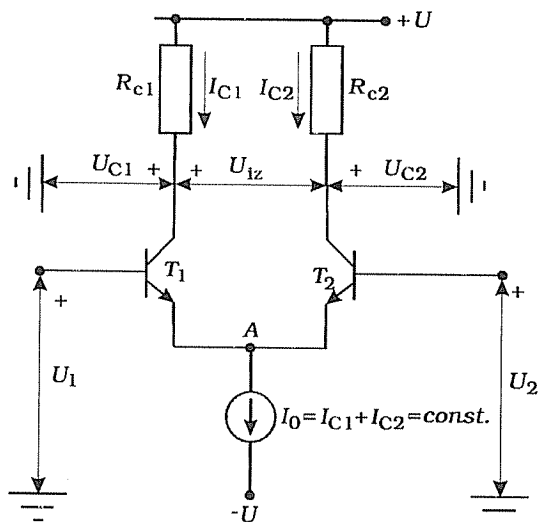
8.2.

Елементи диференцијалног појачавача на слици 7.2а имају следеће вредности: $R_{c1} = R_{c2} = 5\text{ k}\Omega$, $h_{21e} = 60$, $h_{11e} = 4\text{ k}\Omega$. Наћи напонско појачање овог диференцијалног појачавача ако је $U_2 = 0$, и то а) диференцијално $A_u = U_{iz}/U_1$ и б) несиметрично $A_{u1} = U_{c2}/U_1$. в) Колико је потискивање симетричних сигнала ако је симетрично појачање 0,02? Колики је потенцијал тачке А када су улазни напони приближно једнаки нули? Колики је потенцијал тачке А када се оба улазна напона повисе на +5 V?

РАД

Појачање диференцијалног појачавача је једнако:

$$A_u = -\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}} = -\frac{60 \cdot 5\,000\ \Omega}{4\,000\ \Omega} = -75.$$

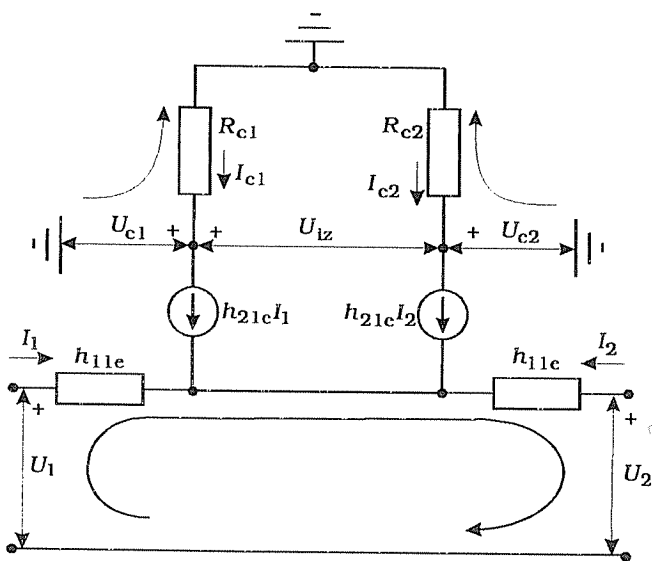


Слика 8.2a

Појачање A_{u1} је два пута мање и износи 37,5.

Фактор потискивања симетричних сигнала се увек рачуна са апсолутним вредностима јер може да се логаритмује само позитиван број. У овом случају овај фактор износи:

$$\delta = 20 \log \frac{A_d}{A_s} = 20 \log \frac{75}{0,02} = 71,48 \text{ dB.}$$



Слика 8.2б

Када су оба улазна напона приближно једнака нули, потенцијал тачке A је за 0,7 V нижи и износи -0,7 V. Када су оба улазна напона +5 V, потенцијал тачке A је опет за 0,7 V нижи и износи 4,3 V.

8.3.

Израчунати степен потискивања симетричних сигнала код диференцијалног појачавача код кога су транзистори идентични али се колекторски отпорници мало разликују, тако да је $R_{c2}=0,99R_{c1}$.

РАД

Диференцијално појачање је приближно исто као када су отпорници R_{c1} и R_{c2} једнаки јер се први и други члан у изразу за излазни напон врло мало разликују:

$$A_u \approx -\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}}.$$

Излазни напон U_{iz} потребан за израчунавање симетричног појачања је према слици 8.2б:

$$U_{iz} = -R_{c1}I_{c1} + R_{c2}I_{c2}.$$

Када се је $R_{c2}=0,99R_{c1}$, добије се:

$$U_{iz} = -R_{c1}I_{c1} + 0,99R_{c1}I_{c2} = -R_{c1}h_{21e}(I_1 - 0,99I_2).$$

Улазни напон је у овом случају средња вредност улазних напона U_1 и U_2 . Када се мери или израчунава степен потискивања симетричних сигнала, у пракси се на оба улаза доводи исти напон, па се може узети U_1 или U_2 . Овај напон је једнак $h_{11e}I_1$ или $h_{11e}I_2$. Овде ће се узети $U_1=h_{11e}I_1$. Симетрично појачање је количник излазног напона U_{iz} и улазног U_1 :

$$A_s = \frac{U_{iz}}{U_1} = \frac{-h_{21e}R_{c1}(I_1 - 0,99I_2)}{h_{11e}I_1} = -\frac{h_{21e}R_{c1} \cdot 0,01}{h_{11e}}.$$

У овом случају су струје I_1 и I_2 једнаке, па се скраћују. Сада се може наћи фактор потискивања симетричних сигнала:

$$\delta = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_s} \right| = 20 \log \left| \frac{\frac{-h_{21e}R_c}{h_{11e}}}{\frac{-h_{21e}R_c \cdot 0,01}{h_{11e}}} \right| = 20 \log 100 = 40 \text{ dB}.$$

8.4.

Наћи степен потискивања симетричног сигнала ако се разликују параметри h_{21e} ($h_{21e2}=0,98 h_{21e1}$) док су остале величине исте код оба транзистора.

РАД

Диференцијално појачање је и овде приближно исто као код потпуно једнаких параметара:

$$A_u \approx -\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}}.$$

Излазни напон код симетричног појачања износи:

$$\begin{aligned} U_{iz} &= -R_{c1}I_{c1} + R_{c1}I_{c2} = -R_{c1}(h_{21e1}I_1 - h_{21e2}I_2) = \\ &= -R_{c1}(h_{21e1}I_1 - 0,98h_{21e1}I_2). \end{aligned}$$

Улазни напон је и овде једнак U_1 (или U_2): $U_1 = h_{11e} I_1$. Сада се може наћи симетрично појачање:

$$A_s = \frac{U_{iz}}{U_1} = \frac{-h_{21e}R_{c1}(I_1 - 0,98I_2)}{h_{11e}I_1} = -\frac{h_{21e}R_{c1} \cdot 0,02}{h_{11e}}.$$

И овде су струје I_1 и I_2 скраћене јер су једнаке. Степен потискивања симетричних сигнала сада износи:

$$\delta = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_s} \right| = 20 \log \left| \frac{-\frac{h_{21e}R_c}{h_{11e}}}{-\frac{h_{21e}R_c \cdot 0,02}{h_{11e}}} \right| = 20 \log 50 = 33,97 \text{ dB}.$$

8.5.

Наћи улазни напон раздешености ако се струје колектора изједначе када је улазни напон $U_1=0 \text{ V}$, а $U_2=0,005 \text{ V}$.

РАД

Ако су улазни напони једнаки или су оба једнака нули, колекторске струје нису једнаке и излазни напон није једнак нули. Видимо да је на улаз за напон U_2 потребно довести напон од 5 mV да би излазни напон био једнак нули. Према томе, улазни напон раздешености је -5 mV ако се улаз за напон U_1 сматра референтним.

8.6.

Наћи улазни напон раздешености код диференцијалног појачавача на слици 8.2 ако су елементи леве стране појачавача исти као десне стране, осим што је отпорност R_{c2} нешто мања од отпорности R_{c1} , тако да је $R_{c2}=0,99R_{c1}$, $R_{c1}=5\text{ k}\Omega$, напонско појачање $A=-100$, $I_0=1\text{ mA}$.

РАД

Струја I_0 се дели на два једнака дела: I_{C1} и I_{C2} , тако да свака од њих износи по $0,5\text{ mA}$. Излазни напон U_{IZ} се добије на исти начин као у претходним задацима:

$$U_{IZ} = -R_{c1}I_{C1} + R_{c1}I_{C2} = -I_C(R_{c1} - R_{c2}) =$$

$$= -I_C R_{c1}(1 - 0,99) = -0,5 \cdot 10^{-3}\text{ A} \cdot 5 \cdot 10^3\text{ }\Omega \cdot 0,01 = -0,025\text{ V}.$$

Напон који одговара улазном напону добије се када се излазни напон подели појачањем A :

$$U_{UL} = \frac{U_{IZ}}{A} = \frac{-0,025\text{ V}}{-100} = 0,25\text{ mV}.$$

Овај улазни напон је позитиван, па на улаз треба довести негативан напон од $-0,25\text{ mV}$ да би излазни напон био једнак нули. То значи да је улазни напон раздешености једнак $-0,25\text{ mV}$.

8.7.

Наћи улазни напон раздешености када су сви елементи леве и десне стране појачавача на слици 8.2 исти, само је параметар h_{21E} другог транзистора нешто мањи и износи: $h_{21E2}=0,9h_{21E1}$, $R_{c1}=R_{c2}=5\text{ k}\Omega$, $I_0=1\text{ mA}$ и $A=-100$.

РАД

У овом случају су струје база исте, али струје колектора нису, па је због различитих параметара h_{21E} струја $I_{C2}=0,9I_{C1}$. Излазни напон се одређује као у претходном случају и износи:

$$U_{IZ} = -R_{c1}I_{C1} + R_{c1}I_{C2} = -R_{c1}(I_{C1} - I_{C2}) =$$

$$= -5\text{ 000 }\Omega \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}\text{ A}(1 - 0,9) = -0,25\text{ V}.$$

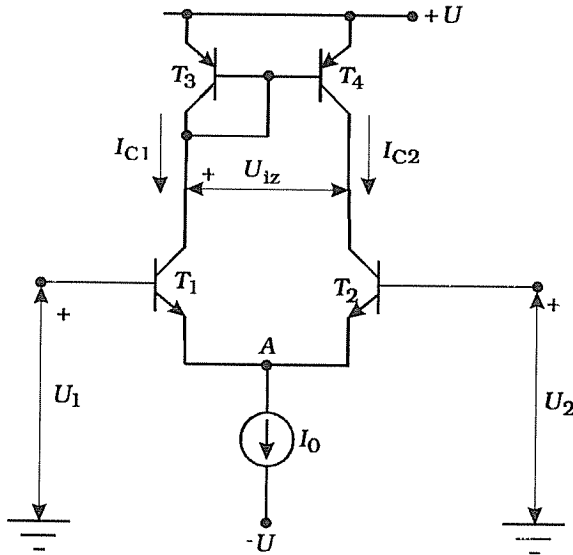
Улазни напон који одговара овом излазном напону се добије дељењем са појачањем A :

$$U_{UL} = \frac{U_{IZ}}{A} = \frac{-0,25 \text{ V}}{-100} = 2,5 \text{ mV}.$$

На улаз треба довести напон $-2,5 \text{ mV}$ да би излазни напон био једнак нули, па је ово вредност улазног напона раздешености.

8.8.

Наћи напонско појачање појачавача са активним оптерећењем који је приказан на слици 8.8а. Узети да су извори константне струје идеални, а код транзистора занемарити параметар h_{12e} и узети у обзир h_{22e} . Потребне величине имају следеће вредности: $h_{11e}=4,5 \text{ k}\Omega$, $h_{21e}=330$, $h_{22e}=30 \cdot 10^{-6} \text{ S}$.



Слика 8.8а

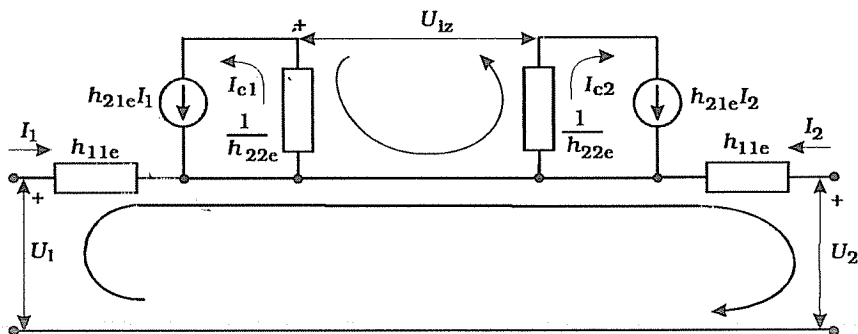
РАД

Еквивалентна шема овог појачавача за наизменичну струју приказана је на слици 8.8б. Извори константне струје су изостављени јер кроз њих не тече променљиви део наизменичне струје. Струја I_{c1} тече кроз параметар h_{22e} првог транзистора. Исти закључак се може извести за струју I_{c2} . За излазно коло може да се напише II Кирхофов закон:

$$U_{iz} + \frac{1}{h_{22e}} I_{c1} - \frac{1}{h_{22e}} I_{c2} = 0.$$

Одавде се добије излазни напон:

$$U_{iz} = -I_{c1} \cdot \frac{1}{h_{22e}} - (-I_{c2} \cdot \frac{1}{h_{22e}}) = -\frac{h_{21e}}{h_{22e}} (I_1 - I_2).$$



Слика 8.86

За улазно коло може да се напише II Кирхофов закон:

$$U_1 - h_{11e}I_1 + h_{11e}I_2 - U_2 = 0.$$

Из ове једначине може се наћи разлика улазних напона $U_1 - U_2$:

$$U_1 - U_2 = h_{11e}(I_1 - I_2).$$

Напонско појачање појачавача једнако је количнику излазног напона и разлици улазних напона:

$$A_u = \frac{U_{1z}}{U_1 - U_2} = -\frac{h_{21e}}{h_{22e}} \cdot \frac{I_1 - I_2}{h_{11e}(I_1 - I_2)} = -\frac{h_{21e}}{h_{22e}h_{11e}} = -2444.$$

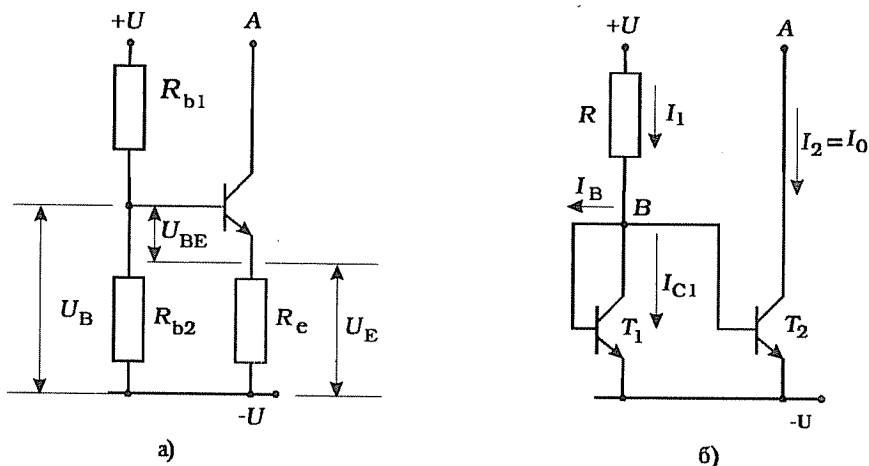
Треба напоменути да је занемаривањем параметра h_{12e} у овом прорачуну учињена доста велика грешка, јер је појачање велико па би и члан $h_{12e}U_{ce}$ био сличан по вредности осталим величинама. Тим занемаривањем је, међутим, коло знатно поједностављено. Да је узет у обзир и параметар h_{12e} , појачање би било мање и износило би оријентационо око -1200 . Ако би се узели у обзир и несавршени извори константне струје, појачање би оријентационо било око -500 .

8.9.

Прорачунати извор константне струје у дискретној техници према слици 8.9а за 10 mA . Познате су величине $+U=10 \text{ V}$, $-U=-10 \text{ V}$, $U_E=2 \text{ V}$, $U_{BE}=0,7 \text{ V}$ и $h_{21E}=200$.

РАД

Отпорност R_e се добије по Омовом закону: $R_e = U_E/I_0 = 2 \text{ V}/10 \text{ mA} = 200 \Omega$. Напон U_B се добије сабирањем напона U_E и U_{BE} : $U_B = 2,7 \text{ V}$. Струја базе се добије дељењем струје I_0 параметром h_{21E} :



Слика 8.9

$$I_B = \frac{I_0}{h_{21E}} = \frac{10 \text{ mA}}{200} = 50 \mu\text{A}.$$

Струја I_1 треба да буде бар пет пута већа и износи $250 \mu\text{A}$. Отпорност R_{b2} се добије по Омовом закону:

$$R_{b2} = \frac{U_B}{I_1} = \frac{2,7 \text{ V}}{250 \mu\text{A}} = 10,8 \text{ k}\Omega.$$

Отпорност R_{b1} се такође добије помоћу Омовог закона:

$$R_{b1} = \frac{17,3 \text{ V}}{250 \mu\text{A}} = 69,2 \text{ k}\Omega.$$

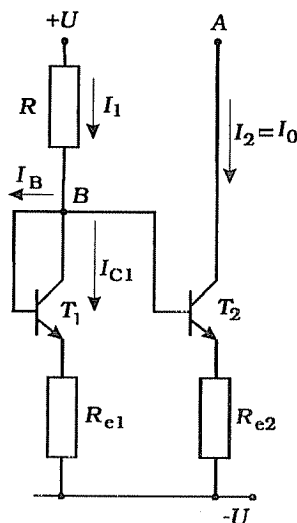
8.10.

На слици 8.9б приказан је извор константне струје у интегрисаној техници. Наћи отпорност R , ако је $+U=10 \text{ V}$ и $-U=-10 \text{ V}$, $I_0=300 \mu\text{A}$.

РАД

Види се да је напон на отпорнику $20 \text{ V}-0,7 \text{ V}=19,3 \text{ V}$. Отпорност R се добије по Омовом закону:

$$R = 19,3 \text{ V} / 300 \mu\text{A} = 64\,333 \Omega.$$



Слика 8.11

8.11.

Према слици 8.11 израчунати елементе извора константне струје (овакав извор константне струје може да се изведе и у дискретној техници) тако да даје струју $I_0 = 3 \text{ mA}$; $+U = +15 \text{ V}$, $-U = -15 \text{ V}$, $R = 20 \text{ k}\Omega$, $R_{e1} = 1 \text{ k}\Omega$.

РАД

На слици 8.11 види се да струја I_1 тече кроз отпорнике R и R_{e1} , док је напон на транзистору T_1 приближно $0,7 \text{ V}$. Ова струја износи:

$$I_1 = \frac{30 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{21 \text{ k}\Omega} = 1,395 \text{ mA}.$$

Напон на отпорнику R_{e1} је:

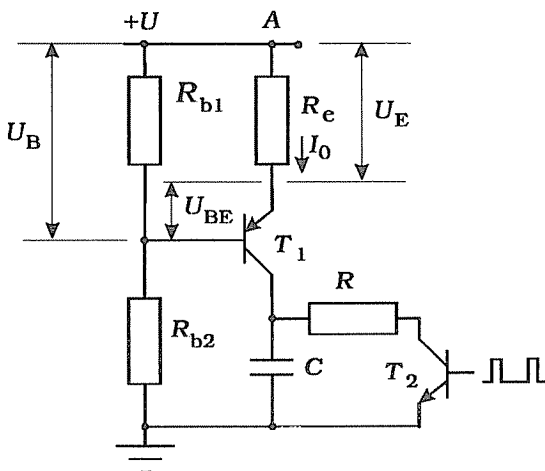
$$U_{E1} = R_{e1} I_1 = 1,395 \text{ mA} \cdot 1000 \Omega = 1,395 \text{ V}.$$

Напон на отпорнику R_{e2} је исти као и напон на отпорнику R_{e1} и износи $1,395 \text{ V}$. Отпорност R_{e2} се добије по Омовом закону:

$$R_{e2} = \frac{U_E}{I_0} = \frac{1,395 \text{ V}}{3 \text{ mA}} = 465 \Omega.$$

8.12.

На слици 8.12 приказан је у поједностављеном облику извор константне струје који се користи код осцилоскопа фирме Филипс за производњу тестерастог напона. Кондензатор се пуни кроз извор константне струје који чине транзистор T_1 , отпорници R_e , R_{b1} и R_{b2} . Када се кондензатор пуни константном струјом, напон на њему линеарно расте. Када се кондензатор напуни, на базу транзистора T_2 долази позитиван напон; транзистор T_2 проводи и кроз њега се кондензатор празни. Нека је $+U = 30 \text{ V}$, $R_e = 500 \Omega$, $I_0 = 10 \text{ mA}$, $h_{21E} = 250$. Израчунати остале отпорности у колу. Израчунати отпорност R ако је максимални напон на кондензатору 5 V и максимална дозвољена струја кроз транзистор T_2 је 200 mA . Одговорити чему ова отпорност служи.



Слика 8.12

РАД

Напон на отпорнику R_e по Омовом закону је једнак 5 V. Струја I_B је:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21E}} = \frac{10 \text{ mA}}{250} = 40 \mu\text{A}.$$

Струја кроз отпорнике R_{b1} и R_{b2} треба да буде бар пет пута већа и она износи $200 \mu\text{A}$. Отпорност R_{b1} је:

$$R_{b1} = \frac{5,7 \text{ V}}{200 \mu\text{A}} = 28,5 \text{ k}\Omega.$$

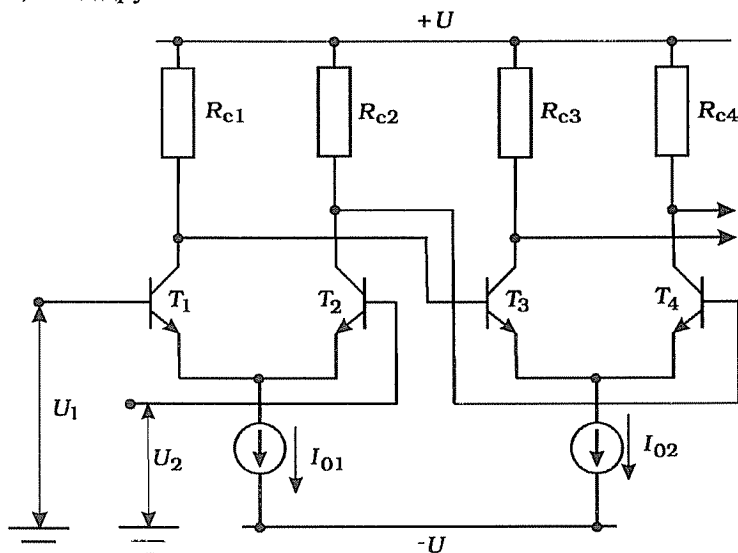
Отпорност R_{b2} се рачуна на сличан начин и износи:

$$R_{b2} = \frac{24,3 \text{ V}}{200 \mu\text{A}} = 121,5 \text{ k}\Omega.$$

Отпорник R служи за ограничење струје кроз транзистор приликом пражњења кондензатора. Његова отпорност се рачуна помоћу максималног напона на кондензатору и дозвољене струје кроз транзистор: $R = 5 \text{ V} / 0,2 \text{ A} = 25 \Omega$.

8.13.

На слици 8.13 приказана су два диференцијална појачавача везана каскадно. Познате су величине: $R_{c1}=R_{c2}=R_{c3}=R_{c4}=20 \text{ k}\Omega$, $+U=+15 \text{ V}$, $-U=-15 \text{ V}$. Одредити струје I_{01} и I_{02} тако да колекторски напони код првог појачавача буду +5 V, а код другог +10 V.



Слика 8.13

РАД

Колекторска струја првог транзистора је се добије када се напон на отпорнику R_{c1} подели са његовом отпорношћу:

$$I_{C1} = \frac{+U - U_{C1}}{R_{c1}} = \frac{15\text{V} - 5\text{V}}{20\,000\,\Omega} = 0,5\text{ mA}.$$

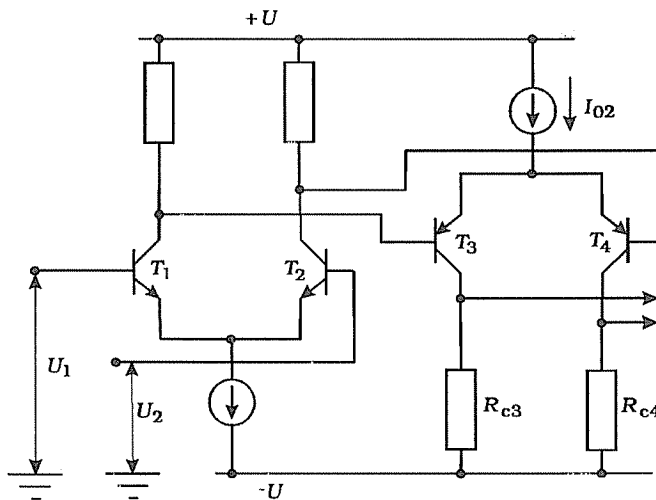
Струја I_{O1} је два пута већа и износи 1 mA. На исти начин се добије струја I_{C3} :

$$I_{C3} = \frac{+U - U_{C3}}{R_{c3}} = \frac{15\text{V} - 10\text{V}}{20\,000\,\Omega} = 0,25\text{ mA}.$$

Струја I_{O2} је такође два пута већа и износи 0,5 mA.

8.14.

На слици 8.14 приказан је начин померања једносмерног нивоа са диференцијалним појачавачем, у којем су употребљени транзистори *PNP* типа. Познате су величине: $U_{C1}=U_{C2}=5\text{ V}$, $+U=+10\text{ V}$, $-U=-10\text{ V}$, $I_{O2}=0,4\text{ mA}$.



Слика 8.14

Одредити отпорности R_{c3} и R_{c4} , где је $R_{c3} = R_{c4}$, тако да једносмерни излазни напони другог појачавача буду једнаки нули ако су једносмерни улазни напони првог појачавача једнаки нули.

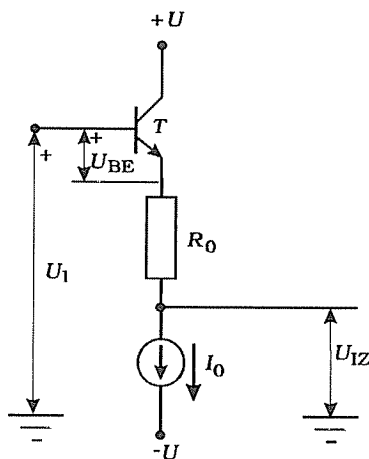
РАД

Струја I_{02} се дели на два једнака дела по $0,2 \text{ mA}$. Ова струја треба да на отпорницима R_{c3} и R_{c4} створи напон по 10 V . Отпорности се добијају по Омовом закону:

$$R_{c3} = R_{c4} = \frac{10 \text{ V}}{0,2 \text{ mA}} = 50 \text{ k}\Omega.$$

8.15.

На слици 8.15 приказано је коло за померање једносмерног нивоа код кога је напон на улазу већ повишен због присуства сигнала, који се појачава, за 2 V и износи 8 V , док је $I_0 = 0,2 \text{ mA}$ и $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$. Одредити отпорност R_e тако да излазни напон због присуства сигнала буде 2 V .



Слика 8.15

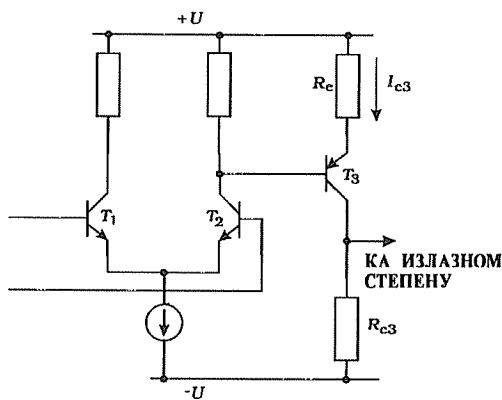
РАД

Види се да разлика улазног и излазног напона износи 6 V . Од овог напона $0,7 \text{ V}$ се односи на напон U_{BE} , док је преосталих $5,3 \text{ V}$ на отпорнику R_e . Његова вредност се добије по Омовом закону:

$$R_e = \frac{5,3 \text{ V}}{0,2 \text{ mA}} = 26,5 \text{ k}\Omega.$$

8.16.

На слици 8.16 приказано је коло које служи за померање једносмерног нивоа и појачање великих сигнала. У одсуству једносмерног сигнала који треба да се појача, напон на колектору транзистора T_2 је $+10 \text{ V}$, $R_e = 10 \text{ k}\Omega$, док је $+U = +15 \text{ V}$, $-U = -15 \text{ V}$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$. Одредити отпорност R_{c3} тако да једносмерни излазни напон буде једнак нули. Колико је напонско појачање појачавачког степена са транзистором T_3 ?



Слика 8.16

РАД

Напон на отпорнику R_e се добије када се од напона на колекторском отпорнику другог транзистора одузме напон U_{BE} , и он износи 4,3 V. Сада се струја колектора транзистора T_3 добије по Омовом закону:

$$I_{C3} = \frac{4,3 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 0,43 \text{ mA}.$$

Напон на отпорнику R_{c3} треба да буде једнак 15 V. Када се овај напон подели са струјом I_{C3} , добије се отпорност R_{c3} :

$$R_{c3} = \frac{15 \text{ V}}{0,43 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 34 \text{ 883 } \Omega.$$

Напонско појачање појачавача великих сигнала је приближно једнако:

$$A_{u3} = -\frac{R_{c3}}{R_e} = -\frac{34 \text{ 833 } \Omega}{10 \text{ 000 } \Omega} = -3,43.$$

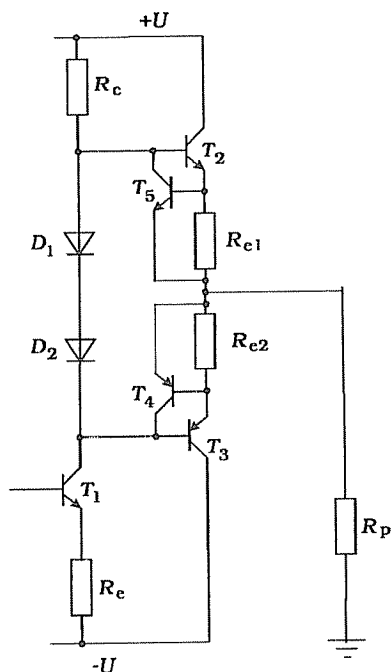
8.17.

На слици 8.17 приказан је излазни степен операционог појачавача са појачавачем великих сигнала. Излазни транзистори раде у класи AB. Одредити отпорности R_{e1} и R_{e2} тако да ограничавају излазну струју на 10 mA. Колика је мирна струја кроз излазни степен када је напон који потиче од улазног сигнала једнак нули? Узети да је напон на PN-споју база-емитор 0,6 V када тече мала струја, а напон на PN-споју диода 0,7 V.

РАД

Отпорност R_e се одређује тако што се праг провођења транзистора T_4 или T_5 подели максималном струјом, која у овом случају износи 10 mA:

$$R_e = \frac{0,6 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 60 \Omega.$$



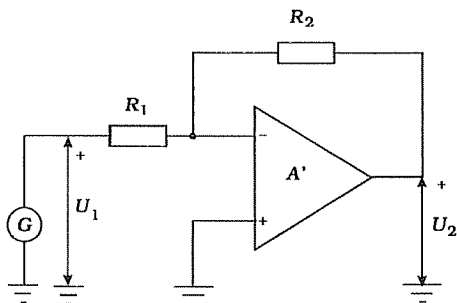
Слика 8.17

Мирна струја која протиче кроз излазне транзисторе у одсуству сигнала ствара напон на отпорнику R_{e1} (или R_{e2}). Напон на горњој диоди је око 0,7 V, а праг провођења транзистора T_2 је око 0,6 V. Разлика ових напона је 0,1 V и тај напон ствара мирна струја на отпорнику R_{e1} . Сада се може израчунати мирна струја:

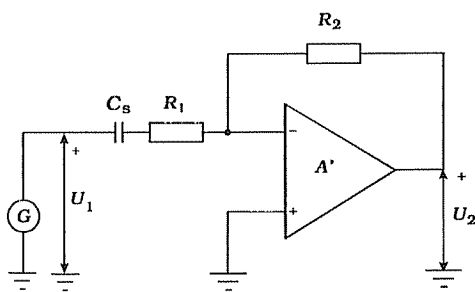
$$I = \frac{0,1 \text{ V}}{60 \Omega} = 1,66 \text{ mA}.$$

8.18.

На слици 8.18а приказан је инвертујући појачавач који служи за појачање наизменичног напона, где је $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, а $R_2 = 200 \text{ k}\Omega$. Грешка због улазног напона раздешености овог појачавача је +2 mV, односно +2 mV од „-“ улаза до масе. а) Шта би се десило да се уклони отпорник R_2 ? б) Колико је напонско појачање овог појачавача? в) Колики је једносмерни напон на излазу појачавача који потиче од овог напона раздешености? г) На слици 8.18б приказан је појачавач који има исте отпорнике, али му се наизменични напон доводи преко кондензатора. Колики је напон на излазу овог појачавача који потиче од његове грешке на улазу ако је она такође 2 mV? г) Како се одређује излазни напон грешке код неинвертујућег појачавача?



Слика 8.18а



Слика 8.18б

РАД

а) Ако се уклони отпорник R_2 и ако је наизменични напон једнак нули, појачавач иде у негативно засићење и излазни напон му је нешто нижи од напона напајања.

б) Појачање овог појачавача је:

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{200 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} = -200.$$

в) Излазни напон који потиче од грешке улазног степена U_{iz} је супротног знака од улазног напона грешке U_{os} . Када се излазни напон врати на улаз, враћени напон на „-“ улазу треба да буде по апсолутној вредности једнак улазном напону грешке (обично се сматра да је унутрашња отпорност генератора занемарљиво мала):

$$U_{iz} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -U_{os} = -2\text{mV}.$$

Одавде се добије U_{iz} :

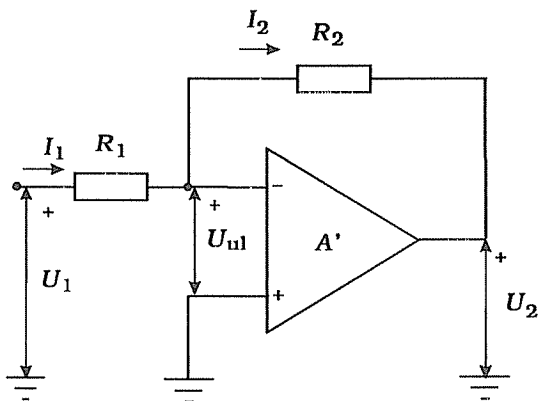
$$U_{iz} = -U_{os} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = -2\text{mV} \cdot \frac{1\text{ k}\Omega + 200\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} = -402\text{ mV}.$$

г) Једносмерна струја не може да тече кроз кондензатор, па се једносмерни излазни напон доводи директно на „-“ улаз. То значи да је у овом случају излазни напон U_{iz} једнак улазном напону грешке, али са супротним знаком: $U_{iz}' = -2\text{mV}$.

д) Излазни напон грешке код неинвертујућег појачавача одређује се на исти начин, јер се напон повратне спреге код појачавача доводи увек на инвертујући улаз.

8.19.

а) Према слици 8.19 израчунати улазни напон U_{ul} између „+“ и „-“ улаза операционог појачавача и струју I_{ul} која улази у „-“ улаз а који потичу од сигнала из генератора (занемарити улазни напон раздешености); појачање појачавача без повратне спреге $A' = 200\,000$, $U_2 = 5\text{ V}$ (ефективна вредност) док је улазна отпорност операционог појачавача $R_{ul}' = 500\text{ k}\Omega$. б) Наћи, такође, напон U_1 и струју I_1 ако је $R_1 = 2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 30\text{ k}\Omega$. в) Колико је пута струја I_1 већа од струје I_{ul} ?



Слика 8.19

РАД

а) Улазни напон U_{ul} који потиче од улазног сигнала добије се када се излазни напон подели појачањем појачавача без повратне спреге:

$$U_{ul} = \frac{U_2}{A'} = \frac{5\text{ V}}{200\,000} = 25\text{ }\mu\text{V}.$$

Струја која улази у „–“ улаз операционог појачавача добије се по Омовом закону:

$$I_{ul} = \frac{U_{ul}}{R_{ul}} = \frac{25 \cdot 10^{-6} \text{ V}}{500\,000 \, \Omega} = 50 \text{ pA}.$$

б) Појачање појачавача је:

$$A = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{30 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = -15.$$

Када се појачава наизменични напон, у већини случајева у пракси предзнак „–“ може да се изостави, јер он само означава обртање фазе.

Појачање овог појачавача је $-R_2/R_1$, па се улазни напон U_1 добије када се излазни напон U_2 подели овим појачањем:

$$U_1 = \frac{U_2}{A} = \frac{5 \text{ V}}{15} = 0,333 \text{ V}.$$

Струја I_1 се добије по Омовом закону:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{0,333 \text{ V}}{2\,000 \, \Omega} = 0,166 \text{ mA}.$$

в) Количник струја I_1 и I_{ul} је:

$$\frac{I_1}{I_{ul}} = \frac{0,166 \text{ mA}}{50 \text{ pA}} = 3\,320\,000.$$

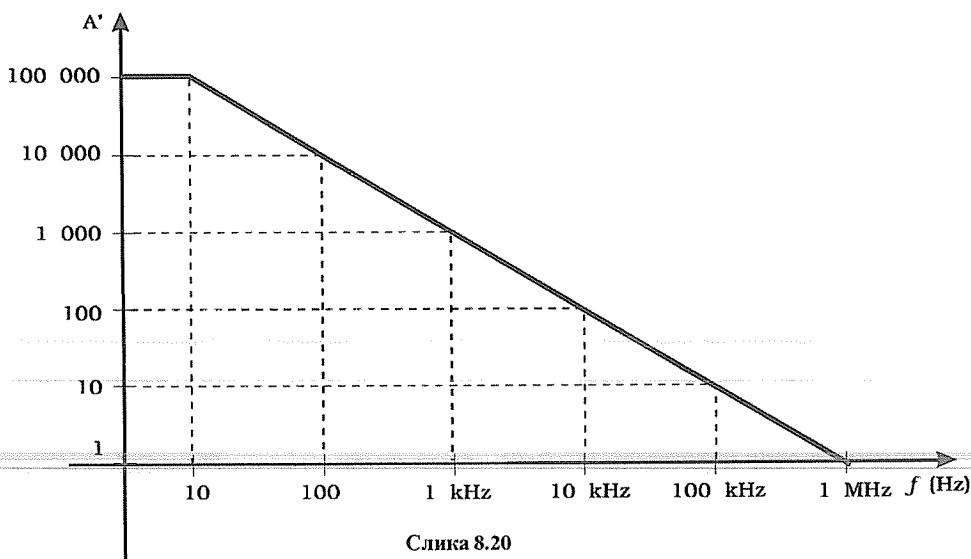
8.20.

а) Израчунати појачање операционог појачавача на следећим учестаностима: 10 Hz, 100 Hz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz. б) Колико износе ова појачања ако се појачање основног појачавача повећа четири пута? Појачање самог операционог појачавача за једносмерни напон износи $-100\,000$, а са повећањем учестаности опада према слици 8.20. Идеално појачање $A = -R_2/R_1 = -50$.

РАД

а) Појачање појачавача са повратном спрегом, које није идеално, износи за једносмерни напон и на 10 Hz:

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{A'} - \frac{R_2}{R_1 A'}} = -50 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{-100\,000} - \frac{50}{-100\,000}} = -49,97.$$



Са дијаграма на слици 8.20 може да се одреди појачање A' на некој учестаности. На 100 Hz $A'=10\,000$, па је $A=-49,74$, на 1 kHz $A'=1\,000$, док је $A=-47,57$, на 10 kHz $A'=100$ и $A=-33,11$, на 100 kHz $A'=10$ и $A=-8,196$, и на 1 MHz $A'=1$ и $A=-0,961$.

б) Ако се узме други примерак операционог појачавача, који има у свим тачкама појачање веће четири пута, ове вредности износе: на 10 Hz појачање са повратном спрегом је $-49,99$, на 100 Hz је $-49,936$, на 1 kHz је $-49,37$, на 10 kHz је $-44,34$, на 100 kHz је $-21,97$ и на 1 MHz је $-3,636$.

8.21.

Нека појачање операционог појачавача без повратне спреге износи A' , а појачање са повратном спрегом A_1 . Ако се појачање без повратне спреге повећа n пута, колико се пута повећа појачање са повратном спрегом A_2 , односно колики је однос A_2/A_1 ? A_0 је модуо појачања идеалног појачавача (R_2/R_1).

РАД

Реално појачање појачавача са повратном спрегом износи:

$$A_1 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{A'} - \frac{R_2}{R_1 A'}} = -A_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{A'} - \frac{A_0}{A'}}$$

Појачање појачавача код којег се појачање A' повећало n пута је:

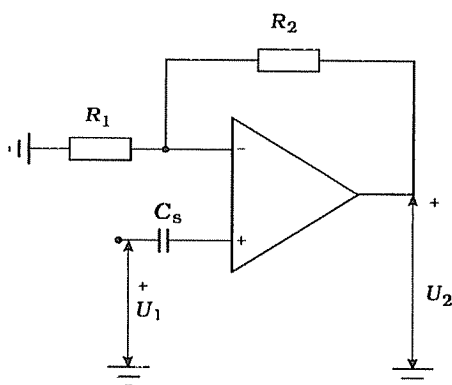
$$A_2 = -A_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{nA'} - \frac{A_0}{nA'}}$$

Дељењем ове две једначине добије се:

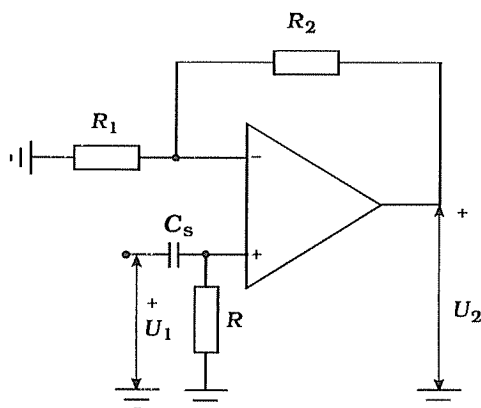
$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{n} \cdot \frac{nA' - 1 - A_0}{A' - 1 - A_0}.$$

8.22.

На слици 8.22 приказан је неинвертујући појачавач за наизменичну струју. а) Зашто овај појачавач не може да ради? б) Зашто појачавач са слике 8.22б може да ради?



Слика 8.22а



Слика 8.22б

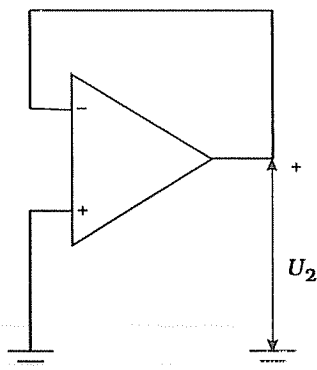
РАД

а) На улазима операционог појачавача налазе се базе улазних транзистора и у те базе морају да улазе једносмерне струје да би појачавач уопште радио. На слици 8.22а налази се на улазу кондензатор кроз који једносмерна струја не може да тече.

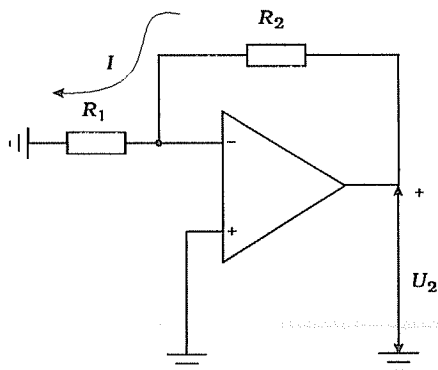
б) На слици 8.22б између „+” улаза и масе је прикључен отпорник и кроз њега тече побудна струја операционог појачавача. Отпорност овог отпорника представља директно улазну отпорност појачавача за наизменичну струју.

8.23.

а) Објаснити како се помоћу кола на слици 8.23а може мерити улазни напон раздешености. Колико износи грешка мерења због тога што излазни напон није једнак нули, као што се тражи по дефиницији? б) Како се може измерити улазни напон раздешености који је сувише низак ($2\mu V$) и не би се могао измерити стандардним инструментима?



Слика 8.23а



Слика 8.23б

РАД

а) По дефиницији, улазни напон раздешености је једнак напону који треба довести на улаз појачавача да би излазни напон био једнак нули. У овом случају је излазни напон једнак напону који је доведен на „-“ улаз операционог појачавача. Нека је улазни напон раздешености 2 mV , а толики је и напон U_2 . Мерењем напона U_2 код јединичног појачавача, мери се напон раздешености. Види се да излазни напон није једнак нули, али је занемарљиво мали у односу на остале напоне у појачавачу. Разлика правог напона раздешености и напона који је враћен на „-“ улаз појачана појачањем појачавача A' даје излазни напон U_2 . Ова разлика се добије када се излазни напон U_2 подели појачањем појачавача A' .

$$\Delta U = \frac{U_2}{A'} = \frac{2 \text{ mV}}{100\,000} = 20 \text{ nV}.$$

У процентима ова грешка износи:

$$\varepsilon(\%) = \frac{20 \text{ nV}}{2 \text{ mV}} = 10^{-5} \cdot 100 \% = 0,001 \ %.$$

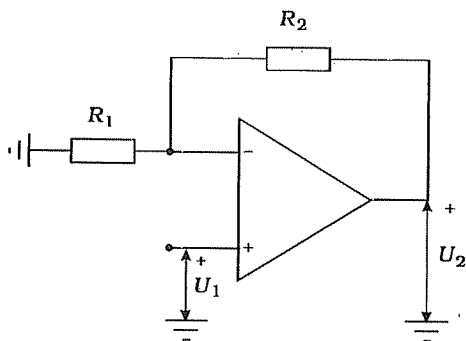
б) Ако је напон раздешености сувише низак (на пример $2 \mu\text{V}$ код операционих појачавача са аутоматским подешавањем нуле), не може се измерити стандардним инструментима (на пример стандардним дигиталним мултиметром, који обично може да мери најмање $100 \mu\text{V}$). У овом случају треба овај напон појачати самим операционим појачавачем као на слици 8.23б. Нека је $R_1 = 100 \ \Omega$, а $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$. Појачање овог појачавача је приближно $10\,000$, па од улазног напона раздешености од $2 \mu\text{V}$ добијемо на излазу напон 20 mV . Овај напон се може мерити стандардним инструментима и његову вредност у овом случају треба поделити са $10\,000$.

8.24.

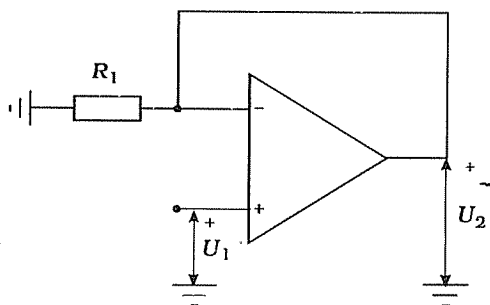
а) Колико износи појачање појачавача на слици 8.24а? б) Колико појачавача на слици 8.24б? в) Колико на слици 8.24в?

РАД

Појачање појачавача на слици 8.24а је: $A=(R_1+R_2)/R_1$, на слици 8.24б је 1 јер је $(R_1+0)/R_1=1$, на слици 8.24в је такође 1, јер је $(\infty+R_2)/\infty=1$



Слика 8.24а



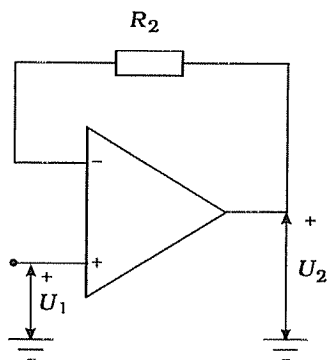
Слика 8.24б

8.25.

На слици 8.25 приказано је коло за сабирање напона са истим коефицијентима, где је $R_1=R_2=R_3=1\text{ k}\Omega$, $R_0=3\text{ k}\Omega$, $U_1=2\text{ V}$, $U_2=3\text{ V}$ и $U_3=-4\text{ V}$. Колики је излазни напон?

РАД

Изразни напон у овом случају износи:



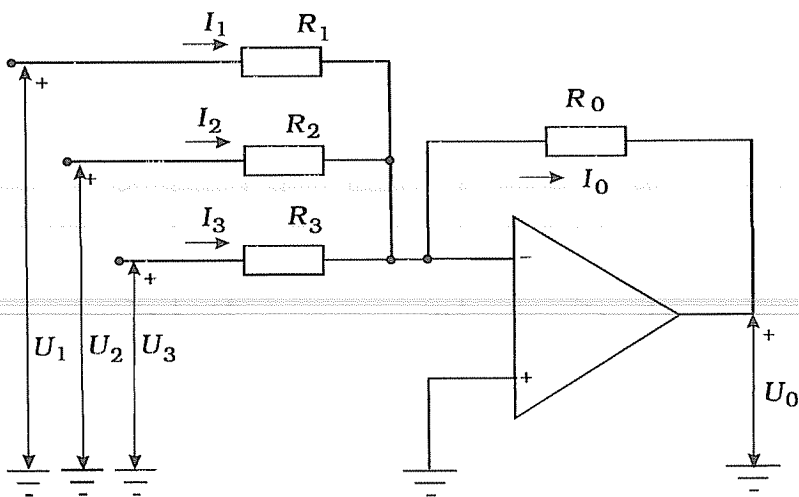
Слика 8.24в

$$U_0 = -\frac{R_0}{R} (U_1 + U_2 + U_3) = -\frac{3\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega} \cdot (2\text{ V} + 3\text{ V} - 4\text{ V}) = -3\text{ V}.$$

8.26.

Коло приказано на слици 8.25 може да послужи за сабирање напона са различитим коефицијентима, односно може да послужи као мешач сигнала (миксета) код музичких уређаја. Нека је напон $U_1=2\text{ mV}$, $U_2=8\text{ mV}$, $U_3=4\text{ mV}$,

$R_0=50\text{ k}\Omega$. Израчунати отпорности R_1 , R_2 и R_3 тако да допринос сва три сигнала буде исти (по 50 mV) у излазном напону U_0 . Колики је излазни напон ако су улазни напони различитих учестаности и фаза?



Слика 8.25

РАД

Овде се ради о наизменичним напонима, тако да њихов предзнак није важан. Када се напон U_1 (2 mV) појача R_0/R_1 пута, треба да се добије 50 mV , што значи да треба да се појача $R_0/R_1=50\text{ mV}/2\text{ mV}=25$ пута. Одавде се добије: $R_1=R_0/25=50\text{ k}\Omega/25=2\text{ k}\Omega$. На исти начин се одређују остале отпорности. Појачање другог напона је $50\text{ mV}/8\text{ mV}=6,25$. Сада је $R_2=R_0/6,25=50\text{ k}\Omega/6,25=8\text{ k}\Omega$. Појачање трећег напона је $50\text{ mV}/4\text{ mV}=12,5$, док је $R_3=R_0/12,5=50\text{ k}\Omega/12,5=4\text{ k}\Omega$. Овде треба нагласити да излазни напон неће бити 150 mV , јер се ради о сабирању наизменичних напона различитих учестаности и фаза. Приближно, излазни напон се добије као корен из збира квадрата појединих напона (види поглавље – Шумови):

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = \sqrt{3 \cdot (50 \cdot 10^{-3}\text{ V})^2} = 86,6\text{ mV}.$$

8.27.

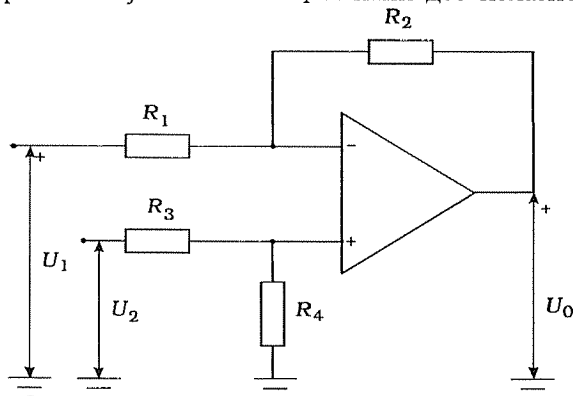
На сл 8.27а приказано је коло за одузимање напона. Извести израз за излазни напон ако су све отпорности различите и ако се напони одузимају са различитим коефицијентима. Под којим условом је излазни напон сразмеран разлици улазних напона (тада се одузимање обавља са истим коефицијентима)?

РАД

Овај проблем је најлакше решити примењујући принцип суперпозиције равнотежних стања у колу. Најпре се напон U_2 кратко споји и нађе део излазног напона који потиче само од напона U_1 према слици 8.27б. Ово коло представља инвертујући појачаваач чије је појачање $-R_2/R_1$. Део излазног напона који потиче од улазног напона U_1 добије се када се овај напон помножи појачањем $-R_2/R_1$:

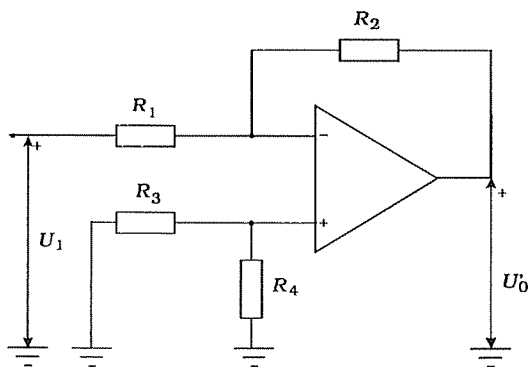
$$U_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_1.$$

Сада треба кратко спојити напон U_1 и наћи део излазног напона који

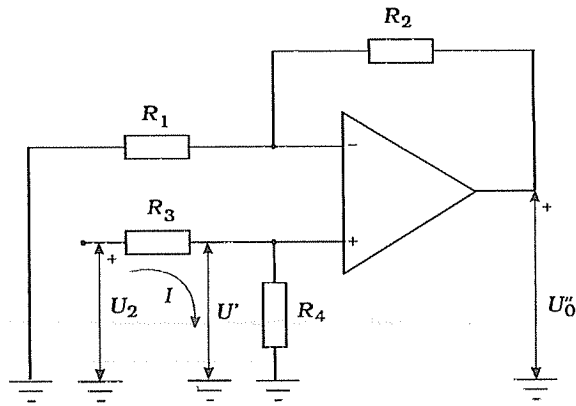


Слика 8.27а

потиче од улазног напона U_2 . На слици 8.27в обележена је струја I која протиче кроз отпорнике R_3 и R_4 . Ова струја износи: $I = U_2/(R_3 + R_4)$. Напон U' се добије када се ова струја помножи отпорношћу R_4 :



Слика 8.27б



Слика 8.27в

$$U' = \frac{U_2 R_4}{R_3 + R_4}.$$

Овај напон се појачава неинвертујућим појачавачем, па се добије компонента излазног напона која потиче од улазног напона U_2 :

$$U''_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_2.$$

Укупан напон U_0 се добије сабирањем компоненти U'_0 и U''_0 :

$$U_0 = U' + U'' = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1.$$

Из овог израза се види да је могуће одузимати напоне са различитим коефицијентима, односно напони се при одузимању различито појачају.

Израз за одузимање напона са истим коефицијентима је познат (види *Електронику II*) и износи:

$$U_0 = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1).$$

Упоређујући ову једначину са претходном долази се до закључка да да се одузимање са истим коефицијентима може извести и са различитим отпорницима ако израз уз U_2 постане једнак изразу уз U_1 :

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Одавде се добије:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}.$$

U_{21}

8.28.

Израчунати излазни напон на излазу кола за одузимање ако је $U_1=3\text{ V}$, а $U_2=5\text{ V}$, $R_1=2\text{ k}\Omega$ и $R_2=6\text{ k}\Omega$.

РАД

Појачање напона је $R_2/R_1=6\text{ k}\Omega/2\text{ k}\Omega=3$. Излазни напон је: $U_0=3(5\text{ V}-3\text{ V})=6\text{ V}$.

8.29.

Израчунати излазни напон U_0 код кола на слици 8.27а ако је $U_1=50\text{ mV}$, $U_2=55\text{ mV}$, $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=20\text{ k}\Omega$, $R_3=30\text{ k}\Omega$ и $R_4=40\text{ k}\Omega$.

РАД

Излазни напон је:

$$U_0 = \frac{40\text{ k}\Omega}{30\text{ k}\Omega + 40\text{ k}\Omega} \cdot \frac{10\text{ k}\Omega + 20\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega} \cdot 55\text{ mV} - \frac{20\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega} \cdot 50\text{ mV} = -5,71\text{ mV}.$$

8.30.

Дато је коло за одузимање напона (слика 8.27а), чији отпорници нису потпуно једнаки, него је: $R_2/R_1=10$, $R_4/R_3=9,99$. Наћи диференцијално појачање, симетрично појачање и фактор потискивања симетричних сигнала ако су улазни напони: $U_1=2\text{ V}$ а $U_2=2,5\text{ V}$.

РАД

У овом случају користи се једначина за неједнаке отпорности кола за одузимање напона.

$$U_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1.$$

Према задатим подацима може се написати: $R_2=10R_1$ и $R_4=9,9R_3$. Када се ове вредности замене у једначину за излазни напон код неједнаких отпорника, добије се:

$$U_0 = \frac{9,9R_3}{R_3 + 9,9R_3} \cdot \frac{R_1 + 10R_1}{R_1} \cdot 2,5\text{ V} - \frac{10R_1}{R_1} \cdot 2\text{ V}.$$

У овој једначини могу се скратити величине R_3 и R_1 , па се добије $U_0=4,97\text{ V}$. Диференцијално појачање се добије када се излазни напон подели разликом улазних напона:

$$U_0 = \frac{U_2 - U_1}{U_2 - U_1} \cdot (R_1 + R_2) \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$A_d = \frac{4,97 \text{ V}}{0,5 \text{ V}} = 9,954.$$

Средња вредност улазних напона је 2,25 V. Излазни напон који потиче од средње вредности улазних напона добије се када се ова вредност замени у једначину за израчунавање излазног напона U_s :

$$U_s = \frac{9,9R_3}{R_3 + 9,9R_3} \cdot \frac{R_1 + 10R_1}{R_1} \cdot 2,25 \text{ V} - \frac{10R_1}{R_1} \cdot 2,25 \text{ V} = -0,00917 \text{ V}.$$

Када се овај напон подели средњом вредношћу улазних напона, добије се симетрично појачање A_s :

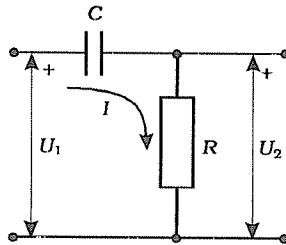
$$A_s = \frac{-0,00917 \text{ V}}{2,25 \text{ V}} = -0,00407.$$

Фактор потискивања симетричних сигнала дат је изразом:

$$\delta = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_s} \right| = 20 \log \frac{9,954}{0,00407} = 67,75 \text{ dB}.$$

8.31.

На слици 8.31a приказано је пасивно коло за диференцирање, које се најчешће употребљава за добијање краткотрајних импулса од правоугаоног напона. Одредити колики део улазног напона преостане на излазу на крају импулса ако је $RC = T/5$. Овде T није периода него време трајања импулса.



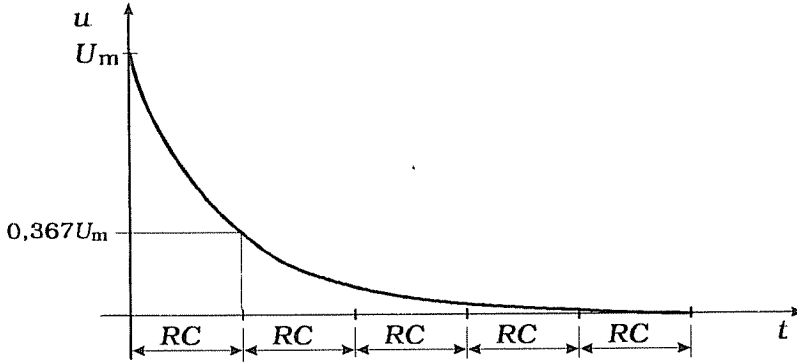
Слика 8.31a

РАД

Видели смо у предмету *Основе електротехнике* да за време које одговара временској константи RC кондензатор се напуни на $(1 - 1/e) = 0,632$ од максималне вредности, док на отпорнику остане 0,367 од максималне вредности прикљученог напона. Ако је $RC = T/5$, за $T/5$ излазни напон износи 0,367 улазног напона, тј. $U_2 = 0,367U_1$. За следећих $T/5$ напон опадне на 0,367 од неке вредности ($U_2 = 0,367U_1$), па сада напон U_2 износи: $U_2 = 0,367 \cdot 0,367U_1 = 0,1345U_1$. После $T = 5RC$, добије се:

$$U_2 = 0,367^5 U_1 = 0,00665 U_1.$$

Ова зависност напона U_2 од времена приказана је на слици 8.31б.



Слика 8.31б

8.32.

Наћи капацитивност кондензатора у колу за диференцирање које је приказано на слици 8.31а ако се на улаз доводе квадратни импулси (код квадратних импулса трајање импулса и паузе је једнако) учестаности $f=20 \text{ kHz}$, док је отпорност отпорника $R=10 \text{ k}\Omega$.

РАД

Ако је учестаност квадратних импулса $f=20 \text{ kHz}$, периода је:

$$T_i = \frac{1}{f} = \frac{1}{20\,000 \text{ Hz}} = 50 \mu\text{s}.$$

Кондензатор се може пунити само за време половине ове периоде, па је време трајања импулса $25 \mu\text{s}$. Капацитивност се одређује из неједнакости $RC \ll T_i/2$. У овом случају RC треба да буде мање од T бар пет пута, па је $RC < T_i/10$. Одавде је капацитивност једнака:

$$C = \frac{T}{10R} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{10 \cdot 10 \cdot 10^3 \Omega} = 500 \text{ pF}.$$

8.33.

Наћи отпорност код кола за диференцирање на слици 8.32 ако му се на улаз доводе квадратни импулси учестаности $f=100 \text{ kHz}$ и ако је $C=10 \text{ nF}$.

РАД

И овде ћемо усвојити да буде $RC = T_i / (2 \cdot 5) = \frac{1}{10f}$. Одавде се добије отпорност R :

$$R = \frac{1}{10fC} = \frac{1}{10 \cdot 100 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 100 \, \Omega.$$

8.34.

Пасивно коло за диференцирање на слици 8.31а може да послужи као високофреквенцијски филтар који слаби ниске учестаности а пропушта високе. На ниским учестаностима импеданса кондензатора је велика, па мали део улазног напона буде прослеђен на излаз. На високим учестаностима је импеданса кондензатора мала, па је излазни напон практично једнак улазном. Наћи граничну учестаност до које напон слаби и од које се сматра да не слаби.

РАД

У електроници се сматра граничном учестаношћу њена вредност где излазни напон опадне $\sqrt{2}$ пута у односу на улазни. Преносни однос овог кола у комплексном облику је:



$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{R \underline{I}}{(R + \frac{1}{j\omega CR}) \underline{I}} = \frac{Rj\omega CR}{1 + j\omega CR}.$$

На високим учестаностима је $j\omega CR \gg 1$, па је $\underline{U}_2 / \underline{U}_1 \approx 1$. Модуо израза за преносни однос треба да има вредност $1/\sqrt{2}$ на граничној учестаности:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Одавде се добије: $\omega = 2\pi f = 1/RC$, а учестаност:

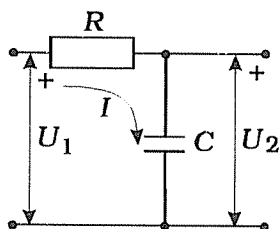
$$f = \frac{1}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \, \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \, \text{pF}} = 3,183 \text{ kHz}.$$

8.35.

На слици 8.35 приказано је пасивно коло за интеграљење, на чији се улаз доводе квадратни импулси учестаности 10 kHz.

а) Одредити отпорност R ако је $C = 100 \text{ nF}$.

б) Пасивно коло за интеграње може да ради као нискофреквенцијски филтар који слаби сигнале високе учестаности а пропушта без слабљења сигнале ниских учестаности. Наћи граничну учестаност овог филтра. Наћи фазни померај на високим учестаностима где је $\omega RC \gg 1$.



Слика 8.35

РАД

а) Периода овог сигнала се добије из једначине:

$$T_i = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3 \text{ Hz}} = 10^{-4} \text{ s.}$$

Отпорност се одређује из неједначине $RC > 5T$, где је T време трајања импулса (у овом случају $T = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$). Ако се усвоји да је $RC = 5T$, отпорност R износи:

$$R = \frac{5T}{C} = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}}{100 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 2,5 \text{ k}\Omega.$$

б) Гранична учестаност до које овај филтар пропушта синусне сигнале одређује се из преносног односа $\underline{U}_2/\underline{U}_1$. На слици 8.35 се види да је преносни однос једнак:

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{I \cdot \frac{1}{j\omega C}}{I(R + \frac{1}{j\omega C})} = \frac{1}{1 + j\omega RC}.$$

На ниским учестаностима је $\omega RC \ll 1$, па овај израз постаје приближно једнак јединици. Гранична учестаност се одређује из услова да модуло овог израза постане $1/\sqrt{2}$:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Одавде се добије:

$$\omega = \frac{1}{RC},$$

док је учестаност f :

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 7957 \text{ Hz}.$$

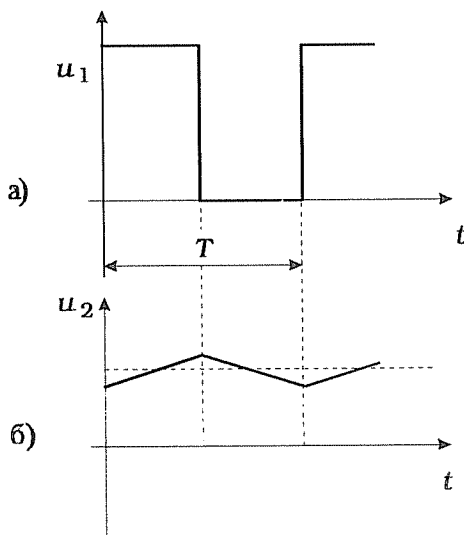
На високим учестаностима израз за преносни однос постаје приближно $1/j\omega RC$, што значи да је $\underline{U}_2 = \underline{U}_1 / j\omega CR$. Из овог израза видимо да је напон $\underline{U}_2$ померен за 90° иза напона $\underline{U}_1$, јер „j” означава померај фазе за 90° .

8.36.

Одредити опадање напона до краја паузе између импулса квадратног напона за коло на слици 5.35 ако је $RC = 5T$, где је T пауза између импулса. Напон на крају пуњења кондензатора је U_m . Узети да напон приближно линеарно опада, односно да је струја пражњења кондензатора приближно константна. Наћи за колико се повиси напон за време пуњења кондензатора.

РАД

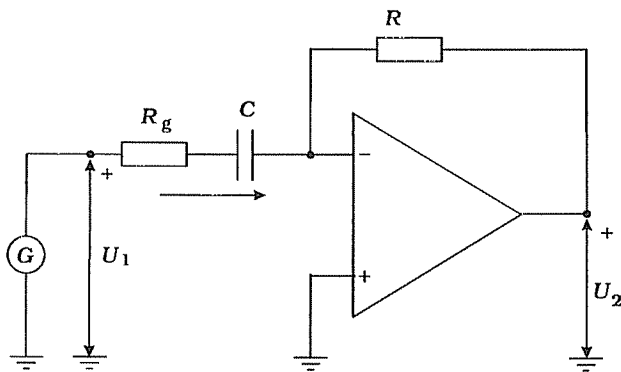
Овај проблем се решава на исти начин као у задатку 2.19, и добије се да је напон опао за приближно 20 %. Пуњењем кондензатора напон се повећа такође за 20 %. Пуњење и пражњење кондензатора је приказано на слици 8.36.



Слика 8.36

8.37.

На слици 8.37 приказано је активно коло за диференцирање. Одредити R и C тако да временска константа пуњења и пражњења кондензатора буде пет пута мања од времена трајања импулса и да максимална вредност излазног напона буде 10 V. Улазни напон је квадратни, амплитуде 0,2 V и учестаности 10 kHz, док је унутрашња отпорност генератора $R_g = 50 \Omega$.



Слика 8.37

РАД

Временска константа пуњења и пражњења кондензатора не зависи од отпорности R него од унутрашње отпорности генератора R_g , јер се „–“ улаз налази на привидној маси и струја пуњења тече од генератора ка привидној маси. Капацитивност C износи:

$$C = \frac{T}{5R_g} = \frac{T_i}{2 \cdot 5 \cdot R_g} = \frac{1}{10fR_g} = \frac{1}{10 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 50 \Omega} = 0,2 \mu\text{F},$$

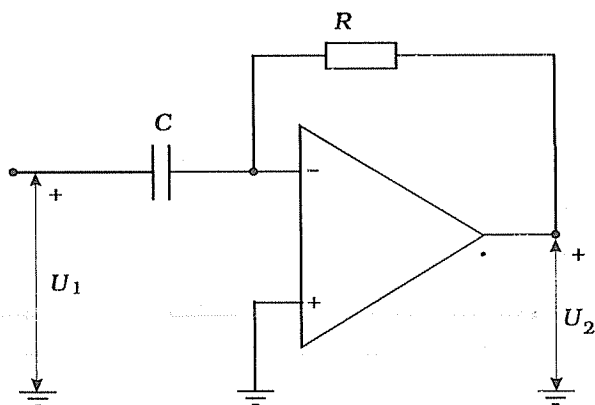
где је T периода сигнала, а T_i време трајања импулса.

У тренутку пораста импулса кондензатор је кратак спој, па је појачање овог појачавача $-R/R_g = U_2/U_1$. Одавде се добије R :

$$R = R_g \cdot \frac{U_2}{U_1} = 50 \Omega \cdot \frac{10 \text{ V}}{0,2 \text{ V}} = 2500 \Omega.$$

8.38.

Одредити отпорност R активног кола за диференцирање (слика 8.38a) тако да се од улазног троугаоног напона амплитуде 2 V и учестаности 5 kHz добије правоугаони излазни напон амплитуде 4 V. Капацитивност је: $C = 10 \text{ nF}$.



Слика 8.38а

РАД

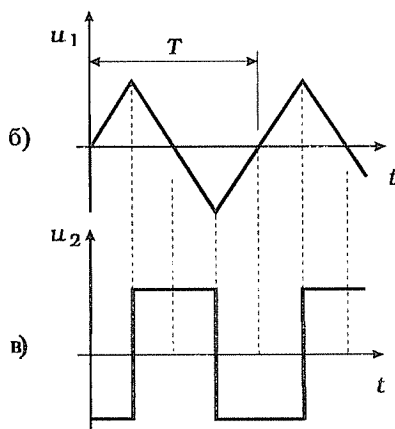
Периода троугаоног напона израчунава се из учестаности:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5\,000\text{ Hz}} = 200\text{ }\mu\text{s}.$$

Пораст напона од нуле до максималне вредности траје четвртину периода (слика 8.38б) и износи $50\text{ }\mu\text{s}$.

Струја пуњења кондензатора код овог кола је (види *Електронику II*):

$$I = \frac{C\Delta U}{\Delta t} = \frac{U_2}{R}.$$



Слика. 8.38б и в

Овде су узете само апсолутне вредности. Одавде се добије отпорност R :

$$R = \frac{U_2 \Delta t}{\Delta UC} = \frac{4 \text{ V} \cdot 50 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{2 \text{ V} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 10 \text{ k}\Omega.$$

8.39.

Изрaчунати капацитивност активног кола за диференцирање (слика 8.38) тако да модуо појачања буде једнак 1. Нацртати зависност појачања од учестаности док појачавач не оде у засићење. Одредити учестаност када почиње изобличење излазног напона. Излазни напон засићења је $\pm 13 \text{ V}$, а улазни напон је синусни, ефективне вредности $U_1 = 100 \text{ mV}$. Остале потребне величине имају вредности: $R = 1 \text{ k}\Omega$ и $f = 1 \text{ kHz}$.

РАД

Појачање овог кола се рачуна као и код инвертујућег појачавача, само овде не постоји отпорник R_1 , него импеданса кондензатора. Појачање је једнако:

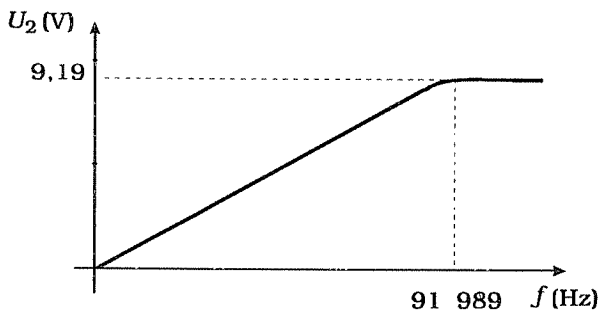
$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = - \frac{R}{\frac{1}{j\omega C}} = -j\omega RC.$$

Ако модуо појачања треба да има вредност 1, ωRC треба да буде 1. Из овог услова добије се:

$$C = \frac{1}{\omega R} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 10^3 \Omega} = 0,159 \mu\text{F}.$$

Ознака „j” испред израза означава да је фазни померај 90° , па укупан фазни померај износи -90° . Из израза за појачање добије се зависност модула напона U_2 од напона U_1 : $U_2 = U_1 \omega RC$. Из ове једначине се види да напон U_2 линеарно зависи од напона U_1 и ова зависност приказана је на слици 8.39. Амплитуда излазног напона може да буде максимално 13 V , док му је ефективна вредност $13 \text{ V} / \sqrt{2} = 9,19 \text{ V}$. Модуо појачања може максимално да буде:

$$|A| = \omega RC = \frac{U_2}{U_1} = \frac{9,19 \text{ V}}{100 \cdot 10^{-3} \text{ V}} = 91,9.$$



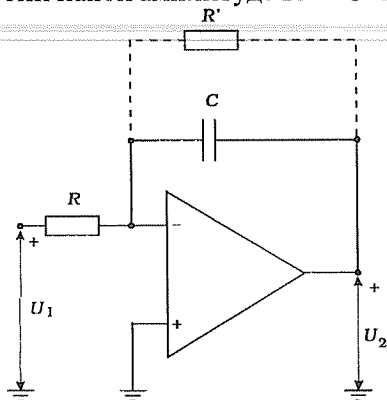
Слика 8.39

Одавде се добије учестаност f код које појачаваач почиње да иде у засићење:

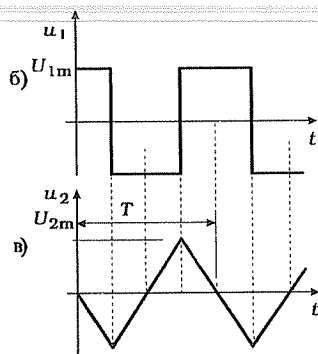
$$f = \frac{91,9}{2\pi RC} = \frac{91,9}{2\pi \cdot 10^3 \Omega \cdot 0,159 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 91,989 \text{ kHz.}$$

8.40.

На слици 8.40а приказано је активно коло за интеграљење, које у овом случају претвара квадратни напон у троугаони. На улаз овог кола доводи се квадратни наизменични напон амплитуде 5 V, а на излазу се добије троугаони напон амплитуде 10 V. Остале величине су: $R=10 \text{ k}\Omega$ и $f=2 \text{ kHz}$. Одреди-



Слика 8.40а



Слика 8.40б и в

ти капацитивност кондензатора и отпорност R' за пражњење кондензатора ако је $R'C=10T$.

РАД

Периода импулса је:

$$T_i = \frac{1}{f} = \frac{1}{2000 \text{ Hz}} = 0,5 \text{ ms.}$$

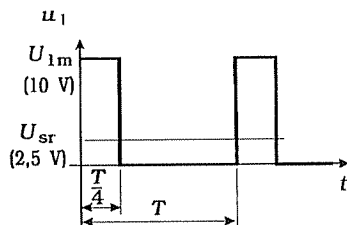
Кондензатор се пуни четвртину периоде, односно $125 \mu\text{s}$. Капацитивност се добије из једначине:

$$C = \frac{U_{1m} \Delta t}{R \Delta U_2} = \frac{5 \text{ V} \cdot 125 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \text{ V}} = 6,25 \text{ nF,}$$

$$R' = \frac{10T}{C} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{6,25 \cdot 10^{-9} \text{ F}} \approx 800 \text{ k}\Omega.$$

8.41.

Одабрати елементе активног кола за интеграљење (слика 8.40а) тако да му се на излазу добије средња вредност улазног напона приказаног на слици 8.41 ако је отпорност $R=1\text{ k}\Omega$ и $f=1\text{ kHz}$. Узе-ти да је напон на кондензатору прибли-жно константан и да је струја пражњења кроз отпорност R' такође константна.



Слика 8.41

РАД

У принципу, ако се на улаз активног кола за интеграљење доводи једно-смерни напон, он одлази у засићење. Ако се елементи кола погодено одаберу, кондензатор се празни кроз отпорност R' и излаз појачавача не иде у засиће-ње.

Најпре треба наћи средњу вредност напона на слици 8.41. Када се напон распореди равномерно на целу периоду, добије се $U_{1m}/4=10\text{ V}/4=2,5\text{ V}$.

Струја која тече ка улазу операционог појачавача и пуни кондензатор је:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10\text{ V}}{10\text{ k}\Omega} = 1\text{ mA}.$$

Трајање импулса је $T/4=0,25\text{ ms}$. Количина електрицитета која дође на кондензатор током трајања импулса је:

$$Q_{pu} = \Delta I_{pu} = 0,25\text{ ms} \cdot 1\text{ mA} = 0,25\text{ }\mu\text{C}.$$

Струја пражњења тече кроз отпорност R' током целе периоде и прибли-жно је константна; добије се по Омовом закону: $I_{pr}=U_{sr}/R'$. Количина електрицитета која се испразни кроз отпорност R' је:

$$Q_{pr} = I_{pr}T = \frac{U_{sr}}{R'} \cdot T.$$

Када се ове две количине електрицитета изједначе, добије се:

$$\frac{I_{pu}T}{4} = \frac{U_{sr}T}{R'}.$$

Одавде се добије R' :

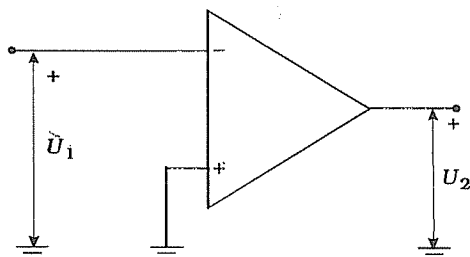
$$R' = \frac{4U_{sr}}{I_{pu}} = \frac{2,5\text{ V} \cdot 4}{10^{-3}\text{ mA}} = 10\text{ k}\Omega.$$

Сада треба наћи капацитивност кондензатора. Она се тражи из услова да је временска константа $R'C$ већа бар пет пута од времена трајања паузе: $RC > 5 \cdot 3T/4$.

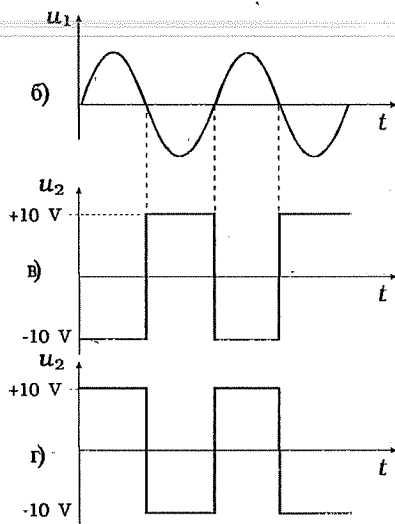
$$C = \frac{5 \cdot 3T}{4R} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{4 \cdot 10 \cdot 10^3 \Omega} = 0,375 \mu\text{F}.$$

8.42.

На слици 8.42а приказан је напонски компаратор са операционим појачавачем, који упоређује улазни напон са масом. Нека је излазни напон засиће-



Слика 8.42а



Слика 8.42б, в и г

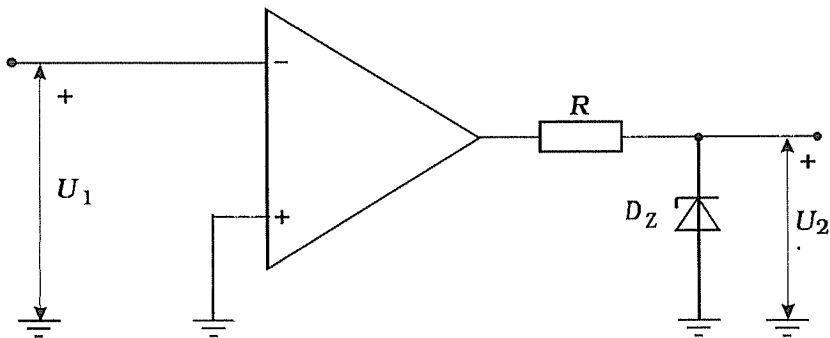
ња операционог појачавача $\pm 10 \text{ V}$. Нацртати излазни напон у функцији времена, ако улазни напон има облик као на слици 8.42б. Какав се напон добије на излазу, ако се улазни напон доведе на „+” улаз, док се „-” улаз уземљи?

РАД

На слици 8.42в приказан је излазни напон када се улазни напон доведе на „-” улаз, а на слици 8.42г када се улазни напон доведе на „+” улаз.

8.43.

Конструисати напонски компаратор са операционим појачавачем излазног напона засићења $\pm 10 \text{ V}$, са чијег излаза се може напон водити директно на улаз логичких *TTL* кола. Излазни напон треба буде приближно од $-0,7 \text{ V}$



Слика 8.43

до $+5\text{ V}$, а излазна отпорност $500\ \Omega$. Улазни напон је синусни и код његове негативне полупериоде излазни напон треба да одговара напону логичке јединице, а код позитивне напону логичке нуле.

РАД

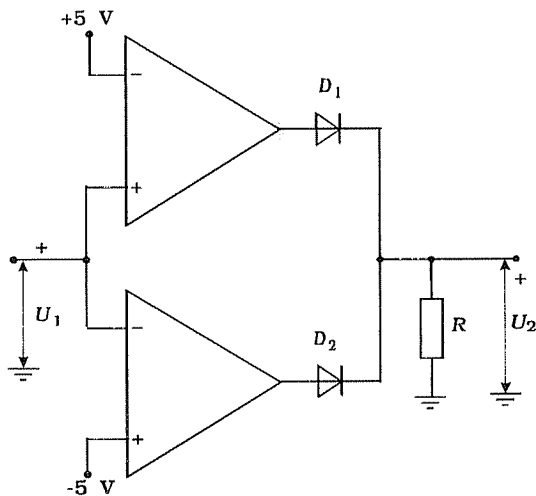
Видимо да на излаз операционог појачавача треба ставити ограничавач са Ценеровом диодом која ограничава позитиван излазни напон на $+5\text{ V}$. Излазна отпорност компаратора је једнака $500\ \Omega$, јер је излазна отпорност операционог појачавача знатно мања. Компаратор са ограничавачем приказан је на слици 8.43.

8.44.

Конструисати напонски компаратор који даје на излазу позитиван напон засићења у случајевима када је улазни напон виши од $+5\text{ V}$ и нижи од -5 V . Између ове две границе излазни напон треба да буде једнак нули. Нацртати излазни напон када се на улаз доводи синусни напон амплитуде 10 V .

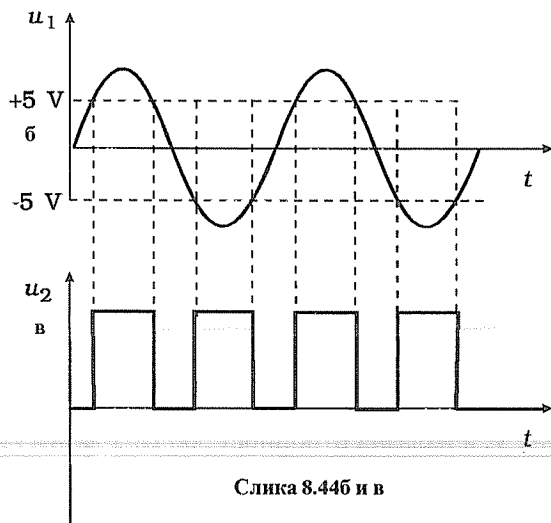
РАД

На слици 8.44 приказан је овај ограничавач. Када је улазни напон нижи од $+5\text{ V}$, излаз горњег компаратора налази се у негативном засићењу, јер је напон на „-“ улазу виши и диода D_1 не проводи, а $U_2=0$. Када улазни напон



Слика 8.44а

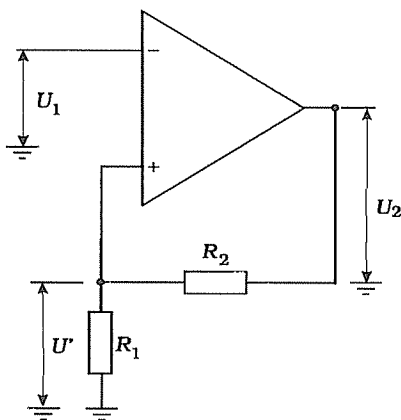
пређе преко $+5\text{ V}$, излаз горњег компаратора прелази у позитивно засићење; диода D_1 проводи и излазни напон је позитиван. Код доњег компаратора излаз прелази у позитивно засићење када улазни напон опадне испод -5 V , јер тада напон на „-“ улазу постаје нижи од доњег референтног напона. Отпорник служи за повезивање излазног краја са масом када су обе диоде непроводне. Без овог отпорника се не би знало на којем се потенцијалу налази излаз. Излазни напон приказан је на слици 8.44в.



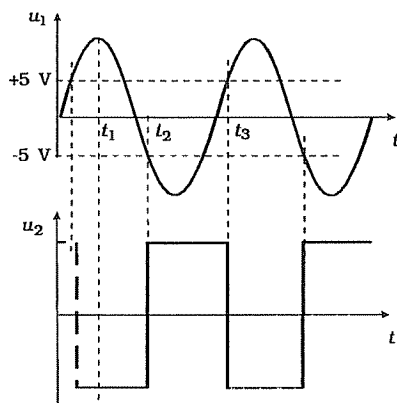
Слика 8.44б и в

8.45.

Израчунати елементе Шмитовог окидног кола према слици 8.45а тако да му окидни нивои буду $\pm 5\text{ V}$, док му је излазни напон засићења операционог појачавача $\pm 12\text{ V}$, а отпорност R_1 је $1\text{ k}\Omega$. Нацртати излазни напон, ако му се на улаз доводи синусни напон амплитуде $\pm 10\text{ V}$.



Слика 8.45а



Слика 8.45б

РАД

На слици 8.45а приказано је Шмитово окидно коло у основном облику. Референтни напон је део излазног напона и он износи:

$$U_r = \frac{U_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

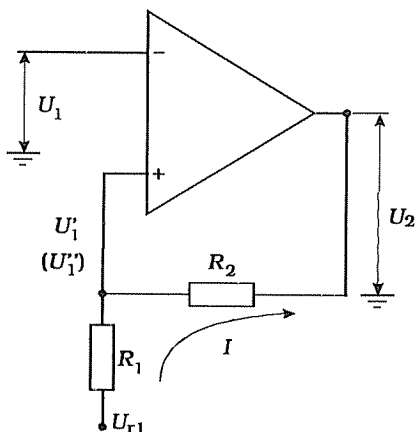
Одавде се добије отпорност R_2 :

$$R_2 = \left(\frac{U_2}{U_r} - 1 \right) \cdot R_1 = \left(\frac{12 \text{ V}}{5 \text{ V}} - 1 \right) \cdot 1000 \Omega = 1,4 \text{ k}\Omega.$$

Излазни напон приказан је на слици 8.45б.

8.46.

Наћи отпорност R_2 и референтни напон U_{r1} Шмитовог окидног кола које треба да ради као двоположајни регулатор температуре. Он треба да укључи грејач позитивним излазним напонам када улазни напон опадне на $U'_1 = +9,5 \text{ V}$, а да га искључи када улазни напон порасте на $U''_1 = +10 \text{ V}$. Познате су величине: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ и излазни напон засићења је $\pm 13 \text{ V}$, где је $U'_2 = +13 \text{ V}$, а $U''_2 = -13 \text{ V}$.



Слика 8.46

РАД

Излаз операционог појачавача прелази у позитивно засићење када улазни напон пређе преко $9,5 \text{ V}$, док код $+10 \text{ V}$ прелази у негативно засићење. У првом случају кроз отпорнике тече струја I_1 , а у другом I_2 . Струја I_1 тече од позитивног краја напона U_{r1} кроз отпорности R_1 и R_2 ка позитивном крају напона U_2 . У овом случају постоје две непознате, R_2 и U_{r1} , па је потребно написати две једначине. Прва једначина показује да је струја кроз отпорност R_1 једнака струји кроз отпорност R_2 при напону U'_1 на „+” и „-” улазу операционог појачавача (напон између „+” и „-” улаза операционог појачавача је занемарљиво низак док он ради као појачавач; када појачавач одлази у засићење, овај напон може да буде висок). Када је улазни напон нижи од напона U'_1 , излаз се налази у позитивном засићењу и овај излазни напон је означен са U'_2 :

$$\frac{U_{r1} - U'_1}{R_1} = \frac{U'_1 - U'_2}{R_2}.$$

Друга једначина се пише на исти начин али када је улазни напон U''_1 и излазни напон U''_2 :

$$\frac{U_{r1} - U''_1}{R_1} = \frac{U''_1 - U''_2}{R_2}.$$

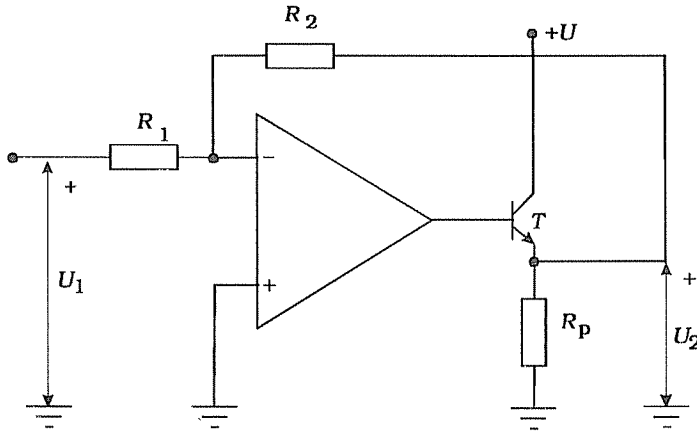
Из ове две једначине добије се отпорност R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1(U'_1 - U'_2 - U''_1 + U''_2)}{U''_1 - U'_1} = \frac{1\,000\,\Omega[10\,\text{V} - 13\,\text{V} - 9,5\,\text{V} + (-13\,\text{V})]}{9,5\,\text{V} - 10\,\text{V}} = 52\,\text{k}\Omega.$$

Заменом ове вредности у прву једначину добије се: $U_{r1} = 9,94\,\text{V}$.

8.47.

На слици 8.47 приказано је коло за добијање веће струје комбиновањем операционог појачавача и транзистора снаге. Струја кроз потрошач треба да



Слика 8.47

буде $0,2\,\text{A}$, а напон на њему $10\,\text{V}$. Улазни напон $U_1 = -2\,\text{V}$. Максимална излазна струја операционог појачавача је $5\,\text{mA}$. Одредити минималну вредност параметра h_{21E} транзистора и отпорности R_1 и R_2 тако да улазна отпорност буде $5\,\text{k}\Omega$.

РАД

Појачање појачавача се добије из једначине $A = U_2/U_1 = -R_2/R_1$. Улазна отпорност је једнака отпорности R_1 , па је $R_1 = 5\,\text{k}\Omega$. Сада R_2 износи:

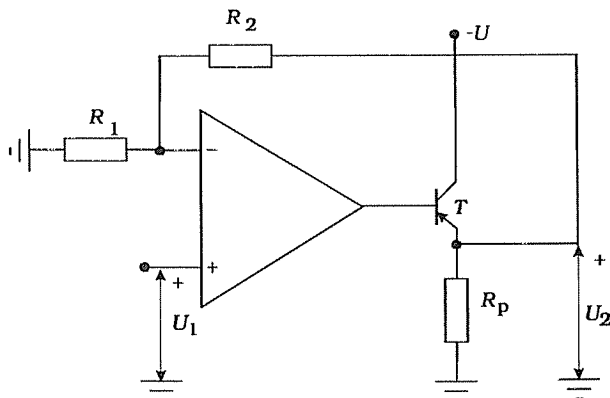
$$R_2 = -\frac{U_2}{U_1} \cdot R_1 = -\frac{10\,\text{V}}{-2\,\text{V}} \cdot 5\,000\,\Omega = 25\,\text{k}\Omega.$$

Минимална вредност параметра h_{21E} једнака је количнику струје потрошача ($0,2\,\text{A}$) и минималне излазне струје операционог појачавача ($5\,\text{mA}$):

$$h_{21E} = \frac{0,2\,\text{A}}{5 \cdot 10^{-3}\,\text{A}} = 40.$$

8.48.

Конструисати коло са операционим појачавачем и транзистором снаге, код кога је струја потрошача негативна и износи $I_P = -300 \text{ mA}$, односно тече од масе ка негативном напону напајања, а улазни напон $U_1 = -5 \text{ V}$. Познате су остале вредности: $h_{21E} = 50$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_P = 20 \text{ }\Omega$, излазна струја операционог појачавача може максимално да буде 20 mA .



Слика 8.48

РАД

У овом случају улазни и излазни напон су истог поларитета, што значи да треба употребити неинвертујући појачавач, као на слици 8.48. Излазни напон је једнак производу струје потрошача и његове отпорности и износи:

$$U_2 = I_P \cdot R_P = -0,3 \cdot 20 \text{ }\Omega = -6 \text{ V}.$$

Појачање неинвертујућег појачавача је у овом случају једнако:

$$A = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{-6 \text{ V}}{-5 \text{ V}} = 1,2.$$

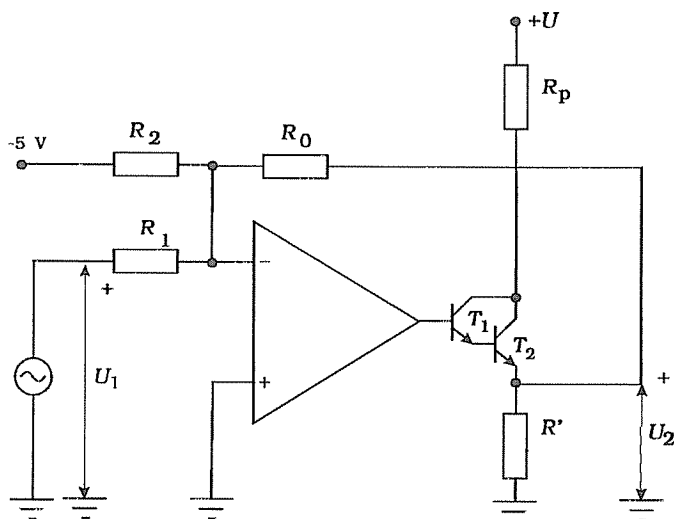
Одавде се добије отпорност R_2 :

$$R_2 = AR_1 - R_1 = R_1(A - 1) = 1000 \text{ }\Omega(1,2 - 1) = 200 \text{ }\Omega.$$

Количник струје потрошача и максималне излазне струје операционог појачавача је: $0,3 \text{ A} / 20 \text{ mA} = 15$, па овај транзистор може да се употреби у овом колу.

8.49.

На слици 8.49 приказано је коло за напајање електромагнета који производи инфразвук на учестаности 7,5 Hz. Да би учестаност на којој вибрира мембрана била иста као и учестаност улазног сигнала, струја кроз електромагнет мора да буде једносмерна. У овом случају електромагнет је, када нема сигнала, средње намагнетисан; више је намагнетисан када је струја већа, а мање је намагнетисан када је струја мања. Узети да је импеданса намотаја електромагнета активна јер је учестаност ниска, па је реактанса калема знатно мања од његове активне отпорности. Улазни напон је наизменичан, ефективне вредности 0,5 V. Одредити отпорности R_1 , R' и R_0 , ако је $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, тако да је струја кроз електромагнет у одсуству сигнала једнака половини максималне, односно 1 A. Колика је средња снага на транзистору? Максимална вредност струје кроз потрошач може да буде до 2 A. Параметар h_{21E} код оба транзистора је 100, а максимална струја на излазу појачавача је 10 mA.



Слика 8.49

РАД

Ако нема сигнала, на улаз операционог појачавача доводи се само једносмерни напон из извора од -5 V . Излазни напон који потиче од овог извора на отпорности R' треба да буде једнак половини максималне вредности, односно $2,5 \text{ V}$. Отпорност R' се добије по Омовом закону: $R' = 2,5 \text{ V} / 1 \text{ A} = 2,5 \Omega$. Отпорност R_0 се добије из појачања појачавача када он појачава само једносмерни напон и када се од улазног напона -5 V добије излазни напон $2,5 \text{ V}$:

$$A = \frac{U_2}{U_0} = \frac{2,5 \text{ V}}{-5 \text{ V}} = -0,5.$$

Одавде се добије:

$$R_0 = -AR_2 = -(-0,5) \cdot 2\,000\,\Omega = 1\,\text{k}\Omega.$$

Напон на отпорности R' може да расте и да опада 2,5 V, па је ефективна вредност наизменичне компоненте излазног напона $U_m/\sqrt{2} = 1,77\,\text{V}$. Видели смо да је ефективна вредност улазног напона 0,5 V. Модуо појачања инвертујућег појачавача за наизменични сигнал је $U_{2\text{ef}}/U_{1\text{ef}} = 1,77\,\text{V}/0,5\,\text{V} = 3,54$. Ову исту вредност треба да има количник отпорности R_0/R_1 . Одавде је:

$$R_1 = \frac{R_0}{3,54} = \frac{1\,000\,\Omega}{3,54} = 282\,\Omega.$$

Једносмерни напон на колектору транзистора се добије када се од напона напајања одузме напон на отпорности R' и подели са два:

$$U_{\text{CE}} = \frac{62,5\,\text{V}}{2} = 31,25\,\text{V}.$$

Средња снага се добије множењем средње струје и напона:

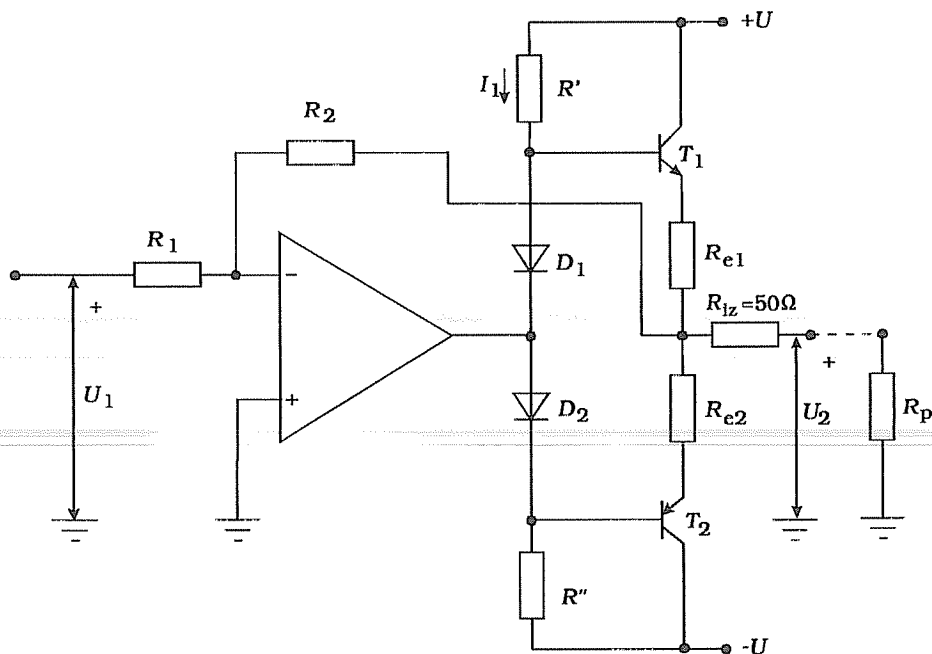
$$P_{\text{SR}} = 31,25\,\text{V} \cdot 1\,\text{A} = 31,25\,\text{W}.$$

8.50

На слици 8.50 приказан је широкопојасни појачавач наизменичних сигнала који треба да ради од 0 до 1 MHz. Излазна отпорност треба да буде 50 Ω , а амплитуда излазног наизменичног напона 10 V. Употребљен је операциони појачавач LM 318. Прорачунати елементе овог појачавача тако да може нормално да ради ако је отпорност потрошача најмање 50 Ω . Параметар $h_{21\text{E}} = 100$, а за напон проводног PN-споја узети 0,7 V. Појачање напона треба да буде -5, а улазна отпорност 10 k Ω .

РАД

На излаз овог појачавача треба поставити отпорност од 50 Ω , с тим да то буде излазна отпорност, јер је излазна отпорност операционог појачавача са повратном спрегом занемарљиво мала. Када се на излаз прикључи потрошач од 50 Ω , максимална излазна струја се добије ако се максимални излазни напон подели овом отпорношћу, односно $10\,\text{V}/100\,\Omega = 100\,\text{mA}$. Операциони појачавач даје на излазу струју до 10 mA, па минимални коефицијент струјног појачања треба да буде $100\,\text{mA}/10\,\text{mA} = 10$. Видимо да овакав транзистор задовољава у погледу овог параметра. Максимална струја базе је $h_{21\text{E}}$ пута мања и износи: $100\,\text{mA}/100 = 1\,\text{mA}$. Струја кроз отпорнике R' и R'' треба да је бар пет пута већа и она износи 5 mA. Напон напајања је $\pm 15\,\text{V}$, па на овим отпорницима је по 14,3 V. Њихова отпорност је по $14,3\,\text{V}/5\,\text{mA} = 2,86\,\text{k}\Omega$. Отпорност R_1 је једнака улазној отпорности и у овом случају је 5 k Ω . Модуо појачања је 5, па је отпорност $R_2 = 25\,\text{k}\Omega$. Отпорности R_{e1} и R_{e2} се обично бирају тако да буду десет пута мање од отпорности потрошача; у овом случају се усваја $50\,\Omega/10 = 5\,\Omega$.



Слика 8.50

8.51.

Операциони појачавач има једно паразитно коло за интеграње и фреквенцијску карактеристику као на слици 8.51. Наћи f_g ако су вредности елемената паразитног кола за интеграње: $R=30\text{ M}\Omega$ и $C=50\text{ pF}$.

РАД

Најпре треба наћи учестаност код које појачање почиње да опада:

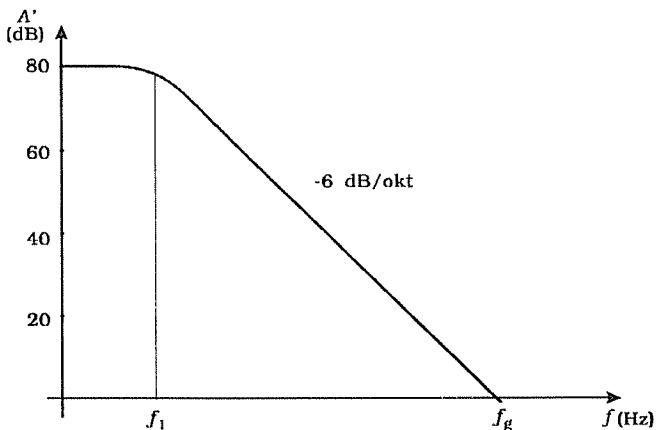
$$f_1 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 30 \cdot 10^6 \Omega \cdot 50 \cdot 10^{-12} \text{ pF}} = 106,1 \text{ Hz.}$$

Од учестаности f_1 до f_g појачање опада са нагибом од 6 dB/okt ; ту има n октава. Појачање се смањило са 80 dB на 0 dB , па је промена појачања $\Delta A = 80\text{ dB}$. Нагиб се може изразити као 6 dB/okt или $\Delta A/(n\text{ okt})$. Ови изрази су једнаки:

$$\frac{\Delta A}{n\text{ okt}} = \frac{6\text{ dB}}{1\text{ okt.}}$$

Одавде се добије:

$$n = \frac{\Delta A}{6} = \frac{80}{6} = 13,33.$$



Слика 8.51

Учестаност f_g је већа од f_1 n октава, што може да се напише као $2^n = 2^{13,33} = 10\,297$ пута. Сада се учестаност f_g добије ако се учестаност f_1 множи овим бројем:

$$f_g = 106,1 \cdot 10\,297 = 1\,092\,511 \text{ Hz.}$$

8.52.

На слици 8.52 приказана је фреквенцијска карактеристика операционог појачавача који има два паразитна кола за интеграљење. Одредити учестаности f_1 , f_2 и f_g ако су задате следеће величине: $R_1 = 10 \text{ M}\Omega$, $C_1 = 20 \text{ pF}$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$, $C_2 = 10 \text{ pF}$ и ако је појачање једносмерног напона 100 dB .

РАД

Учестаност f_1 је:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_1 R_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^7 \Omega \cdot 20 \cdot 10^{-12} \text{ pF}} = 795,7 \text{ Hz.}$$

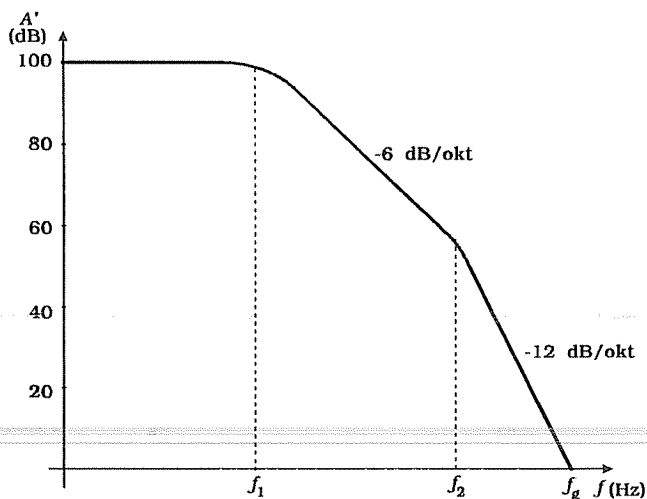
Учестаност f_2 је:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi C_2 R_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-12} \text{ pF}} = 318\,309 \text{ Hz.}$$

Учестаност f_2 је n_1 октава већа од учестаности f_1 , односно $f_2 = f_1 \cdot 2^{n_1}$. Одавде је:

$$2^{n_1} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{318\,309 \text{ Hz}}{795,7 \text{ Hz}} = 400.$$

Када се логаритмују лева и десна страна, добије се:



Слика 8.52

$$n_1 \log 2 = \log 400.$$

Одавде се добије n_1 :

$$n_1 = \frac{\log 400}{\log 2} = 8,643.$$

Количник промене појачања ΔA_1 и n_1 треба да буде једнак 6 dB/okt:

$$\frac{\Delta A_1}{n_1} = \frac{6 \text{ dB}}{1 \text{ okt}}.$$

Одавде се добије опадање појачања од f_1 до f_2 :

$$\Delta A = \frac{6 \text{ dB} \cdot n_1}{1 \text{ okt}} = \frac{6 \text{ dB} \cdot 8,643 \text{ okt}}{1 \text{ okt}} = 51,85 \text{ dB}.$$

Преостало појачање до нуле је: $\Delta A_2 = 100 \text{ dB} - 51,85 \text{ dB} = 48,14 \text{ dB}$. Ово појачање подељено са n_2 октава једнако је 12 dB/okt:

$$\frac{\Delta A_2}{n_2} = \frac{12 \text{ dB}}{1 \text{ okt}}.$$

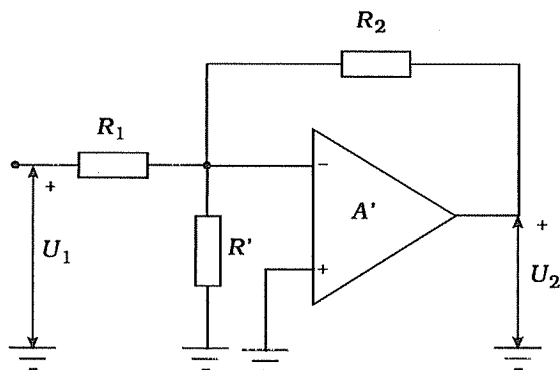
Одавде се добије n_2 :

$$n_2 = \frac{\Delta A_2 \cdot 1 \text{ okt}}{12 \text{ dB}} = \frac{48,14 \text{ dB} \cdot 1 \text{ okt}}{12 \text{ dB}} = 4,01 \text{ okt}.$$

Учестаност f_g је 2^{n_2} већа од учестаности f_2 . Најпре треба наћи 2^{n_2} :
 $2^{n_2} = 2^{4,01} = 16,11$. Сада је $f_g = 16,11 \cdot 318 \text{ 309 Hz} = 5 \text{ 127 957 Hz}$.

8.53.

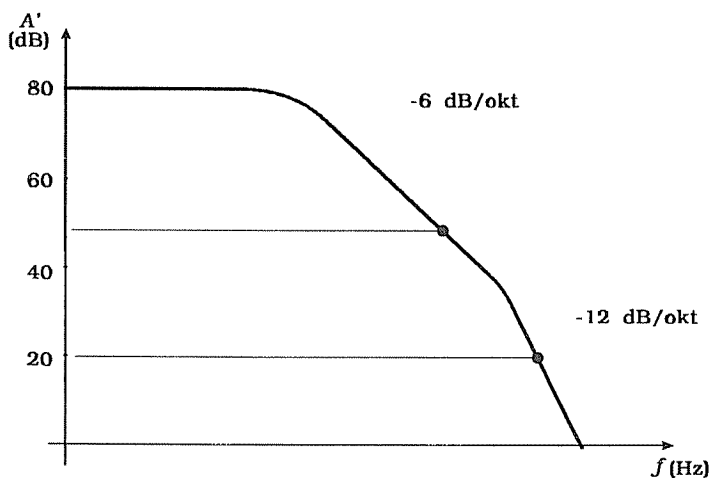
На слици 8.53а приказан је појачавач са могућношћу компензације прикључивањем отпорности R' између „-“ улаза и масе, а на слици 8.53б приказана је фреквенцијска карактеристика тог операционог појачавача. Одредити R_2 и R' тако да појачање буде: а) -500 и б) -10 . У оба случаја је отпорност $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$.



Слика 8.53а

РАД

Модуо појачања од -500 је 500 . Када се овај број логаритмује и помножи са 20 , добије се $53,97 \text{ dB}$. На карактеристици се види да је за ову вредност појачања нагиб -6 dB/okt и да овакав појачавач не треба фреквенцијски компензовати, па отпорност R' треба изоставити.



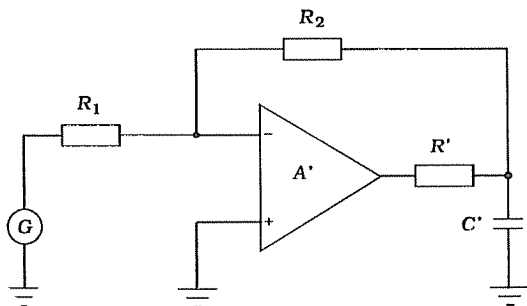
Слика 8.53б

Модуло појачања од -10 је 10 . То значи да је отпорност R_2 десет пута већа од отпорности R_1 , односно $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$. Када се овај број логаритмује и помножи са 20 , добије се 20 dB . На карактеристици се види да је за оволико појачање нагиб карактеристике -12 dB/окт и да би овакав појачавач осциловао. Осцилације се могу спречити ако се између „–“ улаза и масе прикључи отпорност R' , тако да слабљење за учестаност осциловања буде 50 dB (или друга погодна вредност на делу карактеристике са нагибом од -6 dB/окт). Када се 50 dB подели са 20 и антилогаритмује, добије се слабљење: $316,2$. Са овим бројем треба поделити отпорност R_2 да би се добила отпорност R' :

$$R' = \frac{R_2}{316,2} = \frac{20 \text{ k}\Omega}{316,2} = 63,25 \Omega.$$

8.54.

Наћи елементе R' и C' појачавача на слици 8.54а чија је карактеристика приказана на слици 8.54б тако да он не осцилује код било којих вредности појачања. Познате су величине: R_2 је $20 \text{ k}\Omega$ и $f_1 = 100 \text{ kHz}$.



Слика 8.54а

РАД

У овом случају је $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ и отпорност R' треба да буде много мања (бар пет пута) од ове вредности, јер тада отпорност R_2 не утиче на фазни померај. Одавде се добије да је $R' = 20 \text{ k}\Omega / 5 = 4 \text{ k}\Omega$. Појачање треба да опадне за 100 dB од учестаности f_3 до f_1 . Овај услов може да се напише у облику:

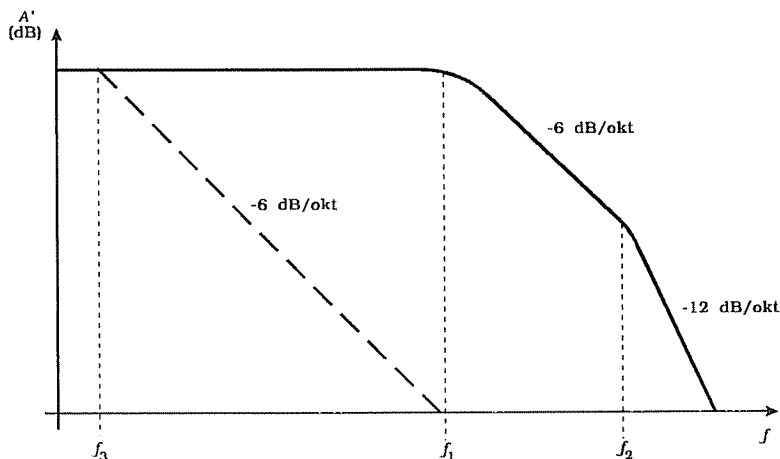
$$\frac{100 \text{ dB}}{n} = \frac{6 \text{ dB}}{1 \text{ окт}}.$$

Одавде се добије n :

$$n = \frac{100 \text{ окт.}}{6} = 15,9 \text{ окт.}$$

Учестаност f_3 се добије када се f_1 подели са 2^n :

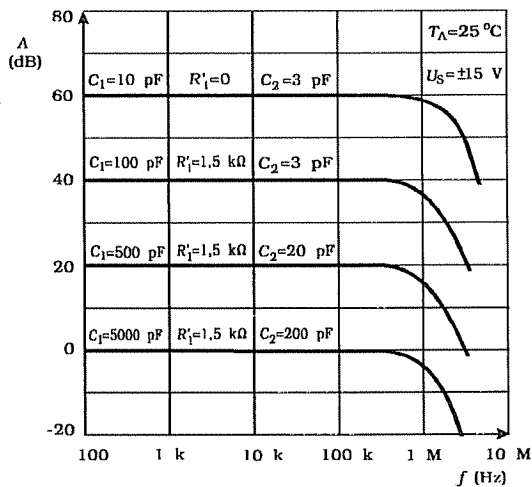
$$f_3 = \frac{f_1}{2^n} = \frac{100\,000 \text{ Hz}}{2^{15,9}} = 1,63 \text{ Hz.}$$



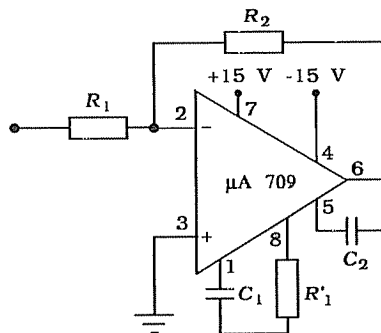
Слика 8.54б

8.55.

На слици 8.55а приказане су карактеристике појачавача $\mu A 709$ и појачавач са овим колом. Одредити елементе за фреквенцијску компензацију ако је модуо напонског појачања 50.



а)



б)

Слика 8.55

РАД

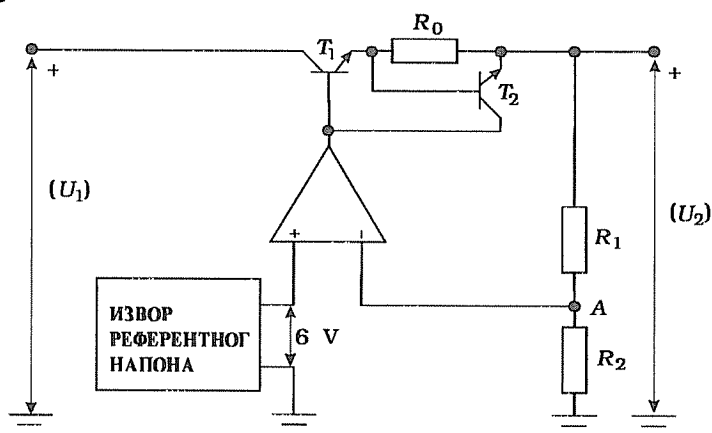
Појачање у dB се добије када се овај број логаритмује и помножи са 20:

$$A \text{ (dB)} = 20 \log 50 = 34 \text{ dB.}$$

На слици 8.55а види се да је ова вредност најближа карактеристици за 40 dB, па су вредности елемената за фреквенцијску компензацију: $C_1 = 100 \text{ pF}$, $R'_1 = 1,5 \text{ k}\Omega$ и $C_2 = 3 \text{ pF}$.

8.56.

На слици 8.56 приказан је интегрисани стабилизатор напона. Одредити отпорност R_2 тако да излазни напон буде 18 V и струја ограничена на 100 mA. Узети да је праг провођења PN-споја 0,65 V и $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, референтни напон $U_r = 6 \text{ V}$, а улазни напон 25 V.



Слика 8.56

РАД

Напони на улазима операционог појачавача су приближно једнаки, односно референтни напон U_r је приближно једнак делу излазног напона на отпорности R_1 , односно између тачке A и масе:

$$U_r = U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Одавде се добије R_2 :

$$R_2 = \frac{R_1 U_r}{U_2 - U_r} = \frac{1000 \Omega \cdot 6 \text{ V}}{18 \text{ V} - 6 \text{ V}} = 500 \Omega.$$

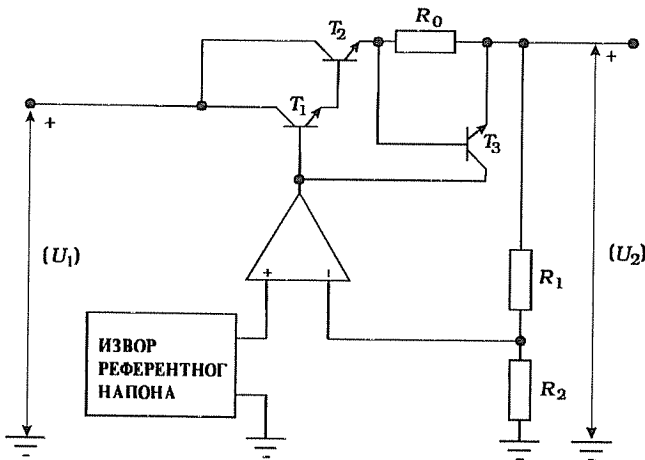
Отпорност R_0 се добије дељењем минималног напона U_{BE} код кога проводи транзистор T_2 (0,65 V) и максималну струју кроз транзистор T_1 (100 mA):

$$R_0 = \frac{0,65 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 6,5 \, \Omega.$$

8.57.

На слици 8.57 приказан је стабилизатор напона који треба да даје струју 1,5 А. Струја коју може да даје транзистор T_1 износи максимално 50 mA. Одредити минимални коефицијент h_{21E} транзистора T_2 и отпорност R_0 тако да се струја ограничава на 1,5 А. Израчунати снагу на редном транзистору ако је улазни напон 20 V, а излазни код кратког споја једнак нули. Израчунати страницу квадратног хладњака од алуминијумског лима дебљине 2 mm. Узети напон прага 0,65 V (податак за интегрисани стабилизатор $\mu\text{A} 723$), док су остале величине једнаке: $R_{jc}=1,5 \, ^\circ\text{C/W}$, $R_{ch}=0,1 \, ^\circ\text{C/W}$, $t_a=30 \, ^\circ\text{C}$ и $t_j=200 \, ^\circ\text{C}$.

РАД



Слика 8.57

Минимални коефицијент струјног појачања се добије када се струја кроз транзистор T_2 подели колекторском струјом транзистора T_1 :

$$h_{21E} = \frac{I_{C2}}{I_{C1}} = \frac{1,5 \text{ A}}{50 \text{ mA}} = 30.$$

Снага која се јавља на главном редном транзистору приликом кратког споја једнака је производу напона на њему, ако се занемари напон на отпорности R_0 , и струје кроз њега:

$$P_m = UI = 25 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ A} = 37,5 \text{ W}.$$

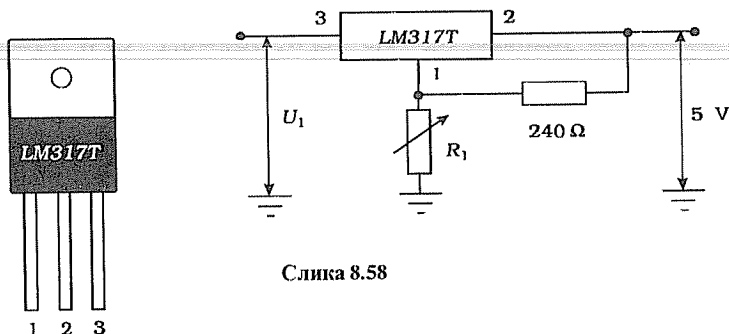
Топлотна отпорност се израчунава помоћу једначине (види задатак 7.4):

$$R_{ha} = \frac{t_j - t_a}{P} - R_{jc} - R_{ch} = \frac{200^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{37,5 \text{ W}} - 1,5^\circ\text{C/W} - 0,1^\circ\text{C/W} = 2,93^\circ\text{C/W}$$

На дијаграму уз задатак 7.4 види се да је дужина стране квадратне плоче око 20 cm.

8.58.

На слици 8.58 приказан је стабилизатор напона са колом *LM 317T*. Одредити отпорност R_1 тако да излазни напон буде 5 V. Референтни напон овог стабилизатора је око 1,2 V и он увек постоји између прикључака 1 и 2.



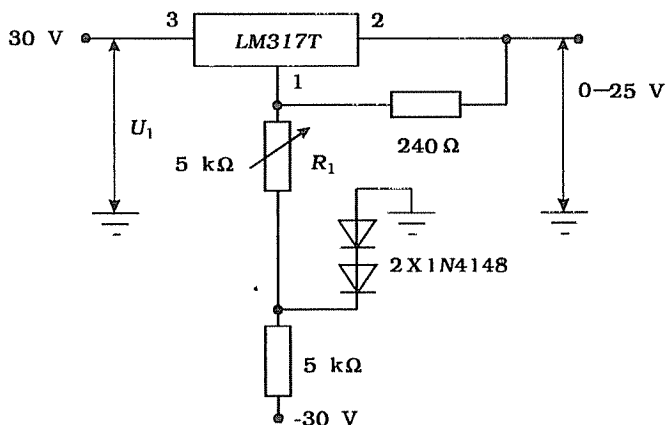
Слика 8.58

РАД

Овде се обично поставља отпорност од 240 Ω према препоруци произвођача. Струја која тече кроз ову отпорност добије се по Омовом закону: $I = 1,2 \text{ V} / 240 \Omega = 5 \text{ mA}$. Ова иста струја тече кроз отпорност R_1 . Укупан напон на оба отпорника је 5 V, па на отпорнику R_1 је $5 \text{ V} - 1,2 \text{ V} = 3,8 \text{ V}$. Када се овај напон подели струјом од 5 mA, добије се: $R_1 = 3,8 \text{ V} / 5 \text{ mA} = 760 \Omega$. Ако је потребан тачан напон, треба ставити реостат од 1 k Ω и са њиме подесити напон на тачну вредност. На излаз овог стабилизатора треба прикључити електролитски кондензатор од 20 μF или танталов од 1 μF ; на тај начин стабилизатор неће осциловати. Треба напоменути да се на овом стабилизатору развија доста велика снага, јер је за нормалан рад стабилизатора потребно да напон између његових крајева 3 и 2 буде бар 3 V. Топлотна отпорност између споја и кућишта $R_{jc} = 4^\circ\text{C/W}$

8.59.

Конструисати стабилисани извор напона од 0 V до 25 V и струју до 1,5 A са колом *LM 317T*.



Слика 8.59

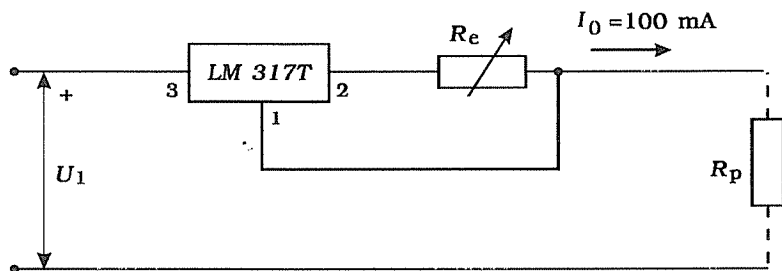
РАД

Видели смо да овај стабилизатор може да даје на излазу напон виши од 1,2 V. Ако излазни напон треба да почне од 0 V, променљиви отпорник за подешавање напона треба прикључити у тачку где је потенцијал нижи од нуле за око 1,2 V. Такво коло приказано је на слици 8.59, где је негативан напон постигнут са две диоде. Напон U_1 треба да је бар за 3 V виши од максималног излазног напона, односно треба да буде бар 28 V. Иако произвођач дозвољава да улазни напон буде до 40 V, он не треба да буде виши од 35 V, јер мале варијације мрежног напона могу да доведу до прекорачења максималног улазног напона.

Посебно је потребно напоменути да је овај стабилизатор потребно поставити на одговарајући хладњак.

8.60.

Израчунати елементе извора константне струје за 100 mA за четворожи-чно мерење малих отпорности (види *Мерења у електроници*) према слици 8.60a.

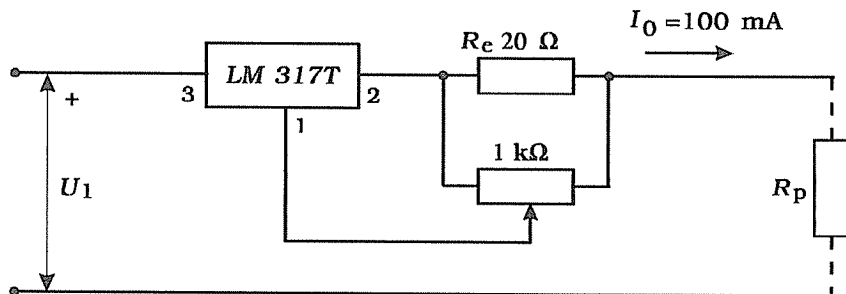


Слика 8.60a

РАД

Напон између прикључака 1 и 2 увек је $1,2\text{ V}$. Струја која тече кроз отпорник R_e треба на њему да створи напон $1,2\text{ V}$, па ова отпорност износи: $R_e = 1,2\text{ V} / 0,1\text{ A} = 12\ \Omega$. Струју треба подешавати јер су толеранције референтног напона доста велике.

Реостат овако мале отпорности је тешко набавити, па се чешће користи коло на слици 8.60б. Типична отпорност потенциометра је $1\text{ k}\Omega$, јер струја кроз њега треба да буде знатно већа од струје која тече из прикључка 1 (око $0,1\text{ mA}$). Отпорност R_e се одређује као на слици 8.60а, само се узима нешто већа вредност (на пример $20\ \Omega$), јер референтни напон може да буде нешто већи или мањи. Овде је напон између прикључка 1 и клизача потенциометра $1,2\text{ V}$, а на крајевима потенциометра може да буде и већи.



Слика 8.60б

Са овим извором константне струје може се стандардним дигиталним мултиметром мерити отпорност са разлагањем до $1\text{ m}\Omega$.

На исти начин се може направити извор константне струје за 1 A ако се узме да је $R_e = 2\ \Omega$; у овом случају приликом мерења стандардним дигиталним мултиметром најмање разлагање је $100\ \mu\Omega$.

ИМПУЛСНА КОЛА

9.1.

На слици 9.1 приказано је *NI* коло у *TTL* техници. Наћи све струје у њему када је на улазу: а) логичка јединица и б) логичка нула. Узети да је напон на проводном *PN*-споју 0,7 V и напон засићења колектор – емитор 0,2 V.

РАД

Нека су оба улаза прикључена на логичку јединицу. Сада струја I_1 тече кроз отпорник R_1 и кроз спој база – колектор транзистора T_1 ка бази транзистора T_2 . Од базе транзистора T_1 до масе су три пропусно поларисана *PN*-споја на којима је укупан напон 2,1 V. Напон на отпорнику R_1 је сада 5 V–2,1 V=2,9 V. Струја I_1 је:

$$I_1 = \frac{2,9 \text{ V}}{4000 \Omega} = 0,725 \text{ mA.}$$

Напон на отпорнику R_2 се добије када се од 5 V одузме напон засићења колектор – емитор транзистора T_2 и напон база – емитор транзистора T_3 : 5 V–0,2 V–0,7 V=4,1 V. Струја I_{C2} је:

$$I_{C2} = \frac{4,1 \text{ V}}{1600 \Omega} = 2,56 \text{ mA.}$$

Струја емитора транзистора T_2 је једнака збиру струја I_{C2} и I_{B2} :

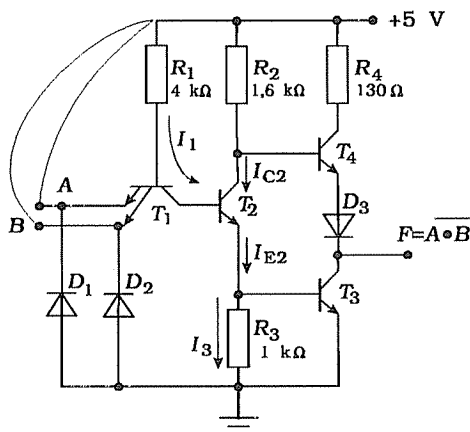
$$I_{E2} = I_{B2} + I_{C2} = 0,725 \text{ mA} + 2,56 \text{ mA} = 3,285 \text{ mA.}$$

Струја кроз отпорник R_3 се добије када се напон на њему (0,7 V) подели његовом отпорношћу:

$$I_3 = \frac{0,7 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,7 \text{ mA.}$$

Струја базе транзистора T_3 се добије када се од струје I_{E2} одузме струја која тече кроз отпорник R_3 :

$$I_{B3} = I_{E2} - I_3 = 3,285 \text{ mA} - 0,7 \text{ mA} = 2,585 \text{ mA.}$$



Слика 9.1

Када је на једном улазу (на пример A) логичка нула, струја тече од $+5\text{ V}$, кроз отпорност R_1 и спој база емитор на масу. Напон на отпорнику R_1 је:

$$U_{R1} = 5\text{ V} - 0,7\text{ V} = 4,3\text{ V}.$$

Струја кроз отпорник R_1 је:

$$I_1 = \frac{4,3\text{ V}}{4\,000\ \Omega} = 1,075\text{ mA}.$$

Струја I_2 , која тече кроз отпорник R_2 једнака је нули, ако није прикључен потрошач на излаз овог кола и зависи од потрошача ако је он прикључен.

Када је на излазу логичка јединица и када се излаз кратко споји са масом, струја базе транзистора T_4 је струја кроз отпорник R_2 , на коме је напон:

$$U_{R2} = 5\text{ V} - 1,4\text{ V} = 3,6\text{ V}.$$

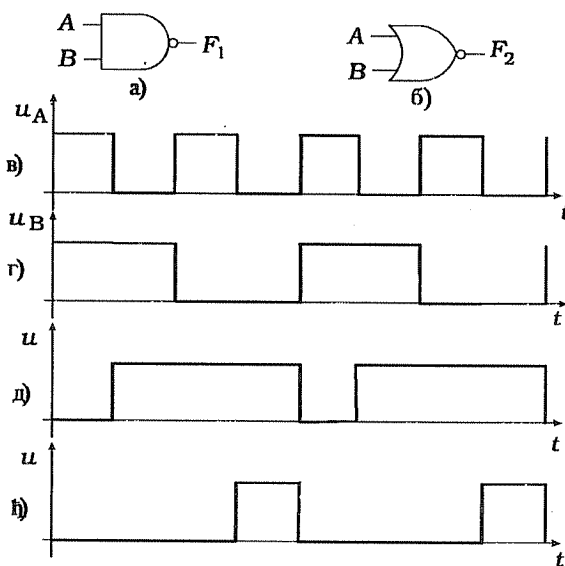
Струја базе кратког споја је:

$$I_{B4} = \frac{3,6\text{ V}}{1\,600\ \Omega} = 2,25\text{ mA}.$$

Уз исте услове добије се излазна струја кратког споја транзистора T_4 :

$$I_{ks4} = \frac{5\text{ V} - 0,2\text{ V} - 0,7\text{ V}}{130\ \Omega} = 31,5\text{ mA}.$$

Укупна струја кратког споја на излазу је:



Слика 9.2

$$I_{ks} = I_{ks4} + I_{B4} = 31,5 \text{ mA} + 2,25 \text{ mA} = 33,25 \text{ mA}.$$

9.2.

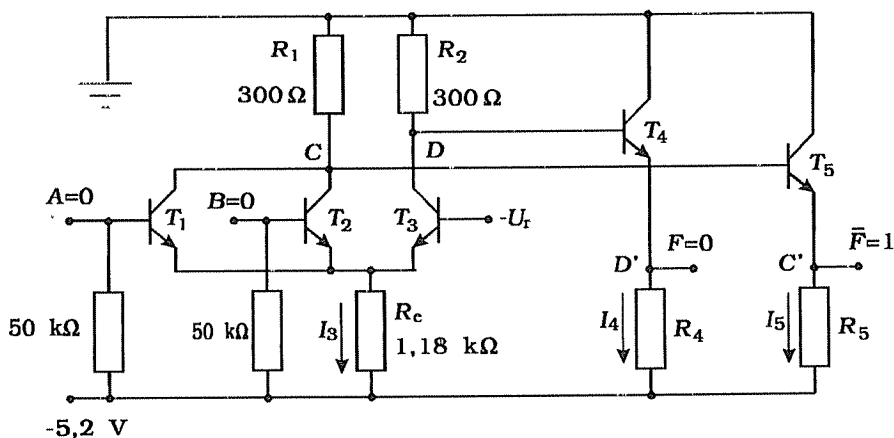
На слици 9.2 приказана су логичка а) *NI* и б) *NILI* кола. На њихове улазе доводе се правоугаони сигнали приказани на слици 9.2в и г. Нацртати напон на излазима ових кола.

РАД

Изразна функција *NI* кола је: $F = \overline{A \cdot B}$. Када је било који улаз у стању логичке нуле, излаз је једнак јединици. Ови сигнали су приказани на слици 9.2д. Изразна функција *NILI* кола је: $F = \overline{A + B}$. Када је било који улаз у стању логичке јединице, излаз је једнак нули. Ови сигнали су приказани на слици 9.2ђ.

9.3.

На слици 9.3а приказано је једно стандардно *NI-NILI* коло у *ECL* техници. Наћи све струје у колу када се на оба улаза доведу напони логичке нуле и када је један улаз у стању логичке јединице. Занемарити струју базе у односу на колекторску струју. Узети да је напон база – емитор 0,8 V. Шта се дешава када се улаз *A* прикључи директно на масу?



Слика 9.3а

РАД

Када се на улазе *A* и *B* доведу напони који одговарају нивоима логичке нуле, транзистори *T1* и *T2* не проводе. Транзистор *T3* проводи и потенцијал на његовој бази је -1,3 V. Потенцијал на његовом емитору је за 0,8 V нижи и износи око -2,1 V. Напон на отпорнику *Rc* једнак је разлици потенцијала на

горњем $(-2,1 \text{ V})$ и доњем крају $(-5,2 \text{ V})$, односно једнак је $3,1 \text{ V}$. Када се овај напон подели отпорношћу $R_e = 1,18 \text{ k}\Omega$, добије се струја: $I = 3,1 \text{ V} / 180 \Omega = 2,62 \text{ mA}$. Напон на колекторском отпорнику транзистора T_1 једнак је производу струје и отпорности R_2 : $U_{R2} = IR_2 = 2,62 \text{ mA} \cdot 300 \Omega = 0,786 \text{ V}$. Потенцијал на колектору транзистора T_3 је нижи од нуле за $0,786 \text{ V}$ и износи $-0,786 \text{ V}$. Напон између колектора и емитора транзистора T_3 је једнак разлици потенцијала на његовом колектору и емитору и износи:

$$U_{CE3} = -0,786 \text{ V} - (-2,1 \text{ V}) = 1,314 \text{ V}.$$

Струја базе је занемарљиво мала у односу на колекторску струју. Потенцијал на емитору транзистора T_4 добије се када се од потенцијала на колектору транзистора T_3 $(-0,786 \text{ V})$ одузме $0,8 \text{ V}$ споја база – емитор транзистора T_4 :

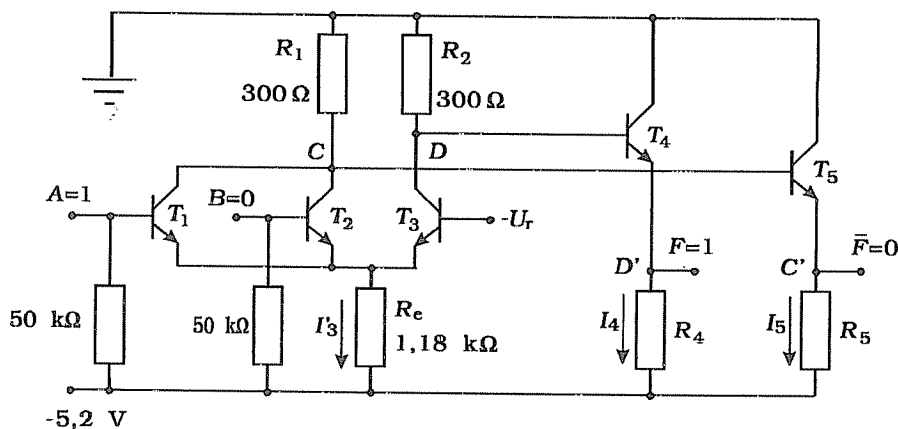
$$V_{E4} = -0,786 \text{ V} - 0,8 \text{ V} = -1,586 \text{ V},$$

што приближно одговара напону логичке нуле. Напон на отпорнику R_4 добије се када се од потенцијала на емитору транзистора T_4 $(-1,586 \text{ V})$ одузме $-5,2 \text{ V}$, па се добије $3,61 \text{ V}$. Струја I_4 се добије дељењем овог напона отпорношћу R_4 :

$$I_4 = \frac{3,61 \text{ V}}{430 \Omega} = 8,40 \text{ mA}.$$

Потенцијал на емитору транзистора T_5 добије се приближно када се од нуле одузме $0,8 \text{ V}$, па се добије $-0,8 \text{ V}$, што приближно одговара логичкој јединици. Струја I_5 се добије када се од напона напајања $(5,2 \text{ V})$ одузме $0,8 \text{ V}$ и подели са R_5 (430Ω) :

$$I_5 = \frac{4,4 \text{ V}}{430 \Omega} = 10,2 \text{ mA}.$$



Слика 9.36

Када је на једном улазу (на пример A) доведен напон логичке јединице ($-0,9\text{ V}$), транзистор T_1 проводи. Потенцијал на његовом емитору је за $0,8\text{ V}$ нижи од напона логичке јединице и износи $-1,7\text{ V}$. Струја кроз отпорник R_e је сада другачија и износи $[-1,7\text{ V} - (-5,2\text{ V})]/1\,180\,\Omega = 2,96\text{ mA}$. Напон на отпорнику R_1 је једнак производу ове струје и његове отпорности:

$$U_{R1} = 2,96\text{ mA} \cdot 300\,\Omega = 0,888\text{ V}.$$

Напон између колектора и емитора транзистора T_1 је:

$$U_{CE1} = -0,888\text{ V} - (-1,7\text{ V}) = 0,812\text{ V}.$$

Овај напон још не представља засићење транзистора T_1 . Остале струје и потенцијали су сличних вредности као у претходном случају, само су код транзистора T_4 и T_5 заменили места.

Када би се улаз A директно прикључио на масу, потенцијал на његовом емитору био би за $0,8\text{ V}$ нижи и износио би $-0,8\text{ V}$. Струја кроз отпорник R_e је сада:

$$I_e = \frac{-0,8\text{ V} - (-5,2\text{ V})}{1\,180\,\Omega} = 3,72\text{ mA}.$$

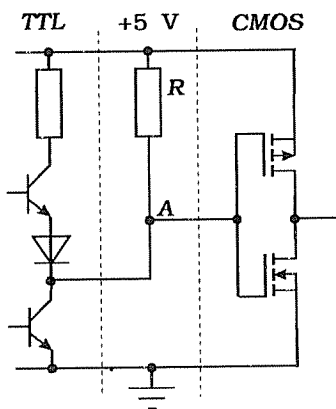
Напон на отпорнику R_1 је сада:

$$U'_{R1} = 3,72\text{ mA} \cdot 300\,\Omega = 1,116\text{ V}.$$

Потенцијал на колектору транзистора T_1 не може да буде нижи од потенцијала на емитору, па се транзистор налази у засићењу. Струја I_{C1} се добије када се напону на емитору дода $0,2\text{ V}$, па се добије $-0,6\text{ V}$. Када се овај напон подели са R_1 , добије се: $0,6\text{ V}/300\,\Omega = 2\text{ mA}$. Када се ова струја одузме од I_e , добије се: $I_{B1} = 1,72\text{ mA}$. Пошто се транзистор налази у засићењу, овај режим рада нема смисла користити јер знатно успорава рад кола.

9.4.

На слици 9.4 приказано је повезивање TTL и $CMOS$ кола помоћу отпорника R . Паразитне капацитивности између тачке A и масе укупно износе 15 pF . Наћи максималну вредност отпорности код које кашњење импулса од максималне вредности до приближно горње границе логичке нуле за $CMOS$ кола износи 15 ns .



Слика 9.4

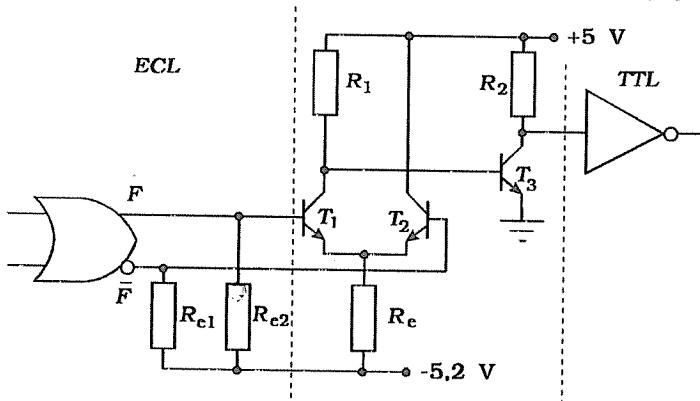
РАД

У задатку 8.31 смо видели да за трајање једне временске константе $T=RC$ напон на кондензатору опадне на 0,37 од максималне вредности. Логичка нула за *CMOS* кола износи од 0 до 0,30 напона напајања, односно у овом случају од 0 до 1,5 V. Видимо да је приближно $T=RC=15$ ns. Одавде се добије максимална вредност отпорности R :

$$R = \frac{T}{C} = \frac{15 \text{ ns}}{15 \text{ pF}} = 1 \text{ k}\Omega.$$

9.5.

Одредити елементе за повезивање *ECL* и *TTL* кола према слици 9.5, али да напон на бази транзистора T_3 не падне испод 0 V код логичке нуле. Струја кроз проводни транзистор је 5 mA, а напон проводног *PN*-споја је 0,7 V.



Слика 9.5

РАД

Када транзистор T_1 проводи, напон на отпорнику R_1 треба да буде 5 V. Одавде се добије отпорност R_1 :

$$R_1 = \frac{5 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega.$$

Напон логичке јединице на излазу F код *ECL* кола је -0,9 V. Потенцијал на емитору транзистора T_1 је 0,7 V нижи и износи -1,6 V. Сада напон на отпорнику R_e износи:

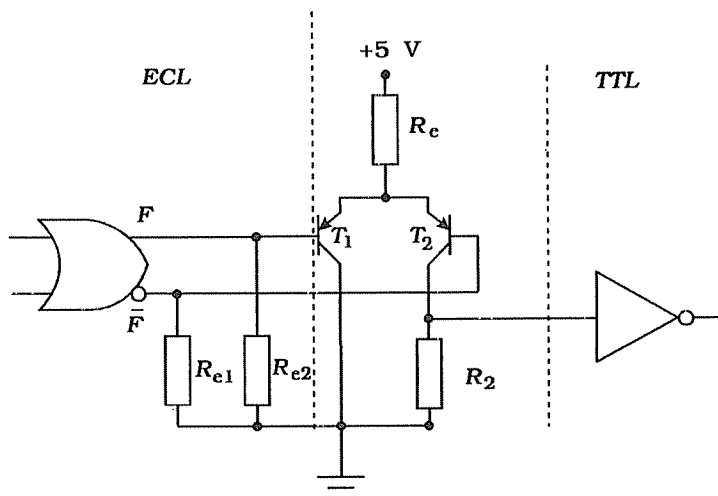
$$U_E = -1,6 \text{ V} - (-5,2 \text{ V}) = 3,4 \text{ V}.$$

Отпорност R_e се добије по Омовом закону дељењем напона на њему (3,4 V) и струје кроз њега (5 mA):

$$R_e = \frac{3,4 \text{ V}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 680 \Omega.$$

9.6.

Одредити елементе кола за повезивање *ECL* и *TTL* кола према слици 9.6, где се оба кола напајају са +5 V. Струја кроз проводни транзистор је 10 mA, напон засићења је 0,2 V, а напон база – емитор проводног транзистора 0,7 V. Напон логичке јединице на излазу *ECL* кола је око 4,1 V, а логичке нуле око 3,3 V.



Слика 9.6

РАД

На слици 9.6 код логичке јединице на *F* излазу је око 4,1 V, а нуле на $\bar{F}$ излазу око 3,3 V. При оваквом стању на излазу *ECL* кола треба да се добије логичка јединица на улазу *TTL* кола. У овом случају транзистор *T*₁ не проводи, а проводи *T*₂. Напон на емитору транзистора *T*₂ је за 0,7 V виши од напона логичке нуле на излазу $\bar{F}$ (3,3 V) и износи 4 V. Напон на отпорнику *R*_e је 1 V. Отпорност *R*_e се добије по Омовом закону:

$$R_e = \frac{1 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ mA}} = 100 \Omega.$$

Напон засићења на проводном транзистору *T*₂ је 0,2 V. Потенцијал на колектору транзистора *T*₂ је нижи од потенцијала на емитору (4 V) за 0,2 V и износи 3,8 V, па толико износи напон на отпорнику *R*₂. Сада отпорност *R*₂ износи:

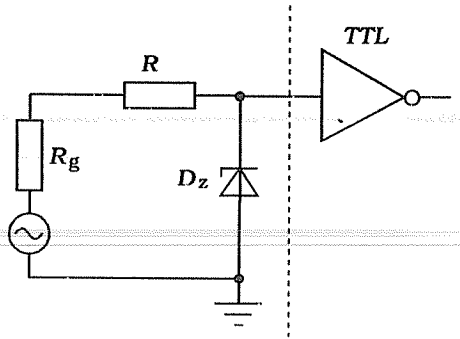
$$R_2 = \frac{3,8 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ mA}} = 380 \Omega.$$

9.7.

Одредити отпорност R за ограничење струје на слици 9.7 за увођење сигнала за $TTL LS$ кола, при којима је максимална улазна струја код логичке нуле $-0,4 \text{ mA}$ ако је $R_g = 1 \text{ k}\Omega$.

РАД

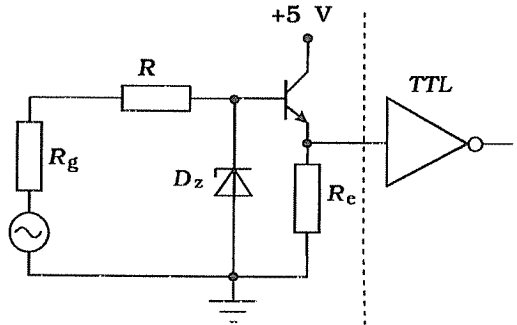
Максимална отпорност код логичке нуле добије се ако се максимални напон логичке нуле ($0,8 \text{ V}$) подели максималном струјом ($0,4 \text{ mA}$): $R_g + R = 0,8 \text{ V} / 0,4 \text{ mA} = 2 \text{ k}\Omega$. Ако је $R_g = 1 \text{ k}\Omega$, тада је $R = 1 \text{ k}\Omega$.



Слика 9.7

9.8.

Одредити минималну позитивну амплитуду напона генератора код које коло на слици 9.8 даје на излазу напон погодан за увођење у $TTL LS$ кола ако је укупна отпорност $R_g + R = 20 \text{ k}\Omega$. Параметар h_{21E} транзистора износи 100. Одредити максималну вредност отпорности R_e и њу користити приликом прорачуна.



Слика 9.8

Минимална позитивна амплитуда напона на улазу у TTL кола је 2 V . То значи да напон на бази транзистора треба да буде за $0,7 \text{ V}$ виши и да износи $2,7 \text{ V}$. Максимална вредност отпорности R_e за $TTL LS$ кола је $2 \text{ k}\Omega$ (види задатак 9.7); када транзистор не проводи, једина струја кроз отпорност R_e тече из $TTL LS$ кола. Када транзистор проводи, његова улазна отпорност је приближно $h_{21E}R_e = 200 \text{ k}\Omega$, што је много више од $R_g + R$. То, практично, значи да је довољно да максимална амплитуда генератора буде нешто виша од $2,7 \text{ V}$.

9.9.

Одредити отпорност $R_g + R$ за ограничење струје на слици 9.8 ако напон генератора може да буде од 10 V до 100 V_{ef}. Максимална струја кроз Ценерову диоду може да буде 50 mA.

РАД

Амплитуда напона генератора је $\sqrt{2}$ пута виша од ефективне вредности и износи 141 V. Напон на отпорницима је нижи за напон на Ценеровој диоди (5 V), па износи 136 V. Укупна отпорност ($R_g + R$) је по Омовом закону:

$$R_g + R = \frac{136 \text{ V}}{50 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 2,72 \text{ k}\Omega.$$

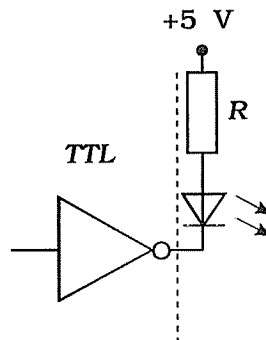
9.10.

Израчунати отпорност за ограничење струје кроз светлећу диоду према слици 9.10. Струја кроз диоду је 5 mA, а напон на диоди када проводи је 2 V.

РАД

Отпорност се рачуна по Омовом закону:

$$R = \frac{5 \text{ V} - 2 \text{ V}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 600 \Omega.$$



Слика 9.10

9.11.

Зашто се не сме на излаз *TTL* кола директно прикључити напон напајања (+5 V) без отпорника?

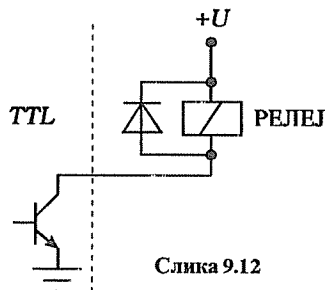
РАД

Ако је на излазу *TTL* кола логичка нула, проводан је транзистор T_3 на слици 9.1. Ако од +5 V до излазног транзистора нема отпорности за ограничење струје, струја постаје сувише велика и уништава излазни транзистор.

9.12.

На излаз *TTL* кола са отвореним колектором је прикључен релеј према слици 9.12. Колика струја тече кроз диоду непосредно после искључивања транзистора?

РАД

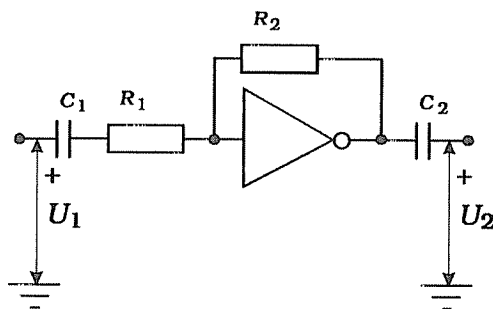


Слика 9.12

По Ленцовом закону после прекидања струје индукује се електромоторна сила самоиндукције, која настоји да задржи затечену струју. Према томе, струја која тече кроз диоду непосредно после искључења транзистора једнака је струји која је текла кроз транзистор непосредно пре његовог искључења.

9.13.

Направити линеарни појачавач за наизменични напон помоћу *CMOS* инвертора. Чему служе отпорници R_1 и R_2 на слици 9.13? Колико је напонско појачање ако је појачање самог *CMOS* инвертора -50 , $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ и $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$?



Слика 9.13

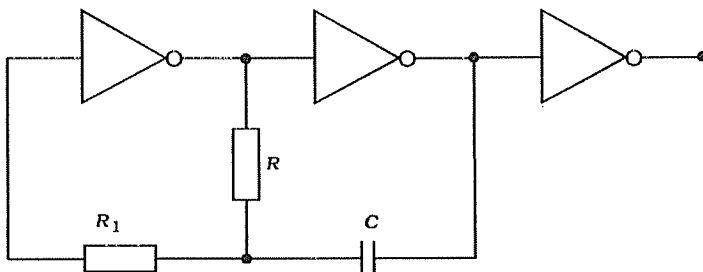
РАД

Отпорник R_2 служи за повезивање излаза инвертора са његовим улазом. На тај начин се радна тачка поставља приближно на средину преносне карактеристике. Отпорник R_1 служи првенствено за заштиту улаза *CMOS* кола. Напонско појачање се у овом случају не може изразити као $-R_2/R_1$ (у овом случају -100) јер је појачање самог *CMOS* кола релативно мало. Појачање је са негативном повратном спрегом, може да се израчуна као у задатку 8.20 и износи:

$$A = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{A'} - \frac{R_2}{R_1 A'}} = -\frac{1\,000 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{(-50)} - \frac{1\,000 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega \cdot (-50)}} = -33,1.$$

9.14.

Нацртати електричну шему астабилног мултивибратора са *CMOS* колима и на његов излаз ставити инвертор који треба да ради као раздвојни појачавач. Учестаност осциловања треба да буде 50 Hz, док је отпорност у колу пуњења кондензатора 100 kΩ. Одредити капацитивност кондензатора.



Слика 9.14

РАД

На слици 9.14 приказан је осцилатор са раздвојним појачавачем на излазу. Капацитивност кондензатора се добије из израза за учестаност: $f=1/(1,4RC)$. Одавде је капацитивност једнака:

$$C = \frac{1}{1,4fR} = \frac{1}{1,4 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 100 \cdot 10^3 \Omega} = 0,142 \mu\text{F}.$$

9.15.

Објаснити како ради осцилатор на слици 9.15. Израчунати отпорности R_1 и R_2 кола на слици 9.15 тако да дају правоугаони напон чији импулс траје 250 μs, док периода траје 1 ms ако је $C=10 \text{ nF}$.

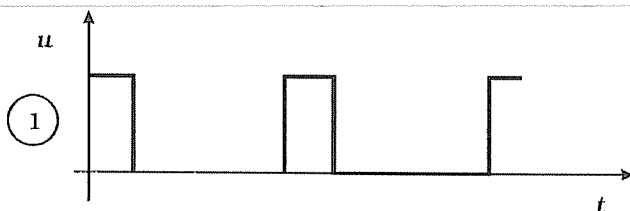
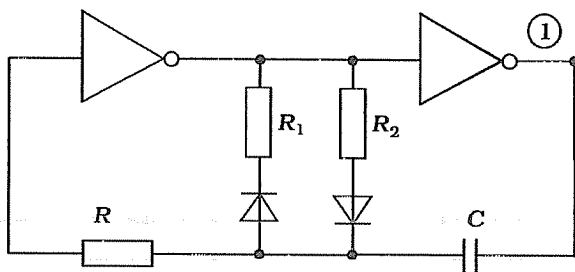
РАД

Када струја тече кроз диоду D_1 и отпорност R_1 , на излазу се добије правоугаони импулс. Када струја тече кроз диоду D_2 и отпорник R_2 , на излазу се добије пауза. У овом случају је: $T_1=0,7 R_1 C$. Одавде се добије R_1 :

$$R_1 = \frac{T_1}{0,7C} = \frac{250 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{0,7 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 35,7 \text{ k}\Omega.$$

Пауза између импулса је: $T_2=0,7R_2C$. Одавде се добије R_2 :

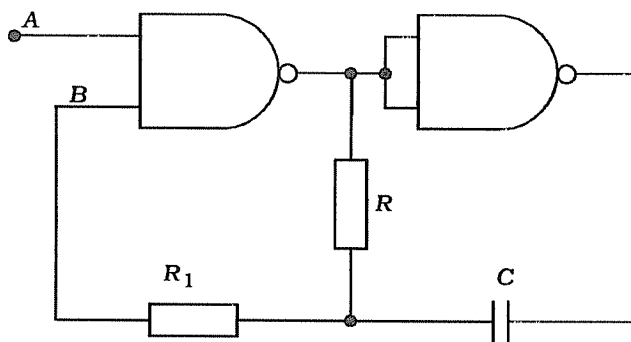
$$R_2 = \frac{T_2}{0,7C} = \frac{750 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{0,7 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 107 \text{ k}\Omega.$$



Слика 9.15

9.16.

Нацртати електричну шему астабилног мултивибратора са два *NI* кола који може логичким стањем на једном улазу да се заустави или активира.



Слика 9.16

РАД

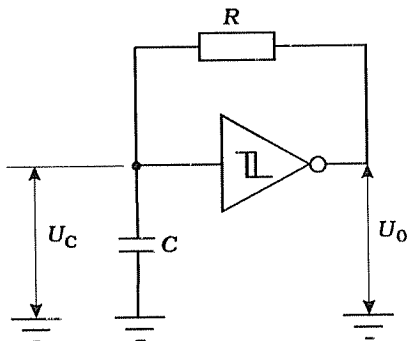
Ово коло приказано је на слици 9.16; прво коло има један улаз слободан. Када је на улазу *A* логичка јединица, ово логичко коло постаје инвертор. Друго коло има оба улаза спојена и ово логичко коло се понаша као инвертор, а цело коло представља осцилатор. Када је на улазу *A* логичка нула, прво логичко коло даје увек на свом излазу логичку јединицу и осцилатор престаје са радом.

9.17.

Израчунати капацитивност кондензатора у осцилатору са Шмитовим окидним колом у TTL LS техници (слика 9.17) ако је $R=2\text{ k}\Omega$ и $f=10\text{ MHz}$.

РАД

Капацитивност се израчунава као у претходним случајевима:

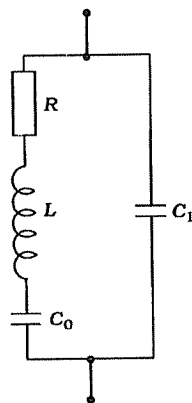


Слика 9.17

$$C = \frac{T}{1,4R} = \frac{1}{1,4Rf} = \frac{1}{1,4 \cdot 2\,000\,\Omega \cdot 10 \cdot 10^6\text{ Hz}} = 37,5\text{ pF}.$$

9.18.

Кварцни кристал за 2 MHz има следеће параметре: $R=82\,\Omega$, $L=0,52\text{ H}$, $C_0=0,0122\text{ pF}$, $C_1=4,27\text{ pF}$ и $Q=80\,000$. Израчунати редну и паралелну резонантну учестаност. Колика треба да буде спољна редна капацитивност да кварц ради на редној резонантној учестаности, и то тачно на 2 MHz ? Колика треба да буде спољна паралелна капацитивност да кварц ради на паралелној резонантној учестаности опет на 2 MHz ? Да ли је овај кварц погоднији за рад на редној или паралелној резонантној учестаности? Објаснити зашто се при раду на редној резонантној учестаности занемарује утицај паралелне капацитивности C_1 .



Слика 9.18

РАД

Редна резонантна учестаност се израчунава помоћу L и C_0 :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,52\text{ H} \cdot 0,0122 \cdot 10^{-12}\text{ F}}} = 1\,998\,198\text{ Hz}.$$

Паралелна резонантна учестаност се израчунава помоћу L , C_0 и C_1 . Најпре треба израчунати C_e :

$$C_e = \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1} = \frac{0,0122 \text{ pF} \cdot 4,27 \text{ pF}}{0,0122 \text{ pF} + 4,27 \text{ pF}} = 0,012165 \text{ pF}.$$

Паралелна резонантна учестаност је:

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_e}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,52 \text{ H} \cdot 0,012165 \cdot 10^{-12} \text{ F}}} = 2\,001\,050 \text{ Hz}.$$

Еквивалентна капацитивност унутрашње и спољне редне капацитивности при раду на тачно 2 MHz је:

$$C_{ek1} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ Hz})^2 \cdot 0,52 \text{ H}} = 0,01217 \text{ pF}.$$

Редна капацитивност износи:

$$C_{ek1} = \frac{C_0 C_{s1}}{C_0 + C_{s1}}.$$

Одавде се добије спољна редна капацитивност C_{s1} :

$$C_{s1} = \frac{C_{ek1} C_0}{C_0 - C_{ek1}} = \frac{0,01217 \text{ pF} \cdot 0,0122 \text{ pF}}{0,0122 \text{ pF} - 0,01217 \text{ pF}} = 4,949 \text{ pF}.$$

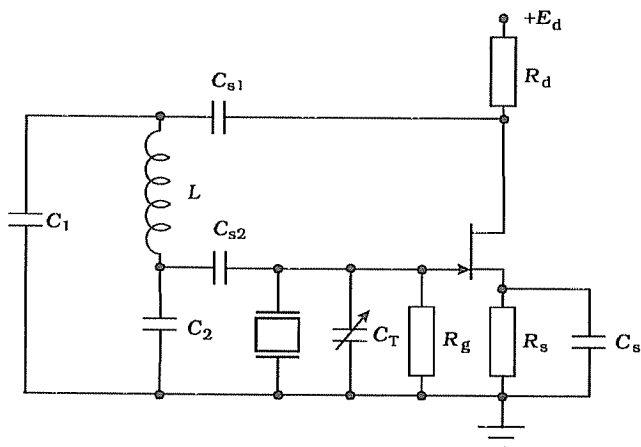
Када кварц ради на паралелној резонантној учестаности на тачно 2 MHz, паралелна еквивалентна капацитивност се добија по истом обрасцу као и редна и износи 0,01217 pF. Ова капацитивност се састоји од капацитивности C_0 која је редно везана са капацитивношћу C'_p . Капацитивност C'_p се састоји од паралелне везе C_1 и C_p , где је C_p спољна паралелна капацитивност. Капацитивност C'_p је такође већ израчуната и једнака је C_{s1} . Капацитивност C_p се добије када се од C_{s1} одузме C_1 , а то је: $C_p = 0,679 \text{ pF}$.

Овај кварц је погоднији за рад на редној резонантној учестаности, јер се лако додаје редно полупроменљиви кондензатор помоћу кога се подешава рад осцилатора у који је кварц уграђен. Овај кварц није погодан за рад на паралелној резонантној учестаности јер је капацитивност веза или нека паразитна капацитивност већа од израчунате капацитивности C_p , па се подешавање на 2 MHz не би могло извести.

Паралелна капацитивност на слици 9.18 не утиче на редну резонантну учестаност кола јер је његова импеданса много већа од активне отпорности редног осцилаторног кола. Наиме, реактанса кондензатора C_0 је Q пута већа од активне отпорности R , а то је у овом случају 80 000. Из датих података се види да је капацитивност C_1 триста педесет пута већа од C_0 , па је реактанса кондензатора C_1 триста педесет пута мања од реактансе кондензатора C_0 . То значи да је реактанса кондензатора C_1 једнака $80\,000/350 = 228$ пута већа од отпорности R .

9.19.

На слици 9.19 приказан је Колпицов осцилатор чија је учестаност стабилитована кварцом. Израчунати капацитивности C_1 и C_2 ако је $C_1 = C_2$ и ако је $L = 10 \mu\text{H}$ и $f = 10 \text{ MHz}$.



Слика 9.19

РАД

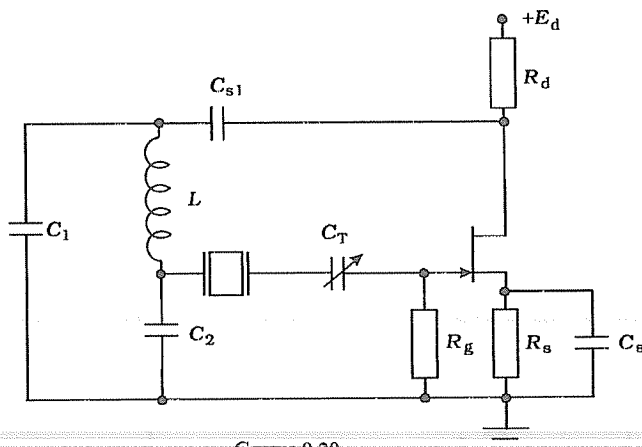
Најпре треба израчунати еквивалентну капацитивност осцилаторног кола:

$$C_e = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 10 \cdot 10^6)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ H}} = 25,3 \text{ pF}.$$

Ако су капацитивности C_1 и C_2 једнаке, свака од њих је једнака двострукој вредности еквивалентне капацитивности, па је $C_1 = C_2 = 50,6 \text{ pF}$. Учестаност се подешава на тачну вредност тако што се на излаз прикључи дигитални фреквенцметар и тример-кондензатором се осцилатор подеси на тачну учестаност.

9.20.

Осцилатор на слици 9.20 треба да ради на 45 MHz , а резонантна учестаност кварца је 15 MHz . Израчунати индуктивност L ако су капацитивности $C_1 = C_2 = 25 \text{ pF}$.



Слика 9.20

РАД

У овом случају кварц ради на трећем механичком хармонику. Осцилаторно коло треба да буде подешено на 45 MHz. Еквивалентна капацитивност редне везе капацитивности C_1 и C_2 је овде 12,5 pF. Сада се може израчунати индуктивност:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 45 \cdot 10^6 \text{ Hz})^2 \cdot 12,5 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 1 \mu\text{H}.$$

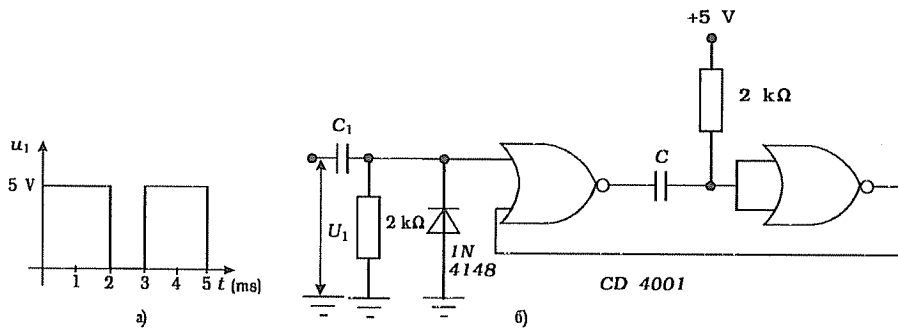
9.21.

На слици 9.21a приказан је правоугаони напон чији импулс траје 2 ms, а пауза 1 ms. Нацртати електричну шему кола које овај сигнал претвара у правоугаони напон чији импулс траје 0,5 ms, а пауза 2,5 ms. Нека је отпорност R код кола за диференцирање и моностабилног мултивибратора 2 kΩ.

РАД

У овом случају не треба довести овакав сигнал директно на улаз моностабилног мултивибратора јер би улазни напон трајао дуже од трајања импулса на излазу. Због тога овакав правоугаони напон треба најпре диференцирати како би се добили краткотрајни импулси који треба да активирају моностабилни мултивибратор. Овакво коло приказано је на слици 9.21б.

Отпорност кола за диференцирање $R=2 \text{ k}\Omega$, а капацитивност се рачуна као у задатку 8.32, само је овде узето да је $RC=T/10$, јер излазни импулс треба да траје знатно краће од улазног:



Слика 9.21

$$C_1 = \frac{T}{10R} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{10 \cdot 2 \cdot 10^3 \Omega} = 0,1 \mu\text{F}.$$

Диода се ставља да одсече негативни део диференцираних импулса. Видимо да је трајање импулса 0,5 ms. Капацитивност се добије по обрасцу:

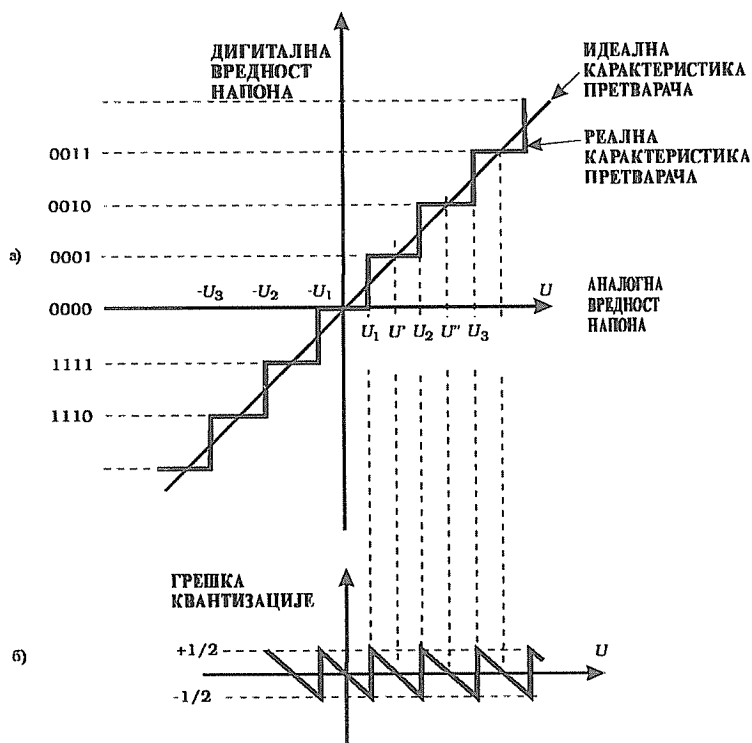
$$C = \frac{T}{0,7R} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{0,7 \cdot 2 \cdot 10^3 \Omega} = 0,357 \mu\text{F}.$$

А/Д КОНВЕРТОРИ И ШУМОВИ

10.1.

На слици 10.1а приказана је преносна карактеристика А/Д конвертора. Идеална карактеристика је представљена правом, а реална степенастом кривом. Број степеница представља број импулса који су ушли у бројач. Грешка квантизације је представљена степенастом функцијом. На слици 10.1б је приказана грешка квантизације. Максимална грешка квантизације је једнака $\pm 1/2$ јединици мерења (једној половини степенице).

Наћи могућу релативну грешку насталу због грешке квантизације, ако је број импулса n који су ушли у бројач: а) 1; б) 5; в) 100 и г) 1 000. У којем делу треба користити конвертор?



Слика 10.1

РАД

Релативна грешка је једнака количнику апсолутне грешке и тачне величине. У овом случају као тачну величину треба узети број импулса, јер је то једини доступан податак. Грешка износи:

$$\text{а) за } n=1 \quad \varepsilon = \frac{\pm 0,5}{1} \cdot 100 \% = \pm 50 \%;$$

$$\text{б) за } n=5 \quad \varepsilon = \frac{\pm 0,5}{5} \cdot 100 \% = \pm 10 \%;$$

$$\text{в) за } n=100 \quad \varepsilon = \frac{\pm 0,5}{100} \cdot 100 \% = \pm 0,5 \%;$$

$$\text{г) за } n=1\,000 \quad \varepsilon = \frac{\pm 0,5}{1\,000} \cdot 100 \% = \pm 0,05 \%.$$

Конвертор треба користити онде где се добија што већи број импулса (на пример код дигиталног мултиметра резултат треба да буде показан са што више цифара).

10.2.

Грешка подешавања тачности А/Д конвертора такође износи $\pm 1/2$ јединице мерења, јер се приликом подешавања не види да ли је средина сегмента подешена тачно на напон подешавања. Било који део сегмента може бити намештен на напон подешавања, па је могућа грешка $\pm 1/2$ јединице мерења. Одредити могућу релативну грешку конвертора, ако је подешавање извршено тако да се као резултат добије: а) 1 импулс; б) 5 импулса; в) 100 импулса и г) 1 000 импулса. Према добијеним резултатима одредити како треба подешавати конвертор.

РАД

Грешке подешавања су исте као и грешке квантизације у задатку 10.1 и износе $\pm 50 \%$, $\pm 10 \%$, $\pm 0,5 \%$ и $\pm 0,05 \%$.

Подешавање треба обавезно обавити на највећем броју импулса (на пример подешавање дигиталног мултиметра треба обавити на крају мерног опсега, који најчешће има 1 999 импулса – показивање са $3\frac{1}{2}$ цифре).

10.3.

На отпорнику постоје сигнали различитих учестаности и фаза. Ефективне вредности ових напона су: $U_1=2\text{ mV}$, $U_2=6\text{ mV}$, $U_3=3\text{ mV}$ и $U_4=1\text{ mV}$. Наћи укупну вредност ових напона.

РАД

Ефективна вредност ових напона се приближно може изразити једначином:

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2} = \\ = \sqrt{(2 \text{ mV})^2 + (6 \text{ mV})^2 + (3 \text{ mV})^2 + (1 \text{ mV})^2} = 7,07 \text{ mV}$$

10.4.

Израчунати напон шума у отпорнику ако је $R=100 \text{ k}\Omega$, $B=100 \text{ kHz}$ и $t=300 \text{ K}$ (27°C). За колико се процената повећа напон шума ако се температура повећа за 50°C . Константа k има вредност $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

РАД

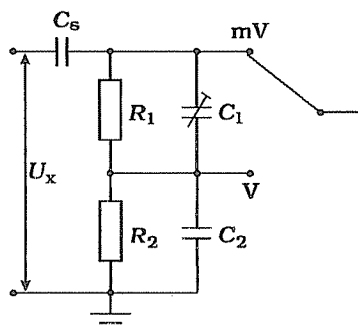
$$U_{s1} = \sqrt{4kTRB} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 300 \text{ K} \cdot 10^5 \Omega \cdot 10^5 \text{ Hz}} = 12,86 \mu\text{V}.$$

Напон шума на 350 K износи: $U_{s2} = 13,89 \mu\text{V}$. Повећање напона шума у процентима је:

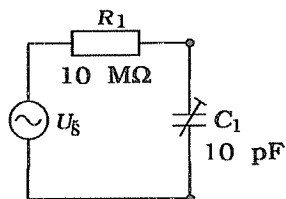
$$\Delta U [\%] = \frac{13,89 \mu\text{V} - 12,86 \mu\text{V}}{12,86 \mu\text{V}} \cdot 100 \% = 8 \%.$$

10.5.

На сл 10.5 приказано је улазно коло електронског милливолтметра који има најнижи опсег мерења 1 mV . Улазна отпорност се састоји од редне везе отпорника R_1 од $10 \text{ M}\Omega$ и R_2 од $10 \text{ k}\Omega$. Паралелно овим отпорницима су



Слика 10.5a



Слика 10.5б

прикључени кондензатори $C_1=10 \text{ pF}$ и $C_2=10 \text{ nF}$. Опсег у којем ради је од 20 Hz до 10 MHz , док је $T=293 \text{ K}$. Наћи напон шума у улазној отпорности и објаснити зашто он не доведе појачавач инструмента у засићење.

РАД

Напон шума у улазној отпорности (отпорност R_2 од $10 \text{ k}\Omega$ се занемарује) износи:

$$U_s = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 293 \text{ K} \cdot 10^7 \Omega \cdot 10^7 \text{ Hz}} = 1,26 \text{ mV}.$$

Види се да је напон шума већи од целог опсега милivolтметра, па би појачавач отишао у засићење. Отпорник са израчунатим напонам шума може се представити редном везом генератора шума и бешумном отпорношћу као на слици 10.56. У овом случају је паралелно овој вези прикључена капацитивност од 10 pF (капацитивност од 10 nF је паралелно везана отпорности од $10 \text{ k}\Omega$). Видимо да ова веза представља нискофреквенцијски филтар чија је гранична учестаност:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^7 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 1592 \text{ Hz}.$$

Овај филтар обезбеђује да само шум из овог опсега иде у појачавач електронског милivolтметра. Сада се може израчунати напон шума у овом отпорнику за овај фреквенцијски опсег:

$$U_{s1} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 293 \text{ K} \cdot 10^7 \Omega \cdot 1592 \text{ Hz}} = 16 \mu\text{V}.$$

10.6.

Напон из микрофона износи 2 mV , а напон шума $30 \mu\text{V}$. Наћи однос сигнал–шум.

РАД

$$S/\check{S} = 20 \log \frac{U_s}{U_{\check{s}}} = 20 \log \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ V}}{30 \cdot 10^{-6} \text{ V}} = 50,45 \text{ dB}.$$

10.7.

Наћи фактор шума појачавача коме је на улаз доведен напон шума од $20 \mu\text{V}$. Његов сопствени шум је $30 \mu\text{V}$, а појачање снаге 13 dB .

РАД

Најпре треба наћи појачање снаге из израза:

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log A_p.$$

Одавде је:

$$A_p(\text{dB})/10 = \log A_p = 1,3.$$

Појачање снаге је:

$$A_p = 10^{1,3} = 20.$$

Снага шума је једнака: $P_s = U_s^2/R$.

Сада се може израчунати фактор шума:

$$\begin{aligned} F(\text{dB}) &= 10 \log \left(1 + \frac{P_{s0}}{A_p P_{s1}} \right) = 10 \log \left(1 + \frac{U_{s0}^2}{A_p U_{s1}^2} \right) = \\ &= 10 \log \left(1 + \frac{(30 \mu\text{V})^2}{20 (20 \mu\text{V})^2} \right) = 0,92 \text{ dB}. \end{aligned}$$

ТАКМИЧЕЊА ИЗ ЕЛЕКТРОНИКЕ

ЕГШ „Никола Тесла” у Београду – школско такмичење 25. III 1995.године

Напомена. – За питања са понуђеним одговорима заокружује се само један одговор.

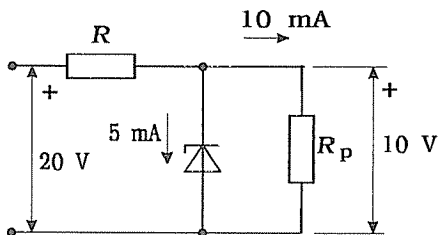
Пажња. – За нетачне одговоре на питања где се заокружује одговор добијају се негативни поени, док се за остале не добијају.

1.

Ако напон U_1 на слици 1.1 опадне за 10 %, струја кроз Ценерову диоду опадне приближно за: а) 20 %, б) 10 %, в) 5 %, г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

Ако напон U_1 опадне за 10 %, он износи 18 V, па напон на отпорнику R опадне на 8 V, односно за 20 %. Струја кроз отпорник R опадне за 20 % и износи 12 mA. Струја кроз Ценерову диоду се смањила за 3 mA, па износи 2 mA; смањење струје кроз Ценерову диоду је $3 \text{ mA} / 5 \text{ mA} = 0,6$, односно 60 %, па ниједна вредност није ни приближно тачна. (10 поена)



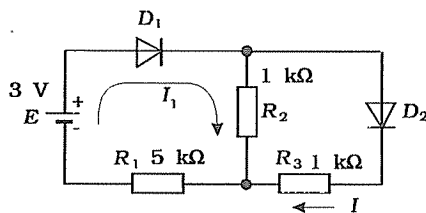
Слика 1.1

2.

Нека је дато коло на слици 2.1. Израчунати струју кроз отпорник R_3 . Узети да је напон на диоди која проводи 0,7 V.

РАД

Струја кроз прву контуру износи:



Слика 2.1

$$I = \frac{3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{5\,000 \, \Omega + 1\,000 \, \Omega} = 0,383 \text{ mA}.$$

Напон на отпорнику R_2 износи: $U_{R2} = 1\,000 \, \Omega \cdot 0,383 \text{ mA} = 0,383 \text{ V}$. Овај напон је мањи од прага провођења диоде D_2 , па је струја кроз њу (и отпорник R_3) једнака нули. (10 поена)

3.

На излазу једностраног усмерача са кондензатором добије се једносмерни напон 12 V. Ефективна вредност наизменичног напона је у овом случају једнака: а) 12 V; б) 9,8 V; в) 8,5 V.

РАД

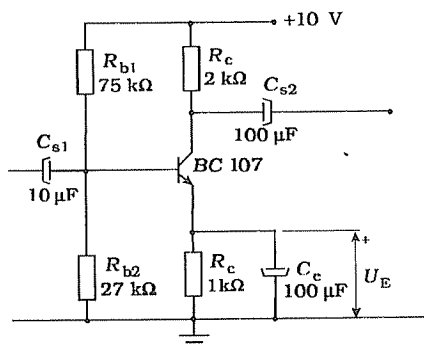
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 8,5 \text{ V.} \quad (1 \text{ или } -0,25 \text{ поена})$$

4.

Код транзисторског појачавача на слици 4.1 познат је једносмерни напон на отпорнику R_e , $U_E = 2 \text{ V}$. Колики ће бити приближно овај напон ако се прекине веза између колекторског отпорника и напона напајања?

РАД

Када се прекине веза између колекторског отпорника и напона напајања, струја тече од извора напајања кроз отпорник R_{b1} , спој база – емитор и отпорник R_e на масу. Занемарљив део ове струје тече кроз отпорник R_{b2} . Ова струја износи:



Слика 4.1

$$I = \frac{10 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{75 \cdot 10^3 \Omega + 10^3 \Omega} = 0,12 \text{ mA.}$$

Напон на отпорнику R_e је: $U_E = R_e \cdot I = 0,12 \text{ V}$. (10 поена)

5.

Појачавач са заједничким емитором има напонско појачање -25 , излазну отпорност $1 \text{ k}\Omega$ и параметар $h_{11e} = 1 \text{ k}\Omega$. Његов параметар h_{21e} износи: а) 200; б) 80; в) 25; г) нема довољно података.

РАД

$$h_{21e} = \frac{-A h_{11e}}{R_c} = \frac{(-25) \cdot 1000 \Omega}{1000 \Omega} = 25. \quad (2 \text{ или } -0,5 \text{ поена})$$

6.

Појачавач са заједничким колектором има струјно појачање 90, излазну отпорност 52Ω и $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$. Наћи унутрашњу отпорност генератора.

РАД

$$R_{iz} = \frac{h_{11e} + R_g}{h_{21e}},$$

одакле се добије:

$$R_g = R_{iz} h_{21e} - h_{11e} = 52 \Omega \cdot 90 - 3000 \Omega = 1680 \Omega \quad (5 \text{ поена})$$

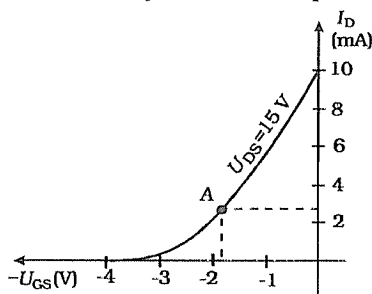
7.

Фет има преносну карактеристику као на слици 7.1. Одредити отпорност R_s за добијање аутоматског преднапона код појачавача са заједничким сорсом тако да струја у радној тачки буде једнака трећини струје коју има за $U_{GS} = 0$.

РАД

Са слици 7.1 види се да је струја $3,3 \text{ mA}$ и напон $1,8 \text{ V}$. Из ових података се добије:
 $R_s = U_s / I_s = 1,8 \text{ V} / 3,3 \text{ mA} = 545 \Omega$.

(10 поена)



Слика 7.1

8.

Појачавач са заједничким сорсом има доњу граничну учестаност 100 Hz , а фет има стрмину 5 mA/V . Капацитивност кондензатора у колу сорса је: а) $200 \mu\text{F}$; б) $26 \mu\text{F}$; в) $80 \mu\text{F}$; г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

$$C_s = \frac{g_m}{2\pi f_d} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz}} \approx 8 \mu\text{F}.$$

Види се да ниједна вредност није ни приближно тачна. (2 или $-0,5$ поена)

9.

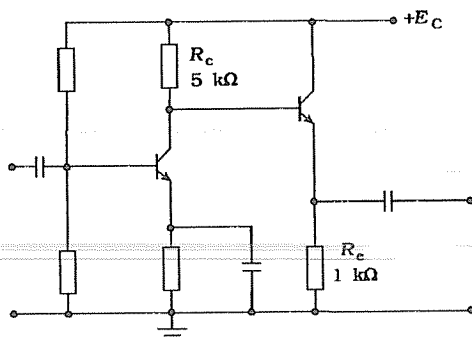
Код појачавача са комплементарним паром транзистора максимална снага дисипације на транзисторима наступа када је амплитуда напона на потрошачу једнака:_____.

РАД

$$U_m = E_C / \pi. \quad (2 \text{ поена})$$

10.

На слици 10.1 два појачавача су везана каскадно. Транзистор у појачавачу са заједничким колектором има $h_{11e} = 3 \text{ k}\Omega$ и $h_{21e} = 250$. Колика је приближно излазна отпорност појачавача са заједничким колектором?

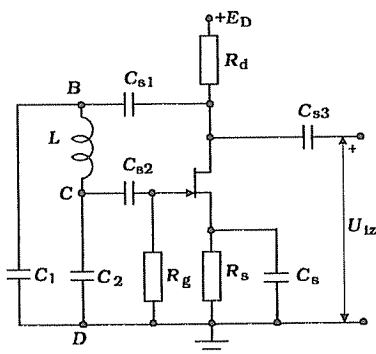


Слика 10.1

$$R_{iz} = \frac{h_{11e} + R_g}{h_{21e}} = \frac{3000 \Omega + 5000 \Omega}{250} = 32 \Omega. \quad (5 \text{ поена})$$

11.

Колпицов осцилатор ради на 30 MHz . Нека је $L = 10 \text{ nH}$ и $C_1 = 50 \text{ pF}$. Наћи капацитивност другог кондензатора у осцилаторном колу, C_2 .



Слика 11.1

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1}{\omega^2 L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 30 \cdot 10^6)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ H}} = 2,78 \text{ pF};$$

$$C_2 = \frac{C_e C_1}{C_1 - C_e} = \frac{2,78 \text{ pF} \cdot 50 \text{ pF}}{50 \text{ pF} - 2,78 \text{ pF}} = 2,94 \text{ pF}. \quad (2 \text{ поена})$$

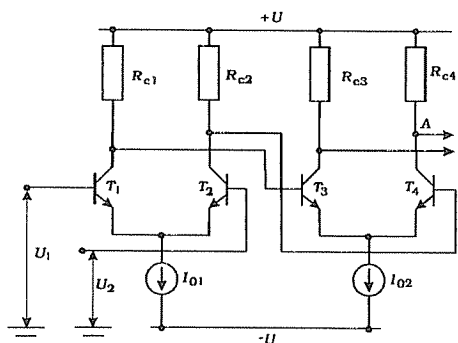
12.

Дато је коло на слици 12.1. Када нема сигнала, једносмерни напон у тачки А (у односу на масу) зависи углавном од три величине, и то: _____.

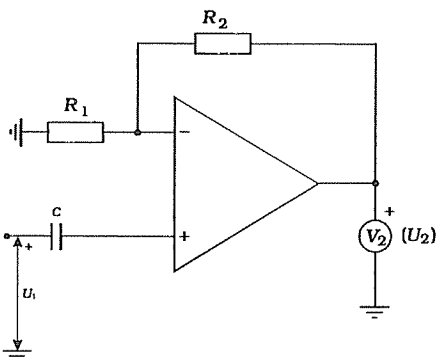
РАД

$+U, R_{c4}$ и I_{02}

(2 поена)



Слика 12.1



Слика 13.1

13.

Појачавач на слици 13.1 може да појачава: а) једносмерни и наизменични напон; б) наизменични напон; в) не може ни једносмерни ни наизменични напон;

РАД

Не може ни једносмерни ни наизменични напон јер нема побудне струје у „+” улазу. (4 или -1 поен)

14.

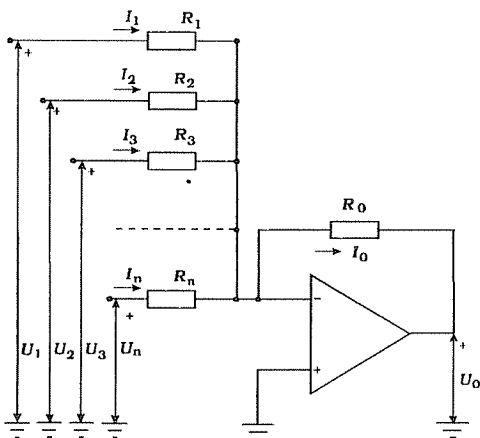
Код кола на слици 14.1 напони се сабирају: а) без обзира на знак; б) с обзиром на знак; в) нема довољно података.

РАД

С обзиром на знак. (2 или -0,5 поена)

15.

Активно коло за диференцирање на слици 15.1 претвара наизменични троугаони напон амплитуде 20 V и учестаности 2 kHz у квадратни амплитуде 5 V. Нека је $C=100$ nF. Наћи отпорност R .



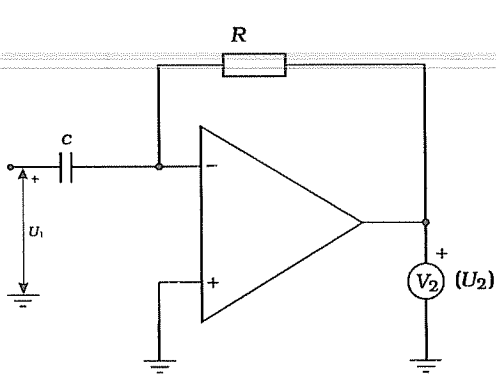
Слика 14.1

РАД

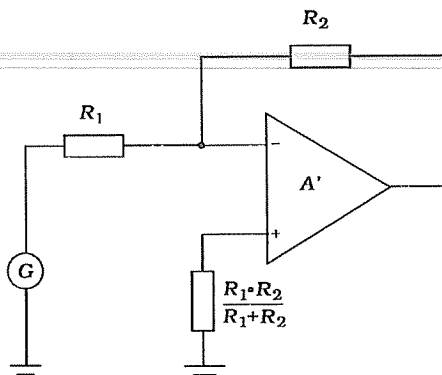
Пуњење кондензатора траје једну четвртину периоде ($T=0,5 \text{ ms}$), односно $T/4=0,125 \text{ ms}$. Струја пуњења је константна и износи:

$$I = C \frac{\Delta U}{\Delta t} = 100 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot \frac{20 \text{ V}}{0,125 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 16 \text{ mA};$$

$$R = \frac{U_2}{I} = \frac{5 \text{ V}}{16 \cdot 10^{-3} \text{ mA}} = 312 \Omega. \quad (10 \text{ поена})$$



Слика 15.1



Слика 16.1

16.

Код кола на слици 16.1 побудне струје на улазима појачавача су једнаке. На излазу овог појачавача: а) постоје грешке због ових струја; б) не постоје грешке због ових струја; в) нема довољно података.

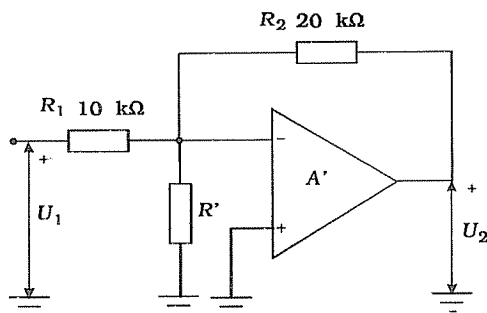
РАД

Не постоје грешке због ових струја.

(1 или -0,25 поена)

17.

Код појачавача на слици 17.1 појачање A' опада са -6 dB/окт до појачања 30 dB на 2 MHz , а надале са -12 dB/окт . Израчунати максималну вредност отпорности R' тако да појачавач не осцилује.



Слика 17.1

РАД

$A'(\text{dB}) = 20 \log A'$. Одавде се добије: $A' = 31,6$. Слабљење преко R_2 и R' треба да буде најмање 31,6: $a \approx R_2/R' = 31,6$. Одавде се добије: $R' = R_2/a = 20 \text{ k}\Omega / 31,6 = 632 \Omega$ (или мање). (15 поена)

18.

На слици 18.1 приказано је *NI* коло у *TTL* техници. Када транзистор T_2 проводи, напон на отпорнику R_3 је приближно: а) 3 V; б) 4,1 V; в) 1,84 V; г) ниједна вредност није ни приближно тачна

РАД

Напон на отпорнику R_3 је 0,7 V и ниједна понуђена вредност није ни приближно тачна. (1 или -0,25 поена)

19.

На излаз стандардних *TTL* кола може да се прикључи улаз Шоткијевих кола мале снаге: а) до 40; б) до 20; в) до 10; г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

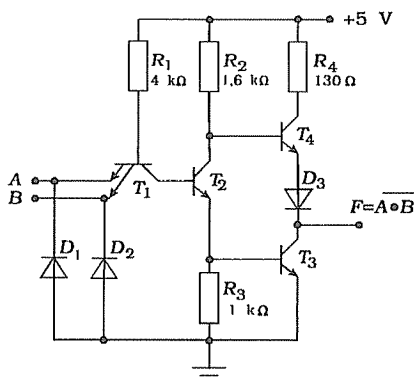
До 40, јер је улазна струја Шоткијевих кола мале снаге -0,25 mA, а у излаз стандардних *TTL* кола може да улази до 16 mA. (1 или -0,25 поена)

20.

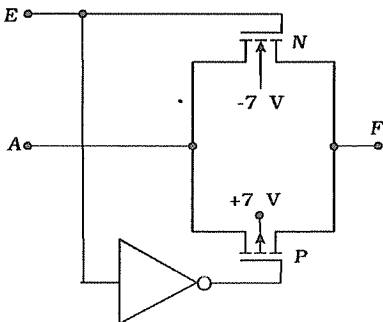
На слици 20.1 приказан је аналогни прекидач са *CMOS* колима. Овај прекидач се може употребити за: а) прекидање само позитивних напона; б) прекидање само негативних напона; в) прекидање позитивних, негативних и наизменичних напона; г) нема довољно података.

РАД

Овај прекидач се може употребити за прекидање позитивних, негативних и наизменичних напона, јер су му напони напајања -7,5 V и 7,5 V. (5 или -1,25 поена)



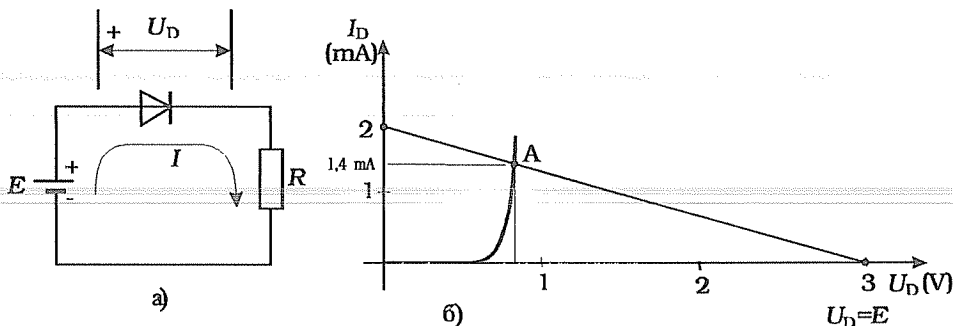
Слика 18.1



Слика 20.1

1.

Наћи графички струју кроз диоду на слици 1.1 ако је $R=1,5 \text{ k}\Omega$ и $E=3 \text{ V}$.
 $I = \underline{\hspace{2cm}}$.



Слика 1.1

РАД

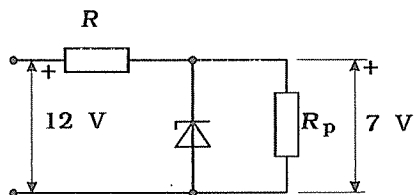
Радна права се повлачи кроз две тачке: $U_D=E=3 \text{ V}$ и $I_C=E/R=3 \text{ V}/1500 \Omega=2 \text{ mA}$. Струја у радној тачки је око $1,4 \text{ mA}$. (3 поена)

2.

Ако се улазни напон повиси за 20 %, снага на отпорнику R на слици 2.1 се повећа приближно за:

- а) 20 %;
- б) 48 %;
- в) 120 %;

г) ниједна вредност није ни приближно тачна.



Слика 2.1

РАД

Када је напон $U_1=12 \text{ V}$, напон на отпорнику R је 5 V , а снага на њему је: $P_1=(5 \text{ V})^2/R$. Када се напон U_1 повиси за 20 %, он износи $14,4 \text{ V}$, а напон на отпорнику R је $7,4 \text{ V}$. Нова снага на отпорнику је: $P_2=(7,4 \text{ V})^2/R$. Повећање снаге у процентима је:

$$\Delta P (\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100 \% = \frac{\frac{(7,4 \text{ V})^2}{R} - \frac{(5 \text{ V})^2}{R}}{\frac{(5 \text{ V})^2}{R}} \cdot 100 \% = 119 \% \approx 120 \%$$

(9 или -3 поена)

3.

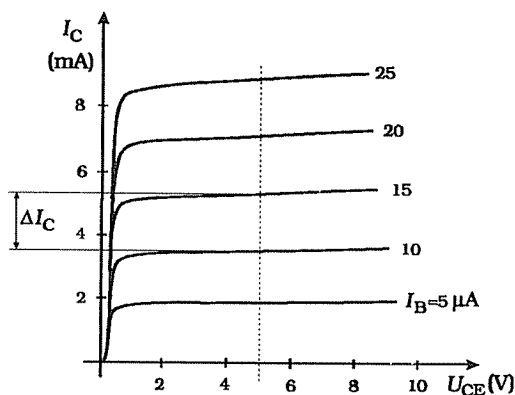
Из излазних карактеристика на слици 3.1 наћи приближну вредност параметра h_{21e} код струје $I_C = 5 \text{ mA}$ и $U_{CE} = 5 \text{ V}$. $h_{21e} = \underline{\hspace{2cm}}$.

РАД

Са слици 3.1 види се да је $\Delta I_B = 5 \text{ mA}$, а $\Delta I_C = 2 \text{ mA}$, па је:

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = 400.$$

(5 поена)



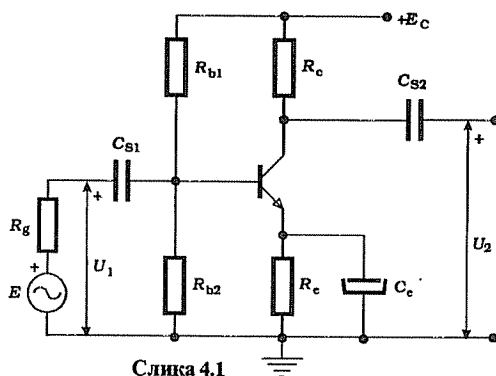
Слика 3.1

4.

Наћи C_{s1} и C_e на слици 4.1 тако да имају исти утицај на фреквенцијску карактеристику. Познате су вредности: $R_g = 600 \Omega$, $h_{21e} = 150$, $h_{11e} = 4 \text{ k}\Omega$ и $f_d = 30 \text{ Hz}$. $C_{s1} = \underline{\hspace{2cm}}$, $C_e = \underline{\hspace{2cm}}$.

РАД

Укупна капацитивност улазног кола износи:



Слика 4.1

$$C_e = \frac{h_{21e}}{2\pi f_d (R_g + h_{11e})} = \frac{150}{2\pi \cdot 30 \text{ Hz} (600 \Omega + 4000 \Omega)} = 173 \mu\text{F};$$

$$C_e = 2C_e = 346 \mu\text{F};$$

$$C_{s1} = \frac{C_e}{h_{21e}} = \frac{346 \mu\text{F}}{150} = 2,3 \mu\text{F}. \quad (10 \text{ поена})$$

5.

На слици 5.1 приказан је појачавач са заједничким гејтом. Одредити C_{s1} тако да му доња гранична учестаност буде 200 Hz ако је $g_m = 5 \text{ mA/V}$. $C_{s1} = \underline{\hspace{1cm}}$.

РАД

Улазна отпорност овог појачавача је:

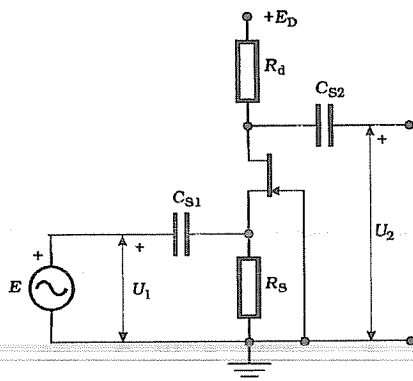
$$R_{ul} = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}} = 200 \Omega.$$

На доњој граничној учестаности је:

$$\frac{1}{2\pi f_d C_{s1}} = R_{ul}.$$

Одавде се добије:

$$C_{s1} = \frac{1}{2\pi \cdot 200 \text{ Hz} \cdot 200 \Omega} = 3,98 \mu\text{F}. \quad (5 \text{ поена})$$

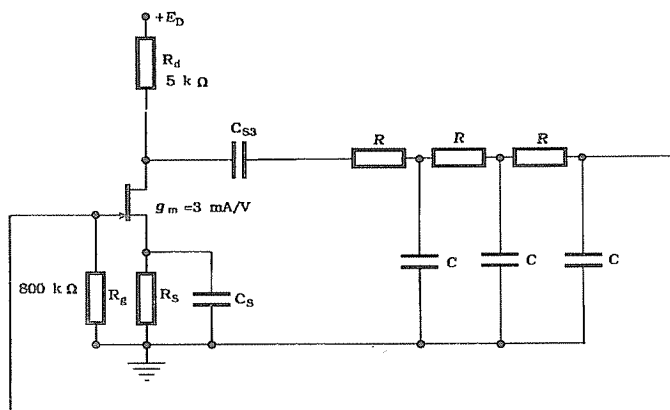


Слика 5.1

6.

На слици 6.1 је приказан RC осцилатор са фазним померајем. Овај осцилатор:

- а) може нормално да ради;
- б) не може да ради;
- в) може да ради ако се повећа отпорност R_g ;
- г) нема довољно података.



Слика 6.1

РАД

Напонско појачање појачавача: $A_u = -g_m R_d = -5\,000\ \Omega \cdot 3 \cdot 10^{-3}\ \text{A} = -15$ и мање је од -29 , колико је потребно. (3 или -1 поен)

7.

Напон између „+” и „-” улаза инвертујућег појачавача код излазног напона од $5\ \text{V}$ износи:

- а) $10\ \text{mV}$;
- б) $50\ \mu\text{V}$;
- в) зависи од отпорника у повратној спрези;
- г) нема довољно података.

РАД

Нема довољно података, јер није познато појачање отворене петље A' . (1,5 или $-0,5$ поена)

8.

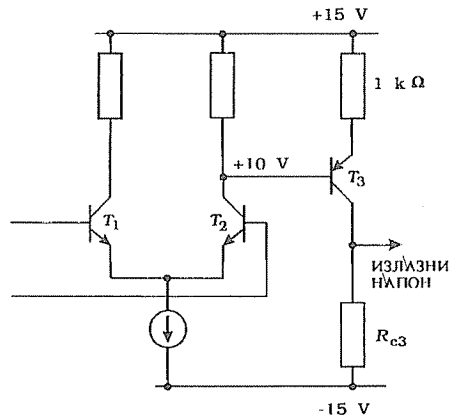
На слици 8.1 потребно је одредити отпорност R_{c3} тако да је излазни напон једнак нули у одсуству побудног сигнала. Узети да је $U_{BE} = 0,7\ \text{V}$.

РАД

Струја кроз отпорник од $1\ \text{k}\Omega$ је:

$$I_{c3} = \frac{15\ \text{V} - 0,7\ \text{V} - 10\ \text{V}}{1\,000\ \Omega} = 4,3\ \text{mA}.$$

Напон на отпорнику R_{c3} је $15\ \text{V}$, па је:



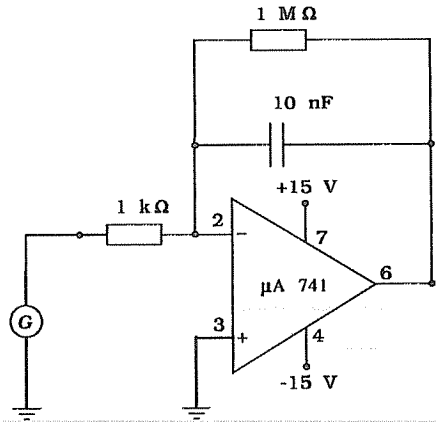
Слика 8.1

$$R_{c3} = \frac{15\ \text{V}}{4,3 \cdot 10^{-3}\ \text{A}} = 3,48\ \text{k}\Omega. \quad (5\ \text{поена})$$

9.

На слици 9.1 приказан је интегратор. Колико износи модуо напонског појачања (без знака или „j”) овог појачавача на учестаности 1 kHz када се користи за појачање наизменичног напона под условом да је утицај отпорности од 1 MΩ занемарљив?

РАД



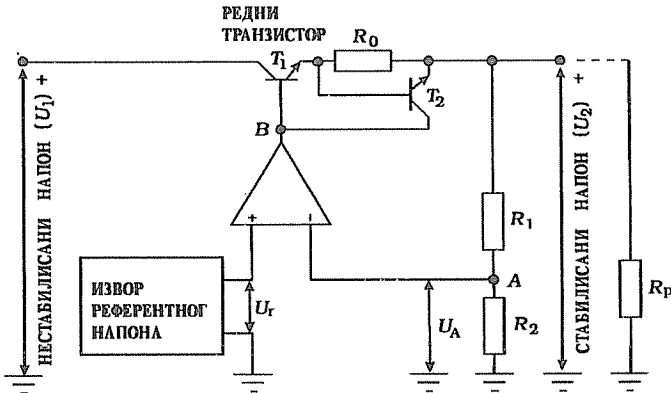
Слика 9.1

$$A_u = \frac{1}{2\pi f C R_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot 10^3 \Omega} = 15,9. \quad (10 \text{ поена})$$

10.

Колики се излазни напон може добити са колом на слици 10.1 ако је референтни напон 7 V:

- а) само једнак или већи од референтног;
- б) само једнак референтном;
- в) већи и мањи од референтног;
- г) нема довољно података?



Слика 10.1

РАД

Само једнак или већи од референтног, јер се део излазног напона изједначава са референтним напоном. (1,5 или -0,5 поена)

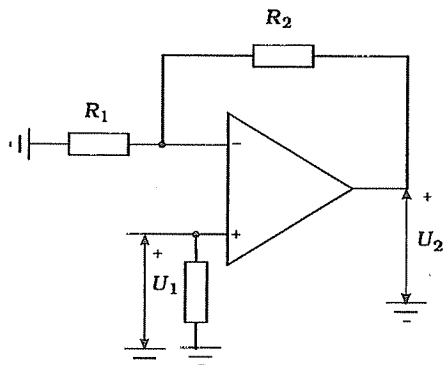
11.

Улазна отпорност појачавача на слици 11.1 је:

- а) већа од 100 МΩ;
- б) 10 kΩ;
- в) 1 kΩ;
- г) нема довољно података.

РАД

Нема довољно података јер није дата вредност отпорности између „+” улаза и масе. (1,5 или -0,5 поена)



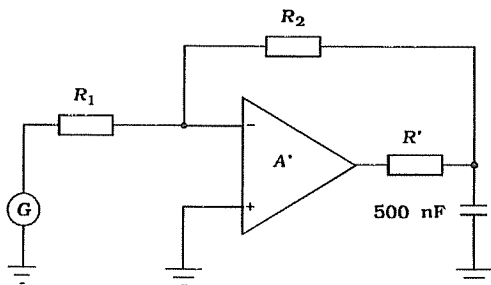
Слика 11.1

12.

Одредити R' кола за фреквенцијску компензацију на слици 12.1 тако да појачање појачавача почиње да опада са -6 dB/окт од учестаности $f = 100$ Hz. Занемарити утицај отпорности R_2 . $R' =$ _____.

РАД

Појачање почиње приближно да опада у тачки где је: $\omega R' C = 1$. Одавде се добије:



Слика 12.1

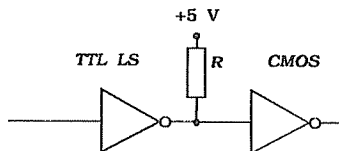
$$R' = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ Hz} \cdot 500 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 3183 \Omega. \quad (15 \text{ поена})$$

13.

Код повезивања TTL LS и CMOS кола користи се отпорник као на слици 15.1. Његова минимална вредност се одређује према _____.

РАД

Његова минимална вредност се одређује према максималној струји логичке нуле на излазу TTL LS кола. (2 поена)



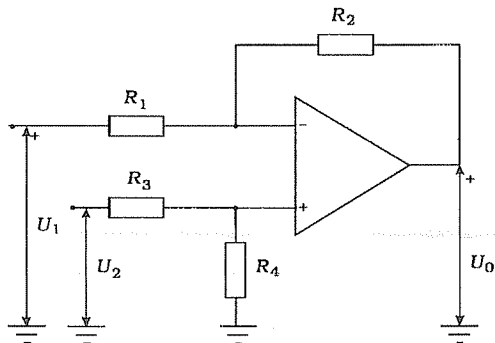
Слика 13.1

14.

Код кола за одузимање напона на слици 14.1 сви отпорници су различити. Излазни напон је директно сразмеран разлици улазних напона када је $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

РАД

Решење се налази у задатку 8.27 у главном делу збирке: $R_4 R_1 = R_2 R_3$.
(10 поена)



Слика 14.1

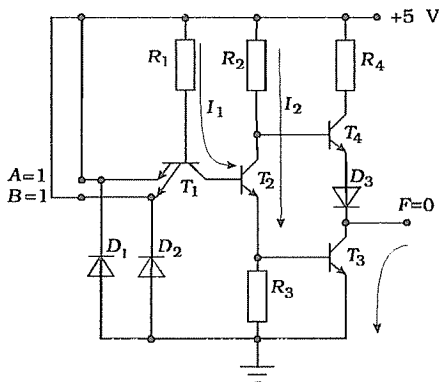
15.

Код стандардног *TTL* кола (колекторска) струја кроз транзистор T_2 на слици 15.1 износи:

- а) 2,56 mA;
- б) 1,87 mA;
- в) 1,25 mA;
- г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

Када транзистор T_2 проводи, напон на њему је око 0,2 V, док је U_{BE} транзистора T_3 око 0,7 V. Када се ове вредности узму у обзир, добије се: $I_2 = 4,1 \text{ V} / 1600 \Omega = 2,56 \text{ mA}$.
(3 или -1 поен)



Слика 15.1

16.

Израчунати тачно излазни напон у тачки F на слици 16.1, када је $F = 1$, ако је $R_2 = 300 \Omega$, $R_4 = 430 \Omega$ и за T_3 је $h_{21E} = 20$. $U = \underline{\hspace{2cm}}$.

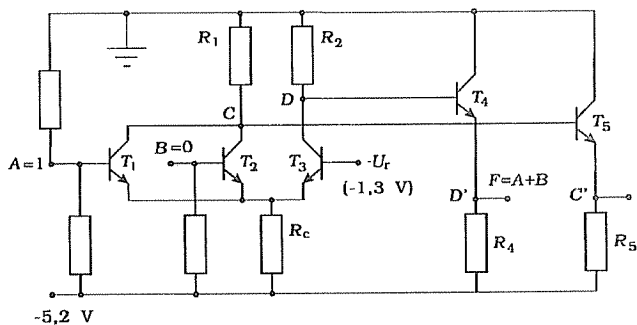
РАД

Колекторска струја транзистора T_4 је:

$$I_{C4} = \frac{5,2 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{R_4 + \frac{R_2}{h_{21E}}} = \frac{4,5 \text{ V}}{430 \Omega + \frac{300 \Omega}{20}} = 10,1 \text{ mA}.$$

Сада је напон на излазу F једнак:

$$U = -5,2 \text{ V} + R_4 I_{C4} = -5,2 \text{ V} + 4,34 \text{ V} = -0,86 \text{ V}. \quad (7,5 \text{ поена})$$



Слика 16.1

17.

ECL кола имају негативно напајање због:

- а) случајно одабраног начина рада код увођења ове фамилије;
- б) мање отпорности између радне тачке и масе ради смањења утицаја шумава;
- в) веће отпорности између радне тачке и масе ради смањења утицаја шумава;
- г) није узет у обзир ни један од наведених разлога.

РАД

ECL кола имају негативно напајање јер мања отпорност боље одводи сметње (шумове) на масу. (3 или -1 поен)

18.

Изрешунати отпорност R_2 између излаза и „+“ улаза Шмитовог окидног кола тако да му окидни нивои буду $\pm 0,5 \text{ V}$. Нека је напон засићења на излазу једнак $\pm 13 \text{ V}$, а отпорност између „+“ улаза и масе $2 \text{ k}\Omega$. $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

РАД

Слабљење напона од излаза ка улазу Шмитовог окидног кола је:

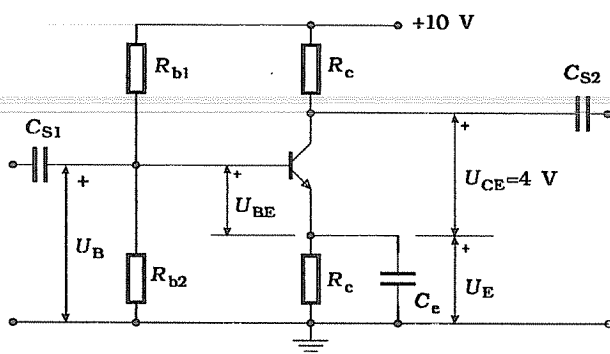
$$a = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{13 \text{ V}}{0,5 \text{ V}}.$$

Одавде се добије:

$$R_2 = 25 R_1 = 25 \cdot 2 \text{ k}\Omega = 50 \text{ k}\Omega. \quad (5 \text{ поена})$$

1.

На слици је приказан добро стабилисани појачавач са заједничким емитором. На слици је означен напон U_{CE} за постојећи коефицијент h_{21E} . Ако се стави други примерак транзистора који има h_{21E} већи три пута, колико приближно износи нови напон U_{CE}' ? Сматрати да су напони U_B и U_{BE} остали исти; $U_{CE}' = 4 \text{ V}$.



РАД

Ако су напони U_B и U_{BE} остали исти, остао је исти и напон U_E и струја I_C , па је $U_{CE}' \approx U_{CE} = 4 \text{ V}$. (4 поена)

2.

Наћи ефективну вредност наизменичног напона на улазу Грецовог усмерача, ако је потребан једносмерни напон са филтарским кондензатором 12 V . Занемарити промене једносмерног напона приликом пуњења и пражњења кондензатора. Узети у обзир падове напона на диодама по $0,7 \text{ V}$.

РАД

Амплитуда наизменичног напона на улазу Грецовог усмерача треба да буде виша од једносмерног напона на филтарском кондензатору за $1,4 \text{ V}$:

$$U_m - 1,4 \text{ V} = 12 \text{ V}.$$

Одавде се добије:

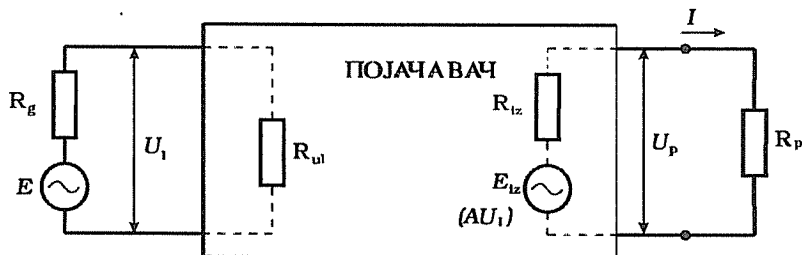
$$U_m = 12 \text{ V} + 1,4 \text{ V} = 13,4 \text{ V}.$$

Ефективна вредност наизменичног напона износи:

$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 9,47 \text{ V}. \quad (5 \text{ поена})$$

3.

На слици је дат општи облик појачавача. Излазни напон празног хода износи 2 V. Када се на излаз појачавача прикључи потрошач од 1 kΩ, излазни напон опадне на 0,7 V. Наћи излазну отпорност појачавача.



РАД

Излазна отпорност појачавача дата је изразом (види уџбеник *Електроника I*):

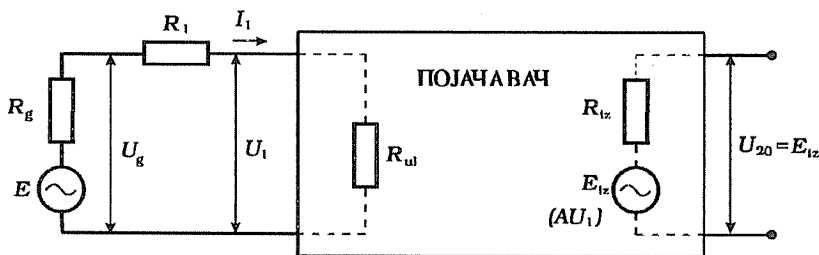
$$R_{iz} = \frac{U_{20} - U_p}{U_p} \cdot R_p,$$

где је U_{20} напон празног хода, а U_p напон на прикљученом потрошачу. Када се наведене вредности замене у ову једначину добије се:

$$R_{iz} = \frac{2 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{0,7 \text{ V}} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 1,857 \text{ k}\Omega. \quad (7 \text{ поена})$$

4.

На слици је дат општи облик појачавача. Нека су измерени напони $U_g = 12 \text{ mV}$ и $U_1 = 10 \text{ mV}$, док је отпорност $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$. Наћи улазну отпорност појачавача.



РАД

Улазну отпорност појачавача је најлакше наћи помоћу улазне струје I_1 , која по Омовом закону износи:

$$I_1 = \frac{U_g - U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ mV} - 10 \text{ mV}}{2 \text{ k}\Omega} = 2 \mu\text{A}.$$

Улазна отпорност по Омовом закону износи:

$$R_{ul} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{10 \text{ mV}}{2 \mu\text{A}} = 5 \text{ k}\Omega. \quad (7 \text{ поена})$$

5.

На слици је приказан извор константне струје у дискретној техници, где је $U_B = 3 \text{ V}$, $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ и $R_c = 1 \text{ k}\Omega$. Наћи струју I_0 .

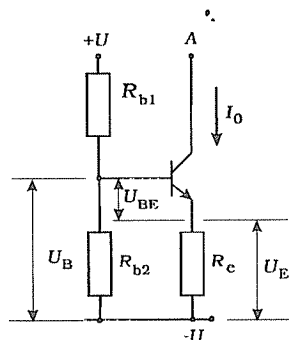
РАД

Напон U_E се добије као разлика напона U_B и U_{BE} :

$$U_E = U_B - U_{BE} = 3 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 2,3 \text{ V}.$$

Струја I_0 се добије по Омовом закону:

$$I_0 = \frac{U_E}{R_c} = \frac{2,3 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 2,3 \text{ mA}. \quad (5 \text{ поена})$$



6.

Одредити отпорност R_0 тако да се једносмерни ниво помери за 8 V од U_1 до U_{iz} при константној струји од $0,2 \text{ mA}$ уз $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$.

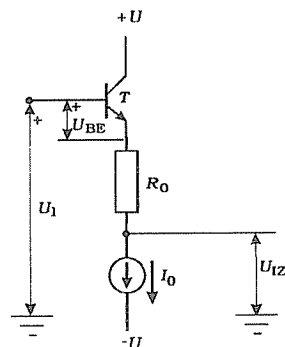
РАД

Са слике се види да је:

$$U_1 = U_{iz} + R_0 I_0 + U_{BE}.$$

Одавде се добије (уз услов да је $U_1 - U_{iz} = 8 \text{ V}$):

$$R_0 = \frac{U_1 - U_{iz} - U_{BE}}{I_0} = \frac{8 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{0,2 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 36,5 \text{ k}\Omega. \quad (5 \text{ поена})$$

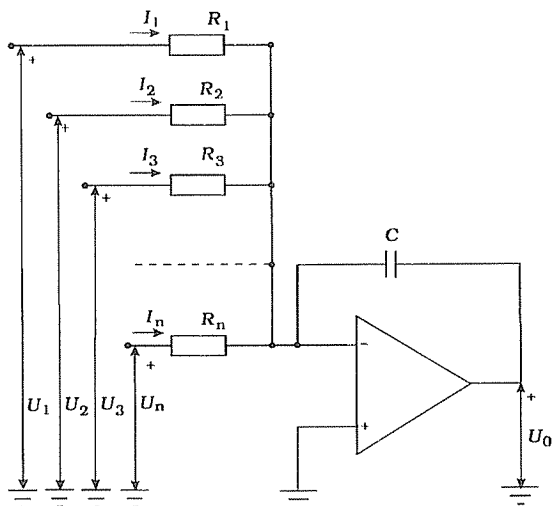


7.

На слици је дато коло за сабирање и интеграљење напона са реалним појачавачем. Ово коло:

- а) даје на излазу средњу вредност улазних напона;
- б) има излаз у позитивном засићењу;
- в) има излаз у негативном засићењу;
- г) нема довољно података.

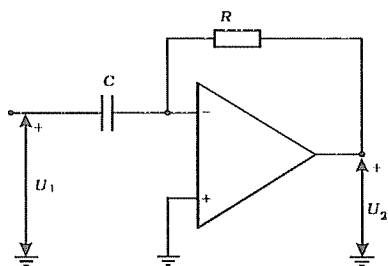
РАД



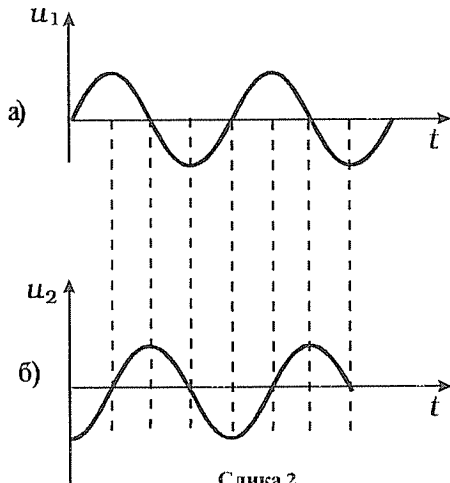
Не зна се колики је ни кога знака је улазни напон раздешености, као ни колики су улазни напони. (3 или -1 поен)

8.

На слици је дато активно коло за диференцирање. На улаз му се доводи синусни напон као на слици 2а. Нацртати на слици 2б облик излазног напона не водећи рачуна о његовој амплитуди, него само о облику и фази.



Слика 1



Слика 2

РАД

Појачање појачавача износи:

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = - \frac{R}{\frac{1}{j\omega C}} = -j\omega CR.$$

Одавде је :

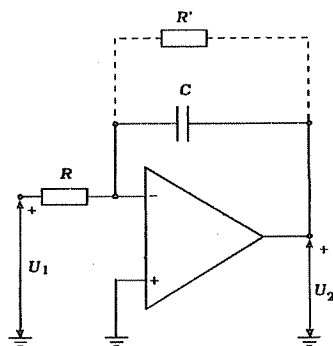
$$\underline{U}_2 = - \underline{U}_1 \cdot j\omega CR = -j\omega CR \underline{U}_1.$$

Види се да је напон $\underline{U}_2$ виши од напона $\underline{U}_1$ за ωCR , док „-j” означава да иде
иза њега за $\pi/2$. (10 поена)

9.

Реално коло за интеграћење се употре-
бљава за добијање средње вредности
променљивог напона. Отпорност R' служи:

- а) да повећа појачање појачавача;
- б) само да спречи да појачавач оде у
засићење;
- в) само за пражњење кондензатора;
- г) спречава да појачавач оде у засићење и
служи за пражњење кондензатора.



РАД

Кроз отпорник R' се кондензатор празни, а такође служи да се преко њега
оствари негативна повратна спрега за једносмерни напон, па појачавач не
иде у засићење због улазног напона раздешености. (3 или -1 поен)

10.

Фактор гранања стандардних *TTL* кола је одређен на основи:

- а) међународних прописа;
- б) јер је дозвољена излазна струја логичке нуле десет пута већа од мак-
сималне улазне струје логичке нуле;
- в) јер је дозвољена улазна струја логичке нуле десет пута већа од излазне
струје логичке нуле;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Максимална излазна струја логичке нуле је 16 mA, док је максимална
улазна струја логичке нуле -1,6 mA. (3 или -1 поен)

11.

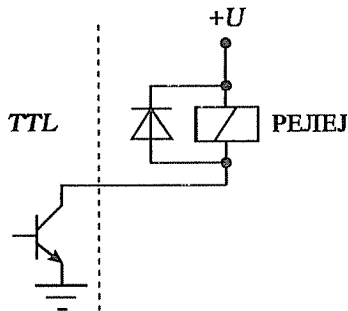
На слици је приказано *TTL* коло са отвореним колектором, на чији излаз је прикључен релеј. Због индуковања електромоторне силе приликом прекидања струје, паралелно релеју прикључује се диода. У тренутку прекидања струје, почетна струја кроз диоду је:

а) много већа од струје која је пре тога текла кроз релеј;

б) много мања од струје која је пре тога текла кроз релеј;

в) једнака струји која је текла пре прекидања кроз релеј;

г) нема довољно података.



РАД

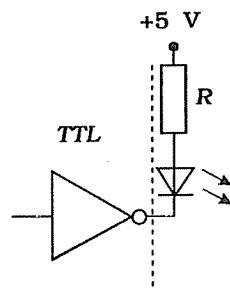
По Ленцовом закону индукована електромоторна сила се супротставља промени струје и настоји задржати постојеће стање. (3 или -1 поен)

12.

Одредити отпорност R тако да струја кроз светлећу диоду буде 5 mA, док је напон на њој 1,4 V. Занемарити напон логичке нуле на излазу *TTL* кола; $R = 720 \Omega$.

РАД

Напон на отпорнику је једнак разлици напона напајања и напона на светлећој диоди:



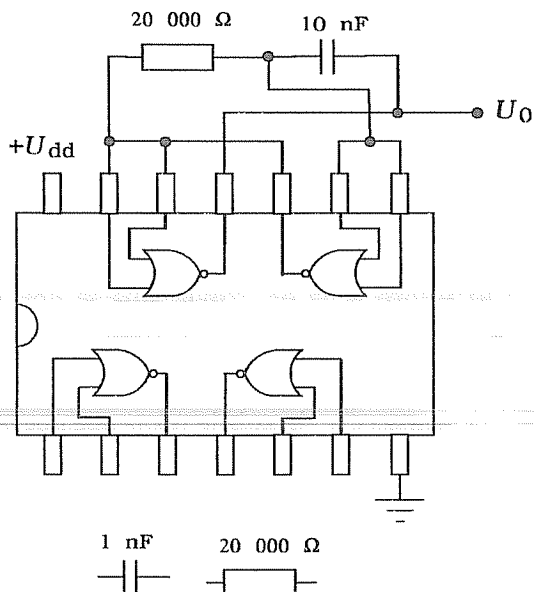
$$U_R = +5 \text{ V} - 1,4 \text{ V} = 3,6 \text{ V}.$$

Сада се отпорност рачуна по Омовом закону:

$$R = \frac{3,6 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 720 \Omega. \quad (5 \text{ поена})$$

13.

Повезати горња два *NILI* кола са горњим отпорником и кондензатором да би се добио астабилни мултивибратор. Означити са U_0 његов излаз.

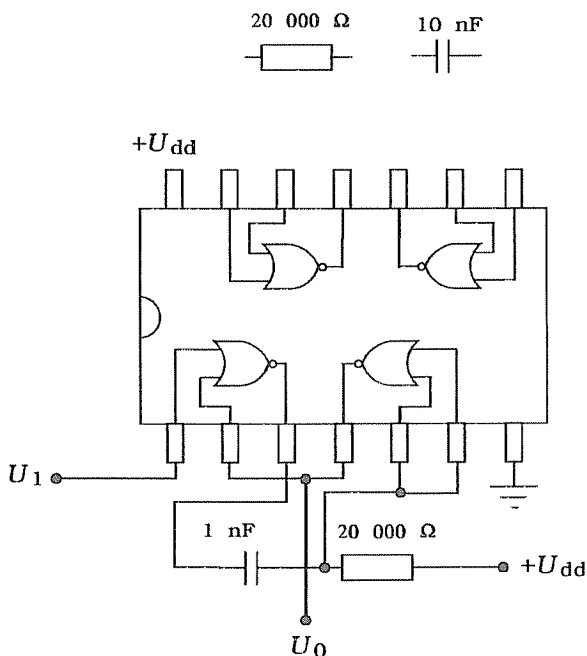


РАД

Овде се од *NILI* кола прави инвертор тако што му се улази кратко споје. (10 поена)

14.

Повезати доња два *NILI* кола са доњим отпорником и кондензатором да би се добио моностабилни мултивибратор. Означити са U_1 његов улаз, а са U_0 његов излаз.

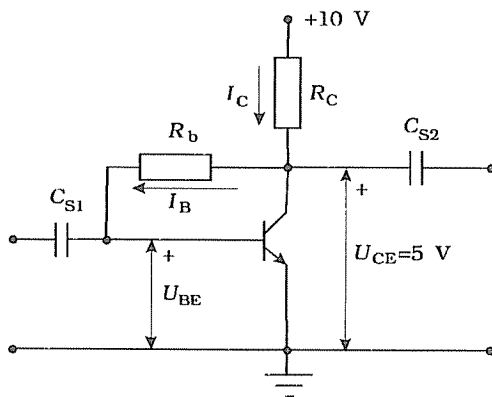


РАД

Овде се од једног *NILI* кола прави инвертор тако што му се улази кратко споје, док се други користи као цело коло. (10 поена)

15.

На слици је приказан појачавач са заједничким емитором, чија је радна тачка делимично стабилисана помоћу отпорника између колектора и базе. На слици је означен напон U_{CE} за постојећи коефицијент h_{21E} . Ако се стави други примерак транзистора који има h_{21E} већи три пута, колико приближно износи нови напон U_{CE}' ? Занемарити утицај напона U_{BE} ; $U_{CE}' = 2,5 \text{ V}$.



РАД

Ако се занемари напон U_{BE} , тада се са слике види да је напон U_{CE} једнак производу $R_B I_B$:

$$U_{CE} = R_B I_B = \frac{R_B I_C}{h_{21E}},$$

јер је $I_C = I_B / h_{21E}$.

Ако се параметар h_{21E} повећа три пута, добије се нови напон U'_{CE} и струја I'_C :

$$U'_{CE} = \frac{R_B I'_C}{3 \cdot h_{21E}},$$

Дељењем ових једначина, добије се:

$$\frac{U'_{CE}}{U_{CE}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{I'_C}{I_C}.$$

Струја I_C се по Омовом закону добије када се напон на отпорнику R_C подели његовом отпорношћу:

$$I_C = \frac{E_C - U_{CE}}{R_C},$$

$$I'_C = \frac{E_C - U'_{CE}}{R_C}.$$

Када се ове две једначине поделе, добије се:

$$\frac{I_C}{I_C} = \frac{E_C - U_{CE}}{E_C - U_{CE}}.$$

Заменом вредности I_C/I_C из овог израза у трећу једначину, добије се:

$$U_{CE} = \frac{U_{CE}}{3} \cdot \frac{E_C - U_{CE}}{E_C - U_{CE}}.$$

Са слике се види да је $U_{CE} = E_C - U_{CE} = 5 \text{ V}$, па се скраћивањем добије:

$$U_{CE} = \frac{E_C}{3} - \frac{U_{CE}}{3}.$$

Одавде је:

$$U_{CE} \left(1 + \frac{1}{3}\right) = \frac{E_C}{3}.$$

Сада је напон U_{CE} једнак:

$$U_{CE} = \frac{E_C}{4} = \frac{10 \text{ V}}{4} = 2,5 \text{ V}.$$

Посебно упутство за оцењивање овог задатка:

ако се поставе једначине за струје и напоне – 5 поена,

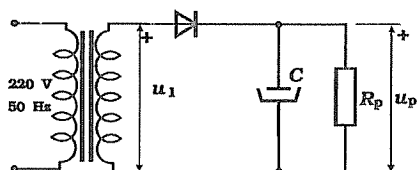
ако се поделе једначине за струје и једначине за напоне – 10 поена,

ако се добије коначан израз за тражени напон – 15 поена,

ако се добије и тачан резултат – 20 поена.

1.

На слици је приказан једностранни усмераваач са кондензатором. Нека је $R_p C \gg T$. Ефективна вредност напона на потрошачу R_p је приближно једнака:



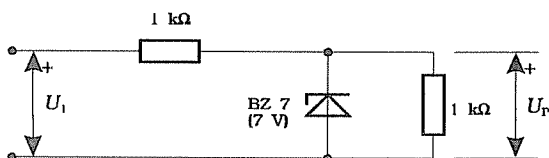
- а) $U_m/\sqrt{2}$;
- б) $2U_m/\pi$;
- в) U_m/π ;
- г) U_m .

РАД

Кондензатор се пуни приближно на U_m , док се врло мало испразни.
(3 или –1 поен)

2.

Од које вредности напона U_1 Ценерова диода на слици почиње да проводи? $U_1 = 14$ V.



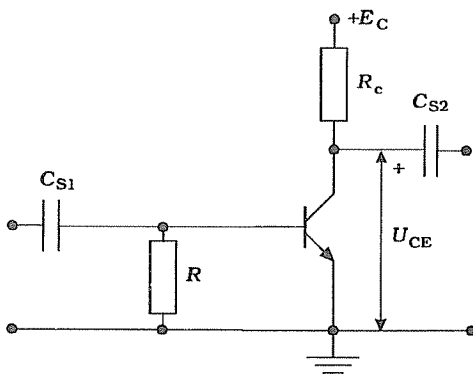
РАД

Када напон пређе 14 V напон на диоди порасте на 7 V и тада почиње да проводи.
(3 поена)

3.

Коло на слици може да:

- а) појачава наизменични напон;
- б) појачава једносмерни напон;
- в) може да ради са импулсним напонем под одређеним условима;
- г) не може да ради ни са каквим улазним напонем.



РАД

Може да ради са позитивним импулсним напонима; кондензатор C_{s1} се пуни за време импулса кроз спој база – емитор (и отпорник R), а празни се кроз отпорник R

(3 или –1 поен)

4.

Појачавач на слици:

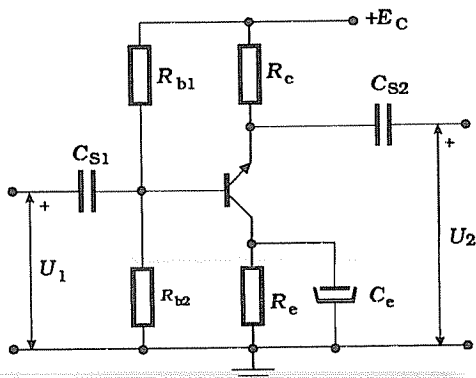
а) може да нормално појачава наизменични напон;

б) може да појачава наизменични напон, али слабије него у нормалној вези;

в) не може да појачава никакав напон;

г) нема довољно података.

РАД



Када колектор и емитор транзистора замене места, добије се опет транзистор, али са знатно мањим коефицијентом струјног појачања.

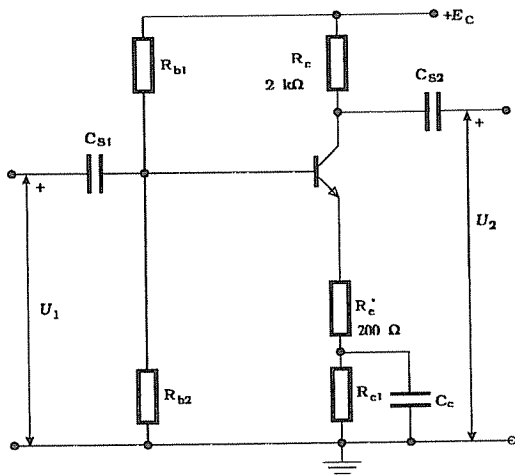
(6 или -2 поена)

5.

На слици је приказан појачавач са негативном повратном спрегом. Сматрати да неозначени елементи немају битан утицај на појачање. Наћи C_e ако његова доња гранична учестаност износи $f_d = 50 \text{ Hz}$.

РАД

На доњој граничној учестаности реактанса кондензатора је једнака отпорности R'_e . Из ове једнакости се добије:



$$C_e = \frac{1}{2\pi f_d \cdot R'_e} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 200 \Omega} = 15,9 \mu\text{F}$$

(12 поена)

6.

Улазна отпорност појачавача на слици је приближно једнака:

а) паралелној вези отпорника R_{b1} и R_{b2} ;

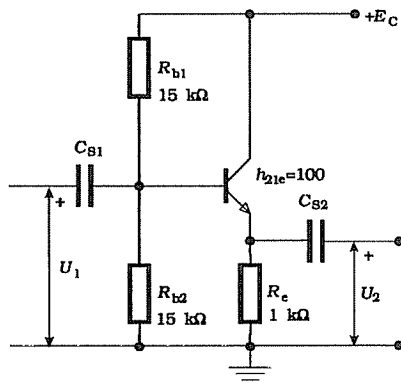
б) није понуђен ни приближан одговор;

в) $h_{21e}R_e$;

г) $R_{b1} + R_{b2}$.

РАД

Улазна отпорност појачавача са заједничким колектором је обично знатно већа од $7,5 \text{ k}\Omega$, колико износи еквивалентна отпорност паралелне везе R_{b1} и R_{b2} . (6 или -2 поена)

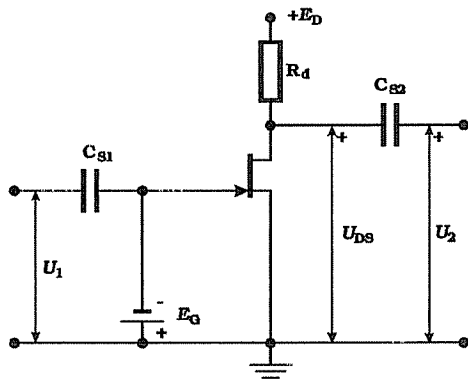


7.

Појачавач на слици може да појачава:

- а) једносмерни напон;
- б) наизменични напон;
- в) једносмерни и наизменични напон;

г) не може да појачава ни једносмерни ни наизменични напон.



РАД

– јер је улаз кратко спојен на масу преко извора E_G . (6 или -2 поена)

8.

Напонско појачање појачавача са заједничким сорсом је обично:

- а) веће него код појачавача са заједничким емитором, и то због велике улазне отпорности;
- б) мање него код појачавача са заједничким емитором, и то због мале улазне отпорности;
- в) мање него код појачавача са заједничким емитором, и то због мале стрмине (g_m);

г) приближно је исто јер су параметри h_{22e} и g_0 такође приближно исти. (3 или -1 поен)

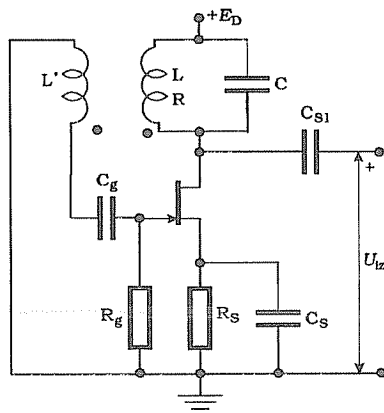
9.

Осцилатор на слици:

- а) не може да ради због _____;
- б) може да ради под условом да је Q -фактор осцилаторног кола већи од 100;
- в) може нормално да ради;

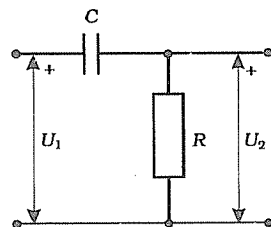
РАД

Не може да ради због погрешно окренутих калемова. (3 или -1 поен)



10.

На слици је приказано пасивно коло за диференцирање. Доња гранична учестаност, односно када је напон на излазу $\sqrt{2}$ пута нижи од улазног, наступа када између капацитивности кондензатора и отпорности отпорника постоји следећа релација _____.



РАД

$$\frac{1}{\omega C} = R. \quad (4 \text{ поена})$$

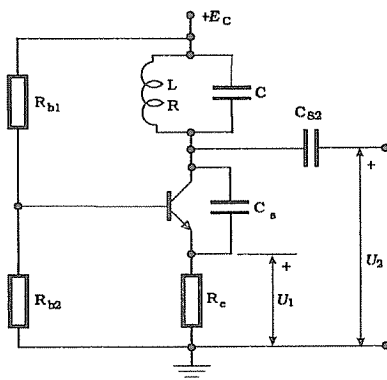
11.

Осцилатор на слици:

- а) не може да ради због _____;
 б) може да ради ако се одабере погодна вредност за C ;
 в) може нормално да ради;
 г) није понуђен тачан одговор.

РАД

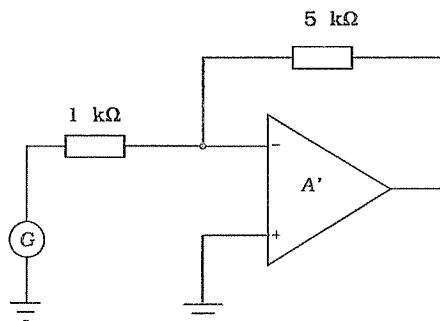
Недостаје кондензатор C_b .
 (3 или -1 поен)



12.

Нека је улазни напон раздешености код појачавача на слици једнак 2 mV. Напон на излазу који потиче од овог напона раздешености приближно је једнак:

- а) 2 mV;
- б) 4 mV;
- в) 12 mV;
- г) ниједна вредност није ни приближно тачна.



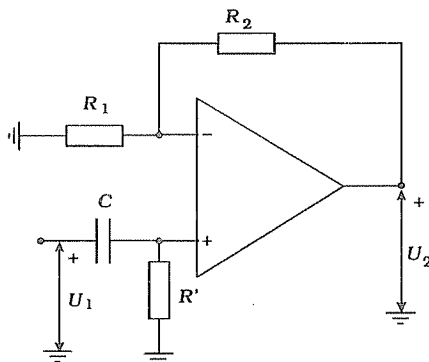
РАД

Појачање напона раздешености је $(R_1 + R_2)/R_1 = 6$. (6 или -2 поена)

13.

На слици је приказан неинвертујући појачавач. Код њега отпорност R' служи:

- а) само да би кроз њега текла побудна струја;
- б) да би кроз њега текла побудна струја и да се помоћу њега одреди улазна отпорност појачавача;
- в) само за пражњење кондензатора на улазу;
- г) ниједан одговор није ни приближно тачан.

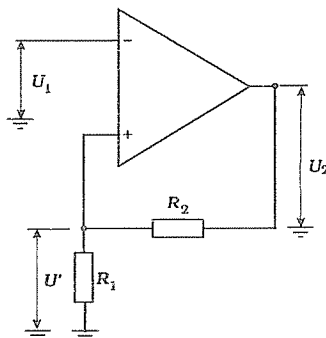


РАД

Побудна струја тече у „+” улаз и она тече кроз отпорник R' . Истовремено отпорност R' представља улазну отпорност појачавача. (6 или -2 поена)

14.

На слици је приказано Шмитово окидно коло. Нека је излазни напон засићења код операционог појачавача ± 12 V и нека је $R_2 = 10$ kΩ. Одредити отпорност R_1 тако да окидни нивои овог кола буду ± 2 V.



РАД

Напон на „+” улазу који се добије од напона U_2 је:

$$U = \frac{U_2 R_1}{R_1 + R_2}.$$

Одавде се добије:

$$R_1 = \frac{R_2 U}{U_2 - U} = \frac{10 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ V}}{10 \text{ V} - 2 \text{ V}} = 2 \text{ k}\Omega. \quad (6 \text{ поена})$$

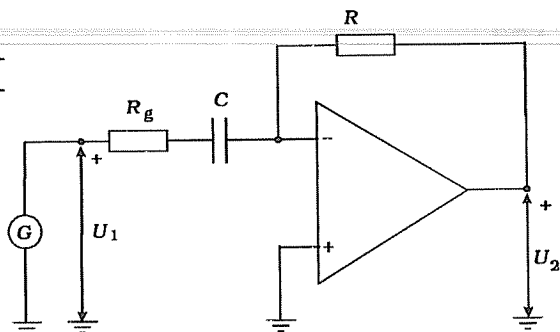
15.

Појачање појачавача на слици не зависи од учестаности када је _____.

РАД

$$R_g \gg \frac{1}{\omega RC}.$$

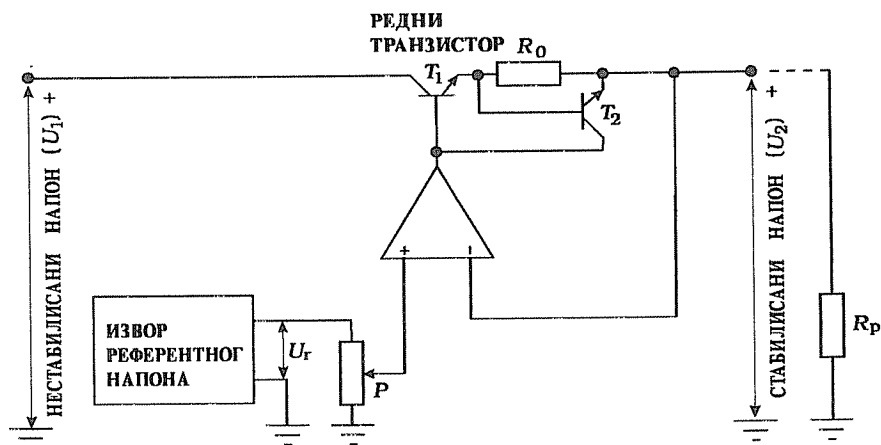
Тада је појачање једнако:
 $-R/R_g$. (6 поена)



16.

Код стабилизатора напона на слици је излазни напон:

- а) виши или једнак референтном напону;
- б) нижи или једнак референтном напону;
- в) може да буде нижи, виши или једнак референтном напону;
- г) ниједан одговор није тачан.



РАД

Напон на клизачу потенциометра је нижи или једнак референтном напону. Излазни напон је приближно једнак напону на клизачу потенциометра. (3 или -1 поен)

17.

Код *TTL* кола на слици улазна струја код логичке нуле је:

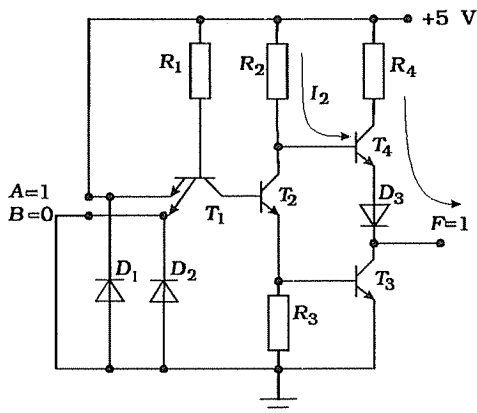
а) негативна јер излази из улаза кола;

б) позитивна јер улази у коло;

в) може да буде позитивна или негативна јер зависи од температуре;

г) нема довољно података.

(3 или -1 поен)



18.

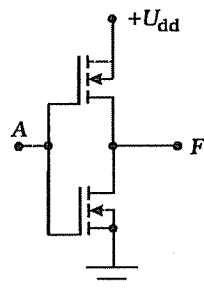
На слици је приказано коло које:

а) даје на излазу инверзну функцију од улазне;

б) даје на излазу исту функцију која је доведена на улаз;

в) не може да ради као логичко коло;

г) нема довољно података.



РАД

Горњи *MOSFET* не може никако да проводи јер му је потенцијал гејта увек нижи од потенцијала сорса. (3 или -1 поен)

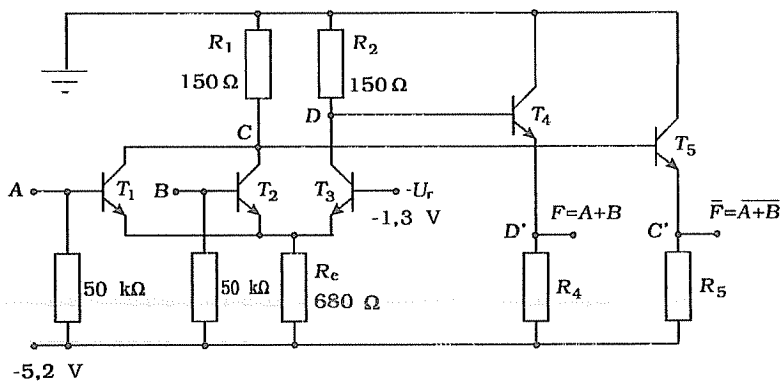
19.

Наћи напон између колектора и емитора транзистора T_3 када проводи.
 $U_3 = \underline{\hspace{1cm}}$.

РАД

Струја кроз отпорник R_e је:

$$I = \frac{3,2 \text{ V}}{680 \Omega} = 4,7 \text{ mA}.$$



Напон на отпорнику R_2 је $0,7\text{ V}$, па је напон између колектора и емитора транзистора T_3 једнак: $U_3 = -0,7\text{ V} - (-2\text{ V}) = 1,3\text{ V}$. (12 поена)

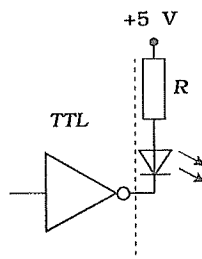
20.

Диода на слици светли када је на излазу:

- а) логичка нула;
- б) логичка јединица;
- в) не светли ни код логичке нуле ни јединице;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Струја може да тече кроз диоду када је излаз у стању логичке нуле.



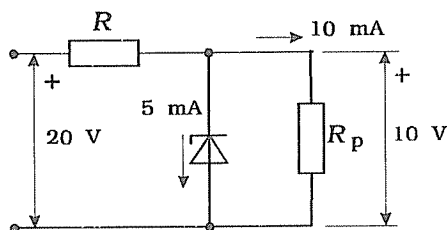
(3 или -1 поен)

1.

Колико порасте снага на Ценеровој диоди ако улазни напон у колу на слици порасте за 10 %?

РАД

Снага на диоди код стања у колу као на слици је:



$$P_Z = U_Z I_Z = 10 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 50 \text{ mW}.$$

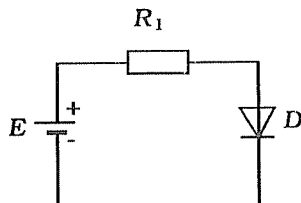
Отпорност R се добије када се напон на њему подели укупном струјом: $R = 10 \text{ V} / 15 \text{ mA} = 666 \Omega$. Када се улазни напон повиси за 10 %, он износи 22 V. Сада струја кроз отпорник износи: $I'_R = 12 \text{ V} / 666 \Omega = 18 \text{ mA}$. Кроз потрошач и даље тече 10 mA, док кроз диоду тече 8 mA. Нова снага на диоди је: $P'_Z = 10 \text{ V} \cdot 8 \text{ mA} = 80 \text{ mW}$. Повећање снаге у процентима је:

$$\Delta P[\%] = \frac{P'_Z - P_Z}{P_Z} = \frac{80 \text{ mW} - 50 \text{ mW}}{50 \text{ mW}} = 60 \%. \quad (5 \text{ поена})$$

2.

Одредити положај радне тачке S_i диоде код кола на слици ако су познати следећи елементи кола: $R = 116 \Omega$, $E = 1,4 \text{ V}$, а облик статичке карактеристике диоде је дат табелом:

$U(\text{V})$	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8
$I(\text{mA})$	0	0,15	0,5	2	6	10



РАД

За коло на слици може се написати једначина по II Кирхофовом закону: $E - IR - U_D = 0$. Ако нека тачка из табеле задовољава ову једначину, она представља радну тачку диоде. Проверавањем се добије да је задовољава тачка $U_D = 0,7 \text{ V}$ и $I = 6 \text{ mA}$: $1,4 \text{ V} - 6 \text{ mA} \cdot 116 \Omega - 0,7 \text{ V} = 0$. (5 поена)

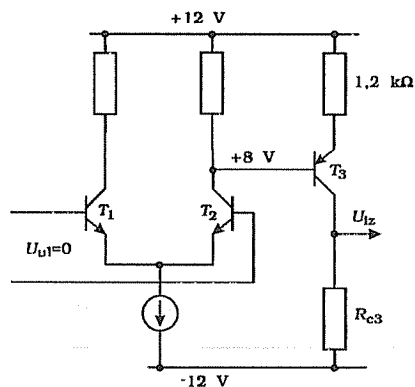
3.

За коло на слици одредити R_{c3} тако да излазни напон буде једнак нули у одсуству побудног сигнала. Узети да је $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$.

РАД

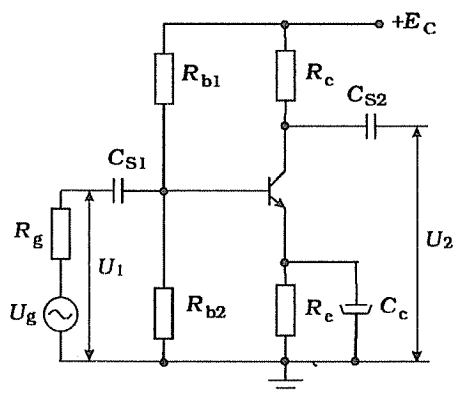
Напон на отпорнику од $1,2 \text{ k}\Omega$ је: $4 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 3,3 \text{ V}$. Струја кроз овај отпорник је по Омовом закону: $I = 3,3 \text{ V} / 1200 \Omega = 2,75 \text{ mA}$. Ова иста струја треба да на отпорнику R_{c3} створи напон 12 V , па је његова отпорност:

$$R_{c3} = 12 \text{ V} / 2,75 \text{ mA} = 4,36 \text{ k}\Omega. \quad (8 \text{ поена})$$



4.

Одредити вредност капацитивности кондензатора C_{s1} и C_{s2} за појачавачко коло са слике тако да они имају идентичан утицај на облик фреквенцијске карактеристике појачавача. Утицај отпорника разделника напона занемарити. Познати су следећи подаци: $R_g = 500 \Omega$, $R_e = 300 \Omega$, $h_{21e} = 100$, $h_{11e} = 2,64 \text{ k}\Omega$ и $f_d = 20 \text{ Hz}$.



РАД

Када се узму у обзир капацитивности C_e и C_{s1} код кола на слици, везане су, уствари, на ред капацитивности C_{s1} и C_e/h_{21e} , док им је еквивалентна капацитивност означена са C_{ek} . Ова капацитивност се добије када се еквивалентна отпорност у колу базе $R_g + h_{11e}$ изједначи са импедансом ове капацитивности на доњој граничној учестаности: $1/(\omega C_{ek}) = R_g + h_{11e}$. Одавде се добије C_{ek} :

$$C_{ek} = \frac{1}{\omega(R_g + h_{11e})} = \frac{1}{2\pi \cdot 20 \text{ Hz}(500 \Omega + 2640 \Omega)} = 2,53 \mu\text{F}.$$

Капацитивност C_{s1} је два пута већа и износи $5,06 \mu\text{F}$, док је капацитивност C_e већа h_{21e} пута од C_{s1} : $C_e = 5,06 \mu\text{F} \cdot 100 = 506 \mu\text{F}$. (8 поена)

5.

За транзисторско коло са слике уочено је да се при повећању струје базе од 13 на $15 \mu\text{A}$, колекторска струја промени са $1,04$ на $1,4 \text{ mA}$.

а) Одредити коефицијент струјног појачања транзистора за спрегу дату сликом.

б) Колико би износио коефицијент струјног појачања тог истог транзистора, при истим променама струје, ако би он био везан у облику спреге заједничка база?

РАД

Коефицијент h_{21e} у споју са заједничким емитором је:

$$h_{21e} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{0,36 \text{ mA}}{2 \mu\text{A}} = 180.$$

Коефицијент h_{21b} је једнак:

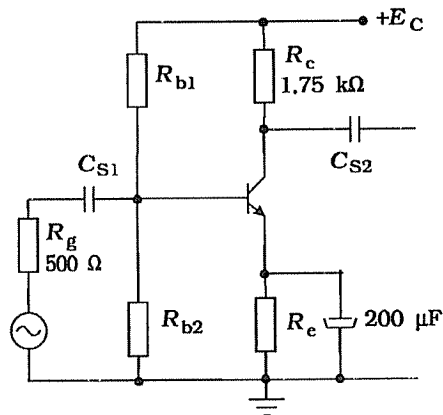
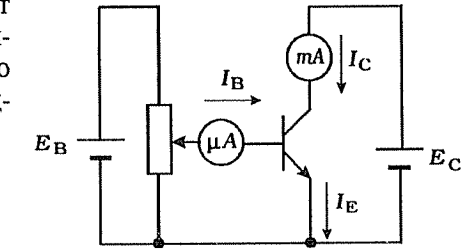
$$h_{21b} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{0,36 \text{ mA}}{0,362 \text{ mA}} = 0,994. \quad (6 \text{ поена})$$

6.

Изрaчунати пропусни опсег кола на слици ако је: $h_{11e}=3,5 \text{ k}\Omega$, $h_{21e}=200$, $C_{bc}=3 \text{ pF}$, $C_{be}=30 \text{ pF}$. (Узети да је капацитивност C_{s1} веома велика и да је њена импеданса занемарљиво мала; утицај R_{b1} и R_{b2} занемарити.)

РАД

Доња гранична учестаност се добије из услова да је отпорност у колу базе ($R_g + h_{11e}$) једнака реактанси кондензатора C_e/h_{21e} . Одавде се добије:



$$f_d = \frac{h_{21e}}{2\pi C_e(R_g + h_{11e})} = \frac{200}{2\pi \cdot 200 \cdot 10^{-6} \text{ F}(500 \Omega + 3500 \Omega)} = 39,8 \text{ Hz}.$$

За одређивање горње граничне учестаности треба најпре наћи напонско појачање које износи:

$$A_u = \frac{-h_{21e}R_c}{h_{11e}} = \frac{-200 \cdot 1750 \Omega}{3500 \Omega} = -100.$$

Укупна капацитивност је једнака збиру капацитивности $-AC_{bc}$ и C_e и он износи: $C_{uk}' = -(-100) \cdot 3 \text{ pF} + 30 \text{ pF} = 330 \text{ pF}$. Горња гранична учестаност се одређује из услова да је реактанса ове капацитивности једнака унутрашњој отпорности генератора R_g . Из овог услова се добије:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_g C_{uk}'} = \frac{1}{2\pi \cdot 500 \Omega \cdot 330 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 965\,064 \text{ Hz.}$$

Пропусни опсег се рачуна од f_d до f_g :

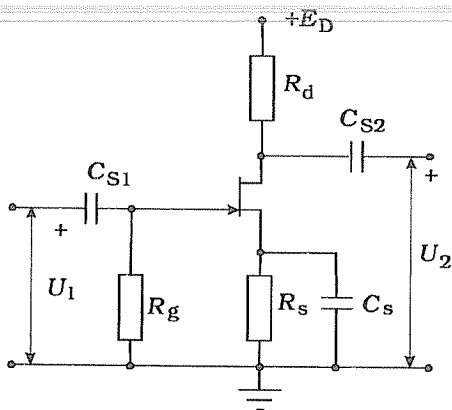
$$B = f_g - f_d = 965\,064 \text{ Hz} - 39,8 \text{ Hz} = 965\,024 \text{ Hz.} \quad (8 \text{ поена})$$

7.

Одредити капацитивност кондензатора C_s у колу са слике тако да доња гранична учестаност појачавача износи 20 Hz, а фет има стрмину $g_m = 5 \text{ mA/V}$.

РАД

Капацитивност C_s се рачуна из услова да је њена реактанса $(1/\omega C_s)$ на доњој граничној учестаности једнака $1/g_m$. Из овог услова добије се:



$$C_s = \frac{g_m}{\omega_d} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}}{2\pi \cdot 20 \text{ Hz}} = 39,8 \mu\text{F.} \quad (6 \text{ поена})$$

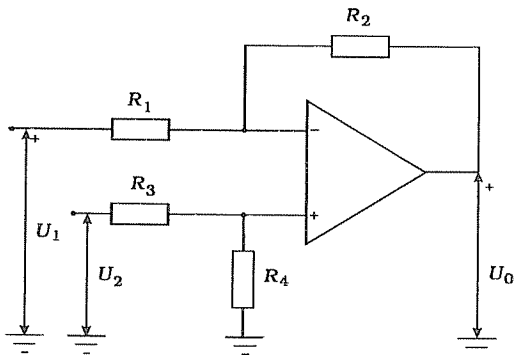
8.

У колу на слици сви отпорници су различити. Израчунати излазни напон U_0 .

РАД

Сличан задатак је већ обрађен (задатак 8.27) и излазни напон је једнак:

$$U_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1. \quad (8 \text{ поена})$$



9.

Одредити вредност отпорности R_2 Шмитовог окидног кола тако да окидни нивои, при напону засићења на излазу од $\pm 15 \text{ V}$ и отпорности отпорника $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, буду $\pm 0,75 \text{ V}$.

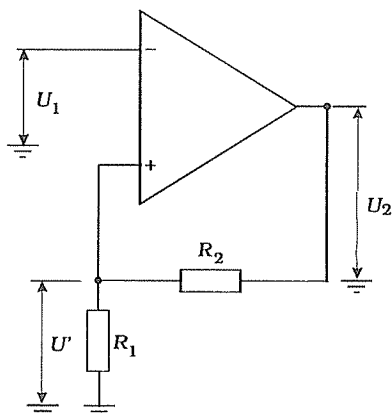
РАД

Напон U' на „+” улазу је део излазног напона:

$$U' = \frac{U_2 R_1}{R_1 + R_2}.$$

Одавде се добије:

$$R_2 = R_1 \left(\frac{U_2}{U'} - 1 \right) = 2 \text{ k}\Omega \cdot \left(\frac{15 \text{ V}}{0,75 \text{ V}} - 1 \right) = 38 \text{ k}\Omega. \quad (6 \text{ поена})$$



10.

За RC осцилатор са Виновим мостом на слици одредити вредности капацитивности C_1 и C_2 како би при $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ и $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ фреквенција осциловања била $f = 10 \text{ kHz}$.

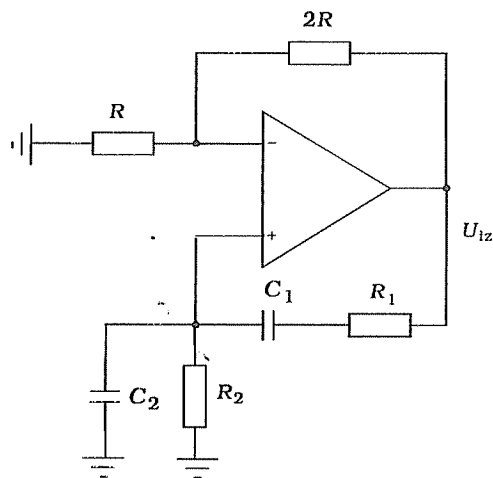
РАД

Импеданса паралелне гране Виновог моста је:

$$Z_p = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}.$$

Импеданса редне гране Виновог моста је:

$$Z_r = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}.$$



Преносни однос комплексне гране Виновог моста са различитим отпорницима има облик:

$$\frac{U_{ul}}{U_{iz}} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}.$$

Када се поједностави овај двојни разломак добије се:

$$\frac{U_{ul}}{U_{iz}} = \frac{R_2}{R_1 + j\omega R_2 C_2 R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{C_2 R_2}{C_1} + R_2}.$$

Изједначавањем имагинарног дела са нулом добије се учестаност осциловања:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Када се имагинарни део изједначи са нулом, преостали део преносног односа треба да је једнак $1/3$, јер је појачање појачавача 3:

$$\frac{U_{ul}}{U_{iz}} = \frac{R_2}{R_1 + \frac{C_2}{C_1} R_2 + R_2} = \frac{1}{3}.$$

Одавде се добије да је $C_1 = 1,5 C_2$.

Стављајући ову вредност у једначину за учестаност добије се:

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f \sqrt{1,5 R_1 R_2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \text{ Hz} \sqrt{1,5 \cdot 5 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^3 \Omega}} = 1,83 \text{ nF},$$

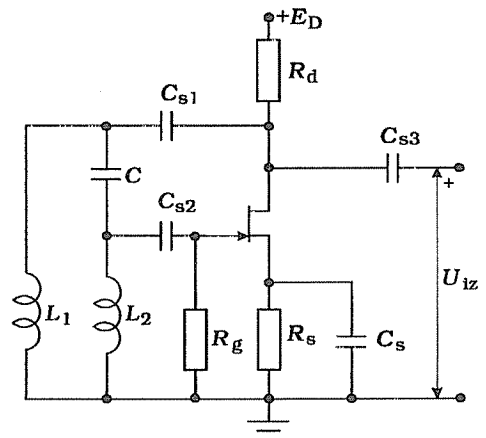
$$C_1 = 1,5 \cdot 1,83 \text{ nF} = 2,75 \text{ nF}. \quad (6 \text{ поена})$$

11.

Нацртати Хартлејев осцилатор у три тачке са фетом и прорачунати L_1 и L_2 тако да је $L_1 = 3L_2$, а учестаност осциловања $f = 30 \text{ MHz}$ и $C = 50 \text{ pF}$.

РАД

Ако је $L_1 = 3L_2$, тада је укупна индуктивност: $L = 4L_2$. Сада се помоћу Томсоновог обрасца може наћи укупна индуктивност:



$$L = \frac{1}{2\pi f^2 C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 30 \cdot 10^6 \text{ Hz})^2 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 0,563 \mu\text{H}.$$

Одавде се добије L_2 :

$$L_2 = \frac{L}{4} = 0,14 \mu\text{H},$$

$$L_1 = 0,422 \mu\text{H}.$$

(шема 6 поена, рачун 4 поена – укупно 10 поена)

12.

Код појачавача са комплементарним паром максимална корисна снага је 200 W. Колика је максимална снага дисипације на једном транзистору?

- а) 100 W;
- б) 40 W;
- в) 20 W;
- г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

Између ових снага постоји релација: $P_{\text{DM}}=0,4 P_{\text{KM}}$. Укупна снага дисипације је 80 W, па је на једном транзистору 40 W. (6 или –6 поена)

13.

Код појачавача са заједничким колектором је: $R_e=1 \text{ k}\Omega$, $A_i=100$, $R_g=50 \Omega$, $R_{iz}=20 \Omega$. Његова улазна отпорност је приближно:

- а) 102 k Ω ;
- б) 300 k Ω ;
- в) 140 k Ω ;
- г) ниједна вредност није ни приближно тачна.

РАД

Параметар h_{21e} је једнак струјном појачању: $h_{21e}=A_i=100$. Видимо да је отпорност генератора занемарљиво мала, па се параметар h_{11e} добије помоћу излазне отпорности:

$$h_{11e} \approx h_{21e} R_{iz} = 100 \cdot 20 \Omega = 2\,000 \Omega.$$

Улазна отпорност појачавача са заједничким колектором је:

$$R_{ul} = h_{11e} + h_{21e} R_e = 2\,000 \Omega + 100 \cdot 1\,000 \Omega = 102 \text{ k}\Omega.$$

(6 или –6 поена)

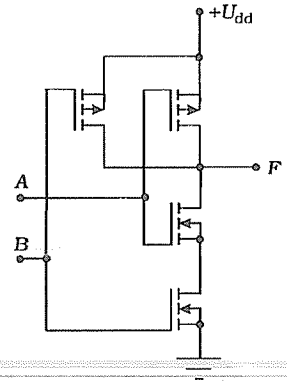
14.

Логичко коло у *CMOS* техници представља:

- а) *I* коло;
- б) *NILI* коло;
- в) *NI* коло;
- г) *ILI* коло.

РАД

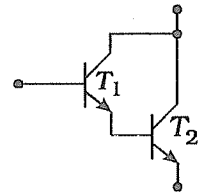
Логичко коло на слици је *NI* коло.
(6 или –6 поена)



15.

Одредити улазну отпорност кола са слике ако је:
 $h_{11e}=2\text{ k}\Omega$, $h_{21e}=75$, $h_{11e}=1\text{ k}\Omega$, $h_{21e}=100$.

РАД



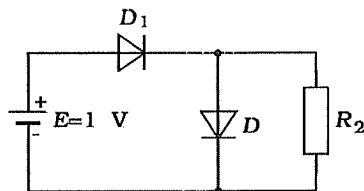
$$R_{ul} = h'_{11e} + h'_{21e}h''_{11e} = 2\text{ k}\Omega + 75 \cdot 1\text{ k}\Omega = 77\text{ k}\Omega. \quad (6\text{ поена})$$

1.

Израчунати струју кроз отпорник R_2 ($R_2 = 1 \text{ k}\Omega$) на слици. Узети да је напон на диоди која проводи $0,7 \text{ V}$.

РАД

Напон на диоди D_2 је $0,3 \text{ V}$ и она не проводи, па је:



$$I = \frac{E - 0,7 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,3 \text{ mA.} \quad (6 \text{ поена})$$

2.

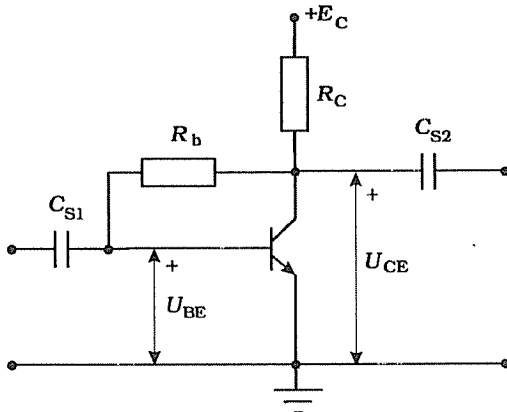
Отпорник R_c на слици служи:

а) за ограничење струје кроз транзистор;

б) да променљива струја ствара на њему променљив напон;

в) да му у еквивалентној шеми горњи крај буде везан на масу;

г) да са отпорником R_b чини коло за ограничење струје.



РАД

Наизменични напон на улазу појачавача мења струју базе око њене средње вредности. Променљива струја базе мења струју колектора око њене средње вредности; променљива струја колектора ствара на отпорнику R_c променљив једносмерни напон. Променљива компонента овог напона се одводи преко кондензатора C_{s2} . (3 или -1 поен)

3.

Појачавач са комплементарним паром транзистора има напон напајања 15 V и отпорност потрошача 4Ω . Колика се максимална снага дисипације појављује на оба излазна транзистора?

РАД

$$P_{KM} = \frac{E_c^2}{8R_p} = \frac{(15 \text{ V})^2}{8 \cdot 4 \Omega} = 7,03 \text{ W.}$$

$$P_{DM} = 0,4P_{KM} = 0,4 \cdot 7,03 \text{ W} = 2,81 \text{ W}.$$

(6 поена)

4.

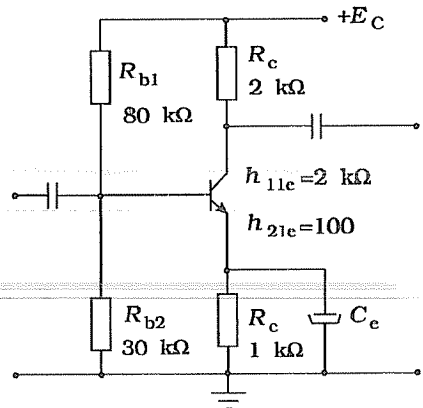
Појачавач на слици има:

- а) велику улазну, а малу излазну отпорност;
 б) исту улазну и излазну отпорност;
 в) малу улазну, а велику излазну отпорност;
 г) његова улазна отпорност највише зависи од отпорника R_{b1} и R_{b2} , а излазна од параметра h_{22e} .

РАД

Улазна отпорност је $h_{11e} = 2 \text{ k}\Omega$, а излазна $R_c = 2 \text{ k}\Omega$.

(6 или -2 поена)



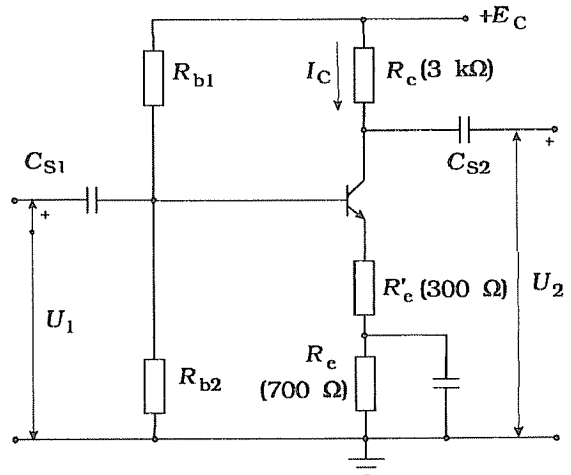
5.

Појачање појачавача на слици је приближно:

- а) -200;
 б) -20;
 в) 100;
 г) ниједан одговор није ни приближно тачан.

РАД

Ово је појачавач са негативном повратном спрегом чије појачање је приближно једнако:

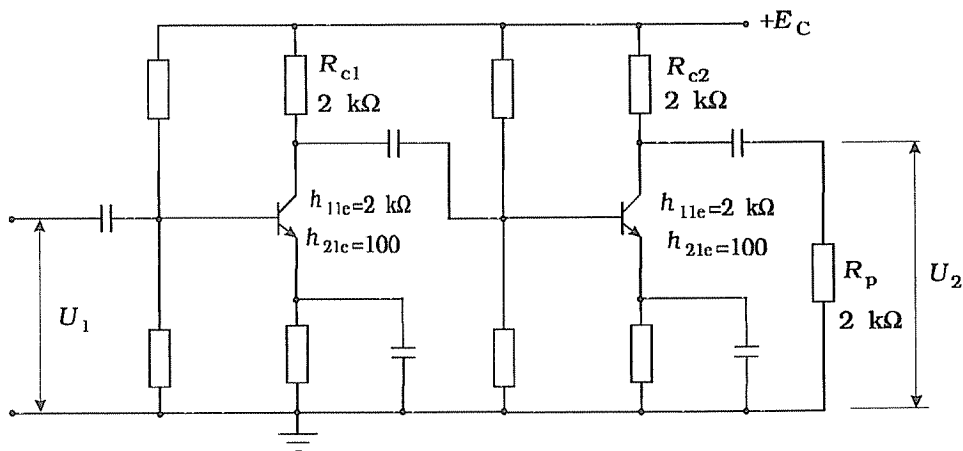


$$A = -R_c/R_e = -10.$$

(3 или -1 поен)

6.

Израчунати напонско појачање сложеног појачавача U_2/U_1 на слици. Елементи, чија вредност није дата, имају занемарљив утицај на појачање.



РАД

Еквивалентна отпорност у колектору првог транзистора састоји се од паралелне везе R_{c1} и R_{ul2} :

$$R'_{c1} = \frac{R_{c1}R_{ul2}}{R_{c1} + R_{ul2}} = \frac{2 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ k}\Omega.$$

За други транзистор се добије такође 1 kΩ. Појачања првог и другог транзистора су иста и износе:

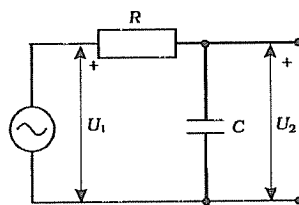
$$A_{u1} = -\frac{h_{21e}R'_{c1}}{h_{11e}} = -\frac{100 \cdot 1 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = -50 = A_{u2}.$$

Укупно појачање једнако је производу A_{u1} и A_{u2} и износи 2500. (10 поена)

7.

Код кола на слици је $\omega RC \gg 1$. Излазни напон U_2 је приближно једнак:

- а) нули;
- б) U_1 ;
- в) $U_1/2$;
- г) није понуђен тачан одговор.



РАД

Преносни однос овог кола је $U_2/U_1 = 1/(1+j\omega RC)$. За наведене услове је приближно једнак нули. (3 или -1 поен)

8.

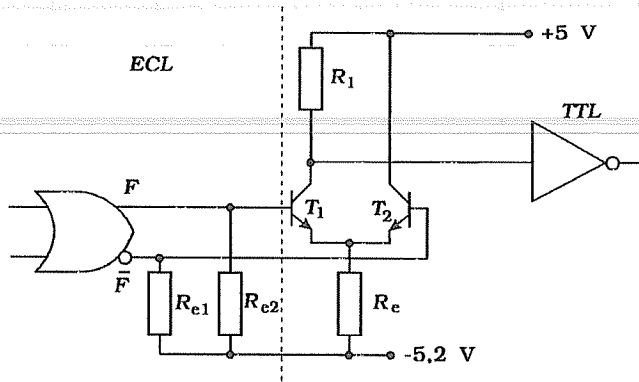
Коло на слици:

а) може да служи за повезивање *ECL* и *TTL* кола ако се елементи добро одаберу;

б) не може да ради, јер је потребан још један транзистор;

в) може да ради само ако је *TTL* коло Шоткијево;

г) није понуђен тачан одговор.



РАД

Може да послужи за повезивање *ECL* и *TTL* кола ако се елементи тако одаберу да напон на колектору транзистора T_1 одговара напону логичке нуле (и једнице) *TTL* кола. (6 или -2 поена)

9.

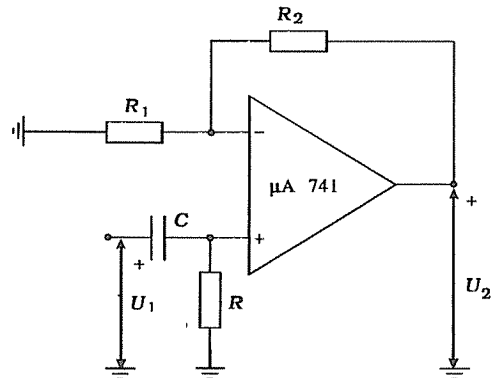
Код кола на слици је $\omega CR \gg 1$. Оно може да појачава велике сигнале до око:

а) 2 MHz;

б) 100 kHz;

в) 10 kHz;

г) горња гранична учестаност зависи од вредности за C и R .



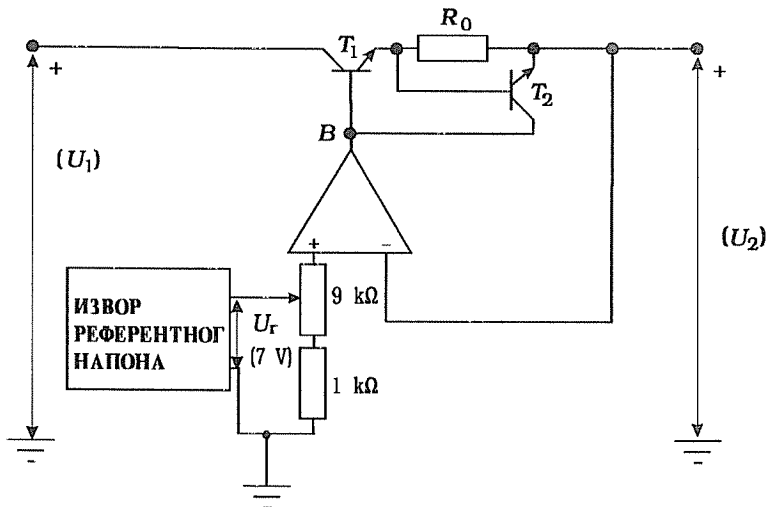
РАД

Према подацима произвођача, појачавач $\mu A 741$ добро појачава велике сигнале до око 10 kHz. (3 или -1 поен)

10.

Стабилизатор напона на слици на излазу:

- а) може да даје напоне ниже од 7 V или једнаке 7 V;
- б) може да даје само напон 7 V;
- в) може да даје само напоне више од 7 V или једнаке 7 V;
- г) није понуђен тачан одговор.



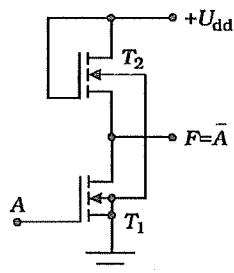
РАД

Напон између клизача потенциометра и масе је увек 7 V. (6 или -2 поена)

11.

Код кола на слици је напон напајања 5 V. Излазни напон код логичке јединице је:

- а) приближно 5 V;
- б) нижи од 5 V за праг провођења горњег транзистора;
- в) нижи од 5 V за праг провођења доњег транзистора;
- г) није понуђен тачан одговор.



РАД

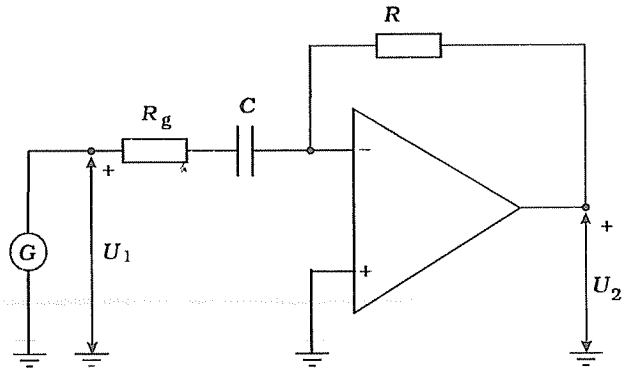
Напон на излазу инвертора је нижи од напона напајања за праг провођења горњег MOSFET-а. (3 или -1 поен)

12.

Код кола на слици је $\omega CR_g \gg 1$. Излазни напон U_2 приближно зависи од:

- а) U_1, ω и R ;
- б) U_1, ω, C и R_2 ;
- в) U_1, R_g и R ;
- г) U_1, ω и C .

РАД



Ако је $\omega R_g C \gg 1$, тада је кондензатор кратак спој. (6 или -2 поена)

13.

Нека операциони појачавач има два раздвојена паразитна кола за интегралење. Нека прво коло има $R_1 = 50 \text{ M}\Omega$ и $C_1 = 10 \text{ pF}$, а друго $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ и $C_2 = 5 \text{ pF}$. Наћи учестаности код којих појачање почиње да опада са -6 dB/okt и -12 dB/okt .

РАД

$$1. \quad \omega_1 R_1 C_1 = 1; \quad f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^6 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 318 \text{ Hz};$$

$$2. \quad \omega_2 R_2 C_2 = 1; \quad f_2 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^3 \Omega \cdot 5 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 636 \text{ 619 Hz}.$$

(10 поена)

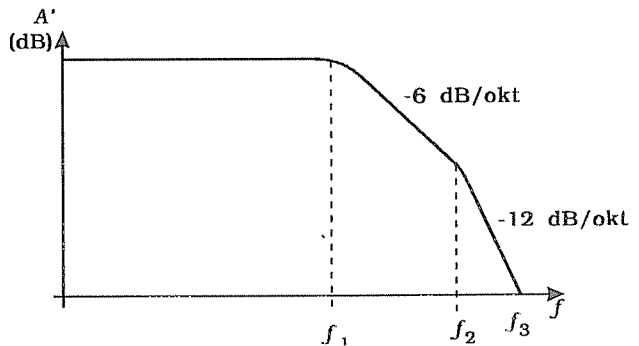
14.

На слици је дата фреквенцијска карактеристика операционог појачава-
ча. Ако је $f_1 = 50 \text{ kHz}$, $f_2 = 400 \text{ kHz}$ и $f_3 = 3,2 \text{ MHz}$,
наћи укупно појачање A
у децибелима.

РАД

- n је број октава.

Појачање опадне за A_1
од f_2 до f_3 , где је f_3 веће од
 f_2 за n_1 октава:



$$\frac{A_1}{n_1} = 12 \frac{\text{dB}}{\text{окт}}.$$

Одавде се добије:

$$A_1 = n_1 \cdot 12 \text{ dB/окт} = 3 \text{ окт} \cdot 12 \text{ dB/окт} = 36 \text{ dB}.$$

На исти начин се добије:

$$A_2 = n_2 \cdot 6 \text{ dB/окт} = 3 \text{ окт} \cdot 6 \text{ dB/окт} = 18 \text{ dB}.$$

Укупно појачање је једнако збиру A_1 и A_2 у децибелима:

$$A_u = A_1 + A_2 = 36 \text{ dB} + 18 \text{ dB} = 54 \text{ dB}. \quad (15 \text{ поена})$$

15.

Излазни напон засићења операционог појачавача је $\pm 15 \text{ V}$. Напон празног оловног акумулатора (U_1') је око $12,6 \text{ V}$, а пуног (U_1'') око $14,5 \text{ V}$. Нека је отпорност $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$. Израчунати отпорност R_2 и референтни напон тако да излазни напон укључује или искључује пуњач акумулатора.

РАД

Код првог окидног нивоа Шмитовог окидног кола тече струја I_1 од U_r ка U_2 и за њу се може написати једначина:

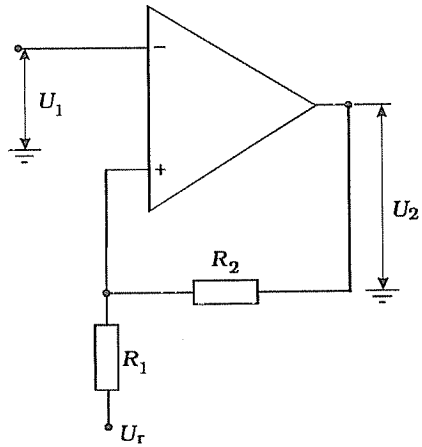
$$I_1 = \frac{U_r - U_1}{R_1} = \frac{U_1 - (-U_2)}{R_2}.$$

Код другог окидног нивоа тече струја I_2 и за њу се може написати једначина:

$$I_2 = \frac{U_r - U_1''}{R_1} = \frac{U_1'' - U_2}{R_2}.$$

У овим једначинама непознате су U_r и R_2 . Решавањем се добије:

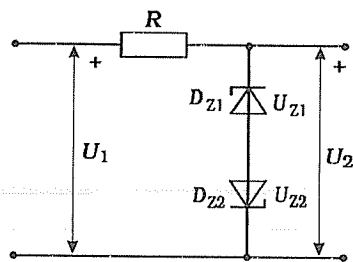
$$R_2 = 29,57 \text{ k}\Omega \text{ и } U_r = 14,46 \text{ V}. \quad (15 \text{ поена})$$



1.

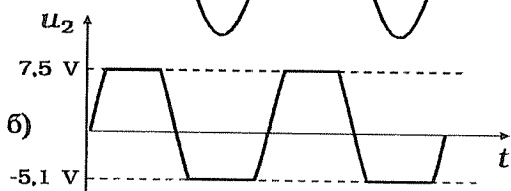
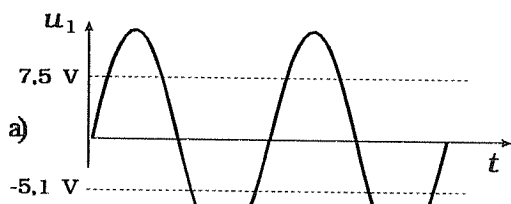
У колу паралелног лимитера сигнала са слици 1 искоришћене су идеалне диоде Ценерових напона $U_{Z1}=7,5\text{ V}$ и $U_{Z2}=5,1\text{ V}$. Ако је напон на улазу кола $u_1=10 \sin \omega t$, нацртати:

- временски дијаграм излазног сигнала u_2 ;
- преносну карактеристику лимитера.

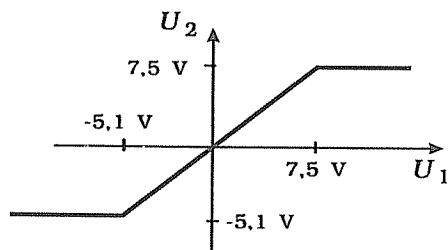


Слика 1

РАД



(3 поена)

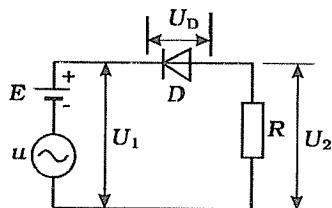


(3 поена)

2.

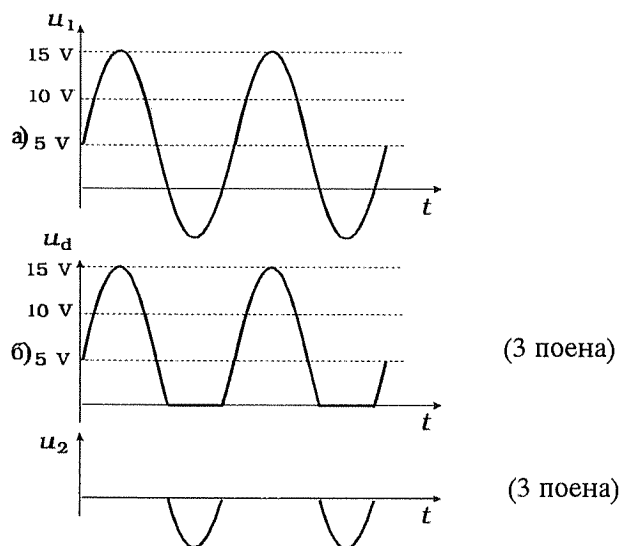
На улазу редног диодног ограничавача сигнала на слици 2 истовремено дејствују и наизменични и једносмерни сигнал респективних вредности: $u=10 \sin \omega t$ и $E=5\text{ V}$. Нацртати таласне облике напона на крајевима:

- идеалне силицијумске диоде;
- отпорника отпорности R : $u_R=U_2$.



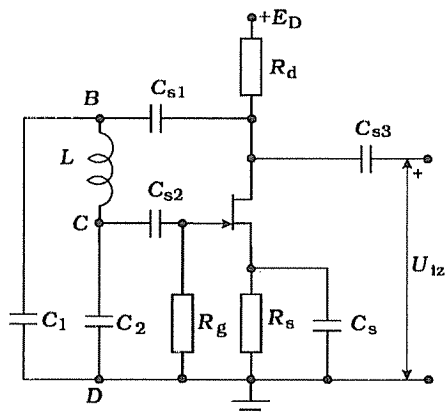
Слика 2

РАД



3.

Нацртати шему Колпицовог осцилатора са фетом као појачавачким елементом, па претпостављајући да је $L=1 \mu\text{H}$, а фреквенција осциловања $f=1 \text{ MHz}$, одредити вредност капацитивности C_1 и C_2 ако је $C_2=C_1/2$. Узети да је $\pi^2=10$.



Слика 3

(шема 2 поена)

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot \frac{C_1}{2}}{C_1 + \frac{C_1}{2}} = \frac{C_1}{3},$$

$$4\pi^2 f^2 L C_1 / 3 = 1,$$

одакле следи:

$$C_1 = 75 \text{ nF} \text{ i } C_2 = 37,5 \text{ nF}.$$

(прорачун 5 поена)

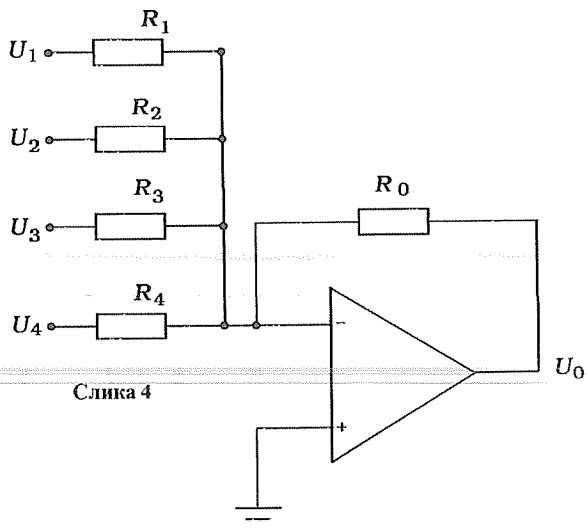
4.

Колика ће бити процедурална промена напона на излазу кола за сабирање са слици 3 ако се сваки од побудних напона повиси за 20 %, а отпорност отпорника R_0 за негативну повратну спрегу смањи такође за 20 %.

а) Како се мења напон, да ли расте или опада?

б) Та промена напона је:
1, 10 %; 2, 20 %; 3, 40 %;
4, 4 %.

РАД



$$а) U_0 = -R_0 \left[\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \frac{U_4}{R_4} \right],$$

$$U'_0 = -0,8 \cdot 1,2R_0 \left[\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \frac{U_4}{R_4} \right],$$

$$U'_0 = 0,96U_0.$$

Напон опада.

(10 поена)

б)

$$\frac{U_0 - U'_0}{U_0} \cdot 100 \% = 4 \%.$$

Треба заокружити број 4.

(5 поена)

5.

Ако су за Шмитово окидно коло са слици 4 познати следећи подаци: напон zasiћења на излазу $U_2 = \pm 10$ V, референтни напон $U_R = 5$ V, $R_1 = 1,5$ k Ω и $R_2 = 3,5$ k Ω , одредити:

а) напоне њихових окидних прагова;

б) напон његовог хистерезиса.

РАД

а)

$$U_0 = U_r + R_1 \frac{U_2 - U_r}{R_1 + R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (+U_2) + \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_r.$$

$$U'_0 = 6,5 \text{ V и } U''_0 = 0,5 \text{ V} \quad (15 \text{ поена})$$

$$\text{б) } U_H = U'_0 - U''_0 = 6 \text{ V.} \quad (2 \text{ поена})$$

6.

а) Колика је маргина шума тј. граница неосетљивости на сметње код *TTL* кола?

б) Написати дефиницију за овај параметар интегрисаних логичких кола.

РАД

а) Маргина шума код *TTL* кола је 0,4 V. (2 поена)

б) Маргина шума је особина логичких кола и дефинише се као максимална дозвољена вредност сметњи, која без опасности може да дејствује на улаз логичких кола а да оно не промени своје тренутно стање. (2 поена)

7.

а) Написати релације узајамних зависности коефицијената струјних појачања транзистора спрега *ZE* и *ZB* (заједнички емитор и заједничка база).

б) Ако се зна да је за један транзистор $h_{21e} = 100$, одредити његов h_{21b} .

РАД

$$\text{а) } h_{21e} = \frac{h_{21b}}{1 - h_{21b}}; \quad h_{21b} = \frac{h_{21e}}{1 + h_{21e}}. \quad (3 \text{ поена})$$

$$\text{б) } h_{21b} = \frac{100}{101} = 0,99. \quad (1 \text{ поен})$$

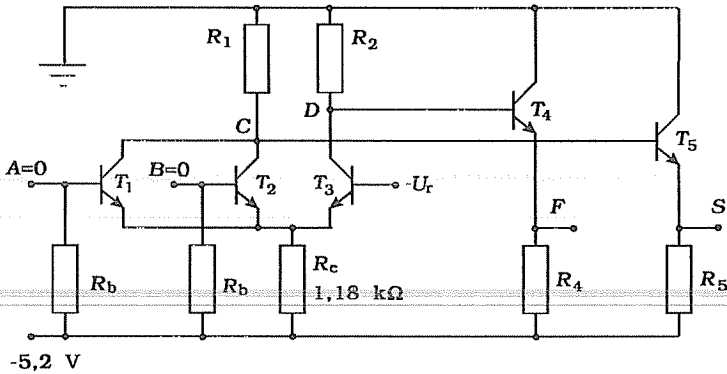
8.

Ако је на излазу кола са слици 5 у тачки *S* стање логичке јединице, тј. $S = 1$, а $R_1 = R_2 = R_e = 100 \, \Omega$, $R_4 = R_5 = 448 \, \Omega$ и коефицијенти струјног појачања транзистора T_4 и T_5 : $h_{21e} = 50$, одредити:

а) напоне тачака *C* и *S* при овом логичком стању;

б) које је тада стање на излазу *F*;

в) ако је U_{CE} транзистора T_1 , T_2 и T_3 у тренуцима њихове максималне проводности $U_{CE}=1\text{ V}$, одредити напоне тачака D и F .



Слика 5

РАД

а) T_1 и T_2 су блокирани, а проводи T_3 .

Равнотежа једначина је облика:

$$-R_1 I_B - U_{BE} - R_5 I_C + 5,2\text{ V} = 0,$$

одакле следи да је:

$$I_C = 10\text{ mA}$$

Напон тачке C је:

$$U_C = -R_1 I_B = -20\text{ mV}. \quad (7\text{ поена})$$

Напон тачке S је:

$$U_S = R_5 I_C - 5,2\text{ V} = -0,72\text{ V}. \quad (5\text{ поена})$$

б) Излаз F је на логичкој нули, тј. $F=0$.

(1 поен)

в) Равнотежа једначина за коло проводног транзистора T_3 има облик:

$$-I_C(R_2 + R_e) - U_{CE} + 5,2\text{ V} = 0, \text{ одакле је: } I_C = 21\text{ mA}.$$

Напон тачке D је:

$$U_D = -R_2 I_C = -2,1\text{ V}. \quad (7\text{ поена})$$

Напон тачке F је:

$$U_F = -U_D - U_{BE} = -2,8\text{ V}. \quad (5\text{ поена})$$

9.

На основи логичких стања на улазима A и B сачињена је табела истинитости за излазну функцију F .

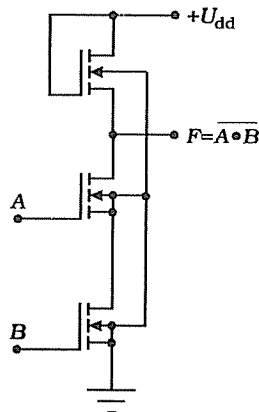
а) Нацртати њој одговарајуће логичко коло у $NMOS$ техници.

б) Написати облик логичке операције за излазну функцију нацртаног кола у зависности од логичког стања на улазима A и B .

РАД

A	B	F
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

$$F = \overline{A \cdot B}. \quad (1 \text{ поен})$$



(шема 3 поена)

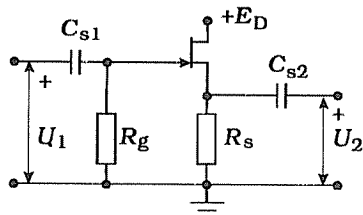
10.

За коло са слици 6 познати су следећи подаци: $g_m = 5 \text{ mA/V}$, $E_D = 5 \text{ V}$, $R_g = 1 \text{ M}\Omega$.

а) Одредити вредност отпорности R_s тако да фактор појачања напона овог степена буде мањи од 1 само 2%.

б) Како се зове овај појачавачки степен?

РАД



Слика 6

$$\text{а) } A_u = 0,98 = \frac{g_m R_s}{1 + g_m R_s},$$

$$R_s = \frac{0,98}{0,02 g_m} = 9,8 \text{ k}\Omega. \quad (3 \text{ поена})$$

б) Овај појачавачки степен је појачавач са заједничким дрејном. (1 поен)

11.

а) Показати да струја кроз транзистор T у колу на слици 7 не зависи од вредности отпорности потрошача.

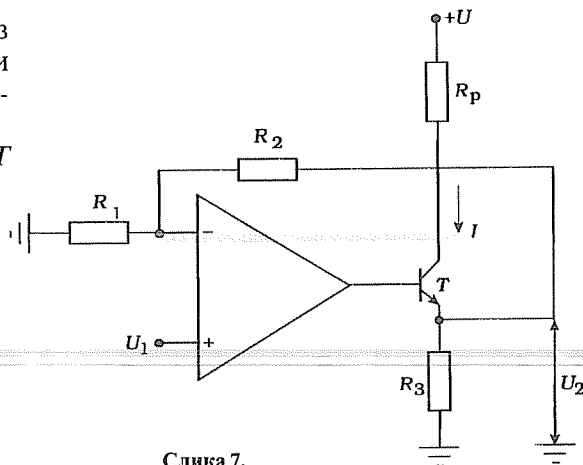
б) Како се транзистор T понаша према потрошачу?

РАД

$$а) U_2 = R_3 I = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1},$$

$$I = U_1 \frac{R_1 + R_2}{R_1 R},$$

Слика 7.



што говори да R_p не утиче на I .

Транзистор T се понаша према потрошачу као извор константне струје.
(6 поена)

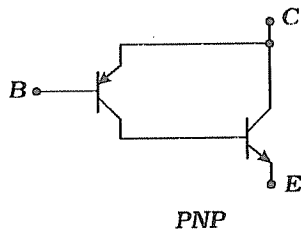
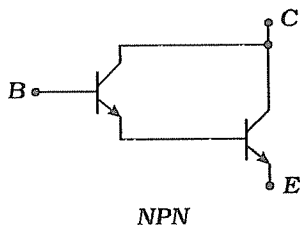
12.

а) Нацртати спрегу два транзистора на принципу Дарлингтоновог и квази-Дарлингтоновог, тј. комплементарног Дарлингтоновог споја.

б) Уз одговарајући спој написати о којем се типу транзистора ради.

РАД

а)

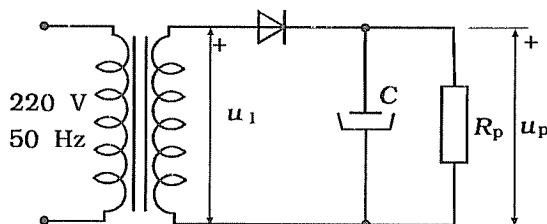


(2 поена)

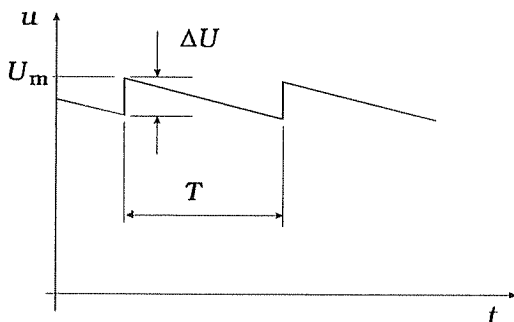
б) Први, еквивалентни Дарлингтонов транзистор је транзистор NPN типа, а други, квази-Дарлингтонов транзистор је PNP типа као и први транзистор у споју.
(1 поен)

1.

На слици је приказан једностранни усмераач са кондензатором. За колико процената од максималног напона се смањи напон на кондензатору приликом пражњења ако је $RC=5T$? Узети да се кондензатор тренутно напуни на вредност једнаку амплитуди наизменичног напона, а да пражњење траје целу периоду. Узети, такође, да је струја пражњења кроз отпорник током целе периоде приближно константна. Приказати и рад и резултат.



РАД



$$Q = I \cdot t = C \Delta U.$$

Одавде се добије:

$$\Delta U = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I \cdot RC}{C \cdot 5} = \frac{I \cdot R}{5} = \frac{U}{5}.$$

У овом случају је $U \approx U_m$, па се добије:

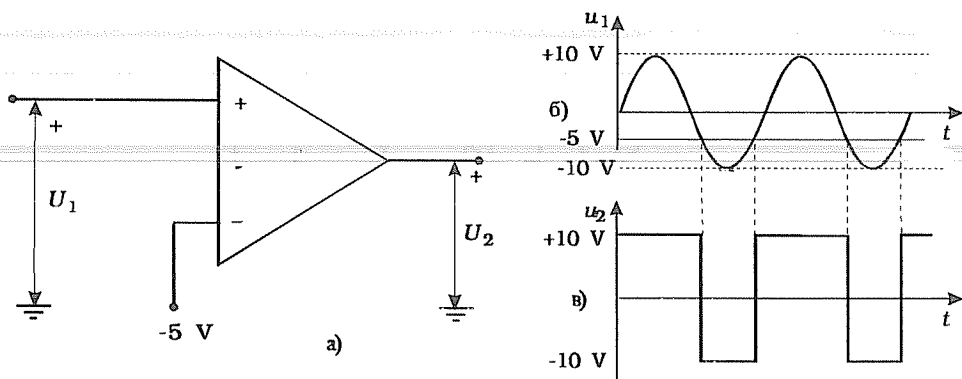
$$\frac{\Delta U}{U_m} [\%] = \frac{\Delta U}{U_m} \cdot 100 \% = \frac{1}{5} \cdot 100 \% = 20 \%.$$

Узети као тачна и решења добијена помоћу средње вредности напона, затим помоћу експоненцијалне функције, као и остала приближна решења.

(12 поена)

2.

На слици су приказани напонски компаратор са операционим појачавачем и напон на његовом улазу u_1 . Нацртати на празном координатном систему облик напона u_2 ако је излазни напон засићења операционог појачавача $\pm 10 \text{ V}$.



РАД

Када је улазни напон виши од -5 V , излаз се налази у позитивном засићењу, а када је нижи од -5 V , излаз се налази у негативном засићењу.

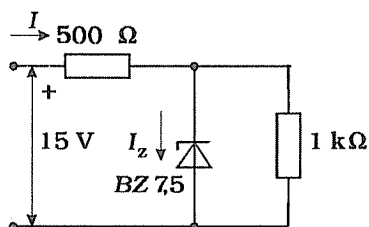
(5 поена)

3.

На слици је приказан стабилизатор напона са Ценеровом диодом. Колико износи струја кроз Ценерову диоду?

РАД

Напон на отпорнику од 500Ω је $7,5 \text{ V}$, а струја кроз њега је : $I = 7,5 \text{ V} / 500 \Omega = 15 \text{ mA}$.



Струја кроз отпорник R_p од $1 \text{ k}\Omega$ је:

$$I_p = 7,5 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 7,5 \text{ mA}.$$

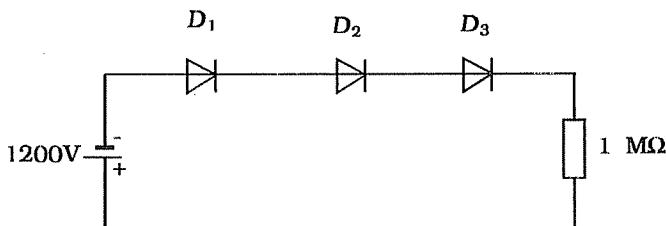
Струја кроз Ценерову диоду I_z једнака је разлици ових струја:

$$I_z = I - I_p = 7,5 \text{ mA}.$$

(3 поена)

4.

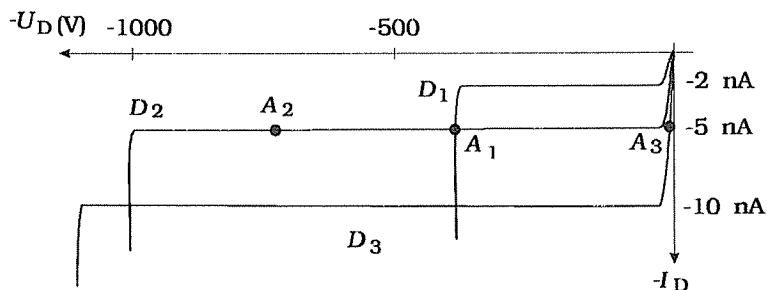
Инверзна струја диоде је приближно константна од нуле до негативног пробојног напона. Ова струја (на слици) код диоде D_1 износи 2 nA, код диоде D_2 је 5 nA, а код диоде D_3 је 10 nA. Пробојни напон диоде D_1 износи 400 V, код диоде D_2 је 1000 V, а код диоде D_3 је 1200 V. Занемарити напон на отпорнику. Колики су приближно напони на диодама D_1 , D_2 и D_3 ?



РАД

Струја расте док не дође прво до пробоја диоде D_1 , чији је пробојни напон 400 V а њена радна тачка A_1 , док се преосталих 800 V распореди на диоди D_2 , чија је радна тачка A_2 . Напон на диоди D_3 је приближно 0 V. Према томе, напон на диоди D_1 је 400 V, на диоди D_2 је 800 V, а на диоди D_3 је 0 V.

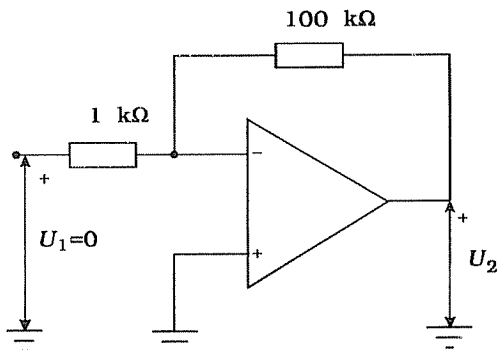
(12 поена)



5.

Грешка због улазног напона раздешености износи 2 mV и њен позитиван крај је на „-“ улазу, а негативан на „+“ улазу операционог појачавача. Излазни напон који потиче од улазног напона раздешености је:

- а) +10 V;
- б) -2 mV;
- в) -202 mV;



г) ниједан одговор није ни приближно тачан.

РАД

Напон U' на инвертујућем улазу се појачава и инвертује, па се са супротним знаком враћа преко отпорника R_2 и R_1 . Враћени напон треба приближно да поништи грешку операционог појачавача, тј. треба да му буде једнак по апсолутној вредности. Због тога део напона U_2 ослабљен преко отпорника R_2 и R_1 треба да буде по апсолутној вредности једнак напону U' :

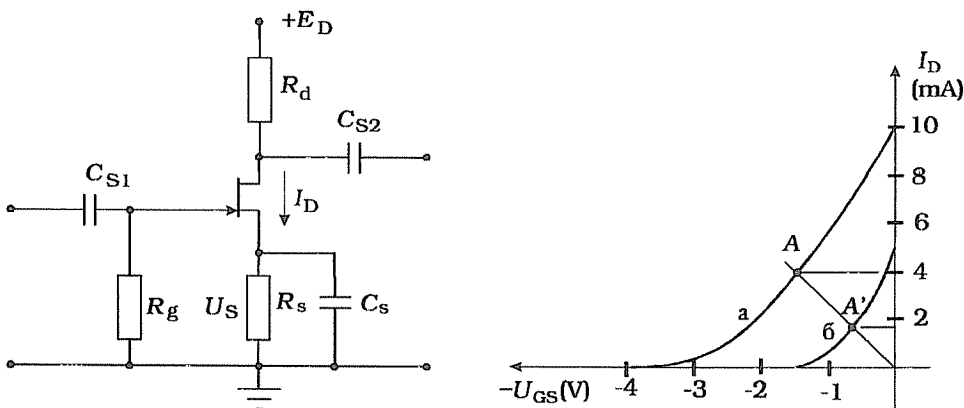
$$U_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -U'.$$

Одавде се добије U_2 :

$$U_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot U' = \frac{(1 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega)}{1 \text{ k}\Omega} \cdot (-2 \text{ mV}) = -202 \text{ mV}. \quad (6 \text{ или } -2 \text{ поена})$$

6.

У колу се налази примерак фета чија карактеристика је обележена са а на преносним карактеристикама на слици. Струја кроз њега износи 4 mA. Ако



се у коло стави други примерак исте врсте фета са карактеристиком обележеном са б, колика ће приближно бити струја кроз њега?

РАД

Радна права се повлачи од координатног почетка до прве карактеристике у тачки А. Ова права сече карактеристику б у тачки А' где је струја око 1,8 mA. (12 поена)

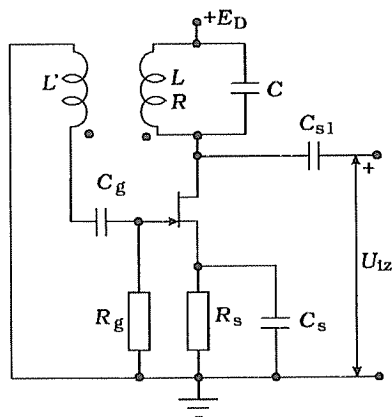
7.

На слици је приказан осцилатор са индуктивном спрегом. Учестаност осциловања износи:

- а) 720 kHz;
- б) 630 kHz;
- в) 1,59 MHz;
- г) овај осцилатор не може да ради.

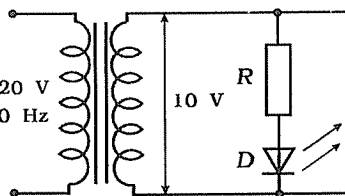
РАД

Овај осцилатор не може да ради јер су тачке на калемовима погрешно постављене. (3 или -1 поен)



8.

На слици је приказан део усмерача са светлећом диодом за индикацију укључености. Напон на пропусно поларисаној диоди је 2 V, док јој је пробојни напон у непропусном смеру 4 V. Диода светли:



- а) када је поларисана у пропусном и непропусном смеру, јер у оба случаја кроз њу тече струја;
- б) само када струја тече у пропусном смеру;
- в) јаче светли када је пропусно поларисана јер је тада струја већа, а слабије светли када је поларисана у инверзном смеру јер је тада струја мања;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

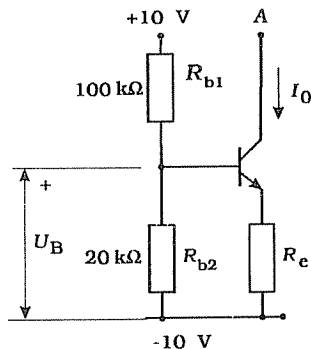
Диода светли код рекомбинације шупљина и електрона. (3 или -1 поен)

9.

На слици је приказан извор константне струје I_0 . Колика треба да буде отпорност R_e па да струја I_0 буде $500 \mu A$? Узети да је напон $U_{BE} = 0,7 V$ и да је струја базе занемарљиво мала у односу на струју кроз отпорнике R_{b1} и R_{b2} .

РАД

Напон U_B се добије помоћу отпорника R_{b1} и R_{b2} и напона од $-10 V$ до $+10 V$:



$$U_B = 20 \text{ V} \cdot \frac{20 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} = 3,33 \text{ V}.$$

Напон на отпорнику R_e је нижи од овог напона за 0,7 V и износи 2,63 V. Отпорност R_e се рачуна по Омовом закону:

$$R_e = \frac{2,63 \text{ V}}{500 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = 5,26 \text{ k}\Omega. \quad (4 \text{ поена})$$

10.

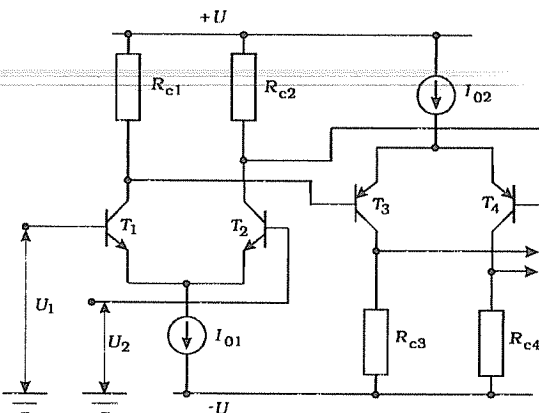
Други појачаваач на слици служи за померање једносмерног нивоа ка нули и за појачање напона. Отпорности R_{c3} и R_{c4} се одређују помоћу:

а) напона на колекторима транзистора T_1 и T_2 ;

б) помоћу струја I_{01} и I_{02} ;

в) само помоћу струје I_{02} и напона $-U$;

г) помоћу напона на колекторима транзистора T_1 и T_2 и помоћу струје I_{02} .

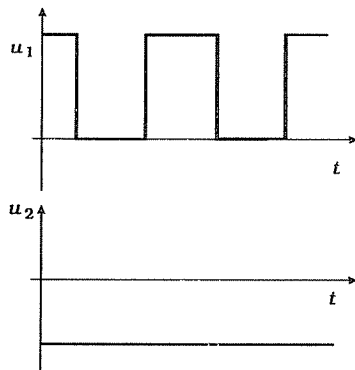
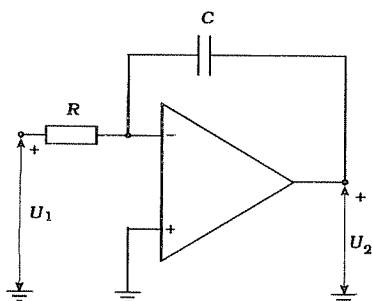


РАД

Напон на овом отпорнику је $-U$, а струја кроз њега $I_{02}/2$. (3 или -1 поен)

11.

Код кола на слици улазни напон u_1 је приказан на првом дијаграму. Нацртати на другом дијаграму напон u_2 у стационарном (устаљеном) стању. Операциони појачаваач је идеалан.

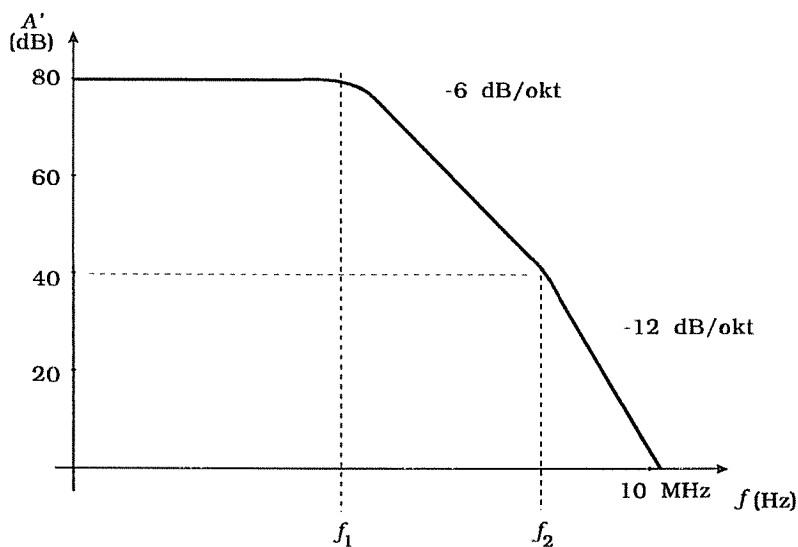


РАД

Кондензатор се стално пуни, а не празни се, па појачавач иде у негативно засићење. (5 поена)

12.

На слици је дата фреквенцијска карактеристика операционог појачавача. Наћи учестаности f_1 и f_2 .



РАД

Са слике се види да је:

$$\frac{40 \text{ dB}}{n_2 \text{ okt}} = 12 \frac{\text{dB}}{\text{okt}}$$

Одавде се добије број октава од f_2 до 10 MHz:

$$n_2 = \frac{40}{12} = 3,33.$$

Учестаност f_2 се добије из једначине:

$$2^{n_2} \cdot f_2 = 10 \text{ MHz}.$$

Одавде је:

$$f_2 = \frac{10 \text{ MHz}}{2^{3,33}} = 994 \text{ kHz}. \quad (5 \text{ поена})$$

На исти начин добије се f_1 :

$$\frac{40 \text{ dB}}{n_1 \text{ okt}} = 6 \frac{\text{dB}}{\text{okt}}.$$

Одавде се добије:

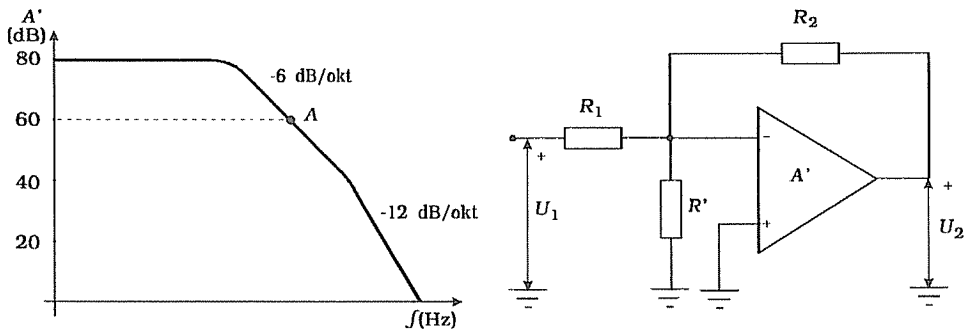
$$n_1 = \frac{40}{6} = 6,66.$$

Сада је:

$$f_1 = \frac{994 \text{ kHz}}{2^{6,66}} = 9,78 \text{ kHz.} \quad (5 \text{ поена})$$

13.

На слици је приказан појачавач са отпорником за спречавање осцилација. Одредити отпорност R' тако да радна тачка за евентуални сигнал осциловања буде на месту означеном са А. Отпорност R_1 је $20 \text{ k}\Omega$, а R_2 је $100 \text{ k}\Omega$.



РАД

Са слике се види да је слабљење кола повратне спреге за сигнал који би могао да изазове осциловање 60 dB ; исто толико је појачање основног појачавача на тој учестаности. Слабљење кола повратне спреге износи:

$$a = \frac{R' + R_2}{R'}.$$

Ово слабљење у децибелима има облик:

$$20 \log a = 60 \text{ dB.}$$

Одавде се добије: $a = 10^3 = 1\,000$.

Када се ова вредност замени у израз за a помоћу отпорника, добије се:

$$\frac{R' + R_2}{R'} = 1\,000.$$

Одавде се добије:

$$R' = \frac{R_2}{999} = \frac{100\,000\ \Omega}{999} \approx 100\ \Omega. \quad (10\text{ поена})$$

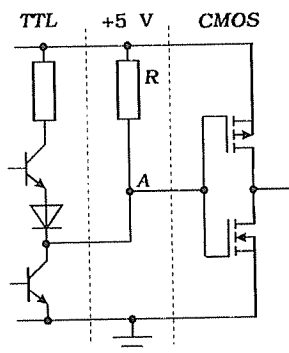
14.

На слици је приказано коло за повезивање *TTL* и *CMOS* кола. Напон у тачки А је +5 V јер је:

- а) излазни напон *TTL* кола максималан;
- б) горњи *MOSFET* проводан;
- в) струја кроз отпорник *R* једнака нули;
- г) доњи *MOSFET* проводи.

РАД

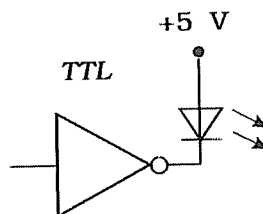
Струја кроз отпорник *R* не тече јер је доњи транзистор *TTL* кола непроводан.
(3 или -1 поен)



15.

Коло на слици служи за прикључивање светлеће диоде на излаз *TTL* кола. Ово коло:

- а) може нормално да ради јер струју ограничава светлећа диода;
- б) може нормално да ради јер струју ограничава *TTL* коло;
- в) не може да ради јер нема отпорника за ограничење струје;
- г) није понуђен тачан одговор.



РАД

Не може да ради јер нема отпорника за ограничење струје и диода би прегорела.
(3 или -1 поен)

16.

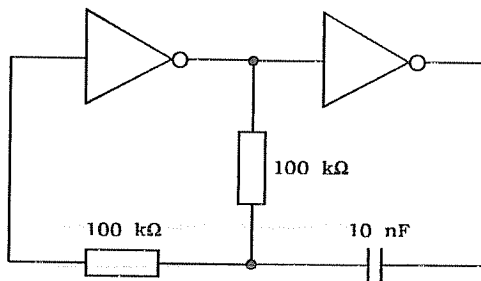
Осцилатор на слици:

а) може нормално да ради са *TTL* колима;

б) не може да ради са *TTL*, али може са *CMOS* колима;

в) може да ради са *TTL* и *CMOS* колима;

г) није понуђен тачан одговор.



РАД

Стандардна *TTL* кола раде са отпорностима до око 500 Ω. (3 или -1 поен)

17.

Осцилатор на слици има стандардни инвертор и може да ради:

а) само са *TTL* колима;

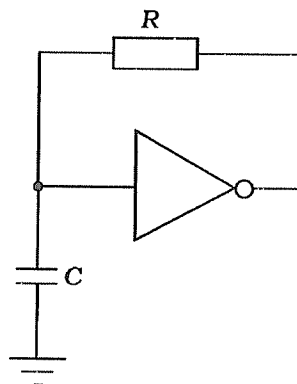
б) само са *CMOS* колима;

в) са *TTL* и *CMOS* колима;

г) није понуђен тачан одговор.

РАД

За осцилатор овог типа потребно је Шмитово окидно коло. (3 или -1 поен)



1.

На слици 1.1 приказано је коло са диодама. Напон на проводној диоди је $0,7 \text{ V}$. Наћи струју I_2 ако је $R_1=3 \text{ k}\Omega$, $R_2=3 \text{ k}\Omega$, $R_3=1 \text{ k}\Omega$ и $E=5 \text{ V}$.

РАД

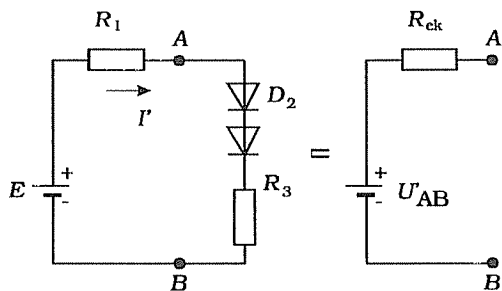
Применом Тевенинове теореме издваја се отпорник R_2 , па се добије коло на слици 1.2. Ово коло треба трансформисати у еквивалентни генератор, који је приказан на слици 1.3. Струја I' у колу на слици 1.2 износи:

$$I' = \frac{E - 2U_D}{R_3 + R_1} = \frac{5 \text{ V} - 1,4 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 0,9 \text{ mA}.$$

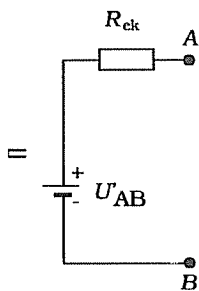
Напон U'_{AB} износи:

$$U'_{AB} = R_3 I' + 2U_D = 1000 \Omega \cdot 0,9 \text{ mA} + 1,4 \text{ V} = 2,3 \text{ V}.$$

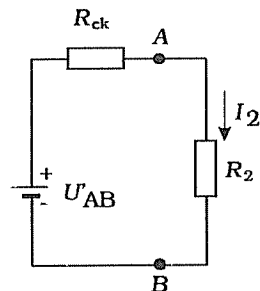
Еквивалентна отпорност између тачака A и B износи:



Слика 1.2



Слика 1.3



Слика 1.4

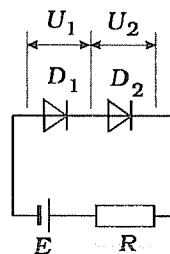
$$R_{ek} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = \frac{3 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ k}\Omega}{3 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = 0,75 \text{ k}\Omega.$$

Сада се на еквивалентни генератор са слици 1.3 прикључује отпорник R_2 , па се добије коло као на слици 1.4. Струја I_2 износи:

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{ek} + R_2} = \frac{2,3 \text{ V}}{0,75 \text{ k}\Omega + 3 \text{ k}\Omega} = 0,613 \text{ mA}. \quad (10 \text{ поена})$$

2.

На слици 2.1 приказано је коло са инверзно поларисаним диодама. Диода D_1 има инверзну струју 10 nA и пробојни напон 300 V, а диода D_2 има инверзну струју 20 nA и пробојни напон 150 V, док је $E=400$ V. Занемарити напон на отпорнику. Колика је струја у колу и колики је напон на појединим диодама?

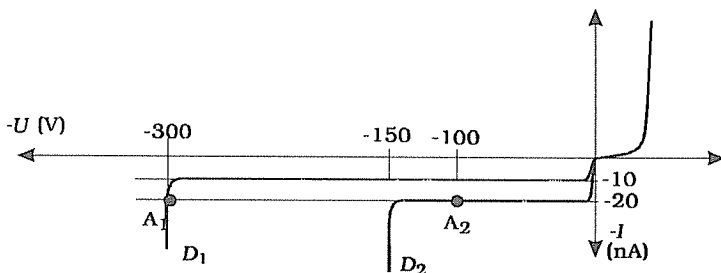


Слика 2.1

РАД

Карактеристике ових диода су приказане на слици 2.2.

У простом колу може да тече само једна струја, па је струја кроз обе диоде једнака. Инверзна струја кроз диоду не може да порасте док не дође до пробоја, па најпре долази до пробоја диоде са мањом инверзном струјом, односно диоде D_1 и напон на њој је 300 V (3 поена). Преостали напон (100 V) је на диоди D_2 (3 поена); она није пробијена и струја кроз њу (а такође кроз цело коло) је 20 nA (6 поена).

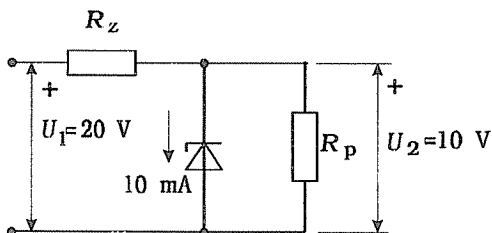


Слика 2.2

3.

На слици 3 је приказан стабилизатор напона са Ценеровом диодом. Улазни напон је 20 V. Ако се улазни напон повиси на 30 V, за колико се повиси снага на потрошачу:

- за 20 %;
- за 50 %;
- за 67,5 %;
- није понуђен тачан одговор.



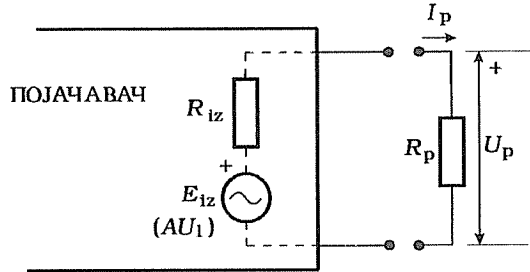
Слика 3

РАД

Снага на потрошачу остаје иста, јер је напон на њему остао исти.
(3 или -1 поен)

4.

На слици 4 приказан је излаз неког појачавача, где је $R_{iz}=1\text{ k}\Omega$, а излазни напон празног хода $U_{20}=5\text{ V}$. Колики је излазни напон U_p када се на излаз овог појачавача прикључи потрошач чија је отпорност $3\text{ k}\Omega$.



Слика 4

РАД

За излазно коло може да се напише II Кирхофов закон:

$$E_{iz} - R_{iz}I_p - U_p = 0.$$

Када се замени I_p са U_p/R_p , добије се:

$$E_{iz} - R_{iz}\frac{U_p}{R_p} - U_p = 0.$$

Одавде се добије напон U_p :

$$U_p = \frac{E_{iz}}{\frac{R_{iz}}{R_p} + 1} = \frac{5\text{ V}}{\frac{1\text{ k}\Omega}{3\text{ k}\Omega} + 1} = 3,75\text{ V}. \quad (5\text{ поена})$$

5.

За појачавач са заједничким колектором задате су следеће величине: $R_g=2\text{ k}\Omega$, $h_{11e}=3\text{ k}\Omega$ и $h_{21e}=300$. Наћи излазну отпорност овог појачавача.

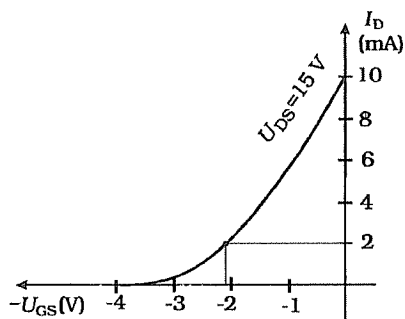
РАД

Излазна отпорност појачавача са заједничким колектором износи:

$$R_{iz} = \frac{R_g + h_{11e}}{h_{21e}} = \frac{2\text{ 000}\Omega + 3\text{ 000}\Omega}{300} = 16,6\Omega. \quad (2\text{ поена})$$

6.

На слици 6 приказана је карактеристика фета који је употребљен у појачавачу са аутоматским преднапоном. Одредити отпорност R_s за добијање аутоматског преднапона тако да буде струја $I_D = 2 \text{ mA}$.



Слика 6

РАД

Када се повуче права линија за 2 mA, добије се на месту пресека са карактеристиком напон $U_{GS} = 2,2 \text{ V}$. Отпорност R_s се добије по Омовом закону:

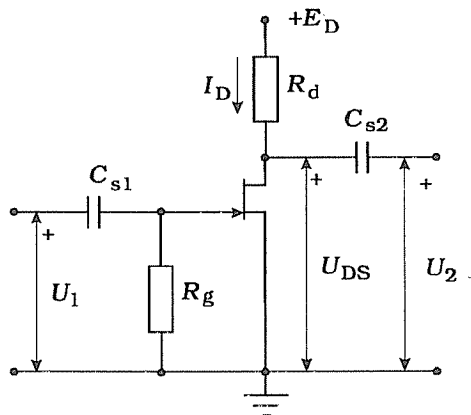
$$R_s = \frac{U_{GS}}{I_D} = \frac{2,2 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 1,1 \text{ k}\Omega. \quad (10 \text{ поена})$$

7.

На слици 6 приказана је карактеристика фета који је употребљен у колу на слици 7. Колики је напон U_{DS} ако је $E_D = 12 \text{ V}$ и $R_d = 500 \Omega$?

РАД

Напон U_{GS} код кола на слици 7 је једнак нули. Са слике 6 се добије струја $I_D = 10 \text{ mA}$. Напон U_{DS} се добије када се од напона извора (E_D) одузме пад напона на отпорнику R_d :



Слика 7

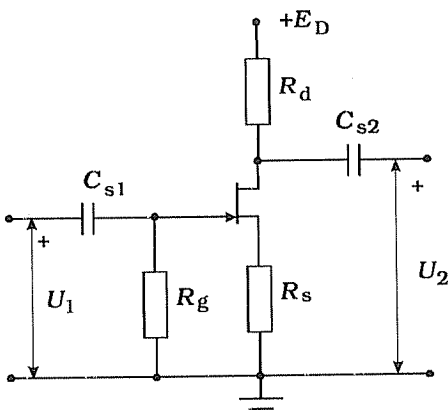
$$U_{DS} = E_D - R_d I_D = 12 \text{ V} - 10 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 500 \Omega = 7 \text{ V}. \quad (5 \text{ поена})$$

8.

Колико је појачање појачавача на слици 8 ако је $R_d = 3 \text{ k}\Omega$, $R_s = 1 \text{ k}\Omega$ и $g_m = 2 \text{ mA/V}$.

РАД

Ово је појачавач са негативном повратном спрегом. Појачање овог појачавача без негативне повратне спреге износи:



Слика 8

$$A = -g_m R_d = -2 \cdot 10^{-3} \text{ A/V} \cdot 3 \cdot 10^3 \Omega = -6.$$

Коефицијент повратне спреге износи:

$$\beta = \frac{R_s}{R_d} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{3 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{3}.$$

Појачање појачавача са повратном спрегом износи:

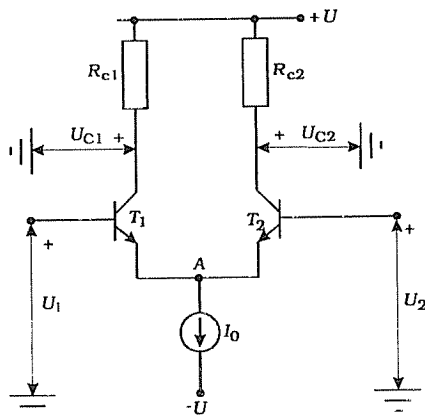
$$A_r = \frac{A}{1 - \beta A} = \frac{-6}{1 - \frac{1}{3}(-6)} = -2. \quad (10 \text{ поена})$$

9.

На слици 9 приказан је диференцијални појачавач, код кога је $R_{c1} = R_{c2} = 10 \text{ k}\Omega$, $U_1 = U_2 = 0$, $U_{c1} = U_{c2} = 5 \text{ V}$ и $+U = +15 \text{ V}$. Наћи струју I_0 .

РАД

Напон на отпорнику R_{c1} се добије када се од напона напајања ($+U = +15$) одузме напон U_{CE} (5 V), па се добије 10 V . Струја кроз транзистор T_1 на слици 9 износи:



Слика 9

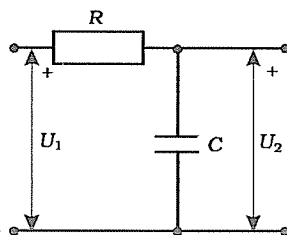
$$I_{c1} = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}.$$

Струја I_0 је два пута већа и износи: $I_0 = 2 \text{ mA}$.

(5 поена)

10.

На слици 10.1 је приказано пасивно коло за интегралење. На његов улаз је доведен напон који је приказан на слици 10.2. Колики се приближно добије напон на његовом излазу ако је $RC \gg T$, где је T периода сигнала?

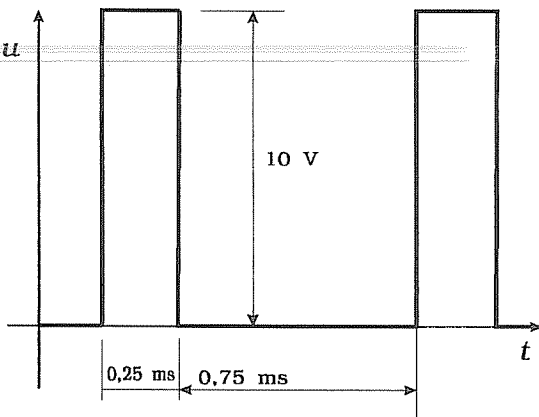


Слика 10.1

Ако је $RC \gg T$, напон на излазу је приближно константан. Количина електрицитета Q_1 која за време импулса одлази на кондензатор једнака је производу струје пуњења I_{pu} и времена пуњења Δt_1 (0,25 ms):

$$Q_1 = I_{pu} \Delta t_1 = \frac{U_1 - U_2}{R} \cdot \Delta t_1.$$

Количина електрицитета Q_2 која за време пражњења оде са кондензатора назад у генератор је једнака производу струје пражњења I_{pr} и времена пражњења Δt_2 (0,75 ms):



Слика 10.2

$$Q_2 = I_{pr} \Delta t_2 = \frac{U_2}{R} \cdot \Delta t_2.$$

Када се ове две количине електрицитета изједначе, добије се:

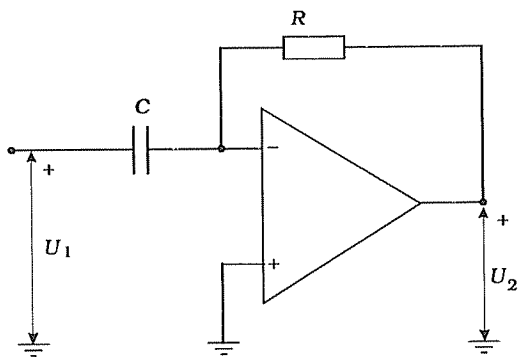
$$\frac{U_1 - U_2}{R} \cdot \Delta t_1 = \frac{U_2}{R} \cdot \Delta t_2.$$

Одавде се добије да је напон U_2 :

$$U_2 = \frac{U_1}{\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} + 1} = \frac{10 \text{ V}}{\frac{3}{1} + 1} = 2,5 \text{ V.} \quad (10 \text{ поена})$$

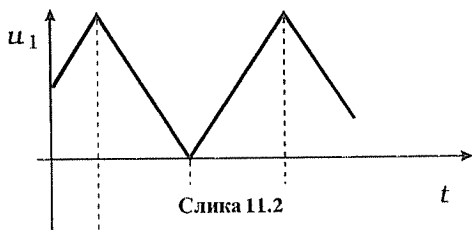
11.

На слици 11.1 приказано је активно коло за диференцирање. На његов улаз је доведен напон који је приказан на слици 11.2. Нацртати на слици 11.3 излазни напон и израчунати му позитивну и негативну максималну вредност ако је $C=10\text{ nF}$, $R=10\text{ k}\Omega$ и $f=500\text{ Hz}$ и $U_{1m}=10\text{ V}$.

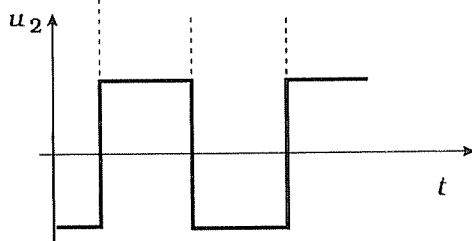


Слика 11.1

Када се на кондензатор доведе напон који линеарно расте или опада, струја кроз кондензатор је константна. Када улазни напон линеарно расте, кондензатор се пуни и струја пуњења даље тече од „-“ улаза појачавача ка његовом излазу. Излазни напон је константан и негативан. Када улазни напон опада, излазни напон је позитиван и константан, што је приказано на слици 11.3.



Слика 11.2



Слика 11.3

Количина електрицитета која пуни кондензатор приликом пораста улазног напона: $Q_1=C\Delta U$ једнака је количини електрицитета која протекне кроз отпорник R за исто време: $Q_2=I\Delta t$. У овим једначинама је $\Delta U=10\text{ V}$, а $\Delta t=1\text{ ms}$.

Када се ове две количине електрицитета изједначе, добије се:

$$C\Delta U = I\Delta t = \frac{U_2}{R}\Delta t.$$

Из ове једначине добије се:

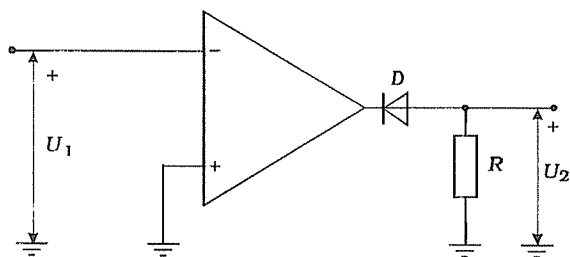
$$U_2 = \frac{RC\Delta U}{\Delta t} = \frac{10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F} \cdot 10 \text{ V}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 1 \text{ V}.$$

Излазни напон је позитиван када улазни напон опада, а негативан када улазни напон расте, па је $U_2=\pm\text{ V}$.

(слика 5 поена и рачун 10 поена – укупно 15 поена)

12.

На слици 12.1 приказан је напонски компаратор на чији улаз је доведен напон који је приказан на слици 12.2. Нацртати на слици 12.3 излазни напон. Занемарити напон на проводној диоди.

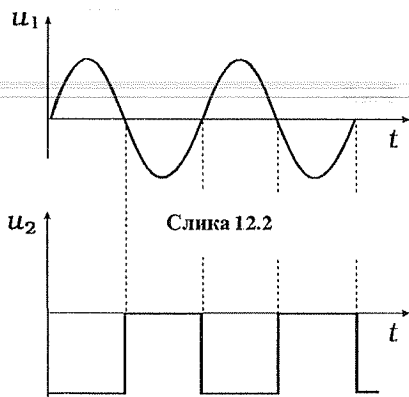


Слика 12.1

РАД

Када је улазни напон негативан, на излазу компаратора добије се позитиван напон; диода не проводи, па је напон U_2 једнак нули. Када је улазни напон позитиван, напон на излазу компаратора је негативан; диода проводи и напон U_2 је максималан и негативан. Напон U_2 је приказан на слици 12.2.

(5 поена)



Слика 12.3

13.

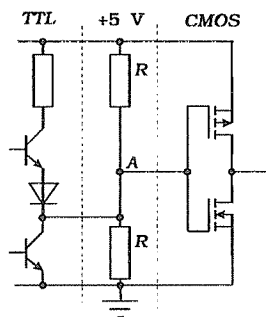
На слици 13 приказано је повезивање *TTL* и *CMOS* кола. Са овим вредностима елемената ова веза може:

- а) да ради ;
- б) да ради ако се отпорност R погодни одабере;
- в) да ради ако се употреби *TTL* коло са отвореним колектором;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Напон логичке јединице на излазу неоптерећеног *TTL* кола је виши од 2,4 V. Разделник напона од два једнака отпорника даје на улаз *CMOS* кола напон једнак половини напона напајања, односно 2,5 V. Види се да је напон на улазу *CMOS* кола код логичке јединице око 2,5 V, а потребно је минимално 3,5 V и ова веза не може нормално да ради.

(3 или -1 поен)

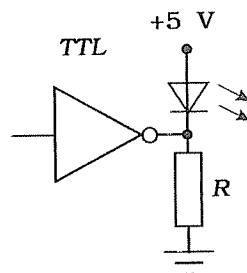


Слика 13

14.

На слици 14 приказано је прикључивање светлеће диоде на излаз *TTL* кола. Ово коло:

- а) може нормално да ради јер је струја ограничена отпорником R ;
- б) не зна се, јер није дата отпорност R ;
- в) може да ради ако се употреби *TTL* коло са отвореним колектором;
- г) није понуђен тачан одговор.



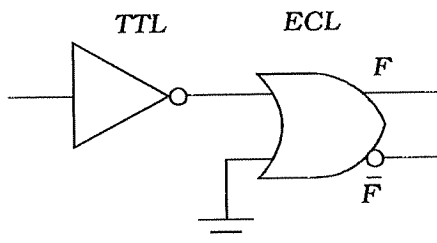
Слика 14

РАД

Ово коло не може да ради јер прегоревала диода. Отпорник не ограничава струју кроз диоду. (3 или -1 поен)

15.

На слици 15 приказано је повезивање *TTL* и *ECL* кола, где оба имају напон напајања $+5\text{ V}$. Напонски нивои логичке нуле и јединице *ECL* кола се рачунају у односу на $+5\text{ V}$ и нижи су од $+5\text{ V}$ исто онолико колико су нижи од потенцијала масе код стандардног напајања *ECL* кола. Ова веза може:



Слика 15

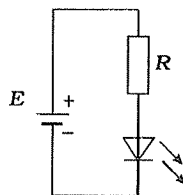
- а) поуздано да ради;
- б) поуздано да ради ако је *TTL* коло тростатичко;
- в) поуздано да ради ако се веже одговарајући отпорник између излаза *TTL* кола и масе;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Код *ECL* кола напон логичке јединице је око $4,1\text{ V}$, а нуле је око $3,3\text{ V}$. Напон логичке јединице на излазу *TTL* кола је виши од $2,4\text{ V}$, што не одговара логичкој јединици на улазу *ECL* кола. (6 или -2 поена)

1.

Наћи отпорност за ограничење струје кроз светлећу диоду ако је $E=20\text{ V}$, напон на диоди $U_D=2\text{ V}$ и струја $I=5\text{ mA}$.

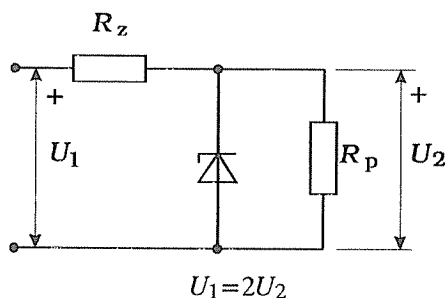


РАД

$$R = \frac{E - U_D}{I} = \frac{20\text{ V} - 2\text{ V}}{5\text{ mA}} = 3,6\text{ k}\Omega. \quad (3\text{ поена})$$

2.

На слици је приказан стабилизатор напона са Ценеровом диодом. Снага на отпорнику за ограничење струју у нормалном раду је 1 W , а он може да издржи снагу до 2 W . Када се улазни напон повиси за 50% , овај отпорник:



а) не загрева се додатно због повишења улазног напона;

б) загрева се у дозвољеним границама и стабилизатор нормално ради;

в) додатно загревање због повишења напона је занемарљиво и стабилизатор нормално ради;

г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Напон на отпорнику R_Z је једнак разлици напона U_1 и U_2 , која је једнака напону U_2 . Снага на отпорнику R_Z је једнака:

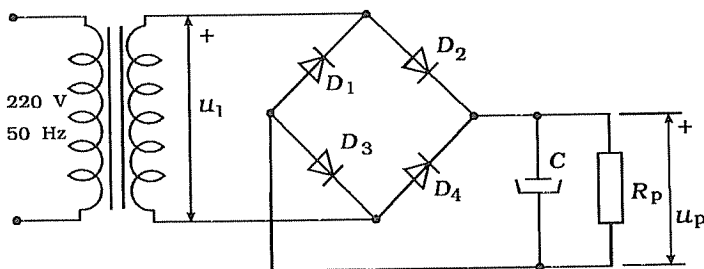
$$P = \frac{U_2^2}{R_Z}.$$

Када се улазни напон повиси за 50% , тада се напон на отпорнику R_Z повиси два пута. Повишење напона за два пута изазива повишење снаге за четири пута и она сада износи 4 W . Отпорник R_Z може да издржи снагу од 2 W и када се на њега доведе два пута већа снага од дозвољене, он прегореве.

(6 или -2 поена)

3.

На слици 3.1 је приказан усмераач са кондензатором. Познато је да је $RC=10 T$, где је T периода наизменичног напона. Узети да се кондензатор тренутно напуни на U_m , а празни константном струјом U_m/R_p за време пражњења. Ако је $U_m=12\text{ V}$, колико је опадање напона на излазу и колика је средња вредност једносмерног напона на потрошачу?

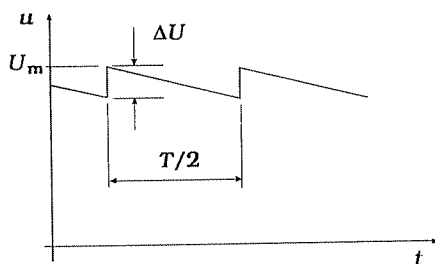


Слика 3.1

РАД

Напон на кондензатору има приближно облик као на слици 3.2.

Количина електрицитета којом се пуни кондензатор је једнака $Q_1 = C \Delta U$, док иста количина електрицитета оде са кондензатора током пражњења $Q_2 = I_{pr} T/2 = U_m T/2R_p$. Ове две количине електрицитета морају да буду једнаке, па је:



Слика 3.2

$$\frac{\Delta U}{U_m} = \frac{T}{2 \cdot RC} = \frac{T}{2 \cdot 10T} = 0,05.$$

Овај резултат се може написати и као 5 %. (6 поена)

Средња вредност напона U_2 је мања од максималне за половину промене напона, односно за 2,5 % или 0,3 V. Средња вредност излазног напона је:

$$U_{sr} = 12\text{ V} - 0,3\text{ V} = 11,7\text{ V}. \quad (6\text{ поена})$$

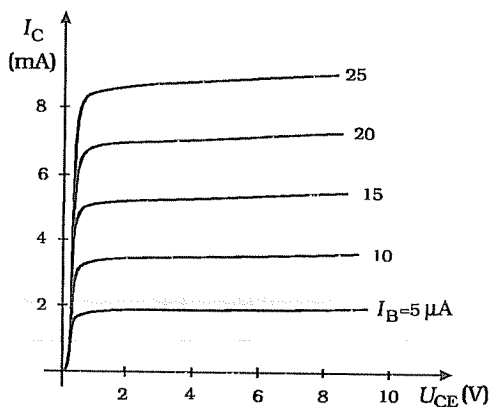
4.

На слици су приказане излазне карактеристике неког транзистора. Из оваквих излазних карактеристика неког транзистора може се одредити:

- а) само коефицијент h_{21E} ;
 б) може коефицијент h_{21E} и приближно h_{21e} ;
 в) може h_{21E} и h_{21e} али код код транзистора велике снаге;
 г) може само h_{21e} .

РАД

Помоћу излазних карактеристика може да се одреди коефицијент h_{21E} као количник струја I_C и I_B у некој тачки. Исто тако може да се приближно одреди коефицијент h_{21e} као $\Delta I_C / \Delta I_B$ у некој тачки.



(6 или -2 поена)

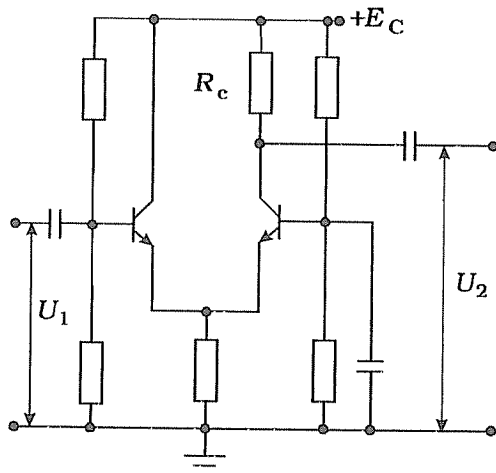
5.

На слици је приказана каскадна веза два појачавача. Употребљени транзистори имају следеће параметре: $h_{11e} = 2 \text{ k}\Omega$, $h_{21e} = 80$, $R_c = 2 \text{ k}\Omega$. Занемарити утицај елемената чије величине нису дате. Одредити:

- а) која два појачавача су везана каскадно;
 б) улазну отпорност појачавача;
 в) напонско појачање $A_u = U_2 / U_1$.

РАД

а) Ово је каскадна веза појачавача са заједничким колектором и појачавача са заједничком базом. (Признати и диференцијални појачавач као одговор.)



(2 поена)

Улазна отпорност појачавача са заједничком базом је:

$$R_{u2} = \frac{h_{11e}}{h_{21e}}. \quad (2 \text{ поена})$$

Улазна отпорност појачавача са заједничким колектором је:

$$R_{u1} = h_{11e} + h_{21e} \cdot R_{u2} = 2h_{11e} = 4 \text{ k}\Omega. \quad (4 \text{ поена})$$

Напонско појачање појачавача са заједничким колектором је једнако 0,5 јер је пад напона на h_{11e} и R_{u2} исти.

Напонско појачање појачавача са заједничком базом је:

$$A_{u2} = \frac{h_{21e} R_c}{h_{11e}} = \frac{80 \cdot 2 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 80. \quad (3 \text{ поена})$$

Укупно појачање је једнако производу појачања оба појачавача:

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} = 0,5 \cdot 80 = 40. \quad (4 \text{ поена})$$

6.

На слици је приказан осцилатор са индуктивном спрегом. Овај осцилатор:

а) не може да ради јер су тачке на калемовима постављене погрешно;

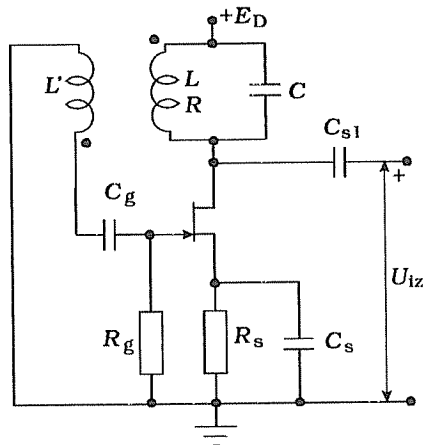
б) може нормално да ради јер су тачке правилно постављене;

в) може да ради ако калем L' има исти број навојака као и калем L ;

г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Тачке су на калемовима правилно постављене и осцилатор може нормално да ради. (3 или -1 поен)



7.

Код свих транзистора на слици, инверзна струја колекторског споја износи 5 nA, док је параметар $h_{21e} = 200$. Струја I_{C30} колектора транзистора T_3 износи приближно:

а) $40 \mu\text{A}$;

б) 1 mA;

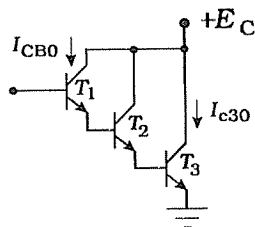
в) 200 nA;

г) ниједна понуђена вредност није ни приближно тачна.

РАД

Струја колектора првог транзистора је 200 пута већа и износи $1 \mu\text{A}$; струја колектора другог транзистора је 200 пута већа и износи $200 \mu\text{A}$. Струја колектора трећег транзистора је 200 пута већа и износи: $I_{C30} = 40 \text{ mA}$.

(6 или -3 поена)

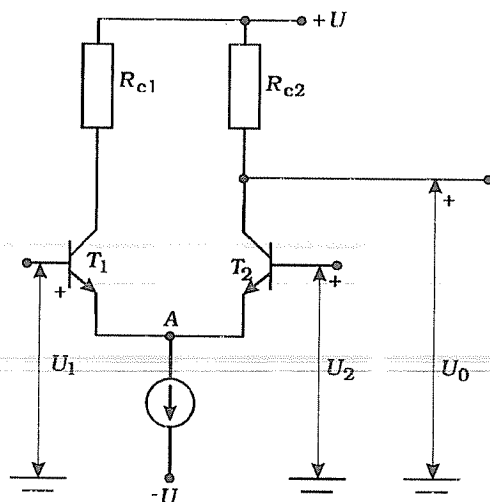


8.

Наћи напонско појачање наизменичних напона U_0/U_1 појачавача на слици ако је $U_2=0$ и ако оба транзистора имају следеће параметре: $h_{11e}=3\text{ k}\Omega$, $h_{21e}=50$, док је $R_c=5\text{ k}\Omega$.

РАД

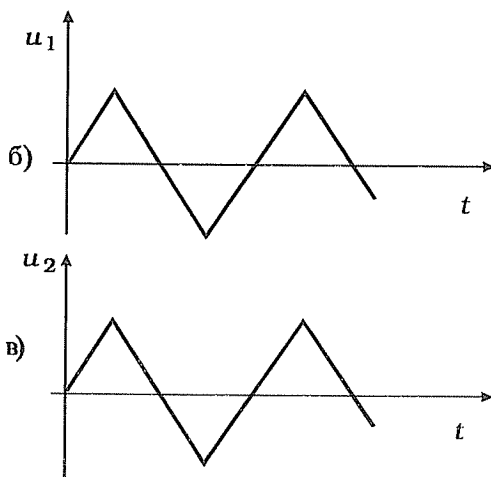
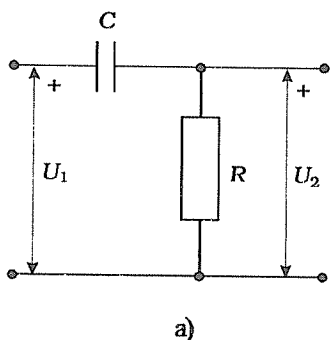
Напонско појачање диференцијалног појачавача са несиметричним излазом је једнако:



$$A_u = \frac{h_{21e}R_c}{2h_{11e}} = \frac{50 \cdot 5\text{ k}\Omega}{2 \cdot 3\text{ k}\Omega} = 41,6. \quad (8 \text{ поена})$$

9.

На слици а) је приказано пасивно коло за диференцирање, а на слици б) напон на његовом улазу. Нацртати облик излазног напона на дијаграму који је означен са в) ако је $RC \gg T$.

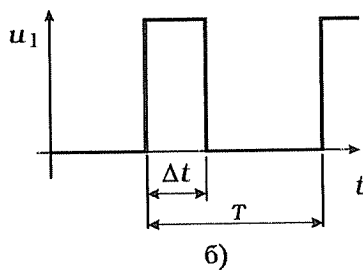
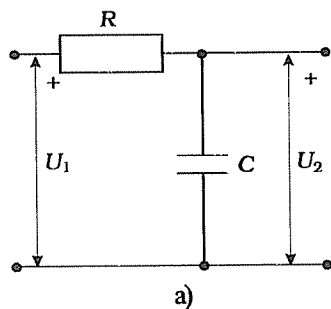


РАД

Ако је $RC \gg T$, тада ово није коло за диференцирање и излазни напон је једнак улазном. (10 поена)

10.

На слици а) је приказано пасивно коло за интеграљење, а на слици б) пример улазног напона којем треба одредити средњу вредност. Нека је $RC \gg T$. Тада је излазни напон приближно константан. Доказати да је излазни напон једнак средњој вредности улазног напона.



РАД

Кондензатор се пуни за време трајања импулса, а празни се за време паузе. Количина електрицитета којом се пуни кондензатор Q_1 за време Δt треба да буде једнака количини електрицитета Q_2 која се испразни за време $T - \Delta t$:

$$I_{pu} \cdot \Delta t = I_{pr} (T - \Delta t).$$

Струја пуњења је једнака:

$$I_{pu} = \frac{U_1 - U_2}{R}.$$

Количина електрицитета Q_1 је једнака:

$$Q_1 = I_{pu} \cdot \Delta t.$$

Количина електрицитета Q_2 је једнака:

$$Q_2 = I_{pr} \cdot (T - \Delta t).$$

Када се ове две количине електрицитета изједначе, добије се после скраћивања са R :

$$U_1 \Delta t - U_2 \Delta t = U_2 (T - \Delta t).$$

Одавде се добије да је:

$$U_2 = U_1 \frac{\Delta t}{T}. \quad (10 \text{ поена})$$

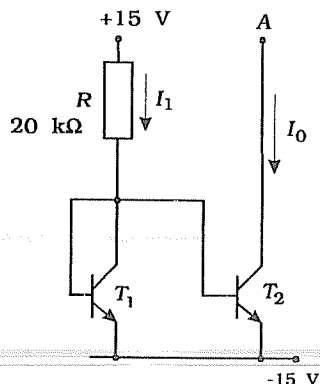
11.

Коло на слици је израђено у дискретној техници. У овом колу струја I_0 износи:

- а) 1,46 mA;
- б) 2,93 mA;
- в) не зна се поуздано;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Пошто је коло изведено у дискретној техници, транзистори у принципу немају исте карактеристике, па се не зна колика је струја I_0 . (3 или -1 поен)

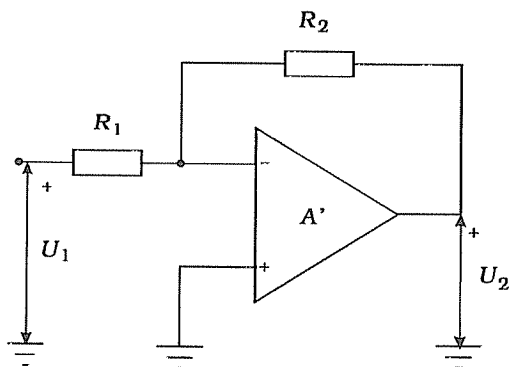


12.

На слици је приказан појачавач који ради на 200 kHz, где је модуо појачања операционог појачавача A' опао на 5. Наћи појачање овог појачавача ако је $R_2 = 5R_1$.

РАД

Напонско појачање овог појачавача се рачуна по обрасцу:



$$A = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{A'} - \frac{R_2}{R_1 A'}}, \quad (\text{формула 3 поена})$$

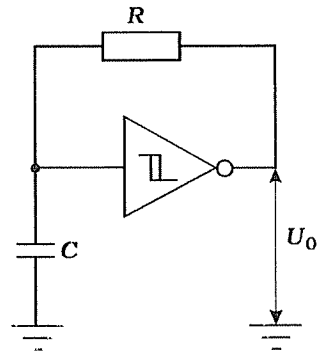
$$A = -5 \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{-5} - \frac{5}{-5}} = -2,27. \quad (\text{резултат 3 поена})$$

13.

На слици је приказано Шмитово окидно коло у *TTL* техници. Додати му потребне елементе да би радило као осцилатор правоугаоног напона.

(Додати су отпорник и кондензатор.)

(6 поена)



14.

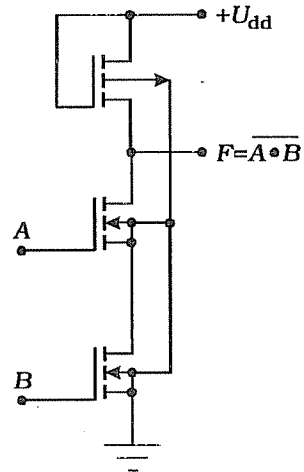
Коло на слици је:

- а) *NILI* коло;
- б) *NI* коло;
- в) инвертор;
- г) није понуђен тачан одговор.

РАД

Није понуђен тачан одговор. Ово коло не може да ради јер је горњи транзистор *P*-канални.

(3 или -1 поен)



15.

Отпорник R_1 на слици служи да:

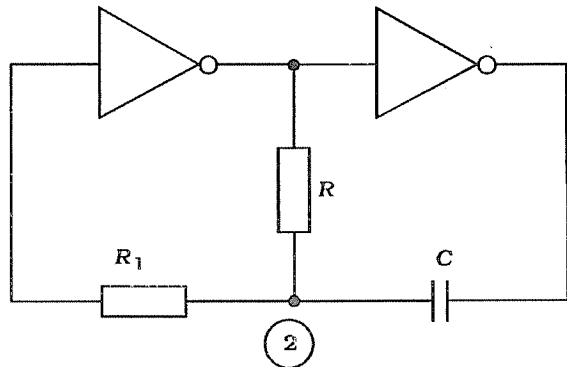
а) спречи одсецање напона у тачки 2 који је виши од U_{dd} и нижи од потенцијала масе;

б) се помоћу њега и кондензатора одреди учестаност осциловања;

в) се спречи прегоривање првог кола;

г) није понуђен тачан одговор.

(3 или -1 поен)



РАТКО ОПАЧИЋ
ЗБИРКА ЗАДАТАКА ИЗ ЕЛЕКТРОНИКЕ
за други и трећи разред електротехничке школе

Прво издање, 1998. година

Издавач

ЗАВОД ЗА УЧБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА
Београд, Обилићев венац 5

Ликовни уредник

ТАМАРА ПОПОВИЋ-НОВАКОВИЋ

Лектор

СЕЛМА ЧОЛОВИЋ

Корице

ТАМАРА ПОПОВИЋ-НОВАКОВИЋ

Графички уредник

АНГЕЛИКА ЈОРДАНОВИЋ-БУГАРСКИ

Коректор

МИРЈАНА ИЛИЋ

Обим: 15 3/4 штампарских табака

Формат: 17 × 24 cm

Тираж: 2 500 примерака

Рукопис предат у штампу јуна 1998. године.

Штампање завршено октобра 1998. године.

Штампа ДД ИП „Вук Карацић“–Параћин

