

5 Egyéb alkalmazások

A teljesítményelektronikai berendezések két fő csoportját a tápegységek és a motorhajtások alkotják. Ezekkel azonban nem merülnek ki az alkalmazási lehetőségek. A továbbiakban a fennmaradt alkalmazási területeket tekintjük át.

5.1 Akkumulátorok töltése és kivizsgálása

Az elektronikai berendezések nagy részét a városi hálózatról táplálják, de hordozható készülékeknél, vagy szünetmentes tápoknál alternatív áramforrások (energiaforrások) szükségesek. Ilyen alternatív energiaforrások lehetnek a vegyi áramforrások, amelyekben az energia vegyületek formájában van jelen. Vegyi úton nagyságrendekkel több energia tárolható, mint azonos térfogatú kondenzátorban (villamos tér segítségével). A vegyi áramforrások hátránya viszont az, hogy az energia visszanyerésének sebessége nagyságrendekkel kisebb és a vegyi áramforrások élettartama erősen korlátozott.

A vegyi áramforrások lemezekből és a közöttük elhelyezkedő elektrolitból állnak. Az energiatárolást végző aktív anyagok a lemezek felületén találhatóak.

A vegyi áramforrásokat két csoportra osztják: akkumulátorokra és szárazelemekre. Az akkumulátorok fő jellemzői, hogy a bennük tárolt energia felhasználása után újra tölthetők, a szárazelemek viszont nem tölthetők újra.

5.1.1 Akkumulátor típusok

Az akkumulátorok között, alapanyaguk szerint, megkülönböztetünk: ólomakkumulátorokat, nikkel-kadmium (*NiCd*) akkumulátorokat, *NiMH* akkumulátorokat, *Li-ion* akkumulátorokat stb. Az alapanyag főként az élettartamra és az adott térfogatban tárolható energiamennyiségre (energia-sűrűség) van kihatással.

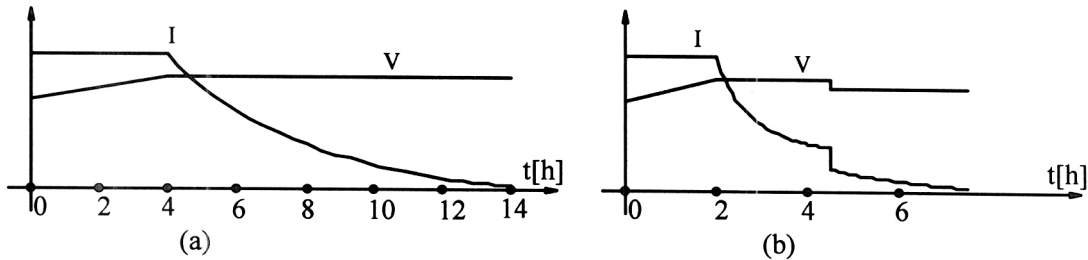
Az akkumulátorok fő műszaki adatai a névleges feszültség és a kapacitás. Egy cella névleges feszültsége (*IV-2V*) általában nem elegendő, ezért a cellák soros kapcsolásával telepeket készítenek. A kapacitás alatt itt az akkumulátorból ürítés közben kiáramló össz töltésmennyiséget ($\int idt$) értjük. A tényleges kapacitás lényegesen eltérhet a névlegestől az ürítési áramtól függően: nagy ürítőáramnál erősen csökken.

Az akkumulátorok élettartamát vagy években adják meg (*stand-by* üzemnél ez a célszerű) vagy a töltési-ürítési ciklusok várható számán keresztül. A ciklusok száma általában több száztól több ezerig változhat, az alapanyagoktól és a technológiától függően. Jelentős kihatással van az élettartamra a töltés és az ürítés időbeli lefolyása is.

5.1.2 Töltési eljárások

Az akkumulátorok töltése kellő szakértelmet és megfelelő töltőberendezést igénylő eljárás. Az ólom-akkumulátorokat úgynevezett *IV* vagy *IVV* módszerrel töltik. Az *IV* módszer lényege, hogy a töltés elején állandó árammal táplálják az akkumulátort, amikor viszont a töltési feszültség eléri a megfelelő szintet, a továbbiakban a feszültséget tartják állandó értéken, miközben a töltőáram csökken.

Az *IVV* módszerél a töltés hasonlóan indul, mint az *IV* módszerél, azzal, hogy a beállított feszültség szintjén kezdetben magasabb, majd amikor a töltőáram bizonyos szint alá csökken, lecsökkentik a töltési feszültséget az *IV* módszerél alkalmazott értékre. Az eljárás bonyolítása a töltési idő rövidítése végett célszerű. Az 5-1 ábrán a két módszert jellemző diagramokat adtuk meg.



5-1 ábra: Ólomakkumulátorok töltési jelleggörbéi: (a) *IV* módszer, (b) *IVV* módszer.

A *NiCd* és *NiMH* akkumulátoroknál szintén alkalmazható az állandó árammal való töltés, viszont gondok vannak a töltés befejezésének meghatározása körül. Korábban az előre kiszámított ideig való töltést javasolták, feltételezve, hogy a töltés elején az akkumulátor teljesen üres volt. Ma az úgynevezett dv/dt módszert alkalmazzák, amit arra alapoznak, hogy a töltés végén a kedvező vegyi folyamatok leállnak, ezért leáll az akkumulátor töltési feszültségének növekedése is. Amikor a $dv/dt \leq 0$ feltétel teljesül, a töltő automatikusan kikapcsol.

5.1.3 Akkumulátortöltő berendezések felépítése

Teljesítmény szerint megkülönböztetünk: kis-, közép- és nagyteljesítményű akkumulátortöltőket. Kis teljesítményű töltők esetében a disszipáció nem számottevő. Itt megfelelően megszerkesztett lineáris tápegység elláthatja a feladatot. Ebbe a csoportba sorolhatók a különböző hordozható készülékek (mobiltelefon, zseblámpa, *CD* lejátszó stb.) akkumulátorainak töltői.

Nagyobb teljesítményű töltőknél a soros elemen eső veszteségi teljesítmény igen nagy lehet. A veszteség leadása egyrészt nagyobb hűtőfelületeket kíván, másrészt nagyobbra méretezett hálózati transzformátorokat, melyek a hasznos teljesítményen kívül a veszteségi teljesítményt is növelik. A nagy hűtőfelületek és a nagy transzformátorok azonban nagyobb méreteket és lényegesen magasabb költségeket is jelentenek. A nagy veszteségi teljesítmények elkerülhetők a kapcsolóüzemű akkumulátortöltők felhasználásával.

A legegyszerűbb akkumulátortöltő típust egy hálózati transzformátor és egy teljeshullámú, vezérlés nélküli egyenirányító összekötésével kapjuk. Ebben az esetben a töltőáramot a transzformátor tekercseinek soros induktivitása szabályozza illetve korlátozza. A töltési feszültség változását vagy a kezelő követi vagy megfelelő automatikus kapcsolást építenek be a töltési folyamat ellenőrzésére. Elsősorban a töltőáram kikapcsolását kell megoldani az akkumulátor teljes feltöltöttsége esetén.

Valamivel haladóbb megoldást jelent a vezérelt egyenirányítók alkalmazása (2.2.2 szakasz). Elsősorban a szekundér oldali tirisztors egyenirányító kapcsolások terjedtek el.

Ebben az esetben a diódahíd helyett tirisztort alkalmazunk egyenirányításra, melynek vezérlésével (fázishasítással) a kívánt szintre tudjuk korlátozni a töltőáramot illetve a töltőfeszültséget. A transzformátor általában két okból is szükséges. Ezek az okok a szintillesztés és a kimenet szigetelése a bemenettől (biztonsági okokból). Kisebb teljesítményeknél egyfázisú transzformátor az indokolt. Nagyobb teljesítményeknél háromfázisú transzformátorral a hálózat szimmetrikus terhelését valósítjuk meg, de a kimeneti hullámosság is jelentősen csökkenthető így.

Primér oldali tirisztoros (fázishasítós) szabályozó is alkalmazható szekundér oldali vezéreltlen (diódákból fölépített) egyenirányítóval a nagyobb teljesítményű töltőberendezések megépítésére. Mivel a primér oldali áramok rendszerint lényegesen kisebbek a szekundér oldaliaknál, így a tirisztorok veszteségei jelentősen csökkenthetők. Ez a megoldás mégsem terjedt el szélesebb körben. Az ok abban keresendő, hogy a tirisztorok szabálytalan gyújtása esetén a transzformátor aszimmetrikus táplálást kap (egyenáramú komponens jelentkezik), ami a mag telítéséhez vezet. Telítés esetén a priméráramok a névleges érték sokszorosát érik el, ami a tirisztorok meghibásodásához vezet.

A legösszetettebb fölépítésű, de egyben a legjobb töltésszabályzást biztosító berendezés a kapcsolóüzemben működő töltő. A kapcsolóüzemű töltő valójában egy szigetelt kimenetű kapcsolóüzemű tápegység (2.3.10 szakasz), amelyet akkumulátortöltésre optimalizáltak. A berendezés központi részét képező *DC-DC* átalakítóban a kapcsolótranzisztor vezérlőimpulzusainak kitöltési tényezőjét változtatva állítjuk be a kívánt töltőáramot illetve töltőfeszültséget.

A haladóbb típusú töltőberendezések az áramszabályzáson és a feszültség szabályzáson kívül számos más feladatot is ellátnak. Így találkozunk különböző kijelzésekkel és védelmekkel.

A töltők egy különleges fajtáját képezik az akkumulátorokat regeneráló töltők. Az ólomakkumulátorok többsége szulfátosodás következtében megy tönkre, általában az elégtelen töltés miatt. A szulfátosodás során az akkumulátor aktív anyagának felületén kemény szulfátkristály réteg képződik.

Közönséges töltővel az ilyen akkumulátorba nem tudunk áramot juttatni, helyette olyan áramforrás kell, amelynek árama ugyan kis értékre van korlátozva, de a feszültséget a névleges akkumulátorfeszültség másfélszeresére, esetleg kétszeresére is fel tudja emelni. A regeneráló töltők másik jellemzője, hogy nem símított egyenárammal töltenek, hanem lüktető árammal, amelyben esetleg periódikusan negatív impulzusok (ürítő áramok) is megjelennek.

5.1.4 Kapacitásmérés

Olyan helyeken, ahol bizonyos időközönként szükséges megbizonyosodni az akkumulátorok állapotáról (melyek szükség esetén kifogástalanul el kell, hogy lássák feladatukat), kapacitásmérést alkalmaznak.

Az eljárást egy készülékkel végzik, mely állandó árammal üríti az akkumulátort és közben figyeli az akkumulátor feszültségét. Az ürítést addig folytatják, amíg a megfelelő végfeszültséget el nem érik. Ürítés előtt természetesen az akkumulátort szabályszerűen fel kell tölteni. A kapacitást végül a:

$$Q = It \quad (5-1)$$

egyenlet felhasználásával, vagyis az üritőáram és az eltelt idő szorzásával kapjuk meg. Az így kapott eredmény biztos mutatója annak, hogy az akkumulátor az ellenőrzés pillanatában milyen állapotban van.

A lemért kapacitás értéke függ az üritőáram nagyságától. Az áram növelésével az akkumulátorban lezajló vegyi folyamatok hatékonysága csökken, így a mért kapacitás is csökken. A gyártók adatlapjain az akkumulátorokra rendszerint a $Q/10$ vagy a $Q/20$ árammal végzett mérés eredményét tüntetik fel mint névleges kapacitást. Egyes alkalmazási területeken az így kapott kapacitás nem jellemzi kellőképpen az akkumulátort. Pl. a gépkocsik indítóakkumulátorain a kapacitás mellett feltüntetnek egy nagy üritőáramot is, amit az akkumulátornak kétszer 15 másodpercig el kell viselnie úgy, hogy közben a kapocsfeszültség ne essen egy szabványban definiált érték alá.

Az állandó árammal való ürités megfelelő szabályzást feltételez, mivel ürités közben az akkumulátor feszültsége változik (csökken). Goromba áramszabályzást úgy érhetünk el, hogy több ellenállást, kézilég vagy automatikusan, különböző kombinációkban kapcsolgatunk.

Precíz áramszabályzást úgy valósítunk meg, hogy adott ellenállást kapcsolótranszisztor segítségével impulzus-szélesség moduláció (*PWM*) mellett kapcsolunk az akkumulátorra. A kitöltési tényező változtatásával az üritési áram átlagértéke nulla és maximális érték között fokozatmentesen állítható.

Gyári kapacitásmérő berendezéseknél rendszerint a goromba és a precíz módszert kombinálják. Az üritőáram nagyobb részét egy tartósan bekötött ellenállással kapják, a fennmaradt részt pedig *PWM* segítségével folyamatosan szabályozzák. Így a szabályzás kisebb kapcsolótranszisztorral megoldható.

Hordozható készülékeknél előnyös tudni, hogy mekkora a táplálást biztosító akkumulátor hátramaradt kapacitása. Léteznek cél integrált áramkörök, amelyek mérve az üritőáramot, az eltelt időt, a hőmérsékletet, esetleg más változókat, ki tudják értékelni, mennyi energia maradt még az akkumulátorban.

A teljes várható kapacitást vagy kívülről programozzuk, vagy az integrált áramkör értékeli ki egy előző üritési ciklus alapján. Az eljárás függ az akkumulátor alapanyagától, ezért különböző akkumulátorfajtákhoz más-más áramköröket fejlesztettek ki. A hátramaradt kapacitás kijelzése történhet *LED* sorral, de a becsült érték digitális formában processzorral is közölhető.

5.2 Kapcsolóüzemű lámpatápok

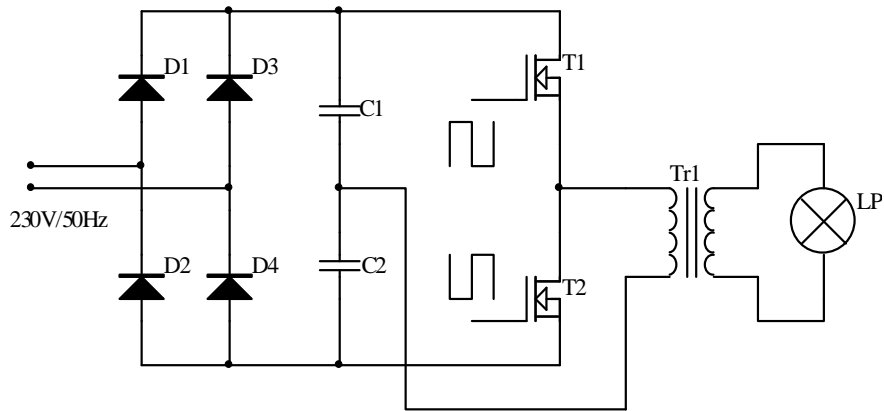
A fényforrások hagyományos táplálása általában nem ad optimális eredményeket a kedvezőtlen teljesítménytényező-, a nagy kezdeti áramlökések-, a nehézkes gyújtás- és egyéb jelenségek miatt. Teljesítményelektronikai berendezésekkel csökkenthetők a méretek, sok esetben javulás érhető el a villamos paraméterek területén, de helyenként az optikai jellemzők is javulnak.

A továbbiakban az elektromos fényforrásokkal kapcsolatos teljesítményelektronikai megoldásokkal ismerkedünk meg: halogénlámpák, fénycsővek, nagyintenzitású kisülőlámpák elektronikus tápjait elemezzük.

5.2.1 Halogénlámpák táplálása

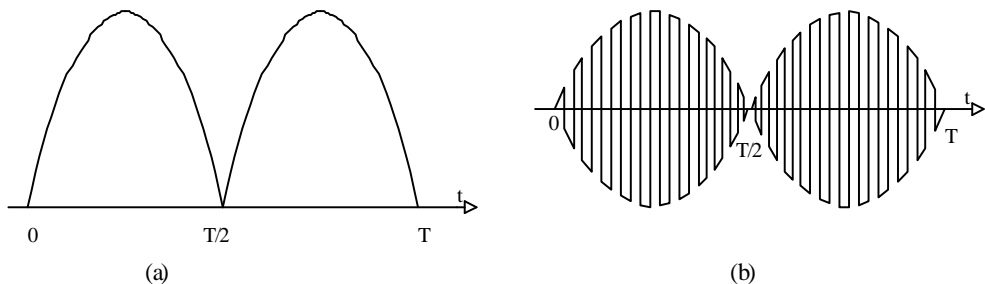
A halogénlámpák izzószála rendszerint a hálózati feszültségnél lényegesen kisebb feszültséget, általában $12V$ táplálást igényel. A hagyományos megoldások hálózati ($50Hz$ frekvencián működő) transzformátort alkalmaznak. Tekintettel a hálózati transzformátorok nagy tömegére és magas árára, mindinkább térnek át az úgynevezett elektronikus halogén transzformátorokra. Az elektronikus táp megoldásokba könnyedén beépíthetők olyan hasznos funkciók mint a teljesítmény szabályzás, túláramvédelem vagy a túlmelegedés elleni védelem.

Az elektronikus megoldás jellemző szerkezetét az 5-2 ábra mutatja. A bemeneti feszültséget diódahíddal közvetlenül egyenirányítjuk. Mivel a közteskör nem tartalmaz jelentős kapacitású kondenzátort, a közteskör feszültsége lüktető egyenfeszültség.



5-2 ábra Elektronikus halogéntranszformátor felépítése.

Ezt az egyenfeszültséget a tranzisztor félhíd magasfrekvencián (több tíz kHz) szaggatva juttatja a ferritmagos transzformátor primérjére. A kapcsolótranzisztorok 50% -os kitöltési tényezővel, fölvtva kapcsolnak be. A primérfeszültség egyenkomponensének megszüntetéséről a C_1 , C_2 kondenzátorokkal megépített kapacitív feszültségosztó gondoskodik. A szekundérfeszültség közvetlenül, egyenirányítás és szűrés nélkül táplálja a lámpát. A jellemző jelalakokat az 5-3 ábrán láthatjuk.



5-3 ábra A halogéntranszformátor jelalakjai: a közteskör feszültsége (a) és a szekundérfeszültség (b).

Elektronikus halogéntranszformátorral könnyen megoldható a fényerő-szabályozás is a tirisztoroknál használatos fázishasításhoz hasonlóan. Csak annyi beavatkozásra van szükség a fent ismertetett megoldásba, hogy a félhíd vezérlését a

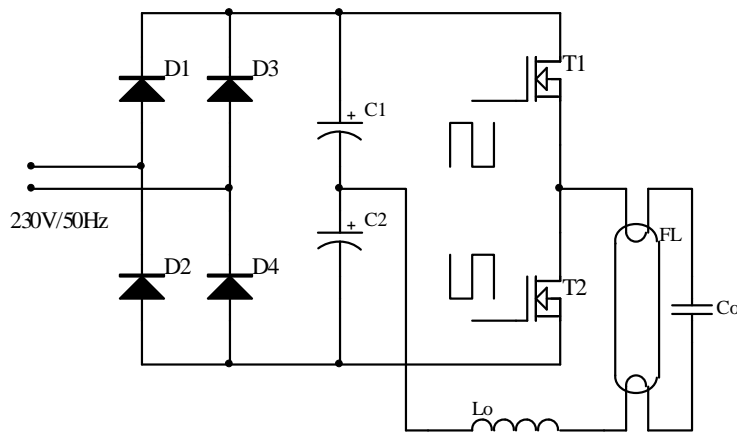
hálózati frekvencia minden félperiódusának az elején bizonyos ideig letiltjuk. A letiltás időtartamát változtatva a lámpa fényereje nulla és maximális érték között fokozatmentesen állítható.

Az elmúlt egy-két évtizedben az 5-2 ábrán bemutatott kapcsolás vezérlésére transzformátoros visszacsatolású (önrezgő) megoldást alkalmaztak. Újabban cél integrált áramkörök jelentek meg a félhíd vezérlésére. Ezek az alapműködés biztosítása mellett számos segédfunkcióval is rendelkeznek: védik a tranzisztorokat túláramok ellen, szabályozzák a fényerőt stb.

5.2.2 Fénycsövek táplálása

A fénycsövek (fluoreszcens csövek) táplálását hagyományosan induktív előtéttel (fojtótekerces) és ikerfémcs gyújtóval oldották meg. A gyújtó szerepe, hogy először az induktív előtéten áramot indít meg, majd ezt az áramot megszakítva nagyfeszültségű impulzust képezzen, ami szükséges a cső kezdeti ionizációjához. A kezdeti ionizációt követően már a hálózati feszültség elégséges a csőáram megindításához. Tekintettel a cső negatív ellenállást mutató viselkedésére, a kialakuló áram végtelenbe tartana, ha nem alkalmaznánk valamilyen áramkorlátozó mechanizmust. Adott esetben az áram korlátozását a csővel sorbakötött tekerces (induktív előtét) végzi.

Ma mindinkább terjednek az elektronikus fénycsőtápok. Ezek szerkezete némileg bonyolultabb a halogéntápoknál, de alkalmazásuk egyre inkább indokolt a jó hatásfok és a villogásmentes működés miatt. A jellemző alapkapsolást az 5-4 ábra mutatja.

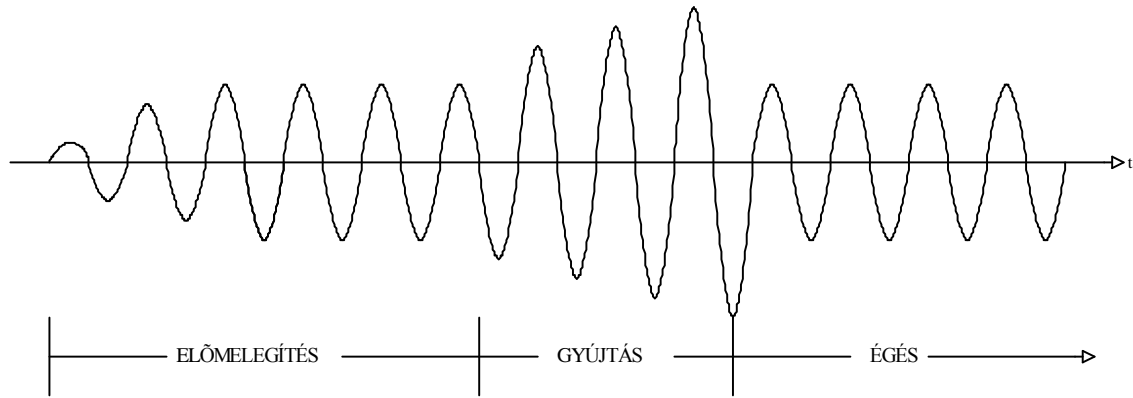


5-4 ábra Az elektronikus fénycsőtáp felépítése.

A hálózati feszültséget közvetlenül egyenirányítják és a C_1 , C_2 kondenzátorokkal szűrik. A kapott egyenfeszültséget a tranzisztor félhíd magas frekvencián (több tíz kHz) szaggatva juttatja a ferritmagos fojtótekerces (L_o) és a fénycső soros kötésére. A kapcsolótranzisztorok 50%-os kitöltési tényezővel fölváltva kapcsolnak be.

A L_o fojtó és a fénycsővel párhuzamosan kötött C_o kondenzátor soros rezgőkört alkotnak. A rezgőkört a rezonáns frekvencián meghajtva a fénycsőn magas feszültség (a köztes kör feszültségének többszöröse) jön létre. Ez a feszültség hozza létre a kezdeti ionizációt a csőben. Ezzel egyidőben a rezgőkörön áthaladó áram előmelegíti a fénycső elektródáit (ezek sorba vannak kötve a rezgőkör elemeivel), ami szintén segíti az áram megindulását.

A csőáram megindulása után a terhelés növekedése következtében a rezonáns üzem megszűnik. A kapcsolási frekvenciát úgy kell beállítani, hogy a tekercs és a cső alkotta soros impedancián a cső névleges árama folyjon. Égési üzemben a fojtótekercsnek hasonló szerepe van, mint a hagyományos induktív előtétnek: áramkorlátozást végez. A csőáram és így a fényerő is a frekvencia eltolásával fokozatmentesen állítható. Az elektronikus fénycsőtáp jellemző áramalakját az 5-5 ábrán láthatjuk.



5-5 ábra Az elektronikus fénycsőtáp jellemző áramalakja.

A fénycsőtápok vezérlése viszonylag összetett feladat: magába foglalja a gyújtási folyamat vezérlését, az áramszabályzást állandósult üzemben és számos védelmi funkciót. A védelmek közül elsősorban a cső meghibásodása esetén föllépő túláramok és túlfeszültségek korlátozása a fontos. A túlterhelések azért alakulnak ki, mert meghibásodott cső esetén a csőáram nem indul meg és így a rezgőkör feszültsége és árama terhelés hiányában határtalanul nő. Korábban a fénycsőtápoknál is önrezgő megoldásokat alkalmaztak, az utóbbi években viszont a vezérlésre megfelelő cél integrált áramkörök állnak rendelkezésre, amelyek az összes vezérlési és védelmi funkciókat ellátják.

5.2.3 Nagyintenzitású kisülőlámpák táplálása

A nagyintenzitású kisülőlámpáknál a kisülési térben lényegesen nagyobb a nyomás, mint a fénycsőveknél, így a kapható fényintenzitás is nagyobb. Ide tartoznak a higanylámpák, fémhalogénlámpák és a nátriumlámpák. A névleges teljesítmények $100W$ és több kW határok között mozognak.

Hagyományos szerelésnél ezeket a lámpákat megfelelően méretezett induktív előtéttel (fojtótekercs) és nagyfeszültségű gyújtóval látják el, helyenként illesztő transzformátor is szükséges. A gyújtó a kezdeti jonizációt biztosítja, az előtét viszont áramkorlátozást végez. Mivel ezek a lámpák nem tartalmaznak kezdőárammal izzítható elektródákat, a gyújtási feszültség rendszerint meghaladja az üzemi feszültség tízszeresét is. Állandósult üzemben a lámpában uralkodó nyomás jóval magasabb a hideg állapotban uralkodó nyomáshoz képest, ezért rövid áramkimaradás után a lámpa nem gyújtható újra közönséges gyújtóval.

A nagyintenzitású kisülőlámpáknál is terjedőben van az elektronikus táplálás. Ez elsősorban a gépkocsiiparban mondható el, mivel ott a $12V$ -os illetve a $42V$ -os akkumulátorfeszültség semmiképp sem alkalmas a kisülőlámpák közvetlen táplálására.

Az elektronikus tápok, szükség szerint, először a rendelkezésre álló egyenfeszültséget egy magasabb szintre emelik, utána egy hídkapcsolású négyzögínverterrel hozzák létre a váltófeszültséget, amely a lámpát táplálja. A kisülőlámpák nem táplálhatók egyenárammal, mivel az a kisülési térben levő anyagok egyoldali lerakódásához vezet.

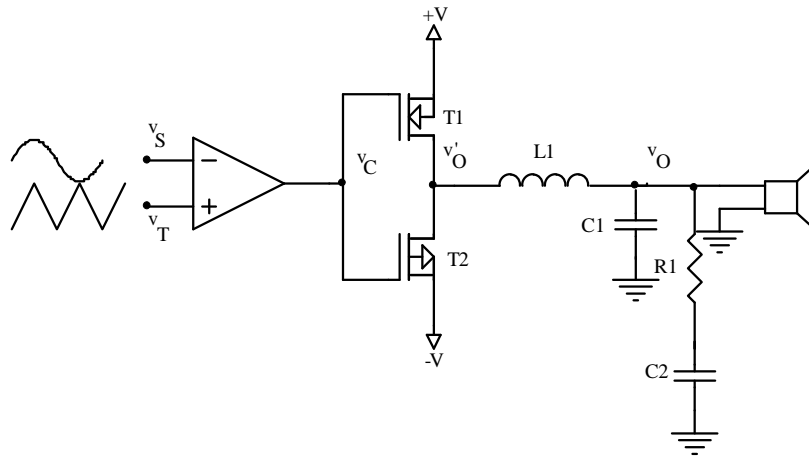
A gyújtó általában egy külön fokozatot képez, amelyben $1-2\mu s$ időtartamú, több kV feszültségű tüimpulzust állítanak elő. A gyújtót előnyös a lámpatest közelébe- vagy azzal egybeépíteni.

5.3 D osztályú erősítők

A D osztályú erősítőben a kimeneti tranzisztorok kapcsolóként működnek. A kapcsolóüzem ismert előnyeiből kifolyólag az erősítő teljesítményvesztése kicsi a feldolgozott teljesítményhez képest. Így a D osztályú erősítők hatásfoka jobb: kevesebb teljesítményt igényelnek a tápforrásból és kevésbé melegsznek. Ezek fontos előnyök hordozható (elemes táplálású) berendezéseknél.

5.3.1 Felépítés

A legrégebbi D osztályú erősítők vákuumsöveket tartalmaztak és a korai 1950-es évekre voltak jellemzőek. Ma általában $MOSFET$ -ekkel oldják meg kimenő fokozatot. Az 5-6 ábra a D osztályú erősítő egyszerűsített alapáramkörét mutatja be.



5-6 ábra: A D osztályú erősítő elvi rajza.

Az áramkör táplálása kétoldali, szimmetrikus: $+V = -(-V)$. Az erősítő tartalmaz egy komparátort, mely két $MOSFET$ -et hajt meg. A komparátor impulzus-szélesség modulációt végez (PWM) a következő egyenletek szerint:

$$v_c = -V_1 \quad \text{ha} \quad v_s > v_T \quad (5-2)$$

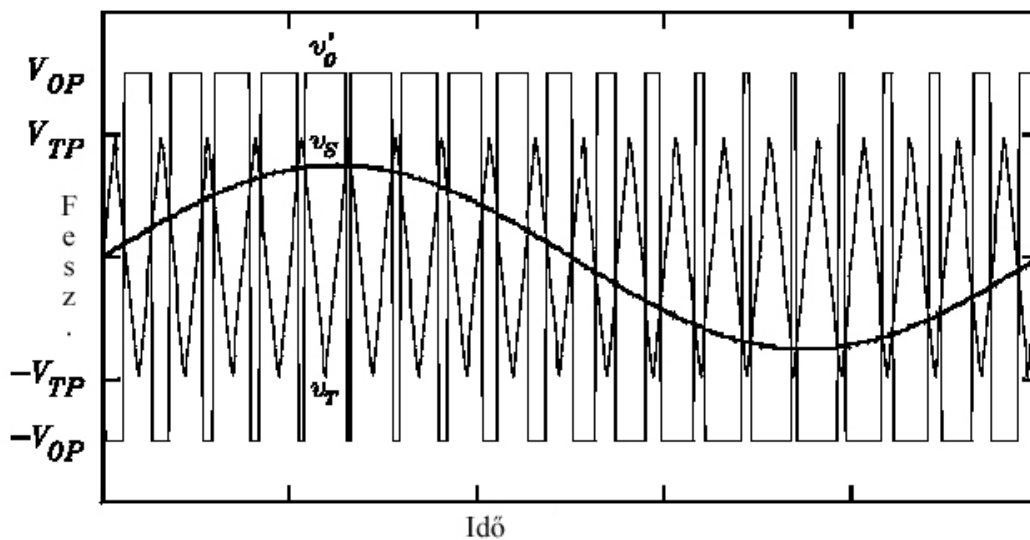
és

$$v_c = +V_1 \quad \text{ha} \quad v_s < v_T \quad (5-3)$$

A $v_c = -V_1$ -nél T_1 vezet és T_2 ki van kapcsolva. Ha az T_1 -en fellépő feszülteséget elhanyagoljuk, akkor ebben az esetben $v_0' = V_+$. Hasonlóan, amikor $v_c = +V_1$, T_2 vezet, T_1 ki van kapcsolva és $v_0' = V_-$. A gyakorlatban létezik egy kis feszülteség a *MOSFET* kapcsolón, mely oly módon jelentkezik, hogy a kimenő feszültség csúcsa alacsonyabb lesz, mint a tápforrás feszültsége ($\pm V_{OP}$ az 5-7 ábrán).

Bemeneti jel hiányában ($v_s=0$), v_0' egy szimmetrikus négyszögjel. Az aluláteresztő szűrő, ami L_1 és C_1 -ből áll, a négyszögjel átlagértékét (mely ez esetben nullával egyenlő) ereszt át a hangszóróhoz, így (a magasfrekvenciás hullámzástól eltekintve) $v_o=0$ lesz. A hálózat, amelyet az R_1 ellenállás és a C_2 kondenzátor alkot, kompenzálja a hangszórótekeres induktív impedanciáját, így a szűrőnek ellenállás terhelése lesz magas frekvenciákon is.

A 5-7 ábra a jellemző feszültségdiagramokat mutatja szinuszos v_s esetére.



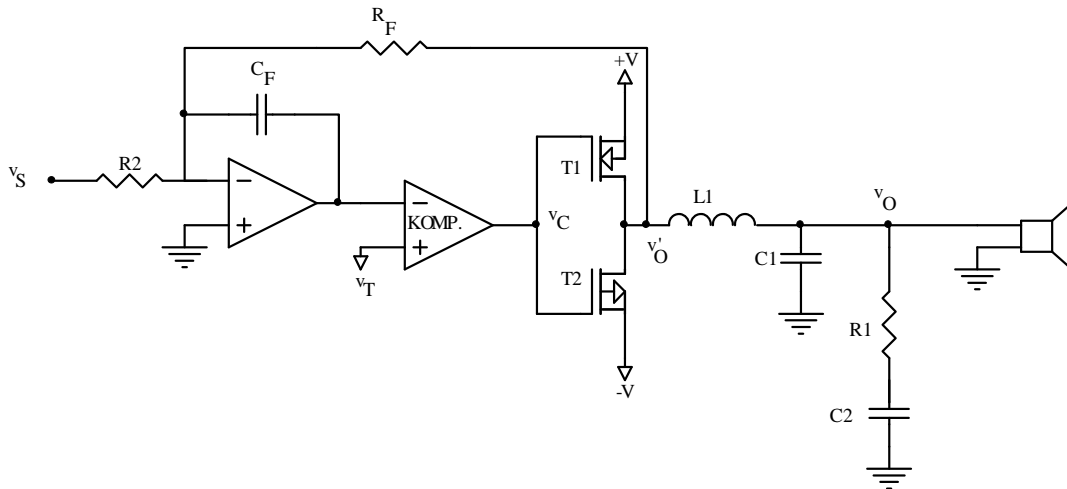
5-7 ábra: Az erősítő feszültségdiagramjai szinuszos bemeneti jel esetén.

Az ábrán bemutatott esetben a szinuszhullám frekvenciája $f_s=1kHz$, amplitúdója $0,75 V_{TP}$ a háromszöghullám frekvenciája pedig $f_T=20kHz$. Amíg $v_s > 0$, a négyszögjelre (v_0') az a jellemző, hogy többet tartózkodik pozitív szinten, mint negatívon, melynek hatására átlagértéke pozitív lesz. Itt a háromszögjel periódusára számított átlagértékről van szó. Hasonlóan, ha $v_s < 0$, v_0' átlagértéke negatív. A v_0' jelalakja egy impulzus-szélesség modulált jel, melyet az L_1C_1 szűrő átlagol illetve a hangszóróra v_0' -nek csak az alacsonyfrekvenciás komponense jut.

Az erősítő eredő erősítését meghatározhatjuk egyenfeszültség alkalmazásával a bemeneten, majd kiszámítva $\overline{v_0'}$ és v_s arányát (ahol a $\overline{v_0'}$ a v_0' jel alacsonyfrekvenciás komponense). Ha v_s növekszik, akkor $\overline{v_0'}$ lineárisan növekszik, míg el nem éri V_{OP} -t, amely megegyezik a kimenet pozitív csúcspontjával. Ez akkor történik, amikor $v_s = V_{TP}$. Ebből következik, hogy az eredő erősítés:

$$k = \frac{\overline{v_o'}}{v_s} = \frac{V_{OP}}{V_{TP}} \quad (5-4)$$

A D osztályú erősítőre is alkalmazható negatív visszacsatolás az alaperősítő áramkör körül, ami javítja az erősítő minőségét (csökkenthető a torzítás). Az 5-8 ábra ilyen áramkört mutat be. A műveleti erősítő hibajel-integrátorként működik, így korlátozható az erősítendő jel sávszélessége. Az integrátor kimenete a korábban ismertetett módon végzi az impulzus-szélesség modulációt.



5-8 ábra: D osztályú erősítő negatív visszacsatolással.

Egy szinuszos bemenő jelre, melynek frekvenciája sokkal alacsonyabb, mint a kapcsolási frekvencia, az erősítő átviteli függvénye a következő egyenlettel írható le:

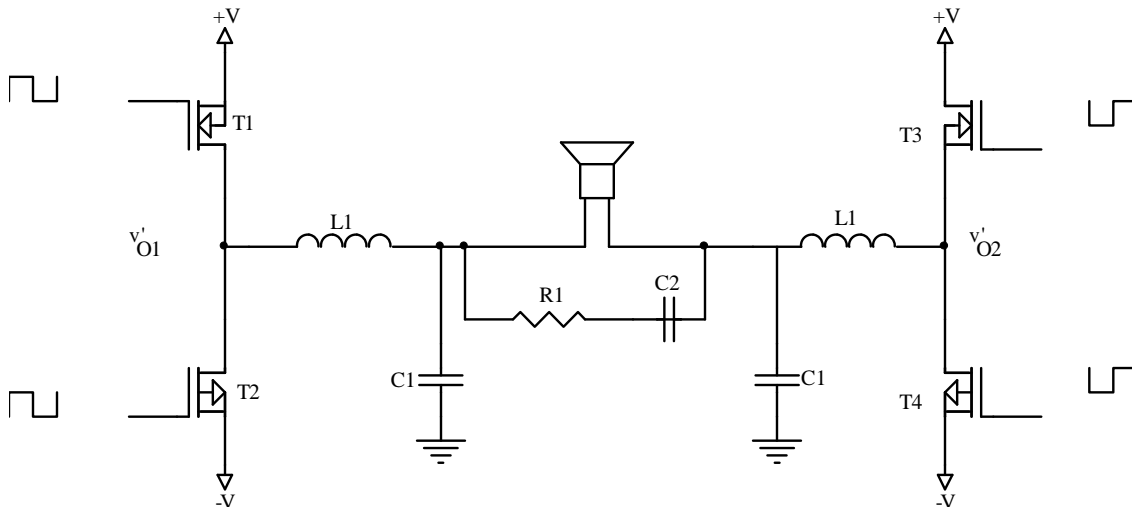
$$\frac{V_o'}{V_s} = -\frac{R_F}{R_2} \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_0}} \quad (5-5)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{k}{R_F C_F} \quad (5-6)$$

ahol ω_0 a pólusfrekvencia, melynek a szabályos moduláció megvalósítása végett nagyobbak kell lennie, mint az erősítendő legnagyobb frekvencia, de alacsonyabbnak, mint a kapcsolási frekvencia (a megfelelő szűrés érdekében).

Az integrátornak a felső határfrekvencia meghatározása mellett más jótékony hatása is van. Tekintettel arra, hogy az integrátor egyenáramú erősítése rendkívül nagy, a hibajel integrátorral működő negatív visszacsatolás minimalizálja a kimeneti ofszetfeszültséget. Mlrsékelt kimeneti ofszetfeszültség is jelentős egyenáramot hozna létre, ami a hangszóró melegedését fokozná és torzítást okozna.

A D osztályú erősítőket a korábban bemutatott félhíd kapcsolás helyett gyakran hídkapcsolással valósítják meg, hogy megnöveljék a kimeneti teljesítményt az alkalmazott tápfeszültség növelése és a hangszóró ellenállásának csökkentése nélkül (5-9 ábra). A hídkapcsolás kimeneti jeleit egy differenciálerősítővel feldolgozva tehetjük alkalmassá a visszacsatoló körbe való bekapcsolásra.



5-9 ábra: Hídkapcsolású *D* osztályú erősítő kimenő fokozata.

5.3.2 Jellemzők

A lineáris üzemben működő erősítők közül a *B* osztályú erősítők számítanak a legjobb hatásfokúaknak. Ezeknél a hatásfok elméleti határértéke $\pi/4 \approx 78\%$, de a gyakorlatban (az erősítő szerkezetéből kifolyólag) ritkán haladja meg a 70% -ot. Ha figyelembe vesszük a hatásfok további csökkenését az audiótartomány felsőbb részében a hangszóró induktív viselkedése miatt, inkább a 60% -os hatásfok a jellemző a *B* osztályú erősítőknél. Ezzel szemben a *D* osztályú erősítők hatásfoka rendszerint 90% körüli, de körültekintő tervezéssel 95% fölé is emelhető. A $10\text{-}20\text{W}$ teljesítményű *D* osztályú erősítők így rendszerint minden külön hűtés nélkül megépíthetők.

A *D* osztályú erősítőkben a statikus veszteségek a tranzisztorok csatornaellenállásán, valamint az aluláteresztő szűrő tekercsén jelentkeznek. A kapcsolási veszteségek elsősorban a *MOSFET*-ek belső diódáinak lassú kikapcsolása miatt lépnek fel.

A kapcsolótranzisztorokat megfelelő módon védeni kell az erősítő túlterhelése és a kimeneti rövidzár ellen. Rövidzár észlelésekor az erősítőt rendszerint teljesen letiltják, míg túlterhelés esetén csak módosítják az impulzus-szélesség modulációt, hogy a terhelési áramot a kívánt határértékek között tartsák.

A *D* osztályú erősítők harmónikus torzítása magasabb frekvenciákon növekszik, mivel a kapcsolási frekvencia és a jelfrekvencia aránya csökken. A kimeneti jel a szűrés után is jelentős felharmónikusokat tartalmaz. Nem jellemző viszont, hogy a *THD* érték meghaladja az 1% -ot, akár 20kHz jelfrekvenciánál is, ha a kapcsolási frekvenciát legalább a tízszeresére választjuk.

5.3.3 Típusválaszték

A kezdeti időkben a *D* osztályú erősítőket diszkrét alkatrészekből építették meg. Ma a különböző integráltsági fokú megoldások a jellemzőek. Egyes alkatrészgyártók a komplett vezérlést integrálják egy *DIL* illetve valamilyen *SMD* tokozású integrált áramkörbe. Mások a vezérlés mellett a kimeneti hídkapcsolást is beépítik ugyanabba az

integrált áramkörbe. Természetesen a hídkapcsolás együttjár a megfelelő védelmekkel (hővédelem, túlterhelés- és rövidzár elleni védelem).

Tekintettel a jó hatásfokra, a tokozásnak általában nincs kiképezve fém hűtőfelülete és nem szükséges külső hűtőt sem alkalmazni.

Az integrált áramkörökből kisszámú külső elem hozzáadásával építhető jó minőségű D osztályú erősítő. Tekintettel a híd magas kapcsolási frekvenciájára, a nyomtatott áramkör tervezésére külön gondot kell fordítani: a tápfeszültségeket a helyszínen kell szűrni, a kimenet és a bemenet közötti kapacitív csatolást kerülni kell. Parazita kapacitív csatolás kialakulhat az integrált áramkör alatt elhelyezett árnyékoló rézfelületeken keresztül is, ha azok átfedik a bemenet illetve a kimenet forrasztási pontjait.

Az információk tárolása ma jórészt digitális formában történik, ez alól nem kivétel a hang sem. A digitális jelet felesleges analóg jellé alakítani, hogy azután az 5-6 ábrán bemutatott módon újra digitális jelet képezzünk a tranzistorhíd vezérlésére. Így ma a teljes erősítő lánc, a tároló médiumtól a hangszórig, megoldható digitális formában, részben cél integrált áramkörökkel, részben mikroprocesszorokkal.

5.4 Hálózati alkalmazások

Ebben a fejezetben olyan teljesítményelektronikai berendezésekre térünk ki, amelyek a táphálózattal kapcsolatosak: segítik annak szabályos működését, könnyítik az energiaátvitelt, lehetővé teszik különböző villamos energiaforrások csatolását a hálózathoz.

5.4.1 A teljesítménytényező javítása

Villamos hálózatokban szükséges, hogy a feszültséget a névleges érték közelében tartsuk, a megengedett eltérés rendszerint $\pm 5-10\%$ között mozog. Hasonlóan fontos a három fázis egyenletes terhelése a hálózatban fellépő veszteségek, valamint a generátorok nyomatékpulzációjának csökkentése végett. A hálózat változó leterheltsége következtében a megengedett határokat meghaladó feszültségesések jelentkezhetnek.

A hálózatból felvett aktív teljesítménybe rendszerint nem szólhatunk bele, a felvett meddőteljesítmény viszont különböző módszerekkel minimalizálható, miközben a táplált készülék kifogástalanul működik. Így csökkenthetők a tápvonalak veszteségei. A felhasználó számára a tápvonalak veszteségei csak közvetve fontosak, nagyon lényeges viszont, hogy az ipari fogyasztóknál az elhasznált energia megfizetésében a reaktív energia is jelentős tételként szerepel, így a fogyasztó közvetlenül érdekeltté válik.

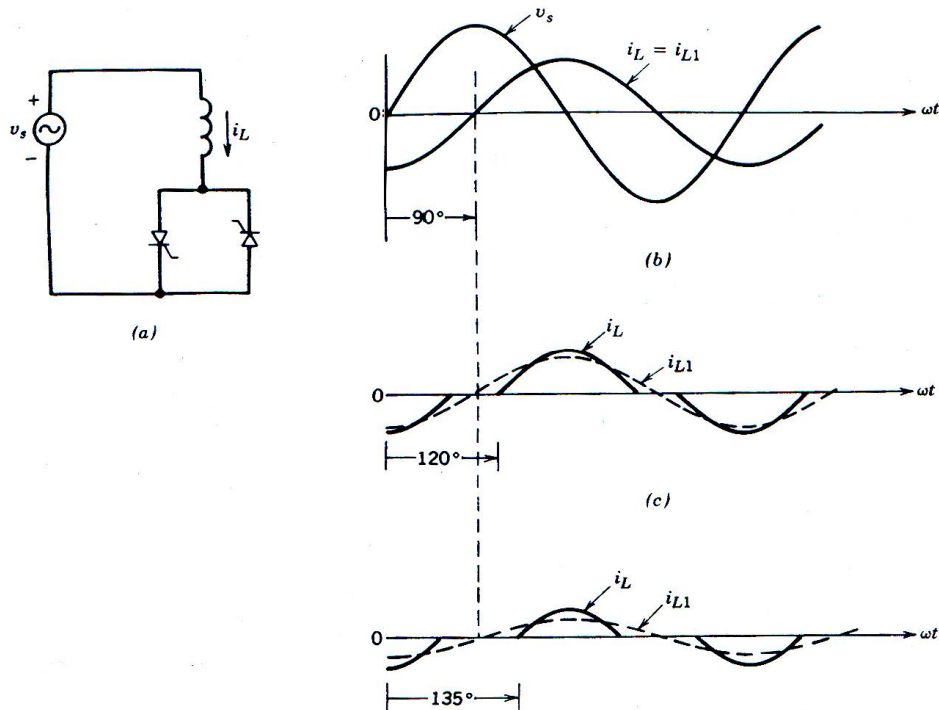
A váltóáramú rendszer belső impedanciája főleg induktív jellegű (mivel a továbbítási és elosztási vonalak, generátorok és transzformátorok főleg induktív impedanciával rendelkeznek 50Hz mellett). Ilyen föltételek mellett az induktív jellegű terhelés fokozott igénybevételt jelent a hálózat számára, az induktív terhelés csökkentése (kompenzálása) viszont javulást hoz.

Hagyományosan a meddőteljesítmény csökkentésére kondenzátortelepeket használnak mint teljesítménytényező javítókat, melyeket mechanikai érintkezőkkel kapcsolnak a hálózatra, illetve iktatják ki őket, így kompenzálva a terhelés reaktív teljesítményének lassú változásait. Így el lehet érni a teljesítménytényező közel egységnyi értéken tartását.

A teljesítménytényező gyors javítására a következő teljesítményelektronikai berendezések alkalmazhatók:

- tirisztorvezérelt tekercsek
- tirisztorral kapcsolt kondenzátorok
- kapcsolóüzemű átalakítók minimális energiátároló elemekkel.

A tirisztorvezérelt tekercsel történő teljesítménytényező javítást a 5-10 ábra szerint végezhetjük.



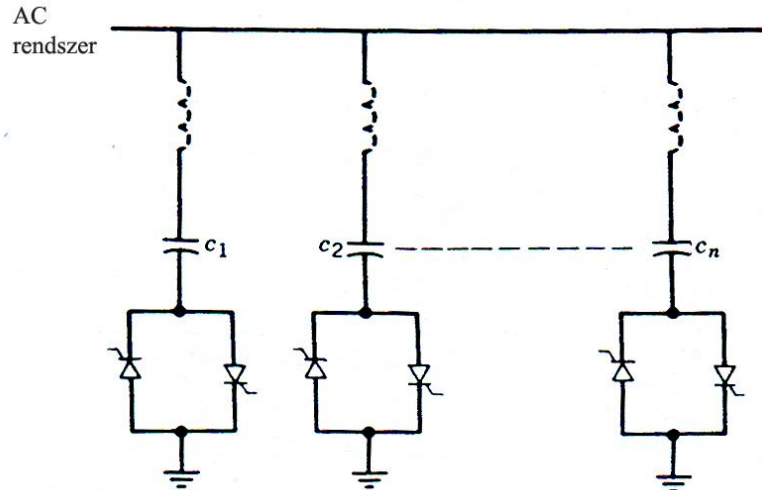
5-10 ábra: A teljesítménytényező javítása tirisztorvezérelt tekercsel.

A tirisztorok gyújtásszögét változtatva a tekercsen áthaladó áram ugyan nem szinuszos, de folyamatosan változtatható az amplitúdója és a fáziskésése a hálózati feszültséghez képest. Az ilyen kapcsolással párhuzamosan általában állandóra bekötött kondenzátort is alkalmazunk. Alapállásban csak a kondenzátor működik és maximális kompenzációt biztosít. Ha nem szükséges ekkora meddőteljesítmény a hálózat felé, üzembehelyezzük a tirisztoros kapcsolást és a fölösleges meddőteljesítményt azzal fogyasztjuk el.

A tirisztorral való kondenzátor kapcsolgatás a meddőteljesítmény kompenzálására a hagyományos mechanikai érintkezőkkel való kondenzátor kapcsolgatás továbbfejlesztésének tekinthető. A tirisztoros megoldás előnye a gyors beavatkozási lehetőség (minden periódusban változtatni tudjuk az aktív kapacitást), de ilyen módon kiküszöböljük az érintkezők kopását is.

Tirisztorral kondenzátort csak a tirisztorfeszültség nullaátmeneténél szabad kapcsolni, egyébként hatalmas áramcsúcsok jelentkeznek a hálózati feszültség és a kondenzátorfeszültség kiegyenlítése közben. Mivel nem alkalmazható fázishasítás a meddőteljesítmény szabályzására, több kondenzátort kell beépíteni és azokat különböző kombinációban kapcsolgatni, mindegyiket a saját tirisztoraival.

Az 5-11 ábra szerint a kondenzátorokkal rendszerint kisebb induktivitású tekercseket kötnek sorba, így veszik elejét az esetleges áramlökéseknek, ha a tirisztorok nem pontosan a nullaátmenetnél gyújtanak.

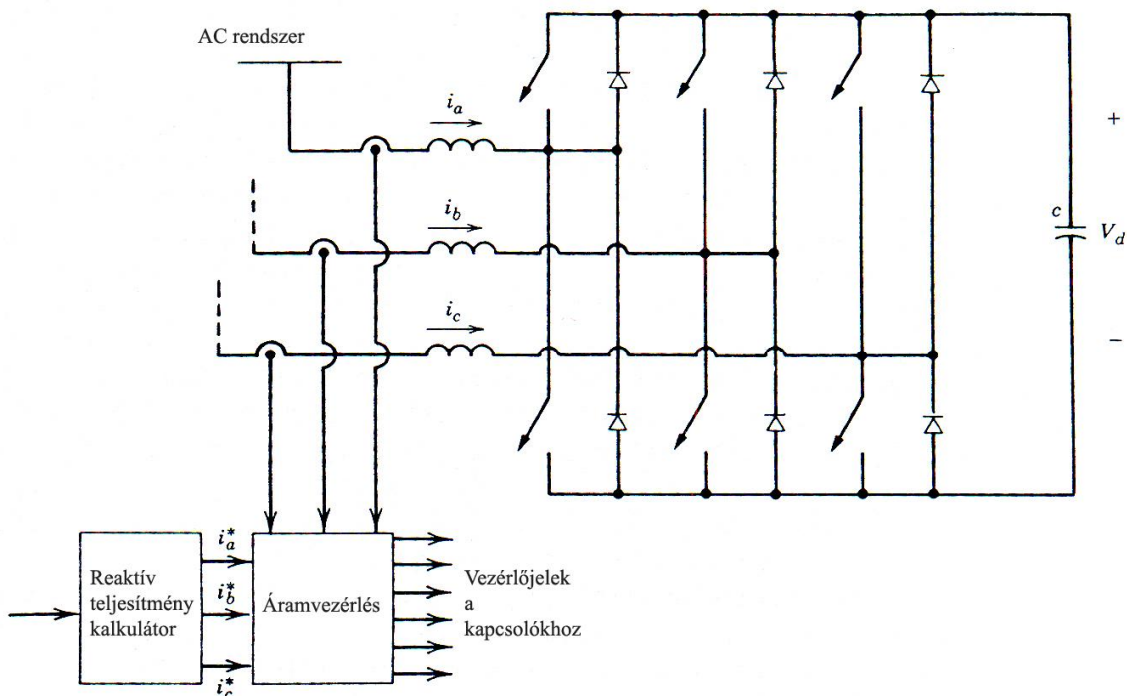


5-11 ábra Meddőteljesítmény szabályzás tirisztorokkal kapcsolt kondenzátorokkal.

A tirisztorpárok egy-egy tirisztor diódával helyettesíthető, anélkül, hogy a szabályzási lehetőségek lényegesen módosulnának. Korszerű vezérlőberendezésekkel önműködően történik a kondenzátorok kapacitásának- illetve az általuk biztosított meddőteljesítménynek a kiértékelése. Ez alapján a vezérlőberendezés mindig azt a kondenzátor kombinációt kapcsolja be, amely a legpontosabb kompenzációt biztosítja. A vezérlő meg tudja állapítani azt is, ha valamelyik kondenzátor meghibásodott, akkor azt kihagyja a számításból. A kapcsolási algoritmusban az is figyelembe vehető, hogy a hasonló kapacitású kondenzátorok fölváltva legyenek alkalmazásban, így biztosítva az egyenletes meledést.

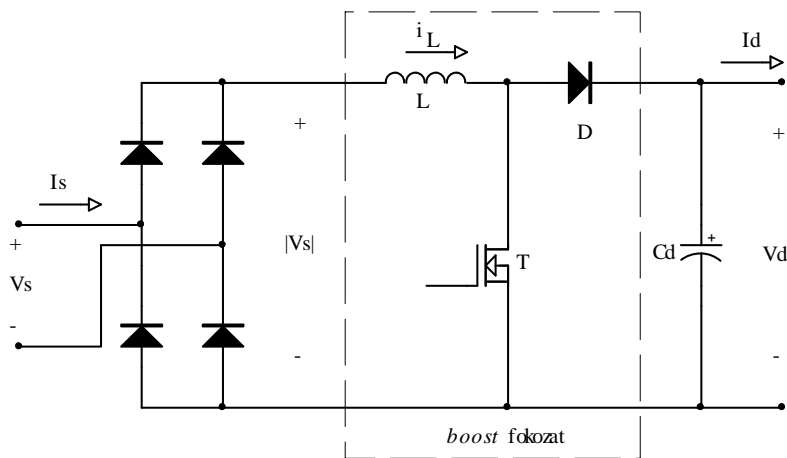
Az eddig ismertetett kapcsolások nagy energiatároló elemekre épülnek. Ezek tehetelensége folytán a meddőteljesítmény szabályzásába történő beavatkozás sebessége korlátozott.

Az 5-12 ábrán bemutatott kapcsolóüzemű egyenirányítónál a bemeneti áramok alakja, nagysága és fázisa megfelelő impulzus-szélesség modulációval tetszőlegesen szabályozható. Így beállítható az is, hogy az áram a feszültséghez képest 90° -kal készen vagy siessen, ami által meddőteljesítményt termelünk vagy nyelünk el. E közben aktív teljesítményre nincs szükség, így az ábra jobb oldalán tulajdonképpen felesleges az egyenáramú forrás, elegendő egy viszonylag kis energia tárolására alkalmas szűrőkondenzátor. Természetesen a kapcsolás veszteségeit a táphálózat biztosítja. Ugyanez a kapcsolás hasznosítható mint egyenirányító fokozat egyenáramú fogyasztó vagy *DC-DC* átalakító táplálására. Ilyenkor a hálózattól aktív teljesítményt veszünk fel a reaktív teljesítmény viszont a beállítástól függően a hálózattól az egyenirányító felé- vagy fordítva folyik.



5-12 ábra Meddőteljesítmény szabályzás kapcsolóüzemű egyenirányítóval.

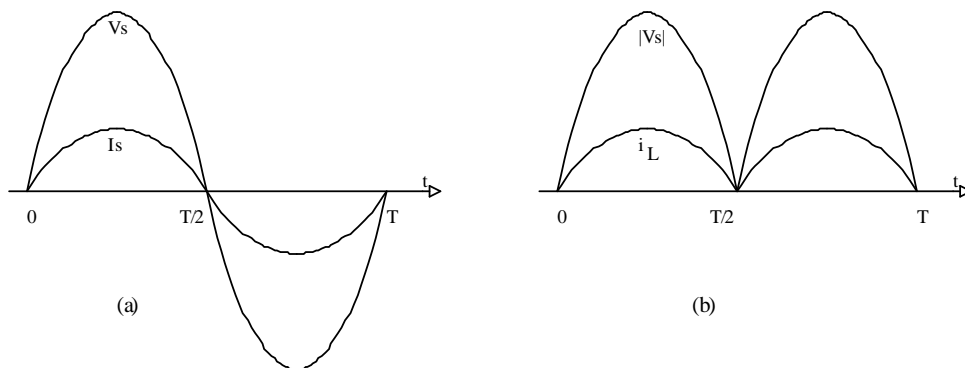
Egyfázisú közönséges egyenirányítónál a bemeneti áram szinuszosá tehető és fázisa szinkronizálható a tápfeszültséghez az 5-13-as ábrán bemutatott kiegészítéssel. A tekercs, a dióda és a tranzisztor tulajdonképpen egy *boost* átalakítót képeznek. A tranzisztort állandó- vagy változó frekvenciájú PWM –mel vezéreljük. A kitöltési tényező számításánál két célt kell figyelembe venni: az egyik, hogy a kimeneti feszültség állandó értékű legyen, a másik, hogy a bemeneti áram szinuszos legyen.



5-13 ábra: Szinuszos bemeneti áramot biztosító boost egyenirányító.

A megfelelő áram- és feszültségdiagramokat az 5-14 ábrán láthatjuk. A bemeneti áram tökéletes szinusz alakra hozható, a nullaátmenetei egybeesnek a bemeneti feszültség nullaátmeneteivel. Ezzel egyidőben a diódahíd után a feszültség és az áram a szinuszfüggvény abszolút értékének megfelelő lefolyású. A *boost* fokozat

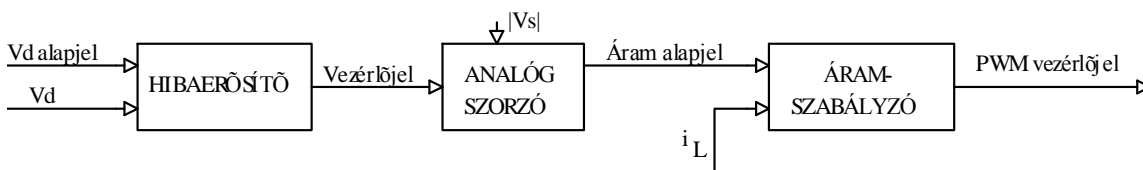
tulajdonságaiból eredően a kimeneti egyenfeszültség némileg nagyobb a bemeneti váltófeszültség csúcscértékénél.



5-14 ábra: A hálózati áram és feszültség jelalakjai a boost egyenirányítónál (a) valamint a diódahíd feszültségének és a tekercs áramának jelalakjai (b).

A *boost* egyenirányító szabályzása viszonylag összetett feladat, többek között analóg szorzóáramkört igényel. Mivel a teljesítménytényező javítása mindinkább kötelezővé válik, erre a szabályzási feladatra több cél integrált áramkört is kifejlesztettek. Az ilyen áramkörök belső szerkezetét az 5-15 ábrán bemutatott tömbvázlat szemlélteti.

Az első fokozat egy hibaerősítő, amely összehasonlítja az egyenirányító kimeneti feszültségét az alapjellel és a hibajel alapján kialakítja a megfelelő vezérlőjelet. Az analóg szorzó a vezérlőjel és az egyenirányított szinuszfeszültségből vett minta szorzásával alakítja ki az áram-alapjelet. Az áramszabályzó az áram-alapjel és a tekercs tényleges áramának összehasonlításával alakítja ki a *PWM* jelet a kapcsolótranszisztor vezérléséhez.



5-15 ábra: A boost egyenirányító szabályzójának tömbvázlata.

5.4.2 Megújuló energiaforrások csatolása

A megújuló energiaforrások (napfény, szél, víz stb.) alkalmazása mind nagyobb szerepet fog kapni a jövőben, tekintettel a most használatban levő energiahordozók fogyasztására és a felhasználásukból eredő környezeti ártalmakra. A megújuló energia általában nem koncentráltan, egy helyen nagy mennyiségben jelentkezik, hanem szétszórtan, így a velük kapcsolatos energiaátalakító berendezések is nem nagy erőművek, hanem kisebb teljesítményű (néhány *kW*-tól néhány *MW*-ig) áramfejlesztő egységek.

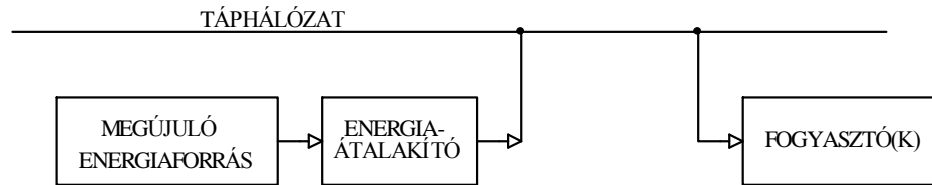
Az energiaátalakítók működhetnek úgynevezett sziget üzemben, vagy az energetikai hálózatra csatlakoztatva. A sziget üzem (5-16 ábra) azt jelenti, hogy az átalakító adott fogyasztókat táplál a saját lehetőségei szerint, energiát sem nem adunk, sem nem veszünk más forrásból.

Mivel rendszerint a megújuló energiaforrás és a fogyasztó teljesítménye is minden szabályszerűség nélkül ingadozik, nehézkes az energia racionális felhasználása szigetüzemben. Némi javulást hoz, ha energiátároló elemeket építünk be (pl. akkumulátorok, üzemanyagcellák), amelyek többletermelés esetén az energiát ideiglenesen tárolják, többletfogyasztás esetén viszont táplálják a fogyasztót. Ez sajnos drágítja és bonyolítja az energiaellátó rendszer kiépítését.



5-16 ábra: Energiaátalakító sziget üzemben.

Sokkal ígéretesebb a sziget üzem helyett az energetikai hálózatra való csatlakoztatás (5-17 ábra). Itt a többletermelés és többletfogyasztás kérdése energiátároló berendezés nélkül megoldódik. Nagy energetikai rendszerbe energiát közölni illetve az energiát onnan kivenni általában nem jelent semmilyen műszaki gondot, tekintettel a hálózat merevségére, csak a megfelelő jogi és pénzügyi feltételeket kell tisztázni.



5-17 ábra: Energiaátalakító hálózati üzemben.

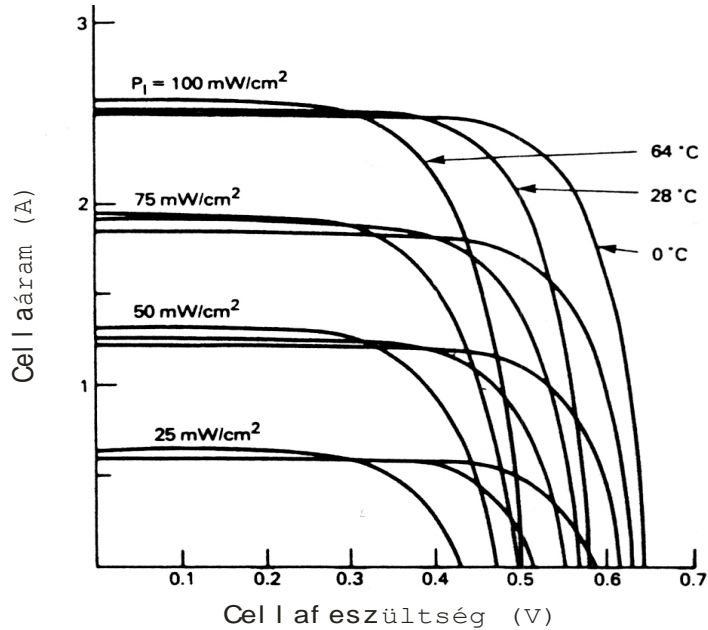
Ahhoz, hogy a megújuló energiaforrásokat (nap, szél, víz) a hálózathoz vagy a fogyasztóhoz illesszük, teljesítményelektronikai berendezésre van szükség. Ugyanez érvényes az energiátároló rendszerek (akkumulátorok, üzemanyag cellák, szupravezető energiátároló tekercsek) hálózathoz való illesztésére is.

Nagyobb számú fotocella soros és párhuzamos kötésével napelemet kapunk. Ezek a cellák egyenfeszültséget hoznak létre, amikor napfénynek vannak kitéve. A mai napelemek még nagyon alacsony hatásfokúak (néhány %), de így is sok helyen indokolt az alkalmazásuk. A 5-18 ábrán egy ilyen cella $I-V$ jelleggörbéje látható különböző inszolációs- (napfényintenzitás) és hőmérsékleti szintekre.

Megfigyelhető, hogy a cella jelleggörbéje egy adott napfényintenzitáson és hőmérsékleten két részből áll: állandó feszültségű szakasz és állandó áramú szakasz. A maximális leadandó teljesítmény a két szegmens találkozásánál érhető el. Napelem alkalmazásánál fontos az optimális munkapont megválasztása. Erre rendszerint külön önműködő munkapont követést építenek be. A napenergia jobb hasznosítása céljából előnyös a napelemeket lassan forgatni, hogy a napsugarak mindig merőlegesen essenek rájuk. Természetesen egy ilyen önműködő rendszer kiépítése lényegesen drágítja a telepítési költségeket.

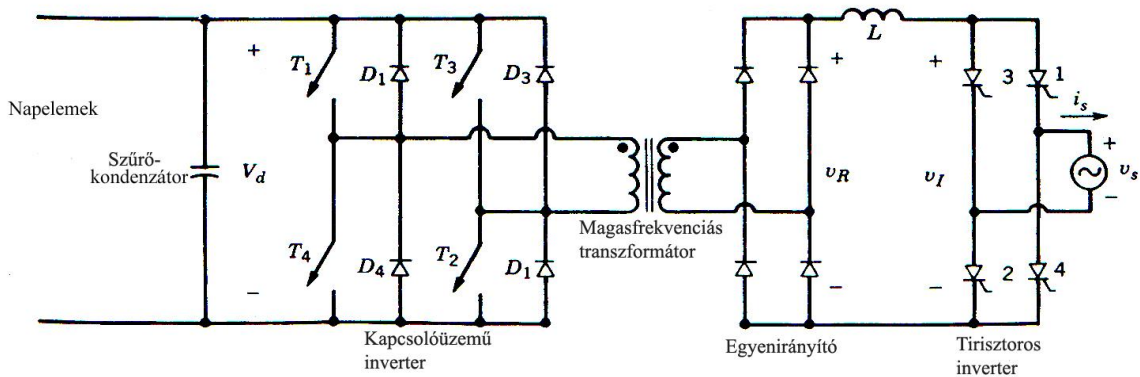
A napelem illesztése a felhasználói hálózathoz galvanikus csatolás nélkül történik. Ez pl. PWM inverter és hálózati transzformátor kaszkád kötésével érhető el. Az inverter vezérlését úgy kell megoldani, hogy a hálózatba táplált áram alakja szinuszos legyen a teljesítménytényező pedig egységnyi.

Az energia betáplálása megoldható hálózatról vezetett tirisztoros váltóirányítóval is (2.1.2 szakasz). A feszültségszintek illesztése hálózati frekvencián működő transzformátorral oldható meg. A terhelési áram a tirisztorok gyújtásszögével szabályozható.



5-18 ábra: Fotocellák I-V jelleggörbéi.

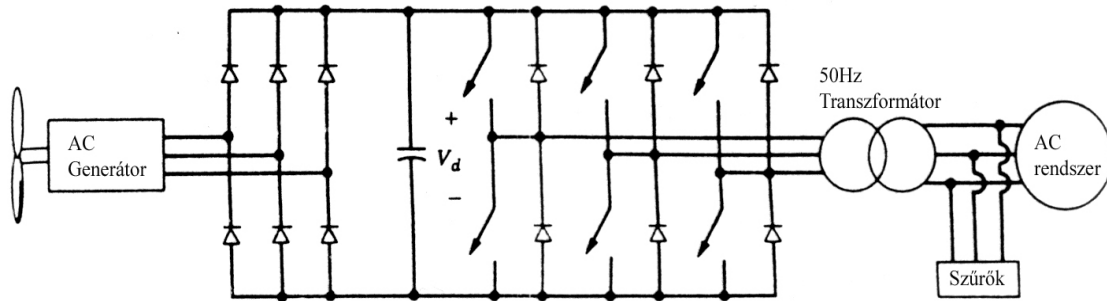
A nagy méretű transzformátor magasfrekvencián üzemelő ferritmagos transzformátorral helyettesíthető az 5-19 kapcsolás segítségével. A bemeneti oldalon magasfrekvenciás négyzöginverter táplálja a ferritmagos transzformátort. A transzformátor kimeneti áramát egyenirányítjuk és szűrjük majd tirisztoros váltóirányítóval juttatjuk a hálózatba.



5-19 ábra Magasfrekvenciás köztes körrel üzemelő csatlakozás az energetikai hálózatra.

Váltóáramú energiaátalakító hálózatra való csatlakozásánál meg kell oldani az átalakító illesztését frekvencia és feszültségszint szempontjából. Szélerőművek esetén a rendelkezésre álló teljesítmény a szélesség köbével arányos, vízierőműveknél pedig a víznyomástól és az áramlástól függ.

Tekintettel arra, hogy mindkét mennyiség széles határok között változik az elsődleges energiaforrás (szél, víz stb.) erejétől függően, közvetlen csatolás nem jöhet számításba sem szinkron- sem aszinkron generátorral történő energiaátalakítás esetén. A szokásos megoldás frekvenciaváltó közbeiktatásával végzi az illesztést (5-20 ábra).



5-20 ábra: Szélerőmű frekvenciaváltóval történő csatlakoztatása az energetikai hálózatra.

5.4.3 Nagy egyenfeszültséggel történő energiaátvitel (HVDC átvitel)

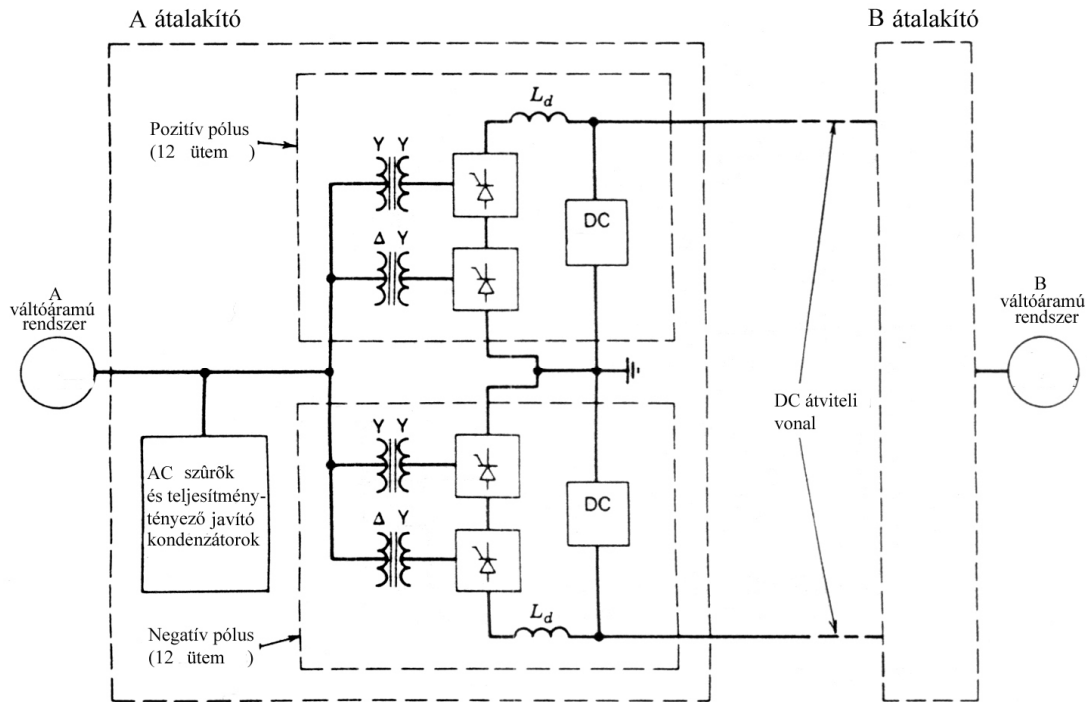
A villamos erőművek váltófeszültség- illetve váltóáram formájában állítják elő a villamos teljesítményt. Ez a teljesítmény a fogyasztó központokhoz háromfázisú váltóáramú átviteli vonalakon keresztül jut el. A váltóáramú átvitel előnye, hogy a feszültség szintek transzformátorral könnyen változtathatók. Az erőműnél a feszültséget megemelik, hogy az átvitel kisebb árammal történjen, így csökkentve a veszteségeket. A fogyasztó központban a feszültséget letranszformálják a fogyasztó által kívánt szintre. A nagyteljesítményű transzformátorok különösen jó hatásfokú villamos gépek, így az egész átvitel jó hatásfokkal megoldható.

Nagy távolságokra történő váltóáramú átvitelnél sajnos gondot jelent a nagy meddőteljesítmény, amely a vezetékek induktivitása és kapacitása miatt jelentkezik. A meddőteljesítmény növeli a távvezetéken futó áramot, így növeli a veszteségeket is. Bizonyos rezonáns jelenségek is felléphetnek a meddőteljesítmény következtében, amelyek rontják az átviteli rendszer stabilitását.

A szokásos (váltóáramú) megoldáson kívül lehetséges a teljesítményátvitel egyenáramú átviteli vonalakon is. Ez a módszer különösen gazdaságos lehet ott, ahol nagy teljesítményt kell elszállítani nagy távolságra, a távoli erőműtől a fogyasztó központig. A megtérülési távolság a HVDC átviteli vonalaknál általában 500km körül van, de ez a táv sokkal rövidebb lehet víz alatti kábeleknél. Ráadásul nagyon sok más tényező van (mint pl. a megnövelt átviteli stabilitás és a villamos rendszer oszcillációinak dinamikus elnyomása), ami befolyásolhatja a választást az egyenáramú és a váltóáramú átvitel között. A HVDC rendszerrel összeköthető két, különböző frekvencián működő, vagy nem szinkronizált váltóáramú rendszer is.

A 5-21 ábra egy tipikus (két váltóáramú rendszert összekötő) HVDC átviteli rendszer tömbvázlatát mutatja. Feltételezzük, hogy a teljesítményáramlás iránya az A rendszertől a B végpont felé mutat. Az A végpont feszültségét A átalakító terminál segítségével feltranszformálva az átviteli szintre, majd azt egyenirányítva a HVDC átviteli vonalon továbbítjuk. A vevő oldalon a feszültséget a B átalakító terminál mint inverter átalakítja, majd letranszformálja, úgy, hogy megegyezzen a B végpont

váltófeszültségével. Ez a feszültség ezután elosztó rendszereken keresztül jut a fogyasztókhoz.



5-21 ábra: Tipikus HVDC átviteli rendszer.

Az 5-21 ábrán bemutatott átalakítók mindegyike egy pozitív és egy negatív pólusból áll. Ezen pólusok egyenként két darab hatütemű (háromfázisú, teljeshullámú) hídkapcsolású vonalfrekvenciás egyenirányítót (2-10 ábra) tartalmaznak. Az egyenirányítók egy Y-Y és egy Δ-Y kötésű transzformátoron keresztül tizenkét ütemű egyenirányítót alkotnak. A magas pulzusszám a DC oldali hullámosság csökkentése végett szükséges. Az átalakítók AC oldalán létrejövő felharmónikusok csökkentésére szűrőket alkalmaznak. A DC oldalon létrejövő hullámozás csillapítására az L_d tekercseket és megfelelő kondenzátorokat használnak. A B átalakító azonos felépítésű, csak egyenirányító üzemi helyett váltóirányító üzemi állapotban működik.

5.5 Hegesztő áramforrások

A hegesztés fontos ipari eljárás a fémalkatrészek összekötésére, rögzítésére. Az esetek többségében a hegesztés az anyagok megolvasztásával történik.

5.5.1 Hegesztési eljárások

A villamos hegesztésnél az alapanyag olvadásához szükséges energiát villamos ív hozza létre két elektróda között. Az egyik elektróda maga a munkadarab, míg a másik elektróda a hegesztési eljárástól függően lehet állandó jellegű (wolfrámtű) vagy fogyó jellegű (fémhuzal vagy pálca).

TIG (Tungsten Inert Gas) eljárásnál a kézben tartott elektróda egy wolfrámtű. A wolfrám magas olvadáspontjának köszönhetően (3380°C) a tű nem olvad meg és nem

fogy jelentősen az ív hatására. A tűt tartó pisztolyból védőgázt (*argon*) áramoltatnak az ív környékére, ami megakadályozza a munkadarab oxidációját hegesztés közben, de egyben hűti is a wolfrámtűt. A hegesztendő anyagok többségénél az ívet egyenárammal tápláljuk (*DC TIG*), kivételt képez az alumínium és az öntöttvas, ezeket az anyagokat váltóárammal hegesztik (*AC TIG*).

A *MIG (Metal Inert Gas)* eljárás félautomata hegesztést tesz lehetővé. A hegesztőpisztolyból a munkadarab alapanyagához hasonló összetételű fémhuzalt tolnak a munkadarab felé. Az ív a huzal és a munkadarab között alakul ki, és folyamatosan olvasztja a fémhuzalt és kis körzetben a munkadarabot is. Az alkalmazott védőgáz szerepe itt is az oxidáció megakadályozása. Az ívet tápláló áram sajátságos lüktető egyenáram. A tolt huzal hol közelebb kerül a munkadarabhoz, hol távolabb. Amikor közel kerül, megrövidül az ív, leesik az ívfeszültség, az áramforrás jellegéből adódóan megugrik az áram. A nagyobb áramnak köszönhetően gyorsan olvad a huzal, emiatt meghosszabbodik az ív és visszaesik az áram kisebb értékre.

A *MAG (Metal Active Gas)* eljárás csak annyiban különbözik a *MIG* eljárástól, hogy védőgázként széndioxidot alkalmaznak. A széndioxid egyrészt megakadályozza a munkadarab oxidációját, másrészt az ívben keletkező elemi szén beépül a hegbe, nemesíti az acél összetételét.

REL (Rustical Electrode) eljárásnál redukálószerrel bevont fémpálcát használnak elektródaként. Az ív a fémpálca és az alapanyag között alakul ki, olvasztja a pálcát és kis körzetben a munkadarabot is. A védőatmoszféra a pálcá bevonatának köszönhetően alakul ki és védi a munkadarabot az oxidációtól. Sajnálatos módon a redukálószerből végeredményben salakanyag képződik, amely jobb esetben úszik az olvadék tetején, majd ott megszilárdul, rosszabb esetben az olvadt fémmel keveredik és rontja a keletkező hegszilárdságát. *REL* eljárásnál az áramforrás lehet egyenáramú vagy váltóáramú. Egyenáram alkalmazása jobb hegesztést biztosít, de a készülék egyszerűsítése végett hegesztenek váltóárammal is. A *REL* eljárás amatőr megoldásnak számít.

Ívhegesztés mellett alkalmaznak ponthegesztést is. Ennek lényege, hogy az összehegesztendő munkadarabokat egymáshoz szorítják majd az érintkezési felületen rövid ideig (legtöbb néhány másodperc) nagyon nagy áramot (rendszerint több *kA*) engednek át. A *Joule* féle veszteségek következtében az érintkezési felület környékén megolvadnak, összeolvadnak a munkadarabok.

Az ívhegesztőkhöz hasonlóan működnek a plazmavágó berendezések. Ezeknél is (egyenáramú) villamos ívet hoznak létre egy elektróda és a munkadarab között. Ezzel egyidőben sűrített levegőt fújnak a munkadarabban keletkező olvadékra, kifújva azt az egyre mélyülő kráterből. Végül a munkadarab átlukad. Az elektróda fokozatos elmozdításával a munkadarab tetszőleges vonal mentén vágható.

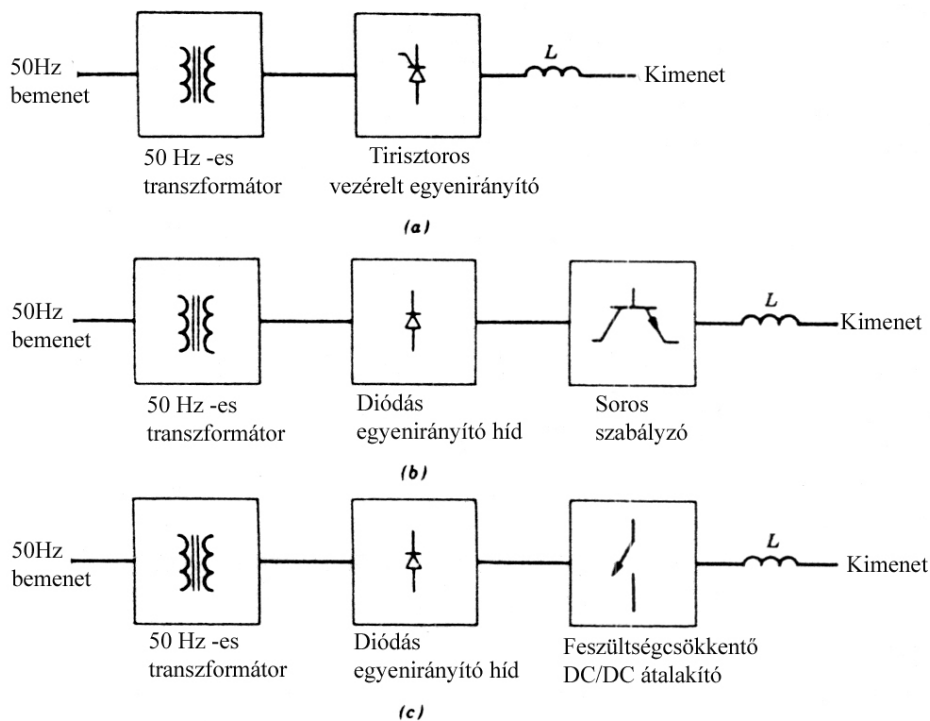
5.5.2 Hagyományos áramforrások

Az ívhegesztő áramforrás feszültség-áram jellemzői az alkalmazott hegesztési eljárástól függenek. Az áram rendszerint néhány *A* és *500A* közötti értékű (a felhasználástól függően), az ívfeszültség pedig *10V*-tól *30V*-ig terjed.

Minden ívhegesztő áramforrásnál a kimenetet elektromosan el kell szigetelni a bemeneti hálózattól. A villamos szigetelést *50 Hz*-es hálózati transzformátorral, vagy magasfrekvenciás, ferritmagos transzformátorral valósítják meg.

Hálózati transzformátor alkalmazása esetén a bemenő váltófeszültséget először letranszformáljuk egy alacsonyabb feszültségszintre, majd az így kapott feszültséget alakítják a 5-22 ábrán bemutatott módszerek valamelyike szerint.

Teljesítményelektronikai blokk nélkül is építenek hegesztő áramforrásokat (váltóáramú kimenettel). Ezeknél a megfelelő kimeneti jelleggörbét a transzformátor célszerű tekercselésével érik el, az áramszabályozást pedig mágneses sönt mozgatásával illetve primér leágazások váltogatásával valósítják meg. Ezekkel az egyszerű áramforrásokkal a továbbiakban nem foglalkozunk.



5-22 ábra: Egyenáramú ívhegesztő áramforrások 50Hz-es hálózati transzformátorral és tirisztorhidas vezérelt egyenirányítóval (a), soros szabályzóval (b), feszültségcsökkentő DC-DC átalakítóval (c).

A 5-22a ábrán tirisztoros hídkapcsolással egyenirányítjuk és szabályozzuk a szekundáráramot. A kimeneten egy nagyáramú, nagy induktivitású fojtótekercsre van szükség, hogy az áram hullámosságát elfogadható szintre csökkentsük.

A második lehetőség az 5-22b ábrán látható, itt a szekundérfeszültséget először diódahíddal egyenirányítják. Ez a szabályozatlan egyenfeszültség ezután egy tranzisztoros soros szabályzóra kerül. A tranzisztor aktív üzemben dolgozik, változtatható ellenállásként viselkedik, így szabályozza a kimeneti áramot illetve feszültséget. Ezzel a módszerrel mindössze néhány amperig terjedő áramforrás építése ésszerű a nagy veszteségek miatt.

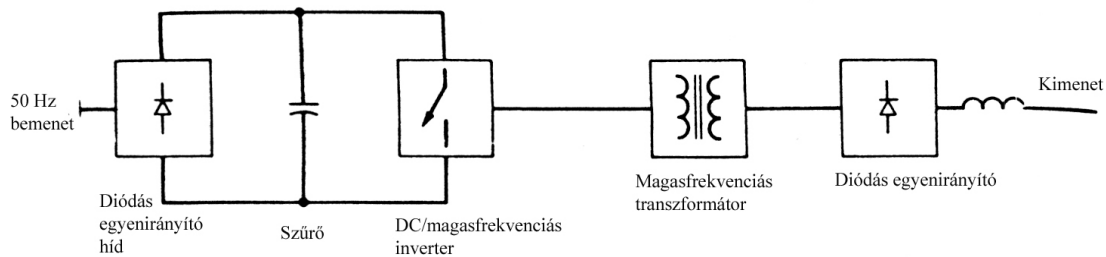
A 5-22c ábrán egy feszültségcsökkentő (*buck*) DC-DC átalakítót használnak a kimeneti áram vezérlésére. A kapcsolóüzemű működésnek köszönhetően szabályzó veszteségei mérsékeltek, a fojtó méretei pedig jelentősen csökkenthetők.

Mint mondtuk, a hegesztés általában egyenárammal történik, de egyes anyagok csak váltóárammal hegeszthetők. Az 5-22a ábrán bemutatott tirisztoros szabályzó kis

átalakítással váltóáramot is szolgáltathat: a kimenetet rövidre zárjuk, a tirisztorhíd egyik bemenő vonalát viszont megbontjuk és az így kapott csatlakozási pontokat kötjük az elektródára illetve a hegesztendő anyagra. Mivel a tirisztorhíd bementén váltóáram folyik, a hegesztőáram is váltóáram lesz.

5.5.3 Inverteres áramforrások

A méretek és a súly csökkentése érdekében mindinkább elállnak az 50Hz-es transzformátorok alkalmazásától a hegesztéstechnikában. A magasfrekvenciás transzformátorral működő kapcsolóüzemű hegesztő tömbvázlata a 5-23 ábrán látható. Félig-meddig tévesen, az ilyen készülékeket inverteres készülékeknek nevezik, habár csak a központi rész működik magasfrekvenciás négyszög-inverterként, egészében a berendezésnek egyenirányító szerepe van.



5-23 ábra: Kapcsolóüzemű (inverteres) hegesztő tömbvázlata.

Az áramforrás szerkezete hasonló a 3.2 fejezetben leírt kapcsolóüzemű tápegységek szerkezetéhez. Az egyenáram magasfrekvenciás váltóárammá való átalakítását rendszerint hídkapcsolással végezzük de erre a célra megfelel a félhidas vagy a *forward* átalakító is, esetleg valamelyik rezonáns átalakító kapcsolás (2.5 fejezet).

A ferritmagos transzformátor szekundéráramát diódákkal egyenirányítjuk, majd fojtóval símtjük. Viszonylag kis induktivitású fojtó kielégítő eredményt ad, köszönve a magasfrekvenciás (több 10kHz) üzemnek. Minden hegesztéshez alkalmazott átalakítóra jellemző, hogy nem tartalmaznak kondenzátort a kimeneten, mivel az rosszul hat a hegesztés folyamatára (az áram stabilizálása helyett inkább oszcillációkat okoz).

A kapcsolóüzemű (inverteres) ívhegesztő áramforrások hatásfoka 85-90% körül mozog, ha ezen felül figyelembe vesszük, hogy kisebb súlyúak és méretűek, mint az 50Hz-es teljesítmény transzformátort tartalmazó megoldások, érthető, hogy rohamosan terjednek.

Szükség szerint a kapcsolóüzemű hegesztő áramforrások létrehozhatnak váltóáramot is. Ez esetben először egyenáramot alakítunk ki, majd ezt egy alacsonyfrekvenciás (50Hz-200Hz) hídkapcsolású négyszög-inverterrel forgatjuk. A híd átlóiban elhelyezkedő tranzisztorpárokat fölváltva kapcsoljuk ki-be. A kitöltési tényező tranzisztorpáronként nem kötelezően 50-50%, hanem tesztés szerint változtatható az egyik vagy a másik tranzisztorpár javára.

5.5.4 Ponthegeztő áramforrások

A ponthegeztést váltóárammal végzik. A szükséges hatalmas áramot kis kimeneti feszültségre (2-3V) és nagy áramra (kA nagyságrend) méretezett hálózati transzformátorral állítják elő. A hegesztés időtartamát a primér ki-bekapcsolásával határozzák meg. Rendszerint elektromágneses kapcsolót (kontaktort) alkalmaznak, de számításba jöhet tirisztoros megoldás is, különösen, ha nagyon rövid ideig tartó bekapcsolás szükséges.

Transzformátoros megoldású ponthegeztővel csak olyan anyagok hegeszthetők, amelyeknek viszonylag nagy az elektromos- és a hőellenállásuk (pl. acél). Jól vezető anyagok (aluminium, réz) ponthegeztéséhez nagyobb, de rövidebb ideig tartó áramimpulzus szükséges, egyébként nem keletkezik elég hő a munkadarabok olvasztásához és ami keletkezik, az is gyorsan szétterjed az anyagban, mielőtt helyi olvadás történne.

A rövid ideig tartó nagy áramimpulzusokat kondenzátorok ürítésével érik el. A megoldás jó tulajdonsága, hogy két hegesztési művelet között a kondenzátorok töltésekor a táphálózathoz mérsékelt az energiafölvétel, tekintettel arra, hogy a töltés néhány másodpercig tart (mivel általában nem szükséges ennél gyakrabban ismételni a hegesztési műveletet), az ürítési idő viszont μs nagyságrendű.

5.6 Indukciós hevítés

Az indukciós hevítésnél a hő az elektromosan vezető munkadarabban az örvényáramok miatt keletkezik. A munkadarabot magasfrekvenciás mágneses térbe helyezve elektromágneses indukció lép fel, ez hozza létre az örvényáramokat.

Az indukciós hevítés tiszta, gyors és hatékony más hevítési megoldásokhoz képest. Az induktor (5.6.2 szakasz) és a frekvencia megfelelő megválasztásával lehetséges a munkadarab egy kijelölt részének hevítése.

5.6.1 Hőkezelési eljárások

Az indukált áram (örvényáram) amplitúdója a munkadarabban exponenciálisan csökken az x távolsággal a munkadarab felszínétől mérve, ami a következő egyenlettel adott:

$$I(x) = I_0 e^{-x/\delta} \quad (5-7)$$

ahol I_0 a felszínen folyó áram és δ a behatolási mélység, itt az áram $1/e$ (megközelítőleg 0,368) arányban esik. A behatolási mélység fordítottan arányos a frekvencia négyzetgyökével és egyenesen arányos a munkadarab fajlagos ellenállásának négyzetgyökével:

$$\delta = k \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (5-8)$$

ahol k egy állandó, ρ a munkadarab fajlagos ellenállása.

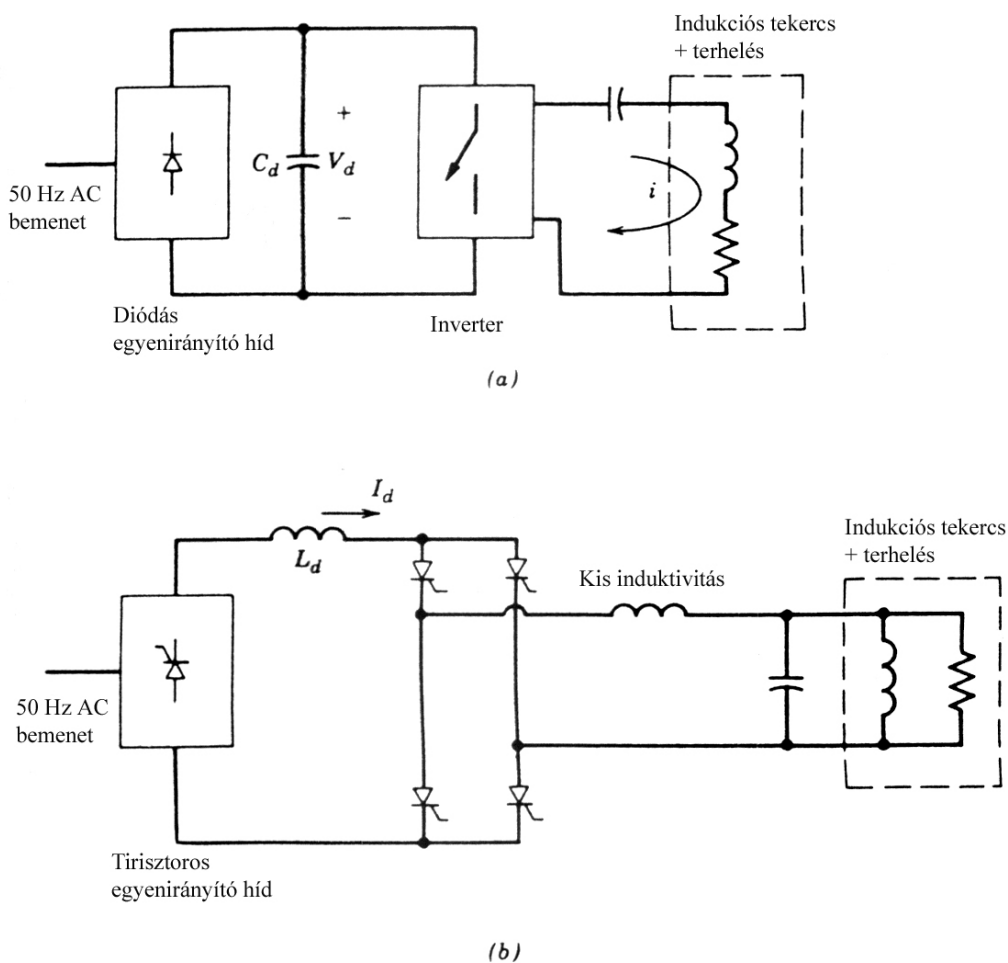
Az üzemi frekvenciát indukciós hevítésnél a tervezett hőkezelési eljárástól függően választjuk meg. Az alacsony frekvencia, mint amilyen a hálózati frekvencia, felhasználható a nagy munkadarabok indukciós hevítésére olvasztás vagy képlékeny megmunkálás céljából. A magas frekvenciák (néhány száz kHz-ig) kovácsolásra, forrasztásra és edzésre alkalmasak.

5.6.2 Az induktorok táplálása

A munkadarabban jelentkező örvényáramokat az indukciós tekercsben (induktor) létrehozott váltóáram okozza. Az induktor modellezésénél magát az indukciós tekercset induktivitással helyettesíthetjük, a terhelést viszont soros vagy párhuzamos ellenállással vehetjük figyelembe, mint ahogy azt a 5-24 ábra mutatja.

Az indukciós tekercs áramának szinuszosá tételére és a tekercsen fellépő nagy meddőteljesítmény kompenzálására kondenzátort használnak. A kondenzátor kötésétől és a táplálást megvalósító inverter típusától függően megkülönböztetünk:

- feszültséginverteres, soros rezonáns táplálást (5-24a ábra),
- áraminverteres, párhuzamos rezonáns táplálást (5-24b ábra)



5-24 ábra: Indukciós hevítés: feszültséginverteres soros rezonáns táplálással (a), áraminverteres párhuzamos rezonáns táplálással (b).

A feszültséginverteres soros rezonáns konfiguráció esetében a váltóirányító bemenete egyenfeszültség, a kimenete pedig négyszögfeszültség a kívánt frekvencián. Ez a kapcsolat azonos a 2.5.2 szakaszban ismertetett STR átalakítóval (2-82 ábra), azzal, hogy a kimeneten nincs egyenirányító. Ha a működési frekvenciát úgy választjuk meg,

hogy megközelítőleg egyezzen a rezonáns frekvenciával, az i áram lényegében szinuszos lesz az LC kör szűrőhatása miatt. Ugyanakkor az kondenzátor kompenzálja az induktor meddőteljesítményét, így a váltóirányítónak csak az aktív teljesítményt kell biztosítania. Rendszerint az $\omega_s > \omega_0$ tartományban működik a váltóirányító, mert így viszonylag lassúak lehetnek a szabadonfutó diódák (pl. hasznosíthatók a $MOSFET$ -ek belső diódái). Az esetleges teljesítményszabályzás a frekvencia emelésével történik. Tirisztorok ilyen esetben nem alkalmazhatók kapcsolóként, mert a kikapcsolás nem nulla áramnál történik.

A párhuzamos rezgőkört tápláló áraminverterek működését (5-24b ábra) a 2.5.2 szakaszban ismertettük (2-93 ábra). Itt is annyi a különbség, hogy elhagytuk az egyenirányítót. Egészen néhány tíz kHz -ig is lehetséges tirisztoros kapcsolókat használni az inverterben (természetesen csak gyors tirisztorok jöhetnek számításba). Tirisztoros inverternél a kapcsolási frekvencia a rezonáns frekvencia alatt kell hogy legyen, így az áramkör impedanciája kapacitív és a tirisztoroknál természetes kommutáció történik. A terhelés teljesítményét az inverter frekvenciájának csúsztatásával lehet változtatni.

Magasabb frekvencián $MOSFET$ -ekkel építhető inverter ($100-200 kHz$ -ig). Ha ennél is magasabb frekvenciás indukciós hevítést kívánunk megvalósítani, azt ma is csak elektroncsöves oszcillátorokkal tehetjük meg, mivel a félvezetők kapcsolási veszteségei MHz -eken túl nagyok.

5.7 Ultrahangos berendezések

Ultrahang alatt magasfrekvenciás (rendszerint $20-40 kHz$ közötti) mechanikai rezgéseket értünk. Az iparban az ultrahangot munkadarabok tisztítására, zsírtalanítására használják leginkább, de léteznek ultrahangon alapuló hegesztési-kötési eljárások is. A gyógyászatban különböző diagnosztikai eljárásoknál és kezeléseknél alkalmaznak ultrahangot. Az ultrahang folyadékokban jól terjed, viszonylag jól irányítható, a főlhasználó számára viszont hallhatatlan, így nagy teljesítmények esetén sem zavaró.

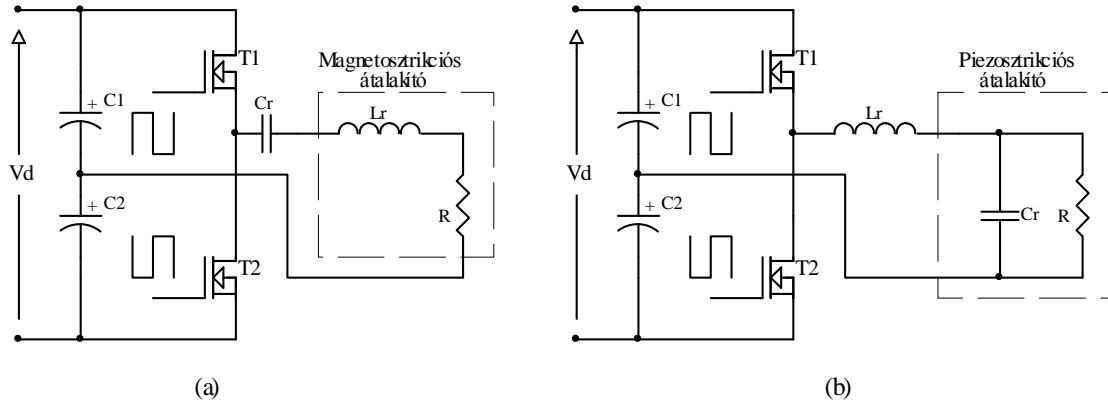
5.7.1 Ultrahang-források

Az ultrahangok keltésének két fő módja létezik: a magnetosztrikció és a piezosztrikció. Magnetosztrikciónál a tekercsbe vezetett váltóáram deformációkat vagy elmozdulásokat okoz a tekercs magján. Ezeket a mozgásokat megfelelő mechanikai csatolással átviszik a közegre, amelyben az ultrahang kifejti a hatását. Piezosztrikciónál a piezo kristály váltófeszültségű elektromos térbe helyezve változtatja méreteit. Az így keletkezett vibrációkat kell a munkát végző közegbe vezetni.

5.7.2 Az ultrahang források táplálása

Az ultrahang forrásokat (rezgőfej) megfelelő teljesítményelektronikai berendezésekkel tápláljuk. A forrás tulajdonságaitól függően adott frekvenciájú váltóáramot illetve váltófeszültséget kell létrehozni. Erre a célra rendszerint négyszöginvertert alkalmazunk. A feladatot nehezíti, hogy a hangforrás mechanikai rezonátorként viselkedik: csak pontosan a mechanikai rezonancia frekvenciáján végzett meghajtás hoz létre kellő erősségű rezgéseket. Ráadásul a mechanikai rezonáns frekvencia kissé el is tolódhat a rezgőfej szerelésétől vagy a terheléstől függően.

A magnosztrikciós ultrahang források L - R terhelésként viselkednek, azzal, hogy az induktív komponens dominál. Az ebből eredő nagy meddőteljesítményt kondenzátorral kompenzáljuk. Hasonló a helyzet a piezosztrikciós rezgőfejeknél: ott a terhelés C - R jellegű, a meddőteljesítményt tekerccsel kell kompenzálni.



5-25 ábra: Ultrahang források meghajtása feszültséginverteres soros rezonáns táplálással magnosztrikciós átalakítónál (a) és piezosztrikciós átalakítónál (b).

A terhelés a kompenzáló elemmel RLC rezgőkört alkot, amiben elektromos rezonancia lép fel. Szabályos méretezésnél az elektromos rezonancia és a mechanikai rezonancia közelében jelentkeznek. Mivel a mechanikai rezonanciáról beépített rezgőfejeknél rendszerint nincs visszajelzés, a meghajtási frekvenciát az elektromos rezonanciát betartva határozzuk meg.

5.8 Nagyfeszültségű berendezések

Számos ipari, irodai, háztartási, gyógyászati stb. berendezés működéséhez nagy egyen- illetve váltófeszültségre van szükség. Általában az $1kV$ fölötti feszültségeket nevezzük nagyfeszültségeknek ebben a témakörben. $50Hz$ -es nagy váltófeszültséget előállíthatunk hálózati transzformátorral, míg más jellegű nagyfeszültséget teljesítményelektronikai berendezésekkel képezünk.

A nagyfeszültség alkalmazásai szerteágazóak. A továbbiakban a leggyakoribb esetekre térünk ki.

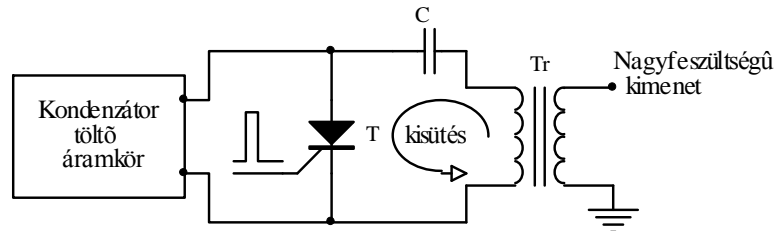
5.8.1 Gyújtóberendezések

Kisüléssel működő lámpák többségénél az ív gyújtásához nem elegendő a feszültség, amit a normális üzemet biztosító tápegység előállít. A gyújtáshoz szükséges nagyfeszültséget ($1-3kV$) külön gyújtóberendezés képezi.

Hasonló a helyzet egyes hegesztőkészülékekénél is, amelyeknél az ív gyújtását nem érintéssel végezzük. Az elektródát a munkadarabhoz közelítve a nagyfeszültség ($10kV$ körüli érték) szikrát képez, majd az így ionozált gázban létrejön az ív.

Különböző olaj- és gázfűtő berendezéseknél a tűz gyújtását nagyfeszültségű berendezéssel végzik. Hasonlóképpen a benzinüzemű gépkocsiknál a benzingáz a hengerben a gyújtószikra hatására gyullad meg, amelyet szintén egy nagyfeszültségű berendezés állít elő.

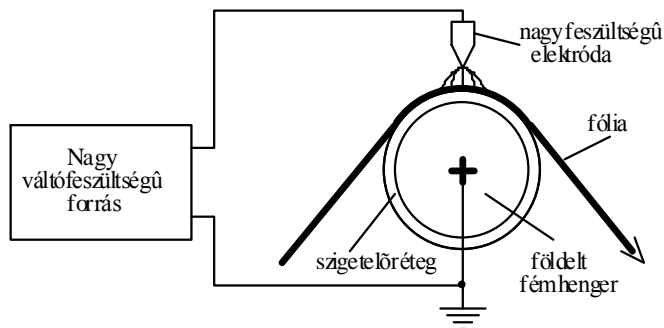
Mindezekben az esetekben a nagyfeszültség rövid túimpulzus jellegű. Az alkalmazott alapáramkör rendszerint az 5-26 ábrán megadotthoz hasonló. Az impulzus képzése előtt feltöltenek egy kondenzátort, majd ezt egy impulzustranzformátor primérjén keresztül kisütik. A transzformátor az áttételi számának megfelelően többszörözi a kondenzátor feszültségét. A kisütést rendszerint tirisztorral végzik.



5-26 ábra Nagyfeszültségű gyújtóberendezés alapáramköre.

5.8.2 Korona-megmunkálók

Számos festék és ragasztóanyag felvitele műanyag- illetve fémfóliára gondot jelent a gyöngye tapadás miatt. A tapadási erő megnövelése céljából a fólia felületét egy szikraközben koronahatásnak teszik ki. Az eljárást vázlatosan az 5-27 ábra szemlélteti.



5-27 Fólia megmunkálása koronahatással.

A fóliát hordozó fémhengert leföldeljük, vele szemben helyezük el a nagyfeszültségű fémlektrodát. Teljes kisülés illetve ív kialakulását úgy akadályozzuk meg, hogy a hengert szilikongumi-, kvarcúveg- vagy kerámia bevonattal látjuk el. Jellemző a fordított kötés is, amikor a nagyfeszültséget a hengerre vezetjük, az elektródát viszont leföldeljük. Ilyenkor természetesen a hengert el kell szigetelni a hordozó fémszerkezettől.

A fólia és az elektróda közötti erős térben ionizálódnak a levegő molekulái, majd a ionok a térben felgyorsulva a fóliához csapódnak. A fólia felületén elhelyezkedő makromolekulák szénláncai elszakadnak és szabad gyökök képződnek. Mechanikailag érzékelhető roncsolás nem történik, de megnövekszik az alapanyag felületi feszültsége, ami lehetővé teszi a jó tapadást.

A koronamegmunkáló berendezések rendszerint $10kV$ körüli szinuszos váltófeszültséggel táplálják a munkaelektrodát. A szinuszos váltófeszültség előállítására valamely rezonáns átalakító kapcsolást alkalmazunk (2.5 fejezet), azzal, hogy a kimeneti feszültséget nem egyenirányítjuk, hanem mint váltófeszültséget vezetjük a kimeneti nagyfrekvenciás transzformátorra, majd onnan a munkaelektrodára.

A kimeneti transzformátor kialakítása a nagy szekundérfeszültség miatt nagy körültekintést igényel. Rendszerint olajfürdőben tartjuk a transzformátort, hogy megakadályozzuk az esetleges átütést. Az olajfürdő egyben javítja a hőleadást is.

Az átalakító tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a munkaelektroda elsősorban mint kapacitív terhelés jelentkezik: a munkááramnak csak tört része aktív áram. Magában a transzformátorban is, mivel a szekundér több rétegben helyezkedik el, jelentős a rétegek kapacitása, ami szintén meddőteljesítményt okoz és rontja a transzformátor hatásfokát illetve csökkenti az átvihető aktív teljesítményt. Hasonló hatása van a szórt induktivitásnak is. A nagyfeszültségű transzformátoroknál nem alkalmazhatók azok a módszerek (bifiláris tekercselés, szendvics tekercselés), amelyekkel a szórt induktivitás minimalizálható, mivel átütést eredményeznének. A tervezés során rendszerint a transzformátor szórt induktivitását és parazita kapacitását integrálják a rezonáns átalakító rezgőkörébe.

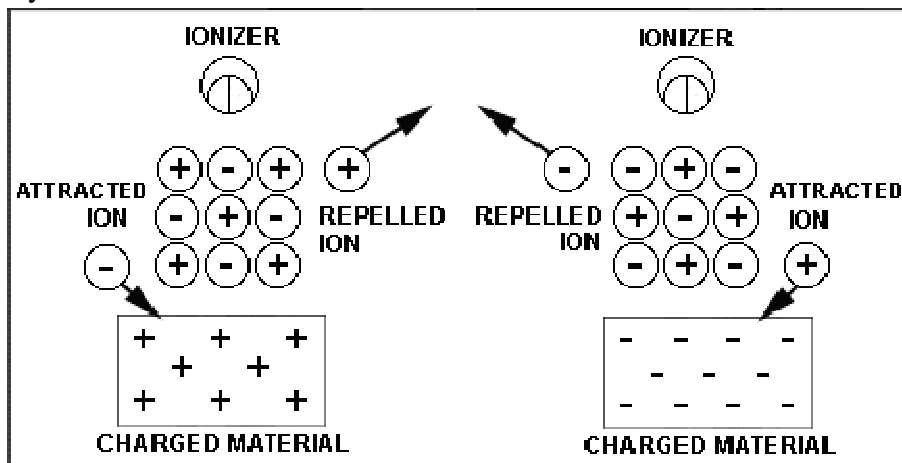
A transzformátor parazita jelenségei lényegesen csökkenthetők, ha a feszültségemelést csak részben végezzük a transzformátorral, a további emelést szekundér oldali rezgőkörre bizzuk. A rezgőkörben alkalmazott tekercs kompenzálja a terhelés kapacitása okozta meddőteljesítményt, így a transzformátor csak az aktív teljesítményt viszi át.

5.8.3 Statikus elektromosság kezelése

A statikus elektromosság jelenléte számos ipari és más berendezésnél okoz gondot. Léteznek passzív eszközök, amelyekkel enyhébb esetekben elfogadható szintre csökkenthető a statikus elektromosság. Az aktív eszközök alkalmazása sokkal hatékonyabb megoldást kínál, de sohasem beszélhetünk a statikus elektromosság teljes megszüntetéséről, csak a jelentős méretű csökkentéséről.

Aktív eszközök alatt rendszerint különböző ionizátorokat értünk. A ionizátorok ionizálják a levegőt, pozitív és negatív ionok keverékét képezik az anyag körül, amelyről el kell távolítani a statikus elektromosságot.

Azok a ionok, amelyeknek a töltése azonos előjelű a statikus elektromossággal, eltávoznak a statikus elektromosság taszító hatása miatt, az ellentétes előjelű ionok viszont becsapódnak a felületre, amelyen a statikus elektromosság van és semlegesítik azt. A folyamatot az 5-28 ábra szemlélteti.



5-28 ábra: Statikus elektromosság semlegesítése ionizátorral.

A ionizátor túszerűen kiképzett elektródákból áll, amelyeket váltakozó előjelű nagyfeszültségű impulzusokkal táplálunk. A feszültségnek nem szabad akkorának lennie, hogy masszív szikrák képződjenek az elektródák és a berendezés teste között. Az elektródák csúcsa körül kialakuló részkisülések (csendes kisülések) hozzák létre a ionfelhőt, amely a statikus elektromosság semlegesítését végzi.

A nagyfeszültségű impulzusok előállítását a korábban ismertetett (5.8.1 szakasz) gyűjtőberendezéseknél alkalmazott kapcsolásokkal oldhatjuk meg. A különbség annyi, hogy itt a kondenzátort felváltva pozitív illetve negatív feszültségre kell feltölteni. A kisütést nem végezheti egyetlen tirisztor, mivel az csak egy irányban vezethet. Tirisztorpár vagy triak alkalmazása jelenti a megoldást.

5.8.4 Lézertápok

A gázlézer csövek üzemeltetésére néhány mA és néhány $10mA$ közötti egyenáram és néhány kV nagyságú egyenfeszültség szükséges. Az áram megindításához, illetve a kezdeti ionizáció létrejöttéhez az üzemi feszültség többszörösét kell a csőre vezetni rövid ideig. További gondot jelent a kisülési csövekre jellemző negatív ellenállású áram/feszültség jelleggörbe: a tápnak ezt figyelembe véve kell stabilizálnia a csőáramot.

A lézertápok kialakíthatók nagyfeszültségű egyenirányítókként. Ehhez megfelelő teljesítményű, eső kimeneti jelleggörbéjű hálózati transzformátor szükséges nagyfeszültségű szekundérral. Ilyen transzformátorokat tömegesen gyártanak a neon- és egyéb nemesgáztöltésű reklámcsövek táplálására. Az egyenirányítást nagy letörési feszültségű diódákkal kell végezni, a gyűjtáshoz szükséges nagy egyenfeszültséget feszültségtöbbszörözővel (2.1.3 szakasz) kell előállítani. A csőáram stabilizálására rendszerint szükséges egy nagyteljesítményű ellenállást sorbakötni a csővel. Mai tervezéseknél ezt a megoldást már nem tanácsos alkalmazni a hálózati transzformátor nagysága és magas ára miatt.

A korszerű lézertápok különleges $DC-DC$ átalakítók (2.2 fejezet), amelyek az üzemeltetéshez szükséges áramot illetve feszültséget megfelelő ferritmagos transzformátor közbeiktatásával érik el. Nagyfeszültségű kimenet megvalósítása esetén rendszerint gondot jelentenek a transzformátor nagyfeszültségű szekundértekercsében jelentkező parazita kapacitások (rétekapacitások).

Impulzusszélesség-modulációval működő $DC-DC$ átalakítóknál a kapcsolótranszisztor nagy áramütéseket kap a kapcsolat közben a rétekapacitások ürítése (áttöltése) miatt. A nagy transzformációs arány következtében a kapacitív áramok megsokszorozódva képeződnek át a primérgörbe. A parazita kapacitások káros hatása úgy védhető ki, hogy rezonáns átalakítót építünk (2.5 fejezet), amelynél a parazita kapacitásokat integráljuk a rezonanciát biztosító kondenzátorral.

A cső gyűjtéséhez szükséges nagy feszültség előállítható az üzemeltetést biztosító $DC-DC$ átalakítóval vagy külön gyűjtőegységgel. Ha nem alkalmazunk külön gyűjtőegységet, akkor a $DC-DC$ átalakítónak képesnek kell lennie üresjáratban az üzemi feszültség többszörösének előállítására. Külön gyűjtőegység a korábbiakban ismertetett (5.8.1 szakasz) módokon valósítható meg.