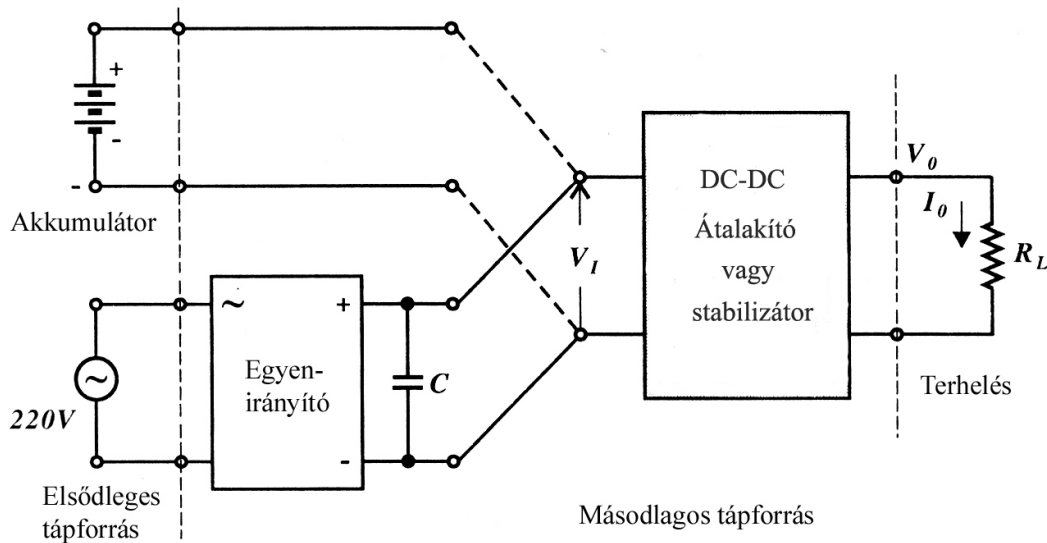


3 Tápegységek

A tápegységeket széles körben alkalmazzák analóg és digitális berendezések táplálására. Szerkezetileg ezek az áramkörök *AC-DC* vagy *DC-DC* átalakítók. A kimenet tehát mindig egyenáramú, a bemenet pedig lehet váltóáramú, vagy egyenáramú. Amennyiben az energiaforrás a városi hálózat (3-1 ábra), úgy először a váltóáramot egyenirányítani kell.



3-1 ábra: Egyenáramú tápegység tömbvázlata.

Az így nyert feszültség nem stabil, ezért ezt a feszültséget további fokozatokban szabályozzák a kívánt mértékben. A tápegységekben általában meg kell oldani a kimenet elválasztását a bemenettől, biztonsági okokból. Egyes alkalmazásokban szükséges egy tápegységgel több egymástól különböző feszültségű- és egymástól elválasztott fogyasztót meg táplálni.

A tápegységeket működési elvük szerint feloszthatjuk lineáris- és kapcsolóüzemű tápokra.

3.1 Lineáris tápegységek

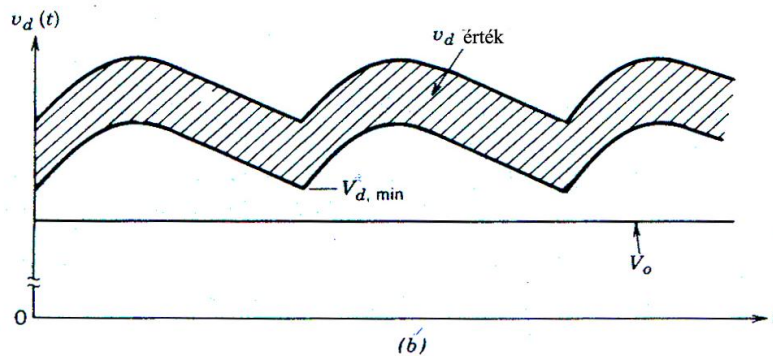
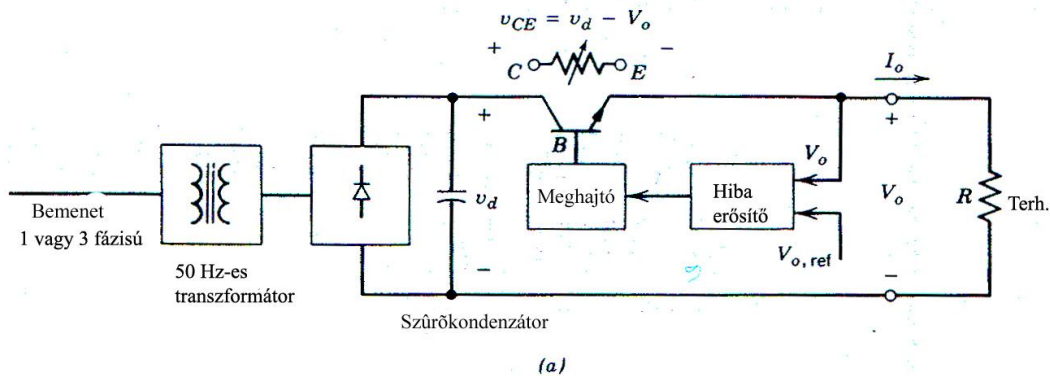
A lineáris tápegységek az elektronikai berendezések hagyományos építőelemei. Szerepük, hogy az elektronikai áramköröket stabil egyenfeszültséggel lássák el. A feszültség szabályozásának módja a lineáris tápegységeknél disszipatív jellegű: a bemeneti feszültség magasabb a szükséges kimeneti feszültségnél, a különbséget lineáris üzemben működő tranzisztortal ejtjük.

3.1.1 Felépítés

Amennyiben az energiaforrás a városi hálózat (3-2a ábra) a lineáris tápegység bemenetén rendszerint egy hálózati transzformátort alkalmazunk. A transzformátor

feladata, hogy a szekundér tekercsen olyan feszültség szintet hozzon létre, mely egyenirányítás és szűrés után optimális a feszültségstabilizáló fokozat táplálására. Ugyanakkor a hálózati transzformátor végzi a kimenet elválasztását is a bemenettől. Esetenként a bemeneti energiaforrás lehet vegyi áramforrás is.

A kimeneti feszültség megfelelő szinten való tartását a lineáris (aktív) üzemben működő tranzisztor végzi (3-2a ábra). A tranzisztor munkapontját a visszacsatoló áramkör (hibaerősítő) a tényleges kimeneti feszültséget (V_o) és az alapjelet ($V_{o,ref}$) összehasonlítva határozza meg.



3-2 ábra: A lineáris tápegység tömbvázlata (a) és a jellemző feszültségdiagramok (b).

A lineáris tápegységekre jellemző feszültségdiagramokat a 3-2b ábra mutatja. A $v_d - V_o$ feszültségkülönbséget a bemenet és az igényelt kimenet között a szabályozó tranzisztoron fellépő feszültségesés okozza. Hogy a tranzisztor veszteségeit minimálisra csökkentsük, a transzformátor áttételi számát gondosan kell megválasztani: V_d minimális értéke ($V_{d,min}$) elegendően nagyobb legyen, mint V_o . A méretezésnél figyelembe kell venni a hálózati feszültség esetleges változásait is, valamint a transzformátor szekundérfeszültségének csökkenését a terhelés növekedésekor.

3.1.2 Jellemzők

A lineáris tápegységek számos jó tulajdonsággal rendelkeznek, mint: kis kimeneti ellenállás, jó stabilizációs tényező (a bemeneti változásokkal szemben), a kimenő feszültség kis hullámzása, relatív egyszerű szabályzási kör, nincs rádiófrekvenciás zaj.

Sajnos, ezzel szemben, nagyon rossz a hatásfokuk (rendszerint $0,2 < \eta < 0,6$), valamint a méreteik és a tömegük relatív nagy. A hatásfok annál kisebb, minél nagyobb a terhelés árama, valamint a ki és bemeneti feszültség különbsége. A veszteségi teljesítmény a $P_d = I_o(V_d - V_o)$ szorzattal egyenlő.

A nagy veszteségek miatt a tranzisztort szükséges nagy felületű hűtőre szerelni, ami növeli a táp súlyát és méreteit. A méreteket nagyban növeli a hálózati transzformátor is. A méretek és a költségek mellett nehezítő körülmény, hogy jelentős veszteségek jelentkeznek a transzformátoron, az egyenirányítón és a szűrőn.

A rossz hatásfok miatt ma úgy tekinthető, hogy a lineáris tápegységek alkalmazása csak néhány watt teljesítményig indokolt, nagyobb teljesítményre kapcsolóüzemű tápok jelentik a megoldást.

3.1.3 Típusválaszték

A lineáris tápegységek alkalmazása ma jórészt előregyártott integrált feszültség szabályozó (feszültségstabilizáló, stabilizátor) áramkörökön alapszik. Az egyes típusok elsősorban áram- és feszültségtűrés szempontjából különböznek. Ezek az integrált megoldások a szabályozó tranzisztor és a hibaerősítő mellett bizonyos védőfunkciókat is ellátnak (túláram, túlmelegedés). Egyes megoldások pozitív feszültség szabályozására, mások negatív feszültség szabályozására alkalmasak. Hasonlóképpen, egyes feszültségstabilizáló áramkörök rögzített feszültséget állítanak elő, másoknál a szabályozott feszültség beállítható (pl. ellenállás-osztóval).

A feszültségstabilizáló áramkörök többsége a bemenet és a kimenet közé sorba kötött szabályozóelemet tartalmaz, de léteznek úgynevezett párhuzamos feszültségstabilizátorok is. Ezekben a szabályozóelem párhuzamosan van kötve a kimenettel, illetve a fogyasztóval. A bemenet és a kimenet közötti feszültségkülönbséget sorba kötött ellenállással ejtjük. A szabályozóelem áramát változtatva változik a feszültségesés és állítható a kimeneti feszültség. Alkalmazásuk ott indokolt, ahol a fogyasztó nagyjából állandó árammal terheli a tápot.

Egy újabb törekvés a feszültségstabilizáló áramköröknél a minél kisebb feszültségesés a bemenet és a kimenet között (*low voltage drop* feszültségstabilizátorok). Ezt a szabályozótranzisztor megfelelő kiválasztásával és bekötésével érik el. A szokásos minimális néhány voltos feszültségesés néhány tized voltra csökkenthető. A hatásfok így valamelyest javul.

3.2 Kapcsolóüzemű tápegységek

A technika mai állása szerint elsősorban kapcsolóüzemű tápokot alkalmazunk az egyenáramú fogyasztók táplálására a jobb hatásfok miatt. Az esetek többségében a jobb hatásfok elsősorban nem az energiaköltségek-, hanem a méretek és az előállítási költségek miatt jelentős. A rossz hatásfokú berendezéseknél hűtőfelületeket kell alkalmazni, ami közvetlenül növeli a tápegység méreteit és árát. Nem elhanyagolható az a tény sem, hogy a rossz hatásfokkal járó nagy veszteségek fokozzák a tápegységek melegedését, ami rontja a megbízhatóságot.

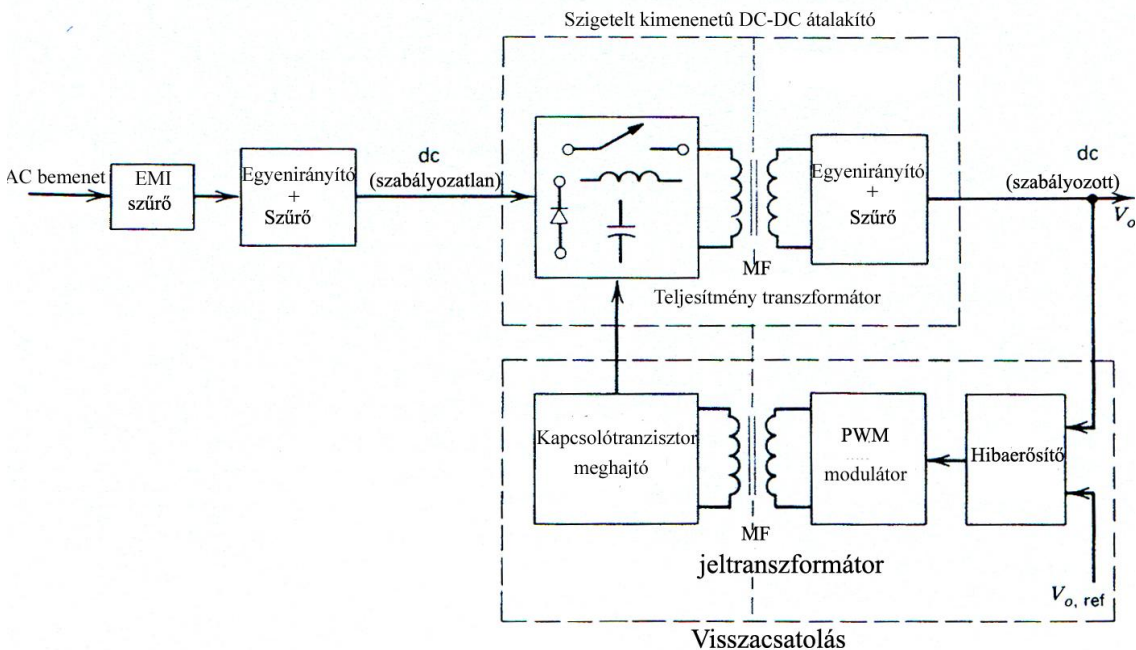
3.2.1 Felépítés

Általánosságban elmondható, hogy a kapcsolóüzemű tápok jóval összetettebb szerkezetűek, mint a lineáris tápok. Ez vonatkozik a teljesítmény részre is meg a szabályozó részre is.

Az energiaátvitelt és a feszültség szabályozást a kapcsolóüzemű tápegységekben megfelelő DC-DC átalakítókkal érjük el. A 2.2 fejezetben tárgyalt PWM üzemű DC-DC átalakítók és a 2.5 fejezetben tárgyalt rezonáns átalakítók jöhetnek számításba. Ha szükséges a kimenet elszigetelése a bemenettől, a 2.2.10 szakaszban ismertetett PWM üzemű transzformátoros egyenfeszültség átalakítók- vagy a rezonáns átalakítók transzformátoros változatai jöhetnek számításba.

Ahogy az korábban is említettük (2. rész), az egyenfeszültség átalakítókban a szabályozó alkatrész(ek) (*MOSFET*, *IGBT*, bipoláris tranzisztor, tirisztor) kapcsolóüzemben (fölváltva teljesen bekapcsolva és teljesen kikapcsolva) működnek. Az aktív tartományban való működéshez képest ez a veszteségek csökkenését eredményezi. A kisebb veszteségek lehetővé teszik, hogy adott szabályozó alkatrészrel nagyobb teljesítményt dolgozzunk fel. Mivel a kapcsolóüzemet magas frekvencián valósítjuk meg, lényegesen csökkennek a passzív alkatrészek (tekercs, kondenzátor, transzformátor) méretei és veszteségei is.

A 3-3 ábrán látható a szigetelt kimenetű (transzformátoros) kapcsolóüzemű táp jellemző tömbvázlata. A váltóáramú bemenetet közvetlenül egyenirányítjuk pl. egy diódahíddal (2.1.1 szakasz). Az egyenirányító kimenetére megfelelő szűrőkondenzátort kell tenni a feszültség hullámosságának mérséklésére. A tápegység következő fokozatai elviselnek bizonyos hullámosságot, de általában nem tanácsos az átlagérték 10-20%-ánál nagyobb hullámosságot megengedni. Ez mellett a szűrőkondenzátornak áthidaló szerepe is van: a benne tárolt energia elegendő a tápegység működéséhez rövid (10-50ms) hálózati kiesés esetén.



3-3 ábra: Kapcsolóüzemű tápegység tömbvázlata.

A közönséges egyenirányítók áram-felharmónikusokkal terhelik a váltóáramú táphálózatot, ezért mindinkább kötelezővé válik a felharmónikusok csökkentése, illetve a teljesítménytényező javítása. Passzív és aktív módszerek állnak rendelkezésre. A passzív módszerek szűrők alkalmazását jelentik a váltóáramú ágba, amelyek nagy és drága tekercsekből és kondenzátorokból épülnek fel. Ez helyett inkább az aktív teljesítménytényező javítás van elterjedőben. Erről bővebben a 5.4.1 szakaszban lesz szó.

Mivel a bemeneti egyenirányítók közvetlenül csatlakoznak a kisimpedanciás táphálózatra, bekapcsoláskor nagy áramlökés jelentkezik, ez tölti fel az üres szűrőkondenzátort. Az áramlökés szennyezi a hálózatot, veszélyezteti az egyenirányító- valamint a bementi biztosíték épségét. Az áramlökés nagyságát korlátozni kell. Kisebb teljesítményeknél (*IkW*-ig) a korlátozást célszerű NTC ellenállással végezni (7.1.5 szakasz). Ez bekapcsoláskor viszonylag nagy ellenállásértéket mutat és jól korlátozza az áramot, üzem közben viszont felmelegszenek, lecsökken az ellenállásuk és így veszteségeik elfogadható szintre csökkennek. Az NTC ellenállással védett tápegységeknél tartózkodni kell a kikapcsolást követő gyors bekapcsolástól, mert időre van szükség, hogy az ellenállás lehűljön és el tudja látni a feladatát. Nagy teljesítményű tápegységekhez nem gyártanak megfelelő NTC ellenállásokat. Itt közönséges ellenállást alkalmazunk, melyet indulás után relével rövidre zárunk.

A kapcsolóüzemű tápegységek a működési módjukból (nagy áramok és feszültségek gyors és gyakori ki-be kapcsolása) eredően zavarokat keltenek. A zavarok két módon terjednek: sugárzással és vezetéssel. A bemeneten elhelyezett *EM* zavarszűrő fékezi az átalakító okozta (vezetéssel terjedő) zavarok hálózatba jutását a tápvonalakon keresztül.

A sugárzott zavarok főleg a tekercselt alkatrészekből (fojtótekercs, transzformátor) valamint a hűtőfelületekről kerülnek a környezetbe. A sugárzott zavarokat megfelelő mechanikai kialakítással és árnyékolással (*Faraday* ketrec) mérsékeljük. A zavarokról a 9. részben lesz bővebben szó.

A *DC-DC* átalakító blokk a bemeneti egyenfeszültség értékét változtatja egyik szintről a másikra. A közvetlenül csatolt *DC-DC* átalakítóknál (2.2.2-2.2.8 szakaszok) kapcsolók és energiatároló elemek (tekercs, kondenzátor) megfelelő kötéseivel szabályozzuk az energia áramlását és így a kimeneti feszültséget. A szigetelt kimenetű átalakítóknál (2.2.10 szakasz) a kapcsoló(k) működéséből eredően a transzformátor primér oldalán magasfrekvenciás váltófeszültség jelenik meg (többé-kevésbé négyszög vagy szinusz alakú). A szekundér oldalon megjelenő feszültséget egyenirányítva és szűrve kapjuk meg a V_o kimeneti feszültséget.

A transzformátorok felépítéséről és méretezéséről a 7.1.3 szakaszban lesz bővebben szó. Itt csak néhány részletre térünk ki, amelyek különösen fontosak a kapcsolóüzemű tápok szempontjából.

A transzformátor feladata, az energiaátvitel mellett, hogy megfelelő átütési szilárdságot biztosítson a tápegység bemenete és kimenete között. Nem csak a névleges üzemi feszültségek elszigeteléséről van szó, hanem bizonyos hálózati túlfeszültségek (pl. villámcsapás következményei) ellen is védeni kell a fogyasztót és a felhasználót. Ez azért különösen nehéz, mert a kapcsolóüzemű tápokban alkalmazott ferritmagos, magasfrekvenciás transzformátorok méretei viszonylag kicsik. Így csak nagy

odafigyeléssel valósítható meg a kellő távolság az egyes tekercsek és a kivezetések között. A szigetelőanyagok vastagsága is korlátozott helyszűke miatt.

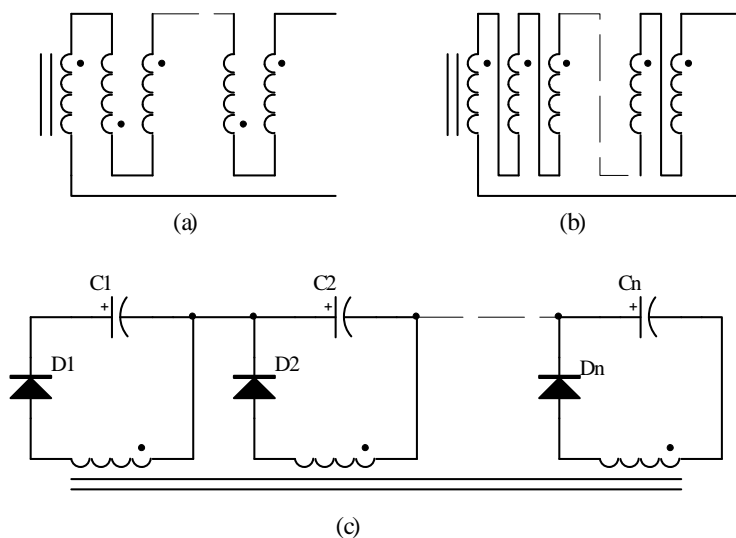
Ezeknél a transzformátoroknál olajhűtést, amely a szigetelést is javítja, csak elvétve, nagyfeszültségű berendezéseknél alkalmaznak (5.9 fejezet) az érthető nehézségek miatt. A szigetelés javítására inkább lakkal való átitatást (impregnálás) vagy műgyantával történő beöntést alkalmaznak. A beöntés csak akkor igazán hatékony, ha a beöntő anyagban nem maradnak légzárványok vagy más részecskék, amelyek támogatják a részkiüléseket és a szigetelőanyag fokozatos tönkremenését okozzák.

A transzformátorok többsége nagy bemeneti- és kis kimeneti feszültséggel üzemel. Ilyen esetben a transzformátor nagyjából ideálisnak tekinthető, esetleg a szórt induktivitást kell figyelembe venni, ez terheléskor a kimeneti feszültség csökkenését okozza. Nagyfeszültségű szekundér esetén (az 5.8 fejezetben említett berendezések valamint tv, Röntgen készülék stb. bizonyos egységei) nem elhanyagolható a több rétegben tekercselt szekundér rétegei között jelentkező parazita kapacitás. *PWM* üzemű tápegységeknél a parazita kapacitások a kapcsolótranszisztorokon bekapcsoláskor nagy áramlökéseket okoznak.

A negatív jelenség mérséklésére több módszer létezik. A parazita kapacitásokat némileg csökkenteni tudja a vastagabb és kisebb dielektromos állandójú szigetelőanyag, de helyszűke miatt nem alkalmazható túl vastag szigetelőréteg. A tekercsrétegek helyes elhelyezése és összekötése viszont a tört részére csökkentheti a kapacitásokat. A 3-4 ábrán erre látunk megoldásokat.

A 3-4a ábrán az alacsonyfeszültségű berendezéseknél szokásos elrendezést látjuk: az egyes rétegeket váltakozó irányban tekercseljük (egyszerűen csak folytatjuk a tekercselést az ellenkező irányba, amikor a tekercstest végére értünk adott tekercsrétegben). Ez a legrosszabb módszer, ez adja a legnagyobb parazita kapacitásokat.

Ha a tekercstest végére érve adott réteg után a vezetéket (megfelelő szigetelés mellett) visszavezetjük az ellenkező végre, és onnan folytatjuk a tekercselést (3-4b ábra), a parazita kapacitás körülbelül a harmadára csökkenthető. *Flyback* átalakítónál a 3-4c ábrán bemutatott kötés hoz javulást az által, hogy minden réteget külön egyenirányítunk. Itt egyes parazita kapacitások állandó feszültségre kerülnek, nem történik töltés és ürítés minden periódusban.



3-4 ábra: Szekundértekercsek különböző kiképzései: (a) szokásos tekercselés alacsonyfeszültségű szekundárnél, (b) tekercselés visszavezetéssel, (c) tekercselés rétegenként történő egyenirányítással.

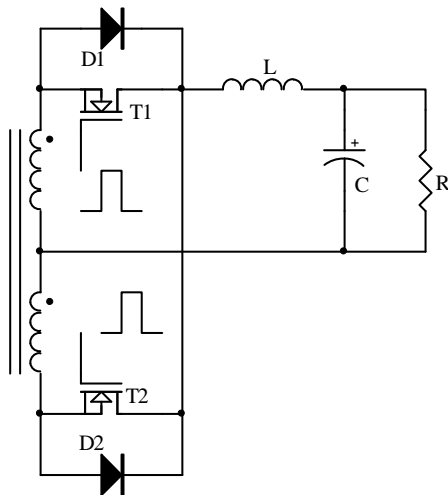
A DC-DC átalakítókban egyenirányítóként gyorsdiódákat alkalmazunk. A diódák bekapcsolási sebességével nincs gond, a kikapcsolásnál viszont jellemző, hogy a dióda a hirtelen rávezetett inverz feszültség következtében egy rövid ideig (szabaddáválási idő) még vezet inverz irányban. Az inverz irányú vezetési- és az ezt követő kikapcsolás során a diódákon jelentős veszteségek jelentkeznek. A diódák inverz árama miatt rendszerint a kapcsolótranzisztorokon is veszteséget okozó áramlökések lépnek fel.

Nem elhanyagolható a diódaáram alakja sem kikapcsolás közben. Ha először a dióda megengedi az inverz áramot, de azután nagy di/dt mellett leállítja azt, ez túlfeszültségeket okoz. Célszerű tehát minél rövidebb szabaddáválási idejű diódákat alkalmazni, de lényeges az is, hogy az inverz áramuk fokozatosan szűnjön meg.

Nagyáramú kimenetelnél a PN átmenetet tartalmazó diódák helyett inkább Schottky diódákat kell alkalmazni, mivel azok vezetőirányú feszültségesése kisebb. A vezetési veszteségek Schottky diódákkal nagyjából megfelelhetnek. Kikapcsolás közben nem jelentkeznek a töltéshordozók lassú rekombinációjából eredő inverzáram, csak egy kapacitív áram.

Úgynevezett szinkron egyenirányítókkal a vezetési veszteségek tovább csökkenthetők. Szinkron egyenirányító alatt ez esetben MOSFET-et értünk, amit akkor kapcsolunk be, amikor a diódának, melyet a MOSFET-tel helyettesítettünk, vezetnie kell az adott áramkörben. Jól megválasztott MOSFET-tel (kis csatornaellenállás) elérhető, hogy kisebb veszteséget kapjunk, mint PN diódával, vagy akár Schottky diódával.

A szinkron egyenirányító rajzát a 3-5 ábrán láthatjuk középkevezetű szekundér esetére (pl. push pull- vagy hídkapcsolásnál). A MOSFET-eket úgy kell bekötni, hogy a testdiódájuk iránya megegyezzen a diódákkal megvalósított (közönséges) egyenirányítóban a diódák irányával. Így a MOSFET bekapcsoláskor inverz irányú áramot fog vezetni, de ez nem gond. Azért lehet csak ezt az irányt alkalmazni, mert a MOSFET csak egy irányban tudja megakadályozni a vezetést, a másik irányban mindig jelen van a testdióda.



3-5 ábra: Szinkron egyenirányító megvalósítása MOSFET-ekkel a vezetési veszteségek csökkentése érdekében. A diódák a MOSFET-ek testdiódáit jelképezik.

A MOSFET-ek vezérlőjeleit úgy kell kialakítani, hogy ne történhessen átfedés a két MOSFET vezetése között, mert ez zárlatot okoz a transzformátor szekundárján. A zárlat a transzformátoron keresztül áttevődik a primér oldalra és a kapcsolótranzisztorok túlterhelését eredményezi.

A teljesítményfélvezetőket (kapcsolótranzisztorok és diódák) úgy kell megválasztani, hogy el tudják viselni a tápegységben várható legnagyobb áramokat és feszültségeket. Ebbe bele kell számítani az esetleges túlterheléseket is. Ezeknek az alkatrészeknek a veszteségei (vezetési és kapcsolási veszteségek) általában meghaladják azt a szintet, amit az alkatrész a tokozáson keresztül közvetlenül leadhat a környező levegőnek. A veszteségek hatékony elvezetése érdekében a teljesítményfélvezetőket rendszerint hűtőfelületre szereljük. A hűtési módszerekről és a hűtés méretezéséről a 7.1.7 szakaszban olvashatunk bővebben.

A kimeneti feszültséget impulzus-szélesség modulációval (2.2.2 szakasz és 8.1.1 szakasz) vagy frekvencia modulációval (2.5.2 szakasz és 8.1.1 szakasz) tudjuk változtatni illetve beállítani a kívánt értékre. A modulátort visszacsatolás segítségével vezéreljük. Szigetelt kimenetű tápegységnél a visszacsatolásnál is el kell választani a kimenetet a bemenettől. Ez történhet impulzustranzformátorral vagy optocsatolóval. Az optocsatoló olcsó, egyszerű megoldást eredményez, transzformátorral viszont tetszőleges nagy átütési szilárdság érhető el.

A modulátor megfelelő frekvenciájú és kitöltési tényezőjű impulzusokat állít elő. Ezek általában nem használhatók közvetlenül a kapcsolótranzisztorok meghajtására, mivel nem rendelkeznek megfelelő teljesítménnyel. A meghajtókörök a modulátorjelet feszültség és áram szempontjából olyan szintre hozzák, hogy az alkalmas legyen a meghajtásra.

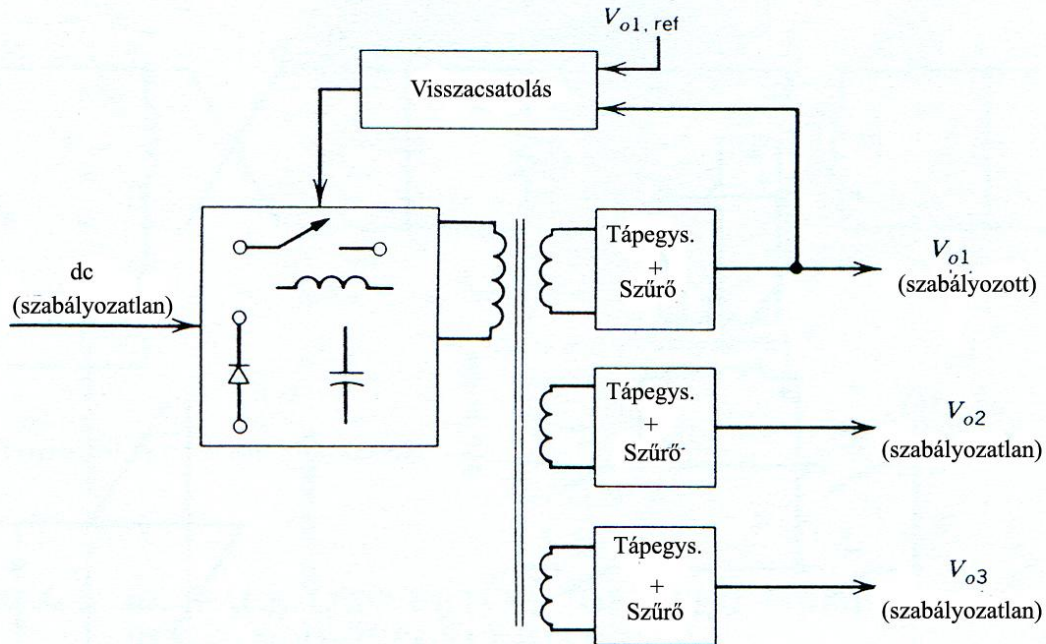
Helyenként a modulátort elszigetelik a meghajtókörtől illetve a kapcsolótranziszortól. Ennek lehetnek biztonságtechnikai okai (a tranzisztor meghibásodásakor nem kell tartani a modulátor felé való átütéstől) vagy funkcionális okai (pl. a hídkapcsolásoknál a meghajtókörök nem köthetők mind ugyanahhoz a vonatkoztatási ponthoz, mivel különböző potenciálon kell működniük).

A meghajtókör szigetelése történhet optocsatolóval vagy impulzustranzformátorral. Elsősorban a hídkapcsolások meghajtására fejlesztették ki az úgynevezett *bootstrap* meghajtókat. Ezeknél a meghajtókör táplálását egy kondenzátor végzi, amely a kapcsolótranzisztor kikapcsolt állapotában feltöltődik, bekapcsoláskor viszont elszigetelődik a töltőkörtől és táplálja a híd felső ágában levő kapcsolótranzisztor meghajtókörét.

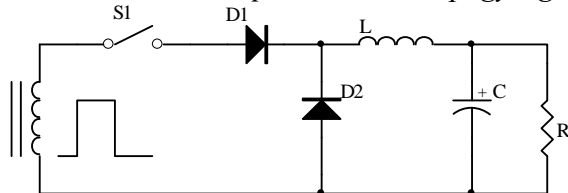
Az alkalmazások nagy részében többkimenetű (mind pozitív, mind negatív feszültségek) tápegységekre van szükség. Ezek a kimenetek szükség szerint elszigetelhetők egymástól, de a szükséges pontokban össze is kapcsolhatók. A 3-6 ábra egy ilyen többkimenetű kapcsolóüzemű táp tömbvázlatát mutatja, ahol csak a V_{o1} kimenet szabályozható. Egy tápegységre rendszerint csak egy feszültségvisszacsatolás alkalmazható, a többi kimenet némileg ingadozni fog a terhelés függvényében, esetleg a bemeneti feszültség változása miatt is.

Áthidaló megoldásként a szabályozatlan kimenetek mágneses erősítővel szabályozhatók. A mágneses erősítő elvét a 3-7 ábra alapján tudjuk megmagyarázni

forward átalakító esetére. Ha a D_1 diódával egy kapcsolót kötünk sorba, és azt ugyanazon a frekvencián üzemeltetjük, mint a primér oldali kapcsolótranszisztort (ez nem szerepel az ábrán), de kisebb kitöltési tényezővel, akkor a kimeneti feszültséget csökkenteni tudjuk a szabályozatlan értékhez képest. A kitöltési tényező csökkentése tetszőlegesen történhet a szekundér oldali impulzus elején vagy a végén. Félvezető kapcsolót alkalmazni ezen a helyen nem célszerű, mert (különösen nagyáramú kimenetnél) nagy veszteségekre kell számítani és bonyolult a kapcsoló vezérlése.



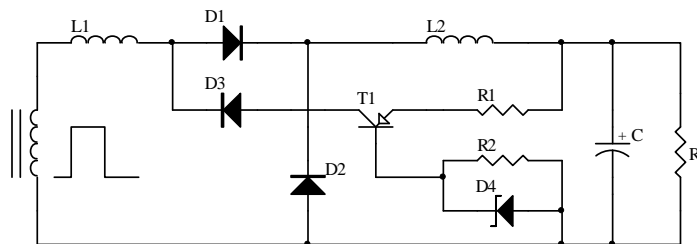
3-6 ábra: Többkimenetű kapcsolóüzemű tápegység tömbvázlata.



3-7 ábra: Mágneses erősítő elvi rajza.

Félvezető kapcsoló helyett alkalmazható telítődő fojtótekerecs a 3-8 ábra szerint. Itt a telítetlen állapot a kapcsoló kikapcsolt állapotának felel meg, mert az ekkor jelentkező nagy induktivitás nem engedi a szekundáráram növekedését, függetlenül attól, hogy a feszültségimpulzus jelen van. A telített állapot a kapcsoló bekapcsolt állapotának felel meg, ilyenkor az áram szabadon növekedhet. A tekercset (L_1) úgy kell méretezni, hogy minden periódusban bizonyos ideig telítésbe jusson.

A T_1 tranzisztorral szabályozni tudjuk, hogy mikor jöjjön létre a telítés. A kimeneti feszültség nemkívánatos növekedésekor a tranzisztor nagyobb egyenáramot enged vissza a D_3 diódán keresztül a fojtótekerecsbe, ami a telítődés nagyobb késleltetéséhez vezet, így csökkenti a kimeneti feszültséget. A szabályozó áram csökkentése érdekében rendszerint a fojtótekerecs magjára egy másik, nagyobb menetszámú tekercset is helyeznek és ezt kötik a szabályozó körbe.



3-8 ábra: Mágneses erősítő egyenáramú visszacsatolással.

Ha nagyon magasak a követelmények a hullámosságot és a reakcióidőt illetően, ugyanakkor nagyobb teljesítményről van szó, kapcsolóüzemű és lineáris táp kaskád kötése jelentheti a megoldást. A kapcsolóüzemű tápot úgy kell méretezni, hogy biztosítsa a lineáris táp szabályos működéséhez szükséges minimális feszültséget (ami kicsivel nagyobb, mint a kívánt kimeneti feszültség), így a berendezés hatásfoka elfogadható értéken tartható.

3.2.2 Jellemzők

A kapcsolóüzemű tápegységek tervezésénél, gyártásánál, beszerzésénél a következő adatokat kell figyelembe venni: bemeneti feszültség, kimeneti feszültség, kimeneti áram, kimeneti hullámosság, a kimeneti feszültség stabilitása, hatásfok, működési hőmérséklet tartomány, hűtési mód, megbízhatóság, elektronikus zavarok szintje, akusztikus zavarok szintje. Ebben a szakaszban ezekről a jellemzőkről szólunk bővebben.

A bemeneti feszültségnél figyelembe kell venni a névleges érték mellett a várható változási tartományt is. A maximális érték felett a kapcsolótranszisztorok és diódák letörésével kell számolni. A minimális érték alatt a tápegység nem tudja biztosítani a megfelelő középértékű és hullámosságú kimeneti feszültséget. Amennyiben váltófeszültségről van szó, meg kell adni a frekvenciatartományt, amelyikben a tápegység szabályosan működik. Általában az alsó határ kritikus, mivel itt a bemeneti egyenirányító szűrőkondenzátora nagyobb szüneteket kell, hogy áthidaljon két csúcserték között.

Állandó kimeneti feszültségű tápoknál a névleges érték és a várható elcsúszási tartomány a lényeges paraméter, míg változtatható kimenetű tápoknál a beállítási tartományt kell figyelembe venni. A tápok többségénél a cél a stabil feszültség megvalósítása, függetlenül a terhelés változásaitól és más tényezőktől. Léteznek viszont olyan tápegységek, amelyeknél a cél a terhelési áram stabilizálása. Ez megköveteli, hogy a szabályozókör a feszültség helyett a kimeneti áramot figyelje és ez alapján képezze a modulátor vezérlőjelét. Elképzelhető olyan szabályzás is, amely a teljesítményt vagy más változót tart adott szinten. A különböző szabályzási megoldásokat a 8.1.2 szakaszban tárgyaljuk.

A tápegység kimeneti árama nem léphet túl bizonyos legnagyobb értéket az egyes alkatrészek túlterhelése miatt. Erről megfelelő szabályzókörnek vagy védőkörnek kell gondoskodnia. A kapcsolóüzemű tápoknál nem kívánatos az sem, hogy a terhelési áram túl kicsi legyen, rendszerint a névleges áram tized részét jelölik be legkisebb áramként. Kisebb áramoknál az átalakító működik ugyan, de várható, hogy megnövekszik a kimeneti feszültség hullámossága és változik a tranziens viselkedés. Az

okok a szakadásos (diszkontinuális) üzemben keresendők, ugyanakkor a gond lehet az is, hogy kis kitöltési tényezőnél a modulátor működése nem stabil.

A kimeneti feszültség hullámosságával az átalakítók alaptípusainál részletesen foglalkoztunk. A hullámosság az átalakító működési módjából ered: a kapcsoló működése következtében a teljesítmény áramlása nem áll be egy állandósult értékre, hanem lüktet.

A *buck* átalakítónál és a belőle levezetett átalakítóknál a hullámosság viszonylag kicsi, mert a kapcsoló és a fogyasztó között LC szűrő van jelen, amely a másodfokú jellegből eredően erős csillapítást végez. Ugyanitt a bemeneti áram impulzus jellegű, ami jelentős zavarokat okozhat az energiaforrás felé.

A *boost* és a belőle levezetett átalakítóknál viszont a kapcsoló által létrehozott áramimpulzusokat csak kondenzátorral szűrjük (elsőfokú szűrő), ami nagyságrenddel nagyobb hullámosságot eredményez a kimeneten. A *boost* típusú átalakítóknál külön gonddal kell megválasztani a kimeneti kondenzátorokat: a követelmény a minél tökéletesebb kondenzátor minél kisebb ekvivalens soros ellenállással és induktivitással. A soros ellenállás nem csak a hullámosságot növeli, hanem veszteségeket okoz és a kondenzátor melegezését eredményezi.

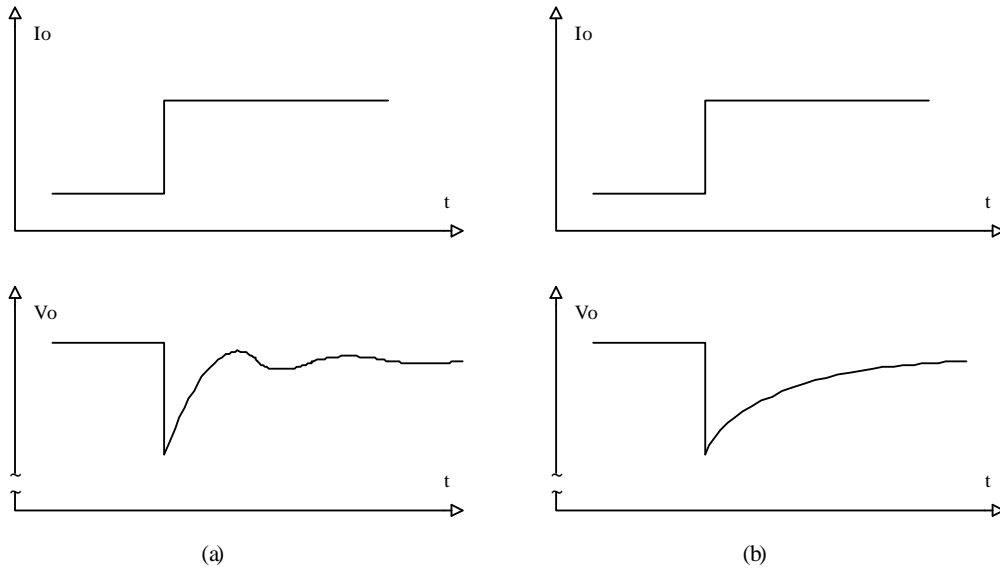
Általánosságban a kapcsolóüzemű tápok kimeneti feszültségének hullámossága a névleges feszültség 1%-a körül szokott mozogni, ami sokszorosa a lineáris tápokra jellemző hullámosságnak, de a fogyasztók többsége számára ez elfogadható szint.

Van a hullámosságnak egy másik összetevője is, amely nem a kapcsolási frekvencián, hanem a bemeneti feszültség lüktetésével szinkronban jelentkezik (egyfázisú teljeshullámú egyenirányítónál ez a hálózati frekvencia kétszerese, 100Hz). Ez a szabályozókör késéséből ered: nem tudja idejében módosítani a kitöltési tényezőt, hogy a feszültséget szinten tartsa. Ezen sokat segíthet a feszültség előrecsatolást alkalmazó modulátor, amely a visszacsatolástól függetlenül azonnal csökkenti a kitöltési tényezőt, ha megnövekedett a bemeneti feszültség és viszont. Hasonló jó eredményt ígér az árambecsatolásos modulátor. Ezekről a megoldásokról a 8.1 fejezetben olvashatunk bővebben.

A kimeneti feszültség stabilitása vizsgálható statikus és dinamikus esetben. A statikus elcsúszások lehetnek a bemeneti feszültség-, a hőmérséklet- vagy a terhelés változásainak következményei.

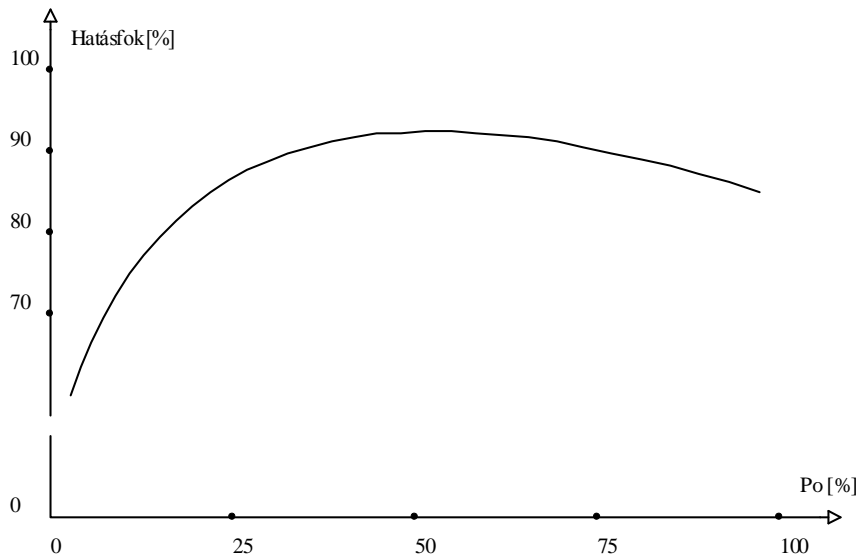
A bemeneti feszültség és a terhelési áram ugrásszerű változásaira a kapcsolóüzemű tápok válasza sokkal lassúbb mint a lineáris tápoké. Általában *ms* nagyságrendű időre van szükség, mire a szabályozókör újra állandósult állapotba kerül. Időközben a kimeneti feszültség pszeudoperiódikus (3-9a ábra) vagy aperiódikus (3-9b ábra) lengést végez. A lengés milyensége egyrészt az átalakító modelljétől, másrészt a szabályozókör beállításától függ. A fogyasztó igényei szabják meg, hogy mekkora lengések engedhetők meg. A lengés befejeztével a tápegység nagyjából visszaáll a korábbi feszültségértékre, de kis értékű kimeneti ellenállásra számítani kell: ez a terhelőáram növekedésekor feszültségcsökkenést okoz és viszont.

A kapcsolóüzemnek köszönhetően a szabályozóelemek (kapcsolótranszisztorok) veszteségei lényegesen kisebbek mint a lineáris tápegységeknél. Hasonlóképpen jobb az alkalmazott magasfrekvenciás transzformátorok hatásfoka. Az eredő hatásfok kapcsolóüzemű tápoknál rendszerint 70-90% között mozog és kevésbé függ a terheléstől.



3-9 ábra: A kimeneti feszültség lengései ugrásszerű terhelésváltozásokat követően: (a) pszeudoperiódikus viselkedés, (b) aperiódikus viselkedés.

A jellemző terhelésfüggőséget a 3-10 ábra szemlélteti. Kis teljesítményeknél a tápegység veszteségei ugyan abszolút értékben kicsik, de a segédáramkörök alapfogyasztását nem lehet elkerülni, ezért itt esik a hatásfok. A tartomány középső részén a hatásfok maximális, majd nagy fogyasztásnál a hatásfok újra csökken, mert a veszteségek körülbelül négyzetesen arányosak a terhelési árammal a kapcsolótranszisztorokban is, meg a tekercselt alkatrészekben is.



3-10 ábra: A hatásfok jellemző változása a kimeneti teljesítmény függvényében.

A tápegység működési hőmérséklet tartományát az az alkatrész határozza meg, amely a legszűkebb tartományban tud üzemelni. A vezérlő integrált áramkörök a szokásos kereskedelmi- ($0...70^{\circ}C$), ipari- ($-40^{\circ}C...+85^{\circ}C$) és katonai ($-55...+125^{\circ}C$)

hőmérséklet tartományra készülnek. A passzív alkatrészeknél általában nem gond az alacsony hőmérséklet, a legmagasabb üzemi hőmérséklet viszont rendszerint 100°C körüli érték, elsősorban a szigetelőanyagok miatt, de a rézveszteségek miatt is, mivel a hőmérséklet növelésével növekszik a tekercsek ellenállása. A tekercsmagok anyagának mágneses jellemzői (például a telítési indukció, B_{sat}) is romlanak magas hőmérsékleten. A méretezésnél általában úgy tekintik, hogy a 100°C -os határt a tekercselt alkatrészek $40...50^{\circ}\text{C}$ környezeti hőmérséklet mellett fogják elérni, így ez az érték lesz a tápegység maximális üzemi hőmérséklete.

A teljesítmény félvezetőknél szintén általában nem gond az alacsony hőmérséklet (esetleg egyes alkatrészeknél nehezebbé válik a bekapcsolás), viszont a tokozás maximális hőmérséklete általában $80...100^{\circ}\text{C}$ lehet ahhoz, hogy a félvezető lapka ne melegedjen túl. A tervező feladata, hogy a hűtést úgy méretezze, hogy a hűtőn keresztül a félvezető le tudja adni a fejlődő hőt a $40...50^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű levegőnek. Így a félvezetők szempontjából is hasonló lesz a maximális üzemi hőmérséklet, mint a passzív alkatrészeket tekintve.

A tápegység üzemi hőmérséklet tartományát lényegesen befolyásolja a veszteségek nagysága mellett a hűtés módja is. A legegyszerűbb eset, ha a keletkező hőt az alkatrész a hűtő közeg természetes keringésével adja le. Sajnos ez rendszerint a hűtőfelületek nagyobb túlméretezését követeli meg. Gazdaságos megoldásnak számít, ha ventilátorral segítjük a keringést: így a félvezetők hűtőfelületei lényegesen csökkenthetők, a tekercselt alkatrészek nagyobb teljesítményt képesek átvinni. Sajnos ventilátor alkalmazása rontja a megbízhatóságot. Számítani kell arra, hogy a ventilátor megállhat, erre az esetre megfelelő hővédelmet kell beépíteni. A legintenzívebb hűtést folyékony közeg keringetésével érjük el a nagyobb fajhőnek köszönhetően. Ezt csak a legnagyobb teljesítményű készülékeknél szokták alkalmazni.

Mint más elektronikai készülékeknél, a tápegységeknél is el kell érni, hogy legalább néhány évig kifogástalanul működjenek. A tápegységekben a félvezetők meghibásodásait véletlenszerű túlterhelések okozzák, ez ellen megfelelő túlméretezéssel és védőalkatrészekkel védekezünk. A tekercselt alkatrészeknél a szigetelőanyagok élettartama a korlátozó tényező. Az elektrolitkondenzátorok kiszáradásra hajlamosak: náluk az élettartamot (adott hőmérsékleten) üzemórákban szokták megadni. Végeredményben a tápegység megbízhatóságát a várható élettartammal (*mean time between failure – MTBF*) szokták definiálni.

A tápegységek keltette elektromágneses zavarokra vonatkozóan kötelező érvényű nemzeti és nemzetközi szabványok léteznek. A zavarokra és a zavorszűrésre a 9. részben térünk ki.

Az akusztikus zavarok a tekercselt alkatrészekre jellemző magnetosztatikus jelenségek következménye: tekercsek és tekercsmagok az áram ütemében változtatják helyzetüket és méreteiket. Ezek a változások ugyan kicsik, de a környező levegő mozgásba jön, hang (akusztikus zavar, füttyülés) keletkezik. Az akusztikus zavarok elkerülése végett a működési frekvenciát rendszerint úgy választják meg, hogy a hallható tartomány felett legyen (nagyobb, mint 20kHz). A műgyantával történő beöntés is jelentősen fojtja a hangokat. Az akusztikus zavarokra általában nincsenek szélesebb körben kötelező szabványok, hanem a felhasználó elvárásaihoz kell igazodni.

3.2.3 Védelmek

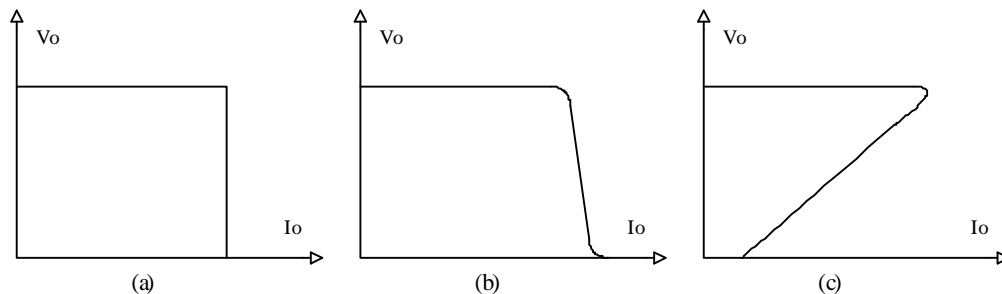
A kapcsolóüzemű tápokot megfelelő módon kell védeni a különböző túlterhelésektől. Elsősorban a kapcsolókon jelentkező túláramok és túlfeszültségek veszélyesek. Átmeneti állapotban (indulás, leállítás) túlterhelések jelentkezhetnek a kimenet túlterhelése illetve terhelése nélkül is, tehát védelemre minden esetben szükség van. Az átmeneti állapotban a túláramok általában a transzformátorok és a tekercsek telítődése miatt lépnek fel, de a nagy kapacitású kimeneti kondenzátorok kezdeti töltődése miatt is megfuthat az áram.

A védelmek megvalósítása elsősorban a vezérlőegység feladata. Az árambecsatolásos modulátor (8.1.1 szakasz) eleve túláram-védelmet is biztosít a kapcsolótranzisztor számára. A közös feszültségszabályozós módszernél ezt a védelmet egy külön áramkörrel kell biztosítani. Ez az áramkör az áramjelet egy alapjellel hasonlítja össze és túláram esetén kikapcsolja a kapcsolótranzisztort.

Az áramfigyelésre kis ellenállásértékű ellenállás (*shunt*), áramtranszformátor vagy *Hall* szonda áll rendelkezésünkre. Kis ellenállásértéket választva áramfigyelőnek kicsi lesz az előállított jel, növekszik a zavarérzékenység. Nagyobb érték választásának a veszteségek szabnak határt. Az áramtranszformátor drágább, de kevesebb zavarral működik és a kapott jel nagysága ízlés szerint beállítható a tekercsek menetszámával. Hátránya, hogy egyenáramot nem tud átvinni. A *Hall* szonda a legdrágább megoldás, a reakcióideje nem elhanyagolható, de alkalmas egyenáram figyelésére is.

Fontos megjegyezni, hogy a védőáramkört úgy kell megszerkeszteni, hogy a kikapcsolás végérvényes legyen az adott periódusra nézve. Ellenkező esetben a kikapcsolást követően, amint az áram csökkenni kezd, a kapcsoló újra bekapcsol, majd újra kikapcsol stb. Így magasfrekvenciás oszcillációk jelentkeznek a kapcsolótranzisztor vezérlésében, ami nagy kapcsolási veszteségekkel jár és további veszélyt jelent a tranzisztor számára. Az oszcillációk elkerülésére egy flip-flop-ot szoktak beiktatni a PWM komparátor utáni ágba az integrált vezérlőegységekben (8.1.1 szakasz).

Az áramfigyelés módjától és a vezérlőegység szerkezetétől függően a tápegységek kimeneti jelleggörbéi különbözők lehetnek. A túlterhelés esetén állandó áramot adó tápegység jelleggörbéjét a 3-11a ábrán láthatjuk. Egyes esetekben a túlterhelés esetén az áram bizonyos mértékig tovább nő (3-11b ábra). Ez az eset akkor jellemző, ha nem közvetlenül a kimeneti áramot figyeljük, hanem az átalakító transzformátorának priméráramát.

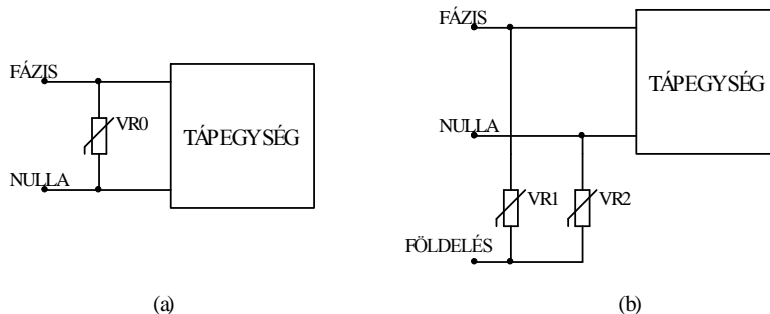


3-11 ábra: Tápegységek kimeneti jelleggörbéi: áramkorlátozás állandó áramra (a), áramkorlátozás enyhén növekvő árammal, (c) visszahajló jelleggörbe.

Hatékonyabb védelemnek számít, ha túlterhelés esetén az áram csökken, így kapjuk a 3-11c ábrán bemutatott visszahajló (*foldback*) jelleggörbét. Egyes vezérlőáramkörök a túlterhelést követően hosszabb időre (nem csak az adott periódusra) letiltják a kapcsolótranszisztorokat, így bizonyos rángatózó üzemmód alakul ki. A visszahajló jellegű kimenet és a rángatózó üzemmód jól védik a tápegységet, de megtörténhet, hogy zavar hatására a tápegység elkezd korlátozni a kimeneti áramot és nem képes visszaadni a feszültségszabályzásra.

Az esetleges meghibásodásokból eredő túláramok ellen a tápegységek bemenetét biztosítókkal kell védeni. Rendszerint olvadóbiztosítékot alkalmaznak, de más megoldások is forgalomban vannak (7.1.8 szakasz). A biztosítékok nem elég gyorsak ahhoz, hogy megvédjék a félvezető alkatrészeket a túláramoktól, a passzív alkatrészek és az elektromechanikai alkatrészek védelmét viszont jól ellátják. Ha a tápegység kimenetére is energiaforrás (például akkumulátor) csatlakozik, akkor a kimenő ágba is biztosítékot kell építeni.

A túláramok mellett a tápegységeket védeni kell a túlfeszültségektől is. A bementi túlfeszültségek az energiaforrásból erednek. Korlátozásuk varisztorokkal, TVS diódákkal és nemesgáz töltésű túlfeszültség-levezető csövekkel történhet (7.1.6 szakasz). Ezeket az alkatrészeket a tápvonalak közé illetve a tápvonalak és a földvezeték közé iktatják be (3-12 ábra), vagy mindkét helyre. A feszültség korlátozás akkor hatékony, ha a védő alkatrész előtt a tápvonalban van valamennyi ellenállás (maga a tápvonal ellenállása, az áramlökést korlátozó NTC ellenállás, a zavarszűrő tekercs ellenállása stb.)

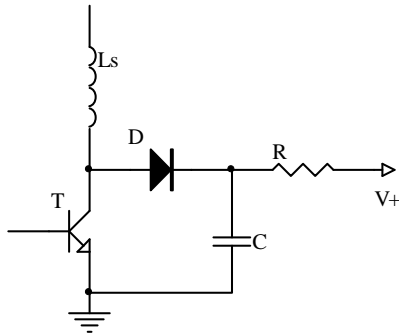


3-12 ábra: Túlfeszültség korlátozás a tápegységek bemenén: (a) a tápvonalak között, (b) a tápvonalak és a földvezeték között.

A kapcsolótranszisztorokon jelentkező túlfeszültségeket némileg korlátozhatják a kapcsolást könnyítő áramkörök (2.5 fejezet). Ha ez nem elegendő, akkor az induktív terhelés kapcsolásából eredő túlfeszültségeket a 3-13 ábrán bemutatott feszültségkorlátozó kapcsolással mérsékelhetjük. A kapcsoló kikapcsolásakor a felesleges energia a diódán keresztül a kondenzátorba kerül, majd lassan kiürül az ellenálláson keresztül. Az ellenállást rendszerint nem a földpont felé kötjük, mert úgy túl nagy veszteségeket kapnánk.

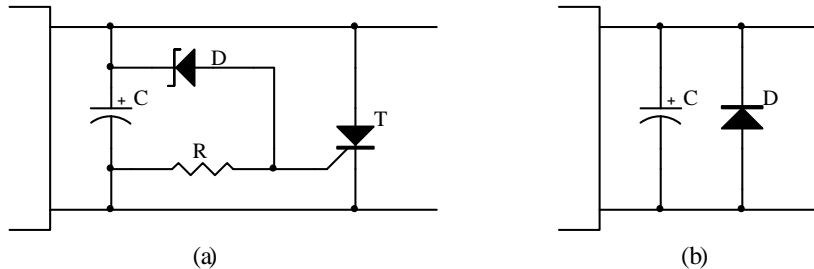
Esetenként a tápegység kimenetét is védeni kell a nemkívánatos feszültségektől. Kimeneti túlfeszültségek a szabályozókör téves működéséből adódhatnak. Ha érzékeny fogyasztó táplálását végezzük, meg kell oldani, hogy a feszültség ne futhasson meg. Ezt rendszerint a 3-14a ábrán bemutatott tirisztoros kapcsolással (*crowbar*) oldják meg. Túlfeszültség esetén bekapcsol a tirisztor és rövidre zárja a kimenetet. Természetesen a tápegységet úgy kell megépíteni, hogy el tudja viselni a rövidzárat. A szabályozókör megépítésénél arra is vigyázni kell (8. rész), hogy induláskor vagy más átmeneti

állapotok esetén ne jelentkezzen olyan túlfeszültség, amely beindítja a *crowbar* védelmet.



3-13 ábra: RCD feszültségkorlátozó kapcsolótranszisztorra alkalmazva.

A tápegység kimenetén két okból szokott inverz feszültség megjelenni: a fogyasztó jellege miatt (például akkumulátor tévesen bekötve) vagy a tápegység belső szerkezete miatt. Ez utóbbi a *Cuk* átalakító jellemzője: bekapcsoláskor az energiát átvivő kondenzátor töltődése közben a kimenet fordított polaritású. Az inverz feszültség vágását egy, a kimenettel párhuzamosan kötött diódával végezzük (3-14b ábra). *Schottky* diódát alkalmazva a vágás alacsonyabb feszültségen történik meg.



3-14 ábra: A kimenet védelme a nemkívánatos feszültségektől: (a) túlfeszültség védelem (*crowbar*), (b) inverz feszültség elleni védelem.

3.3 Szünetmentes tápegységek

Azon berendezéseknél, ahol nem megengedhető, hogy a működést a tápfeszültség kimaradása akadályozza (orvosi műszerek, számítógépek stb.) elkerülhetetlen, hogy szünetmentes tápot (*uninterruptible power supply - UPS*) alkalmazunk. Ez egy olyan tápegység, mely a hálózati feszültség kimaradása esetén alternatív energiaforrásból szolgáltat tápfeszültséget a fogyasztó számára.

Nincs szükség minden esetben szünetmentes táp alkalmazására. Ha kisebb szabálytalanságok jelentkeznek a hálózati táplálásban, azokat egyszerűbb módszerekkel kezeljük. Először ezekre a szabálytalanságokra és a kezelésükre térünk ki.

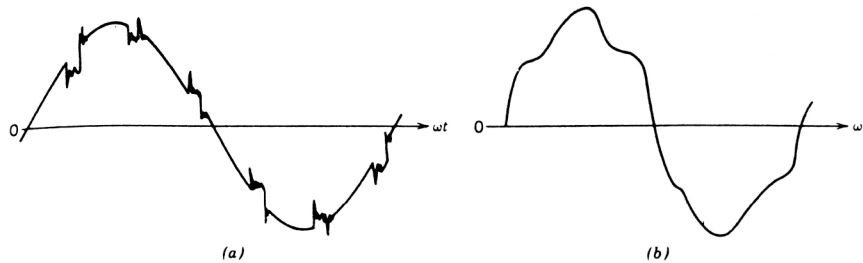
3.3.1 Szabálytalanságok a hálózati táplálásban

Ideális esetben a hálózati tápfeszültségnek tökéletes szinuszhullámnak kellene lennie, mindenféle felharmónikus nélkül, melynek névleges frekvenciája 50 Hz névleges effektív értéke pedig 230 V (egyes országok szabványai ettől eltérő értékeket követelnek

meg). A háromfázisú rendszereknél ez mellett szükséges, hogy a fázisok közötti szögeltérés 120° legyen. A fogyasztókat úgy tervezik, hogy ezek a feltételek mellett hibátlanul működjenek, a feszültség torzulásai esetén viszont a működés nem garantált.

A gyakorlatban különféle szabálytalanságok vannak jelen:

- túlfeszültség,
- alacsony feszültség,
- feszültségkiesés,
- feszültségcsúcsok,
- ugrások a feszültség jelalakjában (3-15a ábra),
- felharmónikusok (3-15b ábra),
- *EMI* – elektromágneses interferencia (zavarok).



3-15 ábra: Lehetséges torzulások a tápfeszültségben: feszültségugrások (a) és felharmónikusok (b).

A szabálytalanságok forrásai nagyon különbözőek. A túlfeszültséget okozhatja a hálózat leterheltségének csökkenése, ezzel szemben az alacsony feszültséget a terhelés megnövekedése.

A feszültségcsúcsokat általában teljesítménytényező javítására szolgáló kondenzátorok ki-be kapcsolása okozza. Az ugrásokat okozhatják pl. *AC-DC* tirisztoros átalakítók.

A felharmónikusok forrása lehet a transzformátorok vasmagjainak mágneses telítődése, de a nemlineáris terhelések is hasonló torzulásokat okoznak.

A teljesítményelektronikai berendezésekre jellemző a kapcsolók gyors ki-be kapcsolása, ez elektromágneses zavarokat (*EMI*) okozhat a hálózatban.

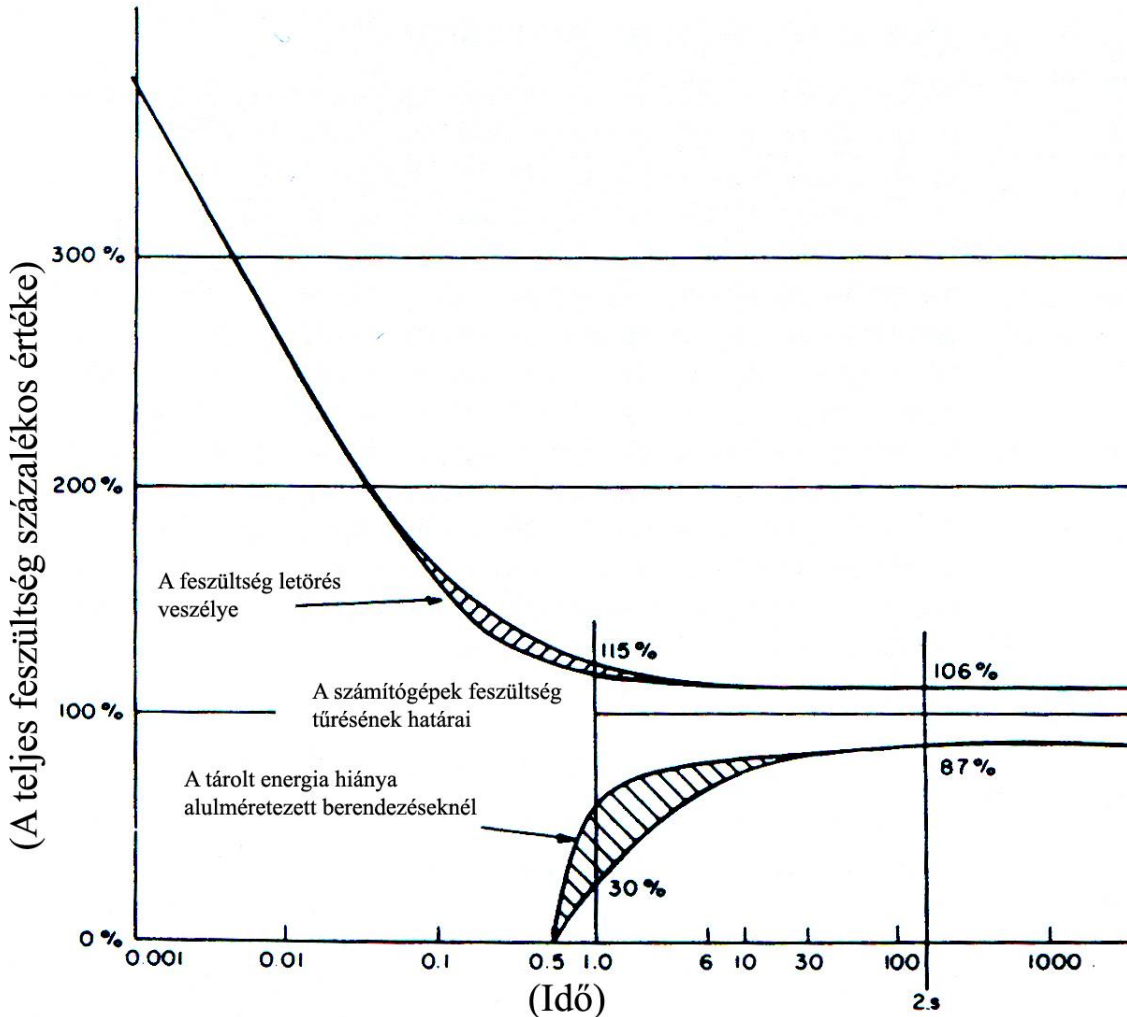
A tápfeszültségben jelentkező szabálytalanságok nem okozzák minden alkalommal a fogyasztók téves működését. A torzulások kifejezésre jutása függ:

- a torzulások típusától és mértékétől,
- a berendezés típusától és a tervezés milyenségétől,
- esetleges feszültségkorrigáló berendezés használatától.

A hosszantartó túlfeszültségek és alacsony feszültségek illetve kiesések az érzékeny berendezések kiesését okozhatják, ami sok esetben messzemenően nem kívánatos. A kiesés általában közvetett úton jön létre: pl. túlmelegszik a készülék, vagy reagál a beépített feszültség-ellenőrzés, de történhet közvetlenül a bemeneti energia hiánya miatt is.

A nagy feszültségcsúcsok hardveresen károsíthatják a készülékeket. A gyártók ezért rendszerint védőelemeket alkalmaznak az érzékeny berendezésekben, mint pl. varisztort, vagy más túlfeszültség levezető eszközt. Ha ezek a feszültségcsúcsok nagyok és gyakrabban jelentkeznek, a védelmek ellenére is károsodást okozhatnak.

A tápfeszültségben jelentkező torzulások hatása függ a hibajelenség időtartamától valamint a táplált berendezés érzékenységtől. Minden készülékre meghatározható bizonyos tűrési zóna, amelyen belül a működés garantált. A 3-16 ábra a különböző számítógépes berendezések jellemző tűrését mutatja a feszültséghibákkal szemben (%-ban kifejezve). Látható, hogy félperiódusnyi időre a tápfeszültség teljesen megszűnhet, anélkül, hogy az fennakadást jelentene a működésben. Ha a kiesés nem teljes, csak jelentős feszültségcsökkenésről van szó, a türelmi idő több periódus is lehet.



3-16 ábra: Számítógépes berendezések tipikus feszültségtűrése.

A rövid ideig tartó túlfeszültségeket (akár a névleges érték 2-3-szorosáig is) a feszültséglevezető eszközök alkalmazásának köszönhetően a számítógépes berendezések jól elviselik. A ms időtartamú túlfeszültségek viszont már 50%-os értéknél is a félvezető eszközök letöréséhez és meghibásodásához vezethetnek.

A 3-16 ábrán megadott határokon túl várható a berendezés kiesése. Ha a kiesés nem megengedett (fontos adatok feldolgozása, egészségügyi alkalmazások) az energiát a kívánt minőségben szünetmentes tápok (UPS) segítségével alternatív energiaforrásból kell biztosítani.

A helyzet súlyosságától függően vagy valamilyen egyszerű feszültségkorrigáló módszerhez folyamodunk, vagy UPS alkalmazása mellett döntünk.

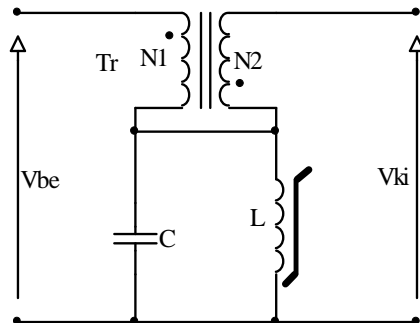
3.3.2 A szabálytalanságok korrigálása

A különböző feszültségkorrigáló berendezések alkalmasak egyes vagy valamennyi zavaró jelenség kiszűrésére, természetesen nem védenek a hálózati kieséstől és a frekvencia eltérésektől. Ilyen eszközök a következők:

- a varisztorok (7.2.6 szakasz): védelmet nyújtanak a feszültségcsúcsok ellen,
- az *EMI* szűrők (9. rész): csökkentik a rádiófrekvenciás zavarok bejutását a hálózatból a készülékbe és viszont,
- az elválasztó transzformátorok: a hálózattól való elszigetelésen kívül leszűrik a feszültségcsúcsok nagy részét is,
- a ferreazonáns feszültségstabilizátorok: a túlfeszültségek és az alacsony feszültségek korrigálására energiatároló tekercseket és kondenzátorokat alkalmaznak; ezek egyidőben szűrőhatást fejtenek ki a felharmónikusokkal és a rádiófrekvenciás zavarokkal szemben is,
- autotranszformátoros feszültségkorrektorok: transzformátorok kivezetéseit kapcsolgatva változtatják a kimeneti feszültséget,
- lineáris tápegységek: „tisztá” (zavarmentes) feszültséget állítanak elő érzékeny készülékek táplálására.

A tartós jellegű túl magas vagy túl alacsony feszültségek korrigálását ferreazonáns feszültségstabilizátorokkal vagy autotranszformátoros feszültségkorrektorral végezzük. A ferreazonáns megoldás általában szűkebb tartományban történő szabályzásnál racionális, míg az autotranszformátoros korrektor elvileg építhető széles tartományra is, habár itt is emelkednek a költségek a tartomány szélesítésekor..

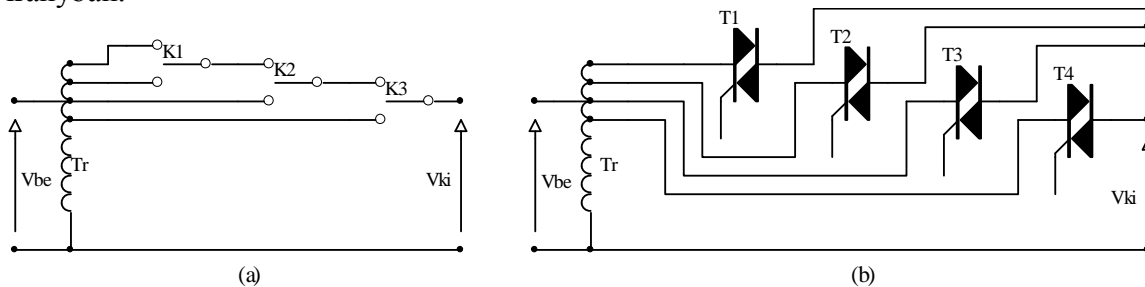
A ferreazonáns feszültségszabályozó lineáris üzemben és telítésben működő mágneses alkatrészeket (transzformátor, fojtótekercs) alkalmaz. Egy lehetséges megoldást a 3-17 ábrán mutatunk be. Itt a transzformátor a bemeneti feszültséghez képest egy kisebb feszültségre van méretezve, s a működési tartományban nem jön létre telítés. A fojtótekercs viszont úgy van méretezve, hogy már a szabályozási tartomány aljától kezdve telítésben üzemel.



3-17 ábra: Ferrerazonáns feszültségszabályzó.

Ha a bemeneti feszültség meghaladja a tekercs telítési feszültségét, a tekercs feszültsége alig emelkedik tovább, a transzformátor primérjére viszont mind nagyobb feszültség jut. A transzformátor szekundérje úgy van bekötve, hogy a feszültsége kivonódik a fojtótekercs feszültségéből. A telítési jelleggörbe megfelelő beállításával és a transzformátor áttételi számának megválasztásával elérhető, hogy a kimeneti feszültség alig változik. A tekercssel párhuzamosan kötött kondenzátor a tekercs feszültségét igyekszik szinusz alakra hozni, ugyanis a telítés következtében a feszültség (kondenzátor nélkül) nagyjából négyzet alakú.

Az autotranszformátoros korrektornál a transzformátoron több leágazást kell kiképezni a bemeneti vagy a kimeneti oldalon, ezek váltogatásával a kimeneti feszültség fokozatokban állítható. A leágazások kapcsolása történhet elektromechanikus kapcsolóelemekkel (relé) (3-18a ábra) vagy triakkal (tirisztorpárok) (3-18b ábra). A leágazások helyétől függően a feszültségkorrigálás történhet felfelé, lefelé vagy mindkét irányban.

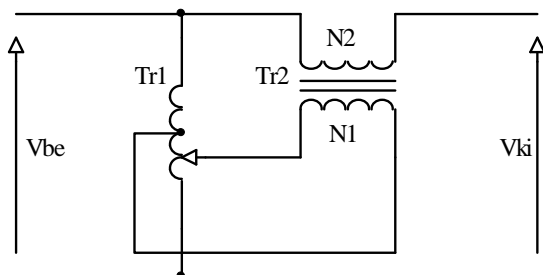


3-18 ábra: Feszültségkorrektorok: (a) relés kivitel, (b) triakos kivitel.

Minden esetben szigorúan ügyelni kell arra, hogy ne keletkezzen rövidzárlat a transzformátor kettő vagy több kivezetése között, mert ez a kapcsolók meghibásodásához vezet. A bemutatott relés megoldásnál az érintkezők úgy vannak bekötve, hogy téves vezérlés esetén sem történhet zárlat. A triakos megoldásnál a zárlat elkerülése végett csak akkor kapcsolható be adott triak, ha meggyőződünk róla, hogy másik triak nincs vezetési állapotban.

Az autotranszformátoros megoldás tovább kombinálható egy közös transzformátorral (3-19 ábra). A megadott kötés szerint az autotranszformátor segítségével a közös transzformátor primérjére változó amplitúdójú és fázisú feszültséget vezetünk (a középleágazás és a csúszka feszültségének különbsége). A közös transzformátor szekundérfeszültsége hozzáadódik vagy kivonódik a fázisfeszültséghez, így azt a kívánt irányban és mértékben tudjuk módosítani.

Az ábrán a szabályzást nem autotranszformátor kivezetéseinek kapcsolgatásával végezzük, hanem forgótranszformátor csúszkájának elmozdításával. Ez a megoldás fokozatmentes szabályzást tesz lehetővé. Az alkalmazások többségében a csúszkát megfelelő szabályzóval működtetett motor mozgatja. Értelemszerűen forgótranszformátor használható a 3-18 ábrán megadott kapcsolások helyett is, de lényegesen drágább és alacsonyabb megbízhatóságú megoldásnak számít.



3-19 ábra: Kétranszformátoros feszültségkorrektor.

Számításokkal igazolható, hogy a kétranszformátoros feszültségkorrektor (akár autotranszformátorral, akár forgótranszformátorral) kisebb anyagigényű, mint az egytranszformátoros, elsősorban azért, mert a szabályozó rész kisebb áramokkal működik.

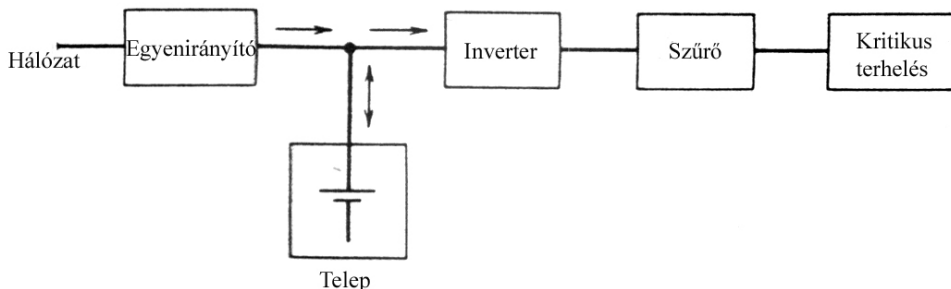
3.3.3 Szünetmentes tápok felépítése

A szünetmentes tápok az érzékeny készülékek folyamatos táplálását biztosítják rövidebb-hosszabb feszültségkiesések esetén. A táp elvi tömbvázlata a 3-20 ábrán látható.

Az egyenirányító szerepe, hogy az egy- vagy háromfázisú váltófeszültséget egyenfeszültséggé alakítsa, amely ezután az invertert (váltóirányító) táplálja, és az akkumulátort tölti illetve töltött állapotban tartja.

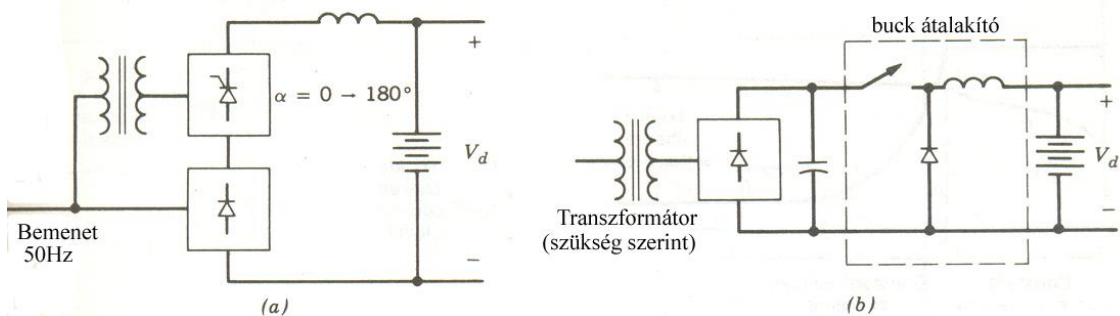
Normális esetben az egyenirányító biztosítja az inverter táplálását. Áramkimaradáskor a tápforrás szerepét az akkumulátor veszi át.

Az inverter egy fázisú vagy háromfázisú szinuszos feszültséget hoz létre a szünetmentes táp konstrukciójától függően. Az inverter kimeneti feszültsége rendszerint szűrőn keresztül kapcsolódik a fogyasztóhoz.



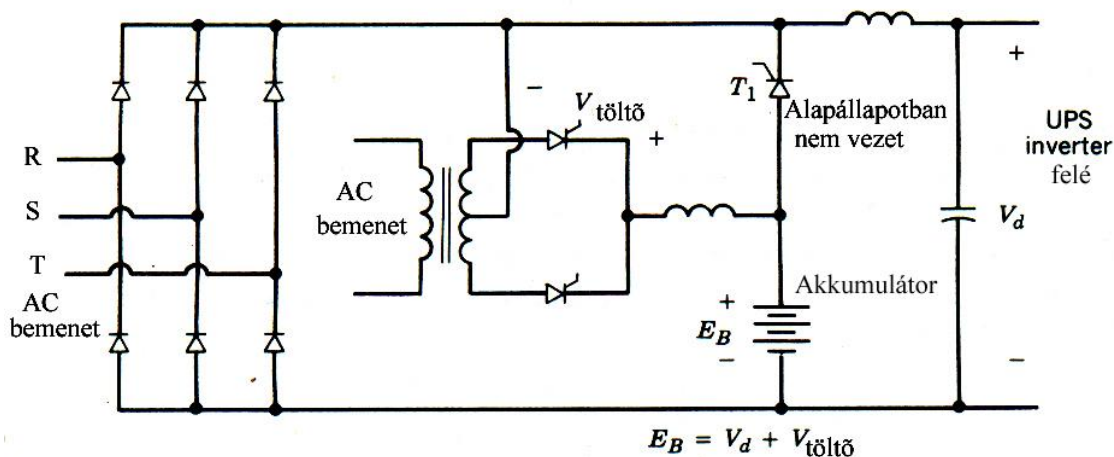
3-20 ábra: Az UPS tömbvázlata.

Az egyenirányító egység megvalósítására különböző megoldásokat alkalmaznak. A 3-21 ábra két elvi rajtot ad meg: fázishasításos egyenirányító (2.1.2 szakasz) kapcsolást (3-21a ábra) illetőleg *buck* átalakítós (2.2.2 szakasz) megoldást, melynek bemenetét egy diódahíd táplálja (3-21b ábra). Ha szükséges az egyenirányító kimenetének elszigetelése a bemenettől, a *buck* átalakító helyett alkalmazható *DC-DC* átalakító magasfrekvenciás elválasztó transzformátorral (2.2.10 szakasz).



3-21 ábra: Lehetséges egyenirányító kapcsolások szünetmentes táphoz: tirisztoros egyenirányító kapcsolat (a) és közösleges egyenirányító buck átalakítóval (b).

Nem kötelező ugyanabból az egyenirányítóból táplálni az invertert és tölteni az akkumulátort. A 3-22 ábra egy olyan esetet mutat be, ahol az akkumulátor feszültsége töltés közben nagyobb, mint az invertert tápláló egyenirányító kimeneti feszültsége. A hiányzó feszültséget egy kisebb teljesítményű, egyfázisú, tirisztoros egyenirányító biztosítja, általa oldjuk meg a töltés szabályzását is. Így oldható meg, hogy az inverter a hálózat jelenléte mellett és nélküle is nagyjából ugyanazon a bemeneti feszültségen üzemeljen. A T_1 tirisztort a hálózat kiesésekor kapcsoljuk be.



3-22 ábra: Egyenirányító különálló akkumulátortöltő áramkörrel.

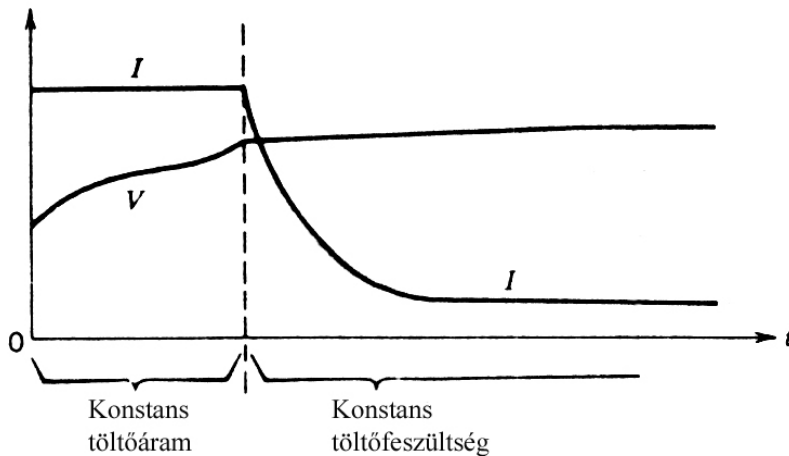
Az egyszerű egyenirányítók nemlineáris terhelést jelentenek a táphálózatnak. Mivel nagyobb teljesítményekről van szó, kívánatos a teljesítménytényező javítása és a bemeneti áram szinuszosá tétele. Ezzel kapcsolatban az 5.4.1 szakaszban olvashatunk bővebben.

Az itt vázolt szabványos UPS megoldásokon kívül léteznek olyan berendezések (tartalék tápok), amelyeknél a váltóirányító csak a hálózat kimaradása esetén indul be és veszi át a fogyasztó táplálását, egyébként a fogyasztót a városi hálózatról tápláljuk. Általában ezek a berendezések is szünetmentes táp név alatt kerülnek forgalomba, habár bizonyos szünet jelentkezik a táplálásban, amikor a fogyasztót át kell kapcsolni az inverterre és viszont. Az átkapcsolás történhet relével vagy tirisztorpárral. Mivel az átkapcsolás megoldható $10-20\text{ ms}$ -on belül, és sok fogyasztó ekkora szünetet nem érzékel, eredménnyel alkalmazhatók ezek a berendezések.

Az egyszerűsített megoldás anyagi költségei jóval kisebbek, ugyanis a névleges teljesítményre méretezett egyenirányítóra nincs szükség, csak egy kis teljesítményű akkumulátortöltő szükséges a bemeneti oldalon. A váltóirányítónál is különböző minimalizációk végezhetők (elsősorban a hűtésnél és a transzformátor méretezésénél), mivel csak rövid ideig tartó üzemre kell számítani. Az inverter működési idejét ezeknél a berendezéseknél az akkumulátor kapacitása rendszerint néhány percre korlátozza.

Az egyenirányító után a szünetmentes tápok következő lényeges eleme az akkumulátor. Több akkumulátorfajta ismeretes. Az *UPS*-eknél általában ólomakkumulátort alkalmazunk a kedvező ár és az egyszerű töltési eljárás miatt.

Minden feltöltött akkumulátorra jellemző az önkisülés. Ez egy idő után az akkumulátor kiürüléséhez vezetne, ezért, amikor a tápfeszültség jelen van, biztosítani kell egy kis töltőáramot, amely az akkumulátort feltöltve tartja (csepptöltés). Az akkumulátor kapacitását úgy választják meg, hogy a kívánt ideig képes legyen az inverter táplálására. Az akkumulátor töltése hálózatkiesés után az *IV* módszer szerint történik (3-23 ábra), először állandó árammal, majd, a csepptöltéshez szükséges feszültség elérésekor, állandó feszültséggel.



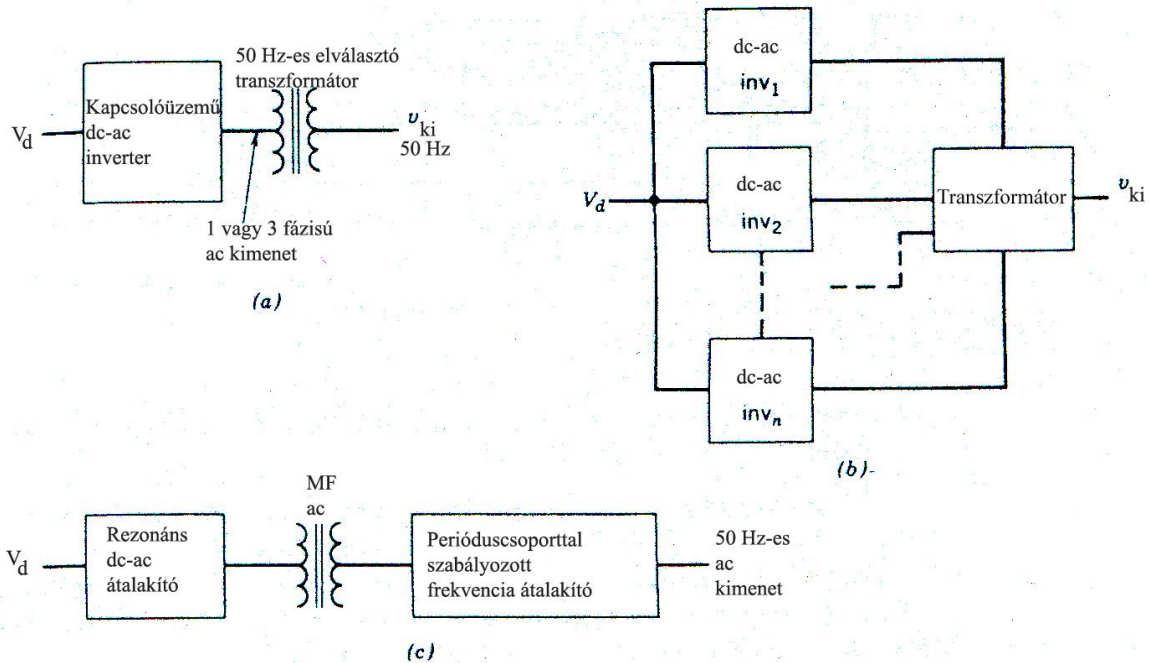
3-23 ábra: *IV* módszer áram- és feszültségdiagramja.

Az inverter kimenete olyan jelet kell, hogy előállítson, amely minél kevesebb felharmónikust tartalmaz, még nemlineáris terhelés esetén is. Az inverter kimeneti jelalakját a megfelelő szabályozókörnek folyamatosan ellenőriznie kell. A korszerű *UPS*-ek általában *PWM* üzemű *DC-AC* átalakítót használnak, ezzel szükség szerint egy- vagy háromfázisú szinuszfeszültség állítható elő (3-24a ábra). Ha szükséges az egyenáramú köztes kör elszigetelése a kimenettől, azt az inverter kimenetére kötött, hálózati frekvencián működő transzformátorral tehetjük meg.

A fogyasztók többsége négyszögfeszültséggel is gond nélkül üzemelhet. Elsősorban a kisebb teljesítményű *UPS*-eknél szoktak négyszöginvertert alkalmazni az egyszerűbb vezérlés és a kisebb veszteségek végett. Ha szükséges, hogy egyidőben a négyszögfeszültség effektív értéke és a csúcserőértéke is megegyezzen a hálózati szinuszfeszültség megfelelő értékeivel, ez feszültségkioltásos inverterrel érhető el. Hasonlóképpen, az egyszerűsítést célozza a push-pull váltóirányító (2.3.3 szakasz) alkalmazása a hídkapcsolás helyett.

Nagyteljesítményű *UPS*-eknél használnak két vagy több, transzformátorokon keresztül párhuzamosan kötött invertert (3-24b ábra). A transzformátorok megfelelő kötésével bizonyos felharmónikusok megszüntethetők, így viszonylag kis kapcsolási frekvencia mellett is jó eredmények érhetők el.

Egy másik megoldás szerint (3-24c ábra) az inverter bemenetén egy rezonáns *DC-AC* átalakítót használnak, melyet egy magasfrekvenciás transzformátorral választanak el a perióduscsoporttal szabályozott frekvencia átalakítótól (2.6.5 szakasz).

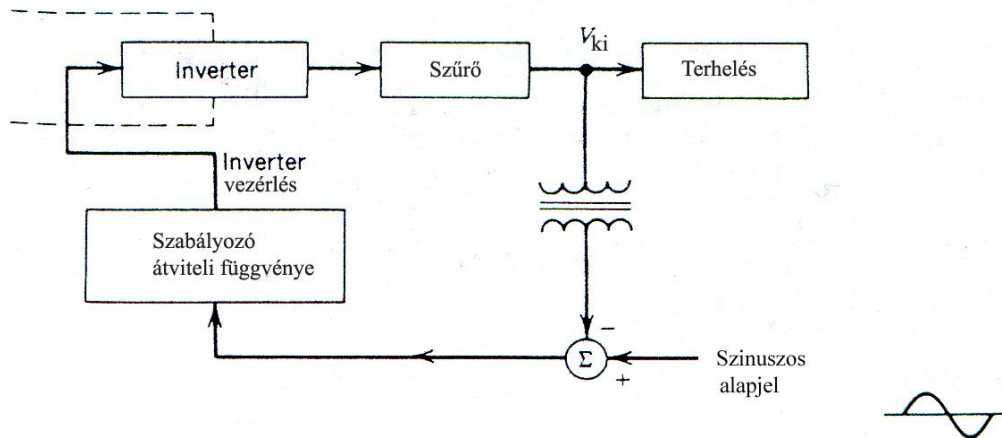


3-24 ábra: Különböző inverterek *UPS*-hez: PWM üzemű *DC-AC* átalakítóval (a), párhuzamosan kötött inverterekkel (b), magasfrekvenciás köztes körű, perióduscsoporttal szabályozott inverterrel (c).

Mint már említettük, nagyon fontos, hogy minimalizáljuk a felharmónikusokat az inverter kimenetén. Ez nemcsak a szűrő méreteit csökkenti, hanem a vele kapcsolatos költségeket is, ugyanakkor lehetővé teszi, hogy az *UPS* gyorsan reagáljon a terhelésváltozásokra.

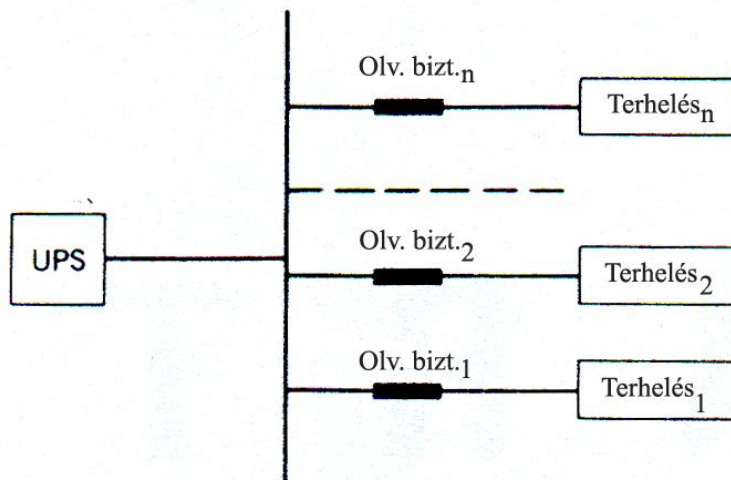
Visszacsatoló áramkörrel a kimeneti jelet összehasonlítjuk a szinuszos alapjellel (3-25 ábra). Az így képzett hibajelet használjuk fel az inverter vezérlésének módosítására. A jó dinamikus jellemzők megvalósításához a visszacsatoló ágnak minél gyorsabbnak kell lennie. Természetesen ügyelni kell arra, hogy a vezérlés ne hagy beoszcilláljon, mert az a kimeneti feszültség erős torzulásához vezetne.

Léteznek *UPS*-ekben alkalmazott inverterek a fent leírt gyors visszacsatolás nélkül is: ezeknél a moduláció egy perióduson belül előre definiált ütemben történik. Időközben mérjük a kimeneti feszültség effektív értékét, és szükség szerint módosítjuk a moduláció ütemét a következő periódusra.



3-25 ábra: Az UPS vezérlése.

Néhány kilowatt felett az UPS-ek általában több fogyasztót táplálnak párhuzamos kötésben. Mint ahogy az a 3-26 ábrából látható, mindegyik terhelés egy különleges olvadóbiztosítékon keresztül van táplálva. Ezek a biztosítékok az UPS védelmét szolgálják a tartós túlterhelés ellen, ha a fogyasztó meghibásodáskor zárlatot okoz. Az invertert úgy kell méretezni, hogy zárlat esetén a biztosíték elég áramot kapjon a kiegészéshez. Így a zárlat hatása gyorsan megszűnik és a többi fogyasztó újra feszültség alá kerül.



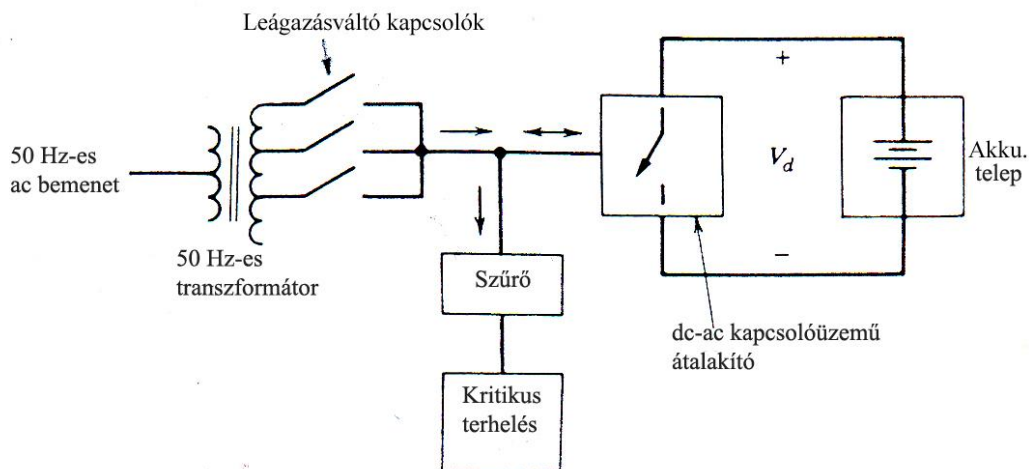
3-26 ábra: Az UPS bekötése több fogyasztó esetén.

A teljesítményelektronikai megoldások mellett léteznek villamos forgógépekkel megvalósított UPS-ek is. Ezeknél a köztes körű egyenfeszültség egyenáramú motort hajt, az pedig egy váltóáramú generátort forgat. A nagy tehetetlenségnek köszönhetően itt rövidzár esetén jóval nagyobb áram lép fel és a biztosíték kiegészése gyorsan történik. A forgógépes megoldás jól tűri az átmeneti túlterheléseket, ellentétben az elektronikus megoldásokkal. Hátránynak számít a forgógépek zúgása, ez kizárja a lakóépületekben és irodákban történő alkalmazást.

A 3-27 ábra egy alternatív UPS megoldást mutat, ahol az egyenirányító és a váltóirányító funkciót ötvözték. Normális üzemben a kapcsolóüzemű átalakító egyenirányítóként dolgozik és tölti a telepet, a fogyasztó a hálózatról kap táplálást. A

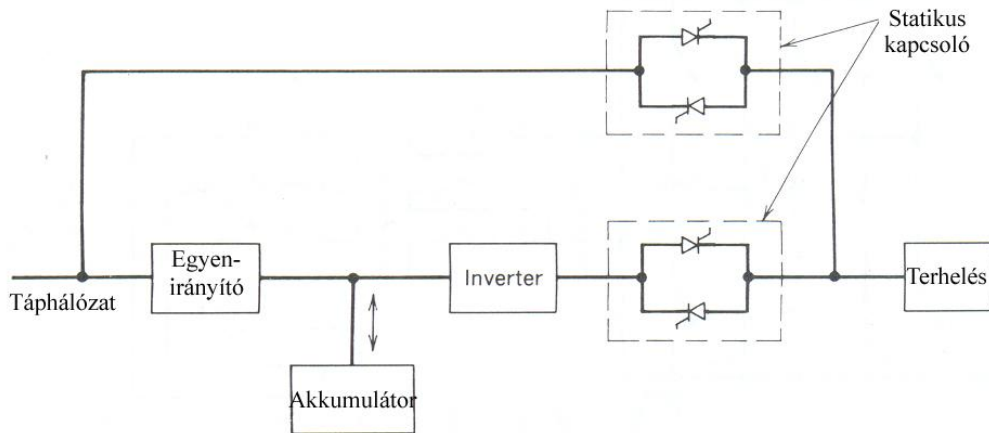
transzformátorkivezetések váltogatásával a fogyasztó feszültsége viszonylag pontos értéken tartható.

A hálózat kimaradása esetén kivezetéseket váltogató kapcsolók egyikét sem kapcsoljuk be, ezzel a fogyasztót elválasztjuk a hálózattól. A továbbiakban a kapcsolóüzemű átalakító inverterként üzemel, az akkutelepből táplálja a fogyasztót.



3-27 ábra: UPS megoldás az akkumulátortöltő és az inverter funkciók ötvözésével.

Az UPS alkalmazásának célja hogy a fogyasztót megbízható módon tápláljuk. Mint minden műszaki berendezés, az UPS is meghibásodhat, ekkor a fogyasztó táplálás nélkül maradhatna. Ilyen esetben célszerű a fogyasztót átmenetileg közvetlenül a hálózatra kapcsolni. Ez történhet kézi kapcsolással, de automatikusan is. Az automatikus kapcsolás rendszerint statikus kapcsolókkal (tirisztorpárokkal) történik, mivel ezek gyorsabbak, mint az elektromágneses kapcsolók. A statikus kapcsolók bekötési módját a 3-28 ábrán láthatjuk.



3-28 ábra: Statikus kapcsolók alkalmazása a fogyasztó nagyobb megbízhatóságú táplálása érdekében.