

## 9 Zavarok, zavaroszűrés és biztonságtechnikai előírások

Ebben a részben olyan témákat vetünk fel, amelyek ismerete nélkül a teljesítményelektronikai berendezések megszerkeszthetők és működtethetők, viszont megeshet, hogy alkalmazásuk nem biztonságos a felhasználó számára, vagy törvénybe ütköző.

### 9.1 Zavarok és zavaroszűrés

A teljesítményelektronikai berendezések a nagy áramok és feszültségek gyors kapcsolásából eredően üzem közben zavarokat hoznak létre. Ezek a zavarok egyrészt a vezérlőegység téves működését eredményezhetik, másrészt kikerülhetnek a környezetbe és más készülékekre gyakorolhatnak nemkívánatos hatást. A zavarok elektromos és mágneses jelek formájában terjednek, ezért a készülékek ilyen fajta kölcsönhatását elektromágneses interferenciának (*EMI – electromagnetic interference*) nevezzük, az együttes működés lehetőségét pedig elektromágneses kompatibilitásnak (*EMC – electromagnetic compatibility*).

Évtizedekre visszamenőleg nemzeti és nemzetközi szabványok léteznek, amelyek a készülékek keltette zavarokat elfogadható értékre korlátozzák. A berendezés tervezőjének feladata, hogy körültekintő munkával a zavarokat a kívánt szint alá szorítsa.

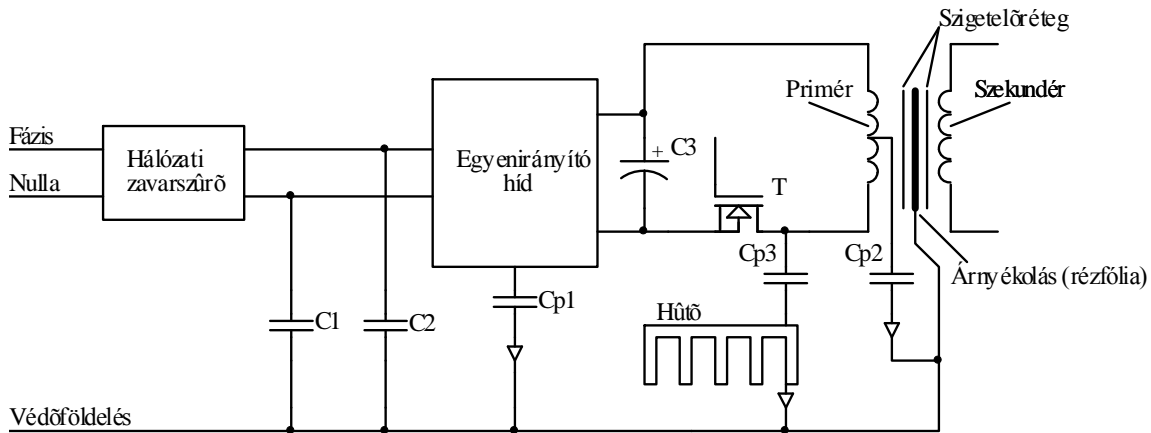
Ebben a fejezetben először a zavarok keletkezését és terjedési módozataikat tanulmányozzuk, hogy a tervezés és a felhasználás során eredményesen felvehessük velük a küzdelmet. Ezt követően a zavarokra vonatkozó kötelező érvényű előírásokat tekintjük át, megemlítjük a témával foglalkozó legfontosabb szervezeteket. A végén a zavaroszűrők szerkesztési és méretezési szabályaira térünk ki.

#### 9.1.1 A zavarok forrásai

A gyors áramváltozások induktív csatolással-, a gyors feszültségváltozások pedig kapacitív csatolással juttatnak zavarjeleket a készülék dobozára, a földelésbe és a tápvezetékekbe. A 9-1 ábrán egy *flyback* átalakító vázlatos rajzát adtuk meg a zavarok keletkezési helyeinek és terjedési útjainak megjelölésével.

A bemeneti egyenirányítón a diódák késlekedő kikapcsolása miatt jelentkeznek túimpulzusszerű csúcsfeszültségek, ezek a  $C_{p1}$  parazita kapacitáson keresztül juttatnak zavaráramot a készülék fémrészeibe (elsősorban a dobozába).

A transzformátor primérje és szekundérje közé elhelyezett árnyékolás (a tekercsektől elszigetelt rézfólia) csak akkor tudja megakadályozni a kapcsolási zavarok átterjedését a szekundérbe, ha a  $C_{p2}$  parazita kapacitáson keresztül belé indukálódott zavaráramot elvezetjük valamilyen állandó potenciálon levő pont felé. Az ábrán az árnyékolást a készülék dobozára kötöttük, ezzel zavaráramokat juttattunk a védőföldelésbe, a  $C_1$  és  $C_2$  szűrőkondenzátorokon keresztül pedig a földelésből tápvonalakba is.  $C_1$  és  $C_2$  a hálózati zavaroszűrő részei, csak itt kiemeltük őket a magyarázat végett.



9-1 ábra: A zavarok forrásai és terjedésük a berendezésben.

Hasonló a helyzet a kapcsolótranszisztor hűtőjével. Gyakran a készülék doboza maga a hűtő, vagy a hűtő a dobozra van rögzítve és vele villamos kapcsolatban van. A szigetelés rendszerint csak egy vékony szilikongumi- vagy csillám lemez, amin keresztül a tranzisztor kapacitív csatolásban van a hűtővel ( $C_{p3}$ ). A kapcsolásból eredő hirtelen potenciálváltozások zavaráramokat juttatnak a hűtőbe, onnan a földelésbe és a tápvonalakba.

### 9.1.2 Terjedési mechanizmusok

A zavarok terjedhetnek kisugárzott elektromágneses tér formájában (megtörténhet, hogy a tér elektromos- vagy mágneses komponense túlsúlyba kerül), vagy a vezetékeken jelentkező áramok és feszültségek által.

A sugárzott zavarok mérséklését elsősorban körültekintő tervezéssel és szereléssel végezzük. A magasfrekvenciás-, gyorsan változó áramokat vezető vezetékek hosszát a minimálisra kell csökkenteni, ha ez nem lehetséges, sodrott vezetékpárt kell alkalmazni. Ügyes tervezéssel elérhető pl. hogy a szűrőkondenzátor, a transzformátor primérje és a kapcsolótranszisztor egymás mellé kerüljenek és minimális hosszúságú vezetékekkel összeköthessük őket. Ez nem csak a zavarok szempontjából előnyös, hanem a kapcsolási túlfeszültségek is ilyen módon csökkenthetők.

A tekercs- és transzformátormagok légrése mágneses teret sugároz a környezetbe. A magasfrekvenciás mágneses tér lényegesen csökkenthető, ha a légréseket rézfóliával leárnyékoljuk. A rézfóliában jelentkező örvényáramok okoznak ugyan némi teljesítményvesztést, de ez nem jelentős, a zavarászűrő hatás viszont kifejezett. A nagyobb teljesítményű teljesítményelektronikai berendezéseket kizárólag fémdobozban készítik, úgyszintén az árnyékolás végett. A doboz kialakításánál és szerelésénél oda kell figyelni, hogy az egyes részek galvanikus kapcsolatban legyenek. Ez nem csak a zavarvédelem miatt fontos, hanem a védőföldelés hatékonysága miatt is.

A továbbiakban kizárólag a vezetékeken terjedő zavarokkal foglalkozunk. Ha ezeket sikerül a szabványokban előírt szint alá csökkenteni, általában a sugárzott zavarok szintje is elfogadható lesz.

Az elemzés és a tervezés megkönnyítésére a vezetékes zavarokat két csoportba osztjuk:

- különbség típusú (differenciális) zavarok és
- közös jelű zavarok.

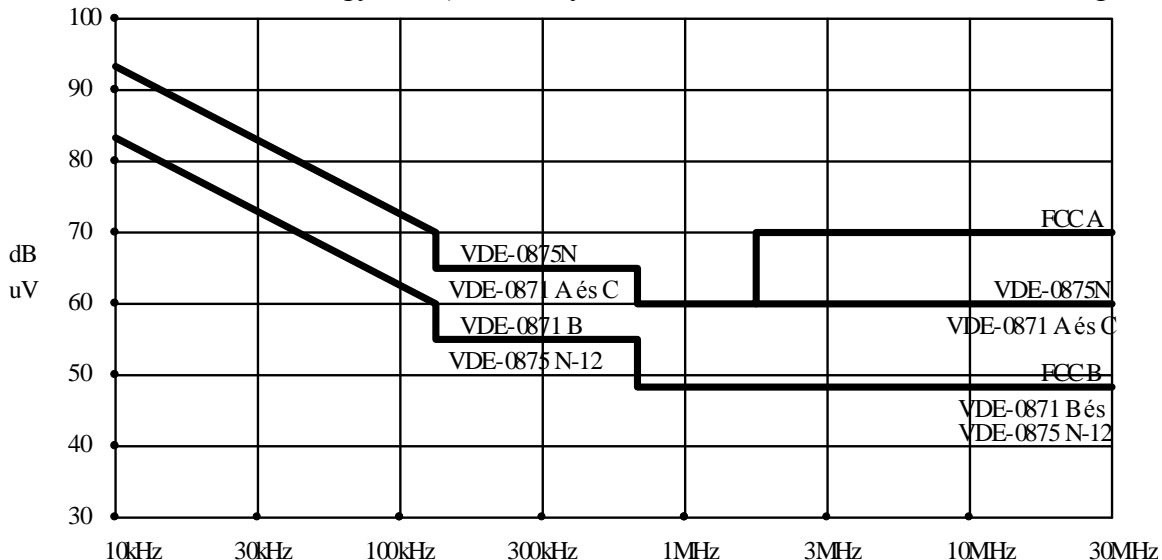
A különbség típusú zavarok a tápvezetékek közötti feszültség hullámzásokban nyilvánulnak meg. A közös jelű zavarok viszont az egyes tápvezetékek és a földelés között jelentkeznek.

### 9.1.3 Zavarokat korlátozó szabványok

Elsősorban a fogyasztóvédelem céljából alakították ki a zavarokra vonatkozó szabványokat. A cél, hogy a különböző berendezések egymást ne akadályozzák a működésben. Az egyes alkalmazási területeken érvényes előírások eltérnek egymástól a megengedett zavar szinteket illetően. Legszigorúbbak a követelmények a lakóépületekben használatos berendezésekre, mert ezek más, zavarokra érzékeny készülékek (rádió, televízió) mellett kell, hogy üzemeljenek. Némileg enyhébbek a szabványok az irodagépeket illetően. Az ipari berendezéseknél engednek meg legnagyobb zavar szinteket, mivel a nagyteljesítményű berendezéseknél a zavarok alapos szűrése tetemes anyagi ráfordítással járna. Itt az elektromágneses kompatibilitás kérdését igyekeznek a mérő- és vezérlőberendezések zavarérzékenységének csökkentésével megoldani.

A zavarjelek szintjét a készülék (bemeneti és kimeneti) csatlakozóvezetékein ellenőrzik. A szabványokban a megengedett zavar feszültségeket az  $1\mu V$ -hoz viszonyított, decibellekben kifejezett értékekkel adják meg. Általában a  $10\text{kHz}$ - $30\text{MHz}$  frekvenciatartományra vonatkoznak az előírások.

A 9-2 ábrán az egyes FCC (*Federal Communication Commission*, az Amerikai Egyesült Államok megfelelő hivatala) és VDE (*Verband Deutscher Elektrotechniker* - Német Elektrotechnikai Egyesület) szabványokban definiált határértékeket adtuk meg.



9-2 ábra: FCC és VDE szabványokban definiált zavarfeszültség határértékek.

Az FCC A diagram az összes berendezésekre érvényes tágabb határértékeket adja meg, a B diagram pedig a lakóépületekben használt berendezésekre érvényes szigorúbb előírásoknak felel meg.

A VDE-0875 és VDE-0879 előírásokban foglalt határértékek azokra a berendezésekre vonatkoznak, amelyek nem üzemszerűen állítanak elő magasfrekvenciás zavarjeleket( háztartási gépek, kéziszerszámok, kapcsolók, mágneskapcsolók, kisülésses lámpák, tirisztoros berendezések, gépjárművek).

A VDE-0871 és VDE-0872 előírások azokra a berendezésekre vonatkoznak, amelyek rendeltetészerűen állítanak elő magasfrekvenciás jeleket és ezek a környezetbe jutva fejtik ki káros hatásukat. Ilyen berendezések a számítógépek, ultrahangos- és mikrohullámú berendezések, orvosi és ipari magasfrekvenciás készülékek, magasfrekvenciás hegesztőkészülékek, rádió és tévékészülékek. A készülékek kapcsolóüzemű tápegységeire az előírások nem külön vonatkoznak, hanem a teljes készülékre a beépített tápegységgel. Ha a tápegység külön kereskedelmi és felhasználási egységet képez, akkor viszont rá is külön vonatkoznak ezek az előírások.

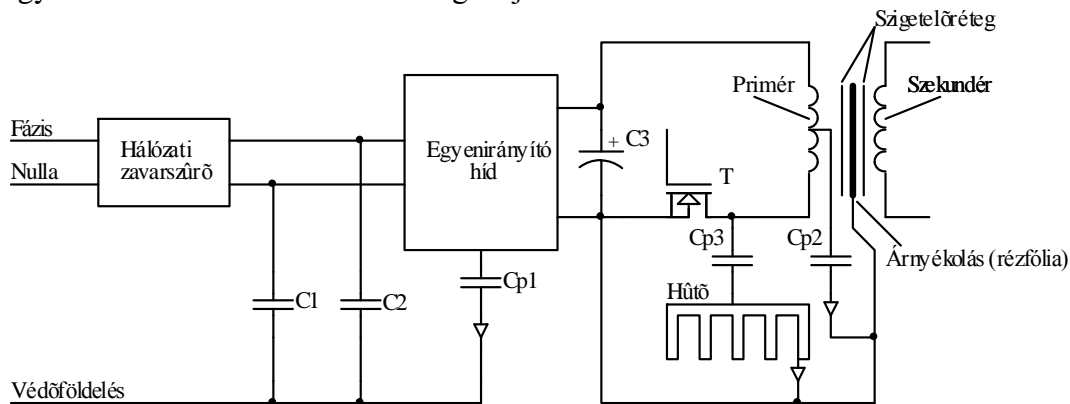
### 9.1.4 A zavarok szűrése

A műszaki élet számos területén érvényes a szabály, hogy pontos munkát kell végezni, mert különben beláthatatlan (a valós feladathoz képest aránytalanul nagy) nehézségek állhatnak elő. Fontos viszont szem előtt tartani azt is, hogy teljesen pontos munka nincs, így számítani kell arra, hogy az esetleges kisebb hibákat valahogy kezelni kell.

A zavarokat illetően is hasonló a helyzet: leghelyesebb, ha egyáltalán nem keltünk zavarokat, illetve a készüléket úgy szerkesztjük meg, hogy a zavarokat már a keletkezésük helyén mérsékeljük. Amit így nem tudunk megoldani, azt zavaroszűrőkkel kell elhárítani.

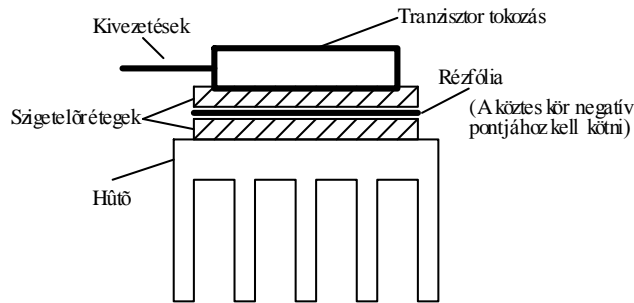
Mielőtt még a zavaroszűrők szerkesztésével és méretezésével foglalkoznánk, áttekintjük, hogyan lehet a zavarokat a keletkezés helyén mérsékelni. A 9-1 ábrán a transzformátor a primérjének és a kapcsolótranszisztor fémtokjából eredő zavaráramokat a földelés felé vezetjük el. Ideális földelés esetén ez nem gond, viszont a valós esetekben jelentős zavarfeszültségek alakulnak ki.

Sokkal jobb eredménnyel jár, ha ezeket a zavaráramokat a 9-3 ábra szerint a bemeneti egyenirányító szűrőkondenzátora felé (az egyenáramú köztes kör negatív pontjához) vezetjük el. Ez a transzformátor árnyékolásánál úgy oldható meg, hogy az árnyékolást a kondenzátor negatív kivezetéséhez kötjük. Ilyenkor még egy rézfóliát be kell építeni az imént említett árnyékolás és a szekundér közé és ezt a földelésre kell kötni, hogy a felhasználót átütés esetén megvédjük az áramütéstől.



9-3 ábra: A zavaráramok elvezetése az egyenáramú köztes kör negatív pontja felé.

Ha a kapcsolótranszisztor hűtője nincs kapcsolatban a készülék dobozával és el van szigetelve a tranzisztor tokozásától is, a 9-3 ábra szerint a hűtőbe indukálódott zavaráramokat elvezethetjük a köztes kör szűrőkondenzátora felé, ezzel minimálisra csökkentve a készülék dobozára és a kapcsolódó vezetésekre terjedő zavarokat. Ha viszont a hűtő fémes kapcsolatban van a dobozzal, a 9-4 ábrán bemutatott módon lehet korlátozni a zavarjelek kijutását. A két szigetelőréteg közé beépített fémfóliát a szűrőkondenzátor felé kötve a doboz felé létező kapacitás minimálisra csökkenthető, a zavaráramok a keletkezés helyszínén bezáródnak.



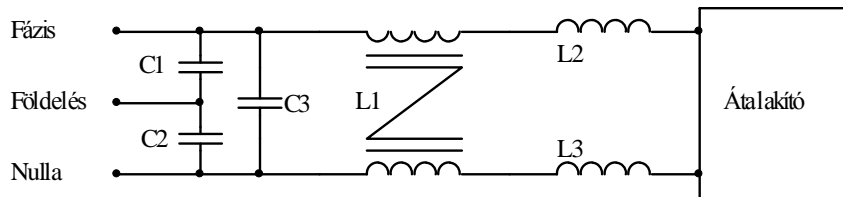
9-4 ábra: A tranzisztortokozás és a hűtő közötti kapacitív csatolás megszüntetése.

A zavarászűrők tekercsekben és kondenzátorokból épülnek fel. A magasfrekvenciás zavarjelek terjedésének akadályozása végett a tekercseket a tápvonalakkal sorba kötjük, a kondenzátorokat viszont a tápvonalak közé ( $X$  kondenzátorok) vagy az egyes tápvonalak és a földelés közé ( $Y$  kondenzátorok) iktatjuk. Az  $Y$  kondenzátorok a tápvonalakból a kapacitásukkal arányos áramot engednek át a földelés felé.

Tekintettel arra, hogy a földelés esetenként megszakadhat (rosszul kiépített hálózat), szigorú biztonságtechnikai előírások korlátozzák a földelés felé elvezetendő áramok nagyságát, mivel ez által a vizsgált készülékből veszélyes feszültség kerülhet készülék dobozára vagy a vele azonos hálózaton működő készülékek fémrészeire. Ezek az előírások korlátozzák az  $Y$  kondenzátorok maximális kapacitását. Az egyes előírásokkal itt részleteikben nem foglalkozunk, de tudni kell, hogy az  $Y$  kondenzátorok maximális kapacitása néhány  $nF$  és néhányszor  $10nF$  között mozoghat. Ha a szükséges szűrőhatás nem érhető el a kapacitás növelésével, nagyobb induktivitású tekercs alkalmazása jelenti a megoldást.

A szokásos zavarászűrő elrendezést a 9-5 ábrán láthatjuk. A közös jelű zavarok szűrését az  $L_1$  kompenzált fojtótekercs és a  $C_1$ ,  $C_2$  kondenzátorok ( $Y$  kondenzátorok) végzik. A kompenzált fojtótekercs jellegzetessége, hogy az egyes tekercseken áthaladó munkaáramok (amit az átalakító felvesz a forrásból üzem közben) mágneses terei megsemmisítik egymást, ha az ábrázolt módon kötjük őket be az áramkörbe. Így a munkaáramokkal szemben a kompenzált fojtótekercs elenyésző impedanciát mutat.

Ugyanakkor a közös jelű zavaráramok, mivel mindkét tekercsen azonos irányban igyekeznek átjutni, jelentős mágneses teret hoznak létre, ami nagy impedanciát és ebből eredően nagy csillapítást eredményez. Háromfázisú táplálásnál a kompenzált fojtótekercs közös magon kialakított négy vagy három tekercsből áll, attól függően, hogy a készülék használja-e a nullavezetékét vagy sem.

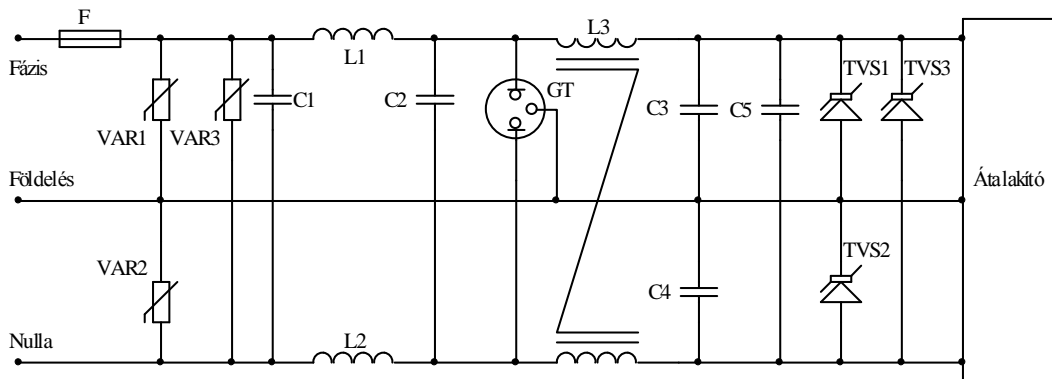


9-5 ábra: A hálózati zavaroszűrő jellemző kapcsolása.

Egyszerűbb zavaroszűrőknél a különbség típusú zavarokat a  $C_3$ -as kondenzátorral csillapítjuk. Ha túl nagy a zajszint, a kompenzált fojtótekerccsekkel sorbaköthetők az  $L_2$  és  $L_3$  tekerccsek. Ezt a két tekerccset is szokták közös magon kialakítani, de úgy, hogy a munkaáramok okozta terhek összeadódjonak. Mind ezeknél a tekerccseknél, mind a kompenzált fojtótekerccsnél a melegeledést illetően a tekerccseket a munkaáramra kell méretezni.

Az  $Y$  kondenzátorok elhelyezhetők a szűrő bemeneti oldala helyett a kimeneti oldalon. Ilyen bekötést akkor szoktunk alkalmazni, ha a szűrő elsődleges feladata a készülék védelme a hálózatról érkező zavarok ellen. A teljesítményelektronikai berendezéseknél jobbra a hálózatot kell védeni a berendezésben keletkező zavaroktól, ezért ott a 9-5 ábrán bemutatott elrendezés a helyesebb. Szükség esetén a szűrő mindkét oldalára köthetünk  $Y$  kondenzátorokat.

A zavaroszűrő kapcsolásokat rendszerint kombináljuk a túlfeszültség levezetésére szolgáló eszközökkel (7.1.6 szakasz). A két technika ötvözése bizonyos pozitív hatásokat eredményezhet. A 9-6 ábrán egy komplex zavaroszűrő és túlfeszültség levezető kapcsolást mutatunk be.



9-6 ábra: Zavaroszűrőt és túlfeszültség levezetőket kombináló védőkapcsolás.

A közvetlen a bementre kötött varisztorok ( $VAR_1$ ,  $VAR_2$ ,  $VAR_3$ ) a gyors lefolyású túlfeszültségeket korlátozzák, de a jelleggörbájük nem elég meredek, ezért, ha a túlfeszültség tovább tart, részben át fog jutni a szűrő kimeneti oldalára. Ott a szintén gyors nyitású túlfeszültség levezető diódák ( $TVS_1$ ,  $TVS_2$ ,  $TVS_3$ ) végzik a sokkal precízebb feszültségkorlátozást.

A nemesgáz töltésű túlfeszültség levezető ( $GT$ ) nyitása lassúbb, ez csak akkor kezd el vezetni, ha a túlfeszültség rendkívül sokáig tart (sok  $ms$ ). Ha  $GT$  nincs beépítve, a  $TVS$  diódák elvégezhetik a készülék védelmét hosszú ideig tartó túlfeszültségekre is, de időközben ők maguk tönkremennek. Enyhítő körülmény, hogy a  $TVS$  diódák

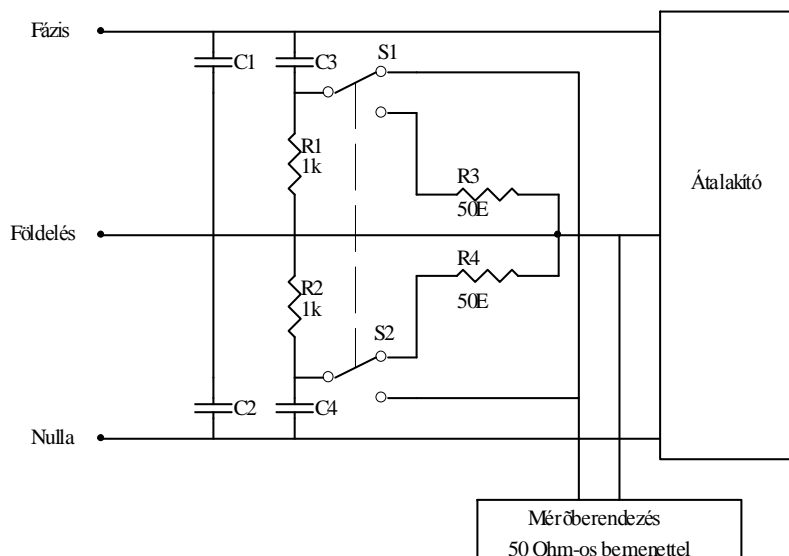
meghibásodáskor zárlatot okoznak, ezzel kiégetik a biztosítékot ( $F$ ) és a fogyasztó lekapcsolódik a hálózatról, amely a veszélyes túlfeszültséget szolgáltatta.

A nemesgáz töltésű levezetőkből készítenek két- és három kivezetésű változatokat. A 9-6 ábrán látható háromkivezetésű levezető előnye egyrészt, hogy csak egy darabra van szükség (nem háromra), másrészt bármelyik bemeneti vonalon is érkezik a túlfeszültség, mind a három vonal között zárlat alakul ki, ami jól védi a fogyasztót és csökkenti a valószínűséget, hogy a tápvonalakról a földelésre veszélyes feszültség jusson. A levezetők vezetésekor a  $TVS$  diódák tehermentesülnek.

A tápvonalakkal sorba kötött tekercsek jótékony hatással vannak a  $TVS$  diódákra is meg a nemesgáz töltésű levezetőkre is. A tekercsek soros ellenállása némileg korlátozza a  $TVS$  diódák áramát, így azok kisebb valószínűséggel mennek tönkre és szakítják meg a készülék táplálását. A nemesgáz töltésű levezetővel megtörténhet, hogy a túlfeszültség elmúltával, a magas hőmérséklet miatt, nem tudnak kikapcsolni. Rövid ideig tartó túlfeszültségeknél ez hátrány, mert feleslegesen szakad meg a készülék működése. A tekercsek áramkorlátozó hatásának köszönhetően nagyobb a valószínűsége, hogy a levezető a hálózati feszültség nullaátmeneteinél kikapcsoljon.

A zavaroszűrők méretezésekor nem a szűrőtechnikában jellemző módszereket alkalmazzuk, hanem a szűrőt induktív-kapacitív feszültségosztónak tekintjük. Ez a hozzáállás azért indokolt, mert nem határozható meg egyértelműen a táphálózat impedanciája (függ a csatlakozási ponttól és időben is változik), ugyanakkor a hálózat viszonylag kis impedanciát mutat a zavarforrások pedig nagyot, ami szintén ellenkezik a szűrőtechnikában jellemző szimmetrikus tervezéssel.

Az  $LC$  szűrőkapcsolásnak köszönhetően a csillapítás a szűrő rezonáns frekvenciája felett  $40dB/dec$  meredekséggel emelkedik. Kellő nagy  $LC$  értékek megválasztásával érjük el, hogy a frekvenciatartomány minden egyes pontjában a zavar szint a szabványos határok alatt legyen. Mint korábban említettük, az  $Y$  kondenzátorok nem választhatók nagy kapacitásúra. Mivel a kondenzátorok általában olcsóbbak, az  $Y$  kondenzátorokat a maximális megengedett kapacitásúra választjuk, a kívánt csillapítást viszont kellő nagy induktivitású kompenzált fojtótekercsel állítjuk be.



9-7 ábra: A hálózati zavarok mérésénél használatos impedancia stabilizáló hálózat.

Ha ismertek a zavarforrások, az  $LC$  alkatrészek a szabványos zavar szintek figyelembevételével számítással méretezhetők. Általában a zavarforrások modellezése nehéz, az eredmények bizonytalanok, ezért inkább mérésekhez folyamodunk. A hálózat és a vizsgált berendezés közé a 9-7 ábrán bemutatott módon egy impedancia stabilizáló áramkört kötünk. Az áramkör feladata, hogy csillapítsa a hálózathoz érkező zavarokat, a berendezés felőli oldalon viszont megfelelő terhelést biztosítson a szűrő számára. A kapcsoló egyes állásaiban a mérőberendezés  $50\Omega$ -os bemeneti ellenállásán mért feszültségértékeket tekintjük a zavarfeszültségeknek.

## 9.2 Biztonságtechnikai előírások

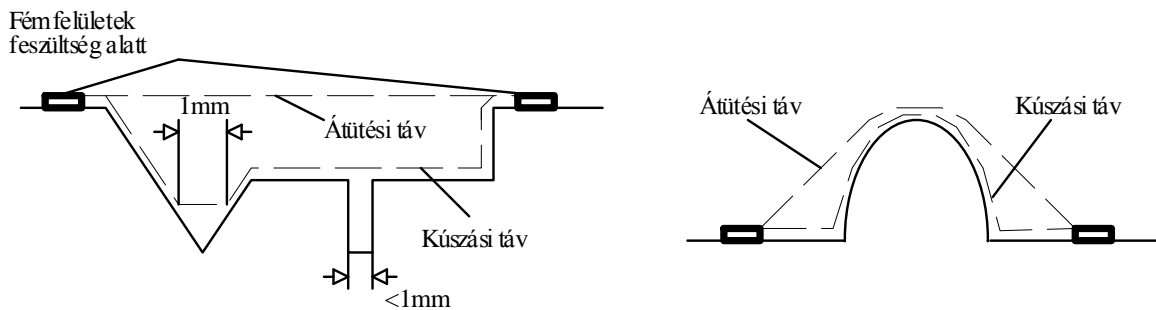
A teljesítményelektronikai berendezéseknek biztonságosan kell működniük, akkor is ha bizonyos kedvezőtlen környezeti hatások érik őket. A por lerakódása, páralecsapódás, hőmérsékletemelkedés, légköri kisülések, vibrációk stb. olyan következményekkel járhatnak, hogy a felhasználót áramütés éri, kigyullad a készülék vagy hasonló. A berendezések tervezője, szerelője, üzemeltetője köteles szem előtt tartani bizonyos törvényes előírásokat, amelyekkel elejét lehet venni sok balesetnek és nagyobb méretű károsodásnak.

Ezek az előírások bizonyos távolságok betartására-, megfelelő szigetelőanyagok alkalmazására-, esetleges túlmelegedések elkerülésére vonatkoznak.

### 9.2.1 Előírt távolságok

A korszerű szigetelőanyagok lehetővé teszik, hogy egymáshoz képest nagy potenciálkülönbségen levő vezetékek viszonylag közel haladjanak egymáshoz, nem jellemző, hogy közben részleges vagy teljes átütés történjen. A biztonságos üzemeltetéshez azonban nem elegendő, hogy ne legyen jellemző az átütés, hanem annak valószínűségét nulla körüli értéken kell tartani.

Tekintettel a felületek esetleges szennyeződésére, az ideális állapothoz képest jóval nagyobb távolságokat kell tartani a nyomtatott áramkörök, transzformátorok és egyéb alkatrészek különböző potenciálon levő vezetékai között. A szabványok (pl. *VDE-0806*, *UL-478*) megkülönböztetik a légvonalban mért átütési távolságokat (ezen az útvonalon valószínű a szikrázás, angol elnevezése a *clearance*), a felületen mért kúszási távolságoktól (*creepage distance*). A fogalmak értelmezését a 9-8 ábrán láthatjuk, külön homorú és domború felület esetére.



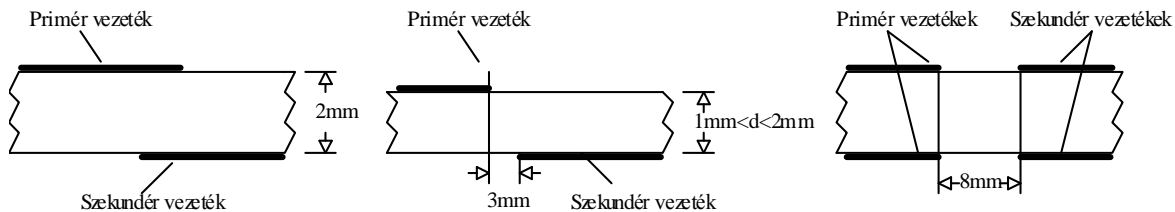
9-8 ábra: Az átütési és kúszási táv meghatározása (a) homorú felület esetén, (b) domború felület esetén.



Homorú felület esetén a kúszási táv megnövelhető különböző bemarásokkal, de az ábra szerint ez csak akkor vehető számításba, ha a bemarás szélessége  $1\text{mm}$ -nél nagyobb,  $V$  alakú barázdánál sem vehető figyelembe az  $1\text{mm}$ -nél szűkebb rész. A felület kidomborítása sorkapcsoknál, energetikai kapcsolóknál jellemző módja az átütési táv és kúszási táv megnövelésének (9-8b ábra).

Az amerikai előírások szerint mind a légvonalban, mind a felületen mért távolság  $250\text{V}$ -ig terjedő feszültségekre nem lehet kisebb  $1/10$  inch-nél ( $2,54\text{mm}$ ), míg a német szabványban az átütési táv legalább  $2\text{mm}$ , a kúszási táv legalább  $3\text{mm}$  a hálózati tápvezetékek között, ugyanakkor  $3\text{mm}$  illetve  $4\text{mm}$  távolságot kell tartani a feszültség alatt levő vezetékek és a földelés között.

A 9-9 ábra a nyomtatott áramkörökre vonatkozó kötelező távolságokat definiálja a kapcsolat bemeneti (primér) és kimeneti (szekundér) vezetékei között. Legkedvezőtlenebb, ha két vezeték a lap azonos oldalán közelíti meg egymást. A biztonságot növeli, ha vastagabb alapanyagú nyomtatott áramköri lemezt használunk.



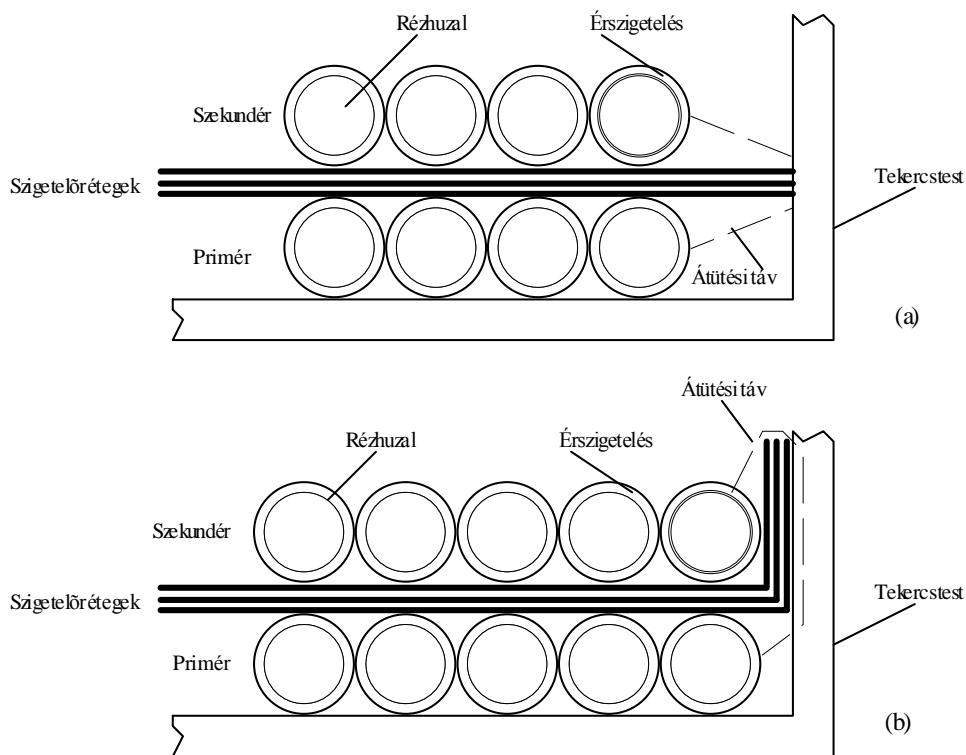
9-9 ábra: A nyomtatott áramkör vezetékei között betartandó távolságok szemléltetése.

A transzformátoroknál is megfelelő távolságot kell tartani a különböző potenciálon levő vezetékek között (9-10 ábra). A VDE-804-es előírás  $8\text{mm}$  átütési távot követel meg a primér és a szekundér között, amit úgy érhetünk el, hogy a vezetékeket nem tekercsejük a tekercstest végéig, a szigetelőanyagot viszont végig engedjük. A 9-10b ábra helytakarékos megoldást mutat be, ahol a szükséges távolságot a szigetelőanyag felpördítésével érjük el.

## 9.2.2 Átütési szilárdság

Az előírt távolságok betartását a megfelelő szervezetek vizuálisan ellenőrzik, másrészt nagyfeszültségű próbákkal vizsgálják. Az amerikai szabvány a  $250\text{V}$  alatti feszültségen üzemelő készüléknél  $1000\text{V}$ -os próbafeszültséget ír elő a bemenet és a kimenet, illetve a bemenetek és a földelés között. Ezt a feszültséget egy percig kell elviselnie a berendezés szigetelésének.

A német szabvány a bemenet és az alacsonyfeszültségű kimenet(ek) között  $3750\text{V}$  váltófeszültséget ír elő próbafeszültségként, illetve  $2500\text{V}$ -ot a földelés irányában mérve. A kimeneteket a földelés felé csak  $500\text{V}$  feszültséggel kell tesztelni. A próbaidő minden esetben egy perc.



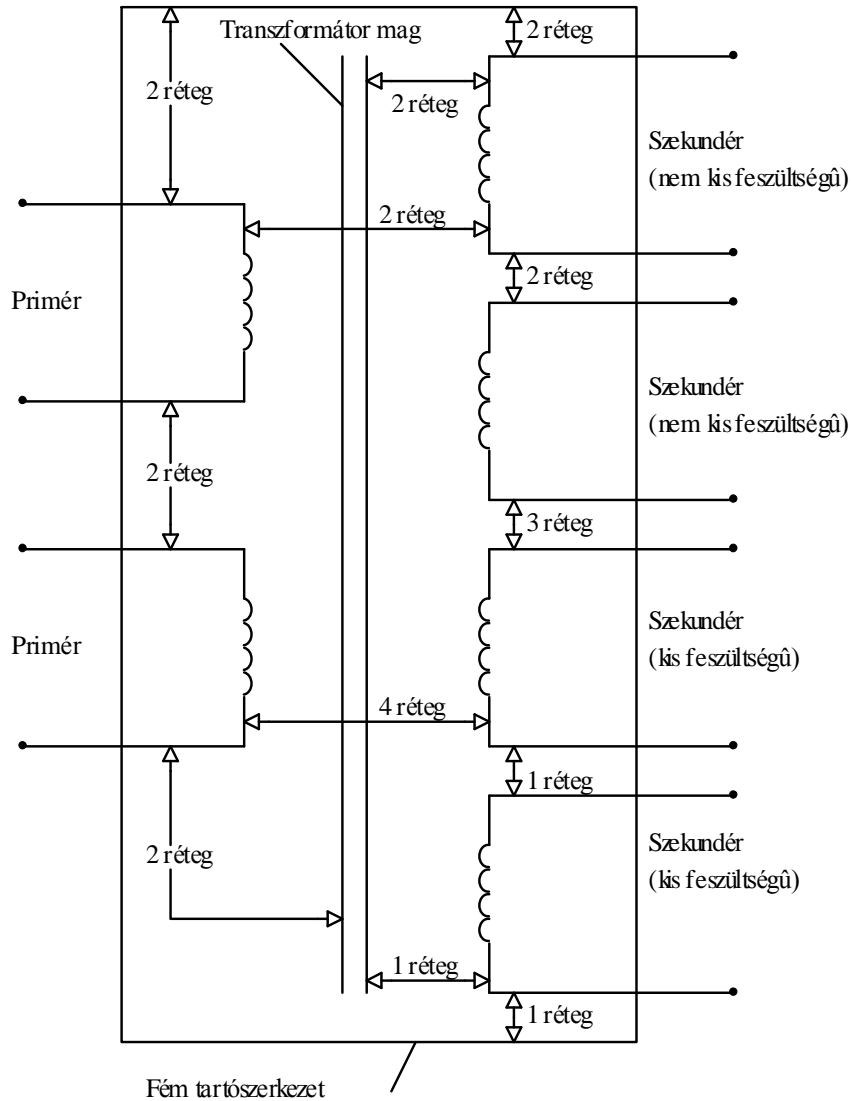
9-10 ábra: A transzformátoroknál szükséges kúszási távok betartása (a) a rétegszigetelés egyszerű behelyezésével, (b) a szigetelőréteg felpördítésével.

Az amerikai szabvány előírja, hogy a csurgóáramok vizsgálatához minden feszültség nélküli fémrészt össze kell kötni, és le kell földelni egy  $1500\Omega$ -os ellenálláson keresztül. A földelésen keresztül ekkor a próbafeszültség hatására a berendezésből nem távozik  $5mA$ -nél több. A német szabvány a földelési ellenállás mellé előír egy  $150nF$ -os kondenzátort is, a csurgóáramok megengedett értéke viszont  $0,5mA$  és  $3,5mA$  között mozoghat, a berendezés típusától függően.

### 9.2.3 Transzformátorok szigetelése

A 9-11 ábrán összegeztük a hálózati táplálású teljesítményelektronikai berendezések transzformátorainál szükséges szigetelési követelményeket. A korábban (9.2.1 szakasz) említett átütési és kúszási távolságok betartása mellett a tekercsrétegek közötti szigetelőrétegek száma is meg van határozva. Egytől négyig kell, hogy legyen a rétegek száma, attól függően, hogy mit mitől szigetelünk el. Egy szigetelőréteg nem lehet  $0,1mm$ -nél vékonyabb.

A transzformátorok szigetelőanyagait (érszigetelés és rétegszigetelés) különböző hőmérsékleti osztályokba sorolják. A transzformátorok tervezésénél és üzemeltetésénél ettől függően tudunk több vagy kevesebb hőemelkedést megengedni. Az A szigetelési osztálynál a maximális üzemi hőmérséklet  $100^{\circ}C$ , a B osztálynál  $120^{\circ}C$ , az F osztálynál  $140^{\circ}C$ , a H osztálynál  $165^{\circ}C$ . Ha jó szigetelőanyag áll rendelkezésünkre, akkor is kerülni kell a túl magas hőmérsékleten való üzemeltetést, mert a vezetékek ellenállása megnövekszik, ami a veszteségek és a melegedés további növekedéséhez vezet és termikus megfűtás jelentkezik.





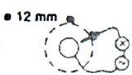








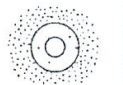







9-11 ábra: A transzformátorok rétegszigetelésére vonatkozó követelmények.

## 9.2.4 Behatolás elleni védetség

Az alkalmazási területtől függően a berendezést védeni kell külső tárgyak behatolásától (Ingress Protection – IP). A szabványokban definiált alsó védelmi szintek érintésvédelmi jellegűek (kézzel történő behatolás), míg a magasabb fokozatok forgács-, por- és víz behatolására vonatkoznak.

A behatolás elleni védetség szintjét egy háromjegyű számmal jelölik ( $IPnnn$ ). Az első számjegy szilárd test behatolására vonatkozik, a második folyadék behatolására, a harmadik a mechanikai kivitel ütőszilárdságát jelöli. A konkrét értékekre vonatkozóan a 9-12 ábra ad eligazítást.

1 számjegy: szilárd test elleni védetség			2. számjegy: folyadékkal szembeni védetség			3. számjegy: mechanikai védetség		
IP	vizsgálat		IP	vizsgálat		IP	vizsgálat	
0		Védetség nélkül	0		Védetség nélkül	0		Védetség nélkül
1		50 mm-nél nagyobb szilárd testek elleni védetség (kézzel való megérinthetőség)	1		Függőlegesen csöpögő víz elleni védetség	1		0.225 joule ütőenergia
			2		Függőlegestől 15° szögben eső víz elleni védetség			
2		12 mm-nél nagyobb szilárd testek elleni védetség (tapintó ujjal szemben)	3		Függőlegestől 60° szögben fröccsenő víz elleni védetség	2		0.375 joule ütőenergia
			4		Bármely irányból fröccsenő vízzel szembeni védetség			
3		2.5 mm-nél nagyobb szilárd testek elleni védetség (szerszám, huzal, stb.)	5		Bármely irányból sugárban irányított vízzel szemben	3		0.5 joule ütőenergia
4		1 mm-nél nagyobb szilárd testek elleni védetség (finom szerszám, huzal)	6		Háborgó tenger hullámainak megfelelő igénybevétel			
5		Por elleni védetség (káros lerakódás ellen)	7		Víz alatti védetség (150 mm)	5		2.00 joule ütőenergia
6		Teljes védetség por ellen	8		Víz alatti védetség (1000 mm)			
			9		20.00 joule ütőenergia			

9-12 ábra: A behatolás elleni védelmet és az ütőszilárdságot jelző számok értelmezése.