

Dr. Burány Nándor

A teljesítményelektronika alapjai

főiskolai jegyzet

Műszaki Szakfőiskola, Szabadka, 2008.

TARTALOMJEGYZÉK

1 Bevezető - 6 -

- 1.1 A teljesítményelektronika tárgyköre - 6 -
- 1.2 A teljesítményelektronika módszerei - 6 -
- 1.3 Alkalmazási területek - 7 -

2 Alapkapcsolások a teljesítményelektronikában - 8 -

- 2.1 Egyenirányítók - 8 -
 - 2.1.1 Közönséges egyenirányítók - 8 -
 - 2.1.2 Félíg vezérelt- és teljesen vezérelt egyenirányítók - 11 -
 - 2.1.3 Feszültség kétszerező és többszöröző kapcsolások - 17 -
 - 2.1.4 Az egyenirányítók tápoldali jellemzői - 19 -
- 2.2 Egyenfeszültség átalakítók - 21 -
 - 2.2.1 A kapcsolások felosztása - 21 -
 - 2.2.2 Feszültségcsökkentő (*buck*) átalakító - 22 -
 - 2.2.3 Feszültségnövelő (*boost*) átalakító - 29 -
 - 2.2.4 Feszültség csökkentő-növelő (*buck-boost*) átalakító - 33 -
 - 2.2.5 *Ćuk*-féle átalakító - 35 -
 - 2.2.6 *SEPIC* átalakító - 37 -
 - 2.2.7 Félhíd kapcsolás - 38 -
 - 2.2.8 Hídkapcsolás - 39 -
 - 2.2.9 A *DC-DC* átalakítók összehasonlítása - 45 -
 - 2.2.10 Transzformátor beiktatása az átalakító kapcsolásokba - 46 -
- 2.3 Váltóirányítók - 59 -
 - 2.3.1 Félhíd kapcsolás - 60 -
 - 2.3.2 Hídkapcsolás - 67 -
 - 2.3.3 *Push-pull* váltóirányító - 72 -
 - 2.3.4 Három- és többfázisú hidak - 74 -
- 2.4 Váltófeszültség átalakítók - 78 -
 - 2.4.1 Fázishasításos szabályozók - 79 -
 - 2.4.2 Perióduscsoport-szabályozók - 80 -
 - 2.4.3 Fokozatmentes váltófeszültség-szabályozók - 82 -
 - 2.4.4 Frekvenciaváltók - 84 -
 - 2.4.5 Ciklokonverterek - 85 -
- 2.5 Rezonáns átalakítók - 87 -
 - 2.5.1 Rezgőkörök viselkedése - 89 -
 - 2.5.2 Rezonáns terhelésű átalakítók alapkapcsolásai - 94 -
 - 2.5.3 Rezonáns kapcsolós átalakítók - 105 -
 - 2.5.4 Rezonáns köztes körű inverterek - 112 -
 - 2.5.5 Magasfrekvenciás köztes körű, perióduscsoporttal szabályozott átalakítók - 114 -

3 Tápegységek - 117 -

- 3.1 Lineáris tápegységek - 117 -
 - 3.1.1 Felépítés - 117 -
 - 3.1.2 Jellemzők - 118 -
 - 3.1.3 Típusválaszték - 119 -
- 3.2 Kapcsolóüzemű tápegységek - 119 -

- 3.2.1 Felépítés - 120 -
- 3.2.2 Jellemzők - 126 -
- 3.2.3 Védelmek - 130 -
- 3.3 *Szűnetmentes tápegységek - 132 -*
 - 3.3.1 Szabálytalanságok a hálózati táplálásban - 132 -
 - 3.3.2 A szabálytalanságok korrigálása - 135 -
 - 3.3.3 Szűnetmentes tápok felépítése - 137 -
- 4 Motorhajtások - 143 -**
 - 4.1 *Egyenáramú hajtások - 149 -*
 - 4.1.1 Az egyenáramú motorok felépítése és modellezése - 149 -
 - 4.1.2 Motorhajtó átalakítók - 154 -
 - 4.2 *Aszinkron hajtások - 157 -*
 - 4.2.1 Az aszinkron motorok felépítése és jellemzői - 159 -
 - 4.2.2 Frekvenciaváltós aszinkron hajtások - 167 -
 - 4.2.3 Aszinkron motorok lágyindítása - 168 -
 - 4.3 *Szinkron hajtások - 170 -*
 - 4.3.1 Szinkron motorok felépítése és jellemzői - 171 -
 - 4.3.2 Szinkron motor vezérlése szinuszos áramokkal - 174 -
 - 4.3.3 Szinkron motor vezérlése trapézjelekkel - 176 -
 - 4.3.4 Szinkron motor vezérlése terhelés oldali kommutációval - 176 -
 - 4.4 *Léptető motorok üzemeltetése - 178 -*
 - 4.4.1 Léptető motorok felépítése és jellemzői - 178 -
 - 4.4.2 Vezérlőáramkörök a léptetőmotorokhoz - 185 -
- 5 Egyéb alkalmazások - 190 -**
 - 5.1 *Akkumulátorok töltése és kivizsgálása - 190 -*
 - 5.1.1 Akkumulátor típusok - 190 -
 - 5.1.2 Töltési eljárások - 190 -
 - 5.1.3 Akkumulátortöltő berendezések felépítése - 191 -
 - 5.1.4 Kapacitásmérés - 192 -
 - 5.2 *Kapcsolóüzemű lámpatápok - 193 -*
 - 5.2.1 Halogénlámpák táplálása - 194 -
 - 5.2.2 Fénycsövek táplálása - 195 -
 - 5.2.3 Nagyintenzitású kisülőlámpák táplálása - 196 -
 - 5.3 *D osztályú erősítők - 197 -*
 - 5.3.1 Felépítés - 197 -
 - 5.3.2 Jellemzők - 200 -
 - 5.3.3 Típusválaszték - 200 -
 - 5.4 *Hálózati alkalmazások - 201 -*
 - 5.4.1 A teljesítménytényező javítása - 201 -
 - 5.4.2 Megújuló energiaforrások csatolása - 205 -
 - 5.4.3 Nagy egyenfeszültséggel történő energiaátvitel (HVDC átvitel) - 208 -
 - 5.5 *Hegesztő áramforrások - 209 -*
 - 5.5.1 Hegesztési eljárások - 209 -
 - 5.5.2 Hagyományos áramforrások - 210 -
 - 5.5.3 Inverteres áramforrások - 212 -
 - 5.5.4 Ponthegeztő áramforrások - 213 -
 - 5.6 *Indukciós hevítés - 213 -*

- 5.6.1 Hőkezelési eljárások - 213 -
- 5.6.2 Az induktorok táplálása - 214 -
- 5.7 *Ultrahangos berendezések - 215 -*
 - 5.7.1 Ultrahang-források - 215 -
 - 5.7.2 Az ultrahang források táplálása - 215 -
- 5.8 *Nagyfeszültségű berendezések - 216 -*
 - 5.8.1 Gyújtóberendezések - 216 -
 - 5.8.2 Korona-megmunkálók - 217 -
 - 5.8.3 Statikus elektromosság kezelése - 218 -
 - 5.8.4 Lézertápok - 219 -
- 6 A teljesítményelektronikai kapcsolások modellezése - 220 -**
 - 6.1 *Modellezés állapotegyenletekkel - 220 -*
 - 6.1.1 Az átalakító állapotegyenleteinek felírása - 221 -
 - 6.1.2 Az állapotegyenletek átlagolása - 222 -
 - 6.1.3 Linearizáció - 222 -
 - 6.1.4 Az átalakító átviteli függvényeinek levezetése - 223 -
 - 6.2 *A kapcsoló átlagolása - 224 -*
 - 6.2.1 Átlagolás - 224 -
 - 6.2.2 Linearizáció - 225 -
 - 6.2.3 Az átalakítók átviteli függvényeinek levezetése - 225 -
- 7 Teljesítményelektronikai alkatrészek - 226 -**
 - 7.1 *Passzív alkatrészek - 226 -*
 - 7.1.1 Kondenzátorok - 226 -
 - 7.1.2 Tekercsek - 229 -
 - 7.1.3 Transzformátorok - 231 -
 - 7.1.4 Teljesítmény-ellenállások - 235 -
 - 7.1.5 NTC és PTC ellenállások - 235 -
 - 7.1.6 Varisztorok és más túlfeszültség levezetők - 236 -
 - 7.1.7 Hűtők és hűtés - 237 -
 - 7.1.8 Biztosítékok - 238 -
 - 7.2 *Aktív alkatrészek - 240 -*
 - 7.2.1 Teljesítménydiódák - 240 -
 - 7.2.2 Tirisztorok - 243 -
 - 7.2.3 Bipoláris teljesítménytranzisztorok - 248 -
 - 7.2.4 Teljesítmény *MOSFET*-ek - 253 -
 - 7.2.5 IGBT-k - 261 -
- 8 A teljesítményelektronikai berendezések vezérlése és szabályzása - 265 -**
 - 8.1 *Analóg vezérlők és szabályzók felépítése - 265 -*
 - 8.1.1 Analóg modulátorok felépítése - 266 -
 - 8.1.2 Hibaerősítő-kapcsolások - 273 -
 - 8.1.3 A stabilitás kérdése - 276 -
 - 8.2 *Digitális vezérlők és szabályzók felépítése - 280 -*
 - 8.2.1 Mikroprocesszorok, mikrovezérlők, szignálprocesszorok - 281 -
 - 8.2.2 Mintavételezés, A/D és D/A átalakítás - 283 -
 - 8.2.3 Szintillesztés, csatolásmentesítés, védelmek - 284 -
 - 8.2.4 Beállítások, kijelzések - 285 -

- 8.3 *Digitális vezérlési algoritmusok - 285 -*
 - 8.3.1 Hagyományos algoritmusok digitalizálása - 285 -
 - 8.3.2 Új algoritmusok a digitális vezérlésben - 286 -

9 Zavarok, zavaroszűrés és biztonságtechnikai előírások - 288 -

- 9.1 *Zavarok és zavaroszűrés - 288 -*
 - 9.1.1 A zavarok forrásai - 288 -
 - 9.1.2 Terjedési mechanizmusok - 289 -
 - 9.1.3 Zavarokat korlátozó szabványok - 290 -
 - 9.1.4 A zavarok szűrése - 291 -
- 9.2 *Biztonságtechnikai előírások - 295 -*
 - 9.2.1 Előírt távolságok - 295 -
 - 9.2.2 Átütési szilárdság - 296 -
 - 9.2.3 Transzformátorok szigetelése - 297 -
 - 9.2.4 Behatolás elleni védettség - 298 -

10 IRODALOMJEGYZÉK - 300 -

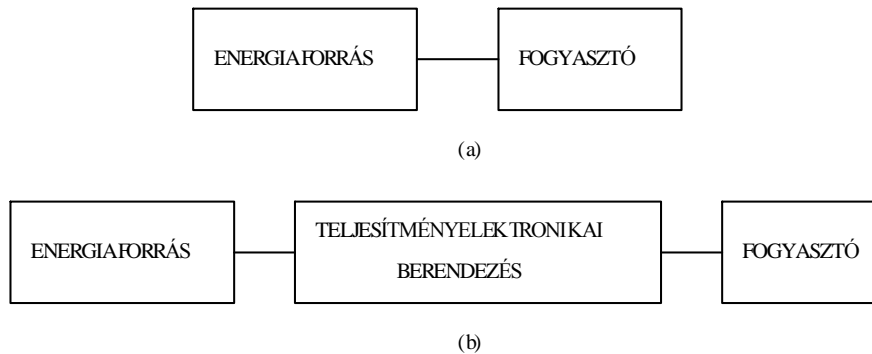
1 Bevezető

A műszaki élet számos területe ma elképzelhetetlen teljesítményelektronikai megoldások nélkül. Mielőtt az alkalmazott kapcsolások ismertetésével foglalkoznánk, tekintsük át, mi is a teljesítményelektronika tárgya, milyen módszerekkel dolgozik és mely területeken terjedt el.

1.1 A teljesítményelektronika tárgyköre

A teljesítményelektronika feladata, hogy a villamos energiaforrás energiáját olyan módon dolgozza fel, hogy az a fogyasztó számára optimális legyen. Energiaforrásként általában a városi ill. ipari váltóáramú hálózat áll rendelkezésre, jelentős azonban a vegyi vagy más áramforrásokról működő készülékek száma is.

Szerkezetileg a legegyszerűbb eset, ha a fogyasztó közvetlenül kapcsolható a forrásra, de ez sok esetben lehetetlen, más esetekben nem optimális. A technika mai állása szerint a villamosenergia fogyasztóknak megközelítőleg fele működik teljesítményelektronikai berendezés közbeiktatásával (1-1 ábra).



1-1 ábra: Fogyasztó csatlakoztatása az energiaforrásra (a) közvetlenül és (b) teljesítményelektronikai berendezésen keresztül.

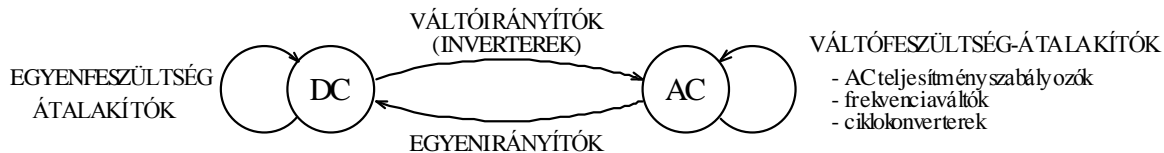
A teljesítményelektronika a műszaki életnek és a tudománynak azon területeit öleli fel, amelyek a villamosenergia elektronikai eszközökkel történő feldolgozásával, az ilyen célú berendezések fejlesztésével, gyártásával, kivizsgálásával, üzemeltetésével foglalkozik. Viszonylag fiatal területről van szó, kindulópontként az 1960-as évet jelölhetjük meg. Az ez előtti próbálkozások és alkalmazások eltörpülnek az ezt követő robbanásszerű fejlődés mellett.

1.2 A teljesítményelektronika módszerei

A teljesítményelektronika módszereit egyrészt az energiaátalakítás területén felmerülő igények, másrészt az alkatrészek által nyújtott lehetőségek határolják be. A fogyasztó részéről az igények általában megfelelő egyenfeszültség vagy egyenáram (*direct current - DC*) illetve megfelelő frekvenciájú és jelformájú váltófeszültség vagy

váltóáram (*alternative current* – AC) biztosításában fogalmazódnak meg. A forrás az energiát úgyszintén szolgáltathatja egyenfeszültség vagy váltófeszültség formájában.

A teljesítményelektronikai módszereket és az ide tartozó berendezéseket éppen ezek a forrás illetve fogyasztó oldali jellemzők alapján szokásos osztályozni (1-2 ábra). Így beszélhetünk DC-DC átalakításról (egyenfeszültség átalakítók), AC-DC átalakításról (egyenirányítók), DC-AC átalakításról (váltóirányítók), és AC-AC átalakításról (AC teljesítményszabályozók, frekvenciaváltók, ciklokonverterek).



1-2 ábra: A teljesítményelektronikai berendezések osztályozása.

Gyakran a teljesítményelektronikai berendezések egynél több átalakító fokozatot tartalmaznak, megfelelő vezérlő-szabályozó-mérő egységgel együtt.

A villamos energia elektronikai módszerekkel történő szabályzását a különböző kapcsolóelemek (teljesítménytranzisztorok, tiriszorok, MOSFET-ek, IGBT-k stb.) teszik lehetővé, de jelentős szerep jut a tekercseknek és kondenzátoroknak mint szűrőelemeknek, valamint a transzformátoroknak mint potenciáleválasztó és illesztőelemeknek.

A kapcsolókkal történő teljesítményszabályzás előnye, hogy a kapcsolók sem kikapcsolt sem bekapcsolt állapotban nem okoznak jelentős veszteséget, így magas hatásfok érhető el velük. A lineáris üzemben működő szabályozóelemek viszont jelentős veszteséggel működnek, így rontják a berendezés hatásfokát.

A hatásfok két szempontból is jelentős. Kisebb teljesítmény esetén az energia-költségek nem jelentősek, viszont rossz hatásfok esetén körülményes és költséges a berendezés hűtése, csökken a megbízhatóság, növekednek a méretek. Nagyobb teljesítmény esetén az energiaköltségek csökkentése miatt szükséges a berendezés jó hatásfoka.

1.3 Alkalmazási területek

A teljesítményelektronikai berendezések két fő alkalmazási területe a tápegységek és a motorhajtások.

A tápegységek különböző elektronikai berendezések (műszerek, számítógépek, kommunikációs berendezések stb.) optimális táplálását oldják meg.

A motorhajtások ipari berendezésekben, villamos vontatásnál stb. biztosítják az optimális sebességet, gyorsulást, minimális energiafelhasználás mellett.

Az egyéb alkalmazások közé sorolhatók a szünetmentes tápok, D-osztályú erősítők, fénycsőtápok, hegesztő áramforrások, akkumulátortöltők, galvanizáló áramforrások, indukciós hevítők, sztatikus festők stb.