

Integrált hegesztő és plazmavágó berendezés 1. rész

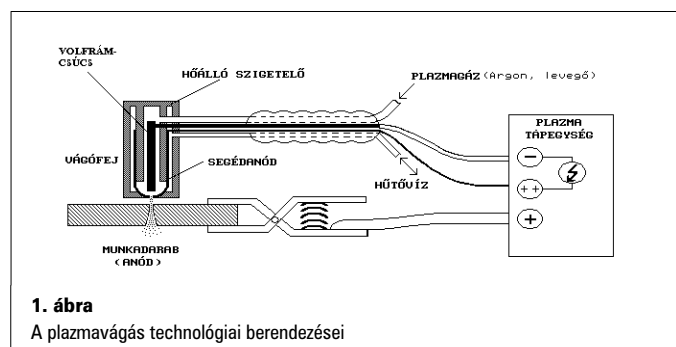
HORVÁTH MIKLÓS okl. villamosmérnök,
DR. BORKA JÓZSEF okl. villamosmérnök, az MTA-SZTAKI munkatársai

1. Bevezetés

Ma már szinte minden villamos energiával működtetett technológiai berendezésben megtalálhatók a korszerű kapcsolóüzemű teljesítményfelvevő eszközökkel kialakított, energiatakarékos, hálózati transzformátort nem tartalmazó, nagyfrekvenciás energiaátviteli energiaátalakítók. Nagy kapcsolási frekvenciával üzemelő energiaátalakítók nagy teljesítményű MOSFET és IGBT félvezető elemek felhasználásával hozhatók létre, ezek lehetővé teszik az átviteli frekvencia 20 - 25 kHz-ig, vagy e fölé történő megnövelését is, alkalmas kapcsolási elrendezésekben.

A kapcsolási frekvencia növelése által rendkívül jelentős mértékben csökken az energiaátalakító berendezések induktív és kapacitív elemeinek súlya és külmérete, emellett nagyságrendekkel gyorsabb beavatkozás érhető el az ezek által szabályozott berendezéseknél.

Az induktív és kapacitív elemek – energiaátviteli transzformátorok, szűrők stb. – súly- és külméret csökkenésének műszaki és gazdasági előnyei, sem pedig a beavatkozási sebesség növeléséből származó jó tulajdonságok nem szorulnak részletesebb magyarázatra. A nagyfrekvenciás energiaátvitel a villamos ipar csaknem minden ágában alkalmazható. A módszer bevezetése a villamos ív hőhatását hasznosító technológiai eljárások - hegesztés, vágás, felület megmunkálás stb. - és az ezekkel összefüggő minőségvizsgáló eljárások - pl. ipari röntgen - területén különösen hasznos és gazdaságos. E területek technológiai berendezéséhez szolgáló energiaátalakítók kutatás-fejlesztése az MTA-SZTAKI-ban átfogó program keretében régóta napirenden van, az eredményekről számos publikáció jelent meg. [1]...[6]. Jelen cikk egy integrált, plazmavágásra és volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztésre (TIG = Tungsten-Inert-Gas, WIG = Wolfram-Inert-Gas) egyaránt alkalmas berendezés teljesítményelektronikájának kifejlesztése során felmerült súlyponti kérdésekről számol be.



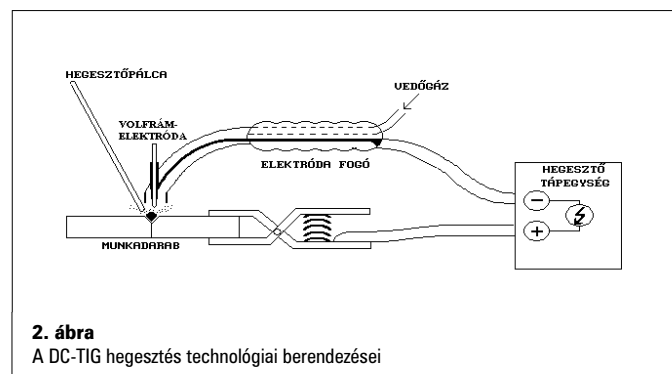
2. A plazmavágó és hegesztő berendezés összevonásának indokai

A plazmavágás anyagszétválasztásra, a volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztés anyagegyesítésre szolgáló eljárás, amelyeket az anyagfeldolgozó üzemekben általában felváltva, egymásra épülve alkalmaznak. Azon túlmenően, hogy a hőenergiát mindkét eljárás az elektromos ív szolgáltatja, e két eljárás technológiai berendezései sok tekintetben nagyon hasonló eszközöket igényelnek:

- az elektromos ív létrehozásához és fenntartásához szükséges berendezés mindkét eljárásnál az energiaátalakító, amely a legtöbb esetben többszörös energiaátalakítást végez az elektromos ívet fenntartó feszültség, illetve áram megfelelő szabályozása érdekében,
- az ív kialakítása nagyfeszültségű ívgyújtással történik,
- a technológiai folyamatot csaknem azonos módon kell vezélni (2-4 ütemű vezérlés),
- gázellátást kell biztosítani (gázpalack, nyomásreduktor, gázszeleplevezérlés),
- hűtővízellátó rendszer szükséges (vízszivattyú, víztartály, szűrőberendezés).

A plazmavágás és a volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztés lényegét, valamint a közöttük lévő hasonlóságot az 1. és 2. ábra szemléletesen bemutatja.

Plazmavágás esetében (1. ábra) vágáskor az ív a plazmavágó fejben elhelyezett volfrám-csúcs és a munkadarab között létesül. A nagy sebességgel kiáramló plazmagáz az ívet nagy hőmérsékletű plazmává alakítva a vágási felületre fújja. Az ívgyújtás nagyfeszültségű, 5-7 kV-os nagyfrekvenciás szikra segítségével történik a plazmavágó fej ún. pilot-serlege és volfrám-csúcsa között. Innen terjed át az ív a munkadarabra az áramló plazmagáz hatására, ami általában sűrített levegő, vagy nemesgáz és oxigén keveréke. A plazmavágás jellemző fizikai folyamatait a későbbiekben kissé részletesebben is elemezzük.



A volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztés (TIG, WIG) esetében (2. ábra) az ív a volfrám-csúcs és a munkadarab között folyamatosan fennáll, oxidációt gátló argon gázzal védett burokban. A hegesztőanyagot az ívbe adagolják. Az ív begyújtása a plazmavágó fejben alkalmazott eljárásához hasonlóan, több kV-os nagyfrekvenciás szikra segítségével történik a munkadarab és a volfrám-csúcs között, tehát még átmenetileg sem alakul ki zárlat a hegesztési felületen keresztül, mint ahogy az a kézi elektrodás hegesztés esetében történik. Acél hegesztéséhez egyenáramú (DC-TIG/WIG), alumíniumhoz váltakozó áramú (AC-TIG/WIG) energiaátalakító - hegesztő áramforrás - szükséges. E cikkben az acél megmunkálásához szükséges DC berendezésekkel foglalkozunk.

Nem szükséges részletesebben taglalni a felfedezhető hasonlóságokat a két technológiai eljárás között acél megmunkálása esetében. A plazmavágó és a hegesztő áramforrást alkotó energiaátalakítóval szemben támasztott követelmények is na-

gyon hasonlóak, amint az majd a későbbiek során a részletesebb elemzésből kitűnik. A két eljárásához szükséges teljesítményigény ugyancsak közel áll egymáshoz az alkalmazási területek legnagyobb részénél (5 - 10 kW). A plazmavágó és volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztő berendezés egyesítésére irányuló fejlesztést elsősorban ezek a felismerések motiválták.

Mindezen túlmenően egyéb meggondolások is napirendre tűzték a nagyfrekvenciás energiaátvitelt hasznosító plazmavágó áramforrás kifejlesztését. Megvizsgálva a világpiacon beszerezhető plazmavágó berendezéseket, azokat többnyire még ma is tirisztoros szabályozású, hálózati transzformátort tartalmazó hagyományos áramforrással készítik. Ezek zömében a plazma kialakításához szükséges, nagyfeszültségű gyújtást igénylő, kisebb teljesítményű ún. pilot áramkört (240 V/20 A DC), valamint a vágóáramot biztosító főáramkört (110 V/70 DC) egy-egy önálló, szabályozható energiaátalakító táplálja. Érthető módon emiatt az ilyen berendezések terjedelmeseek, tömegük több száz kg, nehezen mozgathatók és drágák is.

Az integrált, plazmavágó és volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztő berendezés nagyfrekvenciás energiaátvitellel működik. A plazmavágó áramforrásban a pilot és a vágó áramkört ugyanaz az energiaátalakító táplálja, és nem szükséges különálló szabályozó áramkör ezek részére, mivel mindkét áramkörben a megkívánt áramszabályozást egy célszerűen kialakított közös teljesítmény- és szabályozókörrrel is meg lehet valósítani. Tehát az összevonás - a nagyfrekvenciás technika alkalmazásán kívül - a felesleges redundancia megszüntetésével további külméret- és súlycsökkentést eredményez, ami az árviszonyokra is kedvezően hat, a végeredmény pedig egy komplett anyagmegmunkáló berendezés.

3. A technológia kihátása az energiaátalakító felépítésére

A plazmavágáshoz és a volfrám-elektrodás, védőgázos ívhegesztéshez egyaránt gyors áramkorlátozással rendelkező, eső jellegű energiátalakító szükséges. Az ívhegesztés a közismertebb, a megvalósításához szükséges energiaátalakítóknak - hegesztő áramforrásoknak - gazdag irodalma van, és a velük szemben támasztott követelmények a plazmavágókhoz képest lényegesen egyszerűbbek. A következőkben ezért a plazmavágás technológiai folyamatát részletesebben elemezzük a megvalósításához szükséges energiaátalakítóval - plazmavágó áramforrással - szemben támasztott követelmények szempontjából, és kiemeljük a lényeges eltéréseket a hegesztő áramforráshoz képest.

A plazmavágás során is az elektromos ív szolgáltatja a hőforrást, a cél azonban nem anyagok egyesítése, hanem szétválasztása, ezért ömledékanyag bevitelére és oxidációt gátló védőgáz alkalmazására nincs szükség, éppen ellenkezőleg: a védőgáz helyett az oxidációt - szorosabban véve az anyag "elégését" - elősegítendő oxigént juttatnak sűrített levegő formájában a vágási vonalhoz. A sűrített levegő a nagy hőmérsékletű ívben plazmaállapotot hoz létre, ennek hőenergiája eredményezi a vágás helyén az anyag megszakadását.

A vágás a plazmavágó fej felhasználásával történik, amelynek vázlatos felépítését az 1. ábra metszeti rajzán már bemutattuk. A vágáshoz szükséges ív, illetve plazma a vágandó fémfelület (anód) és a volfrám-elektroda (katód) között létesül, miközben a vágófejből sűrített levegő áramlik az ív irányába. Ez az ív, illetve plazma azonban önmagától nem alakul ki. A plazma kialakításához az szükséges, hogy a volfrám-elektroda és a vágófejen belül elhelyezett segédelektroda (segédanód) között egy segédáramforrás felhasználásával előállítsuk az ún. pilot-ívet. A volfrám-elektroda és a segédelektroda egymáshoz viszonyított hely-

RAPAS

zete azonban kötött, azok az "ívfogás" érdekében nem közelíthetők egymáshoz, ezért az ív begyújtását nagyfeszültségű ívgyújtó alkalmazásával érik el. A pilot-ívben a plazma már létrejön, ami a vágandó felületre is áterjed a plazmagázáramlás hatására. A volfrám-elektroda és a vágási felület közötti ionizált környezetben az ív már önmagától "begyullad" a vágó áramforrás üresjárási feszültségének hatására. Végül tehát az oxigénnel dúsított környezetben létrejön a vágáshoz szükséges nagy hőmérsékletű plazma.

A vágófej felesleges hevítésének elkerülése érdekében vágás közben a pilot-áramot meg kell szüntetni. A vágófej még ezen intézkedés ellenére is túlmelegedhet, emiatt a vágófejet gyakran vízhűtéssel is el kell látni. A vágás folyamatossá tétele érdekében a pilot-ívet az igényesebb berendezéseknél újra és újra begyújtják, ha a vágóív valamilyen oknál fogva megszakad, de a vágást folytatni akarják (pl. lyugatott felület vágása esetén).

A plazmavágás egészen vékony, néhány tized milliméter vastagságú lemezektől a többször tíz milliméter vastagságú lemezekig rendkívül termelékeny, energiatakarékos vágási eljárás. A jól irányítható, kis felületre koncentrált hőhatás a vágási felület környezetét alig károsítja, viszonylag sima, keskeny és hegmentes vágási vonalat hagy maga után. Festett autókarszéria-lemezek vágása esetében pl. a vágási vonal mentén a festés csaknem sértetlen marad. A lángvágáshoz képest a plazmavágás elhanyagolható mértékű környezetszennyezést okoz.

A plazmavágás technológiája - mint láttuk - két, egymással galvanikus kapcsolatban álló egyenáramú áramforrást követel, az egyik a pilot-ívet, a másik a vágóívet táplálja, az előbbit pilot-, az utóbbit vágóáramforrásnak nevezzük. Ezzel szemben az ívhegesztéshez csak egyetlen áramforrás szükséges.

A pilot-áramforrásnak viszonylag nagy - kb. 200 - 240 V nagyságrendű - üresjárási feszültséggel kell rendelkeznie, mivel a nagy sebességű levegőáramlás ívfúvó hatása az ív begyújtását megnehezíti. A pilot-ív fenntartásához 100 - 110 V, 10 - 20 A nagyságrendű munkapont biztosítása szükséges, az üzemidő perc nagyságrendű. Amint az adatokból látható, a pilot-áramforrás erősen eső jellegűvel kell, hogy rendelkezzen.

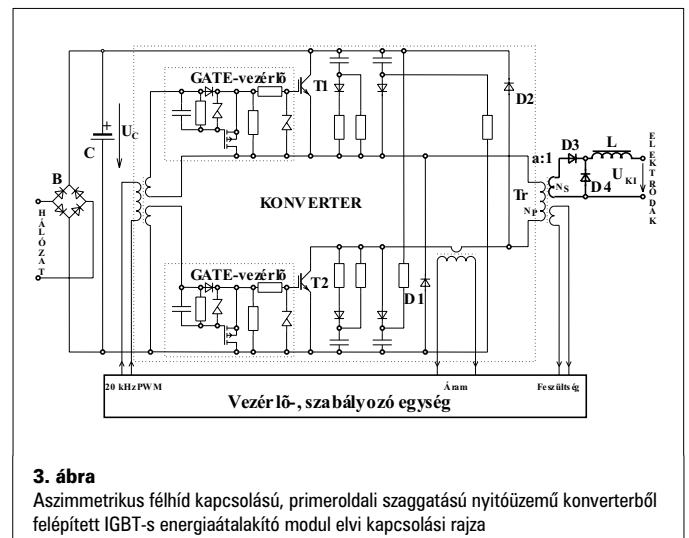
A vágóáramforrás munkaponti feszültsége ugyancsak 100 - 110 V nagyságrendű, az áram azonban a vágóteljesítmény függvénye. 5 - 15 mm vastagságú lemezek vágásához 50 A nagyságrendű vágóáram is elegendő, a nagy teljesítményű plazmavágók árama a 100 - 200 A-t is eléri. A vágóáramot a vágandó lemez vastagságának megfelelően kell megválasztani, ezért a vágóáramforrás áramát széles tartományban szabályozhatóvá kell tenni. A zárlati áram korlátozása, ill. a "zárlatbiztos" kialakítás a hegesztő áramforrásokhoz hasonló módon megkövetelt.

A pilot-ív kikapcsolása, újragyújtása a gázszelep és ívgyújtó vezérlésével együtt az ún. ütemadó feladatai közé tartozik. A volfrám-elektrodás ívhegesztőnél alkalmazott szikragyújtási eljárás a plazmavágónál is alkalmazható. Célszerű, ha az újragyújtás kezdeményezése a vágóáram megszűnésével szinkronizáltan történik, a pilot-ív időtartamát időrelével elégséges időzíteni.

4. Az integrált plazmavágó és ívhegesztő berendezés céljára szolgáló energiaátalakító alapmodul célszerű megválasztása

A pilot-áramkörtől eltekintve a plazmavágó áramforrással szemben támasztott követelmények nagyon hasonlóak a hegesztő áramforrásokkal szemben felállítottakhoz, csupán a munkaponti adatok értékeiben mutatkozik eltérés. Azonos villamos teljesítményt igénylő vágó és hegesztő eljárást összehasonlítva pl. a plazmavágó vágóáramforrása 110 V/22 A-es munkapontban üzemel, míg a DC-TIG ívhegesztő 16 V/150 A-es munkapontot igényel optimális esetben. Ez nem jelenti azt, hogy a megvalósítás eszközei és az áramforrások felépítéséhez szükséges nagyfrekvenciás energiaátalakító kiválasztási szempontjai eltérnének egymástól. Mindkét technológia egynegyedes üzemű egyenáramú áramforrást igényel.

Az áramköri tulajdonságokat és a gazdaságossági szempontokat elemezve aszimmetrikus félhíd kapcsolású, primeroldali szaggatású nyitóüzemű konvertert célszerű az integrált plazmavágó és hegesztő áramforrások energiaátalakítóiban alapmodulként alkalmazni. E kapcsolási elrendezést elsősorban az alacsony ráfordítási költségek jellemzik, mert felépítéséhez viszonylag kis számú félvezetőelem szükséges - ehhez természetesen nagyobb üzemi megbízhatóság is párosul -, emellett az aszimmetrikus félhíd kapcsolás egyszerűen "kaszádolható" a teljesítménynövelés érdekében. Példaképpen egy ilyen konverterre épülő, IGBT-s egyfázisú alapmodul kapcsolási vázlatát látható a 3. ábrán [1]. A hálózati feszültség a B diódás híd-kapcsolású egyenirányítón át táplálja a C puffer kondenzátort, és ennek kapocsfeszültségét kapcsolja rá a T1 és T2 IGBT 20 kHz nagyságrendű kapcsolási frekvenciával a Tr transzformátor primer tekercsére. Az IGBT-k azonos időtartamon át kapnak vezérlési parancsot a GATE-vezérlő közvetítésével a vezérlő-, szabályozóegységtől. A vezérlési parancs időtartama a kívánt kimenőmennyiség nagyságától függ, de legfeljebb a kapcsolási frekvencia periódusidejének feléig tarthat. Az IGBT-k vezérlési időtartama alatt a kondenzátor kapocsfeszültsége pozitív polaritással kapcsolódik rá a Tr transzformátor primer tekercsére. Ennek hatására a transzformátor felmágneseződik. A Tr transzformátor lemágnesezése az IGBT-k lezárt állapotában következik be. A mágnesező áram a D1, D2 diódán át talál utat magának, ami azt jelenti, hogy a transzformátor primer tekercsére az előbbivel ellentétes polaritással jut rá a kondenzátor kapocsfeszültsége. Ennek hatására még legnagyobb kivezérlés (50%) esetén is elegendő időtartam áll rendelkezésre a transzformátor teljes lemágnesezéséhez, ezért periódusról-periódusra az IGBT-k bekapcsolása mindig árammentes állapotban történik. Ez a körülmény a kapcsolási veszteségek csökkentéséhez nagyban hozzájárul, ami nagyobb kapcsolási frekvencia alkalmazását teszi lehetővé.



3. ábra
Aszimmetrikus félhíd kapcsolású, primeroldali szaggatású nyitóüzemű konverterből felépített IGBT-s energiaátalakító modul elvi kapcsolási rajza

A nyitóüzemű konverter tulajdonságaiból következik, hogy az IGBT-k bekapcsolt állapotának időtartama alatt történik meg az energiaátvitel a transzformátor primer köréből a szekunder körbe. Ekkor a szekunder körben a D3 gyorsdióda vezeti az L induktivitáson át folyó terhelő áramot. Az IGBT-k lezárt állapotában a D3 dióda a fordított polaritású szekunder feszültség hatására lezár, és ekkor az L induktivitásban kialakult terhelőáramot a D4 null-diódán vezeti. A kimenőfeszültség középértéke üresjárásban:

$$U_{kl} = a\delta U_c, \quad (1)$$

ahol $a = NP/NS$ a Tr transzformátor áttétele, δ ($0 < \delta < 1/2$) az IGBT-k relatív bekapcsolási időtartama a kapcsolási frekvencia T periódusidejéhez viszonyítva, UC a kondenzátor feszültsége. Az iv begyújtási képességét a kimenőfeszültség

$$U_{KIM} = aU_C \quad (2)$$

csúcserőteke határozza meg, ami aszimmetrikus félhíd kapcsolású nyitóüzemű konverter esetében előnyösen a legnagyobb munkaponti feszültség kétszerese is lehet.

A 3. ábrán bemutatott kapcsolás valójában már egy komplett DC elektróda hegesztő áramforrás céljára alkalmas elrendezés, erre utal a kimenőkapsok "elektródák" megnevezése. Az elektródákra jutó egyenfeszültséget, illetőleg az azokon folyó áram nagyságát a visszacsatolt áram és feszültség ellenőrző jel figyélésével [1] az elektronikus vezérlő-, szabályozó-egység irányítja a hegesztési technológia követelményeinek megfelelően. A beavatkozás a δ kivezérlési tényező nagyságának változtatása által történik [Id. (1) összefüggést]. A 3. ábra feltünteteti azokat az áramköri részleteket is, amelyek az IGBT-k megfelelő sebességű ki- és bekapcsolásának feltételeit megteremtik a GATE-EMITTER áramkörben (GATE-vezérlő), illetve a KOLLEKTOR-EMITTER áramkörben (snubber és clamp áramkörök).

A 3. ábrán látható alapmodul egyfázisú hálózatról táplált esetben használható. A "hálózatbarát" tulajdonságú berendezésekben a szinuszos áramfelvételt pre-konverter alkalmazásával érik el [4]. Háromfázisú betáplálás esetén a B jelű egyfázisú hídkapcsolást háromfázisú hídkapcsolással kell felcserélni. A C pufferkondenzátor kapcsain ekkor nem 300 V, hanem 550 V nagyságrendű feszültség képződik, ennek megfelelően kell megválasztani a konverter félvezető elemeinek feszültségtűrését, illetőleg a Tr transzformátor a áttételét [Id. (1) és (2) összefüggést].

Irodalom

- [1] Horváth, M.: Mittelfrequenz-Energieumformer für Lichtbogen-Schweißtechnik mit bipolaren und MOSFET- Transistoren. 10. Intern. Fachtagung der TH Chemnitz, 1991. 02.12-15. pp. P 32-1..4.
- [2] Albarack, J. H.-Barrow, S. M.: Power Factor Controller IC Minimises External Components. PCIM February, 1993. pp.42-48.
- [3] Horváth, M. - Dr. Borka, J.: Forming Some Hundred AC Current with High Rate of Rise Applying High Frequency Energy Converter. IEEE Int. Symposium on Industrial Electronics (ISIE 93) Budapest 1993. jun 1-3. Proc. pp. 679-682.
- [4] Horváth, M. - Dr. Borka, J.: Welding Equipment with Power Factor Correction. 7th International Power Electronics & Motion Control Conference (PEMC '96), Budapest, 1996. Proc. Vol.2/3. pp. 181-186.
- [5] Dr. Borka, J. - Horváth, M.: A New, Simple, Low-Cost, Modular Arrangement of High Power Factor for both DC and AC Welding. ISIE '99 Conference, Bled-Slovenia, July 12-16, 1999. Proc. pp. 757-761/Volume 2 of 3.
- [6] Horváth, M. - Dr. Borka, J.: Compact Welding and Plasma Cutting Equipment. EPE-PEMC 2000 Conference, Kossice-Slovakia, September 5-7, 2000. Proc. pp. 2-224 - 2-229.

SZERZŐK



Horváth Miklós okl. villamosmérnök 1937-ben született Pacsán. A BME Villamosmérnöki Karának Műszer és Finommechanikai Szakán 1960-ban szerzett oklevelet. Az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézete (MTA-SZTAKI) jogelődjénél, az MTA Automatizálási Kutató Laboratóriumában kezdett 1960-ban. Jelenleg az MTA-SZTAKI Teljesítményelektronika Osztályán tudományos munkatárs. 1968-tól több mint 15 éven át a Kandó Kálmán

Villamosipari Főiskolán (KKVMF) félállású oktatóként is tevékenykedett, a főiskola címzetes docense. A 60-as évek közepe óta tagja a MEE-nek. Korábban több bizottságban dolgozott, rendszeresen részt vett a MEE hazai és nemzetközi konferenciáiban, gyakran publikált a MEE folyóirataiban e lapokban publikációinak száma 16. A MEE Nívódíját öt ízben nyerte el (1986., 1992., 2001., 2002., 2004.). mhorváth@sztaki.hu



Dr. Borka József okl. villamosmérnök. 1958-ban szerzett a BME Villamosmérnöki Karán erősáramú oklevelet. 1965-ben végezte el a BME Folyamatszabályozási Szakmérnöki Szakát. A műszaki tudományok kandidátusa fokozatot 1981-ben szerzte meg, majd ennek alapján 1982-ben doktori címet nyert el a BME-n. 1958-ban a BME Különleges Villamosgépek Tanszékén működő akadémiai Kutató Csoporthoz került tudományos gyakornokként. A Kutató Csoport előbb MTA Automatizálási Kutató Laboratórium (1960), majd Intézet (1964), később MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet (1971) alakult. Itt dolgozott kezdetben tudományos segédmunkatársként, majd 1962-től tudományos munkatársként, 1981-től főmunkatársként, s végül 1991-től tudományos osztályvezetőként. A MEE tagja, több bizottságban dolgozott. Nívódíjas 2001., 2002., 2004-ben. jboroka@sztaki.hu Publikációinak száma az Elektrotechnikában: 17.

Szakmai lektor: Dr. Schmidt István egyetemi tanár, BME, a MEE tagja
*Elhangzott: EPE - PEMC 2000, Kassa, Szlovákia, 2000. szeptember

VILLÉRT