

Szabó Ferenc, Németh Géza

Nagyteljesítményű, váltakozó feszültségű szünetmentes áramellátó rendszer bemutatása és annak terheléses vizsgálata

A cikk új fejlesztésű nagyteljesítményű szünetmentes áramellátó rendszert mutat be, amellyel szemben alapvető követelmény a kimeneti feszültség statikus és dinamikus pontossága. Emellett a tervezésénél szem előtt tartották a megbízhatósági követelményeket, a felügyelet nélküli működés szempontjait. A cikk ismerteti a rendszer terheléses vizsgálati módszerét, amelyre a rendszer kimeneti teljesítményének nagysága miatt volt szükség.

This abstract presents a short description of a new generation UPS system. Primary requirement against this system is the static and dynamic precision of the output voltage. Beside that, it was a main aim during the designing process to create a UPS that is reliable and doesn't need constant monitoring by personnel. This paper describes test method under nominal load condition which was difficult task due to the high power rating of the system.

BEVEZETÉS

A szünetmentes energiaellátó rendszerek igénye minden olyan helyen felmerül, ahol az üzemet külső zavaró körülményektől függetlenül, minden körülmények között fenn kell tartani. Ezzel az igénnyel együtt rögtön adódik a következő követelmény, a megbízhatóság, hiszen ezek a berendezések akkor kerülnek alkalmazásra, ha valamely fogyasztónál elengedhetetlen a folyamatos működés biztosítása, még akkor is, ha a fogyasztót tápláló hálózat feszültségében, külső energiaellátásában valamilyen zavar, pl. feszültségletörés, kimaradás történik. Továbbá az ilyen rendszereknek automatikus működésűnek, felügyeletet nem igénylő kialakításúknak kell lenniük.

Az alábbiakban egy új fejlesztésű szünetmentes áramellátó rendszert mutatunk be, amely tervezésénél szem előtt kellett tartani az előzőekben leírtakat. Mivel a bemutatott rendszer teljesítménye relatív nagy – 250 kVA (kW) –, ezért a terheléses vizsgálatoknál különleges eljárásra, illetve kiegészítő berendezésekre volt szükség.

Ez a rendszer a MAVIR budapesti székházában jelenleg is üzemel, energetikai technológiai folyamatok szünetmentes energiaellátását biztosítja.

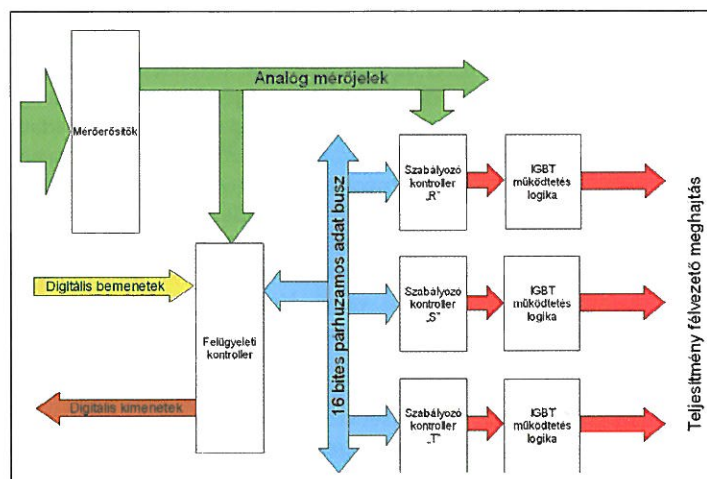
A RENDSZER FŐBB MODULJAI

A rendszer felépítése modulszerű, amelyet megbízhatósági követelmények indokolnak, hiszen ezáltal a rendszer bizonyos részeinek esetleges meghibásodása esetén is esély van a szünetmentes energiaellátás biztosítására, legalább annyi ideig, amíg a kezelő személyzet kijavítja a hibát, vagy gondoskodik az energiaellátás más módon történő folyamatosságáról. Például az egyenirányító modul hibája esetén az akkumu-

látorból – annak kapacitása mértékéig – még fenntartható az inverter üzeme, vagy épp az inverter meghibásodása esetén az átkapcsoló modul is fenn tudja tartani az energiaellátást a közüzemi hálózat fogyasztókra történő kapcsolásával.

A modulok vezérlése

A rendszer moduljainak vezérlését több, nagy sebességű mikrokontrollert tartalmazó vezérlő áramkör látja el. A vezérlő áramkör univerzális kialakítású, abban a tekintetben, hogy analóg jelek feldolgozására alkalmas áramköröket, analóg erősítő, jelformáló és analóg digitális átalakító részeségeket tartalmaz, digitális bemenő jelek fogadására képes, alkalmas a modulokban található mágneskapcsolók, ventilátorok, és egyéb olyan részesegések működtetésére, amelyek kétállapotú, digitális vezérlőjelet igényelnek. Alkalmas továbbá a modulokban található teljesítmény-félvezetők számára szükséges, megfelelő sebességű és szintű vezérlőjelek kiadására. Mint már említettük, a vezérlés áramköri tekintetben univerzális, a modulok – ahová a vezérlő áramkör beépül – feladata pedig különböző, a különbözőképpen történő működést a mikrokontrollerekben elhelyezett programok adják. A vezérlés által ellátandó feladat több részre bontható, van szabályozástechnikai része, hiszen a modulok többsége alapvetően feszültség-, illetve áramszabályozó áramkörnek is tekinthető, gondoljunk például az inverterre, ami egy váltakozó feszültségű generátor, és a kimeneti feszültségét szabályozni kell, vagy az akkumulátortöltőt, ahol a töltőfeszültség és a töltőáram is szabályozott kell legyen. Ezenkívül a vezérlésnek felügyeleti-ellenőrző funkciót is el kell látnia. A feladatok sokrétűsége miatt a vezérlés úgynevezett multikontrolleres felépítésű, több (4 db) egymással nagy sebességű adatátviteli kapcsolatban lévő mikrokontrollert tartalmaz, külön controller végzi a felügyeleti feladatokat és külön controller a szabályozási funkciókat, mivel a bemutatott rendszer háromfázisú, ezért minden fázisnak külön szabályozó kontrollere van. A vezérlés blokkvázlata az 1. ábrán látható.



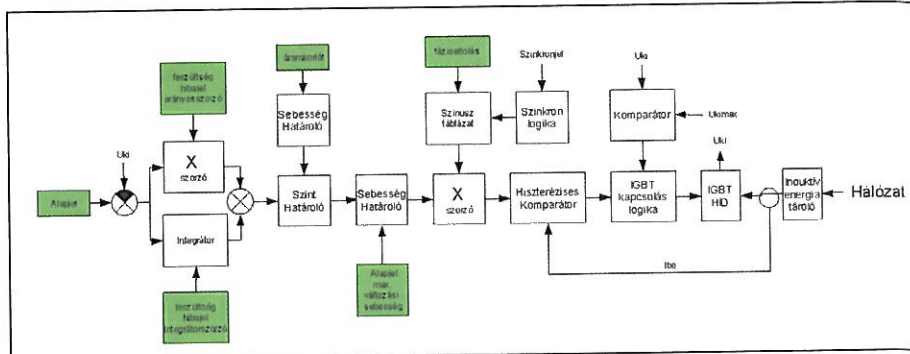
1. ábra A vezérlés blokkvázlata

EGYENIRÁNYÍTÓ

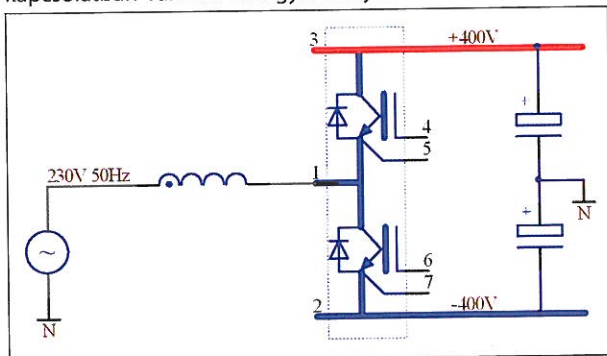
Főáramköri elrendezés

Az egyenirányító egység áramköri felépítését tekintve megegyezik egy háromfázisú inverter főáramkörével. A főáramkör egy fázisának felépítése a 2. ábrán látható. Az inverter és az egyenirányító működése közötti különbség csak a szabályozókörökben és az energia áramlásának irányában van. Az inverter működése közben mindig négynegyedes üzemmódban, az egyenirányító pedig kétnegyedes üzemmódban működik. A félhidak közvetlenül alkalmasak az UPS-

rendszer közbensőkori feszültségének előállítására, valamint emiatt alkalmas az egyenirányító a kétnegyedes üzemmódra. Ebből következik, hogy elég egyfajta félvezetőt használunk, amely megegyezik a rendszer inverterében használt félvezetőkkel. Ez egyszerűsíti a mechanikai elrendezést, olcsóbbá teszi az alkatrészek beszerzését, és kevesebb alkatrész felhasználásával építhető fel az egyenirányító. A bemutatott UPS-rendszer nem tartalmaz transzformátort, a kimenetek és a bemenetek galvanikus kapcsolatban vannak. Az egyenirányító



3. ábra Egyenirányító berendezés programjának működési vázlata



2. ábra A főáramkör egy fázisának felépítése

berendezés, a bemenetére kapcsolt háromfázisú szinuszos váltakozó feszültségből állítja elő a +/-400 V egyenfeszültséget. A főáramkör kialakítása 400 A-es, 1200 V-os IGBT félhidak felhasználásával történt, amelyekből az egyes fázisokban többet – az inverternél hármat, az egyenirányítónál négyet – is párhuzamosan kellett kapcsolni.

A berendezés vezérlése

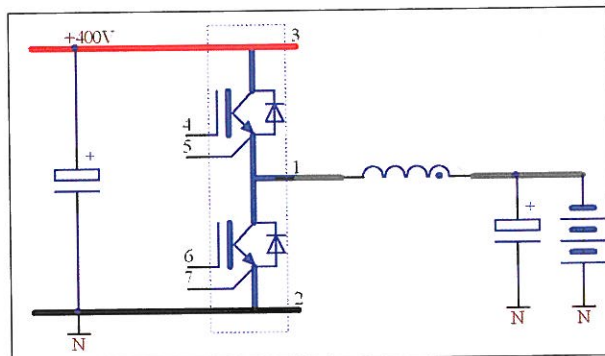
Mint már az előzőekben említettük, a teljes áramellátó rendszert felépítő berendezések vezérlése kivételét tekintve teljesen azonos működésük különbözősége a bennük tárolt programban rejlik. Az egyenirányító berendezés alapvető feladata a berendezést tápláló hálózati váltakozófeszültségből egyenfeszültség előállítása, mégpedig pozitív és negatív polaritással. Mivel nagy teljesítményű berendezésről van szó, ezért alapkövetelmény a hálózatról felvett áram szinuszos alakja. Ezt a feladatot a berendezés szabályozója látja el, ami teljesen digitális megvalósítású, vagyis lényegében egy programról beszélünk, ami a szabályozó mikrokontrollerben működik. A program működési vázlata a 3. ábrán látható. Az áttekinthetőség kedvéért nem tárgyaljuk a modul felügyeleti funkcióit, és csak egy fázis működését vizsgáljuk. A berendezés által mért és a szabályozóhoz szükséges analóg jeleket a kontrollerben lévő többcsatornás analóg digitális átalakító átalakítja digitálisan feldolgozható értéké. A berendezés alapfeladata a kimeneti feszültség megadott értéken való tartása, szabályozása terhelés nélküli és teljes terhelésű üzemben egyaránt. Ezt egy feszültségszabályozó végzi, amelynek szabályozási köre arányos és - a kimeneti feszültség pontosságának követelménye miatt - integráló tagokat tartalmaz. A szabályozó felépítése az alapkövetelményként említett szinuszos felvett áram miatt kettős, a feszültségszabályozó hibajele az áramszabályozó alapjelét képezi. Mivel a kis torzítású szinusz alakú felvett áram csak a feszültségszabályozó lassú működésével biztosítható, ezért az áramalapjel változási sebességét egy szűrő korlátozza. A berendezés kimeneti áramkorlátozása az áramalapjel amplitúdójának határolásával valósul meg.

A program tartalmaz egy szinusz jelalakot leíró táblázatot, e táblázat értékeivel szorozzuk az említett alapjelet, így a tényleges áramszabályozó alapjel már szinusz alakú lesz. A szinusz táblázat címzését, vagyis hogy adott pillanatban melyik elemét használjuk fel a számításonál, összhangba kell hozni a hálózati feszültség fázisával, szinkronizálni kell ehhez, hiszen a felvett áramnak nemcsak „szinuszosnak” kell lennie, hanem „egyező fázisban” is kell lennie a hálózati feszültséggel. Az áramszabályozó lényegében egy hiszterézises komparátor, az áramalapjel „követésével” valósul meg a hálózatról felvett áram segítségével a kimeneti egyenfeszültség, illetve egyen-áram előállítása.

AKKUMULÁTORTÖLTŐ ÉS DC/DC ÁTALAKÍTÓ

Főáramköri elrendezés

Ez a részegység elhelyezését tekintve egy szekrényben kapott helyet az egyenirányítóval. Ebben az átalakítóban is ugyanazokat a félvezetőket kerültek beépítésre, mint az egyenirányítóban. Itt a pozitív és negatív oldalon is egy-egy IGBT félhid kapcsolódik a „nulla” és a közbensőkori feszültség közé. Az áramkör felépítése a 4. ábrán látható. A félhidak középső pontjai csatlakoznak szűrő áramkörökön és biztosítókön keresztül az akkumulátortelepekhez. A DC/DC konverter kétféle üzemmódban működik. Hálózat táplálású üzemben az egyenirányító által előállított +/-400 V feszültségből, az IGBT-k vezérlésével feszültségcsökkentő módban áll elő az akkumulátortelepek töltéséhez szükséges feszültség. Az akkumulátortelepek névleges feszültsége +/-240 V.

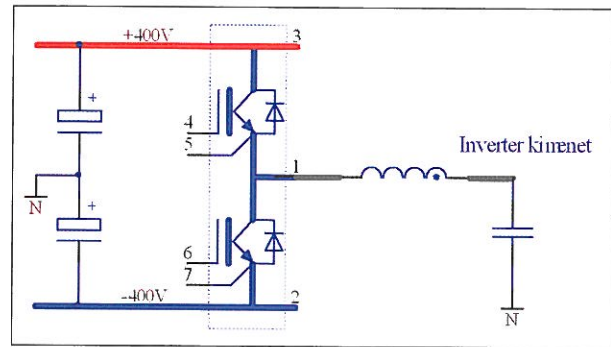


4. ábra Akkumulátortöltő és DC-DC átalakító főáramkörének felépítése

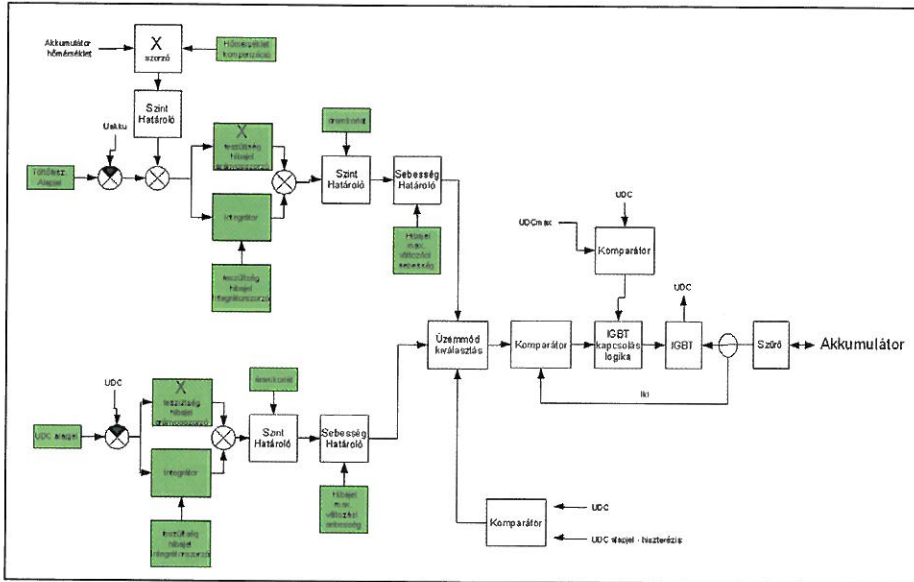
A hálózati feszültség kimaradásakor vagy az egyenirányító egység esetleges meghibásodásakor az IGBT-k megfelelő vezérlésével feszültségnövelő módban az akkumulátorok feszültségét az inverterek működtetéséhez szükséges megfelelő szintre emeli a rendszer, így biztosítva annak zavartalan üzemét.

A berendezés vezérlése

A berendezés feladata kettős, egyfelől töltenie kell az akkumulátorokat (pozitív és negatív feszültség) az egyenirányító által előállított pozitív és negatív egyenfeszültségből, másfelől ha az egyenirányító berendezés nem működik, vagy épp nincs hálózati feszültség, akkor elő kell állítania azt az előzőekben említett egyenfeszültséget az akkumulátorok feszültségéből, ami a rendszer inverterének táplálását biztosítja. Az akkumulátorok feszültsége kisebb ennél a feszültségnél, ezért ez az átalakító feszültségnövelő DC/DC átalakító. A berendezés vezérlőprogramjának blokkvázlata az 5. ábrán látható. Az akkumulátortöltő és a feszültségnövelő átalakító üzemmód megválasztása a bemeneti egyenfeszültség nagyságától



6. ábra Inverter berendezés főáramkörének felépítése



5. ábra Akkumulátortöltő és DC-DC átalakító berendezés programjának működési vázlatja

függ. Ha ez a feszültség nagyobb egy határértéknél, akkor a berendezés akkumulátortöltő módban működik. Ha ez a feszültség a határérték alá csökken, akkor e modul feladata ennek a feszültségnek a fenntartása a továbbiakban, vagyis feszültségnövelő üzemmódba kapcsol. Mind az akkumulátortöltő, mind pedig a feszültségnövelő szabályozási köre arányos és integráló tagokat tartalmaz. Ezeket követi az egyenirányító berendezésnél már megismert hiszterézises komparátorral megvalósított áramszabályozó. Az áramkorlátozást itt is az áramszabályozó alapjelének határolása jelenti. A berendezés méri az akkumulátor hőmérsékletét, és a töltési feszültséget ennek megfelelően korrigálja.

INVERTER

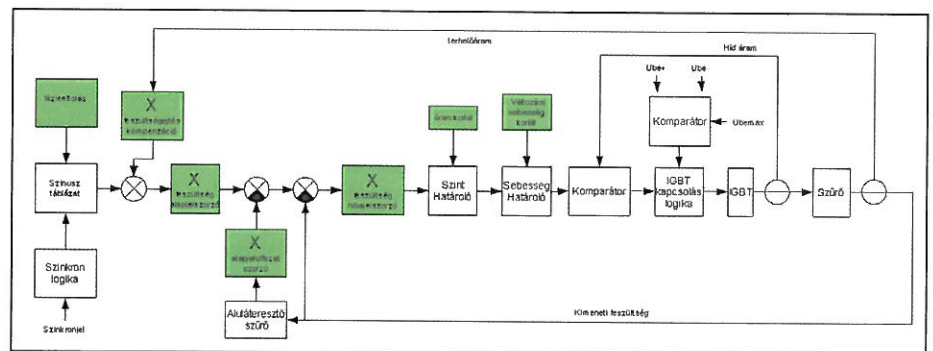
Főáramköri elrendezés

Az inverter főáramköri felépítése hasonlít az egyenirányítóhoz a különbséggel, hogy a váltakozó feszültségű kimeneten egy soros rezgőkör található, amelynek rezonanciafrekvenciája a főáramkör kapcsolási frekvenciája miatt relatív nagy értékűre lett megválasztva. A kimeneti feszültség a rezgőkör kondenzátorán képződik. Az inverter berendezés szintén ugyanazokat a félvezetőket tartalmazza, mint a fentebb bemutatott két részegység, így az egész rendszert

nézve összesen egy fajta IGBT modul segítségével épül fel a teljes UPS. Működése nagyban hasonlít az egyenirányító működéséhez, csak az energia az egyenfeszültségű oldalról a váltakozó feszültségű kimenet felé áramlik.

A berendezés vezérlése

Az inverter berendezés egy szinuszos jelalakú feszültséggenerátor, ezért a működésének lényege egy feszültség-szabályozó. Az inverter blokkvázlata a 7. ábrán látható. A szinuszos alapjelet egy táblázat elemeiből nyerjük, a táblázat címzése itt is, mint az egyenirányítónál a hálózat feszültségéhez van szinkronizálva azért, hogy az átkapcsoló berendezés a rendszer kimeneti feszültségében lévő szünet vagy számottevő hiba nélkül tudjon váltani az inverter és a hálózat feszültsége között. Az így



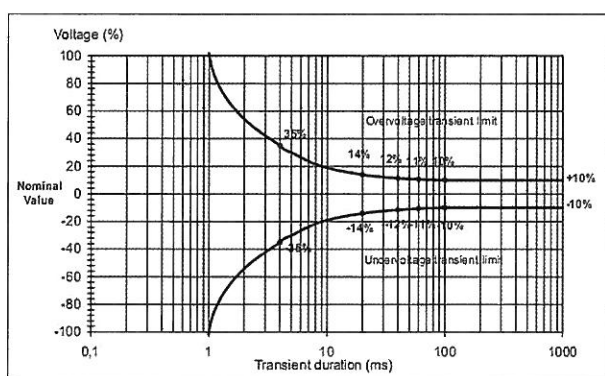
7. ábra Inverter berendezés programjának működési vázlatja

előállított feszültségalapjel és a mindenkori kimeneti feszültség pillanatértékének különbsége adja a feszültséghibajelét. Ezután egy szinthatároló következik, amivel a maximális kimeneti áramot korlátozzuk. Az ezután következő hibajel sebesség határoló zavarszűrési célokat szolgál. Az áramszabályozó itt is a már jól ismert hiszterézises áram komparátor. Az inverter kimeneti feszültségével szemben követelmény a nagyon kis értékű egyenfeszültségű összetevő (jellemzően 0,1%!). Ezért az inverter egy egyenfeszültség szabályozási kört is tartalmaz, a kimeneti feszültség egy nagy időállandójú (több másodperc) alul áteresztő szűrőre kerül, az így képződött hibajellel korrigáljuk az alapjelet. Az inverter modulban is mindegyik fázisnak külön szabályozó kontrollere van. A fázishelyzet kötöttségét, vagyis a fázisok közötti 120 fokos fáziskülönbséget a felügyeleti controller biztosítja. A terhelőáram pil-

lanatértékének egy szorzóval beállított hányadával korrigáljuk a feszültség szabályozó alapjelét. Ezzel elérhető akár negatív értékű kimeneti ellenállás is, amivel például egy hosszabb vezeték szakaszon létrejövő feszültségesés kompenzálható.

ÁTKAPCSOLÓ

Az áramellátó rendszer átkapcsoló berendezése a kimenetén folyamatosan fenntartja a kimeneti feszültséget a bemenetire kapcsolt hálózati feszültségből vagy az inverter feszültségéből. Hogy mikor melyikből, azt a feszültségek folyamatos elemzéséből dönti el. Ehhez az elemzéshez a 8. ábrán látható diagramot használja fel, amelyet a program táblázat formájában tartalmaz. Amennyiben a kimeneti feszültség tranziense elhagyja a diagramban görbével határolt területet, akkor az átkapcsoló azt a bemeneti feszültséget kapcsolja a kimenetére a továbbiakban, amivel a kimeneti feszültség hibája megszüntethető. A kapcsolás tirisztor kapcsolókkal történik.



8. ábra Kimeneti feszültség hiba-tűrési diagram

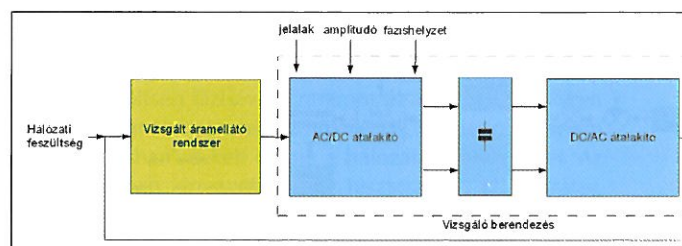
A RENDSZER VIZSGÁLATA

Az áramellátó rendszer vizsgálata során szükség van a rendszer terhelésére, ami a névleges terhelést, valamint bizonyos méréseknél a rendszer olyan mértékű túlterhelését is jelenti, amit a rendszer egy meghatározott ideig elvisel, vagyis erre történt a méretezése. Ha meggondoljuk, hogy a szóban forgó berendezés milyen névleges teljesítményű, akkor láthatjuk, hogy a terheléses vizsgálat milyen problémákat vet fel mind termikus szempontból, mind költség szempontjából. Ha a terhelést a rendszerre kapcsolt terhelő ellenállásokkal kívánánk megvalósítani, akkor a keletkező hő elvezetése komoly problémát jelentene, nem beszélve az elhasznált villamos energia költségéről. Ezeken túlmenően az induktív, kapacitív és nemlineáris terhelés – amivel a rendszert vizsgálni kell – megvalósítása további problémát jelent. Az említett problémákból következően a vizsgálatra olyan megoldást kell keresni, ahol a villamos energiának egy része visszanyerhető, illetve nem jelentkezik veszteséggént, valamint a vizsgált rendszer terhelőárama elektronikusan szabályozható mind nagyságát, mind fázishelyzetét, mind pedig hullámformáját illetően.

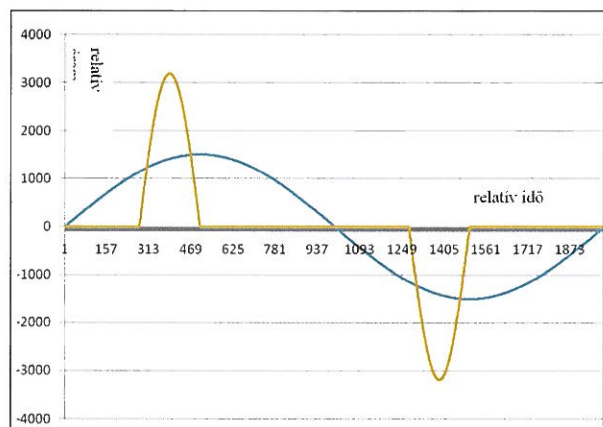
A VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS BEMUTATÁSA

A felhasznált vizsgáló berendezés egy AC/DC és egy DC/AC átalakítóból áll, amelyek egymással és a vizsgáló berendezéssel a 9. ábrán látható módon vannak összekapcsolva. A vizsgálandó berendezés terhelésként az AC/DC átalakítót „látja”, amely hasonlóan működik a már korábban bemutatott Egyenirányító modulhoz. A különbség az, hogy itt a felvett

áram alakja nemcsak szinuszos lehet, hanem választhatóan meghatározott hosszúságú tranziens, amelynek kezdete beállítható, továbbá nemlineáris (hagyományosan dióda ellenállás és kondenzátor kombinációjával előállított terhelő áramkör) jelalak. Erre példát a 10. ábrán láthatunk, ahol a működtető programban elhelyezett áramjelalakat leíró táblázat grafikus ábrázolását láthatjuk. Az így előállított egyenfeszültséget a második DC/AC átalakító 50 Hz frekvenciájú háromfázisú feszültséggé alakítja, ami visszakerül a vizsgálandó rendszer bemenetére. Ugyancsak erre a pontra csatlakozik a hálózat. Ezzel az elrendezéssel elérhetjük, hogy a terheléses vizsgálat teljesítményigénye mindössze annyi, ami a vizsgálandó rendszer és a két méréshez felhasznált átalakító veszteségi teljesítménye. Figyelembe véve, hogy mind az átalakítók, mind pedig a vizsgált rendszer hatásfoka 95% körüli érték, ez igen kedvező.



9. ábra A vizsgáló és vizsgált berendezések összekötése



10. ábra Nemlineáris terhelés - áram jelalak

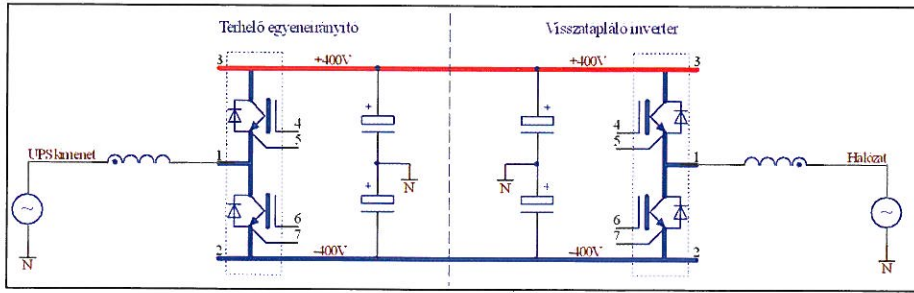
A vizsgáló berendezés főáramköri elrendezése

A berendezés két egységből áll, amelykegyenyanolyan párt alkotnak, mint a vizsgált UPS-rendszer egyenirányító és inverter egységei. Az egyenirányító bemenetére csatlakozik az UPS kimenete. Az egyenirányító az UPS-rendszert a szabályozókörrel által meghatározott alakú és fázishelyzetű állandósult vagy tranziens árammal terheli. Az így felvett energia megemeli az egyenirányító kimeneti feszültségét. A terhelő berendezés inverter egysége a kimenetén szinuszos áramot előállítva szintén áramgenerátoros módon táplálja vissza az energiát arra a pontra, ahol az UPS-rendszer egyenirányítója csatlakozik a hálózatra. A visszatáplált áram értékét a közbensőköri feszültség egyensúlya határozza meg. A csomóponti törvény miatt ezen a ponton az UPS egyenirányítója által felvett és a terhelő berendezés invertere által visszatáplált áramok különbsége lesz a hálózathoz felvett áram. A hálózathoz felvett teljesítmény az öt részegység veszteségi teljesítményével egyező.

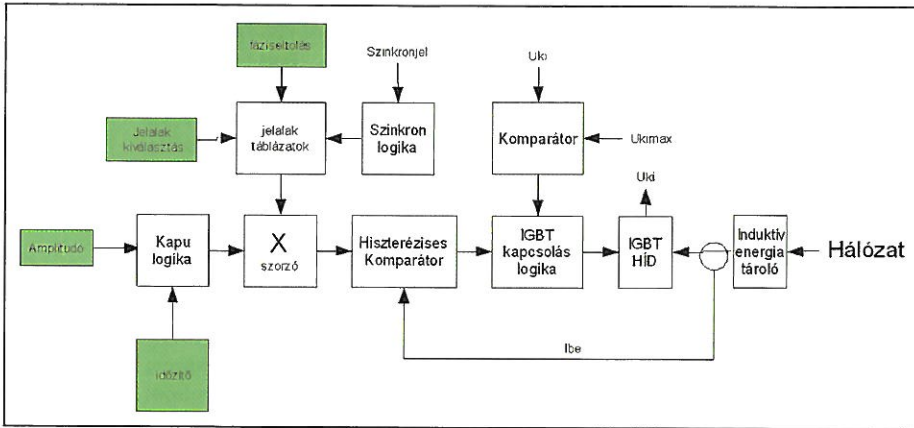
A vizsgáló berendezés vezérlése

Egyenirányító

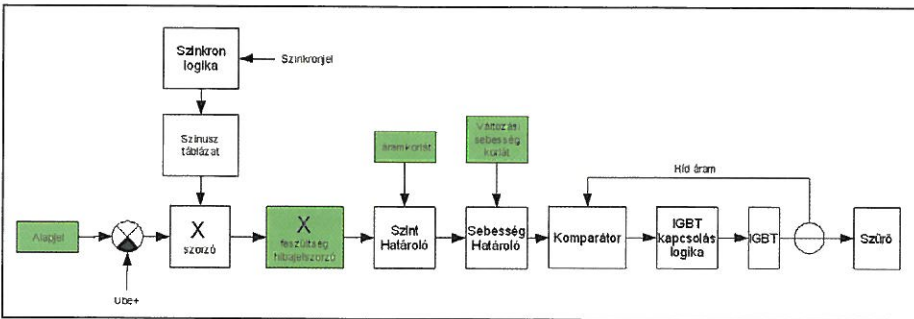
A vizsgáló berendezés egyenirányítója szintén a már bemutatott vezérlő áramkört tartalmazza, működtető programjának



11. ábra Vizsgáló berendezés főáramkörének felépítése



12. ábra Vizsgáló berendezés egyenirányító modul - program működési vázlat



13. ábra Vizsgáló berendezés inverter modul - program működési vázlat

működési vázlat pedig a 12. ábrán látható. Az elve egy áramgenerátor, ami a hálózatból, illetve a vizsgált berendezésből felvett áramot határozza meg. A jelalak változtatható, illetve egy táblázatból választható, ezeket a jelaktáblázatokat a működtető program tartalmazza. Természetesen háromfázisú berendezésről van szó, itt az egyszerűség kedvéért csak egy fázis működését mutatjuk be, a kiválasztott jelalakok fázisonként akár eltérőek is lehetnek. A jelaktáblázat, vagyis a terhelőáram szinkronizálása a vizsgált berendezés kimeneti feszültségéhez történik. Az egyenirányító pozitív és negatív egyenfeszültséget állít elő. Ha a kimeneti feszültség túllép egy meghatározott értéket, amit egy komparátor vizsgál, akkor a teljesítmény-félvezetők (IGBT) vezérlése tiltásra kerül.

Inverter

A vizsgáló berendezés invertere egy szinuszos jelalakú áramgenerátor, ami egy feszültségszabályozó kör részét képezi. Mint az a 13. ábrából látható, a feszültségszabályozó az inverter bemeneti feszültségét szabályozza és az áramgenerátor áramába avatkozik be, vagyis annál nagyobb lesz az áramgenerátor kimeneti árama, minél nagyobb az inverter bemeneti feszültsége. Az inverter maximális kimenő áramát a feszültségszabályozó kör hibajelének határolásával állítjuk be. Az ezt követő hibajel változási sebesség határoló zavar-

szűrési célokat szolgál, az 50 Hz frekvenciájú szinuszos áram alapjel változási sebességét nem korlátozza, de a nagyobb frekvenciájú összetevőket kiszűri.

A TERHELÉSKÉNT HASZNÁLT KÉT EGYSÉG EGYÜTTMŰKÖDÉSE

A két berendezés szabályzóköreinek paramétereit úgy állítottuk be, hogy egyetlen kézi beavatkozó szervvel lehessen állítani a terhelés nagyságát. Ezt úgy értük el, hogy a két egység egyenfeszültség szabályzóköreinek alapjelét nem egyforma értékre választottuk. Az inverter alacsonyabb bemeneti feszültség értékre szabályoz, de az áramkorlátja a névleges terhelő áram. Ilyen módon az egyenirányító egység áramkorlátjának beállításával kontrollálhatjuk a felvett energia mértékét, és közben a rendszerben végig megmarad a teljesítményegyensúly. Ebben a működési módban az egyenirányító mindig áramkorlátozott tartományban van, a fentebb említett kézi beavatkozó szerv egy potenciométer, amivel ezt az áramkorlátot lehet állítani.

A VIZSGÁLATI MÓDSZER ELŐNYEI

A mérési elrendezés elemeinek hatásfokvizsgálatából belátható, hogy a terhelési mérés energiagigénye a töredéke annak, mintha a terhelést passzív elemekkel, terhelő ellenállásokkal valósítanánk meg, és így az energiát teljes egészében hővé alakítanánk. Ez a vizsgált rendszer hatásfokát is figyelembe véve kb. 270 kW! Ezzel szemben az energia a

vizsgált rendszer bemenetére történő visszatáplálásával az összes veszteség, ami a vizsgált rendszerben és az átalakítóknál képződik kb. 45 kW. További előny, hogy a terhelőáram jelalakja szinte tetszőlegesen választható, vagyis a valóságban előforduló valamennyi terhelési üzemmód modellezhető: kapacitív, induktív, nemlineáris, stb.



Szabó Ferenc

vezető fejlesztőmérnök
Powerquattro ZRt
MEE-tag

pqinfo@powerquattro.hu



Németh Géza

műszaki igazgató
PowerQuattro Zrt.
MEE-tag

pqinfo@powerquattro.hu

Szakmai lektor: Molnár Károly fejlesztési igazgató, Powerquattro Zrt.