

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

© Németh Géza, Szabó Ferenc

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 igényrel 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 tartottuk az előzőekben leírtakat. Mivel a bemutatott rendszer teljesítménye relatív nagy – 250 kVA (kW) –, ezért a terheléses vizsgálatoknál különleges eljárásra, illetve kiegészítő berendezésekre volt szükség, amiket – érdekességük miatt – szintén bemutatunk.

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

A rendszer főbb moduljainak ismertetése

A rendszer felépítése modulszerű, amit megbízhatósági követelmények indokolnak, hiszen ezáltal a rendszer bizonyos részeinek esetleges meghibásodása esetén is esély van a szünetmentes energiaellátás biztosítására, legalább annyi ideig, amíg a kezelőszemélyzet kijavítja a hibát, vagy gondoskodik az energiaellátás más módon történő folyamatosságáról. Például az egyenirányító modul hibája esetén az akkumulátorból – 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 rendszer moduljainak vezérlése

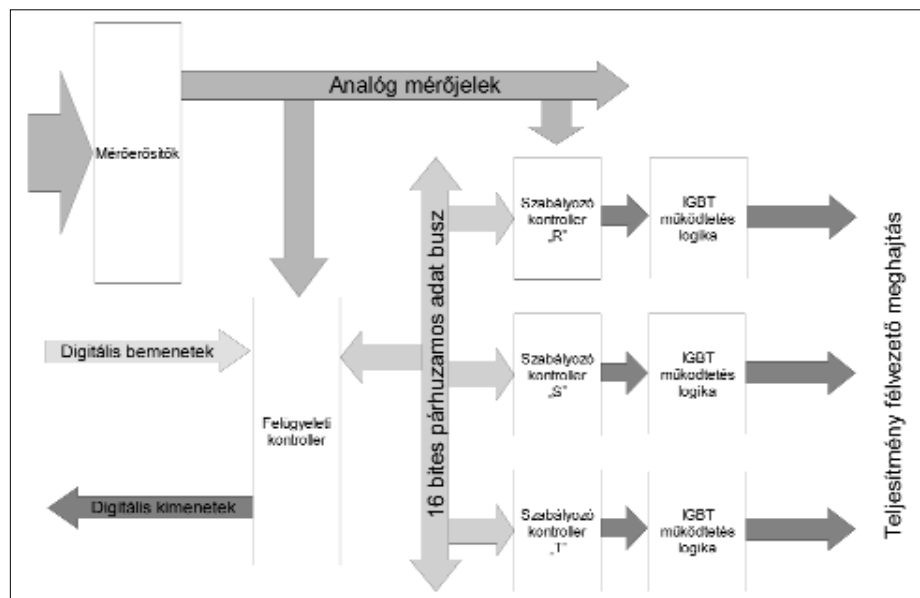
A rendszer moduljainak vezérlését több, nagysebességű mikrokontrollert tartalmazó vezérlőáramkör látja el. A vezérlőáramkör univerzális kialakítású abban a tekintetben, hogy analóg jelek feldolgozására alkalmas áramköröket, analóg erősítő, jelformáló és analóg digitális átalakító részegységeket tartalmaz, digitális bemenő jelek fogadására képes, alkalmas a modulokban található mágneskapcsolók, ventilátorok és egyéb olyan részegységek működtetésére, amelyek kétállapotú, digitális vezérlőjelet igényelnek. Alkalmas továbbá a modulokban található teljesítményű félvezetők számára szükséges, megfelelő sebességű és szintű vezérlőjelek kiadására. Mint már említettük, a vezérlés áramköri tekintetben univerzális, a modulok – ahová a vezérlőáramkör beépül – feladata pedig különböző, a különbözőképpen történő működést a mikrokontrollerekben elhelyezett programok adják. A vezérlés által ellátandó feladat több részre bontható, van szabályozástechnikai ré-

szel, hiszen a modulok többsége alapvetően feszültség-, illetve áramszabályozó áramkörök is tekinthető, gondoljunk például az inverterre, amely egy váltakozófeszültségű generátor, és a kimeneti feszültségét szabályozni kell, vagy az akkumulátortöltő, ahol a töltőfeszültség és a töltőáram is szabályozott kell hogy legyen. Ezen kívül a vezérlésnek felügyeleti-ellenőrző funkciót is el kell látnia. A feladatok sokrétűsége miatt a vezérlés úgynevezett multikontrolleres felépítésű, több (4 db), egymással nagysebességű adatátviteli kapcsolatban lévő mikrokontrollert tartalmaz, külön kontroller végzi a felügyeleti feladatokat és külön kontroller a szabályozási funkciókat, mivel a bemutatott rendszer háromfázisú, ezért minden fázisnak külön szabályozó kontrollere van. A vezérlés blokkvázlata az 1. ábrán látható.

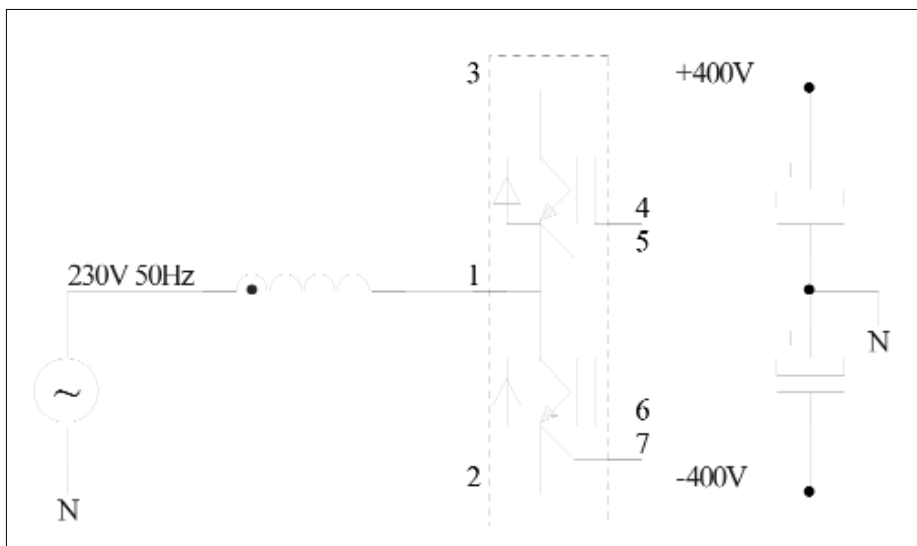
Egyenirányító

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 közbensőköri feszültségének előállítására, valamint emiatt alkalmas az egyenirányító a kétnegyedes üzemmódra. Ebből következik, hogy elég egyfajta félvezetőt használnunk, amely megegye-



1. ábra: A vezérlés blokkvázlata



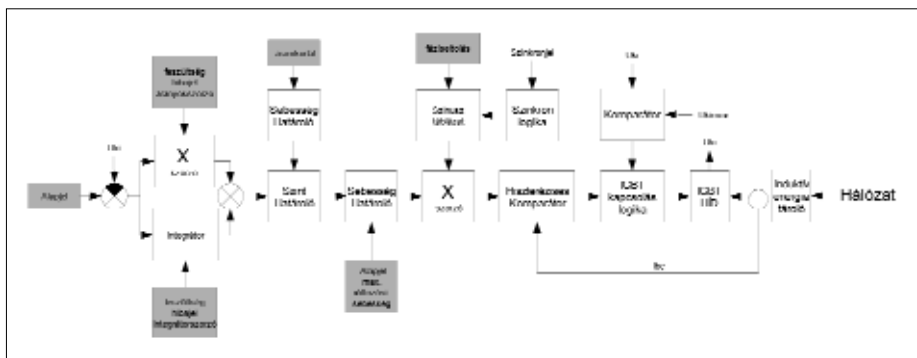
2. ábra: A főáramkör egy fázisának felépítése

zik 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 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 kivétel 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 nagyteljesítményű

berendezésről van szó, ezért alapkövetelmény a hálózathoz felvett áram szinuszos alakja. Ezt a feladatot a berendezés szabályozója látja el, amely teljesen digitális megvalósítású, vagyis lényegében egy programról beszélünk, amely a szabályozó mikrokontrollerben működik. A program működési vázlatát 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 feszültség szabályozó 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 feszültség szabályozó hibajele az áram szabályozó alapjelét képezi. Mivel a kis torzítású, szinuszos felvett áram csak a feszültség szabályozó lassú működésével bizto-



3. ábra: Egyenirányító berendezés programjának működési vázlatát

sítható, ezért az áram alapjel-változási sebességét egy szűrő korlátozza. A berendezés kimeneti áramkorlátozása az áram alapjel amplitúdójának határolásával valósul meg. A program tartalmaz egy szinuszos jelalakot leíró táblázatot, e táblázat értékeivel szorozzuk az említett alapjelet, így a tényleges áram szabályozó alapjel már szinuszos alakú lesz. A szinuszos táblázat címzését, vagyis hogy adott pillanatban melyik elemet használjuk fel a számításhoz, összehangba kell hozni a hálózati feszültség fázisával, szinkronizálni kell ehhez, hiszen a felvett áramnak nemcsak „szinuszosnak” kell lennie, hanem „egyeznie” kell a hálózati feszültséggel. Az áram szabályozó lényegében egy hiszterézises komparátor, az áram alapjel „követésével” valósul meg a hálózathoz felvett áram segítségével a kimeneti egyenfeszültség, illetve egyenáram előállítása.

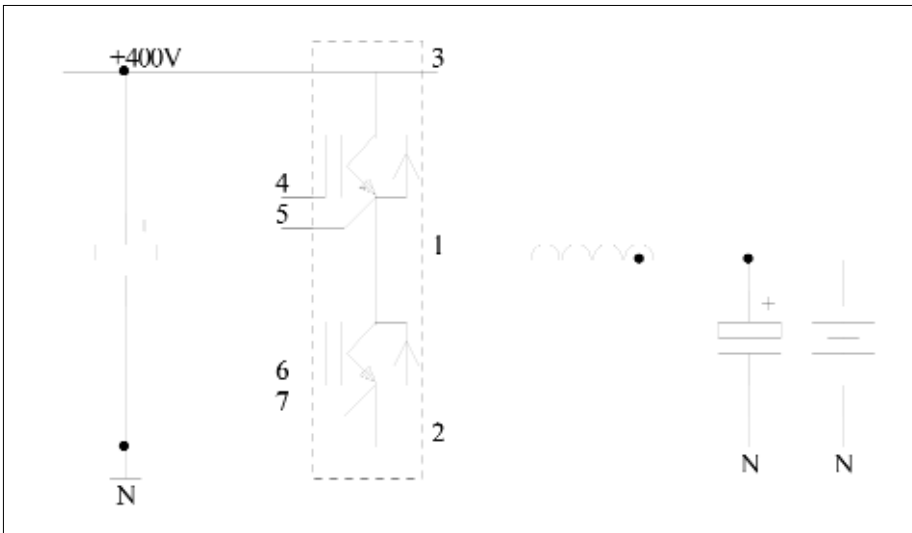
Akkumulátortöltő és DC/DC átalakító

Főáramköri elrendezés

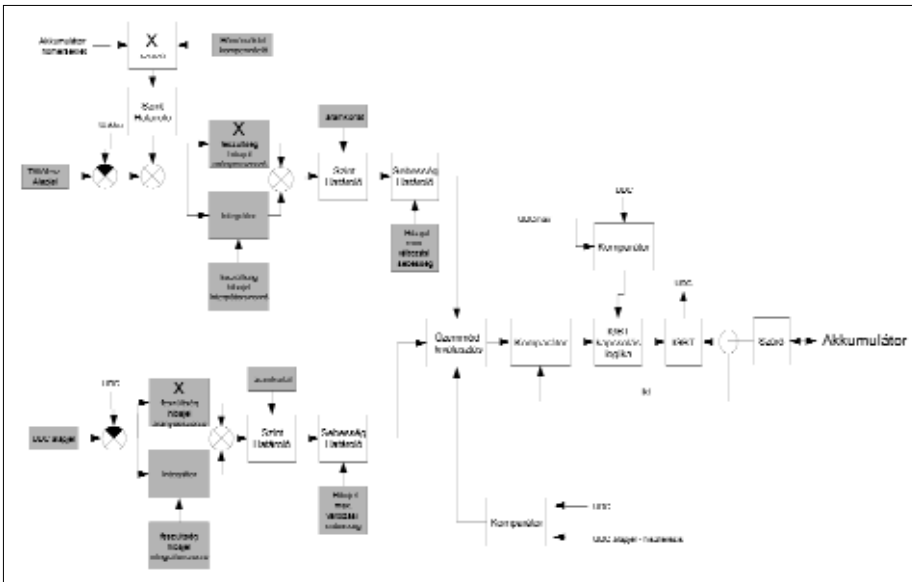
Ez a részegység elhelyezését tekintve egy szekrényben kapott helyet az egyenirányítóval. Ebbe az átalakítóba is ugyanazok a félvezetők kerültek beépítésre, mint az egyenirányítóba. Itt a pozitív és negatív oldalon is egy-egy IGBT félhid kapcsolódik a „nulla” és a közbensőköri feszültség közé. Az áramkör felépítése a 4. ábrán látható. A félhidak középső pontjai csatlakoznak szűrő áramkörökön és biztosítókön keresztül az akkumulátor telepekhez. A DC/DC konverter kétféle üzemmódban működik. Hálózat táplálású üzemből 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. 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 biztosítja annak zavartalan üzemét.

A berendezés vezérlése

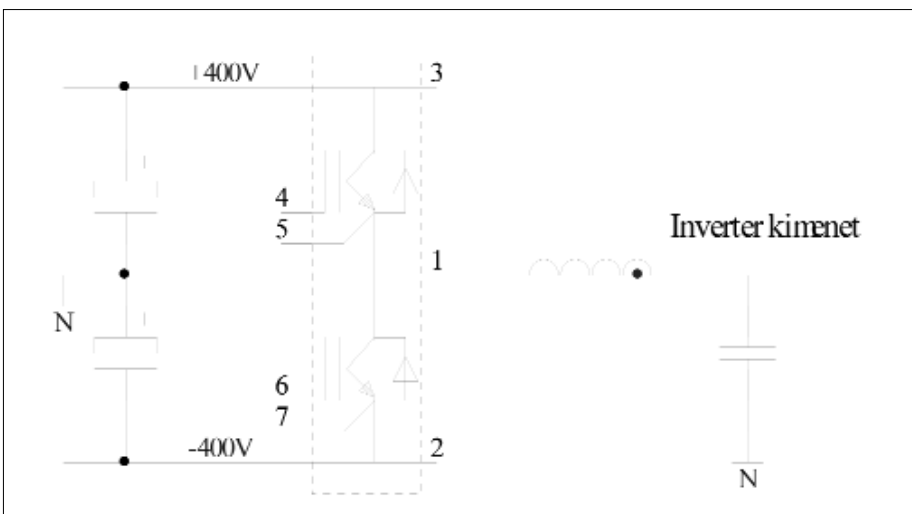
A berendezés feladata kettős, egyfelől töltenie kell az akkumulátorokat (pozitív és negatív feszültség) az egyenirányító által előállított pozitív és negatív egyenfeszültségből, másfelől ha az egyenirányító berendezés nem működik, vagy épp nincs hálózati feszültség, akkor elő kell állítania azt az előzőekben említett egyenfeszültséget az akkumulátorok feszültségéből, ami a rendszer inverterének táplálását biztosítja. Az akkumu-



4. ábra: Akkumulátortöltő és DC/DC átalakító főáramkörének felépítése



5. ábra: Akkumulátortöltő és DC/DC átalakító berendezés programjának működési vázlatja



6. ábra: Inverter berendezés főáramkörének felépítése

látorok feszültsége kisebb ennél a feszültségnél, ezért ez az átalakító feszültségnövelő DC/DC átalakító. A berende-

zés vezérlőprogramjának blokkvázlatja az 5. ábrán látható. Az akkumulátortöltő és a feszültségnövelő átalakító üzemmód

megválasztása a bemeneti egyenfeszültség nagyságától függ. Ha ez a feszültség nagyobb egy határértéknél, akkor a berendezés akkumulátortöltő módban működik. Ha ez a feszültség a határérték alá csökken, akkor a 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 hisztérezises komparátorral megvalósított áramszabályozó. Az áramkorlátozást itt is az áramszabályozó alapjelenek határolása jelenti. A berendezés méri az akkumulátor hőmérsékletét, és a töltési feszültséget ennek megfelelően korrigálja.

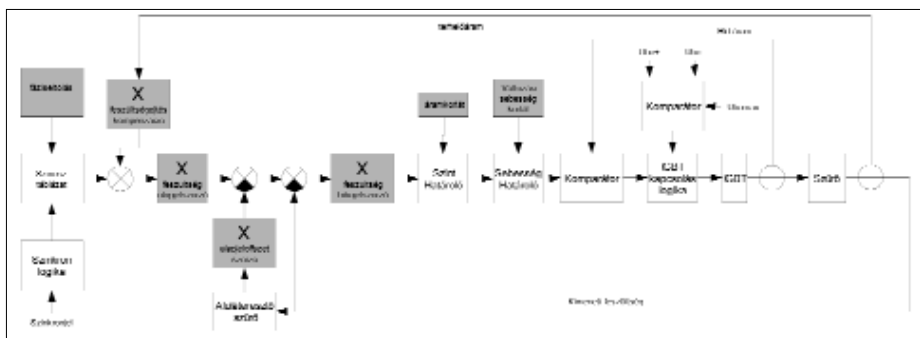
Inverter

Főáramköri elrendezés

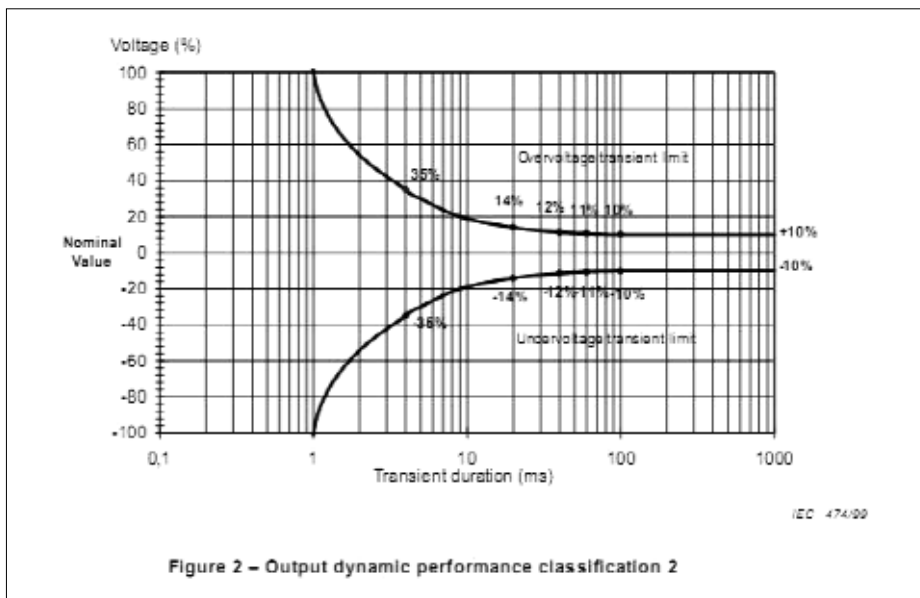
Az inverter főáramköri felépítése hasonlít az egyenirányítóhoz a különbséggel, hogy a váltakozó feszültségű kimeneten egy soros rezgőkör található, amelynek rezonanciafrekvenciája a főáramkör kapcsolási frekvenciája miatt relatív nagy értékűre lett megválasztva. A kimeneti feszültség a rezgőkör kondenzátorán képződik. Az inverter berendezés szintén ugyanazokat a félvezetőket tartalmazza, mint a fentebb bemutatott két részegység, így az egész rendszert nézve összesen egyfajta IGBT modul segítségével épül fel a teljes UPS. Működése nagyban hasonlít az egyenirányító működéséhez, csak az energia az egyenfeszültségű oldalról a váltakozó feszültségű kápcsk felé áramlik.

A berendezés vezérlése

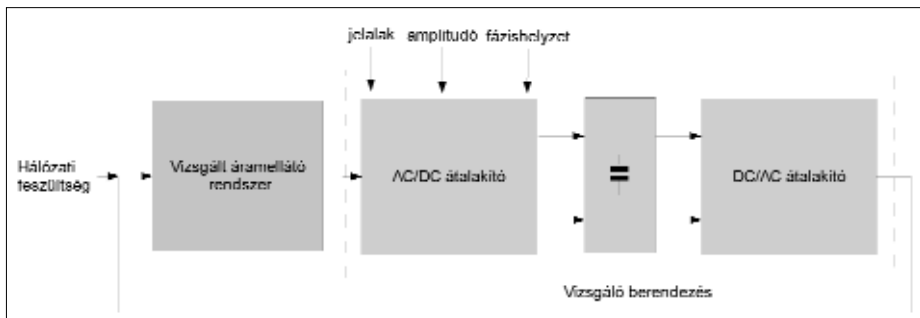
Az inverter berendezés egy szinuszos jelalakú feszültséggenerátor, ezért a működésének lényege egy feszültségszabályozó. Az inverter blokkvázlatja a 7. ábrán látható. A szinuszos alapjelet egy táblázat elemeiből nyerjük, a táblázat címe itt is, mint az egyenirányítónál, a hálózat feszültségéhez van szinkronizálva 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 előállított feszültség alapjel és a mindenkor kimeneti feszültség pillanatértékének különbsége adja a feszültség hibajelét. Ezután egy szinthatároló következik, amivel a maximális kimeneti áramot korlátozzuk. Az ezután következő hibajel-sebességátároló zavarűrészi célokat szolgál. Az áramszabályozó itt is a már jól ismert hisztérezises áramkomparátor. Az inverter kimeneti feszültségével szemben követelmény a



7. ábra: Inverter berendezés programjának működési vázlata



8. ábra: Kimeneti feszültség hibatűrési diagram



9. ábra: A vizsgáló és vizsgált berendezések összekötése

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 átteresztő 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 pillanatértékének egy szorzóval beállított hányadával korrigáljuk a feszültség-szabályozó alapjelet. 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 bemeneteire 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

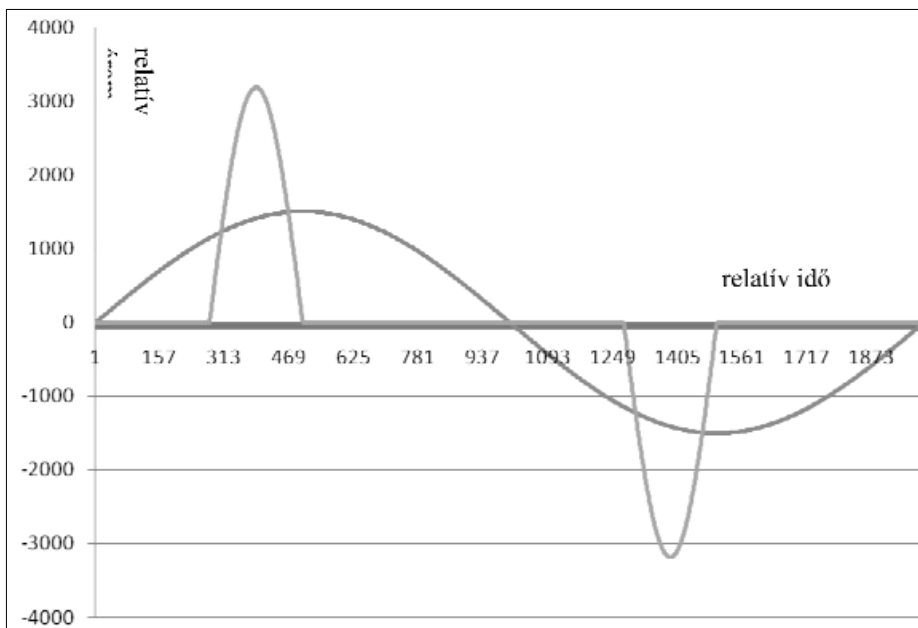
formájában tartalmazza. Amennyiben a kimeneti feszültség tranziense elhagyja a diagramban görbével határolt terület-részt, akkor az átkapcsoló azt a bemeneti feszültséget kapcsolja a kimenetére a továbbiakban, amellyel a kimeneti feszültség hibája megszüntethető. A kapcsolás tirisztor kapcsolókkal történik.

A rendszer vizsgálata

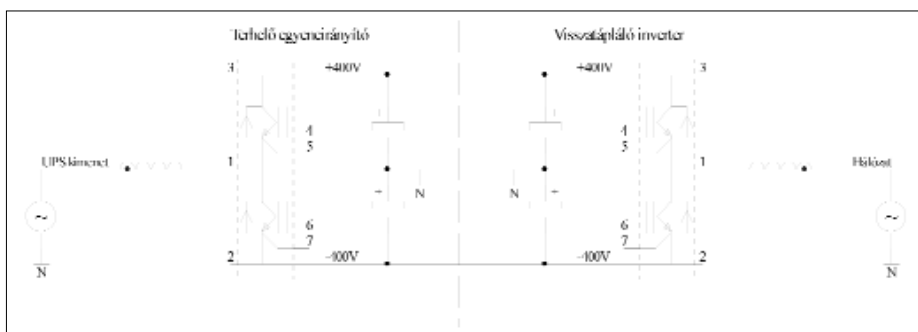
Az áramellátó rendszer vizsgálata során szükség van a rendszer terhelésére, ami a névleges terhelést, valamint bizonyos méreteknel a rendszer olyan mértékű túlterhelését is jelenti, amit a rendszer egy meghatározott ideig elvisel, vagyis erre történt a méretezése. Ha meggondoljuk, hogy a szóban forgó berendezés milyen névleges teljesítményű, akkor láthatjuk, hogy 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. Ezekon 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 energia 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

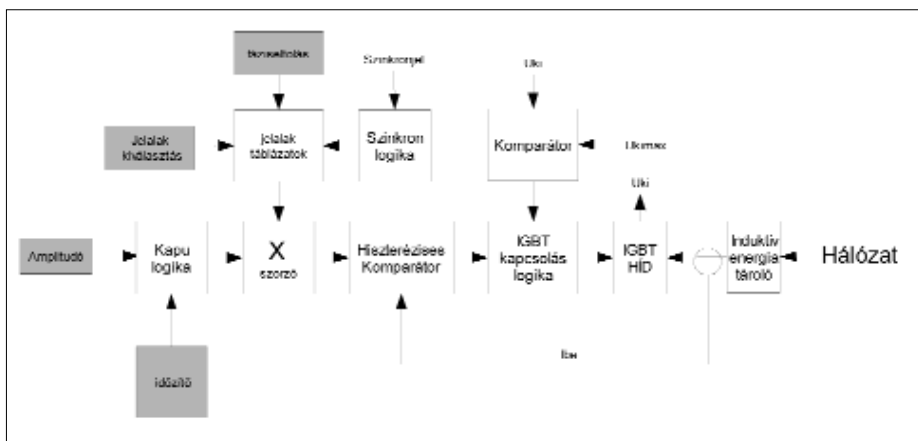
A felhasznált vizsgáló berendezés egy AC/DC és egy DC/AC átalakítóból áll, amelyek egymással és a vizsgáló berendezéssel a 9. ábrán látható módon vannak összekapcsolva. A vizsgálandó berendezés terhelésként az AC/DC átalakítót „látja”, amely hasonlóan működik a már korábban bemutatott egyenirányító modulhoz. 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 áram jelalapot leíró táblázat grafikus ábrázolását láthatjuk. Az így előállított egyenfeszültséget a második DC/AC átalakító 50 Hz frekvenciájú háromfázisú feszültséggé alakítja,



10. ábra: Nemlineáris terhelés-áram jelalak



11. ábra: Vizsgáló berendezés főáramkörének felépítése



12. ábra: Vizsgáló berendezés egyenirányító modul-program működési vázlata

ami visszakerül a vizsgálandó rendszer bemenetére. Ugyancsak erre a pontra csatlakozik a hálózat. Ezzel az elrendezéssel elérhetjük, hogy a terheléses vizsgálat teljesítményigénye mindössze annyi, amennyi 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.

A vizsgáló berendezés főáramköri elrendezése

A berendezés két egységből áll, amelyek ugyanolyan párt alkotnak, mint a vizsgált UPS rendszer egyenirányító és inverter egységei. Az egyenirányító bemenetére kapcsolódik az UPS kimenete. Az egyenirányító az UPS rendszert a szabályozókörre által meghatározott alakú és fázishelyzetű állandósult vagy tranzien-

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 kapcsolódik 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.

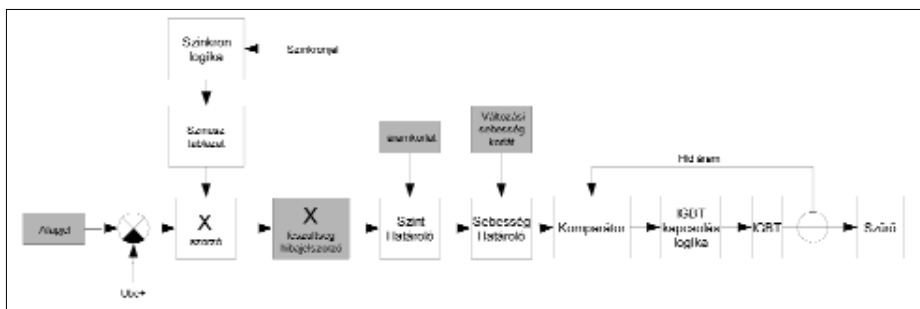
A vizsgáló berendezés vezérlése

Egyenirányító

A vizsgáló berendezés egyenirányítója szintén a már bemutatott vezérlőáramkört tartalmazza, működtető programjának működési vázlatát pedig a 12. ábrán látható. Az elve egy áramgenerátor, ami a hálózathoz, illetve a vizsgált berendezésből felvett áramot határozza meg. A jelalak változtatható, illetve egy táblázatból választható, ezeket a jelalak táblázatokat 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 jelalak táblázat, 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 félvezető (IGBT) vezérlése tiltásra kerül.

Inverter

A vizsgálóberendezés invertere egy szinuszos jelalakú áramgenerátor, amely egy feszültség szabályozó kör részét képezi. Mint az a 13. ábrából látható, a feszültség szabályozó 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 feszültség szabályozó 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.



13. ábra: Vizsgáló berendezés inverter modul-program működési vázlata

A terhelésként használt két egység együttműködése

A két berendezés szabályzókörének paramétereit úgy állítottuk be, hogy egyetlen kézi beavatkozó szervvel lehessen állítani a terhelés nagyságát. Ezt úgy értük el, hogy a két egység egyenfeszültség-szabályzókörének alapjelét nem egyforma értékűre választottuk. Az inverter alacsonyabb bemeneti feszültségértékre szabályoz, de az áramkorlátja a névleges terhelőáram. Ilyen módon az egyenirányító egység áramkorlátjának beállításával kontrollálhatjuk a felvett energia mértékét, és eközben a rendszerben végig megmarad a teljesítmény-egyensúly. Ebben a működési módban az egyenirányító mindig áramkorlátozott tartományban van, a fentebb említett kézi beavatkozó szerv egy potenciométer, amellyel ezt az áramkorlátot lehet állítani.

A vizsgálati módszer előnyei

A mérési elrendezés elemeinek hatások vizsgálatából belátható, hogy a terheléses mérés energiaigénye a töredéke an-

nak, 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 átalakítóknak képződik, kb. 45 kW. További előny, hogy a terhelőáram jelalakja szinte tetszőlegesen választható, vagyis a valóságban előforduló valamennyi terhelési üzemmód modellezhető: kapacitív, induktív, nem-lineáris stb.

Szakmai lektor:
Molnár Károly fejlesztési igazgató,
Powerquattro Zrt.

Leistungsstarkes unterbrechungsfreies Stromversorgungssystem von PowerQuattro

Der Artikel stellt ein neu entwickeltes leistungsstarkes unterbrechungsfreies Stromversorgungssystem dar, wobei ist eine grundsätzliche Anforderung die statische und dynamische Genauigkeit der Ausgangsspannung. Dabei wurde es den Anstand die Verlässlichkeitsanforderungen und die Gesichtspunkte der unbeaufsichtigten Funktion beobachtet. Der Artikel stellt die Systembelastungsprüfmethoden dar, welche wegen der Systemhochausgangsleistung nötig war.

Uninterrupted heavy-current power supply system developed by PowerQuattro

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.

Megújult honlapunk!

www.magyarkozlekedes.hu