

Ringler Csaba, Szűcs Attila

Moduláris felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerek

A cikk egy, a közelmúltban kifejlesztett szünetmentes áramellátó rendszert mutat be. A rendszer funkcionális ismertetésén túl, a rendszert alkotó modulok és az ezekben alkalmazott kapcsolástechnikák rövid ismertetésével együtt kitér a fejlesztés szempontjaira, valamint a konstrukciós kötöttségek mellett, bemutatja a fogyasztói igényeket, a rendszer előnyeit-hátrányait a hasonló felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerekhez képest. Szemügyre vesszi azon gazdasági irányelveket is, amelyek az optimálisabb gyártás érdekében befolyásolják a fejlesztés kiindulási paramétereit, esetenként megkövetve ezzel a fejlesztők fantáziáját.

In our article we introduce a recently developed uninterruptible power supply system. Beyond the presentation of the functional operation of the system, we represent the component modules of the system, the used switching technologies and the aspects of the development. We talk about the physical limitations of the design, the consumers' needs, the advantages and disadvantages of our system compared to the similar UPS systems. We review those economic guidelines which in order the more optimized manufacturing influenced the initial parameters of development. These limitations sometimes tided up the imagination of the developers.

Szünetmentes áramellátó rendszer fogalma alatt számos műszaki megoldás ismeretes, léteznek szünetmentes egyenfeszültségű (DC), szünetmentes váltakozó feszültségű (AC) és ezek kombinációjából kialakított rendszerek is. Cikkünkben egy olyan áramellátó rendszert mutatunk be, amelyet a közelmúltban fejlesztettünk ki, és moduláris jellegéből adódóan sokféle fogyasztói igényre ad kielégítő megoldást.

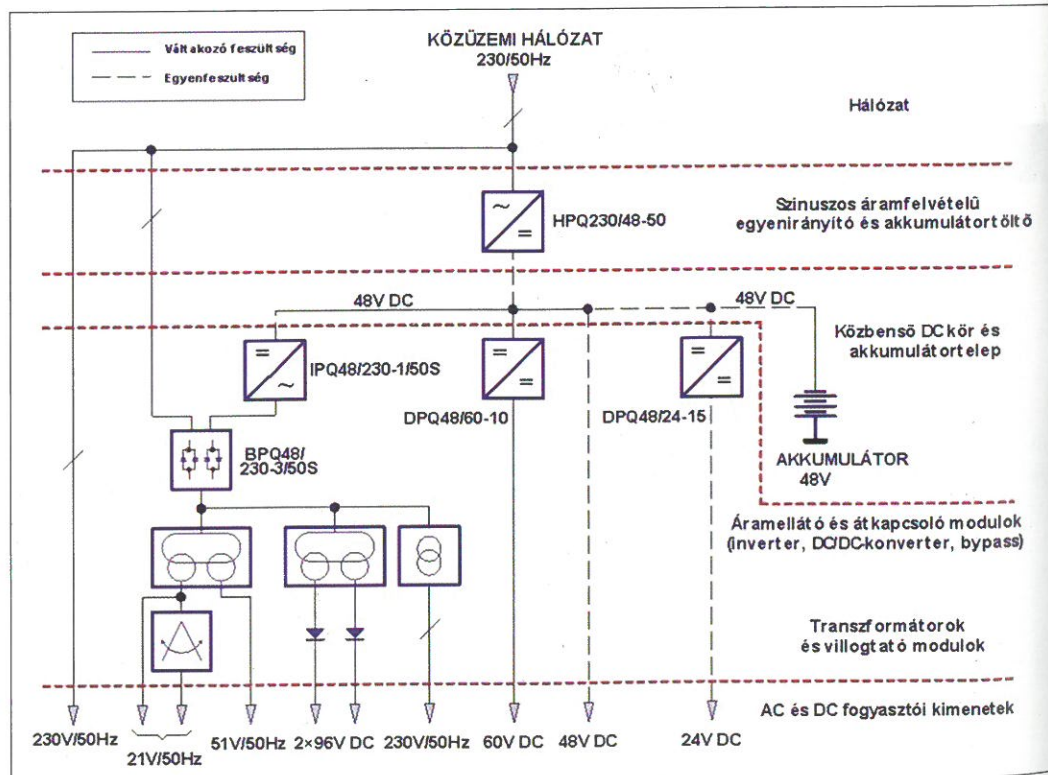
Akkor nézzük, hogyan fejlődött ki az **FUHPQ** rendszer. Az elnevezés a **Fi**ókos kialakítású **UPS** rendszerre utal, amelyet **H**írközlési áramellátás céljára a **PowerQuattro Zrt.** gyárt.

Ahhoz, hogy egy áramellátórendszer szünetmentes működését biztosítani tudjuk, rendelkezésünkre kell

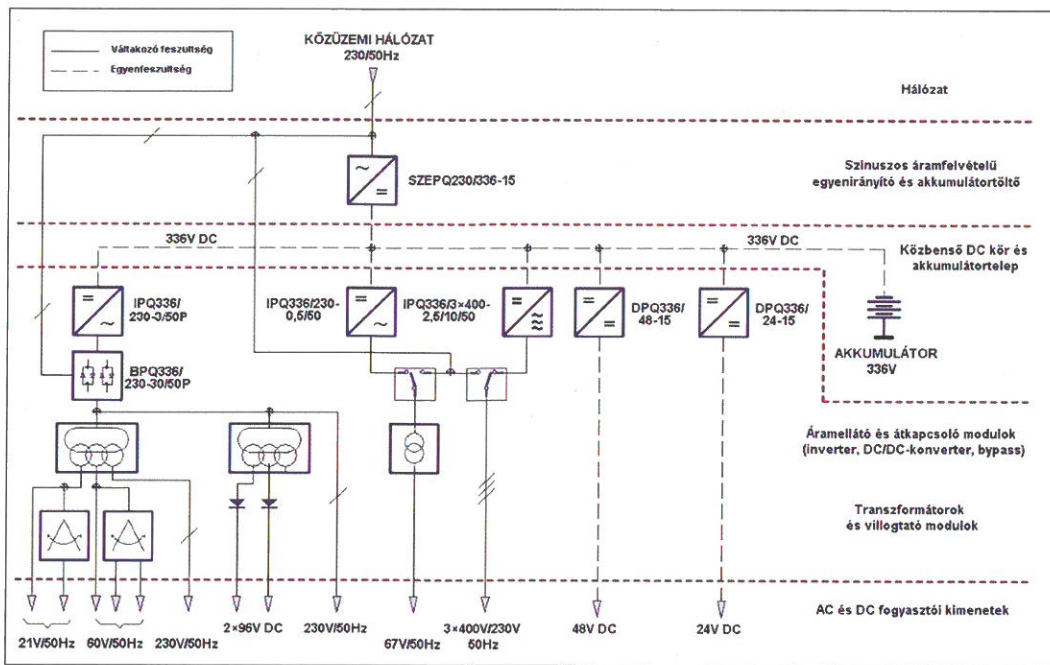
állnia valamilyen energiatároló egységnek. Nagyon rövid idejű hálózatkimaradásokat (pár sec) akár egy nagyobb tömegű forgó szerkezet mozgási energiájával is áthidalhatunk, amely egy generátort hajtva képes biztosítani a villamos energiát. Amennyiben a hálózatkimaradás több óráig is eltart, akkor kerül előtérbe az akkumulátorokban tárolt villamos energia alkalmazása. A szünetmentes áramellátó rendszerben alkalmazott akkumulátorok fajtája és darabszáma nagymértékben függ attól, hogy milyen szünetmentes áramellátó rendszert terveztünk, amihez illeszteni szeretnénk az akkumulátorteletet, -telepeket. Minden esetben az akkumulátorból kivett áram és az akkumulátor Ah kapacitásának megválasztásával tudjuk a szükséges áthidalási időt biztosítani. Az akkumulátorból kivett áram a fogyasztói igények mellett az alkalmazott akkumulátortelet kapacitásától is nagymértékben függ. Ennek megismeréséhez nézzük meg a következő 3 példát.

Az 1. ábrán egy 48 V-os akkumulátor körrel rendelkező, HPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer blokkvázlatát láthatjuk. Ennek a rendszernek a tervezése során a fő szempont az volt, hogy a fogyasztói energiaigény is elsősorban a 48 V-os feszültségszinten van. Egyéb fogyasztói feszültséget a 48 V átalakításával tudjuk előállítani, pl. 24 V egyenfeszültséget DC/DC-átalakítóval, 230 V/50 Hz váltakozó feszültséget DC/AC-átalakítóval (inverter), stb. Tipikusan ilyenek a MÁV régebbi távközlési áramellátó rendszerei. Ennek a megoldásnak korlátot szab, ha túl sok fogyasztói igény merül fel a 48 V-tól eltérő feszültségszinteken. Ekkor ugyanis a viszonylag alacsony feszültségű akkumulátorból kell átalakítani a feszültségeket. Az átalakítás során fellépő nagy áramok nagy veszteségi teljesítményt okoznak az átalakítóknak, jelentősen rontva ezzel a hatásfokot, és így nagymértékben növelik a beépített hűtőfelület-igényeket.

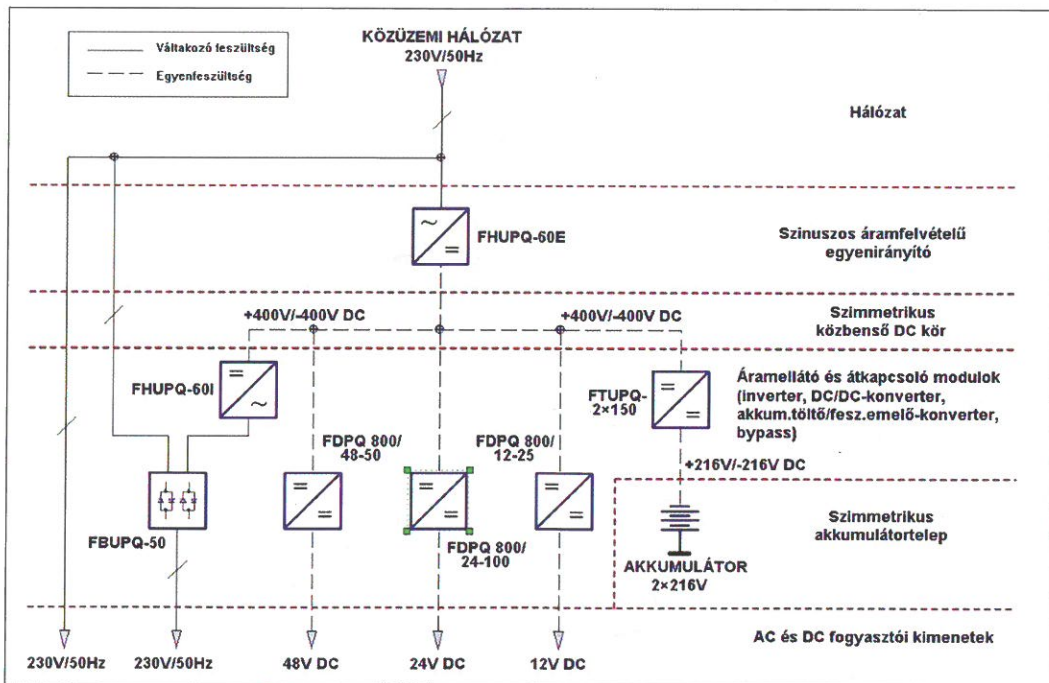
Ezen a gondolatmeneten továbbhaladva jutunk el a 2. ábrán látható MPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszerhez. Az ábrán egy 336 V-os közbenső DC körrel rendelkező áramellátó rendszer elvi felépítése látható. (Közbenső körnek szoktuk



1. ábra HPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer



2. ábra MPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer



3. ábra FUHPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer

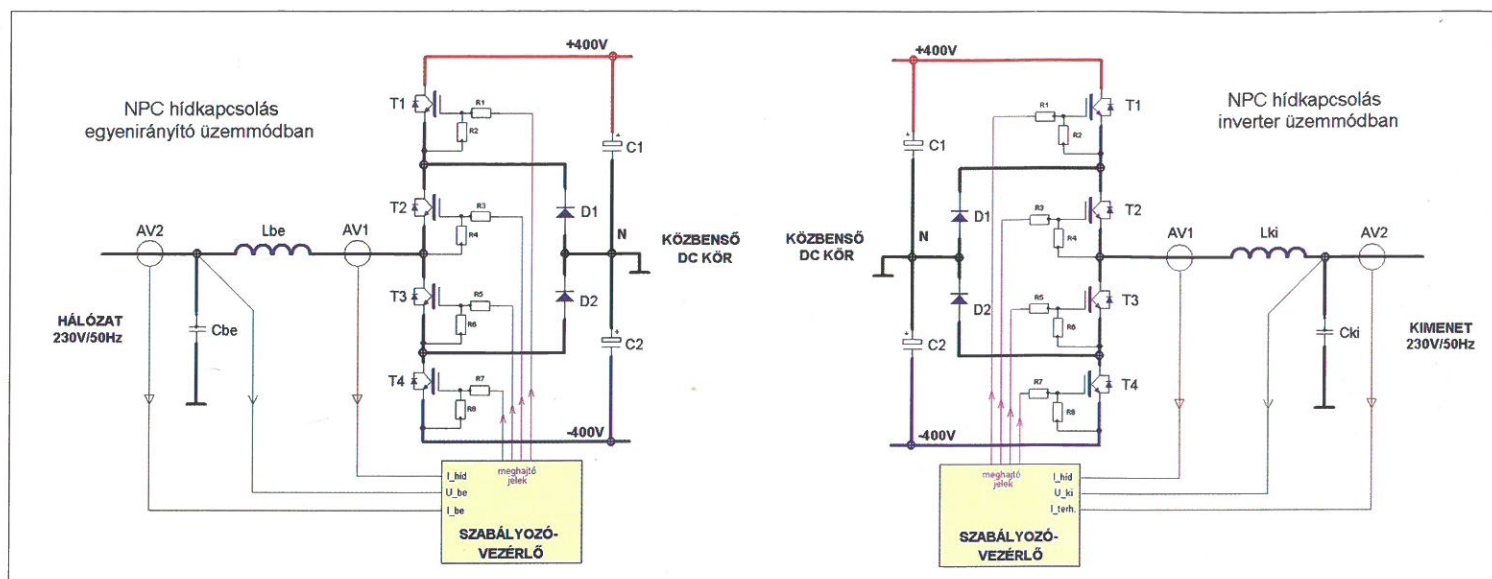
hívni azt a feszültséget, amely a hálózati feszültség átalakítása során jön létre, de csak valamilyen átalakítás után csatlakozik a fogyasztókra). A 336 V-os közbenső körnek ott van előnye a 48 V-os megoldáshoz képest, ahol a fő fogyasztás már nem 48 V-os feszültségszinten van, hanem magasabban, például 230 V/50 Hz-en.

Ha példaként a MÁV-nál maradunk, tipikusan ilyen alkalmazás a biztosítóberendezések áramellátása is. Itt általában a 230 V/50 Hz-es táplálás mellett szükséges még 3x400 V/50 Hz, 100 V/400 Hz, 220 V/75 Hz, 24 V DC, 48 V DC, 110 V DC, hogy csak néhányat említsünk. Másik nagy előnye, hogy a nagyobb közbenső körű feszültség alkalmazásával az akkumulátortöltő berendezések hatásfoka is magasabb lehet, mint az első esetben. Ugyanakkora teljesítmény esetén a 336 V/48 V arányában csökkennek az átalakítóban folyó áramok.

Felmerülhet a kérdés, ha ennyire jó, hogy nagyobb feszültségen csökken az áram, akkor miért nem alkalmazunk még nagyobb közbenső körű feszültséget. Erre választ akkor kapunk, ha egy kicsit elkanyarodunk a műszaki gondolattól és gazdasági szempontok szerint is vizsgáljuk a kérdést. A névlegesen 336 V-os akkumulátortelep feszültségének felső értéke 400 V közelében van. Ezen feszültség-szint felett az alkalmazható elektrolit-kondenzátorok, kapcsolóeszközök, megszakítók beszerzése gazdaságtalan. Ezen eszközök beépítése annyi többletköltséget okoz, nem is beszélve a beszerzésük nehézségeiről, hogy elvesz a hatásfok nyújtotta előny.

Egy nagyon egyszerű kialakítással azonban ezt a 400 V-os feszültséghatárt is átléphetjük. Ezt a megoldást mutatja be a 3. ábra. Az FUHPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszerrel a 400 V-os közbenső DC kört a nullavezetőre szimmetrikusan, pozitív és negatív irányban is kialakítottuk (+400V/-400V). Így mindkét oldalon a nullához viszonyítva 400 V-os feszültségszint van, a rendszer azonban 800 V-os feszültségszinten működik, tovább csökkentve a rendszer átalakítóiban folyó áramok nagyságát. A 3. ábrán látható egy nagyon lényeges eltérés az előző

két megoldáshoz képest. Egyrészt az akkumulátortelepből itt 2 db található szintén a nullavezetőre szimmetrikusan felépítve, másrészt az akkumulátortelep és a közbenső DC kör között egy átalakítót is alkalmazunk. Ennek a megoldásnak az előnye abban rejlik az előző változathoz képest, hogy az alkalmazott akkumulátortelepek kapcsolófeszültségével nem kell a közbenső körű feszültséghez igazodni. Hátránya az, hogy az akkumulátortelepek egy átalakítón keresztül csatlakoznak a közbenső DC körre, ami többletvesztést okoz a rendszerben. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy egy szünetmentes áramellátó rendszer az év összes napján a nap 24 órájában működik, míg hálózatkimaradás sokkal rövidebb ideig áll csak fenn. Ehhez mérten ez a többletvesztés, amely az akkumulátorfeszültség átalakítása során keletkezik, elhanyagolható!



4. ábra FHUPQ típusú modulokban alkalmazott NPC topológia

További előnye, hogy kisebb teljesítményű vagy kis áthidalási idővel rendelkező szünetmentes áramellátó rendszereket is lehet magasabb Ah kapacitású (55 Ah felett) akkumulátorblokkokból gazdaságosan felépíteni, ami azért kedvezőbb, mert ezen blokkok élettartama sokkal nagyobb (15-20 év), szemben a kisebbek 5-10 éves élettartamával. Nem ejtettünk még szót az akkumulátorok típusáról. A moduláris felépítésű áramellátó rendszerekben elsősorban a kötött elektrolitú szeleppel zárt ólomakkumulátorokat használjuk. Ezeket az átalakító modulokkal együtt, hasonló szekrényekben lehet elhelyezni az áramellátó helyiségekben. Gondozást nem igényelnek, üzemeltetésük során fellépő savas gázoktól sem kell tartanunk.

A hálózatkimaradás idejéig szükséges energia tárolását megoldottuk, akkor nézzük, mi kell még a rendszer működéséhez. Kellenek különféle átalakítók, amelyeket elhelyezhetünk szekrényben vagy szekrényekben, különálló egységként vagy egy egységként is. Abban az esetben, ha erre a moduláris kialakítást választjuk, számos előnnyel szembesülünk. A meghibásodott modulok egyszerűen-gyorsan cserélhetőek. A szervízhez nem kell mérnöki szakértelem, mert nem kell a helyszínen javítani a hibás egységet, és megbízhatóbb rendszert lehet felépíteni. Egyszerűen kialakíthatunk pl. redundáns rendszert. Nem csak 100%-os redundanciában gondolkodhatunk, az $n+1$ redundancia is kellő biztonságot nyújt sok esetben. Ha mondjuk 8 párhuzamosan kapcsolt modulból 1 meghibásodik, a maradék 7 még elegendő biztonsággal üzemel, mert csak a beépített teljesítmény $1/8$ -a esik ki. A modulok mind elemi építőegységek segítségével sokféle áramellátó rendszert tudunk felépíteni. Most vegyük szemügyre kicsit részletesebben ezeket a modulokat. A 3. ábrán látható, hogy az áramellátó rendszer bemenetén egy FHUPQ típusú, szinuszos áramfelvételű egyenirányító modul található.

Az FHUPQ típusú AC/DC-átalakító modul feladata, hogy a hálózati feszültségből előállítsa a $+400V/-400V$ közbenső körű egyenfeszültséget. Elnevezésében az **H** a főáramkörben alkalmazott Hídkapcsolásra utal. Ezek az egyenirányító modulok a teljesítményigénytől függően egyfázisú és háromfázisú kialakításúak lehetnek. Több modul párhuzamos kapcsolásával a teljesítményük szabadon konfigurálható 1 kVA-tól több 10 kVA-ig. Szükség esetén egyfázisú modulokból is építhetünk háromfázisú szimmetrikus rendszert. Ennek elsősorban ott van jelentősége, ahol $n+1$ redundanciával tervezünk,

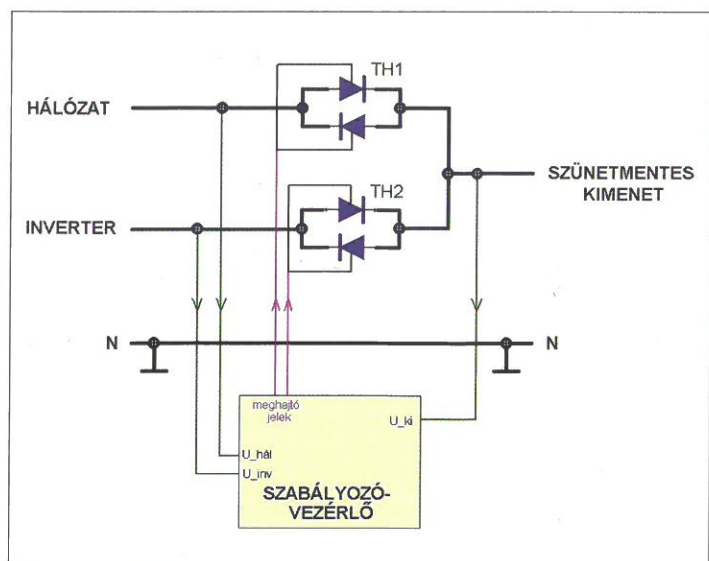
de a teljesítmény 1 fázis esetén már túl nagy lenne (pl. 10 kVA teljesítményigényhez betervezünk 3 db 5 kVA-es egyfázisú egyenirányítót).

A modul természetesen szinuszos áramfelvétellel rendelkezik, teljesítménytényezője közel 1, hogy a rendszer hálózathoz felvett meddő teljesítménye minél kisebb legyen. A modul teljesen digitális szabályozó-vezérlő áramkörrel rendelkezik, amely erre a célra kifejlesztett egyedi szoftverrel működik, a többi modullal és a külvilággal pedig optikai kábelen keresztül kommunikál. Mérési eredményei, állapotai lekérdezhetőek és a rendszerben lévő felügyeleti egység segítségével megjeleníthetőek, naplózhatóak és távfelügyelhetőek. A modulban alkalmazott kapcsolástechnikát a későbbiekben még ismertetjük.

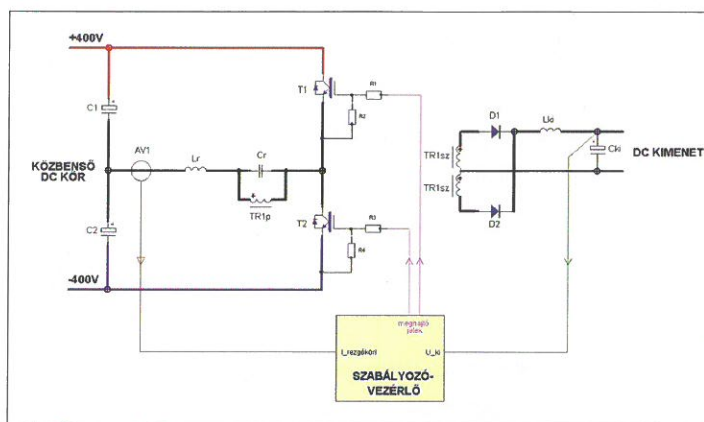
Ha megnézzük a 3. ábrát, láthatunk rajta még egy FHUPQ típusú modult is, amely az FBUPQ típusú átkapcsoló egységre csatlakozik. Ez az eddig bemutatott egyenirányítóval ellentétben egy DC/AC-átalakító, vagyis inverter. Elnevezése megegyezik az egyenirányító moduléval, mivel a kétféle modul belső felépítése is teljesen azonos. A különbség csak annyi, hogy a rendszerben más áramköri helyen alkalmazzuk, és a szoftver nem egyenirányító üzemmódban, hanem inverter üzemmódban működött. A modul főáramköri topológiáját a 4. ábrán láthatjuk. Működésének alapja egy háromszintű hídkapcsolás (NPC) és a hozzá kapcsolódó LC-szűrőkör. Ennek az átalakítónak a feladata, hogy a $\pm 400V$ -os egyenfeszültségből előállítsa a fogyasztó számára szükséges 230 V/50 Hz-es váltakozó feszültséget. Az előállított kimeneti feszültség galvanikusan nem leválasztott, az inverter kimeneti nullavezetője megegyezik a hálózati nullavezetővel. Ennek a megoldásnak köszönhetően a korábban alkalmazott 50 Hz-es transzformátorok elhagyhatók, amely további határfok-növekedést és méret-, ill. súlycsökkenést is eredményezett.

A szünetmentes áramellátó rendszerek AC kimenetüket tekintve lehetnek hálózat- és inverter-alapüzeműek egyaránt. Jelen írásunkban mi ez utóbbiak működését taglaljuk. Az inverter-alapüzem azt jelenti, hogy a fogyasztó táplálását üzemszerűen az inverter biztosítja és a hálózati feszültség csak akkor kerül a fogyasztóra, amikor az inverter meghibásodott és nem képes a fogyasztó ellátására.

Ennek a működésnek számos előnye van a hálózat-alapüzemmel szemben. Az egyik ilyen például az, hogy a fogyasztó semmit nem észlel a hálózati oldalon fellépő zavartatásokból



5. ábra FBUPQ típusú elektronikus átkapcsoló elvi felépítése



6. ábra FDPQ típusú rezonáns DC/DC-konverter elvi felépítése

(feszültségingadozások, rövid idejű hálózatbetörések, torz hálózati feszültség, stb.). Ha a fogyasztók táplálását mindenképpen inverterről szeretnénk megoldani, és nem akarunk a szünetmentes kimenetre más forrásból származó feszültséget kapcsolni, akkor természetesen ezt is megtehetjük egy redundánsan beépített inverter segítségével.

Az áramellátó rendszer működéséhez szükség van egy átkapcsoló egységre is, amelyet bypassnak nevezünk. A 3. ábrán **FBUPQ** néven láthatjuk, nevében a **B** jelölés a bypass funkcióra utal. Ezek a korszerű átkapcsoló egységek félvezetős kialakításúak, azaz szilárdtest relékből vagy tirisztorokból épülnek fel és kevesebb, mint 10 ms alatt képesek átkapcsolni a fogyasztót egyik bemenetükről a másikra. Természetesen ezek a rövid átkapcsolási idők abban az esetben tarthatók, ha az inverter és a hálózat szinkronban van. Ellenkező esetben aszinkron átkapcsolás következik be, amely programozottan 200 ms idejű. Ez garantálja, hogy a transzformátoros fogyasztók mágneses mezője leépüljön, elkerülve az inverter és a hálózat esetleges fázishibájából adódó problémát. Létezik 1 és 3 fázisú kialakítású átkapcsoló is.

A modul tipikusan két bemenettel rendelkezik, egyik bemenetén a hálózati feszültség, másik bemenetén az inverter kimeneti feszültsége van. Önálló egységként működik, folyamatosan vizsgálja mind a bemeneteit, mind a kimeneteit (szünetmentes kimenet). Abban az esetben, ha a szünetmentes kimenetén problémát észlel, automatikusan kapcsolja a fogyasztót a másik bemenetére.

A rendszert alkotó DC/DC-átalakítóról még nem ejtettünk szót (6. ábra). Ez a modul az **FDPQ** nevet kapta, nevében a **D** utal a DC/DC-konverter funkcióra. Mivel ez a modul törpefeszültséget is előállít, ezért galvanikusan leválasztott kialakítású, viszont rezonáns működéséből adódóan 80-100 kHz-es működési frekvenciára van méretezve, ezért a transzformátor kellően kicsi egy moduláris kialakításhoz.

A moduláris felépítésű áramellátó rendszerek másik fontos részegysége az **FTUPQ** típusú modul (**T** – akkumulátortöltő), mivel a rendszerhez minden esetben kapcsolódik akkumulátortelep is. A modul fő feladata **feszültségillesztés megvalósítása** az akkumulátortelep és a közbenső DC kör között.

A modul kétfunkciós, így a feszültségillesztést az alábbi módokon biztosítja:

- **feszültségcsökkentő (chopper) üzemmódban** tölti a kapcsolódó akkumulátortelepet, ill.
- **feszültségemelő (booster) üzemmódban** táplálja a közbenső DC körre kapcsolódó modulokat (pl. invertert, DC/DC-konvertert).

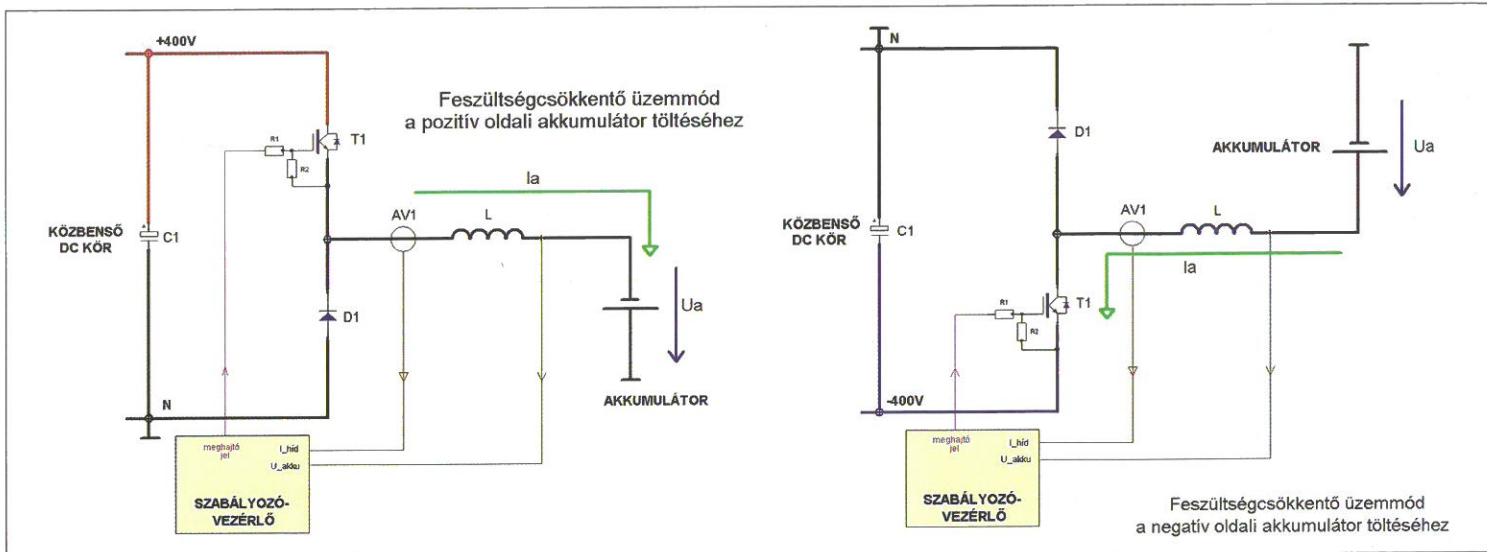
Feszültségcsökkentő üzemmód az áramellátó rendszer **hálózati üzemében** áll elő, amikor a közbenső DC kör táplálása az **FHUPQ** típusú egyenirányító modul által hálózatról történik. Feszültségemelő üzemmód az áramellátó rendszer **akkumulátoros üzemében** áll elő, amikor a közbenső DC kör táplálása az **FTUPQ** típusú modul által az akkumulátorból történik.

Az **FTUPQ** típusú modul egy olyan **kétnegyedes, szimmetrikus DC/DC-konverter**, amely egyik oldalról a közbenső DC körre, másik oldalról pedig az akkumulátortelepre csatlakozik. Mind a közbenső kör, mind az akkumulátortelep szimmetrikus és középpontjuk össze van kötve (ez egyben a hálózati N vezető is). Chopper üzemmódban az energia a közbenső DC körből az akkumulátorba (töltés), míg booster üzemmódban fordítva áramlik (kisütés). A kétirányú energiaáramlást – megfelelő szabályozó alkalmazásával – a modul főáramkörre képes létrehozni. A főáramkör vezérelhető félvezetőkből (IGBT-k) megvalósított félhidas-topológia, amelyből a +400 V és a közös pont (N) és a -400 V és a közös pont (N) között is alkalmazunk egyet. Mindkét akkumulátortelep soros fojtótekercsen keresztül kapcsolódik a saját oldali félhídáramkör középpontja, valamint az N pont közé (7. ábra).

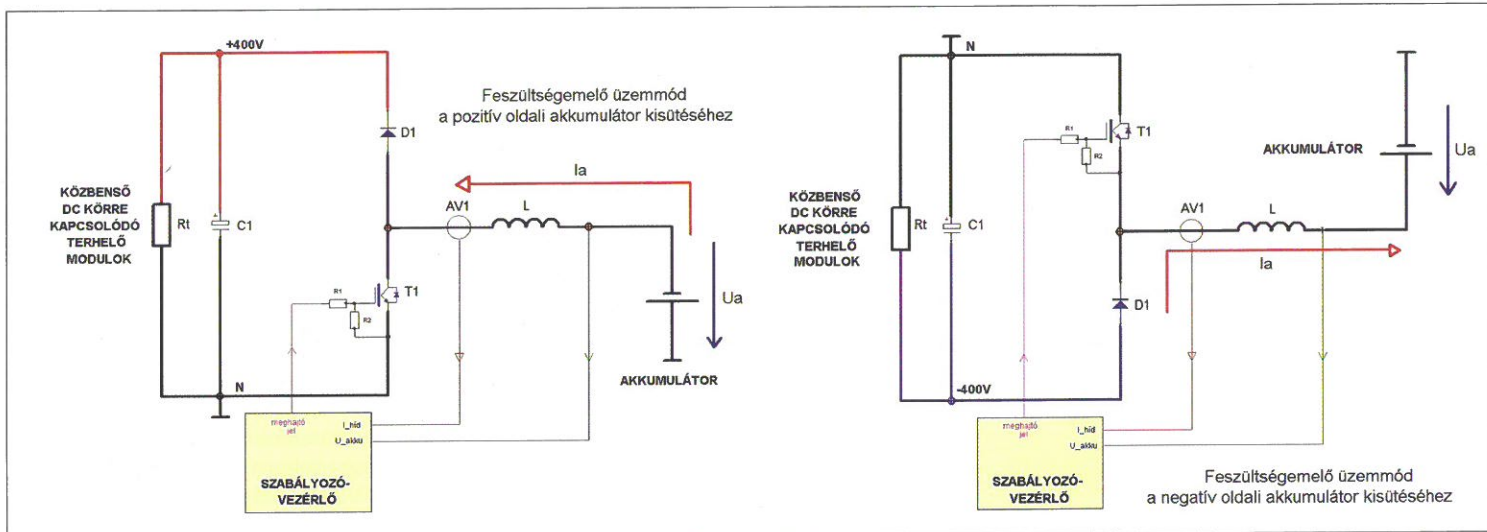
Az **FTUPQ** típusú modul aktuális üzemmódja a közbenső körű feszültség mindenkor értékétől függ. Az áramellátó rendszer hálózati üzemében az **FHUPQ** típusú egyenirányító modul állítja elő a ±400 V-os közbenső körű feszültséget. Ilyen esetben a modul akkumulátortöltő üzemmódban van, azaz mindkét félhíd chopperként működik, és a szabályozó I-U karakterisztika szerint tölti az akkumulátortelepeket. A szabályozott töltés az akkumulátortelepek állapotától függően az áramkorlátos töltéstől a csepptöltésig változik.

Amennyiben a közbenső körű feszültség valamilyen ok - pl. hálózatkimaradás, hirtelen terhelésrákapcsolás, túlterhelés - miatt lecsökken ±370 V-os érték alá, a modul feszültségemelő üzemmódba kerül és a félhidak az akkumulátortelepek feszültségéből ±360 V feszültséget állítanak elő. Ez az áramellátó rendszer akkumulátoros üzeme, amellyel biztosítható a közbenső DC körre kapcsolódó modulok folyamatos működése és ezáltal a fogyasztók táplálása, pl. hálózatkimaradás esetén. A hálózati feszültség visszatérésekor az egyenirányító modul újra ±400 V-ra emeli a közbenső DC kör feszültségét, így az **FTUPQ** modul automatikusan visszaáll az akkumulátortöltő üzemmódba.

Az **FBUPQ** típusú átkapcsoló egységben kapott helyet egy felügyeleti rendszer is. Ez szintén fiókos rendszerű, és az átkapcsoló elején található füllel kihúzható a modulból. Az érintő-



7. ábra FTUPQ modul akkumulátortöltő üzemmódja



8. ábra FTUPQ modul feszültségemelő üzemmódja



9. ábra 4 db 10kVA-es, FTUPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer

képernyős 7"-os felületen minden lényeges információhoz hozzá tudunk jutni, ami a rendszerben érdekes lehet. Az események naplózása pendrive-ra is kimenthető, de ethernet csatlakozó lévén távfelügyeletbe is csatlakoztatható. A rendszert alkotó valamennyi modul szabályzó-vezérlő áramköre teljesen digitális, a modulokat egy többprocesszoros vezérlőkártya működteti.

Az FTUPQ típusú moduláris felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerekkel eddig több mint 40 helyszínen sikerült a távközlési fogyasztói igényekre megoldást nyújtani. A megvalósított rendszerekről mutat egy példát a 9. ábra.



Ringler Csaba

fejlesztési csoportvezető
PowerQuattro Zrt.
MEE-tag
e-mail: pqinfo@powerquattro.hu



Szűcs Attila

fejlesztőmérnök
PowerQuattro Zrt.
MEE-tag
e-mail: pqinfo@powerquattro.hu