

±400V közbenső köri feszültségű, moduláris kialakítású szünetmentes áramellátó rendszercsalád

© Ringler Csaba, Szűcs Attila

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 is fejlődött ki ez az **FUHPQ-nak** nevezett rendszer. Az elnevezés a **Fiókos** kialakítású UPS rendszerre utal, amelyet a **PowerQuattro** Zrt. gyárt.

Ahhoz, hogy egy áramellátó rendszer szünetmentes működését biztosítani tudjuk, rendelkezésünkre kell állnia valamilyen energiatároló egységnek. Nagyon rövid idejű hálózat kimaradásokat (pár sec) akár egy nagyobb tömegű forgó szerkezet mozgási energiájával is áthidalhatunk, amely egy generátort hajtva képes biztosítani a villamos energiát. Amennyiben a hálózat kimaradás

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 tervezünk, amihez illeszteni szeretnénk az akkumulátortelepet, -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 akkumulátortelep kapocsfeszültségétől is nagymértékben függ. Ennek megismeréséhez nézzük meg a következő három példát!

Az 1. ábrán egy 48V-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 első sorban a 48V-os feszültségszinten van. Egyéb fogyasztói feszültséget a 48V átalakításával tudjuk előállítani, pl. 24V egyenfeszültséget DC/DC-átalakítóval, 230V/50Hz váltakozó feszültséget

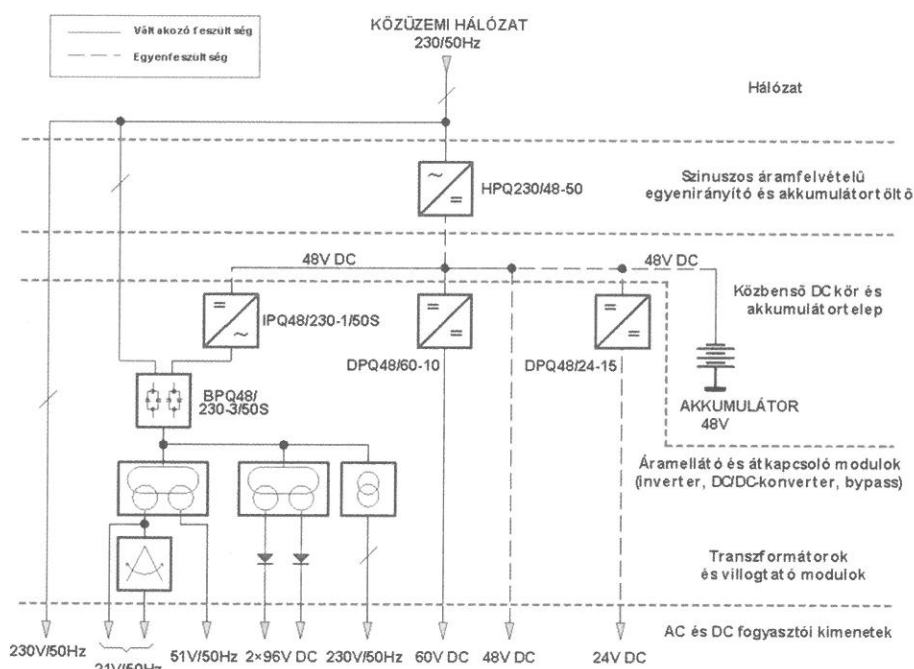
DC/AC-átalakítóval (inverter), stb. Tipikusan ilyenek a MÁV régebbi távközlési áramellátó rendszerei. Ennek a megoldásnak korlátot szab, ha túl sok fogyasztói igény merül fel a 48V-tól eltérő feszültségszinten. Ekkor ugyanis a viszonylag alacsony feszültségű akkumulátorból kell átalakítani a feszültségeket. Az átalakítás során fellépő nagy áramok nagy veszteségi teljesítményt okoznak az átalakítóknál, jelentősen rontva ezzel a hatásfokot és így nagymértékben növekszik a beépített hűtőfelület igénye.

Ezen a gondolatmeneten továbbhaladva jutunk el a 2. ábrán látható MPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszerhez. Az ábrán egy 336V-os közbenső DC körrel rendelkező áramellátó rendszer elvi felépítése látható. (Közbenső körnek szoktuk hívni azt a feszültséget, amely a hálózati feszültség átalakítása során jön létre, de csak valamilyen átalakítás után csatlakozik a fogyasztókra). A 336V-os közbenső körnek ott van előnye a 48V-os megoldáshoz képest, ahol a fő fogyasztás már nem 48V-os feszültségszinten van, hanem magasabban, például 230V/50Hz-en.

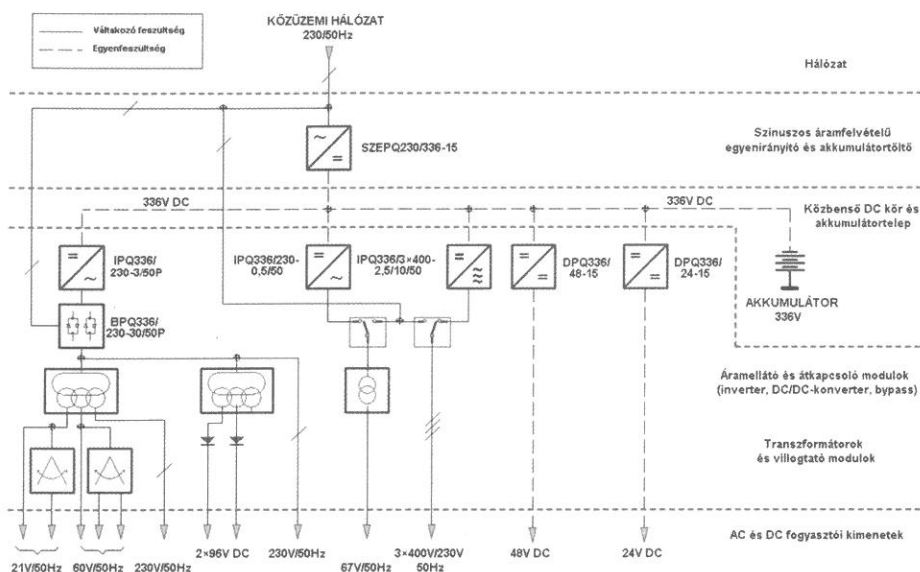
Ha példaként a MÁV-nál maradunk, tipikusan ilyen alkalmazás a biztosítóberendezések áramellátása is. Itt általában a 230V/50Hz-es táplálás mellett szükséges még 3×400V/50Hz, 100V/400Hz, 220V/75Hz, 24V DC, 48V DC, 110V DC, hogy csak néhányat említsünk. Másik nagy előnye, hogy a nagyobb közbenső köri feszültség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

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

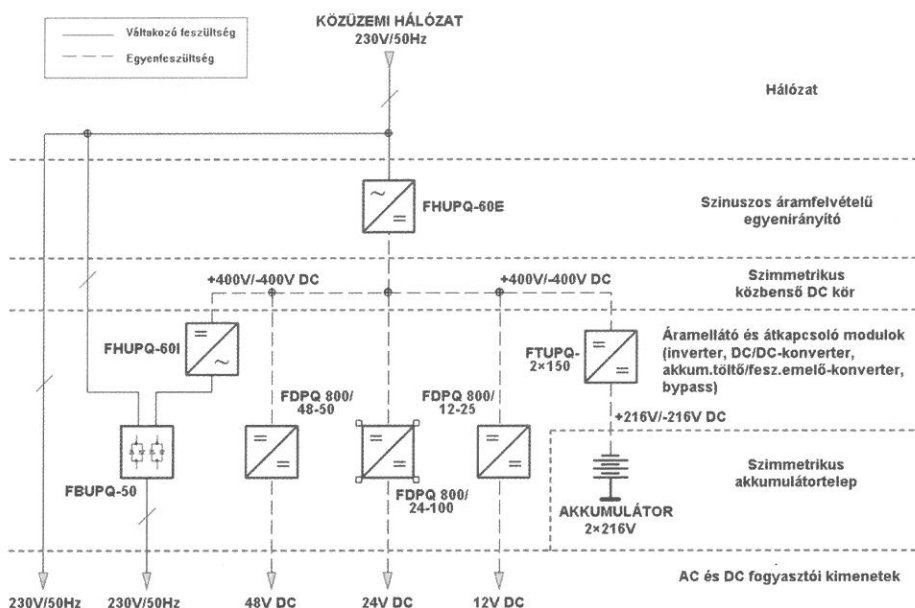
Egy nagyon egyszerű kialakítással azonban ezt a 400V-os feszültséghatárt is átléphetjük. Ezt a megoldást mutatja be a 3. ábra. Az **FUHPQ** típusú szünetmentes áramellátó rendszernél a 400V-os közbenső DC kört a nulla vezetőre szimmetrikusan, pozitív és negatív irányban



1. ábra: HPQ típusú szünetmentes áramellátó rendszer



2. ábra: MPO típusú szünetmentes áramellátó rendszer



3. ábra: FUHPO típusú szünetmentes áramellátó rendszer

is kialakítottuk (+400V/-400V). Így mindkét oldalon a nullához viszonyítva 400V-os feszültség szint van, a rendszer azonban 800V-os feszültség szinten 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 nulla vezetőre 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 kapocsfeszültségével nem kell a közbensőkori feszültséghez igazodni. Hátránya az, hogy az akkumulátortelepek egy átalakítón keresztül csatlakoznak a közbenső DC körre, ami többlet veszteséget

okoz a rendszerben. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy egy szünetmentes áramellátó rendszer az év összes napján a nap 24 órájában működik, míg hálózat kimaradás sokkal rövidebb ideig áll csak fenn. Ehhez mérten ez a többletvesztés, amely az akkumulátor feszültség átalakítása során keletkezik, elhanyagolható!

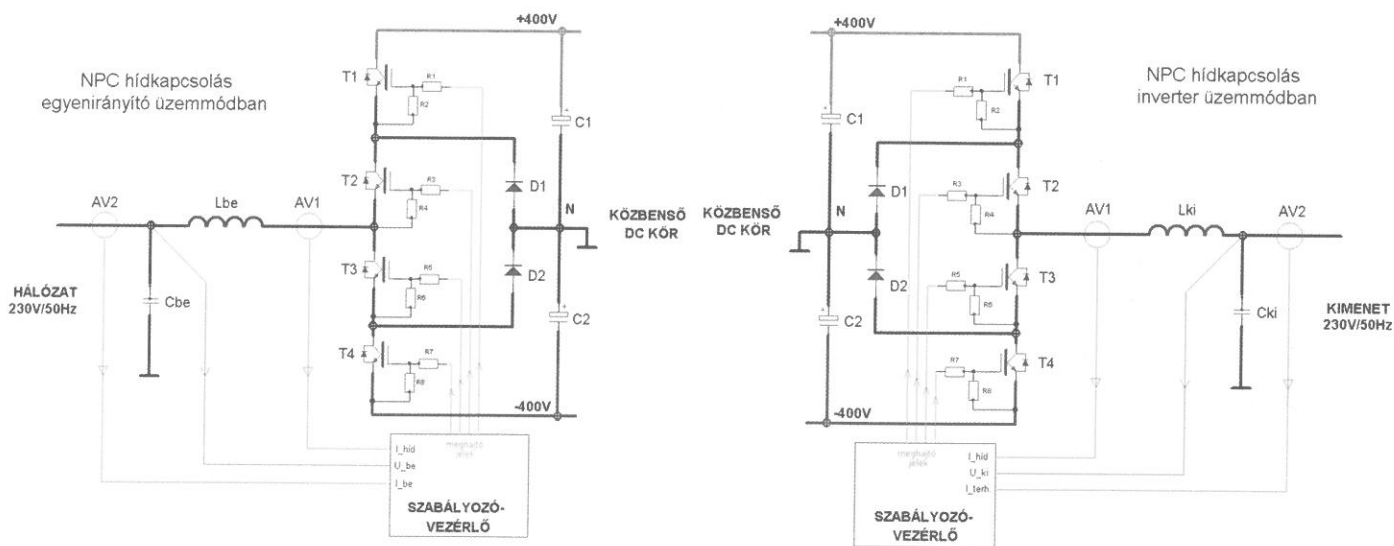
További előnye, hogy kisebb teljesítményű, vagy kis áthidalási idővel rendelkező szünetmentes áramellátó rendszereket is lehet magasabb Ah kapacitású (55Ah felett) akkumulátor-blokkokból gazdaságosan felépíteni, ami azért kedvezőbb, mert ezen blokkok élettartama sokkal nagyobb (15-20 év), szemben a kisebbek 5-10 éves élettartamával. Nem ejtettünk még szót az akkumulátorok típusáról. A moduláris felépítésű áramellátó rendszerekben elsősorban a kötött

elektrolitú szeleppel zárt ólom-akkumulátorokat 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 hálózat kimaradás idejéig szükséges energia tárolását megoldottuk, akkor nézzük, mi kell még a rendszer működéséhez. Kellenek különféle átalakítók, amelyeket elhelyezhetünk szekrényben vagy szekrényekben, különálló egységeként vagy egy egységként is. Abban az esetben, ha erre a moduláris kialakítást választjuk, számos előnnyel szembesülünk. A meghibásodott modulok egyszerűen-gyorsan cserélhetőek. A szervizhez 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 megszámlálhatatlan féle 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 főáramkörében alkalmazott Hídkapcsolásra utal. Ezek az egyenirányító modulok a teljesítményigénytől függően egyfázisú és háromfázisú kialakításúak lehetnek. Több modul párhuzamos kapcsolásával a teljesítményük szabadon konfigurálható 1kVA-tól több 10kVA-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. 10kVA teljesítmény igényhez betervezünk 3 db 5kVA-es egyfázisú egyenirányítót).

A modul természetesen szinuszos áramfelvétellel rendelkezik, teljesítménytényezője közel 1, hogy a rendszer hálózatról felvett meddő teljesítménye minél kisebb legyen. A modul teljesen digitális szabályozó-vezérlő áramkörrel rendelkezik, amely erre a célra kifejlesztett egvedi szoftverrel működik, a többi



4. ábra: FHUPQ típusú modulokban alkalmazott NPC topológia

modullal és a külvilággal pedig optikai kábelen keresztül kommunikál. Mérési eredményei, állapotai lekérdezhetők és a rendszerben lévő felügyeleti egység segítségével megjeleníthetők, naplózhatóak és táv-felügyelhetők. A modulban alkalmazott kapcsolástechnikát a későbbiekben még is 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 az 5. ábrán láthatjuk. Működésének alapja egy háromszintű hídkapcsolás (NPC) és a hozzá kapcsolódó LC-szűrőkör. Ennek az átalakítónak a feladata, hogy a $\pm 400\text{V}$ -os egyenfeszültségből előállítsa a fogyasztó számára

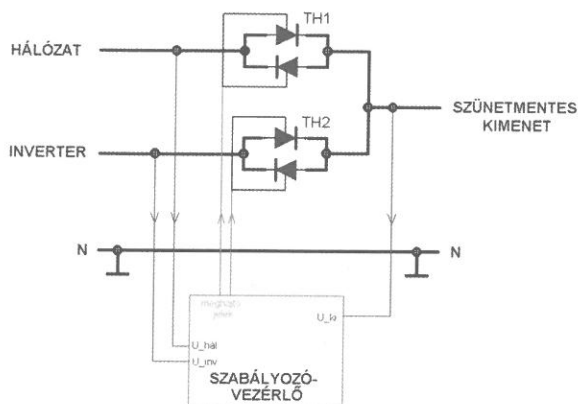
szükséges $230\text{V}/50\text{Hz}$ -es váltakozó feszültséget. Az előállított kimeneti feszültség galvanikusan nem leválasztott, az inverter kimeneti nulla vezetője megegyezik a hálózati nullavezetővel. Ennek a megoldásnak köszönhetően a korábban alkalmazott 50Hz -es transzformátorok elhagyhatók, amely további hatásfok-növekedést és méret-, illetve 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.

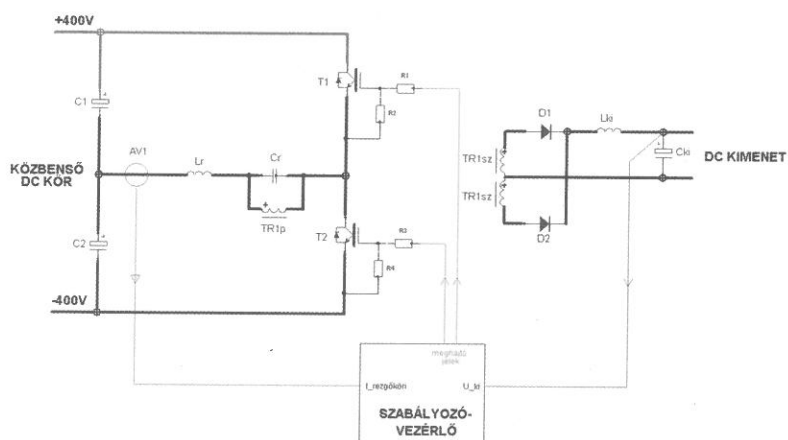
Ennek a működésmódnak számos előnye van a hálózat alapüzemmel szemben. Az egyik ilyen például az, hogy a fogyasztó semmit nem észlel a hálózati oldalon fellépő zavartatásokból (feszültségingadozások, rövid idejű hálózatbetörések, torz hálózati feszültség stb.). Ha

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.

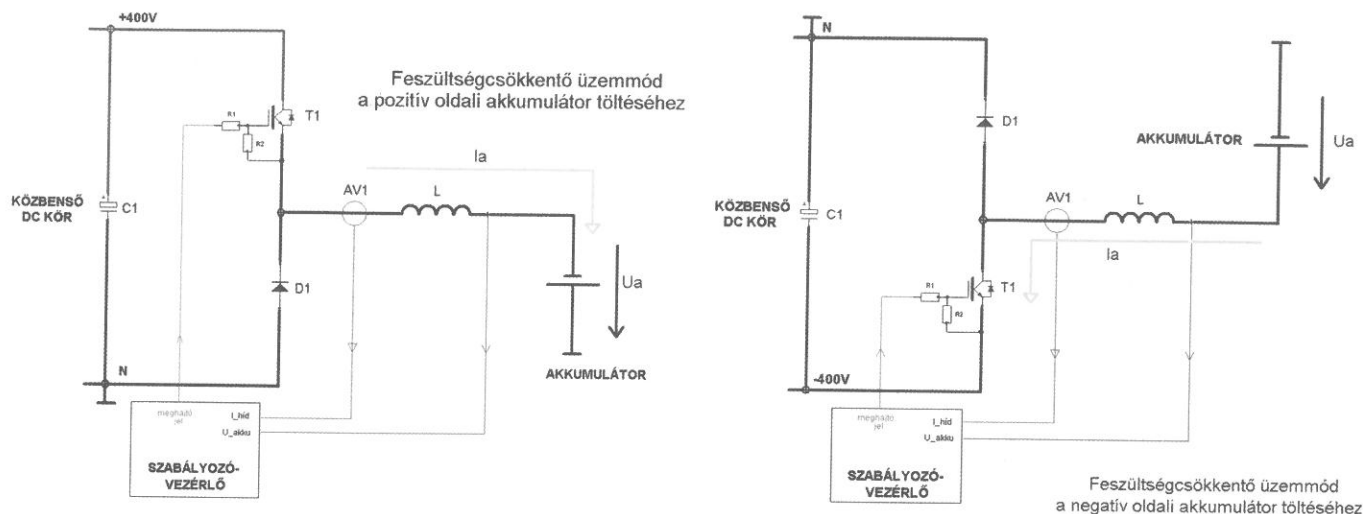
Az áramellátó rendszer működéséhez szükség van egy átkapcsoló egységre is, amelyet bypass-nak nevezünk. A 3. ábrán **FBUPQ** néven láthatjuk, nevében a **B** jelölés a bypass funkcióra utal. Ezek a korszerű átkapcsoló egységek félvezetős kialakításúak, azaz szilárdtest relékből vagy tirisztorokból épülnek fel és kevesebb, mint 10ms alatt képesek átkapcsolni a fogyasztót egyik bemenetükről a másikra. Természetesen ezek a rövid átkapcsolási idők abban az esetben tartóhatók, ha az inverter és a hálózat szinkronban van. Ellenkező esetben aszinkron átkapcsolás következik be, amely programozottan 200ms 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.



5. ábra: FBUPQ típusú elektronikus átkapcsoló elvi felépítése



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



7. ábra: FTUPQ modul akkumulátortöltő üzemmódja

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 **FDPQ** névre hallgat, nevében a **D** utal a DC/DC-konverterre. Mivel ez a modul törpefeszültséget is előállít, ezért galvanikusan leválasztott kialakítású, viszont rezonáns működéséből adódóan 80-100kHz-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:

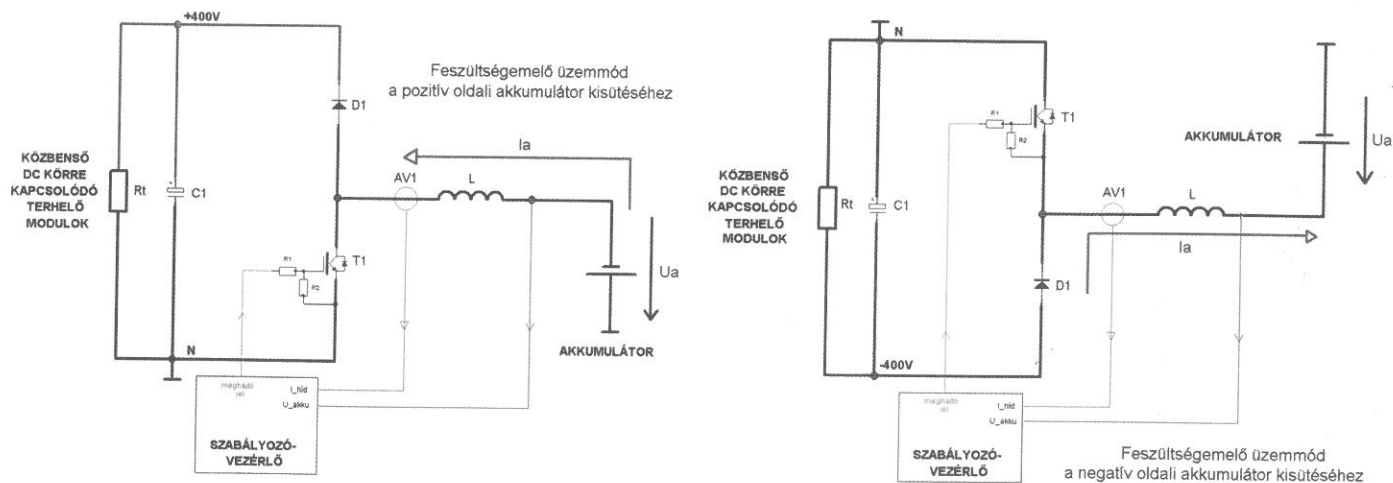
- **feszültségcsökkentő (chopper) üzemmódban** tölti a kapcsolódó akkumulátortelepet, illetve
- **feszültségemelő (booster) üzemmódban** táplálja a közbenső DC körre kapcsolódó modulokat (pl. invertert, DC/DC-konvertert).

Feszültségcsökkentő üzemmód az áramellátó rendszer **hálózati üzében** áll elő, amikor a közbenső DC kör táplálása az FHUPQ típusú egyenirányító modul által hálózatról történik. Feszültségemelő üzemmód az áramellátó rendszer **akkumulátoros üzében** 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 félvezetőkkel (IGBT-k) megvalósított félhidas-topológia, amelyből a +400V és a közös pont (N) és a -400V és a közös pont (N) között is alkalmazunk egyet. Mindkét akkumulátortelep soros fojtótékercsen keresztül kapcsolódik a saját oldali félhíd-áramkör középpontja, valamint az N pont közé (7. ábra).

Az FTUPQ típusú modul aktuális üzemmódja a közbenső kör feszültség mindenkori értékétől függ. Az áramellátó rendszer hálózati üzében az FHUPQ típusú egyenirányító modul állítja elő a $\pm 400\text{V}$ -os közbenső kör feszültséget. Ilyen esetben a modul akkumulátortöltő üzemmódban van, azaz mindkét félhíd chopper-ként működik és a szabályozó I-U karakterisztika szerint tölti az akkumulátortelepeket. A szabályozott töltés az akkumulátortelep állapotától függően az áramkorlátozott töltéstől a csepptöltésig változik.

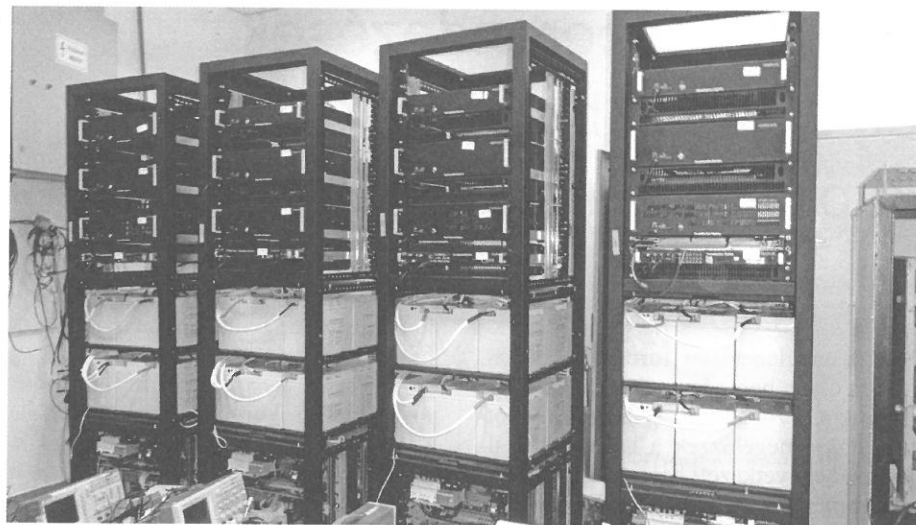


8. ábra: FTUPQ modul feszültségemelő üzemmódja

Amennyiben a közbenső köri feszültség valamilyen ok – pl. hálózat kimaradás, hirtelen terhelés rákapcsolás, túlterhelés – miatt lecsökken $\pm 370\text{V}$ -os érték alá, a modul feszültségemelő üzemmódbba kerül, és a félhidak az akkumulátortelepek feszültségéből $\pm 360\text{V}$ feszültséget állítanak elő. Ez az áramellátó rendszer akkumulátoros üze, amellyel biztosítható a közbenső DC körre kapcsolódó modulok folyamatos működése és ezáltal a fogyasztók táplálása, pl. hálózat kimaradás esetén. A hálózati feszültség visszatérésekor az egyenirányító modul újra $\pm 400\text{V}$ -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 érintőképernyős 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 FUHPQ típusú moduláris felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerrel eddig több mint 40 helyszínen sikerült a távközlési fogyasztói igényekre megoldást nyújtani. A megvalósított rendszerekről mutat egy példát a 9. ábra.



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

Modularaufgebaute unterbrechungsfreies Stromversorgungssysteme

Im Aufsatz wird ein in der Vergangenheit entwickeltes unterbrechungsfreies Stromversorgungssystem dargestellt. Wir geben jenseits der funktionalen Bekanntgabe des Systems, mit zusammen der Systemmodulen und in diesen angewendeten schaltungstechnischen Lösungsmöglichkeiten und die Entwicklunggesichtspunkte an, sowie wir weisen neben der Konstruktionsgebundenheiten die Verbraucherbedarfe, die Vorteile und Nachteile nach Maßgabe der ähnlichen aufgebauten unterbrechungsfreien Stromversorgungssysteme dar. Wir betrachten die Wirtschaftsgrundsätze, die für optimale Herstellung die Anfangskenngroße der Entwicklung beeinflussen, fallweise damit die Entwicklungsphantasie angebunden.

Modular uninterruptible power supply systems

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.

KONFERENCIANAPTÁR

IX. Magyar Vasút
szeptember 15.

Vasúti Biztosítóberendezések
és Távközlési Konferencia
október 5-7.