

Metró szerelvények moduláris felépítésű klíma inverterei

Várhelyi Nándor, PowerQuattro Zrt. - H-1161 Budapest, János u. 175.

Telefon: (+36) 1 405-5400 - Fax: (+36) 1 405-4008

E-mail: pqinfo@powerquattro.hu

Bevezetés

A cikkben egy olyan, metró szerelvények klíma berendezéseinek munkavezetékéről történő táplálását biztosító, moduláris felépítésű klíma inverter működését mutatom be, amelyet a BKV Zrt. számára fejlesztettünk.

A berendezésnek biztosítani kell a munkavezeték egyenfeszültségéből a klímakompresszor váltakozó feszültségű háromfázisú motorjának a táplálását.

A kifejlesztett klíma inverterben modern kapcsolás technikát, korszerű félvezetőket és digitális vezérlést alkalmazunk azzal a céllal, hogy az energiaátalakítás hatásfoka és a megbízhatósága minél nagyobb legyen.

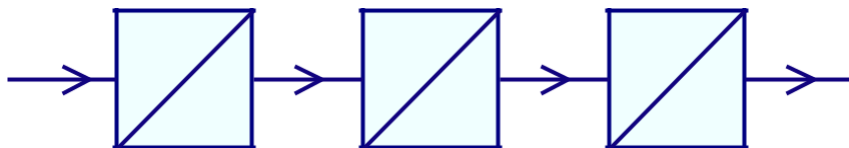
Egy metró kocsi 2 db klímaberendezés, valamint az őket egyenként tápláló 12kVA-es névleges teljesítményű klíma inverter kerül beépítésre.

Működés

Az 1. ábrán a JIPQ825/3x460-12 típusú, 12kVA-es DC/AC-átalakító blokkvázlata látható.

A feszültségemelő fokozat bemenetére kerül a munkavezeték egyenfeszültsége, amelyet a feszültségemelő (BOOSTER) fokozat 1400V-os DC feszültségre emel szabályozottan.

Erre a viszonylag magas feszültségre két ok miatt van szükség. Az egyik, hogy a betáplálási feszültség tartományt rendkívül ki lehet szélesíteni. A másik okról a későbbiekben ejtek szót.



5. ábra: JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés felépítésének blokkvázlata

A berendezés megengedett bemeneti feszültségtartománya 580V-1240V DC, amely tartományon belül a klímainverter tudja táplálni a klímaberendezést.

A feszültségemelő (BOOSTER) fokozat szabályozása gondoskodik arról, hogy a közbensőköri egyenfeszültség, vagyis az 1400V, egy állandó érték legyen úgy, hogy közben a bemenő áram szinuszos jelalakú és a bemeneti feszültséggel fázisban lévő maradjon. Tulajdonképpen ez a szinuszos áramfelvétel szóhasználat esetünkben nem pontos, mert a szabályozó nem szinuszos áramot, hanem a feszültség pillanatnyi jelalakjával megegyező jelalakú áramot biztosít. Más szóval ez azt jelenti, hogy a klíma inverter a munkavezeték felől nézve egy rezisztív terhelést fog jelenteni. Ez kedvező, mind a hálózatszennyezés, mind a szabályozás stabilitása szempontjából.

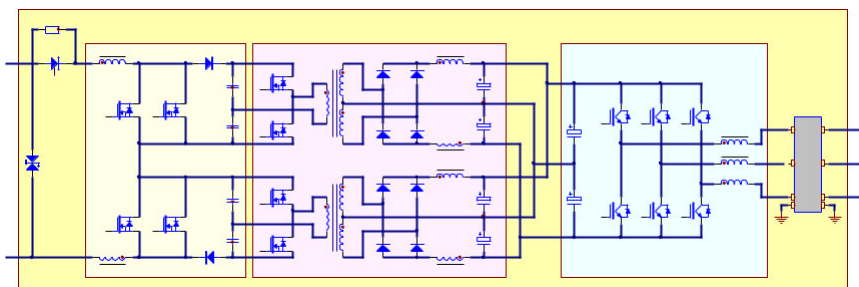
A második fokozat egy vezérelt, galvanikus leválasztást biztosító, transzformátoros DC/DC-átalakító (KONVERTER) amely az 1400V-os egyenfeszültségből 700V-os egyenfeszültséget állít elő. A KONVERTER szabályozása a DC feszültséget tartja egy előírt állandó értéken, úgy, hogy a DC kör árama ne haladjon meg egy abszolút korlátot.

A 3. fokozat egy háromfázisú félhídból kialakított invertert tartalmaz. A kimeneti feszültsége egy rádiófrekvenciás szűrőn keresztül a klímakompresszor motorjára kerül.

A háromfázisú inverter feszültségét U/f vezérléssel állítjuk elő. Alapvető jellemzője az, hogy az inverter kimeneti feszültségének és frekvenciájának vezérlése egyidejűleg, az U/f arány konstans értéken való tartása mellett valósul meg. Mindezt a háromfázisú PARK-vektorok segítségével oldjuk meg. A d irányú feszültséget állandóan tartva biztosítjuk az állandó fluxust és nyomatékot, míg a q irányú feszültséget futtatjuk fel az U/f hányadosnak megfelelően.

A JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés (2. ábra) tulajdonképpen egy változtatható frekvenciájú háromfázisú inverter, amely egy külső vezérlő jel parancsára felfuttatja a kimenetére kapcsolt klímakompresszor asszinkron motorjának a fordulatszámát.

Mindhárom fokozat vezérlése egy Texas gyártmányú, TMS320F2806 típusú, 100MHz-es, CMOS DSP-n alapuló saját fejlesztésű vezérlő kártyán fut.



2. ábra: A JIPQ825/3x460-12 típusú klímakompresszor motort tápláló berendezés főáramköri kapcsolási rajza

A tápegység bemenetén egy túlfeszültség levezető található, mely a munkavezeték tranziens túlfeszültségeitől hivatott megvédeni az alkalmazott félvezetőket. A CB1, CB2, CB3, CB4 kondenzátorok feltöltését a bemeneten látható R1 ellenállás biztosítja. A felsővezetékre történő feltöltődés után kapcsol be a T1-es tirisztor kapcsoló. Ezután indítjuk el a feszültségemelő, BOOSTER fokozatot. A fokozatban alkalmazott TB1-TB2 és TB3-TB4 párhuzamosan kapcsolt szilícium-karbid (SiC) félvezetők kapcsolási frekvenciája 10kHz. Az érdekesség, hogy ezen FET-ek vezérlése egymáshoz képest 180 fokkal el van tolva. Így a bemeneti induktivitások (LB1, LB2) már 20kHz-es áram hullámosságot korlátoznak. Vagyis a munkavezetékéből felvett áram felharmonikus tartalma jelentősen csökken. Megjegyezzük, hogy a félvezetők kapcsolási veszteségét csak a 10kHz-es működési frekvenciával kell számolni! A létrehozott 1400V-os egyenfeszültség a CB1, CB2, CB3 és CB4-es kondenzátorokon arányosan oszlik el, vagyis 350V-ot (kis szórással) lehet mérni rajtuk. A párhuzamosan kapcsolt szilícium-karbid FET-ekre a alacsonyabb bemeneti feszültség tartományban fellépő nagyobb áramok miatt van szükség.

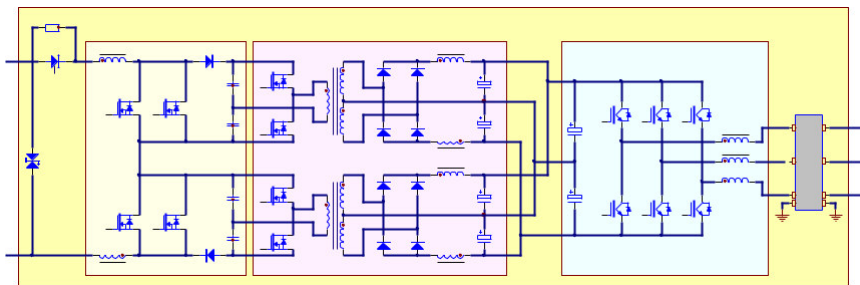
A KONVERTER fokozat bemeneti oldala gyakorlatilag két sorba kapcsolt félhíd tartalmaz a BOOSTER kimeneti kondenzátoraival együtt. A TK1, TK2, TK3 és TK4 ugyancsak szilícium-karbid FET-ek működési frekvenciája már 20kHz. Tehát a TR1 és TR2 transzformátorok primer oldalára 20kHz-es $\pm 350\text{V}$ -os négyszögfeszültség kapcsolódik. A szekunder oldalakon ugyancsak szilícium-karbid félvezetőkkel felépített egyenirányító Greatz-hidakat alkalmaztunk, melyek kimeneteire LK1 és LK2 induktivitások és CK1, CK2, CK3 és CK4 szűrőkondenzátorok kerültek.

Itt térnék vissza az előzőekben megemlített 1400V-os BOOSTER feszültség indoklására, a teljesítmény félvezetők kapcsolásakor létrejövő túlfeszültségek az alkalmazott transzformátorok villamos jellemzőitől jelentősen függenek. Ahhoz, hogy biztosítsuk a legjobb csatolást a primer és szekunder tekercsek között, a transzformátor primer és szekunder menetszámai megegyeznek. Az inverter fokozatnak szükséges a 700V-os egyenfeszültségű betáplálás, mert ebből a feszültségből lehet torzítás mentesen kialakítani a kimeneti szinuszos feszültséget. Ezért a transzformátor méretezése a szekunder oldal felől történt. Vagyis meghatároztuk, hogy a transzformátor szekunder feszültsége $\pm 350\text{V}$, az 1:1-es transzformátor áttétel miatt a primer feszültség is $\pm 350\text{V}$. Így a CB1, CB2, CB3 és CBS4 kondenzátorok feszültségösszege 1400V. Ezt a feszültséget kell biztosítani a BOOSTER fokozatnak.

A galvanikus leválasztást biztosító transzformátorok egyik érdekessége, hogy az alkalmazott vasmag VITROPERM 500F típusú nanokristályos anyag, amelyben az alkalmazott 20kHz-es frekvencián a kisebb vasvesztés miatt nagyobb indukció engedhető meg a hagyományos ferritmagokhoz képest. Ezért csökkenthető a felhasznált rézhuzal menetszáma, vagyis a mennyisége. A transzformátor elkészítésénél szigetelt elemi szálak sodratából (Litze huzal) kialakított huzalt alkalmaztunk. A menetszámok csökkentése és az elemi szálak kisebb skin hatásának következtében és az alkalmazott vas anyag miatt a transzformátor veszteségét és méretét a minimumra lehetett csökkenteni.

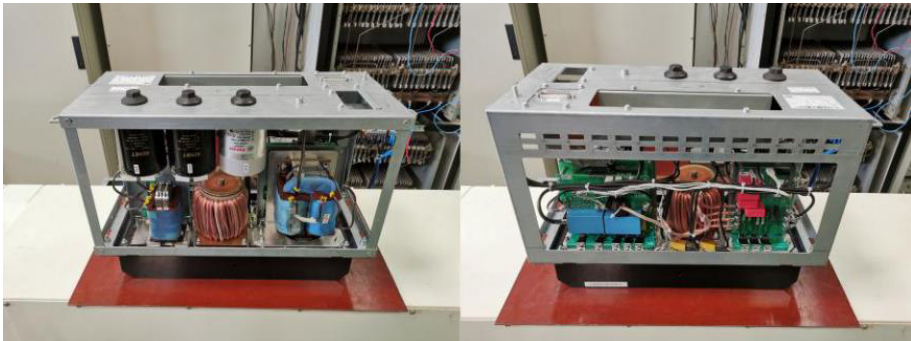
A KONVERTER fokozat gyakorlatilag két egyforma részre bontható, a primer, bemeneti oldalak sorba vannak kötve, míg a szekunderek kimenete párhuzamosan. Az egyes konverterek teljesítménye 6kW, az összteljesítményük 12kW.

A feszültségemelő és galvanikus leválasztó fokozatokban alkalmazott 1200V-os szilícium-karbid félvezetők alkalmazásával növelhető a berendezés hatásfoka, mivel ezeknél a félvezetőknel a hagyományos szilícium alapú IGBT-k és MOSFET-ekhez képest jelentősen kisebb a kapcsolási és a vezetési veszteség.



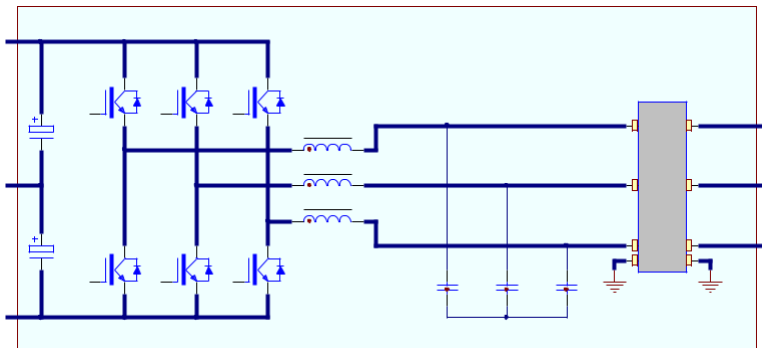
3. ábra: JTPQ600-800/700-9 típusú DC/DC-átalakító

A berendezés moduláris felépítésű, de a teljesítmény átalakító fokozatok nem BOOSTER, KONVERTER és INVERTER modulként lettek kiépítve, hanem gyakorlatilag kettő majdnem egyforma 6kW-os JTPQ600-800/700-9 típusú DC/DC-átalakítóból (3., 4. ábra) és egy INVERTER fokozatból. Ezzel az egyszerűbb gyárthatóság (szinte csak két féle modult kell gyártani), jobb alkatrész elhelyezhetőség és veszteségi hő elosztás biztosítható. A kis különbség a DC/DC fokozatok között csak a bemeneti induktivitások és booster diódák elhelyezésében van.



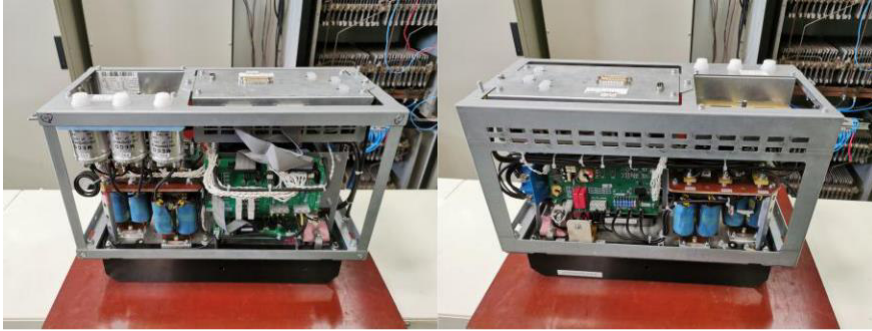
4. ábra: JTPQ600-800/700-9 típusú modul elől és hátul nézete

Az INVERTER fokozat (5., 6. ábra) bemenetén található két sorba kötött kondenzátor (C9 és C10). Ezek biztosítják a háromfázisú inverterben alkalmazott Mitsubishi gyártmányú intelligens power modul működése közben igényelt felharmonikus áramot. Az IGBT-k kapcsolási frekvenciája ugyancsak 10kHz. Intelligens modul beépítésére azért került sor, mert egyszerű és helytakarékos, mivel a modul tartalmazza az IGBT-eket, azok meghajtó áramköröit, valamint a túláram- és túlmelegedés elleni védelmi áramköröket. Az inverter ezen körülmények között 12kVA-es teljesítményre alkalmas, rövidzárlat ellen védett kimenettel.



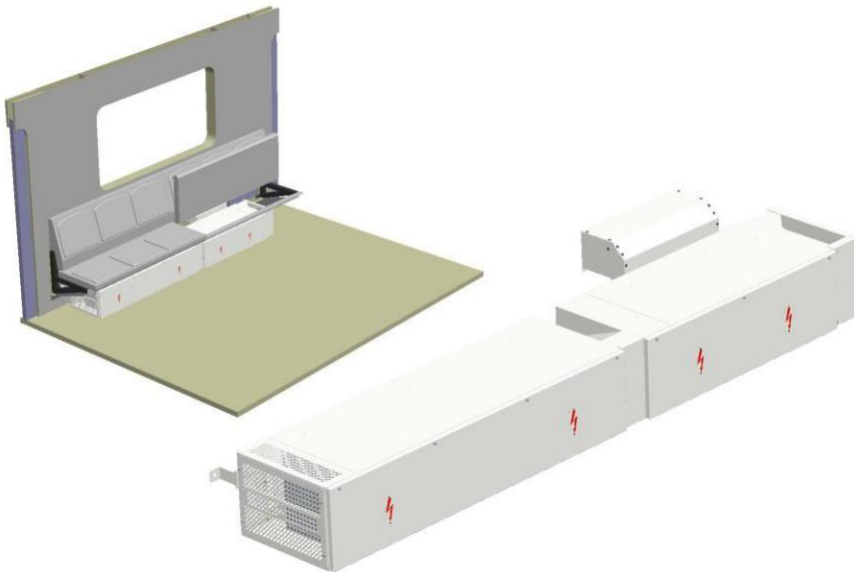
5. ábra JNFIPQ700/3x460-12/50 típusú modul

A félhidak kimenetein szűrő induktivitás és kondenzátor található, amelyek révén a kimeneten alacsony torzítású szinuszos feszültség jelenik meg a klíma kompresszor motor részére. A berendezés kimenetére egy rádiófrekvenciás zavarcsűrő egység került beépítésre.



6. ábra: JNFIPQ700/3x460-12/50 típusú modul elől és hátul nézete

A 7. ábrán a metró utasülések alá telepíthető berendezést láthatjuk. A tervek szerint szerelvényenként kettő 12kVA-es JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés kerül beépítésre.



7. ábra: Konstruktív elképzelés a JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés metró szerelvénybe történő beépítésére

A berendezés hűtéséről beépített ventilátor gondoskodik. A berendezés hűtéséhez szükséges levegőt a hűtött utastérből szívja, majd a felmelegedett levegőt a kocsi oldalán kivezeti. Az utastérből való levegő áramoltatásnak van egy másik pozitív hozadéka is. Elősegíti az utastér levegő cseréjét, melyre szigorú előírás van.

A 8. ábrán az összeszerelt klíma inverter látható lenyitott ajtókkal, ahol az egyes modulok elhelyezése látható.



8. ábra: JIPQ825/3x460-12 típusú berendezés végmérése

Összefoglalás

A kifejlesztett JIPQ825/3x460-12 típusú klíma inverter típusvizsgálatai megtörténtek és bizonyították, hogy elértük a kitűzött célokat. A berendezés kiválóan vizsgázott. A klíma inverter további előnye, hogy a moduláris felépítésből adódóan a BOOSTER-KONVERTER és INVERTER részegységek a helyszínen cserélhetőek. Meghibásodás esetén csak a hibás részegység cseréje szükséges, ezzel könnyítve meg a szervizelhetőséget.