

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamosművek Tanszék

Aktív felharmonikus szűrő fizikai modell vizsgálata

Löcher János

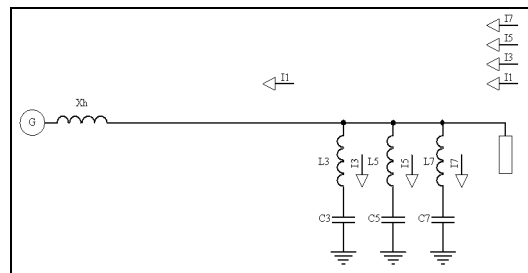
2001. szeptember 12.

1. Bevezető

Nemlineáris fogyasztók hálózati feszültségre való kapcsolásával az alapharmonikus áramon kívül megindulnak felharmonikus áram összetevők is. Ezek, továbbterjedve a táplálás irányában, rezonanciát okozhatnak, vagy a többi berendezés hibás működéséhez vezethetnek. Emiatt ezeket ki kell szűrni a hálózathoz. Ebben a cikkben több felharmonikus egyidejű szűrésére alkalmas aktív szűrő egy kis teljesítményű kísérleti példányának működését mutatom be különböző típusú fogyasztók mellett.

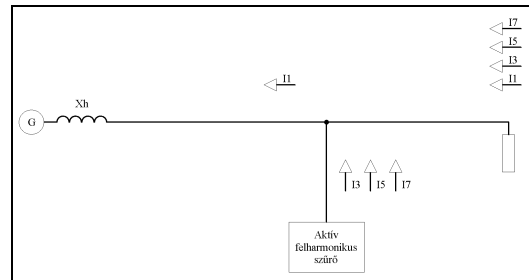
2. Passzív és aktív felharmonikus szűrők

A szűrésre eddig a legelterjedtebben alkalmazott kapcsolás, a hálózattal párhuzamosan kötött soros rezgőkörök (1. ábra). A módszer alapelve, hogy a rezgőkörök a rezonancia frekvenciájukon kisebb impedanciát képviselnek, mint a tápláló hálózat. Ezért a keletkezett felharmonikusok inkább a rezgőkörökön folynak tovább a föld felé, mint a vissza a táphálózat irányába. Ez a megoldás mintegy elhangolja a rezonancia frekvenciáját a mögöttes hálózatnak ezzel is gátolva a káros rezonanciák kialakulását. A kapcsolás hátránya, hogy nagy kapacitású kondenzátor szükséges ahhoz, hogy a felharmonikusok frekvenciáján kis impedanciát képviseljen a rezgőkör. Emiatt előfordulhat olyan eset, hogy a kondenzátorok kapacitív áramát egy fojtóval kompenzálni kell. Mivel a kapcsolás csak passzív áramköri elemeket tartalmaz, ezért ezt a módszert passzív felharmonikus szűrésnek nevezik.



1. ábra
Passzív felharmonikus szűrő

Az előzőekben alkalmazott áram elvonásos módszer megfordításaként adódik egy másik megoldás is. Ebben az esetben a harmonikus árammal megegyező, de azzal ellentétes fázishelyzetű áramot injektálunk a tápláló hálózatba (2. ábra). Ekkor a két áramösszetevő kioltja egymást, ezzel csökkentve a felharmonikus tartalmat. Mivel ennek megvalósítását csak valamilyen generátor segítségével lehet végrehajtani, ezért ezt a megoldást nevezzük aktív felharmonikus szűrésnek. Ebben az esetben a mögöttes hálózat rezonancia frekvenciáit nem befolyásoljuk, viszont csökkentjük az esetlegesen rezonanciát okozó felharmonikus áramösszetevők amplitúdóját, ezzel mérsékelve a rezonancia kialakulásakor bekövetkező károkat.



2. ábra
Aktív felharmonikus szűrő

A meddő teljesítmény kompenzálására alkalmazott STATCOM berendezések feszültséginvertereik megfelelő vezérlése esetén alkalmassá tehetők a felharmonikus tartalom csökkentésére is. A megoldás hátránya, hogy költséges ezért alkalmazásuk nem mindenütt kifizetődő. Ilyen esetekben jelenthet megoldást a cikkben bemutatott berendezés, amely egy harmonikus generátor és a hozzá kapcsolódó áramköri elemek segítségével végzi el a hálózat harmonikus tartalmának csökkentését.

3. Az aktív felharmonikus szűrő

A felépített berendezés működésének lényegi eleme, hogy a bemenetén érzékelt harmonikus áramokhoz képest a kimenetén pontosan 180° -kal elforgatott harmonikus áramokat állít elő azonos amplitúdóval. Mivel a harmonikusok generálását a bemeneten mért harmonikus tartalom közvetlenül vezérli, ezért azok változásait a kimenet automatikusan és gyorsan képes követni. Ezáltal lehetővé válik, hogy minden külső beavatkozás és szabályzás nélkül mindig pontosan a megfelelő amplitúdójú és fázishelyzetű áramot juttathassuk vissza a hálózatba.

A berendezés felépítését bemutató blokkséma a 3. ábrán látható.

A működés szempontjából a következő négy funkcionális részre lehet osztani a készüléket [1]:

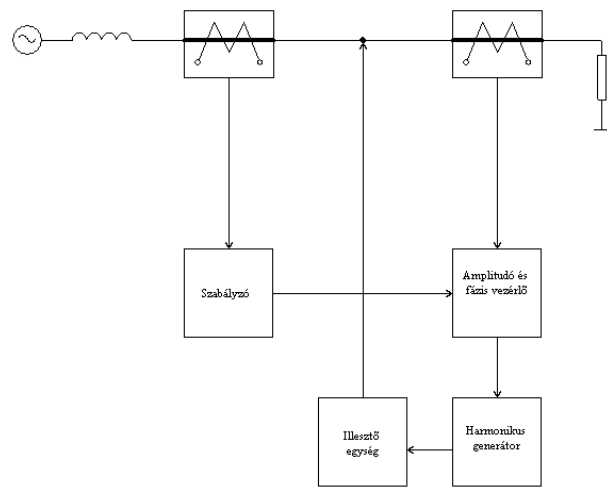
- Amplitúdó és fázis vezérlő
- Harmonikus generátor
- Illesztő egység
- Szabályzó

Az amplitúdó és fázis vezérlő egység a terhelés oldalán elhelyezett áramváltó jeléből kiválasztja a szűrni kívánt felharmonikus összetevőket. Az így szeparált harmonikusok amplitúdóját és fázis helyzetét szabadon változtathatjuk minden szűrni kívánt frekvencián. Ezáltal lehet beállítani azt a helyzetet, hogy az általunk generált és a terhelésből származó harmonikusok eredője a kimeneten megközelítse a nullát. Az amplitúdóban és fázisban módosított jelekkel vezéreljük a harmonikus generátort. Ennek a generátornak a feladata, hogy előállítsa a felharmonikusok kompenzálásához szükséges feszültséget a megfelelő teljesítmény szinten. Annak érdekében, hogy disszipációt elfogadható értéken tarthassuk, itt kapcsoló üzemű végfokozatot alkalmaztunk. Az előállított harmonikusokat az illesztő egységen keresztül juttatjuk vissza a hálózatba. Az illesztő egységnek olyannak kell lennie, hogy a szűrendő frekvenciákon minél kisebb legyen az impedanciája, hogy az előállított felharmonikus tartalom minél kisebb veszteséggel jusson vissza a hálózatba. Viszont az alapharmonikus frekvenciáján az illesztő egységnek elegendő elválasztást kell biztosítania a hálózattól, hogy a hálózati feszültség minél kevesebb mértékben terhelje a végfokozatot.

A szabályzó egység a táphálózat oldalán elhelyezett áramváltó jelében méri a felharmonikusok mindenkori nagyságát és úgy avatkozik be az amplitúdó és fázis vezérlő egység működésébe, hogy azok a lehető legkisebbek legyenek.

A 3., 5., és 7. felharmonikus szűrésére alkalmas szűrő kis teljesítményű kísérleti példányát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosművek Tanszékén építettem meg. A berendezés irányítását egy Microchip gyártmányú PIC 17C44 típusú mikrokontroller végzi és működése számítógéppel folyamatosan felügyelhető.

Az illesztő egység feladatát a szűrendő felharmonikusok frekvenciájára hangolt soros LC rezgőkörök látják el.



3. ábra

Az aktív felharmonikus szűrő blokksémája

A készülék működését laboratóriumban vizsgáltam különböző fogyasztói típusok mellett.

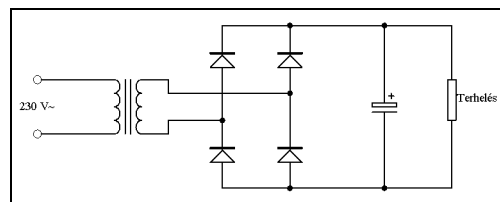
4. Különböző fogyasztói típusok a 0,4kV-os hálózaton

A 0,4 kV-os hálózat felharmonikus tartalmának növekedése főleg a mind nagyobb számban elterjedő elektronikus berendezések nem kellőképpen szűrt tápegységeinek köszönhető. Ezeket a tápegységeket működés szempontjából a következő csoportokba lehet sorolni:

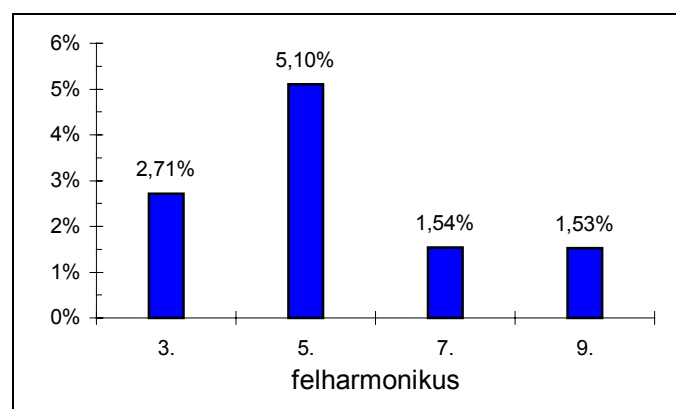
- a, Egyenirányítós tápegység
- b, Üresen járó transzformátor
- c, Kapcsoló üzemű tápegység

a, Egyenirányítós tápegység

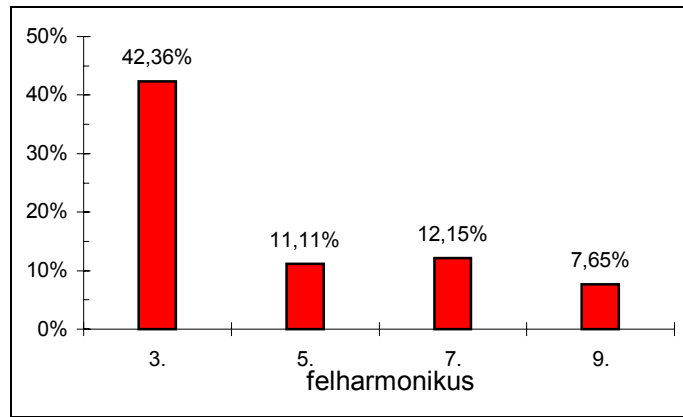
Ebben a megoldásban egy hálózati transzformátort egy vagy kétutas egyenirányító követ és ezt az egyenfeszültséget egy 'nagy méretű' elektrolit kondenzátor segítségével simítják (4. ábra). Ilyen típusú tápegységet leggyakrabban rádiókban, kazettás magnókban, CD lemezjátszókban, erősítőkből és régebbi videomagnókban alkalmaznak. Egy ilyen készülék által felvett áram felharmonikus tartalmát mutatja a 2. grafikon. (A vizsgálat végzésekor a laboratóriumban rendelkezésre álló hálózati feszültség felharmonikus tartalmát mutatja a 1. grafikon. Mivel a mérések ideje alatt ez csak kis mértékben változott, ezért a továbbiakban ezt nem ábrázolom.)



4. ábra
Egyenirányítós tápegység



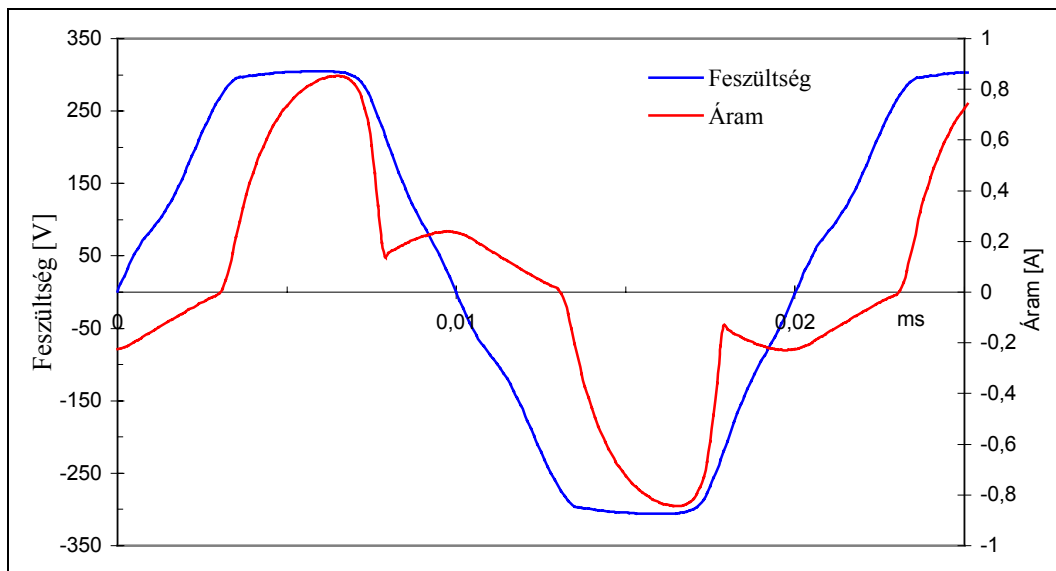
1. grafikon
A tápfeszültség felharmonikus tartalma



2. grafikon

Az áram felharmonikus tartalma egyenirányítós tápegység esetén

A feltüntetett értékek az alapharmonikushoz viszonyítva értendők, lineáris skálán ábrázolva.

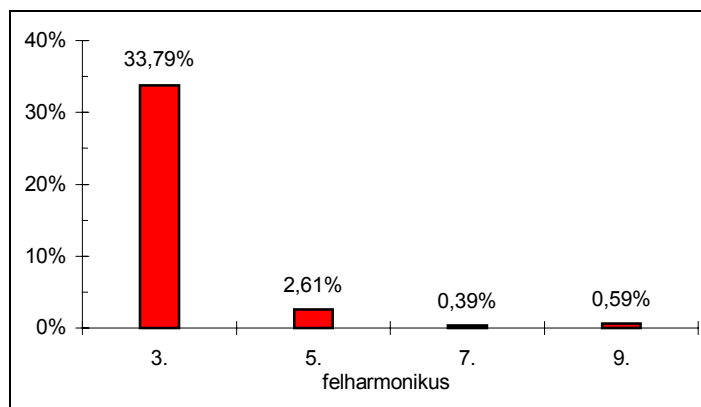


5. ábra

A feszültség és áram jelalakja egyenirányítós tápegység esetén

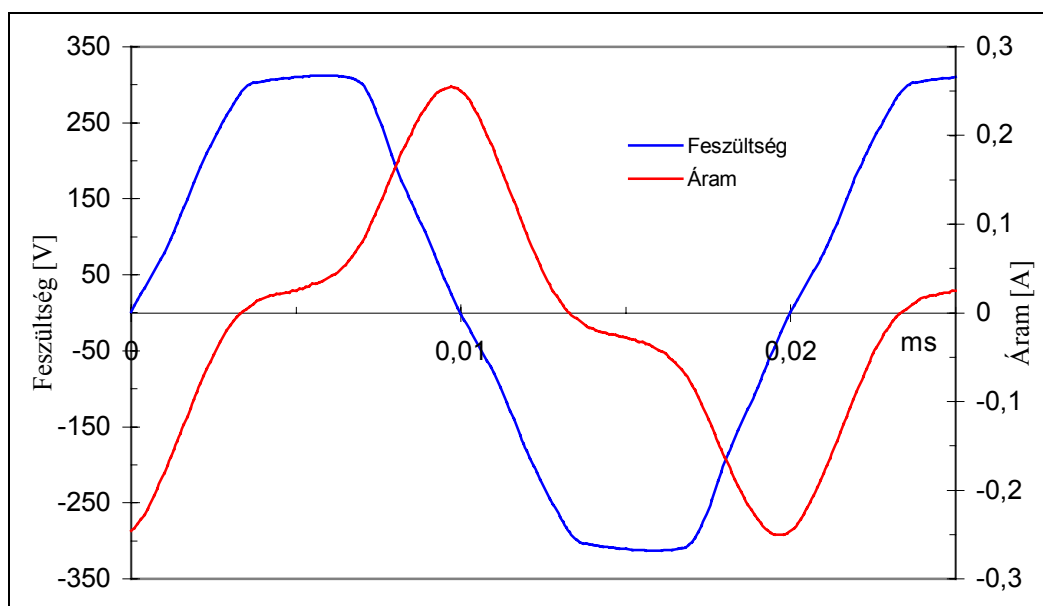
b, Üresen járó transzformátor

Az előző pontban említett tápegység alkalmazáskor az utóbbi 10-15 év során elterjedt megoldás, hogy hálózati kapcsoló helyett a készülékben előállított egyenfeszültséget lehet megszakítani és ezzel kikapcsolni a berendezést (ún. standby üzemmód). Ebben az üzemállapotban a hálózati transzformátor végig a hálózatra van csatlakoztatva és az üresjárási áramával terheli azt. Ezt az esetet mutatja a 3. grafikon.



3. grafikon

Az áram felharmonikus tartalma üresen járó transzformátor esetén



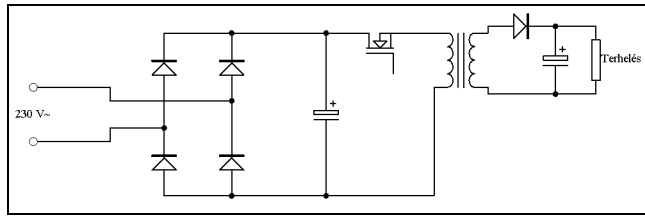
6. ábra

A feszültség és áram jelalakja üresen járó transzformátor esetén

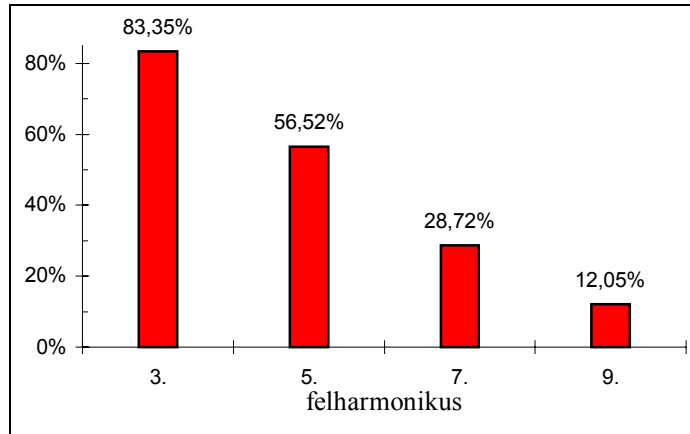
c, Kapcsoló üzemű tápegység

Elterjedt megoldás még a kapcsoló üzemű tápegységek alkalmazása. Ekkor a bejövő 230 V-os hálózati feszültséget egyenirányítják, majd az egyenfeszültséget simítják egy puffer kondenzátorral (7. ábra). Ezt az egyenfeszültséget megszagatva egy tranzisztorttal egy transzformátor segítségével állítják elő a berendezésnek szükséges tápfeszültségeket. Ilyen típusú tápegységek vannak a televíziókban, a monitorokban, a számítógépekben, az újabb videóknban, stb.

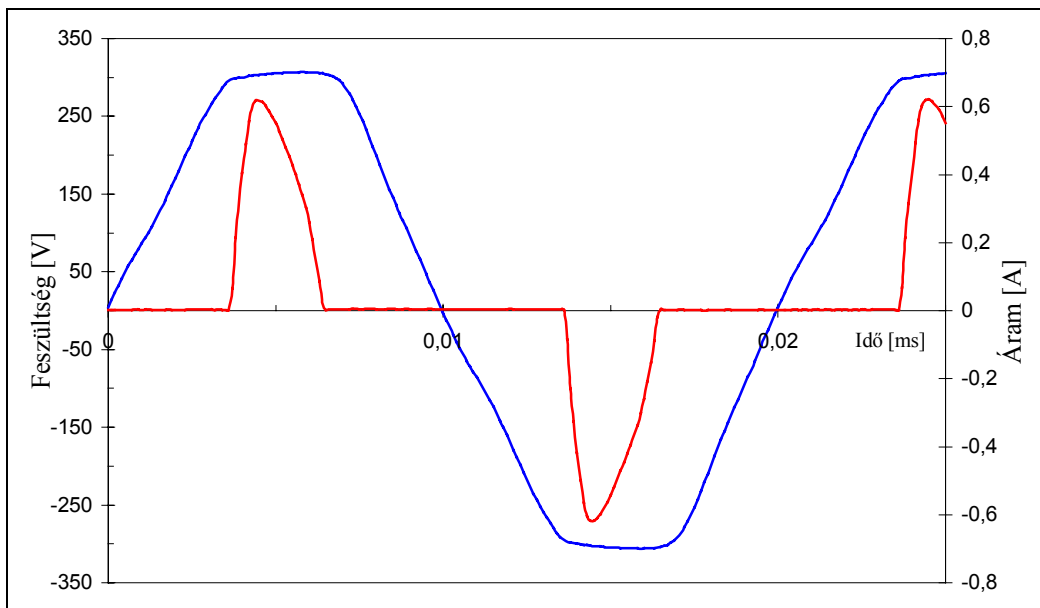
Egy ATX-es számítógép tápegység által felvett áram harmonikus tartalmát mutatja a 4. grafikon.



7. ábra
Kapcsoló üzemű tápegység



4. grafikon
Az áram felharmonikus tartalma kapcsoló üzemű tápegység esetén



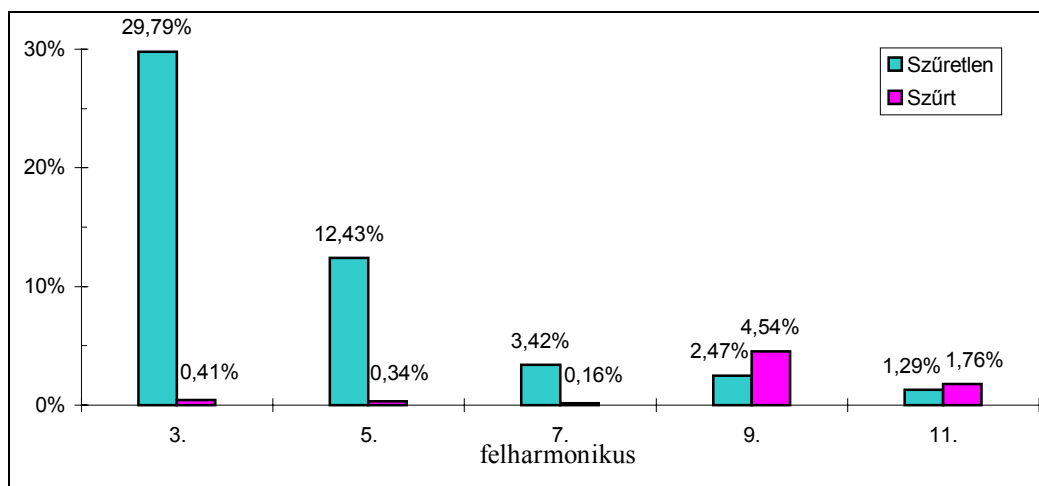
8. ábra
A feszültség és áram jelalakja kapcsoló üzemű tápegység esetén

5. Az aktív felharmonikus szűrő vizsgálata

Az előbbieken bemutatott tipikus fogyasztóknak megfelelően a szűrő működésének vizsgálatát a fent említett három különböző típusú fogyasztóval végeztem el.

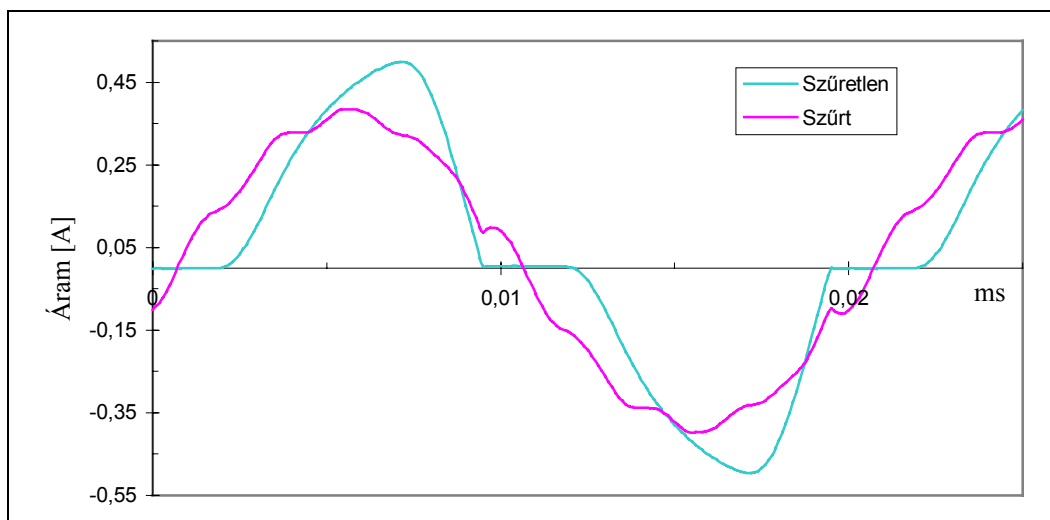
Egyenirányítós tápegység

Ebben az esetben egy kétutas egyenirányítóval rendelkező tápegység modell segítségével végeztem a vizsgálatokat. A kapott eredmények a 5. grafikonon és a 9. ábrán láthatóak.



5. grafikon

A szűrt és szűretlen áram felharmonikus tartalma egyenirányítós tápegység esetén

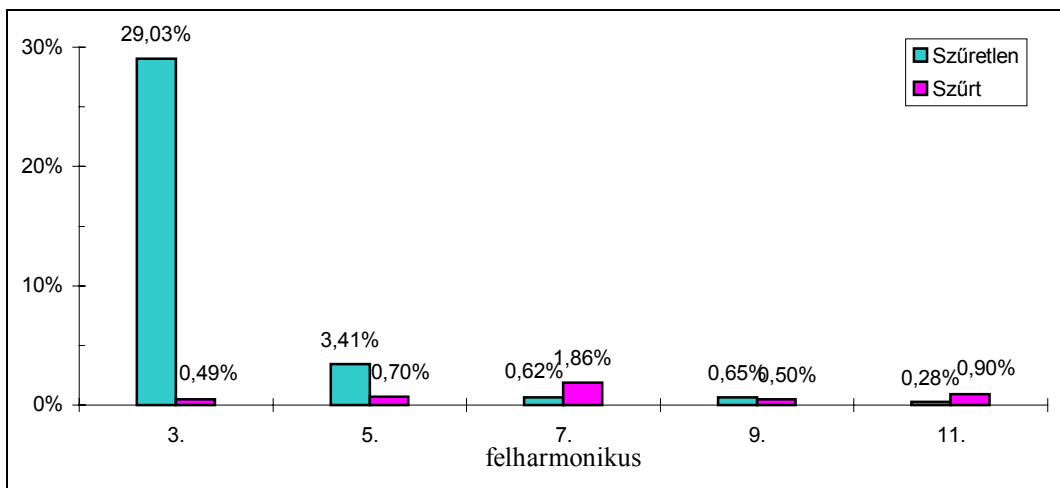


9. ábra

A szűrt és szűretlen áram jelalakja egyenirányítós tápegység esetén

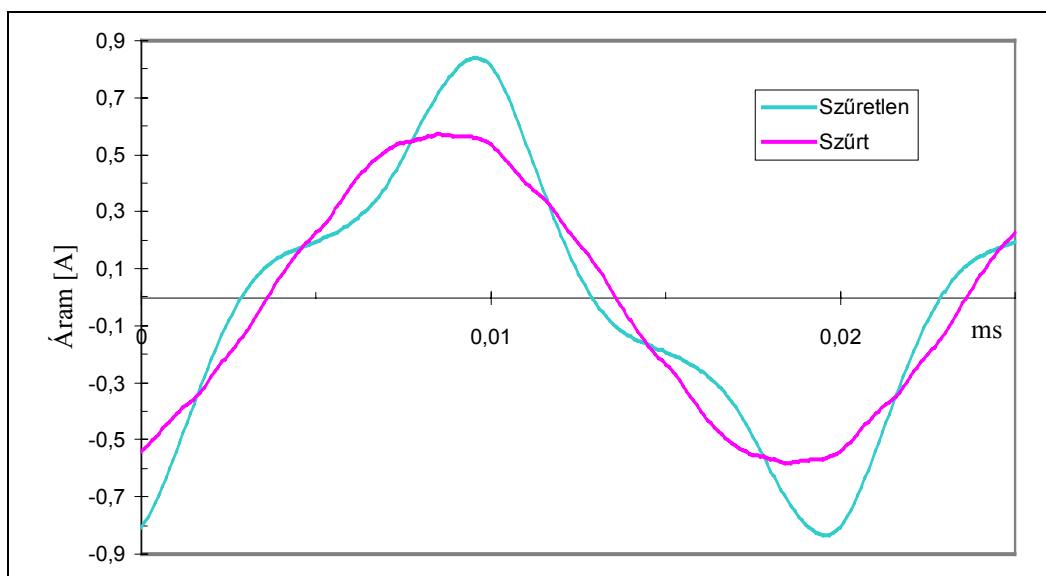
Üresen járó transzformátor

A valóságos helyzetnek megfelelően vizsgálatokat végeztem arra az esetre is hogy hogyan viselkedik a szűrő üresen járó transzformátoros terhelés esetén. Az így kapott eredmények a 6. grafikonon és 10. ábrán láthatók.



6. grafikon

A szűrt és szűretlen áram felharmonikus tartalma üresen járó transzformátor esetén

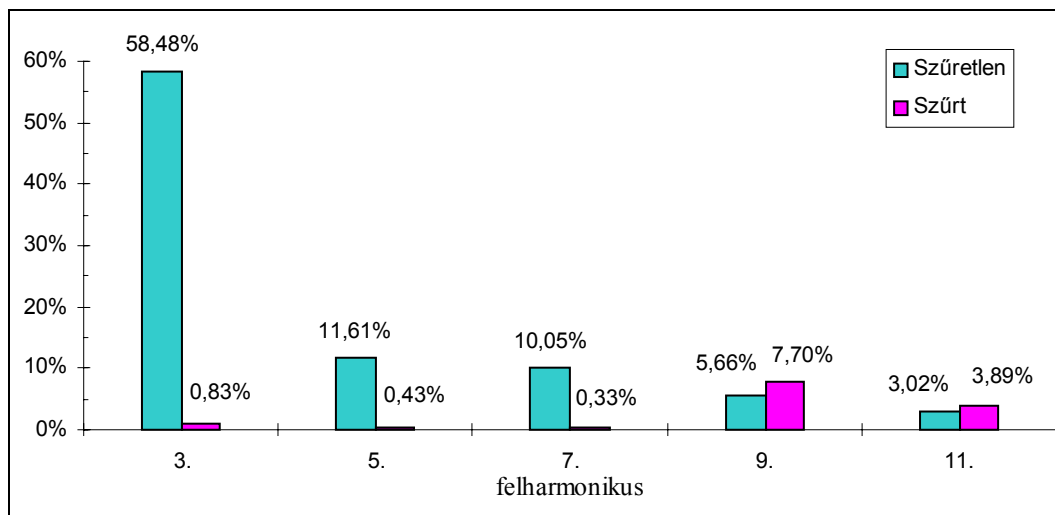


10. ábra

A szűrt és szűretlen áram jelalakja üresen járó transzformátor esetén

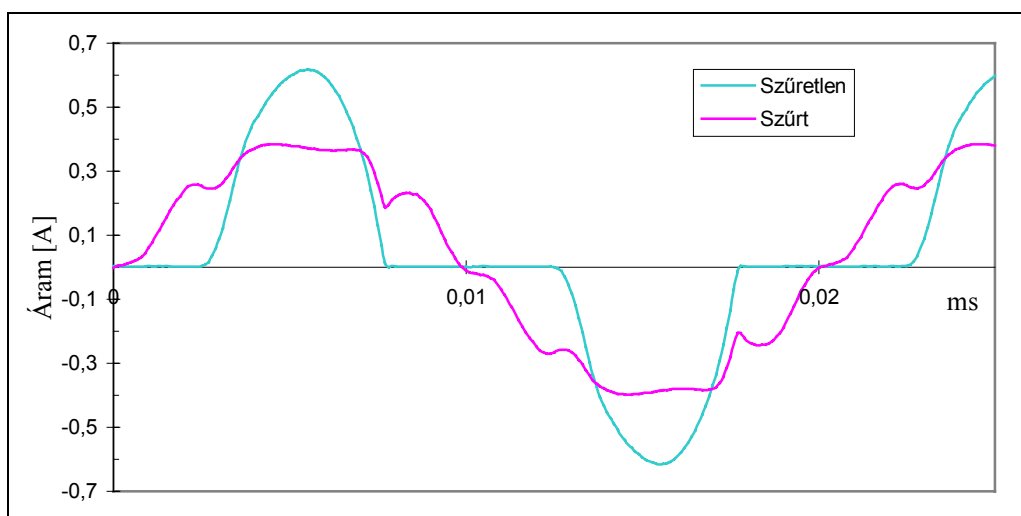
Kapcsoló üzemű tápegység

Az aktív szűrő viselkedését ebben az esetben egy kapcsoló üzemű tápegységet szimuláló fogyasztóval vizsgáltam. A kapott eredmények a 7. grafikonon és az 11. ábrán láthatóak.



3. grafikon

A szűrt és szűretlen áram felharmonikus tartalma kapcsoló üzemű tápegység esetén



11. ábra

A szűrt és szűretlen áram jelalakja kapcsoló üzemű tápegység esetén

6. Összefoglalás

Az 5., 6., 7. grafikonokon látható, hogy a szűrő a 3.-7. felharmonikusok tartományában nagyon jó eredményekkel működik. Az 5., 7. grafikont figyelve kitűnik, hogy a 9. és 11. felharmonikus tartalma a szűrés után megemelkedett. Ennek oka, hogy a tápfeszültség harmonikus tartalma miatt a kicsatoló körön harmonikus áram indul meg. A további fejlesztések keretében a szűrést ki kell terjeszteni a magasabb rendű felharmonikusokra is, ezzel növelve a berendezés használhatóságát.

Megoldatlan problémát jelez még egy effektus, amit a 6. grafikonon lehet megfigyelni. A hetedik felharmonikus esetén a szűrés előtti állapot kedvezőbb volt, mint a szűrés után kialakult helyzet. A jelenség magyarázata az, hogy a berendezés a bemenetén érzékelt jelet ellenkező fázisban adja a kimenetére. Ebben az esetben viszont a terhelésen nagyon alacsony a keletkezett hetedik harmonikus szintje és így a berendezés nem tudott mit a kimenetre engedni. Ez akkor nem is lenne probléma, ha a tápfeszültségnek nem lenne eleve hetedik felharmonikus tartalma (1. grafikon). Így viszont a kicsatoló körökön keresztül a tápfeszültségből megindul egy áram a föld felé, amit a szűrő nem tud kikompenzálni. Megoldást jelenthet erre a problémára az, ha a berendezés valamelyik harmonikusban alacsony értéket érzékel, akkor a tápfeszültségnek megfelelő harmonikus tartalmú feszültséget keltsen a kimenetén, és ezzel megakadályozza a harmonikus áram vagy áramok kialakulását.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Kisvölcsy Jenő: Tranziens hálózati analizátor alkalmazása a villamosenergia-rendszerek vizsgálatára
Kandidátusi értekezés, 1990

- [2] H. M. Goh, D. Harwood, R. E. Morrison: The performance of harmonic filters under conditions of high harmonic loading
Proc. Fourth international conference on harmonics in power systems, Budapest 1990, pp. 357-366

- [3] R. M. Duke, S. D. Round, K. C. Henderson: An active filter for current distortion compensation in power systems
Proc. Fourth international conference on harmonics in power systems, Budapest 1990, pp. 367-373

- [4] Löcher János: 0,4 KV-os aktív felharmonikus szűrő vezérlő berendezésének tervezése
Diplomaterv, 2001