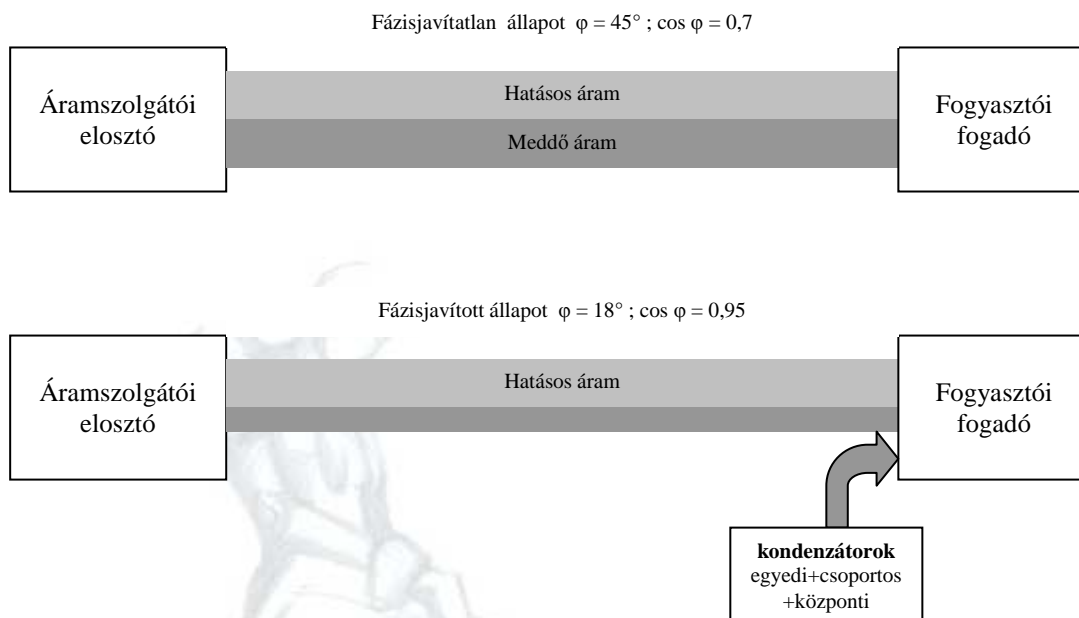




A fázisjavításról általában

Váltóáramú villamos gépek működésében lényeges szerep jut a mágneses tereknek. Gerjesztésükhöz olyan áramok szükségesek, melyek időben, - fázisban $\frac{1}{4}$ periodussal elmaradnak a feszültséghez képest. A fáziskésésnek az a következménye, hogy ugyanazon hatásos teljesítmény átviteléhez nagyobb áramra van szükség, s ez az áram feleslegesen köt le egyrészt a villamos energiatermelő és elosztórendszer átvivő képességéből, ugyanakkor az energia rendszerben az áram négyzetével arányos többlet veszteséget okoz.



A meddőteljesítmény igény felmerülésének helyén kielégítő forrása elvileg lehet szinkron motor is. A fázisjavító kondenzátor alkalmazása azonban, szinte minden esetben kisebb beruházást, nagyobb üzembiztonságot, gazdaságosabb üzemvitelt tesz lehetővé. Telepítése, szükség esetén áthelyezése is egyszerűbb. Ezért lényegesen elterjedtebb módszer a fázisjavító kondenzátorok alkalmazása.

A hálózatokon a fogyasztók jellegétől függően (ohmos, induktív, kapacitív) a hálózati feszültség és áram időbeni lefutása között eltolódás állhat fenn.

Meddőáram

A villamos erőművek és elosztó hálózatok terhelését, igénybevételét a mérhető áram, illetve az ezen árammal arányos látszólagos teljesítmény határozza meg.

Az induktív fogyasztók (aszinkronmotorok, transzformátorok, egyenirányítók, hegesztőgépek, fémhalogén lámpák és fénycsövek előtétei stb.) hálózatból felvett eredőárama ($I_{\text{lát}}$), felbontható két, egymásra merőleges áramkomponensre, hatásos (I_h) és meddő áramra (I_{ind}).

A hatásos áramösszetevő fázisban van a feszültséggel, és ezek szorzata adja meg a hatásos teljesítményt.

A hatásos árammal 90° -os szöget bezáró (I_{ind}) komponens – ami az induktív fogyasztók mágnes mezejük fel és leépítésükhöz szükséges, a generátort, illetve a távvezeték (kábel) terhelő mágnesező áram. Ennek kompenzálása (kiegyenlítése) egy vele egyező (vagy közel egyező) nagyságú (180° - eltérésű) kapacitív (I_{kap}) árammal érhető el, legcélszerűbben megfelelően méretezett fázisjavító kondenzátorral.

A fentiek együttes hatásaként elérhető, hogy az eredő áram a hálózati feszültséggel fázisban – vagy közel fázisban – legyen (fázisjavítás). Ezzel biztosítható, hogy lényegében csak a hatásos áram okozta veszteségek lépjenek fel.

Ellenkező esetben a távvezetéseket, transzformátorokat a hatásos és meddő áramok együttes figyelembe vételével kell tervezni, illetve ezek által együttesen okozott veszteségeket kell számba venni.

Meddőteljesítmény

Az alábbi vektorábrából leolvasható, hogy a hatásos teljesítményt (P) kifejezhetjük az eredő (látszólagos) árammal is, mivel:

$$I_h = I_{\text{lát}} * \cos\varphi$$

igy

$$P = I_h * U = U * I_{\text{lát}} * \cos\varphi$$

Az áramvektorok bemutatott képéhez hasonló módon ábrázolhatjuk a hatásos, meddő és látszólagos teljesítmények vektorait is. Mint ebből kitűnik, az áramvektorok háromszöge *hasonló* a teljesítmények vektorháromszögéhez: φ fáziseltolási szög mindkettőnél ugyanaz.

Az ábra jelöléseivel:

$$\begin{aligned} P &= U * I_h \\ Q &= U * I_{\text{ind}} \\ S &= U * I_{\text{lát}} \end{aligned}$$

A kompenzálásra szoruló induktív fogyasztók árama a hálózati feszültséghez képest 90° -kal (negyed periódussal) késik, míg a kompenzáló kondenzátorok árama viszont a hálózati feszültséghez képest 90° -kal (negyed periódussal) siet.

Teljesítménytényező (cosφ)

Láttuk, hogy az eredő (látszólagos) áram ($I_{\text{lát}}$) illetve a látszólagos teljesítmény (S ill. S_1) φ szöggel marad el a feszültség mögött. E szög cosinusát *teljesítménytényezőnek* nevezzük, mivel megmutatja, hogy ugyanazon átfolyó áram a fáziskésés következtében milyen arányban kisebb hatásos teljesítményt képes egyazon rendszeren átvinni, más szóval az ábra jejeivel:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S},$$

az az a hatásos és látszólagos teljesítmény viszonya.

Nyilvánvaló az eddigiekből, hogy az energia rendszer szempontjából legkedvezőbb a $\varphi = 0$ -nak megfelelő, fáziskésés nélküli üzemi állapot, amikor is a $\cos\varphi = 1$; minden ettől eltérő üzemi helyzetben ($\cos\varphi < 1$) **az egész energia pályán:**

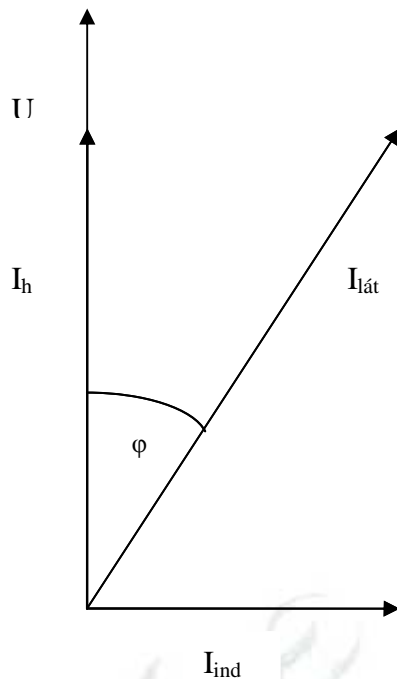
$$\frac{S}{P} = \frac{1}{\cos\varphi} \text{ arányban nagyobb terhelés, illetve } \frac{1}{\cos^2\varphi} \text{ arányban } \underline{\text{meg növekedett}} \text{ veszteség}$$

jelentkezik, a mágnesmező áram által képviselt meddőteljesítmény fellépése miatt.

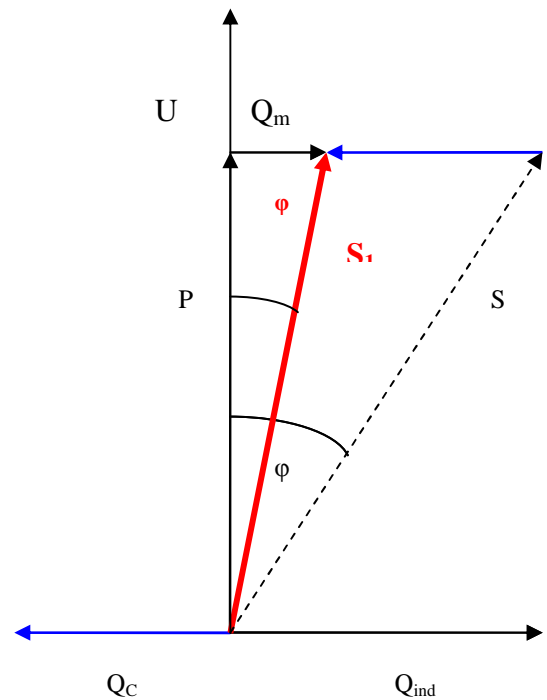


A mágnesező áram növekvő mértéke tehát egyrészt **négyzetes arányban** növeli az elosztóhálózaton fellépő veszteséget, másrészt csökkenti az elosztóhálózaton átvihető hatásos teljesítmény mértékét.

Fázisjavítatlan állapot



Fázisjavított állapot



Ahol:

- S = Látszólagos teljesítmény fázisjavítás előtt
- S₁ = Látszólagos teljesítmény fázisjavítás után
- Q_{ind} = Induktív teljesítmény
- Q_m = Maradó induktív teljesítmény fázisjavítás után
- Q_c = A szükséges kompenzáló teljesítmény

Az áramszolgáltató azokkal a fogyasztókkal, akik egy meghatározott mennyiség felett vételeznek az áramszolgáltatói hálózatról meddő energiát, büntetést fizettet.

A fázisjavítás létesítése ugyan nem kötelező, de ennek hiányából kialakuló hálózati viszonyok miatt az áramszolgáltató szankcionál.

A büntetés mértéke olyan lehet, hogy már egy közepes nagyságú fogyasztónál a fázisjavítás (módozattól függően) 1-3 éven belül megtérül.

A szükséges kompenzáló teljesítmény meghatározása: (részletesen lásd.függelékben 1 és 2 pont)

Hogy meghatározhassuk az adott körülmények között, az Áramszolgáltató követelményeinek biztonságosan megfelelő kompenzációs teljesítményt és a fázisjavítás módját, gondos villamos hálózat elemzést kell végezni a fogyasztónál.

A mérés időtartama függ a fogyasztók jellegétől, de általában 10 napon keresztül végezzük.

Az AR5 tip. műszer a villamos hálózatok mérésére, a mért paraméterek tárolására, ezek számítógépbe történő bevitelére, a mérési eredmények táblázatos és grafikus kiértékelésére szolgál.

A műszer alaphelyzetében az alábbi paramétereket méri és rögzíti:

	L1	L2	L3	LIII
Feszültség (U), (fázis-nulla v fázis-fázis)	x	x	x	x
Feszültség MAXIMUM és MINIMUM	x	x	x	
Áram (I),	x	x	x	x
Áram MAXIMUM és MINIMUM	x	x	x	
Hatásos teljesítmény (W),	x	x	x	x
Induktív teljesítmény (var L),	x	x	x	x
Kapacitív teljesítmény (var C),	x	x	x	x
Teljesítmény tényező (cos φ),	x	x	x	x
Frekvencia (Hz),				x
<u>Felharmonikus vizsgálat (U és I) 50. rendig</u>				
- THD (teljes hálózati torzítás) vonal diagram	x	x	x	
- oszlop diagram (fesz.és áram)	x	x	x	
- hullám alak (fesz. és áram)	x	x	x	

A hálózati felmérés alatt fogyasztott villamos energiák:

- Hatásos energia (Wh)			x
- Induktív energia (varh L)			x
- Kapacitív energia (varh C),			x

Hogy a **függelékben** bemutatott számítási módok bármelyikével meghatározott szükséges kompenzációs teljesítményt a háromféle fázisjavítási mód (egyedi, csoportos, központos) melyike szerint vagy esetleg azok milyen kombinációjában célszerű beépíteni, azt az összes mérési eredmény (leágazásonkét is) figyelembe vételével az egyes fogyasztók jellege és üzemben belüli elhelyezkedése határozza meg.

Egyedi kompenzáció:

Ezt a módszert olyan fogyasztóknál célszerű alkalmazni, melyeknek meddő energia felvétele az üzemeltetési idő alatt közel állandó. Az ilyen fogyasztó berendezések két legfontosabb típusát a transzformátorok és az aszinkronmotorok képviselik.

A transzformátorok meddőfogyasztása két részből áll:

Az üresjárási (párhuzamos) és a szórási feszültségesés induktív összetevőjének megfelelő meddőfogyasztásból. A párhuzamos rész a transzformátor terhelésétől függetlenül állandó értékű, a soros

rész a terheléssel négyzetesen változik. A transzformátor teljes meddőfogyasztása a **függelék** (3. pont) ben meghatározott összefüggésből számítható.

Általános ökölszabályként mondható, hogy a normál transzformátoroknál szükséges „nyak” vagy „hóalj” kompenzáció a transzformátor névleges teljesítményének 3 – 5%-a legyen.

Hegesztőtranszformátoroknál a névleges transzformátorteljesítmény 50%-ának, az egyenirányítóval működő hegesztő berendezéseknél pedig a névleges teljesítmény 10%-ának megfelelő kompenzáló teljesítményt célszerű választani.

A transzformátor üresjárási kompenzáló kondenzátora a transzformátor indukciójával egy párhuzamos rezgőkört alkot melynek rezonancia frekvenciája (a hálózati induktivitást figyelmen kívül hagyva) a **függelékben** (4.pont) megadott módon számítható ki.

A kompenzáló kondenzátor és a táptranzformátor szintén egy párhuzamos rezgőkört képez. Ennek frekvenciájának kiszámítására lásd példát a **függelékben** (5.pont)

A transzformátor teljesítmény 30%-át kitevő kondenzátor teljesítmény beépítésénél a rezonancia frekvencia olyan értékre csökken, ami már az esetleges 7. és a 9. rendű felharmonikus előfordulása esetén rezonancia gondokat okoz.

Aszinkron motorok meddőfogyasztása – a transzformátorokéhoz hasonlóan – ugyancsak egy üresjárási (párhuzamos) és egy terhelési (soros) részösszezből adódik, mégis azzal a különbséggel, hogy az üresjárási hányados a motorok esetében nagyságrenddel nagyobb, mint a transzformátoroknál, érték a motor fordulatszámától és teljesítményétől függően a névleges motorteljesítmény 90%-ától a motorteljesítmény 20%-áig változik.

A fogyasztói meddőigény zömét előidéző aszinkronmotorok egyedi kompenzációja (ha azok kihasználási óraszámja eléri a havi 200 órát) mind gazdaságilag mind műszakilag előnyös.

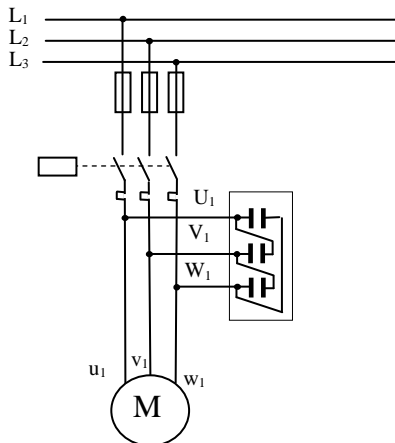
Mivel azonban az egyedi kompenzációként beépített kondenzátor teljesítménye a felgerjedési veszély következtében legfeljebb a motor üresjárási meddőigényének 80%-a lehet, ezért a legkedvezőbb $\cos\phi$ elérése érdekében az egyedi kompenzáció mellett csoportos illetve központos kompenzálást is kell alkalmazni.

Az öngerjedési veszély következtében tilos egyedi kompenzációt alkalmazni olyan motorok esetén, ahol a motor forgásiránya változik, ill. a fékmágnes feszültsége a motor sarkairól ered (daru, lift stb.).

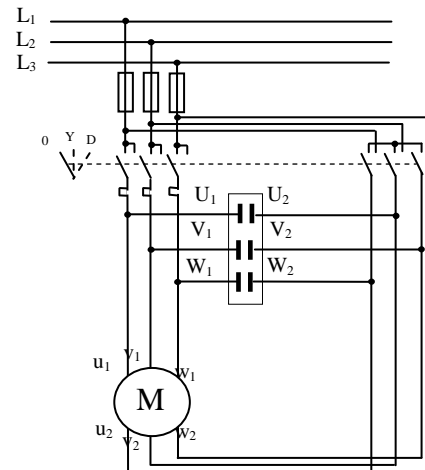
Ha a motor automata csillag/delta átkapcsolós és a motor leállítása deltából történik, a kondenzátorokat lehet deltába kötni. (A ábra)

Ha viszont a csillag/delta átkapcsolás mechanikus akkor egyfázisú kondenzátorokat kell alkalmazni, melyeket párhuzamosan kell kötni a motor egy-egy tekeréséhez. (B ábra)

A,



B,



A motorok üresjáratú kompenzációjához szükséges kondenzátor teljesítményeket lásd a **függelékben** (6.pont)

Az egyedi kompenzáció előnyei:

- A meddőenergia kompenzálása ott történik, ahol az igény fellép, így a meddőenergia szállítása igen rövid úton történik, s ez által a vezetéken létrejövő veszteség a legkisebb.
- Megfelelő kényszer kapcsolattal biztosítható, hogy a kompenzáció vezérlését maga a fogyasztó végezze.

Az egyedi kompenzáció hátrányai:

- Nagyobb összteljesítményt kell beépíteni, mint a központos kompenzációnál
- A kondenzátorok telepítési költségei (miután ezek egyenként történnek) nagyobbak, mint a központos kompenzációnál.
- A karbantartás költségesebb, végrehajtása szigorú következetességet követel.
- A meghibásodások észlelése nehezebb.
- Változó meddőigénynél a túlkompensálás lehetősége fenn áll.
- A különféle meddőteljesítmény igényű fogyasztókhoz más és más értékű kondenzátor telepítése szükséges, ami megnehezíti a tipizálást.

Csoportos kompenzáció

Ha az egyedi kompenzáció a kompenzálendő motorok kis kihasználási óraszám miatt nem gazdaságos, ugyanakkor a központi elosztó berendezés és az egyes üzemszerek egymástól távol vannak, vagy az egyes üzemszerekhez vezető tápkábelek túl vannak terhelve, esetleg emiatt, vagy ettől függetlenül a feszültségesés meghaladja a megengedett határt, a csoportos kompenzáció indokolt. A csoportos kompenzáció az üzemi elosztó berendezésnek a kondenzátor beépítési helyéig terjedő szakaszát mentesíti a meddőáramtól.

A csoportos kompenzáció gazdaságosságának elbírálásánál figyelembe kell venni a központi kapcsoló berendezéstől az elosztóig terjedő kábelhosszat, valamint azt a körülményt, hogy milyen mértékben van lehetőség a csoportos kompenzációban felszerelt kondenzátorok rendszeres ellenőrzésére. A kompenzáció e módjánál célszerű a kondenzátorokat a kompenzált üzemszert(ek) főkapcsolójával egyidejűleg be-és kikapcsolni.

Csoportos kompenzációt alkalmaznak az előtétek kompenzálására, pl. olyan helyeken, ahol nagy mennyiségű fénycső van beépítve és az előtétekhez valamilyen okból (pl. korábbi PCB impregnálású kondenzátorokat kiépitettek) újabb egyedi kompenzálást nem alkalmaznak.

Központos kompenzáció

Központos kompenzációnak nevezzük a fázisjavításnak azt a módját, amelynél az egész üzemi meddőtéljesítményének nagyobb részét úgy kompenzáljuk, hogy a kondenzátorokat az üzemi központi elosztó berendezésének főgyűjtősinjére külön megszakítók közbeiktatásával kapcsoljuk rá. A fázisjavításnak ezt a módját akkor alkalmazzuk, ha az üzemi működő gépek technológiai viszonyai lényegesen eltérnek egymástól, az együttjárási tényező kicsi és a terhelés tág határok között ingadozik. Így pl. a központos kompenzációt általában sok kis fogyasztóval rendelkező és üzemszereknél is erősen változó terhelések esetén alkalmazzuk.

Központos kompenzációnál – az egyes üzemszereknek eltérő együttjárási és kihasználási tényezője eredménye képen – adódik a viszonylagosan legkisebb kondenzátor teljesítmény ; a fázisjavítás e módjánál viszont a villamos berendezések csak a gyűjtősinig, a kondenzátorok beépítési helyéig mentesülnek a meddőáramtól ; az elosztóvezetéseket, valamint az elosztóktól a fogyasztóig terjedő bekötővezetéseket már a wattos és meddőáramok eredője veszi igénybe.

Központos kompenzáció korszerű megoldása önműködő kondenzátorvezérlés nélkül ma már elképzelhetetlen. Az Áramszolgáltató tarifális követelményeit e nélkül nemigen lehetne teljesíteni.

Az automatizált központos fázisjavító berendezéseket – bár vannak bizonyos stenderdek – valójában a hálózati analízis alapján készítjük el.

Felharmonikusok a hálózaton

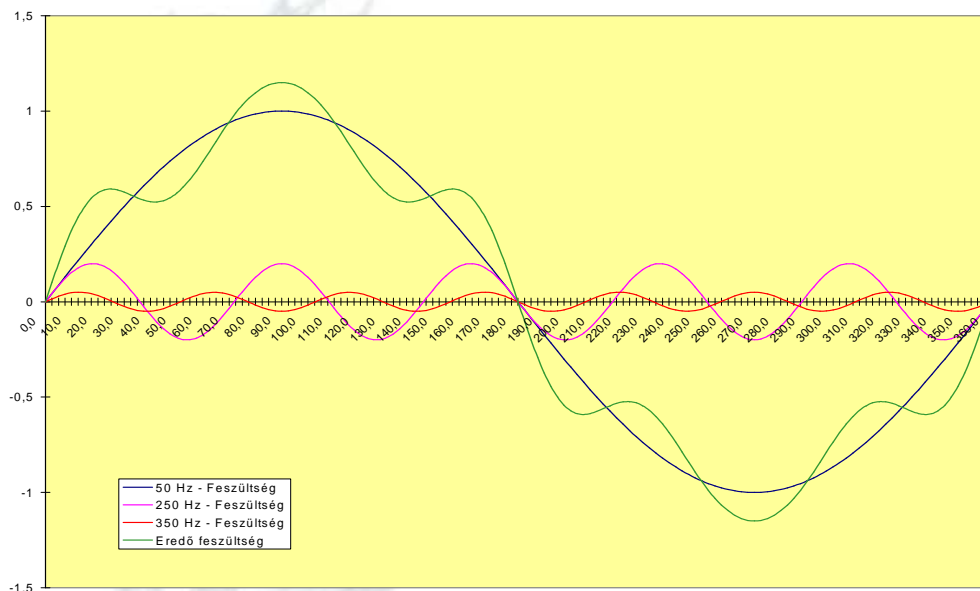
A villamos fogyasztók egy jelentős részének (vezérelt egyenirányítók, egyenáramú hajtások, fényszabályzók, TV-k, komputerek, telített vasmagú indukciók, hegesztőgépek, ívkemencék, szikraforgácsoló gépek, szünetmentes áramforrások, egyéb sinus kiharítás elvén működő készülékek stb.) áramfelvétele nem, vagy nem teljesen sinusos.

A torzítás mind a feszültség, mind az áram jelalakjában mutatkozik, azonban mértékük a hálózat viszonyaitól függően erősen eltérő lehet. Ha az ún. mögöttes hálózat zárlati teljesítménye a felharmonikusok keltő fogyasztóhoz képest nagy, (a hálózat „merev”) akkor a torzítás mértéke csekély. A torzítás mértéke lényegében a felharmonikusok keltő fogyasztó teljesítményének és a már említett zárlati teljesítmény viszonyától függ. Ha a felharmonikus keltő fogyasztó (pl. egyenirányító vagy a fentiekben felsorolt jellegű fogyasztók) teljesítménye az átadó hálózat zárlati teljesítményének 1000-ed részénél kisebb, akkor felharmonikus jelenségekkel nem kell számolni.

A torzított jelalak felbontható egyenáramú összetevőre, alap- és felharmonikusokra. A felharmonikusok az alapharmónikusok egész számú többszörösei. (pl.: 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz stb.) A legújabb kutatások szerint a hálózaton előfordulnak, ún. köztes harmonikusok is, melyek frekvenciája nem egészszámú többszöröse az alap harmonikusnak. Ezek specifikus hatásainak vizsgálatai most vannak folyamatban.

Ezek jelenléte a hálózaton számos problémát okoz (frekvenciafüggő készülékek túlterhelődése, vezérlési rendszerek zavarai, hálózati rezonancia fellépésének veszélye stb.)

A felharmonikus áramok hatásos teljesítményt nem hoznak létre, a hálózatot azonban termikusan terhelik, és úgy viselkednek, mint a meddőáram.



Vízszintes tengely: szög tengely (relatív idő)

Függőleges tengely: különféle frekvenciájú feszültségek amplitúdójának relatív értékei

Miután a kondenzátorok impedanciája fordítottan arányos a frekvenciával, pl. egy 7. rendű felharmonikus – melynek feszültsége legyen a mérések szerint 400 V-nak 2%-a azaz 8 V – a kondenzátoron az alap harmonikus áramának további 14%-át hajtja keresztül.

A felharmonikusos hálózatokon a kondenzátorok jelentősen túlterhelődhetnek, ezért a hagyományos fázisjavítás ilyenkor nem alkalmazható.

A fázisjavítás létesítése előtt mind a középvezetési, mind, pedig a kisvezetési hálózaton hálózati analízist kell végezni részben a szükséges meddő teljesítmény részben, pedig annak meghatározására, hogy vannak-e, és ha igen, hányadik rendű és milyen intenzitású felharmonikusok az adott hálózaton. Figyelemmel kell lenni a „0” vezetőkön folyó áramra is mely nem csak a fázisok asszimetriájának lehet a következménye, hanem azt a jelentős 3. rendű felharmonikus is okozhatja. Ezért a hálózati analízisnek a „0” vezetőre is ki kell terjednie.

Felharmonikusokkal terhelt hálózatokon a kondenzátorok különféle lengéseket is okozhatnak, ami a jelalakok további torzulásához vezethet. Így a kondenzátorok, túlterhelődése fokozódik. A hálózatra újabb és újabb kondenzátorok bekapcsolásával - ami a teljesítmény tényező javítása szempontjából szükséges - egyre fokozódik a rezonancia veszély, ami a hálózati induktivitás és a bekapcsolt kondenzátorokból kialakult rezgőkör miatt van.

Rezonancia veszély

A villamos hálózatokra történő kondenzátor rákapcsolás a táp transzformátor szekunder tekercsével párhuzamos rezgőkört képez.

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{L \cdot C}$$

A bekapcsolt kapacitás növelésével a rezonancia frekvencia csökken. Ha a hálózaton felharmonikusok vannak, előfordulhat - különösen magasabb rendű felharmonikusok esetén - hogy a rezonancia frekvencia igen közel esik a magasabb rendű felharmonikus frekvenciájához és így rezonáns, lengések lépnek fel a hálózaton. Ez természetesen igen súlyos következménnyel járhat.

Egy hálózatra – attól függően, hogy melyik rendszámú felharmonikus a domináns – az alábbi összefüggés alapján számítható ki, hogy mennyi az a maximálisan bekapcsolható kondenzátor teljesítmény az adott hálózatra.

$$Q_c < \frac{S_T \cdot 100}{n^2 \cdot U_k}$$

Ahol:

- U_k = a transzformátor rövidzárási feszültsége [%]
- S_T = a transzformátor névleges teljesítménye [kVA]
- n = a legmagasabb kritikus felharmonikus rendszáma
- Q_c = kondenzátor teljesítménye [kvar]

Vegyünk példának egy fogyasztói helyet, ahol a trafó névleges teljesítménye 1000 kVA, a drop 6%, és a mérések szerint a legmagasabb domináns felharmonikus a 7. rend (350 Hz), akkor a hálózatra kapcsolható maximális kondenzátor teljesítmény:

$$Q_c < \frac{1000 \cdot 100}{49 \cdot 6} = \mathbf{340 \text{ kvar}}$$

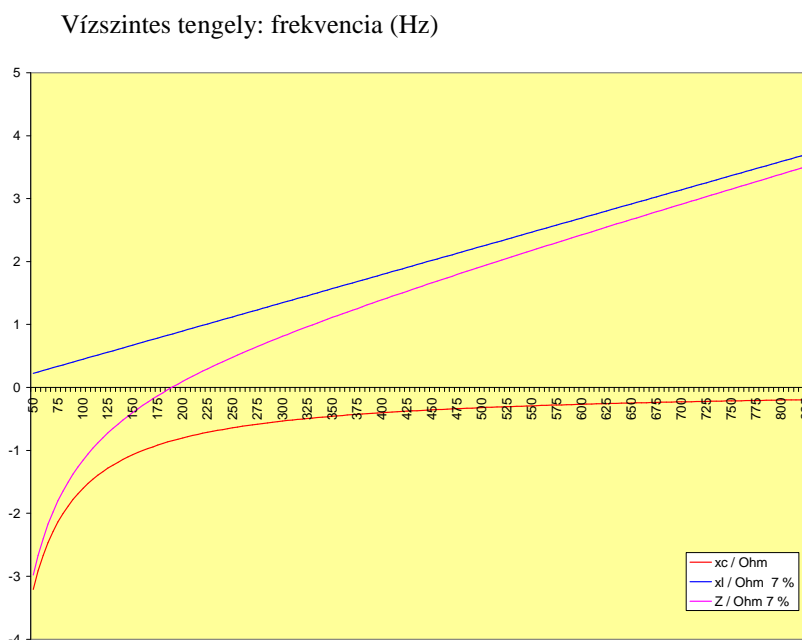
Ha a fázisjavítás érdekében szükséges kondenzátor teljesítmény ettől nagyobb, akkor csak torlófojtós berendezés kerülhet a hálózatra.

Ha a bekapcsolandó kondenzátorokkal egy-egy megfelelően méretezett fojtótekercset kapcsolunk sorba, úgy kialakítható egy olyan rezgőkör, melynek rezonancia frekvenciája alacsonyabb, mint a domináns felharmonikus frekvenciája.

Miután az induktív és kapacitív reaktanciák frekvencia függése ellentétes,

$$X_c = 1/\omega * C \quad \text{míg} \quad X_L = \omega * L$$

a soros rezgőkör impedanciájának frekvencia függése az alábbiak szerint fog alakulni:



Függőleges tengely: a reaktanciák és az impedancia viszonylagos értékei. (Ohm)

A rezonancia frekvencia – az ábrán az X tengely metszéspontja – feletti felharmonikusok szempontjából a bekapcsolt egységek a hálózatra induktív reaktanciát fognak jelenteni, így rezonancia veszély nem fog jelentkezni.

Rezonancia veszélyt jelent az is, ha hálózaton nincsenek ugyan számottevő felharmonikusok, de a szükséges kompenzáló teljesítmény a táptrafó teljesítményéhez képest túl nagy.

A kondenzátorokkal sorba kötött fojtó tekercs lehetővé teszi, hogy fázisjavítást lehessen alkalmazni olyan hálózatokon, ahol felharmonikusok vannak.

Ezt a megoldást torló fojtós fázisjavításnak nevezzük. Bár a lehangolási frekvenciától függően bizonyos fokú felharmonikus szűrés is létrejön (15-30%) ezek a berendezések nem azonosak a szűrőkör berendezésekkel.

Torlófajtos fázisjavítás

A torlófajtos fázisjavítás 3 fázisú kondenzátorok és fajtotekercek soros kapcsolását jelenti. Az így kialakított körök teljesítményét és hangolási frekvenciáját a hálózat előzetes felmérése alapján lehet meghatározni. Az alkalmazandó kondenzátor fokozatok nagysága a szükséges kompenzáció függvénye, míg a lehangolási frekvencia a domináns felharmónikus rendjétől, intenzitásától és az áramszolgáltató körvezérlési frekvenciájától függ. Ezen kívül a hálózat egyéb paramétereit is figyelembe kell venni.

Irányelvként mondható, hogy olyan hálózatokon, ahol felharmónikus keltő források vannak, s azok teljesítménye meghaladja az összteljesítmény 20 % -át, vagy az 5. felharmónikus feszültsége magasabb, mint 2 %, akkor csak torlófajtos fázisjavítást célszerű alkalmazni a fent leírt hátrányok és veszélyek elkerülése érdekében.

A torlófajtos fázisjavítás biztosítja:

- az 50 Hz-en történő tökéletes fázisjavítást
- a felharmónikus szint csökkentését (a hangolási élesség függvényében)
- rezonancia veszély teljes elkerülését

Mikor kell torlófajtos fázisjavítást alkalmazni?

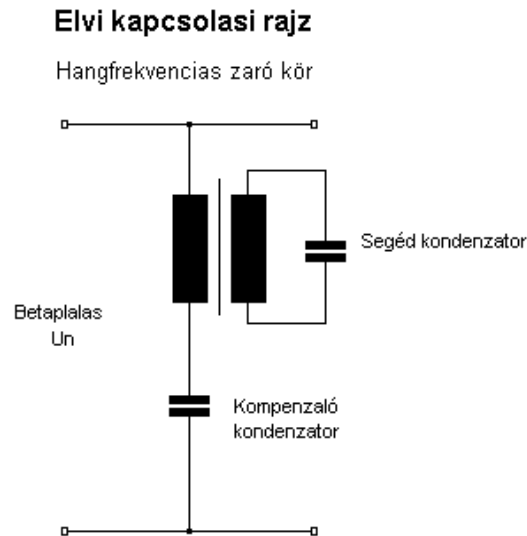
- Ha a felharmónikus keltő fogyasztó teljesítménye meghaladja a teljes teljesítmény 20%-át
- Ha a feszültség torzítás mértéke az 5. felharmónikus esetében meghaladja a 2%-ot
- Ha a szükséges kompenzáló teljesítmény meghaladja a trafó teljesítményének 30%-át
- Ha az adott trafókörzetben már ilyen berendezés üzemel. (vegyesen nem lehet)
- Ha az adott helyen korábban már felléptek hálózati zavarok.

Szűrőkörök:

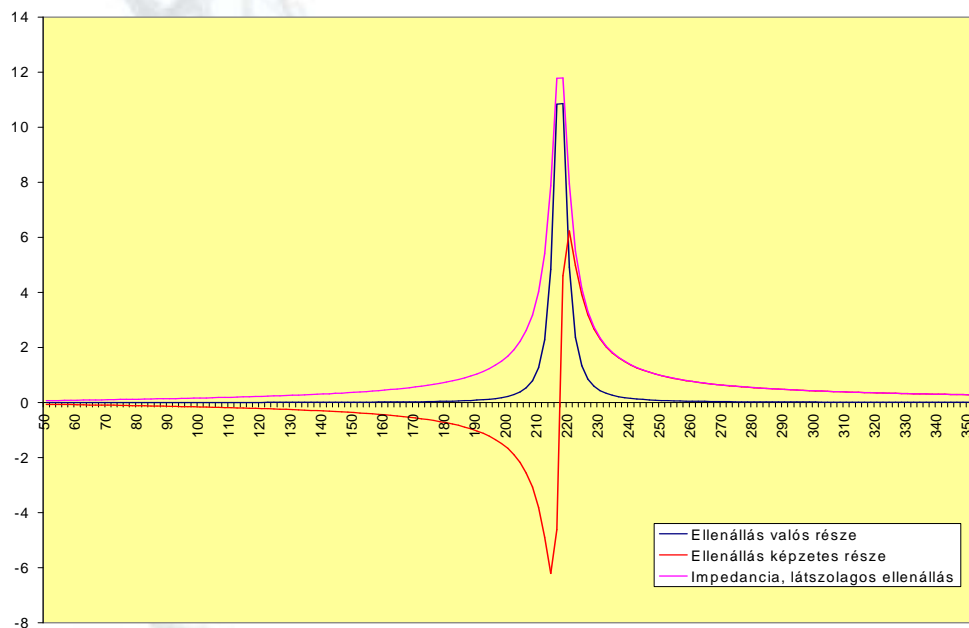
Ha egy adott fogyasztónál nem csak a fázisjavítást kell megoldani felharmónikusokkal terhelt hálózatán, de szükség van a felharmónikus szint jelentős csökkentésére is akkor alkalmazunk szűrőköröket. Ezek nagyon hasonlítanak a torlófajtos megoldásra, azonban az egyes fokozatok lehangolási frekvenciái különbözőek és az előforduló felharmónikus frekvenciákhoz igen közeli. Ezáltal azok impedanciái a diszkrét frekvenciákra nagyon kicsi, így a fokozatokon jelentős áram fog folyni, ami az adott frekvencián jelentős feszültség esést fog okozni. A fokozatok nagyságát, hangolási frekvenciáját igen gondos méréssel kell meghatározni. (lásd a mérésre vonatkozó korábbi utalásainkat)

A szűrőköröknél, a szűrni kívánt frekvenciákra hangolt fokozatok egyszerre kapcsolódnak be, így biztosítva egyidejűleg a fázisjavítást és a felharmónikus szűrést.

Ha az Áramszolgáltató körvezérlési frekvenciája közel esik a torlófojtós vagy szűrőköri berendezés rezonancia frekvenciájához (pl. a körvezérlés frekvenciája 216,2/3 Hz a 7% csillapítású torlófojtós berendezés alkalmazásakor célszerű a berendezéseket kiegészíteni, un. hangfrekvenciás zárókörral Ha a berendezés csillapítása 14%, akkor pedig ez a kiegészítés feltétlen szükséges.) Ez azt jelenti, hogy a körvezérlés frekvenciájára pontosan hangolt rezgőkörrel biztosítani lehet és kell, hogy a rendszer erre a diszkrét frekvenciára rendkívül nagy impedanciát mutasson.(sajnos ez a költségeket növeli)
 Ebben az esetben az egyedi torlófojtós kompenzálás különösen drága.
 A következő ábrán bemutatjuk a hangfrekvenciás zárókör elvi kapcsolását:



Az alábbi ábra azt mutatja, hogy a hangfrekvenciás zárókör alkalmazásával milyen impedancia növelést lehet elérni egy adott (körvezérlési) frekvencián.



Vízszintes tengely: frekvencia (HZ)
 Függőleges tengely: az ellenállás, a reaktanciák és az impedancia viszonylagos értékei. (Ohm)

Gyors szabályzású tirisztor kapcsolású fázisjavító berendezések

A minden igényt kielégítő meddőteljesítmény kompenzálás a tervezés során nagy körültekintést igényel.

Abban az esetben, ha a kompenzálendő hálózaton a teljesítményváltozás jelentős mértékű és gyakori (megmunkáló gépcsoportok, hegesztő berendezések, daruk, liftek, hengerszékek) a hatékony meddőteljesítmény szabályozás csak megfelelően gyors működésű berendezéssel érhető el.

A hagyományos mágneskapcsolós kompenzáló berendezésekkel még különleges kisütő eszközök alkalmazása mellett is csak 4-20 sec-os kapcsolási sebesség érhető el fokozatonként.

A feladat tökéletes megoldását az általunk forgalmazott tirisztoros gyors szabályzó adja. Ennél a berendezésnél a kondenzátor telep be és kikapcsolását tirisztorok végzik. A kondenzátorok bekapcsolása abban az időpillanatban történik, amikor a hálózati feszültség pillanat értéke megegyezik a még kisütetlen kondenzátor feszültségével. A kikapcsolás pedig, az áram nulla átmenetnél történik, a ki és bekapcsolásokat az elektronika fázisonként végzi.

Ennél a berendezésnél egy fokozat kapcsolási ideje fázisonként kisebb, mint 50 msec.

A fent ismertetett rendszer a gyors működés mellett kíméli a kondenzátorokat, és a hálózatot a ki és bekapcsolási áramlökésektől, tranziensektől. A gyors szabályzó berendezéseket kiegészítő szabályzóként is célszerű alkalmazni oly módon, hogy a teljes meddő teljesítmény igény kb. 20%-át a gyors szabályzó a fent maradó részt, pedig a hagyományos fázisjavító berendezés lássa el.

A tirisztoros fázisjavítás torlófojtókkal is kombinálható.

A fázisjavítással szemben támasztott általános követelmények:

- A fázisjavítás – legyen az egyedi, csoportos vagy központos, vagy ezek kombinációja - biztosítsák az adott hely meddőenergia kompenzálását, úgy hogy a hálózathoz felvett meddő energia aránya biztonsággal ne haladja meg a jelenleg érvényben lévő GM 70/1999 XII. 20. sz. rendeletben előírt határokat.
- A fázisjavítás feleljen meg az ÁSZ követelményeinek, miszerint nem okozhat káros visszahatást az ÁSZ hálózatára, (EN-MSZ 50160 sz. szabvány, valamint körvezérlési kívánalom)
- A fázisjavító berendezés – tekintettel arra, hogy magyar szabvány erre nincs -feleljen meg az IEC 0439-01, a DIN VDE 0560 sz. szabványok követelményeinek és rendelkezzen CE jelzéssel.
- Feleljen meg a szerelés az MSZ 172/1 Érintésvédelmi Szabályzatnak, valamint az MSZ 1600 sz. Létesítés Biztonsági szabályzatnak.
- Egyszerű és könnyű karbantarthatóság
- A Szállító minőségi tanúsítvánnyal, ISO-va rendelkezzen.

Függelék

Alap összefüggések:

Villamos munka, energia:

$$W = P * t$$

Villamos teljesítmény

Egyenáram esetén

$$P = U * I$$

Váltakozó áram esetén

Egyfázisú:

$$P = U * I * \cos\varphi$$

Háromfázisú:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$$

Villamos meddő teljesítmény:

Egy fázis esetén

$$Q_c = U * I * \sin\varphi$$

Három fázis esetén

$$Q_c = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi$$

Kondenzátor energia tartalma:

$$W = \frac{1}{2} * U^2 * C$$

Kondenzátoron átfolyó áram:

Egy fázis esetén:

$$I = U * \omega * C$$

Három fázis esetén

$$I = \sqrt{3} * U * \omega * C^{iii}$$

Torló fojtós fázisjavításnál:

Csillapítási tényező:

$$P = \frac{50^2}{f_r^2} \quad (f_r = \text{a lehangolási frekvencia})$$

Ténylege kondenzátor teljesítmény:
teljesítménye)

$$Q_n = \frac{Q_c}{(1 - P)} \quad (Q_c \text{ a kondenzátor eredeti})$$

A kondenzátoron átfolyó áram:

$$I = \frac{Q_n}{U_n * \sqrt{3}}$$

A kondenzátor sarkain keletkező feszültség:

$$U_c = \frac{U_n}{(1 - P)} \quad (U_n \text{ a névleges hálózati feszültség})$$

Kapacitív ellenállás:

$$X_c = \frac{U_n^2}{Q_n * (1 - P)}$$

Induktív ellenállás:

$$X_L = P * X_c$$

Induktivitás:

$$L = \frac{X_L}{2\pi * f}$$

Képletek, táblázatok:

Betű jele	Mennyiség	Egység	Rövidítés
l	Hosszúság	méter	m
t	Idő	secundum	S
U	Feszültség	volt	V
I	Áramerősség	amper	A
R	Rezisztancia, ellenállás	ohm	Ω
G	Konduktancia	siemens	S
S	Látszólagos teljesítmény	voltamper	VA
C	Kapacitás	farad	F
P	Teljesítmény	watt	W
Q_c	Kondenzátor meddő teljesítménye	var	var
P_v	Veszteségi teljesítmény	voltamper	VA
W	Munka, energia	jule	J
E	Villamos térerősség	voltméter	V/m
e	Pemittivitás	faradméter	F/m
f	Frekvencia	herz	Hz
ω	Körfrekvencia	radian/sec	rad/s
φ	Fázisszög	radián	rad/1
tg δ	Veszteségi tényező		

Mértékegységek, jelölések

Paraméter	Neve	jele	10^{12}	10^9	10^6	10^3	1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
Feszültség	volt	V			MV	kV	V	mV	μ V		
Áramerősség	amper	A				kA	A	mA	μ A	nA	pA
Ellenállás	ohm	Ω	T Ω	G Ω	M Ω	k Ω	Ω	m Ω			
Kapacitás	farad	F					F		μ F	nF	pF
Induktivitás	henry	H					H	mH	μ H		
Teljesítmény	watt	W			MW	kW	W	mW			
Meddő teljesítmény					Mvar	kvar	var				
Frekvencia	herz	Hz		GHz	MHz	kHz	Hz				
Távolság	méter	m				km	m	mm	μ m		

1.) A szükséges meddőteljesítmény meghatározása táblázat segítségével:

Tételezzük fel, hogy egy fogyasztónál az alábbi adatokat mértük (vagy állnak rendelkezésre a villanyszámlából)

A legnagyobb hatásos teljesítmény a mérés időtartama alatt: 310 kW
 A mérés időtartama alatt felhasznált meddőenergia: 78.000 kvarh
 A mérés időtartama alatt felhasznált hatásos energia: 68.420 kWh

$tg\phi = \text{kvarh/kWh} = 78.000/68.420 = 1,14$; ez az alábbi táblázat szerint $\cos\phi = 0,66$

Ha az **elérendő $\cos\phi = 0,97$** , akkor a táblázat szerint a szorzó szám **0,89**

A szükséges kompenzáló teljesítmény tehát: $310 * 0,89 = 275,9 \text{ kvar} \sim 280 \text{ kvar}$

A mérésből adódó értékek		A kívánt teljesítménytényező - $\cos \phi_2$															
tanφ	Cosφ	0,70	0,75	0,80	0,82	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
4,90	0,20	3,88	4,02	4,15	4,20	4,36	4,41	4,44	4,47	4,50	4,54	4,57	4,61	4,65	4,70	4,76	4,90
3,87	0,25	2,85	2,99	3,12	3,17	3,33	3,39	3,42	3,45	3,48	3,51	3,54	3,58	3,62	3,67	3,73	3,87
3,18	0,30	2,16	2,30	2,43	2,48	2,64	2,70	2,72	2,75	2,78	2,82	2,85	2,89	2,93	2,98	3,04	3,18
2,68	0,35	1,66	1,79	1,93	1,98	2,14	2,19	2,22	2,25	2,28	2,31	2,35	2,38	2,43	2,47	2,53	2,68
2,29	0,40	1,27	1,41	1,54	1,59	1,75	1,81	1,84	1,87	1,90	1,93	1,96	2,00	2,04	2,09	2,15	2,29
1,98	0,45	0,96	1,10	1,23	1,29	1,44	1,50	1,53	1,56	1,59	1,62	1,66	1,69	1,73	1,78	1,84	1,98
1,73	0,50	0,71	0,85	0,98	1,03	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,37	1,40	1,44	1,48	1,53	1,59	1,73
1,64	0,52	0,62	0,76	0,89	0,94	1,10	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,35	1,39	1,44	1,50	1,64
1,56	0,54	0,54	0,68	0,81	0,86	1,02	1,07	1,10	1,13	1,16	1,20	1,23	1,27	1,31	1,36	1,42	1,56
1,48	0,56	0,46	0,60	0,73	0,78	0,94	1,00	1,02	1,05	1,08	1,12	1,15	1,19	1,23	1,28	1,34	1,48
1,40	0,58	0,38	0,52	0,65	0,71	0,86	0,92	0,95	0,98	1,01	1,04	1,08	1,11	1,15	1,20	1,26	1,40
1,33	0,60	0,31	0,45	0,58	0,64	0,79	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08	1,13	1,19	1,33
1,27	0,62	0,25	0,38	0,52	0,57	0,73	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,94	0,97	1,01	1,06	1,12	1,27
1,20	0,64	0,18	0,32	0,45	0,50	0,66	0,72	0,74	0,77	0,81	0,84	0,87	0,91	0,95	1,00	1,06	1,20
1,14	0,66	0,12	0,26	0,39	0,44	0,60	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85	0,89	0,94	1,00	1,14
1,08	0,68	0,06	0,20	0,33	0,38	0,54	0,59	0,62	0,65	0,68	0,72	0,75	0,79	0,83	0,88	0,94	1,08
1,02	0,70	0,00	0,14	0,27	0,32	0,48	0,54	0,56	0,59	0,62	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,88	1,02
0,96	0,72		0,08	0,21	0,27	0,42	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,64	0,67	0,71	0,76	0,82	0,96
0,91	0,74		0,03	0,16	0,21	0,37	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,58	0,62	0,66	0,71	0,77	0,91
0,86	0,76			0,11	0,16	0,32	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,60	0,65	0,71	0,86
0,80	0,78			0,05	0,10	0,26	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,55	0,60	0,66	0,80
0,75	0,80			0,00	0,05	0,21	0,27	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,55	0,61	0,75
0,70	0,82				0,00	0,16	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,56	0,70
0,65	0,84					0,11	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,40	0,44	0,50	0,65
0,59	0,86					0,05	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,30	0,34	0,39	0,45	0,59
0,54	0,88					0,00	0,06	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,54
0,48	0,90						0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,28	0,34	0,48
0,43	0,92								0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,18	0,22	0,28	0,43
0,36	0,94										0,00	0,03	0,07	0,11	0,16	0,22	0,36
0,29	0,96												0,00	0,04	0,09	0,15	0,29
0,20	0,98														0,00	0,06	0,20

Jelenlegi tg ill. cosφ

2.) A szükséges meddőteljesítmény meghatározása számítással:

Vegyük példának egy fogyasztót, ahol a $P = 200 \text{ kW}$; $\cos\varphi = 0,5$; a cél $\cos\varphi = 0,95$

A vektorábra alapján:

$$S = \frac{200}{\cos\varphi_1} = \frac{200}{0,5} = 400 \text{ kVA}$$

$$S_1 = \frac{P}{\cos\varphi_2} = \frac{200}{0,95} = 210 \text{ kVA}$$

$$Q_{\text{ind}} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{400^2 - 200^2} = 346,4 \text{ kvar}$$

$$Q_m = \sqrt{S_1^2 - P^2} = \sqrt{210^2 - 200^2} = 64 \text{ kvar}$$

$$Q_c = Q_{\text{ind}} - Q_m = 346,4 - 64 = \mathbf{282,4 \text{ kvar}}$$

3.) Transzformátor meddőteljesítmény igényének meghatározása:

$$Q_{\text{tr}} = Q_{\text{ü}} + \varepsilon_x * k^2 * S \text{ [kvar]}$$

ahol:

$Q_{\text{ü}}$ = a transzformátor üresjáratú meddő igénye

ε_x = a transzformátor rövidzárási feszültségének (drop) induktív összetevője

k = a transzformátor tényleges teljesítményének viszonya a névleges értékhez

S = a transzformátor névleges teljesítménye kVA-ben

Vegyük egy példát:

Legyen egy 20/0,4 kV-os, 1000 kVA névleges teljesítményű transzformátor üresjárási (párhuzamos) meddő igénye 16 kvar, dropjának induktív összetevője 4%, a transzformátor terhelése 800 kVA.

A fenti képlet szerint:

$$Q_{\text{tr}} = 16 + (0,04 * 800^2 / 1000^2) * 1000 = 16 + 25,6 \text{ kVA} \sim \mathbf{42 \text{ kvar}}$$

4.) Transzformátor és annak üresjárati kompenzációjából adódó rezonancia frekvencia:

Vegyünk példának egy 1000 kVA-es transzformátort melynek dropja 6%.

$$f_{re} = f * \sqrt{\frac{S_{tr} * 100}{Q_c * U_z}} = 50 * \sqrt{\frac{1000 * 100}{50 * 6}} = \mathbf{912,8 \text{ Hz}}$$

Ahol:

- f_{re} = a kialakult rezgőkör rezonancia frekvenciája
- f = a hálózati frekvencia
- S_{tr} = a transzformátor névleges teljesítménye [kVA]
- Q_c = a kompenzáló kondenzátor teljesítménye [kr]
- U_z = a transzformátor dropja [%]

5.) Vizsgáljuk meg, hogy egy 1000 kVA-os transzformátor körzetben milyen rezonancia frekvencia adódik, ha a szükséges meddőteljesítmény igény 300 kVAr, a trafó dropja 6%.

Először ki kell számítanunk a transzformátor rövidzárlati teljesítményét:

$$S_z = \frac{100}{U_z} * S_{tr} = \frac{100}{6} * 1000 = \mathbf{16,66 \text{ MVA}},$$

majd a rezonancia frekvenciát

$$f_{rez} = f * \sqrt{\frac{S_z}{Q_c}} = 50 * \sqrt{\frac{16,66}{300}} = \mathbf{373 \text{ Hz}}$$

Ahol:

- S_z = a transzformátor rövidzárlati teljesítménye [MVA]
- S_{tr} = a transzformátor névleges teljesítménye [kVA]
- U_z = a transzformátor rövidzárlási feszültsége [%]
- f = az alapharmonikus frekvenciája
- Q_c = kondenzátor teljesítménye [kvar]

6.) Motorok üresjáratú kompenzációjához szükséges kondenzátor teljesítmények.

Motor névl.telj.		Alkalmazható kondenzátor teljesítmény kvar ban a motor névleges fordulátának (pólusszámának) és névleges teljesítményének függvényében					
Le	kW	2 pólus 3000/perc	4 pólus 1500/perc	6 polus 1000/perc	8 polus 750/perc	10 polus 600/perc	12 polus 500/perc
3	2,2	1,5	1,5	1,5	2	2,5	3,5
5	3,7	2	2	2	3	4	4,5
7,5	5,5	2,5	2,5	3	4	5,5	6
10	7,4	3	3	3,5	5	6,5	7,5
15	11	4	4	5	6,5	8	9,5
20	14	5	5	6,5	7,5	9	12
25	18	6	6	7,5	9	11	14
30	22	7	7	9	10	12	16
40	29	9	9	11	12	15	20
50	36	11	11	13	15	19	24
60	44	14	14	15	18	22	27
75	55	16	16	18	21	26	32
100	73	21	21	25	27	32	40
125	92	26	26	30	32	40	47
150	110	32	32	35	37	47	52
200	147	40	40	42	47	60	65
250	184	45	45	52	57	70	77
300	220	53	53	60	65	80	87
350	258	60	60	67	75	87	95
400	294	67	67	75	85	95	105
450	331	70	70	80	92	100	110
500	368	75	75	82	97	107	115

A táblázatban szereplő értékek számított adatok, úgy kerültek meghatározásra, hogy a kompenzálásból adódóan felgerjedés ne fordulhasson elő.

Különféle teljesítményű fázisjavító berendezések bekötésére vonatkozó adatok

Kompenzáló teljesítmény kvar	Névleges áram A	Réz bekötő vezeték 4 x mm ²	Szükséges biztosító A
2,5	3,6	1,5	10
5	7,2	2,5	16
7,5	10,8	2,5	16
10	14,4	2,5	20
12,5	18,0	6,0	25
15	21,6	10,0	35
20	28,8	10,0	35
25	36,0	16,0	50
30	43,2	16,0	63
40	57,6	25,0	80
45	64,8	35,0	80
50	72,0	35,0	100
60	86,4	70,0	125
75	108,0	95,0	160
80	115,2	95,0	160
90	129,6	95,0	160
100	144,0	95,0	200
125	180,0	120,0	250
150	216,0	150,0	250
175	252,0	185,0 ill. 2 x 95,0	315 ill. 2 x 200
200	288,0	240,0 ill. 2 x	400 ill. 2 x 200
250	360,0	2 x 150	2 x 250
300	432,0	2 x 185	2 x 315
350	497,0	2 x 185	2 x 315
400	568,0	2 x 240	2 x 400

Harmonikus áramok által okozott problémák

Nullavezető túlmelegedése

Háromfázisú rendszerekben a fázisfeszültségek időfüggvényei egymáshoz képest 120° -kal vannak eltolva.

Úgy, hogy ha a fázisok terhelése azonos, a három fázis áramának összege, amely a csillagponton keresztül a nullavezetőbe folyik, minden pillanatban nulla. Ha a terhelések aszimmetrikusak, csak az aszimmetrián felüli áram folyik a nullavezetőben. Régebben a tervezők (a szabványügyi hatóságok jóváhagyásával) kihasználták ezt a tényt és a nullavezető keresztmetszetét a fázisvezető keresztmetszetének felére választották. Bár az alapharmonikus áramok szimmetria esetén a nullavezetőben valóban kioltják egymást, a harmonikusokkal nem ez a helyzet – azok az áramok, melyek frekvenciája az alapharmonikus háromszoros frekvenciájának egész számú többszöröse, a nullavezetőben összeadódnak, a fázisáramok alapharmonikusai 120° -kal eltolva követik egymást. A harmadik harmonikus áramok az egyes fázisokban azonosak, mivel háromszoros a frekvenciájuk és így periódusidejük harmada az alapharmonikusénak, amely pontosan megegyezik a fázisok közötti időtolással. Az ábra alján a nullavezetőben folyó, harmadik harmonikus áram látható. Ebben az esetben, a fázisokban folyó 70% harmadik harmonikus áram hatására a nullavezető árama 210% lesz.

Irodaházakban végzett esettanulmányok szerint a nullavezető árama a fázisvezetők áramának 150-210% -a, míg keresztmetszete gyakran fele a fázisvezető keresztmetszetének!

A tervezők különbözőképpen kezelik ezt a problémát. Az egyerű kábelek esetén a legegyszerűbb megoldás dupla keresztmetszetű nullavezető beépítése vagy két külön vezetővel, vagy egy nagyobb keresztmetszetűvel.

Többerű kábelek esetén a megoldás nem ilyen egyszerű. A többerű kábelek névleges áramának meghatározásakor feltételezik a szimmetrikus terhelést, és hogy a nullavezetőn nem folyik áram, azaz a négy ér közül csak háromban folyik áram és keletkezik hő. Mivel a kábel terhelhetősége csak attól függ, hogy mennyi hőt tud leadni a maximális megengedett hőmérsékleten, a harmadik harmonikus árammal terhelt kábelek terhelhetőségét csökkenteni kell. Példáinkban a kábel öt egységnyi áramot vezet – hármát a fázisvezetőkben, kettőt a nullavezetőben –, de csak három egységre van méretezve. Így a normál terhelhetőségének körülbelül 60%-ára vissza kell minősíteni.

Az IEC 60364-5-523 C tájékoztató kiegészítése a harmadik harmonikus áramok nagyságának függvényében visszaminősítési tényezők sorozatát javasolja.

Transzformátorok túlmelegedése

A harmonikusok a transzformátorokra két módon hatnak. Az egyik hatás az örvényáram veszteség, ami a harmonikus rendszám négyzetével növekszik és normális körülmények között a teljes terhelésnél fellépő veszteség 10%-a körüli érték. A gyakorlatban egy IT berendezéseket is tápláló transzformátornak teljes terhelésnél kétszer akkora a vesztesége, mint egy azonosan terhelt csak lineáris terhelésűnek. Ez a többlet veszteség sokkal nagyobb üzemi hőmérsékletet és rövidebb élettartamot eredményez. Valójában ilyen körülmények között az élettartam a szokásos 40 évről úgy 40 napra csökken! Szerencsére csak néhány transzformátor üzemel teljes terheléssel, de a fenti hatást tervezéskor figyelembe kell venni.

A másik hatás a hárommal osztható szimmetrikus harmonikusokkal kapcsolatos.

A delta tekercsben ezek az áramok egymással fázisban vannak, így a deltatekerccselésben körbe folynak.

A delta tekercsből nem lépnek ki a hálózat felé, így a delta tekercssel rendelkező transzformátorok leválasztó transzformátorként működnek.

Megjegyezzük, hogy a többi harmonikus keresztülfollik a transzformátorokon. A transzformátor méretezésekor a deltában folyó áramot is figyelembe kell venni.

Megszakítók téves kikapcsolása

Áramvédő kapcsolást alkalmazó kismegszakítók a fázis és a nullavezető áramainak összegét képezik és ha az eredmény meghaladja a beállított értéket, leválasztják a terhelést a hálózatról. Téves kikapcsolást okozhatnak a harmonikusok két okból is. Először is mivel ezek elektromechanikus eszközök, a nagyobb frekvenciájú összetevőket nem pontosan mérik és ez hibás kapcsoláshoz vezet. Másodszor a harmonikusokat termelő berendezések kapcsolási tüskéket is keltenek, amelyeket a berendezés hálózati csatlakozásánál szűrni kell. Az erre a célra használt szűrők kondenzátort tartalmaznak, amely a fázis-föld és a nullavezető-föld közé van kötve és ezért a föld felé folyik némi áram. Ezt a szivárgó áramot a szabványok szűrőnként 3.5mA -ben korlátozzák és általában ennél sokkal kisebb értékű, de ha sok berendezés van egy áramkörre kapcsolva, a szivárgó áram elég nagy lehet ahhoz, hogy az áramvédő kapcsolót működtesse. A helyzet könnyen megoldható, ha több áramkört alkalmazunk, amelyek így kisebb terheléseket táplálnak. A kismegszakítók téves kapcsolását gyakran okozza az a körülmény, hogy a harmonikusok jelenléte miatt az áramkör árama nagyobb, mint a számítások vagy egyszerű mérés alapján feltételezett. **A legtöbb egyszerű kézi műszer nem a valódi** effektív értéket méri és torzított, nem szinuszos áram esetén a ténylegesnél **akár 40%-kal kisebb értéket mutat.**

Fázisjavító kondenzátorok túlterhelése

A fázisjavító kondenzátorok telepítésének célja, hogy az induktív terhelések mint például egy aszinkron motor induktív meddőteljesítményét kompenzálja és a hálózat felé eredőben közel ohmos terhelést jelentsen. A fázisjavító kondenzátor impedanciája a frekvencia növekedésével csökken, míg a táphálózati impedancia általában induktív és a frekvenciával növekszik.

Így párhuzamos rezonancia alakul ki a kondenzátor és a táphálózat között, amelynek következtében a kondenzátoron nagy harmonikus áramok folynak, és ha csak nem úgy tervezték, hogy ezt kibírja, meghibásodhat a túlterheléstől. Ez a rezonancia általában a 100-550 Hz-es tartományba esik. A rezonancia következtében a táphálózat felé is nagyobb lesz a harmonikus áram. A rezonancia elkerülhető, ha a fázisjavító kondenzátorral sorbakötünk egy fojtótekercset úgy, hogy eredőjük már éppen induktív legyen a legkisebb domináns harmonikus rendszámom. Ez a megoldás a hálózat felé és a kondenzátorokba folyó harmonikus áramot is csökkenti. **Problémát okozhat a fojtó mérete, különösen, ha kis rendszámú harmonikus a domináns.**

Síkinhatás

A váltakozó áram a vezető külső felülete közelében igyekszik folyni. Ezt a jelenséget, amely növekvő frekvenciáknál egyre hangsúlyozottabban jelentkezik, síkinhatásnak nevezzük. 50 Hz-nél általában elhanyagoljuk, mivel alapharmonikuson kis hatású, de 5. harmonikustól felfelé egyre jelentősebb, mert többletvesztést okoz. Ahol harmonikus áramok vannak, a tervezőknek figyelembe kell venni a síkinhatást és megfelelő mértékben vissza kell minősíteni a kábelek terhelhetőségét. Többerű kábel vagy lemezeltsín használata csökkenti ezt a problémát.

Figyelnünk kell továbbá arra, hogy a gyűjtősínek rezgésre történő méretezésekor a harmonikus frekvenciákat is figyelembe kell venni. Ezen kérdésekre vonatkozó tervezési útmutatást ad a CDA 22. kiadványa „Réz gyűjtősínek”. Harmonikus feszültségek által okozott problémák A harmonikus áramok a táphálózat impedanciáján átfolyva az eredetileg szinuszos feszültséget eltorzítják. Az impedancia két részre osztható: a belső kábelezés impedanciája a csatlakozási pontig, és a csatlakozási ponttól a tápoldal felé mért impedancia, például a helyi táptranzformátor impedanciája.

A nemlineáris terhelés torz terhelő árama torz feszültségesést okoz a kábelimpedancián. Erről a torz feszültség hullámáról van táplálva a többi terhelés, amelyek ugyanerre az áramkörre csatlakoznak, és harmonikus áram folyik rajtuk akkor is, ha lineáris terhelések.

A megoldás a szétválasztott áramkörök alkalmazása; a nemlineáris terheléseket el kell különíteni a harmonikusokra érzékeny terhelésektől.

A harmonikus feszültségtorzulás nagyságának számításakor figyelembe kell venni, hogy ha a terhelést hálózati hiba esetén szünetmentes táp vagy vészgenerátor táplálja, akkor a táphálózati impedancia és vele együtt a feszültségtorzulás is sokkal nagyobb lehet.

üőA helyi transzformátorokat úgy kell megválasztani, hogy kis kimenő impedanciájúak legyenek, és kellő tartalékuk legyen a többletveszteségekre, más szavakkal megfelelően túl kell méretezni a transzformátort. Itt jegyezzük meg, hogy nem megfelelő, ha a transzformátor terhelhetőség növelése kényszerhűtéssel érhető el az ilyen berendezés nagyobb belső hőmérséklettel üzemel, és ezért csökken az élettartama. Kényszerhűtést csak szükségállapotra szabad fenntartani és soha nem szabad a normál üzemet erre alapozni.

Aszinkron motorok

A harmonikus feszültségtorzulás a transzformátoroknál leírtakhoz hasonlóan a motorokban is megnöveli az örvényáram-veszteségeket. Ezekhez a veszteségekhez azonban az állórészben létrejövő harmonikus mezők következtében, amelyek a **forgórészt különböző sebességgel előre vagy hátra akarják forgatni** további veszteségek adódnak. A forgórészben indukált nagyfrekvenciás áramok újabb veszteségeket okoznak.

Ahol harmonikus feszültségtorzulásra lehet számítani, ott a többlet veszteségek figyelembe vételével a motorok névleges teljesítményét mindig vissza kell minősíteni.

Nullátmenet bizonytalanság

Az elektronikus szabályozók sok esetben a tápfeszültség nullátmenetét érzékelik azért, hogy meg tudják határozni a terhelés bekapcsolásának optimális időpontját. Ennek az az oka, hogy a különböző terheléseket a tápfeszültség megfelelő fázishelyzetében kapcsolva minimalizálható a bekapcsolási tranziens, így kisebb lesz az elektromágneses kölcsönhatás és a félvezető kapcsolóelemek igénybevétele. Ha a tápfeszültség harmonikusokat vagy tranzienseket tartalmaz, a nullátmenet körül a feszültség meredekebb és nehezebben felismerhető lesz, így nagyobb a hibás működés valószínűsége. Gyakorlati esetekben félperiódusonként több nullátmenet is lehetséges.