

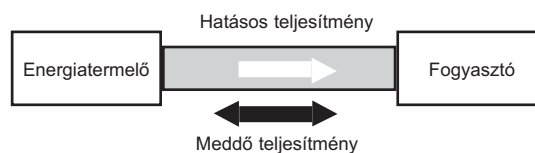
[MEDDŐ TELJESÍTMÉNY KOMPENZÁLÁS]

Hatásos és meddő teljesítmény, meddő teljesítmény kompenzálás	2
Meddővételezésre vonatkozó árszabás	3
A fázisjavítás általános méretezése	4
Átszámítási értékek ($\text{tg}\phi - \text{tg}\phi_1$)	7
Tervezés a teljesítménymérleg alapján	8
Hangfrekvenciás záruk	9
Kompenzálás felharmonikusokkal rendelkező hálózatban	10
Elhangolt szűrőkörök, hangolt szűrőkörök (szívókörök)	13
Tervezési útmutató fojtós berendezésekhez	14
Kompenzációs módok	15
A kompenzációs módok előnyei és hátrányai	17
MKP serlegkondenzátor mint alapelem	18
A fázisjavító berendezések túlmelegedés elleni védelme	20
Fázisjavító berendezések bekötése	21
Tirisztoros fázisjavító berendezés	22

[Hatásos és meddő teljesítmény, meddő teljesítmény kompenzálás]

Az elektromos energia előállítására, átvitelére és elosztására jelenleg szinte kizárólag váltakozó áramot használnak. Ennél az energiafajtánál kétféle teljesítményfajtát különböztetünk meg. A legfontosabb teljesítmény természetesen a fogyasztó által hasznosított teljesítmény, pl. a motor hajtási teljesítménye vagy az olvasztókemence hőteljesítménye. Ezt hatásos teljesítménynek nevezzük. Az elektromos gépekben, készülékekben és vezetékben keletkező hőveszteség is ide tartozik. A hatásos teljesítmények általános értelemben olyan teljesítmények, amelyeket a fogyasztó valamiképpen kivesz a hálózathoz és semmiképpen nem ad vissza az energia-előállítónak.

Az összes elektromágneses elven működő gépnél és készüléknél, pl. transzformátorok, fojtókercsek és motorok, a működésből adódóan egy másik teljesítmény is fellép. E berendezésekben ugyanis a rákapcsolt váltakozó áram frekvenciájának ütemében mágneses mező jön létre, majd szűnik meg. Az ehhez szükséges teljesítményt is a hálózat szolgáltatja. Ez a teljesítmény a mágneses mezőben nem kerül felhasználásra, csak tárolódik, a mágneses mező megszűnésekor visszafolyik a hálózatba. Ezt a teljesítményt ezért meddő teljesítménynek nevezzük. A 1.01 ábra vázlatosan ismerteti e folyamatokat.



1.01 ábra

A mágneses mező meddő teljesítményének az energiatermelő és -fogyasztó közötti szállítása induktív meddő áram segítségével történik, amely természetesen az energiatermelőben és a vezetékben veszteségi hőhöz létre. Ezért kívánatos az energiatermelőt és a vezetéket mentesíteni e meddő teljesítménytől, mert utána mindkét berendezés jobban terhelhető hatásos teljesítménnyel és ezáltal jobban kihasználható.

Az induktív meddő áramtól való mentesítés a legjobban egy hasonló fajtájú meddő árammal érhető el, amely azonban ellenkező irányban folyik és ezáltal megszünteti, ill. kompenzálja az induktív meddő áramot. Ezt a követelményt ideális módon teljesíti a kondenzátorokban az elektromos mező létrehozásához szükséges kapacitív meddő áram, mert ugyanolyan ütemben ingadozik, mint az induktív áram, azonban olyan időbeli fáziseltolódással, hogy a kondenzátor megfelelő méretezése esetén, létrejön a kívánt kompenzálás. A meddő teljesítmény ezután már csak a fogyasztó és a kompenzáló eszköz között ingázik. Ha tehát egy ilyen kompenzáló berendezést közvetlenül az induktív meddő teljesítményt igénylő fogyasztóhoz kapcsolunk, akkor a vezeték és az energiatermelő a legkedvezőbb esetben egyáltalán nem vezet meddő áramot, így optimális mértékű hatásos teljesítmény szállíthatnak (1.02 ábra).



1.02 ábra

A meddő teljesítmény kompenzálás értelme tehát elsősorban a nagyobb energiaforgalmú elektromos berendezések gazdaságosságának növelése.

[Meddővételezésére vonatkozó árszabás]

A meddő villamos energia elszámolása a jelenleg a villamosenergia vételezésre vonatkozó (9/1999. III. 19. GM) rendelet szerint történik.

Az elszámolási időszakhoz tartozó induktív villamos energiának a hatásos villamos energia százalékában figyelembe veendő határértékei:

- nagyfeszültségen : 40 %
- közepfeszültségen : 30 %
- kislefeszültségen : 20 %

- A fent említett értékeket meg nem haladó induktív meddőenergia díjmentes.

- A határértéket meghaladó meddő energia esetén pótdíjat kell fizetni az összes meddő energia után, ami a Ft/kWh csúcsideji áramdíj értékének 15%-a Ft/kVArh-ban kifejezve.

cosinus fi	Meddő fogyasztás díja a hatásoshoz képest (%)	A meddő energia a hatásos energia százalékában (%)
0,99	0,00	14,25
0,97	3,76	25,06
0,95	4,93	32,87
0,93	5,93	39,52
0,91	6,83	45,56
0,89	7,68	51,23
0,87	8,50	56,67
0,85	9,30	61,97
0,83	10,08	67,20
0,81	10,86	72,40
0,79	11,64	77,61
0,77	12,43	82,86
0,75	13,23	88,19
0,73	14,04	93,62
0,71	14,88	99,18

Tájékoztató táblázat a meddő költségek alakulásáról

A fenti táblázatból jól látszik, hogy nem túl rossz cosinus fi vételezés mellett is drágább az energia, mint kompenzált vételezés mellett. Például cosinus fi 0,93 esetén, közel 6%-kal kerül többre a villamosenergia. Minden fogyasztónak tehát komoly gazdasági érdeke fűződik ezért a minél kisebb mértékű meddő energia vételezéshez, ami megfelelően méretezett kompenzáló berendezés beépítésével oldható meg.

[A fázisjavítás általános méretezése]

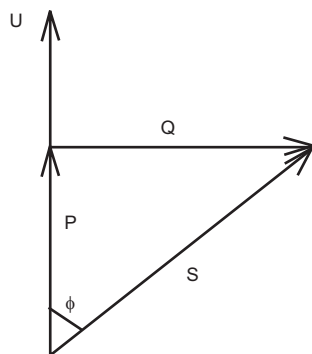
A kompenzációs méretezéshez jól használhatók az elektrotechnikai számítási eljárások és vektordiagramok. A 2.02a ábra vektordiagramjai megmutatják az induktív váltakozó áramú kör különböző teljesítményfajtái és áramai közötti számszerű összefüggéseket. Ezekből leolvasható, hogy pl.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{I_w}{I}$$

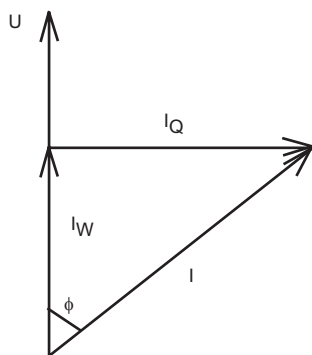
$$I_Q = I_w \cdot \operatorname{tg} \phi$$

$$P = S \cdot \cos \phi$$

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \phi$$



U = Feszültség
 P = Hatásos teljesítmény
 Q = Meddő teljesítmény
 S = Látszólagos teljesítmény
 ϕ = Fázisszög

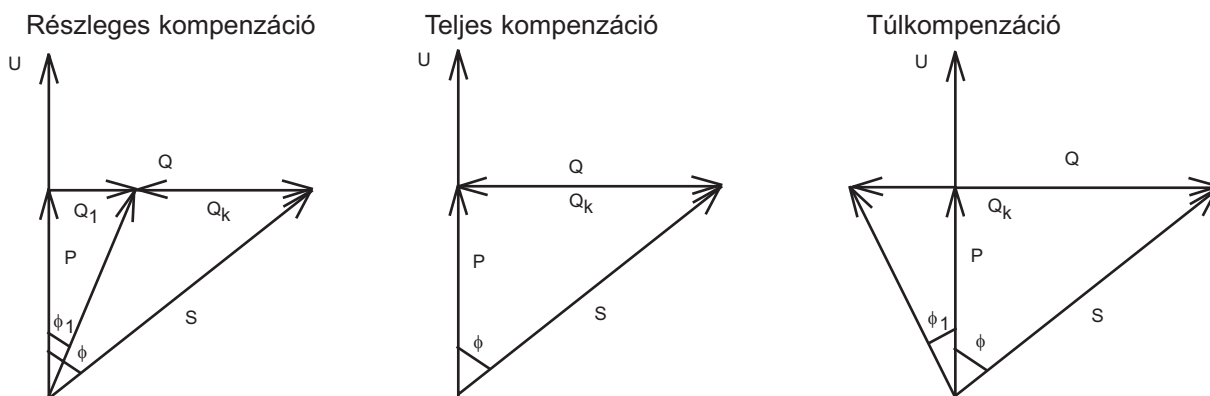


U = Feszültség
 I_w = Hatásos áram
 I_Q = Meddő áram
 I = Teljes áram
 ϕ = Fázisszög

2.02a ábra

Ha a meglévő, induktív meddő teljesítményű fogyasztóval párhuzamosan kapcsolunk egy kondenzátort, akkor e kondenzátor értékétől függően részleges kompenzáció, teljes kompenzáció vagy túlkompenzáció jöhet létre.

A hozzá tartozó vektorábrákat a 2.02b ábra mutatja. A gyakorlatban legsűrűbben előforduló eset a részleges kompenzáció, a teljes kompenzációt (2.02b középső ábra) gazdasági és műszaki okokból nem célszerű választani.



2.02b ábra

A részleges kompenzáció méretezéséhez a 2.02b ábráról leolvasható, hogy az alkalmazandó kondenzátorteljesítményt

$$Q = P \cdot (\operatorname{tg}\phi - \operatorname{tg}\phi_1)$$

képletből kapjuk meg, ahol ϕ az eredeti fázisszög, ϕ_1 az elérni kívánt részleges kompenzáció fázisszöge.

E méretezési alapelv gyakorlati alkalmazásához meg kell állapítani a kompenzálás nélküli, kiindulási értékeket.

Ezek a következők lehetnek:

- a) P hatásos teljesítmény (mérés teljesítménymérővel vagy hatásosfogyasztás-mérővel), I teljes áram (mérés árammérővel), vagy
- b) $\cos\phi$ teljesítménytényező (mérés $\cos\phi$ -mérővel), I teljes áram (mérés árammérővel), vagy
- c) W hatásosteljesítmény-fogyasztás (áramszámla alapján), P maximális hatásos teljesítmény (áramszámla alapján), W_Q meddőteljesítmény-fogyasztás (áramszámla alapján).

Az a) esetben az I-ből kiszámítható a látszólagos teljesítmény

$$S = U \cdot I \text{ (egyfázisú váltakozó áram esetén)}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ (háromfázisú váltakozó áram esetén)}$$

Így a teljesítménytényező

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

E teljesítménytényezőhöz a 7. oldalon lévő táblázatban megtalálható a hozzá tartozó $\operatorname{tg}\phi$, ezáltal a meddő teljesítmény

$$Q = P \cdot \operatorname{tg}\phi$$

A b) esetben szintén a látszólagos teljesítményt kell meghatározni. Ezzel és a közvetlenül mérhető teljesítménytényezővel az a) pont szerint kell eljárni.

A c) esetben

$$\operatorname{tg}\phi = \frac{W_Q}{W}$$

és a 7. oldalon lévő táblázat alapján megkapjuk a teljesítménytényezőt és a meddő teljesítményt az a) pontban leírtak szerint. Így már ismertek a kiindulási értékek.

Ezután a beépítendő kompenzáció értékét kell meghatározni, melynél a műszaki szempontok mellett a gazdaságiak is fontos szerepet játszanak. Ha teljes kompenzálást határozunk el, akkor a 2.02b ábra szerint a kondenzátorteljesítmény

$$Q_K = P \cdot \operatorname{tg}\phi .$$

Ehhez egy számpélda:

Egy $P = 60$ kW hatásos teljesítményű, $\cos \phi = 0,6$ értékű (adattábla szerint) motort kompenzálni kell. A táblázatból kikereshető a hozzátartozó $\operatorname{tg} \phi = 1,333$ érték. Így a motor által névleges terhelésnél felvett meddő teljesítmény

$$Q = 60 \cdot 1,333 \text{ kvar} = 80 \text{ kvar.}$$

A teljes kompenzációhoz ezek szerint szintén 80 kvar kondenzátorteljesítményt kellene felhasználni. Mivel azonban a motor részterhelésnél vagy üresjáratban 80 kvar-nál kevesebb meddő teljesítményt vesz fel, ilyen esetben túlkompenzálás jönne létre, amely már semmiféle gazdasági előnnyel nem jár, sőt adott esetben műszaki nehézségeket okozhat. Ezért pl. névleges terheléshez $\cos \phi = 0,9$ kompenzációs értéket tervezünk.

A 7. oldali táblázat alapján

$$\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \phi_1 = 0,85$$

$$Q_K = P \cdot 0,85$$

azaz, így ~ 55 kvar kondenzátor teljesítmény adódik.

[Átszámítási értékek ($\operatorname{tg}\phi - \operatorname{tg}\phi_1$)]

Adott teljesítménytényező		Kívánt teljesítménytényező $\cos \phi_1$																	
$\operatorname{tg} \phi$	$\cos \phi$	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
1,73	0,50	1,06	1,09	1,11	1,14	1,17	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,34	1,37	1,40	1,44	1,48	1,53	1,59	1,73
1,68	0,51	1,02	1,04	1,07	1,09	1,12	1,15	1,18	1,20	1,23	1,26	1,29	1,32	1,36	1,40	1,44	1,48	1,54	1,69
1,64	0,52	0,97	1,00	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,35	1,39	1,44	1,50	1,64
1,60	0,53	0,93	0,95	0,98	1,01	1,03	1,06	1,09	1,12	1,14	1,17	1,21	1,24	1,27	1,31	1,35	1,40	1,46	1,60
1,56	0,54	0,89	0,91	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13	1,16	1,20	1,23	1,27	1,31	1,36	1,42	1,56
1,52	0,55	0,85	0,87	0,90	0,93	0,95	0,98	1,01	1,04	1,06	1,09	1,12	1,17	1,19	1,23	1,27	1,32	1,38	1,52
1,48	0,56	0,81	0,83	0,86	0,89	0,91	0,94	0,97	1,00	1,02	1,05	1,09	1,12	1,15	1,19	1,23	1,28	1,34	1,48
1,44	0,57	0,77	0,80	0,82	0,85	0,88	0,90	0,93	0,96	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,15	1,19	1,24	1,30	1,44
1,41	0,58	0,73	0,76	0,79	0,81	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01	1,04	1,08	1,11	1,15	1,20	1,26	1,41
1,36	0,59	0,70	0,72	0,75	0,78	0,80	0,83	0,86	0,89	0,91	0,94	0,97	1,01	1,04	1,08	1,12	1,17	1,23	1,37
1,33	0,60	0,66	0,69	0,71	0,74	0,77	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08	1,13	1,19	1,33
1,30	0,61	0,63	0,65	0,68	0,71	0,73	0,76	0,79	0,82	0,84	0,87	0,90	0,94	0,97	1,01	1,05	1,10	1,16	1,30
1,27	0,62	0,59	0,62	0,65	0,67	0,70	0,73	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,27
1,23	0,63	0,56	0,59	0,61	0,64	0,67	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,94	0,98	1,03	1,09	1,23
1,20	0,64	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,91	0,95	1,00	1,06	1,20
1,17	0,65	0,50	0,52	0,55	0,58	0,60	0,63	0,66	0,69	0,71	0,74	0,77	0,81	0,84	0,88	0,92	0,97	1,03	1,17
1,14	0,66	0,47	0,49	0,52	0,55	0,57	0,60	0,63	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,85	0,89	0,94	1,00	1,14
1,11	0,67	0,44	0,46	0,49	0,52	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,68	0,71	0,75	0,78	0,82	0,86	0,91	0,97	1,11
1,08	0,68	0,41	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54	0,57	0,59	0,62	0,65	0,68	0,72	0,75	0,79	0,83	0,88	0,94	1,08
1,05	0,69	0,38	0,40	0,43	0,46	0,48	0,51	0,54	0,57	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72	0,76	0,80	0,85	0,91	1,05
1,02	0,70	0,35	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,73	0,77	0,82	0,88	1,02
0,99	0,71	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,70	0,74	0,79	0,85	0,99
0,96	0,72	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,64	0,67	0,71	0,76	0,82	0,96
0,94	0,73	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64	0,69	0,73	0,79	0,94
0,91	0,74	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,51	0,55	0,58	0,62	0,66	0,71	0,77	0,91
0,89	0,75	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,59	0,63	0,68	0,74	0,88
0,86	0,76	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,60	0,65	0,71	0,86
0,83	0,77	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,63	0,69	0,83
0,80	0,78	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,55	0,60	0,66	0,80
0,78	0,79	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,53	0,57	0,63	0,78
0,75	0,80	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,46	0,50	0,55	0,61	0,75
0,72	0,81	0,05	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,43	0,47	0,52	0,58	0,72
0,70	0,82	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,50	0,56	0,70
0,67	0,83	0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,42	0,47	0,53	0,67
0,65	0,84		0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,40	0,44	0,50	0,65
0,62	0,85			0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,33	0,37	0,42	0,48	0,62
0,59	0,86				0,00	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,30	0,34	0,39	0,45	0,59
0,57	0,87					0,00	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,42	0,57
0,54	0,88						0,00	0,03	0,06	0,08	0,11	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,54
0,51	0,89							0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,26	0,31	0,37	0,51
0,46	0,90								0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,28	0,34	0,48
0,45	0,91									0,00	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16	0,21	0,25	0,31	0,46
0,42	0,92										0,00	0,03	0,06	0,10	0,13	0,18	0,22	0,28	0,43
0,39	0,93											0,00	0,03	0,07	0,10	0,14	0,19	0,25	0,40
0,36	0,94												0,00	0,03	0,07	0,11	0,16	0,22	0,36
0,33	0,95													0,00	0,04	0,08	0,13	0,19	0,33
0,29	0,96														0,00	0,04	0,09	0,15	0,29
0,25	0,97															0,00	0,05	0,11	0,25
0,20	0,98																0,00	0,06	0,20
0,14	0,99																	0,00	0,14

A táblázat a $\operatorname{tg}\phi - \operatorname{tg}\phi_1$ értékeket tartalmazza, amellyel megszorozva a hatásos teljesítmény értékét (P), megkapjuk a kompenzációhoz szükséges meddőteljesítmény mennyiségét.

[Tervezés a teljesítménymérleg alapján]

Ha a tervezési stádiumban nem állnak rendelkezésre pontos adatok, akkor teljesítménymérleggel legalább egy maximális teljesítmény igényt kell megállapítani.

A teljesítménymérleg alkalmazásánál először meg kell határozni a fogyasztó csoportokat, azaz az azonos rendeltetésű berendezéseket (pl. daruk, szivattyúk, stb.). Ezután meg kell állapítani a fogyasztó csoporton belüli egyidejűségi tényezőket. Ez a tapasztalatok szerint fogyasztótól függően 0,3 és 0,8 között ingadozik. Következő lépés a fogyasztó csoportok természetes teljesítménytényezőjének meghatározása, amelyhez az alábbi táblázat ad segítséget. A fenti adatok birtokában kiszámítható a hatásos és meddő teljesítmény igény, amelyből a kompenzálás mértéke már számítható az előzőekben leírt módon.

Fogyasztó	Természetes teljesítménytényező (nem kompenzált)
Élelmiszeripar	
Mészárszék	0,6 ... 0,7
Sütődék	0,6 ... 0,7
Tejgazdaságok	0,6 ... 0,8
Malmok	0,6 ... 0,7
Sörgyárok	0,6 ... 0,7
Dohánygyárok	0,6 ... 0,7
Cukorgyárok	0,6 ... 0,85
Hűtőházak	0,6 ... 0,7
Faipar	
Fűrészüzemek	0,6 ... 0,7
Szárítóberendezések	0,8 ... 0,9
Rétegeltlemez-gyárok	0,6 ... 0,7
Bútor- és épületasztalos üzemek	0,6 ... 0,7
Fémfeldolgozás	
Szerszámgépek kisszériás gyártáshoz	0,4 ... 0,5
Szerszámgépek nagyszériás gyártáshoz	0,5 ... 0,6
Hegesztőgépek	0,6 ... 0,65
Hegesztőtranszformátorok	0,4 ... 0,5
Daruberendezések	0,5 ... 0,6
Nagyobb szerszámgépek, prést is beleértve	0,65 ... 0,7
Vízszivattyúk	0,8 ... 0,85
Mechanikai műhelyek	0,5 ... 0,6
Ventilátorok	0,7 ... 0,8
Kompresszorok	0,7 ... 0,8
Öntödék	0,6 ... 0,7
Gépjárműjavító műhelyek	0,7 ... 0,8

A gyakorlatban kb. 0,68 közepes $\cos \phi$ átlagérték adódik. Ebből kiindulva reális kompenzációs érték tervezhető. Tervezéskor mindig szem előtt kell tartani, hogy a megvalósult fázisjavító berendezés a legkisebb pótlólagos költségek mellett mindig bővíthető legyen.

[Hangfrekvenciás záruk]

A fázisjavítás berendezés telepítésénél körültekintően kell eljárni, mert előfordulhat, hogy más rendszerek működésében zavart okoz. Jelátvitelre az áramszolgáltató vállalatok a kisfeszültségű hálózatokon hangfrekvenciás körvezérlő rendszereket alkalmaznak. Az alkalmazott frekvenciák a 175 - 2000 Hz tartományban lehetnek.

A hangfrekvenciás vezérlések fő alkalmazási területei:

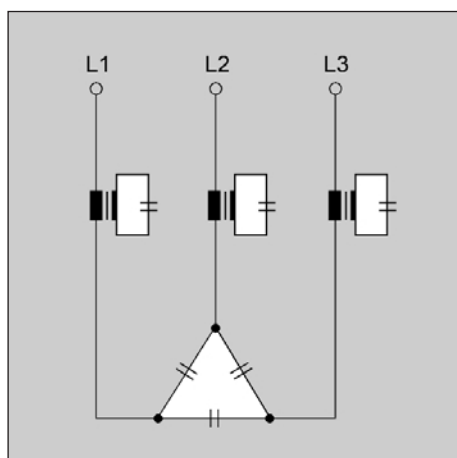
- utcai világítás
- tárolós fűtések díjszabás átkapcsolása
- segélyszolgálatok személyhívása.

A fázisjavító kondenzátorok a hangfrekvenciás feszültségek jelentős részét "elszívhatják" és ezáltal zavarhatják a körvezérlő berendezéseket.

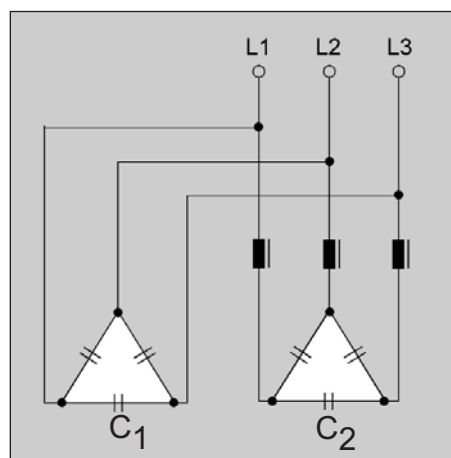
E problémák elkerülésére a körvezérlő berendezések frekvenciájára hangolt záróberendezéseket kell használni. A hangfrekvenciás zárat az alkalmazott kondenzátorteljesítmény és a körvezérlő berendezés frekvenciája alapján kell méretezni.

Az illetékes áramszolgáltató vállalatnál megtudhatók a körvezérlő frekvencia adatai, a kivitelezési mód és az, hogy a meddő áramot kompenzáló berendezés milyen nagyságrendjénél kell alkalmazni a hangfrekvenciás zárat.

A hangfrekvenciás záróköroket általában a 4.1 ábra szerint kell használni. Néhány áramszolgáltató vállalat azonban a 4.2 ábra szerinti hangfrekvenciás részfojtást ír elő. Ennek felosztása különböző lehet ($C_1 : C_2 = 1 : 2$; $C_1 : C_2 = 1 : 1$).



4.1 ábra



4.2 ábra

[Kompenzálás felharmonikusokkal rendelkező hálózatban]

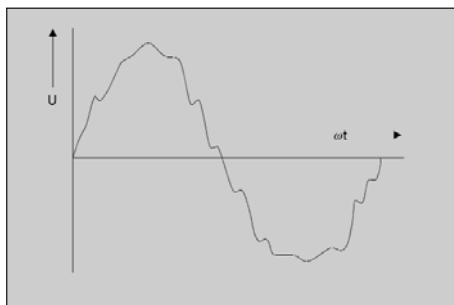
A felharmonikusok keletkezése és hatásai

A teljesítményelektronika feltartóztathatatlan fejlődése következtében sok üzemben úgynevezett "nemlineáris fogyasztókat" alkalmaznak. A nemlineáris fogyasztók a szinuszos hálózati feszültség rákapcsoláskor nem-szinuszos áramot vesznek ki a hálózatról (5.1 ábra). Ez a nem-szinuszos áram matematikailag (Fourier szerint) felbontható alapharmonikusra és a ráakadó felharmonikusokra.

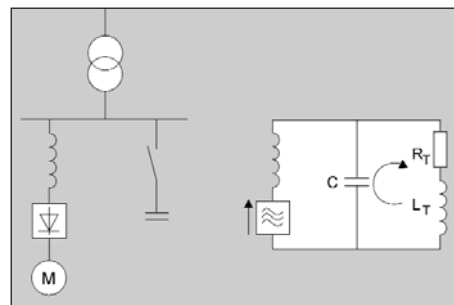
Az 5, 7, 11, 13 stb. rendszámok a felharmonikusok jellemző értékei. Megadják a felharmonikus frekvencia arányát a hálózati frekvenciához viszonyítva, vagyis $f_1 = 50$ Hz esetén az ötödik felharmonikus $f_5 = 250$ Hz, $f_1 = 60$ Hz esetén az $f_5 = 300$ Hz. A felharmonikus áramok amplitúdója növekvő rendszámmal csökken az alapharmonikushoz képest.

A felharmonikusok miatt az üzemeltető számára a következő problémák adódnak:

- A kondenzátorok (termikus) túlterhelése a meglévő "fojtó nélküli" kompenzációs berendezésekben.
- Rezonanciaképződés a hálózati reaktancia és a kondenzátor között (5.2 ábra). Emiatt bekövetkezhet az, hogy az induktív és kapacitív reaktanciák áramkorlátozó hatása megszűnik. A feszültség hatására kialakuló áramot már csak a viszonylag alacsony értékű ohmos ellenállás korlátozza, így nagy áramcsúcsok lépnek fel, amelyek kioldják a túláramvédő készülékeket és jelentős károkat okozhatnak. Kedvezőtlen esetben több rezonancia hely is kialakulhat, megsokszorozva a károsodási helyeket.



5.1 ábra



5.2 ábra

A következő oldalon néhány jellegzetes nem-lineáris fogyasztó típust foglaltunk össze, felsorolva hatásukat a hálózatra.

Felharmonikus képzők és tipikus zavarkibocsátók

	Feszültség-ingadozások	Feszültség aszimmetriák	Felharmonikusok	Közbenső harmonikusok
Dimmerek (nagyobb berendezések)			•	
Elektromedikai készülékek (pl. röntgenkészülékek, mag-spinotomográfok)	•			
Excenter hajtások (pl. keretes-fűrészek)	•			•
Frekvenciaváltók (pl. közbenső kör váltók, közvetlen váltók, szinkron alatti váltók, áramváltó kaszkádok)			•	•
Gázkisülésű lámpák (nagyobb berendezések)			•	
Ingadozó teljesítmények (pl. termosztát vezérlés, rezgéscsomag vezérlés)	•			
Egyenirányítók (pl. vasúti áramellátáshoz, távközlési egyenáramú hálózatokhoz)			•	
Nagyobb terhelések (be- és kikapcsolási műveletek)	•			
Konduktív melegítő-berendezések		•		
Ívfénykemencék, acélolvasztó kemencék	•	•	•	•
Ívfényes hegesztő-berendezés	•			
Fényorgonák (pl. diszkókban)	•			
Közepes frekvenciájú indukciós kemencék			•	•
Nagyobb teljesítményű motorok indításkor vagy üzem közben (pl. felvonók, ventilátorok, szivattyúk, kovácsprések, kőtörők)	•			
Hálózati frekvenciás indukciós kemencék		•		
Kovácsprések	•			•
Rezgéscsomag vezérlés az egyes félrezgések vezérlésével	•			•
Szünetmentes tápegységek			•	
Ellenállásos kemencék elektródagyártáshoz		•		
Ellenállásos olvasztókemencék		•		
Ellenállásos hegesztőgépek	•	•		•
Frekvenciaváltós hajtások			•	•

Megengedett felharmonikus tartalom a hálózaton

A felharmonikus tartalomra vonatkozóan az MSZ-EN 50160 és az 1000-2-2 IEC-publikáció tartalmaz adatokat. Ezek szerint a hálózati csatlakozási ponton maximum az alábbi értékű felharmonikusok lehetnek jelen:

2. harmonikus	100 Hz	2,0 %
3. harmonikus	150 Hz	5,0 %
4. harmonikus	200 Hz	1,0 %
5. harmonikus	250 Hz	6,0 %
6. harmonikus	300 Hz	0,5 %
7. harmonikus	350 Hz	5,0 %
8. harmonikus	400 Hz	0,5 %
9. harmonikus	450 Hz	1,5 %
10. harmonikus	500 Hz	0,5 %
11. harmonikus	550 Hz	3,5 %
12. harmonikus	600 Hz	0,2 %
13. harmonikus	650 Hz	3,0 %
14. harmonikus	700 Hz	0,2 %
15. harmonikus	750 Hz	0,3 %
16. harmonikus	800 Hz	0,2 %
17. harmonikus	850 Hz	2,0 %
18. harmonikus	900 Hz	0,2 %
19. harmonikus	950 Hz	1,5 %

A megengedettnél magasabb felharmonikus tartalom kibocsájtása esetén intézkedni kell a megfelelő felharmonikus szűrésről. A szűrés szűrőkörök alkalmazásával valósítható meg.

[Hangolt szűrőkörök, elhangolt szűrőkörök (szívókörök)]

Hangolt szűrőkörök (szívókörök)

A hangolt szűrőkör egy kondenzátorból és fojtótekerccsből (szűrőkör fojtó) álló soros kapcsolás, amelyek úgy vannak egymáshoz hangolva, hogy a létrejövő soros rezgőkör rezonanciafrekvenciája az egyik felharmonikus frekvenciával azonos, vagy nagyon közel áll hozzá.

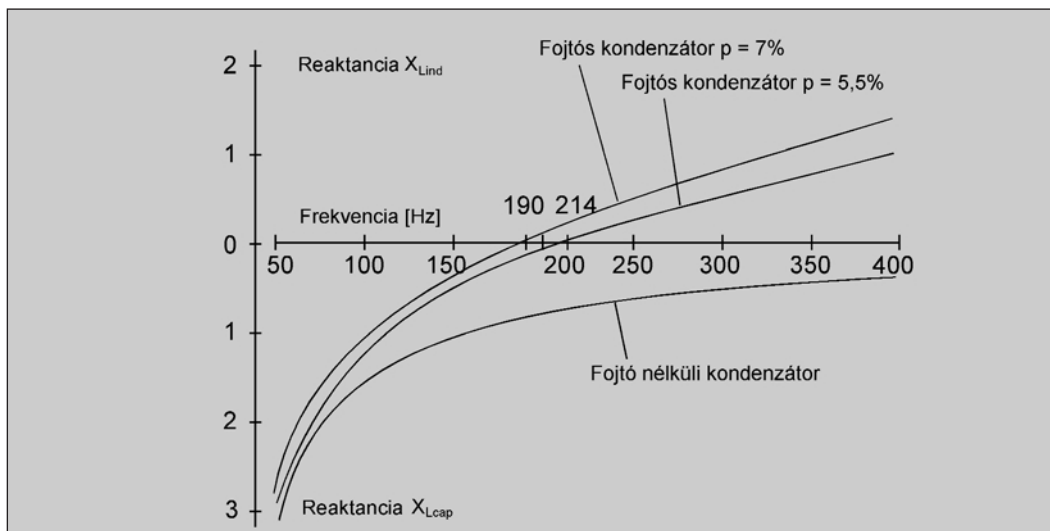
Mivel a soros rezgőkörök impedanciája rezonanciafrekvencián igen kicsi (csaknem nulla), a szűrőkör "elszívja" a mindenkor felharmonikus. A hangolt szűrőkörök az alapharmonikussal szemben kapacitív viselkedésűek.

A szívóköröket azért alkalmazzák, hogy a kompenzáció mellett főleg a felharmonikusok hálózatba jutását akadályozzák meg és célzottan szüntessék meg azokat. A szívókör általában pontosan az ötödik felharmonikusra (250 Hz) van hangolva.

A felharmonikus áramok hangolt szívókörökkel kb. 90 %-kal csökkenthetők. A szívókörös berendezések megvalósulása a gyakorlatban sokszor fix kondenzátorként alkalmazott hangolt szívókör-kondenzátor telepekkel történik (pl. vezérelt hajtások kompenzálásánál).

Elhangolt szűrőkörök

A fojtós meddőteljesítmény-szabályozó egységeket (elhangolt szűrőköröknek is nevezik őket) központi meddőteljesítmény-kompenzálásra használják. Ezek felhasználhatók olyan nemlineáris fogyasztókat tartalmazó hálózatokban, amelyekben a nemlineáris fogyasztók aránya nagyobb a teljes terhelés 20 %-ánál.



6.1 ábra

Például: kondenzátorral sorosan kapcsolt, $p = 7\%$ -os névleges értékű szűrőkör-fojtó alkalmazásakor 189 Hz-es rezonanciafrekvencia adódik (lásd. 6.1 ábra). Ezáltal a fojtós kondenzátor kapcsolás a 189 Hz feletti valamennyi frekvencián induktív.

[Tervezési útmutató fojtós berendezésekhez]

A fojtós meddőteljesítmény-szabályozó egységek kiválasztása kizárólag a szükséges meddő teljesítmény szerint történik. A döntés, hogy melyik fojtófokozatot használjuk, a következőktől függ:

- a felharmonikusok keletkezésének helyétől
- a meglévő körvezérlések hangfrekvenciáitól
- a felharmonikusok kívánt elszívási tényezőjétől.

Ha a felharmonikusok túlnyomóan a fölérendelt áramszolgáltatói hálózatban jönnek létre, a 7 %-os fojtás javasolt, mivel az kizáró hatással van a hálózat felőli felharmonikusokra.

Ha viszont a felharmonikusok főleg a fogyasztó hálózatában keletkeznek, akkor azt a fojtófokozatot kell alkalmazni, amellyel a viszonylag magas felharmonikus elszívási tényező érhető el a fogyasztói hálózatban.

A fojtós berendezések kiválasztásánál különösen ügyelni kell arra, hogy **fojtós és fojtó nélküli fázisjavító egységek vegyes használata nem megengedett egy fogyasztói hálózaton belül.** A szabályzónak először mindig a legkisebb teljesítményű leágazást kell kapcsolnia.

[Kompensációs módok]

Egyedi kompenzálás (7.1 ábra)

Az egyedi kompenzálásnál a fázisjavító berendezés közvetlenül a fogyasztóhoz csatlakozik a tápvezeték tehermentesítése érdekében. Ebben az esetben fix kondenzátor egység csatlakozik a fogyasztóhoz. Hátránya, hogy a gyakori fogyasztói terhelésingadozás nem kívánatos túl- vagy alulkompensálást okozhat. A túlkompensálás a hálózatban feszültségnövekedést okozhat. Alulkompensálás esetében az energiaszolgáltató vállalat meddőáram-költségeket számláz ki az üzemeltetőnek. Az egyedi kompenzálás előnyei, hogy a vezetékeket a meddő áram nem terheli és általában nem szükségesek kiegészítő kapcsoló és vezérlő készülékek. Alkalmazására állandó teljesítményű fogyasztók esetén kerül sor, amelyek lehetőleg tartós üzeműek és nagyobb teljesítményűek (>20 kW). Az egyedi kompenzálást főleg aszinkron motorokhoz, transzformátorokhoz, egyenirányítós hegesztőkhöz, valamint kisüléssel fényforrásokhoz használják. A következőkben néhány méretezési útmutatót adunk transzformátorokhoz és aszinkron motorokhoz.

Transzformátorok fix kompenzációja

Trafó névleges teljesítménye kVA	Kondenzátorteljesítmény kvar-ban az alábbi primer transzformátor-feszültségeknél		
	5 - 10 kV	15 - 20 kV	25 - 30 kV
50	4	5	6
75	5	6	7,5
100	6	7,5	10
160	10	12,5	15
250	15	16,7	20
315	26,7	20	25
400	20	25	30
630	30	33,3	40
(Ezeket az értékeket szükség esetén az illetékes áramszolgáltató vállalattal egyeztetni kell)	Hegesztőtranszformátoroknál a kondenzátorteljesítmény kb. a transzformátor látszólagos teljesítményének 50 %-a legyen. Egyenirányítós hegesztőtranszformátorok kb. a transzformátor látszólagos teljesítményének 10 %-át kitevő kondenzátorteljesítményt igényelnek.		

Motorok fix kompenzációja

Motorteljesítmény kW	Kondenzátorteljesítmény kvar
1,0 ... 3,9	kb. a motorteljesítmény 55 %-a
4,0 ... 4,9	2
5,0 ... 5,9	2,5
6,0 ... 7,9	3
8,0 ... 10,9	4
11,0 ... 13,9	5
14,0 ... 17,9	6
18,0 ... 21,9	8
22,0 ... 29,9	10
30-tól	kb. a motorteljesítmény 35 %-a
(A VDE 1500 ford/perc motorokra vonatkozó csatlakozási feltételei tartalmazzák ezen értékeket)	1000 ford/perc motoroknál a fenti értékekhez 5%, 750 ford/perc motoroknál 15 % hozzáadandó

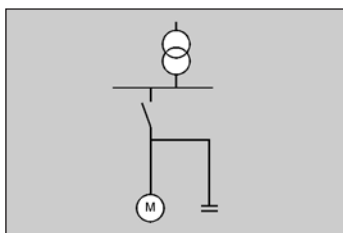
Csoportkompenzálás (7.2 ábra)

A csoportkompenzációnál több, általában helyileg egymás mellett levő, egyidejűleg működő induktív fogyasztó van összefogva és egy fix kondenzátorral közösen van kompenzálva. A fogyasztók és a kondenzátor együttesen kapcsolhatók be egy kapcsoló készülékkel. Ha a fogyasztókat mégis egyenként kapcsolják be, akkor a kondenzátornak szintén rendelkeznie kell egy kapcsoló készülékkel, pl. védőkapcsolóval, amely csak akkor kapcsol be, ha az összes fogyasztó üzemel. Ezt a kompenzációs módot több motor vagy csoportos világítóberendezések esetén alkalmazzák.

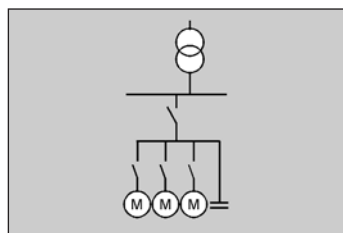
Központi kompenzálás (7.3 ábra)

Ott, ahol a teljesítmények ingadoznak és ezáltal gazdaságtalan alulkompenzálás vagy veszélyes túlkompenzálás léphet fel, a szükséges kondenzátorteljesítményt a pillanatnyi igényekhez kell igazítani. Ez egy olyan szabályzóval történik, amely a fázisszög névleges és tényleges értékének összehasonlításának függvényében automatikusan kondenzátorcsoportokat kapcsol be, ill. ki. A központi kompenzáció előnye a mindig a csatlakoztatott fogyasztók meddő teljesítmény szükségletéhez illesztett kondenzátorteljesítmény, a viszonylag egyszerű bővítés utólagos, kiegészítő szereléseknél, valamint a központi elrendezés jobb felügyelete, vezérlése és jelzésadása.

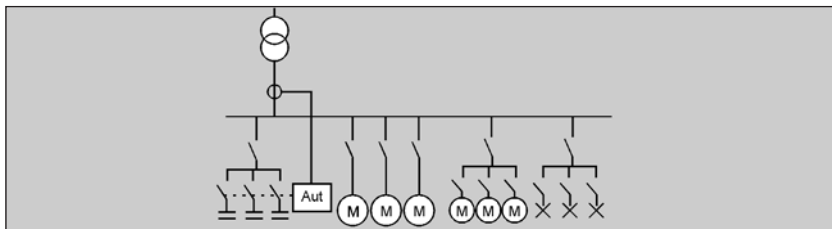
A különböző kompenzációs módok előnyeinek, hátrányainak összehasonlítása a 8.1 táblázatban található meg.



7.1 ábra



7.2 ábra



7.3 ábra

[A kompenzációs módok előnyei és hátrányai]

Kompenzációs mód	Karakterisztika	Előnyök	Hátrányok
Egyedi kompenzálás	Konstans fogyasztású terheléseknél használatos. Minden fogyasztó egy megfelelő méretű kondenzátort kap.	<ul style="list-style-type: none"> - Meddő teljesítmény létrehozása a helyszínen - Veszteségek és feszültségesés csökkentése - Kapcsoló készülék megtakarítása 	<ul style="list-style-type: none"> - Több kisebb kondenzátor drágább, mint egy megfelelő összteljesítményű nagyobb - Kondenzátor alacsony üzemelési időtartama olyan készülékeknél, amelyek nincsenek gyakran bekapcsolva (rossz kihasználtság)
Csoportkompenzálás	Több készüléket egy kondenzátor kompenzál, amelyet kapcsoló működtet. A kondenzátor bekapcsolása a fogyasztó üzemidejének megfelelő.	<ul style="list-style-type: none"> - Alacsony kondenzátorköltség - Veszteségek és feszültségesés lecsökkentése az elosztó vezetékben 	<ul style="list-style-type: none"> - Tápvezetékek nincsenek tehermentesítve
Központi kompenzálás	A meddő teljesítmény létrehozása egyetlen ponton. Egyszerű esetekben a berendezés a munka kezdetekor be-, a munka végén kikapcsolódik.	<ul style="list-style-type: none"> - Kondenzátor teljesítmény jobb kihasználása - Könnyebb felügyelet - Automatikus szabályozás lehetséges 	<ul style="list-style-type: none"> - Elosztó és tápvezetékek nincsenek tehermentesítve
Vegyes kompenzálás	A fontosabb fogyasztók egyedi kompenzálása. A maradék csoportos vagy központi kompenzálása.	<ul style="list-style-type: none"> - Utólagos szerelés vagy bővítés viszonylag egyszerű - A kondenzátor teljesítmény jobb illesztése a meddő teljesítmény szükségletehez 	

8.1 táblázat

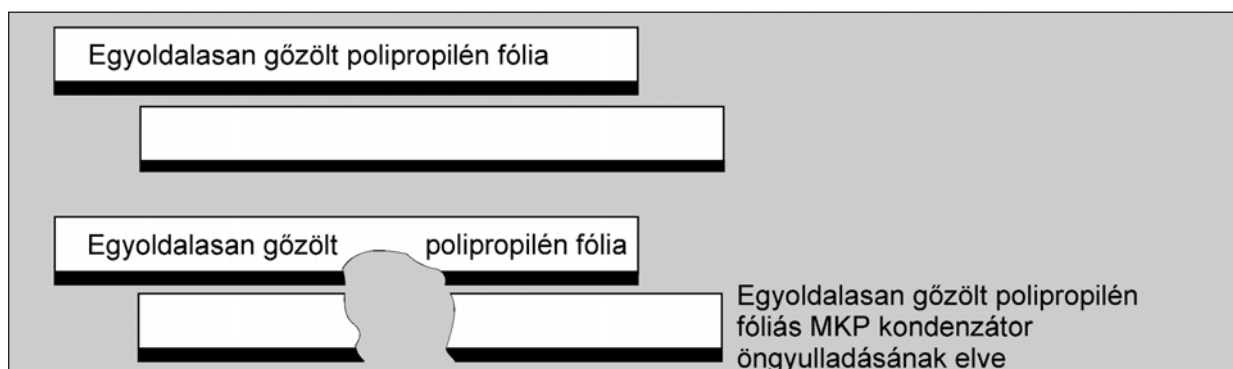
[MKP serlegkondenzátor mint alapelem]

Felépítés

Az MKP típusjelölés jelentése: öngyógyuló effektussal rendelkező fémes polipropilén műanyag fólia. Az MKP serlegkondenzátoroknál az áramvezető bevonat műanyag fóliára egyoldalasan felgőzölt alumínium vagy cinkoxid réteg. A fegyverzettekercseket egyfázisú vagy háromfázisú egységekké történő kapcsolás után beépítik az alumínium serlegbe, "NON-PCB" környezetbarát olajjal impregnálják és lezárják. A veszteségi teljesítmény kisebb mint 0,3 W kvar-onként. Ez a hagyományos, impregnált papír dielektrikus és alufólia elektródás kondenzátorok veszteségi teljesítményének tízedrészede. E rendkívül csekély veszteségek lehetővé teszik az elosztószekrényekbe történő közvetlen beépítést. Különleges szellőztetési intézkedések csak magasabb védelmi fokozatú kapcsolószekrényeknél vagy hangfrekvenciás záróberendezések beépítése esetén szükségesek.

Öngyógyulás, biztonsági berendezések

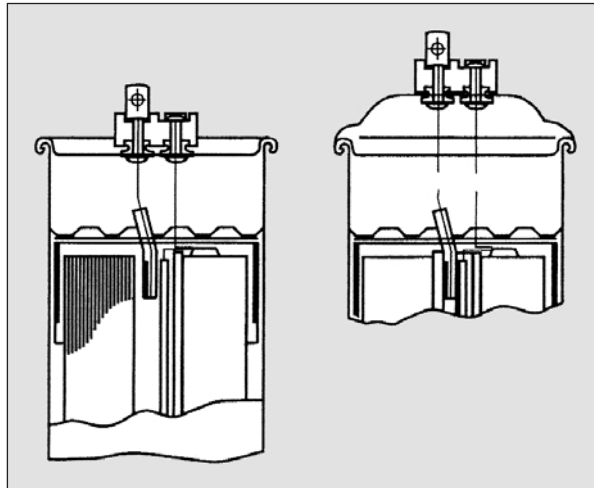
Az öngyógyulás következtében az MKP serlegkondenzátorok rendkívül hosszú életűek. Az öngyógyulás rövid idejű túlfeszültségek után lép fel. A túlfeszültség során keletkező átütés villamos ívet hoz létre, amely közvetlen környezetében elpárologtatja a fémréteget. A hibás rész körül megfelelő nagyságú szigetelő felület marad vissza. Az öngyógyulás általi kapacitáscsökkenés rendkívül csekély, 100 pF alatt mozog. Az öngyógyulási folyamat csak néhány μ s időtartamú és a szükséges gyógyulási energia csak precíziós műszerekkel mérhető (9.1 ábra).



9.1 ábra

Különleges elektromos vagy termikus túlterhelések következtében, ill. az élettartam végén gyakoribbá válnak az öngyógyulási folyamatok. Ezáltal a kondenzátorserleg belsejében túlnyomás keletkezik. A rugalmas fedél felpúposodik és a rögzített fegyverzettekercsek és a csatlakozó csok közötti összekötő huzalok egyre jobban megfeszülnek, míg végül a kritikus fedélkidomborodásnál elszakadnak. A kiszabaduló nyomás azonban olyan rövid idő alatt kitágítja a szétválás helyét, hogy nem jöhet létre káros villamos ív.

A leszakadási folyamat után a kondenzátor fegyverzettekercsének mindegyik pólusa le van kapcsolódva a hálózatról (9.2 ábra).



9.2 ábra

Az MKP serlegkondenzátorok a környezetre nézve semlegesek, mivel az alkalmazott anyagok nem jelentenek környezeti terhelést. A fémházak - a műanyag kivétellel ellentétben - az élettartam végén újrahasznosíthatók.

[Fázisjavító berendezések túlmelegedés elleni védelme]

Az elektronikai berendezések, és főleg a kondenzátorok élettartamát a környezeti hőmérséklet igen erősen befolyásolja. A kondenzátor gyártók általános véleménye szerint a környezeti hőmérséklet kb. 7 °C-os növekedése a kondenzátor élettartamát a felére csökkenti. A gyakorlati tapasztalatok ezt teljes mértékben alátámasztják. Ezért a fázisjavító berendezések természetes vagy kényszerhűtésére a konstrukció kialakításakor igen nagy gondot kell fordítani. A fojtott fázisjavítók mindegyike, a hagyományos fázisjavítók 200 kVar felett termosztáttal szereltek, amely a beállított határérték felett a kondenzátor fokozatokat lekapcsolja a hálózatról, ha a hűtés ellenére a hőmérséklet tovább növekszik.

[Fázisjavító berendezések bekötése]

Az automatikus fázisjavítók vezérlésének bekötéséhez csak az áramváltó (minimális teljesítménye 5VA) jelét kell külön bekötni (2 x 2,5 mm²), mert a vezérlő automatika működéséhez szükséges feszültségeket a berendezésből veszi az L2 és az L3 fázisból, így az áramváltónak az L1 fázisban kell lennie.

Az erősáramú tápvezeték amperben kifejezett áramterhelését úgy kell kiszámolni, hogy a berendezés kvar értékét kettővel szorozni kell (400V-os hálózat esetén). A vezeték keresztmetszet kiválasztásánál az MSZ 14550/1 számú szabvány szerint kell eljárni. A vezeték biztosítását az áramterhelésnek megfelelő lomha biztosítóval célszerű megoldani.

Tápkábelek keresztmetszete	
Teljesítmény (kVA _r)	Kábel keresztmetszet, réz (mm ²)
10	4
15	4
20	6
25	10
35	16
50	25
75	35
100	70
125	95
150	120
175	150
200	185
225	240
250	240
275	2 x 150
300	2 x 150
350	2 x 150
400	2 x 185

[Tirisztoros fázisjavító berendezés]

A hagyományos fázisjavító berendezésekbe beépített szabályozó egység általában 4-40 másodperc közötti reagálási időt tesz lehetővé, azaz a meddőteljesítmény ennél gyorsabb változását nem képes követni. Emiatt előfordulhat, hogy kellő mértékű kondenzátor egység beépítése esetén is felárat kell fizetni.

A gyorsan változó szabályozást igénylő folyamatokhoz (pl. néhány másodperc ütemidejű hegesztő automatákhoz) különleges dinamikus meddőteljesítmény kompenzáló berendezés szükséges. Ennek két új egysége van a hagyományos berendezésekhez képest:

- speciális teljesítménykapcsoló készülékek a kondenzátor egységekhez, valamint
- ezek vezérléséhez gyors, dinamikus szabályzó egység.

A teljesítménykapcsoló egy tirisztoros egység, amely elektronikusan vezérelt, önfelügyelő, gyorsan képes a teljesítménykondenzátorok hálózatra kapcsolására tetszőleges gyakorisággal és időtartamban. Fojtózott és fojtás nélküli fázisjavító berendezésben egyaránt használható.

A dinamikus meddőteljesítmény szabályozó egység a technológiai folyamatokhoz való optimális illesztés miatt programozható kivitelű. Igény szerinti kapcsolási idők állíthatók be, általában 20ms, 80ms, 320ms, 640ms lépésekben.