

H. Reaktif (kör) güç kompanzasyonu

1. Şebekede kompanzasyonun önemi

Bir işletmenin güç katsayısının düşük olması hâlinde şebekeden çekilen akım artar. Bu istenmeyen bir durumdur.

İndüktif özellikli (motor, trafo, balast, bobin) alıcılar akımla gerilim arasında faz farkı oluştururlar. Bir motor şebekeden aktif güç ve reaktif güç çeker. Aktif güç mekanik enerjiye dönüşür. Reaktif güç ise motorun sargılarının etrafında manyetik alan oluşturur. Oluşan manyetik alan daha sonra motor sargılarında öz indüksiyon EMK'sı meydana getirir. Öz indüksiyon EMK'sı sonucu sargılarda oluşan akım şebekeye geri verilir. Başka bir deyişle indüktif özellikli alıcılar şebekeden çektikleri akımın bir kısmını harcarken bir kısmını da geri verirler.

Bir hatta gidip gelen akımın çok olması hattın kesitinin artırılmasına neden olur. Örneğin 1,5 mm²'lik iletkinle çalıştırılabilen bir alıcı reaktif güç söz konusu olduğunda 2,5 mm²'lik hatla beslenir.

İndüktif alıcıların şebekeden fazla akım çekmesi kablo, şalter, sigorta, trafo, alternatör vb. gibi donanımların gücünün daha yüksek seçilmesine yol açar. Bu nedenle kompanzasyonun yapıldığı bir şebeke 1000 TL'ye kurulabilirken, kompanzasyon sisteminin olmadığı bir şebeke 1200-1500 TL'ye kurulabilir.

Öte yandan hatlardan fazla akım çekilmesi enerji kayıplarını da artırır. Bilindiği gibi iletkin hatların da belli bir omik direnci vardır. Direncin söz konusu olduğu yerde, $P = I^2 \cdot R$ denklemine göre bir güç harcaması olacaktır.

Ülkemizde şebekeden çektiği güç 10 kW ve üzerinde olan, üç fazlı (trifaze) alıcı kullanan abonelerin kompanzasyon tesisatı yaptırarak güç katsayısını **0,85 - 0,98** arası bir değere yükseltmesi zorunludur. Kompanzasyon tesisatı kurdurmayan aboneler elektrik dağıtım işletmesine "aktif" ve "reaktif" enerji tüketim bedeli ödemek zorundadır.

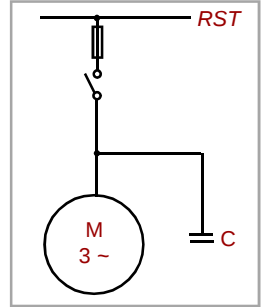
Bir tesise kompanzasyon yapıldığı zaman şu faydalar sağlanır:

- Elektrik enerjisine ödenen para azalır.
- Aynı şebekeyle daha çok alıcı beslenebilir.
- Hatlarda oluşan enerji kayıpları azalır.
- Şebekenin gerilimindeki düşüş azalır.

2. Kompanzasyon tesislerinin çeşitleri

a. Tek tek kompanzasyon

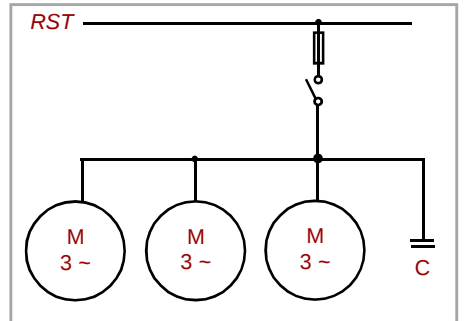
Bu sistemde tesiste bulunan indüktif alıcıların her birine hesaplama sonucu tespit edilen uygun değerli kondansatör paralel olarak bağlanır. Ülkemizde çok az kullanılan bir yöntemdir. Yandaki şekilde tek tek kompanzasyonun yapılışı gösterilmiştir. Flüoresan lamba, civa buharlı lamba gibi balastlı alıcıların içinde bulunan parmak büyüklüğündeki kondansatörlerin görevi kompanzasyon işlemini yapmaktır.



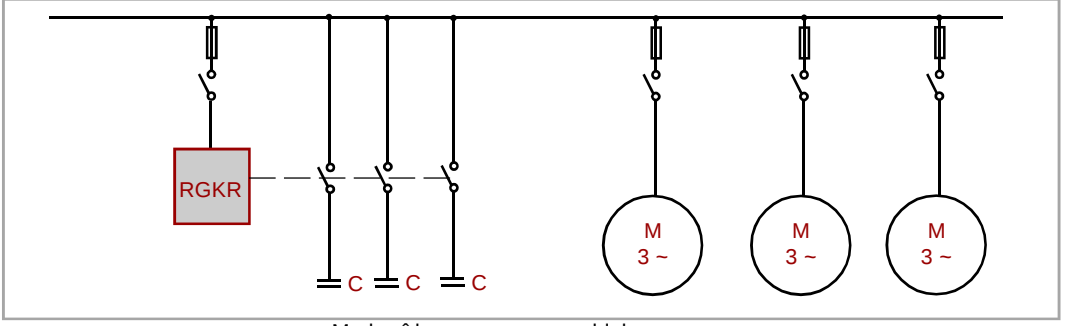
Tek tek kompanzasyon

b. Grup kompanzasyonu

Tesiste birlikte çalışıp duran alıcılar söz konusu ise bunların hepsine bir tek kondansatör bağlayarak yapılan işlemdir. Bu yöntem de ülkemizde az kullanılmaktadır. Yandaki şekilde grup kompanzasyonun yapılışı gösterilmiştir.



Grup kompanzasyon



Merkezî kompanzasyonun blok şeması

c. Merkezî (otomatik) kompanzasyon

Bu sistemde tesisin enerji girişine bağlanmış olan elektronik yapıllı "reaktif güç kontrol rölesi (RGKR)" alıcıların faz farkını (güç faktörünü, $\cos \phi$ değerini) sürekli olarak ölçer. Ölçüm sonucuna göre kompanzasyon panosunda bulunan kontaktörleri çalıştırır ya da durdurur. Kontaktörler devreye girip çıktıkça bu elemanlar üzerinden sisteme paralel bağlanmış olan kondansatörler kompanzasyon işlemini gerçekleştirir.

3. Kompanzasyonda gerekli kondansatör gücünün hesaplanması

Gerekli kondansatör gücü,

$$Q_{xc} = P \cdot (\tan j - \tan q)$$

denklemleriyle hesaplanır.

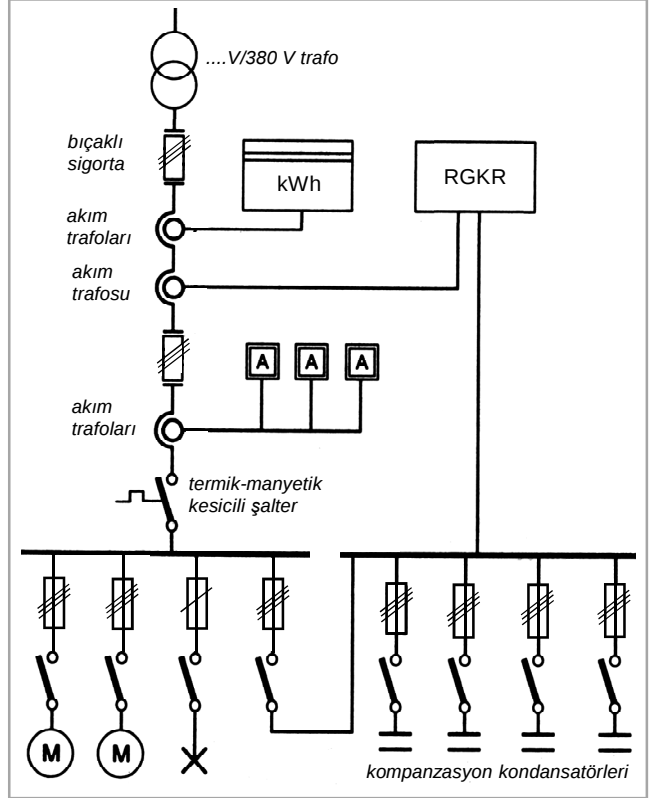
Denklemden,

Q_{xc} : Kondansatörün gücü (VAR),

P : Alıcının aktif gücü (W),

j : Alıcının faz açısı (derece),

q : Olması istenen faz açısı (derece)'dir.



Merkezî kompanzasyonun kolon şemasına ilişkin örnek çizim

Örnek 1: Aktif gücü 20 kW (20 000 W), $\cos \phi$ değeri 0,60 olan üç fazlı asenkron motorun $\cos \theta$ değerinin 0,95'e yükseltilebilmesi için gereken kondansatör gücünü hesaplayınız.

Çözüm

$\cos \phi = 0,60$ 'ın açısı değeri: $53,13^\circ$

$53,13^\circ$ 'nin tanjant ϕ değeri: 1,33

$\cos \theta = 0,95$ 'in açısı değeri: $18,19^\circ$

$18,19^\circ$ 'nin tanjant θ değeri: 0,32

$\cos \phi = 0,60$ 'ın $\tan \phi$ değeri: 1,33.

İstenilen $\cos \theta$ değerinin $\tan \theta$ karşılığından $\tan \phi$ değerinin çıkarılmasıyla elde edilen değer 1.01.

$$Q_{XC} = P.(\tan \phi - \tan \theta) = 20\ 000.(1,33 - 0,32)$$

$$Q_{XC} = 20\ 000.1,01 = 20200 \text{ VAr (20,2 kVAr)}$$

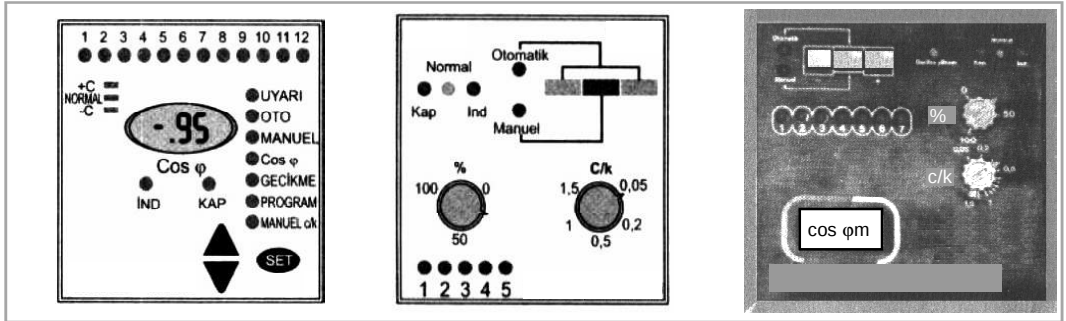
4. Kompanzasyonda kademe seçimi

Kompanzasyon sistemiyle şebekeye paralel olarak bağlanacak kondansatörler 3, 5, 7, 12 vb. gibi gruba bölünürler. Başka bir deyişle kompanzasyon tesisinde 3, 5, 7 ya da 12 adet kondansatör grubu yer alır. Reaktif güç kontrol rölesi (RGKR) ilk önce birinci kademeye bağlı kondansatörü devreye sokar. Bu yeterli gelmezse ikinci kademedeki kondansatörü devreye sokar. İşlem bu şekilde sürer gider. Alıcılar devreden çıktıkça bu kez kondansatörler sırayla devreden çıkar.

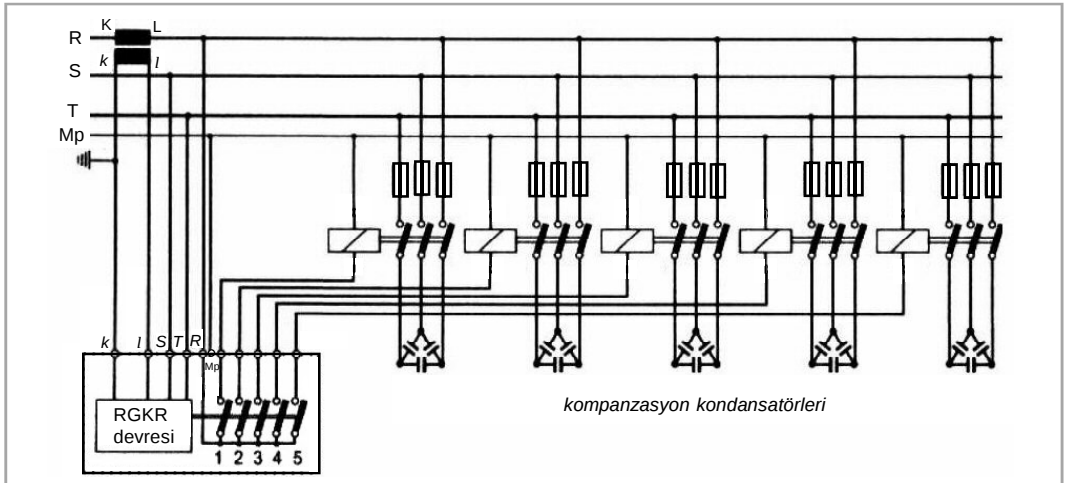
Kompanzasyon tesisinde kullanılan kondansatörler standart güçlerde (1 - 2,5 - 5 - 7,5 - 10 - 20 kVAr vb.) üretilirler. Eğer bir tesiste örneğin 3,5 kVAr'lık güce sahip kondansatöre ihtiyaç duyuluyorsa 1'lik ve 2,5'lik iki kondansatör birbirine paralel bağlanarak 3,5 kVAr'lık kondansatör elde edilebilir.

5. Reaktif güç kontrol rölesi (RGKR)'nin özellikleri

Otomatik kompanzasyon sisteminin doğru çalışabilmesi için uygun kademeli RGKR'nin kullanılması gerekir. Ayrıca röle üzerinde bulunan C/k ve % potlarının projeye uygun olarak ayarlanması gerekir. **Not:** Yeni tip RGKR'lerde C/k potu ve % potu yoktur.



Reaktif güç kontrol rölesi örnekleri



Reaktif güç kontrol rölesinin devreye bağlanışına ilişkin örnek şema

a. Reaktif güç kontrol rölesi için akım trafosunun seçimi

RGKR'nin üzerinden fazla akım geçirilemez. O nedenle bu eleman ile şebeke arasına 50/5, 100/5, 200/5, 500/5, 1000/5 A vb. gibi değerlere sahip bir akım trafosu bağlanır. Trafonun akım değeri tespit edilirken alıcıların çektiği toplam akım göz önüne alınır. Örneğin 60 A çeken bir devreye 100/5 A'lık akım trafosu takılır.

Akım trafosu primerinden geçen akımı 5 A düzeyine indirmeye yarayan iki sargılı bir ayardır. Örneğin 100/5 A'lık akım trafosunun sekonder sarımından 3 A geçiyorsa primerden geçen akımın 60 A olduğu anlaşılır.

b. Reaktif güç kontrol rölesinin kontrol ettiği (devreye sokup çıkardığı) kondansatörlerin her bir kademedeki değerlerinin belirlenmesi

Kompanzasyon tesislerinde kullanılan kondansatörler RGKR'nin kademelerine dört farklı biçimde (modda) bağlanmaktadır.

1. mod: 1:1:1: ...
2. mod: 1:2:2: ...
3. mod: 1:2:4:4: ...
4. mod: 1:2:4:8: ...

C k	RGKR'nin birinci kademesine bağlanan kondansatörün güç (kVAr) değeri										
	5	10	12,5	15	20	25	30	40	50	60	100
30/5	0,83										
50/5	0,50	1,00									
75/5	0,33	0,67	0,93	1,00							
100/5	0,25	0,50	0,63	0,75	1,00						
150/5	0,17	0,33	0,42	0,50	0,67	0,83	1,00				
200/5	0,13	0,25	0,31	0,38	0,50	0,63	0,75	1,00			
300/5	0,08	0,17	0,21	0,25	0,33	0,42	0,50	0,67	0,83	1,00	
400/5	0,06	0,13	0,16	0,19	0,25	0,31	0,38	0,50	0,63	0,75	
500/5	0,05	0,10	0,13	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	1,00
600/5		0,08	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,33	0,42	0,50	0,83
800/5		0,06	0,08	0,09	0,13	0,16	0,19	0,25	0,31	0,38	0,63
1000/5		0,05	0,03	0,08	0,10	0,13	0,15	0,20	0,25	0,30	0,50
1500/5				0,05	0,07	0,08	0,10	0,13	0,17	0,20	0,33
2000/5					0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,25

RGKR'nin C/k potunun ayarlanacağı değeri pratik olarak (hesaplama yapmadan) belirlemede kullanılan çizelge

c. Reaktif güç kontrol rölesinin C/k potunun değerinin ayarlanması

C/k ifadesi kontrol edilmesi istenilen en düşük gücü belirler. Kompanzasyon tesisinin ilk kademesine bağlanan kondansatörün kör güç değerinin RGKR'ye bağlı akım trafosunun dönüştürme oranına bölünmesiyle C/k değeri tespit edilir. Yeni tip RGKR'lerde C/k potu yoktur. Ayarlama işlemi RGKR tarafından otomatik olarak belirlenmekte ya da teknisyen tarafından tuşlarla manuel olarak da ayar yapılabilmektedir.

Örnek: Kompanzasyon tesisatının ilk kademesine bağlanmış olan kondansatörün reaktif (kör) gücü 5 kVAr'dır. RGKR'ye bağlı akım trafosunun dönüştürme oranı ise $100/5 = 20$ 'dir. Bu değerlere göre RGKR'nin c/k potunun ayarlanması gereken değeri hesaplayınız.

Çözüm: Akım trafosunun dönüştürme oranı $k = 100 / 5 = 20$ A

$C/k = 5/20 = 0,25$

ç. Reaktif güç kontrol rölesinin çalışma bölgesi (%) değerinin ayarlanması

% potu % 30 konumuna getirilir. Belirli bir çalışma sonunda aktif ve reaktif enerjiyi ölçen sayaçların değerleri kaydedilerek oranlaması yapılır. Hesaplamaya göre reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranının =,33'ten az olmaması gereklidir. Bulunan değere bağlı olarak % ayarı % 30, % 20, % 10 gibi bir değere ayarlanabilir. Yeni tip RGKR'lerde % potu yoktur. Ayarlama işlemi RGKR tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.

6. Kompanzasyon tesisinde kullanılan kondansatörlerdeki boşaltma (deşarj) dirençleri

Kondansatör devreye girdiğinde üzerinde depolanan enerjinin bu eleman devreden çıkartılınca hızlıca boşaltılması gerekir. Bu işlem yapılmazsa "C" tekrar devreye girdiğinde iki gerilim (şebekenin ve C'nin gerilimi) birleşerek devrenin toplam geriliminde kısa süreli olarak yükselmeye yol açar. Kısa süreli gerilim yükselmeleri tesiste istenmeyen akım dolaşımlarına ve hassas aygıtların arızalanmasına yol açabilir.

Uygulamada kullanılan kompanzasyon kondansatörlerinin gövdesinin içindedeşarj dirençleri mevcuttur. Eğerdeşarj direnci içermeyen kondansatör kullanılmışsa bu durumda üzerindedeşarj direnci olan kontaktörler kullanılmalıdır.

7. Kompanzasyonda gerekli kondansatör gücünü hesaplama yöntemleri

a. Tesisin toplam yükü biliniyorsa

$$Q_C = P \cdot (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

denklemleri kullanılarak tesis için gerekli olan kondansatör gücü hesaplanır.

b. Elektrik dağıtım kurumunca düzenlenen tüketimi gösteren faturalar varsa

$$P_1 = \frac{\text{Harcanan aktif enerji (kWh)}}{\text{Çalışma süresi (h)}}$$

$$\tan \phi_1 = \frac{\text{Harcanan reaktif enerji (kVAr)}}{\text{Harcanan aktif enerji (kWh)}}$$

$$Q_C = \frac{(\text{Harcanan reaktif enerji} - \text{harcanan aktif enerji}) \cdot \tan \phi_2}{\text{Çalışma süresi}}$$

denklemleri kullanılarak tesis için gerekli olan kondansatör gücü hesaplanır.

c. Tesiste aktif ve reaktif enerji sayaçları varsa

Tesis normal koşullarda çalışırken sayaçların disklerinin dakikadaki devir sayıları tespit edilerek, aktif enerji sayacının diskinin devir sayısı (n_p) ve reaktif enerji sayacının diskinin devir sayısı n_Q belirlenir. Sayaçların gövdelerindeki bilgi etiketinde yer alan aktif sayaç sabitesi (C_p) ve reaktif sayaç sabitesi (C_Q) saptanır. Bu değerlere göre,

$$P_1 = \frac{n_p \cdot 60}{C_p}$$

$$Q_1 = \frac{n_Q \cdot 60}{C_Q}$$

$$Q_{xc} = Q_1 - P_1 \cdot \tan \theta$$

denklemleri kullanılarak tesis için gerekli olan kondansatör gücü hesaplanır.

ç. Tesiste ampermetre, voltmetre ve kosinüs fime tre varsa

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi_1 \cdot 10^{-3}$$

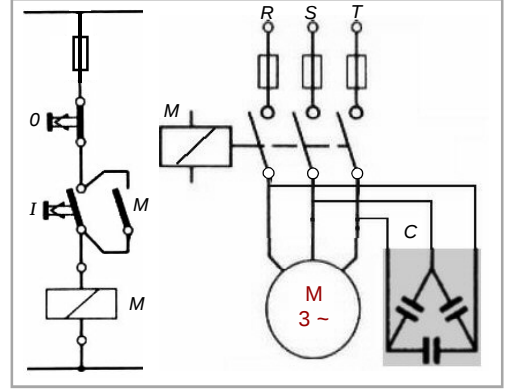
$$\tan \phi_1 = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi_1}}{\cos \phi_1}$$

$$Q_{xc} = P_1 \cdot (\tan \phi_1 - \tan \theta)$$

denklemleri kullanılarak tesis için gerekli olan kondansatör gücü hesaplanır.

8. Üç fazlı asenkron motorun kompanzasyonu

Yanda verilen devre üç fazlı asenkron motorun tek başına kompanzasyonunun yapılmasını sağlamaktadır.



Üç fazlı asenkron motorun kompanzasyonunun yapılmasının kumanda ve güç devresinin Alman standartlarına göre çizilişi

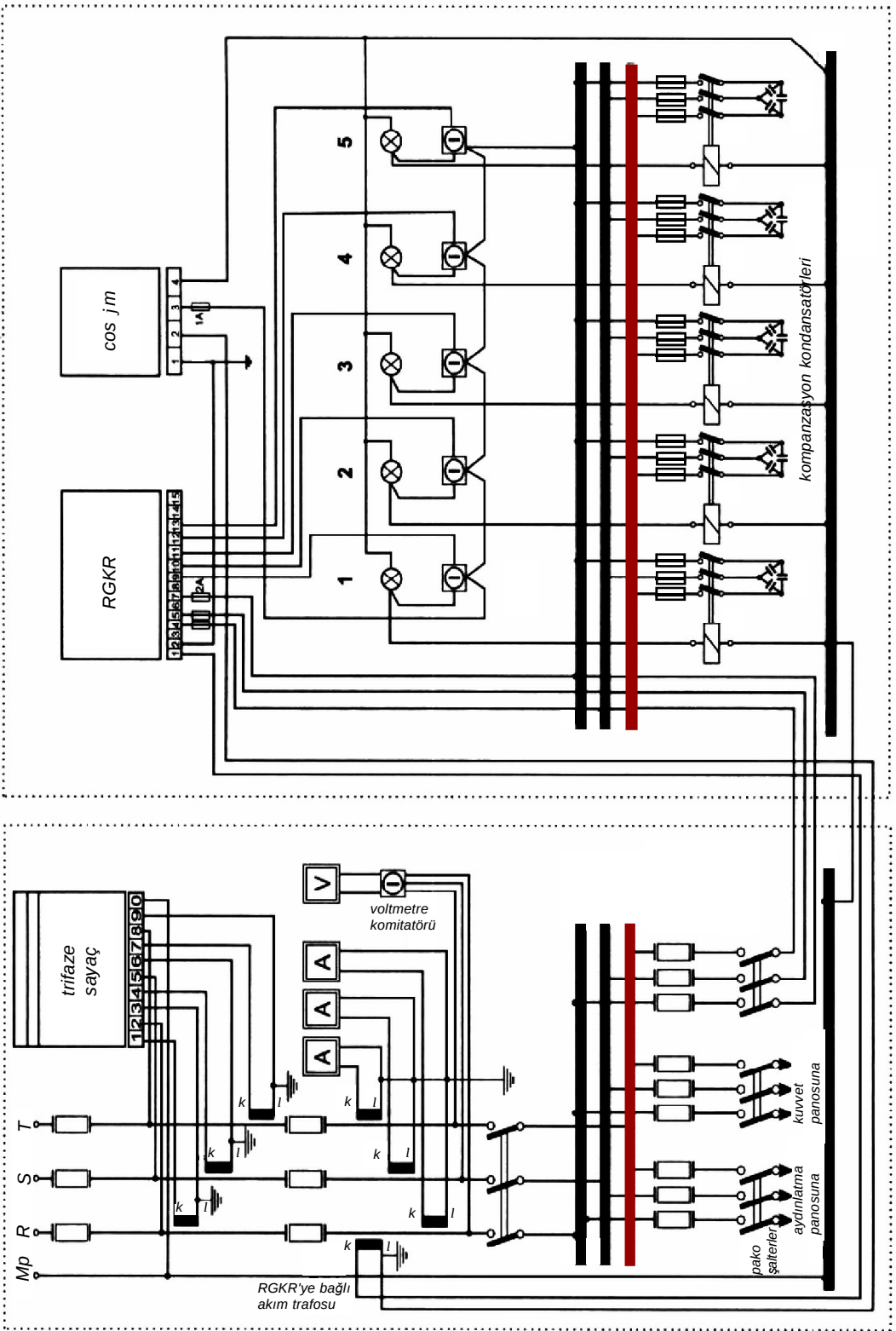
9. Merkezi (otomatik) kompanzasyon devresi

Arka sayfada verilen şema uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

RGKR şebekedeki alıcıların çektiği kör gücü ölçmekte ve buna göre kontaktörleri çalıştırıp durdurarak kondansatörlerin ihtiyaç olan kadar devreye girmesini sağlamaktadır.

Kondansatör gücü (kVAr)	Nominal akım (A)	NH sigorta (A)	Şalter (A)	NYY kablo (mm ²)	Ana bara (Cu) (mm ²)	Kontaktör (A)	Deşarj dirençleri				Kapasite (mF)
							Otomatik		Sabit		
							kW	W	kW	W	
5	7	16	36	3x2,5	12x2	9	31	4	205	3	3x33
10	14	25	36	3x4	12x2	16	15	4	102	5	3x86
15	22	36	63	3x6	12x2	32	10	6	68	8	3x99
20	29	50	63	3x10	12x2	32	68	6	31	10	3x132
25	38	63	100	3x10	25x3	45	15	6	41	12	3x185
30	43	80	100	3x16	25x3	45	15	6	34	15	3x198
40	58	100	200	3x25	25x3	63	15	6	25	20	3x254
50	72	125	200	3x25	25x3	110	15	6	20	25	3x330
60	87	160	200	3x50	25x3	110	1	12	17	30	
80	115	200	300	3x70	25x3	170	1	12	14	34	
100	144	250	300	3x95	25x3	170	1	12	10	50	

Kompanzasyon tesisinde kullanılan kondansatör gücüne göre diğer malzemelerin değerinin belirlenmesi



Merkezi (otomatik) kompanzasyon devresi örneği

4. Güç katsayısının düzeltilmesi (kompanzasyon)

Uygulamada omik (*ısıtıcı, ütü, fırın, akkor telli lâmba vb.*), indüktif (*AA motor, balast, trafo, kaynak makinesi vb.*) ve kapasitif (*kondansatör*) özellikli alıcılar kullanılmaktadır.

Omik alıcılarda akımla gerilim arasında bir faz farkı yoktur. Bu tür alıcılar şebekeden sadece aktif güç çekerler.

İndüktif özellikli alıcılar akımın gerilimden j açısı kadar geri kalmasına yol açarlar. Bu tür alıcılar şebekeden **aktif** ve **reaktif** güç çekerler.

Kapasitif özellikli alıcılar ise akımın j açısı kadar ileride olmasına neden olurlar. Bu tür alıcılarda şebekeden **aktif** (*çok az*) ve **reaktif** güç çekerler.

Önceki konularda da açıklandığı gibi reaktif güç AA üreticiyle alıcı arasında gidip gelir.

Herhangi bir şekilde işe dönüşmesi söz konusu değildir.

Örneğin bir AA motoru manyetik alan oluşturmak için şebekeden belli değerde bir akım çeker. Çekilen akım motorda **dönüşü** (hareketi) sağlamak için manyetik alan oluşturur. Oluşan alan şebeke gerilimi düşerken motorun sargılarında bir öz indüksiyon EMK'sı oluşturur. Oluşan gerilimle birlikte ortaya çıkan akım (enerji) şebekeye geri verilir.

AA kaynak ile alıcı arasında **gidip - gelen** akım alternatörün, hatların, trafoların, şalterlerin ve diğer donanımların **yükünün artmasına** sebep olur. Artan yükü karşılamak için daha yüksek değerli donanımlar kullanılır. Bu nedenle 150 A taşıyan bir sistemin maliyeti 100 A taşıyan bir sistemden daha pahalı olmaktadır.

Endüstriyel tesislerde yoğun olarak AA ile çalışan indüktif özellikli motorlar kullanılmaktadır. Bu motorların güç katsayısı (faz farkı, $\cos \phi$ değeri) 1'den küçüktür.

Uygulamada (pratikte) indüktif özellikli alıcıların $\cos \phi$ değeri **0,40 - 0,70** arasında değişim göstermektedir.

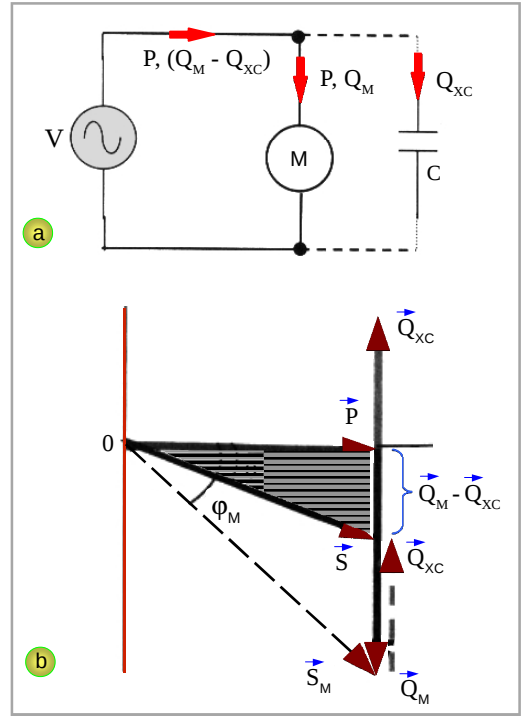
Faz farkının ($\cos \phi$ değerinin) 0,90-0,95 seviyelerine çıkarılması için yapılan işlemlere **güç katsayısının düzeltilmesi (kompanzasyon)** denilmektedir.

İndüktif özellikli alıcılardan kaynaklanan güç katsayısı düşüklüğünü düzeltmek için kondansatörler kullanılmaktadır.

Kondansatörler bobinlerin ihtiyaç duyduğu reaktif gücü karşılayarak şebekenin yükünü azaltmaktadırlar.

Kompanzasyon işlemi pratikte iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar **tek tek kompanzasyon** ve **otomatik (merkezî) kompanzasyon**dur. Otomatik kompanzasyon sistemi son derece sağlıklı çalıştığından ve yapımı kolay olduğundan yaygın olarak tercih edilmektedir.

İlk önce tek tek kompanzasyonun yapılışını inceleyelim: Şekil 9-a'da görülen bir fazlı motora



Şekil 9: Güç katsayısının düzeltilmesine ilişkin vektör diyagramı

paralel olarak bir kondansatör bağlandığını varsayalım. Motor Q_M geri reaktif gücü yanında **P** aktif gücünü de çekmektedir. Kondansatör ise sadece Q_{XC} ileri reaktif gücünü çekmektedir.

Buna göre AA kaynaktan çekilen toplam güç, önce **P** aktif gücü ve Q_M reaktif gücüyken güç katsayısı düzeltildikten sonra **P** aktif gücü ve $Q_M - Q_{XC}$ reaktif gücü olacaktır.

Şekil 9-a'da görüldüğü gibi motorun görünür gücü, S_M ve faz açısı ϕ_M iken, kondansatörle birlikte oluşturulan devrenin görünür gücü **S'**ye ve faz açısı da ϕ' 'ye indirilmiş olur.

Açının küçültülmesiyle $\cos \phi$ büyümekte yani 1'e doğru yaklaşmaktadır.

$Q_M - Q_{XC}$ 'nin sıfır yapılmasıyla kaynaktan çekilen reaktif güç tamamen yok edilerek güç katsayısı **1** yapılabilir. Ancak bu durum **rezonans** olayına yol açabilmektedir. Rezonans olayı şebekeyi olumsuz etkilediğinden güç katsayısının **1** olması istenmez.

Kondansatör kullanılarak güç katsayısının düzeltilmesiyle devrenin aktif gücü değişmez.

Kompanzasyon yapılırken reaktif gücün küçülmesi, görünür gücün ve devre akımının azalmasını sağlar.

Güç katsayısını istenilen düzeye yükseltmek için gereken kondansatör gücü ve kapasitesi şekil 9-b'deki vektör diyagramı kullanılarak hesaplanır. Taralı güç üçgeninden,

$$\tan \theta = \frac{Q_M - Q_{XC}}{P}$$

yazılabilir.

Bu denklemden Q_{XC} değeri çekilecek olursa,

$$Q_{XC} = Q_M - P \cdot \tan \theta$$

eşitliği elde edilir.

P, Q_M , S_M vektörlerinin oluşturduğu güç üçgeninden de,

$$\tan \theta = \frac{Q_M}{P}$$

ya da

$$Q_M = P \cdot \tan \theta$$

denklemi elde edilir.

$$Q_M = P \cdot \tan \theta \text{ denklemi,}$$

$$Q_{XC} = Q_M - P \cdot \tan \theta$$

eşitliğinde Q_M yerine konulursa,

$$Q_{XC} = P \cdot \tan \theta - P \cdot \tan \theta$$

$$Q_{XC} = P \cdot (\tan \theta - \tan \theta)$$

elde edilir.

Denklemden,

Q_{XC} : Kondansatörün reaktif gücü (VAR),

P: Motorun (alıcının) gücü,

θ : Motorun faz açısı (derece),

θ : Düzeltme sanucunda oluşan açı (derece).

Reaktif gücü hesaplanan bir kondansatörün kapasitesi aşağıda verilen denklemle hesaplanabilir.

Kondansatörün şebekeden çektiği reaktif gücün denklemi,

$$Q_{XC} = \frac{V^2}{X_C}$$

şeklinde yazılabilir.

$$Q_{XC} = \frac{V^2}{X_C} \text{ denkleminde } X_C \text{ çekilirse,}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_{XC}} \text{ yazılabilir.}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \text{ eşitliğindeki } X_C \text{ değeri}$$

$$X_C = \frac{V^2}{Q_{XC}} \text{ denkleminde yerine yazılırsa,}$$

$$\frac{V^2}{Q_{XC}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \text{ elde edilir.}$$

Bu denklemden C çekilirse,

$$C = \frac{Q_{XC}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V^2}$$

formülü bulunur. Bu eşitlik kullanılarak X_C değeri belli olan bir kondansatörün kapasite değeri hesaplanabilir.

Örnek 6: 4 kW (4000 W)'lık AA ile çalışan bir motorun şebekeden çektiği akım 26 A, güç katsayısı ($\cos \theta$) 0,70'tir. 220 V ve 50 Hz'lik şebekede çalıştırılan motorun,

a. Güç katsayısını $\cos \theta = 0,90$ yapmak için gerekli kondansatör gücünü (Q_{XC}) ve kapasitesini (C) hesaplayınız.

b. Güç katsayısını $\cos \theta = 0,95$ yapmak için gerekli kondansatör gücünü (Q_{XC}) ve kapasitesini (C) hesaplayınız.

c. Güç katsayısını $\cos \theta = 1$ yapmak için gerekli kondansatör gücünü (Q_{XC}) ve kapasitesini (C) hesaplayınız.

Çözüm:

a. Motorun güç katsayısı $\cos \theta = 0,70$ 'ken $\theta = 45,57^\circ$ 'dir. Olması istenilen güç katsayısı $\cos \theta = 0,90$ 'ken ise $\theta = 25,84^\circ$ 'dir.

$$Q_{XC} = P \cdot (\tan \theta - \tan \theta)$$

$$Q_{XC} = 4000 \cdot (\tan 45,57^\circ - \tan 25,84^\circ)$$

$$Q_{XC} = 4000.(1,02 - 0,48) = 4000.0,54$$

Not: 0,54 değeri sayfa 117'deki çizelge 1'den de bulunabilir.

$$Q_{XC} = 2160 \text{ VAr} = 2,16 \text{ kVAr}$$

Not: Piyasada 2,16 kVAr'lık kondansatör bulunmadığı için 2 kVAr'lık reaktif güce sahip kondansatör temin edilir.

$$C = \frac{Q_{XC}}{2.\pi.f.V^2} = \frac{2160}{2.3,14.50.220^2} = 142,12.10^{-6} \text{ F}$$

Not: $142,12.10^{-6} \text{ F} = 142,12 \text{ mF}$ 'dir. Piyasada 142,12 mF'lık kondansatör bulunmadığı için 150 mF'lık ya da 100 + 47 mF'lık kondansatör temin edilir.

220 V'luk AA'nın maksimum değeri 310,2 V'tur. C'ler AA'nın maksimum değerine şarj olduğundan kompanzasyonda kullanılacak kondansatörün voltaj değeri en az 310,2 V olmalıdır. Piyasada 310,2 V'luk kondansatör olmadığından 350 V'luk C tercih edilir.

b. Motorun güç katsayısı $\cos \phi = 0,70$ 'ken $\phi_M = 45,57^\circ$ 'dir. Olması istenilen güç katsayısı $\cos \theta = 0,95$ 'ken ise $\theta = 18,19^\circ$ 'dir.

$$Q_{XC} = P.(\tan \phi_M - \tan \theta)$$

$$Q_{XC} = 4000.(\tan 45,57^\circ - \tan 18,19^\circ)$$

$$Q_{XC} = 4000.(1,02 - 0,32) = 4000.0,69$$

$$Q_{XC} = 2760 \text{ VAr} = 2,76 \text{ kVAr}$$

Not: Piyasada 2,760 kVAr'lık kondansatör bulunmadığı için 2,5 kVAr'lık reaktif güce sahip kondansatör temin edilir.

$$C = \frac{Q_{XC}}{2.\pi.f.V^2} = \frac{2760}{2.3,14.50.220^2} = 181,6.10^{-6} \text{ F}$$

Not: $181,6.10^{-6} \text{ F} = 181,6 \text{ mF}$ 'dir. Piyasada 181,6 mF'lık kondansatör bulunmadığı için 147 + 33 mF'lık kondansatör temin edilir.

c. Motorun güç katsayısı $\cos \phi = 0,70$ 'ken $\phi_M = 45,57^\circ$ 'dir. Olması istenilen güç katsayısı $\cos \theta = 1$ 'ken ise $\theta = 0^\circ$ 'dir.

$$Q_{XC} = P.(\tan \phi_M - \tan \theta)$$

$$Q_{XC} = 4000.(\tan 45,57^\circ - \tan 0^\circ)$$

$$Q_{XC} = 4000.(1,02 - 0)$$

$$Q_{XC} = 4080 \text{ VAr} = 4,08 \text{ kVAr}$$

Not: Piyasada 4,08 kVAr'lık kondansatör bulunmadığı için 4 kVAr'lık reaktif güce sahip kondansatör temin edilir.

$$C = \frac{Q_{XC}}{2.\pi.f.V^2} = \frac{4080}{2.3,14.50.220^2} = 268,46.10^{-6} \text{ F}$$

Not: $268,46.10^{-6} \text{ F} = 268,46 \text{ mF}$ 'dir. Piyasada 268,46 mF'lık kondansatör bulunmadığı için 220 + 47 mF'lık kondansatör temin edilir.

Sonuç: $\cos \phi$ değerini,

0,70'ten 0,90'a yükseltmek için 2,16 kVAr,

0,70'ten 0,95'e yükseltmek için 2,76 kVAr,

0,70'ten 1'e yükseltmek için 4,08 kVAr

reaktif güce sahip kondansatör gerekmektedir.

Elektrik enerjisi dağıtım kurumu (TEDAŞ) $\cos \theta$ değerinin 1 olmasını istememektedir. (*Cos q'nin 1 olması rezonansa ve şebeke geriliminde yükselmelere yol açar.*) O nedenle uygulamada 0,90 ile 0,98 arası değerler arasında bir kompanzasyon yeterli olmaktadır.

5. AA ile beslenen devrelerin gücünün ölçülmesi

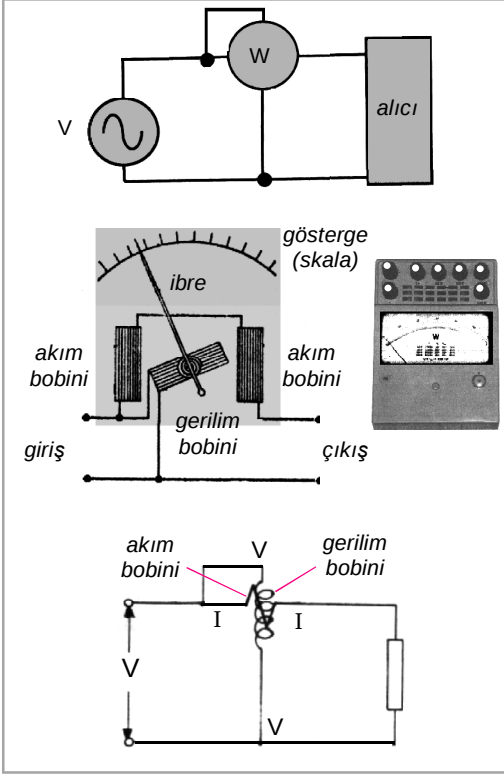
a. Aktif güç (P) ölçme

Alıcıların şebekeden çektiği güç şu yöntemlerle ölçülebilir:

I. Wattmetreyle güç ölçme

Şekil 10'da verilen bağlantı yapılarak bir fazlı alıcının çektiği aktif güç doğrudan ölçülebilir.

Wattmetrenin akım bobini alıcıya seri, gerilim bobini ise paralel bağlanır. Uygulamada analog (örneksel, ibreli) ve dijital (sayısal) tip wattmetreler kullanılmaktadır. Dijital tip wattmetrelerin fiyatları her geçen gün düştüğü için yaygın olarak kullanım alanına girdikleri görülmektedir.



Şekil 10: 1 fazlı wattmetrenin devreye bağlantısı

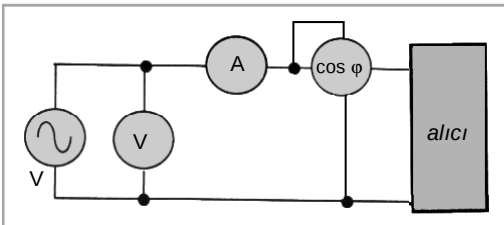
II. Ampermetre, voltmetre ve $\cos \phi$ metre ile güç ölçme

Şekil 11'de verilen bağlantı yapılarak alıcının çektiği aktif gücü belirlemek için V , I , $\cos \phi$ değerleri tespit edildikten sonra,

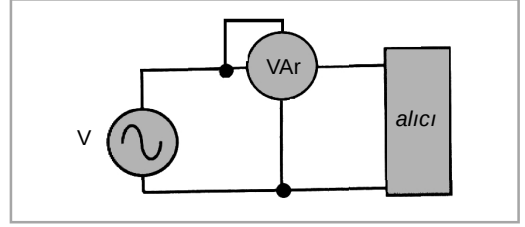
$$P = V.I.\cos \phi$$

formülüyle güç hesaplanır.

Not: Wattmetre, ampermetre, voltmetre, kosinüsfi metre ($\cos \phi$ metre) hakkında ek bilgi edinmek için laboratuvar (ölçme tekniği) kitaplarına bakılmalıdır.



Şekil 11: Ampermetre, voltmetre ve kosinüsfi-metreyle aktif güç ölçme bağlantı şeması



Şekil 12: 1 fazlı VARmetrenin devreye bağlantısı

b. Reaktif (kör) güç ölçme

Bir alıcının şebekeden çektiği reaktif (kör) gücü ölçmek için şekil 12'de verilen bağlantı şeması kullanılır.

Eğer ölçüm yapmak için VARmetre mevcut değilse, voltmetreyle gerilim, ampermetreyle akım, kosinüsfi metreyle faz farkı tespit edilir. kosinüsfi metrenin gösterdiği değerin açısal karşılığı trigonometri cetveli ya da hesap makinesiyle belirlenir. Açının $\sin \phi$ karşılığı yine trigonometri cetveli ya da hesap makinesi ile saptanır. Ardından,

$$Q = V.I.\sin \phi$$

denklemini kullanarak alıcının şebekeden çektiği reaktif güç hesaplanır.

Eğer $P_2 > P_1$ ise A_p pozitif bir sayıdır ve **güç kazancı** söz konusudur.

$P_2 < P_1$ ise A_p negatif bir sayıdır ve **güç zayıflaması** söz konusudur.

$P_2 = P_1$ ise $A_p = 0$ dB'dir.

Bazı durumlarda, devrenin çıkışına yük olarak bağlanan R_Y direnci, devrenin giriş uçlarından ölçülen R_1 direncine eşittir ($R_Y = R_1$). Bu durumda devrenin gerilimleri ya da akımları kullanılarak güçler,

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R_Y} \quad \text{ve} \quad P_2 = \frac{V_2^2}{R_Y}$$

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_Y \quad \text{ve} \quad P_2 = I_2^2 \cdot R_Y$$

şeklinde yazılabilir.

Bu ifadeler, $A_p = 10 \log \left[\frac{P_2}{P_1} \right]$ denkleminde

yerine konularak,

$$A_p = 10 \log \left[\frac{V_2^2}{V_1^2} \right] \text{'den}$$

$$A_p = 20 \log \left[\frac{V_2}{V_1} \right] \text{ ve}$$

$$A_p = 10 \log \left[\frac{I_2^2}{I_1^2} \right] \text{'den}$$

$$A_p = 20 \log \left[\frac{I_2}{I_1} \right]$$

formülleri yazılabilir.

P_1 ve P_2 güçleri doğrudan doğruya ölçülmüşse güç değişimi desibell olarak,

$$A_p = 10 \log \left[\frac{P_2}{P_1} \right]$$

ile hesaplanır.

Eğer gerilim ya da akım ölçümleri yapılmışsa, güç değişiminin bulunmasında,

$$A_p = 20 \log \left[\frac{V_2}{V_1} \right]$$

ya da

$$A_p = 20 \log \left[\frac{I_2}{I_1} \right]$$

denklemleri kullanılabilir.

Ancak denklemlerin elde edilmesinde, aynı R_Y direnci yerine, giriş ve çıkış devreleri için farklı dirençler kullanılırsa,

$$A_p = 20 \log \left[\frac{V_2}{V_1} \right] \text{ ve } A_p = 20 \log \left[\frac{I_2}{I_1} \right]$$

denklemleri **güç değişimi yerine** sırasıyla, **gerilim** ve **akım** değerlerini bildirir.

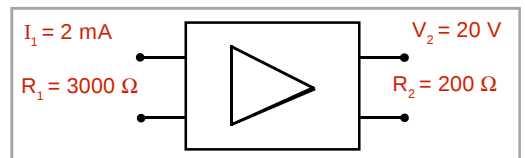
Örnek 7: Bir ses frekans yükselteci (anfi) devresinin giriş gerilimi $V_1 = 2$ V, çıkış gerilimi $V_2 = 4$ V olarak ölçülmüştür. Devrenin güç değişimini hesaplayınız.

Çözüm:

$$A_p = 20 \log \left[\frac{V_2}{V_1} \right] = 20 \log \left[\frac{4}{2} \right]$$

$$A_p = 20,0,301 = 6,02 \text{ dB}$$

Örnek 8: Şekil 13'te verilen yükselteç devresinin giriş direnci $R_1 = 3000 \Omega$ 'dur. Bu devre çıkışa bağlı $R_Y = 200 \Omega$ 'luk bir yükü beslemektedir. Giriş akımı $I_1 = 2$ mA (0,002 A) ve yük gerilimi $V_2 = 20$ V ise dB cinsinden güç kazancını (A_p) ve dB olarak gerilim kazancını (A_v) hesaplayınız.



Şekil 13: Yükselteç devresinin blok şeması

nedir? Açıklayınız.

7. Bir elektrikli ısıtıcı 220 V'luk şebekeden 5 A akım çekmektedir. Isıtıcının gücünü ve direncini bulunuz.

8. 2 H'lik bir bobin 50 Hz'lik frekansa sahip bir AA kaynaktan 40 mA akım çekmektedir.

- Bobinin indüktif reaktansını bulunuz.
- Bobinin gerilimini bulunuz.
- Bobinin reaktif gücünü bulunuz.

9. Seri R - L devresinin gerilimi 10 V, akımı 0,2 A, gücü 12 W'tır. Devrenin direncini ve indüktif reaktansını bulunuz.

10. Paralel R - C devresinin gerilimi 22 V, akımı 0,2 A, reaktif gücü 40 VAR'dır. AA kaynağın frekansı 50 Hz olduğuna göre devre direncini ve kondansatörün kapasitesini bulunuz.

11. 20 kVA'lık bir alternatör güç katsayısı 0,70 olan bir indüktif yükü beslemektedir. Alternatörün verebileceği aktif gücü hesaplayınız.

12. Seri R - L devresinin gerilimi 30 V, akımı 1 A, faz açısı 35° 'dir. Devrenin görünür, aktif ve reaktif gücünü bulunuz.

13. 220 V, 50 Hz, 10 A ve 0,6 güç katsayılı bir motorun güç katsayısını,

- 0,85,
- 0,95 yapmak için paralel bağlanması gereken kondansatörün güç değerini hesaplayınız.

14. Bir sinyal jeneratörünün güç seviyeleri $P_1 = 4 \text{ mW}$ ve $P_2 = 60 \text{ mW}$ olarak ölçülmüştür. P_1 'den P_2 'ye olan güç değişimini dB cinsinden hesaplayınız.

Sorular

- Aktif güç nedir? Açıklayınız.
- Reaktif (kör) nedir? Açıklayınız.
- Görünür (zahirî) güç nedir? Açıklayınız.
- Güç katsayısı (faz farkı) nedir? Açıklayınız.
- İndüktif alıcılar çektikleri reaktif gücü ne yaparlar? Açıklayınız.
- Güç katsayısının düşük olmasının zararı

Kondansatör gücü, $Q_{xc} = P.(tan \varphi - tan \theta)$						
Cos φ	$Tan \varphi = \frac{Q_{xc}}{P}$	İstenilen cos θ için (tan φ - tan θ) değeri				
		0,80	0,85	0,90	0,95	1
0,40	2,29	1,54	1,67	1,81	1,96	2,29
0,41	2,23	1,47	1,61	1,74	1,90	2,23
0,42	2,16	1,41	1,54	1,68	1,83	2,16
0,43	2,10	1,35	1,48	1,61	1,77	2,10
0,44	2,04	1,29	1,42	1,56	1,71	2,04
0,45	1,99	1,24	1,37	1,51	1,66	1,99
0,46	1,93	1,18	1,31	1,45	1,60	1,93
0,47	1,88	1,13	1,26	1,40	1,55	1,88
0,48	1,83	1,08	1,21	1,34	1,50	1,83
0,49	1,78	1,02	1,16	1,29	1,45	1,78
0,50	1,73	0,98	1,11	1,25	1,40	1,73
0,51	1,69	0,94	1,06	1,20	1,36	1,69
0,52	1,64	0,89	1,03	1,16	1,31	1,64
0,53	1,60	0,85	0,98	1,12	1,27	1,60
0,54	1,56	0,81	0,94	1,08	1,23	1,56
0,55	1,52	0,77	0,90	1,03	1,19	1,52
0,56	1,48	0,73	0,86	1,00	1,15	1,48
0,57	1,44	0,69	0,82	0,96	1,11	1,44
0,58	1,41	0,66	0,78	0,92	1,08	1,41
0,59	1,37	0,62	0,75	0,89	1,04	1,37
0,60	1,33	0,58	0,71	0,85	1,01	1,33
0,61	1,30	0,55	0,68	0,82	0,97	1,30
0,62	1,27	0,52	0,65	0,78	0,94	1,27
0,63	1,23	0,48	0,61	0,75	0,90	1,23
0,64	1,20	0,45	0,58	0,72	0,87	1,20
0,65	1,17	0,42	0,55	0,69	0,84	1,17
0,66	1,14	0,39	0,52	0,66	0,81	1,14
0,67	1,11	0,36	0,49	0,62	0,78	1,11
0,68	1,08	0,33	0,46	0,59	0,75	1,08
0,69	1,05	0,30	0,43	0,57	0,72	1,05
0,70	1,02	0,27	0,40	0,54	0,69	1,02
0,71	0,99	0,24	0,37	0,51	0,66	0,99
0,72	0,96	0,21	0,34	0,48	0,64	0,96
0,73	0,94	0,19	0,32	0,45	0,61	0,94
0,74	0,91	0,16	0,29	0,43	0,58	0,91
0,75	0,88	0,13	0,26	0,40	0,55	0,88
0,76	0,86	0,11	0,23	0,37	0,53	0,86
0,77	0,83	0,08	0,21	0,35	0,50	0,83
0,78	0,80	0,05	0,18	0,32	0,47	0,80
0,79	0,78	0,03	0,16	0,29	0,45	0,78

Çizelge 1: Güç katsayısının düzeltilmesi cetveli