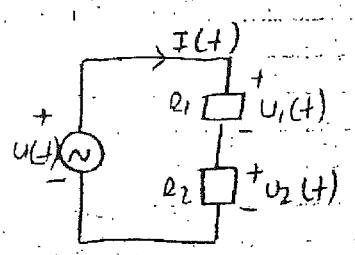
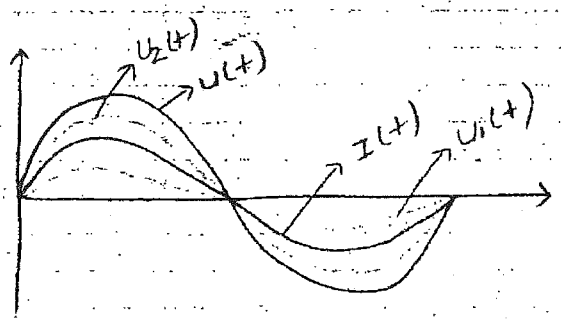
Elk-Tiro Tek. Not

ANTERNATİF (Değişken) AKIM :

Değeri ve yönü zamana göre sin biçiminde değişen akımlara alternatif akımlar denir.



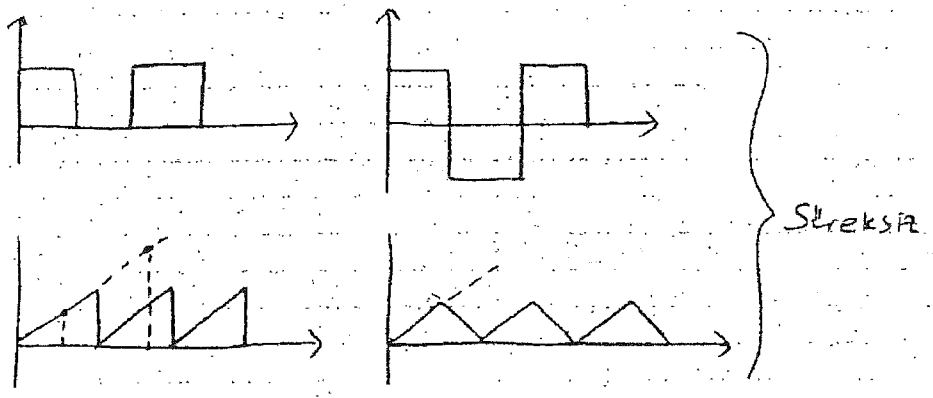


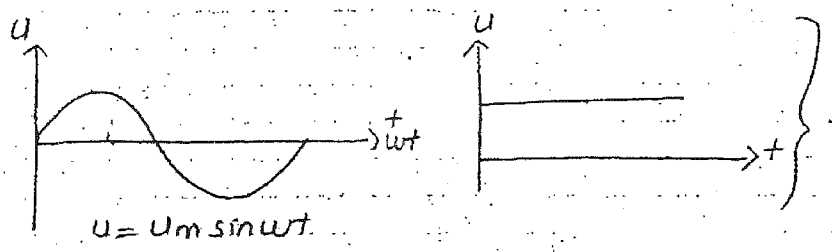
$$I(t) = \frac{U(t)}{R_1+R_2}$$

$U_1(t) = R_1 . I(t)$ $\qquad$ $U(t) = U_m . \sin \omega t$

$U_2(t) = R_2 . I(t)$ $\qquad$ $I(t) = I_m \sin \omega t$

$U(t) = U_1(t) + U_2(t)$ $\qquad$ $I_m = \frac{U_m}{R_1+R_2}$

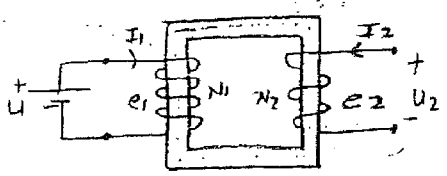


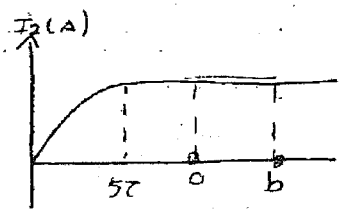


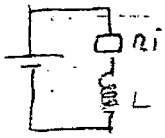
$u = U_m \sin \omega t$

Bütün fonksiyonların (işaretlerin) fourier açılımları yardımıyla sin ve cos'lu bileşenlerine ayrılabildiğinden sin biçimli değişimin teknik ve temel temel bir yeri vardır. Bir sürekli fonk. ldur.

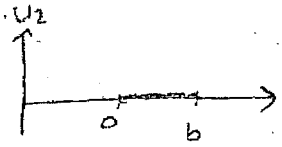
Alternatif akımın doğru akıma olan üstünlüğü transformatörler yardımıyla istenilen değerler kullanım yerine göre ayarlanabilmesidir. Bu durum enerjinin taşınabilme imkanını sağlar.

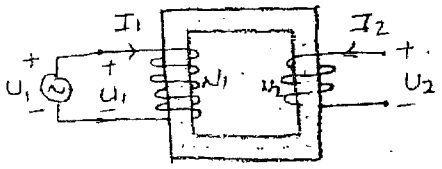






$$e = N \frac{d\phi}{dt} \rightarrow \sin bt$$





$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

$$\phi = \phi_{max} \sin \omega t$$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \; I_2$$

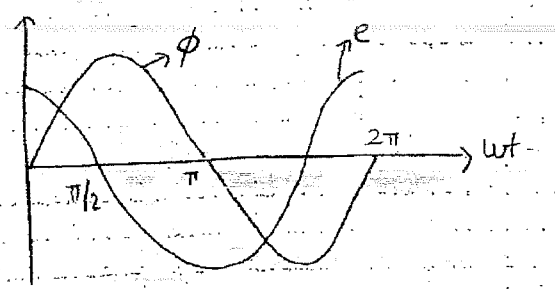
Transformatör bize enerjiyi daha küçük akımla taşımamızı sağlar.

Sarım sayısı N olan bir sargı değişken bir akıya maruz kalırsa;

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = N \frac{d}{dt}(\phi_m \sin \omega t)$$

$$e = \underbrace{\phi_m N \cdot \omega}_{e_m} \cos \omega t = e_m \cos \omega t$$

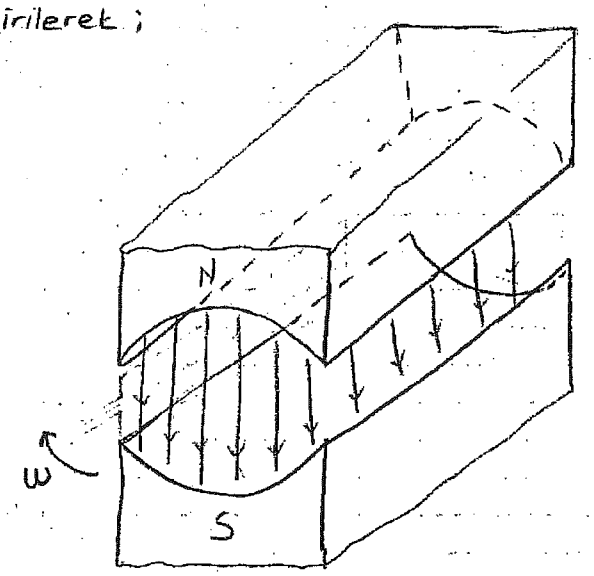
$$= e_m \sin\left(\omega t + \underbrace{\frac{\pi}{2}}_{\varphi}\right) = e_m \sin(\omega t + \varphi)$$

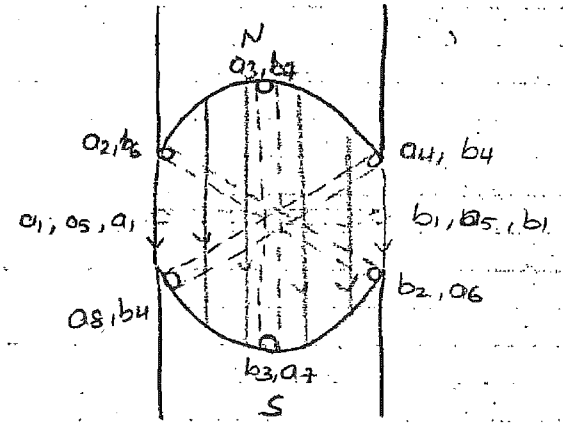


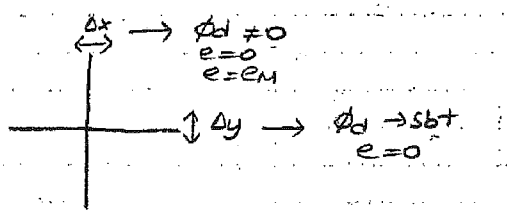
e ile ϕ arasında belirli bir açı farkı vardır. (90°). Burada φ'ye faz açısı denir. Hesaplamalarda sin yada cos farketmez. Bu durumda e, ϕ'ye göre 90° ileri fazdadır denir. Yada ϕ, e'ye göre 90° geri fazdadır denir.

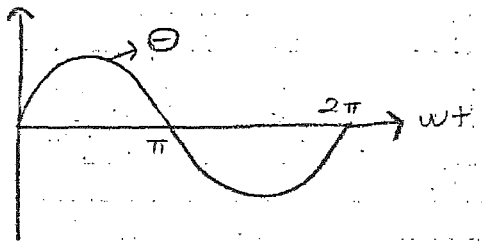
Akımın sin fonksiyonu ile değişimi 2 yolla sağlanabilir.

1. Sbt bir manyetik alan içerisinde iletken bir çerçeve hareket ettirilerek;





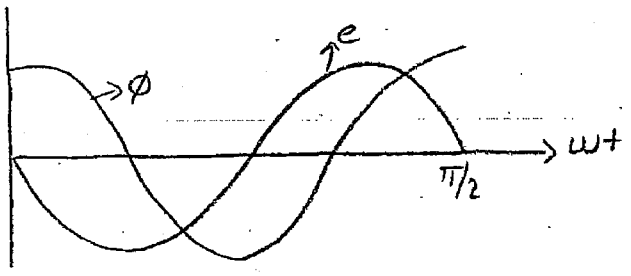


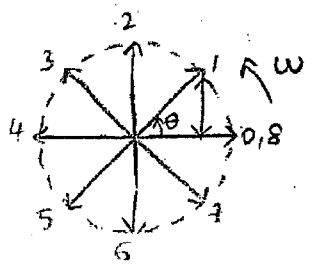


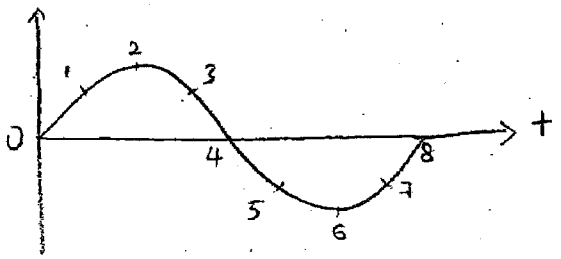
İletken çerçeve sbt bir manyetik alan içerisinde sbt bir ω açısal hızıyla kendi ekseni etrafında döndürülürse sin fonk ile değişen bir akıya maruz kalır ve iletkenli bir gerilim indüklenir (indüksiyon yasasına göre). İletkenin maruz kaldığı akı iletkenin konumunun bir fonk.dur. $\theta = \omega t$

$\phi = \phi_m \sin \omega t$?

$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = N \cdot \frac{d}{dt}(\phi_m \cos \omega t) = \phi_m \cdot N \cdot \omega \cdot (-\sin \omega t) = -e_m \sin \omega t = e_m \cos(\omega t + \pi/2)$



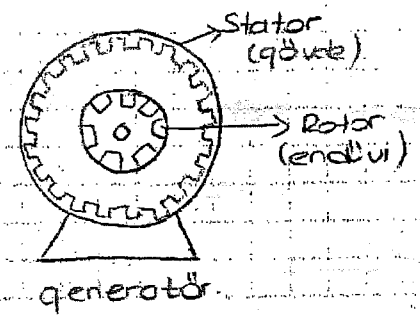


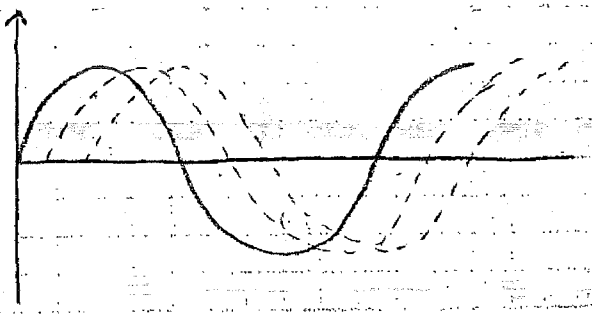


İletken çerçevenin bir devri boyunca indüklenen elektromotor kuvvetin (gerilimin) değeri yönü de saptanarak çizilirse alternatif akım eğrisi elde edilir.

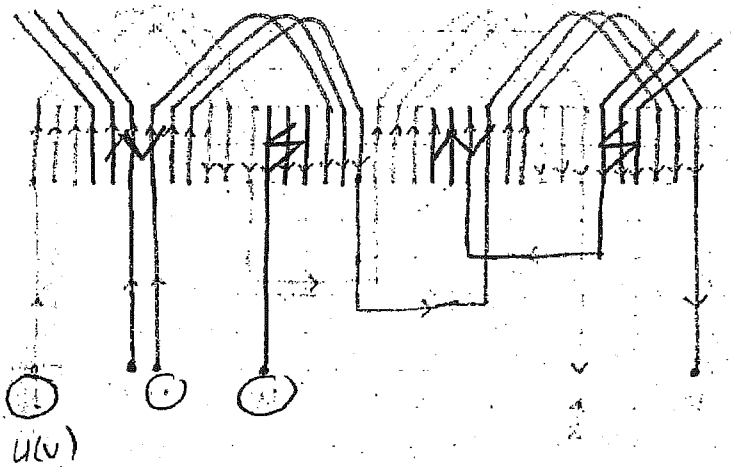
$e_m \propto N, \omega, \Phi_m$

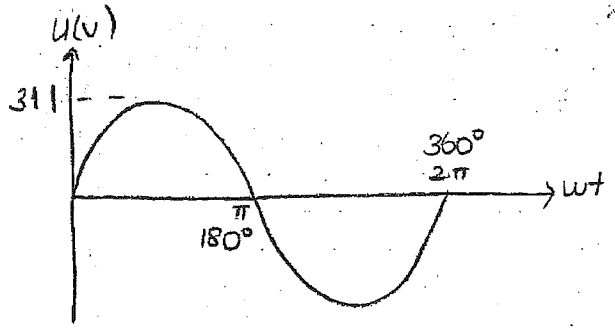
Yukarıdaki yöntemde sbt bir manyetik alan içerisinde iletkenin hareketiyle alternatif gerilim üretildi. Bunun tersinde mümkündür. Yani iletken çerçeve içerisinde sbt bir manyetik alanın oluşturulduğu eleman sbt bir ω açısal hızıyla döndürülürse iletken çerçeve yine sinüsoidal bir akıyla maruz kalır. Dolayısıyla iletkende alternatif gerilim indüklenir. 1. yöntem doğru akım generatörünün, 2. yöntemde alternatif akım generatörünün çalışma prensibidir.





* 4 kutuplu, 36 oluklu bir bobin şeması :

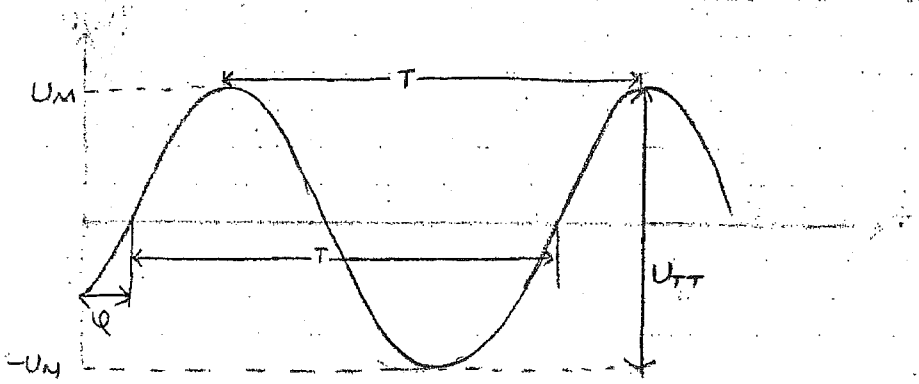




$U = U_m \sin \omega t$
$= 311 \sin \omega t$

$20° \rightarrow U_{20} = 311 \cdot \sin 20$
$= 106,368\ V$

$1,2\pi \rightarrow U_{1,2\pi} = 311 \sin(1,2\pi)$
$= -182,8\ V$



U_M = Max değer (tepe değeri)

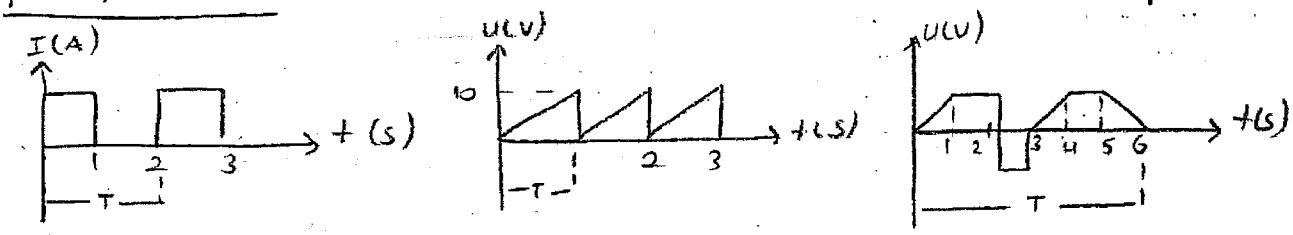
U_{ef} = Efektif değer

U_{TT} = Tepeden tepeye değer $= 2U_M$

T = Periyot : fonksiyonun kendisini tekrarlamaya başladığı ana kadar geçen süredir.

Sinüsoidal yada cosinüsoidal fonksiyonlarda bir periyot 360° yada 2π 'dir

f = frekans : 1 sn icerisindeki periyot sayısı $f = \frac{1}{T}$



$= 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

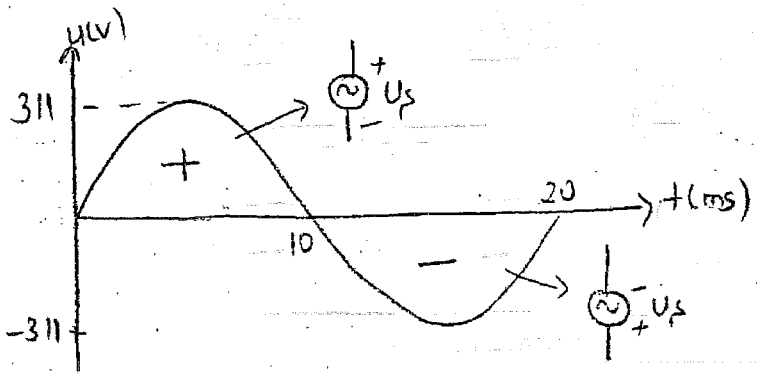
$U_m = 311\,V$

$U_{ef} = 220\,V$

$\omega = 314\,\frac{r}{s}$

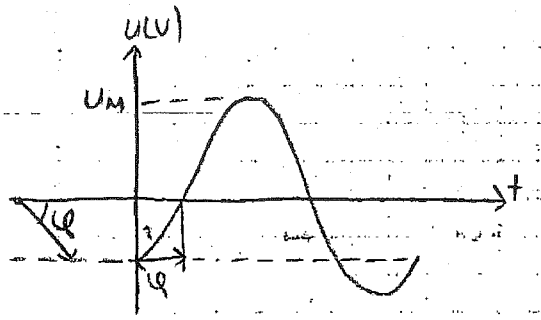
$T = 20\,ms$

$f = \frac{1}{20} \cdot 10^{-3} = 50\,Hz$ (Hertz)

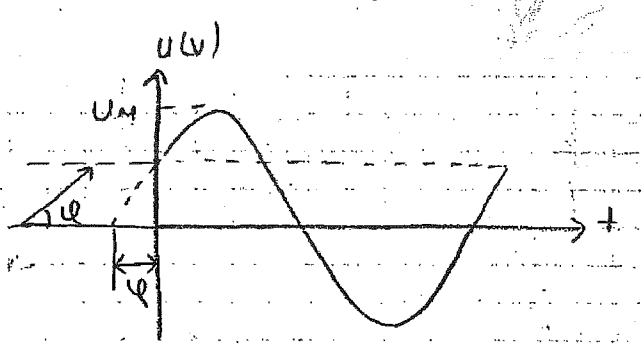


Her bir yarım dalgaya "alternas" denir. Pozitif alternas ve negatif alternas vardır.

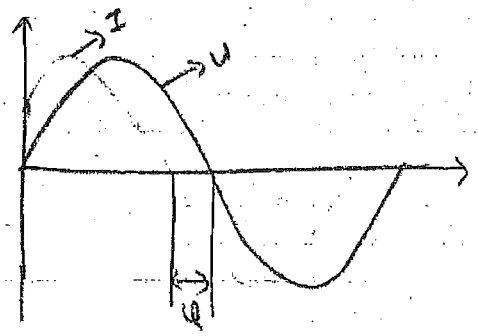
φ = faz açısı : zamanın sayılmaya başladığı anda fonksiyonun değerini veren açı.



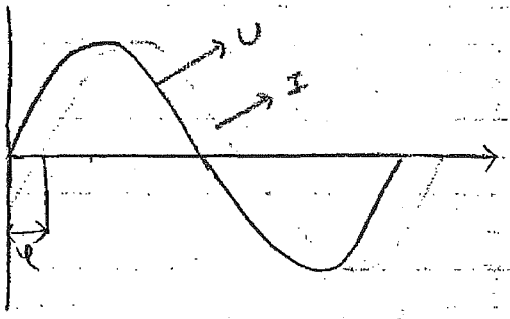
$U = U_M \cdot \sin(\omega t - \varphi)$
Geri fazda



$U = U_M \cdot \sin(\omega t + \varphi)$
İleri fazda



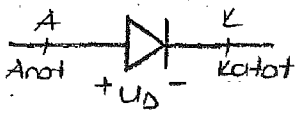
U, I'dan φ kadar geri fazdadır
I, U'dan φ // İleri //



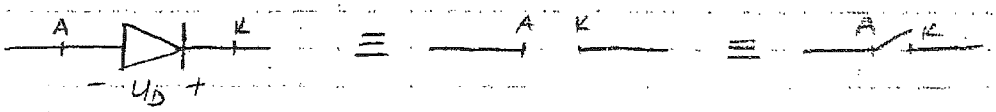
U, I'dan φ kadar ileri fazdadır
I, U'dan φ // geri //

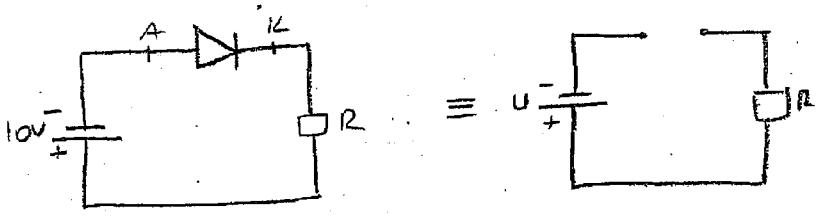
A. Doğrultucu Diyot

Doğrultucu olarak kullanılan en temel elektronik devre elemanı diyottur. Diyot bir yönde elektronu geçiren diğer yönde geçirmeyen yarı iletken elemandır.

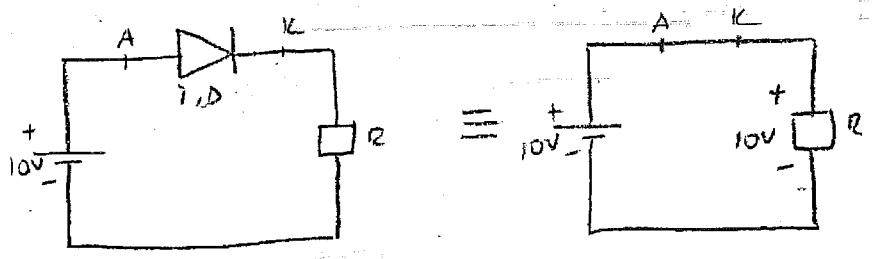


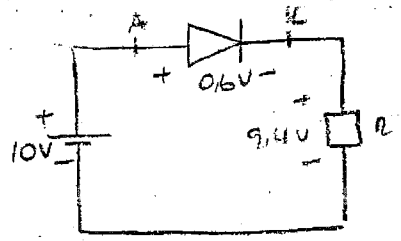
a.) Diyota ilişkin anot gerilimi katot gerilimindeyse (yada eşitse) diyot kesimde olur. Bu durumda açık devre elemanı gibi davranır ve akımı geçirmez.





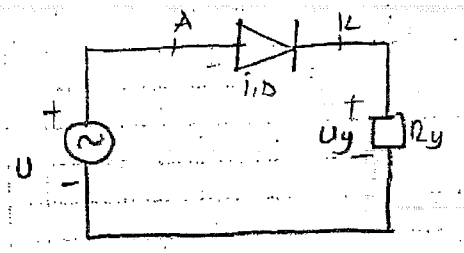
b-) Diyota ilişkin anot gerilimi katot geriliminden büyükse diyot iletime geçer ve akımı geçirir. Eğer diyot ideal ise, iletime geçmesi için gerilim farkının çok az büyük olması yeterlidir ve ideal diyot iletimde kısa devre elemanı gibi davranır. Yani kapalı bir anahtar olarak düşünülebilir. Diyot ideal değilse; anot geriliminin katot geriliminden yaklaşık 0,6V kadar büyük olması gerekir. Bu durumda iletime geçen diyot akımı geçirir ve üzerinde 0,6 V düşürür.

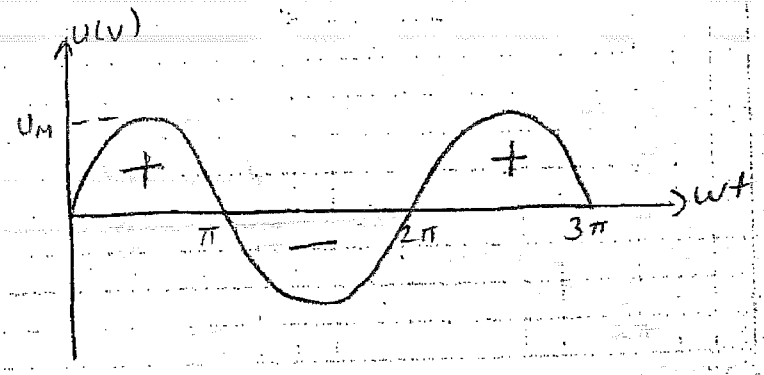




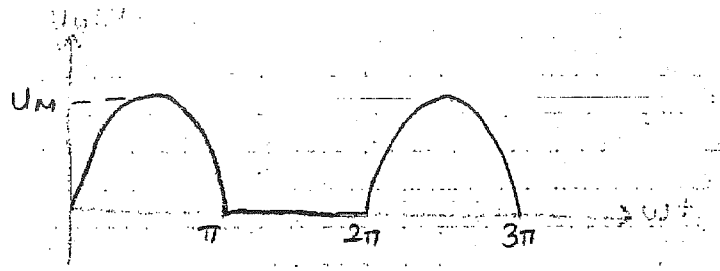
NOT: Burada 0,6 V'a eşik gerilimi denir.

Yarım Dalga Doğrultucu:

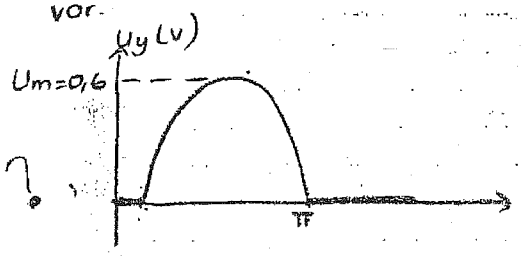




$u = U_m \sin\omega t$

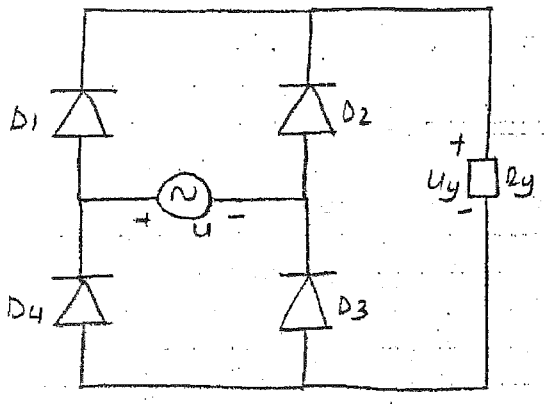


Akım sadece yarım dalgalarda akıyor. Yarım dalga devre doğrultucu devresi var.

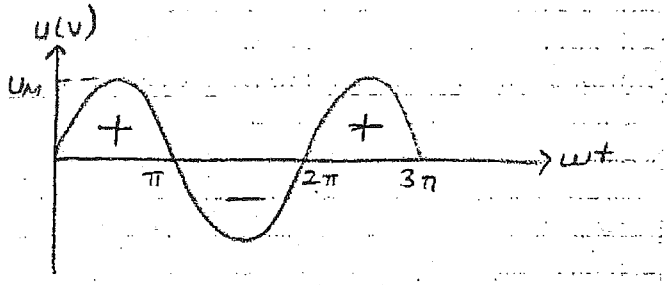


=> (ideal diyot olmazsa)

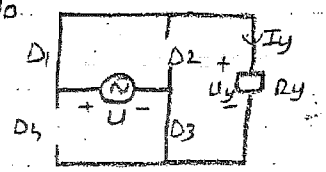
Eğer R_y'den geçen akımın her iki alternasta da aynı yönde akması istenilyorsa bu durum tam dalga doğrultucu ile mümkün olur.



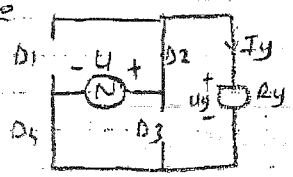
$u = U_m \sin \omega t$

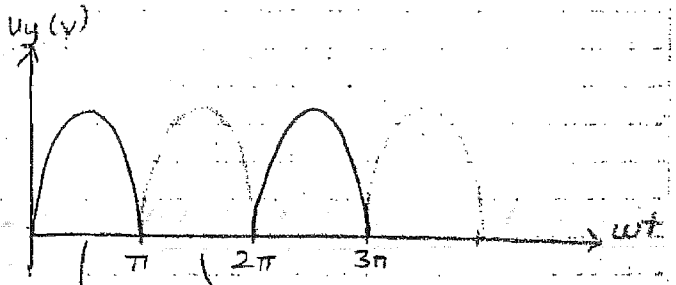


(+) 'da



(−) 'de

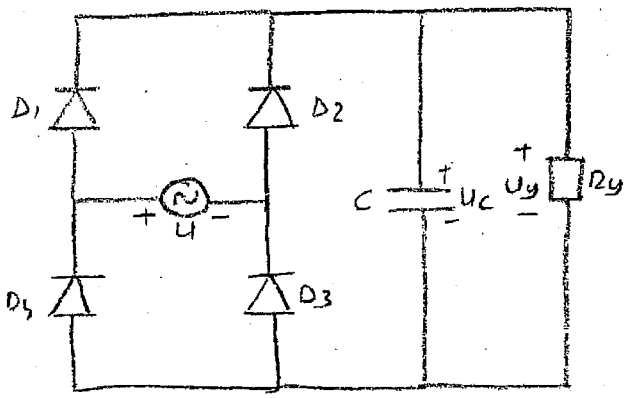


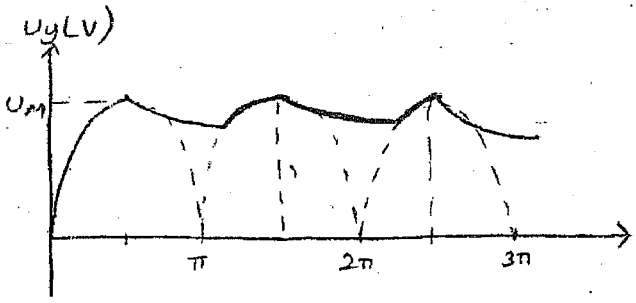


D_1, D_3 iletimde
D_2, D_4 kesimde

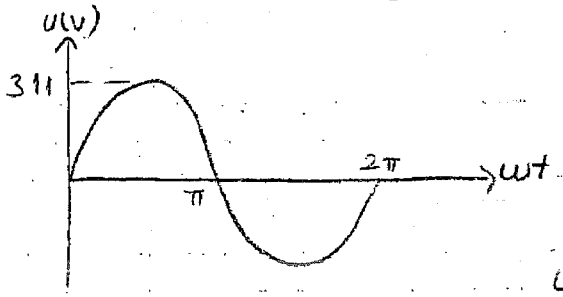
D_2, D_4 iletimde
D_1, D_3 kesimde

Tam dalga doğrultucuda R_y'den geçen akımın değeri yarım dalga doğrultucuya göre 2 kat artmıştır. R_y'ye uygun değerde paralel bağlı bir kondansatör bağlarsak gerilimin ortalama değeri daha da artar.





Herhangi bir $f(t)$ fonksiyonunun ortalama değeri f_{or} ise $f_{or} = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\cdot dt = \frac{Alan}{periyot}$

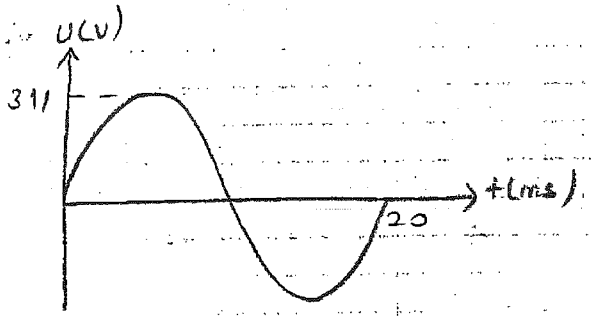


$$u(t) = U_M \sin \omega t$$

$$U_{or} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u(t)\cdot d\omega t$$

$$U_{or} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} 311 \sin \omega t \cdot d\omega t$$

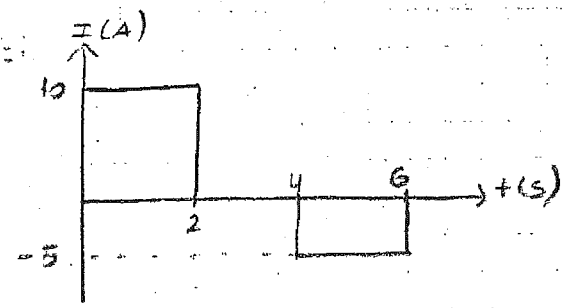
$$U_{or} = \frac{311}{2\pi}\left(-\cos \omega t\right)\Big|_0^{2\pi}$$



$$U_{ort} = \frac{1}{0{,}02} \int_0^{0{,}02} 311 \sin \omega t \, dt$$

$$= \frac{311}{0{,}02 \cdot \omega} (-\cos \omega t) \Big|_0^{0{,}02}$$

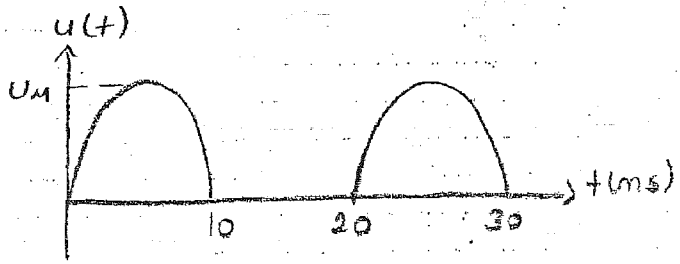
$\omega \rightarrow 314 \frac{r}{s}$



$I_{or} = ?$

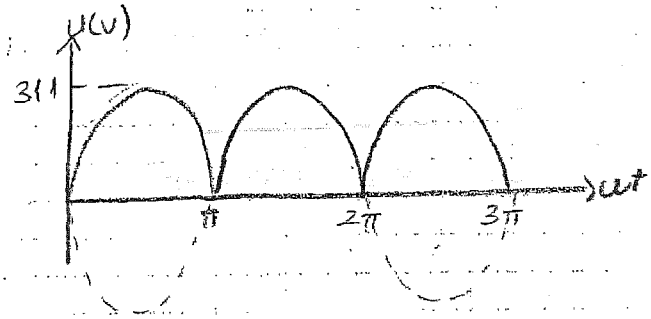
$$I_{or} = \frac{1}{6} \left[\int_0^2 10 \, dt + \int_4^6 (-5) \, dt \right]$$

$$= \frac{1}{6} (20 - 10) = \frac{10}{6} \, A$$



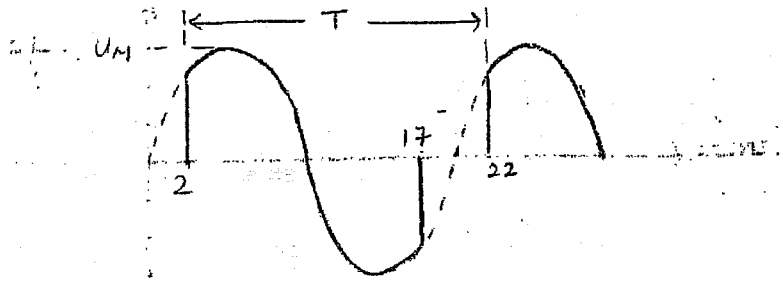
$$U_{or} = \frac{1}{0{,}02} \int_0^{0{,}01} U_M \sin \omega t \, dt$$

$$U_{or} = \frac{1}{0{,}02} \int_0^{0{,}01} 311 \sin \omega t \, dt$$

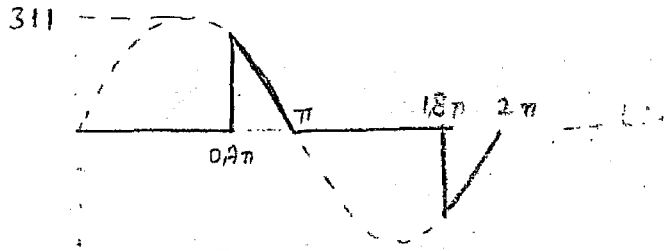


$$U_{or} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} 311 \sin \omega t \, d\omega t$$

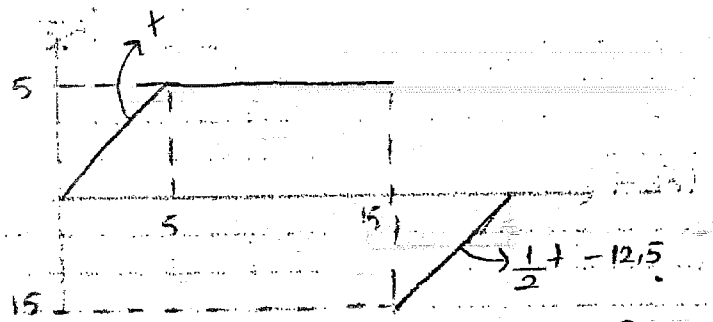
$$U_{or} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} U_M \sin \omega t \, d\omega t + \int_{\pi}^{2\pi} (-U_m \sin \omega t \, d\omega t) \right]$$



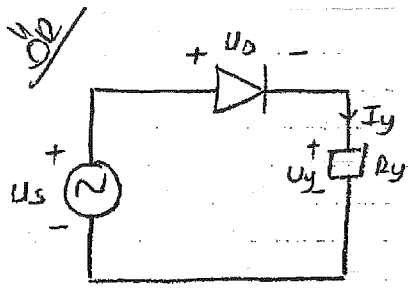
$$U_{or} = \frac{1}{0{,}02}\int_{0{,}002}^{0{,}007} U_m \cdot \sin \omega t \, dt = \frac{311}{0{,}02}\int_{0{,}002}^{0{,}007} \sin \omega t \cdot dt$$



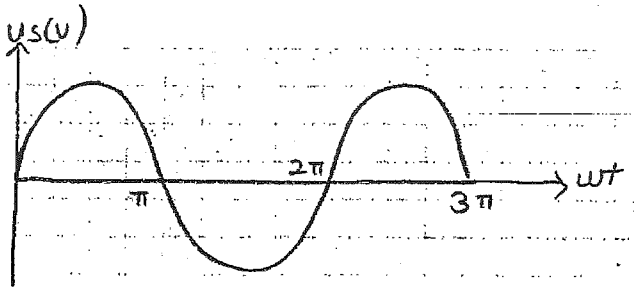
$$U_{or} = \frac{1}{2\pi}\left[\int_{0{,}2\pi}^{\pi} 311 \sin \omega t \, d\omega t + \int_{1{,}8\pi}^{2\pi} 311 \sin \omega t \cdot d\omega t\right]$$

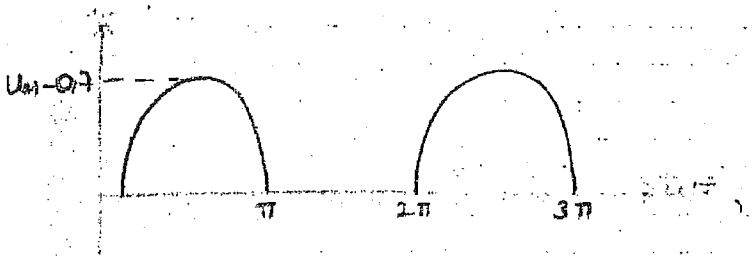


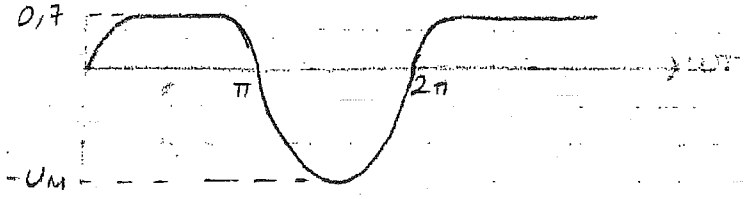
$$I_{or} = \frac{1}{25}\left[\int_0^5 t \cdot dt + \int_5^{15} 5 \cdot dt + \int_{15}^{25}\left(\frac{1}{2}t - 12{,}5\right) \cdot dt\right] = 1{,}5\,A$$



$U_D = 0{,}7\ V$

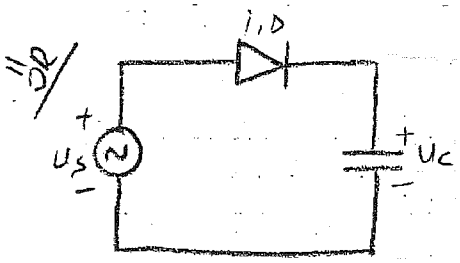


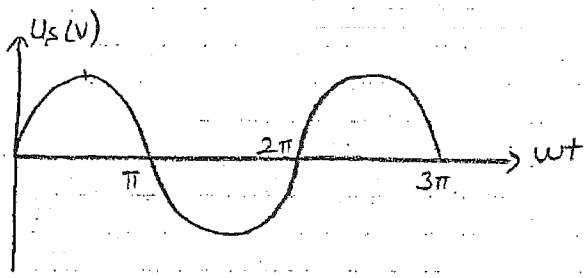


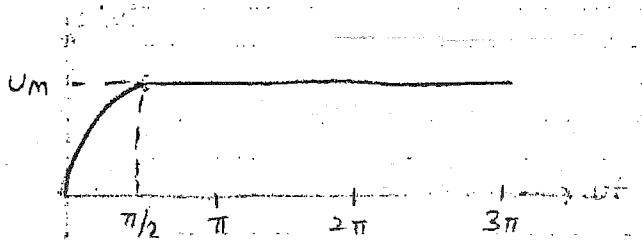


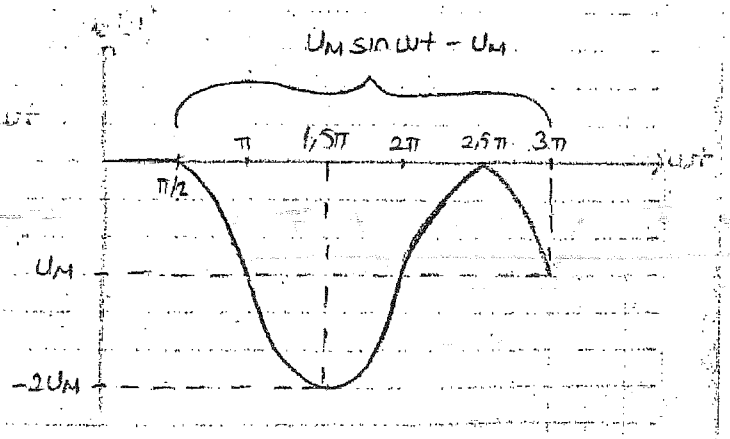
$U_s = U_D + U_y$

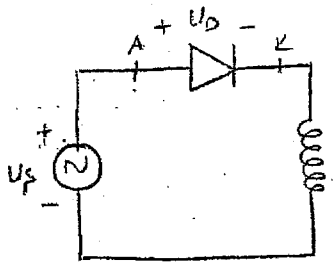
$U_D = U_s - U_y$



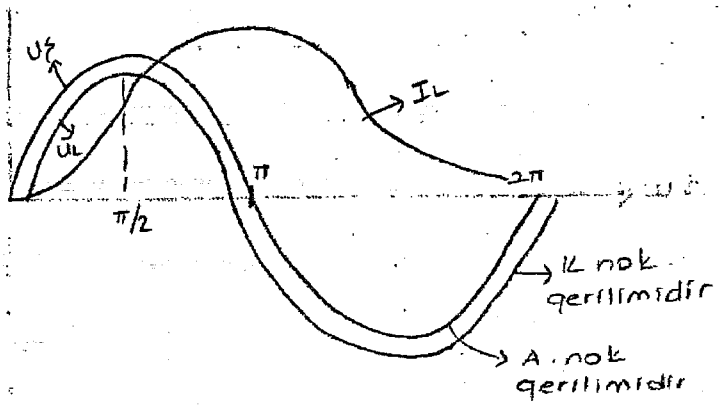


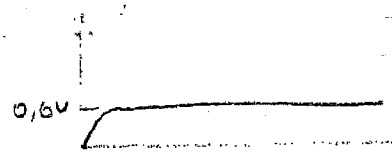




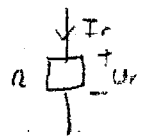


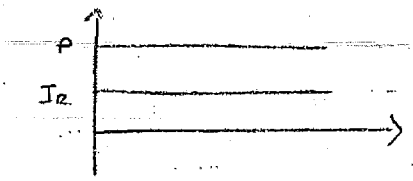
$U_D = 0{,}6V$





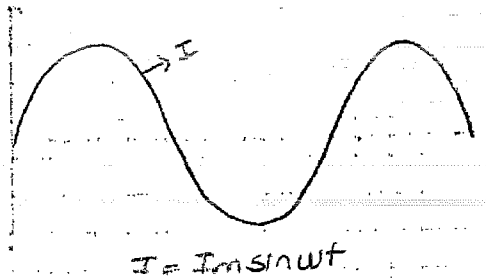
Alternatif akımın efektif değeri, alternatif akımın doğru akıma eşdeğer olduğu değerdir. Alternatif akım yada gerilim değerleri verilirken herhangi birşey belirtilmemişse efektif değer olarak kabul edilir.



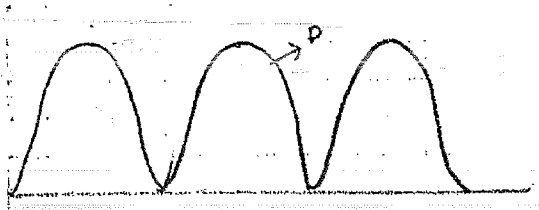


$P = I_R^2 \cdot R$

(Doğru akımsa)



$I = I_m \sin \omega t$

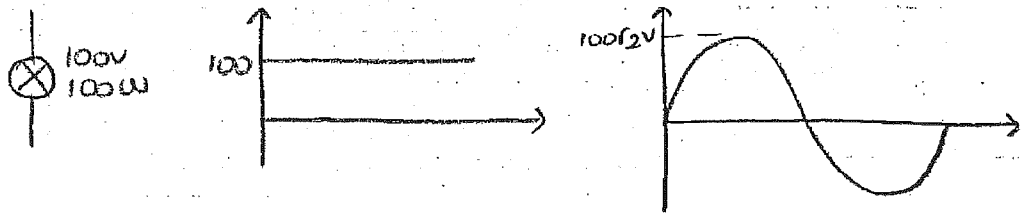


$$P = \frac{1}{T}\int_0^T I^2 \cdot R \, dt = \frac{1}{T}\int_0^T R \cdot I_m^2 \sin^2 \omega t \, dt = \frac{1}{T}\int_0^T R \, I_m^2 \left[\frac{1-\cos 2\omega t}{2}\right] dt$$

$$= \boxed{P = \frac{I_m^2 \cdot R}{2}}$$

Alternatif akımda $\frac{1}{2}$ katsayısının işlemlere girmesi karışıklığa neden olabilir. Ayrıca alternatif akımın hangi değerleriyle işlemler yapılmalı ki sonuçlar doğru akımdaki sonuçlarla aynı olmalı. Bu nedenle efektif değer tanımlanmıştır. Bu tanıma göre; $P = I_{ef}^2 \cdot R$

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$



$$U_{ef} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

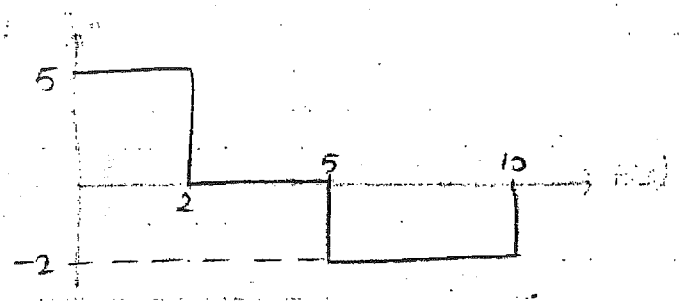
Bir $f(t)$ fonk. efektif değeri f_{ef} olsun

$$f_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f(t)^2 \cdot dt}$$

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} U_m^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} U_m^2 \left(\frac{1-\cos 2\omega t}{2}\right) d\omega t}$$

$$= \sqrt{\frac{U_m^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} \frac{1-\cos 2\omega t}{2} \cdot d\omega t} = \text{------} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} = 220V$$

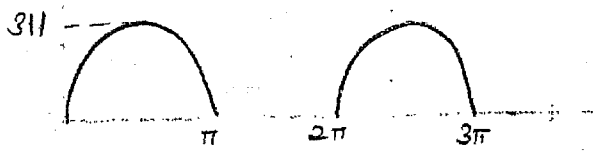
Ör:



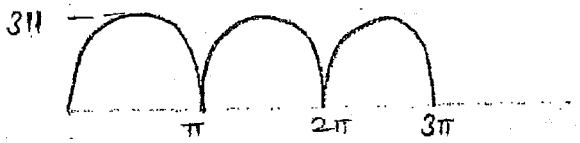
$I_{ef} = ?$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{10}\left[\underbrace{\int_0^2 5^2 \cdot dt}_{50} + \underbrace{\int_5^{10} (-2)^2 \cdot dt}_{20}\right]} \Rightarrow I_{ef} = 2{,}54\ A$$

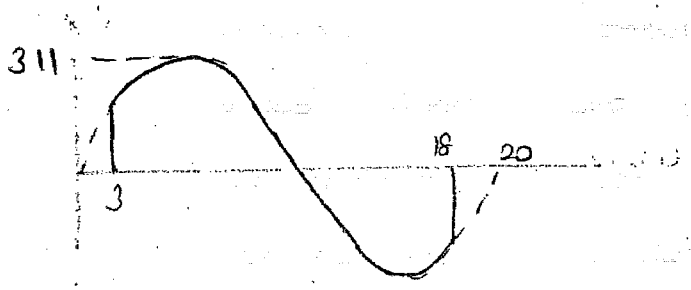
NOT) Efektif değerin fark ettiği en büyük değerden daha büyük ama ihtimali yok (-) de olmaz



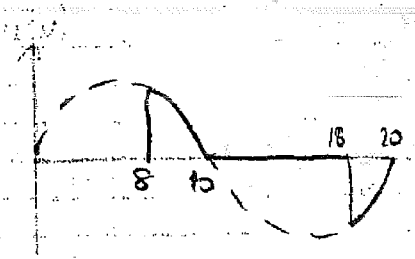
$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} (311 \cdot \sin \omega t)^2 \, d\omega t} = --- = 155{,}5\,V$$



$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (311 \sin \omega t)^2 \, d\omega t} = ---- = 220\,V$$

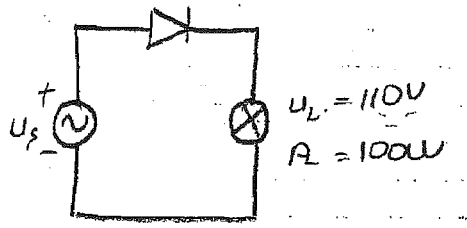


$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{0{,}02}\int_{0{,}003}^{0{,}018} (311 \cdot \sin \omega t)^2 \cdot dt}$$

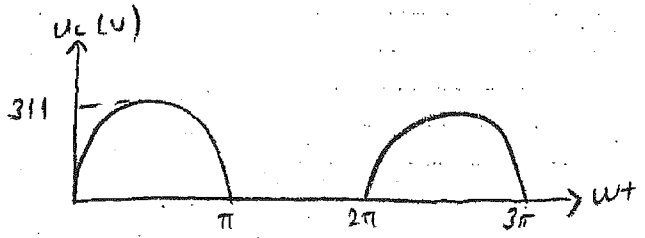


$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{0{,}02}\left[\int_{0{,}008}^{0{,}01} 311^2 \sin^2 \omega t \cdot dt + \int_{0{,}018}^{0{,}02} 311^2 \sin^2 \omega t \cdot dt\right.}$$

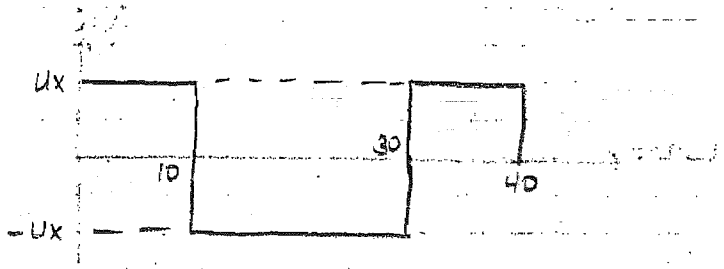
110 V, 100 W nominal bir akkor flamanlı lamba seri bir diyotla birlikte şebekemize bağlanıyor. Lambanın bu durumda çalışıp çalışmayacağını yorumlayınız.



Lamba zaten görür, çalışmaz



Şekildeki gerilimin efektif değerinin 10 V olması için Ux gerilimini bulunuz.



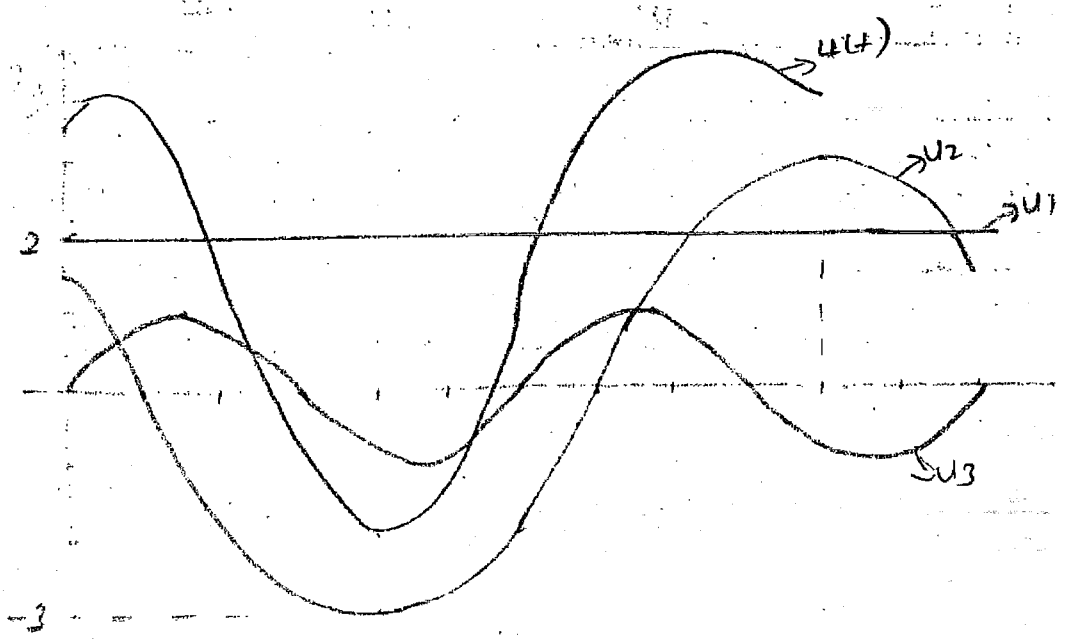
$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{0{,}03}\left[\int_0^{0{,}01} U_x^2\,dt + \int_{0{,}01}^{0{,}03} (-U_x)^2\,dt\right]} = 10$$

$$U_x = 10\,V$$

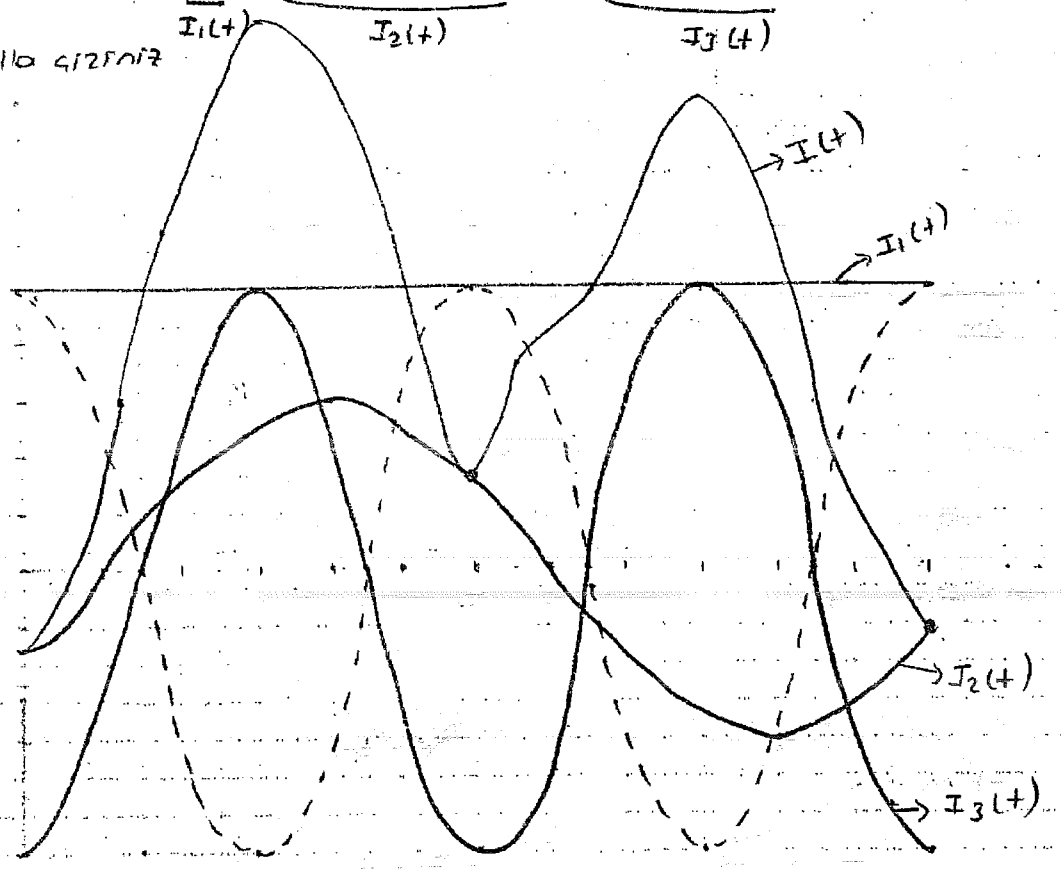
Farklı frekans katsayılarına sahip sinüzoidal

$u(t) = 2 + 3\cos(\omega t + 60) + \sin 2\omega t$ olsun. $f = 50$ Hz için grafiksel yolla $u(t)$ değerini zamana göre çiziniz.

$u(t) = 2 + 3\cos(\omega t + 60) + \sin 2\omega t$



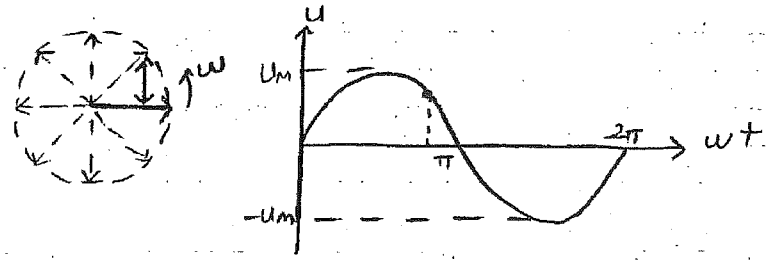
Ör: $I(t) = \underbrace{5}_{I_1(t)} + \underbrace{3\sin(\omega t - 30)}_{I_2(t)} - \underbrace{5\cos 2\omega t}_{I_3(t)}$ fonk. grafiksel yolla çiziniz



- FAZÖRLER -

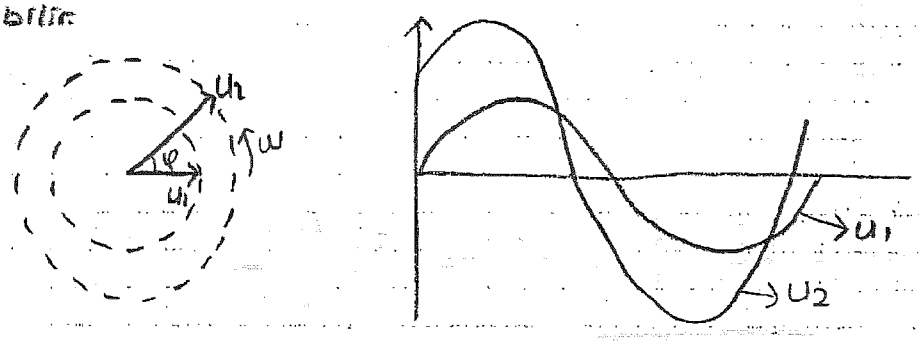
Sinüsoidal değişkenlerle işlem yapılırken değişkenin fonksiyonunun zamana göre çizilmesi ve işlemin bu fonksiyon üzerinde yapılması hem zaman alır hemde hata olasılığını artırır. Sinüsoidal değişkenlerde işlemleri kolaylaştırmak için fazörler kullanılır.

Fazör; sbt bir ω açısal hızıyla dönen vektörlere denir.



u'nun zaman ekseni üzerindeki herhangi bir ana ilişkin değeri fazörün aynı konumdaki uç noktasının düşey eksen üzerindeki izdüşümüne eşittir. Çemberin merkezini çember üzerindeki bir noktaya birleştiren oka fazör denir. Fazörün boyu sinüsün max değerine, açısal hızda sinüsün açısal hızına eşittir. Fazör dönerken sinüs fonk. oluşur.

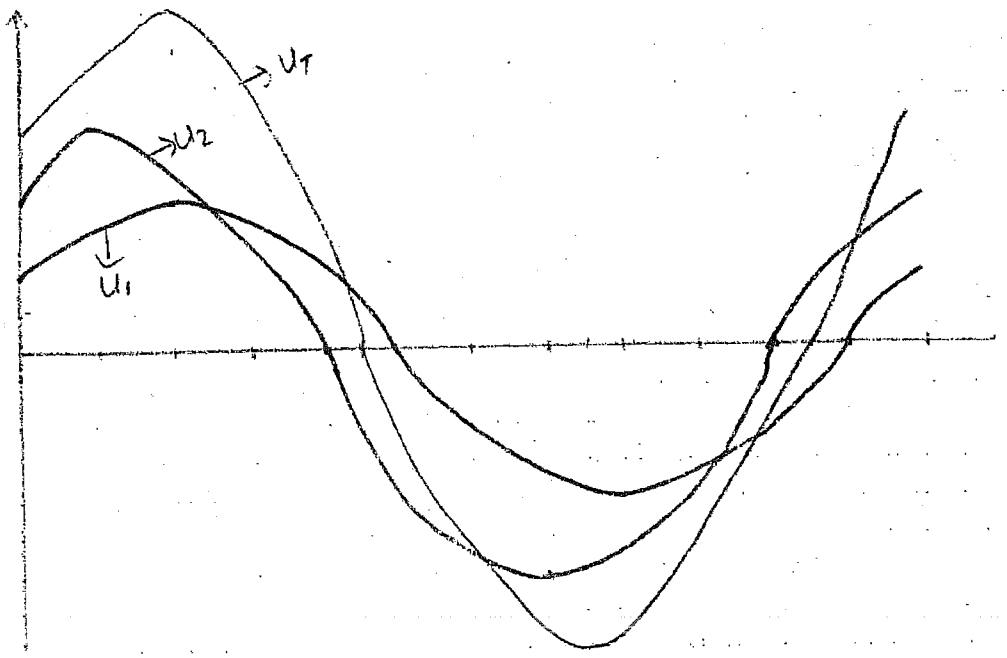
Açısal hızı aynı olan birden fazla fazör birarada gösterilebilir.



Sinüsün zaman üzerinde değişimi üç parametresi olan max. değeri, frekansı ve faz açısı verilince tamamen belirlendiğinden

dolayı hesaplamalarda zaman fonksiyonunda bağımsız olan ve çizimi çok daha kolay olan fazörlerle yapılabilir. Fazörlerin boyları efektif değer yada max. değer olarak seçilebilir.

Devre çözümlerinde alternatif akım yada gerilimlerin toplanmaları veya çıkarılmaları gerekebilir. Bu durumlarda fazörlerin kullanımları kolaylık sağlar.



$$U_1 = U_{1M} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$+\ U_2 = U_{2M} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$$U_T = U_{TM} \sin(\omega_T + \varphi_T)$$

U_{1M}, U_{2M}, φ_1 ve φ_2 bilinyorsa U_{TM} ve φ_T hesabı

$$U_T = U_{TM} \sin(\omega_T + \varphi_T)$$

$$U_{Tm} \sin(\omega t + \varphi_T) = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1) + U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$$U_{Tm} \underline{\sin \omega t} \cos \varphi_T + U_{Tm} \underline{\cos \omega t} \sin \varphi_T$$

$$= U_{1m} \underline{\sin \omega t} \cos \varphi_1 + U_{1m} \underline{\cos \omega t} \sin \varphi_1 + U_{2m} \underline{\sin \omega t} \cos \varphi_2$$

$$+ U_{2m} \underline{\cos \omega t} \sin \varphi_2$$

$$U_{Tm} \sin \varphi_T = U_{1m} \sin \varphi_1 + U_{2m} \sin \varphi_2 \quad --- (1)$$

$$U_{Tm} \cos \varphi_T = U_{1m} \cos \varphi_1 + U_{2m} \cos \varphi_2 \quad --- (2)$$

$$\tan \varphi_T = \left[\frac{U_{1m} \sin \varphi_1 + U_{2m} \sin \varphi_2}{U_{1m} \cos \varphi_1 + U_{2m} \cos \varphi_2} \right]$$

$$\varphi_T = \arctan \left[\frac{U_{1m} \sin \varphi_1 + U_{2m} \sin \varphi_2}{U_{1m} \cos \varphi_1 + U_{2m} \cos \varphi_2} \right]$$

$$U_{Tm}^2 (\sin^2 \varphi_T + \cos^2 \varphi_T) = U_{1m}^2 \sin^2 \varphi_1 + U_{2m}^2 \sin^2 \varphi_2$$

$$+ 2 \cdot U_{1m} U_{2m} \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + U_{1m}^2 \cos \varphi_1^2$$

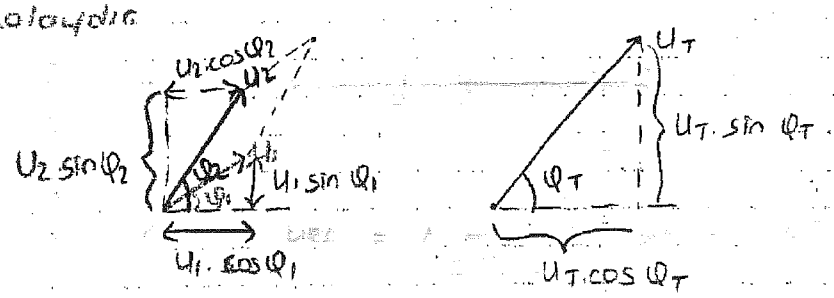
$$+ U_{2m}^2 \cos^2 \varphi_2 + 2 U_{1m} \cdot U_{2m} \cdot \cos \varphi_1 \cos \varphi_2$$

$$U_{Tm}^2 = U_{1m}^2 + U_{2m}^2 + 2 U_{1m} \cdot U_{2m} \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$U_{Tm} = \sqrt{U_{1m}^2 + U_{2m}^2 + 2 \cdot U_{1m} \cdot U_{2m} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Bu sonuclara göre aynı frekanslı iki sinüs toplanırsa aynı frekansa sahip toplam sinüsün max değeri ve faz açısı bulunur.

Aynı sonuçları geometrik yolden fazörlerle bulmak daha kolaydır.

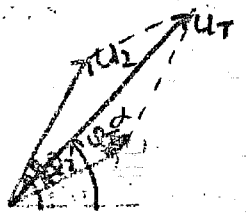


① ve ② nolu bağıntılarla aynıdır. Daha sonraki işlemler tekrarlanır.

$$U_1 \cdot \sin\varphi_1 + U_2 \sin\varphi_2 = U_T \cdot \sin\varphi_T$$

$$U_1 \cdot \cos\varphi_1 + U_2 \cdot \cos\varphi_2 = U_T \cdot \cos\varphi_T$$

Cosinüs Teoremiyle Bulunması :



$$\alpha = 180 + \varphi_1 - \varphi_2$$

$$U_T^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cos[180 + \varphi_1 - \varphi_2]$$

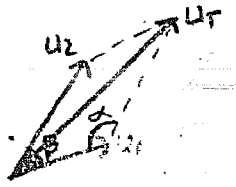
$$U_T^2 = U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Bu sonuçlara göre;

a-) Sinüs fonksiyonlarını zamana göre çizip grafiksel olarak toplamak oldukça uzun zaman almaktadır.

b-) İşlemin trigonometrik yapılarak hesaplamalara girilmesi oldukça uzun ve karmaşık işlemler gerektirmektedir.

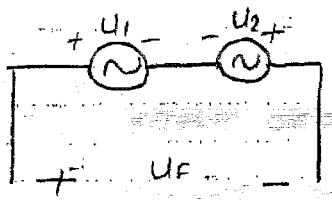
c-) İşlemin fazörlerle yapılması en çabuk ve kolay çözüme götüren yoldur. Ayrıca fazör diyagramları karmaşık devrelerin yapısı hakkında çabuk fikir edinilmesini sağlar.



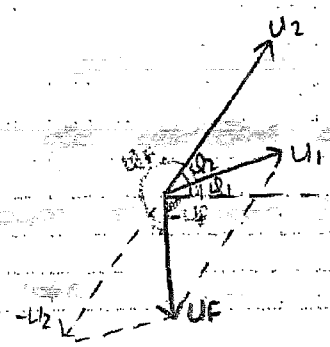
$$U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos\beta}$$

$$U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos\alpha}$$

İki Fazörü Çıkarma :



$$U_F = U_1 - U_2$$



$$u_f = u_1 - u_2 = u_1 + (-u_2)$$

$$u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$$u_f = U_{fm} \sin(\omega t + \varphi_f)$$

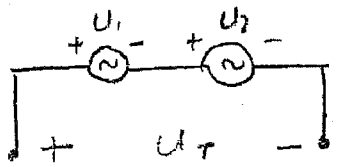
U_{1m}, U_{2m}, φ_1 ve φ_2 'yi biliniyor kabul ederek bunlar cinsinden U_{fm} ve φ_f 'yi toplamda yaptığımız bütün işlemleri kullanarak bulunuz.

Ör: Açısal hızları aynı olan iki generatör ürettikleri gerilimlerin arasında 60° faz farkı vardır (U_2 ileri fazdadır) 1. generatörün max değeri 30V 2. generatörün max değeri 50V'dur. Bu generatörler;

a-) Seri bağlı ise

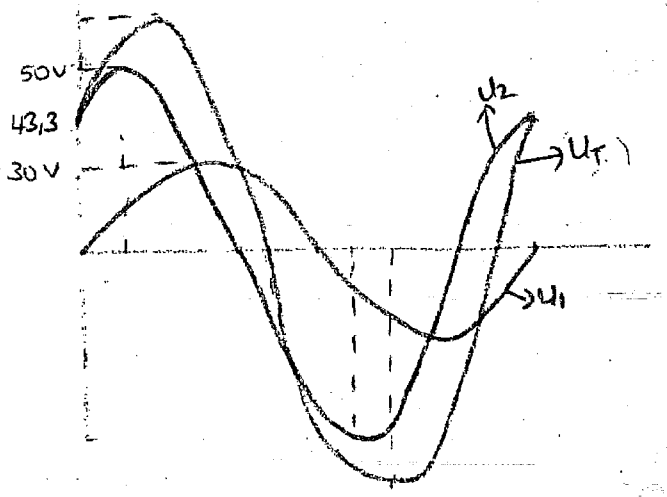
b-) Ters seri bağlı ise çıkış gerilimini bulunuz

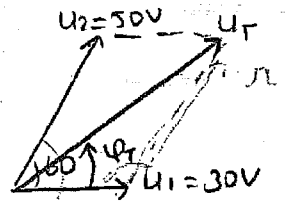
a-)



$U_1 = 30 \cdot \sin \omega t$

$U_2 \quad 50 \sin(\omega t + 60)$





$U_T = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2 \cdot U_1 \cdot U_2 \cdot \cos 60}$

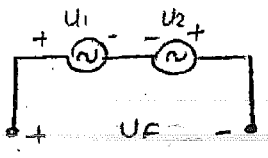
$U_T = 70V$

$\varphi_1 = 38{,}2$

$U_T = 70V$

$\varphi_T = 38{,}2$

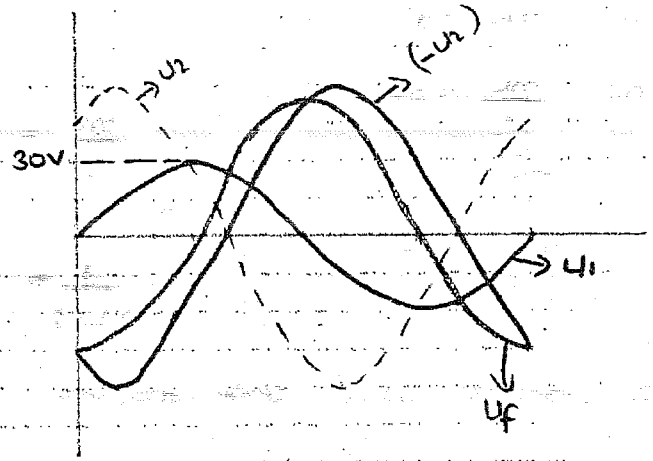
b-)

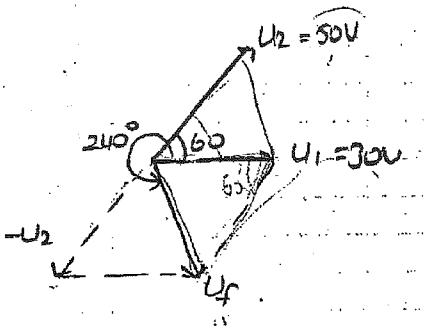


$U_f = U_1 + (-U_2)$

$U_f = 43{,}5V$

$\varphi_f = -83{,}4°$





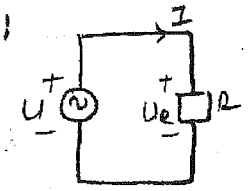
$$U_f = \sqrt{30^2 + 50^2 + 2 \cdot 30 \cdot 50 \cdot \cos(0-240)}$$

$$U_f = 43{,}5\,V$$

$$\varphi = -83{,}4^\circ$$

R - L - C Elemanlarının Alternatif Akımdaki Davranışları:

R:

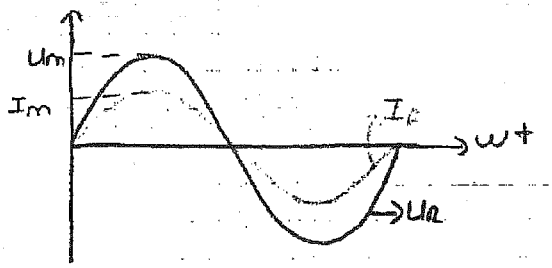


$U = U_R = U_m \cdot \sin \omega t$

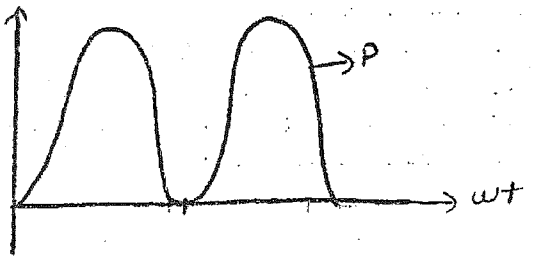
$I_R = \frac{U}{R} = \underbrace{\frac{U_m}{R}}_{I_m} \cdot \sin \omega t$

$I_R = I_m \sin \omega t$

$\xrightarrow{I_R} U_R$ } Saf omik durum ($\varphi = 0$)



Direncin gerilimi ile akımı arasında faz farkı yoktur yani aynı fazdadırlar.



$P = U_m \cdot \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin \omega t$

$P = U_m \cdot I_m \cdot \sin^2 \omega t$

$= U_m \cdot I_m \left[\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right]$

Görüldüğü gibi güç besleme (kaynak) gerilimin frekansının iki katı ile salınım yaparken sürekli pozitif kalmaktadır. Bu sonuç direncin sürekli olarak güç çektiğini gösterir. Yani direnç sürekli güç (enerji) harcayan elemandır. Bu güce aktif (etkin) güç denir. Birimi watt'dır.

※ Bir periyotta harcanan enerji ;

$$W = \int_0^{2\pi} U_m \cdot I_m \cdot \sin^2 \omega t \cdot d\omega t = ----$$

$$W = \pi \cdot U_m \cdot I_m$$

※ Bir periyotta harcanan ortalama enerji ;

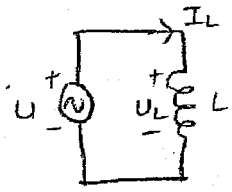
$$P = \frac{W}{T} = \frac{\pi \cdot U_m \cdot I_m}{2\pi}$$

$$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{ef} \cdot \sqrt{2}\, I_{ef}}{2}$$

$$P = U_{ef} \cdot I_{ef}$$

İndüktans enerji harcamaz depo eder. $E = \frac{1}{2} L I^2$ Ama hacim genelliğe harcar eder.

L (İndüktans) :



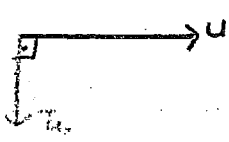
$$U = U_L = U_m \sin \omega t$$

$$I_L = \frac{1}{L} \int U_L \cdot dt$$

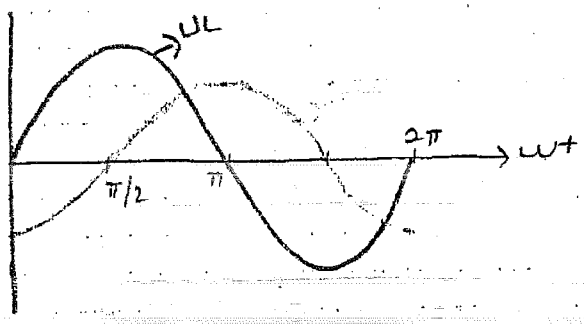
$$= \frac{1}{L} \int U_m \cdot \sin \omega t \cdot dt$$

$$I_L = \underbrace{\frac{U_m}{\omega L}}_{I_m} (-\cos \omega t)$$

$$I_L = I_m \sin(\omega t - \pi/2)$$



Saf indüktif durum



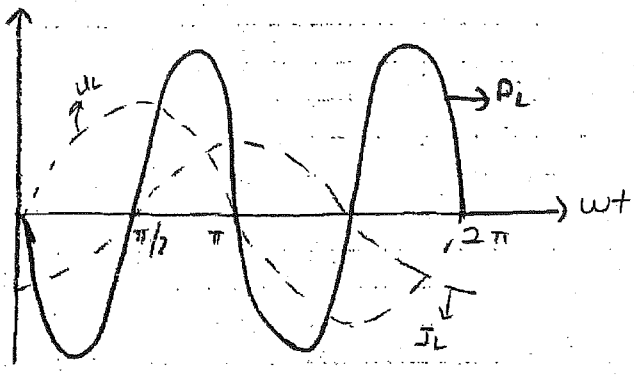
İndüktansın gerilimi ile akımı arasında 90° faz farkı vardır. Gerilimi akımından 90° ileridedir yada akımı gerilimnden 90° geridedir desin.

$$I_m = \frac{U_m}{\omega \cdot L} = \frac{U_m}{X_L} \qquad X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L$$

(Ω)

(*)

Burada X_L'ye indüktif reaktans yada kısaca reaktans denir. Frekansla doğru orantılıdır.



$$P_L = u_L \cdot I_L$$

$$= U_m \sin\omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \pi/2)$$

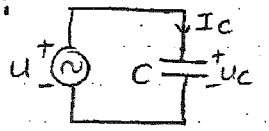
$$P_L = -\frac{1}{2} \cdot U_m I_m \sin 2\omega t$$

$$P_L = -U_{ef} \cdot I_{ef} \sin 2\omega t$$

İndüktans kaynaktan $\frac{1}{4}$ periyotta aldığı enerjiyi diğer $\frac{1}{4}$ periyotta geri veriyor. Çekilen ortalama güç 0'dır. İndüktans enerji harcamaz.

İndüktans devreden çektiği gücü tekrar geri verdiği için bu güce reaktif (tepkin) güç denir. Birimi voltamperreaktif (VAR) dır.

<u>KONDANSATÖR (C)</u> :



$u_C = u = U_m \sin\omega t$

$$I_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

$$= C \cdot \frac{d}{dt}(U_m \sin\omega t)$$

$$I_C = U_m \cdot \omega \cdot C \cdot \cos\omega t$$

$$I_C = \underbrace{\frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}}_{I_m} \sin(\omega t + \pi/2)$$

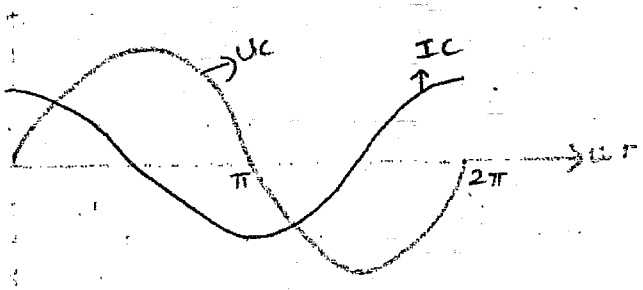
$$I_C = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_m}{X_C} \rightarrow (\Omega)$$

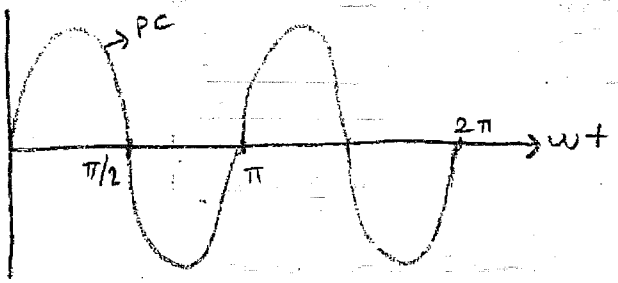
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

X_C'ye kapasitif reaktans yada kısaca reaktans denir ve frekansla ters orantılıdır.

} Saf kapasitif durum



Kondansatörün akımıyla gerilimi arasında 90° faz farkı vardır. Gerilim akımından 90° geriledir yada akım gerilimden 90° ileri fazdadır.



Kondansatör kaynaktan $\frac{1}{4}$ periyotta çektiği enerjiyi (gücü) diğer $\frac{1}{4}$ periyotta geri veriyor. Çekilen ortalama güç 0'dır. Kondansatör enerji harcamaz.

$$P_c = U_m \cdot \sin \omega t \;\; I_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2)$$

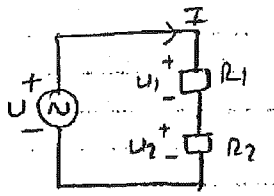
$$P_c = \frac{1}{2} U_m \cdot I_m \sin 2\omega t$$

$$P_c = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \sin 2\omega t$$

Kondansatör tarafından çekilen güce reaktif (tepkin) güç denir. Birimi VAR'dır.

DEVRE ELEMANLARININ SERİ BAĞLANMASI :

R – R :



$U = U_m \sin\omega t$

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = I \cdot R_1 \quad , \quad U_2 = I \cdot R_2$$

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \underbrace{\frac{U_m}{R_1 + R_2}}_{I_m} \sin\omega t$$

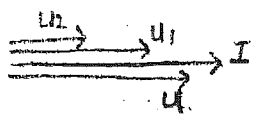
$$I = I_m \sin\omega t$$

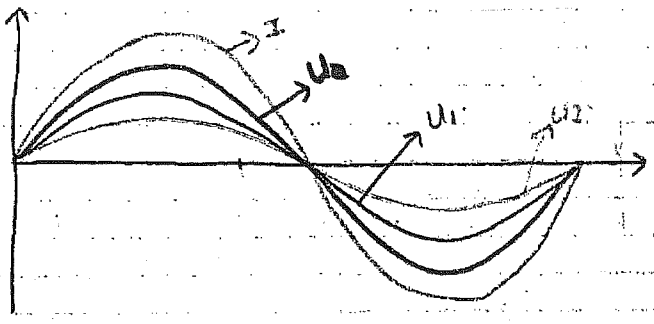
$$U_1 = I \cdot R_1 = R_1 \cdot I_m \sin\omega t$$

$$= U_{1m} \sin\omega t$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = R_2 \cdot I_m \sin\omega t$$

$$= U_{2m} \sin\omega t$$

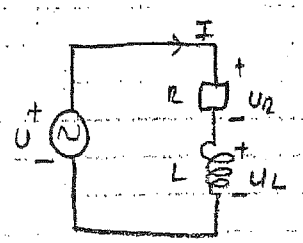




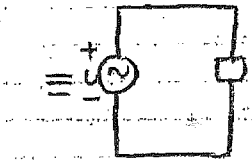
Devrede $U = 220V$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 45\Omega$ olsun

f (Hz)	50	100
I (A)	4	4
U_{R_1} (V)	40	40
U_{R_2} (V)	180	180

R – L :



$U = U_m \sin\omega t$

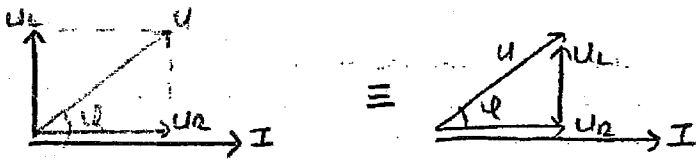


$$U = U_R + U_L \quad (!)$$

(fazlar toplamı)

$$U_R = I \cdot R$$

$$U_L = I \cdot X_L = I \omega L$$



$$U^2 = U_R^2 + U_L^2$$

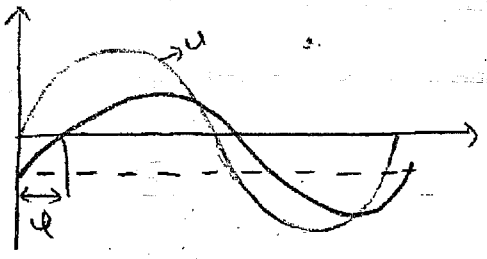
$$U = \sqrt{(I \cdot R)^2 + (I \cdot X_L)^2} = I \cdot \underbrace{\sqrt{R^2 + X_L^2}}_{|Z|} = I \cdot |Z| \quad (\Omega)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = \arctan \frac{\omega L}{R}$$

Burada Z'ye empedans denir. Birimi Ω'dur.



$0 < \varphi < 90$
(Devre: Omik indüktif özellikte)

f (Hz)	50	500
X_L (Ω)	31,4 Ω	314
$\lvert Z \rvert$ (Ω)	59,05 Ω	318,
I (A)	3,72 A	0,69
U_R (V)	186,28 V	34,59
U_L (V)	116,8 V	213,
φ	32,	80,9

Devremizde $U = 220$ V
$L = 0,1$ H
$R = 50\ \Omega$

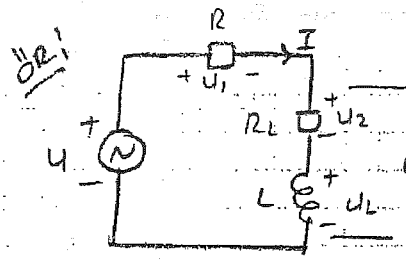
* frekans artınca; seri bağlı (RSL) devre için X_L artarsa U_L artar.

U_L artarsa U'nun $90°$ ye yaklaşır.

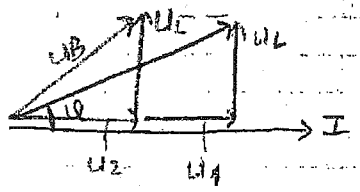
Devrenin indüktif özl. artar.

* Empedansın açısı devrenin faz açısıdır.

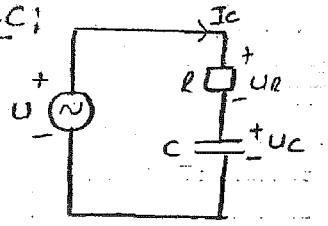
R-L:



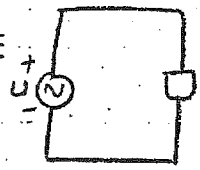
Devrenin fazör diyagramını çizip U_B yr. gösterin



R-C:



$\equiv$



$Z = |Z| \angle -\varphi$

$U = U_m \cdot \sin \omega t$

$U_R = I \cdot R$

$U_C = I \cdot X_C = I \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}$

$U = U_R + U_C$ (!)

$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} = \sqrt{(I \cdot R)^2 + (I \cdot X_C)^2}$

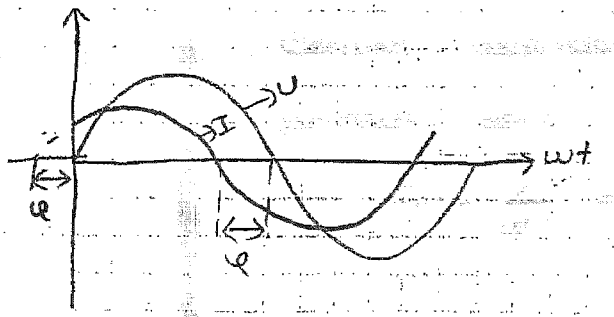
$U = I \cdot \sqrt{R^2 + X_C^2} = I \cdot |Z|$

$|Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$

(Devre omik kapasitif özellikte)

$\varphi = \arctan \frac{X_C}{R} = \arctan \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$

$(0 > \varphi > -90)$



-15

$U = 220\,V$

$R = 50\,\Omega$

$C = 10^{-4}\,F$

$f(Hz)$	50	500
$X_C(\Omega)$	31,83	3,183
$\lvert Z\rvert(\Omega)$	59,25	50,1
$I(A)$	3,75	4,39
$U_R(V)$	187,5	219,56
$U_C(V)$	118,27	13,97
φ	32,4	3,64

* Frekans artarsa faz açısı azalır. Burda U, I'ya yaklaşır.

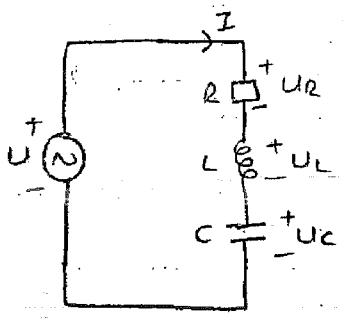
Devrenin omik dir artar.

R - R → $I = \frac{U}{R_1+R_2}$ frekans ne olursa olsun değişiklik yok.

R - L → $f = 0 \Rightarrow I = \frac{U}{R}$; $f = \infty \Rightarrow I = 0$

R - C → $f = 0 \Rightarrow I = 0$; $f = \infty \Rightarrow I = \frac{U}{R}$

R - L - C :



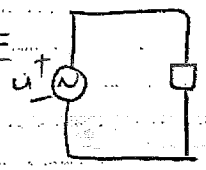
$u = U_m \sin\omega t$

$U_R = I \cdot R$, $U_C = I \cdot X_C = I \frac{1}{\omega \cdot C}$

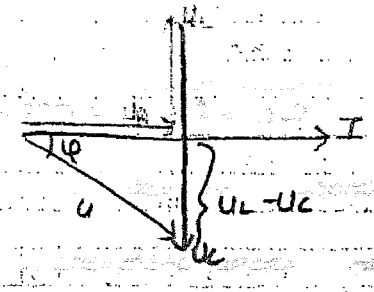
$U_L = I \cdot X_L = I \cdot \omega L$

$U = U_R + U_L + U_C$ (!)

≡



$Z = |Z| \angle \varphi$



$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

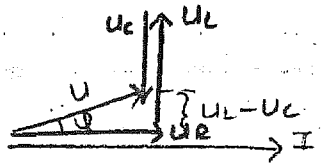
$$U = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L - I.X_C)^2}$$

$$U = I.\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I.|Z|$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega.L - \frac{1}{\omega.C}\right)^2}$$

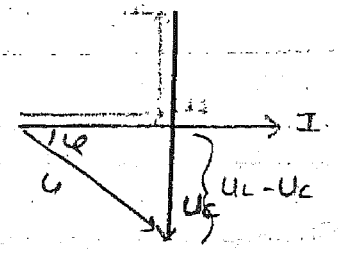
$$\varphi = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

① $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ =>



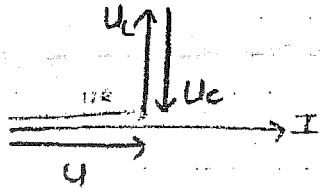
$\varphi > 0$ olur. Devre omik indüktif özellik gösterir. Çünkü U, I'dan φ kadar ileri fazdadır.

② $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ =>



$\varphi < 0$ olur. Devre omik kapasitif özellik gösterir. U, I'dan φ kadar geri fazdadır.

③ $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ =>



$\varphi = 0$ olur. Devre saf omik özellik gösterir. Akımla gerilim aynı fazdadır. Bu durumda $|Z|$ en küçük değerini aldığından devreden geçen akım en büyük değere ulaşır. Bu duruma seri rezonans durumu denir. Bunu sağlayan frekansa da rezonans frekansı denir.

$$\omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} \Rightarrow 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 \cdot C}$$

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

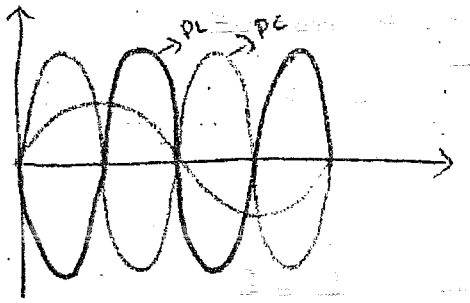
$$Z_{min} = R \quad , \quad I_{max} = \frac{U}{R} \quad , \quad \varphi = \arctan 0 = 0$$

Bir seri R-L-C devresi :

a-) Frekans sbt ise ; L ve/veya C değiştirilerek

b-) L ve C sbt ise ; frekans değiştirilerek rezonansa getirilebilir.

<u>Rezonans</u> ; ikir hareketin birbirine uyum sağlamasıdır. İndüktans ile kondansatörün birbirlerine olan etkileri zıt yönlü uyum sağlıyor. İndüktans enerji verirken , kondansatör enerji çekiyor yoda tam tersi oluyor. Yani indüktansla kondansatör arasında bir enerji alış-verişi oluyor. Dolayısıyla şebekeyle (kaynakla) bu çektiğin bir ilgisi olmuyor.



Rezonans durumunda => $U_L = U_C$

$$I \cdot \omega \cdot L = I \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow \frac{U}{R} \cdot \omega \cdot L = \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}$$

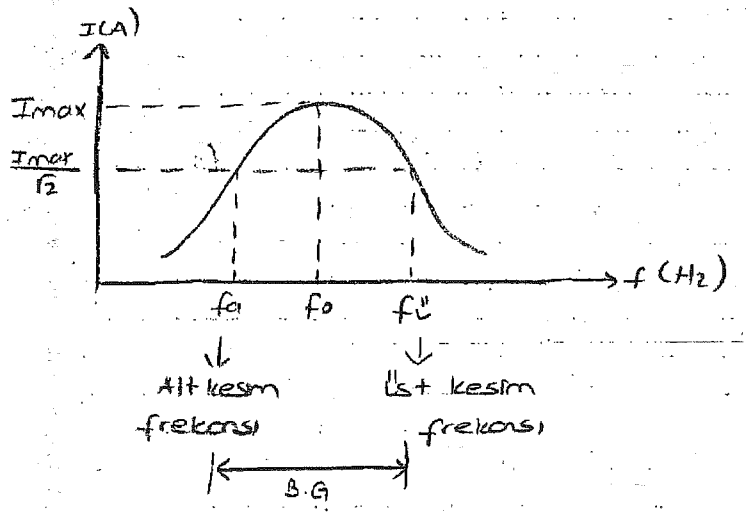
$$Q = \frac{\omega \cdot L}{R} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

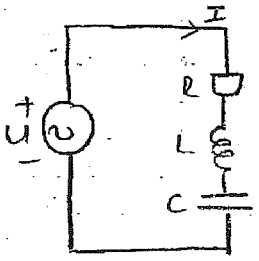
Q'ya devrenin kalite faktörü yada yıllık katsayısı denir. (Sadece rezonans frekans durumunda geçerli)

$f \uparrow$ $X_L \uparrow$
$X_C \downarrow$

Q, iyilik katsayısı dirençle ters orantılıdır. Direnç ne kadar küçükse devre o kadar kaliteldir.

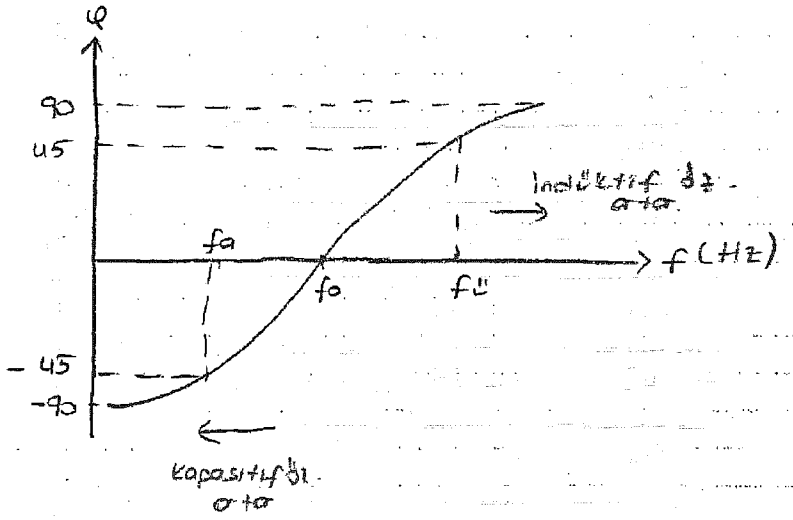
Q'nun büyük olduğu durumlarda rezonans frekansında indükten yada kondansatöre ilişkin gerilim düşümleri kaynak gerilimlerinden çok daha büyük olabilir.



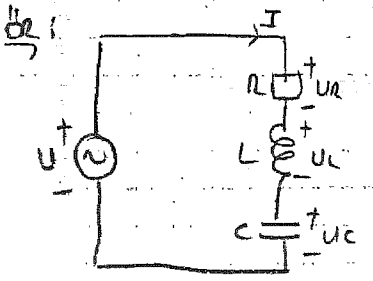


$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Bant genişliği : $f_ü - f_a$



Ör:



$U = 220\ V$, $R = 10\ \Omega$, $L = 0{,}1\ H$, $C = 0{,}1\ mF$

a-) Devrenin rezonans frekansını hesaplayıp bu frekansta geçen akımı bulunuz.

b-) Devreyi 500 Hz'de rezonansa getirmek için ne yapılmalıdır? Yorumlayınız.

a-) $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{0{,}1.10^{-4}}} = 50{,}36\ Hz$.

$I = \dfrac{U}{R} = \dfrac{220}{10} = 22\ A$

$U_L = I.\omega.L = 22.\ 0{,}1.314 = 696{,}48\ V$

$U_C = I.\dfrac{1}{\omega.C} = 696{,}48\ V$

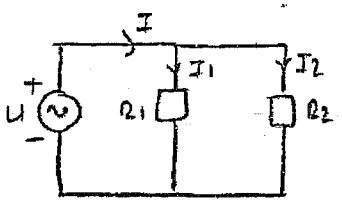
b-) 500 Hz 'de rezonans haline getirmek için ;

$f_0^2 = \dfrac{1}{(2\pi)^2.L.C} \Rightarrow L.C = \dfrac{1}{4\pi^2.500^2} = 1{,}013\ 10^{-7}$

$L = 0{,}1\ mH$ seçersek $C = 1{,}01\ mF$

– R-L-C Elemanlarının Paralel Bağlanması –

R-R :

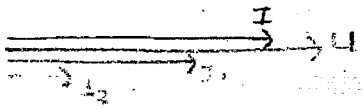


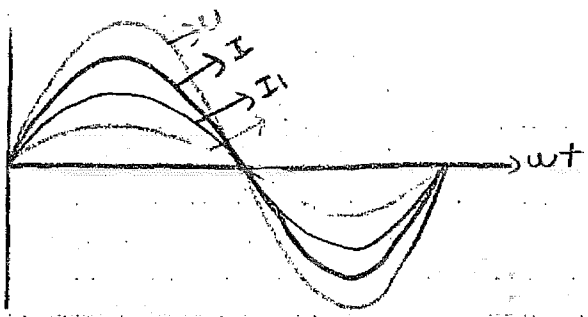
$U = U_m \cdot \sin \omega t$

$U = U_1 = U_2$

$I = I_1 + I_2$

$I_1 = \dfrac{U}{R_1}$, $I_2 = \dfrac{U}{R_2}$





$I = I_1 + I_2$

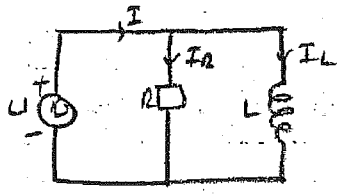
$I = \dfrac{U}{R_1} + \dfrac{U}{R_2} = U\left[\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}\right]$

$I = U.(G_1 + G_2) = U.G_{ges}$

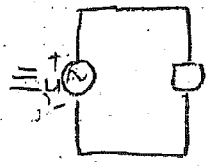
Devrede $U = 220V$, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 110\,\Omega$

f(Hz)	50	500
I_1(A)	2,2	2,2
I_2(A)	2	2
I(A)	4,2	4,2

R – L :



$\equiv$

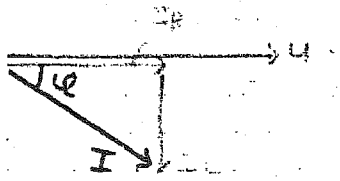


$Y = |Y| \angle -\varphi$

$U = U_m \cdot \sin \omega t$

$I = I_R + I_L$ (!)

$I_R = \frac{U}{R}$; $I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L}$



$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$I = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_L}\right)^2}$$

$$I = U \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} \Rightarrow I = U \cdot |Y|$$

Burada Y'ye admitans denir. Birimi (℧) simens veya mho'dur.

$$|Y| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}$$

$$= \sqrt{G^2 + B^2} \qquad Y = \frac{1}{Z}$$

$B = \frac{1}{X_L}$ (süseptans)

$$\varphi = \arctan \frac{I_L}{I_R} = \arctan \frac{1/X_L}{1/R} = \arctan \frac{R}{X_L}$$

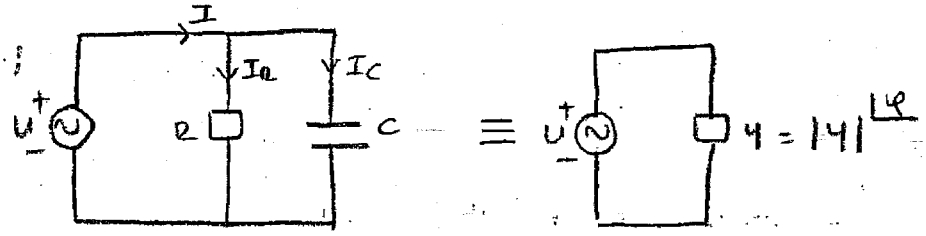
※ Devre omik indüktif özelliktedir.

$U = 220\ V$ 50 Hz ve 500 Hz için X_L, $|Z|$, I_R, I_L

$R = 100\ \Omega$ I, φ değerleri bulup sonuçları yorumlayınız

$L = 0{,}1\ H$

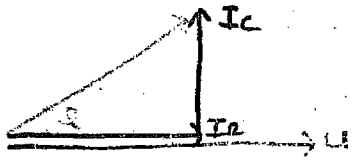
R-C :



$U = U_m \cdot \sin \omega t$

$I = I_R + I_C$

$I_R = \frac{U}{R}$, $I_C = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega \cdot C$



$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_C}\right)^2}$$

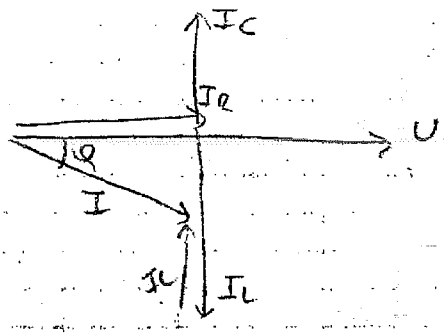
$$I = U \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2} = U \cdot |Y|$$

$$|Y| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega \cdot C)^2}$$

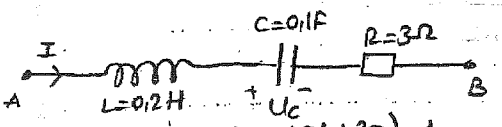
$$\varphi = \arctan \frac{\omega \cdot C}{1/R} = \arctan \omega \cdot C \cdot R$$

※ Devre omik kapasitif özelliktedir

Devremizde $U = 220\,V$, $R = 100\,\Omega$, $C = 10^{-5}\,F$ 50 Hz ve 500 Hz için X_C, $|Y|$, I_R, I_C, I ve φ değerlerini bularak sonucu yorumlayınız.



Ör:



$I = 4 \cdot \sin(5t + 30)$ A

a-) Uc'yi zamana (t'ye) göre ölçekli çiziniz.

b-) L ve R elemanlarına ilişkin güçleri hesaplayınız.

c-) I akımı ilk periyodun hangi t değerlerinde 3A'den ve -2A'den geçer?

d-) I'nın 500 ms anındaki değerini hesaplayınız.

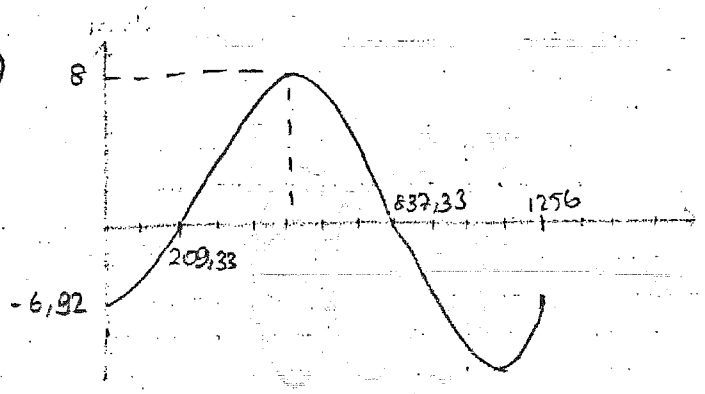
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{5 \cdot 0{,}1} = 2\,\Omega$$

$U_C = U_{Cmax} \sin(5t - 60)$ $\qquad U_{Cmax} = X_C \cdot I_{Cmax} = 2 \cdot 4 = 8$ V

$U_C = 8 \sin(5t - 60)$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \frac{2\pi}{\omega} = T = 1{,}256\,s = 1256\,ms$$

a-)

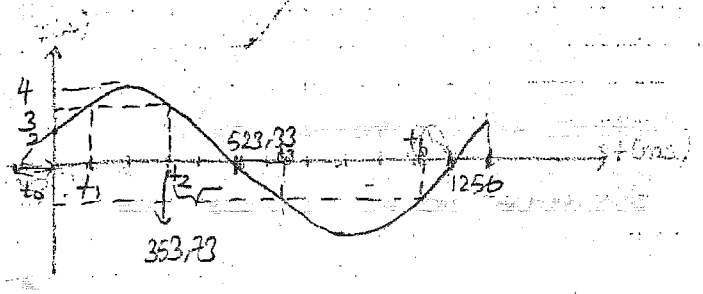


M.Demir

b-) R'nin güç'ü aktif güç ; $P = I_{ef}^2 \cdot R = \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 3 = 24\,W$

$X_L = \omega \cdot L = 5 \cdot 0{,}2 = 1\,\Omega$ $\qquad Q = I_{ef}^2 \cdot X_L = \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 1 = 8$ VAR

c-)

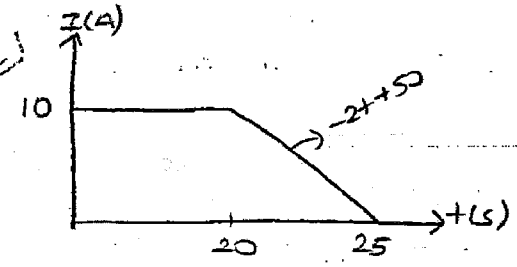


$360^\circ \quad 1256\,ms$

$30 \quad t_0$

$t_0 = 104{,}7\,ms$

Ör:



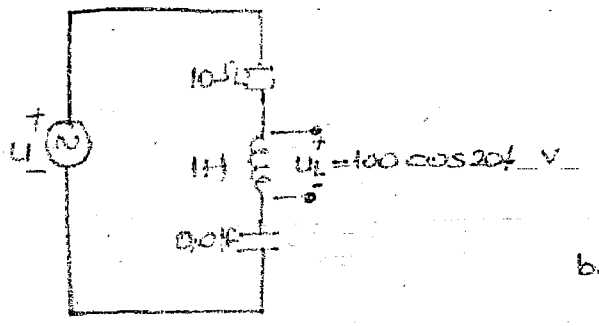
$I_{ef} = ?$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{25}\left[\int_0^{20} 20^2\,dt + \int_{20}^{25} (-2t+50)^2\,dt\right]}$$

$$I_{ef} = \frac{1}{25}\left[400t\Big|_0^{20} + \left(\frac{4t^3}{3} - \frac{200t^2}{2} + 2500t\Big|_{20}^{25}\right)\right]$$

$$I_{ef} = 9{,}3\,A$$

Ör:



a-) Şekildeki devrede U_R ve U_C'nin wt'ye göre değişimlerini ölçekli çizinizz.

b-) Devre hangi özelliği gösterir nedenini belirtiniz.

$\omega = 20\ \frac{r}{s}$

$X_L = \omega \cdot L = 20 \cdot 1 = 20\,\Omega$

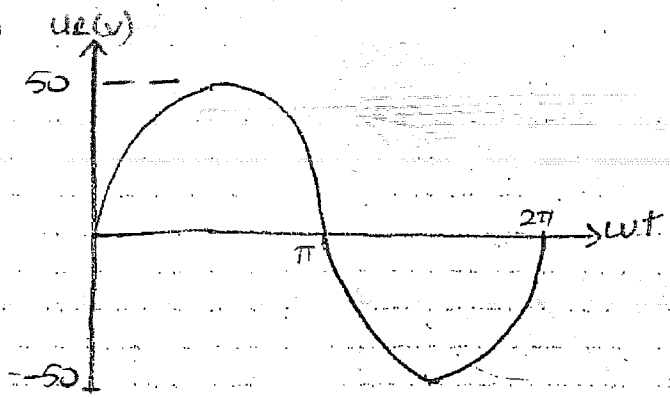
$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{0{,}01 \cdot 20} = 5\,\Omega$

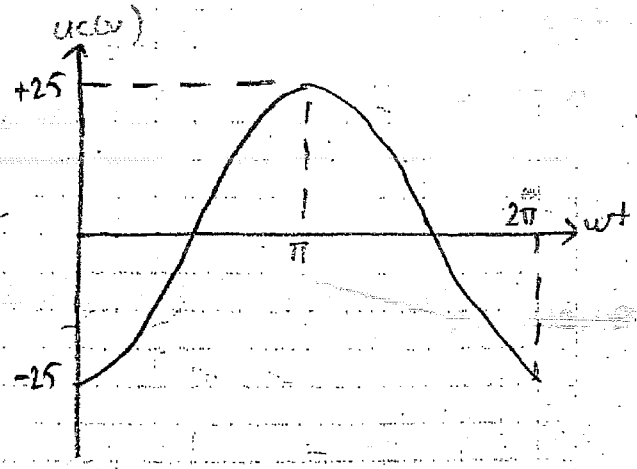
$I = 5\cos(20t - 90)$ A

$U_R = 50\cos(20t - 90)$ V

$U_C = 25\cos(20t \mp 180)$ V

a-)





b-) $X_L > X_C$ olduğundan $U_L > U_C$ dir. Seri bağlı devrelerde $U_L > U_C$ ise devre omik indüktif özelliktedir.

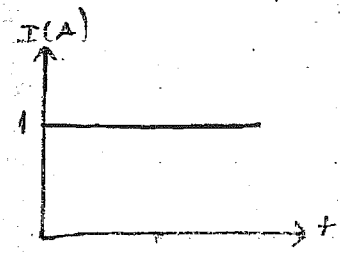
Ör:

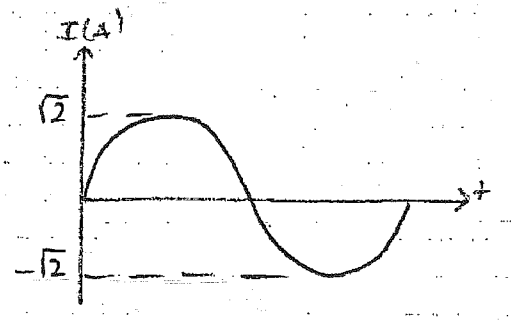
$U_{LN} = 100V$
$P_{LN} = 100W$

Şekildeki lambanın nominal ışık vermesi için geçmesi yeterli olacak hem doğru hem de alternatif olmuş zamana göre

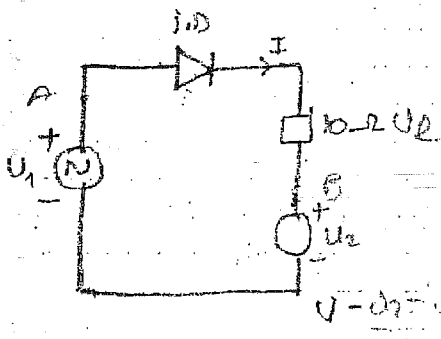
$P = U\ I_{ef}$ ↓ 1

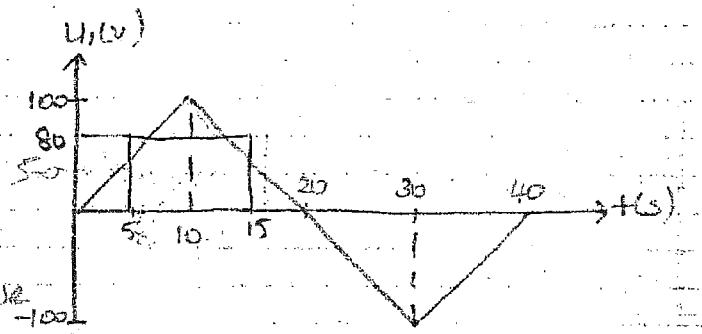
değişimini ölçekli çiziniz.

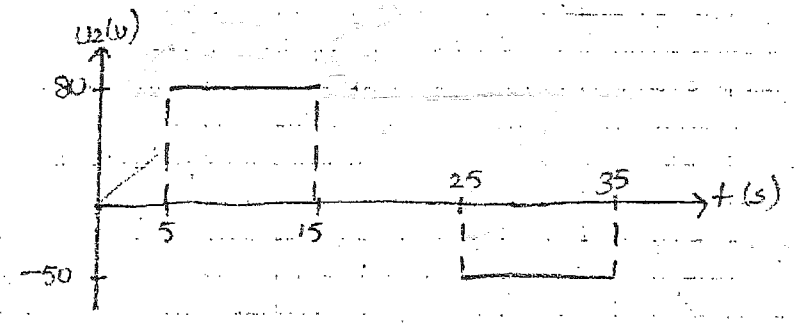




Ör:



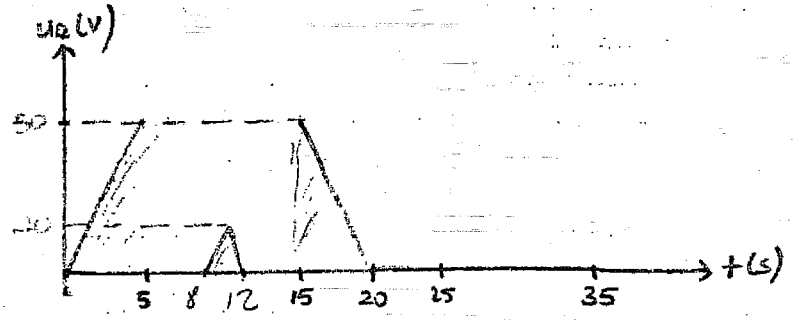




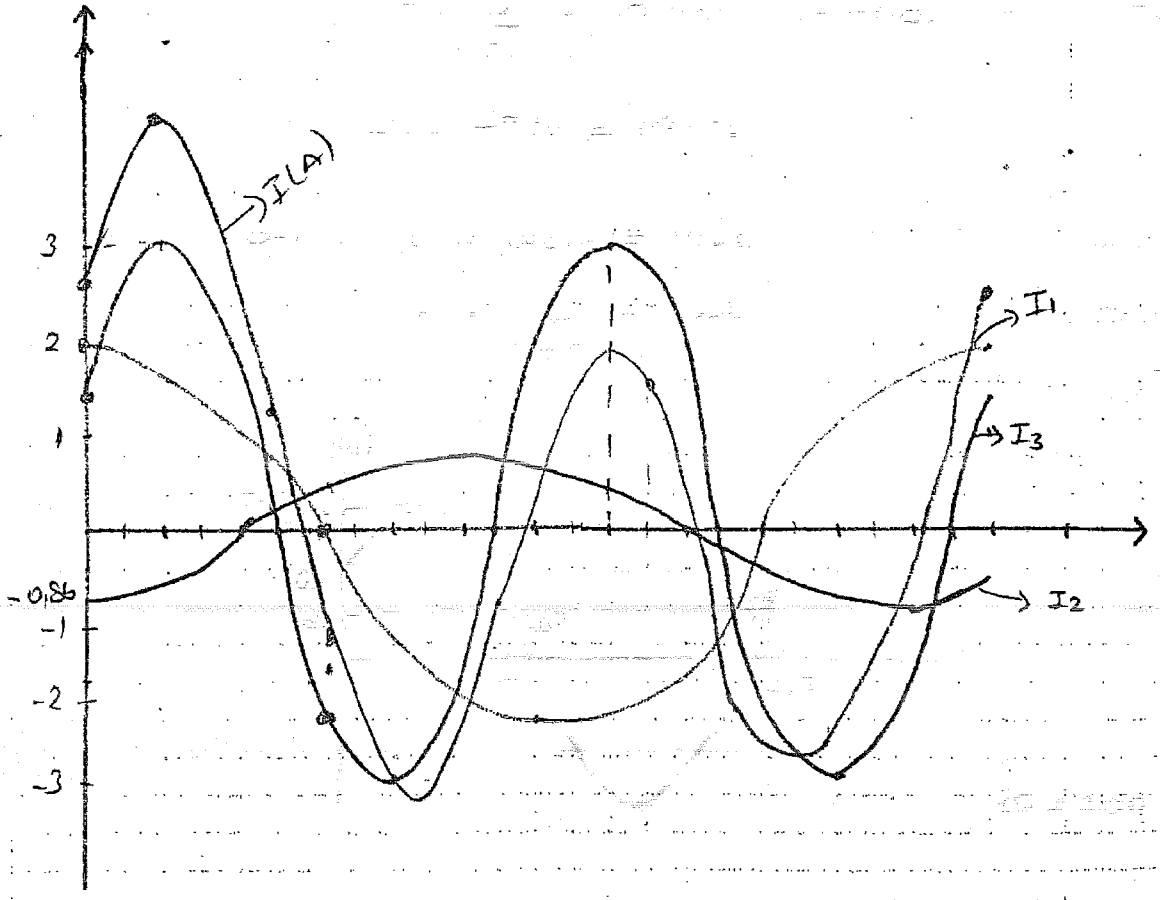
a-) I'nın zamana göre değişimini ölçekli çiziniz.

b) I'nın ortalama değerini hesaplayınız.

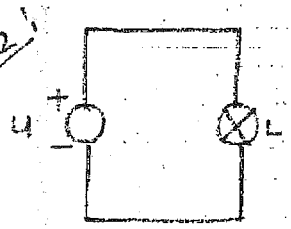
$U_{AB} = U_1 - U_2$

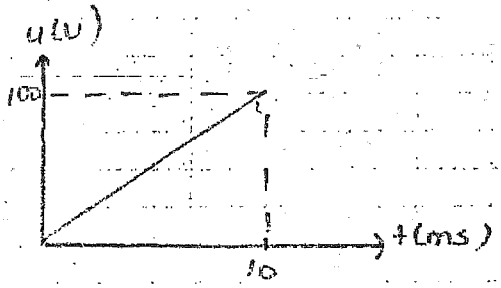


Ödev: $I(t) = 2\cos\omega t + \sin(\omega t - 60) + 3\sin(2\omega t + 30)$ fonksiyonunu grafiksel yollo yaklaşık ölçekli çiziniz



Ör:

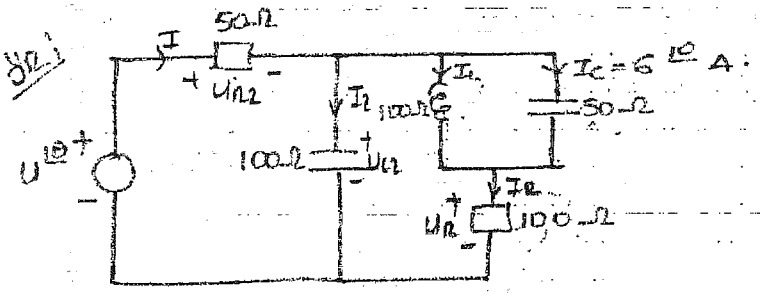




L lambasının nominal gerilimi 75 V ise ışık üretir mi? Üretmez ise nedenini, üretir ise sonucunu yorumlayınız

Efektif değerine göre sonucu [illegible] 50,[illegible] 10 ms çok küçük bir zaman olduğ. için o ışıkla çalışır. Bu süre 10 dk falan olsaydı lamba zarar görürdü.

Ör:

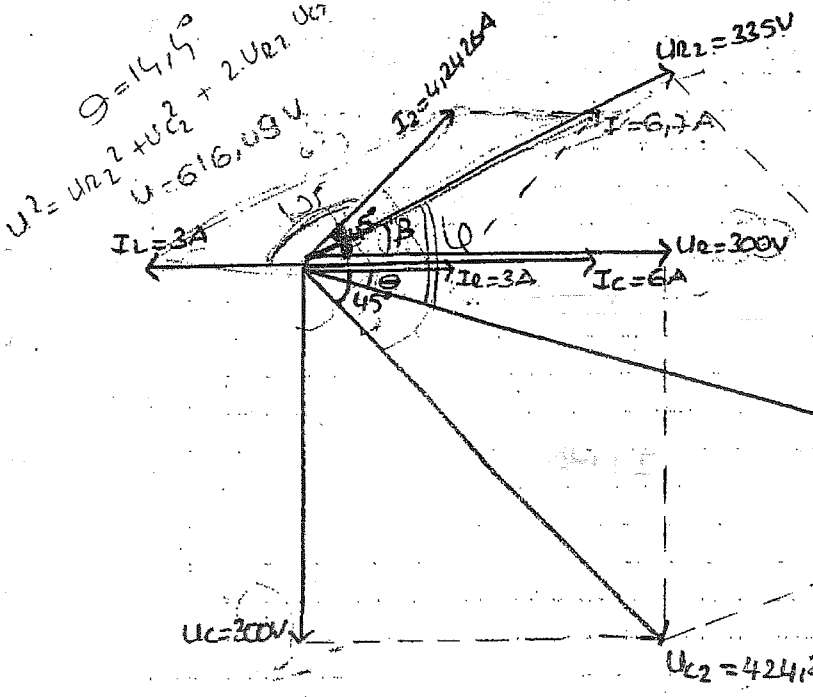


U'nun değerini fazör diyagramı yöntemiyle bulunuz.

$\theta = 14,4°$

$U^2 = U_{R2}^2 + U_{C2}^2 + 2 \cdot U_{R2} \cdot U_{C2} \cos 72$

$U = 616,49$ V



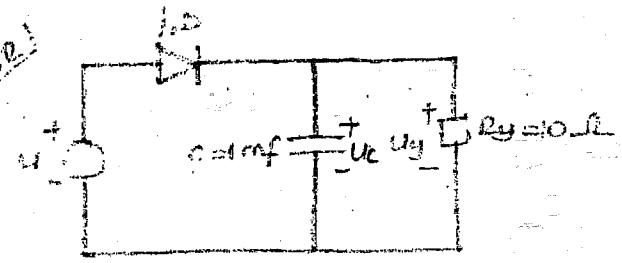
$I = \sqrt{I_2^2 + I_R^2 + 2 \cdot I_2 \cdot I_R \cos 45}$

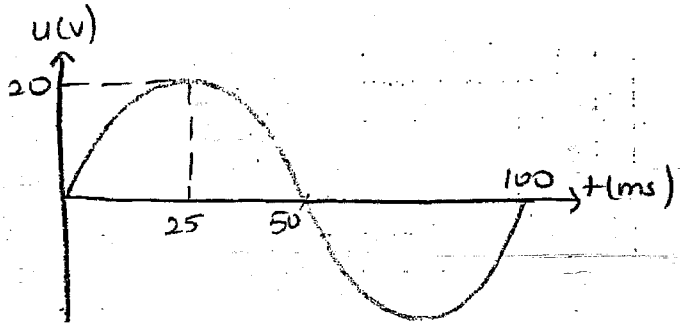
$I = 6,7$ A

$I_2^2 = I_R^2 + I^2 - 2 \cdot I_R \cdot I \cos \beta$

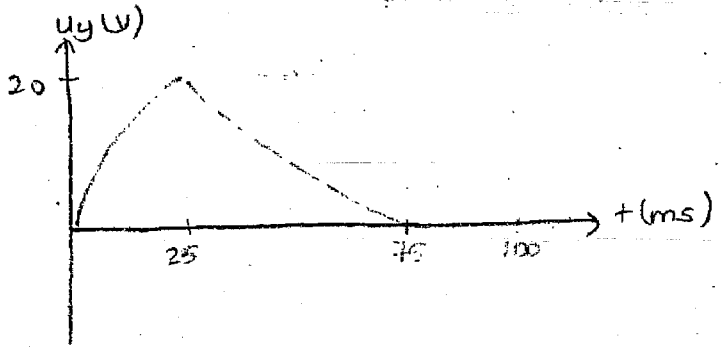
$\beta = 27°$

Şek.1





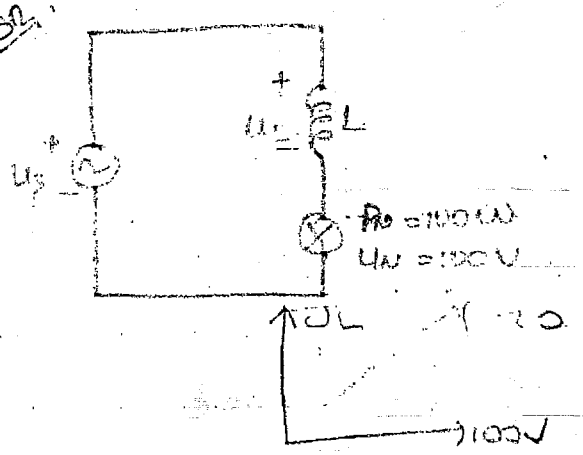
Uy'nin zamana göre değişimini ölçekli çizimiz.



$\tau = 10ms$

$5\tau = 50ms$

Şek.2



$U_S^2 = U_L^2 + U_N^2$

$U_L = 196 V$

$X_L = \frac{196V}{I} = \omega \cdot L$

$196 = 314 \cdot L$

$L = 0,6242 H$

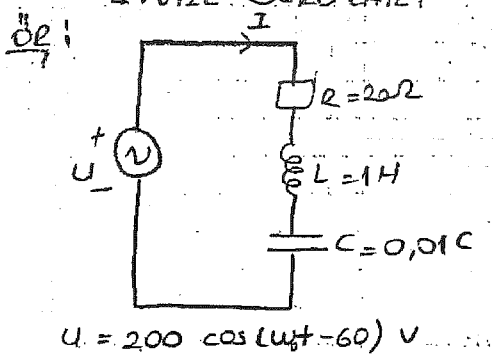
$U_L^2 = 220^2$

$196 = \frac{1}{2\pi f C}$

X

- I. VİZE SORULARI -

Ör:



Şekildeki devre rezonanstadır.

a-) Rezonans frekansını (f_0) ve akımı (I) hesaplayınız.

b-) R, L ve C elemanlarına ilişkin güçleri hesaplayınız.

c-) u'yu zamana göre çiziniz ve 30 V'tan geçtiği t değerlerini bulunuz.

d-) I'nın 400 ms anındaki değerini bulunuz.

a-) $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = 1{,}59\ Hz$

$I = \dfrac{u}{R} = 10\cos(\omega t - 60)\ A \qquad I_{ef} = \dfrac{10}{\sqrt{2}}\ A$

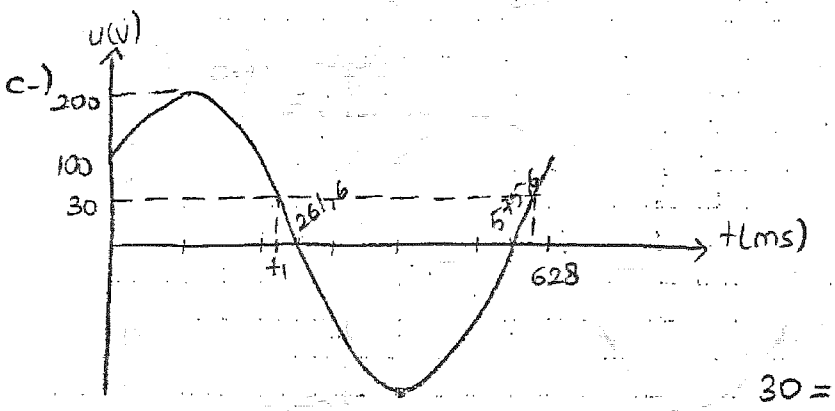
$\omega_0 = 2\pi f_0 = 10\ r/s$

b-) $X_L = \omega_0 . L = 10\Omega \qquad P_R = I_{ef}^2 . R = 1000\ W$

$X_C = \dfrac{1}{\omega_0 . C} = 10\Omega \qquad Q_L = I_{ef}^2 . X_L = 500\ VAR$

$Q_C = I_{ef}^2 . X_C = 500\ VAR$

c-)



$\omega_0 = \dfrac{2\pi}{T}$

$T = 628\ ms$

$30 = 200\cos\left[\omega_0(t_1 - 0{,}1057)\right]$

$t_1 = 0{,}246\ s$

$60° \rightarrow 105{,}7\ ms \rightarrow 0{,}33\pi$

$t_2 = 575{,}6 + (261{,}6 - 246{,}7)$

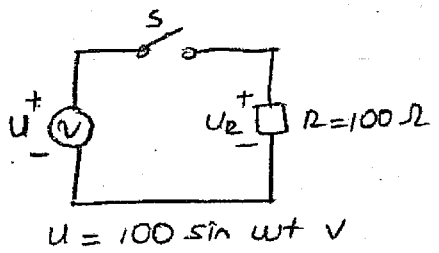
$t_2 = 590{,}61\ ms$

d-) $I = 10 \cos(10 + -60)$

$I = 10 \cos(10 \cdot 0{,}4 - 0{,}1047)$

$I = 9{,}82\ A$

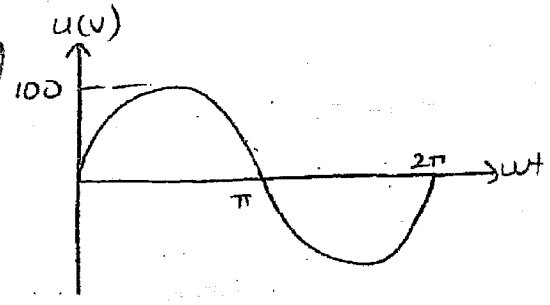
2-)



a-) S anahtarı sürekli kapalı ise u_R'yi ωt'ye göre ölçekli çiziniz Efektif değerini hesaplayınız.

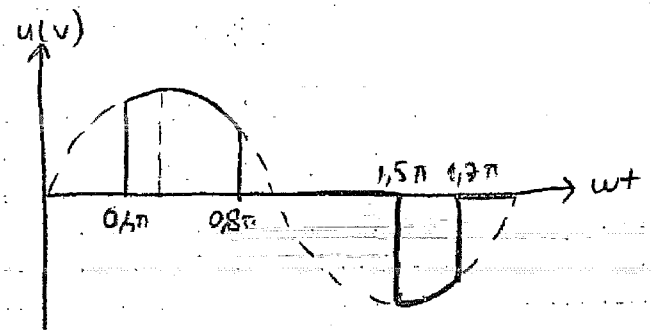
b-) S anahtarı sadece 0,4π ile 0,8π arasında ve 1,5π ile 1,7π arasında kapalı diğer aralıklarda açık ise u_R'yi ωt'ye göre ölçekli çiziniz. Ortalama değerini hesaplayınız

a-)



$$U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70{,}71\ V$$

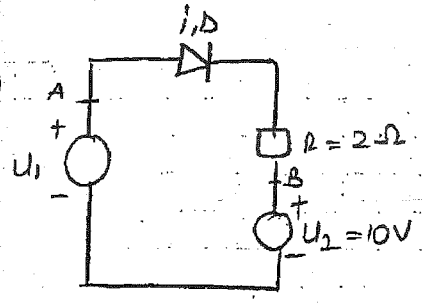
b-)

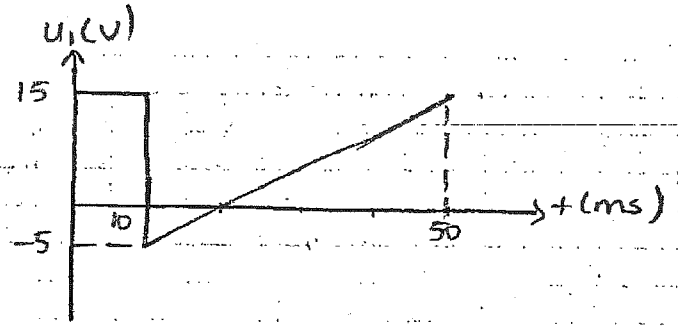


$$U_{ort} = \frac{1}{2\pi}\left[\int_{0{,}4\pi}^{0{,}8\pi} 100 \sin \omega t \cdot d\omega t + \int_{1{,}5\pi}^{1{,}7\pi} 100 \sin \omega t \cdot d\omega t\right]$$

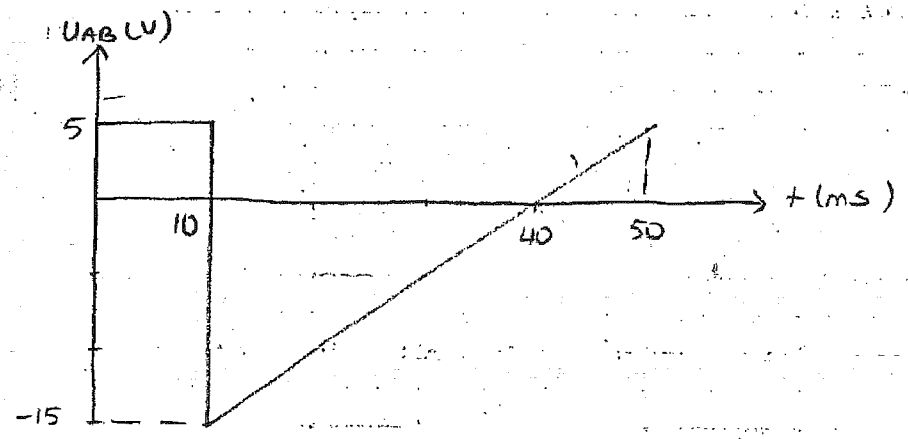
$U_{ort} = 8{,}27\ V$

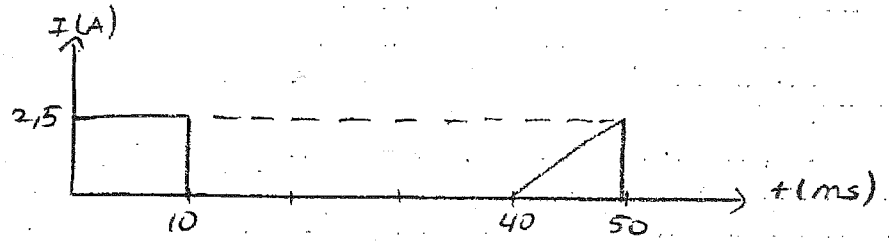
3-)



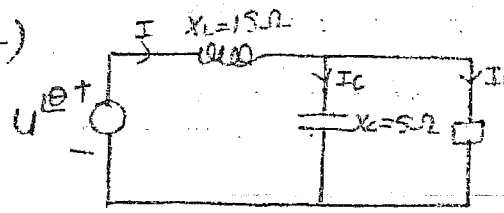


I'nın zamana göre değişimini ölçekli çiziniz.



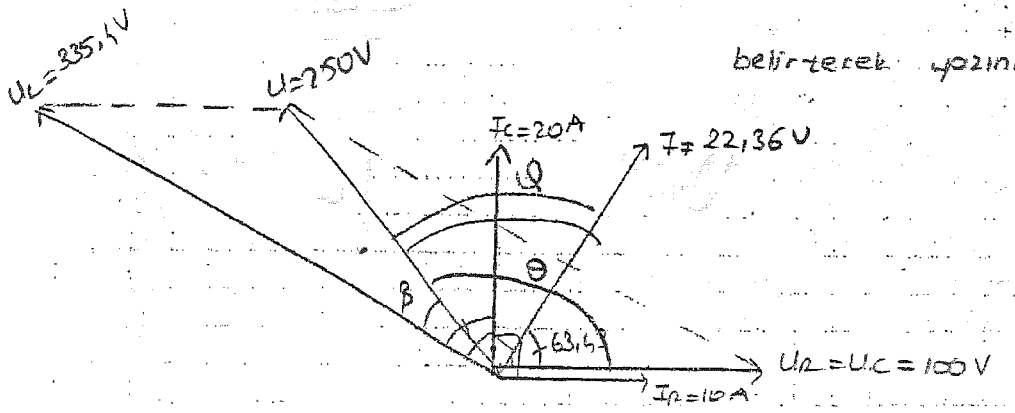


4-)



a) $U^{\underline{0}}$ değerini fazör diyagramı yöntemiyle bulunuz.

b) Devrenin özelliğini nedenini de belirterek yazınız.



$\Leftarrow$ 4b) $\Rightarrow$

$$U = \sqrt{U_L^2 + U_C^2 + 2 \cdot U_L \cdot U_C \cdot \cos 153{,}63} = 250V$$

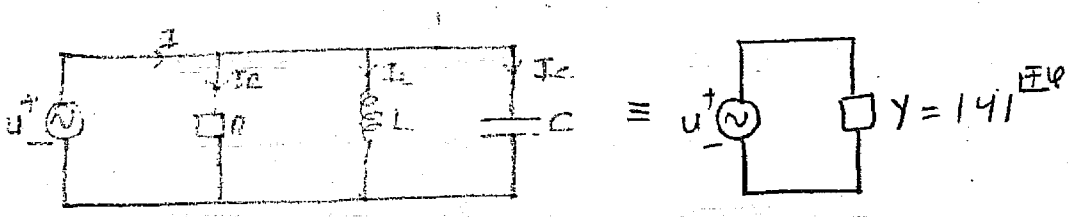
$$U_C^2 = U_L^2 + U^2 - 2 \cdot U_L \cdot U \cdot \cos \beta \Rightarrow \beta = 10{,}3$$

$$\theta = 153{,}43 - 10{,}3 = 143{,}13$$

$$U^{\angle\theta} = 250^{\angle 143{,}13}$$

b-) Kaynağın gerilimi akımından ileri fazda ve φ pozitif olduğu için omik indüktiftir.

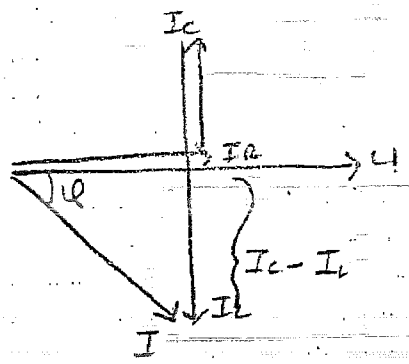
Paralel R-L-C devresi :



$$U = U_m \cdot \sin \omega t$$

$$I = I_R + I_L + I_C \quad (1)$$

$$I_R = \frac{U}{R}, \quad I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L}, \quad I_C = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega \cdot C$$



$$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2$$

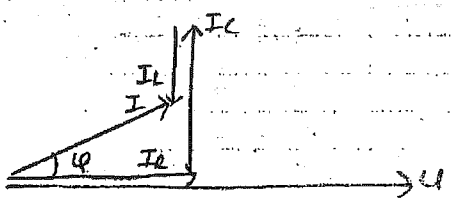
$$I = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}\right)^2}$$

$$I = U \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2}$$

$$|Y| = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\omega \cdot C - \frac{1}{\omega \cdot L}\right)^2}$$

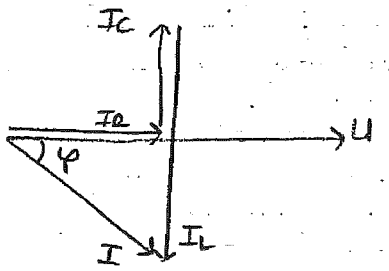
$$\varphi = \arctan \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{1/R} = \arctan\left[\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \cdot R\right]$$

1-) $\omega C > \frac{1}{\omega L}$ ise; $(X_L > X_C)$



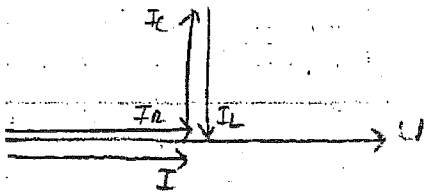
U, I'dan φ kadar geridedir. Devre omik kapositif özellik gösterir.

2-) $\omega C < \frac{1}{\omega L}$ ise; $(X_L < X_C)$



U, I'dan φ kadar ilerideedir. Devre omik indüktif özellik gösterir.

3-) $\omega C = \frac{1}{\omega L}$ ise; $(X_L = X_C)$



$\varphi = 0$

$I = I_R$

Devre saf omik özellik gösterir. Devre rezonansta demektir. Bu duruma parolel rezonans durumu bunu sağlayan frekansa da rezonans frekansı denir.

$$\omega_0 . C = \frac{1}{\omega_0 . L} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi . \sqrt{LC}}$$

Rezonans frekansında empedans en büyük değerine ulaşır. Devreden geçen akım da en küçük değerini alır.

Z_{max} R

$I_{min} = \frac{U}{R}$

$I_L = I_C$

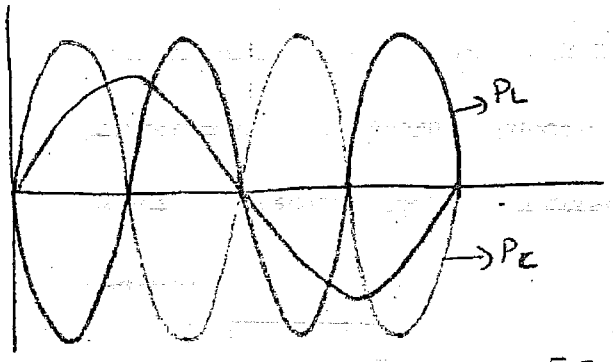
$\frac{U}{\omega_0 \cdot L} = U \omega_0 \cdot C$

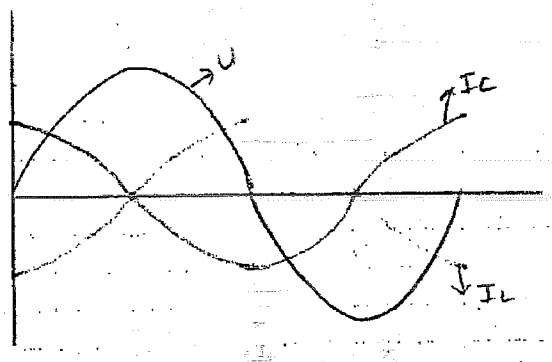
$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I}$

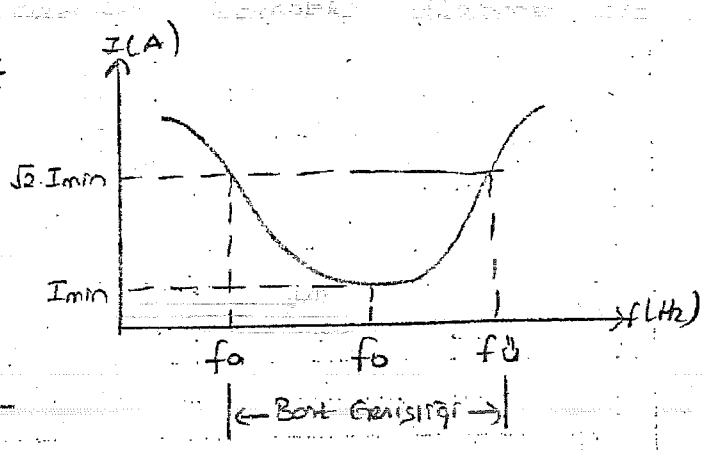
$Q = \frac{R}{\omega_0 \cdot L} = R \cdot \omega_0 \cdot C$

Kalite faktörü

Bu devrelerde rezonans frekansında L ve C'den geçen akım kaynaktan geçen akımdan çok daha büyük olabilir.

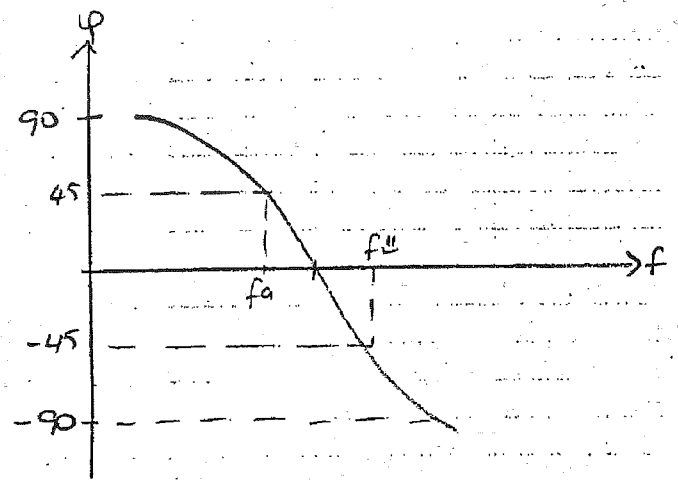




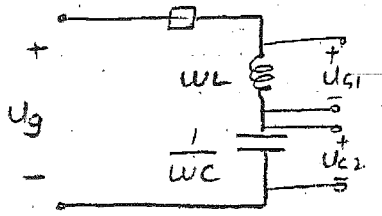


$B.G = f_b - f_a$

$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = R \cdot \omega_0 \cdot C = \frac{f_0}{B.G} = \frac{f_0}{f_b - f_a}$

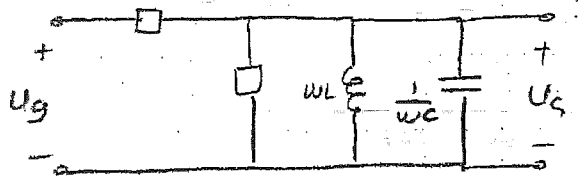


Rezonans devreleri alıcı ve verici devrelerinde, filtre (süzgeç) devrelerinde, ark fırını (metal eritme) devrelerinde kullanılır. Rezonans devrelerinde amaç istenilen frekanslardaki sinyalleri geçirmek yada istenilmeyen frekanslardaki sinyalleri elimine etmektir.

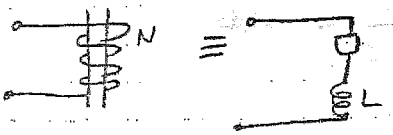


Yüksek frekanslı sinyallerde $U_{C1} > U_{C2}$

Düşük " " $U_{C2} > U_{C1}$



Düşük frekanslı sinyallerde de, yüksek " " " U_C'den geçmez.



$L = \frac{N^2}{R_m} \rightarrow \left(\frac{1}{H}\right)$ $\qquad R_m = \frac{l_o}{\mu_o \mu_r A}$

Manyetik direnç $\qquad G_m = \frac{1}{R_m}$

(H)

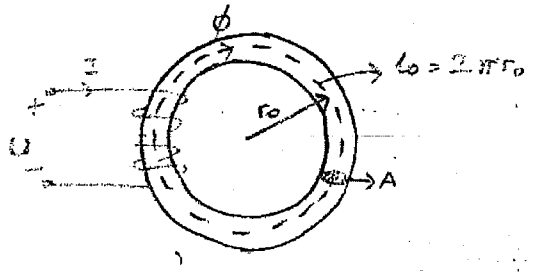
L_o: Akının dolaştığı ortalama yol

A: Akının geçtiği kesit

μ_o: Boşluğun manyetik geçirgenliği

μ_r: Bobinin sarıldığı malzemenin manyetik geçirgenliği

$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$

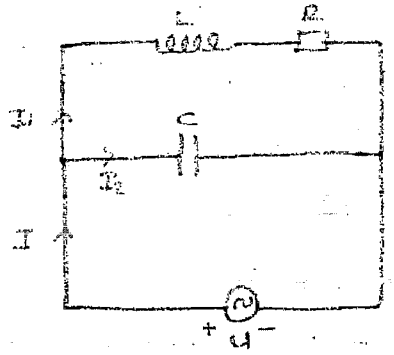


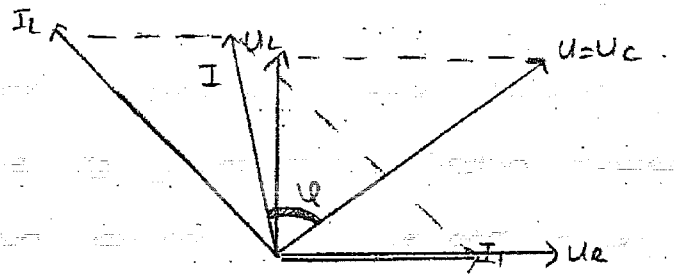
$\mu_{rH} = 1$

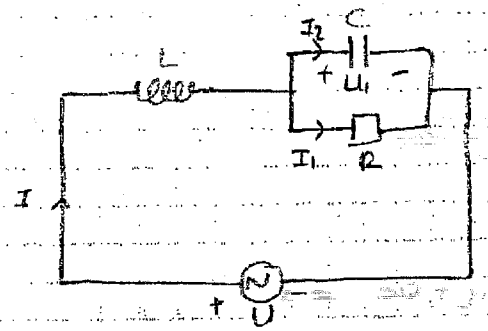
$\mu_{rFe} = 3500 - 5000$

Karmaşık Bağlantılı Alternatif Akım Devreleri:

Şekildeki devre alıcı ve vericilerde çok kullanılan L ve C içeren paralel rezonans devresidir. Bu devrede R istenmediği halde vardır. Karmaşık bağlantılı alternatif akım devrelerinde başlangıç fazörünün seçimi önemlidir.



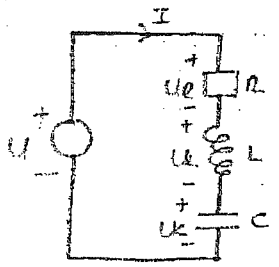


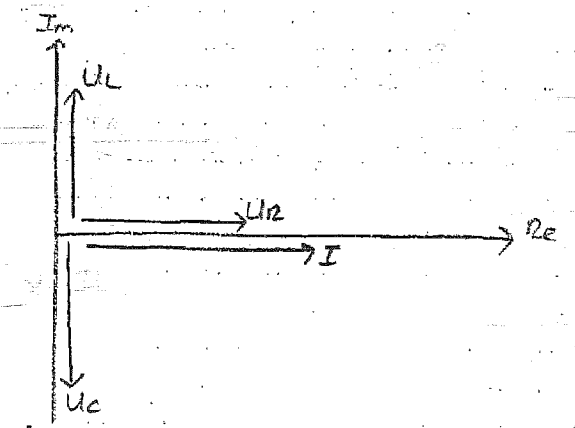


Yukarıdaki devrelerde U başlangıç fazörü seçilirse devrenin fazör diyagramını çizmek mümkün değildir. I. devrede I_1; U_L yada U_R ; II. devredede U_1, I_1 yada U_2 başlangıç fazörü seçilirse ancak fazör diyagramı çizilebilir. Bu örnekler fazör diyagramıyla karşılaşılacak zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Bu durum fazör diyagramı yöntemi için bir dezavantajdır. Bu nedenle devre çözümlerinde kompleks hesap yöntemi kullanılan en genel yöntemdir.

Kompleks Hesapla Devre Çözümü:

Alternatif akım devrelerinde kompleks hesap yöntemini kullanmak her zaman çözümü kolaylaştırır. Ayrıca bu yöntemde zamandan bağımsız olmak da çok büyük kolaylık sağlar. Kompleks hesaba geçiş fazörleri kompleks düzleme çizmekle yapılır.

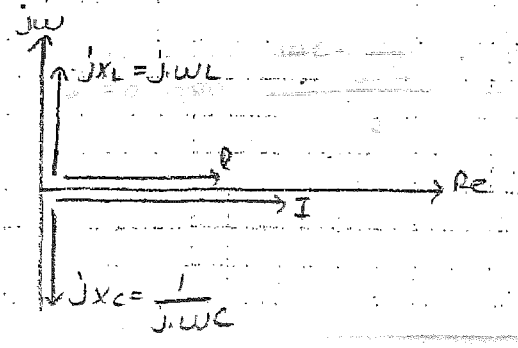




$$\frac{U_R}{I} = R$$

$$\frac{U_L}{I} = j X_L$$

$$\frac{U_C}{I} = -j X_C$$



} Empedans üçgeni

R reel, X_L ve X_C'de sanal büyüklüklerdir. Bu kavramla alternatif akım devrelerinin hesabı kolayca yapılabilir.

$$U = U_R + U_L + U_C = R \cdot I + j X_L \cdot I - j X_C \cdot I$$

$$U = R\, I + j\, I\, (X_L - X_C)$$

$$U = I \cdot (R + j\,(X_L - X_C)) = I \cdot Z$$

$$Z = R + j\,(X_L - X_C) = |Z| \angle \mp \varphi$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

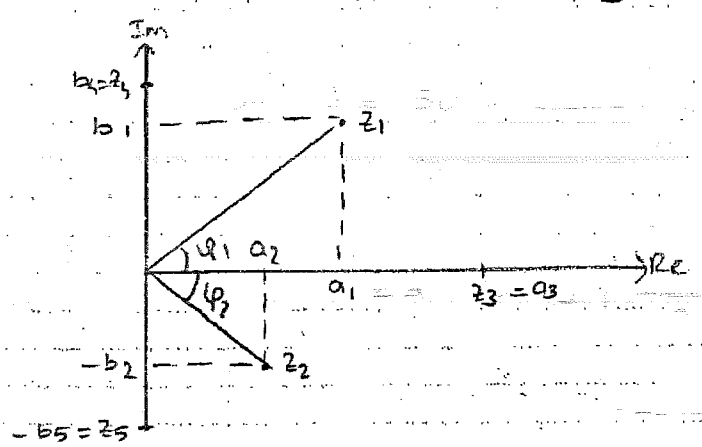
$$\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$Z = A \mp jB = |Z| \angle \mp \varphi$$

$$|Z| = \sqrt{A^2 + B^2} \quad , \quad \varphi = \arctan \frac{B}{A}$$

$$Z \angle \mp \varphi = |Z|\,(\cos\varphi \mp j \cdot \sin\varphi)$$

$$= \underbrace{|Z| \cdot \cos\varphi}_{A} \mp \underbrace{|Z|\, j \sin\varphi}_{B} = A \mp jB$$



$$Z_1 = a_1 + j\,b_1 = |Z| \angle \varphi_1$$

$$Z_2 = a_2 - j\,b_2 = |Z| \angle -\varphi_2$$

$$Z_3 = a_3 = a_3 \angle 0$$

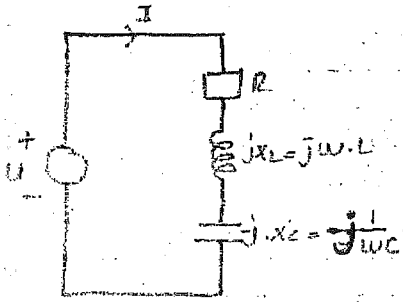
$$Z_4 = j \cdot b_4 = b_4 \angle 90$$

$$Z_5 = -j\,b_5 = b_5 \angle -90$$

$$z_1 \mp z_2 = (a_1 \mp a_2) + j(b_1 \mp b_2)$$

$$z_1^{\angle\varphi_1} \cdot z_2^{\angle\varphi_2} = z_1 \cdot z_2^{\angle\varphi_1+\varphi_2}$$

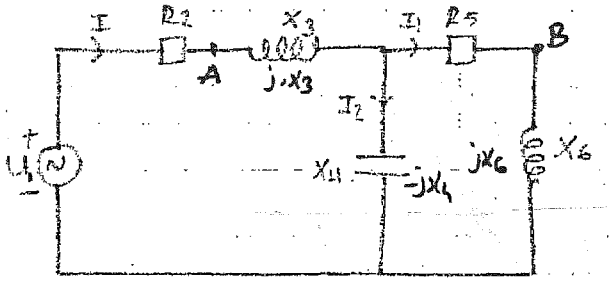
$$\frac{z_1^{\angle\varphi_1}}{z_2^{\angle\varphi_2}} = \frac{z_1}{z_2}^{\angle\varphi_1-\varphi_2}$$



$$z = R + j(X_L - X_C) = |z|^{\angle\varphi}$$

$$I = \frac{U^{\angle 0}}{z} = \frac{U}{|z|^{\angle\varphi}}$$

Ör.



$U_1 = 500^{\angle 45}$ V

$R_2 = 50\,\Omega$, $X_3 = 50\,\Omega$

$X_4 = 100\,\Omega$, $R_5 = 50\,\Omega$

$X_6 = 50\,\Omega$

a-) U_{AB} gerilimini kompleks yolla bulunuz

b-) U_1, R_2 ve X_3 elemanlarına ilişkin güçleri bulunuz

c-) R_5'e ilişkin gerilimi ωt'ye göre ölçekli çiziniz.

a-) $$z = R_2 + j \cdot X_3 + \frac{(R_5 + jX_6)(-jX_4)}{R_5 + jX_6 - jX_4}$$

$$z = 50 + j50 + \frac{(50 + j50)(-j100)}{50 + j(50-100)}$$

$$z = 50 + j50 + \frac{70{,}71^{\angle 45} \cdot 100^{\angle -90}}{70{,}71^{\angle -45}}$$

Empedans açısı = devrenin faz açısı $Z\angle 0 \rightarrow$ saf omik

$Z\angle\varphi \rightarrow$ omik indüktif $Z\angle 90 \rightarrow$ saf indüktif

$Z\angle -\varphi \rightarrow$ " kapasitif $Z\angle -90 \rightarrow$ saf kapasitif

$$Z = 50 + j\cdot 50 + 100\angle 0 \Rightarrow Z = 150 + j\cdot 50\ \Omega$$

$$Z = 158{,}11\angle 18{,}43\ \Omega$$

$$I = \frac{U_1}{Z} = \frac{500\angle 45\ V}{158{,}11\angle 18{,}43\ \Omega} = 3{,}16\angle 26{,}57\ A = 2{,}826 + j\ 1{,}413\ A$$

$$I_1 = \frac{-jX_4}{R_5 + jX_6 - jX_4}\cdot I = \frac{-j\cdot 100}{50 + j\cdot 50 - j\cdot 100}\ 3{,}16\angle 26{,}57$$

$$= \frac{100\angle -90}{70{,}71\angle -45}\cdot 3{,}16\angle 26{,}57$$

$$= 4{,}468\angle -18{,}43\ A = 4{,}428 - j\ 1{,}41\ A$$

$$I_2 = I - I_1 = 2{,}826 + j\ 1{,}413 - 4{,}428 + j\ 1{,}41$$

$$=$$

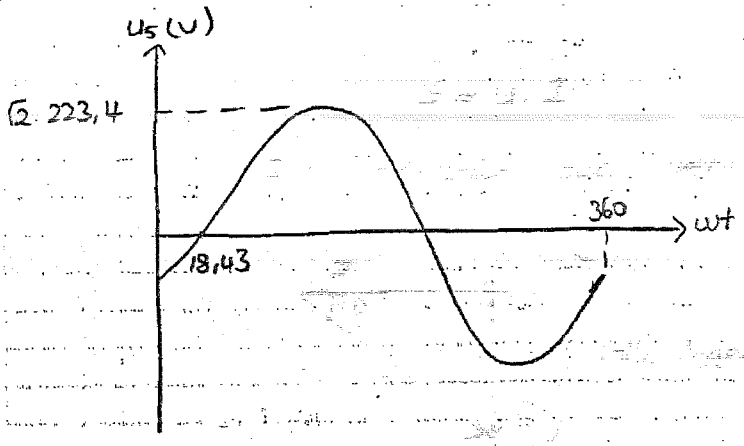
$$U_{AB} = j\cdot X_3\cdot I + R_5\cdot I_1$$

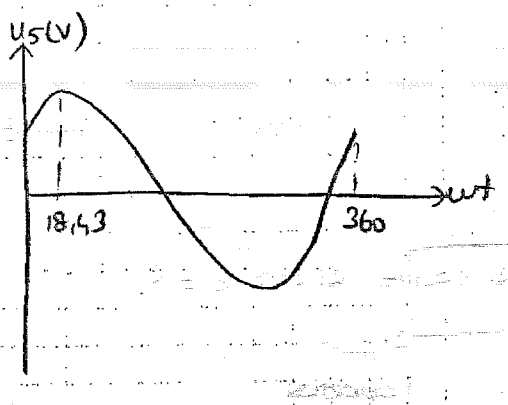
$$= 50\angle 90\cdot 3{,}16\angle 26{,}57 + 50\cdot 4{,}468\angle -18{,}43$$

$$= 158\angle 116{,}57 + 223{,}4\angle -18{,}43$$

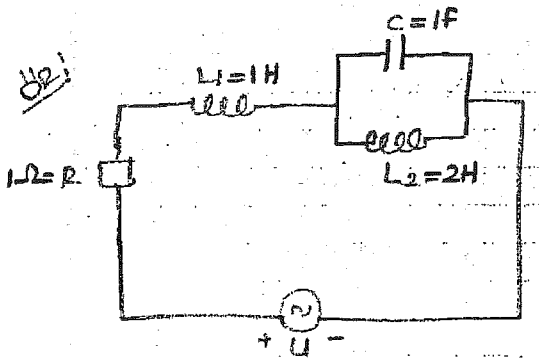
$$= 141{,}269 + j\ 70{,}68\ V = 157{,}96\angle 26{,}57\ V$$

c-) $U_5 = I_1 . R_5 = 4{,}468 . 50 = 223{,}4\angle -18{,}43\ V$





Ör:



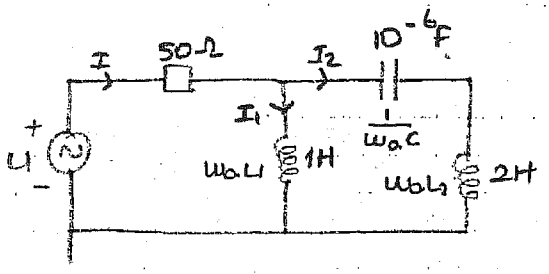
Devrenin rezonans frekansını bulunuz.

$$Z = R + j\underbrace{\left[\omega_0 \cdot L_1 + \frac{(j\cdot\omega_0\cdot L_2)\left(\frac{1}{j\cdot\omega_0\cdot C}\right)}{j\left(\omega_0\cdot L_2 - \frac{1}{\omega_0\cdot C}\right)}\right]}_{X}$$

$Z = R + jX \rightarrow 0$ alınır.

$Z = R + j0$

Ör:



$U = 220V$

a-) Devrenin rezonans frekansını bulunuz

b-) Rezonans frekansında I, I_1 ve I_2 değerlerini bulunuz.

a-) $$Z = 50 + \frac{j\omega_0 \cdot L_1\left[j\cdot\omega_0\cdot L_2 - j\cdot\frac{1}{\omega_0\cdot C}\right]}{j\left[\omega_0\cdot L_1 + \omega_0\cdot L_2 - \frac{1}{\omega_0\cdot C}\right]}$$

$$Z = 50 + j\underbrace{\left[\frac{2\omega_0^2 - \frac{1}{10^{-6}}}{3\omega_0 - \frac{1}{\omega_0\cdot 10^{-6}}}\right]}_{0} = 50 + j\cdot 0$$

$$2\omega_0^2 - \frac{1}{10^{-6}} = 0 \Rightarrow \omega_{01} = 0 \quad \boxed{\omega_{02} = 707{,}1\ \frac{r}{s}}, \omega_{03} = -707{,}1\ \frac{r}{s}$$

$\omega_0 = 707{,}1 \frac{r}{s} = 2\pi f_0 \Rightarrow f_0 = 112{,}5\ Hz$

b.) $U_R = 220\ V$

$I = 4{,}4\ A$

$I_1 = 0 \qquad I_2 = 4{,}4\ A$

$X_C = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} = 1413\ \Omega \qquad U_C = 6222\ V$

Ama polarileri farklı

$X_L = \omega_0 \cdot L = 1413\ \Omega \qquad U_L = 6222\ V$

Alternatif Akım Devrelerinde Güç:

$u(t) = U_m \sin \omega t$

$I(t) = I_m \sin(\omega t \mp \varphi)$

$P = u \cdot I = U_m \sin \omega t \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$

$= U_m I_m \sin \omega t \cdot (\sin \omega t \cdot \cos \varphi + \cos \omega t \cdot \sin \varphi)$

$= U_m \cdot I_m \cdot \sin^2 \omega t \cdot \cos \varphi + \frac{\sin 2\omega t}{2} \sin \varphi$

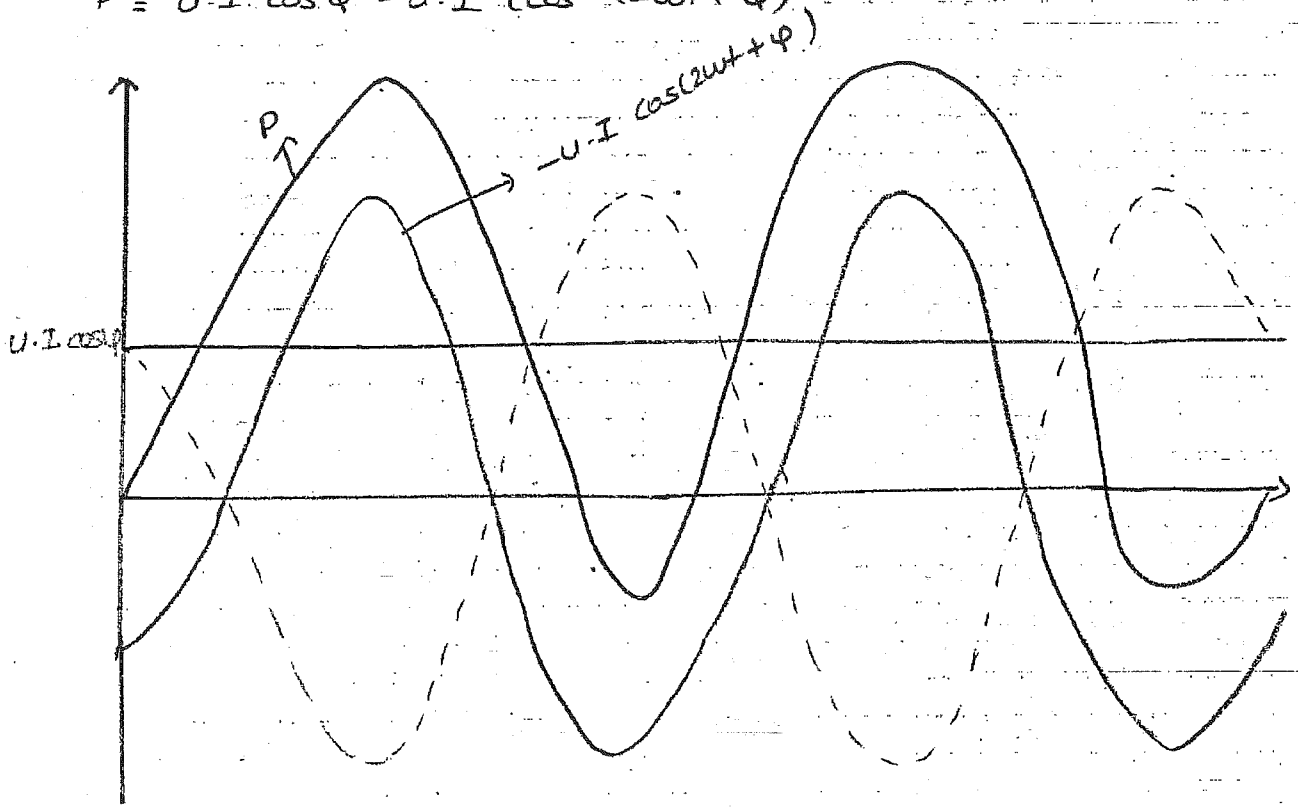
$P = \frac{U_m \cdot I_m}{2} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

$P = U_{ef} \cdot I_{ef} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

L : $\varphi = \frac{-\pi}{2} \Rightarrow P = -U \cdot I \cdot \sin 2\omega t$

C : $\varphi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow P = U \cdot I \cdot \sin 2\omega t$

$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi - U \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$



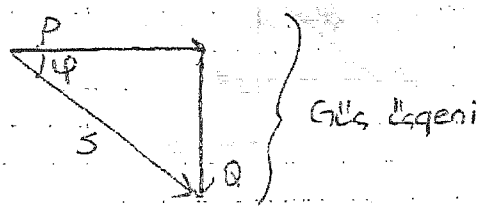
P'nin ortalama değeri alınırsa zamandan bağımsız olur.

Bu güce biz aktif güç deriz. Birimi watt'dır

$P = U \cdot I \cos\varphi$ (W) ——— $Q = U \cdot I \sin\varphi$ (VAR)

$S = U \cdot I$

S : Görünür güç denir. Birimi VA (volt-amper) dir.



$P = S \cos\varphi \Rightarrow \boxed{\cos\varphi = \frac{P}{S}}$

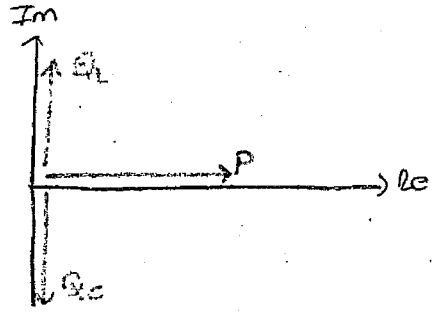
Güç katsayısı

Devrenin faz açısı $-90 < \varphi < 90$ olmak zorundadır.

$$S = P \mp jQ = \sqrt{P^2+Q^2} \angle \mp \varphi$$

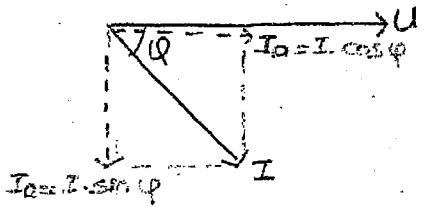
$$\varphi = \arctan \frac{Q}{P}$$

$$S = U \cdot I^*$$



$S = P + jQ_L$ → indüktif reaktif güç

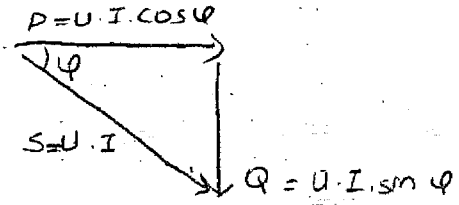
$S = P - jQ_C$ → kapasitif reaktif güç.



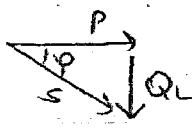
I = Görünür akım

Aktif bileşeni aktif güçü oluşturur.

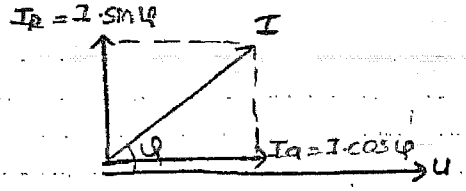
Reaktif " reaktif " " bileşenledir.

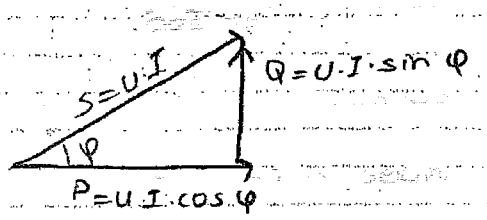


} Omik indüktif

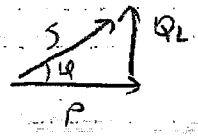


$$S = P + jQ$$





} Omik kapasitif



$Q = P \cdot \tan\varphi \Rightarrow \varphi = \arctan \frac{Q}{P}$

$|S| = \sqrt{P^2+Q^2}$

φ (Faz açısı) : Gerilimin açısı ile akımın açısı arasındaki fark.

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_I$$

R-L :

$$\left.\begin{array}{l} \varphi_U = 0 \\ \varphi_I = -\theta \\ \varphi = 0-(-\theta) = \theta \end{array}\right\} U^{\angle 0},\ I^{\angle\theta}$$

$$S = U \cdot I^* = U^{\angle 0} \cdot I^{\angle\theta} = U \cdot I^{\angle\theta}$$

$$= \underbrace{U \cdot I \cos\theta}_{P} + j\underbrace{U \cdot I \sin\theta}_{Q}$$

$$= P + jQ$$

R-C :

$$\left.\begin{array}{l} \varphi_U = 0 \\ \varphi_I = \theta \\ \varphi = 0-\theta = -\theta \end{array}\right\} U^{\angle 0},\ I^{\angle\theta}$$

$$S = U \cdot I^* = U^{\angle 0} \cdot I^{\angle -\theta} = U \cdot I^{\angle -\theta}$$

$$= \underbrace{U \cdot I \cdot \cos\theta}_{P} - j\underbrace{U \cdot I \cdot \sin\theta}_{Q}$$

$$= P - jQ$$

R :

$$\left.\begin{array}{l} U^{\angle 0} \\ I^{\angle\theta} \end{array}\right\} \underbrace{\begin{array}{l} S = U \cdot I = U^{\angle 0} \cdot I^{\angle\theta} = U \cdot I^{\angle 2\theta} \\ \qquad = U \cdot I \cos 2\theta + \overbrace{j \cdot U \cdot I \cdot \sin 2\theta}^{\text{olamaz}} \end{array}}_{\text{Olamaz. Direnç sadece aktif güç çeker.}}$$

$$S = U \cdot I^* = U^{\angle\theta} \cdot I^{\angle -\theta} = U \cdot I^{\angle 0}$$

$$= U \cdot I$$

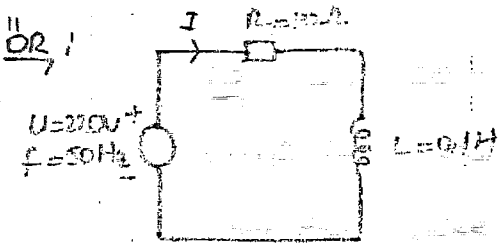
L :

$$\left.\begin{array}{l} U^{\angle 0} \\ I^{\angle -90} \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} S = U \cdot I = U^{\angle 0} \cdot I^{\angle -90} \\ \qquad = U \cdot I^{\angle -90} \\ \qquad = -j \cdot U \cdot I \cdot \sin 90 \\ \qquad = -j \cdot Q \end{array}\right\} \text{Olamaz, Eşlenik unutma!!!}$$

$$Z = |Z|\angle\varphi = R + jX \quad \text{(Omik indüktif)}$$
$$|Z|\angle-\varphi = R - jX \quad \text{(" kapasitif)}$$
$$|Z|\angle 0 = R \quad \text{(Omik)}$$
$$|Z|\angle 90 = jX \quad \text{(Saf indüktif)}$$
$$|Z|\angle-90 = -jX \quad \text{(Saf kapasitif)}$$

$$S = |S|\angle\varphi = P + jQ$$
$$|S|\angle-\varphi = P - jQ$$
$$|S|\angle 0 = P$$
$$|S|\angle 90 = jQ$$
$$|S|\angle-90 = -jQ$$

ÖR, 1



Güç üçgenini ölçekli çiziniz.

$$X_L = \omega \cdot L = 314 \cdot 0{,}1 = 31{,}4\ \Omega$$
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 32{,}95\ \Omega$$
$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = 72{,}3$$

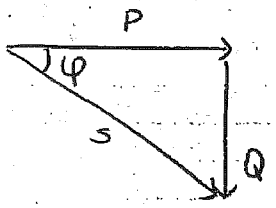
$$\left[Z = R + j \cdot X_L = 32{,}95 \angle 72{,}3\ \Omega \right]$$

$$I = \frac{U}{|Z|} = 6{,}67\ A \quad \left[I = \frac{220\angle 0}{32{,}95\angle 72{,}3} = 6{,}67\angle -72{,}3 \right]$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 6{,}67 \cdot \cos 72{,}3 = 446{,}13\ W$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 220 \cdot 6{,}67 \cdot \sin 72{,}3 = 1398\ VAR = P \cdot \tan\varphi$$

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi} = 1467{,}4\ VA$$



$$\varphi = \arctan \frac{Q}{P} = 72,3$$

$$S = P + jQ = 446,13 + j \cdot 1398$$

$$= 1467,4 \angle 72,3 \text{ VA}$$

Devreden çekilen aktif gücü bulun denilirse P_r alınır. Çünkü R aktif güç çeker.

$$P_r = |I|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R} = 6,67^2 \cdot 10 = 444,8 \text{ W}$$

$$Q_L = |I|^2 \cdot X_L = 6,67^2 \cdot 31,4 = 1396,9 \text{ VAR}$$

Kaynağın yüklendiği güç S'dir

$$S = |I|^2 \, |Z| = 6,67^2 \cdot 32,95 = 1465,9 \text{ VA}$$

$$S = \frac{U^2}{|Z|} = \frac{220}{32,95} = 1468,9 \text{ VA}$$

(Akımda kaynak tanımı bir ihmal var. onda daha küçük)

Güç Üçgeni Yöntemiyle Devre Çözümü:

Şebekemize bağlı yüklere ilişkin bilinen büyüklüklerden ikisinde P ve cos φ olduğundan güç üçgeni yöntemi bazı durumlarda kolaylıklar sağlar.

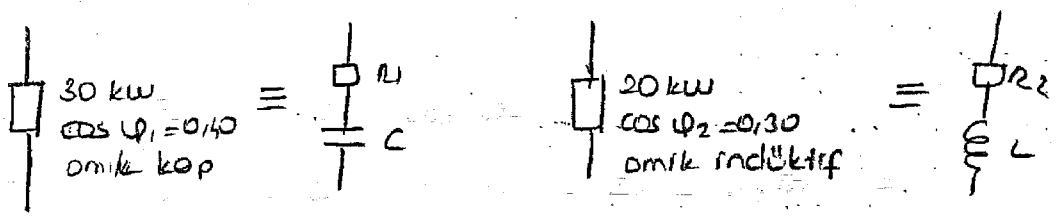
Ör: [$P_1 = 30$ kW cos $\varphi_1 = 0,40$ - omik kapasitif)

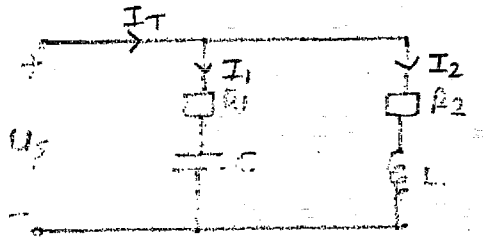
[$P_2 = 20$ kW cos $\varphi_2 = 0,30$ - omik indüktif] yükle şebekemize bağlıdır.

a-) Yük akımlarını ve şebekeden çekilen toplam akımı hesapla.

b-) Akımın şekilini yüklerin eşdeğerinde belirterek aynı 1. yüke ilişkin eşdeğer devre elemanlarını bulun.

b-)





$P_1 = 30\ kW$

$\cos\varphi_1 = 0{,}40 \Rightarrow \varphi = 66{,}42$

$Q_C = P_1 \cdot \tan\varphi_1$

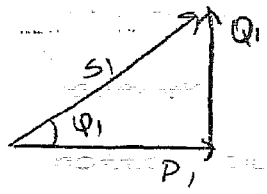
$= 68738{,}6\ VAR$

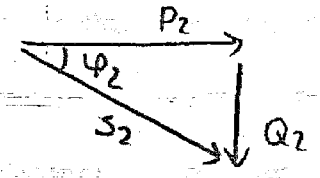
$P_2 = 20\ kW$

$\cos\varphi_2 = 0{,}30 \Rightarrow \varphi = 72{,}54$

$Q_L = P_2 \cdot \tan\varphi_2$

$= 63386\ VAR$



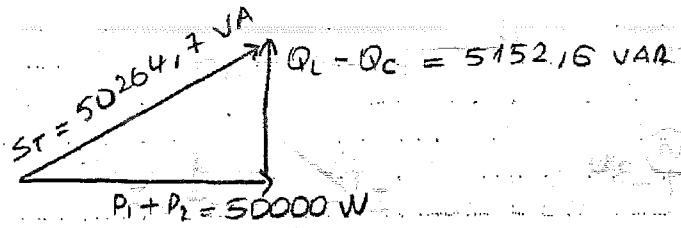


$S_1 = 75000\ VA$

$S_2 = 66700\ VA$

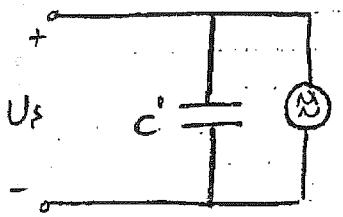
$$\left.\begin{aligned} P_1 &= U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \\ Q_1 &= U \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1 \\ S_1 &= U \cdot I_1 \end{aligned}\right\} I_1 = 340{,}9\ A$$

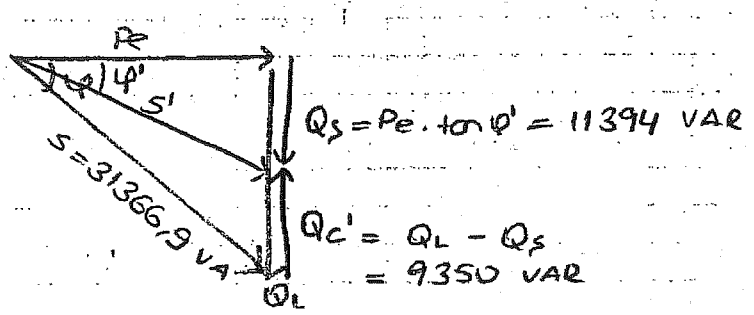
$$\left.\begin{aligned} P_2 &= U \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \\ Q_2 &= U \cdot I_2 \cdot \sin\varphi_2 \\ S_2 &= U \cdot I_2 \end{aligned}\right\} I_2 = 303\ A$$



$\varphi = \arctan \frac{Q_T}{P_T} = 5{,}88$

b-) Uygun kompenzasyon için gerekli C değerini seçiniz.





$\cos\varphi' = 0{,}90$

$\varphi' = 25{,}84$

$Q_C' = U^2 \omega C'$

$C' = 615{,}16\ \mu F$

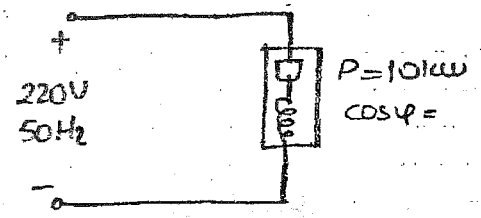
$S = U \cdot I \Rightarrow I = 142{,}5\ A$

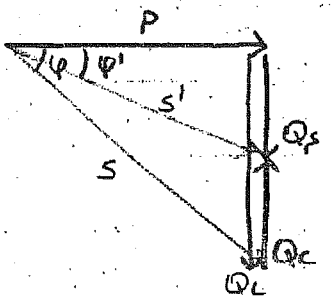
$S' = U \cdot I' = I' = 118{,}8\ A$

ÖR: a-) 220 V, 50 Hz'lik tek fazlı 10 kW'lık bir yük 1 mf ile hangi güç katsayısından 0,85'e kompanze edilir?

b-) Aynı yüke 5kW daha eklenirse güç katsayısı ne olur?

a-)





$\cos\varphi' = 0{,}85$

$\varphi' = 31{,}78$

$Q_ş = P \cdot \tan\varphi' = 6197{,}44$ VAR

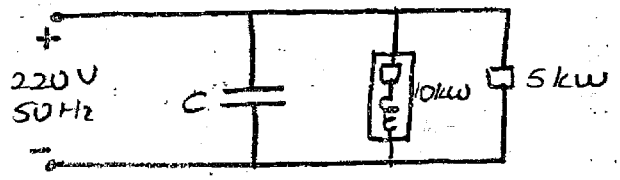
$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \omega C = 220^2 \cdot 314 \cdot 10^{-3}$

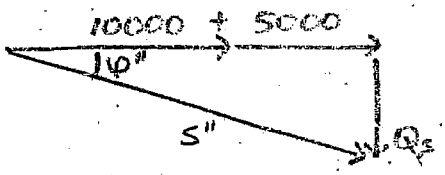
$= 15197{,}6$ VAR

$\varphi = \arctan \frac{Q_L}{P} = 64{,}94°$

$\cos\varphi = 0{,}42$

b-)





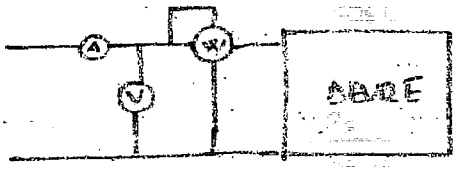
$$\varphi'' = \arctan \frac{Q_S}{P_T} = 22,44$$

$$\cos \varphi'' = 0,92$$

Güç katsayısı yükseldi ama kompanzasyon yapılmış olmadı. Çünkü S'' de arttı

EŞDEĞER DEVRELER :

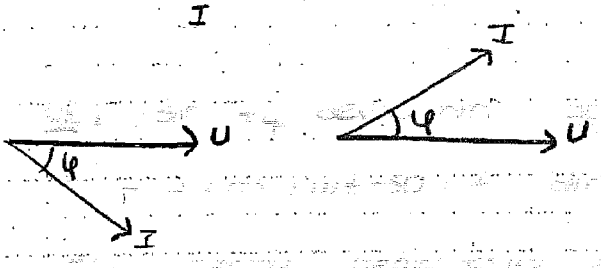
İç yapısı bilinmeyen bir devreye alternatif akım uygulanıp bazı ölçümler ve hesaplamalar yapılarak devrenin en basit eşdeğerini çizmek mümkün olur.



U, I, P ölçülür.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow \cos \varphi = \frac{P}{U \cdot S}$$

$$|Z| = \frac{U}{I}$$



$$\left.\begin{aligned} P_T &= U \cdot I_T \cdot \cos\varphi_T \\ Q_T &= U \cdot I_T \cdot \sin\varphi_T \\ S_T &= U \cdot I_T \end{aligned}\right\} \; I_T = 228{,}4 \text{ A}$$

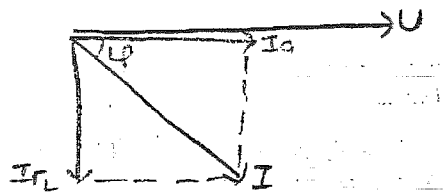
$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 \Rightarrow R_1 = 0{,}258\ \Omega$$

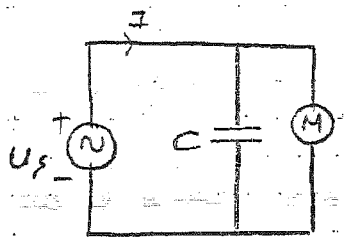
$$Q_C = I_1^2 \cdot X_C = \frac{I_1^2}{\omega \cdot C} \Rightarrow C = 5{,}38 \cdot 10^{-3}\ F$$

GÜÇ KOMPANZASYONU :

Şehir şebekemize bağlı bulunan yüklerin hemen hemen tamamına yakını omik indüktif özellik taşır (Motorlar gibi) Bu yükler aktif gücün yanında reaktif güçte çekerler. Bunun sonucunda görünür güç de artar. Böylece şebekeden çekilen (hattan geçen) akım artar. Bu nedenle hatta oluşan gerilim düşümleri ve kayıplar artar. Ayrıca şebekenin yükleme kapasitesi azalır.

Omik indüktif bir yükün şebekeden çekeceği reaktif güç kendisine paralel bağlanacak bir kondansatörle azaltılarak şebekeden çekilen akımda azaltılır.

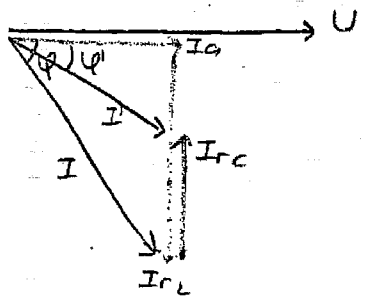


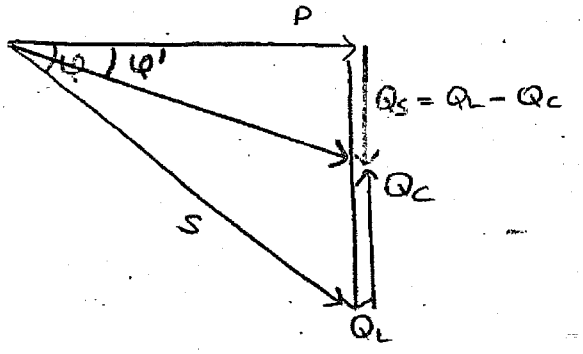


$$U_H = I \cdot R_H$$

$$P_H = I^2 \cdot R_H$$

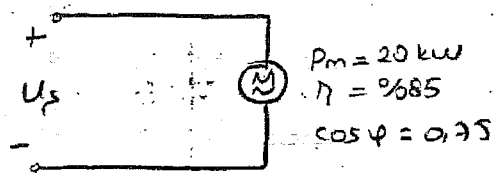
Kondansatör bağlandıktan sonra;





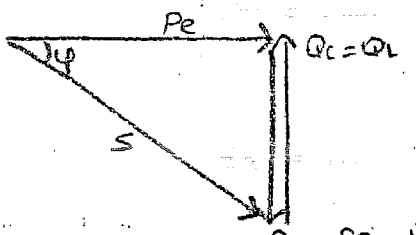
Ör: 20 kW gücünde %85 verimli ve güç katsayısı 0,75 olan bir tek fazlı alternatif akım motoru şehir şebekemizden beslenmektedir

a-) Motorun şebekeden çektiği reaktif gücün 0 olması için gerekli elemanı değerini hesaplayınız.



$\cos\varphi = 0{,}75 \rightarrow \varphi = 41{,}4$

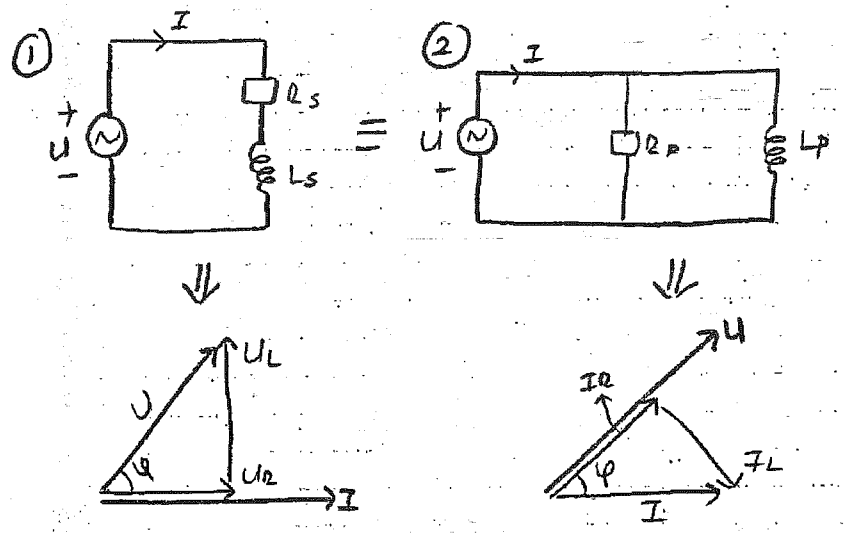
$\eta = \frac{P_m}{P_e} \Rightarrow P_e = \frac{20000}{0{,}85} = 23520\ W$



$Q_L = P_e \cdot \tan\varphi = 20743\ VAR$

$Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \omega C \Rightarrow C = 1364\ \mu F$

NOT: Kondansatörler pahalı elemanlar olduğundan $\cos\varphi = 1$'e kompanzasyon yapılmaz. Genellikle $\cos\varphi = 0{,}85 - 0{,}95$ kompanzasyon için yeterli olur. Dersimiz için $\cos\varphi = 0{,}90$ alınır.



Kondansatör içinde son yap

$R_s = R_p \cdot \cos^2\varphi$

$C_s = \dfrac{C_p}{\sin^2\varphi}$

Bilinmeyen devrenin eşdeğeri seri yada paralel olabilir. Bu devrelerin aynı davranışı göstermesi sbt bir frekansta geçerlidir.

① $\cos\varphi = \dfrac{U_R}{U} = \dfrac{R_s}{|Z|}$ ② $\cos\varphi = \dfrac{I_R}{I} = \dfrac{|Z|}{R_p}$

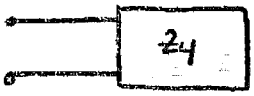
$|Z| = \dfrac{R_s}{\cos\varphi}$ $|Z| = R_p \cdot \cos\varphi$

$$\frac{R_s}{\cos\varphi} = R_p \cdot \cos\varphi \Rightarrow R_p = \frac{R_s}{\cos^2\varphi}$$

$\sin\varphi = \dfrac{U_L}{U} = \dfrac{X_{Ls}}{|Z|} = \dfrac{\omega L_s}{|Z|}$ $\sin\varphi = \dfrac{I_L}{I} = \dfrac{|Z|}{X_{Lp}} = \dfrac{|Z|}{\omega \cdot L_p}$

$$|Z| = \frac{\omega \cdot L_s}{\sin\varphi} = \omega \cdot L_p \cdot \sin\varphi \Rightarrow L_p = \frac{L_s}{\sin^2\varphi}$$

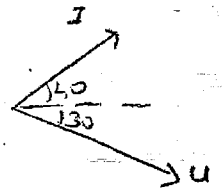
Ör: Bir zy devresinin gerilimi $U = 100 \sin(\omega t - 30)$ V $I = 4\cos(\omega t - 50)$ A bir zy devresinin en basit eşdeğerini eleman değerlerini de hesaplayarak oluşturunuz.



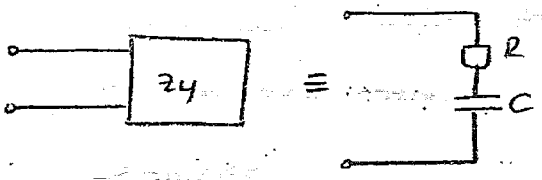
$U = 100 \sin(\omega t - 30)\ V$

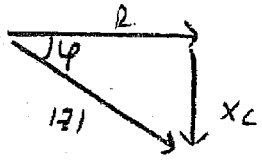
$I = 4 \cos(\omega t - 50)\ A = 4 \sin(\omega t + 40)\ A$

$\varphi = \varphi_U - \varphi_I = -30 - 40 = -70$ (omik kapositif)



$|Z| = \frac{U}{I} = 25\ \Omega$



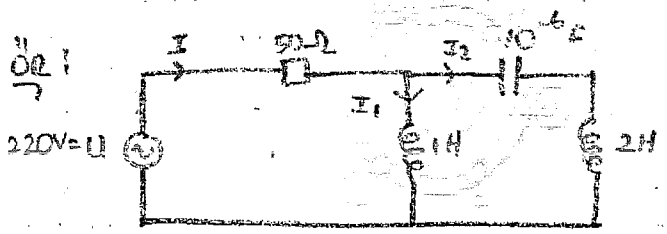


$R = |Z| \cdot \cos\varphi = 8{,}55\ \Omega$

$X_C = |Z| \cdot \sin\varphi = 23{,}5\ \Omega$

$|Z| = 25^{\angle -70} = 25 \cdot \cos 70 - j \cdot 25 \cdot \sin 70$

$Z = 8{,}55 - j \cdot 23{,}5$



Rezonans frekansında devredeki tüm elemanlara ilişkin güçleri bulunuz.

$I = 4{,}4\ A$ $\qquad P_R = 4{,}4^2 \cdot 50 = 968\ W$

$I_1 = 0$ $\qquad Q_{L1} = 0$

$I_2 = 4{,}4\ A$ $\qquad Q_{L2} = 4{,}4^2 \cdot X_{L2} = 27378{,}9\ VAR$

Rezonansta sadece aktif güç çekilir

$Q_C = 4{,}4^2 \cdot X_C = 27378{,}9$ VAR

$S = U \cdot I = 220 \cdot 4{,}4 = 968$ VA

$S = P + j(Q_L - Q_C) = 968 + j0 = 968$ VA

Ör: Bir bobin $\omega = 10$ r/s olan $U = 100\angle 30$ V luk bir kaynağa bağlandığında kaynaktan $I_1 = 7{,}7\angle -9$ A akım çekmektedir. Bobin içinde demir hareket ettirilince kaynaktan çekilen akım $I_2 = 5{,}55\angle -26$ A olmaktadır.

a-) Bobin indüktansının bastaki ve sondaki değerlerini bulunuz.

b-) İndüktansteki değişimin nedenini demir hareketini (demir bobin içine sokuldu mu, çıkarıldı mı?) belirterek yorumlayınız.

c-) Bobin iç direncini hesaplayınız.

a-) $Z_1 = \dfrac{U}{I_1} = \dfrac{100\angle 30}{7{,}7\angle -9} = 12{,}987\angle 39\ \Omega = 10 + j8{,}17\ \Omega$

$L_1 = 0{,}817$ H

$Z_2 = \dfrac{U}{I_2} = \dfrac{100\angle 30}{5{,}55\angle -26} = 18\angle 56\ \Omega = 10 + j14{,}92\ \Omega$

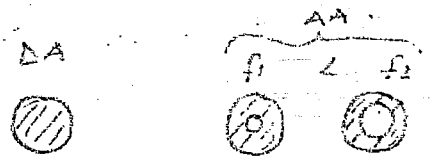
$L_2 = 1{,}492$ H

b-) Bobinin içine doğru hareket ettiriliyor.

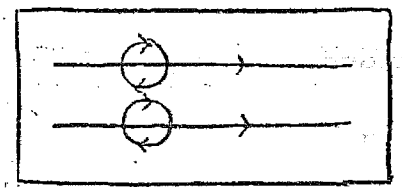
c-) $r = 10\ \Omega$

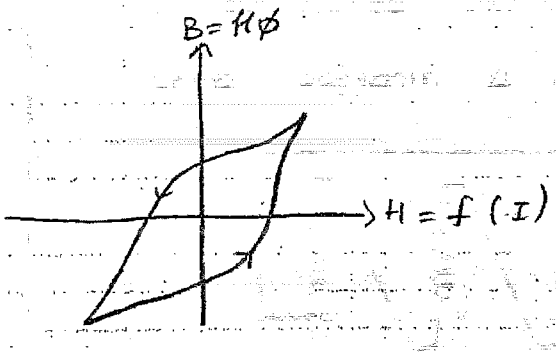
Dipol → en küçük mıknatıs

Bir iletkenin doğru akıma karşı gösterdiği direnç, alternatif akıma karşı gösterdiği direnç aynı değildir. Bunun nedeni akımın alternatif akımda iletken kesitine homojen dağılmayışıdır. Alternatif akımda iletkenin dış kısmından akan akım miktarı artar, dolayısıyla akımın aktığı kesit azalır. Bu nedenle alternatif akıma karşı gösterilen direnç daha büyüktür ve frekansla doğru orantılı olarak artar.



Fuko yada girdap akımları iletkenin iç kısmında akım yoğunluğunu azaltıcı, dış kısmındada artırıcı etki gösterdiğinden bu durum oluşur.





Üç Fazlı Sistemler :

Enerji üretiminde generatörlerde tek bir gerilim yerine aralarında 120'ser derece faz açısı olan üç gerilim üretilir. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

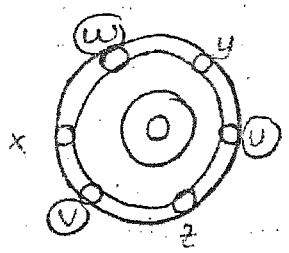
1-) Üç fazlı generatörün çıkış gücü boyutları aynı olan tek fazlı generatörün çıkış gücünden daha fazladır. Dolayısıyla daha güçlü ve verimli makinalar yapılabilir. (Motorlarda da aynı durum geçerlidir.

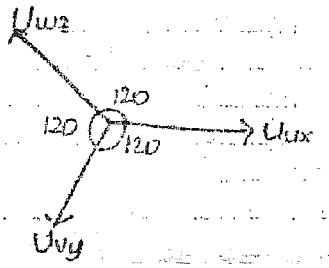
2-) Üç fazlı enerji daha küçük iletken kesitiyle taşınabilir.

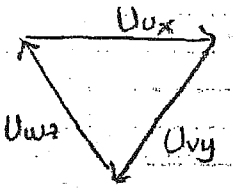
3-) Tek fazlı motorlar kendi imkanlarıyla devreye girememe-yebilirler.

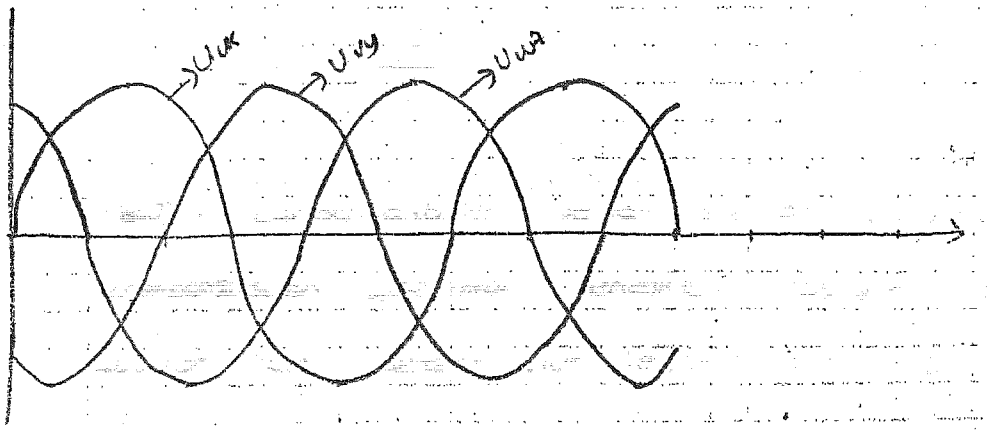
Üç Fazlı Gerilimin Üretilmesi:

Üç fazlı generatörlerde statorda aralarında 120 şer derece mekanik açı olan 3 grup sargı vardır.









U, V, W sargı başları , x, y, z sargı sonları

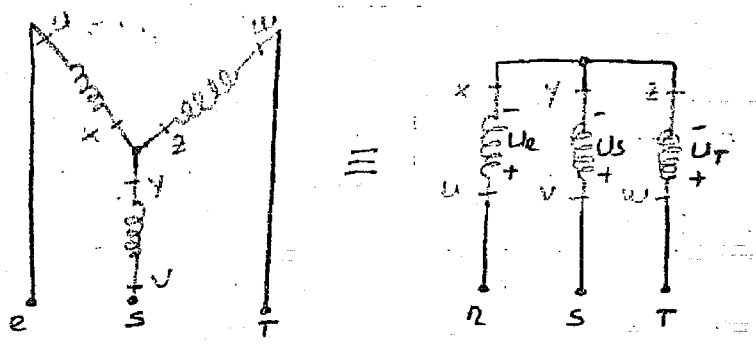
$U_{ux} = U_m \cdot \sin \omega t$

$U_{vy} = U_m \sin(\omega t - 120) = U_m \sin(\omega t + 240)$

$U_{wz} = U_m \sin(\omega t + 120) = U_m \cdot \sin(\omega t - 240)$

Üretilen bu üç gerilimin üretiminde tasarruf sağlamak için (6 hat yerine 3 hat) sargıların bağlanmasında λ ve Δ olarak 2 yöntem uygulanır...

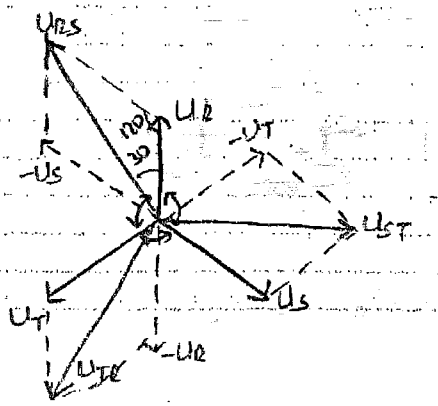
1-) λ Bağlama ; Sargıların son noktaları olan x-y-z birleştirilir ve bu noktaya yıldız noktası denir (λ)



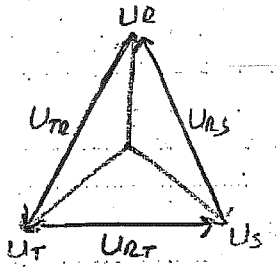
$U_{ux} = U_R$
$U_{vy} = U_S$
$U_{wz} = U_T$

$U_{RS} = U_R - U_S$
$U_{ST} = U_S - U_T$
$U_{TR} = U_T - U_R$

Boşta kalan sargı başları U-V-W enerjiyi ileten 3 hat'a bağlanır ve bunlar R-S-T olarak isimlendirilir λ noktasına göre her sargıda üretilen gerilimlerin genlikleri eşit ancak aralarında 120 şer derece faz farkı vardır...



⇐ Üretilen bu gerilimlere ilişkin fazör diyagramı



$U_R = U_S = U_T = U_f$ (Faz gerilimi)

$U_{RS} = U_{RT} = U_{TR} = U_H$ (Hat gerilimi)

(Fazlar arası gerilim
Hatlar " "
Faz-faz gerilimi
Hat-hat ")

Faz Gerilimi ile Hat Gerilimi Arasındaki Kalsayısı

$$U_{RS}^2 = U_R^2 + U_S^2 - 2\,U_R\,U_S\cos 120$$

$$U_H^2 = U_f^2 + U_f^2 - 2\,U_f\,U_f\cos 120$$

$$\boxed{U_H = \sqrt{3}\,U_f} \quad (1)$$

$$U_R = U_f\angle 90 \Rightarrow U_S = U_f\angle -30 \;,\; U_T = U_f\angle -150$$

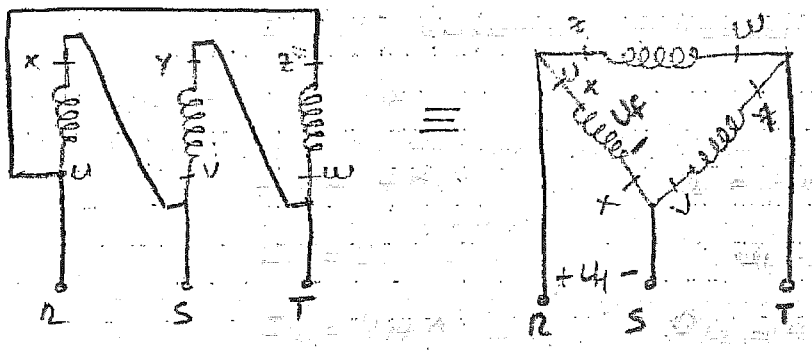
$$U_{RS} = U_R - U_S = U_f\angle 90 - U_f\angle -30 = \underbrace{\sqrt{3}\,U_f}_{U_H}\angle +120$$

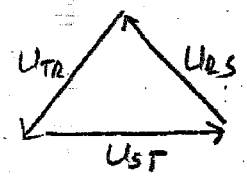
$$U_{ST} = U_S - U_T = U_f\angle -30 - U_f\angle -150 =$$

$$U_{TR} = U_T - U_R = U_f\angle -150 - U_f\angle 90 =$$

2-) Üçgen Bağlama (Δ)

Sargılardan herbirinin başlangıç noktası diğerinin son noktasına ve bu şekilde oluşturulan üçgenin köşeleri de R, S, T hatlarına bağlanır. Δ işaretiyle gösterilir.

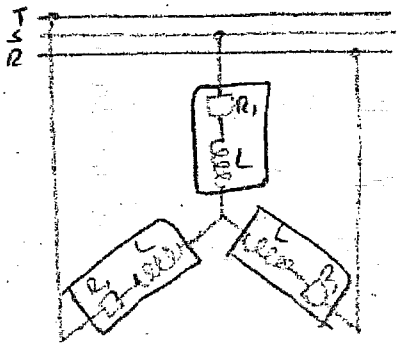




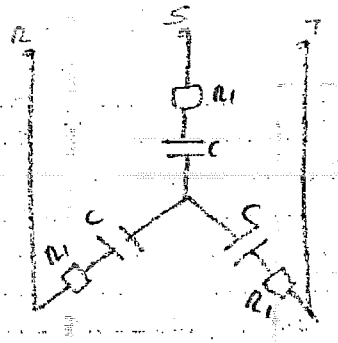
$\boxed{U_A = U_H}$ (2)

Üç fazlı Sistemin Yüklenmesi !

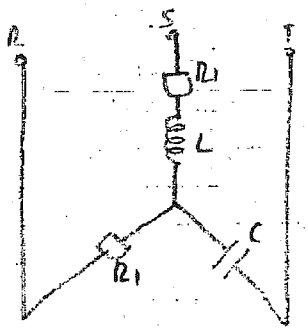
Kullanıcı tarafından R-S-T fazlarına bağlanacak üçfazlı yükler de λ ve Δ olarak bağlanabilir. Eğer bu yük 3 eşit empedansın λ ve Δ bağlanmalarıyla oluşmuşsa dengeli (simetrik) yük denir. Yükü oluşturan kolların empedansları birbirine eşit değilse bu yüke dengesiz (simetrik olmayan) yük denir. Üç fazlı yük omik, indüktif ve kapasitif özellikler içerebilir.



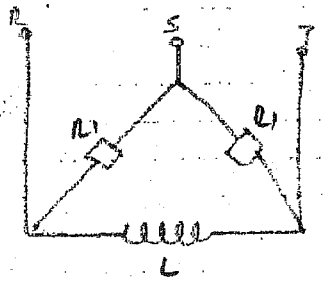
3 fazlı, dengeli, omik indüktif λ bağlı bir yük



3 fazlı, dengeli, omik kapasitif λ bağlı bir yük



3 fazlı dengesiz λ bağlı yük

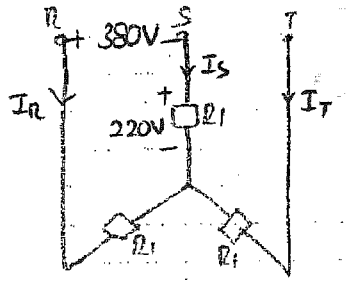


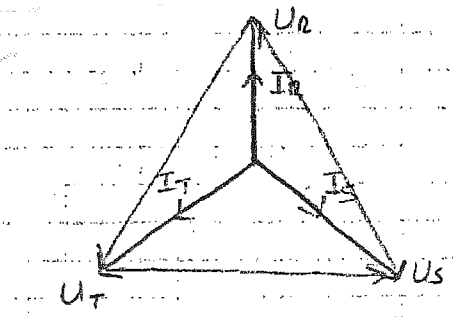
3 fazlı dengesiz Δ bağlı yük

1-) λ - bağlama: Şehir şebeke transformatörlerinin sekonder sargıları λ bağlıdır. Bu λ noktasına nötr (sıfır) iletkeni bağlıdır. Böylece fazlar arası 380 V 3 fazlı gerilimin yanısıra 220 V tek faz (faz nötr) gerilimini de kullanmak mümkün olur. Yüklerde λ bağlıyken nötr hattı kullanılabilir. Eğer yük dengeli ise nötr hattında akım akmaz. Dengesiz ise akar. Nötr hattını kullanmak mecburi değildir. Buna göre 2 türlü yükleme şekli ortaya çıkar.

1-) a- Sıfır Hatsız λ - Bağlama:

3 fazlı yükümüz λ bağlı saf omik ve dengeli olsun.

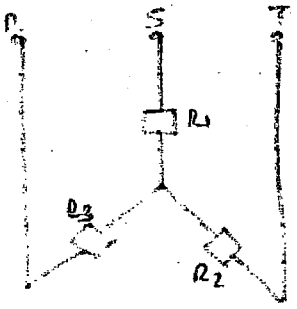


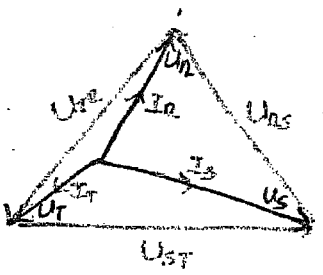


$$\boxed{I_H = I_F} \quad (3)$$

$$I_R = I_S = I_T = I_F = I_H$$

Dengesiz Y-bağlı saf omik olsun.

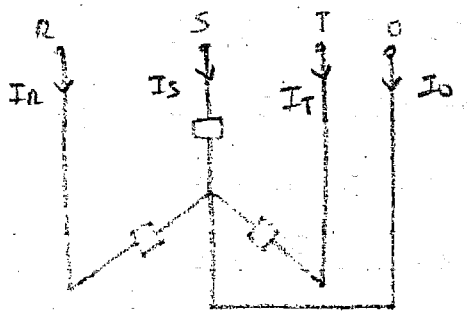




Hat ve faz akımları birbirine eşit olmaz. Ancak her an $(I_R + I_S + I_T = 0)$ I. Kirchoff kanunu geçerlidir. Yükün kollara dağılımına göre Y noktası gerilim üçgeni içerisindeki ağırlık merkezinden kayar. Dengesiz yük durumunda $U_H = \sqrt{3}\, U_f$ geçerliliğini yitirir.

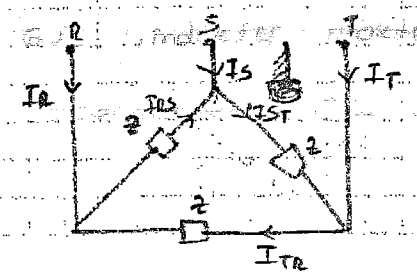
b-) Nötr hatlı Y-Bağlama:

Bu bağlamada Y noktasının gerilim üçgeni içerisindeki ağırlık merkezindeki yeri sabitleştirilmiş olunur.



Eğer yük dengeliyse nötr hattında akım akmaz $(I_0 = 0)$ Yük dengesizse nötr hattında akar ve I. Kirchoff kanunu her an için geçerli olur.

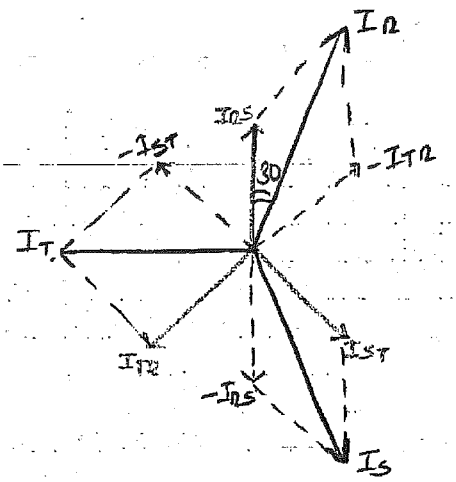
2-) Δ-Bağlama:



$I_R = I_{RS} - I_{TR}$

$I_S = I_{ST} - I_{RS}$

$I_T = I_{TR} - I_{ST}$



$I_R = I_S = I_T = I_H$

$I_{RS} = I_{ST} = I_{TR} = I_F$

$I_R^2 = I_{RS}^2 + I_{TR}^2 - 2 \cdot I_{RS} \cdot I_{TR} \cdot \cos 120$

$I_H^2 = I_F^2 + I_F^2 - 2 \cdot I_F \cdot I_F \cdot \cos 120$

$\boxed{I_H = \sqrt{3} \cdot I_F}$ (4)

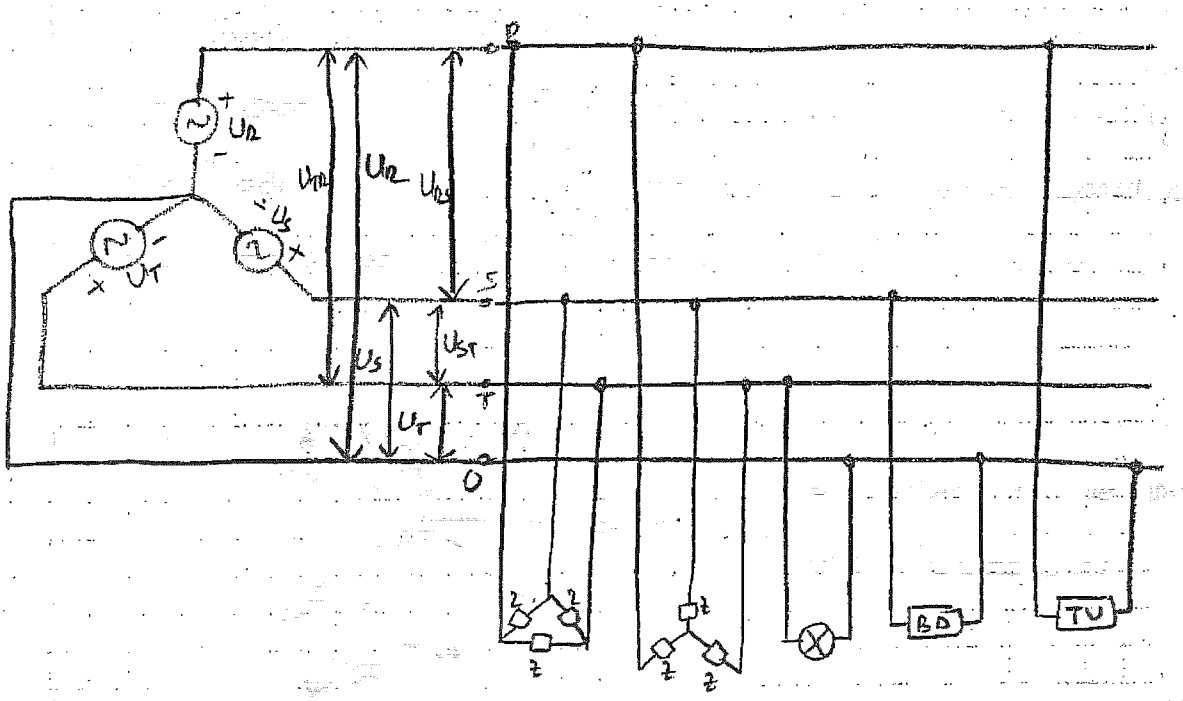
NOT 1 : Y bağlı durumda $U_H = \sqrt{3}\, U_F$

2 : Δ " " $U_H = U_F$

3 : Y " " $I_H = I_F$

4 : Δ " " $I_H = \sqrt{3}\, I_F$

5 : Dengesiz bağlı durumlarda hat akımlarının toplamı hemen hemen O'a eşit.



$P_1 = U \cdot I \cos\varphi$

$P =$

Bu bağıntı yükün Y veya Δ olmasından bağımsızdır.

a) Y - bağlantı :

$P = 3\, U_f \cdot I_f \cos\varphi$

$U_{ef} = \frac{U_H}{\sqrt{3}} \qquad I_f = I_H$

$\boxed{P = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \cos\varphi}$

b) Δ - bağlantı :

$P = 3\, U_f\, I_{ef} \cos\varphi$

$U_f = U_H \qquad I_f = \frac{I_H}{\sqrt{3}}$

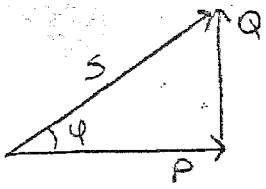
$\boxed{P = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \cos\varphi}$

$Q = 3 \cdot U_f \cdot I_f \sin\varphi$

$Q = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \sin\varphi$

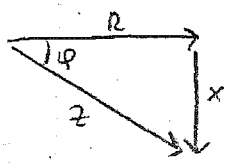
$S = 3\, U_f \cdot I_f$

$S = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H$

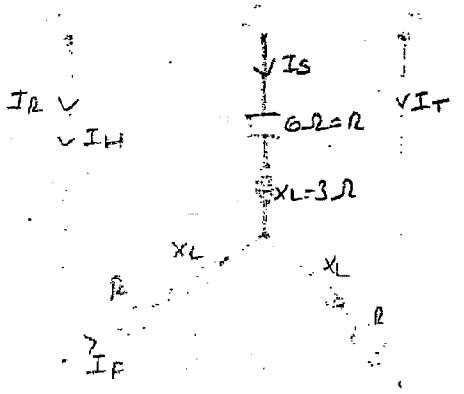


$S = 3 \cdot U_f \cdot I_F^*$

$S = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H^*$



Ör: Direnci 6Ω, indüktif reaktansı 3Ω olan Y fazlı üç yük şebekemizden beslenmektedir. Güç üçgenini çiziniz.



$I_H = I_F$

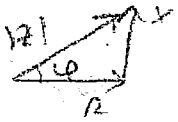
$U_H = 380 \angle 0 \ V$

$U_F = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = 220V$

$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 6,7\Omega$

$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = 26,56$

$I_F = \frac{U_F}{|Z|} = \frac{220}{6,7} \Rightarrow I_F = I_H = 32,83 \ A$

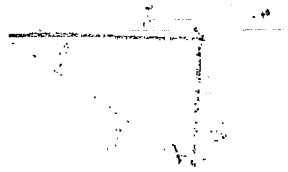


$P = 3 . U_F . I_F \cos\varphi = \sqrt{3} . U_H . I_H . \cos\varphi = 19381, \ W$

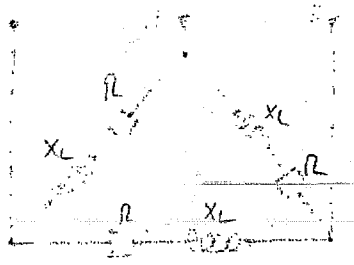
$Q = 3 . U_F . I_F \sin\varphi = \sqrt{3} . U_H . I_H . \sin\varphi = P . \tan\varphi$

$= 9688,4 \ VAR$

$S = 3 \ U_F . I_F = \sqrt{3} \ U_H . I_H = 21667,78 \ VA$



b) Aynı yükler Δ bağlı olsaydı güç üçgenini çizinizz.



$|Z| = 6,7 \Omega$

$\varphi = 26,56$

$U_H = 380 \ V$

$U_F = U_H = 380 \ V$

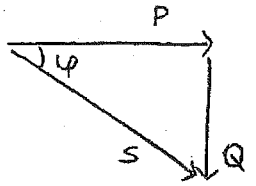
$I_F = \frac{U_F}{|Z|} = 56,71 \ A$

$I_H = \sqrt{3} . I_F = 98,23 \ A$

$P = 3 \cdot I_F \cdot U_F \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \cos\varphi = 57829,9\ W$

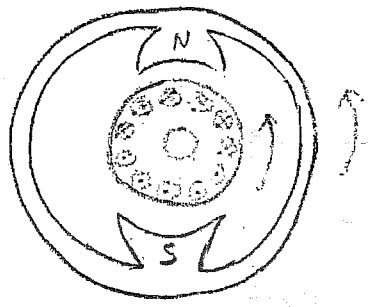
$Q = 3 \cdot I_F\ U_F \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_H\ I_H \sin\varphi = 28958,8\ VAR$

$S = 3 \cdot U_F\ I_F = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H = 64652,95\ VA$



Döner Alan:

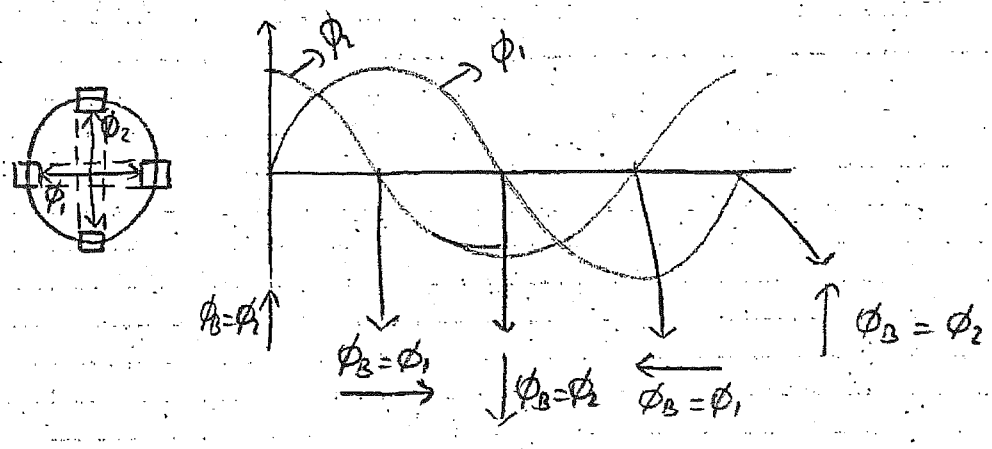
Sabit mıknatıstan yapılmış N-S kutupları arasına kısa devre çubuklu bir rotor konulursa ve N-S kutupları döndürülür ise rotor çubukları sin biçimli bir akım değişimine maruz kalır-çağından çubuklarda bir EMK indüklenir. Çubuklar kısa devre edildiklerinden EMK'nın etkisi ile çubuklardan akım akar. İçerisinden akım geçen bir iletken manyetik alan içinde ise bir kuvvete maruz kalır. Böylesiyle rotor kutuplarla birlikte ve aynı yönde döner.

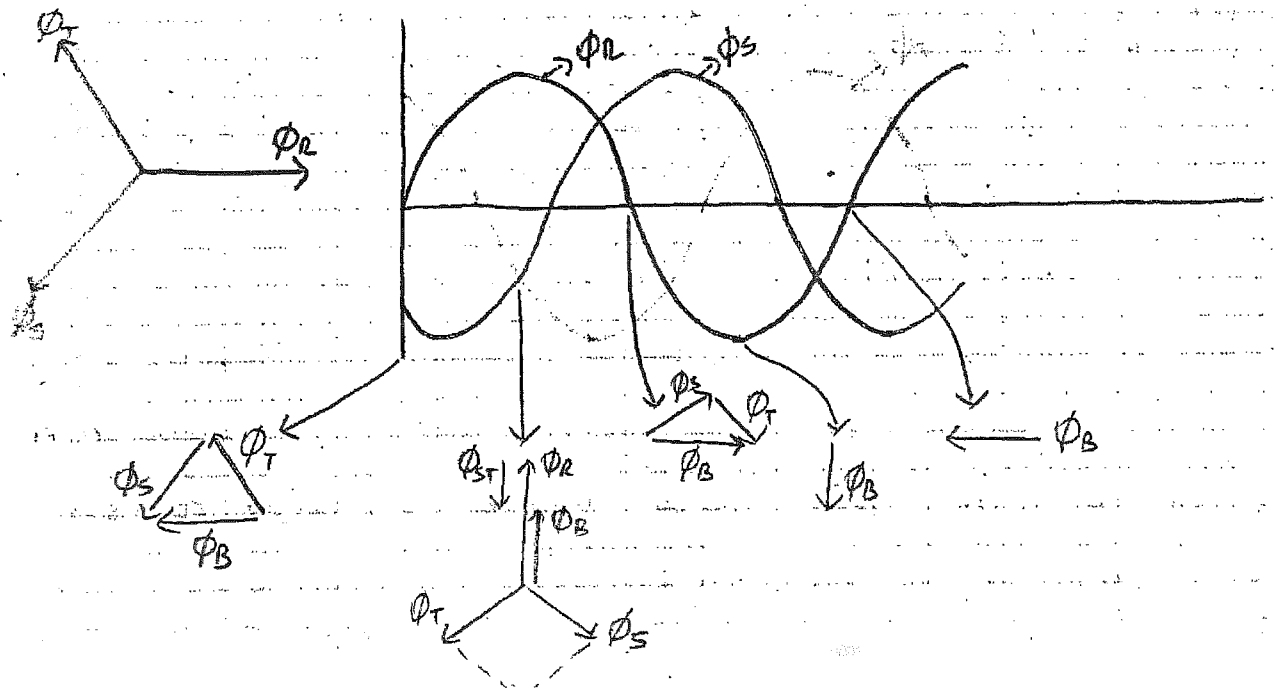


Burada rotor hıbbir zaman kutupların dönüş hızıyla dönemez. Aksi takdirde rotor iletkenleri kutuplar tarafından kesilmeyeceğinden EMK oluşmaz ve kuvvet 0 olur.

Rotor devir sayısıyla kutup devir sayısı arasında bir fark oluşur. Bu fark olmadan rotorda dönme olmaz. Asenkron motorlarda rotorla stator arasında elektriksel bir bağ yoktur. Manyetik bir bağ vardır. Bu motorlarda sabit mıknatıs görevini stator sargılarına uygulanan tek fazlı yada üç fazlı akımın oluşturduğu döner alan yapar.

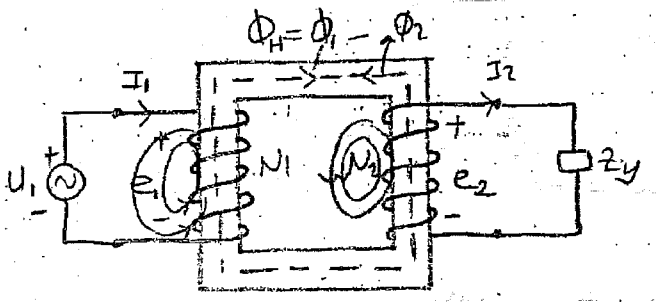
Küçük motorlarda (Tek fazlı) döner alan oralarında 90° mekanik açı olan ve gerilimleri arasındaki faz farkı da yaklaşık 90° olan ikiz sargı tarafından oluşturulur.





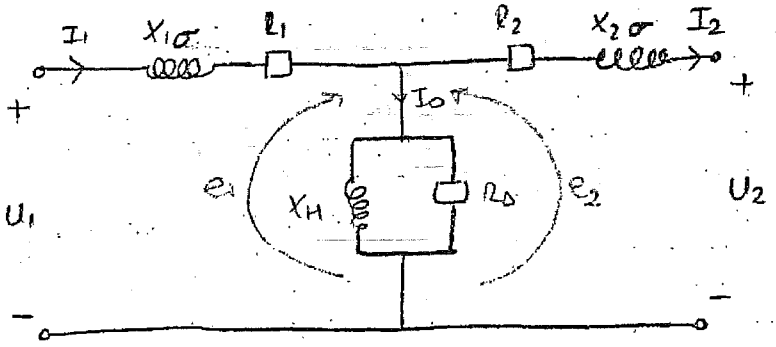
Demir → dipollerden oluşur

TRANSFORMATÖR !



$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$



$$e_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi_H}{dt} \neq e_2 = N_2 \cdot \frac{d\Phi_H}{dt}$$

R_D : Demir direnci. Transformatördeki yük ve girdap kayıplarını sembolize eden bir eleman.

Fourier Analizi ve Sentezi !

Sbt yada sinüsoidal uyarım fonksiyonlarında uyarıma karşı gelen tepkiler kolaylıkla incelenebilir. Çünkü her iki fonksiyon bütün t değerleri için tekbir bağıntıyı sahiptir. Bunun dışındakileri parça parça ifade etmek gerekir ki bu dalga şeklini tam olarak tanımlamaz ve uyarıma karşı gelen tepki kabaca bulunamaz. Eğer fonksiyonlar sonlu yada sonsuz sayıda sinüsoidal fonksiyonların toplamı şeklinde ifade edilebilirseler bütün süper pozisyon

teoremiyle kolayca bulunabilir. Furrier bu yöntemde kolaylık sağlar.

$$f(t) = \underbrace{\frac{1}{2} a_0}_{\text{Ort. değer}} + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t$$

$$+ \text{----} + a_n \cos n\omega t + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t$$

$$+ b_3 \sin 3\omega t + \text{------} + b_n \sin n\omega t$$

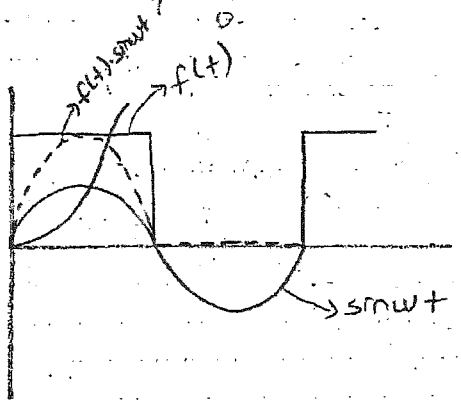
$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t)\, dt$$

$a_n \cos n\omega t \rightarrow$ cos'lu ana harmonik bileşen

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t \cdot dt$$

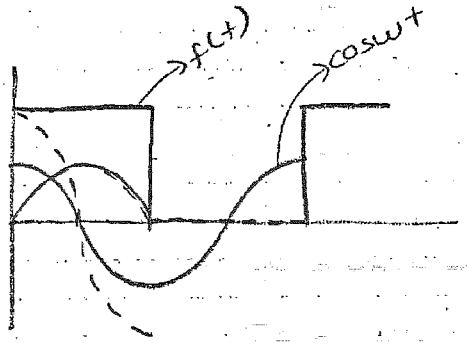
$b_n \sin n\omega t \rightarrow$ sin'lu ana harmonik bileşen

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin n\omega t \cdot dt$$



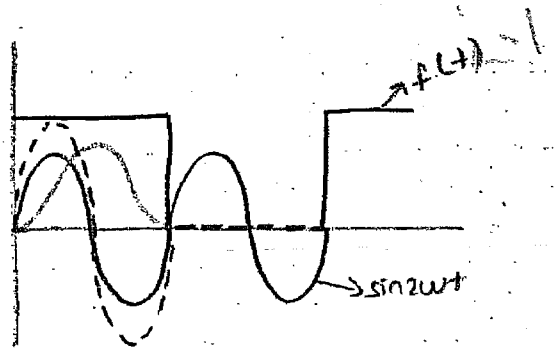
$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \omega t \cdot dt$$

$b_1 > 0$



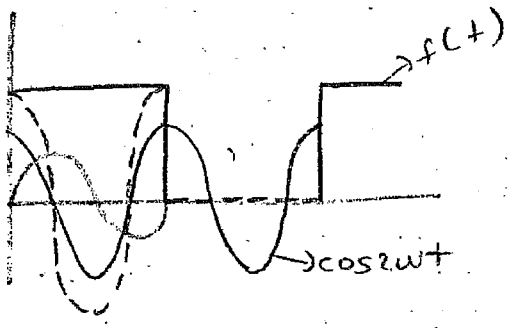
$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos \omega t \cdot dt$$

$a_1 = 0$



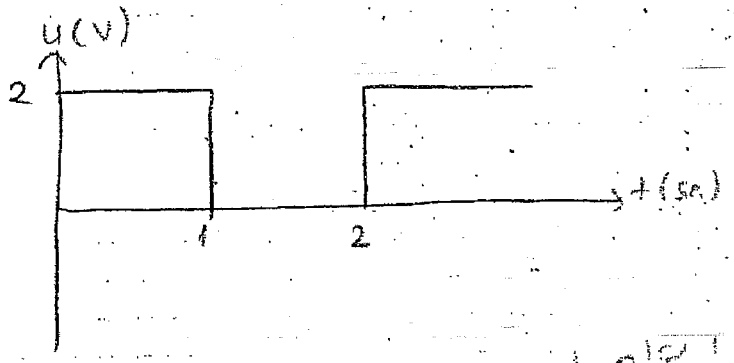
$$b_2 = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cdot \sin 2wt\cdot dt$$

$$b_2 = 0$$



$$a_2 = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cdot \cos 2wt\cdot dt$$

$$a_2 = 0$$



$\frac{1}{2}a_0 = 1$

$b_1 = 1,35$

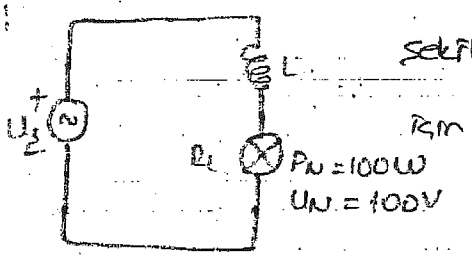
$b_3 = 0,45$

$b_5 = 0,175$

$b_7 = 0,195$

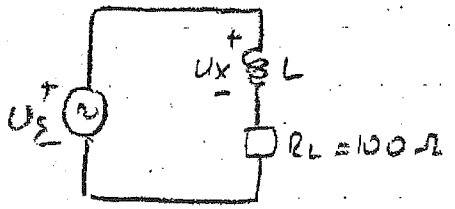
mm'rik kogiste bunlar
ga topla kere
dolgova yaktos
tigimi gor

ÖR:



Şekildeki lamborin nominal ışık üretmesi için L değerini bulunuz.

$$P_N = \frac{U_N^2}{R_L} \Rightarrow R_L = 100\Omega \quad , \quad I_N = 1A$$

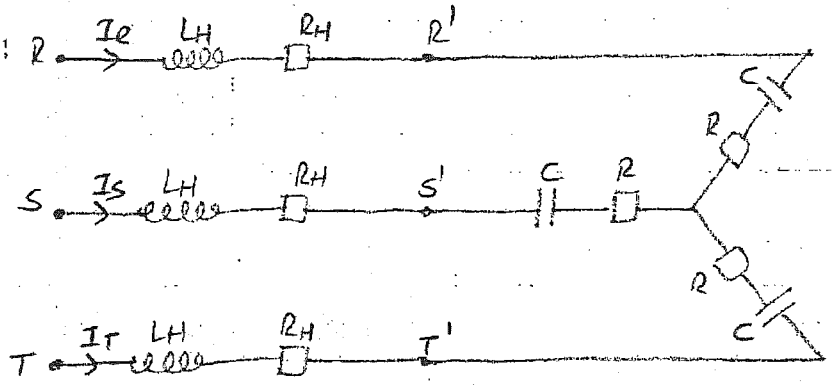


$$U_S^2 = U_x^2 + U_L^2$$

$$U_x = 196V$$

$$X_L = \frac{U_x}{I_N} = \omega \cdot L \rightarrow L = 0{,}624\ H$$

ÖR:



$V_{RS} = 380\angle 0\ V$ $\quad R = 20\Omega \quad f = 50\ Hz$

$L_H = 5mH \quad , \quad R_H = 1\Omega \quad C = 10^{-4}\ F$

a-) Yüke ilişkin fazlar arası gerilimleri ve faz gerilimlerini bulunuz. (R', S', T')

b-) Devreye ilişkin güç üçgenini ölçekli çiziniz.

$$I_H = I_F$$

$$Z = R_H + R + j(X_L - X_C)$$

$$Z = 21 + j(1{,}57 - 31{,}8) = 36{,}83 \angle -55{,}23\ \Omega$$

Güçteki ve empedansteki açılar devrenin faz açısıdır

$$I_R = \frac{V_{RS}/\sqrt{3}}{Z} = \frac{220\angle 0-30}{36,83\angle -55,23} = 5,97\angle 25,23 \text{ A}$$

$$V_{R'} = I_R\,(R - j.X_C) = 5,97\angle 25,23 \cdot 37,59\angle -57,85$$
$$= 224,4\angle -32,6 \text{ V}$$

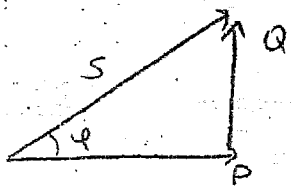
$$V_{S'} = 224,4\angle -152,6 \text{ V}$$
$$V_{T'} = 224,4\angle 87,4 \text{ V}$$

$$V_{R'S'} = \sqrt{3}\cdot 224,4\angle -2,6$$
$$V_{S'T'} = \sqrt{3}\cdot 224,4\angle -122,6 \text{ V}$$
$$V_{T'R'} = \sqrt{3}\cdot 224,4\angle 117,4 \text{ V}$$

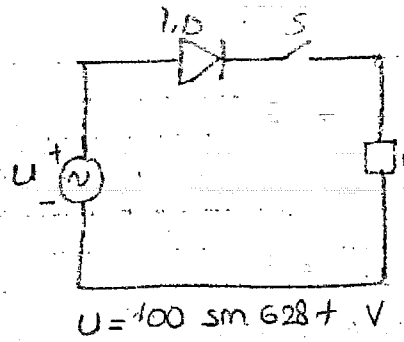
b-) $P = \sqrt{3}\cdot U_H\, I_H \cos\varphi = \sqrt{3}\cdot 380\ 5,97 \cos 55,29$

$Q = \sqrt{3}\cdot U_H\, I_H \sin\varphi = \sqrt{3}\cdot 380\cdot 5,97\cdot \sin 55,29$

$S = \sqrt{3}\cdot U_H\cdot I_H = \sqrt{3}\cdot 380\cdot 5,97$



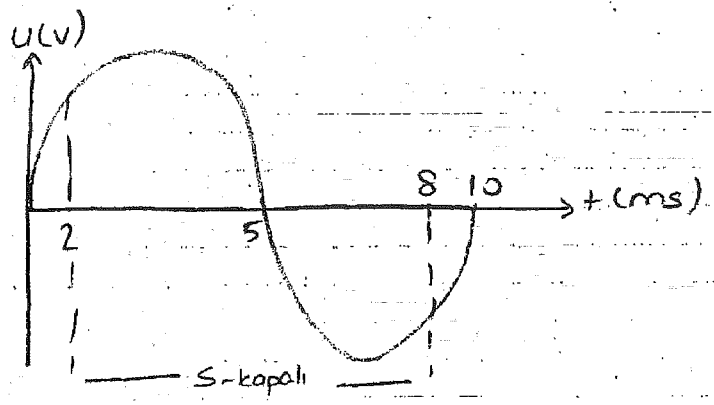
ÖR:

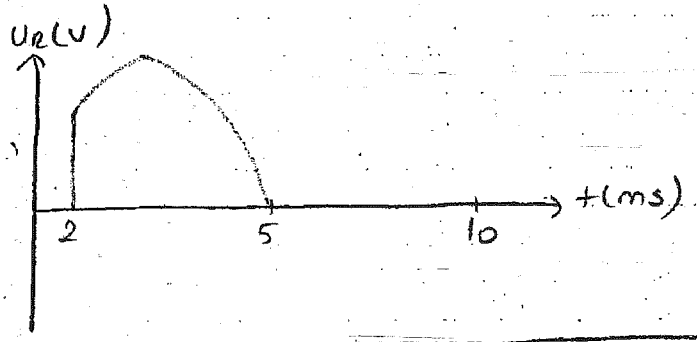


Şekildeki devrede $t=0$ anında, sonra S anahtarı, $t=2$ ms'de kapatılıyor ve $t=8$ ms'de açılıyor

a) U_R'nin zamana göre değişimini çiziniz.

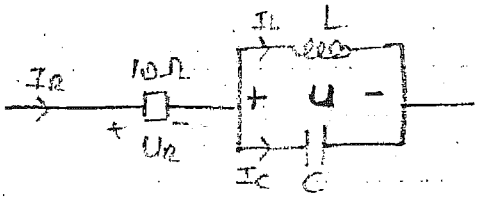
b) I_R'nin efektif değerini hesaplayınız.





$$I_{ef} = \frac{U_{ref}}{R} = \frac{1}{R}\left[\sqrt{\frac{1}{0{,}01}\int_{0{,}002}^{0{,}005}(100\cdot\sin 628t)^2\,dt}\right]$$

ÖR:



$U_R = 100 \sin(3t + 40)$ V

$L = 5$ H $\quad C = 0{,}017$ F

I_L ve I_C'nin zamana göre değişimlerini ölçekli çiziniz.

$X_L = \omega L = 3 \cdot 5 = 15\ \Omega$

$\frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C} = -jX_C$

$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{3 \cdot 0{,}017} = 19{,}6\ \Omega$

$$Z = \frac{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = j\,63{,}9\ \Omega = 63{,}9\angle 90\ \Omega$$

$U_m = I_m \cdot |Z| = 639$ V

$I_R = \frac{U_R}{10} = 10 \sin(3t + 40)$ A

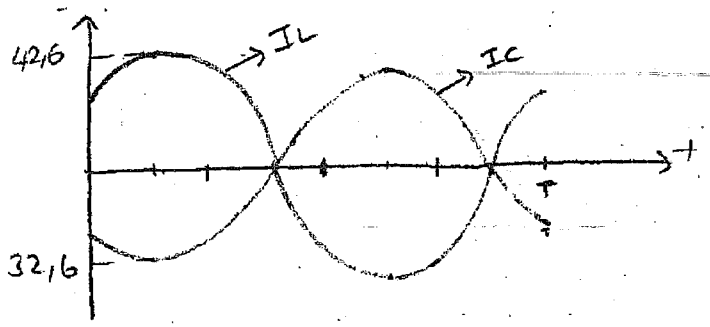
$u = 639 \sin(3t + 130)$ V

$$I_{Lm} = \frac{U_m}{X_L} = 42{,}6\,A$$

$$I_L = 42{,}6 \sin(3t + 40)\ A$$

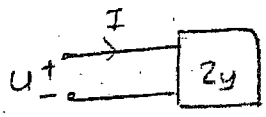
$$I_{Cm} = \frac{U_m}{X_C} = 32{,}6\ A$$

$$I_C = 32{,}6 \sin(3t + 220)\ A$$



$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 2{,}09\ s$$

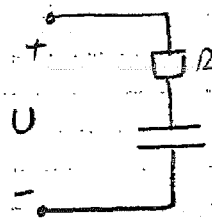
Ör: Bir 2y devresinin gerilimi $u = 10 \sin(2t + 30)\,V$, akımı $I = 5 \cos(2t + 10)\,A$ 'dir. 2y devresinin en basit eşdeğerini $5 \sin(2t + 100)\,A$ elemanı değerlerinide hesaplayarak oluşturunuz.



$$\varphi_T = \varphi_u - \varphi_I = 30 - 100 = -70$$

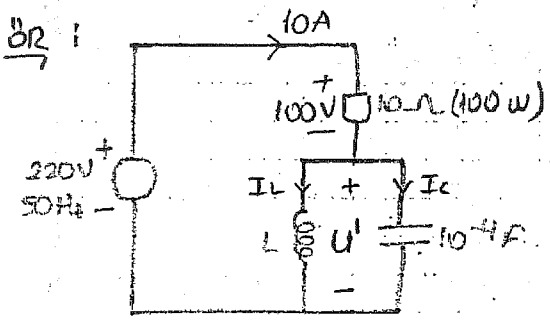
$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{10}{5} \angle -70 = R - j \cdot X_C$$

$$= 0{,}684 - j \cdot 1{,}879\ \Omega$$



$$X_C = 1{,}879 = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow C = 0{,}266\ F$$

ÖR:

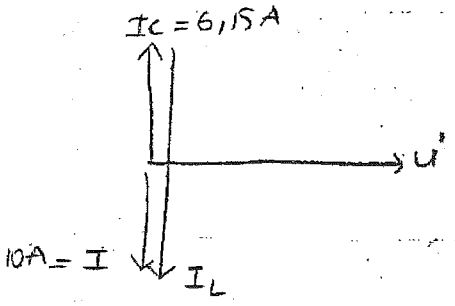


Şekildeki devrede harcanan güç 1kW ise L değerini hesaplayınız.

$$1000 = I^2 \cdot 10 \Rightarrow I = 10A$$

$$U' = 196\ V$$

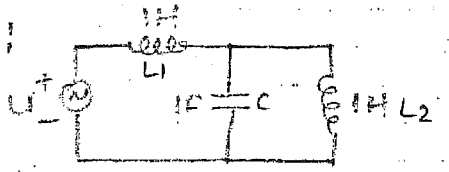
$$I_C = \frac{U'}{X_C} = \frac{196}{\frac{1}{314 \cdot 10^{-4}}} = 6{,}15\ A$$



$$I_L = 16{,}15\ A$$

$$X_L = \frac{U'}{I_L} = \omega L \Rightarrow L = 38{,}6\ mH$$

ÖR:



Şekildeki devrenin rezonans frekansını hesaplayınız.

$$Z = j \cdot \omega_0 \cdot L_1 + \frac{j \cdot \omega_0 \cdot L_2 \cdot \frac{1}{j \cdot \omega_0 \cdot C}}{j\left[\omega_0 \cdot L_2 - \frac{1}{\omega_0 \cdot C}\right]}$$

$$Z = j\underbrace{\left[\omega_0 - \frac{1}{\omega_0 - \frac{1}{\omega_0}}\right]}_{0} =$$

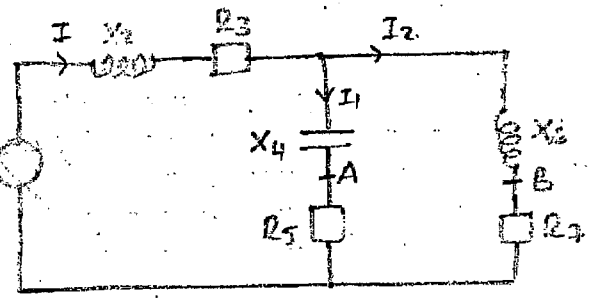
$$\omega_{01} = 0$$

$$\boxed{\omega_{02} = \sqrt{2}}$$

$$\omega_{03} = -\sqrt{2}$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \rightarrow f_0 = 0{,}225\ Hz$$

Ör:



$U_1 = 400 \angle -70$ V

$X_2 = 50\Omega$, $R_3 = 50\Omega$

$X_4 = 100\Omega$, $R_5 = 100\Omega$

$X_6 = 50\Omega$, $R_7 = 50\Omega$

a-) U_{AB} gerilimini kompleks yolla hesaplayınız.

b-) U_1, X_2 ve R_3 elemanlarına ilişkin güçleri bulunuz.

c-) X_4'e ilişkin gerilimi ωt'ye göre birçekli çiziniz.

a-) $$Z = R_3 + j \cdot X_2 + \frac{(R_5 + j \cdot X_4)(R_7 + j \cdot X_6)}{R_5 + R_7 + j \cdot (X_6 - X_4)}$$

$$I = \frac{U_1}{Z} = 3{,}06 \angle -102{,}46 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{(R_7 + j \cdot X_6)}{R_5 + R_7 + j(X_6 - X_4)} \cdot I = 1{,}34 \angle -39 \text{ A}$$

$$I_2 = I - I_1 = 2{,}72 \angle -129 \text{ A}$$

$$U_{AB} = -I_1 (-j \cdot X_4) + I_2 \, j \cdot X_6 = 191 \angle -83{,}57 \text{ V}$$

b-) $$S_1 = U_1 \cdot I^* = 400 \angle -70 \; 3{,}06 \angle 102{,}46 = 1224 \angle 32{,}46 \text{ VA}$$

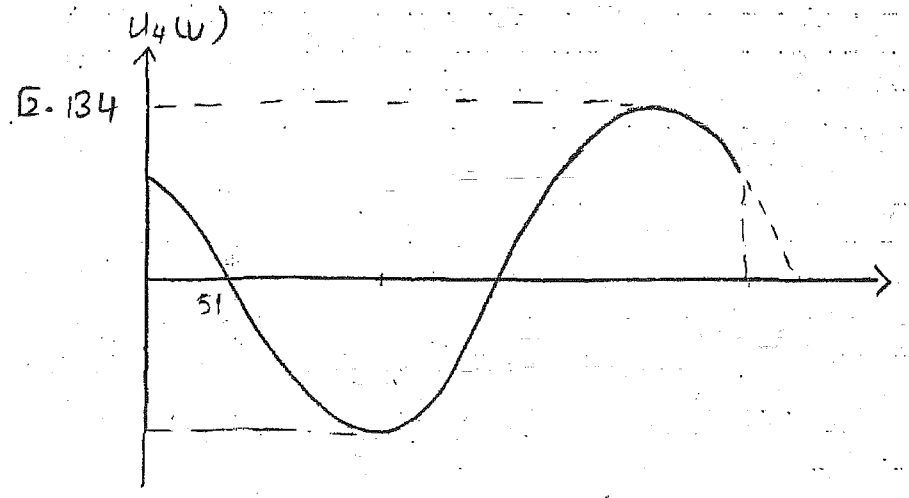
$$= 1032 + j \cdot 657 \text{ VA}$$

$$Q_2 = |I|^2 \cdot X_2 = (3{,}06)^2 \cdot 50 = 468{,}18 \text{ VAR}$$

$$P_3 = |I|^2 \cdot R_3 = 468{,}18 \text{ W}$$

c-) $U_4 = I_1 \cdot (-j \cdot X_4) = 1{,}34 \angle -39 \cdot 100 \angle -90$

$= 134 \angle -129$ V

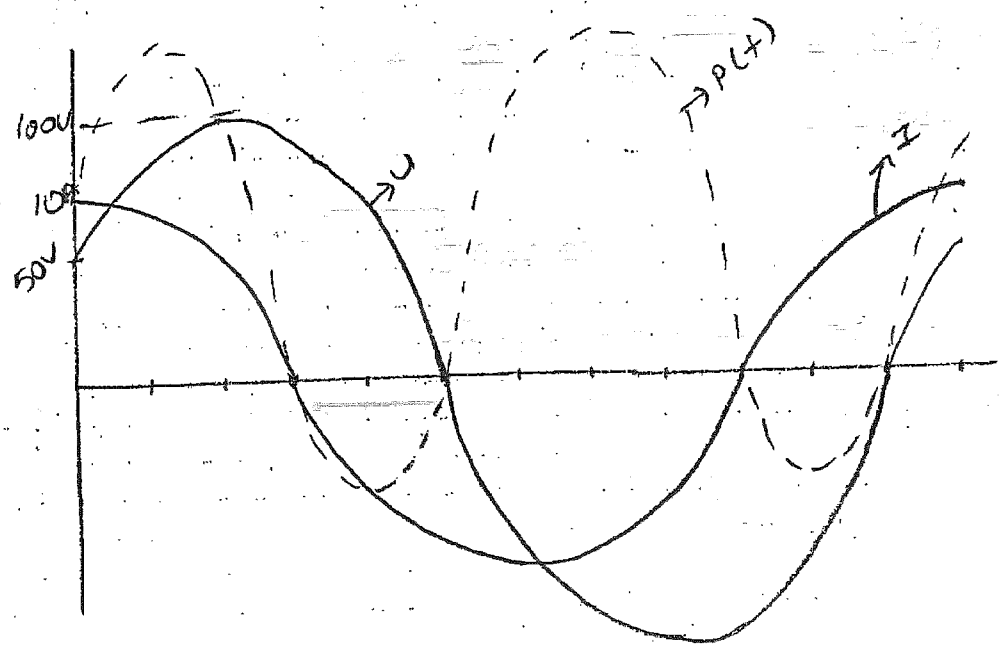


ÖR: Bir 2 elemanına ilişkin akım $I = 10 \cos \omega t$ A ; gerilim $u = 100 \sin(\omega t + 30)$ V 'dur.

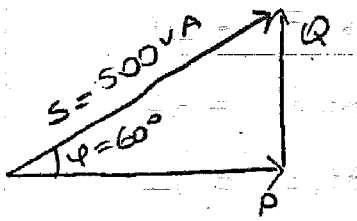
a-) 2 elemanına ilişkin gücün değişimini zamana göre ölçekli çiziniz.

b-) 2 elemanına ilişkin güç üçgenini çiziniz.

a-)



b-)



$S = I_{ef} \cdot U_{ef} = \frac{10}{\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{\sqrt{2}} = 500\,VA$

$P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cos\varphi$

$Q = U_{ef} \cdot I_{ef} \sin\varphi$

$Z = 10 \angle 60\ \Omega$

$Z = 5 - j\,8{,}66\ \Omega$

Ör: $P_1 = 40\,kW$ $\cos\varphi_1 = 0{,}50$ (omik indüktif)

$P_2 = 20\,kW$ (saf omik) $P_3 = 30\,kW$ $\cos\varphi = 0{,}70$ (omik indüktif) yükler şehir şebekesine bağlıdır.

a-) Yüklere ilişkin akımları ve toplam akımı bulunuz.

b-) Kompanzasyon gerekir mi? Gerekirse nedenini belirtiniz. Gerekirse güç katsayısını 0,95'a kompanze ediniz.

c-) Son durumdaki devrenin açık halini arayınız.

$P_1 = 40\,kW$
$\cos\varphi_1 = 0{,}50$
omik indüktif

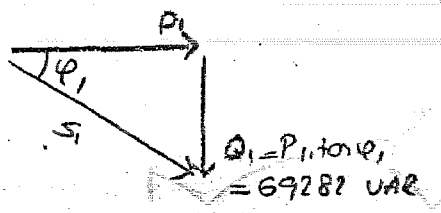
$P_2 = 20\,kW$
$\cos\varphi_2 = 1$
saf omik

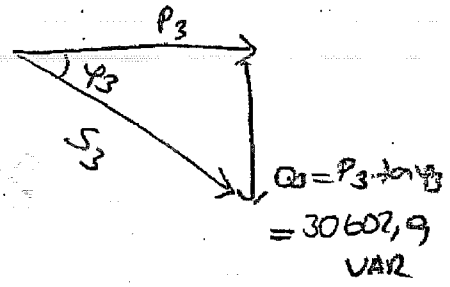
$P_3 = 30\,kW$
$\cos\varphi_3 = 0{,}70$
omik indüktif

$\varphi_1 = 60$

$\varphi_2 = 0$

$\varphi_3 = 45{,}57$

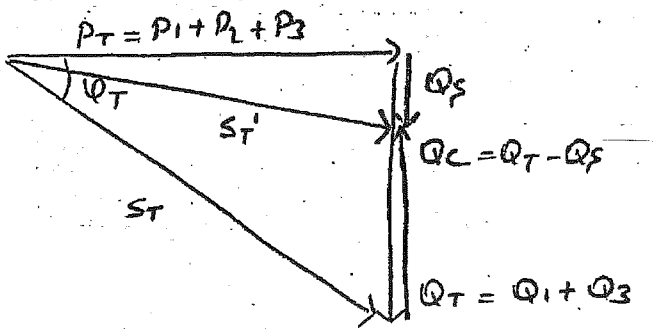




$$\left.\begin{aligned} P_1 &= U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1 \\ Q_1 &= U_1 \cdot I_1 \cdot \sin\varphi_1 \\ S_1 &= U \cdot I_1 \end{aligned}\right\} I_1 = 363{,}63\ A$$

$$P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 \Rightarrow I_2 = 90{,}9\ A$$

$$P_3 = U \cdot I_3 \cdot \cos\varphi_3 \Rightarrow I_3 = 194{,}8\ A$$



$\varphi_T = 47{,}979$

$S_T =$

$$\left.\begin{aligned} P_T &= U \cdot I_T \cos\varphi_T \\ Q_T &= U \cdot I_T \sin\varphi_T \\ S_T &= U \cdot I_T \end{aligned}\right\} I_T = 611{,}12\ A$$

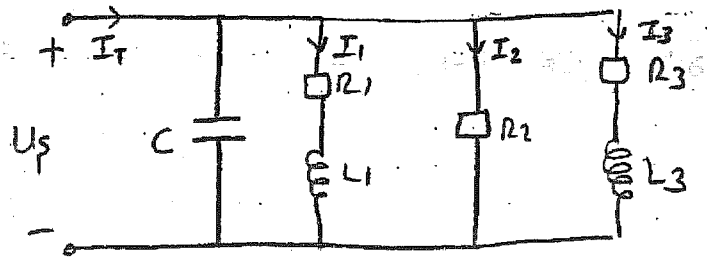
$\cos\varphi_T = 0{,}62$

$\cos\varphi' = 0{,}95 \Rightarrow \varphi' = 18{,}19$

$Q_S = P_T \cdot \tan\varphi' = 29573\ VAR$

$Q_C = 70310{,}9\ VAR$

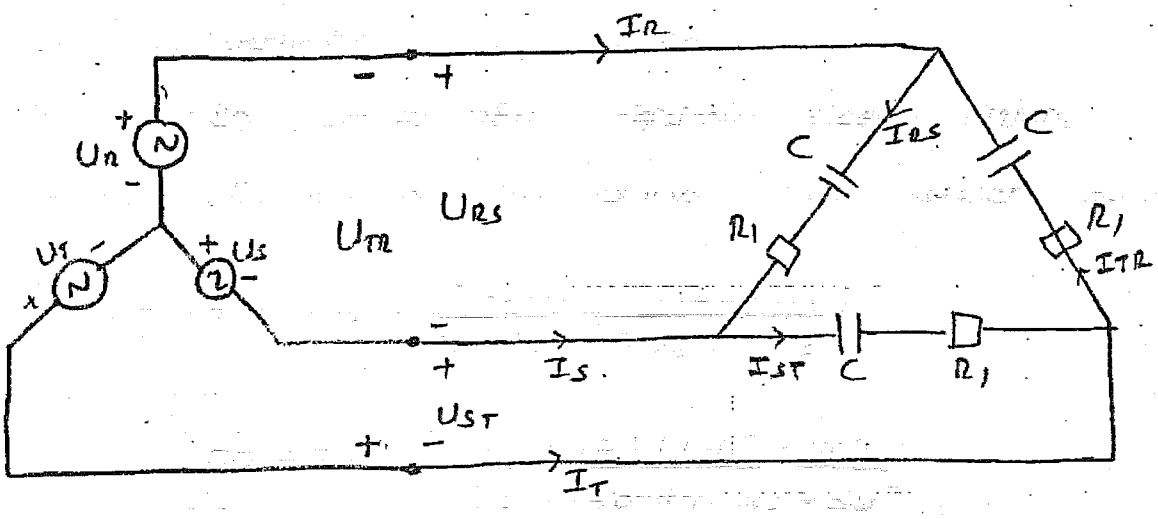
$Q_C = \dfrac{U^2}{X_C} = U^2 \cdot \omega \cdot C$



Ör: Direnci 30Ω olan kapasitif reaktansı 40Ω olan üç fazlı üçgen bağlı bir yük şebekemizden beslenmektedir. Devreye ilişkin tüm akımları ve gerilimleri bulunuz.

" " fazör diyagramını çiziniz.

Tüm akımlara ve gerilimlere ilişkin değişimlerini zamana göre ölçekli çiziniz.



$R_1 = 30\Omega$

$X_C = 40\Omega$

$|Z| = \sqrt{R_1^2 + X_C^2} = 50\Omega$, $\varphi = \arctan \frac{X_C}{R_1} = 53{,}13$

$U_{RS} = 380 \angle 0$ V $\qquad U_R = 220 \angle -30$ V

$U_{ST} = 380 \angle -120$ V $\qquad U_S = 220 \angle -150$ V

$U_{TR} = 380 \angle +120$ V $\qquad U_T = 220 \angle 90$ V

$I_{RS} = \frac{U_{RS}}{Z} = \frac{380}{50 \angle 53{,}13} = 7{,}6 \angle -53{,}13$ A

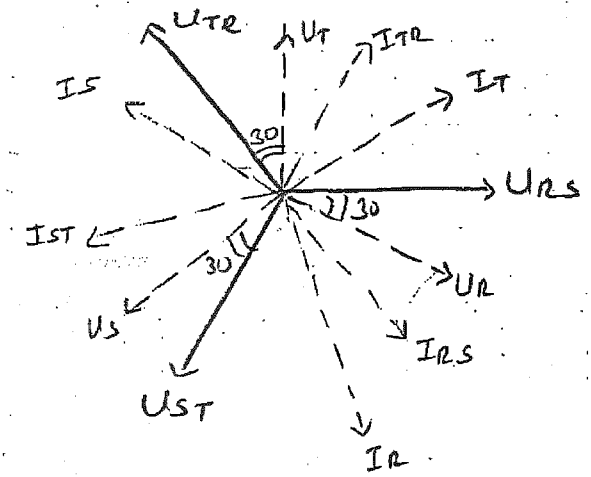
$I_{ST} = 7{,}6 \angle -173{,}13$ A

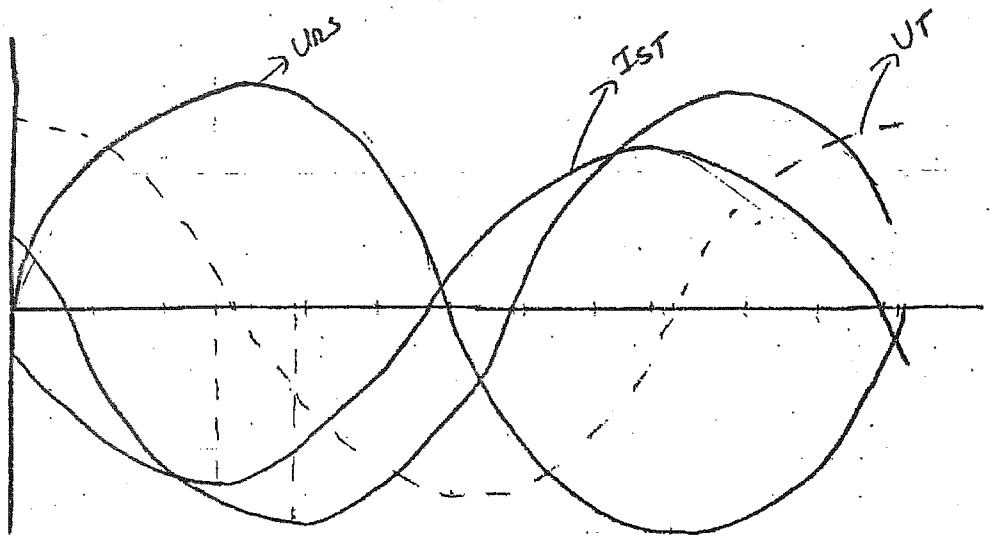
$I_{TR} = 7{,}6 \angle 66{,}87$ A

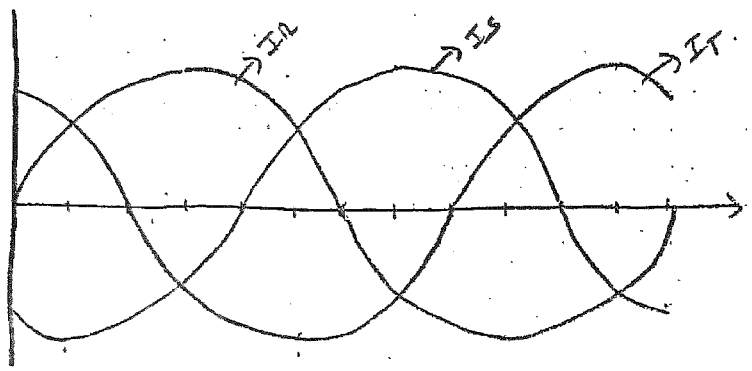
$I_R = \sqrt{3}\ 7{,}16 \angle -83{,}13$ A

$I_S = 13{,}16 \angle -203{,}13$ A

$I_T = 13{,}16 \angle 56{,}87$ A

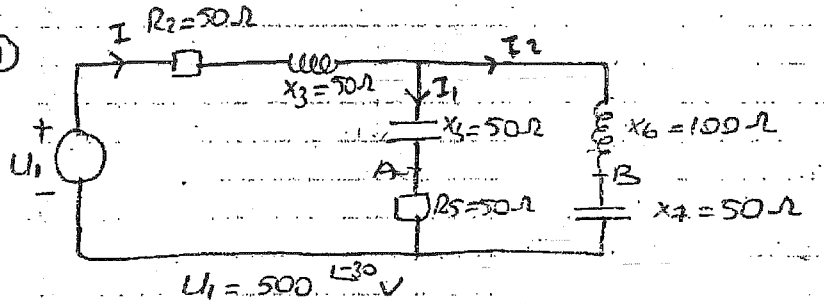






II. VİZE SORULARI :

①



a-) U_{AB} gerilimini kompleks yollo

b-) U_4'ün ωt'ye göre değişimini çizelgeli çizinz

c-) U_1, R_2 ve X_3 elemanlarına ilişkin güçleri bulunuz.

$$Z = R_2 + j \cdot X_3 + \frac{(R_5 - j X_4)(j \cdot X_6 - j \cdot X_7)}{R_5 - j \cdot X_4 + j \cdot X_6 - j \cdot X_7}$$

$$Z = 50 + j \cdot 50 + \frac{(50 - j \cdot 50)(100j - 50j)}{50 - j50 + j \cdot 100 - 50j}$$

$$Z = 141{,}42 \angle 45 \ \Omega$$

$$I = \frac{U_1}{Z} = \frac{500 \angle -30}{141{,}42 \angle 45} \Rightarrow I = 3{,}53 \angle -75 \ A$$

$$I_1 = \frac{j(X_6 - X_7)}{R_5 - j \cdot X_4 + j \cdot X_6 - j \cdot X_7} \cdot I = \frac{50 \angle 90}{50} \cdot 3{,}53 \angle -75$$

$$I_1 = 3{,}53 \angle 15 = 3{,}4 + j \cdot 0{,}9$$

$$I_2 = I - I_1 = -2{,}5 - j \cdot 4{,}3 \ A = 4{,}97 \angle -120 \ A$$

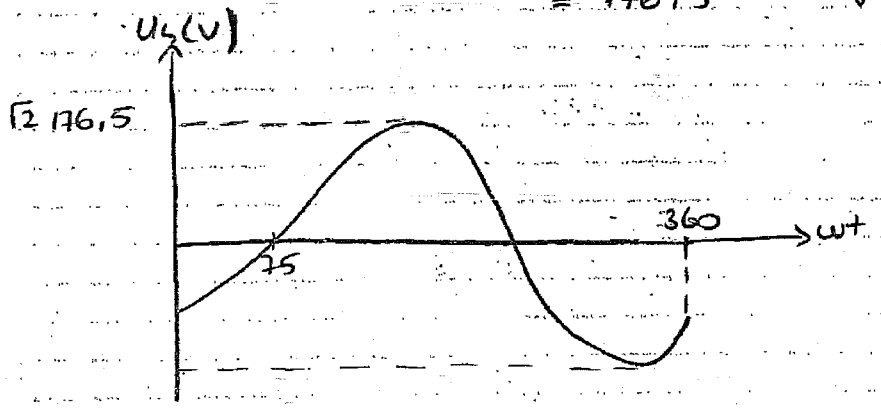
$$U_{AB} = -I_1 \cdot (-j \cdot X_4) + I_2 \cdot j \cdot X_6$$

$$= 3{,}53 \angle 15 \cdot 50 \angle 90 + 4{,}97 \angle -120 \cdot 100 \angle 90$$

$$= 384{,}73 - j \cdot 78 \ V = 392{,}5 \angle -11{,}46 \ V$$

ⓑ $U_4 = I_1 \cdot (-j \cdot X_4) = 3{,}53 \angle 15 \cdot 50 \angle -90$

$= 176{,}5 \angle -75 \ V$



ⓒ $S_1 = U_1 \cdot I^* = 500 \angle 30 \cdot 3{,}53 \angle 75 = 1765 \angle 45 \ VA$

$= 1248 + j \cdot 1248 \ VA$

$P_2 = |I|^2 \cdot R = 3{,}53^2 \cdot 50 = 623 \ VAR$

$Q_3 = |I|^2 \cdot X_3 = 623 \ VAR$

② ($P_1 = 10 \ kW$ $\cos\varphi_1 = 0{,}40$ omik indüktif) ($P_2 = 15 \ kW$ $\cos\varphi_2 = 0{,}70$ omik indüktif) yükler şehir şebekesinden beslenmektedir.

a-) Yüklere ilişkin akımları ve toplam akımı hesaplayınız.

b-) Güç katsayısını 0,98'e kompanze etmek için gerekli eleman değerini hesaplayınız.

c-) Devrenin son haline göre, 1. yüke ilişkin eşdeğer devre eleman değerlerini bulunuz.

(a ve b şıklarından puan alabilmek için c şıkkını doğru yapmak zorunludur.)

a-) $P_1 = 10\,kW$ $\qquad$ $P_2 = 15\,kW$

$\cos\varphi_1 = 0{,}50$ $\qquad$ $\cos\varphi_2 = 0{,}70$

$P_1 = U \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$ $\qquad$ $P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$

$I_1 = 113{,}6\,A$ $\qquad$ $I_2 = 97{,}4\,A$

$\varphi_1 = 66{,}42$ $\qquad$ $\varphi_2 = 45{,}57$

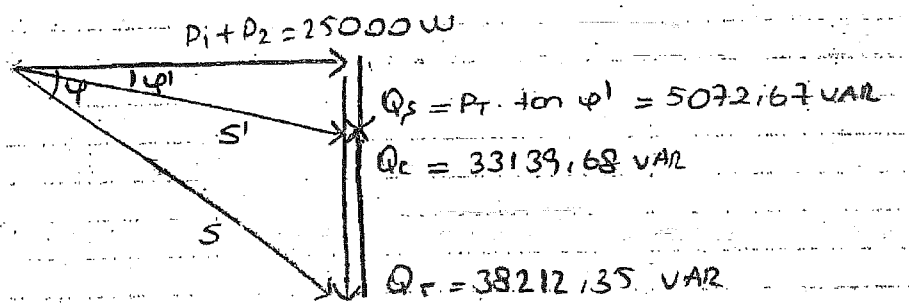
$Q_1 = P_1 \cdot \tan\varphi_1$ $\qquad$ $Q_2 = P_2 \cdot \tan\varphi_2$

$= 22910{,}89\,VAR$ $\qquad$ $= 15301{,}46\,VAR$

$$\varphi_T = \frac{Q_1 + Q_2}{P_1 + P_2} = 56{,}8$$

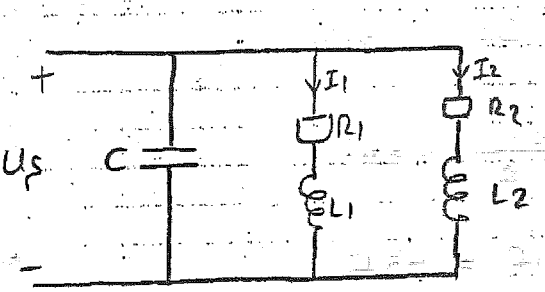
$P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot \cos\varphi_T \Rightarrow I = 207{,}56\,A$

b-) $\cos\varphi' = 0{,}98 \Rightarrow \varphi' = 11{,}47$



$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot C \Rightarrow C = 2{,}18 \cdot 10^{-3}\,F$

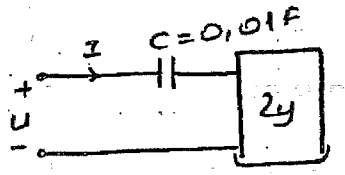
c



$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 \Rightarrow R_1 = 0{,}77\,\Omega$

$Q_L = I_1^2 \cdot \omega L \Rightarrow L = 5{,}6 \cdot 10^{-3}\,H$

③



$u = 300 \cos(5t - 60)$ V $= 300 \sin(5t + 30)$

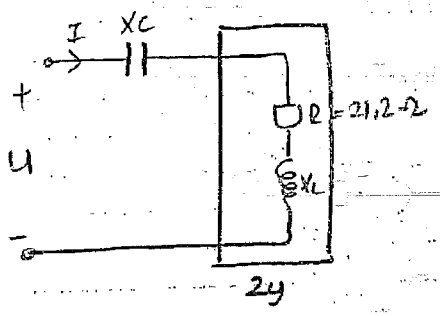
$I = 10 \sin(5t - 15)$ A

2y'nin en basit seri eşdeğerini elemen değerlerini de hesaplayarak bulunuz.

$$|Z| = \frac{U_m}{I_m} = 30\,\Omega$$

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_I = 30 + 15 = 45$$

$$Z = 30 \angle 45\ \Omega = \underbrace{21{,}2}_{R} + j \cdot \underbrace{21{,}2}_{X_T}$$



$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 20\,\Omega$$

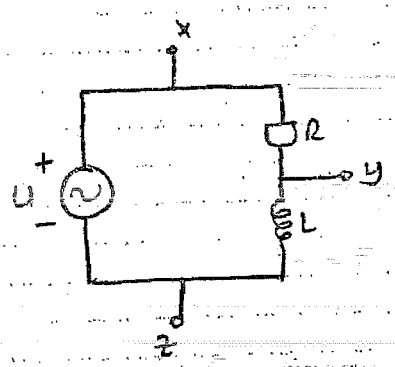
$$X_T = X_L - X_C$$

$$21{,}2 = X_L - 20$$

$$X_L = 41{,}2\,\Omega$$

$$L = 8{,}24\ H$$

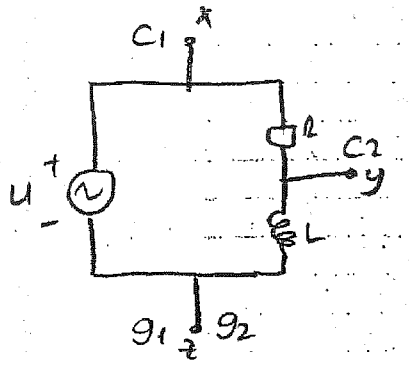
⑤



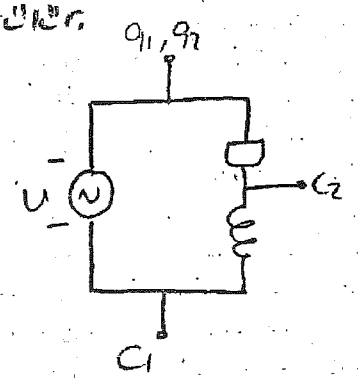
ⓐ Şekildeki devrede osilloskop aracılığıyla I. kanaldan u'yu, II. kanaldan de L'nin gerilimini görmek istiyoruz. Canlı uçları (C_1, C_2) ve cansız uçları (G_1, G_2) devre üzerinde ilgili x, y, z noktalarına bağlayınız.

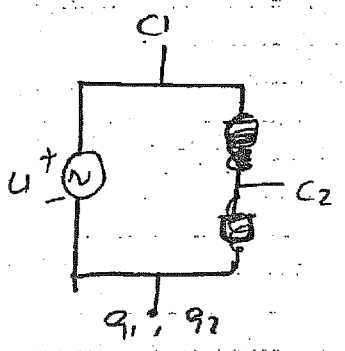
ⓑ Devrede faz farkını osilloskopta nasıl görülebileceğini bir cümleyle belirtiniz. Devreyi istediğiniz gibi oluşturarak tüm bağlantıları gösteriniz.

(a)

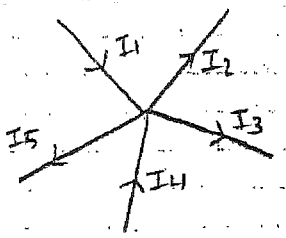


(b) Direncin gerilimini görüp R'ye bölersen I'nın genliğini dolaylı görürüm. U_R'yi I gibi düşünürsek faz farkı gö-rülür.





DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİYLE DEVRE ÇÖZÜMÜ:



$$I_2 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

Bir devrede herhangi bir düğüme giren akımlar (-), düğümden çıkan akımlar (+) işaretli kabul edilerek I Kirchhoff Yasası uygulanırsa;

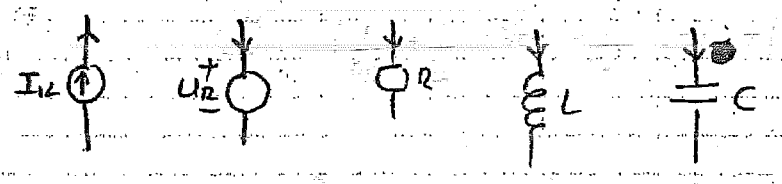
$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

DÜĞÜM GERİLİMİ:

Devredeki düğümlerden herhangi birisi referans düğümü olarak seçilir. Diğer düğümlerden herhangi birine referans düğümüne göre karşı düşürülür. Referans düğümünün gerilimi 0 kabul edilir. Referans düğümü devrede tek bir gerilim kaynağı varsa bunun (-) ucuna bağlı düğüm seçilir. Devrede iki yada daha fazla en fazla gerilim kaynağının bulunduğu düğüm referans düğümü olarak seçilir. Kaynaklar farklı yerlerde ise herhangi bir gerilim kaynağının (-) ucunun bağlı bulunduğu düğüm referans düğümü seçilir.

Devredeki bağımsız akım kaynaklarının gerilimleri, bağımsız gerilim kaynaklarının da akımları bilinmeyenler olarak genellikle denklemlerde yer alırlar.

Devredeki tüm elemanlara ilişkin akım yönü belirlenirken aşağıdaki gibi seçilir. Bu seçimde genellikle kaynaklar belirdir. Diğer elemanlar da genellikle referans düğümüne doğru yönlenir. Bir devredeki düğümlerin sayısı n_d kadardır.



Denklemlerin Adım Adım Çıkarılması:

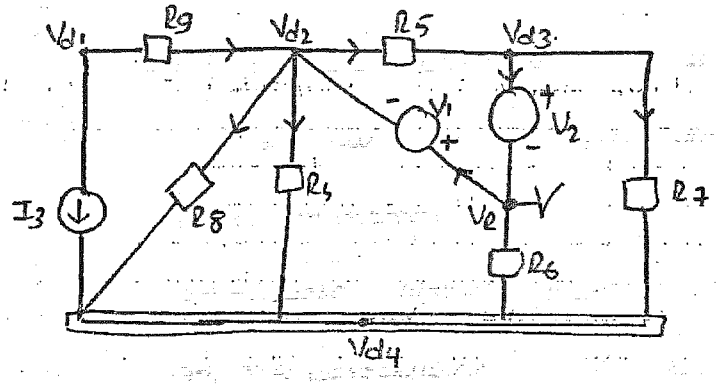
1-) Uygun referans düğümü seçilir. Diğer tüm düğüm gerilimleri isimlendirilir ve akım yönleri belirlenir.

2-) Devrede seçilen $(n_d - 1)$ tane düğüm için bağımsız akım denklemleri yazılır.

3-) Direnç akımları yerine $I_R = G.V_R$ yazılır. Yani eleman akımları eleman gerilimleri cinsinden ifade edilir.

4-) Eleman gerilimleri düğüm gerilimleri cinsinden ifade edilir.

5-) Varsa ek denklemler yazılır. Devrede gerilim kaynağı varsa düğüm gerilimi cinsinden ifade edilir.



I_3 biliniyor.

V_1, V_2 biliniyor kabul ediyoruz.

$V_R = 0$

$n_d = 5$ $\quad n_d - 1 = 4$ tane bağımsız denklem takımı olabilir.

Genellikle bağımsız akım kaynaklarının gerilimleri, bağımsız gerilim kaynaklarının ise akımları bilinmiyor demektir.

V_{d1} : $I_3 + I_g = 0$

V_{d2} : $-I_g + I_8 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$

V_{d3} : $-I_5 + I_2 + I_7 = 0$

V_{d4} : $-I_3 - I_8 - I_4 + I_6 - I_7 = 0$

$I_R = G \cdot V_R$

① $G_9 \cdot V_9 = -I_3$

② $-G_9 \cdot V_9 + G_8 \cdot V_8 + G_4 \cdot V_4 + G_5 \cdot V_5 - I_1 = 0$

③ $-G_5 \cdot V_5 + I_2 + G_7 \cdot V_7 = 0$

④ $-G_8 \cdot V_8 - G_4 \cdot V_4 + G_6 \cdot V_6 - G_7 \cdot V_7 = I_3$

$V_9 = V_{d1} - V_{d2}$

$V_8 = V_{d2} - V_{d4}$

① $\frac{1}{R_9} \cdot (V_{d1} - V_{d2}) = -I_3$

② $-\frac{1}{R_9}(V_{d1} - V_{d2}) + \frac{1}{R_8}(V_{d2} - V_{d4}) + \frac{1}{R_4}(V_{d2} - V_{d4}) + \frac{1}{R_5}(V_{d2} - V_{d3})$

$-I_1 = 0$

③ $-\frac{1}{R_5}(V_{d2} - V_{d3}) + I_2 + \frac{1}{R_7}(V_{d3} - V_{d4}) = 0$

④ $-\frac{1}{R_8}(V_{d2} - V_{d4}) - \frac{1}{R_4}(V_{d2} - V_{d4}) + \frac{1}{R_6}(V_{d4} - \cancel{V_R}^{\,0}) - \frac{1}{R_7}(V_{d3} - V_{d4}) = 0$

① $\frac{1}{R_9} V_{d1} - \frac{1}{R_9} V_{d2} = -I_3$

② $-\frac{1}{R_9} V_{d1} + V_{d2}\left(\frac{1}{R_9} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right) - \frac{1}{R_5} V_{d3} - V_{d4}\left(\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_4}\right) - I_1 = 0$

③ $-\frac{1}{R_5} V_{d2} + \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_7}\right) V_{d3} - \frac{1}{R_7} V_{d4} + I_2 = 0$

④ $-\left(\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}\right)V_{d2} - \frac{1}{R_7}V_{d3} + \left(\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6}+\frac{1}{R_7}\right)V_{d4} = I_3$

Ek Denklemler :

⑤ $V_2 = V_{d3} - V_e \Rightarrow V_{d3} = V_2$

⑥ $V_{d2} = -V_1$

Denklemlerin Doğrudan Yazılması :

Her düğüm için denklem yazılır. Bulunan düğüme bağlı iletkenlikler toplanır ve düğüm gerilimi ile çarpılır. Komşu düğümlerin etkisi benzer şekilde (-) İşaretli olarak yazılır. Burada kaynakların dışındaki elemanların yönleri dikkate alınmaz.

① $\frac{1}{R_9}V_{d1} - \frac{1}{R_9}V_{d2} = -I_3$

② $-\frac{1}{R_9}V_{d1} + \left(\frac{1}{R_9}+\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}\right)V_{d2} - \frac{1}{R_5}V_{d3} - \left(\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}\right)V_{d4} - I_1 = 0$

③ $-\frac{1}{R_5}V_{d2} + \left(\frac{1}{R_5}+\frac{1}{R_7}\right)V_{d3} - \frac{1}{R_7}V_{d4} + I_2 = 0$

④ $-\left(\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}\right)V_{d2} - \frac{1}{R_7}V_{d3} + \left(\frac{1}{R_8}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6}+\frac{1}{R_7}\right)V_{d4} = I_3$

$R_4 = --- = R_9 = 1\Omega$

$I_3 = 1A$

$V_2 = V_3 \doteq 1V$

① $V_{d1} - V_{d2} = -1$

② $-V_{d1} + 4V_{d2} - V_{d3} - 2V_{d4} - I_1 = 0$

③ $-V_{d2} + 2V_{d3} - V_{d4} + I_2 = 0$

④ $-2V_{d2} - V_{d3} + 4V_{d4} = 1$

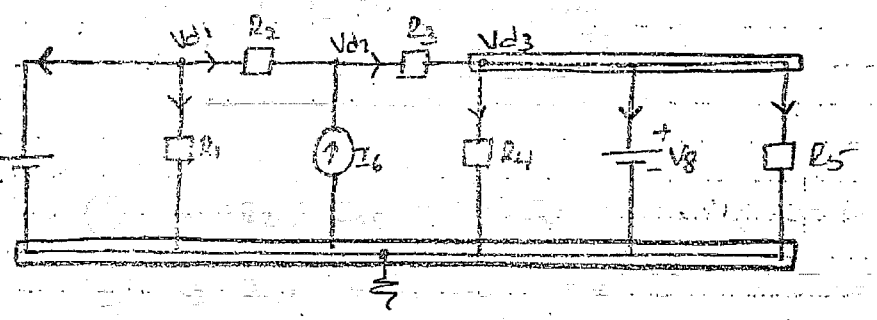
Ek Denklemler !

⑤ $V_{d3} = V_2 = 1$

⑥ $V_{d2} = -V_1 = -1$

$V_{d1} = -2V$, $V_{d2} = -1\ V$, $V_{d3} = 1\ V$, $V_{d4} = 0$

Ör. :



$R_1 = 1\Omega$ $R_2 = 2\Omega$ $R_3 = 3\Omega$ $R_4 = 4\Omega$ $R_5 = 5\Omega$

$I_6 = 2A$ $V_7 = 20V$ $V_8 = 10V$

① $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) V_{d1} - \frac{1}{R_2} V_{d2} + I_7 = 0$

② $-\frac{1}{R_2} V_{d1} + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) V_{d2} - \frac{1}{R_3} V_{d3} = I_6$

③ $-\frac{1}{R_3} V_{d2} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}\right) V_{d3} + I_8 = 0$

Ek Denklemler :

④ $V_{d1} = V_7 = 20\ V$ ⑤ $V_{d3} = V_8 = 10\ V$

① $\frac{3}{2} \cdot 20 - \frac{1}{2} V_{d2} + I_7 = 0$

② $-\frac{1}{2} \cdot 20 + \frac{5}{6} V_{d2} - \frac{1}{3} \cdot 10 = 2$

③ $-\frac{1}{3} V_{d2} + \frac{47}{60} \cdot 10 + I_8 = 0$

$V_{d2} = 18{,}4\ V$, $I_7 = -20{,}8\ A$

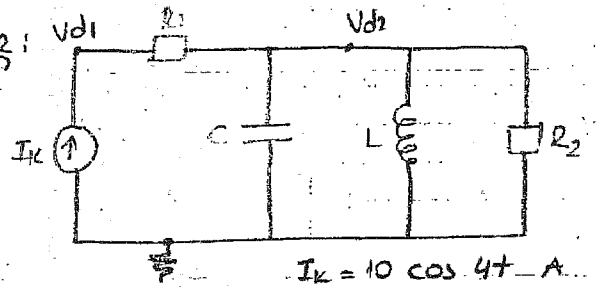
$I_8 = -1{,}7\ A$

Sinüsoidal Sürekli Halde Düğüm Denklemleri !

NOT ! $U \cos \omega t \Rightarrow U$, $U \cos(\omega \mp \alpha) \Rightarrow U \cdot e^{\mp j \cdot \alpha} = U \angle \mp \alpha$

$U \cdot \sin \omega t \Rightarrow -jU$, $U \sin(\omega \mp \alpha) \Rightarrow -j \cdot U \cdot e^{\mp \alpha} = -jU \angle \mp \alpha$

Ör :



$C = \frac{1}{4} F$ $L = 1\ H$

$R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$

$I_K = 10 \cos 4t\ A$

$j \cdot X_L = j \cdot \omega L = j \cdot 4 \rightarrow \frac{1}{j \cdot 4} = -j \cdot \frac{1}{4} = -j \cdot B_L$ → süseptans

$\frac{1}{j \cdot \omega C} = -j \frac{1}{\omega C} = -j \cdot X_C = -j \rightarrow \frac{1}{-j} = j = j \cdot B_C$

① $\frac{1}{R_1} \cdot V_{d1} - \frac{1}{R_1} \cdot V_{d2} = I_K$

② $-\frac{1}{R_1} \cdot V_{d1} + \left[\frac{1}{R_1} + j \cdot \omega C + \frac{1}{j \cdot \omega L} + \frac{1}{R_2} \right] V_{d2} = 0$

---

① $\frac{1}{100} V_{d1} - \frac{1}{100} V_{d2} = 10 \rightarrow V_{d1} = V_{d2} + 1000$

$$U e^{j\cdot\theta} = U\cdot\cos\theta + j\,U\sin\theta$$
$$U e^{-j\cdot\theta} = U\cos\theta - j\cdot U\cdot\sin\theta$$

② $$-\frac{1}{100}V_{d1} + \Big[\underbrace{\frac{1}{100}+\frac{1}{10}}_{0,11} + j\underbrace{\Big(1-\frac{1}{4}\Big)}_{0,75}\Big]V_{d2} = 0$$

$$-\frac{1}{100}(V_{d2}+1000) + (0,11 + j\,0,75)\,V_{d2} = 0$$

$$(-0,01 + 0,11 + j\,0,75)\,V_{d2} = 10$$

$$0,756\,e^{j82,4}\,V_{d2} = 10$$

$$V_{d2} = 13,2\,e^{-j\cdot 82,4}\ V = 1,74 - j\cdot 13\ V$$

$$V_{d1} = 1000 + 1,74 - j\cdot 13 = 1001,74 - j\cdot 13\ V$$
$$= 1001,8\angle -0,74\ V$$

* V_{d2}'nin zamana göre değişimini bulunuz.

NOT! $V(t) = Re\left[V\cdot e^{j\omega t}\right]$

$$V_{d2}(t) = Re\left[V_{d2}\cdot e^{j\omega t}\right]$$
$$= Re\left[(1,74 - j\,13)\,e^{j4t}\right]$$
$$= Re\left[(1,74 - j\cdot 13)(\cos 4t + j\cdot\sin 4t)\right]$$
$$= Re\left[1,74\cos 4t + 13\sin 4t + j\,(1,74\sin 4t - 13\cos 4t)\right]$$
$$V_{d2}(t) = 1,74\cos 4t + 13\sin 4t\ V$$
$$= 13,2\cos(4t - 82,4)\ V$$

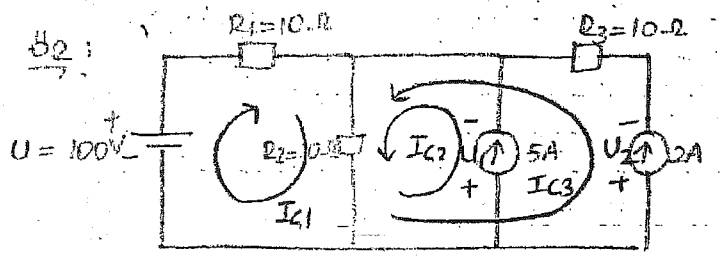
Çevre Akımları Yöntemiyle Devre Çözümü:

Daha önce tek kaynaklı devreler eşdeğer empedans hesabı yoluyla çözülmüştü. Devrede birden fazla kaynak varsa bu yöntem kullanılana çevre akımları yöntemi bu durumda kolaylıklar sağlar

Çevre akımları seçilirken akım kaynaklarından tek çevre akımı geçirilir. Bu yöntemle oluşturulan denklemlerde gerilim kaynaklarının akımı, akım kaynaklarının da gerilimleri bilinmeyen olarak yer alırlar.

NOT: Bir devrede $n_e - n_d + 1$ tane bağımsız çevre denklemi kullanılabilir. (n_e = eleman sayısı)

Ör:



① $(R_1+R_2)\, I_{Ç1} + R_2 \cdot I_{Ç2} + R_2 \cdot I_{Ç3} = U$

② $R_2 \cdot I_{Ç1} + R_2 \cdot I_{Ç2} + R_2 \cdot I_{Ç3} + U_1 = 0$

③ $R_2 \cdot I_{Ç1} + R_2 \cdot I_{Ç2} + (R_2+R_3) \cdot I_{Ç3} + U_2 = 0$

Ek Denklemler:

④ $I_{Ç2} = 5A$ ⑤ $I_{Ç3} = 2A$

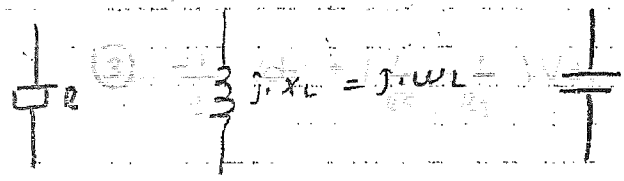
---

① $30 \cdot I_{Ç1} + 20 \cdot 5 + 20 \cdot 2 = 100 \rightarrow I_{Ç1} = -1{,}33\ A$

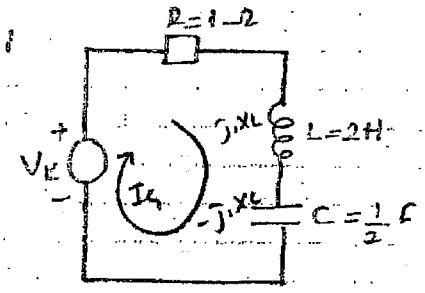
② $20 \cdot I_{Ç1} + 20 \cdot 5 + 20 \cdot 2 + U_1 = 0 \rightarrow U_1 = -113{,}4\ V$

③ $20 \cdot I_{Ç1} + 20 \cdot 5 + 30 \cdot 2 + U_2 = 0 \rightarrow U_2 = -133{,}4\ V$

Sinüsoidal Sürekli Halde Çevre Akımları Yöntemiyle Devre Çözümü;



Ör 1



$V_K = 10 \cdot \cos(2t + 90)$ V
$\omega t + \alpha$

Çevre akımını ve elemen gerilimlerini bulunuz. Toplam gerilimin 0 old. gösteriniz.

$\omega = 2$
$X_L = 4\,\Omega$
$X_C = 1\,\Omega$

$$V_K = 10 \cdot e^{j90}\ V = 10\angle 90\ V$$

$$\underbrace{\left[R + j\cdot(X_L - X_C)\right]}_{1+j\cdot 3} I_C = V_K = 10\, e^{j90}$$

$$I_C = \frac{10\, e^{j\cdot 90}}{(1 + j\cdot 3)}$$

$$I_C = \frac{10\, e^{j\cdot 90}}{\sqrt{10}\, e^{j\cdot 71{,}565}}$$

$$I_C = \sqrt{10}\, e^{j\cdot 18{,}435}\ A = (3 + j)\ A$$

$$V_R = R \cdot I_C = 1 \cdot \sqrt{10}\, e^{j\,18{,}435}\ V = (3 + j)\ V$$

$$V_L = j \cdot X_L \cdot I_C = 4\angle 90\ \sqrt{10}\, e^{j\,18{,}435}\ V = 12{,}65\, e^{j\cdot 108{,}435}\ V$$

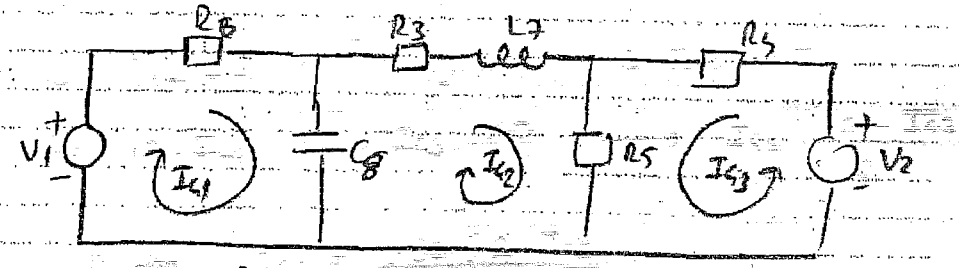
$$V_C = -j \cdot X_C \cdot I_C = 1\angle -90\ \sqrt{10}\, e^{j\,18{,}435}\ V = \sqrt{10}\, e^{-j\cdot 71{,}565}\ V$$

$$V_R + V_L + V_C = V_K$$

$$\sqrt{10}\, e^{j\,18{,}435} + 12{,}65\, e^{j\cdot 108{,}435} + \sqrt{10}\, e^{-j\,71{,}565} = 10 e^{j\cdot 90}$$

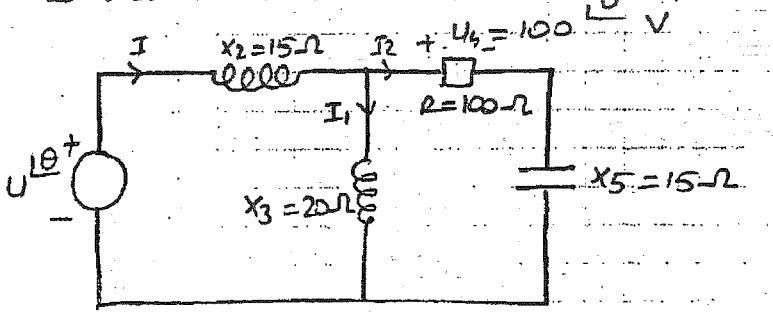
$$0 + j\cdot 10 = 0 + j\cdot 10$$

ÖDEV:



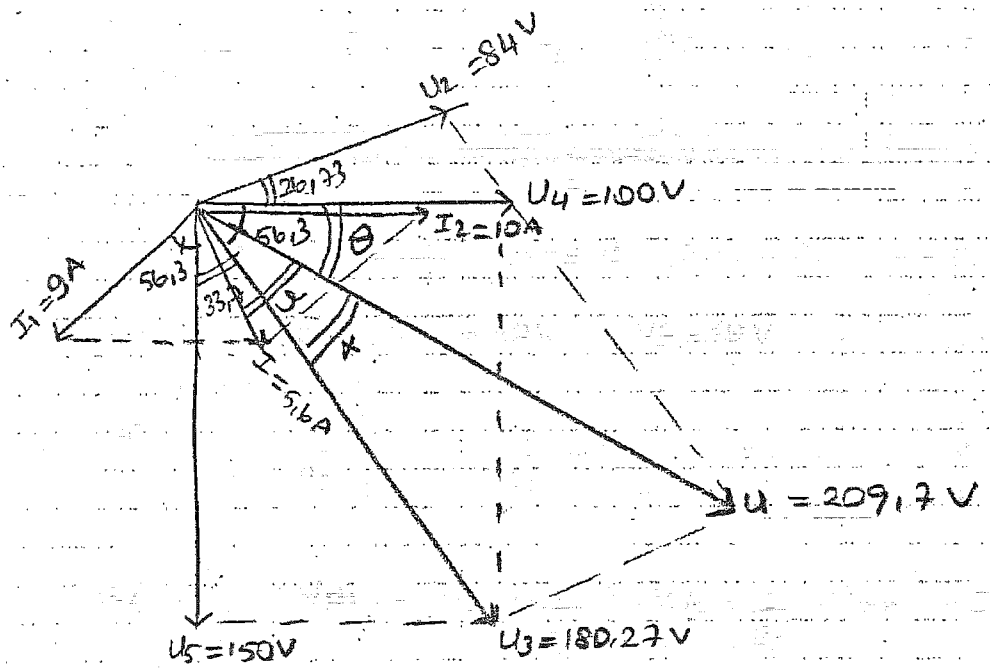
Çevre akımlarını bulunuz.

II. VİZE FAZÖR SORUSU:



a-) Fazör diyoramı yöntemiyle $U\angle\theta$ yöntemiyle bulunuz.

b-) Devrenin faz açısını bularak fazör diyoramı üzerinde gösteriniz. Devrenin özelliğini nedenini de belirterek yazınız.



$\varphi = 30,61^\circ$

(b) Devre omik indüktif özelliktedir. Devrede U, I'dan φ kadar önde olduğundan ve $0 < \varphi < 90$ olduğundan omik indüktiftir.

$$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(90 + 56{,}3)$$

$$I = 5{,}6\ A$$

$$I_1^2 = I^2 + I_2^2 - 2 \cdot I \cdot I_2 \cdot \cos\alpha$$

$$\alpha = 63{,}27$$

$$U^2 = U_2^2 + U_3^2 + 2 \cdot U_2 \cdot U_3 \cos(56{,}3 + 26{,}73)$$

$$U = 207{,}9\ V$$

$$U_2^2 = U_3^2 + U^2 - 2 \cdot U_3 \cdot U \cos x$$

$$x = 23{,}64$$

$$\theta = 56{,}3 - x = -32{,}66 \Rightarrow U^{\underline{\theta}} = 207{,}9^{\underline{-32{,}66}}\ V$$

$I^2 = I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(90 + 56{,}3)$

$I = 5{,}6\ A$

$I_1^2 = I^2 + I_2^2 - 2 \cdot I \cdot I_2 \cdot \cos\alpha$

$\alpha = 63{,}27$

$U^2 = U_2^2 + U_3^2 + 2 \cdot U_2 \cdot U_3 \cos(56{,}3 + 26{,}73)$

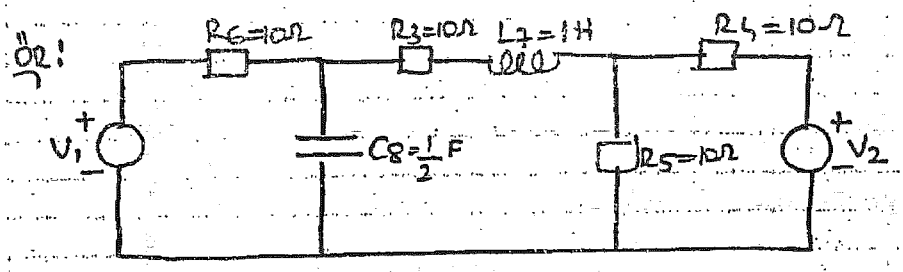
$U = 207{,}9\ V$

$U_2^2 = U_3^2 + U^2 - 2 \cdot U_3 \cdot U \cos x$

$x = 23{,}64$

$\theta = 56{,}3 - x = -32{,}66 \Rightarrow U^{\angle\theta} = 207{,}9^{\angle -32{,}66}\ V$

Ör:



Çevre akımlarını bulunuz.

$V_1 = 30 \sin(t - 90)\ V$

$V_2 = 20 \cos t\ V$

① $(R_2 - j \cdot X_8) \cdot I_{ç1} - (-j \cdot X_8) \cdot I_{ç2} = V_1$

② $-(-j \cdot X_8) \cdot I_{ç1} + (R_3 + R_5 + j \cdot X_7 - j \cdot X_8) I_{ç2} + R_5 \cdot I_{ç3} = 0$

③ $R_5 \cdot I_{ç2} + (R_5 + R_5) \cdot I_{ç3} = V_2$

① $(10 - j \cdot 2) \cdot I_{ç1} + j \cdot 2 \cdot I_{ç2} = -j \cdot 30 \cdot e^{-j \cdot 90} \rightarrow 30 e^{j \cdot 180} = -30$

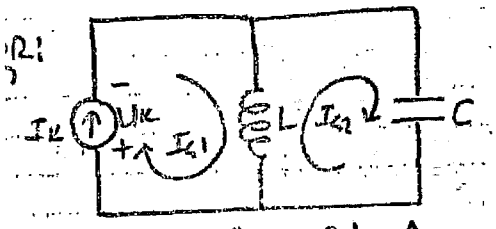
② $j \cdot 2 \cdot I_{ç1} + [20 - j] \cdot I_{ç2} + 10 \cdot I_{ç3} = 0$

③ $10 \cdot I_{ç2} + 20 \cdot I_{ç3} = 20 \longrightarrow I_{ç3} = \dfrac{2 - I_{ç2}}{2}$

①'den $I_{ç1} = \dfrac{-30 - j \cdot 2 \cdot I_{ç2}}{10 - j \cdot 2}$

Tüm elemanların akım ve gerilimlerini bul Tüm düğümlerde toplam akımın 0, tüm çevrelerde toplam gerilimin 0 olduğunu gösterir.

Ör:



$I_L = 3\cos 2t$ A

$L = \frac{1}{2}$ H $C = \frac{1}{8}$ F

L ve C'den geçen akımları bulunuz.

$X_L = \omega \cdot L = 1\Omega$

$X_C = \frac{1}{\omega C} = 4\Omega$

① $j \cdot X_L \cdot I_{G1} - j \cdot X_L \cdot I_{G2} + U_{IL} = 0$

② $-j \cdot X_L \cdot I_{G1} + [j \cdot X_L - j \cdot X_C] \cdot I_{G2} = 0$

Ek Denklem

③ $I_{G1} = I_L = 3A$

① $j \cdot 3 - j \cdot I_{G2} + U_{IL} = 0$

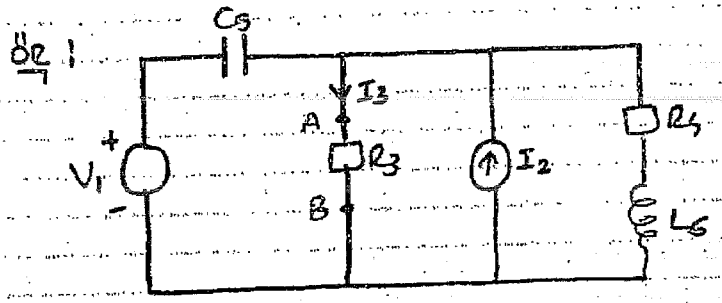
② $-j \cdot 3 - 3j \cdot I_{G2} = 0 \longrightarrow I_{G2} = -1A$

$j \cdot 3 + j + U_{IL} = 0 \rightarrow U_L = -4j = 4e^{-j \cdot 90}$

$I_L = I_{G1} - I_{G2} = 3 + 1 = 4$ A

$I_L(t) = 4\cos 2t$ A

Ör:



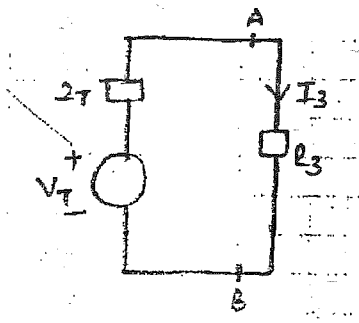
$V_1 = 4\cos 4t$ V

$I_2 = 2\sin 4t$ A

$R_3 = R_4 = 1\Omega$

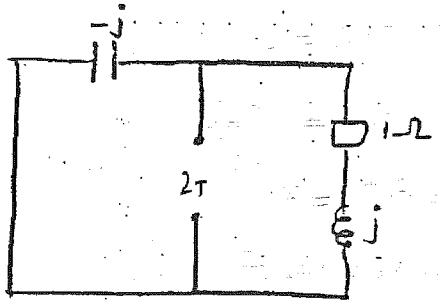
$C_5 = \frac{1}{4}$ F , $L_6 = \frac{1}{4}$ H

I_3 akımını thevenin teoremiyle bulunuz.



$$I_3 = \frac{V_T}{Z_T + R_3} = \frac{\sqrt{8}\, e^{-j\,135}}{2 - j}$$

$$\boxed{I_3 = \frac{\sqrt{8}\, e^{-j\,135}}{\sqrt{5}\, e^{-j\,26{,}56}} = 1{,}26\, e^{-j\,108{,}44}\ A}$$

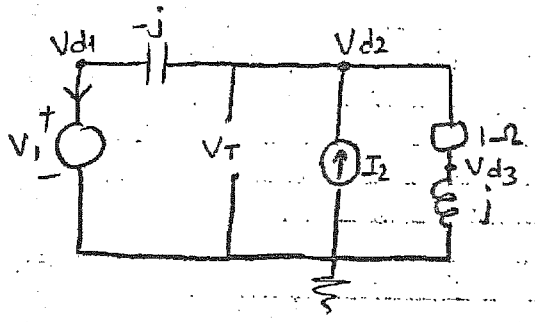


$X_5 = 1\Omega$

$X_6 = 1\Omega$

$$Z_T = \frac{(-j)(1+j)}{-j+1+j} = 1 - j\ \Omega$$

$$= \sqrt{2}\, e^{-j\,45}\ \Omega$$



① $\frac{1}{-j} Vd_1 - \frac{1}{-j} Vd_2 + I_1 = 0$

② $-\frac{1}{-j} Vd_1 + \left(\frac{1}{-j} + \frac{1}{1}\right) Vd_2 - \frac{1}{1} Vd_3 = I_2$

$V_T = Vd_2$

③ $-\frac{1}{1} Vd_2 + \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{j}\right) Vd_3 = 0$

① $j\, Vd_1 - j \cdot Vd_2 + I_1 = 0$

② $-j \cdot Vd_1 + (1+j)\, Vd_2 - Vd_3 = I_2$

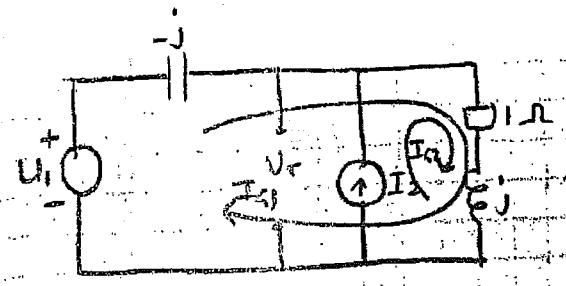
③ $-Vd_2 + (1-j)\, Vd_3 = 0$

④ $Vd_1 = V_1 = 4$

① $-j \cdot Vd_2 + I_1 = -j \cdot 4$

② $(1+j)\, Vd_2 - Vd_3 = -j \cdot 2 + j \cdot 4$

③ $-Vd_2 + (1-j) \cdot Vd_3 = 0$



① $(-j+1+j)I_{c1} + (1+j)I_{c2} = V_1 = 4$

② $(1+j)\,I_{c1} + (1+j)\,I_{c2} + U_2 = 0$

③ $I_{c2} = I_2 = -j\cdot 2$

① $I_{c1} = -(1+j)\,(-j\,2) + 4 \longrightarrow I_{c1} = 3 + j\cdot 2\ A = \sqrt{8}\,e^{j45}$

② $(1+j)\,I_{c1} + U_2 = -(1+j)\,(-j\cdot 2)$

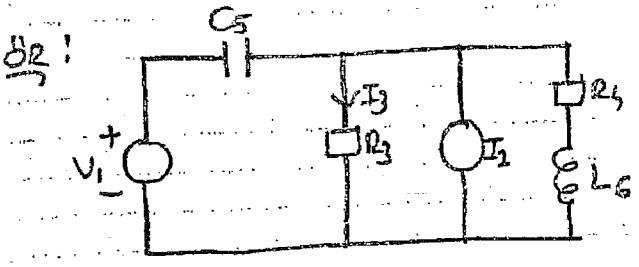
$V_r = U_2$

② $\sqrt{2}\,e^{j45}\cdot\sqrt{8}\,e^{j45} + U_2 = -2 + j\cdot 2$

$4\,e^{j90} + U_2 = -2 + 2j \Rightarrow U_2 = -2 - 2j\ V = -(2+2j)\ V$

$= \sqrt{8}\,e^{-j\cdot 135}\ V$

Ör:



$V_1 = 4\cos 2t\ V$

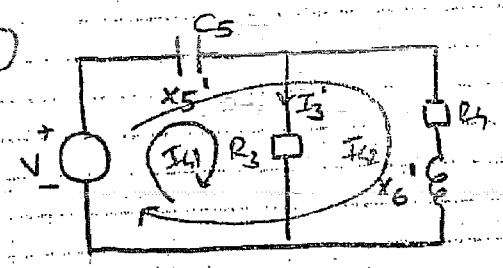
$I_2 = 2\sin 4t\ A$

$R_3 = R_4 = 1\Omega$

$C_5 = \frac{1}{4}\ F\ ,\ L_6 = \frac{1}{4}\ H$

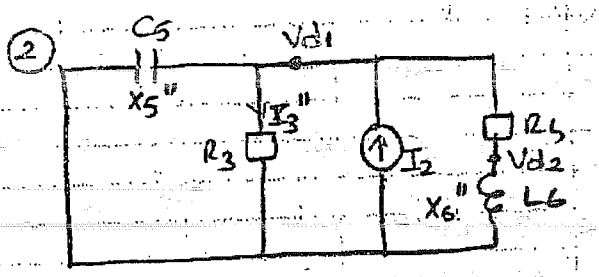
I_3 akımını bulunuz.

①



+

②



$\omega_1 = 2\ r/s$

$X_5' = 2\Omega\ ,\ X_6' = \frac{1}{2}\Omega$

$I_{c1} = I_3'$

$\omega_2 = 4\ r/s$

$X_5'' = 1\Omega\ ,\ X_6'' = 1\Omega$

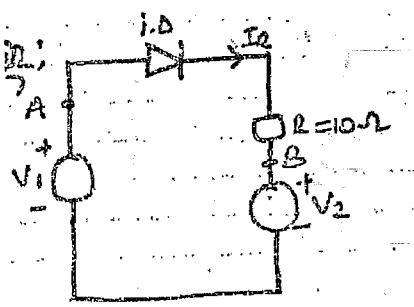
$I_3'' = \frac{V_{d1}}{R_3}$

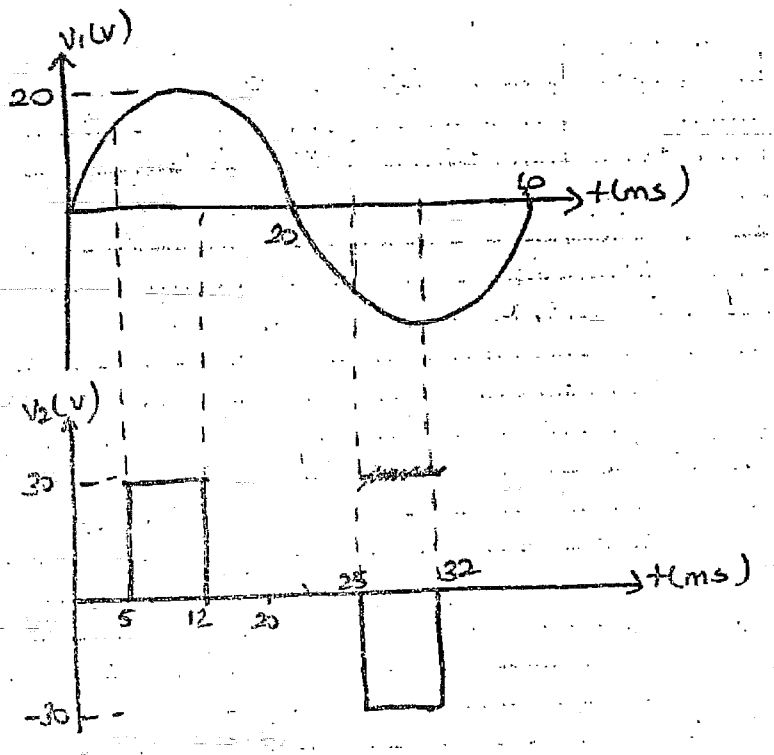
① $(R_3 - j \cdot x_5') \cdot I_{c1} + I_{c2} (-j \cdot x_5') = V_1$

$(-j \cdot x_5') \cdot I_{c1} + (R_4 + j \cdot x_6'' - j \cdot x_5') \cdot I_{c2} = V_1$

$(1 - j \cdot 2)\, I_{c1} - j \cdot 2\, I_{c2} = 4$

$-j \cdot 2\, I_{c1} + [1 - j\, 3/2]\, I_{c2} = 4$

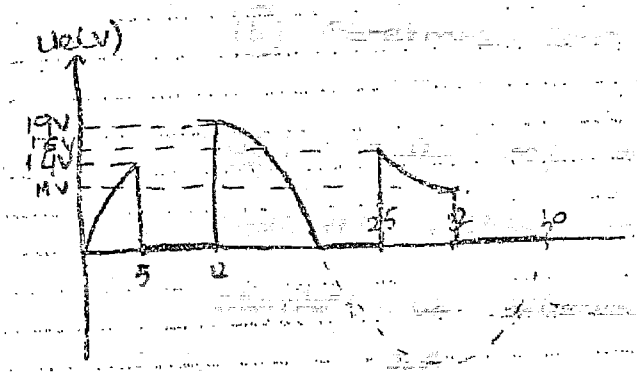




-) U_R'nin zamana göre değişimini çiziniz.

-) I_R'nin ortalama değerini hesaplayınız.

$V_{AB} = V_1 - V_2$



$\omega = 157$ r/s

$V_5 = 20 \sin(157 \cdot 5 \cdot 10^{-3})$

$= 14$ V

$V_{12} = 19$ V

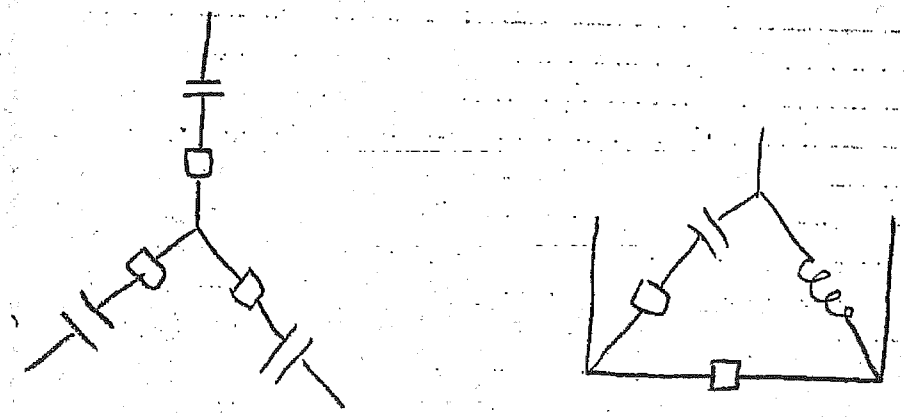
$V_{25} = -14$ V

$V_{32} = -19$ V

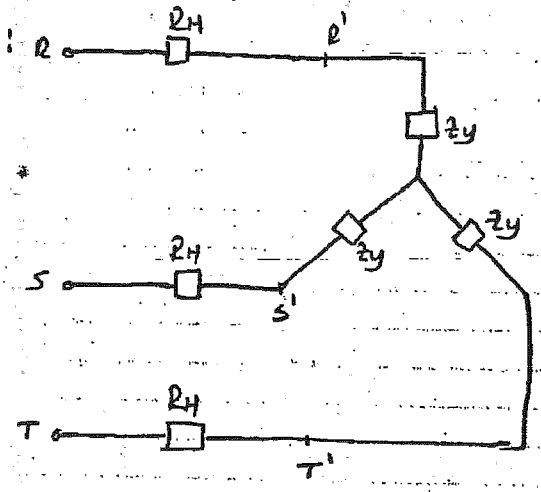
$$I_{ort} = \frac{V_{ort}}{R} = \frac{1}{10}\left\{\frac{1}{0{,}04}\left[\int_0^{0{,}005} 20 \sin 157t \, dt + \int_{0{,}012}^{0{,}02} 20 \sin 157t \, dt + \int_{0{,}025}^{0{,}032} (20 \sin 157t + 30) \, dt\right]\right\}$$

$I_{ort} = 0{,}5$ A

Ör: Üç fazlı Y bağlı dengeli omik kapasitif bir yük ile üç fazlı Δ bağlı dengesiz bir yük şekli çiziniz.



Ör:



$Z_y = 50 \angle -80\ \Omega$

$R_H = 3\ \Omega$

$V_{RS} = \sqrt{2} \cdot 380 \angle 90\ V$

a-) Faz ve hatta ilişkin akımları ve gerilimleri bulunuz.

b-) Güç üçgenini çiziniz. (şebekeye ilişkin)

$Z_T = R_H + Z_y = 3 + 50 \angle -80 = 11,68 - j49,24\ \Omega$

$= 50,6 \angle -76,65\ \Omega$

$I_H = I_f$

$V_R = \frac{V_{RS}}{\sqrt{3}} \angle 90-30 = \sqrt{2}\, 220 \angle 60\ V$

$V_S = \sqrt{2}\, 220 \angle -60\ V = 311 \angle -60\ V$

$V_T = \sqrt{2}\, 220 \angle 180\ V = 311 \angle 180\ V$

$V_{ST} = \sqrt{2} \cdot 380 \angle -30$ V

$V_{TR} = \sqrt{2} \cdot 380 \angle -150$ V

$I_R = \frac{V_R}{Z_T} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220 \angle 60}{50{,}6 \angle -46{,}65} = 6{,}14 \angle 136{,}65$ A

$I_S = 6{,}14 \angle 16{,}65$ A

$I_T = 6{,}14 \angle -103{,}35$ A

$V_{R'} = I_R \cdot Z_y = 6{,}14 \angle 136{,}65 \cdot 50 \angle -30 = 307 \angle 56{,}65$ V

$V_{S'} = 307 \angle$

$V_{T'} = 307 \angle$

$V_{R'S'} = \sqrt{3} \cdot 307 \angle 56{,}65 + 30$ V

$V_{S'T'} =$

$V_{T'R'} =$

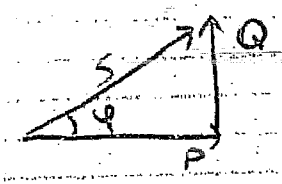
(b) $P = \sqrt{3} \cdot U_{Hef} \cdot I_{Hef} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{6{,}14}{\sqrt{2}} \cdot \cos 76{,}65$

$= 659$ W

$Q = \sqrt{3} \cdot U_{Hef} \cdot I_{Hef} \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{6{,}14}{\sqrt{2}} \cdot \sin 76{,}65$

$= 2776$ VAR

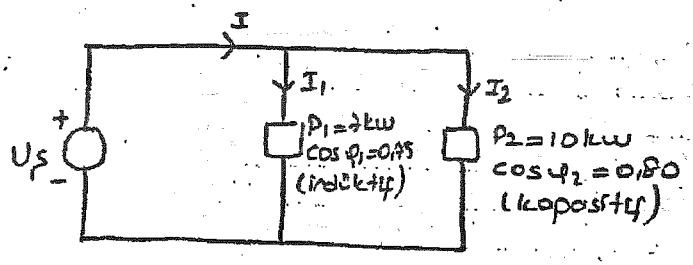
$S = \sqrt{3} \cdot U_{Hef} \cdot I_{ef} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{6{,}14}{\sqrt{2}} = 2853$ A



Ör: Şekildeki devrede;

a-) I, I_1 ve I_2 akımlarını hesaplayınız.

b-) Kompanzasyon gerekir mi? Gerekmiyorsa niçin? Gerekiyorsa 0,95'e kompanze ediniz.



$\varphi_1 = 41,4$

$Q_1 = P_1 \cdot \tan\varphi_1 = 6173,4$ VAR

$P_1 = U_1 I_1 \cdot \cos\varphi_1$

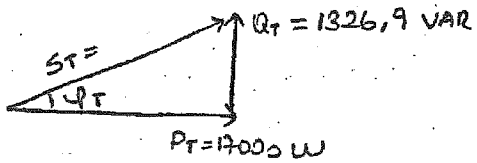
$I_1 = 42,42$ A

$\varphi_2 = 36,86$

$Q_2 = P_2 \cdot \tan\varphi_2 = 7500$ VAR

$P_2 = U \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$

$I_2 = 56,8$ A



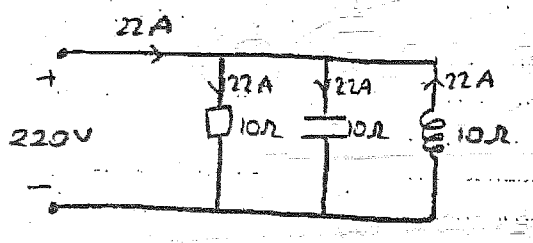
$\varphi_T = 4,46$

$P_T = U \cdot I_T \cdot \cos\varphi_T$

$I_T = 77,5$ A

(b) Gerekmez. Zaten devremiz omik kapasitif. $\cos\varphi = 0,99$

Ör: 10Ω saf omik, 10Ω saf kapasitif ve 10Ω saf indüktif yükler şehir şebekemize bağlıdır. Yüklerden geçen akımları ve şebekeden çekilen toplam akımı bulunuz.



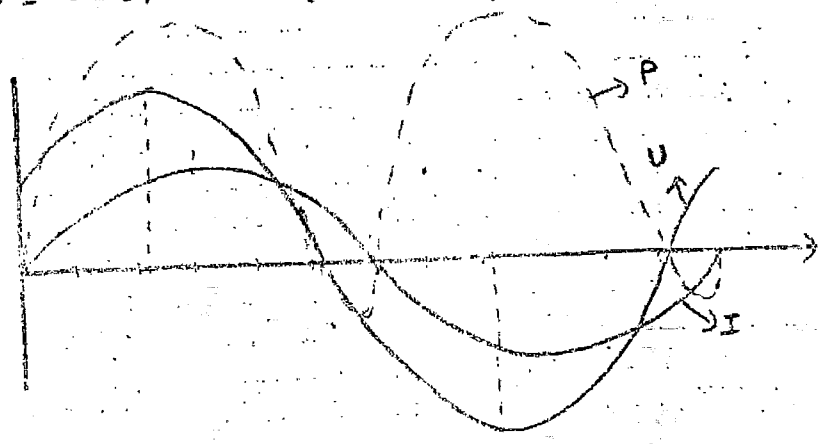
Ör: $Z = 20 + j10\ \Omega$ değerindeki bir yükten $I = 10 \sin \omega t$ A akım geçmektedir.

a) Bu yüke sistem gücün zamana göre değişimini grafiksel yolla yoluyla çiziniz.

b-) Güç değerini bulabiliriz.

-) $Z = 20 + j\,10 = 22{,}36 \angle 26{,}56\ \Omega$

$U = 223{,}6 \cdot \sin(\omega t + 26{,}56)$



(b)

Ör: Bir Z elemanının akımı $I = 4\cos 2t$ A, gerilimi $u = 50\sin(2t+30)$ V' dur. Bu elemanın en basit eşdeğerini çiziniz.

(b) Bir devre rezonansa nasıl gelebilir? Rezonansa gelmesinden ne anlıyorsunuz? Kısaca açıklayınız.

$I = 4\cos 2t$

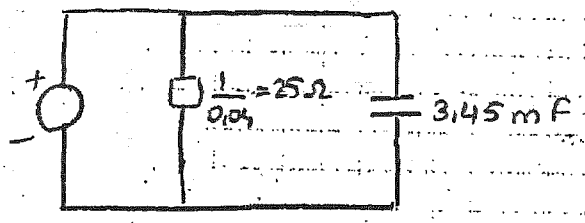
$u = 50\sin(2t+30)$

$Z = 12{,}5 \angle -60$ A.

$Y = \frac{1}{12{,}5} \angle 60 = 0{,}08 \angle 60$ ℧

$= 0{,}04 + j \cdot 0{,}069$ ℧

Empedansın açısı (+) ise omik indüktif



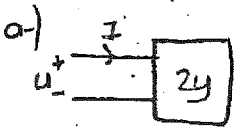
Ör: Bir 2y devresinin akımı $I = 5\sin 2t$ A ve gerilimi $u = 50\sin(2t + 60)$ dur.

a-) 2y'nin en basit seri eşdeğer devresini oluşturunuz.

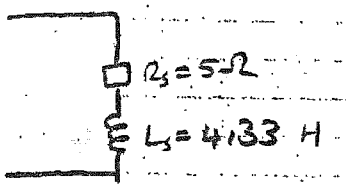
b-) " " " paralel " " "

c-) Her iki devrede empedansların eşit old. ispatlayınız.

a-)

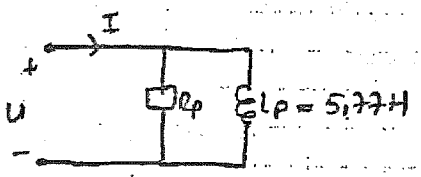


$$2y = \frac{50}{5}\angle 60 = 10\angle 60\ \Omega = \underbrace{5}_{R} + j\cdot\underbrace{8,66}_{X_L}\ \Omega$$



$$X_L = \omega L_s \rightarrow L_s = 4,33\ H$$

b-) $$y = \frac{1}{z} = \frac{1}{10\angle 60} = 0,1\angle -60\ \mho = \underbrace{0,05}_{G} - j\cdot\underbrace{0,0866}_{B}\ \mho$$



$$R_p = \frac{1}{G} = 20\Omega$$

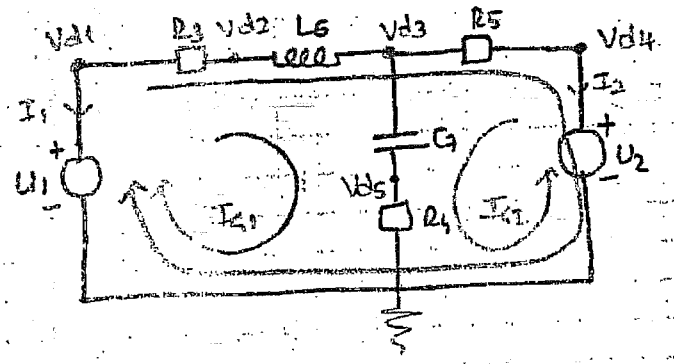
$$\omega \cdot L_p = \frac{1}{B}$$

c-) $$z_p = \frac{R_p \cdot j\cdot\omega L_p}{R_p + j\cdot\omega L_p} = \frac{j20\cdot 2\cdot 5,77}{20 + j\cdot 2\cdot 5,77} = \frac{20\cdot 11,54\angle 90}{23\angle 30}$$

$$= 10\angle 60\ \Omega$$

Carpma - bblue verso kopoll forma
Tapbma - cikoma " acik " kwllon

Ör 1



$U_1 = 20 \cos(3t + 30)\ V$

$U_2 = 10 \sin 3t\ V$

$R_3 = R_4 = R_5 = 1\Omega$

$L_6 = \frac{1}{3} H \quad C_7 = \frac{1}{3} F$

Devreyi çözelim.

$U_1 = 20 \cdot e^{j \cdot 30}\ V$

$U_2 = -j \cdot 10\ V$

$X_6 = \omega \cdot X_6 = 1\Omega$

$X_7 = \frac{1}{\omega C_7} = 1\Omega$

① $\left[R_3 + j \cdot \omega L_6 + \frac{1}{j \cdot \omega C_7} + R_4\right] I_{c1} + \left(R_4 - j \frac{1}{\omega C_7}\right) I_{c2} = U_1$

② $\left(R_4 - j \frac{1}{\omega C_7}\right) I_{c1} + \left(R_4 + R_5 - j \frac{1}{\omega C_7}\right) I_{c2} = U_2$

---

① $2 I_{c1} + (1 - j) I_{c2} = 20 \cdot e^{j \cdot 30}$

② $(1 - j) I_{c1} + (2 - j) I_{c2} = -j \cdot 10$

---

① $I_{c1} = \frac{20 e^{j \cdot 30} - \sqrt{2}\, e^{-j \cdot 45} I_{c2}}{2}$

② $\sqrt{2} \cdot e^{-j \cdot 45} \left[\frac{20 e^{j \cdot 30} - \sqrt{2} e^{-j \cdot 45} I_{c2}}{2}\right] + (2 - j) I_{c2} = -j \cdot 10$

$I_{c2} = -6,83 - j \cdot 3,17\ A = 7,53 \cdot e^{-j \cdot 155}\ A$

$I_{c1} = 13,66 + j \cdot 3,18\ A = 14 e^{j 13,1}\ A$

$(R_3 + j \cdot \omega L_6) I_{c1} - R_5 \cdot I_{c2} = U_1 - U_2$

$(1 + j) \cdot 14 \cdot e^{j 13,1} - 7,53 \cdot e^{-j \cdot 155} = 20 \cdot e^{j \cdot 30} + j \cdot 10$

$17,29 + j \cdot 19,99 = 17,32 + j \cdot 20$

$= Re\{2 \cos t + 12 \sin t - j \cdot 12 \cos t + j \cdot 12 \sin t\}$

① $\frac{1}{R_3} \cdot V_{d1} - \frac{1}{R_3} V_{d2} + I_1 = 0$

② $-\frac{1}{R_3} V_{d1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{j \cdot \omega L_6}\right) \cdot V_{d2} - \frac{1}{j \cdot \omega L_6} \cdot V_{d3} = 0$

③ $-\frac{1}{j \cdot \omega L_6} V_{d2} + \left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{j \cdot \omega L_6} + j \cdot \omega C_7\right) V_{d3} - \frac{1}{R_5} \cdot V_{d4} - j \cdot \omega C_7 \cdot V_{d5} = 0$

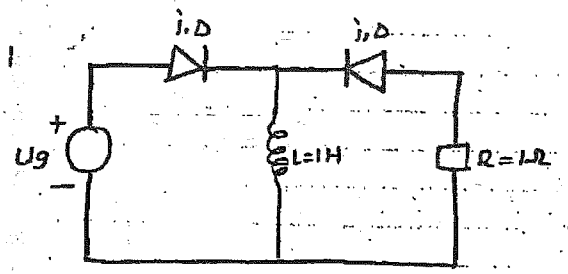
④ $-\frac{1}{R_5} V_{d3} + \frac{1}{R_5} V_{d4} + I_2 = 0$

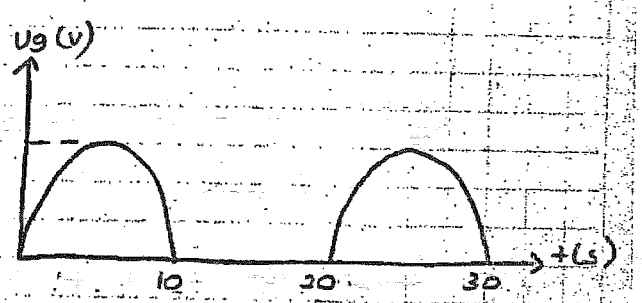
⑤ $-j \omega C_7 \cdot V_{d3} + \left(\frac{1}{R_4} + j \cdot \omega C_7\right) \cdot V_{d5} = 0$

⑥ $V_{d1} = V_1 = 20 \cdot e^{j \cdot 30}$ V

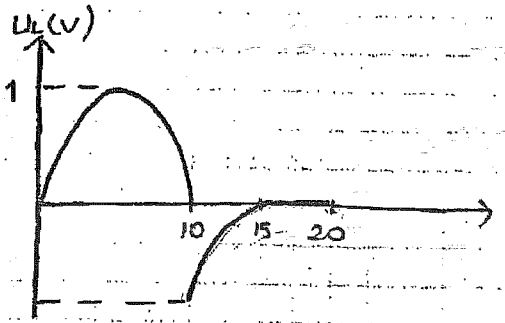
⑦ $V_{d4} = V_2 = -j \cdot 10$ V

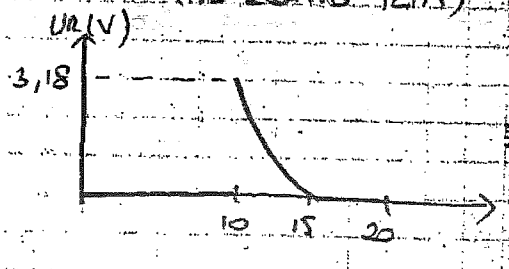
Ör 1

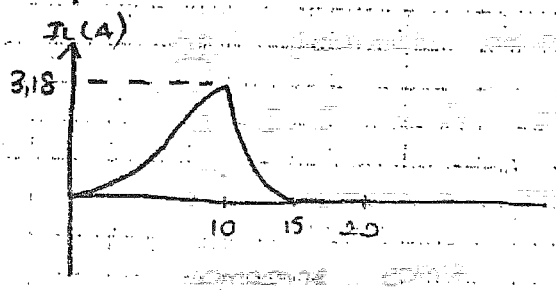


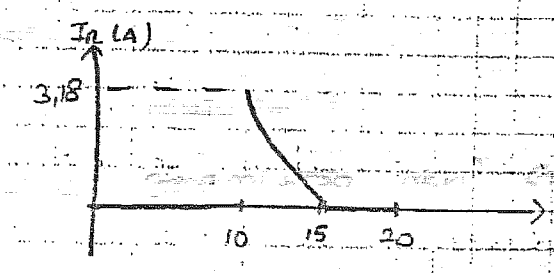


U_L, I_L, U_R ve I_R'nin zamana göre değişimini çizelim. (İlk 20 ms için)

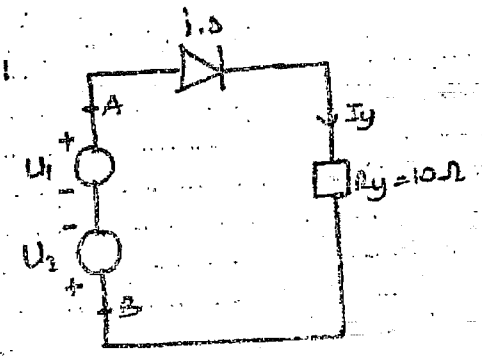








Q1.

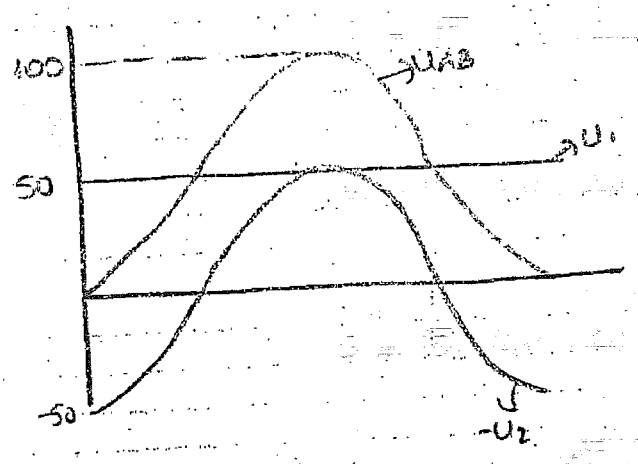


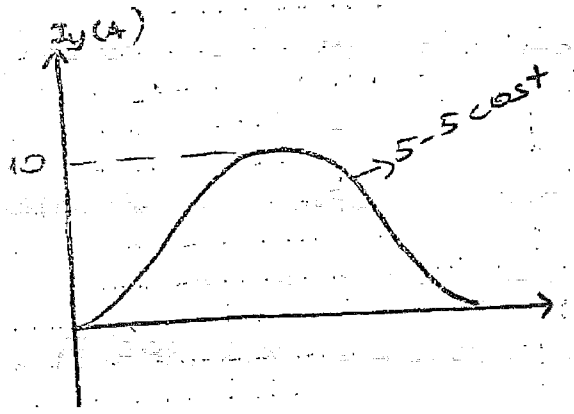
$U_1 = 50V$

$U_2 = 50\cos t \ V$

I_y'nin zamana göre değişimini zamana göre dikeli çiziniz. Efektif değerini hesaplayınız.

$U_{AB} = U_1 - U_2 = 50 - 50\cos t$



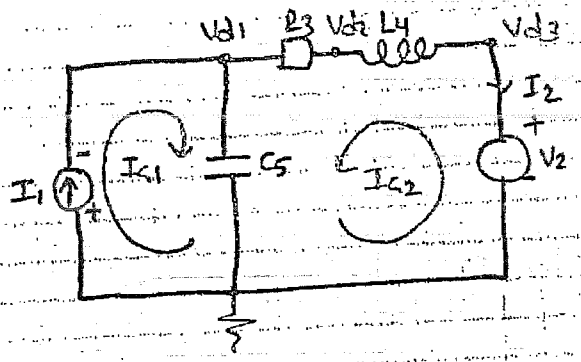


$f = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 2\pi \ s.$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} (5-5\cos t)^2 \, dt}$$

$I_{ef} = 6,12 \ A$

Q2:



$I_1 = 2\cos t \ A$

$V_2 = 10\cos t \ V$

$R_3 = 1\Omega, \ L_4 = 1H, \ C_5 = 1F$

a-) Düğüm gerilimleri yöntemiyle çözünüz.

b-) Çevre akımları " "

① $\left(\frac{1}{R_3} + j\cdot\omega C_5\right) V_{d1} - \frac{1}{R_3} V_{d2} = I_1$

② $-\frac{1}{R_3} V_{d1} + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{j\cdot\omega L_4}\right) V_{d2} - \frac{1}{j\cdot\omega L_4} V_{d3} = 0$

③ $-\frac{1}{j\cdot\omega L_4} V_{d2} + \frac{1}{j\cdot\omega L_4} V_{d3} + I_2 = 0$

④ $V_{d3} = V_2 = 10$ V

⑤ $I_1 = 2$

---

① $(1+j)\, V_{d1} - V_{d2} = 2$

② $-V_{d1} + (1-j)\cdot V_{d2} + j\cdot 10 = 0$

③ $j V_{d2} - j\cdot 10 + I_2 = 0$

$V_{d1} = 2 - j\cdot 12$ V $= 12{,}16\, e^{-j\,80{,}5}$ V

$V_{d2} = 12 - j\cdot 9{,}98$ V $= 15{,}6\, e^{-j\cdot 39{,}75}$ V

$I_2 = -9{,}97 - j\cdot 2$ A $= 0{,}16\, e^{-j\cdot 168{,}66}$ V

ⓑ ① $-j\frac{1}{\omega C_5}\cdot I_{C1} - j\cdot\frac{1}{\omega C_5}\cdot I_{C2} + U_1 = 0$

② $-j\frac{1}{\omega C_5} I_{C1} + \left(R_3 + j\cdot\omega L_4 - j\cdot\frac{1}{\omega C_5}\right)\cdot I_{C2} = V_2$

③ $I_{C1} = I_1 = 2A$

---

① $-j\cdot 2 - j\, I_{C2} + U_1 = 0 \Rightarrow U_1 = -2 + j\cdot 12$ V

② $-j2 + I_{C2} = 10 \Rightarrow I_{C2} = 10 + j\cdot 2$ A

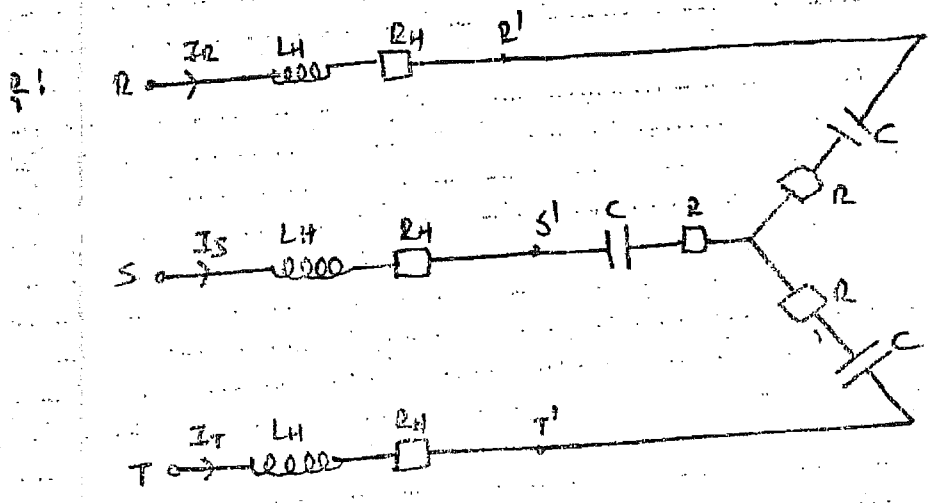
$V_{d1}(t) = 12{,}16 \cos(t - 80{,}5)$ V

$V_{d1}(t) = Re\left[V_{d1}\cdot e^{jt}\right] = Re\left[(2 - j\cdot 12)(\cos t + j\sin t)\right]$

$= Re\left[\underline{2\cos t + 12\sin t} - j\cdot 12\cos t + j\cdot 2\sin t\right]$

$$V_{d1}(t) = 12{,}16\,[\cos t \cdot \cos 80{,}5 + \sin t \cdot \sin 80{,}5]$$

$$= 2\cos t + 12 \sin t$$



$V_{RS} = 380\angle 0$ V

$L_H = 5$ mH

$R_H = 1\,\Omega$

$R = 10\,\Omega$

$C = 10^{-4}$ F

$f = 50$ Hz

(a-) Şebekeye ve yüke ilişkin tüm gerilimleri ve akımları bulunuz.

(b) Güç üçgeni çiziniz (Yüke ilişkin)

a-) $V_{RS} = 380\angle 0$ V $\qquad V_R = 220\angle -30$ V

$V_{ST} = 380\angle -120$ V $\qquad V_S = 220\angle -150$ V

$V_{TR} = 380\angle 120$ V $\qquad V_T = 220\angle 90$ V

$$Z_T = R_H + R + j(X_L - X_C)$$

$$= 1 + 10 + j(1{,}57 - 31{,}84) = (11 - j\,30{,}27)\,\Omega = 32{,}2\angle -70\,\Omega$$

$$I_R = \frac{V_R}{Z_T} = \frac{220\angle -30}{32{,}2\angle -70} = 6{,}83\angle 40 \text{ A}$$

$$I_S = 6{,}83\angle -80 \text{ A} \qquad (I_H = I_F)$$

$$I_T = 6{,}83\angle 160 \text{ A}$$

$$Z_y = R - j\,X_C = 10 - j\,31{,}84 = 33{,}37\angle -72{,}5\,\Omega$$

$V_{R'} = I_R \cdot Z_y = 6{,}83 \angle 40 \cdot 33{,}37 \angle -72{,}5 = 226{,}9 \angle -32{,}5$ V

$V_{S'} = 226{,}9 \angle -152{,}5$ V

$V_{T'} = 226{,}9 \angle 87{,}5$ V

$V_{R'S'} = \sqrt{3} \cdot 226{,}9 \angle -2{,}5$ V

$V_{S'T'} = 393 \angle -122{,}5$ V

$V_{T'R'} = 393 \angle 117{,}5$ V

(b) $P = \sqrt{3} \cdot U_{H'} \cdot I_H \cos \varphi_y = \sqrt{3} \cdot 393 \cdot 6{,}8 \cos 72{,}5$

$= 1391{,}88$ W

$Q = \sqrt{3} \cdot U_{H'} \cdot I_H \sin \varphi_y = \sqrt{3} \cdot 393 \cdot 6{,}8 \sin 72{,}5$

$= 4414{,}5$ VAR

$S = \sqrt{3} \cdot U_{H'} \cdot I_H = \sqrt{3} \cdot 393 \cdot 6{,}8 = 4628{,}7$ VA