

ELEKTRİK DEVRELERİ LABORATUVARI II

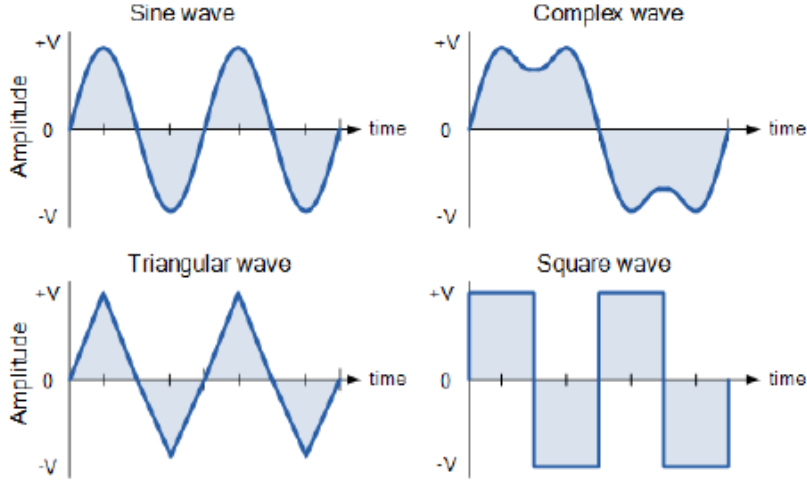
DENEY FÖYÜ

GENEL BİLGİLER	2
DENEY 1: ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ.....	11
DENEY 1 UYGULAMASI.....	14
DENEY 2-BOBİNİN AC’de DAVRANIŞI.....	15
DENEY 2 UYGULAMASI.....	19
DENEY 3-KONDANSATÖRLERİN AC’de DAVRANIŞI	20
DENEY 3 UYGULAMASI.....	24
DENEY 4: SERİ RL DEVRELERİNİN AC ANALİZİ	25
DENEY 4 UYGULAMASI.....	34
DENEY 5- SERİ RC DEVRELERİNİN AC ANALİZİ.....	35
DENEY 5 UYGULAMASI.....	41
DENEY 6- DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) VE DİRENÇ-BOBİN (RL) ALÇAK GEÇİREN FİLTRE DEVRELERİ.....	42
DENEY 6 UYGULAMASI-1	46
DENEY 6 UYGULAMASI-2	50
DENEY 7- DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) VE DİRENÇ-BOBİN (RL) YÜKSEK GEÇİREN FİLTRE DEVRELERİ.....	51
DENEY 7 UYGULAMASI-1	56
DENEY 7 UYGULAMASI-2	60
DENEY 8 – PARALEL DİRENÇ-BOBİN (RL) DEVRELERİ	61
DENEY 8 UYGULAMASI.....	67
DENEY 9 – PARALEL DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) DEVRELERİ	68
DENEY 9 UYGULAMASI.....	74
DENEY 10 – SERİ DİRENÇ-BOBİN-KONDANSATÖR (RLC) DEVRELERİ	75
DENEY 10 UYGULAMASI.....	85
DENEY 11-PARALEL DİRENÇ-BOBİN-KONDANSATÖR (RLC) DEVRELERİ .	87
DENEY 11 UYGULAMASI.....	95
EKLER.....	96
OSİLOSKOP EKRANI.....	96
RAPOR TASLAĞI.....	97

GENEL BİLGİLER

Alternatif Akım (AC)

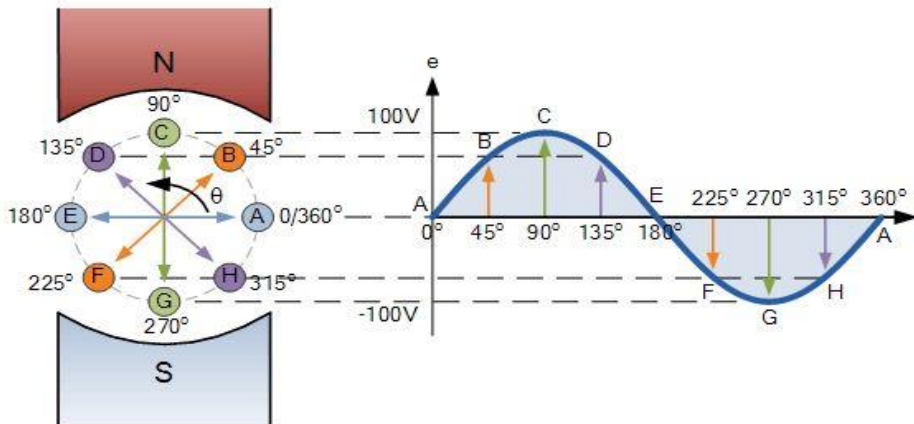
Zaman içerisinde yönü ve genliği belirli bir düzen içerisinde değişen işaretlere AC sinyaller denir. Aşağıda sinüs, kare, üçgen ve kompleks AC sinyaller görülmektedir. Dikkat edilirse bu sinyallerin belirli bir düzen içerisinde alternansının değiştiği görülmektedir.



Elektriğin Sinüsoidal Formda Üretilmesi

Generatörlerin ürettiği sinyal doğal olarak sinüsoidal formdadır. Çünkü elektrik makinalarının rotor kısımları silindirik biçimdedir. Yani, sinüs dalgası alternatörün dairesel dönme hareketinden dolayı oluşan bir şekildir.

Şekil 1.1 de görüldüğü üzere, manyetik alanda N-S kutupları arasında dönen bir bobinin 0-360° açı arasındaki her açı konumuna karşılık ürettiği gerilim bize sinüs formunu verir. Yani, manyetik alan içinde tel çerçeve dönerken bir tam devir için (360°'lik dönüş için) geçen süre T ise bu süre içinde akımın zamana bağlı değişimi, aşağıdaki şekildeki gibidir.



Şekil 1.1: Manyetik alan içerisinde hareket eden iletkeni göre oluşan sinüs dalgası

Burada, sinüs dalgası fazı 0° , 180° ve 360° olduğunda (A ve E konumları), sinüs dalgasının genliği 0'dır, yani dönen bobinde indüklenen emk yoktur. Bunun nedeni, hareketli bobinin hiçbir kısmının manyetik akı çizgilerinden etkilenmemesidir. Benzer şekilde, fazın 90° ve 270° (C ve G konumları) olması durumunda sinüs dalgası maksimum genliğe sahip olacaktır. Böylece tel çerçeve 360° dönmüş olur. Akım bu esnada iki kez yön değiştirir.

AC gerilim, elektrik santrallerinde çok daha büyük alternatörler yardımıyla sinüs formunda üretilir. Üretilen bu AC gerilim, iletim hatlarında meydana gelebilecek kayıpları azaltabilmek için transformatörler ile yükseltilir. Gerilim yükseltilirken akım düşürülerek iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin çapları da küçültülmüş olur. Son kullanıcıya ulaştırılmadan önce bu yüksek gerilim tekrar transformatörler ile düşürülür. Bu sefer gerilim düşürülürken akım yükseltilmiş olur.

Bunların yanı sıra; bir sisteme sinüsoidal sinyal haricinde herhangi bir sinyal girilirse çıkıştan bambaşka bir formda sinyal elde edilebilir. Halbuki aynı sisteme sinüsoidal bir sinyal girildiğinde eğer bir doğrultma işlemi gibi bir işlem yoksa çıkışta elde edilen sinyal yine bir sinüs sinyalidir. Sisteme sinüs sinyali girildiğinde, çıkışta sadece sinyalin genliği ve faz açısı değişir. Dolayısıyla sistemlerin sinüs işaretlerine verdiği tepkileri incelemek daha kolaydır.

Alternatif Akımın Temel Kavramları

- 1) Periyot (T):** Bir sinyalin kendi formunu tekrarladığı süreye periyot denir. N S kutbu arasındaki bir iletken veya bobin 360° derece döndürüldüğünde indüklenen emk bir sinüs dalgalık değişime uğrar. Yani, bir periyot 360° dir. T harfi ile ifade edilir. Birimi ise saniyedir.
- 2) Frekans (f):** Frekans, bir AC işaretin bir saniyede tekrarlanan saykıl sayısıdır. Bir alternatif işaretin frekansından bahsedebilmek için o sinyalin bir periyoda sahip olması gerekir. Diğer bir deyişle bir alternatif işaret belirli bir saykılı sürekli tekrarlıyorsa o sinyalin frekansından söz edilebilir. Frekans, periyodun çarpmaya göre tersi olarak ifade edilir:

$$f = \frac{1}{T}$$

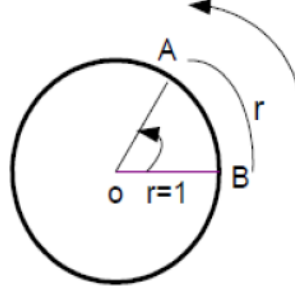
f işaretin frekansını belirtir ve birimi hertzdir (Hz). Örneğin periyot süresi 10mS olan bir işaret saniyede 100 kez tekrar eder. Bu da frekansının 100Hz olması demektir. Burada, T periyottur ve birimi saniyedir (s).

- 3) Açısal Hız (ω):** N ve S kutupları arasında dönen bir bobinde indüklenen emk'in frekansı, bobinin devir sayısı ve bobinin açısal hızı ile doğru orantılıdır. Döndürülen bir bobinin birim zamanda kat ettiği açıya açısal hız denir. Açısal hız, derece/saniye veya radyan/saniye ile ifade edilir.

$$\omega = 2\pi f$$

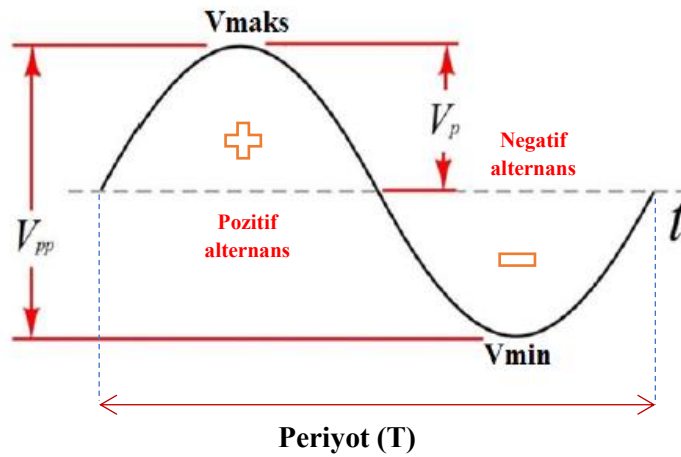
Şekil 1.2 de görüldüğü gibi, yarıçapı r olan bir çember üzerindeki A noktası hareket ederek tekrar A noktasına geldiğinde katettiği yol $2\pi r$ ve taradığı açıda 360° dir. A noktasının çember üzerinde yarı çap kadar bir yol alarak B noktasına geldiğinde, katettiği açıya 1 radyan denir. A noktası bir devrinde

$(2\pi r / r=2\pi)$ radyanlık bir açıyı taramış olur. Yarı çapı 1 olan bir çember üzerindeki bir noktanın bir devrinde katettiği açı 2π radyandır. Şu hâlde, 360 derece 2π radyana, π radyan 180° eder. Açısal hız genellikle radyan/saniye ile ifade edilir. Ve ω (omega) harfi ile gösterilir.

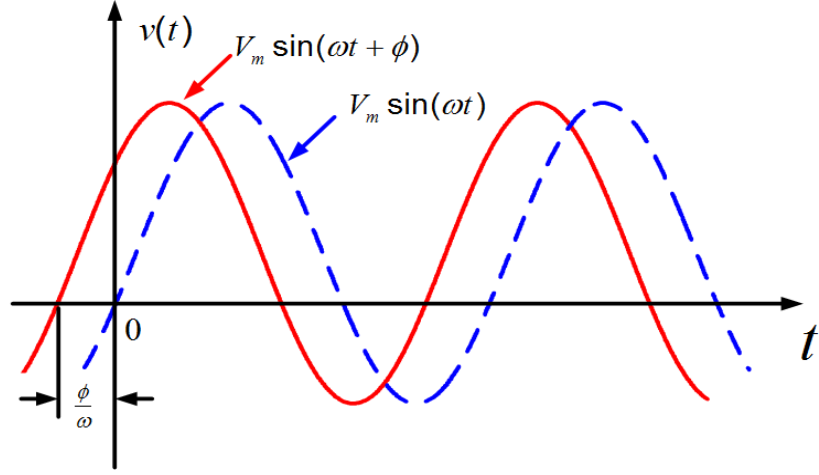


Şekil 1.2: Yarıçapı r olan bir çember

- 4) **Tepe Değer (V_p):** Bir AC sinyalin herhangi bir t anında ölçülen genlik değeri t anına ait ani değer olarak adlandırılır. Bir AC sinyali sonsuz ani değerden oluşur ve bu ani değerlerin en büyüğüne tepe değer denir. Pozitif tepe değeri V_{Maks} ve minimum tepe değeri V_{Min} olarak adlandırılır.
- 5) **Tepeden Tepeye Değer (V_{pp}):** Bir AC sinyalin V_{Maks} ve V_{Min} değerleri arasındaki fark tepeden tepeye değeri oluşturur.
- 6) **Faz Farkı (ϕ):** Faz farkı, iki ya da daha çok sinyalin fazları arasındaki ilişkidir. Sinüs şekline sahip iki sinyalin faz farkından bahsederken iki sinyalden birinin diğerinden ileride ya da geride olduğu belirtilir. Faz farkı ϕ ile gösterilir ve bu fark açı, radyan veya zaman cinsinden ölçülendirilir.



Şekil 1.3: Bir sinüs sinyalinin bileşenlerinin gösterilmesi



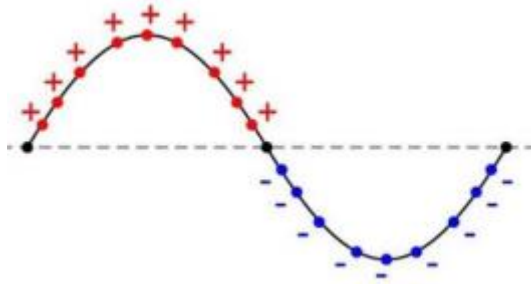
Şekil 1.4: Sinüs sinyalinde faz farkı

Sinüsoidal sinyalin matematiksel ifadesi:

$$V(t) = V_M \sin \omega t$$

olarak verilmektedir. Burada V_M sinyalin tepe (maksimum) değeri, ω ise açısal hızı temsil etmektedir.

- 7) **Ortalama Değer:** Sinüs dalgasının ortalama değeri hesaplanmak istenirse bütün periyotlar birbirinin aynısı olduğundan sadece bir periyodun ortalama değerini bulmak yeterli olacaktır. Ancak şekil 1.5'te görüldüğü gibi ortalama değer hesaplanırken periyot boyunca bütün genlik değerleri toplanmalı ve hesaba katılan genlik sayısına bölünmelidir. Toplama işlemi yapıldığında periyodun yarısı pozitif, diğer yarısı da negatif değerler aldığından sonuç sıfır çıkacaktır.



Şekil 1.5: Sinüs sinyalinin ortalama değeri

Şekil 1.5'teki sadece pozitif alternansın ortalama değeri hesaplanacak olursa:

$$\begin{aligned} V_{ort} &= 0.636 V_M & \text{veya} & & V_{ort} &= \frac{2V_M}{\pi} \\ I_{ort} &= 0.636 I_M & & & I_{ort} &= \frac{2I_M}{\pi} \end{aligned}$$

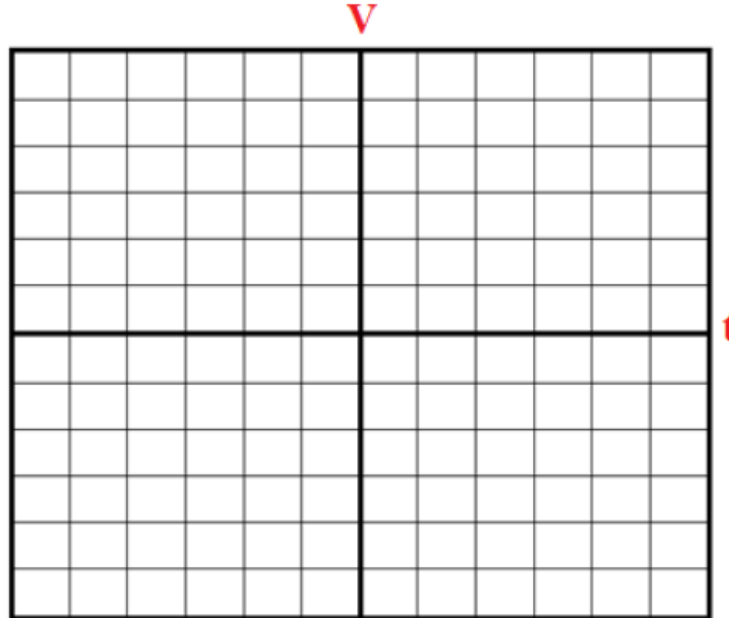
eşitlikleri elde edilir.

- 8) **Etkin (Efektif) Değer:** Etkin değer, AC'nin bir alıcı üzerinde yaptığı işe eşit iş yapan DC karşılığıdır. Örnek olarak belirli bir zaman aralığında bir ısıtıcıya verilen alternatif akımın sağladığı ısı miktarını elde etmek için aynı ısıtıcıya aynı sürede uygulanan doğru akımın değeri alternatif akımın etkin değeridir. AC ampermetrede ölçülen akım ve AC voltmetrede ölçülen gerilim etkin değeridir. Etkin gerilim V_{eff} ile ve etkin akım değeri ise I_{eff} ile gösterilir. Alternatif akım veya gerilim değeri söylenirken aksi belirtilmediyse söylenen değer etkin değeri ifade eder. RMS=Karesel ortalama değer anlamına gelir ve etkin değer, efektif değer olarak da isimlendirilir. Örneğin şebeke gerilimi 220 V denildiğinde bu değer şebeke geriliminin etkin değeridir. Sinüs dalgasının etkin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} V_{eff} &= 0.707 V_M & \text{veya} & & V_{eff} &= V_M / \sqrt{2} \\ I_{eff} &= 0.707 I_M & & & I_{eff} &= I_M / \sqrt{2} \end{aligned}$$

OSİLOSKOPTA SİNYAL OKUMA

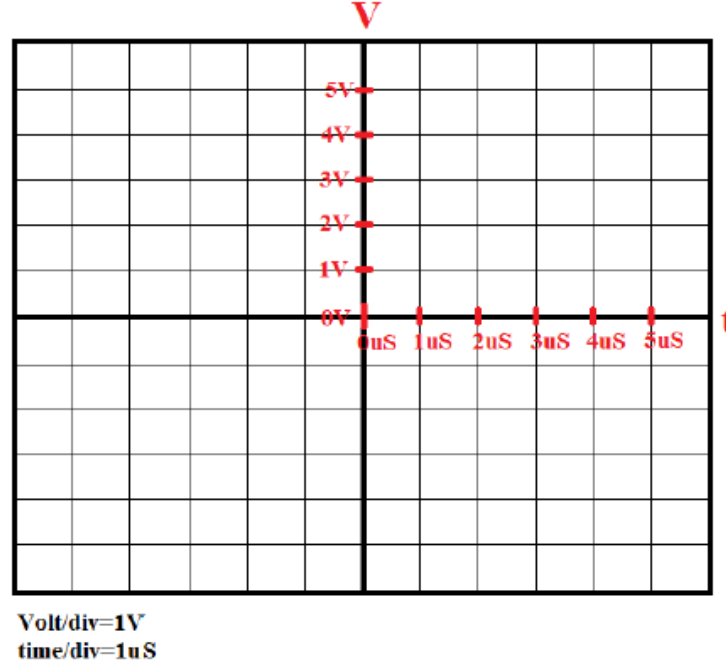
Girişine uygulanan elektriksel sinyalleri üzerindeki ekranda zaman ve genlik ekseninde grafik halinde gösteren cihazlara osiloskop denir. Bu cihaz yardımı ile bir sinyale ait frekans genlik ve dalga biçimi aynı anda gözlemlenir. Laboratuvar derslerinde kullanacağımız osiloskop aşağıdaki şekilde görülmektedir. İki kanala sahip olduğu için aynı anda iki kanaldan ölçüm yapabilmektedir. Aşağıda örnek bir osiloskop ekranı gösterilmiştir. Burada yatay eksen zamanı düşey eksen ise genliği göstermektedir.



Şekil 1.6: Boş bir osiloskop ekranı

Osiloskop ekranındaki her bir kare ölçeklidir ve bu değerler kullanıcıya bağlı olarak değiştirilebilir. Örneğin zaman eksenindeki (yatay eksen) her bir karede geçen süre 1 μs olarak belirlenebilir. Bu değer t/div olarak adlandırılır yani zaman/ bölüm (division). Kullanıcı osiloskoptan Time/div değerini değiştirerek sinyalin ekrana yazılma biçimini değiştirebilir.

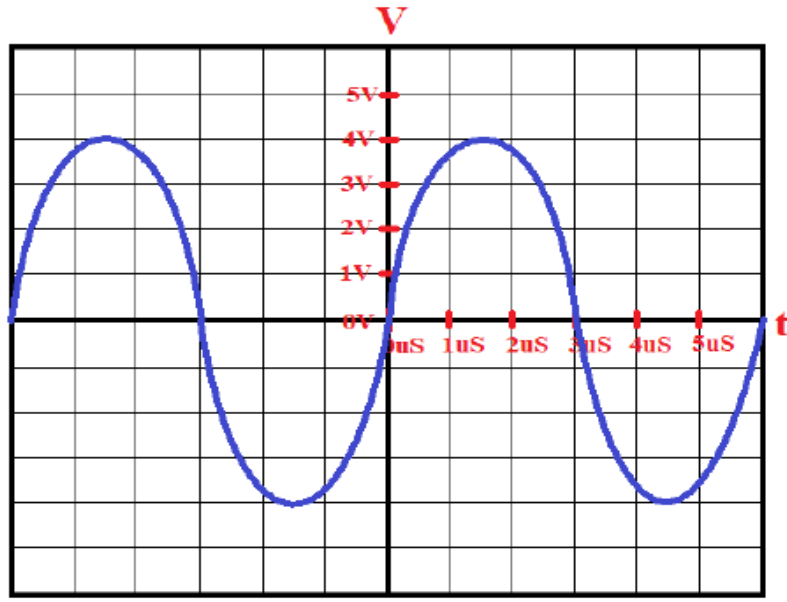
Aynı şekilde düşey eksen de genlik değerini belirtir ve V/div değeri ile her bir bölümün voltaj değeri belirlenir örneğin V/div değeri 1 V olabilir.



Şekil 1.7: Osiloskop ekranında bir sinüs işaretinin gösterilmesi

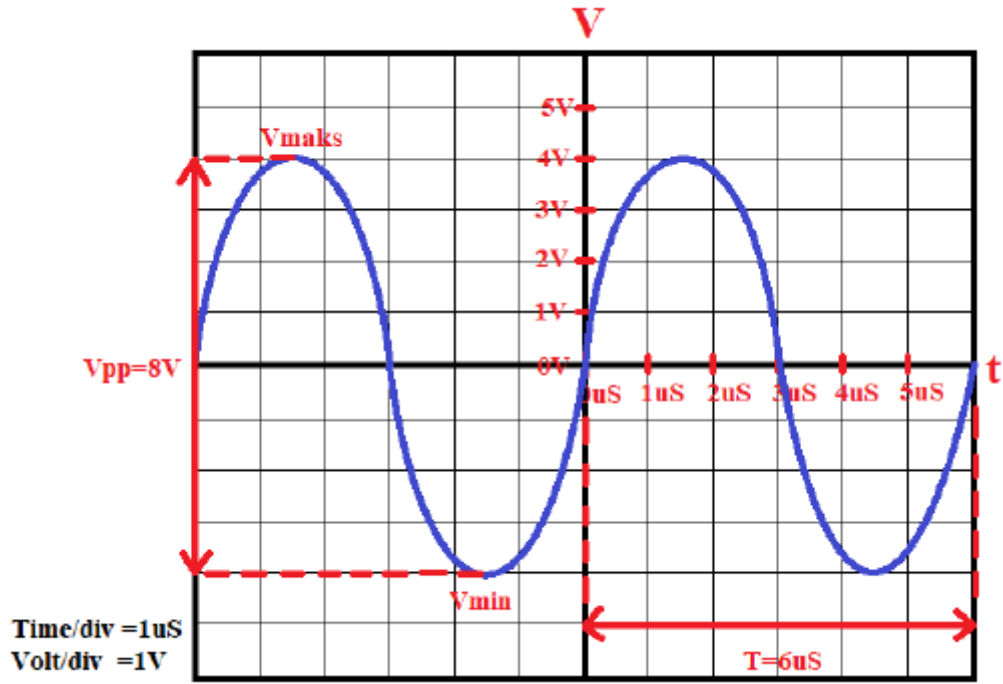
Aşağıdaki örnekte osiloskop ekranında yer alan bir sinyal görülmektedir. Bu sinyalin tepeden tepeye değerini ölçmek istediğimizde Volt/div 1 volt olduğu için V_{min} ile V_{maks} arası 8 bölüm olduğundan V_{pp} 8V'dur. Periyot ve frekans değerleri de aynı şekilde hesaplanabilir. Sinyal 0 μs anından 6 μs sonra bir saykıl tamamlamıştır. Bu nedenle periyot 6 μs dir. Frekans ise:

$$f = \frac{1}{6\mu s} = 166,6kHz \text{ olarak hesaplanır.}$$



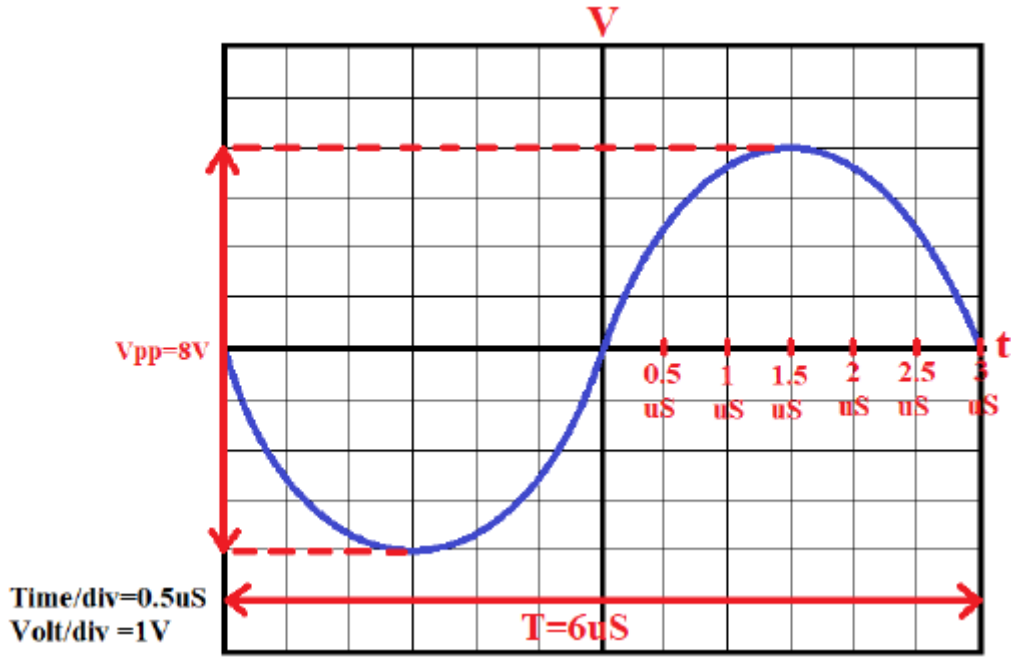
Time/div = 1uS
 Volt/div = 1V

Şekil 1.8: Osiloskop ekranında bir sinüs işaretinin gösterilmesi



Time/div = 1uS
 Volt/div = 1V

Şekil 1.9: Osiloskop ekranından Vpp ve periot değerlerinin bulunması



Şekil 1.10: Osiloskobun Time/div değeri $0.5\mu\text{S}$ yapıldığında Şekil 1.9'daki sinyalin osiloskop ekranındaki görüntüsü

Şekil 1.10'da osiloskop ekranındaki sinyal ile şekil 1.9'da osiloskop ekranında gösterilen sinyal aynı sinyaldir. Aradaki tek fark osiloskobun ölçeğinin değiştirilmesidir. Şekil 1.10'da time/div değeri $0.5\mu\text{S}$ yapılmıştır. Böylece sinyal ekranda daha geniş alan kaplamıştır ancak sinyalin tepeden tepeye değeri (8V) ve periyot değeri ($6\mu\text{S}$) değişmemiştir. Osiloskop sinyalleri göstermeye yarayan bir cihaz olduğundan sinyallerin yapısını değiştirmez. Bu örnekte olduğu gibi sinyalin değeri değişmemiş yalnızca farklı bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 1.11: Osiloskop probu

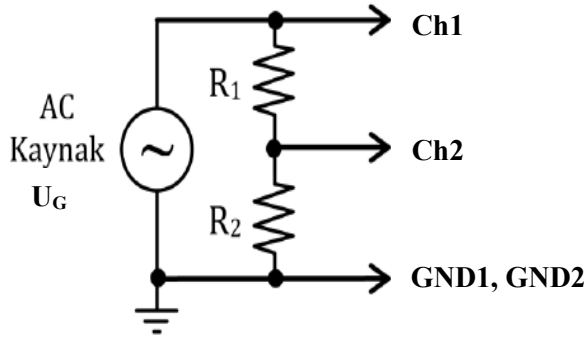
Şekil 1.11'de bir osiloskop probu gösterilmiştir. Burada A ile belirtilen kısım ölçmek istediğimiz noktaya bağlanır. B ise ölçmek istediğimiz noktanın referansıdır. Nasıl ki bir devreyi kurduğumuz zaman referansını (toprak, negatif uç gibi) bağlamadığımız takdirde devrenin çalışmayacağı gibi ölçüm

yaparken devrenin referans noktasına B ucunu bağlamadığımız takdirde sağlıklı ölçüm yapamayız. C noktası probun çarpanıdır.

Laboratuvardaki osiloskoplarımızda iki tane ölçüm kanalı olduğu için iki adet prob kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken A ile belirtilen kısım ölçmek istediğimiz noktaya ve B'nin ise toprak uca bağlanmasıdır.

NOT: Her iki probun B uçları cihazın kendi içinde kısa devre olduğu için devrede bağlanırken dikkat edilmesi gerekmektedir.

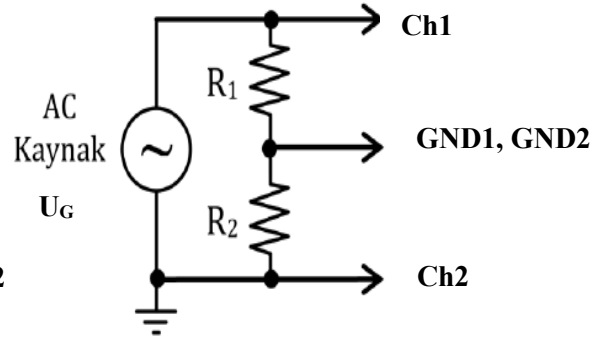
Doğru Bağlantı



Ch1: $U_G = U_{R1} + U_{R2}$ gerilimini gösterir.

Ch2: U_{R2} gerilimini gösterir.

Yanlış Bağlantı



Ch1: U_{R1} gerilimini gösterir.

Ch2: Gerilim okunmaz.

***AC kaynağın toprağı ile osiloskop toprak ucu arasında kısa devre olur.**

Şekil 1.12: Bağlantı şekilleri

DENEY 1: ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ

Alternatif akımda üç çeşit devre vardır. Bunlar; dirençli devreler (omik devre), bobinli devre (endüktif devre) ve kondansatörlü devre (kapasitif devre) dir.

R: Saf omik devre

L: Saf endüktif devre

C: Saf kapasitif devre

RL: Omik endüktif devre

RC: Omik kapasitif devre

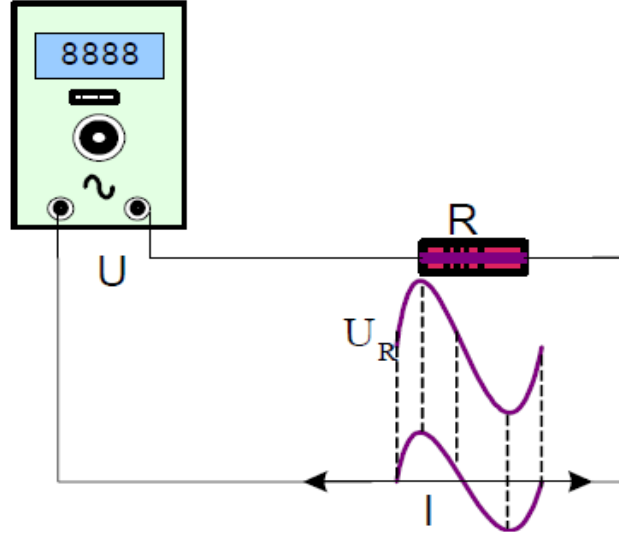
Temel devrelere uygulanan U gerilimi ve devrenin I akımı etkin değerlerdir. I devre akımı, uygulanan gerilime ve devre elemanının direncine bağlı olarak değişir. Devre elemanları D.C de olduğu gibi alternatif akımda da seri, paralel ve seri-paralel (karışık) bağlanırlar. Devre elemanlarının ideal olması; R omik direncinde endüktif direnç etkisinin bulunmaması, L ve C elemanlarında omik direnç etkisinin ve güç kaybının olmaması demektir.

OMİK DEVRE

ALTERNATİF AKIMDA DİRENÇ

Alternatif akım devrelerinde, endüktif ve kapasitif etkisi bulunmayan saf dirence omik direnç denir. R harfi ile gösterilerek birimi ohm (Ω) dur. Direnç olarak çeşitli değerlerde ve güçlerde elemanlar olduğu gibi elektrikli ısıtıcılar, ızgara ve ütü gibi elektrikli ev aletleri de mevcuttur. Saf omik dirençli bütün amaçların, eşit gerilimli doğru akım ve alternatif akım devrelerinde kaynaklardan çektikleri akımlar da birbirine eşittir. Yüksek frekanslı A.A devrelerinde kullanılan büyük kesitli bir iletkenin direnci, D.A daki direncinden biraz daha büyüktür. A. A. daki iletkenin etkin kesiti biraz daha küçük olur. A A da direncin büyümesi, iletken kendi içinde alternatif akım değişimleri dolayısı ile doğan emk'den ileri gelir. Bu emkler akımı iletkenin dış yüzeyine doğru iterler. Buna deri olayı denir. 50 Hz frekanslı A.A devrelerinde bu olay o kadar değildir.

Alternatif gerilime bağlanan bir direnç şekil 1.13 te görülmektedir. Direnç uçlarına sinyal generatöründen sinüzoidal bir gerilim uygulandığında bu direnç üzerinden bir akım akışı olacaktır. Bu akımın dalga şekli de uygulanan alternatif gerilimin dalga şekli ile aynıdır. Değişen sadece genliği olacaktır. Bu dalga şekli devre üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.13: Omik devre

Sinyal generatöründen direnç uçlarına uygulanan $U(t) = U_M \sin \omega t$ sinüzoidal alternatif gerilim uygulandığında direnç üzerinden geçen alternatif akım ohm kanunu ile bulunur.

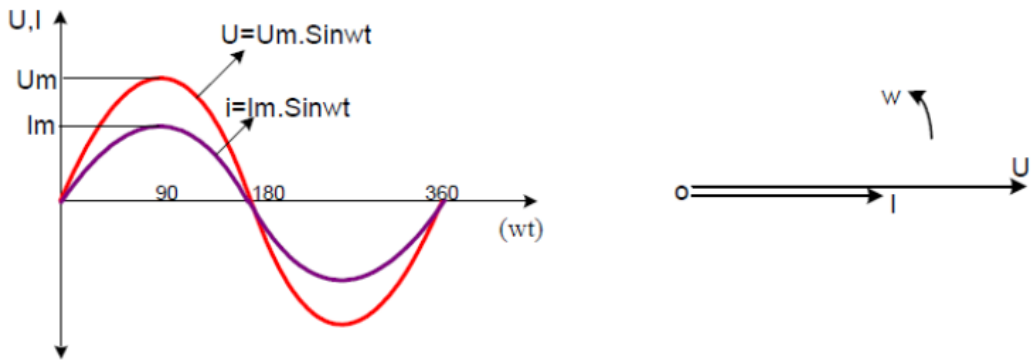
$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_M \sin \omega t}{R} = \frac{U_M}{R} \sin \omega t$$

Bu durumda akımın maksimum değeri:

$$I_M = \frac{U_M}{R}$$

olduğundan, alternatif akımın ani değeri aşağıdaki şekli alacaktır.

$$I(t) = I_M \sin \omega t$$

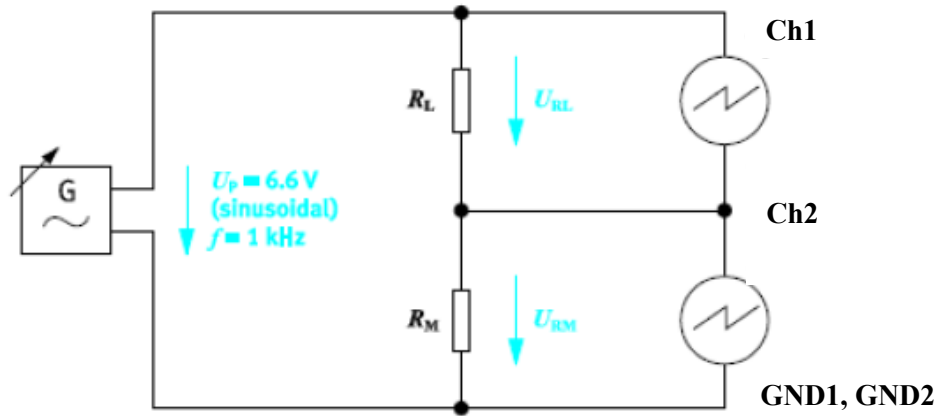


Şekil 1.14: Omik direnç uçlarına uygulanan gerilimin ve direnç üzerinden geçen akımın dalga şekli ve vektör diyagramı

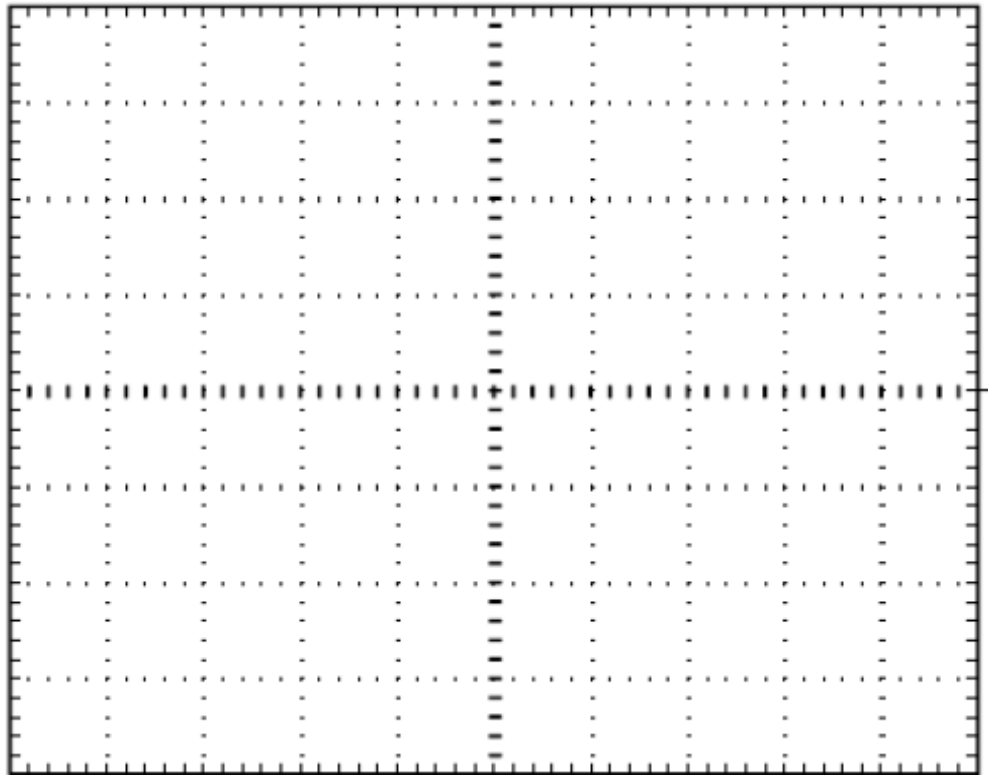
Şekil 1.14'te omik direnç uçlarına uygulanan gerilimin ve direnç üzerinden geçen akımın dalga şekli ve vektör diyagramı görülmektedir. Alternatif bir gerilim bir direnç uçlarına uygulandığında direncin uçlarındaki gerilim doğrultusundan direnç üzerinden geçen akım artmakta, direnç uçlarındaki gerilim değeri azaldıkça bunun paralelinde akımda azalmaktadır. Bu durum şekil 1.14'te görüldüğü gibi gerilimin maksimum olduğu yerde akımda maksimum, gerilimin sıfır olduğu yerde akımda sıfır olmaktadır. Bu nedenle akımla gerilim aynı fazdadır. Direnç elemanı akımla gerilim arasında bir faz farkı oluşturmamaktadır. Vektör gösteriminde I akımın etkin değeri, U ise gerilimin etkin değerini göstermektedir.

DENEY 1 UYGULAMASI

1. Şekil 1.15'teki devreyi kurunuz. ($R_L=1\text{ k}\Omega$, $R_M=100\text{ }\Omega$)
2. Fonksiyon üreticini bağlayınız.(Sin sinyali $U_p=5\text{ V}$ $f=1\text{ kHz}$)
3. Osiloskop üzerindeki ölçümler için gerekli ayarları yapınız.
4. Osiloskop kullanarak R_L direnci üzerindeki sinüzoidal U_{RL} gerilimini ölçünüz.
5. Gerilim dalga biçimini Şekil 1.16'daki osiloskop grafiğine aktarınız. (Raporunuza Ekleyiniz.)
6. Osiloskop kullanarak, ölçüm yapılan R_M direnci üzerindeki U_{RM} gerilimini ölçünüz.
7. Bu gerilim dalga biçimini de Şekil 1.16'daki osiloskop grafiğine aktarınız. (Her iki sinyal aynı grafikte olmalıdır) (Raporunuza Ekleyiniz.)
8. $f=100\text{ Hz}$ ve $f=10\text{ kHz}$ için ölçümleri tekrarla.



Şekil 1.15: Deney devresi



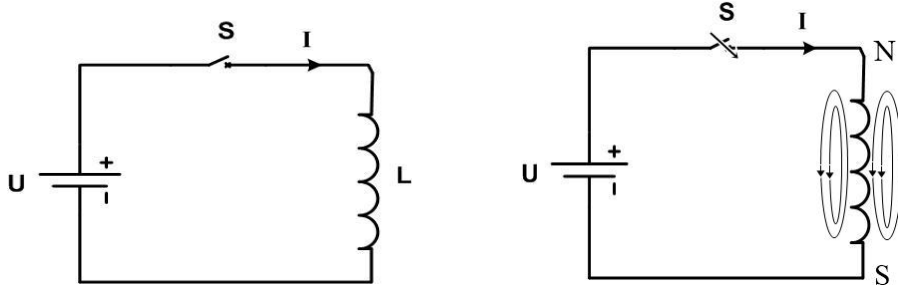
Time/div: 2,5 ms
Ch1: Volt/div: 2 V
Ch2: Volt/div: 0.5 V

Şekil 1.16: Osiloskop ekranı

DENEY 2-BOBİNİN AC’de DAVRANIŞI

MANYETİK ALAN

Şekil 2.1’deki devrede S anahtarı kapatılırsa L sargısından akım akmaya başlar. Bu durumda sargı mıknatıs özelliği gösterir. Akım akmaya başlayınca manyetik alan çizgileri oluşmakta ve bu oluşan çizgi sayısı, akım ile doğru orantılı değişmektedir. Manyetik alan çizgileri ϕ ile gösterilir. Manyetik akı ya da alan çizgisi sayısı denir. Birimi Weber’dir.



Şekil 2.1 Endüktif devrede oluşan manyetik alan çizgileri

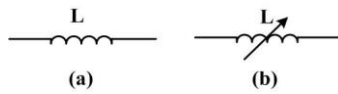
Bir A alanından geçen manyetik akının bu alana oranına manyetik akı yoğunluğu ya da manyetik indüksiyon denir. Birimi Tesla’dır.

$$B = \frac{\phi}{A} \left(\frac{\text{Weber}}{\text{m}^2}, \text{Tesla} \right)$$

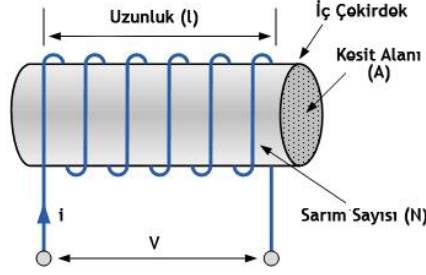
Devreden I akımı akmaya başlayınca sarım manyetik alan üretecek ve indüksiyon yasasına göre sarımda bir gerilim indüklenecektir. İndüksiyon sonucu geçen akımın oluşturacağı manyetik alanın yönü akı değişikliğine karşı yöndedir. Yani indüklenen gerilim sürekli kendi oluşumunu sağlayan değişikliğe karşı koyacak yönde olur ve akımın akmasını önlemeye çalışır. Buna Lenz kanunu denir. Bu kanuna göre indüklenen gerilim karşıt bir gerilim olduğundan işareti negatif olur.

$$e = -L \frac{dI}{dt}$$

burada L’ye öz indüktans denir. Birimi Henry’dir. Devrede gösterimi Şekil 2.2’deki gibidir. Bobin, Şekil 2.3’te gösterildiği gibi, bir makaraya sarılmış tellere verilen isimdir. Sarılan madde veya malzeme sadece bir makara değildir. Gerekli yerlerde preslenmiş demir nüveler üzerine de bobinler yerleştirilir.



Şekil 2.2 İndüktans’ın gösterim şekli (a) sabit değerli (b) değişken değerli

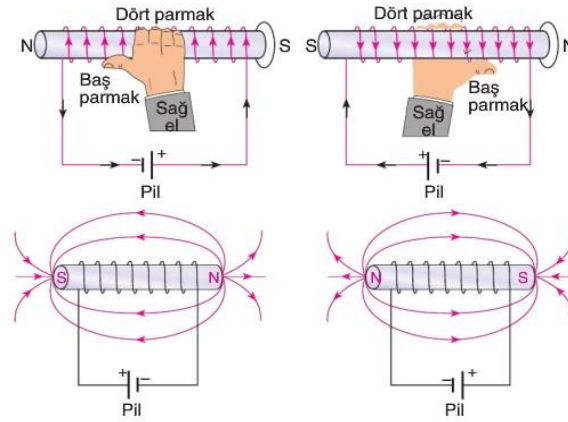


Şekil 2.3 Bobin

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \text{ (Henry)}$$

Burada, A çekirdek malzemenin kesit alanını, N sarım sayısını, l çekirdek malzemenin uzunluğu, μ çekirdek malzemenin manyetik geçirgenliğini ifade etmektedir.

Bir sarımdan geçen akımın yönü biliniyorsa oluşacak manyetik akının yönü Şekil 2.4'te gösterildiği gibi sağ el kuralı ile bulunur. Bu kurala göre parmaklar akım yönünün gösterecek şekilde sağ el ile kavranırsa baş parmak akının yönünü yani N kutbunu gösterir.



Şekil 2.4 Sağ el kuralı

Bobinin AC Ve DC' deki Davranışı

Bobinler doğru akıma sadece telin direnci kadar zorluk gösterirken AC de frekansa bağlı olarak artar ki bu özelliğine indüktif reaktans ($X_L = 2\pi fL$) denir. Bobin DC akıma ilk anda direnç gösterir. Bu nedenle bobine DC akım uygulandığında bobin ilk anda yalıtkan daha sonra iletkenir. Bobine AC akım uygulandığında ise akımın yönü devamlı değiştiği için bir direnç gösterir. Bobinler kısaca, DC akıma kolaylık, AC akıma zorluk gösterir; yani doğru akımı geçirip, alternatif akıma direnç gösterir.

- DC'de ($f=0$) iken;

$$X_L = 2\pi fL$$

$$f = 0$$

$$X_L = 0 \text{ (kısa devre)}$$

**** DC devrelerde kısa devre (düz tel) gibi davranır.**

- AC'de iken ($f \neq 0$);

$$X_L = 2\pi fL (\Omega)$$

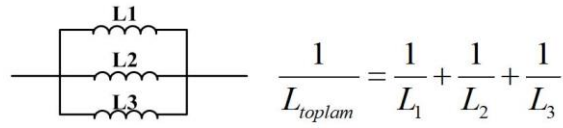
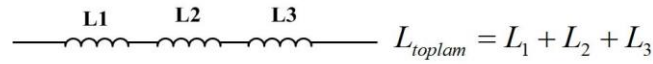
$$** f \uparrow X_L \uparrow$$

**** Bobinin zaman sabiti; $\tau = \frac{L}{R}$ dir.**

Kullanıldığı yerler: Doğru akımda bobinler, daha çok elektro mıknatıs olarak kullanılırlar. Makaraya sarılmış olan telden bir akım geçirildiği zaman bobinin etrafında bir manyetik alan oluşur, bu manyetik alan, rölelerde yararlanır. Doğru akımda bobinlerden sadece elektro mıknatıs olarak yararlanılmaz. Bobinler birçok devrede çeşitli şekillerde kullanılırlar. Mesela TV devreleri, besleme kaynakları, anten yükselteçleri, radyo devreleri gibi.

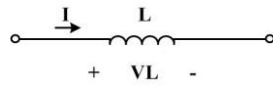
Alternatif akımda ise bobinlerden çok çeşitli şekillerde yararlanır. AC yüksek gerilimi daha düşük gerilime çevirmek için kullandığımız transformatörler, büyük güçlü akımlar için yapılan kontaktör bobinleri, elektrik üretiminde kullandığımız mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren generatörler ve elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirmek için kullandığımız motorlar da bobinler kullanılır. Bu tip makinalarda bobinin kullanılmasının esası yine manyetik alana dayanır. Bir bobinin etrafındaki manyetik alan içinden bir tel geçirildiğinde bu tel de bir gerilim oluşur prensibi ile makinalarda manyetik alan kullanılır.

Endüktif Reaktans: Bobin sonuçta makaraya sarılmış telden oluştuğu için sarılan telinde dolayısıyla bir direnci olacaktır. Bobinin yani telin bu direncine endüktif reaktansı denir ve X_L ile sembollendirilir. Birimi ise direncin birimi Ohm'dur. Bobinin bu dönüşüm ve değerleri daha çok alternatif akım devrelerinde kullanılır. Bu değerler arasında $X_L = 2\pi fL$ formülü aracılığıyla endüktans (L) ve endüktif reaktans (X_L) arasında istenen dönüşümler yapılabilir. Formüldeki " f " sembolü ise alternatif akımın frekansdır ve birimi ise "Hz" Herz'dir. Bobinlerin seri ve paralel bağlanması durumunda oluşacak değerleri Şekil 2.5' teki gibidir.



Şekil 2.5 Seri ve paralel bağlı bobin

Bobinler elektrik enerjisini manyetik alanlarında depolarlar. Bobinin akım-gerilim denklemleri aşağıdaki gibi bulunur. Burada $I_{(t_0)}$, t_0 anında bobin üzerindeki akımdır.



$$V = L \frac{dI}{dt}$$

$$\int_{t_0}^t dI = \int_{t_0}^t \frac{1}{L} V dt$$

$$I_{(t)} - I_{(t_0)} = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t V_{(t)} dt$$

$$I_{(t)} = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t V_{(t)} dt + I_{(t_0)}$$

İndüktörlerde enerji;

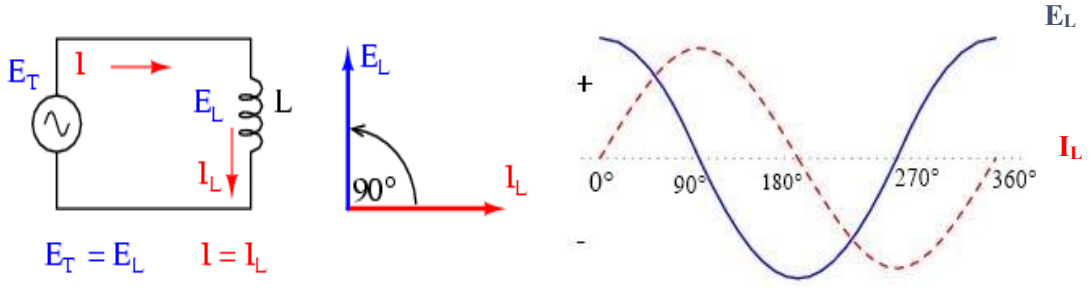
$$P = VI$$

$$\int P = \int L \frac{dI}{dt} I$$

$$E = L \int_{-\infty}^t i dt = \left[\frac{1}{2} L I_{(t)}^2 \right]_{-\infty}^t$$

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

Alternatif akım saf endüktif reaktansa (direncin olmadığı devreye) uygulandığında gerilimle akım arasında 90° 'lik bir faz kayması vardır. Bobin AC devrede akıma karşı zorluk gösterdiği için Şekil 2.6'da görüldüğü gibi akım gerilimden geridedir.

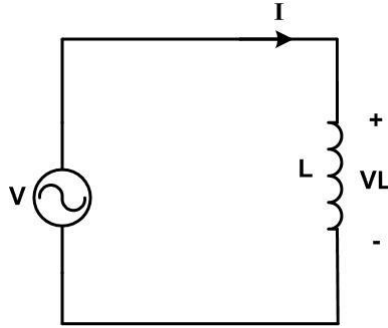


Şekil 2.6 Saf endüktif devre ve akım-gerilim grafiği

Avometre ile bobin testi

Bobinlerin endüktans değeri L metre veya LCR metre denilen özel bir ölçü aleti ile ölçülür. Fakat bobinde bir kopukluk olup olmadığını avometre ile anlayabiliriz. Avometre W kademesinde iken probalar bobin uçlarına değdirildiğinde eğer bobin sağlamısa bir direnç okunacak yok eğer bobin bozursa yani içinde bir kopukluk varsa avometre sonsuz direnç değeri gösterecektir. Eğer bobinin başı ile sonu kısa devre olmuş ise sıfır direnç okunur. Bunun dışında bobinin içinde bir kısa devre varsa bobin olması gerekenden daha düşük bir direnç gösterir.

DENEY 2 UYGULAMASI



Şekil 2.7 Saf endüktif devre

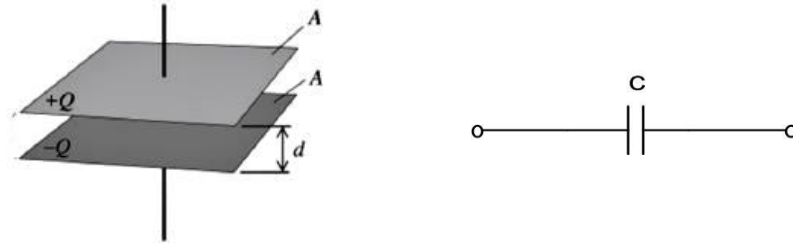
Şekil 2.7' deki devrede $V_{max}=5V$, $f=200kHz$ olan sinüs gerilimde; ($R=75\Omega$ küçük seri direnç)

- i. $L=1\text{ mH}$ için;
 - a. Akım grafiğini;
 - b. Gerilim grafiğini çiziniz.
 - c. Faz farkını hesaplayınız.
 - d. İleri faz veya geri faz olduğunu yaptığınız hesaba göre belirtiniz.
 - e. V_L gerilimi için V_{pp} (tepeden tepeye) ve V_{rms} değerlerini hesaplayınız.
- ii. L 'nin değerinin değişiminin devreye etkisini yorumlayınız.

DENEY 3-KONDANSATÖRLERİN AC’de DAVRANIŞI

Kondansatör şekil 3.1 (a)' da görüldüğü gibi, iki iletken plaka arasına yalıtkan bir maddenin yerleştirilmesi veya hiçbir yalıtkan kullanılmaksızın hava aralığı bırakılması ile oluşturulur. İletken levhalar arasına konulan dielektrik (yalıtkan) malzeme elektrik yükünü depo etme özelliğine sahiptir. Çünkü elektron ve protonlar yalıtkan maddede hareket ederek bir yere gidemezler. Yalıtkan maddelerin yük depo edebilme özelliklerinden yararlanılarak en temel elektronik devre elemanlarından biri olan kondansatör imal edilmiştir.

Kondansatör şekil 3.1 (b)’deki gibi “c” ile gösterilir. Birimi Farad (F)’dır.



Şekil 3.1 (a) Paralel plakalı kondansatör (b) Kondansatör’ün devrede gösterim şekli

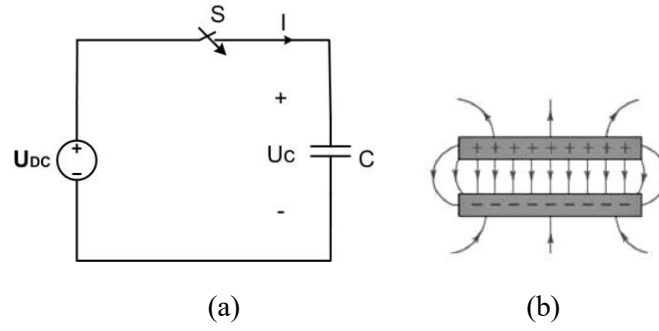
$$C = \epsilon_o \epsilon \frac{A}{d}$$

A plakaların alanını (m^2), d plakalar arası mesafeyi (m), ϵ_o boşluğun dielektriksel katsayısı (Farad/metre (F/m)), ϵ kullanılan yalıtkan malzemenin dielektrik sabitini (Farad/metre (F/m)) temsil etmektedir. Bir kapasitörde depolanan elektrik enerjisi plakaların yüzey alanı ile doğru orantılı, plakalar arası mesafe ile ters orantılıdır.

Kullanıldığı yerler

AC/DC doğrultucu devrelerinde diyotlar ile düzgün bir DC elde edilemez. Burada filtre elemanı olarak kondansatörler kullanılır. Enerji depolama özelliğinden faydalanılarak kontakların gecikmeli açılması istenen yerlerde röleye paralel bağlanarak kullanılabilir. AC devrelerde kapasitörlerden kompanzasyon sistemlerinde faydalanılır.

DC Devrede Kondansatör



Şekil 3.2 (a) Kapasitif devre (b) kondansatör plakaları

Şekil 3.2' deki doğru akım devresinde anahtar açıkken kondansatör plakaları elektriksel olarak nötrdür. Anahtar kapanınca kaynağın da etkisiyle üst plakadaki elektronların bir kısmı (e^-) kaynak üzerinden alt plakaya doğru akar. Bu elektron hareketinden dolayı devreden I akımı akmaya başlar. Böylece üst plakada e^- azalırken alt tabakada artar. Bunun sonucunda plakalar arasında potansiyel fark oluşur. Akım azalmaya başlar. Bu durum kondansatör gerilimi kaynak gerilimine dolana kadar devam eder ($U_{DC}=U_C$). Kondansatör plakaları $U_C=U_{DC}$ gerilimine sabit kalır. Bu anda devreden artık akım geçmez ($I=0$) kondansatör açık devre gibi davranır. Bu duruma kondansatörün şarjı denir.

Kondansatörde Yük, Enerji ve Kapasite

Dolmuş bir kondansatörün plakaları arasındaki elektriksel duruma elektrik alanı denir. Yani, kondansatör elektriksel enerjiyi depolayan bir elemandır. Depolanan enerji elektriksel yükler yardımıyla olmuştur. Kondansatörlerde depolanan elektriksel yük (Q (coulomb)) uygulanan gerilimle doğru orantılıdır.

$$Q = cU$$

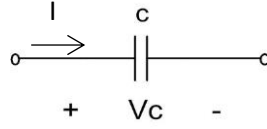
$$Q = It = cU$$

$$dQ = Idt = cdU$$

$$E_C = \int_0^t UIdt = \int_0^t cUdU$$

$$E_C = \frac{1}{2} cU^2 \text{ (Joule)}$$

Kondansatörün akım-gerilim denklemleri aşağıdaki gibi bulunur. Burada $V_{(t_0)}$, t_0 anında kondansatör üzerindeki gerilimdir.



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

$$Q = cV_c$$

$$\frac{dQ}{dt} = c \frac{dV_c}{dt}$$

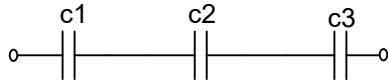
$$I = c \frac{dV_c}{dt}$$

$$\int_{t_0}^t dV_c = \int_{t_0}^t c I dt$$

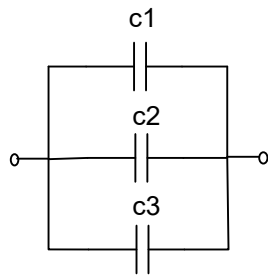
$$V_{C(t)} - V_{C(t_0)} = c \int_{t_0}^t I_{(t)} dt$$

$$V_{C(t)} = c \int_{t_0}^t I_{(t)} dt + V_{C(t_0)}$$

Kondansatörlerin seri ve paralel bağlanması durumunda oluşacak değerleri Şekil 3.3' teki gibidir.



$$\frac{1}{C_{toplam}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

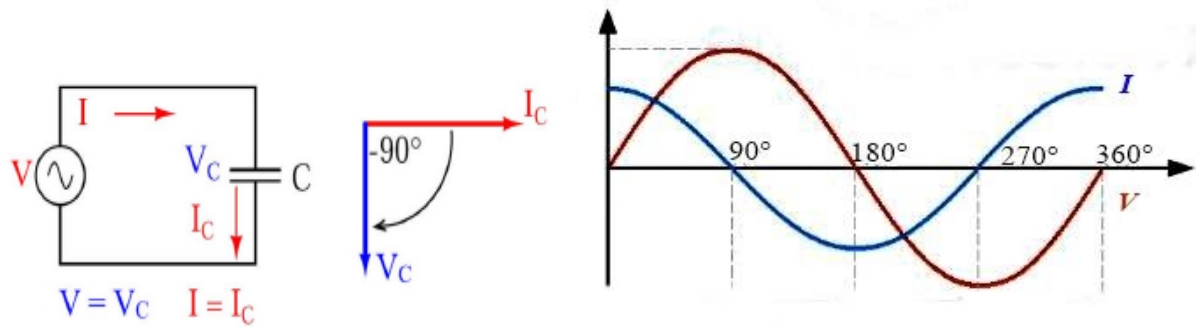


$$C_{toplam} = C_1 + C_2 + C_3$$

Şekil 3.3 Seri ve paralel bağlı kondansatör

AC Devrede Kondansatör

Yukarıda DC devrede açıklanan akım olayı, AC devrede iki yönlü olarak tekrarlanır. Dolayısıyla, AC devredeki kondansatör, akım akışına karşı bir engel teşkil etmemektedir. Kapasitörler AC gerilimin değişimine karşı zorluk gösterir. Bu nedenle kondansatör gerilimi devre akımı ile aynı fazda değildir. Alternatif akım saf kapasitif reaktansa (direncin olmadığı devreye) uygulandığında gerilimle akım arasında 90° 'lik bir faz kayması vardır. Kondansatör AC devrede gerilime karşı zorluk gösterdiği için Şekil 3.4'te görüldüğü gibi gerilim akımdan geridedir.



Şekil 3.4 Alternatif akımda kondansatörün akım ve gerilim grafiği

Kondansatörün gösterdiği dirence kapasitif reaktans denir. Kapasitif reaktans, X_c ile gösterilir. Birimi Ohm(Ω) dur. Kapasitif reaktans kondansatör kapasitesine ve uygulanan AC gerilim frekansına bağlıdır.

- DC'de ($f = 0$) iken;

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$f = 0$$

$$X_c = \infty \text{ (açık devre)}$$

**** DC devrelerde açık devre gibi davranır.**

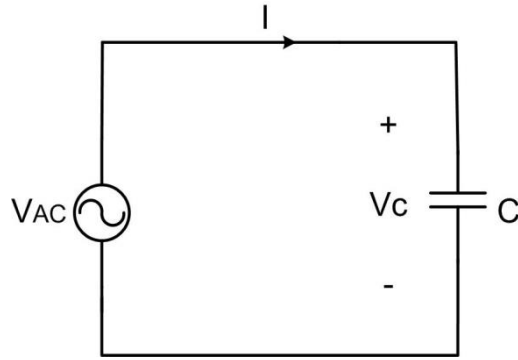
- AC'de iken ($f \neq 0$);

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} (\Omega)$$

$$** f \uparrow X_c \downarrow$$

**** Kondansatörün zaman sabiti; $\tau = RC$ dir.**

DENEY 3 UYGULAMASI



Şekil 3.5 Saf kapasitif devre

Şekil 3.5' teki devrede $V_{AC_pp}=5V$, $f=1\text{ kHz}$ sinüs gerilimde;

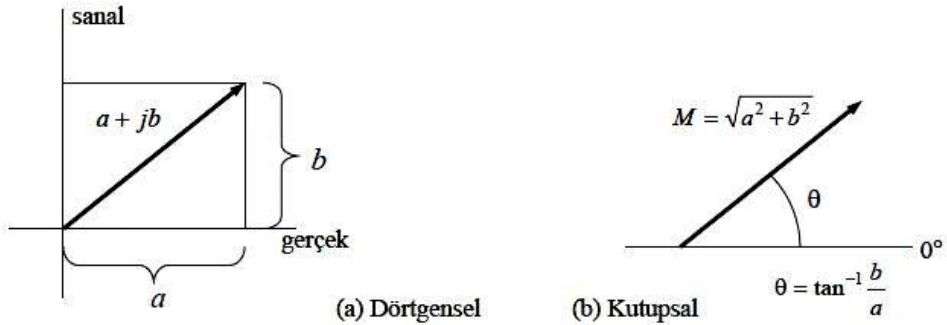
1. $C=0.1\mu F$ için; ($R=100\Omega$)
 - a) Akım grafiğini;
 - b) Gerilim grafiğini çiziniz.
 - c) Faz farkını hesaplayınız.
 - d) İleri faz veya geri faz olduğunu yaptığınız hesaba göre belirtiniz.
 - e) V_C için V_{pp} (tepeden tepeye) ve V_{rms} değerlerini hesaplayınız.
2. $C=1\mu F$ için için işlemleri tekrarlayınız. C 'nin değerinin değişiminin devreye etkisini yorumlayınız.

DENEY 4: SERİ RL DEVRELERİNİN AC ANALİZİ

Bu deneyin amacı, seri RL devrelerin AC gerilim kaynağına bağlandığında, gerilim ve akımları arasında nasıl farklılıklar oluştuğunu uygulamalı olarak görmektir. Ayrıca seri RL devrelerinin alçak geçiren filtre (low pass) olarak kullanılmasını ve alçak geçiren filtrelerde transfer fonksiyonunun ve kesme frekansının etkilerini uygulamalı olarak görmektir.

Dörtgensel→Kutupsal Dönüşüm (R→P)

Dörtgensel biçimde yazılmış $a+jb$ fazörünün kutupsal biçime dönüştürülmesi için Pythagorean ilişkisi kullanılır. Şekil 4.1’de dönüşümün grafiksel açıklaması verilmiştir.



Şekil 4.1 dörtgensel→kutupsal dönüşüm (R→P)

Açıkça görüldüğü gibi R→P dönüşüm,

$$a + jb = \sqrt{a^2 + b^2} \angle \left(\tan^{-1} \frac{b}{a} \right)$$

olarak gerçekleştirilebilir. Bu eşitlik kullanılırken gerçekteki sayı değeri a eksi işaretli ise, bulunan açı değerine dikkat edilmelidir. a değeri eksi iken bulunan açı, 2. yada 3. bölgede olur. Bu açının gerçekteki değerini elde etmek için, bulunan açı değerine $\pm 180^\circ$ eklenmelidir. Buna göre,

$$a \text{ artı işaretli ise; } \theta = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$a \text{ eksi işaretli ise; } \theta = \pm 180 + \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

biçiminde gerekli düzeltme yapılabilir. Örnek olarak $-4 + j6$ ve $-4 - j6$ fazörlerinin kutupsala dönüştürülmesi için Şekil 4.2’de verilen çizimler ile bu durum açıklanmıştır.

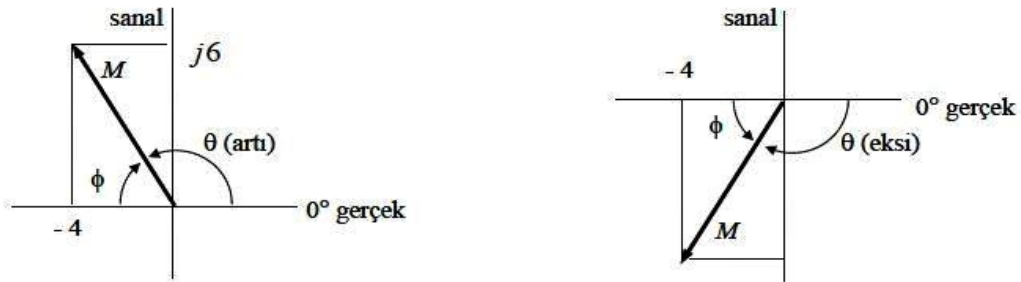
➤ $-4 + j6$ için;

$$M = \sqrt{(-4)^2 + 6^2} = 7,21$$

➤ $-4 - j6$ fazörü için;

$$M = \sqrt{(-4)^2 + (-6)^2} = 7,21$$

değerleri bulunur. Görüldüğü gibi fazörlerin büyüklüğü için sanal ve gerçekteki işareti etkili değildir.



Şekil 4.2: 2. ve 3. bölgelerdeki açıların gösterimleri

Ancak açısı 2. ve 3. bölgede çıkan bu fazörlerin açıları bulunurken ek işlem yapılmalıdır. Kutupsal yazımda açı değeri eksi yada artı olabilir ancak, büyüklük her zaman artı olarak yazılır. Genellikle pozitif açı değeri 180° 'den fazla ise eksi olarak gösterilir. Buna göre yukarıdaki fazörlerin açıları;

➤ $-4 + j6$ fazörü için,

$$\theta = \pm 180^\circ + \tan^{-1} \frac{6}{-4} = 180 - 56.3 = 123.7^\circ$$

➤ $-4 - j6$ fazörü için,

$$\theta = \pm 180^\circ + \tan^{-1} \frac{-6}{-4} = -180 + 56.3 = -123.7^\circ$$

$-4 - j6$ fazörünün açı değeri eksi olarak yazılmak istenmezse,

$$180 + 56.3 = 236.3^\circ$$

olarak da yazılabilir.

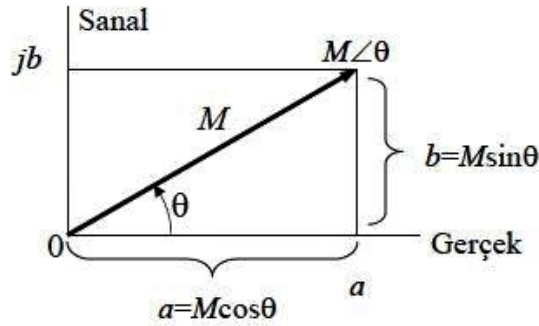
Kutupsal→Dörtgensel Dönüşüm (P→R)

Kutupsal evremler ile toplama ve çıkarma işlemlerinin yapılması gerektiğinde, bu işlemlerin kolayca yapıldığı dörtgensel yazıma geçilmesi doğru olur. Kutupsaldan dörtgensele dönüşüm, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi dik açı trigonometrisi ile gerçekleştirilir.

Kutupsal biçimde verilen bir $M\angle\theta$ karmaşık sayısını $a + jb$ biçiminde dörtgensel olarak ifade edebilmek için,

$$M\angle\theta = M \cos\theta + jM \sin\theta$$

eşitliği kullanılır.



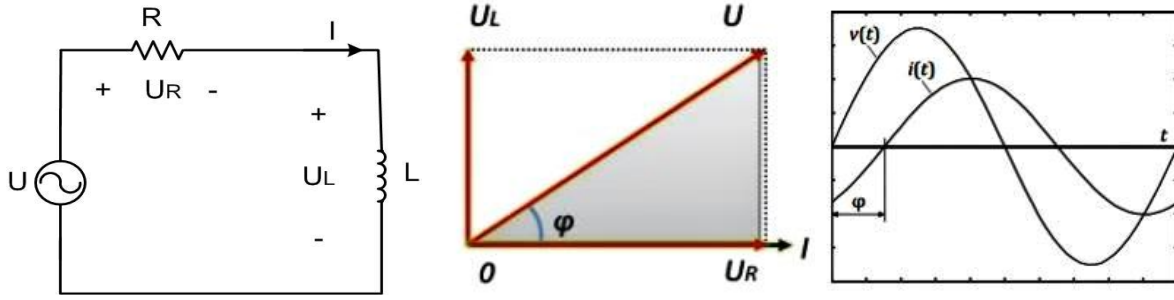
Şekil 4.3 Kutupsaldan dörtgensele dönüşüm

Bu eşitlik, artı yada eksi yönde tüm açılara, hiçbir kısıtlama olmaksızın uygulanabilir. Yine de dönüşüm yaparken, açının ve fazörün doğru çeyreğe düştüğünden emin olmak için, başlangıçtaki koordinatların (kutupsal yada dörtgensel) kabaca da olsa bir çizimini yapmakta yarar vardır.

SERİ RL DEVRELERİNİN AC ANALİZİ

Alternatif akım devrelerinde; direnç, bobin veya kondansatörler saf ve tek olarak bulunmayabilirler. Çoğu kez biri veya birkaçı birlikte bulunurlar. Ayrıca direnç, bobin veya kondansatörlerin ikisi veya daha fazlası birbiriyle seri, paralel olarak da bağlanırlar. Birden fazla cinsteki elemanın (direnç, bobin, kondansatör) seri, paralel veya seri- paralel bağlanması ile oluşturulan alternatif akım devresinin yerine geçebilecek aynı özelliklere verebilen tek bir eşdeğer dirence " empedans " denir. Empedans Z harfi ile gösterilir ve birimi ohm' dur.

$$Z = R + jX_L \Omega$$



Şekil 4.4 (a) Seri RL devresi (b) Fazör diyagramı (c) Kaynak gerilimi ve devre akımı dalgası

Şekil 4.4 (a)'daki devrede direnç ve bobin saf elemanlar olarak alınmıştır. Bu seri devrede devre akımı, bütün devre elemanlardan geçmektedir. Devre gerilimi ise direnç ve bobin uçlarında düşen gerilimlerin vektörel toplamına eşittir. Bu vektörel değerler, bir vektör sistemiyle de gösterilebilir. Vektörün çizimine ortak değer olan akımla başlanır. Direnç uçlarında düşen gerilim (U_R) akımla aynı fazda ve bobinde düşen gerilim (U_L) akımdan 90° ileri fazdadır. Şekil 4.4 (b)'de görüldüğü gibi U_R ile U_L vektörel olarak toplanırsa devre gerilimi (U) bulunur. Şekil 4.4 (c)'de görüldüğü gibi U gerilimi ile I devre akımı arasında φ faz farkı vardır ve gerilim bu açı kadar akımdan, ileri fazdadır. Bu açığa devrenin " faz açısı " denir.

Şekil 4.4(b)' ye göre sinüzoidal gerilim/akımın zaman alanı gösterimleri

$$I_{(t)} = I_M \sin \omega t$$

$$U_{(t)} = U_M \sin(\omega t + \varphi)$$

Şekil 4.4(b)' ye göre sinüzoidal gerilim/akımın fazör alanı gösterimleri

$$I = I_M \angle 0$$

$$U = U_M \angle \varphi$$

$$U_{RM} = I_M R$$

$$U_R(t) = U_{RM} \sin \omega t$$

$$U_{LM} = I_M X_L$$

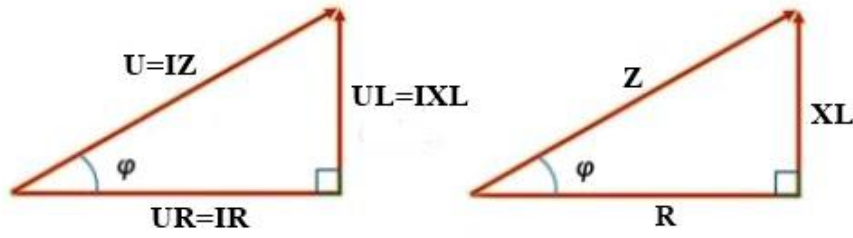
$$U_L(t) = U_{LM} \sin(\omega t + 90)$$

$$U = U_R + jU_L$$

$$U_M^2 = \sqrt{U_{RM}^2 + U_{LM}^2}$$

Şekil 4.5 (a)' daki üçgene " gerilim üçgeni " denir. Şekil 4.5 (a)' daki gerilim üçgeninde; yatay kenar direnç uçlarında düşen gerilim (U_R), dikey kenar bobin uçlarında düşen gerilim (U_L) ve

hipotenüs devre gerilimi (U) dir. Gerilim üçgenini oluşturan değerler I akımına bölünürse Şekil 4.5 (b)' deki empedans üçgeni elde edilir.



Şekil 4.5 (a) Gerilim üçgeni (b) Empedans üçgeni

$$Z = R + jX_L$$

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

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

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

Örneğin, Şekil 4.6 (a)'daki devrede 100 V kaynak gerilimi seri RL devreye uygulanmıştır. Direnç değerinin (R) endüktif reaktansa (X_L) eşit ve 50 Ω olduğu kabul edilmiştir. Böylece her iki elemandan geçen akım (1,41 A) aynı olduğundan, üzerlerindeki gerilimler de eşit olacaktır.

$$V_R = I_R R = 1.41 * 50 = 70.7V$$

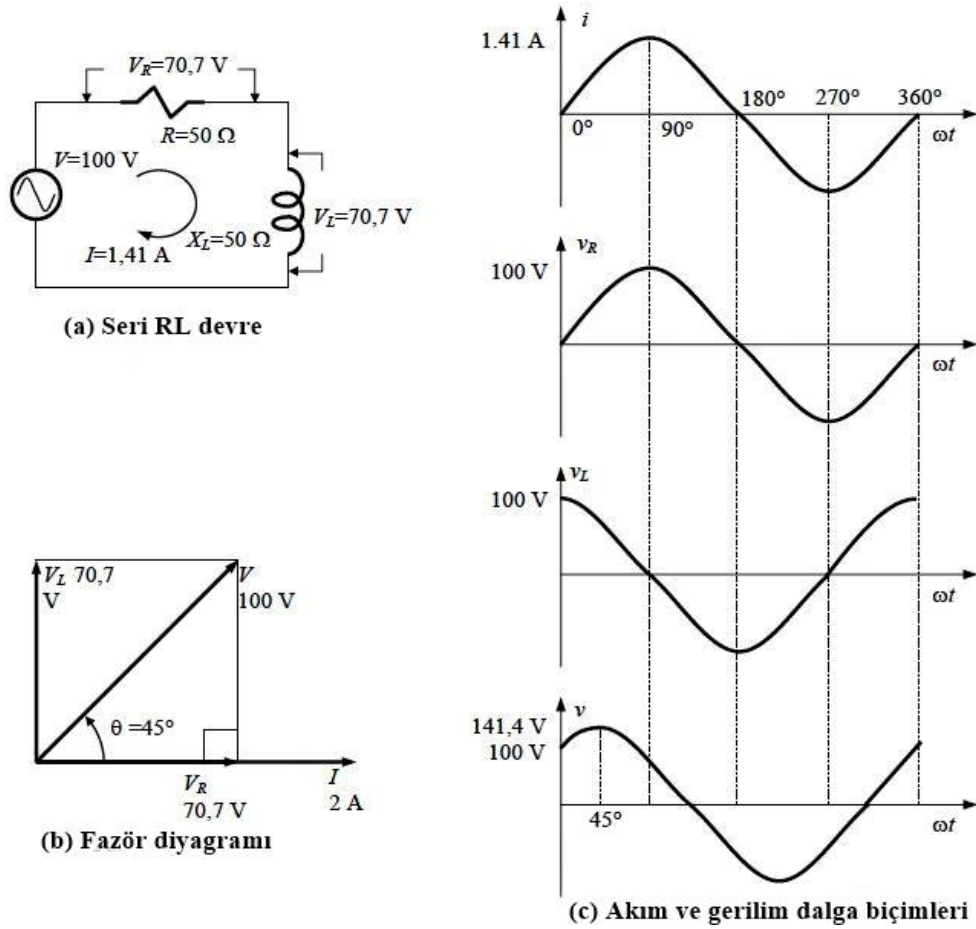
$$V_L = I_L X_L = 1.41 * 50 = 70.7V$$

Ancak büyüklükleri eşit olan bu iki gerilim arasında 90° faz farkı vardır. Buna göre bir seri devredeki toplam gerilim düşümü, bobin ve dirençlerin toplanmasıyla bulunamaz. (Ancak anlık değer hesaplamalarında, belli bir andaki bobin ve direnç gerilimleri toplanarak doğru sonuç bulunabilir.)

Devredeki toplam gerilim düşümünü bulabilmek için, eleman gerilimleri arasındaki açı da göz önüne alınarak vektörel toplama yapılmalıdır. Direnç ve bobin gerilimleri bir dik üçgenin dik kenarları olduğuna göre, bu üçgenin hipotenüsünü oluşturan devre gerilimi, Pythagoras Kuramı uyarınca,

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

olarak bulunur. Kullanılan eşitliğin de çağrıştıracağı gibi, direnç ve gerilimlerin fazör toplamı, aritmetik toplamından küçük olacaktır.



Şekil 4.6 Seri RL devrede akım-gerilim dalga biçimleri ve fazör diyagramı.

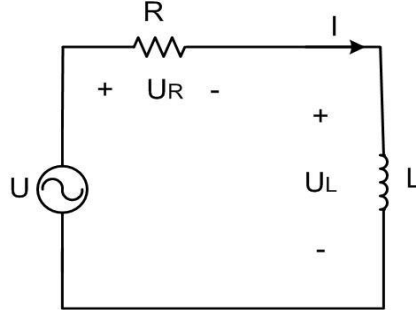
Yine Şekil 4.6 (b)'deki dik üçgen yardımıyla kaynak gerilimi ile devre akımı arasındaki açı;

$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_L}{V_R} \text{ yada } \arctan \frac{V_L}{V_R}$$

biçiminde bulunabilir. Bu eşitlikler kullanılarak bulunacak gerilim akım ve açı değerleri, Şekil 4.6 (c)'de verilmiştir. Görüldüğü gibi devre gerilimi ile devre akımı arasında 45° faz farkı vardır. Eğer devrede yalnızca direnç olsa 0° , yalnızca bobin olsa 90° faz farkı olacaktı. Devrede birbirine eşit bir direnç ve endüktif tepke bulunduğunda devre akımı ile devre gerilimi arasında, 0° ile 90° 'nin tam orta değeri olan 45° bulunması beklenir.

ÖRNEK UYGULAMA



Şekil 4.7 Seri RL devresi

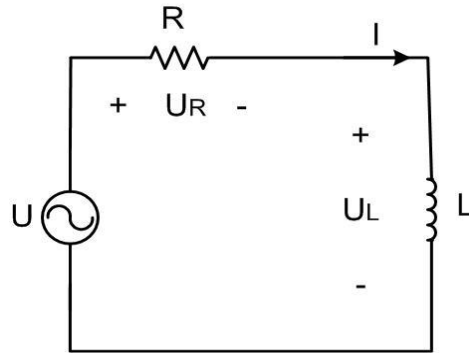
1. Şekil 4.7'deki devreyi kurunuz ($U_M=10$ V, $f=100$ Hz, $L=100$ mH, $R=75$ Ω).
 - a) L bobininin reaktansını (X_L),
 - b) Devrenin toplam empedansını (Z),
 - c) I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
 - d) R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
 - e) L bobini üzerindeki gerilim fazörünü (V_L), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_L(t)$) hesaplayınız.
 - f) Devrenin fazör diyagramını çiziniz.
2. Aynı işlemi $f = 10$ kHz için tekrarlayınız.
3. Aynı işlemi aşağıdaki durumlar için sırasıyla tekrarlayınız.

$$R = 75 \Omega, \quad L = 1.5 \text{ mH}$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega, \quad L = 100 \text{ mH}$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega, \quad L = 1.5 \text{ mH}$$

HESAPLAMALAR



Şekil 4.8 Seri RL devresi

1. $R = 75 \, \Omega$, $L = 100 \, \text{mH}$, $f = 100 \, \text{Hz}$, $V(t) = 10 \sin \omega t \, \text{V}$;

a) Açısal hız; $\omega = 2\pi f = 2\pi 100 = 628,32 \, \text{rad/s}$

b) Endüktif reaktans; $X_L = \omega L = 628,32 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 62,83 \, \Omega$

c) Empedans;

$$Z = R + jX_L = 75 + j62,83 \, \Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{75^2 + 62,83^2} = 97,84 \, \Omega$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{62,83}{75} = 39,95^\circ$$

d) Akım;

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10 \angle 0^\circ}{97,84 \angle 39,95^\circ} = 0,102 \angle -39,95^\circ \, \text{A}$$

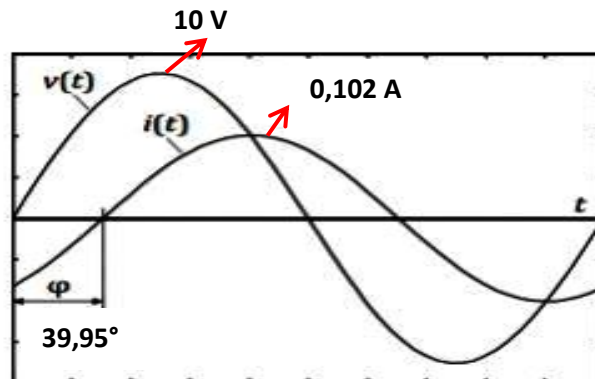
$$I = 0,102 [\cos(-39,95^\circ) + j \sin(-39,95^\circ)] \, \text{A}$$

$$I = 0,078 - j0,066 \, \text{A}$$

$$I_{MAX} = 0,102 \, \text{A}$$

$$I_{EFF} = \frac{0,102}{\sqrt{2}} = 0,072 \, \text{A}$$

$$I(t) = 0,102 \sin(\omega t - 39,95^\circ) \, \text{A}$$



e) V_R gerilimi;

$$V_R = RI = 0,102 \angle -39,95^\circ 75 = 7,66 \angle -39,95^\circ V$$

$$V_R = 7,66 [\cos(-39,95^\circ) + j \sin(-39,95^\circ)] V$$

$$V_R = 5,876 - j4,92 V$$

$$V_{R(MAX)} = 7,66 V$$

$$V_{R(EFF)} = \frac{7,66}{\sqrt{2}} = 5,42 V$$

$$V_R(t) = 7,66 \sin(\omega t - 39,95^\circ) V$$

f) V_L gerilimi;

$$V_L = X_L I = 62,83 \angle 90^\circ 0,102 \angle -39,95^\circ = 6,408 \angle 50,05^\circ V$$

$$V_L = 6,408 [\cos(50,05^\circ) + j \sin(50,05^\circ)] V$$

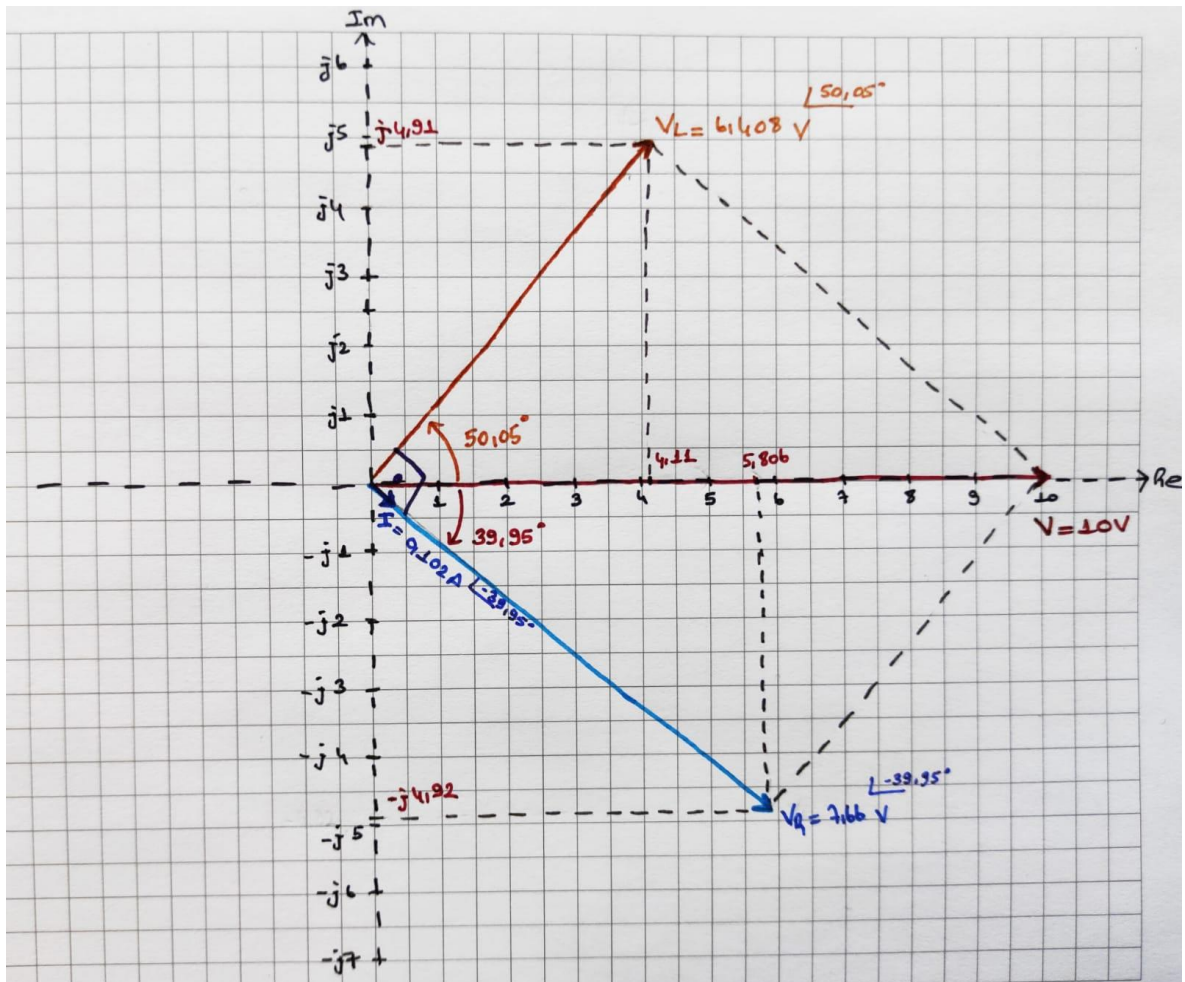
$$V_L = 4,11 + j4,91 V$$

$$V_{L(MAX)} = 6,408 V$$

$$V_{L(EFF)} = \frac{6,408}{\sqrt{2}} = 4,531 V$$

$$V_L(t) = 6,408 \sin(\omega t + 50,05^\circ) V$$

g) Fazör diyagramı;



DENEY 4 UYGULAMASI

Şekil 4.7'deki devreyi kurunuz ($U_p=3$ V, $f=10$ kHz, $L=1$ mH, $R=100$ Ω).

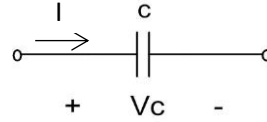
- L bobininin reaktansını (X_L),
- Devrenin toplam empedansını (Z),
- I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
- R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
- L bobini üzerindeki gerilim fazörünü (V_L), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_L(t)$) hesaplayınız.
- Devrenin fazör diyagramını çiziniz.
- Aynı işlemi $f = 100$ Hz ve $f = 1$ kHz için sırasıyla tekrarlayınız. Bu durumlar için faz farkı ve endüktif reaktans (X_L) değerleri nasıl değişir yorumlayınız.

DENEY 5- SERİ RC DEVRELERİNİN AC ANALİZİ

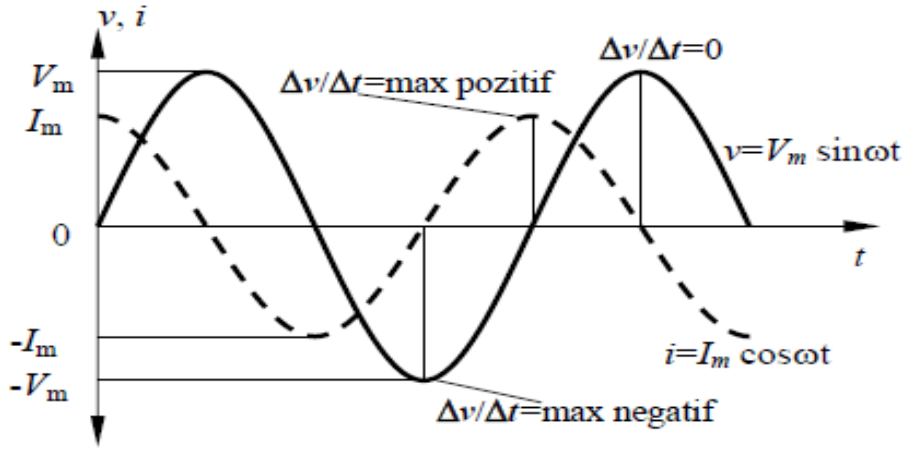
Bu deneyin amacı, seri RC devrelerin AA gerilim kaynağına bağlandığında, gerilim ve akımları arasında nasıl farklılıklar oluştuğunu uygulamalı şekilde görmektir. Ayrıca seri RC devrelerinin alçak geçiren filtre (low pass) olarak kullanılmasını ve alçak geçiren filtrelerde transfer fonksiyonunun ve kesme frekansının etkilerini uygulamalı olarak görmektir.

Bir kapasitör AA bir kaynak uçlarına bağlanınca, kaynağın değişen gerilimi nedeniyle sürekli olarak dolma ve boşalma tepkisi verir. Bunun sonucu olarak kapasitöre seri bağlanacak bir akımölçer sürekli olarak etkin bir akım değeri gösterir. Bu durumda akım kapasitör içinden akıyor gibi görünse de, aslında yalnızca bir miktar yükün bir kapasitör plakasından diğerine ve tersi yönde AA kaynak üzerinden aktarılıp durmasından başka bir şey olmamaktadır.

Kapasitörün sinüzoidal akıma tepkisi;



Şekil 5.1 Kapasitör



Şekil 5.2 Bir AC devrede kapasitörün etkisi ile akım ve gerilim dalga biçimleri.

Şekil 5.1' deki gibi bir kapasitör uçlarına, $U_M \sin \omega t$ eşitliğini izleyen bir sinüs gerilimi uygulanırsa akım dalga biçimi, $i = \frac{dq}{dt} = c \frac{dU_C}{dt}$ eşitliğine göre oluşacaktır. Bu eşitlikte $\Delta v / \Delta t$ (dU_C / dt) terimi, gerilim dalga biçiminin eğimidir ve bu değer yalnızca V_m ve $-V_m$ tepe değerlerinde sıfır olur. Kapasitans akımı da Şekil 5.2' deki gibi, yalnızca bu anlarda sıfır olur. Gerilim dalga biçiminin en büyük eğimi, zaman eksenini geçerken oluşur. Bu anlardaki kapasitans akımı da en yüksek değerdedir. Kapasitans akımının yönü ise, gerilimin artıyor ya

da azalıyor oluşuna bağlıdır. Yani, alternatif akım saf kapasitif reaktansa (direncin olmadığı devreye) uygulandığında gerilimle akım arasında 90° 'lik bir faz kayması vardır. Kondansatör AA devrede gerilime karşı zorluk gösterdiği için Şekil 1.2’de görüldüğü gibi gerilim akımdan 90° geridedir.

$U = U_C = U_M \sin \omega t$ gerilimi C kapasitansı üzerine uygulansın.

$$\omega = 2\pi f$$

$$q = cU_C = cU_M \sin \omega t$$

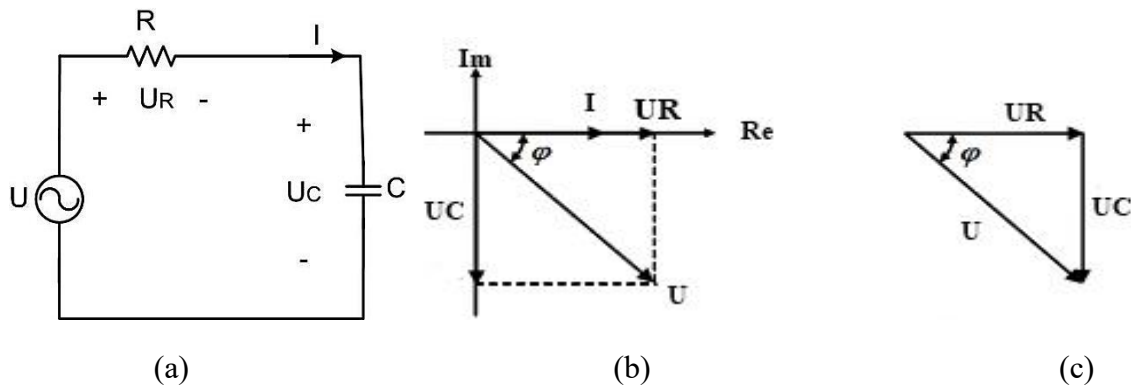
$$i = \frac{dq}{dt} = c \frac{dU_C}{dt} = c \frac{dU_M \sin \omega t}{dt} = cU_M \omega \cos \omega t = I_M \cos \omega t = I_M \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$I_M = \omega c U_M$ ise kapasitif reaktans;

$$X_C = \frac{1}{\omega c} \text{ olur.}$$

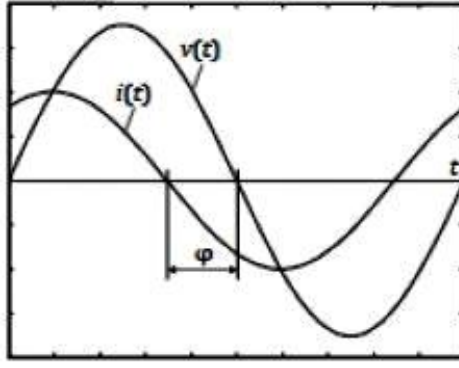
Alternatif Akım Altında Seri RC Devre Analizi

AA kaynak gerilimi ile beslenen seri bağlı direnç ve kapasitör (RC) devresi Şekil 5.3 (a)’ da gösterilmektedir.



Şekil 5.3 (a) Seri RC devresi (b) Fazör diyagramı (c) Gerilim üçgeni

Şekil 5.3 (a)’daki devrede direnç ve kondansatör saf elemanlar olarak alınmıştır. Bu seri devrede devre akımı, bütün devre elemanlardan geçmektedir. Devre gerilimi ise direnç ve kondansatör uçlarında düşen gerilimlerin vektörel toplamına eşittir. Bu vektörel değerler, bir vektör sistemiyle de gösterilebilir. Vektörün çizimine ortak değer olan akımla başlanır. Direnç uçlarında düşen gerilim (UR) akımla aynı fazda ve kondansatörde düşen gerilim (UC) akımdan 90° geri fazdadır. Şekil 5.3 (b)’de görüldüğü gibi UR ile UC vektörel olarak toplanırsa devre gerilimi (U) bulunur. Şekil 5.3 (c)’de gerilim üçgeni görülmektedir. Gerilim üçgeninde; yatay kenar direnç uçlarında düşen gerilim (UR), dikey kenar kondansatör uçlarında düşen gerilim (UC) ve hipotenüs devre gerilimi (U) dir.



Şekil 5.4 Seri RC devresi kaynak gerilimi ve devre akımı dalgası

Şekil 5.4'te görüldüğü gibi U gerilimi ile I devre akımı arasında φ faz farkı vardır ve gerilim bu açı kadar akımdan geri fazdadır. Bu açığa devrenin " faz açısı " denir.

- Şekil 5.4' e göre sinüzoidal gerilim/akımın zaman alanı gösterimleri

$$U_{(t)} = U_M \sin \omega t$$

$$I_{(t)} = I_M \sin(\omega t + \varphi)$$

- Şekil 5.4' e göre sinüzoidal gerilim/akımın fazör alanı gösterimleri

$$U = U_M \angle 0$$

$$I = I_M \angle \varphi$$

- $I(t) = I_M \sin \omega t$ alınırsa;

$$U_{RM} = I_M R$$

$$U_R(t) = U_{RM} \sin \omega t$$

$$U_{CM} = I_M X_C$$

$$U_C(t) = U_{CM} \sin(\omega t - 90)$$

$$U = U_R - jU_C$$

$$U_M = \sqrt{U_{RM}^2 + U_{CM}^2}$$

- Seri RC devresinin toplam empedansı;

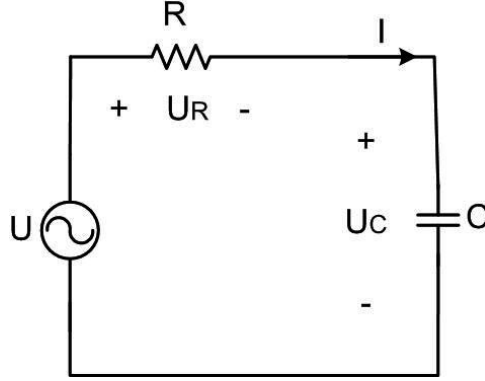
$$Z = R - jX_C \Omega$$

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

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

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

ÖRNEK UYGULAMA



Şekil 5.5 Seri RC devresi

Şekil 5.5'teki devreyi kurunuz ($U_{PP}=10\text{ V}$, $f=100\text{ Hz}$, $C = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $R=1\text{ k}\Omega$).

C kondansatörünün reaktansını (X_C),

Devrenin toplam empedansını (Z),

I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),

R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),

C kondansatör üzerindeki gerilim fazörünü (V_C), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_C(t)$)

hesaplayınız.

Devrenin fazör diyagramını çiziniz.

Aynı işlemi $f = 1\text{ kHz}$ ve $f = 10\text{ kHz}$ için sırasıyla tekrarlayınız.

Aynı işlemi aşağıdaki durumlar için sırasıyla tekrarlayınız.

$$R = 1\text{ k}\Omega, C = 6.8\text{ }\mu\text{F}$$

$$R = 10\text{ k}\Omega, C = 2.2\text{ }\mu\text{F}$$

$$R = 10\text{ k}\Omega, C = 6.8\text{ }\mu\text{F}$$

HESAPLAMALAR

$$C = 2.2\text{ }\mu\text{F}, R=1\text{ k}\Omega, f= 100\text{ Hz}, V(t) = 5 \sin \omega t\text{ V} ;$$

$$\text{Açısal hız; } \omega = 2\pi f = 2\pi 100 = 628,32\text{ rad/s}$$

$$\text{Kapasitif reaktans; } X_C = \frac{1}{j\omega C} = -j \frac{1}{628,32 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}} = -0,7234j\text{ k}\Omega$$

Empedans;

$$Z = R - jX_C = 1 - j0,7234 \text{ k}\Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{1^2 + 0,7234^2} = 1,234 \text{ k}\Omega$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{X_C}{R} = \tan^{-1} \frac{-0,7234}{1} = -35,882^\circ$$

Akım;

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{5 \angle 0^\circ}{1,234 \cdot 10^3 \angle -35,882^\circ} = 4,052 \angle 35,882^\circ \text{ mA}$$

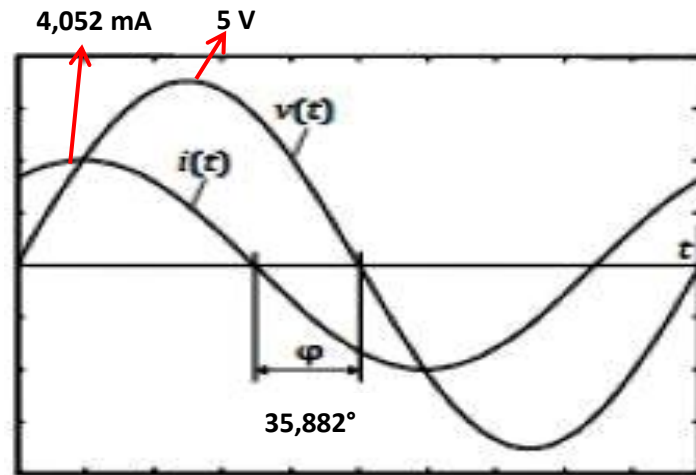
$$I = 4,052 [\cos(35,882^\circ) + j \sin(35,882^\circ)] \text{ mA}$$

$$I = 3,283 + j2,375 \text{ mA}$$

$$I_{MAX} = 4,052 \text{ mA}$$

$$I_{EFF} = \frac{4,052}{\sqrt{2}} = 2,865 \text{ mA}$$

$$I(t) = 4,052 \sin(\omega t + 35,882^\circ) \text{ mA}$$



V_R gerilimi;

$$V_R = RI = 4,052 \cdot 10^{-3} \angle 35,882^\circ \cdot 1000 = 4,052 \angle 35,882^\circ \text{ V}$$

$$V_R = 4,052 [\cos(35,882^\circ) + j \sin(35,882^\circ)] \text{ V}$$

$$V_R = 3,283 + j2,375 \text{ V}$$

$$V_{R(MAX)} = 4,052 \text{ V}$$

$$V_{R(EFF)} = \frac{4,052}{\sqrt{2}} = 2,865 \text{ V}$$

$$V_R(t) = 4,052 \sin(\omega t + 35,882^\circ) \text{ V}$$

V_C gerilimi;

$$V_C = X_C I = \frac{1}{j\omega C} I = 0,7234 \angle -90^\circ \cdot 4,052 \angle 35,882^\circ = 2,931 \angle -54,118^\circ \text{ V}$$

$$V_C = 2,931 [\cos(-54,118^\circ) + j \sin(-54,118^\circ)] \text{ V}$$

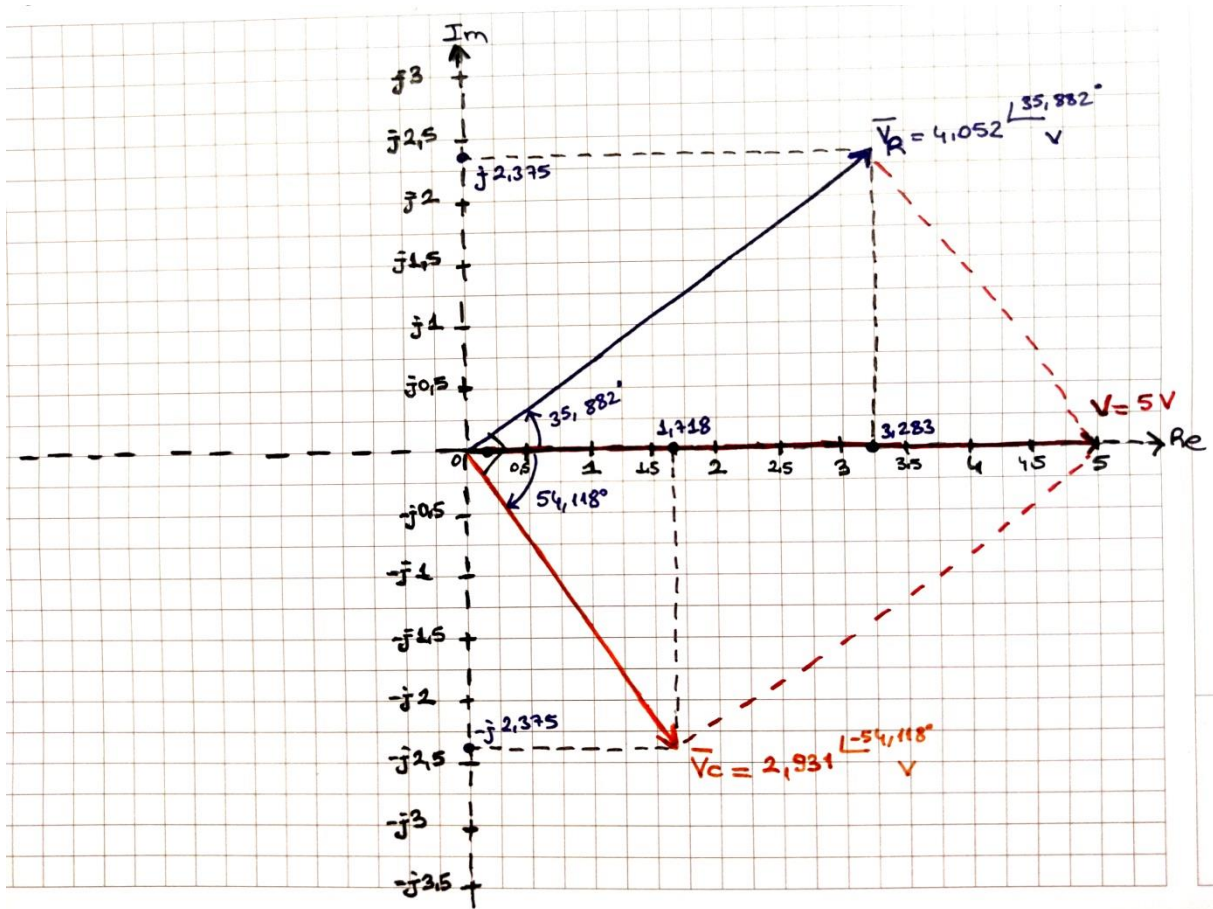
$$V_C = 1,718 - j2,375 \text{ V}$$

$$V_{C(MAX)} = 2,931 \text{ V}$$

$$V_{C(EFF)} = \frac{2,931}{\sqrt{2}} = 2,072 \text{ V}$$

$$V_C(t) = 2,931 \sin(\omega t - 54,118^\circ) \text{ V}$$

Fazör diyagramı;



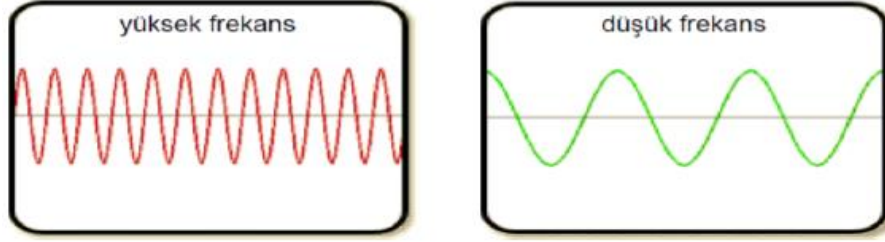
DENEY 5 UYGULAMASI

Şekil 5.5'teki devreyi kurunuz ($U_P=3$ V, $f=100$ Hz, $C = 22$ μ F, $R=100$ Ω).

- C kondansatörünün reaktansını (X_C),
- Devrenin toplam empedansını (Z),
- I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
- R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
- C kondansatör üzerindeki gerilim fazörünü (V_C), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_C(t)$) hesaplayınız.
- Devrenin fazör diyagramını çiziniz.
- Aynı işlemi $f = 1$ kHz ve $f = 10$ kHz için sırasıyla tekrarlayınız. Bu durumlar için faz farkı ve kapasitif reaktans (X_C) değerleri nasıl değişir yorumlayınız.

DENEY 6- DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) VE DİRENÇ-BOBİN (RL) ALÇAK GEÇİREN FİLTRE DEVRELERİ

Elektronik filtreler, farklı frekanslara sahip elektriksel sinyallerin iletilmesini veya durdurulmasını sağlayan elektronik devrelerdir. Seri RC ve RL devreleri, çoğu zaman, pasif filtre olarak kullanılırlar. Yüksek-frekanslı bileşenleri geçirirken düşük-frekanslı bileşenleri azaltarak bir yüksek geçiren filtre (YGF), düşük-frekanslı bileşenleri geçirirken yüksek-frekanslı sinyalleri zayıflatarak bir alçak geçiren filtre (AGF) görevi yaparlar.



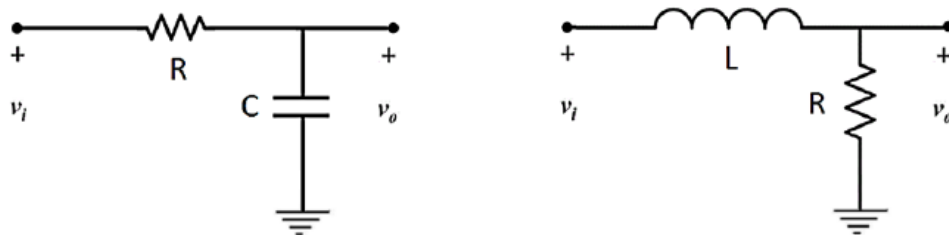
Şekil 6.1. Yüksek ve düşük frekanslı işaretler

Bu deneyde alçak geçiren ve yüksek geçiren pasif elektronik filtrelerin çalışma mekanizmaları incelenerek uygulamaları gerçekleştirilecektir.

1. Pasif Alçak Geçiren Filtreler (AGF):

Bir elektronik devrede belirli bir frekanstan daha düşük seviyede frekansa sahip elektriksel sinyallerin devrenin çıkışına aktarılmasının istendiği durumlarda kullanılan filtre çeşididir. Bu filtreler, kesim frekansı (f_c) olarak belirlenen seviyenin üzerinde frekansa sahip işaretleri filtreler ve çıkışa iletmez. Bir pasif alçak geçiren filtre, RC veya RL devre elemanları kullanılarak oluşturulabilir.

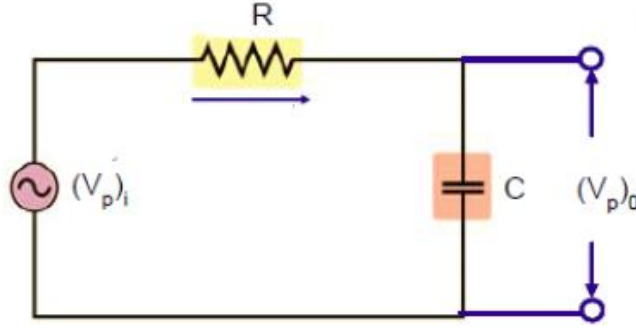
RC ve RL devrelerinin filtre olarak fonksiyonunu yerine getirmeleri, içerdikleri kondansatör veya bobin sayesinde sağlanmaktadır. Aşağıdaki devrelerde görüldüğü üzere, C ve L devre elemanlarının yerleri farklı konumdadır. Ancak her iki devre de alçak geçiren filtre olarak çalışmaktadır.



Şekil 6.2 RC ve RL Pasif Alçak Geçiren Filtre Devreleri

RC ve RL devrelerinin Şekil 6.2’de görülen yerleşim düzeni ile oluşturulan elektronik devrelerde, girişten uygulanan elektrik işaretinin genliğinin çıkışta belirli bir oranda bastırıldığı frekans seviyesi kesim frekansı (cut-off frequency) olarak adlandırılmaktadır ve f_c ile ifade edilir. f_c ; devre elemanlarının değerine bağlı olarak değişmektedir. Bu devre elemanları değiştirilerek, istenilen f_c değerine sahip bir alçak geçiren filtre tasarlanabilir.

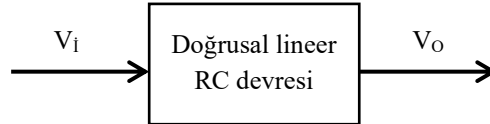
RC devrenin alçak geçiren filtre olarak çalışması:



Şekil 6.3.Seri RC filtresi

$(V_p)_i$ ve $(V_p)_o$ sırasıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin tepe değerleridir. $20 \log \left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri,

"desibel (dB)" olarak filtrenin kazancını verir. Buradaki $\left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri sistemin transfer fonksiyonudur ($H(w)$).



$$\bar{H}(w) = \left[\frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} \right]$$

Seri RC devresini çözümleyecek olursak;

$$(V_o)_p = I_p X_C$$

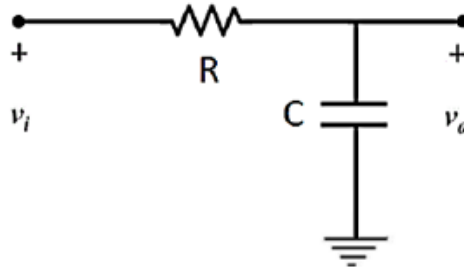
$$(V_i)_p = I_p (R + jX_C)$$

$$H(w) = \frac{(V_o)_p}{(V_i)_p} = \frac{\frac{1}{jwC}}{\frac{1}{jwC} + R} = \frac{1}{1 + jwRC}$$

$$\bar{H}(w) = \frac{1}{\sqrt{1 + (wRC)^2}}$$

$$\angle \bar{H}(w) = -\tan^{-1}(wRC)$$

- Kondansatör (C)' nin empedansı (X_C), frekansla ters orantılı olarak değişmektedir ($X_C=1/2\pi fC$). Eğer $f=0$ Hz olursa, yani devreye DC uygulanırsa; Bu durumda giriş sinyalinin (V_i) frekansı düşük seviyelerde iken kondansatörün X_C değeri büyük olacaktır. Dolayısıyla girişten uygulanan düşük frekanslı işaretler C üzerinden geçemeyecek ve toprak hattına doğru değil, çıkışa (V_o) doğru aktarılacaktır. Yani belirli bir frekans seviyesinden daha düşük frekansa sahip işaretler, iletilmiş olacaktır.



$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{0} = \infty \text{ (Açık devre)}$$

$$f = 0 \rightarrow \omega = 2\pi f = 0$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(0)^2}} = 1 \quad \angle H(\omega) = -\tan^{-1}(0) = 0^\circ$$

$$Kazanç = 1$$

Sisteme uygulanan frekans değeri ne kadar küçükse transfer fonksiyonunun değeri de o kadar büyük olacaktır (maksimum 1). Bu sayede düşük frekans değerleri sistemden filtrelenmeden çıkacaktır.

- Eğer $\omega = \omega_c = \frac{1}{RC}$ kabul edilirse;

$$\omega = 2\pi f = \frac{1}{RC}$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{1}{RC} \times RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707 \quad \angle H(\omega) = -\tan^{-1}(\frac{1}{RC} \times RC) = -\tan^{-1}(1) = -45^\circ$$

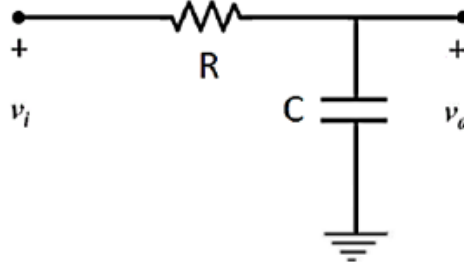
$$Kazanç = 0,707$$

Bu durum, özel bir frekans değerinde gerçekleşir. Kesim frekansı (f_c) olarak adlandırılır.

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{RC} \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

*** $X_C=R$ olduğu durumdur. Bu durumda; $\frac{1}{2\pi f_c C} = R \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ olur.

- Yüksek frekanslı giriş işaretleri için ise X_C değeri düşeceğinden, kondansatör ilettime geçecektir ve akım bu devre elemanı üzerinden geçerek toprağa iletilecektir. Dolayısıyla çıkışta herhangi bir işaret okunamayacağı için bu devrelerde yüksek frekanslı sinyaller bastırılmış ve filtrelenmiş olacaktır.



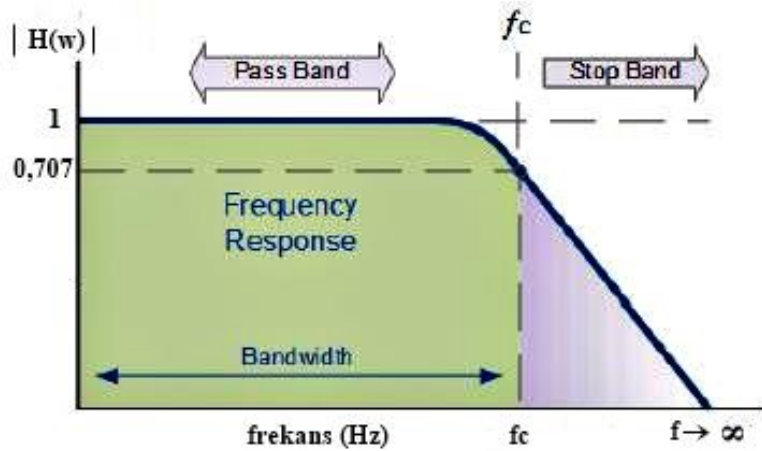
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\infty} = 0 \text{ (Kısa devre)}$$

$$f = \infty \rightarrow \omega = 2\pi f = \infty$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\infty)^2}} \approx 0 \quad \angle H(\omega) = -\tan^{-1}(\infty) = -90^\circ$$

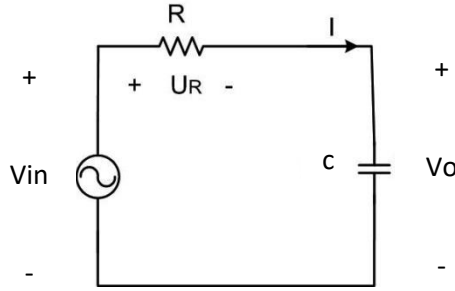
$$Kazanç = 0$$

Frekans değerleri yükseldikçe transfer fonksiyonunun değeri 0'a yakınsayacaktır. Bu nedenle sistemin çıkışında bu değerler filtrelenmiş olacaktır.



Şekil 6.4. RC devresinin AGF grafiği

DENEY 6 UYGULAMASI-1



Şekil 6.5. Seri RC devresi

1. Şekildeki seri RC devresini kurun. ($V_{in_pp}=4$ V, $C = 1$ μ F, $R=75\Omega$)
2. Devrenin kesim frekansını (f_c) hesaplayın ve tabloda yerine yazın (**Ölçülen R değerine göre hesap yapın)
3. Tablodaki giriş frekans değerleri için çıkış gerilimini (V_o) ölçün.
4. Ölçtüğünüz değerleri aşağıdaki formülle desibele çevirin.

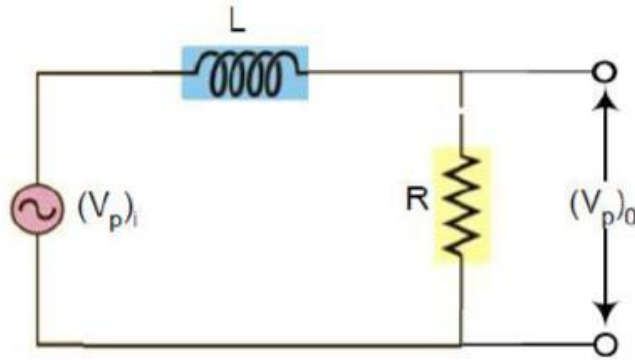
$$dB = 20 \log \left[\frac{V_o}{V_i} \right]$$

5. Aşağıdaki tabloyu doldurun.
6. Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak y eksenini $20 \cdot \log_{10} H(w)$ değerleri, x eksenini frekans olacak şekilde AGF grafiğini çizin.
7. Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.

Frekans (Hz)	$V_{in_pp}(V)$	$V_{out_pp}(V)$	$H(w) [V_{out}/V_{in}]$	$dB=\log_{10}H(w)$	$20 \cdot \log_{10}H(w)$
100	4				
400	4				
800	4				
1400	4				
1800	4				
$f_c=$	4				
2600	4				
3000	4				
3400	4				
4000	4				
5000	4				
7500	4				
10000	4				
15000	4				
30000	4				
60000	4				
90000	4				
150000	4				
200000	4				

Not: Çizimler Excel’de logaritmik eksene göre yapılacaktır.

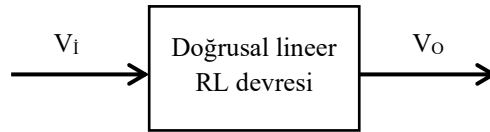
RL devrenin alçak geçiren filtre olarak çalışması:



Şekil 6.6.Seri RL AGF devresi

$(V_p)_i$ ve $(V_p)_o$ sırasıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin tepe değerleridir. $20 \log \left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri,

"desibel (dB)" olarak filtrenin kazancını verir. Buradaki $\left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri sistemin transfer fonksiyonudur ($H(w)$).



$$\bar{H}(w) = \left[\frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} \right]$$

Seri RL devresini çözümleyecek olursak;

$$(V_o)_p = I_p R$$

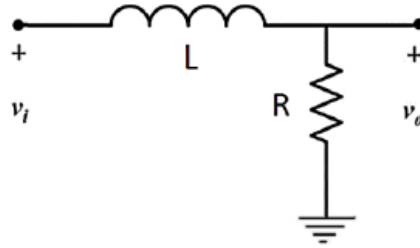
$$(V_i)_p = I_p (R + jX_L)$$

$$H(w) = \frac{(V_o)_p}{(V_i)_p} = \frac{R}{j\omega L + R} = \frac{1}{1 + \frac{j\omega L}{R}}$$

$$\bar{H}(w) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{j\omega L}{R}\right)^2}}$$

$$\angle \bar{H}(w) = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

- Bobin (L)' nin empedansı (X_L), frekansla doğru orantılı olarak değişmektedir ($X_L = 2\pi fL$). Eğer $f=0$ Hz olursa, yani devreye DC uygulanırsa; bu durumda giriş sinyalinin (V_i) frekansı düşük seviyelerde iken bobinin X_L değeri de düşüktür. Dolayısıyla L iletimde olacağı için, girişten uygulanan düşük frekanslı işaretler bobin üzerinden çıkışa (V_o) aktarılacaktır. Yani belirli bir frekans seviyesinden daha düşük frekansa sahip işaretler, çıkışa aktarılacaktır.



$$X_L = 2\pi fL = 0 \text{ (Kısa devre)}$$

$$f = 0 \rightarrow \omega = 2\pi f = 0$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(0)^2}} = 1 \quad \angle H(\omega) = -\tan^{-1}(0) = 0^\circ$$

$$\text{Kazanç} = 1$$

Sisteme uygulanan frekans değeri ne kadar küçükse transfer fonksiyonunun değeri de o kadar büyük olacaktır (maksimum 1). Bu sayede düşük frekans değerleri sistemden filtrelenmeden çıkacaktır.

- Eğer $\omega = \omega_c = \frac{R}{L}$ kabul edilirse;

$$\omega = 2\pi f = \frac{R}{L}$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\frac{R}{L}L}{R}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$$

$$\angle H(\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{\frac{R}{L}L}{R}\right) = -\tan^{-1}(1) = -45^\circ$$

$$\text{Kazanç} = 0,707$$

Bu özel bir frekans değeridir. Kesim frekansı (f_c) olarak adlandırılır.

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{R}{L} \rightarrow f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

*** $X_L=R$ olduğu durumdur. Bu durumda; $2\pi f_c L = R \rightarrow f_c = \frac{R}{2\pi L}$ olur.

- Yüksek frekanslı giriş işaretleri için ise X_L değeri de büyük olacağı için, belirli bir frekans seviyesinden itibaren elektriksel sinyali iletemeyecek duruma geçecektir. Dolayısıyla çıkışta herhangi bir işaret elde edilemeyeceği için bu devrelerde yine yüksek frekanslı sinyaller filtrelenmiş olacaktır.

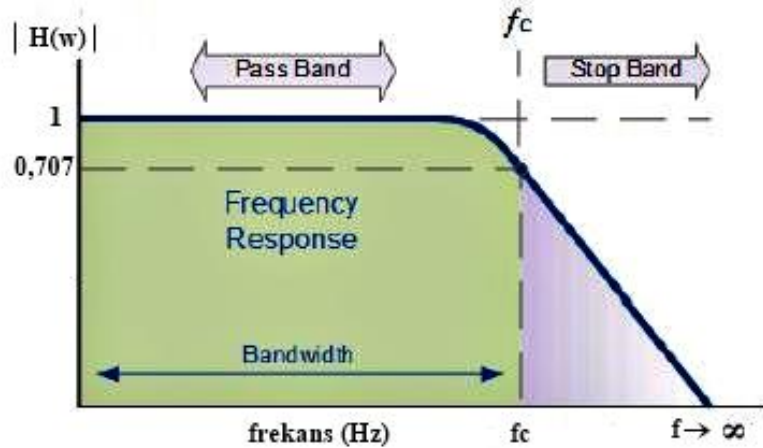
$$X_L = 2\pi fL = \infty \text{ (Açık devre)}$$

$$f = \infty \rightarrow \omega = 2\pi f = \infty$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\infty)^2}} \approx 0 \quad \angle H(\omega) = -\tan^{-1}(\infty) = -90^\circ$$

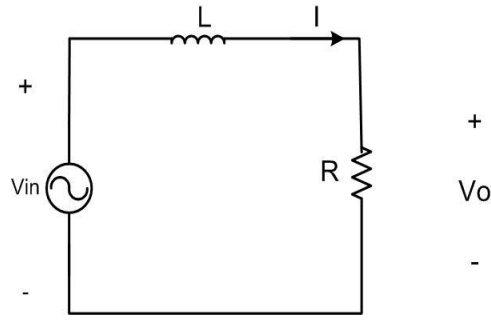
$$Kazanç = 0$$

Frekans değerleri yükseldikçe transfer fonksiyonunun değeri 0'a yakınsayacaktır. Bu nedenle sistemin çıkışında bu değerler filtrelenmiş olacaktır.



Şekil 6.7. RL devresinin AGF grafiği

DENEY 6 UYGULAMASI-2



Şekil 6.8 Seri RL devresi

Şekil 6.8'deki seri RL devresini kurun. ($V_{in_pp}=4$ V, $L = 0.5$ H, $R=100\ \Omega$)

$f= 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$ Hz giriş frekans değerleri için çıkış gerilimini (V_o) ölçün.

Ölçtüğünüz değerleri aşağıdaki formülle desibele çevirin.

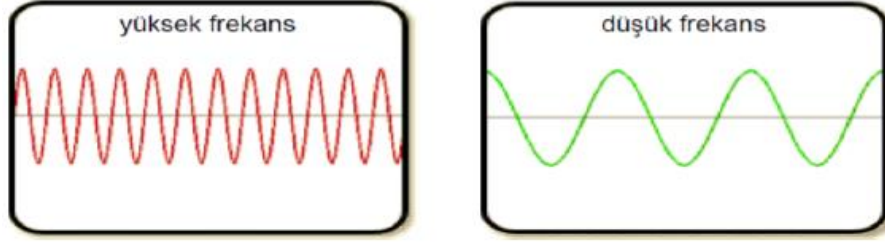
$$dB = 20 \log \left[\frac{(V_P)_O}{(V_P)_I} \right]$$

Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak dB değerlerini frekansa göre çiziniz.

Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.

DENEY 7- DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) VE DİRENÇ-BOBİN (RL) YÜKSEK GEÇİREN FİLTRE DEVRELERİ

Elektronik filtreler, farklı frekanslara sahip elektriksel sinyallerin iletilmesini veya durdurulmasını sağlayan elektronik devrelerdir. Seri RC ve RL devreleri, çoğu zaman, pasif filtre olarak kullanılırlar. Yüksek-frekanslı bileşenleri geçirirken düşük-frekanslı bileşenleri azaltarak bir yüksek geçiren filtre (YGF), düşük-frekanslı bileşenleri geçirirken yüksek-frekanslı sinyalleri zayıflatarak bir alçak geçiren filtre (AGF) görevi yaparlar.

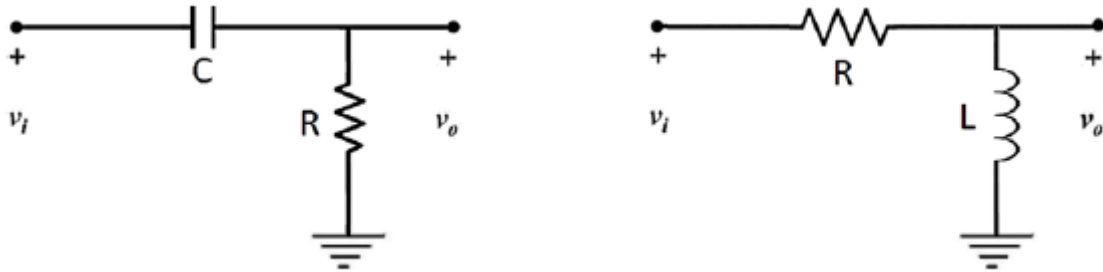


Şekil 7.1. Yüksek ve düşük frekanslı işaretler

Bu deneyde yüksek geçiren pasif elektronik filtrelerin çalışma mekanizmaları incelenerek uygulamaları gerçekleştirilecektir.

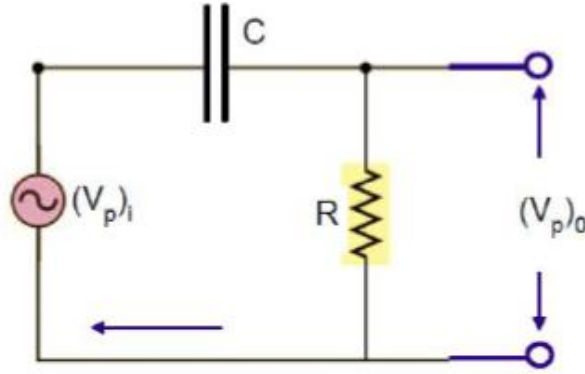
2. Pasif Yüksek Geçiren Filtreler (YGF):

Bir elektronik devrede belirli bir frekanstan daha yüksek seviyede frekansa sahip elektriksel sinyallerin devrenin çıkışına aktarılmasının istendiği durumlarda kullanılan filtre çeşididir. Bu filtreler, kesim frekansı (f_c) olarak belirlenen seviyenin altında frekansa sahip işaretleri filtreler ve çıkışa iletmez. Bir pasif yüksek geçiren filtre de yine RC (Direnç-Kondansatör) veya RL (Direnç-Bobin) devre elemanları kullanılarak oluşturulabilir. Pasif alçak geçiren filtreden farkı; Şekil-7.2’de görüldüğü gibi devre elemanlarının yerlerinin değiştirilmiş olmasıdır.



Şekil 7.2. RC ve RL Pasif Yüksek Geçiren Filtre

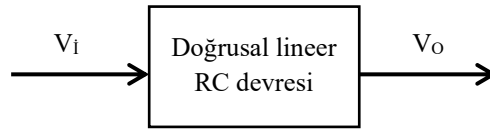
RC devrenin yüksek geçiren filtre olarak çalışması:



Şekil 7.3.Seri RC filtre devresi

Şekil 7.3'te, yüksek-frekans filtresi olarak çalışması için seri bir RC devresinin nasıl bağlanması gerektiği gösterilmiştir. $(V_P)_I$ ve $(V_P)_O$ sırasıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin tepe değerleridir.

$20 \log \left[\frac{(V_P)_O}{(V_P)_I} \right]$ değeri, "desibel (dB)" olarak filtrenin kazancını verir. Buradaki $\left[\frac{(V_P)_O}{(V_P)_I} \right]$ değeri sistemin transfer fonksiyonudur ($H(w)$).



$$\bar{H}(w) = \left[\frac{\bar{V}_O}{\bar{V}_I} \right]$$

Seri RC devresini çözümleyecek olursak;

$$(V_O)_P = I_P R$$

$$(V_I)_P = I_P (R + jX_C)$$

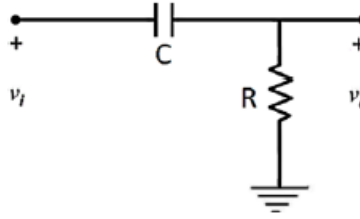
$$H(w) = \frac{(V_O)_P}{(V_I)_P} = \frac{R}{\frac{1}{jwC} + R} = \frac{1}{1 + \frac{1}{jwRC}} = \frac{1}{1 - j \frac{1}{wRC}}$$

$$\bar{H}(w) = \frac{(\bar{V}_O)_P}{(\bar{V}_I)_P} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{wRC} \right)^2}}$$

$$V_{O_rms} = V_{i_rms} \sqrt{1 + \left(\frac{1}{wRC}\right)^2} \quad \angle \bar{H}(w) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{wRC}\right)$$

$$Av(dB) = 20 \log \left[\frac{(V_o)_P}{(V_i)_P} \right]$$

- Düşük frekanslı giriş işaretleri için X_C değeri büyük olacağı için ($X_C = 1/2\pi fC$), belirli bir frekans seviyesinin altında iken kondansatör açık devre özelliği gösterecektir ve elektriksel sinyal çıkışa iletemeyecektir. Dolayısıyla çıkıştan herhangi bir işaret elde edilemeyeceği için bu devrelerde düşük frekanslı sinyaller filtrelenmiş olacaktır.



$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{0} = \infty \text{ (Açık devre)}$$

$$f = 0 \rightarrow w = 2\pi f = 0$$

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{wRC}\right)^2}} \quad \angle H(w) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{wRC}\right)$$

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\infty)^2}} \approx 0 \quad \angle H(w) = \tan^{-1}(\infty) = 90^\circ$$

$$Kazanç = 0$$

Sisteme uygulanan frekans değeri ne kadar küçükse transfer fonksiyonunun değeri de o kadar küçük olacaktır. Dolayısıyla frekans değerleri düştükçe transfer fonksiyonunun değeri 0'a yakınsayacaktır. Bu nedenle sistemin çıkışında bu değerler filtrelenmiş olacaktır.

- Eğer $w = w_c = \frac{1}{RC}$ kabul edilirse;

$$w = 2\pi f = \frac{1}{RC}$$

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{wRC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\frac{1}{RC} \cdot RC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}; 0,707 \quad \angle H(w) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\frac{1}{RC} \cdot RC}\right) = \tan^{-1}(1) = 45^\circ$$

$$Kazanç = 0,707$$

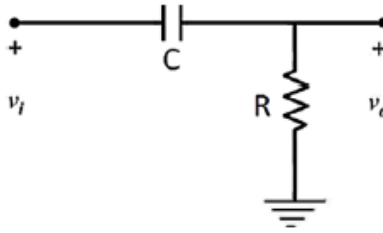
$$Av(dB) = 20 \log \left[\frac{(V_o)_p}{(V_i)_p} \right] = 20 \log [|H(w)|] = 20 \log [0,707] = -3 \text{ dB}$$

Bu durum, özel bir frekans değerinde gerçekleşir. Kesim frekansı (f_c) olarak adlandırılır.

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{RC} \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

*** $X_c=R$ olduğu durumdur. Bu durumda; $\frac{1}{2\pi f_c C} = R \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ olur.

- Giriş sinyalinin frekansı yüksek seviyelerde iken ise kondansatörün X_c değeri düşük olacaktır. Dolayısıyla C iletimde olacağı için, girişten uygulanan yüksek frekanslı işaretler kondansatör üzerinden çıkışa aktarılacaktır. Yani belirli bir frekans seviyesinden daha yüksek frekansa sahip işaretler iletilecektir.



$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\infty} = 0 \text{ (Kısa devre)}$$

$$f = \infty \rightarrow \omega = 2\pi f = \infty$$

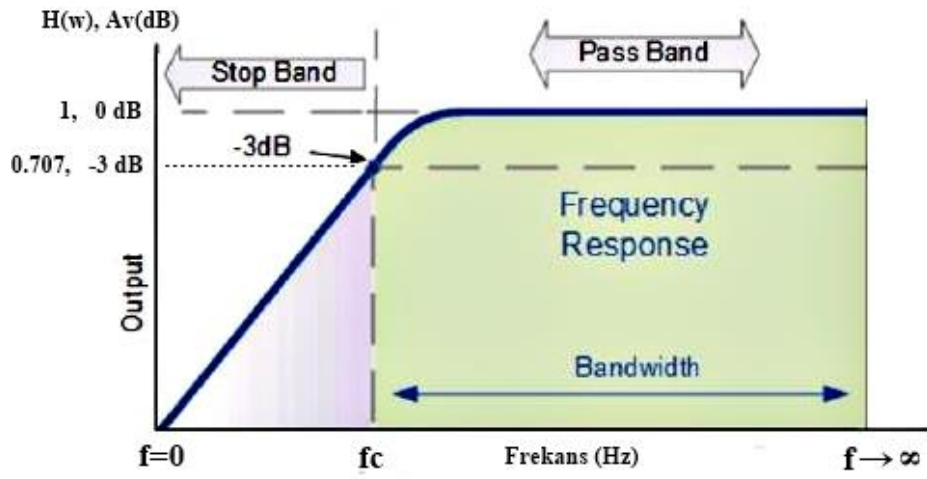
$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \quad \angle H(w) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega RC}\right)$$

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (0)^2}} = 1 \quad \angle H(w) = \tan^{-1}(0) = 0^\circ$$

$$Kazanç = 1$$

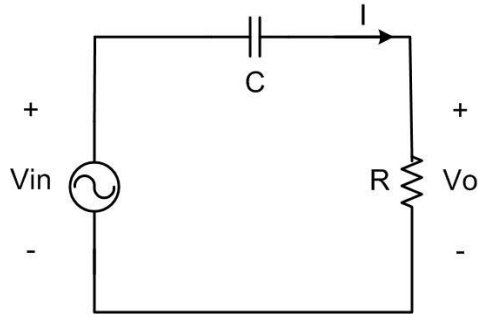
$$Av(dB) = 20 \log [|H(w)|] = 20 \log [1] = 0 \text{ dB}$$

Sisteme uygulanan frekans değeri ne kadar büyükse transfer fonksiyonunun değeri de o kadar büyük olacaktır (maksimum 1). Bu sayede yüksek frekans değerleri sistemden filtrelenmeden çıkacaktır.



Şekil 7.4. RC devresinin YGF grafiği

DENEY 7 UYGULAMASI-1



Şekil 7.5. Seri RC devresi

- 1) Şekil 2'deki seri RC devresini kurun. ($V_{in_pp}=4$ V, $C = 0.22$ μ F, $R=82$ Ω)
- 2) Devrenin kesim frekansını (f_c) hesaplayın ve tabloda yerine yazın.
- 3) Ölçtüğünüz değerleri aşağıdaki formülle desibele çevirin.

$$dB = 20 \log \left[\frac{(V_P)_O}{(V_P)_I} \right]$$

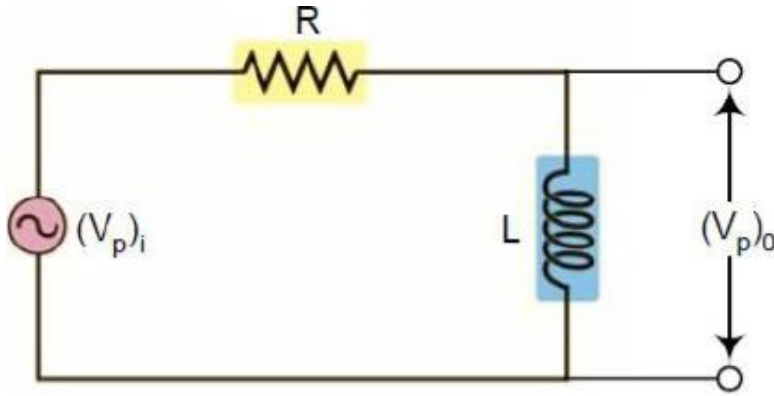
- 4) Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak dB değerlerini frekansa göre çiziniz.
- 5) Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.
- 6) Aşağıdaki tabloyu doldurun.

Frekans (Hz)	$V_{in_pp}(V)$	$V_{out_pp}(V)$	$H(w)$ [V_{out}/V_{in}]	$dB=\log_{10}H(w)$	$20 * \log_{10}H(w)$
1500	4				
3000	4				
4500	4				
6000	4				
7500	4				
fc=	4				
10500	4				
12000	4				
13500	4				
15000	4				
16500	4				

- 7) Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak y eksenini $20 * \log_{10}H(w)$ değerleri, x eksenini frekans olacak şekilde YGF grafiğini çiziniz.
- 8) Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.

Not: Çizimler Excel'de logaritmik eksene göre yapılacaktır.

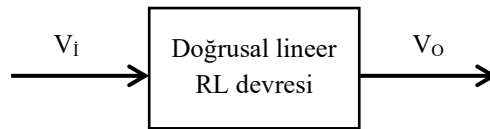
RL devrenin yüksek geçiren filtre olarak çalışması:



Şekil 7.6.Seri RL filtre devresi

Şekil 6'da, yüksek-frekans filtresi olarak çalışması için seri bir RL devresinin nasıl bağlanması gerektiği gösterilmiştir. $(V_p)_i$ ve $(V_p)_o$ sırasıyla giriş ve çıkış gerilimlerinin tepe değerleridir.

$20 \log \left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri, "desibel (dB)" olarak filtrenin kazancını verir. Buradaki $\left[\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} \right]$ değeri sistemin transfer fonksiyonudur ($H(w)$).



$$\bar{H}(w) = \left[\frac{\bar{V}_o}{\bar{V}_i} \right]$$

Seri RL devresini çözümleyecek olursak;

$$(V_o)_p = I_p X_L$$

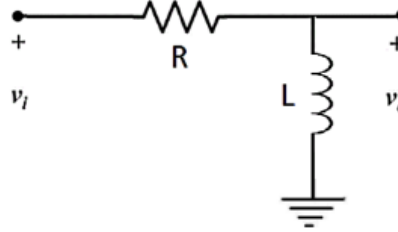
$$(V_i)_p = I_p (R + jX_L)$$

$$H(w) = \frac{(V_o)_p}{(V_i)_p} = \frac{jX_L}{jX_L + R} = \frac{jwL}{jwL + R} = \frac{1}{1 + \frac{R}{jwL}} = \frac{1}{1 - j\frac{R}{wL}}$$

$$\bar{H}(w) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{wL}\right)^2}}$$

$$\angle \bar{H}(w) = \tan^{-1}\left(\frac{R}{wL}\right)$$

- Giriş sinyalinin frekansı düşük seviyelerde iken bobinin X_L değeri düşüktür ($X_L = 2\pi fL$). Dolayısıyla girişten uygulanan düşük frekanslı işaretler L üzerinden geçerek çıkış katmanına değil, toprağa aktarılacaktır. Yani düşük frekanslı sinyaller filtrelenmiş olacaktır.



$f=0$ Hz olursa, yani devreye DC uygulanırsa;

$$X_L = 2\pi fL = 0 \text{ (Kısa devre)}$$

$$f = 0 \rightarrow \omega = 2\pi f = 0$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\infty)^2}} = 0 \quad \angle H(\omega) = \tan^{-1}(\infty) = 90^\circ$$

$$\text{Kazanç} = 0$$

Sisteme uygulanan frekans değeri ne kadar küçükse transfer fonksiyonunun değeri de o kadar küçük olacaktır. Dolayısıyla frekans değerleri düştükçe transfer fonksiyonunun değeri 0'a yakınsayacaktır. Bu nedenle sistemin çıkışında bu değerler filtrelenmiş olacaktır.

- Eğer $\omega = \omega_c = \frac{R}{L}$ kabul edilirse;

$$\omega = 2\pi f = \frac{R}{L}$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\frac{R}{L}L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$$

$$\angle H(\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{R}{\frac{R}{L}L}\right) = \tan^{-1}(1) = 45^\circ$$

$$\text{Kazanç} = 0,707$$

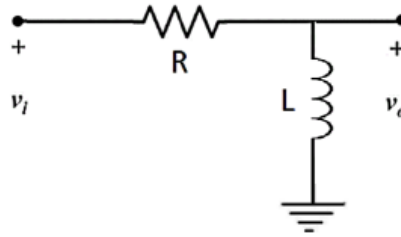
$$Av(dB) = 20 \log |H(\omega)| = 20 \log(0,707) = -3 \text{ dB}$$

Özel bir frekans değeridir. Kesim frekansı (f_c) olarak adlandırılır.

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{R}{L} \rightarrow f_c = \frac{R}{2\pi L}$$

*** $X_L = R$ olduğu durumdur. Bu durumda; $2\pi f_c L = R \rightarrow f_c = \frac{R}{2\pi L}$ olur.

- Yüksek frekanslı giriş işaretleri için ise X_L değeri de artacağı için, sinyal bobin üzerinden toprağa değil, çıkışa aktarılacaktır. Dolayısıyla belirli bir frekans seviyesinden daha yüksek frekansa sahip işaretler iletilecektir.



$$X_L = 2\pi fL = \infty \text{ (Açık devre)}$$

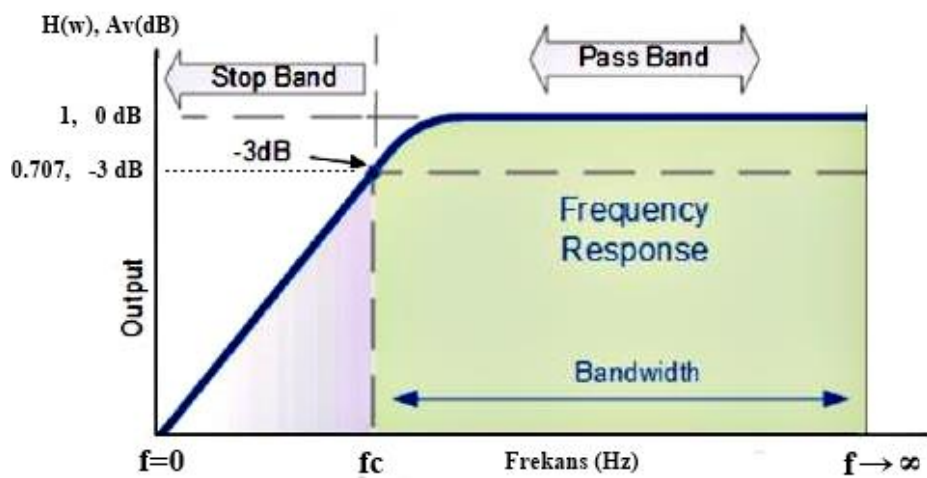
$$f = \infty \rightarrow \omega = 2\pi f = \infty$$

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (0)^2}} = 1 \quad \angle H(\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{R}{\omega L}\right) = \tan^{-1}(0) = 0^\circ$$

$$Kazanç = 1$$

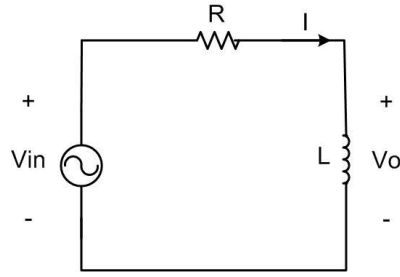
$$Av(dB) = 20 \log |H(\omega)| = 20 \log(1) = 0 \text{ dB}$$

Frekans değerleri yükseldikçe transfer fonksiyonunun değeri 0'a yakınsayacaktır. Bu nedenle sistemin çıkışında bu değerler filtrelenmiş olacaktır.



Şekil 7.7. RL devresinin YGF grafiği

DENEY 7 UYGULAMASI-2



Şekil 7.8. Seri RL devresi

1. Şekil 1'deki seri RL devresini kurun. ($V_{in_pp}=4\text{ V}$, $L = 1\text{ mH}$, $R=220\ \Omega$)
2. Devrenin kesim frekansını (f_c) hesaplayın ve tabloda yerine yazın.
3. Ölçtüğünüz değerleri aşağıdaki formülle desibele çevirin.

$$dB = 20 \log \left[\frac{(V_P)_O}{(V_P)_I} \right]$$

4. Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak dB değerlerini frekansa göre çizin.
5. Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.
6. Aşağıdaki tabloyu doldurun.

Frekans (Hz)	$V_{in_pp}(V)$	$V_{out_pp}(V)$	$H(w)$ [V_{out}/V_{in}]	$dB=\log_{10}H(w)$	$20* \log_{10}H(w)$
1000	4				
5000	4				
10000	4				
15000	4				
25000	4				
30000	4				
fc=	4				
40000	4				
45000	4				
50000	4				
55000	4				
60000	4				
100000	4				
150000	4				
200000	4				
250000	4				

CH1: Volt/div=2V, CH2: Volt/div=1V

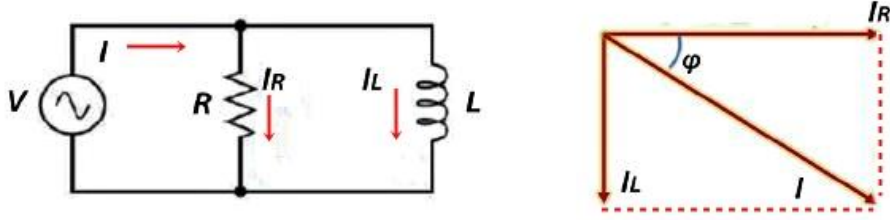
7. Yarı logaritmik grafik kâğıdı kullanarak y eksenini $20* \log_{10}H(w)$ değerleri, x eksenini frekans olacak şekilde YGF grafiğini çizin.
8. Çizimden yararlanarak kesim frekansını bulunuz.

Not: Çizimler Excel'de logaritmik eksene göre yapılacaktır.

DENEY 8 – PARALEL DİRENÇ-BOBİN (RL) DEVRELERİ

Şekil 8.1 (a)'daki devrede R-L elemanı birbirleri ile paralel bağlanarak bu eleman uçlarına alternatif bir kaynak bağlanmıştır. Bobin saf olarak düşünülmüştür. Bu devrede devre gerilimi, her iki elemana da uygulanmaktadır. Devre akımı ise Kırşofun akımlar kanunundan direnç ve bobinden geçen akımların vektörel toplamına eşittir. Bu vektörel değerler bir vektör diyagramı ile gösterilir. Vektörlerin çizimine ortak değer olan gerilimle başlanır. Dirençten geçen akım (I_R), gerilimle aynı fazda ve bobinden geçen akım (I_L) gerilimden 90° geri fazlıdır.

Şekil 8.1 (b)'de görüldüğü gibi I_R ile I_L vektörel olarak toplanırsa, devre akımı (I) bulunur. Paralel R-L devresinde direnç ve bobin elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 8.1 (b)'deki vektör diyagram incelenecek olursa;



Şekil 8.1 (a) Paralel RL devresi (b) Akım fazörü

- Endüktif devrede akım gerilimden geri fazda olduğu için V kaynak gerilimi I devre akımı;

$$V = V_M \sin \omega t \text{ Volt}$$

$$I = I_M \sin(\omega t - \varphi) \text{ Amper}$$

- Direnç ve bobin elemanları üzerinde aynı genlikte ve aynı fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.

$$V = V_R = V_L = V_M \sin \omega t \text{ Volt}$$

- Direnç akımı (I_R), toplam devre akımından (I) φ açısı kadar ileride olup kaynak gerilimi (V) ile aynı fazdadır.

$$I_R = I_M \sin(\omega t) \text{ Amper}$$

- Bobin akımı (I_L), direnç akımından (I_R) 90° geri fazda, toplam devre akımından (I) $(90^\circ - \varphi)$ açısı kadar geri fazdadır.

$$I_L = I_M \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ Amper}$$

- Toplam devre akımı (I), direnç akımı (I_R) ve bobin akımının (I_L) fazör olarak toplamına eşittir.

$$\vec{I} = \vec{I}_L + \vec{I}_R$$

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

- Devre elemanları kaynaktan çekilen akımın denklemi ise;

$$I = \frac{V}{Z} \quad I_L = \frac{V}{X_L} \quad I_R = \frac{V}{R}$$

- Burada hipotenüs bağıntısında kol akımları yerine yazılmak suretiyle devrenin formülü çıkarılabilir.

$$I^2 = I_L^2 + I_R^2$$

$$\frac{V^2}{Z^2} = \frac{V^2}{X_L^2} + \frac{V^2}{R^2}$$

- Her iki taraf V^2 'ye bölünürse devrenin toplam empedansı bulunur.

$$V^2 \left(\frac{1}{Z^2} \right) = V^2 \left(\frac{1}{X_L^2} + \frac{1}{R^2} \right)$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_L^2} + \frac{1}{R^2}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{X_L^2} + \frac{1}{R^2}}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{X_L^2} + \frac{1}{R^2}}}$$

- Devrenin akımı ile gerilimi arasındaki faz açısını ve güç katsayısını şekil 8.1 (b)'deki vektör diyagramındaki dik üçgenden hesaplanabilir.

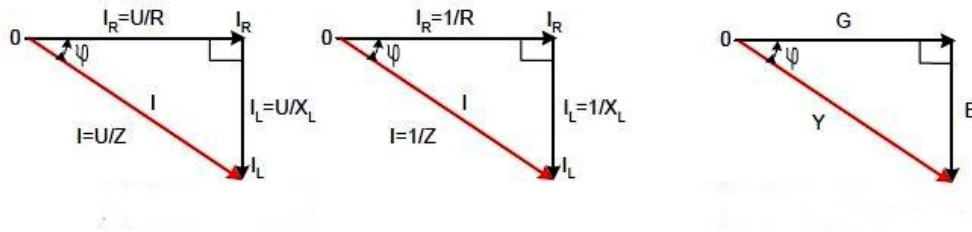
$$\tan \varphi = \frac{I_L}{I_R} \quad \text{veya} \quad \tan \varphi = \frac{R}{X_L} \quad \cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{V/R}{V/Z}$$

- Paralel R-L devresin de akım gerilimden geri kaldığı için devre geri güç katsayılıdır.
- Paralel devrede yeni bazı tanımlamalar yaparak şekil 8.1 (b)'deki vektör diyagramını tekrar çizelim. Biliniyor ki, R, X_L ve Z akımın akmasına zorluk gösteren durumlardır. Bunların tersi durum yani $1/R$, $1/X_L$ ve $1/Z$ ise akımın akmasına kolaylık gösteren durumlardır.
- $1/R$: R direncinin iletkenliği denir. “G” harfi ile gösterilir. Birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.

- $1/X_L$: X_L endüktif reaktansın tersine elektrik akımına gösterdiği kolaylığa “Süseptans” denir. “B” harfi ile ifade edilir. Endüktif süseptans “ B_L ”, kapasitif süseptans da “ B_C ” harfleri ile gösterilir. Birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.
- $1/Z$: Elektrik akımına göstermiş olduğu kolaylığa “Admitans” denir. Y harfi ile ifade edilerek birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.

$$G = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad B_L = \frac{1}{X_L} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad Y = \frac{1}{Z} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right)$$

Bu bilgilerden sonra iletkenlik süseptans ve admitans olarak vektör diyagramı şekil 8.2’deki gibi olur.



Şekil 8.2 (a) Akım fazörü (b) Admitans üçgeni

- Şekil 8.2 deki iletkenlik, süseptans ve admitans değerleri yerlerine konulursa devrenin admitans formülü ortaya çıkar.

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B_L^2}$$

$$Y = G + jB_L$$

- Devrenin akımı, gerilimi admitans değeri ile bulunması gerektiği durumda aşağıdaki formüllerden bulunabilir.

$$V = \frac{I}{Y} \quad Y = \frac{I}{V}$$

- Bobinlerin kendi aralarında seri ve paralel bağlanmaları durumunda aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

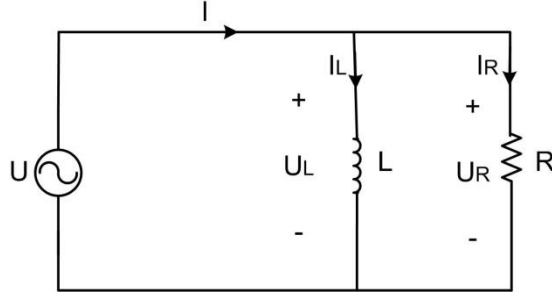
$$\text{Seri bağlama: } \begin{array}{c} X_{L1} \quad X_{L2} \quad X_{L3} \\ \text{---} \end{array} \quad X_{L_{toplam}} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

$$\text{Paralel bağlama: } \begin{array}{c} X_{L1} \\ X_{L2} \\ X_{L3} \\ \text{---} \end{array} \quad \frac{1}{X_{L_{toplam}}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

$$B_{L_{toplam}} = B_{L1} + B_{L2} + B_{L3}$$

Şekil 8.3 Seri ve paralel bağlı bobin

ÖRNEK UYGULAMA



Şekil 8.4 Paralel RL devresi

Şekil 8.4'teki devreyi kurunuz ($U=5\sin\omega t$ V, $f=50$ Hz, $R=40\Omega$, $L=100$ mH).

R direncinin iletkenliğini (G), L bobininin reaktansını (X_L) ve endüktif süseptansını (B_L),

Devrenin toplam empedansını (Z) ve admitansını (Y),

U , U_R , U_L gerilim fazörünü, zaman alanı ifadesini ($U(t)$),

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$),

L bobini üzerinden akan akım fazörünü (I_L), akımın zaman alanı ifadesini ($I_L(t)$), hesaplayınız.

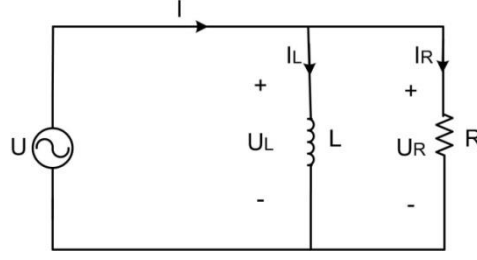
Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini ($I(t)$), hesaplayınız.

Devrenin fazör diyagramını çiziniz.

Aynı işlemi $f = 100$ kHz için tekrarlayınız. Frekansın değişmesi devreye nasıl etki eder?

Devreye paralel $L_2=150$ mH bobini bağlanırsa $X_{L\text{toplam}}$ ve $B_{L\text{toplam}}$ ne olur? Bobin değerinin değişmesi devreye nasıl etki eder?

HESAPLAMALAR



Şekil 8.5 Paralel RL devresi

$R = 40 \, \Omega$, $L = 100 \, \text{mH}$, $f = 50 \, \text{Hz}$, $U(t) = 5 \sin \omega t \, \text{V}$;

Açısal hız; $\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314,159 \, \text{rad/s}$

Endüktif reaktans, süseptans ve iletkenlik değerleri;

$$X_L = \omega L = 314,159 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 31,416 \, \Omega$$

$$B_L = \frac{1}{X_L} = \frac{1}{31,416 \, \Omega} = 31,83 \text{ms}$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{40 \, \Omega} = 0,025 \, \text{s}$$

Empedans ve admitans;

$$Y = G + jB_L$$

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B_L^2} = \sqrt{0,025^2 + 0,0318^2} = 0,0404 \, \text{s}$$

$$|Z| = \frac{1}{|Y|} = \frac{1}{0,0404} = 24,706 \, \Omega \quad \text{veya} \quad |Z| = \sqrt{15,26^2 + 19,43^2} = 24,706 \, \Omega$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{I_L}{I_R} \quad \text{veya} \quad \vartheta = \tan^{-1} \frac{R}{X_L}$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{R}{X_L} = \tan^{-1} \frac{40}{31,416} = 51,85^\circ$$

U , U_R , U_L gerilim fazörü, zaman alanı ifadesi ($U(t)$),

$$\vec{U} = \vec{U}_L = \vec{U}_R = 5 \angle 0^\circ \, \text{V}$$

$$U(t) = U_L(t) = U_R(t) = 5 \sin \omega t \, \text{V}$$

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$),

$$\vec{I}_R = \frac{\vec{V}}{R} = \frac{5 \angle 0^\circ}{40} = 0,125 \angle 0^\circ \, \text{A}$$

$$I_{R_MAX} = 0,125 \, \text{A}$$

$$I_{R_EFF} = \frac{0,125}{\sqrt{2}} = 0,0884 \, \text{A}$$

$$I_R(t) = 0,125 \sin(\omega t) \, \text{A}$$

L bobini üzerinden akan akım fazörünü (I_L), akımın zaman alanı ifadesini ($I_L(t)$), hesaplayınız.

$$\vec{I}_L = \frac{\vec{V}}{\vec{X}_L} = \frac{5^{\angle 0^\circ}}{31,416^{\angle 90^\circ}} = 0,159^{\angle -90^\circ} A \quad \text{veya} \quad \vec{I}_L = \vec{V} \vec{B}_L = 5^{\angle 0^\circ} 31,83 \cdot 10^{-3}^{\angle -90^\circ} = 0,159^{\angle -90^\circ} A$$

$$I_{L_MAX} = 0,159 A$$

$$I_{L_EFF} = \frac{0,159}{\sqrt{2}} = 0,112 A$$

$$I_L(t) = 0,159 \sin(\omega t - 90^\circ) A$$

Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini ($I(t)$), hesaplayınız.

$$\vec{I} = \vec{Y} \vec{V} = \frac{\vec{V}}{\vec{Z}} = 5^{\angle 0^\circ} 0,0404^{\angle 51,85^\circ} = \frac{5^{\angle 0^\circ}}{24,706^{\angle 51,85^\circ}} = 0,202^{\angle -51,85^\circ} A$$

$$I = 0,202 [\cos(-51,85^\circ) + j \sin(-51,85^\circ)] A$$

$$I = 0,125 - j0,159 A$$

$$I_{MAX} = 0,202 A$$

$$I_{EFF} = \frac{0,202}{\sqrt{2}} = 0,143 A$$

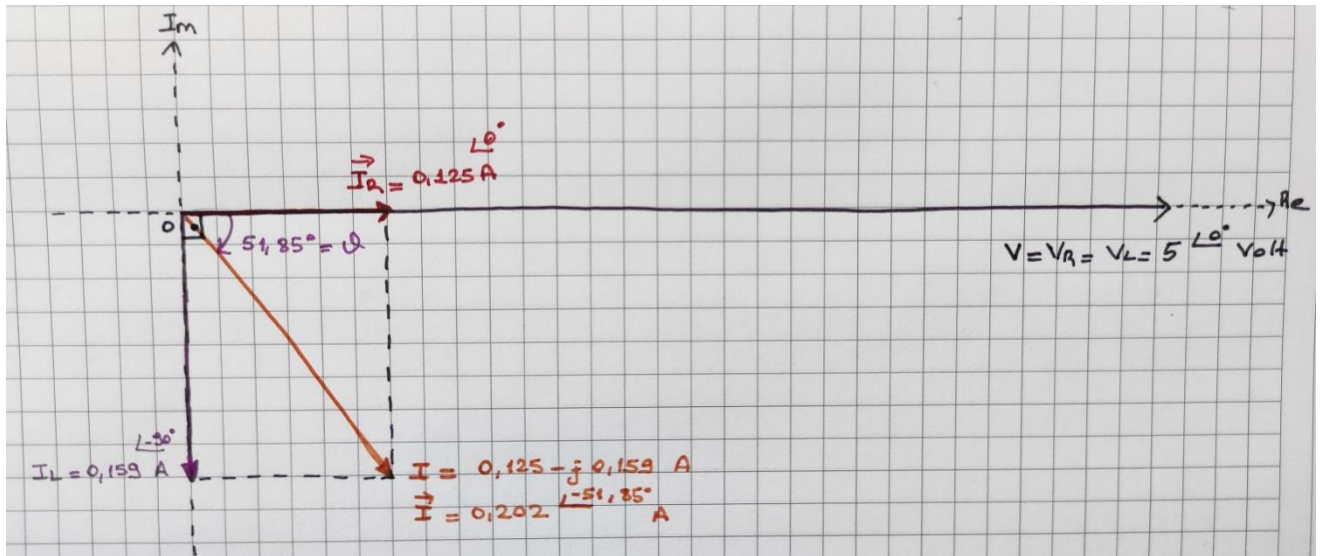
$$I(t) = 0,202 \sin(\omega t - 51,85^\circ) A$$

veya

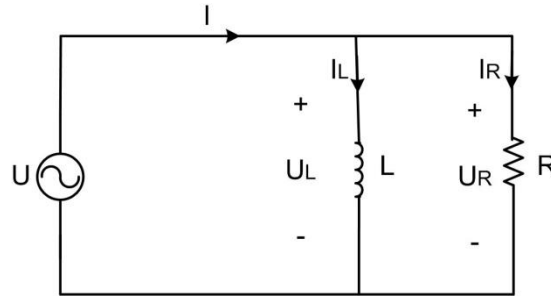
$$I = I_R - jI_L$$

$$I = 0,125 - j0,159 A$$

Fazör diyagramı;



DENEY 8 UYGULAMASI



Şekil 8.6 Paralel RL devresi

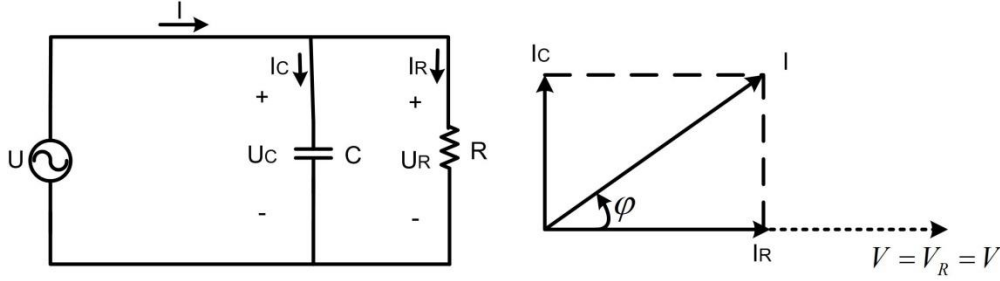
Şekil 8.6'daki devreyi kurunuz ($U_{pp}=5 \sin \omega t$ V, $f=10$ kHz, $R=40\Omega$, $L=1$ mH).

- Devre kurulumu yapılırken L bobinine seri 10Ω 'luk küçük bir direnç bağlayınız.
- 40Ω 'luk R direncini 20Ω 'luk 2 adet seri direnç ile sağlayınız.
- R direncinin iletkenliğini (G), L bobininin reaktansını (X_L) ve endüktif süseptansını (B_L),
- Devrenin toplam empedansını (Z) ve admitansını (Y),
- U , U_R , U_L gerilim fazörünü, zaman alanı ifadesini ($U(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
- R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
- L bobini üzerinden akan akım fazörünü (I_L), akımın zaman alanı ifadesini ($I_L(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
- Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini ($I(t)$) hesaplayınız.
- Devrenin fazör diyagramını çizin.
- Aynı işlemi $f = 100$ kHz için tekrarlayınız. Frekansın değişmesi devreye nasıl etki eder?
- Devreye paralel $L_2=150$ mH bobini bağlanırsa $X_{Ltoplam}$ ve $B_{Ltoplam}$ ne olur? Bobin değerinin değişmesi devreye nasıl etki eder?

DENEY 9 – PARALEL DİRENÇ-KONDANSATÖR (RC) DEVRELERİ

Şekil 9.1 (a)'daki devrede R-C elemanı birbirleri ile paralel bağlanarak bu eleman uçlarına alternatif bir kaynak bağlanmıştır. Bu devrede devre gerilimi, her iki elemana da uygulanmaktadır. Devre akımı ise Kirşofun akımlar kanunundan direnç ve kondansatörden geçen akımların vektörel toplamına eşittir. Bu vektörel değerler bir vektör diyagramı ile gösterilir. Vektörlerin çizimine ortak değer olan gerilimle başlanır. Dirençten geçen akım (I_R), gerilimle aynı fazda ve kondansatörden geçen akım (I_C) gerilimden (U) 90° ileri fazlıdır.

Şekil 9.1 (b)'de görüldüğü gibi I_R ile I_C vektörel olarak toplanırsa, devre akımı (I) bulunur. Paralel R-C devresinde direnç ve kondansatör elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 9.1 (b)'deki vektör diyagram incelenen olursa;



Şekil 9.1 (a) Paralel RC devresi (b) Akım fazörü

- Kapasitif devrede akım gerilimden ileri fazda olduğu için V kaynak gerilimi I devre akımı;

$$V = V_M \sin \omega t \text{ Volt}$$

$$I = I_M \sin(\omega t + \varphi) \text{ Amper}$$

- Direnç ve kondansatör elemanları üzerinde aynı genlikte ve aynı fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.

$$V = V_R = V_L = V_M \sin \omega t \text{ Volt}$$

- Direnç akımı (I_R), toplam devre akımından (I) φ açısı kadar geride olup kaynak gerilimi (V) ile aynı fazdadır.

$$I_R = I_M \sin(\omega t) \text{ Amper}$$

- Kondansatör akımı (I_C), direnç akımından (I_R) 90° ileri fazda, toplam devre akımından (I) ($90^\circ - \varphi$) açısı kadar ileri fazdadır.

$$I_C = I_M \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ Amper}$$

- Toplam devre akımı (I), direnç akımı (I_R) ve kondansatör akımının (I_C) fazör olarak toplamına eşittir.

$$\vec{I} = \vec{I}_C + \vec{I}_R$$

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

- Devre elemanları kaynaktan çekilen akımın denklemi ise;

$$I = \frac{V}{Z} \quad I_C = \frac{V}{X_C} \quad I_R = \frac{V}{R}$$

- Burada hipotenüs bağıntısında kol akımları yerine yazılmak suretiyle devrenin formülü çıkarılabilir.

$$I^2 = I_C^2 + I_R^2$$

$$\frac{V^2}{Z^2} = \frac{V^2}{X_C^2} + \frac{V^2}{R^2}$$

- Her iki taraf V^2 'ye bölünürse devrenin toplam empedansı bulunur.

$$V^2 \left(\frac{1}{Z^2} \right) = V^2 \left(\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2} \right)$$

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{X_C^2} + \frac{1}{R^2}}}$$

- Devrenin akımı ile gerilimi arasındaki faz açısını ve güç katsayısını şekil 1.1 (b)'deki vektör diyagramındaki dik üçgenden hesaplanabilir.

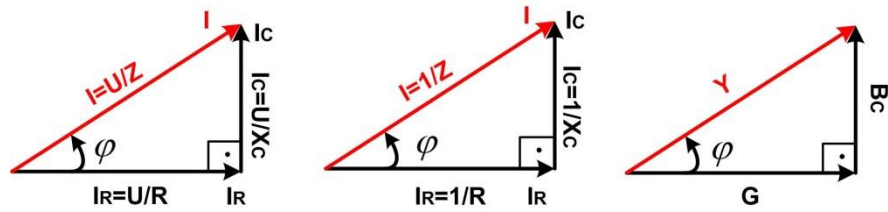
$$\tan \varphi = \frac{I_C}{I_R} \quad \text{veya} \quad \tan \varphi = \frac{R}{X_C} \quad \cos \varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{V/R}{V/Z}$$

- Paralel R-C devresinde, akım geriliminden φ kadar ileride olduğundan bu devreye ileri güç katsayılı devre denir.
- Paralel devrede yeni bazı tanımlamalar yaparak şekil 1.1 (b)'deki vektör diyagramını tekrar çizelim. Biliniyor ki, R, X_C ve Z akımın akmasına zorluk gösteren durumlardır. Bunların tersi durum yani $1/R$, $1/X_C$ ve $1/Z$ ise akımın akmasına kolaylık gösteren durumlardır.
- $1/R$: R direncinin iletkenliği denir. "G" harfi ile gösterilir. Birimi " $1/\Omega$ " veya "Siemens" dir.

- $1/X_C$: X_C kapasitif reaktansın tersine elektrik akımına gösterdiği kolaylığa “Süseptans” denir. “B” harfi ile ifade edilir. Endüktif süseptans “ B_L ”, kapasitif süseptans da “ B_C ” harfleri ile gösterilir. Birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.
- $1/Z$: Elektrik akımına göstermiş olduğu kolaylığa “Admitans” denir. Y harfi ile ifade edilerek birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.

$$G = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad B_C = \frac{1}{X_C} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad Y = \frac{1}{Z} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right)$$

Bu bilgilerden sonra iletkenlik süseptans ve admitans olarak vektör diyagramı şekil 1.2’deki gibi olur.



Şekil 9.2 (a) Akım fazörü (b) Admitans üçgeni

- Şekil 9.2 deki iletkenlik, süseptans ve admitans değerleri yerlerine konulursa devrenin admitans formülü ortaya çıkar.

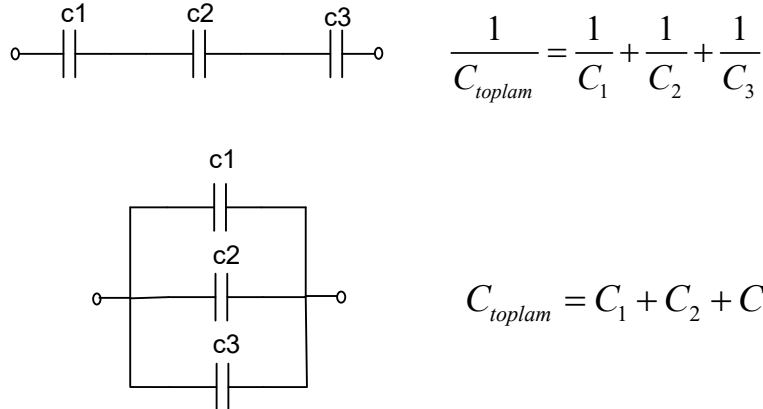
$$|Y| = \sqrt{G^2 + B_C^2}$$

$$Y = G + jB_C$$

- Devrenin akımı, gerilimi admitans değeri ile bulunması gerektiği durumda aşağıdaki formüllerden bulunabilir.

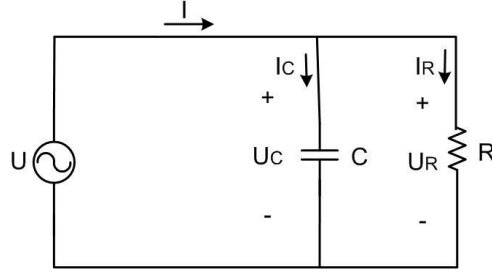
$$V = \frac{I}{Y} \quad Y = \frac{I}{V}$$

- Kondansatörlerin kendi aralarında seri ve paralel bağlanmaları durumunda aşağıdaki bağıntılar elde edilir.



Şekil 9.3 Seri ve paralel bağlı kondansatör

ÖRNEK UYGULAMA



Şekil 9.4 Paralel RC devresi

Şekil 9.4'teki devreyi kurunuz ($U=150\sin\omega t$ V, $f=50$ Hz, $R=20\Omega$, $C=100\ \mu\text{F}$).

R direncinin iletkenliğini (G), L kondansatörünün reaktansını (X_C) ve kapasitif süseptansını (B_C),

Devrenin toplam empedansını (Z) ve admitansını (Y),

U , U_R , U_C gerilim fazörünü, zaman alanı ifadesini ($U(t)$),

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$),

C kondansatörü üzerinden akan akım fazörünü (I_C), akımın zaman alanı ifadesini ($I_C(t)$), hesaplayınız.

Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini ($I(t)$), hesaplayınız.

Devrenin fazör diyagramını çiziniz.

Aynı işlemi $f = 100$ kHz için tekrarlayınız. Frekansın değişmesi devreye nasıl etki eder?

Devreye paralel $C_2=50\ \mu\text{F}$ kondansatörü bağlanırsa $X_{C\text{toplam}}$ ve $B_{C\text{toplam}}$ ne olur?

Kondansatör değerinin değişmesi devreye nasıl etki eder?

HESAPLAMALAR

$R=20\ \Omega$, $C=100\ \mu\text{F}$, $f=50$ Hz, $U(t)=150\sin\omega t$ V ;

Açısal hız; $\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314,159\ \text{rad/s}$

Endüktif reaktans, süseptans ve iletkenlik değerleri;

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314,159 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 31,83\ \Omega$$

$$B_C = \frac{1}{X_C} = \frac{1}{31,83\ \Omega} = 31,416\text{ms}$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{20\ \Omega} = 0,05\ \text{s}$$

Empedans ve admitans;

$$Y = G + jB_C = 0,05 + j0,0314 \text{ S}$$

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B_C^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,0314^2} = 0,059 \text{ S}$$

$$\vec{Y} = 0,059^{\angle 32,13^\circ} \text{ S}$$

$$|Z| = \frac{1}{|Y|} = \frac{1}{0,059} = 16,95 \Omega \quad \vec{Z} = 16,95^{\angle 32,13^\circ} \Omega$$

veya

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + j \frac{1}{X_C} = \frac{1}{20} + j \frac{1}{31,83} = 0,05 + j0,0314 \Omega$$

$$Z = 14,34 - j9,007 \Omega = 16,95^{\angle -32,13^\circ} \Omega$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{I_C}{I_R} \quad \text{veya} \quad \vartheta = \tan^{-1} \frac{R}{X_C}$$

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{R}{X_C} = \tan^{-1} \frac{20}{31,83} = 32,13^\circ$$

U, U_R, U_L gerilim fazörü, zaman alanı ifadesi (U(t)),

$$\vec{U} = \vec{U}_C = \vec{U}_R = 150^{\angle 0^\circ} \text{ V}$$

$$U(t) = U_C(t) = U_R(t) = 150 \sin \omega t \text{ V}$$

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini (I_R(t)),

$$\vec{I}_R = \frac{\vec{V}}{R} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{20} = 7,5^{\angle 0^\circ} \text{ A}$$

$$I_{R_MAX} = 7,5 \text{ A}$$

$$I_{R_EFF} = \frac{7,5}{\sqrt{2}} = 5,303 \text{ A}$$

$$I_R(t) = 7,5 \sin(\omega t) \text{ A}$$

C kondansatörü üzerinden akan akım fazörünü (I_C), akımın zaman alanı ifadesini (I_L(t)), hesaplayınız.

$$\vec{I}_C = \frac{\vec{V}}{\vec{X}_C} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{31,83^{\angle -90^\circ}} = 4,708^{\angle 90^\circ} \text{ A} \quad \text{veya} \quad \vec{I}_C = \vec{V} \vec{B}_C = 150^{\angle 0^\circ} 31,416 \cdot 10^{-3 \angle 90^\circ} = 4,708^{\angle 90^\circ} \text{ A}$$

$$I_{C_MAX} = 4,708 \text{ A}$$

$$I_{C_EFF} = \frac{4,708}{\sqrt{2}} = 3,33 \text{ A}$$

$$I_C(t) = 4,708 \sin(\omega t + 90^\circ) \text{ A}$$

Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini (I(t)), hesaplayınız.

$$\vec{I} = \vec{Y} \vec{V} = \frac{\vec{V}}{\vec{Z}} = 150 \angle 0^\circ / 0,059 \angle 32,14^\circ = \frac{150 \angle 0^\circ}{16,95 \angle -32,14^\circ} = 8,85 \angle 32,14^\circ A$$

$$I = 8,85 [\cos(32,14^\circ) + j \sin(32,14^\circ)] A$$

$$I = 7,5 + j4,708 A$$

$$I_{MAX} = 8,85 A$$

$$I_{EFF} = 8,85 / \sqrt{2} = 6,258 A$$

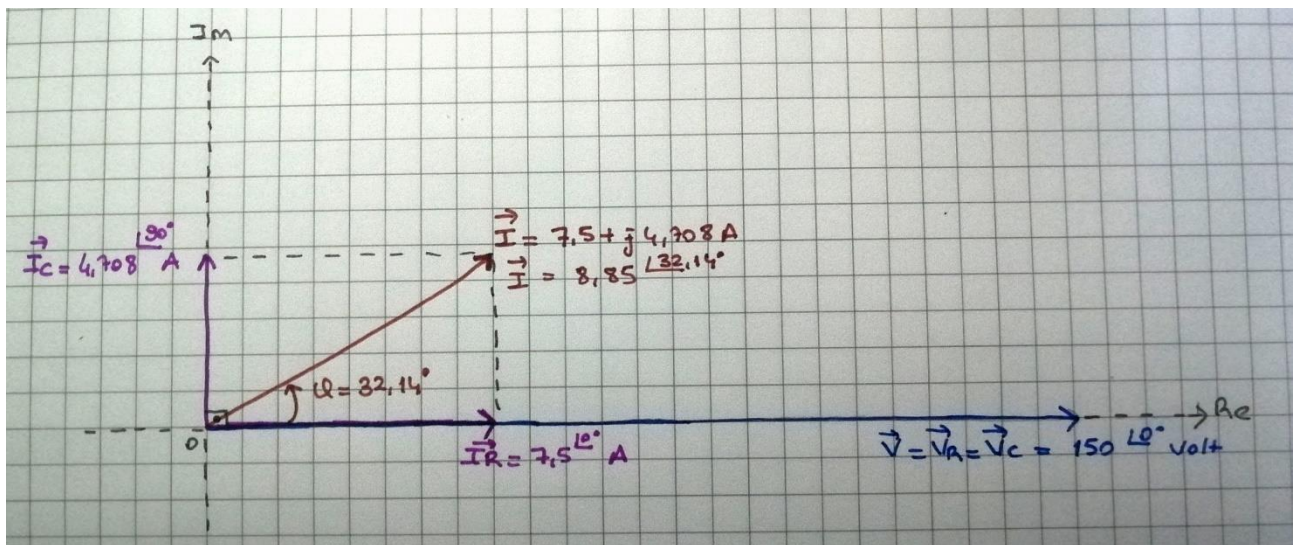
$$I(t) = 8,85 \sin(\omega t + 32,14^\circ) A$$

veya

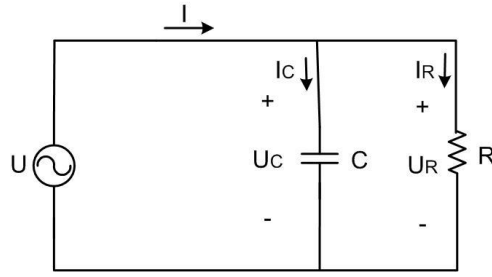
$$I = I_R + jI_C$$

$$I = 7,5 + j4,708 A = 8,85 \angle 32,14^\circ A$$

Fazör diyagramı;



DENEY 9 UYGULAMASI



Şekil 9.5 Paralel RC devresi

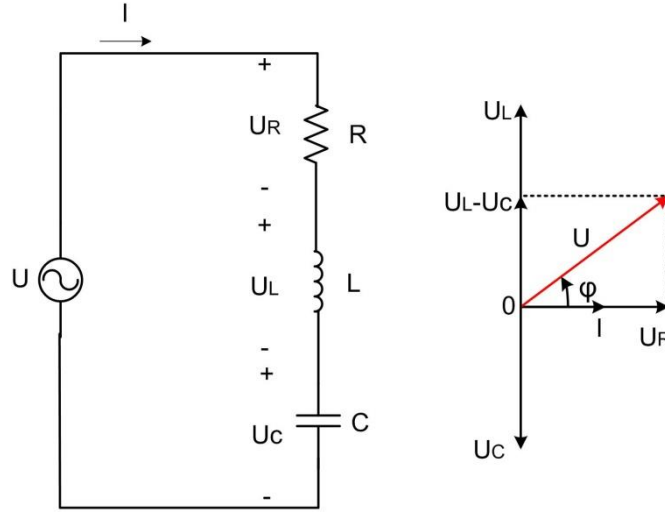
Şekil 9.5'teki devreyi kurunuz ($U_{pp}=4 \sin \omega t$ V, $f=2$ kHz, $R=20\Omega$, $C=1 \mu F$, $U_{pp}=4V$).

- Devre kurulumu yapılırken C kondansatörüne seri 10Ω 'luk küçük bir direnç bağlayınız.
 - 20Ω 'luk R direncini 10Ω 'luk 2 adet seri direnç ile sağlayınız.
- a) R direncinin iletkenliğini (G), L kondansatörünün reaktansını (X_C) ve kapasitif süseptansını (B_C),
 - b) Devrenin toplam empedansını (Z) ve admitansını (Y),
 - c) U , U_R , U_C gerilim fazörünü, zaman alanı ifadesini ($U(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
 - d) R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), akımın zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
 - e) C kondansatörü üzerinden akan akım fazörünü (I_C), akımın zaman alanı ifadesini ($I_C(t)$) hesaplayınız, osiloskop görüntüsünü alınız.
 - f) Devrenin toplam akımının fazörünü (I), akımın zaman alanı ifadesini ($I(t)$) hesaplayınız.
 - g) Devrenin fazör diyagramını çizin.
1. Aynı işlemi $f = 100$ kHz için tekrarlayınız. Frekansın değişmesi devreye nasıl etki eder?
 2. Devreye paralel $C_2=50 \mu F$ kondansatörü bağlanırsa $X_{C_{toplam}}$ ve $B_{C_{toplam}}$ ne olur?
 3. Kondansatör değerinin değişmesi devreye nasıl etki eder?

DENEY 10 – SERİ DİRENÇ-BOBİN-KONDANSATÖR (RLC) DEVRELERİ

Amaç: Seri RLC devrelerini incelemek, devrelerin karakteristik parametrelerini ölçmek. Alternatif akım devrelerinde rezonans etkisinin incelenmesi.

Seri bağlı R-L-C den meydana gelen şekil 10.1 (a)'daki devreye alternatif bir gerilim uygulandığında devreden sinüzoidal bir akım elemanlar üzerinden akmaya başlar. Bu akım eleman uçlarındaki gerilim ve kaynak gerilimi ile şekil 10.1 (b)'de vektör diyagramında gösterildiği gibi bir faz farkı meydana getirir. Devredeki bobinin endüktif reaktansına veya kondansatörün kapasitif reaktansına göre devre R-L veya R-C seri devre özelliği gösterir.



Şekil 10.1 Seri RLC devresi (a) devre şekli (b) fazör diyagramı ($U_L > U_C$)

Devredeki R , L , C elemanlarından geçen bu R direnci uçlarında $U_R = IR$ gerilim düşümüne, L bobinin uçlarında $U_L = I X_L$ gerilim düşümüne, C kondansatörünün uçlarında $U_C = I X_C$ gerilim düşümüne sebep olur.

- Dirençte düşen U_R gerilimi devre akımıyla (I) aynı fazdadır. Yani devre akımıyla (I) direnç gerilimi (U_R) arasındaki faz farkı sıfırdır.
- L bobini üzerine düşen gerilimle (U_L) devre akımı (I) arasındaki faz farkı açısı 90° dir. U_L gerilimi I devre akımından 90° ileri fazdadır.
- Kondansatörde düşen gerilim (U_C) ise I devre akımından 90° geridedir.

Bu duruma göre çizilen vektör diyagramında Şekil 10.1 (b)'de görüldüğü gibi U_L ve U_C gerilimleri aynı doğru üzerinde fakat vektör yönleri farklı durumdadır. Bu vektör diyagramında $U_L > U_C$ olarak kabul edilerek çizilmiştir. Vektör diyagramından U gerilim formülü ortaya aşağıdaki gibi çıkacaktır.

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

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

vektör diyagramından;

$$\sin \varphi = \frac{U_L - U_C}{U} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{U_R}{U} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{U_L - U_C}{U_R} \right)$$

$U_R = IR$, $U_L = I X_L$ ve $U_C = I X_C$ gerilim denkleminde yerlerine yazılması ile kaynağın gerilimi $U = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ direnç kapasitif, endüktif reaktanslar ile gerilim formülü elde edilir.

Elde edilen gerilim formülünde eşitliğin her iki tarafı I ya bölünürse U/I durumu akımın akışına zorluk gösterme durumunu ifade ettiğini biliyoruz.

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

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Kaynaktan çekilen akım;

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{veya} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Seri RLC Devrelerinin Özellikleri:

a) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan büyük olması ($X_L > X_C$):

RLC seri devresi R-L devre özelliği gösterir. $X_L > X_C$ Durumu: RLC seri devresinde X_L endüktif reaktansı X_C kapasitif reaktanstan büyük olduğu durumdur. Bu değerlerin durumuna göre eleman uçlarındaki gerimi düşümleri $U_L > U_C$ dir. Şekil 10.2 (a)'da bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Bu vektör diyagramından çıkarılan formüllerle devrenin analizi yapılabilir.

$$\begin{aligned}
U^2 &= U_R^2 + (U_L - U_C)^2 \\
U &= \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \\
Z = \frac{U}{I} &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{Z} \\
\sin \varphi &= \frac{U_L - U_C}{U} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{U_R}{U} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} \\
\varphi &= \tan^{-1} \left(\frac{U_L - U_C}{U_R} \right) \\
I &= \frac{U}{Z} \quad \text{veya} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}
\end{aligned}$$

b) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan küçük olması ($X_L < X_C$):

RLC seri devresi R-C seri devre özelliği gösterir. $X_L < X_C$ olduğu için devre akımı, devre geriliminden ϕ açısı kadar geridedir. Bu değerlerin durumuna göre eleman uçlarındaki gerimi düşümleri $U_C > U_L$ dir. Şekil 10.2 (b)'de bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Devrenin faz açısı ve güç katsayısı aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$\begin{aligned}
U^2 &= U_R^2 + (U_C - U_L)^2 \\
U &= \sqrt{U_R^2 + (U_C - U_L)^2} \\
Z = \frac{U}{I} &= \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{X_C - X_L}{R} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{R}{Z} \\
\sin \varphi &= \frac{U_C - U_L}{U} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{U_R}{U} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{U_C - U_L}{U_R} \\
\varphi &= \tan^{-1} \left(\frac{U_C - U_L}{U_R} \right) \\
I &= \frac{U}{Z} \quad \text{veya} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}
\end{aligned}$$

c) Endüktif reaktansın kapasitif reaktansa eşit olması ($X_L = X_C$):

RLC seri devresi saf omik (R) devre özelliği gösterir. $U_L = U_C$ olduğu için devre akımı (I) ile devre gerilimi (U) arasında faz farkı yoktur ($\varphi = 0$). Bu değerlerin durumuna göre eleman uçlarındaki gerimi düşümleri $U_C = U_L$ dir. Şekil 10.2 (c)'de bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Bu durum **seri rezonans** olarak adlandırılır ve f_0 frekansına **seri rezonans frekansı** denir. Rezonans, bobin ve kondansatör kullanılan AC elektrik ve elektronik devrelerinde oluşan özel bir durumdur. Herhangi bir AC devrede bobinin “Endüktif

Reaktansı” ile kondansatörün “Kapasitif Reaktansının” eşit olması halinde, devre rezonansa gelir. Bilindiği gibi, bobin ve kondansatörün alternatif akıma gösterdiği zorluğa reaktans denir. Rezonans devreleri, seri ve paralel olmak üzere iki bölümden oluşur. Rezonans devreleri, radarların verici (Transmitter) ve alıcılarının (Receiver) çalışma frekanslarını kontrol etmede ve radyo alıcılarında istenilen istasyon frekanslarının ayarlanmasında kullanılır.

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

$$U_C = U_L \Rightarrow U = \sqrt{U_R^2 + 0} \Rightarrow U = U_R$$

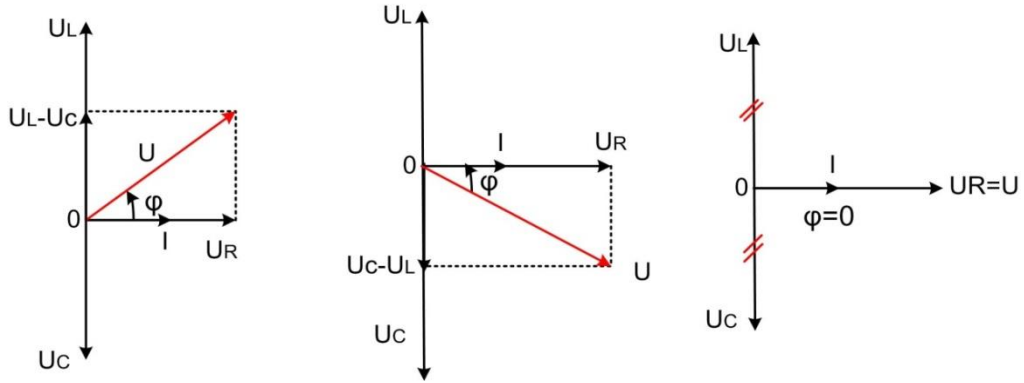
$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

$$X_C = X_L \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + 0} \Rightarrow Z = R \Rightarrow \phi = 0^\circ$$

$$I = \frac{U}{Z} \text{ veya } I = \frac{U}{R}$$

Seri Rezonans Frekansı (f_o):

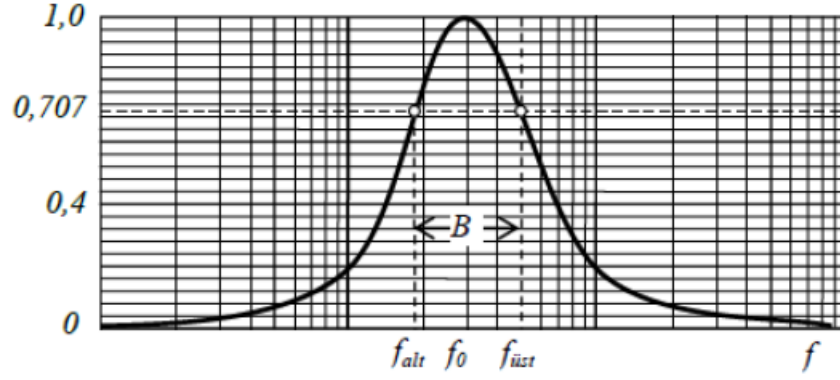
$$X_C = X_L \Rightarrow \frac{1}{2\pi f_o C} = 2\pi f_o L \Rightarrow f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Şekil 10.2 Seri RLC devresi fazör diyagramları (a) $X_L > X_C$ (b) $X_C > X_L$ (c) $X_C = X_L$

*** f_o rezonans frekansının altında ve üstünde gerilimin en yüksek değerinin (V_{max}) 0.707'sine düştüğü (gücün yarıya düştüğü) frekanslar alt kesim ve üst kesim frekansı olarak adlandırılır. Bu iki frekansın farkına rezonans devresinin frekans bant genişliği denir. Şekil 10.3'te seri bir rezonans devresinde gerilimin frekansa göre değişimi verilmiştir.

$$\text{Bant genişliği } (B) = f_{üst} - f_{alt}$$



Şekil 10.3 seri bir rezonans devresinde gerilimin frekansa göre değişimi

ÖRNEK UYGULAMA-1

Şekil 10.1'deki devreyi kurunuz ($V_{AC}=150\sin\omega t$ V, $f=50$ Hz, $R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F).

- L bobininin reaktansını (X_L),
- C kondansatörünün reaktansını (X_C),
- Devrenin toplam empedansını (Z)
- I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
- R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
- L bobini üzerindeki gerilim fazörünü (V_L), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_L(t)$)
- C kondansatörü üzerindeki gerilim fazörünü (V_C), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_C(t)$) hesaplayınız.
- Devrenin fazör diyagramını çiziniz. Devrenin omik indüktif, omik kapasitif veya saf omik çalışma durumunu belirleyiniz.
- Devrenin rezonansa gireceği frekans değerini hesaplayınız. Rezonans durumunda çıkış grafiklerini inceleyiniz.

Aynı devreyi $C=25$ μ F için kurunuz ve aynı hesaplamaları yaparak devre grafiklerini inceleyiniz.

HESAPLAMALAR-1

2. $R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F, $f=50$ Hz, $V_{AC}=150\sin\omega t$;

$$\text{Açısal hız; } \omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314,159 \text{ rad/s}$$

$$\text{Endüktif reaktans; } X_L = \omega L = 314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 62,83 \Omega$$

Kapasitif reaktans; $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 15,92 \Omega$

Empedans;

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{75^2 + (62,83 - 15,92)^2} = 88,78 \Omega$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{62,83 - 15,92}{75} \right)$$

$$\varphi \cong 32^\circ$$

Akım;

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{veya} \quad I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$I = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{88,78^{\angle 32^\circ}} = 1,69^{\angle -32^\circ} A$$

$$I(t) = 1,69 \sin(\omega t - 32^\circ) A$$

V_R gerilimi;

$$V_R = RI = 1,69^{\angle -32^\circ} \cdot 75 = 123,72^{\angle -32^\circ} V$$

$$V_R = 123,72 [\cos(-32^\circ) + j \sin(-32^\circ)] V$$

$$V_R = 107,46 - j67,15 V$$

$$V_{R(MAX)} = 123,72 V$$

$$V_{R(EFF)} = \frac{123,72}{\sqrt{2}} = 90,31 V$$

$$V_R(t) = 123,72 \sin(\omega t - 32^\circ) V$$

V_L gerilimi;

$$V_L = X_L I = 62,83^{\angle 90^\circ} \cdot 1,69^{\angle -32^\circ} = 106,18^{\angle 58^\circ} V$$

$$V_L = 106,18 [\cos(58^\circ) + j \sin(58^\circ)] V$$

$$V_L = 56,27 + j90,046 V$$

$$V_{L(MAX)} = 106,18 V$$

$$V_{L(EFF)} = \frac{106,18}{\sqrt{2}} = 75,08 V$$

$$V_L(t) = 106,18 \sin(\omega t + 58^\circ) V$$

V_C gerilimi;

$$V_C = X_C I = \frac{1}{j\omega C} I = 1,69 \angle -32^\circ \cdot 15,92 \angle -90^\circ = 26,9 \angle -122^\circ \text{ V}$$

$$V_C = 26,9 [\cos(-122^\circ) + j \sin(-122^\circ)] \text{ V}$$

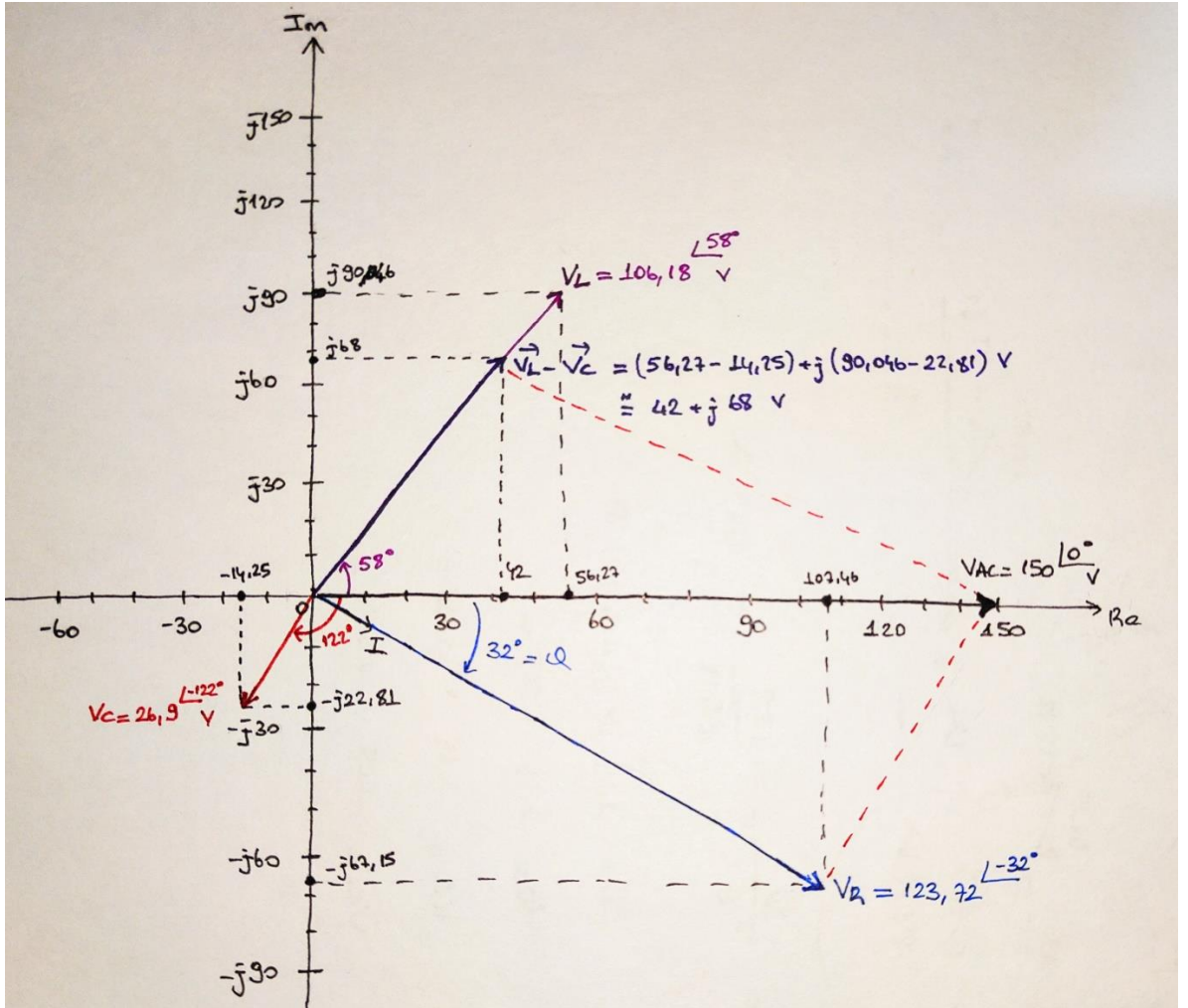
$$V_C = -14,25 - j22,81 \text{ V}$$

$$V_{C(MAX)} = 26,9 \text{ V}$$

$$V_{C(EFF)} = \frac{26,9}{\sqrt{2}} = 19,02 \text{ V}$$

$$V_C(t) = 26,9 \sin(\omega t - 122^\circ) \text{ V}$$

Fazör diyagramı;



****** Devre omik-indüktif karakteristik göstermektedir (I devre akımı V_{AC} devre geriliminden geride, $X_L > X_C$)

Rezonans frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{200 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6}}} = 25,16 \text{ Hz}$$

ÖRNEK UYGULAMA-2

Şekil 10.1'deki devreyi kurunuz ($V_{AC}=150\sin\omega t$ V, $f=50$ Hz, $R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F).

L bobininin reaktansını (X_L),

C kondansatörünün reaktansını (X_C),

Devrenin toplam empedansını (Z),

I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$),

L bobini üzerinden akan akım fazörünü (I_L), zaman alanı ifadesini ($I_L(t)$),

C kondansatörü üzerinden akan akım fazörünü (I_C), zaman alanı ifadesini ($I_C(t)$), hesaplayınız.

Devrenin fazör diyagramını çiziniz. Devrenin omik indüktif, omik kapasitif veya saf omik çalışma durumunu belirleyiniz.

Devrenin rezonansa gireceği frekans değerini hesaplayınız. Rezonans durumunda çıkış grafiklerini inceleyiniz.

Aynı devreyi $C=25$ μ F için kurunuz ve aynı hesaplamaları yaparak devre grafiklerini inceleyiniz.

HESAPLAMALAR-2

$R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F, $f=50$ Hz, $V_{AC}=150\sin\omega t$;

Açısal hız; $\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314,159 \text{ rad/s}$

Endüktif reaktans; $X_L = \omega L = 314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 62,83 \Omega$

Kapasitif reaktans; $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 15,92 \Omega$

Empedans ve admitans;

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{75}\right)^2 + \left(\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}\right)^2}$$

$$Y = \frac{1}{Z} = 0,0487 \text{ s} \Rightarrow Z = 20,51 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{20,51}{75} \Rightarrow \arccos\left(\frac{20,51}{75}\right) = \varphi \Rightarrow \varphi \cong 74^\circ$$

veya

$$\tan \varphi = \frac{B_C - B_L}{G} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}}{\frac{1}{75}} \Rightarrow \arctan\left(\frac{\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}}{\frac{1}{75}}\right) = \varphi \Rightarrow \varphi \cong 74^\circ$$

Akım;

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

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

veya

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

$$I = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{20,51^{\angle -74^\circ}} = 7,31^{\angle 74^\circ} A$$

$$I(t) = 7,31 \sin(\omega t + 74^\circ) A$$

I_R akımı;

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{75} = 2^{\angle 0^\circ} A$$

$$I_R(t) = 2 \sin(\omega t) A$$

$$I_{R(eff)} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1,414 A$$

I_L akımı;

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{j\omega L} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{62,83^{\angle 90^\circ}} = 2,39^{\angle -90^\circ} A$$

$$I_L(t) = 2,39 \sin(\omega t - 90^\circ) A$$

$$I_{L(eff)} = \frac{2,39}{\sqrt{2}} = 1,69 A$$

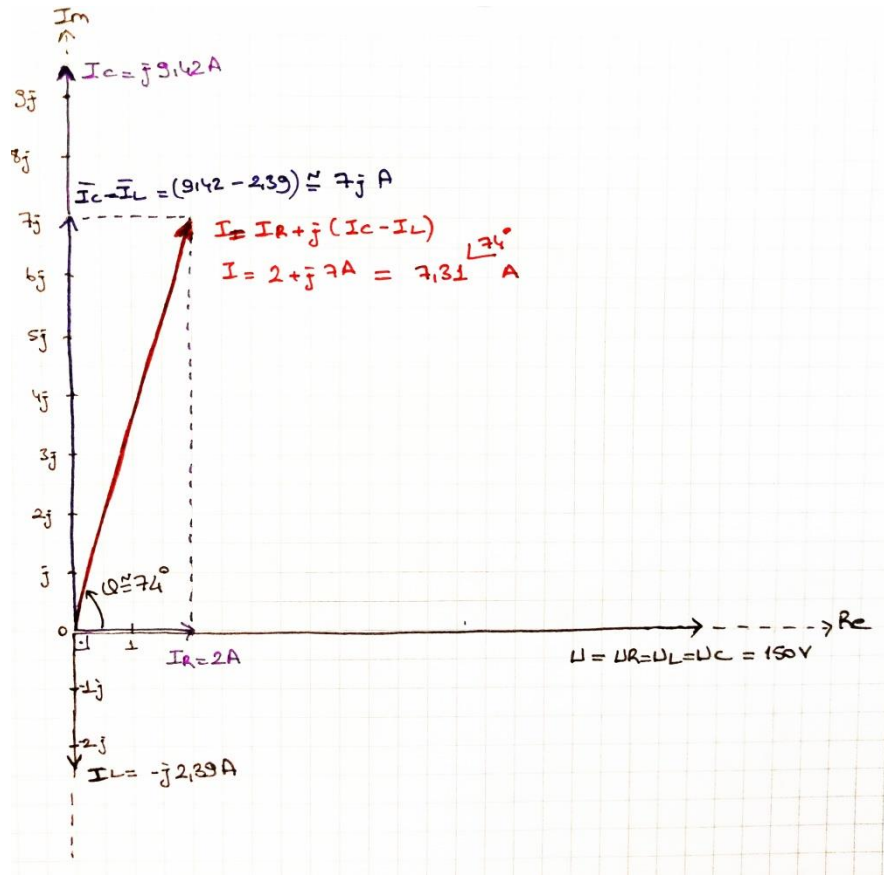
I_C akımı;

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{1/j\omega C} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{15,92^{\angle -90^\circ}} = 9,42^{\angle 90^\circ} A$$

$$I_C(t) = 9,42 \sin(\omega t + 90^\circ) A$$

$$I_{C(eff)} = \frac{9,42}{\sqrt{2}} = 6,66 A$$

Fazör diyagramı;

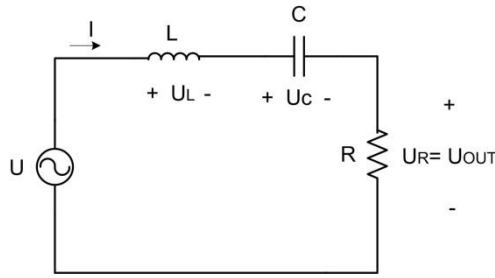


****** Devre omik-kapasitif karakteristik göstermektedir (I devre akımı V_{AC} devre geriliminden ileride, $I_L < I_C$, $X_L > X_C$)

Rezonans frekansı;

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{200 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6}}} = 25,16 \text{ Hz}$$

DENEY 10 UYGULAMASI



Şekil 10.4 Seri RLC devresi

1. Şekil 10.4'teki devreyi kurunuz ($U_{pp}=4\text{ V}$, $R=75\Omega$, $L=680\text{ }\mu\text{H}$, $C=4.7\text{ }\mu\text{F}$)
 - h) Rezonans frekansını hesaplayınız (f_0) ve tabloda yerine yazınız.
 - i) Tabloda oluşturulan değerlere göre seri RLC devresinin frekans cevap grafiğini çiziniz. Grafik üzerinde rezonans noktasını gösteriniz. Rezonans anı, öncesi ve sonrası durumlarını grafik üzerinde yorumlayınız.

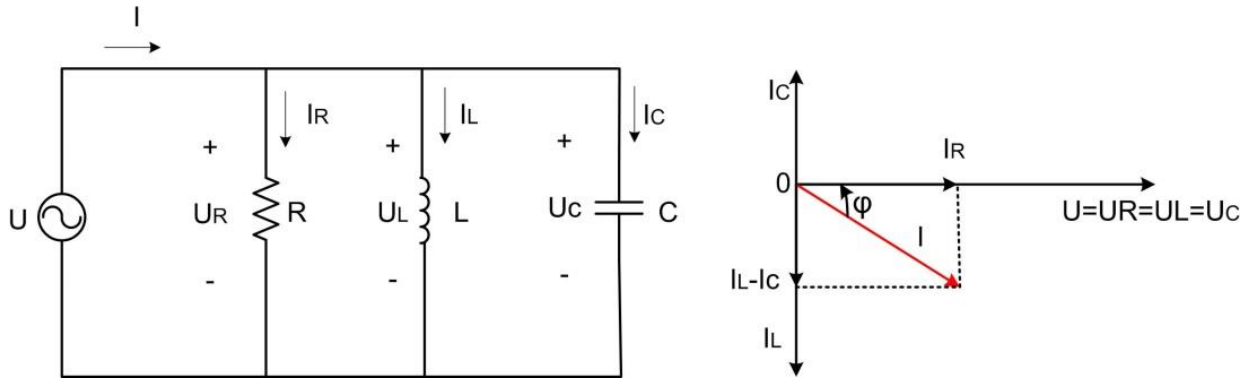
Not: Grafiği çizerken x eksenini frekans, y eksenini U_{Rpp}/U_{pp} olarak alınız. Grafik üzerinde x eksenindeki her frekans değerini ve bunlara karşılık gelen y eksenini değerlerini gösteriniz.
2. $f=1000\text{ Hz}$, $f=f_0$ ve $f=5000\text{ Hz}$ durumları için:
 - a. I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
 - b. R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
 - c. L bobini üzerindeki gerilim fazörünü (V_L), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_L(t)$)
 - d. C kondansatörü üzerindeki gerilim fazörünü (V_C), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_C(t)$) hesaplayınız.
 - e. Rezonans frekansında devreden geçen akımın (I) maksimum olduğunu, U_L ve U_C genliklerinin birbirine eşit büyüklükte olduğunu ve devrenin rezistif olduğunu hesap yoluyla gözlemleyiniz.
 - f. Devrenin fazör diyagramını çiziniz. Devrenin omik indüktif (RL), omik kapasitif (RC) veya saf omik (R) çalışma durumunu belirleyiniz.

Frekans (Hz)	$U_{pp}(V)$	$X_L (\Omega)$	$X_C (\Omega)$	$Z (\Omega)$	Akım (A)	$U_{Rpp} (V)$	U_{Rpp}/U_{pp}	Devre çalışma durumu
500	4							
1000	4							
1500	4							
2000	4							
2500	4							
$f_c=$	4							
4000	4							
4500	4							
5000	4							
5500	4							
6000	4							

DENEY 11–PARALEL DİRENÇ-BOBİN-KONDANSATÖR (RLC) DEVRELERİ

Amaç: Paralel RLC devrelerini incelemek, devrelerin karakteristik parametrelerini ölçmek. Alternatif akım devrelerinde rezonans etkisinin incelenmesi.

Paralel rezonans bir R-L-C elemanlarının paralel bağlanmasından elde edilir. Şekil 11.1’de paralel rezonans devresinin genel yapısı gösterilmiştir. Kaynaktan çekilen I akımı, R, L ve C elemanları üzerinden akacak şekilde devre içinde bölünecektir. R, L ve C elemanları üzerine ise paralel, eşit bir gerilim uygulanır.



Şekil 11.1 Paralel RLC devresi (a) devre şekli (b) fazör diyagramı ($I_L > I_C$)

Devredeki R, L, C elemanları üzerine düşen U gerilimi, R direnci üzerinden $I_R = U/R$ akımını, L bobini üzerinden $I_L = U/X_L$ akımını, C kondansatörü üzerinden $I_C = U/X_C$ akımının akmasına sebep olur.

R elemanı üzerinden geçen akım, gerilimle aynı fazdadır. Bobinden geçen I_L akımıyla gerilim arasında 90° lik bir faz farkı meydana gelir. Gerilim, I_L akımından 90° ileri fazdadır. Kondansatör üzerinden geçen I_C akımı ise gerilimden 90° ileridedir.

Devredeki bobinin endüktif reaktansına veya kondansatörün kapasitif reaktansına göre devre R-L, R-C veya R devre özelliği gösterir.

Bu duruma göre çizilen vektör diyagramında Şekil 1.1 (b)’de görüldüğü gibi I_L ve I_C akımı aynı doğru üzerinde fakat vektör yönleri farklı durumdadır. Şekil 11.1 (b) vektör diyagramında $I_L > I_C$ olarak kabul edilerek çizilmiştir. Vektör diyagramından I akım formülü aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$I^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2$$
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

vektör diyagramından;

$$\sin \varphi = \frac{I_L - I_C}{I} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{I_R}{I} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{I_L - I_C}{I_R}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{I_L - I_C}{I_R} \right)$$

$I_R = U/R$, $I_L = U/X_L$, $I_C = U/X_C$ ve $I = U/Z$ akım denklemlerinin yerlerine yazılması ve eşitliğinin her iki tarafı U değerine bölünerek devrenin empedansı ve empedansın tersi olan admitans aşağıdaki şekilde olur.

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

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

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{I_R}{I} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{I_L - I_C}{I_R} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C}}{\frac{U}{R}} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{B_L - B_C}{G}$$

$X_L < X_C$ durumunun vektör diyagramı şekil 11.1 (b) de çizilmiştir. Bu durumda endüktif reaktans, kapasitif reaktanstan küçük olduğu durumdur. Bu da I_C akımının I_L akımından küçük olduğu anlamına gelir. $X_L > X_C$ durumundaki formüllerde sadece $(I_L - I_C)$ yerine $(I_C - I_L)$ konulması ile tüm formüller çıkartılabilir.

Biliniyor ki, R , X_L ve Z akımın akmasına zorluk gösteren durumlardır. Bunların tersi durum yani $1/R$, $1/X_L$ ve $1/Z$ ise akımın akmasına kolaylık gösteren durumlardır.

- $1/R$: R direncinin iletkenliği denir. “G” harfi ile gösterilir. Birimi “1 / Ω ” veya “Siemens” dir.
- $1/X_L$: X_L endüktif reaktansın tersine elektrik akımına gösterdiği kolaylığa “Süseptans” denir. “B” harfi ile ifade edilir. Endüktif süseptans “ B_L ”, kapasitif süseptans da “ B_C ” harfleri ile gösterilir. Birimi “1 / Ω ” veya “Siemens” dir.

- $1/Z$: Elektrik akımına göstermiş olduğu kolaylığa “Admitans” denir. Y harfi ile ifade edilerek birimi “ $1/\Omega$ ” veya “Siemens” dir.

$$G = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad B_L = \frac{1}{X_L} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right) \quad Y = \frac{1}{Z} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{siemens} \right)$$

Paralel RLC Devrelerinin Özellikleri:

d) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan küçük olması ($X_L < X_C$):

RLC paralel devresi R-L devre özelliği gösterir. $X_L < X_C$ Durumu: RLC paralel devresinde X_L endüktif reaktansı X_C kapasitif reaktanstan küçük olduğu durumdur. Bu değerlerin durumuna göre elemanlar üzerinden akan akımlar $I_L > I_C$ şeklindedir. Bu durumda devre akımı (I), devre geriliminden (U) ϕ açısı kadar geridedir. Şekil 11.2 (a)’da bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Bu vektör diyagramından çıkarılan formüllerle devrenin analizi yapılabilir.

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow \cos \phi = \frac{I_R}{I} \Rightarrow \cos \phi = \frac{Z}{R}$$

$$\Rightarrow \tan \phi = \frac{I_L - I_C}{I_R} \Rightarrow \tan \phi = \frac{\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C}}{\frac{U}{R}} \Rightarrow \tan \phi = \frac{B_L - B_C}{G}$$

e) Endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan büyük olması ($X_L > X_C$):

RLC paralel devresi R-C devre özelliği gösterir. $X_L > X_C$ Durumu: RLC paralel devresinde X_L endüktif reaktansı X_C kapasitif reaktanstan büyük olduğu durumdur. Bu değerlerin durumuna göre elemanlar üzerinden akan akımlar $I_L < I_C$ şeklindedir. Bu durumda devre akımı (I), devre geriliminden (U) ϕ açısı kadar ileridedir. Şekil 11.2 (b)’de bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir. Bu vektör diyagramından çıkarılan formüllerle devrenin analizi yapılabilir.

$$\begin{aligned}
I &= \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \\
Y &= \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} \Rightarrow Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} \\
Y &= \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}\right)^2} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{I_R}{I} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{Z}{R} \\
&\Rightarrow \tan \varphi = \frac{I_C - I_L}{I_R} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{\frac{U}{X_C} - \frac{U}{X_L}}{\frac{U}{R}} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{B_C - B_L}{G}
\end{aligned}$$

f) Endüktif reaktansın kapasitif reaktansa eşit olması ($X_L=X_C$):

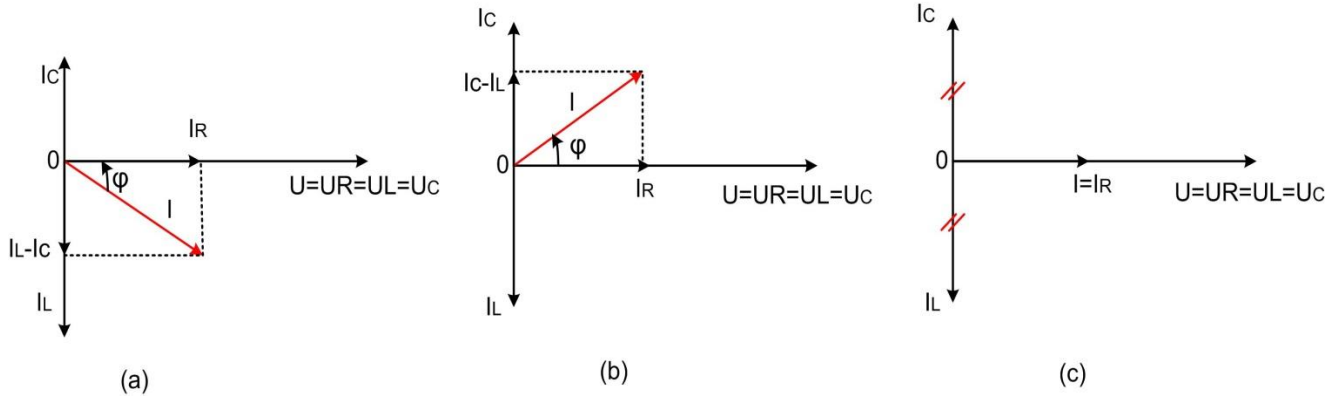
RLC paralel devresi saf omik (R) devre özelliği gösterir. $I_L=I_C$ olduğu için devre akımı (I) ile devre gerilimi (U) arasında faz farkı yoktur ($\varphi=0$). Bu değerlerin durumuna göre eleman akımları $I_C=I_L$ şeklindedir. Şekil 11.2 (c)'de bu durumun vektör diyagramı çizilmiştir.

$$\begin{aligned}
I &= \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} \Rightarrow I_L = I_C \\
I &= \sqrt{I_R^2 + 0} \Rightarrow I = I_R \\
Y &= \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2} = \frac{1}{R} \\
Y &= \frac{1}{R} = G \Rightarrow \cos \varphi = 0^\circ
\end{aligned}$$

Bu durum **paralel rezonans** olarak adlandırılır ve f_0 frekansına **paralel rezonans frekansı** denir. Reaktif terimi sıfır yapan frekans değeri;

$$X_C = X_L \Rightarrow \frac{1}{2\pi f_0 C} = 2\pi f_0 L \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

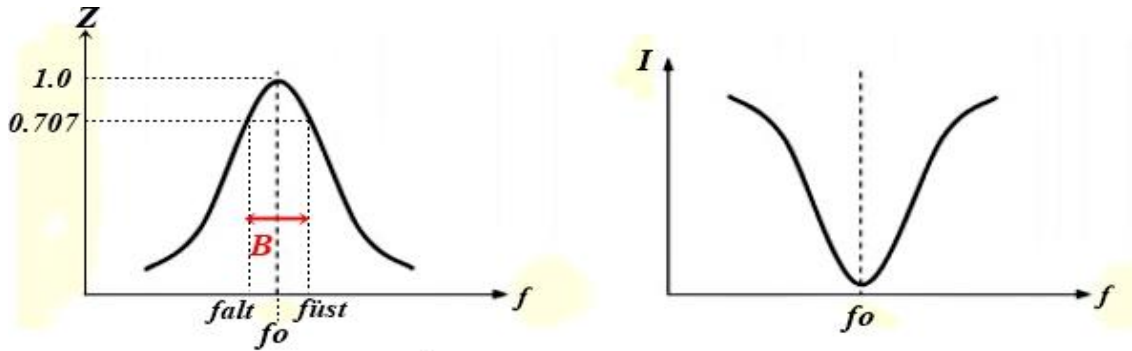
Rezonans, bobin ve kondansatör kullanılan AC elektrik ve elektronik devrelerinde oluşan özel bir durumdur. Herhangi bir AC devrede bobinin “Endüktif Reaktansı” ile kondansatörün “Kapasitif Reaktansının” eşit olması halinde, devre rezonansa gelir. Bilindiği gibi, bobin ve kondansatörün alternatif akıma gösterdiği zorluğa reaktans denir. Rezonans devreleri, seri ve paralel olmak üzere iki bölümden oluşur. Rezonans devreleri, radarların verici (Transmitter) ve alıcılarının (Receiver) çalışma frekanslarını kontrol etmede ve radyo alıcılarında istenilen istasyon frekanslarının ayarlanmasında (Tuning) kullanılır.



Şekil 11.2 Paralel RLC devresi fazör diyagramları (a) $X_L < X_C$ (b) $X_L > X_C$ (c) $X_C = X_L$

*** Paralel rezonans devrelerinde frekans rezonans frekansına yaklaştıkça devrenin eş değer empedansı artar ve buna bağlı olarak akımda azalış görülür. Yine aynı düşünceden rezonans durumu empedansın maksimum, akımın ise minimum olduğu noktadır. Paralel rezonans devresi için rezonans eğrileri Şekil 11.3'te görülmektedir. Kesim frekansları ise maksimum empedans değerinin $1/\sqrt{2}$ (0,707) katı kadar olduğu noktalardaki frekans değerleridir. Rezonanstan uzak frekanslarda toplam empedansın azaldığı ve tam tersi olarak devre akımının arttığı görülmektedir.

$$\text{Bant genişliği } (B) = f_{üst} - f_{alt}$$



Şekil 11.3 Paralel bir rezonans devresinde frekansa göre akımın ve empedansın değişimi

ÖRNEK UYGULAMA

Şekil 11.1'deki devreyi kurunuz ($V_{AC}=150\sin\omega t$ V, $f=50$ Hz, $R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F).

L bobininin reaktansını (X_L),

C kondansatörünün reaktansını (X_C),

Devrenin toplam empedansını (Z),

I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),

R direnci üzerinden akan akım fazörünü (I_R), zaman alanı ifadesini ($I_R(t)$),

L bobini üzerinden akan akım fazörünü (I_L), zaman alanı ifadesini ($I_L(t)$),

C kondansatörü üzerinden akan akım fazörünü (I_C), zaman alanı ifadesini ($I_C(t)$), hesaplayınız.

Devrenin fazör diyagramını çiziniz. Devrenin omik indüktif, omik kapasitif veya saf omik çalışma durumunu belirleyiniz.

Devrenin rezonansa gireceği frekans değerini hesaplayınız. Rezonans durumunda çıkış grafiklerini inceleyiniz.

Aynı devreyi $C=25$ μ F için kurunuz ve aynı hesaplamaları yaparak devre grafiklerini inceleyiniz.

HESAPLAMALAR

$R=75\Omega$, $L=200$ mH, $C=200$ μ F, $f=50$ Hz, $V_{AC}=150\sin\omega t$ V;

Açısal hız; $\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314,159 \text{ rad/s}$

Endüktif reaktans; $X_L = \omega L = 314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 62,83 \Omega$

Kapasitif reaktans; $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314,159 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 15,92 \Omega$

Empedans ve admitans;

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{75}\right)^2 + \left(\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}\right)^2}$$

$$Y = \frac{1}{Z} = 0,0487 \text{ s} \Rightarrow Z = 20,51 \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{Z}{R} \Rightarrow \cos \varphi = \frac{20,51}{75} \Rightarrow \arccos\left(\frac{20,51}{75}\right) = \varphi \Rightarrow \varphi \cong 74^\circ$$

veya

$$\tan \varphi = \frac{B_C - B_L}{G} \Rightarrow \tan \varphi = \frac{\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}}{\frac{1}{75}} \Rightarrow \arctan\left(\frac{\frac{1}{15,92} - \frac{1}{62,83}}{\frac{1}{75}}\right) = \varphi \Rightarrow \varphi \cong 74^\circ$$

Akım;

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

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

veya

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

$$I = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{20,51^{\angle -74^\circ}} = 7,31^{\angle 74^\circ} A$$

$$I(t) = 7,31 \sin(\omega t + 74^\circ) A$$

I_R akımı;

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{75} = 2^{\angle 0^\circ} A$$

$$I_R(t) = 2 \sin(\omega t) A$$

$$I_{R(eff)} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1,414 A$$

I_L akımı;

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{j\omega L} = \frac{150^{\angle 0^\circ}}{62,83^{\angle 90^\circ}} = 2,39^{\angle -90^\circ} A$$

$$I_L(t) = 2,39 \sin(\omega t - 90^\circ) A$$

$$I_{L(eff)} = \frac{2,39}{\sqrt{2}} = 1,69 A$$

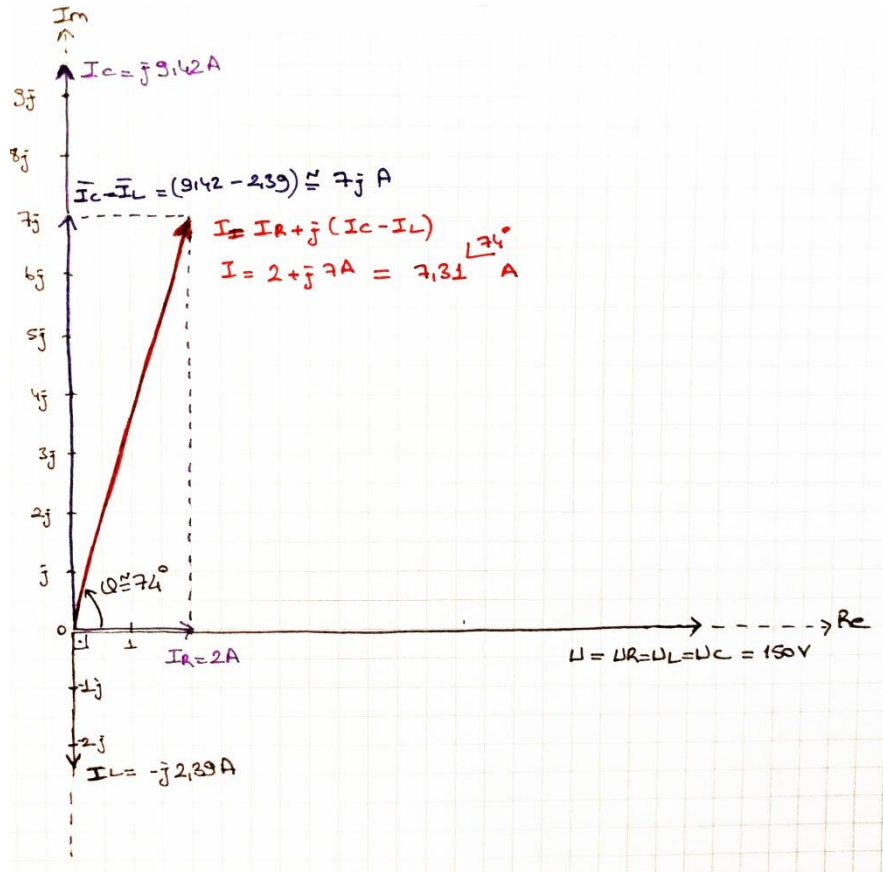
I_C akımı;

$$I_C = \frac{U}{X_C} = \frac{U}{1/j\omega C} = \frac{150 \angle 0^\circ}{15,92 \angle -90^\circ} = 9,42 \angle 90^\circ A$$

$$I_C(t) = 9,42 \sin(\omega t + 90^\circ) A$$

$$I_{C(eff)} = \frac{9,42}{\sqrt{2}} = 6,66 A$$

Fazör diyagramı;



****** Devre omik-kapasitif karakteristik göstermektedir (I devre akımı V_{AC} devre geriliminden ileride, $I_L < I_C$, $X_L > X_C$)

Rezonans frekansı;

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{200 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-6}}} = 25,16 Hz$$

DENEY 11 UYGULAMASI

Şekil 11.1'deki devreyi kurunuz ($U_{pp}=4\text{ V}$, $R=75\Omega$, $L=680\text{ }\mu\text{H}$, $C=4.7\text{ }\mu\text{F}$)

1. Rezonans frekansını hesaplayınız (f_0) ve tabloda yerine yazınız.
2. Tabloda oluşturulan değerlere göre seri RLC devresinin frekans cevap grafiğini çiziniz. Grafik üzerinde rezonans noktasını gösteriniz. Rezonans anı, öncesi ve sonrası durumlarını grafik üzerinde yorumlayınız.

Not: Grafiği çizerken x eksenini frekans, y eksenini I/I_R olarak alınız. Grafik üzerinde x eksenindeki her frekans değerini ve bunlara karşılık gelen y eksenini değerlerini gösteriniz.

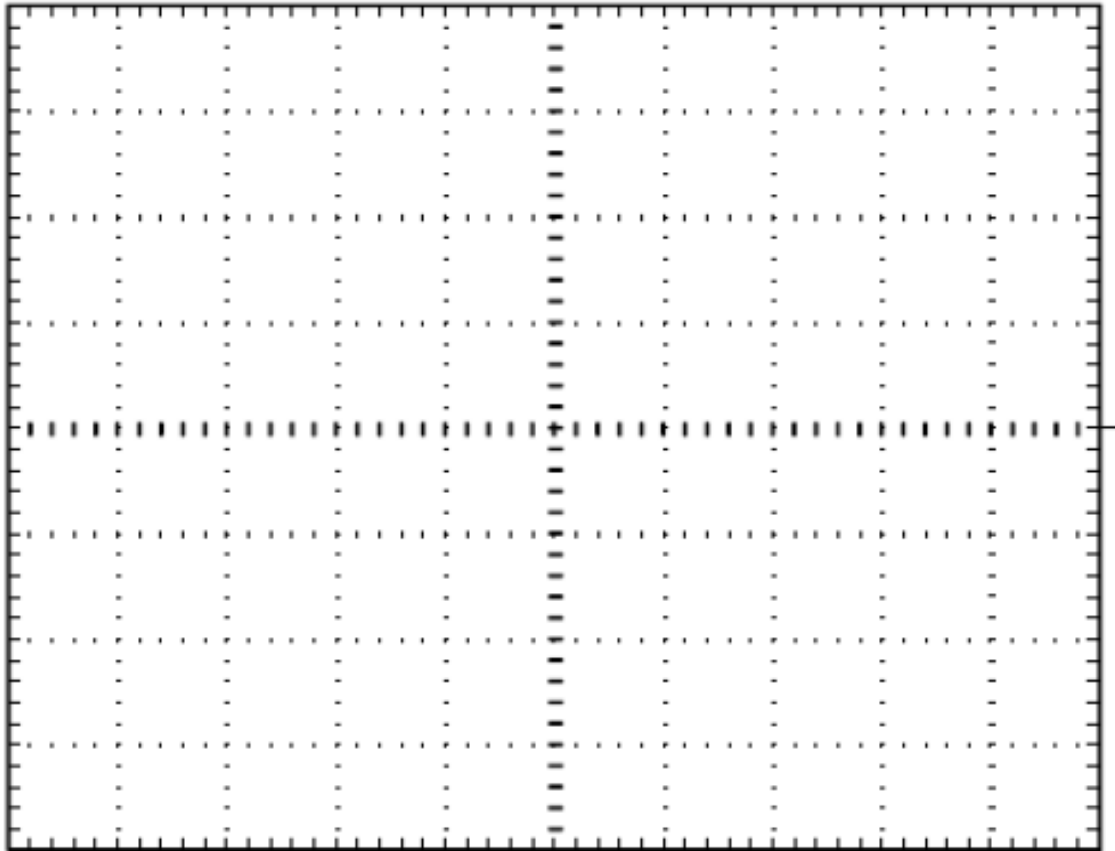
Frekans (Hz)	$U_{pp}(V)$	$X_L(\Omega)$	$X_C(\Omega)$	$B_L(S)$	$B_C(S)$	$Y(S)$	$Z(\Omega)$	$I(A)$	$I_R(A)$	I/I_R	Devre çalışma durumu
500	4										
1000	4										
1500	4										
2000	4										
2500	4										
$f_c=$	4										
5000	4										
7000	4										
11000	4										
13000	4										
15000	4										
2500	4										

3. $f=1000\text{ Hz}$, $f=f_0$ ve $f=5000\text{ Hz}$ durumları için:

- I akım fazörünü, zaman alanı ifadesini ($I(t)$),
- R direnci üzerindeki gerilim fazörünü (V_R), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_R(t)$),
- L bobini üzerindeki gerilim fazörünü (V_L), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_L(t)$),
- C kondansatörü üzerindeki gerilim fazörünü (V_C), gerilimin zaman alanı ifadesini ($V_C(t)$) hesaplayınız.
- Rezonans frekansında devreden geçen akımın (I) maksimum olduğunu, U_L ve U_C genliklerinin birbirine eşit büyüklükte olduğunu ve devrenin rezistif olduğunu hesap yoluyla gözlemleyiniz.
- Devrenin fazör diyagramını çiziniz. Devrenin omik indüktif (RL), omik kapasitif (RC) veya saf omik (R) çalışma durumunu belirleyiniz.

EKLER

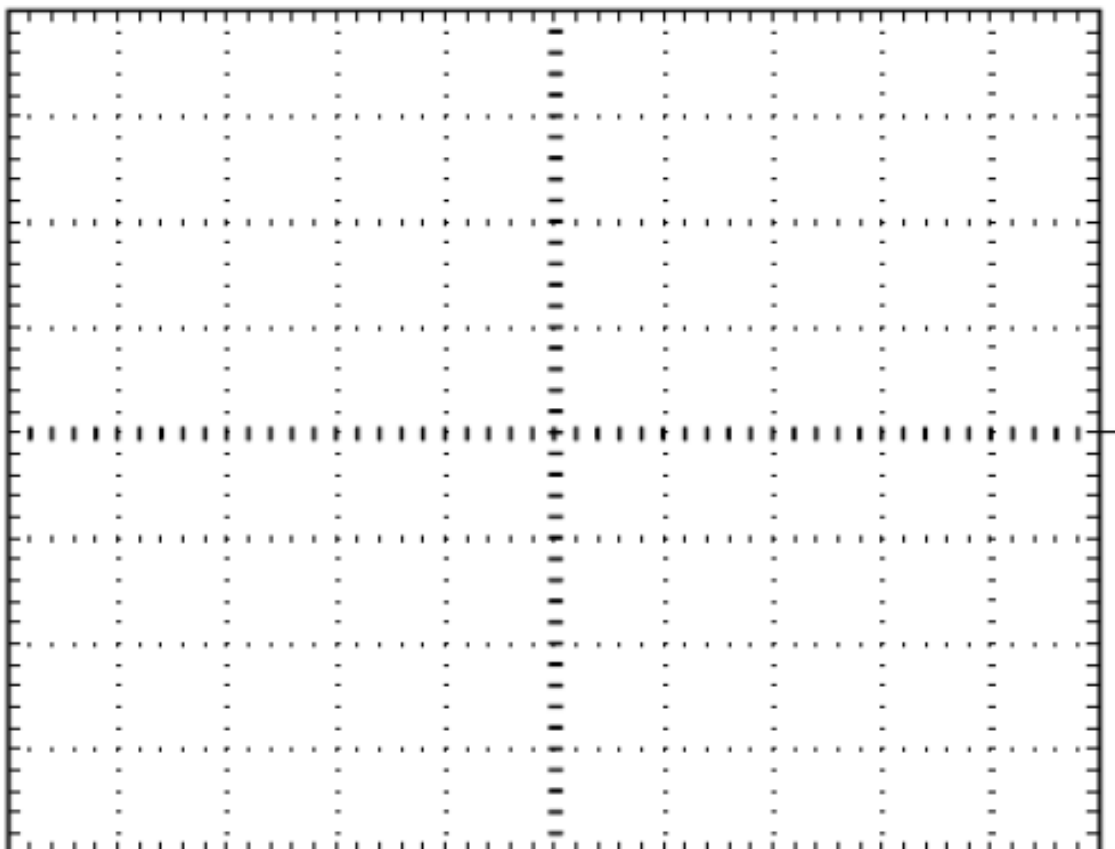
OSİLOSKOP EKRANI



Time/div:

Ch1: Volt/div:

Ch2: Volt/div:



Time/div:

Ch1: Volt/div:

Ch2: Volt/div:

RAPOR TASLAĞI

ELEKTRİK DEVRE LABORATUVARI 2 DENEY RAPORU

Rapor No:

Ad Soyad:

Öğrenci No:

Deneyin Adı :.....

Deneyin Amacı:

.....
.....
.....
.....

Deneyde Yapılanlar: