

## ALTERNATİF AKIM DEVRE YÖNTEM VE TEOREMLER İLE ÇÖZÜMÜ

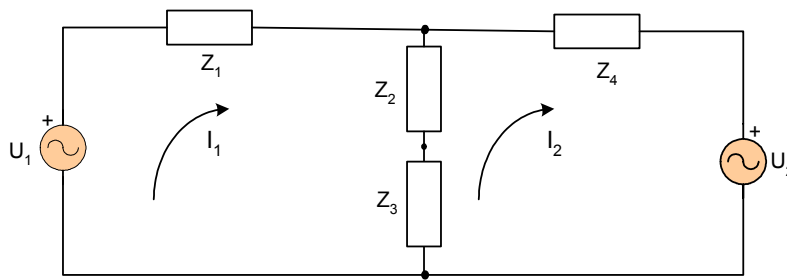
- 6.1 ÇEVRE AKIMLAR YÖNTEMİ
- 6.2 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ
- 6.3 DÜĞÜM GERİLİMLER YÖNTEMİ
- 6.4 THEVENİN TEOREMİ
- 6.5 NORTON TEOREMİ

## GİRİŞ

Alternatif akımın çözümünün yapılabilmesi için, doğru akım devrelerinde kullanılan devre analizi yöntemlerinin ve kanunlar alternatif akımda da aynen kullanılmaktadır. Devre analizi yöntemlerinin çözümünün kolay bir şekilde olması için karmaşık sayılarla işlemler yapılacaktır. Doğru akım devre analizi yapılırken eşdeğer direnç elemanı  $R_{\text{eş}}$  ile alternatif akımda ise  $Z$  olarak isimlendirilir. Devre analizi yöntemlerinin anlaşılması kolay olan çevre akımlar yöntemi ile devrelerin analizi yapılmaya başlanacaktır.

### 6.1 ÇEVRE AKIMLAR YÖNTEMİ

Elektrik devrelerinin çözümlerinde bazı kanunlar kullanılarak devrelerin seri, paralel ve karışık bağlantılarının çözümünde kullanarak devre elemanlarının üzerlerinden geçen akım, uçlarında gerilim düşümünü ve kaynaktan çektikleri akımlar bu konuya kadar çeşitli devreler çözülmüştü. Fakat bazı devrelerde bu kanunların devrenin analizini yapmak için yeterli olmadığı durumlar oluşur. Bu durumlarda devre analizi yöntemlerinin herhangi birinin kullanılması gerekir. Bu analiz yöntemlerinden çevre akımları yöntemi kendine özgü bazı kurallar doğrultusunda kirşofun kanunları uygulanarak her gözün akımları bulunarak, bu akımlardan devre elemanlarının kol akımları bulunmuş olur. Kol akımları bulunduktan sonra kol uçlarındaki gerilim düşümü ve gücü de bu doğrultuda bulunmuş olacaktır. Devre analizi demek, devre elemanının akım, gerilim ve gücünün hesaplanması demektir. Çevre akımlar yönteminde göz akımları sayısı devrenin bağımsız kaç gözlü olduğu duruma göre değişmektedir. Devre eleman değeri verilmeden Şekil6.1 deki iki gözlü devrenin kirşofun gerilimler kanunundan faydalanılarak çevre akımlar denklemi çıkartılır.



Şekil6.1

Denklemi yazmadan devreye bağlanan gerilim kaynağının yönü ile ilgili bir açıklama yapmak gerekir. Devreye bağlı olan gerilim kaynağının pozitif ile gösterilen yönü çevre akımı yönü ile aynı yönlü ise gözdeki elemanlar

üzerindeki gerilim düşümlerinin toplamı sıfıra eşit veya kaynak gerilimi, eleman üzerinde düşen gerilim düşümlerinin toplamına eşittir. Bu açıklamalar ışığında bu devre için çevre akımlar denklemi aşağıdaki gibi olur. (Çevre akımlarının yönü istenildiği gibi seçilebilir. Sonuç pozitif çıkmış ise alınan yönde akım aktığını, negatif değer çıkmış ise alınan yönün tersi yönde akımın aktığı anlaşılmaması gerekir. Bulunan sonucun mutlak değeri alınarak bu akım kullanılacak yerlerde kullanılması gerekir.)

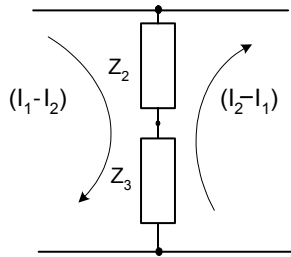
$$Z_1 \cdot I_1 + (Z_2 + Z_3) \cdot (I_1 - I_2) = U_1$$

$$(Z_2 + Z_3) \cdot (I_2 - I_1) + Z_4 \cdot I_2 = -U_2$$

çevre akımları denklemi düzenlendiğinde, düzenlenmiş denklem ortaya çıkar.

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) \cdot I_1 - (Z_2 + Z_3) \cdot I_2 = U_1$$

$$-(Z_2 + Z_3) \cdot I_1 + (Z_2 + Z_3 + Z_4) \cdot I_2 = U_2$$



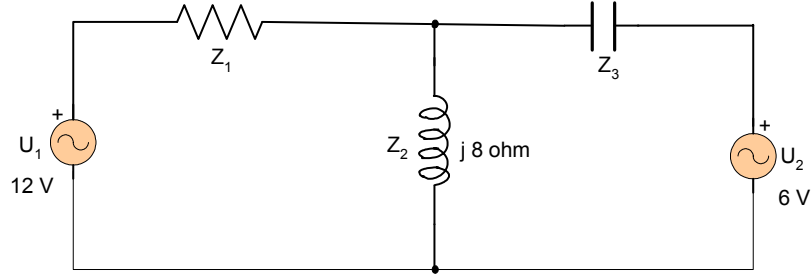
Her göz yazılırken o gözün akımının diğer göz akımından yüksek kabul edilerek Şekil6.2 de gösterildiği gibi yazılması gerekir. Akım yönleri aynı olmuş olsaydı, çıkarılmazdı toplanması gerekirdi.

**Şekil6.2**

Devre iki gözlü olduğundan iki denklem bulunmuştur. Bu denklemler matematik kuralları doğrultusunda çevre akımları bulunur. Bu kaynakta denklem çözümleri matris ve determinant yardımı ile çözümün bulunması sağlanacaktır. Çevre akımları bulunduktan sonra bu akımlardan kol akımları eşitlikleri bulunarak devre elemanlarının üzerinden geçen akımlar bulunur. Bu devrede  $Z_1$  elemanının üzerinden  $I_1$  akımı,  $(Z_2, Z_3)$  elemanlarından  $(I_1 - I_2)$  veya  $(I_2 - I_1)$  akımı ve  $Z_4$  empedansı üzerinden ise  $I_2$  göz akımı görülür.

### Örnek6.1

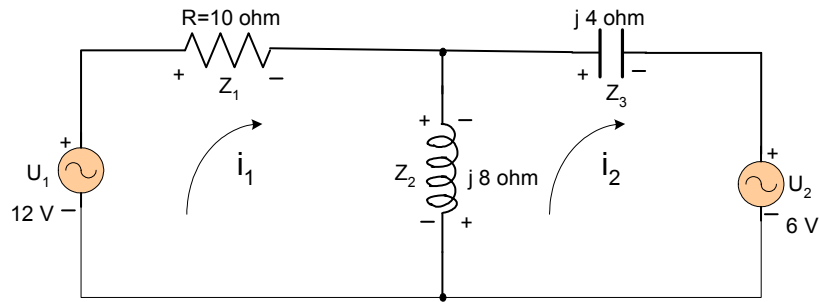
Şekil6.3 de verilen alternatif akım devresindeki göz akımlarını hesaplayınız.



Şekil6.3

### Çözüm6.1

Şekil6.3 de verilen alternatif akım devresi iki gözlü bir devredir. Bundan dolayıdır ki iki göz akımı dolaşmaktadır. Şekil6.4 de göz akımlarının yönü gösterilerek gözler belirlenmiş ve bu göz akımları ile her göz için kirşofun gerilim kanununu uygulanmış ve çevre denklemi oluşturulmuştur.



Şekil6.4

$$Z_1 i_1 + (i_1 - i_2) Z_2 = U_1$$

$$Z_2 (i_2 - i_1) + Z_3 i_2 = -U_2$$

denklem düzenlendiğinde çevre akımlar denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$(Z_1 + Z_2) i_1 + (-Z_2) i_2 = U_1$$

$$(-Z_2) i_1 + (Z_2 + Z_3) i_2 = -U_2$$

empedans değerlerini yerlerine yazarak denklemi tekrar yazarak, bu denklemin çözümünü matris ve determinantla çözümü yapılır.

$$(10 + j8).i_1 + (-j8).i_2 = 12$$
$$(-j8).i_1 + (j8 - j4).i_2 = -6$$

$$\begin{bmatrix} 10 + j8 & -j8 \\ -j8 & j4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ -6 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 10 + j8 & -j8 \\ -j8 & j4 \end{vmatrix} = (10 + j8).j4 - (-j8.-j8) = 32 + j40$$

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} 12 & -j8 \\ -6 & j4 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(12.j4) - (-6.-j8)}{32 + j40} = \frac{0}{32 + j40} = 0A$$

$$i_2 = \frac{\begin{vmatrix} 10 + j8 & 12 \\ -j8 & -6 \end{vmatrix}}{\Delta} = \frac{(-6.(10 + j8)) - (-j8.12)}{32 + j40} = 1,5 \angle 90^\circ A$$

## 6.2 SÜPERPOZİSYON TEOREMİ

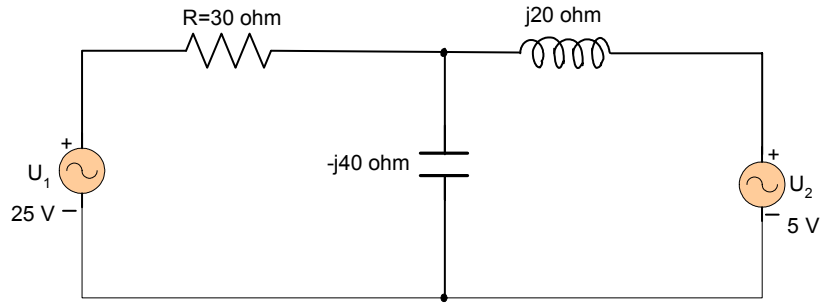
Birden fazla kaynak bulunan doğrusal ve çift yönlü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim süperpozisyon yöntemi ile bulunur.

Doğrusal ve çift yönü bir elektrik devresinde herhangi bir koldan geçen akım veya kolun uçlarındaki gerilim kaynaklardan her birinin ayrı ayrı bu koldan geçirdikleri akımların veya kolun uçlarında meydana getirdikleri gerilimlerin toplamına eşittir.

Bu yöntem, devre çözümlerinde çok işe yarar. Gerilim veya akım kaynakları ile beslenen lineer devrelere uygulanır. Devrede kaç aktif kaynak varsa, sıra ile kaynaklardan yalnız bir tanesi devrede bırakılarak diğerleri, gerilim kaynakları ise kısa devre, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Örnek vermek gerekirse; kaynaklar gerilim kaynağı ise devredeki herhangi bir kolun akımı bulunması isteniyorsa sıra ile her gerilim kaynağının o koldan geçirdiği akımlar bulunur. Bu bulunan akımların toplamı kol üzerinden geçen akımı verir. (akımların yönleri dikkate alınır) Bu konu ile ilgili örnekler yaparak konunun anlaşılmasını sağlayalım.

### Örnek6.2

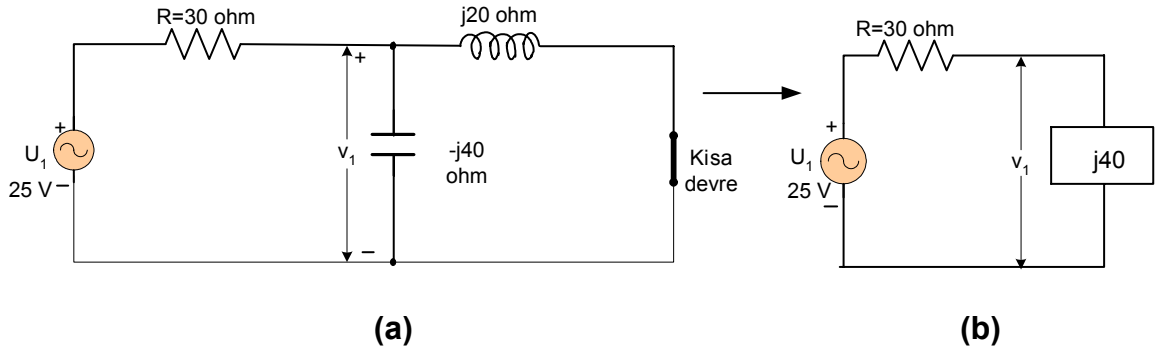
Şekil6.5 deki alternatif akım devresindeki kondansatör uçlarındaki gerilimi süperpozisyon yöntemi ile hesaplayınız.



Şekil6.5

### Çözüm6.2

Süperpozisyon yöntemi ile çözülen ilk örnek olduğu için bu örnek açıklamalı bir şekilde çözüme gidilecektir. Süperpozisyon yönteminde devrede ne kadar aktif kaynak olursa olsun devrede tek kaynak kalacak şekilde devre tekrar çizilir. Devreden çıkartılan akım kaynağı ise açık devre, gerilim kaynağı çıkartılmış ise o uçlar kısa devre edilir. Pasif elemanların yerleri ve tüm elemanların değerleri değiştirilmezler. Bu devre için ilk  $U_1$  kaynağını devrede bırakıp devreyi tekrar çizelim.

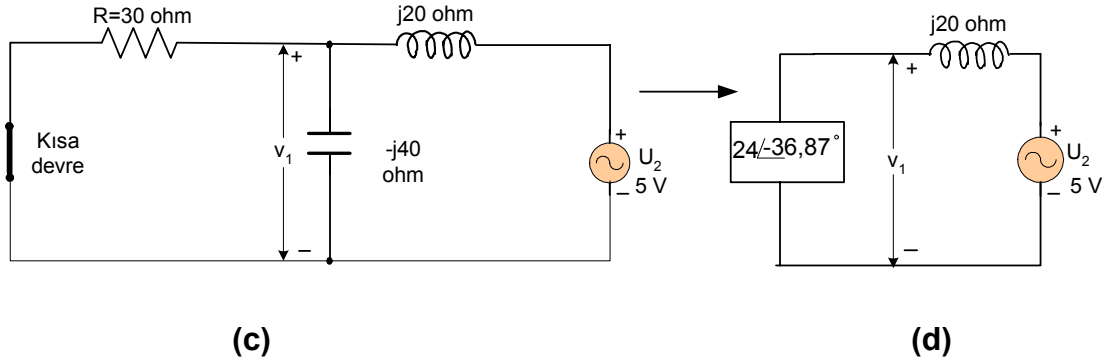


$U_1$  devre iken devrenin empedansı bulunarak kondansatör uçlarındaki gerilimi gerilim bölme yöntemi ile bulunur. Şekil6.5 (a) da akımın akışına göre kondansatör uçlarındaki gerilimin kutupları gösterilmiştir.

$$Z_1 = \frac{(20 \angle 90^\circ) \cdot (40 \angle -90^\circ)}{j20 - j40} = \frac{800 \angle 0^\circ}{20 \angle -90^\circ} = 40 \angle 90^\circ$$

bu sonuç şekil6.5 (b) de gösterilmiştir. Gerilim bölme yöntemi bu devre için uygulanırsa 25V luk kaynağın kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü aşağıdaki şekilde bulunur.

$$v_1 = \left( \frac{40 \angle 90^\circ}{30 + j40} \right) U_1 = \left( \frac{40 \angle 90^\circ}{50 \angle 53,13^\circ} \right) \cdot 25V = 20 \angle 36,87^\circ V = (16 + j12) V$$



Şekil6.5 (c) deki devrede  $U_2$  gerilim kaynağı kalacak şekilde devre şekil tekrar çizilmiş  $U_1$  kaynağı ise kısa devre edilmiştir. Devrede kalan kaynağın kondansatör üzerindeki gerilim düşümü değeri, önce eşdeğer empedans bulunarak gerilim bölme kaidesinden kondansatör üzerindeki gerilim düşümü bulunmuş olur.

$$Z_2 = \frac{(30 \angle 0^\circ) \cdot (40 \angle -90^\circ)}{30 - j40} = \frac{1200 \angle -90^\circ}{50 \angle -53,13^\circ} = 24 \angle -36,87^\circ \Omega$$

$$v_2 = \left( \frac{24 \angle -36,87^\circ}{24 \angle -36,87^\circ + j20} \right) U_2 = \left( \frac{24 \angle -36,87^\circ}{20 - j14,4 + j20} \right) U_2 = \left( \frac{24 \angle -36,87^\circ}{20 + j5,6} \right) U_2$$

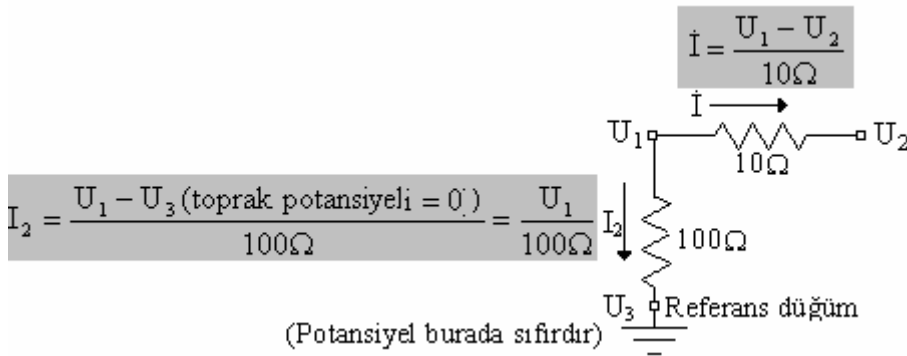
$$\left( \frac{24 \angle -36,87^\circ}{20,77 \angle 15,64^\circ} \right) \cdot 5V = 5,78 \angle -52,51^\circ V = (3,52 - j4,59) V$$

Her iki kaynağında gerilim düşümleri aynı kutup da olduğundan kondansatör uçlarındaki gerilim düşümleri toplanır. Farkı olsaydı çıkartılırdı. Buna göre kondansatör uçlarındaki gerilim düşümü aşağıdaki gibi olur.

$$U_C = v_1 + v_2 = (16 + j12)V + (3,52 - j4,59)V = (19,52 + j7,41)V = 20,88 \angle 20,79^\circ V$$

### 6.3 DÜĞÜM GERİLİMLER YÖNTEMİ

Düğüm gerilimleri ile devrelerin analizleri yapılabilir. Bu yöntemle devre analizi yapmak için analizi yapılacak devrede gerilim kaynakları bulunuyorsa bunun eşdeğeri olan akım kaynağına dönüşümü yapıp devre tekrar düzenlenmesi gerekir. Yeni oluşacak devrede düğümler belirlenip, en kalabalık düğüm noktası referans düğüm tayin edilerek o düğüm topraklanması gerekir. Aktif düğümlere bir isim verilerek ( $U_1$ ,  $U_2$  veya  $U_A$ ,  $U_B$  gibi) bu düğümlere kirşofun akımlar kanunu her düğüm için ayrı ayrı uygulanır. Düğüme giren akımları pozitif çıkan akımlara negatif mantığı düşünülürse; 1.düğümünden çıkan akım diğer düğüme giren olduğunu unutmamak gerekir. 1.düğümde aynı akım negatif durumunda iken diğer düğüme girdiği için pozitif olacaktır. Düğümlere giren aktif elemanların yönleri giren, çıkan durumunda bağlı ise aynı yönü almak zorunluluğu vardır. Fakat bağımsız kol akımlarını istediğiniz yönde alabilirsiniz. O kollar için seçiminizi hangi yönlü kullanmış iseniz sürekli aynı yönü o devrede o kol için kullanmak zorundasınız. Kolların üzerinden geçen akımları düğüm gerilimleri eşitinden yazarak oluşturduğunuz denklemde yerine yazarak düğüm gerilimlerini matematik kuralları ile çözümü yaparsınız. Düğüm gerilimleri bulunduktan sonra kol akımları ve o kolun gerilimleri bu şekilde bulma imkanına sahip olursunuz. İki düğüm arasındaki bir direncin üzerinden geçen akım ile referans düğüm arasında kalan bir direncin üzerinden geçen akımı düğüm gerilimleri eşiti aşağıdaki şekilsel ve teorik olarak gösterilmiştir. ( $U_1 > U_2 > \dots > 0$ )



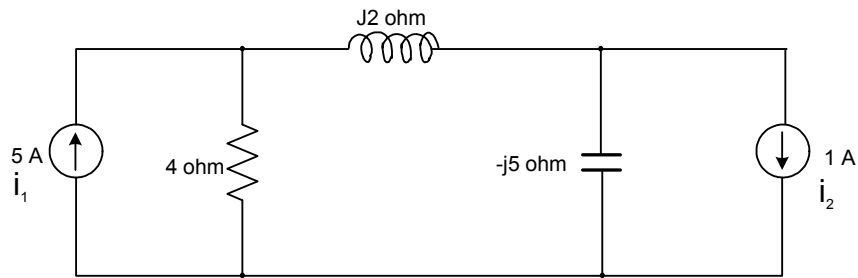
Şekil6.6

10Ω direncin bağlı olduğu düğümler  $U_1$  ve  $U_2$  düğümleri bu düğümlerin potansiyel farkı bu eleman üzerindeki gerilimi verir. Bu gerilimin direnç değerine bölümü (ohm kanunu) o kolun üzerinden geçen akımı verecektir. Burada dikkat edilirse 1.düğümün geriliminin yüksek potansiyelde olduğu

kabul edilmiştir. Referans düğüm tayin ettiğiniz düğümümü toprakladığınızdan o düğümün gerilimi sıfır olacaktır. Ondan dolayı  $100\Omega$  direncin uçlarındaki gerilim sadece 1.düğümün gerilimine eşittir. Bu sözle ifade ettiklerimizi bir örnek üzerinde uygulamasını yapalım.

### Örnek6.3

Şekil6.7 deki alternatif akım devresinde düğüm gerilimler yöntemi ile endüktif reaktansın üzerinden geçen akımı hesaplayınız.



Şekil6.7

### Çözüm6.3

Şekil6.7deki alternatif akım devresinde aktif düğümleri belirleyerek en kalabalık düğümü referans düğüm tayin edelim. Devre elemanlarının üzerlerinden geçirdikleri akımları ve yönlerini şekil6.8 de gösterilmiştir.

Kirşofun akımlar kanunundan düğüm denklemini admidans cinsinden yazılırsa;

$$i_1 = Y_1 U_1 + Y_2 (U_1 - U_2) \quad 1. \text{ düğüm denklemini}$$

$$(Y_1 + Y_2) U_1 - Y_2 U_2 = i_1 \quad 2. \text{ düğüm denklemini} \quad \text{bu denklemler düzenlenirse,}$$

$$(Y_1 + Y_2) U_1 - Y_2 U_2 = i_1$$

$$-Y_2 U_1 + (Y_2 + Y_3) U_2 = -i_2$$

düğüm gerilimler denklemini elde edilir. Bu denklem kirşofun akımlar kanununda, bir düğüme giren akımlar çıkan akımlara eşit olduğunu ifade etmiş olduğundan bu kanunla çıkartılmıştır. Çevre akımlarında olduğu gibi bu denklem çözüldüğünde düğüm gerilimleri bulunur. bu denklemin çözümü matris ve determinant ile çözülebilir.

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \text{ bu matris determinantla çözülürse;}$$

$$\Delta = \det \begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} = (Y_1 + Y_2)(Y_2 + Y_3) - Y_2^2 = Y_1 \cdot Y_2 + Y_1 \cdot Y_3 + Y_2^2 + Y_2 Y_3 - Y_2^2$$

$$= Y_1 \cdot Y_2 + Y_1 Y_3 + Y_2 Y_3$$

Değerler  $Y_1 = 0,25 \angle 0^\circ$ ,  $Y_2 = 0,5 \angle -90^\circ$  ve  $Y_3 = 0,2 \angle 90^\circ$  bu değerler determinant da ki yerlerine konulur işlemler yapılırsa  $\Delta = 0,125 \angle -36,87^\circ$  değeri bulunur.  $\Delta$  bulunduktan sonra 1. düğüm gerilimi aşağıdaki şekilde bulunur.

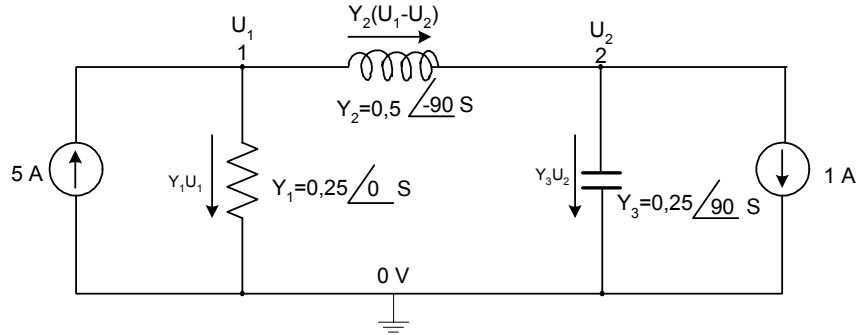
$$U_1 = \frac{\det \begin{bmatrix} i_1 & -Y_1 \\ -i_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix}}{\Delta} = \frac{i_1(Y_2 + Y_3) - i_2 Y_2}{\Delta} = \frac{(5 \angle 0^\circ)(0,5 \angle -90^\circ + 0,2 \angle 90^\circ) - (1 \angle 0^\circ)(0,5 \angle -90^\circ)}{\Delta}$$

$$= \frac{1 \angle -90^\circ}{0,125 \angle -36,87^\circ} = 8 \angle -53,13^\circ V = (4,8 - j6,4) V$$

$$U_2 = \frac{\det \begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & i_1 \\ -Y_2 & -i_2 \end{bmatrix}}{\Delta} = \frac{(Y_1 + Y_2)(-i_2) + Y_2 i_1}{\Delta} = \frac{(0,25 - j0,5)(-1) + (0,5 \angle -90^\circ)(5)}{\Delta}$$

$$= \frac{-0,25 + j0,5 - j2,5}{\Delta} = \frac{-0,25 - j2}{\Delta} = \frac{-(0,25 + j2)}{\Delta} = \frac{-2,016 \angle 82,87^\circ}{0,125 \angle -36,87^\circ}$$

$$= -16,12 \angle 119,74^\circ = 16,12 \angle -60,26^\circ V = (8 - j14) V$$



Şekil6.8

2. düğümün gerilimi bulunur. bobin elemanı 1. ve 2 düğüm gerilimleri arasında bağlı ve şekil6.8 de bobin üzerinden geçen akım denklemin de değerler yerlerine yazılarak bobin üzerinden geçen akım bulunur.

$$i_L = Y_2 \cdot (U_1 - U_2) = (0,5 \angle -90^\circ) \cdot (4,8 - j6,4) - (8 - j14)$$

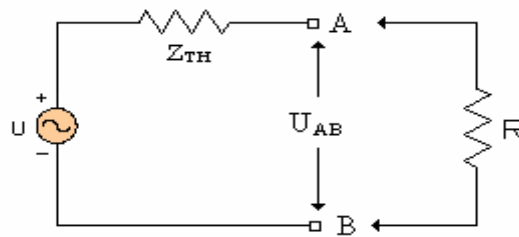
$$= -0,5(-3,2 + j7,6) = (3,8 + j1,6) A$$

$$= 4,12 \angle 22,83^\circ A$$

## 6.4 THEVENİN TEOREMİ

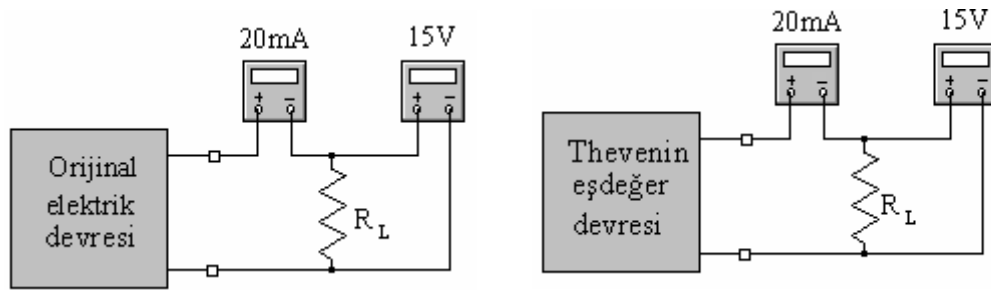
Thevenin teoremi; bir yada daha fazla gerilim kaynağı ile beslenen lineer devre çözümlerini kolaylaştıran bir yöntem olup, şu biçimde tanımlanır. A ve B gibi uçları olan bir devrenin bu uçlarına bir direncin bağlandığı zaman, bu

dirençten geçen akım  $I = \frac{U_{AB}}{Z_{TH} + R}$  dir.



Şekil6.9

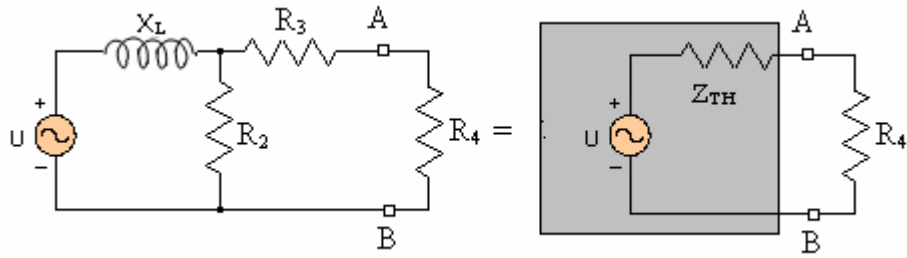
Burada  $U_{AB}$ ; A,B uçları arasında R direnci yokken bu uçlar arasındaki ölçülen potansiyel fark.  $R_T$ ; devredeki bütün gerilim kaynakları, kısa devre, akım kaynakları açık devre yapılarak elde edilen A,B uçları arasındaki toplam empedansdır. Böylece,  $Z_T$  ile  $U_{AB}$  seri bağlanarak elde edilen devreye AB arasında gözükten devrenin THEVENİN EŞDEĞER devresi denir. Şekil6.6de görüldüğü gibi elektrik devresinin AB uçlarındaki thevenin eşdeğerini verir. Buradaki  $U_{AB}$  gerilimine Thevenin eşdeğer gerilimi olan  $U_{TH}=U_{AB}$  ve  $Z_T$  direncine ise  $Z_{TH}$  olarak kullanılacaktır. Orijinal devrede bağlı iken  $R, X_C$  veya  $X_L$  direnci üzerinden geçen ve uçlarındaki gerilim değeri ne bulunursa, o orijinal devrenin Thevenin eşdeğeri oluşturulur  $R, X_C$  veya  $X_L$  direnci thevenin eşdeğerine bağlanır ve hesaplanır. Veya ölçülerek de aynı değer bulunur.



**Şekil6.10** Orijinal devre ve o devrenin Thevenin eşdeğeri

Elektrik, elektronik devreler karışık olabilir. Devrenin analizini thevenin teoremi ile yapılacak olursa hata yapılmayacaktır. Maddeler halinde açıklayalım.

- 1-** Analizi yapılacak kol orijinal devreden çıkartılır. Çıkarılan bu noktaya bir isim verilir. (A,B veya 1,2 gibi)
- 2-** Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkarılan gerilim kaynağı ise o uçlar kısa devre, akım kaynakları ise açık devre yapılır. Çıkarılan (analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer empedansı bulunur. Bu bulunan eşdeğer empedans, çıkartılan kol uçlarının thevenin eşdeğer direnci( $Z_{TH}$ ) dir.
- 3-** Analizi yapılacak kolun (1.maddede çıkarılan kol) uçlarının Thevenin eşdeğer devresi çizilir.



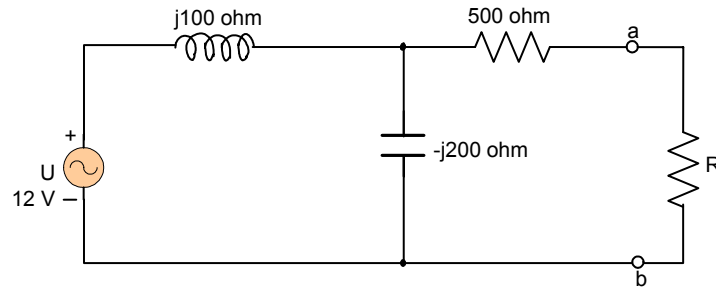
**Şekil6.11** Orijinal devre ve AB uçlarının Thevenin eşdeğeri

**4-** Çıkarılan kol thevenin eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanır. Kırşofun gerilimler kanunu uygulanarak kol akımı bulunur.

Bu maddeleri uygulayarak bunu sayısal bir örnek üzerinde çözümünü thevenin yöntemi ile yapalım.

#### Örnek6.4

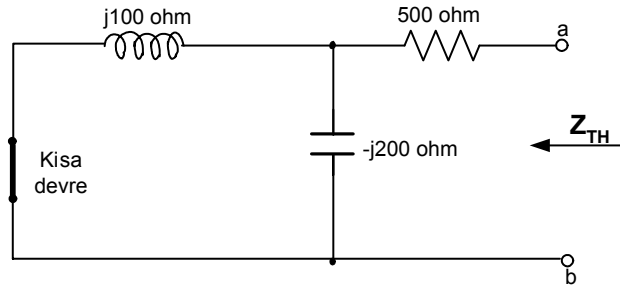
Şekil6.12 daki alternatif akım devresinde R direnci uçlarındaki (ab ile gösterilen kolun) thevenin eşdeğer devresini bulunuz.



**Şekil6.12**

#### Çözüm6.4

Thevenin eşdeğeri bulunacak kol devreden çıkartılarak devredeki tüm aktif kaynaklar devreden çıkartılır. Çıkarılan bu devre için gerilim kaynağı olduğundan bu uçlar kısa devre edilir. Şekil6.13 (a) de görüldüğü gibi thevenin eşdeğeri bulunacak kol uçlarından bakılarak thevenin eşdeğer empedansı bulunur.

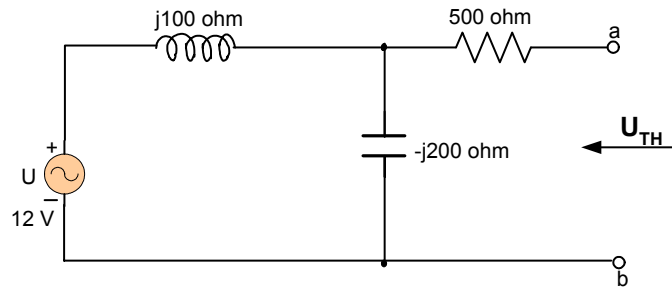


Şekil6.13(a)

$$Z_{TH} = 500 + \frac{(100\angle 90^\circ) \cdot (200\angle -90^\circ)}{j100 - j200} = 500 + \frac{2 \times 10^4}{100\angle -90^\circ}$$

$$= 500 + j200 \Omega = 538,52\angle 21,8^\circ$$

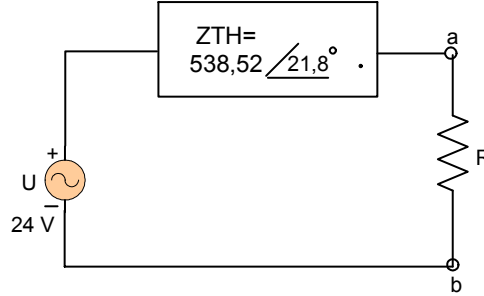
Çıkartılan kaynaklar devreye tekrar yerlerine bağlanarak kanun ve yöntemlerden faydalanılarak, thevenin eşdeğeri oluşturulacak uçların thevenin gerilim değeri bulunur. Şekil6.13(b) de gösterilmiştir.



Şekil6.13(b)

$$U_{TH} = \left( \frac{-j200}{j100 - j200} \right) \cdot 12V = \left( \frac{-j200}{-j100} \right) \cdot 12V = 24\angle 0^\circ$$

bulunan bu değerler thevenin eşdeğer devresinde yerine yazılarak ab uçlarının Thevenin eşdeğer devresi Şekil6.13(c) deki gibi oluşturulmuş olur.



Şekil6.13(c) Devrenin Thevenin eşdeğeri

Direnç değeri 200 ohm değerinde bağlanmış olsaydı, direnç üzerindeki akımda aşağıdaki şekilde bulunurdu.

$$I = \frac{24V}{538,52 \angle 21,8^\circ + 200} = 6,59 \angle -15,95^\circ \text{ Amper}$$

## 6.5 NORTON TEOREMİ

Norton teoremi, thevenin teoreminin değişik bir biçimi(dualı) olup a ve b gibi iki ucu olan lineer aktif bir devrenin bir  $R_N$  direnci ile paralel bir  $I_N$  akım kaynağı biçimine sokulma olanağı verir. Bu biçimde elde edilen devreye NORTON EŞDEĞER akım kaynağı adı verilir. Bu akım kaynağının eşdeğer gerilim kaynağı ise Thevenin Eşdeğer gerilim kaynağıdır. Norton eşdeğer akım kaynağı devresinde;

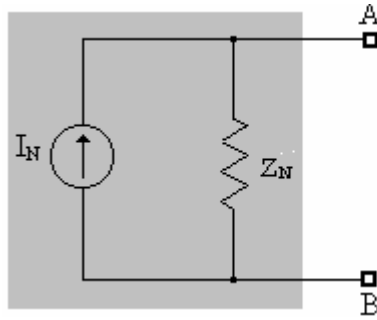
$I_N$ : Verilen devrenin AB uçları kısa devre yapılması ile oluşan çevre akımıdır.

$R_N$ : Devredeki gerilim kaynaklarının kısa devre, akım kaynaklarının açık devre yapılmalarından sonra AB arasındaki devrenin toplam direncidir.

Bir elektrik devresinde her hangi bir kolun analizi norton teoremi ile bulunması gerekirse aşağıdaki adımlar uygulandığı zaman devrenin çözümü daha sağlıklı olacaktır.

- 1- Analizi yapılacak kol devreden çıkartılır. Çıkartılan bu noktaya bir isim verilir. (Örneğin; A,B veya 1,2 gibi)
- 2- Devreden bütün kaynaklar çıkartılır. Çıkartılan gerilim kaynağı ise kısa devre, akım kaynağı ise açık devre yapılır. Çıkarılan(analizi yapılacak) kol uçlarından bakılarak o uçların eşdeğer direnci

- 3- bulunur. Bu bulunan eşdeğer direnç aynı zamanda  $Z_N$  eşdeğer direncidir.
- 4- Devreden çıkartılmış olan akım ve gerilim kaynakları devreye tekrar aynı yerlerine bağlanarak devreye bilinen konular veya teoremler uygulanarak analizi yapılacak kolun uçlarının kısa devre akımı bulunur. Bu bulunan kısa devre akımı aynı zamanda  $I_N$  akımıdır eşittir.
- 5- Analizi yapılacak kolun(1.maddede çıkarılan kol) norton eşdeğer devresi çizilir.



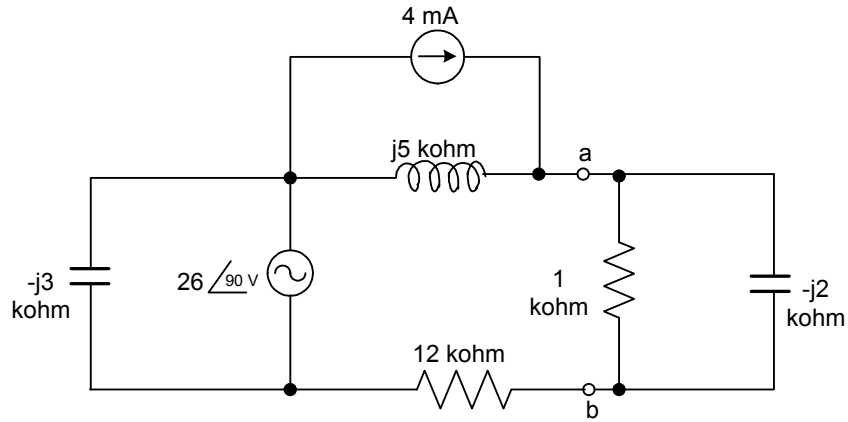
**Şekil6.14** Norton eşdeğer devresi

- 6- Çıkartılan kol norton eşdeğer devresine (AB uçlarına) bağlanarak kirşofun akımlar kanunu uygulanır, kol akımı bulunur.

Bu maddeleri uygulayarak sayısal bir örnek çözülürse norton yöntemi daha anlaşılır ve devrelerin analizi yapılabilir.

### Örnek6.5

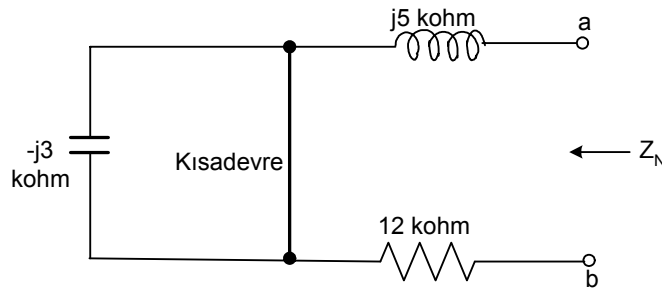
Şekil6.15(a)deki devrenin ab uçlarının norton eşdeğer devresini oluşturunuz.



Şekil6.15(a)

### Çözüm6.5

Norton yöntemini açıklarken ab uçlardaki kolların çıkartılıp, çıkartılan kol uçlarının empedansının bulunması için devredeki tüm aktif kaynaklar devreden çıkartılarak (çıkartılan kaynak gerilim kaynağı ise kısa devre, akım kaynağı ise açık devre yapılır) devrenin o uçlarındaki eşdeğer empedansı bulunur denilmişti bu doğrultuda eşdeğer empedans Şekil6.15(b) de ve teori çözümü aşağıdaki gibi olur.

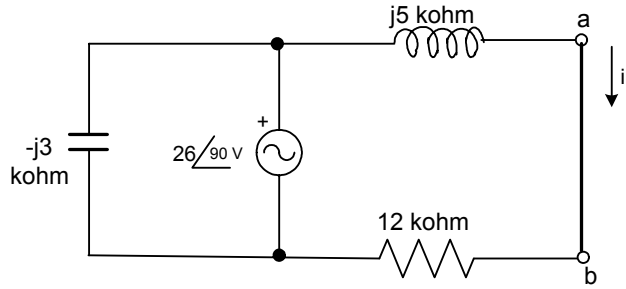


Şekil6.15(b)

Şekil6.15(b) görüldüğü gibi, gerilim kaynağı kısa devre edilince paralel bağlı olan  $j3$  kohm'luk kapasitif reaktans kısa devre olmuştur. Devrenin ab uçlarındaki empedansı  $j5$  k $\Omega$  ve  $12$  k $\Omega$  seri durumdadır.

$$Z_N = 12k\Omega + j5k\Omega = 13\angle 22,62^\circ k\Omega \text{ bulunur.}$$

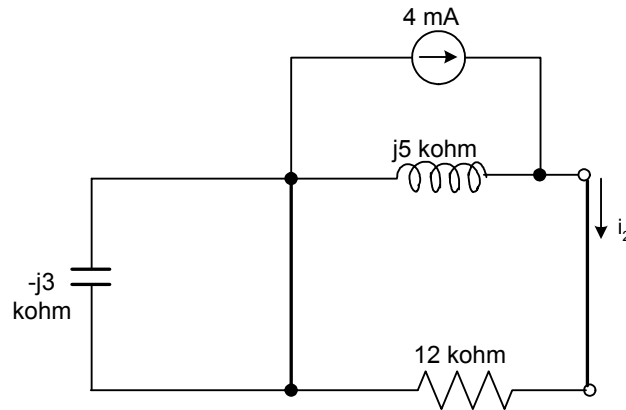
Devrenin ab uçlarının norton akımını süper pozisyon yöntemi ile bulabiliriz. Bu akımı istenilen kanun veya yöntemlerden yararlanarak bulunabilir.



Şekil6.15(c)

$i_1 = \frac{26\angle 90^\circ V}{12k\Omega + j5} = \frac{26\angle 90^\circ V}{13\angle 22,62^\circ} = 2\angle 67,38^\circ mA$  Şekil6.15(c) deki devren  $i_1$  akımı bulunur.

Şekil6.15(d) devrede akım kaynağı kalacak şekilde ve gerilim kaynağı devreden çıkartılarak uçları kısa devre edilmiştir. Buna göre süperpozisyon yöntemi kullanılarak çözersek;



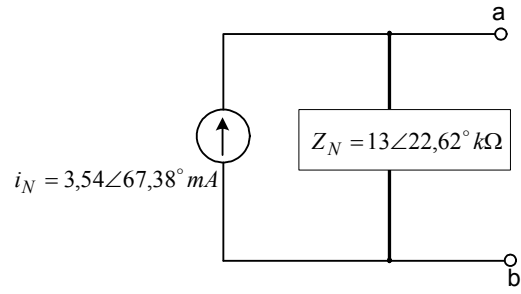
Şekil6.15(d)

$$i_2 = \left( \frac{5\angle 90^\circ k\Omega}{12k\Omega + j5k\Omega} \right) (4\angle 0^\circ mA) = \left( \frac{5\angle 90^\circ k\Omega}{13\angle 22,62^\circ} \right) \cdot 4\angle 0^\circ mA = 1,54\angle 67,38^\circ mA$$

Her iki kaynağın ab uçlarından geçirdikleri akımın yönleri aynı olduğu için bu iki akım toplanır. Bu akım ab uçlarının norton akımıdır.

$$i_N = i_1 + i_2 = 2\angle 67,38^\circ mA + 1,54\angle 67,38^\circ mA = 3,54\angle 67,38^\circ mA$$

bulunan bu akımlar ve norton eşdeğer devresi çizilerek değerleri üzerine yazılmış şekli, Şekil6.15(d) görülmektedir.

**Şekil6.15(d):** Norton eşdeğer devresi