

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

DEVRE TEORİSİ

Ders Notu

**SİNÜSOİDAL SÜREKLİ HALDE
ELEKTRİK DEVRELERİNİN ÇÖZÜMÜ**

- **ÇEVRE AKIMLARI YÖNTEMİ**
- **DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ**

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

SİNÜSOİDAL SÜREKLİ HALDE

①

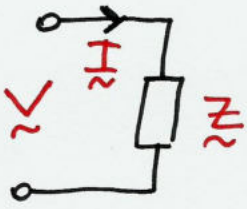
ELEKTRİK DEVRELERİNİN ÇÖZÜMÜ

(Alternatif Akım Devrelerinin Çözümü)

SSH'de, Alternatif akım devrelerinin çözümünde doğru akım devrelerinin çözümünde olduğu gibi aynı yöntemler (Gevre Akımları Yöntemi, Düzgün Gerilimleri Yöntemi) ve teoremler (Thevenin, Norton, Süperpozisyon) kullanılır. Başlıca fark, DC devrelerde kaynakların gerilim ve akımları sabit olduğu ve devrede sadece dirençler olduğu için işlemler reel sayılarla yapılıyor, akım ve gerilimler aritmetik olarak toplanıyordu. AC devrelerde ise kaynakların gerilim ve akımları sinüsoidal biçimde değişir, devrede dirençten (R) başka endüktans (L) ve kondansatör (C) elemanları da bulunur. AC devre çözümünde, DC devre çözümünde kullanılan aynı yöntemler (G.A.Y., DÜG.Y. vb) ve teoremler kullanılır ancak işlemler kompleks sayılara dayanır fazörler ile yapılır. Akım ve gerilimler fazörler ile vektörel olarak toplanır, çıkarılır. AC devrelerde kaynakların akım ve gerilimleri fazörler ile ifade edilir. AC devrelerde sinüsoidal sürekli Hal (SSH)'de devre çözümü yapılabilmesi için devredeki tüm kaynakların frekansını aynı olmalıdır. (Hepsi 50 Hz veya hepsi 60 Hz gibi) Eğer devrede farklı frekanslı kaynaklar var ise devrenin çözümü t -domeninde "Süperpozisyon Teoremi" ile yapılabilir.

SSH'de GEVRE AKIMLARI YÖNTEMİ (GAY.)

SSH'de Ohm Kanunu



$$\tilde{I} = \frac{\tilde{V}}{\tilde{Z}}$$

$\Rightarrow$

$$\tilde{V} = \tilde{Z} \cdot \tilde{I}$$

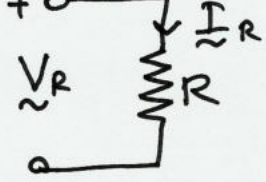
$\Rightarrow$

$$\tilde{Z} = \frac{\tilde{V}}{\tilde{I}}$$

(2)

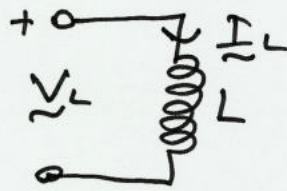
SSH'de R, L, C Elemanlarının Uç Denklemleri

Direnç (R)



$$\tilde{V}_R = R \cdot \tilde{I}_R$$

Endüktans (L)

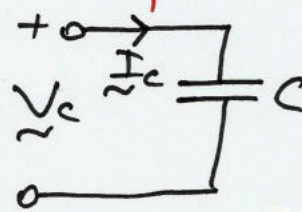


$$\tilde{V}_L = j\omega L \cdot \tilde{I}_L$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$\tilde{V}_L = jX_L \cdot \tilde{I}_L$$

Kapasite (C)



$$\tilde{I}_C = j\omega C \cdot \tilde{V}_C$$

$$\tilde{V}_C = \frac{1}{j\omega C} \tilde{I}_C = -j \cdot \frac{1}{\omega C} \tilde{I}_C$$

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

$$\tilde{V}_C = -jX_C \cdot \tilde{I}_C$$

Gevre denklemi yazmak, Kirchhoff'un Gerilimler Yasasını uygulamaktır. O hâlde Gevre denklemi yazarken;

- Direncin (R) gerilimi : $\tilde{V}_R = R \cdot \tilde{I}_R$

- Endüktansın (L) gerilimi : $\tilde{V}_L = jX_L \tilde{I}_L$ veya $\tilde{V}_L = j\omega L \cdot \tilde{I}_L$

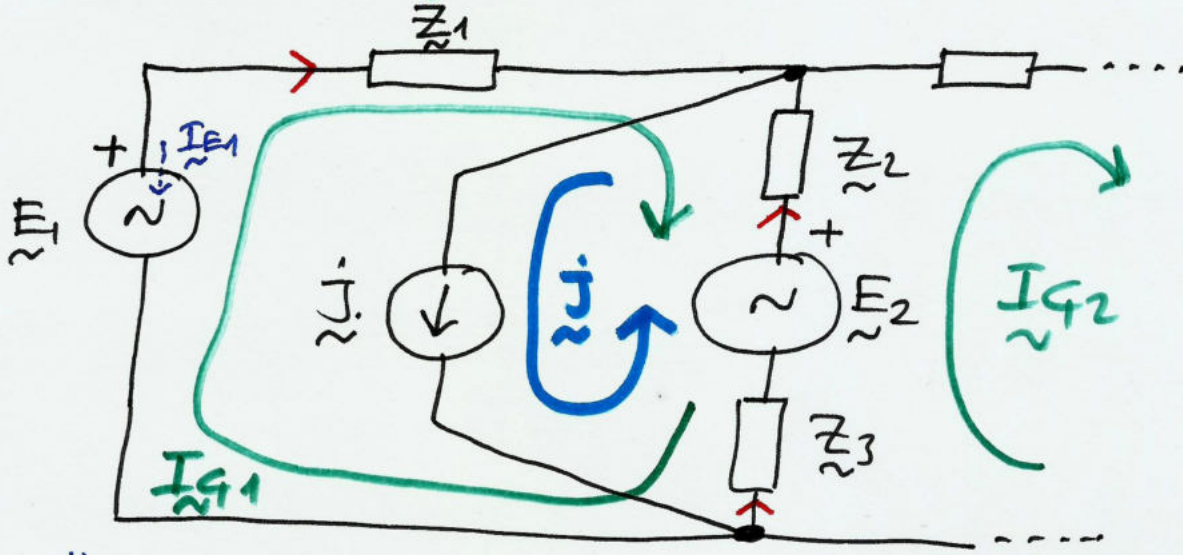
- Kapasitenin (C) gerilimi : $\tilde{V}_C = -jX_C \tilde{I}_C$ veya $\tilde{V}_C = \frac{1}{j\omega C} \cdot \tilde{I}_C$

olarak yazılacak.

SSH'de Gevre Akımları Yöntemi'ne göre

devre denklemlerinin adım-adım elde edilmesi ve "Matris Bisminde" yazılması aşağıda bir örnek devre üzerinde gösterilmiştir:

SST'de Çevre Denklemi Yazma ③



Önce devredeki akım kaynakları kabulülür, ortaya çıkan gözler devrede akımı bilinmeyen "Bağımsız Çevre" lerdir. Sonra akım kaynakları tekrar bağlanır. Her akım kaynağı için bir çevre oluşturulur.

Bağımsız çevrelerin ($I_{g1}, I_{g2}, \dots$) çevre yönü rastgele seçilebilir. Ancak akım kaynağının çevre yönü rastgele seçilemez, yön akım kaynağının yönünde olmalıdır. Akım kaynağı çevresinin çevre akımı akım kaynağının akımına eşittir.

I_{g1} çevresi için çevre denklemini yazalım:

Önce Z_1, Z_2, Z_3 empedansları için rastgele akım yönü işaretleyelim. Sonra I_{g1} çevresinde Kirchhoff'un Gerilimler Yasasını uygulayalım:

$$-E_1 + V_{Z1} - V_{Z2} + E_2 - V_{Z3} = 0$$

$$-E_1 + Z_1 \cdot I_{Z1} - Z_2 \cdot I_{Z2} + E_2 - Z_3 \cdot I_{Z3} = 0 \quad (1)$$

Empedansların akımlarını çevre akımları (I_{g1}, I_{g2} ve J) cinsinden yazalım:

$$I_{Z1} = I_{g1}, \quad I_{Z2} = I_{g2} - I_{g1} + J \quad \text{ve} \quad I_{Z3} = I_{g2} - I_{g1} + J$$

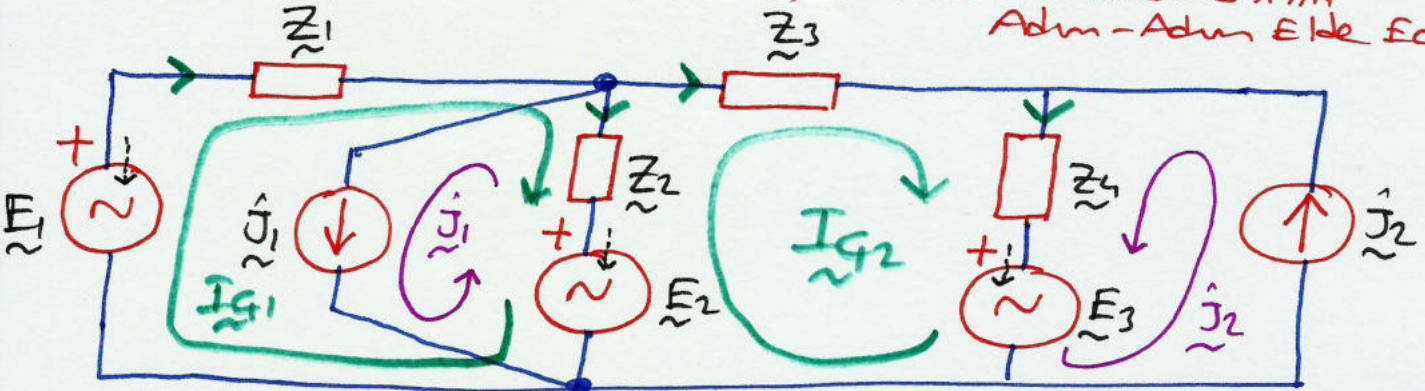
Bu akımları (1) eşitliğinde yerine yazalım:

(4)

$$-E_1 + Z_1 \cdot I_{G1} - Z_2(I_{G2} - I_{G1} + \hat{J}) + E_2 - Z_3(I_{G2} - I_{G1} + \hat{J}) = 0$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3) \cdot I_{G1} - (Z_2 + Z_3) \cdot I_{G2} - E_1 + E_2 - (Z_2 + Z_3) \cdot \hat{J} = 0$$

Örnek (SSH'de 9.A.Y. ile devre denklemlerinin Adım-Adım Elde Edilmesi)



- Akımı bilinmeyen bağımsız çevreleri ve akım kaynağı çevrelerini oluşturduktan sonra empedanslar için rastgele akım yönü seçelim.
- Aşağıda, denklemlerde yerine yazmak üzere, empedans akımlarını çevre akımları cinsinden yazalım:

$$I_{Z1} = I_{G1}, \quad I_{Z2} = I_{G1} - I_{G2} - \hat{J}_1, \quad I_{Z3} = I_{G2}, \quad I_{Z4} = I_{G2} + \hat{J}_2$$

1. Çevre (I_{G1}) için Çevre Denklemi;

$$-E_1 + Z_1 \cdot I_{Z1} + Z_2 \cdot I_{Z2} + E_2 = 0$$

$$-E_1 + Z_1 \cdot I_{G1} + Z_2 \cdot (I_{G1} - I_{G2} - \hat{J}_1) + E_2 = 0$$

$$(Z_1 + Z_2) \cdot I_{G1} - Z_2 \cdot I_{G2} - E_1 + E_2 - Z_2 \cdot \hat{J}_1 = 0 \quad \text{1. denklem}$$

2. Çevre (I_{G2}) için Çevre Denklemi

$$-E_2 - Z_2 \cdot I_{Z2} + Z_3 \cdot I_{Z3} + Z_4 \cdot I_{Z4} + E_3 = 0$$

$$-E_2 - Z_2 \cdot (I_{G1} - I_{G2} - \hat{J}_1) + Z_3 \cdot I_{G2} + Z_4 \cdot (I_{G2} + \hat{J}_2) + E_3 = 0$$

$$(Z_2 + Z_3 + Z_4) I_{G2} - Z_2 \cdot I_{G1} - E_2 + E_3 + Z_2 \cdot \hat{J}_1 + Z_4 \cdot \hat{J}_2 = 0 \quad \text{2. denklem}$$

Denklemleri matris biçiminde yazalım:

5

1. denklemler:

$$(\underline{z}_1 + \underline{z}_2) \cdot \underline{I}_{G1} - \underline{z}_2 \cdot \underline{I}_{G2} - \underline{E}_1 + \underline{E}_2 - \underline{z}_2 \cdot \underline{\hat{J}}_1 = 0$$

2. denklemler:

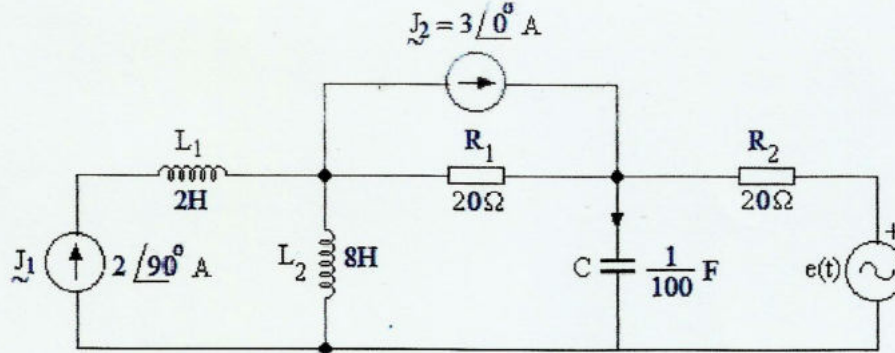
$$-\underline{z}_2 \cdot \underline{I}_{G1} + (\underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4) \cdot \underline{I}_{G2} - \underline{E}_2 + \underline{E}_3 + \underline{z}_2 \cdot \underline{\hat{J}}_1 + \underline{z}_4 \cdot \underline{\hat{J}}_2 = 0$$

$$\begin{bmatrix} (\underline{z}_1 + \underline{z}_2) & -\underline{z}_2 \\ -\underline{z}_2 & (\underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{E}_1 \\ \underline{E}_2 \\ \underline{E}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\underline{z}_2 & 0 \\ \underline{z}_2 & \underline{z}_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{\hat{J}}_1 \\ \underline{\hat{J}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ÖRNEK (SİNÜSOİDAL SÜREKLİ HALDE (SSH) ÇEVRE AKIMLARI YÖNTEMİ)

a) Şekil 1'deki devrenin SSH için Çevre Akımları Yöntemi (ÇAY) ile adım-adım devre denklemini elde ediniz.

b) Elde ettiğiniz denklemi çözerek **C** kondansatörünün akımını fazör olarak (kutupsal biçimde) hesaplayınız. Gerilim kaynağının gerilimi $e(t) = \sqrt{2} \cdot 100 \cdot \cos(5 \cdot t)$ Volt'tur.

**ÇÖZÜM:**

a) Çevreler

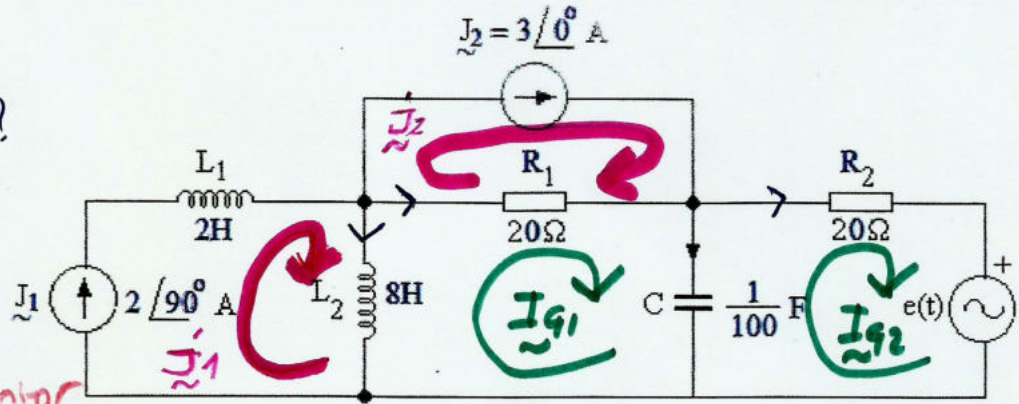
1. Çevre: $\underline{I}_{g1} = ?$

2. Çevre: $\underline{I}_{g2} = ?$

3. Çevre: $\underline{I}_{g1}$

4. Çevre: $\underline{I}_{g2}$

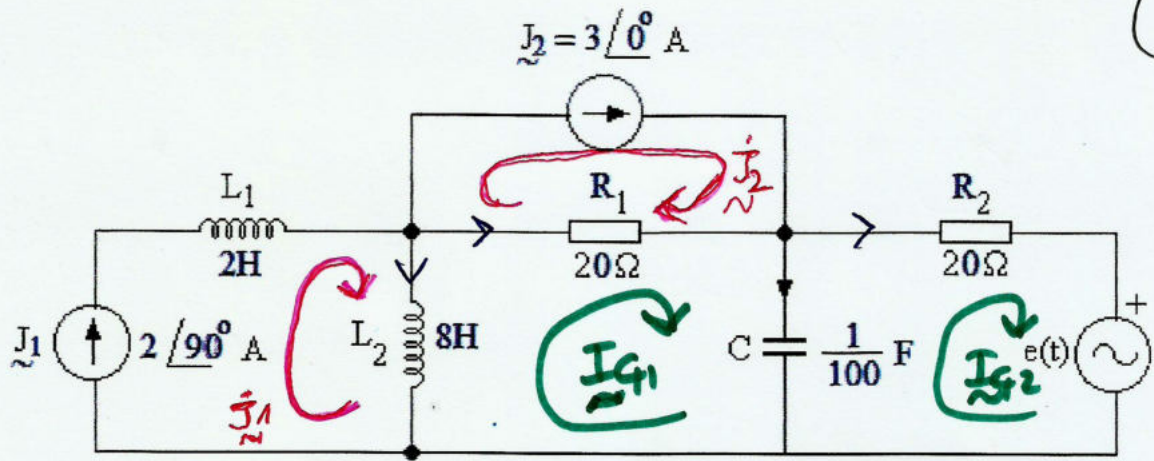
Bilinmiyor



"Önce devredeki R, L, C elemanları için rastgele (istediğimiz yönde) akım yönleri seçilir. Sonra akım kaynakları kaldırılarak ortaya çıkan gözler (akımı bilinmeyen "bağımsız çevreler") belirlenir.

Her bağımsız çevre için rastgele bir çevre akım yönü seçilir.

(Eğer devre gözülürken bir elemanın akımının veya çevre akımının işareti (-) çıkarsa bunun anlamı, seçtiğimiz yönün gerçekte tam tersi yönde akım geçmesidir.



Sonra akım kaynaklarını tekrar yerine bağlarız ve her akım kaynağı için bir çevre seçeriz. Ancak akım kaynağının çevre yönü rastgele seçilmez akım kaynağının yönünde olur ve çevre akmıda akım kaynağının akımına eşit olur.

I_{G1} çevresi için çevre denklemi :

* Kolaylık olması için önce R, L, C akımlarını çevre akımlarına bağlı olarak yazalım

$$\tilde{I}_{R1} = \tilde{I}_{G1} - \hat{J}_2 \quad \tilde{I}_{R2} = \tilde{I}_{G2} \quad \tilde{I}_{L2} = \hat{J}_1 - \tilde{I}_{G1}$$

$$\tilde{I}_C = \tilde{I}_{G1} - \tilde{I}_{G2}$$

$$-V_{L2} + V_{R1} + V_C = 0 \Rightarrow -j\omega L_2 \cdot \tilde{I}_{L2} + R_1 \cdot \tilde{I}_{R1} + \frac{1}{j\omega C} \tilde{I}_C = 0$$

$$-jX_{L2} \cdot (\hat{J}_1 - \tilde{I}_{G1}) + R_1 \cdot (\tilde{I}_{G1} - \hat{J}_2) - jX_C \cdot (\tilde{I}_{G1} - \tilde{I}_{G2}) = 0$$

$$(R_1 + jX_{L2} - jX_C) \cdot \tilde{I}_{G1} + jX_C \cdot \tilde{I}_{G2} - jX_{L2} \cdot \hat{J}_1 - R_1 \cdot \hat{J}_2 = 0$$

1. denklemin

I_{G2} çevresi için çevre denklemi

(8)

$$-\underline{V}_C + \underline{V}_{R2} + \underline{E} = 0 \Rightarrow -\frac{1}{j\omega C} \cdot \underline{I}_C + R_2 \underline{I}_{R2} + \underline{E} = 0$$

$$-(-jX_C) \cdot (\underline{I}_{G1} - \underline{I}_{G2}) + R_2 \cdot \underline{I}_{G2} + \underline{E} = 0$$

$$jX_C \cdot \underline{I}_{G1} + (R_2 - jX_C) \cdot \underline{I}_{G2} + \underline{E} = 0 \quad \text{2. denklem}$$

Elde ettiğimiz denklemler:

$$(R_1 + jX_{L2} - jX_C) \cdot \underline{I}_{G1} + jX_C \underline{I}_{G2} - jX_{L2} \cdot \hat{\underline{I}}_1 - R_1 \cdot \hat{\underline{I}}_2 = 0$$

$$jX_C \cdot \underline{I}_{G1} + (R_2 - jX_C) \cdot \underline{I}_{G2} + \underline{E} = 0$$

Denklemleri matris biçiminde yazalım:

$$\left[\begin{array}{c|c} (R_1 + jX_{L2} - jX_C) & jX_C \\ \hline jX_C & (R_2 - jX_C) \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} -jX_{L2} & -R_1 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \hat{\underline{I}}_1 \\ \hat{\underline{I}}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \underline{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

b) Sayısal $\cos 20^\circ$

$$e(t) = \sqrt{2} \cdot 100 \cdot \cos(5t) \text{ V} \Rightarrow \underline{E} = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\hat{\underline{I}}_1 = 2 \angle 90^\circ = j2 \text{ A} \quad \text{ve} \quad \hat{\underline{I}}_2 = 3 \angle 0^\circ = 3 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = 20 \Omega \quad L_2 = 8 \text{ H} \quad \text{ve} \quad \omega = 5 \Rightarrow X_{L2} = \omega L_2 = 5 \cdot 8 = 40 \Omega$$

$$C = \frac{1}{100 \text{ F}} \Rightarrow X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{5 \cdot \frac{1}{100}} = 20 \Omega$$

$$\left[\begin{array}{c|c} (20 + j40 - j20) & j20 \\ \hline j20 & (20 - j20) \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} + \left[\begin{array}{c|c} -j40 & -20 \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \hat{\underline{I}}_1 \\ \hat{\underline{I}}_2 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot 100 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\left[\begin{array}{c|c} (20 + j20) & j20 \\ \hline j20 & (20 - j20) \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 \\ -100 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (20+j20) & j20 \\ j20 & (20-j20) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I_{G1}} \\ \underline{I_{G2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 \\ -100 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\underline{I_{G2}} = \frac{\begin{vmatrix} (20+j20) & -20 \\ j20 & -100 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20+j20) & j20 \\ j20 & (20-j20) \end{vmatrix}}$$

$$\underline{I_{G2}} = \frac{-100 \cdot (20+j20) - j20 \cdot (-20)}{(20+j20)(20-j20) - j20 \cdot j20}$$

$$\underline{I_{G2}} = \frac{-2000 - j2000 + j400}{20^2 + 20^2 - \underset{(-1)}{j^2 \cdot 400}} = \frac{-2000 - j1600}{1200}$$

$$\underline{I_{G2}} = \left(-\frac{5}{3} - j\frac{4}{3}\right) A$$

$$\underline{I_{G1}} = \frac{\begin{vmatrix} -20 & j20 \\ -100 & (20-j20) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20+j20) & j20 \\ j20 & (20-j20) \end{vmatrix}}$$

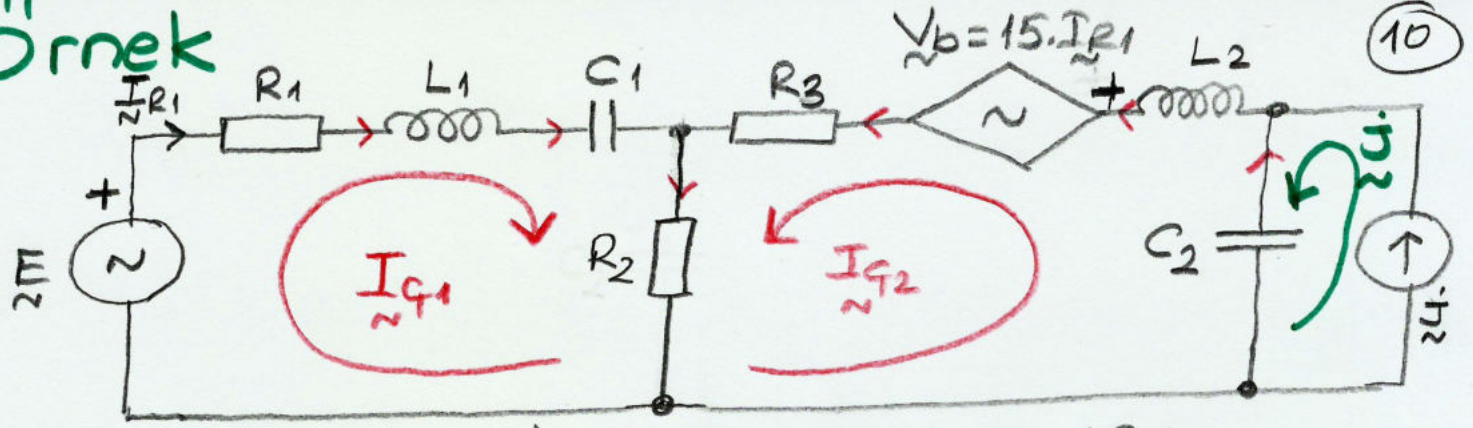
$$\underline{I_{G1}} = \frac{-20 \cdot (20-j20) - j20 \cdot (-100)}{1200} = \frac{-400 + j2400}{1200}$$

$$\underline{I_{G1}} = \left(-\frac{1}{3} + j2\right) A$$

$$\begin{aligned} \underline{I_C} &= \underline{I_{G1}} - \underline{I_{G2}} \\ \underline{I_C} &= \left(-\frac{1}{3} + j2\right) - \left(-\frac{5}{3} - j\frac{4}{3}\right) \end{aligned}$$

$$\underline{I_C} = \left(\frac{4}{3} + j\frac{10}{3}\right) = 3.59 \angle 68.19^\circ A$$

Örnek



$$\underline{E} = (20 + j10) \text{ V}, \quad \underline{J} = \frac{5}{2} \angle 0^\circ \text{ A}, \quad R_1 = R_2 = R_3 = 10 \Omega$$

$$X_{L1} = 20 \Omega, \quad X_{L2} = 10 \Omega, \quad X_{C1} = 10 \Omega, \quad X_{C2} = 20 \Omega$$

- a) SSH'de G.A.Y. ile devre denklemlerini matris biçiminde elde ediniz.
- b) R_1 direncinin akımını fazör olarak (kutupsal biçimde) hesaplayınız. $P_{R1} = ?$

Çözüm:

- a) * Önce R_1 dışındaki R, L, C elemanları için rastgele akım yönü işaretlenir. (R_1 'in akımı bağımlı kaynağı kontrol ettiği için R_1 'in akım yönü soruda verilir, onu rastgele seçemeyiz.
- * Sonra akım kaynağı katrılıp akımı bilinmeyen bağımlı gerçe belirlenir bunlar için rastgele gerçe akım yönü seçilir. Akım kaynağı tekrar bağlanır ve akım kaynağı için de bir gerçe oluşturulur.
- * Gerçe denklemlerini yazmadan önce R, L, C elemanlarının akımlarını gerçe akımları açısından yazalım:

$$\underline{I}_{R1} = \underline{I}_{L1} = \underline{I}_{C1} = \underline{I}_{G1}$$

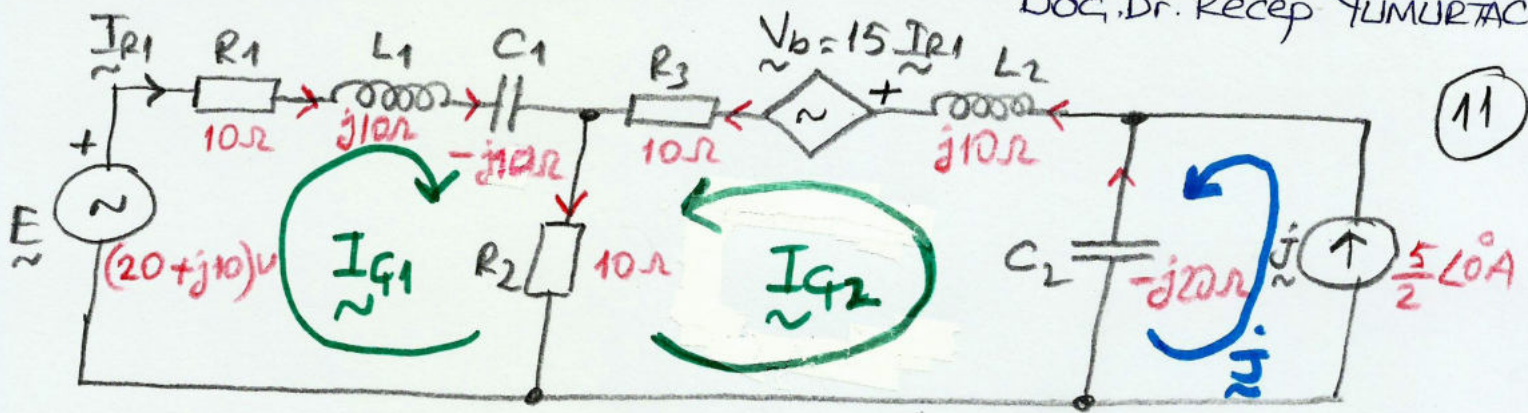
$$\underline{I}_{R3} = \underline{I}_{L2} = \underline{I}_{G2}$$

$$\underline{I}_{R2} = \underline{I}_{G1} + \underline{I}_{G2}$$

$$\underline{I}_{C2} = \underline{I}_{G2} - \underline{J}$$

Bu eşitlikleri aşağıdaki gerçe denklemlerinde yerine yazacağız.

Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Y. T. Ü. Elektrik Müh. Bölümü



I_{G1} Gevresi için Gevre Denklemi

$$-E + V_{R1} + V_{L1} + V_{C1} + V_{R2} = 0$$

$$-E + R_1 \cdot \underline{I}_{G1} + j\omega L_1 \cdot \underline{I}_{G1} + \frac{1}{j\omega C_1} \underline{I}_{G1} + R_2 \cdot \underline{I}_{G2} = 0$$

$$-E + R_1 \cdot \underline{I}_{G1} + jX_{L1} \cdot \underline{I}_{G1} - jX_{C1} \underline{I}_{G1} + R_2 \cdot (\underline{I}_{G1} + \underline{I}_{G2}) = 0$$

$$(R_1 + R_2 + jX_{L1} - jX_{C1}) \cdot \underline{I}_{G1} + R_2 \cdot \underline{I}_{G2} - E = 0 \quad \text{1. denklem}$$

I_{G2} Gevresi için Gevre Denklemi

$$V_{C2} + V_{L2} + V_b + V_{R3} + V_{R2} = 0$$

$$\frac{1}{j\omega C_2} \cdot \underline{I}_{G2} + j\omega L_2 \underline{I}_{G2} + 15 \cdot \underline{I}_{G1} + R_3 \underline{I}_{G2} + R_2 \underline{I}_{G2} = 0$$

$$-jX_{C2} \cdot (\underline{I}_{G2} - \underline{\hat{J}}) + jX_{L2} \underline{I}_{G2} + 15 \cdot \underline{I}_{G1} + R_3 \underline{I}_{G2} + R_2 \cdot (\underline{I}_{G1} + \underline{I}_{G2}) = 0$$

$$(R_2 + 15) \underline{I}_{G1} + (R_2 + R_3 + jX_{L2} - jX_{C2}) \underline{I}_{G2} + jX_{C2} \cdot \underline{\hat{J}} = 0 \quad \text{2. denklem}$$

Denklemeleri matris biçiminde yazalım.

$$\begin{bmatrix} (R_1 + R_2 + jX_{L1} - jX_{C1}) & R_2 \\ (R_2 + 15) & (R_2 + R_3 + jX_{L2} - jX_{C2}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} E + \begin{bmatrix} 0 \\ jX_{C2} \end{bmatrix} \underline{\hat{J}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

b) Sayısal Gövüm:

$$\begin{bmatrix} (10 + 10 + j20 - j10) & 10 \\ (10 + 15) & 10 + 10 + j10 - j20 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I}_{G1} \\ \underline{I}_{G2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot (20 + j10) + \begin{bmatrix} 0 \\ j20 \end{bmatrix} \cdot \frac{5}{2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (20+j10) & 10 \\ 25 & (20-j10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\tilde{I}}_{G1} \\ \underline{\tilde{I}}_{G2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -20-j10 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ j50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} (20+j10) & 10 \\ 25 & (20-j10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\tilde{I}}_{G1} \\ \underline{\tilde{I}}_{G2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20+j10 \\ -j50 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\tilde{I}}_{R1} = ? \Rightarrow \underline{\tilde{I}}_{R1} = \underline{\tilde{I}}_{G1} = ?$$

Cramer Yöntemi ile $\underline{\tilde{I}}_{G1}$ hesaplanabilir.

$$\underline{\tilde{I}}_{G1} = \frac{\begin{vmatrix} (20+j10) & 10 \\ -j50 & (20-j10) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20+j10) & 10 \\ 25 & (20-j10) \end{vmatrix}} = \frac{(20+j10)(20-j10) - 10 \cdot (-j50)}{(20+j10) \cdot (20-j10) - 10 \cdot 25}$$

$$\underline{\tilde{I}}_{G1} = \frac{20^2 - j^2 \cdot 10^2 + j500}{20^2 - j^2 \cdot 10^2 - 250} = \frac{20^2 + 10^2 + j500}{20^2 + 10^2 - 250}$$

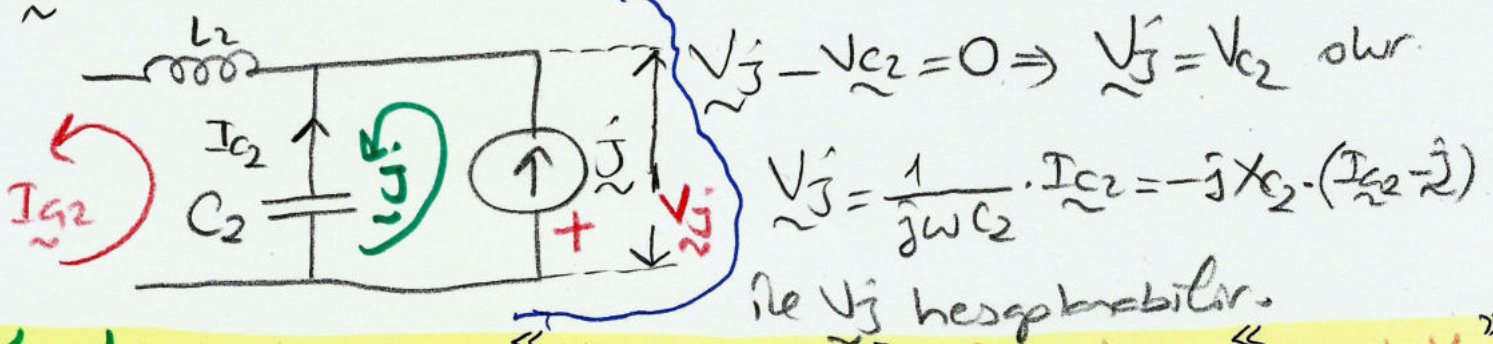
$$\underline{\tilde{I}}_{G1} = \frac{500 + j500}{250} \Rightarrow \underline{\tilde{I}}_{G1} = 2 + j2 = 2\sqrt{2} \angle 45^\circ \text{ A}$$

$$\underline{\tilde{I}}_{R1} = \underline{\tilde{I}}_{G1} \Rightarrow \underline{\tilde{I}}_{R1} = 2\sqrt{2} \angle 45^\circ \text{ A}$$

$$P_{R1} = R_1 \cdot \underline{\tilde{I}}_{R1}^2 = 10 \cdot (2\sqrt{2})^2 = 10 \cdot 8 \Rightarrow P_{R1} = 80 \text{ W}$$

Ek soru:

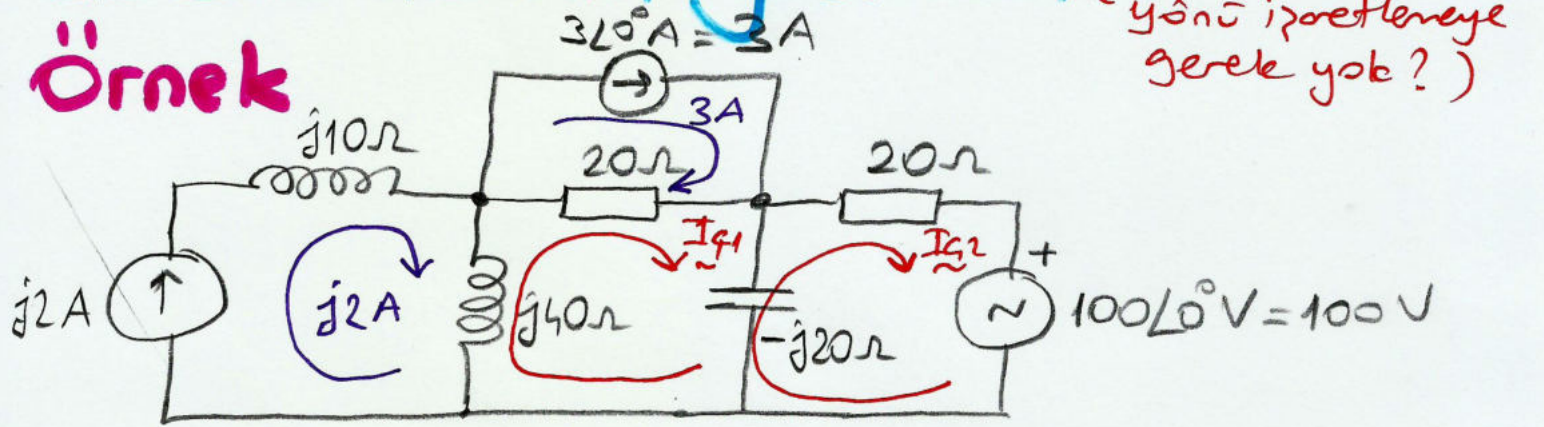
Eğer $\underline{\tilde{I}}_{G2}$ bulunmuş olsaydı $\underline{\tilde{V}}_j = ?$ (Akım kaynağının gerilimi)
 $\underline{\tilde{I}}_{G2}$ nin olduğu bir çevre için çevre denklemleri yazılır



Kural: Akım istenirse «düğüm denklemleri», gerilim istenirse «çevre denklemleri» yazılır.

AC devrede eleman değerlerinin (12a)
ve empedans değerlerinin verilmesiyle
sayısal değerler üzerinden çevre
denklemlerinin yazılması

Örnek



I_{G1} çevresi için çevre denklemi

$$(20 + j40 - j20) \cdot \underline{I_{G1}} - (-j20) \cdot \underline{I_{G2}} - j40(j2) - 20 \cdot 3 = 0$$

$$(20 + j20) \underline{I_{G1}} + j20 \underline{I_{G2}} - j^2 80 - 60 = 0$$

$$(20 + j20) \underline{I_{G1}} + j20 \underline{I_{G2}} = -20 \quad 1. \text{ denklem}$$

I_{G2} çevresi için çevre denklemi

$$(20 - j20) \underline{I_{G2}} - (-j20) \cdot \underline{I_{G1}} + 100 = 0$$

$$j20 \cdot \underline{I_{G1}} + (20 - j20) \underline{I_{G2}} = -100 \quad 2. \text{ denklem}$$

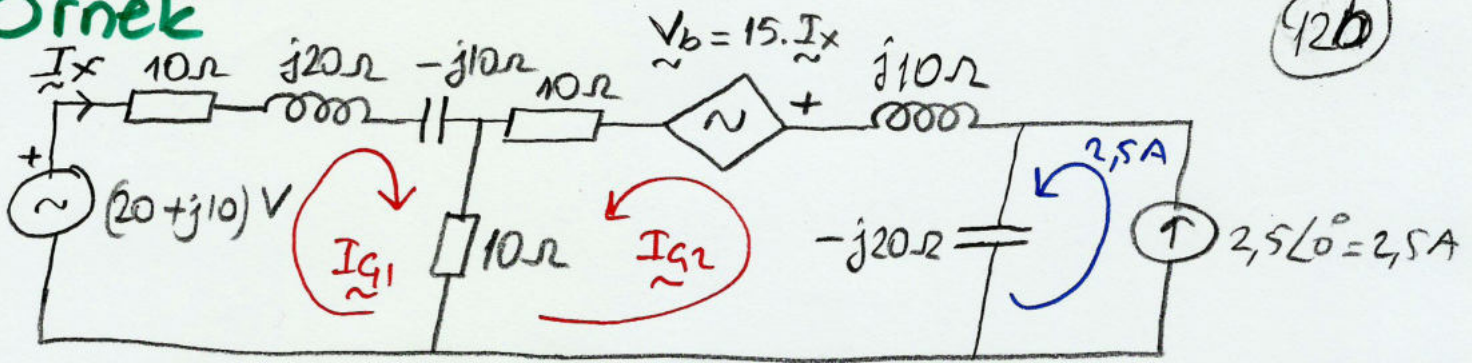
$$\begin{bmatrix} (20 + j20) & j20 \\ j20 & (20 - j20) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{I_{G1}} \\ \underline{I_{G2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20 \\ -100 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I_{G1}} = \frac{\begin{vmatrix} -20 & j20 \\ -100 & (20 - j20) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20 + j20) & j20 \\ j20 & (20 - j20) \end{vmatrix}} = \frac{-20(20 - j20) - j20(-100)}{(20 + j20)(20 - j20) - j20 \cdot j20} = \frac{-400 + j2400}{1200}$$

$$\underline{I_{G1}} = \left(-\frac{1}{3} + j2\right) \text{ A}$$

$$\underline{I_{G2}} = \frac{\begin{vmatrix} (20 + j20) & -20 \\ j20 & -100 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20 + j20) & j20 \\ j20 & (20 - j20) \end{vmatrix}} = \dots \quad \underline{I_{G2}} = \left(\frac{5}{3} - j\frac{4}{3}\right) \text{ A}$$

Örnek



$$I_x = ?$$

Çözüm

I_{G1} çevresi için çevre denklemi:

$$-(20 + j10) + (10 + j20 - j10 + 10) \cdot I_{G1} + 10 \cdot I_{G2} = 0$$

$$(20 + j10) I_{G1} + 10 I_{G2} = 20 + j10 \quad \text{1. denklem}$$

I_{G2} çevresi için çevre denklemi:

$$15 I_x = 15 I_{G1}$$

$$(10 + 10 + j10 - j20) \cdot I_{G2} + 10 \cdot I_{G1} - (-j20) \cdot 2.5 + V_b = 0$$

$$(20 - j10) I_{G2} + 10 I_{G1} + j50 + 15 I_{G1} = 0$$

$$25 I_{G1} + (20 - j10) I_{G2} = -j50 \quad \text{2. denklem}$$

$$\begin{bmatrix} (20 + j10) & 10 \\ 25 & (20 - j10) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{G1} \\ I_{G2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (20 + j10) \\ -j50 \end{bmatrix}$$

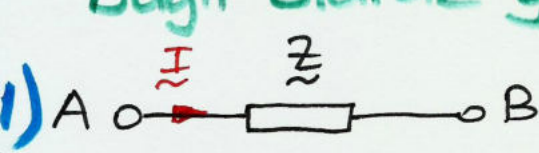
$$I_x = ?$$

$$I_x = I_{G1} = \frac{\begin{vmatrix} (20 + j10) & 10 \\ -j50 & (20 - j10) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (20 + j10) & 10 \\ 25 & (20 - j10) \end{vmatrix}} = \frac{500 + j500}{250}$$

$$I_x = 2 + j2 = 2\sqrt{2} \angle 45^\circ \text{ A}$$

S.S.H.'de DÜĞÜM GERİLİMLERİ YÖNTEMİ

Eleman akımlarının düğüm gerilimlerine bağlı olarak yazılması



(Referans düğüm)

$$\underline{V}_{AC} = \underline{V}_A - \cancel{\underline{V}_C} = \underline{V}_A$$

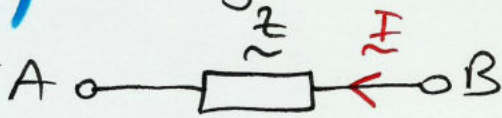
$$\underline{V}_{BC} = \underline{V}_B - \cancel{\underline{V}_C} = \underline{V}_B$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{V}_{AB}}{\underline{Z}} = \left(\frac{1}{\underline{Z}} \right) \cdot \underline{V}_{AB} = \underline{Y} \cdot \underline{V}_{AB}$$

$\underline{Y}$ (Admitans)

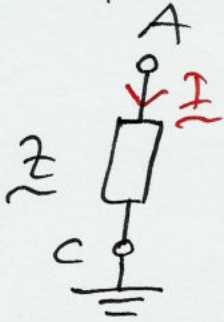
$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{V}_{AB} \Rightarrow \boxed{\underline{I} = \underline{Y} \cdot (\underline{V}_A - \underline{V}_B)}$$

2) Akım yönü ters ise



$$\boxed{\underline{I} = \underline{Y} \cdot (\underline{V}_B - \underline{V}_A)} \text{ olur.}$$

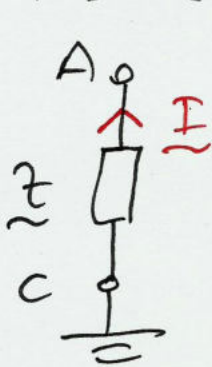
3) Referans düğüme bağlı elemanın akımı



$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot (\underline{V}_A - \cancel{\underline{V}_C}^{\text{Ref.}})$$

$$\boxed{\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{V}_A}$$

4) Referans düğüme bağlı elemanın akım yönü tersi (ref. düğümden diğer düğüme doğru ise)

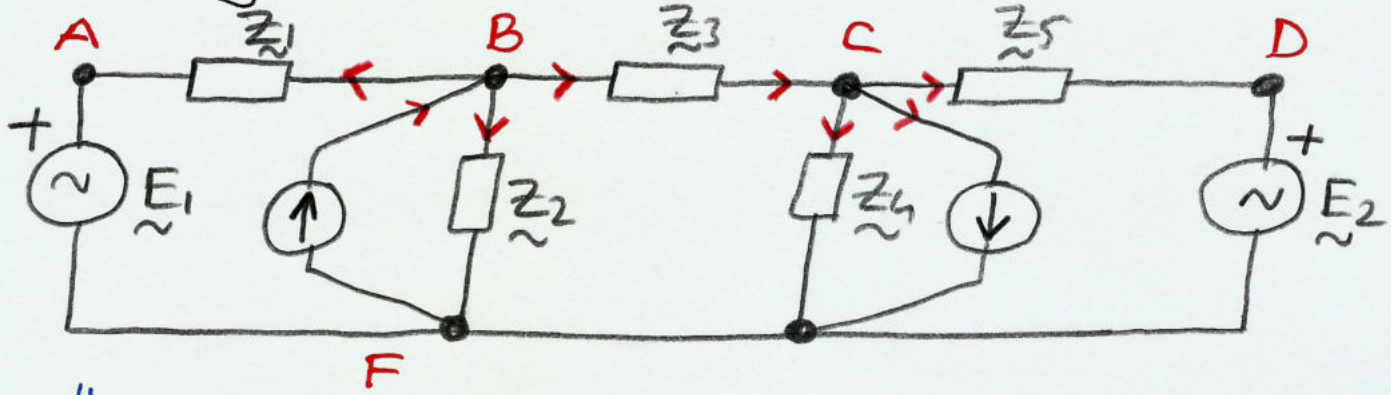


$$\underline{I} = \underline{Y} (\cancel{\underline{V}_C}^{\text{Ref.}} - \underline{V}_A) = -\underline{Y} \cdot \underline{V}_A$$

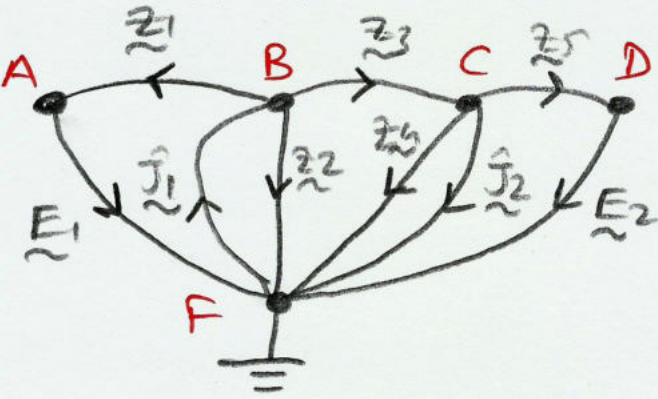
$$\boxed{\underline{I} = -\underline{Y} \cdot \underline{V}_A}$$

SSH'de Düğüm Gerilimleri Yöntemi ile Devre Denklemlerinin Adım-Adım Elde Edilmesi

Konuyu bir örnek devre üzerinde inceleyelim:



- Önce referans düğüm seçilir. Gerilim kaynaklarının ortak bağlı olduğu düğüm F referans seçilir.
- Sonra empedanslar için rastgele akım yönü seçilir.
- Devre grafi alınır.



Düğüm Gerilimleri

$$\underline{V}_F = 0 \text{ (Referans düğüm)}$$

$$\underline{V}_A = \underline{E}_1$$

$$\underline{V}_D = \underline{E}_2$$

$$\underline{V}_B = ?$$

$$\underline{V}_C = ?$$

} BİLİNMEYENLER

- Gerilimi bilinmeyen düğümler (B ve C) için düğüm denklemleri yazılır:

Aşağıda düğüm denklemlerinde kullanılmak üzere empedansların akımlarını düğüm gerilimlerine bağlı olarak yazalım:

$$\underline{I}_{Z1} = \underline{Y}_1 \cdot (\underline{V}_B - \underline{V}_A) \Rightarrow \underline{I}_{Z1} = \underline{Y}_1 \cdot (\underline{V}_B - \underline{E}_1)$$

↓
 $\underline{E}_1$

$$\underline{I}_{Z2} = \underline{Y}_2 \cdot \underline{V}_B$$

$$\text{ve } \underline{I}_{Z3} = \underline{Y}_3 (\underline{V}_B - \underline{V}_C)$$

$$\boxed{\underline{I}_{z4} = \underline{Y}_4 \cdot \underline{V}_c} \text{ ve } \underline{I}_{z5} = \underline{Y}_5 \cdot (\underline{V}_c - \underline{V}_0) \Rightarrow \boxed{\underline{I}_{z5} = \underline{Y}_5 (\underline{V}_c - \underline{E}_2)}$$

B Düğümü için düğüm denklemi

$$\underline{I}_{z1} - \hat{\underline{J}}_1 + \underline{I}_{z2} + \underline{I}_{z3} = 0 \Rightarrow \underline{Y}_1 \cdot \underline{V}_{z1} - \hat{\underline{J}}_1 + \underline{Y}_2 \cdot \underline{V}_{z2} + \underline{Y}_3 \cdot \underline{V}_{z3} = 0$$

$$\underline{Y}_1 (\underline{V}_B - \underline{E}_1) - \hat{\underline{J}}_1 + \underline{Y}_2 \cdot \underline{V}_B + \underline{Y}_3 (\underline{V}_B - \underline{V}_c) = 0$$

$$\boxed{(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) \cdot \underline{V}_B - \underline{Y}_3 \cdot \underline{V}_c - \underline{Y}_1 \cdot \underline{E}_1 - \hat{\underline{J}}_1 = 0} \quad \text{1. denklem}$$

C Düğümü için düğüm denklemi

$$-\underline{I}_{z3} + \underline{I}_{z4} + \underline{I}_{z5} + \hat{\underline{J}}_2 = 0$$

$$-\underline{Y}_3 (\underline{V}_B - \underline{V}_c) + \underline{Y}_4 \cdot \underline{V}_c + \underline{Y}_5 (\underline{V}_c - \underline{E}_2) + \hat{\underline{J}}_2 = 0$$

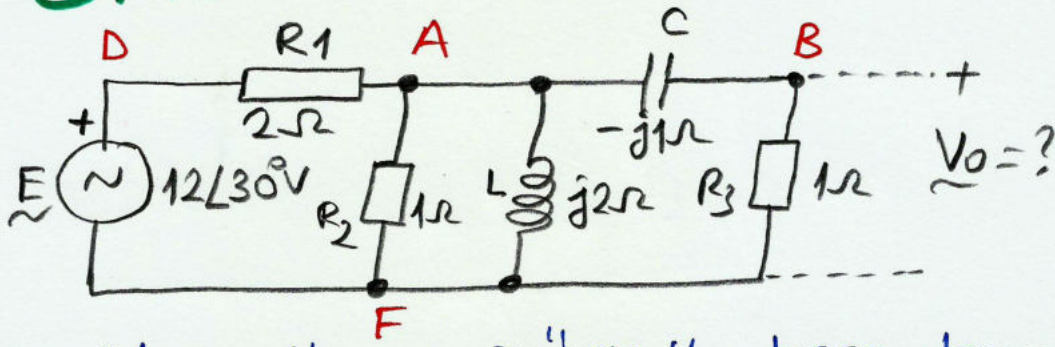
$$\boxed{-\underline{Y}_3 \cdot \underline{V}_B + (\underline{Y}_3 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5) \cdot \underline{V}_c - \underline{Y}_5 \cdot \underline{E}_2 + \hat{\underline{J}}_2 = 0} \quad \text{2. denk.}$$

Denklemleri matris biçiminde yazalım:

$$\begin{bmatrix} (\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3) & -\underline{Y}_3 \\ -\underline{Y}_3 & (\underline{Y}_3 + \underline{Y}_4 + \underline{Y}_5) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_B \\ \underline{V}_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\underline{Y}_1 & 0 \\ 0 & -\underline{Y}_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{E}_1 \\ \underline{E}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\underline{J}}_1 \\ \hat{\underline{J}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Örnek

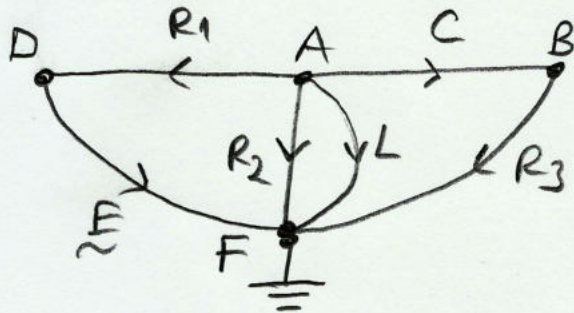
16



V_o gerilimini: DÜĞÜ ile hesaplayınız.

Gözüm:

Devre Grafi



$V_F = 0$ (Referans düğüm)

$V_D = E = 12\angle 30^\circ V$

$V_A = ? \quad V_B = ?$

$V_o = V_B = ?$

R_2, L, C gerilimleri düğüm gerilimlerine bağlı olarak yazalım:

$$V_{R1} = V_A - V_D \Rightarrow \boxed{V_{R1} = V_A - E} \quad \boxed{V_{R2} = V_L = V_A}$$

$$\boxed{V_C = V_A - V_B}$$

A düğümü için düğüm denklemi

$$I_{R1} + I_{R2} + I_L + I_C = 0 \Rightarrow G_1 \cdot V_{R1} + G_2 V_{R2} + \frac{1}{j\omega L} \cdot V_L + j\omega C V_C = 0$$

$$G_1 \cdot (V_A - E) + G_2 \cdot V_A + \frac{1}{j\omega L} \cdot V_A + j\omega C (V_A - V_B) = 0$$

$$\boxed{(G_1 + G_2 + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}) \cdot V_A - j\omega C V_B - G_1 \cdot E = 0}$$

1. denklem

B düğümü için düğüm denklemi

(17)

$$-\underline{I}_C + \underline{I}_{R3} = 0 \Rightarrow -\underline{j}\omega C \underline{V}_C + G_3 \cdot \underline{V}_{R3} = 0$$

$$-\underline{j}\omega C (\underline{V}_A - \underline{V}_B) + G_3 \cdot \underline{V}_B = 0$$

$$\boxed{-\underline{j}\omega C \cdot \underline{V}_A + (G_3 + \underline{j}\omega C) \cdot \underline{V}_B = 0} \quad \text{2. denklem}$$

Denklemeleri matris biçiminde yazalım:

$$\begin{bmatrix} (G_1 + G_2 + \underline{j}\omega C + \frac{1}{\underline{j}\omega L}) & -\underline{j}\omega C \\ -\underline{j}\omega C & (G_3 + \underline{j}\omega C) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -G_1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \underline{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sayısal çözüm: $\underline{V}_0 = ?$

$$R_2 = R_3 = 1\Omega$$

$$R_1 = 2\Omega \Rightarrow G_1 = \frac{1}{R_1} = 0,5 \text{ mho} \quad G_2 = G_3 = 1 \text{ mho}$$

$$\underline{j}X_L = \underline{j}\omega L = \underline{j}2\Omega \Rightarrow \frac{1}{\underline{j}\omega L} = \frac{1}{\underline{j}2} = -\underline{j}0,5$$

$$-\underline{j}X_C = -\underline{j}\frac{1}{\omega C} = -\underline{j}1\Omega \Rightarrow \underline{j}\omega C = \underline{j}1 \text{ mho olur.}$$

$$\underline{E} = 12\angle 30^\circ \text{ V}$$

$$\begin{bmatrix} (0,5 + 1 + \underline{j} - \underline{j}0,5) & -\underline{j} \\ -\underline{j} & (1 + \underline{j}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 12\angle 30^\circ$$

$$\begin{bmatrix} 1,5 + \underline{j}0,5 & -\underline{j} \\ -\underline{j} & (1 + \underline{j}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6\angle 30^\circ \\ 0 \end{bmatrix}$$

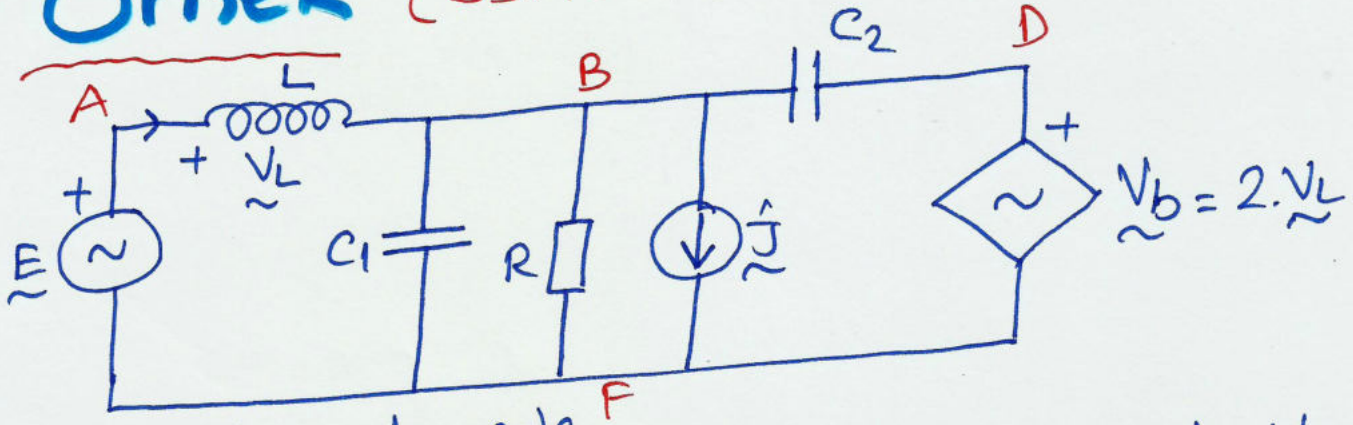
$$\underline{V}_0 = \underline{V}_B = ?$$

$$\underline{V}_0 = \underline{V}_B = \frac{\begin{vmatrix} 1,5 + \underline{j}0,5 & 6\angle 30^\circ \\ -\underline{j} & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (1,5 + \underline{j}0,5) & -\underline{j} \\ -\underline{j} & (1 + \underline{j}) \end{vmatrix}}} = \frac{-(-\underline{j}) \cdot 6\angle 30^\circ}{(1,5 + \underline{j}0,5) \cdot (1 + \underline{j}) - (-\underline{j})(-\underline{j})}$$

$$\underline{V}_0 = \underline{V}_B = \frac{j \cdot 6 \angle 30^\circ}{2 + j2} = \frac{1 \angle 90^\circ \cdot 6 \angle 30^\circ}{2\sqrt{2} \angle 45^\circ} = \frac{6 \angle 120^\circ}{2\sqrt{2} \angle 45^\circ}$$

$$\underline{V}_0 = \underline{V}_B = 2,12 \angle 75^\circ \text{ Volt}$$

Örnek (SSH'de DÜĞY)



Şekildeki devrede

a) SSH'de DÜĞY ile adım-adım devre denklemini elde ediniz

b) Elde ettiğiniz denklemleri gözerek C1 kondansatörünün akımını hesaplayınız

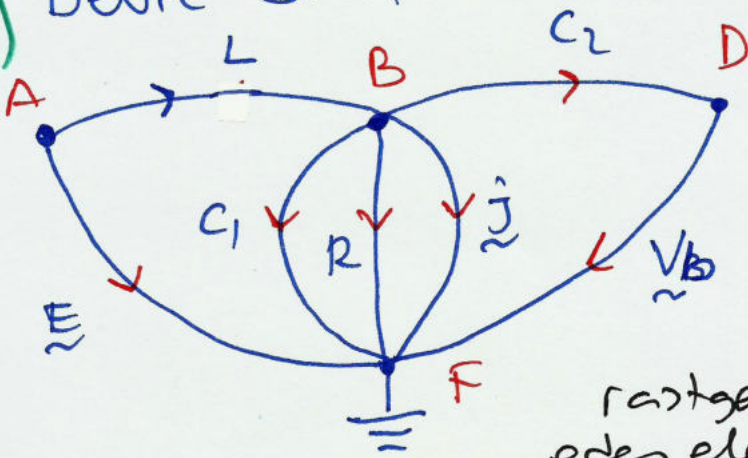
$$e(t) = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot \cos(10t) \text{ Volt}$$

$$j(t) = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \cos(10t) \text{ A}$$

$$R = 0,5 \Omega \quad L = 0,025 \text{ H} \quad C_1 = 0,1 \text{ F} \quad C_2 = 0,1 \text{ F}$$

Gözüm

a) Devre Grafi



Düğüm Gerilimleri

$$\underline{V}_A = \underline{E} \text{ ve } \underline{V}_F = 0 (\text{Ref.})$$

$$\underline{V}_D = \underline{V}_b = 2 \underline{V}_L = 2 (\underline{E} - \underline{V}_B)$$

$$\underline{V}_B = ?$$

NOT: L'nin akım yansı rastgele seçilmez L, Vb'yi kontrol eden eleman. Akım yansı verilir

B düğümü için düğüm denklemi

(19)

$$-\underline{I}_L + \underline{I}_{C1} + \underline{I}_R + \underline{\hat{I}} + \underline{I}_{C2} = 0$$

$$-\frac{1}{j\omega L} \cdot \underline{V}_L + j\omega C_1 \cdot \underline{V}_{C1} + G \cdot \underline{V}_R + \underline{\hat{I}} + j\omega C_2 \cdot \underline{V}_{C2} = 0 \quad (1)$$

$$\underline{V}_L = \underline{V}_A - \underline{V}_B = \underline{E} - \underline{V}_B$$

$$\underline{V}_R = \underline{V}_{C1} = \underline{V}_B$$

$$\underline{V}_{C2} = \underline{V}_B - \underline{V}_D = \underline{V}_B - \underline{V}_B = \underline{V}_B - 2\underline{V}_L = \underline{V}_B - 2(\underline{E} - \underline{V}_B)$$

$$\underline{V}_{C2} = 3 \cdot \underline{V}_B - 2\underline{E}$$

R, L, C gerilimlerini (1)'de yerine yazalım

$$\frac{1}{j\omega L} (\underline{V}_B - \underline{E}) + j\omega C_1 \cdot \underline{V}_B + G \cdot \underline{V}_B + \underline{\hat{I}} + j\omega C_2 \cdot (3\underline{V}_B - 2\underline{E}) = 0$$

$$(G + j\omega C_1 + j3\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L}) \cdot \underline{V}_B - (2j\omega C_2 + \frac{1}{j\omega L}) \underline{E} + \underline{\hat{I}} = 0$$

b) Sayısal çözüm:

$$e(t) = \sqrt{2} \cdot 10 \cdot \cos(10t) \text{ V} \Rightarrow \underline{E} = 10 \angle 0^\circ \text{ V} \text{ ve } \omega = 10 \text{ rad/s}$$

$$\hat{i}(t) = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot \cos(10t) \text{ A} \Rightarrow \underline{\hat{I}} = 20 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$R = 0,5 \Omega \Rightarrow G = \frac{1}{R} = 2 \text{ mho}$$

$$L = 0,025 \text{ H} \text{ ise } \frac{1}{j\omega L} = \frac{1}{j \cdot 10 \cdot 0,025} = -j4 \text{ mho}$$

$$C_1 = C_2 = 0,1 \text{ F} \Rightarrow j\omega C_1 = j\omega C_2 = j \cdot 10 \cdot 0,1 = j1 \text{ mho}$$

$$(2 + j + j3 - j4) \underline{V}_B = (j2 - j4) 10 - 20$$

$$2\underline{V}_B = -20 - j20 \Rightarrow \underline{V}_B = -10 - j10 = 10\sqrt{2} \angle -225^\circ \text{ V}$$

$$\underline{V}_B = 10\sqrt{2} \angle -135^\circ \text{ V}$$

20

$$\underline{I_{C1}} = ?$$

$$\underline{I_{C1}} = j\omega C_1 \cdot \underline{V_{C1}}$$

$$\underline{I_{C1}} = j\omega C_1 \cdot \underline{V_B} = j1 \times 10\sqrt{2} \angle -135^\circ$$

$\downarrow$
 $1 \angle 90^\circ$

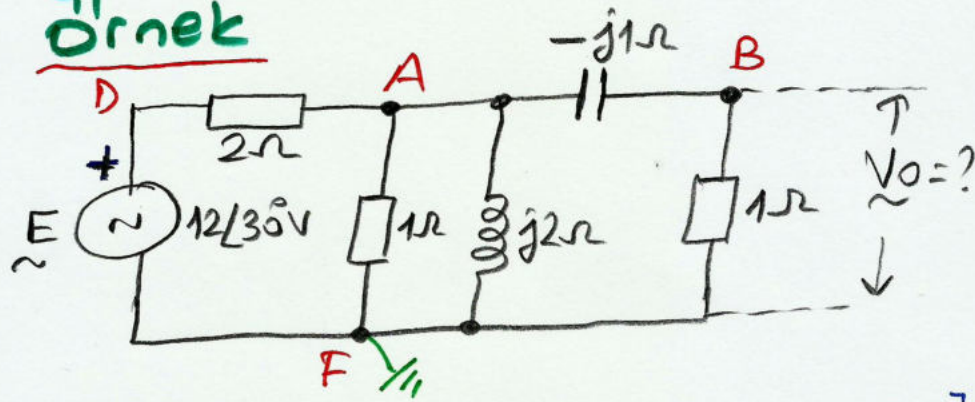
$$\underline{I_{C1}} = 10\sqrt{2} \angle 90^\circ - 135^\circ$$

$$\underline{I_{C1}} = 10\sqrt{2} \angle -45^\circ$$

$$\underline{I_{C1}} = 14,14 \angle -45^\circ \text{ A}$$

Devrede kaynak ve empedans değerlerinin verilmesi halinde sayısal değerler üzerinden düğüm denklemlerini yazılması

Örnek



$$\begin{aligned} V_F &= 0 \text{ (Referans düğüm)} \\ \underline{V}_D &= 12\angle 30^\circ \text{ Volt} \\ \underline{V}_A &=? \quad \underline{V}_B &=? \end{aligned}$$

R, L, C elemanları için akım yönü işaretlenmeye gerek yoktur. Bir düğüm için düğüm denklemi yazılırken o düğüme bağlı tüm R, L, C elemanlarının akım yönü o düğümden giden akım (+) olarak yazılır. Sadece o düğüme bağlı akım kaynaklarının akım yönü düğüme gelen akım ise (-), giden akım ise (+) alınır.

A düğümü denklemi: (KCL - Kirchhoff'un Akımlar Yasası)

$$\left(\frac{\underline{V}_A - \overset{12\angle 30^\circ \text{ Volt}}{\underline{V}_D}}{2} \right) + \left(\frac{\underline{V}_A - \cancel{\underline{V}_F}}{1} \right) + \left(\frac{\underline{V}_A - \cancel{\underline{V}_F}}{j2} \right) + \left(\frac{\underline{V}_A - \underline{V}_B}{-j1} \right) = 0$$

$$\left(\frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{j2} + \frac{1}{-j1} \right) \cdot \underline{V}_A - \left(\frac{1}{-j1} \right) \underline{V}_B = \frac{1}{2} \cdot 12\angle 30^\circ$$

$$(1,5 + j0,5) \cdot \underline{V}_A - j \underline{V}_B = 6\angle 30^\circ \quad \text{1. denklem}$$

B düğümü denklemi: (KCL)

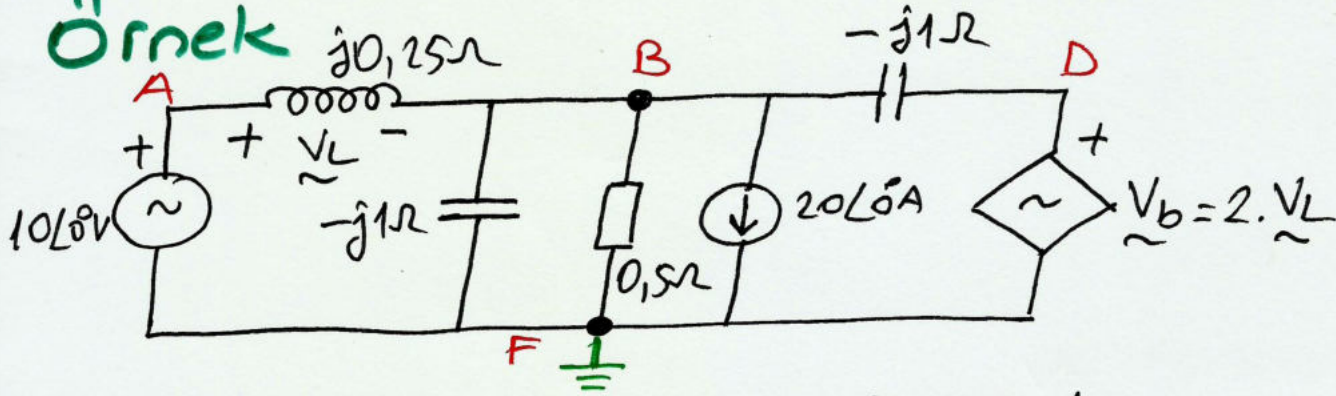
$$\left(\frac{\underline{V}_B - \cancel{\underline{V}_F}}{1} \right) + \left(\frac{\underline{V}_B - \underline{V}_A}{-j1} \right) = 0 \Rightarrow -j \underline{V}_A + (1+j) \underline{V}_B = 0 \quad \text{2. denklem}$$

$$\begin{bmatrix} (1,5 + j0,5) & -j \\ -j & (1+j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6\angle 30^\circ \\ 0 \end{bmatrix} \quad \underline{V}_D = \underline{V}_B = ?$$

$$\underline{V}_D = \underline{V}_B = \frac{\begin{vmatrix} (1,5 + j0,5) & 6\angle 30^\circ \\ -j & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (1,5 + j0,5) & -j \\ -j & (1+j) \end{vmatrix}} = \frac{6\angle 120^\circ}{2\sqrt{2}\angle 45^\circ} \Rightarrow \underline{V}_D = 2,12\angle 75^\circ \text{ Volt}$$

Örnek

(22)



$$\underline{V}_F = 0 \text{ (Ref.)}, \quad \underline{V}_A = 10\angle 0^\circ = 10 \text{ Volt}$$

$$\underline{V}_D = \underline{V}_b = 2\underline{V}_L = 2(\underline{V}_A - \underline{V}_B) = 2(10 - \underline{V}_B)$$

$$\underline{V}_D = \underline{V}_b = 20 - 2\underline{V}_B \quad \underline{V}_B = ? \text{ (Biri bilmeyen var)}$$

B için düğüm denklemi (KCL) $\uparrow (20 - 2\underline{V}_B)$

$$\left(\frac{\underline{V}_B - \overset{10 \text{ Volt}}{\underline{V}_A}}{j0,25} \right) + \left(\frac{\underline{V}_B}{-j1} \right) + \left(\frac{\underline{V}_B}{0,5} \right) + \left(\frac{\underline{V}_B - \underline{V}_D}{-j1} \right) + 20 = 0$$

$$\left[\frac{1}{j0,25} + \left(\frac{1}{-j1} \right) + \frac{1}{0,5} + \left(\frac{1}{-j1} \right) \right] \cdot \underline{V}_B - \frac{1}{j0,25} \cdot 10 + \left(\frac{20 - 2\underline{V}_B}{j1} \right) + 20 = 0$$

$$(2 - j2) \underline{V}_B + j40 - j20 - \left(\frac{2}{j1} \right) \underline{V}_B + 20 = 0$$

$$(2 - j2 + j2) \underline{V}_B + j20 + 20 = 0$$

$$2\underline{V}_B = -20 - j20 \Rightarrow \underline{V}_B = \frac{-20 - j20}{2}$$

$$\underline{V}_B = -10 - j10 = 10\sqrt{2} \angle -135^\circ \text{ Volt}$$