Devreler 1

24. 09. 2010

Kaynaklar

1- Devre Analizi → kısım 1, 2, 3 Yılmaz Tokad

2- Elektrik Devrelerin Analizi → Cevdet Acar

3- Devre Teorisine Giriş 1 → Fehmi Uğar

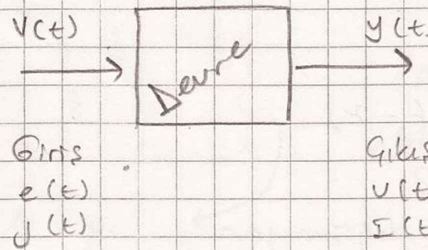
4- Devre Analizi ve Sentezi → Vedat Tavşanoğlu

5- Elektrik Devreleri (schaums outlines) → Josep Edminister
→ Mahmood Nahvi
Timur Aydemir, Cem Nakiboğlu

6- Elektric Circuit → James W. Nilson, Addison-wesley Publishing

7- Circuits → A. Bruce Carlson

8- Basic Engineering Circuit → J David Irwin, R. Mark Nelms



Matris ve vektör gözden geçirilmeli

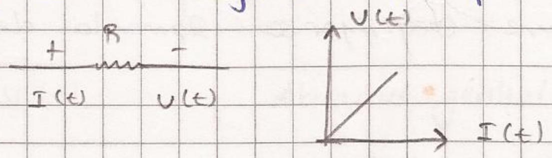
Tek girişli tek çıkışlı devre

Statik ve Dinamik Sist.

Belleksiz Bellekli sistemlerdir. üzerlerinde endüktans ve kapasite bulunur.

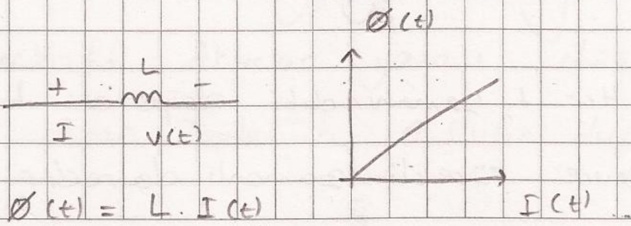
Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Sist.

ÖR:



Direnç doğrusal bir sistemdir.

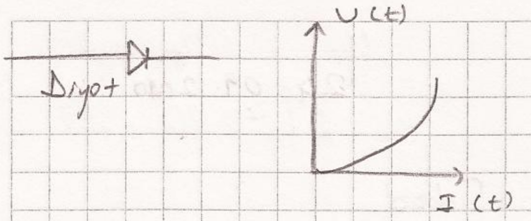
ÖR



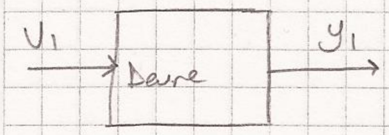
Endüktans doğrusal bir sistemdir.

$\varnothing(t) = L \cdot I(t)$

$q(t) = C\, V(t)$



Diyot doğrusal olmayan bir sistemdir.



Bir devrenin doğrusal olup olmadığını anlamak için gerek ve yeter şart toplamsallığını ve çarpımsallığını ölçmektedir.

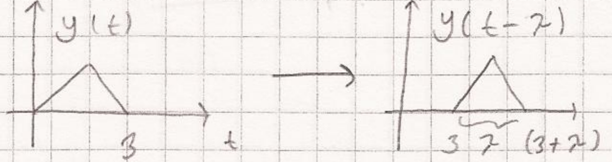
Çarpımsallık için u_1 gibi bir değer verdiğinde y_1 sonucu alınıyorsa her iki taraf k_1 gibi bir sabit sayı ile çarpıldığında oran değişmiyorsa çarpımsallık uygulanmış olur.

u_2 ve y_2 yi k_2 gibi bir katsayı ile çarparsak ve $k_1 . u_1 + k_2 u_2 \longrightarrow k_1 y_1 + k_2 y_2$ oluyorsa tomlamsallığı sağlar. ikiside sağlanıyorsa devre doğrusaldır.

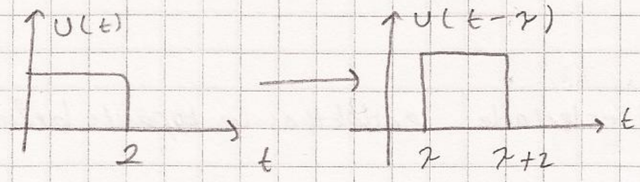
Zamanla Değişmeyen ve Zamanla Değişen Sistemler

$u(t) = \sin t \longrightarrow y(t) = a \cos t$

$u(t - \tau) = \sin(t - \tau) \longrightarrow y(t - \tau) = a . \cos(t - \tau)$



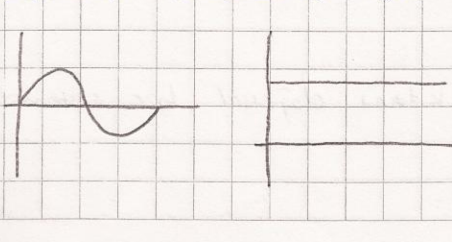
Zamanla değişmeyen



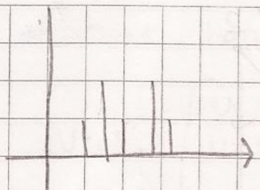
〃 〃

to kadar zaman geçtiğinde devre değişiyorsa zamanla değişen devredir

Sürekli Zamanlı ve Ayrık Zamanlı sistemler



Her t zamanındaki değerleri biliyorsak devre sürekli zamanlı devredir



→ Her t anındaki değerlere tam ulaşamıyorsak ayrık zamanlı devrelerdir.

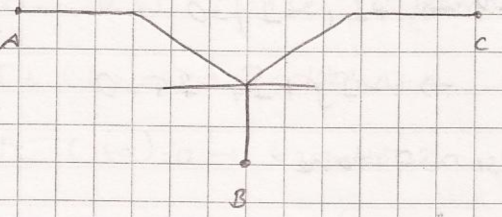
Homojen ve Homojen Olmayan Devreler

Devrede kaynak yoksa homojen, kaynak varsa homojen olmayan devrelerdir.

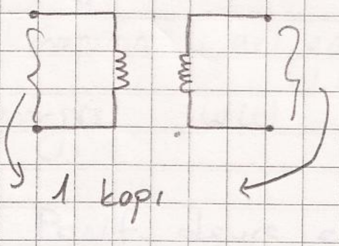
Devre analizi, devre sentezi

Elemanlarda uç açısından bir eksik akım ve gerilim vardır.

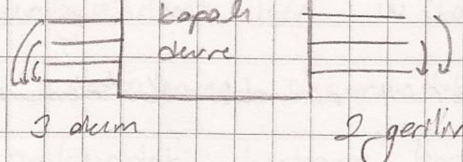
Direnç, endüktans, kapasitör, diyot ve bağımsız kaynaklar iki uçludur.



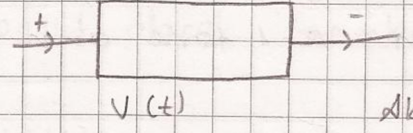
transistör üç uçlu bir devre elemanıdır.



transformatör 4 uçlu bir devre elemanıdır. 2 kapılı olduğundan 2 farklı akım ve gerilim vardır.



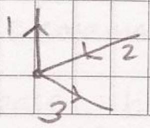
birini referans aldık



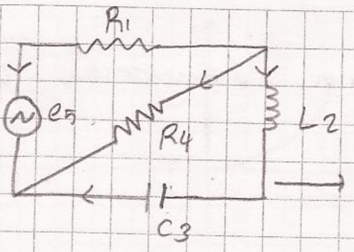
Akım ve gerilimi aynı yönde alacağız

topolojik çizge

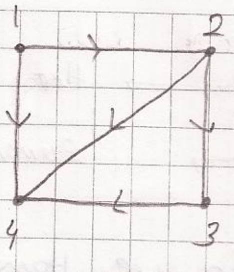
Kirchoff Akımlar yasası düğüme gelen akımlar (-) çıkanlar (+) olarak alınır. Toplamları 0 (sıfır) olur.



$I_1 - I_2 + I_3 = 0$



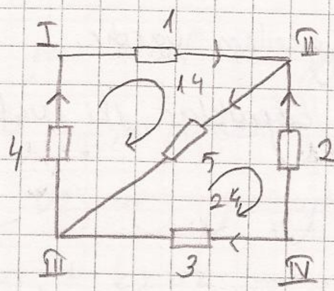
→ Bu devrenin yönlendirilmiş topolojik çizelgesi



4 tane düğüm var.

27.09.2010

K.G.Y.



1. ç → $v_1 + v_5 + v_4 = 0$

2. ç → $-v_2 + v_3 - v_5 = 0$

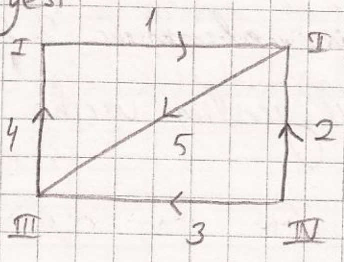
1. düğüm için K.A.Y → $+I_1 - I_4 = 0$

3. 〃 〃 〃 → $-I_3 + I_4 - I_5 = 0$

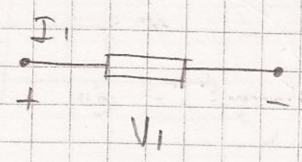
n_e → eleman sayısı 5 tane

n → Düğüm sayısı 4 tane

yönlendirilmiş topolojik çizgesi ↓



Güç ve Energi tanımı



* Ani güç (herhangi bir t anındaki bu elemanın gücü) $P(t) = V_1 . I_1$ (W)

* n uçlu bir eleman için n-1 tane akım ve gerilim vardır.

* $P(t) = V_1 I_1 + V_2 I_2 + \dots V_{n-1} . I_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} V_i I_i$

* n − 1 tane akım ve gerilim varsa;

$$V(t) = \begin{bmatrix} V_1(t) \\ V_2(t) \\ \vdots \\ V_{n-1}(t) \end{bmatrix} \qquad I(t) = \begin{bmatrix} I_1(t) \\ I_2(t) \\ \vdots \\ I_{n-1}(t) \end{bmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} V_i I_i = \underline{I}^T \underline{V} = \underline{V}^T \underline{I}$$

Ortalama Güç $\quad P_{ort} = \frac{1}{T} \int_{t_0+0}^{t_0+T} p(t)\,dt$

Dinlenme durumundaki eleman t_0: başlangıç anı olmak üzere hazırladığımız devreyi şuanda çalıştıracaksınız. Elemanlar üzerindeki başlangıç değeri 0 (sıfır) ise o elemana dinlenme durumundaki elemandır denir.

$I_L(t_0)=0 \rightarrow$ endüktansın d.d.

$V_C(t_0)=0 \rightarrow$ kapasitörün d.d.

Dinlenme durumunda enerji 0 dır.

Enerjinin tanımı t_0 başlangıç anı olmak üzere bir n uçlu devre elemanının ani gücü $p(t)$ ise bu elemanın herhangi bir t anındaki enerjisi. $w(t) = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt + w(t_0)$ dır.

Pasif devre elemanları Bir devrenin aktif yada pasif olduğunu anlayabilmek için $w(t_0)=0$ (Dinlenme, gevşetilmiş durum) alınması gerekir. Bir dinlenme durumundaki n uçlu devre elemanının $[t_0, \infty)$ zaman aralığındaki herhangi bir t anında enerjisi negatif olmuyorsa bu devre pasif olarak tanımlanır.

$$w(t) = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} \underline{V}^T \underline{I}\,dt = \int_{t_0}^{t} \underline{I}^T \underline{V}\,dt \geq 0 \text{ ise pasif}$$

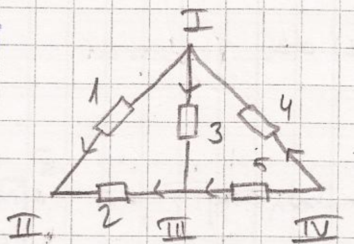
〃 〃 〃 〃 < 0 ise aktif

* Dinlenme durumunda n uçlu bir devre elemanının $[t_0, \infty)$ aralığında herhangi bir t anındaki enerjisi neg. oluyorsa bu devre elemanı aktif devre elemanıdır.

Kayıpsız Devre Elemanı: Dinlenme durumunda n uçlu pasif bir devre öğesinde $[t_0, \infty)$ zaman aralığında biriktirilen energy 0 ise $[t_0, \infty)$ ise $w(t) = \int_{t_0}^{\infty} \underline{v}^T \underline{I}\, dt = \int_{t_0}^{\infty} \underline{I}^T \underline{v}\, dt$

Aldığı ve verdiği elemanlar birbirine eşit olan devreler pasif ve kayıpsızdır.

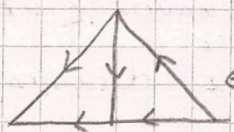
Devre topolojisi



n=4

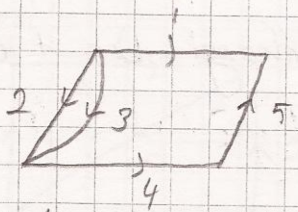
ne=5

Graf (çizge, diyagram)

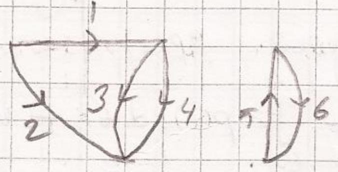


← Devrenin yönlendirilmiş topolojik gösterimi

Birleşik Graf



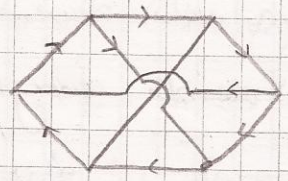
Ayrık Graf



Bir düğümden başlayıp elemanları takip ederek ulaşamadığımız düğüm yoksa Birleşik graftır.

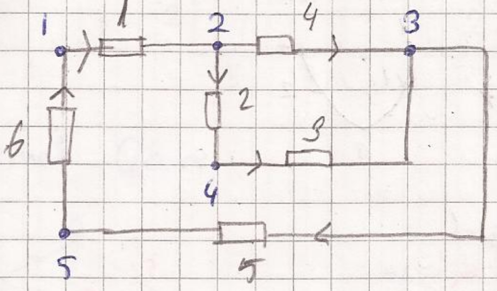
Düzlemsel Graf

Dışa alırken elemanlar bir birini kesmiyorsa



Düzlemsel olmayan graf

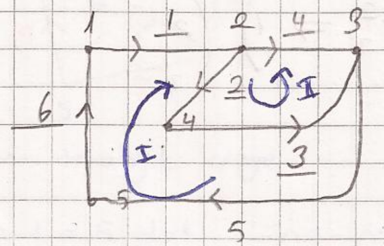
ÖR!



1- Yönlendirilmiş topolojik çizgesi?

2- KAY. denk.

①



② K.A.Y denklemleri

1. düğümü için; $I_1 - I_6 = 0$

2. " " $-I_1 + I_2 + I_4 = 0$

3. " " $-I_3 - I_4 + I_5 = 0$

4. " " $-I_2 + I_3 = 0$

5. " " $-I_5 + I_6 = 0$

Matrisel olarak yazalım.

$$\begin{array}{c|cccccc|} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ ① & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ ② & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ ③ & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \\ ④ & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ ⑤ & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{array} \overbrace{\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}}^{\underline{I}} = \overbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}^{\underline{0}} , \quad \bar{A} \cdot \underline{I} = \underline{0}$$

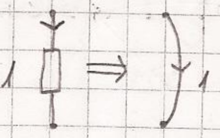
$\bar{A}$ düğümleme Matrisi

TMY denklemleri

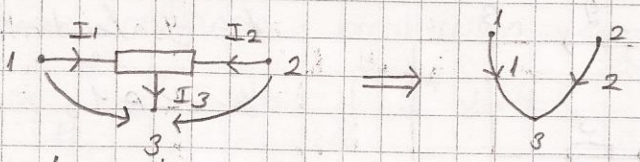
I- $V_1 + V_2 + V_3 + V_5 + V_6 = 0$

II → $V_2 + V_3 - V_4 = 0$

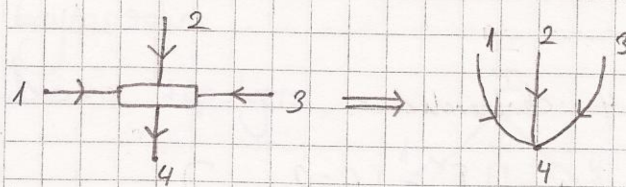
Devre Elemanları ve Topolojik Gösterimleri



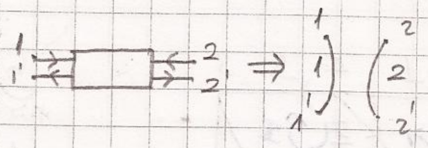
iki uçlu



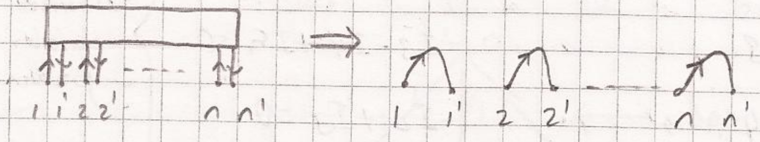
üç uçlu



Dört uçlu



iki kapılı



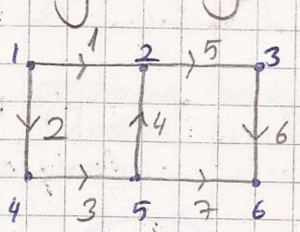
n uçlu

Ağaç - kiriş sayısı

———→——— dal sayısı n-1 → Bağımsız akım sayı gerilimlerini belirler

- - -→- - kiriş sayısı ne-n+1 → " gerilim say. " "

n: düğüm sayısı   ne: eleman sayısı



Yönlendirilmiş çizge

Ağaç-kiriş çizgesini bul

n=6 ne=7

dal = n-1 = 5

ne-n+1 = 2 kiriş

1- n-1 tane dal

2- ne-n+1 tane kiriş

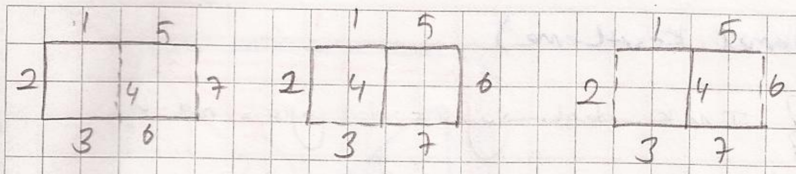
3- Dal elemanlarıyla bütün elemanlara ulaşılmalı

4- Dallardan oluşan kapalı çevre olmamalı

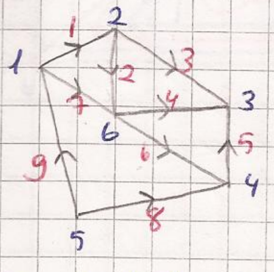
5- Dallar birbiriyle bağlı olmamalı

6- Kirişlerden oluşan düğüm olmamalı

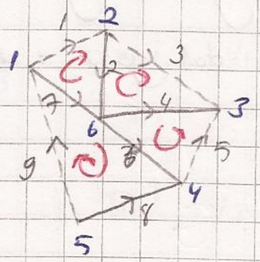
7. Kirişlerden oluşan çevre olabilir.



Temel Çevre



yön topolojik çizge



Ağaç kiriş çizgesi

temel çevre denklemi

* $\underline{V_1} + V_2 - V_7 = 0$
* $\underline{V_3} - V_2 - V_4 = 0$
* $\underline{V_5} - V_4 + V_6 = 0$
* $V_6 + V_7 - V_8 + \underline{V_9} = 0$

$n-1 = 5$ dal $\quad ne - n + 1 = 4$ kiriş

Ağaç kiriş çizgesi üzerinde bir elemanı kiriş diğer elemanı dal olan kapalı devredir. Bir devre için yazılabilecek bağımsız temel çevre denklemi sayısı kiriş sayısı $(ne-n+1)$ kadardır. Temel çevrede bağımlı elemanlar kiriştir. Bağımsız elemanlar ise dal elemanlarıdır.

Bağımlı elemanlar (kirişler) $\{V_1, V_3, V_5, V_9\}$

Bağımsız " (dallar) $\{V_2, V_4, V_6, V_7, V_8\}$

Temel çevrelerde çevre yönü kiriş elemanı yönünde alınır.

$$V = \begin{bmatrix} V_2 \\ V_4 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_1 \\ V_3 \\ V_5 \\ V_9 \end{bmatrix} \begin{matrix} \left.\vphantom{\begin{matrix} V_2 \\ V_4 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \end{matrix}}\right\} V_t \\ \left.\vphantom{\begin{matrix} V_1 \\ V_3 \\ V_5 \\ V_9 \end{matrix}}\right\} V_l \end{matrix} = \begin{bmatrix} V_t \\ V_l \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{c|ccccc|cccc|} & 2 & 4 & 6 & 7 & 8 & 1 & 3 & 5 & 9 \\ \hline \mathrm{I} & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \mathrm{II} & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \mathrm{III} & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \mathrm{IV} & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_4 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_1 \\ V_3 \\ V_5 \\ V_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underbrace{\underbrace{\quad\quad\quad}_{B_t} \; \underbrace{\quad\quad}_{B_l}}_{B \text{ temel çevre matrisi}}$$

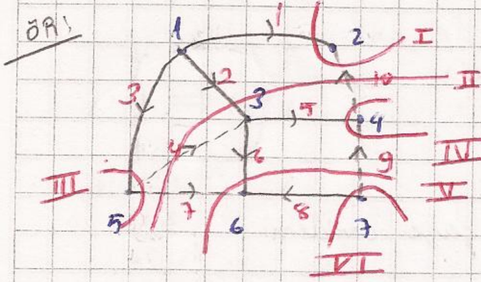
$B \cdot \underline{V} = \underline{0} \qquad B = [B_t \mid B_l] = [B_t \mid I]$

$B_t \cdot \underline{V_t} + \underline{V_l} = 0 \Rightarrow \underline{V_l} = -B_t \cdot \underline{V_t}$

06. 10. 2010

Bağımsız K. A. Y. denklemleri (Temel kesitleme)

ÖR:



$n = 7$
$ne = 10$ } TMK denk. sayısı = dal sayısı = $n-1 = 6$

Bağımlı elemanlar = dal akımı = $\{I_1, I_2, I_3, I_5, I_6, I_8\}$

Bağımsız değişkenler = kiriş akımı = $\{I_4, I_7, I_9, I_{10}\}$

Yani dal yönü + dır.

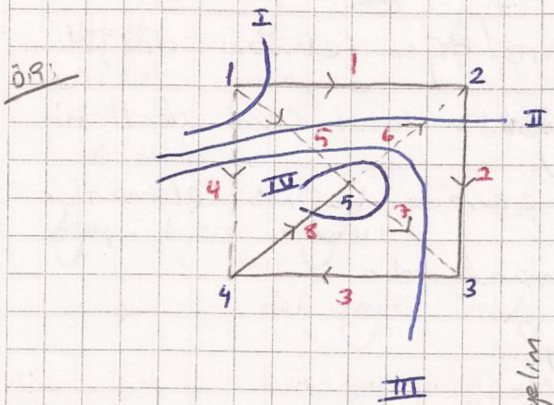
TMK Denk. yazalım

I) $I_1 + I_{10} = 0$

II) $I_2 - I_{10} + I_4 + I_7 = 0$

V) $I_6 + I_7 - I_9 = 0$

ÖR:



$n = 5$
$n-1 = 4$ 4 tane TMK denk. yaz.

Bağımlı elemanlar $\{I_1, I_2, I_3, I_8\}$ dallar

Bağımsız " $\{I_4\ I_5\ I_6\ I_7\}$ kirişler

TMK

I) $I_1 + I_4 + I_5 = 0$

II) $I_2 + I_4 + I_5 - I_6 = 0$

III) $I_3 + I_4 + I_5 - I_6 - I_7 = 0$

IV) $I_5 + I_6 - I_7 + I_8 = 0$

matrisel olarak düzenleyelim

$$\underbrace{\underbrace{\begin{array}{c|cccc:cccc} & 1 & 2 & 3 & 8 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline I & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ II & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ III & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ IV & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 \end{array}}_{Q_t \qquad Q_l}}_{\text{temel kesitleme matrisi}} \underbrace{\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_8 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix}}_{\underline{I}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\underline{0}}$$

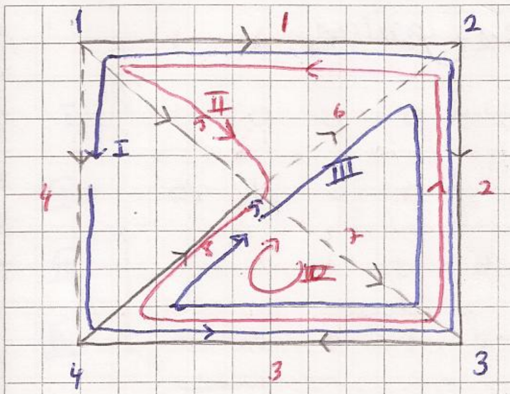
$$\underline{I} = \begin{bmatrix} I_t \\ I_l \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_8 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix}$$

$$Q \cdot \underline{I} = 0 \qquad Q = [Q_t \vdots Q_l] = [\underset{\text{Birim matris}}{I_{4\times4}} \vdots Q_l]$$

$$[I\ Q_l] \begin{bmatrix} I_t \\ I_l \end{bmatrix} = 0 \rightarrow$$

$$\underline{I}_t + Q_l \underline{I}_l = 0$$

$$\underline{I}_t = -Q_l \underline{I}_l$$



TM 4 lerde bağımlı elemanlar = kirişler = $\{V_4, V_5, V_6, V_7\}$

bağımsız elemanlar = dallar = $\{V_1, V_2, V_3, V_8\}$

TM4 Denk. Yazalım.

I) $-V_1 - V_2 - V_3 + V_4 = 0$

II) $-V_1 - V_2 - V_3 + V_5 - V_8 = 0$ $\qquad \underline{V} = \begin{bmatrix} V_t \\ \hdashline V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V8 \\ \hline V4 \\ V5 \\ V6 \\ V7 \end{bmatrix}$

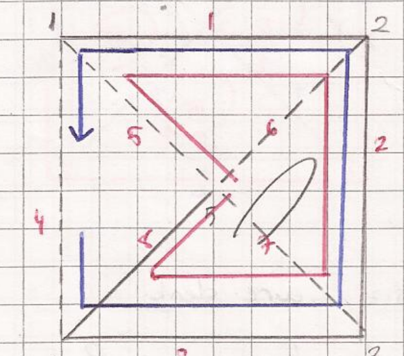
III) $V_2 + V_3 + V_6 + V_8 = 0$

IV) $V_3 + V_7 + V_8 = 0$

$$\begin{array}{c|c} & \begin{array}{cccc|cccc} 1 & 2 & 3 & 8 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{array} \\ \begin{array}{c} I \\ II \\ III \\ IV \end{array} & \underbrace{\left[\begin{array}{cccc|cccc} -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right]}_{B_t \qquad\qquad B_l} \end{array} \begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V8 \\ \hline V4 \\ V5 \\ V6 \\ V7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow B\,\underline{V} = \underline{0}$$

$$\boxed{Q_l = -B_t^T} \qquad \boxed{B_t = -Q_l^T}$$

08.10.2010

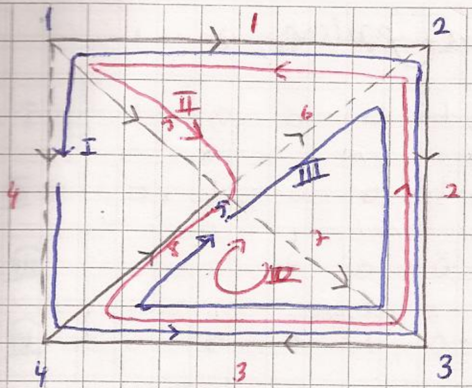


$B.\underline{V} = 0 \qquad Q.\underline{I} = 0$

Bütün eleman gerilimlerini dal gerilimleri cinsinden yazalım.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V8 \\ \hline V4 \\ V5 \\ V6 \\ V7 \end{bmatrix}}_{\underline{V}} = \underbrace{\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 8 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix} \end{array}}_{Q^T} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V1 \\ V2 \\ V3 \\ V8 \end{bmatrix}}_{\underline{V_t}}$$

$\underline{V} = Q^T . V_t$



TM 4 lerde bağımlı elemanlar = kirişler = $\{V_4, V_5, V_6, V_7\}$

bağımsız elemanlar = dallar = $\{V_1, V_2, V_3, V_8\}$

TM 4 Denk. Yazalım.

I) $-V_1 - V_2 - V_3 + V_4 = 0$

II) $-V_1 - V_2 - V_3 + V_5 - V_8 = 0$

III) $V_2 + V_3 + V_6 + V_8 = 0$

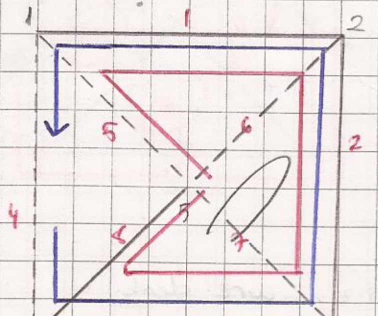
IV) $V_3 + V_7 + V_8 = 0$

$$\underline{V} = \begin{bmatrix} V_t \\ \hline V_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_8 \\ \hline V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{c|cccc|cccc} & 1 & 2 & 3 & 8 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline I & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ II & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ III & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ IV & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline & \multicolumn{4}{c|}{B_t} & \multicolumn{4}{c}{B_l} \end{array} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_8 \\ \hline V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \rightarrow B \, \underline{V} = \underline{0}$$

$$\boxed{Q_l = -B_t^T} \qquad \boxed{B_t = -Q_l^T}$$

08.10.2010



$B . \underline{V} = 0 \qquad Q . \underline{I} = 0$

Bütün eleman gerilimlerini dal gerilimleri cinsinden yazalım.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_8 \\ \hline V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \end{bmatrix}}_{\underline{V}} = \underbrace{\begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 8 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \end{array}}_{Q^T} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_8 \end{bmatrix}}_{\underline{V_t}}$$

$$\underline{V} = Q^T . V_t$$

Bütün eleman akımları kiriş akımları cinsinden yazılsın

$$\underbrace{\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_8 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix}}_{\underline{I}} = \underbrace{\begin{array}{cccc} 4 & 5 & 6 & 7 \\ \left[\begin{matrix} -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}\right] \end{array}}_{Bt} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix}}_{\underline{I}t} \longrightarrow \underline{I} = B^T \cdot It$$

$B.\underline{V} = \underline{0} \quad Q.\underline{I} = \underline{0}$

$\underline{V} = Q^T . \underline{V}t \quad \underline{I} = B^T . \underline{I}\cancel{t}$

Temel Çevreleme ve Temel kesitleme Matrisleri Arasındaki Bağıntılar

$B.\underline{V} = 0 \Rightarrow \underbrace{B.Q^T}_{=0} Vt = 0 \qquad B = [Bt . I] \quad Q = [I . Ql]$

$$Q^T = \begin{bmatrix} I \\ Q^T l \end{bmatrix}$$

$[Bt : I] . \begin{bmatrix} I \\ Q^T_l \end{bmatrix} = Bt.I + Q^T l I = 0$

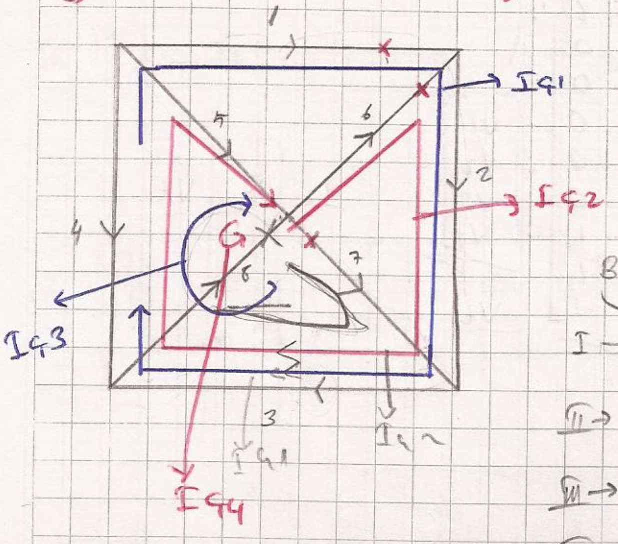
$\underline{Bt + Q_l^T = 0} \qquad Bt = -Q^T l$ veya $Q^T l = -Bt$

Bir devrenin ani gücü;

$\sum_{i=1}^{n} pi = 0$ Güç sakınımı (Tellegen) $\underline{V} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \underline{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \end{bmatrix}$

$$P_T = \underset{\substack{\downarrow \\ B_T . \underline{I}l}}{V^T} \underline{I} = \underline{I}^T . \underline{V} = (\underset{0}{\underbrace{BV}})^T . \underline{I}_l = 0 //$$

Bağımsız Çevre Seçimi (Ağaç kiriş çizgesi kullanmadan)



$n = 5$
$ne = 8$

4 tane bağımsız çevre denk.

Bağımlı elemanlar $\{V_1, V_6, V_7, V_8\}$

Bağımsız çevre denk

I $\rightarrow \underline{V_1} + V_2 + V_3 - V_4 = 0$

$\underline{II} \rightarrow \underline{V_6} + V_2 + V_3 - V_4 + V_5 = 0$

$\underline{III} \rightarrow \underline{V_7} + V_3 - V_4 + V_5 = 0$

$\underline{IV} \rightarrow V_4 + \underline{V_8} - V_5 = 0$

$$\underbrace{\begin{array}{c|cccc:cccc} & 1 & 6 & 7 & 8 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline \mathrm{I} & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\ \mathrm{II} & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ \mathrm{III} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ \mathrm{IV} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & +1 & 1 \end{array}}_{M:\ \text{çevreleme Matrisi}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} V_1 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix}}_{\underline{V}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\underline{0}}$$

$M \cdot \underline{V} = \underline{0}$

$I_1 = I_{41}$

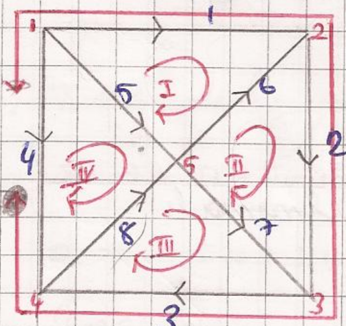
$I_2 = I_{41} + I_{42}$ → üzerinden geçen akımın yönüne bakıyoruz

$I_3 = I_{41} + I_{42} + I_{43}$

$I_4 = -I_{41} - I_{42} - I_{43} + I_{44}$ → üzerinden 4 tane akım geçti. 1, 2, ve 3 akımı 4 ün akımına ters olduğundan (-) alındı. 4 " I_{44} ile aynı yönden alındığından (+) alındı

$I_5 = I_{42} + I_{43} - I_{44}$ $I_6 = I_{42}$ $I_7 = I_{43}$ $I_8 = I_{44}$

Düzlemsel (Gözlü) devrelerde bağımsız Çevre seçimi



$n = 5$: $n-1$ tane bağımsız akım denk

$ne = 8$ $ne - n + 1$ " " " " $= 4$ göz sayısı

Alacağımız Çevreler Saat Yönünde

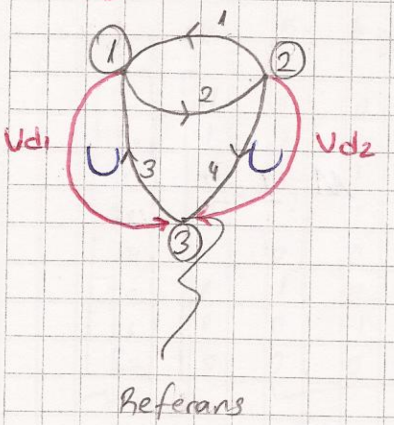
M. cıkısım Çevre matrisi

$$\underbrace{\begin{array}{c|cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline \mathrm{I} & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ \mathrm{II} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ \mathrm{III} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ \mathrm{IV} & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ \mathrm{V} & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}}_{V_1 + V_2 + V_3 - V_4 = 0} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ V_7 \\ V_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

M temel çevreleme matrisi

$M \cdot \underline{V} = 0$

Düğüm Gerilimleri Cinsinden Düğüm Denklemi Yazımı



$n_e = 4$

$n = 3$

n-1 tane bağımsız akım denklemi yazılır.

Bir tane düğüm referans alınır. Yazacağımız bütün akım denk buna bağımlı olmalı

1) $-I_1 + I_2 - I_3 = 0$

2) $I_1 - I_2 + I_4 = 0$

$V_1 = R_1 I_1$, $V_2 = R_2 I_2$

$V_3 = -V_{d1}$

$V_4 = +V_{d2}$

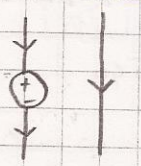
$V_1 + V_{d1} - V_{d2} = 0$

$V_1 = V_{d2} - V_{d1}$

$V_2 + V_{d2} - V_{d1} = 0 \Rightarrow V_2 = V_{d1} - V_{d2}$

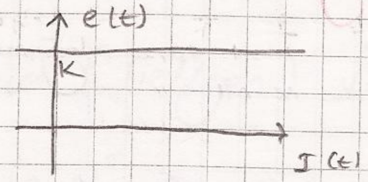
15.01.2010

Devre Elemanları 1) Bağımsız Gerilim Kaynağı



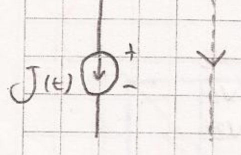
a) Ağaç kiriş çizgesinde kesinlikle daldır.

b) Gerilimi uçlarındaki akıma bağlı değildir.



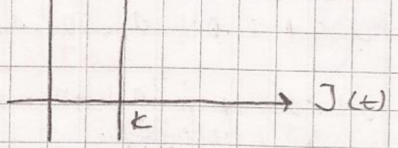
c) Gerilim kaynaklarından oluşan bir çevre olmamalı.

2) Bağımsız Akım Kaynağı



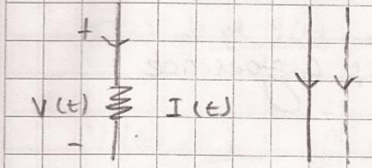
a) Bağımsız akım kaynağı kesinlikle kiriş olarak alınır.

b) Akımı gerilimine bağlı değildir.



c) Bağımsız akım kaynaklarından oluşan düğüm olmamalı

3) Direnç Elemanı

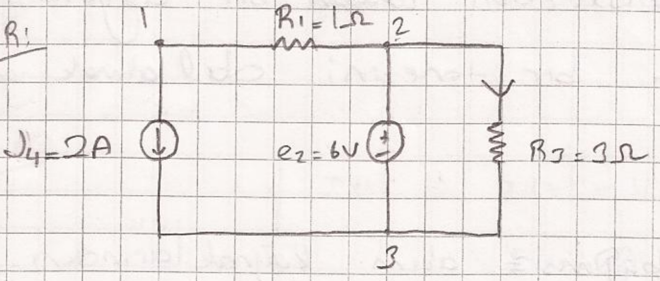


Dal yada kiriş olarak alınabilir.

$V(t) = R.\ I(t) \Rightarrow I(t) = \dfrac{V(t)}{R} = G.\ V(t)$

G ↓ iletkenlik

ÖR:

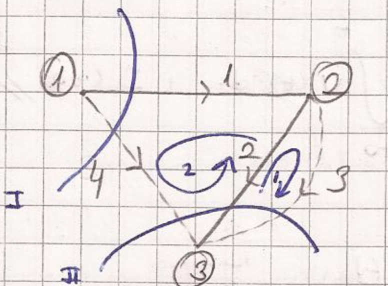


a) Ağaç kiriş çizgesini çiziniz

b) Temel çevre ve temel gerilim denk. yazınız

c) Bilinmeyen akım ve gerilimleri hesaplayınız

a)



$n = 3$

$n-1 = 2$ dal

$n_e = 4$ 2 kiriş

TMK lerde bağımlı dallar = $[I_1, I_2]$

b) TMK denk yazalım

I → $I_1 + I_4 = 0 \Rightarrow I_4 = J_4 = 2A \Rightarrow \underline{I_1 = -2A}$ $\underline{V_1 = R_1 .\ I_1 = -2V}$

II → $I_2 + I_4 + I_3 = 0$ $\underline{I_2 = -I_3 - I_4 = -4A}$

TMG denk yazalım Bağımlı değişiklik $\{V_3\ V_4\}$

I− $-V_2 + V_3 = 0$

II− $-V_1 - V_2 + V_4 = 0$

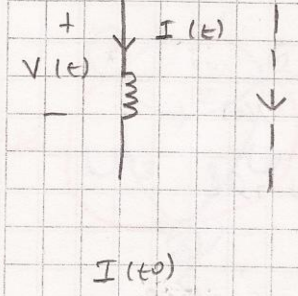
$V_2 = e_2 = 6V \rightarrow \underline{V_3 = V_2 = 6V}$

$\underline{I_3 = \dfrac{V_3}{R_3} = 2A}$

$\underline{V_4 = V_1 + V_2 = 4V}$

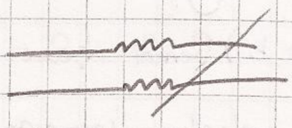
Endüktans için akım kapasite için gerilim başlangıç değeri verilir.

4- Endüktans Elemanı



2 durum hariç Ağaç kiriş çizgesinde kiriş olarak alınır.

1. Durum: Endüktanslardan oluşan bir düğüm, kesitleme varsa bir tanesini dal almak gerek



2. Durum: Endüktanslardan ve bağımsız akım kaynaklarından oluşan bir düğüm varsa birisi dal olarak alınır.

$$\varnothing(t) = L \cdot I(t)$$

$$V(t) = \frac{d\varnothing(t)}{dt} = L \cdot \frac{dI(t)}{d(t)} \quad // \quad \Rightarrow \quad I(t) = \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} V(t)\,dt + I(t_0) \quad //$$

Endüktans Pasiftir.

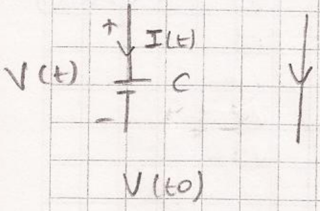
Anı gücü; $P(t) = V(t) \cdot I(t) = \frac{d\varnothing(t)}{d(t)} \cdot \frac{\varnothing(t)}{L}$

$$W = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} \frac{d\varnothing(t)}{\cancel{dt}} \cdot \frac{\varnothing(t)}{L}\,\cancel{dt} = \int_{t_0}^{t} \frac{\varnothing(t)}{L}\,d\varnothing(t) = \frac{1}{2}\varnothing^2(t)\Big|_{t_0}^{t}$$

$$= \frac{1}{2L}\left(\varnothing^2(t) - \underbrace{\cancel{\varnothing^2(t_0)}}_{0}\right) \geqslant 0$$

Pasif

5 - Kapasite



2 durum hariç dal alınır.

1. Durum: Bağımsız gerilim kaynağı ve kapasitelerden oluşan bir çevre varsa kapasitelerden biri kiriş alınır.

2. Durum: Sadece kapasitelerden oluşan bir çevre varsa 1 tane kapasite kiriş alınır.

$$q(t) = C \cdot V(t)$$

$$I(t) = \frac{d\,q(t)}{dt} = C\frac{d\,V(t)}{dt} \;//$$

$$V(t) = \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} I(t)\,dt + V(t_0)$$

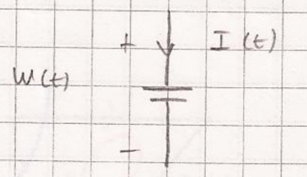
$$W = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} V(t)\,I(t)\,dt$$

$$w(t) = \int_{t_0}^{t} \frac{q(t)}{C}\,\frac{d\,q(t)}{\cancel{dt}}\cdot\cancel{dt}$$

$$w(t) = \frac{q^2(t)}{2C}\Big|_{t_0}^{t} = \frac{1}{2C}\Big[q^2(t) - \underbrace{\cancel{q^2(t_0)}}_{0}\Big] \geqslant 0$$

pasif.

ÖR:



$V(t) = V \cdot \sin wt$

$I(t) = ?$ $\quad P(t) = ?$ $\quad P_{ort}(t) = ?$

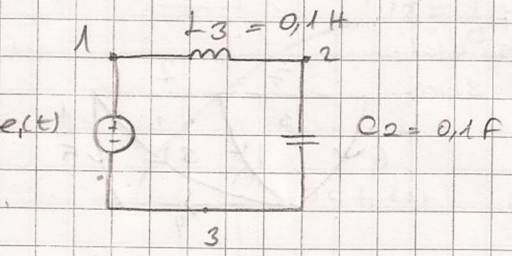
$$I(t) = C\frac{d\,V(t)}{dt} = wCV\cdot\cos wt$$

$$P(t) = V(t)\cdot I(t) = wCV^2 \sin wt\cdot\cos wt = \frac{wCV^2}{2}\sin 2wt$$

$$P_{ort}(t) = \frac{1}{T}\int_{0}^{T}\frac{wCV^2}{2}\underbrace{\sin 2wt}_{}\,dt = 0$$

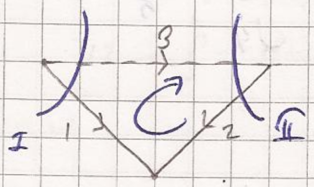
ortalaması 0

ÖR:



$V_2 = 3 \sin 10t \cdot V$

$e_1(t) = ?$



$n = 3 \Rightarrow 2$ dal

$n_e = 3 \Rightarrow 1$ kiriş

TMK $\quad$ I $\to$ $I_1 + I_3 = 0$

$\qquad$ II $\to$ $I_2 - I_3 = 0$

TMG $\quad -V_1 + V_2 + V_3 = 0$

$$I_2 = C_2\cdot\frac{d\,(3\sin 10t)}{dt} = 0{,}1\cdot\frac{30\cdot\cos 10t}{dt} = 3\cos 10t$$

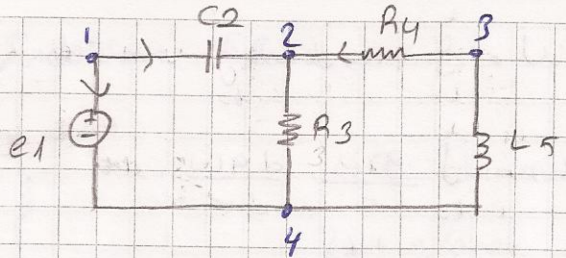
$I_1 = -I_3 = -3\cos 10t$ Amper

$I_2 = I_3 = 3\cos 10t$ Amper

$$V_3 = L_3\cdot\frac{d\,I_3}{dt} = 0{,}1\cdot\frac{d\,(3\cos 10t)}{dt} = -3\sin 10t$$ volt

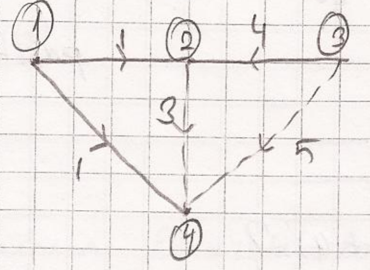
$$V_1 = V_2 + V_3 = 0$$

ÖR:

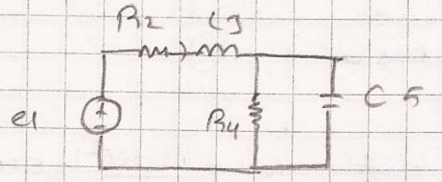


n=4 3 dal

ne=5 2 kiriş



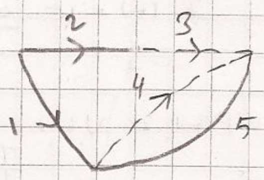
ÖR:



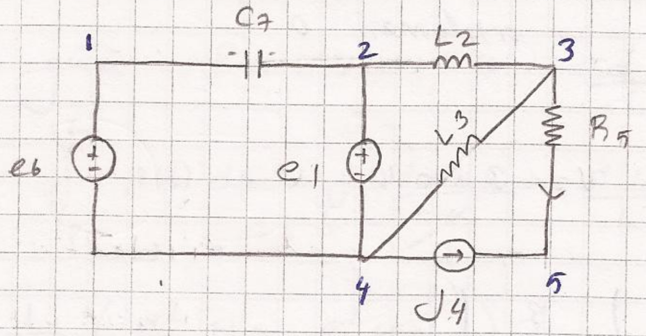
n = 4

3dal

2kiriş

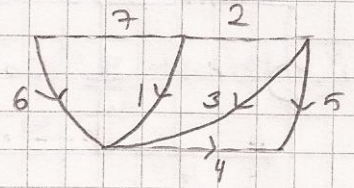


ÖR:



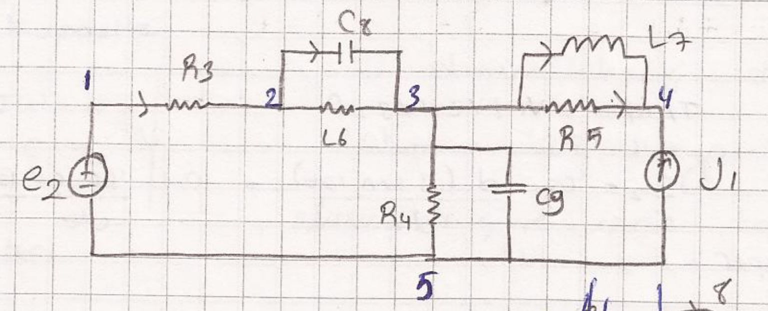
n=5 4dal

3kiriş



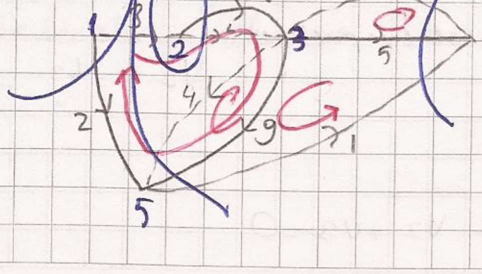
Ağaç kiriş çizgesi

ÖR:

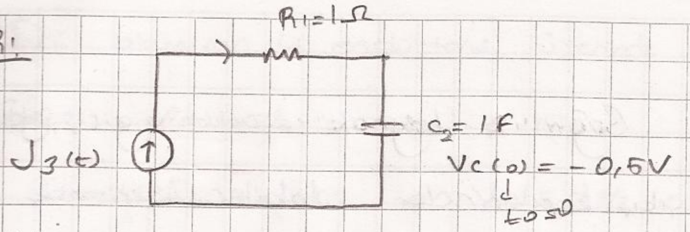


n=5 → 4 eleman dal

5 " kiriş

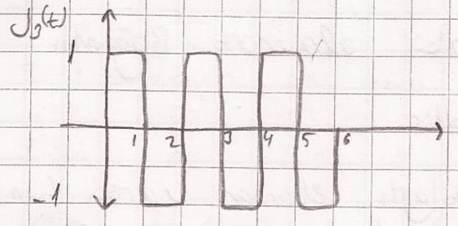


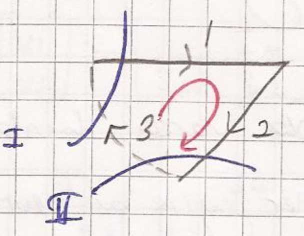
ÖR:



a) Bilinmeyen Gerilimler

b) J3(t) için gerilimin değişimini çiziniz





$$V3+V2-V1=0$$

$$I1-I3=0$$

$$I2-I3=0$$

$$I_1=I_2=I_3=J_3=\begin{cases}1 & 0\leq t<1\\ -1 & 1\leq t<2\end{cases}$$

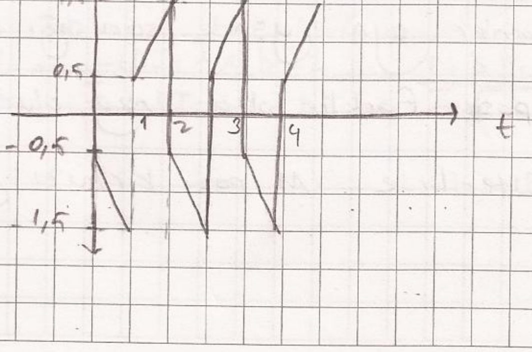
$$V_1=R_1 I_1=R_1 J_1=\begin{cases}1 & 0\leq t<1\\ -1 & 1\leq t\leq 2\end{cases}$$

$$V_2=\frac{1}{C}\int_0^t I_2(t)\,dt=\frac{1}{C}\int_0^t J_3(t)\,dt+V_c(t_0)$$

$$0<t\leq 1 \Rightarrow V_2=\int_0^t 1dt+-0{,}5=t\Big|_0^t-0{,}5=t-0{,}5=\underline{\underline{0{,}5}}\xleftarrow{}V_2(1)$$

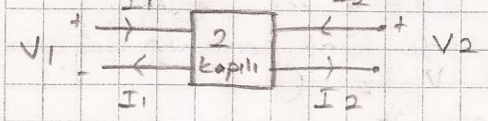
$$1\leq t\leq 2 \Rightarrow V_2=\int_1^t -1\,dt+0{,}5=t\Big|_1^t+0{,}5=-t+0{,}5=\underline{\underline{-0{,}5}}\rightarrow V_2(2)$$

$$V3=-V1-V2=\begin{cases}-1-t+0{,}5=-t-0{,}5 & 0\leq t<1\\ 1+t-0{,}5=t+0{,}5 & 1\leq t<2\end{cases}$$



20.10.2010

İki kapılı devre elemanları



Bağımsız kaynak sadece giriş yada çıkış kapılarında olabilir. içerisinde bağımsız kaynak olamaz. Bağımlı kaynak olabilir.

içinde kublajlı eleman varsa bunların bağlı olduğu terimler yine bu devrede olmalı.

Bağımlı eleman da varsa bunların bağlı olduğu terimler yine bu devrede olmalı.

1- Transformatör

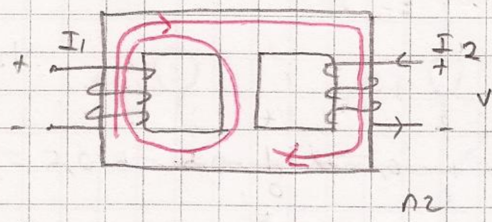
2- Jiratör

3- Bağımlı kaynaklar

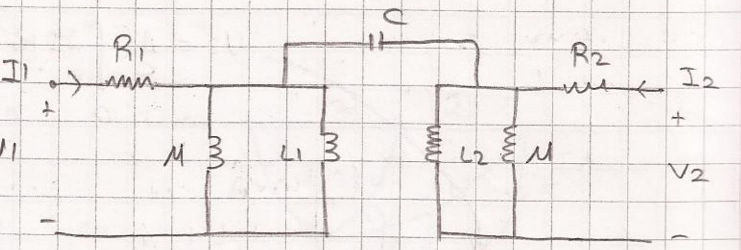
4- Negatif çeviriciler.

1- Transformatörler.

Fiziksel transformatör



n1 = sarım sayısı



Fiziksel transf. fiziksel modeli

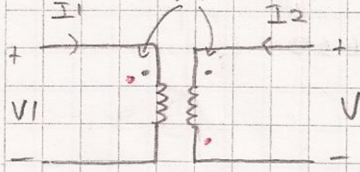
R1 R2 : Isı kayıplarını tanımlayan direnç

L1 L2 : öz endüktansları

M : Ortak "

C : Yüksek frekanslarda sarımlar arası kapasite

Bobinler aynı yönde sarıldığı için M poz. farklı olsa neg olurdu



Fiz. transf.

M siyah noktalardaki gibi gösterilirse M poz. kırmızı gibi gösterilirse neg M olur.

I_1 akımının L_1 endüktans üzerinde oluşturduğu akı $\varnothing_{11} = L_1 . I_1$

I_2 〃 〃 〃 〃 〃 〃 $\varnothing_{12} = \pm M I_2$

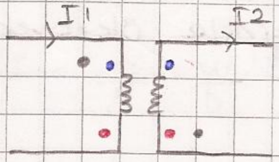
$\varnothing_1 = L_1 I_1 \mp M I_2 \rightarrow V_1 = \frac{d\varnothing_1}{dt} = L_1 . \frac{dI_1}{dt} \mp M \frac{dI_2}{dt} = L_1 D I_1 \mp M D I_2$

I_1 akımının L_2 end. üzerinde oluşturduğu akı $\varnothing_{21} = \pm M . I_1$

I_2 〃 L_2 〃 〃 〃 〃 $\varnothing_{22} = L_2 I_2$

$\varnothing_2 = \mp M_1 I_1 + L_2 I_2 \rightarrow V_2 = \frac{d\varnothing_2}{dt} = \mp M \frac{dI_1}{dt} + L_2 I_2 = \mp M D I_1 + L_2 D I_2$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & \mp M \\ \mp M & L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D I_1 \\ D I_2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} L_1 > 0 \\ L_2 > 0 \end{matrix} \quad L_1 L_2 - M^2 \geq 0$$



Mavi işin I1 elemana girerken nokta ile I2 elemandan çıkarken nokta olduğundan negatif olur M nin işareti

$V_1 = L_1 D I_1 \mp M D I_2$

$V_2 = \mp M D I_1 + L_2 D I_2$

Fiziksel trans. pasif elemandır.

k. kuplaj katsayısı = $\frac{\text{Ortak akı}}{\text{Toplam akı}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 . L_2}}$ $\boxed{-1 \leq k \leq 1}$

+1 yada -1 olduğunda hemen hemen üst üste sarılmışlardır.

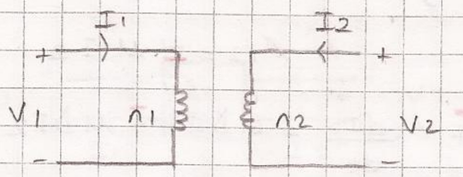
$k = 0$ ise aralarında birbirini etkilemeyecek kadar mesafe vardır.

Mükemmel Trafo

$k = \mp 1 \rightarrow M = \sqrt{L_1 L_2}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{L_1 D I_1 \mp M D I_2}{\mp M D I_1 + L_2 D I_2} = \frac{L_1 D I_1 \mp \sqrt{L_1 L_2} D I_2}{\mp \sqrt{L_1 L_2} D I_2 + L_2 D I_2} = \frac{\sqrt{L_1} (\sqrt{L_1} D I_1 \mp \sqrt{L_2} D I_2)}{\sqrt{L_2} (\mp \sqrt{L_1} D I_1 \mp \sqrt{L_2} D I_2} = \mp \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}}$$

İdeal Transformatör.



n_1 ve n_2 veriliyorsa sonuda fiziksel bunların oranı veriliyorsa ideal transf. dır.

$n = \frac{n_1}{n_2}$ = sarım oranı

Pasif ve kayıpsızdır. Enerjisi 0 dır.

$k = \mp 1$ $\quad M = \sqrt{L_1 L_2}$ $\quad \mu_r = \infty$

ortak akı = toplam akı $\quad R = 0$

kaçak akı yok, kayıpsız

$w = 0$ $\quad P(t) = 0$ (ani güç)

ideal transformatörler devre analizi ve sentezinde ölçeklendirme amaçlı olarak kullanılırlar.

Toplam akı ϕ

n_1 sarımlıdaki akı $\phi_1 = n_1 . \phi$

n_2 〃 〃 $\phi_2 = \mp n_2 \phi$

} Aynı yönlülerse + değilse – işaretli birisi

$V_1 = \frac{d\phi_1}{dt} = n_1 \frac{d\phi}{dt}$ $\qquad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$ olur. Aynı yönde sarılmış ise poz değilse neg olur.

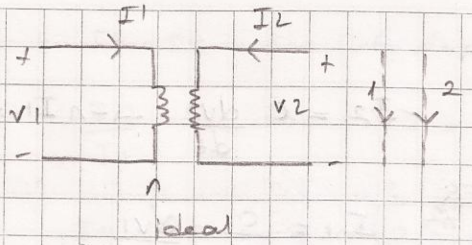
$V_2 = \frac{d\phi_2}{dt} = n_2 \frac{d\phi}{dt}$

$\frac{n_1}{n_2} = n$ idi

$R . \phi = n_1 I_1 \mp n_2 I_2 = 0$ $\qquad \frac{I_2}{I_1} = \pm \frac{n_1}{n_2}$

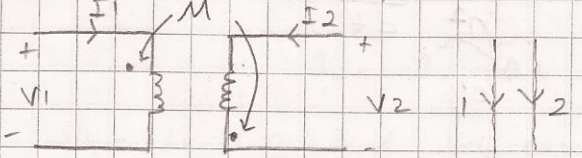
Gerilimleri akıma bağlayan bir tanım yoktur.

22.10.2010



→ kiriş olarak alınır

Gerekirse birisi dal olabilir



$$\begin{bmatrix}V_1\\V_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}L_1 & \mp M\\ \mp M & L_2\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}DI_1\\DI_2\end{bmatrix}$$

$I_1 = ?$

$I_2 = ?$

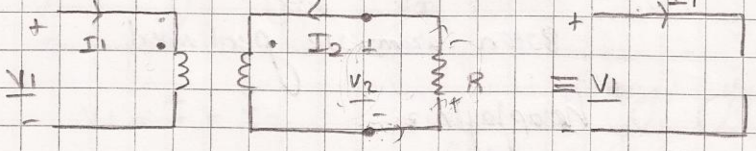
$$\begin{bmatrix}I_1\\I_2\end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix}L_2 & \pm M\\ \pm M & L_1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}V_1/D\\V_2/D\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}I_1\ (t_0)\\I_2\ (t_0)\end{bmatrix}$$

★ $I_1 = \frac{L_2}{\Delta}\cdot\frac{V_1}{D} \pm \frac{M}{\Delta}\frac{V_2}{D} + I_1\,(t_0)$

★ $I_2 = \pm\frac{M}{\Delta}\frac{V_1}{D} + \frac{L_1}{\Delta}\frac{V_2}{D} + I_2\,(t_0)$

Ölçeklendirme Özelliği (ideal transformatör)

1- Sonuna R elemanı bağlı ise



? $\underline{\underline{R' = n^2 R}}$

$n = \frac{n_1}{n_2}$

$\frac{V_1}{V_2} = n$

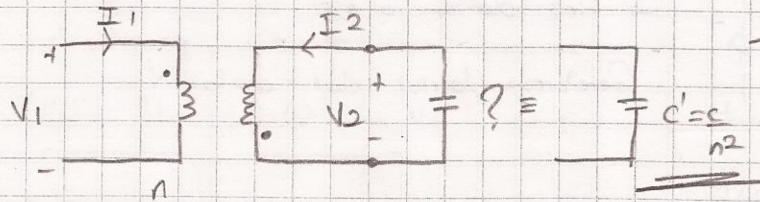
$\frac{I_2}{I_1} = -n$

$V_2 = -I_2 R$

$\frac{V_1}{n} = -(-n I_1) R$

$V_1 = \underbrace{R n^2}_{R'} I_1$

2- Sonuna C bağlı ise

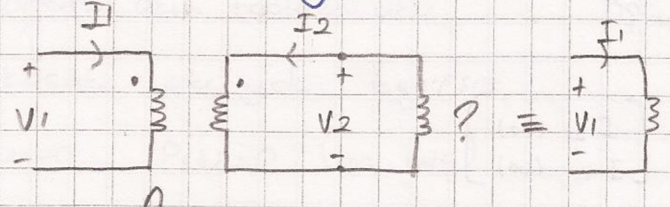


$$-I_2 = C\frac{dv_2}{dt} \rightarrow -nI_1 = C\frac{d\left(-\frac{V_1}{n}\right)}{dt}$$

$$I_1 = \underbrace{\frac{C}{n^2}}_{C'}\frac{dV_1}{dt}$$

$V_2 = \frac{V_1}{n}$ $\quad$ $I_2 = -nI_1$

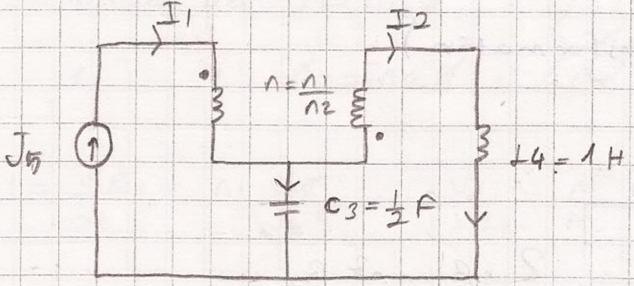
3- Sonuna L bağlı ise



$$\underline{\underline{L' = n^2L}}$$

$V_2 = -L\frac{dI_2}{dt}$ $\quad$ $\frac{V_1}{n} = -L\frac{d(-nI_1)}{dt}$ $\quad$ $V_1 = \underbrace{n^2L}_{L'}\frac{dI_1}{dt}$

ÖR:



$\frac{n_1}{n_2} = 2$ $\quad$ $J_5(t) = \sin 2t$ Amper

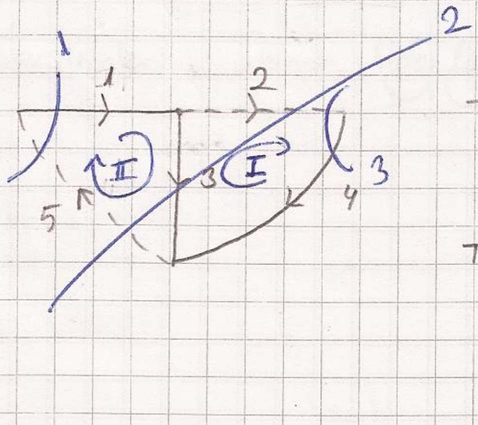
$V_3(0) = 1$ volt

Bütün akımı ve gerilimleri hesaplayınız.

$\frac{V_1}{V_2} = n = 2$ $\quad$ $\frac{I_2}{I_1} = -n = -2$

$n_e = 5$ $\quad$ 3 dal $\quad$ 2 kiriş

$n = 4$



TMG $\quad$ I → $V_2 + V_4 - V_3 = 0$

II → $V_1 + V_3 + V_5 = 0$

TMK $\quad$ 1 → $I_1 - I_5 = 0$

2 → $I_2 + I_3 - I_5 = 0$

3 → $I_4 - I_2 = 0$

J_5 (t) $I_1 = I_4 = \sin 2t$ Amper

$\frac{I_2}{I_1} = -2 \Rightarrow I_2 = -2\sin 2t$ Amper

$I_4 = I_2 = -2\sin 2t$ Amper

$I_3 = 3\sin 2t$ Amper

$V_4 = L_4 \frac{d I_4}{dt} = 1 . (-4 \cos 2t) = -4\cos 2t$ volt

$V_3 = \frac{1}{C_3}\int_{t_0}^{t} I_3\, dt + V_3(t_0) = 2\int_{0}^{t} 3\sin 2t\, dt + 1 = -3\cos 2t \Big|_{0}^{t} + 1$

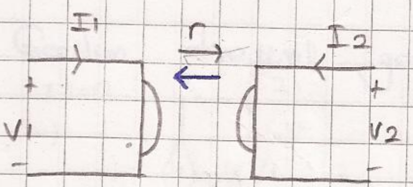
$V_3 = -3\cos 2t + 3 + 1 = -3\cos 2t + 4$ volt

$V_2 = V_3 - V_4 = -3\cos 2t + 4 + 4\cos 2t = \cos 2t + 4$ volt

$\frac{V_1}{V_2} = n = 2 \Rightarrow V_1 = 2\cos 2t + 8$ volt.

$V_5 = -V_1 - V_3 = -2\cos 2t - 8 + 3\cos 2t - 4 = \cos 2t - 12$ volt

Jiratör Elemanı



r: Jirasyon direnci (Ω)

$V_1 = \pm r I_2$

$V_2 = \mp r I_1$

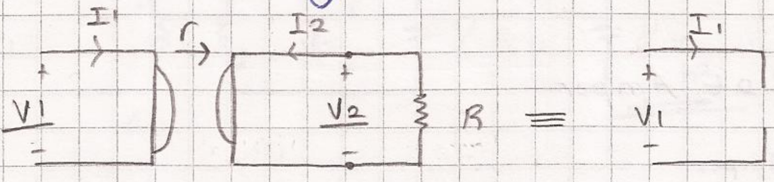
Energi yutmayan kayıpsız bir elemandır.

2 tane ideal jiratör ardarda bağlarsanız transformatör elde edilir. $P(t) = 0 = V_1 I_1 + V_2 I_2 = 0$

Sonuna kapasite bağlarsak girişten endüktans elde ederiz. Tersi de doğrudur. İdeal endüktans için yapılır. Ferromagnetik malzemelerden yapılır.

Yersınırlık Özelliği

1- Sonuna R bağlı



$= \frac{r^2}{R}$

$V_1 = -r I_2$

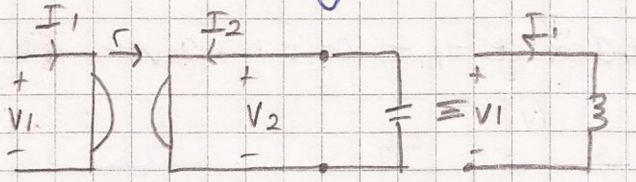
$V_2 = r I_1$ } $V_2 = -R I_2$

$V_2 = r I_1 = -R\underbrace{\left(-\frac{V_1}{r}\right)}_{I_2} \rightarrow I_1 = \underbrace{\boxed{\frac{R}{r^2}}}_{L} V_1$

$\frac{1}{R_1}$ ← iletkenlik oldu

$R' = \frac{r^2}{R}$

2- Sonuna C Bağlı

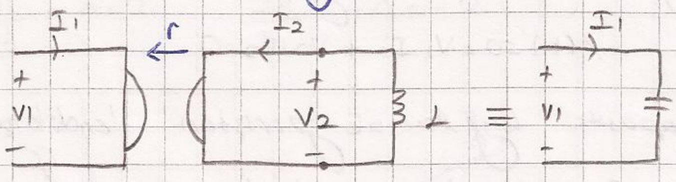


$L' = r^2 \cdot C$

$-I_2 = C \frac{dv_2}{dt}$

$\frac{-V_1}{-r} = C \frac{d(rI_1)}{dt} \rightarrow V_1 = \underbrace{r^2 \cdot C}_{L'} \frac{dI_1}{dt}$

3. Sonuna L Bağlı



$C' = \frac{L}{r^2}$

$V_2 = -L \frac{dI_2}{dt} \rightarrow -r I_1 = -L \frac{d\left(\frac{V_1}{r}\right)}{dt}$

$V_1 = r I_2$

$I = \underbrace{\boxed{\frac{L}{r^2}}}_{C'} \cdot \frac{dv_1}{dt}$

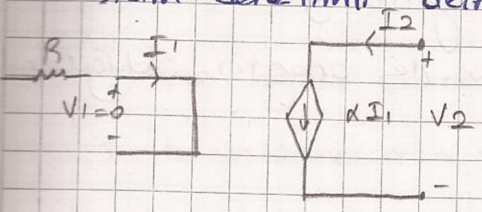
$V_2 = -r I_1$

27.10.2010

İki kapılı ~~&~~ aktif devre elemanları

Bağımlı kaynaklar

1- Akım denetimli akım kaynağı



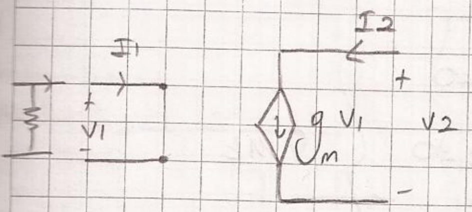
$V_1 = 0$ da giriş kapısını tanımlarız

$I_2 = \alpha I_1$ de çıkış.

$\alpha = \frac{I2}{I_1}$ → Akım kazancıdır. Birimi yoktur.

Gerilimi herzaman kısa, akım tanımı verilmişse daldır. (Devrenin durumuna göre değişir.

2- Gerilim denetimli akım kaynağı

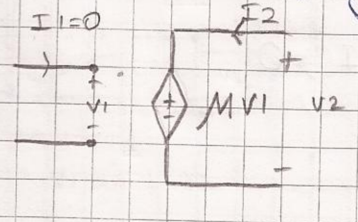


$I_1 = 0$ alınır.

$I_2 = g_m V_1$ → $g_m = \frac{I_2}{V_1} \left(\frac{1}{\Omega}, \text{simens} \right)$

ikiside dal olarak düşünülür. Fakat gerektiğinde değişebilir.

3- Gerilim denetimli gerilim kaynağı



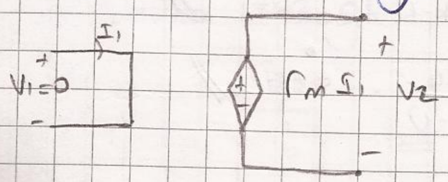
$I_1 = 0$

$V2 = \mu V1$

$\mu = \frac{V2}{V_1}$ → gerilim kaynağı

Akım dal gerilim kısa alınır. Değişebilir.

4- Akım denetimli gerilim kaynağı



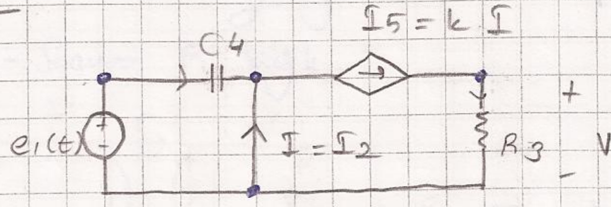
$V1 = 0$

$V2 = r_m I_1$

$r_m = \frac{V_2}{I_1} (\Omega)$

ikiside kısa alınır. Değişebilir.

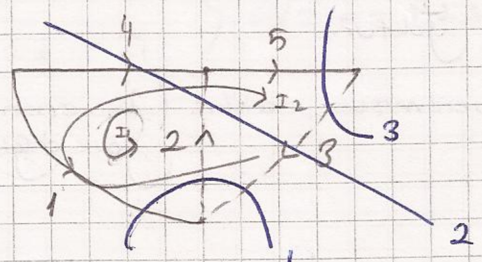
ÖR:



Bu devre türev devresi olarak önerilmektedir. Çıkış gerilimi V_3 ün giriş gerilimi $e_1(t)$ nin türevi ile orantılı olduğunu gösteriniz.

$V_2 = 0$ $n = 4$ 3 dal

$I_5 = kI$ $ne = 5$ 2 kiriş



Ağaç kiriş çizgesi

$$\left.\begin{aligned} &\text{I)}\quad V_1 + V_2 - V_4 = 0 \\ &\text{II)}\quad -V_1 + V_3 + V_4 + V_5 = 0 \end{aligned}\right\} \text{TMG}$$

$$\left.\begin{aligned} &1)\quad I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\ &2)\quad I_4 + I_2 - I_3 = 0 \\ &3)\quad I_5 - I_3 = 0 \end{aligned}\right\} \text{GMK}$$

$V_2 = 0$ $V_1 = e_1(t)$ $V_4 = V_1 = e_1(t)$

$$I_4 = C_4 \cdot \frac{d(e_1 t)}{dt} \qquad I_5 = I_3 = k \cdot I$$

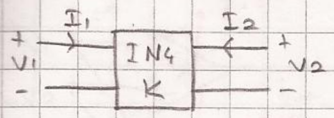
$$C_4 \frac{d(e_1 t)}{dt} + I - k \cdot I = 0$$

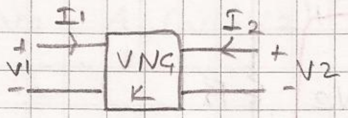
$$I = \frac{C_4}{(k-1)} \cdot \frac{d(e_1 t)}{dt}$$

$$I_3 = k \cdot \frac{C_4}{(k-1)} \cdot \frac{d(e_1 t)}{dt} \rightarrow // V_3 = R_3 \cdot k \cdot \frac{C_4}{(k-1)} \cdot \frac{d(e_1 t)}{dt} //$$

$$// V_3 = R_3 \cdot k \cdot \frac{C_4}{(k-1)} \cdot \dot{e}_1(t) //$$

Negatif Çeviriciler





Akım negatif çevirici

k: Dönüştürme oranı

$V_1 = k . V_2$

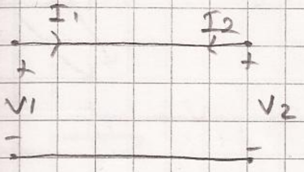
$I_2 = k . I_1$

Aktif elemandır.

Gerilim negatif çevirici

$V_1 = -k V_2$

$I_2 = -k I_1$

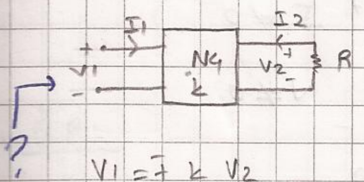


Negatif empedans elde etmek için kullanılır.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \mp k \\ \mp k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

gerilimi kiriş akımı daldır. devrenin durumuna göre değişebilir.

1- Sonuna R bağlı



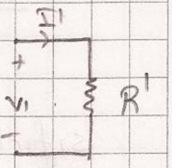
$V_1 = \mp k V_2$

$I_2 = \mp k I_1$

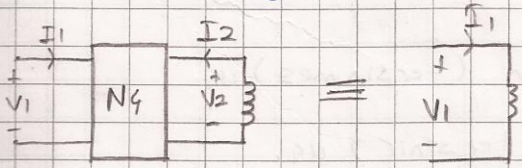
$V_2 = -R I_2$

$\frac{V_1}{\mp k} = -R (\mp k I_1)$

$V_1 = \underbrace{-k^2 . R}_{R'} I_1$

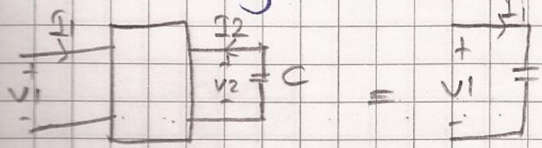


2. Sonuna L Bağlı



$L' = -k^2 L$

3. Sonuna C Bağlı

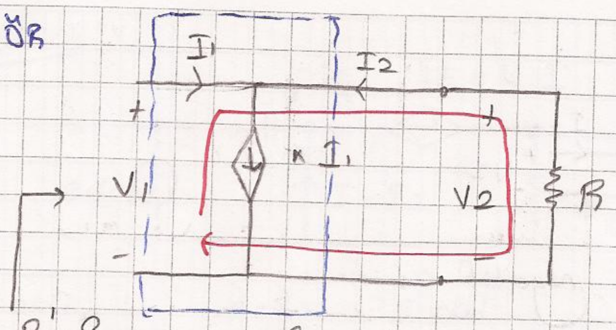


$C' = -\frac{C}{k^2}$

İspatlar size kalmış

03. 11. 2010

ÖR



R' = ?

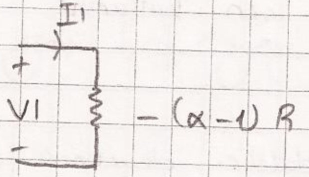
Bu devre ne devresidir?

$V_2 = -R\ I_2$ $\qquad V_1 = V_2$

$I_1 + I_2 = \alpha I_1 \rightarrow I_2 = (\alpha - 1)\ I_1$

$V_1 = \underbrace{-R\ (\alpha - 1)}\ I_1$

Negatif çevrici α > 1 iken!



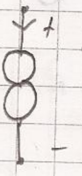
İşlemsel Yükselticiler.

1) ideal işlemsel yükselteç (Nullor)

Nullator
Giriş

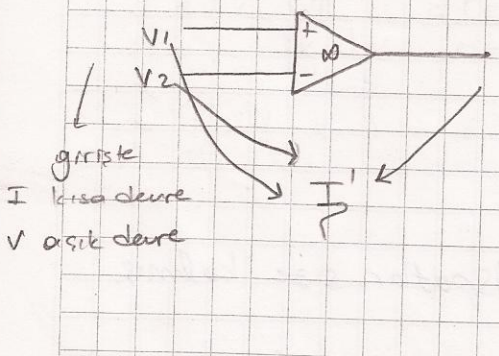
I = 0
V = 0

Norator
Çıkış



I ≠ 0
V ≠ 0

sıfırlayıcı

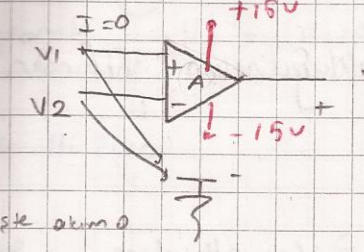


kazancı ∞ dur.

+ : evirmeyen (tersinmez) uç.

− : evirici (tersinir) uç.

2) Fark Yükselteç



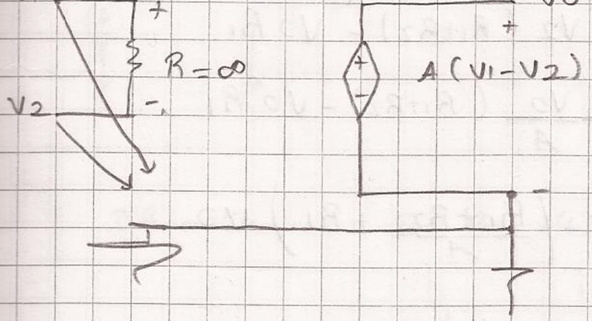
girişte akım 0

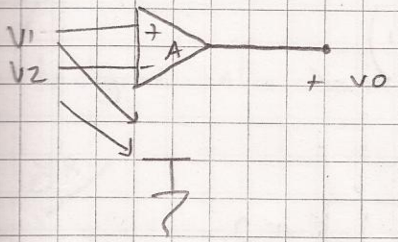
$V_1 - V_2 \neq 0$

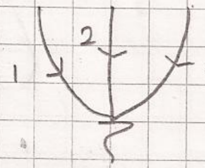
$V_o = A.(V_1 - V_2)$

Kırmızı ile gösterilen beslemedir.

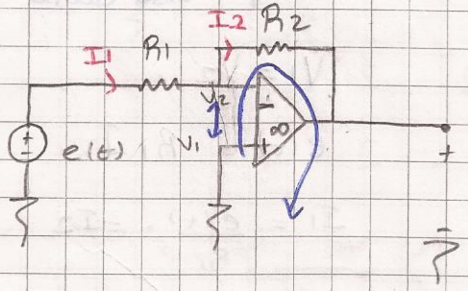
Vo bu besleme değerleri arasında olur. Vo=13 ise 13 olunur. Vo=17 ise 15, 20 ise 15 --- olunur. Vo=-6 ise -6, -20 ise -15 olunur. Beslemede birisi 15 ise diğeri onun negatifi olan -15 olur.







ÖR:



Vo=?

$I_1 = I_2$ dur

↕ → kısa devre

$e(t) = V_1 = I . R_1$ dir.

→ kısa devre

$I_2 R_2 + V_o = 0 \quad I_1 = I_2$

$V_o = - I_2 R_2 = - \frac{R_2}{R_1} . e(t)$ //

Girişte $\overset{e(t)}{+}$ iken çıkışta $\overset{V_o}{-}$ olduğundan FAZ DÖNDÜREN DEVRE oldu.

$A \neq \infty$ olsaydı aynı soru için

$$V_0 = A.(\underbrace{\cancel{V_1}}_{0} - V_2)$$

v_1 toprağa bağlı olduğundan sıfırdır.

$I_1 = I_2$ olur yine

$V_1 - V_2$ farkına V_2 diyelim

$$\frac{e(t) - V_2}{R_1} = \frac{V_2 - V_0}{R_2} \Rightarrow e(t) R_2 - V_2 R_2 = V_2 . R_1 - V_0 . R_1$$

$$e(t) R_2 = V_2 (R_1 + R_2) - V_0 R_1$$

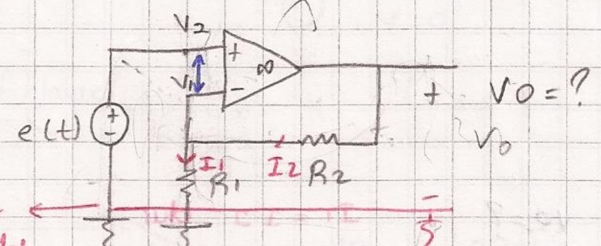
$$e(t) R_2 = -\frac{V_0}{A} (R_1 + R_2) - V_0 R_1$$

$$e(t) R_2 = -\left(\frac{R_1 + R_2}{A} + R_1\right) V_0$$

$$V_0 = -\frac{R_2 \, e(t)}{\left(\frac{R_1 + R_2}{A} + R_1\right)}$$

Görüldüğü gibi $A = \infty$ olursa $V_o = -\frac{R_2}{R_1} e(t)$ elde edilir.

ÖR:



Birbirine bağlı gibi düşünülebilir.

↕ kısa devre

$$V_1 = V_2$$

$$e(t) = R_1 I_1$$

$$I_1 = \frac{e(t)}{R_1} = I_2$$

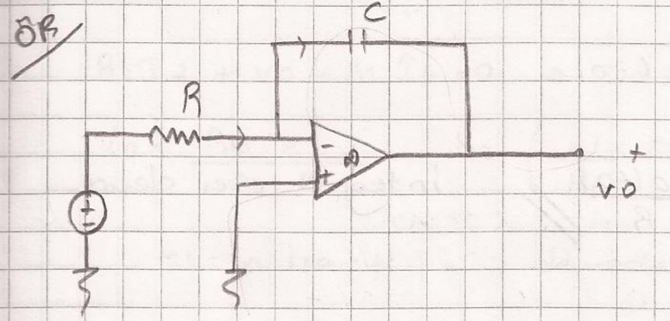
$$V_0 = (R_1 + R_2) \frac{e(t)}{R_1} //$$

Faz döndürmeyen devre

Ödev: Aynı devreyi $A \neq \infty$ olarak çözün daha sonra $A=\infty$ yaparak $V_o = (R_1+R_2)\dfrac{e(t)}{R_1}$ olarak görün

04. 11. 2010

ÖR/



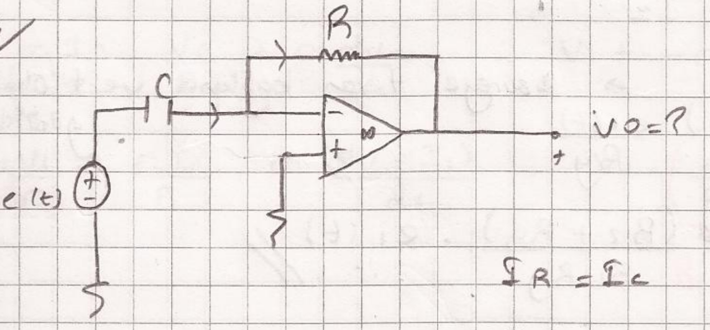
$V_o = ?$

$$I_R = I_c \qquad I_R\,R - e(t) = 0 \Rightarrow I_R = \left(\frac{e(t)}{R}\right) = I_c$$

$$-V_c - V_o = 0 \Rightarrow V_o = -V_c = -\frac{1}{C}\int_0^t \frac{e(t)}{R}\,dt + V_c(t_0)$$

integral Alıcı Devre

ÖR/

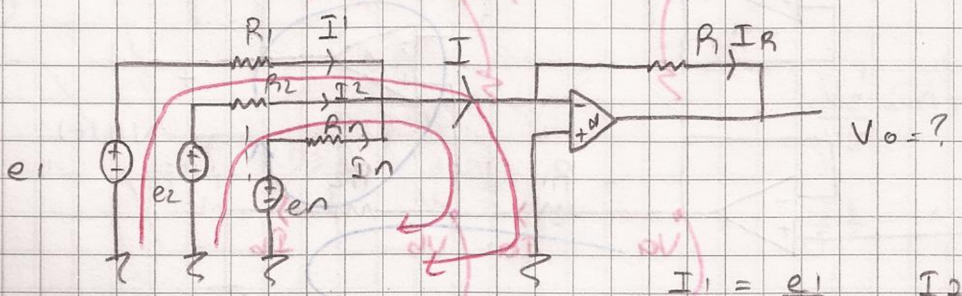


$$I_R = I_c \qquad V_c = e(t)$$

$$I_c = C\frac{d\,e(t)}{dt} = I_R \qquad V_o = -V_R = -R\,C\frac{de(t)}{dt}$$

türev alıcı devre

ÖR/



$V_o = ?$

toplama devresi

$$I_1 = \frac{e_1}{R_1} \qquad I_2 = \frac{e_2}{R_2} \;\ldots\; I_n = \frac{e_n}{R_n}$$

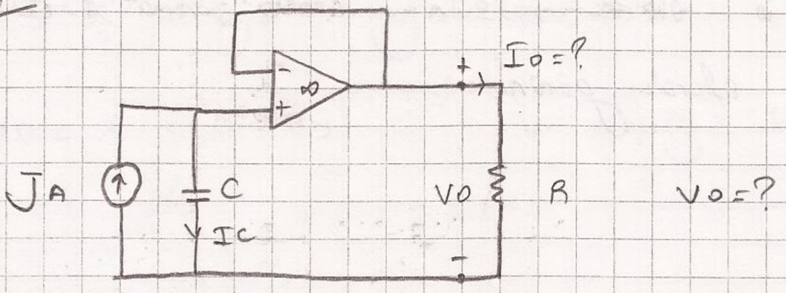
$$I = I_R = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots I_n$$

$$I = \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \ldots \frac{e_n}{R_n}$$

$$V_o = -R.I_R = -R\left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \ldots \frac{e_n}{R_n}\right)$$

$R = R_1 = R_2 \ldots R_n$. $\quad V_o = -(e_1 + e_2 + \ldots e_n)$ //

ÖR:

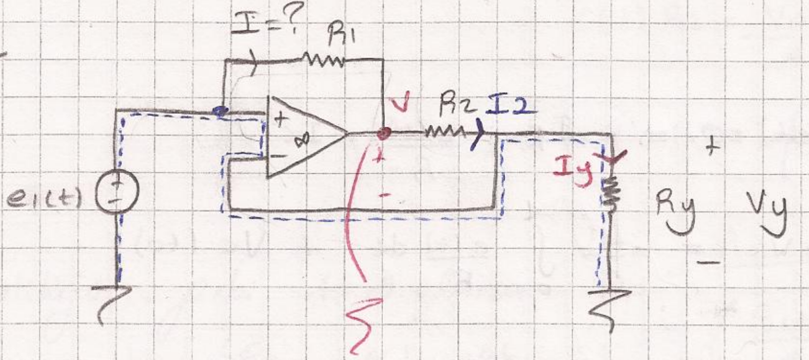


$$V_0 = V_c = \frac{1}{C}\int_0^t J(t)\,dt + V_c(t_0)$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R} = \frac{1}{RC}\int_0^t J(t)\,dt + \frac{V_0(t_0)}{R} \quad //$$

integral alıcı devre

ÖR:

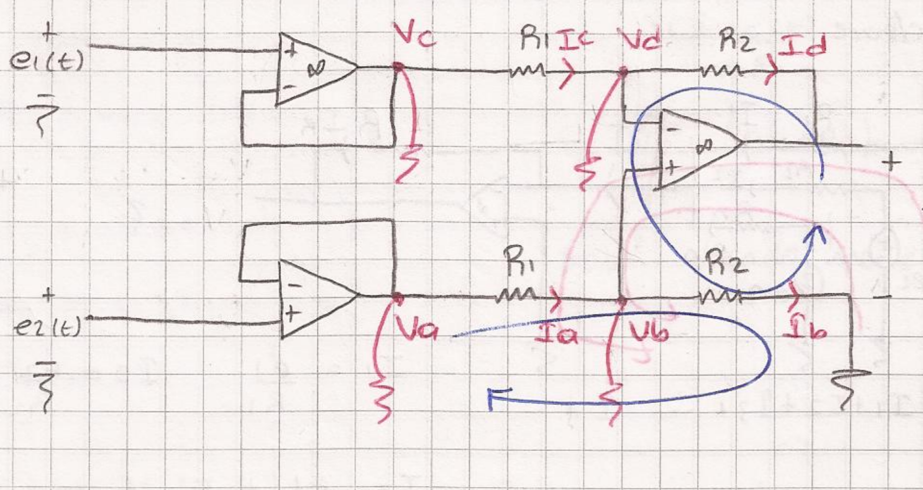


$V_y = e_1(t)$ $\quad I_y = \frac{e_1(t)}{R_y} = I_2$

$V = (R_2 + R_y)\, I_y = (R_2 + R_y)\, \overrightarrow{\frac{e_1(t)}{R_y}}$ Devreye + dan bağlandı ve + olduğu görüldü

$$I = \frac{e_1(t) - V}{R_1} = \frac{e_1(t)}{R_1} - \frac{(R_2 + R_y)}{R_1 \cdot R_y} \cdot e_1(t) \quad //$$

Çıkmış Sınav Sorusu 2006



Çözüm

$V_c = e_1(t) \qquad V_0 = e_2(t) \qquad I_a = I_b \qquad V_a = (R_1+R_2)\, I_a = e_2(t)$

$$I_a = \frac{e_2(t)}{R_1+R_2}$$

$V_b = V_d \qquad I_c = I_d$

$V_b = R_2 I_b = R_2 \cdot \frac{e_2(t)}{R_1+R_2} \qquad I_c = \frac{V_c - V_d}{R_1} = \frac{e_1}{R_1} - \frac{e_2 R_2}{R_1(R_1+R_2)}$

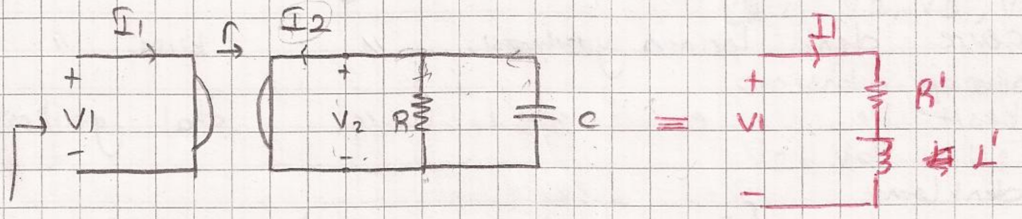
$R_2 I_d + V_0 - R_2 I_b = 0 \Rightarrow V_0 = R_2 I_b - R_2 I_d$

$$V_0 = \frac{R_2 \cdot e_2}{R_1+R_2} - R_2 \left(\frac{e_1}{R_1} - \frac{e_2 R_2}{R_1(R_1+R_2)} \right)$$

e1 in işareti - devrede -ye bağlanmış

e2 " " + " + ya "

ÖR1

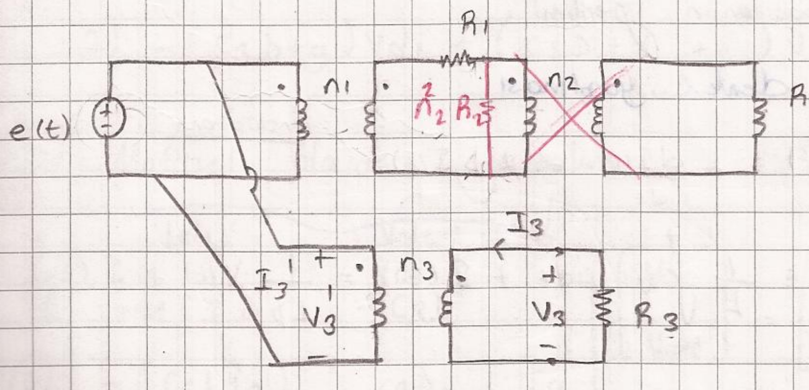


$$-I_2 = \frac{V_2}{R} + C\frac{dV_2}{dt} \qquad V_1 = -r I_2 \quad V_2 = r I_1$$

$$\frac{-V_1}{-r} = \frac{r I_1}{R} + C\frac{d(r I_1)}{dt} \qquad V_1 = \underbrace{\boxed{\frac{r^2}{R}}}_{R'} I_1 + \underbrace{\boxed{r^2 C}}_{L'} \frac{dI_1}{dt}$$

toplamları olduğundan seri oldu

ÖR

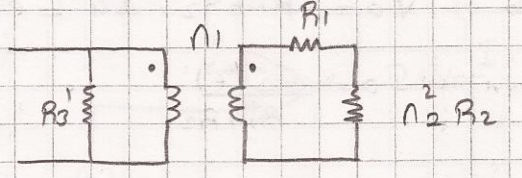


$$\left.\begin{aligned} \frac{V_3'}{V_3} &= n_3 \\ \frac{I_3}{I_3'} &= -n_3 \end{aligned}\right\} \qquad V_3 = -I_3 R_3$$

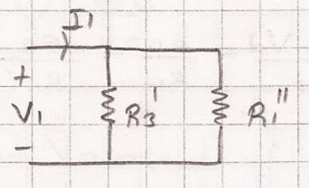
$$\frac{V_3'}{V_3} = -(-n_3 I_3') R_3$$

$$V_3' = \underbrace{\boxed{n_3^2 R_3}}_{R_3'} I_3'$$

→



$R_1' = R_1 + n_2^2 R_2 \rightarrow R_1'' = n_1^2 R_1'$



24.11.2010

Devre tümlev (integral) - türev denk. yazılması

1- Düğüm denklemlerinin düğüm gerilimleri cinsinden yazılması

Bilinmeyen " "

2- Bağımsız çevre denk. yazılması. Bilinmeyenler çevre akımları

3- Temel çevre denk. lerinin yazılması. " kiriş "

4- Temel kesit " " " " dal gerilimleri

5- Durum denklemi:

Sadece türev var

$\underline{x} = A\underline{x} + B\underline{u}$ $\quad \underline{x} = \begin{bmatrix} I_{L\,kiriş} \\ V_{C\,dal} \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow TMÇ \\ \rightarrow TMK \end{matrix}$

$\underline{x}$: Durum vektörü

$\underline{u}$: Bağımsız kaynak vektörü

A, B: Matrisler

Sadece 1. mertebeden türevlerden oluşur.

Hem akım hem gerilim denk. den oluşur.

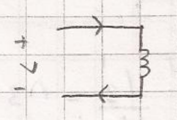
I_L kiriş → kiriş olarak alınan endüktansların akımı

V_C dal → Dal " " kapasitansın gerilimi

1. Düğüm tümlev türev denk. yazılması

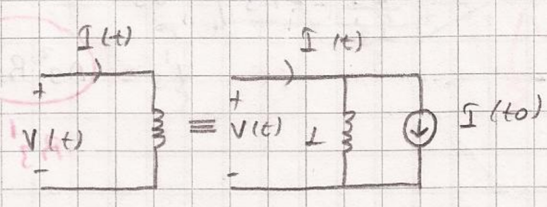
Endüktans

$\underline{x} = \begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ \vdots \end{bmatrix}$



$V(t) = L\dfrac{dI(t)}{dt} = LD\,I(t)$

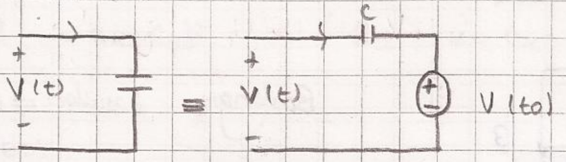
$I_t = \dfrac{1}{L}\displaystyle\int_{t_0}^{t} V(t)\,dt + I(t_0) = \dfrac{1}{LD}V(t) + I(t_0)$



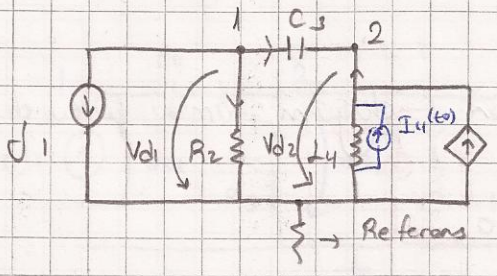
$Z_C = \dfrac{1}{C_3 D}$; empedans $\dfrac{1}{Z} = Y = C_3 D$; admitans

Kapasite

$I(t) = C \dfrac{dV(t)}{dt} = C \cdot D\,V(t)$ $V(t) = \dfrac{1}{C \cdot D} I(t) + V(t_0)$



ÖR;



$I_5 = g \cdot V_3$

I) 1) $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

2) $-I_3 - I_4 - I_5 = 0$

II) 1) $J_1 + G_2 V_2 + C_3 D V_3 = 0$

2) $-C_3 D V_3 - \dfrac{1}{L_4 D} V_4 - I_4(t_0) - g V_3 = 0$

III) V_2, V_3, V_4 gerilimleri V_{d1} ve V_{d2} cinsinden yazılır.

$V_2 = V_{d1}$ $V_3 + V_{d2} - V_{d1} = 0$

$V_3 = V_{d1} - V_{d2}$

$V_4 = -V_{d2}$

II)

1 için $J_1 + G_2 V_{d1} + C_3 D (V_{d1} - V_{d2}) = 0$

2 için $-C_3 D (V_{d1} - V_{d2}) - \dfrac{1}{L_4 D} (-V_{d2}) - I_4(t_0) - g (V_{d1} - V_{d2}) = 0$

IV) 1) $(G_2 + C_3 D) V_{d1} - C_3 D V_{d2} = -J_1$

2) $-(C_3 D + g) V_{d1} + \left(C_3 D + \dfrac{1}{L_4 D} + g\right) V_{d2} = I_4(t_0)$

V) Matrisel olarak yazalım.

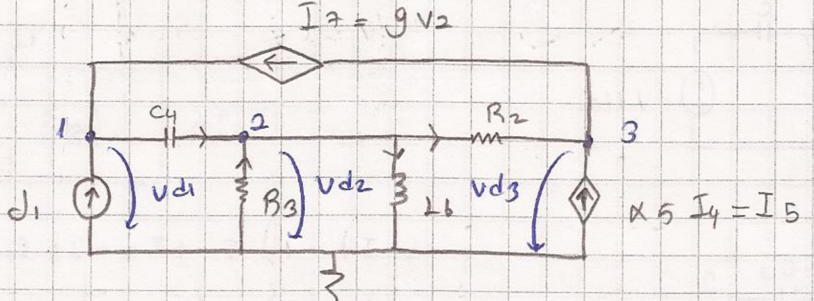
$$\overbrace{\begin{array}{c|cc} & V_{d1} & V_{d2} \\ ① & G_2 + C_3 D & -C_3 D \\ ② & -(C_3 D + g) & C_3 D + \dfrac{1}{L_4 D} + g \end{array}}^{Y} \begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -J_1 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\text{özel çözüm}} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ I_4(t_0) \end{bmatrix}}_{\text{homogen çözüm}}$$

$-g\,(V_{d1} - V_{d2})$

Bağımlı kaynak katsayıları =0 olursa Y matrisi ~~0 e~~ simetrik dur.

26. 11. 2010

ÖRNEK:



Başlangıç koşulları ≠ 0

1 2 ve 3 düğümlerine ait olan düğüm tümlev türev denk. yazını

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} Vd_1 \\ Vd_2 \\ Vd_3 \end{bmatrix}$$

1- 1) $-I_1 + I_4 - I_7 = 0$

2) $-I_4 - I_3 + I_6 + I_2 = 0$

3) $-I_2 - I_5 + I_7 = 0$

2- 1) $-J_1 + C_4 D V_4 - g V_2 = 0$

2) $-C_4 D V_4 - G_3 V_3 + \dfrac{1}{L_6 D} + I_6(t_0) + G_2 V_2 = 0$

3) $-G_2 V_2 - \alpha_5 C_4 D V_4 + g V_2 = 0$

3- $V_2 = Vd_2 - Vd_3$

$V_4 = Vd_1 - Vd_2$

$V_3 = -Vd_2$

$V_6 = Vd_2$

4- 1) $C_4 D (Vd_1 - Vd_2) - g(Vd_2 - Vd_3) = J_1$

2) $-C_4 D (Vd_1 - Vd_2) - G_3(-Vd_2) + \dfrac{1}{L_6 D} Vd_2 + G_2 (Vd_2 - Vd_3) = -I_6(t_0)$

3) $-G_2 (Vd_2 - Vd_3) - \alpha_5 C_4 D (Vd_1 - Vd_2) + g(Vd_2 - Vd_3) = 0$

5- 1) $C_4 D Vd_1 - (C_4 D + g) Vd_2 + g Vd_3 = J_1$

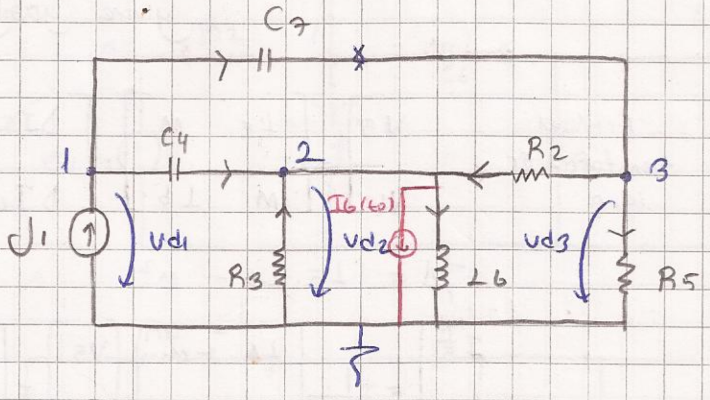
2) $-C_4 D Vd_1 + \left(C_4 D + G_3 + \dfrac{1}{L_6 D}\right) Vd_2 - G_2 V_3 = -I_6(t_0)$

3) $-\alpha_5 C_4 D Vd_1 - (G_2 - \alpha_5 C_4 D - g) Vd_2 + (G_2 - g) Vd_3 = 0$

Bağımlı kaynaklar 0 alınırsa simetrik oluyo.

$$\begin{array}{c|ccc}
 & V_{d1} & V_{d2} & V_3 \\
1 & C_4 D & -(C_4 D + g) & g \\
2 & -C_4 D & \left(C_4 D + G_3 + \frac{1}{L_6 D} + G_2\right) & -G_2 \\
3 & -\alpha_5 C_4 D & -(G_2 - \alpha_5 C_4 D - g) & (G_2 - g)
\end{array}
\begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -I_6(t_0) \\ 0 \end{bmatrix}$$

ÖRNEK;



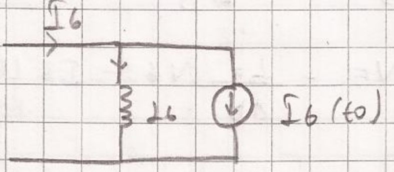
Başlangıç koşulları ≠ 0

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \end{bmatrix}$$

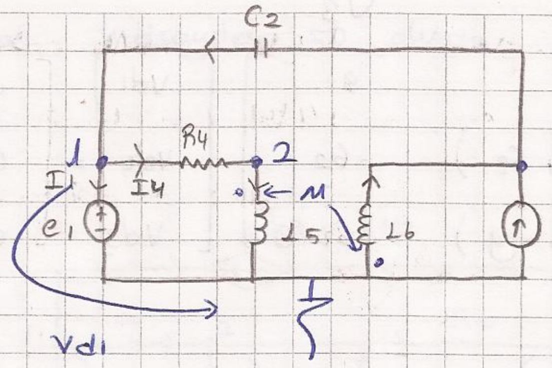
$$\begin{array}{c|ccc}
 & V_{d1} & V_{d2} & V_{d3} \\
1 & C_4 D + C_7 D & -C_4 D & -C_7 D \\
2 & -C_4 D & C_4 D + G_3 + \frac{1}{L_6 D} + G_2 & -G_2 \\
3 & -C_7 D & -G_2 & G_2 + G_5 + C_7 D
\end{array}
\begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -I_6(t_0) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Simetrik

$$I_6 = \frac{1}{L_6 D} V_6 + I_6(t_0)$$



ÖRNEK:



$$x = \begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \\ V_{d3} \end{bmatrix}$$

$V_{d1} = e_1$ biliniyor. V_{d1} denklemden çıkarılıp I_1 bilinmeyeni yerine yazılıyor.

1-

1) $I_1 + I_4 - I_2 = 0$

2) $-I_4 + I_5 = 0$

3) $-I_3 - I_6 + I_2 = 0$

Fiziksel transformatör için

$$\begin{bmatrix} V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_5 & M \\ M & L_6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DI_5 \\ DI_6 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = L_5 . L_6 - M^2$$

$$\begin{bmatrix} I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta D} \begin{bmatrix} L_6 & -M \\ -M & L_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_5(t_0) \\ I_6(t_0) \end{bmatrix}$$

$$I_5 = \frac{L_6}{\Delta D} V_5 - \frac{M}{\Delta D} V_6 + I_5(t_0)$$

$$I_6 = \frac{-M}{\Delta D} V_5 + \frac{L_5}{\Delta D} V_6 + I_6(t_0)$$

2-

1) $I_1 + G_4 V_4 - C_2 D V_2 = 0$

2) $-G_4 V_4 + \frac{L_6}{\Delta D} V_5 - \frac{M}{\Delta D} V_6 + I_5(t_0) = 0$

3) $-J_3 + \frac{M}{\Delta D} V_5 - \frac{L_5}{\Delta D} V_6 - I_6(t_0) + C_2 D V_2 = 0$

3-

$V_2 = V_{d3} - V_{d1}$

$V_4 = V_{d1} - V_{d3}$

$V_5 = V_{d2}$

$V_6 = -V_{d3}$

4-

1) $I_1 + G_4(\overset{el}{V_{d1}} - V_{d2}) - C_2 D(V_{d3} - V_{d1}) = 0$

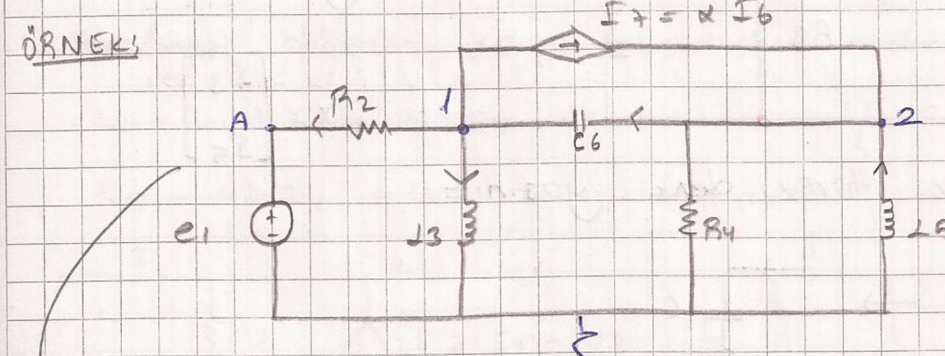
2) $-G_4(\underset{el}{V_{d1}} - V_{d2}) + \frac{L_6}{\Delta D} V_{d2} + \frac{M}{\Delta D} V_{d3} = -I_5(t_0)$

3) $\frac{M}{\Delta D} V_{d2} + \frac{L_5}{\Delta D} V_{d3} + C_2 D(V_{d3} - \overset{el}{V_{d1}}) = J_3 + I_6(t_0)$

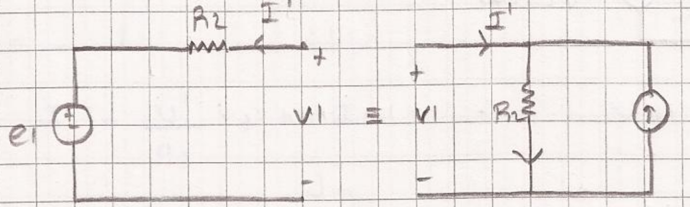
www.oguzhancakmak.com.tr

$$5-\quad \begin{array}{c|ccc} & I_1 & V_{d2} & V_{d3} \\ 1 & 1 & -G_4 & -C_2D \\ 2 & 0 & G_4+\frac{L1}{\Delta D} & \frac{M}{\Delta D} \\ 3 & 0 & \frac{M}{\Delta D} & \frac{L5}{\Delta D}+C_2D \end{array} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_{d2} \\ V_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(G_4-C_2D)e_1 \\ G_4\ c_1 \\ C_3De_1+J_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -I_5(t_0) \\ I_6(t_0) \end{bmatrix}$$

<u>ÖRNEK:</u>

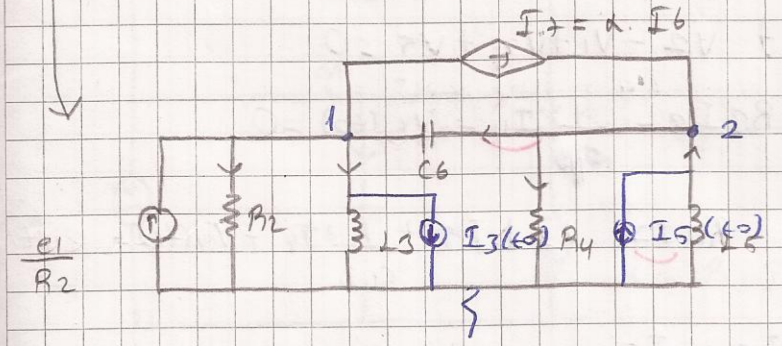


A düğümünü ortadan kaldıracak şekilde devreyi çözünüz.



$$V1 = I' \cdot R_2 + e1$$

$$I' = \frac{V1}{R_2} - \frac{e1}{R_2}$$



$$I_3 = \frac{1}{L_3D} V_3 + I_3(t_0)$$

$$\begin{array}{c|cc} & V_{d1} & V_{d2} \\ 1 & G_2+\frac{1}{L_3D}+C_6D-\alpha C_6D & -C_6D+\alpha C_6D \\ 2 & -C_6D+\alpha C_6D & G_4+C_6D+\frac{1}{L_6D}-\alpha C_6D \end{array} \begin{bmatrix} V_{d1} \\ V_{d2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e1}{R_2} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -I_3(t_0) \\ I_5(t_0) \end{bmatrix}$$

1. düğümre $\alpha I_6 = \alpha C_6 V_6 = \alpha \cdot C_6 D (V_{d2} - V_{d1})$

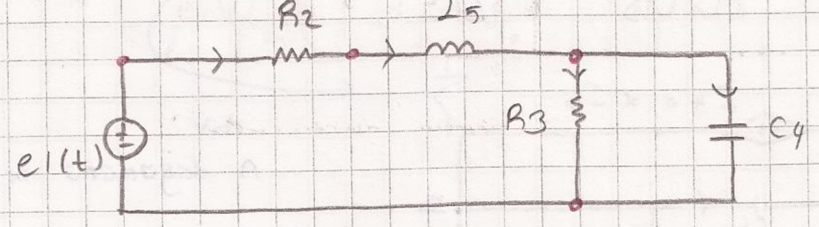
2. 〃 $-\alpha I_6$

1. 12. 2010

Temel çevre tümlev türev denklemlerinin yazılması

Bilinmeyenler kiriş elemanlarının akımları denk. sayısı $= n_e - n + 1$

ÖR:

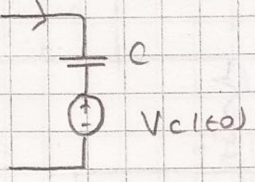


Başlangıç denk. ≠0

$$X = \begin{bmatrix} I_3 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

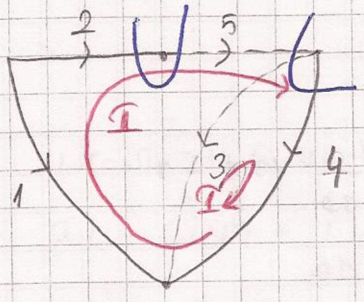
temel çevre tümlev türev denk. yazınız

$$V = \frac{1}{CD} I + V_c(t_0) \longrightarrow$$



$n = 4 \quad n_e = 5$

1-



2- I) $V_3 - V_4 = 0$

II) $V_2 - V_1 + V_4 + V_5 = 0$

3- I) $R_3 I_3 - \frac{1}{C_4 D} I_4 - V_c(t_0) = 0$

II) $R_2 I_2 + L_5 D I_5 + \frac{1}{C_4 D} I_4 + V_4(t_0) = e_1(t)$

4- $I_2 = I_5$

$I_4 = I_5 - I_3$

5- I) $R_3 I_3 - \frac{1}{C_4 D}(I_5 - I_3) = V_4(t_0)$

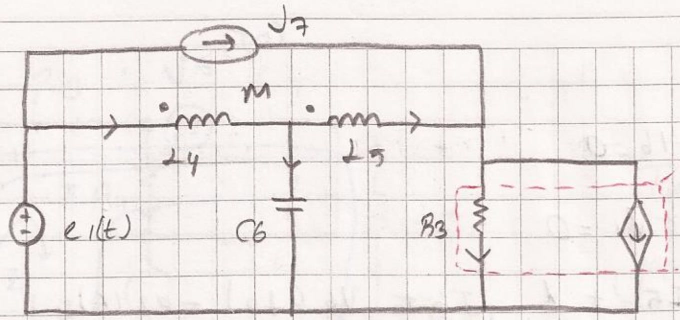
II) $R_2 I_5 + L_5 D I_5 + \frac{1}{C_4 D}(I_5 - I_3) = e_1(t) - V_4(t_0)$

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} I_3 & \qquad I_5 \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{I} \\ \text{II} \end{array} & \underbrace{\begin{bmatrix} R_3 + \frac{1}{C_4 D} & -\frac{1}{C_4 D} \\ -\frac{1}{C_4 D} & R_2 + \frac{1}{C_4 D} \end{bmatrix}}_{Z} \end{array} \begin{bmatrix} I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ e_1(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_4(t_0) \\ -V_4(t_0) \end{bmatrix}$$

(simetrik)

empedans boyutunda

ÖRNEK:



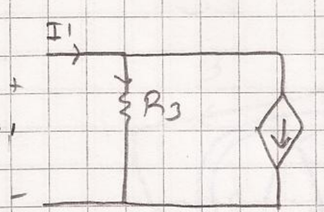
$\alpha_2 I_1 = I_2$

Bu iki kaynak gerilim kaynağına çevrilirse n = 4 olur. Kiriş sayısı 3 e düşer. Denklem sayısı da 3e düşer.

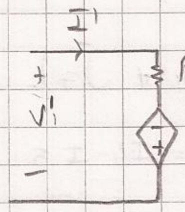
Başlangıç değerleri ≠ 0 Temel çevre türmler türev denk?

$V_4 = L_4 D I_4 + M D I_5$ $n=4$ } 3 dal

$V_5 = M D I_4 + L_5 D I_4$ $n_e = 7$ 4 kiriş

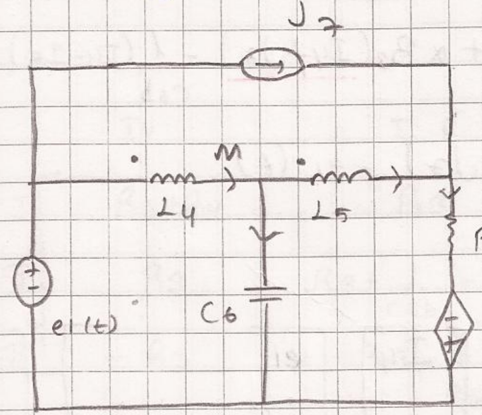


$\alpha I_1 = V_2$ ≡



$\alpha_2 R_3 I_1 = V_2$

$I' = \frac{V'}{R_3} + \alpha_2 I_1$ $V' = I' R_3 - \alpha_2 I_1 R_3$

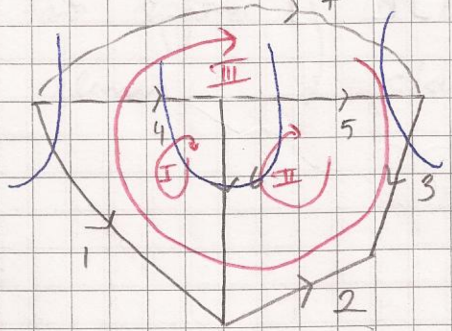


$\alpha_2 R_3 I_1 = V_2$

$n = 5$

$n_e - n + 1 = 3$ olu

1



$$X = \begin{bmatrix} I_4 \\ I_5 \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_4 \\ I_5 \\ V_7 \end{bmatrix}$$

$I_7 = J_7$ olarak bilinıyor.

2- I) $V_4 + V_6 - V_1 = 0$

II) $V_5 + V_3 - V_2 + V_6 = 0$

III) $V_7 + V_3 - V_2 - V_1 = 0$

3- I) $L_4 D I_4 + M D I_5 + \frac{1}{C_6 D} \underbrace{I_6} + V_6(t_0) = e_1(t)$

II) $M D I_2 + L_5 D I_5 + R_3 \underbrace{I_3} - \alpha_2 R_3 \underbrace{I_1} - \frac{1}{C_6 D} I_6 - V_6(t_0) = 0$

I4 ve I5 dışında hangi akımların var.

III) $V_7 + R_3 I_3 - \alpha_2 R_3 I_1 = e_1(t)$

$I_1 = -(I_4 + I_7) = -(I_4 + J_7)$

$I_3 = I_5 + I_7$ $\qquad I_6 = I_4 - I_5$

4- I → $L_4 D I_4 + M D I_5 + \frac{1}{C_6 D}(I_4 - I_5) = e_1(t) - V_6(t_0)$

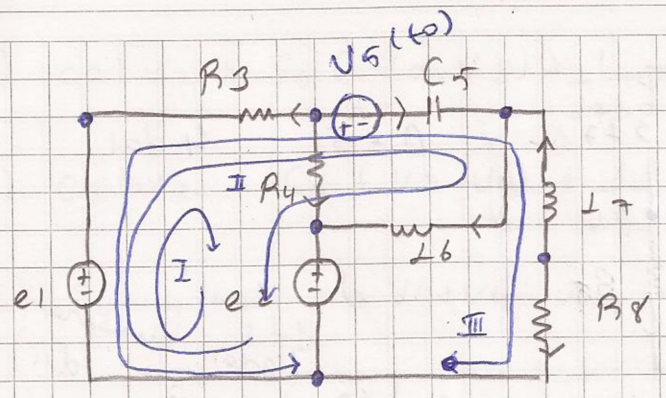
II → $M D I_4 + L_5 D I_5 + R_3 \underline{(I_5 + J_7)} + \alpha R_3 \underline{(I_4 + J_7)} - \frac{1}{C_6 D}(I_4 - I_5) = V_6(t_0)$

III → $V_7 + R_3(I_5 + J_7) + \alpha R_3 (I_4 + J_7) = e_1(t)$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} I_4 & I_5 & V_7 \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} & \begin{bmatrix} L_4 D + \frac{1}{C_6 D} & M D - \frac{1}{C_6 D} & 0 \\ M D + \alpha R_3 - \frac{1}{C_6 D} & L_5 D + R_3 + \frac{1}{C_6 D} & 0 \\ \alpha R_3 & R_3 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \begin{bmatrix} I_4 \\ I_5 \\ V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ 0\,(-R_3 + \alpha R_3) J_7 \\ e_1 - (R_3 + \alpha R_3) J_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -V_6(t_0) \\ V_6(t_0) \\ 0 \end{bmatrix}$$

03.12.2010

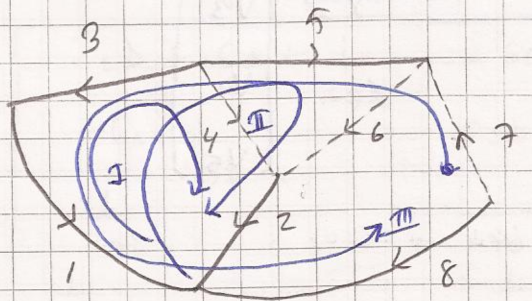
ÖR:



Temel çevre denk. işlem yapmadan yazınız.

$n=6 \quad ne=8 \qquad n-1 \text{ dal} = 5$

$ne-n+1 \text{ kiriş} = 5$



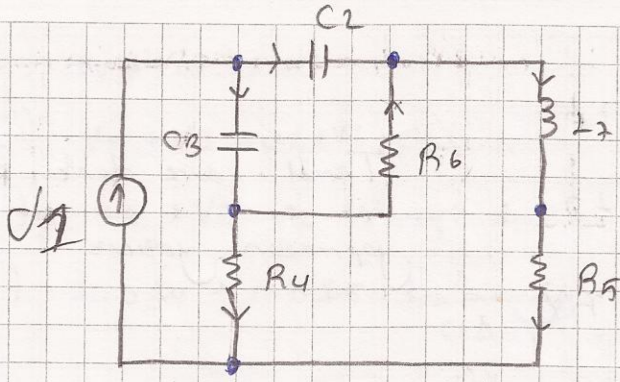
$$x = \begin{bmatrix} I_4 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{c} \\ I \\ II \\ III \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} I_4 & I_6 & I_7 \end{array} \\ \begin{bmatrix} R_3+R_4 & R_3 & -R_3 \\ R_3 & R_3+\frac{1}{C_5D}+L_6D & R_3-\frac{1}{C_5D} \\ -R_3 & -R_3-\frac{1}{C_5D} & R_3+R_8+\frac{1}{C_5D}+L_7D \end{bmatrix} \end{array} \begin{bmatrix} I_4 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1-e_2 \\ e_1-e_2 \\ -e_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -V_5(t_0) \\ +V_5(t_0) \end{bmatrix}$$

Temel kesitleme Gümleu türev denk. yazılması

n tane düğüm) n-1 tane TMK
ne eleman) dal gerilimleri

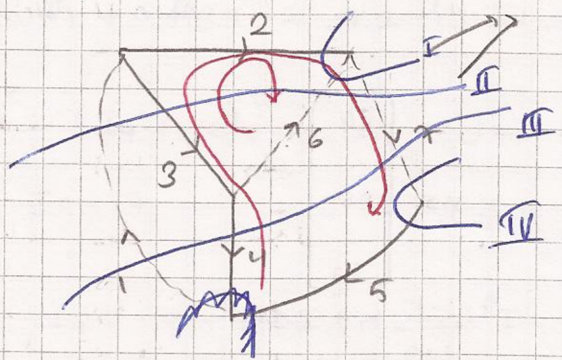
ÖR:



n = 5 4 dal

Doğrudan yazma (ortak elemanlar 6 ve 7)
(2.'i için) (C2nin yönü + dır)

1-



$$X = \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix}$$

2- I) $I_2 + I_6 - I_7 = 0$

II) $-I_1 + I_3 - I_6 + I_7 = 0$

III) $-I + I_4 + I_7 = 0$

IV) $I_5 - I_7 = 0$

3- I) $C_2 D V_2 + G_6 V_6 - \frac{1}{L_7 D} V_7 - I_7(t_0) = 0$

II) $-J_1 + C_3 D V_3 - G_6 V_6 + \frac{1}{L_7 D} V_7 + I_7(t_0) = 0$

III) $-J_1 + G_4 V_4 + \frac{1}{L_7 D} V_7 + I_7(t_0) = 0$

IV) $G_5 V_5 - \frac{1}{L_7 D} V_7 - I_7(t_0) = 0$

α $V_6 = V_2 - V_3$ $V_7 = V_3 + V_4 - V_2 - V_5$

4- I) $C_2DV_2 + G_6(V_2-V_3) - \frac{1}{L_7D}(V_3+V_4-V_2-V_5) = I_7(t_0)$

II) $C_3DV_3 - G_6(V_2-V_3) + \frac{1}{L_7D}(V_3+V_4-V_2-V_5) = J_1 - I_7(t_0)$

III) $G_4V_4 + \frac{1}{L_7D}(V_3+V_4-V_2-V_5) = J_1 - I_7(t_0)$

IV) $G_5V_5 + \frac{1}{L_7D}(V_3+V_4-V_2-V_5) = I_7(t_0)$

5-

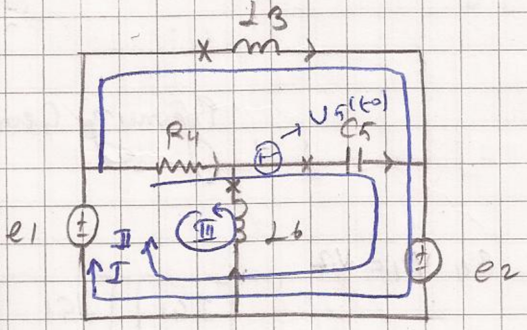
admitans

$$\begin{array}{c|cccc} & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \\ \hline I & C_2D+G_6+\frac{1}{L_7D} & -G_6-\frac{1}{L_7D} & -\frac{1}{L_7D} & \frac{1}{L_7D} \\ II & -G_6-\frac{1}{L_7D} & C_3D+G_6+\frac{1}{L_7D} & \frac{1}{L_7D} & -\frac{1}{L_7D} \\ III & -\frac{1}{L_7D} & \frac{1}{L_7D} & +\frac{1}{L_7D} & -\frac{1}{L_7D} \\ IV & \frac{1}{L_7D} & -\frac{1}{L_7D} & -\frac{1}{L_7D} & G_5+\frac{1}{L_7D} \end{array} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_7(t_0) \\ -I_7(t_0) \\ -I_7(t_0) \\ I_7(t_0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ J_1 \\ J_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

simetrik olmalı (doğruluğu için)

4- Bağımsız Çevre denk. yazılımı

ÖR:



$n_e - n + 1$ bağımsız çevre akımları yazılır.

$X = [I \text{ çevre}]$

Ağaç kırış yok

x lere göre çevre yapılır.

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} I_{q1} \\ I_{q2} \\ I_{q3} \end{bmatrix} \quad \begin{cases} \text{I)} & V_3 + V_2 - V_1 = 0 \\ \text{II)} & V_4 + V_5 + V_2 - V_1 = 0 \\ \text{III)} & V_6 - V_4 + V_1 = 0 \end{cases}$$

I) $L_3 D \underline{I_3} + e_2 - e_1 = 0$

II) $R_4 \underline{I_4} + \frac{1}{C_5 D} \underline{I_5} + V_5(t_0) + e_2 - e_1 = 0$

III) $L_6 \underline{D I_6} - R_4 I_4 + e_1$

$I_3 = I_{q1}$ $\quad I_4 = I_{q2} - I_{q3}$ $\quad I_5 = I_{q2}$ $\quad I_6 = I_{q3}$

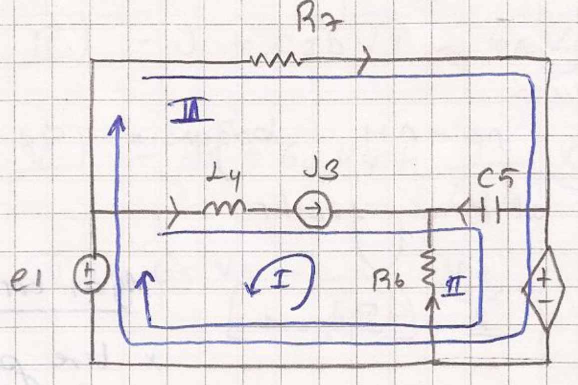
I) $L_6 D I_{q6} = e_1 - e_2$

II) $R_4 (I_{q2} - I_{q3}) + \frac{1}{C_4 D} I_{q2} = e_1 - e_2 - V_5(t_0)$

III) $L_6 D I_{q3} - R_4 (I_{q2} - I_{q3}) = -e_1$

$$\begin{array}{c|ccc} & I_{q1} & I_{q2} & I_{q3} \\ \hline \text{I} & L_3 D & 0 & 0 \\ \text{II} & 0 & R_4 + \frac{1}{C_5 D} & -R_4 \\ \text{III} & 0 & -R_4 & L_6 D + R_4 \end{array} \cdot \begin{bmatrix} I_{q1} \\ I_{q2} \\ I_{q3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 - e_2 \\ e_1 - e_2 \\ -e_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -V_5(t_0) \\ 0 \end{bmatrix}$$

ÖR:



Bağımsız Çevre denk?

$B_4 V_4 = V_2$

$J_3 = I_{q2} - I_{q1}$

$$x = \begin{bmatrix} I_{q1} \\ \cancel{I_{q2}} \\ I_{q3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{q1} \\ V_3 \\ I_{q3} \end{bmatrix} \qquad I_{q2} \neq V_3$$

1) I) $V_6 - V_3 - V_4 + V_1 = 0$

II) $V_4 + V_3 - V_5 + V_2 - V_1 = 0$

III) $V_3 + V_2 - V^1 = 0$

2) I) $R_6 \underline{I_6} - V_3 - L_4 D \underline{I_4} + e_1 = 0$

II) $L_4 D I_4 + V_3 - \frac{1}{C_5 D} \underline{I_5} - V_5(t_0) + B_5 L_4 D I_4 - e_1 = 0$

III) $R_7 \underline{I_7} + B_2 L_4 D I_4 - e_1 = 0$

3) $I_4 = I_{q2} - I_{q1} = J_3 + I_{q1} - I_{q1} = J_3$

$I_6 = I_{q1}$ $\quad I_5 = -I_{q2} = I_{q1} - J_3$ $\quad I_7 = I_{q3}$

4) I) $R_6 I_{q1} - V_3 - L_4 D J_3 = -e_1$

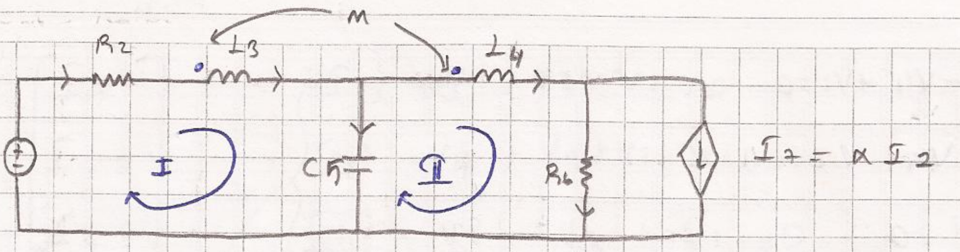
II) $L_4 D J_3 + V_3 + \frac{1}{C_5 D}(J_3 + I_{q1}) + B_2 L_4 D I_3 = e_1 + V_5(t_0)$

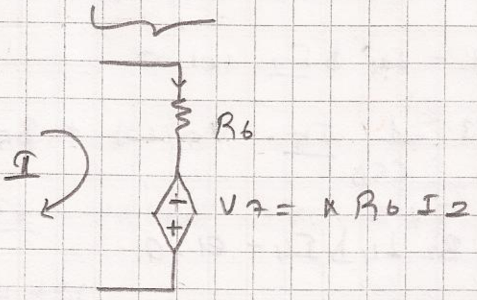
III) $R_7 I_{q3} + B_2 L_4 D J_3 = e_1$

5)

$$\begin{array}{c} \\ \text{I} \\ \text{II} \\ \text{III} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} I_{q1} & V_3 & I_{q3} \end{array} \\ \begin{bmatrix} R_6 & -1 & 0 \\ \frac{1}{C_5 D} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & R_7 \end{bmatrix} \end{array} \begin{bmatrix} I_{q1} \\ V_3 \\ I_{q3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -e_1 \\ e_1 \\ e_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_4 D J_3 \\ \left(-L_4 D - \frac{1}{C_5 D} - B_2 L_4 D\right) J_3 \\ -B_2 L_4 D J_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ V_5(t \\ 0 \end{bmatrix}$$

08.12.2010





$\underline{X} = \begin{bmatrix} I_{q1} \\ I_{q2} \end{bmatrix}$

1- I) $-v_1 + v_2 + v_3 + v_5 = 0$

II) $v_4 + v_6 - v_7 - v_3 = 0$

2- I) $-e_1 + R_2 I_2 + L_3 D I_3 + M D I_4 + \frac{1}{C_5 D} I_5 + v_5(t_0) = 0$

II) $M D I_3 + L_4 D I_4 + R_6 I_6 - \alpha R_6 I_2 - \frac{1}{C_5 D} I_5 - V_5(t_0) = 0$

3- $I_2 = I_{q1} \quad I_3 = I_{q1} \quad I_4 = I_{q2} \quad I_6 = I_{q2} \quad I_5 = I_{q1} - I_{q2}$

4- $R_2 I_{q1} + L_3 D I_{q1} + M D I_{q2} + \frac{1}{C_5 D} (I_{q1} - I_{q2}) = e_1 - V_5(t_0)$

$M D I_{q1} + L_4 D I_{q2} + R_6 I_{q2} - \alpha R_6 I_{q1} - \frac{1}{C_5 D} (I_{q1} - I_{q2}) = V_5(t_0)$

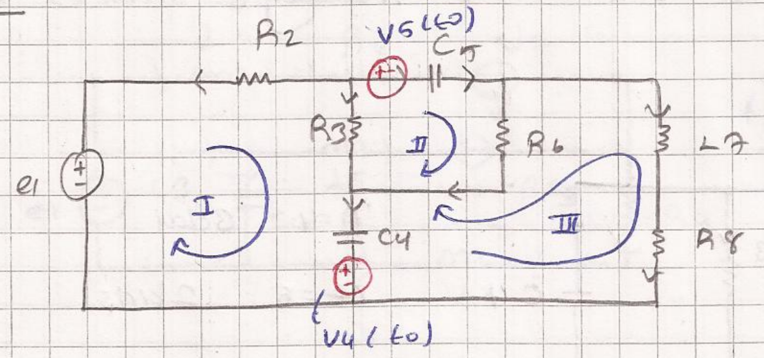
5-

$$\begin{array}{c} \\ I \\ I \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} I_{q1} & I_{q2} \end{array} \\ \begin{bmatrix} R_2 + L_3 D + \frac{1}{C_5 D} & M D - \frac{1}{C_5 D} \\ M D - \alpha R_6 - \frac{1}{C_5 D} & L_4 D + R_6 + \frac{1}{C_5 D} \end{bmatrix} \end{array} \begin{bmatrix} I_{q1} \\ I_{q2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -V_5(t_0) \\ V_5(t_0) \end{bmatrix}$$

Kaynağa göre yapılan
çözüm özel çözüm

Başlangıç değerine
göre yapılan çözüm
Homojen çözüm

ÖRNEK:



Akım olacağından C'nin başlangıç değerleri gelir. C'ye seri

Eğer gerilim olsaydı paralel endüktansın başlangıç değeri.

Doğrudan devreye bakarak

matrisel şek. düzenleyin

$$\begin{array}{c|ccc}
 & I_{ç1} & I_{ç2} & I_{ç3} \\
\hline
I & ?,\ R_2+R_3+\frac{1}{C_4D} & -R_3 & \frac{1}{C_5D} \\
II & -R_3 & ?,\ R_3+R_6+\frac{1}{C_5D} & R_6 \\
III & \frac{1}{C_5D} & R_6 & R_6+R_8+L_7D+\frac{1}{C_4D}
\end{array}
\begin{bmatrix} I_{ç1} \\ I_{ç2} \\ I_{ç3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1(t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -V_4(t_0) \\ -V_5(t_0) \\ -V_4(t_0) \end{bmatrix}$$

?, ?.

Durum Denklemleri

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} V_{C\,dal} \\ I_{L\,kiriş} \end{bmatrix} \begin{matrix} \to I \to TMK \\ \text{Ağaç kiriş çizgesi} \\ \to V \to TMG \end{matrix}$$

$$\underline{\dot{x}} = A\,\underline{x} + B\,\underline{U}$$

↳ kaynak vektörü

$$U = \begin{bmatrix} J(t) \\ e(t) \end{bmatrix}$$

Bu yöntemi kullanırken çizilen ağaç kiriş çizgesi durum ağacıdır.

X: durum değişkenleri

1- Durum ağacında bütün endüktanslar kiriş, bütün kapasiteler dal ise bu durum ağacı uygun durum ağacı düzenindedir.

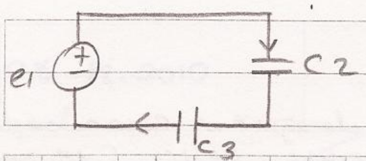
$$\underline{\dot{x}} = A\,\underline{X} + B\,\underline{U}$$

2- Bazı durumlarda devrede en az bir kapasite elemanını kiriş yada en az bir endüktans elemanını dal olarak almış isek durum ağacı normal durum ağacıdır.

$$\underline{\dot{x}} = A\,\underline{x} + B\,\underline{U} + \underbrace{B'\,\underline{\dot{U}}}$$

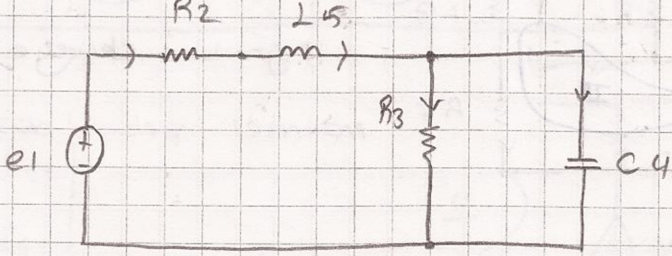
↳ kaynağın türevi

www.oguzhancakmak.com.tr



C2 nın akımı bulunurken $I_2 = C_2 \dot{V}_2$ gelir. V2 e1 ve C3 e bağlı olduğundan bunlarında türevi alınır. (2. maddeye örnek)

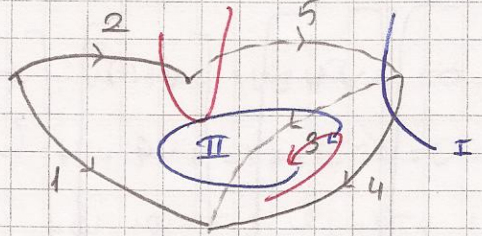
ÖRNEK;



n=4 3dal

ne=5 2kiriş

1-



$$\underline{X} = \begin{bmatrix} V_4 \rightarrow TMK \\ I_5 \rightarrow TMG \end{bmatrix}$$

uygun durum ağacı

2- $TMK \rightarrow I_3 + I_4 - \boxed{I_5} = 0$ → Bunlar durum değişkeni olduğundan dokunulmaz

$-V_1 + V_2 + V_5 + \boxed{V_4} = 0 \rightarrow TMG$

3- I) $G_3 \underline{V_3} + C_4 \dot{V}_4 = I_5$

$R_2 \underline{I_2} + L_5 \dot{I}_5 = -V_4 + e_1$

V4 ve I5 dışındaki ifadeler durum değişkenlerine bağlı olarak yazılmalı

4- $I_2 = I_5$, $V_3 = V_4$ } I) $C_4 \dot{V}_4 = I_5 - G_3 V_4$

II) $L_3 \dot{I}_5 = -V_4 - R_2 I_5 + e_1$

5- I → $\dot{V}_4 = \frac{I_5}{C_4} - \frac{G_3}{C_4} V_4$

II → $\dot{I}_5 = -\frac{V_4}{L_3} - \frac{R_2}{L_3} I_5 + \frac{e_1}{L_5}$

} türevler tek tarafta bırakıld

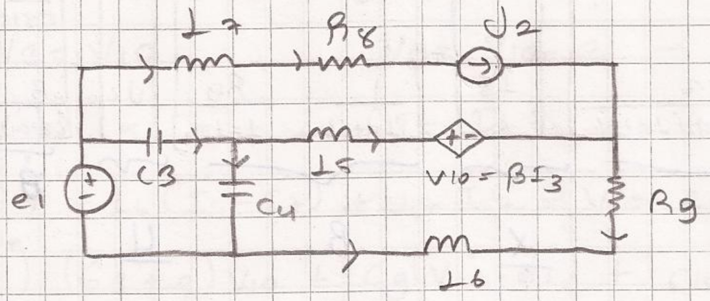
6-

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_4 \\ \dot{I}_5 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{G_3}{4} & \frac{1}{C_4} \\ -\frac{1}{L_3} & -\frac{R_2}{L_3} \end{bmatrix}}_{A} \underbrace{\begin{bmatrix} V_4 \\ I_5 \end{bmatrix}}_{X} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_5} \end{bmatrix}}_{B} \underbrace{[e_1]}_{U}$$

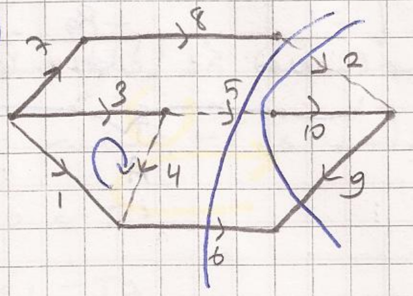
$\underline{A}\ \underline{X} + \underline{B}\ \underline{U}$

10.12.2010

ÖRNEK



1)



Normal durum ağacı

$\dot{x} = A\underline{x} + B\underline{u} + B'\underline{\dot{u}}$

$x = \begin{bmatrix} V_3 \\ I_5 \end{bmatrix}$ V_3 → Tmk, I_5 → Tmç

2) Tmk → $I_3 - I_4 - \underline{I_5} = 0$

Tmç → $-V_1 + \underline{V_3} + V_5 - V_6 + V_9 + V_{10} = 0$

3) $C_3\dot{V}_3 - C_4\dot{V}_4 - I_5 = 0$

$-e_1 + L_5\dot{I}_5 - L_6\dot{I}_6 + R_9 I_9 + \beta C_3 \dot{V}_3 = -V_3$

4) $V_4 = e_1(t) - V_3 \rightarrow \dot{e}_1(t) - \dot{V}_3 = \dot{V}_4$

$I_6 = -J_2 - I_5 \rightarrow \dot{I}_6 = -\dot{J}_2 - \dot{I}_5$

$I_9 = I_5 + I_6$

5) $C_3\dot{V}_3 - C_4(\dot{e}_1 - \dot{V}_3) = I_5$

$L_5\dot{I}_5 + L_6(\dot{J}_2 + \dot{I}_5) + \beta C_3\dot{V}_3 = e_1 - R_9(I_5 + J_2) - V_3$

6) I $(C_3 + C_4)\dot{V}_3 = I_5 + C_4\dot{e}_1 \rightarrow \dot{V}_3 = \dfrac{I_5}{C_3 + C_4} + \dfrac{C_4}{C_3 + C_4}\dot{e}_1$

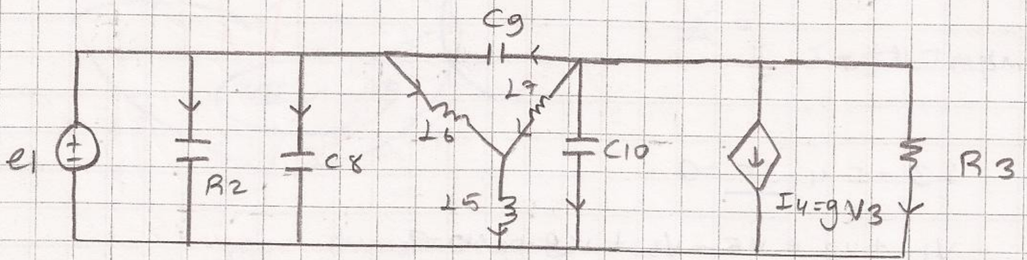
II $\beta C_3\dot{V}_3 + (L_5 + L_6)\dot{I}_5 = -L_6\dot{J}_2 + e_1 - R_9 I_5 - R_9 I_2 - V_3$

$$\frac{\beta C_3 I_5}{C_3 + C_4} + \frac{\beta C_3 C_4 \dot{e}_1}{C_3 + C_4} + (L_5 + L_6)\dot{I}_5 = -L_6\dot{I}_2 - \frac{\beta C_3 C_4}{C_3 + C_4}\dot{e}_1 - R_9 J_2 - V_3$$

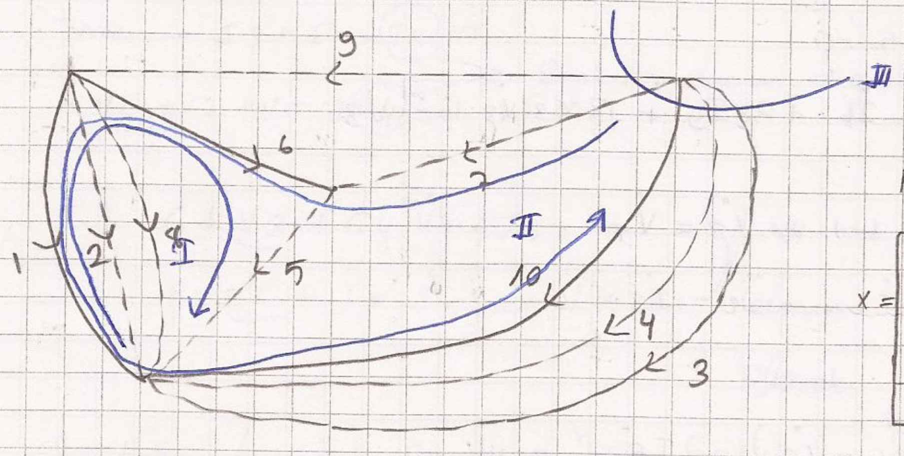
$$(L_5 + L_6)\dot{I}_5 = \left(-R_9 - \frac{\beta C_3}{C_3 + C_4}\right) I_5 - L_6\dot{J}_2 - \frac{\beta C_3 . C_4}{C_3 + C_4}\dot{e}_1 + e_1 - R_9 J_2 - V_3$$

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}\dot{V}_3\\ \dot{I}_5\end{bmatrix}=\underbrace{\begin{array}{cc} V_3 & I_5\\ \left[\begin{matrix} 0 & \frac{1}{C_3+C_4}\\ \frac{-1}{(L_5+L_6)} & \frac{-R_9}{L_5+L_6}-\frac{\beta C_3}{(C_3+C_4)(L_5+L_6)}\end{matrix}\right]\end{array}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}V_3\\ I_5\end{bmatrix}}_{\underline{x}}+\underbrace{\begin{bmatrix}0 & 0\\ \frac{1}{L_5+L_6} & \frac{-R_9}{L_5+L_6}\end{bmatrix}}_{B}\underbrace{\begin{bmatrix}e_1\\ j_2\end{bmatrix}}_{\underline{u}}+\underbrace{\begin{bmatrix}\frac{C_4}{C_3+C_4} & \\ \frac{-\beta}{(C_3+C_4)(L_5+L_6)} & \frac{-L_5}{L_5+L_6}\end{bmatrix}}_{\dot{B}}\cdot\underbrace{\begin{bmatrix}\dot{e}_1\\ \dot{j}_2\end{bmatrix}}_{\underline{\dot{u}}}$$

ÖRNEK:



1)



Normal durum ağacı

$$x=\begin{bmatrix}I_5\\ I_7\\ V_{10}\end{bmatrix}$$

2) TMG I) $-V_1+V_5+V_6=0$

II) $V_1-V_4-\underline{V_{10}}+V_7=0$

TMK III) $I_3+I_4+\underline{I_7}+I_9+I_{10}=0$

3) I) $-e_1+L_5\dot{I}_5+L_6\underline{\dot{I}_6}=0$

II) $e_1-L_6\underline{\dot{I}_6}+L_7\dot{I}_7=V_{10}$

III) $G_3V_3+g\underline{V_3}+C_9\underline{\dot{V}_9}+C_{10}\dot{V}_{10}=-I_7$

4) $I_6 = I_5 - I_7 \rightarrow \dot{I}_6 = \dot{I}_5 - \dot{I}_7$

$V_3 = V_{10}$ $\qquad V_g = V_{10} - e_1 \rightarrow V_g = V_{10} - \dot{e}_1$

5) I) $L_5 \dot{I}_5 + L_6(\dot{I}_5 - \dot{I}_7) = e_1 \rightarrow (L_5 + L_6)\dot{I}_5 - L_6 \dot{I}_7 = e_1$

II) $-L_6(\dot{I}_5 - \dot{I}_7) + L_7 \dot{I}_7 = V_{10} - e_1 \rightarrow -L_6 \dot{I}_5 + (L_6 + L_7)\dot{I}_7 = V_{10} - e_1$

III) $(G_3 + g)V_{10} + C_g(\dot{V}_{10} - \dot{e}_1) + C_{10}\dot{V}_{10} = -I_7$

$\rightarrow$ III) $(C_g + C_{10})\dot{V}_{10} = -(G_g + g)V_{10} + C_g \dot{e}_1 - I_7$

$\rightarrow$ III) $\dot{V}_{10} = \dfrac{-(G_g + g)V_{10} + C_g\dot{e}_1 - I_7}{C_g + C_{10}}$

$$\begin{array}{c}\text{I}\\ \text{II}\end{array}\overbrace{\begin{bmatrix} L_5+L_6 & -L_6 \\ -L_6 & L_6+L_7 \end{bmatrix}}^{Y}\begin{bmatrix}\dot{I}_5 \\ \dot{I}_7\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_5 \\ I_7 \\ V_{10}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}1 \\ 1\end{bmatrix}e_1$$

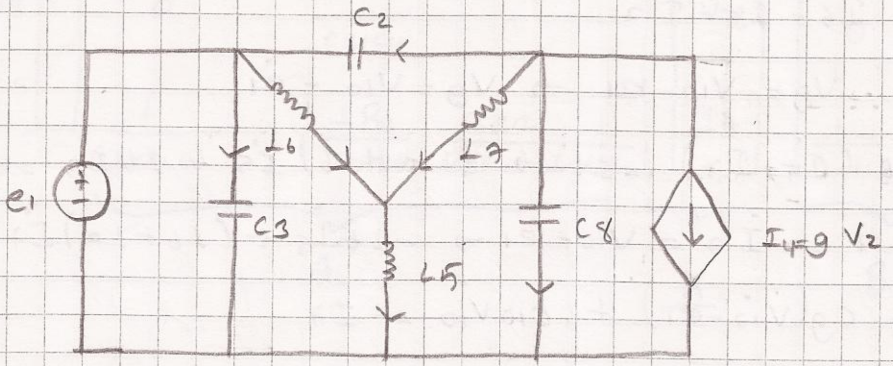
$$\Delta = (L_5 + L_6)(L_6 + L_7) - (L_6)^2$$

$$Y = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} L_6+L_7 & L_6 \\ L_6 & L_5+L_6 \end{bmatrix}$$

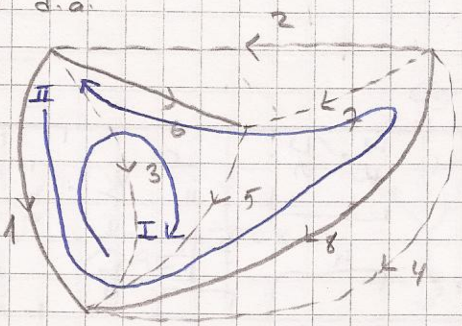
$$\begin{bmatrix}\dot{I}_5 \\ \dot{I}_7\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{L_6}{\Delta} \\ 0 & 0 & \frac{L_5+L_6}{\Delta}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_5 \\ I_7 \\ V_{10}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{L_7}{\Delta} \\ -\frac{L_5}{\Delta}\end{bmatrix}e_1$$

$$\begin{bmatrix}\dot{I}_5 \\ \dot{I}_7 \\ \dot{V}_{10}\end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & L_6 \\ 0 & 0 & \frac{L_5+L_6}{\Delta} \\ 0 & \frac{-1}{C_5+C_6} & \frac{-(G_3+g)}{C_9+C_{10}}\end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix}I_3 \\ I_7 \\ V_{10}\end{bmatrix}}_{X} + \underbrace{\begin{bmatrix}\frac{L_3}{\Delta} \\ \frac{-L_5}{\Delta} \\ 0\end{bmatrix}}_{B}\underbrace{e_1}_{U} + \underbrace{\begin{bmatrix}0 \\ 0 \\ \frac{C_9}{C_9+C_{10}}\end{bmatrix}}_{\dot{B}}\underbrace{\dot{e}_1}_{\dot{U}}$$

ÖRNEK:



1- Normal d.a.



Durum denklemini elde ediniz

$$y = \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \\ V_8 \end{bmatrix}$$ çıkış denklemini yazınız

$$y = C\underline{x} + D\underline{U} + \overset{NDA}{\widehat{\dot{D}}}\dot{\underline{U}}$$ çıkış denklemi

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} I_5 \\ I_7 \\ V_8 \end{bmatrix}$$ durum değişkenleri

2- Tmç I) $-V_1 + V_6 + V_5 = 0$

II) $V_1 - V_6 + V_7 - V_8 = 0$

Gmk III) $I_2 + I_4 + I_7 + I_8 = 0$

3- I) $-e_1 + L_5\dot{I}_5 + L_6\dot{I}_6 = 0$ $\qquad V_2 = V_8 - e_1$

II) $e_1 - L_6\dot{I}_6 + L_7\dot{I}_7 = 0$ $\qquad I_6 = I_5 - I_7$

III) $C_2\dot{V}_2 + gV_2 + C_8\dot{V}_8 = 0$

$$L_5\dot{I}_5 + L_6(\dot{I}_5 - \dot{I}_7) = e_1$$

$$-L_6(\dot{I}_5 - \dot{I}_7) + L_7\dot{I}_7 = V_8 - e_1$$

$$C_2(\dot{V}_8 - e_1) + C_8\dot{V}_8 = -gV_8 + ge_1 - I_7$$

$$(L_5+L_6)\dot{I}_5 - L_6\dot{I}_7 = e_1$$

$$-L_6\dot{I}_5 + (L_6+L_7)\dot{I}_7 = V_8 - e_1$$

$$(C_2+C_8)\dot{V}_8 = -gV_8 - I_7 + ge_1 + C_2\dot{e}_1$$

$$\dot{V}_8 = \frac{-gV_8}{C_2+C_8} - \frac{I_7}{C_2+C_8} + \frac{ge_1}{C_2+C_8} + \frac{C_2\dot{e}_1}{C_2+C_8}$$

$$\begin{array}{c} \text{I} \\ \\ \text{II} \end{array}\begin{bmatrix} L_5+L_6 & -L_6 \\ & \\ -L_6 & L_6+L_7 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{I}_5 \\ \\ \dot{I}_7 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ & & \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_5 \\ I_7 \\ V_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ \\ -1 \end{bmatrix}e_1}$$

$$\Delta = (L_5+L_6)(L_6+L_7) - L_6^2$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_5 \\ \dot{I}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_6+L_7}{\Delta} & \frac{L_6}{\Delta} \\ \frac{L_6}{\Delta} & \frac{L_5+L_6}{\Delta} \end{bmatrix}\Big\{ \qquad \Big\} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{L_6}{\Delta} \\ 0 & 0 & \frac{L_5+L_6}{\Delta} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_5 \\ I_7 \\ V_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{L_7}{\Delta} \\ \\ -\frac{L_5}{\Delta} \end{bmatrix}e_1$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{I}_5 \\ \dot{I}_7 \\ \dot{V}_8 \end{bmatrix}}_{\dot{x}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{L_6}{\Delta} \\ 0 & 0 & \frac{L_5+L_6}{\Delta} \\ 0 & -\frac{1}{C_2+C_8} & -\frac{g}{C_2+C_8} \end{bmatrix}}_{A}\underbrace{\begin{bmatrix} I_5 \\ I_7 \\ V_8 \end{bmatrix}}_{\underline{x}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{L_7}{\Delta} \\ -\frac{L_5}{\Delta} \\ \frac{g}{C_2+C_8} \end{bmatrix}}_{B}\underbrace{e_1}_{\underline{U}} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{C_2}{C_2+C_8} \end{bmatrix}}_{B'}\underbrace{\dot{e}_1}_{\underline{\dot{U}}}$$

$$\dot{x} = A \cdot \underline{x} + B \cdot \underline{U} + B' \cdot \underline{\dot{U}}$$

$$y = \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \\ V_8 \end{bmatrix} = ? \qquad V_1 = e_1$$

$$I_2 = C_2\dot{V}_2 = C_2\dot{V}_8 - C_2\dot{e}_1$$

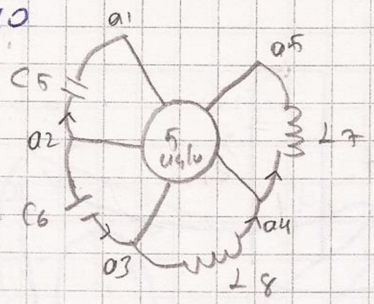
$$= C_2\left(\frac{-gV_8}{C_2+C_8} - \frac{I_7}{C_2+C_8} + \frac{ge_1}{C_2+C_8} + \frac{C_2\dot{e}_1}{C_2+C_8}\right) - C_2\dot{e}_1$$

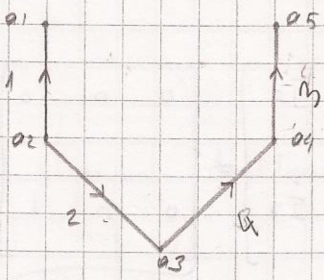
$$V_8 = V_8$$

Durum değişkenlerinin türevi bulunmuyor

$$y = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-C_2}{C_2+C_8} & \frac{-9C_2}{C_2+C_8} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{C} \underbrace{\begin{bmatrix} I_5 \\ I_7 \\ V_8 \end{bmatrix}}_{\underline{X}} + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ \frac{C_2 9}{C_2+C_8} \\ 0 \end{bmatrix}}_{D} \underbrace{e_1}_{U} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-C_8 C_2}{C_2+C_8} \\ 0 \end{bmatrix}}_{D'} \underbrace{\dot{e}_1}_{U}$$

24.12.2010



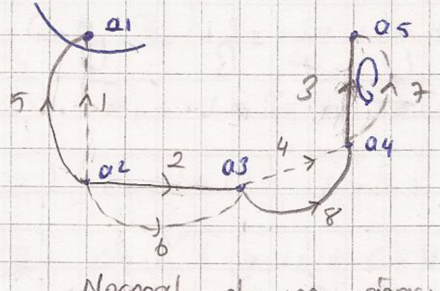


$$\begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ V_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e(t) \\ J(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 - I_2 - I_3 \\ V_1 + e(t) \\ -V_1 - I_3 - V_4 - e(t) \\ I_3 + J(t) \end{bmatrix}$$

a) durum denklemi

b) $y = \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ V_5 \end{bmatrix}$ çıkış denklemi?

1)



$\underline{X} = \begin{bmatrix} V_5 \\ I_7 \end{bmatrix}$

Normal durum ağacı

2) TMK I) $I_5 + I_1 = 0$ TMG II) $-V_3 + V_7 = 0$

3) I) $C_5 \underline{\dot{V}_5} + V_1 - I_2 - I_3 = 0$ II) $V_1 + I_3 + V_4 + e(t) + L_7 \underline{\dot{I}_7} = 0$

$V_1 = V_5$ $I_2 = -I_6 = -C_6 \dot{V}_6 = -C_6 \dot{V}_2 = -C_6 \dot{V}_1 - C_6 e(t) = -C_6 \dot{V}_5 - C_6 \dot{e}(t)$

$I_3 = -I_7$ $V_4 = V_8 = L_8 \dot{I}_8 = -L_8 \dot{I}_4 = -L_8 \dot{I}_3 - L_8 \dot{J}(t) = L_8 \dot{I}_7 - L_8 \dot{J}(t)$

5) I) $c_5\dot V_5 + C_6\dot V_5 + C_6\dot e(t) = -V_5 - I_7$

II) $L_8\dot I_7 - L_8\dot J(t) + L_7\dot I_7 = -V_5 + I_7 - e(t)$

6) I) $\dot V_5 = -\frac{V_5}{c_5+c_6} - \frac{I_7}{c_5+c_6} - \frac{c_6\dot e(t)}{c_5+c_6}$

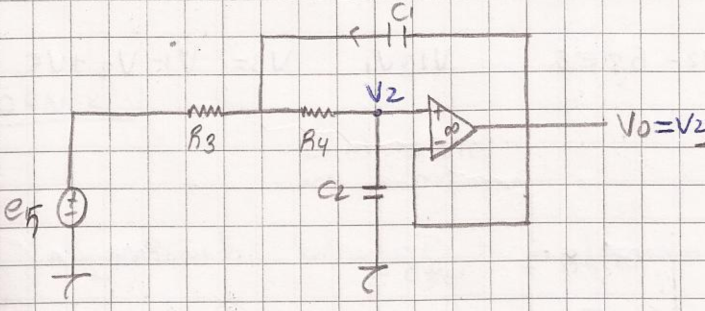
II) $\dot I_7 = \frac{-V_5}{L_7+I_8} + \frac{I_7}{L_7+L_8} - \frac{e(t)}{L_7+L_8} + \frac{L_8\dot J(t)}{L_7+L_8}$

$$I_2 = -C_6\dot V_5 - C_6\dot e(t) = \frac{C_6V_5}{C_5+C_6} \quad \frac{-C_6I_7}{C_5+C_6} \quad \underbrace{\frac{C_6^2\dot e(t)}{C_5+C_6} - C_6\dot e(t)}_{-\frac{C_5C_6\dot e(t)}{C_5+C_6}}$$

$I_3 = -I_7 \qquad V_5 = V_5$

$$y=\begin{bmatrix}I_2\\ I_3\\ V_5\end{bmatrix}=\underbrace{\begin{bmatrix}\frac{C_6}{C_5+C_6} & \frac{C_6}{C_5+C_6}\\ 0 & -1\\ 1 & 0\end{bmatrix}}_{C}\underbrace{\begin{bmatrix}V_5\\ I_7\end{bmatrix}}_{\underline{X}}+\underbrace{\begin{bmatrix}\frac{C_5\cdot C_6}{C_5+C_6} & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}}_{D'}\underbrace{\begin{bmatrix}\dot e(t)\\ \dot J(t)\end{bmatrix}}_{\underline{u}}$$

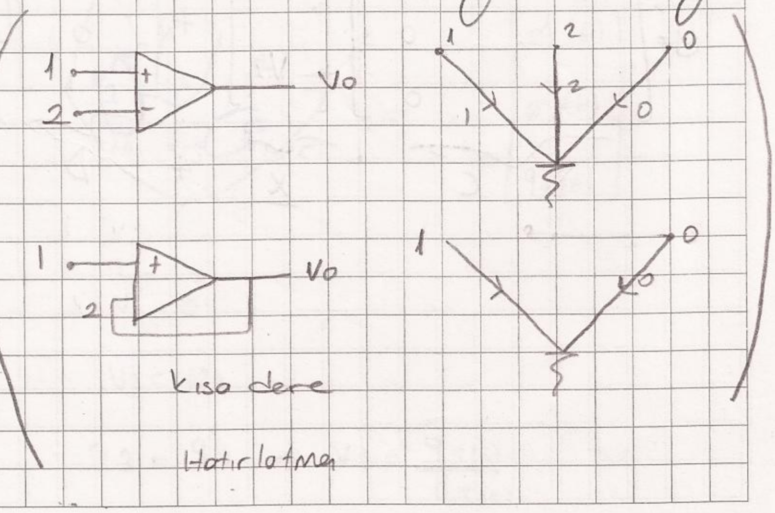
ÖRNEK:



1) Durum Denklemini bulunuz

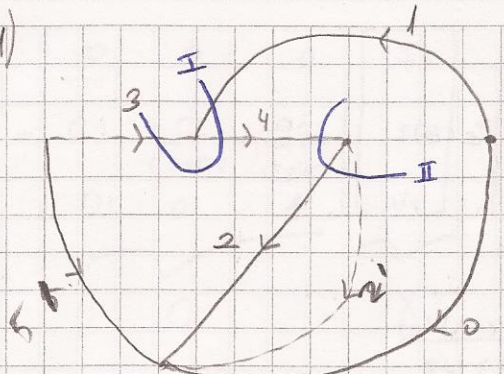
2) $y = \begin{bmatrix}I_1\\ V_1\\ V_3\end{bmatrix}$ çıkış denklemini yazınız

V2 referans noktasına göre ölçülen gerilim



Hatırlatma

1)



uygun durum ağacı

TMK I → $I_1 + I_3 - I_4 = 0$

II → $I_2 + I_1' - I_4 = 0$

2) I → $C_1 \dot{V}_1 + 6_3 V_3 - 6_4 V_4 = 0$

II → $C_2 \dot{V}_2 + 0 \cdot - 6_4 V_4 = 0$

3) $V_3 = V_1 - V_0 + V_5 = V_1 - V_2 + e_5$

$$V_4 = \underset{\underset{V_2}{\downarrow}}{V_0} - V_1 - V_2 = -V_1$$

$$C V_1 = -6_3 V_1 + 6_4 V_2 - 6_3 e_5 - 6_6 V_1$$

$$C_2 \dot{V}_2 = -6_4 V_1$$

$$\dot{V}_1 = -\frac{(6_3 + 6_4) V_1}{C_1} + \frac{6_3 V_2}{C_1} - \frac{6_3 e_5}{C_1} \qquad V_2 = -\frac{6_4 V_1}{C_2}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{(6_3 + 6_4)}{C_1} & \frac{G_3}{C_1} \\ \frac{6_4}{C_2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -6_3 \\ 0 \end{bmatrix} e_1$$

$$I_1 = \underset{\swarrow}{C_1 \dot{V}_1} = -(6_3 + 6_4) V_1 + 6_3 V_2 - 6_3 e_5 \qquad V_1 = V_1 \qquad V_3 = V_1 - V_2 + V_5$$

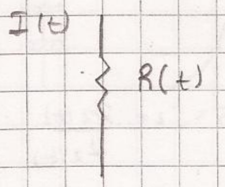
Durum değişkenlerinin

türevi gelemez

$$y = \underbrace{\begin{bmatrix} -(6_3 + 6_4) & 6_3 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}}_{C} \underbrace{\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}}_{\underline{X}} + \underbrace{\begin{bmatrix} -6_3 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}}_{D} \underbrace{[e_5]}_{\underline{u}}$$

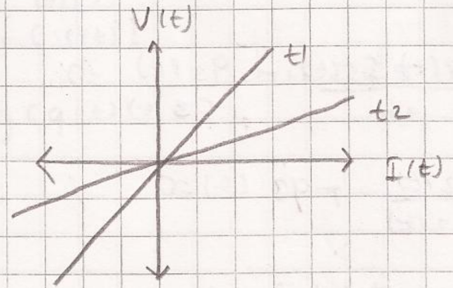
Dogrusal - Zamanla Degişen Devre Elemanları

1- Direnç Elemanı

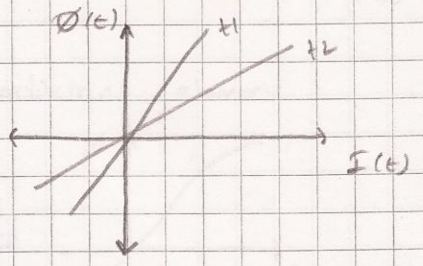


$V(t) = R(t)\ I(t)$

$I(t) = G(t)\ V(t)$



2) Endüktans Elemanı



$\phi(t) = I(t) . L(t)$ Ağaç kiriş çizgesi çizilirken önceki kurallar geçerlidir.

$$V(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \dot{L}(t)\, I(t) + L(t)\, \dot{I}(t)$$

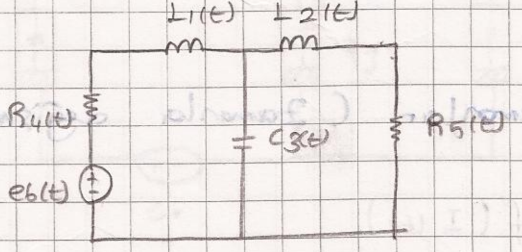
$$I = \frac{\phi(t)}{L(t)}$$

3) Kapasite Elemanı

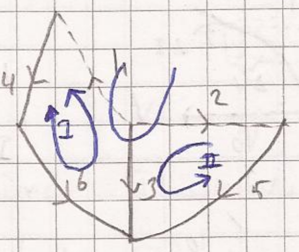
$q(t) = C(t)\ I(t)$

$V(t) = \frac{q(t)}{C(t)}$ $\quad I(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \dot{C}(t)\, V(t) + C(t)\, \dot{V}(t)$

ÖRNEK:



Durum denklemlerini elde ediniz



$$x = \begin{bmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \\ q_3(t) \end{bmatrix}$$

TMG I → $V1 + V4 + V6 - V3 = 0$

II → $V2 + V5 - V3 = 0$

TMK III → $I1 + I2 + I3 = 0$

$V1 = \dot{\phi}1$

$V2 = \dot{\phi}_2$

$I3 = \dot{q}3 \rightarrow V3 = \frac{q3(t)}{C3(t)}$

2) $\dot{\phi}_1 + R_4(t)\underbrace{I_4(t)} + e_6(t) - \dfrac{q_3(t)}{C_3(t)} = 0$

$$\phi_2(t) + R_5(t)\underline{I_5(t)} - \frac{q_3(t)}{C_3(t)} = 0$$

$$\frac{\phi_1(t)}{L_1(t)} + \frac{\phi_2(t)}{L_2(t)} + q_3'(t) = 0 \qquad I_4 = I_1 = \frac{\phi_1(t)}{L_1(t)} \;,\; I_5 = I_2 = \frac{\phi_2(t)}{L_2(t)}$$

$$\dot{\phi}_1(t) = -R_4\frac{\phi_1(t)}{L_1(t)} + \frac{q_3(t)}{C_3(t)} - e_6(t)$$

$$\dot{\phi}_2(t) = -R_5\frac{\phi_2(t)}{L_2(t)} + \frac{q_3(t)}{C_3(t)}$$

$$\dot{q}_3(t) = \frac{\phi_1(t)}{L_1(t)} - \frac{\phi_2(t)}{L_2(t)}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{\phi}_1(t) \\ \dot{\phi}_2(t) \\ \dot{q}_3(t) \end{bmatrix}}_{x} = \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{R_4(t)}{L_1(t)} & 0 & \frac{1}{C_3(t)} \\ 0 & -\frac{R_5(t)}{L_2(t)} & 0 \\ -\frac{1}{L_1(t)} & -\frac{1}{L_2(t)} & 0 \end{bmatrix}}_{A(t)} \underbrace{\begin{bmatrix} \phi_1(t) \\ \phi_2(t) \\ q_3(t) \end{bmatrix}}_{\underline{x}} + \underbrace{\begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{B(t)} \underbrace{e_6(t)}_{u(t)}$$

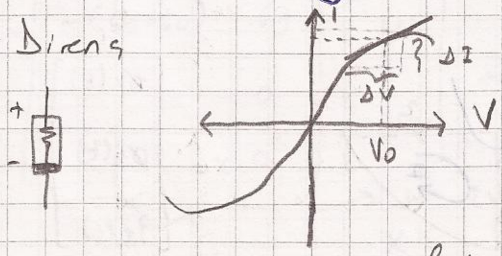
$$\overset{\circ}{x} = A(t)\,\underline{x} + B(t)\,\underline{u}(t) + B'(t)\,\underline{u}'(t)$$

$$y = C(t)\,\underline{x}(t) + D(t)\,\underline{u}(t) + D'(t)\,\underline{\dot{u}}(t)$$

29.12.2010

Doğrusal Olmayan devre elemanları (Zamanla değişmeyen)

1- Direnç

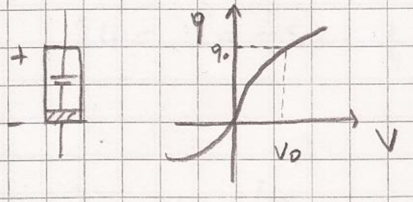


$$V = f(I(t))$$

$$I(t) = g(V(t))$$

$$R_d = \left.\frac{\Delta V}{\Delta I}\right|_{V_0, I_0} = \left.\frac{\partial V}{\partial I}\right|_{V_0, I_0}$$: V_0, I_0 noktasındaki direnç değeri

2- Kapasite elemanı



$q(t) = f(v(t))$

$V(t) = g(q(t))$

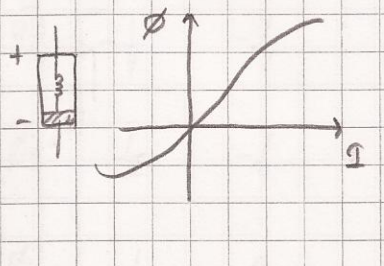
$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d f(v(t))}{dt}$

$= \underbrace{\frac{\partial f(v(t))}{\partial v(t)}\Big|_{q_0 . v_0}}_{cd} \frac{dv(t)}{dt}$

$= cd . \frac{dv(t)}{dt}$

$cd = \frac{\partial f(v(t))}{\partial v(t)}\Big|_{q_0 V_0}$: Türevsel kapasite değeri

3- Endüktans elemanı



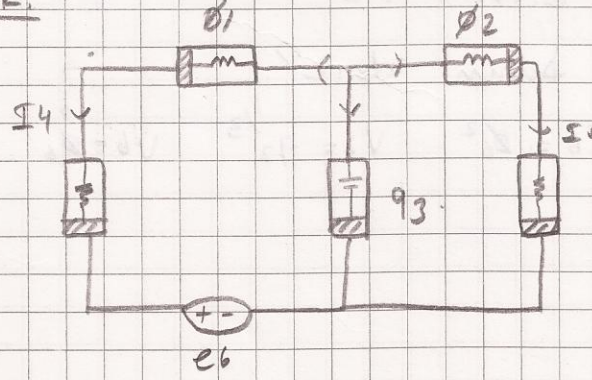
$\phi(t) = f(I(t)) \rightarrow V(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{d f(I(t))}{dt}$

$= \underbrace{\frac{\partial f(I(t))}{\partial I(t)}\Big|_{\phi_0, I_0}}_{Ld} \frac{dI(t)}{dt}$

$= Ld \frac{dI(t)}{dt}$

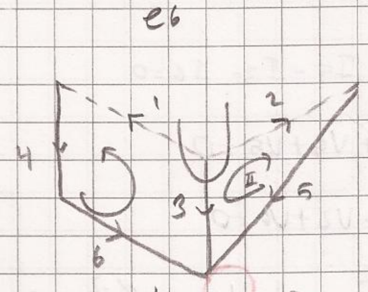
$Ld = \frac{\partial f(I(t))}{\partial I(t)}\Big|_{\phi_0, I_0}$: Türevsel endüktans değeri

ÖRNEK:



Durum denklemini elde ediniz

$X = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ q_c \end{bmatrix}$



Uygun durum ağacı

$X = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ q_3 \end{bmatrix}$

Çm4 = I) $v_1 + v_4 + v_6 - V_3 = 0$

II) $v_2 + v_5 - V_3 = 0$

Çmk III) $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

$V_1 = \dot{\phi}_1 \quad V_2 = \dot{\phi}_2 \quad I_3 = \dot{q}_3$

I) $\dot{\phi}_1 + f_4(\boxed{I_4}) + e_6 - f_3(q_3) = 0$ Kırmızı içerisindekiler ϕ_1, ϕ_2 ve q_3 dışındakiler.

II) $\dot{\phi}_2 + f_5(\boxed{I_5}) - f_3(q_3) = 0$

III) $f_1(\phi_1) + f_2(\phi_2) + \dot{q}_3 = 0$

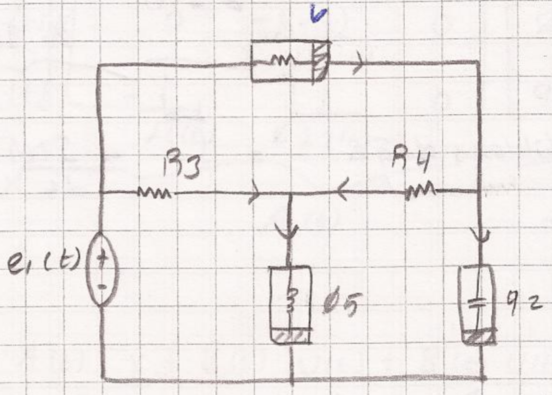
$$\left(\begin{array}{l} I_4 = I_1 = f_1(\phi_1) \\ I_5 = I_2 = f_2(\phi_2) \end{array} \right)$$

I) $\dot{\phi}_1 = f_4(f_1(\phi_1)) + f_3(q_3) - e_6$

II) $\dot{\phi}_2 = -f_5(f_2(\phi_2)) + f_3(q_3)$

III) $\dot{q}_3 = f_1(\phi_1) - f_2(\phi_2)$

ÖR:



$\phi_5 = 2 I_5^{1/2}$

$\phi_6 = I_6$ $q_2 = V_2^3$

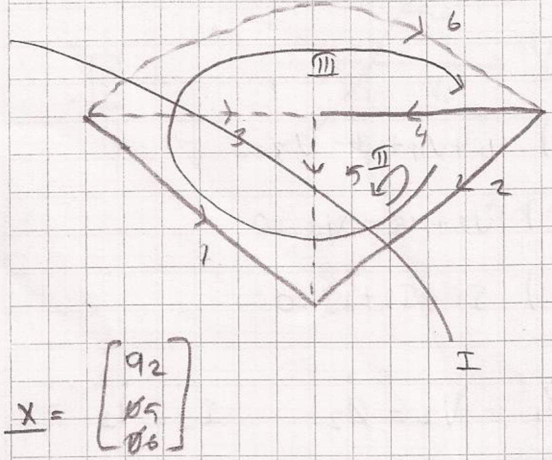
$R_3 = R_4 = 2\,\Omega$

$e_1(t) = t e^{-t}$

Durum denk?

$I_5 = \frac{1}{4}\phi_5^2$, $V_5 = \dot{\phi}_5$ $I_6 = \phi_6^2$ $V_2 = q_2^{1/3}$ $V_6 = \dot{\phi}_6$

$I_2 = \dot{q}_2$ $V_3 = R_3 I_3$ $V_4 = R_4 I_4$



$$\underline{x} = \begin{bmatrix} q_2 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \end{bmatrix}$$

① TMK: I) $I_2 + I_5 - I_3 - I_6 = 0$

TMG: II) $-V_2 + V_4 + V_5 = 0$

III) $-V_1 + V_2 + V_6 = 0$

② I) $\dot{q}_2 + \frac{1}{4}\phi_5^2 - \frac{1}{2}\boxed{V_3} - \phi_6^2 = 0$

II) $-q_2^{1/3} + 2\boxed{I_4} + \dot{\phi}_5 = 0$

III) $-t e^{-t} + q_2^{1/3} + \dot{\phi}_6 = 0$

③ $V_3 = V_4 - V_2 + V_1 = 2I_4 - q_2^{1/3} + te^{-t} \rightarrow \frac{1}{4}\phi_5^2 - \frac{1}{2} q_2^{1/3} + \frac{1}{2} te^{-t}$ //

$I_4 = I_5 - I_3 = \frac{1}{4}\phi_5^2 - \frac{1}{2} V_3 \rightarrow I_4 = \frac{1}{8}\phi_5^2 - \frac{1}{4} q_2^{1/3} + \frac{1}{4} te^{-t}$ //

$$\dot{\phi}_5 = \frac{1}{2} q_2^{1/3} - \frac{1}{4}\phi_5^2 + \frac{1}{2} te^{-t}$$

$$\dot{\phi}_6 = te^{-t} - q_2^{1/3} \qquad \dot{q}_2 = -\frac{1}{8}\phi_5^2 + \phi_6^2 - \frac{1}{4} q_2^{1/3} + \frac{1}{4} te^{-t}$$

$$\begin{bmatrix} q_2 \\ \phi_5 \\ \phi_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{4} & -\frac{1}{8} & 1 \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} q_2^{1/3} \\ \phi_5^2 \\ \phi_6^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} \\ 1 \end{bmatrix} te^{-t}$$