

EHM1012 ELEKTRİK DEVRE TEMELLERİ

2019-2020 BAHAR DÖNEMİ

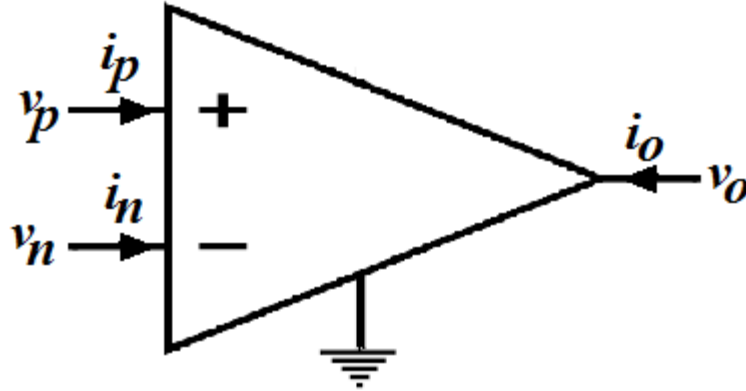
GRUP-1 ve GRUP-2

UZAKTAN EĞİTİM DERS NOTLARI

6 Nisan 2020

Doç. Dr. Umut Engin AYTEN

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)



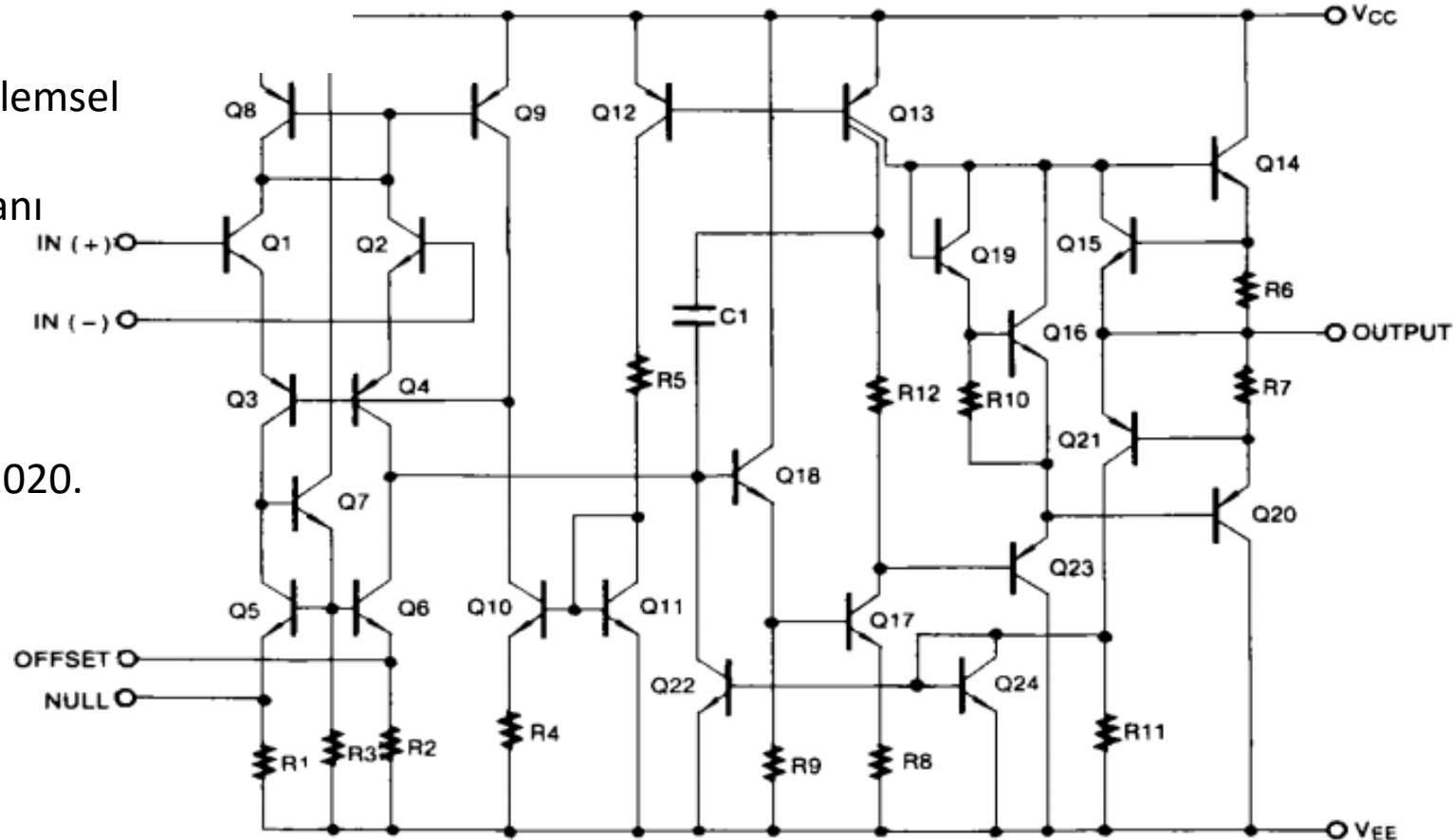
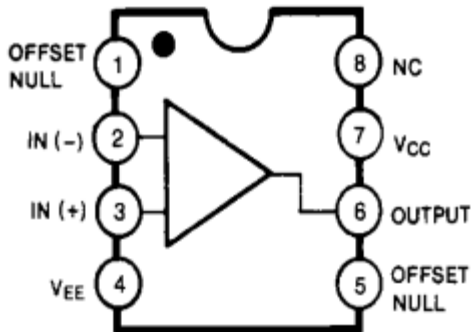
OpAmp 4 uçlu, 3 kapılı bir devre elemanıdır.

Lineer Tanım Bağlılıkları:

$$i_p=0, i_n=0, v_p = v_n$$

İşlemsel kuvvetlendirici elemanının iç yapısı [1]. İşlemsel Kuvvetlendirici olarak ilk üretilen işlemsel kuvvetlendiricilerden bir tanesi olan LM741 elemanı seçilmiştir.

[1] LM741 Datasheet, Fairchild Semiconductor, <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/53589/FAIRCHILD/LM741.html>, 4 Nisan 2020.

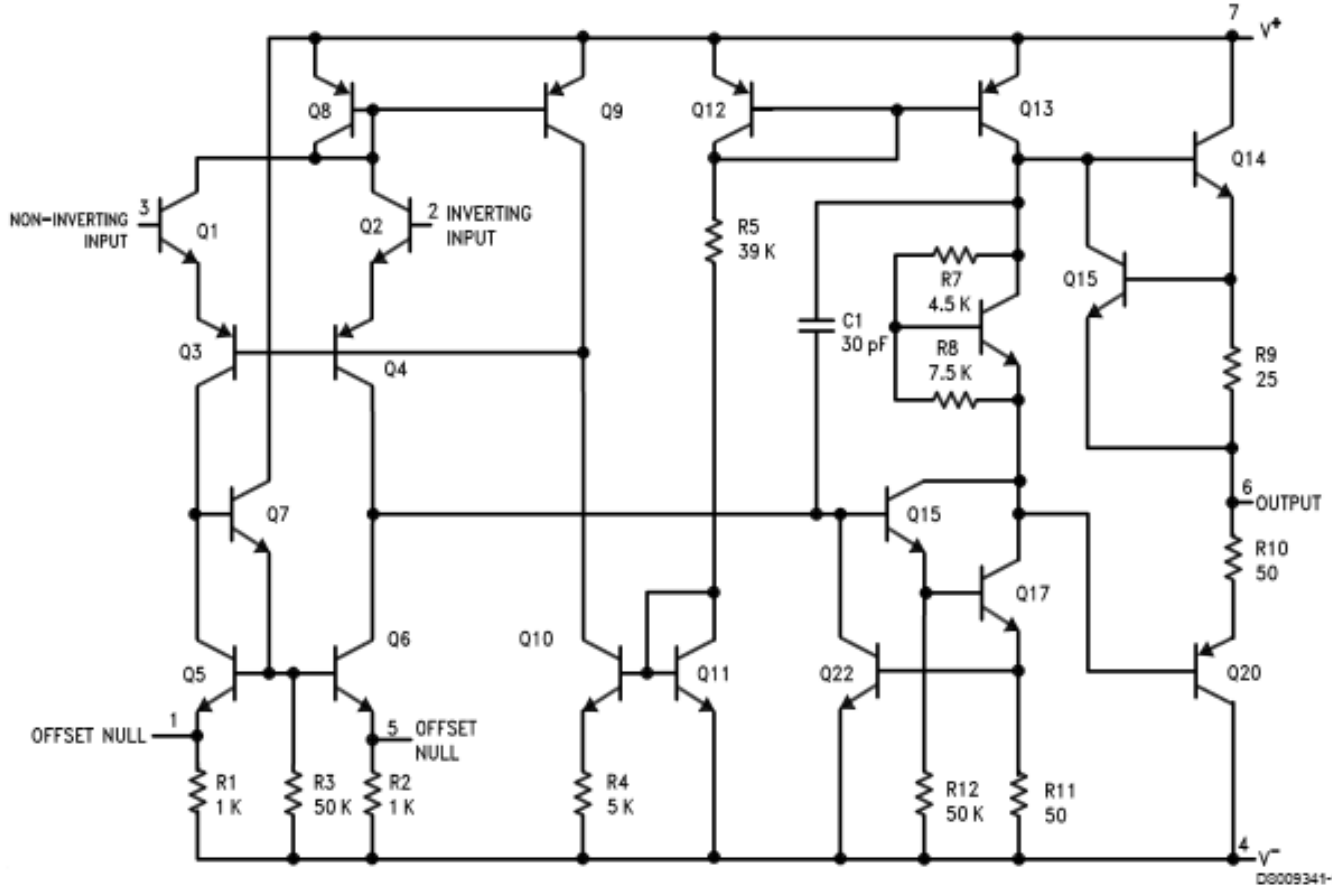


İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

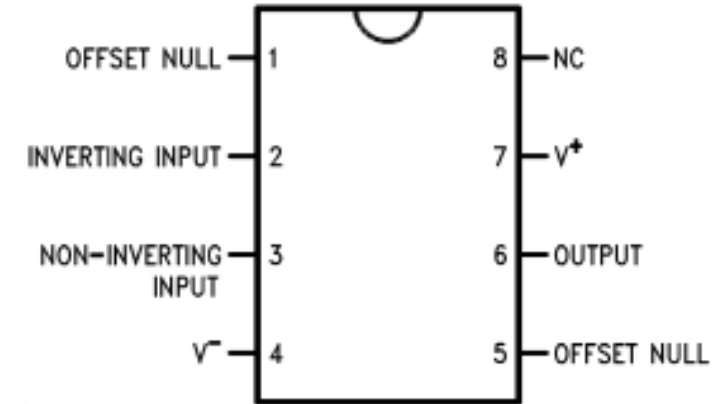
İşlemsel kuvvetlendirici elemanın iç yapısı [2]. National Instruments firmasının ürettiği LM741 elemanın iç yapısı [2].

[1] LM741 Datasheet, National Instruments, <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/9027/NSC/LM741.html>, 4 Nisan 2020.

Uç adları ve genel bağlantı şeması [2].



Dual-In-Line or S.O. Package



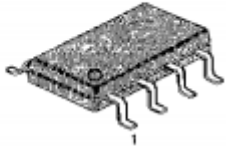
Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CM, LM741CN or LM741EN

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

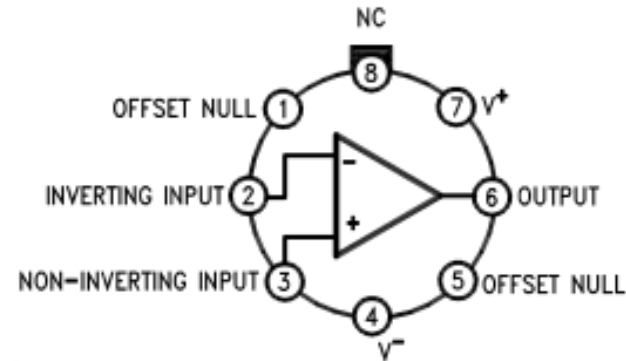
8 DIP



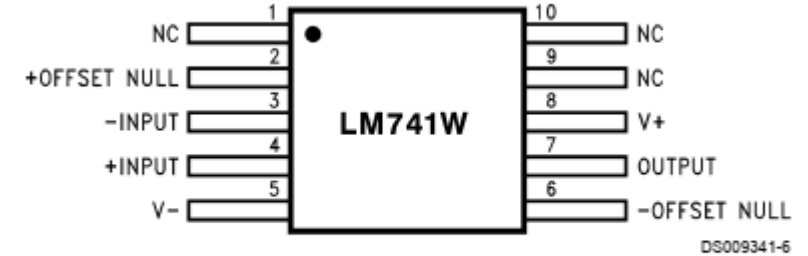
8 SOP



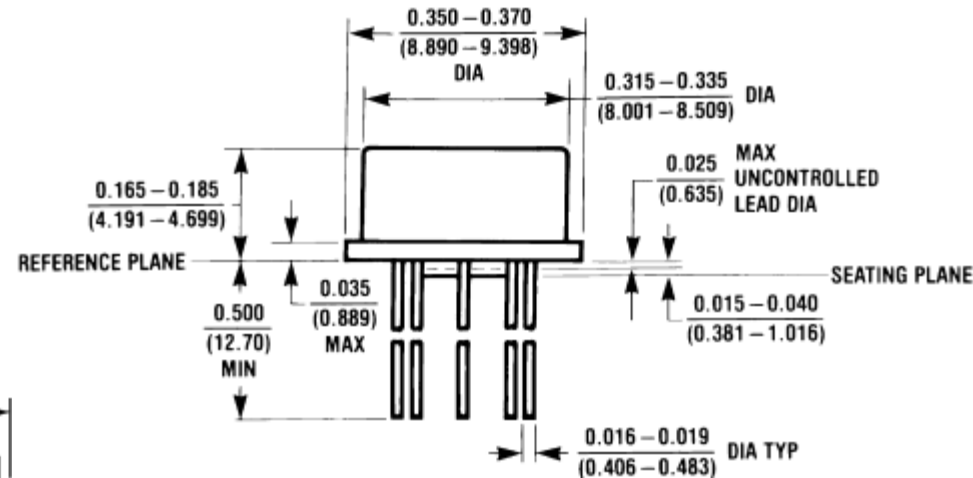
Metal Can Package



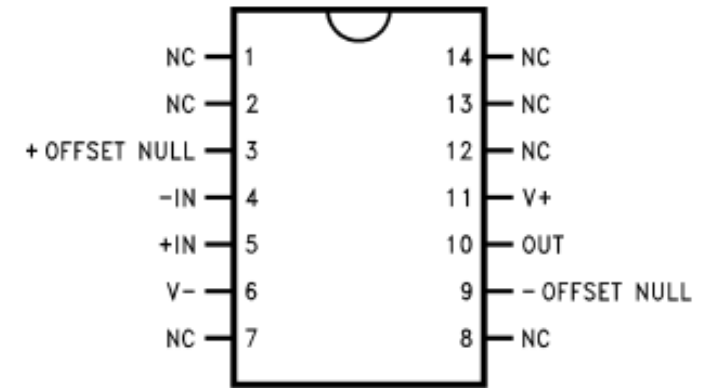
Ceramic Flatpak



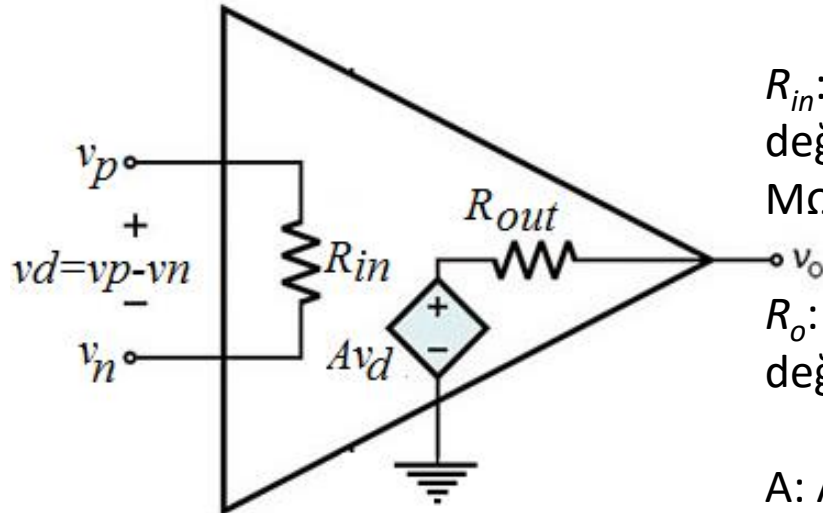
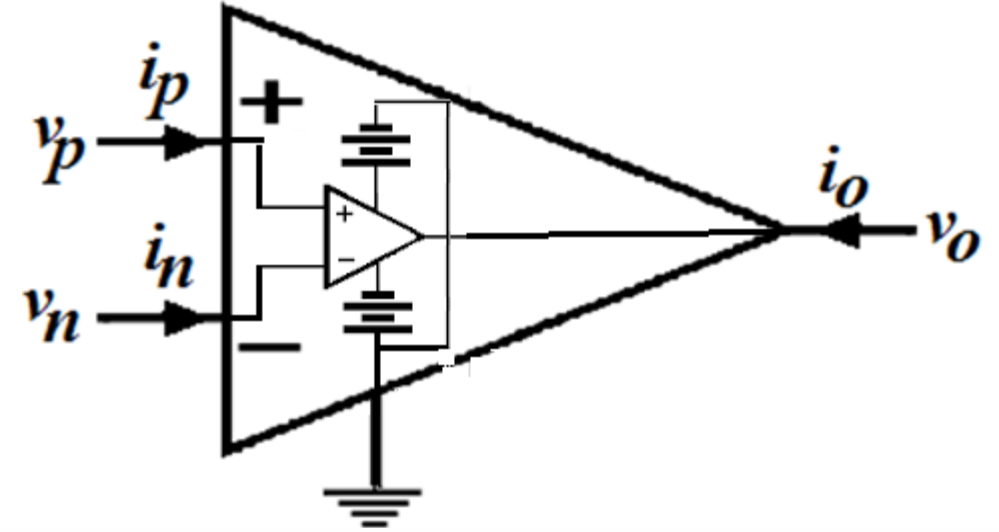
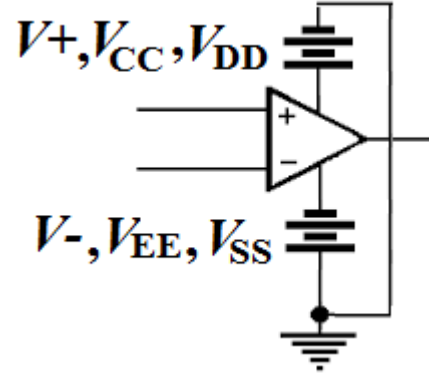
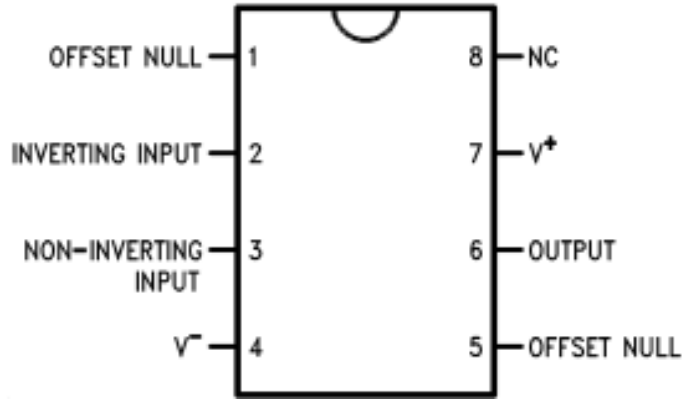
Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A



Ceramic Dual-In-Line Package



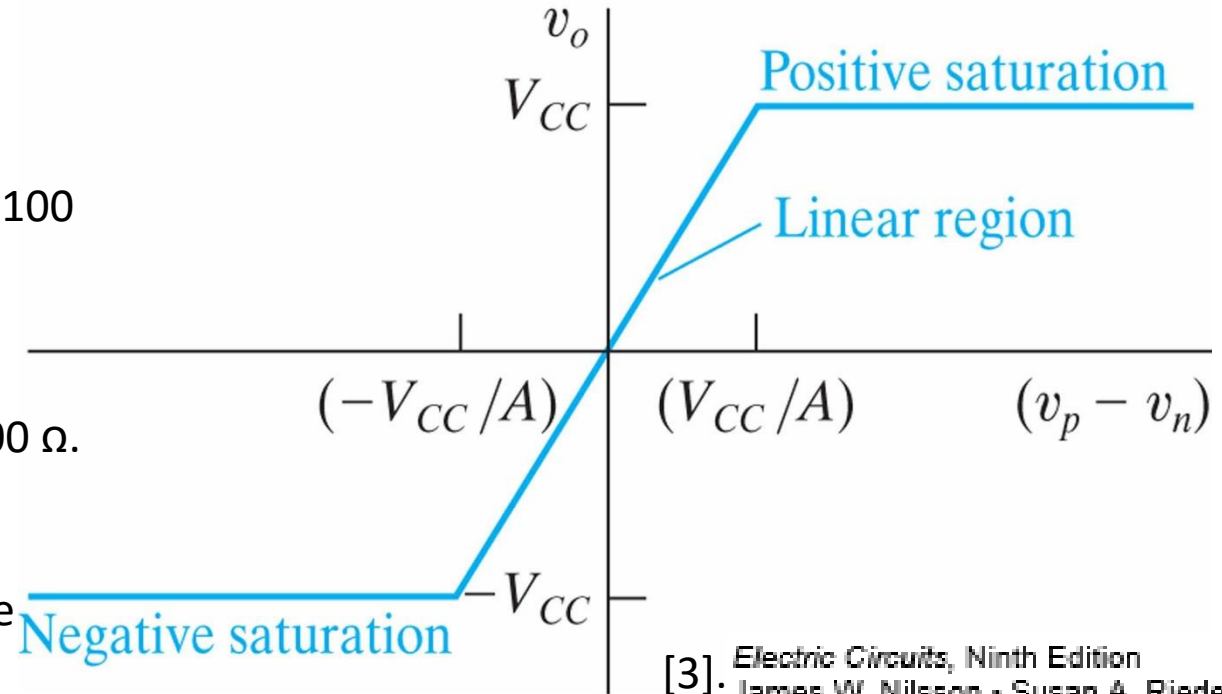
İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)



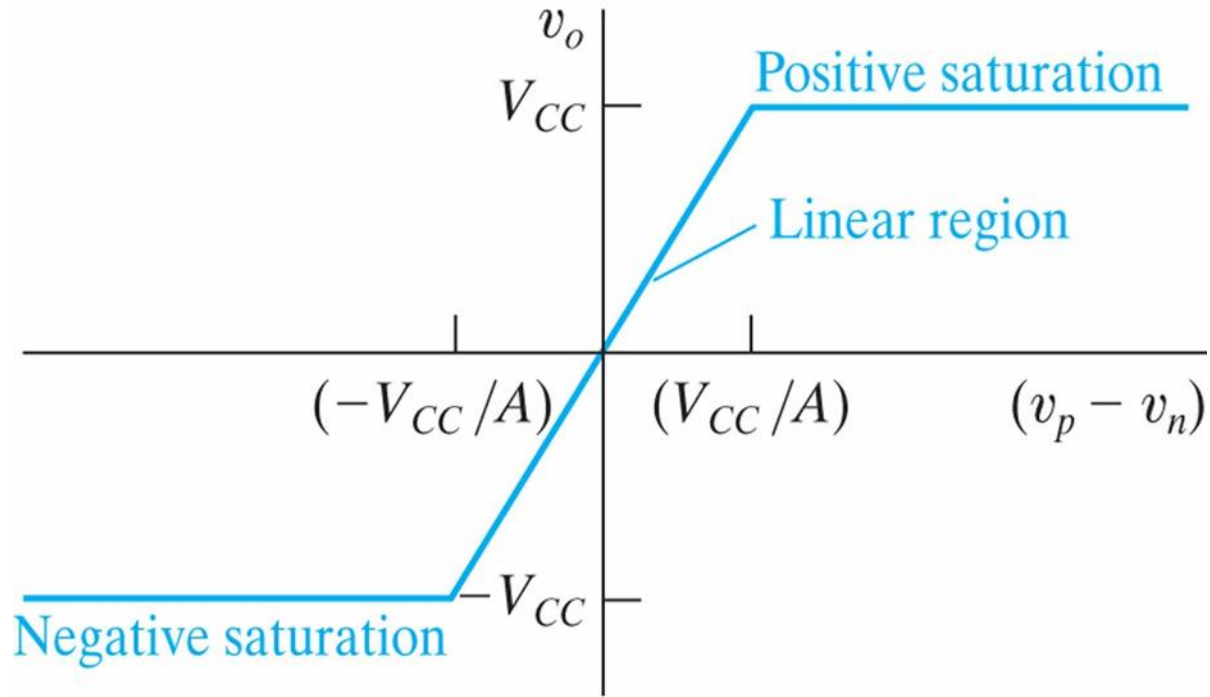
R_{in} : Giriş direnci. İdealde değeri $\infty \Omega$. Pratikte 1 M-100 M Ω .

R_o : Çıkış direnci. İdealde değeri 0 Ω . Pratikte 10-100 Ω .

A: Açık çevrim kazancı. İdealde değeri ∞ . Pratikte $2 \cdot 10^5 - 10^7$.



İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)



Copyright © 2011 Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall

Lineer Bölgede:

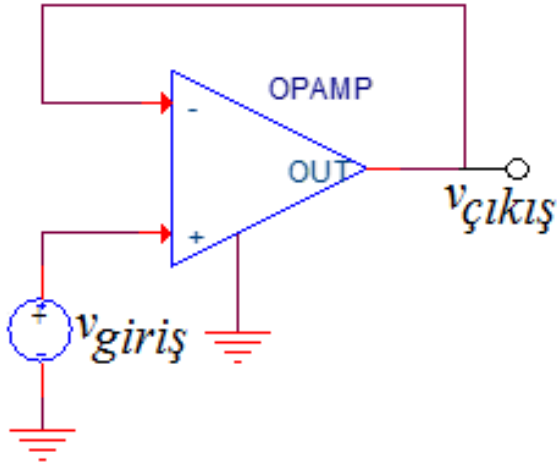
$$v_p - v_n \approx 0 \Rightarrow v_p = v_n$$

Giriş direncinin değeri çok yüksek olduğu için;

$$i_p = 0, i_n = 0$$

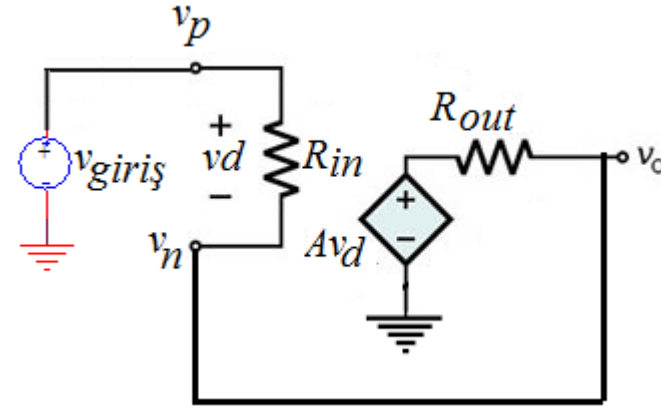
İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Gerilim İzleyici (Voltage Follower) Devresi



Opamp'ın lineer uygulaması

Eşdeğer devresini çizelim.



R_{in} değerini sonsuz alalım. R_{out}'un değerini de 0Ω alalım.



$$v_{\text{çıkış}} = A(v_p - v_n)$$

$$v_{\text{çıkış}} = A(v_{\text{giriş}} - v_{\text{çıkış}})$$

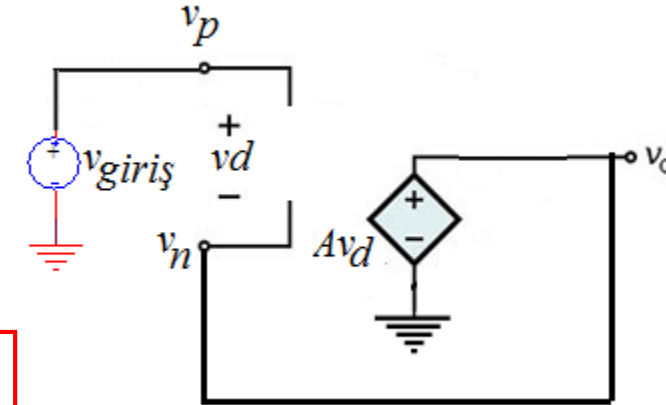
$$v_{\text{çıkış}}(1 + A) = Av_{\text{giriş}}$$

$$v_{\text{çıkış}} = \frac{A}{1 + A} v_{\text{giriş}}$$

$$A \gg 1$$

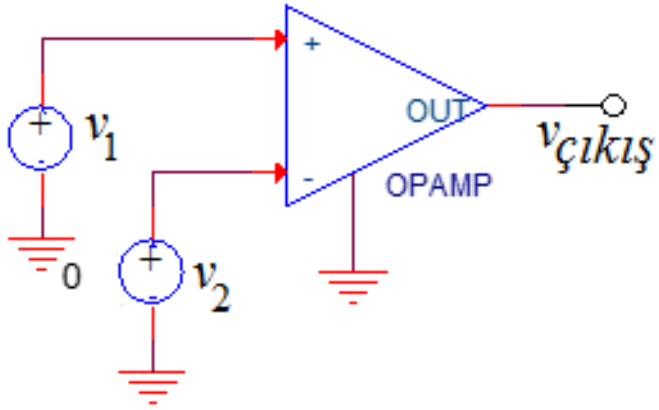
$$v_{\text{çıkış}} = v_{\text{giriş}}$$

$v_n = v_p$ olur. Yani opamp lineer bölgede çalışıyor.



İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Karşılaştırıcı Devresi (Comparator Circuit)



Besleme gerilimleri

$$V_{DD} = 12V$$

$$V_{SS} = -12V$$

a) $v_1 = 2V$ ve $v_2 = 1V$ olsun. $V_{cikis} = ?$

b) $v_1 = 1V$ ve $v_2 = 2V$ olsun. $V_{cikis} = ?$

c) $v_1 = 2\sin(2\pi 1000t)V$ ve $v_2 = 1V$ olsun. $V_{cikis} = ?$
Zamana bağlı olarak değişimini çiziniz.

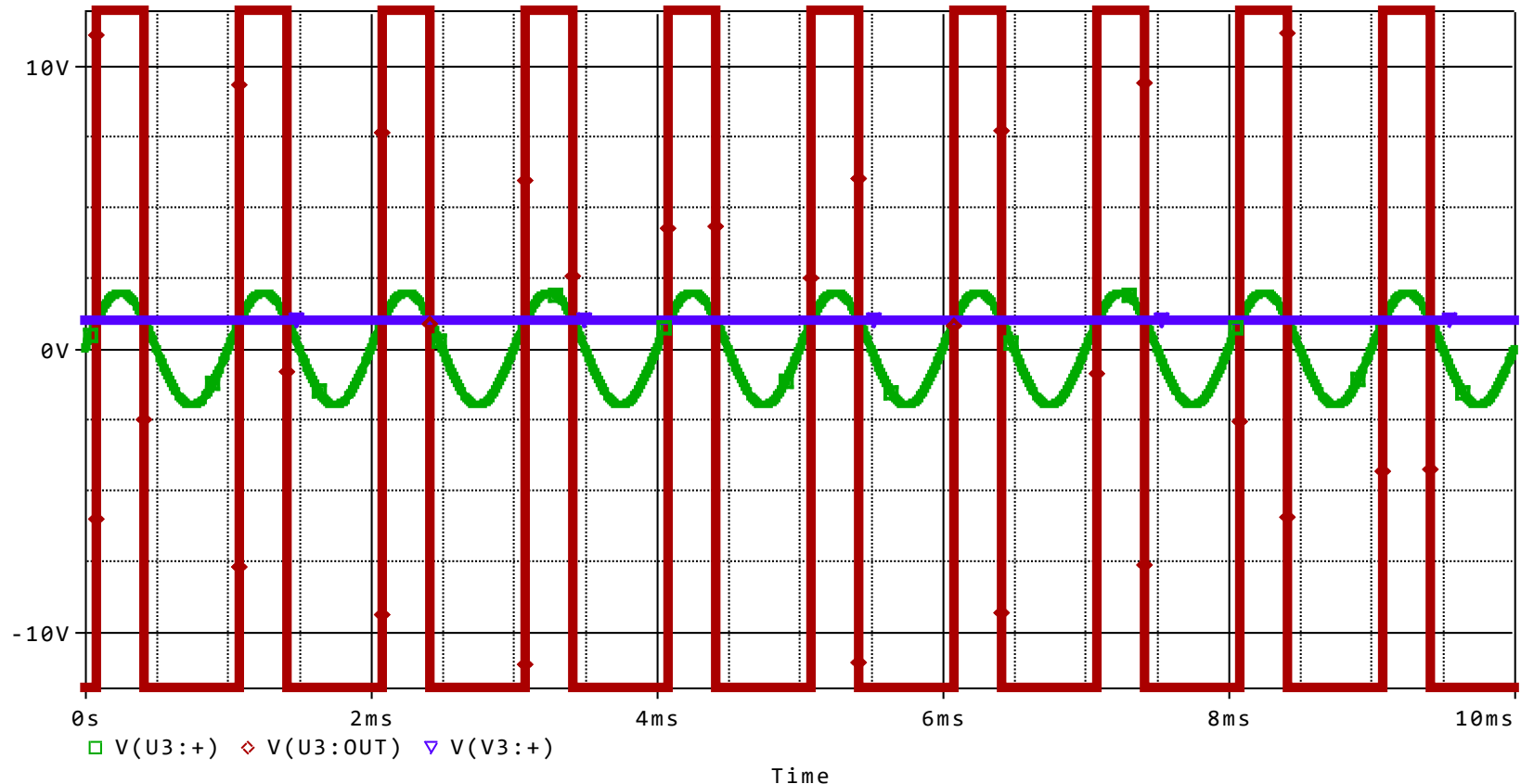
Nonlinear uygulama. $v_p \neq v_n$

CEVAP:

a) $v_{cikis} = 12V$

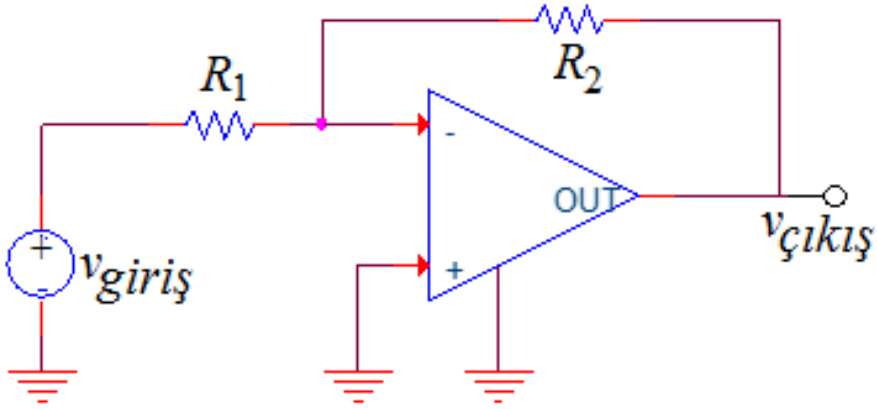
b) $v_{cikis} = -12V$

c) →



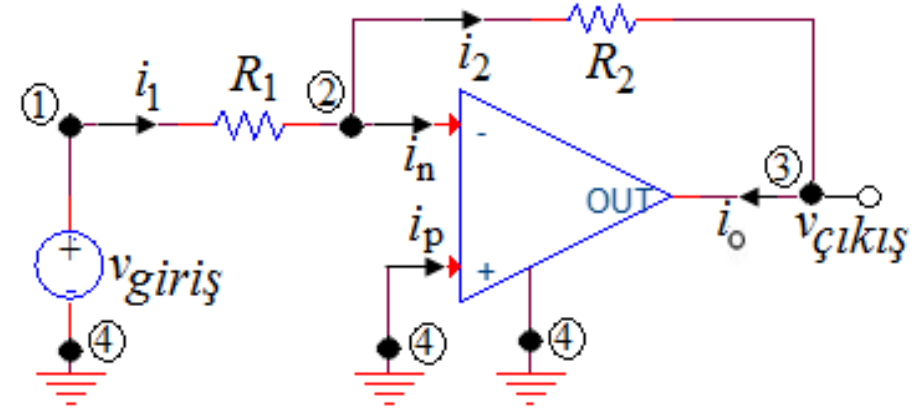
İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Eviren Kuvvetlendirici (Inverting Amplifier) Devresi



Opamp bu devrede lineer bölgede çalışmaktadır. Yani $v_p = v_n$ 'dir.

1. Adım: Direnç elemanlarının akım referansları keyfi olarak belirlenir. Bir düğüm referans düğümü olarak belirlenir.



2. Adım: Referans düğümü dışındaki düğümler için Kirchhoff'un Akım Yasası uygulanır. $n_d - 1$ tane düğüm için bağımsız akım denklemi elde edilmiş olur.

$$d_1 \text{ için: } i_1 + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -i_1 + i_2 + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -i_2 + i_o = 0$$

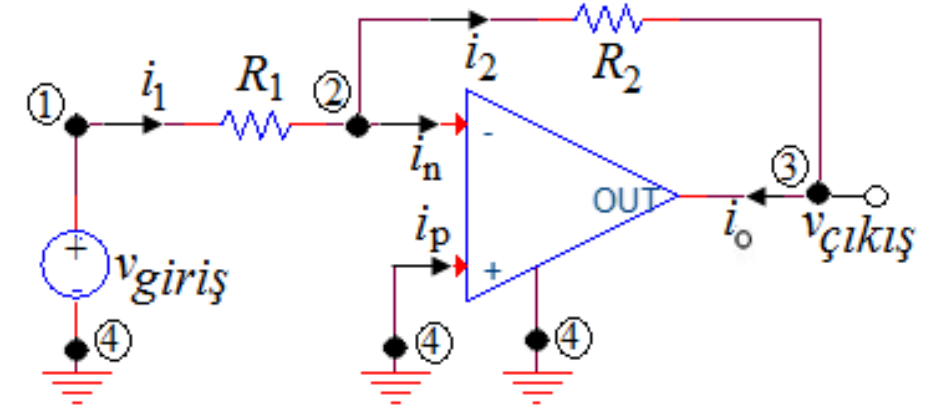
İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

3. Adım: Direnç elemanlarının tanım bağıntıları eleman akımları yerine yazılır.

$$d_1 \text{ için: } \frac{v_1}{R_1} + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{v_2}{R_2} + i_o = 0$$



4. Adım: Direnç elemanı gerilimleri düğüm gerilimleri cinsinden eşitliklerde yerine yazılır.

$$d_1 \text{ için: } \frac{(v_{d1} - v_{d2})}{R_1} + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -\frac{(v_{d1} - v_{d2})}{R_1} + \frac{(v_{d2} - v_{d3})}{R_2} + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{(v_{d2} - v_{d3})}{R_2} + i_o = 0$$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

5. Adım: Düğüm gerilimi ifadeleri eşitliğin sağında kalacak şekilde denklemler düzenlenir.

$$d_1 \text{ için: } v_{d1}\left(\frac{1}{R_1}\right) + v_{d2}\left(-\frac{1}{R_1}\right) = -i_{giriş}$$

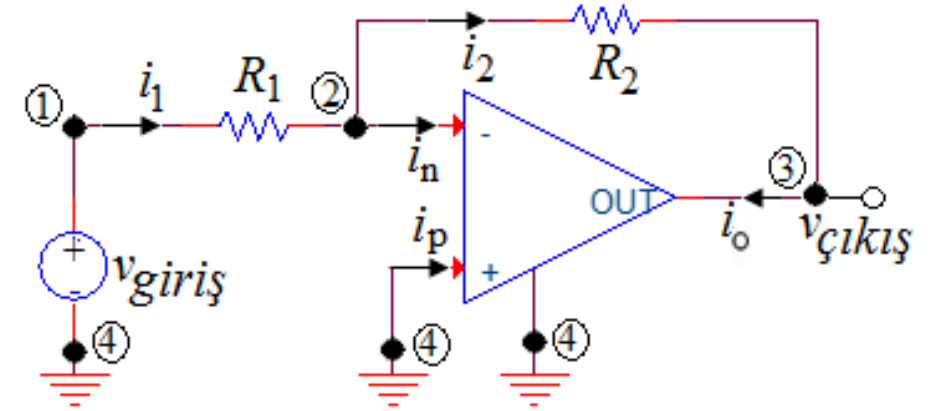
$$d_2 \text{ için: } v_{d1}\left(-\frac{1}{R_1}\right) + v_{d2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) + v_{d3}\left(-\frac{1}{R_2}\right) = -i_n$$

$$d_3 \text{ için: } v_{d2}\left(-\frac{1}{R_2}\right) + v_{d3}\left(\frac{1}{R_2}\right) = -i_o$$

Denklemler matrisel halde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_1} & 0 \\ -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_{giriş} \\ -i_n \\ -i_o \end{bmatrix}$$

$i_{giriş}$, i_n ve i_o akım değerleri bilinmektedir. 3 Adet ek denklem gereklidir.



6. Adım: Ek denklemler yazılır. Direnç elemanları ve bağımsız akım kaynakları dışındaki tüm elemanlar için tanım bağıntıları yazılır.

1. Ek denklem: $v_{d1} = v_{giriş}$
2. Ek denklem: $v_p = v_n \Rightarrow v_{d2} = 0 V$
3. Ek denklem: $i_n = 0, \quad i_p = 0$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_1} & 0 \\ -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_{giriş} \\ -i_n \\ -i_o \end{bmatrix}$$

2. Satır açılırsa:

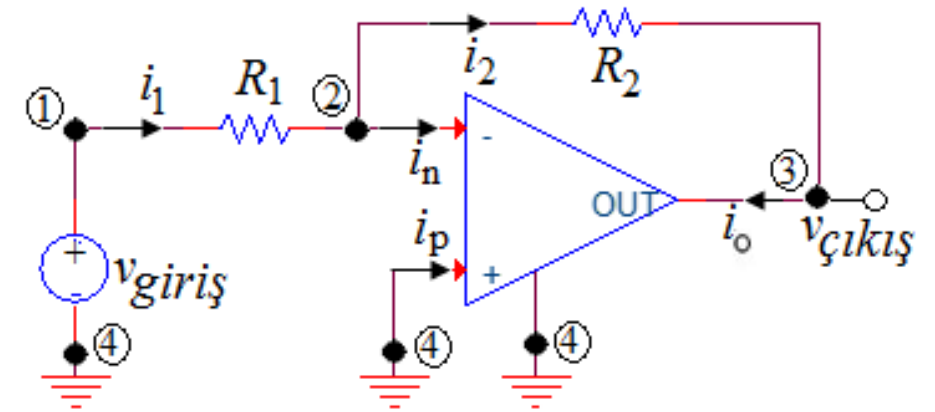
$$\left(-\frac{1}{R_1}\right)v_{d1} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)v_{d2} + \left(-\frac{1}{R_2}\right)v_{d3} = 0$$

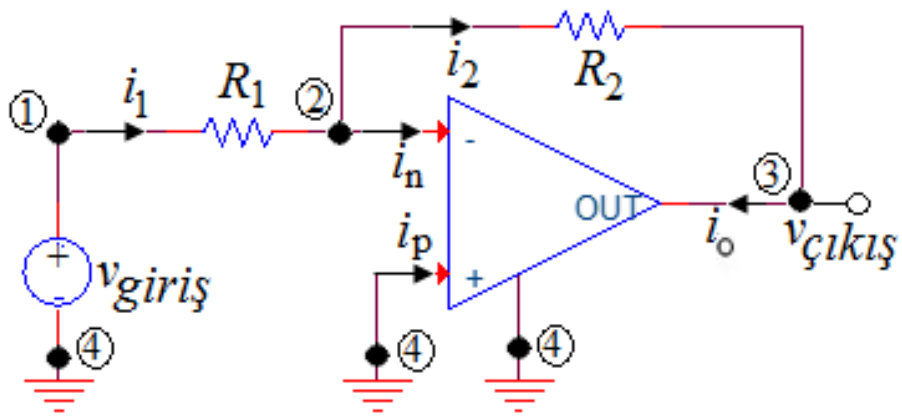
$$v_{d2} = 0 \text{ V}$$

$$\left(-\frac{1}{R_1}\right)v_{giriş} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \cdot 0 + \left(-\frac{1}{R_2}\right)v_{çıkış} = 0$$

$$v_{çıkış} = -\frac{R_2}{R_1}v_{giriş}$$

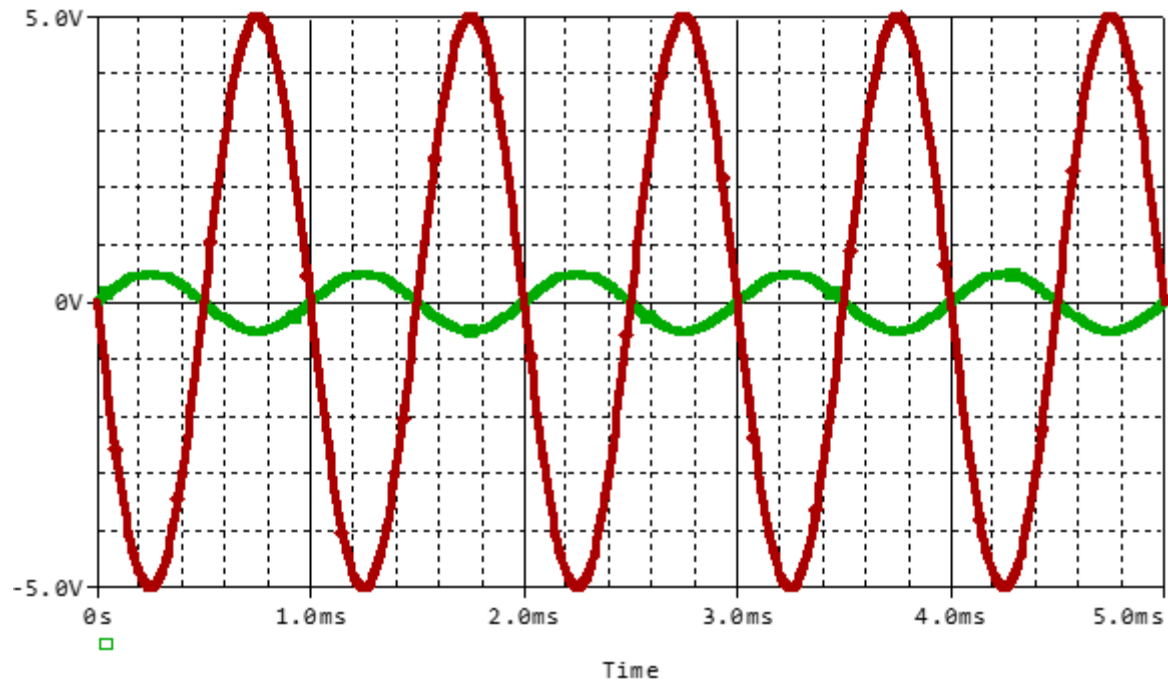
Eviren Kuvvetlendirici



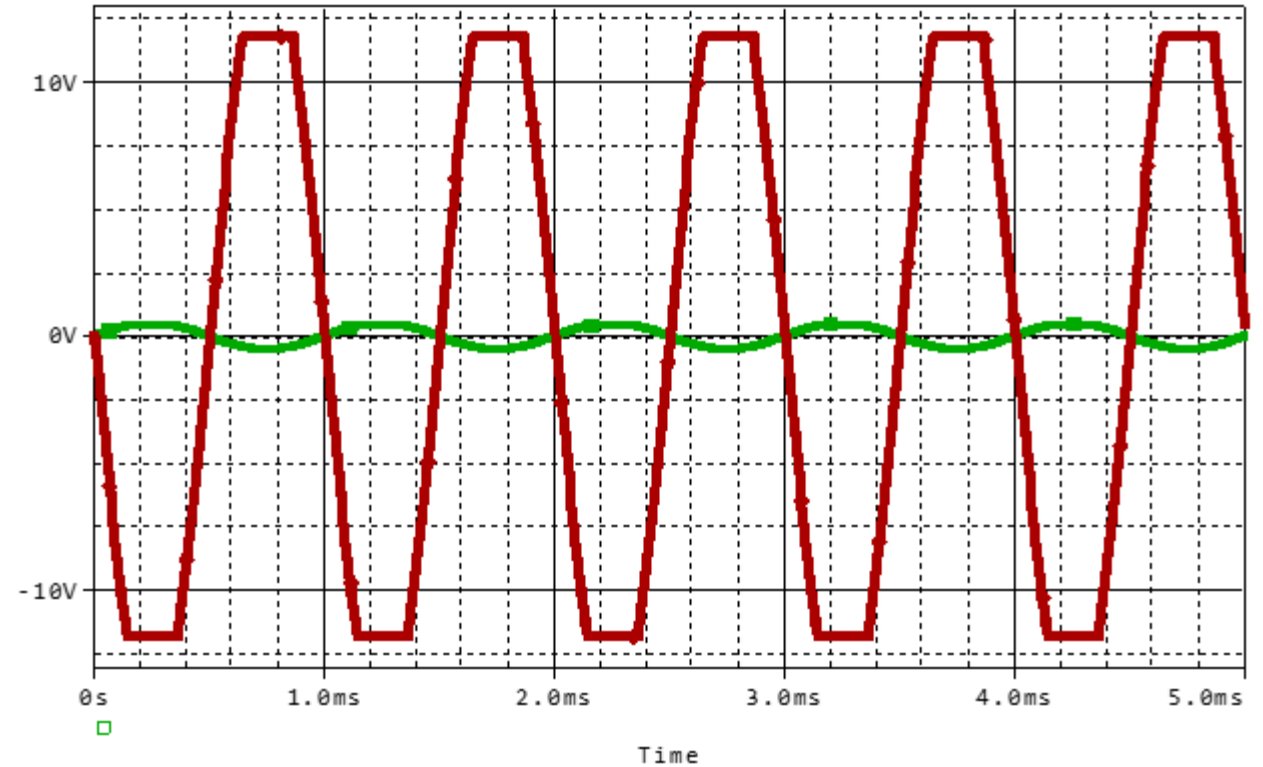


$$v_{\text{çıkış}} = -\frac{R_2}{R_1} v_{\text{giriş}}$$

$$v_{\text{giriş}} = 0.5 \sin(2\pi 1000t) \text{ V} \quad R_1 = 1\text{k}\Omega \quad R_2 = 10\text{k}\Omega$$



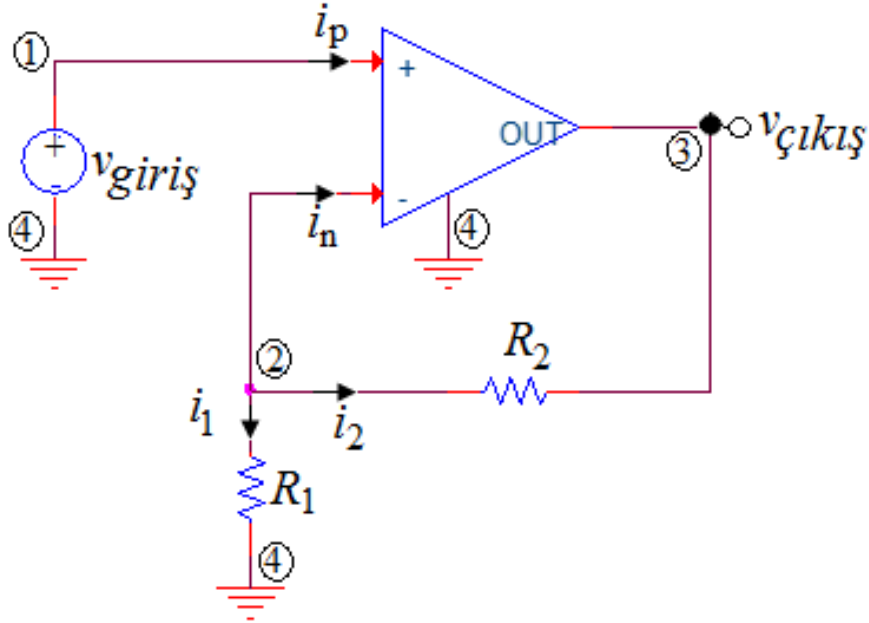
$$v_{\text{giriş}} = 0.5 \sin(2\pi 1000t) \text{ V} \quad R_1 = 1\text{k}\Omega \quad R_2 = 30\text{k}\Omega$$



İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Evirmeyen Kuvvetlendirici (Non-Inverting Amplifier)

Devresi



2. Adım: Referans düğümü dışındaki düğümler için Kirchoff'un Akım Yasası uygulanır. n_d-1 tane düğüm için bağımsız akım denklemi elde edilmiş olur.

$$d_1 \text{ için: } i_p + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } +i_1 + i_2 + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -i_2 + i_o = 0$$

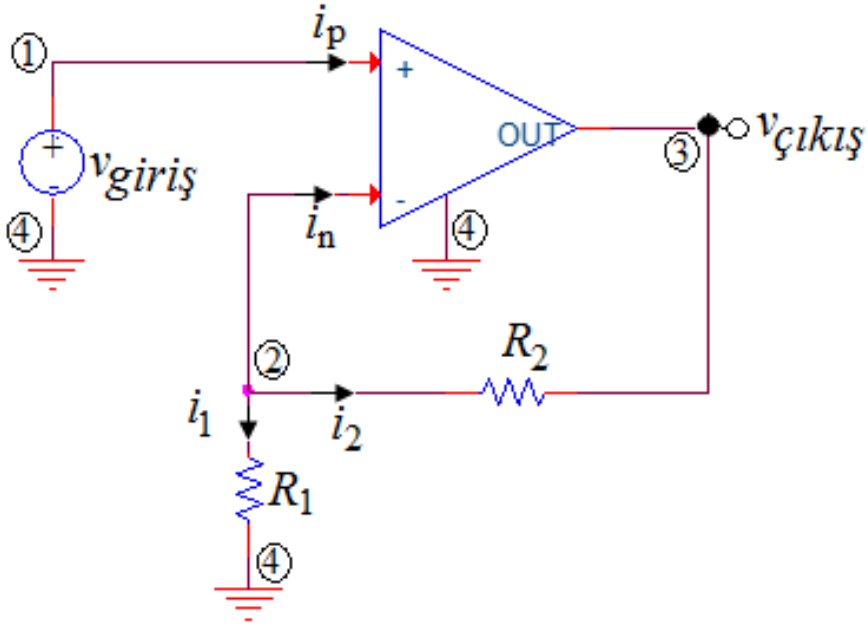
3. Adım: Direnç elemanlarının tanım bağıntıları eleman akımları yerine yazılır.

$$d_1 \text{ için: } i_p + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{v_2}{R_2} + i_o = 0$$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)



4. Adım: Direnç elemanı gerilimleri düğüm gerilimleri cinsinden eşitliklerde yerine yazılır.

$$d_1 \text{ için: } i_p + i_{giriş} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } \frac{(v_{d2})}{R_1} + \frac{(v_{d2} - v_{d3})}{R_2} + i_n = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{(v_{d2} - v_{d3})}{R_2} + i_o = 0$$

5. Adım: Düğüm gerilimi ifadeleri eşitliğin sağında kalacak şekilde denklemler düzenlenir.

$$d_1 \text{ için: } 0 = -i_{giriş} - i_p$$

$$d_2 \text{ için: } v_{d2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) + v_{d3} \left(-\frac{1}{R_2} \right) = -i_n$$

$$d_3 \text{ için: } v_{d2} \left(-\frac{1}{R_2} \right) + v_{d3} \left(\frac{1}{R_2} \right) = -i_o$$

Denklemler matrisel halde aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_{giriş} - i_p \\ -i_n \\ -i_o \end{bmatrix}$$

$i_{giriş}$, i_p , i_n ve i_o akım değerleri bilinmektedir. 4 Adet ek denklem gereklidir.

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

6. Adım: Ek denklemler yazılır. Direnç elemanları ve bağımsız akım kaynakları dışındaki tüm elemanlar için tanım bağıntıları yazılır.

1. Ek denklem: $v_{d1} = v_{giriş}$

2. Ek denklem: $v_p = v_n \Rightarrow v_{d2} = v_{giriş}$

3. Ek denklem: $i_n = 0, \quad i_p = 0$

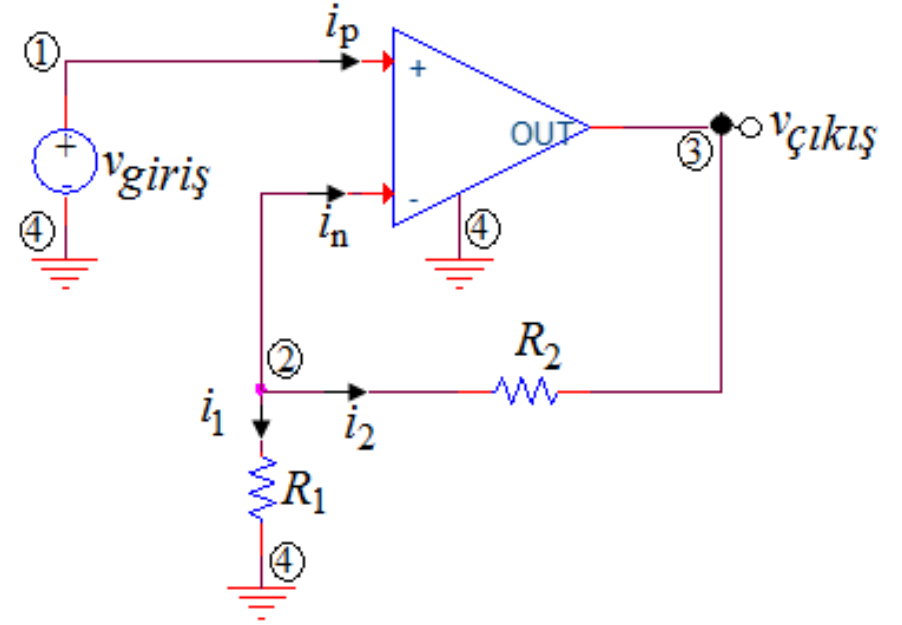
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} \\ 0 & -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_{giriş} - i_p \\ -i_n \\ -i_o \end{bmatrix}$$

2. Satır açılırsa:

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) v_{d2} + \left(-\frac{1}{R_2} \right) v_{d3} = 0$$

$$v_{d2} = v_{giriş}$$

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) v_{giriş} + \left(-\frac{1}{R_2} \right) v_{çıkış} = 0$$



$$v_{çıkış} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_{giriş}$$

Evirmeyen
Kuvvetlendirici

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Örnek:

1. Yanda verilen devre için;
 - a) Parametrik olarak düğüm ve ek denklemlerinin elde edilmesini adım adım gösteriniz (15p).
 - b) Eleman değerleri, $R_1=R_2=R_3=R_4=1\Omega$ olması durumunda, çıkış gerilimi $v_o(t)=f(v_5, v_6)$ 'yi parametrik olarak bulunuz (10p).
 - c) $v_5(t)=1$ V, $v_6(t)=3$ V gerilim değerlerinin devreye uygulanması durumunda işlemsel kuvvetlendiricinin gücünü hesaplayınız (5p).

2. Adım: Referans düğümü dışındaki düğümler için Kirchhoff'un Akım Yasası uygulanır. n_d-1 tane düğüm için bağımsız akım denklemleri elde edilmiş olur.

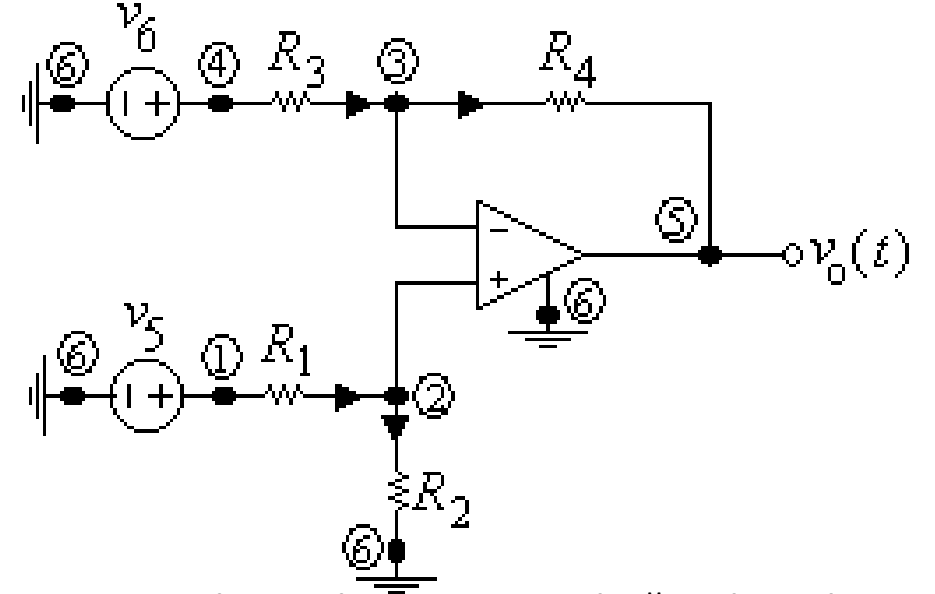
$$d_1 \text{ için: } i_5 + i_1 = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -i_1 + i_2 + i_p = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -i_3 + i_4 + i_n = 0$$

$$d_4 \text{ için: } i_6 + i_3 = 0$$

$$d_5 \text{ için: } -i_4 + i_o = 0$$



3. Adım: Direnç elemanlarının tanım bağıntıları eleman akımları yerine yazılır.

$$d_1 \text{ için: } i_5 + v_1/R_1 = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + i_p = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{v_3}{R_3} + \frac{v_4}{R_4} + i_n = 0$$

$$d_4 \text{ için: } i_6 + \frac{v_3}{R_3} = 0$$

$$d_5 \text{ için: } -\frac{v_4}{R_4} + i_o = 0$$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Örnek:

4. Adım: Direnç elemanı gerilimleri düğüm gerilimleri cinsinden eşitliklerde yerine yazılır.

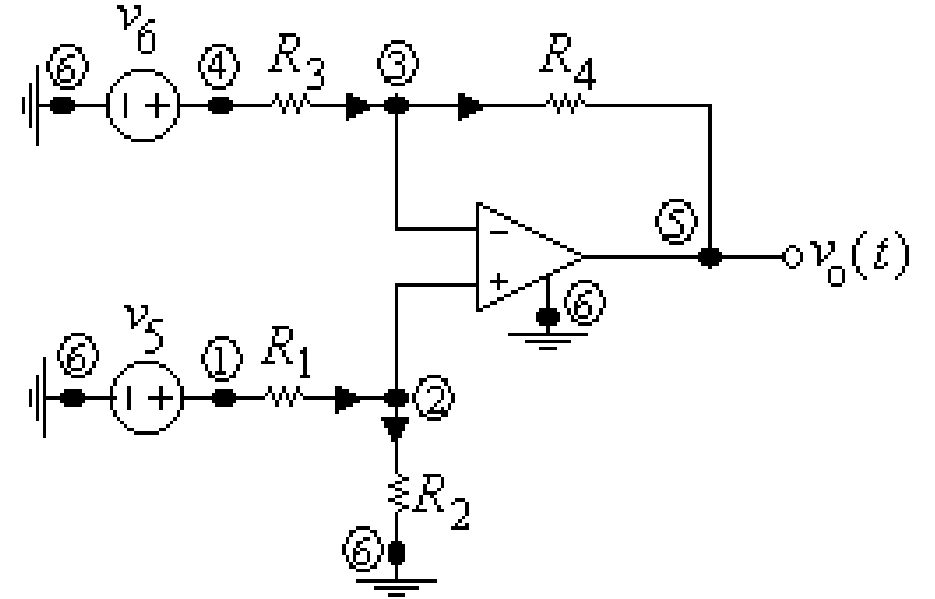
$$d_1 \text{ için: } i_5 + \frac{(v_{d1} - v_{d2})}{R_1} = 0$$

$$d_2 \text{ için: } -\frac{(v_{d1} - v_{d2})}{R_1} + \frac{v_{d2}}{R_2} + i_p = 0$$

$$d_3 \text{ için: } -\frac{(v_{d4} - v_{d3})}{R_3} + \frac{(v_{d3} - v_{d5})}{R_4} + i_n = 0$$

$$d_4 \text{ için: } i_6 + \frac{(v_{d4} - v_{d3})}{R_3} = 0$$

$$d_5 \text{ için: } -\frac{(v_{d3} - v_{d5})}{R_4} + i_o = 0$$



5. Adım: Düğüm gerilimi ifadeleri eşitliğin sağında kalacak şekilde denklemler düzenlenir.

$$\begin{bmatrix} G_1 & -G_1 & 0 & 0 & 0 \\ -G_1 & G_1 + G_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 + G_4 & -G_3 & -G_4 \\ 0 & 0 & -G_3 & G_3 & 0 \\ 0 & 0 & -G_4 & 0 & G_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \\ v_{d4} \\ v_{d5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_5 \\ -i_p \\ -i_n \\ -i_6 \\ -i_o \end{bmatrix}$$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

Örnek:

$$\begin{bmatrix} G_1 & -G_1 & 0 & 0 & 0 \\ -G_1 & G_1 + G_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 + G_4 & -G_3 & -G_4 \\ 0 & 0 & -G_3 & G_3 & 0 \\ 0 & 0 & -G_4 & 0 & G_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \\ v_{d4} \\ v_{d5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_5 \\ -i_p \\ -i_n \\ -i_6 \\ -i_o \end{bmatrix}$$

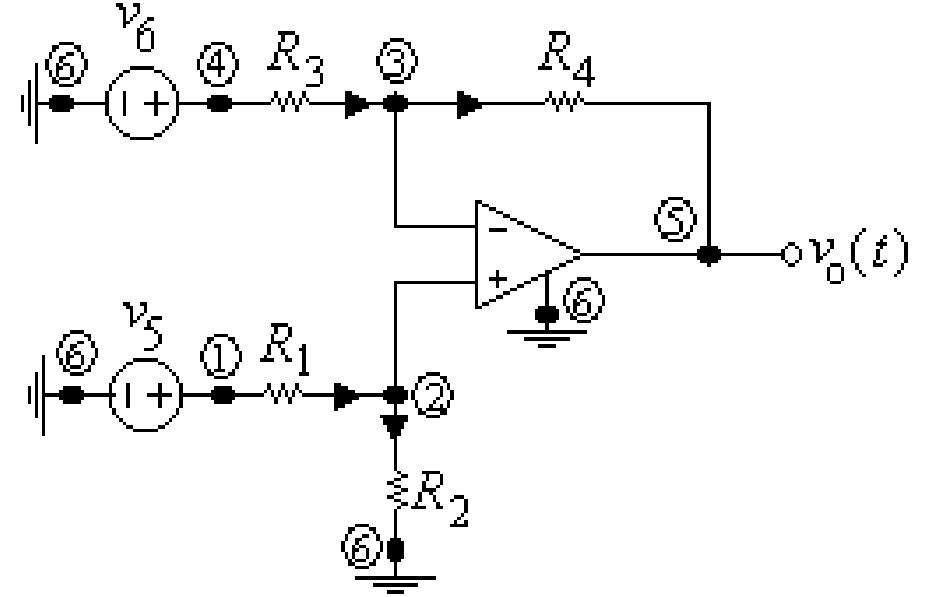
6. Adım: Ek denklemler yazılır. Direnç elemanları ve bağımsız akım kaynakları dışındaki tüm elemanlar için tanım bağıntıları yazılır.

1. Ek denklem: $v_{d1} = v_5$

2. Ek denklem: $v_{d4} = v_6$

3. Ek denklem: $v_p = v_n \Rightarrow v_{d2} = v_{d3}$

4. Ve 5. Ek denklem: $i_n = 0, \quad i_p = 0$



b) Eleman değerleri, $R_1=R_2=R_3=R_4=1\Omega$ olması durumunda, çıkış gerilimi $v_o(t)=f(v_5, v_6)$ 'yi parametrik olarak bulunuz.

İkinci satırdan:

$$-G_1 v_{d1} + (G_1 + G_2) v_{d2} = 0 \Rightarrow v_{d2} = \frac{G_1}{G_1 + G_2} v_{d1} \Rightarrow v_{d2} = \frac{1}{2} v_5$$

Üçüncü satırdan:

$$(G_3 + G_4) v_{d3} + (-G_3) v_{d4} + (-G_4) v_{d5} = 0 \quad v_{d2} = v_{d3}$$

$$v_{d5} = v_o = v_5 - v_6$$

İŞLEMSEL KUVVETLENDİRİCİ (Operational Amplifier- OpAmp)

c) $v_5(t)=1$ V, $v_6(t)=3$ V gerilim değerlerinin devreye uygulanması durumunda işlemsel kuvvetlendiricinin gücünü hesaplayınız

$$P_{opamp} = v_p i_p + v_n i_n + v_o i_o = v_o i_o$$

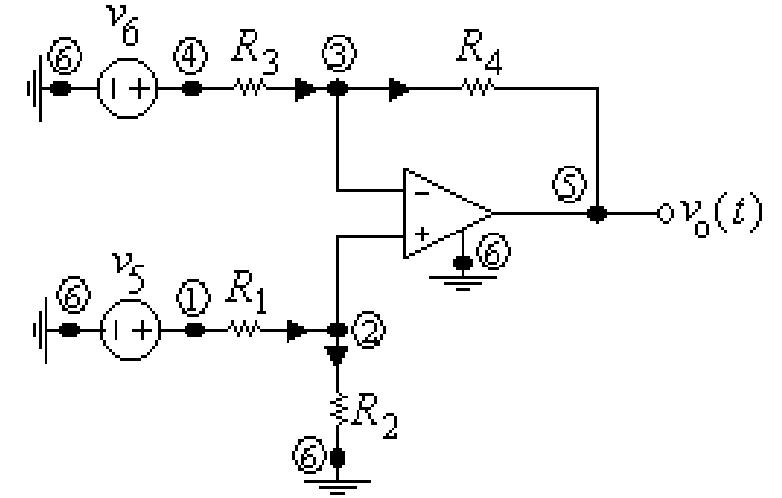
$$v_o = v_5 - v_6 = 1 - 3 = -2 \text{ V}$$

Beşinci satırdan:

$$-G_4 v_{d3} + G_4 v_{d5} = -i_o$$

$$-1 \frac{v_5}{2} + 1 v_o = -i_o \rightarrow i_o = 2.5 A$$

$$P_{opamp} = v_o i_o = (-2)(2.5) = -5 W$$

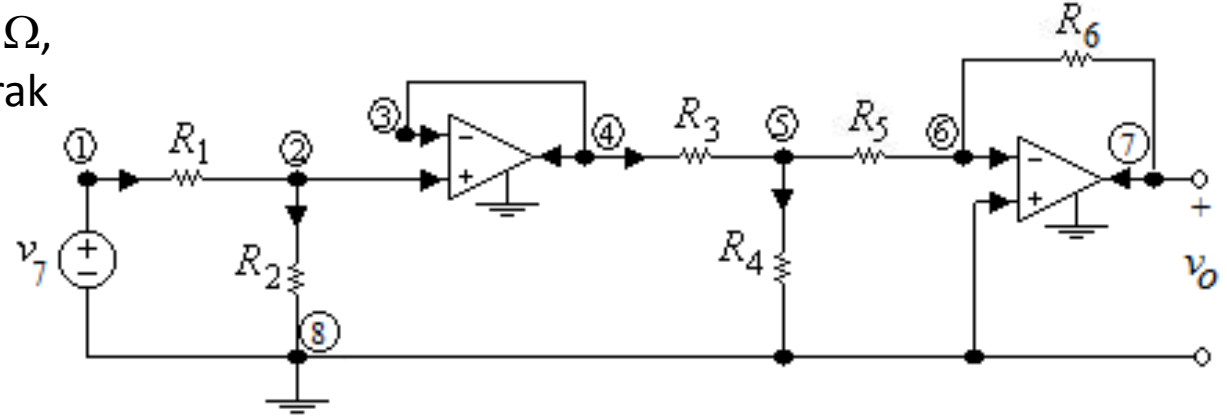


Genelleştirilmiş düğüm gerilimi denklemlerini matrisel şekilde yazalım:

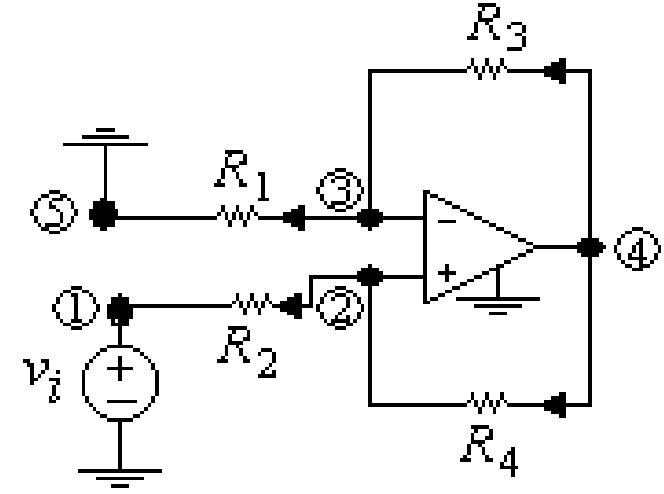
$$\begin{bmatrix} G_1 & -G_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -G_1 & G_1 + G_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 + G_4 & -G_3 & -G_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -G_3 & G_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -G_4 & 0 & G_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{d1} \\ v_{d2} \\ v_{d3} \\ v_{d4} \\ v_{d5} \\ i_5 \\ i_6 \\ i_p \\ i_n \\ i_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ v_5 \\ v_6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Çalışma Soruları

1. Yandaki şekilde verilen devrede eleman değerleri $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 1 \Omega$, $R_4 = 1 \Omega$, $R_5 = 1 \Omega$, $R_6 = 10 \Omega$, $v_7 = 10 \text{ V}$ olarak verilmiştir.
- a) Düğüm ve ek denklemlerinin elde edilmesini adım adım gösteriniz (15p).
- b) Tüm düğüm gerilimlerini hesaplayınız (10p).
 v_o/v_7 gerilim kazancını hesaplayınız (5p).

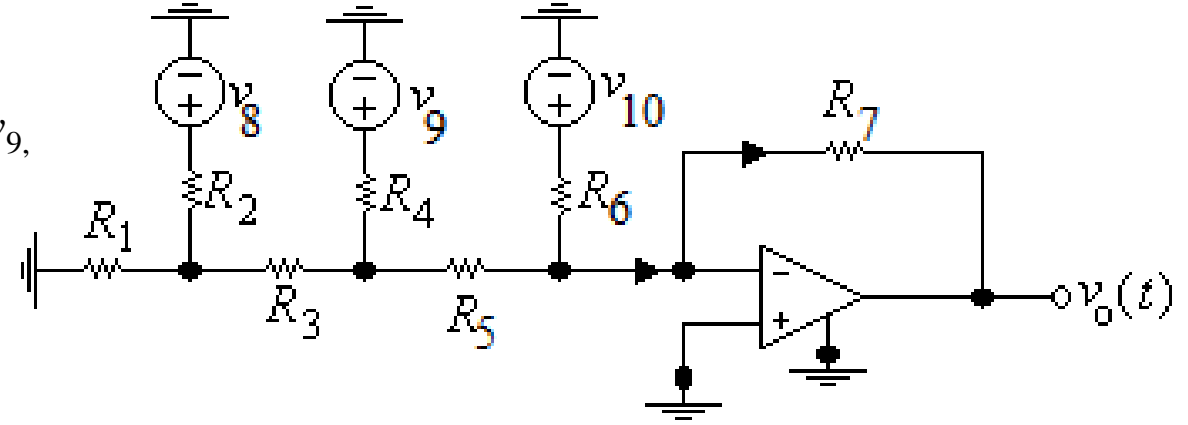


2. Yanda verilen devredeki eleman değerleri $v_i = 1 \text{ V}$, $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 2 \Omega$ 'dur.
- a) Düğüm gerilimleri denklemlerini ve ek denklemlerini yazınız (15p). Not: Adım adım yazmak zorunda değilsiniz.
- b) Tüm düğüm gerilimlerini hesaplayınız (10p).

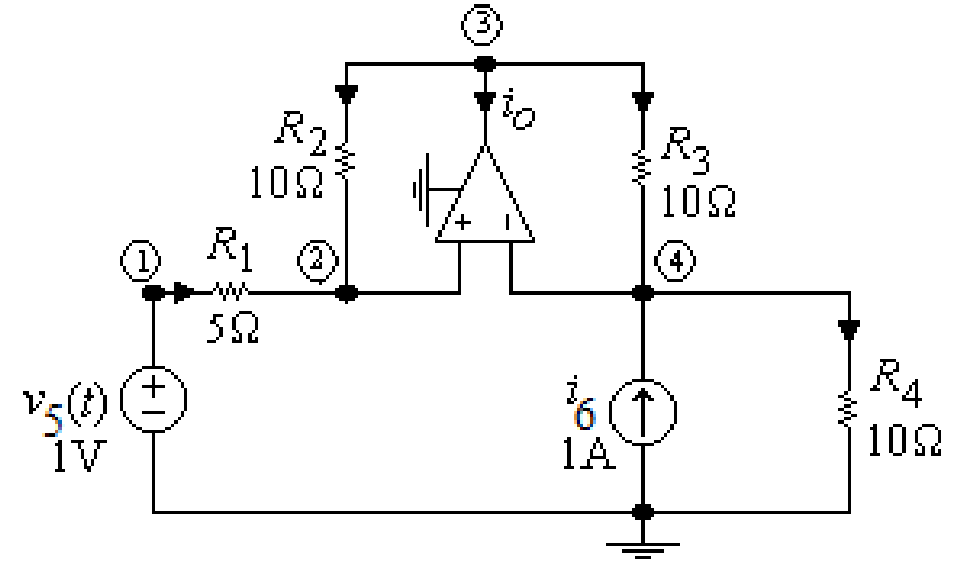


Çalışma Soruları

1. Yanda verilen devre, R-2R tipi dijital analog çevirici (3 bitlik) devresidir. Bu devrede $R_1=R_3=R_5=R_7=R$, $R_2=R_4=R_6=2R$ olarak verilmektedir. Buna göre $v_o(t)=f(v_8, v_9, v_{10})$ biçiminde bulunuz. Devre çözümünde düğüm gerilimleri yöntemini veya toplamsallık teoremini kullanabilirsiniz (40p).



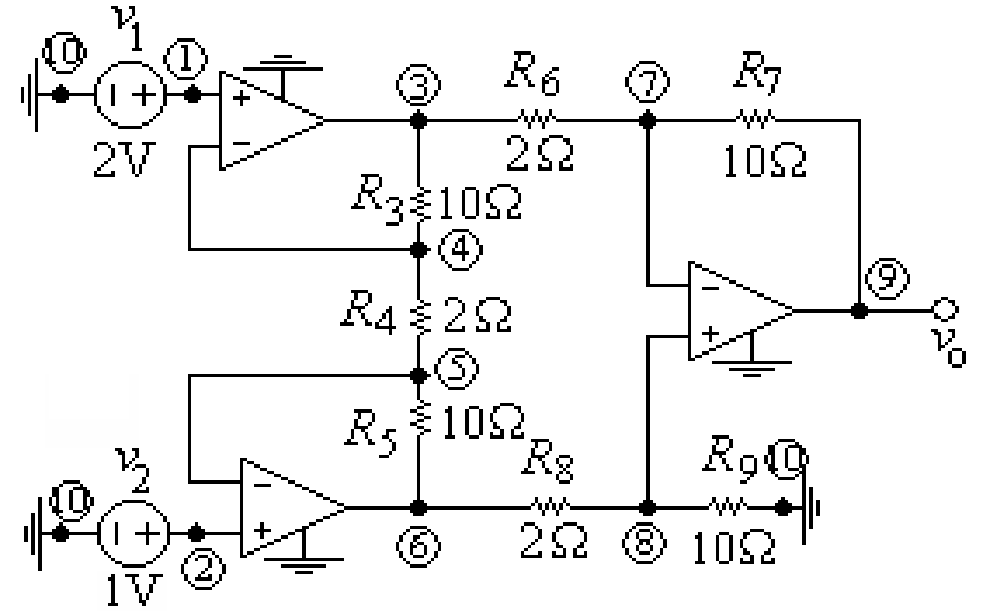
1. Yanda verilen devre için;
a) Düğüm gerilimleri denklemlerini ve ek denklemlerini yazınız (20p).
b) Tüm düğüm gerilimlerini hesaplayınız (10p).



Çalışma Soruları

Yanda verilen devre için;

- Düğüm gerilimleri denklemlerini ve ek denklemlerini yazınız.
- Çıkış geriliminin $v_o=f(v_1, v_2)$ biçimde matematiksel ifadesini bulunuz.
- Sağdaki işlemsel kuvvetlendiricinin gücünü hesaplayınız.



1. Yanda verilen devrede bağımsız gerilim ve akım kaynaklarının bir periyot için değişimleri; $v_1(t)=10t[u(t)-u(t-2)]-10(t-4)[u(t-2)-u(t-4)]V$, $i_8(t)=5t[u(t)-u(t-1)]-5(t-2)[u(t-1)-u(t-2)]A$ olarak verilmiştir.

- $v_1(t)$ ve $i_8(t)$ bağımsız kaynaklarının değişimlerini iki periyot için çiziniz.
- $v_4(t)$ geriliminin matematiksel ifadesini bulunuz ve değişimini iki periyot için çiziniz.
- $v_4(t)$ geriliminin ortalama ve efektif değerini bulunuz.
- R_4 direnci üzerinde harcanan ortalama gücü hesaplayınız.

