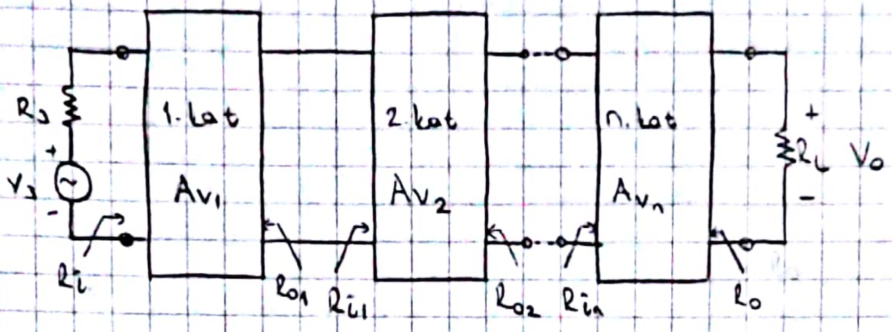
Elektronik 2

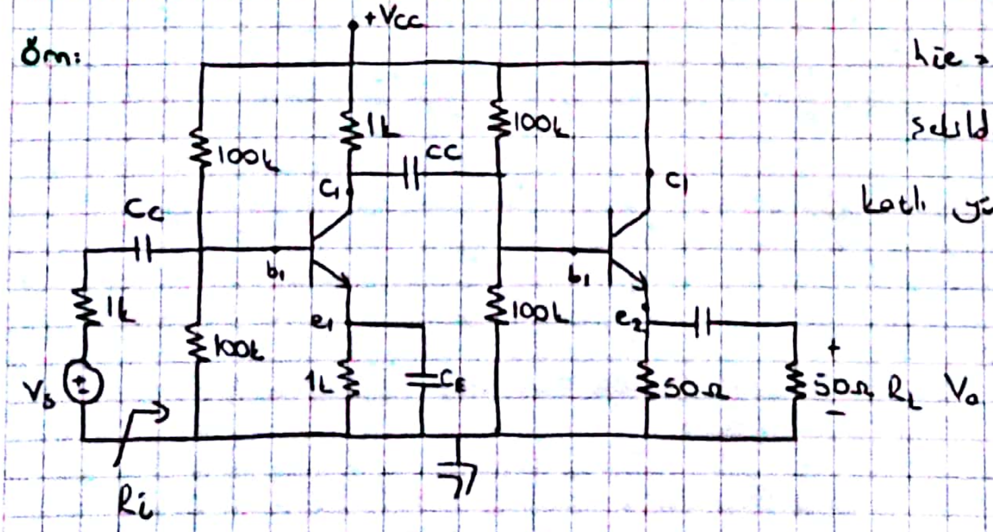
Katlı Yükselteçler (20.09.2017)



Gercek dünyada var olan zayıf bir sinyali temsil eden R_s iç direnci V_s kaynağı ile gercek dünyada var olan R_L yük direncini calıstırmak istiyorum. R_L icin arzulanan V_o gerilimi direkt olarak V_s kaynağından sağlanamadığı durumlarda yükselteç yada yükselteç grupları sekildeki gibi uygun bir yapıda tasarlanarak kullanılır. Bildiğimiz JFET ve BJT elemanları yükseltme özelliklerine sahiptirler. Bunlarla 6 adet tek katlı yükselteç devresi gerceklenebilir. Tek kat kullanarak cözemediğimiz yükseltme problemleri bu tek katlı 6 adet yükselteç uygun bicimde bir arada kullanılarak katlı yükselteçler olusturulur. Katlı yükselteçlerde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta max güç teoremi gereğince katlar arasındaki bağlantılarda uyuma dikkat etmek gerekir. Bir önceki katta üretilen sinyalin bir sonraki kata maksimum aktarılabilmesi icin $R_{o_{n-1}} \cong R_{in}$ kosulu sağlanmalıdır. Örneğin $R_{o1} \simeq R_{i2}$ gibi.

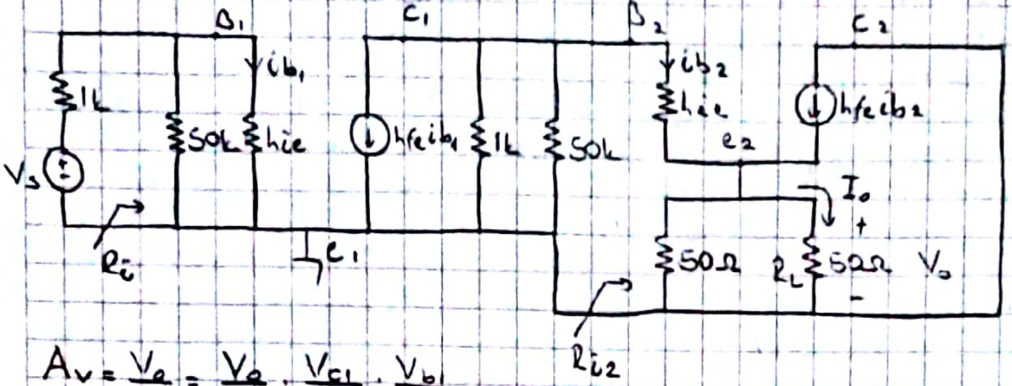
(21.09.2017)

Örn:



hie = 1k   hfe = 100k

Sekilde verilen transistörlü iki katlı yükseltecin analizini yapalım.



$h_{fe} = 100$

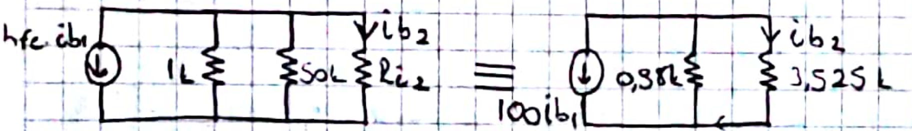
$h_{ie} = 1k$

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_{c1}} \cdot \frac{V_{c1}}{V_{b1}} \cdot \frac{V_{b1}}{V_s}$$

$V_o = (i_{b2} + h_{fe} i_{b2}) . 25\Omega$ $\qquad$ $V_o = i_{b2} (1+100) . 25\Omega$

$V_{c1} = V_o + h_{ie} . i_{b2}$

$$R_{i2} = \frac{V_{c1}}{i_{b2}} = \frac{i_{b2}\,101 . 25 + i_{b2}}{i_{b2}} = \frac{i_{b2}\,(101 . 0{,}025k + 1)}{i_{b2}} = 3{,}525k\,\Omega$$



$3{,}525 . i_{b2} = -0{,}98 . (100 i_{b1} + i_{b2})$

$i_{b2} = -21{,}75 i_{b1}$

$V_{b1} = i_{b1} . h_{ie} = i_{b1} . 1k$

$$\frac{V_o}{V_{c1}} = \frac{i_{b2} . 2{,}525k}{i_{b2} . 2{,}525k + i_{b2}} = \frac{2{,}525}{3{,}525} = 0{,}716$$

$$\frac{V_{c1}}{V_{b1}} = \frac{i_{b2} . 3{,}525k}{i_{b1} . 1k} = \frac{-21{,}75 i_{b1} . 3{,}525}{i_{b1} . 1k} = -76{,}6687$$

$$\frac{V_{b1}}{V_s} = \frac{0{,}98}{1+0{,}98} = 0{,}494 \qquad A_v = 0{,}716 . (-76{,}6687) . 0{,}494 = \underline{\underline{-27{,}13}}$$

$R_i = 50 // 1 = \underline{\underline{0{,}98k\,\Omega}}$

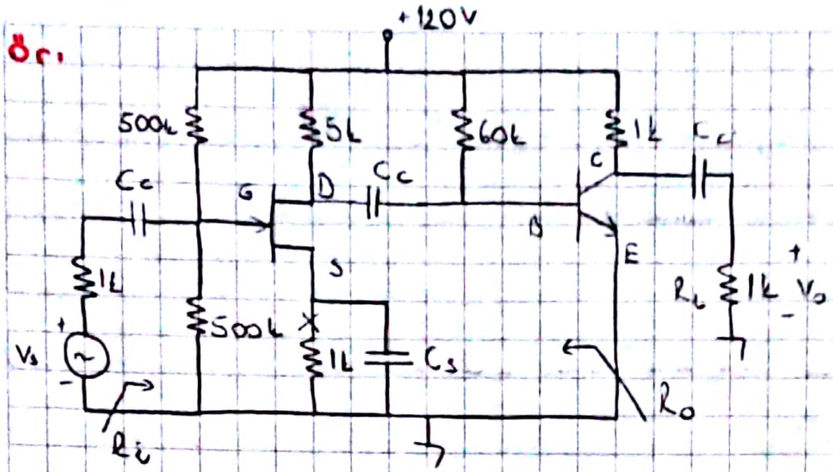
$$A_I = \frac{V_o / R_L}{V_s / (1+0{,}98)} = \frac{V_o}{R_L} \cdot \frac{1{,}98}{V_s} = A_v \cdot \frac{1{,}98}{0{,}05} = \underline{\underline{-1074{,}3}}$$

R_o

$$I_x = \frac{V_x}{0{,}05k} - h_{fe} i_{b2} - i_{b2} \qquad i_{b2} = \frac{V_x}{1{,}98k}$$

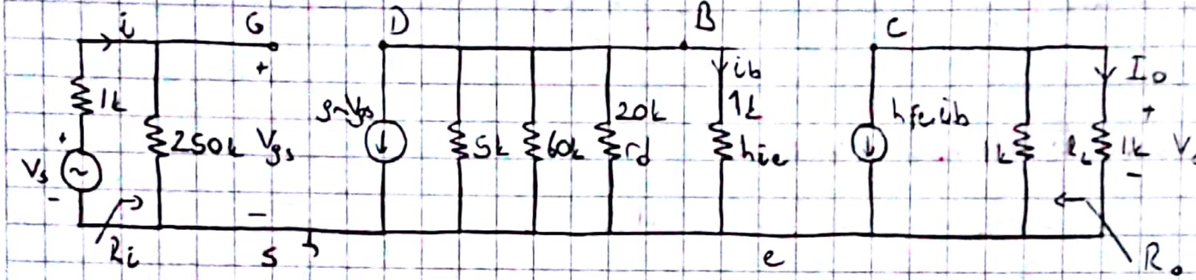
$R_o = 0{,}014k = \underline{\underline{14\,\Omega}}$

Ör.



T $\begin{pmatrix} h_{fe}=100 \\ h_{ie}=1k \end{pmatrix}$ F $\begin{pmatrix} r_d=20k \\ g_m=5.10^{-3}\,A/V \end{pmatrix}$

Devrenin AC analizini yap



$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_G} \cdot \frac{V_G}{V_s}$

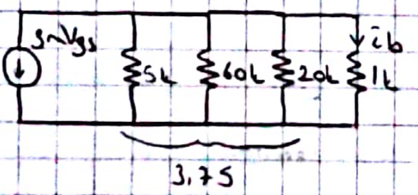
$V_G = V_{GS}$ $V_s = 250k\,i + 1k\,i = 251k\,i$

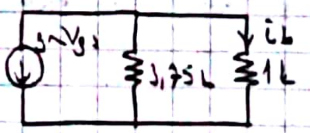
$V_G = i.250k = V_s - 1k.i \Rightarrow \frac{V_G}{V_s} = \frac{250\,i}{251\,i} \cong 1$

$V_o = -h_{fe}.i_b.0,5 = -50\,i_b$

$V_B = i_b.h_{ie} = 1k.i_b$

i_b ile V_{gs} ilişkisi





$-1k\,i_b = (g_m V_{gs} + i_b).3,75k$

$-4,75\,i_b = 18,75\,V_{gs}$ $V_{gs} = -3,94\,i_b$

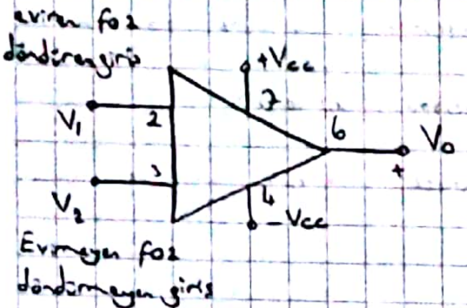
$A_v = \frac{-50\,i_b}{i_b} \cdot \frac{-3,94\,V_{gs}}{V_{gs}} \cdot \frac{250}{251} = \underline{\underline{192}}$ $\underline{\underline{R_i = 250k}}$

$A_I = \frac{V_o/1k}{V_s(1+250)} = \frac{V_o}{V_s}.251 = A_v.251 = 48192$

R_o'ı bulal.

$V_s = 0 \Rightarrow V_{gs} = 0,\ g_m.V_{gs} = 0,\ i_b = 0\ \ h_{fe}.i_b = 0 \Rightarrow \underline{\underline{R_o = 1k\,\Omega}}$

İşlemsel Yükselteçler

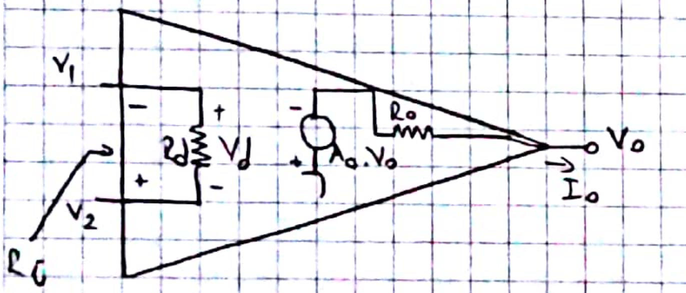


⇒ Çok sayıda elektronik eleman (transistör, direnç, fet v.b.) içeren paket haline getirilmiş bir tümleşik devre (IC: integrated circuits).

İşlemsel yükselteçler hemen hemen elektronik devrelerin tamamında kullanılırlar. Uygulama alanları yükselteç, osilatör, ölçme kontrol ve karşılaştırma devreleri, endüstriyel elektronik uygulamaları, bazı matematiksel operasyon devreleri, tıp elektroniği. Bolca kullanılmasının nedeni sahip olduğu elektriksel özelliklerdir.

İşlemsel Yükseltecin Elektriksel Özellikleri:

OP-AMP'ın iç donanımı karmaşık bir devre olmakla birlikte eşdeğer devresi aşağıdaki gibidir.



Vd: fark gerilimi

A_o = açık çevrim kazancı

⇒ Eşdeğerden yola çıkarak işlemsel yükselteci iki girişi arasındaki fark gerilimi V_{di}, A_o gibi büyük bir kazançla çarparak çıkışa aktaran bir devre olarak tanımlayabiliriz. Yani OP-AMP kısaca bir fark yükseltecidir. Karakteristik değerlerine baktığımızda giriş direnci sonsuz, çıkış direnci ise sıfır (0) olması nedeniyle ideal bir gerilim kaynağı olarak da düşünülebilir. $R_o = 0$ olması nedeniyle OP-AMP çıkış gerilimi V_o R_L yük direncinden bağımsız olur. Bu durum ideal bir gerilim kaynağını ifade eder. OP-AMP'ların giriş direncinin sonsuz olması girişi kullanacak olan kaynak yada devrelerin yük oluşturmayacağını gösterir.

	Rd (R_i)	A_o	R_o
tipik	>10MΩ	>10^5	<10Ω
ideal	∞	∞	0

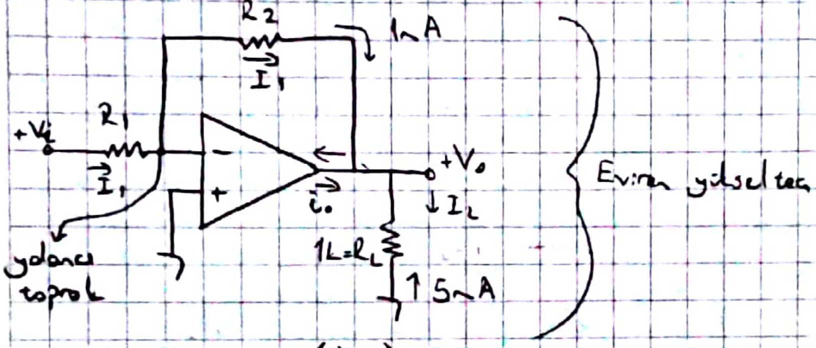
OP-AMP uygulamaları iki grupla toplanabilir

⇛ Doğrusal (Lineer, aktif) uygulamalar; eviren ve evirmeyen yükselteç, toplayıcı, tampon, fark alıcı, türev ve integral alıcı, üstel ve logaritmik yükselteç, osilatör.

⇛ Doğrusal olmayan (non-lineer) uygulamalar; karşılaştırıcı, schmitt tetikleyici, kare ve üçgen dalga üretici.

⇛ OP-AMP çıkışı herhangi bir "t" anında $|V_o| = |V_{cc}|$ anında OP-AMP doyumda olur ve lineer bölgenin dışına çıkar, özetle non-lineer çalışıyor denektir.

$5V \leq V_{cc} \leq 15V$



Faz döndüğü anlamına geliyor

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Gerilim kazancını (A_v) bulunuz.

- $V_i = 1V$, $R_2 = 5k\Omega$, $R_1 = 1k\Omega$ $V_o, i_o = ?$

$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{1} = -5$ $\qquad \frac{V_o}{V_i} = -5 \Rightarrow \frac{V_o}{1} = -5$, $V_o = -5V$

$i_o = -I_1 = -\frac{V_i}{R_1} = -\frac{1}{1k} = -1mA$

- $R_L = 1k$ için $V_o, i_o = ?$

$V_o = -5V$ $\qquad I_L = \frac{V_o}{R_L} = -\frac{5V}{1k} = -5mA$ $\qquad i_o = -6mA$

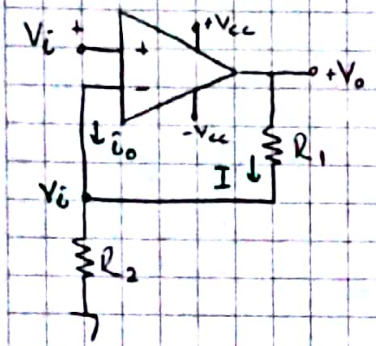
- $V_i = -1V$ olursa $\qquad A_v = \frac{V_o}{V_i} = -5 \Rightarrow V_o = 5V$ $\qquad I_L = \frac{V_o}{R_L} = 5mA$

$I_1 = -1mA$ $\qquad I_o = 6mA$

* i_o her iki yöndede akabilir. 200mA'e kadar çalışabilir. $\boxed{A_v = -\frac{R_2}{R_1}}$

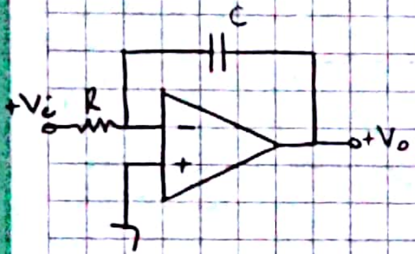
⇒ Bir sistemin yada devrenin çıkışıyla girişi arasında herhangi bir bağlantı (bu bağlantıya geri besleme adı verilir) yoksa sistem açık çevrimde, varsa sistem kapalı çevrim durumundadır.

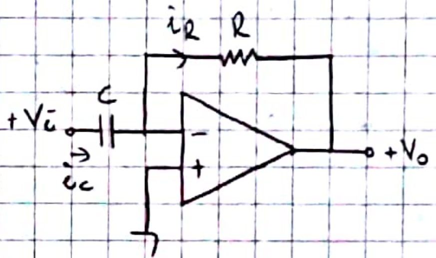
Bu devrede R_2 direnci geri besleme sağlanmakta dolayısıyla sistem kapalı çevrimdedir o nedenle açık çevrim kazancı devrenin kazancında etkili değildir. Yani kazancı biz belirliyoruz



$I = \frac{V_i}{R_2} = \frac{V_o}{R_1+R_2}$ $A_v = \frac{R_1+R_2}{R_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$

⇒ V_i, V_o aynı fazdadır. Bu devrenin kazancı 1'den küçük olamaz. Kazanç 1'den başlar.





$V_L = L.\frac{di}{dt}$

$i_c = C.\frac{dV}{dt}$

integral alıcı devre

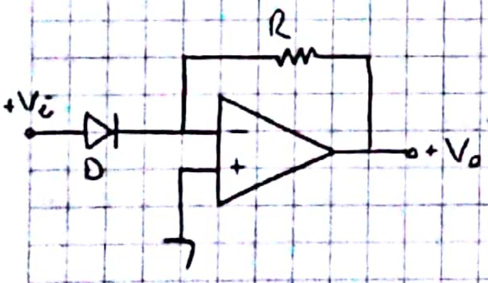
Türev alıcı devre

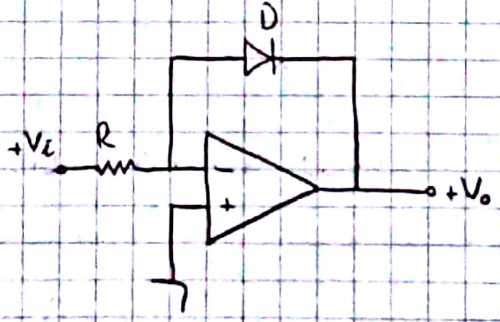
$i_c = i_R$

$i_c = C.\frac{dV_o}{dt}$ $i_c = I_R$

$i_R = -\frac{V_o}{R}$ $V_o = -RC\frac{dV_i}{dt}$

$i_R = \frac{V_i}{R}$ $V_o = -\frac{1}{RC}\int V_i.dt$





Birisi e üzeri alacak diğer devre ln'li ifade yapacak logaritma alacak

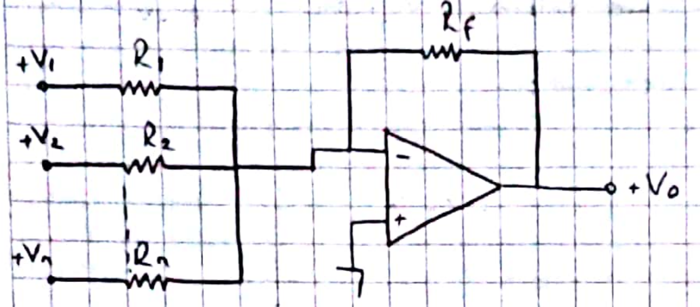
üstel ve logaritmik alıcı

Bu işlemler sırasında -1 ihmal edilebilir

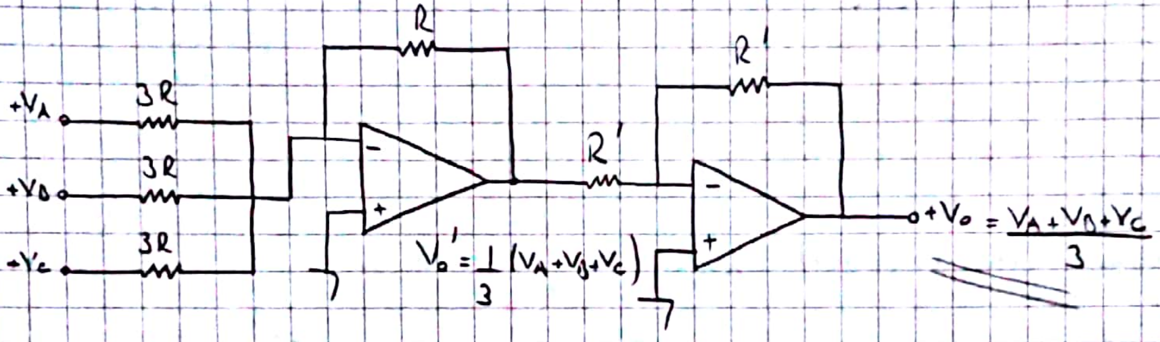
Ör: Üç gerilimin ortalamasını hesaplayan işlemsel yükselteçli devreyi tasarlayınız.

ortalama $V_o = \frac{V_A + V_B + V_C}{3}$

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot V_2 + \cdots + \frac{R_f}{R_n} V_n\right)$$



Toplama devresi

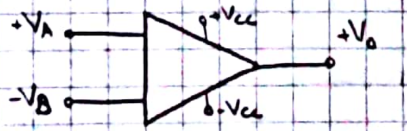


$$V_o' = \frac{1}{3}(V_A + V_B + V_C)$$

$$+V_o = \frac{V_A + V_B + V_C}{3}$$

Karşılaştırıcı (Comparator)

V_A ve V_B gibi iki gerilimin büyük yada küçük olduğu karşılaştırıp çıkışta büyük bir karar verir. OP-AMP bu uygulamada açık çevrim durumunda çalışmakta ve doğrusal bölgenin dışına çıkmaktadır.

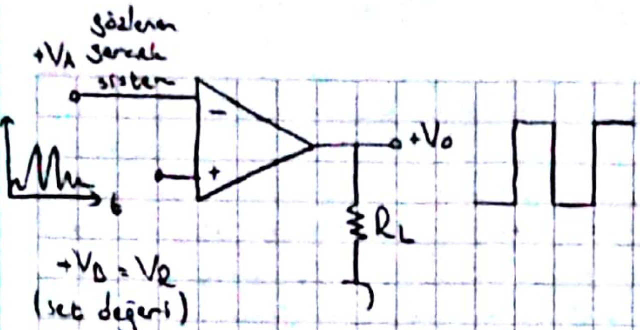


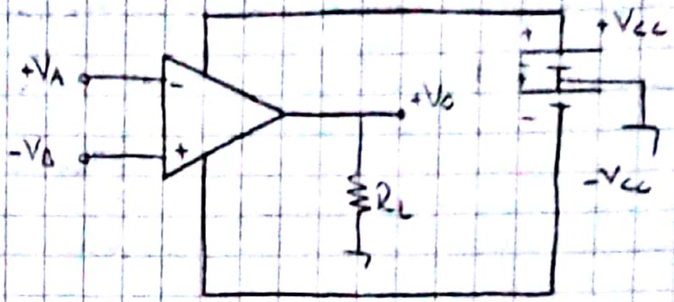
$V_A > V_B \Rightarrow V_o = -V_{cc}$ (logic 0)

$V_A < V_B \Rightarrow V_o = V_{cc}$ (logic 1)

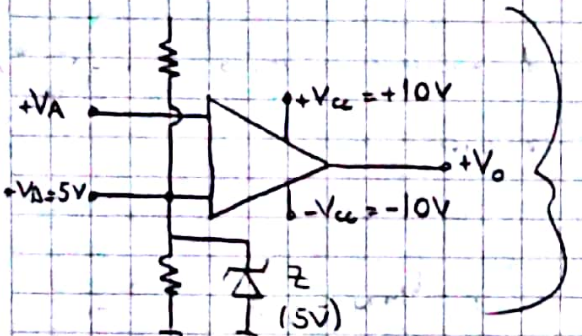
Bu uygulama endüstriyel sistemlerde fiziksel bir değişimin gözlenmesi ve bu değişimdeki belirlenen bir noktanın (set) aşılıp aşılmadığının bilinmesi ve buna göre de sistemin kontrol edilmesine olanak sağlayan bir devre yapısıdır.

Bu devreyi gerçeklemek için girişlerden biri belirlenmiş olan set değerine getirilir. Diğer giriş ise gözlenlenen fiziksel değişimin çıkışına bağlanır.



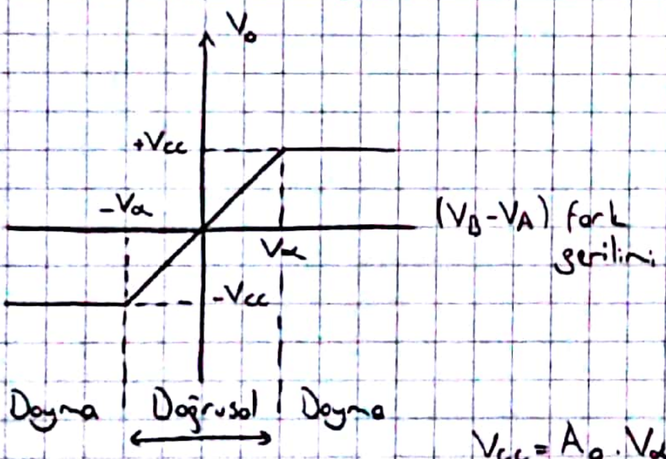


Ör:



Referans gerilimi V_R'nin Vcc kaynağından sağlanması.

İşlemsel Yükseltecin Geçiş (Transfer) Özeğrisi



Açık çevrim altında

$V_o = A_o . V_d$

V_d = fark gerilimi

V_α : Büyük yada küçük kararının lojik olarak verilebileceği en küçük fark gerilimi.

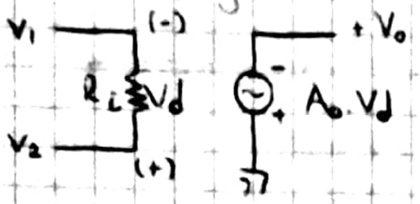
$V_{cc} = A_o . V_\alpha$ $\quad V_\alpha = \frac{V_{cc}}{A_o}$ → kazanç

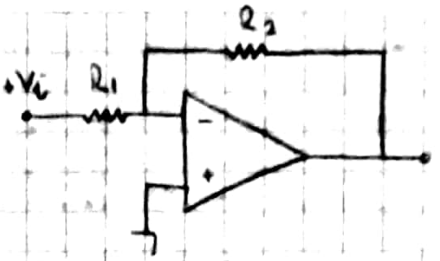
Örneğin $A_o = 10^5$

$V_{cc} = 10\,V$ seçilirse $\quad V_\alpha = \frac{10}{10^5} = 10^{-4} V = 0,1 mV = 100 \mu V$

⇒ A_o ve V_{cc} uygun seçilerek fark eşiği olan V_α değeri daha da küçültülebilir.

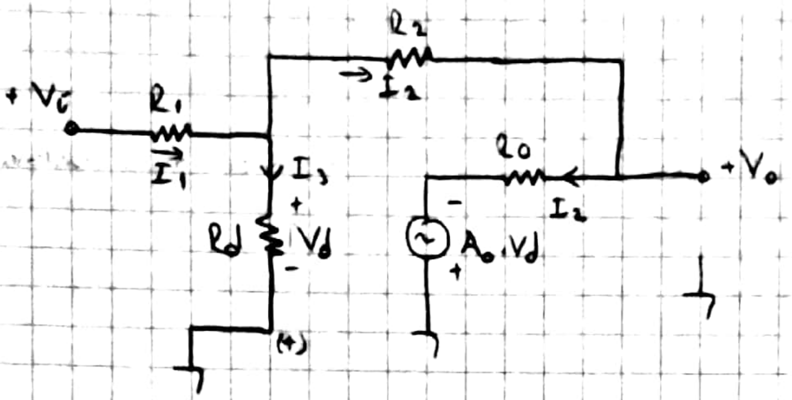
OP-AMP Eşdeğeri





Eviren yükselteç

Op-amp eşdeğerini kullanarak eviren yükseltecin gerilim kazancı ifadesini doğrulayınız.



Op-amp parametreleri

$R_d = 10 M\Omega$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_2}{R_1}$ olu

$R_o = 10 \Omega$

$A_o = 10^5$

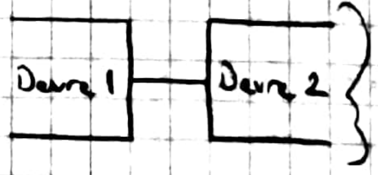
R_d, A_o çok büyük, R_o çok küçük

Tampon (Buffer) Gerilim İzleyici

Tampon devresi iki farklı devrenin birbirine bağlanması gerektiğinde devrelerin birbirini etkilemesini ortadan kaldırmak için ortaya yerleştirilmiştir.

$R_i = R_d = \infty$

$V_o = V_i$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1$



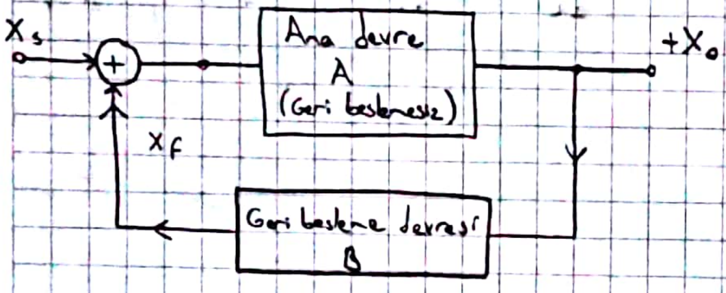
Direk bağlantı etkileşim var.

Etkileşim yok

⇒ Tampon R_i ve R_o'ı dikkate alınırsa, $R_i \cong \infty$ olması nedeniyle birinci devreden gerilimi büyük direnç nedeniyle güç harcatmaksızın teslim alıp çıkışa kayıpsız bir şekilde $(R_o=0)$ aktarmaktadır ve gerilim oranında değiştirmemektedir.

Geri besleme (Feedback)

Geri besleme çeşitli mühendislik dallarında sistem yada devrelere uygulanan bir tekniktir. Çeşitli avantajları nedeniyle kullanılır. Çıkıştan girişe doğru bir bilgi akışı sağlanarak yapılır. Bilgi gerilim yada akımdır. Analizleri zordur.



Geri beslemeli sistem

X: akım yada gerilim

$A = \dfrac{X_o}{X_i}$ } Geribeslemesiz ana devre kazancı

X_f = Geri besleme sinyali

$\beta = \dfrac{X_f}{X_o}$ } Geri besleme katsayısı

⇒ X_f sinyali (−) ise; çıkıştan alınan örnek girişi azaltıcı yönde etkiliyor demektir ve negatif geribesleme olarak bilinir. Eğer (+) ise çıkıştan alınan örnek girişe arttırıcı etki yapıyor anlamına gelir ve pozitif geri besleme olarak isimlendirilir. Pozitif geribesleme özel bir durumdur, riskler içerir, daha çok negatif geri besleme kullanılır.

Negatif Geribesleme (ngb)

A_f: geri beslemeli sistemin kazancı.

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A.X_i}{X_i+X_f} = \frac{A.X_i}{X_i+\beta.X_o} = \frac{A\cancel{X_i}}{\cancel{X_i}(1+\beta A)} = \frac{A}{1+\beta A} \qquad X_i = X_s - X_f$$

* negatif geribesleme kazancı düşürür

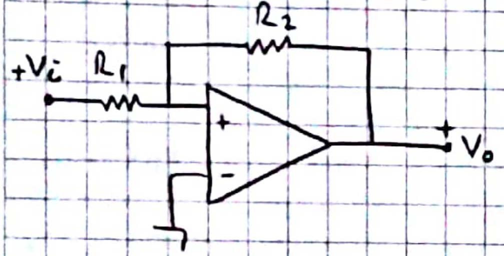
* bant genişliğini arttırır

* giriş ve çıkış dirençlerini değiştirerek arzu edilen değerlere taşınmasına olanak sağlar ve böylece kullanışlılığı arttırır.

* Sistemin kararlı çalışmasına yardımcı olur.

Çıkıştan alınan örnek gerilim yada akım olabilir ve bu örnek girişe seri yada paralel aktarılabilir. Dolayısıyla 4 tip ngb devresi ortaya çıkar. Bunlar gerilim-seri, Akım-seri, gerilim-paralel, akım paralel olarak bilinirler. Bu dört tip devrelerin hem yapıları hemde analizleri farklıdır. Analiz yapabilmek için geri beslemenin türünün belirlenmiş olması gerekir. Geribesleme devreleri ana devre A, geri besleme devresi β olmak üzere iki bloktan oluşur. Öncelikle bu iki bloğun devrede elemanlarıyla birlikte tespit edilmesi gerekir.

- Devreden gerilim örneği almak için devreye paralel bağlanırız. Akım örneği almak içinse devreye seri bağlanırız.



Bu devre gerilim-paralel negatif geribesleme içerir.

isaret Yada oran	Gerilim-seri	Akım-seri	Akım-paralel	Gerilim-paralel
X_o	V_o (gerilim)	I_o (akım)	I_o (akım)	V_o (Gerilim)
X_s, X_f X_i	Gerilim	Gerilim	Akım	Akım
A	$A = \frac{V_o}{V_i}$	$G_m = \frac{I_o}{V_i}$	$A_I = \frac{I_o}{I_i}$	$R_m = \frac{V_o}{V_i}$
β	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$
R_{if}	↗	↗	↘	↘
R_{of}	↘	↗	↗	↘

} β'nın girişi çıkış tarafındadır.

R_{if}, R_{of} negatif geri besleme uygulanmış devrenin geri beslemeli durumdaki giriş ve çıkış dirençleri. R_{if} ve R_{of}'nin artış ve azalma miktarları $(1+\beta A)$ kat kadar artar yada azalır. β ve A ayarlanabileceğine göre istediğimiz miktarda artış ve azalma sağlayabiliriz.

Geri beslemeli yükselteç analizi

Topoloji / Karakteristikleri	Gerilim-Seri	Akım-Seri	Akım-Paralel	Gerilim-Paralel
Geri besleme işareti X_f	Gerilim	Gerilim	Akım	Akım
Örneklenmiş işaret X_o	Gerilim	Akım	Akım	Gerilim
Giriş devresini bulmak için	$V_o = 0$	$I_o = 0$	$I_o = 0$	$V_o = 0$
Çıkış devresini bulmak için	$I_i = 0$	$I_i = 0$	$V_i = 0$	$V_i = 0$
işaret kaynağı	thevenin	thevenin	norton	norton
$\beta = \frac{X_f}{X_o}$	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$
$A = \frac{X_o}{X_i}$	$A_v = \frac{V_o}{V_i}$	$G_m = \frac{I_o}{V_i}$	$A_I = \frac{I_o}{I_i}$	$R_m = \frac{V_o}{I_i}$
$D = 1+\beta A$	$1+\beta A_v$	$1+\beta G_m$	$1+\beta A_I$	$1+\beta R_m$
A_f	$\frac{A_v}{1+\beta A_v}$	$\frac{G_m}{1+\beta G_m}$	$\frac{A_I}{1+\beta A_I}$	$\frac{R_m}{1+\beta R_m}$
R_{if}	$R_i . D$	$R_i . D$	$\frac{R_i}{D}$	$\frac{R_i}{D}$
R_{of}	R_o / D	$R_o . D$	$R_o . D$	R_o / D

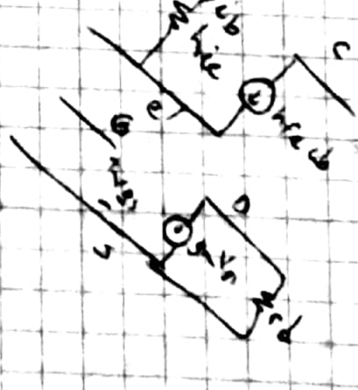
Burdaki G_m ve R_m kazançları direnç yada iletkenlik boyutundadır. Fiziksel bir mana taşımasada istenilen anlamlı kazançlara kolayca dönüştürülebilirler yani bir ara işlem (adım) gibi düşünülebilir.

25.10.2013

Tabloda,

A, Ana devre kazancı türe göre değişmekte

A, A_v, A_I, R_m, G_m biçiminde karşınıza çıkıyor



$$A_f = \frac{A}{1+\beta A}$$

A_f: geri beslemeli devrenin kazancı

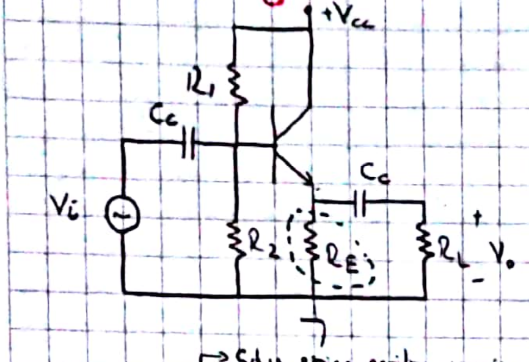
A: geri besleme durumundaki kazanç

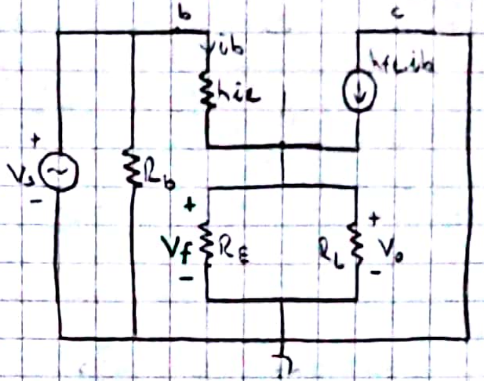
Sonuç olarak;

negatif geri beslemeli (ngb) devreyi analiz edebilmek için

- Türünün doğru belirlenmiş olması
- A'yı hesaplayabilmek için devreyi geribeslemesiz hale getirmek gerektir.

Gerilim-Seri ngb





⇒ Çıkıştan gerilim örneği alıyor ve girişe seri aktarıyor.

⇒ Çıkış (V_o) herhangi bir nedenle artarsa V_s ve hie sabit olduğundan ib azalmak zorundadır. Bu hfe.ib akımı azaltır ve V_o azalır.

↳ Çıkış girişe gerilim vermiş.

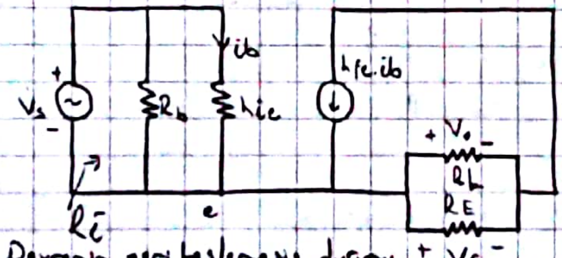
$V_s = h_{ie}.i_b + V_o$ Girişe seri aktarma lazım

Giriş gerilimi ifadesinde çıkış gerilimine ait bir terim vardır. (Çıkış girişe müdahale etmiş)

$A = A_v = \frac{V_o}{V_s}$ $\beta = \frac{V_f}{V_o} = 1$

⇒ Çıkıştan alınan örneği anlayabilmenin pratik bir yolu; gerilim olduğunu düşünüyorsak $V_o = 0$ yapıldığında girişe herhangi bir aktarma yapmaması gerekir.

⇒ Geri beslemeyi sağlayan emetör direnci R_E dir. Devreyi geribeslemesiz hale getirmek R_E elemanını yok etmek değildir.



Devrenin geri beslemesiz durumu.

$A = A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{h_{fe}.i_b (R_E // R_L)}{h_{ie}.i_b} = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)$

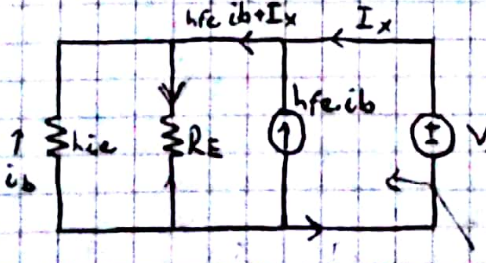
Gerçek gerilim kazancı değil

$D = 1 + \beta A_v = 1 + \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)$

$A_{vf} = \frac{A_v}{D} = \frac{\frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)}{1 + \frac{h_{fe}}{h_{ie}} (R_E // R_L)}$ Geri beslemeli gerilim kazancı

$R_i = R_b // h_{ie}$ $R_{if} = R_i . D$

R_o'ı bulmak (R_L açık devre, V_s kısa devre)



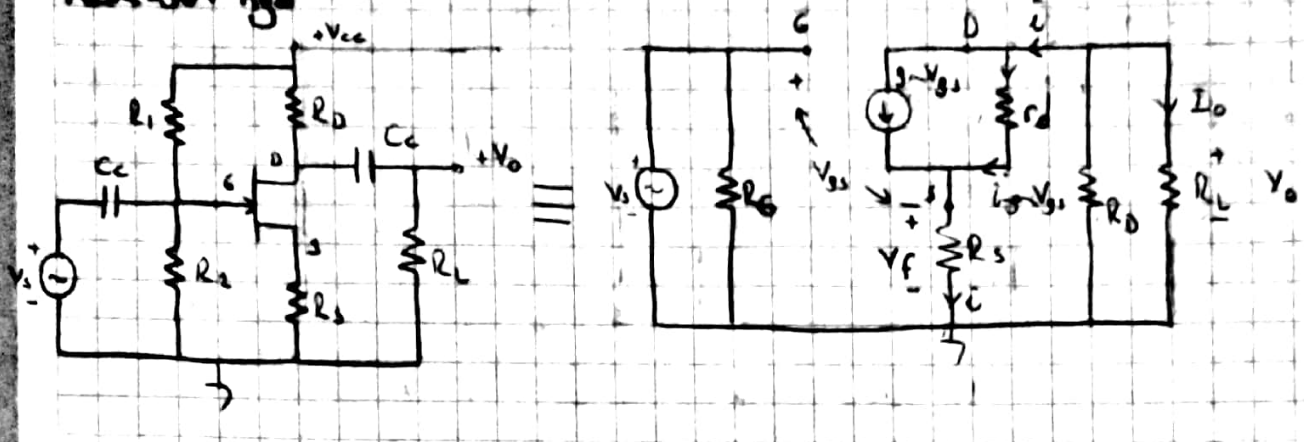
$V_x = (i_b + i_b.h_{fe} + I_x) R_E$ $i_b = -\frac{V_x}{h_{fe}}$

$I_x = \frac{V_x}{R_E} . (1+h_{fe}) i_b$

R_o bulunur $R_{of} = \frac{R_o}{D}$

⇒ Bize gerekli olan değerler f indisli değerlerdir.

Akım-seri ggb



$V_s = V_{gs} + i.R_s$ ⇒ çıkıştan alınan büyüklük V_o ile alakalı değil. çıkış akımıyla alakalı.

$A = G_m = \frac{I_o}{V}$ $\quad \beta = \frac{V_f}{I_o}$ $\quad V_f = i.R_s$ $\quad \beta = \frac{i.R_s}{I_o}$

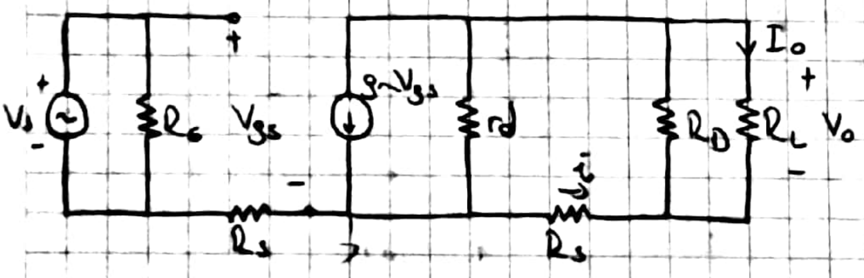
$I_o . R_L = -(i + I_o).R_D$ $\quad I_o.R_L = -i.R_D - I_o.R_D$

$i.rd - g_m V_{gs}.rd + iR_s = -i(R_D // R_L)$

$I_o.R_L + I_o.R_D = -i.R_D$ $\quad I_o = \frac{-i.R_D}{R_D + R_L}$

$g_m V_{gs} = i.(R_D // R_L) + i.rd + i.R_s$

$i = g_m V_{gs} . \frac{rd}{rd + R_s + (R_D // R_L)}$



$i = g_m V_{gs} \frac{rd}{rd + R_s + (R_D // R_L)}$

$I_o = -i . \frac{R_D}{R_D + R_L}$ $\quad G_m = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad V_s = V_{gs}$

Geri beslemesiz hali. $\quad R_i = R_G$ $\quad R_o = R_D // (rd + R_s)$

$G_{mf} = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad A_{vf} = G_{mf} . R_L = \frac{V_o}{V_s}$

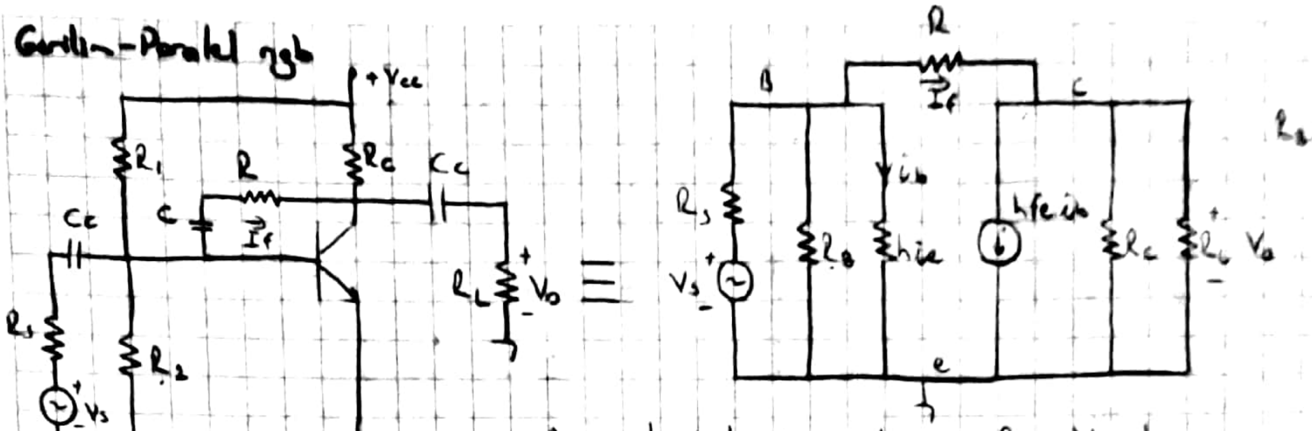
$G_{mf} = \frac{I_o}{V_s}$ $\quad A_{If} = \frac{I_o}{I_s}$ $\quad A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{\frac{V_o}{R_L}}{\frac{V_s}{R_L}}$

$A_I = \frac{I_o}{I_s} = G_{mf} . R_i = \frac{I_o}{V_s / R_i}$

Topoloji: / Karakteristik	Gerilim-seri	Akım-seri	Akım-Paralel	Gerilim-Paralel
Geri besleme işaret X_f	Gerilim	Gerilim	Akım	Akım
Örneklenmiş işaret, X_o	Gerilim	Akım	Akım	Gerilim
Giriş devresini bulmak için	$V_o=0$	$I_o=0$	$I_o=0$	$V_o=0$
Çıkış devresini bulmak için	$I_i=0$	$I_i=0$	$V_i=0$	$V_i=0$
işaret kaynağı	thevenin	thevenin	norton	norton
$\beta=\frac{X_f}{X_o}$	$\frac{V_f}{V_o}$	$\frac{V_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{I_o}$	$\frac{I_f}{V_o}$
$A=\frac{X_o}{X_s}$	$A_V=\frac{V_o}{V_i}$	$G_m=\frac{I_o}{V_i}$	$A_I=\frac{I_o}{I_i}$	$R_m=\frac{V_o}{I_s}$
$D=1+\beta A$	$1+\beta A_V$	$1+\beta G_m$	$1+\beta A_I$	$1+\beta R_m$
A_f	$\frac{A_V}{1+\beta A_V}$	$\frac{G_m}{1+\beta G_m}$	$\frac{A_I}{1+\beta A_I}$	$\frac{R_m}{1+\beta R_m}$
R_{if}	$R_i . D$	$R_i . D$	$\frac{R_i}{D}$	$\frac{R_i}{D}$
R_{of}	R_o/D	$R_o . D$	$R_o . D$	R_o/D

01.11.2017

Gerilim-Paralel ngb

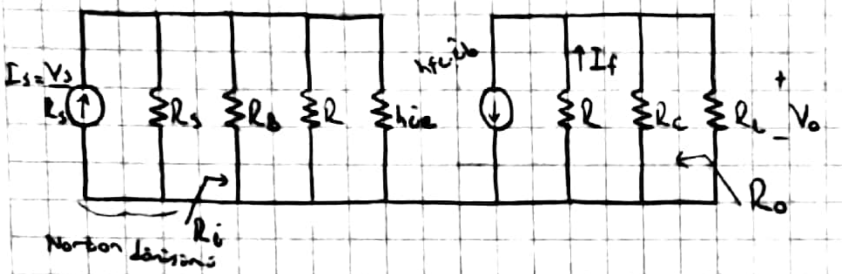


$R_B = R_1 // R_2$

Bu türde bulacağımız kazanç $R_m = \frac{V_o}{I_s}$ dir.

$\beta = \frac{I_f}{V_o}$ $\qquad R_{mf} = \frac{R_m}{1+\beta R_m}$

* Çıkış devresini bulmak için Vi düğümünün sıfırlanılmasındaki amacı, çıkış gerilimden akıma dönüştürülen ve giriş düğümüne akan akımın devrenin girişine değil toprağa akmasını sağlamak yani geri beslemenin işlevini yok etmek.



$V_o = -I_f . R$

$\underbrace{\beta = -\frac{1}{R}}_{①}$ $\qquad \overbrace{R_m = \frac{V_o}{I_s} = \frac{-h_{fe}.i_b(R//R_c//R_L)}{i_b.(R_{es}+h_{ie})}.R_{es}}^{③}$ $\qquad \overbrace{i_b = I_s.\frac{R_{es}}{R_{es}+h_{ie}}}^{②}$

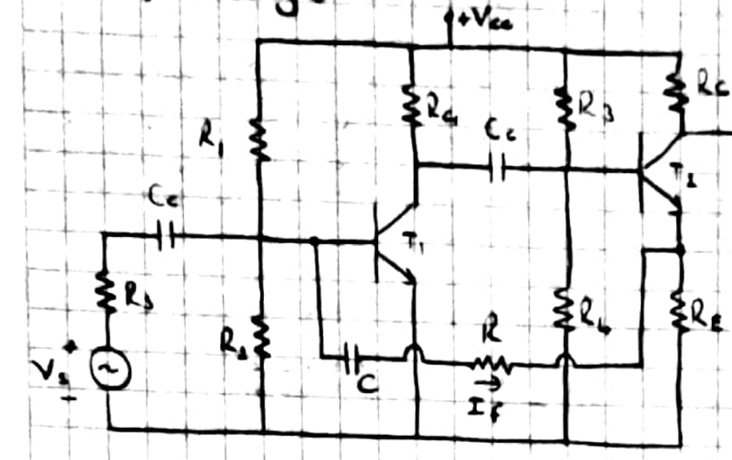
$D = 1+\beta R_m$ $\qquad \left.R_{mf} = \frac{R_m}{D}\right\}$ Gerçek değer $\qquad R_i = R_B // R // h_{ie}$ $\qquad R_o = R_c // R$

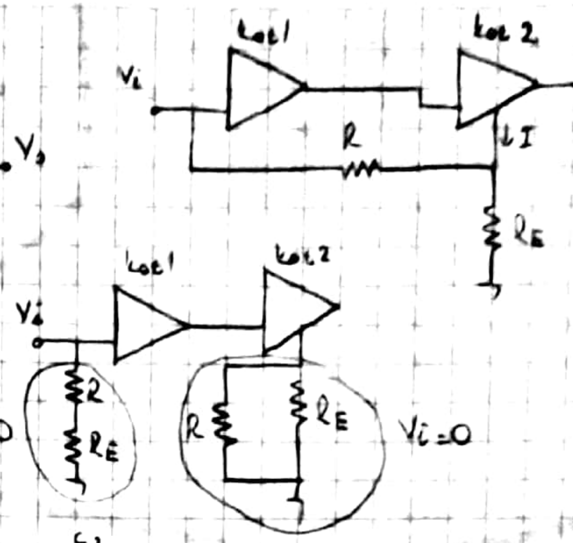
R_{if}, R_{of} ye yazdır

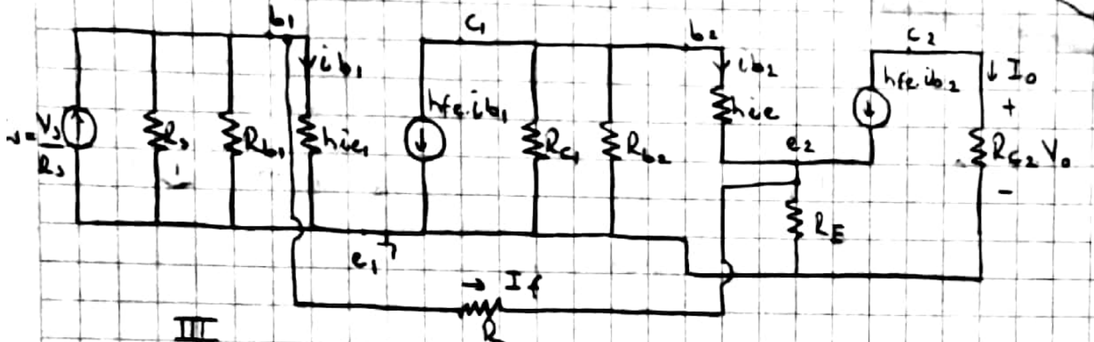
$R_{if} = \frac{R_i}{D}$ $\qquad R_{of} = \frac{R_o}{D}$

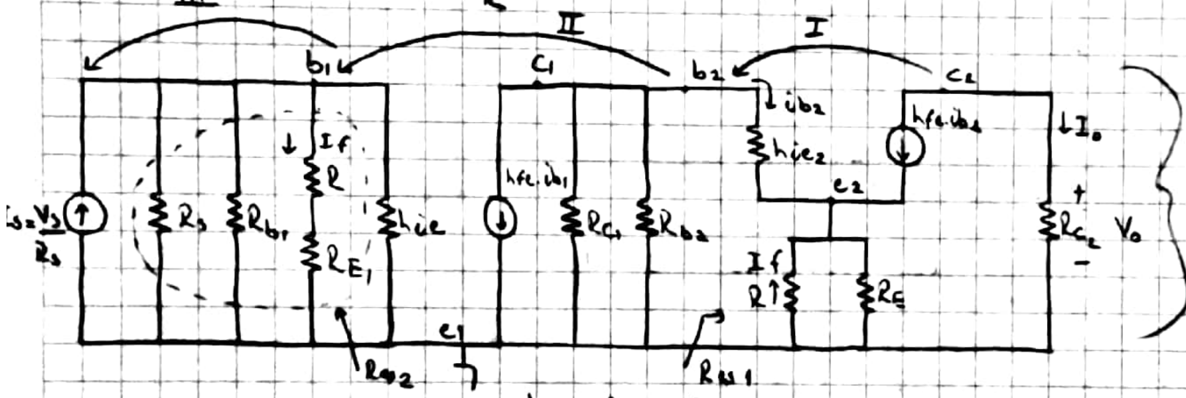
$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{\overset{R_{mf}}{\boxed{V_o/I_s}}}{R_s} = \frac{R_{mf}}{R_s}$ $\qquad A_{If} = \frac{I_o}{I_s} = \frac{\overset{R_{mf}}{\boxed{V_o/I_s}}}{R_L} = \frac{R_{mf}}{R_L}$

Akım-Paralel ngb









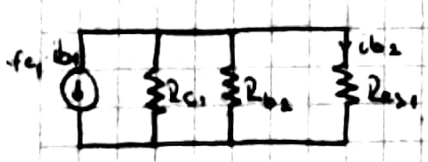
Devrenin geri beslemeli durumu

$$\beta = \frac{R_E}{R+R_E} = \frac{I_f}{I_o} \qquad A_I = \frac{I_o}{I_s} = \overset{1}{\frac{I_o}{i_{b2}}} \cdot \overset{2}{\frac{i_{b2}}{i_{b1}}} \cdot \overset{3}{\frac{i_{b1}}{I_s}} \qquad I_o = -h_{fe2}\, i_{b2} \quad \left.\frac{I_o}{i_{b2}} = -h_{fe2}\right) \mathrm{I}$$

i_{b1} – i_{b2} arasında bir bağıntı gerekli

$$R_{es1} = h_{ie2} + (1+h_{fe2})(R_E // R) = \frac{V_{b2}}{i_{b2}} \ (\Omega)$$

* Bu türde β hesaplanırken geri besleme direnci R'den sadece çıkış akımının (I_o) olan kısmı I_f olarak değerlendirilir. Başka bir ifadeyle i_{b2} akımı β hesabında dikkate alınmaz. Çünkü her zaman geri besleme katsayısı β sadece çıkıştan alınan örneğin çıkış büyüklüğüne oranıdır.



$$i_{b2} = -h_{fe1} \cdot i_{b1} \frac{(R_{C1} // R_{b2})}{(R_{C1} // R_{b2}) + R_{es1}} \qquad \left.\frac{i_{b2}}{i_{b2}} = -h_{fe} \cdot \frac{(R_{C1} // R_{b2})}{(R_{C1} // R_{b2}) + R_{es1}}\right) \mathrm{II}$$

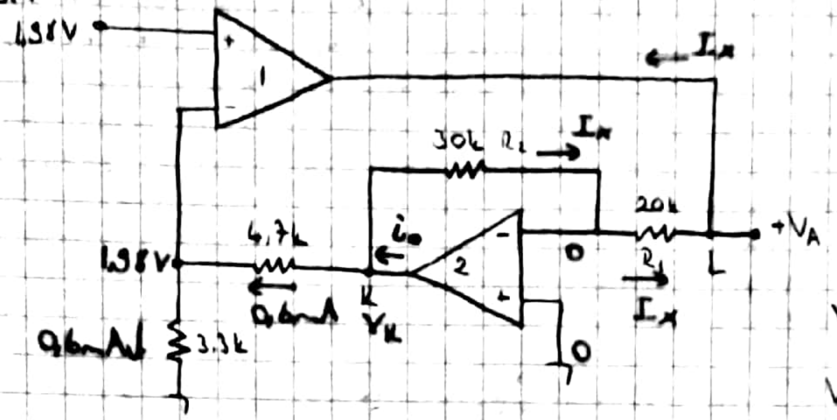
$$\left.\frac{i_{b1}}{I_s} = \frac{R_{es2}}{R_{es2} + h_{ie1}}\right) \mathrm{III} \qquad D = 1 + \beta A_I \qquad \left.A_{If} = \frac{A_I}{D}\right\}$$ Geri beslemeli devrenin gerçek kazancı

$R_i = R_{b1} // (R + R_E // h_{ie}$ $\quad R_{if} = \frac{R_i}{D} \quad R_o = R_{C2}$

* R_{C2} devreye hariçten bağlanan bir yük direnci değildir, bağlanma gereği sadece üzerinden çıkış gerilimi alınmaktadır. Bu nedenle R_o hesaplanırken devrede kalmalı ve hesaba katılmalıdır.

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$ $V_o = V_i \cdot -\frac{3}{2}$

Ör:



V_A gerilimini ve K, L düğümlerindeki akım dağılımlarını bulunuz

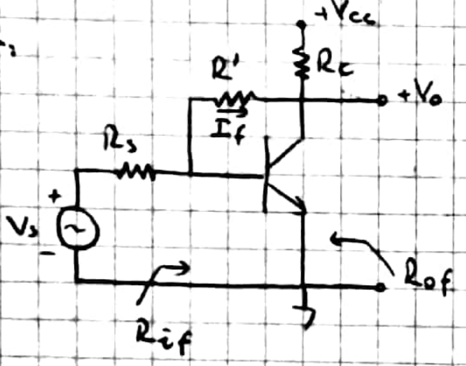
2. op-amp $\frac{30}{20} = 1,5$ kat V_A yı yükselten eviren op amp

$V_K = 0,6.(3,3+4,7) = 4,8\,V$

$V_K = -\frac{30}{20} \cdot V_A$ $V_A = -3,2V$

$I_x = \frac{4,8}{30} = 160\,\mu A$ $i_o = 0,76\,mA$

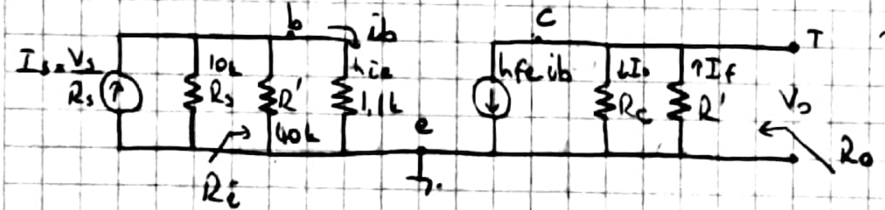
Ör:



Geri beslemeli devrenin DC analizini yapın.

$h_{fe} = 50$ $h_{ie} = 1,1k$ $R' = 40k$ $R_s = 10k$, $R_c = 4k$

(Gerilim paralel ngb)



Devrenin geri beslemesiz hali

$\beta = \frac{I_f}{V_o}$ $V_o = -I_f . R'$ $\beta = -\frac{1}{R'} = -\frac{1}{40k} = -0,025\,mA/V$

$R_m = \frac{V_o}{I_s}$ $V_o = -h_{fe}.i_b(R_c // R')$ $i_b = I_s . \frac{(R_s // R')}{(R_s // R') + h_{ie}}$ $(R_c // R') = 4 // 40 = 3,64k$

$(R_s // R') = 10 // 40 = 8k$

$D = 1 + \beta R_m = 1 + [(-0,025\,\frac{mA}{V})(-160\,\frac{V}{mA})] = 5$, $R_{mf} = \frac{R_m}{D} = -\frac{160}{5} = -32k$

$R_i = R' // h_{ie}$ $40 // 1,1 = 1,07$

$R_o = R' // R_c = 3,64k$ $R_{if} = \frac{R_i}{D} =$ $R_{of} = \frac{R_o}{D}$

* R_o hesaplanırken R_L direnci açık devre yapılır. Bu devrede V_o uçlarında R_L kullanılmadığından çıkış gerilimi R_c üzerinden alınmaktadır. R_c direnci devrenin asıl elemanlarından biridir ve açık devre edilemez, yani devrede kalır.

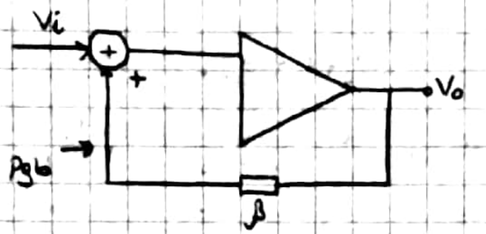
$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_o R_s} = \frac{R_{mf}}{R_s} = \frac{-32k}{10k} = -3,2$ ⇒ Bu devre (gerilim-paralel ngb) opampli eviren yükseltece benzemektedir ve gerilim kazancı $-\frac{R'}{R_s}$ yakın bir değer alır.

$A_{If} = \frac{I_o}{I_s}$ $I_o = \frac{V_o}{R_c}$ $A_{If} = \frac{R_{mf}}{R_c}$

$V_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot V_1$ eviren $V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1$ evirmeyen

toplam $V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$ $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$

Pozitif Geribesleme ve Osilatörler



⇒ Geri beslemeli sistemlerde çıkıştan alınan örnek girişi destekleyici, arttırıcı yönde uygulanıyorsa pozitif geri besleme adını alır.

Bu durumda geri beslemeli devrenin gerilim kazancı

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1 \underset{\longrightarrow}{-} \beta A_v}$$

bu işaret ngb'de + dır.

β.Av pozitif geribeslemelerde 1 olursa Vo/Vi oranı sonsuz olur. Bu bir risktir. Yükseltec tasarımında β.Av'nin 1 olma riskinden uzak durmak gerekir yani asla buna izin verilmemesi gerekir. Bu β.Av'ye açık çevrim kazancı ($L = \beta . A_v$) denir.

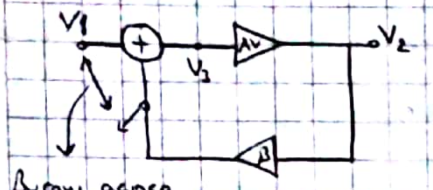
Eğer açık çevrim kazancı yükselteçte 1'e eşitlenirse yükselteç işlevini kaybeder. Sonsuz kazanç nedeniyle çıkış kontrol yok olur ve çıkışta istenmeyen sinyaller ortaya çıkar. Bu bir yükselteç için kabul edilemez bir durumdur. Bu durumda yükselteç kararsız hale gelir. O halde yükselteçlerde her sistemde olduğu gibi kararlılık sorunu vardır ve kararlılık testini yapmak gerekir. Örneğin Hurwitz denemesiyle sadece sistemin kararlılık testinden evet yada hayır cevabı alınır. Daha detaylı analiz için Nyquist diyagramından yararlanılır.

Osilatör: Sinüsoidal formda işaret üreten devrelere osilatör denir. Osilatörler girişi olmayan devrelerdir. Osilatörlerin temelinde pozitif geribeslemeli bir yükselteç vardır.

Kararsızlık Analizi:

Geri beslemeli bir yükseltecin kararsızlık analizi Ruth ve Hurtz kriterlerinin yanısıra Nyquist kriteri ile de yapılır.

Nyquist Kriteri: Geribeslemeli bir yükseltecin kararlılığını test etmek için bu analize başvurulur.



Burayı açınca buradaki V kazancı açık çevrim kazancıdır.

$V_3 = V_1 + \beta V_2$

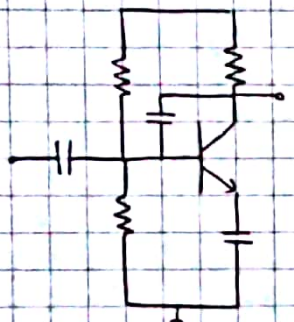
$V_2 = A_v . V_3 = A_v(V_1 + \beta V_2)$

A_v = Geribeslemesiz yükseltecin kazancı

$K_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{A_v}{1-\beta A_v}$ $L = A_v . \beta \Rightarrow$ Açık çevrim kazancı

$K_v(s) = \frac{A(s)}{1-L(s)}$ $K_v(s) = \frac{A(s)}{F(s)}$

* A(s) geribeslemesiz bir devredir. G.B. içermeyen devreler kararlıdır. Ancak yüksek f'lerde elemanlar arası kapasiteler GB yapabilir. Burada dikkat etmek gerekir.



Nyquist çiziminde her w değeri için L(jw)'nın genlik ve açısı belirlenebilir. Bu değerler sanal ve reel eksen üzerine yerleştirilip noktalar birleştirilir ve bir eğri elde edilir. Bunun üzerinden yorum yapılır.

Örnek: $L(jw) = \frac{-5}{[1+j(w/w_2)]^3}$ bir gb'li yükseltecin açık çevrim kazancıdır. Nyquist diyagramını oluşturalım.

w/w_2	$L(jw)$
0	$5\angle 180^\circ$
0,577	$3,25\angle 150^\circ$
1,732	$0,625\angle 0^\circ$
∞	0

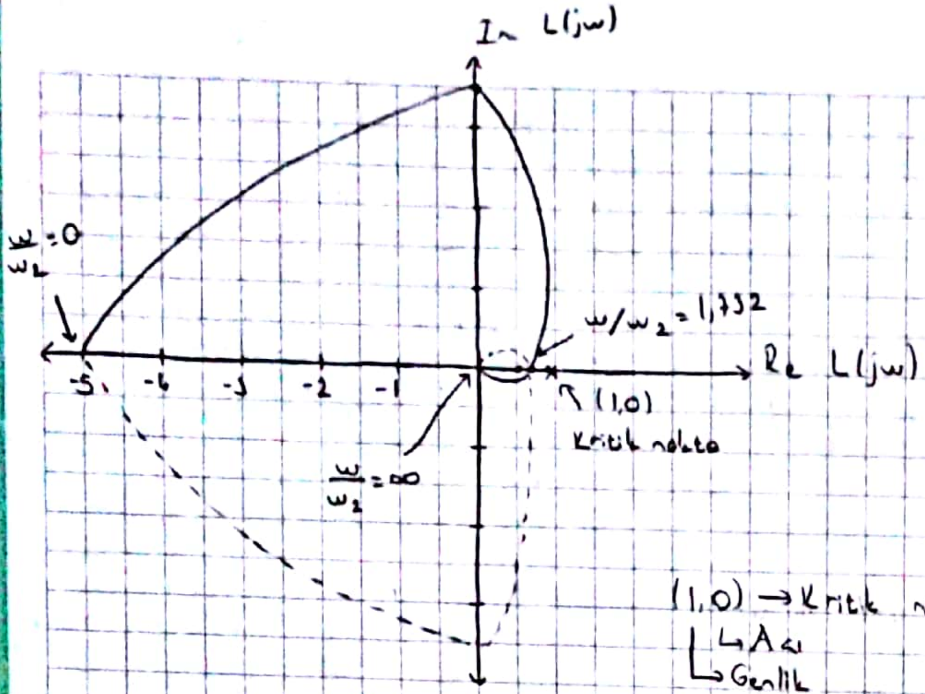
Barkhowsen kriteri (1,0)

$$\frac{5}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{w}{w_2}\right)^2}\right)^3} = 1 \qquad \frac{w}{w_2} = 1,38$$

$$L(jw) = \frac{5\angle 180^\circ}{(1,704\angle 54^\circ)^3} = 1\angle 18^\circ$$

faz marjini = 18°

kazanç marjini = 4,08 dB



⇒ L(jw)'nın kutupsal şekli ve eşleniğinin oluşturduğu kapalı olan (0,1) kritik noktasını çevrelemiyorsa sistem KARARLIdır.

⇒ Örnekteki sistem kararlı bir yapıya sahiptir.

(1,0) → Kritik noktasının anlamı (hem kazanç var hem de faz)
└ ↳ Açı
└ ↳ Genlik

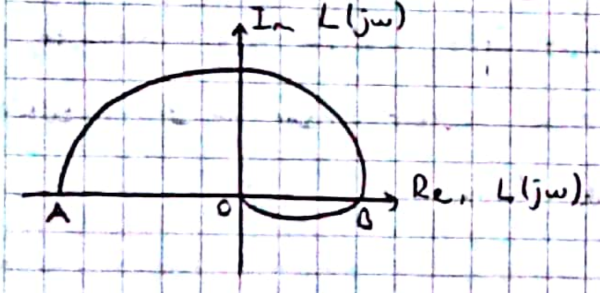
$$180-3\arctan\left(\frac{w}{w_2}\right)=180 \Rightarrow \tan 0=\frac{w}{w_2}=0$$

$$180-3\arctan\left(\frac{w}{w_2}\right)=30 \Rightarrow \tan 30=\frac{w}{w_2}=0,577$$

$$\tan 60=\frac{w}{w_2}=1,73$$ çizilen Nyquist eğrisi

⇒ Yükselteçlerde 3 tip Nyquist diyagram ortaya çıkar;

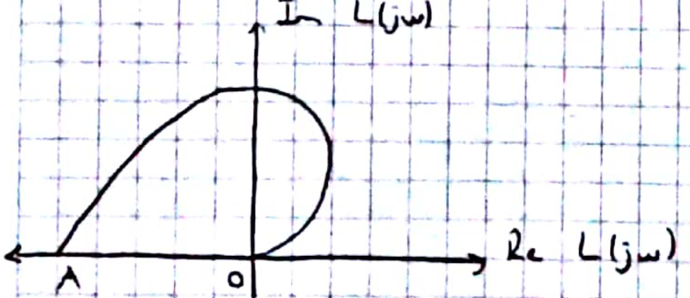
1) Olası (geribeslemeli) Nyquist Diyagramı:



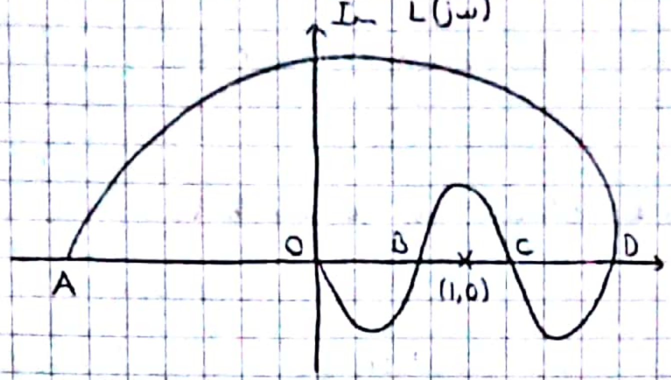
- ✱ $\overline{OA}$: orta band kazancı
- ✱ $\overline{OB}<1$ ise yükselteç kararlı
- ✱ $\overline{OB}>1$ ise yükselteç kararsız

2) (Geribeslemesiz) Mutlak kararlı sistem; burada reel ekseni kesmiyor, kesin kararlı.

- ✱ Geri besleme içermiyor.



3) Koşullu kararlı sistem



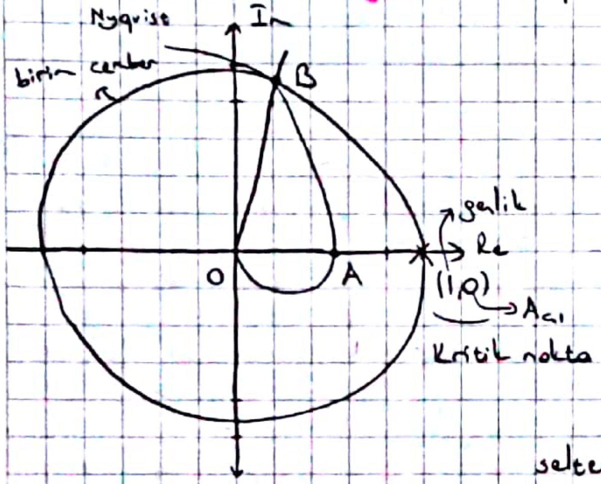
★ $\overline{OD}<1$ veya

$\overline{OB}<1$ ve $\overline{OC}>1$ ise kararlı

değilse kararsız.

Genlik -1 } olacak
Açı -0 }

Kazanç ve Faz Marjinleri (Nyquist diyagramı üzerinden bulunur)



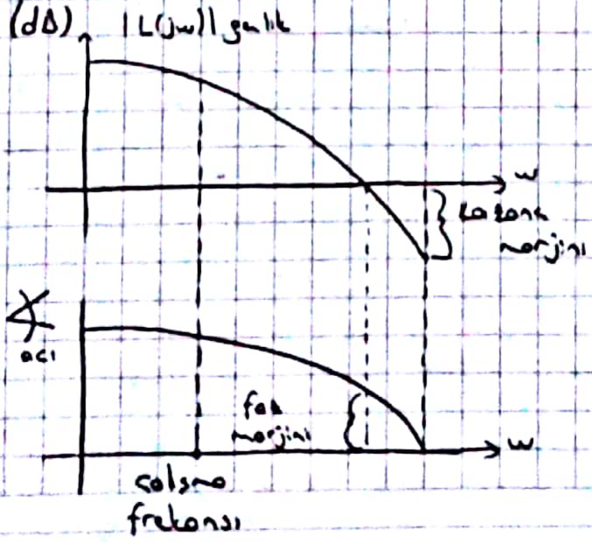
GM (Gain marjin)
Kazanç marjini $|_{dB}$ $= -20 \log \overline{OA}$

faz marjini ⇒ ∡ BOA açısı

⇒ Faz ve kazanç marjini ne kadar büyükse yükselteçin osilasyona girme riski o kadar az olur. Kazanç ve faz marjinlerinin bilinmesinin önemi;

Nyquist diyagramı kritik noktaya çok yakın geçebilir. Eğer besleme gerilimi artarsa ya da devredeki aktif eleman parametreleri değişirse kazanç artabilir. Artan bu kazanç kritik noktanın çevrelenmesine ve osilasyonun başlamasına neden olabilir.

→ Kazanç ve faz marjinini w eksenine göre çizersek;



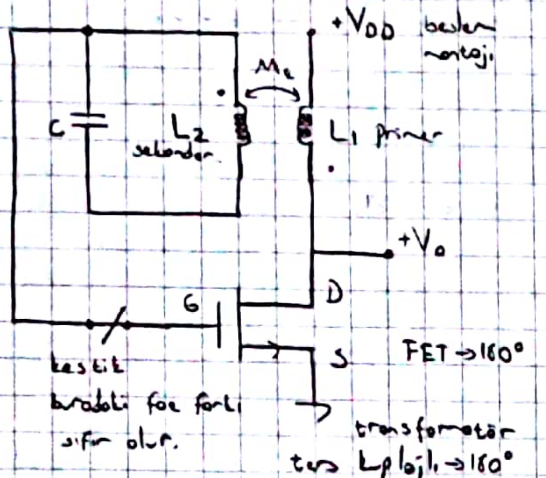
Sinüsoidal Osilatörler (eğer önüne bir şey konmamışsa sinüsoidal bir işaret üretiyordu).

Bu osilatörler Barkhausen Kriteri ile açıklanırlar. (Genlik = 1 Aω = 0°)

Barkhausen Kriteri: $L(j\omega) = M$

M gerçel ve $M \geq 1$ ise böyle bir devre osilasyon yapmaya hazırlardır.

Manyetik Kuplajlı FET OSC



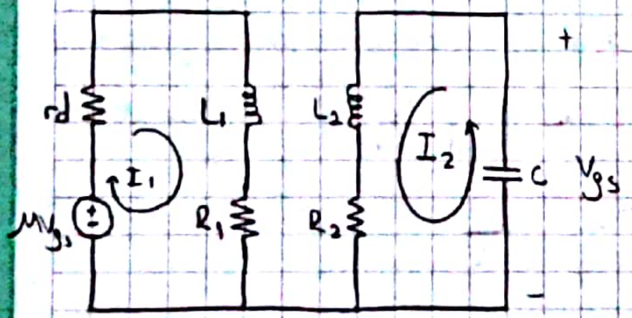
$V_o \rightarrow L_1$'in üzerindedir. Bu da L_2'ye bir şeyler verir. Gerilim alıp gerilim veriyor. Geri-seri gibi var.

C → rezonans frekansı çalışma frekansıyla ilgili. Gb'ye etkisi yok.

Transformatör ters kuplajlı. Bu yüzden L_1'in aldığı örnek L_2'ye 180° faz farkıyla gidiyor. Bize 360° lazım. FET'de ortak source'lu. Burdan da 180° gelir.

Bu devre pozitif GB yapmış. Osilasyon yapmaya hazır bekliyor.

Küçük İşaretler Bakımından Eşdeğer



$$\mu V_{gs} = (rd + R_1 + j\omega L_1) I_1 + j\omega M_k I_2$$

$$0 = j\omega M_k I_1 + \left[R_2 + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C}\right) \right] I_2$$

$$V_{gs} = -\frac{1}{j\omega C} I_2$$

$$0 = (rd + R_1 + j\omega L_1) I_1 + \left(\frac{\mu}{j\omega C} + j\omega M_k\right) I_2$$

$$0 = j\omega M_k I_1 + \left[R_2 + j\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C}\right) \right] I_2$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} rd + j\omega L_1 + R_1 & 0 \\ j\omega M_k & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} rd + R_1 + j\omega L_1 & \frac{\mu}{j\omega C} + j\omega M_k \\ j\omega M_k & R_2 + j(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C} \end{vmatrix}}$$

$$(rd+R_1+j\omega L_1)\left[R_2+j\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C}-j\omega M_k\left(\frac{\mu}{j\omega C}+j\omega M_k\right)\right)\right]=0$$

$$(rd+R_1)R_2-\omega L_1\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C}\right)-\mu\frac{M_k}{C}+\omega^2M_k^2+j\left[\omega L_1R_2+(rd+R_1)\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C}\right)\right]=0$$

$A+jB=0$ $A=0$
$B=0$

Pay determinantı sıfır beklenen bir sonuçtur, çünkü girişi olmayan bir geri beslemedir. Çıkış olması için, Payda determinantın da mutlak sıfır olması gerekiyor. (Karakteristik determinant)

$$(rd-R_1)R_2-\omega L_1\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C}\right)-\mu\frac{M_k}{C}+\omega^2M_k^2=0$$

$$\omega L_1R_2+(rd+R_1)\left(\omega L_2-\frac{1}{\omega C}\right)=0$$ Osilasyon frekansı bulunabilir.

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{C\left[L_2+L_1R_2/(rd+R_1)\right]}}$$

$rd \gg R_1$
$rd \gg R_2$ ve $L_2 > L_1$ $\omega_0 \cong \frac{1}{\sqrt{L_2C}}$

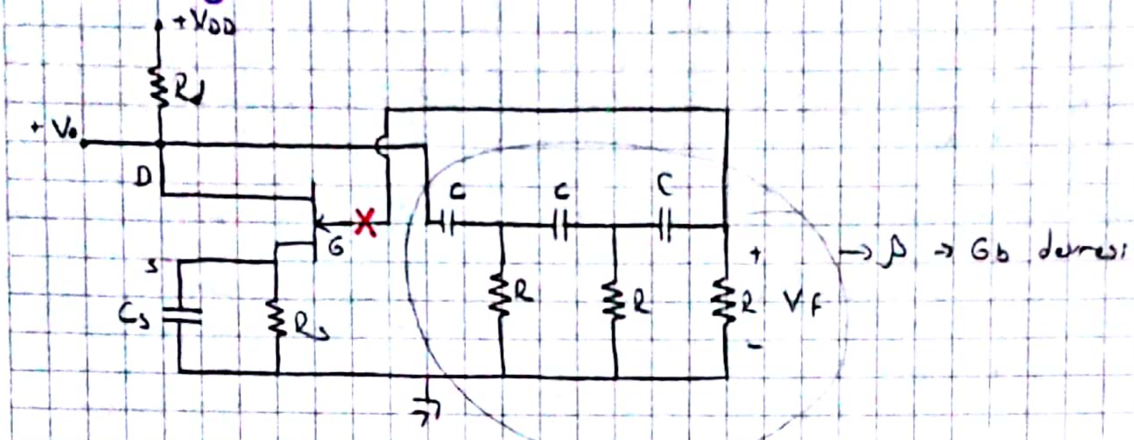
$$\mu=\left[(rd+R_1)R_2-\omega_0L_1\left(\omega_0L_2-\frac{1}{\omega_0C}\right)+\omega_0^2M_k^2\right]\frac{C}{M_k}$$

μ kullanılırsa kritik nok. tam olarak geçmiş olabilir.

$$g_m \gg \left[\left(1+\frac{R_1}{rd}\right)R_2-\frac{\omega_0L_1}{rd}\left(\omega_0L_2-\frac{1}{\omega_0C}\right)+\frac{\omega_0^2M_k^2}{rd}\right]\frac{C}{M_k}$$

$\omega_0L_2 \cong \frac{1}{\omega_0C}$ $\quad g_m \gg \left[\left(1+\frac{R_1}{rd}\right)R_2+\frac{\omega_0^2M_k^2}{rd}\right]\frac{C}{M_k}$

RC Faz Kaydırmalı osc

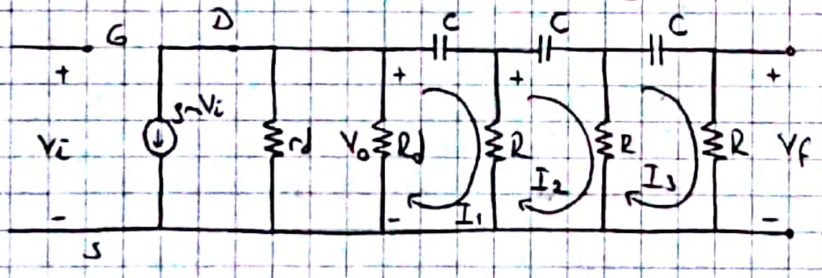


Alçak frekanslarda (AF) kullanılan bir sinüs osc dir. Uygun FET ve devre elemanları belirlenirse bir ihtimal çalıştırılabilir ancak yinede çalıştırılması zor bir devredir.

Kapalı çevrim olan devre X noktasından açılırsa A_v ve β devreleri ortaya ortaya yerleşir bu durumda açık çevrim kazancı $L(j\omega)$'yı hesaplayabiliriz.

C_s çalışma frekansında kısa devredir. ortak Source'lu olduğu için 180° faz farkını FET sağlıyor. A_v FET'in olduğu kısımdadır. β; 3 hücreli RC devresinde 180° faz farkı sağlarsa toplam açı ϕ olur.

Çevrim X noktasından kesilip eşdeğeri çizilirse;



Bulmamız gereken cevaplar

1) Hangi FET ile bu işi yapabiliriz?

2) Hangi osilasyon frekansında çalışabiliriz?

$$L(j\omega)=1=A_v.\beta$$

$$A_v=-\frac{\mu R_d}{r_d+R_d}=\frac{V_o}{V_i}$$ } az. 73 akti

$$\boxed{\beta=\frac{V_f}{V_o}}$$

1) $V_o=I_1(R-jx)-I_2.R$

2) $0=-I_1R+I_2(2R-jx)-I_3R$

3) $0=-I_2R+I_3(2R-jx)$

$$\boxed{X=\frac{1}{\omega C}}$$

$$X_c=\frac{1}{j\omega C}=-\frac{j}{\omega C}$$

$$\begin{bmatrix} R-jX & -R & 0 \\ -R & 2R-jX & -R \\ 0 & -R & 2R-jX \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_o \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\boxed{a = \frac{X}{R}}$

$a = \frac{X}{R}$ dönüşümü yapılırken çözüldüğünde R^3 geliyor

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1-ja & -1 & 0 \\ -1 & 2-ja & -1 \\ 0 & -1 & 2-ja \end{vmatrix} R^3 \qquad R^3 \left|\begin{array}{ccc|cc} 1-ja & -1 & 0 & 1-ja & -1 \\ -1 & 2-ja & -1 & -1 & 2-ja \\ 0 & -1 & 2-ja & 0 & -1 \end{array}\right|$$

$- \quad - \quad - \qquad + \quad + \quad +$

∠ → Açık çevirim kazancı

I_3 ün bulunması için I_3 sütununa bağımsız olanlar yazıldı

$$\Delta = [(1-ja)(2-ja)(2-ja)] - (1-ja) - (2-ja) \qquad \Delta = R^3[1-5a^2+j(a^3-6a)]$$

$$\Delta_3 = \left|\begin{array}{ccc|cc} R-jX & -R & V_o & R-jX & -R \\ -R & 2R-jX & 0 & -R & 2R-jX \\ 0 & -R & 0 & 0 & -R \end{array}\right|$$

$- \quad - \quad - \qquad + \quad + \quad +$

$$\Delta_3 = V_o R^2$$

Kondansatörler 60 60 60 oluşturur

$$I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{V_o R^3}{R^3[1-5a^2+j(a^2+6a)]} \qquad \beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{I_3 R}{V_o}$$

→ FET 180° ve β 180° faz farkı yaratmalı

$\beta = -\frac{I_3 R}{V_o}$ olmalı

$$\beta = \frac{1}{1-5a^2+j(a^3-6a)} \qquad a = \frac{1}{wCR} \text{ idi} \qquad a^3-6a=0 \text{ olmalı} \qquad a(a^2-6)=0 \quad a^2=6 \quad a=\sqrt{6}$$

$\boxed{f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}}$ osilasyon frekansı R, C osilasyon frekansını belirler.

⇒ Osilasyon ifadesini bulurken β'daki j'li terimi sıfıra eşitledik, çünkü β 180° faz farkı yaratmalı. Dolayısıyla β ifadesi gerçel olmalı. Devre sanal ifadeyi sıfıra götüren koşullarda osilasyon üretir.

* Eğer f_0 belli. R.C yi biliyorsan C'yi standart alıp R yi ona göre ayarlarım. Çünkü C'yi temin etmek daha zordur.

fo frekansında β'yı bulalım.

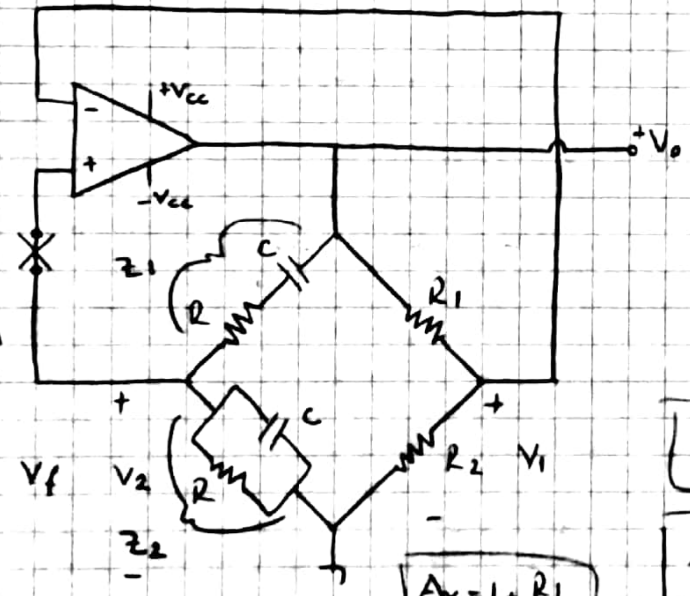
$$\beta = \frac{1}{1 - 5a^2 + j\frac{(a^3-6a)}{0}} \qquad a = \sqrt{6} \qquad \beta = \frac{1}{29}$$

$L = A_v . \beta = 1$ olmalıydı. Dolayısıyla $A_v > 29$ olmalı ki (A_v, 29'dan %5-%10 arası büyük seçilir 31, 32 gibi) osilatör bu çalışma frekansında çalışsın. Yani bu koşullar sağlanırsa Nyquist diyagramındaki (1,0) kritik nokta kapalı çevrimin içine alınır.

Bu devre 1MHz'e kadar işimizi görür. kHz'ler mertebesi için yani.

Wien-Köprü osc

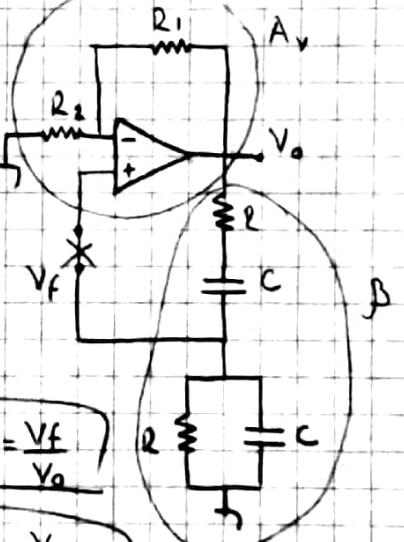
Alçak frekanslarda Op-amp'larla gerçeklenen bir osc dir.



gb ndıcosı basit basta kaldı

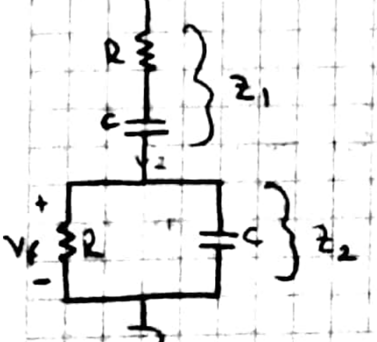
$$\boxed{A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

Evirmeyen yükselteç



$$\boxed{\beta = \frac{V_f}{V_o}}$$

$$\boxed{A_v = \frac{V_o}{V_i}}$$



$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad \beta = \frac{-a}{j(1-a^2) - 3a} \qquad X_C = \frac{1}{j\omega C} \qquad a = \omega RC$$

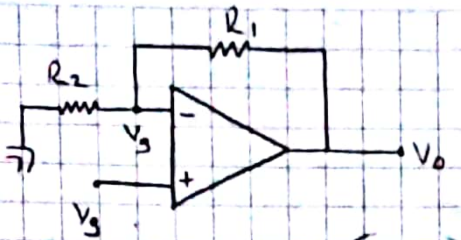
$$1 - a^2 = 0 \quad a^2 = 1 \quad a = 1$$

$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ } Bu frekansta $\beta = \frac{1}{3}$ olur. $\beta = \frac{1}{3}\Big|_{\omega = \omega_o}$

$L = \beta . A_v = 1$ $|A_v| \geq 3 \Rightarrow R_1, R_2$'nin en az ... koşulu.

$R_1 \geq 2R_2$

$$1 + \frac{R_1}{R_2} \geq 3 \qquad \frac{R_1}{R_2} \geq 2 \qquad R_1 \geq 2R_2$$



⇒ evirmeyen (faz döndürmeyen yükseltec)

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Geri kalan devresinde faz döndürmemesi gerekir. (Açı 0° olması için)

$$L = \beta . A_v = \frac{V_f}{V_o} . \frac{V_o}{V_i}$$

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad Z_1 = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C}$$

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{R}} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

$a = \omega RC$ olsun

$$Z_1 = \left(\frac{1+ja}{ja}\right) R \qquad Z_2 = \frac{R}{1+ja} \qquad Z_1 + Z_2 = R \, \frac{1 - a^2 + 3ja}{ja(1+ja)}$$

$$\beta = \frac{-a}{j(1-a^2) - 3a}$$

⇒ Sanal kısım sıfır olmalı

$$1 - a^2 = 0 \qquad a = 1 \qquad f_o = \frac{1}{2\pi RC} \Big\}$$ Osilasyon frekansı

Diğer devre aynı elemanlarla daha düşük frekans üretebiliyor. ($f_o \uparrow$ R sabit C↓ bu durumda C tahmin edemeyeceğimiz kadar küçük değerlere düşüyor. Ayrıca op-amp'lar da KHz'e çıkabilir.)

Osilasyon frekansında β'yı bulalım.

$$\beta = \frac{1}{3} \qquad A_v . \beta = 1$$ olmalı ⇒ $A_v = 3$ olmalı

$$\frac{R_1}{R_2} = 2$$

$A_v \geq 3$ $\quad R_1 \geq 2R_2$ olmakta fayda var

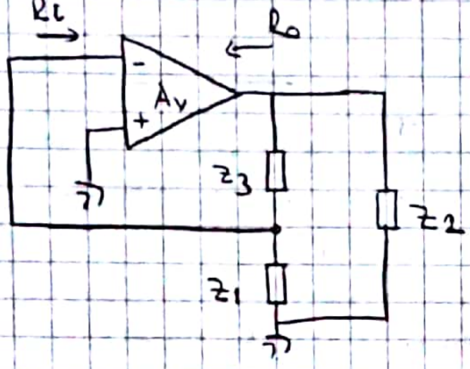
↳ (%5 - %10 oranında büyük seçmekte fayda var.)

Eğer op-amp ters verilseydi eviren yükseltec olup 180° faz farkı oluşturacaktı. Bu durumda β'yı da 180° faz farkı oluşturacak şekilde seçmeliydik ya da faz döndüren bir yükseltec de ekleyebiliriz.

LC Osilatörleri $\underbrace{\text{(Colpitts ve Hartley)}}$

sadece empedansın türleri değişiyor

Yüksek frekanslı, RF uygulamalarında kullanılır. (kHz - MHz)



Z_1, Z_2, Z_3 empedanslar

Ri → yükseltecin giriş direnci

Ro → yükseltecin çıkış direnci

A_v → Yükseltecin kazancı

Yük empedansı $Z_L = [Z_1 // R_i + Z_3] // Z_2$

Yükseltecin (yüklenmiş) kazancı $A = \dfrac{-A_v . Z_L}{Z_L + R_o}$ $\qquad \beta = \dfrac{Z_1 // R_i}{[Z_1 // R_i] + Z_3}$

Gerilim kazancı $A.\beta$ $\quad A.\beta = \dfrac{A_v (Z_1 // R_i) Z_2}{R_o [(Z_1 // R_i) + Z_2 + Z_3] + Z_2 [Z_1 // R_i) + Z_3]}$

Eğer empedanslar tam reaktif ise yani

$Z_1 = jX_1 \quad Z_2 = jX_2$ ve $Z_3 = jX_3$

$$X = \begin{cases} wL; & \text{endüktans} \\ -\dfrac{1}{wC}; & \text{kapasite} \end{cases}$$

$$A.\beta = \frac{-A_v [(X_1^2 R_i + jX_1 R_i^2)/(R_i^2 + X_1^2)] X_2}{jR_o [X_1 R_i^2 / (R_i^2 X_1^2) + X_2 + X_3] - X_2 [X_1^2 R_i / (R_i^2 + X_1^2) + X_3]}$$

Gerilim kazancının gerçel olması için sanal kısım sıfıra eşitlenir. (Açı 0 olacak j'li kısım olmayacak)

$R_i \gg X_1 \qquad \underline{A.\beta = \dfrac{A_v . X_1 . \cancel{X_2}}{\cancel{X_2}(X_1 + X_3)}} = \dfrac{A_v . X_2}{X_1 + X_3}$

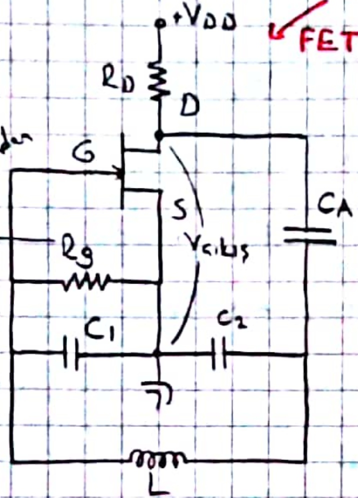
$0 = X_1 + X_2 + X_3 \qquad X_3 = -(X_1 + X_2)$

X_1 ile X_2 → kaposite X_3 → endüktans   (colpitts)

X_1 ile X_2 → endüktans X_3 → kaposite   (Hartley)

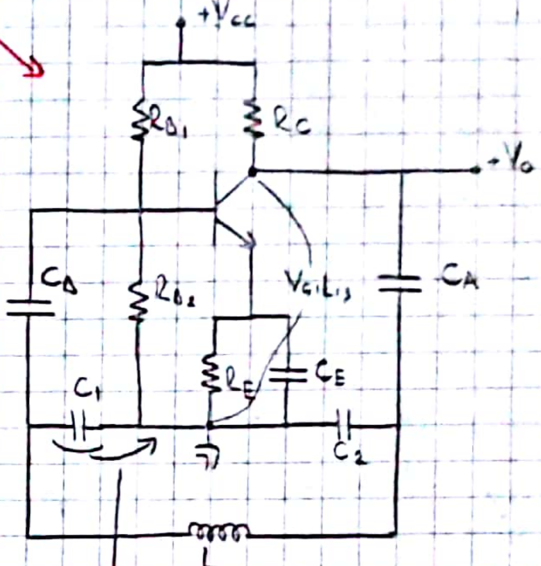
Colpitts Osc

FET   BJT



Rg olmasaydı G ve D birbirinden farksız olurdu

FET (DC bakımından açık devre olduğundan) DC bakımından incelenemezdi.



→ Burada olsaydı (DC bakımından) baz akımı toprağa akıtılamazdı ve transistör çalışmazdı.

Bu sayede G akımı oluşturuldu. Toprakla bağlantı kuruldu.

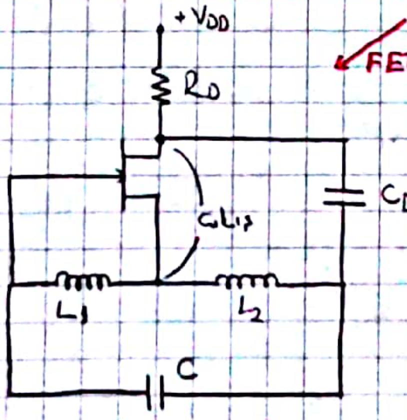
C_A, C_B ve C_E'ler büyük değerli kapositeler

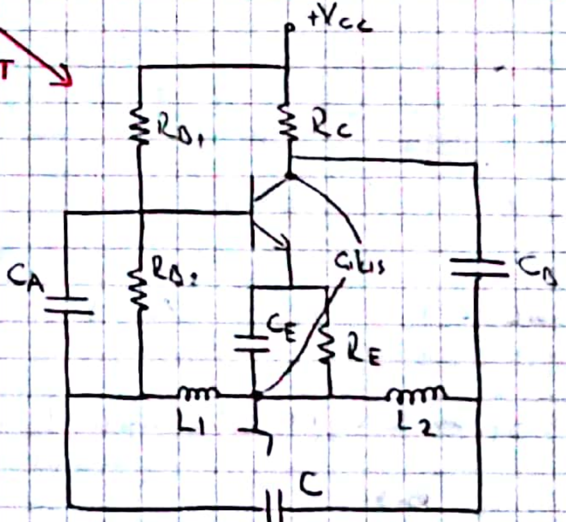
C_A, C_B, C_E Dc akımı bloklayıp AC akımı geçirirler.

$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ (Ω) kondansatörler analizde kısa devre yapılacaktır.

Hartley

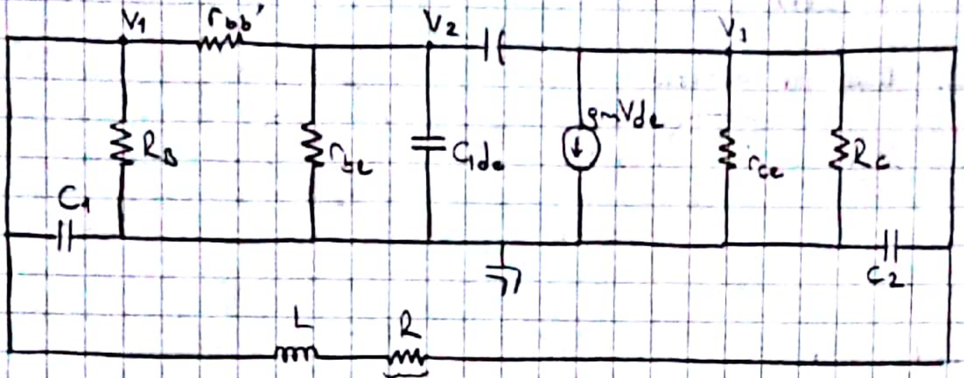
FET   BJT





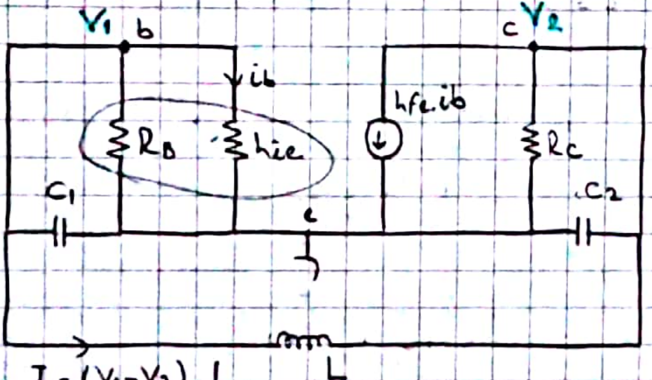
FET'ler alçak ve yüksekte aynı çalışır.

⇒ Transistörlü Colpitts Osilatörünün Yüksek Frekans Eşdeğeri



↳ L'nin omik sargı direnci (saf L yoktur)

Bu devreyi Miller Teoreminden faydalanarak indirgersek



$I = (V_1 - V_2)\frac{1}{jwL}$

Aranan cevaplar

Bu devrenin çalışma frekansı nedir?

Transistör nasıl bir transistör olmalı?

$R_B = R_{B1} // R_{B2}$

$R = R_B // hie$

$G_1 = \frac{1}{R_1}$ $\quad i_b = \frac{V_1}{hie}$

$G_2 = \frac{1}{R_c}$

Transistörlü colpitts osilatörün alçak frekanslı eşdeğeri

Düğüm akımı yazarken iletkenlikle çalışmak daha kolaydır.

V_1, V_2'ye göre düğüm gerilimlerini yaz.

$$V_1\left(G_1 + jwC_1 + \frac{1}{jwL}\right) - V_2\frac{1}{jwL} = 0 \Big) 1$$

$$-V_1\frac{1}{jwL} + h_{fe}.\underset{\downarrow \, i_b = \frac{V_1}{hie}}{i_b} + V_2\left(G_2 + jwC_2 + \frac{1}{jwL}\right) = 0$$

$$-V_1\left(\frac{1}{jwL} - \frac{hfe}{hie}\right) + V_2\left(G_2 + jwC_2 + \frac{1}{jwL}\right) = 0 \Big)^2$$

Bu tip denklemlerde paydalar işi zorlaştıracağı için paydalar yok edilir.

* ① nolu denklemi jwL ile çarpalım

$$V_1(jwLG_1 - w^2LC_1 + 1) - V_2 = 0 \quad]\ 1$$

* ② nolu denklemi $(jwL)(hie)$ ile çarpalım

$$-V_1(hie - jwL\,hfe) + V_2(jwLG_2\,hie - w^2LC_2.hie + hie) = 0 \quad]\ 2$$

$V_2 = V_1(jwLG_1 - w^2LC_1 + 1) \Rightarrow$ 2. denklemde yerine yazalım

$$-V_1(hie - jwL.hfe + V_1(jwLG_1 - w^2LC_1 + 1).(jwLG_2\,hie - w^2LC_2.hie + hie) = 0$$

$V_1 \neq 0$

$$\cancel{-hie} + \underline{jwL.hfe} - \underline{w^2L^2G_1G_2hie} - \underline{jw^3L^2C_2G_1hie} + \underline{jwLG_1.hie} - \underline{jw^3L^2G_2C_1.hie} + \underline{w^4L^2C_1C_2hie}$$
$$\underline{-w^2LC_1.hie} + \underline{jwLG_2.hie} - \underline{w^2LC_2.hie} + \cancel{hie} = 0$$

a+jb şeklinde yazarız hem a=0 hem de jb=0 yaparız

a bölümü	jb bölümü
$-w^2L^2G_1G_2.hie$	$jwL.hfe$
$+w^4L^2C_1C_2.hie$	$-jw^3L^2C_2G_1hie$
$-w^2LC_1.hie$	$+jwLG_1.hie$
$+\ -w^2LC_2.hie$	$-jw^3L^2C_1G_2.hie$
$=0$	$+\ +jwLG_2.hie$
	$=0$

Buradan w bulunup yan tarafa yazılır ve hfe bulunur.

çalışma frekansı

$$w_0 = \sqrt{\frac{L^2G_1G_2 + LC_1 + LC_2}{L^2C_1C_2}}$$

$$= \sqrt{\frac{LG_1G_2 + C_1 + C_2}{LC_1C_2}} \qquad LG_1G_2 \cong 0$$

$$\boxed{w_0 \cong \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1C_2}}} \qquad \frac{C_1+C_2}{C_1.C_2} = \frac{1}{C_{es}}$$

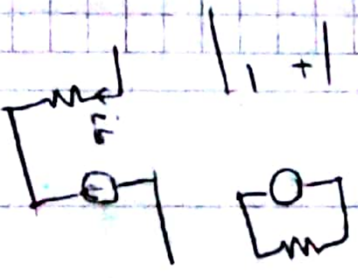
$$w_0 \cong \sqrt{\frac{1}{L.C_{es}}}$$

seri bağlı iki kapasitenin eşdeğeridir.

Örnek: 1 MHz'de transistörlü bir Colpitts osc tasarlanacaktır. Q = 50 (endüktansın kalite faktörü), seçilen transistörün parametreleri, $g_m = 75000\ \mu mho$, $r_{bb} = 100\ \Omega$, $r_{be} = 500\ \Omega$, $r_{ce} = 50k$, $C_{be} = 50pF$, $c_{bc} = 3pF$

→ Transistörü şu koşullarda çalıştıralım;

$I_{CQ} = 1mA$, $I_{BQ} = 10\mu A$, $V_{CE} = 10V \Rightarrow$ uygun yüke bakarak transistörün DC çalışma noktası belirleniyor.



$V_{cc} = 21V$ seçilmiş ⇒ $V_{CE} = 10\,V$ olduğu için V_{cc} bunun 2 katından fazla olmalıdır.

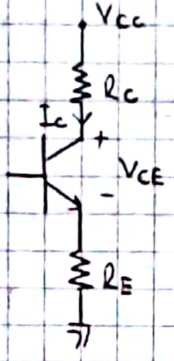
R_{B_1}, R_{B_2}, R_E, R_C belirlenecek * hfe biliniyor

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_{bb} + r_{be}}$$

R_B: Baz kutuplama direnci $\gg r_{bb} + r_{be}$

$$G_1 \cong 0{,}001\ \mho$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{r_{cc}}$$



$I_C \cong I_E$ kabul et.

$R_C = 10k\Omega$ $R_E = 1k\Omega$ için

$$\left[V_{cc} = (R_C + R_E)\,I_C + V_{CE}\right]$$

$R_C = 10\,k\Omega$ $\searrow$ 1mA

$$G_2 = 0{,}00012\ \mho$$

$C_1' = C_2 = 1000pF$ alınırsa

$$L = \frac{C_1 + C_2}{w_o^2 C_1 C_2} = 50{,}7\,\mu H \qquad \boxed{R = \frac{w_o L}{Q}} = 6{,}37\ \Omega$$

g_m hesaplanırsa; $g_m = 1524\,\mu mho$ yeterli olacağını gördük ama biz $g_m = 75000\,\mu mho$'luk bir g_m ile çalışırsak

$$b^2 = 1{,}05.10^{-26}$$

$$4ad = 4{,}96.10^{-29}$$

$b^2 > 4ad$ $f_o = 0{,}333.10^6$ Hz'lik bir işaret ürettik 67 kHz bir kayma olmuş. Hatırı sayılır bir hata olmuş.

Not: Bu örnekte frekansta %6-7 civarında bir hata vardır. Nedeni g_m'nin gerektiğinden çok büyük seçilmiş olmasıdır. Uygulamada g_m gereken değerden 3-5 kat arası büyük seçilir.

İşaret Üreteçleri

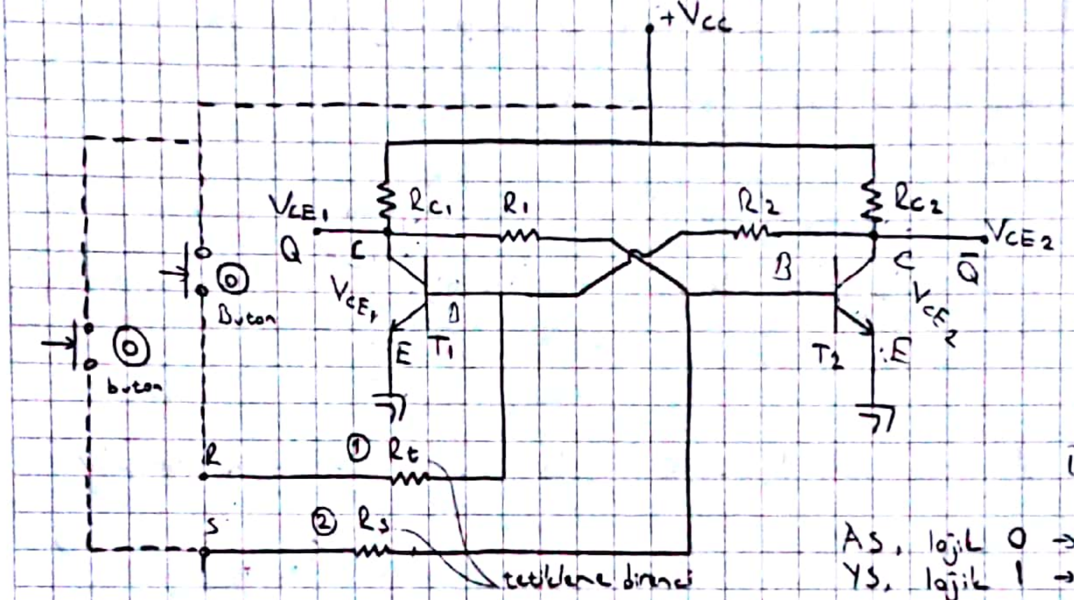
Yani sinüzoidal olmayan diğer işaretleri üreten üreteçlerdir. Temelinde ikili devreler yatan ikili devreler (Multivibratörler): Transistör, op-amp ve bu iş için özel hazırlanmış tüm devrelerle yapılır. 3 tip ikili devre vardır;

Çift kararlı ikili devre (Bistable Multivibrator - BMV) transistörlü

Tek kararlı ikili devre (Monostable Multivibrator - MMV) op-amp'lı.

Kararsız ikili devre (Astable Multivibrator - AMV) tam devre

Çift kararlı ikili devre
↳ 2 çıkış var demek



özdeşlik düşünelim

$R_1 = R_2$

$R_{C_1} = R_{C_2}$

$T_1 \equiv T_2$

Devre simetrik

AS, lojik 0 → 0V
YS, lojik 1 → +Vcc

Bu devrede iki transistöründe aynı anda çalışma konumunda olması imkansız.

T_1 → ON , T_2 → OFF

T_1 → OFF , T_2 → ON

1. açılışta hangisinin ON hangisinin OFF olacağı tamamen tesadüftür.

T_1'in kollektörü T_2'nin bazını, T_2'nin kollektörü T_1'in bazını besliyor.

V_{CE_1} ve V_{CE_2} çok küçük de olsa farklıdır. Bu fark transistörlerin baz akımlarının da farklı olmasını gerektirir. Bu küçük fark olmasında V_{CE_2} büyük olsun. T_1'in bazına giden akım büyük olur. Bu da V_{CE_1}'i aşağı çeker. Bunun sonucunda V_{CE_2} büyür.

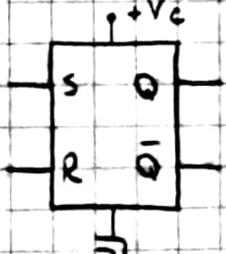
* ON olan transistörün C-E gerilimi sıfıra gider.

* OFF olan transistörün C-E gerilimi Vcc'ye eşitlenir.

Yani birisi lojik 0 iken diğer çıkış büyük olarak 1 olur. Çıkışı 1 olan transistör OFF.

→ Transistör OFF çıkış 1 } inverter devresi gibi
→ Transistör ON çıkış 0

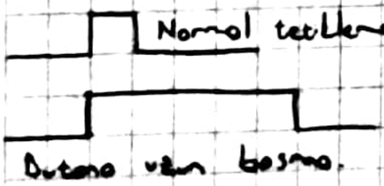
Çift kararlı denmesinin nedeni; bu devreye müdahale etmediğimiz sürece yakaladığı konumu sonsuza kadar sürdürür. Mesela T_1 her zaman ON, T_2 her zaman OFF olur. Bu durumu değiştirmek istersek bu devrenin bazına müdahale edip dışarıdan tetikleme yapmamız gerekir. Bu devre iki çıkışlı, her iki çıkışı da kullanabiliriz ama istediğimiz çıkışı Q alalım. Q çıkışı 1 olması için bu çizime göre S ②'ye uygulanır. Yani setlerim. Üsttekini resetlerim. Setten istediğim çıkışı alırım, Resetten silerim.



* Bu R-S flip flopta iki giriş de birlikte 1 ya da 0 olmaz.

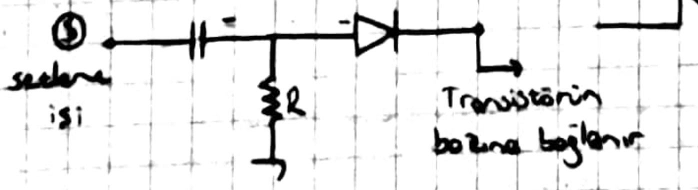
* Bu R-S uçlarını başka yerden alacağımız gibi devrenin kendi girişinden de alabilir.

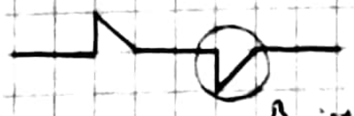
Burada butonla sinyal aktarılıyor. Tehlikesiz. Burada yumuşak, sistemi ve elemanları rahatsız etmeyen bir START var. Buradaki tek sorun bunu çalıştıranın butona çok basıldığında ortaya çıkar. Bu sorunu atlatmak için ise;

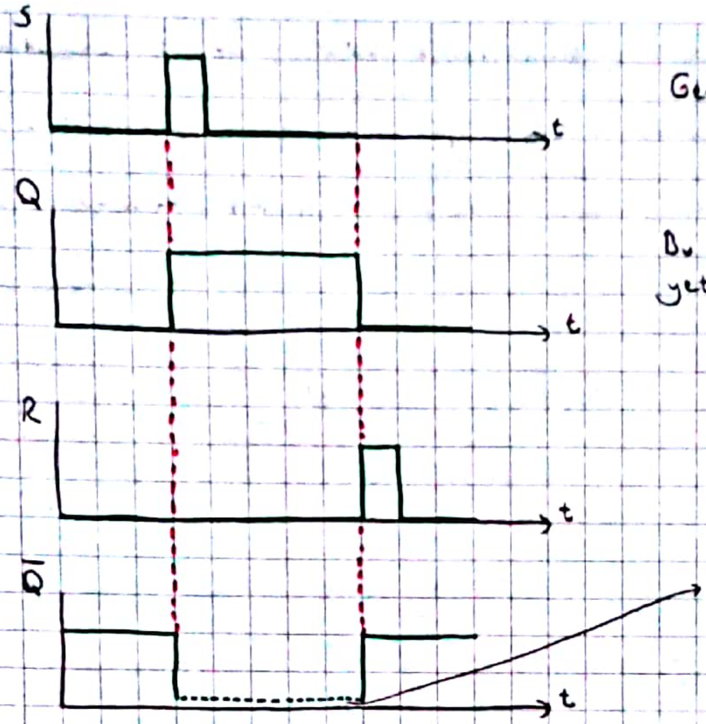


Her iki durumda da bassa bizim için sadece giriş kenarını yakalasak yeter.

Böyle hızlı geçişten anlayan devre türev devresi olmalıdır. Çünkü sabit değerlerde durur, çıkışta sonuç verir.







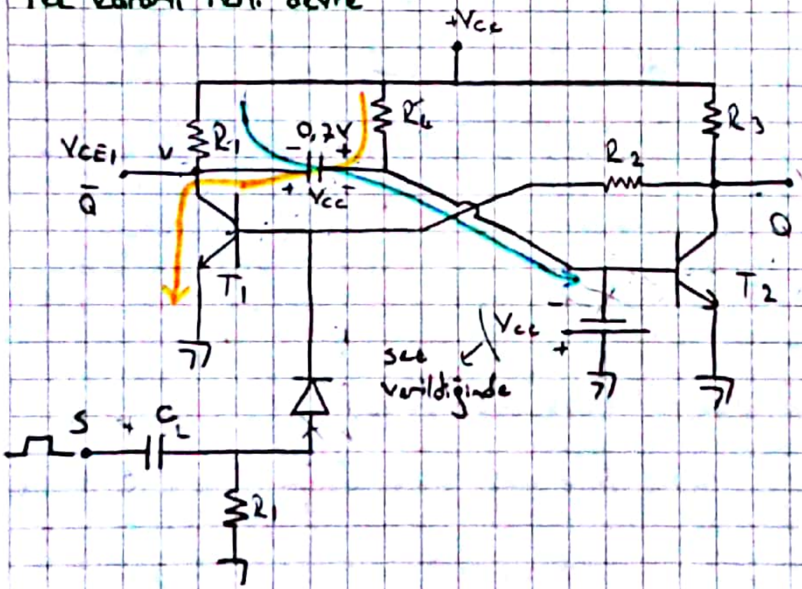
Geçici bir bilgi verdik

Bu devrenin bu bilgiyi sonsuza kadar saklama yeteneği var.

— ilk durum
— Reset yaptık

Çıkışlarda V_{CE} doyma aslında 0 V değil 0,2 V gibidir. Ama 0,2 hiçbir şeyi çalıştırmaz. Lojik olarak 0 alınır.

Tek kararlı ikili devre



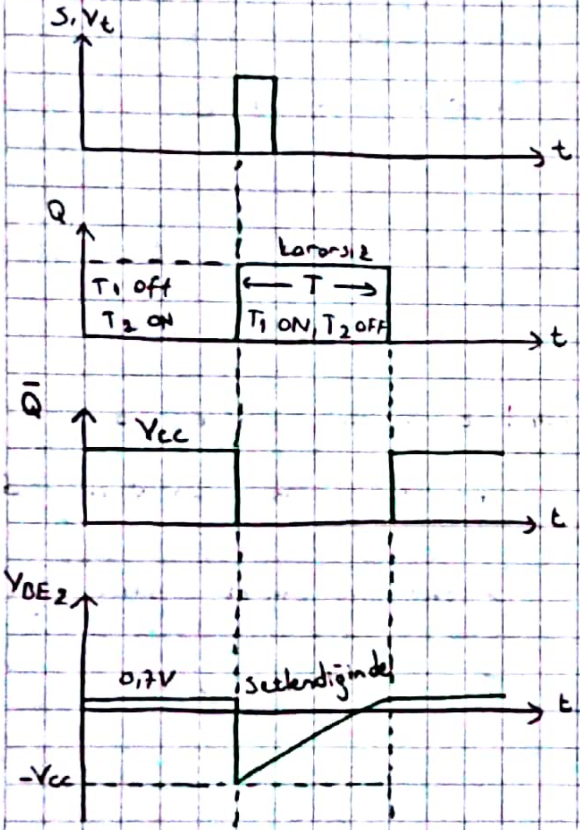
Simetriklik ortadan kalktı. C olan taraf kararsız diğer kısım kararlı. Yani tek kararlı oldu.

Bu devrede bir zaman ayarı yapmak lazım. İstiyoruz ki biz ona tetikleme verdiğimizde Q çıkışı 1 olsun, bir süre sonra eski haline dönsün.

$R_4 < R_2 + R_3$ ise T_2 ON, T_1 OFF olur. Böyle kalır. Bu durum müdahale edilmedikçe değişmez. Kararlılığını sürdürür. ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$). Bu durumda C'yi inceleyelim. T_1 OFF olduğu için C — üzerinden akım alarak ±Vcc'ye kadar doluyor. Q'yu 1 yapmak istiyorsak OFF olana darbe verelim. Burada mutlaka türev devresi koymalıyız.

Darbeyi gönderdik. $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$ oldu. Bu kondansatör. T_1 ON olduğu için

C'nin + ucunu toprağa − ucunu D_2'ye veriyoruz. Devre kararlı oldu. T_1'in bazına tetikleme gönderdiğinde Vcc ile dolu C'nin + ucu toprağa − ucu T_2'nin bazına gider. T_1 ON, T_2 OFF olur, ___ akımı akar. $-\underset{C}{\overset{0,2V}{||}}+$'yi yapmaya uğraşıyoruz. Yine eski durumuna dönüyor.



- Bu devrenin genel adı Timer (zamanlayıcı)dır.

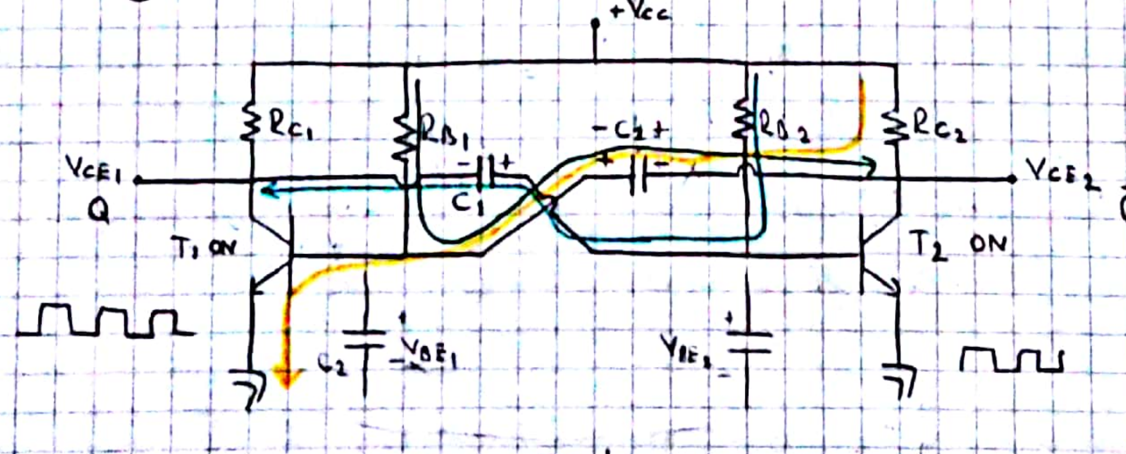
$$\boxed{T = 0,69 . R_4 . C}$$

- +Vcc kaynağına seri R_4 üzerinden dolmaya çalışan C'nin potansiyeli −Vcc dir. Bu hangi zaman sonunda 0,7 Volta ulaşır?
- Bunun cevabı $T = 0,69 . R_4 . C$ dir.

⇒ Merdiven otomatiği gibi, basıyoruz, bırakıyoruz. Bir süre sonra eski haline dönüyor.

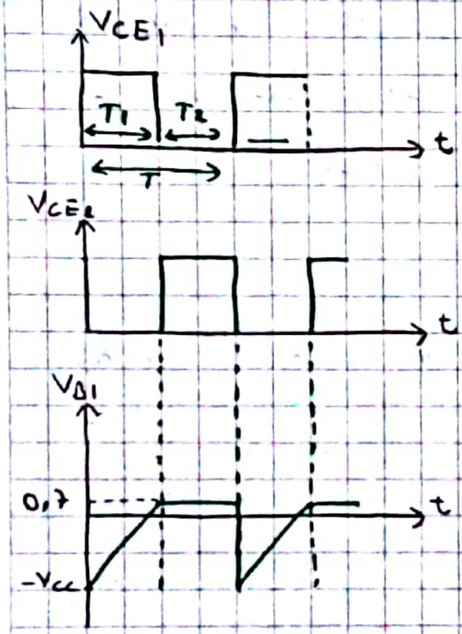
Kararsız ikili devre (Astable Multivibrator (Kare dalga üreteci))

Hiç müdahale edilmeden kare dalga üreten devrelerdir. Kare dalganın genliğini ve frekansını ayarlama şansımız yok.



T_2 on olduğunda

Genlik ayarını V_{cc}'yi ayarlayarak, frekansınıda zamana bağlı elemanlar yardımıyla C ve R'lerle ayarlarız. T_1 ON, T_2 OFF veya T_1 OFF T_2 ON olur. Önemli olan başlangıçta olan biçim kendiliğinden nasıl tetiklendiği. Başlangıçta (V_{CE}'yi bu devreye uyguladığımız an $C=0$) T_1 ON, T_2 OFF olsun. T_1 ON olduğunda T_1'in C ile B olur var. $V_{CE1} \cong 0$ olur. Dolayısıyla C_1'in ucu toprağı görür. R_{B2} C_1 üzerinden akım akıtarak C_1 dolarak ucundaki gerilim 0,7 olduğunda T_2 ON olacak ve C_2 dolmaya başlar. Bu da 0,7V olduğunda T_1 ON olacak. Bu şekilde devam edecek.



T_1'i OFF yapacak şey C_2'dir.

simetrikse

$$\boxed{T = 2.R_{B1}.C_2 \ln 2} \rightarrow$$

$\frac{D}{T} = 0,5$ ise

2 transistör çalıştığı için 2 ile çarptık. Ancak $R_{B1}=R_{B2}$ $C_1=C_2$ olduğu için simetrik olduğu koşullarda geçerli bu formül.

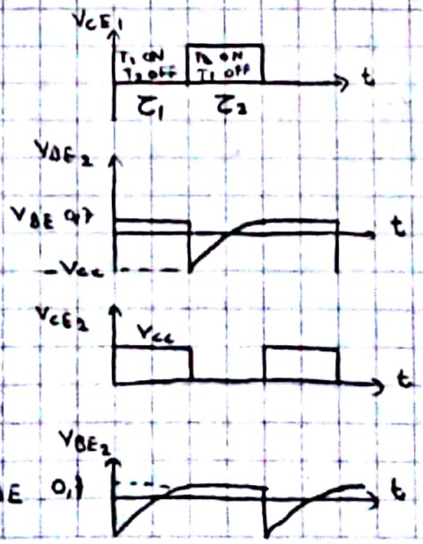
* Trafik lambasının geç saatlerde sadece sarı ışığın yanıp sönmesi bu devre ile yapılır.

⇒ Simetrik değilse

$$\boxed{T_1 = R_{B1}.C_2 \ln 2} \quad \boxed{T_2 = R_{B2}.C_1 \ln 2}$$

$$\frac{\text{Darbe}}{\text{Periyot}} = \frac{D}{T}$$

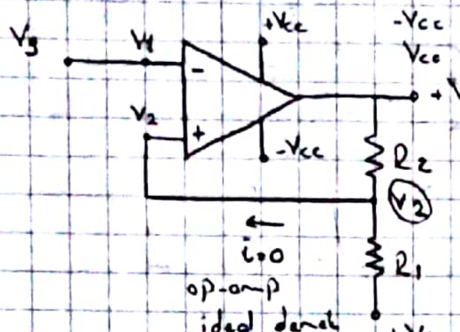
T_1 ve T_2'si eşit olan simetrik bir kare dalganın $\frac{\text{darbe}}{\text{Periyot}}$ oranı 1/2 dir.



$T = \tau_1 + \tau_2$

Schmitt Tetikleme Devresi

	V_o
$V_1 > V_2 \Rightarrow$	$-V_{cc}$
$V_1 < V_2 \Rightarrow$	$+V_{cc}$



+V_R → Referans DC gerilim

→ Histeresiz gerilimini istediğimiz noktalara taşımak için uygulanır

işlemsel yükselteçli Schmitt Tetikleyici

Burada işlemsel yükselteç karşılaştırıcı görevi yapar. Ancak ST'nin karşılaştırıcıdan tek farkı karşılaştırıcıda karşılaştırma tek bir referans gerilime göre yapılıyor. ST'de ise karşılaştırma iki nokta (belirli bir band) arasında yapılıyor. Dolayısıyla ST'lerde bir histeresiz gerilimi vardır.

⇒ Süper pozisyon uygulayarak; (V_2'yi oluşturan hem V_o hem de V_R var. Önce $V_R=0$ sonra $V_o=R$ için çözer toplarız.)

$$V_2 = \underbrace{V_o \frac{R_1}{R_1+R_2}}_{V_R=0} + \underbrace{V_R \frac{R_2}{R_1+R_2}}_{V_o=0}$$

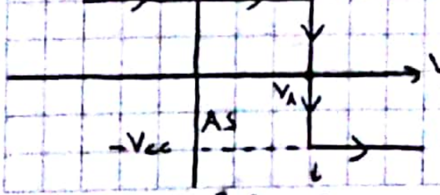
⇒ ST'lerin çıkışları iki seviyeli devrelerdir. [(1, 0) yada (YS, AS)]

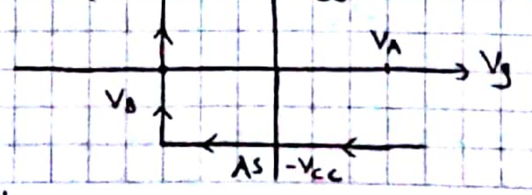
$$V_o = \mp V_{cc}$$

* $V_o \rightarrow YS = V_{cc}$ için $V_2 = V_{cc}\frac{R_1}{R_1+R_2} + V_R\frac{R_2}{R_1+R_2}$ (V_A)

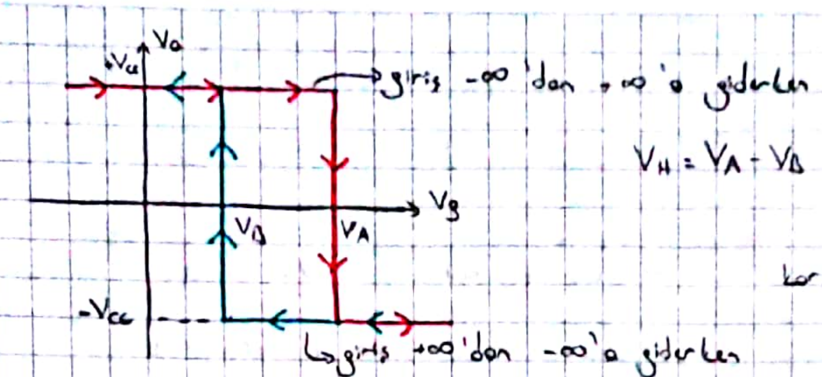
* $V_o \rightarrow AS = -V_{cc}$ için $V_2 = -V_{cc}\frac{R_1}{R_1+R_2} + V_R\frac{R_2}{R_1+R_2}$ (V_B)

⇒ $V_o = V_{cc}$ için $V_o = V_A$ dır.





? Bu eğrinin geri gelişinde V_A'yı değil V_B'yi karşılaştırma olarak alacak



$V_H = V_A - V_B$

ST devresi bir histeresiz içerisinde karşılaştırma yapan devre yapısı olur.

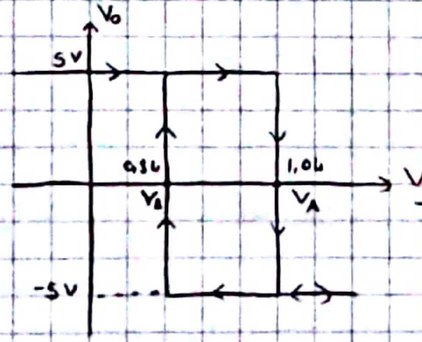
ST devreler daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Çünkü endüstriyel uygulamalarda bir takip yapılırken belirli bir band içinde olup olmadığına bakılır. Sıcaklık, basınç, hız tek bir değere göre değil bir aralığa göre baz alınır. Mesela 100°C 150°C arasında fırının çalışmasını istersen.

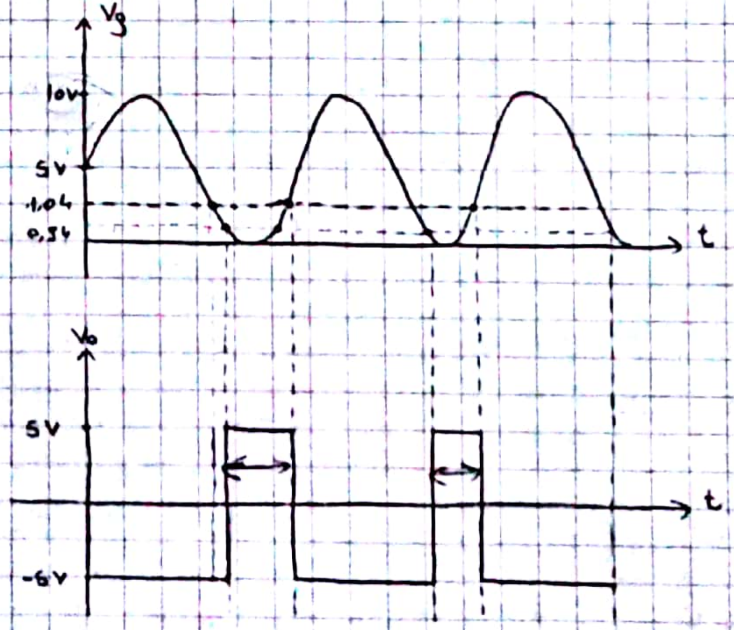
Örnek: Verilen ST devresinin beslemesi ∓5V, $R_1 = 100\,\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $V_R = 1V$, $V_g = 5 + 5\sin wt$ (V) için çıkış işaretini zamana göre ölçekli çiziniz.

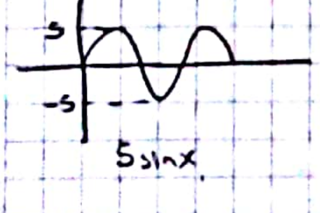
$V_o = V_{cc}$ için $V_2 = V_{cc} \cdot \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_R \frac{R_2}{R_1+R_2} = 5 \cdot \frac{0,1}{0,1+10} + 1 \cdot \frac{10}{0,1+10} = 1,04\ V$ (V_A)

$V_o = -V_{cc}$ için $V_2 = -V_{cc} \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_R \frac{R_2}{R_1+R_2} = -5 \frac{0,1}{0,1+10} + 1 \cdot \frac{10}{0,1+10} = 0,94\ V$ (V_B)

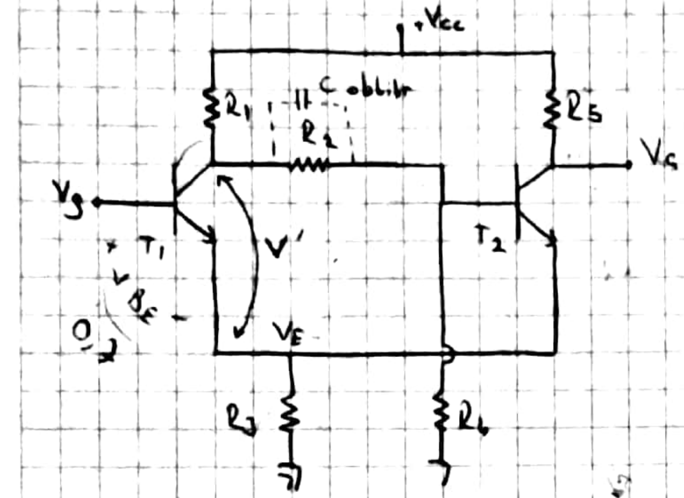
Histeresiz genişliği ← $V_H = V_A - V_B = 0,1\ V$







Transistörlü Schmitt Tetikleyici:

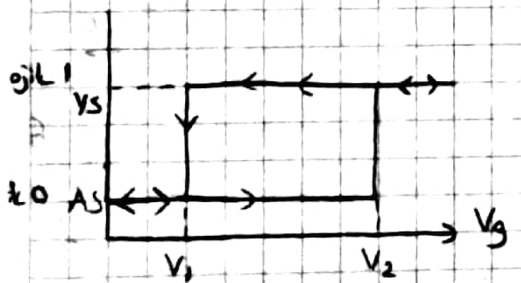


⇒ T1, T2 farklı modda çalışıyor. T1 ON, T2 OFF V T1 ON, T2 OFF

⇒ Çıkış iki seviyelidir AS, VS

⇒ Burada çıkışı sıfıra indiriyoruz.

Geçiş öz eğrisi



T1 OFF, T2 ON ise $V_c = AS$

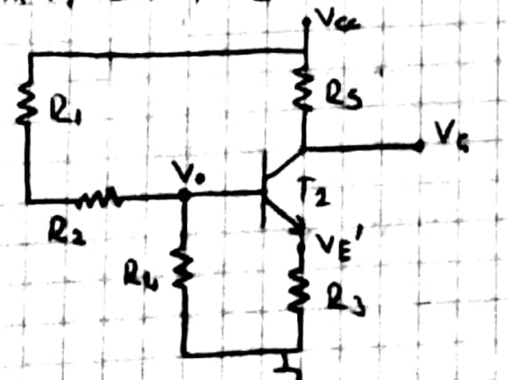
Devrenin giriş gerilimi artarken bir noktada, azalırken başka bir noktada tetikleniyor.

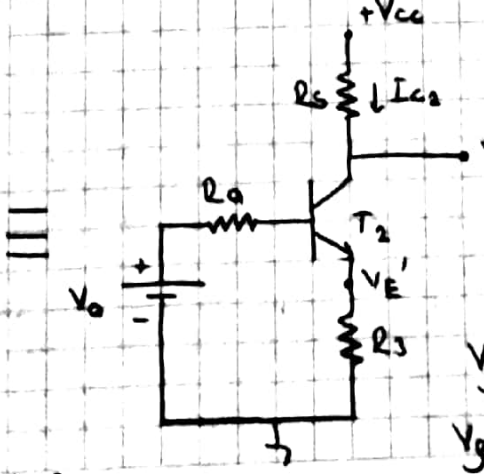
$V_H = V_2 - V_1$

* Transistörlü ST'nin transfer karakteristiği

T1 OFF iken V_E sabit V_g'yi arttırıyoruz $V_g \geq V_E + 0,7V$ olduğunda T1 ON olur. V' potansiyeli düşer, ON olan transistörün CE gerilimi V' max 0,2 V olur. Bu da T2'yi OFF'a götürür. Bu durumda T1'in tekrar kapanması için $V_E + 0,7 \geq V_g$ olur, T1 OFF olur.

* T1 OFF, T2 ON olsun





Thevenin eşdeğeri

$V_0 = \frac{V_{cc} \cdot R_4}{R_1 + R_2 + R_4}$

$R_a = (R_1 + R_2) // R_4$

$V_c = V_{cc} - I_{c2} \cdot R_5 = \textcircled{AS}$

$\underbrace{V_E' = (I_{B2} + I_{c2}) \cdot R_3}_{I_E}$

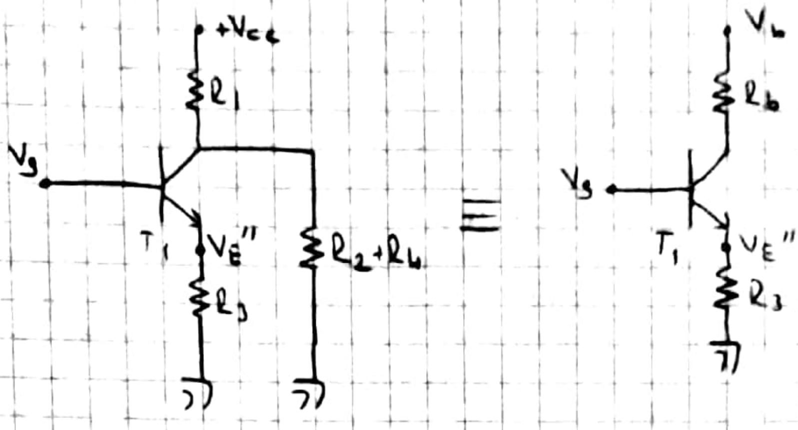
T1 ON, T2 OFF yapabilecek V_g gerilimi

$V_g = V_E' + 0,7 = \textcircled{V_2}$

$V_g \geq V_E' + V_{BE}'$ olursa

T1 ON, T2 OFF olur.

*T_1 ON, T_2 OFF olsun



$R_b = R_1 // (R_2 + R_4)$ $\quad V_b = V_{cc} \cdot \frac{R_2+R_4}{R_2+R_4+R_1}$

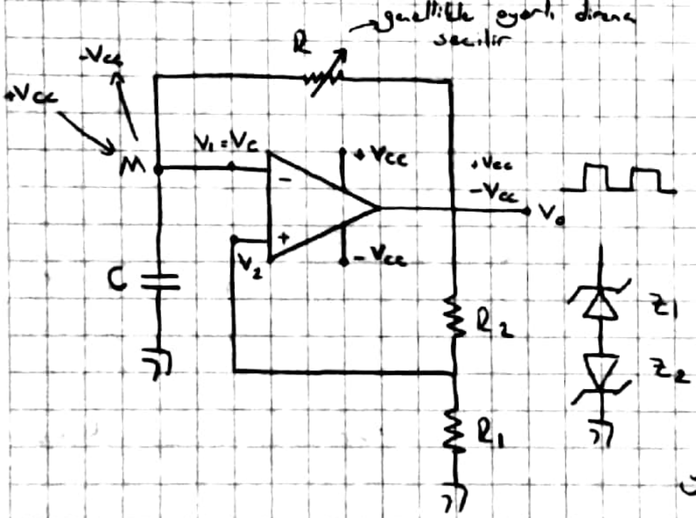
$V_E' = V_b - I_{C_1} R_b - V_{CE_{1d}}$

$\textcircled{V_1} = V_E' + V_{BE_{1d}}$ $\quad \textcircled{V_3} = V_{cc}$

$V_3 < V_4$ için devre diğer konuma geçer

(T_1 OFF , T_2 ON)

Üçgen ve Kare Dalga Üreteci



genellikle ayarlı direnç seçilir

işlemsel yükselteç, ST olarak çalışıyor. Çıkışta ya +Vcc yada -Vcc vardır. Çıkış +Vcc iken V_2 de Vcc'den daha düşük + gerilimde beklerken V_1 R üzerinden C üzerinde dolan gerilimdir.

⇒100 kHz'e kadar kullanılabilir 741 işlemsel yükselteci 20 kHz'e kadar kullanılabilir.

Eğer çıkış gerilimi Vcc'den başka bir genlikte isteniyorsa çıkışa Z_1, Z_2 zeneri bağlanarak genlik sınırlaması yapılabilir.

Zener kullanmazsak

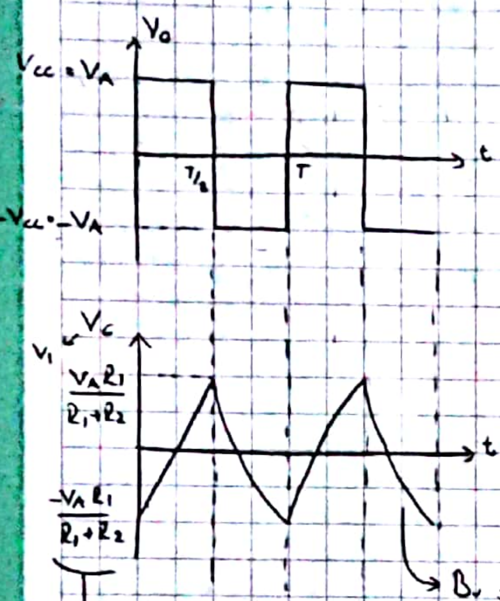
Zeneri $\mp V_A$ gerilimlerinden seçersek $\quad V_2 > V_1$ için $V_o = V_A$ $\quad V_o = V_{cc}$

$V_2 < V_1$ için $V_o = -V_A$ $\quad V_o = -V_{cc}$ } olur.

⇒C ile L'yi seri bağlarsak rezonans devresine yaklaştırır. Sinüse yaklaşırız. İşaret M'den daha da yaklaşır.

$$V_2 = \frac{\overset{\substack{V_{cc}\\ \uparrow}}{V_A}\, R_1}{R_1+R_2} \quad V \quad V_2 = -\frac{\overset{\substack{V_{cc}\\ \uparrow}}{V_A} . R_1}{R_1+R_2}$$

ST devresinde çıkışın 0 olması mümkün değil.



$t=0$ için $V_1 = -V_A \frac{R_1}{R_1+R_2}$

$t=T/2$ için $V_1 = V_A \frac{R_1}{R_1+R_2}$

C $t=0$ anında $\frac{-V_A . R_1}{R_1+R_2}$ kadardır.

$$V_1 = V_A \left[1 - \left(1 + \frac{R_1}{R_1+R_2}\right) e^{-t/RC}\right]$$

$t = \frac{T}{2}$ yazılırsa ve V_1 çözülürse

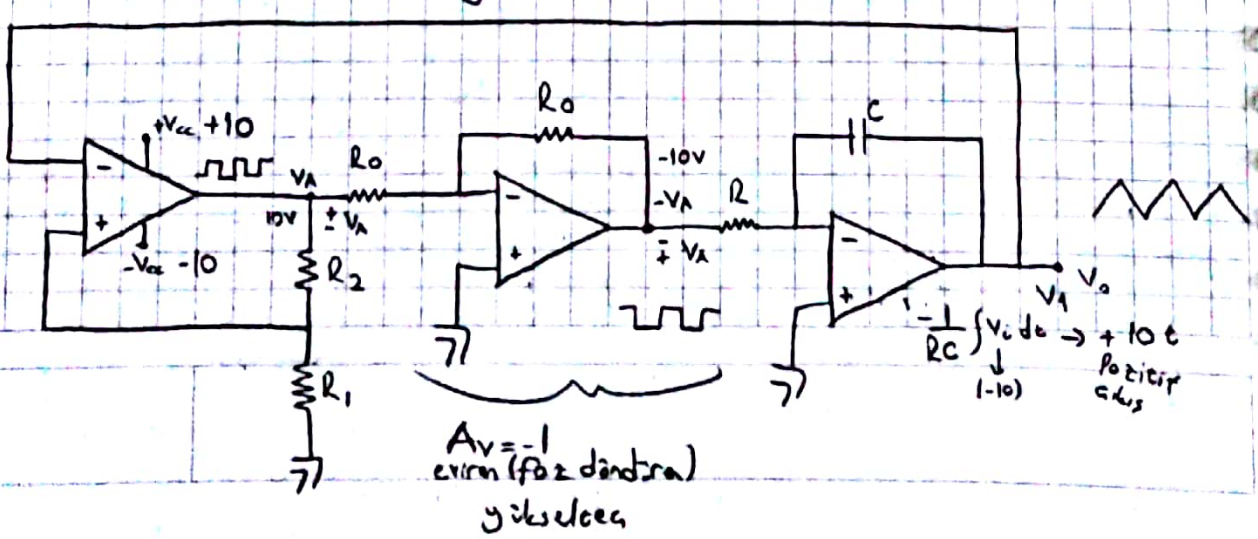
$$T = 2.R.C.\ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right)$$ olur.

Bu sürekli durumda bir çalışmadır. Normalde başlangıçta C belli bir değerden değil 0 dan dolmaya başlardı.

Başlangıçta üzerindeki gerilim değeri $\frac{-V_A R_1}{R_1+R}$ olan C kondansatörü hangi süre sonra $\frac{V_A R_1}{R_1+R_2}$ gerilimine ulaşır. Bu T/2 dir. Bunu 2 ile çarpıp periyoda ulaşırım, yani frekansıda yakalamış durum. Burada C 0' (sıfır) dan değil belli bir V' geriliminden başlayarak doluyor. Yani dolum süresi değişir.

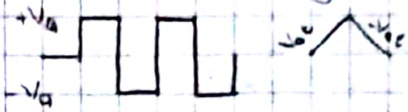
Üçgen Dalga Üreteci

ST'nin çıkışı ∓Vcc dir. Eviren yükselteç kullanılmasının sebebi integral alıcı devrenin fonksiyonu gereği (-) çarpanının olmasıdır. Eviren yükselteç kullanılmasaydı $V_1 - V_2$ gerilimi karşılaşmazdı ve ST devresi kare dalga üretemezdi.

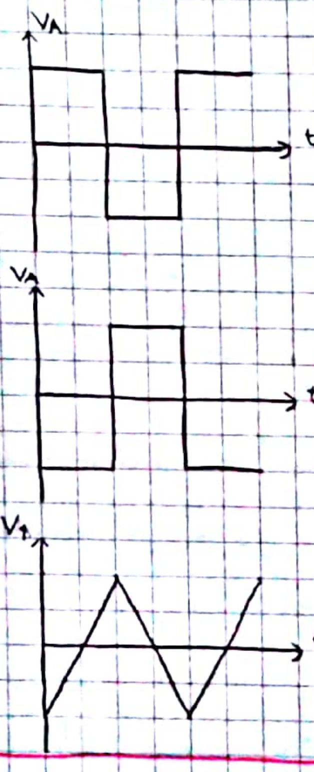


1. Devre ST ⇒ kare dalga üretir
2. Devre evirici ⇒ -1 ile çarptık
3. Devre integral alıcı

* Eğer integral alıcının girişinde bir kare dalga olursa çıkışında üçgen dalga elde edilir.



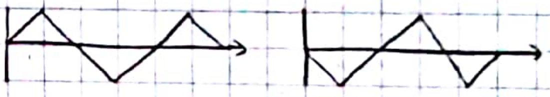
İntegral alıcı devre faz çeviriyor. O yüzden ST çıkışına evirici devre koyduk ve -1 çarpanı koyduk. V_1 ile V_2 birbirini görsün diye. Yoksa ST çalışmaz.



Üçgenin sınırlarını V_2 belirl

Bu devrenin sürekli haldeki durumunu belirten bir şekildir.

Aslında



şeklinde de başlayabilir.

$V_{cc} = V_A$

$${}_{v_o}V_1 = -\frac{V_A R_1}{R_1+R_2} + \frac{1}{RC}\int_0^t V_A\,dt \qquad 0 \leq t \leq T/2$$

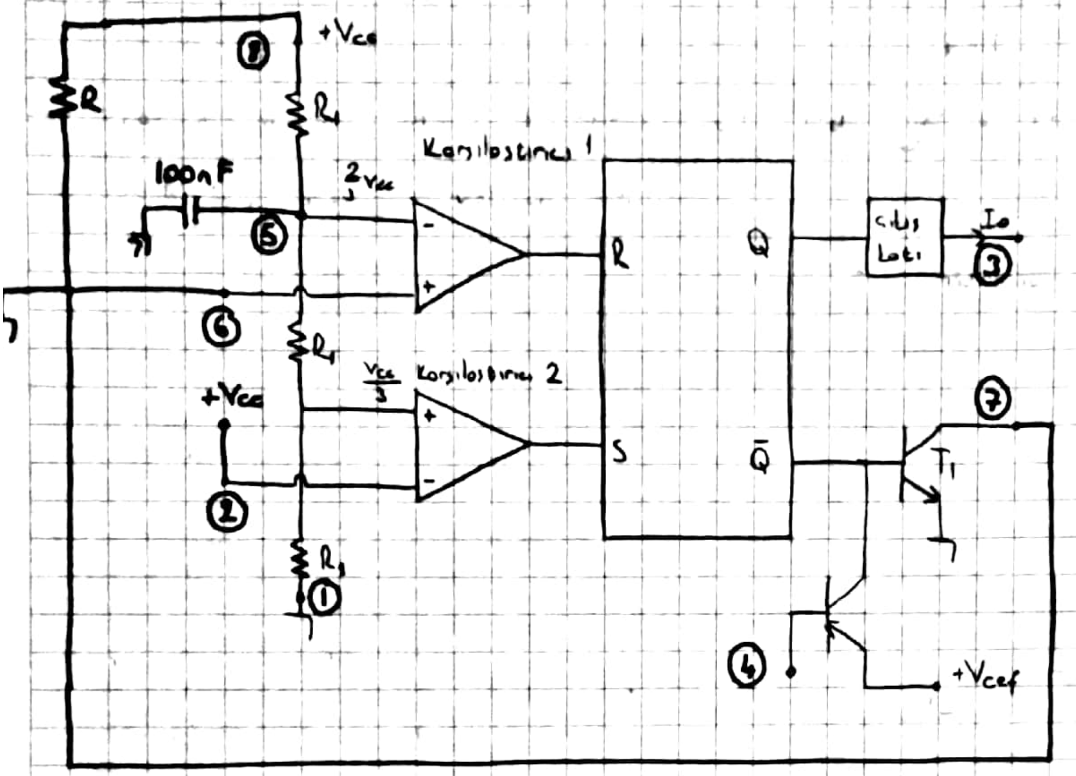
$${}_{v_o}V_1 = \frac{-V_A R_1}{R_1+R_2} + \frac{V_A t}{RC} \qquad 0 \leq t \leq T/2$$

$t = T/2$ için ${}_{v_o}V_1 = \frac{V_A R_1}{R_1+R_2}$

$$\boxed{T = \frac{4RC R_1}{R_1+R_2}} \qquad \boxed{f = \frac{1+R_2/R_1}{4RC}}$$

→ Burada genliğin ifadesi yok çünkü Vcc de çalışıyoruz ve birbirini götürüyor.

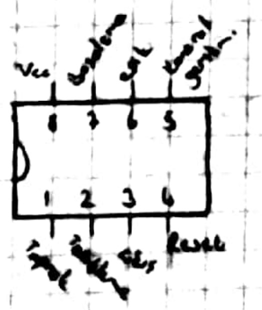
555 Tümdevre ve Uygulamaları



5 nolu kontrol gerilimi noktasındaki 100nF'lık kapasitenin önerilmesinin nedeni şebekeden gelebilecek dalgalanmaları filtreleyerek minimize etmek ve karşılaştırıcı gerilimlerini sabitlemeye çalışmak.

8 ile 1 arasından başlıyoruz. 3 tane R1 direnci var. Vcc gerilimi 3'e bölünmüştür. Op-ampler ideal olabildiği için $\frac{1}{3}$ Vcc, $\frac{2}{3}$ Vcc yazabildik. Vcc = 5-18 V arasında 555'i çalıştırabiliriz.

Io <200mA olabilir eğer yükte fazlasına ihtiyaç varsa orada sürücü kullanarak karşılayabiliriz.



Çıkış katı 3 nolu çıkışa yük elemanı bağlanacağından yükün ihtiyacı olan akımı sağlayabilmesi için kullanılan bir akım kuvvetlendiricisidir. Aksi takdirde bu akımın ff'nin Q çıkışından temini söz konusu olacaktı bu durumda ff lojik bir kapı devresi olduğundan akım değerini karşılayamayacak ve zarar görecekti.

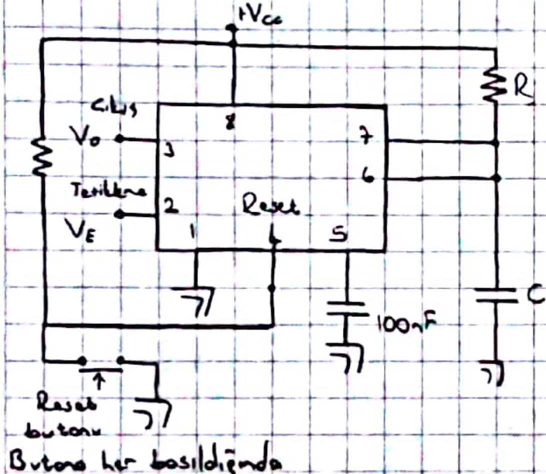
*

* Kullanım alanları

1) Tek kararlı ikili devre (Timer)
2) Kararsız ikili devre (Kare dalga üreteci)
3) Frekans bölücü
4) PWM (Darbe genişlik modülatörü)

Amacımız dışarıdan çok az eleman bağlayarak bu devreleri gerçekleştirmektir.

Tek kararlı ikili devre (Timer - Zamanlayıcı)

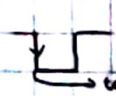


Butona her basıldığında resetlenir.

* Kullanıcıdan kullanıcıya farkedebilecek Vcc farklarını yok edip regüle etmek için 5 nolu uçtan C bağlanır.

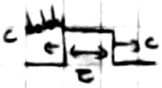
* Reset anlamı; zamanlayıcı işleme başlamış fakat biz zaman dolmadan başa dönmek istiyoruz. Yani zamanlayıcının hesaplama zamanı gerçekleştirme esnasında tekrar başa dönmek için kullanılır.

(İlk şekildeki kahverengi çizgiler)

İlk durumda C boş karşılaştırıcının (1) − ucu + dan büyük op-amp çıkışı 0 olur. İkinci karşılaştırıcıda V_t çok önemli, karşılaştırma ona göre olacak. Kararlı olması için op-amp çıkışı yine 0 olmalı. İlk durumda (Set girişini 0 istiyorsak) $V_t > \frac{1}{3}V_{cc}$ olmalı, yani, kararlı durumda yüksek seviye istiyor. Ancak elimizde öyle bir gerilim yok (15 V yok) 15 V var. Direkt $V_t = V_{cc} = 15 V$ veriyoruz. Op-amp çıkışları 0 oldu. $\bar{Q} = 1$. npn olduğu için T'nin bazına 1 verirsek V_{CE} yaklaşık kısa devre olur ve C'nin dolmasına izin verilmiyor. Bu yapıyı değiştirmek için V_t noktasındaki gerilimi op-amp'ın + ucundaki $\frac{1}{3}V_{cc}$'nin altına düşürürsek çıkış 1 olur. Yani V_t tetiklemesi düşen kenardadır 

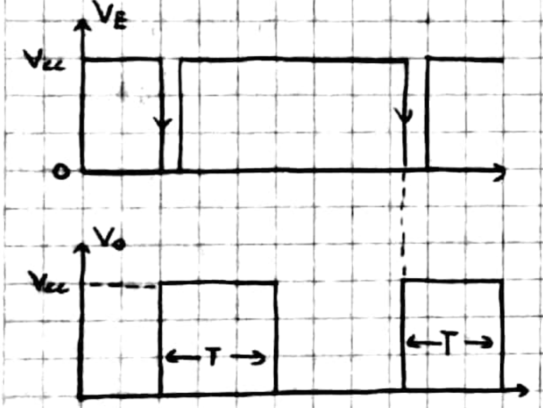
Çıkış 1 olunca bu flip-flop için bir set darbesi --- $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$ oldu. (Tabi bu bir anda olur. Vcc 1 oldu bırakırsak 0 oldu.) $\bar{Q} = 0$ olduğu için T_2 ON, T_1 OFF oldu. Tüm akım C kondansatörü üzerine gider. Hedefi Vcc'ye ulaşmak. Ancak C kondansatörü

$\frac{2}{3}V_{cc}$'ye ulaşınca karşılaştırıcı 1 çıkışı 1 oldu $Q=0$, $\bar{Q}=1$ oldu ve tekrar baştaki konuma döndü, doldurulmuş kondansatör T yerden boşaldı.



boşaldı

Peki T_2 ne oldu? T_2 pnp transistördür. V_{ref} gerilimi $\approx 0{,}7V$ civarında içte oluşmuş bir gerilimdir, dışardan verilmemiştir. T_2'nin ON olması için $V_{BE}<0$ olmalıdır. ($V_B<V_E$). Eğer biz 4 numarayı toprağa değdirip 0'a çekersek T_2 çalışır, ON olur. $V_{CE_2}\approx 0$ (kısa devre) olur. V_{ref} E'den C'ye atladı ve T_1'in bazına gidip T_1'i çalıştırdı ve C boşaldı. Yani C dolarken 4'e reset verirsek önce T_2 çalışır sonra T_1 ve C boşalır. Bu da bize olayın tekrar baştan başlamasını sağlar. Sonra tetikleme yine verildiğinde yine bize τ zamanı sayacaktır.



$$V_{eşik} = V_6 = V_{cc} - \left[V_{cc} - V(0)\right] e^{-t/RC}$$

$$t=\tau \quad V_6(\tau) = \frac{2}{3}V_{cc}$$

$$T = RC \ln \frac{V_{cc}-V(0)}{V_{cc}/3}$$

$V(0)=0$ için $\boxed{T = RC\ln 3 = 1{,}1\,RC}$ C'nin dolması için geçen süre

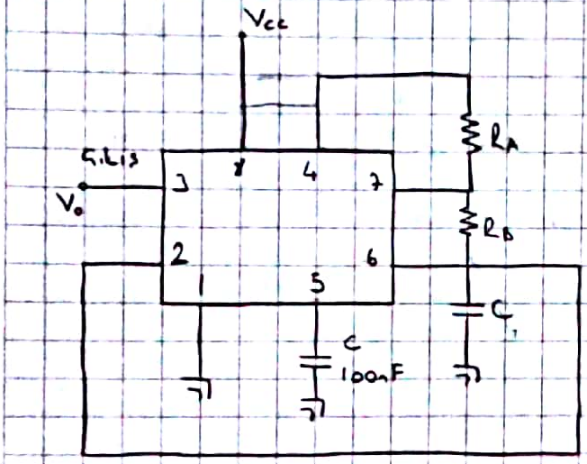
Eğer devrede RESET'le işim yoksa 4 numara V_{cc}'ye bağlanır. T_2'ye müdahale söz konusu olmaz. Ara sıra RESET yaparız diyorsak 4 numarayı bir düzenekle bağlarız.

Özet: Tetikleme 2 nolu uç V_{cc}'ye bağlı olduğu sürece K_2 çıkışı 0 set=0, $Q=0$ $\bar{Q}=1$, T_1 ON C kapasitesi kısa devre dolayısıyla C, R üzerinden V_{cc} gerilimine dolamıyor. Bu durum kararlı bir yapı ve dışarıdan müdahale edilmediği sürece korunur.

Eğer 2 numaralı tetikleme ucu bir an için (toprak potansiyeline geçirilirse) 0'a değiştirilip tekrar eski haline getirilirse K_2 çıkışı 1, $S=1$, $Q=1$, $\bar{Q}=0$ T_1 OFF C kapasitesi dolma iznini almış ve R üzerinden V_{cc} gerilimine dolmaya başlar. C gerilimi $\frac{2}{3}V_{cc}$ değerine erişince K_1 çıkışı 1, $R=1$, $Q=0$, $\bar{Q}=1$, T_1 ON C kısa devre ve üzerindeki gerilim T_1 yolu üzerinden toprağa boşalır ve sistem bir sonraki tetiklemeyi bekler hale gelir.

4 nolu RESET ucu T_2 pnp olduğundan toprak potansiyeline indirildiği an T_2 ON olur. Entegre içinde hazır tutulan V_{ref} gerilimi T_1'in bazına ulaşır ve T_1 ON olur. Böylece dolmakta olan C kapasitesi boşaltılarak sistem resetlenmiş olur.

Kararsız ikili devre (Kare dalga üreteci)

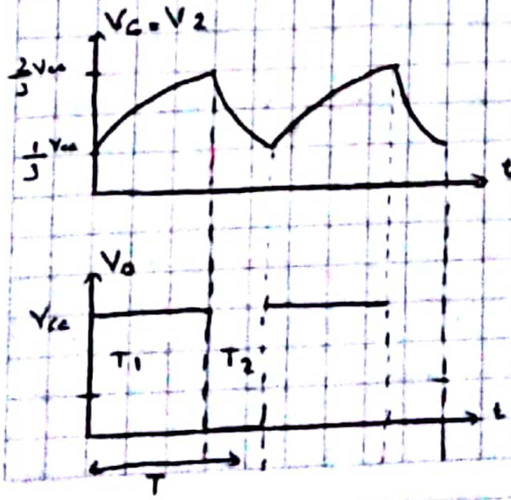


⇒ Tetiklemede reset'de yok

R	S	
0	0	→ Q
0	1	→ 0
1	0	→ 1
1	1	→ ?

?___ ile çizilen; Burada C_1 R_A ve R_B üzerinden Vcc'ye doldurulurken boşaltma işlemi sadece R_B üzerinden oluyor. Bu dolma ve boşalma sürelerini R_A, R_B ve C belirler. C boşken karşılaştırıcı 1 çıkışı 0, karşılaştırıcı 2 çıkışı 1 dir. Q=1, $\bar{Q}=0$ olur. $\bar{Q}=0$ olduğu için T_1 OFF olur ve C dolma iznini almıştır ve dolar. Önce $\frac{1}{3}$ Vcc yi geçecek ve üzerine çıkınca karşılaştırıcı 1 ve 2 çıkışları 0, 0 oldu. (SET darbesini sildi). Flip flop önceki durumunu korur ve Q=1, $\bar{Q}=0$ oldu. Bu ara bir durum. C kondansatörü $\frac{2}{3}$ Vcc olunca 1. karşılaştırıcı çıkışı 1, 2. karşılaştırıcı çıkışı 0 oldu. Q=0, $\bar{Q}=1$ oldu. C gerilimi $\left(\begin{matrix} 2/3\ Vcc \\ 1/3\ Vcc \end{matrix}\right.$ şeklinde değişir. Artık boşalırken $\frac{1}{3}$ Vcc'nin altına düşmez. Yani $\frac{1}{3}$ Vcc ile $\frac{2}{3}$ Vcc arasında değişiyor.

Başlangıçtaki durum olarsak

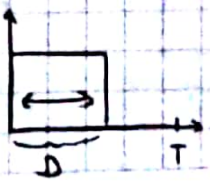


Dolma
↑

$$T_1 = (R_A + R_B)C.\ln 2$$

$$T_2 = \underbrace{R_B\, C \ln 2}_{\text{boşalma}}$$

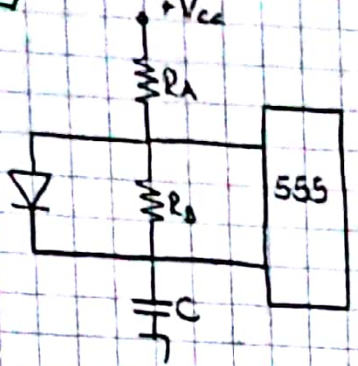
$\frac{D}{T} \neq \frac{1}{2}$ simetrik kare dalga değildir.



⇒ Simetrikleştirmek için

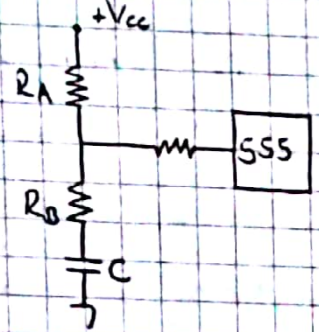
1) Eğer $R_A << R_B$ sekursel yaklaşık simetrik olur

2)



$R_A = R_B$ alınırsa doldururken R_A'yı görüyor, boşalırken R_B'yi görüyor. Diyot R_B'yi kısa devre ediyor ancak diyot hiçbir zaman ideal olmaz bu yüzden sinyal yaklaşık simetrik olur. İlk durumdan daha iyi.

3)



Henüz denenmemiş ?? !

Güç Kaynakları

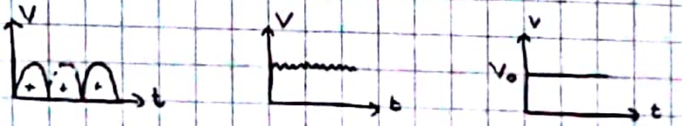
1) AC/DC

2) AC/AC

3) DC/DC

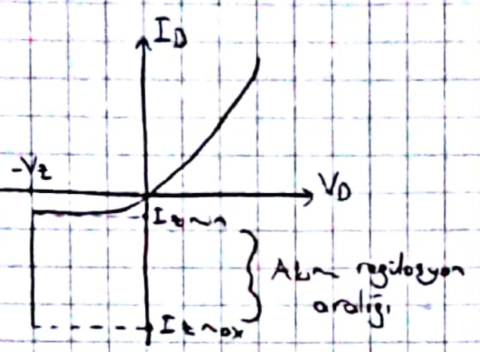
4) DC/AC

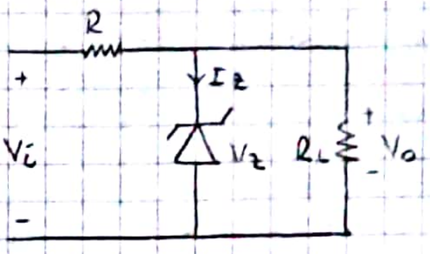
⇒ AC/DC güç kaynakları



Güç kaynağında regülatör en önemli kısımdır. Hem şebeke dalgalanmalarının etkisini önlemek hem de ideal filtre yapılamaması nedeniyle oluşan dalgalanmaları önlemek için kullanılma zorunluluğu vardır.

1) Zener diyotlu regülasyon

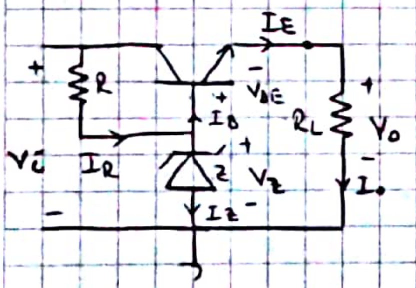




Üretilmiş 3 volttan 50 volta kadar zener diyotlar mevcuttur. Zener diyot güçleri ise çeyrek watt, yarım watt ve 1 wattır.

Zener diyot sadece küçük güçlü birkaç watta kadar olan güç kaynağı regülatörlerinde kullanılabilir. Büyük güçlerde kullanılamaz.

2) Transistör + Zener diyotlu regülasyon

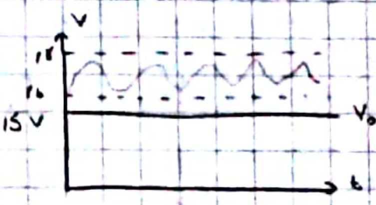


$I_o = I_E$ $\qquad$ $V_o = V_Z - V_{BE}$ $\qquad$ $I_E = (1+\beta) I_B$

$\frac{I_E}{\beta+1} = I_B$ $\qquad$ $I_C = \beta I_B$

$I_R = I_B + I_Z$ $\qquad$ $V_R = V_i - V_Z$ $\qquad$ $R = \frac{V_R}{I_R}$

örnek: Bir AC/DC güç kaynağının filtre çıkışındaki gerilim 16-18 V arasında dalgalanmaktadır. 3 Ω'luk bir yüke 15 Volt sabit DC bir gerilim beslenmesi istenmektedir. $\beta = 100$, $I_{Zmin} = 10mA$ dir.



$I_o = \frac{15}{3} = 5A = I_E$ $\qquad$ $I_B = \frac{I_E}{\beta+1} = 50mA$

$P_o = I^2 . R = 75W$ $\qquad$ $V_Z = 15,7V$

$\boxed{V_{i}\ min\ 16\ V\ için}$

$V_R = V_i - V_Z = 16 - 15,7 = 0,3V$

$R = \frac{0,3}{I_{Zmin} + I_B} = \frac{0,3}{60} = 5\Omega$

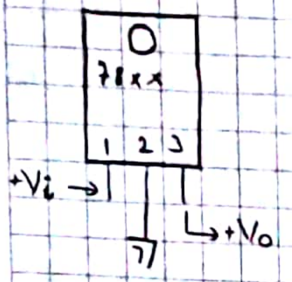
$I_R = I_{Zmin} + I_B$

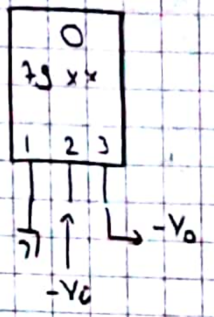
$\boxed{V_i\ max\ 18\ V\ için}$

$V_R = 2,3\ V$

$I_R = \frac{2,3}{5} = 460mA$ $\qquad$ $I_{Zmax} = 410mA$

3) 3 terminalli Regülatör entegresiyle gerilim regülasyonu

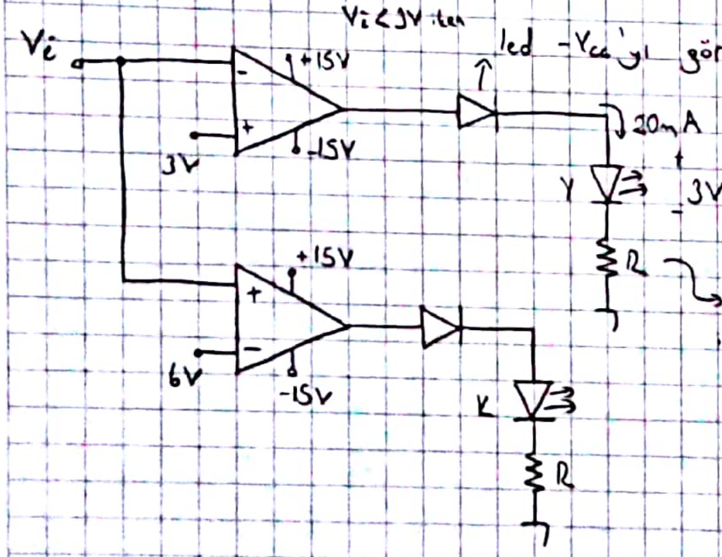




Çıkış akımları max 1A

Ex. 1) Zamanla değişen bir işaretin değerinin 3V'dan küçük olduğunda yeşil ve 6V'dan büyük olduğunda kırmızı bir led : durum tespiti yapılmak isteniyor.

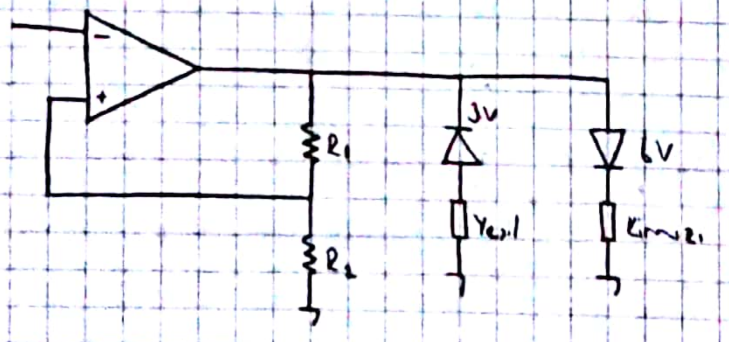
$V_{cc} = \pm 15V$, $I_{led} = 20mA$, $V_{led} = 3V$



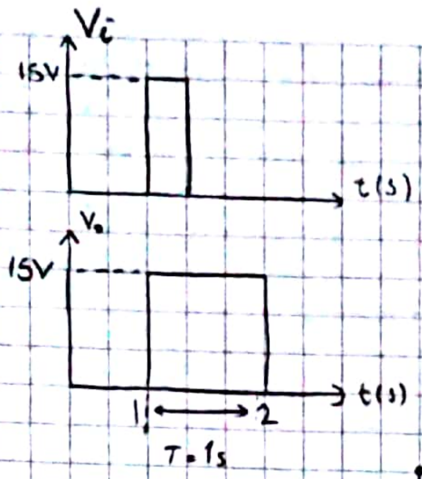
led -Vcc'yi görmesin diye diyot.

$R = \frac{15-0,7-3}{20mA} = 565\Omega$

15 volt'un 3V üstündeki bölümünü yok etmek için direnç kullanıyoruz.



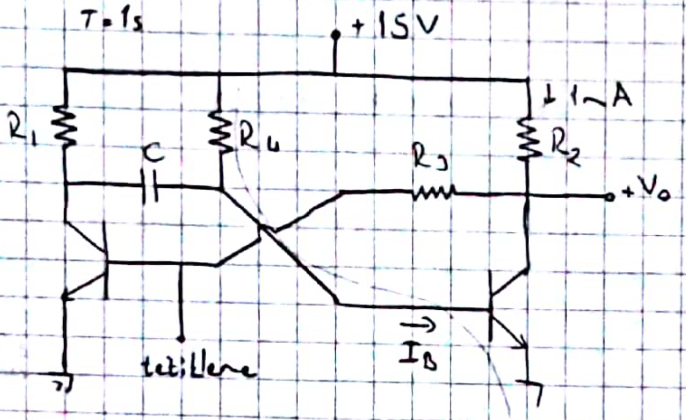
Ex
2)



Giriş çıkış dalga şekilleri verilen transistörlü devreyi tasarlayınız. (Tek kararlı ikili devre)

$\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE} = 0{,}7V$ $V_{CEd} \cong 0V$

$I_{CQ} = 1mA$ $C = 10\mu F$



$V_{CE} = 0V$ olduğunda gerilimin tamamı R_2 üstüne, diğer transistörde R_1 üstüne düşer.

Bu tür devrelerde R_1 ve R_2 simetriktir.

1. yol (C bilinmiyor)

$T = 0{,}69 \, . \, R_4 \, C = 1s$ $\quad R_1 = R_2 = \dfrac{V_{cc} - V_{CEd}}{I_{CQ}} = \dfrac{15}{1mA} = 15k\Omega$ $\quad I_B = \dfrac{1mA}{\beta} = 10\mu A$

$15 - 0{,}7 = 14{,}3$ $\quad 14{,}3 = R_4 . 10\mu A$ $\quad I_B = \dfrac{I_C}{\beta}$

$R_4 = \dfrac{V_{cc} - V_{CEd}}{I_B} = \dfrac{15 - 0{,}7}{10\mu A} = 1{,}43 M\Omega$

2 Yol (C verilmiş)

$R_4 = \dfrac{1}{0{,}69 . C} = \dfrac{10^6}{0{,}69 . 10} \cong 144k\Omega$

$I_B = \dfrac{14{,}3}{144k\Omega} \cong 0{,}1mA$ $\quad I_{C max} = 1mA$ olduğundan $R_1 = R_2 = 15k$

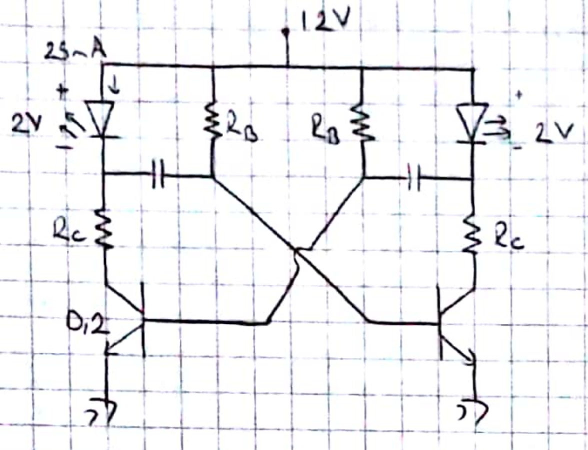
$\longrightarrow$ Burada $I_C \neq \beta I_B$ çünkü transistör doymada çalışıyor.

Aktif durumda $I_C = \beta I_B$ olur.

⇒ İkili devrelerin tamamında transistörler doymada çalıştırılır. Çünkü T hesapları her zaman V_{cc} üzerinden yapıldığına göre transistörlerin tam anahtarlayıcı gibi açılıp kapanması gerekir.

Ex 3) Bir kırmızı bir yeşil led 1s yanık, 1s sönük kalacak şekilde sırayla çalışacaktır.

$V_{cc} = 12V$, $V_{led} = 2V$, $I_{led} = 25mA$, $h_{fe} = 100$, $V_{BE} = 0,7$ $V_{CEsat} = 0,2V$. Devreyi tasarlayın.



$$R_c = \frac{9,8}{25mA} = 392\ \Omega$$

$$I_B = \frac{I_c}{h_{fe}} = 250\mu A$$

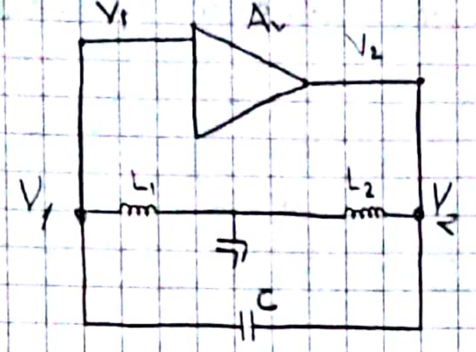
$$R_B = \frac{12-0,7}{I_B} = 45k\Omega$$

$T_1 = T_2 = 0,69 . R_B . C = 1s$ ise C bulunur.

$C = 32,67\mu F$

R_c yük direnci

Ex
4)



$A_v = ?$ osilasyon frekansı ?

$L_1 = L_2 = 10 \mu H$

$C = 10 nC$ $A_v = \frac{V_2}{V_1}$

$j\omega L_1 / \; V_1\left(\frac{1}{j\omega L_1} + j\omega C\right) - V_2(j\omega C) = 0$ ①

$j\omega L_2 / \; -V_1 j\omega C + V_2\left(\frac{1}{j\omega L_2} + j\omega C\right) = 0$ ②

① $V_1(1-\omega^2 CL_1) + V_2\omega^2 CL_1 = 0$

② $V_1\omega^2 CL_2 + V_2(1-\omega^2 CL_2) = 0$

V1'i V2 cinsinden yazıp tek denkleme indirge

a+jb=0 a=0'dan w_0 çıkar. w_0 bulduktan sonra 1. veya 2. denklemi düzenle V2/V1'i bul.

$-V_1\frac{\omega^2 CL_2}{1-\omega^2 CL_2} = +V_2$

$-V_1\omega^2 CL_2 + V_1 = V_2$ $V_1(-\omega^2 CL_2 + 1) = V_2$ ⇒ 1. denklemde yerine yaz

$V_1(1-\omega^2 CL_1) + V_1(-\omega^2 CL_2 + 1)(\omega^2 CL_1) = 0 \Rightarrow V_1[(1-\omega^2 CL_1) + (-\omega^2 CL_2 + 1)(\omega^2 CL_1)] = 0$

$V_1[(1-\omega^2 CL_1) + (-\omega^2 CL_2 \cdot \omega^2 CL_1 + \omega^2 CL_1)] = 0$ $V_1[(1-\cancel{\omega^2 CL_1}) + (-\omega^4 C^2 L_1 L_2 + \cancel{\omega^2 CL_1})] = 0$

$V_1(1-\omega^4 C^2 L_1 L_2) = 0$

$\omega = \sqrt{\frac{1}{2CL_1}}$

$\boxed{f = \frac{\omega}{2\pi}}$

$\boxed{A = \frac{V_2}{V_1}}$