به نام خدا

الکترونیک(۲)

مدرس:
میریوسفی
دانشگاه فنی و حرفه ای البرز

نام درس : الکترونیک(۲) – مدارهای مجتمع خطی

تعداد واحد :۳

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : الکترونیک(۱)

هدف : تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی

الکترونیک۲

تعداد واحد: ۲ (نظری)

پیشنیاز: الکترونیک۱ **همنیاز:** -

هدف: تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی

شرح درس:

منابع و آینه‌های جریان، بارهای فعال

تقویت کننده‌های چند طبقه و طبقه کاسکود

تقویت کننده‌های تفاضلی

فیدبک

تقویت کننده‌های عملیاتی و کاربردهای آنها

تنظیم کننده‌های ولتاژ

مراجع و منابع

مبانی الکترونیک (جلد دوم)	دکتر سید علی میرعشقی
مدارهای میکرو الکترونیک	سدرا اسمیت
اصول میکروالکترونیک	دکتر بهزاد رضوی
مدارهای مجتمع آنالوگ	پاول گری رابرت میر
طراحی مدارهای آنالوگ CMOS	دکتر بهزاد رضوی

****

تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیک مهندس تقی شفیعی جلد دوم (مرجع حل تمرین)

ارزشیابی

- امتحان پایانی ۱۵–۱۴ نمره
- میان ترم + quiz ۴–۳ نمره
- تمرین و فعالیت کلاسی ۳–۲ نمره Don’t copy

ارتباط

❖از طریق پست الکترونیک

miryoosefi@ yahoo.Com (subject:electronic2)

❖ کانال اطلاع رسانی

@miryousefi

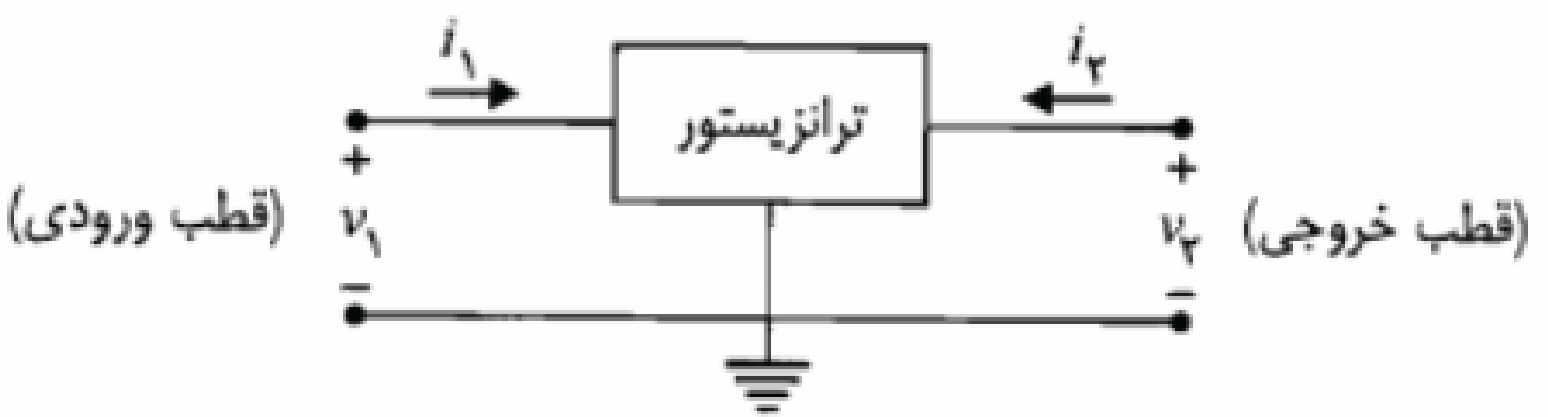
رئوس مطالب

- یادآوری الکترونیک(۱)
  تحلیل تقویت کننده های چند طبقه
- تقویت کننده تفاضلی
- منابع جریان و بار فعال
- فیدبک
- تنظیم کننده ولتاژ
- تقویت کننده عملیاتی

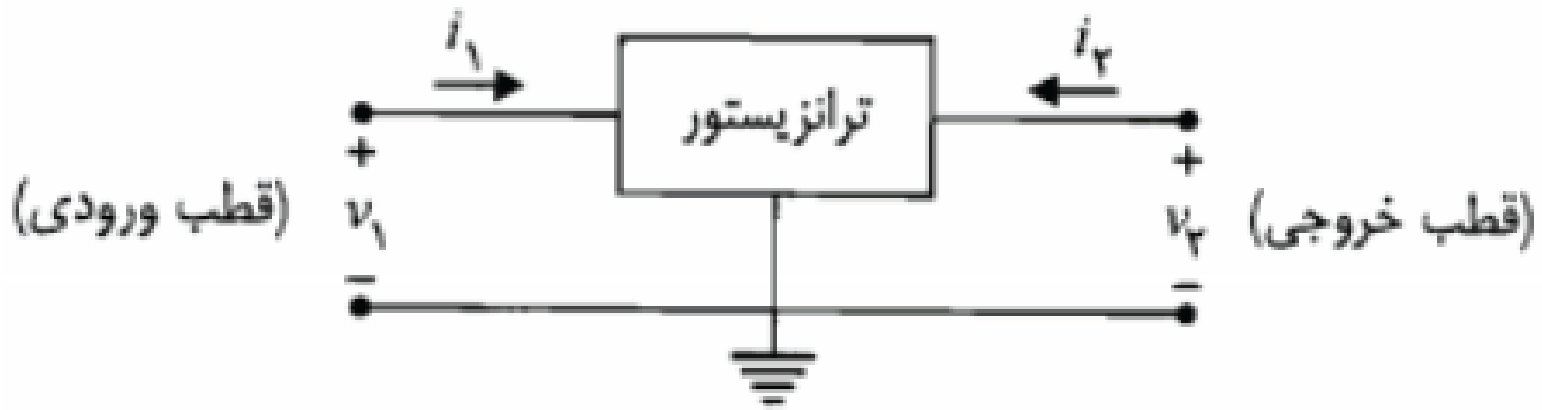
یادآوری
الکترونیک
(۱)

تحلیل
تقویت کننده های
چند طبقه

مدل هیبرید h ترانزیستور



شکل ۶-۲: ترانزیستور به عنوان یک دوقطبی



شکل ۶-۲: ترانزیستور به عنوان یک دوقطبی

$$h_{11} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0}$$ مقاومت ورودی در حالتی که خروجی اتصال کوتاه باشد.

$$h_{12} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0}$$ بهره ولتاژ معکوس در حالتی که ورودی مدار باز باشد.

$$h_{21} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0}$$ بهره جریان مستقیم وقتی که خروجی اتصال کوتاه باشد.

$$h_{22} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0}$$ هدایت خروجی در حالتی که ورودی مدار باز باشد.

$h_{11} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0}$ مقاومت ورودی در حالتی که خروجی اتصال کوتاه باشد.

$h_{12} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0}$ بهره ولتاژ معکوس در حالتی که ورودی مدار باز باشد.

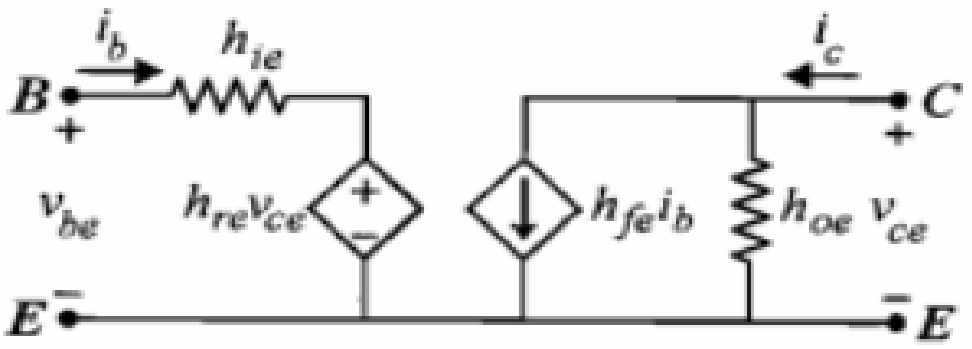
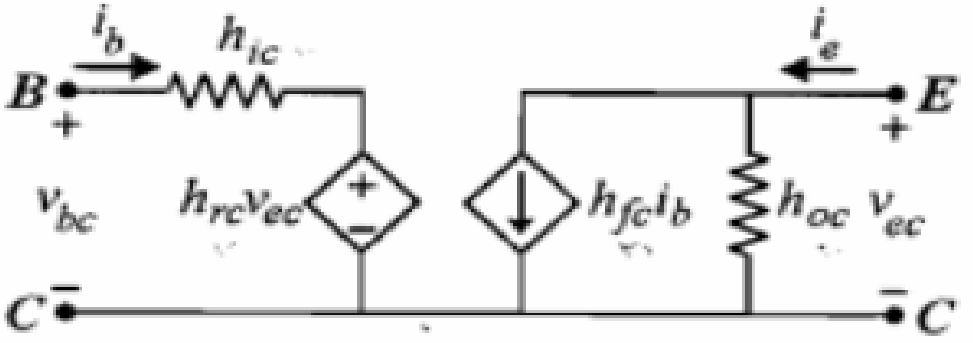
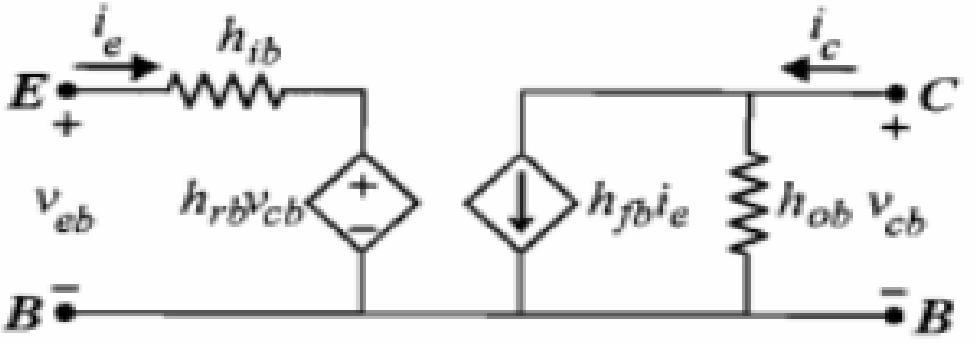
$h_{21} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0}$ بهره جریان مستقیم وقتی که خروجی اتصال کوتاه باشد.

$h_{22} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0}$ هدایت خروجی در حالتی که ورودی مدار باز باشد.

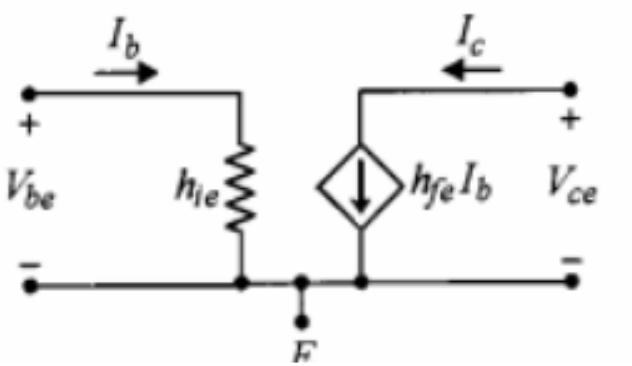
		Condition
h_i	Input resistance	Output shorted
h_r	Voltage feedback ratio	Input open
h_f	Forward current gain	Output shorted
h_o	Output conductance	Input open

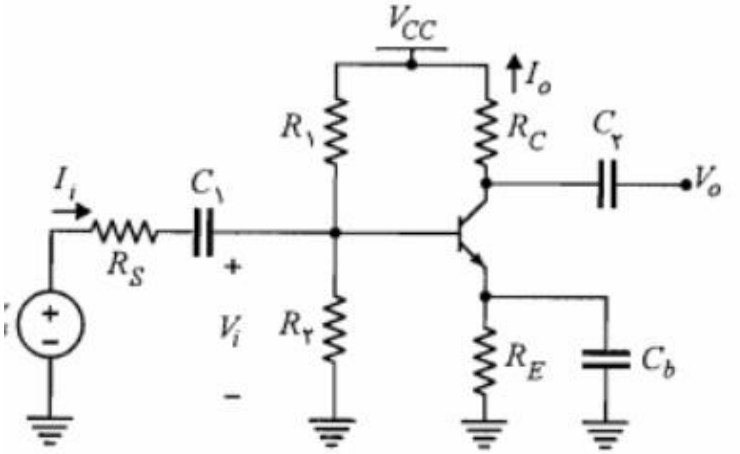
ورودی $h_i = h_{11}$ انتقال معکوس $h_r = h_{12}$

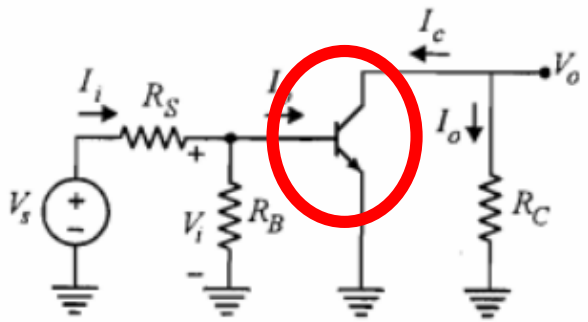
انتقال مستقیم $h_f = h_{21}$ خروجی $h_o = h_{22}$

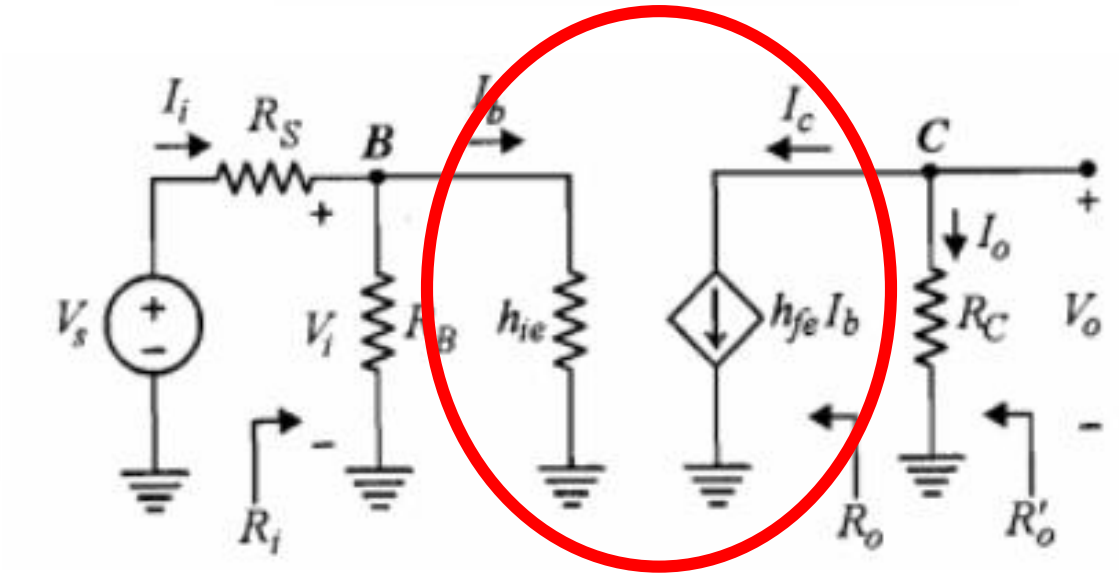
معادلات سیگنال کوچک	مدل هیبرید
CE $v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$ $i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$	
CC $v_{bc} = h_{ic} i_b + h_{rc} v_{ec}$ $i_e = h_{fc} i_b + h_{oc} v_{ec}$	
CB $v_{eb} = h_{ib} i_e + h_{rb} v_{cb}$ $i_c = h_{fb} i_e + h_{ob} v_{cb}$	

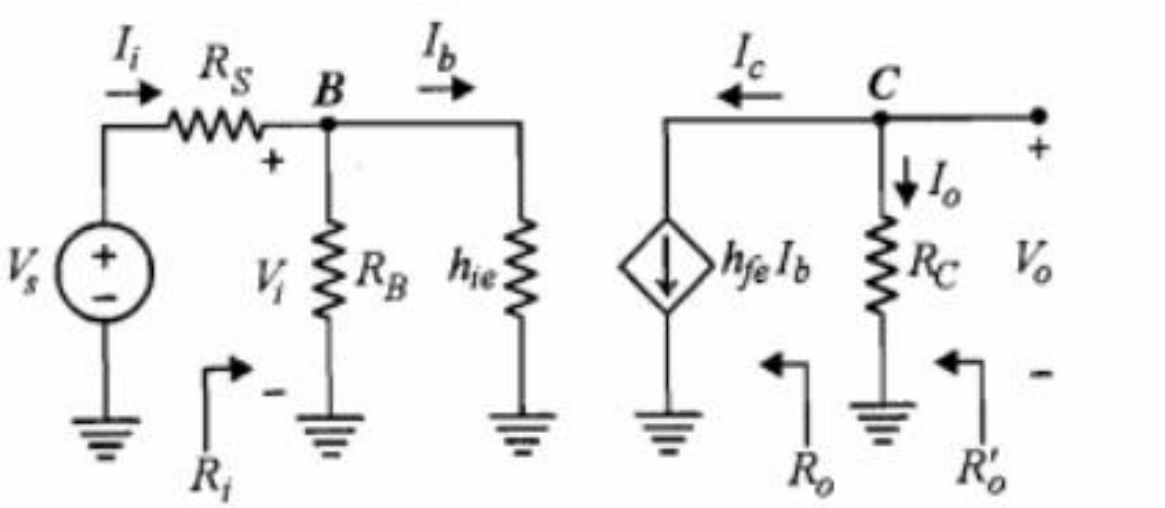
استفاده از مدل تقریبی هیبرید در تقویت کننده امیتر مشترک











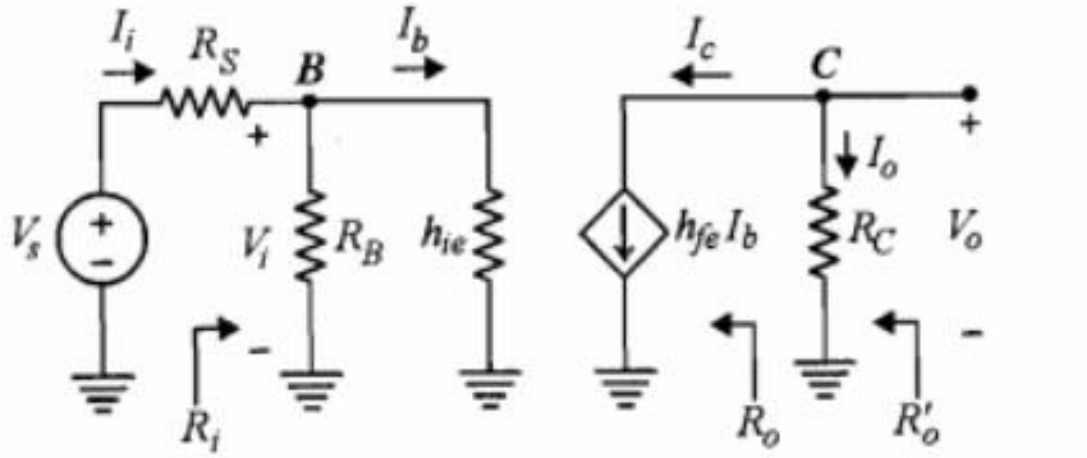
$$R_i = \frac{V_i}{I_i}$$

$$V_i = I_i (R_B \parallel h_{ie})$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_B \parallel h_{ie} = \frac{R_B h_{ie}}{R_B + h_{ie}}$$

صورتی که $R_B \gg h_{ie}$ باشد، خواهیم داشت

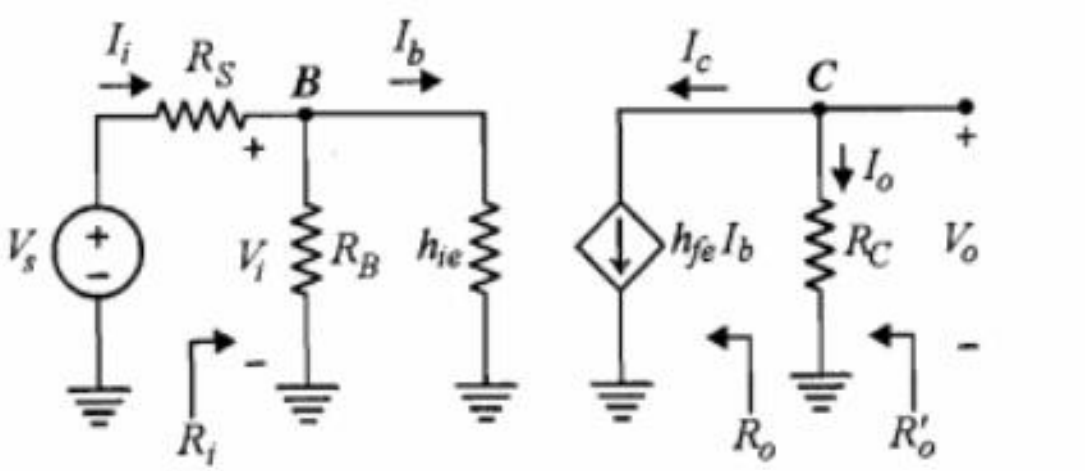
$$R_i \cong h_{ie}$$



$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{-I_c}{I_i} = \frac{-I_c}{I_b}\frac{I_b}{I_i}$$

$$\frac{I_b}{I_i} = \frac{R_B}{R_B + h_{ie}}$$

$$A_I = \frac{-h_{fe} R_B}{R_B + h_{ie}}$$



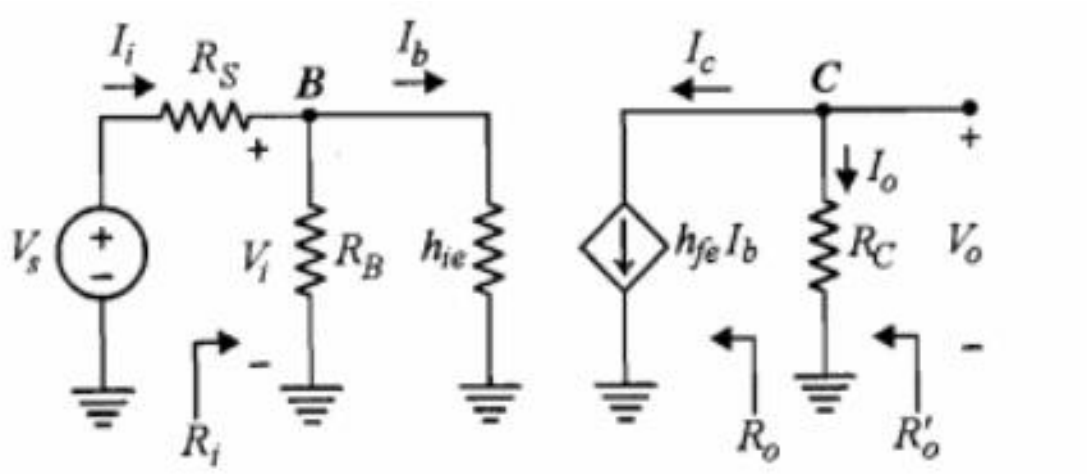
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{R_i}\frac{I_o}{I_i} = \frac{R_C}{R_i}A_I$$

$$A_V = \frac{-h_{fe}R_C}{h_{ie}}$$

$$A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i}\frac{V_i}{V_s} = A_V\frac{V_i}{V_s}$$

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_S}$$

$$A_{V_s} = \frac{A_V R_i}{R_i + R_S} = \frac{A_I R_C}{R_i + R_S}$$

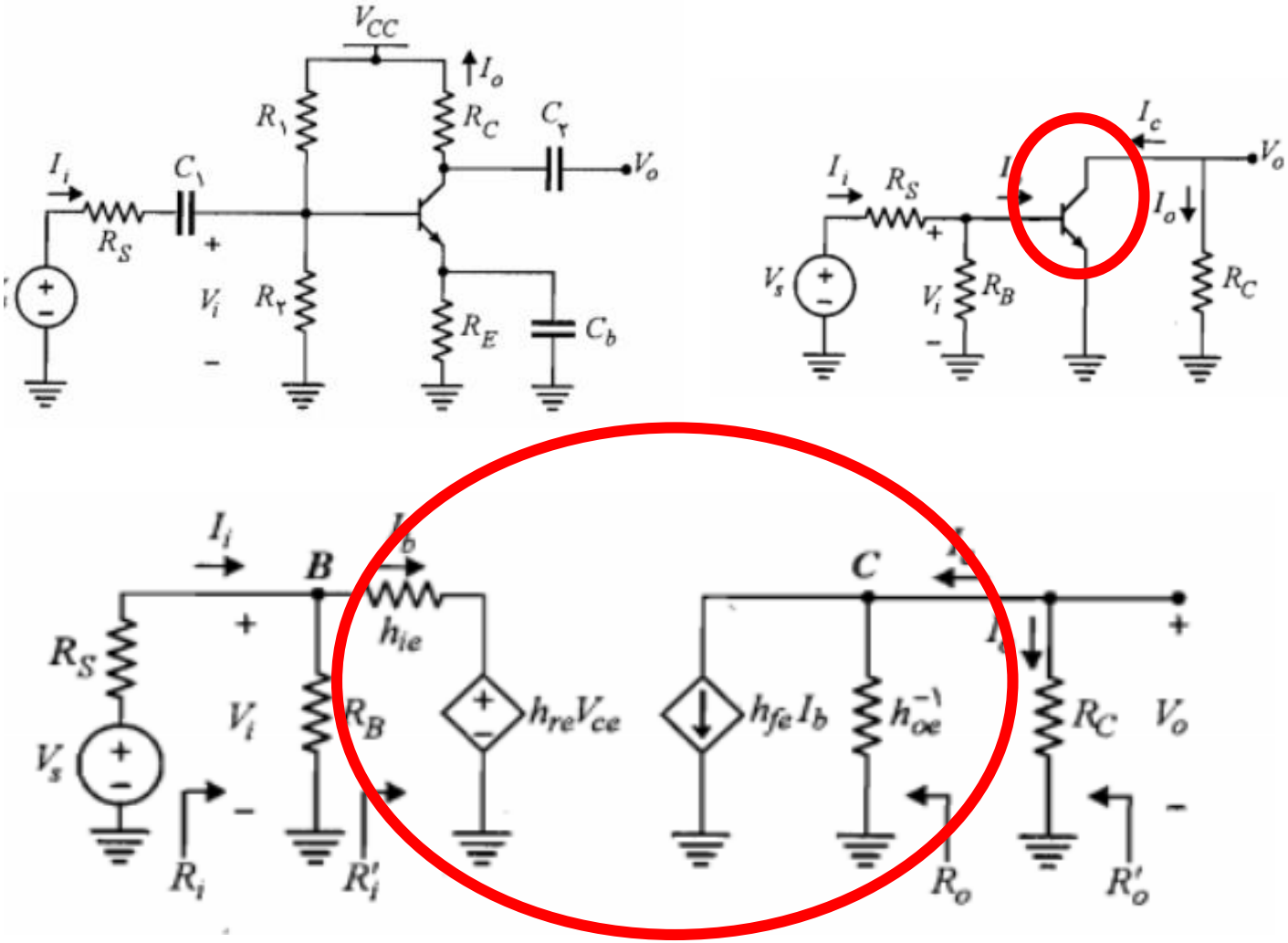


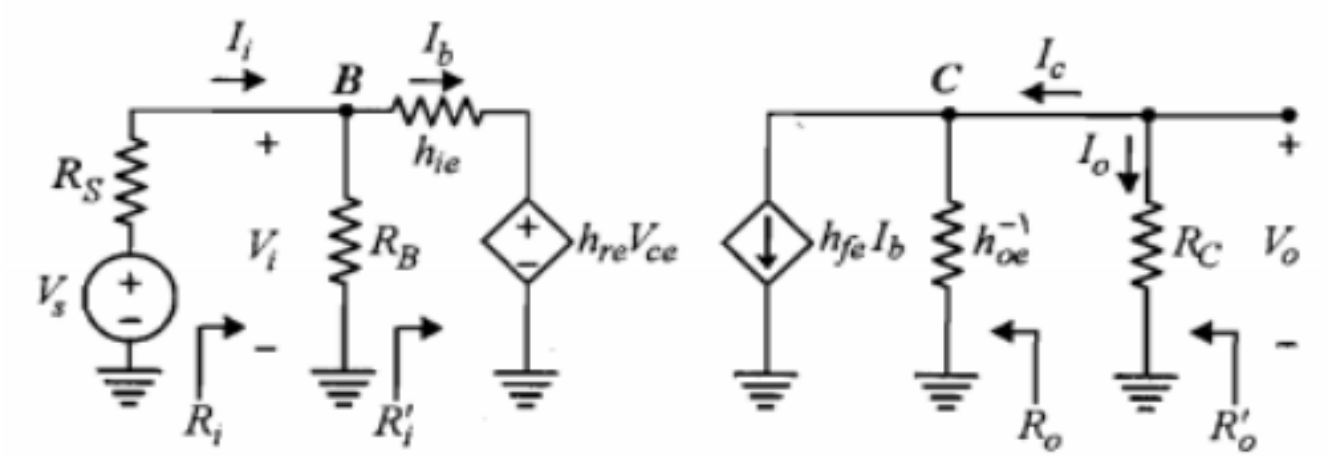
$$R_o = \frac{V_۲}{I_۲}$$

$$R_o = \frac{V_۲}{۰} = \infty$$

$$R'_o = R_o \| R_C = R_C$$

استفاده از مدل دقیق هیبرید در تقویت کننده امیتر مشترک



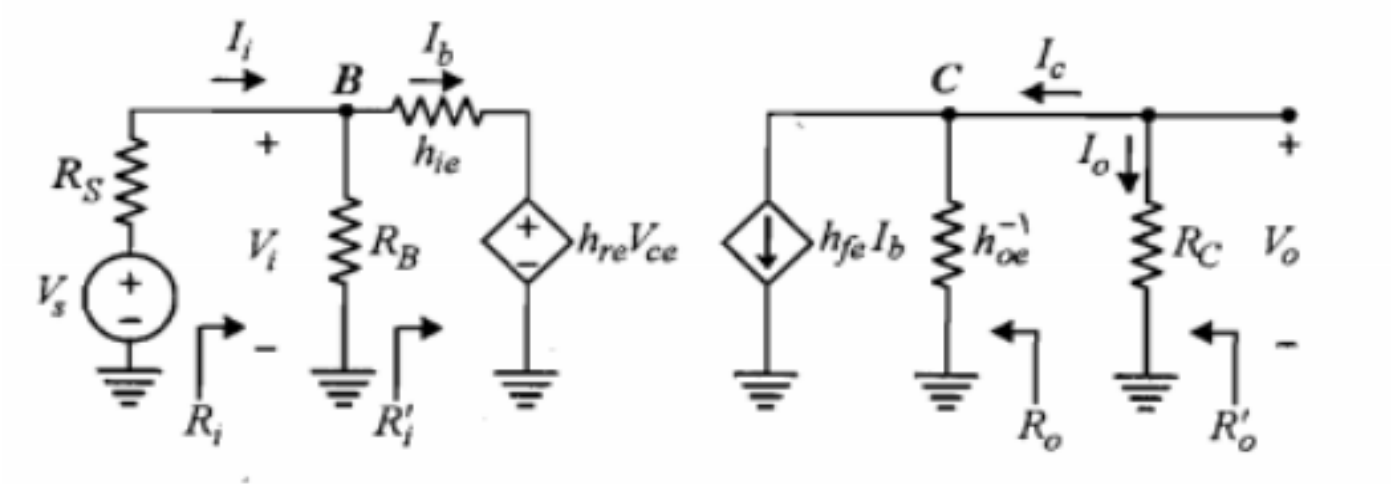


$$V_o = -h_{fe} I_b R_P = -h_{fe} I_b (R_C \| h_{oe}^{-1})$$

$$V_i = h_{ie} I_b + h_{re} V_{ce}$$

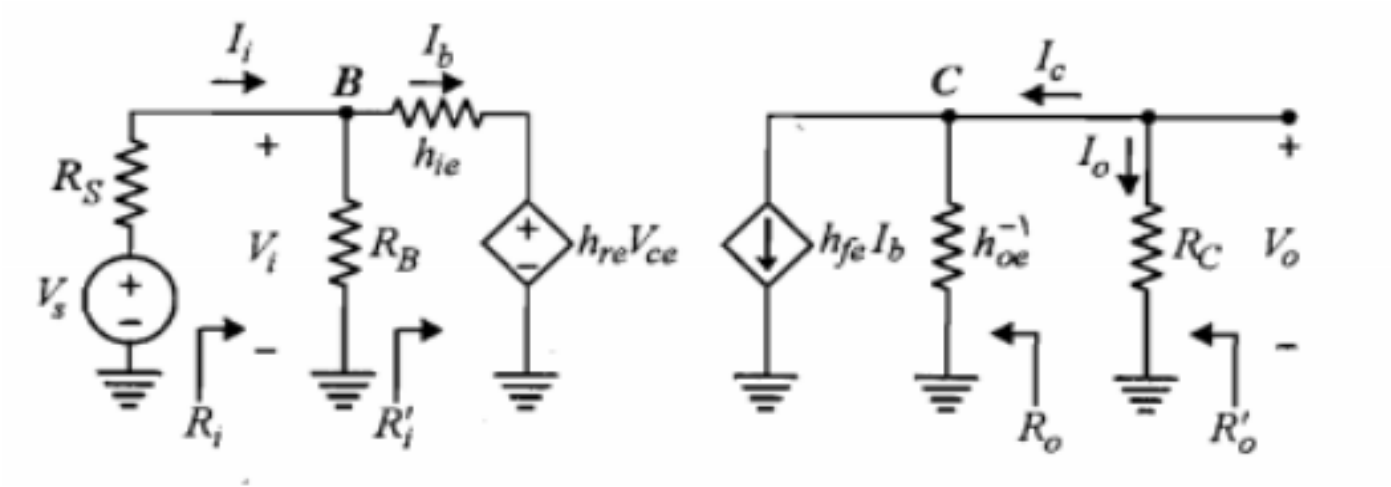
$$V_i = h_{ie} I_b + h_{re} V_o = I_b \left[h_{ie} - h_{re} h_{fe} (R_C \| h_{oe}^{-1}) \right]$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fe} (R_C \| h_{oe}^{-1})}{h_{ie} - h_{re} h_{fe} (R_C \| h_{oe}^{-1})}$$

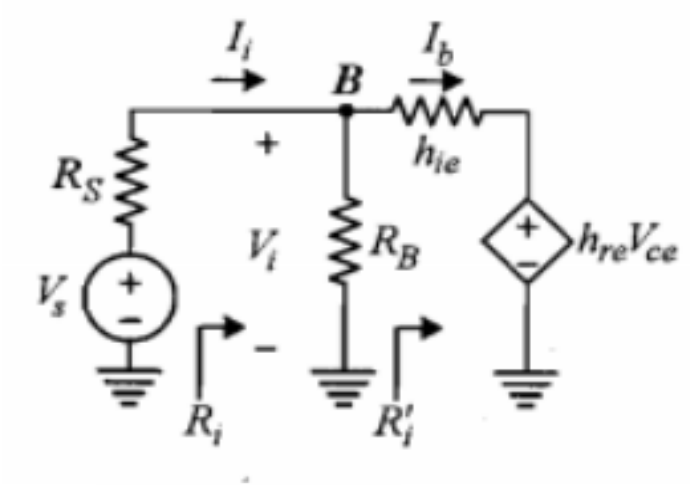


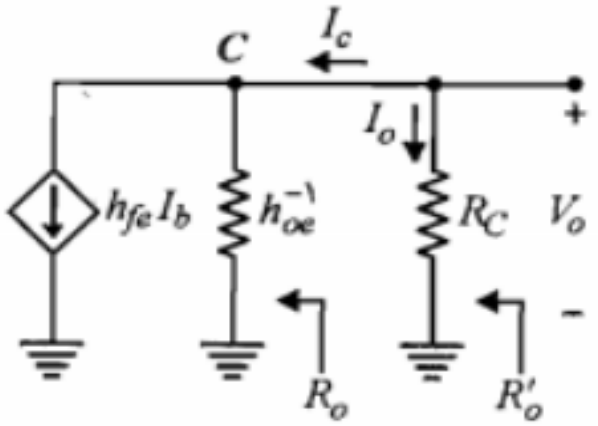
$$R_i = R_i' \| R_B$$

$$R_i' = \frac{V_i}{I_b} = h_{ie} - h_{re}h_{fe}(R_C \| h_{oe}^{-1})$$



$$A_I = A_V \frac{R_i}{R_C}$$





$$R_o = \frac{V_2}{I_2}$$

$$I_2 = h_{fe}I_b + h_{oe}V_2$$

$$I_b = \frac{-h_{re}V_2}{h_{ie} + R_S \| R_B}$$

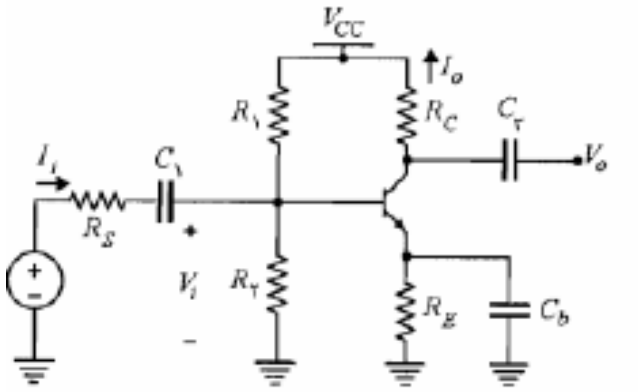
$$I_2 = \left(h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{h_{ie} + R_S \| R_B} \right) V_2$$

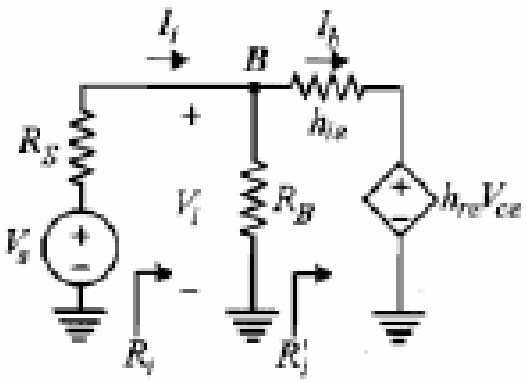
$$\frac{1}{R_o} = \frac{I_2}{V_2} = h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{h_{ie} + R_S \| R_B}$$

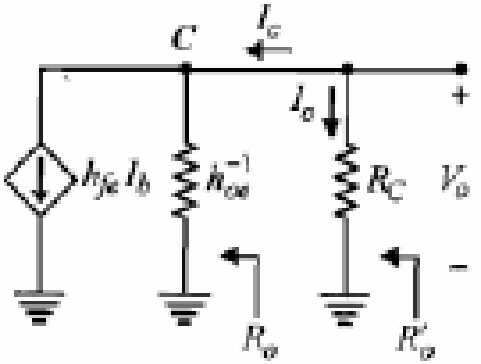
مثال ۶-۱: مدار شکل ۶-۱۲ را در نظر بگیرید. فرض کنید $R_C = ۱\ K\Omega$، $R_S = ۱۰۰\ \Omega$ و $R_B \gg h_{ie}$ باشد. با استفاده از پارامترهای ترانزیستور که در جدول ۶-۲ داده شده‌اند، مطلوب است

الف) محاسبه A_V، R_i، A_I، R_o و R_o'

ب) محاسبه کمیتهای فوق با صرف‌نظر از h_{re} و h_{oe} (مدل تقریبی)

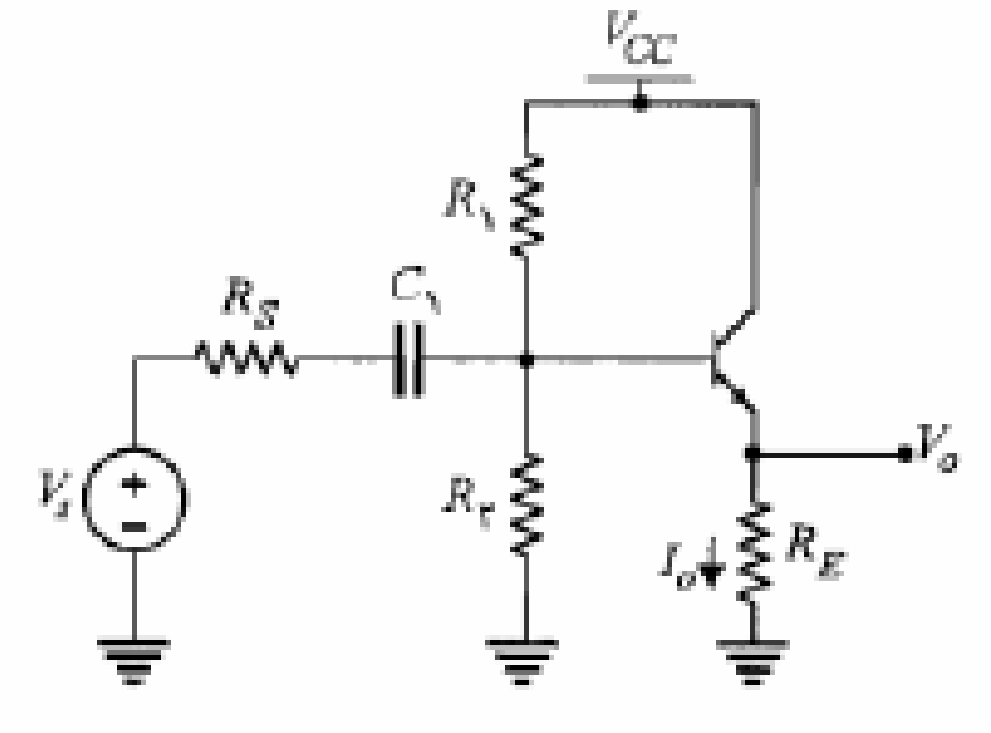




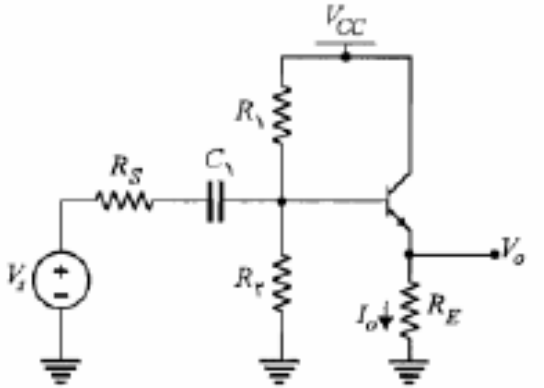


پارامتر	CE
h_i	۱۱۰۰ Ω
h_r	$۲٫۵\times۱۰^{-۴}$
h_f	۵۰
h_o	$۲۵\times۱۰^{-۶}\ \Omega^{-۱}$
$h_o^{-۱}$	۴۰ KΩ

تقویت کننده کلکتور مشترک (Common Collector: CC)

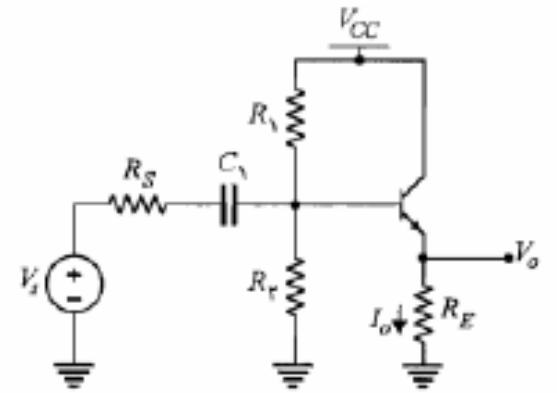


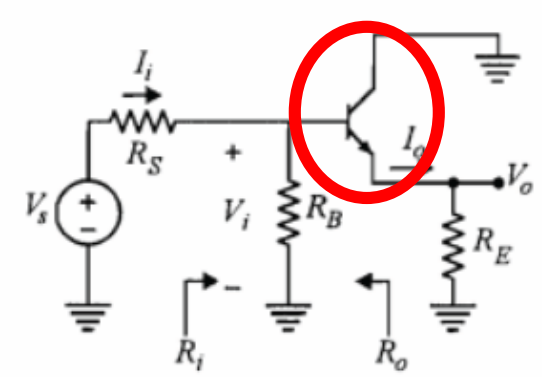
پارامترهای هیبرید تقویت کننده کلکتور مشترک (Common Collector: CC)

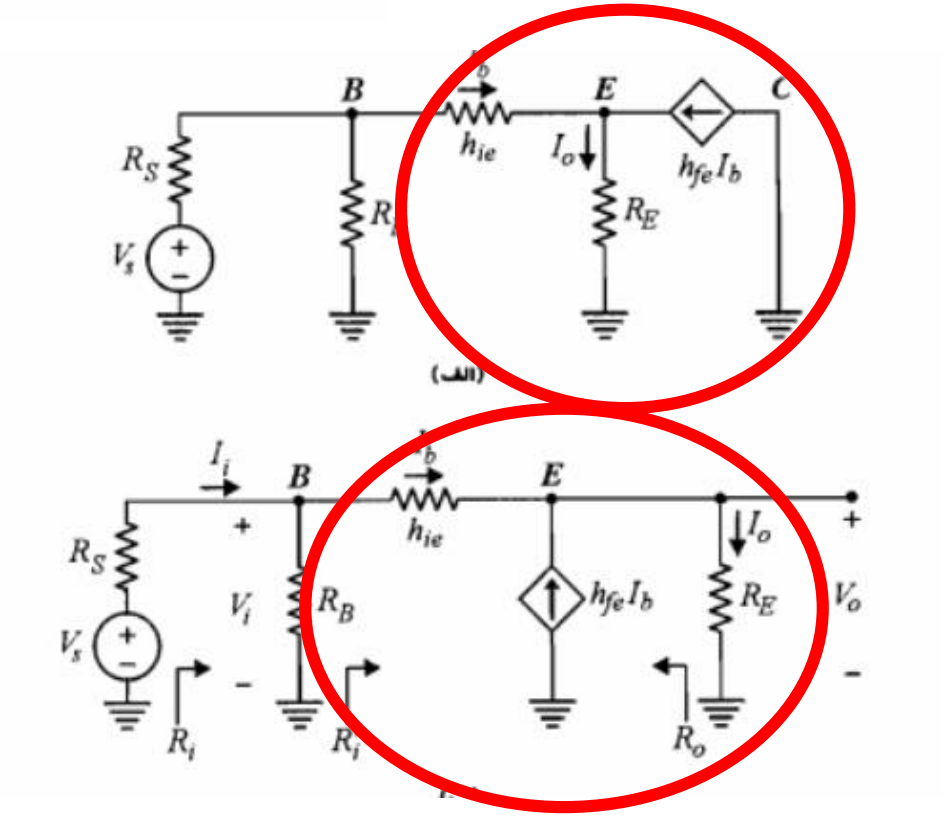


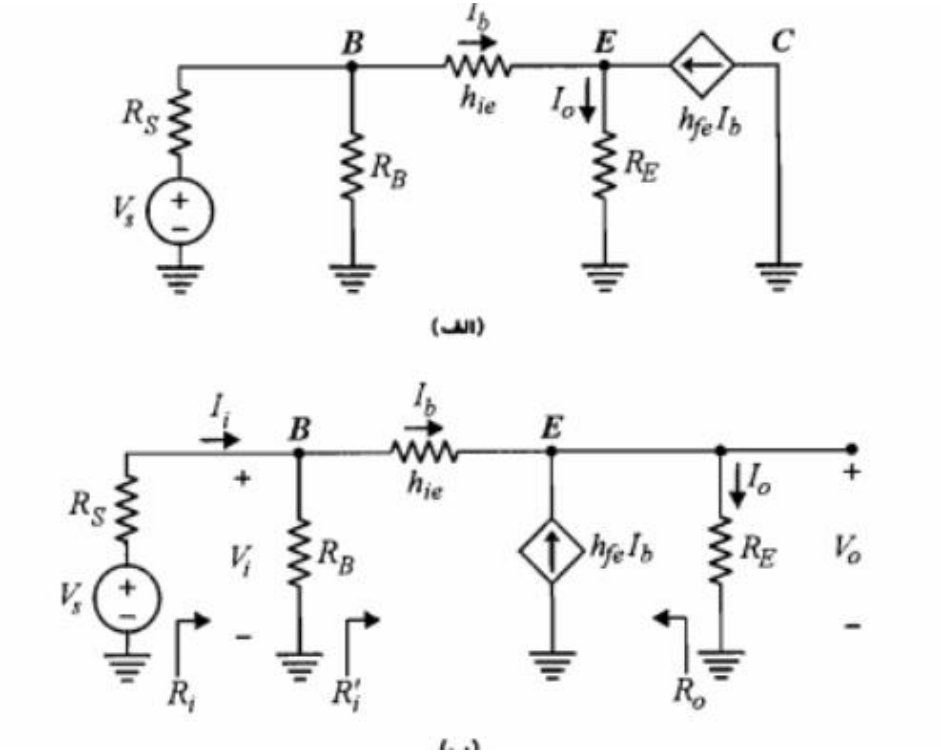
$$h_{oc} = \left.\frac{I_e}{V_{ec}}\right|_{I_b=0} \qquad h_{rc} = \left.\frac{V_{bc}}{V_{ec}}\right|_{I_b=0} \qquad h_{fc} = \left.\frac{I_e}{I_b}\right|_{V_{ec}=0} \qquad h_{ic} = \left.\frac{V_{bc}}{I_b}\right|_{V_{ec}=0}$$

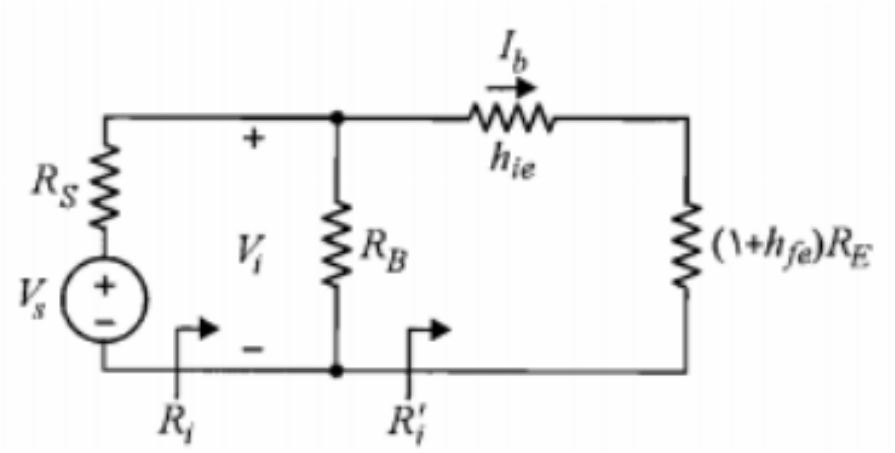
$h_{ic} = h_{ie}$	$h_{oc} = h_{oe}$
$h_{fc} = -(1 + h_{fe})$	$h_{rc} = 1 - h_{re}$

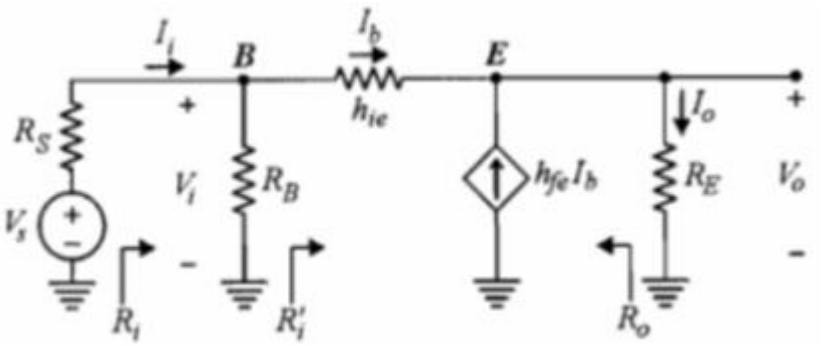

V_{CC}
R_1
R_S
C_1
V_s
R_2
I_o
R_E
V_o


I_i
R_S
V_s
V_i
R_B
I_o
R_E
V_o
R_i
R_o


B
E
C
h_{ie}
I_o
$h_{fe}I_b$
R_S
V_s
R_E
(الف)
I_i
R_B
V_i
R_i
R_o
V_o


B
E
C
I_b
h_{ie}
I_o
$h_{fe}I_b$
R_S
R_B
R_E
V_s
(الف)
I_i
V_i
V_o
R_i
R'_i
R_o


I_b
h_{ie}
R_S
V_s
V_i
R_B
$(1+h_{fe})R_E$
R_i
R'_i

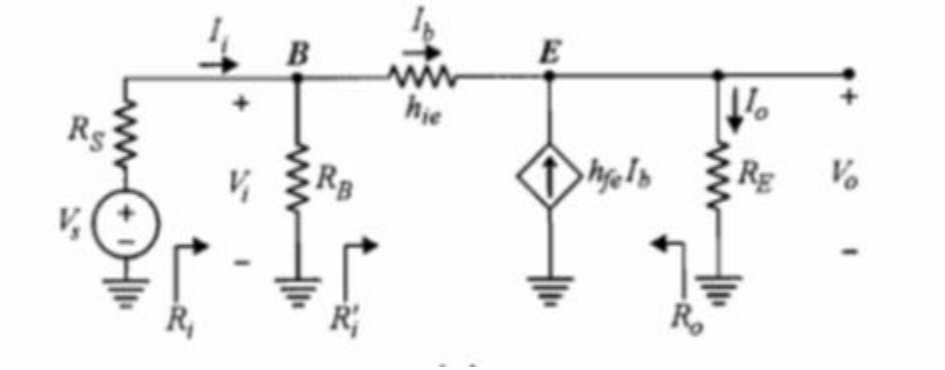


$$R_i' = V_i / I_b$$

$$V_i = h_{ie} I_b + (I_b + h_{fe} I_b) R_E = \left[h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E \right] I_b$$

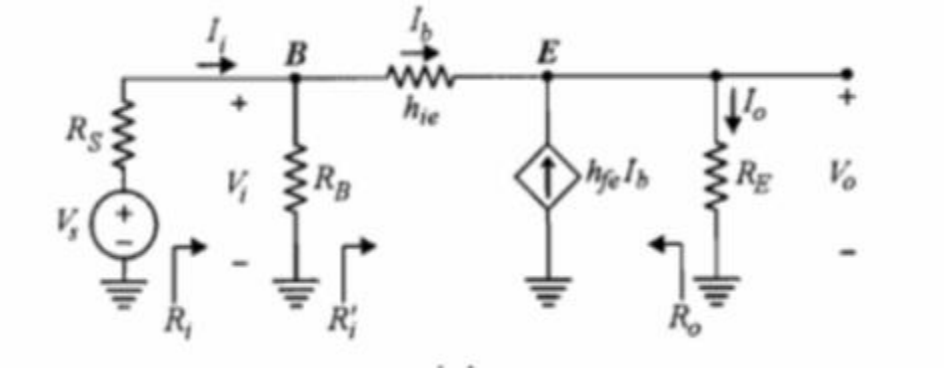
$$R_i' = \frac{V_i}{I_b} = h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E$$

$$R_i = R_i' \parallel R_B$$

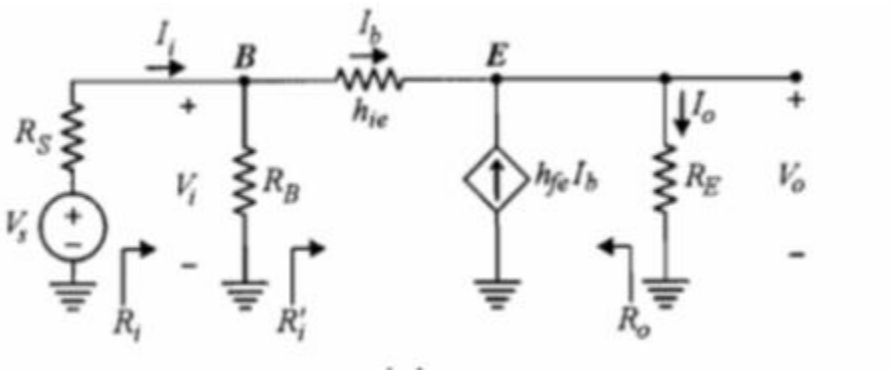


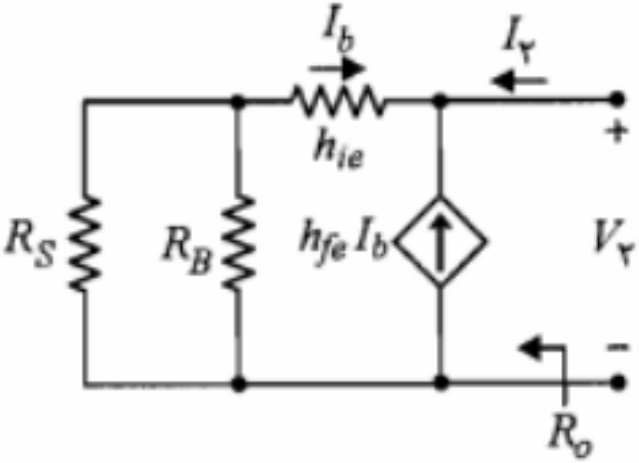
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E I_o}{\left[h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E\right] I_b} = \frac{(1 + h_{fe}) R_E}{h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E}$$

$$h_{ie} \ll (1 + h_{fe}) R_E$$



$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_b}\frac{I_b}{I_i} = (1 + h_{fe})\frac{R_B}{R_i' + R_B}$$



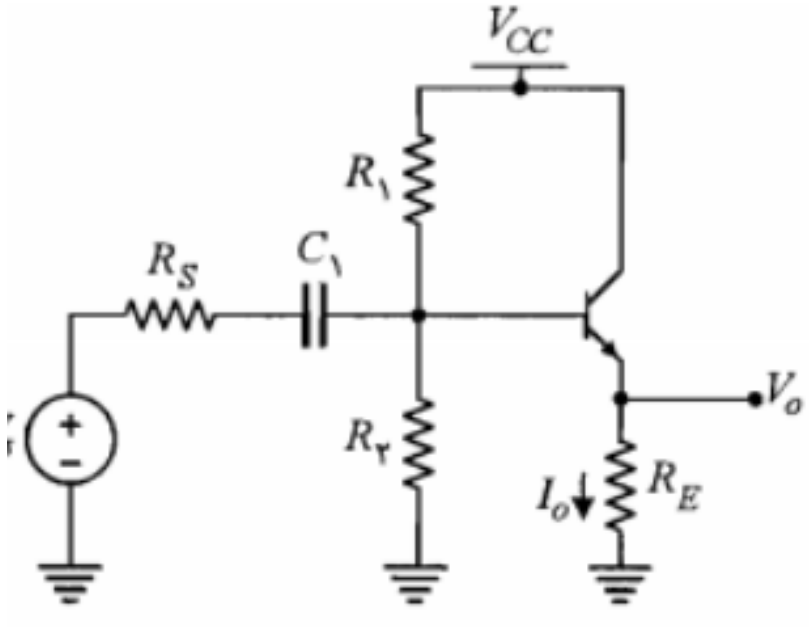


$$I_2 = -(1 + h_{fe})I_b$$

$$V_2 = -(h_{ie} + R_S \parallel R_B)I_b$$

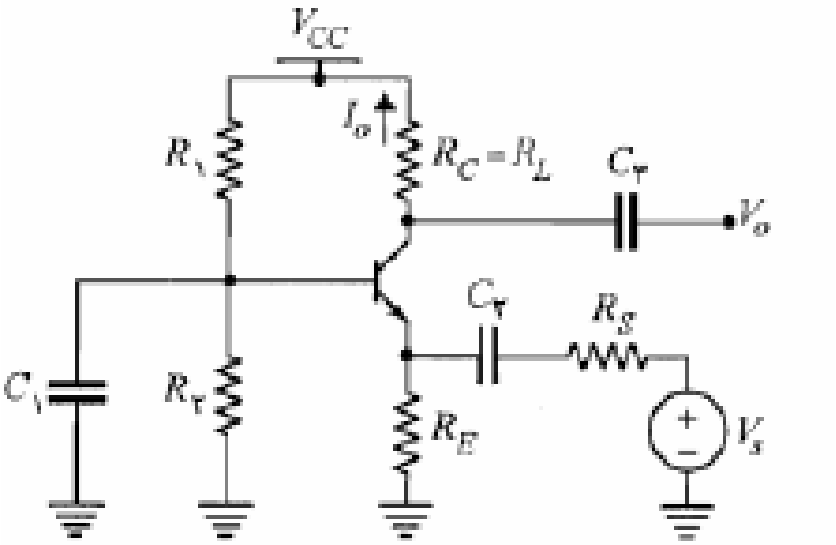
$$R_o = \frac{V_2}{I_2} = \frac{h_{ie} + R_S \parallel R_B}{1 + h_{fe}}$$

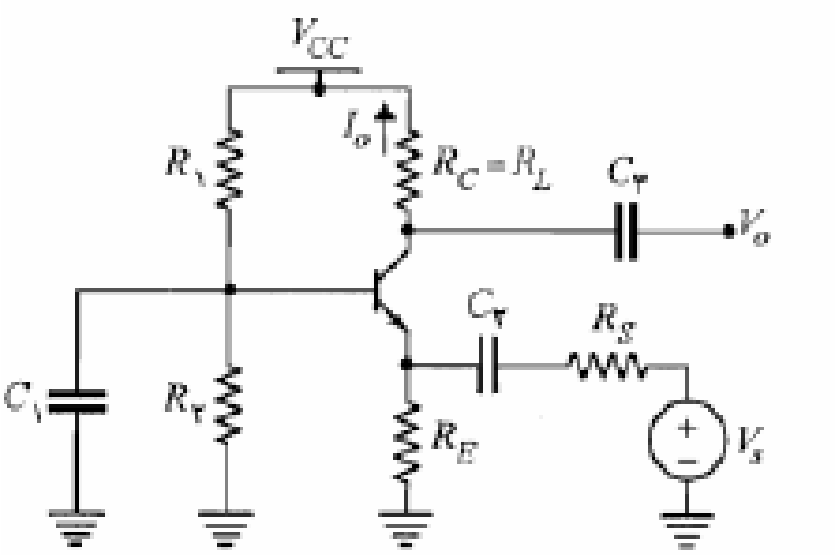
مثال ۶-۳: برای مدار تقویت‌کننده شکل ۶-۱۶، $R_E = ۱\ K\Omega$، $R_B = R_۱ \| R_۲ = ۵۰۰\ K\Omega$ و $R_S = ۱۰۰\ \Omega$ داده شده‌اند. در صورتی که ترانزیستور به‌کار رفته همان ترانزیستور مثال ۶-۱ باشد با صرف‌نظر از h_{re} و h_{oe}، کمیتهای A_V، R_i، A_I و R_o را محاسبه نمایید.

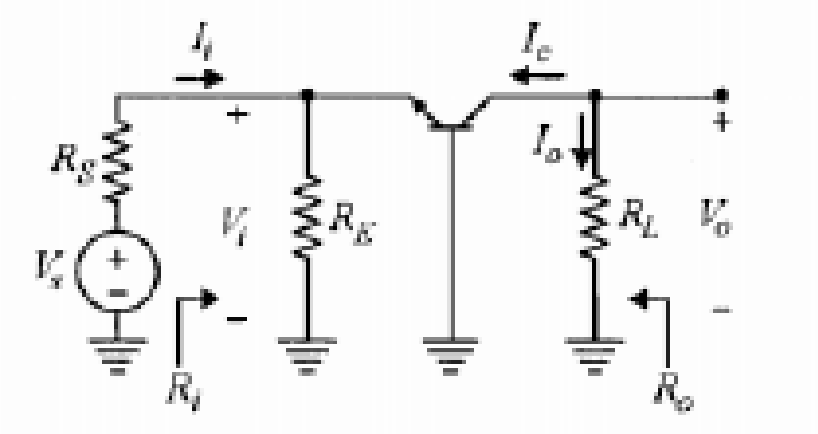


پارامتر	CE
h_i	۱۱۰۰ Ω
h_r	$۲٫۵\times۱۰^{-۴}$
h_f	۵۰
h_o	$۲۵\times۱۰^{-۶}\ \Omega^{-۱}$
$h_o^{-۱}$	۴۰ KΩ

تقویت کننده بیس مشترک (Common Base: CB)




V_{CC}
I_o
R_1
$R_C = R_L$
C_3
V_o
C_2
R_S
C_1
R_2
R_E
V_s


I_i
I_c
R_S
I_o
V_i
R_E
R_L
V_o
V_s
R_i
R_o

پارامترهای هیبرید تقویت کننده بیس مشترک

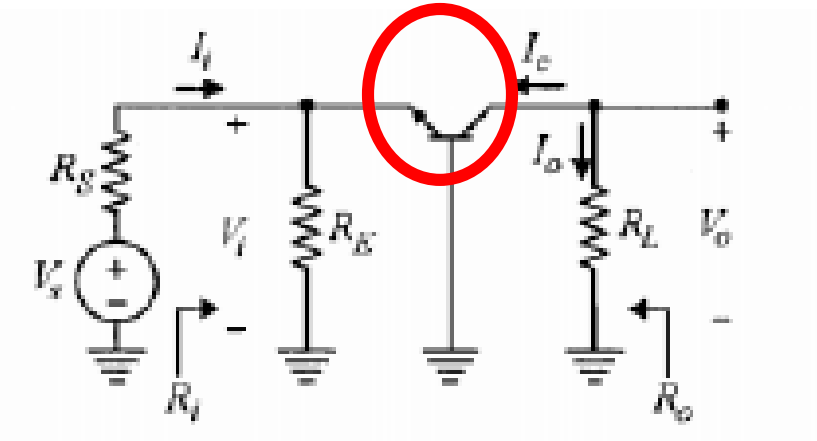
$$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{(1+h_{fe})(1-h_{re}) + h_{ie}h_{oe}}$$

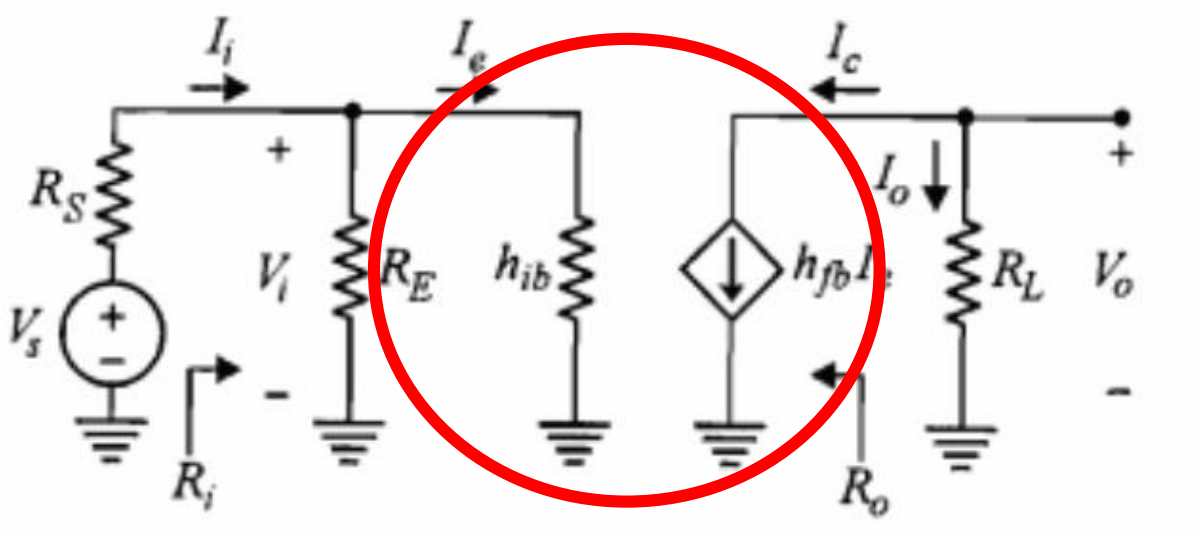
$$h_{fb} = \frac{-h_{fe}(1-h_{re}) - h_{oe}h_{ie}}{(1+h_{fe})(1-h_{re}) + h_{ie}h_{oe}}$$

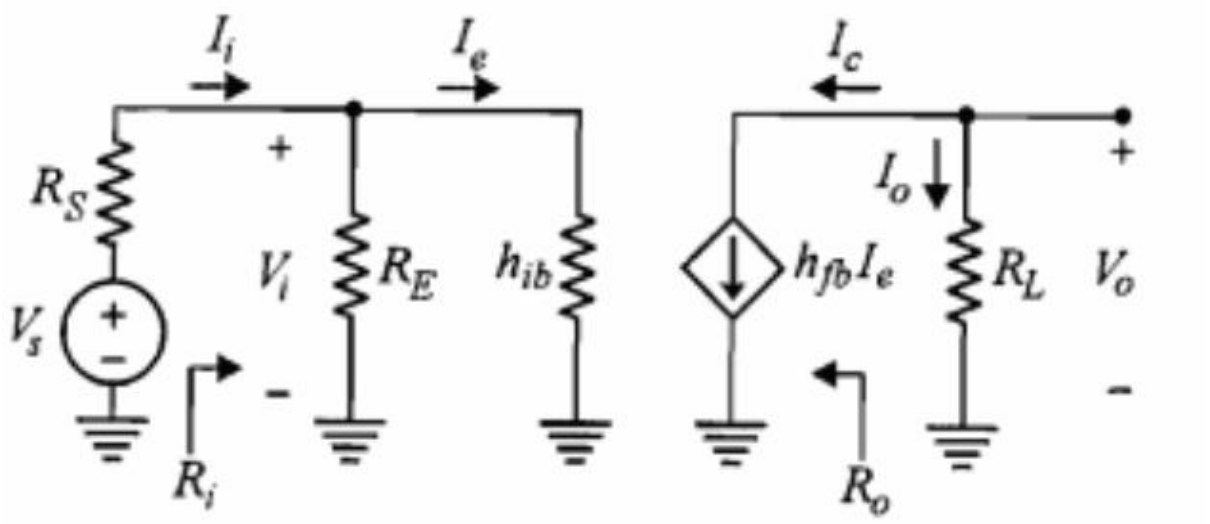
$$h_{rb} = \frac{h_{ie}h_{oe} - h_{re}(1+h_{fe})}{(1+h_{fe})(1-h_{re}) + h_{ie}h_{oe}}$$

$$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{(1+h_{fe})(1-h_{re}) + h_{ie}h_{oe}}$$

$h_{fb} = \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}}$	$h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$
$h_{ob} = \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}}$	$h_{rb} = \frac{h_{ie}h_{oe}}{1+h_{fe}} - h_{re}$

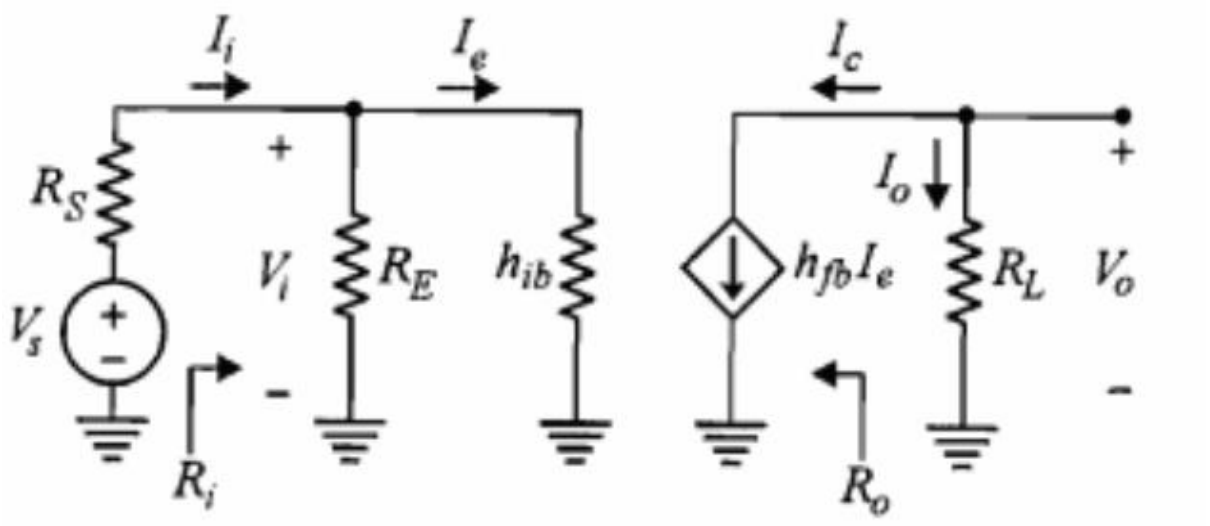

I_i
I_c
R_S
V_s
V_i
R_E
I_o
R_L
V_o
R_i
R_o


I_i
I_e
I_c
R_S
V_s
V_i
R_E
h_{ib}
$h_{fb}I_e$
I_o
R_L
V_o
R_i
R_o

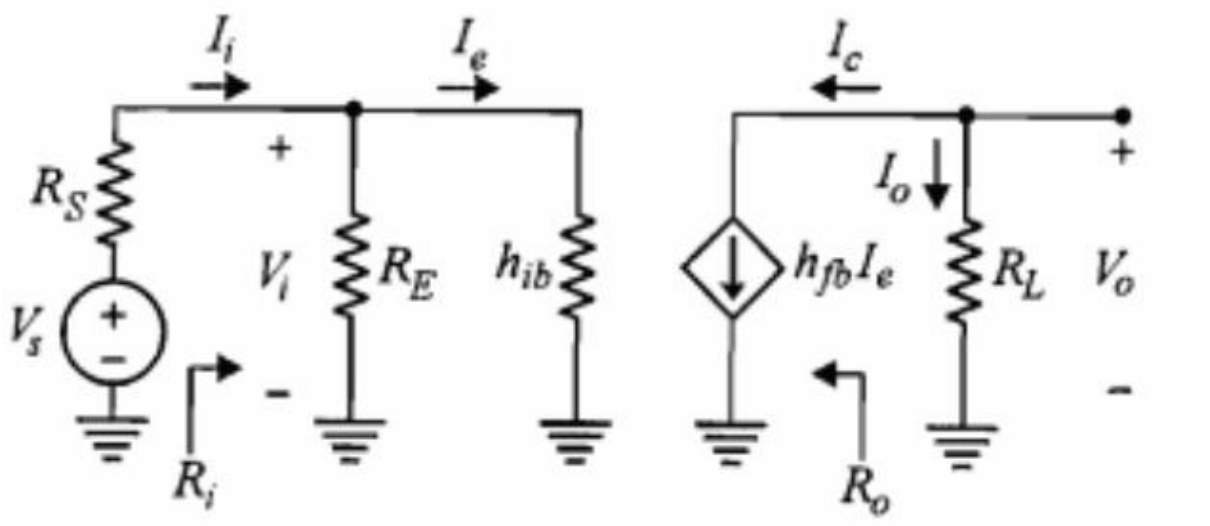


$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_c}\frac{I_c}{I_e}\frac{I_e}{I_i}$$

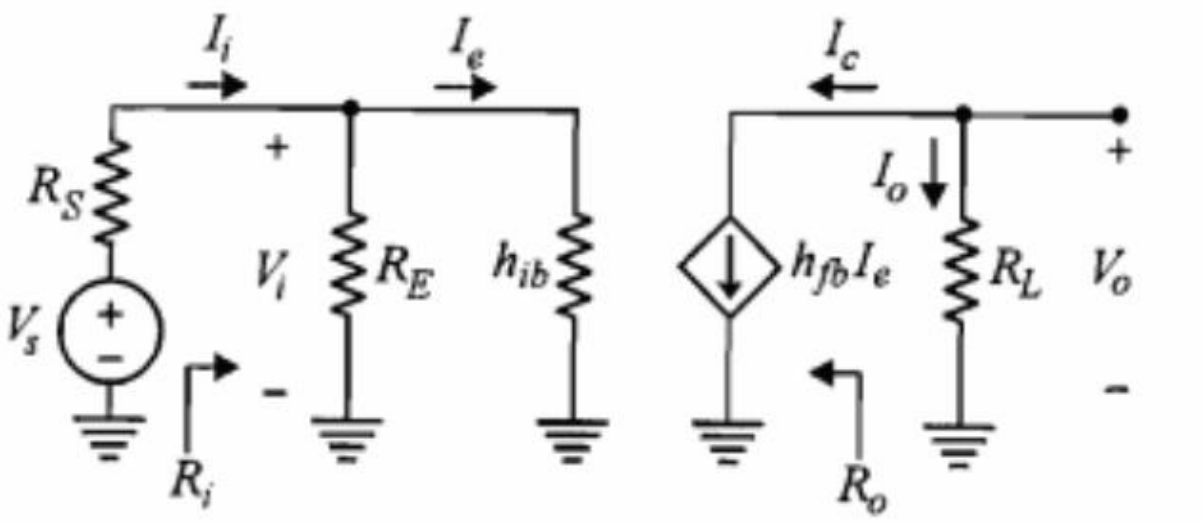
$$A_I = (-1)h_{fb}\frac{R_E}{R_E + h_{ib}} = \frac{-h_{fb}R_E}{R_E + h_{ib}}$$



$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_E \parallel h_{ib} = \frac{R_E h_{ib}}{R_E + h_{ib}}$$

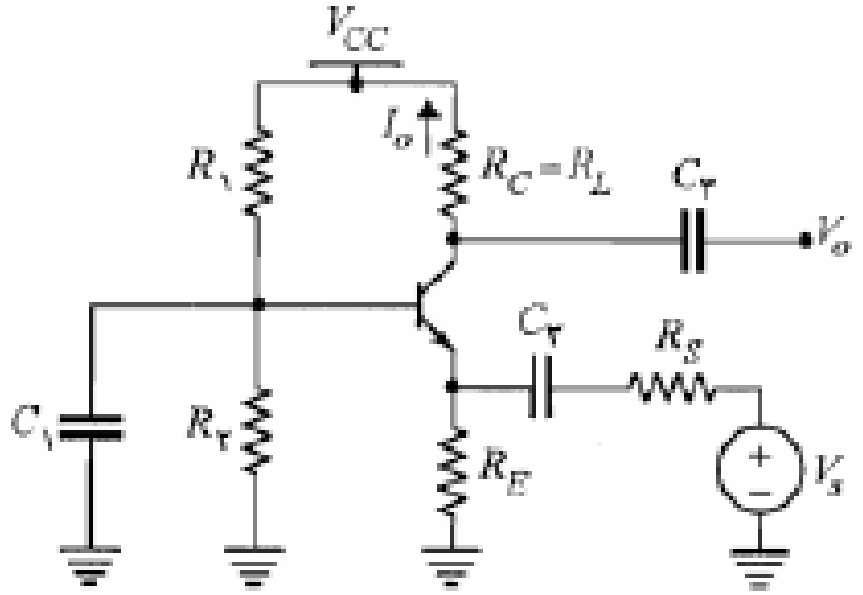


$$A_V = A_I \frac{R_L}{R_i} = \frac{-h_{fb}R_L}{h_{ib}}$$



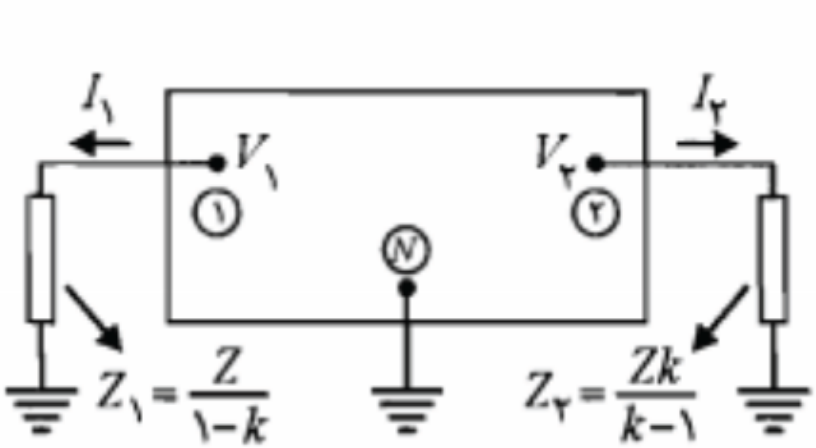
$$R_o = \infty$$

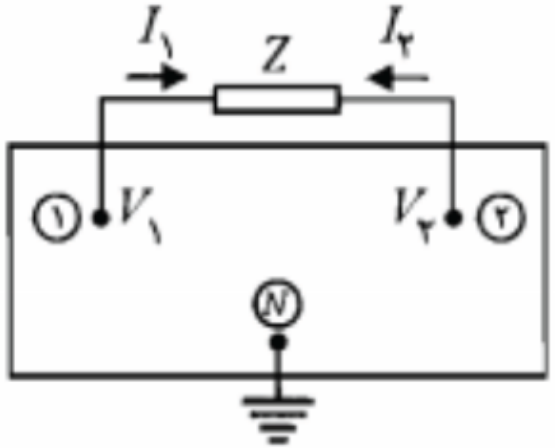
مثال ۶-۵: در تقویت‌کننده شکل ۶-۲۶ فرض کنید، $R_E = ۱\,K\Omega$ ، $R_L = ۱\,K\Omega$ و $R_S = ۱۰\,\Omega$ باشند. پارامترهای h ترانزیستور در جدول ۶-۲ داده شده‌اند (از h_{rb} و h_{ob} صرف‌نظر نمایید). مقادیر کمیتهای A_I، R_i، A_V، R_o و A_{V_s} را برای تقویت‌کننده مذکور محاسبه کنید.



پارامتر	CE	CC	CB
h_i	۱۱۰۰ Ω	۱۱۰۰ Ω	۲۱٫۶ Ω
h_r	$۲٫۵\times۱۰^{-۴}$	≅ ۱	$۲٫۵\times۱۰^{-۴}$
h_f	۵۰	−۵۱	−۰٫۹۸
h_o	$۲۵\times۱۰^{-۶}\,\Omega^{-۱}$	$۲۵\times۱۰^{-۶}\,\Omega^{-۱}$	$۰٫۴۹\times۱۰^{-۶}\,\Omega^{-۱}$
$h_o^{-۱}$	۴۰ KΩ	۴۰ KΩ	۲٫۰۴ MΩ

قضیه میلر





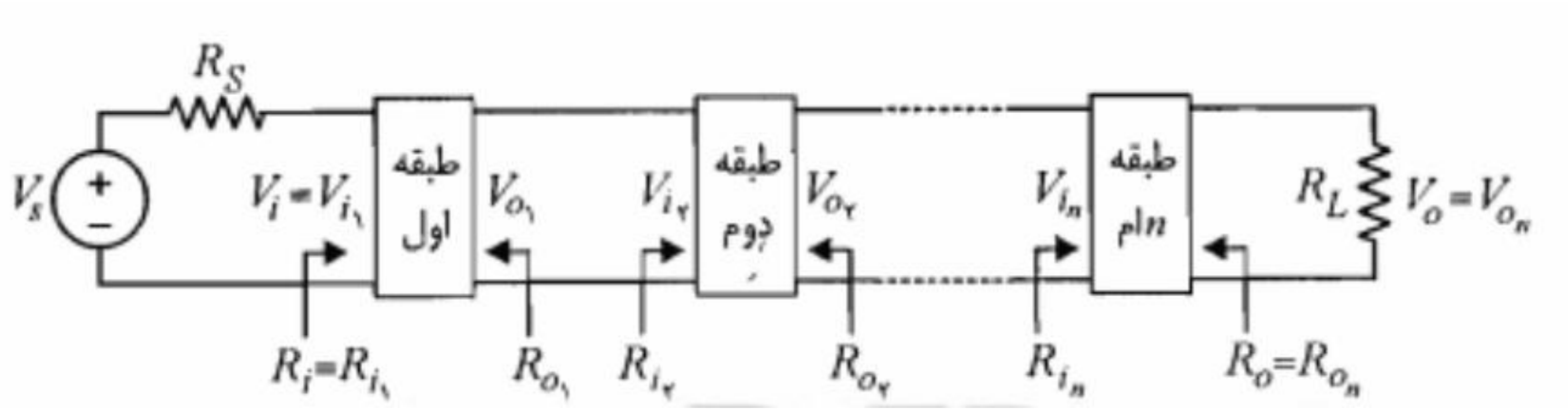
$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} \quad , \quad Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = \frac{kV_1}{I_2}$$

$$I_2 = -I_1 = \frac{V_2 - V_1}{Z} = \frac{V_1(k-1)}{Z}$$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-k}$$

$$Z_2 = \frac{kZ}{k-1}$$

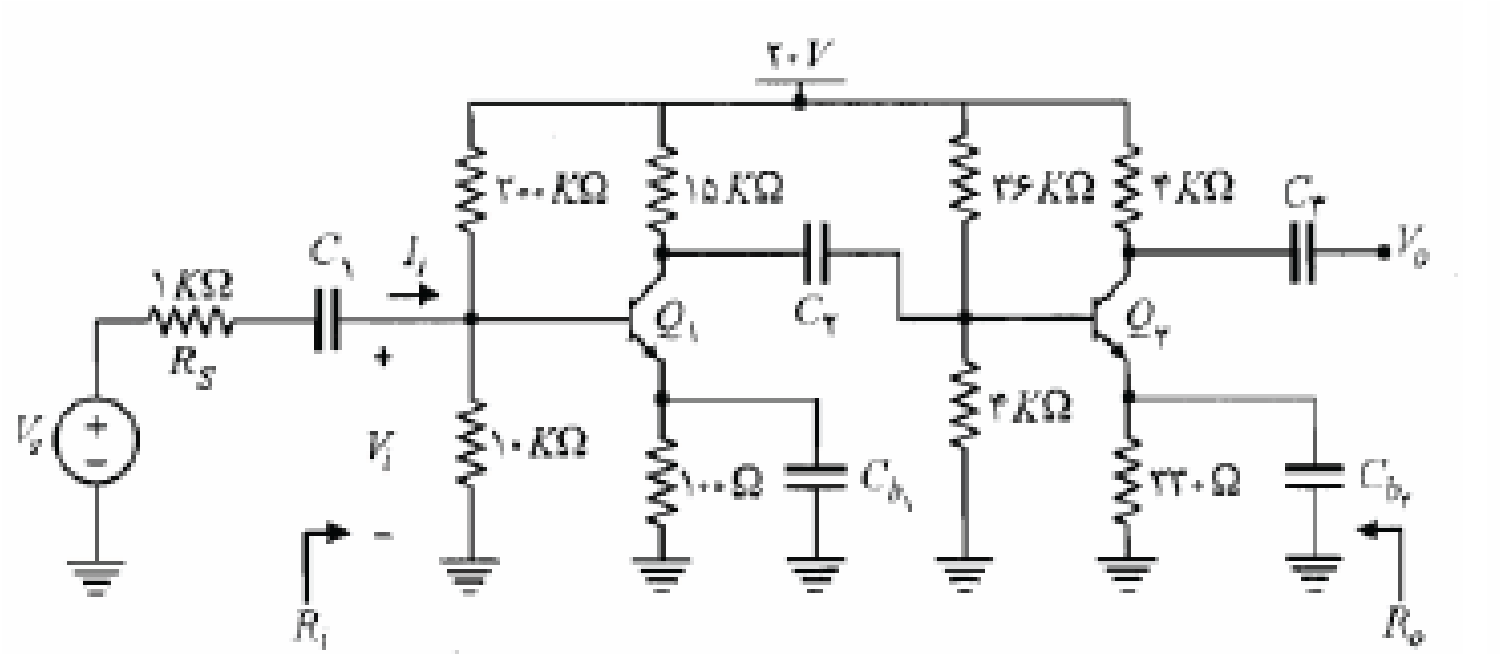
تقویت کننده چند طبقه



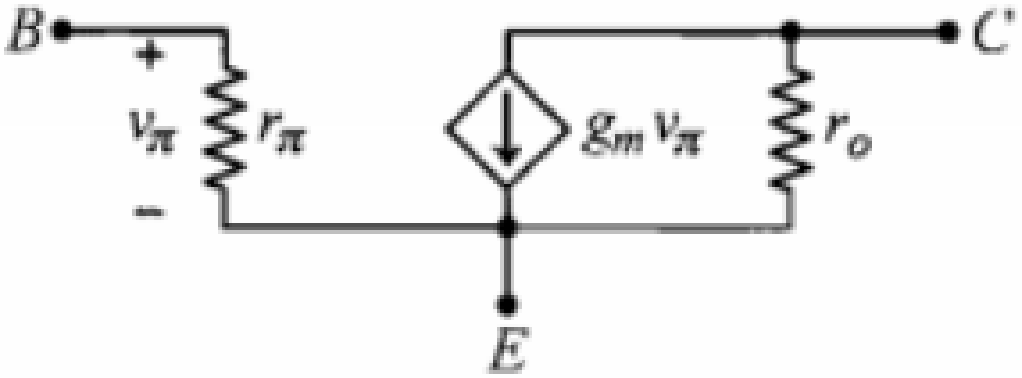
$$A_V = A_{V_n} \times A_{V_{n-1}} \times \ldots \times A_{V_2} \times A_{V_1}$$

$$A_I = A_{I_1} \times A_{I_2} \times \ldots \times A_{I_{n-1}} \times A_{I_n}$$

مثال ۶-۸: در مدار تقویت‌کننده دو طبقه شکل ۶-۳۸ ترانزیستورها مشابه بوده و برای آنها $h_{oe}^{-1} = ۴۰\ K\Omega$ ،$h_{fe} = ۵۰$ و $h_{re} = ۰$ است. کمیتهای A_V، A_{V_s}، R_i، A_I و R_o تقویت‌کننده را محاسبه نمایید.



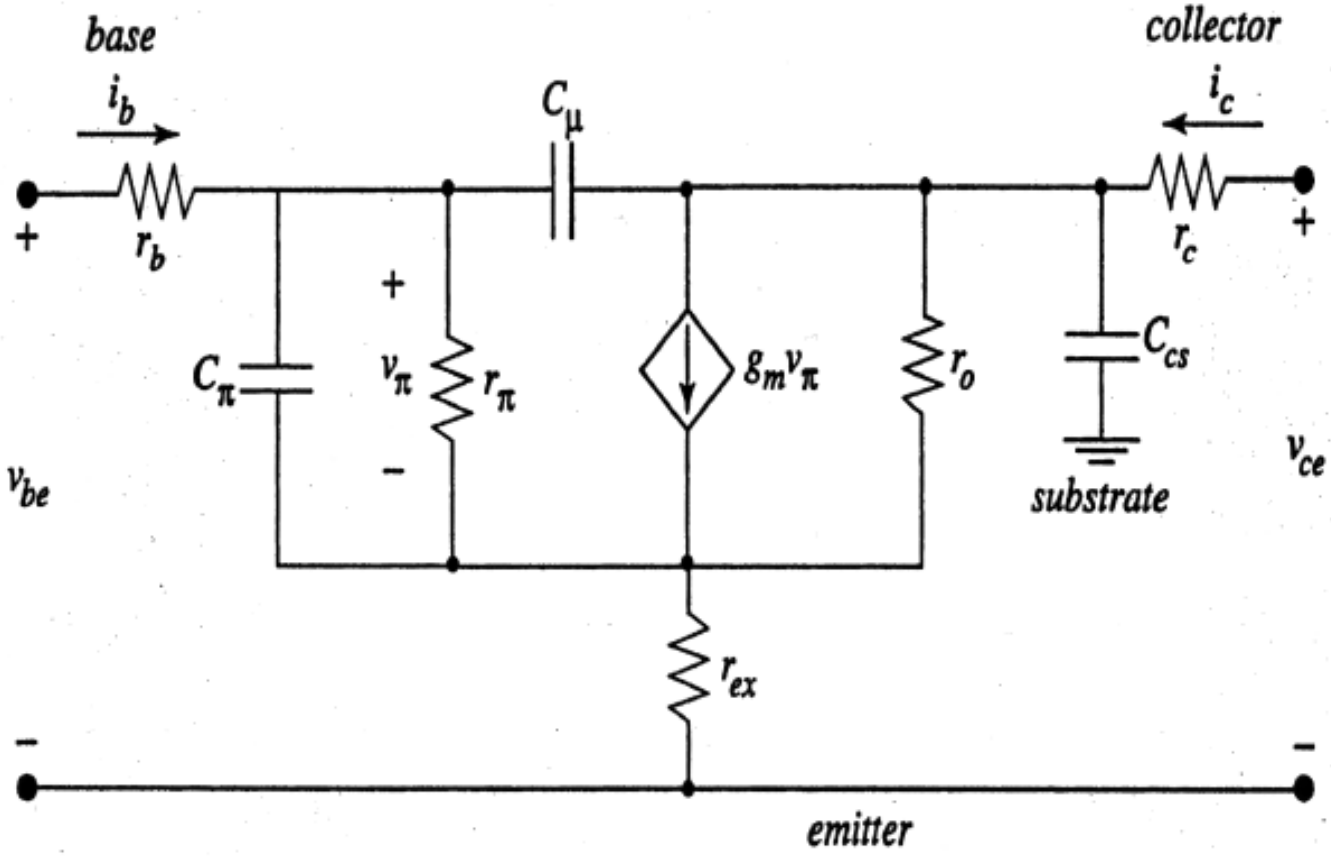
مدار معادل پی ترانزیستور BJT



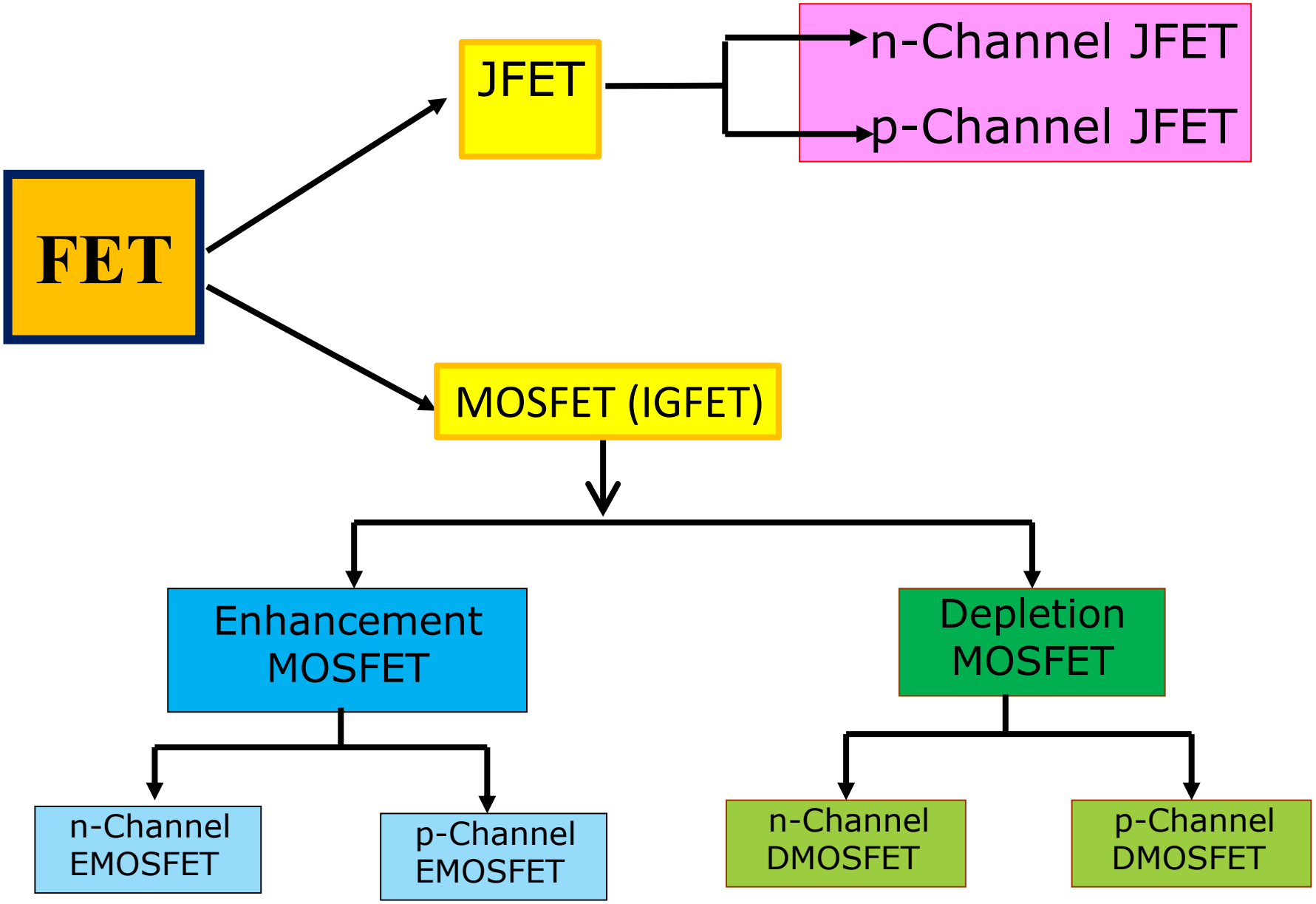
$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_\pi = \frac{v_{be}}{i_b} = \frac{\beta v_{be}}{i_c} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta V_T}{I_C} = \frac{V_T}{I_B}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$


base
i_b
C_μ
collector
i_c
r_b
r_c
C_π
v_π
r_π
$g_m v_\pi$
r_o
C_{cs}
substrate
v_{be}
v_{ce}
r_{ex}
emitter

تقویت کننده مبتنی بر ترانزیستورهای اثر میدان

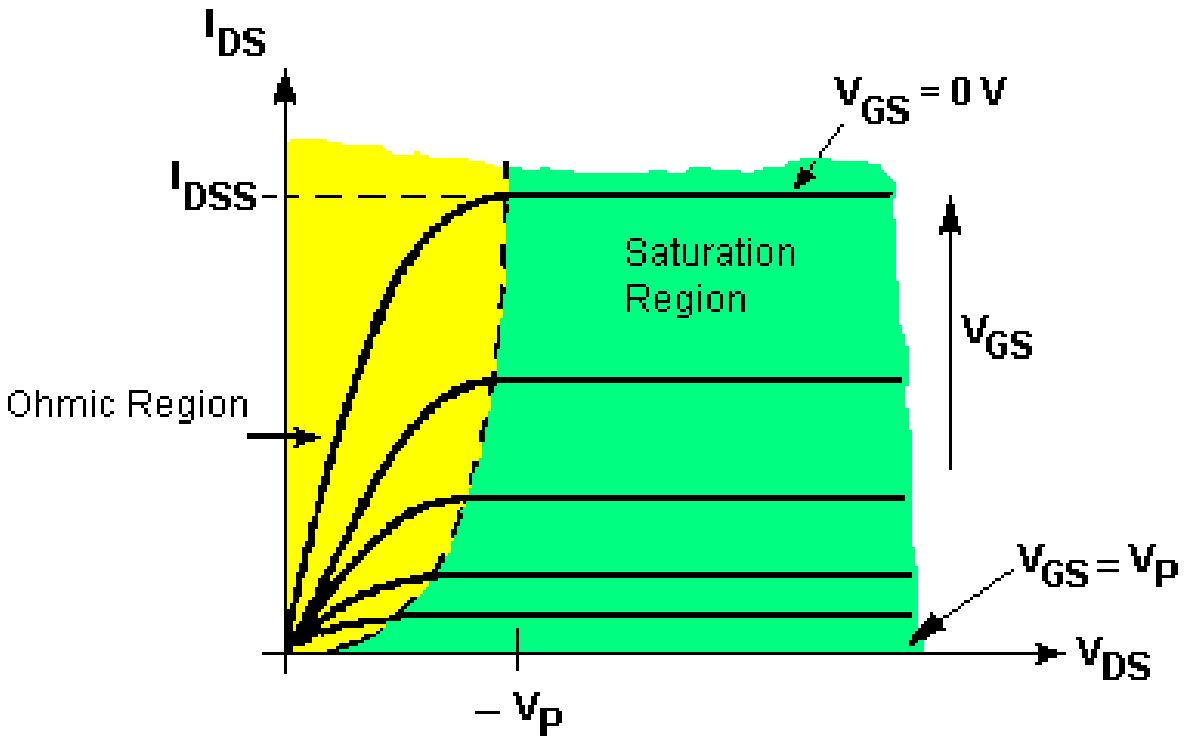

FET
JFET
n-Channel JFET
p-Channel JFET
MOSFET (IGFET)
Enhancement MOSFET
Depletion MOSFET
n-Channel EMOSFET
p-Channel EMOSFET
n-Channel DMOSFET
p-Channel DMOSFET

منحنی مشخصه FET

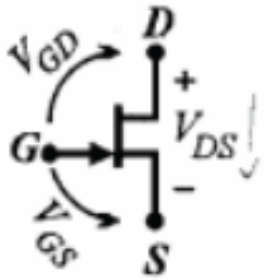
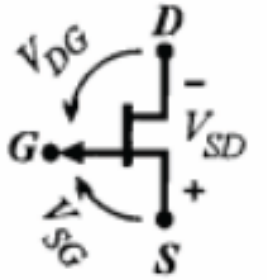
ناحیه قطع : رسیدن ولتاژ VGS به ولتاژ آستانه و تسخیر کانال توسط ناحیه تخلیه هیچ جریانی از درین نمی گذرد

ناحیه خطی: در این ناحیه ترانزیستور مانند مقاومت خطی عمل می کند و مقدار آن با مقدار VGS تغییر می کند.

ناحیه اشباع: در این ناحیه ترانزیستور مانند منبع جریان ثابت عمل می کند شرط حضور ترانزیستور در این ناحیه :



جدول ۷-۱: محدودیت ولتاژهای مختلف *JFET* در نواحی اشباع و تریود

نوع *JFET*	ناحیه اشباع	ناحیه تریود
کانال *N*  $V_{DS} > 0$ $V_P < 0$	$V_{GD} < -\lvert V_P \rvert$ $-\lvert V_P \rvert < V_{GS} < 0.5$	$V_{GD} > -\lvert V_P \rvert$ $-\lvert V_P \rvert < V_{GS} < 0.5$
کانال *P*  $V_{SD} > 0$ $V_P > 0$	$V_{DG} < -\lvert V_P \rvert$ $-\lvert V_P \rvert < V_{SG} < 0.5$	$V_{DG} > -\lvert V_P \rvert$ $-\lvert V_P \rvert < V_{SG} < 0.5$

معادلات جریان JFET

$$i_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P}\right)^2$$

معادله شاکلی–ناحیه اشباع

$$i_D = I_{DSS}\left[2\left(\frac{v_{GS}}{V_P} - 1\right)\frac{v_{DS}}{V_P} - \left(\frac{v_{DS}}{V_P}\right)^2\right]$$

ناحیه تریود

تقویت کننده JFET در فرکانس پایین

$$i_D = f(v_{GS}, v_{DS})$$

$$\Delta i_D \cong \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}}\right|_{V_{DSQ}} \Delta v_{GS} + \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}}\right|_{V_{GSQ}} \Delta v_{DS}$$

$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}}\right|_{V_{DSQ}} \cong \left.\frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}}\right|_{V_{DSQ}}$$

$$r_d = \left.\frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D}\right|_{V_{GSQ}} \cong \left.\frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_D}\right|_{V_{GSQ}}$$

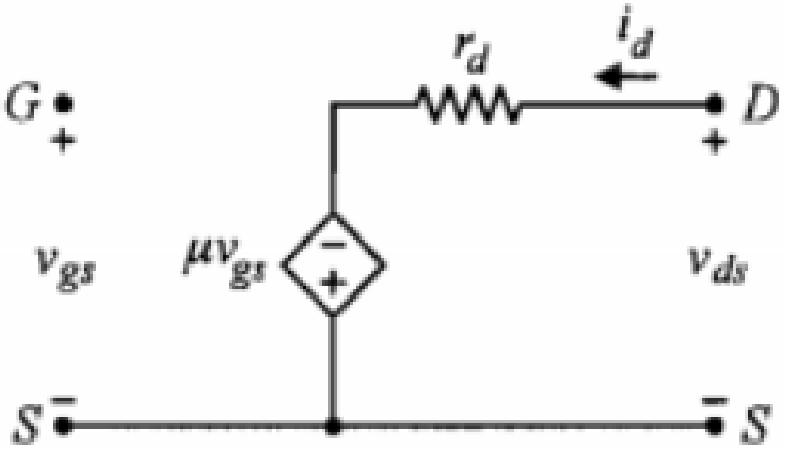
$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}}\right|_{V_{DSQ}} = \frac{-2I_{DSS}}{V_P}\left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)$$

$$g_m = 2\left|\frac{I_{DSS}}{V_P}\right|\left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right) = g_{m_0}\sqrt{I_D/I_{DSS}}$$

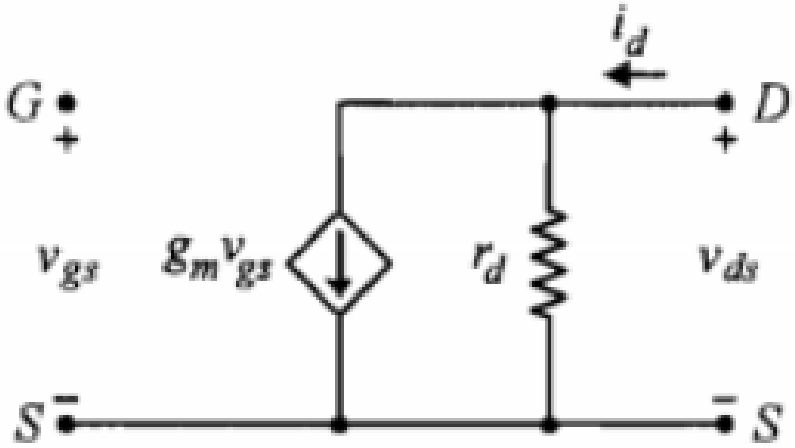
$$\mu = \left.\frac{-\partial v_{DS}}{\partial v_{GS}}\right|_{I_{DQ}} \cong \left.\frac{-\Delta v_{DS}}{\Delta v_{GS}}\right|_{I_{DQ}} = \left.\frac{-v_{ds}}{v_{gs}}\right|_{i_d=0}$$

$$\mu = \left.\frac{-v_{ds}}{v_{gs}}\right|_{i_d=0} = g_m r_d$$

مدار معادل سیگنال کوچک JFET

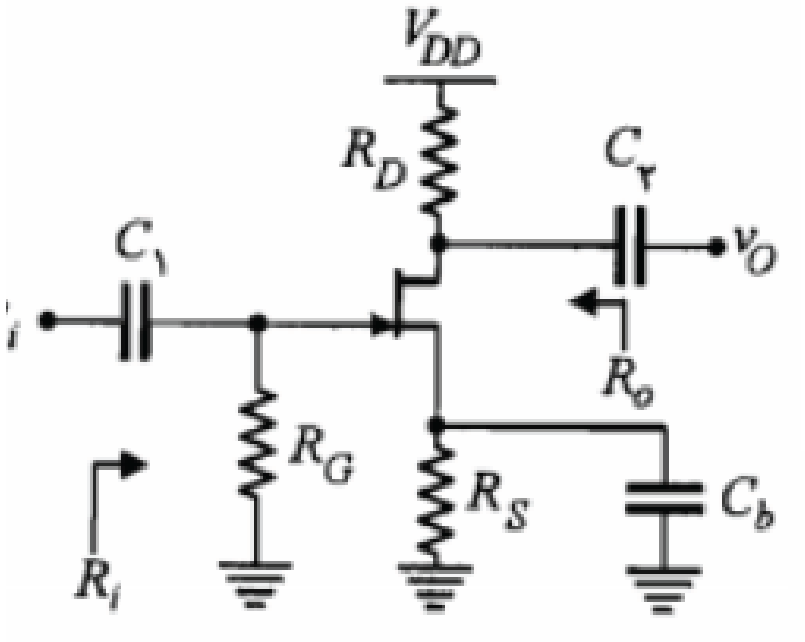


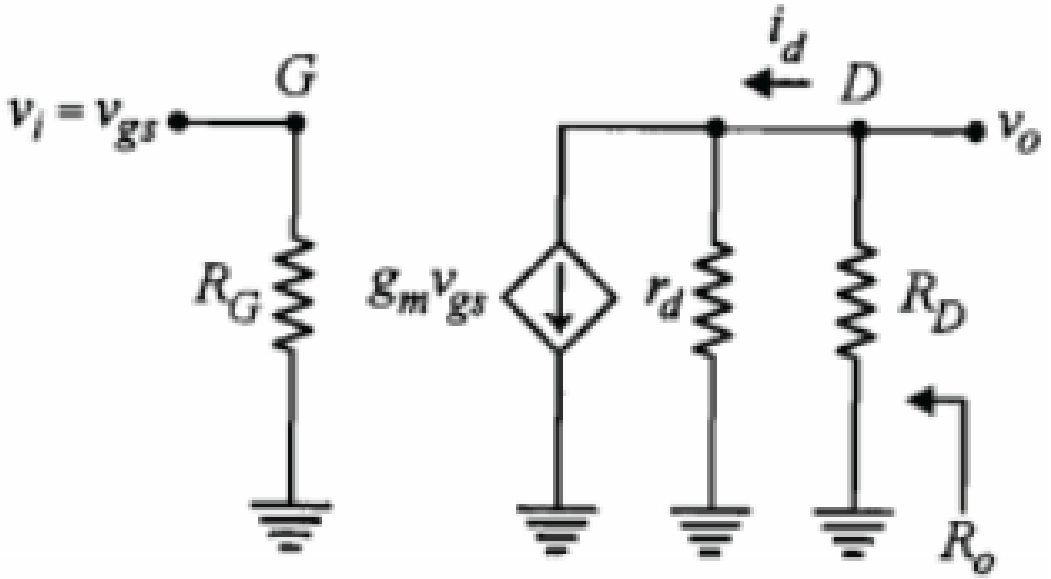
ب) مدار معادل تونن



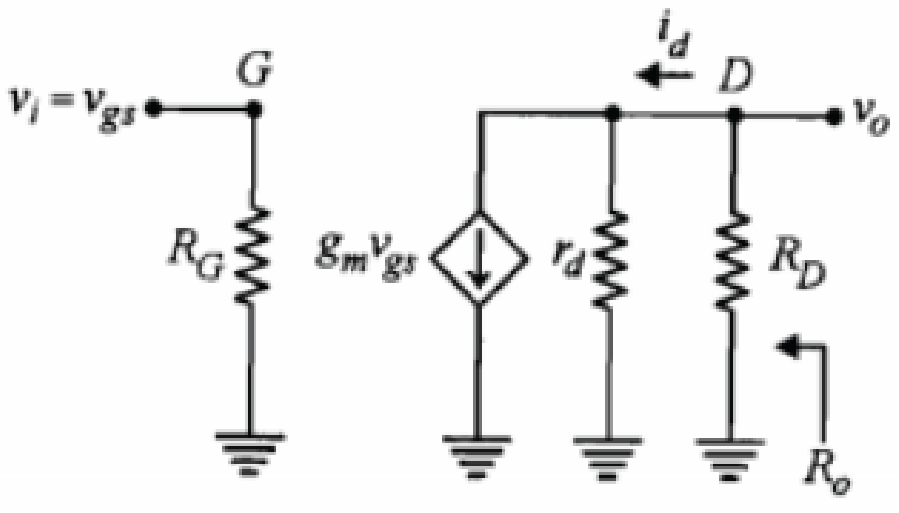
الف) مدار معادل نورتن

تقویت کننده سورس مشترک





محاسبه بهره ولتاژ تقویت کننده سورس مشترک

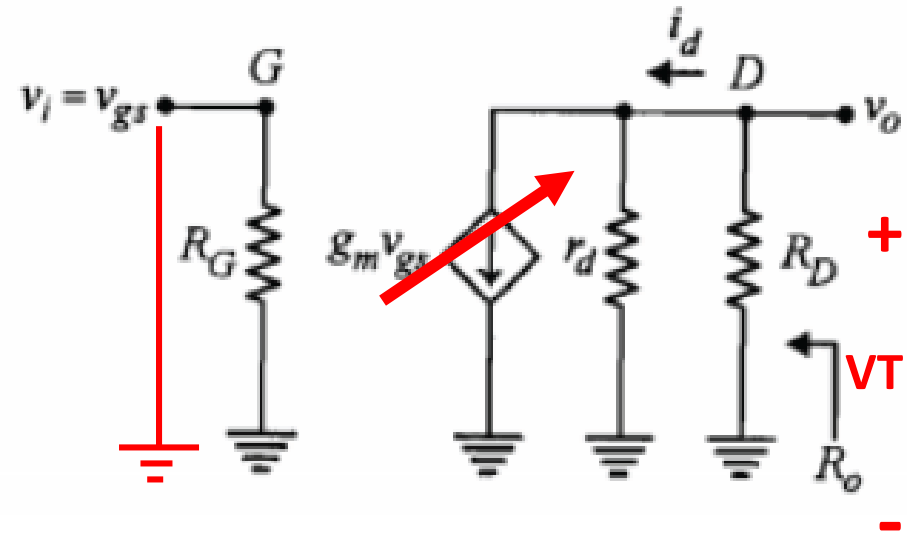


$$v_o = -i_d R_D = -\left(g_m v_{gs} + \frac{v_o}{r_d}\right) R_D$$

$$v_o \left(1 + \frac{R_D}{r_d}\right) = -g_m v_{gs} R_D$$

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{gs}} = \frac{-g_m r_d R_D}{R_D + r_d} = \frac{-\mu R_D}{R_D + r_d}$$

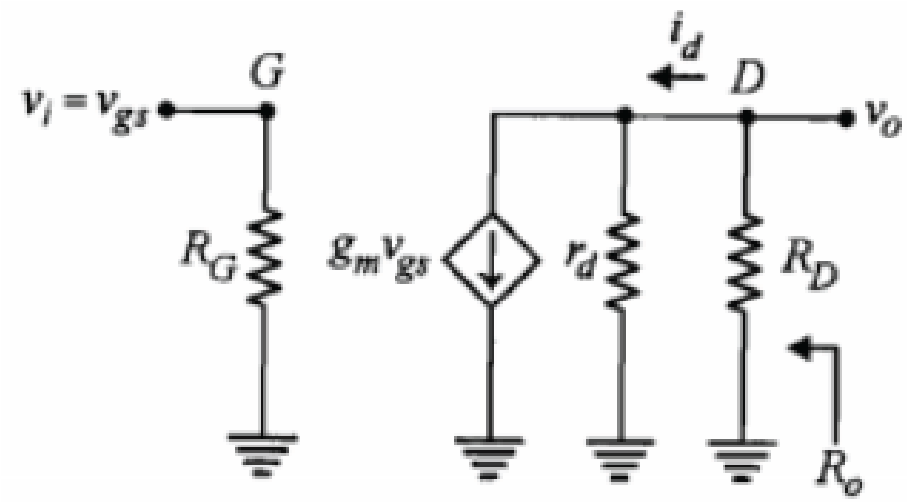
محاسبه R0 تقویت کننده سورس مشترک



$$R_o = r_d \| R_D = \frac{r_d R_D}{r_D + R_D}$$

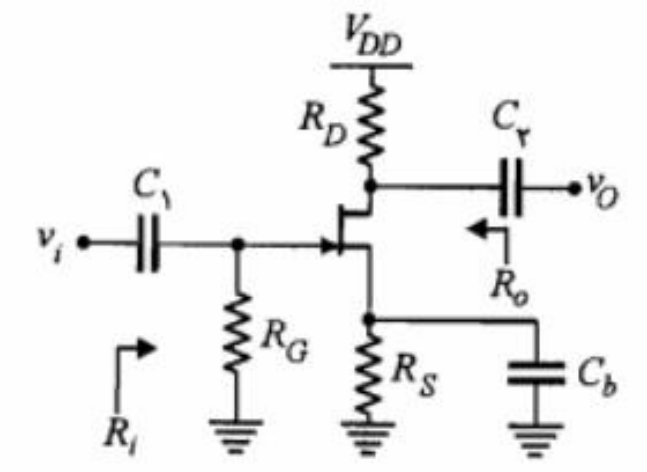
در صورتی که $R_D \ll r_d$ باشد، $R_o \cong R_D$ خواهد شد.

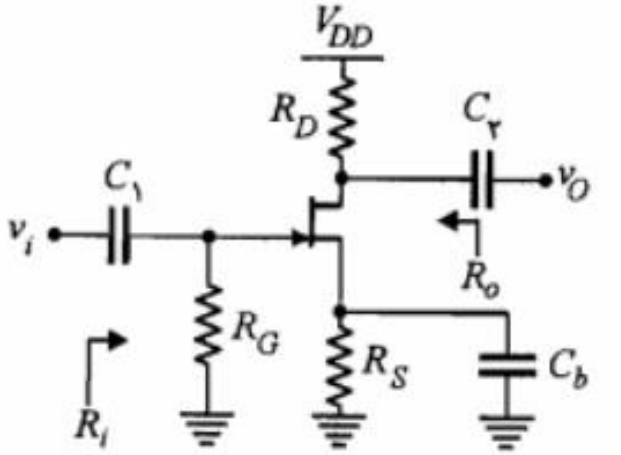
محاسبه Ri تقویت کننده سورس مشترک



Ri=RG

مثال ۷-۳: در مدار تقویت‌کننده شکل ۷-۹-الف، با فرض $R_G = ۱\,M\Omega$، $R_S = ۵۰۰\,\Omega$، $R_D = ۲\,K\Omega$، $V_{DD} = ۱۶\,V$، $r_d = ۱۰۰\,K\Omega$، $|V_P| = ۴\,V$ و $I_{DSS} = ۱۶\,mA$، بهره ولتاژ و مقاومتهای ورودی و خروجی تقویت‌کننده را محاسبه نمایید.





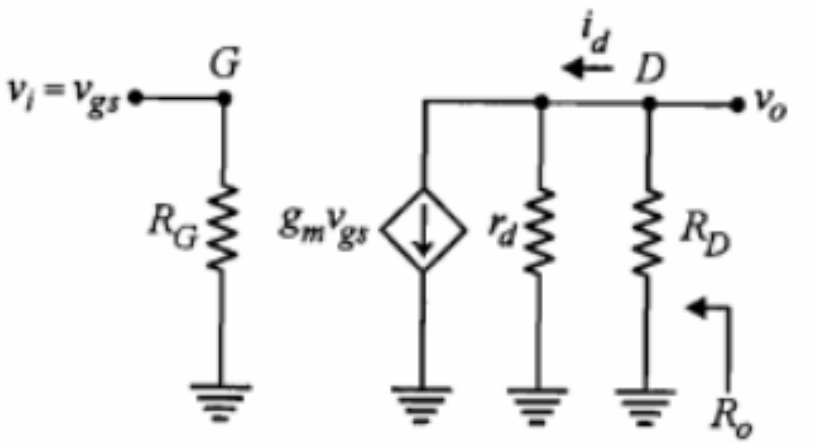
برای محاسبه A_V باید g_m محاسبه شود. بنابراین ابتدا باید نقطه کار ترانزیستور به دست آید.

$$V_{GS} = -R_S I_D$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 16\left(1 - \frac{-0.5 I_D}{-4}\right)^2$$

از حل معادله مذکور $I_D = 4\ mA$ به دست می‌آید. جواب دیگر $16\ mA$ قابل قبول نیست. (چرا؟)

$$g_m = 2\left|\frac{I_{DSS}}{V_P}\right|\sqrt{I_D/I_{DSS}} = 2 \times \frac{16}{4} \times \sqrt{4/16} = 4\ mA/V$$

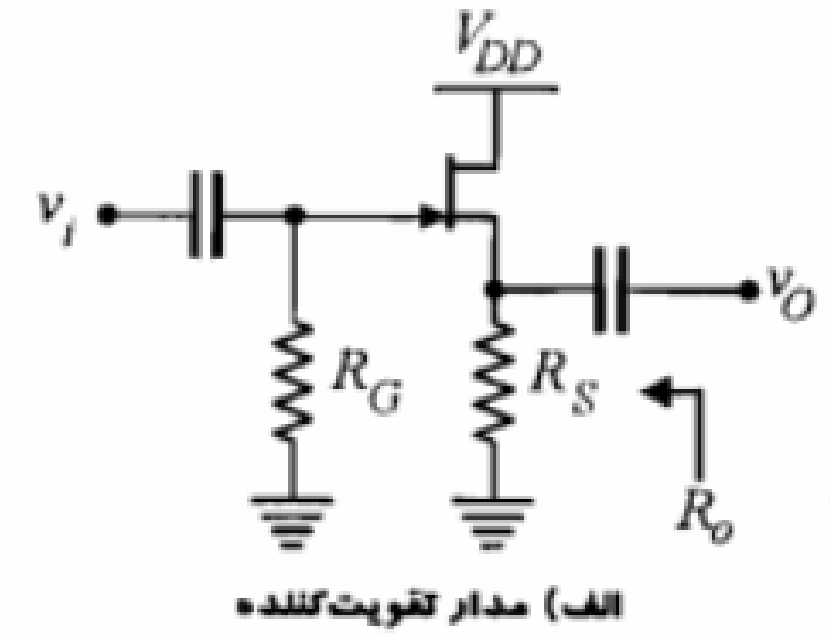


$$A_V = \frac{-g_m r_d R_D}{R_D + r_d} = \frac{-۴ \times ۱۰۰ \times ۲}{۲ + ۱۰۰} \cong -۷/۸۴$$

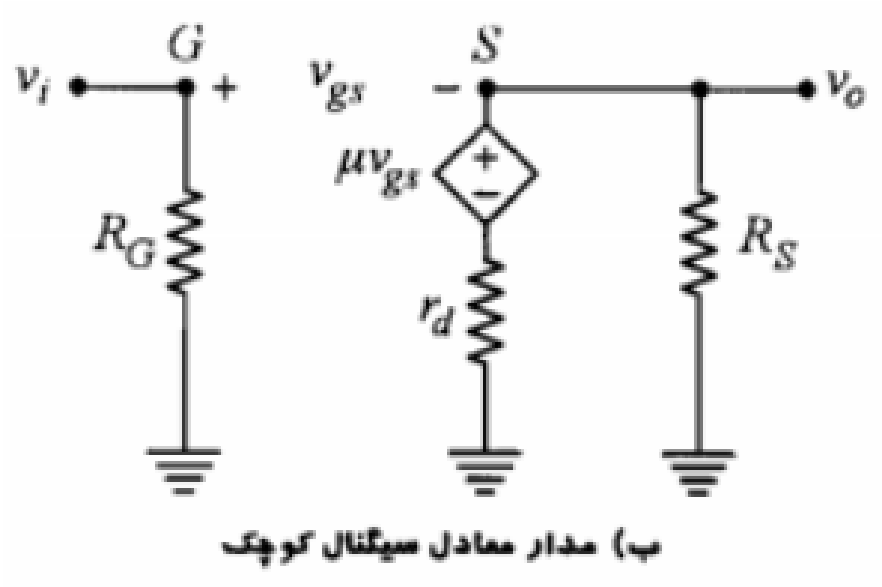
$$R_o = \frac{r_d R_D}{r_d + R_D} = \frac{۱۰۰ \times ۲}{۱۰۰ + ۲} \cong ۱/۹۶\ K\Omega$$

$$R_i = R_G = ۱\ M\Omega$$

تقویت کننده درین مشترک

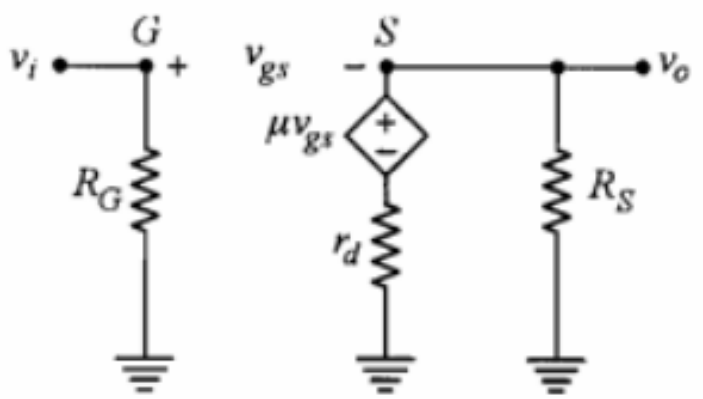


الف) مدار تقویت‌کننده



ب) مدار معادل سیگنال کوچک

محاسبه بهره ولتاژتقویت کننده سورس مشترک



ب) مدار معادل سیگنال کوچک

$$v_o = \frac{\mu v_{gs}}{R_S + r_d} R_S$$

$$v_{gs} = v_i - v_o$$

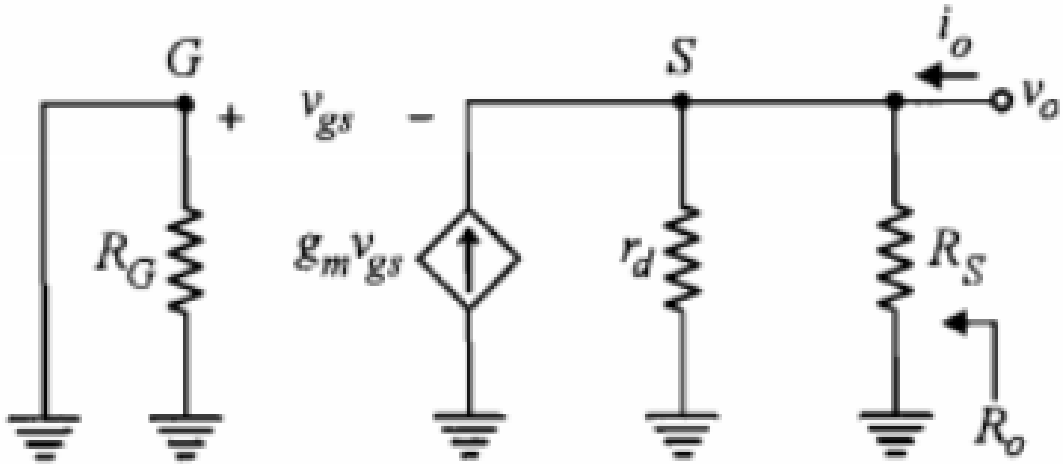
$$v_o = \frac{\mu R_S}{R_S + r_d}(v_i - v_o)$$

$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\mu R_S}{r_d + (\mu + 1) R_S}$$

$$\mu = g_m r_d \gg 1$$

$$A_V = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S}$$

محاسبه R0 تقویت کننده سورس مشترک



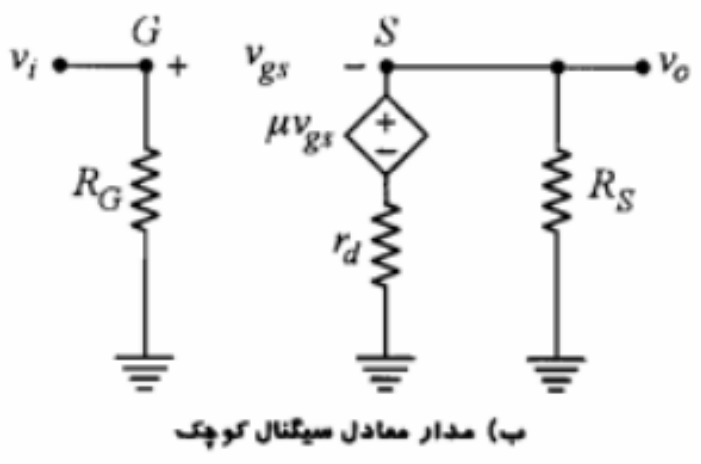
$$R_S' = R_S \parallel r_d$$

$$i_o = \frac{v_o}{R_S'} - g_m v_{gs} = v_o \left(\frac{1}{R_S'} + g_m \right)$$

$$R_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{R_S'}{1 + g_m R_S'} = \frac{1}{g_m} \parallel R_S'$$

در صورتی که $R_S' \gg 1$ باشد، $R_o = 1/g_m$ خواهد شد.

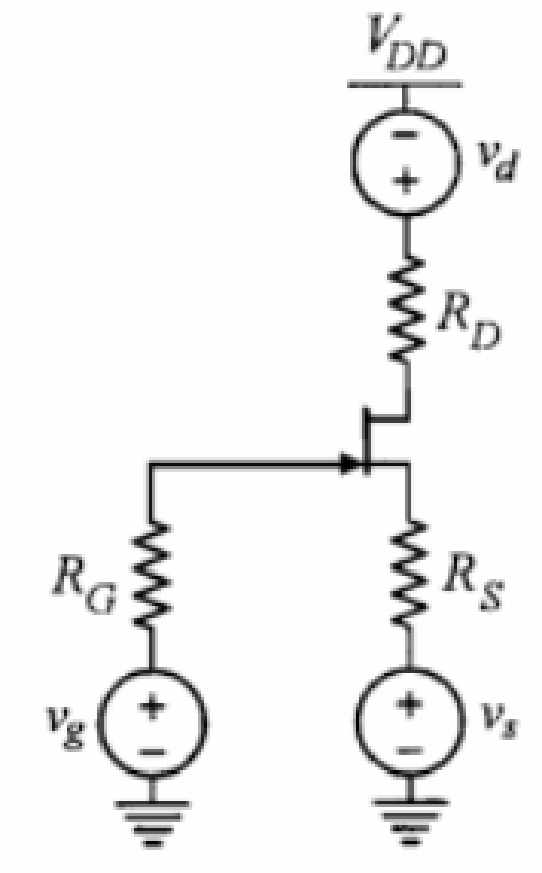
محاسبه Ri تقویت کننده سورس مشترک



ب) مدار معادل سیگنال کوچک

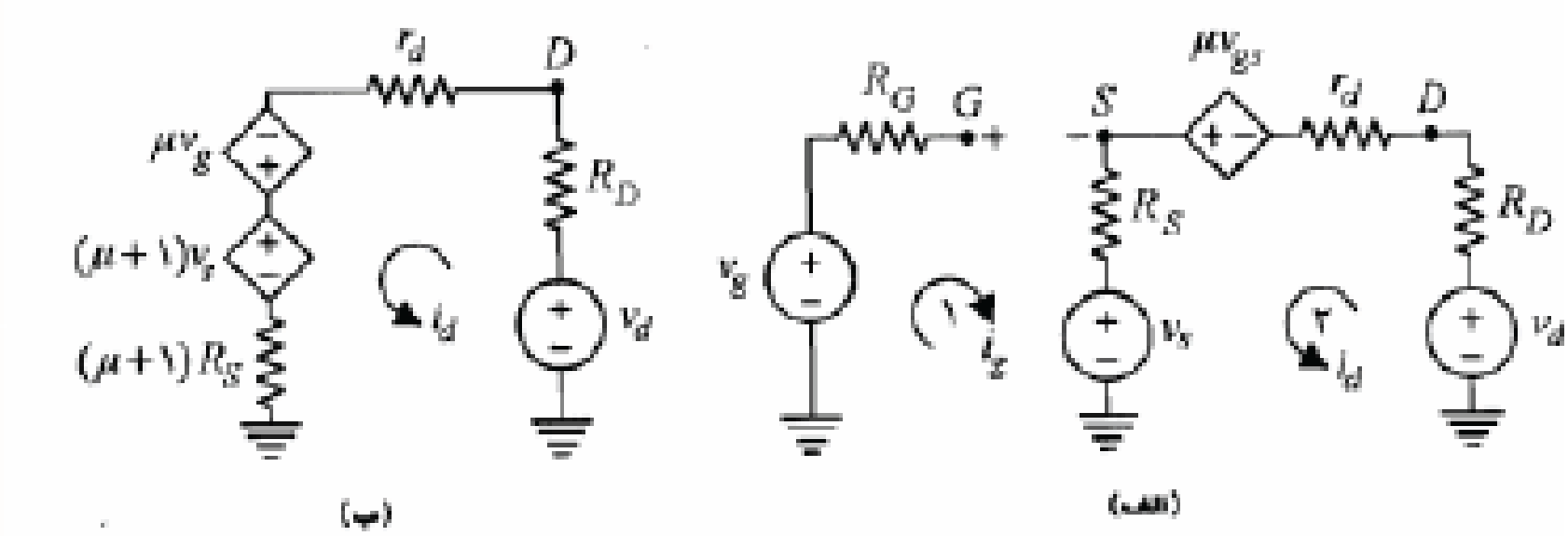
Ri=RG

انعکاس منابع و مقاومت ها از دید درین

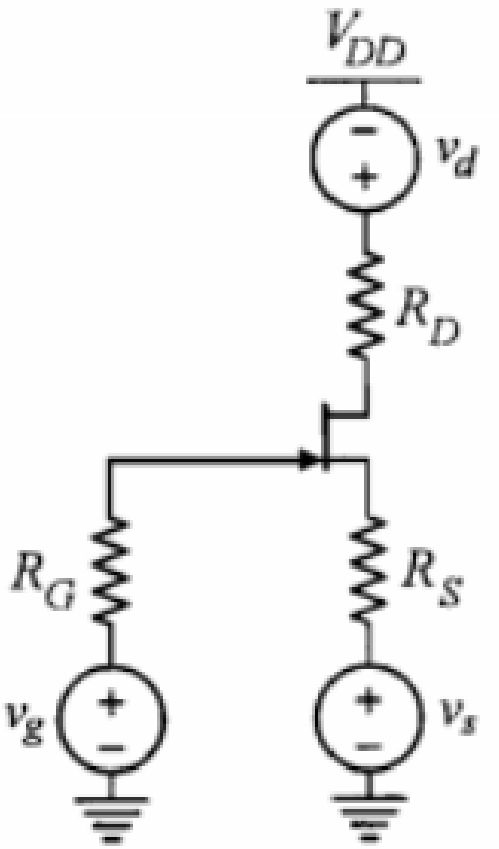


از دید درین منبع گیت (v_g) با ضریب ($\mu -$) و منبع و مقاومت سورس با ضریب ($\mu + 1$) ظاهر می‌شوند.

انعکاس منابع و مقاومت ها از دید درین



انعکاس منابع و مقاومت ها از دید سورس



دید سورس منبع گیت، با ضریب $\frac{\mu}{\mu+1}$ و منبع و مقاومت درین با ضریب $\frac{1}{\mu+1}$ ظاهر می‌شوند.

انعکاس منابع و مقاومت ها از دید سورس