

Analog Electronics

Lecture #3

© 2013 B. Bat-Otgon

Transistors

Ch.6

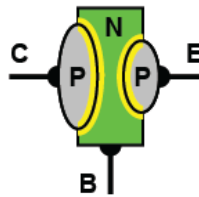
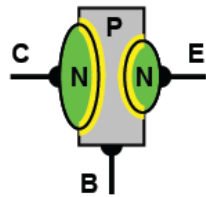
1947 FIRST POINT CONTACT TRANSISTOR



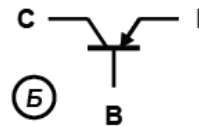
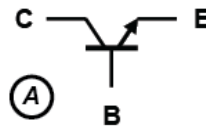
*John Bardeen, Walter Brattain
and William Shockley*



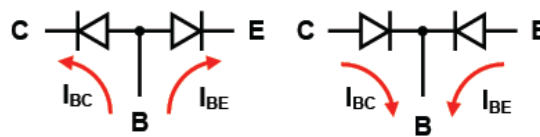
BIPOLAR TRANSISTOR



C – Collector
E – Emitter
B – Base

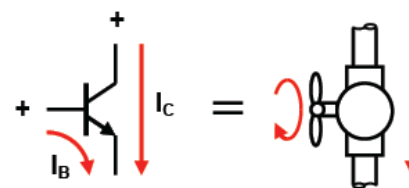
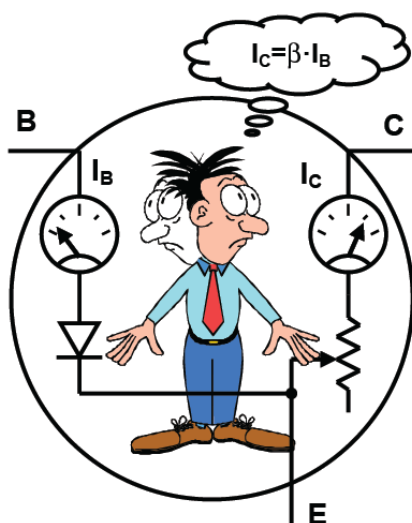


$V_{BE} \approx 0.7V$
 $V_{BC} \approx 0.6V$



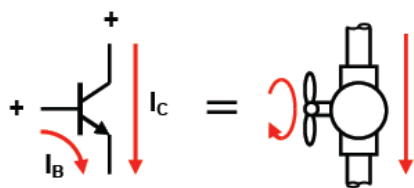
A. NPN, Б. PNP

TRANSISTOR GHOST



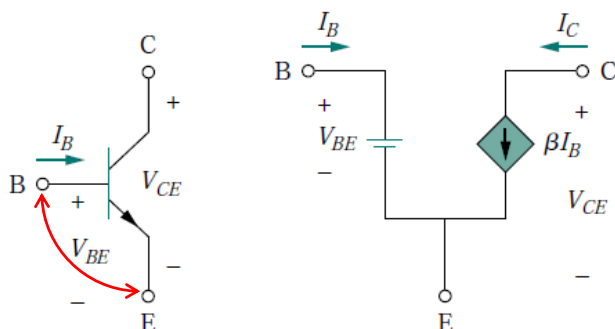
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

TRANSISTOR GHOST



Транзистор ажиллаж байхдаа дараах 3 төлөвийн аль нэгэнд байна:

1. Ханалтын: бүрэн нээлттэй (Saturation)
2. Хэрчилтийн: бүрэн хаалттай (Cutoff)
3. Идэвхтэй: Тодорхой эсэргүүцэлтэй (Active)



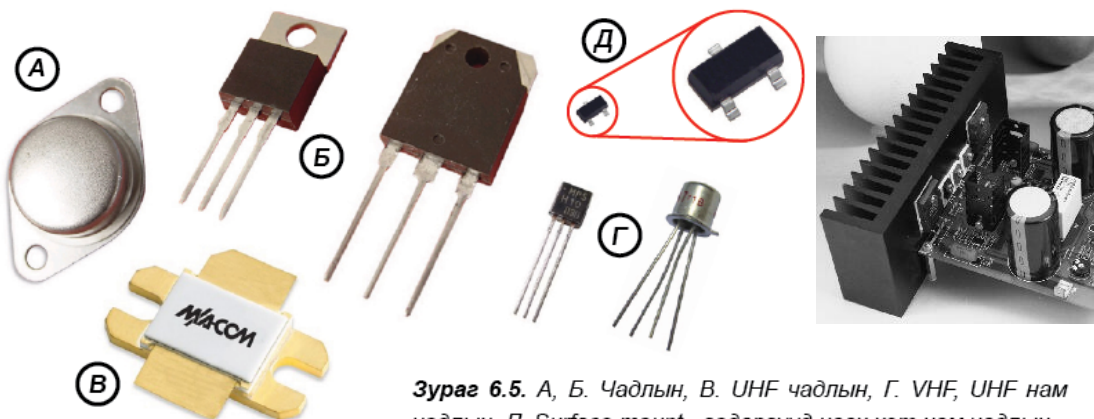
$$V_{BE} \approx 0.7V$$

Транзисторын ерөнхий тэмдэглэгээ ба түүний хэлхээний эквивалент загвар

POWER DISSIPATION AND LIMITS

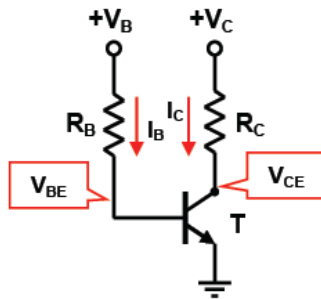


Транзистор нь диодны адил **P-N** шилжилтээс бүтсэн учир түүнд хамгийн их хүчдэл гүйдлийн утгууд гэж байна. Эдгээр нь I_B (баазын гүйдэл), I_C (коллекторын гүйдэл), V_{CE} (эмиттер - коллекторын хүчдэл) юм. Түүнчлэн хамгийн их сарниулах чадал ($I_C \cdot V_{CE}$) болон хамгийн их **температур** гэх мэт байнга анхаарч байх утгууд байдаг. Транзисторын бас нэг чухал параметр бол түүний ямар давтамжийн мужид ажиллаж чадах вэ гэдэг **хурд** юм.



Зураг 6.5. А, Б. Чадлын, В. UHF чадлын, Г. VHF, UHF нам чадлын, Д. Surface mount - гадаргууд наах хэт нам чадлын.

TRANSISTOR STATES

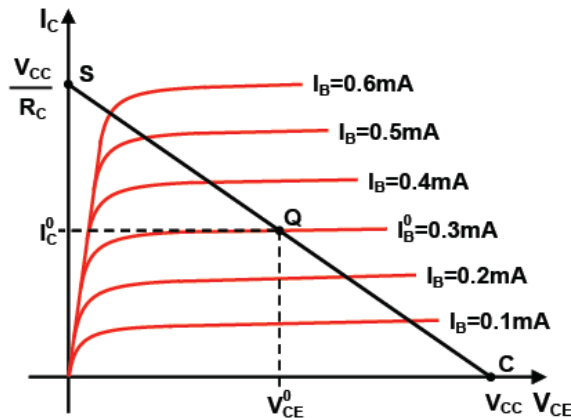


$$I_C = \frac{+V_C - V_{CE}}{R_C}$$

$$I_B = \frac{+V_B - V_{BE}}{R_B} = \frac{+V_B - 0.6V}{R_B}$$

Зураг 6.7. Транзисторын хүчдэл гүйдлийн тодорхойлолтыг хэмжих хэлхээ.

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (T6.4)$$



S – Saturation point (Ханалтын цэг),
C – Cutoff point (Хэрчилтийн цэг),
Q – Active point (Идэвхитэй цэг)

Зураг 6.8. Биполяр транзисторын хүчдэл гүйдлийн тодорхойлолт.

Reminder...

ZENER DIODE

$$V_{UR}=13.5V$$

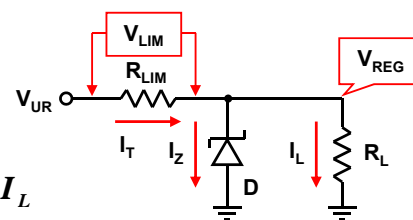
$$V_{REG}=5V$$

$$I_L=0.35A$$

$$V_Z=5.1V$$

$$I_Z=0.4A$$

$$R_{LIM}=?$$



$$I_T = I_Z + I_L$$

$$R_{LIM} = \frac{V_{LIM}}{I_T} = \frac{V_{UR} - V_Z}{I_Z + I_L}$$

Mobile phone charger from car battery

$$R_{LIM} = \frac{13.5V - 5.1V}{0.35A + 0.4A} = \frac{8.4V}{0.75A} = 11.2\Omega$$

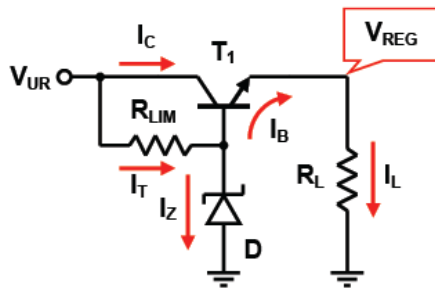
$$Eff = \frac{P_L}{P_Z + P_{RLIM}} 100\% = 21.4\%$$

$$P_L = 5.1V \cdot 0.35A = 1.79W$$

$$P_Z = 5.1V \cdot 0.4A = 2.04W$$

$$P_{RLIM} = 8.4V \cdot 0.75A = 6.3W$$

CURRENT / POWER AMPLIFIER



$$I_L = I_C + I_B = \beta \cdot I_B + I_B \approx \beta \cdot I_B \quad (T6.5)$$

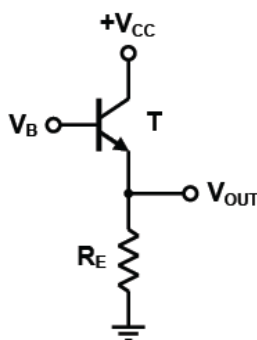
$$V_{REG} = V_E = V_B - V_{BE} = V_Z - 0.6V \quad (T6.6)$$

Зураг 6.9. Гүйдлийн өсгөгчтэй хүчдэл тогтворжуулагч.

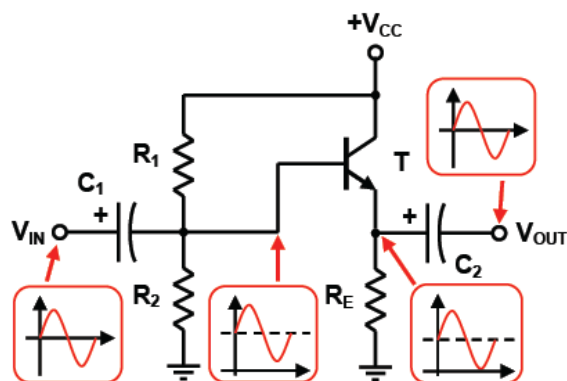
Жишээ: 5.6V зенер диод ашигласан хүчдэл тогтворжуулагчийн ачааны гүйдэл нь 50mA байсан бол $\beta=80$ бүхий транзистор ашиглавал чадал нь хэр их өсөх вэ? Транзистор ашиглаагүй үеийн чадал нь $P=5.6V \cdot 50 \cdot 10^{-3}A=280mW$ байна. Тэгвэл транзистор ашигласан үед коллекторын гүйдэл нь ачааны гүйдэлтэй бараг тэнцүү учир $P=(5.6V-0.6V) \cdot 80 \cdot 50 \cdot 10^{-3}A=20W$ болно. Эндээс хэр их өссөн болохыг нь харьцуулж үзээрэй.

QUIZ: $V_{UR}=12V$: $P_{T1}=?$ (7V·4A=28W)

EMITTER FOLLOWER

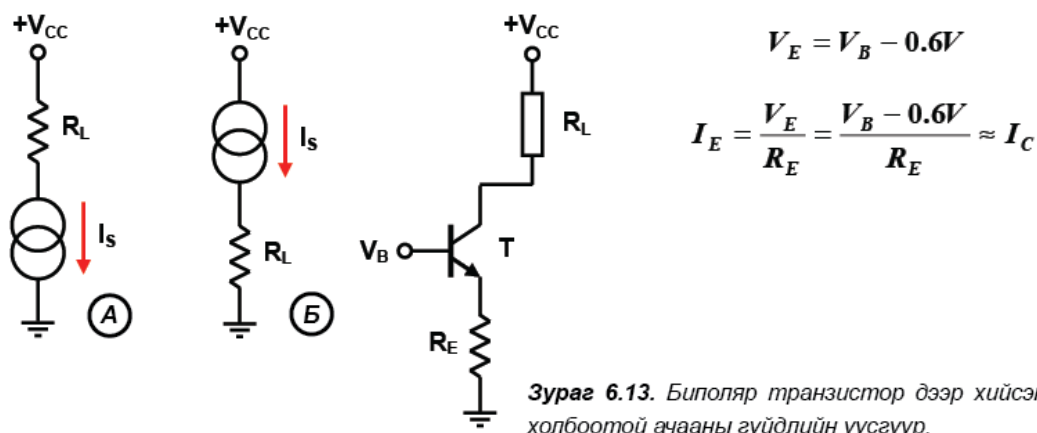


$$\Delta V_E = \Delta V_B$$



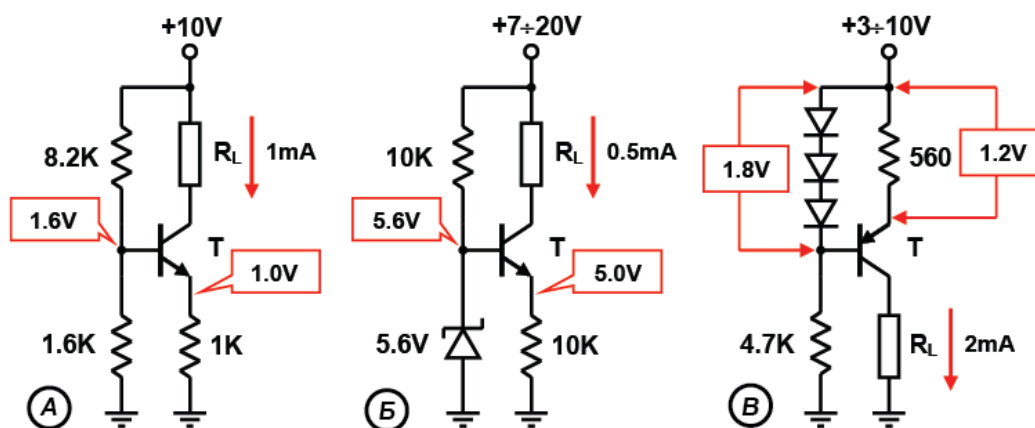
Зураг 6.11. Хувьсах дохионы эмиттерийн давтагч.

CURRENT SOURCE



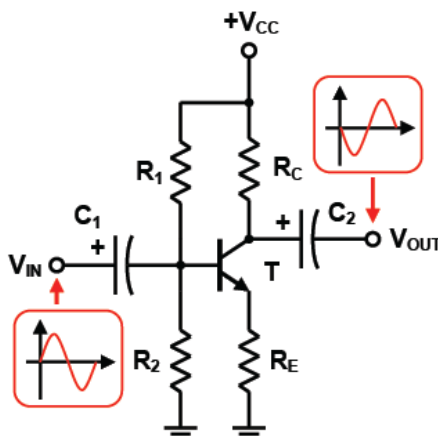
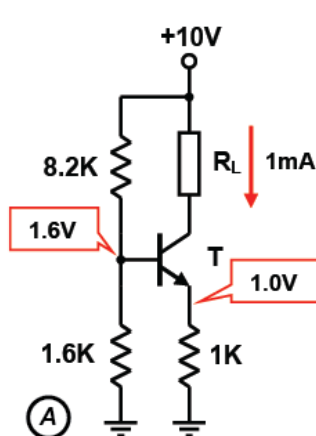
Зураг 6.13. Биполяр транзистор дээр хийсэн тэжээлд холбоотой ачааны гүйдлийн үүсгүүр.

CURRENT SOURCE



Зураг 6.14. Транзистор дээрх гүйдлийн үүсгүүрүүд.

TRANSISTOR AMPLIFIER



$$V_{IN} = \Delta V_B$$

$$\Delta V_C = V_{OUT}$$

$$V_C = V_{CC} - V_{RC} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$\Delta V_C = -\Delta I_C \cdot R_C$$

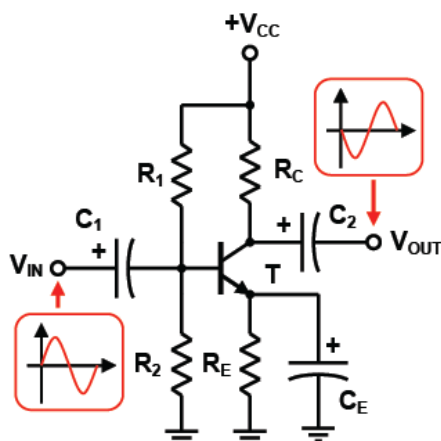
$$\Delta I_E = \frac{\Delta V_E}{R_E} = \frac{\Delta V_B}{R_E} = \Delta I_C$$

$$\Delta V_C = -\frac{\Delta V_B}{R_E} \cdot R_C$$

$$K = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{\Delta V_C}{\Delta V_B} = -\frac{R_C}{R_E}$$

$$R_C \rightarrow \infty ; R_E \rightarrow 0 \Rightarrow K \rightarrow \infty ?$$

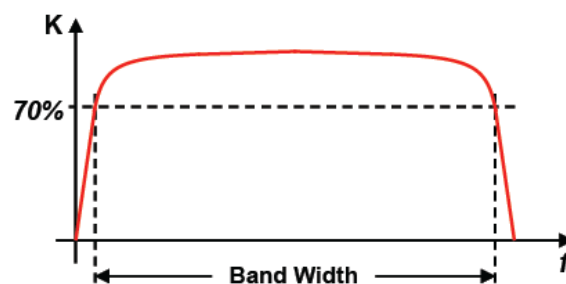
TRANSISTOR AMPLIFIER



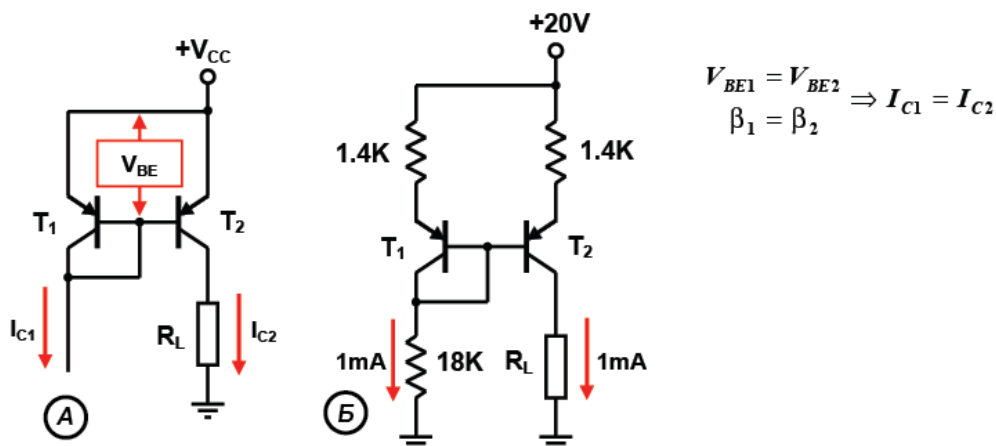
$$K = \frac{R_C}{r_{BE} + Z_E}$$



$$R_{C-MIN} = \frac{V_{CC}}{I_{C-MAX}}$$



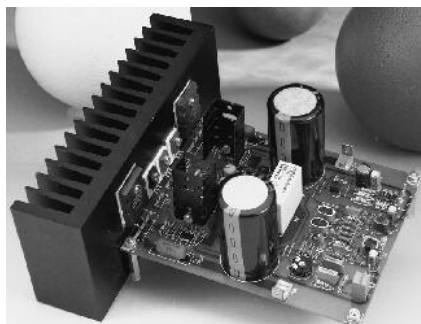
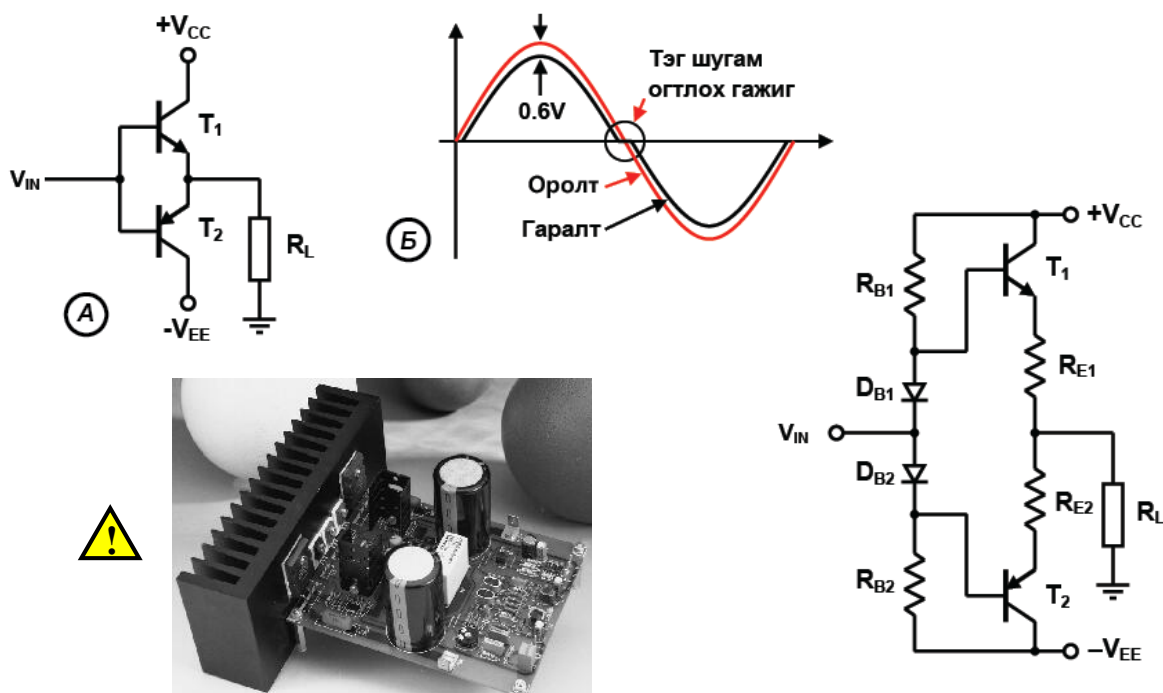
CURRENT MIRROR



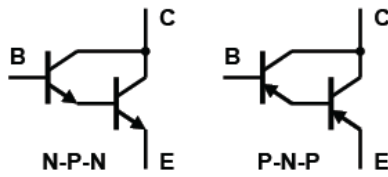
Жишээ 1. (Зураг 6.18.А) Тэжээлийн хүчдэл V_{CC} -г $15V$ -оор сонгон, T_1 транзисторын коллекторыг $14.4K$ эсэргүүцэгчээр газардуулбал уг эсэргүүцэгч дээр $15V - 0.6V = 14.4V$ хүчдэл унана. Иймд програмчлагч гүйдэл нь $1mA$ байх учир ачааны эсэргүүцлээр гүйх гүйдэл нь ч $1mA$ байх болно.

Жишээ 2. Түүнчлэн транзисторт өсгөгчийн адил температурын тогтворжилтыг сайжруулахын тулд эмиттерийн эсэргүүцэгчүүдийг холбож өгдөг. Зураг 6.18.Б-д $1mA$ гүйдлийн үүсгүүрийг гүйдлийн толиор хэрхэн хийснийг харуулав.

COMPLEMENTARY PAIRS – PUSH PULL FOLLOWER



DARLINGTON AND SZIKLAI PAIRS

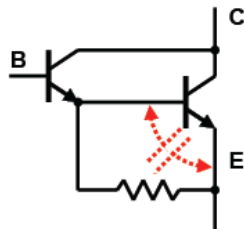


$$I_{CT} = I_{C1} + I_{C2} = \beta_1 \cdot I_{B1} + \beta_2 \cdot I_{B2}$$

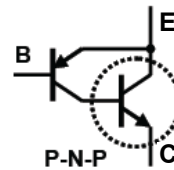
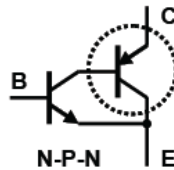
$$I_{B2} = I_{E1} = I_{C1} + I_{B1}$$

$$I_{CT} = \beta_1 \cdot I_{B1} + \beta_2 \cdot (\beta_1 \cdot I_{B1} + I_{B1}) = (\beta_1 \cdot (\beta_2 + 1) + 1) \cdot I_{B1}$$

$$\beta_T = \beta_1 \cdot (\beta_2 + 1) + 1$$



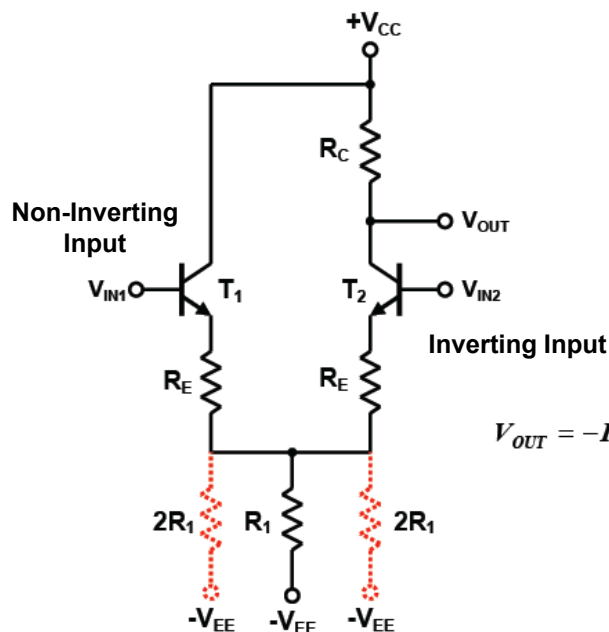
Дарлингтон хосын хурдыг сааруулагч празит багтаамж ба түүнийг эсэргүүцэгчээр дарах



Ном алдаатай!

$$\beta_T = \beta_1 \cdot \beta_2$$

DIFFERENTIAL AMPLIFIER



$$K_2 = -\frac{R_C}{2R_1 + R_E}$$

$$V_{OUT} = K_2 \cdot V_{IN2} = -\frac{R_C}{2R_1 + R_E} \cdot V_{IN2}$$

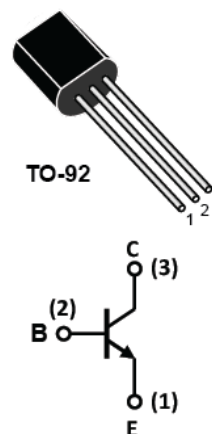
$$V_{OUT} = -K_2 \cdot V_{IN1} = \frac{R_C}{2R_1 + R_E} \cdot V_{IN1}$$

$$V_{OUT} = -K_2 \cdot V_{IN1} + K_2 \cdot V_{IN2} = \frac{R_C}{2R_1 + R_E} \cdot (V_{IN1} - V_{IN2})$$

2N3904

ХАМГИЙН ИХ УТГУУД:

Тэмдэг	Параметр	Утга	Нэгж
V_{CE0}	Коллектор-баазын хүчдэл ($I_E=0$)	60	V
V_{CE0}	Коллектор-эмиттерийн хүчдэл ($I_B=0$)	40	V
V_{E0}	Эмиттер-баазын хүчдэл ($I_C=0$)	6	V
I_C	Коллекторын гүйдэл	200	mA
P_{tot}	Хамгийн их ялгарах чадал (25°C)	625	mW
T_{stg}	Хадгалах температур	-65+150	°C
T_j	P-N шилжилтийн ажиллах темп.	150	°C



ЗАРИМ ЧУХАЛ УТГУУД:

Тэмдэг	Параметр	Хэмжсэн нөхцөл	Мин.	Дунд.	Макс.	Нэгж
I_{CEX}	Кол. хаалттай үеийн гүйдэл	$V_{CE}=30V, V_{BE}=-3V$			50	nA
I_{BEX}	Бааз хаалттай үеийн гүйдэл	$V_{CE}=30V, V_{BE}=-3V$			50	nA
$V_{CE(SAT)}$	Кол-Эмит. ханалтын хүчдэл	$I_C=10mA, I_B=1mA$			0.2	V
$V_{BE(SAT)}$	Бааз-Эмит. ханалтын хүчдэл	$I_C=50mA, I_B=5mA$	0.65		0.95	V
$h_{FE}(\beta)$	Тогтмол гүйдэл өсгөлт (DC)	$I_C=10mA, V_{CE}=1V$	100		300	
t_r	Хаагдах хугацаа	$I_C=10mA, V_{CE}=30V$			35	nS
t_f	Нээгдэх хугацаа	$I_C=10mA, V_{CE}=30V$			50	nS

Thank You !