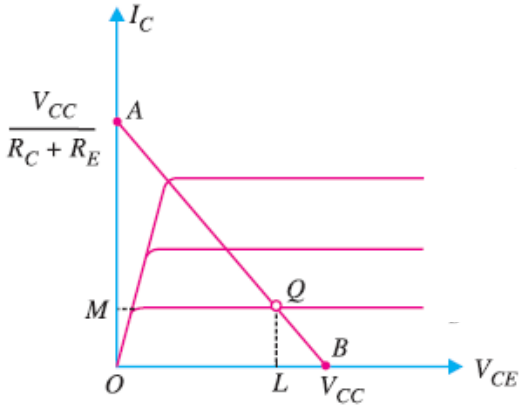
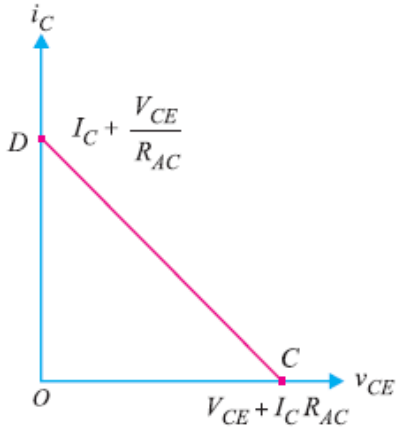
المحاضـــ 7 و 8 ـــرة

تحليل خط الحمل لمكبر اشارة المرحلة الواحدة

يحدد خط الحمل للترانزستور من خلال معرفة جهد وتيار الاخراج وان العلاقة بينهما خطية لذا يمكن تمثيلهما بخط مستقيم كما درسنا ذلك سابقا. الشكلان ادناه يوضحان تحديد قيم النهايات للجهد وتيار الاخراج لخطي الحمل المستمر والمتناوب.



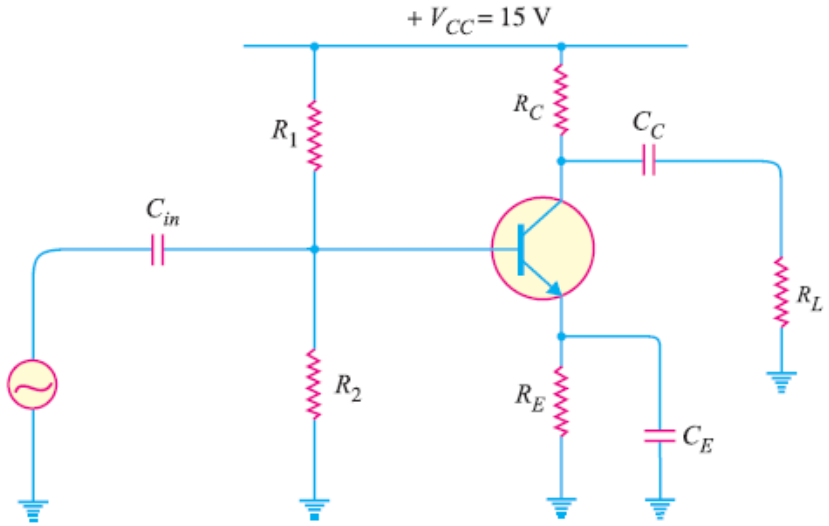
خط الحمل المستمر



خط الحمل المتناوب

ملاحظة: حسب الشكل الذي يبين خط الحمل المتناوب يتوجب تحديد نقطة عمل الترانزستور اولا.

مثال: لدائرة المكبر المبينة في الشكل ادناه اذا علمت ان R1=10kΩ, R2=5kΩ, Rc=1kΩ, R_E=2kΩ, R_L=1kΩ ، ارسم خط الحمل المستمر ثم حدد نقطة عمل الترانزستر وارسم خط الحمل المتناوب علما ان الترانزستور سليكوني.



الحل:

Maximum $V_{CE} = V_{CC} = 15$ V [See Art. 10.8]

This locates the point B (OB=15 V) of the d.c. load line.

$$\text{Maximum } I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{15\,V}{(1+2)\,\text{k}\Omega} = 5 \text{ mA}$$

(ii) **Operating point Q.** The voltage across R_2 (= 5 kΩ) is *5 V *i.e.* $V_2 = 5$ V.

$$\text{Now } V_2 = V_{BE} + I_E R_E$$

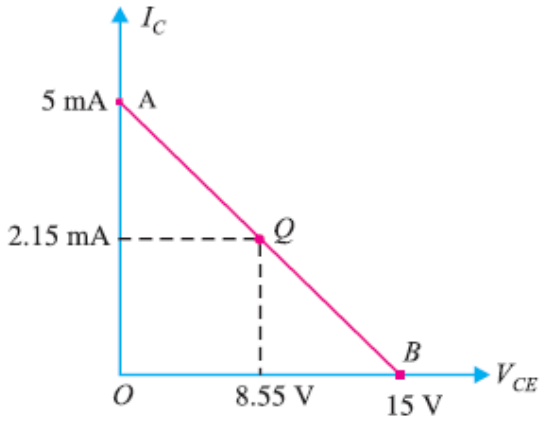
$$\therefore I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{(5-0.7)\,V}{2\,\text{k}\Omega} = 2.15 \text{ mA}$$

$$\therefore I_C = I_E = 2.15 \text{ mA}$$

$$\text{Now } V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 15 - 2.15 \text{ mA} \times 3 \text{ k}\Omega$$

$$= 8.55 \text{ V}$$

∴ Operating point Q is **8.55 V, 2.15 mA.** This is shown on the d.c. load line.



(iii) **a.c. load line.** To draw a.c. load line, we require two end points *viz.* maximum collector-emitter voltage point and maximum collector current point when signal is applied.

$$\text{a.c. load, } R_{AC} = R_C \| R_L = \frac{1 \times 1}{1+1} = 0.5 \text{ k}\Omega$$

∴ Maximum collector-emitter voltage

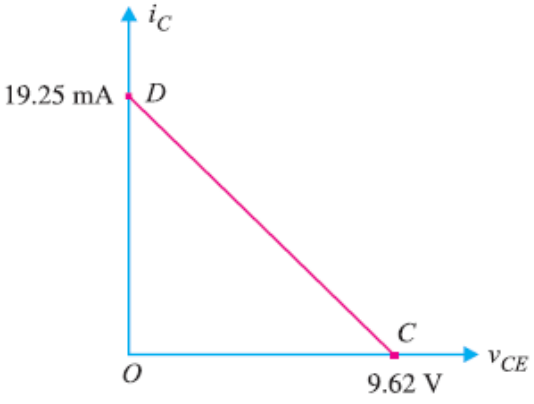
$$= V_{CE} + I_C R_{AC} \qquad \text{[See example 10.4]}$$

$$= 8.55 + 2.15 \text{ mA} \times 0.5 \text{ k}\Omega = 9.62 \text{ volts}$$

This locates the point C (OC = 9.62 V) on the v_{CE} axis.

$$\text{Maximum collector current} = I_C + V_{CE}/R_{AC}$$

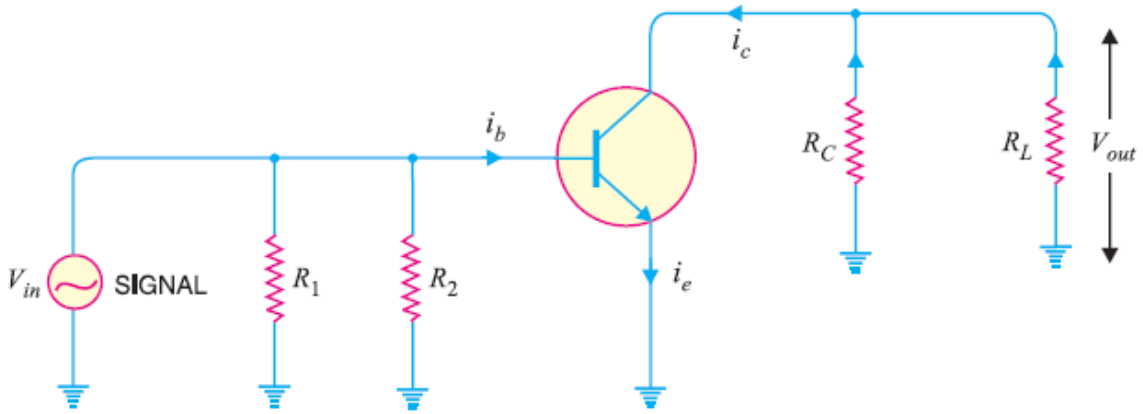
$$= 2.15 + (8.55 \text{ V}/0.5 \text{ k}\Omega) = 19.25 \text{ mA}$$



واجب: لدائرة الترانزستور في المثال السابق اذا كانت $R_c=10k\Omega$, $V_{cc}=20V$ $R_L=30k\Omega$ علما انه ثبتت قيم المقاومتان R1, R2 لتعطي جهد نقطة العمل 10V، ارسم خطي الحمل المستمر والمتناوب (اهمل مقاومة الاميتر).

تحصيل الجهد Voltage gain

العمل الرئيس لمكبر الترانزستور هو تضخيم الجهد (الاشارة) المتناوب المدخل للدائرة لذلك يحسب التحصيل للدائرة من خلال النسبة بين جهد الاخراج الى جهد الادخال.



It is clear that as far as a.c. signal is concerned, load R_C appears in parallel with R_L. Therefore, effective load for a.c. is given by :

$$\text{a.c. load, } R_{AC} = R_C \| R_L = \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L}$$

$$\text{Output voltage, } V_{out} = i_c R_{AC}$$

$$\text{Input voltage, } V_{in} = i_b R_{in}$$

$$\therefore \quad \text{Voltage gain, } A_v = V_{out}/V_{in}$$

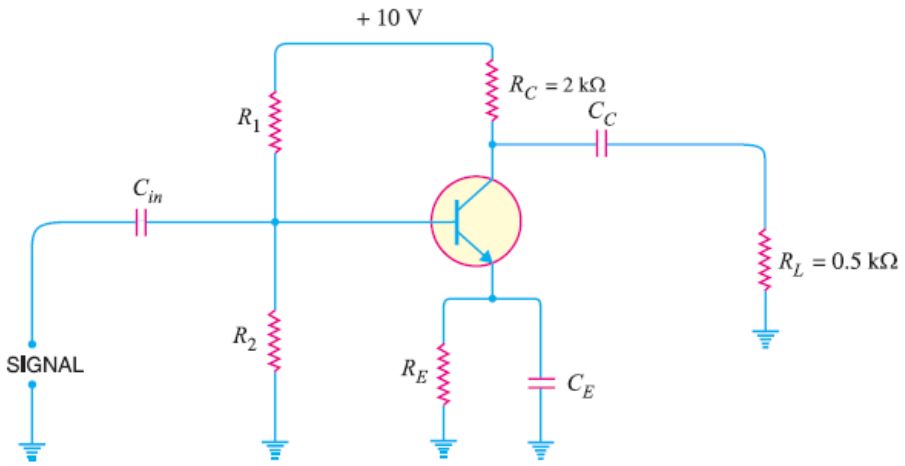
$$= \frac{i_c R_{AC}}{i_b R_{in}} = \beta \times \frac{R_{AC}}{R_{in}} \qquad \left(\text{Q } \frac{i_c}{i_b} = \beta\right)$$

Incidentally, power gain is given by;

$$A_p = \frac{i_c^2 R_{AC}}{i_b^2 R_{in}} = \beta^2 \times \frac{R_{AC}}{R_{in}}$$

يلاحظ ان تحصيل الجهد يعتمد على مقاومة الادخال (تناسب عكسي) ومقاومة الاخراج (تناسب طردي) وكذلك الحال مع تحصيل القدرة كما في العلاقة الاخيرة اعلاه.

مثال: للدائرة في الشكل ادناه احسب تحصيل الجهد اذا علمت ان معامل التكبير للترانزستور يساوي 60 وان مقاومة الادخال تساوي $1k\Omega$.



الحل:

Solution. So far as voltage gain of the circuit is concerned, we need only R_{AC}, β and R_{in}.

Effective load, $R_{AC} = R_C \| R_L$

$$= \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} = \frac{2 \times 0.5}{2 + 0.5} = 0.4\ \text{k}\Omega$$

$$\therefore \quad \text{Voltage gain} = \beta \times \frac{R_{AC}}{R_{in}} = \frac{60 \times 0.4\ \text{k}\Omega}{1\ \text{k}\Omega} = 24$$

مثال:

Example *In a transistor amplifier, when the signal changes by 0.02V, the base current changes by 10 μA and collector current by 1mA. If collector load R_C = 5 kΩ and R_L = 10 kΩ, find: (i) current gain (ii) input impedance (iii) a.c. load (iv) voltage gain (v) power gain.*

Solution. $\Delta I_B = 10\ \mu\text{A}$, $\Delta I_C = 1\text{mA}$, $\Delta V_{BE} = 0.02\ \text{V}$, $R_C = 5\ \text{k}\Omega$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$

(i) Current gain, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1\ mA}{10\ \mu A} = 100$

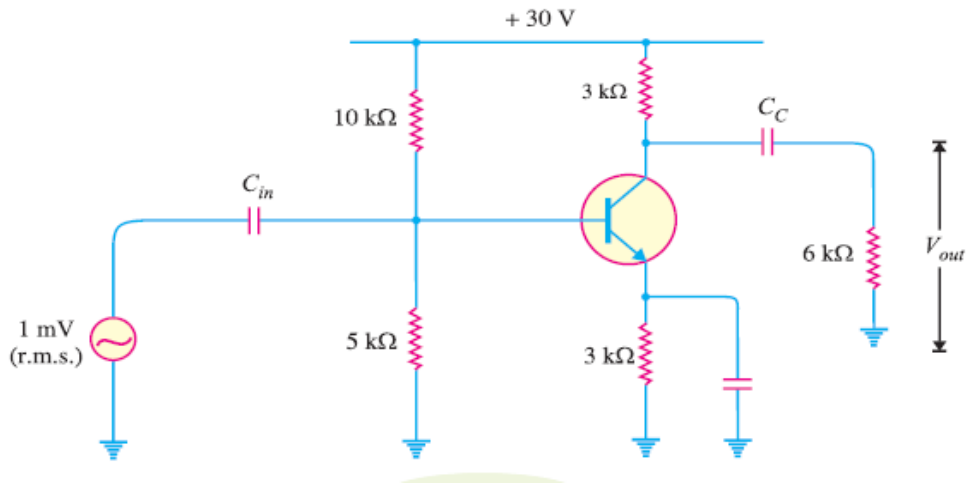
(ii) Input impedance, $R_{in} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0.02\ V}{10\ \mu A} = 2\ \text{k}\Omega$

(iii) a.c. load, $R_{AC} = \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} = \frac{5 \times 10}{5 + 10} = 3.3\ \text{k}\Omega$

(iv) Voltage gain, $A_v = \beta \times \frac{R_{AC}}{R_{in}} = 100 \times \frac{3.3}{2} = 165$

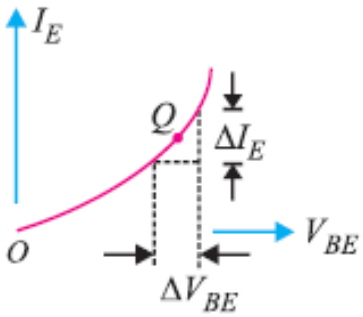
(v) Power gain, A_p = current gain × voltage gain = 100 × 165 = 16500

واجب: للدائرة ادناه احسب جهد الاخراج علما ان مقاومة الادخال Rin=0.5kΩ والتكبير 50



مقاومة الباعث المتناوبة

تعرف مقاومة الباعث (ربط ترانزستور كباعث مشترك) بانها التغير في جهد باعث-قاعدة الى التغير بتيار الباعث



$$R_{ac} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E}$$

رياضيا ممكن ان تعطى مقاومة ثنائي الباعث بالعلاقة:

$$R_{ac} = \frac{25\text{ mV}}{I_E}$$

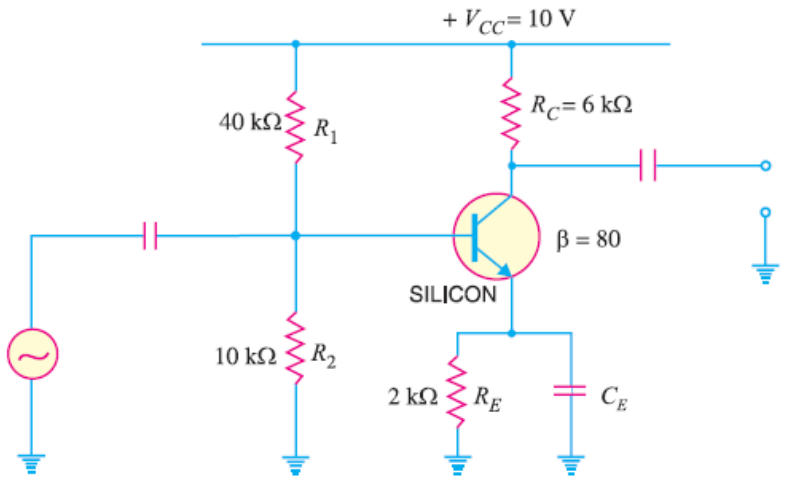
where I_E = *dc* emitter current ($= V_E/R_E$) at *Q* point

من الجدير ذكره ان العلاقة التي تحسب مقاومة الباعث المتناوبة صالحة فقط للاشارات الصغيرة وهي عادة تمثل بالعلاقة ادناه:

$$r_e' = \frac{25\text{ mV}}{I_E}$$

حيث e اشارة الى الباعث (الاميتر) وحولت المقاومة الى حرف صغير r للدلالة على التيار المتناوب.

مثال: احسب مقاومة الباعث المتناوبة للدائرة ادناه.



الحل:

$$\text{Voltage across } R_2,\ V_2 = \frac{V_{CC}}{R_1+R_2}\times R_2 = \frac{10}{40+10}\times 10 = 2\text{ V}$$

$$\text{Voltage across } R_E,\ V_E = V_2 - V_{BE} = 2 - 0.7 = 1.3\text{ V}$$

$$\text{Emitter current, } I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3\,V}{2\text{ k}\Omega} = 0.65\text{ mA}$$

$$\therefore \quad AC \text{ emitter resistance, } r_e' = \frac{25\text{ mV}}{I_E} = \frac{25\text{ mV}}{0.65\text{ mA}} = \mathbf{38.46\Omega}$$

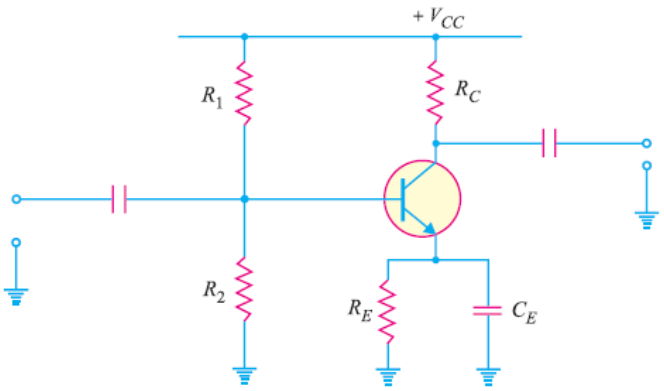
ملاحظة: في حالة عدم معرفة جهد الادخال والاخراج لدائرة الباعث المشترك او عدم معرفة مقاومة الجامع او مقاومة الحمل او تكبير الترانزستور فيمكن ان يحسب التحصيل من العلاقة:

$$\text{Voltage gain, } A_v = \frac{R_C}{r_e'} \text{ ... for unloaded amplifier}$$

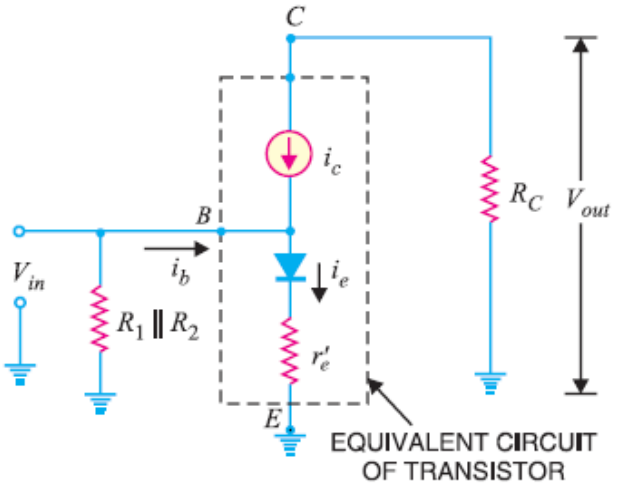
$$= \frac{R_{AC}}{r_e'} \text{ ... for loaded amplifier}$$

مثال: اثبت ان تحصيل الجهد لدائرة الباعث المشترك يعطى بالعلاقة $A_v = \frac{R_C}{r_e'}$ مع رسم دائرة مجزء الجهد.

الحل: رسم الدائرة تكون بالشكل



والدائرة المكافئة تكون بالشكل



من الشكل يتضح ان الجهد المسلط على مقاومة r_e دايود الباعث يساوي الى Vin لذلك التيار سيعطى بالعلاقة:

$$i_e = \frac{V_{in}}{r_e'}$$

or $$V_{in} = i_e r_e' \quad \ldots(i)$$

Assuming $i_c = i_e$, we have,

$$V_{out} = i_c R_C = i_e R_C$$

$\therefore$ Voltage gain, $$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{i_e R_C}{i_e r_e'} = \frac{R_C}{r_e'}$$

or $$A_v = \frac{R_C}{r_e'}$$

where R_C = total a.c. collector resistance

r_e' = total a.c. emitter resistance

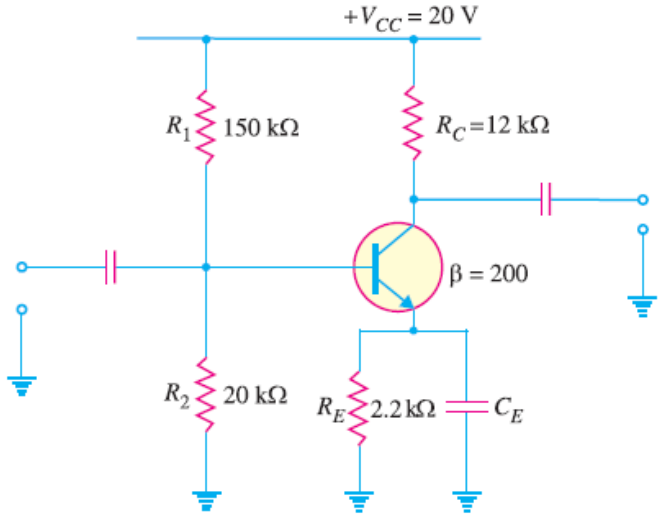
واجب: اثبت ان تحصيل الجهد لدائرة مكبر باعث مشترك بوجود الحمل يعطى بالعلاقة: $A_v = \frac{R_{AC}}{r'_e}$

ملاحظة: في حالة وجود مقاومة في دائرة الباعث R_E فان تحصيل الجهد بوجود وعد وجود الحمل يعطى بالعلاقتين:

$$\text{Voltage gain, } A_v = \frac{R_C}{r'_e + R_E} \quad \text{... for unloaded amplifier}$$

$$= \frac{R_{AC}}{r'_e + R_E} \quad \text{... for loaded amplifier}$$

مثال: لدائرة المكبر المبينة ادناه احسب التحصيل بوجود وعدم وجود متسعة الباعث C_E.



الحل:

$$\text{D.C. voltage across } R_2,\ V_2 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_2 = \frac{20}{150 + 20} \times 20 = 2.35 \text{ V}$$

$$\text{D.C. voltage across } R_E,\ V_E = V_2 - V_{BE} = 2.35 - 0.7 = 1.65 \text{ V}$$

$$\therefore \quad \text{D.C. emitter current, } I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.65\,V}{2.2\,\text{k}\Omega} = 0.75 \text{ mA}$$

$$\therefore \quad \text{AC emitter resistance, } r_e' = \frac{25 \text{ mV}}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{0.75 \text{ mA}} = 33.3\ \Omega$$

(i) **With C_E connected**

$$\text{Voltage gain, } A_v = \frac{R_C}{r_e'} = \frac{12\,\text{k}\Omega}{33.3\,\Omega} = 360$$

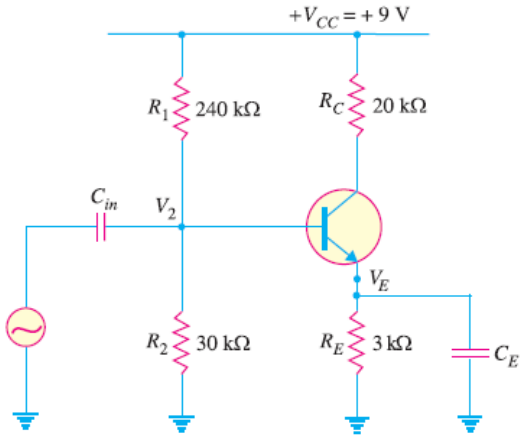
(ii) **Without C_E**

$$\text{Voltage gain, } A_v = \frac{R_C}{r'_e + R_E} = \frac{12\,\text{k}\Omega}{33.3\,\Omega + 2.2\,\text{k}\Omega} = 5.38$$

لاحظ ان ازالة متسعة الباعث ادى الى الهبوط بالتحصيل بشكل كبير جدا وسبب ذلك ان وجود المتسعة يودي الى امرار الاشارة المتناوبة الى الارضي.

واجب: للمثال السابق لو ربطت مقاومة حمل مقدارها 6kΩ، احسب التحصيل (بوجود متسعة الباعث) معلقا على النتيجة (قارن مع المثال السابق).

مثال: للدائرة في ادناه احسب مقاومة الباعث المتناوبة، تحصيل الجهد، الجهد المستمر على طرفي كل متسعة.



الحل:

(*i*) In order to find a.c. emitter resistance r_e', we shall first find D.C. emitter current I_E. To find I_E, we proceed as under :

$$\text{D.C. voltage across } R_2,\ V_2 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \times R_2 = \frac{9}{240 + 30} \times 30 = 1\text{V}$$

$$\text{D.C. voltage across } R_E,\ V_E = V_2 - V_{BE} = 1\text{V} - 0.7\text{V} = 0.3\text{V}$$

$$\therefore \quad \text{D.C. emitter current, } I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.3\text{V}}{3\text{ k}\Omega} = 0.1\text{ mA}$$

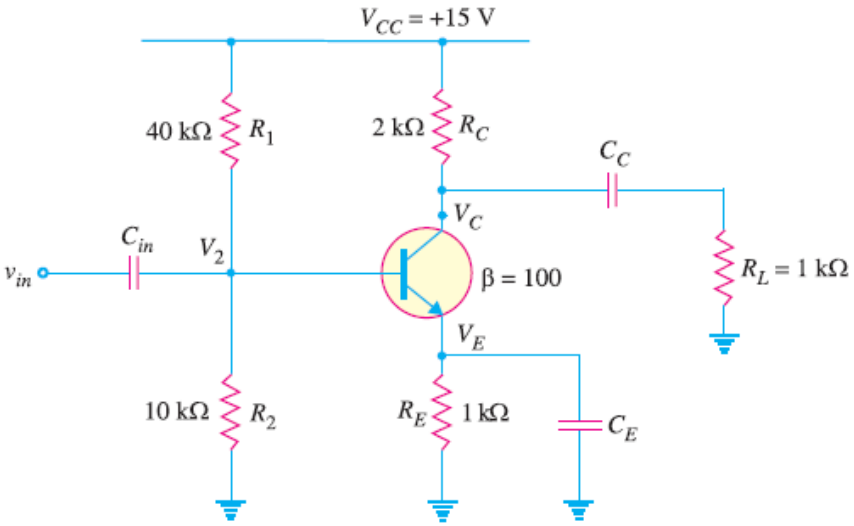
$$\text{Now} \quad \text{A.C. emitter resistance, } r_e' = \frac{25\text{ mV}}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{0.1\text{ mA}} = \mathbf{250\Omega}$$

$$(ii) \quad \text{Voltage gain, } A_v = \frac{R_C}{r_e'} = \frac{20\text{ k}\Omega}{250\ \Omega} = \mathbf{80}$$

(*iii*) The d.c. voltage across input capacitor is equal to the d.c. voltage at the base of the transistor which is $V_2 = 1$V. Therefore, d.c. voltage across C_{in} is **1V.**

Similarly, d.c. voltage across C_E = d.c voltage at the emitter = V_E = **0.3V.**

H.W. *For the circuit shown in Fig. 10.32, find (i) the d.c. bias levels (ii) d.c. voltages across the capacitors (iii) a.c. emitter resistance (iv) voltage gain and (v) state of the transistor.*



مثال: مكبر اشارة فيه تحصيل الجهد 132 والتكبير 200 احسب تحصيل القدرة والقدرة الخارجة اذا علمت ان القدرة الداخلة تساوي 60µW.

الحل:

$$\begin{aligned} \text{Power gain, } A_p &= \text{current gain} \times \text{voltage gain} \\ &= \beta \times A_v = 200 \times 132 = \mathbf{26400} \\ \text{Output power, } P_{out} &= A_p \times P_{in} = (26400)\ (60\ \mu\text{W}) = \mathbf{1.584\ W} \end{aligned}$$