مدخل إلى الترانزيستور ذو الوصلة

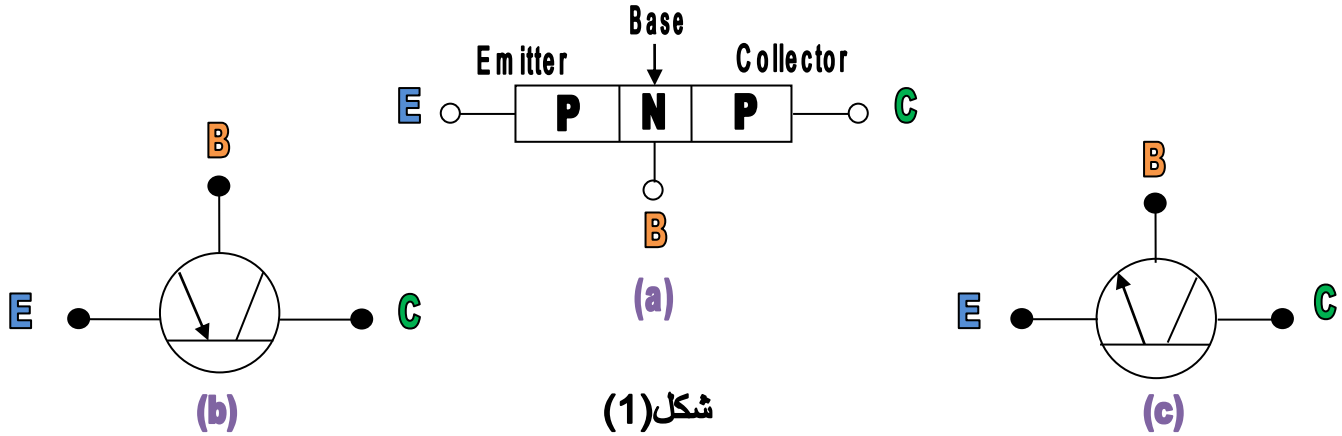
1- الترانزيستور ذو الوصلة (تحليل الوصلات)

يشكل الترانزستور (بطريقة تكتيكية خاصة) من وضع طبقة رقيقة مصنوعة من نصف ناقل مشوب بين طبقتين سميكتين نسبيا مصنوعتين من أنصاف نواقل متعاكسة في الإشابة مع الطبقة الرقيقة.

الوسيلة الإلكترونية الناتجة تدعى بالترانزيستور ثنائي القطبية (bipolar)أو ذو الوصلة (junction) مثلا لو أن الطبقة الوسطى كانت مصنوعة من مادة نوع (N) والطبقتين الأخريين من نوع (P) فالوسيلة عبارة عن ترانزستور(PNP) مبين بالشكل (a-1) بعكس نوعية المادة للطبقات يعطي ترانزيستور (NPN)الرموز الكهربائية للترانزيستور (PNP) و (NPN) مبينة بالشكلين(b-1) (c-1) .

المنطقة المركزية لتكوين الترانزيستور ذو الوصلة تكون ذات إشابة خفيفة بالإضافة إلى كونها رقيقة من الناحية الفيزيائية. الأسماء التي ترمز لكل طبقة هي :الباعث(Emitter)،القاعدة(Base)والمجمع(Collector) .القاعدة هي الطبقة الرقيقة في الوسط .يصنع الترانزيستور باستخدام بلورات نصف ناقلة صافية كأساس ،ثم تدخل إليها الشوائب(impurities) خلال عملية التصنيع بعدة طرق مختلفة.

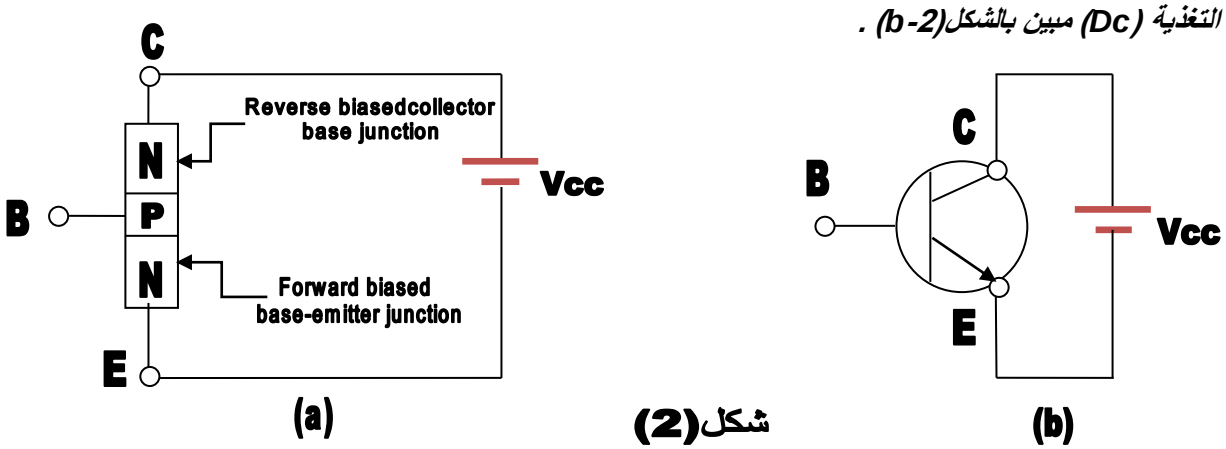
عندما يوصل الترانزيستور في دارة فإنه يكون قادراً على عملية تكبير إشارات ضعيفة مثل الإشارات المنطقية بواسطة هوائي الاستقبال و جعلها بشكل كاف للسمع كما بالراديو . بالإضافة إلى استخداماته اللا محدودة كوسيلة مكبرة فإن الترانزيستور يمكن أن يستخدم كقاطع (switch) الكتروني سريع بتطبيقات لا محدودة في الحسابات الإلكترونية و دارات التحكم



شكل(1)

لشرح كيفية عمل الترانزيستور نأخذ بعين الاعتبار أولا الترانزيستور (NPN) المبين بالشكل(a-2) وحدة التغذية المستمرة(Vcc) يمكن أن تكون عبارة عن بطاريات أو مقوم موجة كاملة ذو ترشيح عند الخرج نلاحظ أنه يوجد وصلتين مؤلفتين من (PN) الأولى تقع بين المجمع والقاعدة والأخرى بين الباعث والقاعدة بالنسبة للتطبيقات الخطية فإن واحد من هذه الوصلات يجب أن تكون منحازة عكسيا بينما الأخرى منحازة أمامياً.

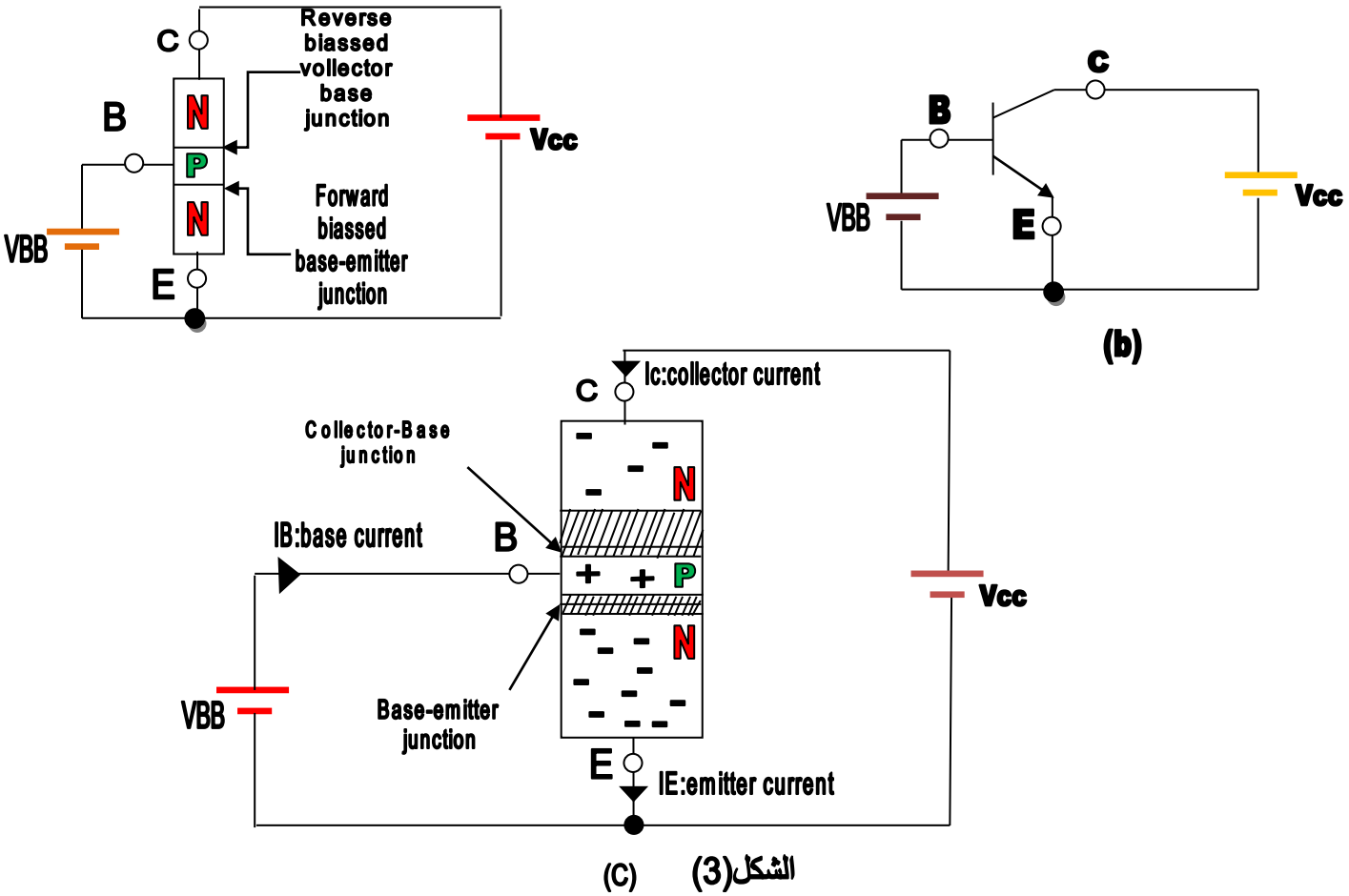
بتطبيق جهد (Dc) مستمر كالمبين .فإن وصلة المجمع القاعدة تنحاز عكسياً (مقاومة عالية) الجهد (Vcc) يميل لانحياز وصلة القاعدة--باعث بشكل أمامي.ولكن باعتبار أن القاعدة دارة مفتوحة فإن هذا الانحياز ليس له معنى كبير.الرمز الكهربائي للترانزيستور مع وحدة التغذية (Dc) مبين بالشكل(b-2) .



شكل(2)

لتطبيق الآن جهد خارجي (V_{BB}) بين القاعدة والباعث بحيث تجعل هذه الوصلة منحازة أمامياً.

الدارة المبينة بالشكل(3-a) ، بالنسبة للترانزيستور (NPN) القاعدة ذات النوع (P) توصل إلى القطب الموجب لـ (V_{BB}) ، والباعث ذو النوع(N) إلى القطب السالب . لدينا الآن وصلة قاعدة_باعث منحاز أمامياً ووصلة ومجمع_ قاعدة منحازة عكسياً كما بالشكل(b3) لشرح العمل الترانزيستور ذو وصلة نأخذ بعين الاعتبار الشكل (3-c) وحدة التغذية (V_{BB})تعطي ثنائي منحاز أماميا مصعد القاعدة ذات النوع (P)ومهبط الباعث ذو النوع (N).كما بأن الثنائي المنحاز أماميا,فأنه يتدفق تيار عند ما يتم تجاوز جهد العتبة له.



الشكل(3)

الإلكترونات في الباعث ذو النوع (N) تشكل الحوامل الأكثرية.الانحياز الأمامي يجعل هذه الحوامل تنتشر من الباعث إلى القاعدة هذا الحقن (injection) للالكترونات ينتج عنه تيار باعث (I_E)مبين بالشكل . ما أن تصل الكترونات الباعث المحقونة إلى القاعدة فلن يبقى هنالك حوامل أكثرية يسبب أن القاعدة من النوع (P).كما يتوقع يحدث إعادة إتحاد(Recombination)للإلكترونات والثقوب في القاعدة وذلك بدرجة ضعيفة نسبيا.لكن بما أن القاعدة رقيقة وذات أشابه خفيفة فأن ثقوبا قليلة نسبيا تكون متوفرة لتتحد مع الإلكترونات المحقونة من الباعث .ينتج عن ذلك زمن بقاء.(Lifetime) طويل لهذه الإلكترونات.هذا يعني أن الإلكترونات تستطيع أن تبقى في المنطقة القاعدة لزمن طويل نسبيا قبل أن تجد ثقوبها متوفرة لإعادة الإتحاد.

تلاحظ أنه يوجد كمون موجب على جانب المجمع من وصلة المجمع القاعدة ناشئ عن الجهد (Vcc)الإلكترونات في المنطقة القاعدة التي لم تتحد في القاعدة تنجذب تحت تأثير هذا الكمون.ما أن يحدث هذا فأن هذه الإلكترونات تخرج من القاعدة خلال وصلة المجمع القاعدة وتخرج من نهاية المجمع. هذا التدفق للإلكترونات يسبب تيار مجمع(I_C) الذي يكمل مساره خلال لجهد(Vcc).

إذا هنالك الكترونات تترك الباعث(I_E) حيث قسم كبير منها يصل إلى المجمع(I_C)ماذا يحدث للنسبة المئوية الصغيرة من الإلكترونات التي لم تصل إلى المجمع أنها تحدد مع الثقوب الموجودة في القاعدة لتشكيل حزمة تكافؤ(covalent bonds).في غضون ذلك الكترونات التكافؤ(Valence electrons)الموجودة في المنطقة القاعدة بالقرب من الدارة الخارجية تكسر أحزمتها وتترك القاعدة,مكملة مسارها الخارجي خلال(V_{BB}).لذلك الكترونات الباعث المحقونة(I_E)تنتشر إلى القاعدة حيث أما تجمع بواسطة المجمع لتشكيل التيار(I_C),أو تولد عددا من الكترونات المكافئة تترك طرف القاعدة مشكلة تيار القاعدة(I_B).

بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات على دارتنا نجد أن تيار الباعث يساوي إلى مجموع تيارات القاعدة والمجمع:

$$I_E=I_B+I_C \qquad -(1)$$

المعامل المستخدم لربط نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث المولد له يدعى بألفا DC (α):

$$\alpha = \frac{IC}{IE} \qquad -(2)$$

هذه المعادلة صحيحة فقط إذا أهملنا قيمة التيار العكسي المار خلال وصلة القاعدة-المجمع.

القيم النموذجية لـ(α)تتراوح بين (0.9) و (0.99) بما أن (α) هي عبارة عن نسبة حوامل الباعث التي تصل فعلاً إلى المجمع فإنها يمكن أن تقترب من الواحد ولا تتجاوزه. لزيادة قيمة(α) يجب زيادة حقن الباعث وإنقاص إعادة الإتحاد في القاعدة. لزيادة حقن الباعث يشاب هذا الباعث بشكل كبير ،ولإنقاص إعادة الإتحاد تجعل القاعدة رقيقة قدر الإمكان واشابتها بشكل خفيف.

مسـألة:

الترانزيستور المبين بالشكل (b-3)لديه(α = 0.95)إذا كان (I_E=I mA) حدد كلاً من (I_B,I_C)

الحـل:

باستخدام المعادلة (2)نجد:

$$I_C= \alpha \ . \ I_E$$

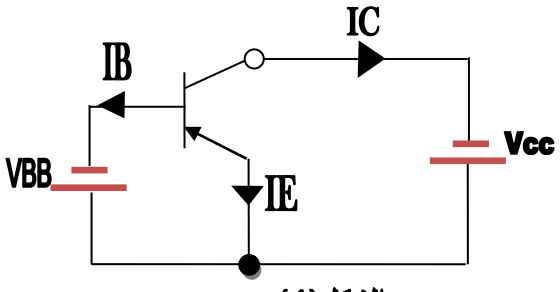
$$I_C=0.95X10^{-3}=0.95mA$$

باستخدام المعادلة(1) نجد:

$$I_B=I_E-I_C$$

$$I_B=(1-0.95)X10^{-3}=0.05mA \ =50 \ \mu A$$

الآن يمكننا تحليل الترانزيستور(PNP) بوجهة نظر مختلفة عن الأولى حيث في هذا الترانزيستور تكون القاعدة مشكلة من مادة من النوع (N) قطبيات الجهود لهذا الترانزيستور تكون معاكسة لما هو مطبق في الترانزيستور (NPN) السابق، وذلك لكي يبقى شرط الانحياز ساري المفعول(وصلة قاعدة باعث منحازة أمامياً وصلة القاعدة-مجمع منحازة عكسياً),باستثناء هذا التغيير في القطبية والنتيجة العكسية لاتجاهات كل التيارات، فإنه لا يوجد اختلاف في سلوك الدارة الخارجية وتبقى المعادلات (1و3)صحيحة . الدارة الموافقة لهذا الترانزيستور مبينة بالشكل(4).



الشكل(4)

فيزيائياً ماذا يحدث في هذه الحالة .الكترونات تترك النهاية السالبة لـ(V_{BB}).وتتجه إلى القاعدة .و بتدفق هذه الإلكترونات ينتج(I_B).حالما يدخل إلكترون إلى القاعدة فإن القاعدة تكسب شحنة سالبة صافية. ثقوب تحقن نتيجة لذلك من الباعث إلى القاعدة(مشكلة التيارI_E) وذلك لمحاولة تحييد (Neutralize) الشحنة السالبة الزائدة . أكثرية الثقوب المحقونة (والتي تساوي إلى)تسبح عبر القاعدة إلى المجمع . الاحتمال في أن ينجح ثقب بشكل فعلي في تحييد الشحنة السالبة الزائدة يكون نسبياً ضعيف . لو أنه مثلاً كانت (0.9) إذاً(90%) من كل

ثقوب الباعث المحقونة تصل إلى المجمع و(10%) منها تتحد في القاعدة .بكلمات أخرى لتحييد كل إلكترون يدخل إلى القاعدة فان عشرة ثقوب تحقن من قبل الباعث تسعة منها تصل إلى المجمع (90%)وواحد يتحد في القاعدة (10%)لذلك نقول كل شحنة واحدة تدخل القاعدة ينتج عنها تسعة واحدات من الشحنة تترك المجمع .هذا ما هو نسميه بالتكبير (Amplification). كما حددنا (α) بأنها نسبة التيار المجمع إلى الباعث, يمكن أيضا تحديد نسبة التيار المجمع إلى القاعدة (β)هذه تدعى نسبة التيار الأمامي التحويلية المستمرة (DC) لتشكيلة باعث مشترك ,أيضا تدعى ببيتا المستمرة (B . DC) العلاقة الرياضية التي تحدد (B)هي:

$$\beta=\frac{IC}{IB} \qquad -(3)$$

نلاحظ وجود علاقة بين (α)و(β) يمكن استنتاج هذه العلاقة كما يلي:

$$I_C= \alpha \ . \ I_E$$

$$I_E=I_B+I_C$$

$$I_C= \alpha \ (I_B+I_C)$$

$$I_C=(1- \alpha)= \alpha \ I_B$$

$$\frac{IC}{IB}=\frac{\alpha}{(1-\alpha)} \qquad -(4)$$

$$\beta=\frac{\alpha}{(1-\alpha)}$$

يمكن أن نكتب أيضاً:

$$\beta(1-\alpha)=\alpha$$

$$\beta = \beta - \alpha + \alpha =\alpha \ (\beta +1)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{(\beta+1)} \qquad -(5)$$

كلا المعادلتين (4)و(5) تطبيقات على كلا النوعين من الترانزيستور(PNP)و(NPN)

$$\delta= \frac{IE}{IB} \qquad -(6)$$

(7)- ويمكن أن نكتب أيضاً

$$\delta=1+\beta$$

معاملات تكبير التيار الستاتيكي

$\alpha = \frac{IC}{IE}$	$\beta = \frac{IC}{IB}$	$\delta = \frac{IE}{IB}$

ملاحظة هامة: وهذه العلاقات صالحة فقط في حال أهملنا التيار العكسي الناجم عن الوصلة العكسية

مسـألة:

الترانزيستور المبين بالشكل (4) لديه $I_B=40\mu A$ $\beta=100$

حدد كلاً من (I_C)و(α) و(I_E).

الحـل:

باستخدام المعادلة(3)نجد:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_C=100(40X10^{-6})=4mA$$

باستخدام المعادلة (5).نجد:

$$\alpha = \frac{\beta}{(\beta+1)}$$

$$\alpha = \frac{100}{(100+1)} = 0.99$$

باستخدام المعادلة(1)نجد:

$$I_E=I_B+I_C$$

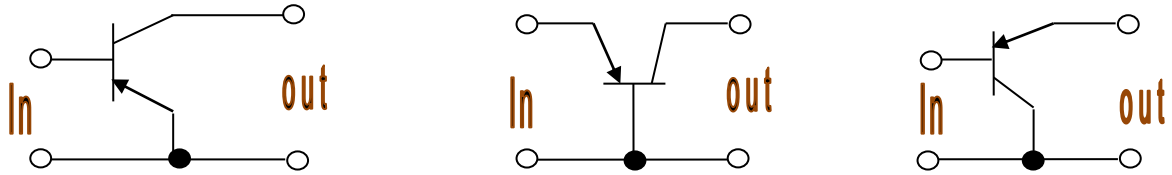
$$I_E=40X10^{-6}+4X10^{-3}=4.04mA$$

العلاقات بين معاملات تكبير التيار الستاتيكي

$\alpha = \frac{\beta}{(\beta+1)}$	$\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)}$	$\delta = (1+\beta)$

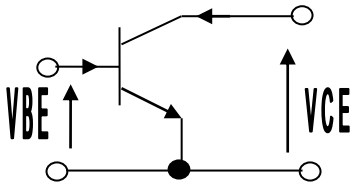
تشكيلات الترانزستور

الترانزستورات يمكن أن تعمل في واحدة من تشكيلات ثلاثة ممكنة . عادة واحدة من النهايات الثلاث (باعث ,قاعدة ,أو مجمع)تكون مشتركة بين الدخل والخرج وتكون مؤرضة كما في الشكل(5) للتبسيط منابع الجهد الخارجية المستمرة تهمل في الأشكال .في أي من هذه التشكيلات يمكننا أن نحدد أربع متغيرات :جهد الدخل و الخرج ,تيار الدخل و الخرج .



ملاحظة:بجميع التشكيلات لا يهم نوع الترانزيستور

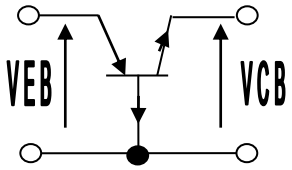
1- الباعث المشترك (C.E):



تيار الدخل:I_B جهد الدخل:V_{BE} الدخل:B

تيار الخرج:I_C جهد الخرج:V_{CE} الخرج:C

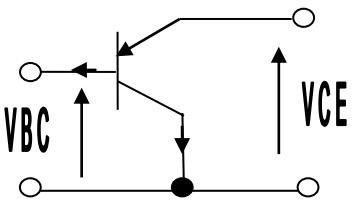
2- القاعدة المشتركة(C.B):



تيار الدخل:I_E جهد الدخل:V_{EB} الدخل:E

تيار الخرج:I_C جهد الخرج:V_{CB} الخرج:C

3- المجمع المشترك(C.C):

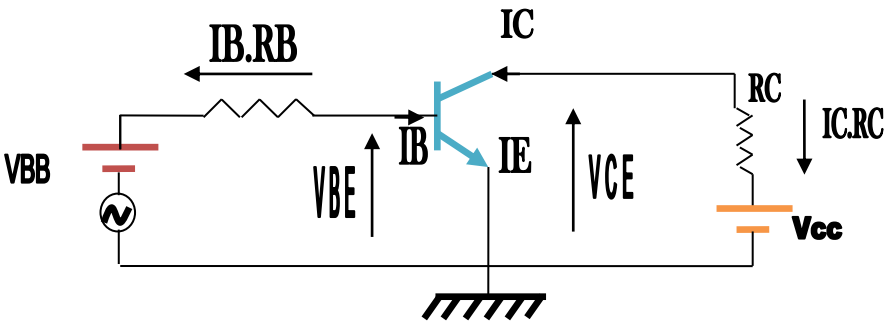


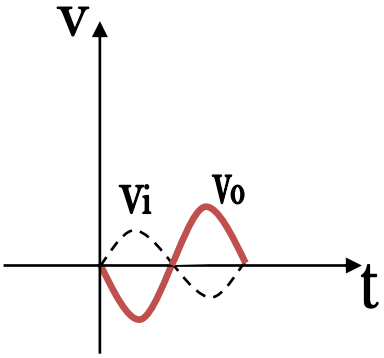
تيار الدخل:I_B جهد الدخل:V_{BC} الدخل:B

تيار الخرج:I_E جهد الخرج:V_{EC} الخرج:E

طرق توصيل الترانزيستور:

1- توصيلة الباعث مشترك:



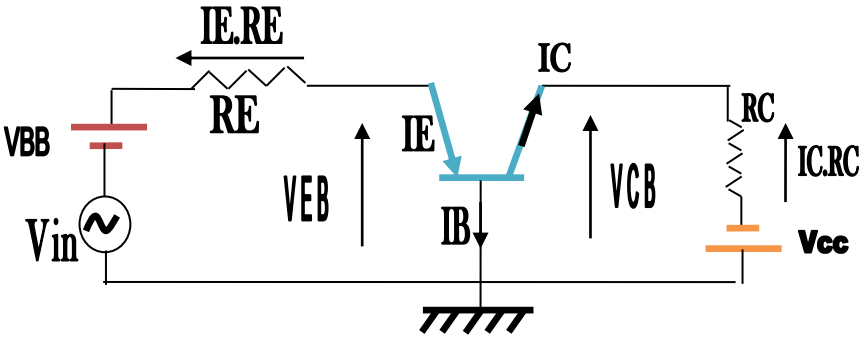


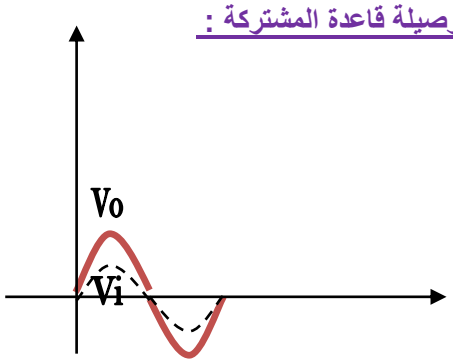
في هذه التشكيلة يتم تطبيق الإشارة على قاعدة الترانزيستور ويؤخذ الخرج من المجمع بينما يكون الباعث مشترك بين الدخل والخرج ومؤرض من الناحية المتناوبة . في هذه الدارة مقاومة الدخل منخفضة تمثل ثنائي منحاز أمامياً ومقاومة خرج متوسطة مأخوذة بين طرفي الترانزيستور وبالتالي تقدم ربح جهد جيد وربح تيار عالي القيمة(I_C mA-I_B μ A) أي ربح استطاعة عالية أما إشارة الخرج فهي تختلف بالصفحة عن إشارة الدخل بمقدار 180° فعندما يكون جهد الدخل (Vi) موجبا فانه سيوافق جهد الانحياز المستمر(V_{BB}) مما يعني أنه بزيادة (Vi) سيزداد الجهد(V_{BE}) وسيزداد معه تيار الدخل(I_B) مما يؤدي إلى زيادة تيار الخرج(I_C) وبالتالي زيادة جهد الخرج($I_C.R_C$)والذي يكون سالبا بالنسبة للأرض وبالعكس عندما يكون (Vi) سالبا (أي نصف الموجة السالبة) فان زيادته ستؤدي إلى نقصان جهد الدخل(V_{BE}) لأنه يعارض جهد الانحياز المستمر (V_B) مما يؤدي إلى نقصان(I_C)وبالتالي نقصان الجهد السالب المأخوذ بين طرفي المقاومة(R_C).

تستخدم هذه الدارة للتكبير لأنها الوحيدة التي تقدم ربحاً للجهد والتيار والاستطاعة

ملاحظة : يتم التأريض من الناحية المتناوبة إما بوصل الطرف المراد تأريضه عبر مكثف إلى الأرض أو بوصله مباشرة إلى مولد جهد مستمر.

2- توصيلة قاعدة المشتركة :





ميزات القاعدة المشتركة:

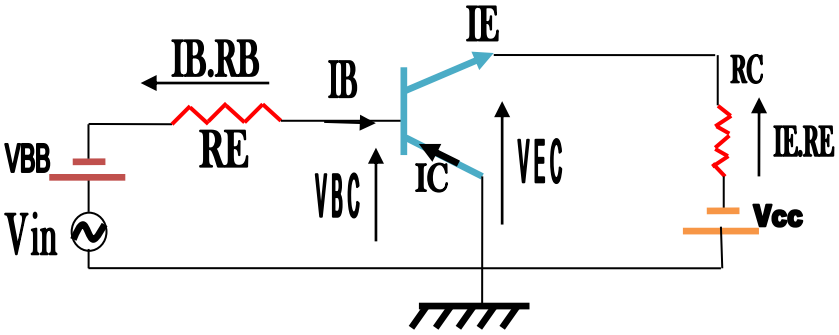
في هذه التوصيلة تنطبق إشارة الدخل عن طريق الباعث و يؤخذ الخرج عن طريق المجمع بينما تؤرض القاعدة من الناحية المتناوبة وتكون مشتركة بين الدخل و الخرج وفي هذه الدارة تكون مقاومة الدخل منخفضة تمثل مقاومة ثنائي منحاز أماميا و مقاومة خرج عالية تمثل مقاومة ثنائي منحاز عكسيا و بالتالي فان ربح الجهد في هذه الدارة عالي جدا بينما تكون قيمة ربح التيار ($\frac{IC}{IE} < 1$)

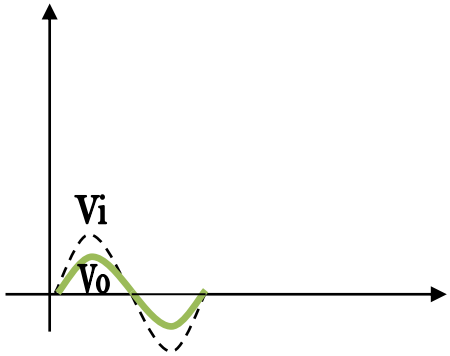
$$\text{ربح التيار} = \frac{\text{تيار الخرج}}{\text{تيار الدخل}} = \frac{IC}{IE} = \text{وبالتالي ربح التيار شيء و استطاعة متوسطة}$$

وعند تطبيق إشارة متناوبة على مدخل الدارة فعندما يكون جهد الدخل موجبا فهو يكون موافق لجهد الانحياز المستمر V_{EB} وبالتالي زيادة I_E ومن ثم زيادة I_C وبالتالي زيادة جهد الخرج $I_C.R_C$ والعكس صحيح . مما سبق نستنتج أنه لا يوجد فرق بالصفحة بين إشارتي الدخل والخرج ويمكن استخدام الدارة كمكبر استطاعة لأنها تعطي ربحاً استطاعة معقول نسبياً

عند تطبيق إشارة متناوبة على مدخل الدارة فإنه عندما يكون جهد الدخل (Vin) موجب فهو يكون موافق لجهد الانحياز المستمر (V_E)مما يؤدي إلى زيادة جهد دخل الترانزيستور (V_{EB}) وبالتالي زيادة تيار الدخل للترانزيستور (I_E) التي تؤدي إلى زيادة تيار الخرج(I_C)وبالتالي زيادة جهد الخرج الموجب ($I_C.R_C$) أما عندما يصبح (Vin) سالب فإن زيادته ستعارض جهد المولد (V_E) مما يؤدي إلى نقصان (V_{EB}) ونقصان (I_E) وبالتالي نقصان (I_C) وبالتالي نقصان جهد الخرج ($I_C.R_C$) المأخوذ على طرفي مقاومة الحمل (R_C) مما سبق نجد أنه لا يوجد فرق بالصفحة بين إشارتي الدخل والخرج ويمكن استخدام هذه الدارة كمكبر جهود أو حتى مكبر استطاعة لأنها تعطي ربح استطاعة جيد نسبياً

3- توصيلة المجمع المشترك:





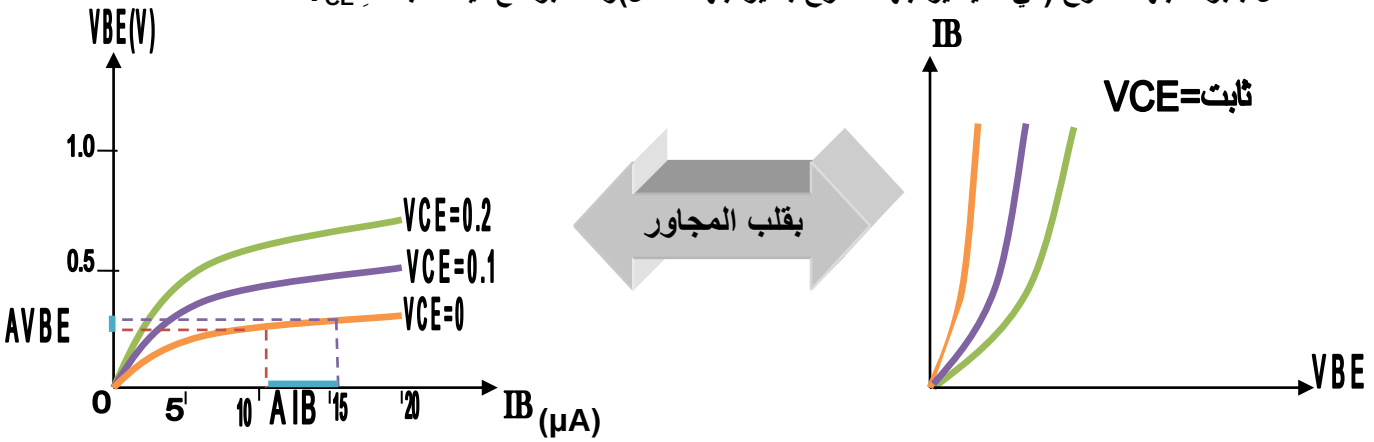
في هذه التشكيلة تعطي إشارة الدخل على القاعدة وتأخذ إشارة الخرج من الباعث وتكون في هذه الحالة مقاومة الدخل عالية نسبياً تمثل ثنائي منحاز عكسياً وتكون مقاومة خرج منخفضة(متوسطة) تقريباً مأخوذة بين طرفي الترانزيستور (C-E) ويكون ربح الجهد أقل من الواحد ،إلا أن ربح التيار يكون عاليا

$$\delta = \frac{IE}{IB}$$

و يكون غالباً ربح الاستطاعة أقل منه في أي توصيلة دارة أخرى. كما أن هذه الدارة لا تعطي فرق بالصفحة بين إشارتي الدخل والخرج وهذه الدارة غير مفيدة للتكبير إلا أنها تستخدم بكثرة في توفيق الممانعات كربط منبع دخل ذو ممانعة عالية(دخل) مع أحمال خرج ممانعتها منخفضة(خرج).

منحنيات الخواص الساكنة لتشكيلة الباعث المشترك C.E:

1- منحني خواص الدخل: وهو العلاقة بين تياري الدخل وجهد الدخل بثبوت جهد الخرج (كي لا يتغير جهد الخرج بتغير جهد الدخل)وذلك بوضع قيمة ثابتة لـ V_{CE}



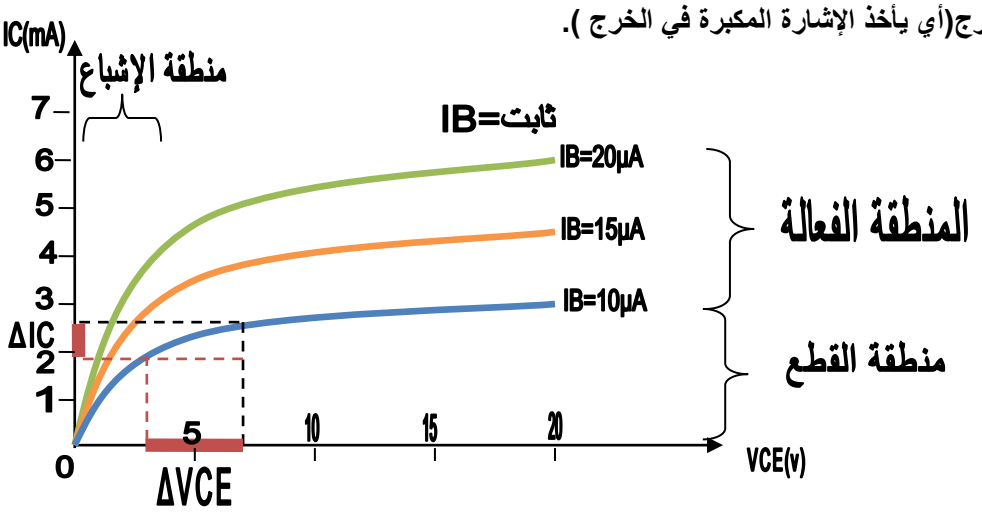
من منحني خواص الترانزيستور نستنتج عدة عوامل:

المعامل الأول : مقاومة الدخل Ri:

مقاومة الدخل تساوي = جهد الدخل / تيار الدخل | بثبوت جهد الخرج

$$Ri = \frac{\Delta VBE}{\Delta IB}\Big|_{VCE}$$

2-منحني خواص الخرج : العلاقة بين تيار الخرج وجهد الخرج بثبوت تيار الدخل I_B وهو أهم المنحنيات الأربعة لأنه يدرس علاقات الخرج(أي يأخذ الإشارة المكبرة في الخرج).



نلاحظ من المنحني ثبوت التيار في الخرج (المجمع) لأنه بعد مرور فترة من الزمن تكون الالكترونات جميعها قد تجمعت في المجمع وتشكل تيارا ثابتا بحيث لا يوجد الكترونات متبقية في الباعث أو القاعدة

المعامل الثاني :سما حية الخرج (الناقلية)

سما حية الخرج = تيار الخرج / جهد الخرج | تيار الدخل

$$\frac{1}{Ro} = \frac{IC}{VCE}\Big|_{IB}$$

مناطق عمل الترانزستور ثلاث (منطقة القطع *منطقة الإشباع *المنطقة الفعالة *)

منطقة القطع : J_E عكسية و J_C عكسية

لا يمر تيار دخل ($I_B=I_C$) لأن الجهد معدوم أو أصغر من جهد العتبة (قاطع)وتكون ($I_C=0$)لكن يوجد تيار تسريب عكسي(I_{OUT})

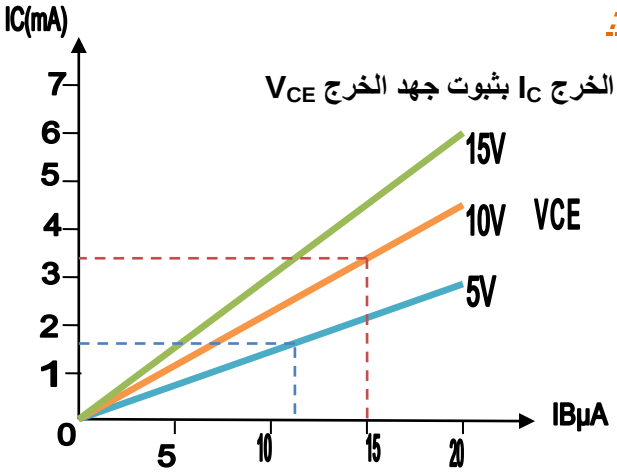
متغير . منطقة الإشباع : J_E أمامية و J_C أمامية

يمر في هذه الحالة تيار أكبر من طاقة الترانزستور رغم جهود منخفضة وهي منطقة غير مفيدة .

المنطقة الفعالة : J_E أمامية و J_C عكسية(انحياز الوصلات)

وفيها يعمل الترانزستور مكبرا للإشارة أو قاطع أوتوماتكي وهي المنطقة المفيدة ة و الأهم .

3- منحني خواص النقل الأمامية :



العلاقة بين تيار الدخل I_B و تيار الخرج I_C بثبوت جهد الخرج V_{CE}

المعامل الثالث: عامل تكبير التيار وهو نسبة تيار الخرج إلى تيار الدخل بثبوت جهد الخرج

ويبين مقدار الكبير (β):

$$\beta=\frac{IC}{IB}\Big|_{VCE}$$

h:هابيرد

F:أمامية E:تدل على نوع التشكيلة (C.E: باعث مشترك)

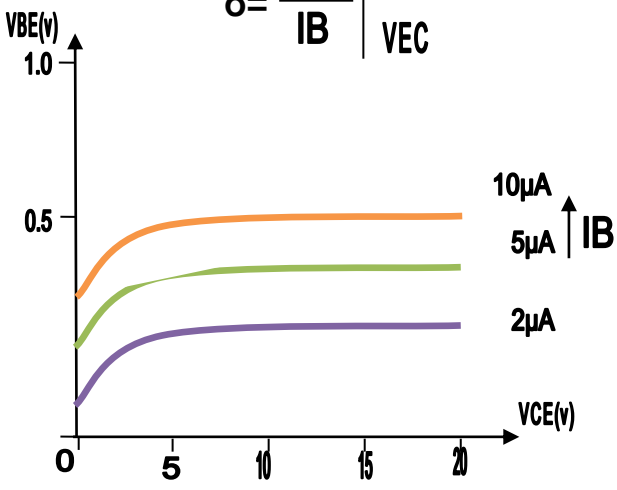
وعليه يكون: في تشكيلة القاعدة المشتركة(α):

$$\alpha=\frac{IC}{IE}\Big|_{VCB}$$

في تشكيلة المجمع المشترك(δ):

$$\delta=\frac{IE}{IB}\Big|_{VEC}$$

3- منحني خواص النقل العكسية :



العلاقة بين جهد الدخل وجهد الخرج بثبوت تيار الدخل

إن V_{BE}هو عبارة عن جهد الخرج تبقى V_{BE} ثابتة وتأخذ قيمة جهد القبة

ملاحظة هامة : $V_{BE}=V_T$=ثابت

المعامل الرابع:

نسبة - تحويل الجهد – العكسية:

$$\frac{\text{جهد الدخل}}{\text{جهد الخرج}}\Big|_{\text{تيار الدخل}}$$

عكسية $\rightarrow$ $$hrE=\frac{VBE}{VCE}\Big|_{IB}$$

نصائح لحل المسائل

عند حل المسألة تذكر ما يلي لو لم يطلب ذلك صراحة في نص المسألة

1-نوع الترانزيستور (NPN-PNP)

2-نوع التشكيلة (باعث مشترك0قاعدة مشتركة0مجمع مشترك)

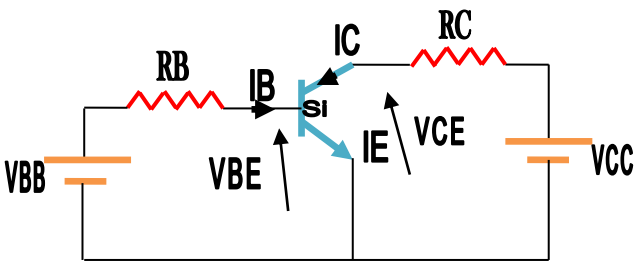
3-البار سترات (جهد الدخل جهد الخرج تيار الدخل تيار الخرج)

4-اتجاهات التيارات و الجهود ((على الدارة))0/عند أطراف الترانزيستور تحديداً/0

5-حل المسائل وباسطة قوانين كيرشوف

مسألة (1):

ليكن لدينا الدارة التالية :



$V_{BB}=2$ $V_{CC}=10\ V$ $R_C=1K\Omega$

$R_B=100K\Omega$ $\alpha=0.95$

المطلوب:حساب بارامترات هذه الدارة .

الحل: نوع الترانزيستور NPN , التشكيلة باعث مشترك C.E

البارامترات : I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE}

ودائماً : جهود الترانزيستور موجبة بالنسبة للأرض كما في الدارة

ويكون اتجاهات التيارات في نهاية أطراف الترانزيستور تحديداً.

﴿ملاحظة:في الباعث المشترك أو القاعدة المشتركة تكون $V_{EB}=V_T$ أو $V_{BE}=V_T$ فإذا لم يعطى($V_{BE}.V_{EB}$) في نص المسألة لأن أياً منهما يساوي جهد العتبة ﴾

بما أن الثنائي من السيلكون ⟸ $V_{BE}=V_T=0.6(V)$

*نطبق قانون كيرشوف في حلقة الدخل:

$V_{BB} - R_B.I_B - V_{BE}= 0$

$2 - 100X10^3\ X\ I_B - 0.6= 0 \Longrightarrow I_B=14X10^{-6}A$

$I_B=14\ \mu A$

وفي حلقة الخرج: $V_C - I_C.R_C - V_{CE} = 0$ (*)

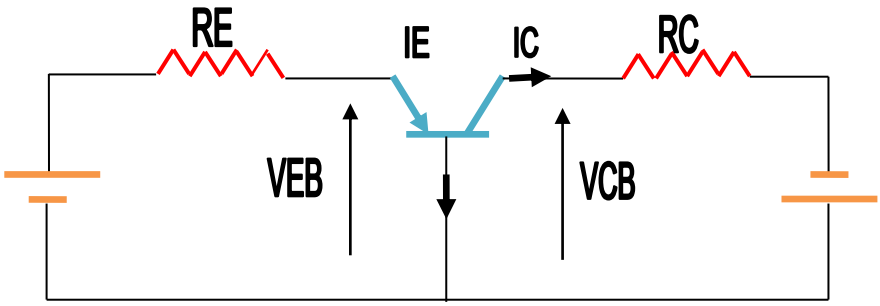
$\beta=\frac{\alpha}{1-\alpha}=\frac{0.95}{1-0.95} \Longrightarrow \beta=19$ $\beta=\frac{IC}{IB}$

$I_C=\beta\ .\ I_B = 19\ X\ 14 = 266\ (\mu A) \Longrightarrow I_C=0.266(mA)$

$I_E=I_B + I_C = 0.014 + 0.266 \Longrightarrow I_E= 0.28\ (mA)$

نعوض في * $10 - 0.266X10^{-3}X10^{-3} - V_{CE} = 0 \Longrightarrow V_{CE}=9.734(v)$

مسألة(2)



أحسب البارامترات.

- $V_E=15(v)$
- $V_C=30(v)$
- $R_C=20(K\Omega)$
- $R_E=10(K\Omega)$
- $\alpha=0.98$

الحـــــــــــل:

نوع الترانزيستور: PNP توصيلة القاعدة المشتركةC.B

البارامترات: I_E , I_C , V_{EB} , V_{CB}

نطبق قاعدة كيرشوف في حلقة الدخل:

$V_E - I_E.R_C - V_{EB} = 0$ $V_{EB}=V_T=0.6v$

$15 - I_E.\ 10X10^{-3} - 0.6 = 0$

$I_E=\frac{14.4}{0.0001} \Longrightarrow I_E=1.44(mA)$

$I_C=\alpha- I_E \Longrightarrow I_C= 0.98 X 1.44 \Longrightarrow I_C=1.411(mA)$

$I_B=I_E - I_C = 1.44-1.4112 = 28.8(mA)$

وفي حلقة الخرج:

$V_C+V_{CB}-I_C.R_C = 0$

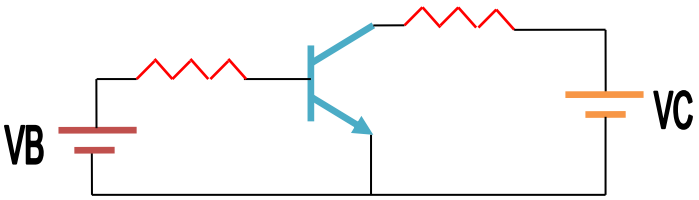
$30+V_{CB}-1.411X20X10^3X10^{-3}=0 \Longrightarrow V_{CB}= - 1.8(v)$

وهو الجهد الوحيد السالب في هذا الترانزيستور (PNPقاعدة مشتركة)

تذكرة:في (PNP)يكون المجمع (C) موصول إلى القطب السالب من (V_C)

*الخرج في الترانزيستور هو الطرف من الدارة الذي يكون فيه(R_L)أو يهبط عليه جهد مرتفع

طرق الانحياز (تقطيب) الترانزيستور:



1- باستخدام منبعي تغذية:

جهود الانحياز الساكن

V_C: يؤمن انحياز عكسي لوصلة J_C

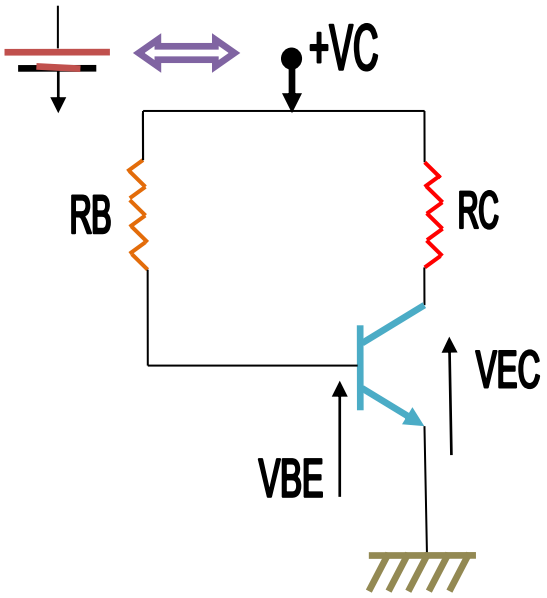
V_B : يؤمن انحياز أمامي لوصلة J_E

وهي طريقة غير مجدية في الدارات العملية لصعوبة تأمين ثلاث منابع (مستمرين و آخر متناوب)

2- باستخدام منبع وحيد:

تغذية الدخل والخرج من منبع الخرج (V_C) ومن أجل المحافظة على تيار قاعدة ثابت – وبعد ازدياد جهد القاعدة الذي أصبح (V_C) نقوم بجعل مقاومة الدخل كبيرة متناسبة مع الجهد الكبير الذي هو أكبر من جهد العتبة نسبياً

يمكن تمثيل المنبع (V_C) بنقطة كما في الشكل أما جهة هذا المنبع تمثله الإشارة ± و إن لم تكن موجودة فهي موجبة.



أن قيمة توتر المنبع (V_C) تساوي إلى هبوطات الجهد اعتباراً من هذه النقطة حتى الوصول إلى نقطة التأريض وذلك بالنسبة لكل فرع على حدة

$$V_C=I_CR_C+VCE$$

$$V_C=I_BR_B+VBE$$

ولحساب مقاومة الدخل الجديد RB :

$$R_B=\frac{VC-VBE}{IB}$$

***وعلى سبيل المثال تصبح في المسألة 1 كالتالي:**

$$R_B=\frac{10-0.6}{14X10^{-6}} \quad =626\ K\Omega$$

وهذا متوقع فعندما كان جهد الدخل(V_B=2 V) كان يوافق مقاومة (R_B=100KΩ) عندما أصبح الجهد أكبر من السابق (V_B=V_C=10)أصبحت المقاومة أيضاً أكبر من سابقها (R_B=626KΩ)وكل ذلك من أجل مرور تيار دخل ثابت في كلا الحالتين/.

مسألة3 :

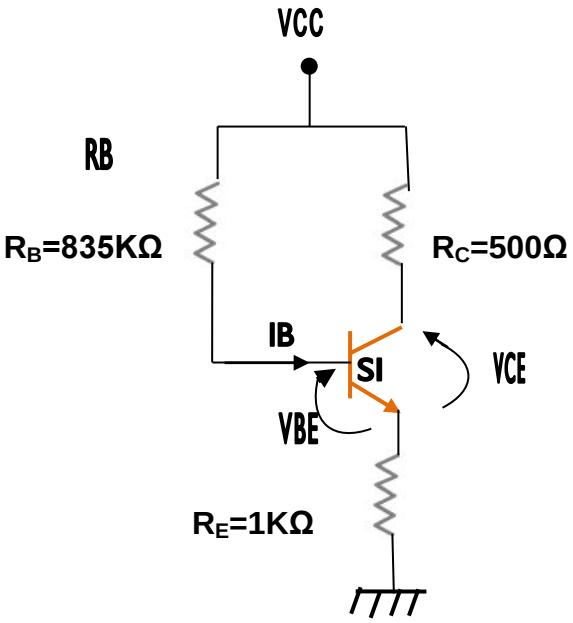
المطلوب حساب بارامترات الترانزيستور

الحـــــــــــــــــل:

الترانزيستور NPN

التشكيلة باعث مشترك (C.E)

كيرشوف في حلقة الدخل:



$$V_C - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0 \qquad (*)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} = \frac{0.9}{1-0.9} = 9$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = I_B + \beta . I_B$$

$$I_E = (1+\beta) I_B \Longrightarrow I_E = 10 \times I_B$$

نعوض في (*)

$$25 - I_B \times 835 \times 10^{+3} - 0.6 - 10 \times I_B \times 10^{+3} = 0$$

$$I_B = 29\ \mu A$$

I_E=290µA I_C=290-29=261µA

I_E=0.29mA I_C=0.261mA

V_{BE}=0.6 (V)

كيرشوف في حلقة الخرج:

$$V_C - I_C . R_C - V_{CE} - I_E R_E = 0$$

$$25 - 261 \times 10^{-6} \times 500 - V_{CE} - 290 \times 10^{-6} \times 10^{-3} = 0$$

$$V_{CE} = 24.58\ (v)$$

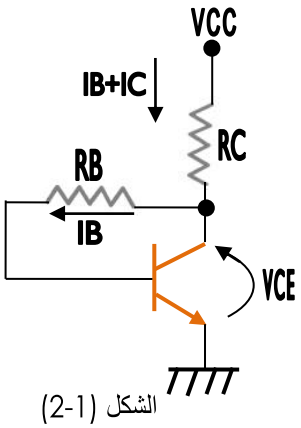
3-التقطيب عن طريق مقاومة ما بين المجمع والقاعدة (تغذية خلفية تفرعية):

وتعني تغذية الدخل من الخرج وهو المبدأ الأكثر استخداماً في معظم الترانزستورات

-لا داعي في هذه الطريقة لجعل المقاومة R_B كبيرة (كالطريقة السابقة)

-مستقر حرارياً :مهما تغيرت درجة الحرارة حولها تبقى خواص الترانزيستور ثابتة.

حيث أنه في الطريقة الثانية كانت المقاومة كبيرة ويهبط عليها جهد كبير مما يولد حرارة>.

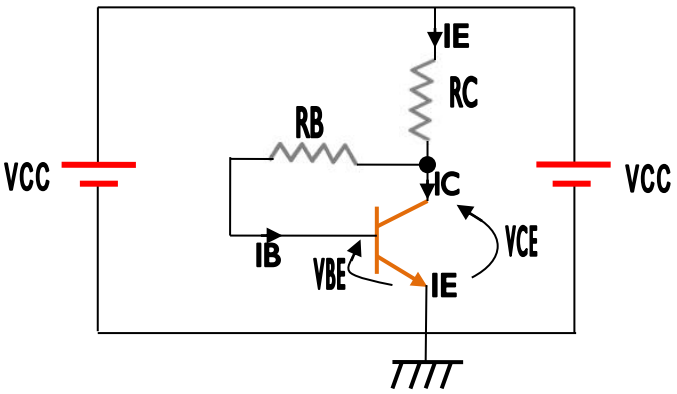


الشكل (1-2)

من أجل تسهيل الدراسة نطبق قانون كيرشوف في الحلقات بعد أن نفكك المنع كما في الشكل:

تذكرة: إن التيار الداخل مباشرةً إلى المجمع هو I_C، أما قبل التفرع فإن التيار المار عبر المقاومةR_C هو التيار الكلي I_E

والجهد الهابط على R_C هو($I_E.R_C$) وليس ($I_C. R_C$)



نطبق قانون كيرشوف على حلقة الدخل:

$$V_{CC} - I_E.R_C - I_B.R_B - V_{BE} = 0$$

نطبق قانون كيرشوف على حلقة الخرج:

$$V_{CC} - I_E.R_C - V_{CE} = 0$$

و من ناحية أخرى يمكن القول :

يوضح الشكل(2-1)الدارة العملية وحسب كيرشوف في دارة الخرج فإن :

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C\,(I_B + I_C) = V_{CC} - R_C\,.\,I_E$$

أما في دارة الدخل عن طريق مقاومة القاعدة R_Bفيمكن القول :

$$V_{CE} = R_B\,.\,I_B + V_{BE}$$

وبمساواة العلاقتين السابقتين وبعد التعويض عن

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad \text{و} \quad I_E = \frac{I_C}{\alpha}$$

فنجد:

$$V_{CC} - R_C.I_E = I_B\,.\,R_B + V_{BE}$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_B\,.\,R_B + I_E\,.\,R_C$$

$$= \frac{I_C}{\beta} R_B + \frac{I_C}{\alpha} R_C$$

$$= I_C \left(\frac{R_B}{\beta} + \frac{R_C}{\alpha} \right)$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B \backslash \beta + R_C \backslash \alpha}$$

وإذا كانت (α=1)فيصبح I_C كما يلي:

$$I_C \simeq \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B \backslash \beta + R_C}$$

ملاحظة: يمكننا أن نختار أي نقطة من دارة فيكون الجهد الهابط عندها مساوياً إلى مجموع الجهود الهابطة اعتباراً من هذه النقطة وصولاً إلى نقطة التأريض وذلك بكل فرع على حدة مثل(V_C , V_B , V_E)أما الجهد الهابط بين نقطتين فهو فرق التوتر بينهما مجموع الجهود بين النقطتين (V_{BE} , V_{CE})

$$V_{CC} = I_E.R_E + V_C$$

1 $V_C = V_{CE} + V_E$ $V_E = I_E.R_E$:

2 $V_C = I_B.R_B + V_{BE} + V_E$ $V_E = I_E.R_E$:

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

و بالمساواة بين 1 و 2 نجد:

$$V_{CE} + V_E = I_B.R_B + V_{BE} + V_E$$

$$V_{CE} = I_B.R_B + V_E$$

ويمكننا أيضا استنتاج المعادلة الأخيرة من الشكل مباشرةً : فمن ناحية الدخل يكون :

الجهد الهابط بين النقطتين V_E , V_C : $V_{CE} = I_B . R_B + V_{BE}$

وهو عبارة عن: $V_{CE} = V_C - V_E$

والأمر نفسه لـِ : $V_{BE} = V_B - V_E$

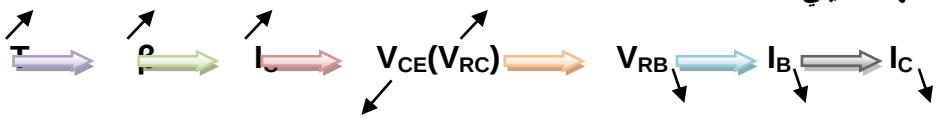
V_B :الجهد عن طريق القاعدة

V_C: الجهد عن طريق المجمع

V_E: الجهد عن طريق الباعث

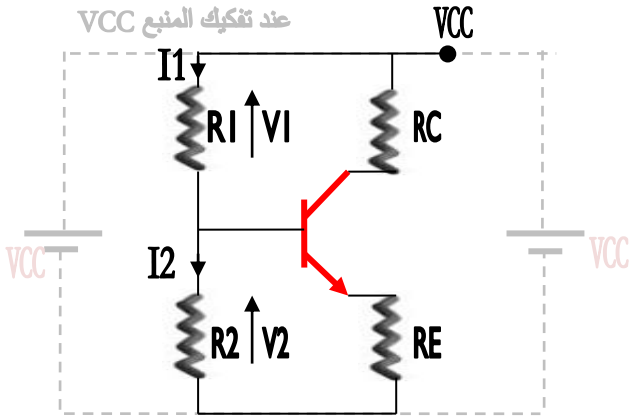
ملاحظة (1):

تستخدم هذه الدارة لتخفيض أثر β عند ازدياد درجة الحرارة والتي تؤثر على نقطة العمل (أي الحفاظ على نقطة عمل ثابتة) ويمكن التعبير عنها كما يلي :



ملاحظة (2):

بما أن المقاومة R_B تربط بين الخرج والدخل فتسمى دارة تقطيبية بتغذية عكسية.



4- التقطيب باستخدام مجزأ الجهد : تغذية خلفية تسلسلية :

يمثل الشكل أ الدارة العملية وهي الأكثر استخداما في الدارات الإلكترونية

أما اسم مجزئ الجهد أتى من تجزئة جهد الدخل عبر المقاومتين R_1 R_2

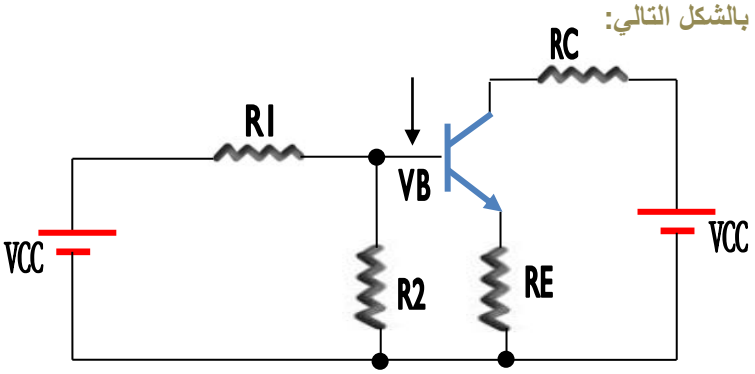
والجهد عبر R_2 يؤمن الانحياز الأمامي لوصلة الباعث J_E

أما الجهد في V_{CC} يؤمن الانحياز العكسي لوصلة المجمع J_C

إن تيار القاعدة صغير بمقارنة مع التيارين المارين في المقاومتين R_1 R_2

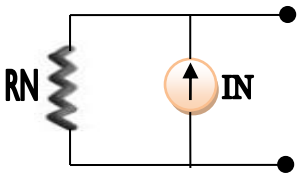
وبالتالي يمكننا استخدام نظرية مجزئ الجهد (وكأن المقاومتين R_1 R_2 موصولتان على التسلسل)

لتوضيح الدارة نرسمها بالشكل التالي:



نجد أن الدارة لا تحوي بارامترات الدخل للترانزيستور ، لذلك نقوم بتحويلها إلى مقاومة وحيدة و منبع حسب نظرية (ثڤنن،نورتن)

نظرية نورتن :



إن أي دارة أو جزء من دارة مهما كانت معقدة تكافئ مقاومة وحيدة مع منبع تيار موصول معها على التفرع

نظرية ثڤنن :

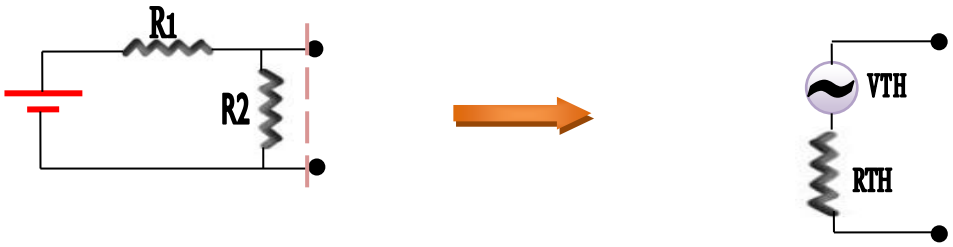
إن أي دارة أو جزء من دارة مهما كانت معقدة تكافئ مقاومة وحيدة مع منبع جهد موصول معها على التسلسل

–لإيجاد مقاومة ثڤنن R_{TH} نقصر كافة المنابع (نحذفها ونعيد توصيل الدارة) فنحصل على دارة تحوي مقاومات بدون منابع مستمرة وتكون R_{TH} هي المقاومة المكافئة

–لإيجاد جهد ثڤنن V_{TH} وهو عبارة عن الجهد المكافئ على طرفي الدارة الجديدة(وبحسب مبدأ التراكم) فإنه مجموع الجهود الناتجة عن تأثير منابع الأصلية المقصورة

ففي الدارة السابقة مثلاً نقطع الدارة عند نقطتين محددتين من دارة الدخل ونعوض عن الجزء المحذوف بمقاومة ومنبع ثڤنن فتكون مقاومة ثڤنن هي المقاومة المكافئة المنظورة بين نقطتي القطع . وكذلك جهد ثڤنن هو الجهد الهابط بين هاتين القطتين

ولحساب R_{TH} نقصر كافة المنابع المستمرة في جزء الدارة الأصلي (المحذوف) ونحسب المقاومة المكافئة.



$$R_{TH} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$V_{TH} = V_2 = V_{CC} \frac{R1}{R1 + R2}$$

نلاحظ من الدارة الأصلية أن V_2 (باعتباره نقطة الجهد)هو نفسه (V_B) جهد القاعدة وعليه يكون:

$$V_2=V_B=V_{BE}+V_E$$

$$V_C=V_{CE}+V_E \quad , \quad V_E=I_E.R_E$$

ملاحظة:في دارة مجزئ الجهد عندما يكون تيار القاعدة مهمل IB=0 يكون:

$$I_E=I_C+0 \Longrightarrow I_E = I_C \Longrightarrow \alpha=1$$

$$I_E=I_C \Longleftrightarrow I_B=0 \Longleftrightarrow \alpha=1$$

5- التقطيب عن طريق الباعث Emitter Bias

ويلاحظ من خلال الدارة العملية الموضحة في الشكل(3) لهذا النوع من التقطيب

وجود منبعي تغذية V_{CC} و V_{EE} ويعطي تيار الإشباع بشكل تقريبي بالعلاقة :

$$I_C(sat) \simeq \frac{VCC+VEE}{RC+RE}$$

تحديد نظام العمل:

1-منطقة القطع: يكفي أن يتحقق أحد شروطها الثلاث التالية لكي يكون الترانزيستور في منطقة القطع:

(1 J_E عكسية ، J_C عكسية

(2 $V_{BE} = 0$ $\Longleftarrow$ $I_B=0$

(3 $V_{BE} < V_T$

2-منطقة الإشباع:

(1 J_E أمامية ، J_C أمامية

(2 $V_{CE} = 0$

(3 $V_{CE} < V_{BE}$

3-المنطقة الفعالة:

(1 J_E أمامية ، J_C عكسية

(2 $V_{BE} > V_T$

(3 $V_{CE} > V_{BE}$

(4 $I_{C(Q)} < I_{C(sat)}$ (تيار الإشباع > تيار نقطة العمل التي يبدأ عندها الترانزيستور بالعمل)

حساب تيار الإشباع:

1- نكتب قانون كيرشوف لحلقة الخرج

2- نجعل هذه المعادلة بدلالة I_C , V_{CE} فقط

3- نجعل $V_{CE} = 0$ ومن ثم نحسب قيمة $I_{C(sat)}$

مسألة(1):

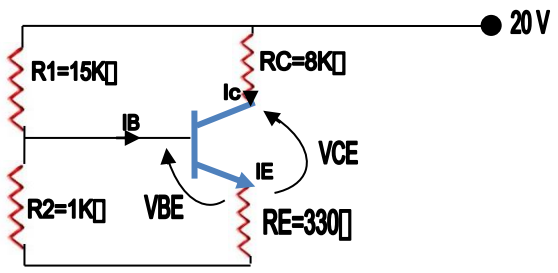
إذا علمت أن

$V_T=0.7(v)$ $\beta =100$

أحسب 1-البارامترات

2- I_1 , I_2 بإهمال I_B

3- نظام العمل

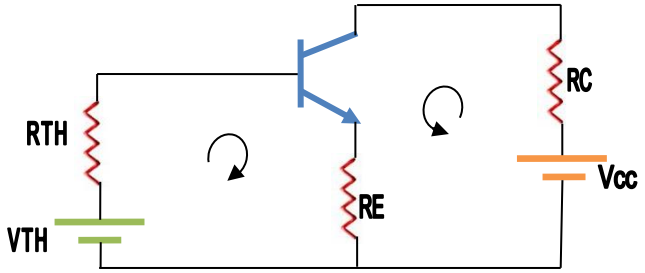


الحـــــــــــــــل:

نوع الترانزيستور NPN ، نوع التشكيلة : باعث مشترك

البارامترات : I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE} واتجاهاتها كما في الشكل التالي:

0



$R_{TH} = (R_1 \backslash\backslash R_2) \Longrightarrow R_{TH} = \frac{R1 \cdot R2}{R1+R2} = \frac{15 \times 1}{15 - 1} \Longrightarrow$ $R_{TH}=0.94K\Omega$

$V_{TH} = V_2 = V_{CC} \cdot \frac{R2}{R1-R2} = 20 \frac{1}{1 - 15} = \Longrightarrow$ $V_{TH}=1.25v$

حسب مجزئ الجهد

(*)نطبق كيرشوف على حلقة الدخل: $V_{TH} - I_B \cdot R_{TH} - V_{BE} - I_E \cdot R_E = 0$

$\frac{IE}{IB} = \delta = (1+\beta) \Longrightarrow I_E=(1+\beta). I_B = I_E=101 \cdot I_B$

نعوض في علاقة حلقة الدخل:

$1.25 - I_B \cdot 0.94 \times 10^{+3} - 0.7 - I_B \times 101 \times 330$

$I_B = 16\ \mu A$ $I_E = 1.616\ mA$ $I_C = 1.6\ mA$

(*)نطبق كيرشوف على حلقة الخرج: $V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_{CE} - I_E \cdot R_E = 0$

$20 - 1.6X8 - V_{CE} - 1.616 \times 330X10^{-3} = 0$

$V_{CE} = 6.67\ (v)$ $V_{BE} = V_T = 0.7\ (v)$

ملاحظة : إن إحداثيات نقطة العمل هي نفسها بارامترات الخرج للترانزيستور $Q(I_C , V_{CE})$

وفي هذه المسألة $Q(1.6\ mA , 6.67\ v)$

2-من الدارة الأصلية بعد الإصلاح : $I_B = 0$ $I_1= I_2 + I_B$

$I_1 = I_2 = \frac{Vcc}{R1 + R2} = \frac{20}{16} \Longrightarrow I_1 = I_2 = 1.25\ mA$

3-نظام العمل:

1) J_E أمامية ، J_C عكسية . الجهد الهابط على R_C أصغر من الجهد الهابط على R_1 $(R_1 > R_C)$ فالجهد الموجب الباقي للمجمع أكبر من الجهد الموجب الباقي للقاعدة أي أن المهبط أكثر إيجابية من المصعد
2) $V_T \leqslant V_{BE}$ محقق
3) $V_{BE} < V_{CE}$ محقق $6.67 > 0.7$
4) $I_{C(Q)} < I_{C(sat)}$ $1.6 < 2.4$

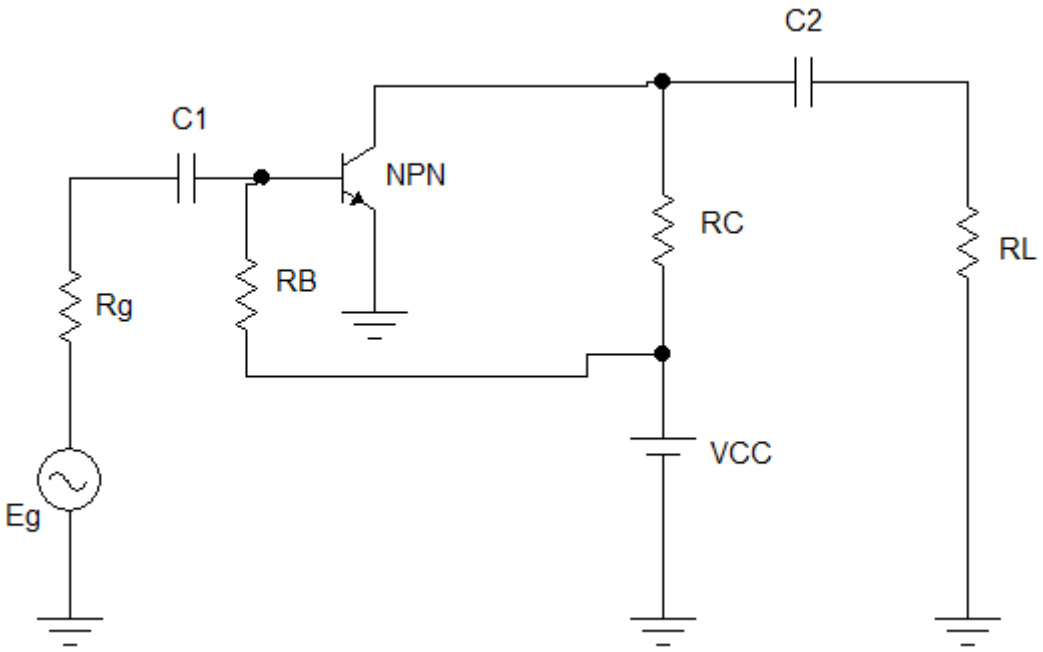
ملاحظة : لحساب تيار الإشباع $I_{C(sat)}$

1- نطبق كيرشوف في حلقة الخرج

2-نضع $(V_{CE} = 0)$ حسب شروط منطقة الإشباع.

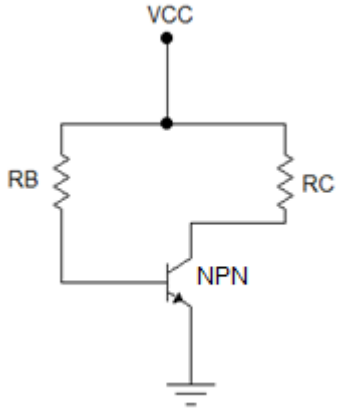
3-نحسب I_C بدلالة التيارات الأخرى ففي حال إهمال IB يكون $I_C = I_E$ أما في حال عدم إهمال IB يكون $(I_E = \frac{Ic}{\alpha})$ ونعوض في علاقة الخرج.

الدراسة من الناحية المتناوبة:

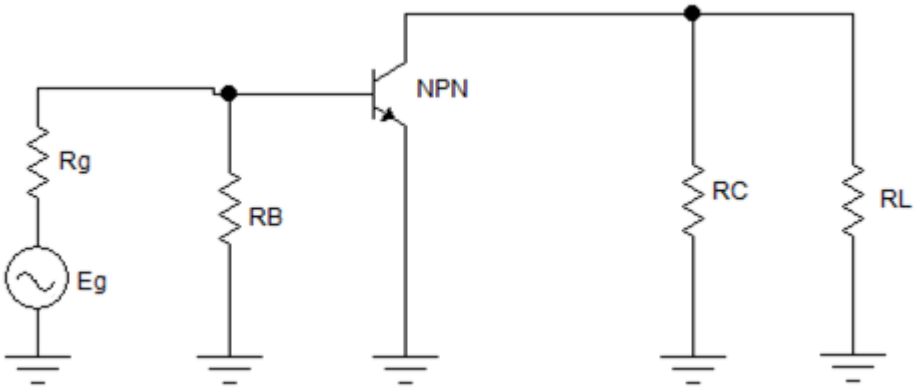


المكثفة C_1 تمنع مرور
المركبة المستمرة من المولد إلى داخل الترانزستور و تسمى مكثفة ربط المكثفة C_2 تمنع مرور المركبة المستمرة إلى مقاومة الحمل . المكثفات C_1 و C_2 تسمى مكثفات ربط و تكون قيمتها كبيرة بحيث إعاقتها من الناحية المتناوبة صغيرة قدر الإمكان .
المكثفات في حالة التسلسل تقطع . المكثفات في حالة التفرع تقصر وكل ما هو موصول معها يقصر . المنابع المستمرة تقصر .

رسم الدارة من الناحية المستمرة :



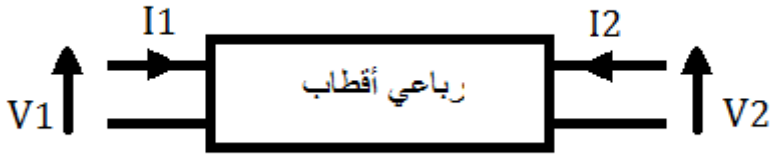
رسم الدارة من الناحية المتناوبة :



1- نقصر جميع المكثفات في الدارة .
2- نقصر جميع المنابع في الدارة .

الدارة المكافئة للترانزستور :

باعتبار أن الترانزستور هر رباعي أقطاب فإنه يمثل بالشكل الصندوقي التالي



:

حيث نفترض دائماً في رباعي الأقطاب أن التيارات داخلة إلى الرباعي و أن الجهود موجبة بالنسبة للأرض .

لدينا الآن أربع بارامترات لرباعي الأقطاب هي I_1, I_2, V_1, V_2

و من نتائج الدراسات و الأبحاث التي أجريت على رباعي الأقطاب نحصل على ثلاث أنواع للدارات المكافئة :

- النوع الأول : هي دارة Z المكافئة : تستخدم في هذه الدارة نظرية ثفنن حيث نكافئ الدخل و الخرج للترانزستور بمقاومة و منبع جهد على التسلسل:

هنا تكون الجهود هي توابع للتيارات و تكون العلاقات الرياضية في هذه الحالة هي : $V_1=Z_{11} I_1+Z_{12} I_2$

$V_2=Z_{21} I_1+Z_{22} I_2$

- النوع الثاني : هي دارة Y المكافئة :

تستخدم في هذه الدارة نظرية نورتن حيث نكافئ الدخل و الخرج للترانزستور بسماحية و منبع تيار على التفرع

هنا تكون .

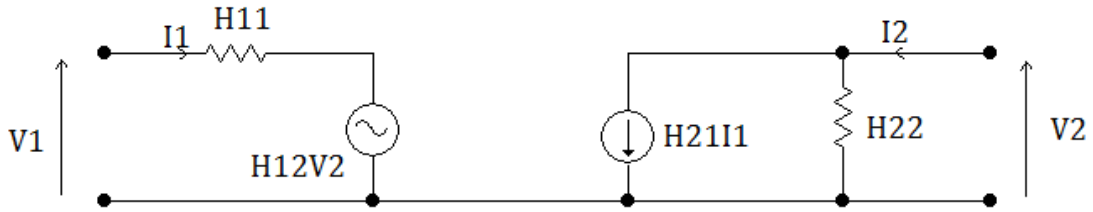
التيارات هي توابع للجهود و تكون العلاقات الرياضية في هذه الحالة هي :

$$I_1=Y_{11}V_1+Y_{12}V_2$$

$$I_2=Y_{21}V_1+Y_{22}V_2$$

- النوع الثالث : دارة H الهجينة (الهايبرد) :

هذه الدارة هي خليط من الدارتين السابقتين حيث نستخدم جزء من ثفنن و جزء من نورتن .
أي هي عبارة عن ثفنن في الداخل و نورتن في الخارج و تكون الدارة كالتالي



:

و تكون العلاقة الرياضية كالتالي :

$$V_1=h_{11}I_1+h_{12}V_2$$

$$I_2=h_{21}I_1+h_{22}V_2$$

نسمي المعاملات h هي معاملات الهايبرد و هي ثابتة بالنسبة للترانزستور و تسوي حسب العلاقات :

مقاومة الدخل : $h_{11}=\frac{\Delta V_1}{\Delta I_1}\Big| V_2=0 \quad =hi$

نسبة تحويل الجهد العكسي : $h_{12}=\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}\Big| I_1=0 \quad =hr$

نسبة تحويل التيار الأمامي : $h_{21}=\frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}\Big| V_2=0 \quad =hf$

سماحية الخرج : $h_{22}=\frac{\Delta I_2}{\Delta V_2}\Big| I_1=0 \quad =ho$

ملاحظات:

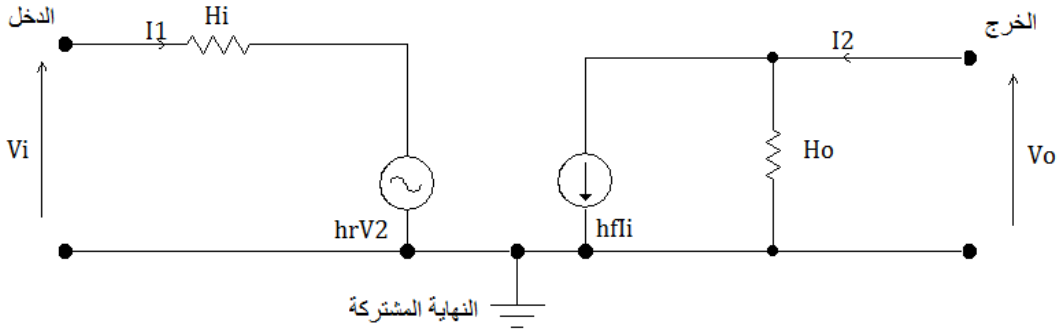
1- معاملات الهايبرد و الدارة المكافئة صالحين لجميع أنواع التشكيلات .
2- الدارة المكافئة لترانزستور صالحة في حالة الإشارة الصغيرة (المطال _ التردد)
3- $V_2=0$ أي قصر الخرج من الناحية المتناوبة , قصر الخرج يتم بوضع مكثف ذو سعة عالية على التفرع في الدارة .
$I_1=0$ أي فتح الدخل من الناحية المتناوبة و يتم بوضع ملف ذو تحريض عالي على التسلسل مع الدارة .
4- قياس معاملات الهايبرد يتم بشروط اعتبارية قياسية هي :
$f=1KHz$, $t=25°C$ و يمكن بمعرفة معاملات تشكيلة ما حساب معاملات التشكيلات الأخرى .

الدارة المكافئة للترانزستور : (الهايبرد) ل C.E :

الدارة المكافئة للترانزستور تحتوي على دارة دخل و دارة خرج .

دارة الدخل : تشمل مقاومة hi على التسلسل مع منبع جهد متناوب يسمى منبع الجهد المتحكم به لأن جهد خرج v2 يتحكم به بسبب التأثير التبادل بين الدخل و الخرج .

دارة الخرج : تشمل على ناقليه ho أو سماحية على التفرع مع المولد hf و يسمى مولد التيار المتحكم به



.

Vi=h11I1+h12v2 v1=hi I1+hrv2 VBE=hie IB + hre VCE I2=h21I1+h22v2 I2=hf I1+hov2 Ic=hfe IB + hoe VCE

منحنيات الخواص للترانزستور : Tr

الدخل :

مقاومة الدخل Ri : $h11=hi=\frac{v1}{I1}\Big|_{v2=0} \quad \Omega = Ri = \frac{\Delta VBE}{\Delta IB}\Big|_{VCE}$

الخرج:

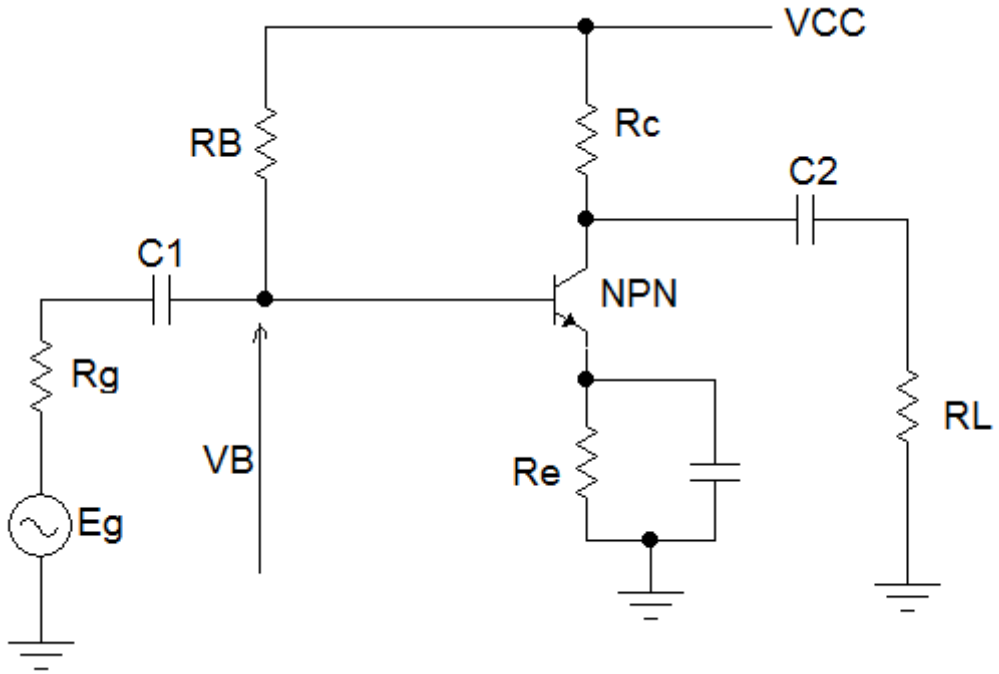
سماحية الخرج Ro : $h12=hr=\frac{v1}{v2}\Big|_{I2=0} \quad = hre = \frac{\Delta VBE}{\Delta VCE}\Big|_{IB}$

النقل الأمامي :

تكبير التيار β : $h21=hf=\frac{I2}{I1}\Big|_{v2=0} \quad = hfe = \frac{\Delta IC}{\Delta IB}\Big|_{VCE}$

النقل العكسي : (تكبير الجهد)

نسبة تحويل الجهد العكسي: $h22=ho=\frac{I2}{v2}\Big|_{I1=0} \quad \Omega^{-1} = hoe = \frac{\Delta IC}{\Delta VCE}\Big|_{IB}$



الإستقرار الحراري :

من أجل تفادي عدم الثبات الناتج عن تغير درجة الحرارة نوصل المقاومة Re على التفرع مع المكثف Ce

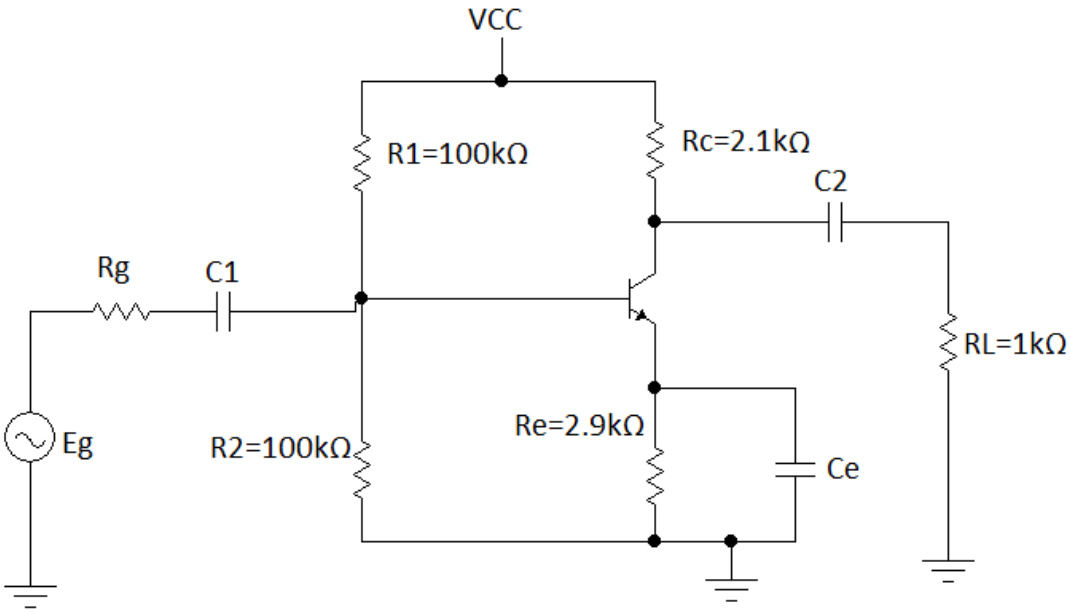
المقاومة Re لغرض الاستقرار الحراري في الحالة الساكنة (المستمرة)

المكثف Ce لإلغاء دور المقاومة في الحالة المتناوبة (يقصرها) لان وجودها في الحالة المتناوبة يقلل من أثر التكبير جدا .

وبالتالي إضافة المقاومة Re يؤدي إلى انه عند ارتفاع درجة الحرارة يؤدي عند ارتفاع درجة الحرارة يزيد التيار التسريبي I_{CBO} أي تنزاح نقطة العمل Q

$$T \uparrow \rightarrow I_{CBO} \uparrow \rightarrow I_C$$

وبالتالي عند وضع Re فان زيادة I_C يؤدي إلى زيادة I_E والتالي زيادة هبوط الجهد على Re أي نقصان الجهد على V_B الذي يؤدي إلى نقصانI_B وبالتالي ينقص I_Cأي انه زيادة التي ازدادها أي وضع Re يؤدي لثبات نقطة العمل إما وضع Ce يؤدي إلى تأريض البحث (زيادة التكبير) للحصول على تيار باعث Ie مستمر وثابت أي كلا من Re و Ce يعملا على نقطة عمل ثابتة .



مسألة:

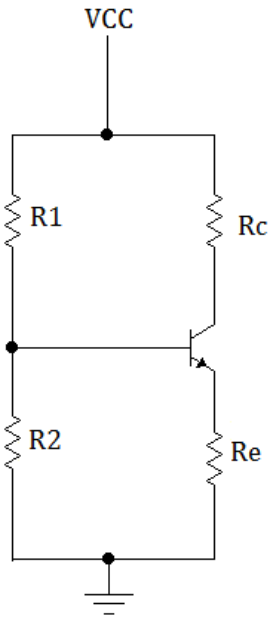
hi=2 kΩ hf=100 ho=$10^{-5}\ \Omega^{-1}$ hr=0

أحسب : AI , Ri , AV , Ro

الحل :

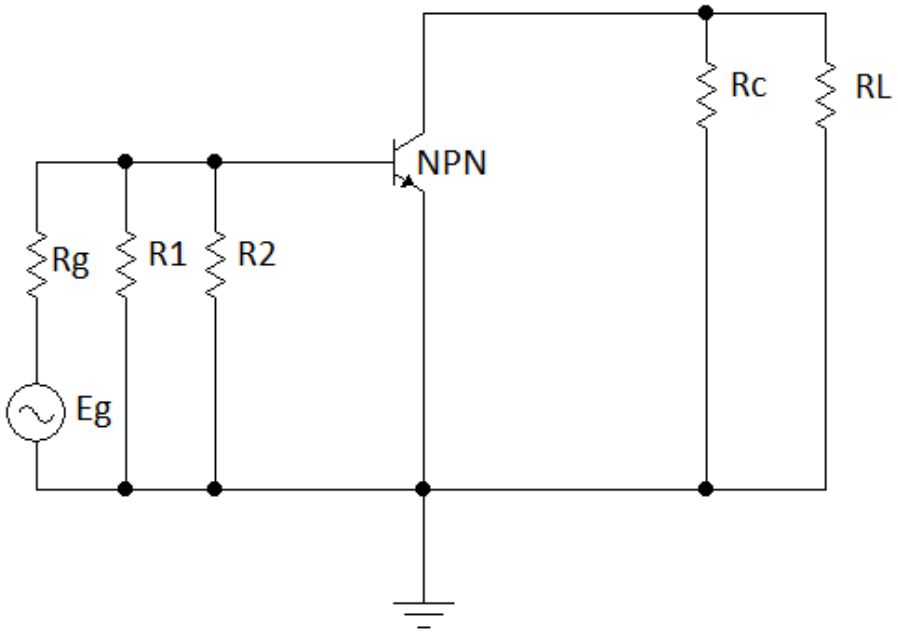
نحسب الدارة نرسم الدارة المكافئة بالتيار المستمر

←

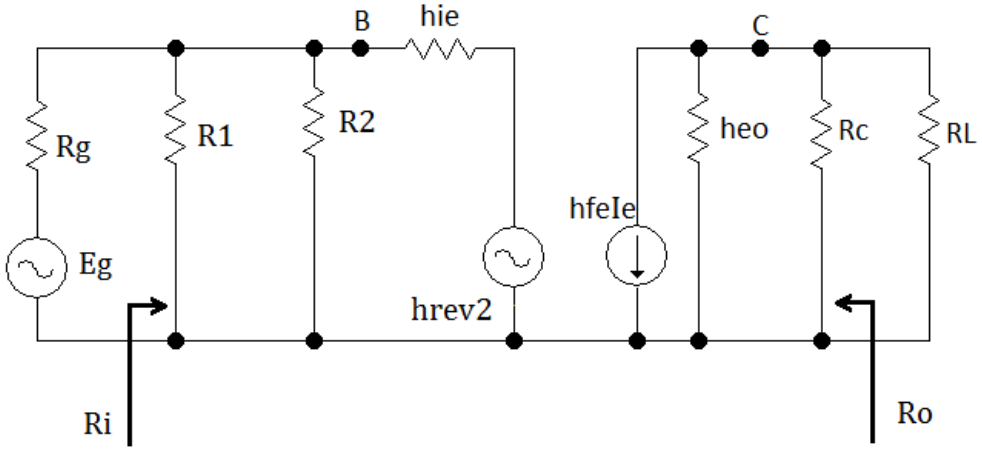


و نكتب في الحالة المستمرة نقطع المكثفات في الحالة المتناوبة تقصر المكثفات و المنابع المستمرة , نحسب البارامترات من الناحية المستمرة

نرسم الدارة المكافئة بالتيار التناوب



نرسم الدارة المكافئة الكاملة



$$hie = \frac{VBE}{IB}\Big| VCE = 0$$

$$hfe = \frac{IC}{IB}\Big| VCE = 0$$

$$hre = \frac{VBE}{VCE}\Big| IB = 0$$

$$hoe = \frac{IC}{VCE}\Big| IB = 0$$

$Ri = R1 // R2 // hie = 1923\ \Omega$

لحساب Ro ننزع مقاومة الحمل RL إن وجدت

نقصر ال ف.م. ك في الدخل أي $EG=0$

$IB = 0$

$Ro=Rc\ //\frac{1}{hoe} = 2.1 \times 10^3 // 10^5 = 2056.8\ \Omega$ $\quad AI = \frac{I2}{Ii} \rightarrow Ii = Ib + I1$

$$Ib = \frac{VBE}{hie} = \frac{0.2}{2000} = 100\mu A$$

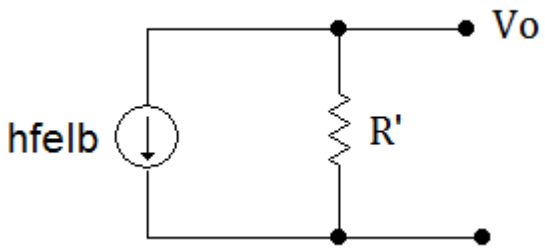
$$I1 = \frac{VBE}{R1//R2} = \frac{0,2}{50 \times 10^3} = 4\mu A$$

$Ii=100+4=104\ \mu A$

$R`= RL//R4 = 677.4\ \Omega$

نعتبر $\frac{1}{hoe}$ كبيرة جداً

بالنسبة ل R` لهذا تهمل



$Vo=-hfe\ Ib\ .\ R \quad \rightarrow \frac{RL\ .R4}{RL+R4}$

$$Io=-\frac{vo}{RL} = \frac{hfe\ Ib\ R4}{R4+RL} = \frac{100\times10^{-4}\times2,1\times10^{-3}}{2,1\times10^3+1\times10^3} = \frac{21}{3,1\times10^3} = 6,78\ mA$$

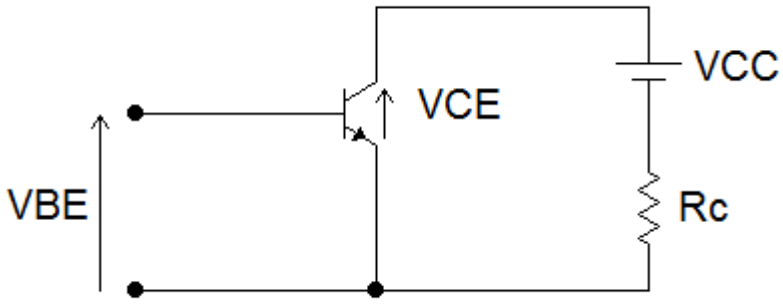
$$\rightarrow Ai = \frac{6,78\ .10^{-3}}{104\times10^{-6}} = 65\ \text{مرة}$$

$$Av = \frac{vo}{vi} \rightarrow vo = -Io\ Rl = -6,78 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = -6,78\ [V]$$

$Vi= VBE =0.2\ [V]$

$$Av = \frac{-6.78}{0,2} = -33,9\ \text{مرة}$$ تقلب الإشارة (-)

عمل الترانزستور كقاطع :



يعتبر الترانزستور المثالي وسيلة قطع سريعة جداً بالمقارنة مع القواطع الميكانيكية و تصل سرعة قطعه إلى جزء من النانو ثانية في الدارة المبينة بالشكل . تعمل نهايتي الترانزستور عمل التلامسات للقاطع الميكانيكي فإذا كان الترانزستور مثالياً فله حالتين من العمل و هما :

1- إما أن يكون قاطعاً إي يمثل دارة مفتوحة عندها

$Ic=0$, $VCC=VCE$

2- أي يكون في حالة وصل و يمثل دارة مغلقة و يكون الجهد نهايتي الترانزستور معدوم عندها كل جهد التغذية يهبط على مقاومة الحمل , يعني $Ic = \frac{VCC}{RC}$ و أيضاً $VCE=0$ عملياً الترانزستور الحقيقي لا يكون تيار قطعه معدوم و لا جهد إشباعه كذلك .

إذا جعلنا جهد القاعدة معدوم أو أصغر من جهد العتبة للثنائي فإنه سيمر عبر الترانزستور تيار صغير القيمة يدعى تيار القطع العكسي .

$VCE=VCC-ICo\ .RC$ $IC=ICo$ $VBE<vt$

إذا كان الترانزستور في حالة الإشباع تكون قيمة ← بين طرفي الترانزستور صغيرة جداً و ليست معدومة و يهبط بين طرفيها جهد يسمى جهد الإشباع

$VBE>vt$

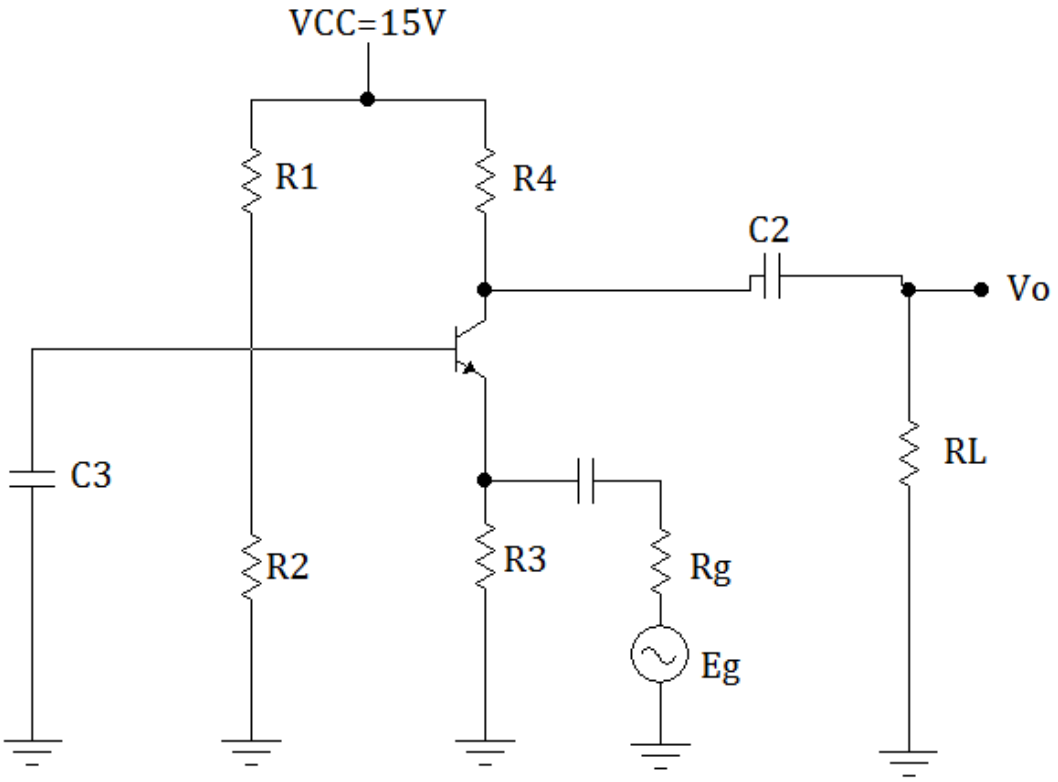
$VCE=VCE\ sat$, $Si = 0,3$, $Ge = 0,1$

$$Ic = \frac{VCC-VCE}{Rc}$$

(إذا ورد في المسألة بإهمال Ib فإن $\propto = 1$)

ملاحظة :

$VBE > vt$ لا يعني تطبيق جهود كبيرة تتجاوز بضع أعشار 1V خوفاً من احتراق الترانزستور



مسألة:

R1=100kΩ vi=0,2mV R2=100kΩ $\propto = 0,9$

R3=2,9kΩ R4=2,1kΩ

RL=1kΩ

hi=20Ω $ho = 10^{-7}$ ℧ moh hf=-0,99

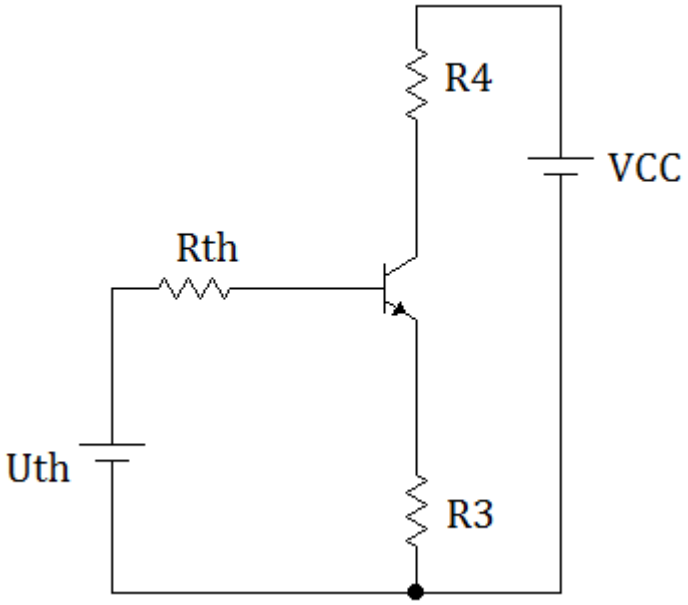
hr=0

الحل :

ترانزستور NPN C.B

IE-IC-VEB-VCE

نرسم الدارة في الحالة المستمرة , نكتب حلقة الدخل :



$vth = I_B . R_{th} + V_{BE} + I_E . R_3$

$R_{th} = R1 // R2$ $I_E = (1+\beta) I_B$

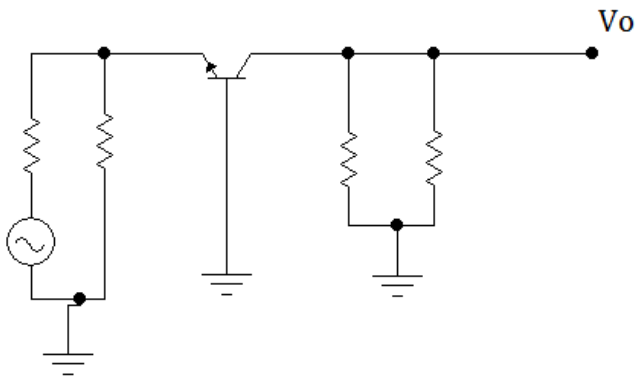
$V_{th} = V2$

نكتب حلقة الخرج :

$V_{CC} = I_C . R_4 + V_{CE} + I_E . R_3$

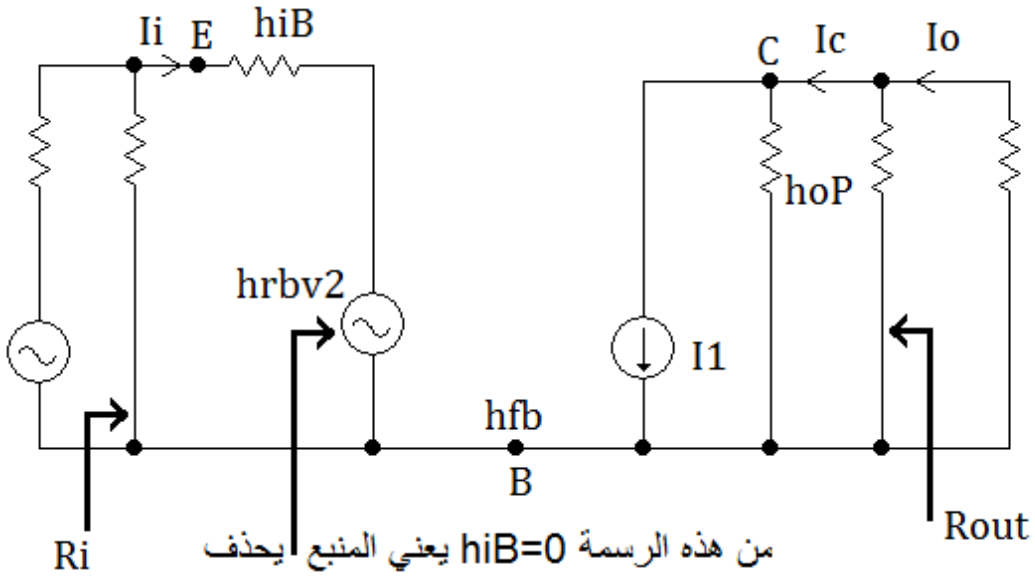
$VCE > VBE = Vt$ JC عكسية JE أمامية

نرسم الدارة من الناحية المتناوبة $V_{CC} = \frac{R2}{R2+R1}$



بما أن هناك سلك مع مقاومتين على التفرع فالمقاومتين تحذفان

نرسم الدارة المكافئة :



$Ri=R3//hiB \cong 20\ \Omega$

$R\ out = R4// \frac{1}{hoB} = 2{,}1\ k\Omega$

$Ai=\frac{Io}{Ii} \cong \frac{-6{,}71 \cdot 10^{-6}}{10{,}10^{-6}} \cong -0{,}671$ مرة $\qquad Ii=\frac{vi}{hiB} \cong 10\mu A$

$$hfB = \frac{IC}{IE}$$

$Av = \frac{vo}{vi} = \frac{6{,}71}{0{,}2} \cong 33{,}5$ مرة $\qquad Ie=Ii \rightarrow IC=Ii \cdot hfB$

$$IC=-9{,}9\mu A$$

$$Io = Ic\frac{R4}{R4+RL} = -6{,}71\ \mu A$$

$$Vo=-Io.RL = 6{,}7 \times 10^{-3}$$

مفهوم الديسيبل :

طريقة عامة للإشارة إلى النسبة بين كميتين لهما نفس الوحدات يعبر عنها بشكل لوغاريتمي , و قد تم الإنتباه إلى استخدام هذه الطريقة بسبب استجابة الأذن البشرية , مثلاً لو ان مستوى الإستطاعة لصوت ماتزايد بالعامل (100) فان تزايد شدة الصوت المستقبل من أذن الإنسان لايكون (100) مرة بل بمعامل أصغر متناسب مع لوغاريتم ال (100) و يدعى بالديسيبل (Decibel) , ايضاً التكبير الذي لا يقتصر فقط على الإشارات الصوتية ذات الإرقام الكبيرة .

أن كسب الإستطاعة الفعلية لمكبر يحدد بالعلاقة : $G = \frac{po}{pi}$

نفس الكسب يمكن أن يعبر عنه كما يلي : $G = (3dB) = 10\log G$

مثلا إذا كان كسب الإستطاعة لمكبر هو (1000) , فإذا أردنا التعبير عنه بالديسيبل نكتب :

$$G(dB) = 10\log 1000$$

$$G(dB) = 10(3) = 30dB$$

أي المكبر له كسب استطاعة مقداره (30 dB) , او أن مستوى إستطاعة الخرج أكبر من مستوى إستطاعة الدخل ب (30 dB) .

بما ان كسب الإستطاعة متعلق بتكبير الجهد و التيار , فأنه من الممكن ان نكتب ما يلي :

1) $$G = \frac{po}{pi} = \frac{vo^2 \backslash RL}{vi^2 \backslash Ri}$$

$$G=Av^2\frac{Ri}{RL}$$

$$G(dB) = 10\log\left(Av^2\frac{Ri}{RL}\right) = 10\log Av^2 + 10\log\frac{Ri}{RL}$$

$$G(dB) = 20\log Av + 10\log\frac{Ri}{RL} \qquad (1)$$

2) $$G = \frac{po}{pi} = \frac{Io^2 \backslash RL}{Ii^2 \backslash Ri}$$

$$G=Ai^2\frac{Ri}{RL}$$

$$G(dB) = 10\log\left(Ai^2\frac{RL}{Ri}\right) = 10\log Ai^2 + 10\log\frac{RL}{Ri}$$

$$G(dB) = 20\log Ai + 10\log\frac{RL}{Ri} \qquad (2)$$

في الحالة الخاصة عندما RL=Ri فان الحد الثنائي من المعادلات (1)و(2) يساوي الصفر :

$$G(dB) = 20\log Av$$

$$G(dB) = 20\log Ai$$

نلاحظ أنه عندما تكون نسبة كميتين أقل من الواحد فالديسيبل المكافئ يكون سالباً , مثلاً في شبكة تخميد : ( )

حيث المطلوب تخميد إستطاعة إشارة الدخل بمعامل ما و ليكن (100) . هذا يعني أن : $po = \frac{pi}{100}$

وبالتالي :

$$G = \frac{po}{pi} = \frac{1}{100}$$

$$G(dB) = 10\log G + 10\log\frac{1}{100} = 10(\log 1 - \log 100)$$

$$G(dB) = 10(0-2) = -20dB$$

هنا يكون مستوى إستطاعة الدخل أكبر من مستوى إستطاعة الخرج ب (20 dB) أو أن مستوى إستطاعة الخرج أقل من مستوى إستطاعة الخرج أقل من مستوى إستطاعة الدخل ب (20 dB) . إعتبار إخر مفيد يمكن ان نزكره و هو أن :

$$G(dB) = 10\log 2 = 3dB$$

أي أنه دوماً عندما يتزايد مستوى الإستطاعة بمقدار الضعف هذا يعني أن يتزايد بمقدار (3 dB) . و لهذا استخدامات تطبيقية كثيرة .

ان الديسيبل ليست واحدة , و لا تقيس أي كمية فيزيائية , هي بشكل بسيط نسبة بين كميتين فيزيائيتين . في بعض الحالات قد نريد أن نقارن مستوى استطاعة خاص (Px) بمستوى استطاعة مرجعي (reference) . المستوى المرجعي المعروف هو (1mw) . كمية الديسيبل التي تعطي لمستوى استطاعة (Px) اعلى من المستوى (1mw) تكون :

$$Px(dBm) = 10\log\frac{Px}{10-3}$$

الرمز (dBm) يعطى بدلا من (dB) للاشارة الى مستوى الغستطاعة المرجعي (1mw) . مثلاً أن الإستطاعة (100m)تكافئ : $10\log\frac{100}{1} = 20dBm$

_ الميزة الواضحة لرمز الديسيبل ينتج عندما تكون لدينا عدة مكبرات على التسلسل لكل منها كسب (G1,G2,.....etc) فالكسب الكلي العادي يكون عبارة عن جداء (G1,G2...) .مثلا لو ان مرحلة مكبر لديها كسب استطاعة (1000) تبعت بمرحلة اخرى كسب الاستطاعة لها (100) فإن الكسب الإجمالي لها هو :

$$G=G1G2$$

$$G = (1000)(100) = 10^5$$

إذا أردنا التعبير عن ذلك بالديسيبل نجد :

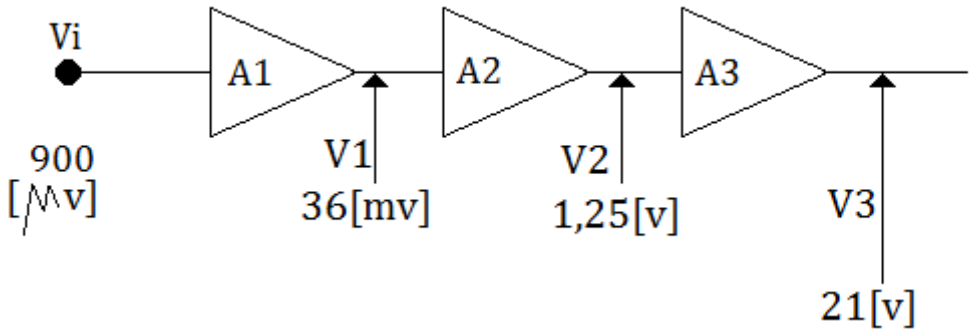
$$G(dB) = 10\log G1G2$$

$$G(dB) = 10(\log G1 + \log G2)$$

$$G(dB) = 10(3+2) = 50dB$$

أي ان الكسب بالديسيبل يكون أبسط.

مسألة : وصل المكبرات على التتالي :



المطلوب :إيجاد ربح الجهد لكل مكبر و ربح الجهد للدارة ككل بال dB

Av=Av1.Av2.Av3

$$Av1 = \frac{36.10^{-3}}{900.10^{-6}}$$

$$Av2 = \frac{1{,}25}{36.10^{-3}}$$

$$Av3 = \frac{21}{1{,}25}$$

Av(dB)=87,36[dB]

NOLFEN