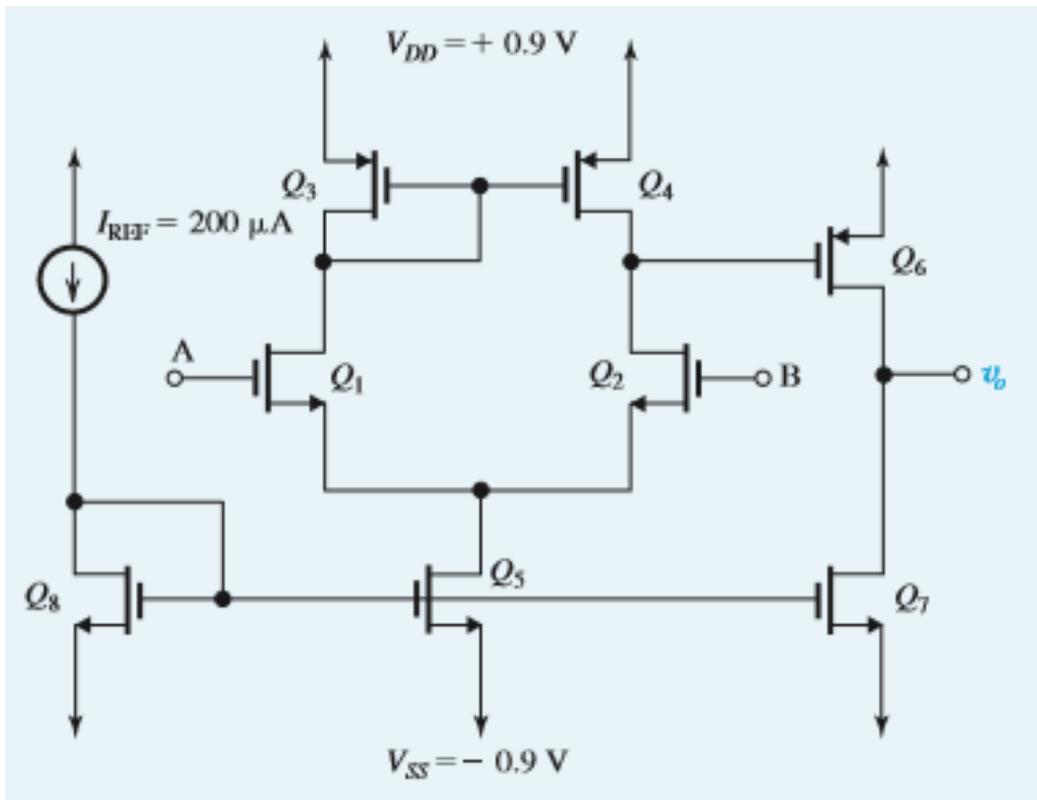


أسئلة وإجابات في أساسيات الإلكترونيات



عبدالرحمن الزهراني

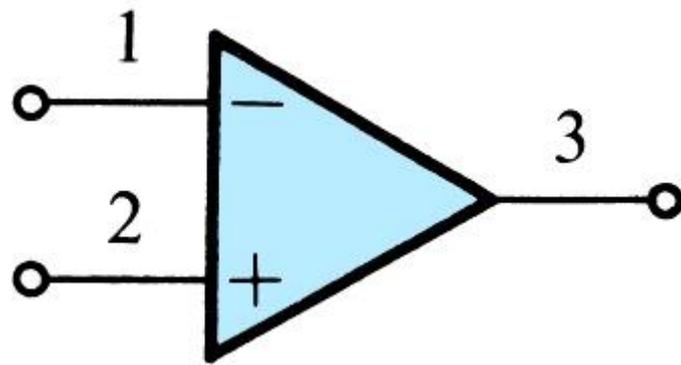
بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله، هذا كتيب بسيط لمحبي هندسة الإلكترونيات يهدف إلى جعلهم يرون الدوائر الإلكترونية من منظور آخر وإلى إلهامهم ليتساءلوا دائما لماذا صممت الدائرة بهذه الطريقة وكيف تعمل بالضبط وما الهدف منها أصلا؟ التفكير بهذا الأسلوب يغير نظرة القارئ للإلكترونيات ويجعلها ممتعة أيضا. الكتاب موجه لقراء درسوا الإلكترونيات مسبقا ولديهم خلفية عن الموضوع. جعلت المحتوى على هيئة أسئلة وإجابات ليسهل الوصول إلى المعلومة. أسأل الله التوفيق والسداد.

إهداء:

رغم أن العمل أبسط من أن يهدى إلا أنني أصر أن أهديه والدتي ووالدي.

المكبر العملياتي



س: لماذا سُمِّي المكبر العملياتي (Operational Amplifier) بهذا الاسم؟

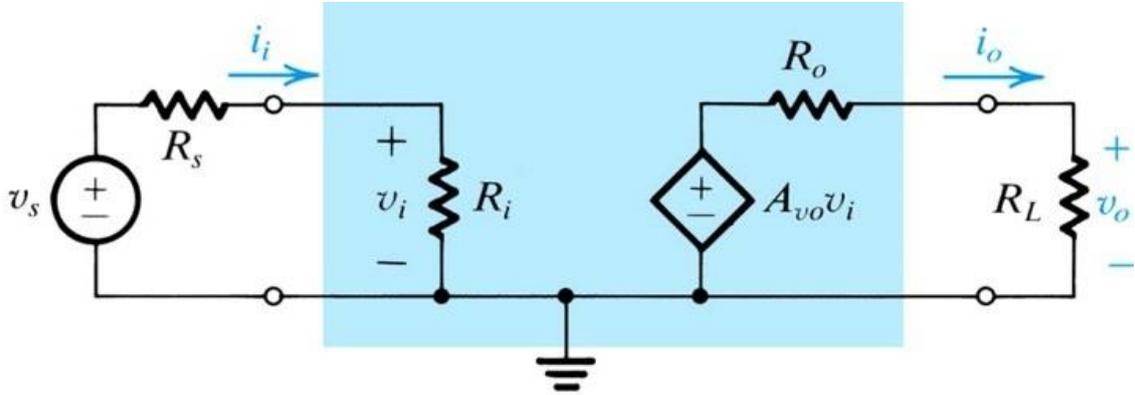
ج: لأنه كان يستخدم في الكمبيوترات القديمة لإجراء العمليات الرياضية.

س: لماذا نستخدم المكبر رغم أن الترانسفورمر بإمكانه تكبير الجهد دون الحاجة إلى DC Supply؟

ج: المكبر يستفيد من الـ DC Supply ليزيد قوة (Power) الإشارة بينما الترانسفورمر قد يكبر الجهد لكن لا يزيد القوة. كما أن المكبر أصغر حجمًا بكثير من الترانسفورمر.

س: لماذا جُعِلت R_{in} للمكبر العملياتي كبيرة جدًا، وصُمِّم المكبر العملياتي أيضًا ليعطي R_o صغيرة جدًا؟

ج: يمكن تمثيل أي مكبر جهد بهذا الرسم، والمكبر العملياتي يعتبر مكبر جهد:



العناصر المظللة بالأزرق تمثل المكبر وهي R_i و R_o ومصدر جهد يمثل مدى تكبير V_i . أدخلنا في الصورة إشارة كهربائية V_s وأخذنا V_o من المقاومة R_L . الآن باستخدام قانون تقسيم الجهد نجد أن $V_i = V_s \frac{R_i}{R_i + R_s}$ ، بالتالي كل ما كانت R_i أكبر وأبعد عن R_s كانت قيمة $\frac{R_i}{R_i + R_s}$ أقرب للواحد لتصبح $V_i = V_s$. لكن إن كانت R_i صغيرة ستصبح V_i أصغر من V_s ويكون الكسب (Gain) أصغر. يمكن وضع قيم في المعادلات بالآلة الحاسبة للشعور بالفكرة.

نفس الأمر ينطبق مع R_o :

$$V_o = A V_i \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

س: ما هي حالة الـ Saturation للمكبر العملياتي وما هو حلها؟ ولماذا نجعل أحيانًا $V_+ = V_-$ عندما نحلل دوائر المكبر العملياتي؟

ج: معنى Saturation تشبع وهو عدم تخطي V_o لقيمة الـ DC Supply Voltage (في الحقيقة أقل من ذلك) مهما غيرنا وزدنا V_{in} . المشكلة هنا هي أنه بفضل كسب المكبر العملياتي الكبير جدًا، سيحصل تشبع مهما كانت V_{in} إلا إن كانت صغيرة جدًا! لنستخدم أرقامًا حتى تتضح الصورة أكثر:

$$V_i = 10 \text{ mV}$$

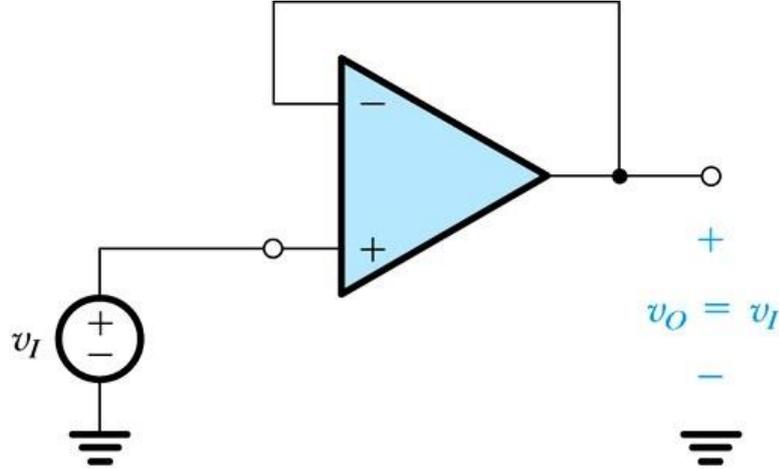
$$\text{Gain} = 10,000$$

$$V_o = 100\text{V}$$

$$V_{cc} = 15\text{V}$$

كما نرى يفترض بـ V_o أن تتخطى V_{cc} بكثير بالتالي سيحصل تشبع وستكون قيمة V_o الحقيقية حوالي 13V فقط.

ماذا لو أردنا V_o معينة، مثلا 5V؟ الحل هو Negative Feedback وذلك يعني إعادة V_o للخلف وطرحها من V_i كما هو موضح في الصورة. يجب أن يكون كسب المكبر العملياتي كبير جدا - كما هو الحال دائما- لتنتج الفكرة. لنر كيف يتم ذلك:



باستخدام معادلة وظيفة المكبر العملياتي الأساسية وهي تكبير ناتج طرح V_+ - V_- :

$$V_o = (V_i - V_o)A$$

$$V_o = AV_i - AV_o$$

$$V_o(1+A) = AV_i$$

$$V_o = \frac{A}{A+1} V_i$$

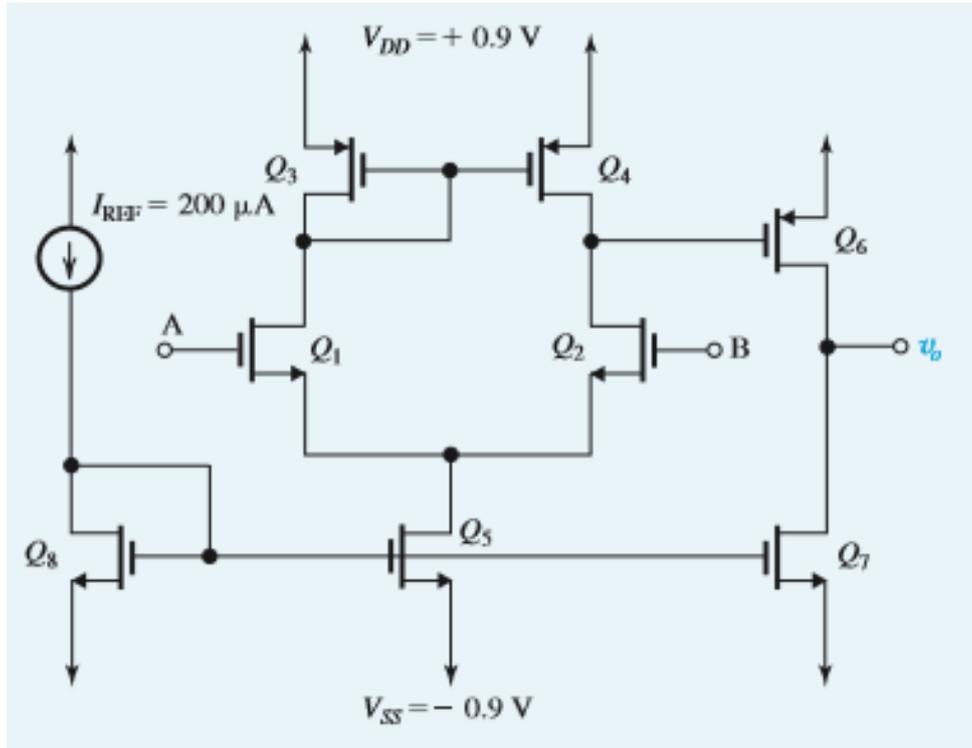
حيث A هو الكسب gain .

نلاحظ أنه إذا كان A أكبر من الواحد بكثير ستصبح $\frac{A}{A+1}$ تقريبا واحد. أي أن $V_o = V_i$. لو كانت V_i فولت ستكون V_o 5 فولت ولن يحصل تشبع! يمكن إضافة مقاومات كما هو معلوم لنحصل على تكبير للإشارة. نقطة مهمة أيضا هي أنه بما أن $V_o = V_i$ فإن $V_+ = V_-$.. إذاً باستخدام الـ

Negative Feedback واستغلال كسب المكبر العملياتي الكبير نستطيع افتراض أن $V_+ = V_-$ لتبسيط تحليل دوائر المكبر العملياتي.

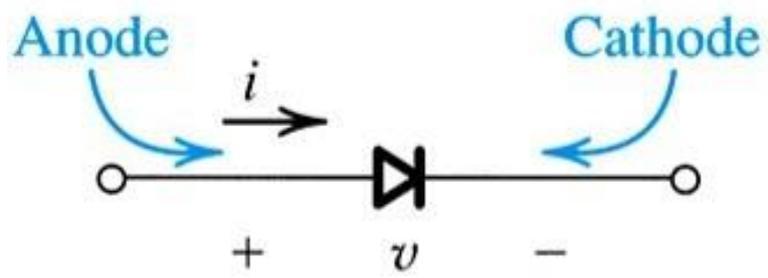
س: ماذا يوجد داخل المكبر العملياتي؟

ج: يوجد عدد كبير نسبيا من الترانزستورز وعدد قليل جدا من المقاومات والمكثفات. الصورة في الأسفل لمكبر سيموس عملياتي بسيط:

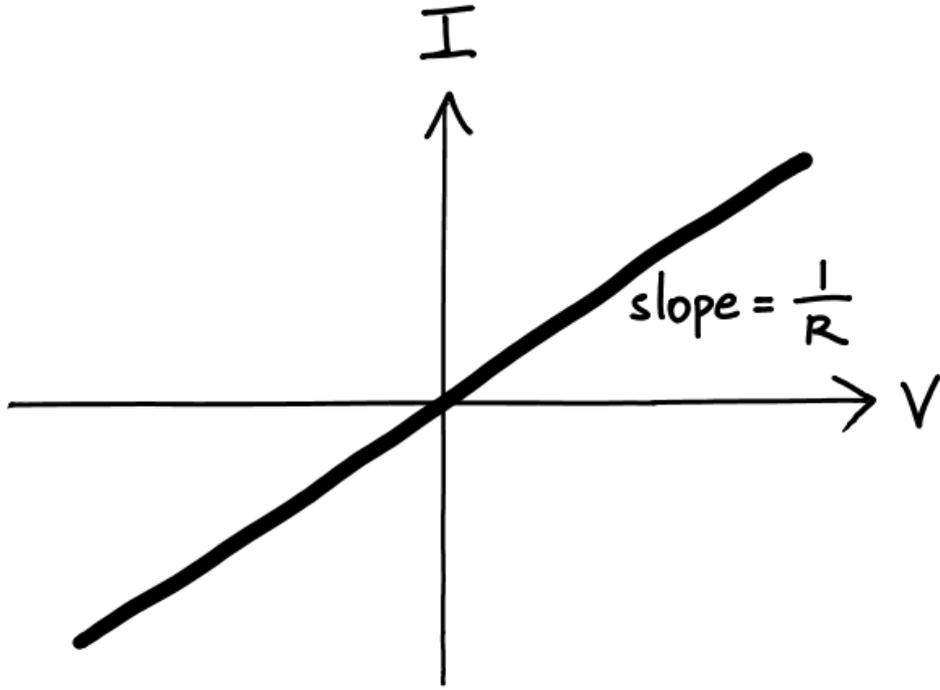


الدائرة كما نرى تستخدم تقنيات معروفة بسيطة كمرآة التيار والـ Differential Amplifier. دوائر أخرى تستخدم الكاسكود والكاسكود المطوي وغير ذلك.

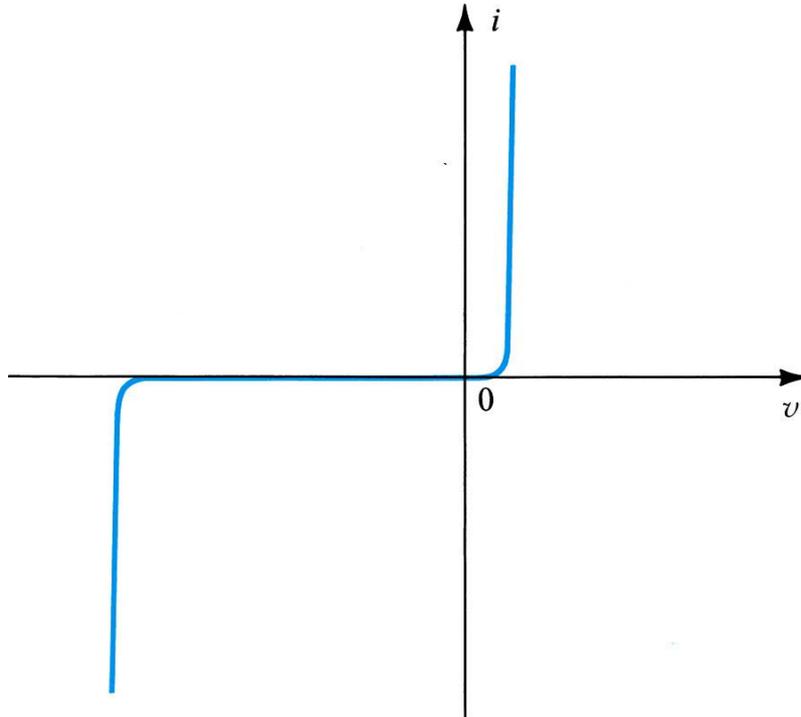
الدايود



س: يعتبر الدايمود أبسط عنصر إلكتروني لا خطي، لكن ماذا نقصد بعنصر إلكتروني لا خطي؟
 ج: أي أن العلاقة بين الجهد عليه والتيار المار خلاله لا خطية. يمكن رؤية ذلك أحيانا من خلال تمثيل العلاقة بيانيا. مثلا عند تمثيل قانون أوم للمقاومة كما في الصورة نجد أن العلاقة عبارة عن خط مستقيم:

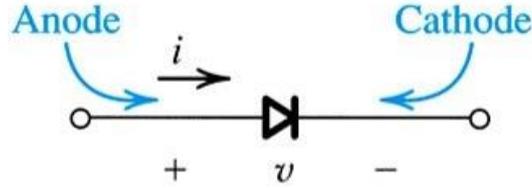


أما الدايمود فيمكن تمثيل علاقة $i-v$ الخاصة به هكذا:



الجدير بالذكر أن المكثف والملف عناصر إلكترونية خطية وعلاقات $i-v$ الخاصة بهم عبارة عن تكامل وتفاضل (نعم تعتبر هذه العمليات عمليات خطية).

س: ما هي وظيفة الدايود الأساسية ولماذا يرمز للدايود بهذا الرمز؟



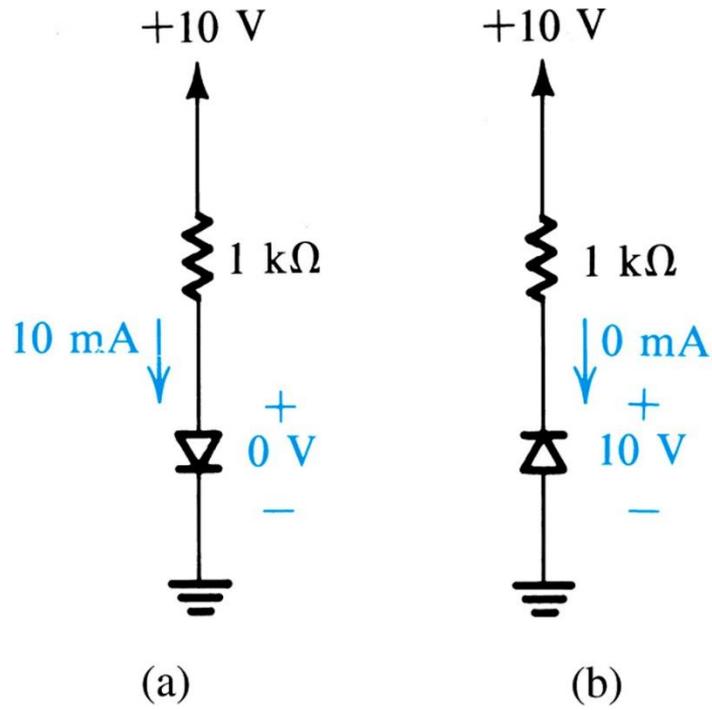
ج: الدايود ببساطة يسمح للتيار بالمرور في اتجاه ويمنعه من المرور في الإتجاه الآخر. ويمكن فهم ذلك من رمزه؛ المثلث يشير إلى الاتجاه الذي يُسمح للتيار بالمرور نحوه. والخط العمودي يوضح أن الدايود يمنع التيار من المرور في الاتجاه المعاكس.

س: كيف أعرف أن الدايود في الدائرة يسمح أم يمنع التيار؟

ج: يمكن معرفة ذلك في بعض الدوائر البسيطة من خلال ثلاث خطوات:

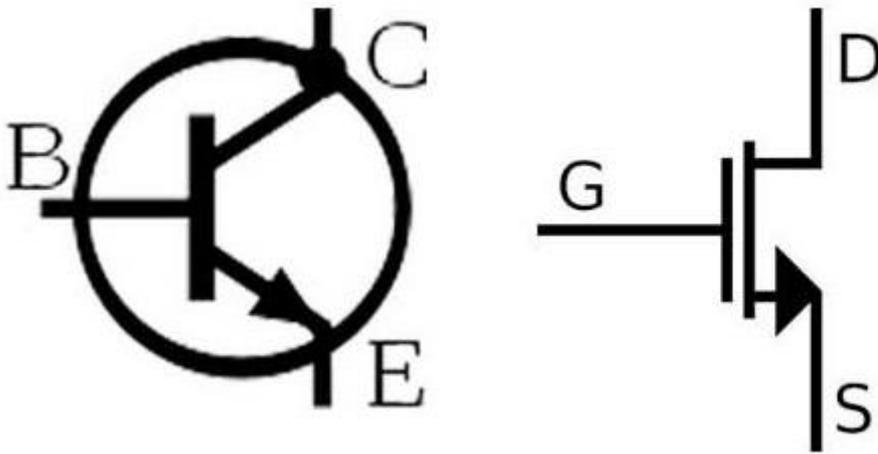
1. تحديد أي طرف من أطراف الدايود يملك جهد أعلى (بالنسبة لدايود السيليكون، يجب أن يكون الجهد أعلى بـ $0.7V$).
2. تذكر أن التيار يمر من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل كما هو متفق عليه (رغم أن الإلكترونات في الحقيقة تسير في الاتجاه المعاكس).
3. مقارنة إتجاه التيار برمز الدايود.

هذان مثالان بسيطان، الدايود هنا مثالي (Ideal) وهبوط جهده بالتالي صفر:



في الدوائر المعقدة أكثر يجب تخمين حالة الدايمود، ثم تحليل الدائرة بناء على ذلك التخمين، ثم التحقق من صحة التخمين.

الترانزستور



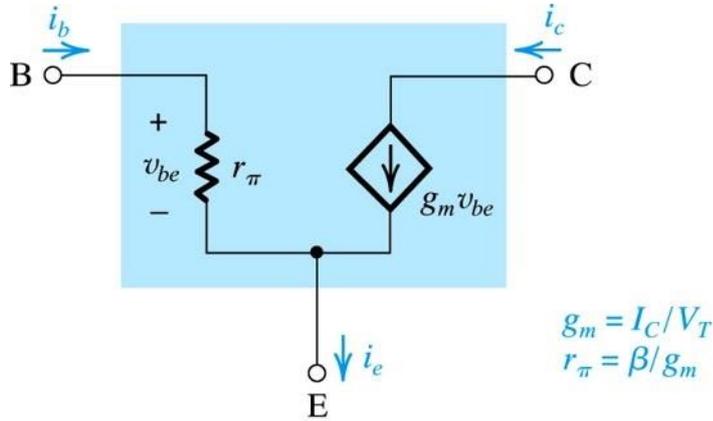
س: متى يستخدم الموسفت ومتى يستخدم ثنائي القطب بشكل عام ولماذا؟

ج: يستخدم الموسفت في الدوائر المتكاملة وأبرز الأسباب صغر الحجم وقلة استهلاك الطاقة كما أن الموسفت هيمن على صناعة الدوائر الرقمية، أما ثنائي القطب فيستخدم في الدوائر المنفصلة ومن أبرز الأسباب كسبه العالي.

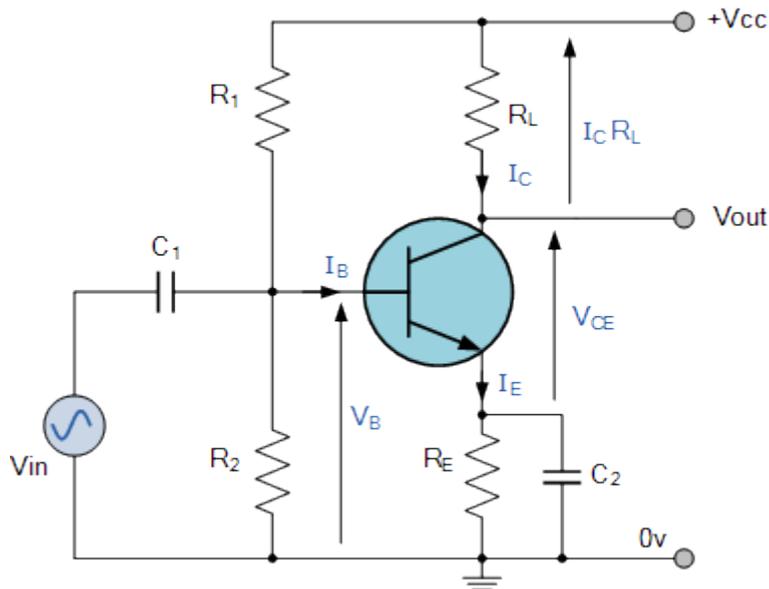
س: لماذا يستطيع الترانزستور تكبير الإشارة الكهربائية أضعاف عديدة؟

ج: لأنه يعمل في طور الـ Active كمصدر تيار يتحكم به جهد كما هو موضح في الصورة (هذا النموذج لإشارات الـ ac الصغيرة). لو كان هذا الجهد V_i ووضعنا R_L لناخذ منها V_o ، ستكون

$V_o = g_m R_L V_i$. باختيار قيم مناسبة لـ R_L و g_m ستكون V_o أكبر من V_i .



س: ما وظيفة كل عنصر من عناصر الدائرة التالية؟



ج:

C1: يسمى Coupling Capacitor ويستخدم لعزل دائرة الإنحياز عندما يكون التردد صفر (DC) حتى لا تؤثر عليها الدوائر المحيطة بها. يمكن فهم ذلك من العلاقة $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ،

عندما يكون التردد صفر تصبح مقاومة المكثف لا محدودة، أي أن المكثف يصبح دائرة مفتوحة (Open Circuit) ويعزل دائرة الانحياز.

R_L : يفضل أن تسمى هذه المقاومة R_C حتى نفرّق بينها وبين الحمل. بما أن الترانزستور يعمل كمصدر تيار يتحكم به جهد في وضع الـ Active ونريد جهد؛ وضعنا R_C لتحويل هذا التيار إلى جهد (قانون أوم).

R_1 & R_2 : لاختيار قيم مناسبة لتشغيل الترانزستور وإجباره على الانحياز لطور الـ Active. يمكن استخدام R_1 فقط لكن سيتأثر تصميم الانحياز كثيرا بتغيرات β .

R_E : بسبب Negative Feedback لتتبع أي تغيرات مثل تغير الحرارة من تغيير I_C (لا تنسى أن I_C يحدد قيم عوامل مودل الإشارة الصغيرة). لو أن الحرارة مثلا زادت I_C سيزداد I_E بالتالي سيزداد $I_E R_E$ وبما أن V_B تقريبا ثابت يجب أن تنقص V_{BE} ليبقى V_B ثابت

$$(V_B = V_{BE} + I_E R_E). \text{ الآن نقص } V_{BE} \text{ سيجعل } I_C \text{ ينقص استنادا إلى المعادلة}$$

$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}. \text{ إذا نقص } I_C \text{ بعد أن زاد وهذا يعني أن } R_E \text{ تعمل ليبقى } I_C \text{ ثابت.}$$

C_2 : وجود R_E يقلل من الكسب لذلك وضع C_2 ليمنع ذلك. كما نعلم $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ، لذلك إن جعلنا C كبيرة جدا ستكون X_C صغيرة جدا عند تردد V_i وبالتالي عند دخول V_i سيصبح C_2 و R_E Short Circuit لأنهما متوازيان ولن يتواجد R_E في مودل الإشارة الصغيرة وبالتالي لن يسبب نقص في كسب المكبر.

المصادر

1. Fundamentals of Microelectronics, Behzad Razavi.
2. Sedra/Smith Microelectronic Circuits.