دارات الكترونية

مكبرات الترانزستورات (BJT) - Transistors Ampli ...

التغذية العكسية - FeedBack

مدرس المقرر
د. السموءل صالح

Course Contents

مفردات المقرر

☀Transistor Amplifier (BJT)

- مكبرات الاستطاعة
  - مكبرالاستطاعة صنف (A)، مكبر الاستطاعة صنف (B)
  - مكبرالاستطاعة صنف (C). مكبر دارلينغتون
  - المكبرالتفاضلي

☀+ FeedBack and Amplifiers.

++ Feedback Concepts.

++ Feedback Connection Types.

ملاحظات + تعاريف

$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$: ربح التيار المستمر DC (ربح التيار= تيار الخرج/تيار الدخل).

$\beta_{ac} = \frac{i_c}{i_b}$: ربح التيار المتناوب ac (ربح التيار= تيار الخرج/تيار الدخل).

-- نستعمل الحروف الكبيرة مع دلائل كبيرة في حالة التيار المستمر DC .

ونستعمل حروف صغيرة مع دلائل صغيرة في حالة التيار المتناوب ac

I_E, I_C, I_B : تمثل التيار المستمر الذي يدخل أو يخرج من العقدة المشار إليها.

V_B, V_C, V_E : تمثل الجهود المستمرة في عقدة ما بالنسبة للأرضي.

V_{BE}, V_{CE}, V_{CB} : تمثل فرق الجهد بين عقدتين.

i_e, i_c, i_b : تمثل التيار المتناوب الذي يدخل أو يخرج من العقدة المشار إليها.

V_b, V_c, V_e : تمثل الجهود المتناوبة في عقدة ما بالنسبة للأرضي.

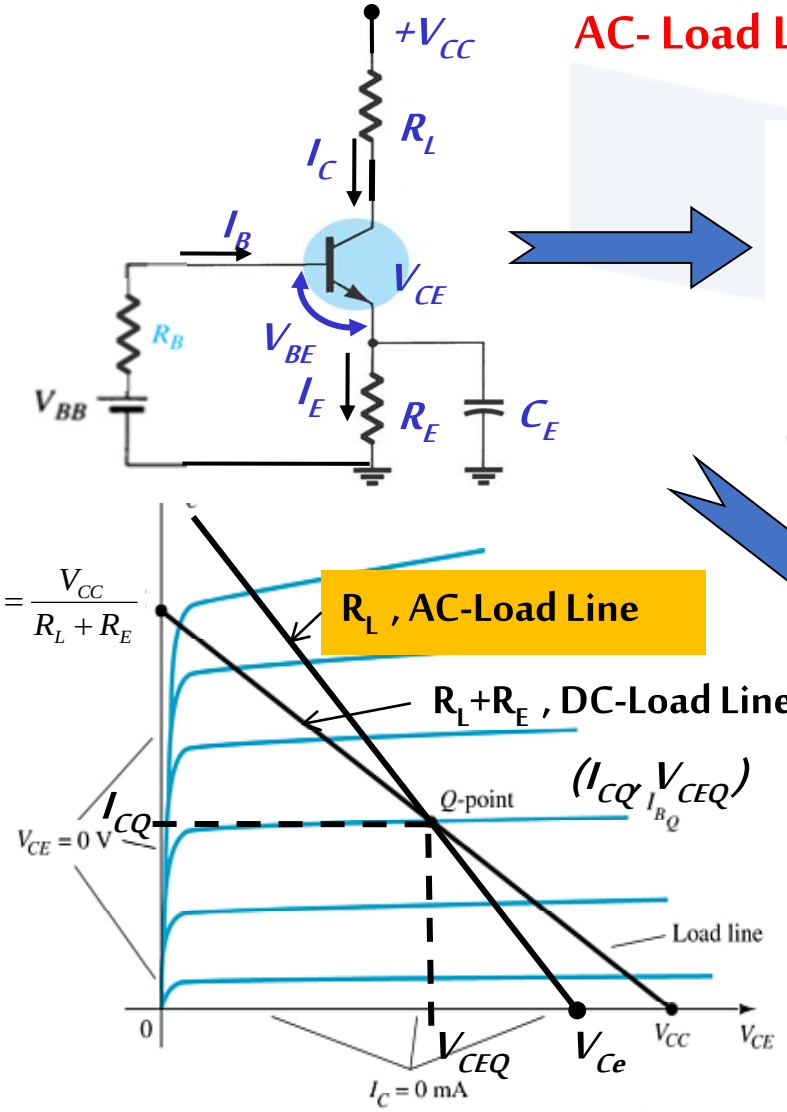
V_{be}, V_{ce}, V_{cb} : تمثل فرق الجهد بين عقدتين.

مقاومة الباعث الداخلية في حالة ac:

$$r_e' = \frac{V_{be}}{i_e} \cong \frac{25mV}{I_E}$$

خط الحمل الديناميكي

AC- Load Line Analysis



الدارة المكافئة للتيار المستمر (نفتح المكثفات) من اجل رسم خط الحمل الساكن.

-يرسم الخط بنفس الطريقة السابقة بعد كتابة معادلة الخرج التالية.

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C(R_L + R_E)$$

$$I_{CSat} = \frac{V_{CC}}{R_L + R_E}, V_{CE} = V_{CC}$$

ميل هذا الخط هو التالي:

$$\frac{1}{R_L + R_E}$$

الدارة المكافئة للتيار المتناوب (نقصر المكثفات ومنابع الجهد المستمر؟؟) من اجل رسم خط الحمل الديناميكي. يرسم الخط بنفس الطريقة السابقة بعد كتابة معادلة الخرج المتناوبة:

$$V_{Cei} = i_{ci} R_L$$

(التيار الكلي) i_C = (المتناوب) i_{ci} + (المستمر) I_{CQ}

(الجهد الكلي) V_{Ce} = (المتناوب) V_{cei} + (المستمر) V_{CEQ}

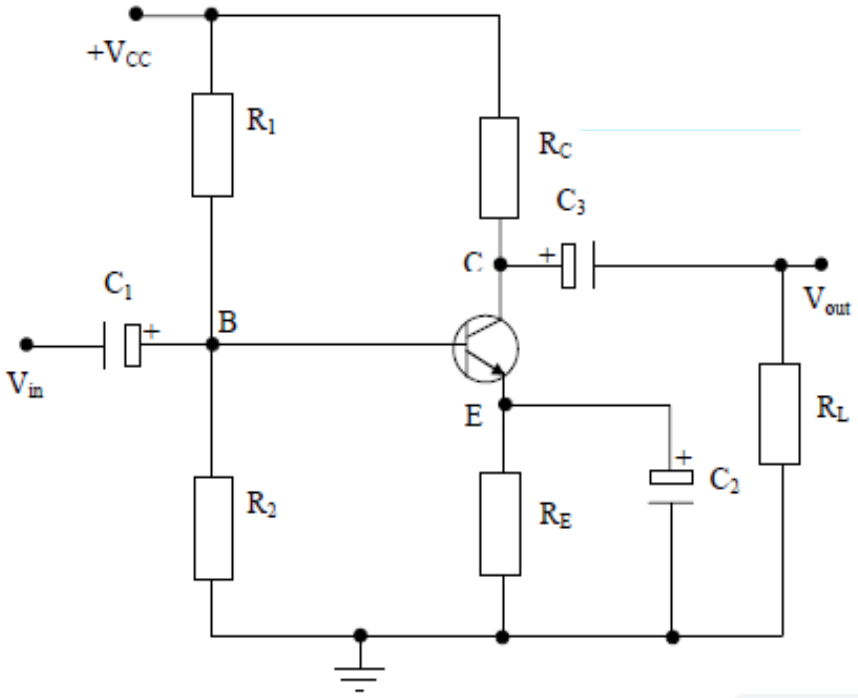
$$V_{Ce} - V_{CEQ} = (i_c - I_{CQ})R_L$$

$$V_{Ce} - V_{CEQ} = i_c R_L - I_{CQ} R_L$$

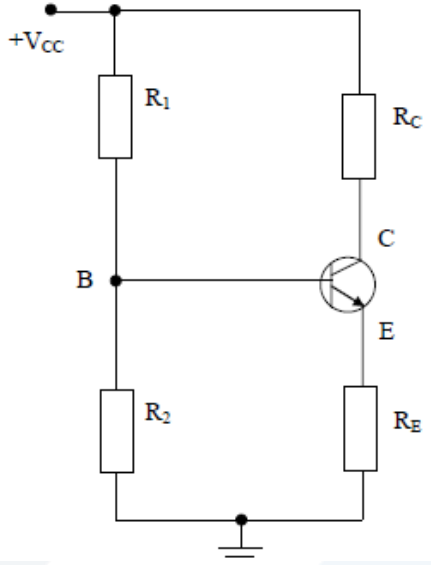
الميل يعطى بـ: $1/R_L$ خط الحمل الساكن لا ينطبق على الديناميكي بسبب المكثف إنما يمر بنفس نقطة العمل Q وبعدم وجود المكثف فان الخطين يصبحان طبوقين.

مكبر الباعث المشترك، الدارة المكافئة المستمرة DC

نقوم في البداية بدراسة المكبر الباعث في حالة DC نحصل على الدارة المكافئة بفتح كل المكثفات وقصر منابع الجهد المتناوب:



دارة مكبر باعث مشترك



الدارة المكافئة DC

- من تحليل هذه الدارة يمكن أن نكتب:

الجهد عند القاعدة:
$$V_B \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC}$$

الجهد عند الباعث:
$$V_E = V_B - V_{BE}$$

تيار الباعث:
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \cong I_C$$

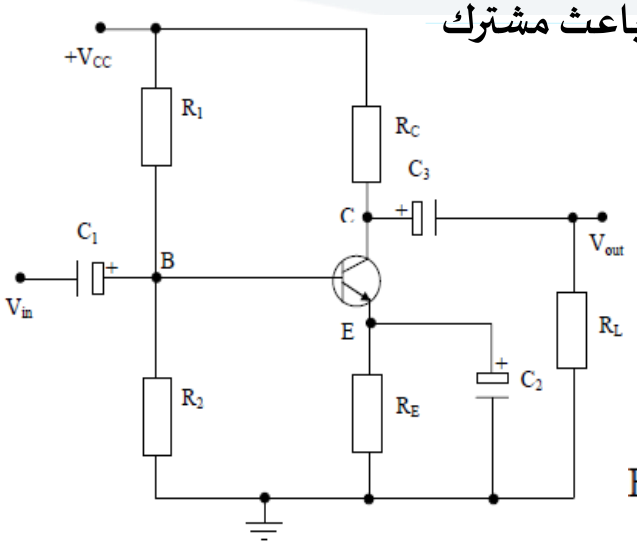
الجهد عند المجمع:
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

فرق الجهد بين المجمع والباعث:
$$V_{CE} = V_C - V_E$$

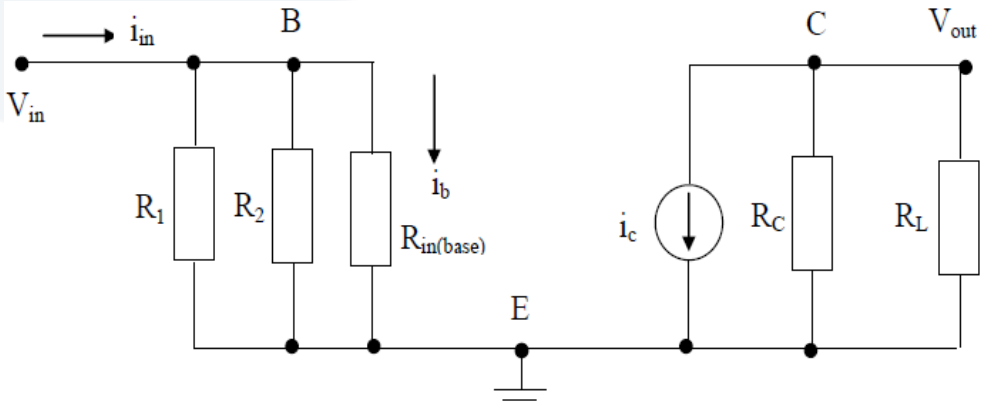
مكبر الباعث المشترك، الدارة المكافئة المتناوبة ac

سنقوم بدراسة مكبر الباعث المشترك في حالة ac نحصل على الدارة المكافئة بقصر كل المكثفات وكل منابع الجهد المستمر والتي تتمثل في الدارة التالية:

دارة مكبر باعث مشترك



مكبر باعث مشترك في حالة ac



من هذه الدارة يمكن أن نكتب مقاومة الباعث: $r_e' = \frac{V_{be}}{i_e} = \frac{25mV}{I_E}$

مقاومة الدخل المرئية من القاعدة: $R_{in(base)} = \frac{V_{in}}{i_b} = \beta_{ac} r_e'$

مقاومة الدخل الكلية: $R_{in(tot)} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = R_1 // R_2 // R_{in(base)}$

مقاومة الخرج: $R_{out} = \frac{V_{out}}{i_{out}} = R_C // R_L$

ربح الجهد = جهد الخرج/جهد الدخل: $A_V = \frac{V_{out}}{Vin} = \frac{R_C}{r_e'}$

ربح التيار = تيار الخرج/تيار الدخل: $A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{i_c}{i_{in}} \cong \beta_{ac}$

نلاحظ أن دارة مكبر باعث مشترك لها: ١- مقاومة دخل صغيرة -متوسطة .

٢- مقاومة خرج متوسطة الى عالية .

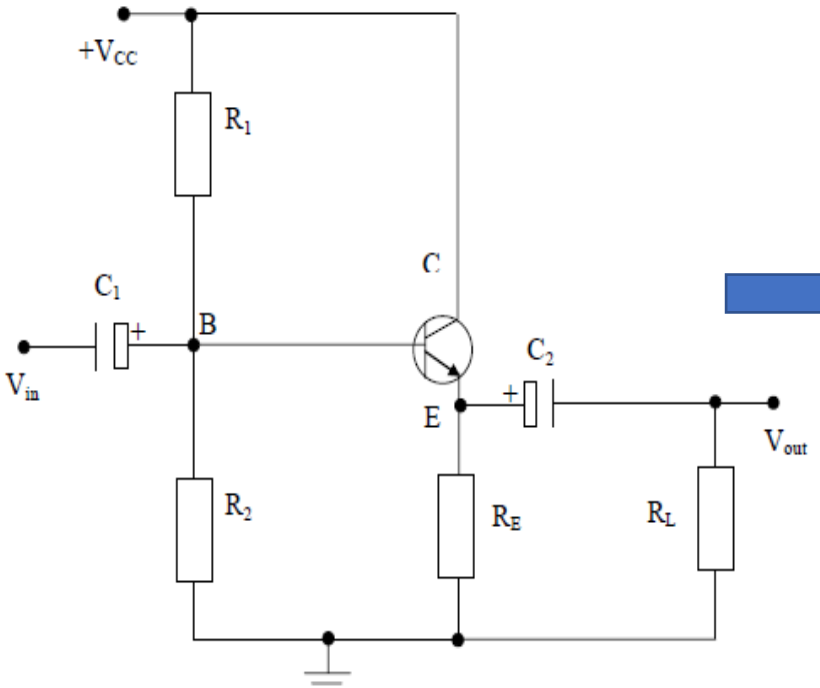
٣- ربح جهد كبير.

٤- ربح تيار كبير.

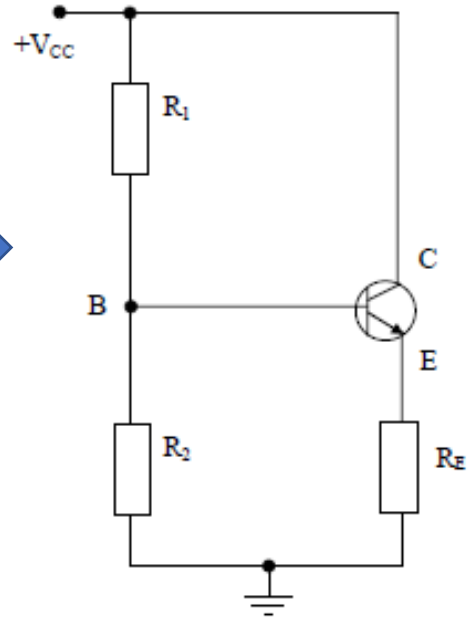
-- اذا ربح استطاعة عالي

مكبر المجمع المشترك، الدارة المكافئة المستمرة DC

نقوم في البداية بدراسة المكبر الباعث في حالة DC نحصل على الدارة المكافئة بفتح كل المكثفات وقصر منابع الجهد المتناوب:



دارة مكبر باعث مشترك



الدارة المكافئة DC

- من تحليل هذه الدارة يمكن أن نكتب:

الجهد عند القاعدة:

$$V_B \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC}$$

الجهد عند الباعث:

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

تيار الباعث:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

جهد المجمع

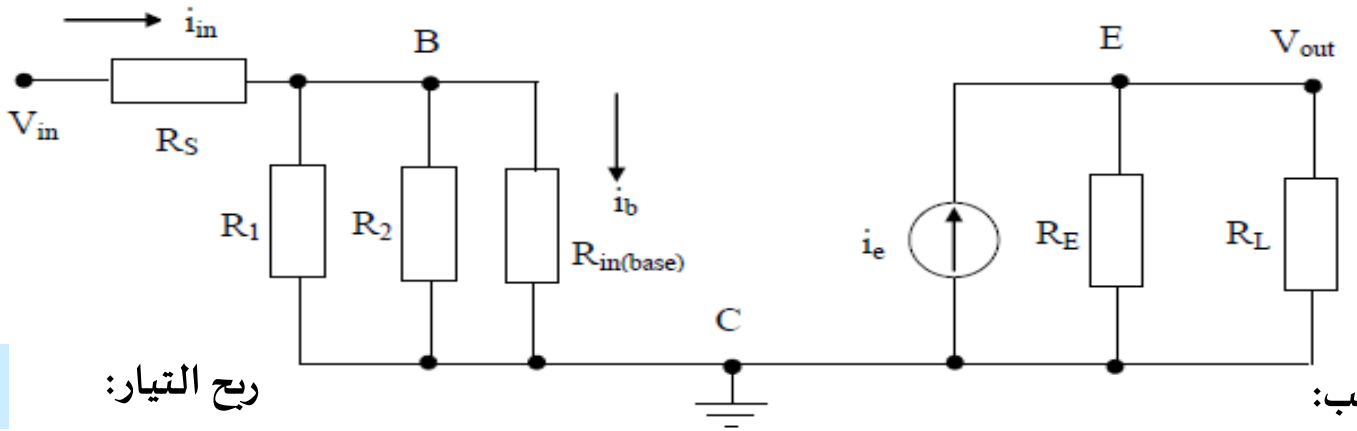
$$V_C = V_{CC}$$

جهد باعث-مجمع

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

مكبر المجمع المشترك، الدارة المكافئة المتناوبة ac

سنقوم بدراسة مكبر المجمع المشترك في حالة ac نحصل على الدارة المكافئة بقصركل المكثفات وكل منابع الجهد المستمر والتي تتمثل في الدارة التالية:



من هذه الدارة يمكن أن نكتب:

ربح التيار:

$$A_i = \beta_{ac}$$

مقاومة الدخل:

$$R_{in(tot)} = R_1 \| R_2 \| \beta_{ac}(R_e + r`_e)$$
$$R_{in(base)} = \beta_{ac}(R_e + r`_e)$$

مقاومة الخرج:

$$R_{out} = (R_S/\beta_{ac}) \| R_E$$

ربح الجهد:

$$v_{in} = (R_e + r_e^{'})i_e$$
$$v_{out} = R_e i_e$$
$$A_V = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_e i_e}{(R_e + r_e^{'})i_e} = \frac{R_e}{(R_e + r_e^{'})} \cong 1$$

مقاومة الباعث الخارجية:

$$Re = \frac{R_E R_L}{R_E + R_L}$$

مقاومة الباعث الداخلية:

$$r_e^{'} = \frac{V_{be}}{i_e} = \frac{25mV}{I_E}$$

دارة مكبر مكبر مشتركة لها:

١- مقاومة دخل عالية

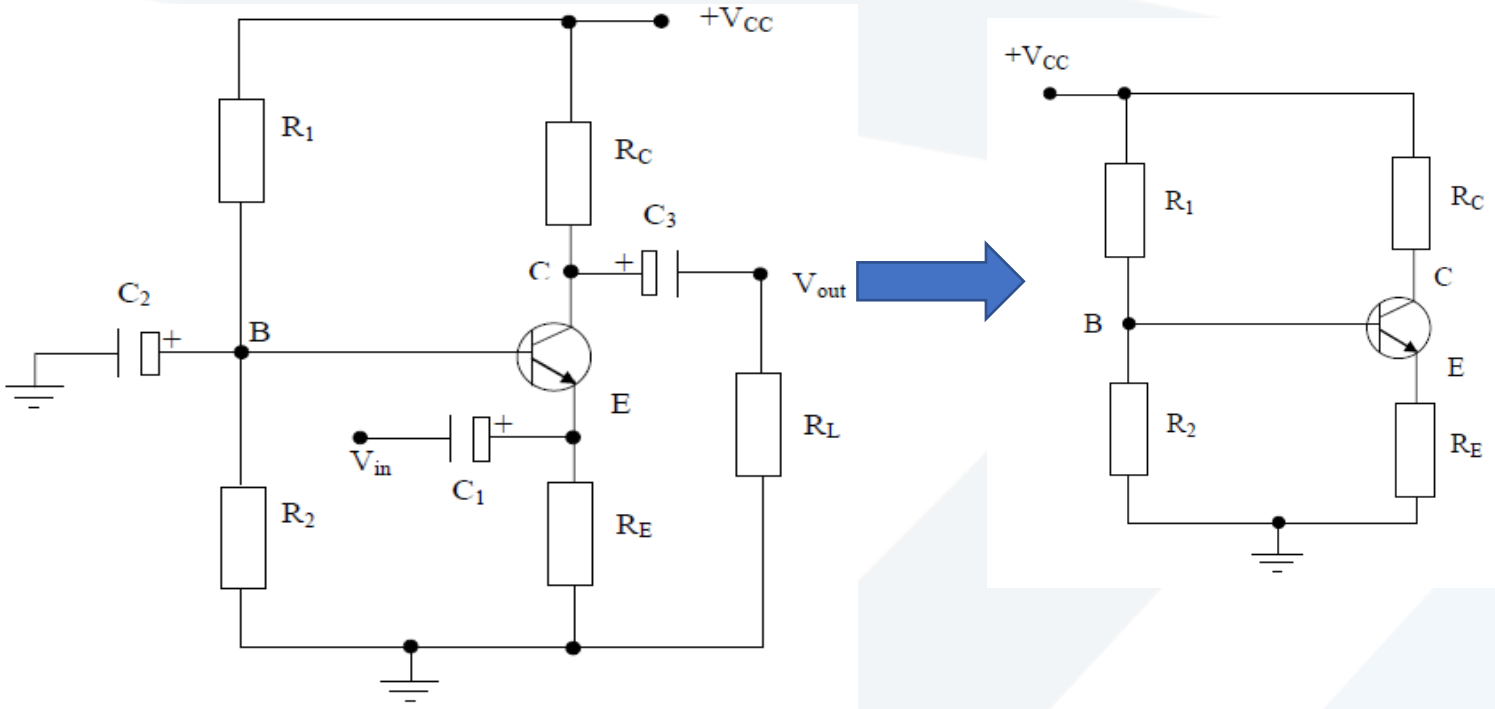
٢- ربح جهد عالي= ١

٢- مقاومة خرج منخفضة

٤- ربح تيار عالي -- اذا ربح استطاعة عالي

مكبر القاعدة المشتركة، الدارة المكافئة المستمرة DC

نقوم في البداية بدراسة مكبر القاعدة المشتركة في حالة DC نحصل على الدارة المكافئة بفتح كل المكثفات وقصر منابع الجهد المتناوب:



- من تحليل هذه الدارة يمكن أن نكتب:

الجهد القاعدة:

$$V_B \cong \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{CC}$$

الجهد الباعث:

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

تيار الباعث:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \cong I_C$$

جهد المجمع:

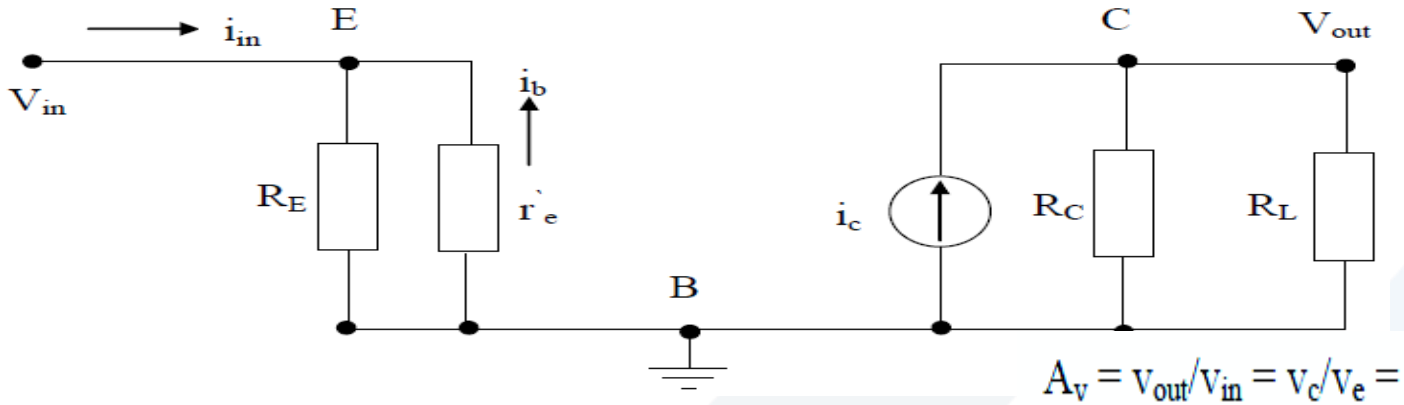
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

جهد باعث-مجمع:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

مكبر القاعدة المشتركة، الدارة المكافئة المتناوبة ac

سنقوم بدراسة مكبر القاعدة المشتركة في حالة ac نحصل على الدارة المكافئة بقصركل المكثفات وكل منابع الجهد المستمر والتي تتمثل في الدارة التالية:



من هذه الدارة يمكن أن نكتب

-- ربح الجهد:

$$A_v = v_{out}/v_{in} = v_c/v_e = i_c(R_C||R_L) / i_e(r'_e||R_E) = (R_C||R_L) / (r'_e||R_E)$$

إذا كان $R_E >> r_e$ ربح الجهد يأخذ الشكل: $A_V = (R_C//R_L)r'_e$

-- مقاومة الدخل:

$$R_{in}(emitter) = v_{in}/i_{in} = v_e/i_e = i_e(r'_e||R_E)/i_e = r'_e||R_E$$

إذا كان $R_E >> r_e$ مقاومة الدخل تأخذ الشكل: $R_{in}(emitter) \cong r'_e$

-- مقاومة الخرج: $R_{out} \cong R_C//R_L$ لكن في حالة عدم وجود حمل تكون $R_{out} \cong R_C$

-- ربح التيار: $A_i = i_{out}/i_{in} = i_c/i_e = 1$

-- ربح الاستطاعة: $A_p = A_v A_i = A_v$

دارة مكبر قاعدة مشتركة لها:

١- مقاومة دخل صغيرة جداً

٢- ربح جهد عالي

٢- مقاومة خرج متوسطة-عالية

٤- ربح تيار واحد -- اذا ربح استطاعة عالي

خلاصة

يمكن تلخيص التوصيلات المدروسة مع ملخص النتائج لكل توصيل كما يلي:

توصيلات الترانزستور ثنائي القطبية

اسم التوصيل	ربح الجهد	ربح التيار	ربح الاستطاعة	مقاومة الدخل	مقاومة الخرج
باعث مشترك	متوسط/عالي (٤٠ إلى ٨٠)	عالي (٢٠٠)	عالي جداً (٨٠٠٠)	متوسطة (2.5 KΩ)	متوسطة/عالية (2.5 KΩ)
مجمع مشترك	1	عالي (٢٠٠)	عالي (٢٠٠)	عالية (100 KΩ)	منخفضة (100Ω)
قاعدة مشتركة	عالي (٢٠٠)	١	عالي (٢٠٠)	منخفضة (٢00Ω)	عالية (٥٠ KΩ)

مكبرات الاستطاعة

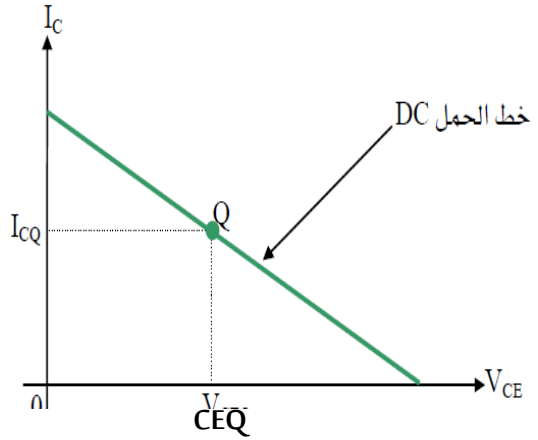
- تصنف مكبرات الاستطاعة تبعاً لموقع نقطة العمل على خط الحمل كالآتي:

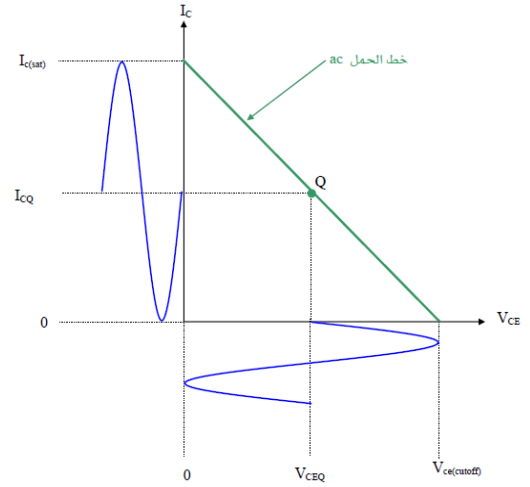
١- المكبر صنف (A) حيث تكون نقطة العمل في منتصف الجزء المفيد من خط الحمل أي الجزء الواقع ضمن المنطقة الخطية الفعالة، وذلك حتى يتوفر أكبر مجال لتغيرات الإشارة فإذا كانت الإشارة جيبية فإن زاوية التمرير تساوي 2π لأن الإشارة تظهر على الخرج كاملة دون تشوية أو انقطاع.

٢- المكبر صنف (B) وفيه تتوضع نقطة العمل على الحد الفاصل بين المنطقة الخطية الفعالة ومنطقة القطع فيظهر نصف الموجة فقط وتكون زاوية التمرير تساوي π فقط.

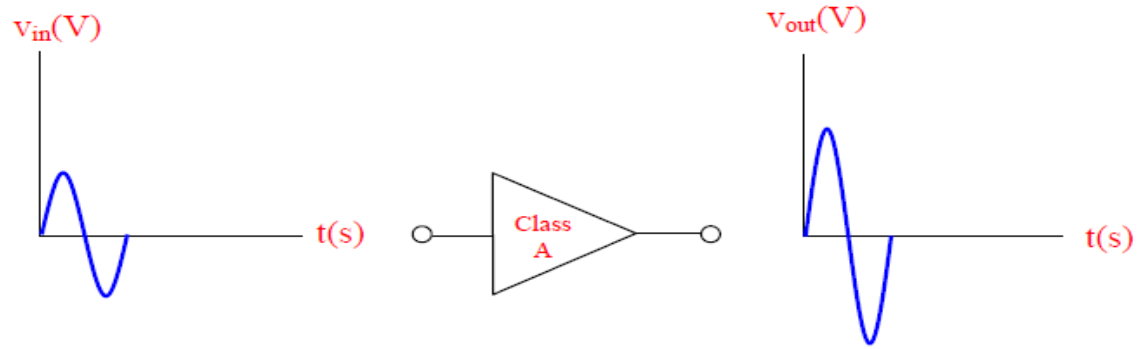
٣- المكبر صنف (C) وفيه تتوضع نقطة العمل ضمن منطقة القطع فيتقطع المكبر أكثر من نصف موجة الدخل وتكون زاوية التمرير بين 0 و π.

-- كون نقطة العمل في منتصف خط الحمل تقريباً وتكون إشارة الدخل صغيرة بحيث لا تؤدي لإدخال الترانزستور لمنطقة القطع أو الإشباع في منحني خواص الخرج.





خط الحمل DC وموقع نقطة العمل لمكبر صنف A

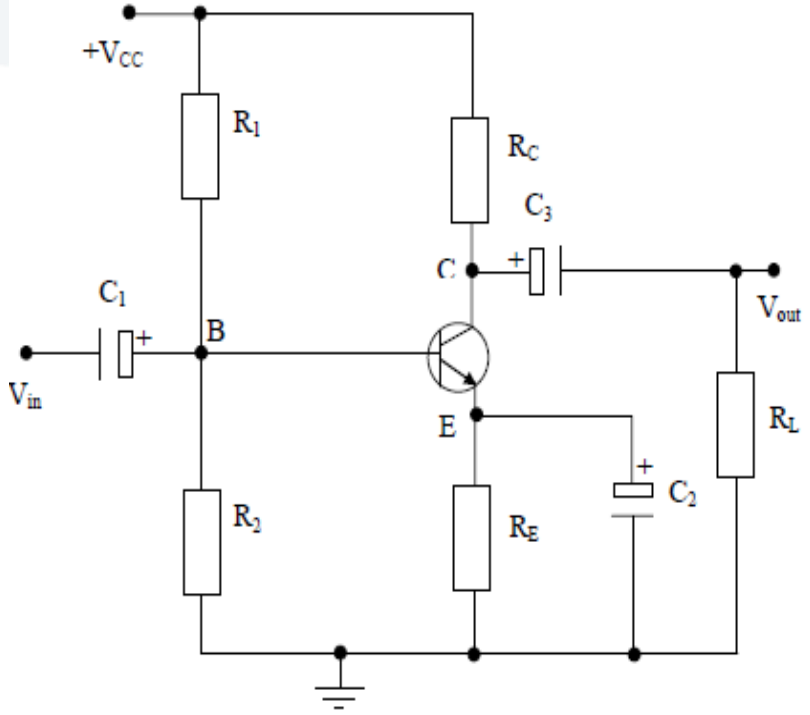


شكل إشارة الدخل والخرج لمكبر صنف (A)

- نلاحظ عدم تشوه إشارة الخرج إذا كانت نقطة العمل Q في وسط خط الحمل.
- يعمل هذا النوع من المكبرات في الحالة الخطية خلال جميع فترات موجة الدخل كما في الشكل.
- أهم مميزات هذا المكبر أنة لا يوجد تشويه في إشارة الخرج تقريباً أما عيبه فهو أننا نحتاج دوماً لقدرة كهربائية لتشغيله وهذه القدرة تأتي من مصدر جهد مباشر وتستخدم في تحديد نقطة العمل ولا يظهر إلا جزء محدود منها في إشارة الخرج، وهو لذلك غير مناسب لتكبير الإشارات عندما نحتاج لقدرة عالية من المكبر،

Class A Power Amplifier

مكبر الاستطاعة صنف (A)



دارة باعث مشترك وهي دارة مكبر صنف (A)

- مثال يمكن تشكيل هذا المضخم من دارة المكبر المبينة جانباً وهي دارة باعث مشترك نجدأن الباعث مؤرض بالنسبة للتيار المتناوب بواسطة المكثف C2 كما أن الانحياز العكسي لوصلة المجمع-القاعدة يؤمنه المنبع المستمر Vcc والمقاومة Rc أما انحياز وصلة الباعث-القاعدة فيؤمنه مقسم الجهد R1و R2 من Vcc ويجب أن يكون أمامياً حتى يعمل الترانزستور في المنطقة الخطية الفعالة.

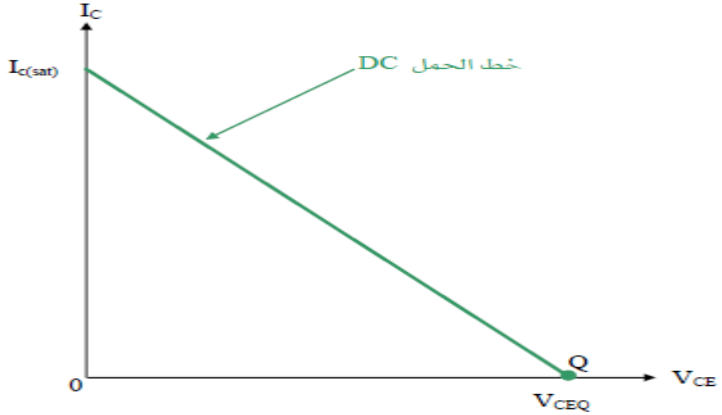
- إن المركبة المستمرة لإشارة الدخل (إن وجدت) تحرف نقطة العمل الساكنة عن موضعها الاسمي. تصد هذه المركبة من خلال المكثف C1 ويوضع مكثف ربط آخر C3 بين الترانزستور والحمل الخارجي لصد المركبة المستمرة لإشارة الخرج.

- تعتبر مقاومة الباعث ضرورية لاستقرار نقطة العمل (استقرار حراري) فإذا ازداد تيار المجمع بسبب ازدياد تيار الإشباع العكسي الناتجة عن الحرارة يزداد تيار الباعث المار في المقاومة Re فيزداد فرق الجهد عليها ويعمل على تخفيض تيار القاعدة مما يحد من زيادة تيار المجمع Ic

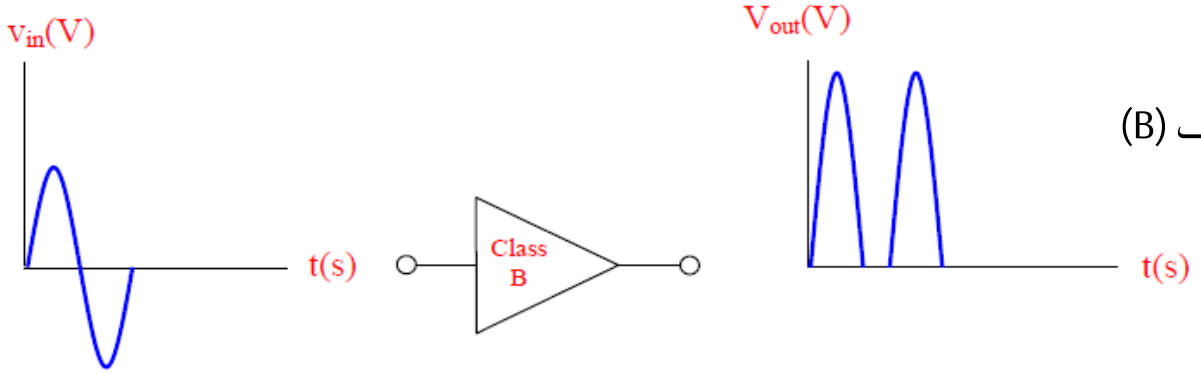
Class B Power Amplifier

مكبر الاستطاعة صنف (B)

- مكبر أكثر كفاءة هو مكبر صنف (B) وهذا النوع تكون نقطة العمل فيه على حافة منطقة القطع تماماً
- في هذا النوع تستهلك الطاقة الكهربائية فقط عند حالة التوصيل في النصف الآخر من الإشارة يكون الترانزستور في حالة القطع ويكون الخرج عبارة عن نصف موجة جيبية
- خرج هذا المكبر يؤدي إلى تشوه كبير في إشارة الخرج بالنسبة لإشارة الدخل حيث يختفي نصف إشارة الخرج



خط الحمل DC وموقع نقطة العمل لمكبر صنف (B)



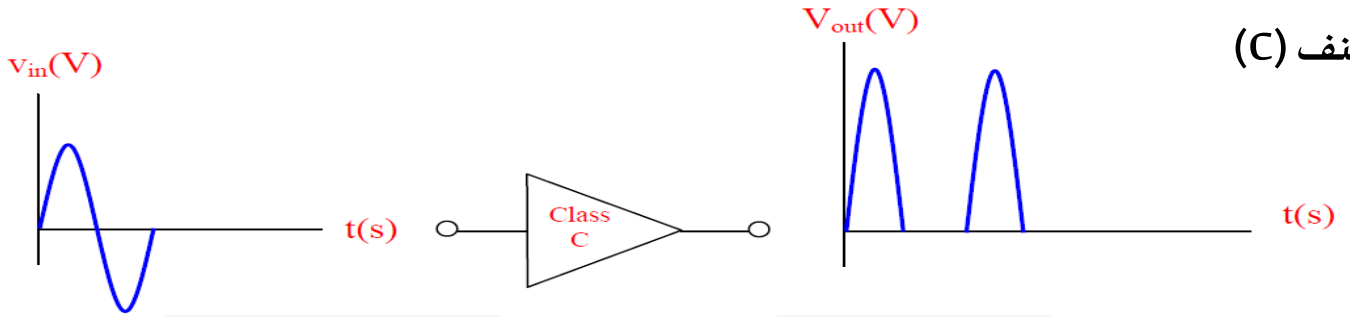
إشارة الدخل وإشارة الخرج لمكبر صنف (B)

مكبر الاستطاعة صنف (C)

Class C Power Amplifier

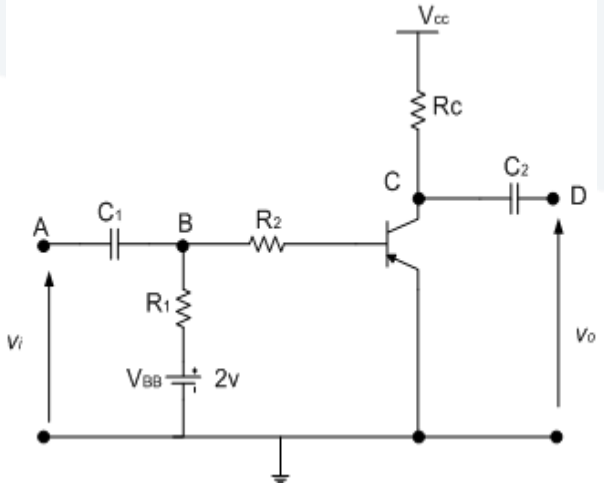
- يعرف مكبر صنف C أنه المكبر الذي يقوم خرجه بتوصيل تيار للحمل خلال مدة أقل من نصف موجة واحدة من إشارة الدخل الجيبية
- يتميز بأن نقطة العمل الساكنة تقع في منطقة القطع وبالنتيجة يقوم هذا المكبر بتكبير جزء من نصف الموجة لإشارة الدخل المتناوبة أي يكبر إما جزء من نصف الموجة الموجبة فقط أو جزء من نصف الموجة السالبة وذلك حسب نوع الترانزستور المستخدم (npn or pnp) وبالنتيجة تكون زاوية التمرير أقل من 180° وتعرف بأنها الزاوية التي يكون خلالها الترانزستور بحالة توصيل أو تمرير التيار
- بما أن الترانزستور يكون بحالة قطع بشكل فعلي معظم مدة الدورة الكاملة لإشارة الدخل فإن الاستطاعة المبددة تكون صغيرة وبالنتيجة تحول معظم الطاقة المقدمة من المنبع المستمر إلى الحمل وبالنتيجة فإن مردود المكبر صنف C يكون كبيراً بالمقارنة مع بقية أنواع المكبرات وهذا ما يجعله مناسباً للاستخدام في دارات الاستقبال الراديوية

إشارة الدخل وإشارة الخرج لمكبر صنف (C)



Class C Power Amplifier

مكبر الاستطاعة صنف (C)



دارة المكبر صنف C

- في حالة عدم تطبيق إشارة على الدخل (الحالة الساكنة) يكون الترانزستور في حالة القطع وذلك بسبب الجهد V_{BB} حيث يطبق القطب الموجب لهذا الجهد على قاعدة الترانزستور ذات النوع (n) مما يجعل المتصل قاعدة-باعث بحالة انحياز عكسي وكذلك المتصل قاعدة-مجمع يكون بحالة انحياز عكسي بسبب الجهد Vcc السالب.

نقطة العمل تقع في منطقة القطع ويتحدد موقعها حسب قيمة الجهد V_{BB} فكلما زادت قيمة هذا الجهد كلما ابتعدت نقطة العمل أكثر في عمق منطقة القطع بعيداً عن منطقة القطع وكلما نقصت قيمة هذا الجهد اقتربت نقطة العمل من منطقة القطع وتكون التيارات المارة في الدارة تساوي الصفر. $I_B = 0 \rightarrow Ic = 0 \rightarrow V_{CE} = Vcc = -15v$

- عند تطبيق إشارة جيبية على الدخل يبقى الترانزستور في حالة القطع عند ورود النبضة الموجبة ويفتح الترانزستور عندما يكون مطال إشارة الدخل سالباً وكبيراً بشكل كافٍ للتغلب على الجهد V_{BB} والجهد V_{BE} لذلك عند ورود النبضة السالبة يبقى الترانزستور بحالة قطع وجهد الخرج مساوياً للصفر حتى اللحظة التي يصبح فيها مطال جهد الدخل السالب أكبر بالقيمة المطلقة من القيمة (VBB+VBE).
- عندما يوصل الترانزستور أي تمرير التيار، بالنتيجة يقوم المكبر بتكبير جزء من النبضة السالبة لإشارة الدخل، ويكون مطال إشارة الخرج موجباً أي أن هناك فرق في الطور مقداره 180° بين إشارتي الخرج والدخل وذلك بسبب وصلة الباعث المشترك المستخدمة في هذا المكبر.

دارات الكترونية

التغذية العكسية + دارات الاهتزاز

Feedback Circuits + oscillator circuits

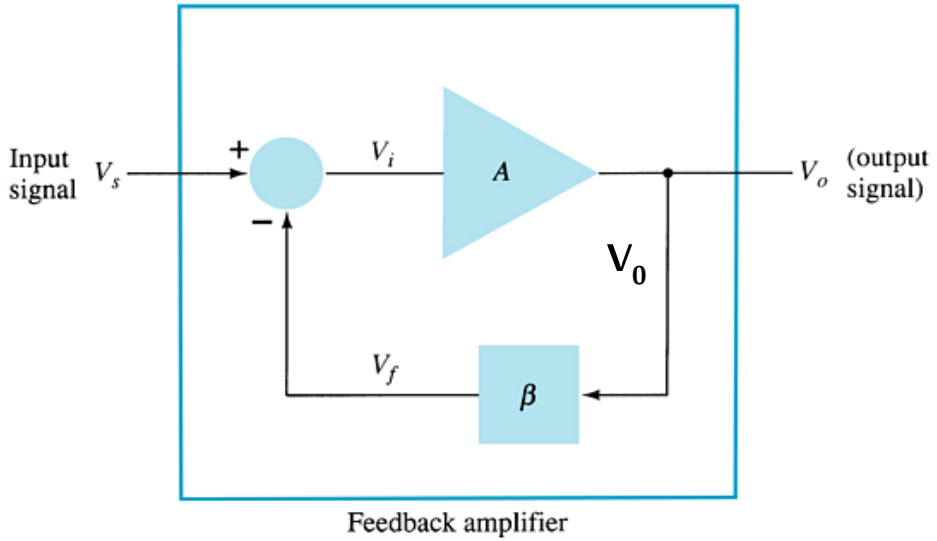
Feedback Principles

مبادئ التغذية العكسية

تعريف: التغذية العكسية عبارة عن عملية أخذ عينة من إشارة الخرج وإعادتها بأسلوب ما إلى دارة الدخل مما يجعل جهد الدخل مرتبط بتغيرات جهد الخرج وهذا مهم في عمليات التحكم والاستقرار لأي دارة (مضخم، هزاز ...) تحوي على التغذية العكسية، حيث يتم الحفاظ على خرج ثابت عن طريق التحكم بدارة الدخل (جهد أو تيار).

تقسم إلى: ١- تغذية عكسية سالبة (Negative FB) ، عندما تكون إشارة التغذية العكسية مخالفة لإشارة الدخل => إضعاف الدخل وبالتالي تخفيض الخرج وتخفض الربح، تستخدم للتحكم بربح المضخم (AGC).

٢- تغذية عكسية موجبة (Positive FB)، عندما تكون إشارة التغذية العكسية موافقة لإشارة الدخل => زيادة الدخل وبالتالي زيادة الخرج وتزيد الربح، تستخدم في الهزازات.



Feedback amplifier

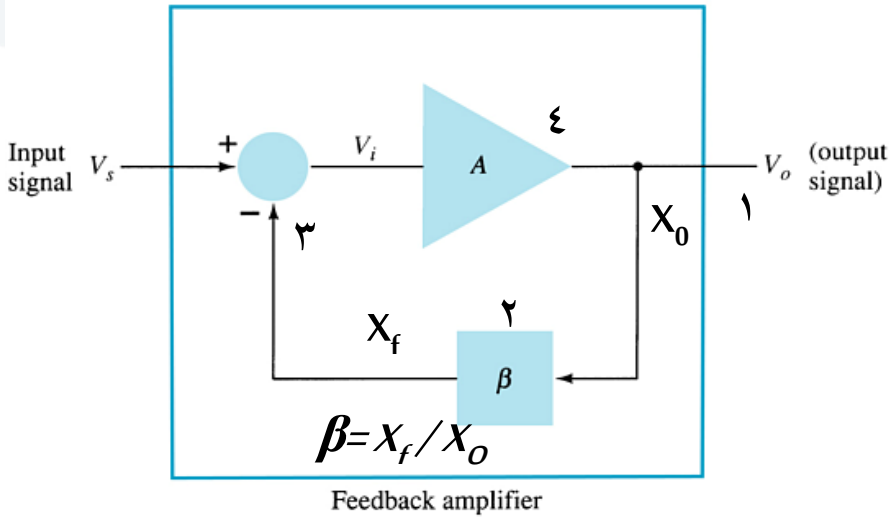
حسنات التغذية الخلفية:

١- مقاومة دخل عالية.
٢- استقرار كبير للربح.
٣- مقاومة خرج منخفضة.
٤- تخفض الضجيج.
٥- عمليات خطية اكبر.

سيئات التغذية الخلفية:

١- انخفاض في ربح للمضخم.

أقسام و أنواع التغذية العكسية



Feedback amplifier

أقسام دارة التغذية العكسية في دارة ما:

١_ العينة المأخوذة من الخرج $X_O = V_O$

٢_ شبكة التغذية العكسية، معامل التغذية β وتقسم إلى:
شبكة فعالة، ترانزستوريه وأخرى غيرفعالة، مقاومات.

٣_ العينة الممزوجة في الدخل $X_f = V_f$. ٤_ مرحلة المكبرالأساسي A للدارة بدون تغذية عكسية.

شبكات أخذ العينة من الخرج:

١- أخذ عينة جهد: حيث يتم وصل التغذية العكسية على التفرع مع جهد الخرج.

٢- أخذ عينة تيار: حيث يتم وصل التغذية العكسية على التسلسل مع تيارالخرج.

شبكات مزج العينة في الدخل:

١- مزج عينة جهد: حيث يتم وصل مخرج التغذية العكسية على التسلسل مع جهد الدخل.

٢- مزج عينة تيار: حيث يتم وصل مخرج التغذية العكسية على التفرع مع تيارالدخل.

أنواع مضخمات التغذية العكسية في :

١_ مضخم بتغذية عكسية (جهد-جهد) يسمى مكبرجهد.

٢_ مضخم بتغذية عكسية (جهد-تيار) يسمى مكبرمقاومة.

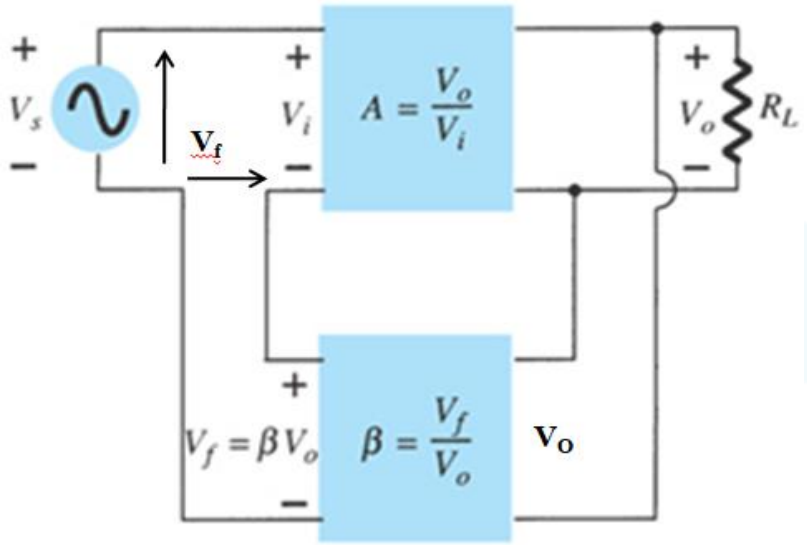
٣_ مضخم بتغذية عكسية (تيار-جهد) يسمى مكبرناقلية.

٤_ مضخم بتغذية عكسية (تيار-تيار) يسمى مكبرتيار.

أنواع مضخمات التغذية العكسية

Feedback Amplifier Types

١ _ مضخم جهد A_V، تغذية عكسية (جهد-جهد).

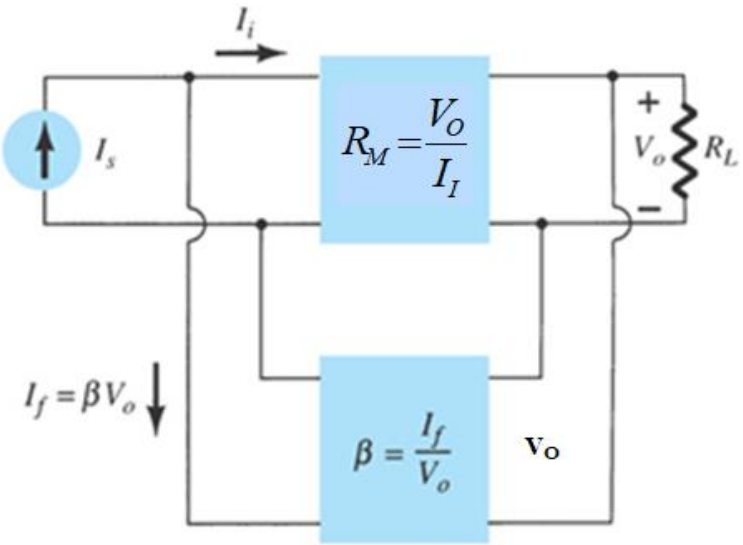


-- العينة المأخوذة من الخرج هي جهد $X_O=V_O$ إذا هي مأخوذة بشكل تفرعي

-- العينة المضافة إلى الدخل هي أيضا جهد $X_f=V_f=\beta V_O$ إذا هي مضافة بشكل تسلسلي

-- التغذية العكسية هي جهد-جهد أو تفرعي-تسلسلي

٢ _ مضخم مقاومة R_M ، تغذية عكسية (جهد-تيار)



-- العينة المأخوذة من الخرج هي جهد $X_O=V_O$ إذا هي مأخوذة بشكل تفرعي

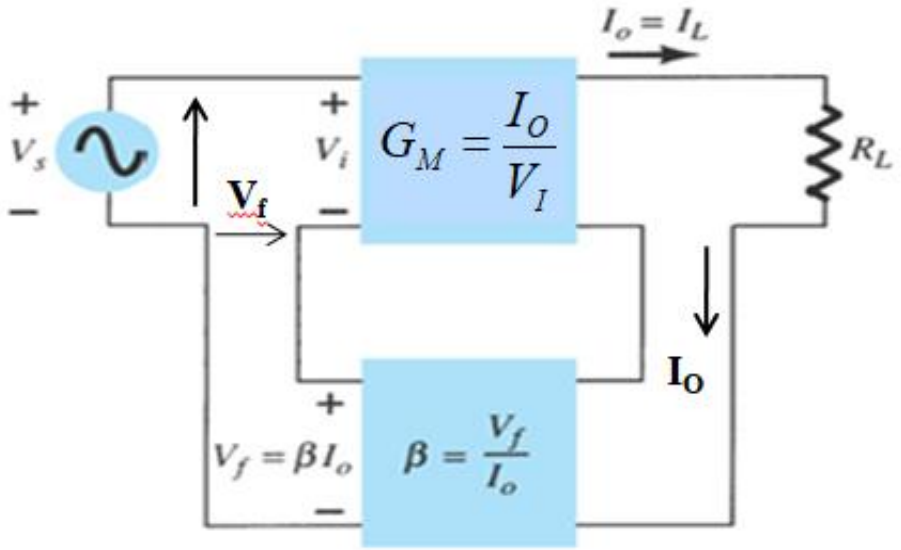
-- العينة المضافة إلى الدخل هي تيار $X_f=I_f=\beta V_O$ إذا هي مضافة بشكل تفرعي

-- التغذية العكسية هي جهد-تيار أو تفرعي-تفرغي

Feedback Amplifier Types

أنواع مضخمات التغذية العكسية

٣_ مضخم ناقلية G_M ، تغذية عكسية (تيار-جهد).

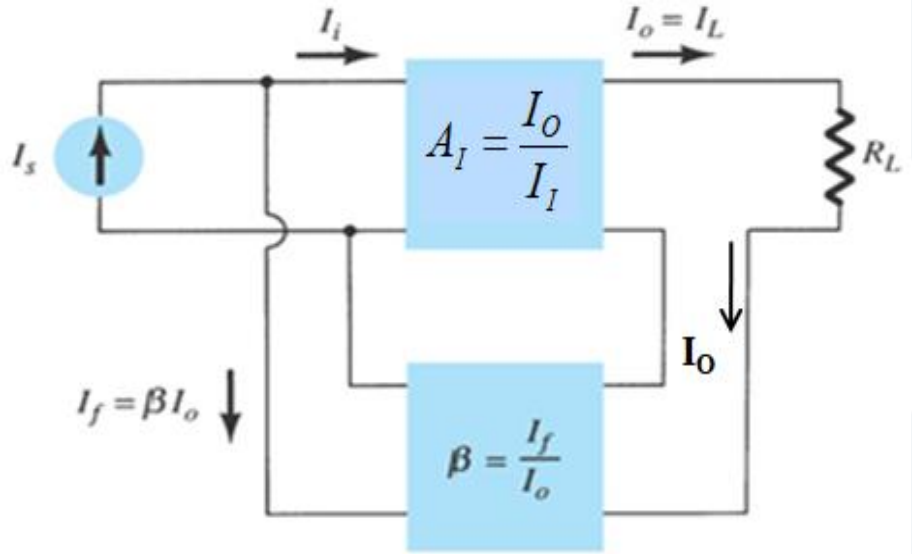


-- العينة المأخوذة من الخرج هي تيار $X_O=I_O$ إذا هي مأخوذة بشكل تسلسلي

-- العينة المضافة إلى الدخل هي أيضا جهد $X_f=V_f=\beta V_O$ إذا هي مضافة بشكل تسلسلي

--التغذية العكسية هي تيار-جهد أو تسلسلي-تسلسلي

٤_ مضخم تيار A_I ، تغذية عكسية (تيار-تيار)



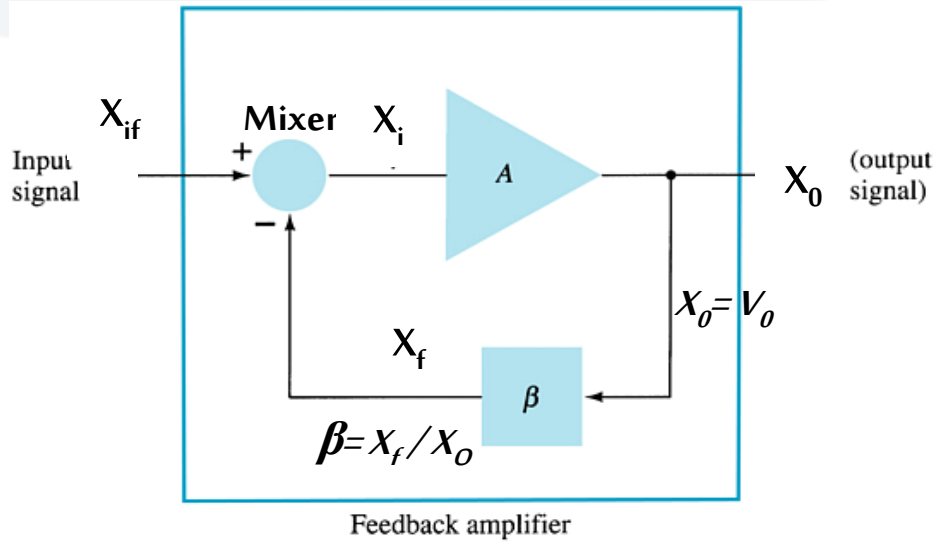
-- لعينة المأخوذة من الخرج هي تيار $X_O=I_O$ إذا هي مأخوذة بشكل تسلسلي

-- العينة المضافة إلى الدخل هي تيار $X_f=I_f=\beta I_O$ إذا هي مضافة بشكل تفرعي

-- التغذية العكسية هي تيار-تيار أو تسلسلي-تفرغي

Amplifier Gain Relationship with Feedback s

معادلة ربح المضخمات بوجود التغذية العكسية



Feedback amplifier

ملاحظات: X_O : إشارة الخرج وهي التي تؤخذ كعينة، جهد أو تيار.

X_f : إشارة خرج التغذية العكسية وهي التي تضاف كعينة، جهد أو تيار.

X_{if}: إشارة دخل المضخم مع وجود التغذية العكسية.

$A = X_O / X_i$: ربح المكبر الأساسي بدون تغذية عكسية يمثل إشارة الخرج مقسومة على الدخل ويمثل إحدى المضخمات السابقة A_V, A_I, R_M & G_M.

$\beta = X_f / X_O$: يمثل معامل التغذية العكسية.

حساب معامل التضخيم بوجود التغذية العكسية A_f :

$$A_f = \frac{X_O}{X_{if}} = \frac{X_O}{X_i + X_f} = \frac{X_O / X_i}{1 + X_f / X_i} \quad But \quad \beta = \frac{X_f}{X_O} \quad \Rightarrow$$

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta \frac{X_O}{X_i}} = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{A}{D}$$

-- يسمى المقدار التالي $D = 1 + \beta A$ بمعامل نقص الحساسية

-- التغذية العكسية السالبة عندما $A_f < A$ ويكون $\beta A > 1 <= D > 1$ إشارة موجبة

-- التغذية العكسية الموجبة عندما $A_f > A$ ويكون $\beta A < 1 <= D < 1$ إشارة سالبة

تحديد نوع التغذية العكسية في الدارات الالكترونية

يتم ذلك وفق الخطوات التالية:

-- تحديد نوع العينة المأخوذة من الخرج: في هذه الحالة يتم تحديد المعامل X_o إما جهد أو تياروتم ذلك بطريقتين:

١- أما بقصر الخرج أي $V_o=0$ أو $R_L=0$ فإذا أصبحت العينة $X_f=0$ أي انعدمت عندها يمكن القول أن العينة هي عينة جهد و إلا فهي عينة تيار.

٢- أو بفتح الخرج أي $I_o=0$ أو $R_L=\infty$ فإذا أصبحت العينة $X_f=0$ أي انعدمت عندها يمكن القول أن العينة هي عينة تيار و إلا فهي عينة جهد.

-- تحديد نوع العينة المضافة في الدخل: في هذه الحالة يتم تحديد المعامل X_f إما جهد أو تياروتم ذلك بطريقتين:

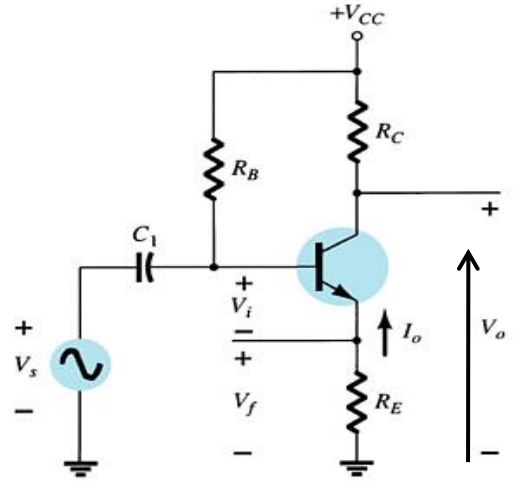
١- نكتب معادلة كيرشوف التي تبين هبوطات الجهد في دارة الدخل فإذا شاركت العينة X_f في معادلة الهبوطات تكون مطبقة تسلسليا على الدخل وبالتالي تعبرعن عينة جهد وإلا فهي عينة تيار.

٢- نكتب معادلة مجموع تيارات عقدة الدخل في دارة الدخل فإذا شاركت العينة X_f في المعادلة تكون العينة مطبقة تفرعيا على الدخل وبالتالي تعبر عن عينة تياروإلا فهي عينة جهد.

-- تحديد معامل التغذية العكسية: $\beta=X_f/X_o$

مثال على تحديد التغذية العكسية

دارة (١):



من الخرج: $V_O=0 \Rightarrow X_f=V_f\neq 0$

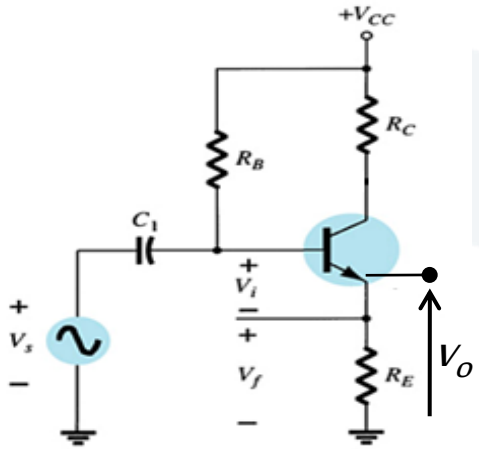
إذا العينة هي عينة تسلسلية تيار أي $X_O=I_O$

في الدخل: $X_f=V_f=I_eR_e=-I_OR_e \Rightarrow$

-- هذه العينة تشارك في هبوطات الجهد ولا تشارك في معادلة عقدة التيارات إذا هي عينة أيضا تسلسلية.

-- إذا التغذية العكسية هي تيار-جهد أو تسلسلية-تسلسلية.

دارة (٢):



من الخرج: $V_O=0 \Rightarrow X_f=V_f=0$

إذا العينة هي عينة تفرعية جهد أي $X_O=V_O$

في الدخل: $X_f=V_f=I_eR_e=-I_OR_e \Rightarrow$

-- هذه العينة تشارك في هبوطات الجهد أي $V_S=V_i+V_f=V_i+I_eR_e$ ولا تشارك في معادلة عقدة التيارات و بالتالي عبارة عن عينة تسلسلية، عينة جهد.

-- إذا التغذية العكسية هي جهد-جهد أو تفرعية-تسلسلية.

دارات الهزازات

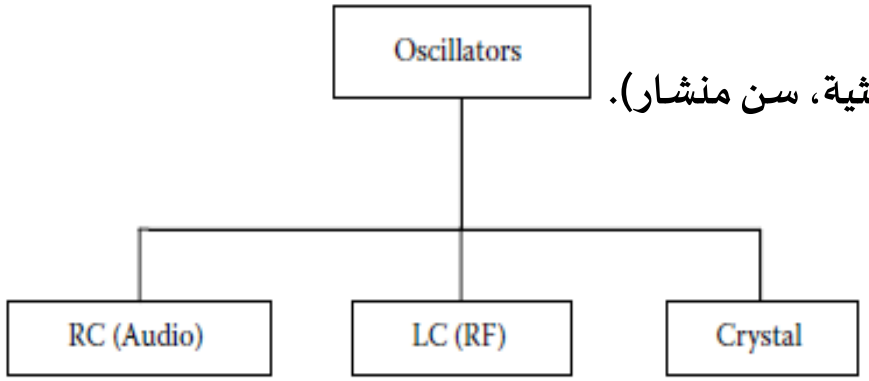
- مقدمة
- شروط الاهتزاز
- هزاز إزاحة الطور
- دارات الهزازت المولّفة
- هزازات الكريستال

مقدمة 1/2

- ✓ يختلف المهتز عن المكبر في أنه لا يتطلب أية إشارة خارجية حتى يبدأ ويحافظ على أسلوب تحول الطاقة. حيث يمكن لدارة مهتز أن تعطي إشارة خرج طالما أن منبع التيار المستمر يغذي عناصر الدارة.
- ✓ تصنف المهتزات عادة بحسب شكل الإشارة أو بحسب مجال التردد أو بحسب العناصر أو ترتيب الدارة.
- ✓ يمكن لإشارة الخرج أن تكون ذات شكل جيبي أو مربعة أو سن منشار أو مثلثية الشكل أما تردد الاهتزاز فيمكن أن يكون جزءاً من الهرتز ويرتفع ليصبح بضعة جيغا هرتز.
- ✓ تستخدم دارات الاهتزاز عناصر فعالة وعناصر غير فعالة حيث يؤمن العنصر الفعال ميكانيزم تحول الطاقة أما العناصر غير الفعالة فتساهم في تحديد تردد الاهتزاز
- ✓ تؤثر تغيرات خواص العناصر الفعالة والعناصر غير الفعالة على ثبات عمل المهتز ويقصد بهذا الثبات ثبات التردد والمطال وكذلك ثبات استطاعة الخرج
- ✓ قد لا يكون عملياً أن نحاول تحقيق استطاعة خرج عالية لدارة مهتز فالمهم عند تصميم الدارة هو إنتاج إشارة خرج ثابتة من حيث التردد والمطال ولا تحتوي قدر الإمكان على تو افقيات أما الوصول إلى الاستطاعة المطلوبة فيكون بتكبير إشارة المهتز

دارات الهزازات

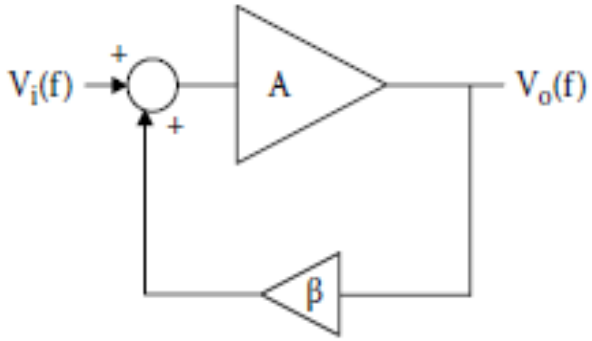
- ✓ يمكن تقسيم دارات الاهتزاز:
  - ✓ وفق العناصر المستخدمة في تشكيل التغذية الراجعة : RC,LC, Crystal.
  - ✓ وفق شكل الإشارات: مهتزات جيبية (إشارات جيبية) ومهتزات الاسترخاء (إشارات مربعة،مثلثية، سن منشار).
  - ✓ وفق تردد الاهتزاز: تردد منخفض(من 1Hz إلى 1MHz) ترددات راديوية (1MHz<).



- ✓ في مولدات الإشارة الجيبية، تم تحديد عمل العنصر الفعال بحيث يكون استقطابه في الصنف (A) أو الصنف (B) أو الصنف (C).
- ✓ تكون إشارات الخرج لدارات الصنف A خالية من التو افقيات نسبياً أما دارات الصنف C فتعتبر ذات المردود الأعلى إلا أن نسبة التو افقيات بها أيضاً ذات قيمة أعلى من أي صنف آخر.
- ✓ يمكن لدارة مكبر أن تتحول إلى دارة مهتز إذا تمكنا من إحداث تغذية راجعة موجبة من خرج المكبر إلى مدخله وتسمى المهتزات في هذه الحالة بالمهتزات ذات التغذية الراجعة (العكسية).

شروط الاهتزاز

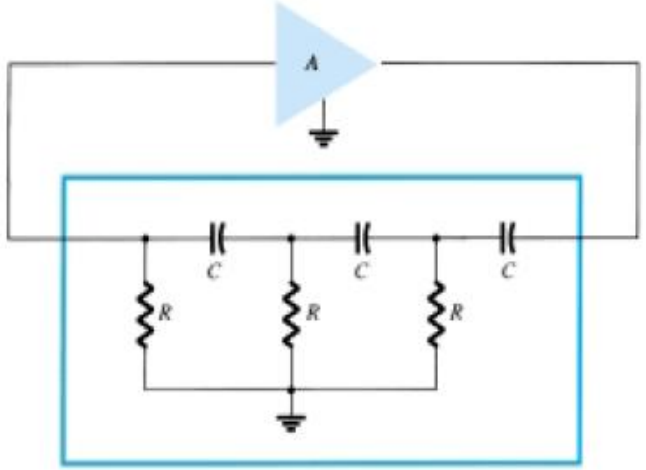
- ✓ يمكن أن نعتبر أن معظم دارات الاهتزاز تتكون من دارتين أساسيتين: دارة تكبير ودارة تغذية عكسية تتمتع بخاصية اختيار التردد
- ✓ إن الشرط الضروري الأول للاهتزاز التلقائي في دارة ما هو أن يسمح العنصر الفعال بربح استطاعة عند تردد الاهتزاز. يجب على العنصر الفعال أن يتمتع بربح كاف ليتغلب على المفاقيد في الدارة وليؤمن ربحاً يساوي الواحد عند حلقة التغذية العكسية $\beta A=1$



- ✓ إن الشرط الضروري الثاني هو أن مجموع الانزياحات في الطور التي يسببها
- ✓ العنصر الفعال نفسه والتغذية العكسية يجب أن تساوي تماماً الصفر
- ✓ إن هذين الشرطين: ربح الحلقة المغلقة يساوي الواحد و انزياح الطور لحلقة التغذية العكسية يساوي الصفر يعرفان بشرط (Barkhausen) للاهتزاز
- ✓ إن هذه الشروط تضمن استمرارية الاهتزاز ولكنها لا تضمن انطلاق الاهتزاز فيجب أن يكون ربح الحلقة أكثر من الواحد في البداية حتى نحث انطلاق الاهتزاز
- ✓ تعتبر الشروط المذكورة سابقاً شروطاً كافية وضرورية لبدء وبقاء عملية الاهتزاز في الدارة

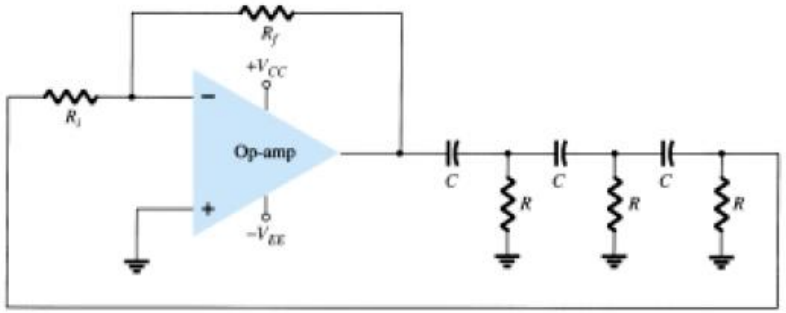
هزاز إزاحة الطور

يمكن استخدام مكبر العمليات في دارات توليد الاهتزاز



Feedback network

- إن أحد أبسط دارات انزياح الطور هي الربط المتسلسل لدارت مرشح تمرير منخفض وتمرير عالي.
- إن الحد الأدنى لعدد المراحل المتسلسلة هو ثلاثة مراحل فربط مرحلتين فقط لا يمكن أن يؤمن بأي حال انزياح في الطور مساوياً 180° وذلك عند تردد محدد(كل مرحلة تعطي انزياح في الطور مقداره 60°).
- يبين الشكل المجاور نسخة مثالية من هذا المهتز.



- تذكير: شروط الاهتزاز هو أن يكون ربح الحلقة βA أكبر من الواحد وأن يكون إزاحة الطور في حلقة التغذية العكسية مساوياً 180°
- نركز اهتمامنا في دارة إزاحة الطور على تخامد الدارة عند التردد الذي يقابل إزاحة طورية مقدارها 180°
- بتحليل دارة التغذية العكسية (دارة مرشح) نحصل على:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}$$

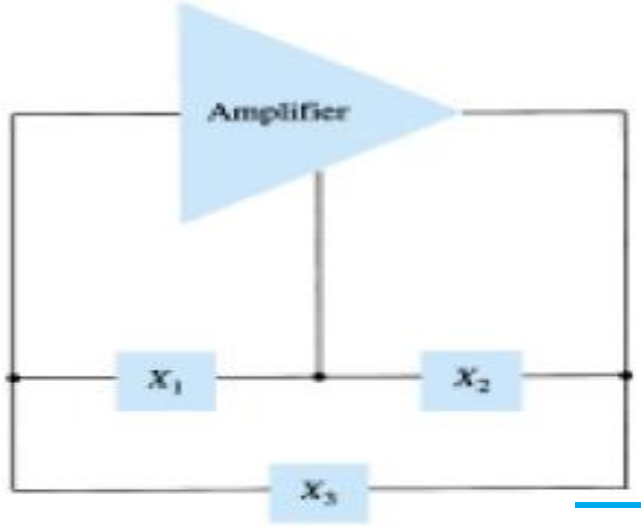
$$\beta = \frac{1}{29}$$

ونحصل على انزياح في الطور مقداره 180°

- لكي يكون ربح الحلقة βA أكبر من الواحد يجب أن يكون تكبير مرحلة التضخيم > 1/β وبالتالي A>29.
- يمكن استخدام أي نوع من الترانزستورات أو يستخدم مكبر العمليات في دارات توليد الاهتزاز.

Tuned Oscillator Circuits

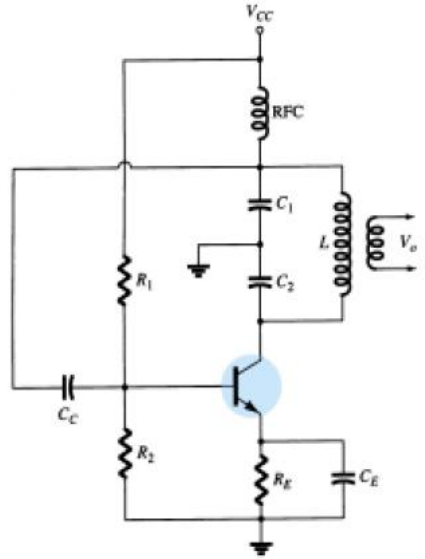
دارات الهزازات المولّفة



- لنرجع إلى الدارة الأساسية لمهتز ذي التغذية العكسية، إن دارة اختيار التردد يمكن أن نوضحها بواسطة الترتيب المبين في الشكل المجاور.
- تستخدم هذه الهزازت المولفة للحصول على ترددات راديوية لذا يُطلَق عليها أحياناً اسم مولدات الاهتزاز ذي التردد الراديوي RF Harmonic oscillators.
- يمكن انطلاقاً من هذا الشكل أن نوضح الأنواع الأساسية لبعض المهتزات المولفة كما هو مبين في الجدول.

	Reactance Element		
Oscillator Type	X_1	X_2	X_3
Colpitts oscillator	C	C	L
Hartley oscillator	L	L	C
Tuned input, tuned output	LC	LC	—

هزاز كولبيتس (Colpitts oscillator) باستخدام الترانزستور ثنائي القطبية

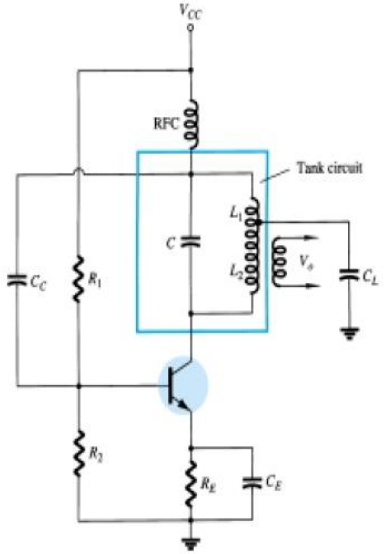


- نحصل على مهتزكولبتس كما ذكرنا سابقاً باستبدال X1 و X2 بسعتين في حين نستبدل X3 بملف.
- يبين الشكل المجاوردارة مهتزكولبيتس باستخدام الترانزستورثنائي القطبية BJT.
- نلاحظ وجود عناصرإضافية على الدارة تفيد في انحيازالمكبر الترانزستوري المستخدم.
- يعطى تردد الرنين بالعلاقة التالية:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{eq}}}$$

هزاز هارتلي (Hartley Oscillator)



- يبين الشكل المجاوردارة مهتز هارتلي باستخدام ترانزستورثنائي القطبية.
- تتشكل التغذية العكسية من خلال دارة الرنين (Tank circuit) المبينة في الشكل والتي تحتوي على حثيتين L1, L2 وسعة C/
- يعطى تردد الرنين بالعلاقة التالية:

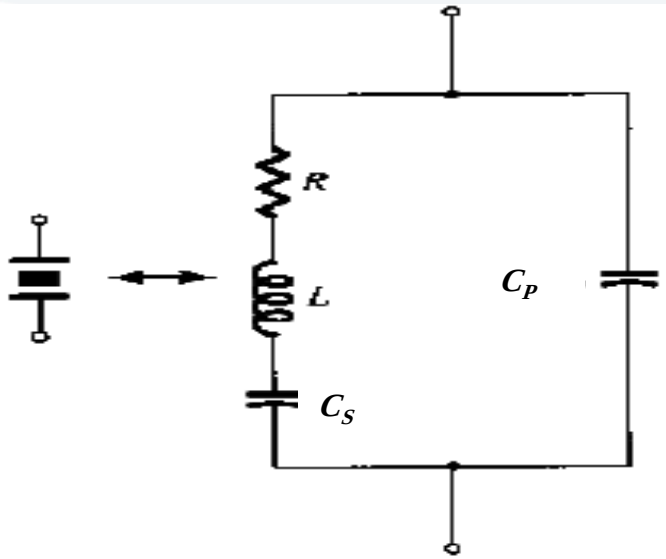
$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C}}$$

مهتزات الكريستال (البللورية)

Crystal oscillator

- يعتمد ثبات التردد على درجة الثبات الحراري لعناصر الدارة من مقاومات ومكثفات وملفات ويبدو أنه من الصعب المحافظة على ثبات في التردد خلال عمل الدارة لفترة طويلة (أكثر من ساعة)
- إن أفضل حل من أجل ثبات التردد هو استعمال بللورة بيزوكهربائية (Piezoelectric crystal) كالكوارتز.
- عند تطبيق ضغط ميكانيكي على سطوح بللورة الكوارتز فإننا نحصل على فرق في الجهد على السطوح المتقابلة للبلورة. تسمى هذه الخاصية بالخاصية البيزوكهربائية.
- عند نطبق جهد متناوب على مجموعة سطوح بللورة يتولد اهتزاز ميكانيكي يمتلك تردد رنين يعتمد على نوع البللورة، وتستعمل كبديل عن دارة الرنين أو تربط مع حلقة التغذية العكسية من أجل تثبيت التردد.

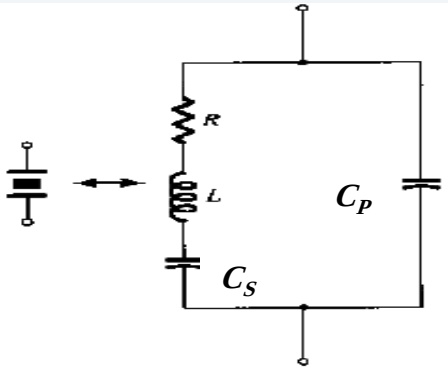


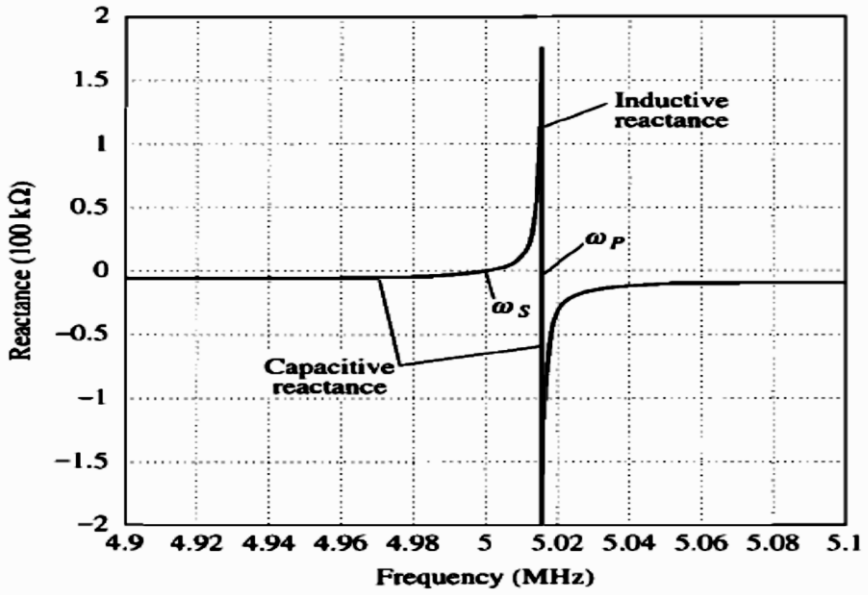
يبين الشكل رمز البللورة ودارتها المكافئة حيث:

- الملف (L) يناظر كتلة البللورة والسعة (C_S) تناظر مرونة البللورة (تمثل السعة التسلسلية) في حين أن المقاومة (R) تناظر الاحتكاك الميكانيكي الذي يؤدي إلى فقد في الطاقة تظهر كحرارة في البللورة أما السعة (C_P) فهي تعادل مجموع السعات الكائنة على التوازي (التفرعية) والعائدة للأسلاك أو لنهايات تركيب البللورة أو أي سعة أخرى قد توجد عند مرابط البللورة.

مهتزات الكريستال (البللورية)

Crystal Oscillator





التحليل والية العمل: بالنتيجة فان ممانعة الدارة المكافئة للبلورة تحوي على ترددي رنين:

١- تردد رنين تسلسلي w_S يتمثل برنين الفرع التسلسلي للدارة أي كل من الملف L والمكثف C_S.

٢- تردد رنين تفرعي w_P يتمثل برنين الفرعين للدارة أي كل من الملف L والمكثفان C_P & C_S.

لحساب الممانعة للدارة المكافئة يكون بالشكل:

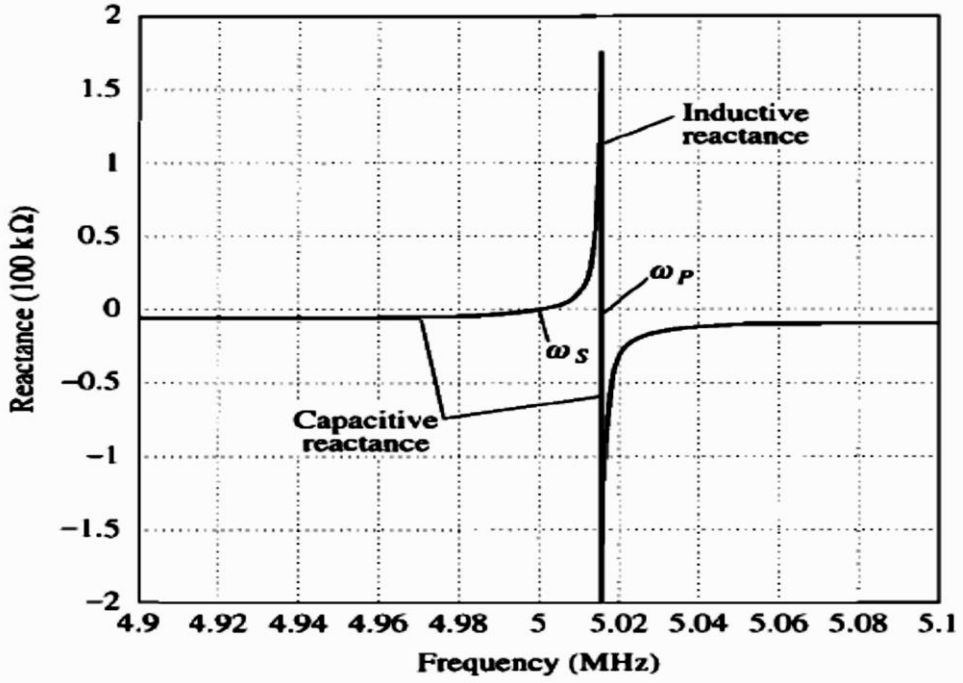
$$Z_C = \frac{Z_P Z_S}{Z_P + Z_S} = \frac{\frac{1}{sC_P}\left(sL + R + \frac{1}{sC_S}\right)}{\frac{1}{sC_P} + \left(sL + R + \frac{1}{sC_S}\right)} = \frac{1}{sC_P}\left(\frac{s^2 + s\frac{R}{L} + \frac{1}{LC_S}}{s^2 + s\frac{R}{L} + \frac{1}{LC_T}}\right)$$

$$\text{where } C_T = \frac{C_S C_P}{C_S + C_P}$$

بالنتيجة قيمة كل من الترددين السابقين هي:

$$\omega p = \frac{1}{\sqrt{L\frac{CsCp}{Cs + Cp}}} \qquad \omega s = \frac{1}{\sqrt{LCs}}$$

تحليل سلوك البلورة الكريستالية كمفاعلة بالنسبة للتردد: من ملاحظة الشكل يمكن الاستنتاج:



١- تسلك الكريستالة سلوك المفاعلة السعوية عند قيم التردد الاقل من w_S والاكبر من w_P .

٢- تسلك الكريستالة سلوك المفاعلة الحثية بين الترددين التفرعي w_P والتسلسلي w_S.

٣- من الشكل نلاحظ ان المنطقة بين الترددين ضيقة جدا.

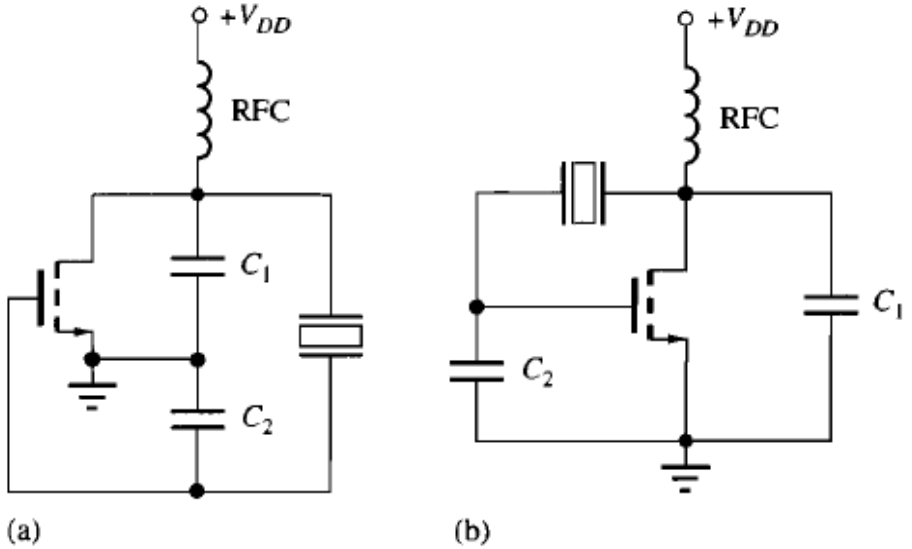
٤- اذا تم استخدام الكريستالة لتعوض عن الحثية في دارات الاهتزاز، وجب وجود تردد اهتزاز معرف ومحدد القيمة.

٥- في معظم الهزازات الكريستالية تعمل الكريستالة في المجال المحدد بين الترددين السابقين ويكون سلوكها في هذه الحالة عبارة عن مفاعلة حثية بمعنى اخر تكون ممثلة لملف نستعيض به عن ملفات دارات الرنين العادية.

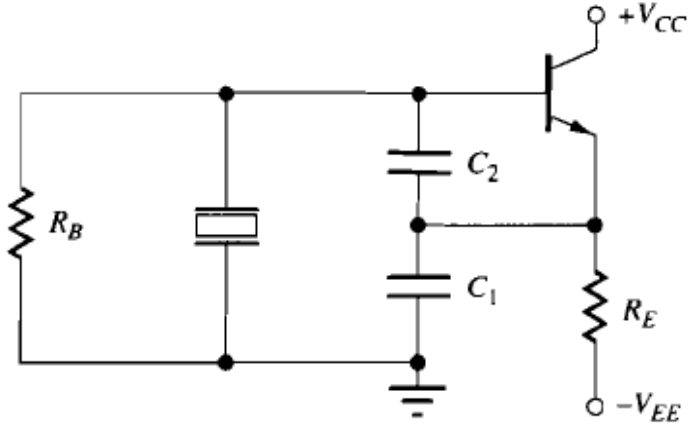
Crystal Oscillator

مهتزات الكريستال (البللورية)

أمثلة:



Two forms of the same Colpitts crystal oscillator

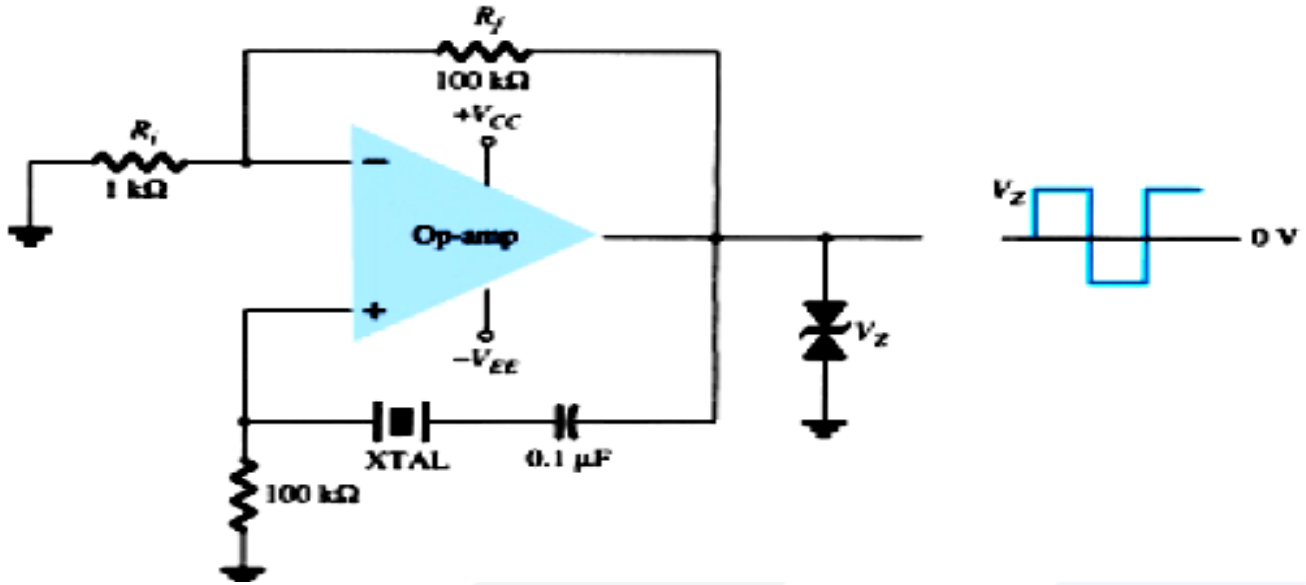


Crystal oscillator using a bipolar transistor

Crystal Oscillator

مهتزات الكريستال (البللورية)

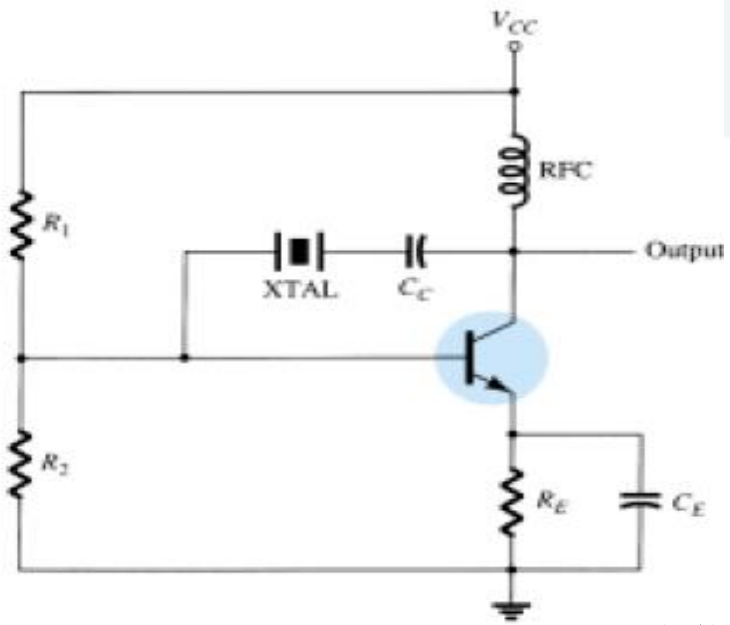
أمثلة باستخدام مضخم العمليات:



- يمكن أن يستخدم المكبر العملياتي في المهتزات البللورية حيث توصل البللورة على التسلسل في مسار التغذية العكسية .
- تمتلك الدارة المبينة في الشكل أعلاه ربح عالي مع خرج إشارة مربعة كما هو مبين في الشكل.
- نستخدم زوج من ديودات زينر على خرج الدارة لنحصل على مطال خرج مساوي تماماً لجهد زينر (Vz).

مهتزات الكريستال (البللورية)

Crystal Oscillator

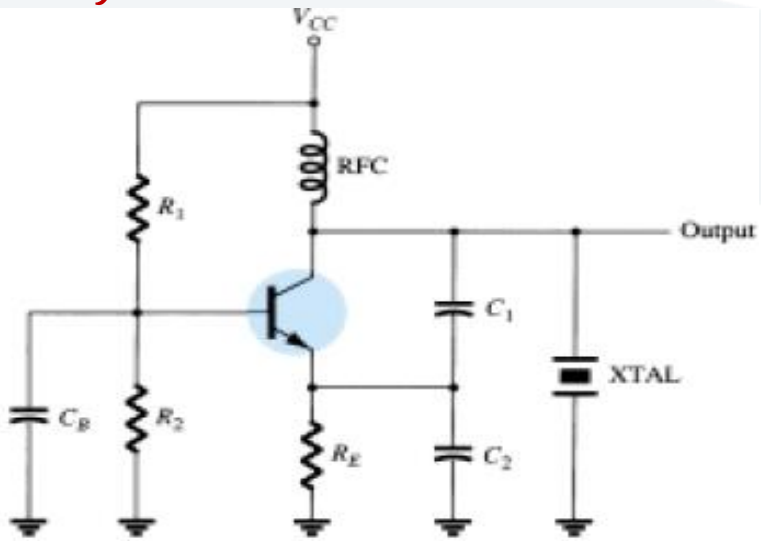


دارة الرنين التسلسلي:

- كي تعمل البللورة بنمط الرنين التسلسلي يمكن ربطها على التسلسل ضمن مسار التغذية العكسية.
- عند تردد الرنين التسلسلي للبلورة تكون ممانعتها أصغر ما يمكن و التغذية العكسية أكبر ما يمكن.
- من الشكل المجاور: المقاومات R_1, R_2, R_E تشكل مقسم جهد يؤمن استقرار دارة انحياز المركبة المستمرة.
- تكون التغذية العكسية بالجهد من المجمع إلى القاعدة أعظمية عندما تكون ممانعة البللورة أصغرية (في نمط الرنين التسلسلي).
- تمتلك السعة Cc (coupling capacitor) على تردد عمل الدارة ولكنها تمنع أي مركبة مستمرة بين المجمع والقاعدة.
- يتم تحديد تردد اهتزاز الدراة من خلال تردد الرنين التسلسلي للبللورة.
- إن التغير في جهد التغذية أو بارامترات الترانزستور أو غير ذلك لا يمتلك أي تأثير على تردد عمل الدارة الذي تم ضبطه من خلال البللورة.

مهتزات الكريستال (البللورية)

Crystal Oscillator



دارة الرنين التفرعي

- بما أن ممانعة الرنين التفرعي للبللورة تمتلك قيمة أعظمية فإنه يتم وصلها على التفرع.
- يظهر الشكل المجاور بللورة موصولة على التفرع في مهتز كولبيتس المعدل.
- عند تردد الرنين التفرعي للبللورة يمكننا الحصول على قيمة جهد أعظمية.
- يوزع الجهد على الباعث من خلال مقسم الجهد السعوي المكون من السعتين C1 و C2 .

خلاصة

- بعد أن تعرفنا على بعض من دارات الاهتزازيمكن أن نقول:
  - إن مهتزات (LC) يمكن أن تستعمل في مجالي الترددات الردايوية والمنخفضة أيضاً إلا أنه قد لا يستحسن استعمالها في مولدات الترددات المنخفضة بسبب الحاجة إلى قيم كبيرة وأحجام كبيرة من الملفات والمكثفات.
  - تستعمل مهتزات (RC) عادةً في مولدات الترددات السمعية وفوق السمعية.
  - تستعمل المهتزات ذات التحكم البللوري بدءاً من أواسط المجال السمعي وما فوق.
  - يفضل غالباً استعمال مهتز كولبتس في الترددات العالية حيث يصعب في هذه الحالة بالنسبة لمهتز هارتلي الحصول على ازدواج شديد بين أجزاء المحول ذي النقطة المركزية.