مولدات الذبذبات

الجدارة: القدرة على تحليل و تصميم مولدات الذبذبات للإشارات الجيبية وغير الجيبية.

الأهداف: بعد دراسة هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على:

- أن يتعرف المتدرب على مبدأ عمل مولدات الذبذبات
- أن يحلل المتدرب ويصميم دوائر مولدات الإشارات الجيبية
- أن يحلل ويصميم دوائر مولدات الإشارات غير الجيبية

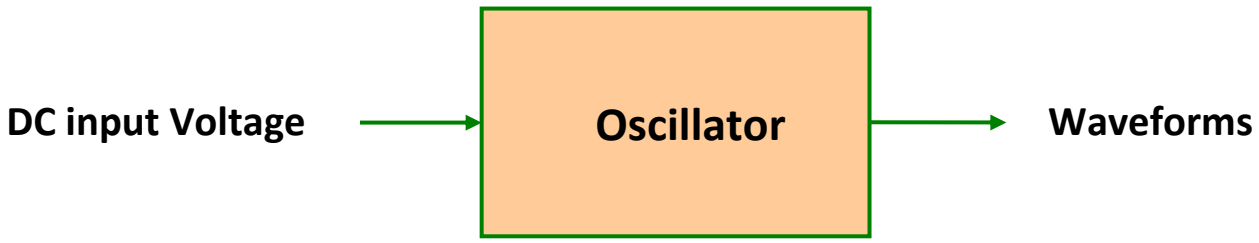
الوقت المتوقع للتدريب: 4 ساعات.

مولدات الذبذبات

Oscillators

مقدمة

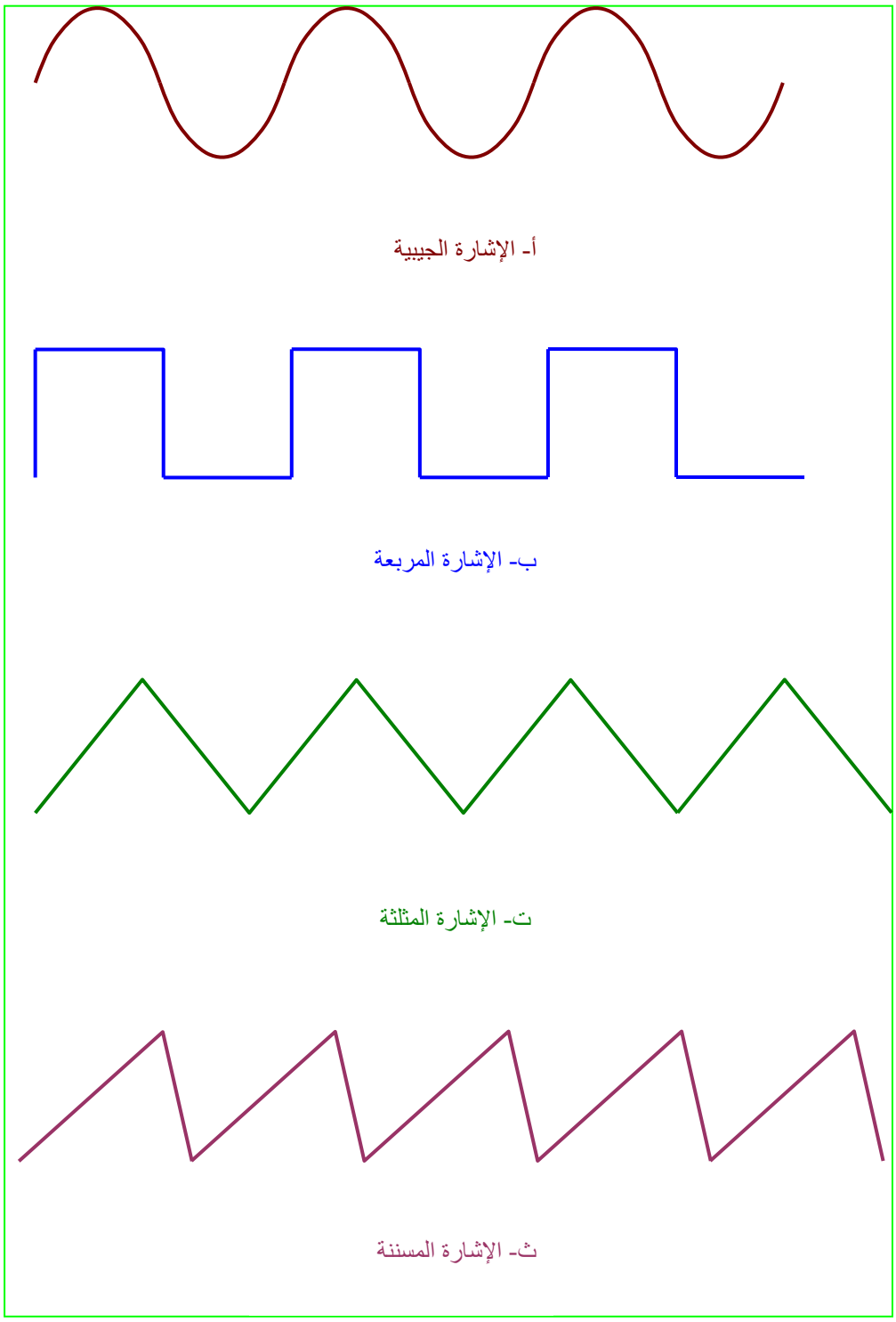
دوائر توليد الذبذبات أو (المذبذبات) عبارة عن دوائر الكترونية تقوم بتوليد إشارات على مخرجها تعيد نفسها بشكل دوري (Periodic) بدون اشتراط وجود إشارات على مدخلها (يكفي وجود جهد مستمر dc على المدخل الشكل 4- 1). هنالك دوائر مختلفة تتيح لنا الحصول على أشكال مختلفة من الإشارات (الشكل 4- 2). إن أهم أشكال الإشارات التي نتعامل معها في أنظمة الالكترونيات والاتصالات:



الشكل (4- 1) مبدأ عمل المذبذب

- الإشارة الجيبية Sine wave.
- الإشارة المربعة Square Wave .
- الإشارة المثلثة Triangular wave.
- الإشارة المسننة Sawtooth wave.

تستخدم المذبذبات في مختلف أنظمة الاتصالات التماثلية والرقمية، وأجهزة الحاسب، والأنظمة الالكترونية والأجهزة المستخدمة في المعامل.



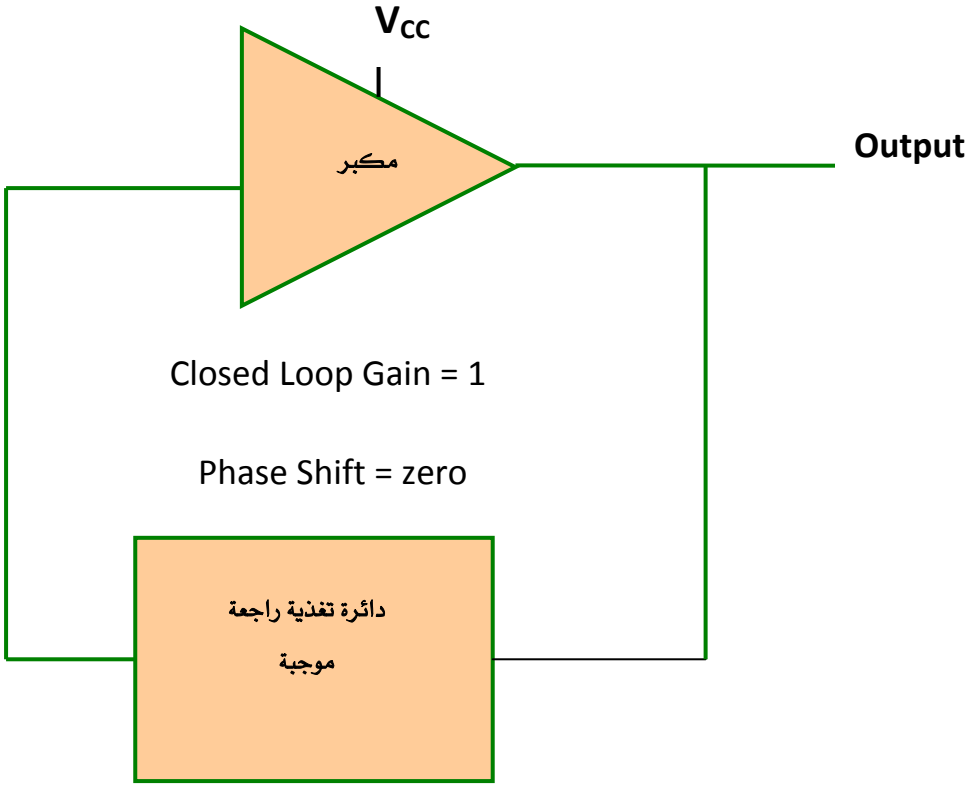
الشكل (4- 2) الأشكال المختلفة للإشارات

تنقسم المذبذبات بشكل عام إلى مجموعتين:

- مذبذبات التغذية الراجعة Feedback Oscillators.
- المذبذبات غير الجيبية Relaxation Oscillators .

4- 1 مذبذبات التغذية الراجعة Feedback Oscillators.

تعتمد مذبذبات التغذية الراجعة في عملها مبدأ التغذية العكسية الموجبة (Positive Feedback) والتي تتضمن إرجاع جزء من إشارة الخرج إلى مدخل المذبذب بطريقة تجعل منه يغذي نفسه بنفسه. يتكون هذا النوع من المذبذبات من مكبر (ترانزستور أو مكبر عمليات) للحصول على التكبير المطلوب (Gain) ومن دائرة التغذية الراجعة الموجبة للحصول على فرق زاوية الطور المطلوب (Phase Shift) و توهين الإشارة (Attenuation) وفقاً للشكل (4- 3).



الشكل (4- 3) مذبذبات التغذية الراجعة

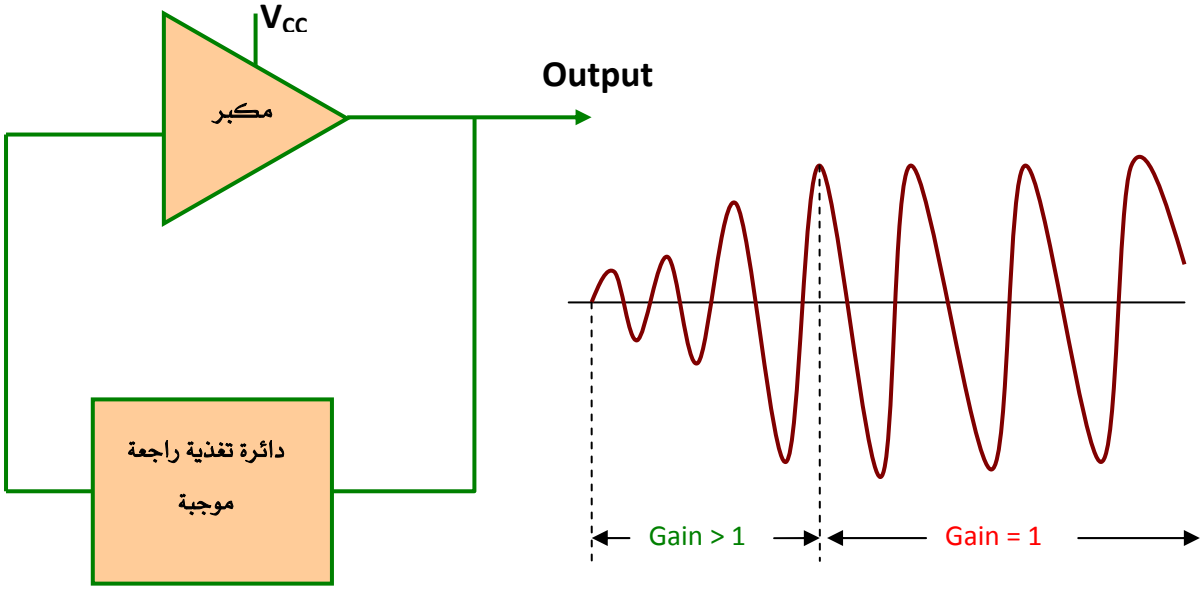
يستخدم هذا النوع من المذبذبات لتوليد الإشارات الجيبية والتي سنتناولها لاحقاً في الشرح.

هناك شرطان لعمل هذا المذبذب:

1. يجب أن يكون الفرق في زاوية الطور بين الدخل والخرج صفراً.
2. أن يكون الكسب الكلي للجهد ضمن المسار المغلق مساوياً للوحدة.

بداية التشغيل Start-Up Condition:

كما أوضحنا سابقاً من شروط عمل المذبذب، يجب أن يكون الكسب الكلي للجهد ضمن المسار المغلق مساوياً للوحدة لكن في بداية لحظة التشغيل يجب أن يكون معامل التكبير للجهد في دائرة التغذية الراجعة أكبر من واحد لتبدأ الإشارة بالظهور على المخرج وحتى تستقر على المستوى المطلوب عندها يرجع معامل التكبير إلى قيمة الوحدة كما هو موضح على الشكل (4- 4).



الشكل (4- 4) بداية التشغيل للمذبذب

4- 1 -1 المذبذبات مع دائرة RC للتغذية الراجعة Oscillators with RC Feedback Circuits

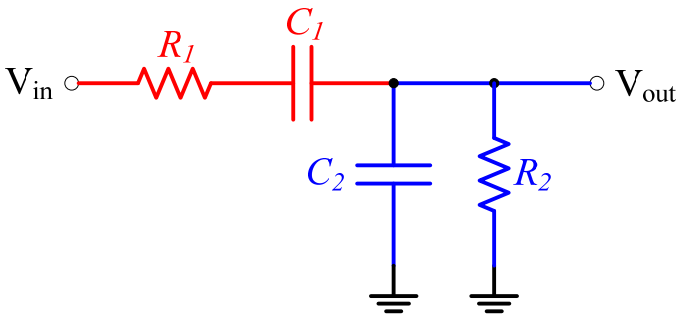
سوف نتعرف في هذا الجزء على ثلاث دوائر للمذبذب والتي تستخدم للحصول على مذبذبات تعمل على ترددات لغاية 1 MHz. إن استخدام دوائر RC ضروري لسببين: الأول للحصول على فرق الطور المطلوب لتوليد الذبذبات والثاني للحصول على مرشح رنين (Resonance Filter) على تردد رنين بقيمة التردد المراد توليده من دائرة المذبذب.

- مذبذب قنطرة واين Wien-Bridge Oscillator
- مذبذب فرق الطور Phase-Shift Oscillator
- مذبذب توين Twin-T Oscillator

وسوف نقوم بشرح النوعين الأول والثاني لأهميتهما.

4- 1 -1 -1 مذبذب قنطرة واين Wien-Bridge Oscillator:

يستخدم هذا المذبذب لتوليد الموجة الجيبية باستخدام دوائر *RC*. إن ما يميز هذا النوع هو دائرتا التقديم والتأخير (Lead and Lag Circuits) كما هو موضح على الشكل (4-5). يقوم كل من R_1 و C_1 بدور دائرة التأخير (Lag Circuit) و كل من R_2 و C_2 بدور دائرة التقدم (Lead Circuit).



الشكل (4-5) دائرة مذبذب قنطرة واين

يمكننا تحديد تردد التذبذب أو الرنين (Resonance) بالعلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (4-1)$$

حيث إن قيم المقاومات متساوية وكذلك المكثفات. عند قيمة تردد الرنين يكون فرق زاوية الطور بين الدخل والخرج مساوياً للصفر. وهذا هو الشرط الأول لحدوث التذبذب. ولكن عند هذا التردد، فإن نسبة جهد الخرج إلى جهد الدخل هي:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{3} \qquad (4-2)$$

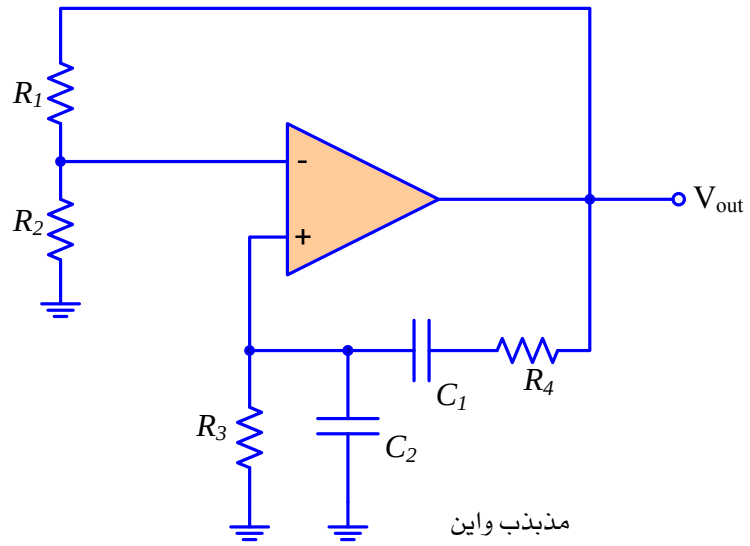
ولتحقيق الشرط الثاني للتذبذب، وهو أن الكسب مساوٍ للواحد، فيجب أن نضرب النسبة في (3). حيث إن:

$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}}(3) = \frac{1}{3}(3) = 1 \qquad (4-3)$$

لتحقيق ذلك نقوم بإضافة مكبر غير عاكس له معامل تكبير يساوي 3 كما في الشكل (4-6).

إن وظيفة المقاومات R_1 و R_2 هي ضبط قيمة معامل التكبير ويجب أن تكون قيم المقاومات R_1 و R_2 كالتالي:

$$R_1 = 2R_2 \qquad (4-4)$$

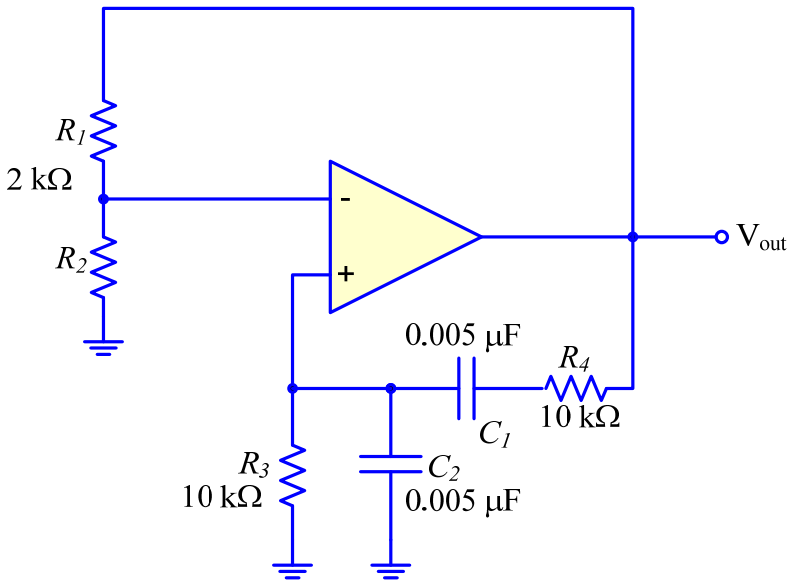


الشكل (4-6) دائرة مذبذب قنطرة واين

مثال (4- 1):

أ- احسب تردد الرنين لمذبذب واين على الشكل (4- 7).

ب- احسب قيمة المقاومة R_2.



الشكل (4- 7)

الحل:

أ- باستخدام العلاقة (4- 1):

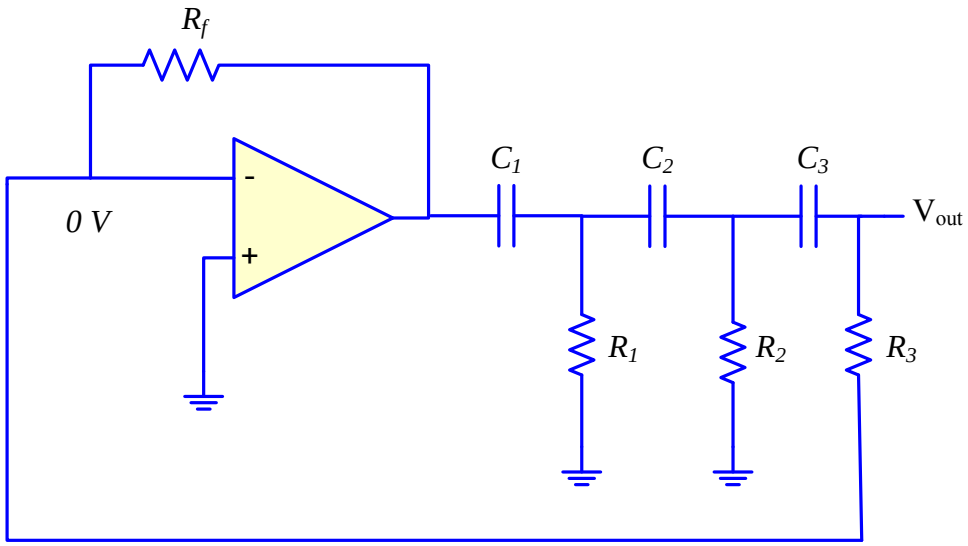
$$f_r = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(10\,\text{k})(0.005\,\mu\text{F})} = 3.184\,\text{kHz}$$

ب- باستخدام العلاقة (4- 4):

$$R_1 = 2R_2 = 2\times 2k\Omega = 4k\Omega$$

4- 1- 1- 2 مذبذب فرق الطور Phase-Shift Oscillator:

في هذا النوع من المذبذبات نستخدم ثلاث دوائر RC في مسار التغذية الراجعة (الشكل 4- 8) حيث تقوم كل دائرة من دوائر RC بإحداث فرق في زاوية الطور يقارب 90° . يحدث التذبذب على تردد محدد عندما يصبح فرق الطور الإجمالي للثلاث دوائر يساوي 180° ، لتحيق شرط التذبذب (صفر درجة) نحصل من مكبر العمليات العاكس على مما 180° مما يعطينا ما مجموعه 360° وهو ما يعادل الصفر في مسار التغذية الراجعة.



الشكل (4- 8) مذبذب فرق الطور.

يمكننا معرفة التوهين (Attenuation) في مسار التغذية الراجعة من خلال العلاقة:

$$B = \frac{1}{29} \qquad (4-5)$$

لذلك يجب أن يكون معامل التكبير لمكبر العمليات لا يقل عن 29 لتحقيق شرط التذبذب والذي يمكننا التحكم به من خلال المقاومات Rf و R_3.

يمكننا تحديد تردد التذبذب أو الرنين (Resonance) بالعلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \qquad (4-6)$$

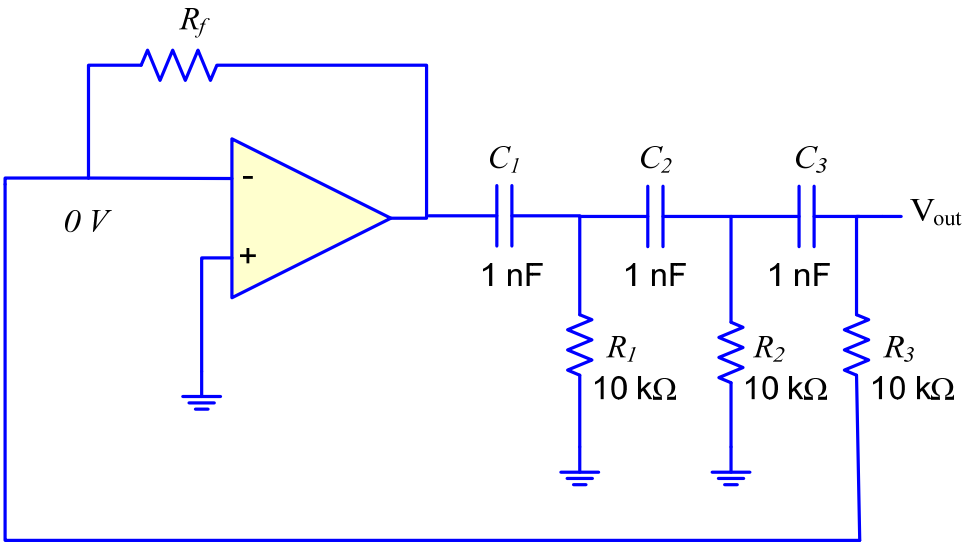
حيث إن:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R \quad and \quad C_1 = C_2 = C_3 = C$$

مثال 4- 2 :

أ- احسب قيمة R_f اللازمة لعمل الدائرة التالية كمذبذب.

ب- أوجد تردد الرنين للدائرة.



الشكل (4- 9)

الحل:

أ- وفقاً للعلاقة (4- 5) يجب أن يكون معامل التكبير يساوي 29 ، كما هو معلوم من العلاقة (1-5) فإن معامل التكبير لمكبر العمليات العاكس:

$$A_{CL(I)} = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$29 = \frac{R_f}{R_3}$$

$$R_f = 29\,R_3 = 29 \times 10\,k\Omega = 290\,k\Omega$$

ب- باستخدام العلاقة(4- 6):

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

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{6\times 10\,k\Omega\times 1\,nF}} = 6.5\,kHz$$

4- 1- 2 المذبذبات مع دائرة LC للتغذية الراجعة Oscillators with RC Feedback Circuits :

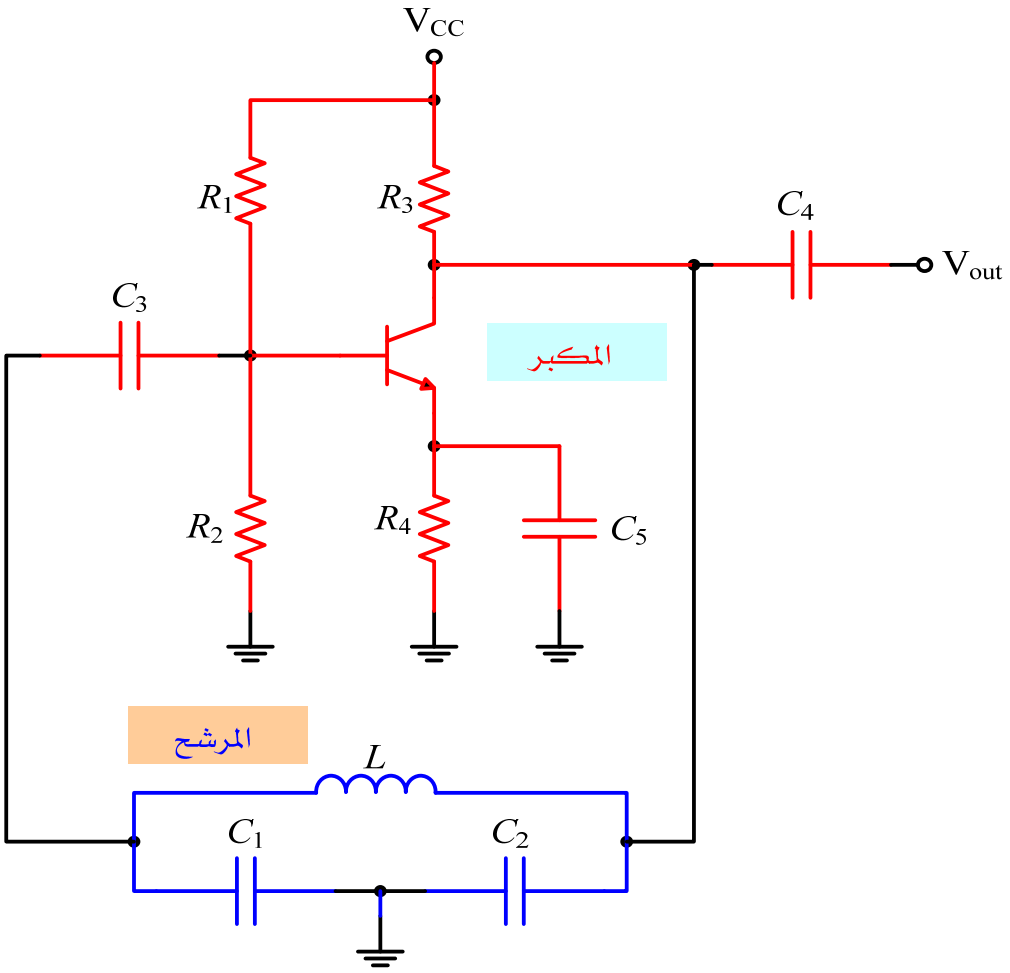
يستخدم هذا النوع من الدوائر للحصول على مذبذبات تعمل على ترددات عالية (أعلى من 1 MHz). للحصول على التكبير المطلوب تستخدم العناصر الالكترونية (الترانزستور BJT أوFET) كبديل عن مكبر العمليات وذلك لأن الترددات المطلوب توليدها عالية القيمة ولا يصلح مكبر العمليات في هذه الحالة (Lower unity-gain frequency). للحصول على فرق الطور المطلوب ومرشح الرنين تستخدم دوائر LC في مسار التغذية الراجعة.

هنالك أنواع مختلفة من هذه المذبذبات أهمها:

- مذبذب كولبت Colpitts Oscillator.
- مذبذب كلاب Clapp Oscillator.
- مذبذب ارمسترونج Armstrong Oscillator .
- مذبذب الكريستال Crystal-controlled Oscillator.
- مذبذب هارتلي Hartley Oscillator.

4- 1- 2- 1 مذبذب كولبت Colpitts Oscillator:

يظهر الشكل (4- 11) دائرة مذبذب كولبت مكون من مرشح نطاق معين BPF حيث يمرر تردد التذبذب المرغوب فيه فقط. يقوم جزء المرشح بتحقيق الشرط الأول والخاص بفرق زاوية الطور ويحقق المكبر (الترانزستور BJT) الشرط الثاني الخاص بمعامل التكبير المطلوب.



الشكل (4- 11) دائرة مذبذب كولبت.

يمكننا تحديد تردد الرنين للدائرة حسب العلاقة التالية:

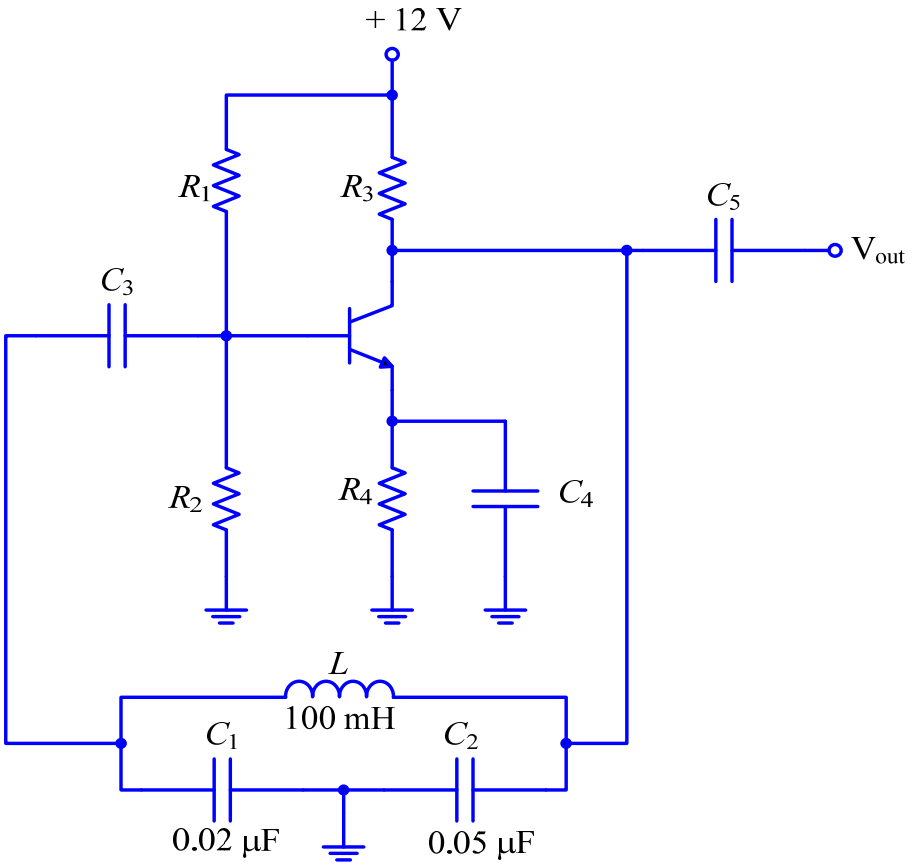
$$f_r \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \qquad (4\text{-}7)$$

حيث إن المكثفات C_1 و C_2 متصلات على التوالي، لذلك فإن السعة الكلية C_T

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (4-8)$$

مثال 4- 3:

احسب تردد المذبذب الموضح على الشكل أدناه:



الشكل (4- 12)

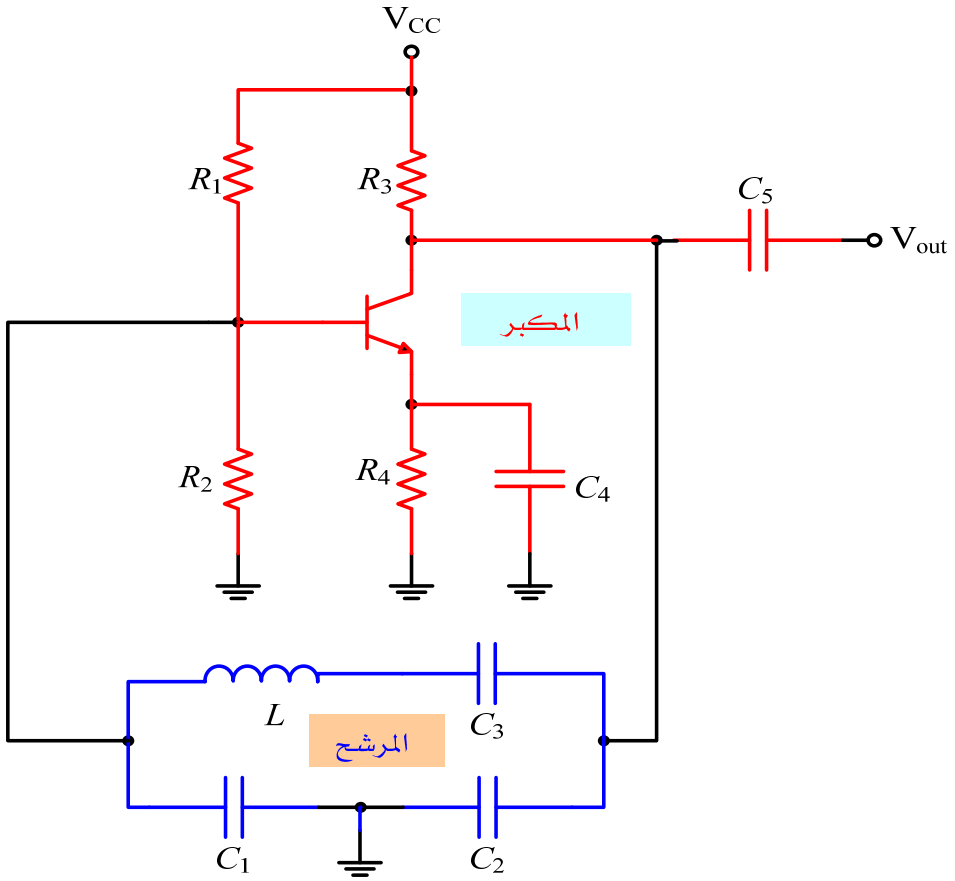
الحل:

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{(0.02\,\mu\text{F})(0.05\,\mu\text{F})}{0.02\,\mu\text{F} + 0.05\,\mu\text{F}} = 0.014\,\mu\text{F}$$

$$f_r \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(100\,\text{mH}) \times (0.014\,\mu F)}} = 4.255\,\text{kHz}$$

4- 1- 2- 2 مذبذب كلاب Clapp Oscillator

يعتبر هذا النوع من المذبذبات كنموذج معدل لمذبذب كولبت حيث تم إضافة مكثف (C_3) على التوالي مع الملف (L) حسبما هو موضح على الشكل (4- 13). أيضاً C_3 موصول على التوالي مع C_1 و C_2 .



الشكل (4- 13) دائرة مذبذب كلاب

يمكننا تحديد تردد الرنين للدائرة حسب العلاقة التالية:

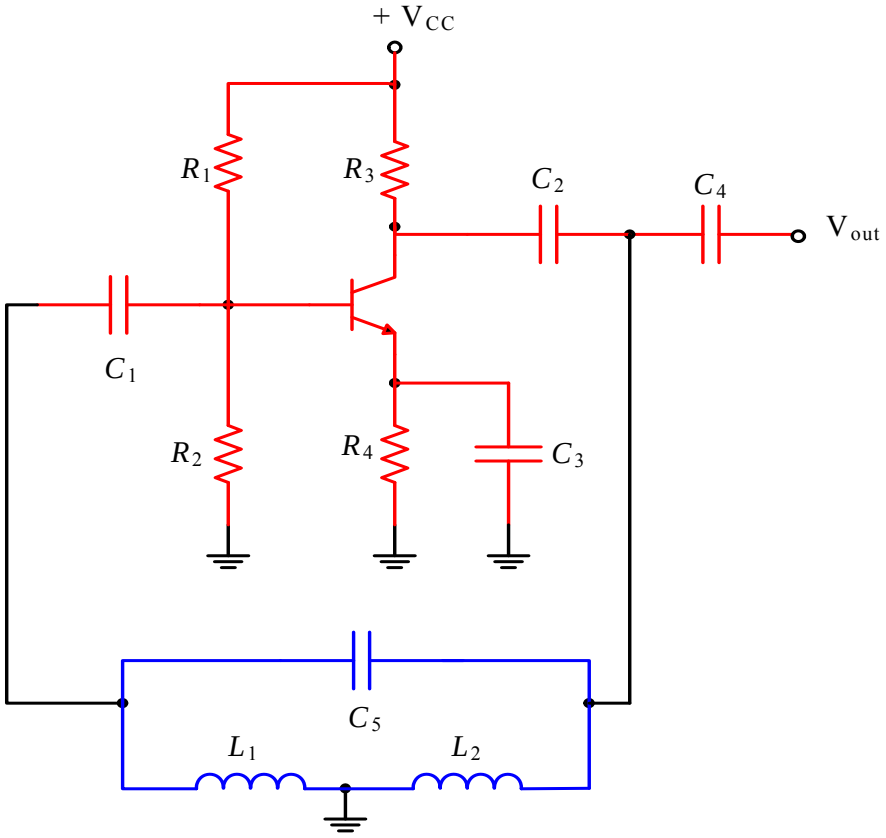
$$f_r \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \qquad (4-9)$$

حيث إن المكثفات C_1 ، C_2 و C_3 متصلات على التوالي، لذلك فإن السعة الكلية C_T :

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \qquad (4-10)$$

4- 1- 2- 3 مذبذب هارتلي Hartley Oscillator :

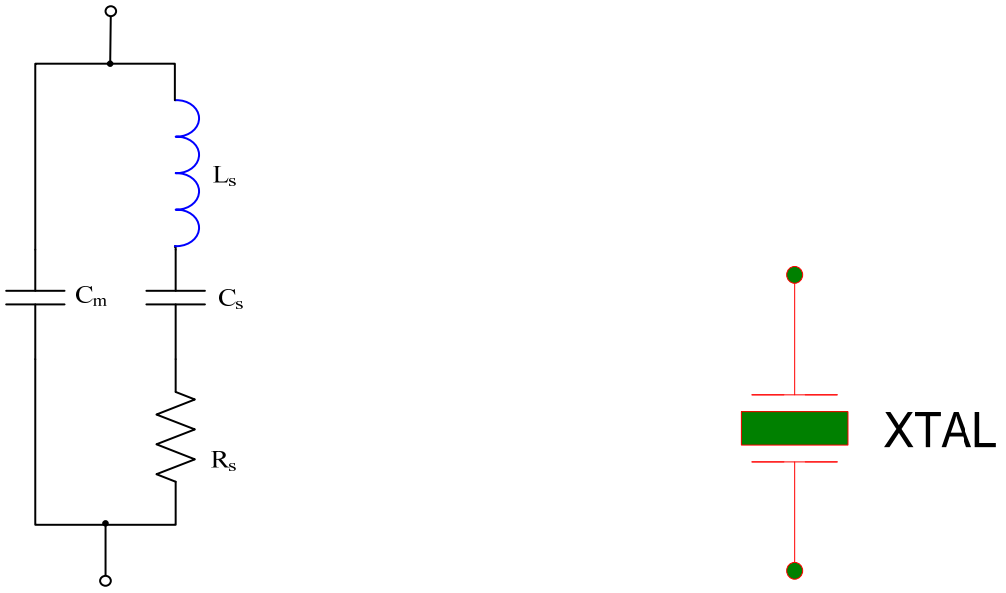
يعتبر هذا النوع من المذبذبات كنموذج معدل لمذبذب كولبت حيث تم إضافة ملف آخر (L_2) على التوالي مع الملف (L_1) مع الإبقاء على مكثف واحد على التوازي مع الملفين (الشكل 4- 14).



الشكل (4- 14) دائرة مذبذب هارتلي

4- 1- 3 المذبذب الكريستالي Crystal Oscillator :

إن أكثر المذبذبات دقة وثبات في الأداء هي التي تستخدم الكريستال (Crystal) في دائرة التغذية الراجعة للتحكم بقيمة التردد المراد توليده. الكريستال عبارة عن مادة طبيعية تولد ترددات دقيقة جداً حسب حجم القطعة. يرمز إلى المذبذبات الكريستالية كما في الشكل (4- 15- أ). يتكون الكريستال المستخدم في التطبيقات الالكترونية من رقاقة كريستال مثبتة بين قطبين (Electrodes) ومغلفة بغلاف خارجي للحماية.



(ب) (أ)

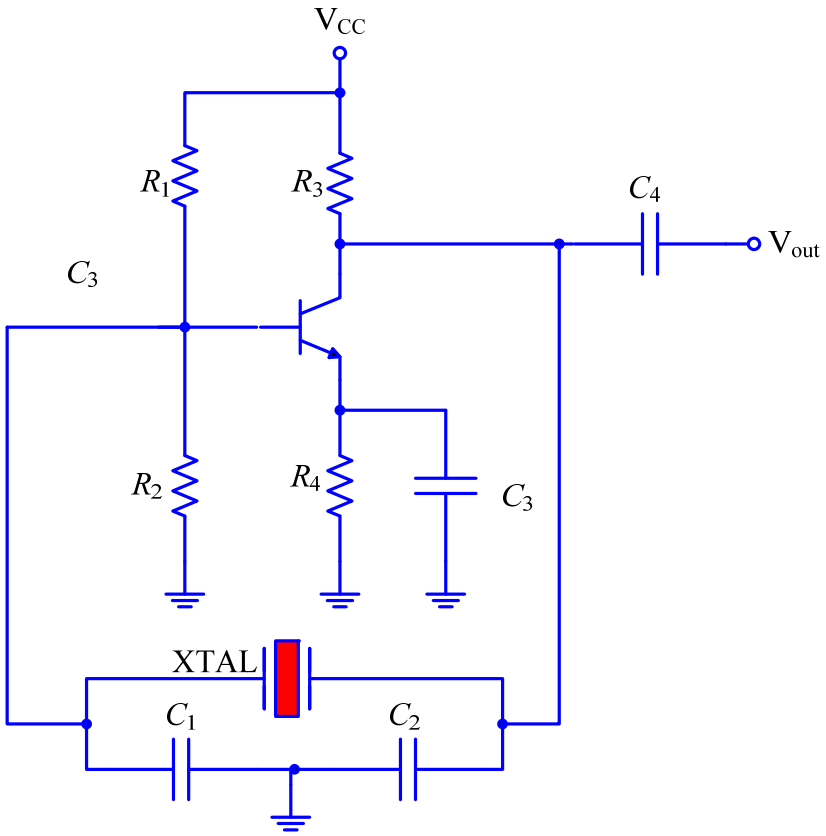
الشكل (4- 15) رمز الكريستال (أ) والدائرة الكهربائية المكافئة (ب)

مبدأ عمل الكريستال:

يتمتع الكريستال الطبيعي بخاصية فريدة تسمى ظاهرة الكهربائية الإجهادية (Piezoelectric Effect) والتي تعني أنه عندما تتعرض قطعة من الكريستال بحجم معين لحركة ميكانيكية خارجية فإنها تقوم بالتذبذب ويتكون جهد كهربائي على نفس تردد الذبذبة المتكونة والعكس صحيح بمعنى أنه عند توصيل جهد متناوب على قطعة الكريستال فإنها ستقوم بالتذبذب على نفس تردد الجهد الواصل عليها. للحصول على أفضل تذبذب للكريستال يجب استخدام تردد الرنين الخاص به حيث إن لكل قطعة كريستال وحسب حجمها وطريقة قطعها تردد الرنين الخاص بها.

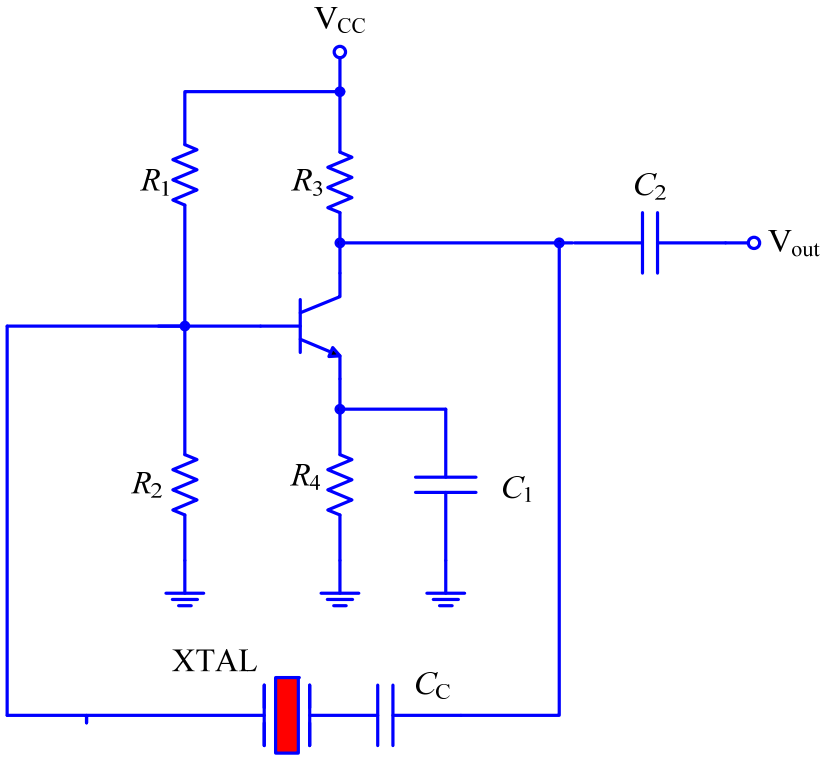
تتكون الدائرة الكهربائية المكافئة للكريستال من توصيلة مقاومة ومكثف وملف كما هو موضح على الشكل (4- 15 ب) حيث يمكن أن تعمل في رنين التوالي أو التوازي.

يوضح الشكل (4- 16) دائرة مذبذب كريستالي والذي هو عبارة عن مذبذب كولبتس معدل حيث تم استخدام الكريستال في حالة رنين التوازي (Parallel Resonance).



الشكل (4- 16) مذبذب كريستالي في حالة رنين التوازي

يمكننا استخدام الكريستال في دائرة المذبذب في حالة رنين التوالي (Series Resonance)كما هو موضح على الشكل (4- 17).



الشكل (4- 17) مذبذب كريستالي في حالة رنين التوالي

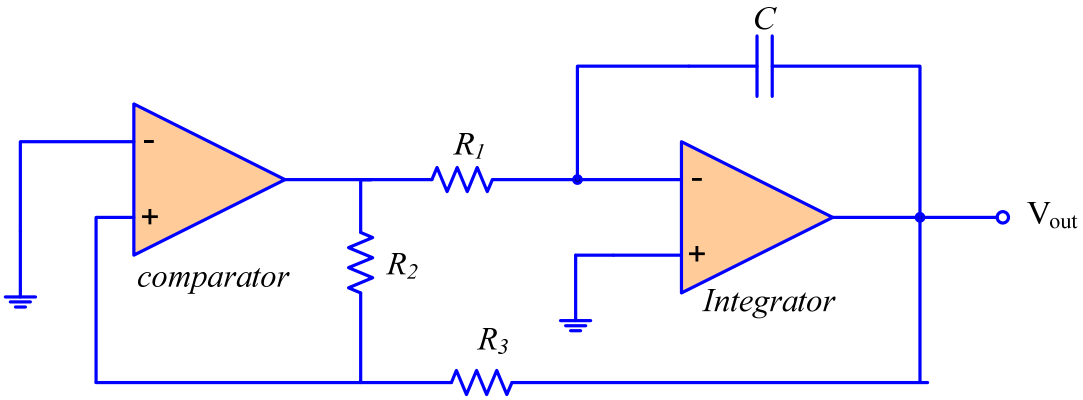
4- 2 مذبذبات الإشارات غير الجيبية Nonsinusoidal Waveforms Oscillators:

سوف نتعرف في هذا الجزء على دوائر توليد الذبذبات غير الجيبية (المربعة، المثلثة، المسننة، ...) والتي تعرف بـ (Relaxation Oscillators). في مثل هذا النوع من الدوائر يلزمنا دائرة مؤقت RC (RC Timing Circuit) وقطعة الكترونية تقوم بتبديل الحالة (Change State).

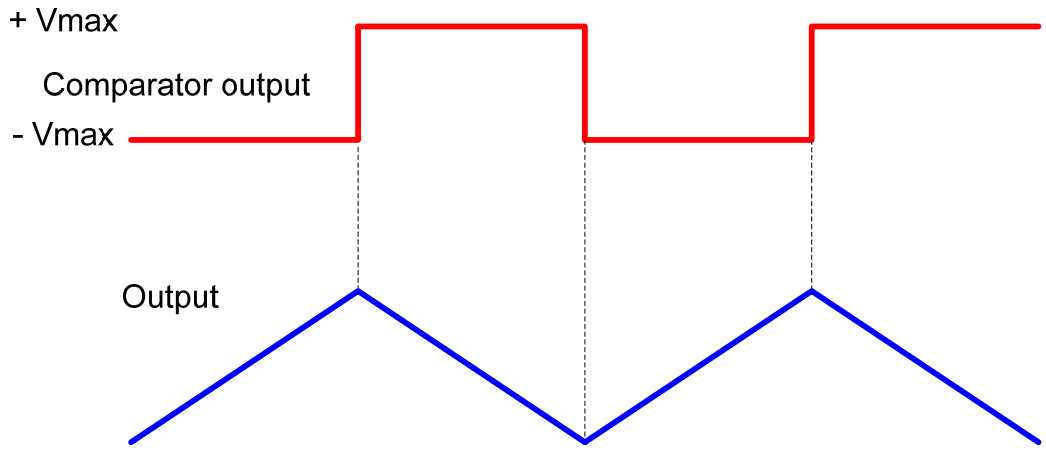
4- 2- 1 مذبذب الموجة المثلثة Triangular-Wave Oscillator:

يمكننا استخدام مكبر العمليات (مكبر التكامل) والذي درسناه في الوحدة الثانية كأساس لدائرة مذبذب الموجة المثلثة. يلزمنا استخدام مفتاح ثنائي القطبية في بداية الدائرة للتحويل من الموجب للسالب وبالعكس حتى نتمكن من الحصول على الموجة المثلثة (الصاعدة والهابطة). يوضح الشكل (4- 18) دائرة عملية للحصول على الموجة المثلثة حيث تم استخدام مكبر العمليات الأول في مقدمة الدائرة

كمقارن (Comparator) والذي يقوم بدور المفتاح ثنائي القطبية. يوضح الشكل (4- 19) الموجة الناتجة على مخرج المذبذب.



الشكل (4- 18) دائرة مذبذب موجة مثلثة



الشكل (4- 19) شكل الموجة الناتجة على مخرج المذبذب

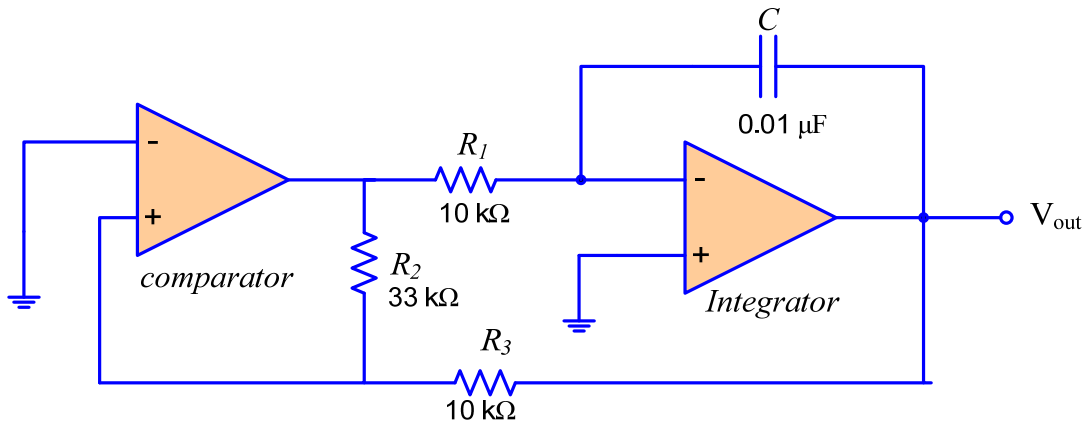
لحساب تردد التذبذب للدائرة السابقة نستخدم العلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{4 R_1 C}\left(\frac{R_2}{R_3}\right) \qquad (4\text{-}11)$$

مثال 4- 4:

أ- احسب تردد المذبذب الموضح على الشكل أدناه.

ب- احسب قيمة المقاومة R_1 اللازمة للحصول على تردد 20 kHz.



الشكل (4- 20)

الحل:

أ- باستخدام العلاقة (4- 11):

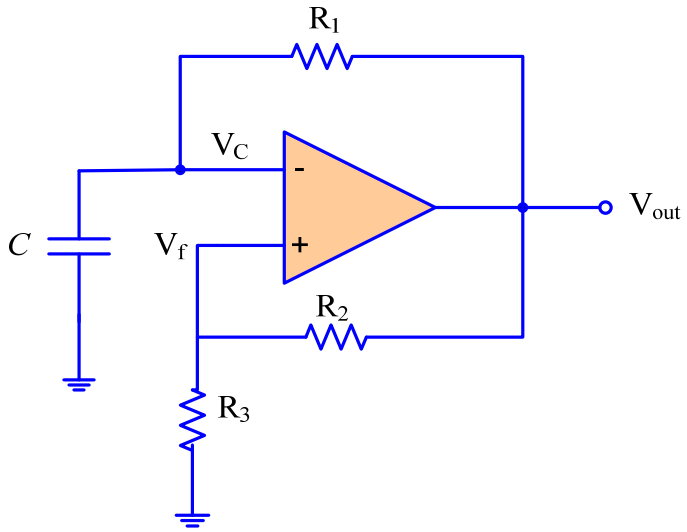
$$f_r = \frac{1}{4 R_1 C}\left(\frac{R_2}{R_3}\right) = \frac{1}{4\times 10\,k\Omega\times 0.01\,\mu F}\left(\frac{33\,k\Omega}{10\,k\Omega}\right) = 8.25\,kHz$$

ب- من العلاقة (4- 11) يمكننا إيجاد قيمة R_1 اللازمة للحصول على التردد المطلوب:

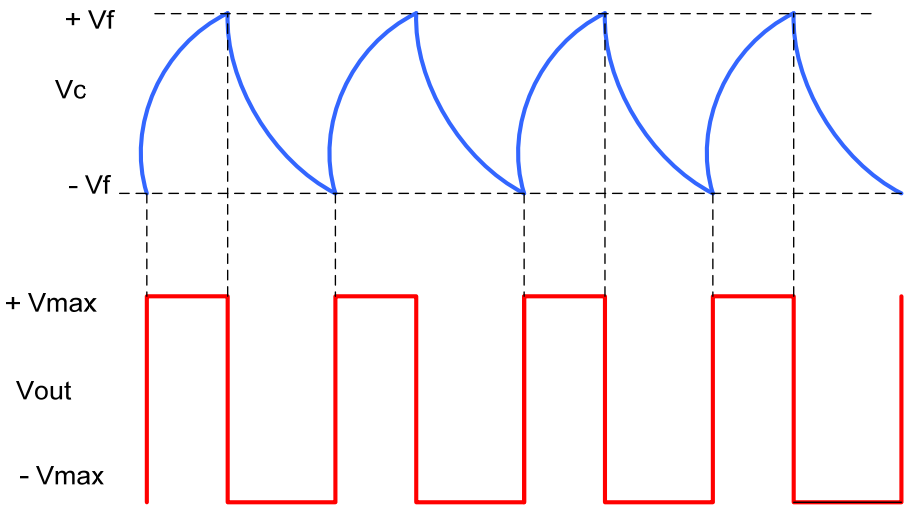
$$R_1 = \frac{1}{4\, f\, C}\left(\frac{R_2}{R_3}\right) = \frac{1}{4\times 20\,kHz\times 0.01\,\mu F}\left(\frac{33\,k\Omega}{10\,k\Omega}\right) = 4.13\,k\Omega$$

4- 2- 2 مذبذب الموجة المربعة Square-Wave Oscillator:

يوضح الشكل (4- 21) مولد الموجة المربعة والذي يستخدم المكثف C من أجل الشحن والتفريغ كما هو موضح على الشكل (4- 22).



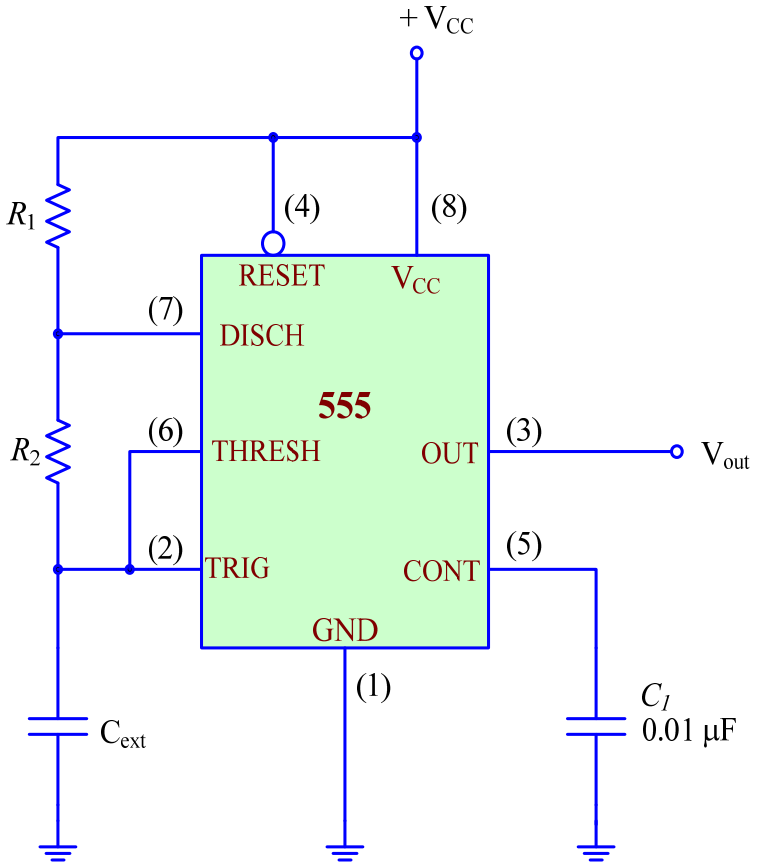
الشكل (4- 21) مولد ذبذبات الموجة المربعة



الشكل (4- 22) فكرة عمل مولد ذبذبات الموجة المربعة

4- 2- 3 مذبذب الموجة المربعة باستخدام المؤقت 555 Timer Square-Wave Oscillator

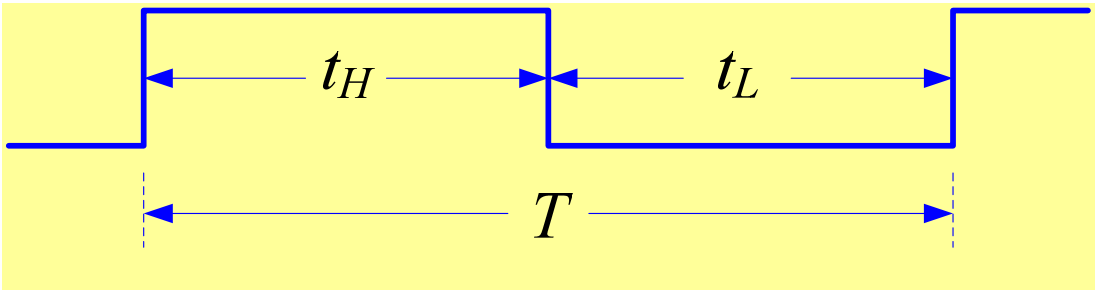
من أشهر الدوائر التي تُستخدم لتوليد الموجة المربعة هي دائرة المؤقت المتكاملة (555 Timer). إحدى التطبيقات الهامة تسمى عديم الاستقرار (Unstable) كما هو موضح على الشكل (4- 23).



الشكل (4- 23) مذبذب عديم الاستقرار باستخدام المؤقت 555

لحساب تردد الدائرة f_r يلزمنا حساب الزمن الدوري (T) للموجة المربعة (الشكل 4- 24) وفقاً للعلاقة التالية:

$$T = t_H + t_L \qquad (4\text{-}12)$$



الشكل (4- 24) الزمن الدوري للموجة المربعة.

حيث ترمز t_H إلى الزمن الذي تبقى فيه الموجة في الوضع العالي (High):

$$t_H = 0.694(R_1 + R_2)C_{ext} \quad (4\text{-}13)$$

والزمن t_L هو الزمن الذي تبقى فيه الموجة في الوضع المنخفض (Low):

$$t_L = 0.694R_2C_{ext} \quad (4\text{-}14)$$

بعد تعويض (4- 13) و (4- 14) في العلاقة (4- 12) يكون الزمن الدوري للموجة:

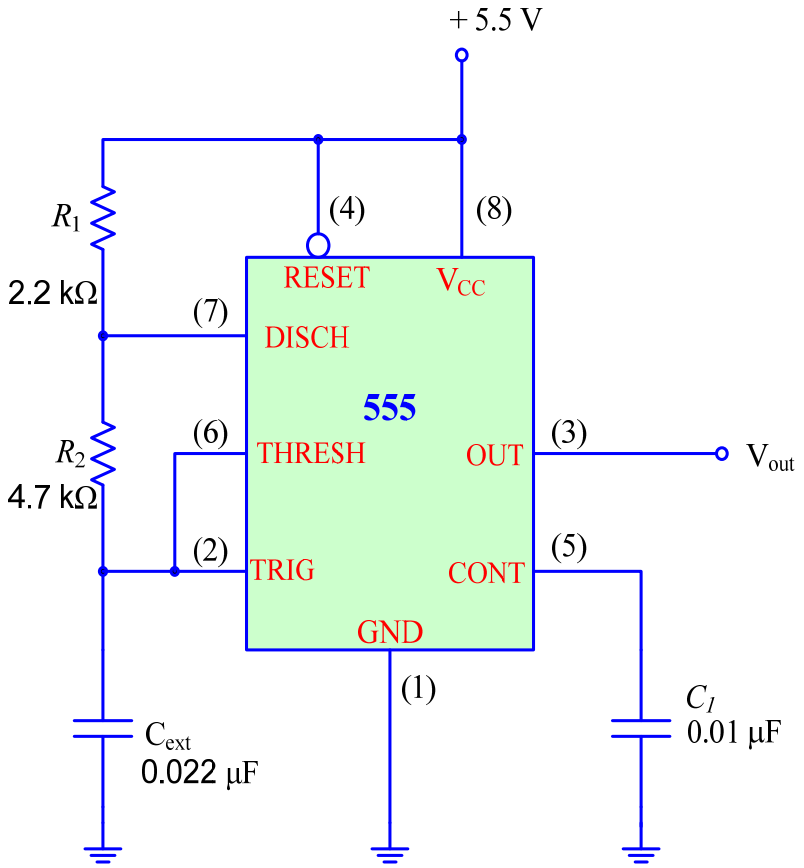
$$T = t_H + t_L = 0.694\left(R_1 + 2R_2\right)C_{ext} \quad (4\text{-}15)$$

ويمكن حساب التردد بالعلاقة المعروفة:

$$f_r = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{\left(R_1 + 2R_2\right)C} \quad (4\text{-}16)$$

مثال 4- 5 :

احسب تردد المذبذب الموضح على الشكل أدناه.



الشكل (4-25)

الحل:

باستخدام العلاقة (4- 16):

$$f_r = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1.44}{(2.2\,\text{k}\Omega + 2\times 4.7\,\text{k}\Omega)0.022\,\mu\text{F}} = 5.64\,\text{kHz}$$

أسئلة وتمارين

1- ما هي أهم أنواع الإشارات المستخدمة في الالكترونيات والاتصالات (مع الرسم)؟

2- أشرح مبدأ عمل مذبذبات RC.

3- أشرح مبدأ عمل المذبذبات غير الجيبية.

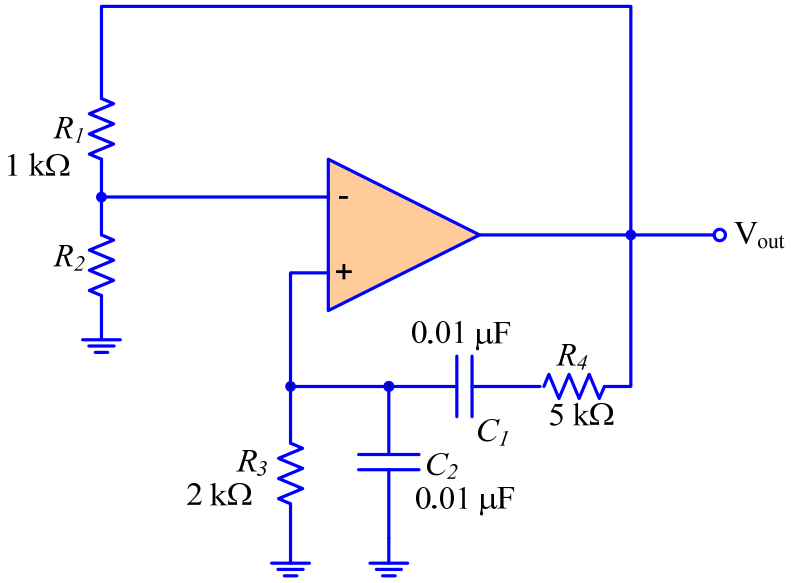
4- ما هي شروط عمل مذبذبات التغذية الراجعة؟

5- لديك دائرة مذبذب على الشكل (4- 26).

أ- ما نوع المذبذب؟

ب- احسب تردد الرنين للمذبذب.

جـ- احسب قيمة المقاومة R_2.



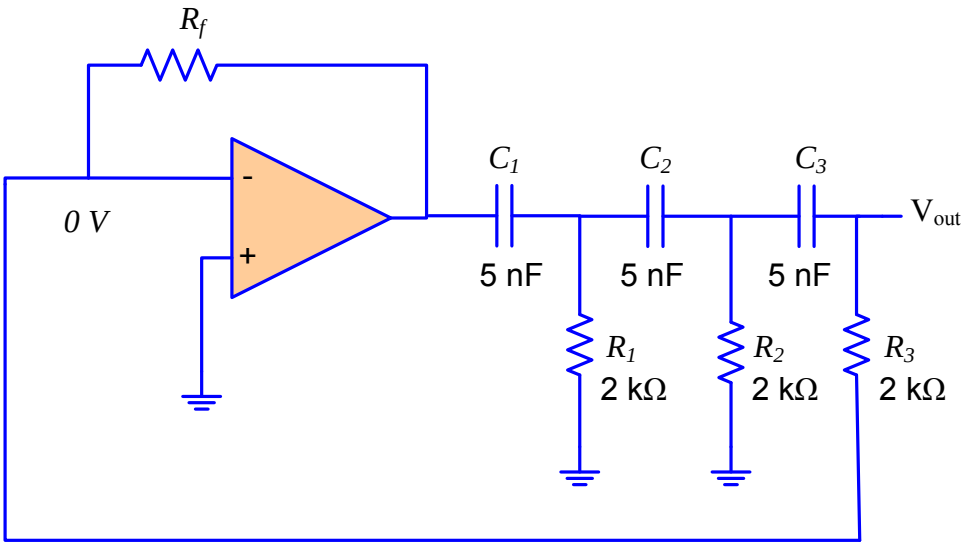
الشكل (4- 26)

6- لديك دائرة مذبذب على الشكل (4- 27):

أ- ما هو نوع المذبذب؟

ب- احسب قيمة R_f اللازمة لعمل الدائرة التالية كمذبذب.

جـ- أوجد تردد الرنين للدائرة.



الشكل (4- 27)

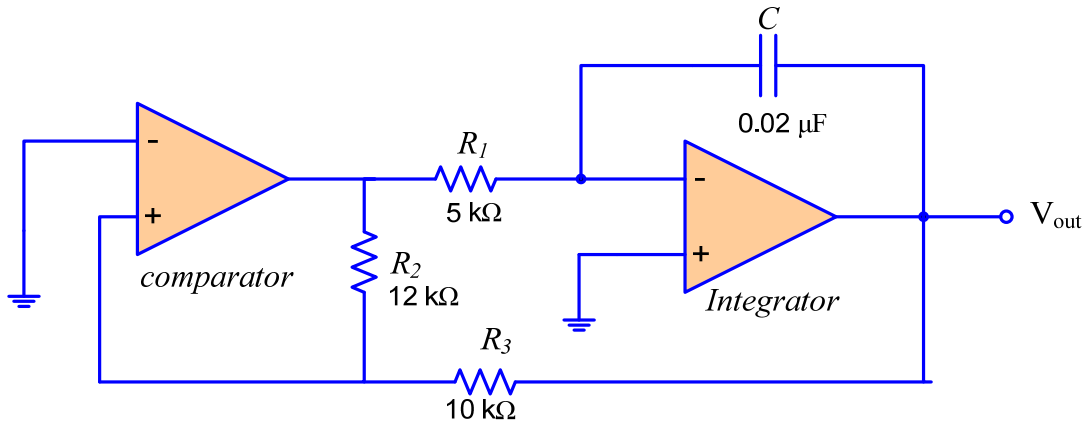
7- ما هو الفرق بين مذبذب كلاب ومذبذب كولبت؟

8- أشرح مبدأ عمل المذبذب الكريستالي.

9- لديك دائرة مذبذب على الشكل (4- 28):

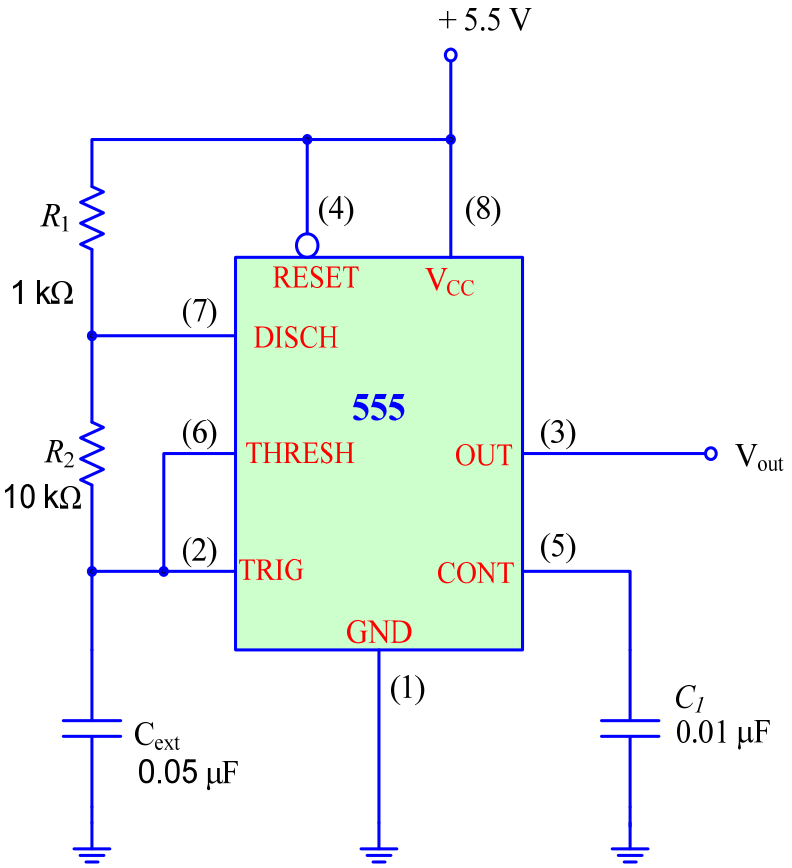
أ- احسب تردد المذبذب الموضح على الشكل أدناه.

ب- احسب قيمة المقاومة R_1 اللازمة للحصول على تردد 50 kHz.



الشكل (4- 28)

10- احسب تردد المذبذب الموضح على الشكل أدناه.


+ 5.5 V
R_1
1 kΩ
R_2
10 kΩ
(4)
(8)
RESET
V_{CC}
(7)
DISCH
555
(6)
THRESH
OUT
(3)
V_{out}
(2)
TRIG
CONT
(5)
GND
(1)
C_{ext}
0.05 µF
C_1
0.01 µF

الشكل (4- 29)