الباب الثالث

دوائر المذبذبات

3-1 شروط التذبذب – تخطيط يمثل مكونات المذبابات الاساسية –

التصنيف العام للمذبابات:

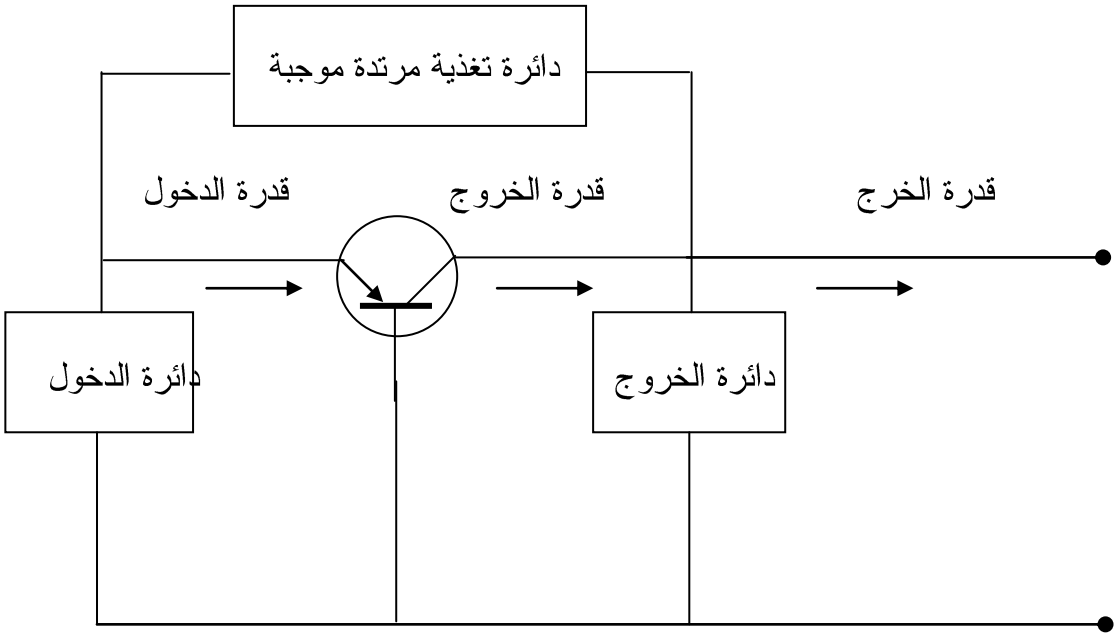
1- شروط التذبذب:

أ- وجود دائرة تذبذب وهي إما أن تكون دائرة محاثة وسعة (LC) ، أو دائرة مقاومة وسعة (RC) ، أو دائرة بللورة وتحدد قيمة تردد الاشارة المراد توليدها

ب- وجود مكبر حتى يأخذ جزء من قدرة خرجه لتعويض الفقد في دائرة التذبذب

ج- وجود نظام للتغذية الخلفية الموجبة حتى يستمر التذبذب ولا يتلاشى

2- تخطيط يمثل مكونات المذبابات الاساسية:



شكل (3-1)

شكل(3-1) يمثل رسم مبسط لدائرة مذبذب ترانزستور موضحا كيف يتم تقسيم قدرة الخروج بين الحمل والتغذية المرتدة ولضمان استمرارية التذبذب يجب ان يكون كسب القدرة لدائرة التكبير أكبر في الوحدة

نظراً لتقسيم الخرج بين دائرة الحمل ودائرة التغذية الخلفية (المرتدة) وعندما يصير كسب قدرة المكبر أقل من الواحد- تقل سعة التذبذب بمرور الوقت إلى ان تتلاشى كلية – وتوضع دائرة التذبذب إما في دائرة القاعدة أو في دائرة المجمع.

3- التصنيف العام للمذبابات :

يمكن تقسيم المذبذبات إلى نوعين طبقاً لشكل موجة الجهد المولدة

النوع الأول : ويسمى المذبذبات الجيبية وفيها تتبع موجة الجهد المولد دالة الجيب أي يتغير فرق الجهد بين طرفي المخرج طبقاً لتغير هذه الدالة مع الزمن والواقع انه يمكن إعادة تقسيم هذا النوع من المذبابات إلى قسمين:

القسم الأول: يحتوي على دوائر رنين مكونة من ملفات ومكثفات

القسم الثاني يحتوي على دوائر مكونة من مقاومات ومكثفات

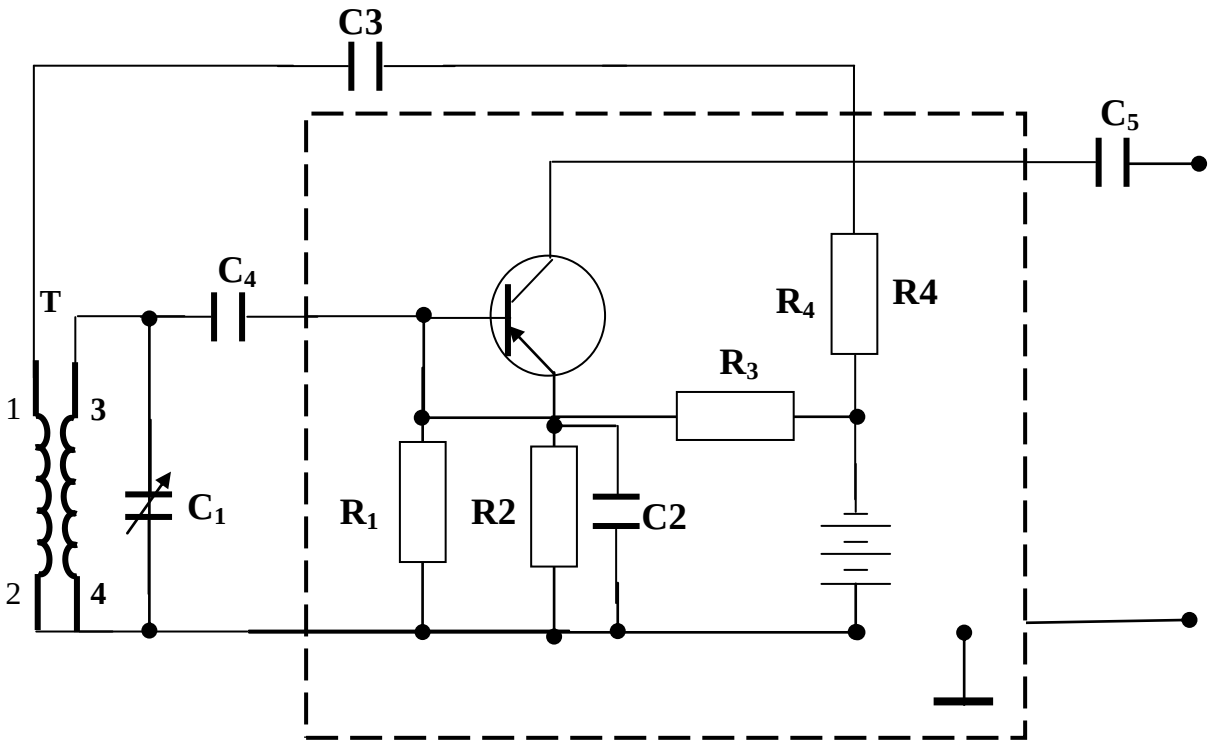
النوع الثاني: ويسمى بمذبابات التراخي، وعادة يتغير فرق الجهد بين طرفي مخرجها طبقاً لدالة أسيه خلال فترة زمنية معينة وحتى يصل هذا الفرق في الجهد إلى قيمة معينة ثم ينتقل فجأة إلى قيمة أخرى تتغير بعدها طبقاً للدالة الأسية وهكذا.

وفي دوائر كثيرة يمكن تحويل المذبذب الجيبي إلى مذبذب متراخي بتغيير قيمة بعض عناصر الدائرة

3-2 مذبابات الموجة الجيبية:

3-2-1 مذبابات الحث والسعة LC (ار مسترونج – هارتللي – كولبتس – المذبذب البللوري)

1- مذبذب LCتنعيم القاعدة :



شكل (3-2)

شكل (3–2) يبين دائرة مذبذب LC تنغيم قاعدة وتستخدم بطارية واحدة لتغذية الترانزستور بالجهود المستمرة اللازمة لتشغيله.

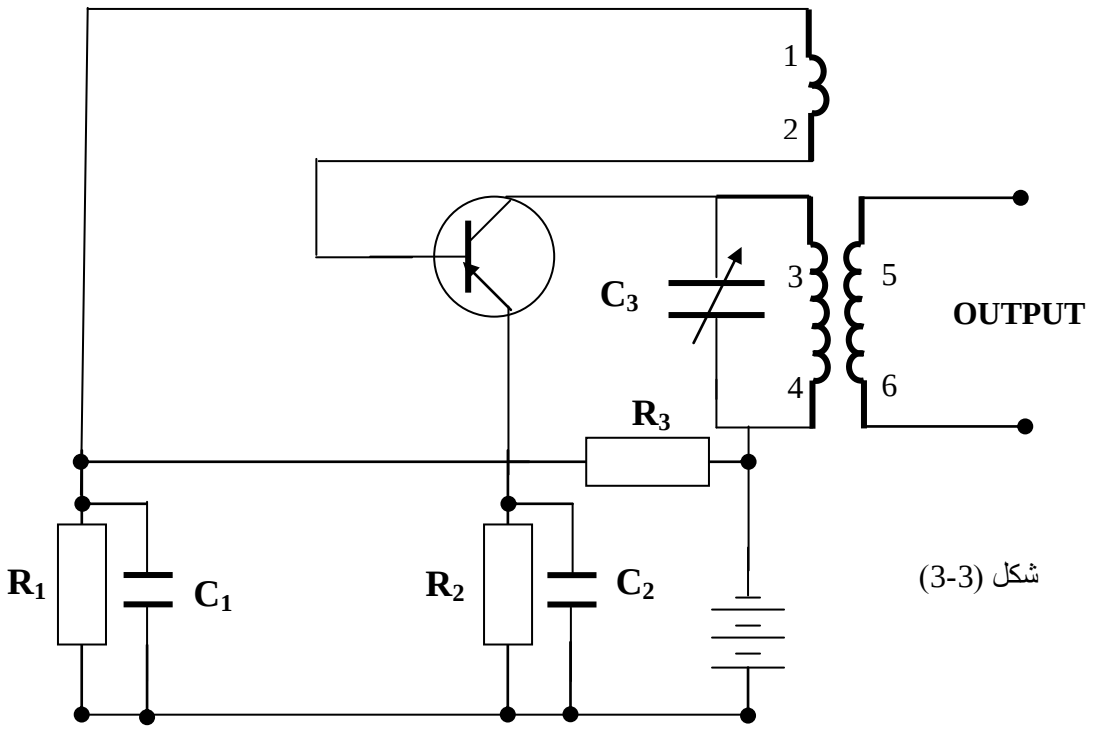
وتقوم المقاومات R4, R2 , R1 بتزويد الترانزستور بجهود الانحياز الامامية والعكسية اللازمة والمقاومة R2 هي مقاومة استقرار المشع والمكونات المحددة بمربع فقط تكون مكبر تراتزستور وتوصل التغذية الخلفية من المجمع عن طريق المكثف C3 لمنع التيار المستمر من الوصول إلى الملف الابتدائي للمحول T

وتتم التغذية الخلفية بواسطة الحث المتبادل بين ملفي المحول T . وحيث ان الترانزستور يحقق اختلاف زاوية وجه بين الدخل والخرج مقداره 180° والمحول يحقق ايضاً اختلاف زاوية وجه مقداره 180° وبذلك يكون اختلاف زاوية الوجه الكلي بين الدخل والخرج للمذبذب 360° أو صفر.

دائرة التنغيم التي تتكون من الملف الثانوي للمحول T ومن المكثف المتغير C1 هي عنصر تحديد تردد المذبذب ويسمح المكثف المتغير C1 بالتنغيم على مدى الترددات المطلوبة ويربط المكثف C4 اشارة التذبذب إلى قاعدة الترانزستور وفي نفس الوقت يمنع وصول التيار المستمر إلى الملف

المكثف C2 يمرر اشارة التيار المتغير بعيداً عن مقاومة المشع R2 ويوصل مكثف الربط C5 اشارة الخرج من المحصل (المجمع) إلى الحمل.

2- مذبذب LC منغم المجمع:



شكل (3-3)

شكل (3–3) يبين دائرة مذبذب LC منغم المجمع وفي هذه الدائرة تقوم المقاومتان R3, R1 بتزويد القاعدة والمجمع بجهد الانحياز اللازم لهما ، والمقاومة R2 عبارة عن مقاومة المشع لاستقرار الانحياز والمكثفان C2, C1 يمرران التيار المتغير حول R2, R1 بالترتيب.

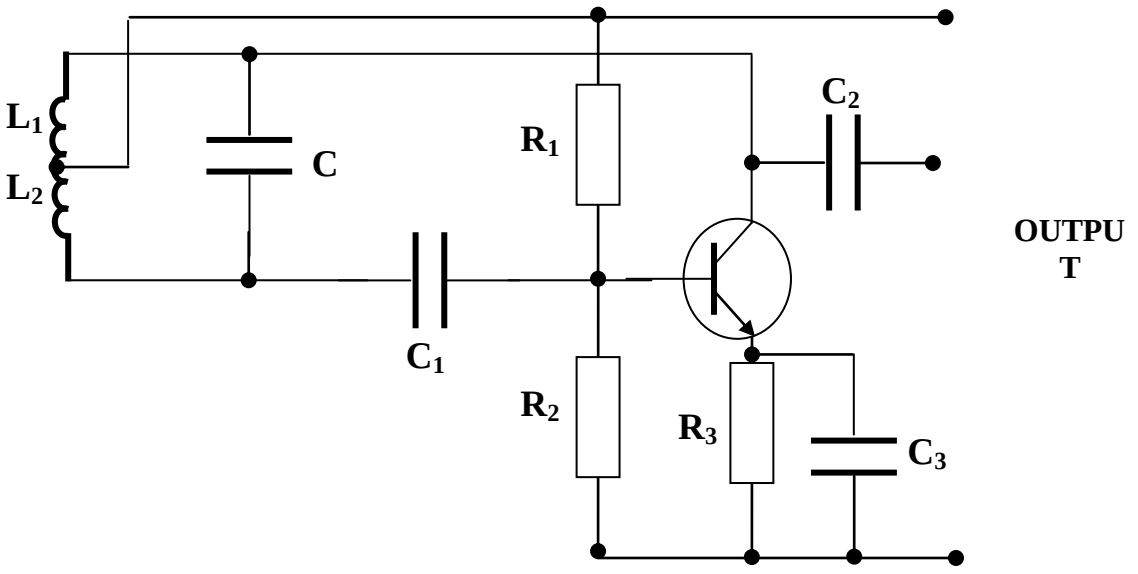
تتكون دائرة التنغيم من الملف الابتدائي 3 ، 4 للمحول T ومن المكثف المتغير C3 وتتم عملية التغذية الخلفية من الملف الثانوي 1، 2 للمحول T إلى دخل الدائرة. أما الملف الثانوي 5، 6 فينقل اشارة الخرج من المحول.

وحيث ان المحول يحقق اختلاف وجه قدرة 180° وكذلك الترانزستور يحقق اختلاف وجه قدره 180° وبذلك يكون اختلاف زاوية الوجه الكلي بين الدخل والخرج للمذبذب هو 360° أو صفر . أي ان التغذية الخلفية موجبة.

3- مذبذب هارتللي:

شكل (3–4) يبين الدائرة العملية لمذبذب هارتللي وهو تتكون من مكبر ترانزستور موصل بطريقة المشع المشترك والمقاومتان R2, R1 تستخدمان للحصول على انحياز القاعدة.

وتتكون دائرة الرنين من الملفين L1, L2 والمكثف C وتوصل نقطة منتصف الملفان بمصدر تغذية الجهد المستمر للدائرة.

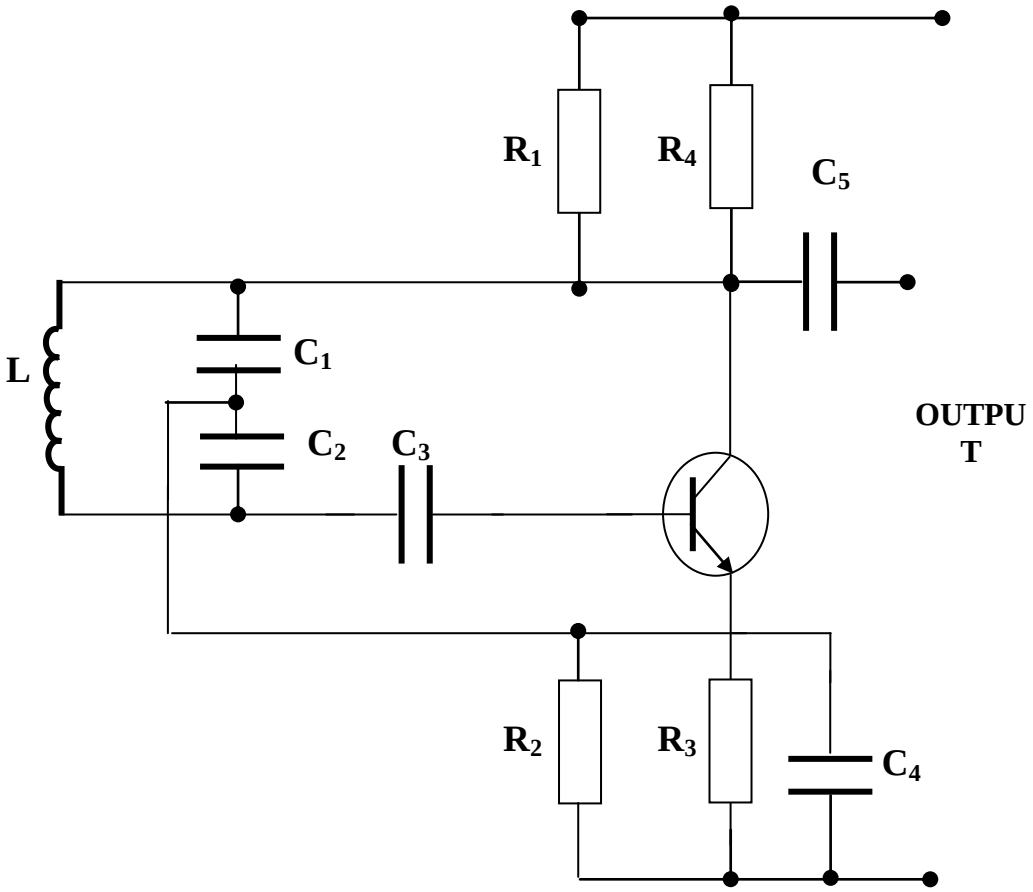


شكل (3-4)

لكي يعمل المذبذب تستخدم تغذية خلفية موجبة بمقدار كاف لحدوث التذبذب وحيث ان الترانزستور يحقق اختلاف زاوية وجه بين الدخل والخرج مقداره 180° وكذلك تحقق ايضاً دائرة التغذية الخلفية المكونة من الملفان L2, L1 اختلاف زاوية وجه 180° فإنه يتحقق اختلاف زاوية وجه كلي مقدارها 360° بين دخل وخرج المذبذب أو صفر . أي ان التغذية الخلفية تكون موجبة . ويقل مقدار التغذية الخلفية كلما قربت نقطة المنتصف من النقطة B .

والمقاومة R3 هي مقاومة المشع لاستقرار الانحياز والمكثف C3 يمنع التيار المستمر من الوصول إلى دائرة الرنين ويأخذخرج المذبذب من طرف المكثف C2.

4- مذبذب كولبتس:



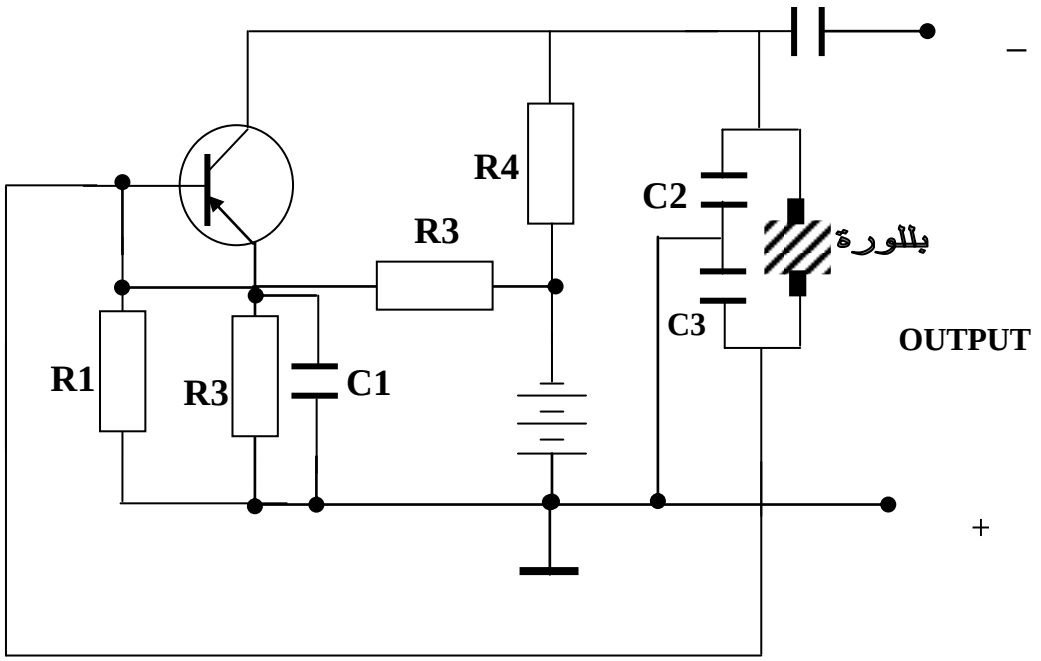
شكل (3-5)

تتكون دائرة مذبذب كولبتس كما في شكل (3-5) من مكبر ترانزستور، ذو مشع مشترك تقوم فيه المقاومتان R2, R1 بمد القاعدة بجهد الانحياز اللازم كما ان المقاومة R3 لاستقرار الانحياز، اما المقاومة R4 فهي مقاومة حمل المجمع ويوصل المكثف C4 لامرار التيار المتغير حول مقاومة المشع R3 ويستخدم المكثف C3 للربط.

دائرة الرنين تتكون من المكثفين C2,C1 ,L والملف ونقطة توصيل المنتصف هنا بين المكثفين C2, C1 وعليها جهد يعادل جهد المشع. وتتم التغذية الخلفية الموجبة عن طريق المكثفان C2, C1 حيث يتحقق اختلاف زاوية الوجه لأطراف دائرة الرنين بمقدار 180° كما يحقق الترانزستور اختلاف 180° بين الدخل والخرج وبذلك يكون اختلاف زاوية الوجه الكلي بين الدخل والخرج للمذبذب 360° أو صفر اي أن التغذية الخلفية موجبة .ويكون المكثفان C1 ,C2 مجزئ جهد ويكون فرق الجهد الناتج بين طرفي المكثف C1 هو جهد التغذية الخلفية ويمكن

ضبط التردد ومقدار جهد التغذية الخلفية بواسطة أي أو كل من المكثفين C2,C1 ويأخذ جهد الخرج من طرف المكثف C5.

5- المذبذب البللوري:



شكل (3-6)

المذبذب البللوري يمتاز بكفاءة عالية في ثبات التردد عن المذبابات السابقة الذكر إلا أنه ذو قدرة بسيطة.

بللورة الكريستال كدائرة اهتزازية:

اذا وضعت قطعة بللورة من نوع الكوارتز على هيئة شريحة (متوازي مستطيلات) بين لوحين معدنيين وحدث انضغاط على اللوحين المعدنيين يظهر فرق جهد على هذين اللوحين حيث ان الكوارتز له خاصية تعرف باسم الخاصية الكهربائية الديناميكية(الكهروديناميكيه).

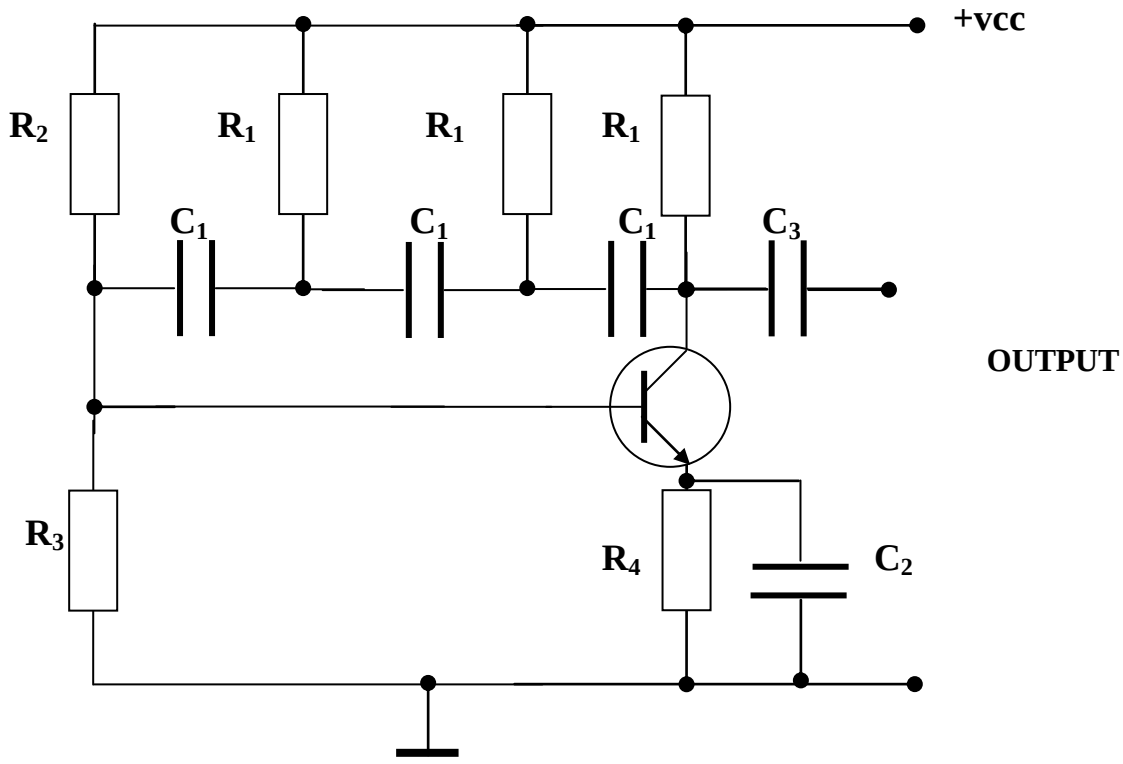
وللبلورة تردد ذاتي للحركة ، فعندما يقع ضغط على وجهى البلوره له نفس التردد المعادل لتردد البللورة فإن قطعة البللورة هذه سوف تتمدد وتنكمش اكثر مما ينتج عنه عند ترددات أخرى – وشريحة البللورة بمفردها تعتبر دائرة رنين توالي وعند وضع هذه الشريحة بين لوحين معدنيين تصبح دائرة رنين توازي . ويتوقف مقدار التردد على سمك وطريقة قطع ونوع ودرجة نقاء شريحة بللورة الكوارتز.

ولدقة البللورة وحساسيتها العالية يجب حمايتها من الصدمات الميكانيكية والكهربائية وذلك بوضعها داخل اوعية واقية.

وشكل (3-6) يبين أحد أنواع مذبذب الكريستال ويلاحظ أنه ذا استبدلنا البللورة بالدائرة المكافئة لها فإن عمل هذا المذبذب يماثل عمل مذبذب كولبتس السابق شرحه

المقاومتان R2, R1 تستخدمان لانحياز القاعدة والمقاومة R3 لاستقرار انحياز المشع أما المقاومة R4 هي عبارة عن مقاومة حمل المجمع والمكثف C1 عبارة عن مكثف تمرير مقاومة المشع ويتم عكس وجه اشارة التغذية الخلفية 180° بواسطة دائرة تجزئة الجهد C3, C2 والوصلة بين المكثفين توصل بالارض بحيث ان فرق الجهد الناتج بين طرفي C3 يسلط بين القاعدة والارض. وبهذا تحصل على انعكاس الوجه 180° هذا بالاضافة إلى أن دائرة المشع المشترك تعطي انعكاس وجه 180° فيصبح الاختلاف الكلي لزاوية 360° أو صفر بين الدخل والخرج . ويتمدد تردد تذبذب الدائرة بواسطة البللورة والمكثفات المتصلة على التوازي معها.

3-2-2 مذبابات المقاومة والمكثف RC:



شكل(3-7)

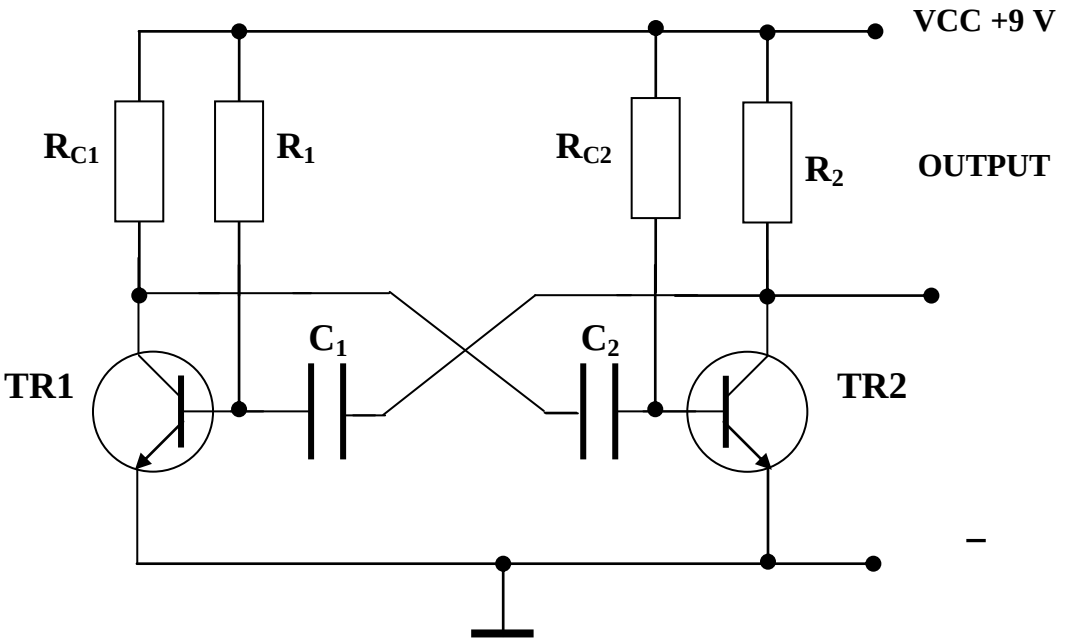
لما كان مذبذبات التردد العالي تستخدم عادة دائرة رنين مكونة من مكثف وملف (LC) وحيث ان الحجم الطبيعي للعناصر (الملف والمكثف) يكون صغيراً عند هذه الترددات – بينما في التردد المنخفض يصبح الحجم لمكونات دائرة الرنين كبير جداً ومن الصعب صناعته لذلك يستخدم مذبذب مكون من مكثف ومقاومة (RC) لتوليد الترددات المنخفضة في نطاق الترددات المذكورة.

والشكل يبين دائرة لمذبذب المقاومة والمكثف حيث تستخدم ترانزستور ذو مشع مشترك يعطي اختلاف زاوية وجه 180° بين الدخل والخرج. ودائرة التغذية الخلفية تعطي اختلاف زاوية وجه كلي 180° وتتكون من ثلاثة مقاطع متشابهة من دوائر (RC) كل مقطع يعطي عند تردد التذبذب اختلاف زاوية وجه 60° بين تيار الدخل والخرج وبذلك تحقق المقاطع الثلاثة معاً

اختلاف زاوية وجه كلي 180° ويصبح اختلاف زاوية الوجه الكلي عند تردد التذبذب هو 360° او الصفر بين الدخل والخرج وهو شرط استقرار الدائرة وتذبذبها والمقاومتان R2, R3 تستخدمان لانحياز القاعدة والمقاومة R4 لاستقرار الانحياز ويوصل المكثف C2 لامرار التيار المتغير حول المقاومة R4 ويأخذ الخرج من طرف المكثف C3 .

3-3 مذبذبات الموجة الغير جيبية:

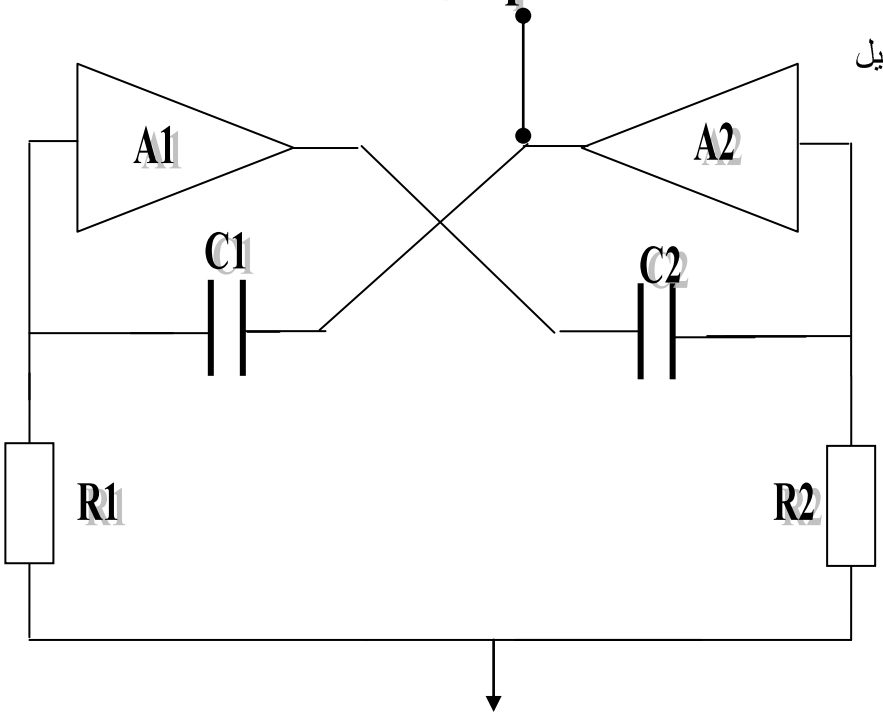
متعدد الاهتزازات (احادي الاستقرار – ثنائي الاستقرار – حر التشغيل)

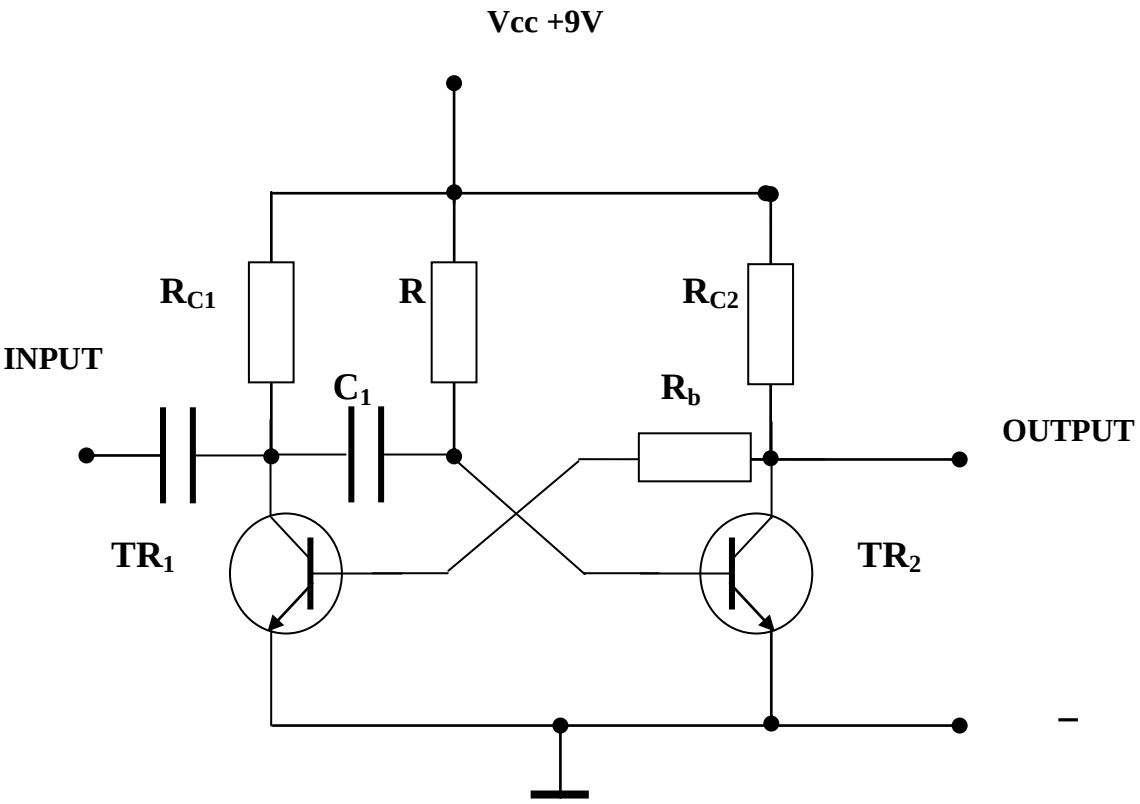


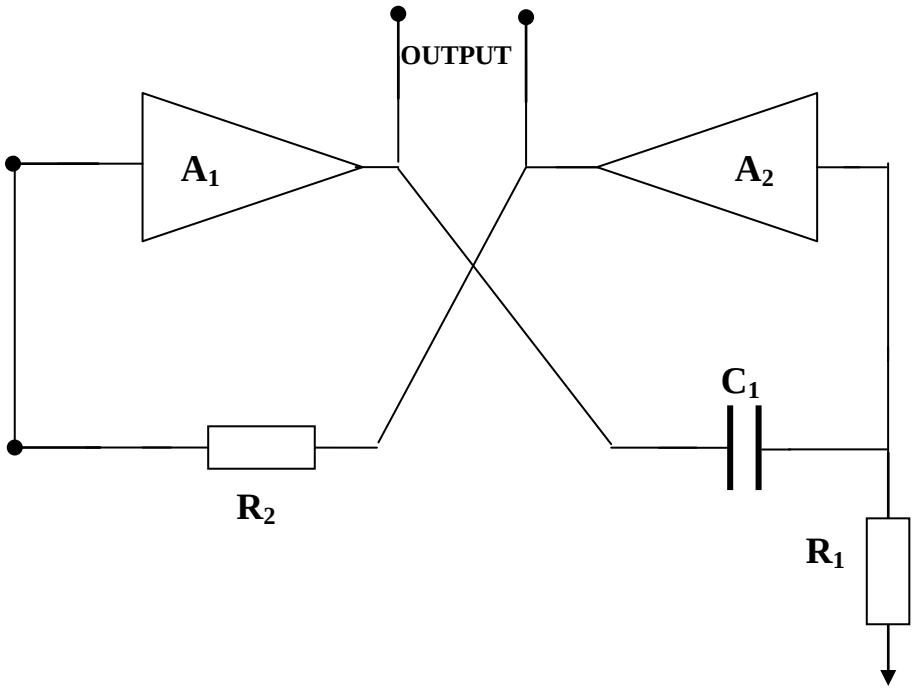
–

Output

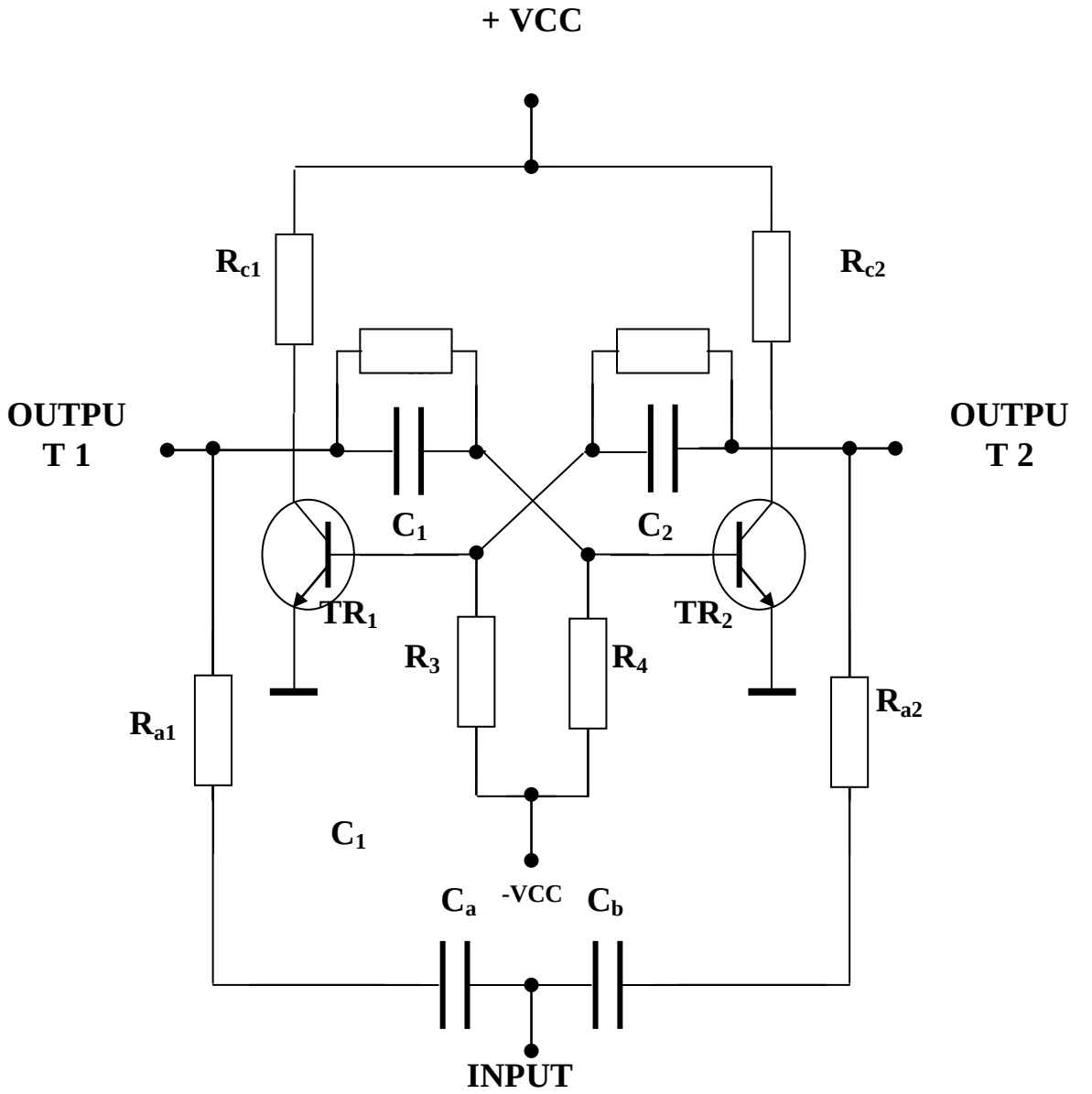
حر ا لتشغيل

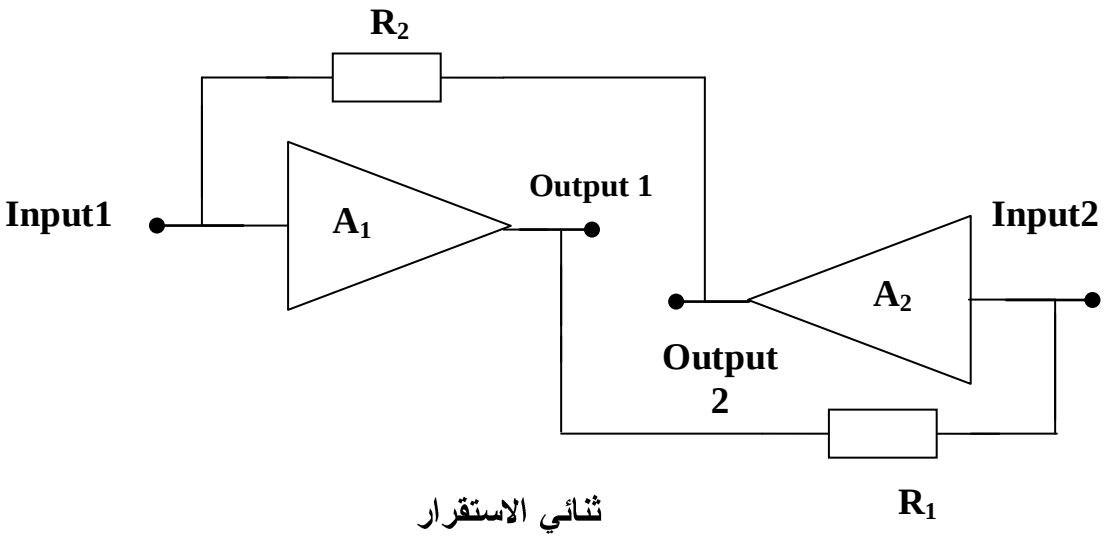






احادي الاستقرار



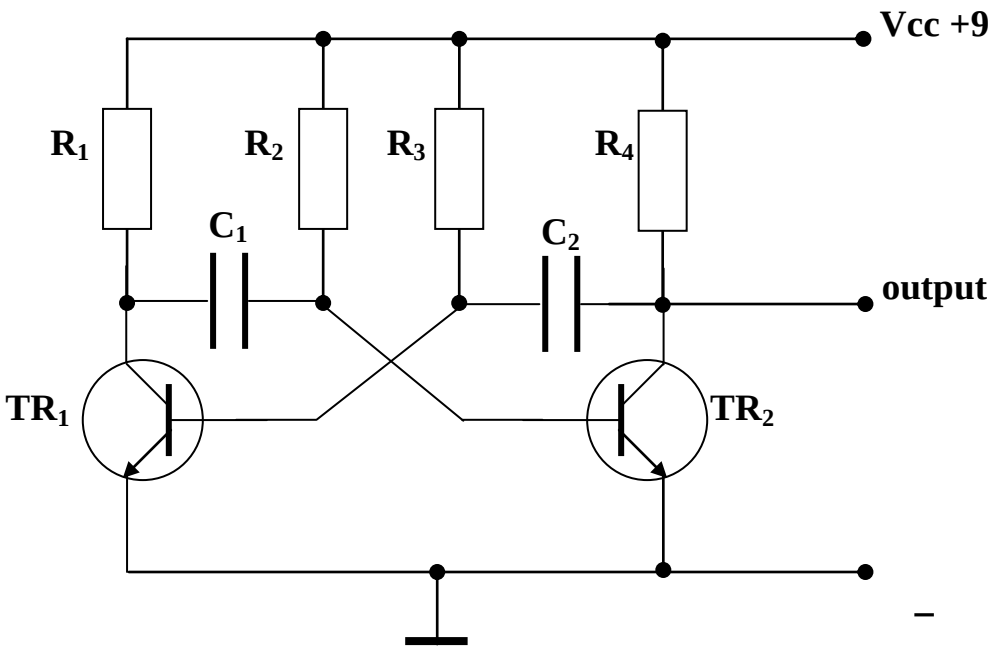


ثنائي الاستقرار

الشكل (3-8)

في تناول الدوائر الرقمية نحتاج غالباً نبائط تغير الحالة عند فترات زمنية محكومة معينة مذبذب متعدد الاهتزازات أو Multi vibrator (MV) هو المصطلح العام لدائرة يمكن ان تنتج نبضة او سلسلة من النبضات أو تغييراً في الحالة.

هذه المذبذبات المتعددة الاهتزازات تسمى (احادي الاستقرار – ثنائي الاستقرار– حر التشغيل) ودوائر المذبذبات متعددة الاهتزازات كما هو مبين بالشكل (3–8) يمكن ان تبنى من الترانزستور او البوابات المنطقيه وسوف نقوم بشرح تركيب وطريقة عمل احد هذه الدوائر كما هو موضح بالشكل (3–9) كالتالي:



الشكل (3–9)

تستخدم دوائر المذبذبات المتعددة الاهتزازات في الحصول على موجات مربعة تستخدم في العديد من نظم التحكم الرقمي وكذلك بعض نظم الاتصالات الرقمية والشكل (3–9) يوضح دائرة مذبذب متعدد الأهتزازات و يتكون من اثنين من الترانزستورات موصل خرج كل منها بدخل الآخر (تغذية خلفية) عن طريق المكثفات C1, C2 ويتم توفير الانحياز المناسب لكل من الترانزستورات بحيث يعمل كل منها كمفتاح الكتروني (ON/OF) وذلك بالاستعانة بالمقاومات (R1, R2, R3, R4) .

<u>طريقة عمل الدائرة:</u>

عند بداية التشغيل تتكون شحنة مبدئية في المكثفان (C1, C2) خلال المقاومات (R1,R2) ونظراً لوجود التغذية الخلفية يبدأ احد الترانزستورات مثلاً في التوصيل (ON) وبالتالي ينخفض جهد المجمع لهذا الترانزستور TR1 فتظهر شحنة المكثف C1 في صورة جهد سالب موصل إلى قاعدة الترانزستور TR2 وهذا يدفع الترانزستور TR2 إلى حالة القطع (OFF)

عند هذه النقطة يبدأ المكثف C2 في الشحن من المصدر خلال المقاومة R4 وفي نفس الوقت يستمر تفريخ المكثف C1 خلال المقاومة R2 أي يقل الجهد السالب الموصل بقاعدة TR2 حتى يصل إلى قيمة تجعل الترانزستور TR2 يتجه إلى حالة التوصيل (ON) أي يغير حالته – وعليه يقل جهد مجمع الترانزستور TR2 بنفس الطريقة التي حدثت مع الترانزستور TR1 حيث تظهر شحنة المكثف C2 كجهد سالب مفاجئ موصل إلى قاعدة الترانزستور TR1 مما يدفعه إلى تغيير حالته إلى حالة القطع (OFF) وعندها يبدأ المكثف C1في الشحن من خلال المقامومة R1 ويستمر C2 في عملية التفريغ خلال المقاومة R3 وهكذا تستمر هذه العمليات على التعاقب لنحصل في الخرج على موجات مربعة الشكل ناتجة عن حالات قطع ووصل الترانزستورات.

دوائر المؤقتات:

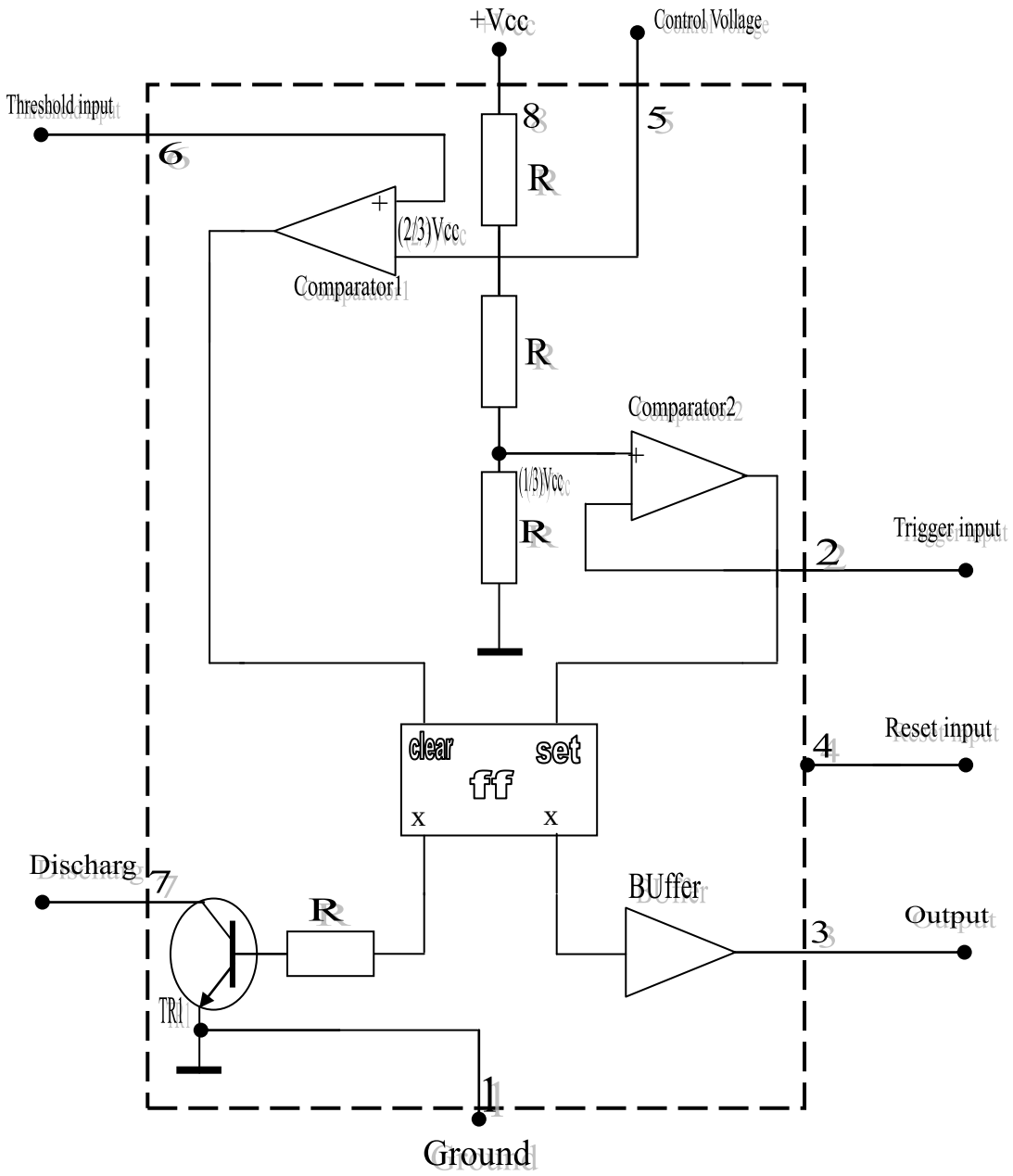
تحتاج الدوائر الرقمية في معظم الاحيان إلى مصدر يعطيها نبضات محددة بدقة وبشكل عام يكثر الطلب على نبضات منفردة ذات مدفعين (اي أحادية الطلقة ONE-SHOT) أو على تتابع متواصل من النبضات بتردد ودورة خدمة معينين . وبدلاً من محاولة اعداد دوائر مؤلفة من بوابات منطقية قياسية لتلبية هذه المتطلبات من الأبسط عادة والأقل تكلفة الاستفادة من دوائر متكاملة عامة الاستعمال تعرف جميعها باسم المؤقتات (Timers)

المؤقت Timer 555 :

يعتبر المؤقت 555 اوسع الرقاقات انتشارا دون منازع فهو ليس مجرد خليط متقن من الدوائر التماثلية والرقمية . بل يمكن القول ان لا حدود لتطبيقاته في عالم توليد النبضات الرقمية . ولهذا الموقت السمات الآتية:

١) مدى واسع لفولت الانحياز (5–15 فولت)
٢) يعطي تيار خرج كبير (200 مللي أمبير)
٣) تيار الدخل صغير جداً (0.25 ميكروامبير)
٤) مستقر عند التشغيل

ولفهم كيفية تشغيل هذا المؤقت ينبغى فهم دوائره الداخلية.



الشكل (3-10)

يتكون هذا الموقت من مكبرين عمليين يعملان كمقارنين للفولت (الأول لمقارنة الفولت مستهل الدخل Threshold input والثاني لمقارنة فولت دخل الزناد Trigger input)

- مزلاج Latch من النوع R-S يعمل اما علي تفريغ الترانزستور TR1 واما على اظهار اشارة الخرج OUTPUT من خلال البرزخ Buffer
- مجزء فولت بثلاث مقاومات R قيمة كل منها 5 كيلو أوم ويعمل هذا الجزء على امداد المقارن الأول بثلثي (2/3 Vcc) فولت الانحياز والمقارن الثاني بثلث (1/3Vcc) فولت الانحياز كفولتين مرجعين لها.

- ترانزستور Q1 يعمل على تفريغ دائرة مكثف الشحن الخارجي.
- برزخ Buffer يعمل على الموائمة بين المؤقت 555 وطرف الخرج Output
- شذرة Chip المؤقت 555 لها ثمانية اطراف موزعة كالآتي:

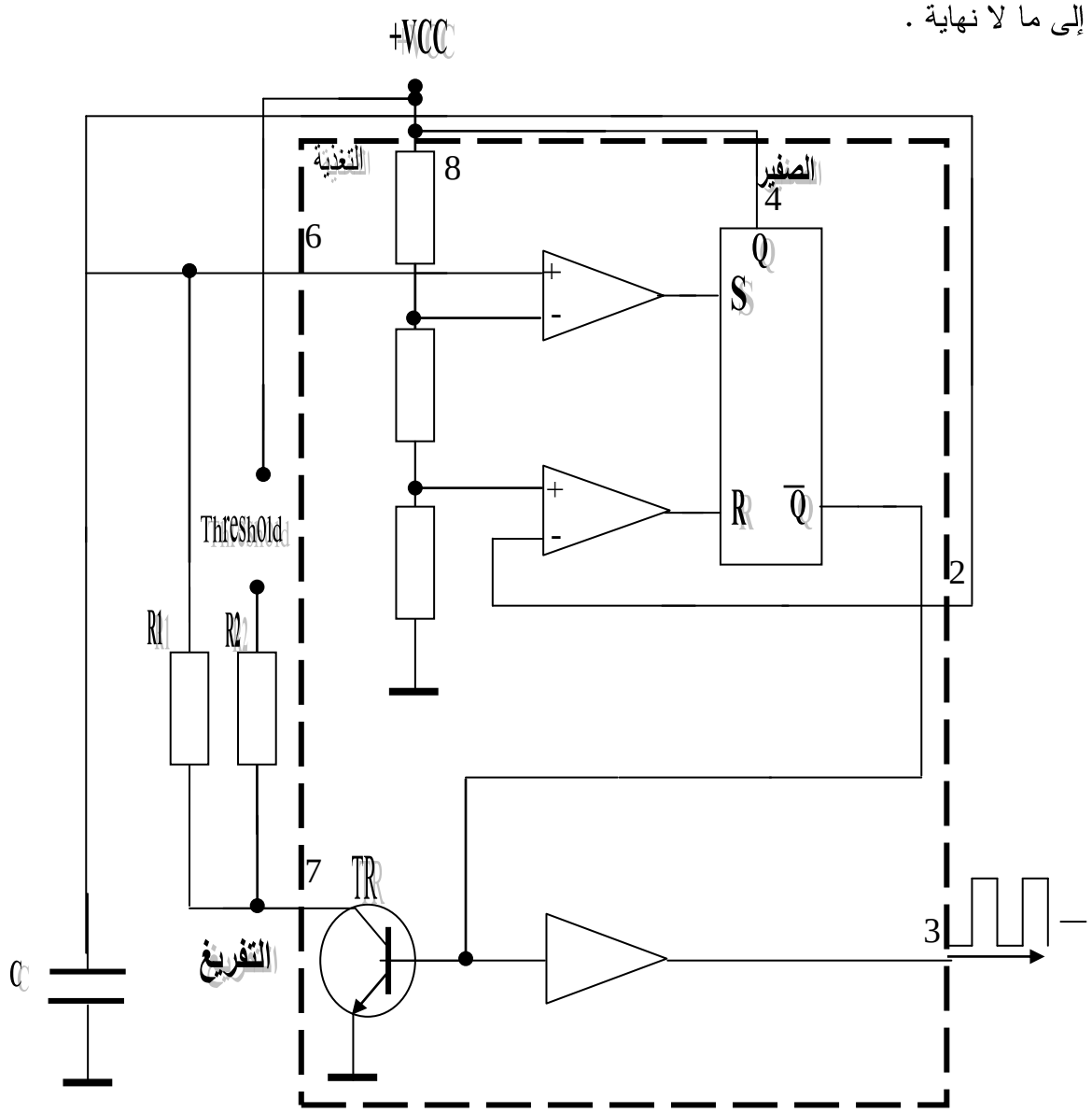
- الطرف 1 للتوصيل بالأرض Ground
- الطرف 2 للتوصيل بإشارة دخل الزناد Trigger input
- الطرف 3 للتوصيل بالخرج Output
- الطرف 4 للتوصيل بإشارة اعادة الحالة Reset imput
- الطرف 5 للتوصيل بفولت التحكم Control Voltage الخارجي لتغيير منسوب فولت الاسناد للمقارنين الأول والثاني.
- الطرف 6للتوصيل بإشارة دخل الاستهلاك Threshold Voltage
- الطرف 7 للتوصيل بترانزستور التفريغ Clis charge Transistor
- الطرف 8 للتوصيل بفولت الانحياز Vcc +

استخدام المؤقت 555 كمولد نبضات غير مستقر:

لفهم عمل هذه الدائرة نفترض ان المخرج عند النقطة 3 كان غالباً في البداية وان الترانزستور TR1 كان مقفلاً امام التيار . يبدأ المكثف C بالشحن بواسطة التيار المزود عبر المقاومتين المتواليين R2, R1 وعند تجاوز الفولتية على مدخل Threshold – النقطة 6) ثلثي فولتية التغذية تتغير حالة مخرج المقارن العلوي الامر الذي يصفر النطاط ويجعل مخرجة Q- عاليا فيفتح الترانزستور من جراء ذلك . ونظراً إلى الفعل العاكس للمصدر يتحول المخرج النهائي عند النقطة 3 إلى الحالة المنخفضة.

عند ذلك يفرغ المكثف 2 بمرور التيار عبر R2 ومجمع الترانزستور TR1 وعند نقطة معينة ستكون الفولتية الظاهرة عند مدخل (Thrigger – النقطة 2) قد هبطت حتى ثلث فولتية التغذية وهناك ستتغير حالة المقارن السفلي الأمر الذي يعيد النطاط إلى حالته الاصلية . عندها يتحول

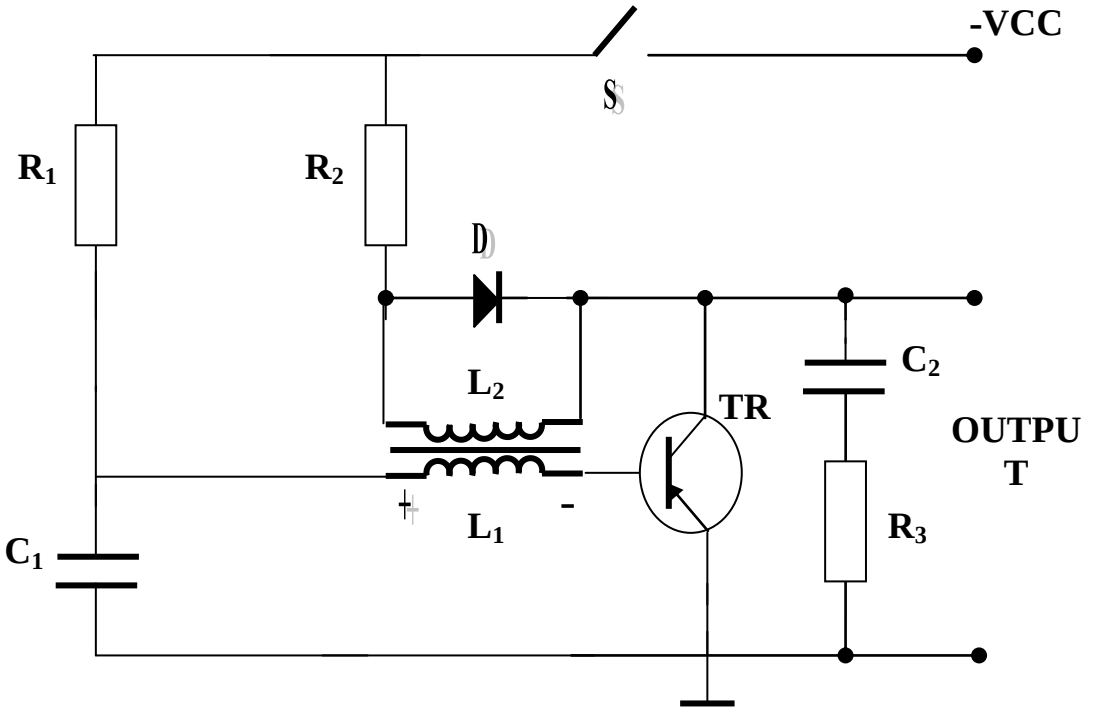
المخرج TR1 ويتحول المخرج النهائي عند النقطة 3 إلى الحالة العالية ثم تتكرر هذه الدورة إلى ما لا نهاية .



الشكل (3-11)

ملحوظة: يمكن جعل المؤقت ينتج موجة مربعة متناظرة بشكل معقول من خلال جعل R2 أكبر بكثير من R1

المذبذب المانع:



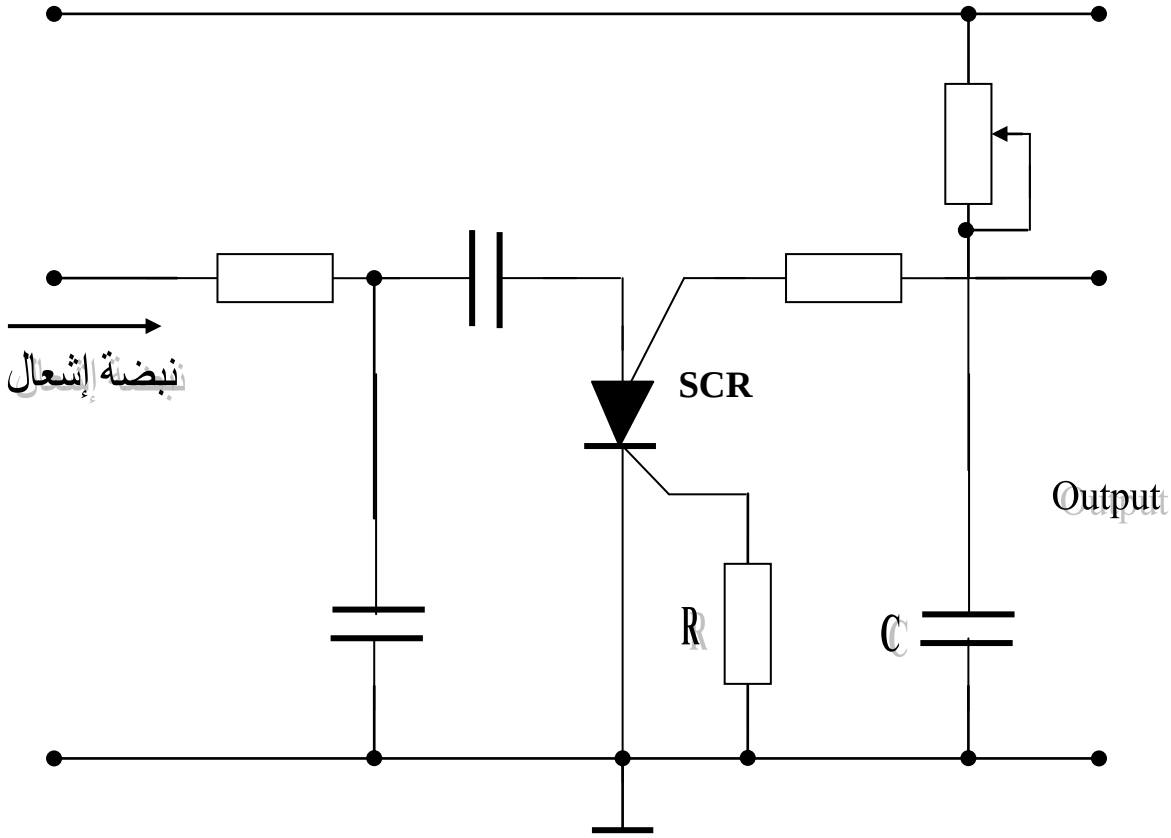
الشكل (3-12)

المذبذب المانع هو احد اشكال المذبذبات الغير جيبية وهو يوصل لفترة زمنية قصيرة ثم يقطع (يمنع ومن هنا جاء اسم المانع) لفترة زمنية أطول بكثير.

والشكل (3-12) يبين دائرة مولد انحراف (رأسي تستخدم المذبذب المانع) وفي هذه الدائرة يوصل الترانزستور في فترة زمنية قصيرة بواسطة قطبية معينة لجهد الانحياز على قاعدته وعندئذ يفرغ المكثف C2 المتصل بدائرة الخرج شحنته ويكون جزء النبضة انثاء فترة الارتداد ثم يقطع الترانزستور (يمنع مرور التيار فيه) لفترة أخرى عندما يصل جهد الانحياز على قاعدته لجهد القطع وعندئذ يشحن المكثف C2 من مصدر الجهد المستمر عن طريق المقاومة R3 مكوناً بذلك جزء النبضة اللازم لرسم الخط وهكذا .

قيم R1, C1 تتحكم في فترة توصيل الترانزستور وقطعة و بالتالى تتحكم في تردد المذبذب

المذبذب المتراخي أو المتأخر:



الشكل (3-13)

الشكل (3-13) يبين دائرة مولد انحراف رأس تستخدم المذبذب المتراخي من نوع الثيريستور و الثيريستور عبارة عن شبه موصل رباعي الطبقات له ثلاثة اقطاب هي المصعد والمهبط وقطب التحكم ويسمى البوابة Gate وهو يوصل التيار مبدئياً في اتجاه واحد لجميع الموحدات، لكنه يختلف عن الموحدات المؤلوفة في أنه لا يوصل مقدار وافر من التيار في الاتجاه الامامي الا إذا زاد ضغط المصعد عن قيمة معينة تسمى ضغط التخطي الامامي لذلك سمى بالمذبذب المتراخي او المتأخر لأنه اذا لم يزيد ضغط المصعد عن قيمة ضغط التخطي الامامي لا يمرر هذا المذبذب التيار اللازم ويمكن تغيير هذا الضغط او التحكم فيه بواسطة توصيل اشارة خارجية على بوابة التيريستور.

طريقة عمله:

في الدائرة المبينة يتم تشغيل(اشعال) التيريستور بتسليط نبضة سالبة على بوابة مصعده بينما بوابة مهبطه تتصل بالشاسيه عن طريق مقاومة قيمتها كبيرة وذلك لتمرير تيارات التسرب.

المكثف C المتصل بدائرة مصعد التيريستور والموصل مع مقاومة ضبط الثبات الرأسي (قيمتها كبيرة) هذا المكثف يشحن من خط التغذية عندما يكون التيريستور قاطعاً ، وعندما يرتفع الجهد الموجب على المكثف الذي هو جهد مصعد التيريستور عن جهد بوابة التيريستور فإن التيريستور يوصل ويفرغ المكثف من شحنته من خلاله وبمجرد انخفاض تيار تفريغ المكثف عن قيمة تيار تشغيل التيريستور، فإن التيريستور يقطع ويبدأ المكثف في الشحن من جديد وهكذا.

عملية الشحن تكون جزء موجه سن المنشار الخاصة بالمسح الرأسي بينما عملية التفريغ تكون الجزءالخاص بالارتداد. ويتحدد تردد المذبذب بالثابت الزمني للدائرة (RC).

اسئلـــــة على الباب الثالث

س1: أ- ما هي شروط التذبذب.

ب- ارسم دائرة تخطيطية توضح مكونات المذبذبات الاساسية.

س2: اشرح موضحاً اجابتك بالرسم دائرة مذبذب ل س من نوع تنعيم القاعدة.

س3: اشرح تركيب وطريقة عمل مذبذب هارتللي.

س4 : أ- ما هي وظيفة البلورة في المذبذب البللوري.

ب- اشرح موضحاً اجابتك بالرسم تركيب وطريقة عمل المذبذب البللوري.

س5: أ- اذكر انواع المذبذبات المتعددة الاهتزازات .

ب-اشرح مع الرسم احدى هذه المبذبذب.

س6: ارسم فقط المذبذب ثنائي الاستقرار باستخدام الترانزستور ثم باستخدام Ic مرة أخرى.

س7: أ – ما هي السمات الرئيسية للمؤقت 555 .

ب- ارسم دائرة توضح التركيب الداخلي لهذا المؤقت.

س8: اشرح موضحا أجابتك بالرسم تركيب وطريقة عمل المؤقت 555 عندما يستخدم كمولد نبضات غير مستقر.

س9: اشرح مع الرسم تركيب وطريقة عمل المذبذب المانع.

س10: أ- لماذا سمي المذبذب المتراخي بهذا الاسم.

ب – اشرح مع الرسم دائرة انحراف رأس تستخدم هذا النوع من المذبذب.