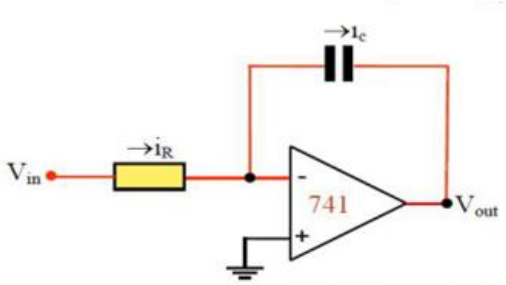
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الفرات الاوسط التقنية
المعهد التقني / النجف الاشرف

# الدوائر الالكترونية

## المرحلة الثانية

## قسم التقنيات الالكترونية/ الألكترونيك




## اعداد

م.م. زينب مصطفى حسين

2023-2024

# المفردات النظرية

| المفردات النظرية | |
|---|---|
| الأسبوع | تفاصيل المفردات النظرية |
| الأول | مجهزات القدرة_مجهزالقدرة المتغير .<br>1- باستخدام مقاومة متغيرة.<br>2- باستخدام ترانزستور مع مقاومة متغيرة.<br>3- باستخدام ربط دارلنكتون مع مقاومة متغيرة. |
| الثاني<br>الثالث | منظمات الفولتية: منظم التوازي مع مثال_منظم التوالي_المعادلات الخاصة بدائرته_معادلة فولتية الحمل_معادلة القدرة للترانزستور_منظم توالي بفولتية إخراج متغيرة مع اشتقاق المعادلة الخاصة به. |
| الرابع | الثايرستور_تركيبه_خواصه_رمزه_تمثيله بترانزستورين_الثنائي رباعي الطبقة_المزلاج المثالي:دائرته عمله(الفتح والغلق) |
| الخامس | الدياك والترياك:التركيب_الرمز_الخصائص_تطبيقات على الوميض معتم الضوء الحماية والإنذار. |
| السادس | تطبيقات المقوم السليكوني_حماية الحمل من الزيادة المفاجئه التي تحدث في فولتية الحمل_تصميم الدائرة وفكرة عملها_مثال على الدائرة_ استخدام SCR للسيطرة على شدة إنارة المصباح_ الدائرة العملية_ المعادلات ورسم الموجات الخاصه بها_تصميمها_مثال |

| | |
|---|---|
| السابع والثامن | المذبذبات وتعريفا-التغذية الخلفية وأنواعها مع رسم مخططاتها وإيجاد العلاقات الرياضية الخاصة بالتكبير النهائي للمنظومة (الكسب الأمامي-الكسب الخلفي-دائرة الإرجاع) –شروط التذبذب-أمثلة على دوائر المذبذبات (مذبذب LC-مذبذب هارتلي-مذبذب كولبتس-مذبذب إزاحة الطور) |
| التاسع والعاشر والحادي عشر | الترانزستور كمفتاح-مواصفات عمله على خط الحمل-استجابته لموجة إدخال مستطيلة أزمنة التحول-المهزازات وأنواعها المختلفة(أحادي الاستقرار غير المستقر-ثنائي الاستقرار) العلاقات الرياضية –المقاومات الجامع والقاعدة-الإشكال الموجية للإدخال والإخراج دوائرها-قدحها-فكرة عمليها-حمايتها-التغلب على التشويهات المحتمل حدوثها في إشارات الإخراج-التحكم بعرض النبضات. |
| الثاني عشر والثالث عشر | مكبر العمليات-مخطط نموذجي –الإدخال القالب-الإدخال غير القالب-ممانعة الإدخال-إخراج دائرة المكبر القالب- كسب المكبر غير القالب-تابع الفولتية ومعادلة التكبير-المضيف-معادلة إضافة عدد N من الادخالات-المضيف غير القالب. |
| الرابع عشر والخامس عشر | دائرة الجامع العاكس ومعادلة الإخراج- دائرة الجامع غير العاكس ومعادلة الإخراج-أمثلة حسابية . |

| | |
|---|---|
| السادس عشر | دائرة الطارح ومعادلات الحساب لطرح فولتيتي ادخال VO=V2-V1- دائرة تطبيقية |
| السابع عشر والثامن عشر | تطبيقات مكبر العمليات_المكامل دائرته_اشتقاق المعادلة الخاصه به_ مثال_إدخال موجه مربعة الى دائرة المكامل وإيجاد موجة الإخراج لها_ مثال_إدخال موجة نبضية الى دائرة المكامل وإيجاد موجة الإخراج_ مثال_ تأثير فولتية المكامل_حل تمارين. |
| التاسع عشر | المقارن_دائرته_فكرة العمل_إدخال موجة مثلثة الى الإدخال القالب وربط الإدخال غير القالب الى الأرض_إدخال موجة مثلثة الى الإدخال القالب وربط الإدخال غير القالب الى فولتية مرجع موجبة |
| العشرون | تطبيقات لاخطية لمكبر العمليات_المقوم المثال_الفكرة من استخدام مكبر العمليات في دوائر التقويم _مميزاتها عن الدوائر التي بدون مكبر العمليات مقارنة بين الخواص المثالية والغير مثالية للمقوم_دائرة المقوم المثالي نصف الموجي_فكرة عمله_دائرة المقوم المثالي كامل الموجه_ فكرة العمل. |
| الحادي والعشرون | قادح شميث_التحول الكاذب في المقارن وكيفية منع حدوثه_مثال_دائرة قدح شميث رسم خواص التحويل لها_مثال_إدخال موجة عشوائية الى دائرة قادح شميث ورسم فولتية الإخراج_حل تمارين. |
| الثاني والعشرون | مولدات الموجة باستخدام مكبر العمليات_مولد الموجة المربعة _دائرته_ اشتقاق المعادلة الخاصة بتردد موجة الإخراج تحوير الدائرة لإعطاء موجة مستطيلة _مثال_تصميم الدائرة. |

| | |
|---|---|
| الثالث والعشرون | مولد النبضة المهزاز أحادي الاستقرارية دائرته-فكرة العمل-رسم الموجات-اشتقاق المعادلة الخاصة بعرض نبضة الإخراج-مثال-تصميم-الدائرة . |
| الرابع والعشرون | مولد الموجة المثلثة-الدائرة-فكرة العمل-رسم الموجات-اشتقاق المعادلات الخاصة بذلك-اشتقاق معادلة التردد لموجة الإخراج. |
| الخامس والعشرون والسادس والعشرون | الحاسبة التناظرية –تصميمها-أمثلة محلولة-المؤقت الزمني 555– تركيبه –مخططات لاستخدامه في الهزازت-معادلات حساب زمن عرض النبضه –أمثلة محلولة. |
| السابع والعشرون | مرشحات RC الفعالة-مميزاتها-خواصها--HPF-LPF- (الميزات-الخواص-المعادلات-منحنيات الاستجابه –أمثلة حسابية) |
| الثامن والعشرون | مرشحات RC الفعالة-BSFBPF- مميزاتها-خواصها-- (الميزات-الخواص-المعادلات-منحنيات الاستجابه –أمثلة حسابية |
| التاسع والعشرون | الطرق الأساسية لتصنيع الدوائر المتكاملة (أحادية البلورة-رقيقة الأغشية وسميكة الأغشية) |
| الثلاثون | تصنيع دائرة متكاملة لترانزستور نوع NPN –تصنيع مقاومات ومتسعات متكاملة –تصنع دائرة متكاملة لدائرة الكترونية بسيطة. |

المصادر:

1- مبادىء الالكترونيات " ترجمة بدر محمد علي الوتار وآخرون

2- الدوائر الالكترونية والصوتية "تأليف ضياء مهدي فارس وآخرون

3-الدوائر الالكترونية والصوتية" تأليف : ضياء مهدي فارس-ياسر خليل-مصعب محمود هيئة التعليم التقني/جامعة الموصل 1991.

## مجهزات القدرة power supplies:

ان الحصول على القدرة المستمرة من خط القدرة المتناوب باستخدام المقومات مع المرشحات من اكثر الوسائل ملائمة واكثرها اقتصاداً وقدتم دراسة الدوائر الاساسية للمقوم بما فيها مقوم نصف الموجة الكاملة بنوعية .

مجهز القدرة المقاومة

١- مجهز القدرة باستخدام مقاومة متغيرة .
٢- باستخدام ترانزستور مع مقاومة متغيرة .
٣- باستخدام ربط دار لنكتون مع مقاومة متغيرة .

وتسمى هذه المجهزات بالمجهزات غير منظمة للأسباب التالية :

١- تتغير فولتية الخرج أذا تغيرت فولتية الدخل من المصدر
٢- تتغير فولتية الخرج اذا تغير الحمل
٣- جهد التموج في الخرج يكون بتردد (100 HZ) للمجهزات التي تتغذى من المصادر ذات التردد (50HZ) يزداد هذا التردد كلما زاد التيار في الحمل .

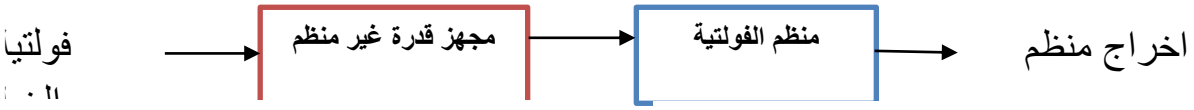
اما مجهزات القدرة المنظمة فتصمم لكي تقلل التموج الى اقل قيمة ممكنة . وكذلك يكون لها فولتية خرج ثابتة لا تتغير بتغير فولتية المصدر او بتغير الحمل . يعني نحتاج الى دائرة لها خواص مقاربة قدر الامكان لخواص مولد فولتية ثابته له مقاومة داخلية صغيرة جداً بحيث يمكن اهمالها . وهنالك نوعان من منظمات الفولتية النوع الاول منظم الفولتية توالي والثاني منظم الفولتية التوازي.

## منظمات الفولتية Voltage regulators

هي عبارة عن دوائر وظيفتها المحافظة على فولتية ثابته للحمل عند تغير الحمل ويتم ذلك بتصميم دوائر الكترونية تقوم بهذه العملية وهي أما ان تكون على شكل دوائر متكاملة او دوائر منفصلة .

تنظيم الفولتية (voltage regulation ):هو التغير في الفولتية من حالة اللاحمل الى حالة الحمل الكامل والهدف من تنظيم الفولتية هو تقليل هذه التغيرات الى الصفر او الى اقل قيمة ممكنة .

يصور المخطط أدناه فكرة تنظيم الفولتية الاساسي



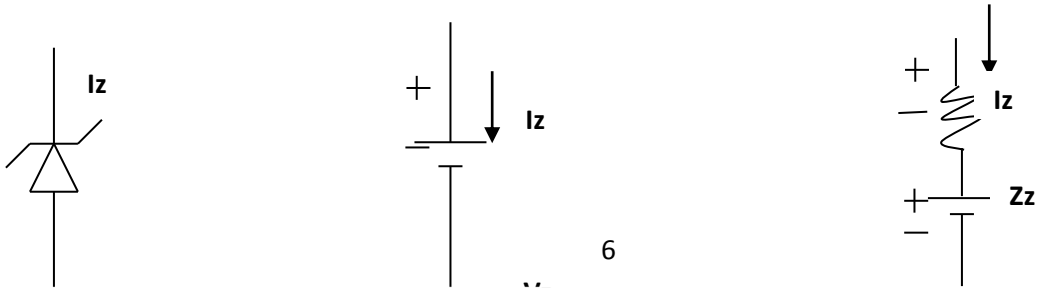

*فولتية ثابتة لا تتغير مع تغيرات فولتية الخط ولامع ثيار الحمل.

*فولتية هذا المصدر تتغير مباشرتاً مع تغير فولتية الخط وكذلك أي تغير في تيار الحمل ينتج تغيراً في الفولتية غير المنظمة بسبب ممانعة المجهز وتفريغ شحنة المرشح.

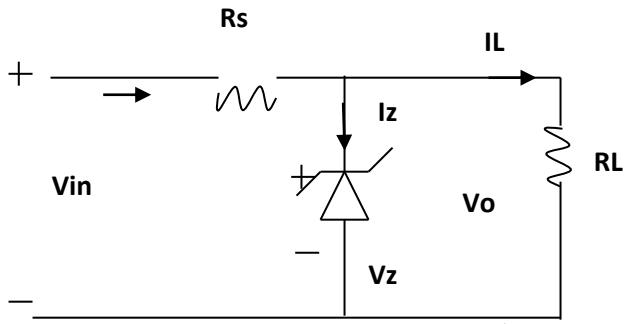
منظمات

اما في ا

يعتبر ثنائي الزنر (( Diode فولتية ( $V_z$ ) مع المقاومة ق فقط . وكمافي الشكل.



منظم ثنائي الزنر :.
يمكن استخدام ثنائي زينر كمنظم وكما مبين في الشكل




عندما تكون ($V_{in}$ ) اكبر من ($V_z$ ) فأن ثنائي زينر يعمل في منطقة الانكسار ، ولوجود ممانعة زينر فأنها تسبب تغيراً طفيفاً في الاخراج النهائي مع تغيرات فولتية الخط وتيار الحمل ( التغيرات في تيار الحمل تنتج تغيرات متساوية ومضادة في تيار زينر )

والتغيرات في تيار زينر الساري خلال ممانعة $\Delta I_z = -\Delta I_L$ ، فولتية الاخراج النهائي

ومن هذا ترى انه كلما زادت التغيرات في تيا $\Delta V_L = Z_z * \Delta I_z$ ولتية الاخراج وهذه التغيرات في الفولتية قد تكون مقبولة اذا كان ( $I_z$ ) قليل . ولكن لو كانت التغيرات كبيرة ((عشرات الملي امبير او اكثر )) فأن التغيرات فولتية الحمل تصبح كبيرة جداً لكثير من التطبيقات . ولذلك فأن ثنائي زينر غير قادر لوحدة على تنظيم فولتية ذات تغير كبير في التيار لذلك نحتاج ربط ثنائي زينر مع مكبرات تغذية عكسية .

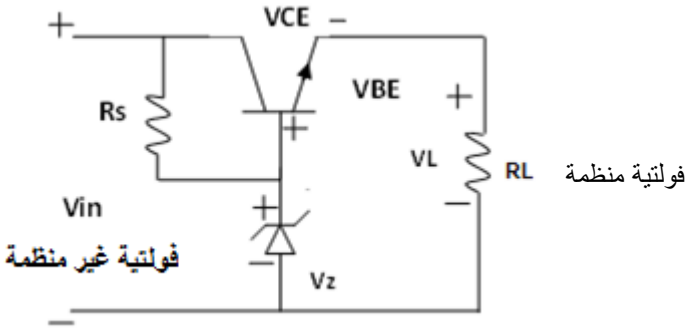
## منظم الجهد التوالي Series Voltage Regulator

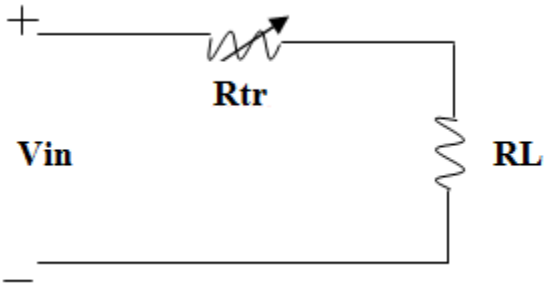
يوضح الشكل دائرة منظم جهد التوالي باستخدام الترانزستور والزينر دايود .ويلاحظ من الشكل ان ثنائي زينر يستخدم كفولتية مرجعية للدائرة والمقاومة ($R_s$) تستخدم لتحديد التيار المار بالدائرة أما الترانزستور المربوط على التوالي مع الحمل فيستخدم كمقاومة متغيرة للسيطرة على التيار المار بالحمل والدائرة المكافئة توضح ذلك .

ولبيان عمل الدائرة في التنظيم نقوم بالتحليل التالي :.
من قانون كيرشوف للفولتية :

$$V_z - V_{BE} - V_L = 0$$

$$V_{BE} = V_z - V_L$$




من المعادلة اعلاه نجد انه عندما تقل ($v_L$) فأن ( $V_{BE}$ )فسوف تزداد (لان $V_z$ ثابتة) وهذا يسبب في زيادة الانحياز الامامي للترنزستور ومن ثم زيادة مستوى التوصيل وهذا بسبب في نقصان المقاومة بين الجامع والباعث مما يؤدي الى

زيادة تيار الدخال ($I_c$) وتيار القاعدة ($I_B$) وبالتالي زيادة تيار الباعث ($I_E$) وهو تيار الحمل ولذلك كان ($V_L$) ستزداد ( $V_L=I_L R_L$ ) ويكون المنطق التعاقبي لذلك .

$$V_L\downarrow \; V_{BE}\uparrow \; R_{tr}\downarrow \; I_C\uparrow \; I_B\uparrow \; I_E\uparrow \; I_L\uparrow \; V_L\uparrow$$

وعند الزيادة ($V_L$) يكون التعاقب

$$V_L\uparrow \; V_{BE}\downarrow \; R_{tr}\uparrow \; I_C\downarrow \; I_B\downarrow \; I_E\downarrow \; I_L\downarrow \; V_L\downarrow$$

من دائرة منظم الجهد المتوالي نلاحظ ان التغير ات في ثنائي زينر قد قلت بعامل قدرة β

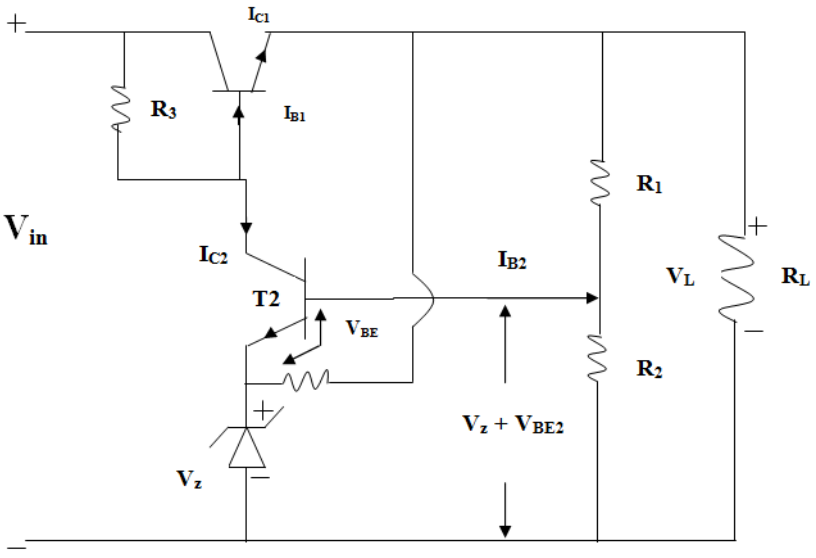
$\triangle I_z=- \triangle I_L / \beta$ وعند الضرورة تستطيع استعمال زوج دار لتكتون للحصول على β اكبر .

يسمى المنظم السابق منظم فولتية توالي لكون طرف الجامع والباعث على التوالي مع الحمل ولهذا السبب يجب ان يسري تيار الحمل خلال الترانزستور . لذلك يسمى غالباً هذا الترانزستور بترانزستور المرور . الفولتية عبر ترنزستور المرور تساوي .

$V_{CE}=V_{in}-V_L$

## منظم التوالي المسيطر عليه

تبديد القدرة $P=(V_{in}-V_L) - I_L$




نستخدم هذه الدائرة ترنزستور ثاني وبمساعدة مقسم الجهد ($R_1$, $R_2$) نتمكن من السيطرة على فولتية الاخراج .

تفرض ان $I_{B2} \ll I$

$$V_L = V_{R1} + V_{R2} = I_{R1} + I_{R2} = I(R_1+R_2) \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$V_{R2} = V_Z + V_{BE2} \ldots\ldots\ldots (2) \quad V_{R2} = I * R_2 \ldots\ldots\ldots (3)$$

بقسمة المعادلة (١) على المعدلة (٣)

$$\frac{V_L}{V_{R2}} = \frac{I(R_1+R_2)}{I * R_2} = \frac{R_1+R_2}{R_2} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

$$\frac{V_L}{V_Z+V_{BE2}} = \frac{R_1+R_2}{R_2} \Longrightarrow V_L = \frac{R_1+R_2}{R_2} (V_Z+V_{BE2})$$

وبما ان ($R_1+R_2$) كمية ثابته و$V_z$ و $V_{BE2}$ لها قيمة ثابتة لذلك فأن ($V_L$ حيث تزداد — ∝) $V_L$ عند نقصان $R_2$ والعكس بالعكس .

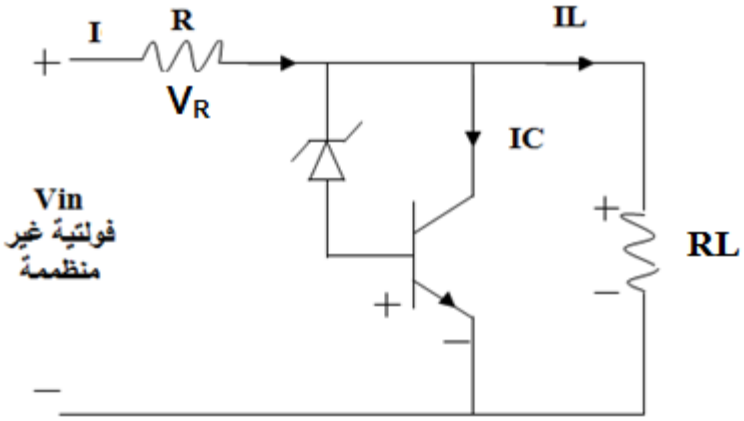
لنفرض ان $R_L$تقل فأن $I_L$ يزداد ولكن $V_L$ تقل . والنقصان $V_L$ يؤدي الى نقصان في $I_{B2}$ وكذلك $I_{C2}$ .

لنفرض ان $I_s$ ثابت نسبياً فأن $I_{B1}$يزيد ومن ثم فان المقاومة $T_{R1}$ تقل هذا يؤدي الى نقصان $V_{CE1}$مما يؤدي الى الغاء النقصان في $V_L$ومن ثم فأنها تعود الى قيمتها الاصلية . والمنطق التعاقب هو

$$VL\downarrow IB2\downarrow IC2\downarrow IB1\uparrow VCE1\downarrow VL\uparrow$$

## منظم الجهد المتوازي :.

يبين الشكل دائرة منظم جهد توازي حيث يكون الترانزستر مع الزنر دايود مربوط على التوازي مع الحمل.




$$I = I_B + I_C + I_L$$

من خلال قانون كيرشوف للفولتية :.

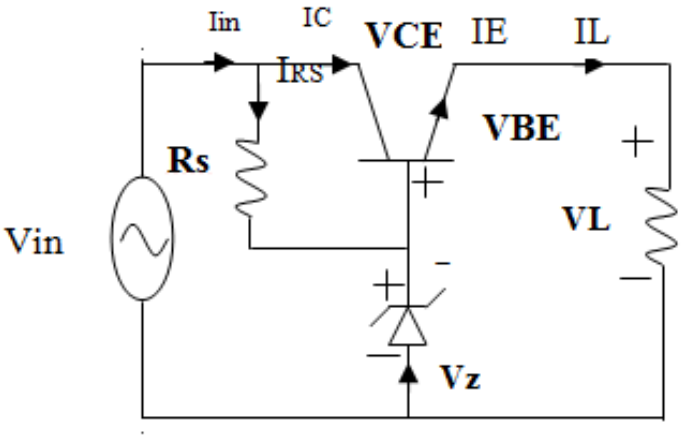
$$V_{be} + V_Z - V_I = 0$$

$$V_{be} = V_I - V_Z$$

لان $V_z$ ثابتة فأن أي زيادة او نقصان في $V_L$ يؤدي الى تغير ف
لنفرض ان $V_L$تقل فأن $V_{BE}$ تقل ايضاً وكذلك يقل كل من $I_C$، $I_B$ لان ( $I_C = \beta I_B$) وهذا يؤدي الى ان I يقل وبذلك فأن $V_R$ تقل لان ( $V_R = I*R$ ) وبما ان ( $V_{in} = V_R + V_L$)
وبالتالي ($V_L = V_{in} - V_R$) فأننا نجد ان $V_L$ ستزداد ويكون المنطق التعاقبي بالشكل التالي :.

$$VL\downarrow VBE\downarrow IB\downarrow IC\downarrow I\downarrow VR\downarrow VL\uparrow$$

وعند زيادة VL فأن المنطق التعاقب يكون بالعكس :




مثال/١ منظم الجهد متوالي فية Vz تساوي (7.5V)مقاومة الحمل RL تساوي (100 Ω) وB تساوي 100 كم هي

١- فولتية الحمل
٢- تبار الحمل
٣- كم هو التغير في تيار الحمل عندما تتغير RL من 100 Ω الى 50Ω
٤- التغير في تيار زينر
٥- التغير التقريبي في فولتية الحمل . علما ان ممانعة زينر يساوي 6 Ω وان ( Vin >Vz ) .

1-$V_L = V_z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8V$

2-$I_L = V_L / R_L = 6.8 / 100 = 68$ mA

3-when $R_L = 50\Omega \Longrightarrow I_L = V_L/R_L = 6.8/50 = 136$ mA

$\therefore \triangle I_L = 136 - 68 = 68$ mA

4- $\triangle I_z = -\triangle IL$ B = - 68 /100 = -0.68 mA

5- $\triangle V_L = Z_z * \triangle I_Z - 6 * (-0.68mA) = -4.08$ mV

مثال/٢ منظم جهد متوالي فيه فولتية زنر ( 10 V) ومقاومة الحمل (R1 = 1KΩ ) وفولتية الادخال ( Vin = 20 V) الترانزستور المستخدم نوع سيلكون
أحسب :

١- فولتية الحمل
٢- تيار الحمل
٣- تبار الباعث
٤- تيار المار في المقاومة $R_s$
٥- تيار المصدر $(I_{in})$

1-VL = Vz – VBE = ( 10 – 0.7 ) = 9.3V

2-IL = VL / RL = 9.3 / 1 = 9.3 mA

3-IE =IC+ IB ≈ IC

:. IE = IC = IL = 9.3 mA

4- Vin = VRs + VZ $\Longrightarrow$ VRs = Vin – Vz = 20 – 10 = 10V

IRs = VRs/Rs = 10/5 = 2 mA

5-Iin = IRs + IC =2+9.3= 11.3 mA

مثال/٣ منظم توالي في (Vin = 20v ) و(Rs 200Ω) و(Vz = 12v) و(VBE = 0.7v) جد التيار المارفيRs وكذلك التغير في تيار الحمل عندما تتغير RL من Ω 50 100Ω ) ؟

VRs= Vin – Vz = 20 – 12 =8v

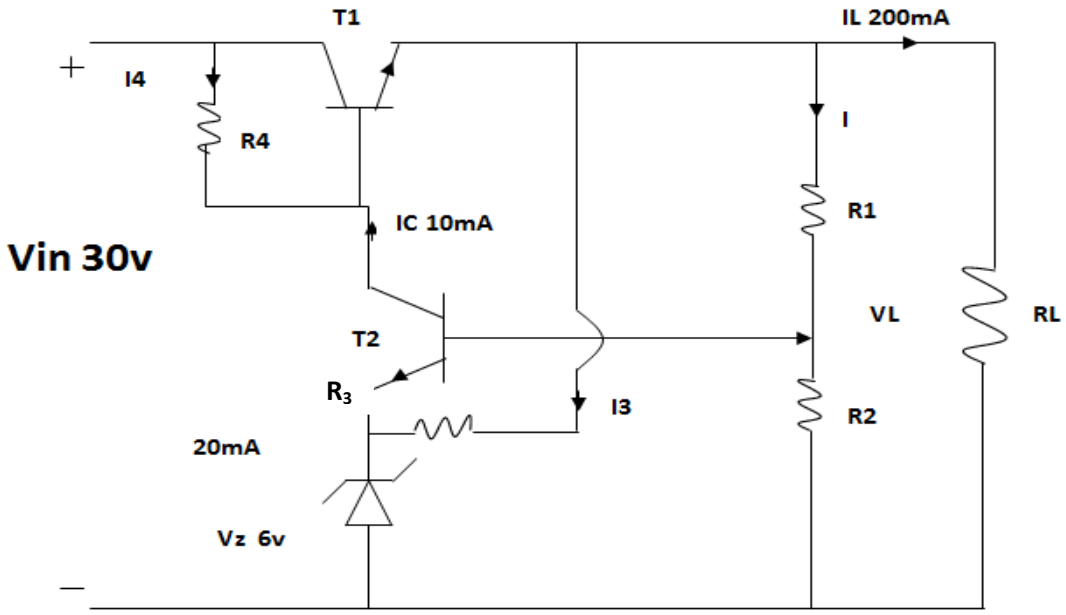
IRs = VRs / Rs = 0.04A VL = Vz – VBE = 12-0.7 = 11.3 v

IL1 = 11.3 / 50= 0.226A IL2 = 11.2 / 100 = 0.113A

$\triangle$IL = IL2- IL1 = -0.113A

مثال/٤ صمم منظم جهد هيكلي

صمم الدائرة المبينة ادناه اذا كان لدينا المعلومات التالية فولتية الادخال ( Vin = 30v) و ( $V_L$ = 12 v) و (B = 200) و(Vz = 6)و ( Iz= 20mA) و( $V_{BE}$ = 0.7v) و( $I_{E1}$ =10mA ) و($I_L$=200Ma) احسب ($R_L$, $R_1R_2$,$R_3$,$R_4$).




الحل /نفرض ان اتيار القاعدة يهمل في الترانزستور الثاني

VR2= Vz + VBE2 =6 +0.7 = 6.7v

VR1 = VL – VR2 = 12-6.7 = 5.7v

RL = VL / IL = 12/200 = 60Ω

IC1 = IE2 = 10Ma $\Longrightarrow$ I3= Iz – IE2 = 20-10 = 10mA

VR3 = VL – Vz = 12 – 6 = 6v $\Longrightarrow$ R3 = 6/10=600Ω

IE1= Is + I + IL $\Longrightarrow$ I = 220- 200 – 10 =10mA

:.R1 = VR1 / I = 5.3/10 = 530Ω

R2 =VR2/I = 6.7/10 = 670Ω

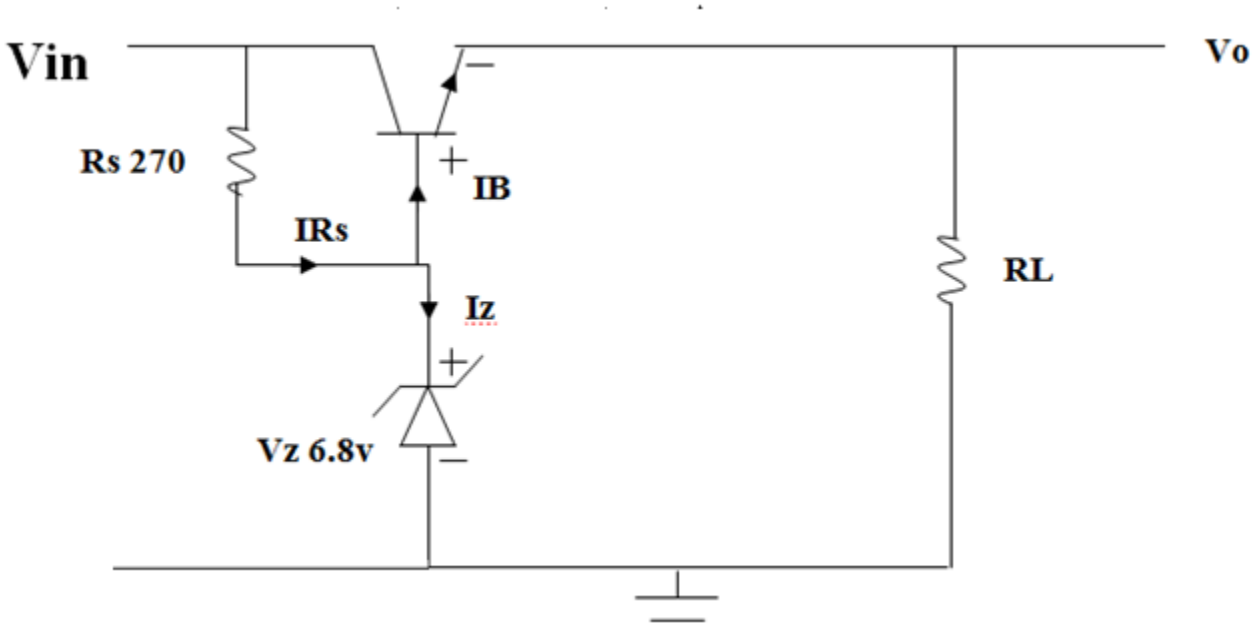
IB1 = IC1/β = 220/20 = 1.1mA $\Longrightarrow$ I4 = IC2 + IB1 = 11.1

VCE2 = VL + VBE – Vz = 6.7v

Vin – VR4 – VCE2 – Vz = 0 $\Longrightarrow$ VR4 = Vin – VCE2 – Vz =17.3

:.R4 = VR4/I4 = 17.3/11.1= 1.558 KΩ

مثال/° في الشكل التالي اذا كانت (Vin = 10v) و( VBE = 0.7v )ماهي Vo واذا تغيرت من 10v الى 15v كم هو التغير التقريبي في فولتية الخراج علماً ان Zz= 5Ω . واذا كانت (B50) ومقاومة الحمل Ω 220 كم هو التيار القاعدة وتيار زينر عندما (Vin = 10v)




Vo = Vz – VBE = 6.8 – 0.7 6.1v

IL= IE = IC + IB ≈IC = Vo/RL = 6.1/22 = 277mA

IB = IC / β= 277/50 = 5.55mA

VRs = Vin – Vz = 10 – 6.8 = 3.2 v

IRs = VRs / Rs = 3.2/270 = 11.84 mA

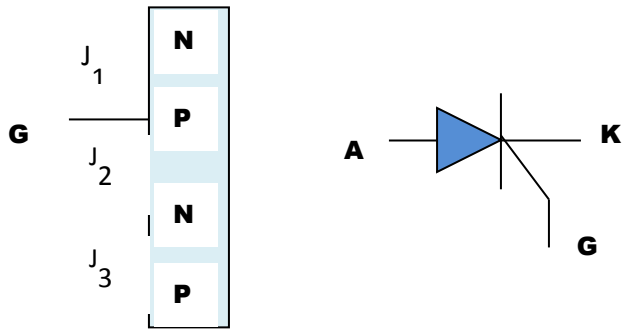
:.Iz = IRs – IB = 11.84 – 5.55 = 6.3 mA

## الثايرستور Thyrstor

هو اسم يطلق على تركيب معين من اشباه الموصلات السليكونية والتي يمكن تفتح وتغلق للسيطرة على مرور التيارات العالية لتجهيز المحركات ذات القدرة العالية وبعض الاجهزة الكهربائية

## تركيب الثايرستور:

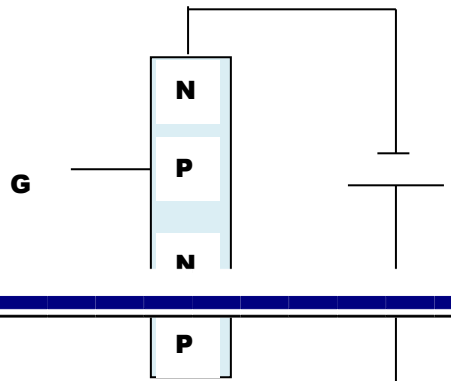
يتكون الثايرستور من اربع طبقات موضوعة بشكل متعاقب ( **n - p - n - p**) كما في الشكل، ويحتوي على ثلاث ملتقيات لهذه الوصلات الاربعة هي ( **J1 ,J2 ,J3**) ، حيث يسمى الطرف المربوط بالطبقة P الخارجية انود (**A**) بينما يسمى الطرف المربوط بالطبقة (**N**) الخارجية كاثود (**K**) ويسمى الطرف المربوط بالطبقة الداخلية بالبوابة (**G**)




## الخواص وكيفية العمل:-

عندما يكون انحياز الانود موجب والكاثود سالب تكون (**J3**) منحازة اماميا و(**J2**) منحازة عكسيا لذلك لا يسري تيار في الثارستور لوجود مقاومة عالية جدا تمنع مرور التيار ماعدا تيار التسريب.

عند تسليط جهد بحيث يكون الانود سالب والكاثود موجب (انحياز عكسي) في هذه الحالة ( **J1**) و(**J3**) عكسي منحازة عكسيا بينما ( **J2**) منحازة اماميا وفي هذه الحالة لا يسري التيار ماعدا تيار التسريب وهو ذو مقدار قليل جدا، في الحالة الاولى عند زيادة الفولتية في الانود الى قيمة معينة بحيث يحصل انهيار في الوصلة ( **J2**)، يوصل الثايرستور ويكون التيار كبير جدا وتصبح مقاومته قليلة جدا وما في الحالة الثانية لا يحصل انهيار الى في حالات زيادة الفولتية الى قيمة كبيرة تؤدي الى عطل الثايروستور ولذلك يوصف الثايرستور بأنه احادي التوصيل .



في الحالتين السابقتين يوصف الثايرستور بأنه يمتلك مقاومة عالية جدا بسبب الجهد الحاجز الكلي وكلي يمرر الثايرستور للتيار المطلوب للعمل يجب ازالة الجهد العكسي في الملتقى (**J2**) ويتم ذلك عن طريق نبضه قدح خارجية على طرف البوابة (**G**) المربوطة الى طبقة **P** الداخلية بحيث يكون الجهد يسلط عليها موجبا بالنسبة الى الكاثود انها الجهد المسلط يعمل على تقليل فاعلية الجهد العكسي للملتقى **J1** نسبيا

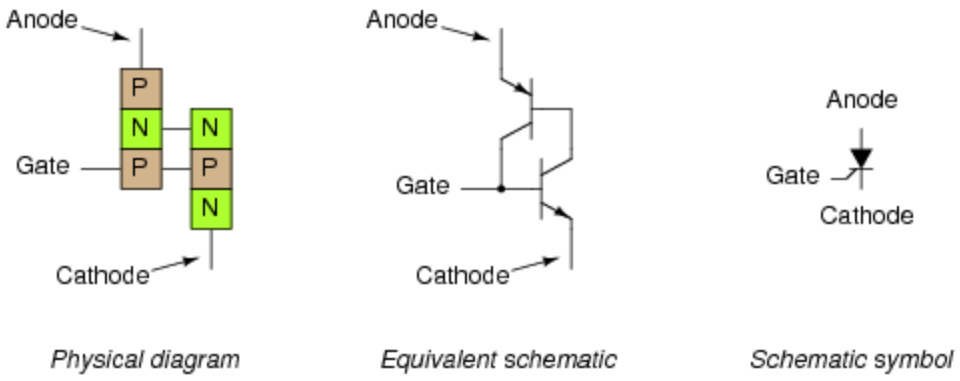
يسمى الجهد الثاني الذي يحصل عنده التوصيل بجهد لانكسار ( القدح)

يحدث التوصيل في زمن صغير جدا يعرف زمن التوصيل (**TUM OTIME**) تتراوح قيمته من (3 – 1) وتعتمد قيمة التيار على مقاومة الحمل حيث يهبط الجهد (**VAK**) بعد حدوث التوصيل الى قيمة التيار على مقاومة الحمل حيث يهبط الجهد (**VAK**) بعد حدوث التوصيل الى قيمة صغيرة تسمى جهد الابقاء (**VH**) ولإرجاع الثايرستور الى حالة القطع لابد من تخفيض التيار المار بالدائرة (**IA**) الى قيمة صغيرة تسمى (**IH**) يصبح الثايرستور غير موصل (**OFF**)حيث تهبط قيمة التيار بسرعة الى قيمة صغيرة جدا في زمن قطع يصل (12**µS**) وعند زيادة تيار البوابة (IG) وبأقل جهد موجب (**VAK**) الذي يبدأ عنده حدوث التوصيل، وعند ما يصبح الثايرستور في حالة توصيل لا يعتمد بعد ذلك على تيار البوابة (**IG**) .

## الثايرستور الموحد السليكوني المتحكم SCR (Silicon Controlled Rectifier)

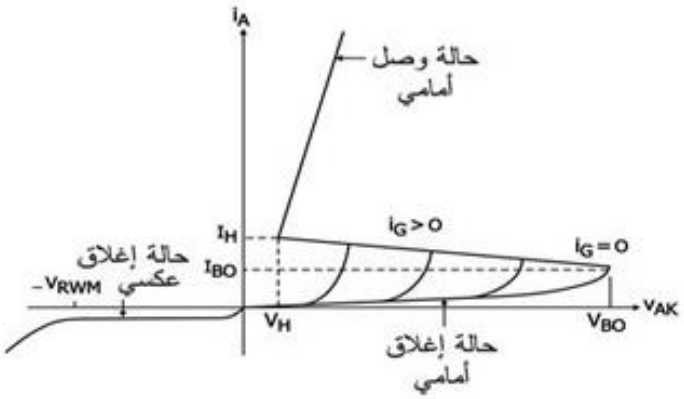
اشتعاله وخواصه:– يعمل الثايرستور عندما يكون الانود موجبا بالنسبة للكاثود ويشرط ان يكون جهد البوابة موجبا فعند ما يكون جهد البوابة سالب او صفرا فان الثايرستور يكون في حالة عدم توصيل لان الوصلة (**J1 ,J2**) في الحالة انحياز امام اما الوصلة (**J2**) فتكون في حالة انحياز عكسي لذلك

يكون غير موصل للتيار ويمكن فهم ذلك من خلال تمثيل الثايرستور كهربائيا ترانزستور الاول (**T1**) من نوع ( **P N P**) بحيث يكون جامع منع كل منها متصل بقاعده الاخرى ... فعند ما يكون جهد البوابه سالبا او قريبا من الصفر فان وصلة الباعث القاعدة (**T2**) يعتبر من الناحية النظرية تيار قاعدة (**T1**) لذلك فان تيار جامع **T1** يكون مساويا للصفر اي ان (**IT1**) في حالة **OFF** وبذلك تصبح المقاومة بين الانود والكاثود كبيرة جدا اي ان الثايرستور في حالة **OFF** اما عند تسليط جهد موجب على البوابة بحث يكون كافيا لمرور تيار القاعدة **T2** فأن ذلك يسبب مرور تيار في جامعه هذا التيار يساوي قوة تيار قاعدة **T1** مما يسبب مرور التيار جامعه يؤدي الى ان يكون تيار جامع **T1** هو تيار قاعدة **T2** لذلك يمكن الاستغناء عن جهد البوابة اي انه يستعخدم فقط لقدح امر اشعال الثايرستور كل ترانزستور يقوم بتشغيل الاخر الى ان يصبح كل منها في حالة اشتغال تام عند ذلك يصبح المقاومة للانود والكاثود قليلة جدا ويكون الثايرستور في حالة **ON** ويبقى على هذه الحالة مع عدم وجود جهد بوابة الى ان يتم اطفاءه الى الطرق المعروفة.




*Physical diagram* *Equivalent schematic* *Schematic symbol*

في تسليط ضغط عالي عليها وبالتالي الحصول على انهيار فيها بحيث تمر كثافة عالية من الشحنات من الانود الى الكاثود ويسمى هذا التيار بتيار المسك وهو اقل تيار يمر في الثايرستور يتحول من حالة القطع الى حالة التوصيل بحيث لايمكن للثايرستور من الرجوع الى حالة القطع التي تسمى عملية الاخماد او الاطفاء .




يلاحظ مما سبق انه لكي يتحول الثايرستور من حالة القطع الى حالة التوصيل يجب توفر شرطان هما

١- ان يكون الانود موجب بالنسبة للكاثود وانجاز امامي.

٢- يجب ان يكون طرف البوابة موجب بالنسبة للكاثود

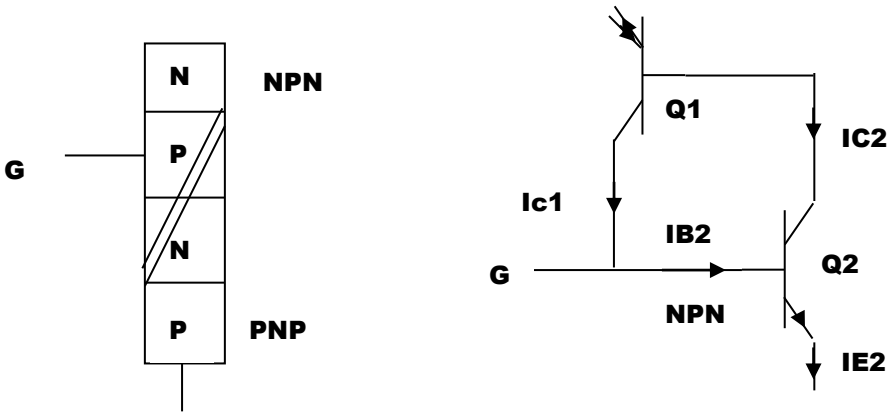
اما عملية ارجاع الثايرستور من حالة التوصيل الى حالة القطع او الاطفاء يتم بطريقتين:-

١- تسلسل تيار الحمل وتيار الانود الى قيمة اقل من قيمة تيار المسك عند هذه الحالة يعود الثايرستور الى حالة القطع وهذه الحالة تتم او عن طريق زيادة مقاومة الحمل او تقليل قيمة جهد المصدر او بربط مفتاح على التوازي مع الثايرستور.

٢- تسليط جهد عكسي بين الانود والكاثود وحيث يعمل هذا الجهد العكسي على توليد تيار معاكس لتيار الحمل مما يؤدي الى نقصان التيار المار في الثايرستور وبالتالي يتم الاطفاء واذا كان الجهد العكسي قادر على توليد تيار معاكس لتيار الحمل سوف يؤدي الى نقصان التيار المار في الثايرستور وبالتالي يتم الاطفاء واذا كان الجهد العكسي عالي قد يؤدي الى تلف الثايرستور

ومنحني الخواص للثايرستور يمثل العلاقة بين تيار الانود (**IA**) وفولتية الانود الى الكاثود (**YAK**) الموجبة عند قيم مختلفة لجهد البوابة(**VG**)

يأتي الثايرستور تراستورين احدهما نوه (**P N P**) والاخر نوع (**N P N**) مربوطين بشكل بحيث ان كل من يغذي الاخر تغذية عكسية ولهذا السبب عند البدء يجب توفير انحياز امامي عند قاعدة الترانستور الثاني عن طريق نبضة قدح خارجية لكي يعمل الترانستور نوع ( **P N P** ) والذي بدوره يشغل الترانستور الاول، وكما مبين في الشكل




يمكن تعريف الثايرستور بان مفتاح الاكتروني ممكن التحكم باشتغاله عن خلال التحكم بجهد البوابه.

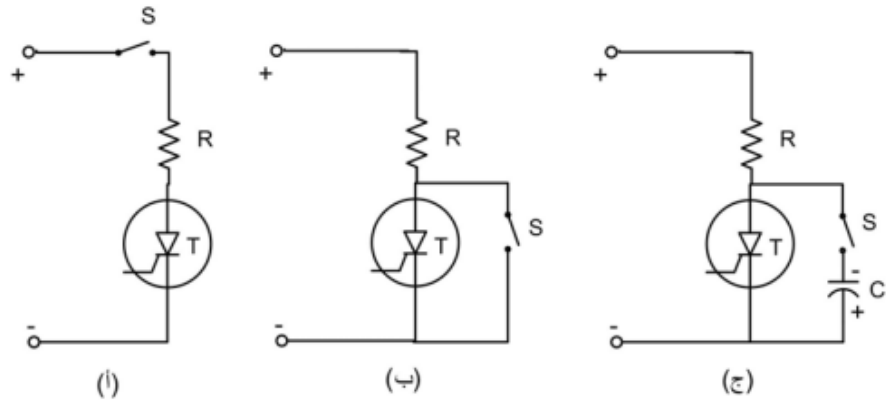
## قدح الثايرستور:-

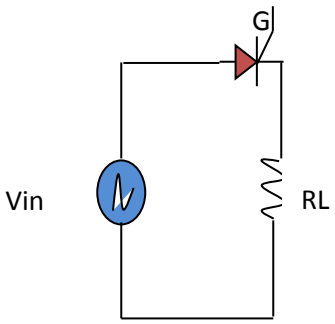
ان عملية القدح للثايرستور عن طريق البوابة تمثل افضل الطرق المستخدمة حيث يتم القدح لزمن قصير حيث تستخدم نبضة مربعة على طرف البوابة تسلط عليها لفترة زمنية قصيرة وذلك لان استمرار الجهد على البوابة يؤدي الى تلفها ونبضات القدح هذه تسلط اما من تنفس المصدر المغذي لدائرة الثايرستور او من مصدر خارجي مستقل بواسطة دائرة الكترونية تقوم بتوليد النبضات اللازمة ويجب ان يكون تردد هذه النبضات متزامن مع تردد المصدر المغذي لدائرة الثايرستور ولتحقيق شروط القدح المطلوب يجب ان تكون النبضة المسلطة على البوابة لها سعة وزمن مناسبين لعملية القدح واذا لم يتحقق ذلك فأن عملية القدح سوف تفشل. وغالبا ما تكون القيمة العظمى المسلطة على البوابة تساوي (2v) والتيار الاعظم الذي يسري في البوابة يساوي (**20mA**).

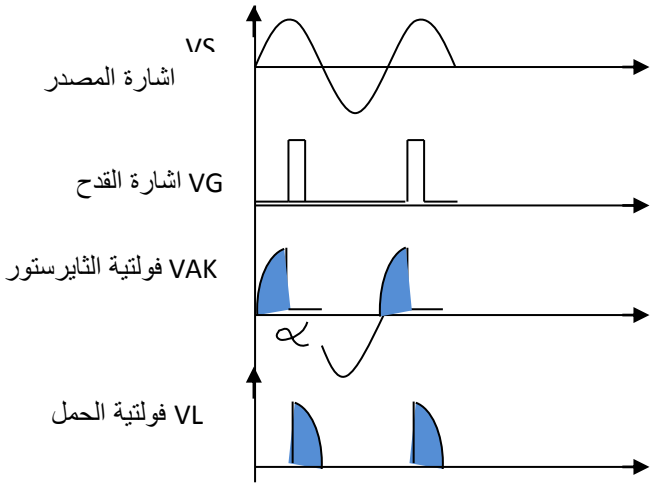
## زاوية قدح الثايرستور α:

هي الفترة الزمنية مقدرة بالدرجات الكهربائية يتم عندها تسليط نبضة قدح على طرف البوابة لكي يتحول الثايرستور من حالة القطع الى حالة التوصيل ويمكن تغيير قيمة هذه الزاوية من (0- 180) كهربائي اي ان ( $0 < \alpha < 180$ ) حيث يمكن التحكم بهذه الزاوية عن طريق دائرة الكترونية تقوم بتوليد نبضات ويكون تزودها متزامن مع تردد اشارة المصدر المتناوب في حالة التيار المتناوب يتم اطفاء الثايرستور ذاتيا عن طريق تسليط جهد عكسي خلال النصف السالب دون اللجوء الى مصادر خارجية وهذه العملية من الاطفاء تسمى بالإطفاء الطوري الذاتي وذلك لان الثايرستور يطفأ ذاتيا عند

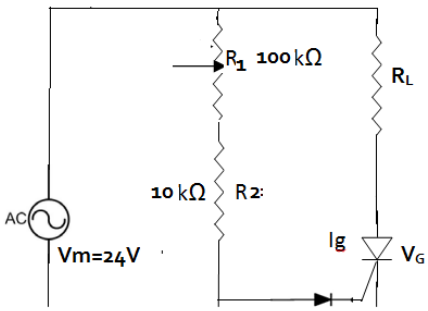
تغير طور الاشارة من الموجب الى السالب، اما في حالة التيار المستمر فان الثايرستور يبقى في وضع توصيل ولا يمكن أطفاءه بعد القدح الا عن طريق تسليط جهد خارجي وتسمى هذه الطريقه بالاطفاء القسري




مثال: في الدائرة المبينة اذا كان ($I_{G} = 0.1mA$) وفولتيه قدح البوابة ( $V_{GT}$ $= 0.5V$) والدايود المستخدم نوع سليكون وفولتية الادخال ($V_m=24v$) اوجد زاوية القدح α ، علما ان R1=100KΩ وR2=10kΩ




**الحل:**

تحدد فولتية القدرة التي يحدث عندها قدح الثايرستور

$V_G = V_{GT}=0.5V$ ، $I_G=0.1mA$

$$V_{in} = I_G (R_1+R_2) + V_D+V_G$$

$$V_{in} = 0.1(100+10)+0.7+0.5=12.2V$$

بما ان :$V_{in}$ هي موجة جيبيه تخضع للمعادلة التالية

$$V_{in} = V_m \text{ Sin } wt$$

حيث wt هي زاوية الطور عند أي اللحظة (C) وهنا تمثل(α) وهي زاوية القدح

**Vin =24 Sin(α) ⇒ 12.2=24 Sin(α) ⇒ Sin(α) = 12.2/24=0.51**

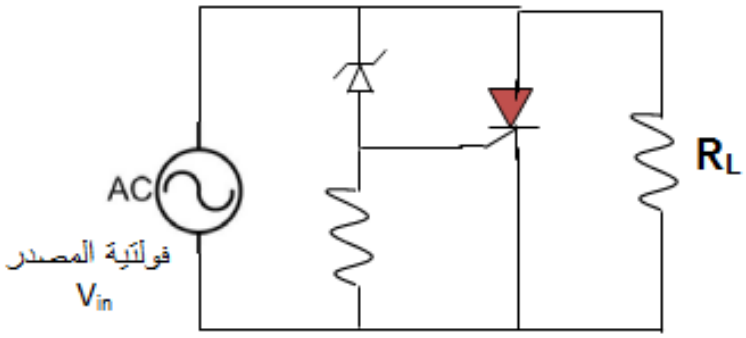
## تطبيقات الثايرستور:

هناك تطبيقات عملية كثيرة يتستخدم فيها الثايرستور خصوصا التطبيقات الصناعية والاجهزة المنزلية التي تعمل بالقدرة العالية نظرا لان الثايرستور يتحمل تيارات عالية ولانه عنصر يمكن التحكم في توصيله او عدم توصيله وهذه هي الصفة المهمة التي تميز الثايرستور عن الثنائيات الاعتيادية المستخدمة لنفس الغرض ومنها :

١- حماية الحمل من الزيادة المفاجئة في الفولتية

يكون ثنائي زينر مفتوحا طالما كانت فولتية المصدر اقل من $V_Z$ وبذلك يكون (**SCR**) مفتوحا لعدم استلامه القدح لذلك فأنه فولتية المصدر تظهر على الحمل عند حدوث خطأ في المصدر بحيث ان فولتيته تحاول ان تزداد على ($V_Z$) فان ثنائي زنر ينكسر فيقدح (**SCR**) وبذلك يفصل مجهز القدرة عن الحمل (يقصر الحمل)

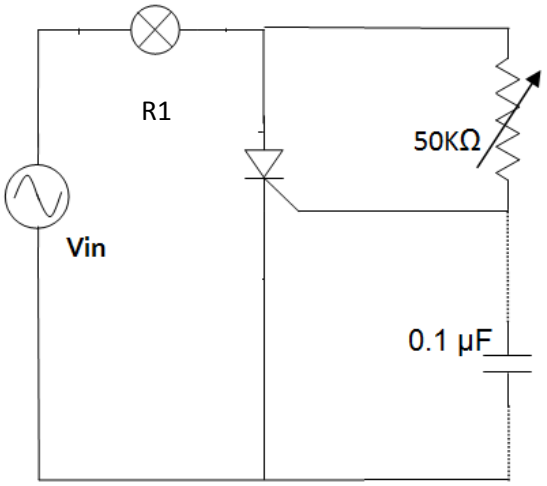
ولانه (**SCR**) ينغلق بسرعة وبذلك يوفر الحماية للحمل وعلى الفور من تأثيرات زيادة الفولتية الضارة .




فلو فرضنا ان الحمل يعمل على فولتية مقدارها ( **20V**) فاننا نستخدم ثنائي زنر دايود يعمل بفولتيه ( **20V**) فأذا ازدادت فولتية المصدر عن **20V** فأن الزنر دايود يعمل ويقدح الثايرستور بسرعة والذي يكون دائرة قصر على الحمل فيفصله على الفور.

## السيطرة على شدة أضاءه مصباح:-

في الدائرة المبينة اذا اعتبرها التيار المار في بوابة الثايرستور قليل فان قيمة تيار المتسعة



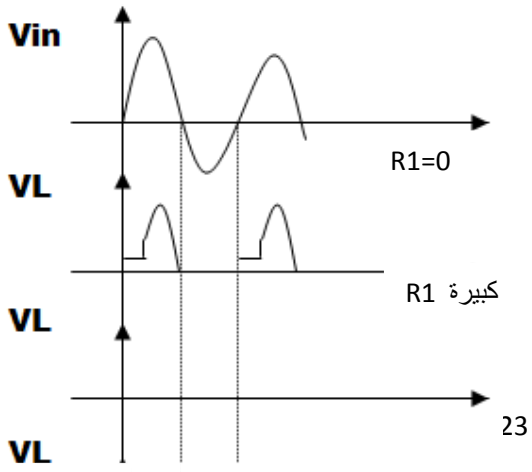

$$I=I_C = \frac{V_{in}}{(R_1+R_2) +(1/jwc)}$$

$$V_c = I_c * Z_c = \frac{V_{in}}{(R_1+R_2)+(1/jwc)} \frac{1}{jwc} = \frac{V_{in}}{jwc\,(R_1+R_2)+1}$$

من المعادلة النهائية نلاحظ بأنه عندما تكون قيمة ($R_1=0$) فان المقدار ($jwcR_2 \ll 1$) مما يؤدي الى ان تكون فولتية المتسعة مساوية تقريبا لفولتية الادخال ($V_{in}$) وبنفس الطور وعند زيادة $R_1$ الى اكبر قيمة يكون المقدار ($jwc(R_1+R_2) \ll 1$) مما يؤدي الى ان تكون قيمة فولتية المتسعة قليلة المقدار ومتأخرة عن فولتية الدخل بفرق طور مقداره (90) ومن هذا فأننا نجد انه عندما تتغير قيمة المقاومة $R_1$ فان زاوية التوصيل للثايرستور تتغير من (0 – 180) تقريبا مما يؤدي الى ان يكون تيار الحمل متغير.

## عمل الدائرة:-

مما سبق نلاحظ ان التحكم بشدة الانارة يتم عن طريق التحكم بالمقاومة $R_1$ والتي بدورها تتحكم بزاوية القدح للثايرستور، فلو فرضنا ان $R_1$ عند اكبر قيمة لها فانه كل الفولتية تسلط عليها تقريبا مما يؤدي الى ان فولتية المتسعة تكون قريبة من الصفر وبذلك فانه الثايرستور لايوصل وبالتالي فان فولتية الحمل تساوي صفر، عندما نقلل $R_1$ فان فولتية المتسعة تبدأ بالزيادة وبالتالي يبدأ الثايرستور بالتوصيل ( تعتمد درجة التوصيل على قيمة $R_1$ $R_2$ وقيمة المتسعة) وبذلك تبدأ الفولتية تظهر على الحمل وبذلك نلاحظ ان المصباح سيتوهج ( يزداد التوهج بنقصان $R_1$ ) يستمر الثايرستور بالتوصيل عند النصف الموجب من الدورة اما في النصف السالب فانه لايوصل وهكذا تعاد نفس العملية خلال كل دورة ان زاوية قدح الثايرستور لها مدى تقريبا يساوي (10– 180 ).

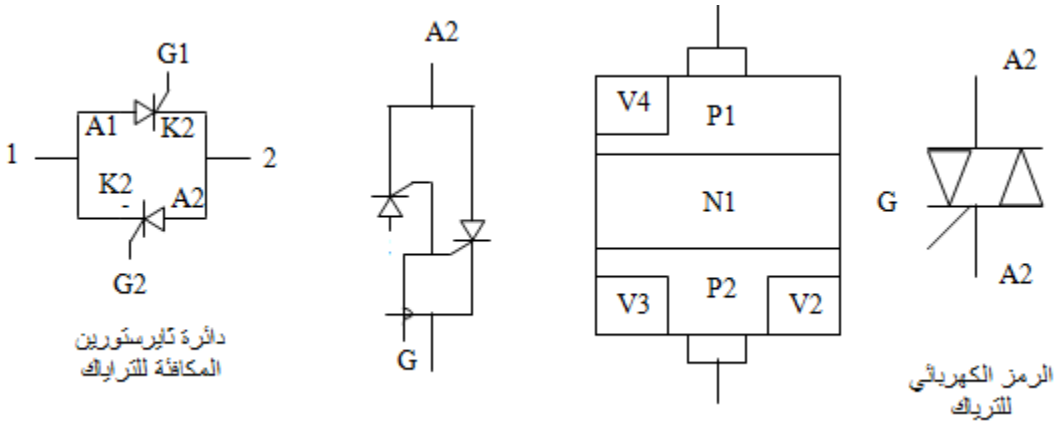


R1 متو

## الترياك TRIAC

هو احد العناصر التي تنتمي الى مجموعة الثايرستور وله بوابتين وطرفان حيث تستخدم هاتان البوابتان في تشغيل الترياك في كل الاتجاهين الموجب والسالب وهذه الخاصية تجعله مفيدا في تطبيقات التيار المتناوب.

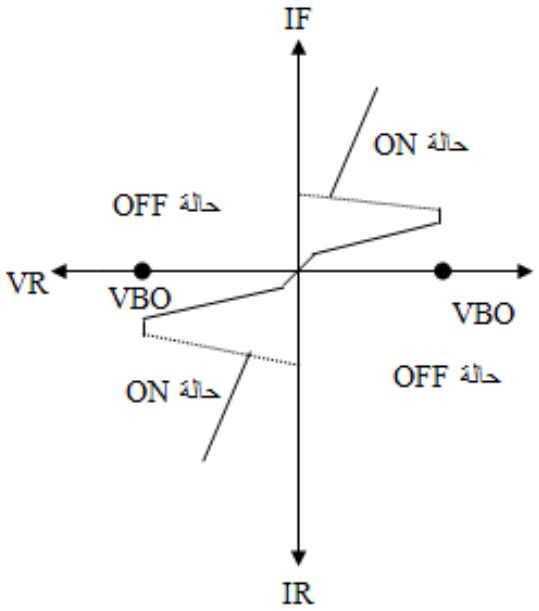
في حالة عدم توفر الترياك يمكن استخدام ثايرستورين يربطان بشكل متوازي ومعكوس للحصول على دائرة مكافئة للترياك ولكن له بوابتان بحيث ان كل ثايرستور يقدح خلال نصف دورة بإشارة متناوبة.




## منحنى الخواص للترياك وكيفية عمله:

عند تسليط فولتية موجبة الى $A_2$ فانه مسار التيار يكون ( $P_1\ N_1\ P_2\ N_2$) حيث تكون الوصلتان $P_1\ N_1$ و $P_2\ N_2$ بانحياز عكسي، وتكون البوابة موصلة في حالة النصفين للدورة الموجب والسالب.

عند تسليط فولتية موجبة الى $A_1$ فانه مسار التيار يكون ( $P_1\ N_2\ P_2\ N_1$) حيث تكون الوصلتان $P_2\ N_1$ و $P_1\ N_4$ منحازه اماميا بينما الوصلة $N_1\ P_1$ منحاز عكسيا والتوصيل يتم بقدح البوابة اما بالجزء الموجب او السالب




## تطبيقات التراياك:-

يستخدم التراياك في تطبيقات مختلفة للتيار المتناوب خصوصا في السيطرة على الاحمال التي يتطلب عملها تغذية بالانارة المتناوبة أي العمل خلال نصفي دورة الانارة الموجب والسالب كالسيطرة على وسائل التدفئة والتسخين في الاحمال التي تحتاج الى تيارات عالية يفضل استخدام ثايرستورين مربوطين على التوازي بشكل معكوس بدلا من التراياك لكي نحمي التراياك من التلف نتيجة الارتفاع بدرجة الحرارة بسبب التيار العالي.

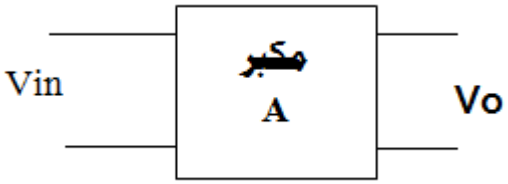
## السيطرة على شدة الانارة بأستخدام التريـاك:-

نفس الدائره السابقة والاختلاف فقط هو ان العمل يكون خلال النصفين السالب والموجب من فولتية الادخال.

**الدایاك:**- وهو عنصر رباعي عن الطبقة يمتلك طرفين ( $T_1$ و $T_2$ ) وليس له بوابة ويشمل عندما يتجاوز سرعة الجهد الموضوع بين $T_1$ و $T_2$ قيمة فولتية الانكسار بالاتجاه الامامي او بالاتجاه العكسي ويستخدم الدياك كعنصر قدح للتراياك حيث اذا تجاوزت فولتية الادخال قيمة فولتية الانكسار للداياك سيوصل التراياك ويمر التيار من خلاله الى بوابة التراياك المربوطة على التوالي معه .

## الهزازات Multividrator

المذبذب دائرة الكترونية تقوم بتحويل التيار او الفولتية المستمرة (D.C) الى تيار او فولتية متناوبة ذات تردد عالي واشكال موجية مختلفة مثل موجة جيبية او مربعة او موجة من المنشار وغيرها. ويختلف المذبذب عن المكبر هو ان المكبر يجب ان يحتوي على اشارة ادخال حتى يظهر اشارة اخراج لها نفس الشكل ولكنها مكبرة بمساعدة مصدر مستمر وهذا يعني ان المكبر اساسا يأخذ الطاقة من المصدر المستمر ويحولها الى طاقة متناوبة بوجود اشارة ادخال وفي حالة عدم وجود اشارة ادخال فان الاخراج يكون صفر اما المذبذب فانه لا يحتاج الى اشارة ادخال ولكنه يحتاج الى مصدر مستمر اما تردد الاشارة الخارجية فيعتمد على مكونات المذبذب.




مكبر بدون تغذية خلفية

## التغذية الخلفية:Feed back

تعني ان جزاء من اشارة الاخراج يعاد الى الادخال وهذا الاشارة الراجعة تشترك مع ادخال الاصلي منتجة تسيرا ملحوظا على اداء المنظومة وبالتالي السيطرة على اشارة الاخراج سيطرة دقيقة وتقسم التغذية الخلفية الى النوعين:

**١- التغذية الخلفية الموجبة:**

تعني ان طولا الاشارة الراجعة بنفس الطور مع اشارة الادخال وبذلك تساعد على زيادة اشارة الادخال يستخدم في دوائر المبذبذبات او الهزازات.

**٢- التغذية الخلفية السالبة**

يعني ان طور الاشارة الراجعة يعاكس طور اشارة الادخال ( فرق طور مقداره ١٨٠ ) ويستخدم في دائرة المكبرات لعلاقة الخاصة بالتكبير النهائي لمنظومة التغذية الخلفية:-

يحسب كسب المكبر بدون تغذية خلفية من العلاقة التالية

$A = Vo / Ai$

حيث يمثل A كسب الحلقة المفتوحة (Open loop gain)

وعند اضافة دائرة تغذية خلفية للمكبر كما في بشكل

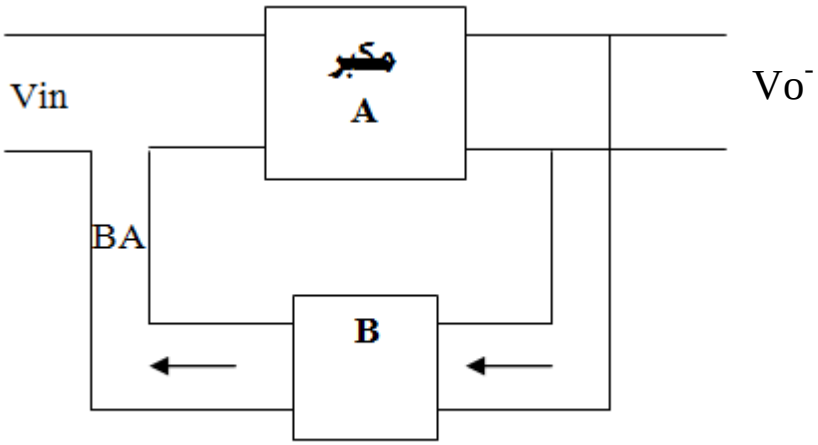
لنفرض ان Vo هي فولتية الاخراج مع تغذية خلفية حيث ان جزءاً من هذه فولتية يعاد الى الادخال (VB) والتي تصبح عندئذ

$A(Vin = \beta Vo)$ فولتية الادخال

اعتمادا على كون الاشارة الراجعة بنفس الطور او عكس الطور مع الادخال وبذلك فأنها تكبر بـ( A )من المرات وتصبح فولتية الاخراج تساوي الى ((A( Vin ± Bvo)) وكما يلي:-

$Vo^{-}( Vin \pm Bvo^{-} ) \Longrightarrow Vo^{-}(1 \pm BA ) = AVin$

وبذلك فأن كسب التكبير بالتغذية الخلفية




دائرة التغذية الخلفية

يعد المقدار (βA)معامل التغذية الخلفية ، يدعى المقدار (β) نسبة التغذية الخلفية ويدعى المقدار (1+ βA) كسب الدارة او الحلقة ويدعى كذلك كسب الحلقة المغلقة وذلك لانه يحسب بعد غلق حلقة التغذية الخلفية ويدعى المقدار ($A^-$ /A) بعامل التضحية (Sacrifice Factor) ((S))

* For – Ve Feeb Back ——

because $(1 + \beta A) > 1$

EX; A= 90 , β = 1/ 10 = 0.1

——

التغذية الخلفية السالبة تزيد عرض الخدمة وتفيد ممانعات الادخال والاخراج وتقلل التشويه في الاشارة الخارجة وكذلك الدائرة تكون اكبر استقرارا لانها تعتمد على قيم مكونات الدائرة الخارجية اكثر من اعتمادها على المكونات الفعاله ، من ذلك نلاحظ ان التغذية الخلفية السالبة للمكبر تقلل الكسب ويعني ان الكسب بدون تغذية خلفية سالبة =٩٠ ومع تغذية خلفية سالبة يكون=٩

وعندما $(\beta A \gg 1)$ فأن $(A^- = \frac{A}{\beta A} = \frac{1}{\beta})$ وذلك يعني$(A^-)$ يعتمد فقط على قيمة .

* +Ve feed back ——

$A^- > A$ because $(1- \beta A) < 1$

ويعني ان الكسب بدون تغذية خلفية موجبة = 90 ومع تغذية خلفية موجبة يكون 900

Ex: $\beta = 0.01$ , $A = 90$

$$A^{-} = \frac{90}{1-(0.01 \times 90)} = 900$$

ومن ذالك نلاحظ ان التغذية الموجبة للمكبر تزيد الكسب

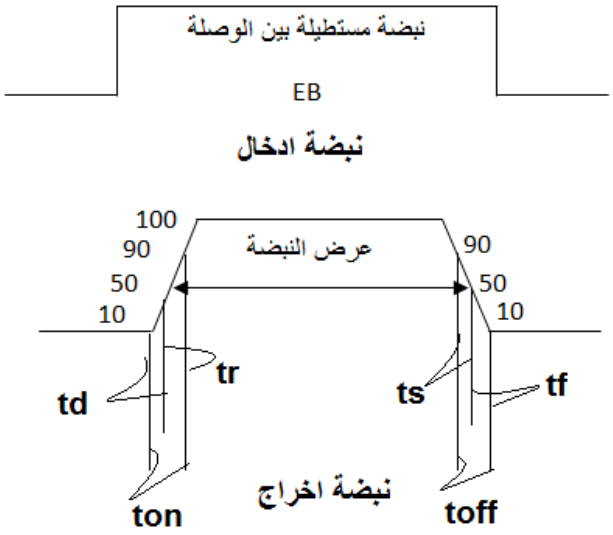
وعندما ($\beta A = 1$) فان الكسب يصبح باللانهاية وهذا يعني ان هناك اشارة اخراج بدون اشارة ادخال

ويصبح المكبر بذلك مذبذب والشروط الاساسية الحصول التذبذب هي:-

١- التغذية يجب ان تكون موجبة

٢- عامل التغذية الخلفية او كسب الدارة يجب ان يساوي ١، أي ان ($AB = 1$)

استجابة الترانستور لموجبة ادخال مستطيلة




نتيجة للتأثير السعوي للترانستور والمكونات الخارجية في دائرته فان موجة الاخراج له لا تتبع مباشرة موجة الادخال فعند تسليط نبضة ادخال الى وصلة EB فان هناك زمن تأخير قبل ان يبدأ تيار الجامع (Ic) بالزيادة ونفس الشيء يحصل عندما تصبح الفولتية صفر فان هناك زمن تأخير قليل قبل ان يبدأ (Ic) بالنقصان

وبذلك فان هناك زمن تأخير بين موجة الادخال والاخراج ولمعرفة اشتغال الترانستور NO, OFF فأتنا يجب ان نعرف بعض المصطلحات وازمنة التأخير المختلفة كما يظهر في الشكل اعلاه

## زمن التأخير Time Delay ((td))

هو الفترة الزمنية بين بداية نبضة الادخال حتى وصول تيار او فولتية الاخراج الى (10%) من قيمتها العظمى ويعتمد على سعة منطقة الوصلة وتيار القاعدة وقيمة B للتراستور.

## زمن الارتفاع Rise Time : ((tr))

الزمن اللازم لتيار او فولتية الاخراج حتى ترتفع من ((10%)) الى (90%) من قيمتها العظمى الاولية.

## زمن التشغيل Turn On Time

يساوي مجموع زمن التأخير من من الارتفاع . (ton = td + tr)

## زمن الخزن Storcgc Time (( ts))

الفترة الزمنية بين نهاية نبضة الادخال ( حافة النزول) او الزمن عندما تقل نهية فولية او تيار الاخراج الى (90%) من قيمتها الاولية

## زمن التغذية Fall Time ((tf))

الفترة الزمنية والتي خلالها تقل فولتية او تيار الاخراج من (90%) من قيمتها العظمى الاولية.

## زمن الاطفاء Turn off time (( toff))

يساوي مجموع زمن النزول والخزن ( toff = ts + tf)

## عرض النبضة Band width (( BW))

الفترة الزمنية لموجة الاخراج مقاسة بين 50% من زمن ارتفاع ونزول الموجه.

## الهزازات Multivibrator AMV

هي احدى انواع المذبذبات وهي عبارة عن داوائر الكترونية تستخدم الترانستورات او الدوائر المتكاملة لتوليد موجات مربعة او مستطيلة حيث تستخدم ترانستورين مع توقيت نوع R – c مربوطتين على شكل تغذية خلفية بحيث يكون احد هذين الترانستورين في حالة توصيل بينما يكون الترانستور الثاني في حالة قطع بصورة منظمة ولذلك فان الاخراج سوف يتذبذب بني القيمة العظمى او القيمة السفلى بحيث يكون شكل الموجة الناتجة هو موجة مربعة تتضمن الدورة الكاملة في موجة الاخراج على زمنين هما زمن التوصيل وزمن القطع ولذلك تسمى هذه الهزازات مذبذبات الارتخاء لوجود حالة القطع التي يكون فيها المذبذب في حالة ارتخاء.

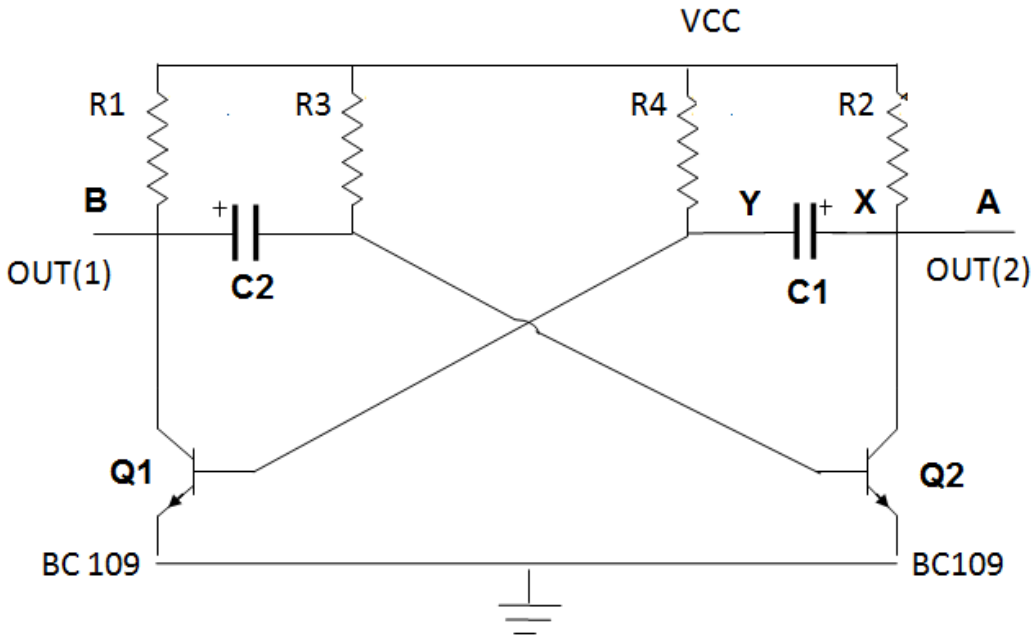
للهزازات اخراجان هما Vo1 و Vo2 حيث Vo1 هو اخراج الترانستور الاول و Vo2 هو اخراج الترانستور الثاني وبسبب الشكل الذي يربط به الهزاز فأنه قيمة Vo1 هي معكوس Vo2

يوجد نوعين من الهزازات الاول النوع مهتزات حرة الدوران، ويحدث فيها التذبذب تلقائيا عند ربطها الى المصدر وهي لا تحتاج الى تحفيز خارجي والنوع الثاني مهتزات ذات اشارة قدح(trigger). ويشترط في عملها ان تسلط اشارة تحفيز خارجية كإشارات قدح تسوق المهتز.

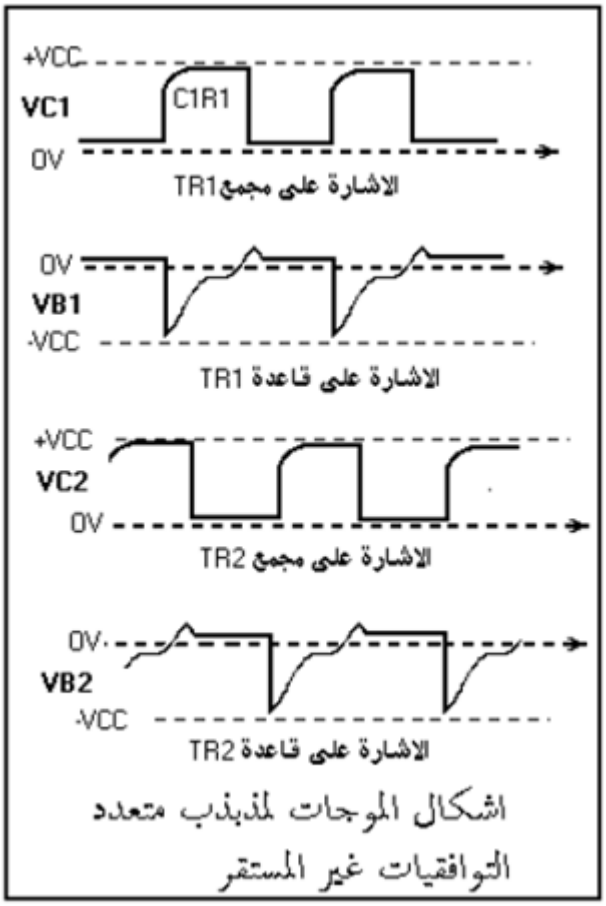
وتقسيم الهزازات الى ثلاثة اقسام

١- الهزاز الغير المستقر (Astable multivibrator)

وهو مثال على النوع الاول من المهتزات سمي هذا الهزاز بهذا الاسم لعدم وجود حالة مستقرة له فهو يتأرجح بين حالتين هما القطع والتوصيل وهذه الحالة ناتجة بسبب وجود شكلين التوصيل ( $R_{B1}$ $C_1$ , $_{RB2}$ $C_2$) حيث تعمل هاتان الشبكتان على تغيير الحالة للهزاز بشكل مستمر ومنظم




تتكون دائرة الهزاز عديم الاستقرار من ترانزستورين مربوطين كمكبر باعث مشترك لمرحلتين كل منهما تجهز تغذية خلفية للأخرى وتكون موجبة لانه هناك فرق طور مقداره ١٨٠ لكل مرحلة.




يكون Q1 منحاز اماميا عن طريق Vcc والمقاومة $Rc_1$ بينما Q2 منحاز عن طريق Vcc والمقاومة $Rc_2$ . الفولتية $V_{CE}$ لكل من Q2 و Q1 توجد على الترتيب بواسطة $RB_1$ و $RB_2$ مع Vcc ونلاحظ انه اخراج Q1 بواسطة C2 بينما اخراج Q2 يقرن الى ادخال Q1 بواسطة C1 ويؤخذ الاخراجان من النقاط A و B

## عمل الدائرة:

لأجل فهم عمل الدائرة نفرض Q1 في حالة ON لذلك فأن Q2 في حالة OFF ، ولنفرض الان ان الترانستور Q1 تحول الى حالة OFF بينما Q2 تحول الى حالة ON ولنأخذ الان حالة فروق الجهد عبر صفائح (x,y)

المتسعةC1 قبل لحظة التحول.

نلاحظ ان الصفيحة x مربوطة الى جامع Q2 والذي كان في حالة off لذلك فأن فولتية جامعه تساوي Vcc بينما الصفيحة y مربوطة الى الترانزستر Q1 والذي كان في حالة ON و فولتية قاعدته مقدارها (0.6V) تقريبا أي ان للمتسعة C1 فرق جهد يساوي (Vcc -0.6 ) في لحظة التحول واشتغال Q1 (ON) سوف تهبط فولتية جامعه الى صفر فولت تقريبا وبذلك تصبح فولتية الصفيحةx صفر فولت في هذه اللحظة تحاول المستعة ان تحافظ على فرق الجهد بين صفيحته Y الى (Vcc -0.6) هبوط جهد الصفيحة Y الى هذه القيمة السالبة يؤثر على اشارة Q1 ويحوله الى حالة قطع بعد هذه اللحظة تبدأ المتسعة C1 بالشحن مرة اخرى .

فأذ اكان C1=C2 و $R_{B1}=R_{B2}$ ،فأن الفترة الزمنية لكل حالة تكون متساوية T1=T2 لذلك فأن الزمن الدوري للنبضة الخارجة يكون 2T1 ويحسب التردد من العلاقة

_____

اما عند تماثل مقاومات ومتسعات الدائرة ، فيمكن حساب التردد كما يلي _____

معادلات تصميم الهزاز الغير مستقر

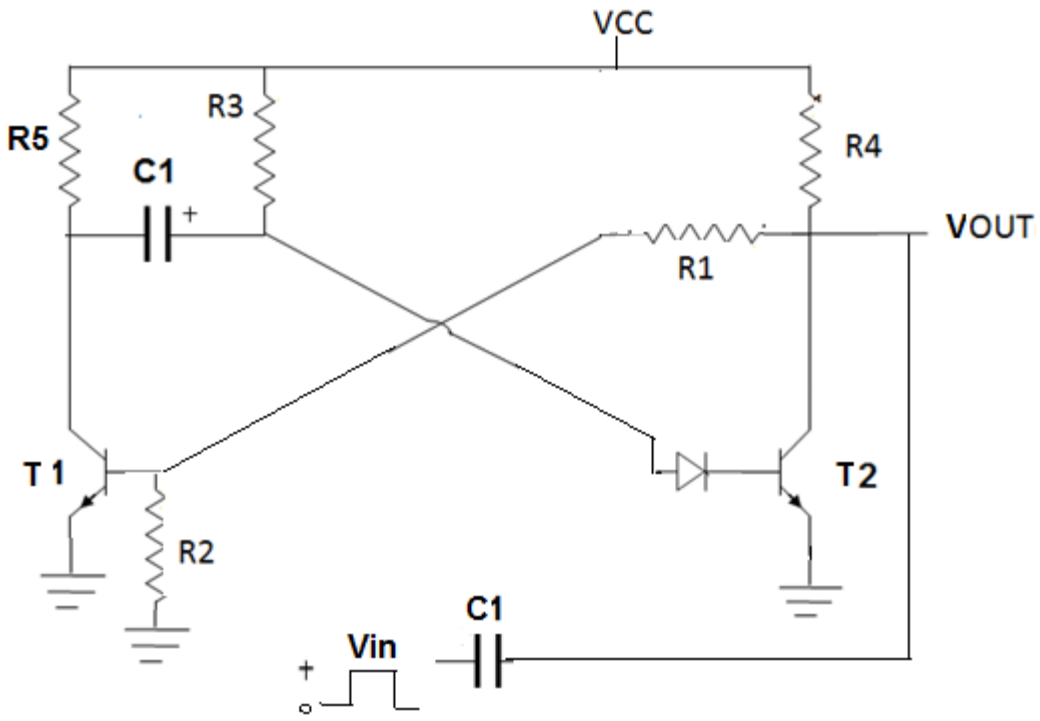
_____ _____

[_____ _ ينتج ⇒ _____

## الهزاز احادي الاستقرار (Mon stable Multivibrator) :-

ويسمى هذا المهتز ايضا بالمولد ذو الطلقة الواحدة (on shot) لأنه يحتاج الى نبضة قدح لتحويله من الوضع المستقر الى الوضع غير المستقر، اما عملية رجوعه الى الوضع المستقر ثانية فتتكفل بها ثوابت الدائرة .

تتكون دائرة المهتز احادي الاستقرار من ارتباط دائرة مهتز غير مستقر ويمكن استعمال دائرة هذا المهتز كدائرة لتأخير النبضات ، وذلك للتأخير الزمني الناتج لنبضة اخراج الدائرة مقارنة بإشارة الادخال والدائرة موضحه بالشكل الاتي




### عمل الدائرة

في حالة الوضع المستقر يكون التر انزستور ( T2) في حالة التوصيل وذلك بسبب تيار المار بالقاعدة $I_{B2}$ المجهز من المصدر المستمر.

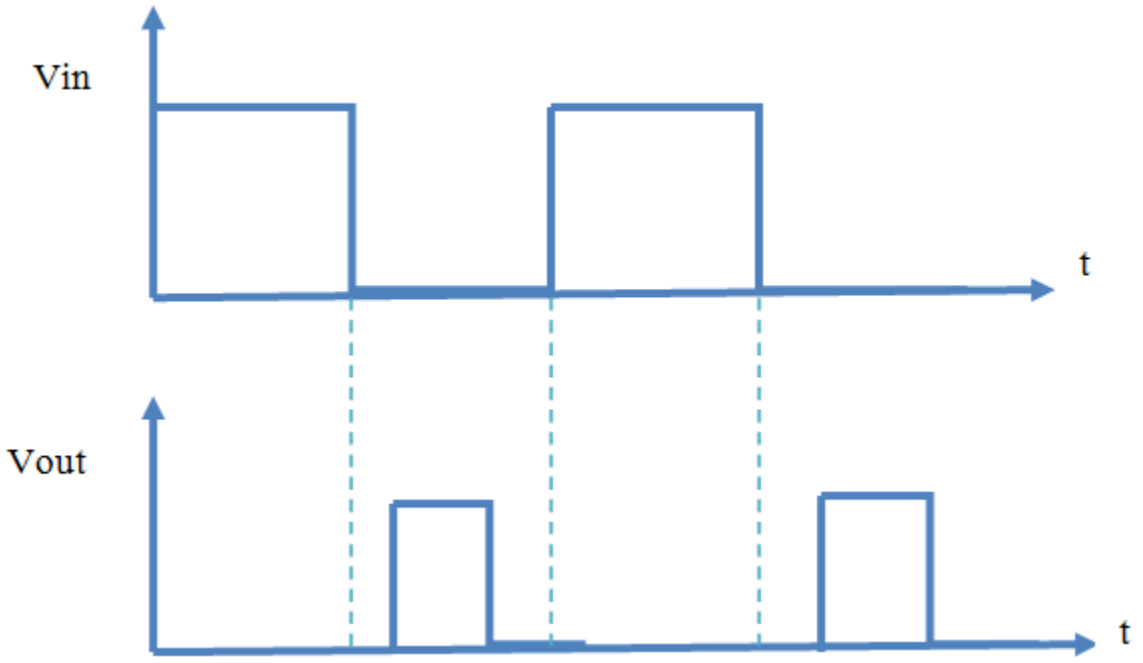
اما الترانزستور ( T1) فيكون في حالة قطع وذلك لان قيمة الجهد ( $V_{BE1}$) تقارب الجهد الارضي لأنها جزء من جهد التغذية الخلفية الناتج من جامع الترانزستور الثاني والذي يكون مؤرض لأنه في حالة توصيل.

الحالة المستقرة لهذا المذبذب لا تتغير الا بعد تسويقه بواسطة مصدر خارجي يكون بإجبار ترانزستور الثاني على التحول الى حالة القطع عند ذلك يقوم مقسم الجهد ($R_1$,$R_2$,$R_4$) بتوفير جهد الانحياز الامامي اللازم لتحويل ترانزستور الاول الى حالة توصيل ، ان بقاء (T1) في حالة التوصيل سيسبب شحن المتسعة ($C_1$) عن طريق المقاومة ($R_3$) وسيكون جهد هذه المتسعة مسلط مباشرة على قاعدة وباعث ($T_2$)وبالاتجاه الامامي بسبب توصيل ($T_1$) لذلك يتحول ($T_2$) الى التوصيل عند بلوغ شحنة المتسعة الى قيمه محددة .

وسيكون جهد جامع ($T_2$) المؤرض بإجبار ($T_1$) على التحول الى حالة القطع يبقى وضع الدائرة ثابت على حالته المستقرة الى ان تصل نبضة ادخال تجبرها على التحول الى وضع القطع للترانزستور الثاني(T2) ثم تعود الدائرة الى الحالة المستقرة كما بينا ..... وهكذا

يعتمد رجوع ($T_2$) الى التوصيل و($T_1$) الى القطع على ثابت زمن شحنة المتسعة الذي يمكن حسابه كما يلي

الشكل الاتي يوضح الاشارات الكهربائية لإدخال واخراج هذه الدائرة

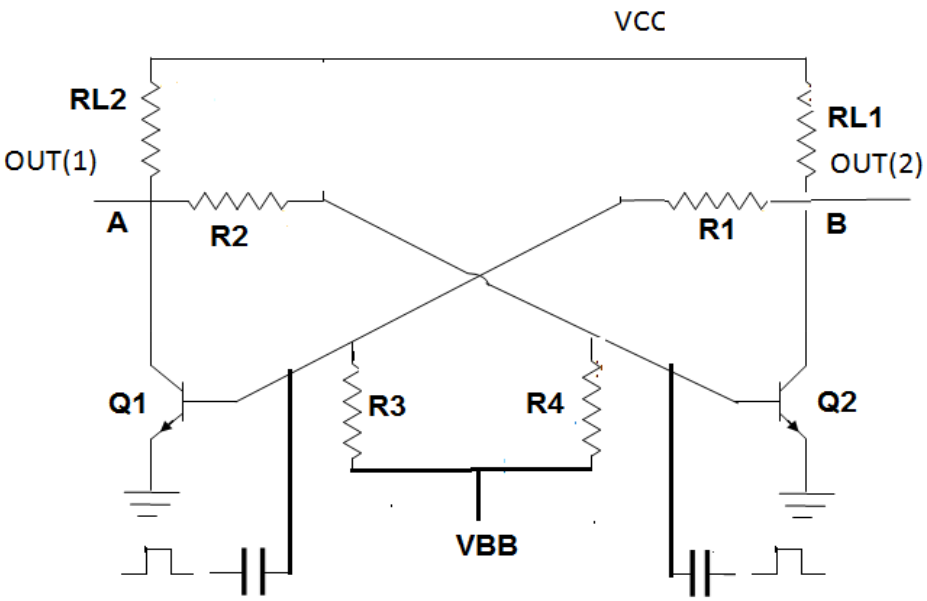


## الهزاز ثنائى الاستقرار Bistable Mulltivibrator :-

لهذا الهزاز حالتان مستقرتان ويمكن ان يبقى على أي من الحالتين الى ما لانهاية طالما هناك قدرة مجهزة ويتغير الى الحالة المستقرة الاخرى فقط عندما يستلم نبضة قدح من الخارج وعندما يقدح مرة اخرى يعود الى حالته الاصلية . وبما ان نبضة القدح الواحدة تجعل الهزاز ينقلب من حالة الى اخرى والنبضة الاخرى تجعله يرجع الى حالته الاصلية فأن الهزاز ثنائي الاستقرار يعرف باسمه الشائع النطاط (flip flop).

تختلف الهزازات ثنائية الاستقرار عن الهزاز احادي الاستقرار حيث:- ١- مقاومة القاعدة غير مربوطة الى $V_{CC}$ لكنها مربوطة مع

٢-التغذية الخلفية مربوطة عبر المقاومات وليس عبر المتسعات.




اذا $Q_1$ في حالة ON فأن جهد النقطة A يكون

كان

تقريبا صفر فولت مما يؤدي الى جعل قاعدة ذات جهد سالب بواسطة مجزء الجهد $R_2,R_4$

ويبقى $Q_2$ في حالة قطع.

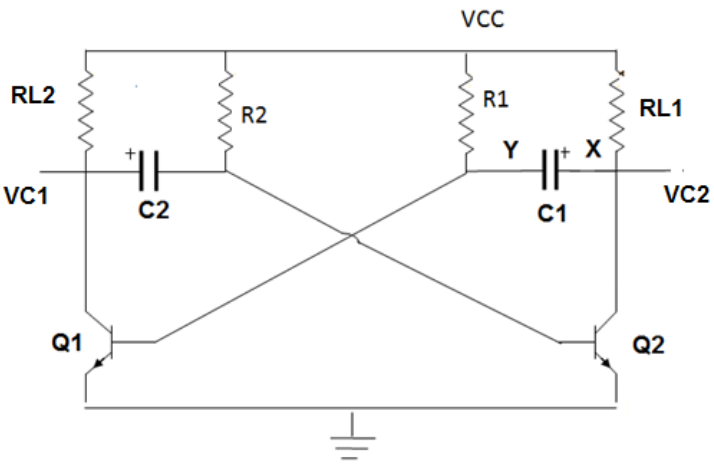
## امثلـــة على المهتزات

مثال (١)

مهزاز غير مستقر كما في الشكل الاتي ، اوجد تردد التذبذب اذا كانتΩ

وF

الحل:-




يكون ثابت الزمن في الحالتين متساوي لذلك

[ ]

ويكون تردد الدورة الواحدة

يكون تردد التذبذب او الاهتزاز

مثال (٢)

في دائرة مهتز احادي الاستقرار افرض ان الترانزستورات مثالية .

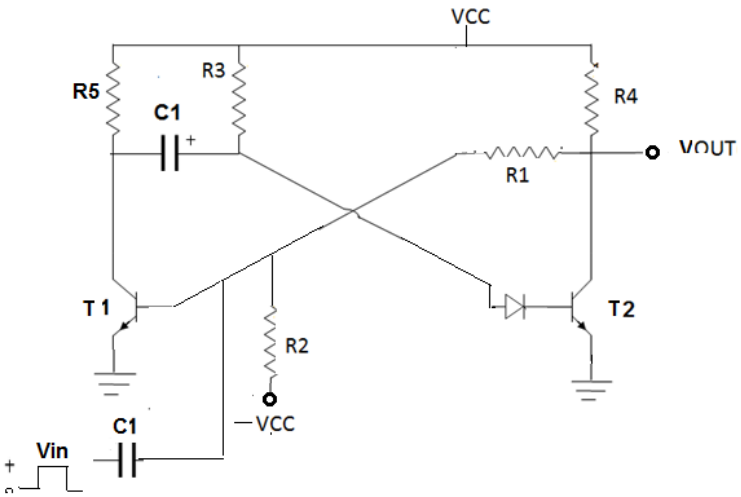
وان

احسب :-

١- زمن دورة المهتز

٢- قيمة ( $V_{C2}$ ) خلال دورة كاملة للمهتز

٣- قيمة ( $V_{B1}$ ) خلال حالة الاستعداد *stand by*




الحل:-

١- يحسب زمن دورة المهتز من

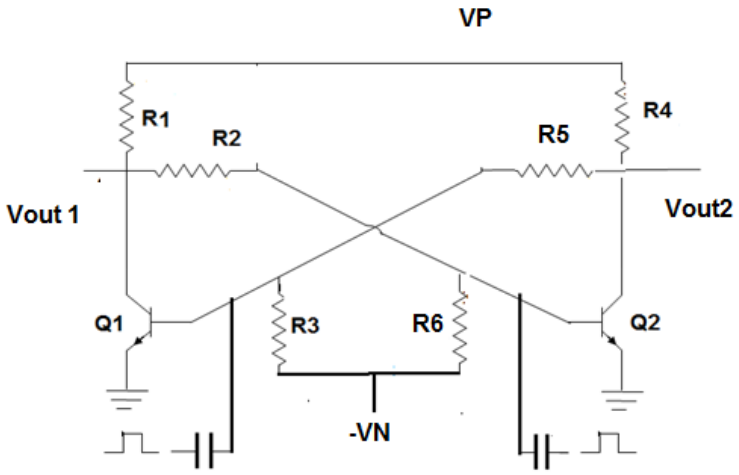
٢- خلال دورة كاملة تزداد قيمة $V_{C2}$ الى:

٣- خلال حالة الاستعداد *stand by* ، $(T1)$ يكون مقطوع ،وتكون فولتية القاعدة للترانزستور في هذه الحالة معتمده على المقاومات $R_2$ و $R_1$ وتحسب $V_{B1}$ كما يلي:

مثال (٣)

اوجد قيمة فولتية القاعدة وفولتية الجامع لكل ترانزستور للدائرة المبينة بالشكل

افرض ان ,




الحل :-

نفرض ان موصل ، مقطوع ، لنفرض ان وكذلك ويكون

ولكي نوجد قيمة $V_{B2}$ ، فأن فرق الجهد عبر مقاومات التوالي $R_2$ و $R_6$ يكون مساويا لـ:

ويكون فرق الجهد عبر $R_6$ مساويا لـ

وتكون فولتية قاعدة الترانزستور $(T_2)$ نسبة الى الارضي:

,

ويمكن حساب $V_{C2}$ وذلك بوجود فرق جهد مقداره

عبر مقاومات التوالي $R_{56}$ , $R_4$ ويكون فرق الجهد عبر $R_4$ مساويا :

تقسم الدوائر المتكاملة من حيث تعاملها مع الاشارات الداخلة والخارجة الى قسمين :

١- الدوائر المتكاملة الخطية

٢- الدوائر المتكاملة غير الخطية ( المنطقية)

سميت بهذا الاسم وذلك بسبب تغير الفولتية في الاخراج تغير خطي مع الادخال واذا كانت فولتية الادخال صفر فولت فان الاخراج يكون صفر فولت واذا ازدادت الفولتية في الادخال تزداد الفولتية في الاخراج وبالعكس ومن امثلة الدوائر المتكاملة الخطية مكبر العمليات.

## مكبر العمليات:

وهو من الدوائر الشائعة الاستخدام في كثير من التطبيقات العملية حيث يقوم هذا المكبر بالإضافة الى عملية التكبير بتنفيذ العلميات الرياضية مثل الجمع والطرح والضرب والتكامل والتفاضل والمقارنة ولهذا السبب يسمى بمكبر العمليات.

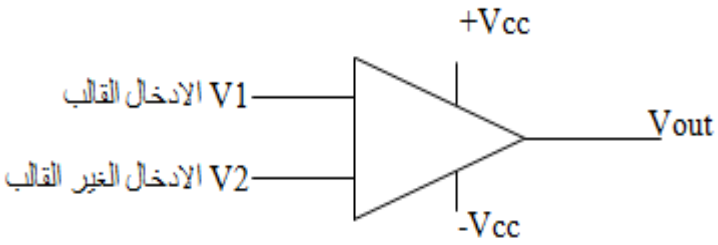
الشكل التالي يمثل الرمز الكهربائي لمكبر العمليات.

**تركيب مكبر العمليات**

إن مكبر العمليات هو نظام إلكتروني له دخلين $V_1$ ، $V_2$ وخرج واحد هو $V_o$

وسوف نقوم بدراسة مكبر العمليات كنظام كامل مغلق للتعرف على أطرافه وخواصه وتطبيقاته دون الدخول في تفاصيل تركيبه الداخلي لأن ذلك يحتاج إلى الكثير من الوقت والخلفية الجيدة في مجال الإلكترونيات .

إن مكبر العمليات هو نظام إلكتروني له دخلين ( V1 – V2 ) وخرج واحد فقط ( Vo ) وعادة نحتاج إلى مصدري جهد أحدهما يعطى جهداً مستمراً موجباً ( +15 V ) والآخر يعطى جهداً سالباً ( -15V )



خرج مكبر العمليات هو عبارة عن الفرق بين قيمة كل من الجهدين $V_1$ ، $V_2$ ، الموجودين على لرجل الدخل مضروباً في معامل التكبير لهذا المكبر $A_O$ ويمكن كتابة هذا الخرج كالتالي:

$$V_O = A_O(V_2 - V_1) \quad \text{.....(١)}$$

في المعادلة رقم ( ١ ) إذا وضعنا $V_O = 0$ فإن الخرج يصبح

$$V_O = A_O V_2 \quad \text{.....(٢)}$$

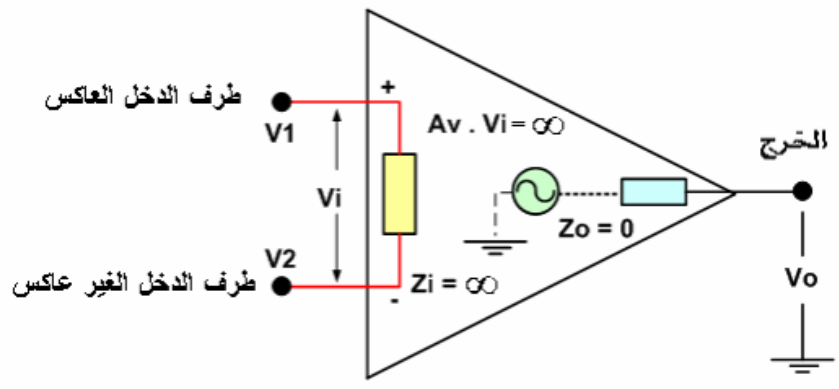
أما إذا وضعنا $V_2 = 0$ فإن الخرج يصبح

$$V_O = -A_O V_1 \quad \text{.....(٣)}$$

المعادلتان 3 . 2 معناهما أن أي جهد موجب على الطرف $V_2$ يعطي في الخرج جهد موجب أيضاً. أما المعادلة (3) فمعناها أن أي جهد موجب على الدخل $V_1$ يعطي جهد سالب في الخرج نتيجة لوجود الإشارة السالبة لذلك فإن الدخل $V_1$ عادة يسمى الدخل العاكس والدخل $V_2$ يسمى الدخل غير العاكس.

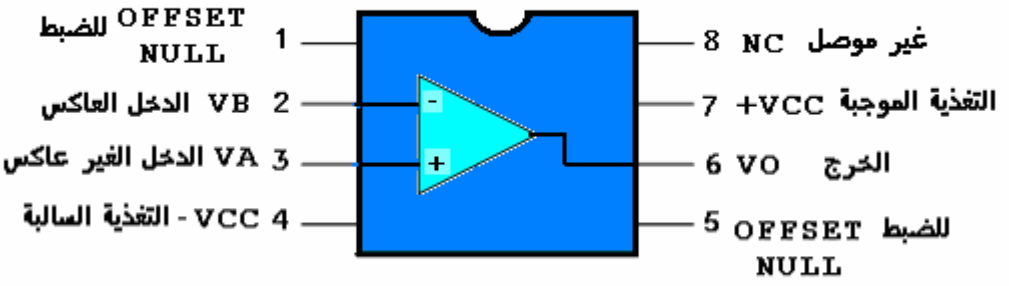
و عندما نتكلم عن خواص مكبر العمليات فإننا فسوف نفرق بين مكبر العمليات المثالي ومكبر العمليات الغير مثالي مع العلم أن المكبر المثالي لا يمكن بناؤه.

**الدائرة المكافئة لمكبر العمليات :**




الشكل ٢ يبين الدائرة المكافئة لمكبر التشغيلي OP AMP

في الشكل ( ٣ ) يبين مخطط الدبابيس للمكبر التشغيلي (741 ) ثنائي الخطوط




**الشكل ٣ يبين مخطط الدبابيس للمكبر التشغيلي ( 741 )**

لاحظ أنه في مخطط الدبابيس يوجد طرفان هما offsetnull ± وذلك لضبط فولتية موازنة الإدخال وذلك لجعل جهد الخرج يساوي صفراً حيث إنه عملياً يكون خرج المكبر ذو قيمة للجهد بالملي فولت رغم عدم تطبيق أي جهد على أي من طرفي الدخل . وسوف نتعرض لذلك فيما بعد لعمل الموازنة . كما أن الدائرة المكافئة له موضحة أيضاً في الشكل( ٢٠).

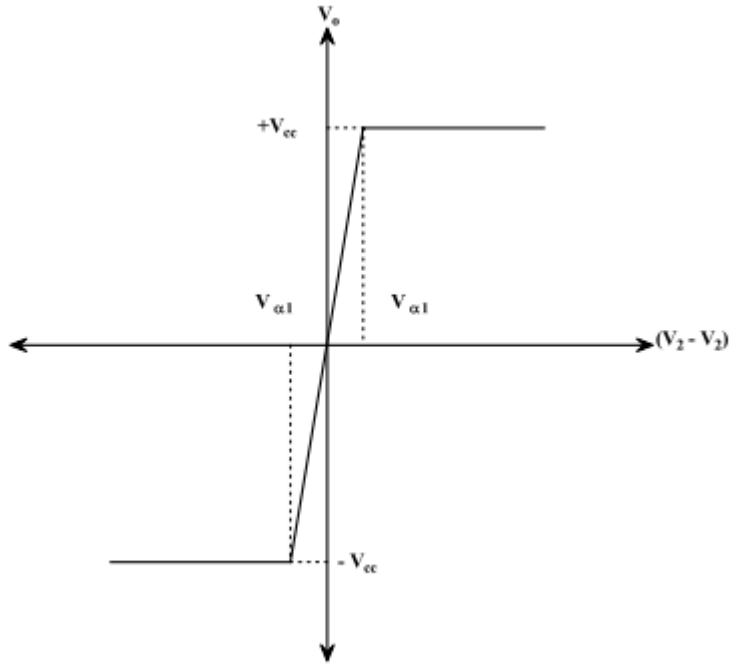
وهذه الخواص يمكن تلخيصها كالتالي:

| الخاصية | المكبر المثالي | المكبر الغير مثالي |
|---|---|---|
| معامل التكبير | ما لانهاية | حوالي 400.000 |
| مقاومة الدخل | ما لانهاية | من 10MΩ:80MΩ |
| مقاومة الخرج | صفر | من 10Ω:100Ω |

مكبر العمليات كأي دائرة إلكترونية يحتاج إلى مصدر الطاقة لتشغيله، ومكبر العمليات له طرفان لتوصيل مصدر الطاقة ودائماً ما يحتاج إلى مصدر طاقة مزدوج أي سالب وموجب في نفس الوقت.

والشكل ( ١ ) يوضح الطرفين المستخدمين لتوصيل مصدر الطاقة.

مكبر العمليات يمتاز بأن خرجه $V_o$ يتغير تغيراً خطياً بالنسبة لتغير الفرق بين الدخلين $(V_2 - V_1)$ كما هو موضح بالشكل ( ٢ ).

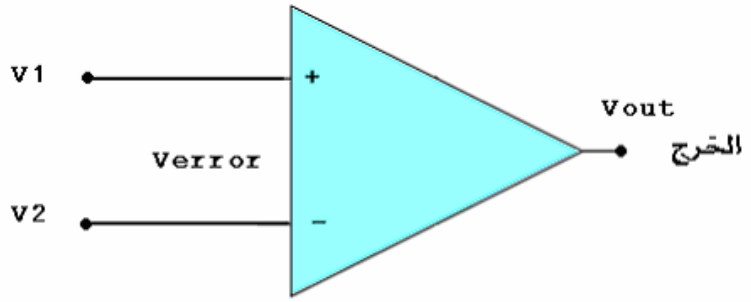



وفي هذا الشكل نلاحظ أن $V_O$ يتغير خطياً مع $(V_2 - V_1)$ طالما أن الأخير له قيمة صغيرة جداً (حوالي واحد مللي فولت ) أما إذا زاد الفرق $(V_2 - V_1)$ عن $V\alpha 1$ أو $V\alpha 2$ فإن خرج المكبر يصل إلى درجة التشبع ويثبت عند قيمة جهد مصدر الطاقة الخاص به وهو إما $+V_{CC}$ أو $-V_{CC}$ وذلك حسب إشارة $(V_2 - V_1)$ . كما نعلم فإن كل نوع من أنواع التطبيقات يحتاج إلى معامل تكبير معين، وكما رأينا فإن مكبر العمليات له معامل تكبير محدد وكبير جداً وغير قابل للتغيير.

وللتغلب على ذلك فإنه من الضروري إضافة بعض المكونات الخارجية مثل المقاومات والمكثفات على حسب التطبيقات التي سيستخدم فيها مكبر العمليات.

## المقـــارن Comparator

المقارن هو ابسط طريقة لاستخدام مكبر العمليات حيث لايوجد تغذية عكسية. والشكل ( ٩ ) يوضح المكبر التشغيلي كمقارن حيث لايوجد تغذية عكسية، وللمقارن كسب عالٍ جداً ( قد يساوي 300 000 ) ولذلك فإن أقل فولتية بين طرفي الدخل ( عادة بالميكروفولت ) تنتج في الخرج أقصى جهد ( Vsat ) يقل عن Vcc بمقدار وأحد أو اثنين فولت .



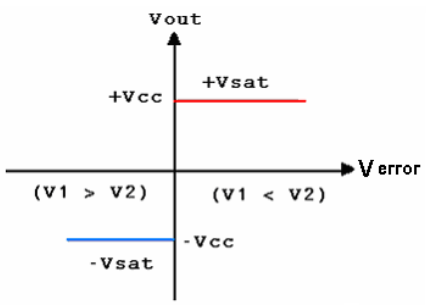

الشكل ( ٩ ) يوضح المكبر التشغيلي كمقارن

يوضح الشكل ( ١٠ ) منحنى خصائص المقارن وهي العلاقة بين الفرق في جهدي دخل المقارن Vd = V1 – V2 أو مايسمى بجهد الخطأ Verror ومن الواضح أنه :

١. عندما يكون V1 > V2 يكون جهد الخطأ ( أو جهد الفرق Vd ) موجب فينتج المقارن عندئذٍ أقصى جهد موجب +Vsat .

٢. عندما يكون V1 < V2 يكون جهد الفرق Vd سالب وينتج المقارن عندئذٍ أقصى جهد سالب- Vsat .

أي ان هذه الدائرة هي تستخدم للمقارنة بين مستوي فولتية.




الشكل ( ١٠ ) يبين منحنى الخصائص للمقارن

**جهد الدخل وكسب الجهد :**

جهد الدخل للمقارن $Vd = V1 - V2$ ويسمى بجهد الخطأ .

$Vsat = Vout = (V1 - V2)\ Avol$ جهد الخرج ( التشبع ).

$Avol = \frac{Vsat}{Vd} = \frac{Vsat}{V1-V2}$ كسب الجهد للمقارن وهو كبير جداً .

ومما سبق فالمقارن يعمل مقارنة بين كل من جهدي الدخل V1 و V2 منتجاً جهد خرج التشبع $\pm Vsat$ معتمداً على الفرق بين V1 و V2 وأقصى قيمة لجهد الخرج والتي تسمى بجهد التشبع Vsat وتكون عادة أقل من جهد التغذية المستمرة Vcc بمقدار واحد أو اثنين فولت .

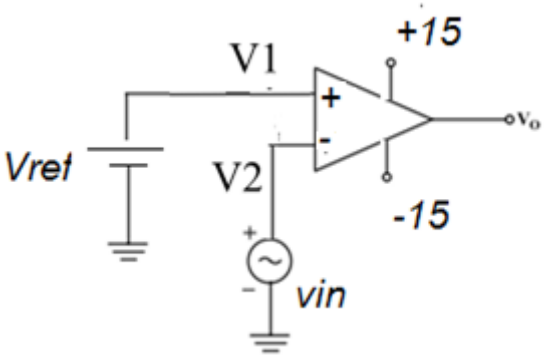
**استخدامات المقارن :**

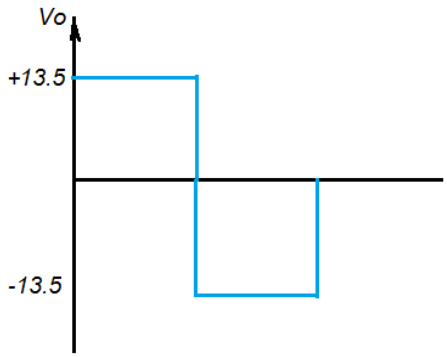
للمقارنات تطبيقات مختلفة نذكر منها كاشف الذروة للإشارات الصغيرة وتقويم نصف موجة أو موجة كاملة فعالة والتي من مميزاته تقليل حاجز جهد الثنائي PN من 0.6 إلى جهد في حدود الميكروفولت وكذلك كاشف عبور الصفر، وكذلك دائرة كاشف اذهب / لاتذهب ( كاشف المستوى (Level detection

**١ - ( كاشف المستوى (Level detection**

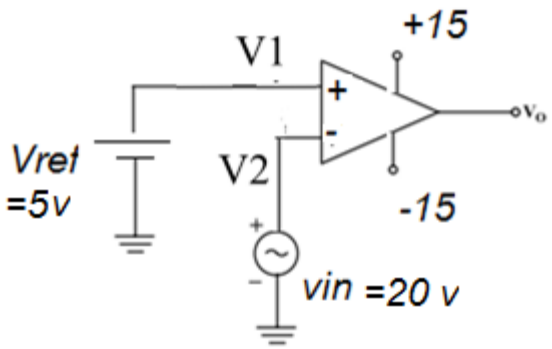
**يستخدم مكبر العمليات كمقارن للجهد بحيث يقارن الجهد على أحد المداخل مع جهد الأساس الموجود عند المدخل الآخر .**
**هناك نوعان من المقارنات ، مقارن عاكس وآخر غير عاكس**

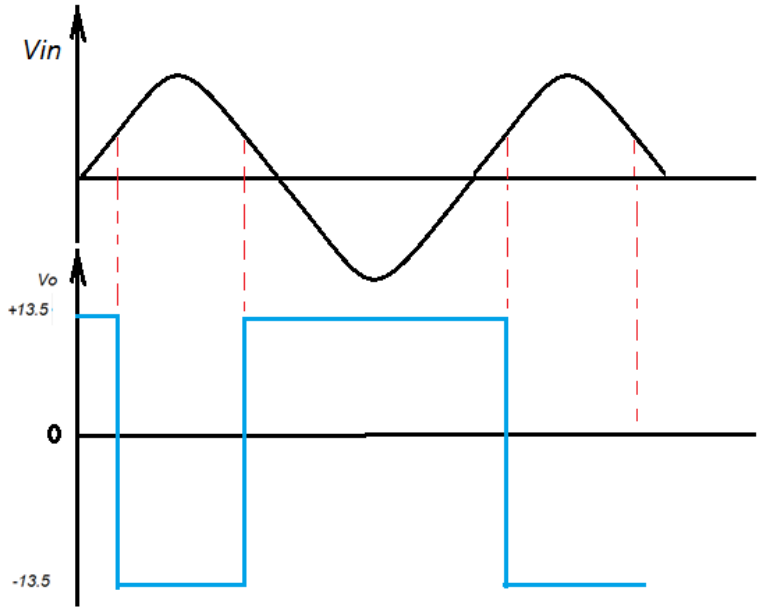
اي انه يقارن فولتية Vin نسبة الى فولتية المرجع



مثال: ارسم فولتية الاخراج $V_o$ عندما تكون فولتية الادخال$p$ و .



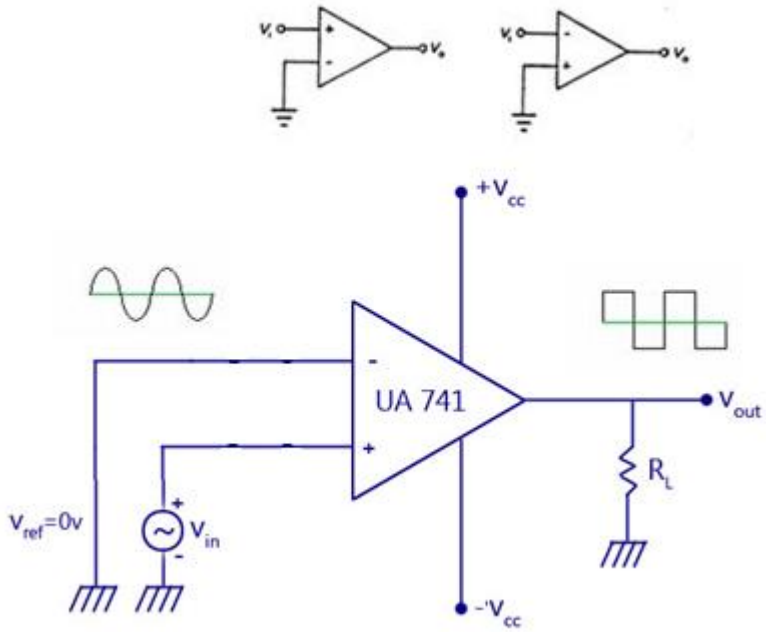




## ٢ـ الكاشف الصفري Zero detection

وحيث أن معامل الكسب (التكبير) لمكبر العمليات الذى يعمل فى دائرة مفتوحة كما هو الحال فى المقارن كبير جدا ، لذا فإن جهد إشارة بالملى فولت يكفى لتشبع المكبر ، وخرج مقارن الجهد دائما جهد التشبع موجبا أو سالبا Vsat ± .

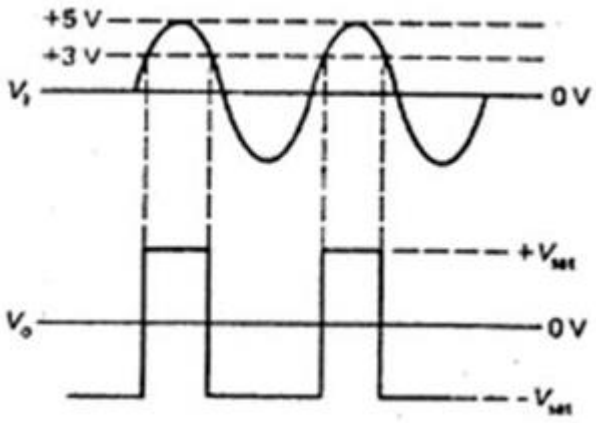
فى حالة قيام المقارن بمقارنة إشارة جهد مع (0 V) فإنه يسمى بكاشف عبور الصفر Zero Crossing Detector كما فى الشكل التالى :

Zero Crossing Detector Using UA 741 op-amp IC



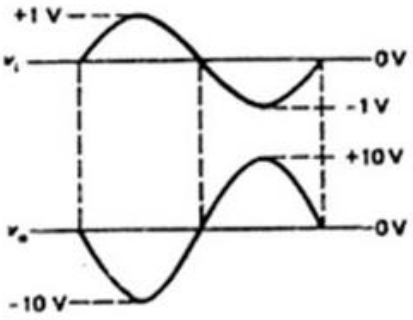

حيث تتغير حالة خرج المقارن عند عبور جهد الدخل بالصفر .

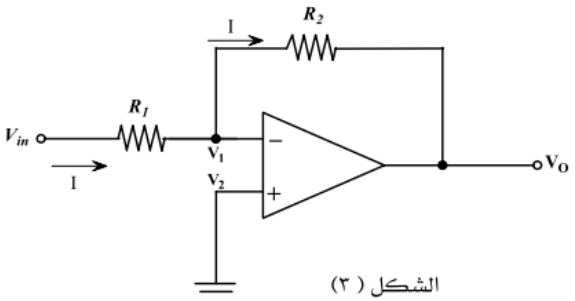
إذا افترضنا أن مقارن للجهد غير عاكس يقارن موجة جيبية جهدها الأقصى 5V بجهد أساس مستمر يساوى 3V+ فإن شكل موجة الدخل وموجة الخرج المتوقع كما فى الشكل التالى :




ويلاحظ إنه عندما يكون جهد الدخل أكبر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويا Vsat + , وعندما يكون جهد الدخل أصغر من 3V فإن خرج المقارن يكون مساويا Vsat – . علما بأن Vsat تساوى 13 V تقريبا عندما يكون جهد VCC مساويا 15 V

**٣٠ دائرة مكبر العاكس**




الشكل ( ٣ )

الشكل ( ٣ ) يوضح دائرة مبسطة لمثل هذا المكبر. ومن الممكن حساب معامل التكبير $\frac{V_O}{V_{in}}$ لهذه الدائرة كما يلي:

نلاحظ أن $R_1, R_2$ هي مكونات خارجية يمكن تغيير قيمتها على حسب الرغبة وعلى ذلك فإن معامل التكبير أصبح من الممكن التحكم فيه وذلك بتغير أي من $R_1$ أو $R_2$. ونلاحظ أيضاً أن معامل التكبير الجديد لا يعتمد تقريباً على قيمة التكبير $A_O$ الخاص بمكبر العمليات.

ملاحظة مهمة يجب أخذها في الاعتبار من المعادلة ( 7 ) وهي أن $A_O$ كما نعلم كبيرة جداً. وعلى ذلك فإن قيمة $V_1$ ستكون صغيرة جداً وتقارب الصفر تقريباً، أو بمعنى أصح فإن قيمة $V_1$ تقارب $V_2$ تقريباً ولا تساويها تماماً و إلا كان الخرج صفر. لذلك فإن من المفيد في كثير من الأحيان خاصة في تحليل دوائر المكبر التشغيلي أو مكبر العمليات أن نفترض أن النقطتين $V_1$ ، $V_2$ متساويتان تقريباً. لذلك فإن النقطة $V_1$ عادةً تسمى الأرضي التخيلية على اعتبار أن $V_2$ هي الأرضي الحقيقية.

مثال١

حدد مقدار مقاومة $R_F$ اللازمة لجعل معامل التكبير يساوي $-100$

الحل:

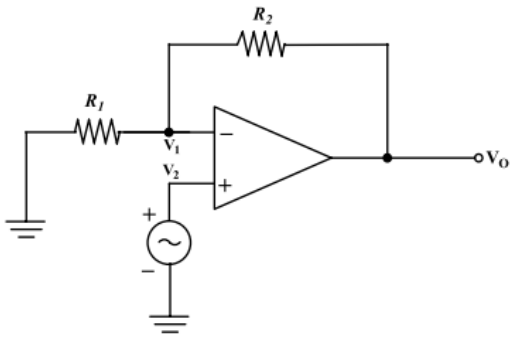
$$A = \frac{R_F}{R_i}$$

$$R_F = AR_i$$

$$R_F = -100(2.2K\Omega)$$

$$R_F = 220K\Omega$$

## ٤ دائرة المكبر غير العاكس




شكل( ٤)

الشكل ( ٤) يوضح دائرة المكبر غير العاكس وفيما يلي سنحاول الحصول على معامل التكبير لهذه الدائرة:

Since — — ——— —

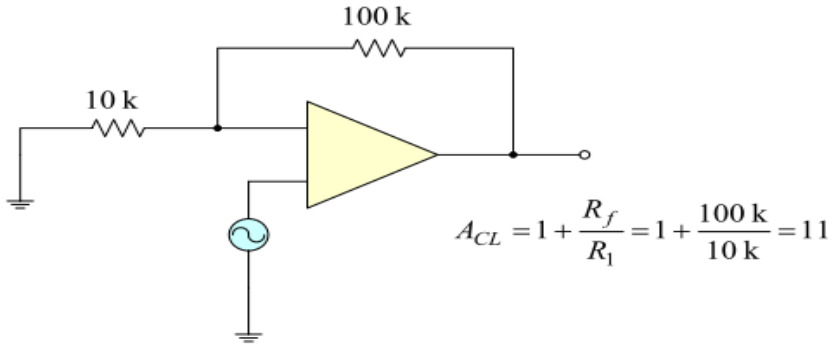
نلاحظ أن معامل التكبير هذا دائماً موجب وأكبر من الواحد الصحيح وهناك فرق مهم جداً بين دائرتي المكبر العاكس والمكبر غير العاكس وهو أن مقاومة الدخل في حالة المكبر العاكس هي المقاومة $R_1$ فقط ولذلك يجب دائماً العمل على اختيار $R_1$ كبيرة بقدر الإمكان.

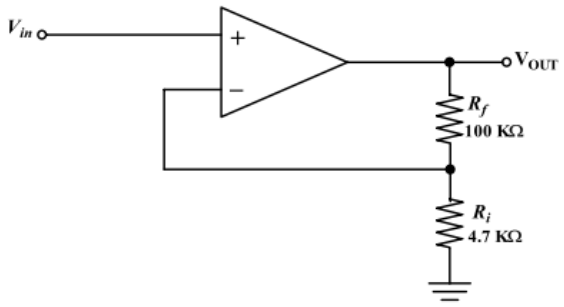
بينما مقاومة الدخل في المكبر غير العاكس هي مقاومة دخل مكبر العمليات نفسه. وكما نعلم فإن هذه المقاومة كبيرة جداً وهذه ميزة تستخدم في كثير من التطبيقات.

**فإذا كانت R1 = 10KΩ و RF ≈ 20KΩ**

مثال :

حدد قيمة كسب الجهد للمكبر الغير عاكس:






شكل( ٥)

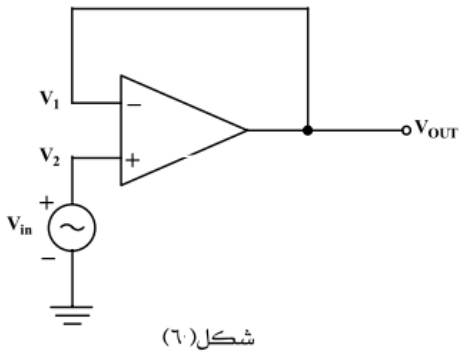
في المعادلة رقم ( ٦) و الشكل رقم (٤) إذا وضعنا $R_2 = 0$ ، $R_1 = \infty$ فإننا نحصل على الدائرة المبينة في الشكل ( ٥). هذه الدائرة لها معامل تكبير يساوي الواحد الصحيح وتمتاز بأن مقاومة الدخل التي يراها مصدر الإشارة $V_{in}$ كبيرة جداً وهي مقاومة دخل مكبر العمليات. وهذه الميزة تجعل هذه الدائرة ملائمة جداً للاستخدام كفاصل أو عازل بين الدوائر المختلفة لما لها من ميزة كبر مقاومة الدخل وصغر مقاومة الخرج.

### تابع الجهد Voltage Follower

تابع الجهد هو مكبر نسبة تكبيره تساوي الوحدة.

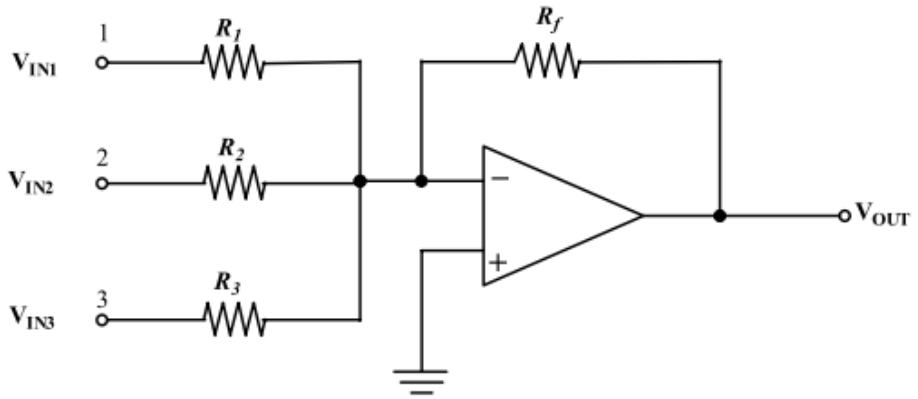
$$A_{CL} = 1$$

وتابع الجهد ما هو إلا المكبر الغير عاكس ولكن تم جعل الحد $\frac{R_f}{R_1}$ من معادلة كسب الجهد يساوي صفراً. وللوصول لهذه النتيجة، جعلنا قيمة $R_f = 0$ وألغينا المقاومة $R_1$ لكون قسمة صفر على أي قيمة، فالنتيجة صفر. الشكل ٦ وضح الدائرة بعد التعديل.




شكل(٦)

**٥٠ دائرة الجامع**




شكل( ٧٠)

كثير من الأحيان نكون مطالبين بتجميع أكثر من إشارة في خرج واحد. فمثلاً في حالة التسجيل الصوتي على مسرح يكون هناك أكثر من ميكروفون موضوعين في أماكن مختلفة على خشبة المسرح ويراد تجميع هذه الإشارات في خرج واحد مع مراعاة أن يكون لكل إشارة معامل تكبير مستقل يمكن التحكم فيه لإظهارها أو إخفائها على حسب الحاجة دون التأثير على بقية الدخول. كما هو موضح في الشكل رقم ( ٧ ).

ويمكن إيجاد معامل التكبير كما يلي:

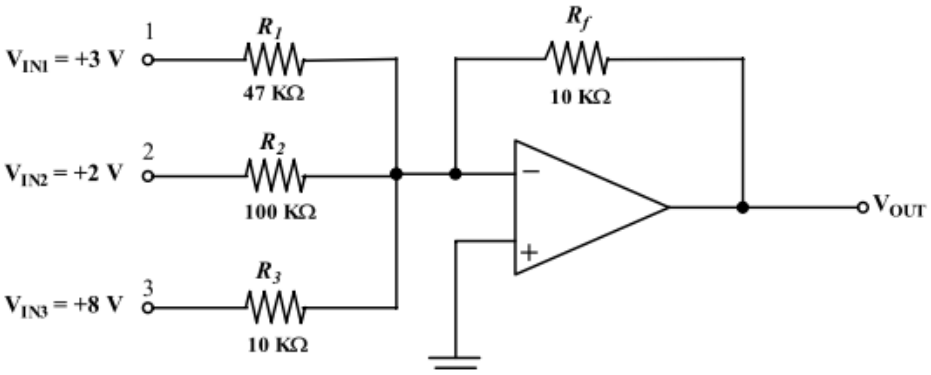
IF $R_1=R_2=R_3=\cdots\cdots\cdots R_n$ ⟶

IF $R_{F=}R_1=R_2=R_3=\cdots\cdots\cdots R_n$ ⟶

من المعادلة يمكننا ملاحظة أنه يمكننا التحكم في معامل التكبير وجعله كبيراً أو صغيراً على حسب الرغبة. ويلاحظ أيضاً أن تغير أي معامل تكبير لن يؤثر على أي معامل تكبير آخر وهذا معناه أن مشكلة التداخل غير موجودة.

مثال٣

أوجد جهد الخرج للدائرة التالية شكل( ٨):




شكل( ٨)

الحل:

$$W_1 = \frac{R_F}{R_1} = \frac{10K\Omega}{47K\Omega} = 0.213$$

$$W_2 = \frac{R_F}{R_2} = \frac{10K\Omega}{100K\Omega} = 0.100$$

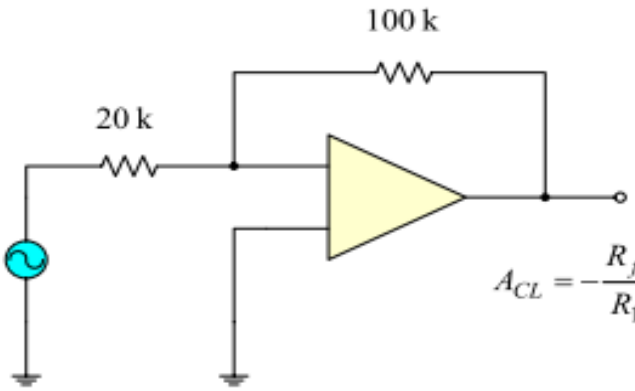
$$W_3 = \frac{R_F}{R_3} = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} = 1$$

$$V_{out} = -[0.213(3v) + 0.1(2v) + 1(8v)]$$

$$V_{out} = -8.84v$$

مثال

ما هي قيمة جهد الخرج؟




$$A_{CL} = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{100\,\text{k}}{20\,\text{k}} = -5$$

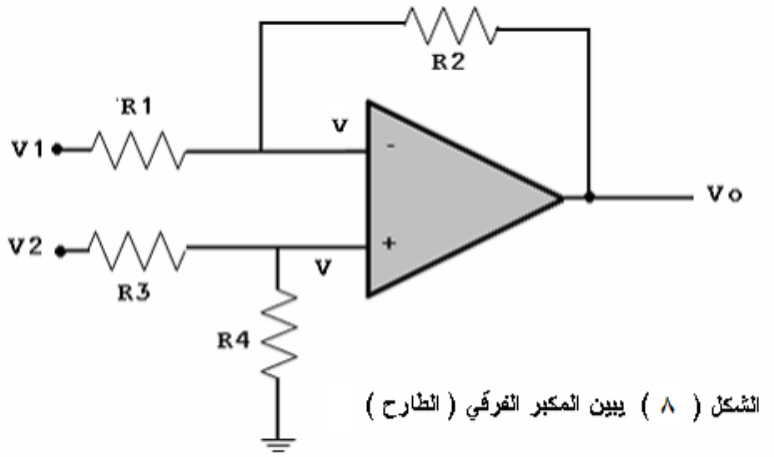
$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$\therefore V_{out} = A_{CL} V_{in} = -5 \times 2 = -10\,\text{V}$$

## المكبر الفرقي ( الطارح ) Difference Amplifier

المكبر الطارح كما بالشكل ( ٨ ) يوضح الدائرة الأساسية للمكبر الفرقي والذي يستخدم لتكبير الفرق بين جهدي طرفي الدخل . وهذا المكبر يمكن أن يسمى باسم مكبر أجهزة القياس Insturmentation Amplifier حيث يستخدم كمكبر لتكبير الإشارات صغيرة المستوى والناتجة من مخرج محولات الطاقة المسماة ب Transducers . ومحولات الطاقة هذه عناصر لها طرفين تحول الكميات الطبيعية مثل الضغط ( الاجهاد ) الإزاحة - درجة الحرارة إلى فرق جهد ولكنه جهد صغير، لذلك يستخدم المكبر الفرقي لتكبير هذا الجهد وبالتالي يمكن قياسه . أي قياس الكمية الطبيعية بتحويلها إلى كمية كهربية .

ملاحظة: إذا كانت R1 = R2 يكون مقاومتي الدخل لكل من الجهد V1 والجهد V2 متساويان .




الشكل ( ٨ ) يبين المكبر الفرقي ( الطارح )

عن طريق مقسم الجهد:

—— —— [— — — —]

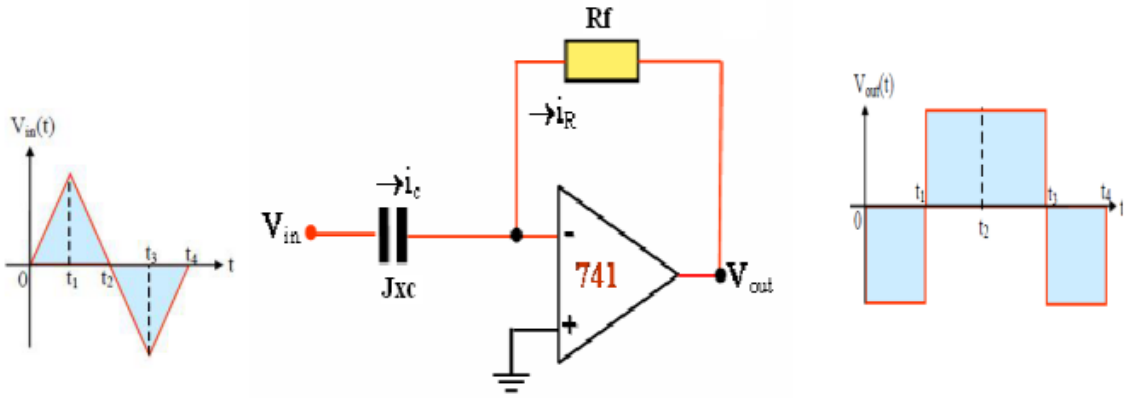
$\left(1+\text{—}\right)$ —

Sub (1) in (2) $\rightarrow V_o = \left(1+\text{—}\right)\left(\text{——}\right)$ —

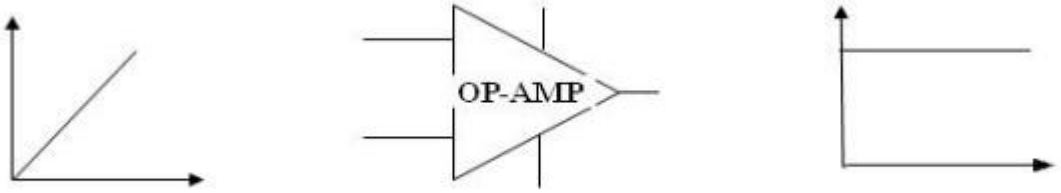
—

## مكبر العمليات المفاضل Differentiator OP- AMP

بالإضافة للعمليات الحسابية فإن لمكبر العمليات استخدامات أيضا في عمليات الرياضية مثل التكامل والتفاضل. عملية التفاضل عملية رياضية وهي إيجاد معدل التغيير لكمية ما. المفاضل دائرة إلكترونية لإيجاد معدل تغيير إشارة ما. يظهر هذا المعدل في شكل إشارة الخرج. هنا أيضا للمكثف دور في العملية مع مكبر العمليات.




الشكل يوضح دائرة مكبر العمليات المفاضل Differentiator OP-amp

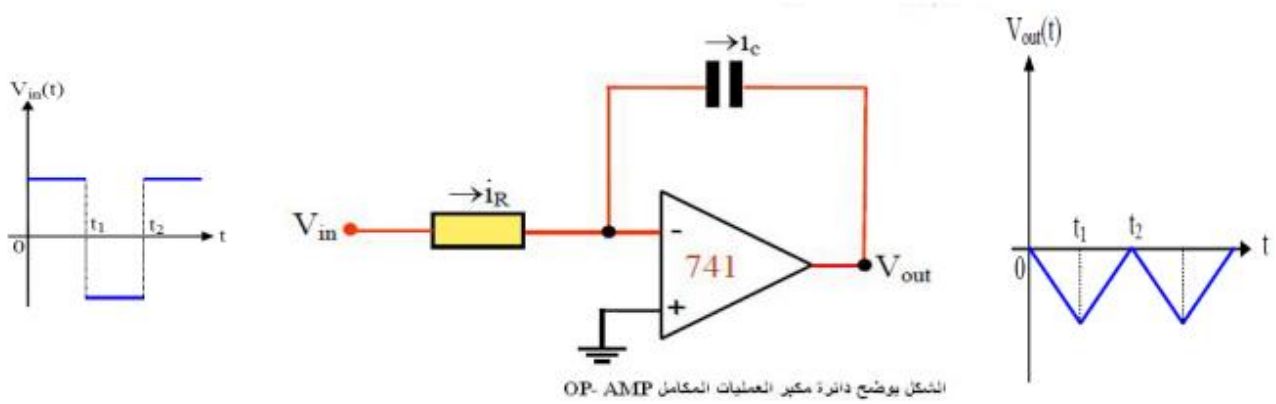



Input Differentiator Out put

## مكبر العمليات المكامل Integrator OP- AMP

التكامل لإشارة إلكترونية هو عبارة عن الجمع في الزمن لقيمة إشارة دخل الجهد. العنصر الإلكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو المكثف،

**الشكل التالي يعرض دائرة المكامل وهى تشبه دائرة المكبر العاكس عدا أن مقاومة التغذية الخلفية RF استبدلت بالمكثفC**




الشكل يوضح دائرة مكبر العمليات المكامل OP- AMP

— , — ———

— —

بتكامل الطرفين ينتج — —

—∫

صمم دوائر مكبر كما يلي:

١-

٢- —

٣- $\int V_1\, dt + 5V_2$

٤- باستخدام مكبر عمليات واحد صمم دائرة تعطي فولتية اخراج كما يلي:

—

# أمثلة رياضية على تطبيقات مكبر العمليات

**مثـــال (1) EXAMPLE**

مكبر عمليات LM324 بثلاثة مراحل ربحها يساوي (−27)(−18)(+10) على التوالي فاذا كانت مقاومة Rf =270kΩ لجميع المراحل احسب فولتية الاخراج اذاعلمت ان فولتية الادخال تساوي 150 μV

**Solution**

For the gain of +10

$$A_1 = 1 + \frac{R_f}{R_1} = +10$$

$$\frac{R_f}{R_1} = 10 - 1 = 9$$

$$R_1 = \frac{R_f}{9} = \frac{270\ \text{k}\Omega}{9} = 30\ \text{k}\Omega$$

For the gain of −18

$$A_2 = -\frac{R_f}{R_2} = -18$$

$$R_2 = \frac{R_f}{18} = \frac{270\ \text{k}\Omega}{18} = 15\ \text{k}\Omega$$

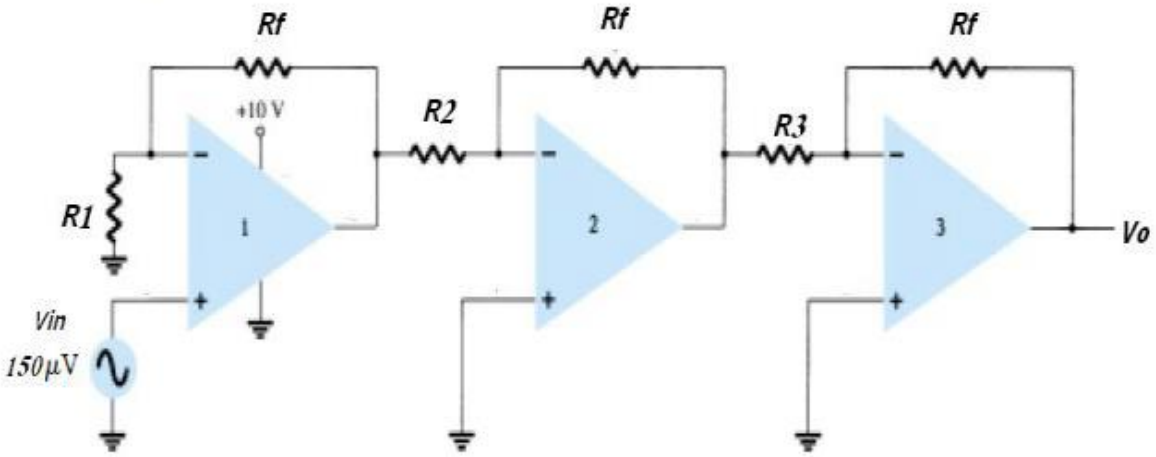
For the gain of −27:

$$A_3 = -\frac{R_f}{R_3} = -27$$

$$R_3 = \frac{R_f}{27} = \frac{270\ \text{k}\Omega}{27} = 10\ \text{k}\Omega$$

$$V_o = A_1A_2A_3V_1 = (10)(-18)(-27)(150\ \mu\text{V}) = 4860(150\ \mu\text{V})$$

$$= 0.729\ \text{V}$$

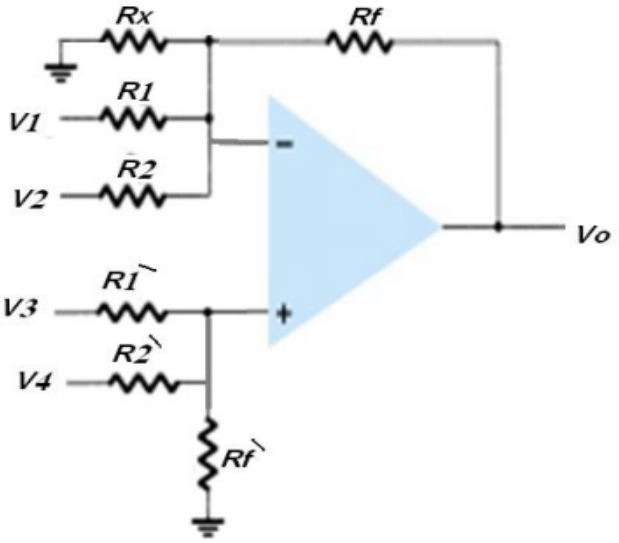


**EXAMPLE مثـــــال**

صمم دائرة مكبر عمليات جامع طارح لتمثيل المعادلة التالية

$Vo=-4V1-2V2+10V3+V4$

علما" ان $Rf=Rf`=100K$




$$vo=\frac{Rf'}{R1'}V3+\frac{Rf'}{R2'}V4-\frac{Rf}{R1}V1-\frac{Rf}{R2}V2$$

$$Vo=10V3+V4-4V1-2V2$$

$$\therefore \frac{Rf'}{R1'}=10\Rightarrow R1'=10k,\frac{Rf'}{R2'}=1\Rightarrow R2'=100k$$

$$\frac{Rf}{R1}=4\Rightarrow R1=25k,\frac{Rf}{R2}=2\Rightarrow R2=50k$$

$$\frac{100k}{25k}+\frac{100k}{50k}\neq\frac{100k}{10k}+\frac{100k}{100k}\Rightarrow 4+2\neq 10+1$$

*add .... Rx ... for ..low .. gain ( No .Balance )*

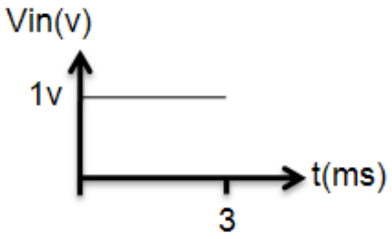
$$\frac{Rf}{R1}+\frac{Rf}{R2}+\frac{Rf}{Rx}=\frac{Rf'}{R1'}+\frac{Rf'}{R2'}$$

$$\frac{Rf}{Rx}=5\Rightarrow Rx=20\ k\Rightarrow \frac{Rf}{Rx}=\frac{100\ k}{20\ k}=5$$

$$4+2+5=10+1\Rightarrow 11=11$$

**مثال EXAMPLE**

احسب وارسم موجة الإخراج لدائرة مكبر عمليات مكامل لموجة الإدخال الموضحة في الشكل أدناه علما" إن
R= 1MΩ , C= 0.1 µF

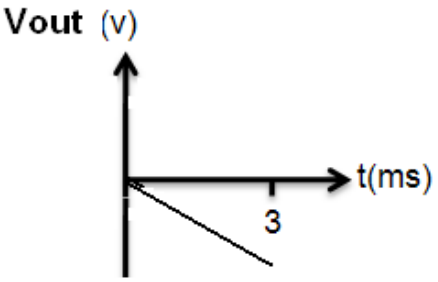



**Solution**

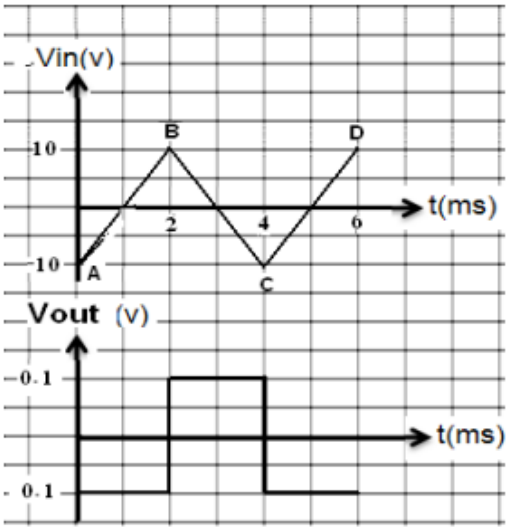
$$Vo = -\frac{1}{RC}\int_0^t Vidt$$

$$Vo = \frac{1}{1\times10^{6}\times0.1\times10^{-6}}\int_0^t 1dt$$

$$Vo = 10\times t\Big|_0^{3\times10^{-3}} = -30mv$$



**Solution**




From A---- B

$$\Delta Vin = dvin = Vin_2 - Vin_1 = 10 - (-10) = 20v$$

$$\Delta t = dt = t_2 - t_1 = 2 - 0 = 2ms$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{20}{2\times10^{-3}} = 10\times10^{3} v/s$$

$$Vo = -RC\frac{dv}{dt} = -10\times10^{3}\times0.001\times10^{-6}\times10^{4} = -0.1v$$

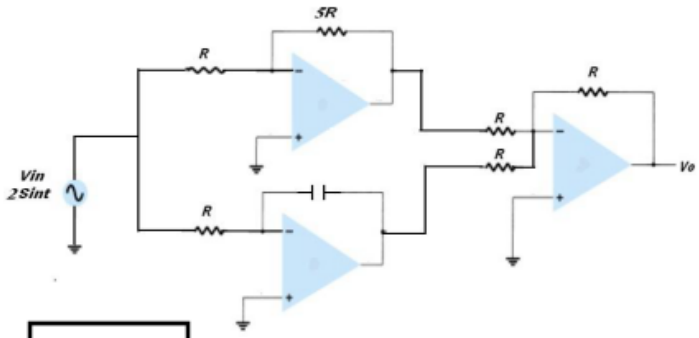
From C------D

$$\frac{dvin}{dt} = \frac{-10-10}{4-2} = -10\times10^{3} V/s$$

$$Vo = -RC\frac{dvin}{dt} = 0.1v$$

**EXAMPLE مثال**

في دائرة مكبر العمليلت الموضحة ادناه احسب فولتية الاخراج على فرض ان RC=1




**Solution**

$$Vo_1 = -\frac{5R}{R}\times 2\,S\,\text{int} = -10\,S\,\text{int}$$

$$Vo_2 = -\frac{1}{RC}\int Vindt = 1\int 2\,S\,\text{int}\,dt = 2\,Cost$$

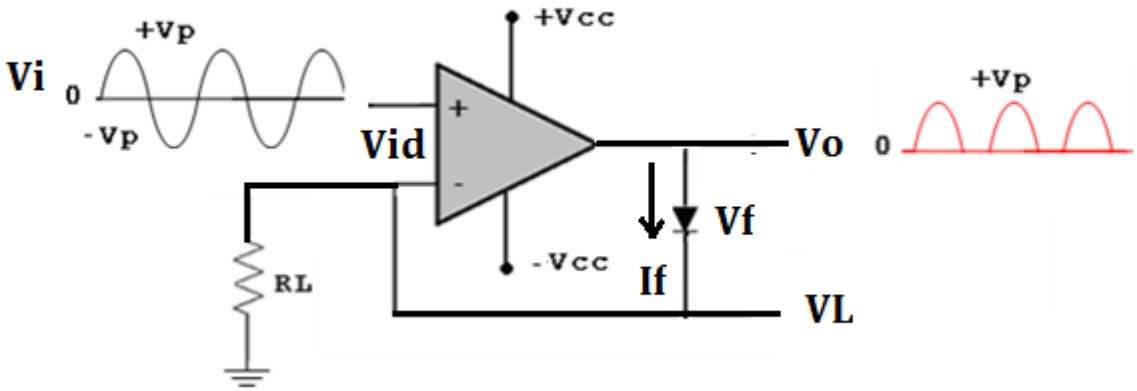
$$Vo = -(-10\,S\,\text{int} + 2\,Cost) = 10\,S\,\text{int} - Cost$$

## التطبيقات اللاخطية لمكبر العمليات

ان بعض التطبيقات قد لا تقتضي استخدام مضخمات العمليات لكي تعمل كمضخمات خطية كما في الفقرات السابقة . بينما تدعو بعض التطبيقات الى مضخمات لا خطية بحيث يقتصر عملها من منسوب معين للفولتية الى أخر بالرغم من التغيرات الانية في قيمة فولتية الدخل. وعليه يمكن حصر اشارة الدخل ضمن مدى وقيم معينة في دائرة الخرج. وتتوافر تطبيقات واسعة لمضخم العمليات في مثل هذا المجال وخلال الفقرات التالية، يمكن تحليل بعض هذه التطبيقات والاستفادة منها.

### ١- مقوم نصف الموجة

يظهر الشكل ( ) دائرة مقوم نصف موجة فعال.




فعندما تكون إشارة الدخل موجبة، تكون إشارة الخرج موجبة ويقلب الدايود إلى وضعية on ( أي يغلق الدايود ) وتعمل_ عندئذ_الدائرة كتابع جهد ويظهر نصف الدورة الموجب عبر مقاومة الحمل.

وعندما تصير إشارة الدخل سالبة يصير الخرج سالباً ويقلب الدايود إلى وضعيته off ( أي يفتح الدايود ولايظهر جهد عبر مقاومة الحمل) .

وهذا هو تفسير أن الخرج النهائي هو إشارة نصف موجة كاملة تقريباً.

ان ثنائيات التوحيد الاعتيادية لا تصلح لتقويم الاشارات الصغيرة. لان هذه الثنائيات تحتاج الى قيمة معينة من فولتية الدخل لكي تنحاز اماميا.

فالثنائيات المصنعة من السليكون تحتاج الى 0.7v ، في حين مثيلاتها من الجرمانيوم تتطلب 0.3v قبل ان يحدث فعل التوصيل فيها، حيث تدعى هذه الفولتيات باسم فولتيات القطع او العتبة، لهذا السبب لا تستطيع الاشارات الصغيرة (مللي فولت مثلا) في اجتياز هذا المنسوب او التغلب عليه لإحداث فعل التوصيل في الثنائي.

لتقليل فولتيات القطع وتمكين الثنائي في تقويم الاشارات الصغيرة يستخدم معه مضخم العمليات حيث يوضع الثنائي في مسار التغذية العكسية لمضخم العمليات، وفي هذه الحالة تقل فولتية القطع للثنائي بمقدار كسب الدائرة المفتوحة ويتم تقويم الاشارات التي هي دون فولتية العتبة.

تكون فولتية الدخل مسلطة عبر الطرف غير القالب والفولتية المقدمة VL تؤخذ من جهة الطرف القالب. أي ان فولتية الخرج Vo تشغل الثنائي، والمقاومة RL تمثل الحمل. فإذا كانت Vo كافية لتوصيل الثنائي ،عندئذ تغلق دائرة التغذية العكسية خلال الثنائي ، مما تولد فولتية تفاضلية Vid صغيرة جدا. وتصبح $VL \cong Vi$ (من مواصفات مضخم العمليات).

لكن لو كانت Vo اقل من فولتية القطع، فأن دائرة التغذية العكسية تكون مفتوحة وتصبح $VL$ صفرا، وعليه فأن

—— ——

او

——

اذن

————

ومنها يمكن تحديد قيمة $Vi$ اللازمة

$\left(1 + ——\right)$ ——

وعندما $VL = 0$ تكون

——

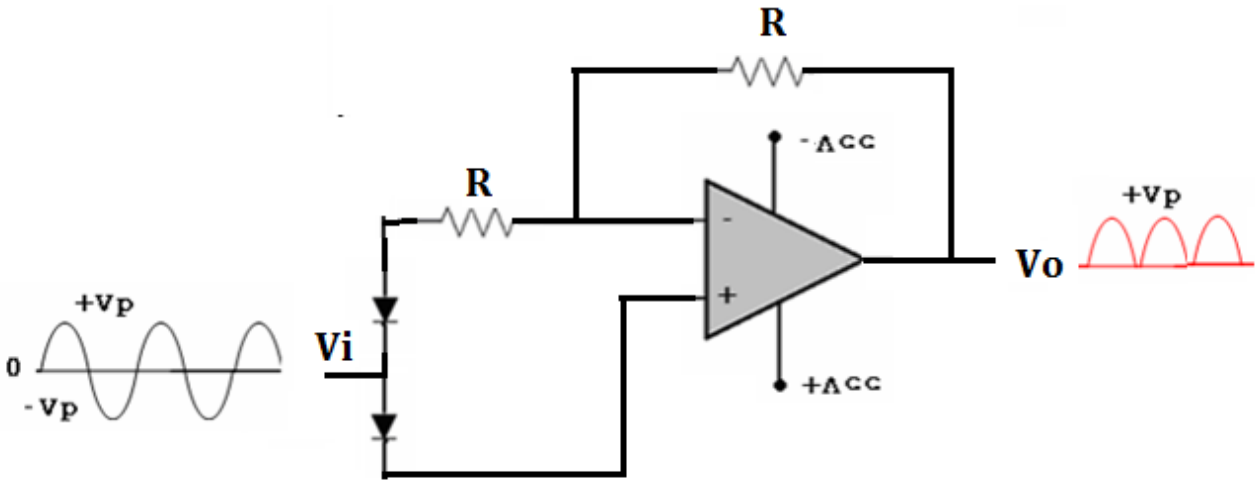
وهكذا تستخدم هذه الدائرة كموحد نصف موجة وبفولتيات دون فولتية القطع (العتبة)

مثال: اذا كان كسب الدائرة المفتوحة لمضخم العمليات $10^5$ وفولتية القطع لثنائي السليكون $V_D=0.7V$ . احسب قيمة الفولتية التفاضلية اللازمة لدائرة الثنائي الدقيق.

مقوم الموجة الكاملة

تتضح دائرة تقويم الموجة الكاملة باستخدام مضخم العمليات في الشكل التالي

ومن اجل فهم هذه الدائرة يمكن مناقشتها في مرحلتين .




النصف الموجب من الموجة يمر خلال الادخال القالب، اما النصف السالب فيعمل كمكبر قالب وبذلك يكون كلا الجزئين موجب عند الاخراج.اما في حالة قلب الدايودين يكون التقويم سالب.

## المرشحات الفعالة (Active Filter)

هي عبارة عن دوائر تستخدم المقاومات والمتسعات والمكبرات عادة تستخدم مكبرات العمليات حيث تسمح هذه الدوائر بمرور الترددات المختارة من ادخال المرشح الى اخراجه وتستخدم هذه الدوائر لتعزيز او اضاعة ترددات معينة وتستخدم في الدوائر التالية: الدوائر المعينة ، مولد الموسيقي الإلكترونية اجهزة الزلزال، دوائر الاتصالات وكذلك تستخدم في البحوث عند دراسة عناصر التردد للإشارات المختلفة كموجات الدماغ وكذلك في التنفيذيات الميكانيكية، تستخدم المرشحات الفعالة تقريبا في كل مجالات الإلكترونيات ولهذا ستتم دراستها.

فوائد المرشحات الفعالة:

المرشحات الخاملة تتكون من محاثات ومتسعات ومقاومات حيث ان اغلب المرشحات الخاملة تحتاج الى محاثات كبيرة وثقيلة الوزن وغالية الثمن وكذلك فائد المرشحات الخاملة نضعف الترددات في حزمة الامواج حتى عند تصنيف ترددات حزمة الايقاف كذلك فانه المحاثات التي تستخدم في المرشحات الخاملة تحتوي على مقاومة للاسلاك في القلب الحديدي ومتسعات مابين الاسلاك او مابين الملفات التي تجعلها تتصرف بشكل غير مقبول بعيدا عن المثالية (( ان فوائد المرشحات الفعالة من المرشحات الخاملة هي:

١- تستخدم متسعات ومقاومات تتصرف بمثالية اكثر من تلك التي فيها محاثات

٢- رخيصة الثمن نسبيا

٣- توفر كسب في حزمة الامرار ونادرا ما تحتوي على خسائر كما تفعل المرشحات الخاملة

٤- استخدام مكبر العمليات في المرشحات العالية يوفر عزل بين الادخال والاخراج وهذه الخاصية تسمح بربط مشرحات فعالة بسهولة بشكل متوالي للحصول على انواع مختلفة من المرشحات.

٥- سهولة تقيم المرشحات الفعالة

٦- المرشحات الفعالة تكون صغيرة وخفيفة الوزن

اما مساوي المرشحات الفعالة فهي انها تتطلب مصدر قدرة للتجهيز ومحدود بالتردد الاعلى الذي يعمل عليه مكبر العمليات ( عدة ميكاهرتز ) ولكن يمكن زيادة هذه الترددات باستخدام مكبرات متصلة سواء

كان فعال ام غير فعال يسمح لجزء معين من طيف التردد ان يمر من خلاله الى الاخراج يتم تصنيف المرشحات حسب نوع الترددات التي تمر بها.

والمرشح الفعال : هو مرشح يستخدم عنصر فعال ( المكبر التشغيلي ) وعناصر غير فعالة ( مقاومات ومكثفات ).

**مميزات المرشحات الفعالة :**

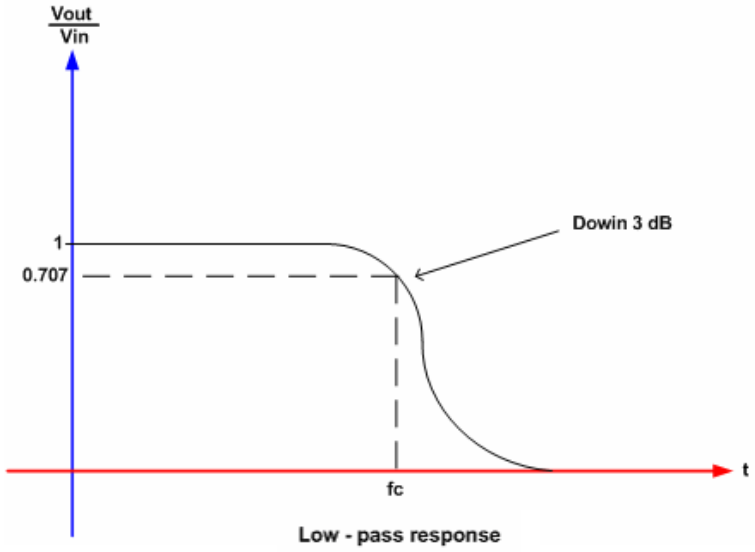
١) حذف الملفات غالية الثمن كبيرة الحجم .
٢) يعطى كسب للجهد .
٣) لها مقاومة خرج صغيرة ، بمعنى أنها لاتسبب أي حمل للدائرة الموجود بها المرشح .

**انواع المرشحات حسب تمريرها للتردد :**

١. مرشح امرار تردد منخفض LPF حيث يمرر الترددات المنخفضة ويمنع الترددات العالية.
٢. مرشح امرار تردد عالي HPF يسمح للترددات العالية أن تمر ويمنع الترددات المنخفضة .
٣. مرشح امرار نطاق معين من الترددات BPF حيث يسمح لنطاق معين من الترددات أن تمر ويمنع الترددات الأعلى والأقل من هذا النطاق والشكل التالي يوضح منحنى الاستجابة لهذة المرشحات.

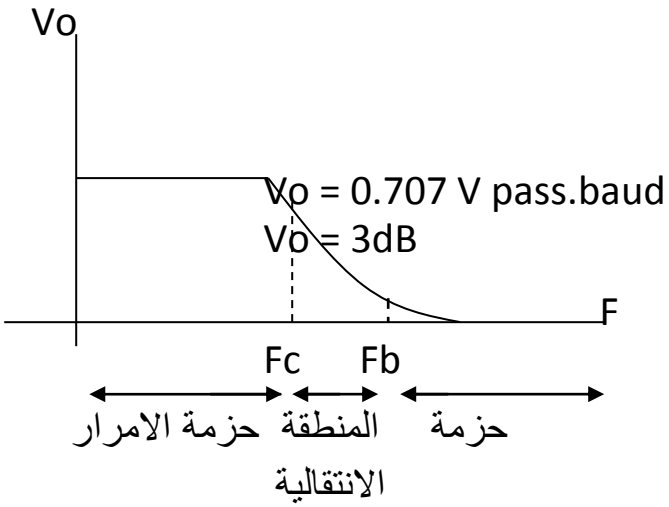
## ١- مرشح الامرار الواطئ ((L.P.F))

يسمح بمرور الترددات من الصفر لغاية تردد قطع منتخب والترددات التي فوق تردد القطع يتم اضعافها وكما في الشكل ان مدى الترددات من صفر الى (fc) يسمى حزمة الامرار اما مدى الترددات فوق (fc) يسمى حزمة الايقاف.

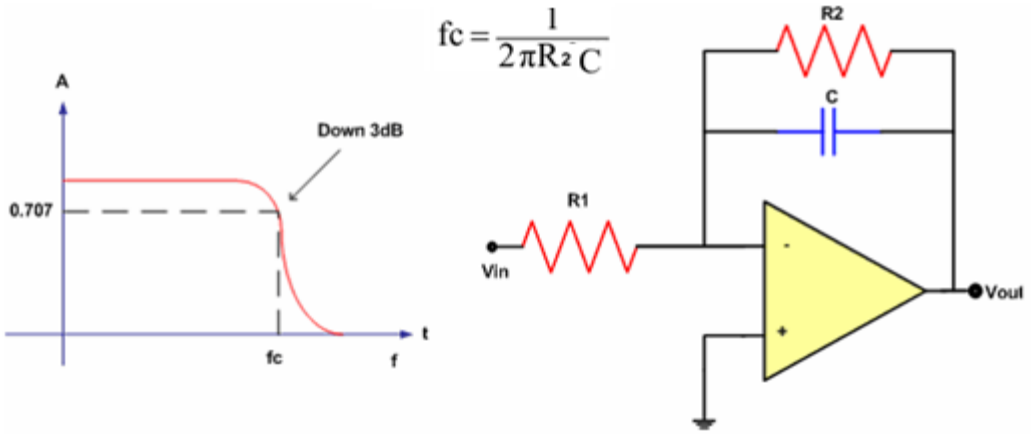



شكل -١-منحني الخواص المثالي

ان هذا المنحني لايمكن الحصول عليه عمليا بواسطة مكونات الدائرة المتوفرة لذلك يستخدم المنحني في الشكل (2) حيث تسمى مدى الترددات بين (Fb&Fc) بالمنطقة الانتقالية حيث ان في هذه المنطقة تعتمد خصائص المرشح والتي فيها يتغير مقدار الانحناء.




تردد القطعFC فهو التردد الذي تكون عنده فولتية الاخراج بمقدار (3dB).




الشكل (٣) مرشح مرور واطئ فعال

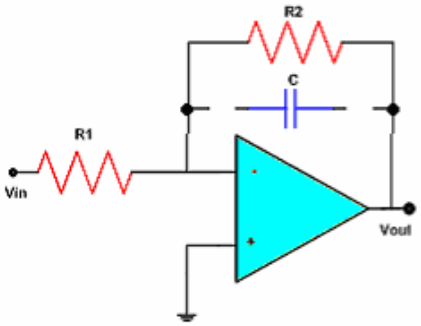
الشكل (٣) بين مرشح مرور واطئ فعال ويحمل هذا المرشح كالتالي عند التردد الواطئة تظهر المتسعة مفتوحة والدائرة تعمل مثل مكبر قالب بكسب فولتية مقدار (-RF /R1) مرفع زيادة التردد تقل المانعة السعوية مسببة هبوط كسب الفولتية وعندما يقترب التردد من ما لانهاية تظهر المتسعة كدائرة قصر ويقترب كسب الفولتية من صفر.

عمل الدائر :

معاوقة المكثف $$Xc = \frac{1}{2\pi f C}$$

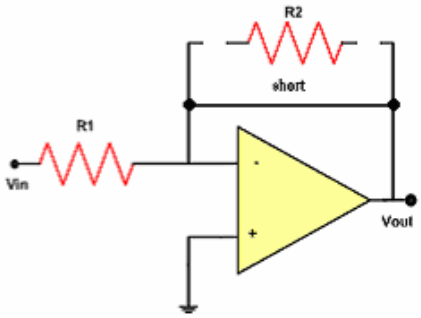
١) عند التردد المنخفض F << صغيرة ، فتكون مقاومة المكثف كبيرة ويظهر كأنه دائرة مفتوحة. ويعمل المكبر التشغيلي كأنه مكبر عاكس له كسب جهد يساوي $\frac{-R2}{R1}$ .

٢) عند التردد العالي F >> كبيرة . تكون مقاومة المكثف صغيرة جداً ، وكأنه دائرة قصر (short ) فيقل كسب الجهد حتى يصبح صفراً عند الترددات العالية جداً ، فيصبح جهد الخرج صفر .




عند الترددات المنخفضة

$$VO = \frac{-R2}{R1} V$$

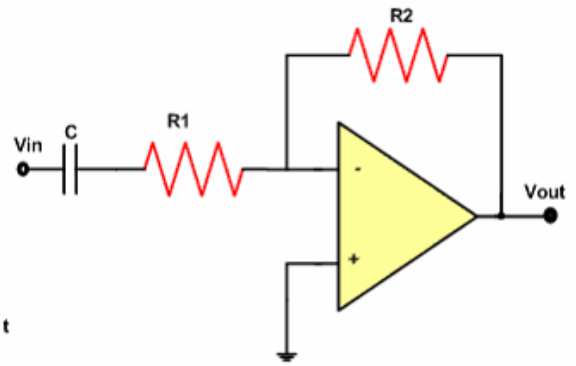



عند الترددات العالية جداً

$$VO \cong \frac{O}{R2} Vi = 0$$

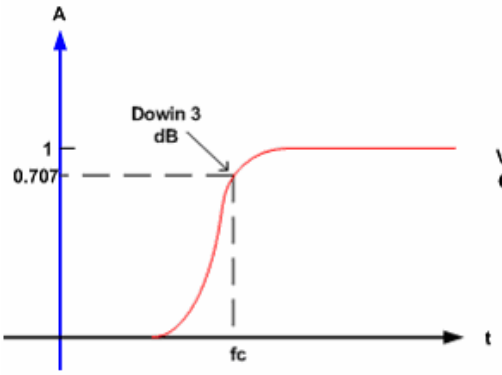
## ٢- مرشح الامرار العالي (H.P.F)

يقوم هذا المرشح باضعاف كل الترددات من الصف الى قيمة fc ويمرر كل الترددات التي فوق fc لغاية حدود تردد مرشح الامرار العالي وكما بمبين في الشكل (١) وهو يمثل منحني الخواص المثالية والذي لايمكن الحصول عليه عمليا اما المنحني الواقعي فهو المنحني في الشكل رقم -٢-




شكل مبسط لمرشح فعال امرار تردد عالي
( درجة اولى )

الشكل رقم -٢-




شكل العلاقة بين التردد والكسب لمرشح HPF

الشكل رقم -٣-

الشكل رقم –٢– بين مرشح مرور عالي فعال وعمله يكون كالتالي عند الترددات الواطئة تظهر المتسعة مفتوحة ويقترب كسب الفولتية من الصفر. اما عند الترددات العالية تظهر المتسعة مقصور وتصبح الدائرة مكبرا قالبا بكسب فولتية قدرة (-RF /R1) . حيث ان

---

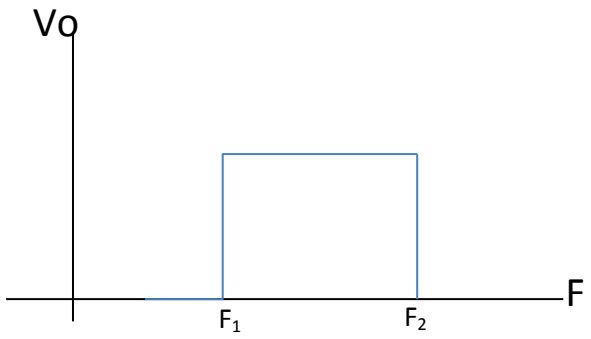
## ٣– مرشح امرار الحزمة (Band pass filter)

يقوم هذا المرشح بإمرار كل الترددات التي تقع بين تردد القطع الادنى $F_1$ وتردد القطع الاعلى $F_2$ اما الترددات التي قبل F1 وبعد F2 فيتم اضعافها ولا تمر ويوضح الشكل–١– الخواص المثالية لهذا المرشح اما منحني الخواص الواقعية فيظهر في الشكل رقم – ٢ – وتوجد في هذا المنحني منطقتين انتقاليتين بين الطرفين ($F_1$ .$F_2$) اما $F_0$ فيمثل الوسط الهندسي بين F1 & F2 وقيمته تساوي

$F_o = \sqrt{F_1 F_2}$

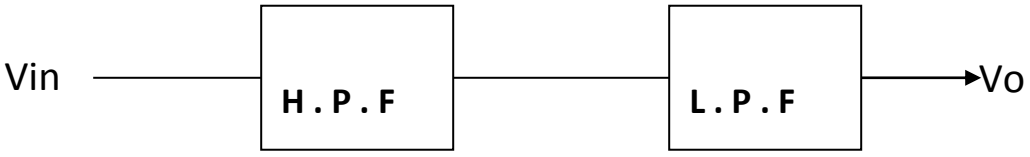
حيث ان $w_{c1} = \frac{1}{R\ C}$ و $w_{c2} = \frac{1}{R\ C}$ والكسب يساوي ———— — —

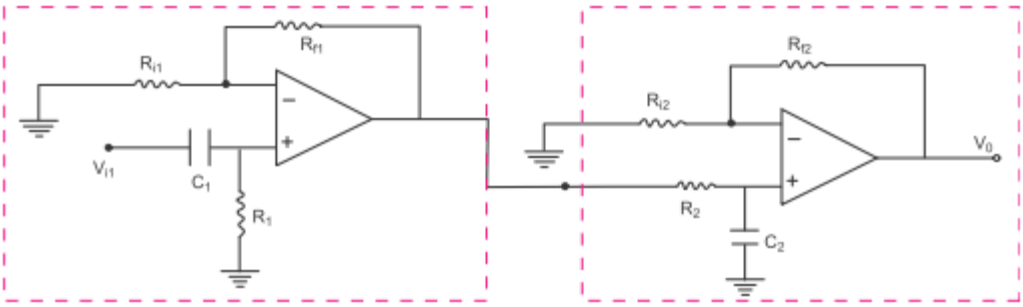
أو ————




الشكل–١–

ويمكن الحصول على هذا المرشح يدمج مرشحين الاول للترددات العالية والثاني للترددات الواطئة وكما بين في الشكل

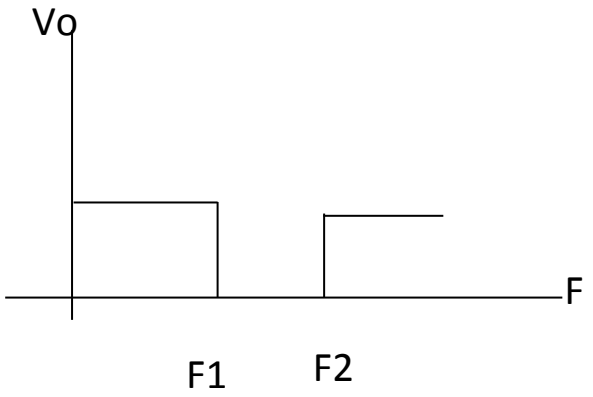


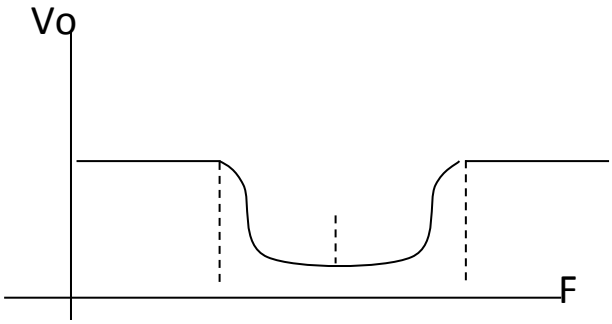

مرشح تمرير ترددات النطاق الفعال

## مرشح مانع الحزمة (Band reject filter)

يقوم هذا المرشح باضعاف او منع كل الترددات بين $F_1$ و $F_2$ ويمرر باقي الترددات وتعتبر للخواص المثالية لمرشح المنع قيمة للخواص الترددية المثالية لمرشح امرار الحزمة وعندما يتم تضيق حزمة الترددات الغير مسموح بها يسمى عند ذلك بمرشح الاخدود ويستخدم هذا النوع من المرشحات في ازالة الترددات الغير مرغوب فيها مثال ذلك حذف التردد 60H2 في الفطومات السمعية الشكل ١ يمثل الخواص المثالية اما شكل -٢- يمثل الخواص الواقعية.

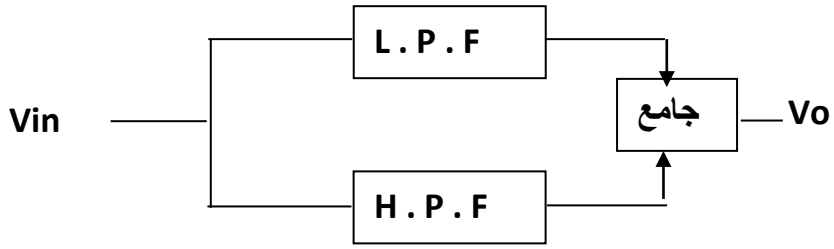



شكل -١-




شكل رقم-٢-

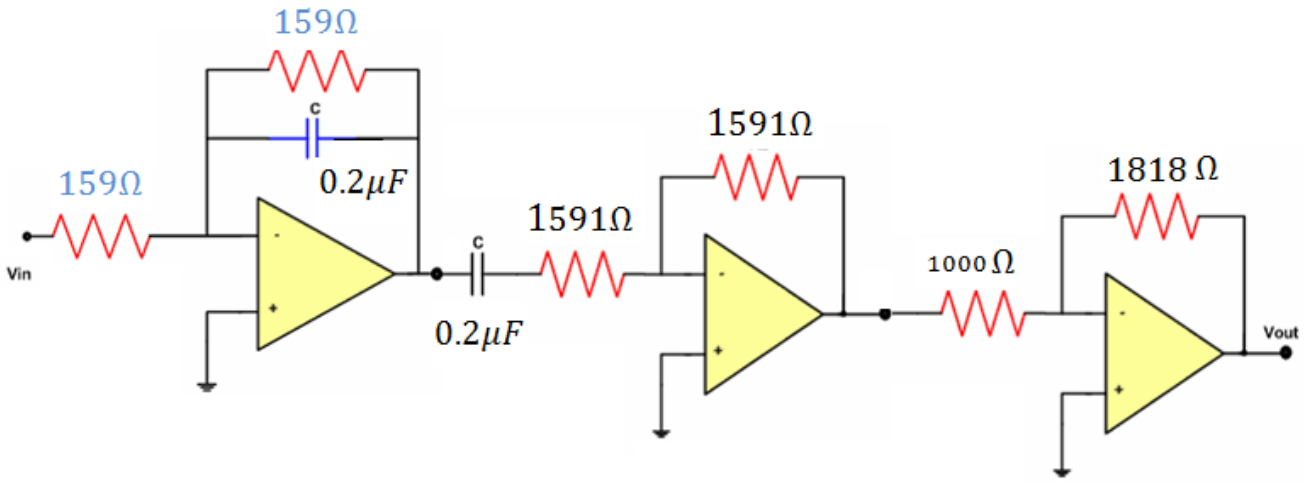
يمكن الحصول على مرشح مانع الحزمة بجمع اخراج مرشح ترددات واطئة ومرشح ترددات عالية وكما مبين في الشكل التالي.



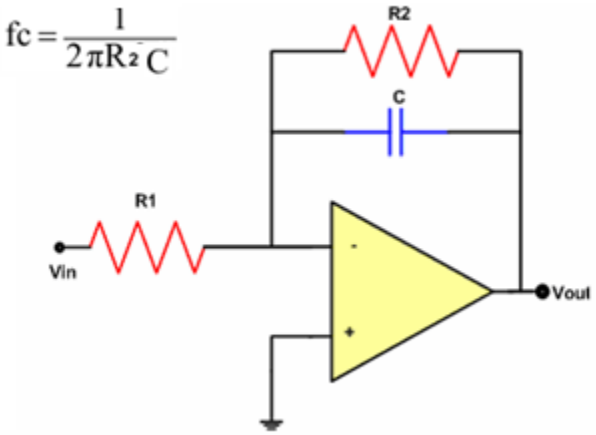

**مثال : صمم مرشح مرشح امرار الحزمة (Band pass filter) اذا علمت** الكسب هو ٢، و و $w_{c1} = 500$ والمتسعة .

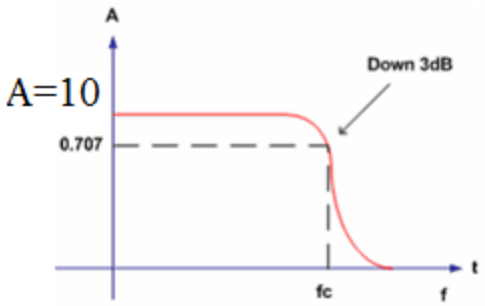
الحل:

و




مثال (٢): صمم دائرة مرشح امرار واطيء فعال يستجيب الى الترددات الواطئة لحد $(f_c = 1KHz)$ .




نفرض ان قيمة الكسب $\frac{R_2}{R} = 10$ ، ونفرض قيم المقاومة$R_1 = 1k\Omega$ ، اذا

---

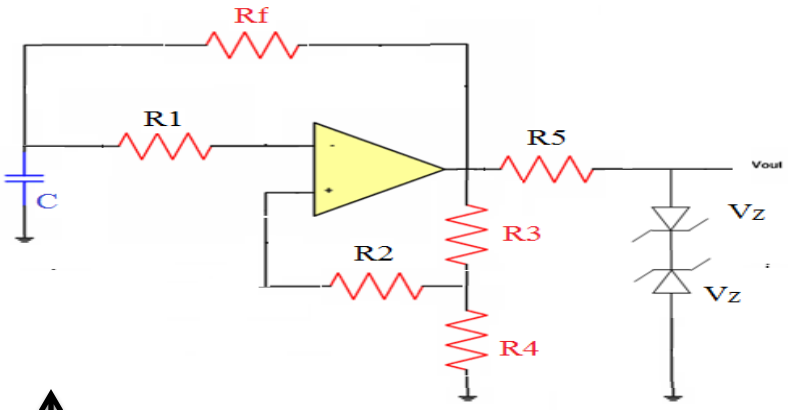
---

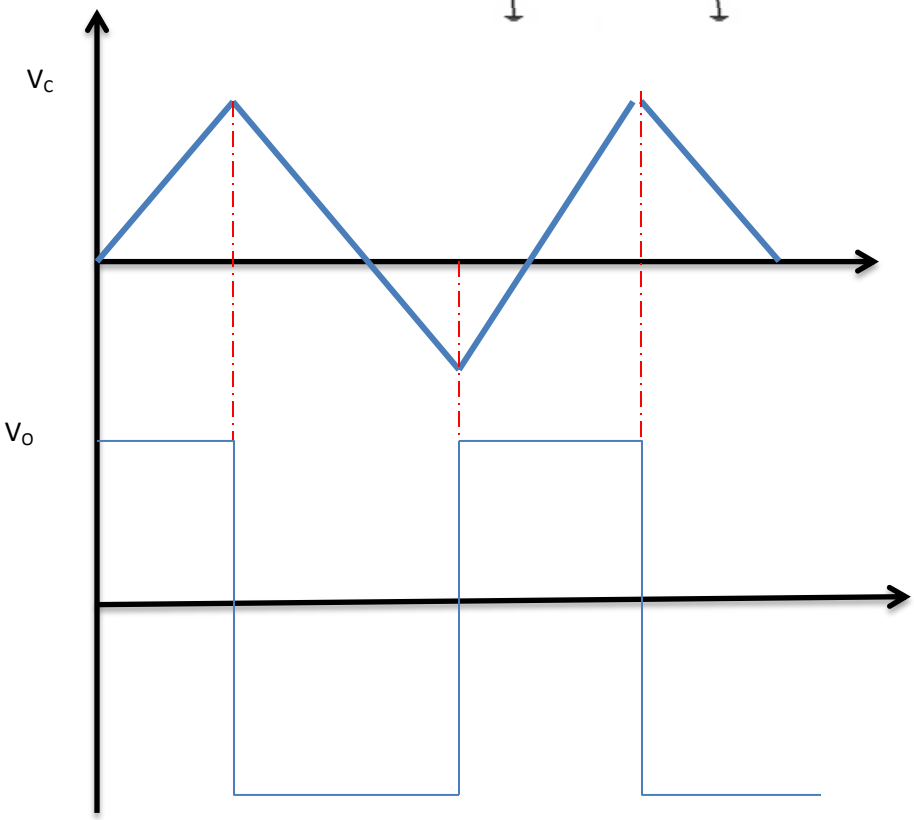
وبذلك تكون قيمة المتسعة $15.9\ nF$لكي يستجيب المرشح للترددات المطلوبة.

مولدات الموجات باستخدام مكبر العمليات

مولد الموجه المربعة Square wave generator

ان ربط دايودين من الزنر دايود بشكل متعاكس يسيطر على سعة فولتية الاخراج ويتم تحديدها بقيمة ($-V_2$ ,$+V_2$) .المقاومة $R_f$ والمتسعة C توفر دائرة توقيت للمكبر عند عمله كمقارن. تربط التغذية الخلفية الى الطرف الغير قالب وتتم بواسطة مجزئ الجهد $R_3$ و $R_4$، حيث يكون معامل التغذية الخلفية ($\beta$) يساوي $\beta=\frac{R4}{R3+R4}$ .



مقاومة الادخال R1 تفيد في ضمان ممانعة عالية للمكبر ولحماية الادخال. ولتوضيح عمل الدائرة ، فعند تغذية المذبذب بالقدرة اللازمة من المصدر المستمر $(\mp V_{CC})$ سوف تظهر فولتية عبر طرفي الدخل وبخاصة عند الطرف الغير قالب . هذه الاشارة تدفع المضخم الى التشبع بسبب الكسب العالي للدارة المفتوحة ولنفرض ان المضخم قد وصل الى التشبع باتجاه الفولتية الموجبة $(+V_{CC})$ ،فأن جزء من هذه الاشارة ترتد الى الطرف غير القالب وتصبح الفولتية الراجعة (المرتدة) بمقدار $\beta$ v.

بما ان فولتية الاخراج موجبة تبدأ المتسعة (C) بالشحن ومن خلال المقاومة $R_f$. وتستمر بالشحن الى ان تصبح فولتية المتسعة اكبر من الفولتية المرتدة عند ذلك يدخل المضخم الى التشبع ولكن باتجاه الفولتية السالبة( $-V_{CC}$) ،لان عمله كمقارن، وفي هذه الاثناء تبدأ المتسعة بالتفريغ خلال المقاومة $R_f$. غير ان اسبب التفريغ عن الفولتية المرتدة عندها تقفز فولتية الخرج الى منسوب التشبع الموجب وتعاد الدورة من جديد.

ان الفترة الزمنية المولد الموجه المرتبة تساوي

$$\left(1+\frac{\quad}{\quad}\right) \qquad \frac{\quad}{\quad}$$

ان اقصى تردد لهذه الدائرة يحدد حسب نوع المذبذب واستقرارية التردد تعتمد بشكل اولي على استقرارية الزنر دايود والمقاومة R5 تفيد في منع مرور تيار زائد في الزنر دايود

مثال:١

اذا علمت ان مكونات المذبذب الغير مستقر(مولد الموجة المربعة) هي

$C = 0.22\mu F$ ، احسب تردد التذبذب .

الحل:

يكون زمن الدورة الواحدة

$$\frac{\left(1+\frac{\quad}{\quad}\right)}{\left(1+\frac{\quad}{4}\right)}$$

مثال:٢

اذا كانـــت ، $R_3 = 100k\Omega$ ، $\mp V_{CC} = \mp 15$ . اســـتخرج قيمـــة الفولتيـــة المرتدة( ).

الحل:

$$= \left(\frac{R4}{R3+R4}\right)$$

$$\left(\frac{\qquad\qquad}{3 \qquad 3}\right)$$

بما ان الفولتية المرتدة متماثلة حول المحور المرجعي وذات سعة واحدة في الاتجاهين السالب والموجب اذن

**مولدة الموجبة المثلثة Triangle wave Generator**

يقوم مولد الموجة المثلثة بتوليد فولتية مشابهة لشكل المثلث وبصورة دورية ويتكون المولد من مقارن ذي هسترة ومكامل وكما في الشكل حيث يولد المقارن ذي الهسترة موجة مربعة تدخل الى المكامل الذي يحولها الى موجة مثلثة

اذا كانت اقصى فولتية موجة على اخراج المقارن هي (+13V) فأن تيار شحن المستعة

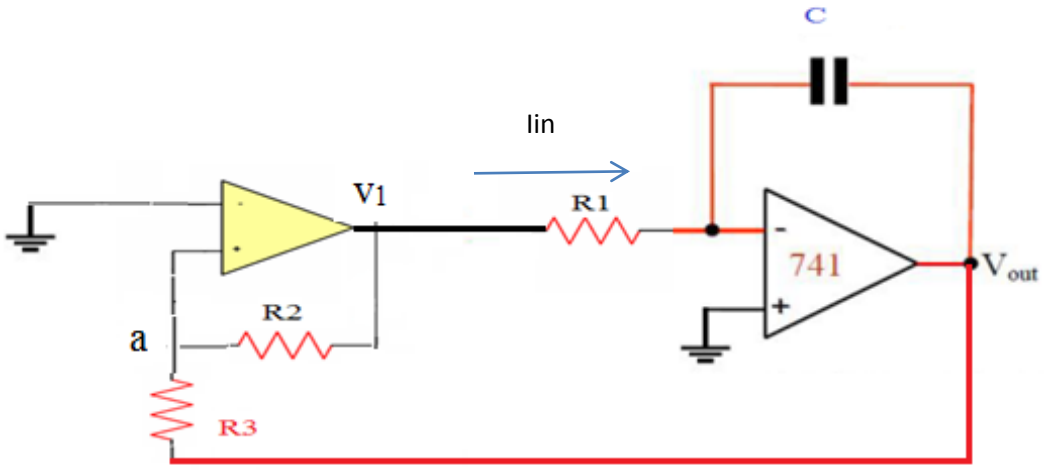
— ويكون هذا التيار ثابتا والشحنة على المتسعة تساوي وبما

—

وبما ان اخراج المكامل هو

——

——( — 2 )




مولد موجة مثلثة

وهذا يعني ان الفولتية المتكاملة تهبط بصورة خطية وعندما تصبح فولتية المقارن سالبة كما في الشكل اعلاه فان فولتية الاخراج للمقارن تنتقل من (+13V) الى (-13V) أي سوف تغذي فولتية سالبة الى ادخال المكامل و بذلك يقوم المكامل الان بتكامل الفولتية بالاتجاه الموجب ويستمر التكامل بهذا الاتجاه الى ان تثير فولتية اخراج المقارن الى الحالة الموجبة حيث تحدث نقطة انقلاب المقارن وتكون

فولتية مقدارها صفر على طرف الادخال الموجب للمقارن التيار IR1 دائما يساوي IR2 عند نقطة الانقلاب .

مثال :

احسب تردد الإشارة المتولدة لمولد الموجه المثلثة اذا علمت ان $R2 = 56k\Omega$ , $C = 0.022\ \mu f$ $R3=18k\Omega$, $R1= 22k\Omega$ ,

الحل

**المهزاز احادي الاستقرارية باستخدام مكبر العمليات**

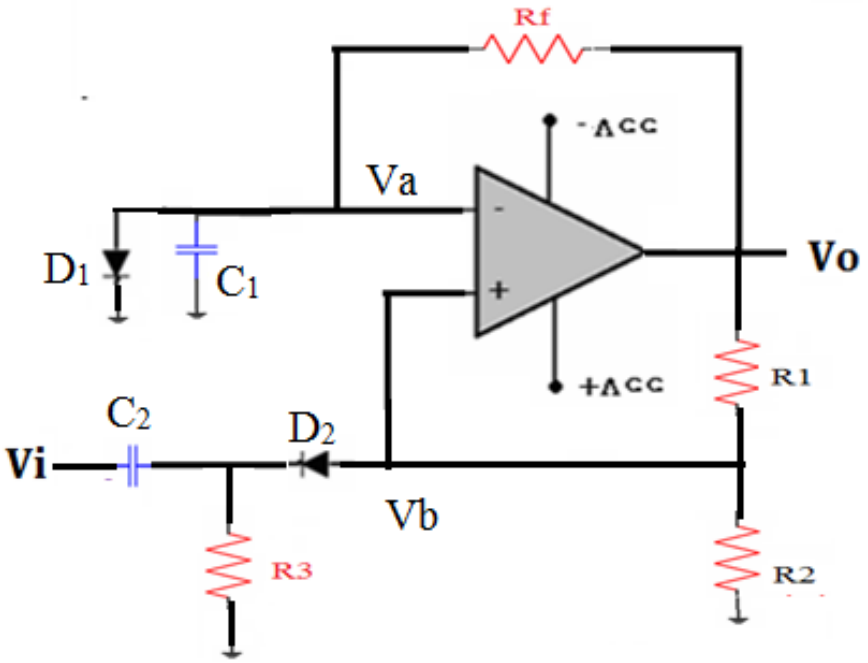
الدائرة في الشكل تمثل دائرة هزاز احادي الاستقرارية وباستخدام مكبر العمليات والذي يعمل كمقارن للفولتية المسلطة على الادخال القالب مع الفولتية المسلطة على الادخال غير القالب ولنوضح عمل الدائرة نفرض انها في حالة الاستقرار حيث الاخراج (Vo=+Vcc) والثنائي D1 يكون في حالة انحياز امامي مما يجعل فولتية المتسعة تساوي (0.7v) أي ان (Va=Vc=0.7) وبما انه

وبالتأكيد ($V_b$) اكبر من الفولتية (Va) لذلك تحافظ على حالة الاستقرار الموجب لفولتية الاخراج vo وتكون القيمة (+Vcc) .

وعند تحفيز المذبذب بنبضة قدح سالبة ( Vi−) على الطرف الغير قالب لمكبر العمليات عبر الثنائي D2 واذا كانت قيمتها تتجاوز قيمة ($V_b$) سوف تؤدي هذه النبضة الى تغيير حالة الاخراج الى

(Vo= -Vcc). عندها يكون $D_1$ بالانحياز العكسي وتبدأ المتسعه $C_1$ بالشحن بالتجاه السالب، فأذا صارت (Va) اكثر سلبا من ($V_b$) أي تكون $V_b$ اكبر من Va فأن خرج المكبر سيعود الى التشبع الموجب وعندما تصبح .

ان قيمة Va السالبة لفترة معينة تحدد بقيم العناصر ($R_f$ & $C_1$) بالإضافة للنسبة بين$R_1$ الى $R_2$ وعلى فرض ان النسبة تساوي 10 فعليه تكون فترة الاستقرار السالبة في خرج المذبذب ($t_p$) هي:



## قادح شميث(المقارن المتجدد) schmitt trigger(Regenerative Comparator)

المقارن المتجدد الذي توضحه الدائرة بالشكل التالي a في المعتاد يسمى قادح شميت . جهد الدخل يطبق على إلى الطرف العاكس 2 بينما يطبق جهد التغذية الراجعة إلى الطرف غير العاكس 1. معامل التغذية الراجعة β يعطى بدلالة المقاومات كما يأتي:

$$\beta = R_2 /(R_1 + R_2)$$

عندما $A_V = -5000$ , $R_1 = 10\ K$ , $R_2 = 100\ \Omega$ فإن معامل كسب الحلقة loop gain يكون كما يأتي:

$$-\beta A_V = -A_V \beta = R_2 /(R_1 + R_2)$$

$$= 0.1 \times 5000/10.1 = 49.5 >> 1$$

بفرض ان $v_i < v_1$ حتى ان :

$$v_O = + V_O\ (+5V)$$

فإنه باستخدام قاعدة superposition ومن الشكل a نجد ان:

$$v_1 = [V_R R_1 /(R_1 + R_2)] + [V_O R_2 /(R_1 + R_2)] \equiv V_1$$

إذا زاد $v_i$ فإن جهد الخرج $v_O$ يبقى ثابتا عند القيمة $V_O$ , $v_1 = V_1 = \text{constant}$ حتى ان $v_i = V_1$. عند جهد العتبة هذه threshold أو يمكن ان يسمى أيضا: critical or triggering voltage فإن جهد الخرج متجددا يتحول إلى القيمة :

$$v_O = - V_O$$

ويبقى عند هذه القيمة طالما ان : $v_i > V_1$. خواص الانتقال transfer characteristic هذه يوضحها الشكل b.

الجهد عند الطرف غير العاكس للمكبر عندما $v_i > v_1$ يكون كالاتي:

$$v_1 = [V_R R_1 /(R_1 + R_2)] - [V_O R_2 /(R_1 + R_2)] \equiv V_2$$

لقيم البارامترات الموضحة بالشكل ومع $V_O = 5$ V, فإن:

$$V_1 = [V_R R_1 /(R_1 + R_2)] + [V_O R_2 /(R_1 + R_2)]$$

$$= [10 \times 10^3 \times 1/1000 (10 + 0.1)] + [0.1 \times 5 /(10 + 0.1)] = 0.99 + 0.05$$

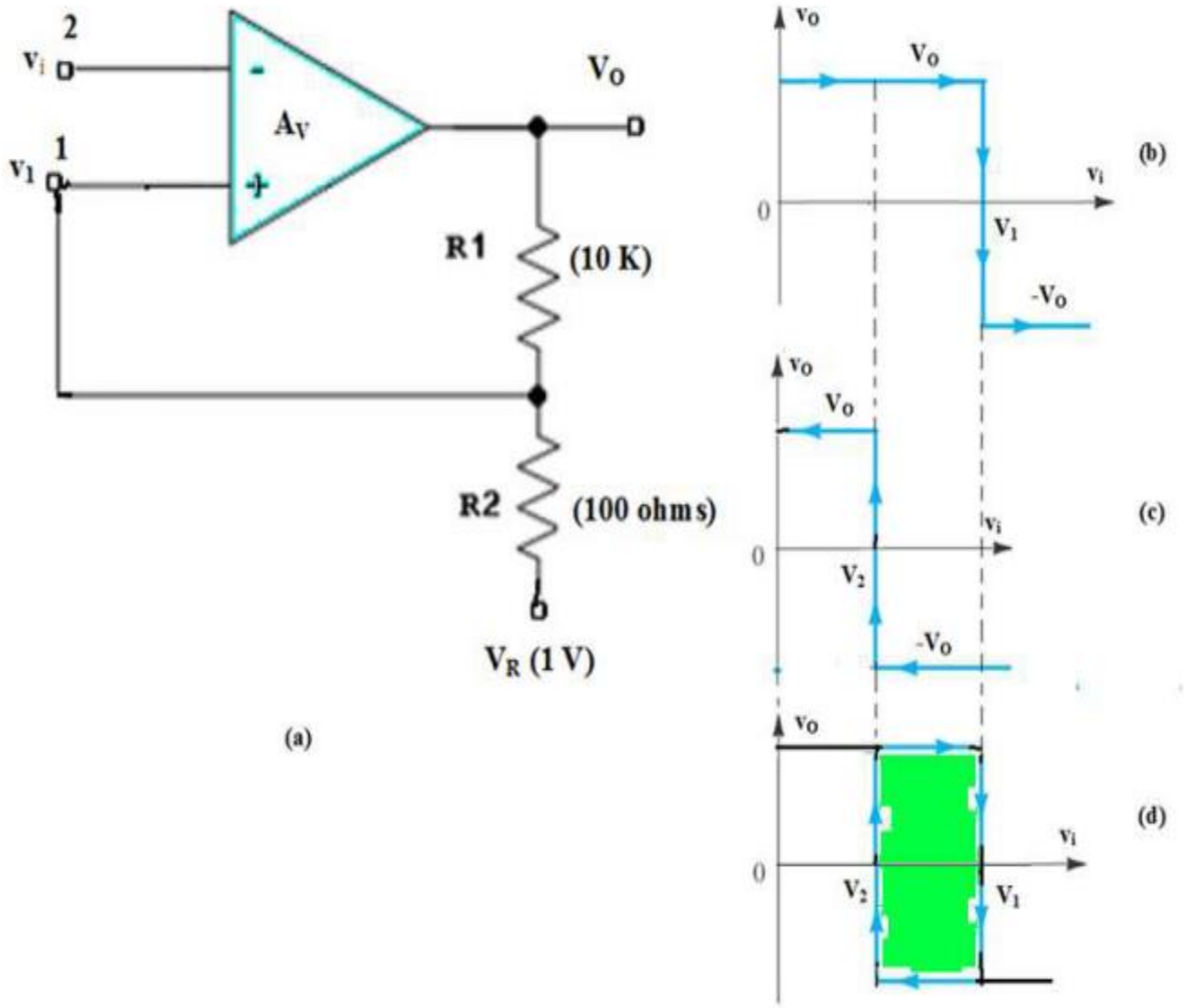
$$= 1.04 \text{ V}$$

$$V_2 = [V_R R_1 /(R_1 + R_2)] - [V_O R_2 /(R_1 + R_2)] = 0.99 - 0.05 = 0.94 \text{ V}$$

يلاحظ ان :

$V_2 < V_1$ والفرق بين هاتين القيمتين وهو $V_H$ يسمى بالتخلفية hysteresis، وقيمته تكون كالتالي:

$$V_H = V_1 - V_2 = 2V_O R_2 /(R_1 + R_2) = 1.04 - 0.94 = 0.10 \text{ V}$$




(a) A schmitt trigger. The transfer characteristics for (b) increasing vi and (c) decreasing vi (d) the composite input-output curve

قادح شميت . b تزايد جهد $V_i$ . c تناقص $V_i$ . d منحنى جمع الدخل-الخرج.

الآن إذا تناقص $v_i$ فإن جهد الخرج $v_O$ يبقى ثابتا عند القيمة $-V_O$ حتى يساوي $v_i$ الجهد عند الطرف 1 أو حتى : $v_i = V$ . عند هذا الجهد يحدث انتقال متجدد :

Regenerative transition وكما بالشكل c الخرج يعود غالبا إلى $+V_O$ آنيا. دالة الانتقال كاملة يوضحها الشكل d حيث الجزء المظلل (المستطيل الرأسي المحصور بين $V_1$ $V_2$) أي ان هذا الشكل يوضح ما يسمى بالتخلفية لقادح شميت وهو العلاقة بين الدخل والخرج.

الجزء المظلل يمكن عبوره إلى أحد الاتجاهين أما أجزاء الخطوط يتم الحصول عليها إذا تغير $v_i$ طبقا لما توضحه الأسهم. يلاحظ انه بسبب التخلفية فإن الدائرة يتم قدحها عند الجهد الأعلى للإشارة المتزايدة اكثر من الإشارة المتناقصة.

وواضح ان الخرج يكون فقط إما موجب $+V_O$ (جهد التشبع الموجب) أو سالب $-V_O$ (جهد التشبع السالب).

ويوجد قيمتان لجهد الدخل هما:

١-جهد السقوط العلوي(نقطة القدح العلوي) upper triggering point UTP والتي يبدأ عندها جهد الخرج في التحول من جهد التشبع الموجب إلى جهد التشبع السالب. والجهد $V_1$ يمثل هذا الجهد.

٢- جهد السقوط السفلي(نقطة القدح السفلي) lower triggering point LTP والتي يبدأ عندها جهد الخرج في التحول من جهد التشبع السالب إلى جهد التشبع الموجب. والجهد $V_2$ يمثل هذا الجهد.

وعلى الشكل d يتضح الأتي:

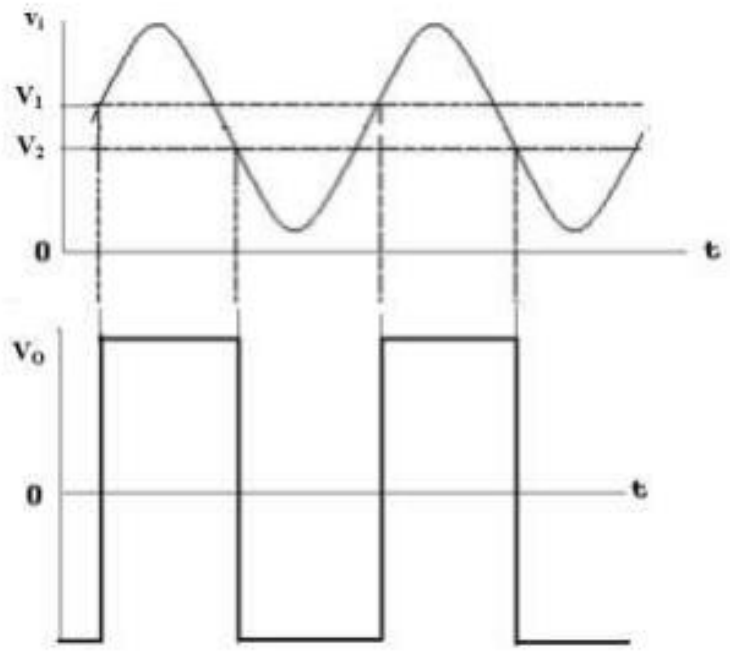
١- يكون الخرج موجبا وثابت ويساوي جهد التشبع الموجب طالما ان جهد الدخل $v_i$ أقل من جهد نقطة السقوط العلوي UTP. ويمثل هذا الجهد $V_1$.

٢- إذا زاد جهد الدخل $v_i$ عن جهد السقوط العلوي يتحول الخرج إلى جهد التشبع السالب ويكون جهد الخرج يساوي $V_O$ - .

٣- يظل جهد الخرج سالب ويساوي $V_O$ - طالما كان $v_i$ أكبر من جهد (نقطة) السقوط السفلي LTP.

٤- إذا قل جهد الدخل عن جهد السقوط السفلي LTP يتحول جهد الخرج إلى جهد التشبع الموجب وهكذا.

في الغالب ،الاستخدام المهم لقادح شميت هو لتحويل جهد الدخل المتغير ببطء إلى شكل موجي حاد للخرج (غير متصل) وهذا يحدث عند قيمة دقيقة لجهد الدخل. هذا المقارن المتجدد يمكن استخدامه في تطبيقات عديدة مثل كاشف عبور الصفر zero-crossing detector , و توليد موجات square waves from sine wave ومولد العلامات الزمنية Timing –markers generator from sine wave و.....الخ. مثال ذلك استخدام قادح شميت في توليد الموجات المربعة من الموجة الجيبية كما بالشكل ادناه إشارة الدخل اختيارية عدا انها تملك دورة excursion كبيرة بدرجة كافية لتجعل الدخل يبعد عن مدى حدود التخلفية $V_H$. الخرج يكون موجة مربعة كما بالشكل ادناه واتساعه its amplitude لا يعتمد على قيمة قمة –الى –قمة لموجة الدخل. الخرج يملك حافات رئيسية leading وحافات ذيل trailing edges اسرع من تلك للدخل.




Response of the schmitt trigger to an arbitrary input signal

**– المؤقت الزمني**

**١ـ الوصف العام -**

**المؤقت هو جهاز على درجة عالية من الاستقرار ويستخدم فى توليد فترات (أزمنة) تأخير دقيقة أو ذبذباتoscillation .**

**المؤقت 555 مزود بأطراف إضافية للبدء(الاشعال – القدح** triggering **) وللتصفير(التحريرresetting) تستخدم عند الحاجة.**

**عند العمل بنظام "التأخير الزمنى" (يسمى مذبذب متعدد أحادى الاستقرار** (monostable) **يتم التحكم وبدقة فقط عن طريق دائرة مقاومة ومكثف خارجية.**

**عند العمل بنظام "المذبذب" ( يسمى مذبذب متعدد عديم الأستقرار ( astable) يتم التحكم فى التردد ودورة الخدمة بدقة عن طريق دائرة خارجية مكونة من مقاومتين ومكثف .**

**يمكن للدائرة البدء أو التحرير نتيجة الأشكال الموجية الهابطة.**

**يمكن لدائرة الخرج أن تعمل كمصب ( تسحب) أو تعمل كمصدر (تعطى) تيار حتى 200mA كما يمكنها**

**تشغيل الدوائر من النوع. TTL**

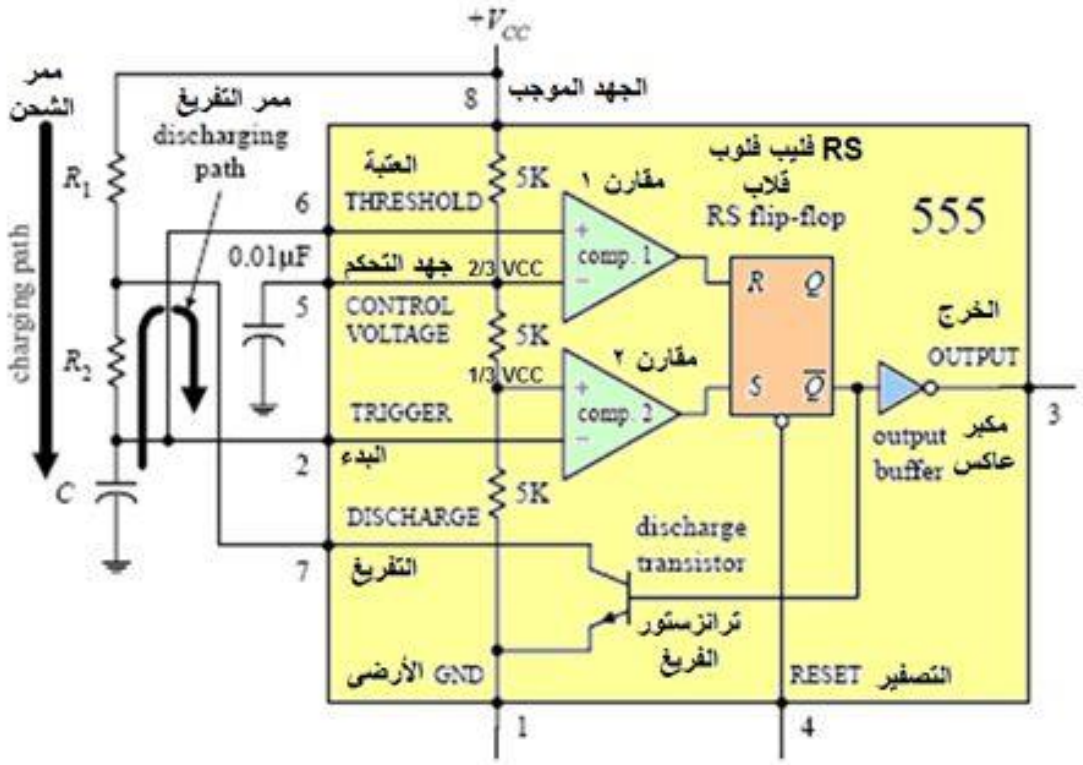
**٢- الخصائص:**

**يمكن للمؤقت 555 العمل كمؤقت أو كمذبذب . فى نظام العمل كمؤقت ( والمعروف بالنظام أحادي الاستقرار ( monostable) يعمل المؤقت 555 ببساطة كمؤقت يقوم بتوليد نبضة أو ما يعرف باسم " طلقة واحدة. one-shot ."**

- **عند توصيل نبضة بدء (قدح – إشعال trigger) إلى طرف البدء فإن خرج المؤقت يتحول من مستوى الجهد المنخفض إلى مستوى الجهد المرتفع ولفترة زمنية يتم تحديدها بدائرة RC خارجية.**
- **في نظام العمل كمذبذب ( والمعروف باسم النظام عديم الاستقرار astable أو الحر ) يعمل المؤقت 555 كمولد نبضات مستطيلة حيث يمكن التحكم في الشكل الموجي الناتج ( فترة زمنية منخفضة أو فترة زمنية مرتفعة أو التردد ..) عن طريق دوائر شحن وتفريغ RC خارجية.**
- **المؤقت 555 سهل الاستخدام ( يحتاج إلى قليل من المكونات والحسابات ) ورخيص ويمكن إستخدامه في الكثير من التطبيقات المذهلة . على سبيل المثال : توليد نبضات الساعة الرقمية digital clock و دوائر الفلاشر flasher ودوائر التوقيت one-shot timer ودوائر تشغيل المفاتيح الخالية من الارتدادات (القفزات bounce-free) وتوليد الاشكال الموجية المختلفة مثل الشكل الموجي المثلث triangular وفى مقسمات التردد ...الخ.**

**الشكل يبين مخطط صندوقي مبسط لما بداخل المؤقت 555**

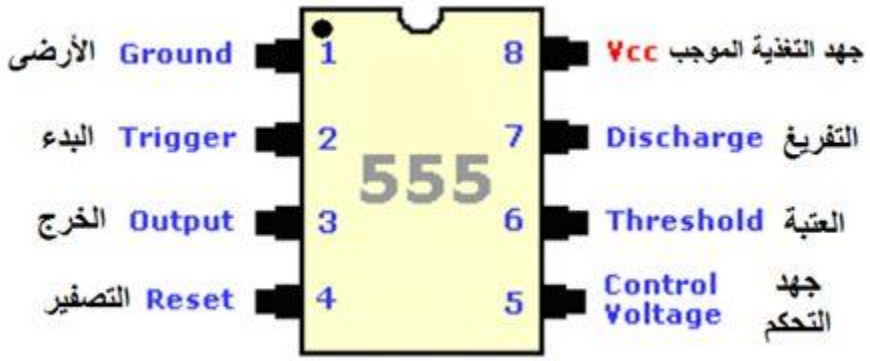
**as الدائرة الكاملة ( بالمكونات الخارجية ) تمثل المؤقت 555 يعمل بنظام المذبذب عديم الاستقرار**




**أخذ المؤقت 555 هذا الاسم بسبب وجود 3 مقاومات قيمة كل منها 5 kΩ كما في الشكل اعلاه. هذه المقاومات تعمل كمقسم جهد بثلاثة درجات بين جهد المنبع (VCC) والأرضي. نتيجة لذلك يكون جهد الطرف العلوى للمقاومة السفلية ( المتصل بطرف الدخل الموجب + للمقارن٢) 1⁄3VCC بينما يكون جهد الطرف العلوى للمقاومة الوسطى ( المتصل بالدخل السالب – للمقارن ١) يساوي 2⁄3VCC . خرج أي مقارن (مرتفع أم منخفض) يعتمد على الجهد التماثلي الواصل الى دخليه. إذا كان الدخل الموجب أكثر إيجابية من دخله السالب فإن مستوى خرجه المنطقي يكون مرتفعا . والعكس إذا كان الدخل الموجب أقل من الدخل السالب فإن مستوى خرجه المنطقي يكون منخفضا.**

**ومدخل التحرير set ويسميان مدخل الوضع. . يتم توصيل خرجي المقارنين إلى مدخلي القلاب ( القليب فلوب) . حسب حالة المدخلين يكون خرج القليب فلوب.**

## ٣- التعرف على وظائف اطراف المؤقت:555




**١: الطرف الارضىground**

**٢:الطرف البدء(القدح – الاشعال trigger: ) الدخل إلى ألمقارن 2 والذى يستخدم فى عمل set للفليب فلوب عندما يعبر جهد الطرف 2 من أكبر من إلى إقل من 1⁄3VCC عندئذ يتحول خرج المقارن إلى مرتفع ويقوم بعمل set للفليب فلوب.**

**٣- الطرف الخرج output : خرج المؤقت 555 عبارة عن مرحلة مكبر عاكس قادر على العمل كمصب (سحب) أوكمصدر (إعطاء) حوالى .200 mA مستوى جهد الخرج يعتمد على تيار الخرج ولكنه تقريبا**

$$V_{out(high)} = V_{CC} - 1.5\ \text{V and } V_{out(low)} = 0.1\ \text{V}.$$

**٤- الطرف التصفير reset : يقوم بعمل rest أي يكون فعال عندما يكون منخفض Active-low والذى يجبر الخرج (معكوس (Q أن يكون مرتفعا وبالتالي يكون الطرف) 3 الخرج) منخفضا.**

**٥- الطرف جهد التحكم control : يستخدم فى تخطى المستوى 2⁄3VCC عند الحاجة ولكنه غالبا ما يتم توصيله بالارضى خلال مكثف إمرار ) 0.01-µF للتخلص من التداخلات الناتجة عن مصدر التغذية . VCC توصيل جهد خارجى إلى هذا الطرف يعطى تحكم بوضع مستوى آخر للبدء .**

**٦- الطرف العتبة أو الحد threshold وهو الدخل إلى المقارن العلوى والذى يستخدم في تحرير re الفليب فلوب . عندما يعبر جهد الطرف 6 من أقل من ألى اكبر من 2⁄3VCC يتحول خرج المقارن**

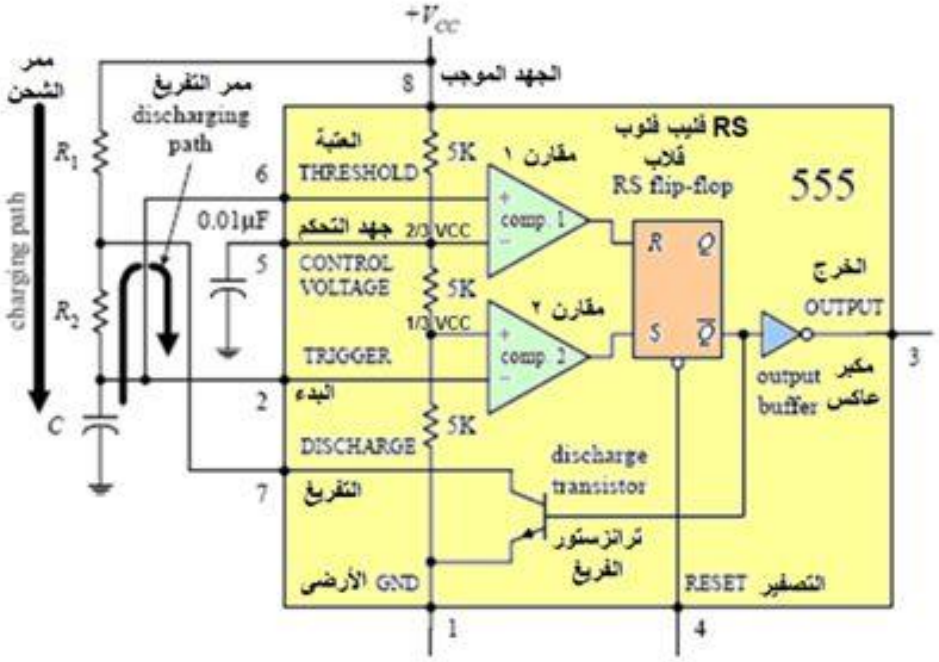
**العلوى إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل reset للفليب فلوب . وهو الدخل إلى المقارن العلوى والذى يستخدم فى تحرير reset الفليب فلوب . عندما يعبر جهد الطرف 6 من أقل من ألى اكبر من 2⁄3VCC يتحول خرج المقارن العلوى إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل reset للفليب فلوب .**

**الطرف :7 التفريغdischarge :متصل بالمجمع المفتوح للترانزستور NPN والذى يستخدم فى عمل دائرة قصر لتوصيل الطرف 7 بالأرضى عندما يكون معكوس Q مرتفع (والطرف 3 منخفض) ويؤدى ذلك إلى تفريغ المكثف .**

**الطرف : 8 جهد التغذية الموجب VCC : يكون بين 4.5 و 16 V للمؤقت 555 المكون من دوائر TTL وقد يصل الى اقل من 1 V فى النوع. CMOS.**

## ثانيا : انظمة العمل للمؤقت555

### 1- نظام العمل كمذبذب عديم الاستقرارastable :



**. عند توصيل التغذية إلى الدائرة يكون المكثف غير مشحون.**

**. هذا يعنى أن جهد الطرف 2 يكون 0V فيجبر خرج المقارن 2 على أن يكون فى مستوى جهد مرتفع.**

**. وهذا بدوره يقوم بعمل set للفليب فلوب بحيث يكون الخرج المعكوس( رمزه Q وفوقها شرطة (منخفض ويكون خرج المؤقت 555 مرتفع نتيجة لوجود مكبر الخرج العاكس.**

**. وأيضا ونتيجة لوجود الخرج العاكس منخفضا يكون ترانزستور التفريغ فى حالة عدم توصيل off بما يسمح بشحن المكثف من المنبع VCC وخلال المقاومة R1 والمقاومة. R2**

**. عندما يزيد جهد المكثف عن 1⁄3VCC يتحول خرج المقارن 2 ألى الحالة المنخفضة وهذا ليس له تأثير على الفليب فلوب.**

**. عندما يزيد جهد المكثف عن 2⁄3VCC يتحول خرج المقارن 1 إلى الحالة المرتفعة ويقوم بتحرير reset الفليب فلوب فيجبر الخرج المعكوس على التحول ألى الحالة المرتفعة وتبعا له خرج المؤقت إلى الحالة المنخفضة.**

**. عند هذه النقطة يتحول ترانزستور التفريغ إلى التوصيل on ويقوم بعمل دائرة قصر لتوصيل الطرف 7 بالأرضى ليتم تفريف المكثف خلال المقاومة. R2**

**. عندما يهبط جهد المكثف إلى أقل من 1⁄3VCC يعود خرج المقارن 2 إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل set للفليب فلوب ويتحول الخرج المكوس إلى الحالة المنخفضة وخرج المؤقت إلى الحالة المرتفعة.**

**. نتيجة لأن الخرج المعكوس منخفض يتحول الترانزستور إلى حالة الفصل off بما يسمح للمكثف بالشحن مرة أخرى من جديد.**

**. وتتكرر الدورة مرة تلو الأخرى وتكون النتيجة النهائية خرج على هيئة شكل موجى مربع بمستوى جهد تقريبا ( VCC – 1.5 V ) وفترات مستوى مرتفع ومستوى منخفض on/off تتحدد تبعا لقيم كل من المكثف C والمقاومة R1 والمقاومة. R2**

**. الفترة الزمنية التى يكون فيها جهد الخرج منخفض (حوالى ( 0.1V تعتمد على قيمة حاصل الضرب ) R1C يعرف بالثابت الزمنى لدائرة التفريغ ) وقيمة مستوى 1⁄3VCC و مستوى . 2⁄3VCC**

**. والفترة الزمنية التى يكون فيها جهد الخرج مرتفعا ( حوالى ( VCC – 1.5 V تعتمد على الثابت الزمنى**

**لدائرة الشحن (R1 + R2)C وأيضا على قيمة كل من المستويان1⁄3VCC و. 2⁄3VC**

**. العلاقات العملية الآتية تعبر عن النتائج:**

$$T_{low} = 0.693\ R2C$$

$$T_{high} = 0.693(R1+R2)C$$

**دورة الخدمة: duty cycle :**

**وهى تعبر عن الجزء من الوقت الذى يكون فيه الخرج مرتفعا بالنسبة للزمن الكلى للدورة وتعطى بالعلاقة:**

**Duty cycle = thigh / (thigh + tlow ) = thigh / T**

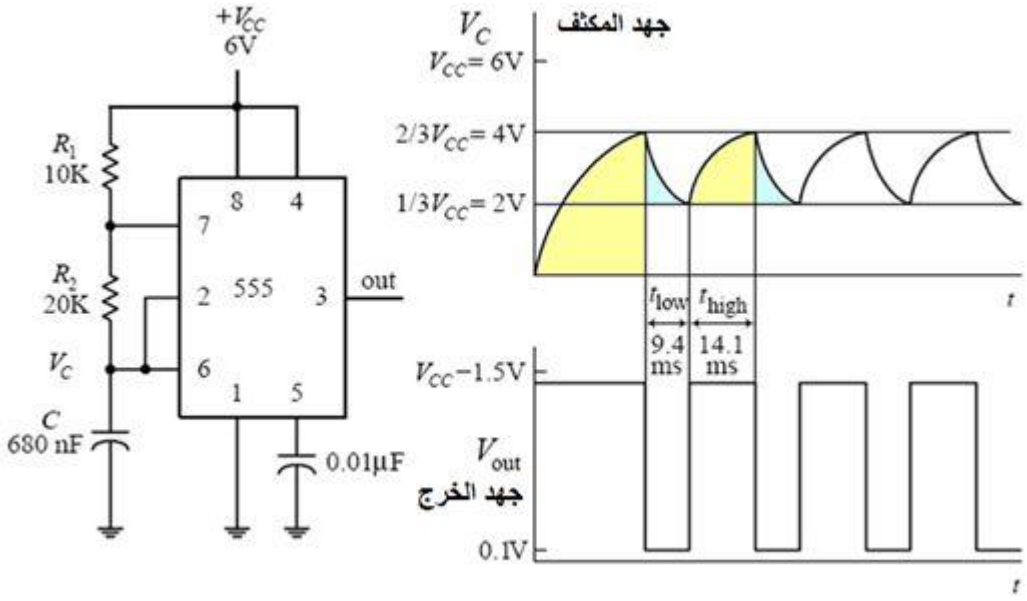
**حيث T هو زمن الدورة الواحدة (يسمى الزمن الدوري) ويساوى مجموع زمن الجهد المنخفض وزمن الجهد المرتفع.**

**تردد الشكل الموجى فى الخرج frequency : يعطى بالعلاقة:**

**f = 1 / T**

**وللعمل السليم والموثوق فيه يجب أن تكون المقاومات فى الحدود بين 10 kΩ و 10 MΩومكثف التوقيت بين 100 pF و. 1000 µF .**

مثال:

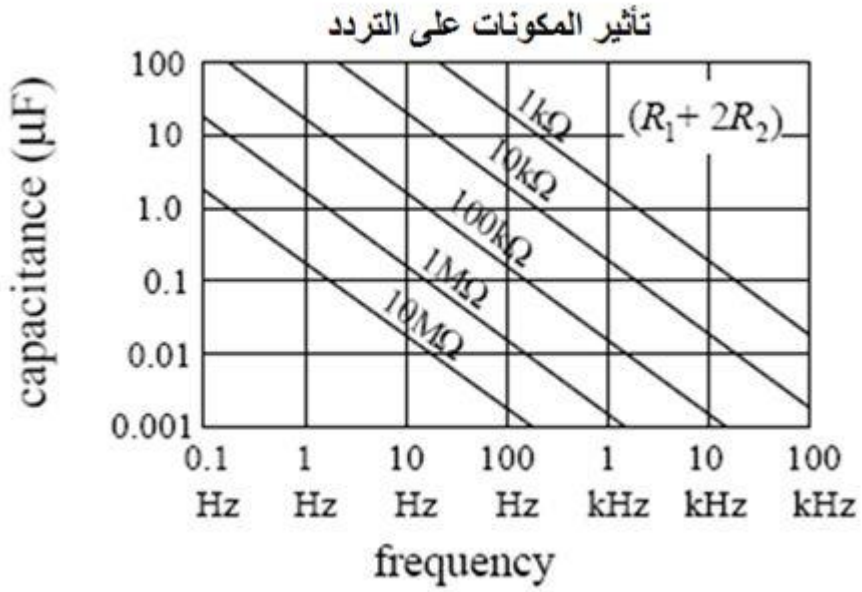


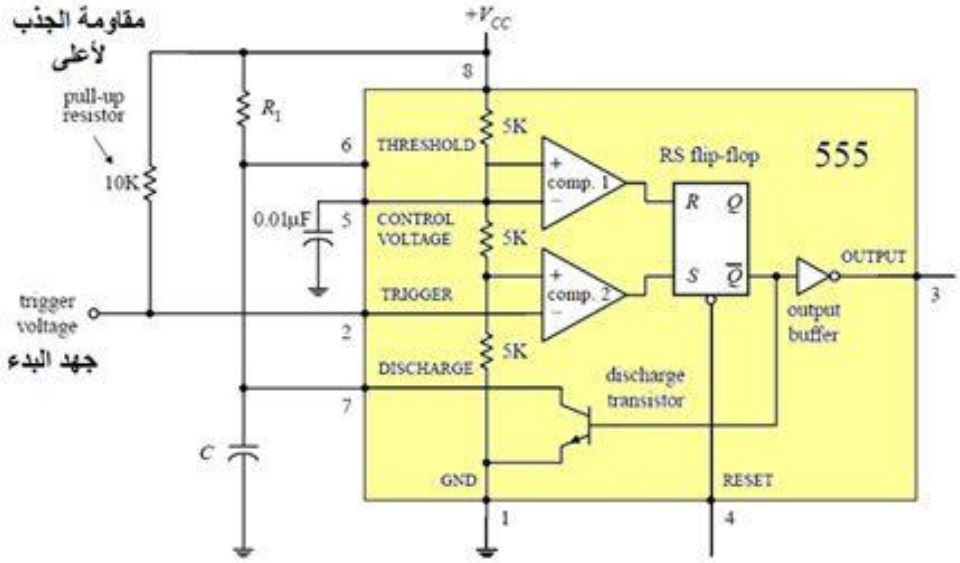

$$t_{low} = 0.693(20K)(680nF) = 9.6ms$$

$$t_{high} = 0.693(10K + 20K)(680nF) = 14.1ms$$

$$f = \frac{1}{9.6ms + 14.1ms} = 42Hz$$

$$\text{duty cycle} = \frac{14.1ms}{14.1ms + 9.6ms} = 0.6$$




**١ـ الحالة الإبتدائية للدائرة (قبل توصيل نبضة البدء) :**

**. يكون الخرج منخفضا.**

**وترانزستور التفريغ موصل on مما يجعل جهد الطرف 7 هو جهد الأرضى وبالتالى يحافظ على المكثف فى حالة عدم شحن .**

**. الطرف 2 يكون جهده مرتفعا عن طريق مقاومة الجذب الى أعلا. 10K**

**٢- عند توصيل نبضة سالبة إلى طرف البدء 2 يجبر المقارن 2 ليكون خرجه موجب فيقوم بعمل set للقلاب (فليب فلوب ) ونتيجة لذلك يكون خرجه (معكوس Q ) سالب وهذا يؤدى إلى جعل الخرج مرتفع ( لوجود مكبر الخرج العاكس).**

**٣-نتيجة لذلك يتحول ترانزستور التفريغ إلى القطع ويسمح بشحن المكثف C خلال المقاومة R1 بدءا من الصفر متجها إلى.VCC .**

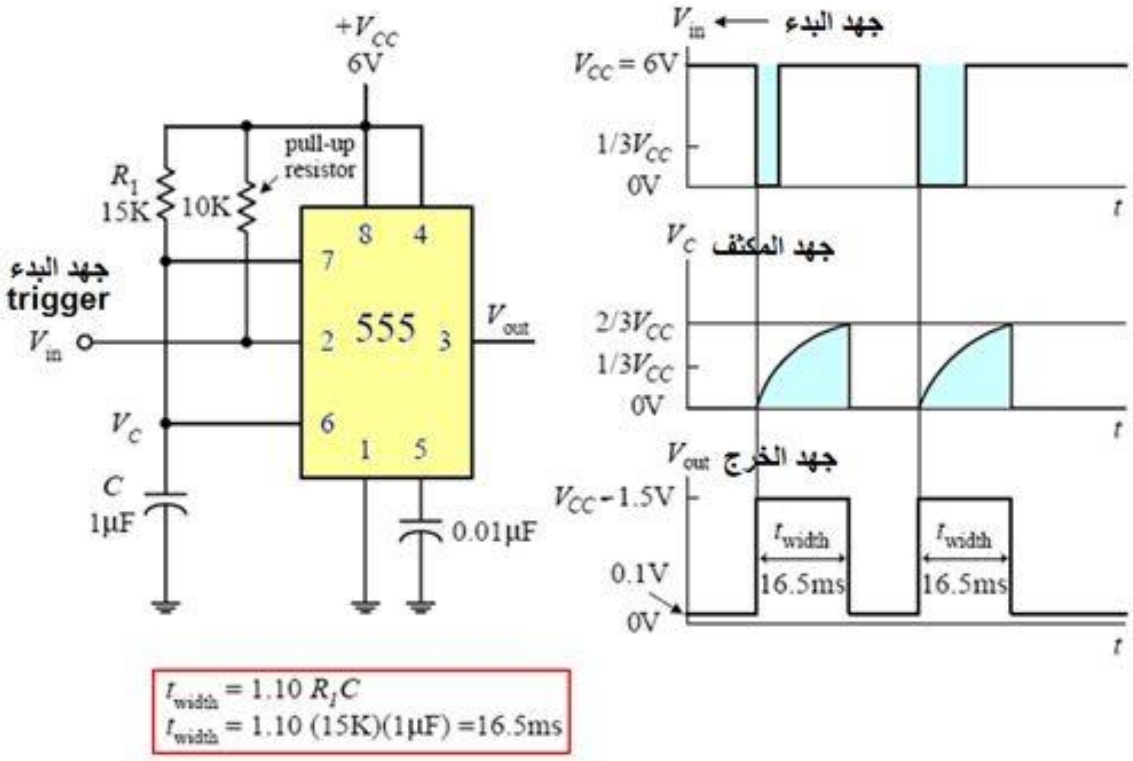
**٤-وعند وصول جهد المكثف إلى 2⁄3VCC يتحول خرج المقارن 1 إلى الحالة المرتفعة ويقوم بعمل reset للقلاب (الفليب فلوب ) . نتيجة لذلك يتحول الخرج إلى الحالة المنخفضة كما يقوم بتحويل ترانزستور الفريغ إلى حالة التوصيل on ليسمح بالتفريغ السريع للمكثف فى اتجاه . 0V ويظل الخرج على هذه الحالة المنخفضة حتى وصول نبضة بدء ثانية.**

**الخلاصة:**

**دائرة المذبذب المتعدد أحادى الاستقرار لها حالة إستقرار واحدة أى أن الخرج يكون0V (عمليا 0.1 Vتقريبا ) حتى وصول نبضة بدء سالبة إلى الطرف 2 (يمكن تنفيذ ذلك عن طريق توصيل الطرف 2 لحظيا بالأرضي باستخدام مفتاح ضاغط بين الطرف 2 والارضى مثلا ) . بعد وصول نبضة البدء يتحول الخرج إلى الحالة المرتفعة ( حوالى ( VCC – 1.5 V ولمدة زمنية تحدد (تضبط) بقيم الدائرة. R1C .**

**وبدون الدخول فى التفاصيل فإن عرض نبضة الخرج المرتفع تساوى . 1.1R1C ويجب عمليا أن تكون المقاومة R1 فى الحدود من 10 kΩ إلى 10 MΩ والمكثف فى الحدود من 100pF الى. 1000 µF**

**مثال:**




## الدوائــر المتكاملـة:-

لقد ادى التطور الكبير لتقنيات تصنيع الدوائر المتكاملة منذ عام ١٩٦١ وحتى الان دورا كبيرا في تقدم صناعة الالكترونيات والحاسبات حتى عرفت هذه الفترة بعصر الحاسبات الالكترونية حيث دخلت الحاسبات والاجهزة الالكترونية والتي تعد الدوائر المتكاملة مكوناتها الاساسية كافة ميادين الحياة كالاجهزة المنزلية والاجهزة الطبية والساعات الالكترونية ووسائل الاتصالات بما فيها الاقمار الصناعية كذلك قدمت الدوائر المتكاملة خدمات فائقة في السيطرة والتحكم المباشر للعمليات الصناعية الدقيقة.

والدوائر المتكاملة (Ic) تعرف بنها مجموعة من المكونات الالكترونية كالترانستورات والثنائيات بالاضافة الى مقاومات ومتسعات ربط بعضها مع بعض داخليا وتقع ضمن غلاف واحد بحيث تظهر قطعة واحدة اطراف خارجية للادخال

والاخراج وتجهيز القدرة وهي تقوم مقام دائرة الكترونية لها نفس الربط من مكونات الكترونية منفصلة وتمتاز الدائرة المتكاملة عند الدوائر المنفصلة بمزايا عديدة اهمها.

١- صفر مجمها وصفة رزتها ٢- جدارتها العالية في الاداء ٣- كلفتها المنخفضة ٤- سهولة استعمالها ٥- استهلاك القدرة فيها قليل ٦- ممانعتها ضد الضوء.

تقنيات الدوائر المتكاملة

١- تقنية القطعة الواحدة ( البلورة الواحدة) ٢- تقنية الاغشية الرقمية والتنمية والمختلطة

تقنية الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة

تعتبر هذه التقنية من اكثر التقنيات استخدما ويمكن بواسطتها الحصول على دوائر متكاملة تعمل بكفاءة عاليه في تردد عالي جدا تصل الى عدة ميكا هيرتز وكيفية صنع الدائرة المتكاملة بهذا التقنية تتم كالاتي:

١- يتم في البداية انتاج بلورة من شبه الموصل نوع ((P)) اسطوانية الشكل طولها عدة سنتمترات وقطرها ٥ سم

٢- تقطع هذه البلورة الى شرائح كثيرة بحيث يكون سمك الشريحة الواحدة (0.03Cm) ثم يصقل احد وجهي الشريحة حتى يصبح سطحها املس ناعم وذلك لتخلص السطح من العيوب حتى يقل سمكها الى (0.01Cm) وتشكل هذه الشريحة طبقة الاساس وتعتبر هيكل اساسيا لاجزاء الدائرة المختلفة تستعمل كشاصي الاجزاء الدائرة المتكاملة).

٣- بعد ذلك توضح الشريحة في فرت تتجاوز درجة حرارته (1.000c) ويسلط عليها يخار من مزيج من ذرات السليكون وذرات خماسية التكافؤ وعند ئذ تتكون طبقة خفيفة من شبه الموصل نوع(N)على السطح العلوي للطبقة الاساس (أ) وتسمى هذه الطبقة الخفيفة بالطبقة الفوقية ويكون سمكها من (0.1) الى (1) حيث ( )

٤- لمنع تلوث الطبقة الفوقية ينفخ اوكسجين نقي على سطحها وتتكون طبقة عازلة من ثاني اوكسيد السليكون (sio2) وهي تشبه الزجاج تختم السطح وتمنع أي تفاعل كيمياوي اخر وتسمى عليه الختم هذه بالتمهيد

٥- بعد عملية الاكسدة يتم حفر شبابيك عبر طبقة الاوكسيد باستخدام قناع ضوئي حيث يجري انتشار العزل والذي نهايته يمكننا الحصول على مناطق معزولة (جزر) من شبه الموصل (N) وتكون معزولة كهربائيا بعقها عن البعض

وهي معزولة عن طبقة الاساس ايضا وخطوات عملية فتح الحفر في طبقة الاوكسيد باستعمال القناع الضوئي تكون بالخطوات التالية أ- طلاء طبقة الاوكسيد بالمادة الحساسة للضوء ب- تعريض السطح الحساس للاشعة فوق البنفسجية (uv) جـ- ازالة الجزء الذي لم يتعرض للضوء بها لمادة الحساسة د- حفر الاوكسيد هـ - اكمال حفر الشباك بانتظار جملة (انتشار).

٦- باتمام انتشار العازل تعاد عملية الاكسدة حيث تغلق الفتحات وباستخدام القناع الضوئي المبين في الشكل اعلاه يتم حفر فتحات جديدة لانتشار القاعدة نوزع أ للإعطاء مناطق القاعدة الترانزستورات والمقاومات الكبيرة والاقطاب الموجبة للثنائيات ويتبع ذلك انتشار الباعث لتكوين مناطق الباعث الترانزستورات والمقاومات القليلة والاقطاب السفلية للمتسعات حيث يتكون كل منها من منطقة n ضمن الجزيرة المعزولة ثم تعاد الاكسدة.

٧- بعد انتشار الباعث واعادة الاكسدة تستخدم طريقة القناع الضوئي كذلك محضر فتحات من اجل التوصيت الكهربائية لكل من القاعدة والباعث والجامع والانود والكاثود والنهايات والمقاومات والاقطاب السفلية للمتسعات ويتم تكشف بخار الالمنيوم في اناء مطوع على السطح حيث تتكون وصلات الكهربائية بحيثيث يكون السلكيون في مناطق الفتحات وتؤدي الطبقة المعندنية هذه الى تشكيل الاقطاب العلوية للمتسعات كما انها تسمح بالتوصيل الكهربائي والدوائر المتكاملة وباستخدام الغطاء المعدني يحير ازالة الالميون من المناطق غير المرغوب فيها وبهذا يتم تشكيل نموذج التوصيل المعدني.

يتكمل الاجراء الصناعي عن طريق اختيار الرقاقات وهي لاتزال ضمن الشريحة وبعد ذلك يتم تقطيع الشريحة اجزاء مستقلة متشابهة تصل عددها الى (١٠٠٠) دائرة متكاملة ( رقاقة) وهذا هو السبب في قلة كلفة الدوائر المتكاملة ٢- وتوضع كل رقاقة على قاعدة مصنوعة من سيراميك معدن وتوصل مناطق لتوصيل في القطعة باسلاك رفيعة ثم تخلف الرقاقة باحدى طرق التعليف وتنحهي عملية الانتاج بالاختيار النهائي للدائرة التكاملة بعد التقليض

٢- تقنية الاغشية

أ- تقنية الغشاء السميك

تتغير تقنية الغشاء بانها اسهل في التصنيع وقليل الكلفة ويكون الجزء الاساسي يكون من سيراميك اوكسيد الالمنيوم الحاوي على كميات صغيرة من الاكاسيد الاخرى وتكون ابعاد الجزء الاساسي عادة ((( ويستخدم اسلوب طبع الشاشه لوضع العناصر على (100) شكل لكل (سم) واحد وتكون مطلية بطلاء حساس للضوء.

ب- تقنية الغشاء الرقيق:-

يجري تصنيع الدوائر المتكاملة ذات الغشاء الرقيق في جو مفرغ من الهواء ويعد ذلك من مساوئ هذه التقنية لانها تحتاج الى اجهزة غالية الثمن وتوجد طريقتان اساسيتان لموضع الاغشية الرقيقة على الجزء الاساسي الادلى طريقة التفريغ المفرغ والثانية طريقة الفرقعة.

جـ- تقنية الدوائر المتكاملة الهجينة:

وتستخدم هذه التقنية مزيجا من التقنيات ( احادية البلورة وتقنية الغشاء الرقيق والسميك).

موازنة بين تقنيات تصنيع الدوائر المتكاملة

بصورة عامة تعتبر الدوائر المتكاملة احادية البلورة هي الافضل من ناحية انخفاض الكلفة دوائر القطعة الواحدة في مجال الانتاج الضيق لما تكون مفضلة في الدوائر التي تحتاج الى عناصر فعالة قليلة وعناصر غير فعالة عديدة وتكون مقاومات الغشاء الرقيق ذات نوعية جيدة وامكانية سماح جيدة واتزان مراري ممتاز وتشويش منخفض كما يمكن تضيعها بقيم مختلفة وضمن مدى واسع وتعتبر دوائر الغشاء الهجينة جيدة من عملها في حالة وجود جهد عالي وطاقة عالية وهي مناسبة لمجال الترددات الميكروية وتمتاز كذلك بالمرونة والدقة العالية ولذلك فهي مناسبة للدوائر الخطية ذات الاداء اعالي وتكون كلفة دوائر الغشاء السميك المختلط هي الاقل وبفروق كبيرة في مجال الانتاج الضيق ومدى المقاومات اكبر ويكون عملها جيد في مجال الجهود والطاقات العالية والترددات العالية.

تراستورات ثنائية القطبية المتكاملة(BJT)

وتعد من العناصر الفعالة وتكون على نوعين npn و pnp وبسبب الانتاج والكلفة يفضل تصنيع ترانستور نوع npn في الدوائر المتكالمة انه سمك طبقة القاعدة في الترانستوارت المتكالمة يكون بحدود () ويمكن انتاج ترانستورات ذات() عالية جدا يجعل سمك طبقة القاعدة () وبين الشكل ترانستور متكامل بتقنية القطعة الواحدة من نوع npn.

مثال وضح بالرسم مراحل تصنيع تراستور npn

الحل :- ١- حضر جزء من طبقة الاوكسيد

٢- تكوين منطقة معزولة نوع n

٣- عملية اكسدة

٤- انتشا الجامع

٥- انتشار القاعدة

٦- عملية اكسدة الجزيرة نوع p

٧- فتح شباك لكشف

٨- انتشار الباعث

٩- عملية اكسدة في طبقة الاكسدة للوصول الى الجزر n.p.n

١٠- فتح ثلاث شبابيك

١١- اجراء التوصيلات المعدنية للاطراف e.b.c

المقاومات المتكاملة

هناك عدة انواع من المقاومات التي تصنع بتقنيات الدوائر المتكاملة من اهمها

١- مقاومات الانتشار والتي تشكل بطريقة انتشار القاعدة نوع p كما في الشكل ويمكن ايجاد والقيمة التقريبية للمقاومة R من العلاقة

حيث Ro مقاومة اللوحة للمادة وتقاس بوحدة ((اوم/ مربع))

L طول المقاومة / Wعرض المقاومة

ابعاد المربع () حيث كل ()

من مساوي هذا النوع مساحتها الكبيرة مما يجد استخدامها.

٢- مقاومات الغشاء الرقيق التي تصنع بطريقة الترسيب بالتبخير المفرغ وبين الشكل طريقة تصنيع مقاومات الغشاء الرقيق ويمكن ايجاد قيمة المقاومة R التقريبية من العلاقتين.

وتكون مقاومات هذا النوع ذات مساحية قليلة ومعامل حراري واطئ مما يجعلها ذات استخدامات واسعة.

كم هي ابعاد مقاومة الانتشار التي قيمتها () لها مقاومة اللوحة () في رقاقة لها عامل تصغير

المستعات المتكاملة :

توجد عدة انواع من المتسعات المصنعة تقنيات الدوائر المتكاملة منها

١- متسعات الوصلة والتي تعتبر من اسهل انواع المتسعات المتكاملة من حيث التصنع وتكون عادة من نوع المتسعات القطبية التي تعتمد علي قيمة الجهد وبين الشكل طريقة تصنيع هذا النوع من المتسعات.

متسعات الغشاء الرقيق تتكون هذه المتسعات من لوحين ترازين الاول تمثل اللوحن طبقة من ثاني اوكسيد السليكون تكون متسعات الغشاء الرقيق غير قطبية ولا تعتمد على الجهد وبين الشكل متسعة الفشاء والرقيق

ترانستورات تاثير المجال ذات الاوكسيد المعدني ()

وترعى اهذه mos فقط ويكون تصنيفها سهلا جدا بتقنيا الدوائر المتكاملة ذات القطعة الواحدة فهي لاتحتاج سوى انتشار طبقتين من شبه الموصل على طبقة اساس p لنوع nmos او طبقتين من شبه الموص p على طبقة اساس n لنوع Pmos ويعد ذلك يغطي السطح العلوي للشريحة بطبقة من مادة عازلة مثل si3 او sin4 وتكتمل عملية التصنيع باجراء التوصيلات المعندية من مادة الالمنيوم كما في الشكل.

ويمتاز تصنيع هذه الانواع من الترانستورات بما يلي:

١- عدد خطوات التصنيع قليلة

٢- استهلاكها للقدرة قليل

٣- تحتاج الى مساحة صغير فقط ( ثلث مساحة ترانستور نوع BJT).

٤- او كافية تصنيع mos المتتامة التي تسمى cmos استقرار حراري ممتاز.

الثنائيات المتكاملة

تصنع بتقنية القطعة الواحدة على غرار العناصر الفعالة حيث يمكن الحصول عليها باجراء التوصيلات المناسبة للترانستور ثنائي القطبية BJT وتوجد خمسة انواع من الثنائيات المتكاملة المشعة من الترانستور كما في الشكل ويعتبر النوعان أ وب اكثر الانواع استعمالا