Dr. Khalid Subhi Ahmad

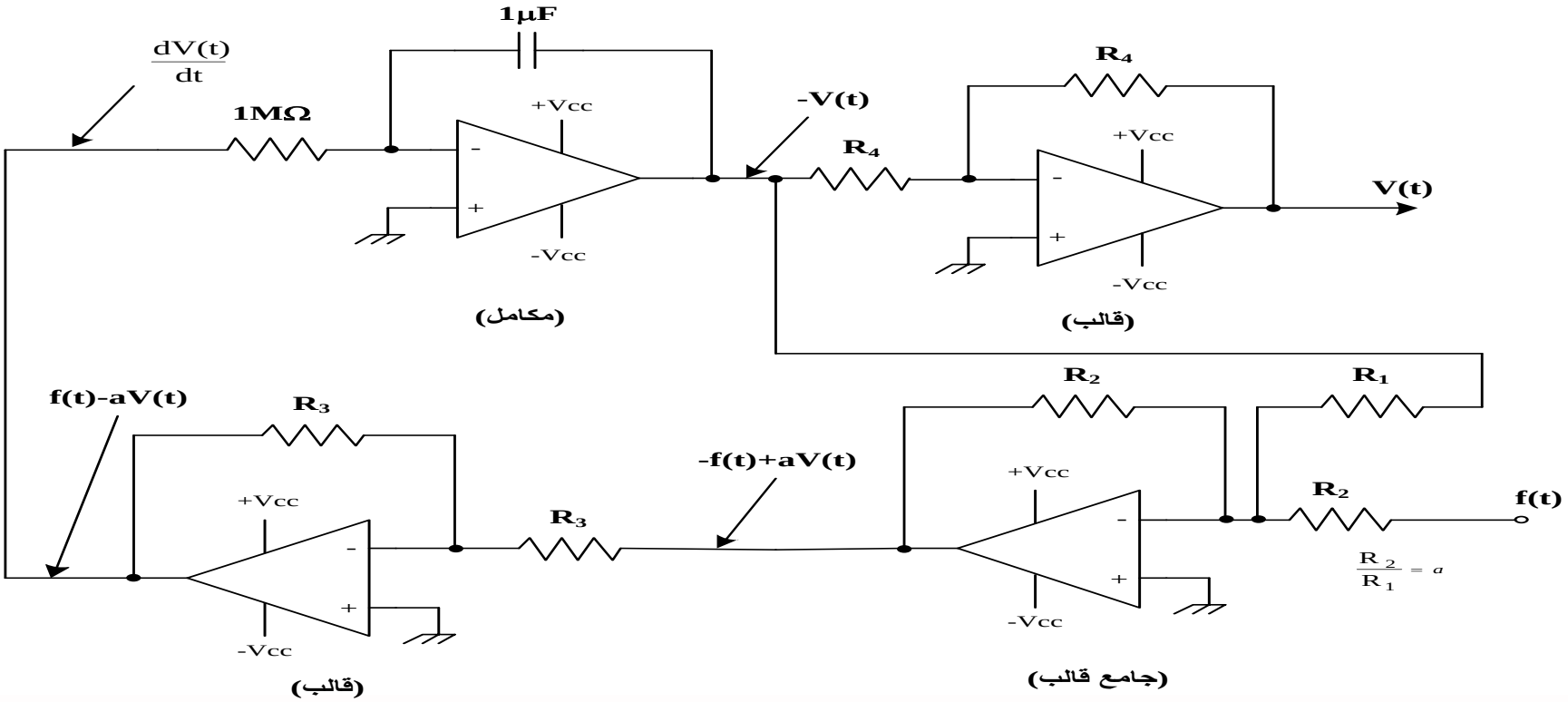
Department of Electronic Technologies

Technical Institute/Mosul

Northern Technical University (NTU), Iraq

Electronic Circuit

- الدوائر الالكترونية
- المرحلة الثانية
- فرع الالكترونيك



المادة: دوائر الكترونية
المرحلة : الثانية
الفرع : الكترونيك

الهدف : يتعرف الطالب على الدوائر الالكترونية في المواضيع التالية مع التحليلات النظرية لعملها وأمثلة رياضية محلولة مع بيان استخداماتها العملية

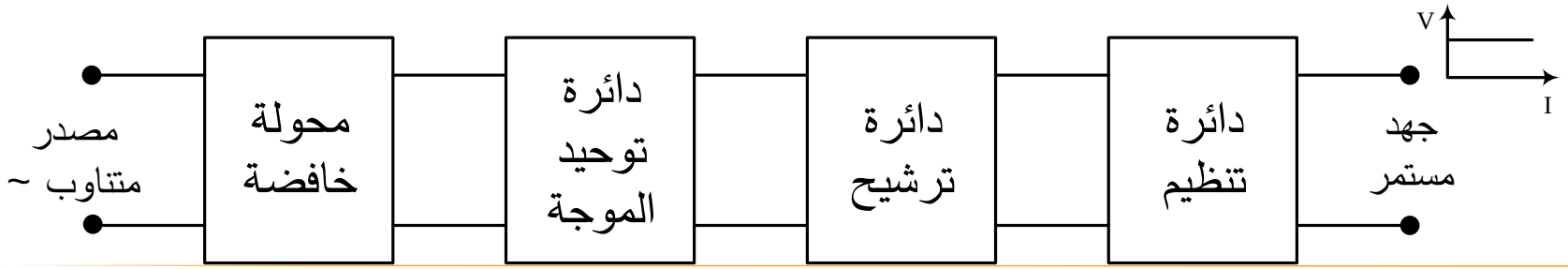
- مجهز القدرة ومنظمات الجهد المستمر
- تطبيقات مكبر العمليات
- المؤقت 555
- المهتزات
- المرشحات الفعالة
- التغذية العكسية
- المذبذبات
- الثايرستور
- تصنيع الدوائر المتكاملة

مجهز القدرة المستمرة

مجهز القدرة المستمرة **D.C Power Supply**

تعتبر دائرة مجهز القدرة المستمرة من أهم الدوائر الالكترونية كونها دائرة مشتركة بين معظم الأجهزة الاليكترونية كالتلفزيون والحاسبة وجهاز استقبال الستلايت والأجهزة الطبية الالكترونية وغيرها، وتقوم بتجهيز القدرة المستمرة إلى كافة مراحل الجهاز.

وتقوم هذه الدائرة بتحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر وتتألف من أربعة مراحل كما مبين في المخطط الكتلي أدناه:



(مخطط كتلي يوضح دائرة مجهز القدرة المستمرة)

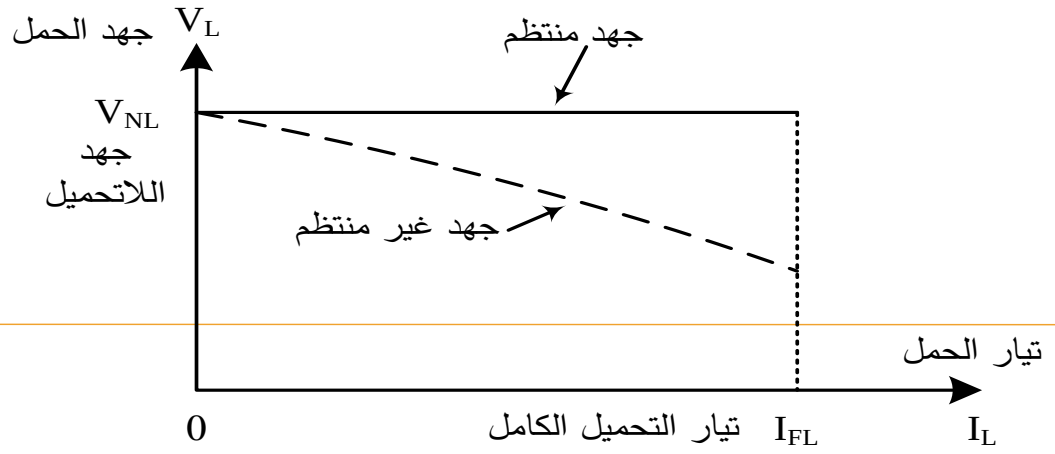
محولة: لها فائدتان خفض الجهد المتناوب وعزل دائرة المتناوب عن المستمر. وفي بعض الحالات فقط تستخدم للعزل.

دائرة توحيد الموجة: وتكون أما موحد نصف الموجة أو الموحد القنطري أو موحد المأخذ الوسطي ويتم التخلص من الجزء الموجب أو السالب من موجة الجهد المتناوب.

دائرة ترشيح: وتكون أما مرشح سعوي أو مرشح ادخال خانق او أي مرشح آخر يفي بالغرض حيث يتم التخلص من المركبة المتناوبة في الموجة والحصول على جهد مستمر نقي.

دائرة التنظيم: وتستخدم لتثبيت جهد الإخراج عند تغير المصدر أو الحمل أو كليهما ويكون تغير الحمل موضع اهتمام أكثر وتوجد أنواع عديدة من دوائر التنظيم (المنظمات).

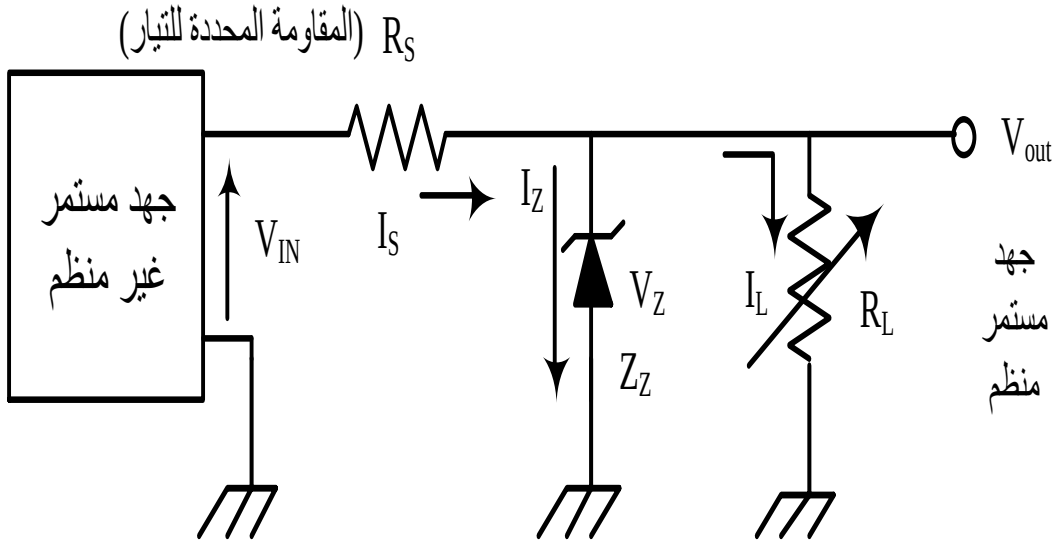
سوف نتناول بعض منها بالتفصيل وذلك لأهمية عملية تنظيم الجهد المستمر كما يوضح ذلك منحني التنظيم المبين في الشكل أدناه:



(شكل يبين **منحني** التنظيم)

منظم زينر Zener Regulator

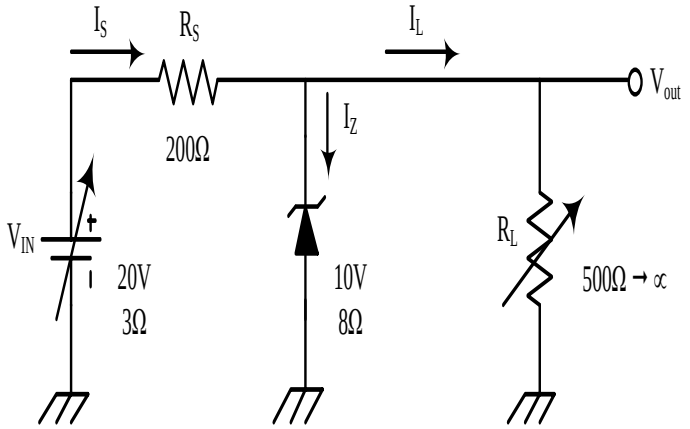
يعتبر منظم زينر أبسط أنواع المنظمات ويستخدم ثنائي زينر لغرض التنظيم وتبين الدائرة أدناه منظم زينر:



(دائرة منظم زينر)

مثال: في دائرة منظم زينر إذا كانت V_{IN} تتغير من 20v إلى 30v، $R_S=200\Omega$، $V_Z=10v$، $Z_Z=8$ ومقاومة الحمل تتغير $500\Omega\rightarrow\infty$. أحسب عامل تنظيم جهد الحمل وكذلك أوجد أعظم قيمة للمقاومة RS يمكن ربطها في هذه الدائرة.

الحل: أولاً نرسم الدائرة ونثبت عليها القيم.



$$V_{out} \cong V_Z = 10v$$

$$I_{L(max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(min)}} = \frac{10}{500\Omega} = 20mA$$

$$I_{L(min)} = \frac{V_{out}}{R_{L(max)}} = \frac{10}{\infty} = 0A$$

$$I_{S(min)} = \frac{V_{in(min)} - V_Z}{Rs} = \frac{20-10}{2\Omega} = 0.05A = 50mA$$

$$I_{S(max)} = \frac{V_{in(max)} - V_Z}{Rs} = \frac{30-10}{2\Omega} = 0.1A = 100mA$$

$$I_{Z(max)} = I_{S(max)} - I_{L(min)} = 1 - 0 = 100mA$$

$$I_{Z(min)} = I_{S(min)} - I_{L(max)} = 50 - 20 = 30mA$$

$$\Delta I_Z = I_{Z(max)} - I_{Z(min)} = 100 - 30 = 70mA$$

$$\Delta V_{out} = \Delta I_Z * Z_Z = 70 * 8 = 560mv$$

$$\%VR = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100 = \frac{0.56}{10} * 100 = 5.6\%$$ عامل التنظيم

أعظم قيمة للمقاومة

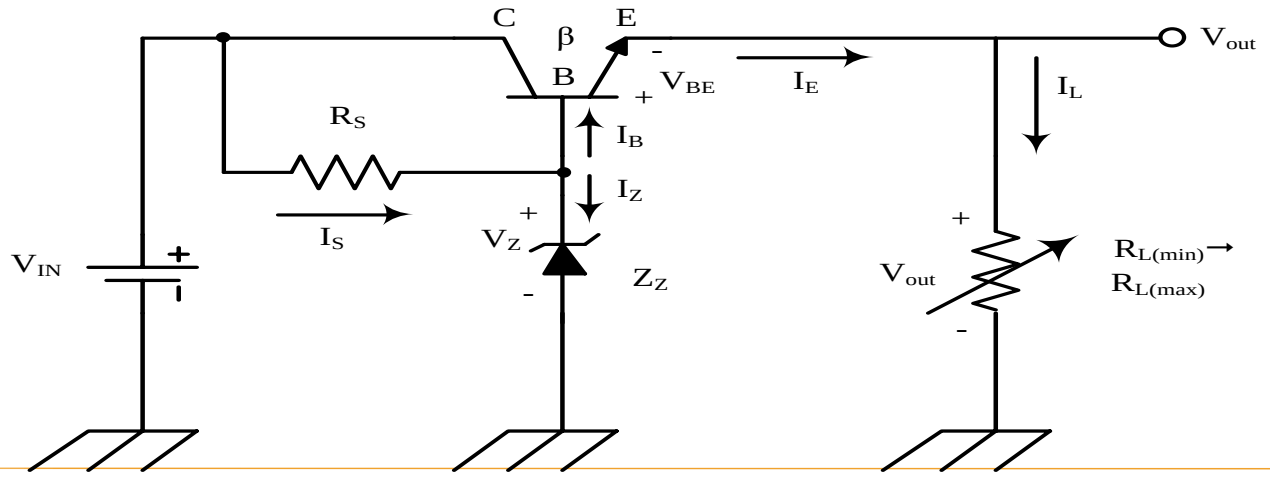
$$R_{S(max)} = \frac{V_{in(min)} - V_Z}{I_{L(max)}} = \frac{20-10}{20*10^{-3}} = 500\Omega$$

ملاحظة: في حالة تغير الحمل فقط وثبوت V_{IN} فإن تغير تيار الزينر يكون: $\Delta I_Z = -\Delta I_L$

الإشارة السالبة تبين أن العلاقة عكسية بينهما (أي زيادة تيار الحمل تؤدي إلى نقصان تيار الزينر وبالعكس).

Series Regulator منظم التوالي

يوضح الشكل أدناه مخطط لدائرة منظم التوالي، وهو أحد منظمات الجهد المستمر، وقد سمي الاسم لأن الحمل يكون مربوط على التوالي مع الترانزستور ولهذا يجب مراعاة شرط $I_L < I_C$ (لماذا؟).



(دائرة منظم التوالي)

في دوائر تنظيم الجهد المستمر يكون المتغير جهد الادخال V_{in} أو مقاومة الحمل R_L أو كليهما، ولكن عملياً المتغير هو مقاومة الحمل R_L.

يُقاس التنظيم بدلالة عامل التنظيم المئوي %VR (Voltage Regulation) وكلما كانت قيمته قليلة فهذا يعني أن كفاءة التنظيم أفضل (لماذا؟).

وتكون علاقة عامل التنظيم الجهد المئوي الرياضية كما يلي:

$$\%VR = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100$$

حيث أن:

$$V_{out} = V_Z - V_{BE}$$

$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z$$

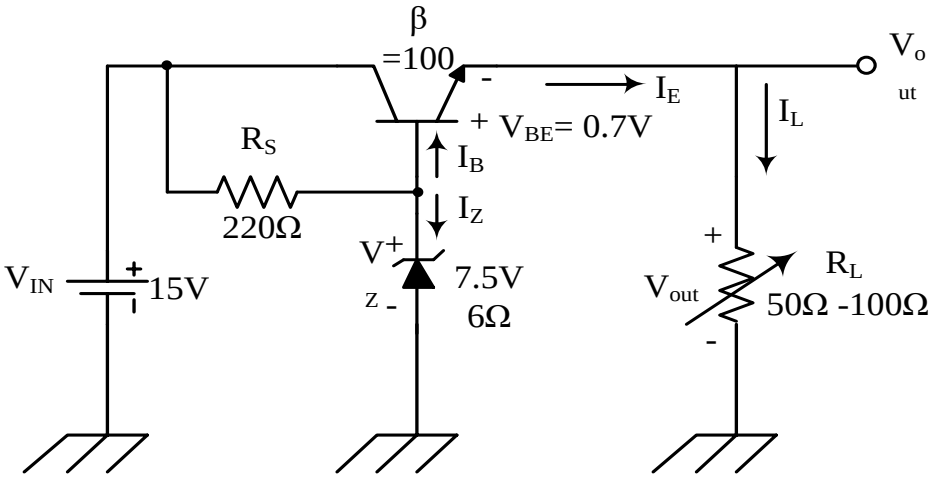
$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$$

مثال: (على دائرة منظم التوالي)

في دائرة منظم التوالي إذا كانت $Vin=15v$ ، $R_S=220\Omega$ ، $\beta=100$ ، $Z_Z=6\Omega$ ، $V_Z=7.5v$ ومقاومة الحمل تتغير من 50Ω إلى 100Ω. المطلوب أيجاد العامل المئوي لتنظيم جهد الإخراج في هذه الدائرة.

الحل:

بداية نرسم دائرة منظم التوالي ونقوم بتثبيت المعلومات عليها لتسهيل عملية الحل.



$$V_{out} = V_Z - V_{BE} \quad = 7.5 - 0.7 = 6.8v$$

$$I_{L(max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(min)}} = \frac{6.8}{50} = 0.136A$$

$$I_{L(min)} = \frac{V_{out}}{R_{L(max)}} = \frac{6.8}{100} = 0.068A = 68mA$$

$$\Delta I_L = I_{L(max)} - I_{L(min)} \quad = 136 - 68 = 68mA$$

$$I_B \cong \frac{I_E}{\beta} \qquad I_E = I_L$$

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_L}{\beta} \quad \& \quad \Delta I_Z = -\Delta I_B$$

$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta} = -\frac{68}{100}$$

$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z = 6 * (-0.68) = -4.08 \text{ mV}$$

$$\%VR = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100 = \frac{-4.08 * 10^{-3}}{6.8} * 100 = -0.06\%$$

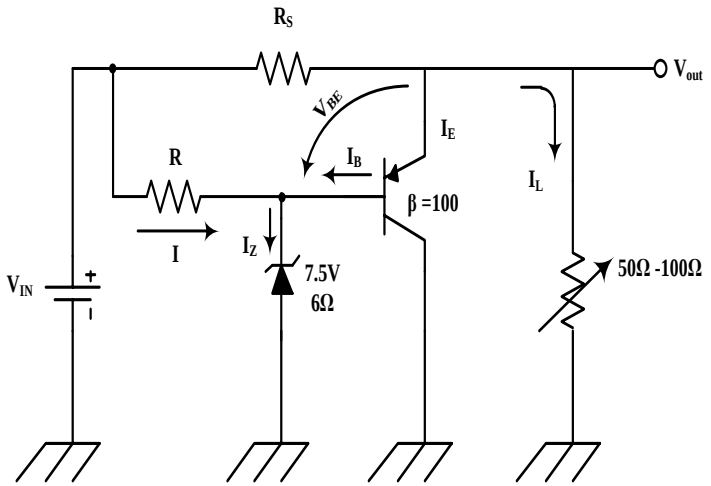
و.ه.م

Parallel Regulator

منظم التوازي

يكون الحمل مربوط على التوازي مع الترانزستور ويتم زيادة تيار الحمل دون الارتباط بتيار الترانزستور كما هو الحال في منظم التوالي.

مثال: في دائرة منظم التوازي المبينة أدناه. المطلوب إيجاد مقدار التغير في فولتية الحمل وعامل تنظيم جهد الحمل.



$$V_{out} = V_Z + V_{BE} = 7.5 + 0.7 = 8.2V$$

$$I_{L(max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(min)}} = \frac{8.2}{50} = 0.164A = 164mA$$

$$I_{L(min)} = \frac{V_{out}}{R_{L(max)}} = \frac{8.2}{100} = 0.082A = 82mA$$

$$\Delta I_L = I_{L(max)} - I_{L(min)} = 164 - 82 = 82mA$$

$$\Delta I_L = -\Delta I_E \quad , \quad I_E \cong \frac{I_E}{\beta}$$

$$\Delta I_B = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$$

$$\Delta I_Z = \Delta I_B \Rightarrow \Delta I_B = -\frac{\Delta I_L}{\beta} \quad \therefore \quad \Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta} = -\frac{82}{100} = 0.82mA$$

مقدار التغير في فولتية الحمل $\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z = -0.82 * 6 = -4.92\ mV$

$$\%VR = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100 = \frac{-4.92 * 10^{-3}}{8.2} * 100 = -0.06\%$$

(عامل التنظيم)

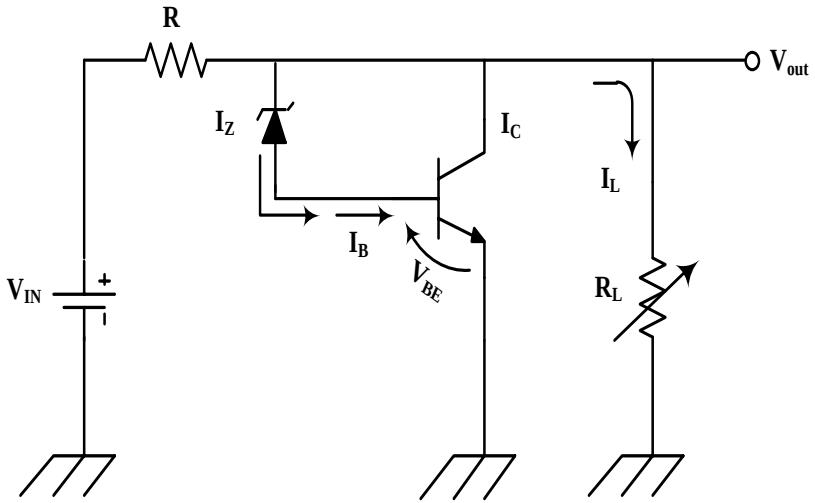
دائرة ثانية لمنظم التوازي باستخدام ترانزستور NPN بدلاً من ترانزستور PNP

$$V_{out} = V_Z + V_{BE}$$
$$\Delta I_L = -\Delta I_C$$

$$\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\beta} = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$$

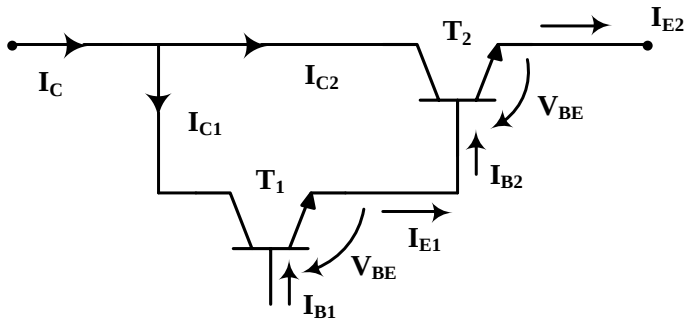
$$I_Z = I_B$$
$$\Delta I_Z = \Delta I_B = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$$

$$I_Z \, \Delta V_{out} = Z_Z * \Delta$$



يسمى هذا المنظم بهذا الاسم كونه يستخدم مكبر دارلنكتون والذي يتألف من ترانزستور كما مبين في الشكل أدناه:

$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$
$$= \beta I_{B1} + \beta I_{B2}$$
$$I_{B2} = I_{E1} = I_{B1}(1+\beta)$$
$$\therefore IC = \beta I_{B1} + \beta I_{B1}(1+\beta)$$
$$I_{E2} \cong I_C$$



$$= \beta I_{B1} + \beta I_{B1} + \beta^2 I_{B1}$$
$$= 2\beta I_{B1} + \beta^2 I_{B1}$$

$$\therefore I_{B1} = \frac{I_C}{\beta^2} \cong \frac{I_{E2}}{\beta^2} = \frac{I_L}{\beta^2}$$

$$\Delta I_Z = -\Delta I_{B1} \qquad \therefore \quad \Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta^2}$$

$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z$$

$V_{out} = V_Z - 2V_{BE}$ في منظم دارلنكتون التوالي

$V_{out} = V_Z + 2V_{BE}$ في منظم دارلنكتون التوازي

ملاحظة: منظم دارلنكتون يتحمل التغيرات الكبيرة جداً في تيار الحمل لأن العلاقة بين تغير تيار الزينر وتيار الحمل هي: $\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta^2}$

مثال: في منظم دارلنكتون التوالي إذا كانت $V_Z=7.5V$، $\beta=100$، وممانعة الزينر $Z_Z=6\Omega$ ومقاومة الحمل تتغير من 100Ω إلى 500Ω. أوجد مقدار التغير في فولتية الإخراج.

الحل

$$V_{out} = V_Z - 2V_{BE} = 7.5 - 2 * 0.7 = 6.1V$$

$$I_{L(max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(min)}} = \frac{6.1}{50} = 0.122A = 122mA$$

$$I_{L(min)} = \frac{V_{out}}{R_{L(max)}} = \frac{6.1}{100} = 0.061A = 61mA$$

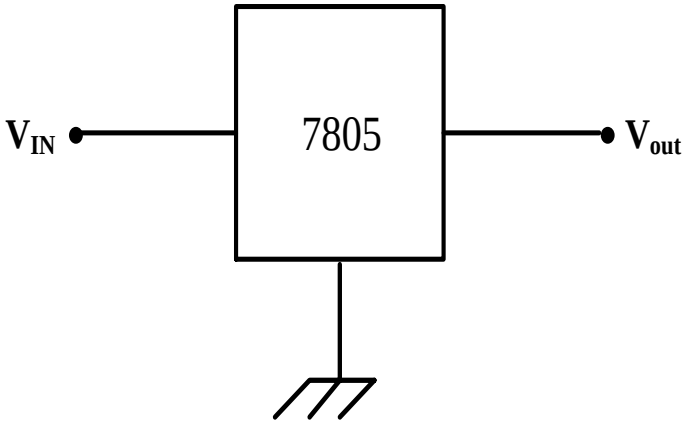
$$\Delta I_L = I_{L(max)} - I_{L(min)} = 122 - 61 = 61mA$$

$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta^2} = \frac{61*10^{-3}}{(100)^2} = -6.1*10^{-6}A = -6.1\mu.$$

$$\Delta V_{out} = \Delta I_Z * Z_Z = -6.1 * 6 = -36.6\mu V$$

توجد منظمات القدرة المستمرة جاهزة بشكل دوائر متكاملة ثلاثية الأطراف شبيهة في شكلها الترانزستور الاعتيادي ويكون طرف للإدخال وطرف للإخراج وطرف مشترك بينهما.

مثال على هذا الدائرة المتكاملة 7805 التي تنظم عند جهد 5V.



جدول مقارنة بين أنواع دوائر تنظيم الجهد المستمر

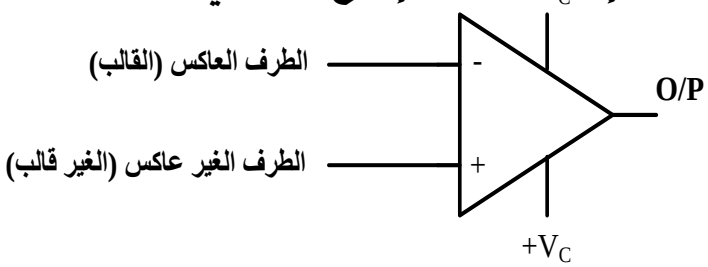
منظم زينر	منظم التوالي	منظم التوازي	منظم دارلنكتون
1. ينظم الجهد المستمر.	1. ينظم الجهد المستمر.	1. ينظم الجهد المستمر.	1. ينظم الجهد المستمر.
2. يحتوي على ثنائي زينر.	2. يحتوي على ثنائي زينر وترانزستور مربوط على التوالي مع الحمل.	2. يحتوي على ثنائي زينر وترانزستور مربوط على التوازي مع الحمل.	2. يحتوي على ثنائي زينر ومكبر دارلنكتون مربوط على التوالي أو التوازي مع الحمل.
3. $V_{out} = V_Z$	3. $V_{out} = V_Z - V_{BE}$	3. $V_{out} = V_Z + V_{BE}$	3. $V_{out} = V_Z - V_{BE}$ للتوالي. $V_{out} = V_Z + V_{BE}$ للتوازي.
4. $\Delta I_Z = -\Delta I_L$	4. $\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$	4. $\Delta I_Z = -\Delta I_B$	4. للتوالي $\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta^2}$ للتوازي $\Delta I_Z = -\Delta I_{B1}$
5. عامل التنظيم مقبول.	5. عامل التنظيم جيد.	5. عامل التنظيم جيد.	5. عامل التنظيم ممتاز.
6. دائرته (رسم الدائرة).	6. دائرته (رسم الدائرة).	6. دائرته (رسم الدائرة).	6. دائرته (رسم الدائرة).

ملاحظة: بالنسبة للمنظمات التوالي فيجب مراعاة شرط أن يكون تيار الحمل أقل من تيار الجامع للترانزستور.

ملاحظة: بإمكان الطالب إضافة نقطة إلى الجدول يراها مناسبة للمقارنة سواء تشابه أو اختلاف.

مكبر العمليات Operational Amplifier (OPAMP)

وهو عبارة عن دائرة متكاملة تناظرية لها طرفان للإدخال وطرف للإخراج ومصدرين للجهد المستمر كما يوضح ذلك رمزه بالرسم:



(رمز مكبر العمليات)

خواص مكبر العمليات OPAMP Characteristics

- لهُ مقاومة إدخال عالية جداً (مثالياً مالا نهاية).
- لهُ مقاومة إخراج قليلة جداً (مثالياً صفر).
- لهُ عامل تكبير (كسب) فولتية عالي جداً (مثالياً مالا نهاية).
- لهً عرض حزمة (B.W) واسع جداً (مثالياً مالا نهاية).

OPAMP Applications

تطبيقات مكبر العمليات

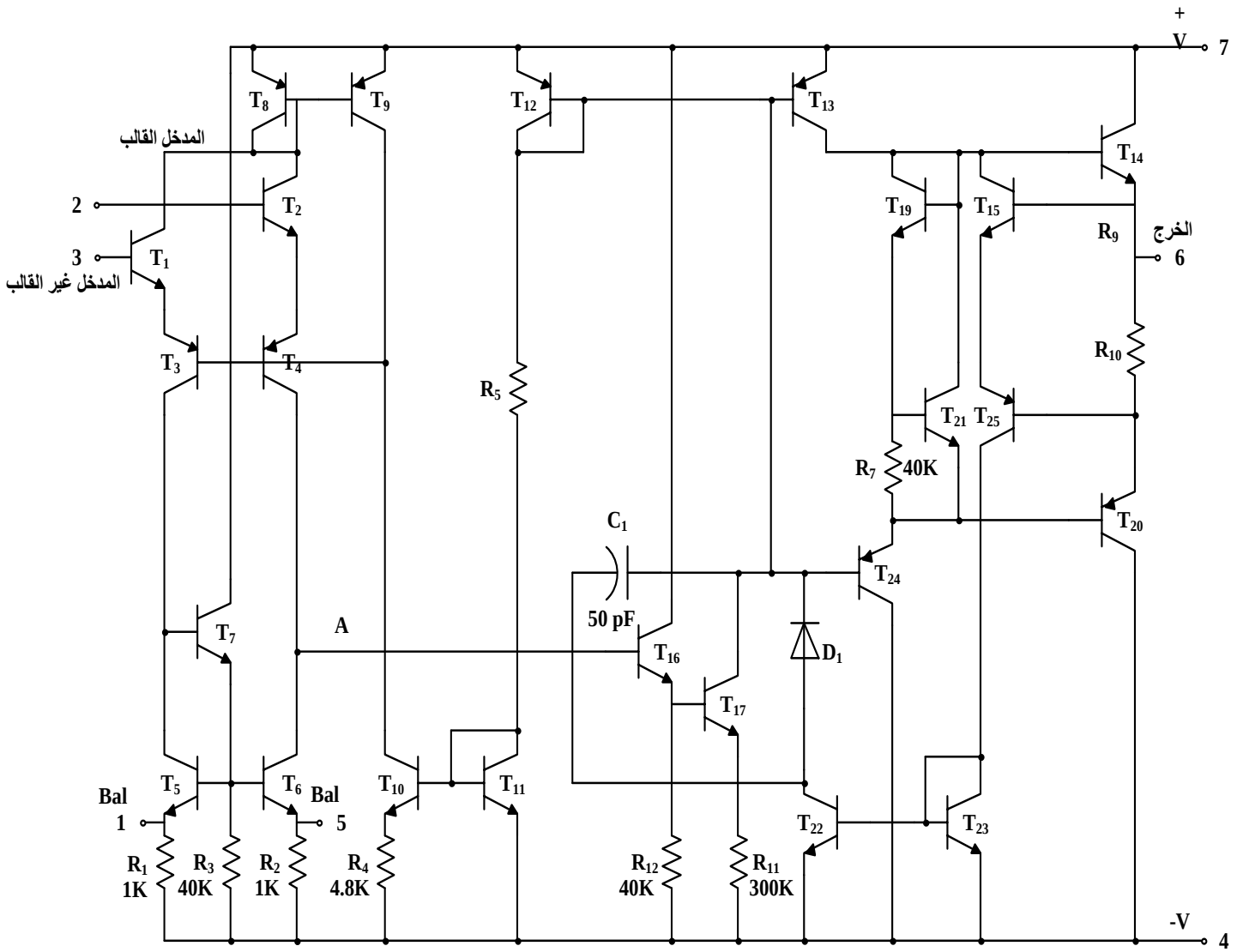
يمتاز مكبر العمليات باستخدامه في كثير من التطبيقات المختلفة في الدوائر الالكترونية مثل: المكبر العاكس، المكبر غير العاكس، تابع الفولتية، الجامع، الطارح، المكامل، المفاضل وغيرها. وسوف نتناول بعض هذه التطبيقات بشيء من التفصيل.

ملاحظة: تعتبر المتكاملة 741 مثالاً جيداً لمكبر العمليات، ويحتوي تركيبها الداخلي العديد من المكونات الالكترونية كما موضح في الشكل أدناه.

يجري التركيز في هذا الفصل على مكبر العمليات كقطعة واحدة وبإضافة مكونات خارجية مناسبة يمكن ان تؤدي وظيفة مذبذب لموجات جيبية أو غير جيبية. دوائر اكتساحية، مصادر للتيار والفولتية الثابتة بالإضافة إلى العمليات الحسابية الأربع المشار اليها اعلاه.

غير ان استعمال العمليات يعتمد على المكبر في كل الأحوال وحسب مقتضيات العمل.

(التركيب الداخلي لمكبر العمليات 741)

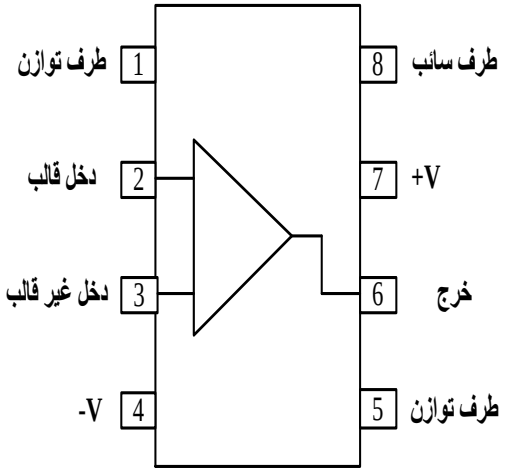


تركيب ومواصفات مكبر العمليات

مكبر العمليات ماهو إلا دائرة متكاملة خطية يكتب اختصار Op. Amp حيث يصنع المكبر بأكمله على شريحة (رقيقة) سليكونية واحدة وحسب الأسلوب المبين في الفصل الثامن – كما ان الدوائر الأساسية والأولية فيه هي المكبرات التفاضلية ذات الاقران المباشر وبنوعين من الترانزستورات (ثنائي القطبية وتأثير المجال). ويوضح الشكل التركيب الداخلي لمكبرالعمليات نوع 741 والأكثر شيوعاً في التطبيقات العملية.

الرمز التخطيطي

يمثل مكبر العمليات عادة بمثلث (كرأس السهم) والذي يشير إلى اتجاه سير البيانات (الدخل إلى الخرج). والشكل أدناه يبين مكبرعمليات ذو ثمانية أطراف (دبابيس) داخل عبوته البلاستيكية. وفيما يلي وصف موجز لوظيفة أطراف التوصيل.



رمز مكبر العمليات 741 داخل عبوة بلاستيكية

- **الطرفين (4, 7): يمثلان أطراف مجهز القدرة حيث يجهز المكبر بمصدرين منظمين للتيار المستمر مثل ±15V نسبة إلى الخط الأرضي. وهذه الفولتية تمكن المضخم لتكبير اشارة الدخل (dc و ac) فيما إذا كانت سالبة أو موجبة نسبة إلى المنسوب المرجعي ولكن لا تكون فولتيات التجهيز ذات مقادير حرجة على الرغم من المصنع يبين الفولتيات المستخدمة في لوائح الأداء. كما يوصي بإضافة متسعة قيمتها 0.1µf بين كل مصدر والأرضي لأمرار الترددات الراديوية.**

- **الطرف (2): هو طرف دخل قالب للإشارة. فعند تسليط اشارة بين هذه الطرف والأرضي، فأنها تكبر وتقلب في دائرة الخرج. فإذا كانت اشارة الدخل متناوبة فإن القلب يشير إلى التبدل في زاوية الطور بمقدار 180°.**
أو بمعنى آخر، تنعكس اشارة الخرج عن الدخل. ويعني ذلك تغير في العلامة أو الاتجاه. ولهذا السبب يشار إلى الطرف القالب بالعلامة (−).

- **الطرف (3): يسمى طرف الدخل غير القالب ويميز بالعلامة (+). والاشارة التي تسلط بين هذا الطرف والأرضي، تظهر في الخرج بنفس اشارة الدخل.**

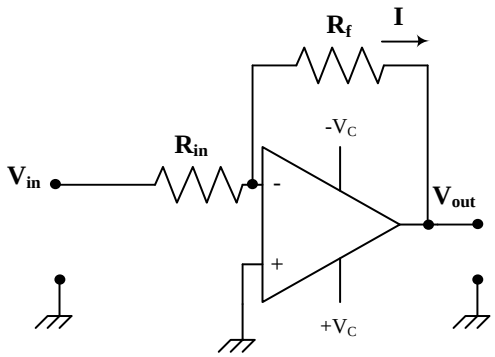
- **الطرف (6): هو خرج المكبر حيث تؤخذ اشارة الخرج بين هذا الطرف والارضي.**

Inverting Amplifier المكبر العاكس (القالب)

يقوم المكبر العاكس بتكبير الاشارة مع قلب الاشارة لها فإن الجهد السالب سوف يخرج موجباً والجهد الموجب سيكون سالباً، أي هناك فرق طور 180° بين الإدخال والإخراج وتكون معادلة الإخراج V_{out} وعامل تكبير الفولتية في دائرة المكبر العاكس كما يلي:

$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}}$$ **تكبير الفولتية أو الكسب للفولتية**

$$V_{out} = Av * V_{in} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in}$$



(دائرة المكبر العاكس)

حيث أن:

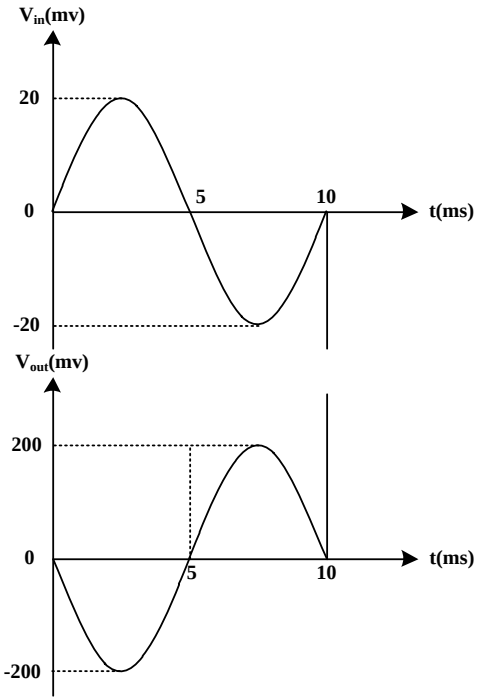
$V_{out} = -I * R_f$

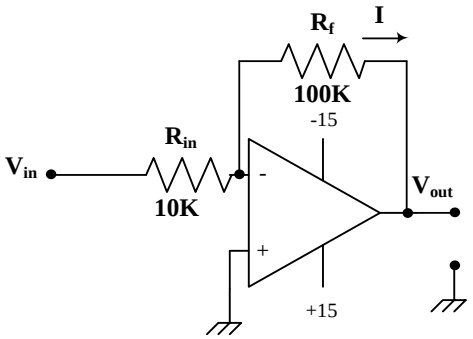
$V_{in} = I * R_{in}$

ملاحظة: وإذا كانت $R_f = R_{in}$ فإن $Av = -1$ و $V_{out} = -V_{in}$ وعندما تسمى دائرة العاكس (بدون تكبير).

مثال: في دائرة المكبر العاكس إذا كانت $R_f = 100K$ و $R_{in} = 10K$ و $V_{cc} = +15V$. ارسم موجة الإخراج لموجة الإدخال المعطاة.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.





نحسب Av

$$Av = -\frac{R_f}{R_{in}} = -\frac{100K}{10K} = -10$$

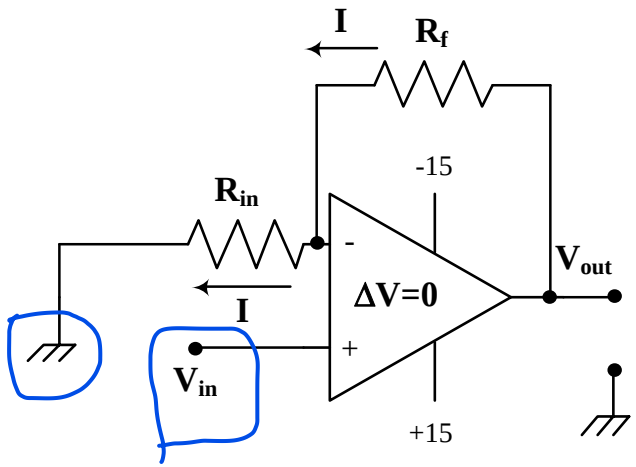
$$V_{out1} = V_{in} * Av = 20*(-10) = -200mV$$

$$V_{out2} = V_{in} * Av = -20*(-10) = +200mV$$

Non-Inverting Amplifier المكبر الغير عاكس (الغير قالب)

في المكبر غير العاكس يكون التكبير بدون قالب الاشارة أي ان اشارة الإخراج تكون بنفس الطور مع اشارة الإدخال وتكون علاقة التكبير لهذه الدائرة كما يلي:

$$Av = 1 + \frac{R_f}{R_{in}}$$



(دائرة المكبر غير العاكس)

مثال: في دائرة المكبر غير العاكس إذا كانت $R_f=50K$ و $R_{in}=10K$ و $Vcc=\pm15V$. أوجد فولتية الإخراج إذا كانت $V_{in}=-1.5V$ مرة و $V_{in}=4V$ مرة أخرى.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

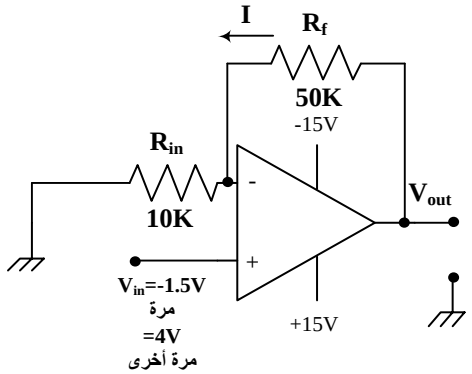
$$Av = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} = 1 + \frac{50K}{15K} = 6$$

عندما $V_{in}=-1.5V$ فإن الإخراج

$$V_{out} = V_{in} * Av = 6 * (-1.5) = -9V$$

وعندما $V_{in}=4V$ فإن الإخراج

$$V_{out} = V_{in} * Av = 6 * 4 = 24V$$



(دائرة المثال للمكبر الغير عاكس)

وهذا عملياً غير ممكن
حيث ان: $V_{out} \le Vcc$ أي أنها لا تتجاوز 15V في هذا المثال.

ملاحظة: إذا كانت $R_f=0$ و $R_{in}=\infty$ في المكبر غير العاكس فإن الدائرة تسمى (تابع الفولتية) أو المصدر التناظري Analog Buffer ويكون Av=1 ويستخدم لتكبير التيار. $V_{out} = V_{in}$.

Inverting Adder

الجامع العاكس (القالب)

ويسمى أيضاً المضيف أو الضائف، وتقوم هذه الدائرة بجمع عدد من إشارات مع عكسها (قلب اشارتها).
تستخدم دائرة الجامع العاكس في محول رقمي إلى تناظري (D/A) وكذلك في الحاسبة التناظرية، وفيما يلي رسم الدائرة مع العلاقات الرياضية لدائرة الجامع العاكس:

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1} * V_1 + \frac{R_f}{R_2} * V_2 + \frac{R_f}{R_3} * V_3\right) \ldots\ldots\ldots 1$$

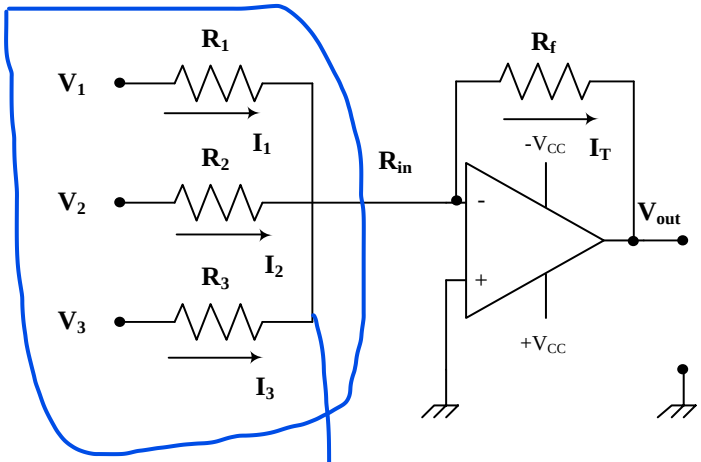
المعادلة العامة للجامع العاكس

وإذا كانت المقاومات متساوية أي أن $R_1 = R_2 =$

$R_3 = R_f$

فإن المعادلة (1) ستكون:

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3) \ldots\ldots (2)$$



(دائرة الجامع العاكس)

كيفية الحصول على المعادلة (1) هو كما يلي:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

$$V_{out} = -I_T * R_f = -(I_1 + I_2 + I_3) * R_f$$

$$= -\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right) * R_f = -\left(\frac{R_f}{R_1}.V_1 + \frac{R_f}{R_2}.V_2 + \frac{R_f}{R_3}.V_3\right)$$

مثال:

في دائرة الجامع العاكس إذا كانت R_f=60K، R_1=30K، R_2=20K، R_3=15K، V_1=2V، V_2=1V، V_3=0.5V و Vcc=±15V.
أوجد فولتية الإخراج في هذه الدائرة.

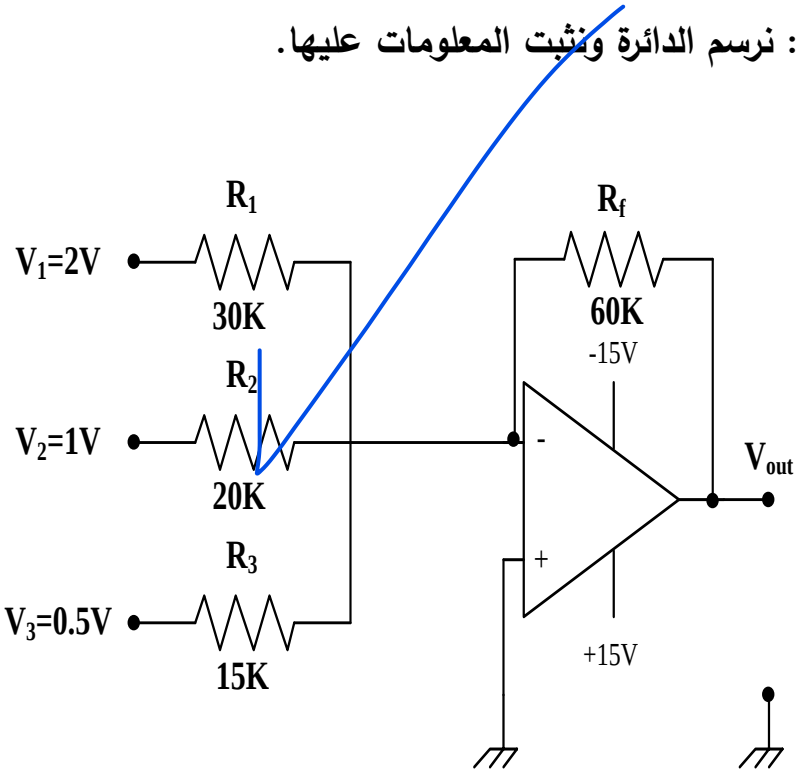
الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}.V_1 + \frac{R_f}{R_2}.V_2 + \frac{R_f}{R_3}.V_3\right)$$

$$= -\left(\frac{60}{30} * 2 + \frac{60}{20} * 1 + \frac{60}{15} * 0.5\right)$$

$$= -(4 + 3 + 2)$$

$$= -9V \quad \text{و.هـ.م}$$



(دائرة مثال الجامع العاكس)

مثال: ارسم دائرة مكبر العمليات التي يكون إخراجها $V_{out} = 5V_1 + 2V_2 + 1V_3$

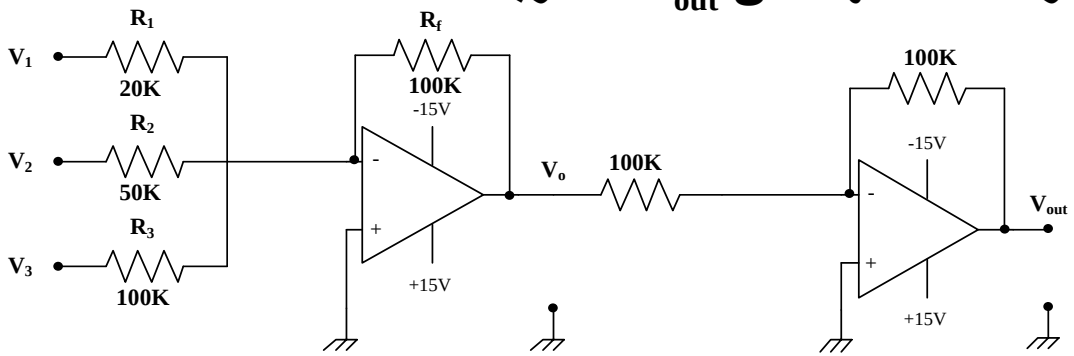
علماً أن R_f=100K و Vcc= ±15V.

الحل:

نظرة فاحصة على معادلة الإخراج المطلوبة تبين أننا نحتاج إلى دائرة جامع عاكس مربوط بعدها دائرة عاكس وللحصول على القيم المناسبة للمقاومات نقوم بإجراء تناظر بين المعادلة المطلوبة والمعادلة العامة للجامع العاكس فنحصل على:

$$\frac{R_f}{R_1} = 5, \quad \therefore R1 = \frac{R_f}{5} = \frac{100}{5} = 50K \;\&\; R2 = \frac{100}{2} = 50K \;\&\; R_3 = 100K$$

وستكون الدائرة المطلوبة كما مرسومة أدناه لأنها تحقق V_{out} المطلوب:



$$V_{out} = -Vo = -\left[-\left(\frac{100}{20}.V_1 + \frac{100}{50}.V_2 + \frac{100}{100}.V_3\right)\right] = 5V_1 + 2V_2 + V_3$$

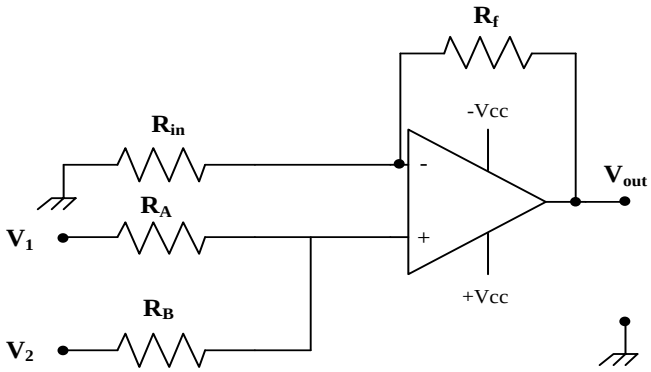
و.هـ.م

الجامع غير العاكس (غير القالب) Non-Inverting Adder

تقوم دائرة الجامع غير القالب بجمع عدد من الاشارات من دون عكسها، وتسمى أيضاً المضيف غير القالب أو الضائف غير القالب.

وفيما يلي رسم الدائرة مع العلاقات الرياضية لها:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{(V_1 * R_B + V_2 * R_A}{R_A + R_B}\right) \quad \text{..... (1)}$$



$$V_{out} = \left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)\left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right) \quad \text{..... (2)}$$

اذا كانت RA=RB

هذا الرقم يدل على عدد الإشارات

وإذا كانت Rf=Rin أيضاً فإن المعادلة (2) ستصبح: $V_{out} = V_1 + V_2$

المعادلة (1) وهي المعادلة العامة تم الحصول عليها باستخدام نظرية التراكب (Superposition) المعروفة في الدوائر الكهربائية وكما يلي:

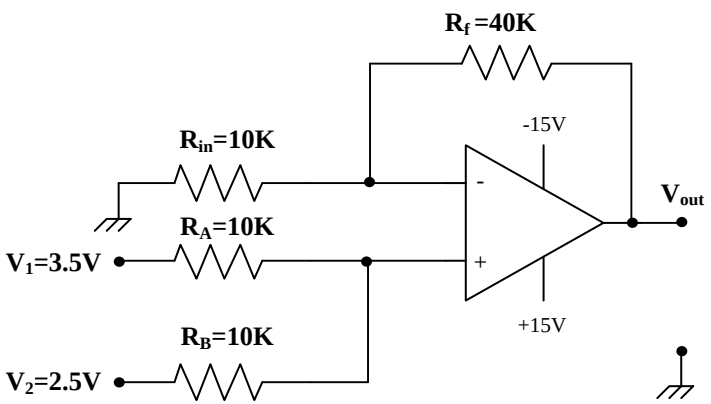
$$V_{out1} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{(V_1 * R_B}{R_A + R_B}\right)$$

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{(V_2 * R_A}{R_A + R_B}\right)$$

وبإجراء عملية جمع Vout1 مع Vout2 نحصل على المعادلة (1).

مثال: في دائرة الجامع غير العاكس إذا كانت $R_A=R_B=10K$، $R_f=40K$، $R_{in}=10K$، $V1=3.5V$، $V2=2.5$، $Vcc=15V$. أوجد V_{out} لهذه الدائرة.

الحل: بداية نرسم الدائرة ث نقوم بتثبيت المعلومات عليها:



$$V_{out}=\left(\frac{V_1+V_2}{2}\right)\left(1+\frac{R_f}{R_{in}}\right)$$

$$=\left(\frac{3.5+2.5}{2}\right)\left(1+\frac{40}{10}\right)$$

$$=(3)*(5)$$

$$=15V \text{ و.هـ.م}$$

ملاحظة: أعد حل المثال السابق إذا كانت $R_f=R_{in}=10K$ أن علاقة الإخراج التي بإمكاننا استخدامها هي:

$$V_{out}=(V_1+V_2)=3.5+2.5=6V$$

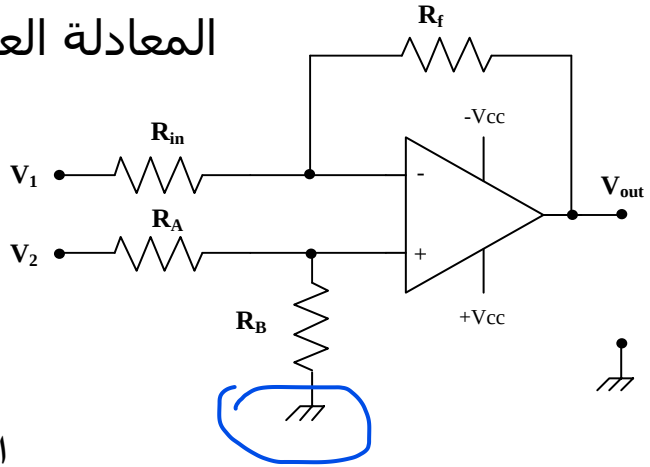
Subtractor

الطارح

تقوم دائرة الطارح بطرح اشارتين كل منهما على أحد طرفي الإدخال، وتسمى أيضاً المكبر الفرقي أو المكبر التفاضلي.

ملاحظة: توجد أكثر من دائرة للطارح، وسوف نختار أحدها:

$$V_{out}=\left(1+\frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{(V_2*R_B)}{R_A+R_B}\right)-\frac{R_f}{R_{in}}.V_1$$ ..... (1) المعادلة العامة للطارح



(دائرة الطارح)

وإذا كانت RA=RB و Rf=Rin فإن علاقة الإخراج تكون:

$$V_{out}=(V_2-V_1)$$ ..... (2)

يتم الحصول على المعادلة (1) وهي المعادلة العامة للطارح باستخدام نظرية التراكب (Super Position) المعروفة في الدوائر الكهربائية وكما يلي:

$$V_{out1}=-\frac{R_f}{R_{in}}.V_1 \quad , \quad V_{out2}=\left(1+\frac{R_f}{R_{in}}\right)\left(\frac{R_B*V_2}{R_A+R_B}\right)$$

وبجمع V_{out1} مع V_{out2} نحصل على V_{out} المبين في المعادلة (1).

أما المعادلة (2) فهي ناتجة عن تبسيط المعادلة (1) وكما يلي:

لو فرضنا أن $R_A=R_B=R'$ & $R_f=R_{in}=R$ وتعويض هذه القيم نحصل على:

$$V_{out}=\left(1+\frac{R}{R}\right)\left(\frac{R'*V_2}{R'+R'}\right)-\frac{R}{R}.V_1$$

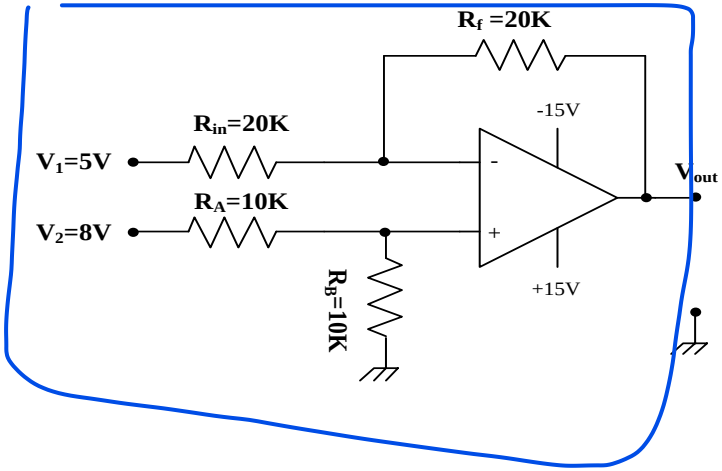
$$=(1+1)\left(\frac{R'*V_2}{2R'}\right)-V_1=V_2-V_1$$

ملاحظة: إذا كانت مواقع V_1 & V_2 متبادلة فإن المعادلة (2) ستكون: $V_{out}=V_2-V_1$

(لماذا)؟

مثال: في دائرة الطارح إذا كانت $R_f=R_{in}=20K$ & $R_A=R_B=10K$ و $Vcc=\pm15V$، $V_1=5V$، $V_2=8V$. أوجد فولتية الإخراج في الدائرة.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.



$$V_{out} = V_2 - V_1$$
$$= 8 - 5$$
$$= 3V$$

و.هـ.م

ملاحظة: إذا كانت V1=8V و V2=5V فإن فولتية الإخراج تكون:

$$V_{out} = 5 - 8 = -3V$$

$V_{out} =$

مثال: ارسم دائرة مكبر العمليات التي يكون فيها الإخراج كما في المعادلة أدناه. إذا كانت مقاومة التغذية العكسية (R_F=75KΩ).

$$V_{out} = 7.5V_1 + 4V_2 + 10V_3$$

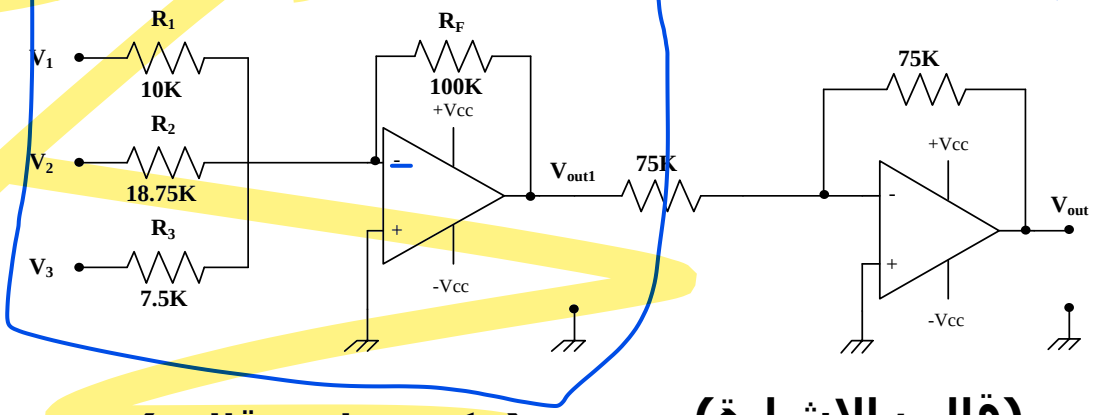
الحل:

$$\frac{R_F}{R_1} = 7.5 \Rightarrow R_1 = \frac{75}{7.5} = 10K\Omega$$

$$\frac{R_F}{R_2} = 4 \Rightarrow R_2 = \frac{75}{4} = 18.75K\Omega$$

$$\frac{R_F}{R_3} = 10 \Rightarrow R_3 = \frac{75}{10} = 7.5K\Omega$$

وعليه يكون رسم الدائرة المطلوب كما يلي:



(مكبر جامع قالب) (قالب الاشارة)

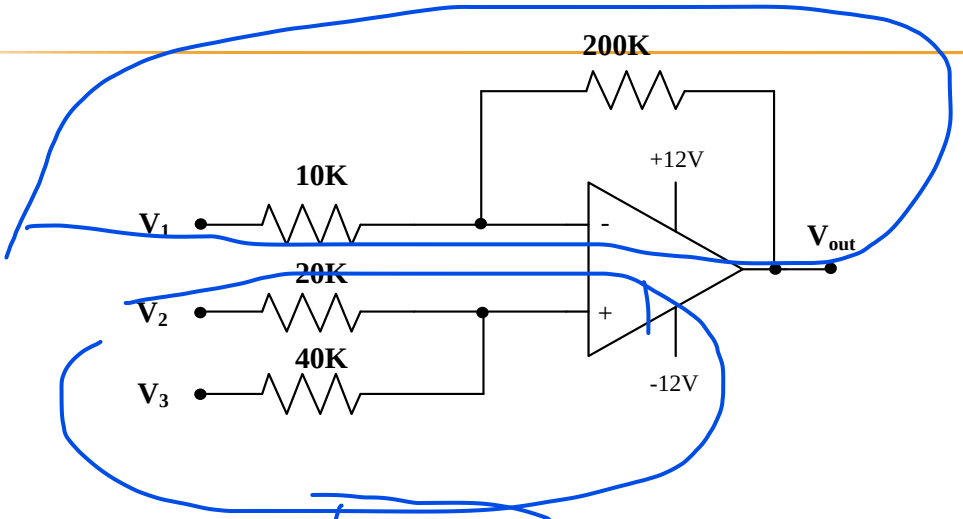
$$V_{out1} = -7.5V_1 - 4V_2 - 10V_3$$

$$= -(7.5V_1 + 4V_2 + 10V_3)$$

$$V_{out} = 7.5V_1 + 4V_2 + 10V_3$$

و.هـ.م

مثال: أوجد معادلة الإخراج للدائرة المرسومة أدناه:



الحل:

الإخراج الناتج من V_1 = V_{o1} = $\frac{-200}{10}.V_1 = -20*V_1$

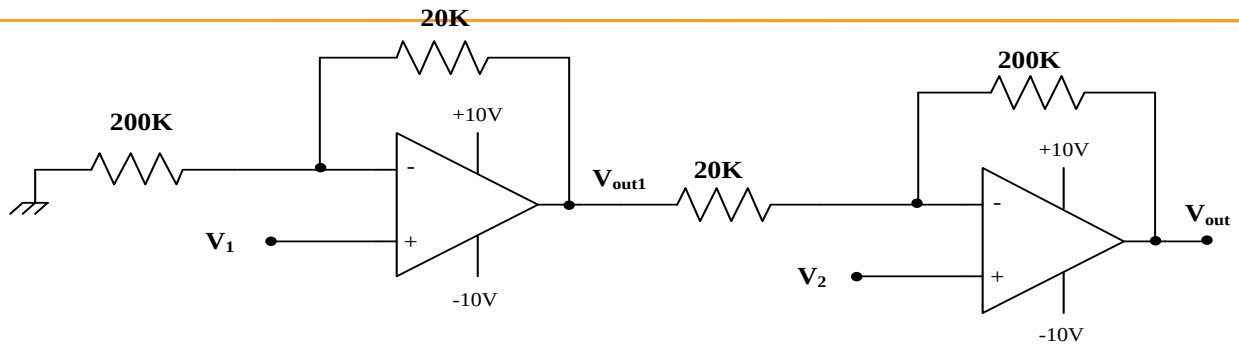
الإخراج الناتج من V_2 = V_{o2} = $\left(1+\frac{200}{10}\right).V_2 * \left(\frac{40}{20+40}\right) = 14*V_2$

الإخراج الناتج من V_3 = V_{o3} = $\left(1+\frac{200}{10}\right).V_3 * \left(\frac{20}{20+40}\right) = 7*V_3$

$$V_{out} = V_{o1} + V_{o2} + V_{o3}$$

$$V_{out} = -20V_1 + 14V_2 + 7V_3$$

مثال: أوجد معادلة الإخراج لدائرة مكبر العمليات المرسومة أدناه:



$$V_o = \left(1 + \frac{20}{200}\right).V_1 = 1.1V_1$$

الحل:

V_{out1} = V_o من الإخراج الناتج = $\frac{-200}{20}.V_o$ $= -10*1.1V_1 = -11*V_1$

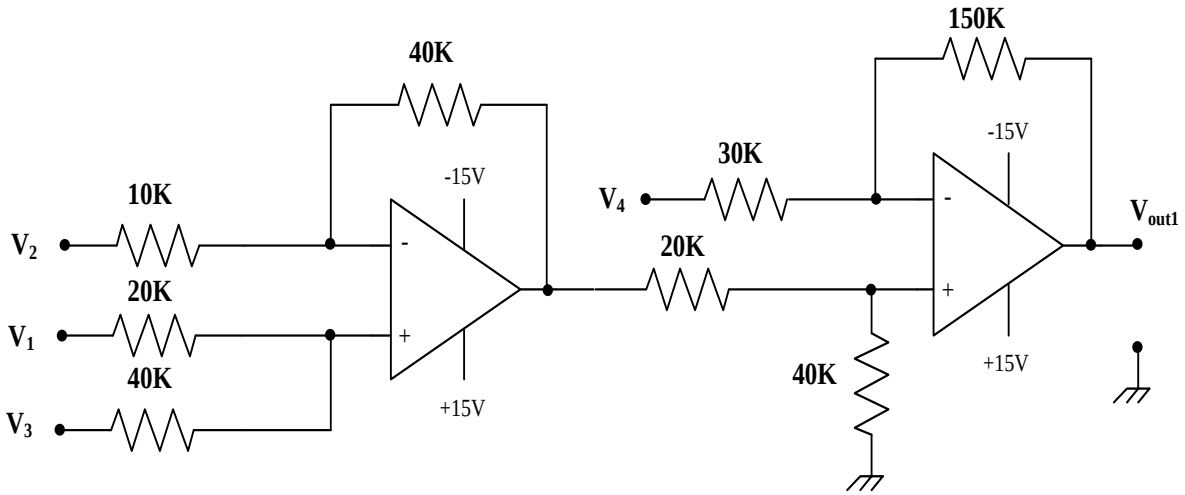
V_{out2} = V_2 من الإخراج الناتج = $\left(1 + \frac{200}{20}\right).V_2$ $= 11*V_1$

$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2}$$

$$V_{out} = -11V_1 + 11V_2$$

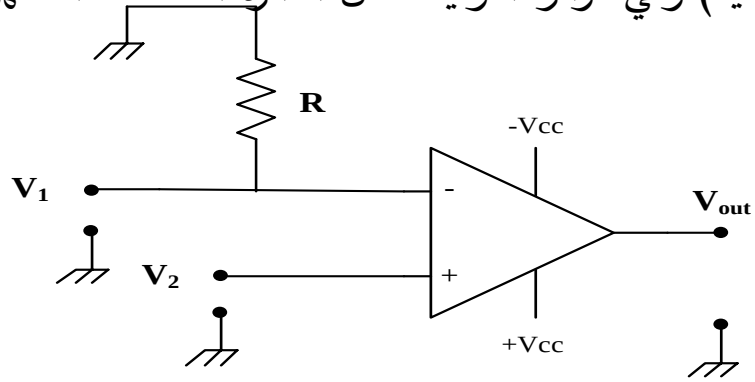
و.هـ.م

واجب: أوجد معادلة فولتية الإخراج للدائرة المرسومة أدناه:



ملاحظة: في مثل هذه الدوائر نقوم بإيجاد فولتية الإخراج للمرحلة الأولى ومن ثم اعتبارها احد إدخالات المرحلة الثانية.

تقوم دائرة المقارن بمقارنة اشارتي إدخال احدهما على الطرف القالب والأخرى على الطرف غير القالب ويسمى عادة (فولتية المرجع V_R). وتكون دائرة المقارن مشابهة لدائرة الطارح (المكبر الفرقي أو المكبر التفاضلي) مع وجود فروقات كما سنوضح ذلك في جدول خاص. وللمقارن استخدامات كثيرة مثل تحويل التناظري إلى رقمي A/D وفي السيطرة على اشتغال دوائر الكترونية (تناظرية أو رقمية) وفي دوائر التوقيت مثل الدائرة المتكاملة المشهورة 555 وغيرها.



دائرة المقارن التناظري

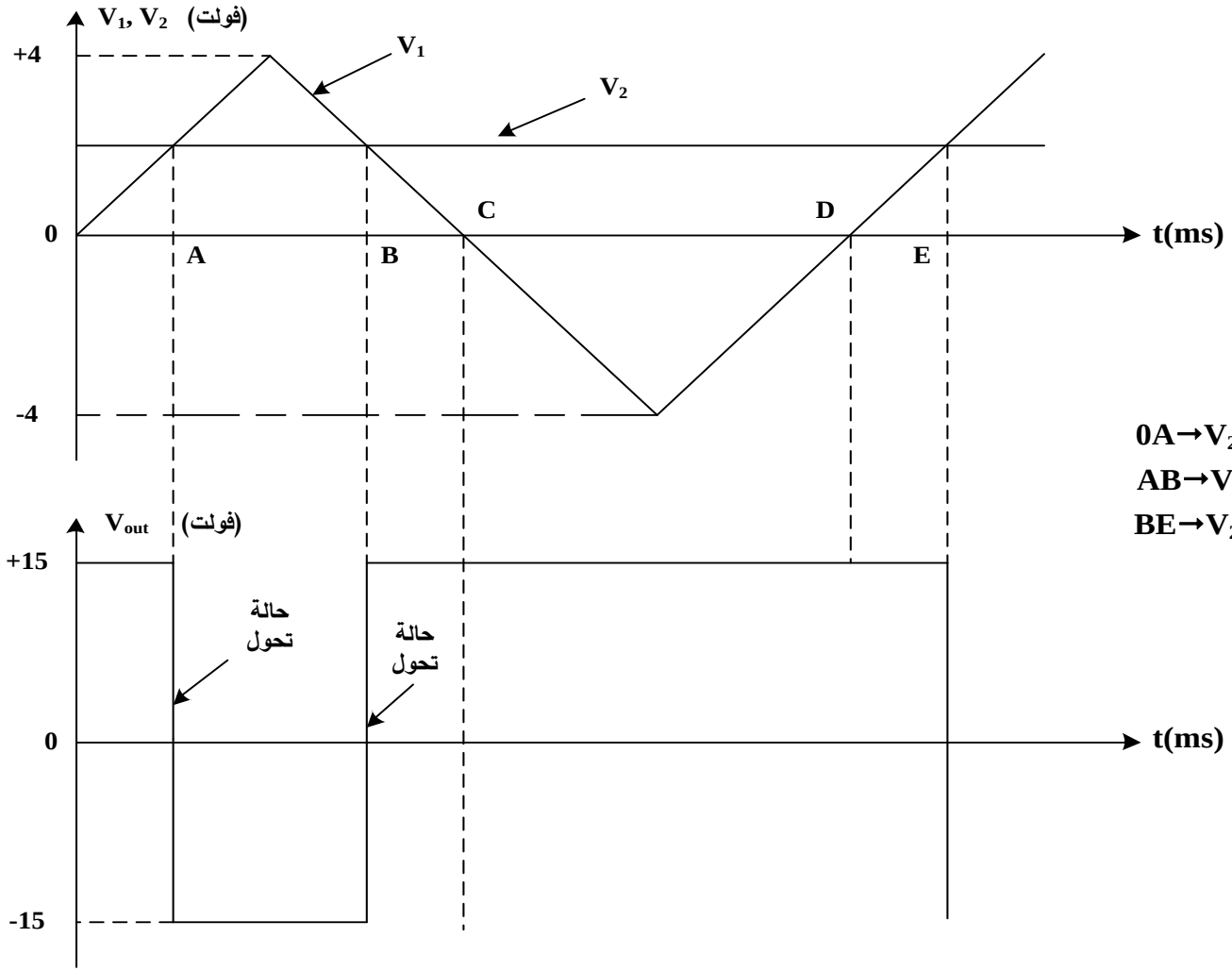
ملاحظة: دائرة المقارن التناظري ليس لها معادلة فولتية إخراج كما في الدوائر التي مرت علينا ولكن لها جدول عمل كما موشح أدناه.

جدول عمل المقارن التناظري

حالة الإدخال	حالة الإخراج
$V_1 > V_2$	$V_{out} = -Vcc$
$V_1 = V_2$	$V_{out} = 0$ (حالة تحول)
$V_2 > V_1$	$V_{out} = +Vcc$

مثال: في دائرة المقارن التناظري إذا كانت فولتية المرجع $V_2=2V$، $R=10K\Omega$، $Vcc=\pm15V$. ارسم شكل موجة فولتية الإخراج نسبة إلى موجة فولتية الإدخال المثلثة المعطاة.

الحل:



$0A \rightarrow V_2 > V_1 \; , \; V_{out} = +15V$

$AB \rightarrow V_2 > V_1 \; , \; V_{out} = -15V$

$BE \rightarrow V_2 > V_1 \; , \; V_{out} = +15V$

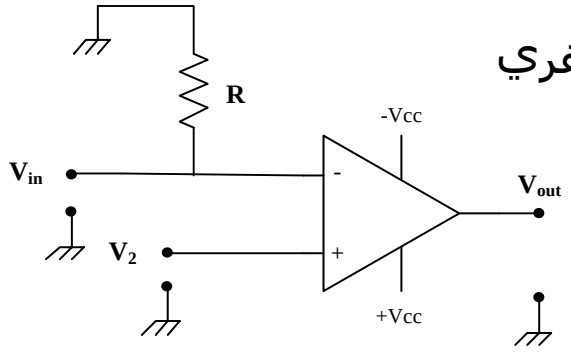
جدول مقارنة بين الطارح والمقارن

الطارح (المكبر الفرقي)	المقارن التناظري
1. أحد استخدامات مكبر العمليات.	1. أحد استخدامات مكبر العمليات.
2. يستخدم الطرفين القالب وغير القالب.	2. يستخدم الطرفين القالب وغير القالب.
3. يكبر الفرق بين اشارتي الإدخال.	3. يقارن بين اشارتي الإدخال.
4. له تكبير فولتية محدد بسبب وجود مقاومة التغذية العكسية.	4. له تكبير فولتية غير محدد بسبب عدم وجود مقاومة التغذية العكسية.
5. فولتية الإخراج أقل من ±Vcc.	5. فولتية الإخراج تساوي ±Vcc.
6. له استخدامات محدودة.	6. استخداماته كثيرة.
7. رسم الدائرة	7. رسم الدائرة.

الكاشف الصفري (Zero Crossing Detector)

وتسمى أيضاً دائرة العبور الصفري والاسم الكامل لها هو دائرة كاشف العبور الصفري، وهي عبارة عن دائرة مقارن تناظري تكون فولتية المرجع $V_2=0$. تستخدم دائرة العبور الصفري لتحويل الموجة الجيبية إلى موجة مربعة بنفس التردد. وهي تشبه دائرة المكبر القالب إلى حد ما.

دائرة العبور الصفري

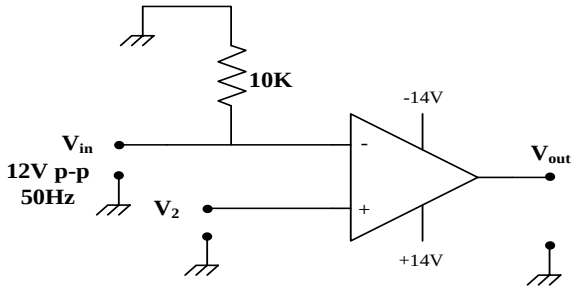


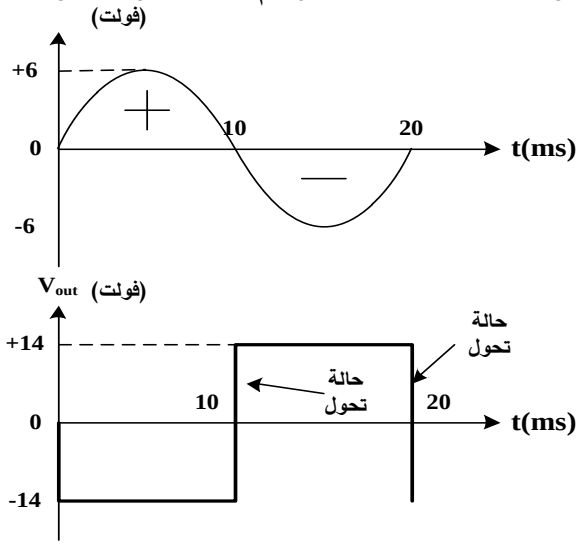
* إذا كانت Vin>0 تكون V_{out} = –Vcc.
* إذا كانت Vin=0 تكون حالة تحول V_{out} = 0.
* إذا كانت Vin<0 تكون V_{out} = +Vcc.

جدول عمل دائرة العبور الصفري

مثال: في دائرة العبور الصفري إذا كانت Vin موجة جيبية 12V p-p وبتردد 50Hz، R=10KΩ و Vcc=±14V. ارسم شكل موجة فولتية الإخراج.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.





في النصف الموجب لموجة الإدخال تكون $V_{in}>0$ وعندها V_{out}=– 14V.

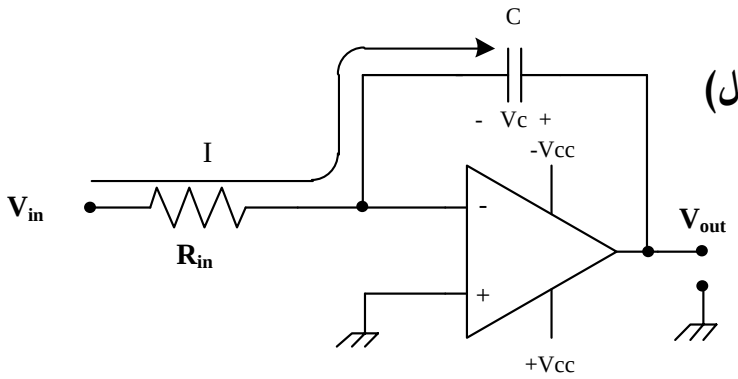
في النصف السالب لموجة الإدخال تكون $V_{in}<0$ وعندها V_{out}=+14V.

Integrator

المكامل

تقوم دائرة المكامل بإجراء عملية التكامل الرياضية لإشارة الإدخال، وفيها تشابه مع دائرة المكبر القالب (ماهو؟) وتستخدم هذه الدائرة في تحويل الموجة المربعة إلى موجة مثلثة وكذلك تستخدم في الحاسبة التناظرية (Analog Computer).

$$V_{out} = \frac{-1}{R_{in} * C} \int_0^t V_{in} \; dt$$



(دائرة المكامل)

لأجل الحصول على المعادلة أعلاه تتبع الخطوات التالية:

$I = \frac{V_{in}}{R_{in}}$ $\quad I = \frac{dQ}{dt}$ علاقة عامة $\quad \therefore \quad \frac{dQ}{dt} = \frac{V_{in}}{R_{in}}$ بالتعويض

$V_{out} = -V_C \quad , \quad V_C = \frac{Q}{C}$ علاقة الفولتية على المتسعة

$\frac{Q}{C} = -V_{out}$ بالتعويض $\quad \therefore \; Q = -C.V_{out}$ ..... (1)

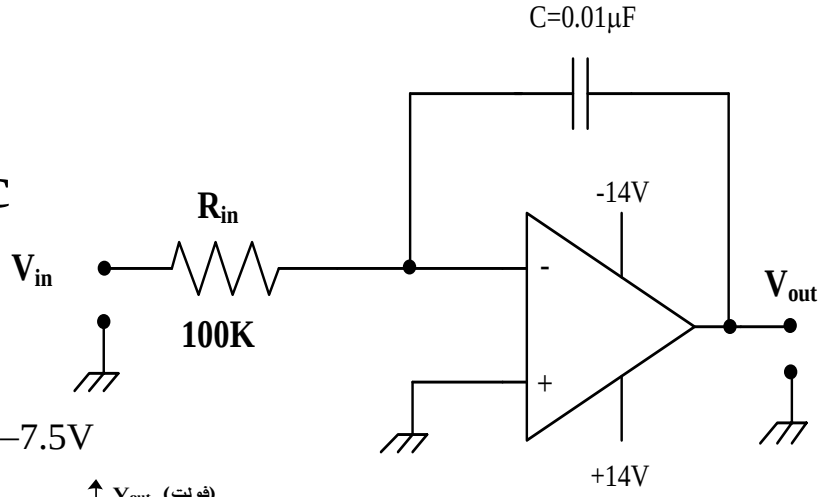
بأخذ مشتقة الطرفين للمعادلة (1) بالنسبة للزمن ينتج:

$$\frac{dQ}{dt} = -C\frac{dV_{out}}{dt} \quad , \quad \frac{V_{in}}{R_{in}} = -C\frac{dV_{out}}{dt} \quad \frac{dV_{out}}{dt} = \frac{-V_{in}}{R_{in} * C} \quad \Rightarrow \quad dV_{out} = \frac{-1}{R_{in} * C}.V_{in} \; dt \qquad \text{..... (2)}$$

وبإجراء تكامل الطرفين للمعادلة (2) نحصل على المعادلة المطلوبة.

مثال: في دائرة المكامل إذا كانت المقاومة تساوي $100K\Omega$ والمتسعة $0.1\mu F$ و $Vcc=\pm 14V$. ارسم شكل موجة فولتية الإخراج نسبة إلى اشارة إدخال مربعة ذو قيمة 30 Vp-p وبتردد 100Hz.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.



زمن الموجة = $10ms = \frac{1}{100Hz} = \frac{1}{F}$

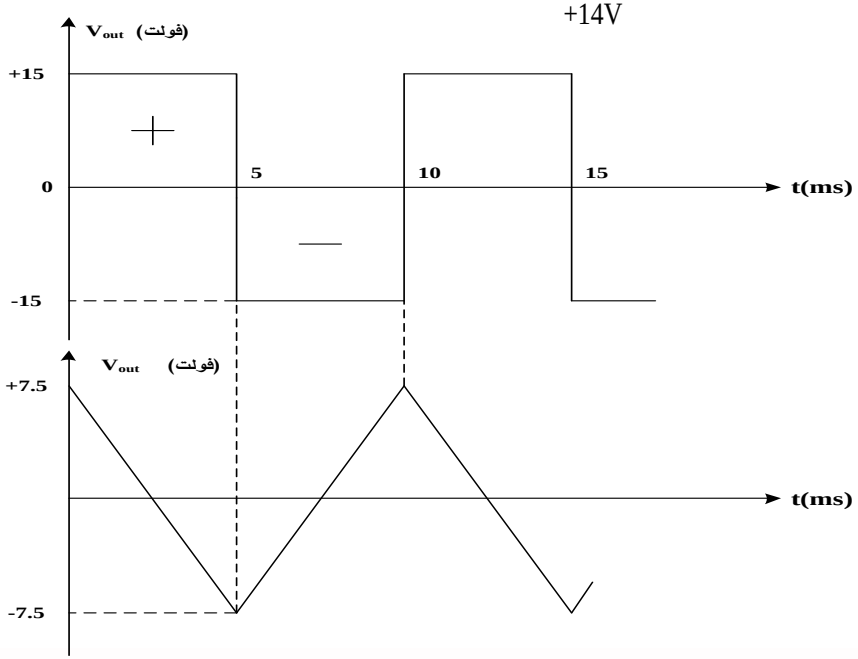
$$R_{in} * C = 100 * 10^{3} * 0.1 * 10^{-6} = 0.01sec$$

تكامل النصف الموجب لموجة الإدخال Vin:

$$V_{out} = \frac{-1}{R_{in} * C}\int_{0}^{t} V_{in}\ dt = -0.01 * \left(\int_{0}^{5ms} 15\ dt\right) = -100 * (15 * 5 * 10^{-3}) = -7.5V$$

أما تكامل النصف السالب لموجة الـ Vin:

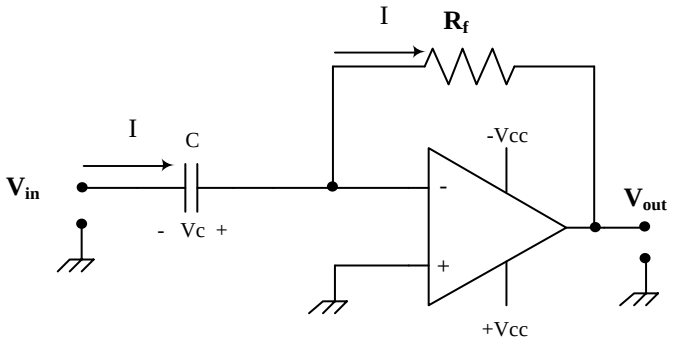
$$V_{out} = -0.01 * \left(\int_{5ms}^{10ms} -15\ dt\right) = 100 * 15 * (10-5) * 10^{-3} = -7.5V$$



Differentiator

المفاضل

تقوم دائرة المفاضل بإجراء عملية التفاضل الرياضية على اشارة الإدخال، وتشبه دائرة المكامل غير ان المتسعة والمقاومة يتم استبدال مواقعهما كما موضح في رسم الدائرة. واستخداماته أقل من استخدامات المكامل بسبب وجود مشاكل الضوضاء العالية خصوصاً في الترددات العالية.



$$V_{out} = -R_f * C \frac{dV_{in}}{dt}$$

للحصول على المعادلة أعلاه:

$$V_{out} = -I * R_f \qquad V_c = V_{in}$$

$$I = C \frac{dV_{in}}{dt} \qquad I = C \frac{dVc}{dt}$$

التيار في المتسعة

$$V_{out} = -R_f * C * \frac{dV_{in}}{dt}$$

و.هـ.م

مثال: في دائرة المفاضل إذا كانت المقاومة $R_f=10K$ والمتسعة $C=0.02\mu F$، $Vcc=\pm 15V$. المطلوب رسم شكل موجة فولتية الإخراج نسبة إلى فولتية الإدخال المثلثية المعطاة.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها

للفترة من 0 إلى 2ms لموجة الإدخال يكون الإخراج V_{out} كما يلي:

$$V_{out} = -R_f * C * \frac{\Delta V_{in}}{\Delta t}$$

$$= -10*10^3 * 0.02*10^{-6} * \frac{5-(-5)}{(2-0)ms}$$

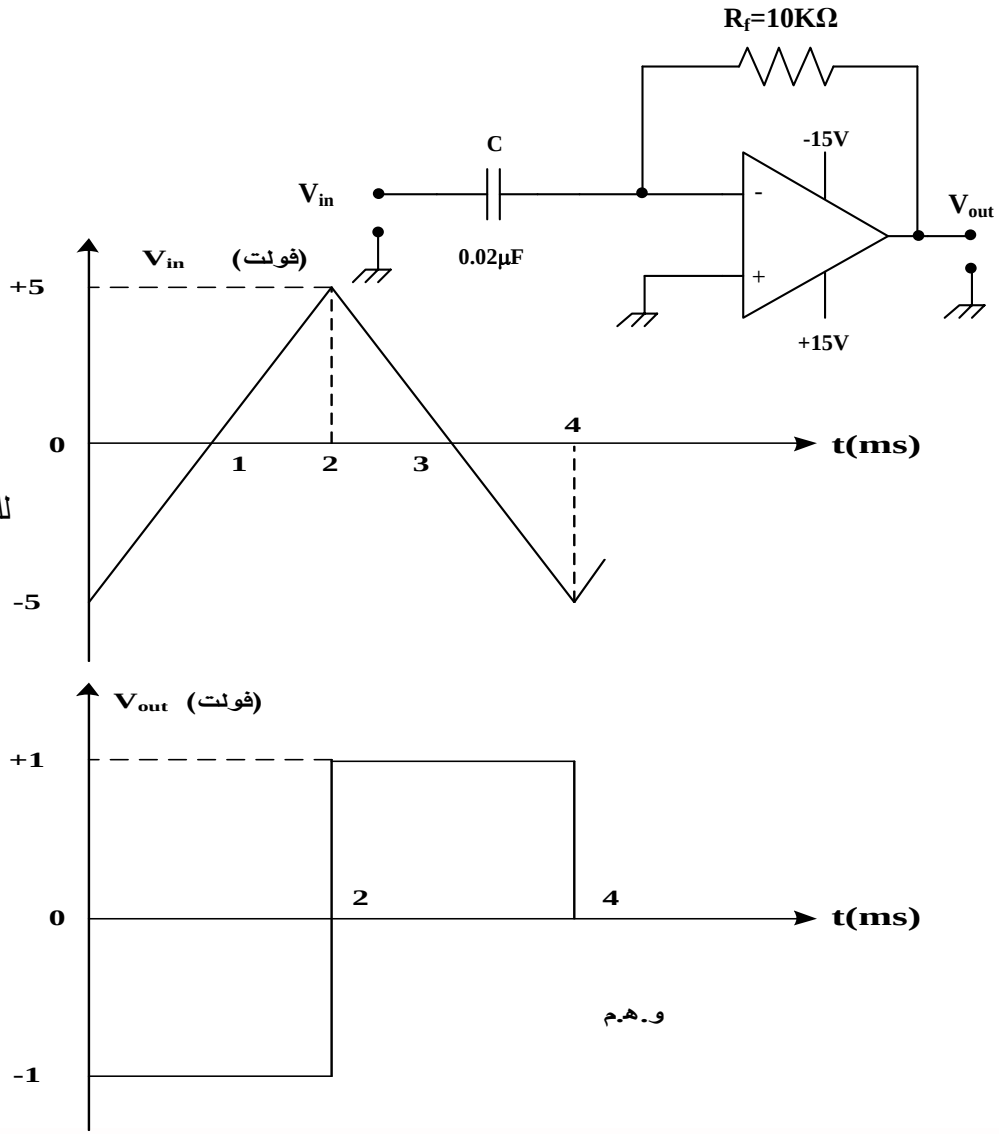
$$= -0.2*10^{-3} * \frac{10}{2*10^{-3}} \quad = -1V$$

للفترة من 2ms إلى 4ms لموجة الإدخال يكون الإخراج V_{out} كما يلي:

$$V_{out} = -R_f * C * \frac{\Delta V_{in}}{\Delta t}$$

$$= -0.2*10^3 * \frac{-5-(+5)}{4*10^{-3}-2*10^{-3}}$$

$$= -0.2*10^{-3} * \frac{-10}{2*10^{-3}} \quad = +1V$$



أن ثنائيات التوحيد الاعتيادية لا تصلح لتوحيد (تقويم) الاشارات الصغيرة لأن هذه الثنائيات تحتاج إلى قيمة معينة من فولتية الإدخال تتجاوز الجهد الحاجز (0.7V لثنائيات السيليكون و 0.3V لثنائيات الجرمانيوم) لكي تنحاز أمامياً وتقوم بالتوصيل من خلالها.

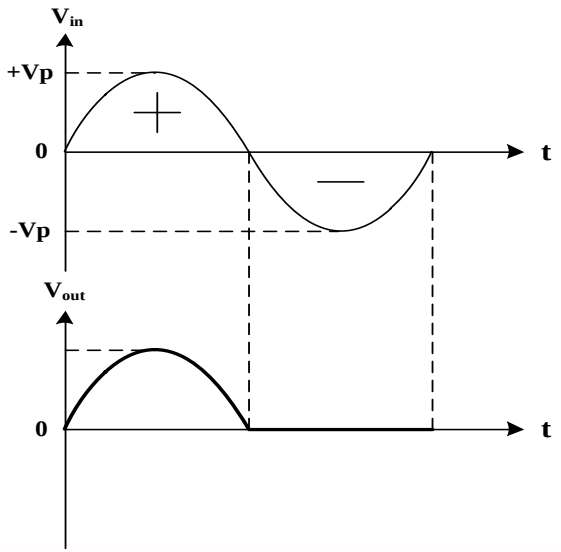
وللتغلب على هذه المشكلة يستفاد من امكانيات مكبر العمليات حيث يقوم بتقليل الجهد الحاجز إلى قيم قليلة لا تتجاوز 10 مايكروفولت، وعندها يسمى الثنائي بالثنائي الدقيق (Microdiode).

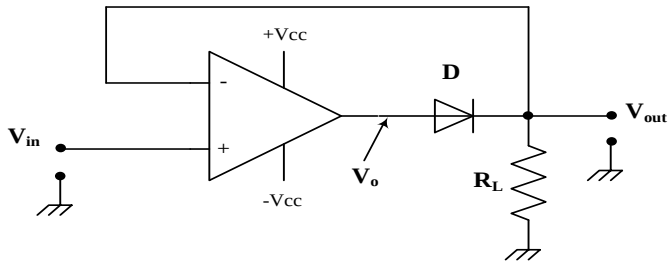
ويستخدم الثنائي الدقيق في: التوحيد، كشف الذروة، قطع والزام الاشارات ذات القيم الواطئة.

موحد نصف الموجة باستخدام الثنائي الدقيق

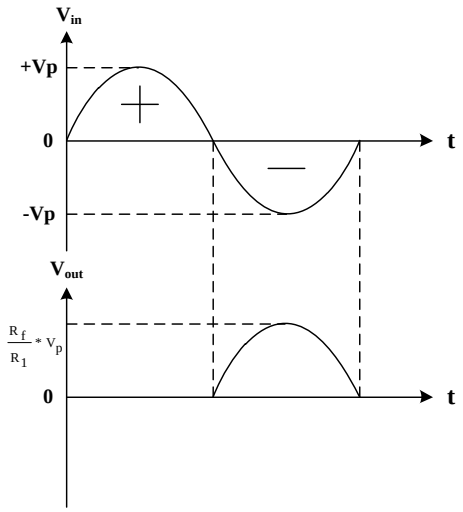
نظرية العمل:

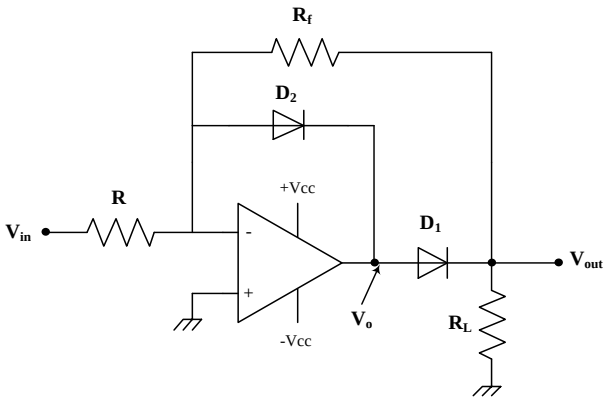
عند الجزء الموجب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_o موجباً مما يسبب احياز أمامي للثنائي D أي يكون في حالة توصيل (ON) وعندها تتحول الدائرة إلى دائرة تابع الفولتية حيث $V_{out}=V_{in}$ أما في الجزء السالب لموجة الإدخال يكون Vo سالباً مما يسبب قطع (OFF) للثنائي D وعليه يكون V_{out} صفراً. ويكون شكل موجة الـ V_{out} كما مبينة بالرسم.





دائرة ثانية لموحد نصف الموجة





نظرية العمل:

في الجزء الموجب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_o سالباً مما يسبب حالة القطع (OFF) للثنائي D_1 وحالة التوصيل (ON) للثنائي D_2 وعندها يكون الإخراج V_{out} صفراً (لماذا؟).

أما في الجزء السالب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_o موجباً ويسبب حالة التوصيل (ON) للثنائي D_1 وحالة القطع (OFF) للثنائي D_2، وتتحول الدائرة إلى دائرة مكبر قالب.

حيث يكون الإخراج:

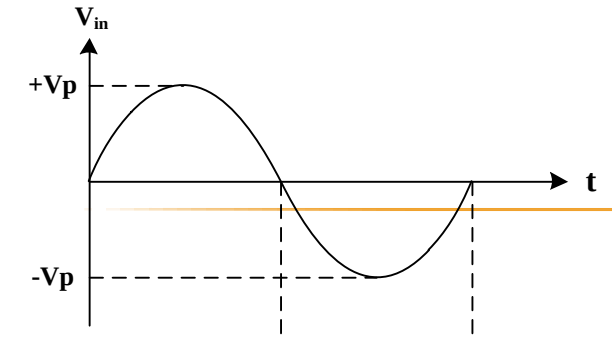
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} * (-V_p)$$

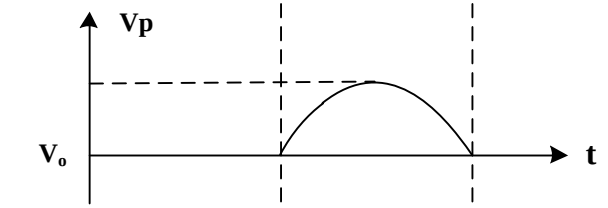
$$= \frac{R_f}{R_1} * V_p$$

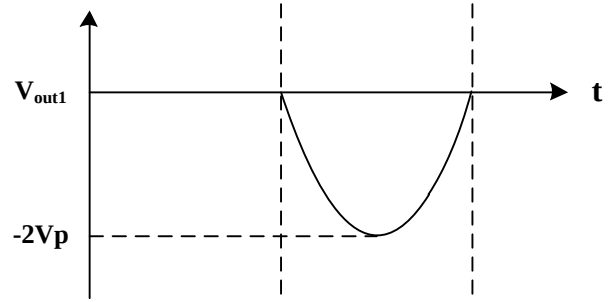
وإذا كانت $R_f=R_1=R$ فإن الإخراج يكون:

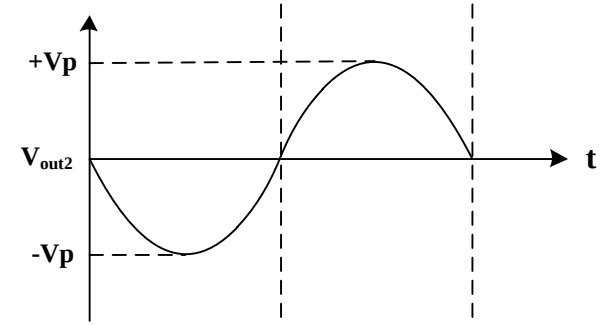
$$V_{out} = V_p$$

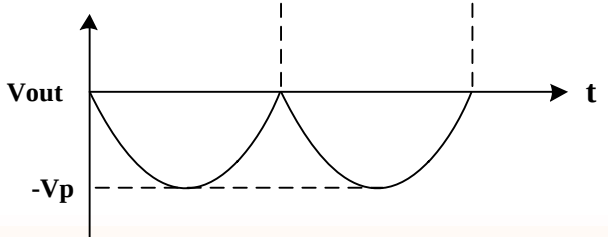
موحد الموجة الكاملة باستخدام الثنائي الدقيق

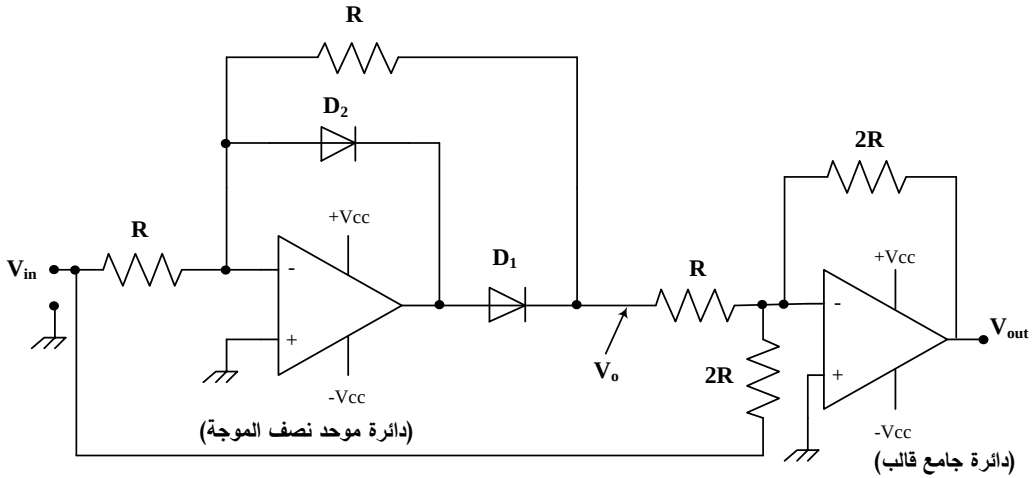












نظرية العمل:

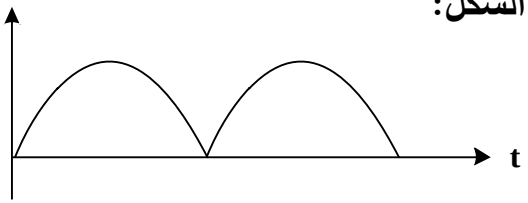
V_o هو إخراج موحد نصف الموجة.

V_{out1} هو الإخراج V_{out} الناتج من V_o كإدخال أول للجامع.

V_{out2} هو الإخراج V_{out} الناتج من V_{in} كإدخال ثان للجامع ويكون الإخراج النهائي:

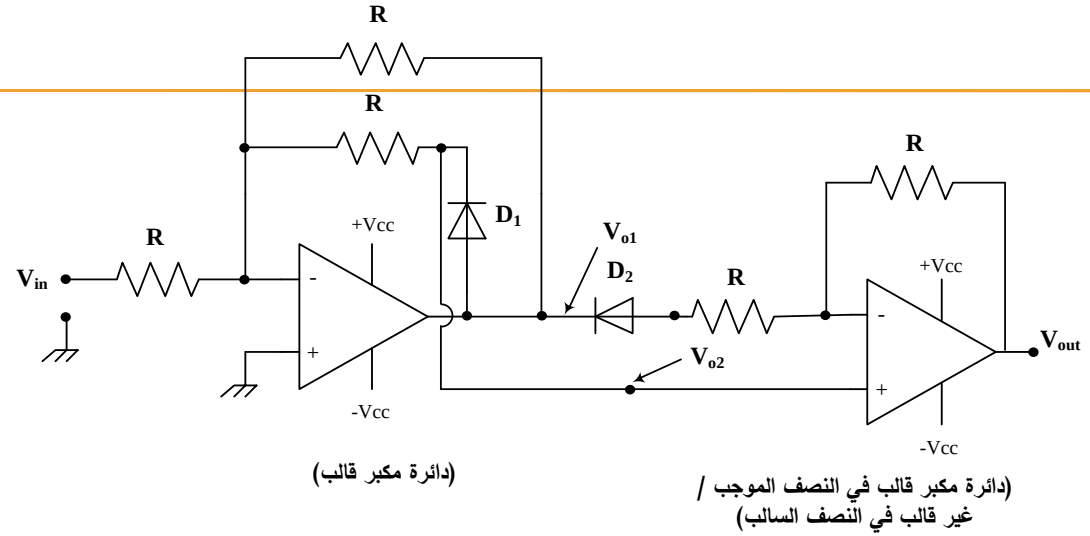
$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2}$$

ملاحظة: إذا أردنا V_{out} نبضات موجبة بهذا الشكل:



نحتاج إلى قالب اشارة يكون V_{out} اشارة الإدخال له.

دائرة ثانية لموحد الموجة الكاملة:

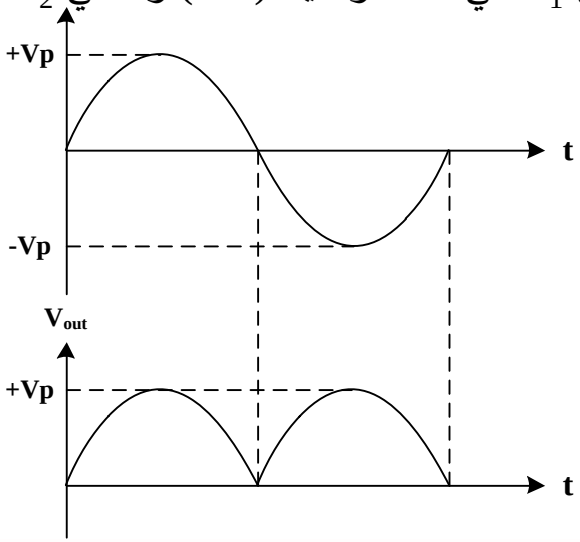


نظرية العمل:

في النصف الموجب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_{o1} سالباً (V_{o1}=–Vp) مما يسبب في قطع الثنائي D_1 أي (OFF) وتوصيل الثنائي D_2 أي (ON) ويكون V_{o2} صفراً، وعليه يكون الإخراج V_{out}=Vp (لماذا؟)

أما في النصف السالب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_{o1} موجباً (V_{o1}=Vp) مما يجعل الثنائي D_1 في حالة توصيل (ON) والثنائي D_2 في حالة قطع (OFF) ويكون V_{o2}=V_{o1} وعليه يكون الإخراج V_{out}=Vp (لماذا؟).

وبذلك تكون موجة الإخراج V_{out} كما مبينة بالرسم.



الحاسبة التناظرية (Analogue Computer)

تستخدم الحاسبة التناظرية لحل المعادلات التفاضلية، وهي مجموعة من دوائر تطبيقات مكبر العمليات مثل الجامع، المكبر القالب، قالب الاشارة والمكامل ولا يستعمل المفاضل وذلك لتقليل الضوضاء.

وهناك قواعد تُعتَمد في تصميم دائرة الحاسبة التناظرية منها:

- تحل المعادلات التفاضلية ابتداءً من الدرجة العليا.
- يقوم كل مكامل بتقليل درجة التفاضل درجة واحدة.

يستخدم المكبر القالب للحصول على التكبير المطلوب لأي حد في المعادلة بينما يقوم قالب الاشارة لتغير الاشارة والجامع لجمع الاشارات المطلوب جمعها.

مثال: بالاستفادة من تطبيقات مكبر العمليات، صمم دائرة لحاسبة تناظرية لحل المعادلات التفاضلية لكل من الحالات.

-1 $$f(t) = \frac{dV(t)}{dt} + aV$$

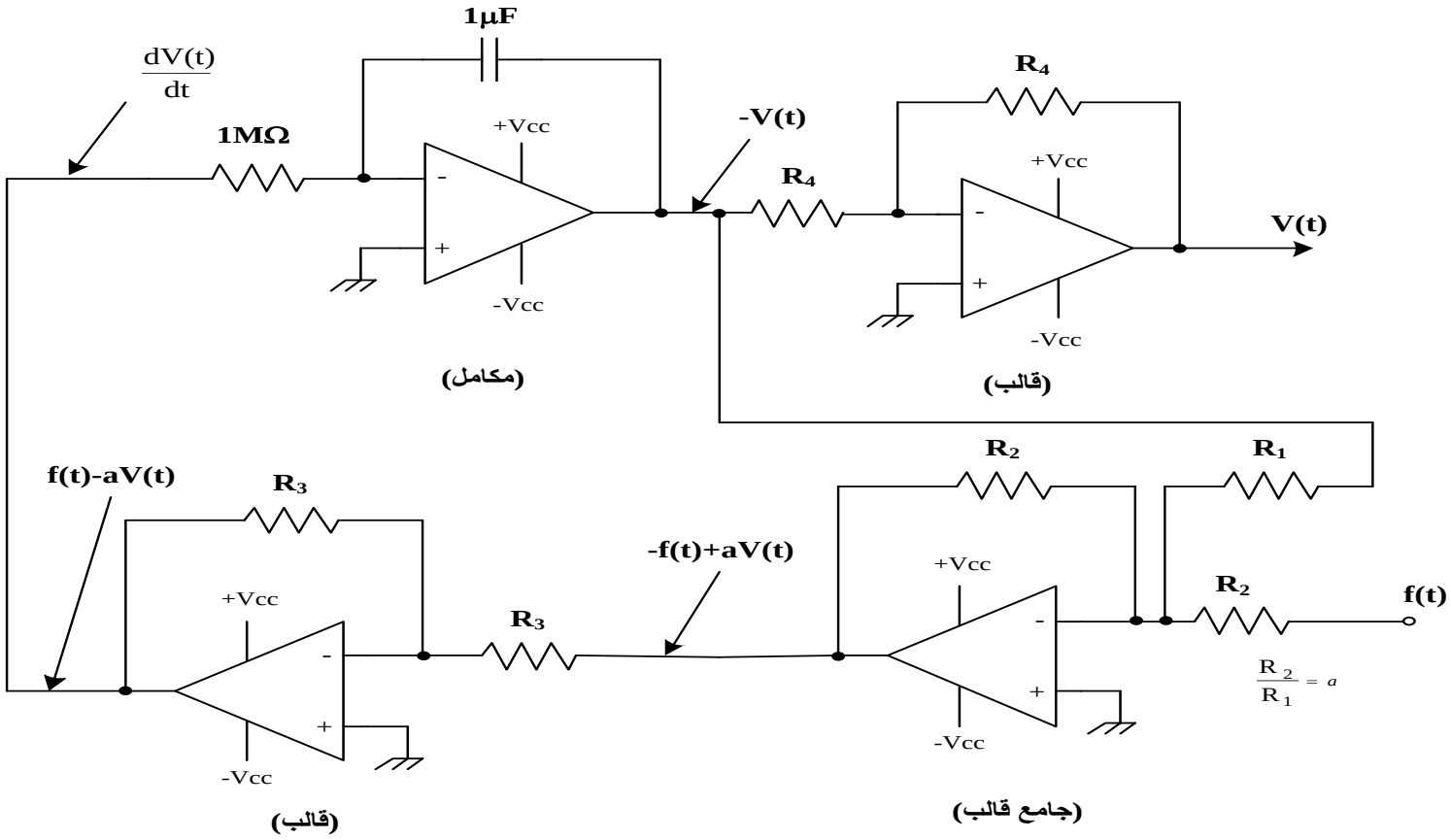
-2 $$\ddot{y} + 4\dot{y} + 5y = 0$$

-3 $$f(t) = \frac{d^2V(t)}{dt^2} + 10\frac{dV(t)}{dt} + 2V(t)$$

الحل:

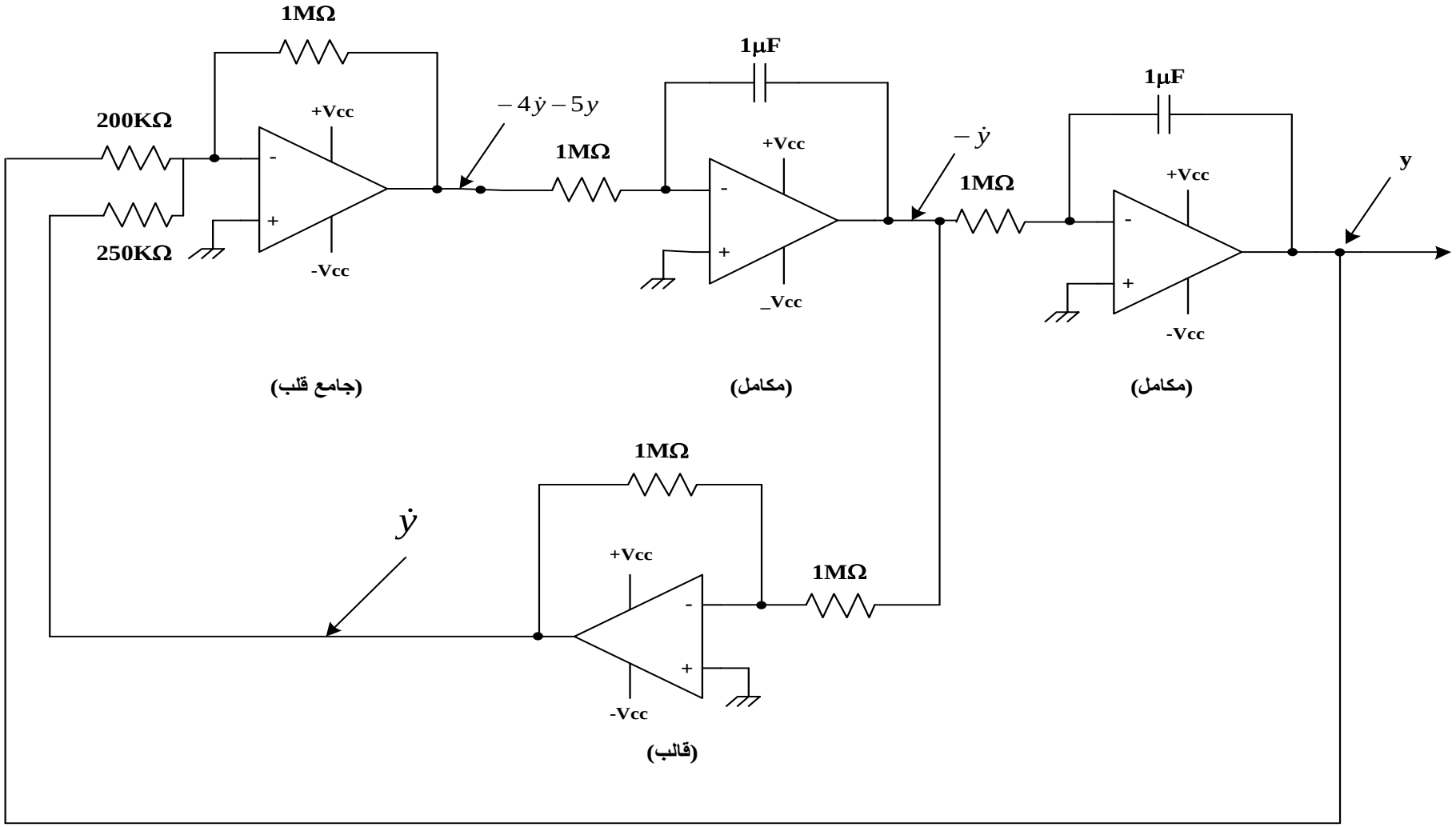
(1) f(t) تمثل دالة متغيرة مع الزمن أو ثابت وهي تمثل اشارة إدخال للدائرة. A مقدار ثابت.
نعيد كتابة المعادلة بحيث يكون الحد الأعلى للمشتقة في طرف وبقية الحدود في الطرف الآخر للمعادلة.

بعد تكامل $\frac{dV(t)}{dt}$ نحصل على V(t) ثم نقوم بتكبيره بمقدار a وجمعه مع f(t) ثم نغير الاشارة ونحصل على الدائرة المطلوبة.



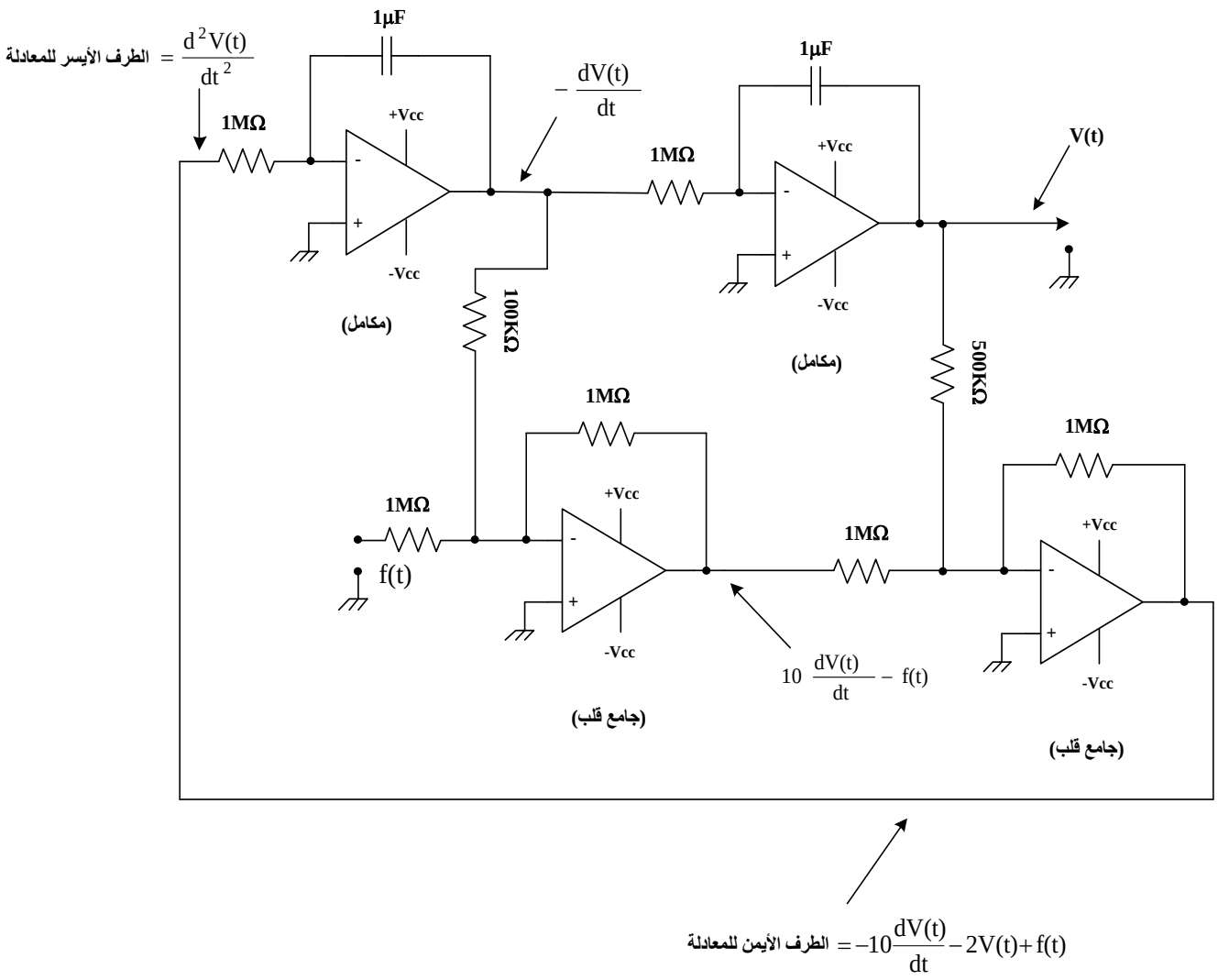
(2) نعيد كتابة المعادلة فتكون المشتقة الأعلى في طرف وبقية حدود المعادلة في الطرف الآخر:

$$\ddot{y} = -4\dot{y} - 5y$$



(3) بعد إعادة كتابة المعادلة بحيث يكون الحد الذي فيه المشتقة الأعلى في طرف وبقية الحدود في الطرف الآخر فتكون المعادلة كما يلي:

$$\frac{d^2V(t)}{dt^2} = -10\frac{dV(t)}{dt} - 2V(t) + f(t)$$

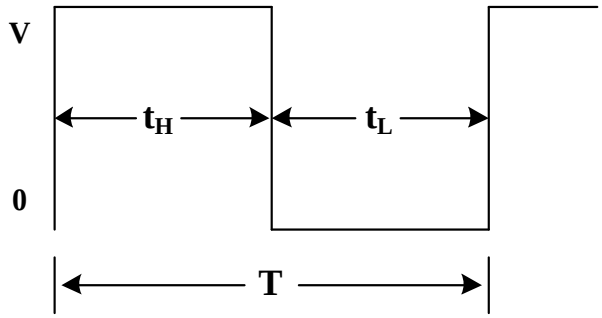


Duty Cycle

دورة التشغيل

تعرف دورة التشغيل على أنها النسبة بين زمن الموجة في المستوي العالي وزمن الموجة الكي ورمزها D، وتكون قيم D عادة: أي أن:
%0 < D < %00

$$\%D = \frac{t_H}{t_H + t_L} * 100$$



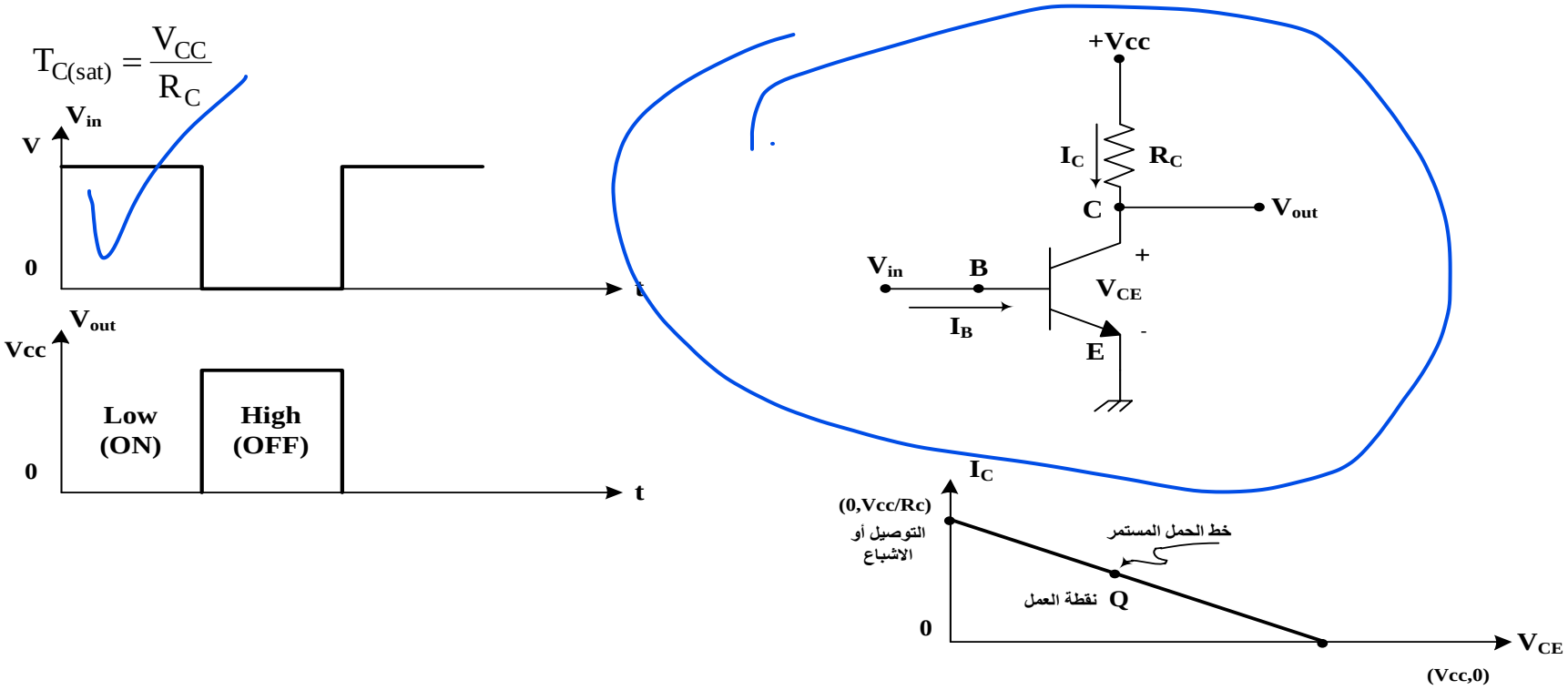
حيث أن:
t_H زمن النبضة في المستوى العالي.
t_L زمن النبضة في المستوى الواطئ.

$$T = t_H + t_L$$

$$f = \frac{1}{T}$$

إذا كانت tH=tL فإن %D=50%.

هي عبارة عن دائرة ترانزستور مربوطة بصيغة الباعث المشترك ويكون الترانزستور في حالة توصيل (ON) (V_{CE}=0) إذا كانت الفولتية على القاعدة كافية لإمرار تيار قاعدة يجعل تيار الجامع في حالة اشباع
، ويكون في حالة قطع (OFF) (V_{CE}=V_{CC}) عندما يكون جهد القاعدة قليل أو صفر. وكما مبين أدناه الدائرة وموجة نبضات الإدخال والإخراج وخط الحمل.



Multivibrators

وتسمى أيضاً المهزازات أو متعددات التوافقيات، وهي أحد أنواع دوائر مولدات الاشارة النبضية التي تستخدم مرحلتي تكبير، ويستخدم فيها الترانزستور كمفتاح. وتتضمن عادة ترانزستور وتكون التغذية العكسية المتبادلة هي المسؤولة عن السيطرة على تبادل حالة الترانزستورين بين التوصيل والقطع.
تستعمل المهتزات في المنظومات الرقمية وغيرها، وبإمكانها توليد نبضات بمدى واسع من الترددات 20Hz إلى 30MHz.

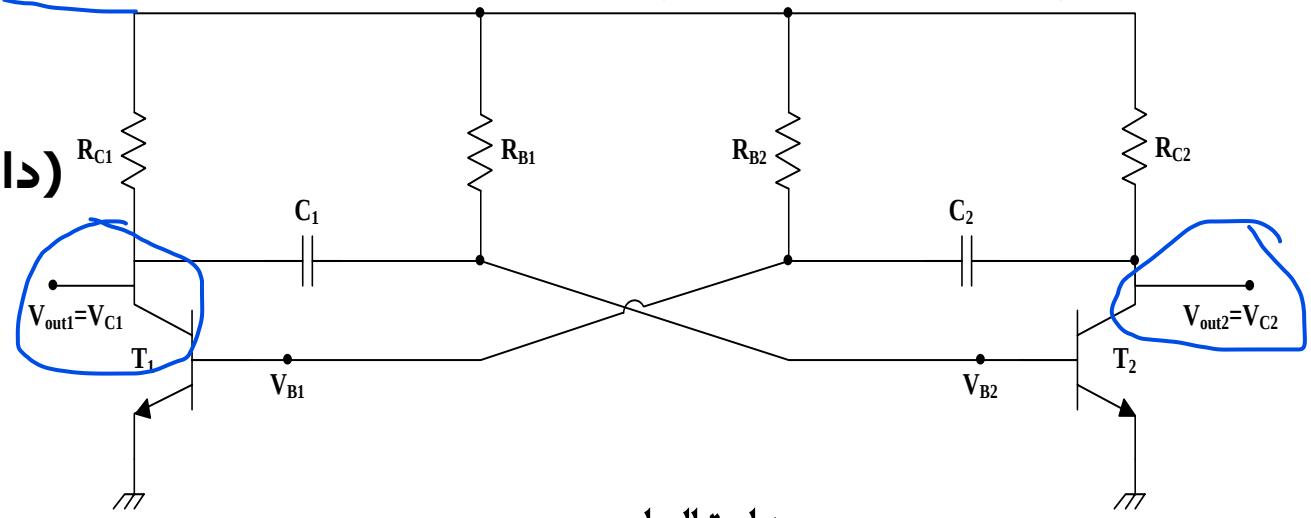
أنواع المهتزات

استناداً إلى حالة الاستقرار في نبضة الإخراج يمكن تقسيم المهتزات إلى ثلاثة أنواع هي:

- المهتزات الغير المستقرة Astable Multivibrators (A.M).
- المهتزات احادية الاستقرار Monostable Multivibrators (M.M).
- المهتزات ثنائية الاستقرار Stable Multivibrators (B.M).

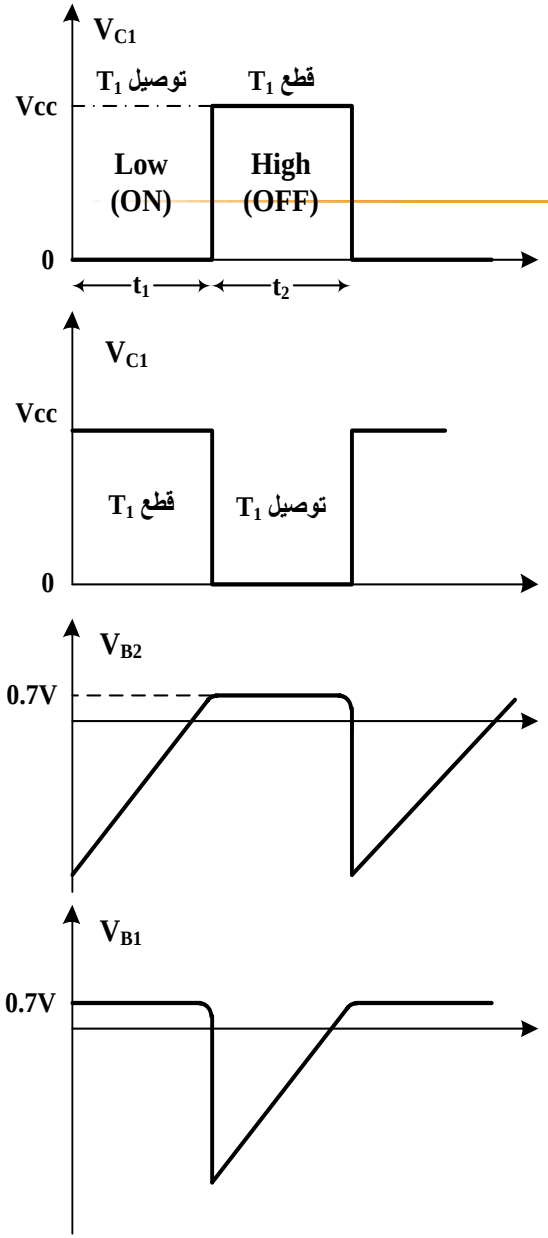
ويسمى أيضاً اللامستقر أو عديم الاستقرار أو حر الدوران (Free tunning) أو مولد النبضات (Pulse generator).
ولا يحتاج نبضات إدخال لأنه غير مستقر في حالتي التوصيل والقطع، ويربط إخراج (جامع) كل مرحلة كإدخال (قاعدة) للمرحلة الأخرى كما مبين في دائرة المهتز غير المستقر في الصفحة القادمة. يستخدم المهتز غير المستقر لتوليد النبضات.

(دائرة المهتز الغير المستقر)



نظرية العمل:

له الحالتين غير مستقرة:
الأولى: T_1 توصيل T_2 قطع.
الثانية: T_1 قطع T_2 توصيل.
يحاول كلا الترانزستور التوصيل في لحظة تجهيز القدرة المستمرة إلى الدائرة، ويتحول أحدهما إلى حالة الاشباع عندما تكون ($R_B < h_{FE*RC}$)، وبما أننا نعلم تعذر امكانية وجود ترانزستورين متماثلين بالخواص تماماً، مما ينتج عنه توصيل احدهما قبل الآخر.
ولو فرضنا أن T_1 يوصل قبل T_2، فهذا يعني أن T_1 في حالة توصيل و T_2 في حالة قطع، وفي هذه الحالة تشحن المتسعة C_1 عن طريق المقاومة R_{B1} وخلال جامع T_1 إلى الأرضي، وبعد فترة زمنية ($t_1=0.7R_{B1}C_1$) سيصل جهد المتسعة C_1 المسلط على قاعدة T_2 بانحياز أمامي إلى قيمة كافية لتحويل T_2 من حالة القطع إلى حالة التوصيل. وبعد توصيل T_2 يرتبط جامعه بالأرضي فيهبط جهده الذي يغذي قاعدة T_1 وبذلك يتحول T_1 من حالة التوصيل إلى القطع، وبهذا يكتمل الانتقال من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية من حالتي الغير مستقرة.



(أشكال الموجات للمهتز غير المستقر)

الأن ستشحن المتسعة C_2 عن طريق المقاومة R_{B2} ومن خلال جامع T_2إلى الأرضي وبعد فترة زمنية ($t_2=0.7R_{B2}C_2$) يتحول T_1 إلى حالة التوصيل و T_2 إلى حالة القطع وبنفس الحالة الأولى وذلك لهبوط جامع T_1 إلى الصفر. وبذلك نرجع إلى الحالة الأولى. ويتكرر التذبذب طالما كانت الدائرة مربوطة إلى المصدر وسيكون تردد التذبذب f :

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{0.7R_{B1}C_1 + 0.7R_{B2}C_2} \qquad = \frac{1}{0.7(R_{B1}C_1 + 0.7R_{B2}C_2)}$$

$$t_1 = t_{L1} = t_{H2} \qquad t_2 = t_{H1} = t_{L2}$$

وإذا كانت $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ و $C_1=C_2=C$ فإن التردد يكون:

$$f = \frac{1}{1.4R_BC}$$

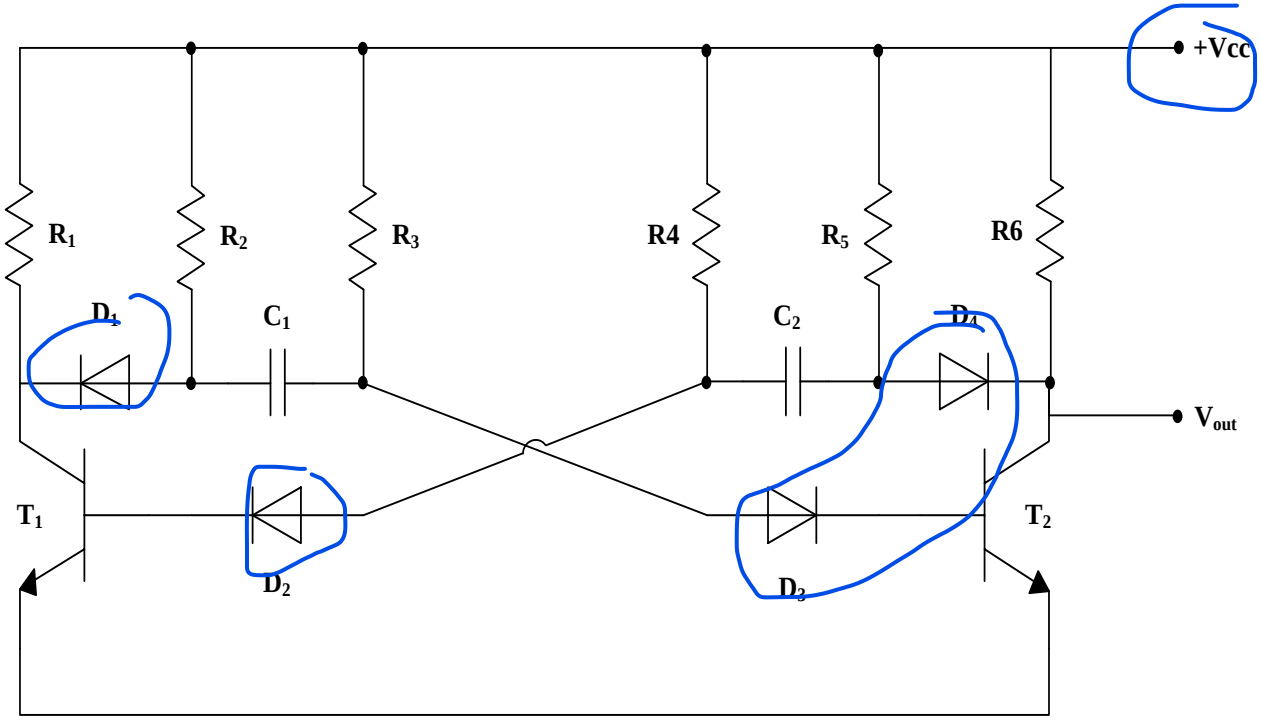
وعندها تكون موجة نبضته متماثلة أي أن $t_1=t_2$ مما يجعل دورة التشغيل %D=50%.

دائرة عملية لمهتز غير مستقر

لحماية الدائرة من ذلك الاحتمال يربط الثنائين (D_3, D_2) المبينين بالشكل أدناه الذي مثل الدائرة العملية لهذا المذبذب، ويشترط ان تكون قيمة جهد انهيار هذين الثنائين مساوية إلى أو أكبر من (Vcc). يتسبب هذان الثنائيان باحداث هبوط بقيمة الجهد عند الانحياز الأمامي، إلا أنها يوفران الحماية لوصلة القاعدة – باعث عند الانحياز العكسي. أما الثنائيان (D_2, D_1) والمقاومان (R_5, R_2) فإنها تسبب اسراعاً بنشوء وارتقاء قيمة نبضة الإخراج. وفي حالة التوصيل لكل ترانزستور يكون الحمل مساوياً للمقاومة المكافئة لربط التوزي لكل من:

(R_2, R_1) للترانزستور الأول (T_1).

(R_6, R_5) للترانزستور الثاني (T_2).



نفس العلاقات الرياضية للدائرة السابقة مع الاخذ بنظر الاعتبار ,

R3 =RB1 , R4=RB2 ,

RC1= R1\\R2

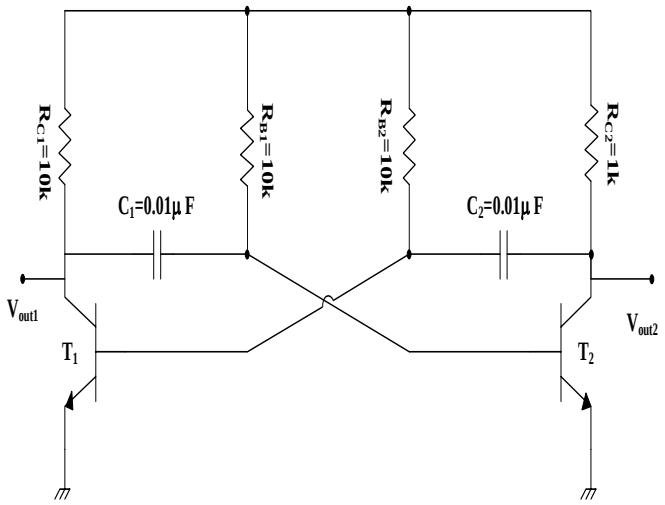
RC2= R5\\R6.

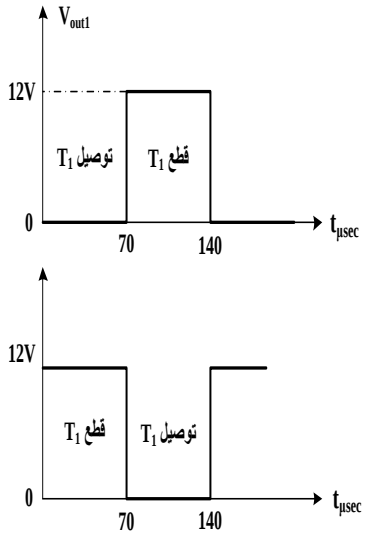
مثال: في دائرة مهتز غير مستقر إذا كانت $R_{B1}=R_{B2}=10K\Omega$ و $R_{C1}=R_{C2}=1K\Omega$ و $C_1=C_2=0.01\mu F$، $Vcc=10V$. ارسم الدائرة ثم أوجد:

1- تردد التذبذب. 2- أصغر قيمة لـ h_{FE}.

3- دورة التشغيل ثم ارسم موجات الإخراج.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت القيم عليها.





$$t_1 = 0.7R_{B1}C_1$$

$$= t_{L1} = t_{H2}$$

$$t_2 = 0.7R_{B2}C_2$$

$$= t_{H1} = t_{L2}$$

$$T = t_1 + t_2$$

وبما أن الدائرة متساوية القيم فإن:

$$t_1 = t_2 = 0.7R_BC$$

$$= 0.7*10*10^3*0.01*10^{-6} = 70\mu sec$$

تردد التذبذب

$$f = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{1}{(70+70)*10^{-6}} = 7142.85\,Hz = 7.143\,kHz$$

أصغر قيمة لـ h_{FE} هو

$$h_{FE} = \frac{R_B}{R_C} = \frac{10k}{1k} = 10$$

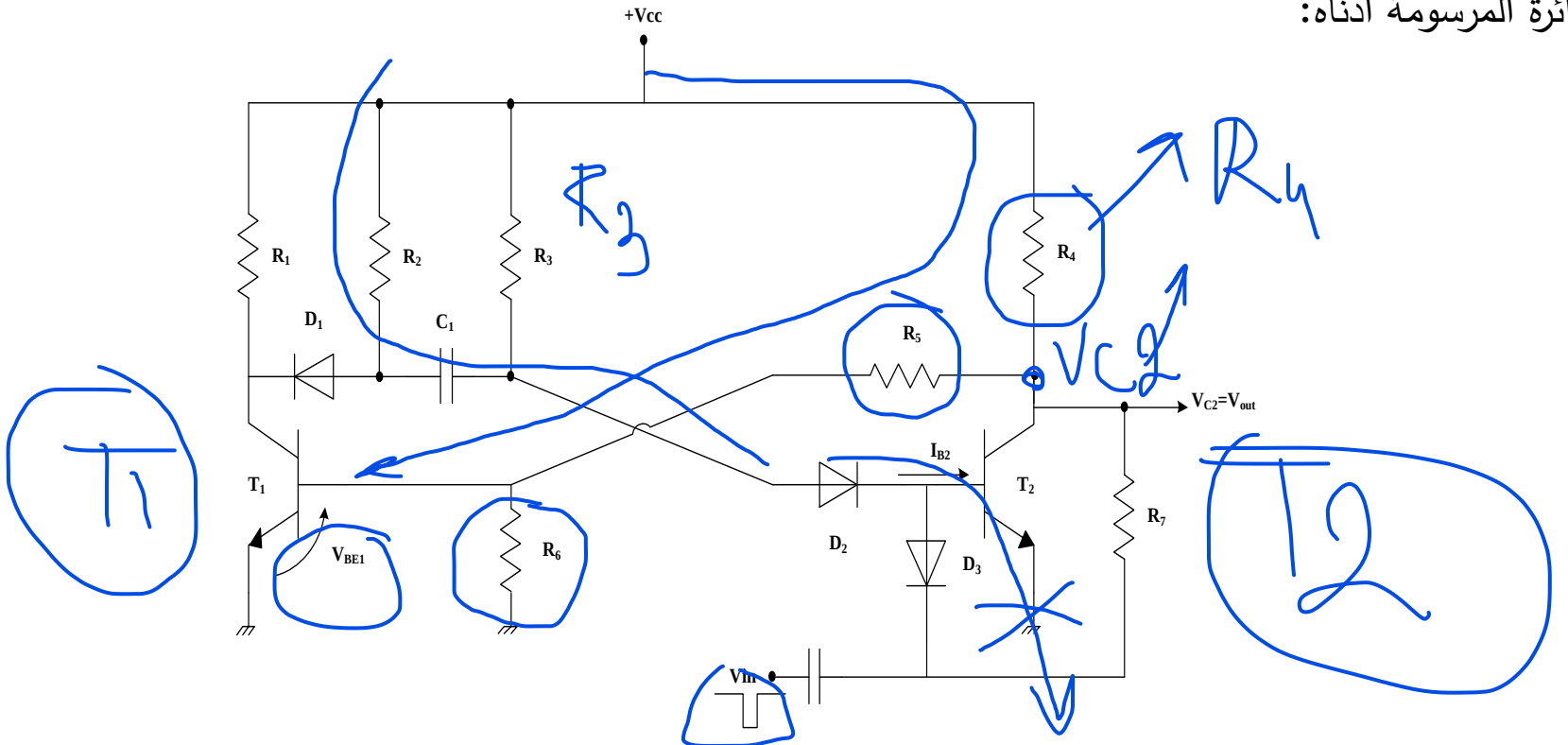
دورة التشغيل

$$\%D = \frac{t_H}{T}*100 = \frac{70\mu sec}{140\mu sec}*100 = 50\%$$

ويسمى أيضاً مولد الطلقة الواحدة أو مولد الاطلاقة الواحدة أو مولد النبضة الواحدة أو مكبر زمن لأنه يقوم بتوليد نبضة إخراج ذو عرض أكبر من عرض نبضة الإدخال.

له حالتان الأولى مستقرة والأخرى غير مستقرة ويحتاج إلى نبضة قدح لتحويله من الحالة المستقرة إلى الحالة غير المستقرة أما عملية رجوعه إلى الوضع المستقر ثانية فتتكفل بها ثوابت الدائرة بنفس مبدأ المهتز غير المستقر.

تتكون دائرة المهتز احادي الاستقرار من نصف دائرة مهتز غير مستقر ونصف دائرة مهتز ثنائي الاستقرار، كما مبين في الدائرة المرسومة أدناه:



(دائرة المهتز احادي الاستقرار)

نظرية العمل لمهتز أحادي الاستقرار :

في حالة الوضع المستقر (T_1 قطع و T_2 توصيل) يكون الترانزستور T_2 في حالة توصيل وذلك بسبب التيار المار بقاعدته (I_{B2} المجهز من المصدر المستمر من خلال المقاومة R_3 والثنائي D_2 (الذي يكون في حالة احياز امامي دائماً)، أما الترانزستور T_1 فيكون في حالة قطع وذلك لأن قيمة الجهد V_{BE1} قليلة تقارب جهد الأرضي لأنه جزء من التغذية الخلفية الناتج من جامع T_2 المؤرض لأن T_2 في حالة توصيل.

الحالة المستقرة لهذه الدائرة لا تتغير إلا بعد تسليط نبضة قدح سالبة (بواسطة مصدر خارجي V_{in}) تقوم بإجبار T_2 على التحول من التوصيل إلى القطع، عند ذلك يقوم مقسم الجهد (R_4، R_5، R_6) بتوفير جهد الانحياز الامامي V_{BE1} اللازم لتحويل T_1 من القطع إلى التوصيل وهذه الحالة غير مستقرة (T_1 توصيل و T_2 قطع) لأن بقاء T_1 في حالة توصيل بسبب شحنة المتسعة C_1 عن طريق المقاومة R_3 خلال الثنائي D_1 وإلى الأرضي عبر جامع T_1 كما هو الحال في المهتز غير المستقر وتستمر لفترة $t_2=0.7R_3C_1$.

وخلال هذه الفترة الزمنية يبلغ الجهد على طرفي المتسعة C_1 قيمة كافية لجعل V_{BE2} بانحياز امامي يحول T_2 من القطع إلى التوصيل ويقوم جهد جامعة المؤرض بإجبار T_1 على التحول من حالة التوصيل إلى القطع والآن رجعنا إلى الحالة المستقرة التي تبقى لحين وصول نبضة قدح جديدة وهكذا.

عند تسليط نبضة قدح سالبة على المتسعة C_2، وأثناء استقرار T_2 على وضع التوصيل يكون D_3 مهيأ للتوصيل فتقوم النبضة السالبة بجعل انحيازه امامياً لأن جهد المهبط له أصبح سالباً ويقوم بالتوصيل مما يسبب قطع التيار المار بقاعدة T_2 وهو التيار I_{B2} وبذلك يتحول T_2 من التوصيل إلى القطع. أن C_2، D_3، R_7 تعمل كدائرة مفاضل (أي ليس فيه تكبير كالذي مر بنا).

مثال: لدائرة مهتز احادي الاستقرار إذا كانت $R_3=8.6k\Omega$ و $C_1=0.1\mu F$، $Vcc=10V$ واشارة الإدخال مربعة 2Vpp وبتردد 4kHz. أحسب تردد الإخراج وارسم موجة الإخراج نسبة إلى موجة الإدخال.

الحل:

$$T_{in}=\frac{1}{f_{in}}=\frac{1}{4*10^3}=0.25\,msec$$

عرض نبضة الإخراج =

$$t_1=0.7R_3C_1=0.7*10*10^3*0.1*10^{-6}=0.6\,msec$$

التقريبية $T_{out}\cong\frac{1}{t_2}=\frac{1}{0.6*10^{-3}}=1.667KHz$

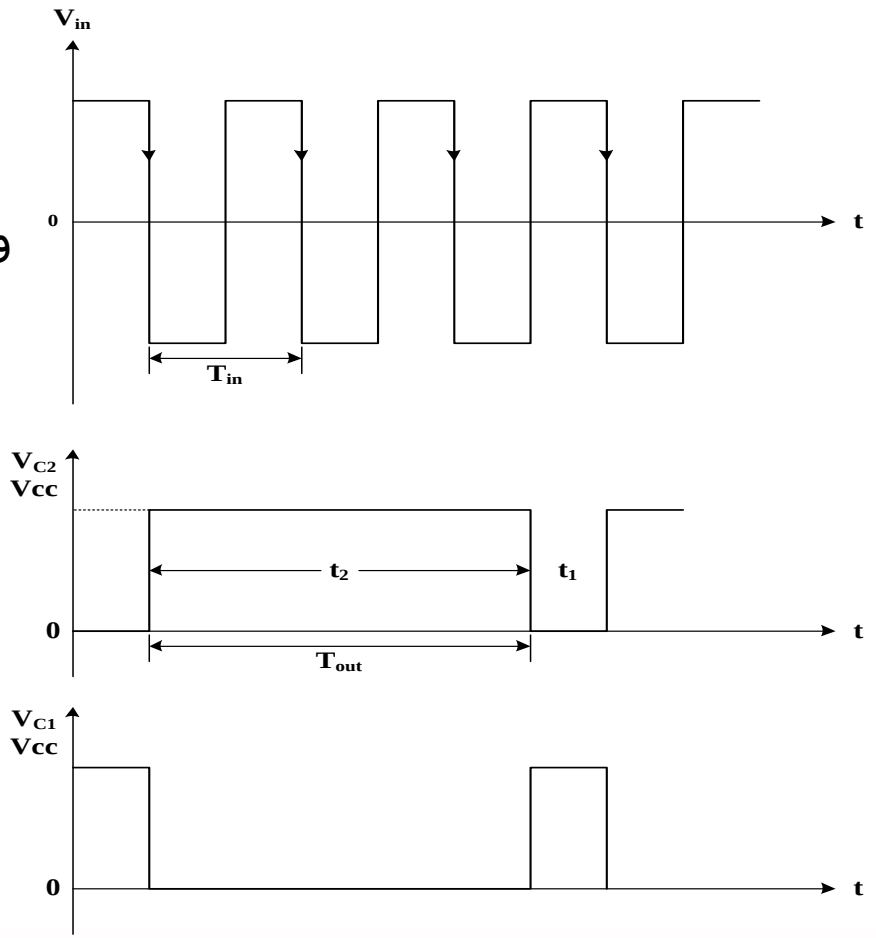
$\frac{t_2}{T_{in}}=\frac{0.6}{0.25}=2.4\rightarrow 3$ T_{out} وهي عدد نبضات القدح أثناء

$\therefore T_{out}=3*T_{in}=3*0.25=0.75\,msec$

المضبوطة $f_{out}=\frac{1}{T_{out}}=\frac{1}{0.75*10^{-3}}=1.334KHz$

$$t_1=T_{out}-t_2$$

$$=0.75-0.6=0.15\,msec$$

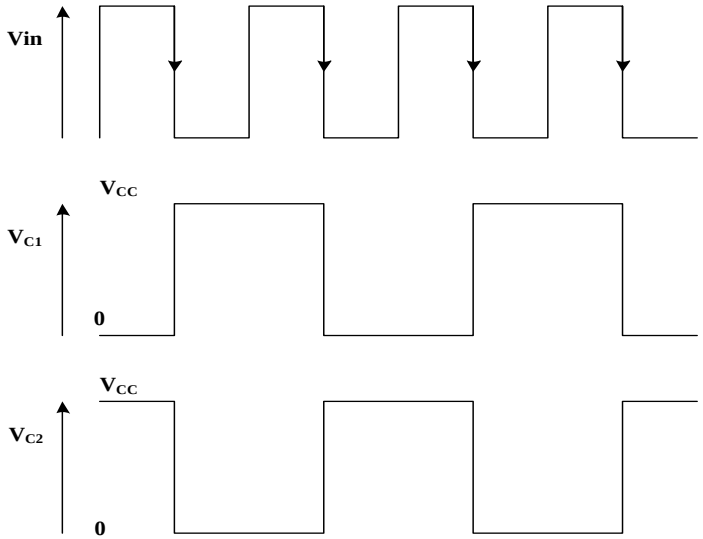


(أشكال موجات المهتز احادي الاستقرار وبنفس الوقت للمثال اعلاه)

وتسمى هذه الدائرة المرجاح (النطاط) Flip-Flop. ويكون لها الحالتين مستقرتين:
حالة الاستقرار الأولى: T_1 توصيل، T_2 قطع.
حالة الاستقرار الثانية: T_1 قطع، T_2 توصيل.
تقوم نبضات القدح بتغيير حالة الاستقرار من الأولى إلى الثانية وبالعكس عن طريق تحويل الترانزستور الذي يكون في حالة توصيل إلى قطع ومن ثم تقوم حالة القطع بتحويل الترانزستور الآخر إلى توصيل.

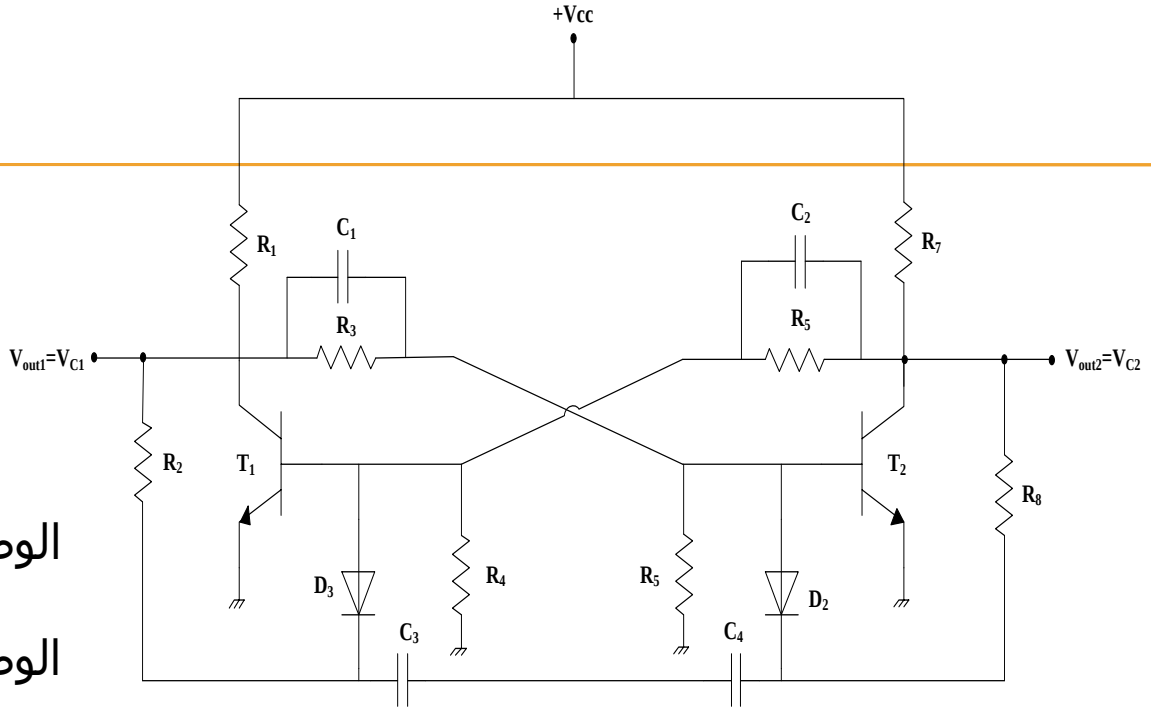
يكون تردد الإخراج نصف تردد الإدخال أي: $f_{out} = \frac{1}{2} f_{in}$

تكون الدائرة متناظرة كما مبين في الشكل المبين في الصفحة اللاحقة. وأشكال الموجات كما مبين أدناه:



ملاحظة: لتفاصيل أكثر حول المهتز ثنائي الاستقرار راجع كتاب الدوائر الالكترونية ص137-138

(دائرة المهتز ثنائي الاستقرار)



الوضع الاول :T1 موصل و T2مقطوع

الوضع الثاني T1مقطوع و T2 موصل

* المتسعتان C_1، C_2 فائدتهما تسريع زمن التحويل ويكونان ذو قيم قليلة.

أن نبضات القدح ضرورية جداً لتسويق دائرة هذا المهتز، حيث تكون مسؤولة عن تحويل الدائرة من وضع مستقر إلى الوضع الآخر. أما كيفية الحصول على نبضات القدح (Trigger Pulses) فتكون عادة من مولد موجة مربعة (Square Wave Generator) بعد امراره على دائرتي تفاضل تتكون الأولى من (R_8, D_2, C_4) للترانزستور (T_2) وتتكون الثانية من (R_2, D_1, C_3) للترانزستور (T_1). تكون نبضة القدح المغيرة للوضع المستقر مشتركة لكلا الترانزستورين. إلا أنها تتسوق الترانزستور الموصل فقط، ولا تؤثر على الآخر لأنه من الأصل في حالة قطع.

أهمية المقاومتين (R_2) و (R_8)

يتلخص عمل المقاومتين (R_2) و (R_8) بما يلي:

أولاً: عند وضع الاستقرار الأول (T_1) موصل و (T)مقطوع، تقوم المقاومة (R_2) بتأريض مهبط الثنائي (D_3) من خلال الترانزستور المشبع (T_1) أما المقاومة (R_8) فإنها توصل مهبط الثنائي (D_2) إلى نقطة جامع بالترانزستور (T_2) المرتفعة الجهد (بسبب قطع (T_2) وبهذا يكون الثنائي (D_1) مهيأ للتوصيل، أما الثنائي (D_2) فإن انحيازه عكسي ويبقى عند القطع حتى تسليط نبضة القدح المسوقة لترانزستوري الدائرة.

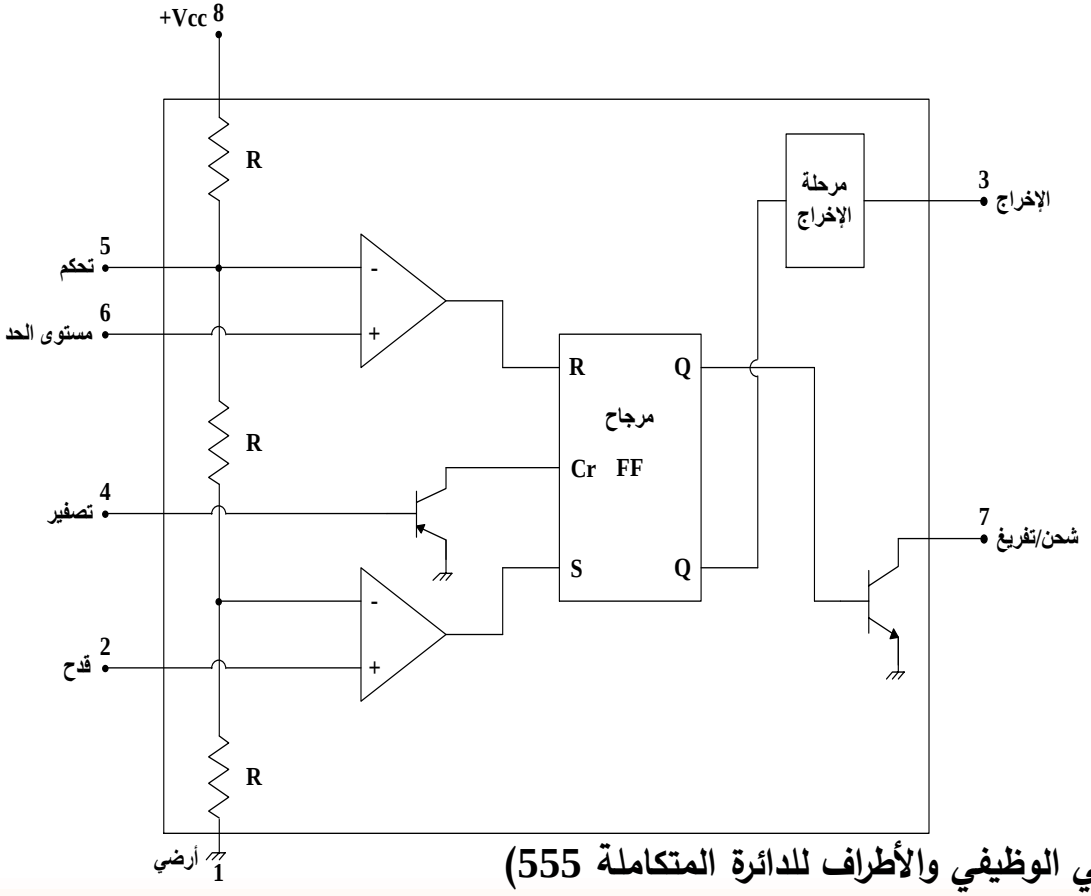
جدول مقارنة بين أنواع المهتزات

المهتز الغير مستقر (A.M.)	المهتز احادي الاستقرار (M.M.)	المهتز ثنائي الاستقرار (B.M.)
1. أحد دوائر توليد النبضات.	1. أحد دوائر توليد النبضات.	1. أحد دوائر توليد النبضات.
2. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.	2. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.	2. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.
3. حالتي الدائرة غير مستقرة.	3. حالتي الدائرة احداهما مستقر والأخرى غير مستقرة.	3. حالتي الدائرة غير مستقرة.
4. يحتاج لنبضات قدح.	4. يحتاج لنبضات قدح في الحالة المستقرة.	4. يحتاج لنبضات قدح للحالتين المستقرتين.
5. تردد الإخراج $f = \frac{1}{1.4R_BC}$ إذا كانت $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ و $C_1=C_2=C$	5. تردد الإخراج $f = \frac{1}{0.7R_3C_1}$ حيث $0.7R_3C_1$ هي عرض نبضة الإخراج.	5. تردد الإخراج فيه هو نصف تردد الإدخال.
6. يستخدم لتوليد نبضات مدى واسع من الترددات.	6. يستخدم للحصول على نبضة إخراج ذو عرض أكبر من عرض نبضة القدح.	6. يستخدم كمقسم تردد.
7. دائرته عي كما في الرسم أدناه:	7. دائرته عي كما في الرسم أدناه:	7. دائرته عي كما في الرسم أدناه:
8. نظرية العمل له ...	8. نظرية العمل له ...	8. نظرية العمل له ...

هي دائرة متكاملة تناظرية (خطية) وهي مناسبة للعمل مع الدوائر الرقمية أيضاً، ولها مزايا عديدة منها:

- صغر الحجم وخفة الوزن ورخص ثمنها وسهولة التعامل معها.
- المدى الواسع من الجهد الذي تعمل به (4 إلى 16 فولت).
- قابليتها للعمل مع الدوائر الرقمية.

ولها ثمانية أطراف كما مبين في الشكل أدناه الذي يوضح أطرافها والتركيب الداخلي الوظيفي لها.



(التركيب الداخلي الوظيفي والأطراف للدائرة المتكاملة 555)

أطراف الدائرة المتكاملة 555

الطرف 1: أرضي (Ground) يعمل هذا الطرف أرضياً للدائرة ويربط مع القطب السالب لجهد التجهيز.

الطرف 2: القدح (Trigger) وهو طرف إدخال لتغير حالة الإخراج من واطيء Low إلى عال High وذلك عندما يقل جهد هذا الطرف عن $\frac{1}{3}$Vcc حيث يسبب المقارن 2 تغيير حالة المرجاح والذي بدوره يغير حالة مرحلة الإخراج من واطيء إلى عال. ويجب ان يكون عرض نبضة القدح أقل من حاصل ضرب RC (المقاومة والمتسعة الخارجيتين).

الطرف 3: الإخراج (output) وهو طرف إخراج الدائرة ويكون جهده (Vout=Vcc-1.7) وله القابلية على تجهيز تيار حمل يصل إلى 200mA

الطرف 4: التصفير (Reset) يستعمل هذا الطرف لتصفير الإخراج عندما يكون جهده بين صفر و 0.4V حيث يقوم بتصفير المرجاح الذي يسيطر على مرحلة الإخراج. ولمنع التصفير الغير مرغوب فيه يربط هذا الطرف إلى القطب الموجب لجهد التجهيز في حالة عدم الاستعمال وعند استخدامه يربط إلى مفتاح Switch يقوم بالسيطرة على اشتغال الدائرة.

الطرف 5: جهد التحكم (Control Voltage) يستخدم هذا الطرف للتحكم في تردد نبضات الإخراج وذلك من دون الاعتماد على قيمة RC، وذلك بتغيير جهد الإدخال المسلط على هذا الطرف بمدى محدود 45% إلى 90% من جهد التجهيز Vcc في صيغة احادي الاستقرار، بينما يكون المدى أوسع من 1.7V إلى Vcc في صيغة المهتز غير المستقر حيث تكون موجة الإخراج بشكل تضمين ترددي FM وفي حالة عدم استعمال هذا الطرف يفضل توصيله إلى الأرضي عبر متسعة صغيرة (0.01µF) للحفاظ على المناعة ضد الضوضاء.

الطرف 6: مستوى حد الجهد (Threshald Voltage) أو مستوى الحد يمثل هذا الطرف أحد إدخالي المقارن، فعندما يتغذى جهد الإدخال المسلط على هذا الطرف $\frac{2}{3}Vcc$

فإن إخراج المقارن يتسبب في تصفير المرجاح الذي بدوره يجعل مرحلة الإخراج في حالة واطيء شرط أن لا يقل تيار الإدخال لهذا الطرف عن 0.1µA (باختصار يقوم هذا الطرف بتغيير حالة جهد الإخراج من عال إلى واطيء عندما يكون جهده أكبر من $\frac{2}{3}Vcc$)

إن مستوى حد التيار هذا الطرف، حيث تكون أكبر قيمة لهذه المقاومة 20MΩ عندما يكون Vcc=15V.

الطرف 7: شحن / تفريغ (Charge / Dicharge) يعمل هذا كدائرة قصر (short) عندما يكون الإخراج في حالة واطيء مما يساعد على تفريغ شحنة متسعة التوقيت C (المربوطة خارجياً بين هذا الطرف والأرضي). أما عندما يكون الإخراج في حالة عال فإن الطرف يتصرف بشكل دائرة مفتوحة (Open) مما يسمح للمتسعة بالشحن ولزمن يعتمد على قيمة كل من Cو R. إن مبدأ شحن المتسعة وتفريغها هو أساس فكرة التوقيت في هذه الدائرة المتكاملة 555.

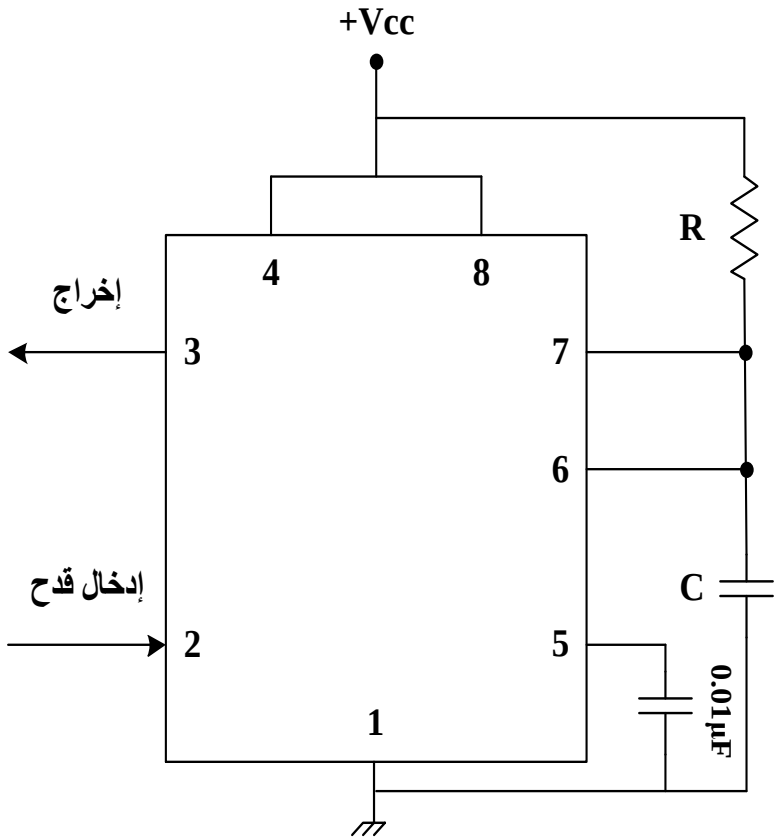
الطرف 8: تجهيز القدرة Vcc (Power Supply) يربط هذا الطرف بالقطب الموجب لمجهز القدرة الذي يتراوح بين 4 إلى 16 فولت وفي بعض الأنواع للمؤقت 555 يتراوح بين 3 إلى 18 فولت.

ملاحظة :أن اقل قيمة لمقاومة الحمل يمكن ربطها على إخراج الدائرة المتكاملة 555 وهو الطرف 3 يحددها أعظم تيار تجهزه الدائرة وقدرهُ 200mA ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

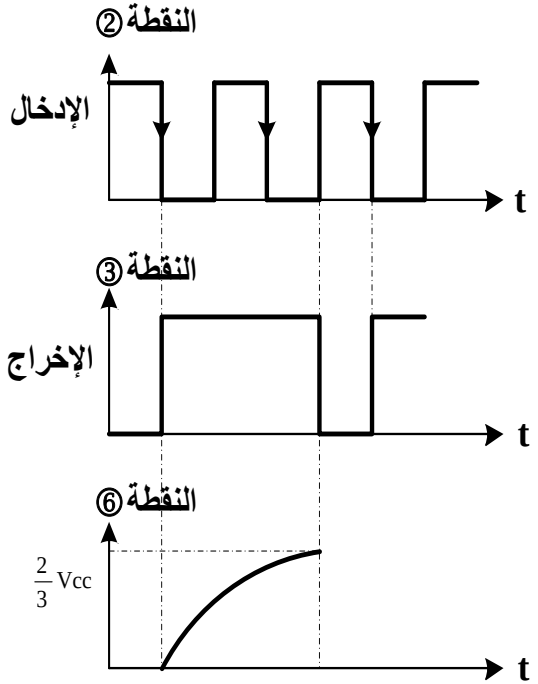
$$R_{L(min)} = \frac{V_{out}}{I_{L(max)}} = \frac{V_{cc} - 1.7}{200mA}$$

Timer 555 As Monostable Multivibrator

له نفس التسميات التي ذكرناها سابقاً في المهتز احادي الاستقرار ويستخدم للحصول على نبضة توقيت في الإخراج يكون زمنها أكبر بكثير من عرض (زمن) نبضة القدح المسلطة على طرف القدح (طرف 2) ويبين الشكل أدناه دائرة هذا المؤقت مع أشكال الموجات له:



(دائرة المؤقت 555 بصيغة احادي الاستقرار)



(أشكال الموجات الاحادي الاستقرار)

نظرية العمل:

يحصل القدح عندما يصل جهد نبضة القدح $\frac{2}{3}Vcc$

أو أقل (على أن يكون عرض نبضة القدح أقل من عرض نبضة الإخراج المطلوب). وعندها يتحول الإخراج من واطيء إلى عال

وتشحن المتسعة لفترة زمنية (T=101RC) إلى أن يصل الجهد على طرفي المتسعة $\frac{1}{3}Vcc$

عندها يتحول الإخراج من عال إلى واطيء. وتستمر هذه الحالة إلى أن تأتي نبضة قدح أخرى كما مبين في الموجات أعلاه.
يسمى T عرض نبضة الإخراج أو زمن نبضة الإخراج أو زمن التوقيت.

ملاحظة: (دائرة احادي الاستقرار هي الدائرة الرئيسية في دوائر التوقيت ذات الاستخدامات العملية الكثيرة ولهذا صنعت دوائر متكاملة للعمل كأحادي الاستقرار من أشهرها الدائرة المتكاملة الرقمية TTL ذات الرقم 74121).

مثال: في دائرة 555 كمهزاز احادي الاستقرار إذا كانت Vcc=14V وقيمة المقاومة 4MΩ والمتسعة 1μF أحسب زمن التوقيت وزمن نبضة الإخراج، وكذلك أحسب أقل قيمة لمقاومة الحمل مكن ربطها في هذه الدائرة.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها:

زمن نبضة الإخراج = زمن التوقيت = T

$$T = 1.1RC = 1.1 * 4 * 10^{6} * 1 * 10^{-6} = 4.4\,\text{sec}$$

أما أقل قيمة لمقاومة الحمل لهذه الدائرة فهي:

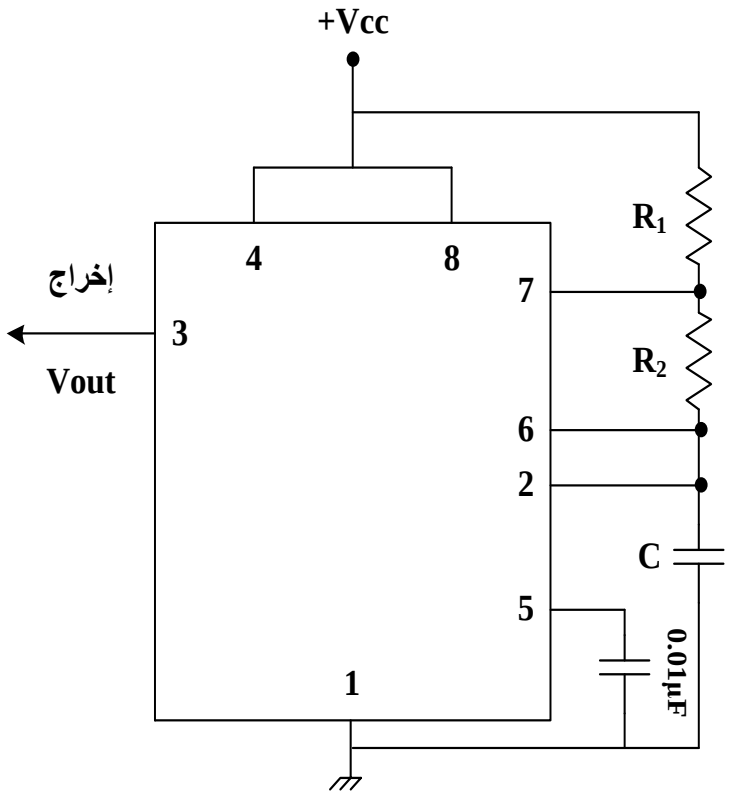
$$R_{L(min)} = \frac{V_{out}}{I_{L(max)}} = \frac{14 - 1.7}{200 * 10^{-3}} = 61.5\Omega$$

ملاحظة: إذا طلب منا التردد فإن الحل يكون بنفس طريقة مثال احادي الاستقرار في المهتزات والذي تم حله سابقاً.

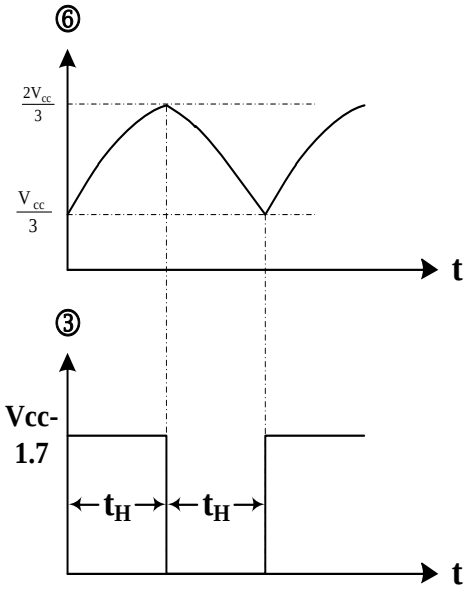
استخدامات المؤقت 555 بصيغة ممتز غير مستقر:

Timer 555 in Astable Multi Mode:

وله نفس التسميات في دائرة المهتز غير المستقر السابق إلا أنه مدى الترددات للنبضات المتولدة يكون بين إجزاء الهرتز إلى 100KHz ويتم ربط الطرف 2 مع الطرف 6 أي أن هذه الدائرة لا إدخال لها كما مبين في الشكل ادناه:



(دائرة المؤقت 555 بصيغة احادي الاستقرار)



(أشكال الموجات)

عندما نوصل Vcc إلى الدائرة يكون جهد النقطة ② أقل من $\frac{1}{3}Vcc$

لذلك يتحول الإخراج من مستوى واطيء إلى عال عندها تبدأ المتسعة بالشحن لزمن t_H وخلال المقاومتين R_1 و R_2 حيث الطرف ⑦ في حالة دائرة مفتوحة (Open).

$$t_H = 0.693(R_1 + R_2)C$$

ويستمر الشحن إلى أن يصل الجهد على طرفي المتسعة إلى $\frac{2}{3}Vcc$

عندها يتحول الإخراج من مستوى عال إلى واطيء وتبدأ المتسعة بالتفريغ خلال المقاومة R_2 إلى الطرف ⑦ الذي أصبح دائرة قصر (short) ويستمر التفريغ لفترة tL إلى أن يصل جهد المتسعة إلى $\frac{1}{3}Vcc$

$$tL = 0.693R_2C \quad \text{حيث}$$

عندها يتحول الإخراج من المستوى الواطيء إلى عال وهكذا تعاد الدورة.

$$T = t_H + t_L = 0.693(R_1 + R_2)C + 0.693R_2C$$
$$= 0.693(R_1 + 2R_2)C$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

ملاحظة :

العلاقة العامة $\%D = \frac{t_H}{t_H + t_L} * 100$ دورة التشغيل

العلاقة الخاصة لهذه الدائرة $\%D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} * 100$ (دائرة 555 بصيغة غير مستقر).

أقل قيمة لـ D% في هذه الدائرة هي 50% حيث $t_H = t_L$ عندما $R_1 = 0$.

مثال: في دائرة المؤقت 555 بصيغة مهتز غير مستقر إذا كانت $R_1=10K\Omega$، $R_2=15K\Omega$، $C=0.22\mu F$، $Vcc=15V$، المطلوب ايجاد: 1- تردد موجة الإخراج. 2- زمن موجة الإخراج في المستوى العالي وفي المستوى الواطيء. 3- النسبة المئوية لدورة التشغيل.

الحل: نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها.

- تردد الإخراج f.

$$f=\frac{1.44}{(R_1+2R_2)C}=\frac{1.44}{(10*10^3+2*15*103)*0.22*10^{-6}}=164Hz$$

- زمن المستوى العالي t_H.

$$tH=0.693(R_1+R_2)C=0.693(10*10^3+15*10^3)*0.22*10^{-6}$$
$$=3.8msec$$

زمن المستوى الواطيء t_L.

$$t_L=0.693R_2C=0.693*15*10^3*0.22*10^{-6}=2.29msec$$

أما زمن الموجة T فهو

$$T=t_H+t_L=3.8+2.29=6.09msec$$

طريقة ثانية

$$f=\frac{1}{T}=\frac{1}{6.09*10^{-3}}=164Hz$$

- النسبة المئوية لدورة التشغيل يمكن حسابها بإحدى الطرقتين.

$$\%D=\frac{t_H}{T}*100=\frac{3.8msec}{6.09msec}*100=62.45\%$$

أو

$$\%D=\frac{R_1+R_2}{R_1+2R_2}*100=\frac{10k+15k}{10k+2*15k}*100=62.5\%$$

مثال: في دائرة المؤقت 555 كمهزاز غير مستقر بتردد 10KHz ودورة تشغيل 75% إذا كانت قيمة المتسعة 0.002μF أحسب R_1 و R_2.

الحل: نرسم الدائرة أولاً ثم نثبت مواقع R_1 و R_2 و C.

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \Rightarrow 10*10^3 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)*0.22*10^{-6}}$$

$$R_1 + 2R_2 = 70*10^3 \quad \text{..... (1)}$$

$$\%D = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}*100 \Rightarrow 75 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}*100$$

$$R_1 + R_2 = 0.75(R_1 + 2R_2) = 0.75*70*10^3$$

$$R_1 + R_2 = 52.5*10^3 \quad \text{..... (2)} \qquad R_1 = 17.5K\Omega, \qquad R_2 = 35K\Omega$$

بحل المعادلتين (1) و (2) نحصل على:

طريقة ثانية:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10*10^3} = 0.1msec = 100\mu sec$$

$$\%D = \frac{t_H}{T}*100 \Rightarrow 75 = \frac{t_H}{0.1*10^{-3}}*100 = 62.45\%$$

$$t_H = 0.075sec = 75\mu sec \qquad t_L = T - t_H = 100 - 75 = 25\mu sec = 0.025msec$$

$$R_2 = \frac{25}{0.693*0.002} = 18K\Omega$$

$$t_H = 0.693(R_1 + R_2)C \Rightarrow 75*10^{-6} = 0.693(R_1 + 18*10^3)*0.002*10^{-6}$$

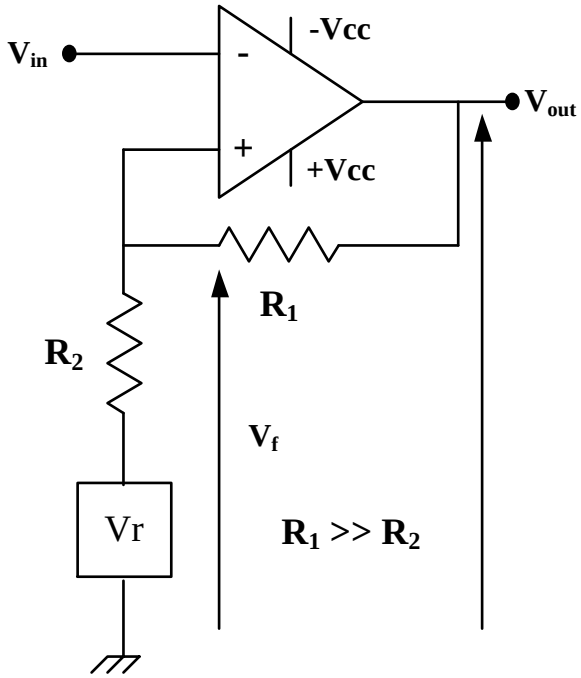
ملاحظة: بإمكان الطالب الحل بإحدى الطريقتين أعلاه.

$$\frac{75}{0.002*0.693} = R_1 + 18*10^3 \qquad 54*10^3 = R_1 + 18*10^3 \qquad \therefore R_1 = 36K\Omega$$

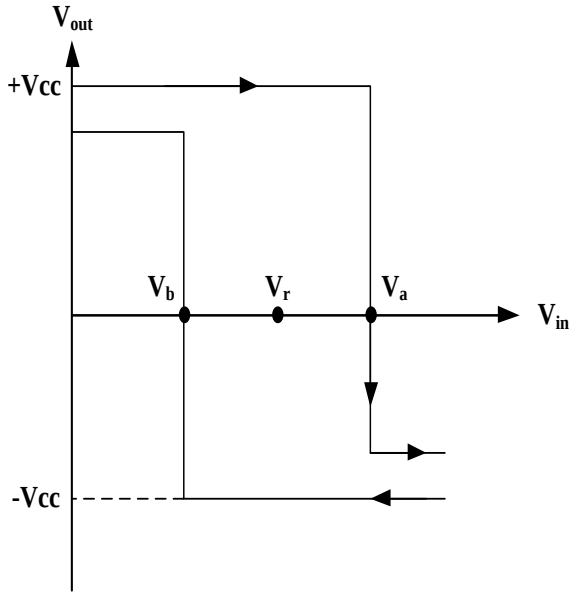
قادح (مقداح) شميت Schmitt Trigger

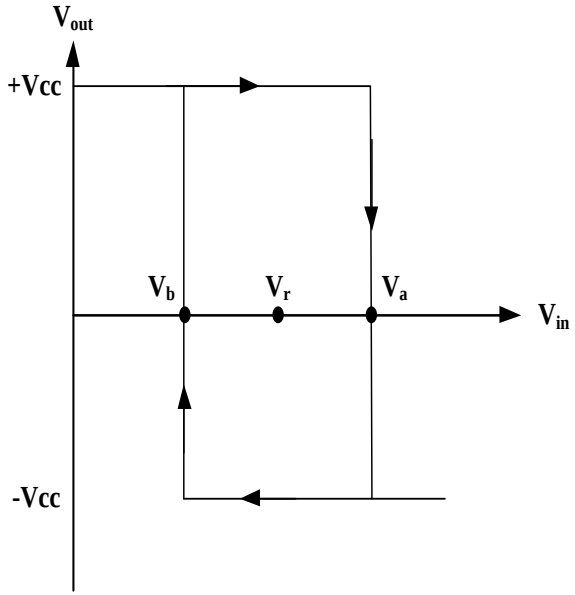
وهي من الدوائر المستخدمة كثيراً في توليد نبضات القدح لما تمتاز به من مناعة ضد الضوضاء. وقسم من دوائر البوابات المنطقية كدائرة لاو NAND (الدائرة المتكاملة 7413 والدائرة المتكاملة 74132) ودائرة النفي NOT (الدائرة المتكاملة 7414) تعتمد في تركيبها الداخلي قادح شميتّ.

ودائرته مركبة من دائرة العبور الصفري ودائرة المقارن التناظري كما موضح في الشكل أدناه، علماً أن قادح شميتّ يسمى أيضاً مقارن إعادة التوليد (Regenerating Comparator):



(دائرة قادح شميتّ)





(منحني عمل دائرة قادح شميتّ (حلقة جهد التخلفية))

حيث أن:

جهد القدح الأعلى (Upper trigger potential) V_{Utp} = V_a

جهد القدح الأسفل (Lower trigger potential) V_{Ltp} = V_b

الفرق بين V_a، V_b يسمى جهد التخلفية (Hysteresis Voltage).

<u>ملاحظة</u>:

عندما تكون V_R=0 فإن الدائرة نفسها تبقى مع عمل V_r دائرة قصيرة short أي أن المقاومة R_2 ترتبط مباشرة بالأرضي وعندها يكون:

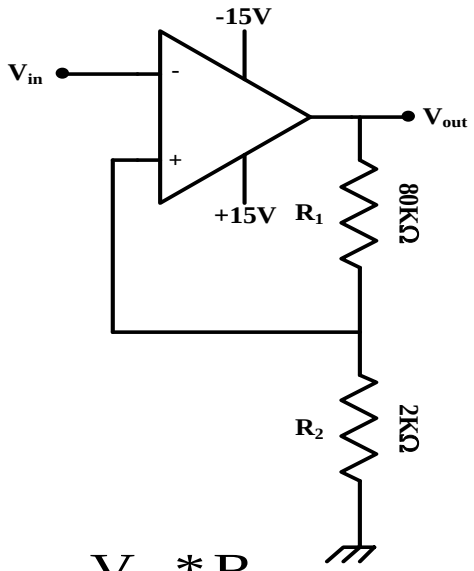
$$V_a = -V_b = V_{Utp} = -V_{Ltp} = \mp \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} * R_2$$

مثال:

في دائرة قادح شميث إذا كانت $R_1=80K$، $R_2=2K$، $V_{cc}=\pm15V$. أرسم موجة الإخراج نسبة إلى موجة إدخال

الحل:

نرسم الدائرة ثم نحدد القيم عليها ونوجد جهد القدح الأعلى وجهد القدح الأسفل:

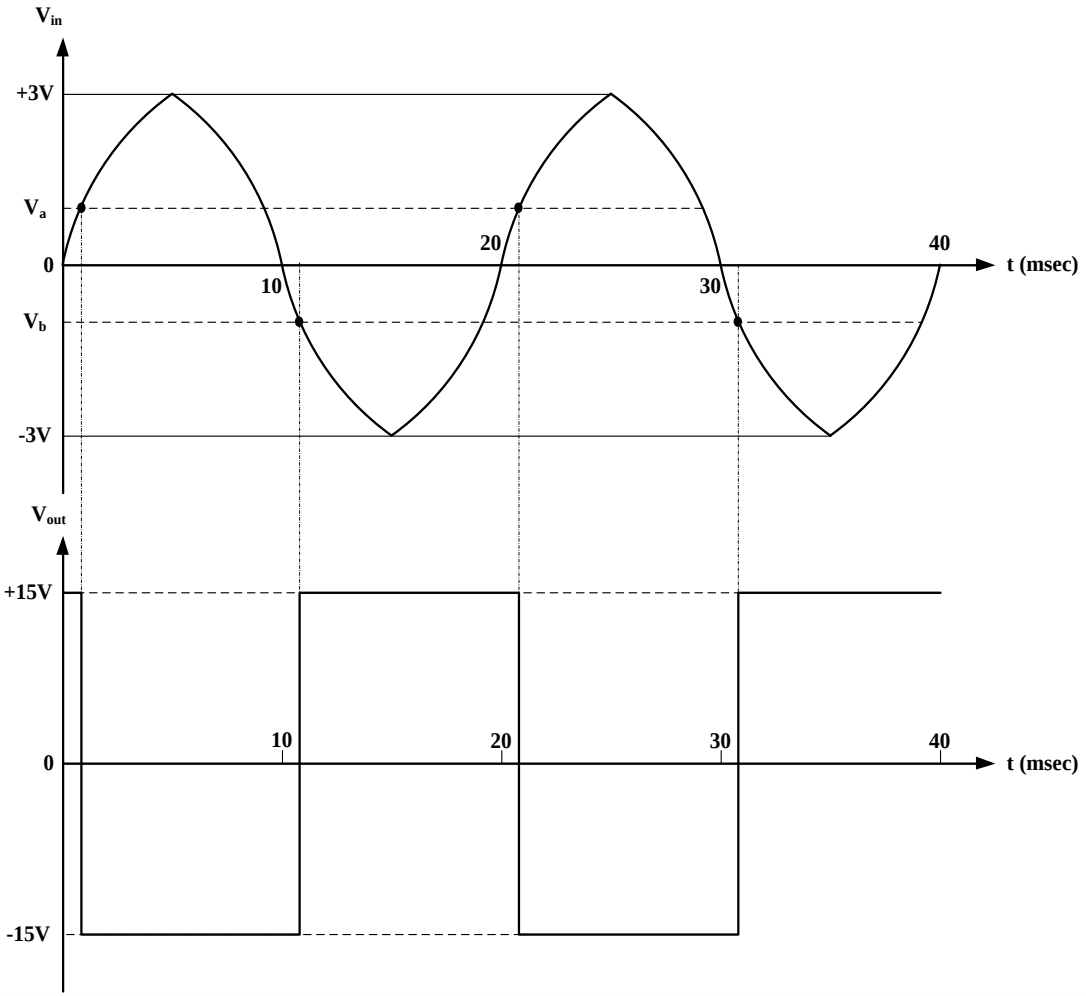


$$V_a = V_{Utp} = \frac{V_{cc} * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{15 * 2K\Omega}{(80+2)K\Omega} = 0.37V$$

$$V_b = V_{Ltp} = -\frac{V_{cc} * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{15 * 2K\Omega}{(80+2)K\Omega} = -0.37V$$



Schmitt Oscillator

مذبذب شميت

تعتبر دائرة مذبذب شميت إحدى دوائر توليد الموجة المربعة باستخدام مكبر العمليات، وهي بمثابة مهتز غير مستقر بمدى تردد من 10Hz إلى 10KHz (هذا المدى يختلف عن مدى المهتز غير المستقر باستخدام ترانزستورين وكذلك يختلف عن مدى المهتز غير المستقر باستخدام مؤقت 555).

نظرية العمل

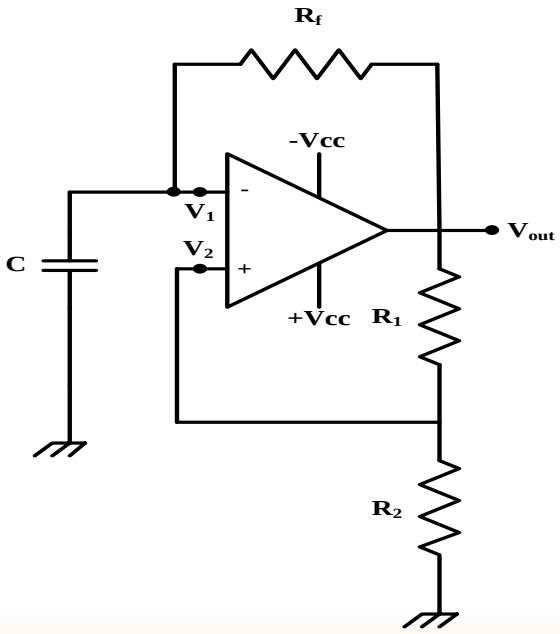
تعتمد فكرة عمل دائرة مذبذب شميت على مبدأ عمل القارن التناظري كلياً، حيث أن الإخراج V_{out} يعتمد على المقارنة بين V_1 و V_2 فعندما يكون الإخراج V_{out} في التشبع الموجب ($+V_{cc}$) (هذا يعني أن $V_2>V_1$) فإن المتسعة C تشحن لحين يصبح الجهد على طرفيها (V_1) أكبر من جهد V_2 (الذي يساوي K+) عندها يتحول الإخراج V_{out} إلى التشبع السالب ($-V_{cc}$) لأن $V_1>V_2$، بعد ذلك تبدأ المتسعة بالتفريغ إلى أن يقل الجهد على طرفيها (V_1) عن جهد V_2
(المساوي K–) وعندها يتحول الإخراج إلى التشبع الموجب وهكذا تستمر
عملية شحن وتفريغ المتسعة وبزمن متساوٍ $T_1=T_2$ (لأن دائرة الشحن هي نفسها دائرة التفريغ).

حيث أن

$$T = T_1 + T_2$$

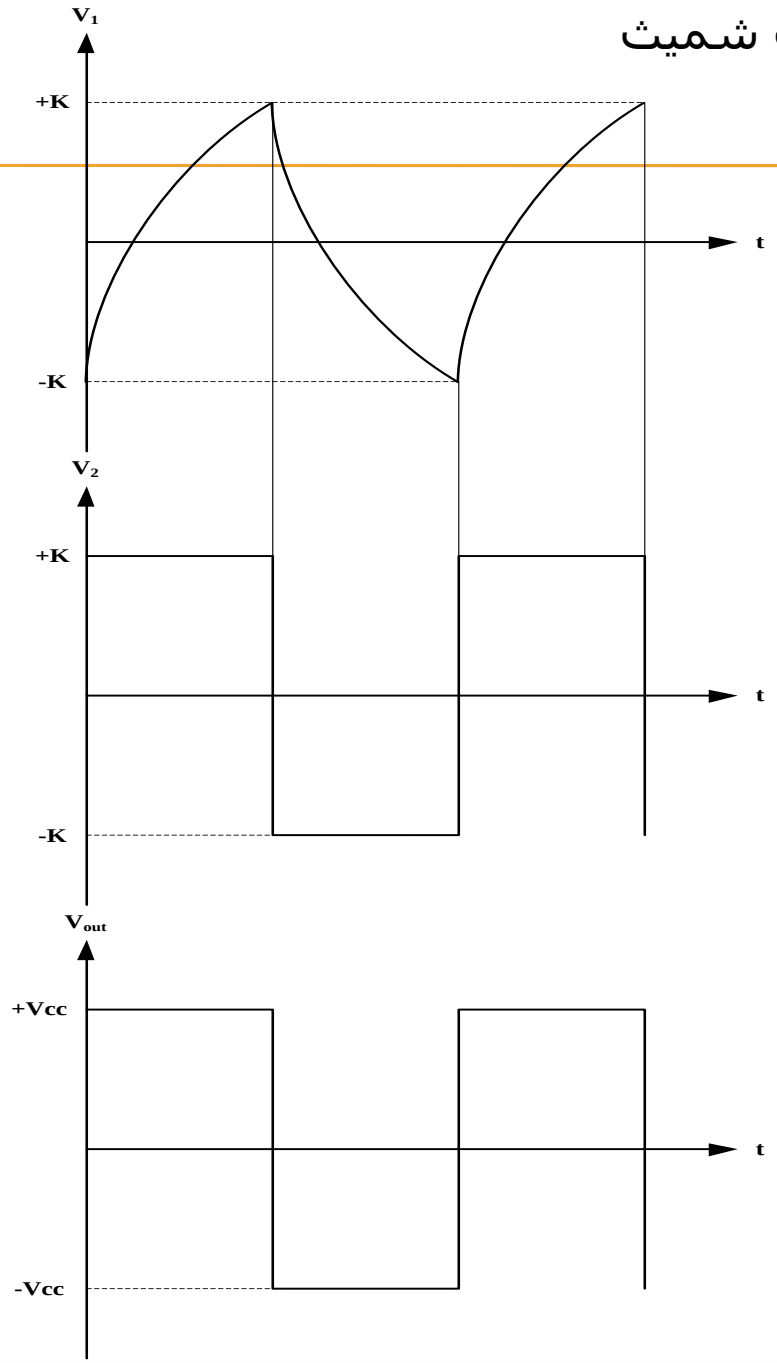
$$T = 2 * C * R_f * \ln\left(1 + 2 * \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$f = \frac{1}{T}$$



دائرة مذبذب شميث

أشكال الموجات لدائرة مذبذب شميث



مثال: في دائرة مذبذب شميت إذا كانت $C=0.22\mu F$، $V_{cc}=\pm 12V$، $R_f=R_1=R_2=10K\Omega$. أحسب تردد موجة الإخراج مع رسم شكل الموجة.

الحل:

أولاً: نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها بعد ذلك نحسب زمن الموجة ثم التردد.

$$T = 2*C*R_f*\ln\left(1+2*\frac{R_2}{R_1}\right)$$

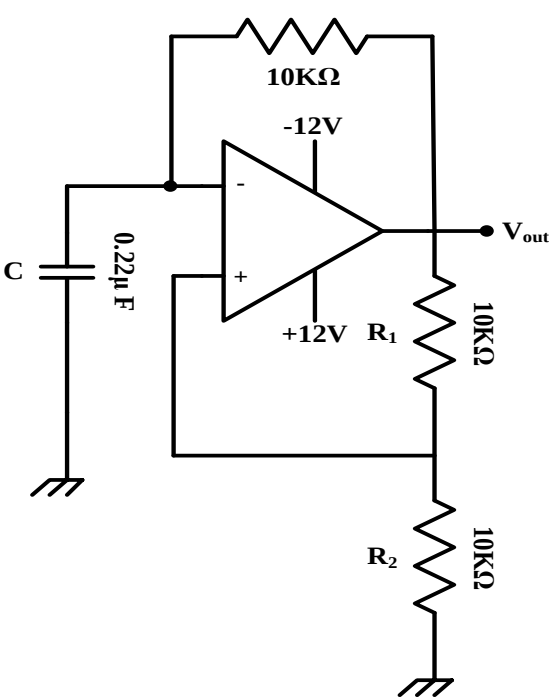
$$T = 2*0.22*10^{-6}*10*10^{3}*\ln\left(1+2*\frac{10K\Omega}{10K\Omega}\right)$$

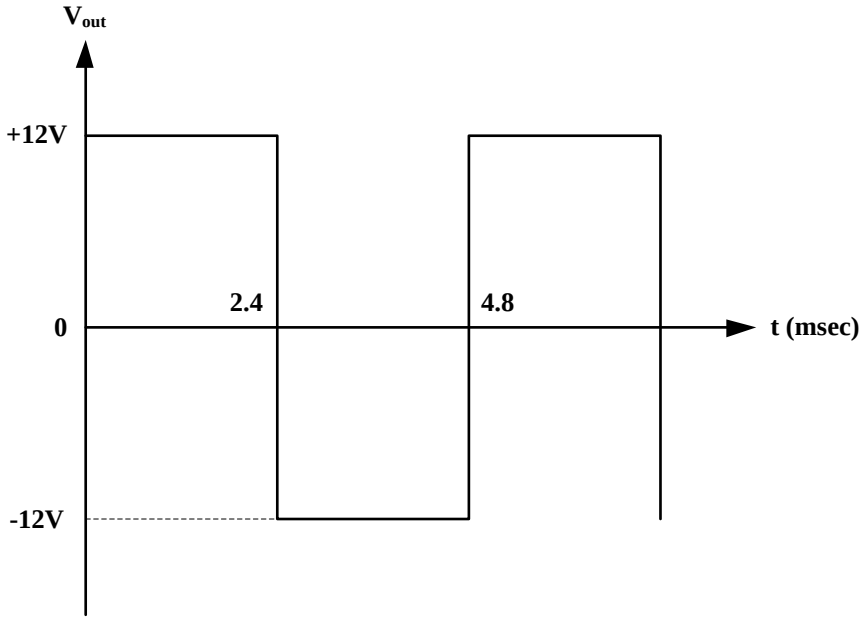
$$= 0.44*10^{-2}*\ln(3)$$

$$= 4.8\,msec$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.8*10^{-3}}$$

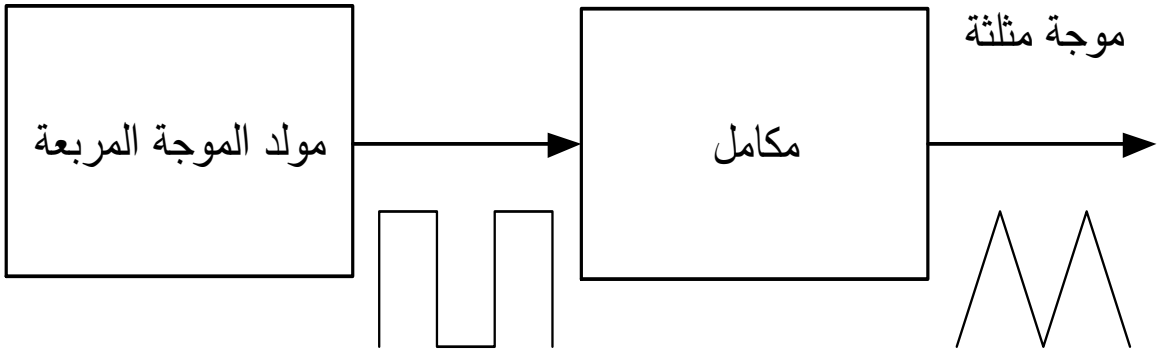
$$= 207\,Hz$$





مولد الموجة المثلثة

احدى الدوائر المستخدمة في توليد الموجة المثلثة هي المبين مخططها الكتلي أدناه علماً ان تردد الموجة المثلثة هو نفس تردد موجة الإدخال المربعة.



مذبذب أحادي الاستقرار (مولد النبضة) باستخدام مكبر العمليات

لـه نفس التسميات التـي ذكرناها فـي دائرتـي أحـادي الاستقرار السـابقتين (أحـادي الاسـتقرار باسـتخدام ترانزسـتورين وأحـادي الاسـتقرار باستخدام مؤقت 555) وله نفس المبدأ أيضاً حيث له حالة مستقرة وحالة غير مستقرة. ويبين الشكل أدناه رسم الدائرة:

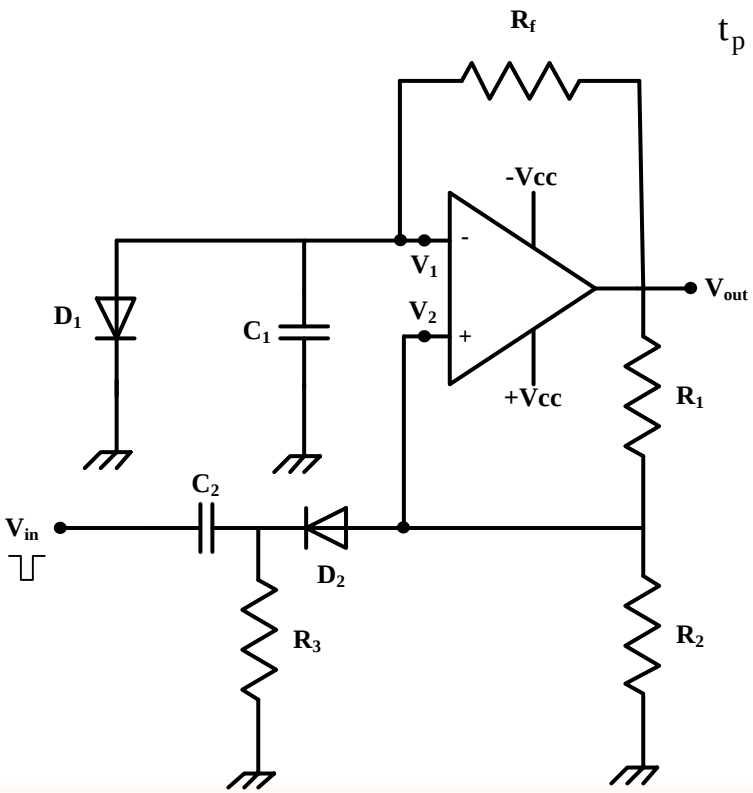
نظرية عمل الدائرة

تعتمد فكرة عمل الدائرة على مبدأ المقارن التناظري كما هو الحال في دائرة مذبذب شميت.

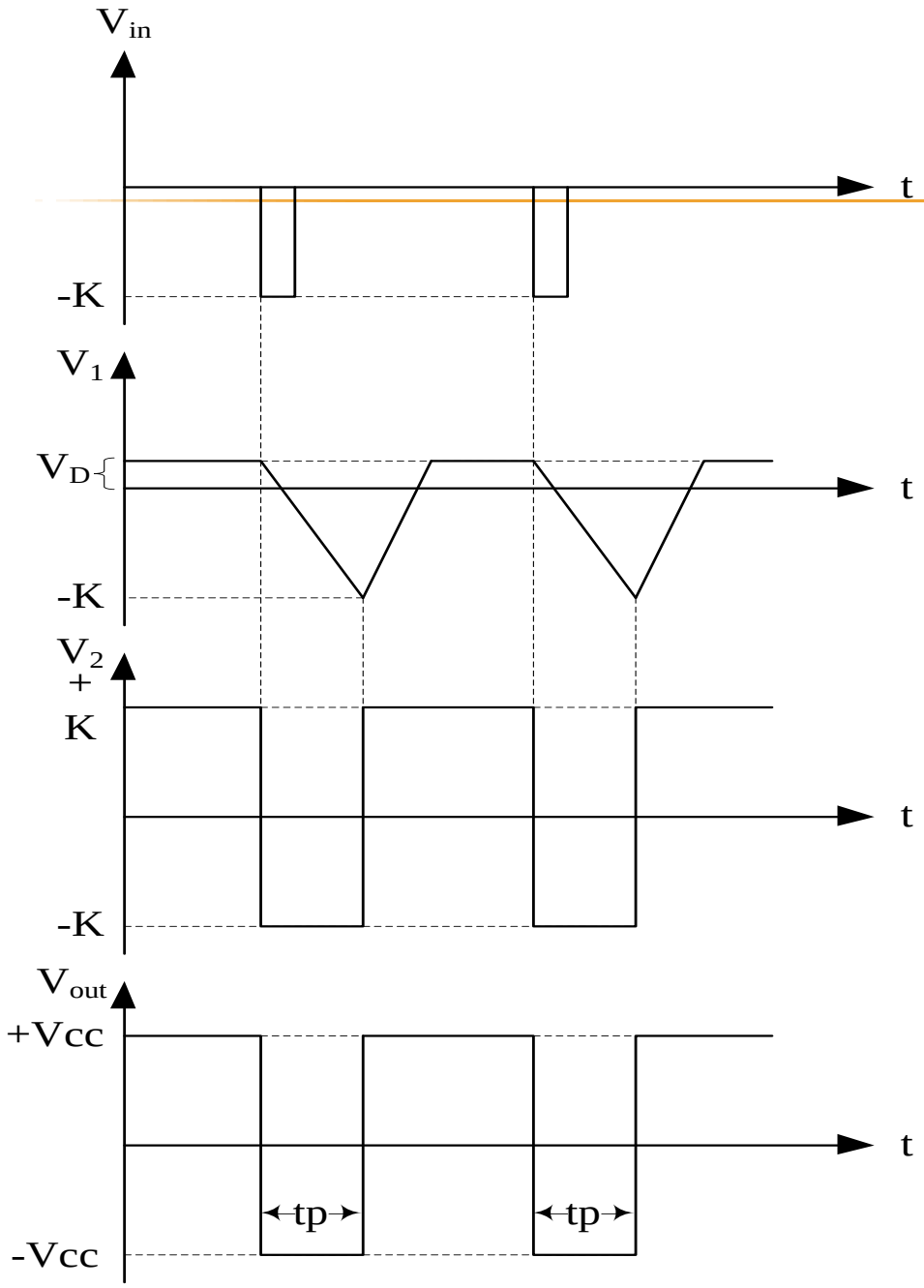
فعند عدم وجود نبضة قدح سالبة Vin فإن الإخراج يكون في التشبع الموجب Vcc+ وهي حالة الاستقرار بسبب ان الثنائي D1 يكون منحاز أمامياً وجهده (0.7V أو 0.3V للسيليكون والجرمانيوم على التوالي) الذي يمثل V1 أصغر من V2 المساوي K+ وبهذا يكون V2>V1، وتستمر حالة الاستقرار ما لم تأتي نبضة قدح سالبة. أما عند مجيء نبضة قدح سالبة Vin ذو قيمة K– فإن الثنائي D2 ينحاز أمامياً مما يجعل V2 مساويةK- وهذا يعني أن V1>V2 فعندها يتحول الإخراج إلى التشبع السالب Vcc– (وهي الحالة الغير المستقرة) مما يجعل D1 ينحاز عكسياً وتقوم المتسعة C1 بالشحن بالاتجاه السالب ويستمر إلى أن يصبح الجهد على طرفيها وهو (V1) أقل من K– ويستمر الشحن لفترة زمنية تمثل عرض نبضة الإخراج t_p حيث:

$$t_p = \frac{R_2}{R_1} * C_1 * R_f$$

عندها يكون V2>V1 ويتحول الإخراج إلى التشبع الموجب Vcc+ وهي حالة الاستقرار.



(دائرة أحادي الاستقرار (مولد النبضة))



شكال الموجات لمولد النبضة (أحادي الاستقرار)
استخدام مكبر العمليات

$$K = V_{cc} * \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Active Filters

هي الدوائر التي تقوم بترشيح وتكبير الترددات المطلوبة وقطع الترددات الأخرى، وتتألف من مقاومات ومتسعات ومكبر عمليات. ولها محاسن ومساوي هي:

المحاسن Advantages

- صغيرة الحجم وخفيفة الوزن بسبب عدم استخدام المحاثة.
- تعمل على تكبير الإشارات بالإضافة إلى الترشيح.
- تعمل كعازل بسبب ممانعة المكبر العالية.
- تعمل بالترددات العالية تصل إلى 1MHz.
- تعمل بالترددات القليلة تصل إلى 1Hz.
- لها اعتمادية عالية.
- تصمم بطريقة غير معقدة.

المساوي Disadvantages

- تحتاج إلى مجهزات قدرة (±Vcc).
- قد تتأثر بالضوضاء مما يحولها إلى مهتزات.
- الإدخال والإخراج محدود (±Vcc) كما أن تيار الإخراج محدود بالملي أمبير.

عالية نتاج إلى مقاومات ومتسعات ذات حجم كبير وعدد من الـ Qللحصول على عامل جودة IC's.

ويقوم بإمرار الترددات الواطئة فقط، ودائرتهُ ومنحني الاستجابة الترددية له مبين أدناه:

نظرية عمل الدائرة

تظهر المتسعة C_1 كدائرة مفتوحة عند الترددات الواطئة وتعمل الدائرة كمكبر قالب بتكبير ($A = -\frac{R_2}{R_1}$)

ومع زيادة التردد تقل المفاعلة السعوية $X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C1_1}$

مسببة هبوط تكبير الجهد. وعندما يزداد التردد بصورة كبيرة جداً تبدو المتسعة كدائرة قصر (short) ويقترب التكبير من الصفر كما يوضح هذا المنحني الاستجابة الترددية حيث يكون التكبير عالي في الترددات القليلة. وعندما يتساوى التردد مع تردد القطع أو (التردد الحرج) فإن التكبير يهبط بمقدار 3dB عن أعظم تكبير A(لأن $Av = \frac{A}{\sqrt{2}}$

عند هذا التردد)، بعد هذا التردد يهبط التكبير بمعدل كبير إلى أن يصل صفر تقريباً.

ملاحظة:

تردد القطع يسمى أيضاً التردد الحرج (critical freq.)

اشتقاق معادلة تردد القطع fc:

$$Z_1 = R_1 \ \& \ Z_2 = R_2 \ // \left(\frac{1}{jwc_1}\right)$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\frac{1}{jwC_1}} = \frac{1}{R_2} + jwc_1 = \frac{1 + jwR_2C_1}{R_2}$$

$$\therefore \ Z_2 = \frac{R_2}{1 + jwR_2C_1}$$

$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{1 + jwR_2C_1}$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + (wR_2C_1)^2}}$$

عند تردد القطع (cutting freq.) يهبط التكبير بمقدار 3dB وعندها يكون:

$$W_cR_2C_1 = 1 \Rightarrow 2\pi\pi_cR_2C_1 = 1$$

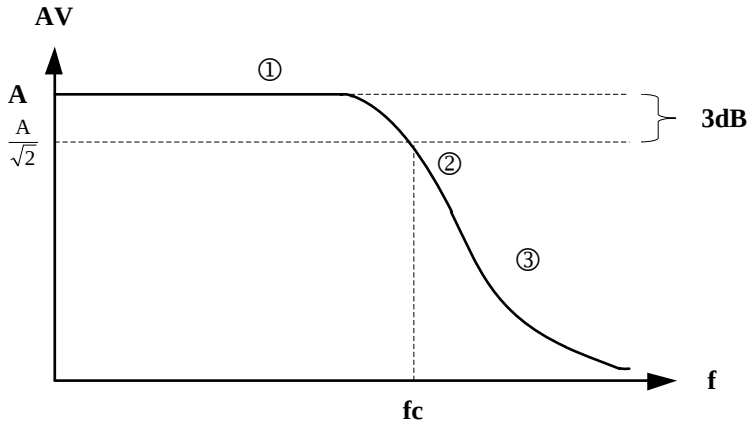
$$\therefore fc = \frac{1}{2\pi R_2C_1}$$

ملاحظة: تردد القطع يسمى أيضاً التردد الحرج (Critical freq.).

سؤال: من أين أتت الـ 3dB؟

الحل: عند تردد القطع يكون التكبير 0.707 من التكبير الأعلى وعليه ومن تطبيق قانون التكبير بالـ dB

عامل التكبير بالديسبيل $Av(indB) = 20\log_{10} Av = 20\log_{10} 0.707 = 20 * 0.15 = 3dB$



•1- عند الترددات الواطئة (قبل تردد القطع بكثير) بالإمكان إهمال تأثيرات.

$$Av_1 = -\frac{R_2}{R_1}$$

•2- عند تردد القطع:

$$Av_2 = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{1^2 + (WR_2C_1)^2}}$$

(لأن WR2C1=1)

$$= -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

•3- بعد تردد القطع بكثير أي $f \geq 10\ fc$ بالإمكان إهمال تأثير R_2:

$$Av_3 = -\frac{\frac{1}{WC_1}}{R_1} = -\frac{1}{2\pi\pi f_1 C_1}$$

ملاحظة: C_1 متغيرة تسمح بتغيير تردد القطع fc و R_1 متغيرة للتحكم بالتكبير Av.

مثال: في دائرة مرشح الامرار الواطئ الفعّال إذا كانت $R_1=1K\Omega$، $R_2=100K\Omega$، $C=160PF$. أوجد تردد القطع وارسم منحني الاستجابة الترددية للدائرة.

الحل:

نرسم الدائرة ونثبت عليها القيم ثم نحسب تردد القطع وقيم التكبير في ثلاثة مناطق مختلفة التردد لكي نتمكن من رسم منحني الاستجابة الترددية للمثال وكما يلي:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_1} = \frac{1}{2*3.14*100*10^3*160*10^{-12}} = 10KHz$$

$$Av_1 = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100*10^3}{1*10^3} = -100 \Rightarrow 40dB$$

$$Av_2 = -\frac{R_2}{R_1}*\frac{1}{\sqrt{2}} = -100*\frac{1}{\sqrt{2}} = -70.7 \Rightarrow 37dB$$

أو

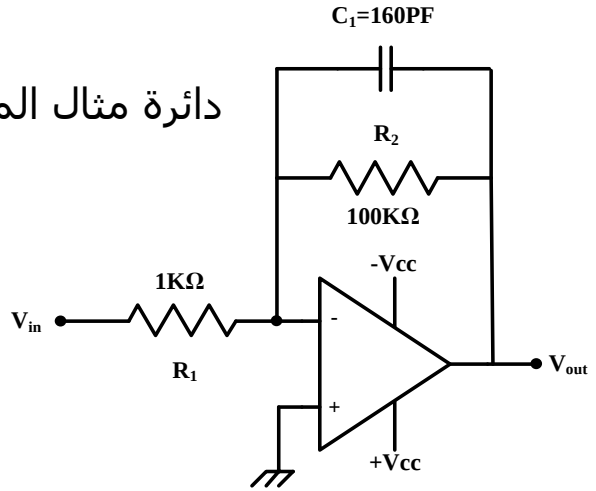
$$= 40 - 3 = 37dB$$

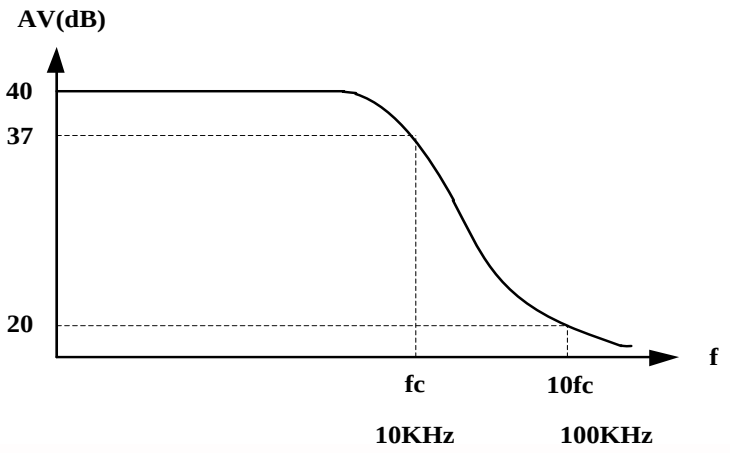
$$Av3 = -\frac{1}{2\pi f R_1 C_1} = -\frac{1}{2*3.14*100*10^3*1*10^3*100*10^{-12}}$$

$$= -10 \Rightarrow 20dB$$

عند f = 10fc

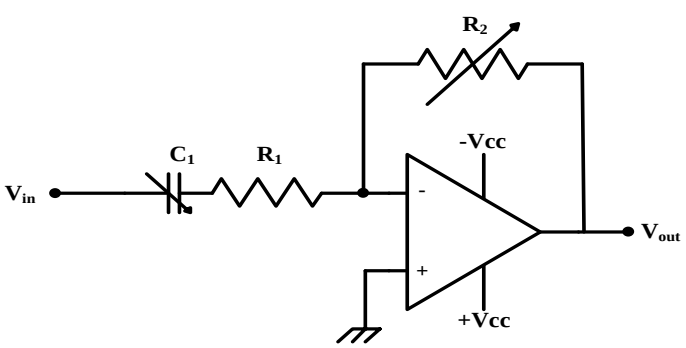
دائرة مثال المرشح LPF الفعال



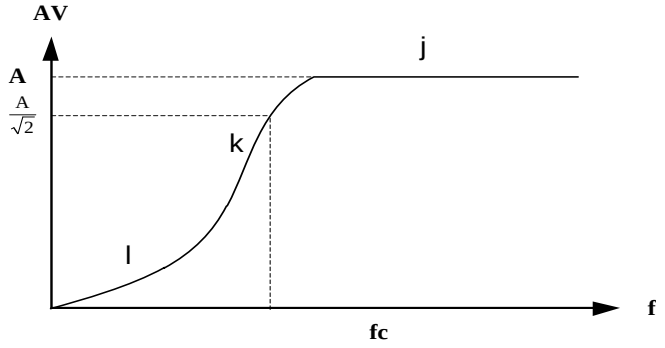


منحني الاستجابة للمثال

يهدف إلى امرار الترددات العالية فقط، ودائرته ومنحني الاستجابة الترددية له كما مبين أدناه:



دائرة مرشح HPF الفعّال



منحني الاستجابة الترددية لمرشح HPF الفعّال

نظرية عمل الدائرة:

عند الترددات القليلة فإن المتسعة C_1 تبدو كدائرة مفتوحة ويكون التكبير صفر تقريباً، ومع ازدياد التردد تقل المفاعلة السعوية ويزداد التكبير تدريجياً لحين تساوي التردد مع تردد القطع فإن

$$Av_2 = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

. وفي الترددات العالية أكبر من تردد القطع فإن المتسعة تتصرف كدائرة قصيرة (short) وعندها يكون التكبير أعلى ما يمكن $Av_1=A$ حيث

$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$

لأن الدائرة تبدو كمكبر قالب. نظرية العمل هذه تكون واضحة من خلال منحني الاستجابة الترددية.

عند تردد القطع يقل عامل التكبير بمقدار 3dB عن القيمة العليا لمتكبر A وهذا يتحقق عندما: $WcR_1C_1 = 1$

$$2\pi fcR_1C_1 = 1 \Rightarrow fc = \frac{1}{2\pi R_1C_1}$$

أما عامل التكبير فيمكن حسابه من العلاقات التالية:

1- عند الترددات العالية $Av_1 = -\frac{R_2}{R_1}$

2- عند تردد القطع:

$$Av_2 = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{1^2 + (WR_2C_1)^2}}$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{2}}$$

3- عند الترددات الواطئة $f \le \frac{fc}{10}$

$$Av_3 = -\frac{R_2}{\frac{1}{jWC_1}} = -jWC_1R_2 = -2\pi fR_2C_1$$

ملاحظة: C_1 متغيرة لتغيير تردد القطع R_2 متغيرة للتحكم بالتكبير.

مثال:

في دائرة مرشح الامرار العالي الفعّال HPF إذا كانت $R_1=33K\Omega$، $R_2=330K\Omega$ و $C_1=47nF$. أوجد تردد القطع ثم أرسم منحني الاستجابة الترددية للدائرة.

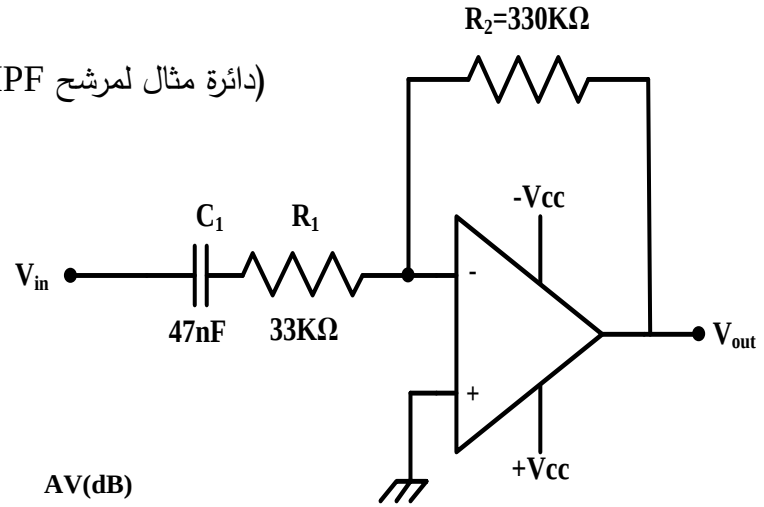
الحل:

أولاً: نرسم الدائرة ثم نثبت عليها ثم نوجد تردد القطع وقيم التكبير في ثلاثة نقاط مختلفة التردد لكي نتمكن من رسم منحني الاستجابة الترددية.

تردد القطع $$fc = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

$$= \frac{1}{2*3.14*33*10^3*47*10^{-9}}$$

$$= 100Hz$$



(دائرة مثال لمرشح HPF الفعّال)

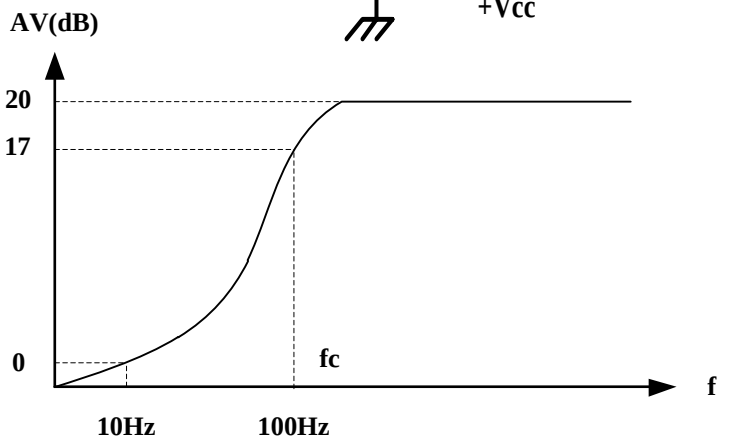
التكبير عند الترددات العالية $$Av_1 = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{330*10^3}{33*10^3}$$

$$= -10 \Rightarrow 20dB$$

$$Av_3 = -2\pi f R_2 C_1 = -2\pi *10*330*10^3*47*10^{-9}$$

$$= -1 \Rightarrow 0dB$$

التكبير عند تردد واطئ $$f = \frac{fc}{10}$$



(منحني الاستجابة الترددية لمثال مرشح HPF الفعّال)

التغذية الخلفية (العكسية) Feedback

تعريفها

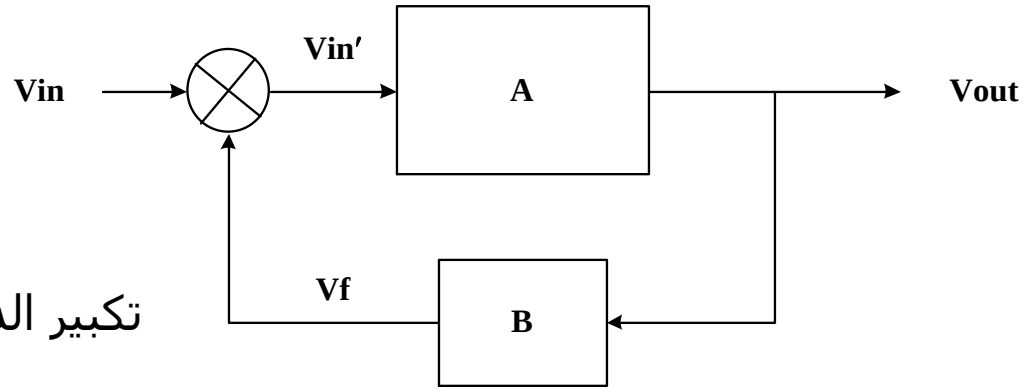
وهي أخذ جزء من إشارة الإخراج وإرجاعها كإشارة إدخال (رئيسي أو إضافي) للدائرة، وتكون على نوعين: الموجبة التي تستخدم في المذبذبات والسالبة التي تستخدم في المكبرات.

ويوضح المخطط أدناه فكرة التغذية الخلفية.

تكبير الدائرة المفتوحة: $A = \frac{Vout}{Vin'}$

عامل التغذية الخلفية: $B = \frac{Vf}{Vout}$

تكبير الدائرة المغلقة: $Av = \frac{Vout}{Vin} = \frac{A}{1 \mp AB} \cong \frac{1}{B}$



اشتقاق علاقة الـ Av:

$$Vin' = Vin \mp BVout$$

$$Vout = AVin = A(Vin \mp BVout)$$

$$Vout = AVin \mp ABVout$$

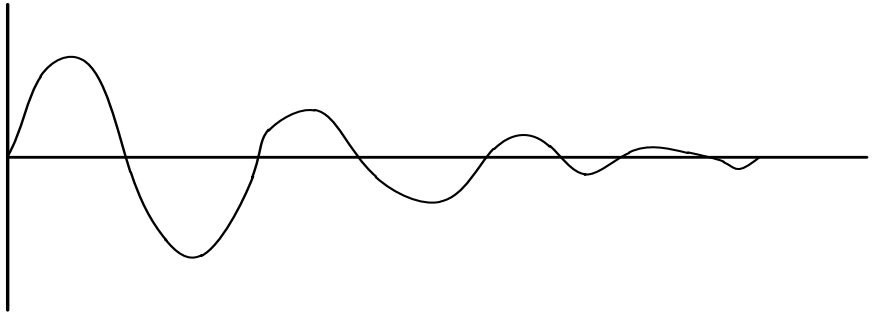
$$Vout \mp ABVout = AVin$$

$$Vout(1 \mp AB) = AVin$$

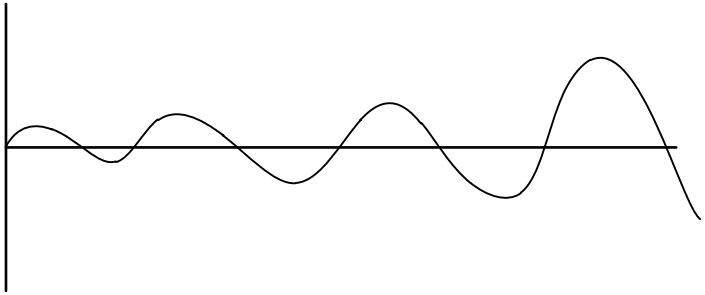
$$\therefore \frac{Vout}{Vin} = \frac{1}{1 \mp AB} = Av$$ و.هـ.م

حالات AB:

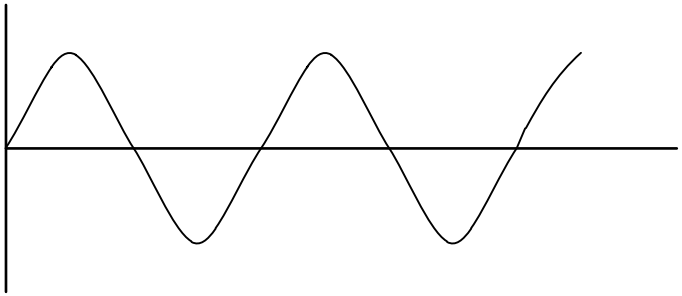
- إذا كانت AB<1 تتلاشى الإشارة بالتدريج لأننا نقوم بإعادة جهد تغذية تتناقص قيمتها (تغذية خلفية سالبة).



- إذا كانت AB>1 تتنامى الإشارة بالتدريج لأن الإشارة المعاد تغذيتها تزداد قيمتها (تغذية عكسية موجبة).



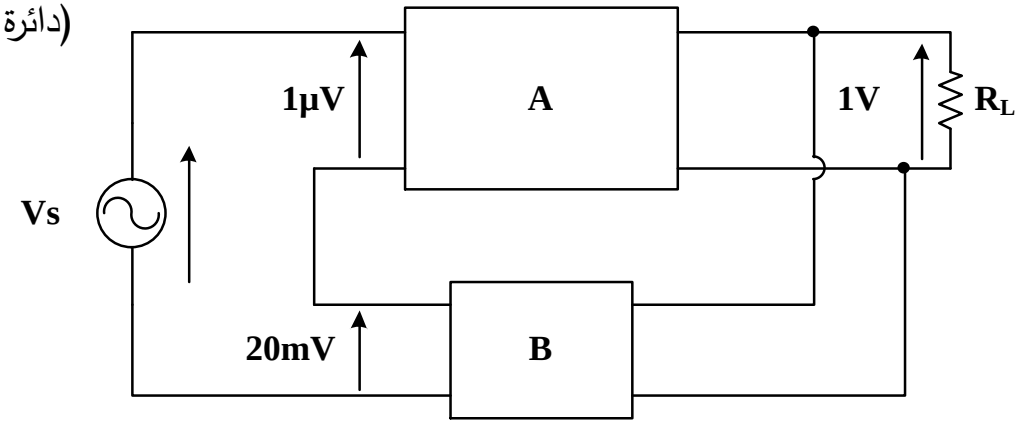
- إذا كانت AB=1 تبقى الإشارة ثابتة لأن الإشارة المعاد تغذيتها تبقى ثابتة القيمة (حالة تذبذب).



مثال:

في الدائرة المبينة أدناه، أحسب : A، B و AV.

(دائرة المثال المعطاة)



الحل:

عند مناظرة دائرة المثال المعطاة مع مخطط التغذية الخلفية نستنتج ما يلي:

$$Vf = 20mV,\ Vin' = 1\mu V,\ Vout = 1V,\ Vin = Vs = 20.001mV$$

وعليه يمكن ايجاد المطلوب كما يأتي:

$$A = \frac{Vout}{Vin'} = \frac{1V}{1\mu V} = \frac{10^6\,\mu V}{1\mu V} = 10^6$$

$$B = \frac{Vf}{Vout} = \frac{20mV}{1V} = \frac{20mV}{1000mV} = 0.02$$

$$Av = \frac{Vout}{Vin} = \frac{1}{20.001mV} = \frac{1000mV}{20.001mV} = 50$$

المذبذبات Oscillators

وهي دوائر اليكترونية تقوم بتوليد موجات جيبية (بدون إشارة إدخال خارجية) باستخدام مبدأ التغذية الخلفية الموجبة، وتستعمل المذبذبات في دوائر الإرسال لتوليد الموجات الحاملة (Carrier Waves) وفي دوائر الاستقبال لتوليد التردد البيني (IF).

شروط التذبذب

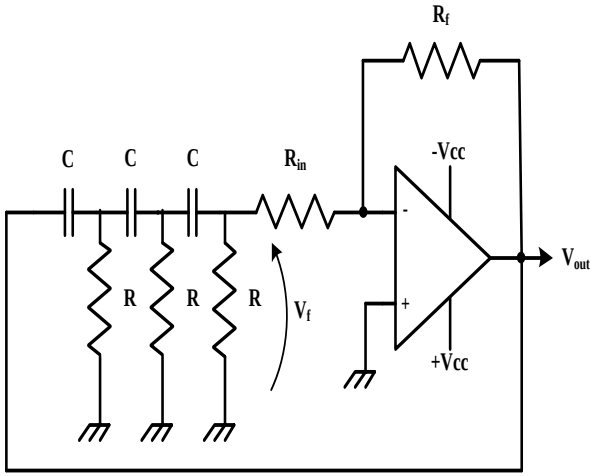
- وجود فرق طور 0° أو 350° (أي تغذية خلفية موجبة) بين Vf و Vout.
- AB=1 (في البداية أكبر من واحد ثم تقل إلى الواحد.
- وجود فولتية بدء (شوشرة) noise.

جدول مقارنة بين بعض أنواع المذبذبات

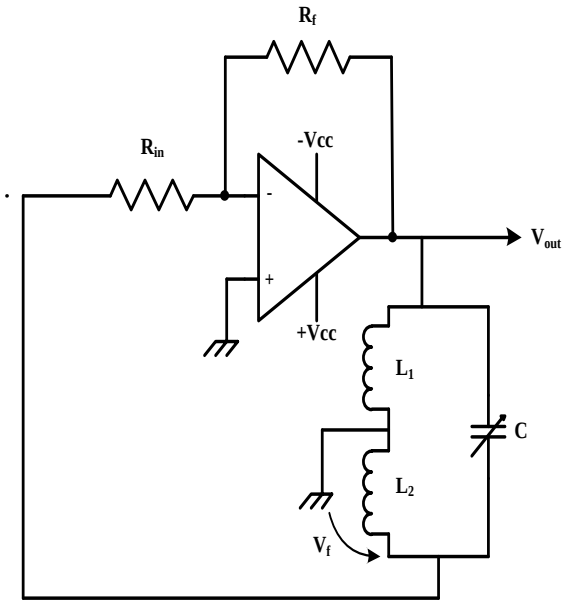
مذبذب إزاحة الطور	مذبذب هارتلي	مذبذب كولبيتس
1. يقوم بتوليد موجة جيبية بمدى تردد من 5Hz إلى 800KHz.	1. يقوم بتوليد موجة جيبية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من 500MHz.	1. يقوم بتوليد موجة جيبية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من 500MHz.
2. تردد التذبذب (الرنين). $fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$	2. تردد التذبذب (الرنين). $fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad ; \quad L = L_1 + L_2$	2. تردد التذبذب (الرنين). $fo = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \; ; \; C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$
3. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{1}{29}$	3. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{L_2}{L_1}$	3. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{C_1}{C_2}$
4. تكبير المكبر . $\left[A\frac{Rf}{Rin}\right] 29 \le A$	4. تكبير المكبر . $A = \frac{Rf}{Rin} \quad \frac{L_1}{L_2} \le A$	4. تكبير المكبر . $A = \frac{Rf}{Rin} \quad \frac{C_2}{C_1} \le A$
5. تتألف دائرة التغذية الخلفية من ثلاثة مراحل RC تقوم بإزاحة طور 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° فينتج 350°.	5. تتألف دائرة التغذية الخلفية من ملفين L1و L2 ومتسعة C تقوم بإزاحة طور 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° درجة فينتج 360°.	5. تتألف دائرة التغذية الخلفية من متسعتين C_1و C_2 وملف L تقوم بإزاحة 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° فينتج 360°.

تكملة جدول المقارنة

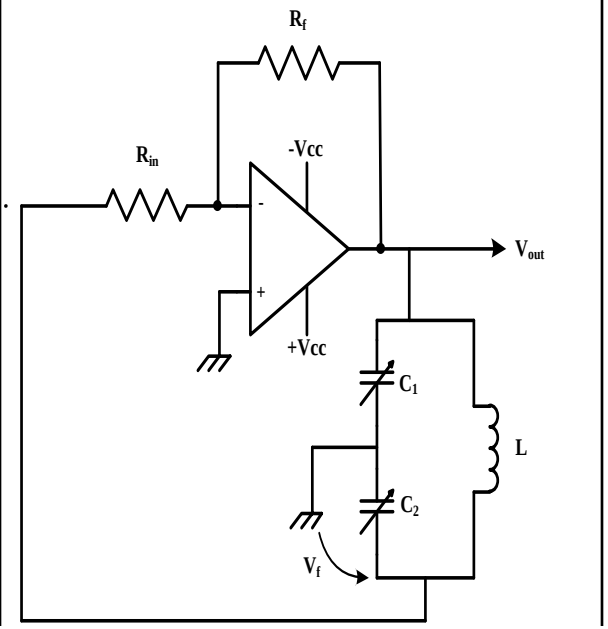
6. رسم الدائرة كما يلي:



6. رسم الدائرة كما يلي:



6. رسم الدائرة كما يلي:



ملاحظة: بالنسبة لمذبذب كولبيتس إذا أضيفت متسعة C3 على التوالي مع الملف L فإن الدائرة تكون أكثر استقرار وتسمى عندئذ مذبذب كلاب، وتصبح التسعة المكافئة لغرض استخدامها في قانون تردد التذبذب هي:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \cong C_3$$

مثال:

في دائرة مذبذب إزاحة الطور إذا كانت R=10KΩ، C=1nf، R_{in}=5KΩ. أحسب تردد التذبذب وقيمة المقاومة R_f اللازمة لعمل الدائرة.

الحل:

نرسم الدائرة ونثبت عليها القيم ثم نوجد f_o و R_f كما يلي:

تردد التذبذب

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

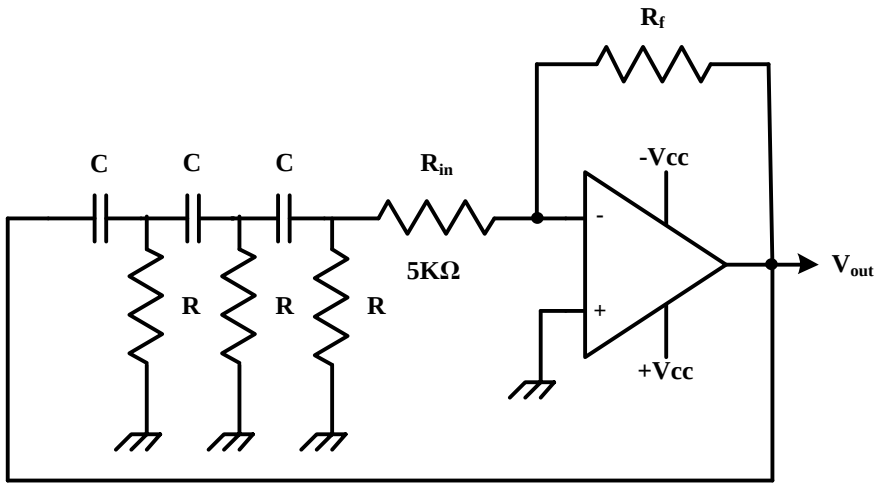
$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{6} * 10 * 10^3 * 1 * 10^{-9}}$$

$$= 6501Hz \quad = 6.5KHz$$

$$A = 29 = \frac{Rf}{Rin}$$

$$\therefore Rf = A * Rin$$

$$= 29 * 5K\Omega \quad = 145K\Omega$$



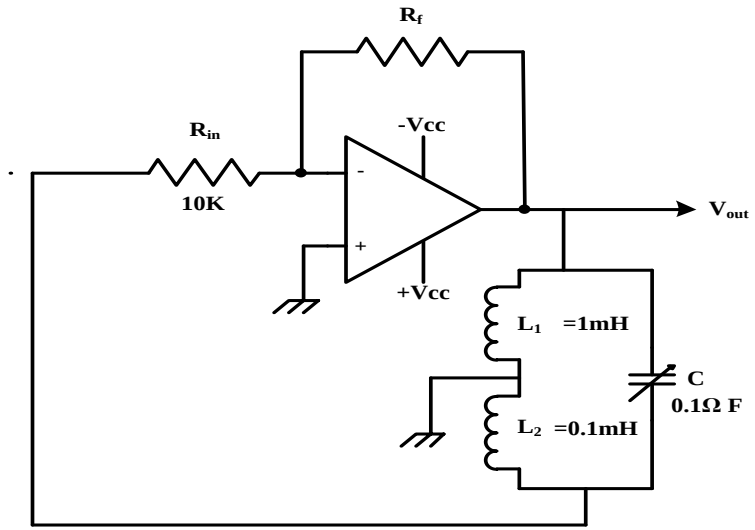
R=10KΩ & C=1nf

مثال:

في دائرة مذبذب هارتلي إذا كانت $L_1=1mH$، $L_2=0.1mH$، $C=0.1f$، $Rin=10k\Omega$. أوجد تردد التذبذب وقيمة المقاومة R_f اللازمة لعمل الدائرة.

الحل:

نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها ونوجد f_o و R_f كما يلي:



تردد التذبذب $fo=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

$L=L_1+L_2$

$=1+0.1 \quad =1.1mH$

$fo=\frac{1}{2\pi\sqrt{1.1*10^{-3}*0.1*10^{-6}}}$

$=15923Hz=15.9KHz$

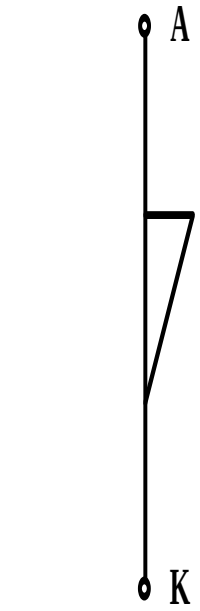
$B=\frac{L_2}{L_1}=\frac{0.1mH}{1mH}=0.1$

$A=\frac{1}{B}=\frac{1}{0.1}=10$

$A=\frac{Rf}{Rin}$

مقاومة التغذية العكسية اللازمة لعمل الدائرة $\therefore Rf=A*Rin=10*10K=100K\Omega$

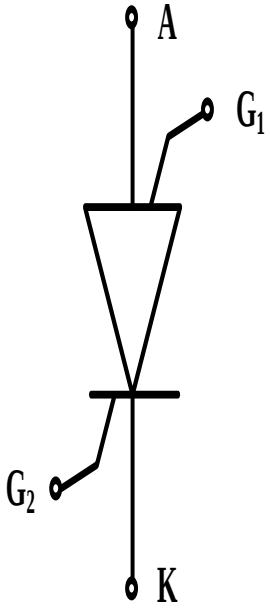
عائلة الثايرستور



SUS

Silicon Unilateral Switch

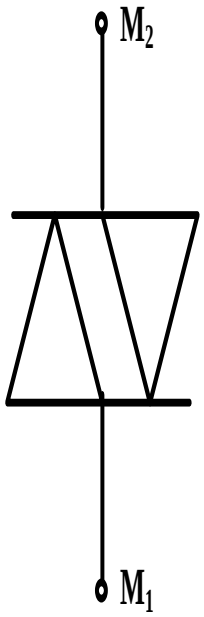
مفتاح سيليكوني أمامي الاتجاه



SCS

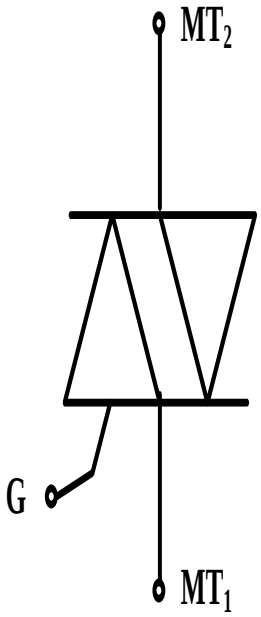
Silicon Controlled Switch

مفتاح سيليكوني متحكم



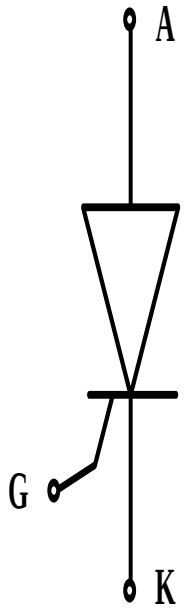
Diac

داياك



Triac

ترایاك



SCR

Silicon Controlled Rectifier

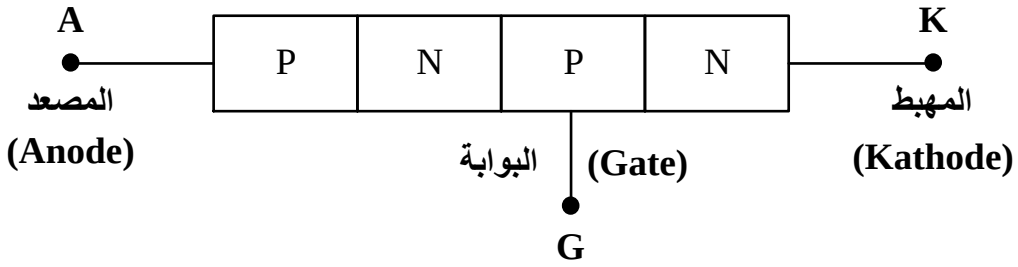
موحد سيليكوني متحكم

الموحد السيليكوني المحكوم Silicon Controlled Rectifier (SCR)

يعتبر الموحد السيليكوني المحكوم (SCR) أهم عائلة الثايروستور وهو عنصر رباعي الطبقة ثنائي القطبية ثلاثي الأطراف. ويشبه في عمله عمل ثنائي القدرة غير أنه يمكن التحكم في توصيله عن طريق طرف البوابة (الغير موجود في الثنائي)، وكذلك يختلف عن الترانزستور ثنائي القطبية كونه عنصر غير فعال أي ليس له القابلية على التكبير وفرق آخر في كونه لا يحتاج إلى فولتية بوابة بشكل مستمر كما في الترانزستور حيث يحتاج إلى فولتية القاعدة بشكل مستمر، أي أنه يمكن تسليط فولتية على البوابة وذلك قطع هذه الفولتية ويبقى في حالة توصيل مشابه لمبدأ الـ Stater في النيون.

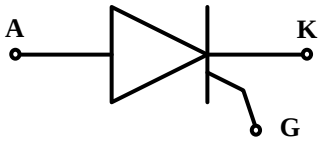
أن الـ SCR هو أحد عناصر اليكترونيات القدرة وهي العناصر التي تتعامل مع الإرشارة الكهربائية عالية التيار ومع الإشارة الالكترونية بنفس الوقت.

يتألف الـ SCR من أربعة طبقات كما يلي:



تركيب الـ SCR

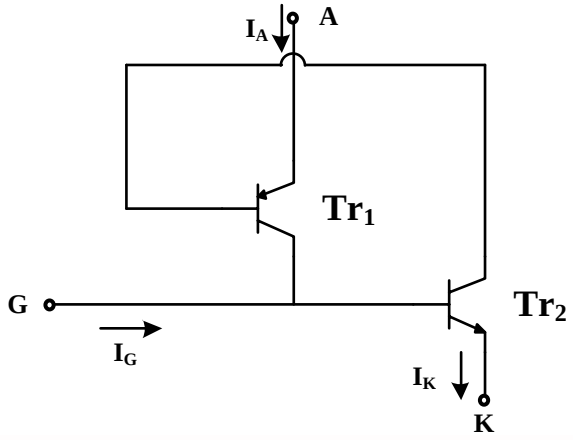
أما رمزه بالرسم فله ثلاثة أطراف كما مبين أدناه:



المصعد (Anode) : طرف دخول التيار.

المهبط (Cathode) : طرف خروج التيار.

البوابة (Gate) : طرف دخول إشارة السيطرة (فولتية القدح)



أما الدائرة المكافئة له فيمكن تمثيله بترانزستورين ثنائية القطبية أحدهما NPN والآخر PNP كما موضح

فحص SCR

يتم فحص الـ SCR باستخدام الافوميتر (الفحص البارد) بنفس طريقة فحص الترانزستور ثنائي القطبية أي أنها ستة فحوصات هي:

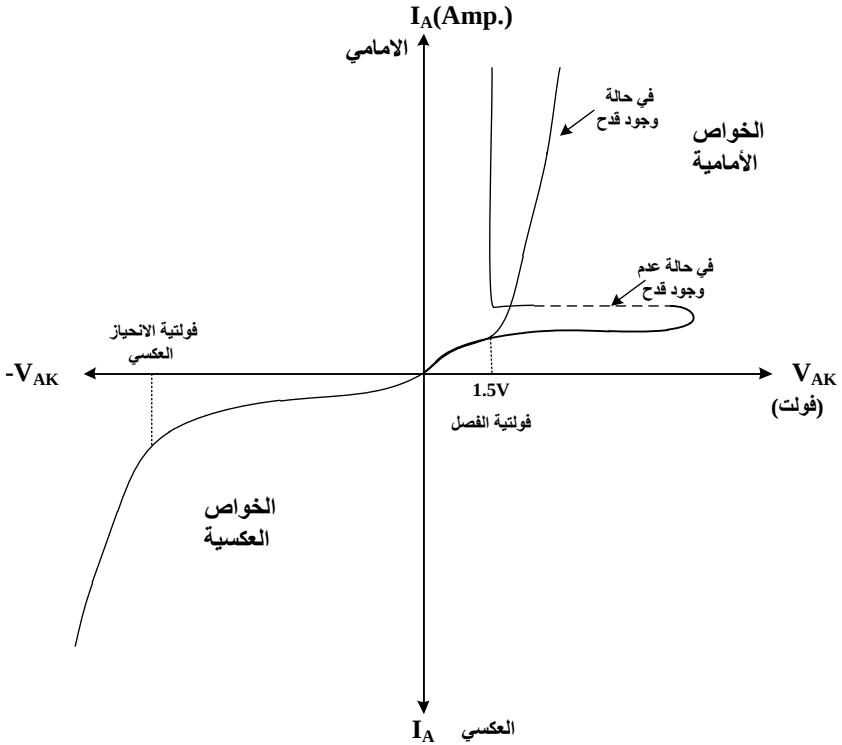
- فحصان بين A و K وتكون مقاومة عالية في الحالتين.
- فحصان بين A و G وتكون مقاومة عالية في الحالتين أيضاً.
- فحصان بين G و K وتكون مقاومة قليلة في اتجاه ومقاومة عالية في الاتجاه الآخر.

وتفيد الفحوصات أعلاه في الأمور التالية:

- تحديد هل أن الـ SCR صالح للعمل أم عاطل.
- تحديد كل طرف A، K، G.
- في بعض أنواع الـ SCR يشبه شكلها بعض أشكال الترانزستورات وتكون الفحوصات مفيدة في التمييز بينهما.

منحني خواص الـ SCR

منحني الخواص لـ SCR عبارة عن العلاقة بين تيار المصعد I_A وفولتية المصعد إلى المهبط V_{AK} في حالتي الانحياز الأمامي والعكسي كما هو الحال في ثنائي القدرة، كما في الشكل أدناه:



نلاحظ أن الخواص العكسية مشابهة للخواص العكسية للثنائي الاعتيادي وكذلك الخواص الأمامية عند وجود فولتية القدح على البوابة، اما عند عدم وجود القدح فإن المنحني مختلف تماماً.

نظرية اشتغال الـ SCR

لكي يعمل الـ SCR بشكل صحيح يجب تسليط فولتية قدح موجبة كافية بين البوابة والكاثود VGK بحدود 5 فولت وعندما يكون اشتغال الـ SCR مشابه لاشتغال الثنائي حيث يكون عبارة عن مفتاح مغلق في حالة الانحياز الامامي (عندما تكون فولتية المصعد أكبر من فولتية المهبط) وتكون فولتية الفصل بحدود (1.5 فولت) وليست 0.7 فولت أو 0.3 فولت كما في الثنائي الاعتيادي. ويكون عبارة عن مفتاح مفتوح في حالة الانحياز العكسي.

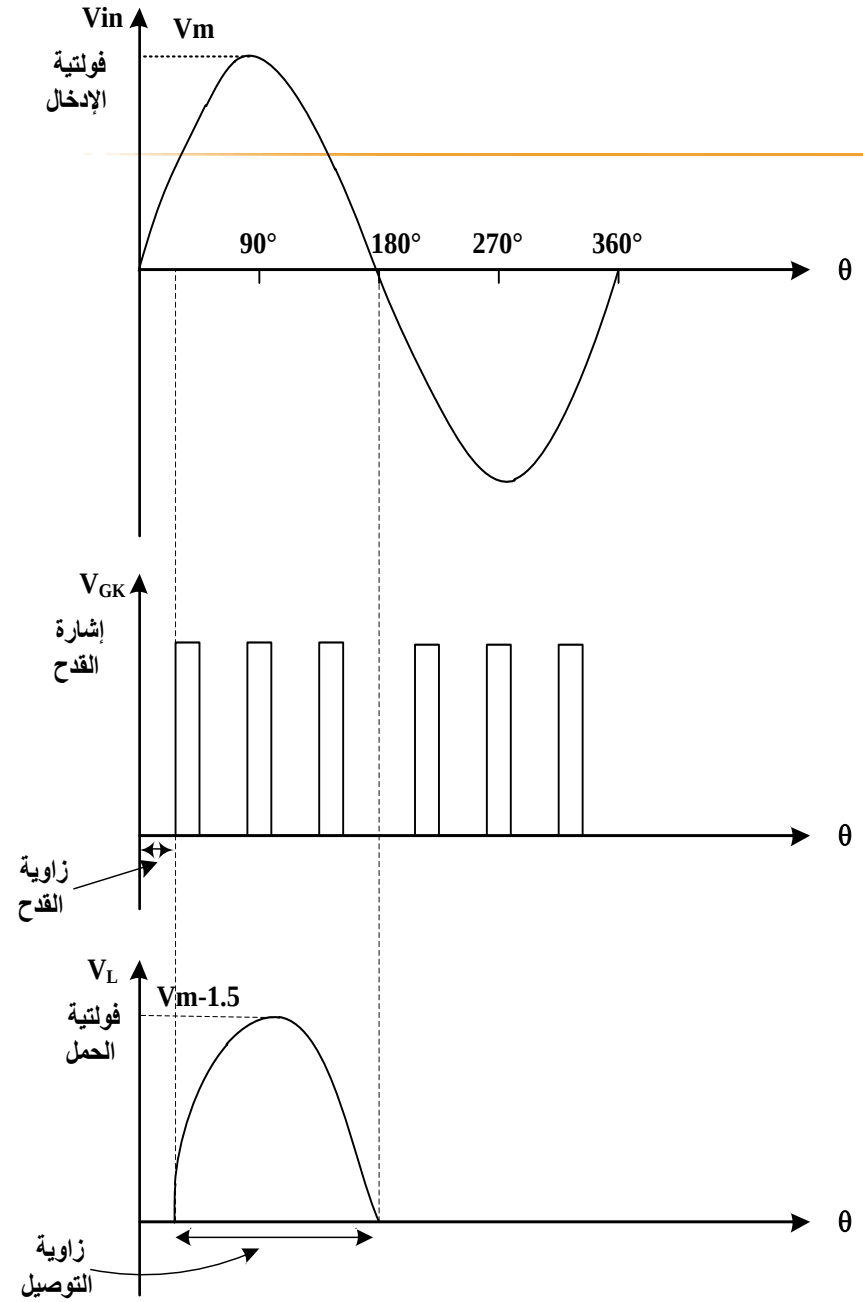
ولا يعمل الـ SCR عن عدم تسليط فولتية قدح مناسبة أي يكون عبارة عن مفتاح مفتوح.

استعمالات الـ SCR

لـ SCR استعمالات عديدة لعل من أهمها:

- تحويل الموجة المتناوبة إلى مستمرة أي تحويل A.C إلى D.C وخاصة في نظام ثلاثي الطور (3-ϕ).
- للسيطرة على سرعة المحركات واشتغال العدد من الأجهزة الصناعية والمنزلية (على سبيل المثال منظم المروحة السقفية الالكترونية).

زاوية القدح وزاوية التوصيل



زاوية القدح هي الفترة الزمنية معرفة بدلالة الزاوية لأول نبضة قدح في الانحياز الأمامي عندما تكون إشارة القدح بشكل نبضات (كما موضح في الشكل المجاور) وتكون قيمة هذه الزاوية صفرا عندما تكون الفولتية المسلطة على البوابة بشكل مستمر.

أما زاوية التوصيل فهي الفترة الزمنية التي يكون فيها الـ SCR في حالة توصيل ومعرفة بدلالة الزاوية

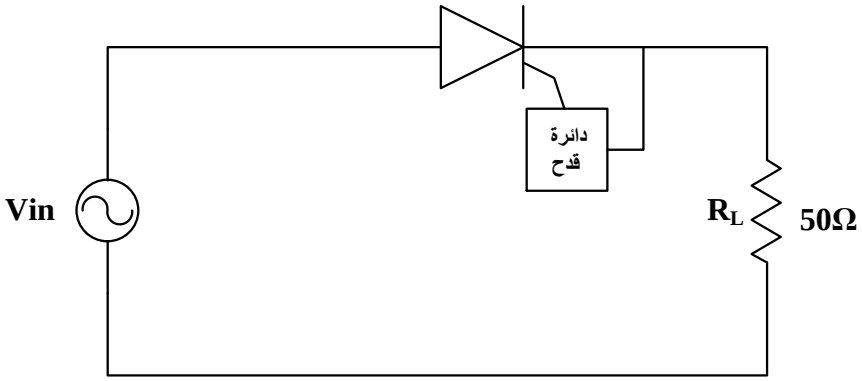
ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

زاوية التوصيل 180°– زاوية القدح

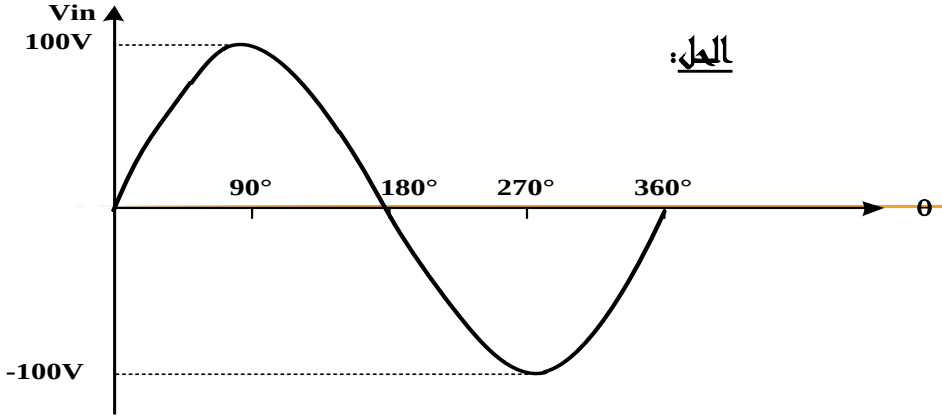
مثال:

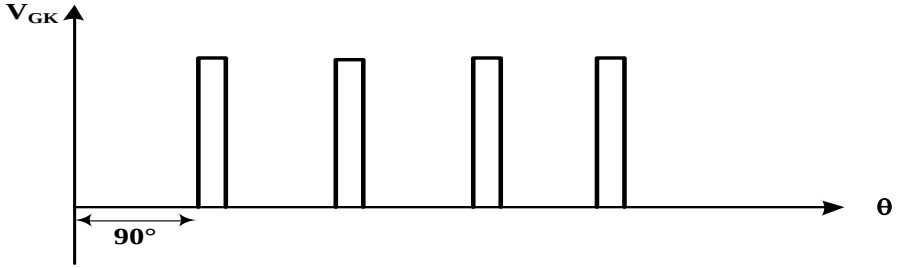
في الدائرة المرسومة أدناه، إذا كانت زاوية القدح 90° وفولتية الإدخال Vin=100Sin314t.

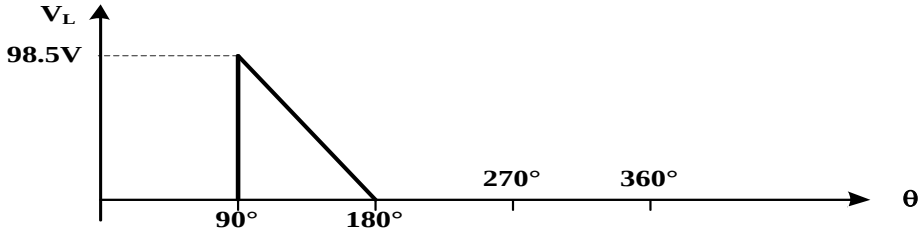
أرسم شكل موجة الحمل والموجة على الـ SCR.

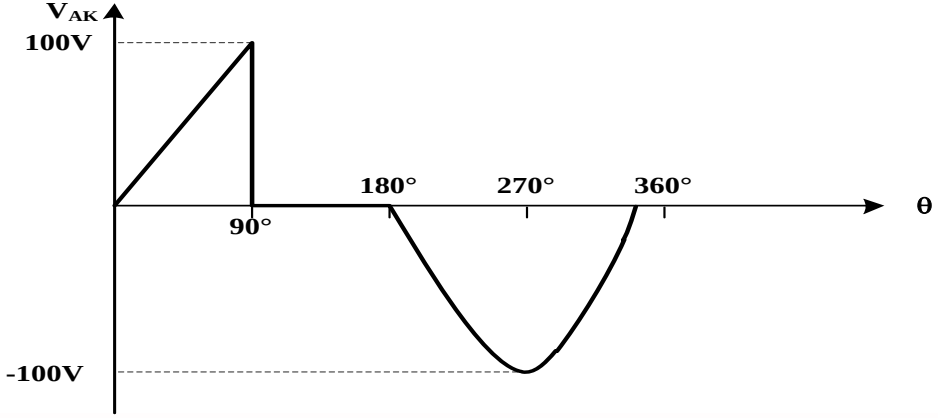


الحل:



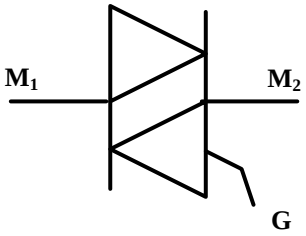




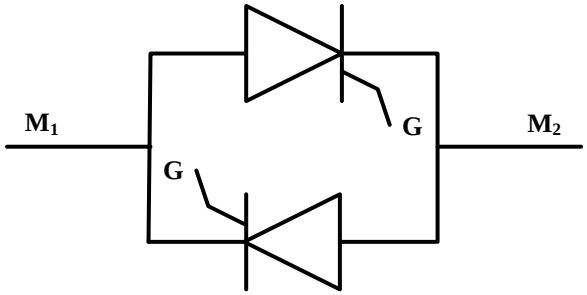


التراياك Triac

وهو عنصر آخر من عناصر اليكترونيات القدرة ومن عائلة الثايروستور.
رمزه بالرسم"



ويستخدم لامرار نصفي الموجة المتناوبة السالب والموجب ويتحم كونه عبارة عن أثنين من الـ SCR مربوطين بشكل معكوس كما مبين أدناه:



جدول مقارنة بين الـ SCR وثنائي القدرة

الـ SCR الموحد السيليكوني المحكوم	ثنائي القدرة
1. أحد عناصر اليكترونيات القدرة.	1. أحد العناصر الالكترونية.
2. عنصر رباعي الطبقة.	2. عنصر ثنائي الطبقة.
3. له ثلاثة أطراف (A, K, G).	3. له طرفان (A, K).
4. يحتاج إلى فولتية قدح لكي يعمل.	4. لا يحتاج لفولتية قدح. (لماذا؟)
5. يستعمل في تحويل إشارة الـ A.C إلى D.C.	5. يستعمل في تحويل إشارة الـ A.C إلى D.C.
6. يستعمل في دوائر السيطرة الصناعية والمنزلية.	6. يستعمل في دوائر الالزام والتقليم وغيرها.
7. يمر فيه تيار رئيسي واحد.	7. يمر فيه تيار واحد.

ملاحظة: بإمكان الطالب إضافة أي نقطة يراها مناسبة للمقارنة سواء تشابه أم اختلاف.

جدول مقارنة بين الثرانزستور ثنائي القطبية والـ SCR

الثرانزستور ثنائي القطبية (BJT)	الموحد السيليكوني المحكوم (SCR)
1. أهم العناصر الالكترونية الفعالة.	1. أحد عناصر اليكترونيات القدرة.
2. مكون ثلاثي الطبقة.	2. مكون رباعي الطبقة.
3. له ثلاثة أطراف.	3. له ثلاثة أطراف
4. أطرافه (G, K, A).	4. أطرافه (B, E, C).
5. له ثلاثة تيارات مختلفة.	5. له تيار رئيسي واحد.
6. يحتاج لتيار قاعدة مستمر.	6. يحتاج لفولتية بوابة متقطع.
7. له استعمالات كثيرة منها التكبير، التنظيم في الدوائر الرقمية ... الخ.	7. له استعمالات عديدة منها تحويل الإشارة المتناوبة إلى مستمرة وفي السيطرة الصناعية والمنزلية.

ملاحظة: بإمكان الطالب إضافة أي نقطة يراها مناسبة للمقارنة سواء تشابه أم اختلاف.

INTEGRATED CIRCUITS FABRICATION

تصنيع الدوائر المتكاملة

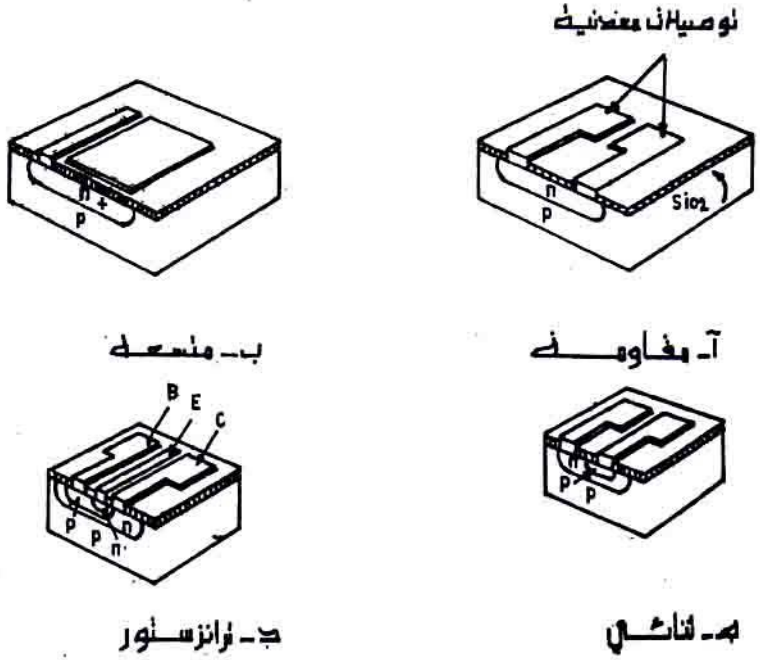
مكونات الدائرة المتكاملة

تشمل الدائرة المتكاملة على العناصر غير الفعالة (المقاومات، المتسعات والمحاثات) وكذلك العناصر الفعالة (الثنائيات والترانزستورات) وهي عناصر الدائرة الالكترونية الاعتيادية والمأوفة وتصنع جميع هذه العناصر باستخدام أشباه الموصلات.

ففي الشكل (أ) مقاومة تنتج بانتشار مادة سالبة n على طبقة سفلية موجبة p. ويغطي سطح البلورة بطبقة من اوكسيد عازلة SiO_2 لحماية السطح من التلوث ثم تنتهي بتوصيلات معدنية.

كما تصنع المتسعات بترسيب طبقة عازلة من ثاني اوكسيد السيلكون SiO_2 على طبقة موصلة وبعدئذٍ تشكل طبقة معدنية لتوليد الصفيحة الثانية للمتسعة كما في الشكل (ب).

ولا تختلف صناعة العناصر الفعالة عن غير الفعالة وكما هو مبين في الشكل (جـ، د) غير أن المساحات التي تحتاجها المتسعة تكون أكبر من المقاومة في حين تحتاج الثنائيات والترانزستورات إلى مساحات أصغر. وتتم ربط هذه العناصر مع البعض بترسيب طبقة من موصل مثل الالمنيوم.



آ- مقاومة ب- متسعة

هـ- ثنائي جـ- ترانزستور

وبطبيعة الحال، فإن عمليات الانتشار تتم خلال منافذ بعد تعريض السطوح المعدنية للانتشار بتقنية الطبع الضوئي ومن خلال اقنعة خاصة تصمم لكل مرحلة.

وفيما يخص المحاثات، فلم يتم العثور على طرق تصنيعها بمقادير مرضية نسبياً.

وتعطي الفقرات التالية تفصيلاً أوسع في تصنيع الدوائر المتكاملة.

تصنيع الترانزستور المستوي Planar Transistor Fabrication

بعد التعرف على مكونات الدائرة المتكاملة، يمكن استعراض الخطوات المتبعة في صناعة الترانزستور المستوي نوع NPN وكما يلي:

الخطوة الأولى – تصنيع الجامع

•تحضر شريحة سالبة n كما في الشكل (أ) ويصقل أحد السطحين لتخليصه من العيوب وتستعمل هذه الشريحة كطبقة سفلية Substrate لاسناد بقية أجزاء الترانزستور وفي نفس الوقت تمثل الجامع.

•يغطي سطح الجامع بطبقة من ثاني اوكسيد السيلكون SiO_2 العازلة لمنعه من التلوث، ويجري ذلك عن طريق نفخ السطح بغاز الاوكسجين النقي وكما هو مبين بالشكل (ب).

الخطوة الثانية – انتشار القاعدة

•يطلى سطح الاوكسيد SiO_2 بغشاء رقيق من مادة المضاد الضوئي Photoresist.

•يعرض المضاد الضوئي إلى أشعة فوق البنفسجية خلال قناع ضوئي لفتح منفذ (نافذة) نحو وسط البلورة (طبقة الجامع) بعد حفره بالحامض.

•توضع الشريحة في فرن وتعرض إلى ذرات شوائب ثلاثية التكافؤ فتتولد قاعدة الترانزستور الموجبة P وحسب ما يوضحه الشكل (ج).

•يعاد تعريض السطح إلى الاوكسجين لبناء الطبقة الاوكسيدية العازلة وتتضح في الشكل (د).

الخطوة الثالثة – انتشار الباعث

•يعاد طلي الطبقة الاوكسيدية بطبقة جديدة من مادة المضاد الضوئي ثم تعرض إلى الضوء خلال قناع آخر لفتح منفذ جديد.

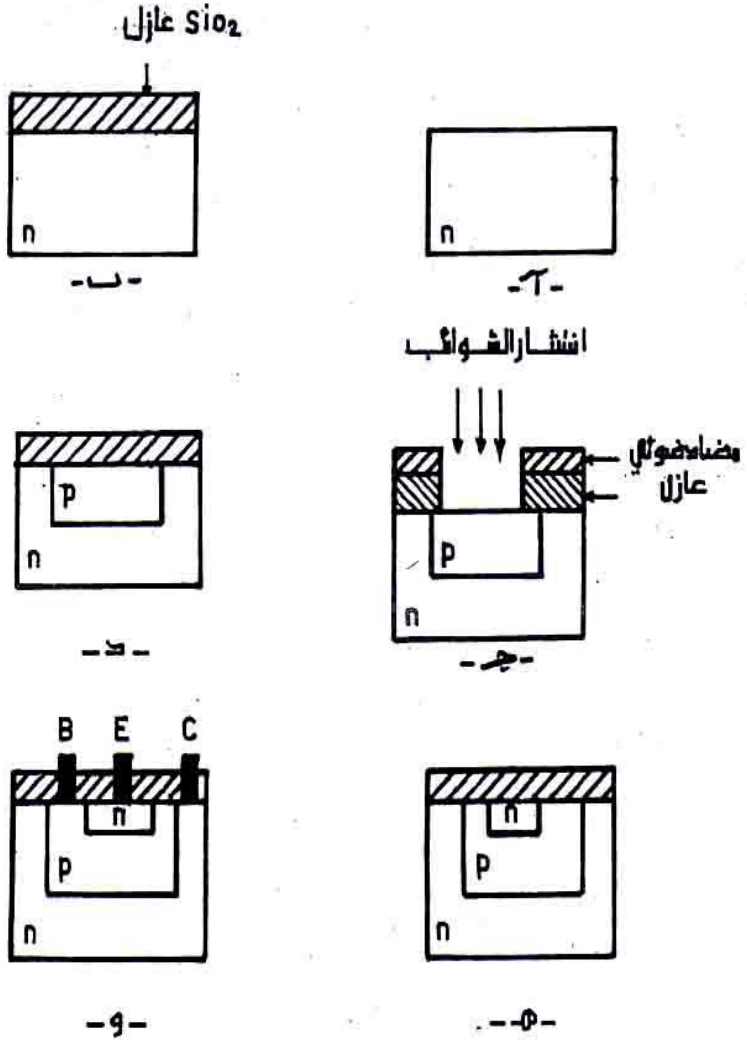
•تمرر ذرات شوائب خماسية التكافؤ خلال النافذة مما تترسب طبقة الباعص.

•يغطي السطح بطبقة الاوكسيد العازلة مرة أخرى كما مبين بالشكل (هـ).

الخطوة الرابعة – المعدنة بالالمنيوم

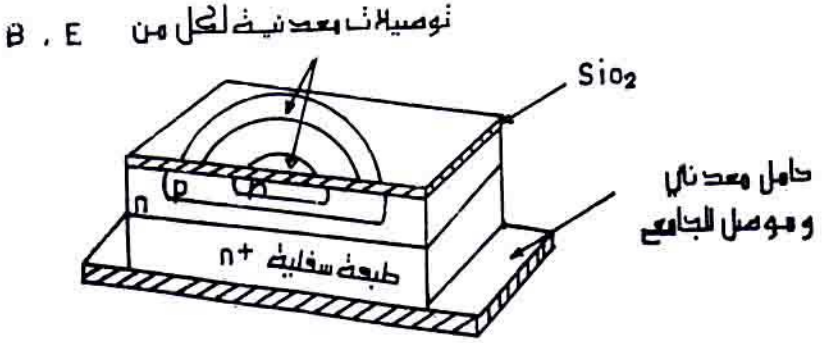
•لأجل تكوين توصيلات اقطاب الترانزستور تستخدم اغشية معدنية ذات مقاوميات واطئة، ويعد الالمنيوم وسبائكه من أكثر المعادن شيوعاً في الدوائر المتكاملة والمنفصلة على السواء. إضافة إلى ان الالمنيوم يلتصق جيداً مع ثاني اوكسيد السيلكون، وتدعى عملية ترسيب غشاء رقيق من الالمنيوم على طبقات الترانزستور بالمعدنة metallization. ولتحقيق ذلك، يطلى السطح كلياً بغشاء رقيق من الالمنيوم ثم تفتح منافذ لإزالة المعدن من جميع المساحات غير المطلوبة باستعمال طبقة جديدة من المضاد الضوئي ويتم الاقطاب الثلاث للترانزستور بالألمنيوم كما يظهر في الشكل (و).

شكل يبين خطوات تصنيع الترانزستور المستوي



وعلى الطالب أن يقدر بأن ما سبق شرحه هو شرح مبسط للعمليات المتبعة لأنه في الواقع تتطلب صناعة الدائرة المتكاملة إلى حوالي من 80 إلى 100 عملية منفصلة، تحتاج بعضها إلى بضع ساعات أو أكثر لإنتاجها.

ولما كانت المساحة المكشوفة للانتشار باستخدام قناع في الترانزستور المستوي هي نفسها لكل ترانزستور ضمن الشريحة الواحدة، لذلك يمكن تعريض شريحة السيلكون كلياً في نفس الوقت لعمليات الانتشار مما يؤدي إلى صناعة ما يصل عشرة آلاف ترانزستور على شريحة بقطر سنتمتر واحد وخلال مرحلة تصنيع واحدة. ومن الجدير بالذكر ، أن صناعة الترانزستور (هنا npn) تعد أساساً في الدائرة المنفصلة أو المتكاملة، غير ان سمك الطبقة السفلية لهذا الترانزستور يزيد من مقاومة الجامع ويعيق استجابة الترانزستور لحالات الاقلاب (الفتح والغلق) وللتغلب على هذه الاعاقة، طورت تقنية الترانزستور المستوي إلى نوع آخر يدعى بالنمو (الترتيب) الفوقي Epitaxial. ولكن لا يختلف النوعين من حيث المبدأ باستثناء أن الجامع يتركب من طبقتين مرتبتين الواحدة فوق الأخرى. وتصنع الطبقة الفوقية بسمك قليل جداً وذات مقاومية عالية. وهكذا تغلبت تقنية النمو الفوقي على غيرها في صناعة الدوائر المتكاملة والشكل الموضح يسن نموذج آخر لتوضيح الطبقة الفوقية وتدل الإشارة الموجبة التي ترافق الحرف n، على أن منسوب التطعيم يزيد على المنسوب المستخدم مع بقية الحروف.



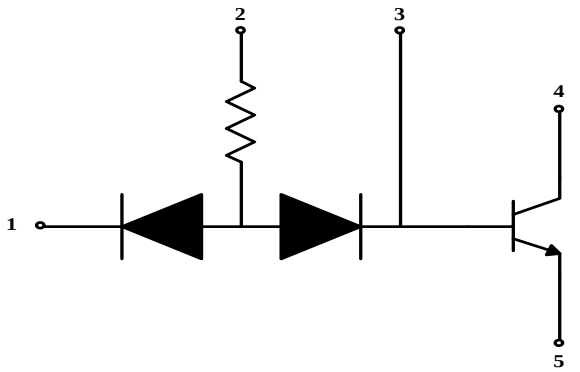
ترانزستور مستوي ذو الترتيب الفوقي

الدوائر المتكاملة احادية (البلورة) القطعة Monolithic Ingrated circuit

أن اللفظ اللاتيني (Monolithic) الذي يطلق على هذه الدوائر مشتقة من الكلمة اليونانية Monos معناها احادي أو مفرد وكلمة Lithos تعني حجر وهكذا فامعنى العام يصبح احادي الطبقة أو القطعة. ومن هنا يتضح أن العناصر الفعالة وغير الفعالة تصنع وتجمع على رقاقة (شريحة) أو طبقة سفلية (شاصي) Substrate واحدة من السيلكون وعليه يمكن اعتبار المصطلح مناسباً لأن المكونات جزء من رقاقة واحدة. وتعد طريقة صناعة الدوائر المتكاملة بهذه التقنية أكثر شيوعاً، حيث تم صناعة دوائر متكاملة تعمل بكفاءة جيدة عند الترددات العالية. كما تم صناعة دائرة متكاملة تجارياً بحيث تحوي في حدود 500000 ترانزستور بهذه الصيغة. لأجل فهم صناعة دائرة متكاملة احادية القطعة يفضل الاستعانة بمثال.

مثال:

ارسم مقطعاً عرضياً للدائرة المتكاملة بتقنية احادية القطعة للدائرة الالكترونية المبينة بالشكل أدناه، ثم وضح خطوات تصنيع الدائرة المتكاملة.

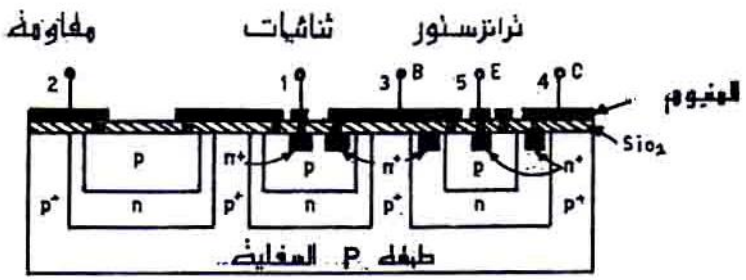


الدائرة الالكترونية

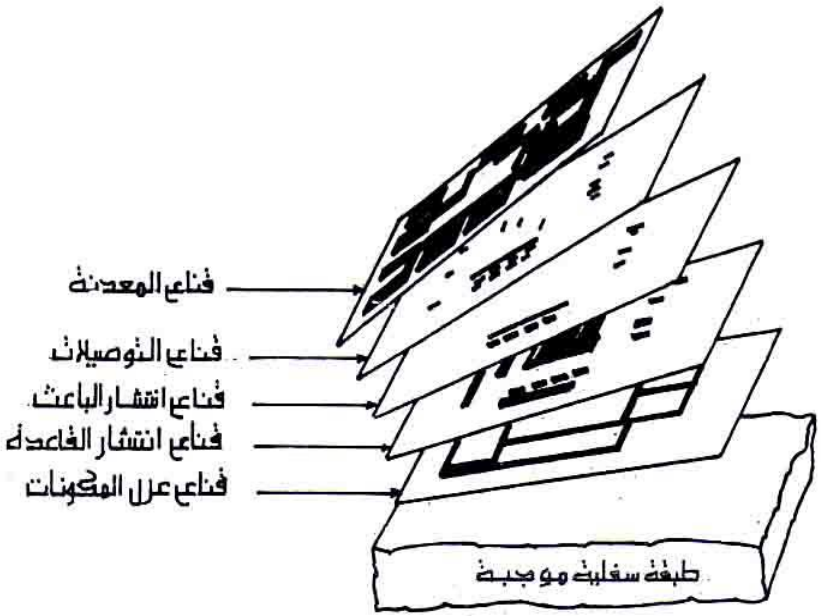
الحل:

يوضح الشكل أدناه المقطع العرضي للدائرة الالكترونية المبينة في الشكل اعلاه. تطبق الخطوات المبينة في الفقرة السابقة لتصنيع هذه الدائرة المتكاملة. إلا أن صناعة كل دائرة متكاملة تمرر خلال العمليات الدقيقة التالية:

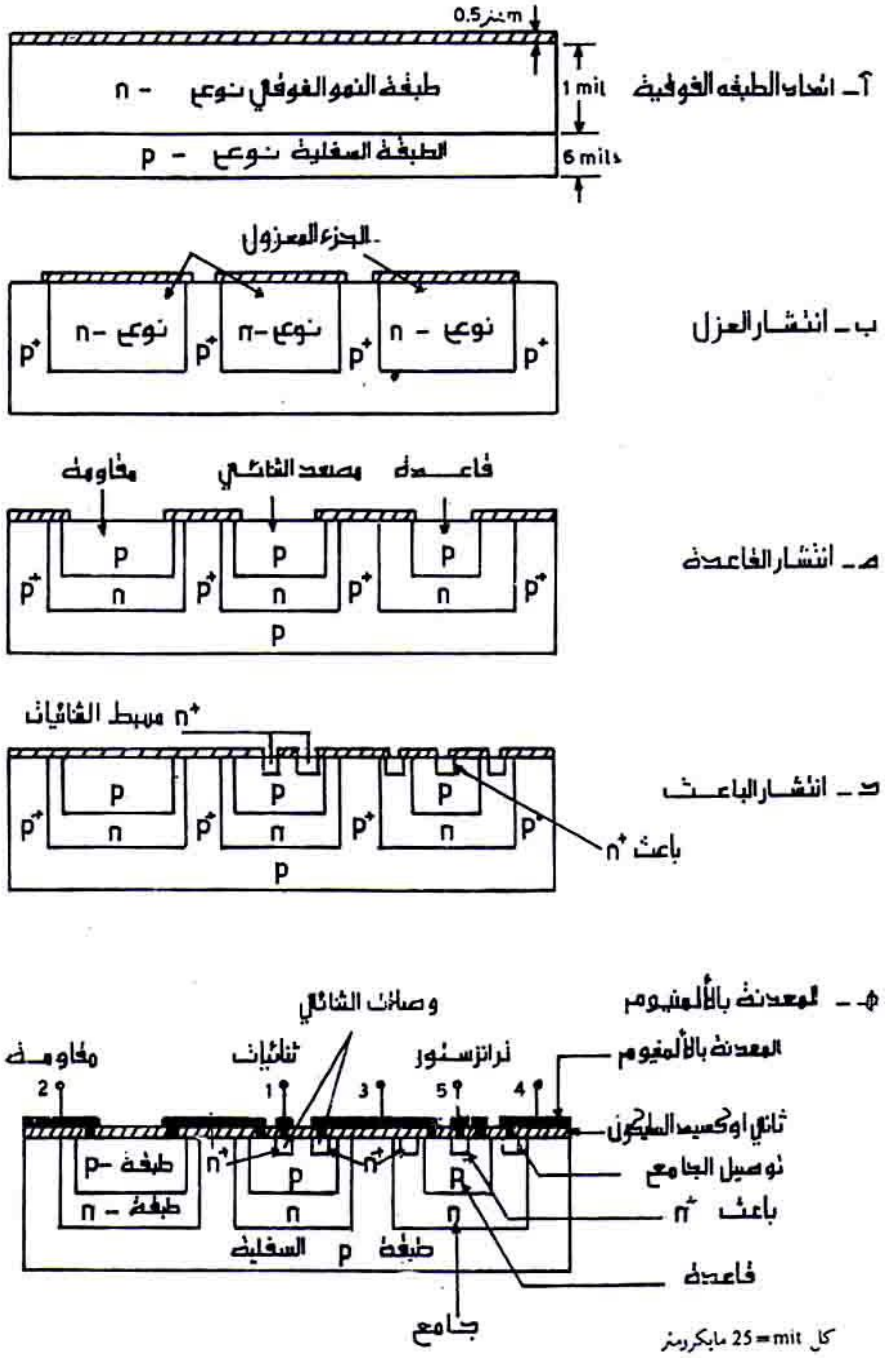
1. نمو الترتيب الفوقي Epitaxy
2. الانتشار Diffusion
3. الاكسدة Oxidation
4. الترسيب والمعدنة Deposition & Metallization



ولكل مرحلة اقنعة خاصة بها وقد تعاد المراحل والاقنعة أكثر من مرة وحسب خطوة التصنيع، وتستخدم في ذلك أجهزة تكبير وتصغير وتصوير (ميكرسكوبات وكاميرات) لغرض التحكم الدقيق في مراحل التصنيع والشكل أدناه يوضح نموذج لمصفوفة أقنعة.



مصفوفة تعاقب الاقنعة

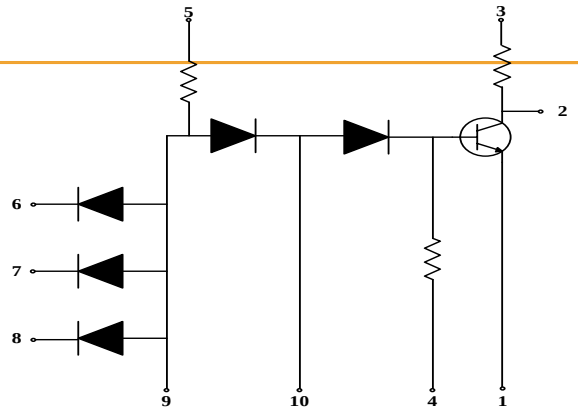


ويظهر من الشكل السابق وجود قناع عزل المكونات. فكيف يتم عزل المكونات عن بعضها في الدائرة المتكاملة؟ والجواب ببساطة يتضح من الشكل المجاور (ب). فبعد إزالة الطبقة الاوكسيدية من أربعة مناطق على سطح الرقاقة بطريقة الاستنساخ الضوئي والحفر تعرض الرقاقة لانتشار شوائب قابلة (بورون مثلاً) داخل فرن وتحت ظروف حرارة معينة وخلال فترة زمنية تسمح بانتشار الشوائب الموجبة خلال الطبقة السالبة (n) كما في الشكل (أ) بحيث تنتج جزر (مناطق أو وصلات) عازلة لفصل المكونات عن بعضها وكما هو مبين في الشكل (ج) ثم تعقبها عمليات التصنيع اللاحقة وتنتهي بالمعدنة.

خطوات تصنيع دائرة متكاملة
احادية القطعة للمثال السابق

مثال:

أرسم رقاقة سليكونية ثم حدد سطحها المساحات المناسبة للدائرة الالكترونية المبينة في الشكل أدناه بتقنية الدوائر المتكاملة احادية القطعة.



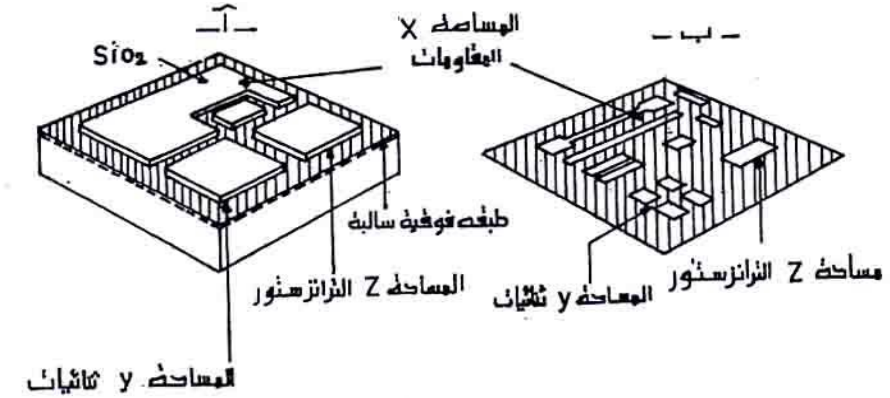
الحل:

يتبين من دائرة الشكل أعلاه وجود ترانزستور واحد، ثلاث مقاومات وست ثنائيات ولأجل تحديد المساحات اللازمة لمكونات هذه الدائرة، يمكن تحضير قناع لعزل المكونات بصورة مجمعة وكما يتضح من الشكل (أ)، ثم مناقشة مساحة كل عنصر بشكل مفصل وكالآتي:

المساحة X للمقاومات الثلاث، بحيث تأخذ مساحات متجاورة ومستطيلة، وتصنع بانتشار مادة موجبة في ماجدة سالبة وبنفس التقنية التبعة في الفقرات السابقة.

المساحة Y لأربع ثنائيات في جانب واحد لأنها ذات مصاعد مشتركة، في حين يوضع الثنائيين الآخرين في مساحة منفصلة وقريبة من الترانزستور.

المساحة Z للترانزستور، وتكون أكبر من مساحة الثنائي الواحد بسبب طبقة الجامع العريضة والتوصيلات الخاصة به ولبقية اقطاب الترانزستور. وتظهر المساحة منفصلة في الشكل (ب).



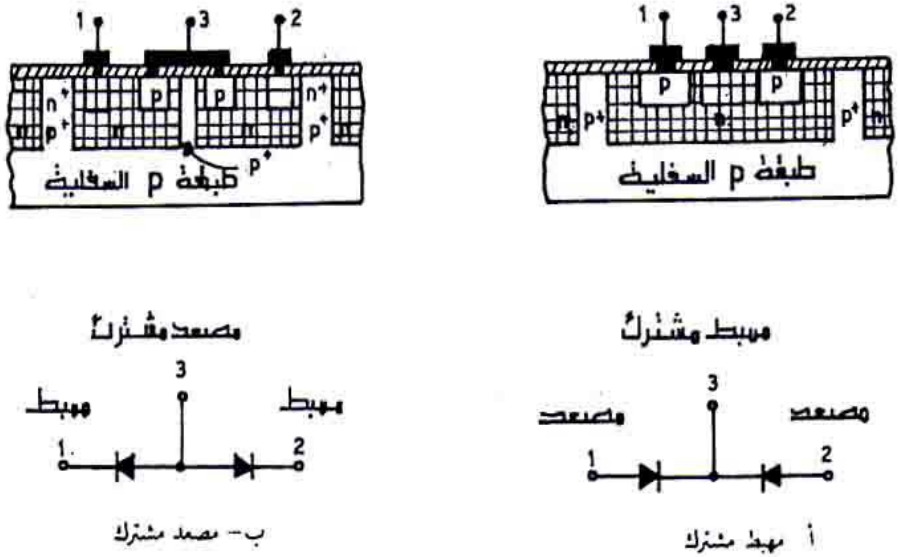
مخطط المساحات اللازمة للمثال السابق

الترانزستورات المتكاملة

لا يختلف الترانزستور المستوي في صناعته عن ترانزستورات الدوائر المتكاملة احادية القطعة، ولكن في الدوائر المتكاملة يتم عزل الجامع عن الطبقة السفلية بوساطة توفير انحياز عكسي للثنائيات والمتولدة من الجزر الشكل (). غير أن هذا الأسلوب قد ينتج بعض المتاعب، لأن هذه الثنائيات تغطي أرضية الرقاقة بالكامل مما تولد وتضيف متسعات خيالية إلى قطب الجامع وتزيد من مسار تيار التسرب وطول مسار تيار الجامع مولداً ارتفاع في مقاومة الجامع وفولتية التشبع. إلا أن هذه التأثيرات يتغلب عليها في دوائر القطعة الواحدة، لأن جميع الترانزستورات تكون متقاربة عن بعضها مما يحقق التوافق بنسبة كبيرة بين خصائصها.

الثنائيات المتكاملة

تصنع ثنائيات الدوائر المتكاملة بنفس قتنية صناعة الترانزستورات. وتوجد خمس طرائق لربط هذه الثنائيات، ولكن اختيار طريقة الربط يعتمد بالدرجة الأولى على نوع الأداء المطلوب أو الغرض من الثنائي. فعندما تقتضي الحاجة إلى فولتية انهيار أكثر من 12 فولت، تكون الثنائيات المتولدة من وصلة (مفرق) الجامع – قاعدة أكثر انهيار ملائمة، وفي هذه الحالة ترصف الثنائيات على هيئة المهبط المشترك كما في الشكل (أ)، وتصنع بانتشار طبقة عازلة مفردة (جذرة مفردة). ويمكن تحقيق نفس الهدف ولكن بجزر مزدوجة، حيث يعزل كل ثنائي عن الآخر ويعاد توصيلهما في مرحلة المعدنة وبطريقة المصعد المشترك والشكل (ب) يبين ذلك.

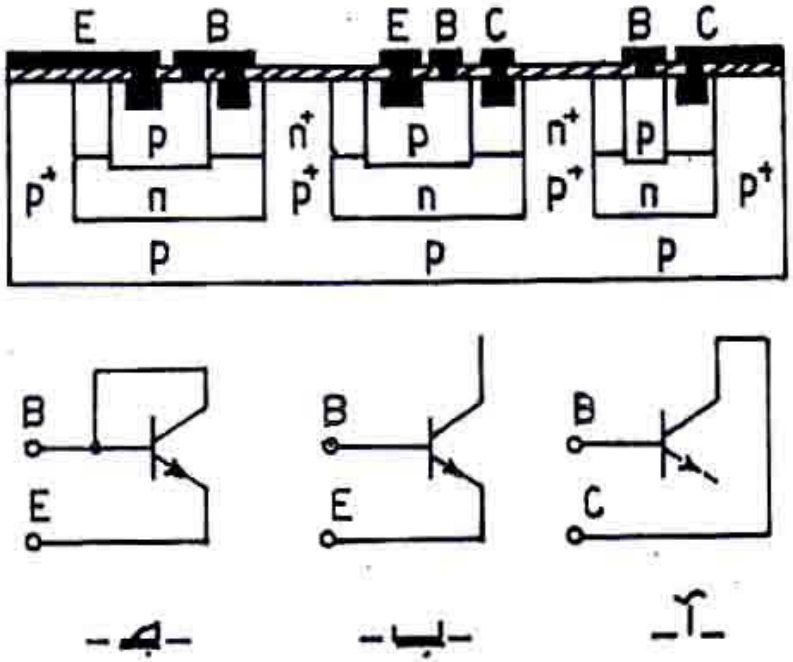


الثنائيات المتكاملة

أ مهبط مشترك

ب- مصعد مشترك

ومع هذا، تصنع الثنائيات بشكل مفرد ويعزل كل واحد عن الاخر. كما يظهر في الشكل أدناه.



الثنائيات المتكاملة المستقلة