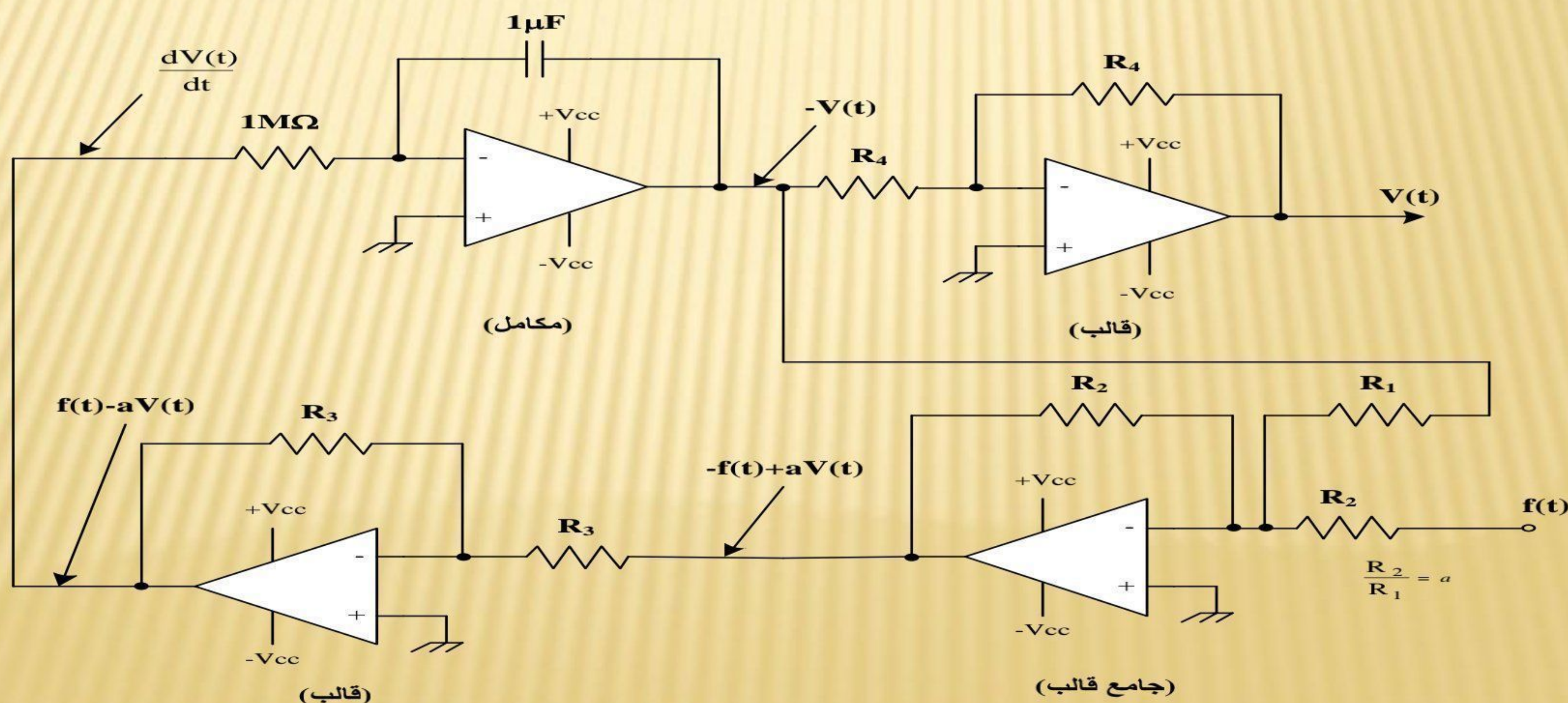


دوائر الكترونية

المرحلة الثانية

فرع الأجهزة الطبية

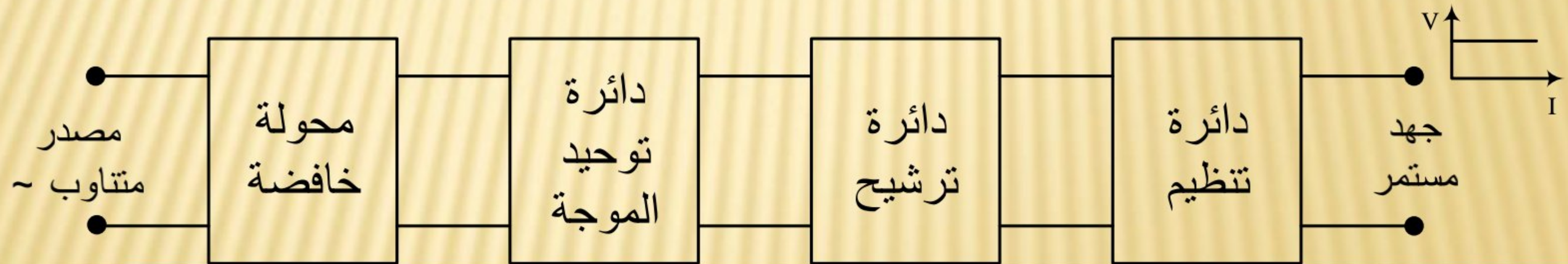


مجهز القدرة المستمرة

D.C Power Supply

مجهز القدرة المستمرة

تعتبر دائرة مجهز القدرة المستمرة من أهم الدوائر الالكترونية كونها دائرة مشتركة بين معظم الأجهزة الالكترونية 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)

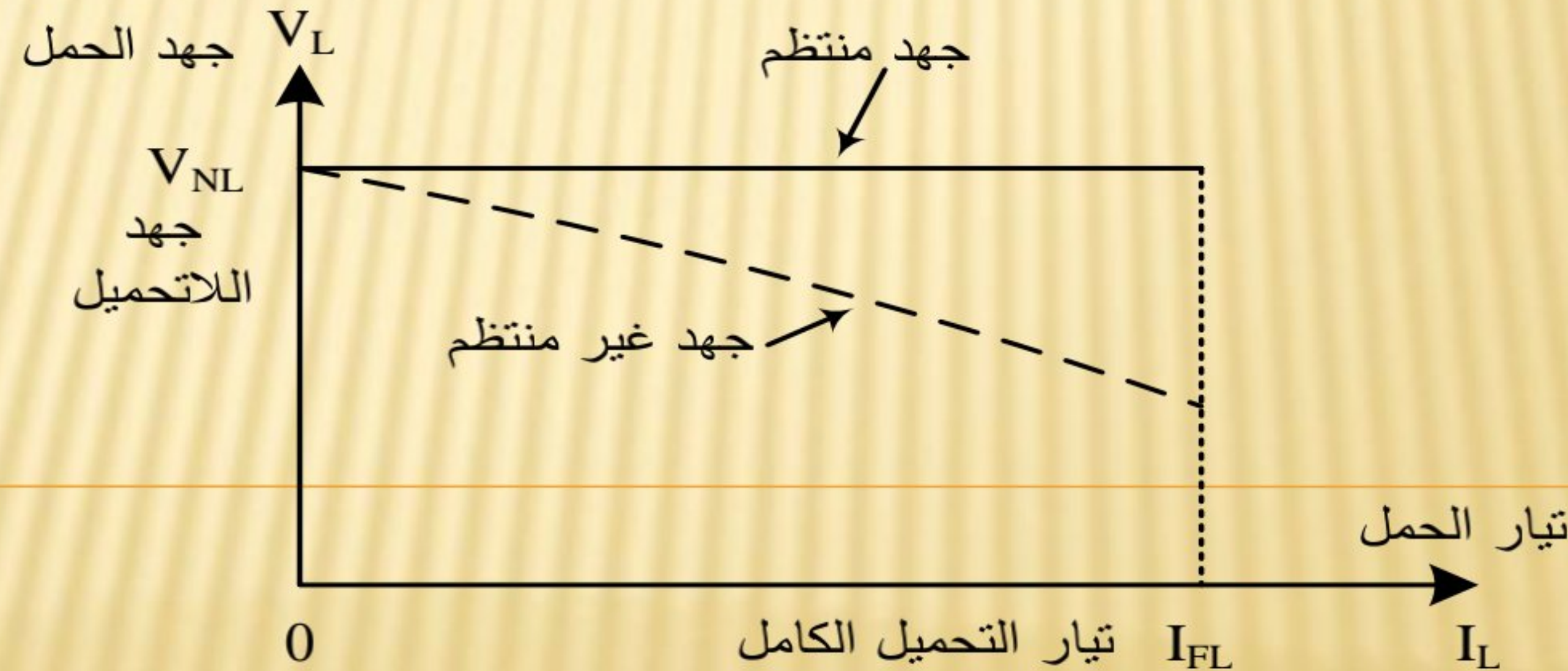
محاولة: لها فائدتان خفض الجهد المتناوب وعزل دائرة المتناوب عن المستمر. وفي بعض الحالات فقط تستخدم للعزل.

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 أو 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 منحنى التنظيم المبين في الشكل أدناه:

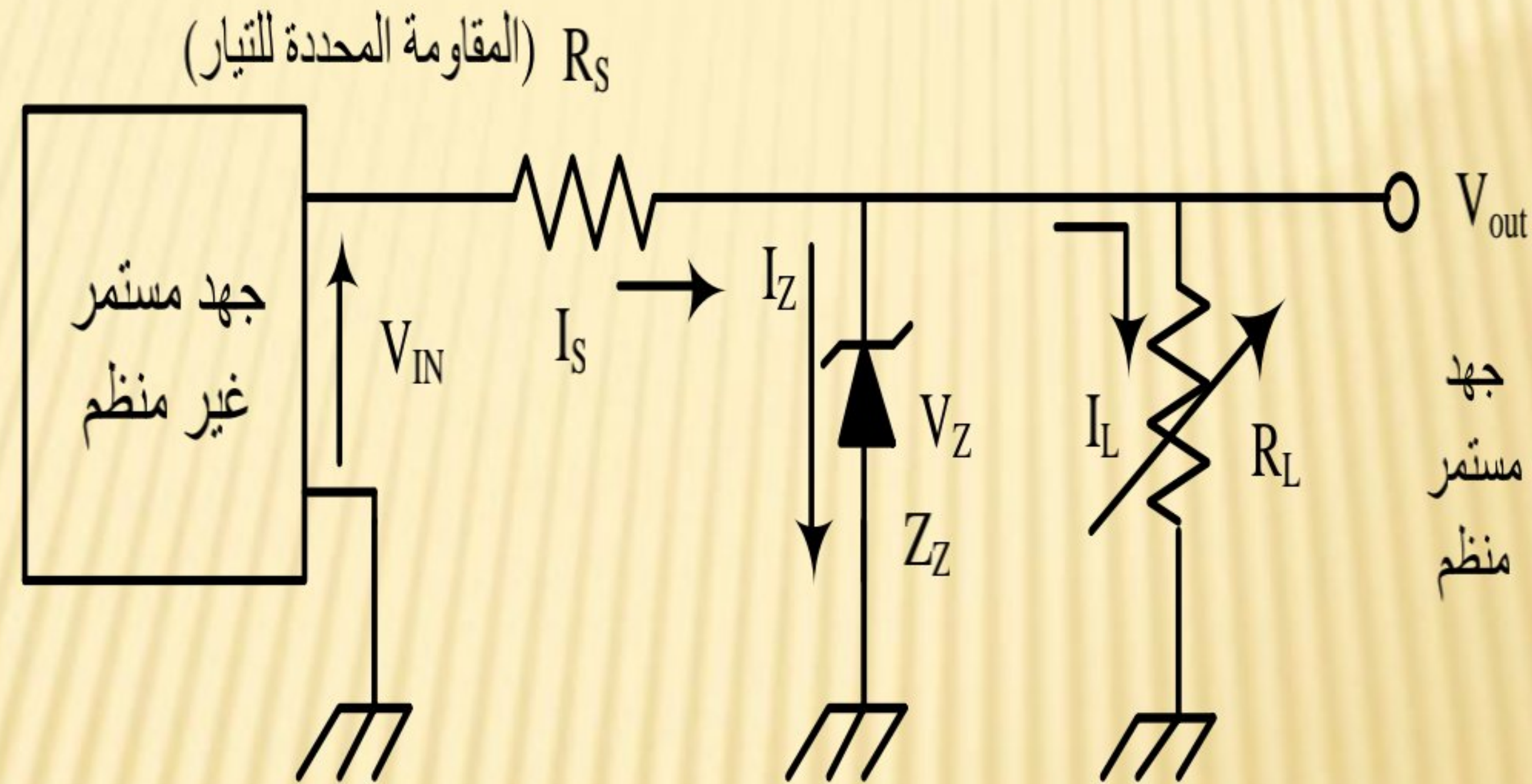


(شكل يبين منحنى التنظيم)

Zener Regulator

منظم زينر

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.

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

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

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

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

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

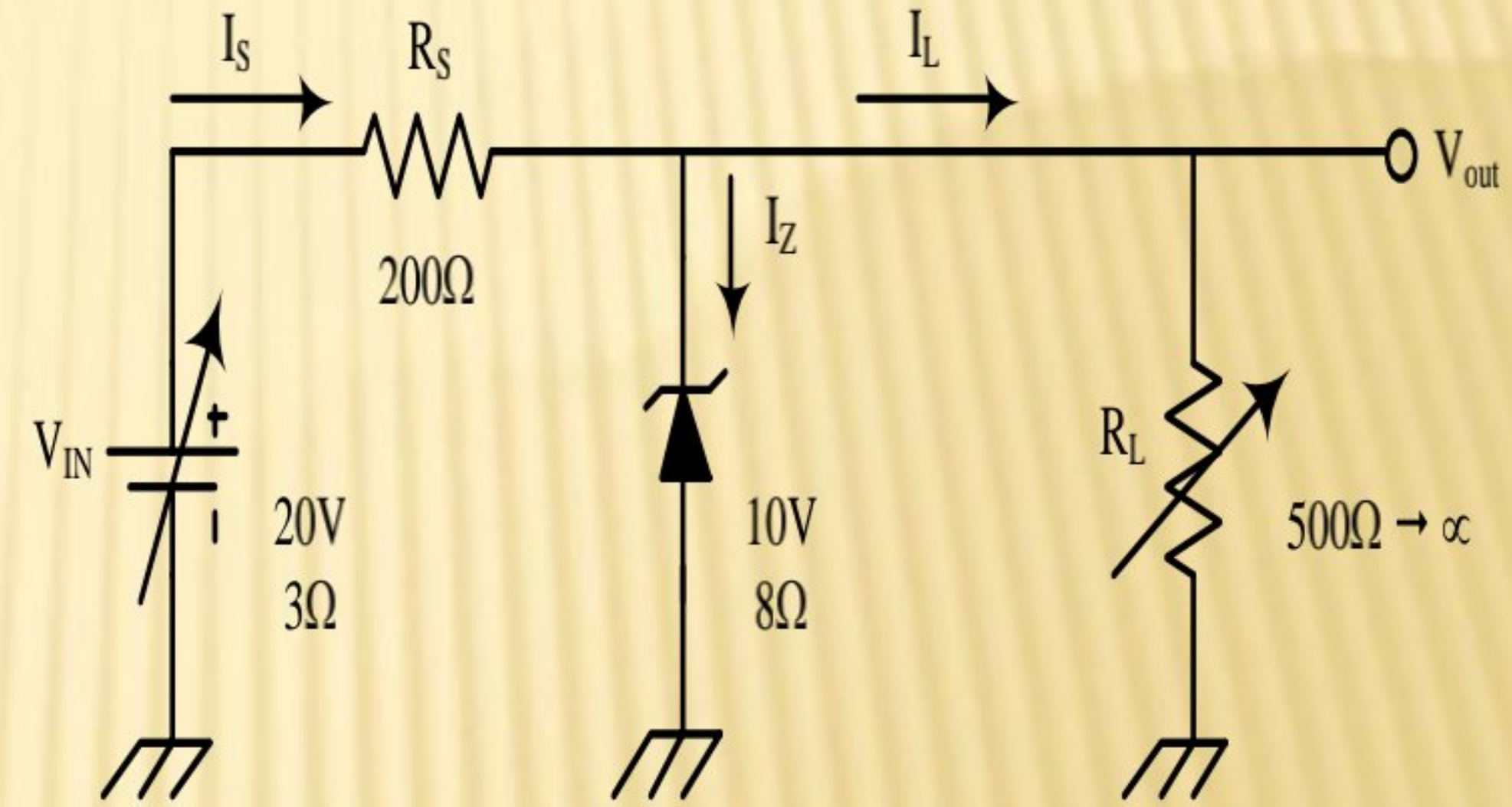
$$I_{Z(max)} = I_{S(max)} - I_{L(min)} = 100 - 0 = 100mA$$

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

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

$$\Delta V_{out} = \Delta I_Z * Z_Z = 70 mA * 8 = 560 mV = 0.56 V$$

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



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

ملاحظة: في حالة تغير الحمل فقط وثبتت V_{IN} فإن تغير تيار

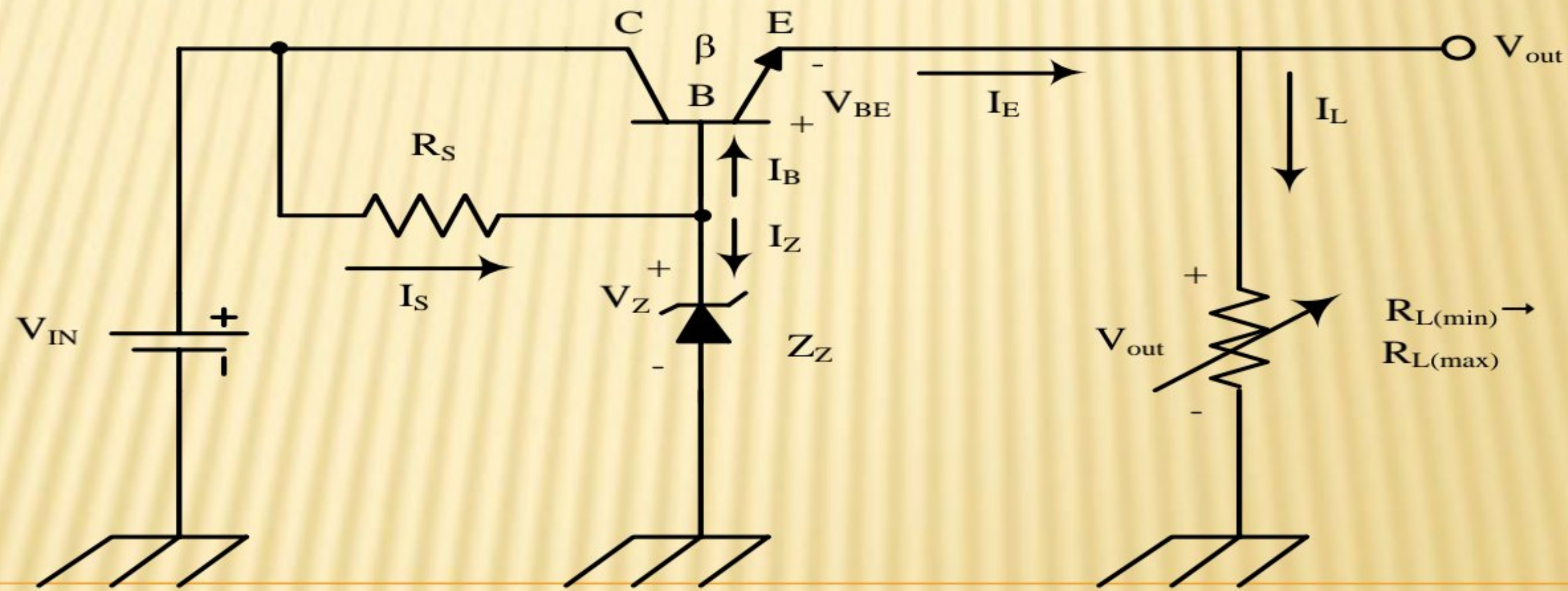
الزير يكون: $\Delta I_Z = -\Delta I_L$

والإشارة السالبة تبين أن العلاقة عكسية بينهما (أي زيادة تيار الحمل تؤدي إلى نقصان تيار الزير 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 الإدخال V_{in} أو مقاومة الحمل R_L أو كليهما، ولكن عملياً المتغير هو مقاومة الحمل R_L .
يُقاس التنظيم بدلالة عامل التنظيم المئوي (Voltage Regulation) $VR\%$ وكلما كانت قيمته قليلة فهذا يعني أن كفاءة التنظيم أفضل (لماذا؟).
وتكون علاقة عامل تنظيم الجهد المئوي الرياضية كما يلي:

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

حيث أن:

$$V_{out} = V_Z - V_{BE}$$
$$\Delta V_{out} = Z_Z * \Delta I_Z$$

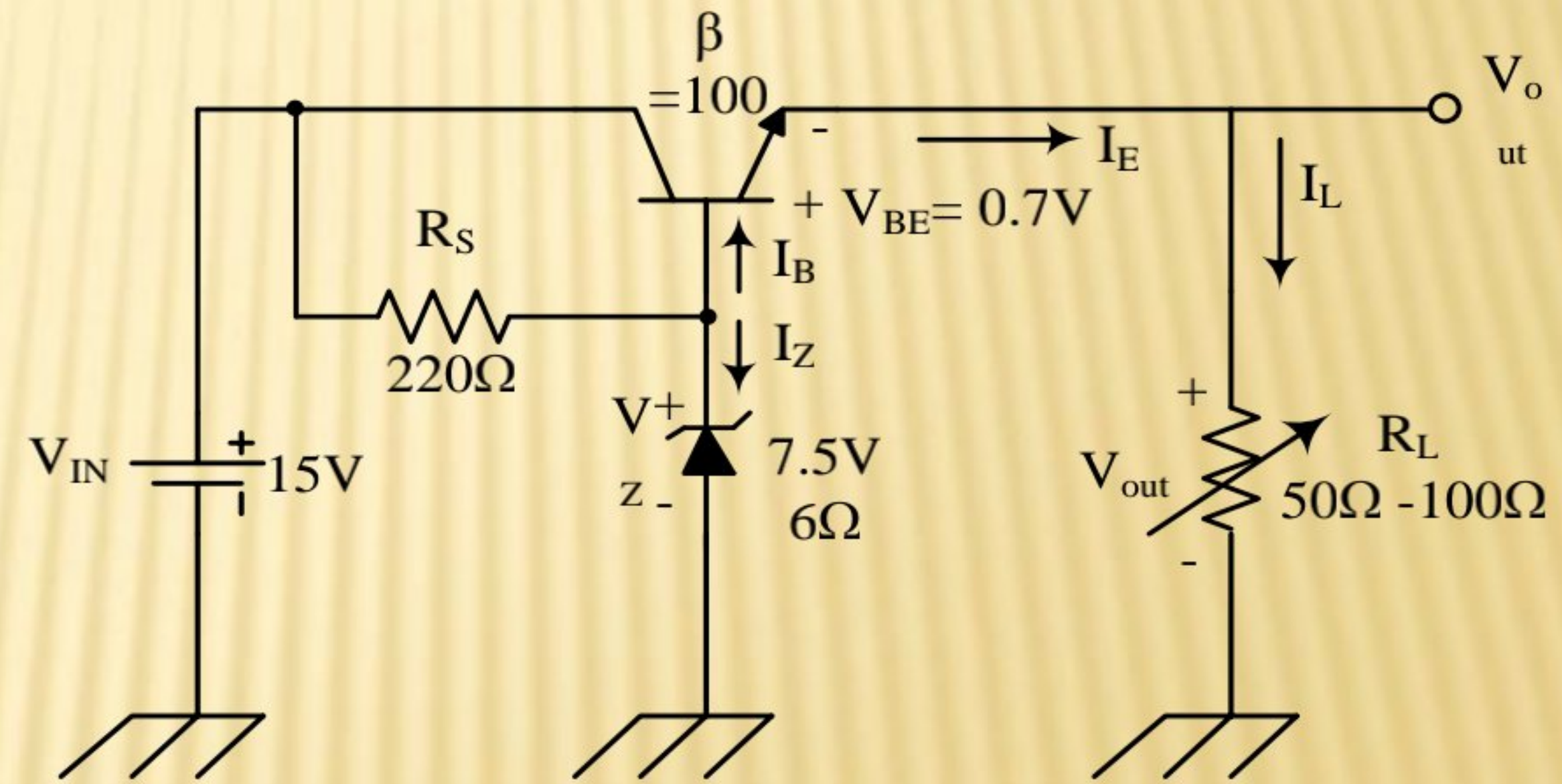
$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$$

مثال: (على دائرة منظم التوالي)

في دائرة منظم التوالي إذا كانت $V_{in}=15V$ ، $R_S=220\Omega$ ، $\beta=100$ ، $Z_Z=6\Omega$ ، $V_Z=7.5V$ ومقاومة الحمل تتغير من 50Ω إلى 100Ω . المطلوب إيجاد العامل المؤي لتنظيم جهد الإخراج في هذه الدائرة.

الحل:

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



$$V_{out} = V_Z - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8V$$

$$I_{L(max)} = \frac{V_{out}}{R_{L(min)}} = \frac{6.8}{50} = 0.136A = 136mA$$

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

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

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

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

$$\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta} = -\frac{68}{100} = -0.68mA$$

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

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

و.ه.م

Parallel Regulator

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

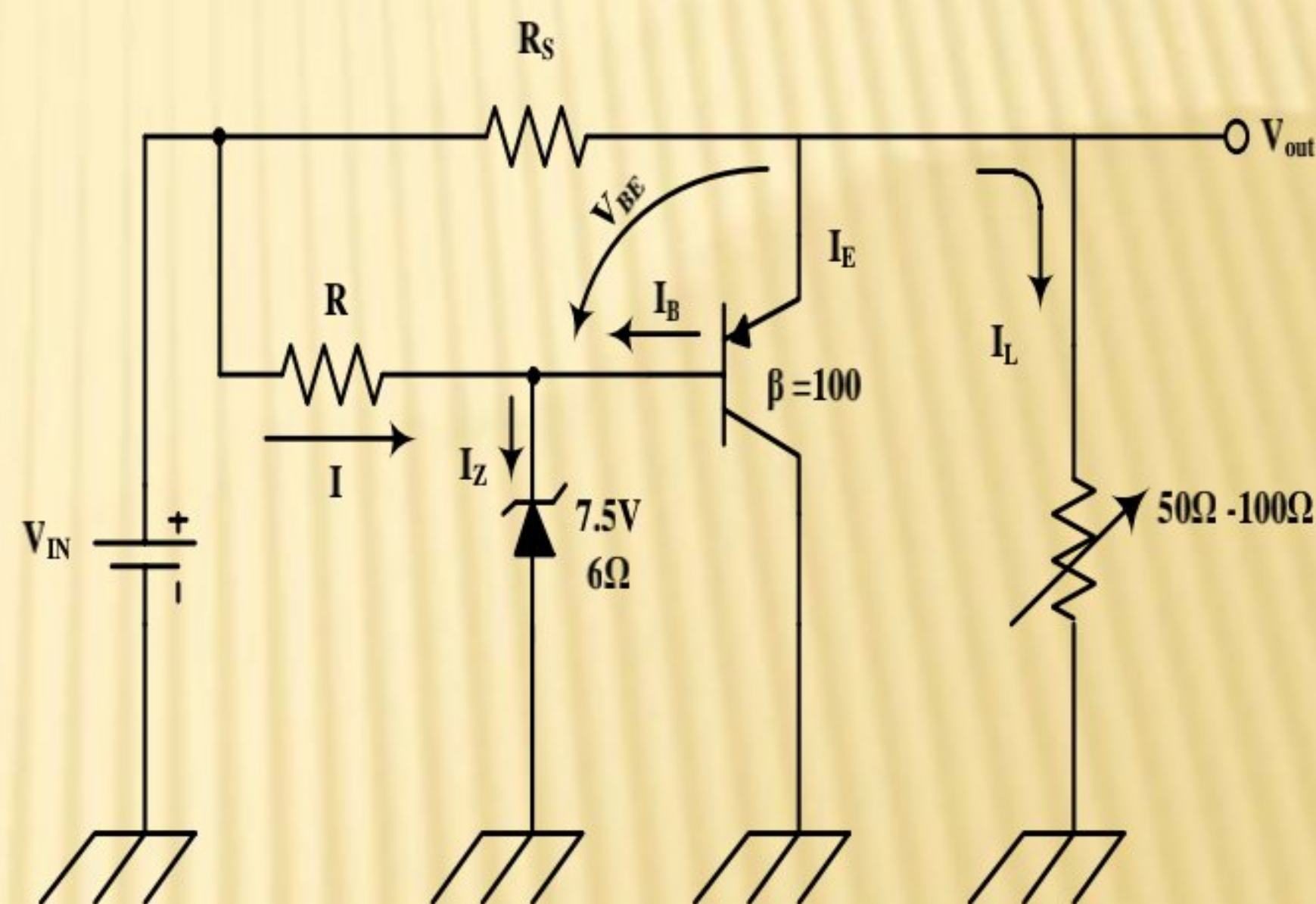
مثال: في دائرة منظم التوازي المبينة أدناه. المطلوب إيجاد مقدار التغير في فولتية الحمل وعامل تنظيم جهد الحمل.

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

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

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

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



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

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

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

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

$$VR\% = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100\% = \frac{-4.92 * 10^{-3}}{8.2} * 100\% = -0.06\% \quad (\text{عامل التنظيم})$$

دائرة ثانية لمنظم التوازي باستخدام ترانزستور NPN بدلاً من ترانزستور PNP

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

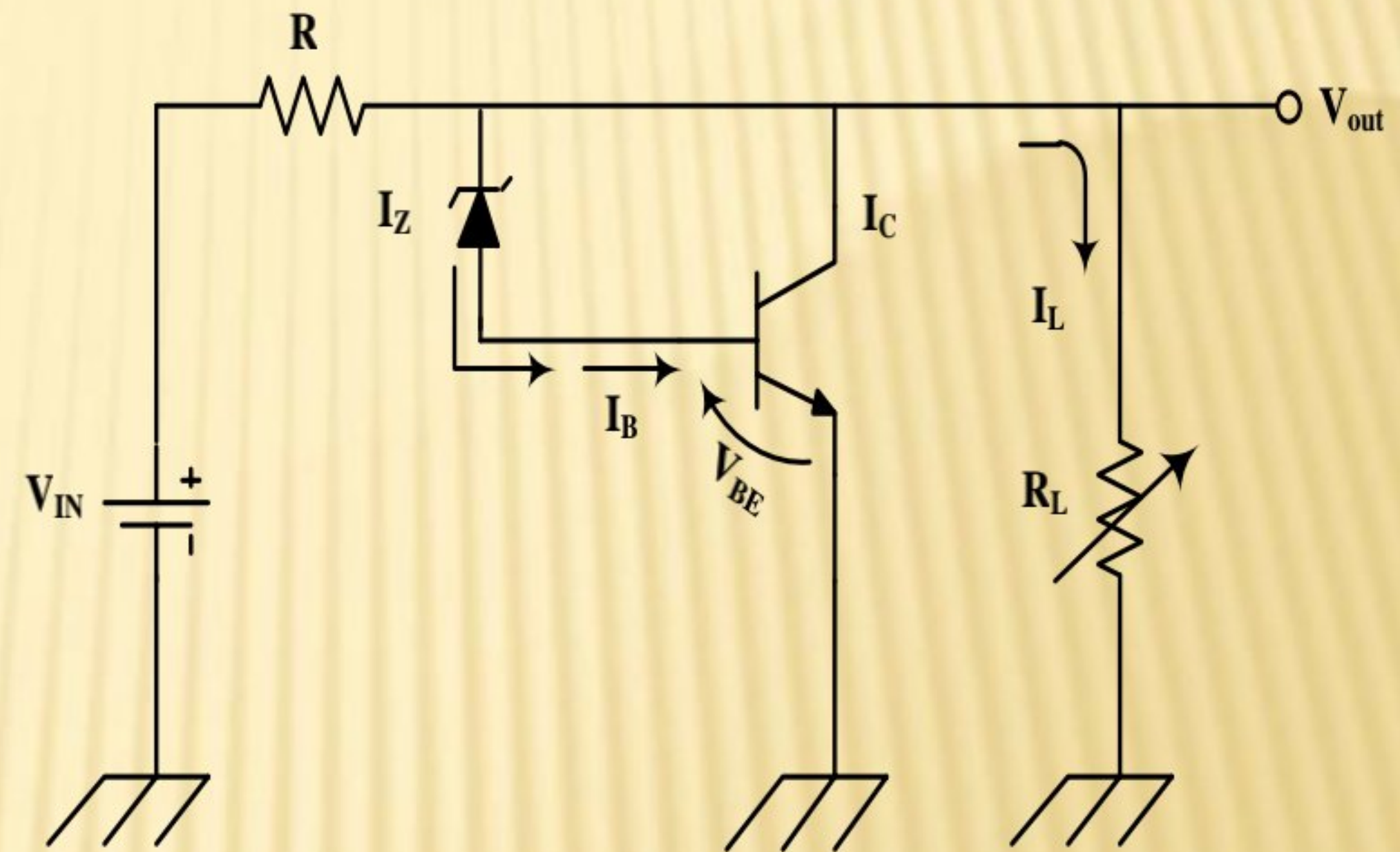
$$\Delta I_L = -\Delta I_C$$

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

$$I_Z = I_B$$

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

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

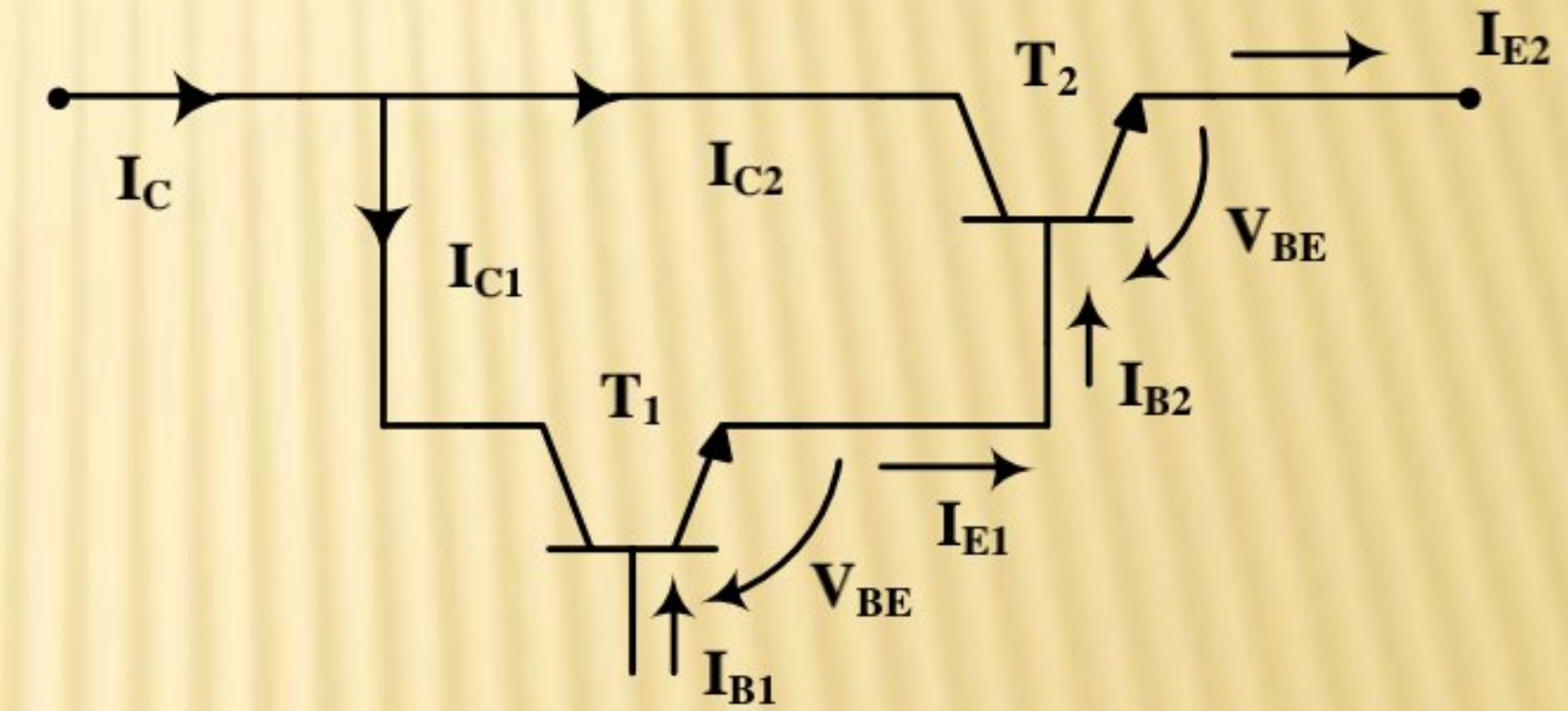


Darlington Regulator

منظم دارلنكتون

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

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



$$\begin{aligned}
 &= \beta I_{B1} + \beta I_{B1} + \beta^2 I_{B1} \\
 &= 2\beta I_{B1} + \beta^2 I_{B1} \\
 \therefore I_{B1} &= \frac{I_C}{\beta^2} \cong \frac{I_{E2}}{\beta^2} = \frac{I_L}{\beta^2}
 \end{aligned}$$

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

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

$V_{out} = V_Z - 2V_{BE}$ 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 50Ω . أوجد مقدار التغير في فولتية الإخراج.

الحل

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

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

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

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

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

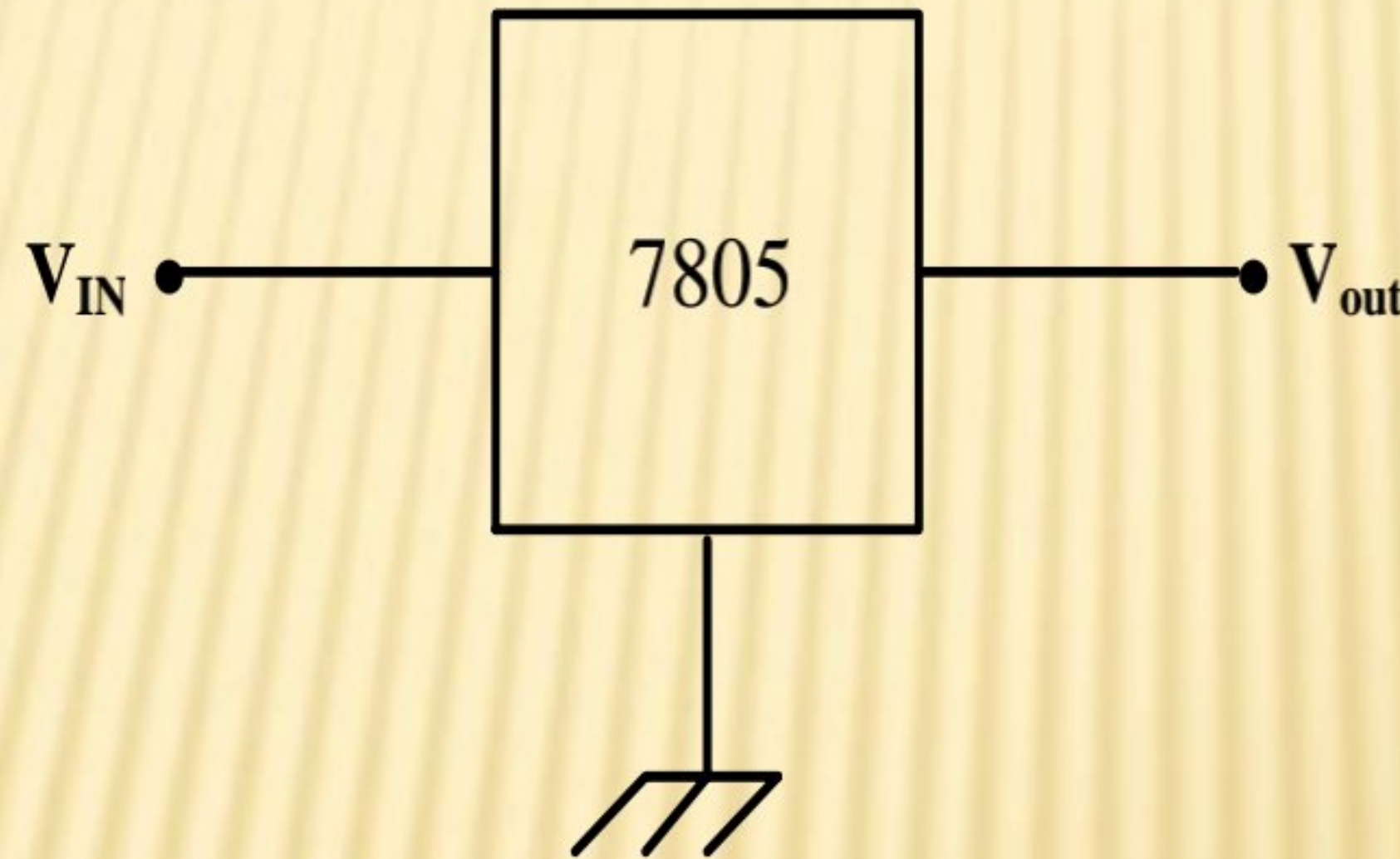
$$\Delta V_{out} = \Delta I_Z * Z_Z = -6.1\mu * 6 = -36.6\mu V$$

$$VR\% = \frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} * 100\% = \frac{-36.6\mu V}{6.1V} * 100\% = -0.0006\%$$

IC Regulators

المنظمات المتكاملة

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
١. ينظم الجهد المستمر.	١. ينظم الجهد المستمر.	١. ينظم الجهد المستمر.	١. ينظم الجهد المستمر.
٢. يحتوي على ثنائي زينر.	٢. يحتوي على ثنائي زينر وترانزستور مربوط على التوالي مع الحمل.	٢. يحتوي على ثنائي زينر وترانزستور مربوط على التوازي مع الحمل.	٢. يحتوي على ثنائي زينر ومكبر دارلنكتون مربوط على التوالي أو التوازي مع الحمل.
٣. $V_{out} = V_Z$	٣. $V_{out} = V_Z - V_{BE}$	٣. $V_{out} = V_Z + V_{BE}$	٣. $V_{out} = V_Z - 2V_{BE}$ للتوالي. $V_{out} = V_Z + 2V_{BE}$ للتوازي.
٤. $\Delta I_Z = -\Delta I_L$	٤. $\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta}$	٤. $\Delta I_Z = -\Delta I_B$	٤. للتوالي $\Delta I_Z = -\frac{\Delta I_L}{\beta^2}$ للتوازي $\Delta I_Z = -\Delta I_{B1}$
٥. عامل التنظيم مقبول.	٥. عامل التنظيم جيد.	٥. عامل التنظيم جيد.	٥. عامل التنظيم ممتاز.
٦. دائرته (رسم الدائرة).	٦. دائرته (رسم الدائرة).	٦. دائرته (رسم الدائرة).	٦. دائرته (رسم الدائرة).

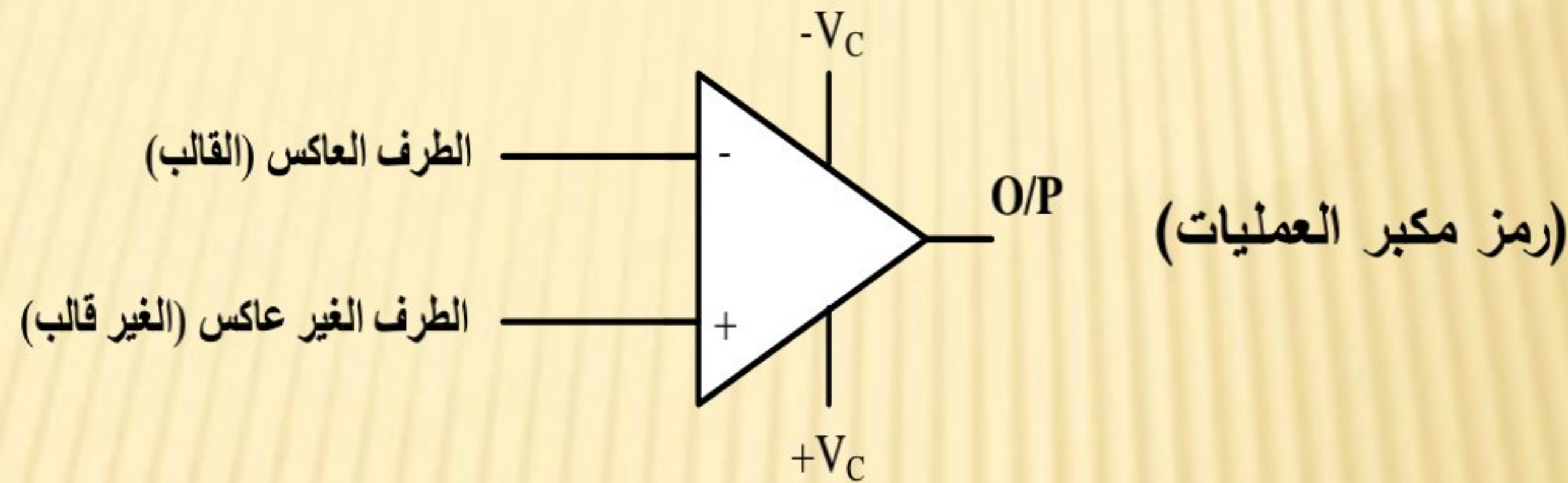
ملاحظة: بالنسبة للمنظمات التوالي فيجب مراعاة شرط أن يكون تيار الحمل أقل من تيار الجامع للترانزستور.

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

Operational Amplifier (OPAMP)

مكبر العمليات

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



OPAMP Characteristics

خواص مكبر العمليات

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

OPAMP Applications

تطبيقات مكبر العمليات

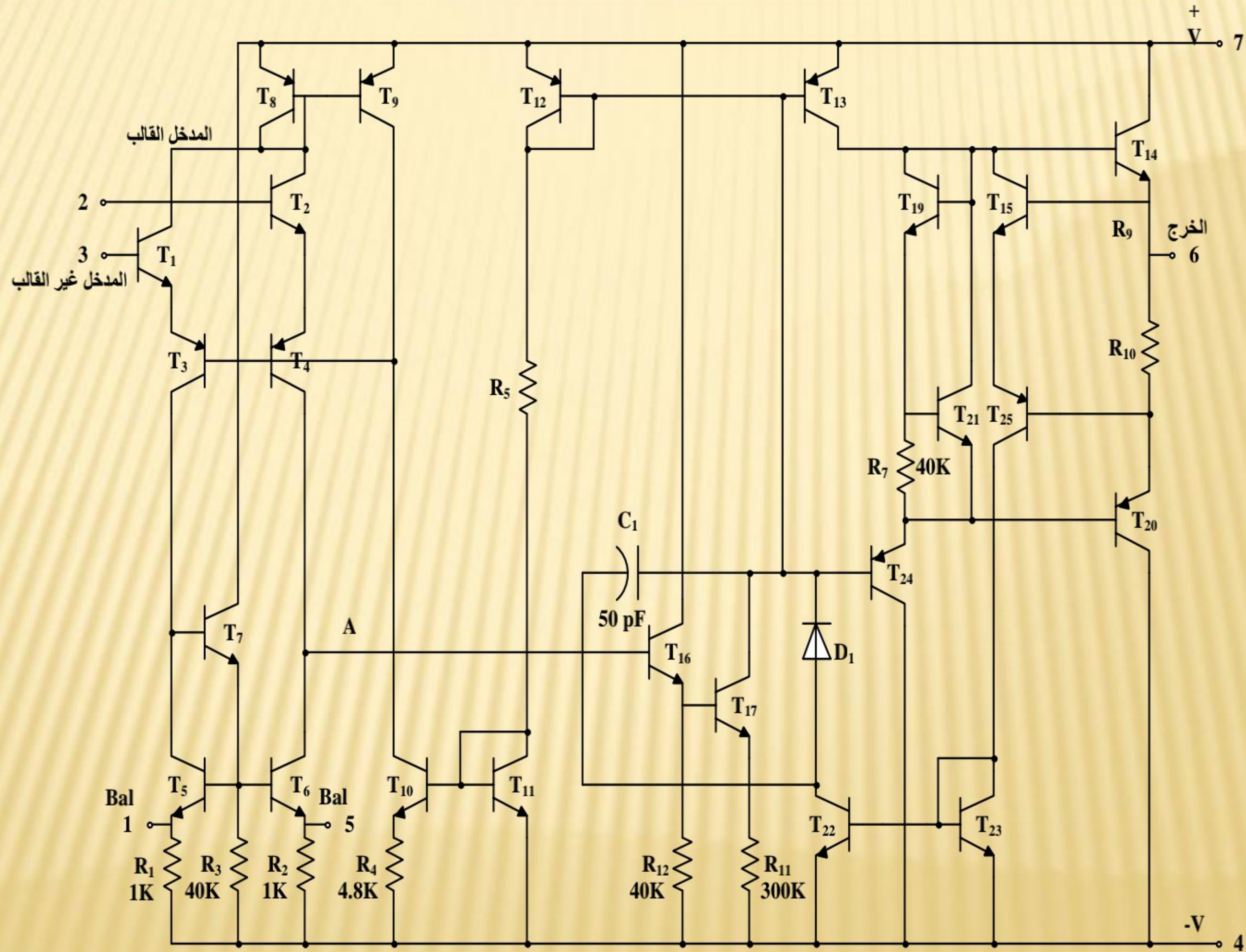
يمتاز مكبر العمليات باستخدامه في كثير من التطبيقات المختلفة في الدوائر الالكترونية مثل: المكبر العاكس، المكبر غير العاكس، تابع الفولتية، الجامع، الطارح، المكامل، المفاضل وغيرها. وسوف نتناول بعض هذه التطبيقات بشيء من التفصيل.

ملاحظة: تعتبر المتكاملة 741 مثلاً 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 أن تؤدي وظيفة مذبذب لموجات جيبية أو غير جيبية. دوائر اكتساحية، مصادر للتيار والفولتية الثابتة بالإضافة إلى العمليات الحسابية الأربع المشار إليها اعلاه.

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

(التركيب الداخلي لمكبر العمليات 741)

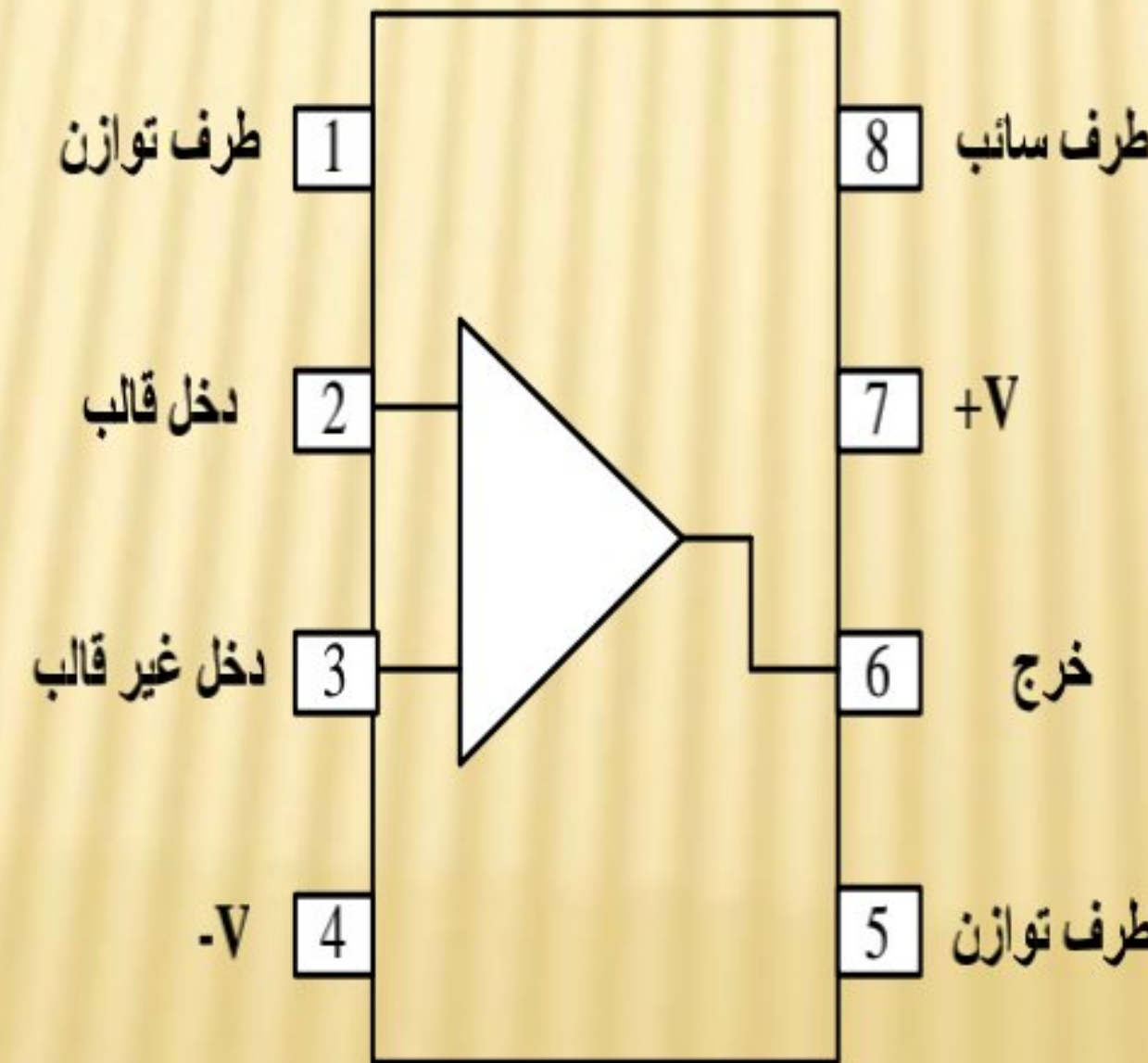


تركيب ومواصفات مكبر العمليات

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 مكبر عمليات 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 $\pm 15V$ نسبة إلى الخط الأرضي. وهذه الفولتية تمكن المضخم لتكبير إشارة 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 $0.1\mu f$ بين كل مصدر والأرضي لأمرار الترددات الراديوية.

• **الطرف (2):** هو طرف دخل قالب للإشارة. فعند تسليط إشارة بين هذا الطرف والأرضي، فإنها تكبر وتقلب في دائرة الخرج. فإذا كانت إشارة الدخل متناوبة فإن القلب يشير إلى التبدل في زاوية الطور بمقدار 180° . أو بمعنى آخر، تنعكس إشارة 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 (+). والإشارة التي تسلط بين هذا الطرف والأرضي، تظهر في الخرج بنفس إشارة الدخل.

• **الطرف (6):** هو خرج المكبر حيث تؤخذ إشارة الخرج بين هذا الطرف والأرضي.

Inverting Amplifier

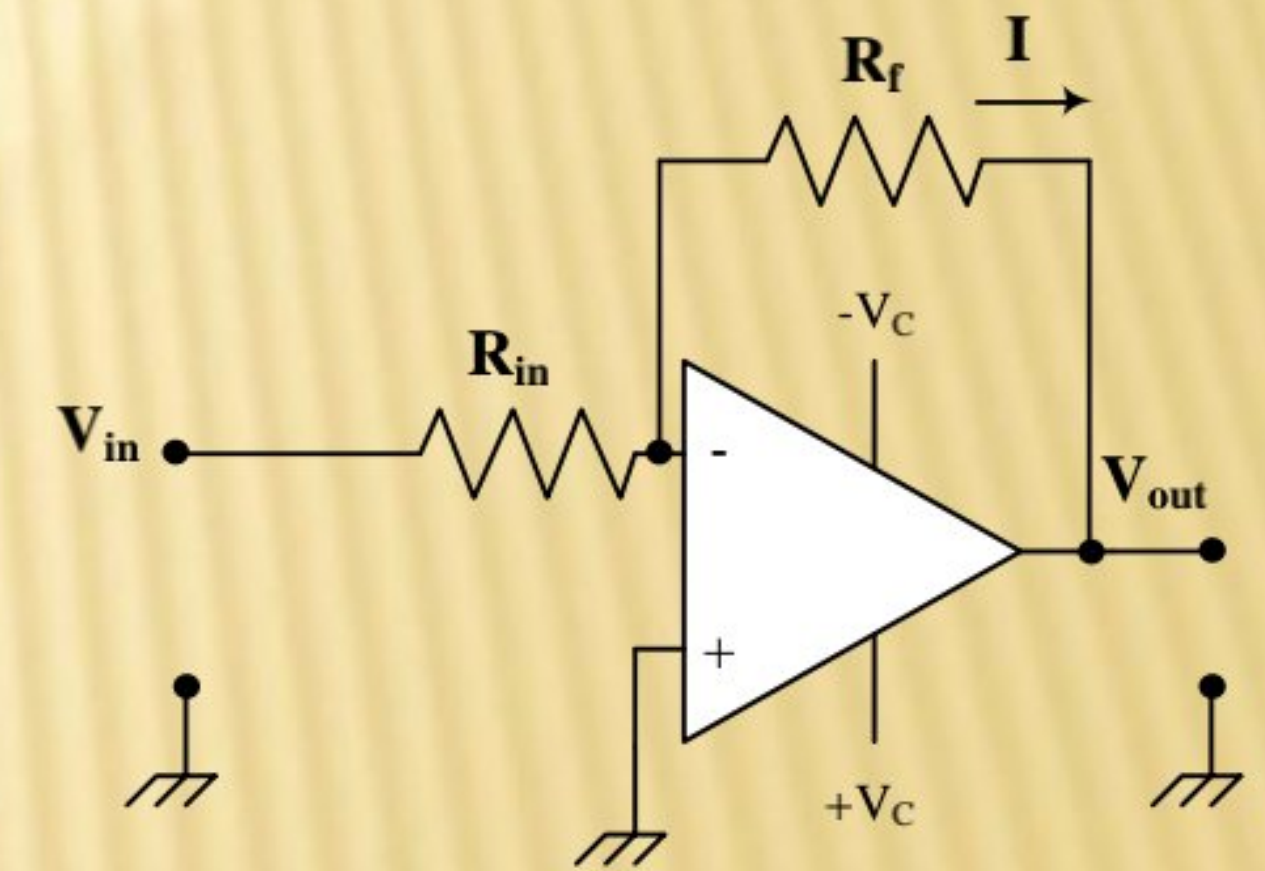
المكبر العاكس (القلاب)

يقوم المكبر العاكس بتكبير الإشارة مع قلب الإشارة 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:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_{in}} \quad \text{تكبير الفولتية أو الكسب للفولتية}$$

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

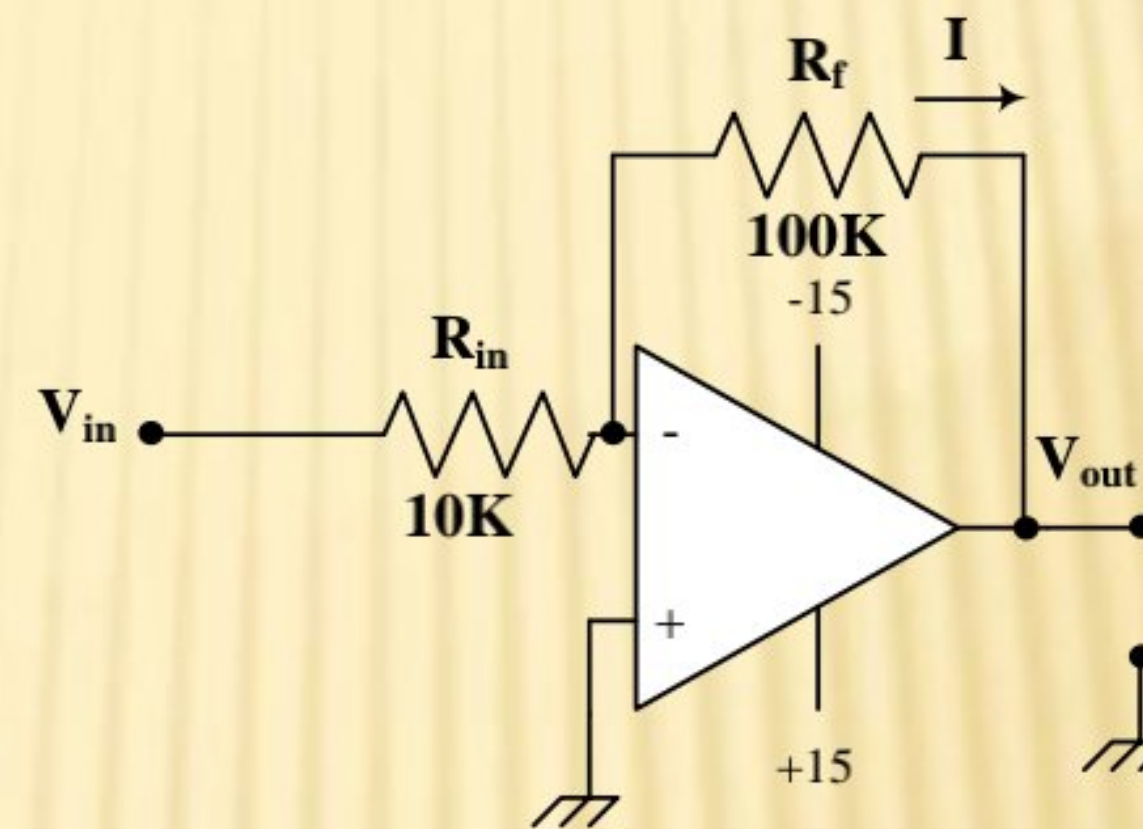
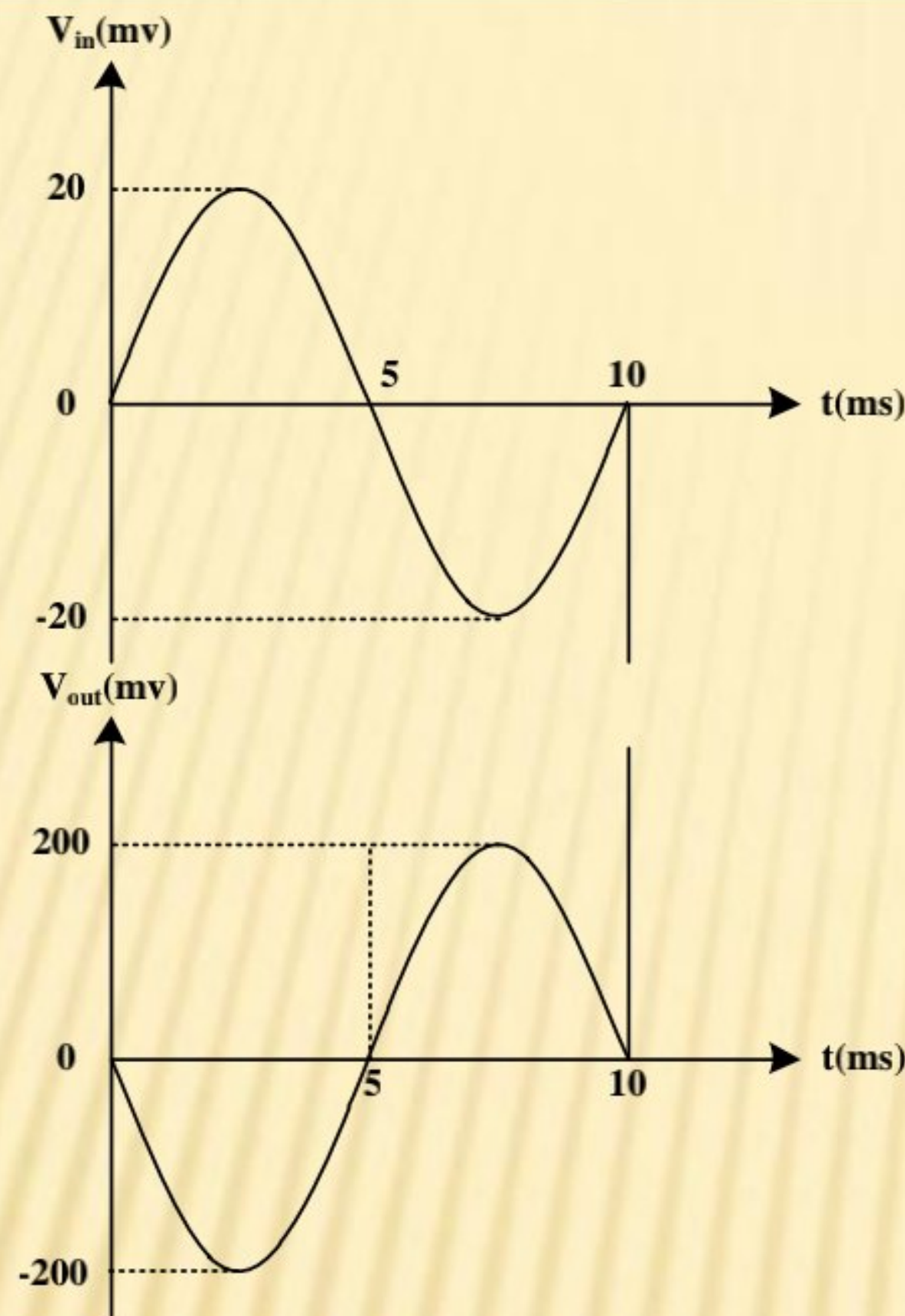
$$\begin{aligned} V_{out} &= -I * R_f \\ V_{in} &= I * R_{in} \end{aligned} \quad \text{حيث أن:}$$



(دائرة المكبر العاكس)

ملاحظة: وإذا كانت $R_f = R_{in}$ فإن $A_v = -1$ 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.



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

نحسب A_v

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

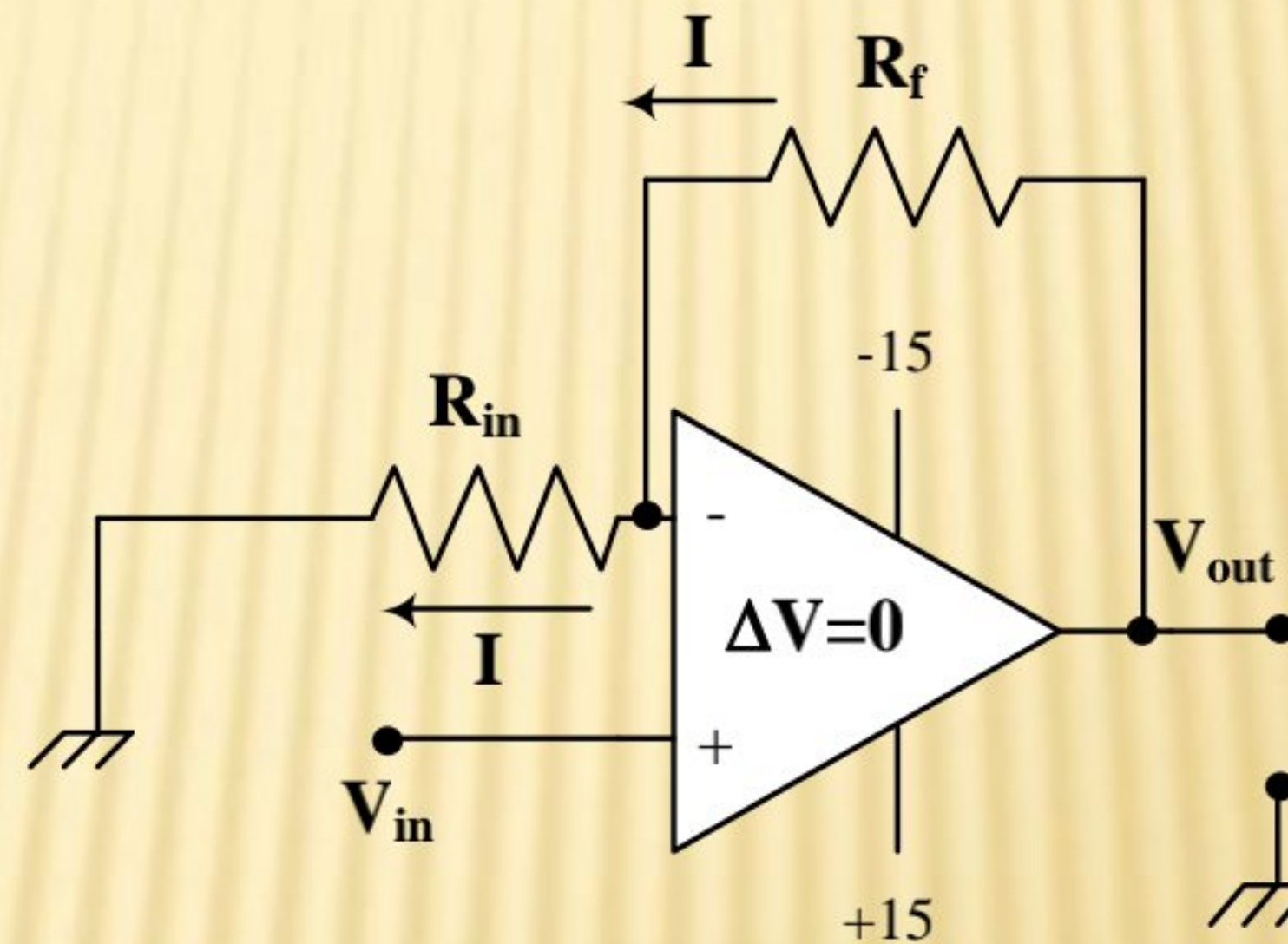
$$V_{out2} = V_{in} * A_v = -20 * (-10) = +200mV$$

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:

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



(دائرة المكبر غير العاكس)

مثال: في دائرة المكبر غير العاكس إذا كانت $R_f=50K$ و $R_{in}=10K$ و $V_{cc}=\pm 15V$. أوجد فولتية الإخراج إذا كانت $V_{in}=-1.5V$ مرة و $V_{in}=4V$ مرة أخرى.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} = 1 + \frac{50K}{10K} = 6$$

عندما $V_{in}=-1.5V$ فإن الإخراج

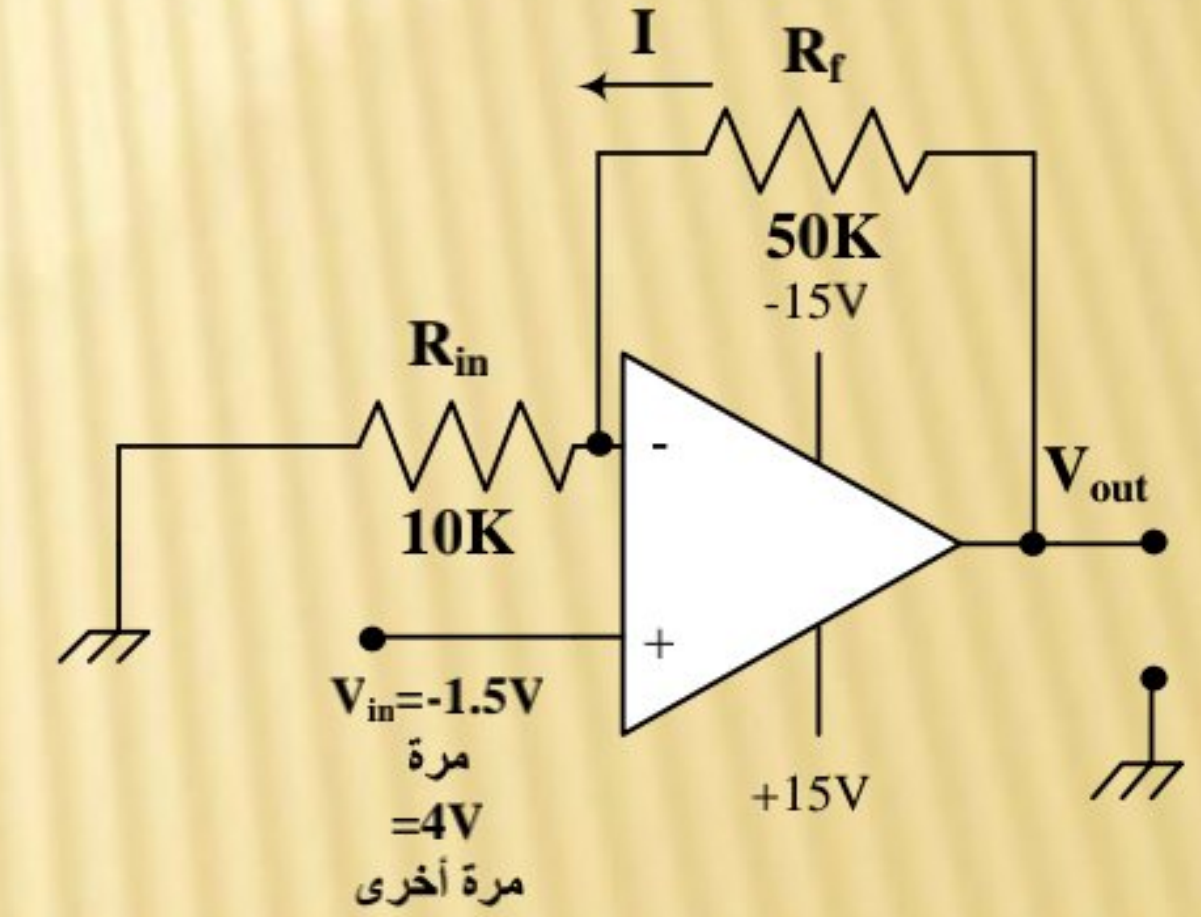
$$V_{out} = V_{in} * A_v = 6 * (-1.5) = -9V$$

وعندما $V_{in}=4V$ فإن الإخراج

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

وهذا عملياً غير ممكن

حيث ان: $V_{out} \leq V_{cc}$ أي أنها لا تتجاوز $15V$ في هذا المثال.



(دائرة المثال للمكبر الغير عاكس)

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 $A_v=1$ ويستخدم لتكبير التيار. $V_{out} = V_{in}$.

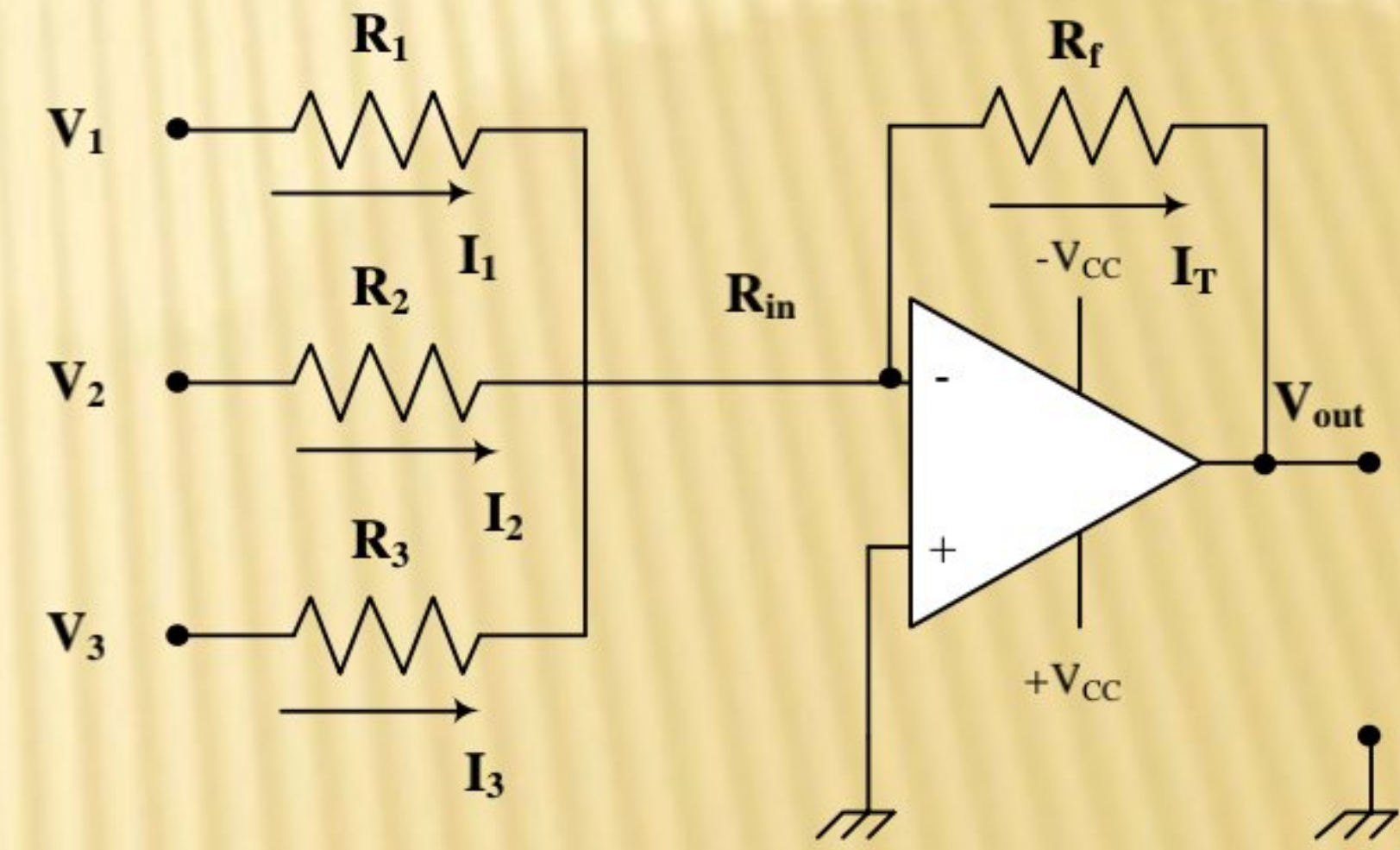
Inverting Adder

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:

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

المعادلة العامة للجامع العاكس
وإذا كانت المقاومات متساوية أي أن $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$
فإن المعادلة (1) ستكون:



(دائرة الجامع العاكس)

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

كيفية الحصول على المعادلة (1) هو كما يلي:

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

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

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

مثال:

في دائرة الجامع العاكس إذا كانت $V_{cc}=\pm 15V$ و $V_3=0.5V$ ، $V_2=1V$ ، $V_1=2V$ ، $R_3=15K$ ، $R_2=20K$ ، $R_1=30K$ ، $R_f=60K$ أوجد فولتية الإخراج في هذه الدائرة.

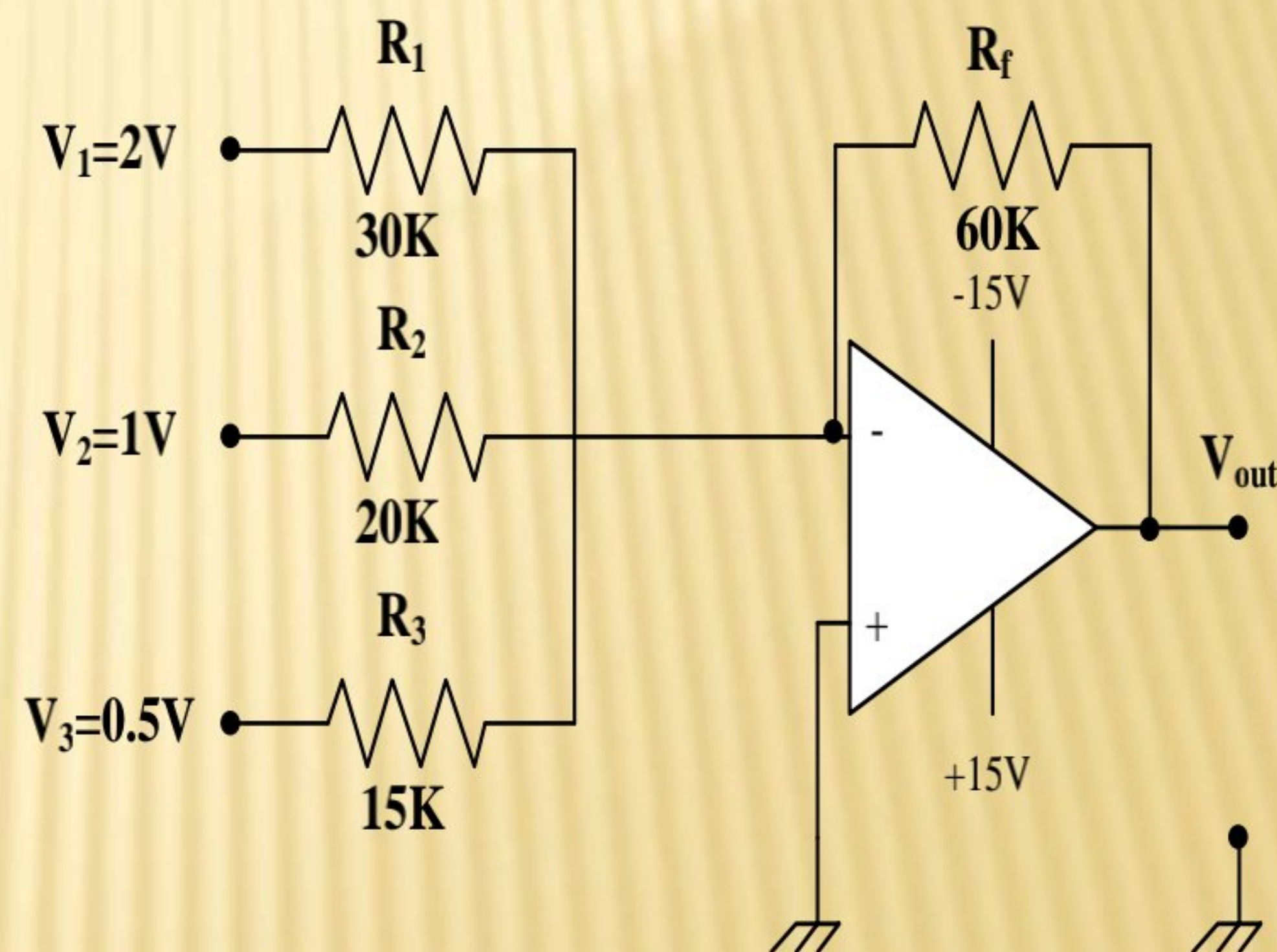
الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

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

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

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

$$= -9V \text{ و.ه.م}$$



(دائرة مثال الجامع العاكس)

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

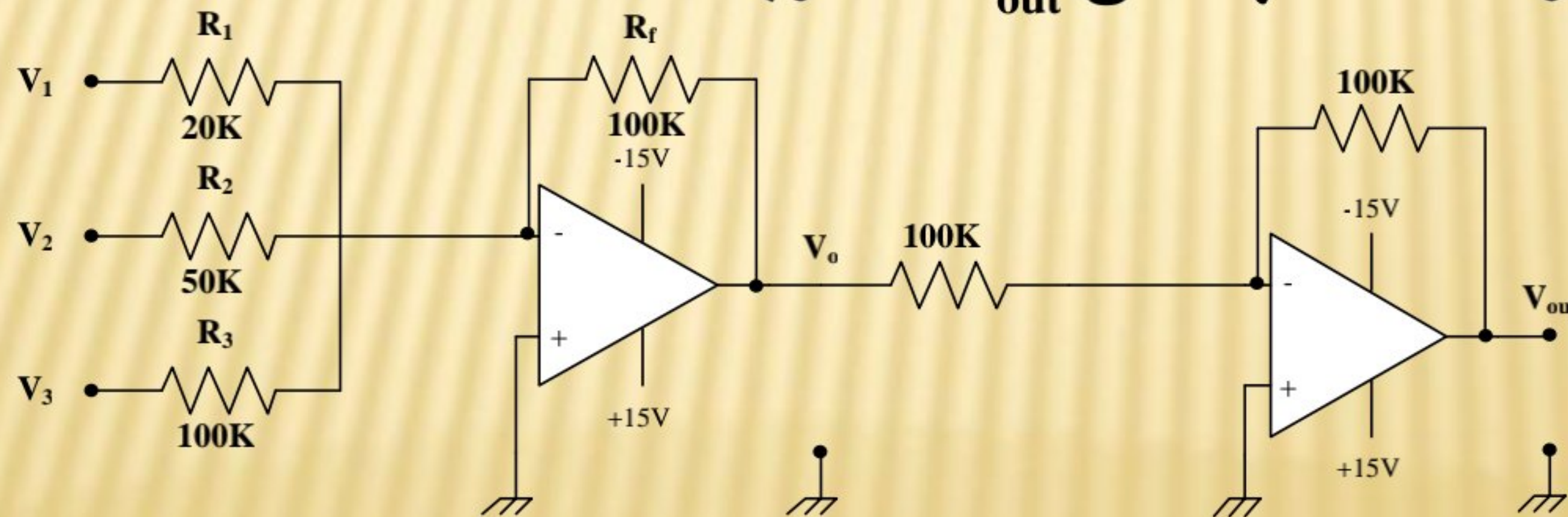
علماً أن $R_f = 100K$ و $V_{cc} = \pm 15V$.

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:

$$\frac{R_f}{R_1} = 5, \therefore R_1 = \frac{R_f}{5} = \frac{100}{5} = 20K \text{ \& } R_2 = \frac{100}{2} = 50K \text{ \& } R_3 = 100K$$

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



$$V_{out} = -V_0 = -\left[-\left(\frac{100}{20} \cdot V_1 + \frac{100}{50} \cdot V_2 + \frac{100}{100} \cdot V_3\right)\right] = 5V_1 + 2V_2 + V_3$$

و.ه.م

Non-Inverting Adder

الجامع غير العاكس (غير القالب)

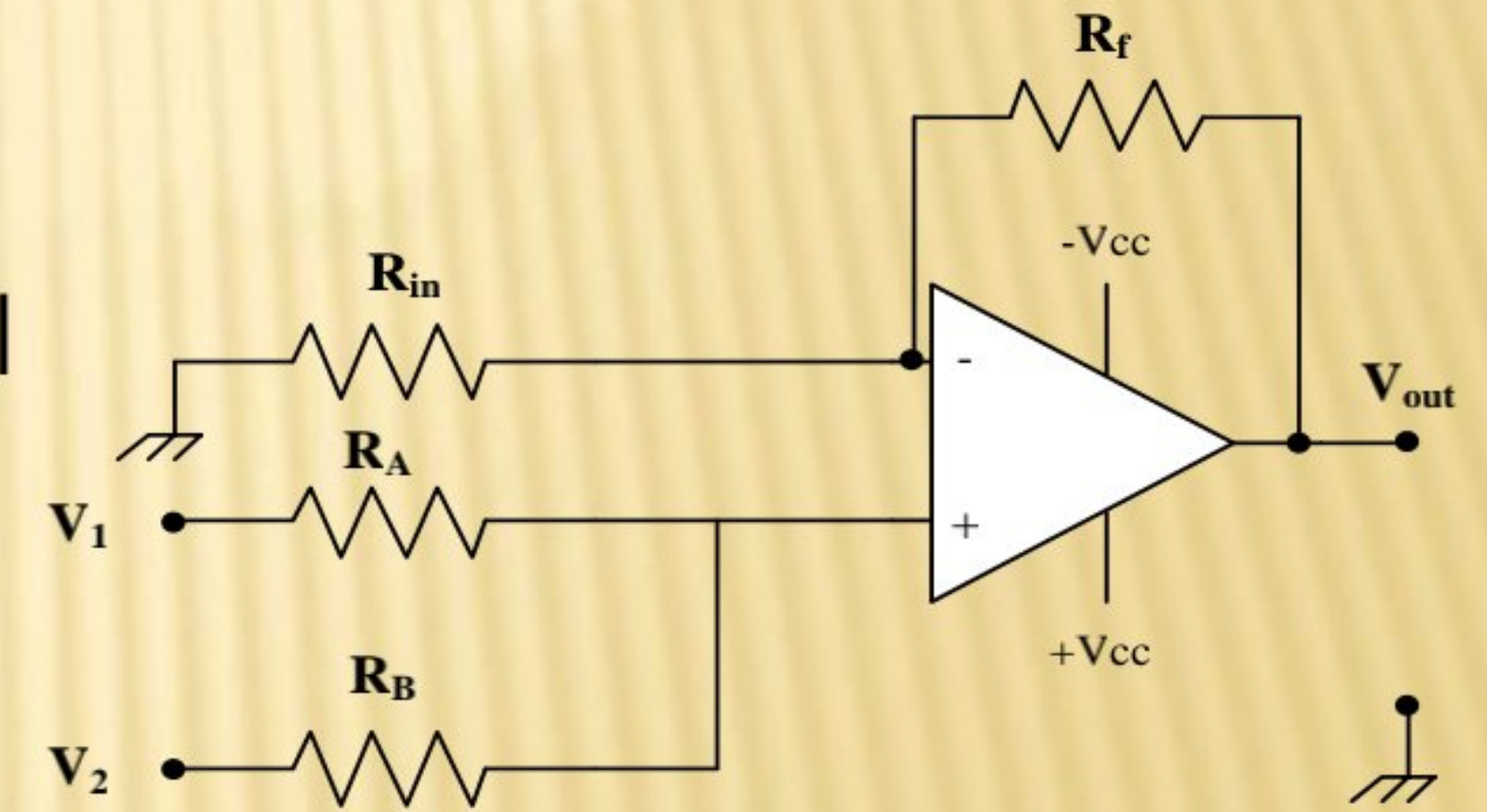
تقوم دائرة الجامع غير القالب بجمع عدد من الاشارات من دون عكسها، وتسمى أيضاً المضيف غير القالب أو الضائف غير القالب.

وفيما يلي رسم الدائرة مع العلاقات الرياضية لها:

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

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

هذا الرقم يدل على عدد الإشارات



وإذا كانت $R_f = R_{in}$ 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 V_{out1} مع V_{out2} نحصل على المعادلة (1).

مثال: في دائرة الجامع غير العاكس إذا كانت $V_1=3.5V$ ، $V_2=2.5V$ ، $R_{in}=10K$ ، $R_f=40K$ ، $R_A=R_B=10K$ ، $V_{cc}=15V$. أوجد V_{out} لهذه الدائرة.

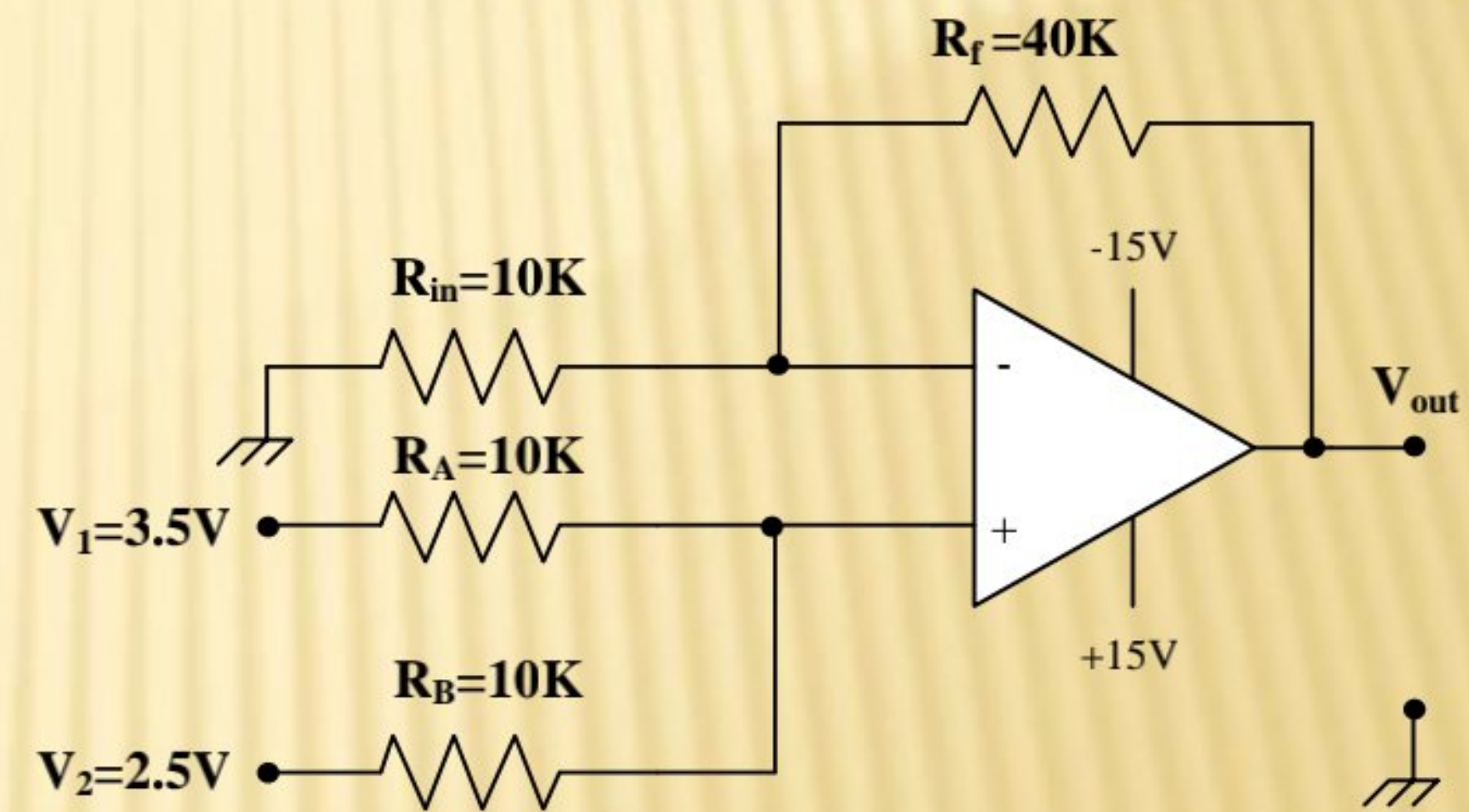
الحل: بداية نرسم الدائرة ثم نقوم بتثبيت المعلومات عليها:

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

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

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

$$= 15V \text{ و.ه.م}$$



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

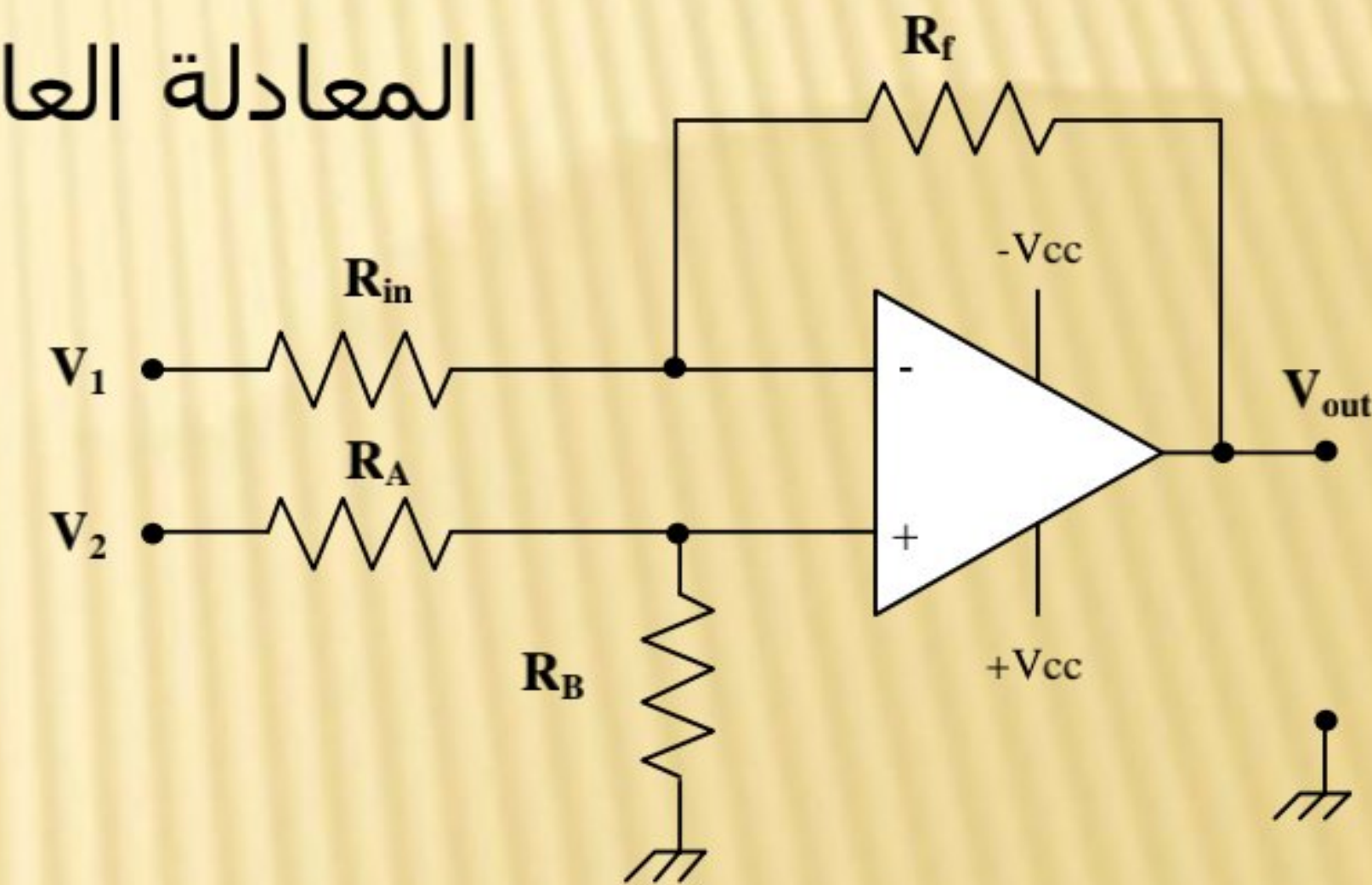
الطرح

تقوم دائرة الطرح بطرح اشارتين كل منهما على أحد طرفي الإدخال، وتسمى أيضاً المكبر الفرقي أو المكبر التفاضلي.
ملاحظة: توجد أكثر من دائرة للطرح، وسوف نختار أحدها:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}}\right) \left(\frac{V_2 * R_B}{R_A + R_B}\right) - \frac{R_f}{R_{in}} \cdot V_1 \quad \dots\dots\dots (1) \quad \text{المعادلة العامة للطرح}$$

وإذا كانت $R_A = R_B$ و $R_f = R_{in}$ فإن علاقة الإخراج تكون:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \quad \dots\dots\dots (2)$$



(دائرة الطرح)

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

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

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:

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

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

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

(لماذا؟)

ملاحظة: إذا كانت مواقع V_2 & V_1 متبادلة فإن المعادلة (2) ستكون:

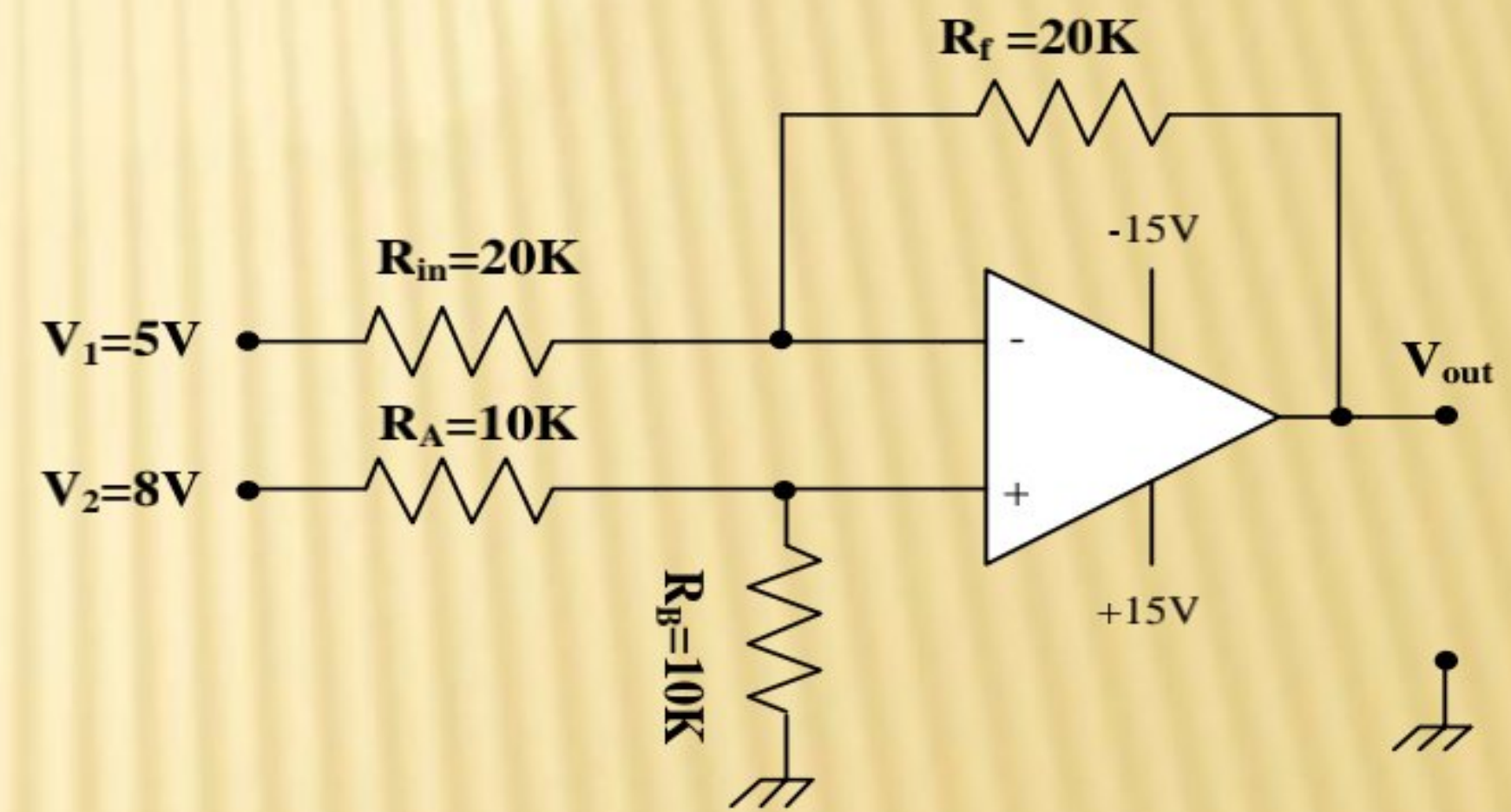
مثال: في دائرة الطارح إذا كانت $R_A=R_B=10K$ & $R_f=R_{in}=20K$ و $V_{cc}=\pm 15V$ ، $V_1=5V$ ، $V_2=8V$. أوجد فولتية الإخراج في الدائرة.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

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

$$= 8 - 5$$

$$= 3V \quad \text{و.ه.م}$$



ملاحظة: إذا كانت $V_1=8V$ و $V_2=5V$ فإن فولتية الإخراج تكون:

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

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

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

الحل:

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

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

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

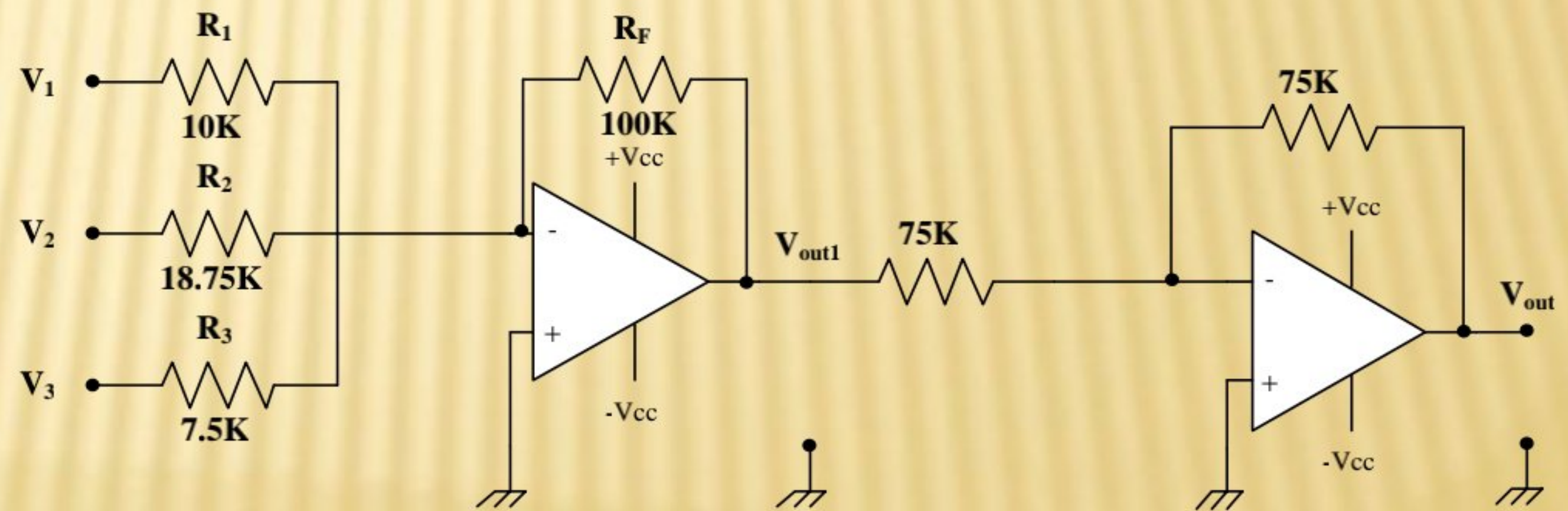
وعليه يكون رسم الدائرة المطلوب كما يلي:

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

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

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

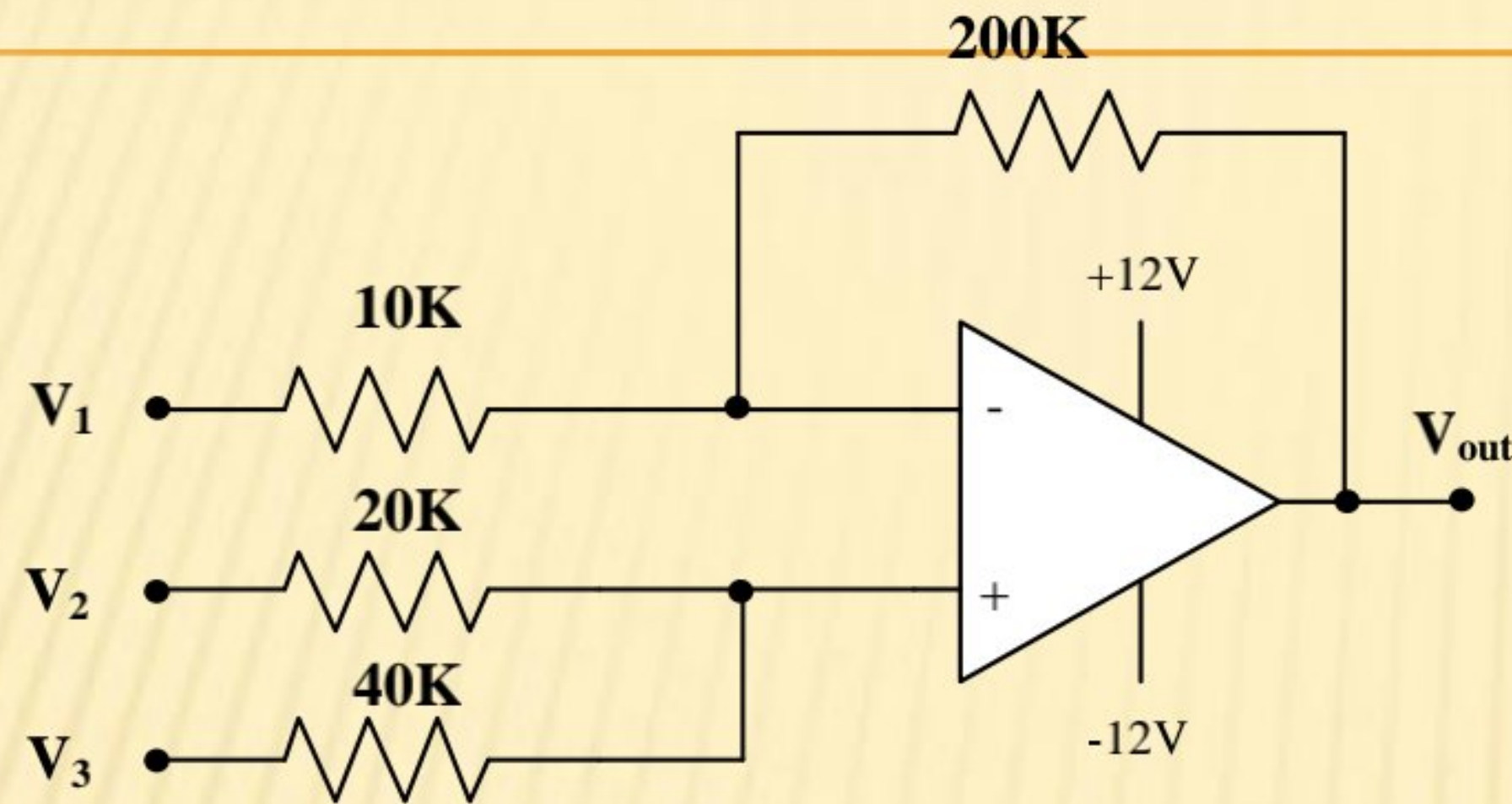
و.ه.م



(مكبر جامع قالب)

(قالب الاشارة)

مثال: أوجد معادلة الإخراج للدائرة المرسومة أدناه:



الحل:

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

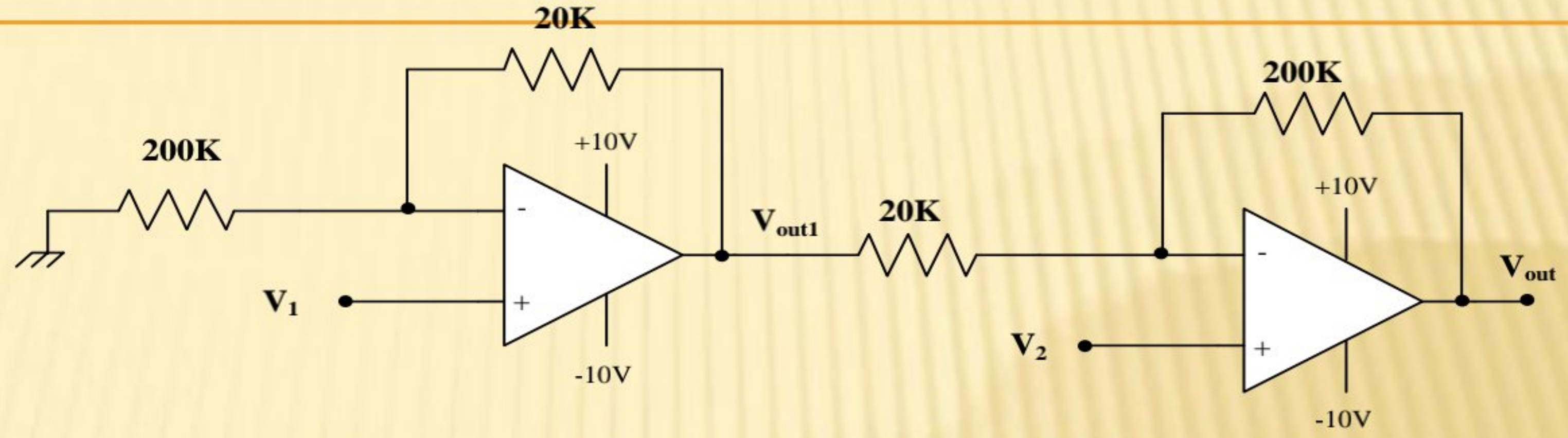
$$V_{o2} = V_2 \text{ من الإخراج الناتج من } = \left(1 + \frac{200}{10}\right) \cdot V_2 * \left(\frac{40}{20 + 40}\right) = 14 \cdot V_2$$

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

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

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

مثال: أوجد معادلة الإخراج لدائرة مكبر العمليات المرسومة أدناه:



$$V_o = \left(1 + \frac{200k}{20k}\right) \cdot V_1 = 11V_1$$

$$V_{out1} = V_o \text{ من الإخراج الناتج من } = \frac{-200k}{20k} \cdot V_o = -10 \cdot 11V_1 = -110 \cdot V_1$$

الحل:

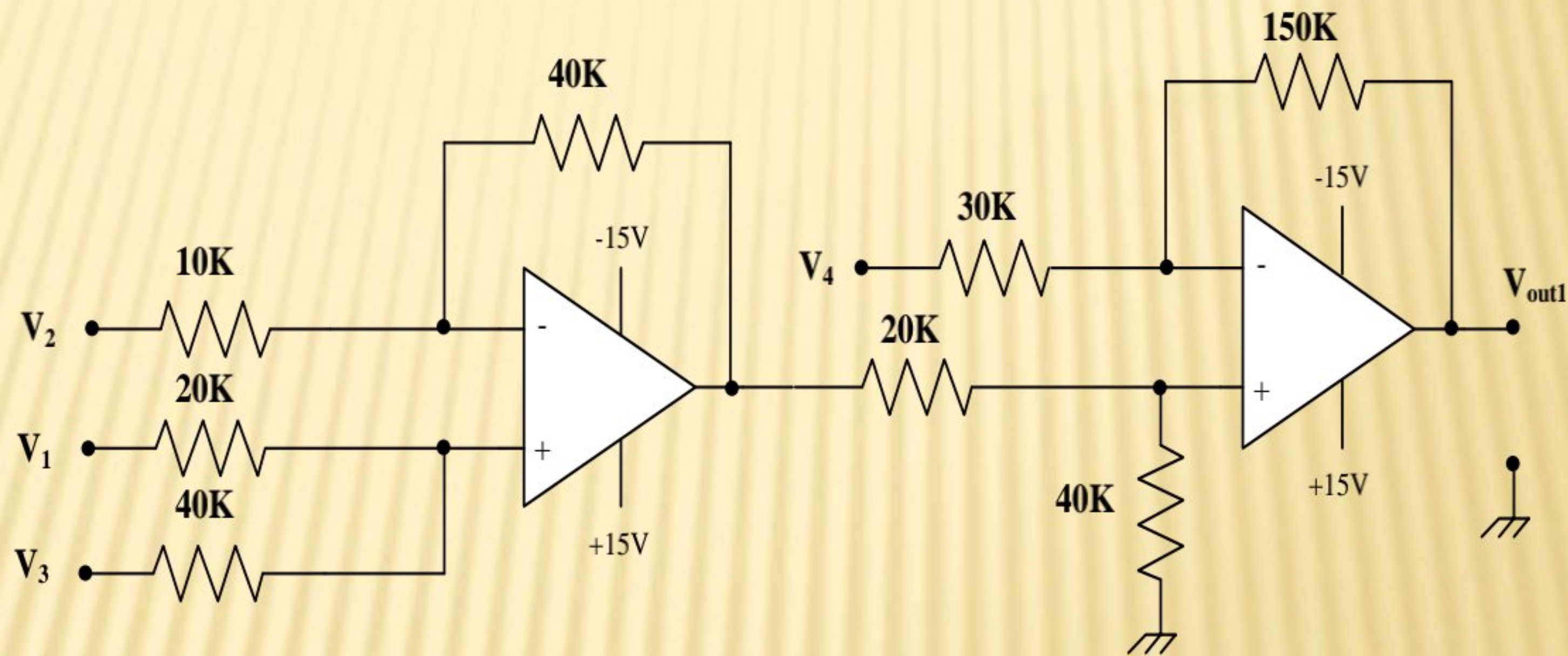
$$V_{out2} = V_2 \text{ من الإخراج الناتج من } = \left(1 + \frac{200k}{20k}\right) \cdot V_2 = 11 \cdot V_2$$

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

$$V_{out} = -110V_1 + 11V_2$$

و.ه.م

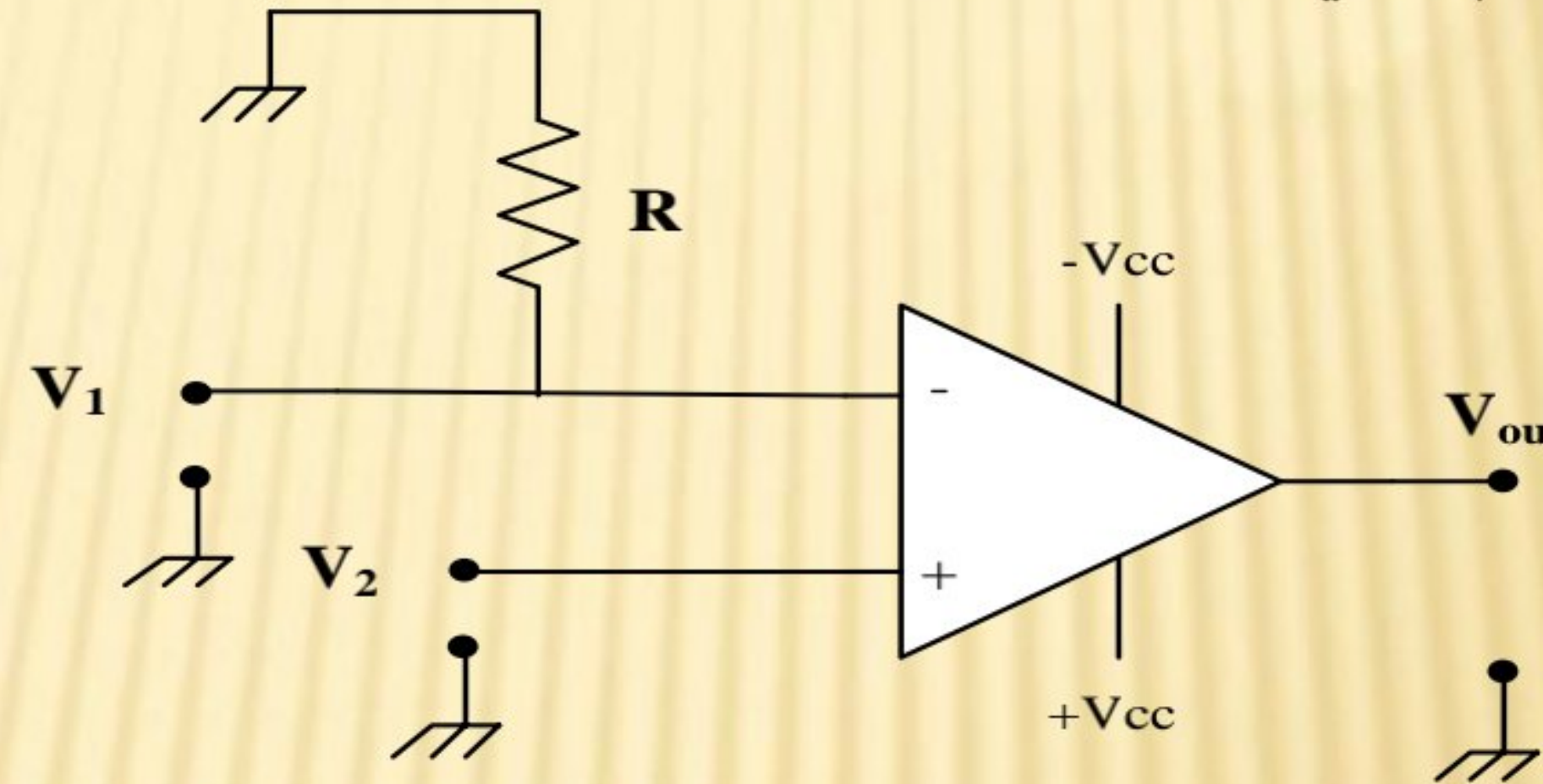
واجب: أوجد معادلة فولتية الإخراج للدائرة المرسومة أدناه:



ملاحظة: في مثل هذه الدوائر نقوم بإيجاد فولتية الإخراج للمرحلة الأولى ومن ثم اعتبارها احد إدخلات 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

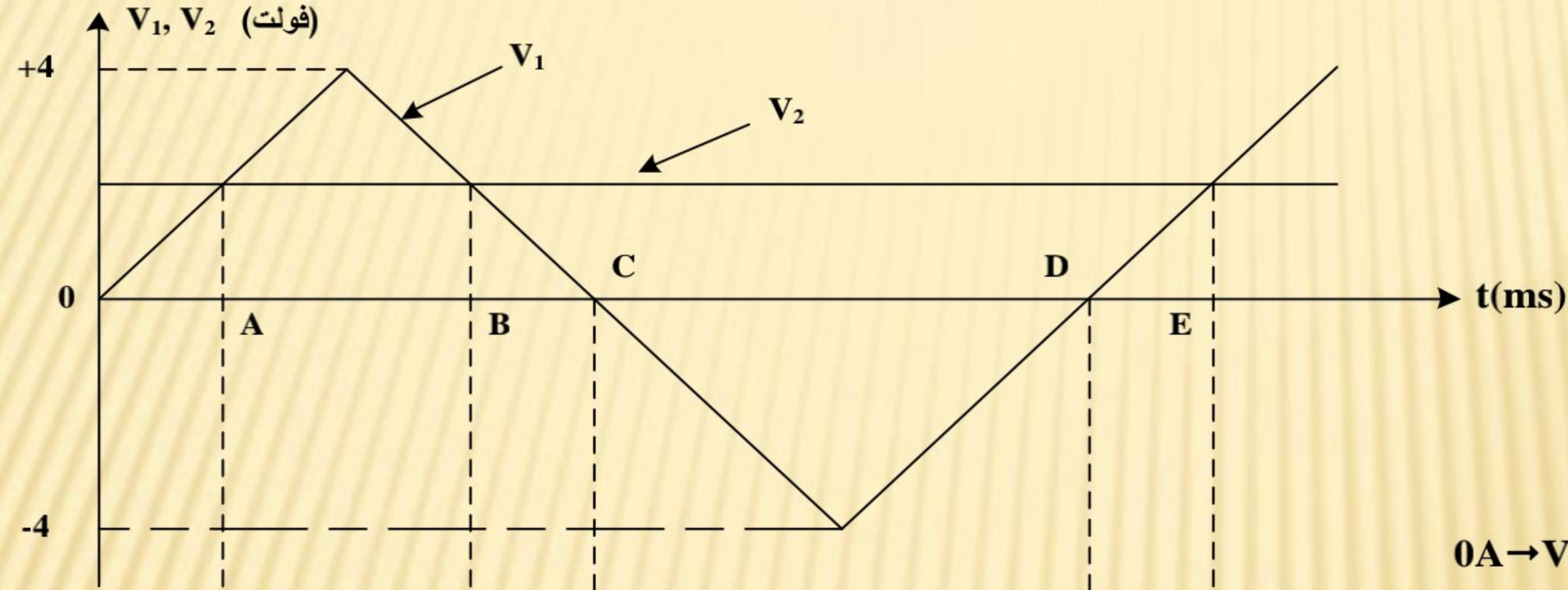


ملاحظة: دائرة المقارن التناظري ليس لها معادلة فولتية إخراج كما في الدوائر التي مرت علينا ولكن لها جدول عمل كما موضح أدناه. جدول عمل المقارن التناظري

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

مثال: في دائرة المقارن التناظري إذا كانت فولتية المرجع $V_2=2V$ ، $R=10K\Omega$ ، $V_{ic}=\pm 15V$. ارسم شكل موجة فولتية الإخراج نسبة إلى موجة فولتية الإدخال المثلثة المعطاة.

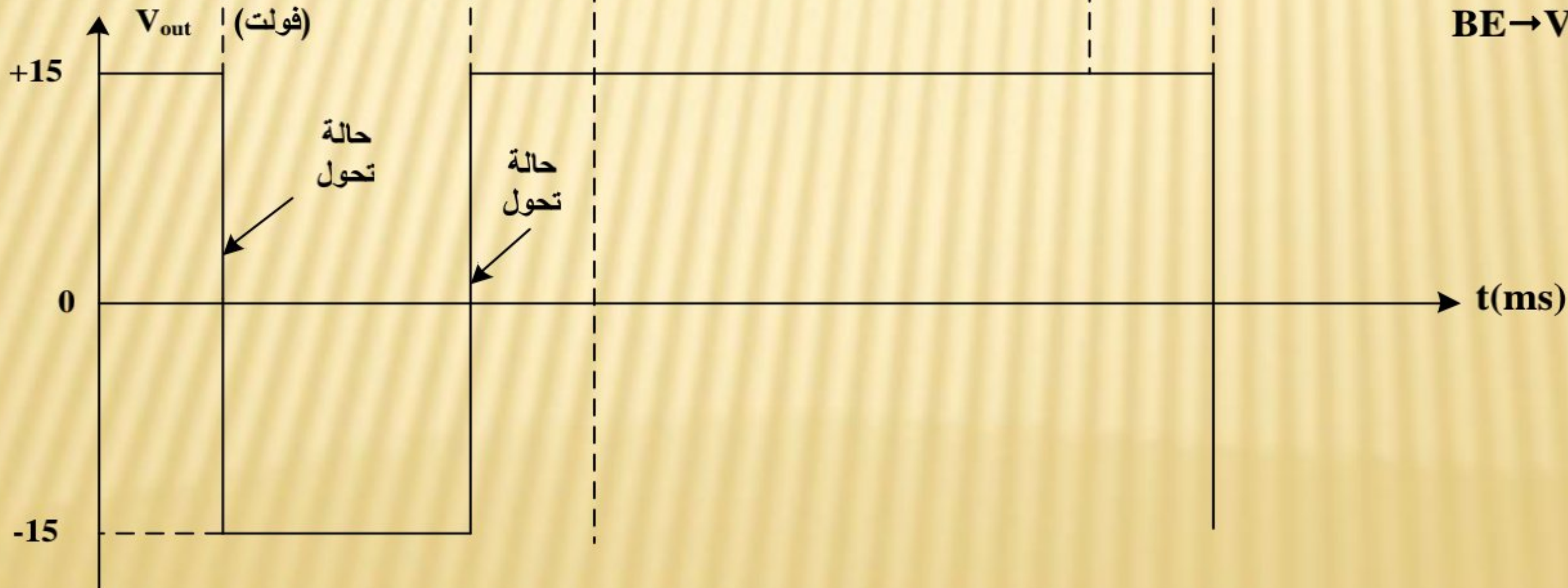
الحل:



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

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

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



جدول مقارنة بين الطارح والمقارن

الطارح (المكبر ألفرقي)	المقارن التناظري
١. أحد استخدامات مكبر العمليات.	١. أحد استخدامات مكبر العمليات.
٢. يستخدم الطرفين القالب وغير القالب.	٢. يستخدم الطرفين القالب وغير القالب.
٣. يكبر الفرق بين إشارتي الإدخال.	٣. يقارن بين إشارتي الإدخال.
٤. له تكبير فولتية محدد بسبب وجود مقاومة التغذية العكسية.	٤. له تكبير فولتية غير محدد بسبب عدم وجود مقاومة التغذية العكسية.
٥. فولتية الإخراج أقل من $\pm V_{cc}$.	٥. فولتية الإخراج تساوي $\pm V_{ic}$.
٦. له استخدامات محدودة.	٦. استخداماته كثيرة.
٧. رسم الدائرة	٧. رسم الدائرة.

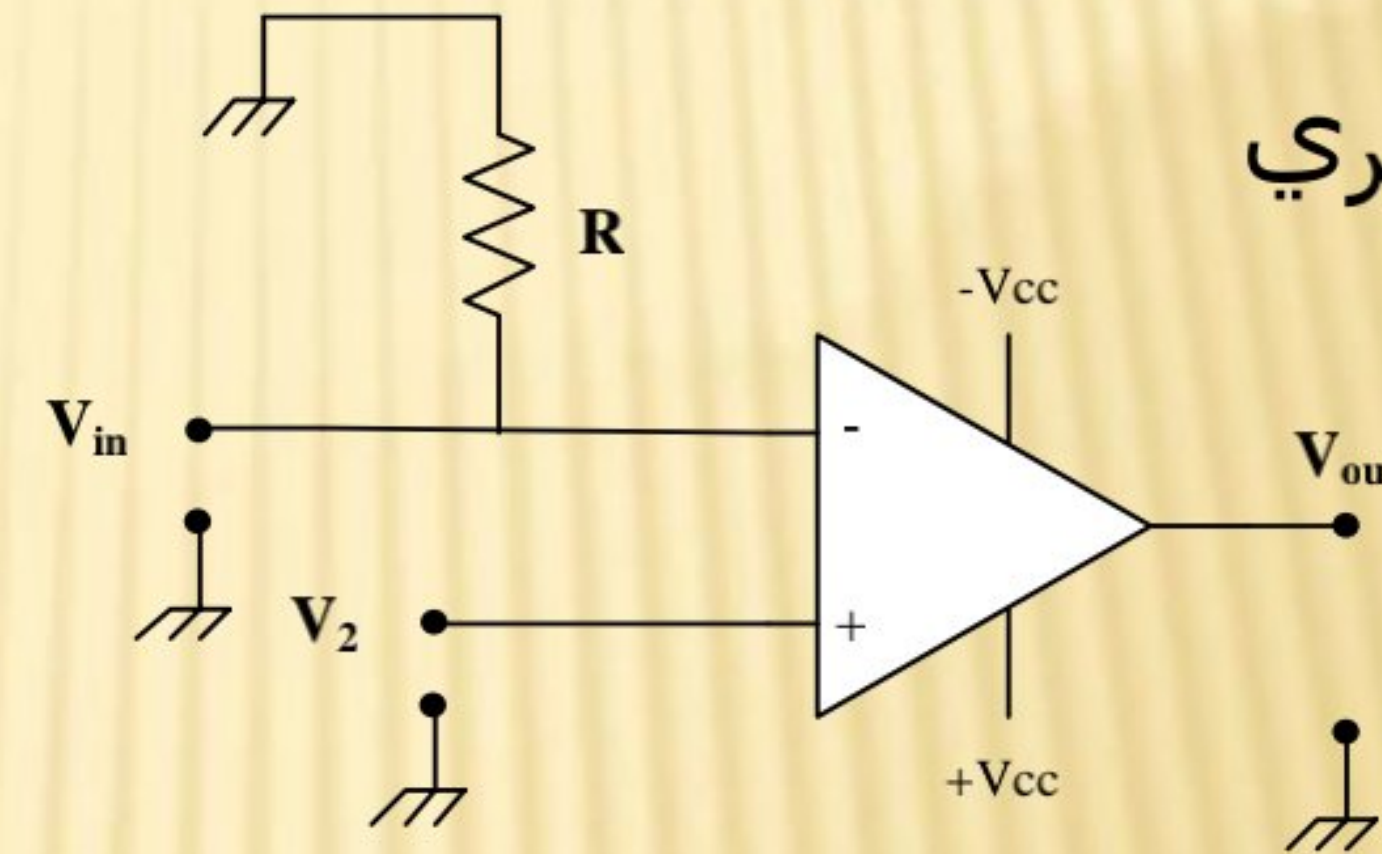
(Zero Crossing Detector)

الكاشف الصفري

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.

- * إذا كانت $0 < V_{in}$ تكون $V_{out} = -V_{cc}$.
- * إذا كانت $0 = V_{in}$ تكون حالة تحول $V_{out} = 0$.
- * إذا كانت $0 > V_{in}$ تكون $V_{out} = +V_{cc}$.

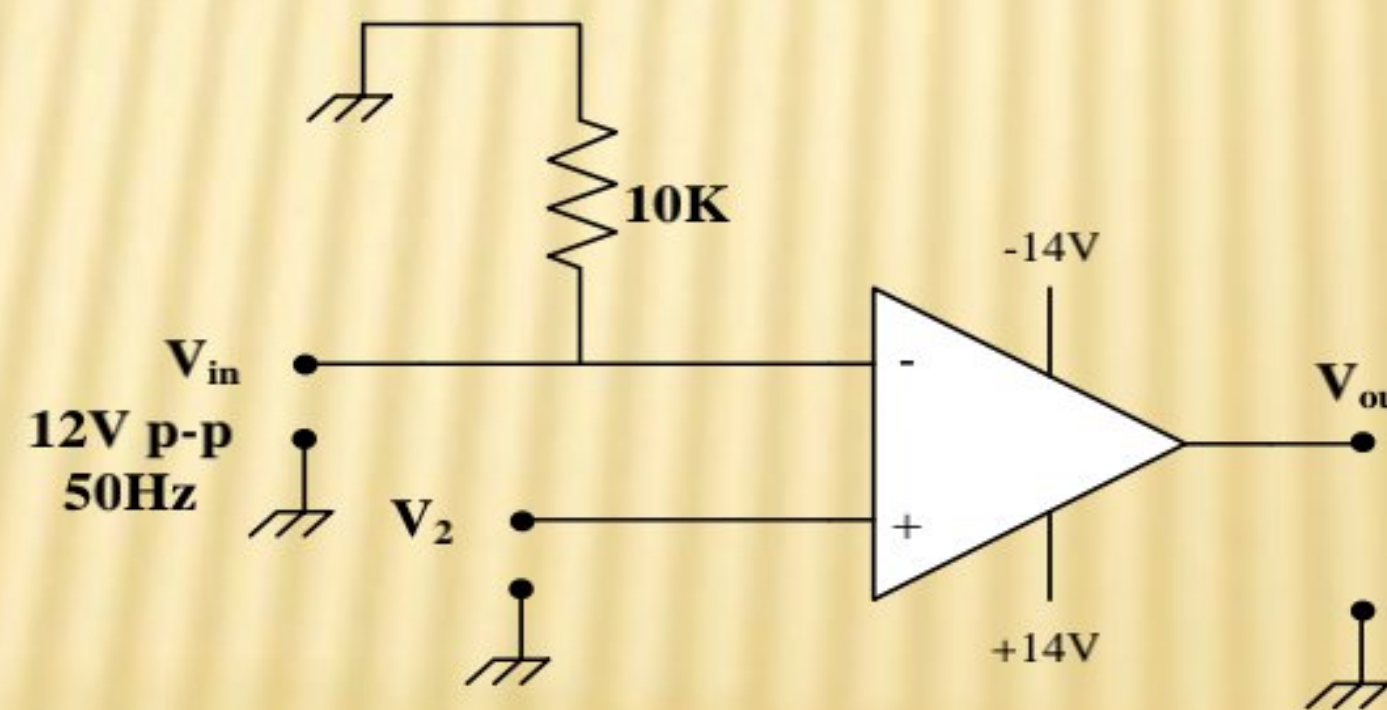
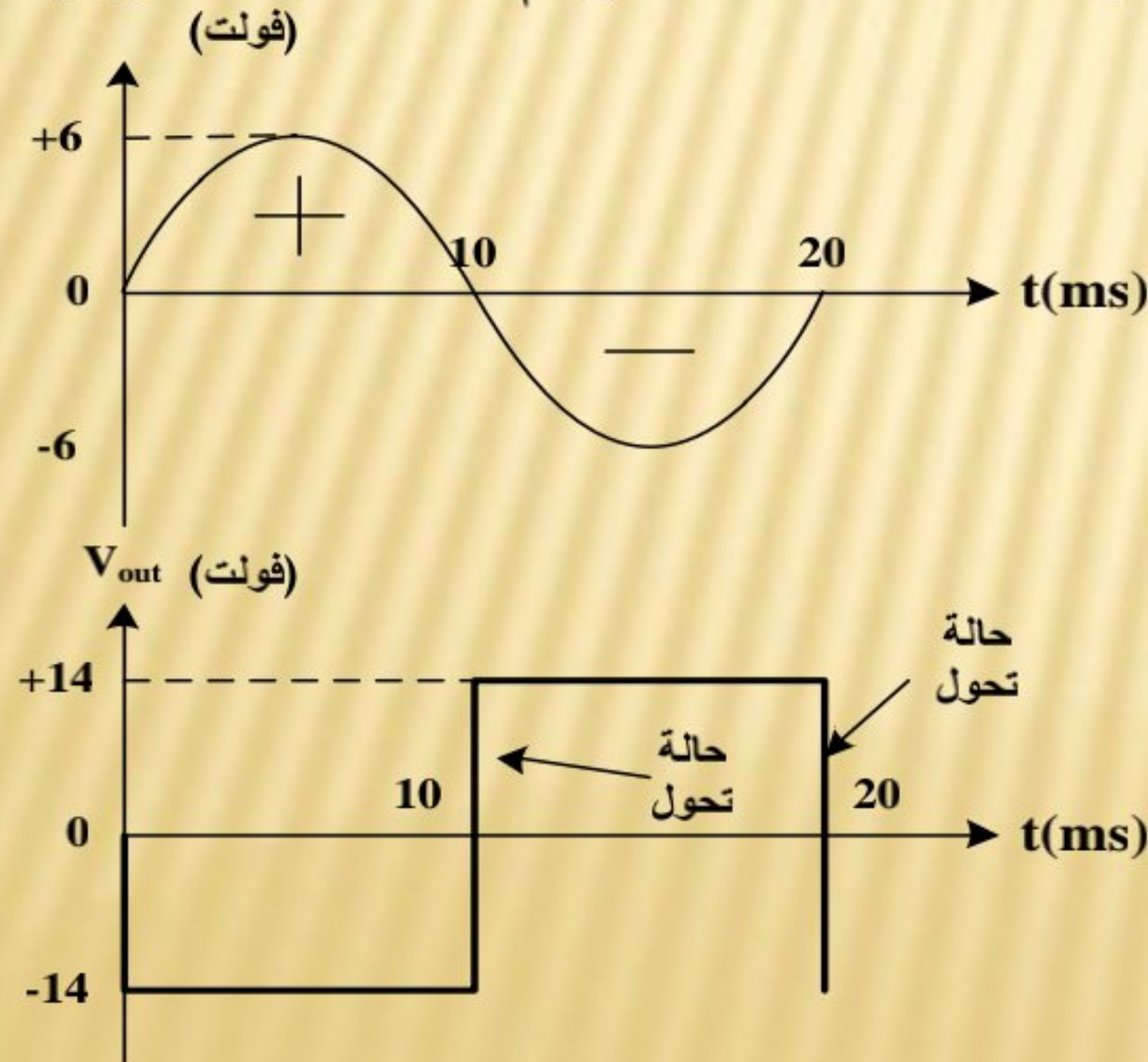
جدول عمل دائرة العبور الصفري



دائرة العبور الصفري

مثال: في دائرة العبور الصفري إذا كانت V_{in} موجة جيبية $12V$ p-p وبتردد $50Hz$ ، و $R=10K\Omega$ و $V_{cc}=\pm 14V$. 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 $V_{out} = +14V$.

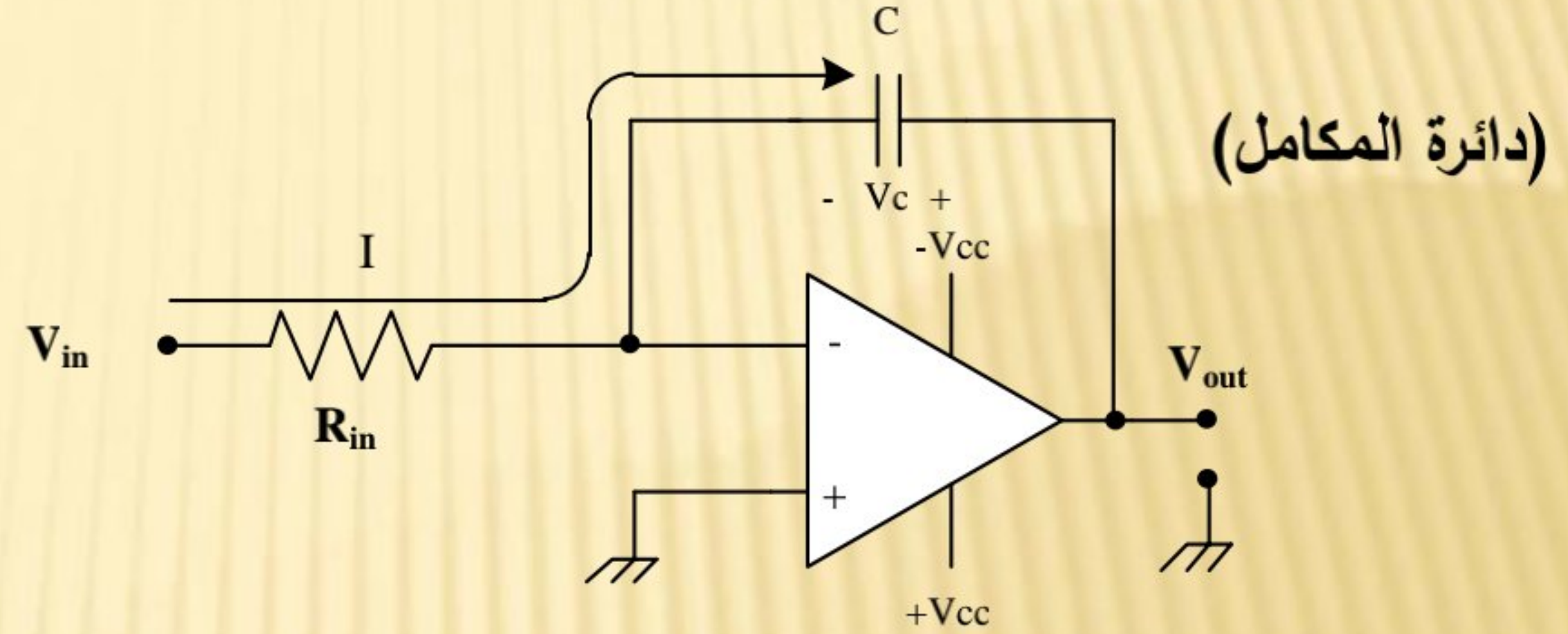
Integrator

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).

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

لأجل الحصول على المعادلة أعلاه تتبع الخطوات التالية:



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

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

$$\frac{Q}{C} = -V_{out} \quad \therefore Q = -C \cdot V_{out} \quad \text{بالتعويض} \quad (1) \dots\dots\dots$$

بأخذ مشتقة الطرفين للمعادلة (1) بالنسبة للزمن ينتج:

$$\frac{dQ}{dt} = -C \frac{dV_{out}}{dt}, \quad \frac{V_{in}}{R_{in}} = -C \frac{dV_{out}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{dV_{out}}{dt} = \frac{-V_{in}}{R_{in} * C} \Rightarrow dV_{out} = \frac{-1}{R_{in} * C} \cdot V_{in} dt \quad (2) \dots\dots\dots$$

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

مثال: في دائرة المكامل إذا كانت المقاومة تساوي $100K\Omega$ والتمسعة $0.1\mu F$ و $V_{cc}=\pm 14V$. ارسم شكل موجة فولتية الإخراج نسبة إلى إشارة إدخال مربعة ذو قيمة $30 V_{p-p}$ وبتردد $100Hz$.

الحل: نرسم الدائرة ونثبت المعلومات عليها.

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

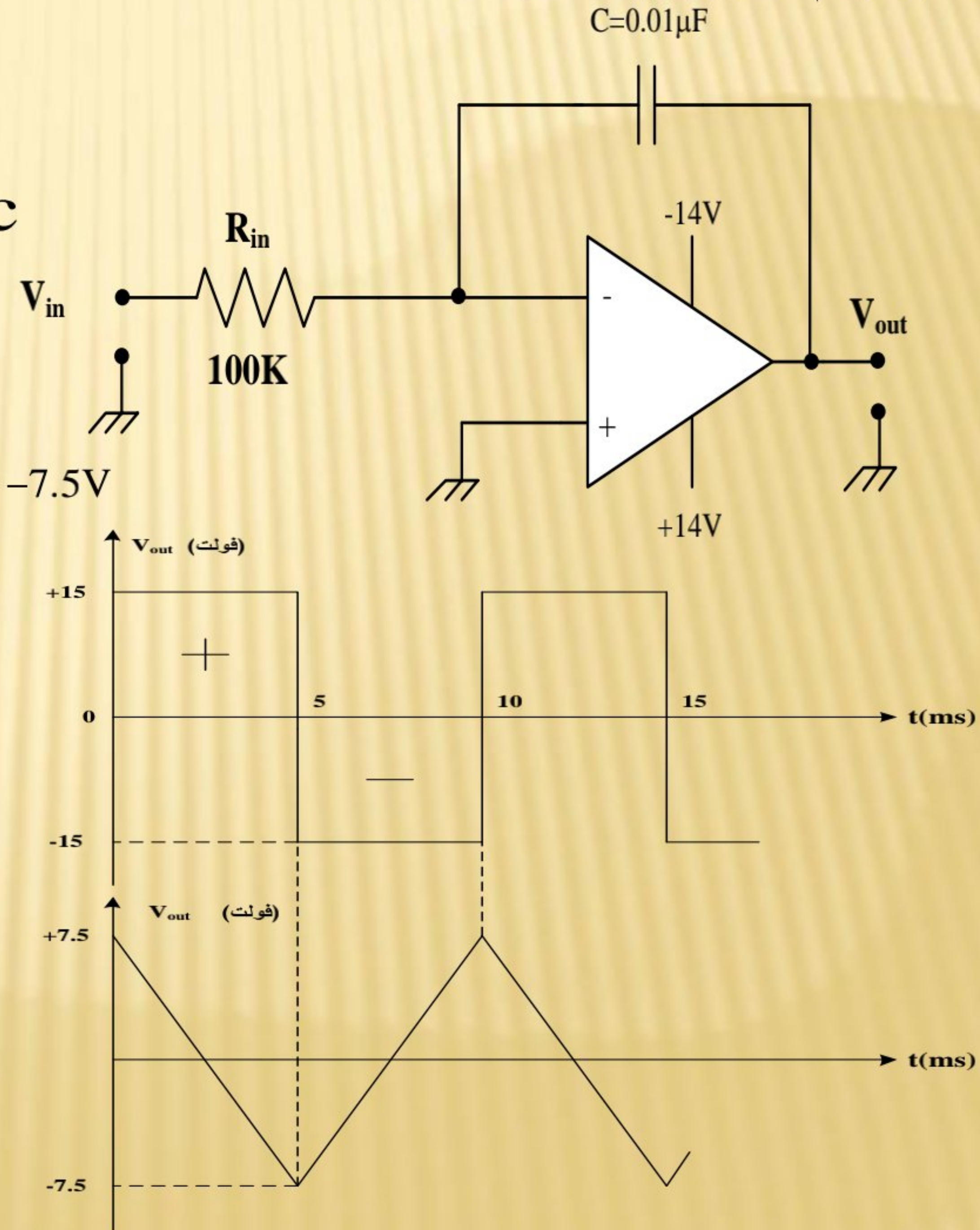
$$R_{in} * C = 100 * 10^3 * 0.1 * 10^{-6} = 0.01sec$$

تكامل النصف الموجب لموجة الإدخال V_{in} :

$$V_{out} = \frac{-1}{R_{in} * C} \int_0^t V_{in} dt = -0.01 * \left(\int_0^{5ms} 15 dt \right) = -100 * (15 * 5 * 10^{-3}) = -7.5V$$

أما تكامل النصف السالب لموجة الـ V_{in} :

$$V_{out} = -0.01 * \left(\int_{0.5ms}^{10ms} -15 dt \right) = 100 * 15 * (10 - 5) * 10^{-3} = -7.5V$$



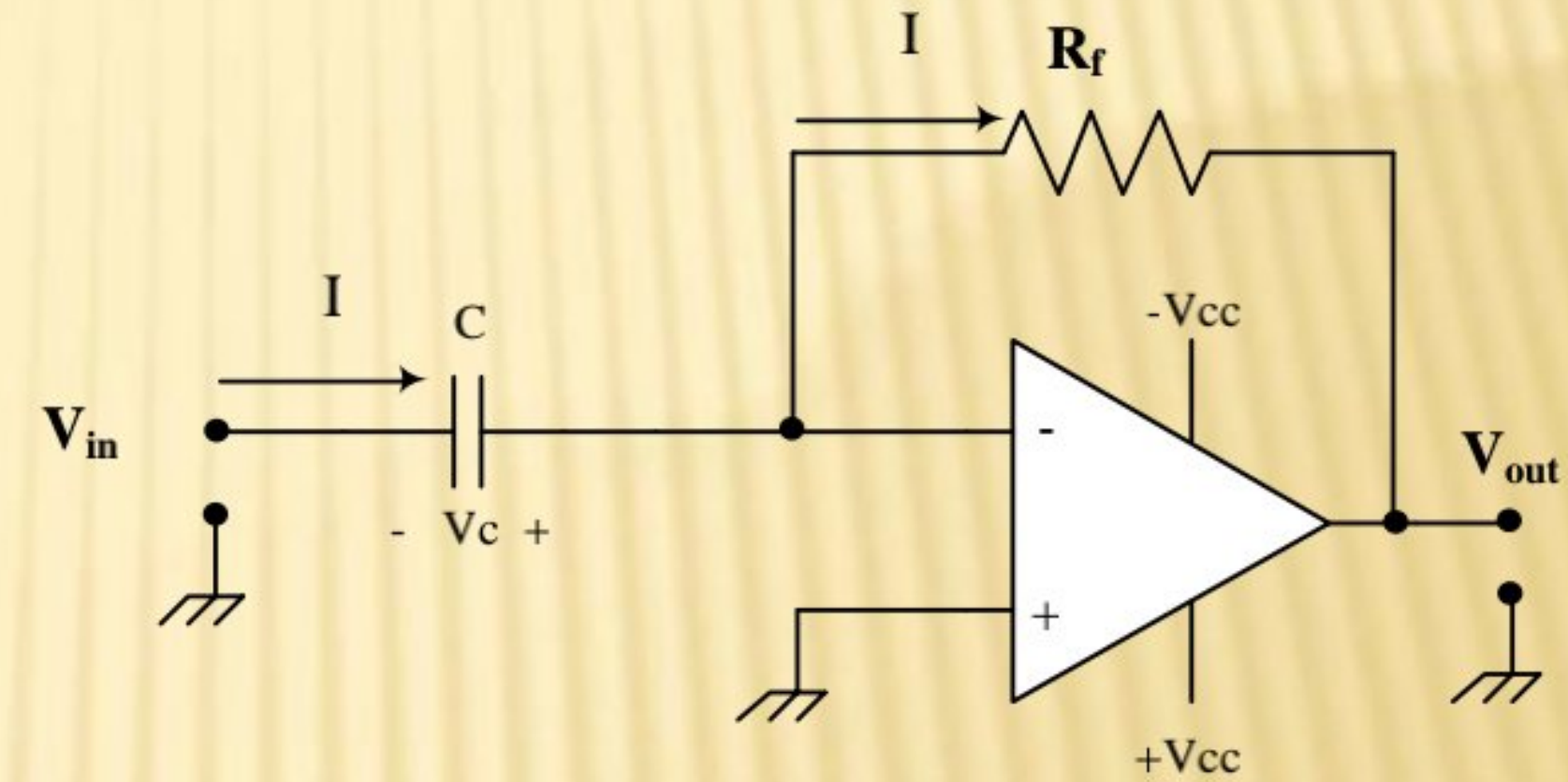
Differentiator

المفاضل

تقوم دائرة المفاضل بإجراء عملية التفاضل الرياضية على إشارة 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:



$$V_{out} = -I * R_f$$

$$V_c = V_{in}$$

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

$$I = C \frac{dV_c}{dt}$$

التيار في المتسعة

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

وهـ.م

مثال: في دائرة المفاضل إذا كانت المقاومة $R_f=10K$ والمتسعة $C=0.02\mu F$ ، $V_{cc}=\pm 15V$. 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:

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

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

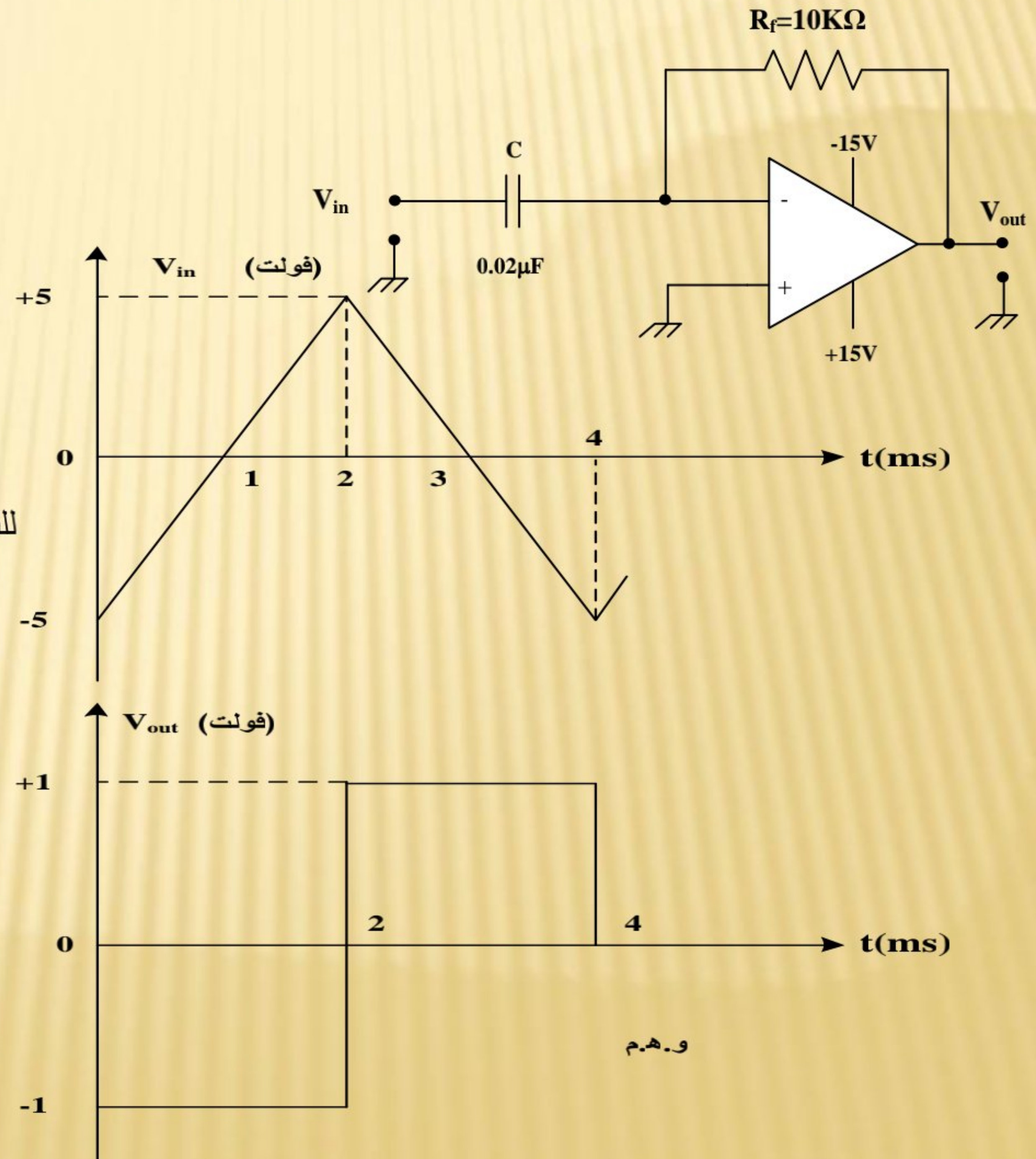
$$= -0.2 * 10^{-3} * \frac{10}{2 * 10^{-3}} = -1V$$

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

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

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

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



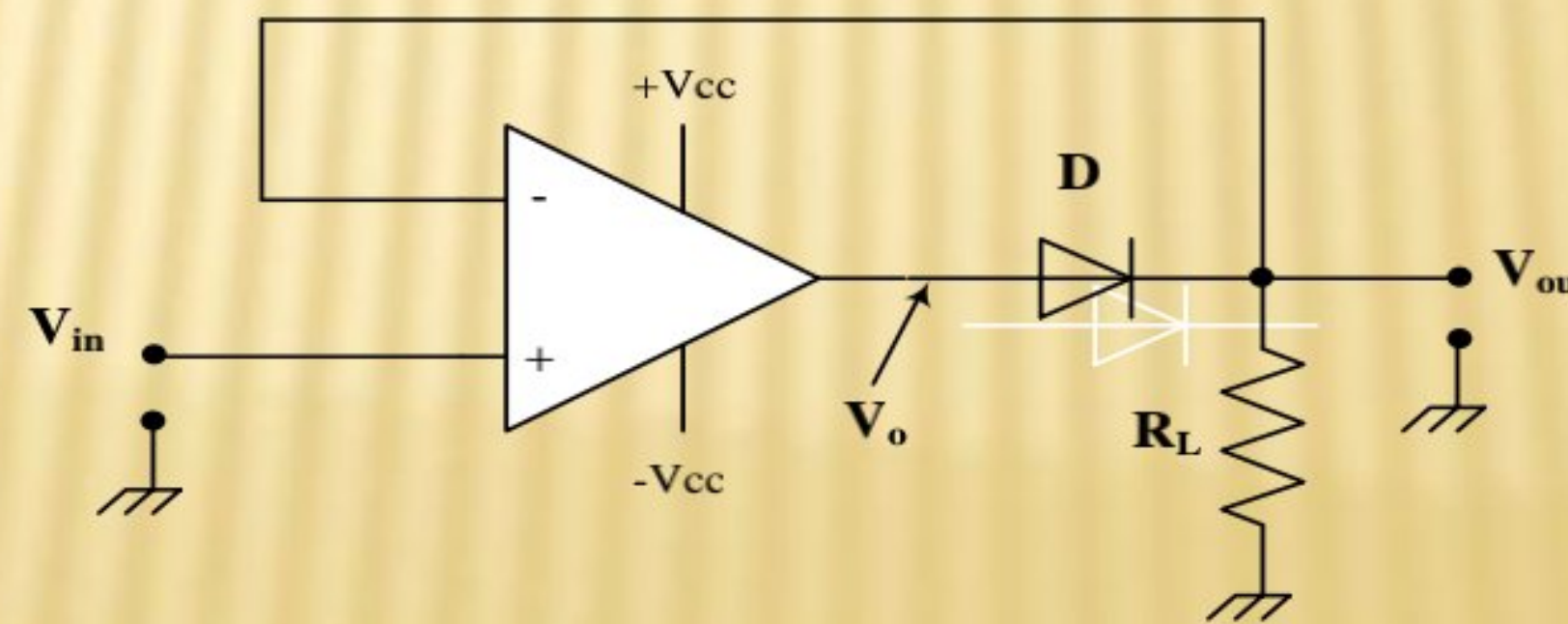
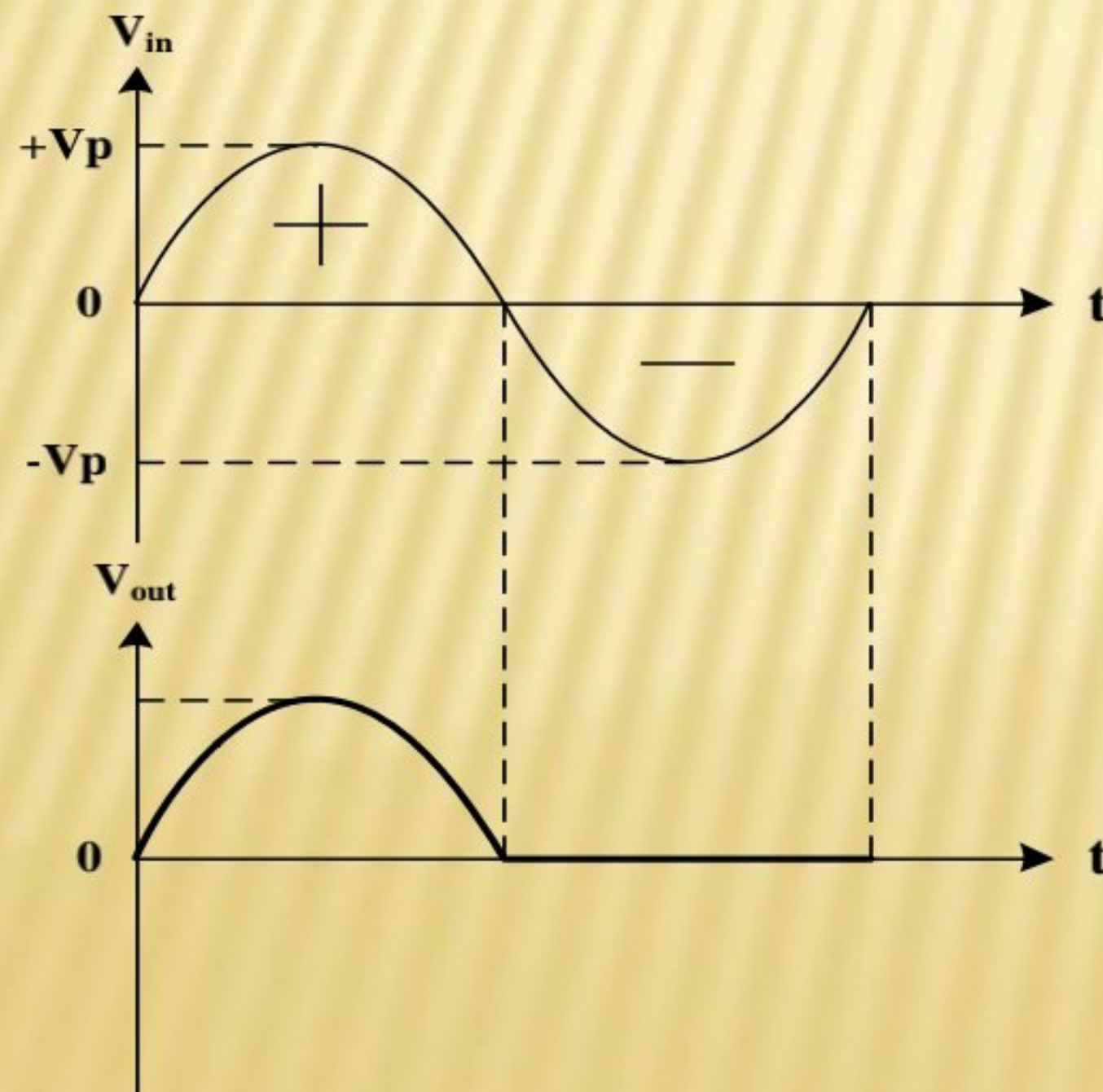
و.ه.م

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.

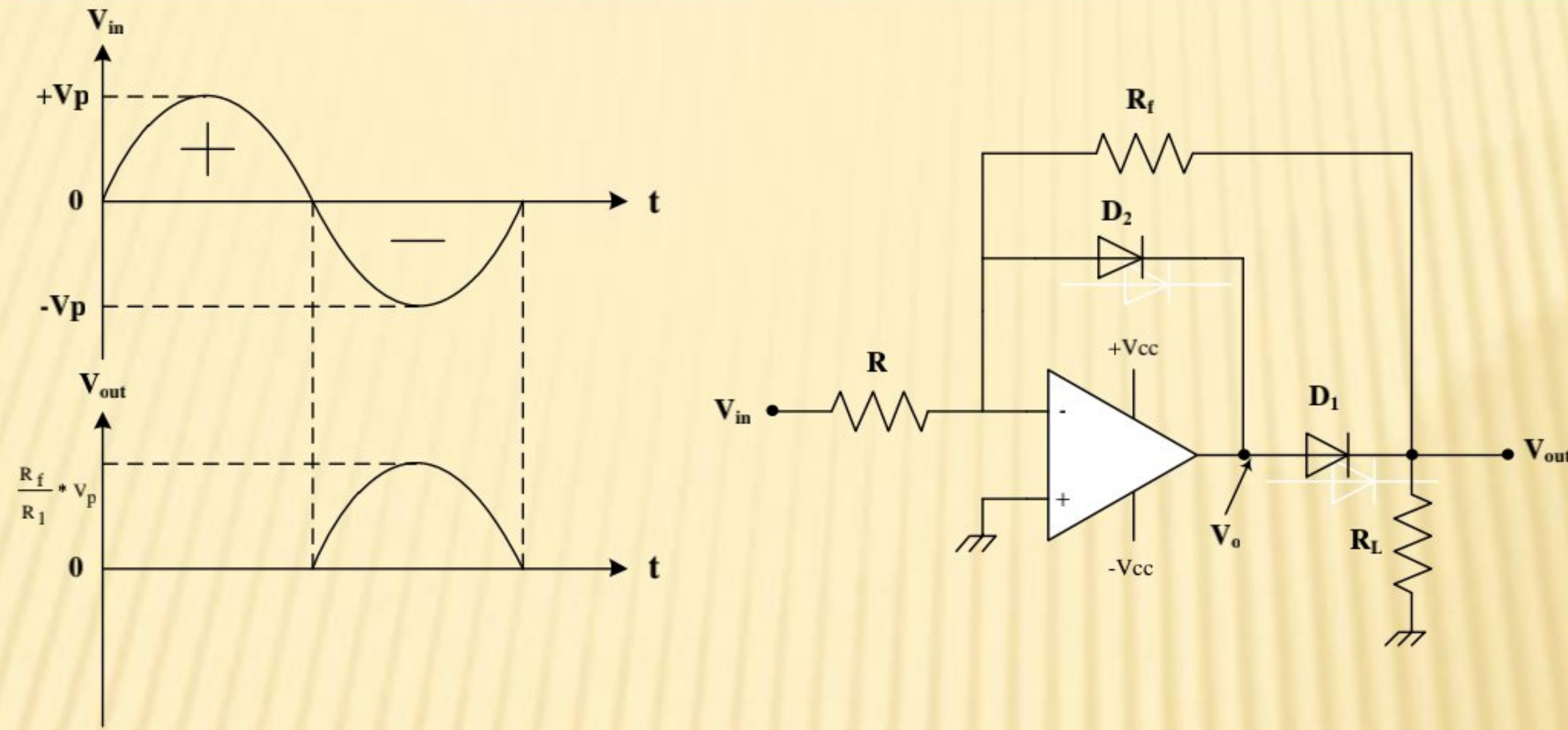
محدد نصف الموجة باستخدام الثنائي الدقيق

نظرية العمل:

عند الجزء الموجب لموجة الإدخال V_{in} يكون V_o موجباً مما يسبب انحياز 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 V_o سالباً مما يسبب قطع (OFF) للثنائي D وعليه يكون V_{out} صفراً. ويكون شكل موجة V_{out} كما مبينة بالرسم.



دائرة ثنائية 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:

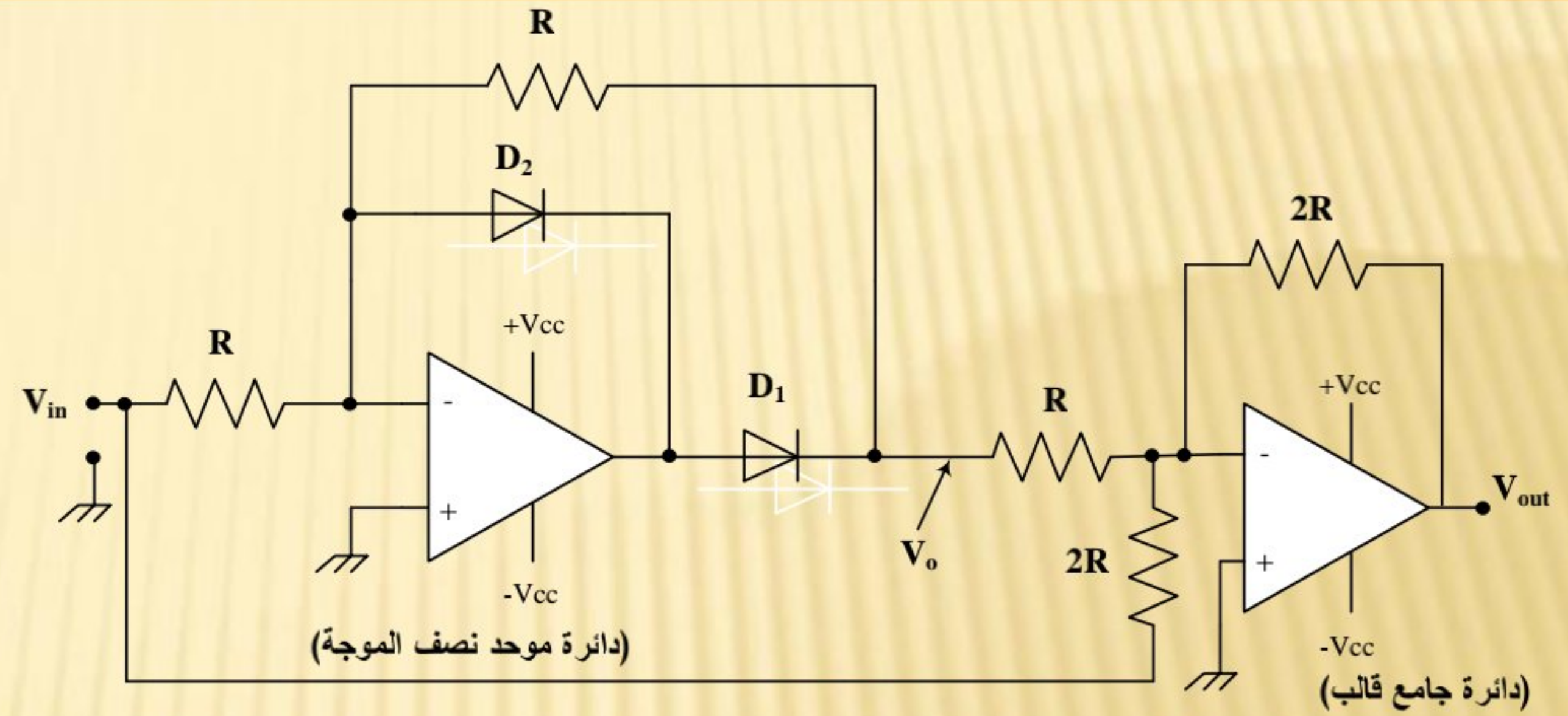
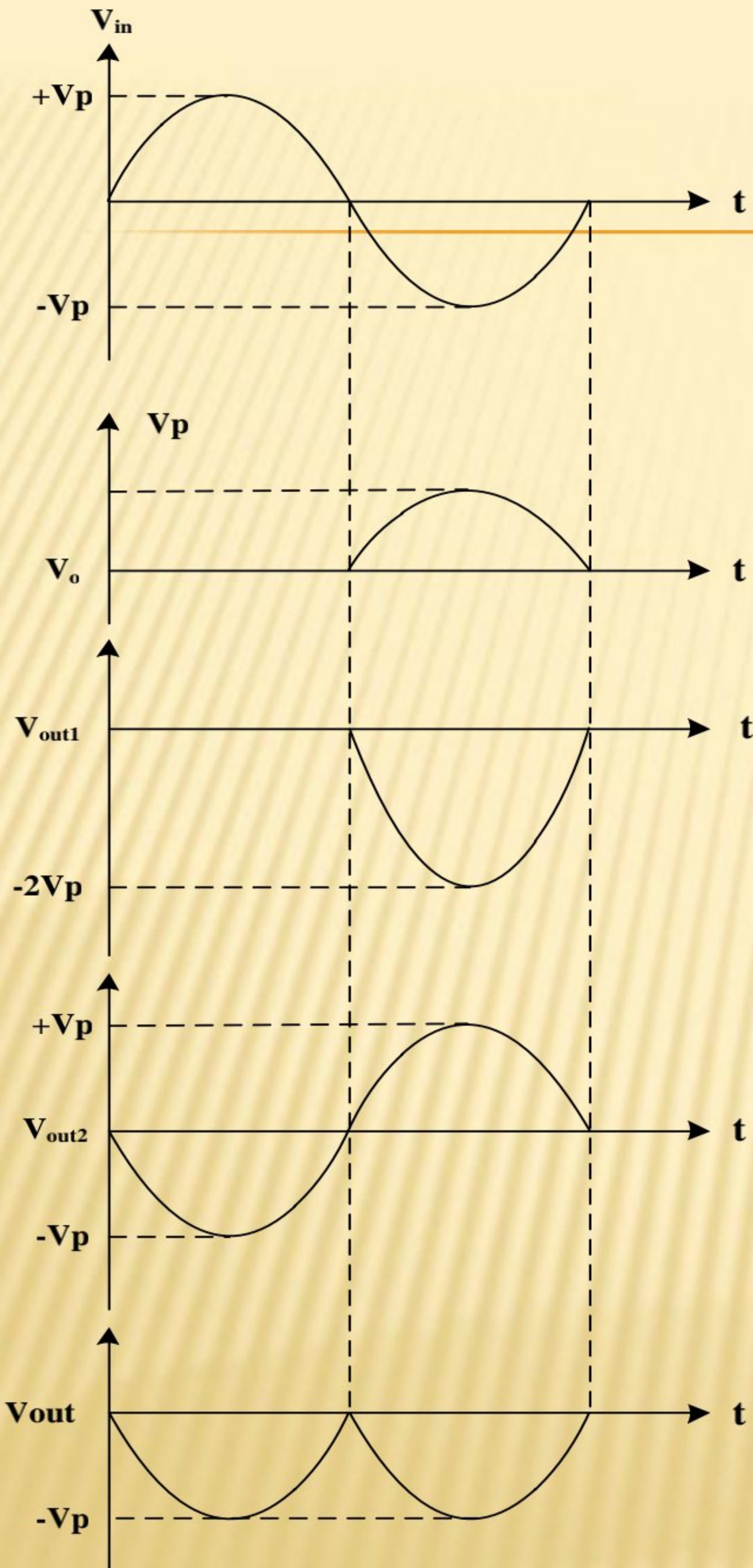
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_1} * (-V_p)$$

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

$$V_{out} = V_p$$

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

موحد الموجة الكاملة باستخدام الثنائي الدقيق

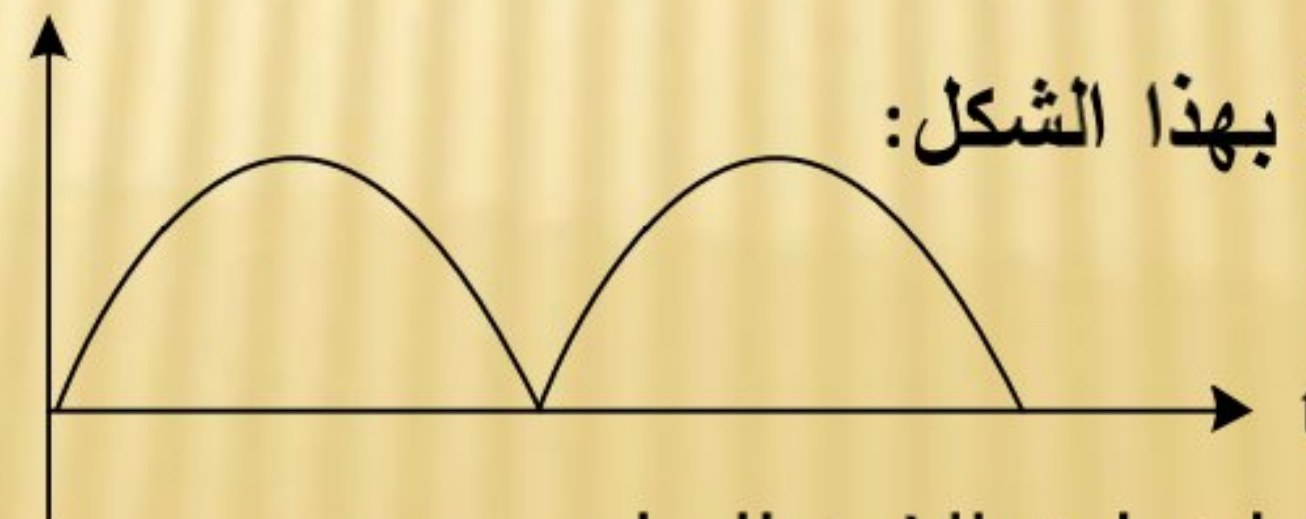


نظرية العمل:

V_o هو إخراج موحد نصف الموجة.
 V_{out1} هو الإخراج الناتج من V_o كإدخال أول للجامع.
 V_{out2} هو الإخراج الناتج من V_{in} كإدخال ثان للجامع
 ويكون الإخراج النهائي هو :

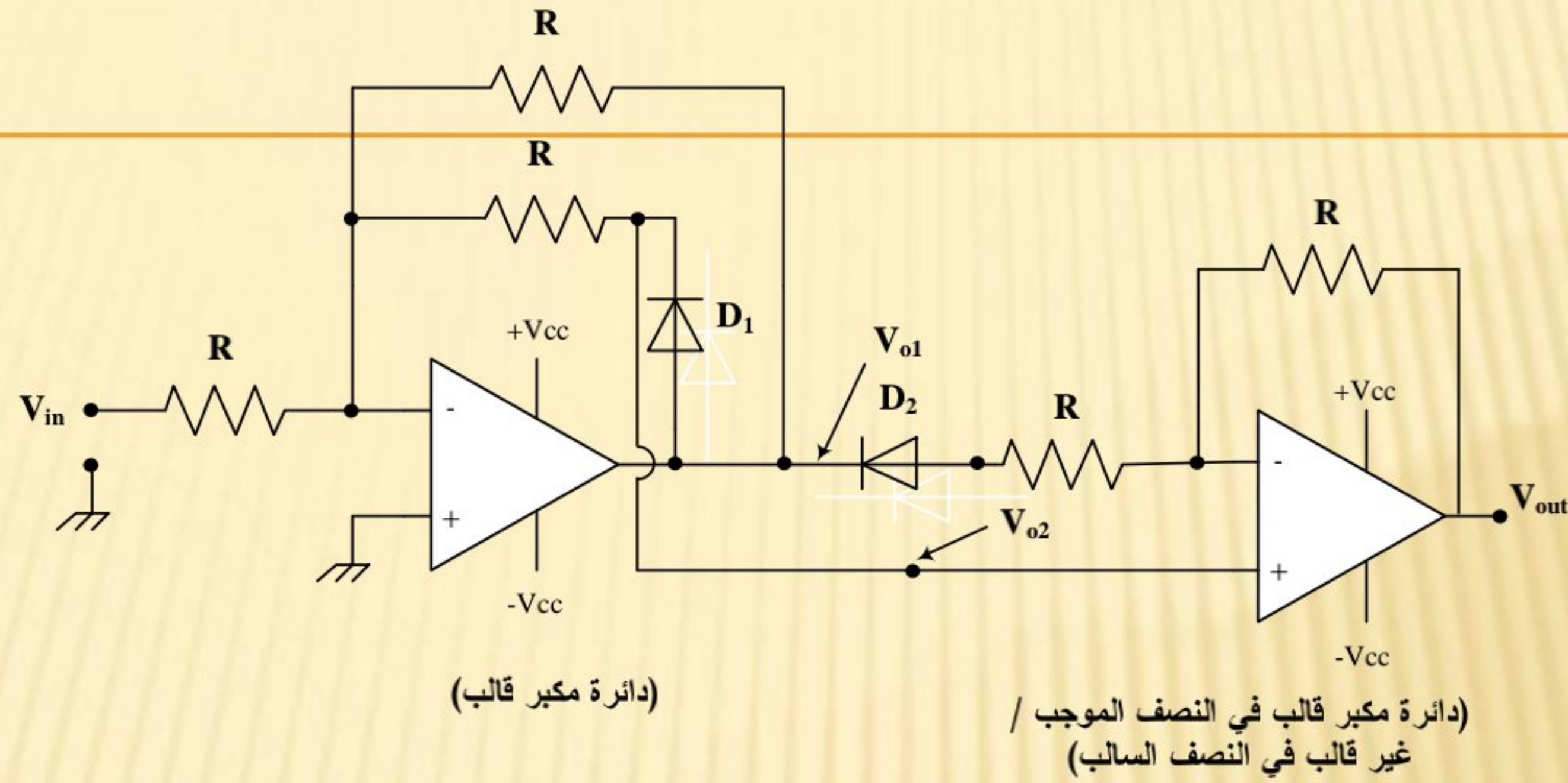
$$V_{out} = V_{out1} + V_{out2}$$

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



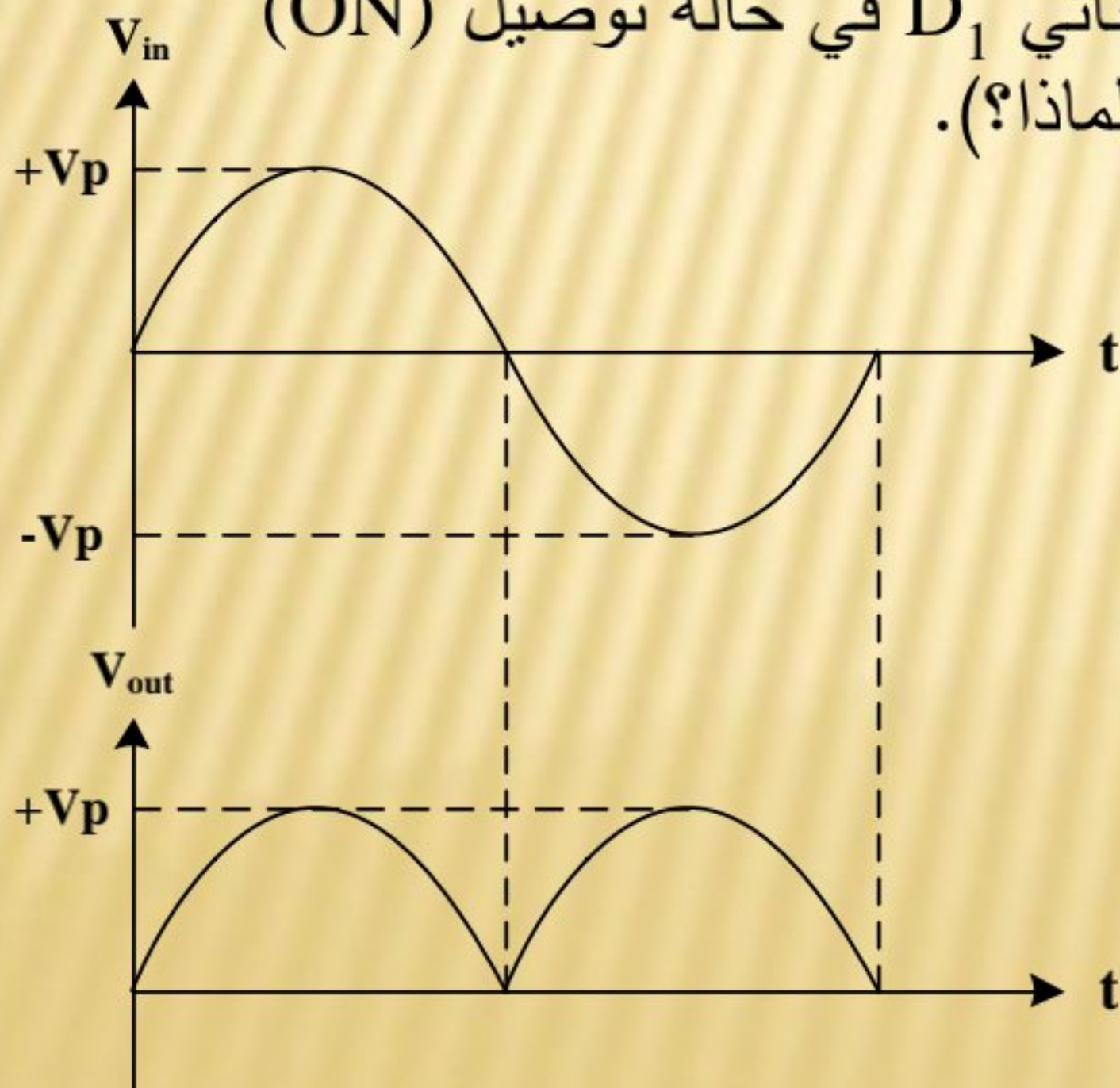
نحتاج إلى قالب إشارة يكون V_{out} إشارة الإدخال له.

دائرة ثنائية لموجة كاملة:



نظرية العمل:

في النصف الموجب لموجة الإدخال V_{in} يكون $V_{o1} = -V_p$ سالباً مما يسبب في قطع الثنائي D_1 أي (OFF) وتوصيل الثنائي D_2 أي (ON) ويكون V_{o2} صفراً، وعليه يكون الإخراج $V_{out} = V_p$ (لماذا؟)
أما في النصف السالب لموجة الإدخال V_{in} يكون $V_{o1} = V_p$ موجباً مما يجعل الثنائي D_1 في حالة توصيل (ON) والثنائي D_2 في حالة قطع (OFF) ويكون $V_{o2} = V_{o1}$ وعليه يكون الإخراج $V_{out} = V_p$ (لماذا؟).
وبذلك تكون موجة الإخراج V_{out} كما مبينة بالرسم.



تستخدم الحاسبة التناظرية لحل المعادلات التفاضلية، وهي مجموعة من دوائر تطبيقات مكبر العمليات مثل الجامع، المكبر القالب، قالب الإشارة والمكامل ولا يستعمل المفاضل وذلك لتقليل الضوضاء. وهناك قواعد تُعتمد 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 الإشارة بتغيير الإشارة والجامع لجمع الإشارات المطلوب جمعها.

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

$$f(t) = \frac{dV(t)}{dt} + aV \quad - ١$$

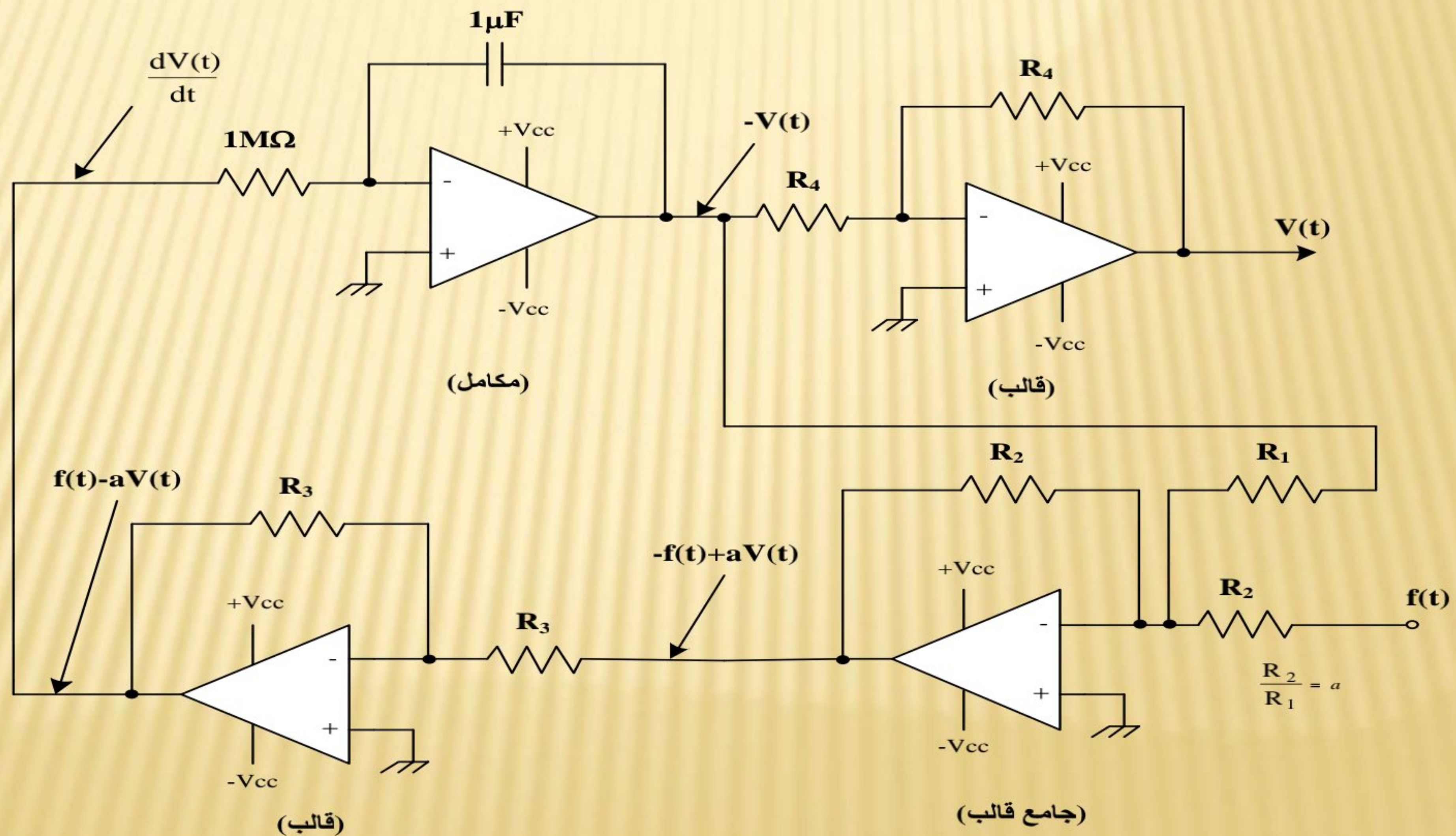
$$\ddot{y} + 4\dot{y} + 5y = 0 \quad ٢$$

$$f(t) = \frac{d^2V(t)}{dt^2} + 10\frac{dV(t)}{dt} + 2V(t) \quad -٣$$

الحل:

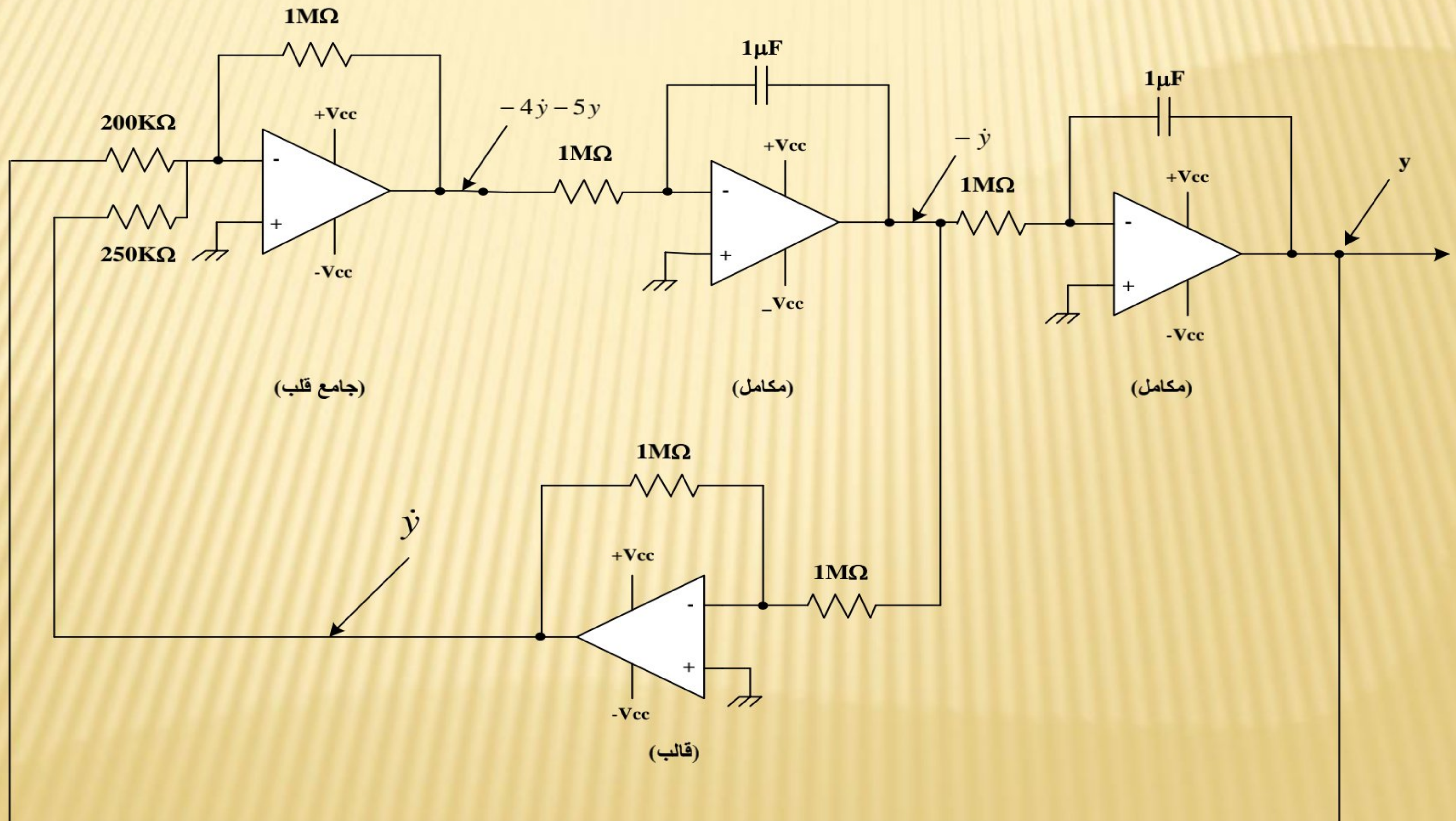
(1) $f(t)$ تمثل دالة متغيرة مع الزمن أو ثابت وهي تمثل إشارة إدخال للدائرة. A مقدار ثابت. نعيد كتابة المعادلة بحيث يكون الحد الأعلى للمشتقة في طرف وبقيّة الحدود في الطرف الآخر للمعادلة.

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



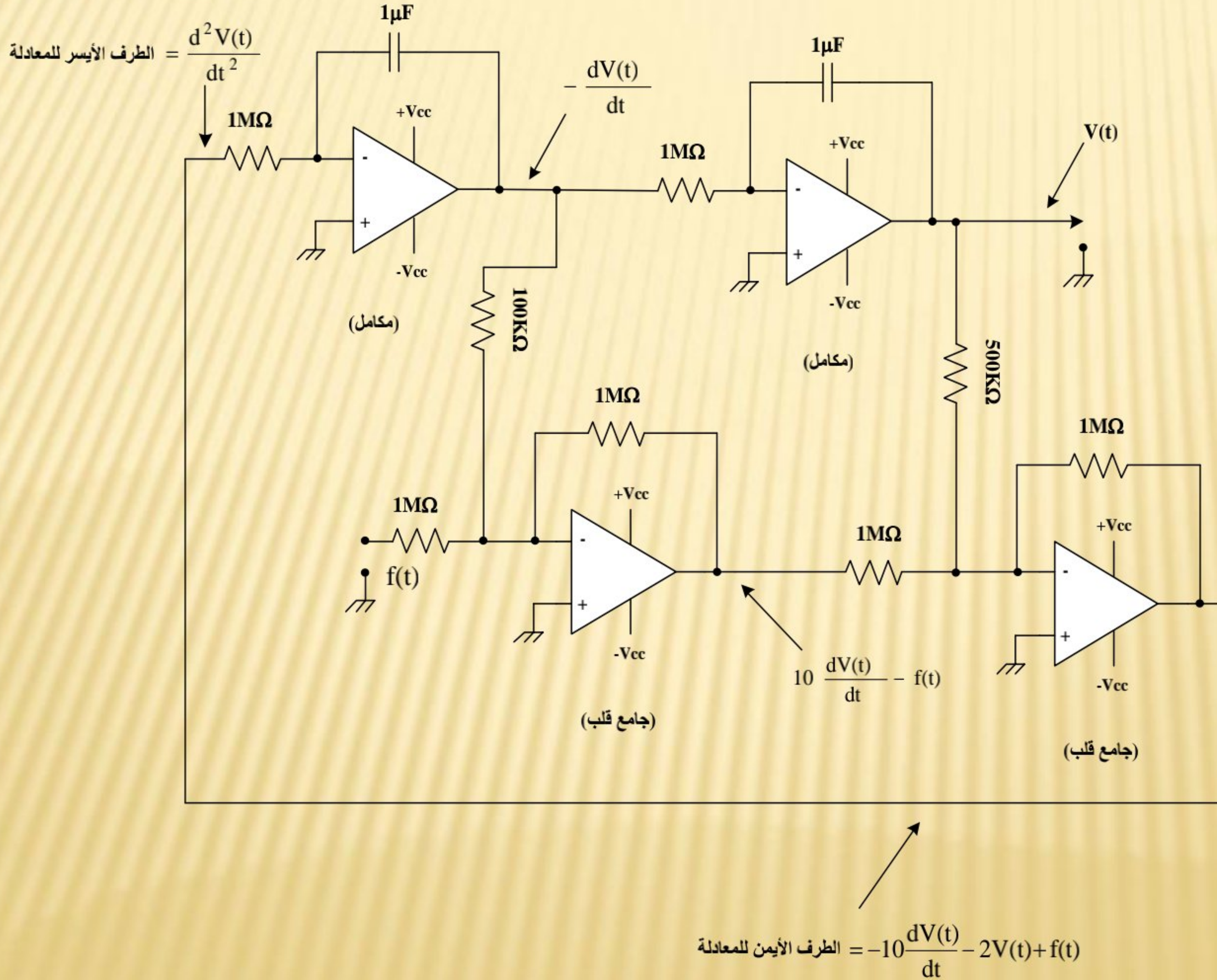
$$\ddot{y} = -4\dot{y} - 5y$$

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



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

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



Duty Cycle

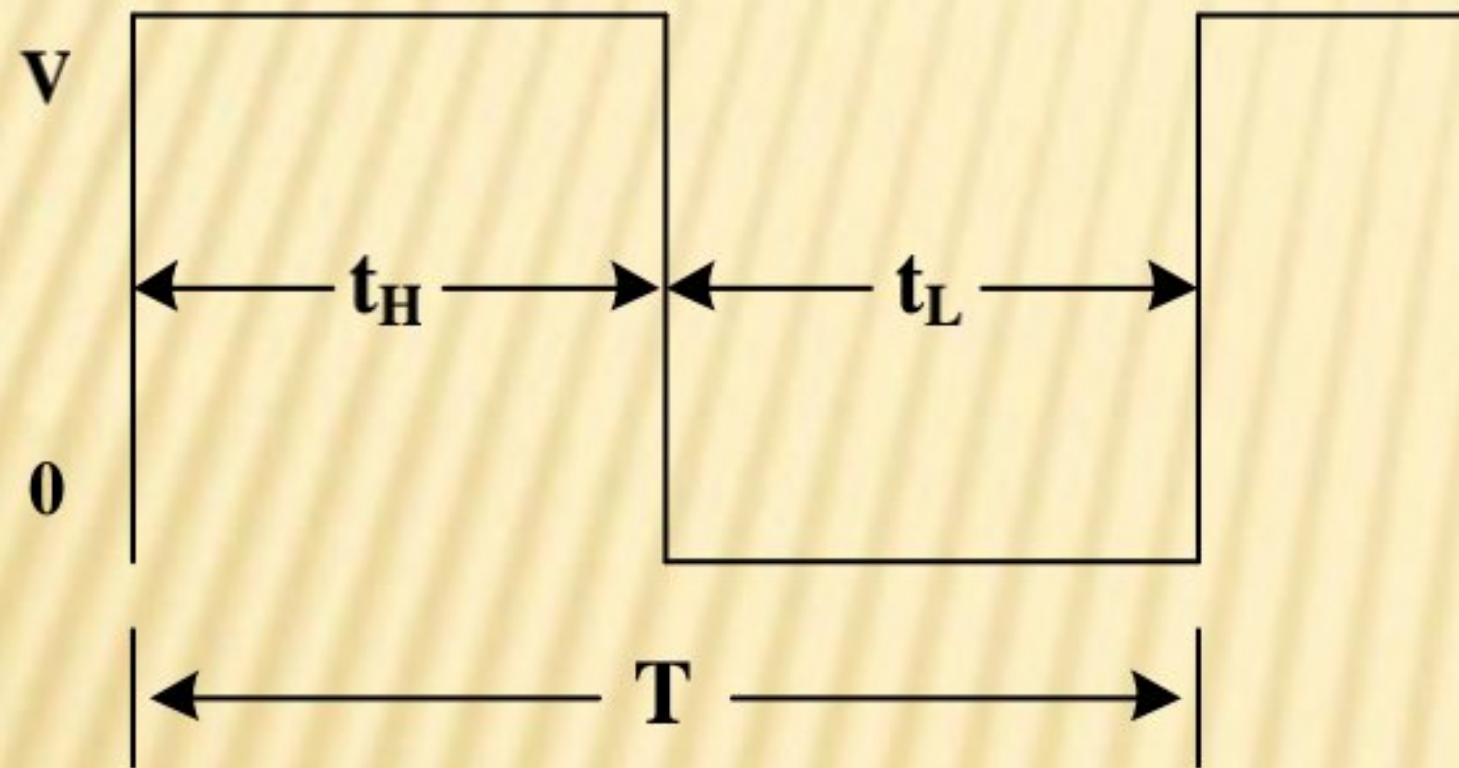
دورة التشغيل

تعرف دورة التشغيل على أنها النسبة بين زمن الموجة في المستوي العالي وزمن الموجة الكلي ورمزها D ، وتكون قيم D عادة: أي أن:
 $\%0 < D < \%100$

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

حيث أن:

t_H زمن النبضة في المستوى العالي.
 t_L زمن النبضة في المستوى الواطئ.



$$T = t_H + t_L$$

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

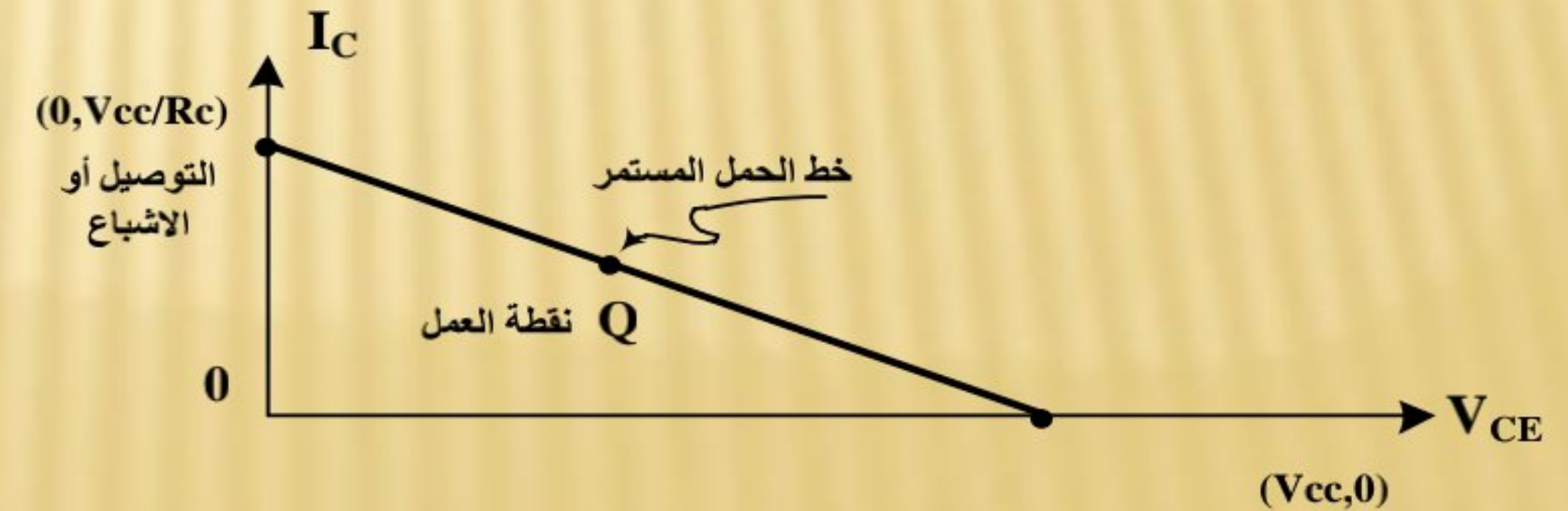
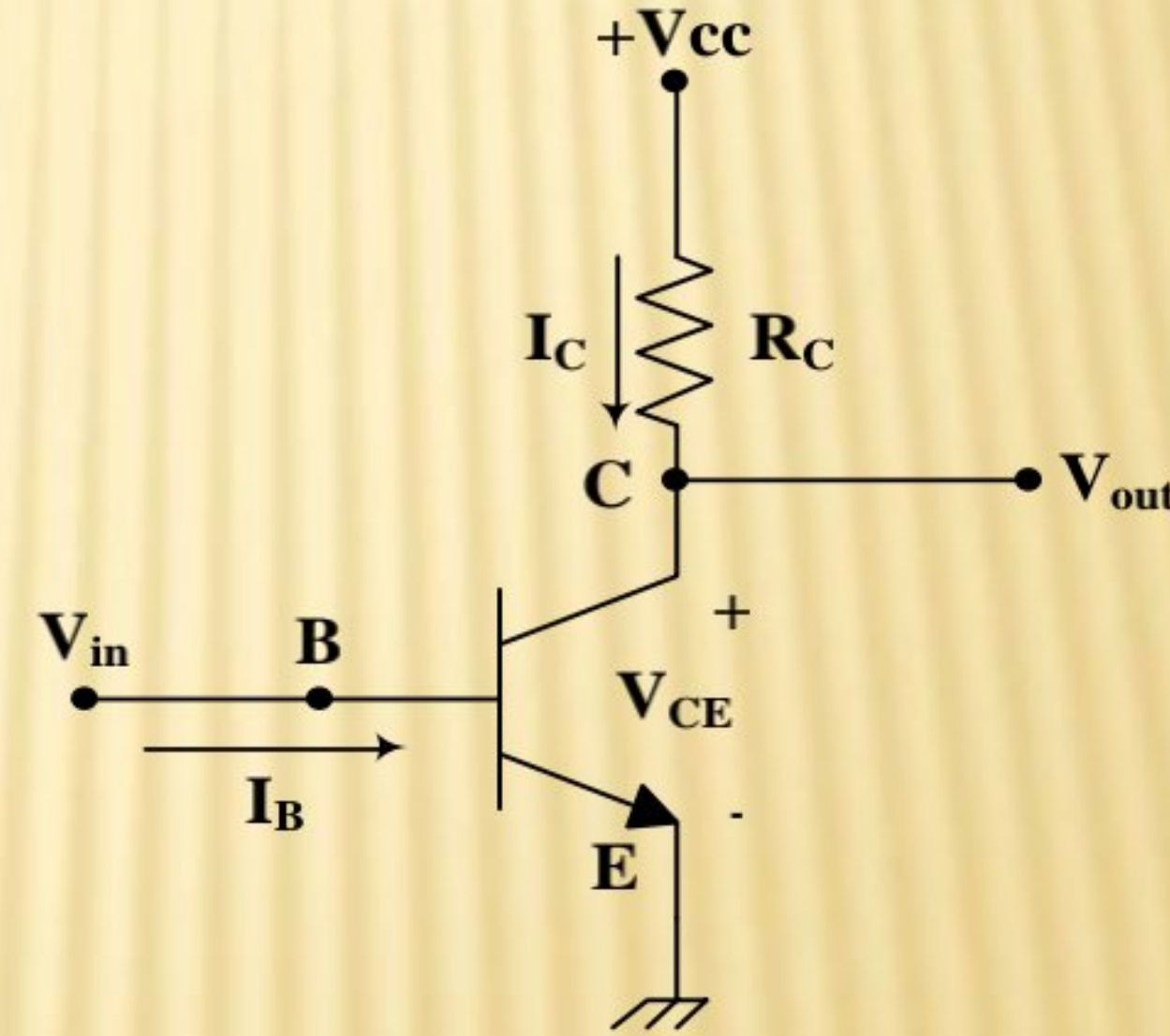
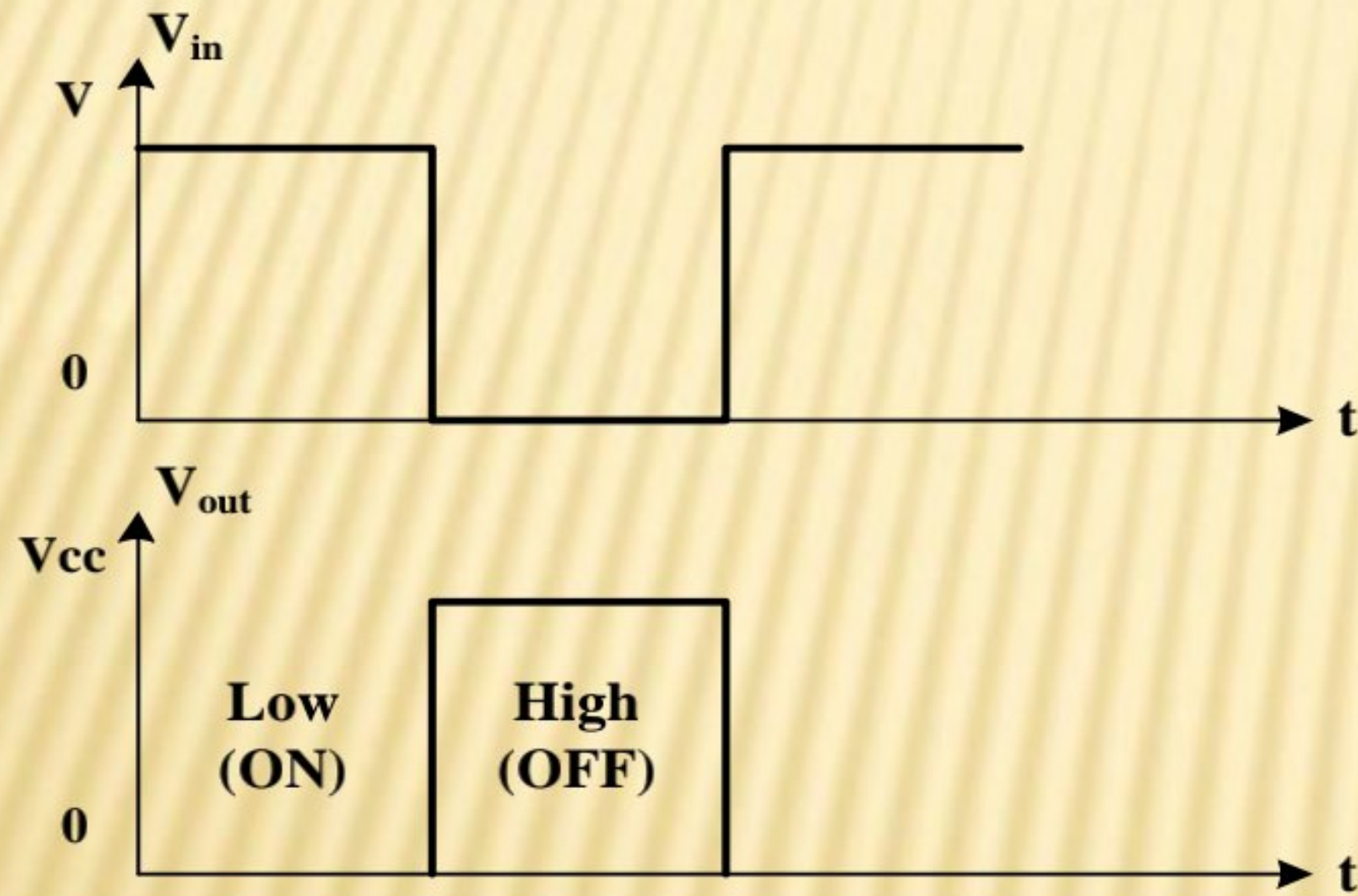
إذا كانت $t_H = t_L$ فإن $D\% = 50\%$.

Transistor as Switch

الترانزستور كمفتاح

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

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



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

أنواع المهتزازات

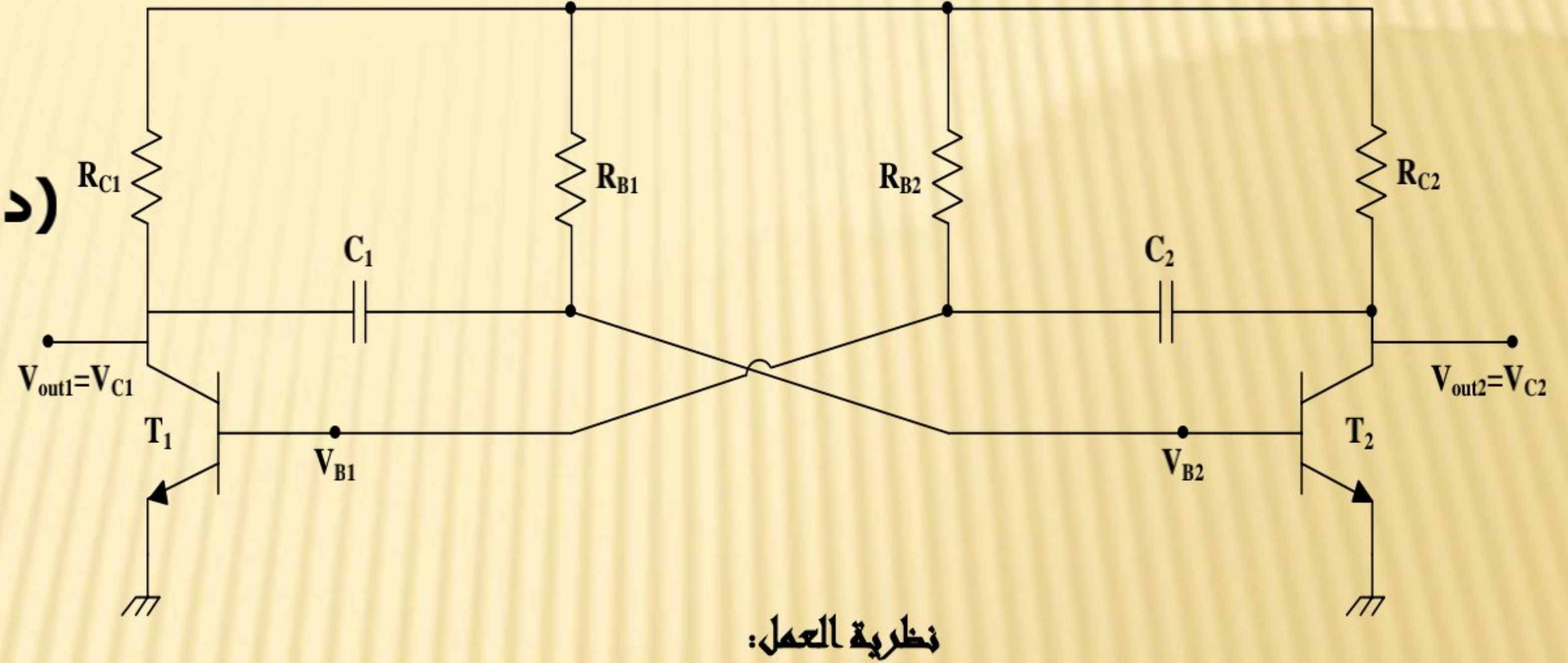
- استناداً إلى حالة الاستقرار في نبضة الإخراج يمكن تقسيم المهتزازات إلى ثلاثة أنواع هي:
- المهتزازات الغير المستقرة (A.M) Astable Multivibrators.
 - المهتزازات احادية الاستقرار (M.M) Monostable Multivibrators.
 - المهتزازات ثنائية الاستقرار (B.M) Bistable Multivibrators.

Astable Multivibrators (A.M)

المهتز غير المستقر

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

(دائرة المهتز غير المستقر)



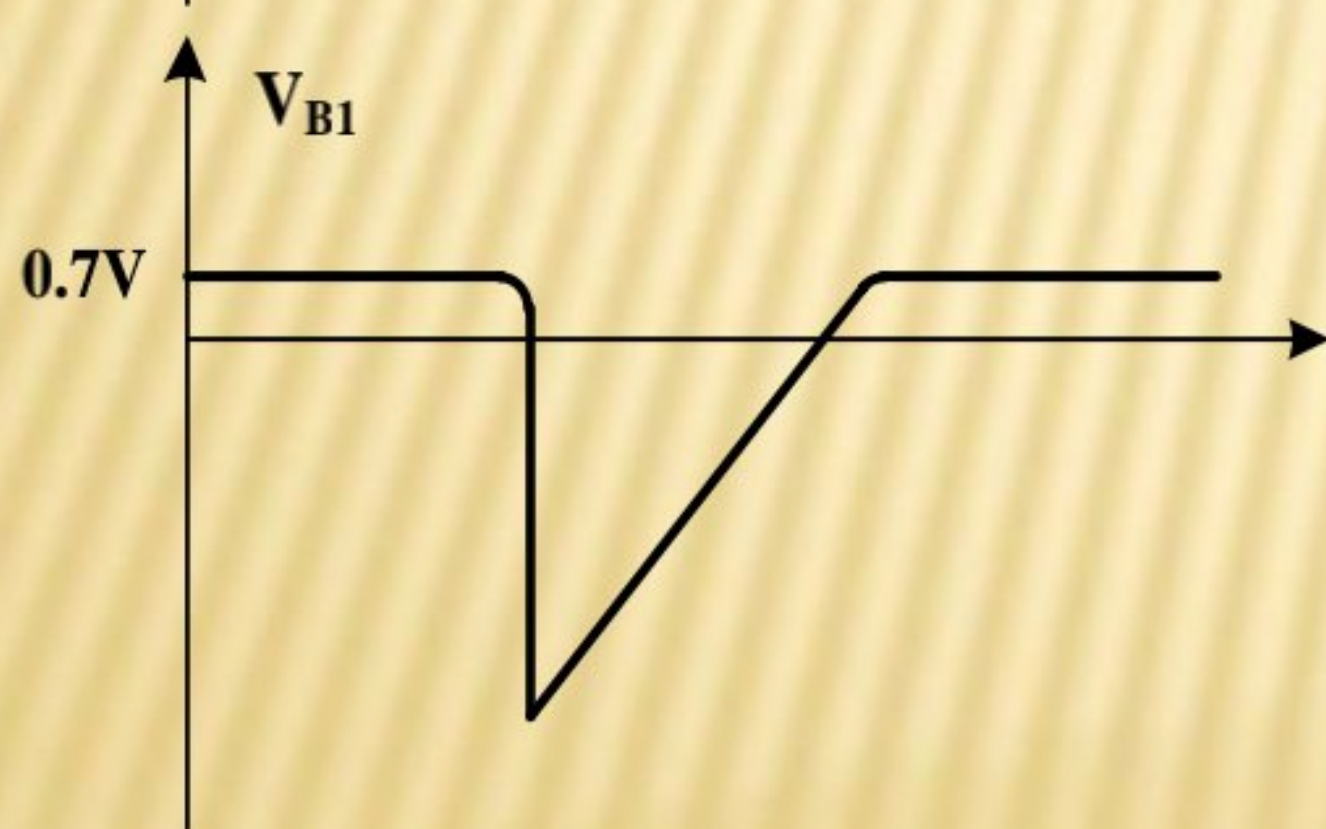
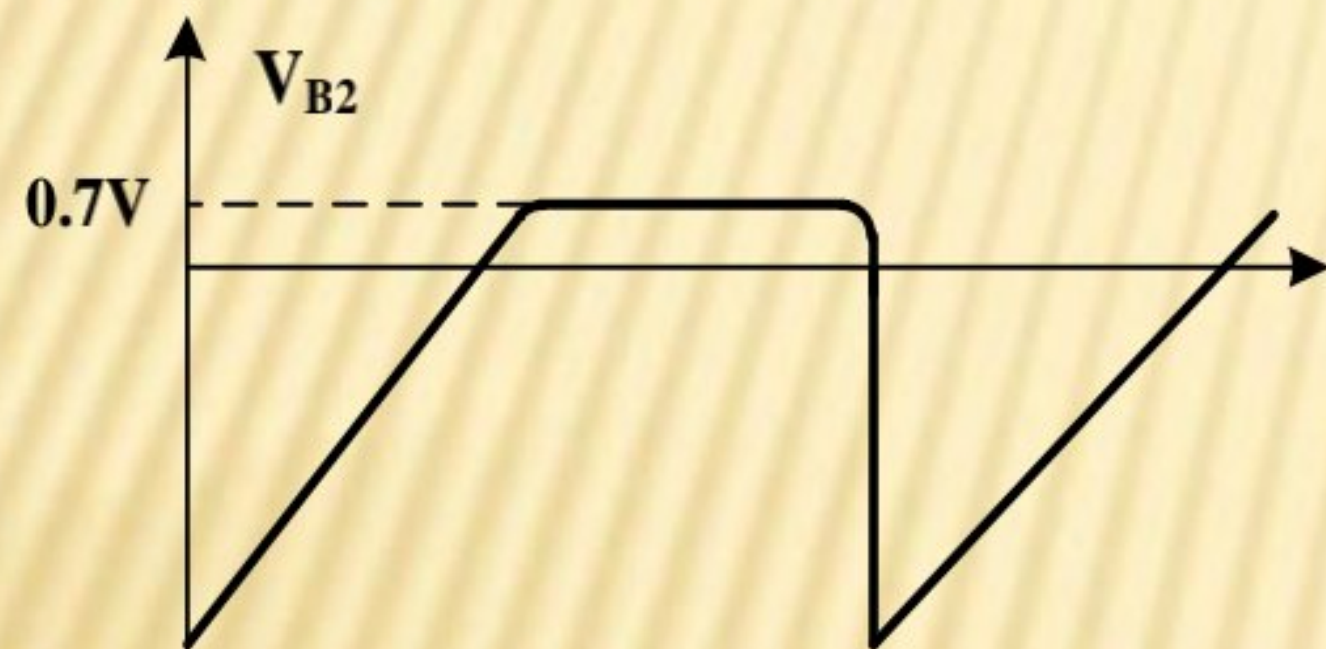
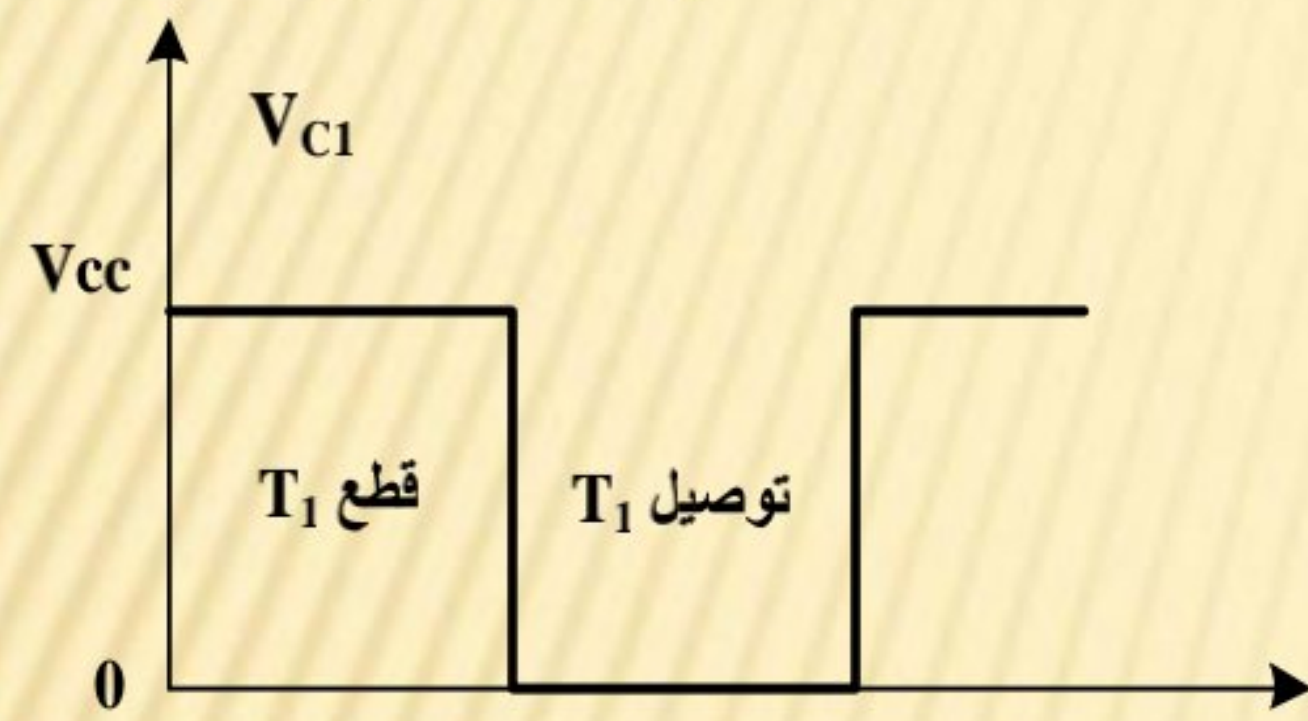
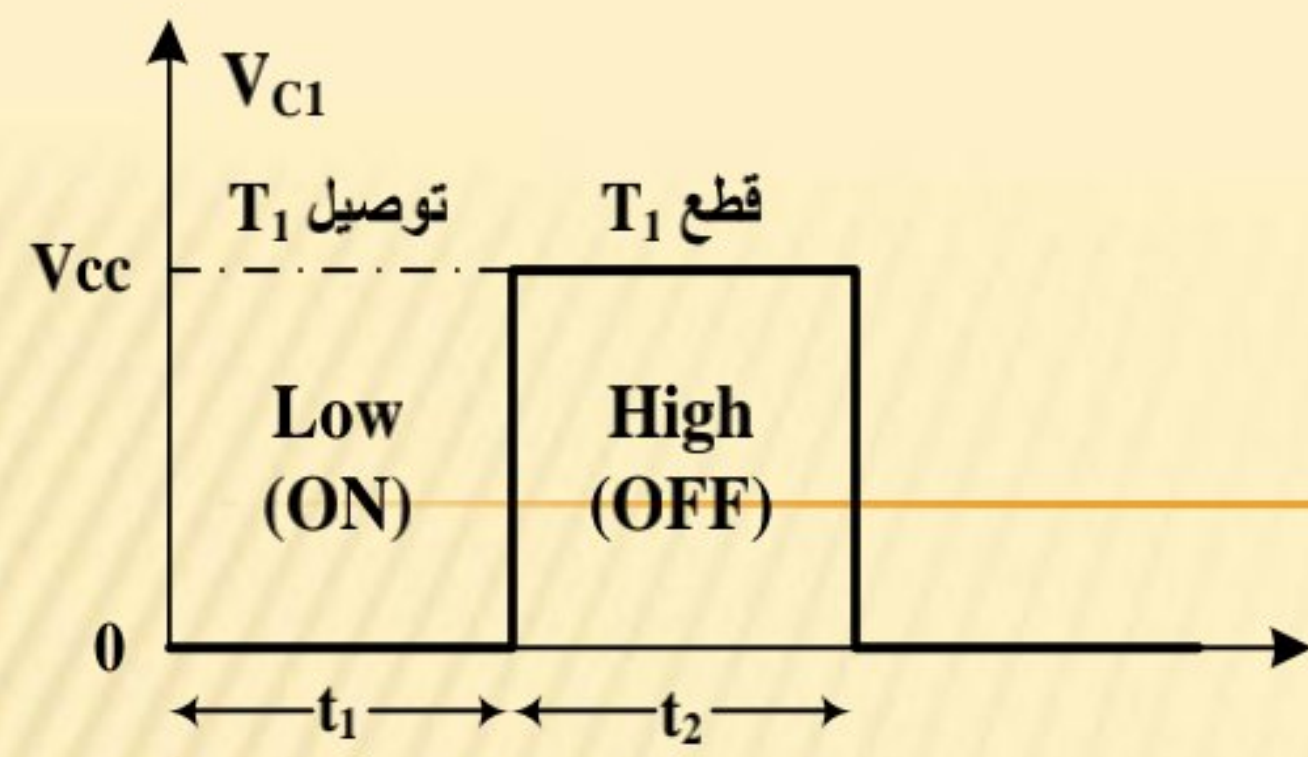
نظرية العمل:

له الحالتين غير مستقرة:

الأولى: T_1 توصيل T_2 قطع.

الثانية: T_1 قطع T_2 توصيل.

يحاول كلا الترانزستورين التوصيل في لحظة تجهيز القدرة المستمرة إلى الدائرة، ويتحول أحدهما إلى حالة الإشباع عندما تكون $(R_B < h_{FE} \cdot R_C)$ ، وبما أننا نعلم تعذر إمكانية وجود ترانزستورين متماثلين بالخواص تماماً، مما ينتج عنه توصيل أحدهما 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 $(t_1 = 0.7 R_{B1} C_1)$ 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 جامعها 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 الحالتين غير المستقرة.



الآن ستشحن المتسعة C_2 عن طريق المقاومة R_{B2} ومن خلال جامع T_2 إلى 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 :

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

$$t_1 = t_{L1} = t_{H2}$$

$$t_2 = t_{H1} = t_{L2}$$

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

$$f = \frac{1}{1.4R_B C}$$

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

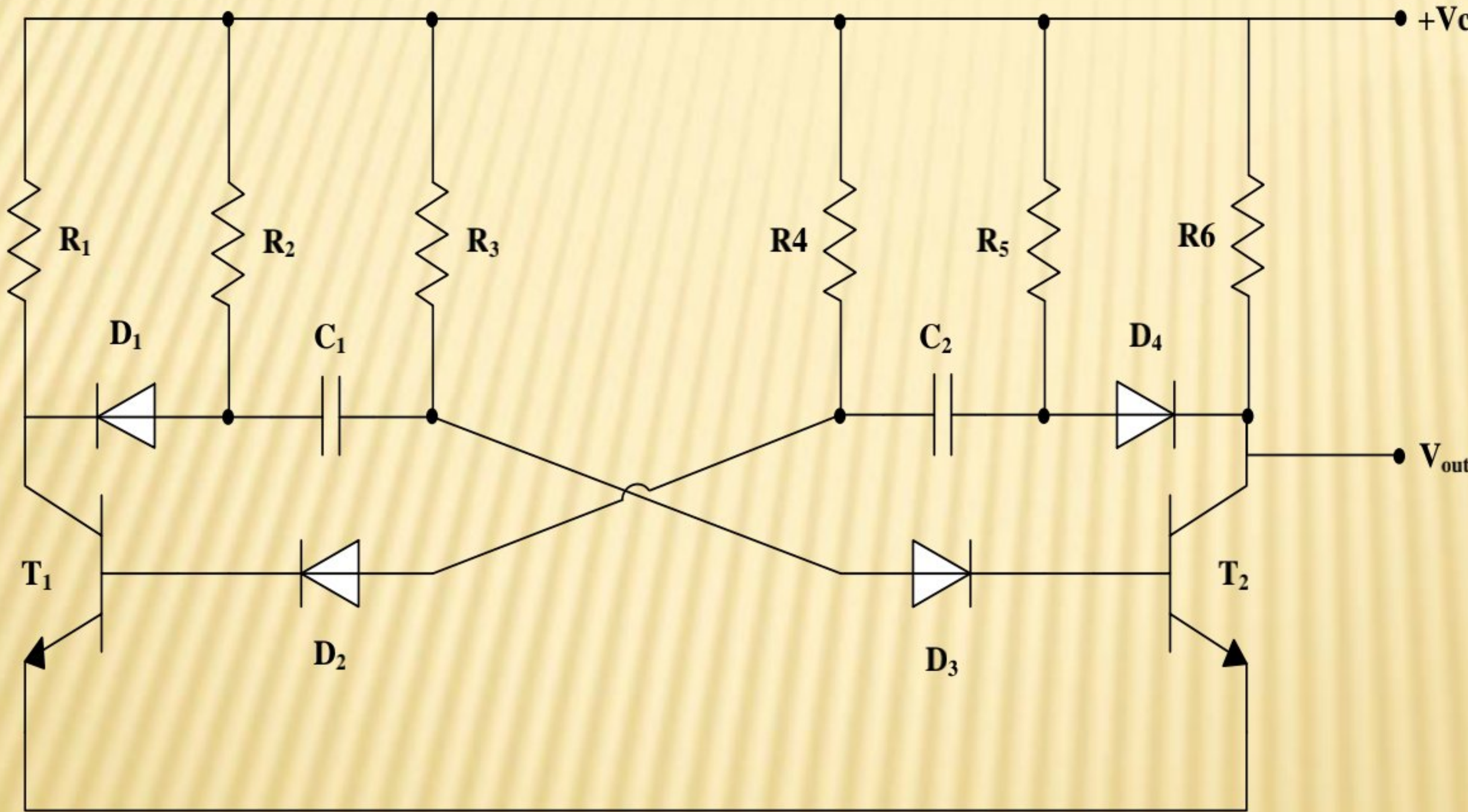
(أشكال الموجات للمهتز غير المستقر)

دائرة عملية لمهتز غير مستقر

لحماية الدائرة من ذلك الاحتمال يربط الثنائين (D_3, D_2) المبيينين بالشكل أدناه الذي يمثل الدائرة العملية لهذا المذبذب، ويشترط ان تكون قيمة جهد انهيار هذين الثنائين مساوية إلى أو أكبر من (V_{cc}). يتسبب هذان الثنائيان بإحداث هبوط بقيمة الجهد عند الانحياز الأمامي، إلا أنهما يوفران الحماية لوصلة القاعدة – الباعث عند الانحياز العكسي. أما الثنائيان (D_4, D_1) والمقاومتان (R_5, R_2) فإنها تسبب إسراعاً بنشوء وارتفاع قيمة نبضة الإخراج. وفي حالة التوصيل لكل ترانزستور يكون الحمل مساوياً للمقاومة المكافئة لربط التوازي لكل من:

(R_2, R_1) للترانزستور الأول (T_1).

(R_6, R_5) للترانزستور الثاني (T_2).



نفس العلاقات الرياضية للدائرة السابقة مع الأخذ بنظر الاعتبار ،

$$R3 = R_{B1} , R4 = R_{B2} ,$$

$$R_{C1} = R1 \parallel R2$$

$$R_{C2} = R5 \parallel R6.$$

مثال: في دائرة مهتز غير مستقر إذا كانت $R_{B1}=R_{B2}=10K\Omega$ و $R_{C1}=R_{C2}=1K\Omega$ و $C_1=C_2=0.01\mu F$ ، $V_{CC}=12V$. ارسم الدائرة ثم أوجد:

١- تردد التذبذب. ٢- أصغر قيمة لـ h_{FE} .

٣- دورة التشغيل ثم ارسم موجات الإخراج.

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

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

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

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

$$T = t_1 + t_2$$

وبما أن الدائرة متساوية القيم فإن:

$$t_1 = t_2 = 0.7R_B C$$

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

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{تردد التذبذب}$$

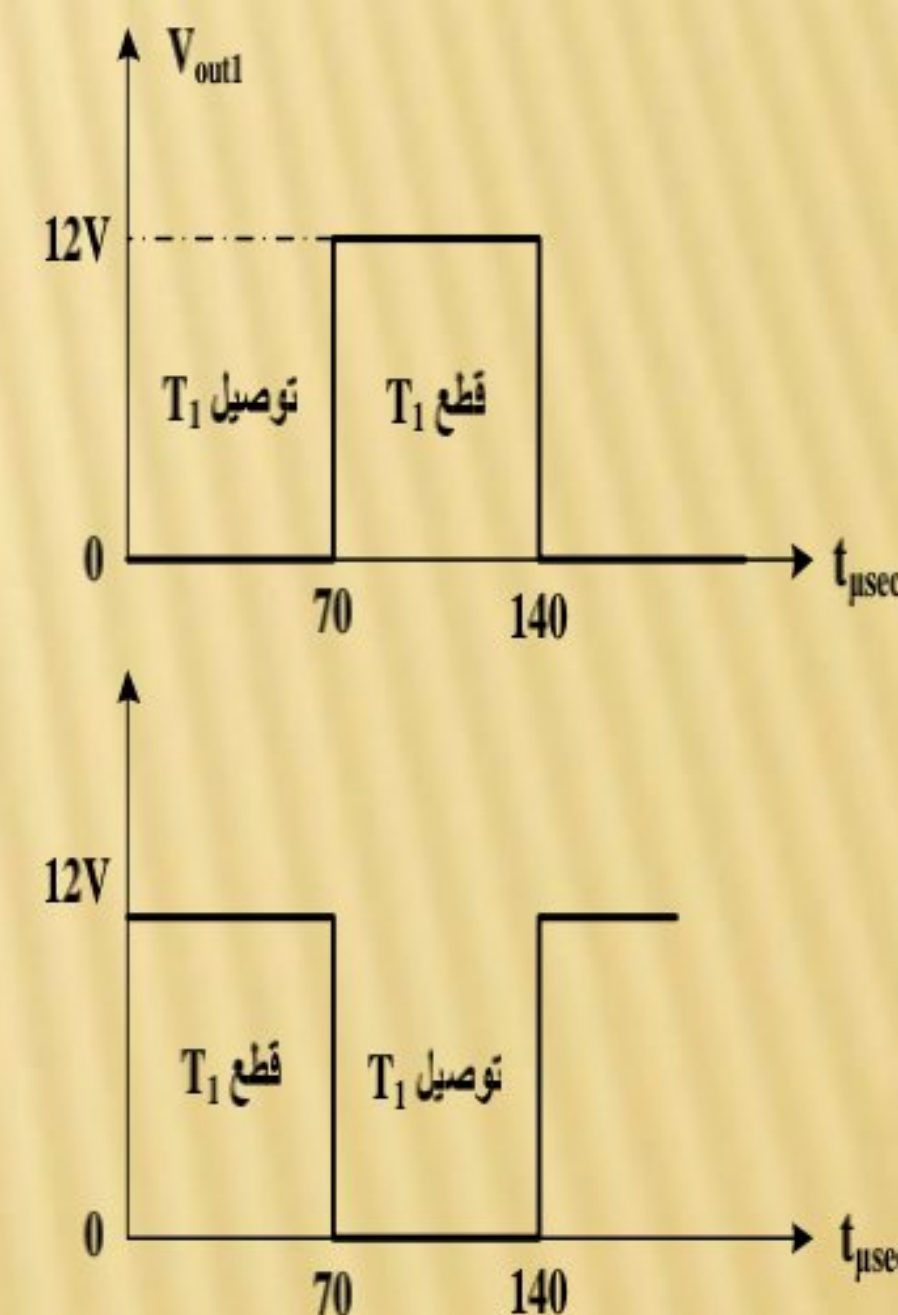
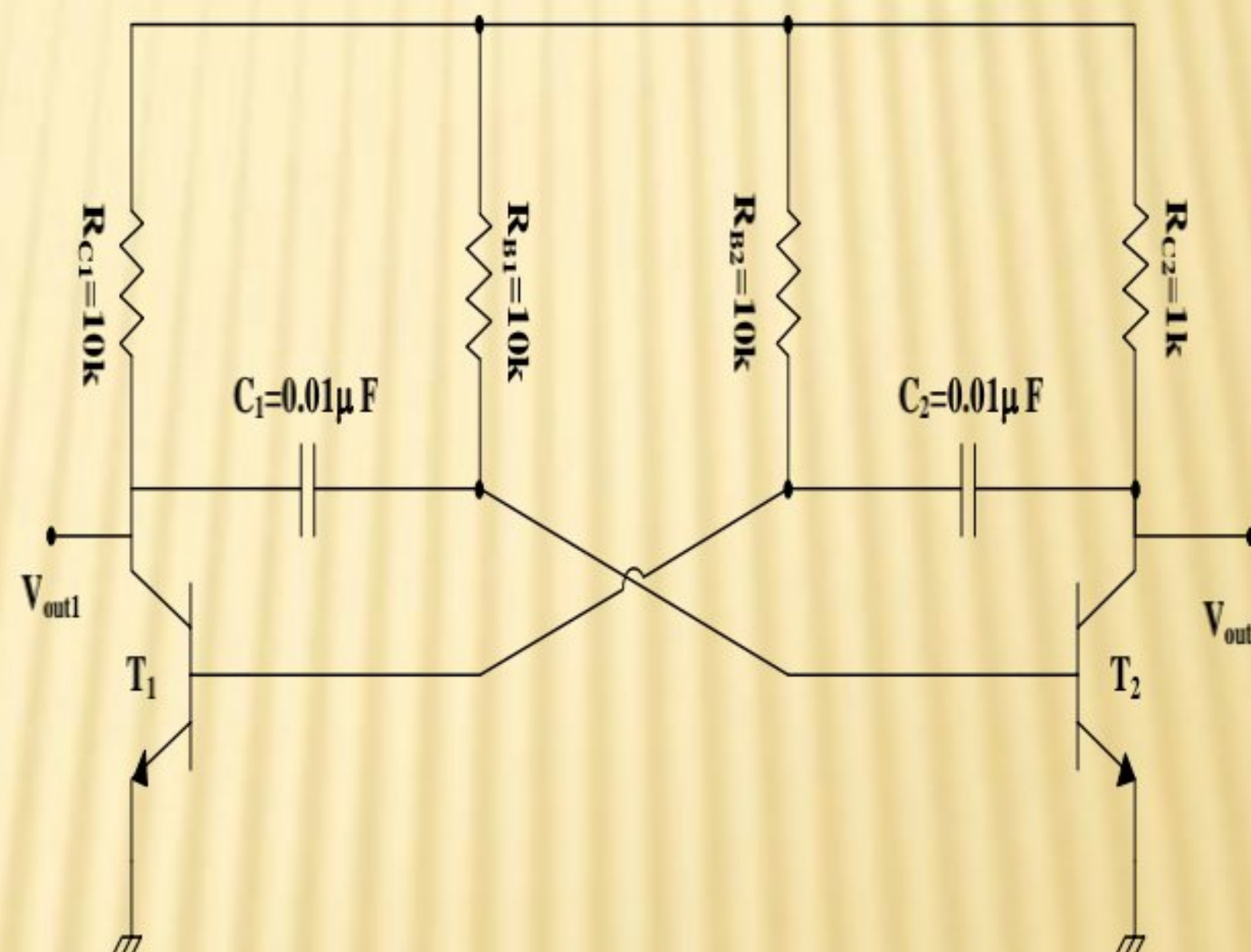
$$= \frac{1}{(70 + 70) * 10^{-6}} = 7142.85 \text{ Hz} = 7.143 \text{ kHz}$$

$$h_{FE} = \frac{R_B}{R_C} = \frac{10k}{1k} = 10 \quad \text{أصغر قيمة لـ } h_{FE} \text{ هو}$$

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

دورة التشغيل

الحل: نرسم الدائرة ونثبت القيم عليها.



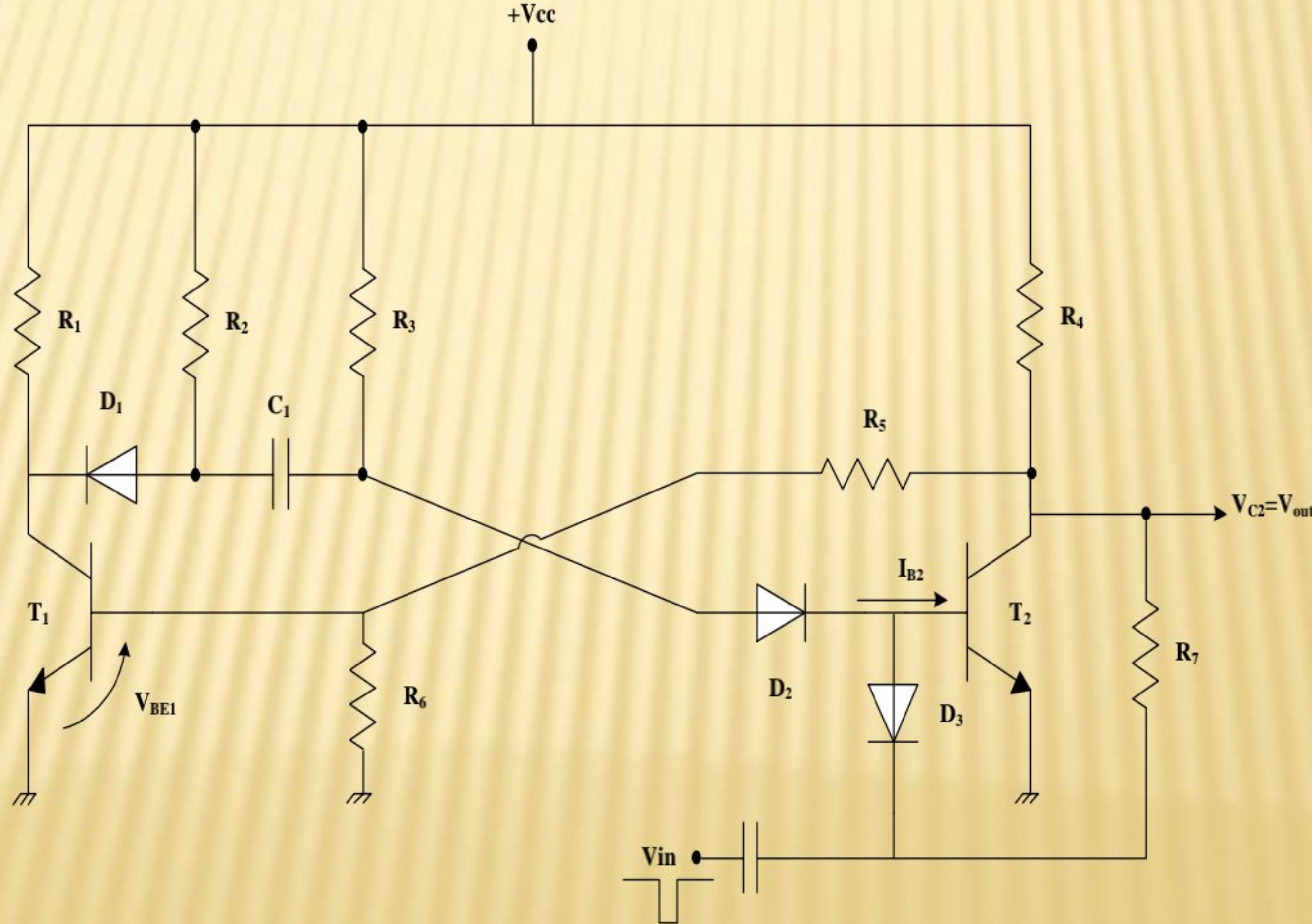
Monostable Multi (M.M)

المهتز أحادي الاستقرار

ويسمى أيضاً مولد الطلقة الواحدة أو مولد الاطلاق 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 قذح 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 أحادي 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}) المجهد من المصدر المستمر من خلال المقاومة R_3 والثنائي D_2 (الذي يكون في حالة انحياز أمامي 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 قرح 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 الأمامي 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 أمامي بحول T_2 من القطع إلى التوصيل ويقوم جهده الجامعه المؤرض بإجبار T_1 على التحول من حالة التوصيل إلى القطع والآن رجعنا إلى الحالة المستقرة التي تبقى لحين وصول نبضة قرح جديدة وهكذا.

عند تسليط نبضة قرح سالبة على المتسعة C_2 ، وأثناء استقرار T_2 على وضع التوصيل يكون D_3 مهياً للتوصيل فتقوم النبضة السالبة بجعل انحيازه أمامياً 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 $C_1=0.1\mu F$ ، $V_{cc}=10V$ وإشارة الإدخال مربعة $2V_{pp}$ وبتردد $4kHz$. أحسب تردد الإخراج وارسم موجة الإخراج نسبة إلى موجة الإدخال.

$$T_{in} = \frac{1}{f_{in}} = \frac{1}{4 * 10^3} = 0.25 \text{ msec} \text{ \& } T_{in} / 2 = 0.25 / 2 = 0.125 \text{ msec}$$

عرض نبضة الإدخال

الحل:

$$t_2 = 0.7R_3C_1 = 0.7 * 8.6 * 10^3 * 0.1 * 10^{-6} = 0.6 \text{ msec} = T_{out}$$

عرض نبضة الإخراج التقريبية =

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

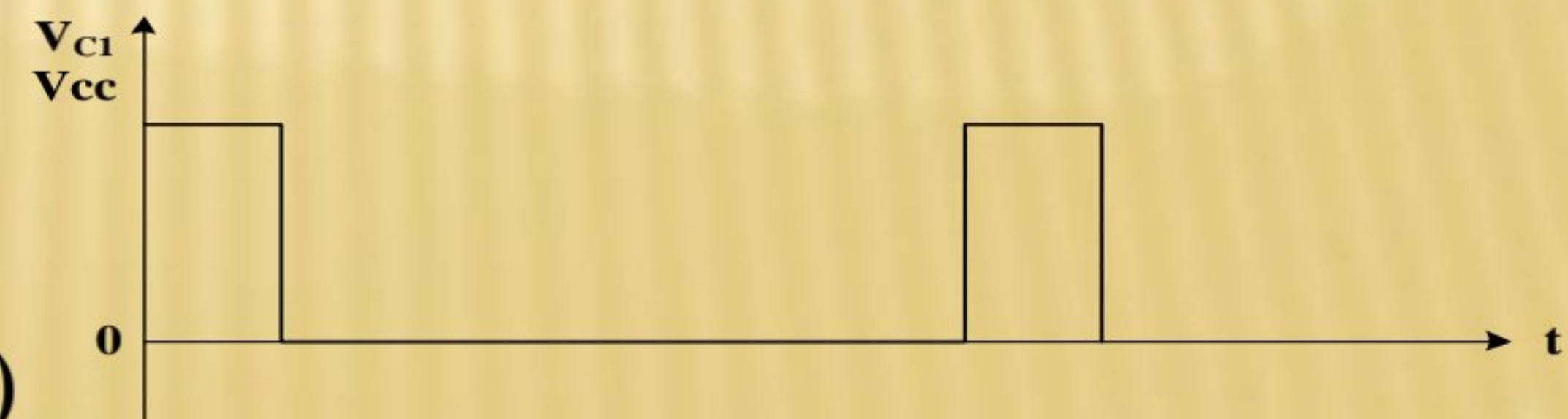
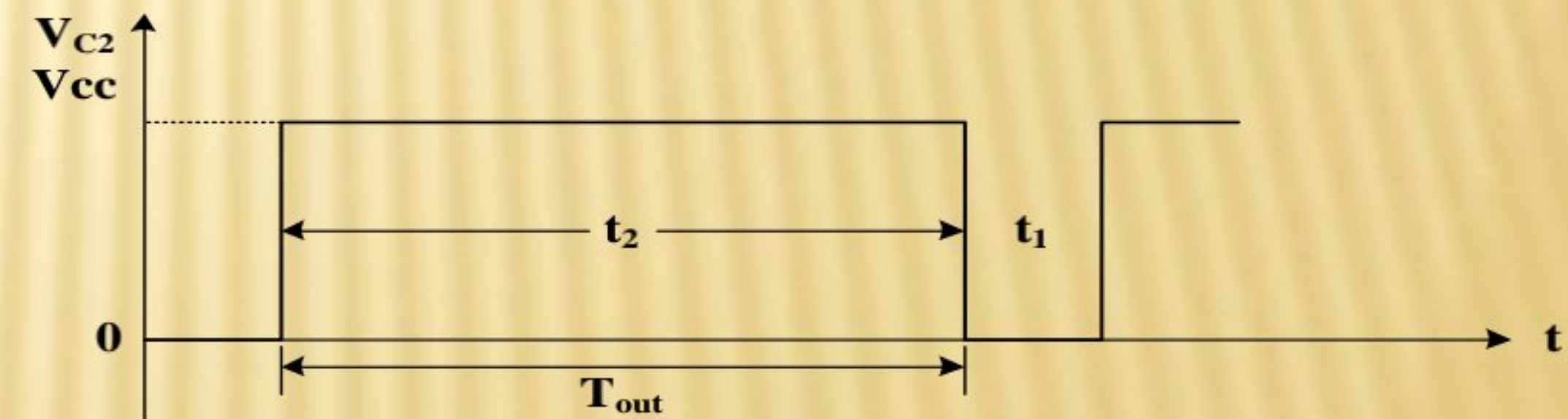
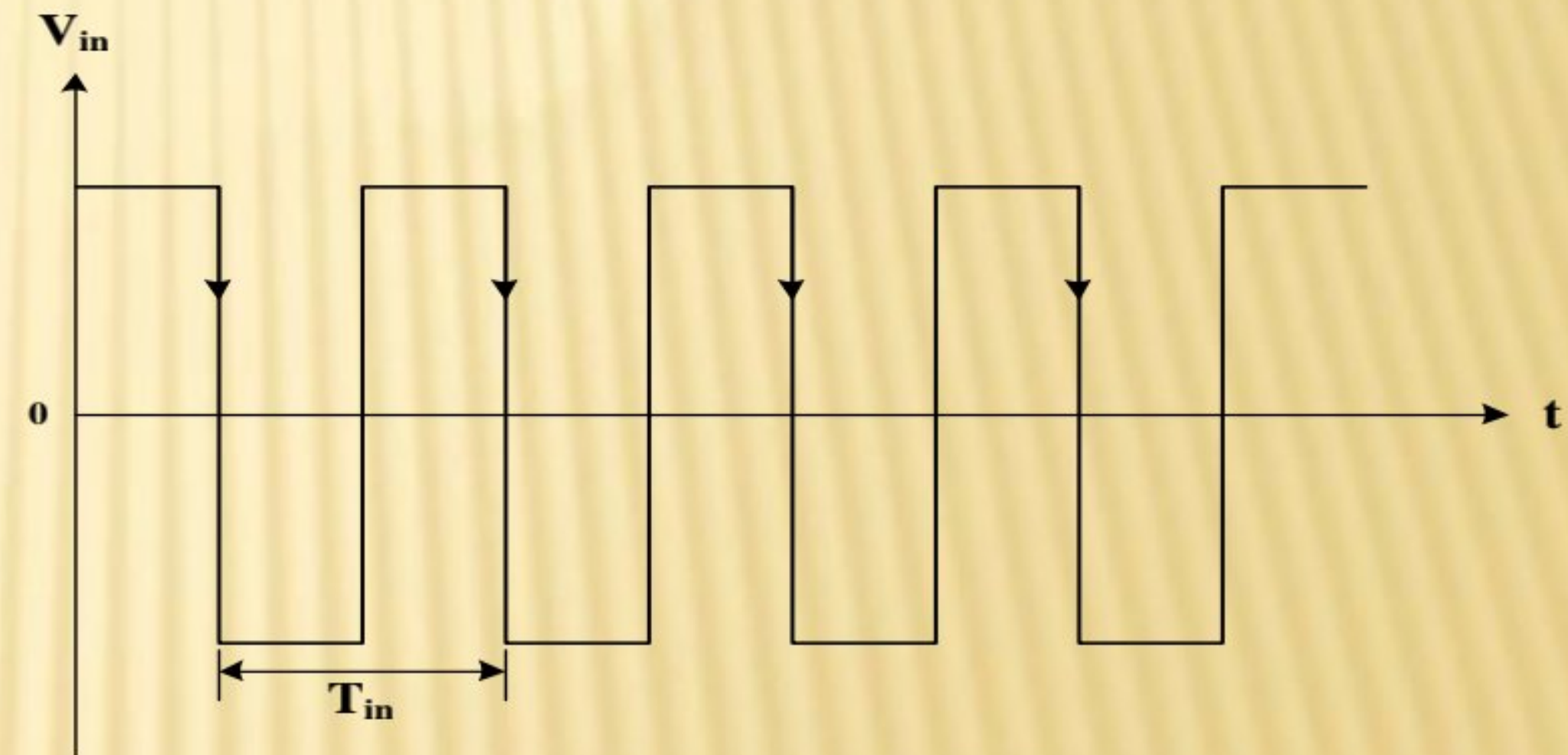
وهي عدد نبضات القدر أثناء T_{out} $\frac{t_2}{T_{in}} = \frac{0.6}{0.25} = 2.4 \rightarrow 3$

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

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

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

$$= 0.75 - 0.6 = 0.15 \text{ msec}$$



(أشكال موجات المهتز أحادي الاستقرار وبنفس الوقت للمثال اعلاه)

وتسمى هذه الدائرة المرجاح (النطاط) Flip-Flop. ويكون لها حالتين مستقرتين:

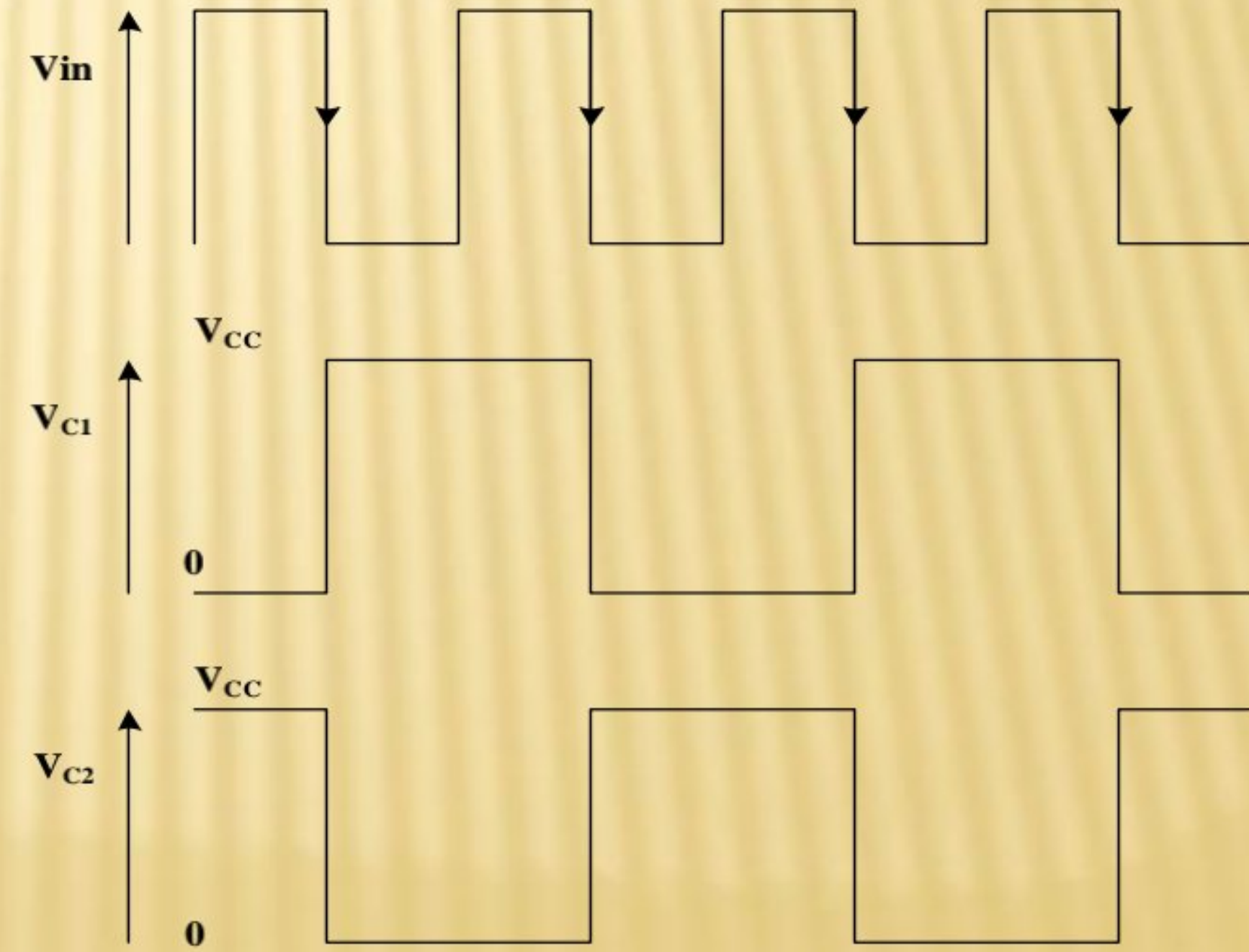
حالة الاستقرار الأولى: T_1 توصيل، T_2 قطع.

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.

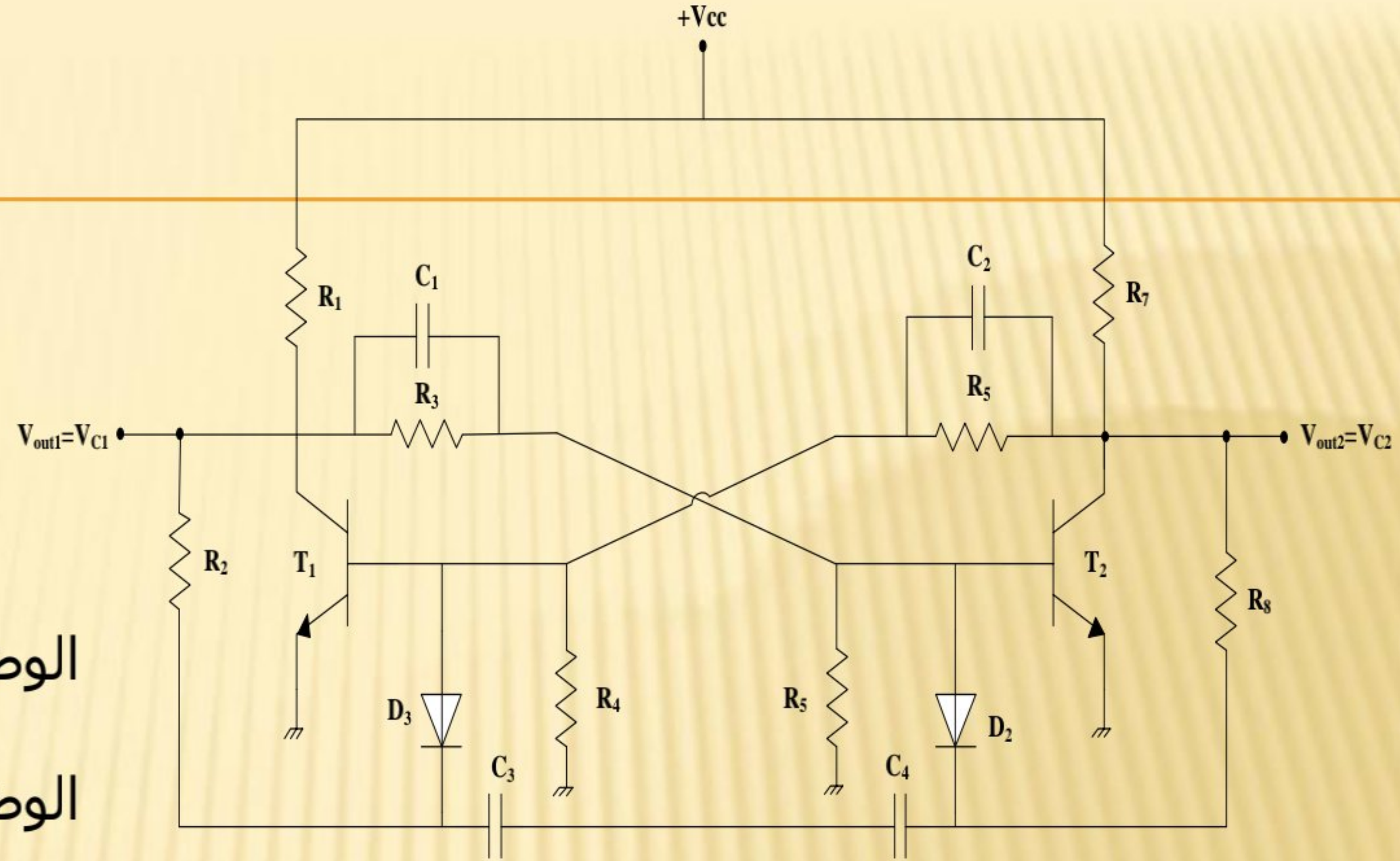
يكون تردد الإخراج نصف تردد الإدخال أي: $f_{out} = \frac{1}{2} f_{in}$

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 ص ١٣٧-١٣٨

(دائرة المهتز ثنائي الاستقرار)



الوضع الأول: T1 موصل و T2 مقطوع

الوضع الثاني: T1 مقطوع و T2 موصل

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

أن نبضات القذح ضرورية جداً لتسويق دائرة هذا المهتز، حيث تكون مسؤولة عن تحويل الدائرة من وضع مستقر إلى الوضع الآخر. أما كيفية الحصول على نبضات القذح (Trigger Pulses) فتكون عادة من مولد موجة مربعة (Square Wave Generator) بعد إمراره 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 القذح المغيرة للوضع المستقر مشتركة لكلا الترانزستورين. إلا أنها تسوق الترانزستور الموصل فقط، ولا تؤثر على الآخر لأنه من الأصل في حالة قطع.

أهمية المقاومتين (R_8) و (R_2)

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

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

جدول مقارنة بين أنواع المهتزازات

المهتز ثنائي الاستقرار (B.M.)	المهتز احادي الاستقرار (M.M.)	المهتز الغير مستقر (A.M.)
١. أحد دوائر توليد النبضات.	١. أحد دوائر توليد النبضات.	١. أحد دوائر توليد النبضات.
٢. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.	٢. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.	٢. يتألف من مرحلتين كل منهما ترانزستور كمفتاح.
٣. حالتي الدائرة مستقرة.	٣. حالتي الدائرة : إحداها مستقرة والأخرى : غير مستقرة.	٣. حالتي الدائرة غير مستقرة.
٤. يحتاج لنبضات قدح للحالتين المستقرتين.	٤. يحتاج لنبضات قدح في الحالة المستقرة.	٤. لا يحتاج لنبضات قدح.
٥. تردد الإخراج فيه هو نصف تردد الإدخال. $f_{out} = \frac{1}{2} f_{in}$	٥. تردد الإخراج $f = \frac{1}{0.7R_3C_1}$ حيث $0.7R_3C_1$ هي عرض نبضة الإخراج.	٥. تردد الإخراج $f = \frac{1}{1.4R_B C}$ إذا كانت $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ و $C_1=C_2=C$
٦. يستخدم كمقسم تردد.	٦. يستخدم للحصول على نبضة إخراج ذو عرض أكبر من عرض نبضة القدح.	٦. يستخدم لتوليد نبضات مدى واسع من الترددات. 20 Hz – 30 MHz
٧. دائرته هي كما في الرسم أدناه:	٧. دائرته هي كما في الرسم أدناه:	٧. دائرته هي كما في الرسم أدناه:
٨. نظرية العمل له ...	٨. نظرية العمل له ...	٨. نظرية العمل له ...



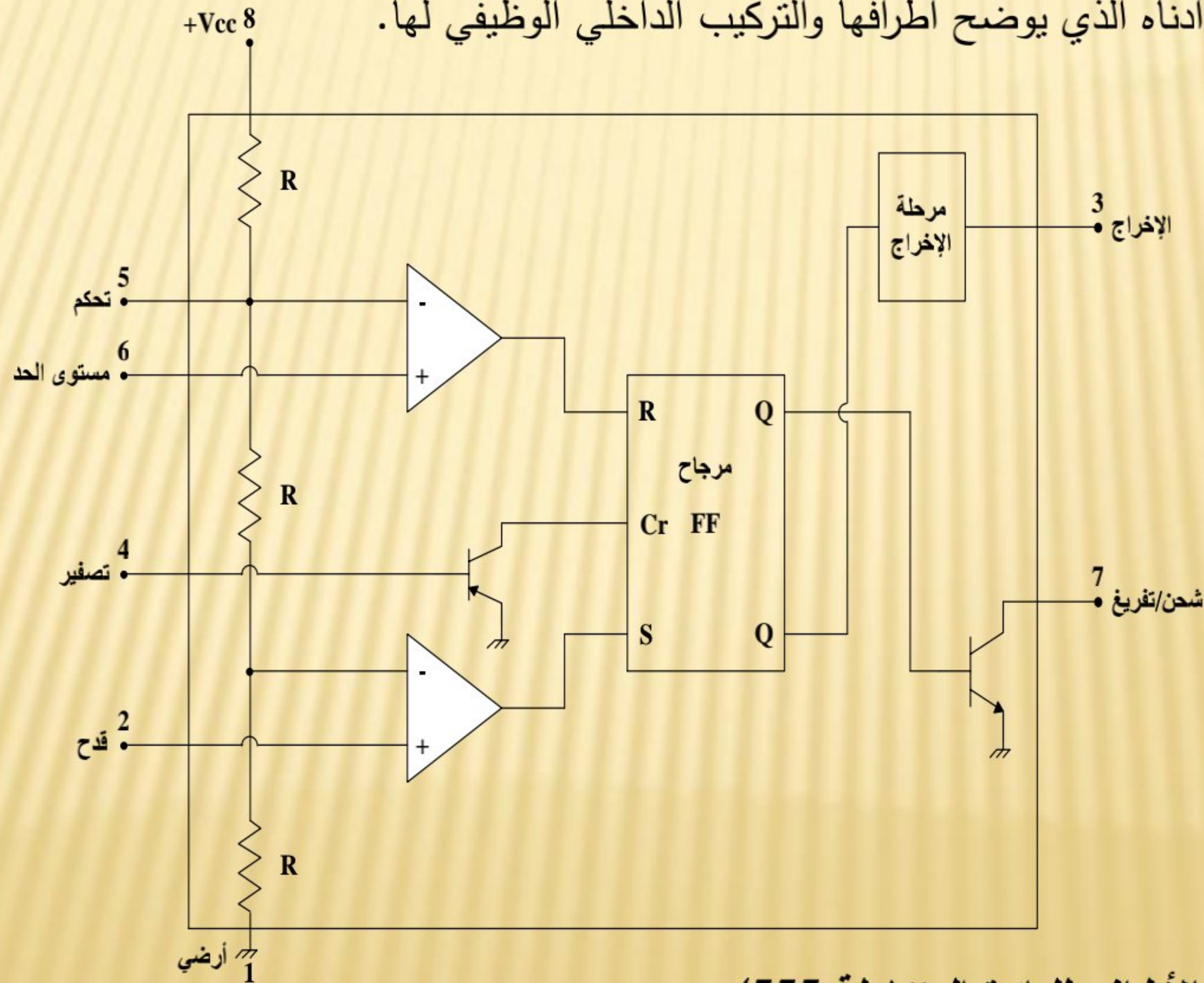
الجامعة التقنية الشمالية المعهد التقني / الموصل قسم التقنيات الالكترونية فرع الأجهزة الطبية المرحلة الثانية

المادة : نظم الكترونية طبية

أسم الأستاذ : عامر محمد نوري

أسم الموضوع : المؤقت الزمني 555

- 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: القذح (Trigger) وهو طرف إدخال لتغيير حالة الإخراج من واطيء LOW إلى عال High وذلك عندما يقل جهد هذا الطرف عن

$\frac{1}{3} V_{cc}$ حيث يسبب المقارن 2 تغيير حالة المرجاح والذي بدوره يغير حالة مرحلة الإخراج من واطيء إلى عال. ويجب ان يكون

عرض نبضة القذح أقل من حاصل ضرب RC (المقاومة والمتسعة الخارجيتين).

الطرف 3: الإخراج (output) وهو طرف إخراج الدائرة ويكون جهده $(V_{out}=V_{cc}-1.7)$ 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 محدد من 45% إلى 90% من جهد التجهيز V_{cc} في صيغة أحادي الاستقرار، بينما يكون المدى أوسع من 1.7V إلى V_{cc} 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 ($0.01\mu F$) للحفاظ على المناعة ضد الضوضاء.

الطرف 6: مستوى حد الجهد (Threshold Voltage) أو مستوى الحد يمثل هذا الطرف أحد إدخال المقارن، فعندما يتغذى جهد الإدخال المسلط على هذا الطرف ، فإن إخراج المقارن يتسبب في تصفير المرجاح الذي بدوره يجعل مرحلة الإخراج في حالة واطئ شرط أن لا يقل تيار الإدخال لهذا الطرف عن $0.1\mu A$ (باختصار يقوم هذا الطرف بتغيير حالة جهد الإخراج من عال إلى واطئ عندما يكون جهده أكبر من $\frac{2}{3}V_{cc}$)

إن مستوى حد التيار هذا الطرف، حيث تكون أكبر قيمة لهذه المقاومة $20M\Omega$ عندما يكون $V_{cc}=15V$.

الطرف 7: شحن / تفريغ (Charge / Discharge) يعمل هذا كدائرة قصر (short) عندما يكون الإخراج في حالة واطئ 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 C و R. إن مبدأ شحن المتسعة وتفريغها هو أساس فكرة التوقيت في هذه الدائرة المتكاملة 555.

الطرف 8: تجهيز القدرة V_{cc} (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.

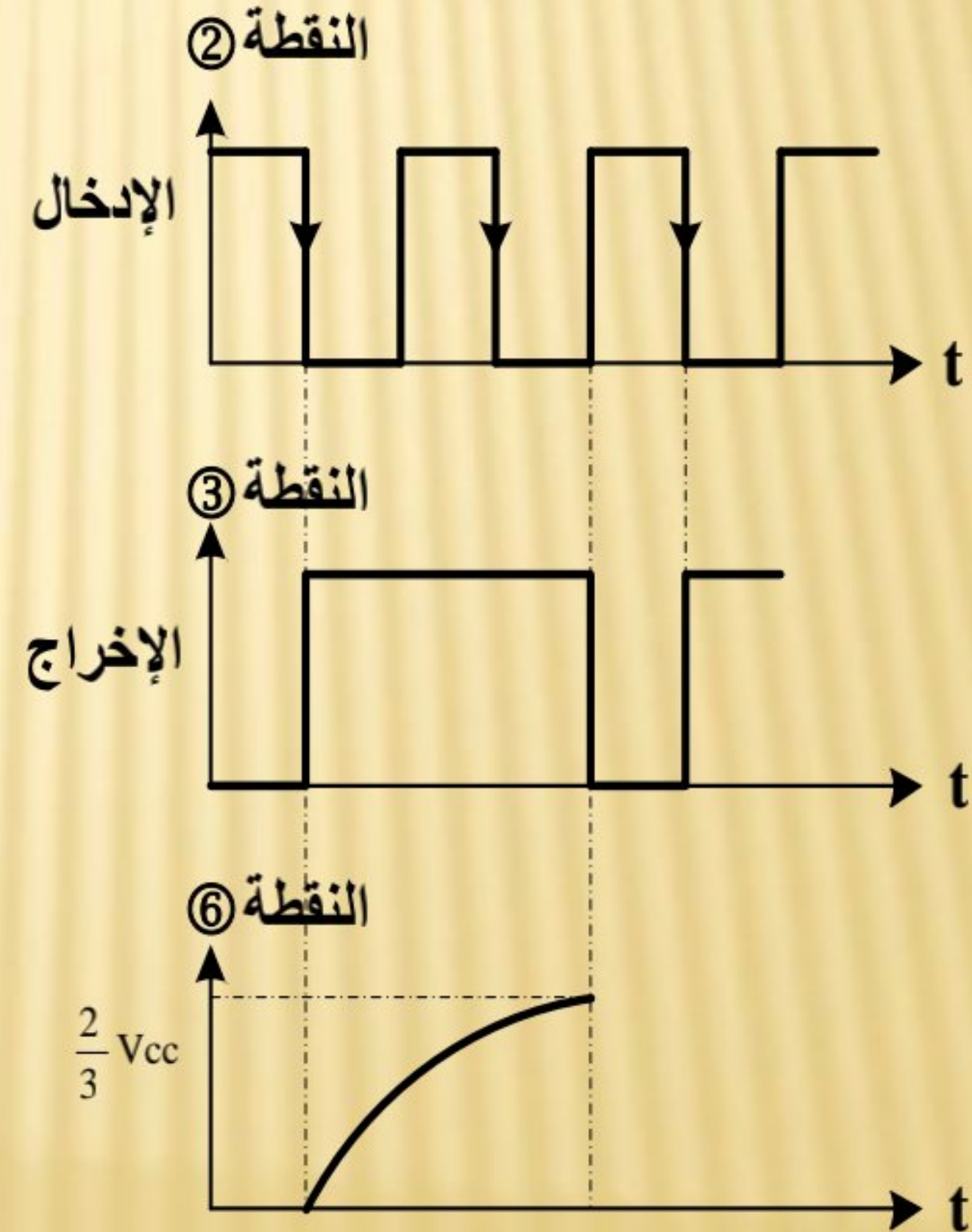
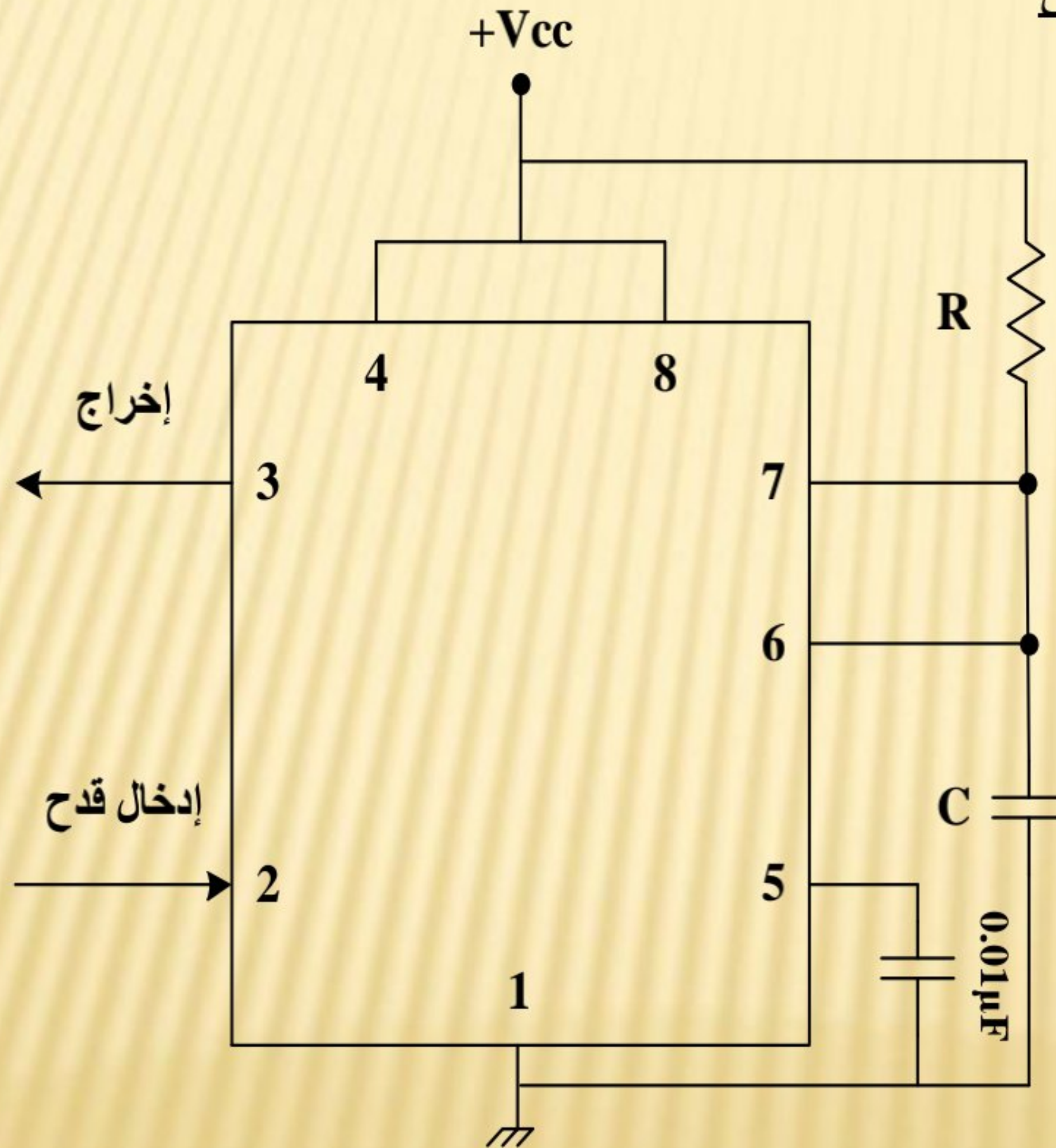
ملاحظة: أن اقل قيمة لمقاومة الحمل يمكن ربطها على إخراج الدائرة المتكاملة 555 وهو الطرف 3 يحددها أعظم تيار تجهزه الدائرة وقدره $200mA$ ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

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

Timer 555 As Monostable Multivibrator

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

مولد الاطلاق الواحدة أو مولد النبضة الواحدة أو مكبر زمن



(دائرة المؤقت 555 بصيغة أحادي الاستقرار)

(أشكال الموجات الاحادي الاستقرار)

نظرية العمل:

يحصل القذح عندما يصل جهد نبضة القذح $\frac{1}{3} V_{cc}$ أو أقل

(على أن يكون عرض نبضة القذح أقل من عرض نبضة الإخراج المطلوب). وعندها يتحول الإخراج من واطئ إلى عال

وتشحن المتسعة لفترة زمنية $(T=1.1 RC)$ إلى أن يصل الجهد على طرفي المتسعة $\frac{2}{3} V_{cc}$

عندها يتحول الإخراج من عال إلى واطئ. وتستمر هذه الحالة إلى أن تأتي نبضة قذح أخرى كما مبين في الموجات أعلاه.

** يسمى T عرض نبضة الإخراج أو زمن نبضة الإخراج أو زمن التوقيت.

ملاحظة: (دائرة أحادي 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 $V_{cc}=14V$ وقيمة المقاومة $4M\Omega$ والتمسعة $1\mu F$ أحسب زمن التوقيت وزمن نبضة الإخراج، وكذلك أحسب أقل قيمة لمقاومة الحمل ممكن 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:

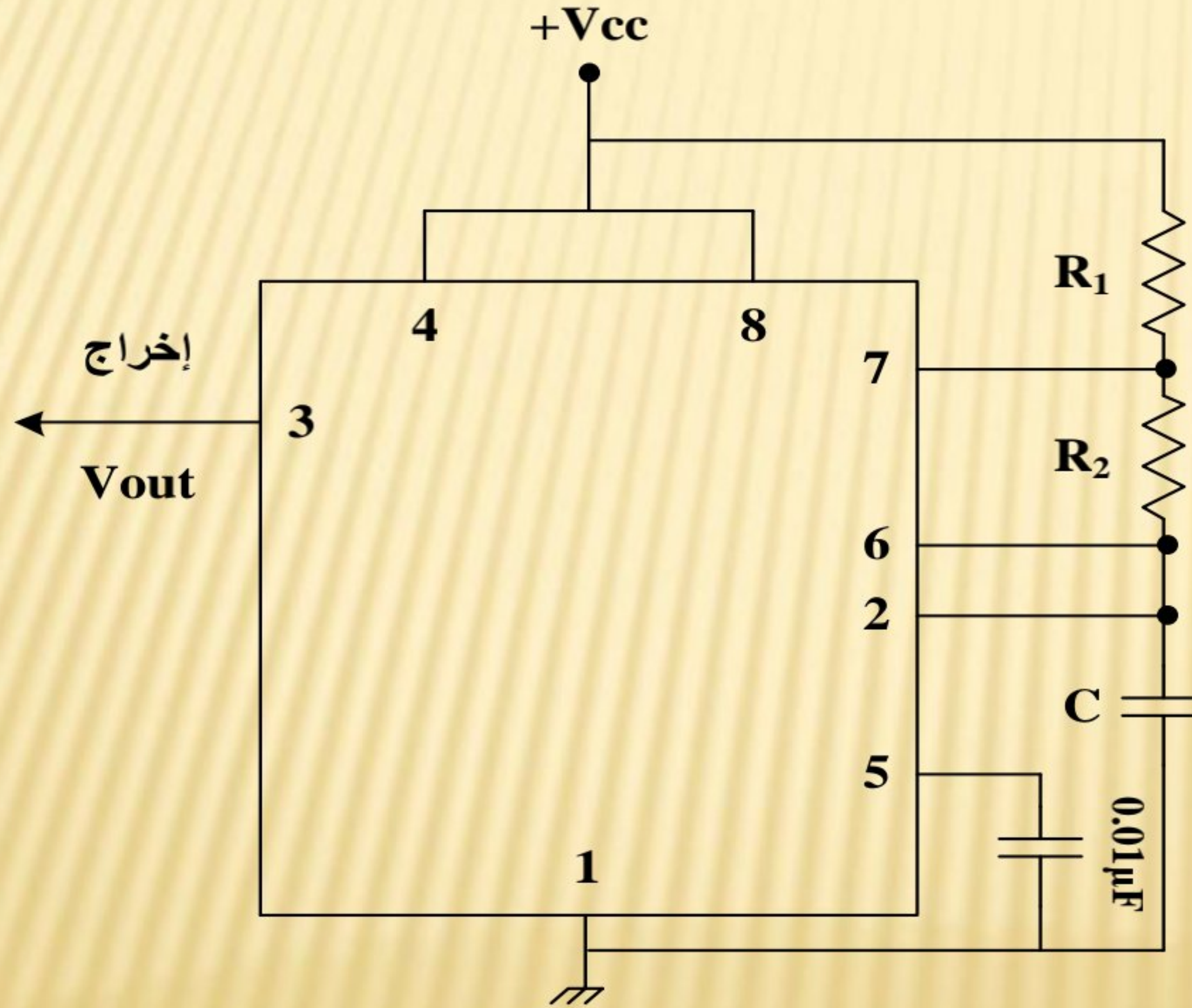
$$R_{L(\min)} = \frac{V_{\text{out}}}{I_{L(\max)}} = \frac{14 - 1.7}{200 * 10^{-3}} = 61.5 \Omega$$

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

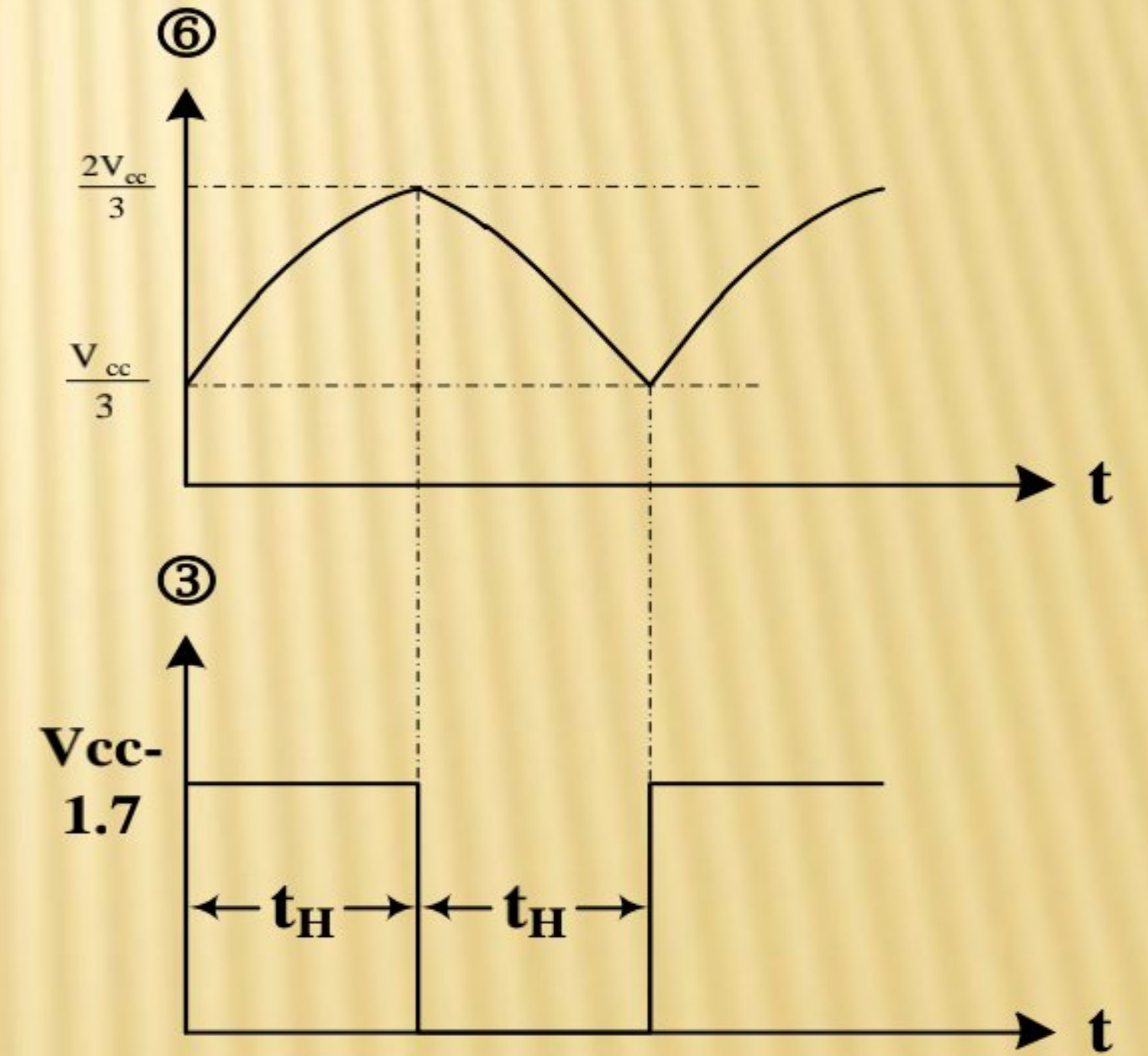
استخدامات المؤقت 555 بصيغة مهتز غير مستقر:

Timer 555 in Astable Multi Mode:

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



(دائرة المؤقت 555 بصيغة مهتز غير مستقر)



(أشكال الموجات)

نظرية العمل لدائرة 555 بصيغة مهتز غير مستقر

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

لذلك يتحول الإخراج من مستوى واطئ إلى عالي عندها تبدأ المتسعة بالشحن لزمن t_H وخلال المقاومتين R_1 و R_2 حيث الطرف ⑦ في حالة فتح (Open Circuit).

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

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

عندها يتحول الإخراج من مستوى عال إلى واطئ وتبدأ المتسعة بالتفريغ خلال المقاومة R_2 إلى الطرف ⑦ الذي أصبح دائرة قصر (short cct.) ويستمر التفريغ لفترة t_L إلى أن يصل جهد المتسعة إلى $\frac{1}{3} V_{CC}$

$$t_L = 0.693R_2.C$$

عندها يتحول الإخراج من المستوى الواطئ إلى المستوى العالي ، وهكذا تعاد الدورة ..

$$\begin{aligned} T &= t_H + t_L = 0.693(R_1 + R_2)C + 0.693R_2C \\ &= 0.693(R_1 + 2R_2)C \end{aligned}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

ملاحظة :

العلاقة العامة لدورة التشغيل Duty Cycle هي : $D\% = \frac{t_H}{t_H + t_L} * 100\%$

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 $V_{cc}=15V$ ، $C=0.22\mu F$ ، $R_2=15K\Omega$ ، $R_1=10K\Omega$ المطلوب إيجاد: ١- تردد موجة الإخراج. ٢- زمن موجة الإخراج في المستوى العالي وفي المستوى الواطئ. ٣- النسبة المئوية لدورة التشغيل.

الحل: نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها.

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

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

** زمن المستوى العالي t_H :

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

** زمن المستوى الواطئ t_L :

$$T = t_H + t_L = 3.8 + 2.29 = 6.09 \text{ msec}$$

أما زمن الموجة T فهو

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

طريقة ثانية

** النسبة المئوية لدورة التشغيل يمكن حسابها بإحدى الطريقتين:

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

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

أو

مثال: في دائرة المؤقت 555 كمهتز 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 .

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C} \Rightarrow 10 * 10^3 = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2) * 0.002 * 10^{-6}}$$

$$R_1 + 2R_2 = 72 * 10^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

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

$$R_1 + R_2 = 0.75(R_1 + 2R_2) = 0.75 * 72 * 10^3$$

$$R_1 + R_2 = 54 * 10^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$R_1 = 18 \text{ K}\Omega, \quad R_2 = 36 \text{ K}\Omega$$

بحل المعادلتين (1) و (2) نحصل على:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 * 10^3} = 0.1 \text{ msec} = 100 \mu\text{sec} \quad \text{طريقة ثانية:}$$

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

$$t_H = 75 \mu\text{sec} \quad t_L = T - t_H = 100 - 75 = 25 \mu\text{sec} \quad \& \quad t_L = 0.693 R_2 C$$

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

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

ملاحظة: بإمكان الطالب الحل بإحدى الطريقتين أعلاه.

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

طريقة حل المعادلتين 1 و 2 لإيجاد المقاومتين :

$$\cancel{R_1} + 2R_2 = 72 * 10^3 \text{ -----}.1$$

$$\cancel{R_1} + R_2 = 54 * 10^3 \text{ -----}.2$$

----- بالحذف والطرح

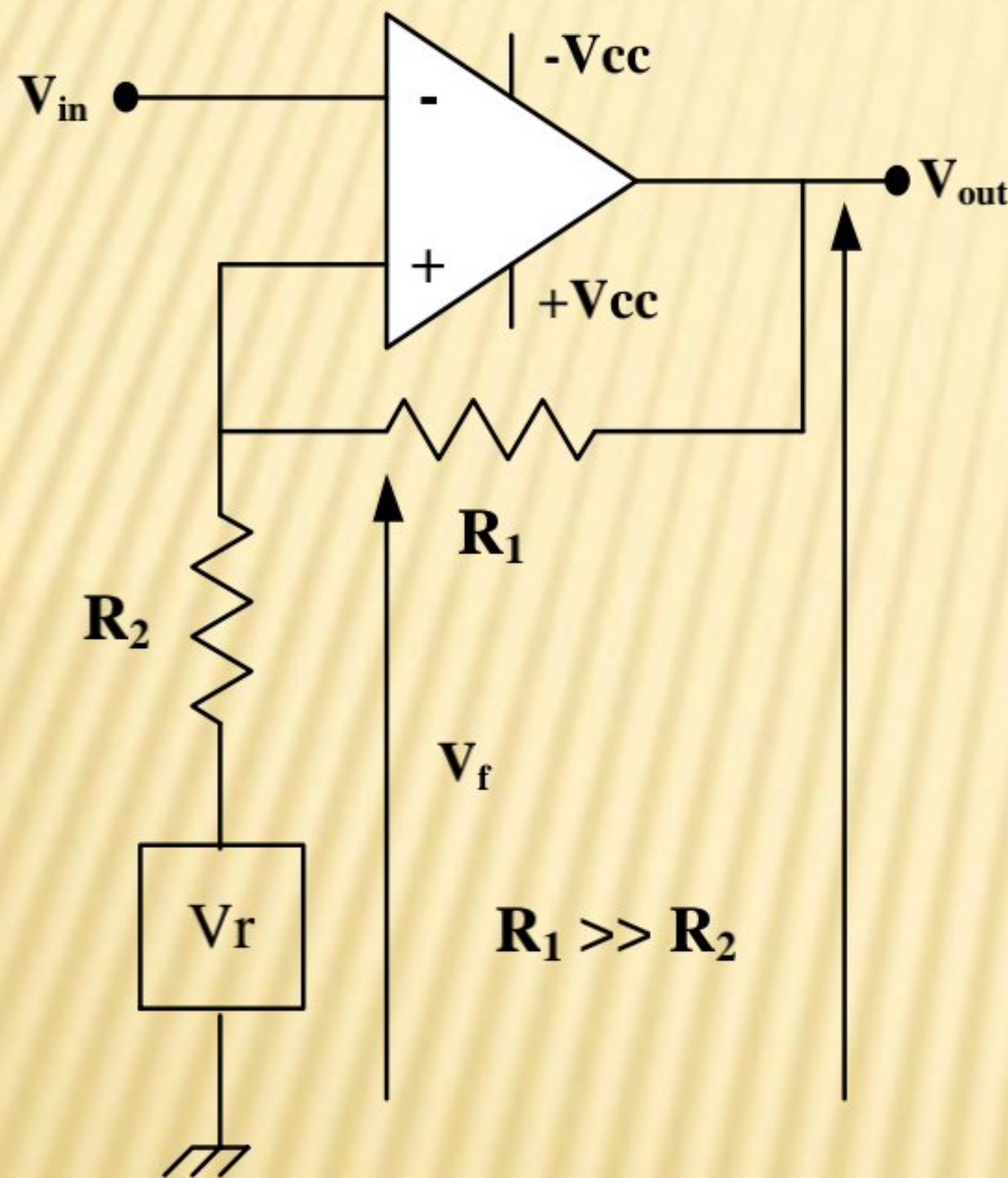
$$2R_2 - R_2 = 18 * 10^3 \longrightarrow R_2 = 18 \text{ K}\Omega$$

بالتعويض في 2 ينتج : $R_1 = 54 - 18 = 36 \text{ K}\Omega$

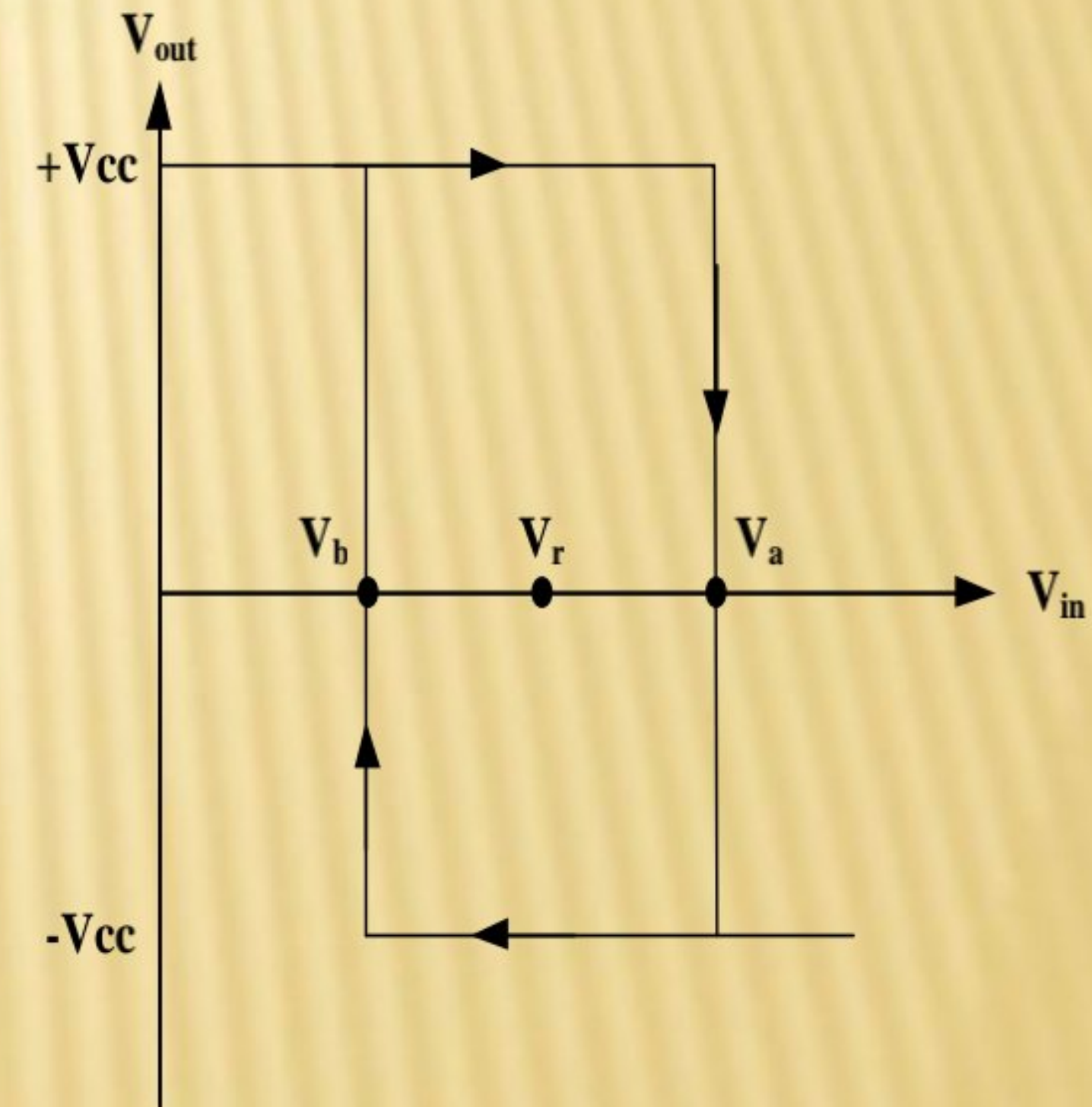
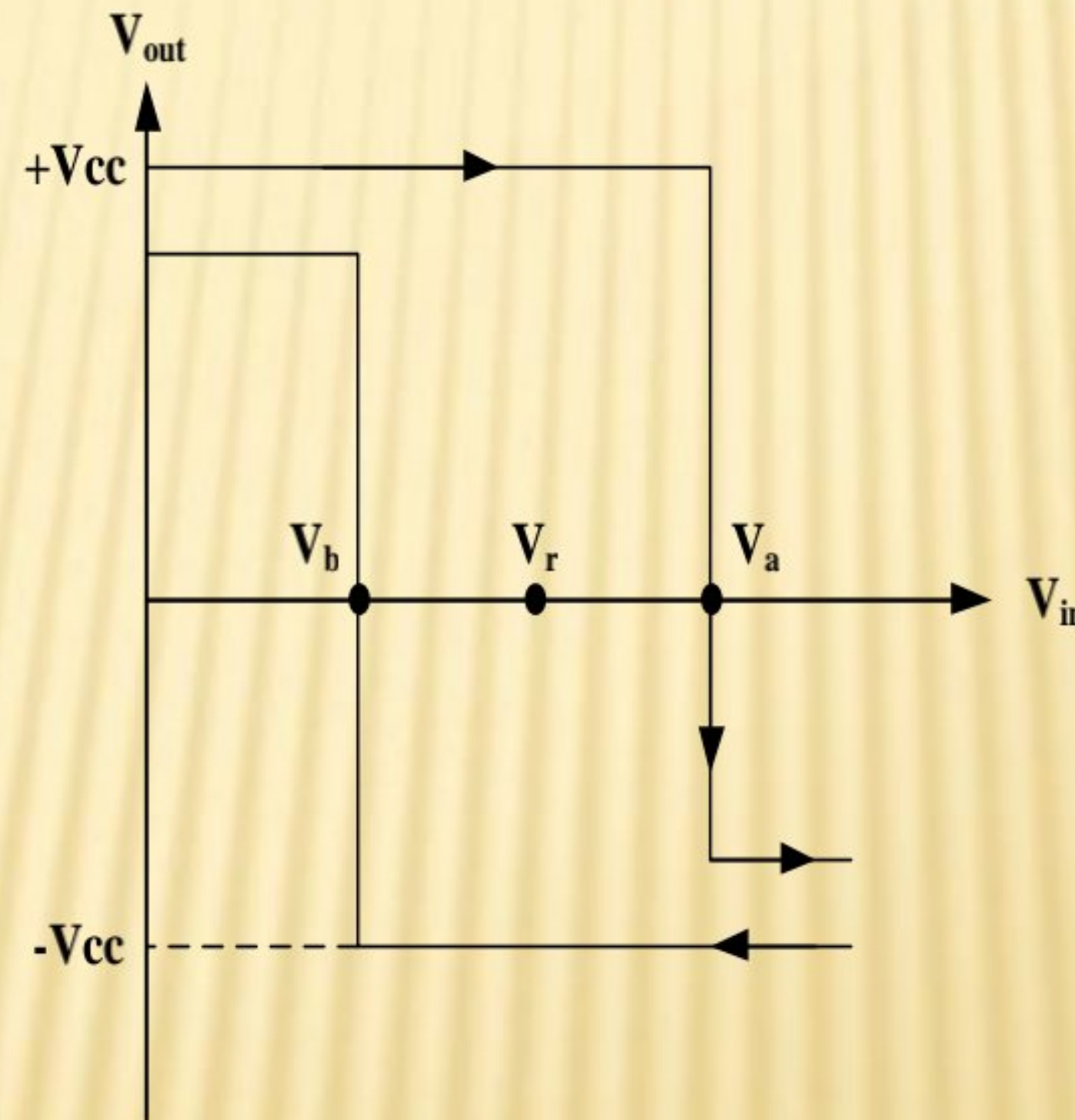
Schmitt Trigger

قـادـح (مـقـدـاح) شـمـيـت

وهي من الدوائر المستخدمة كثيراً في توليد نبضات القـدح لما تمتاز به من مناعة ضد الضوضاء. وقسم من دوائر البوابات المنطقية مثل NAND (الدائرة المتكاملة 7413 والدائرة المتكاملة 74132) و NOT (الدائرة المتكاملة 7414) تعتمد في تركيبها الداخلي قـادـح شـمـيـت . ودائـرته مركبة من دائرة العبور الصفري ودائرة المقارن التناظري كما موضح في الشكل أدناه، علماً أن قـادـح شـمـيـت يسمى أيضاً مقارن إعادة التوليد (Regenerating Comparator):



(دائرة قـادـح شـمـيـت)



(منحني عمل دائرة قـادـح شـمـيـت (حلقة جهد التخلفية))

حيث أن:

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

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

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

ملاحظة:

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

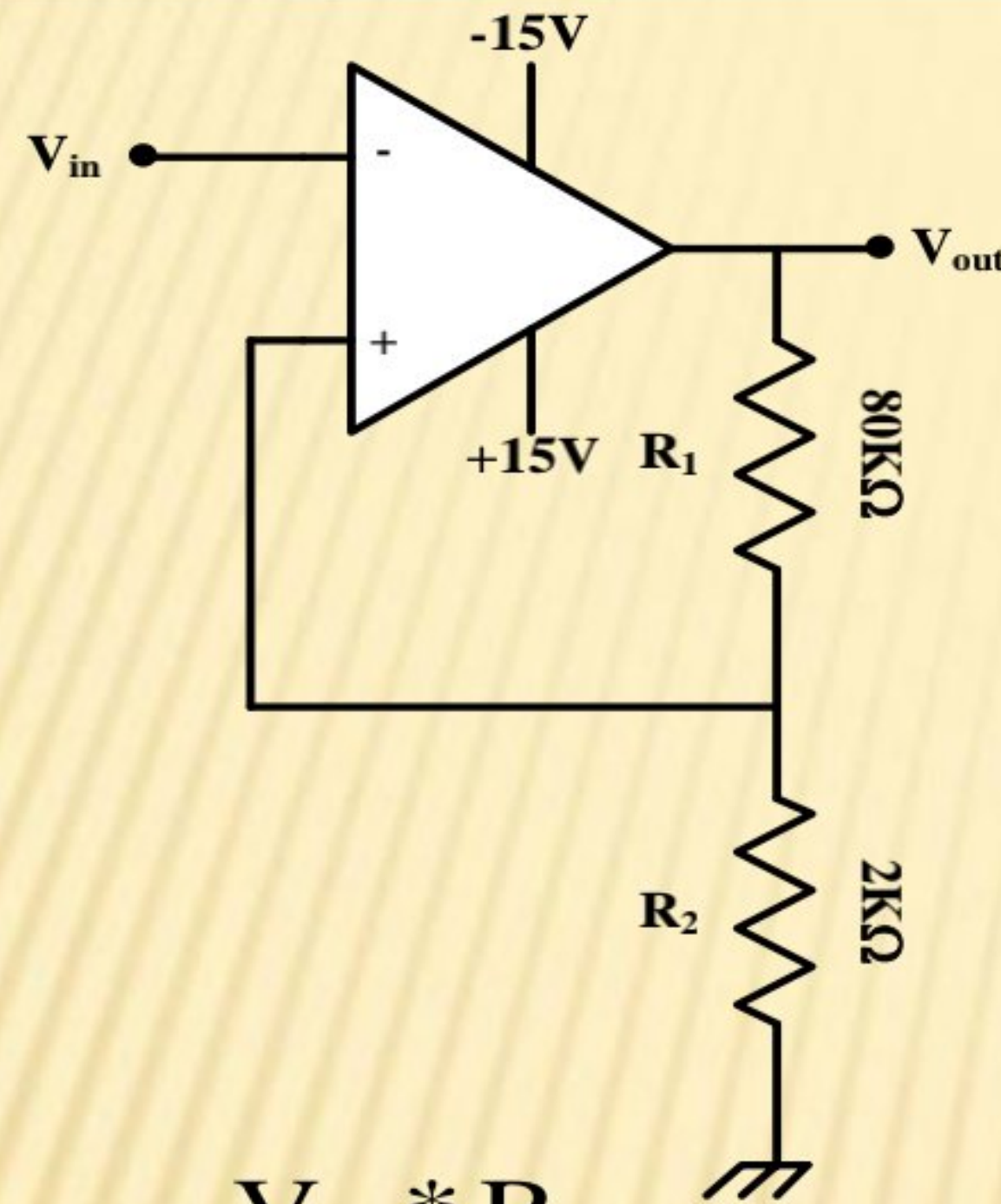
$$V_a = -V_b \text{ \& } V_{Utp} = -V_{Ltp} = \mp \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} * R_2$$

مثال:

في دائرة قاذح شميث إذا كانت $V_{cc} = \pm 15V$ ، $R_2 = 2K$ ، $R_1 = 80K$. أرسم موجة الإخراج نسبة إلى موجة إدخال جيبية بتردد 50 KHz

الحل:

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

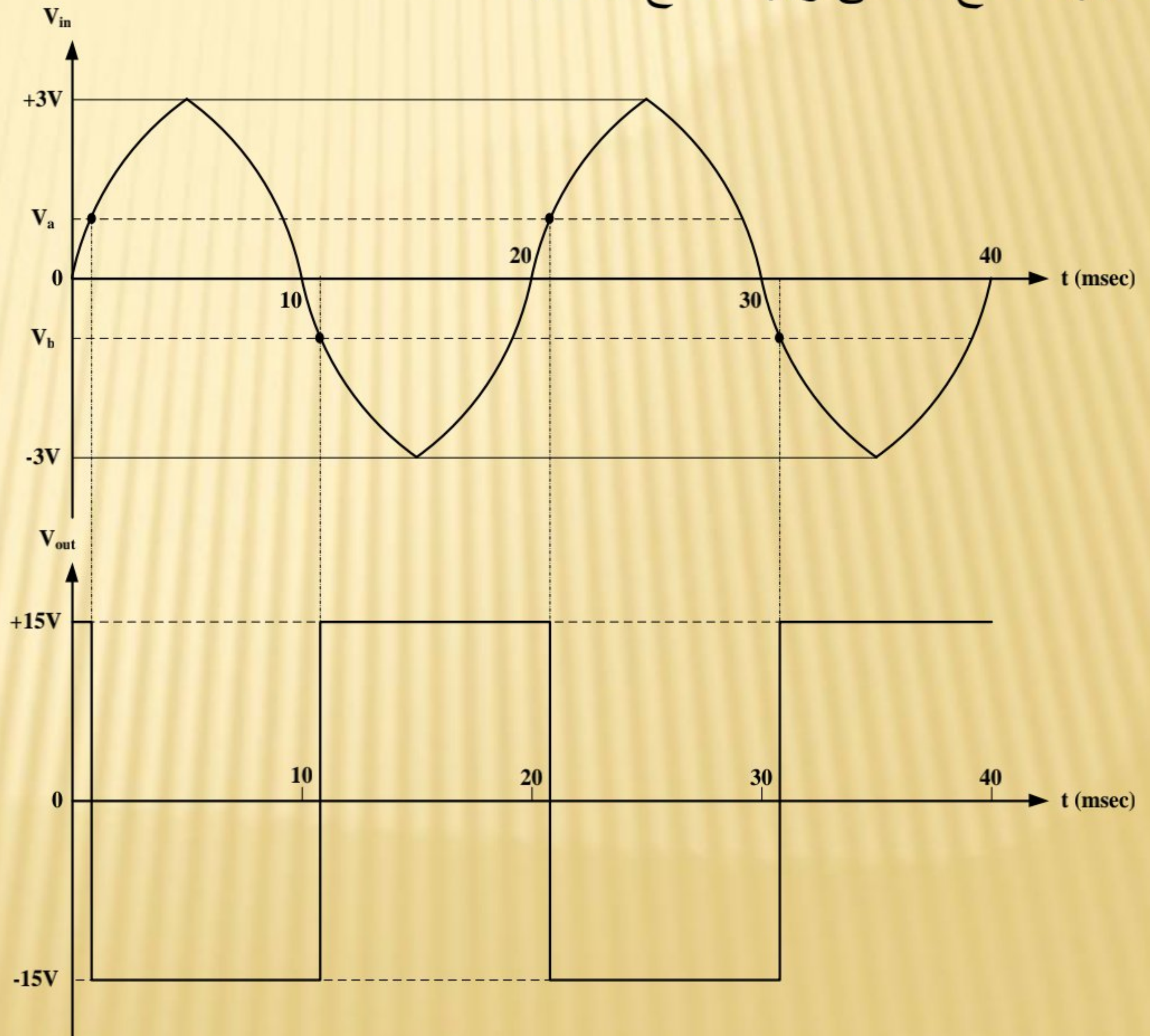


$$V_a = V_{Utp} = \frac{V_{cc} * R_2}{R_1 + R_2}$$

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

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

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



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

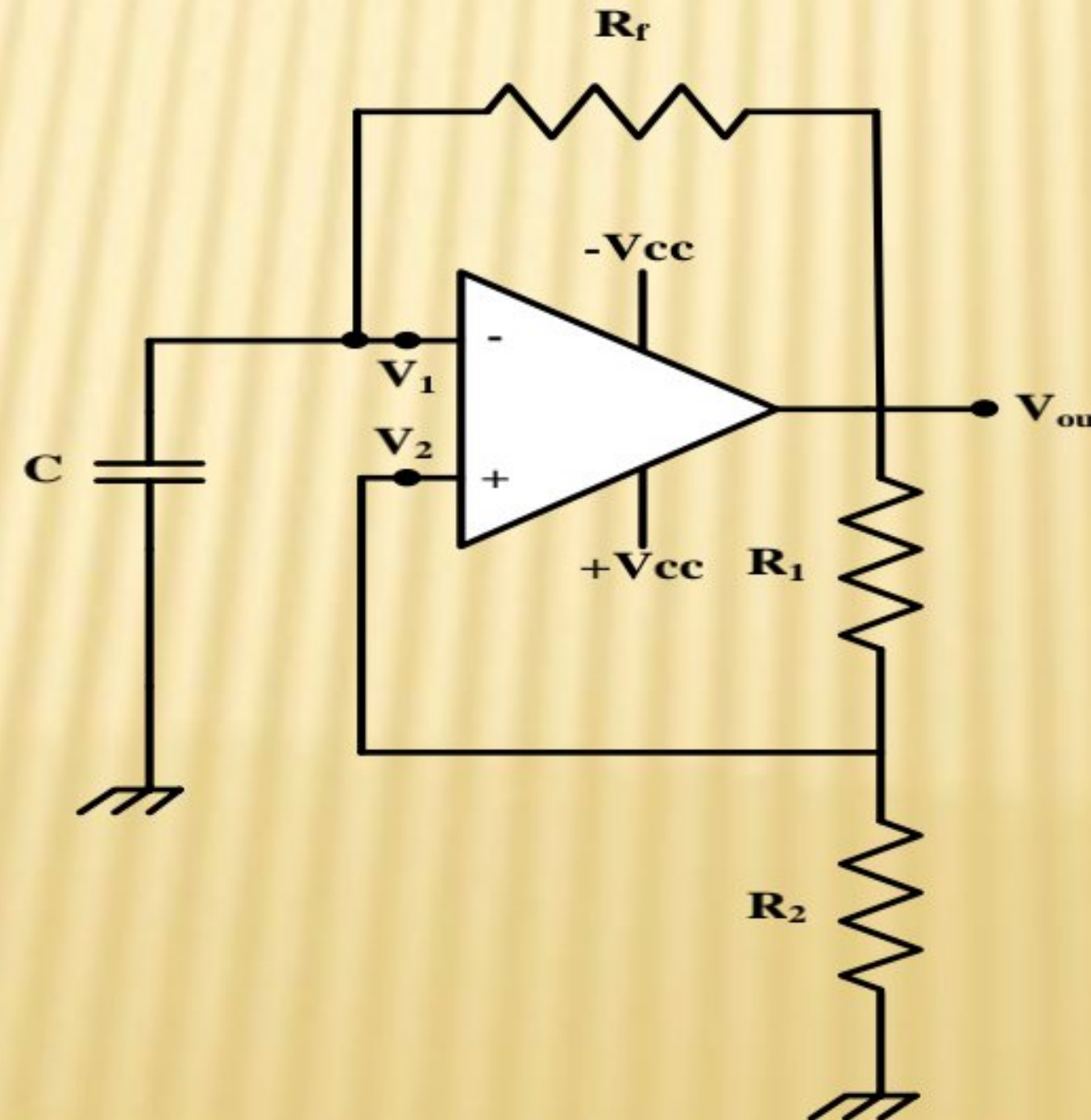
تعتمد فكرة عمل دائرة مذبذب شميت على مبدأ عمل القارن التناظري كلياً، حيث أن الإخراج V_{out} يعتمد على المقارنة بين V_1 و V_2 فعندما يكون الإخراج V_{out} في التشبع الموجب ($+V_{cc}$) (هذا يعني أن $V_2 > V_1$) فإن المتسعة C تشحن لحين يصبح الجهد على طرفيها (V_1) أكبر من جهد V_2 (الذي يساوي $+K$) عندها يتحول 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

$$T = T_1 + T_2$$

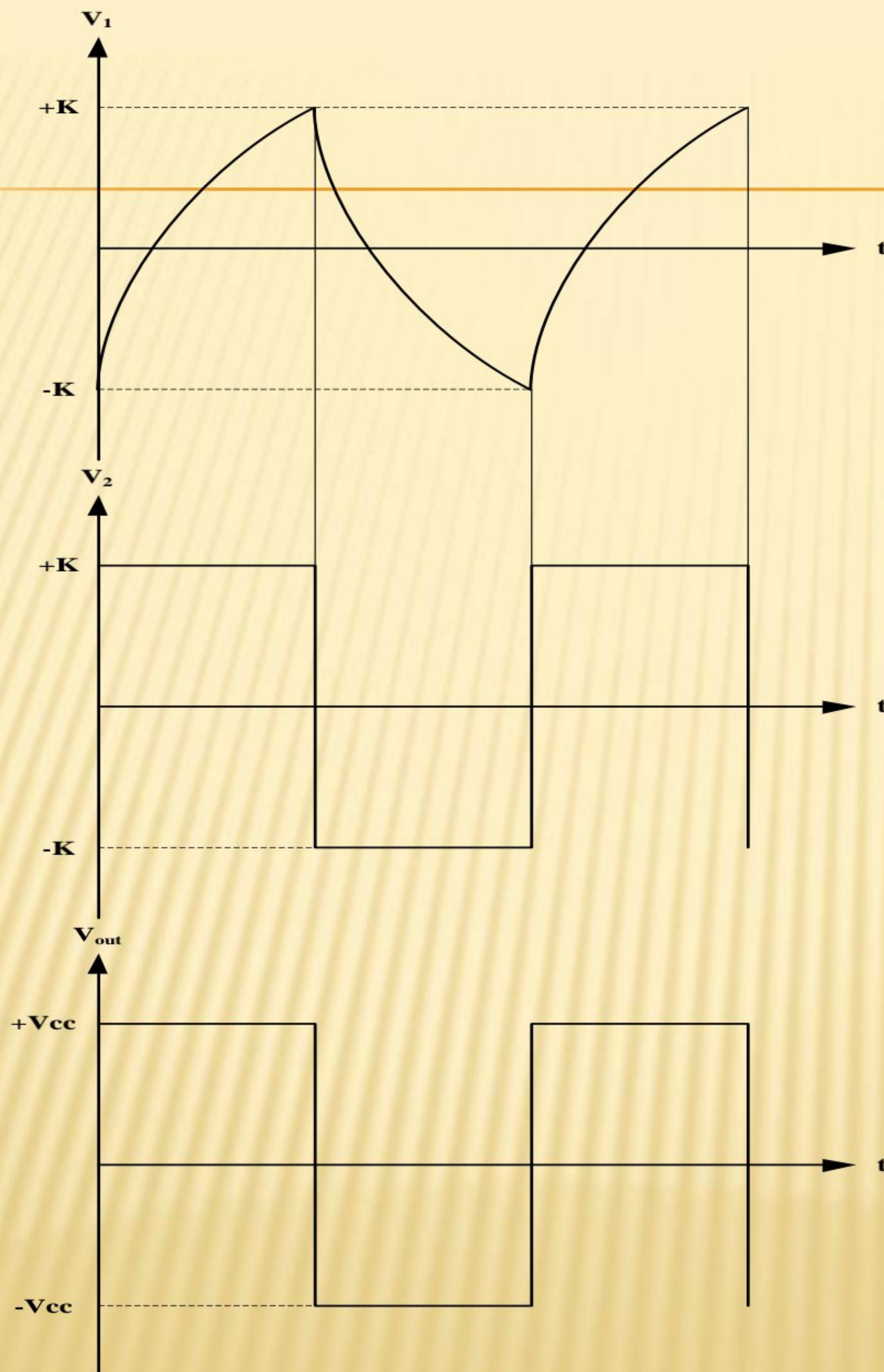
$$T = 2 * C * R_f * \ln \left(1 + 2 * \frac{R_2}{R_1} \right)$$

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



دائرة مذبذب شميت

أشكال الموجات لدائرة مذبذب شميث



مثال: في دائرة مذبذب شمييت 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:

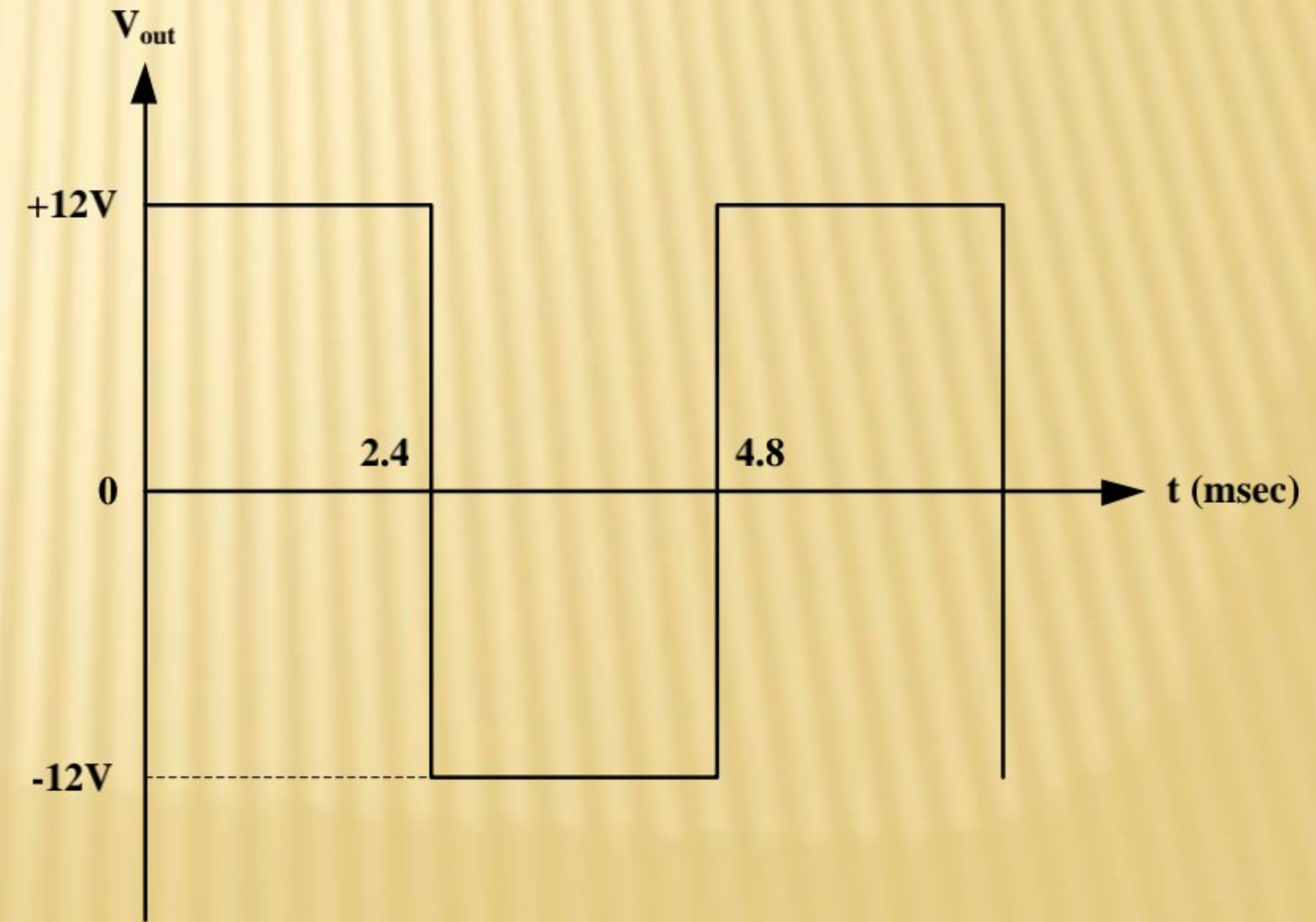
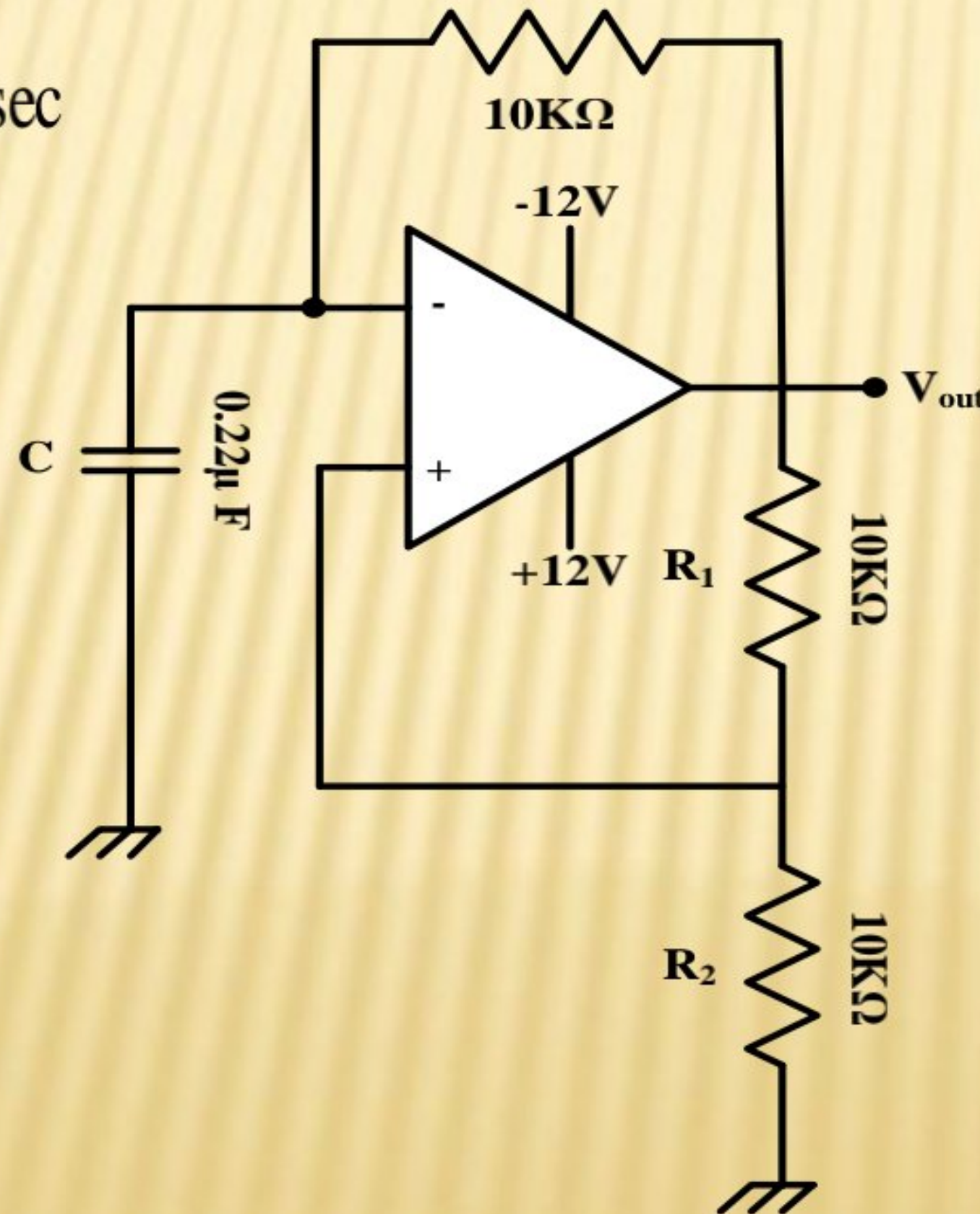
أولاً: نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها بعد ذلك نحسب زمن الموجة ثم التردد.

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

$$T = 2 * 0.22 * 10^{-6} * 10 * 10^3 * \ln \left(1 + 2 * \frac{10K\Omega}{10K\Omega} \right)$$
$$= 0.44 * 10^{-2} * \ln(3)$$

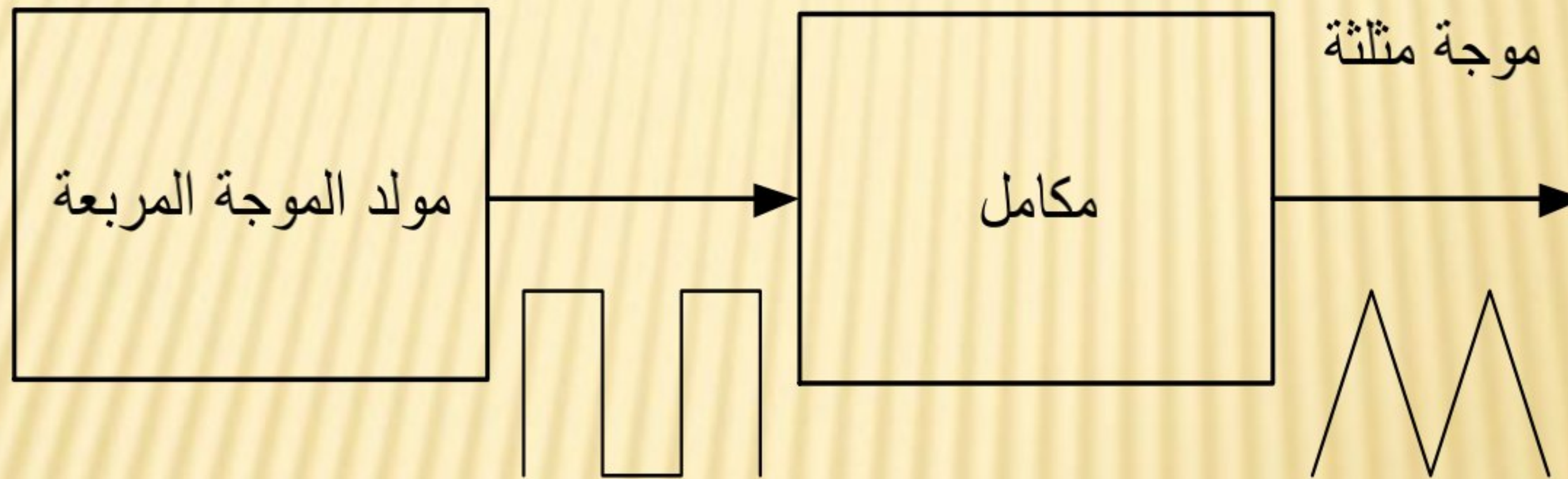
$$= 0.44 * 10^{-2} * 1.1 = 4.84 \text{ msec}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4.84 * 10^{-3}} = 207 \text{ Hz}$$



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

له نفس التسميات التي ذكرناها في دائرتي أحادي الاستقرار السابقتين (أحادي الاستقرار باستخدام ترانزستورين وأحادي الاستقرار باستخدام مؤقت 555) وله نفس المبدأ أيضاً حيث له حالة مستقرة وحالة غير مستقرة. ويبين الشكل أدناه رسم الدائرة:

نظرية عمل الدائرة

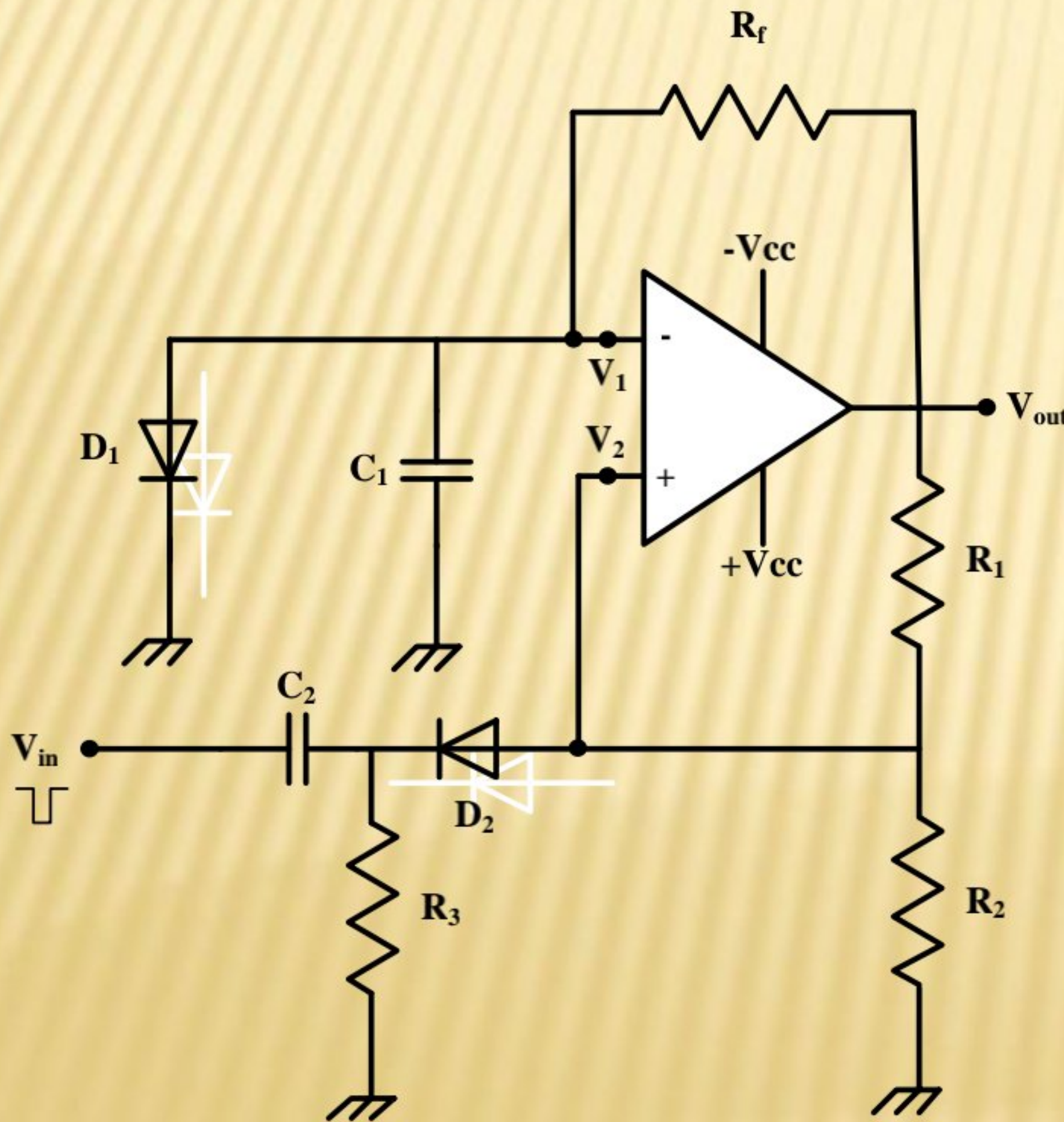
تعتمد فكرة عمل الدائرة على مبدأ المقارن التناظري كما هو الحال في دائرة مذبذب شмит.

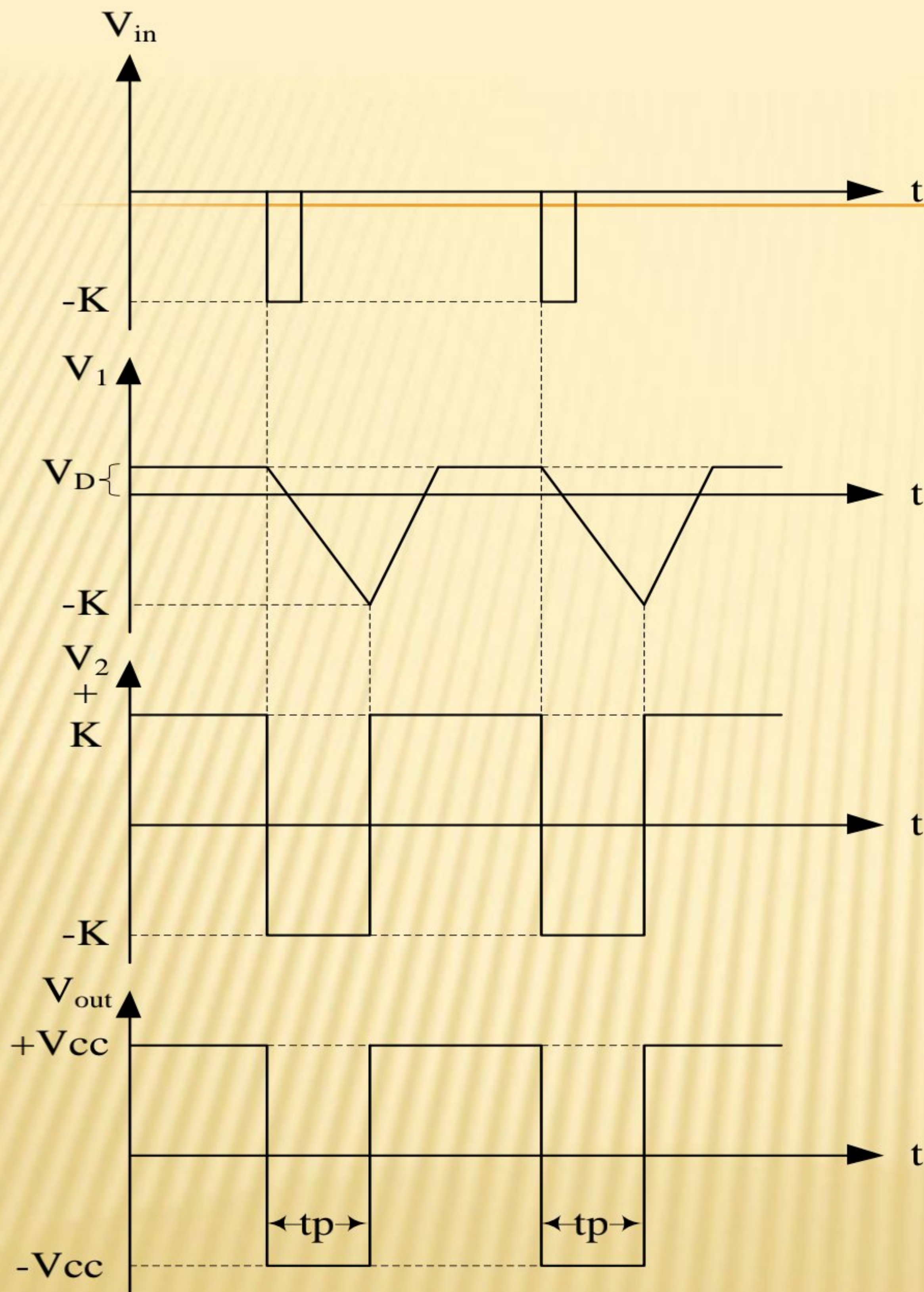
فعند عدم وجود نبضة قذح سالبة V_{in} فإن الإخراج يكون في التشبع الموجب $+V_{cc}$ وهي حالة الاستقرار بسبب ان الثنائي $D1$ يكون منحاز أمامياً وجهده (0.7V للسيليكون أو 0.3V للجرمانيوم) الذي يمثل $V1$ أصغر من $V2$ المساوي $+K$ وبهذا يكون $V2 > V1$ ، وتستمر حالة الاستقرار ما لم تأتي نبضة قذح سالبة. أما عند مجيء نبضة قذح سالبة V_{in} ذو قيمة $-K$ فإن الثنائي $D2$ ينحاز أمامياً مما يجعل $V2$ مساوية $-K$ وهذا يعني أن $V1 > V2$ فعندها يتحول الإخراج إلى التشبع السالب $-V_{cc}$ (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 $+V_{cc}$ وهي حالة الاستقرار.

(دائرة أحادي الاستقرار (مولد النبضة))





أشكال الموجات لمولد النبضة (أحادي الاستقرار)
 باستخدام 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 المحاثات.
- 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 ($\pm V_{cc}$).
- قد تتأثر بالضوضاء مما يحولها إلى مهتزازات.
- الإدخال والإخراج محدود ($\pm V_{cc}$) كما أن تيار الإخراج محدود بالملي أمبير.
- IC's عالية نتاج إلى مقاومات ومتسعات ذات حجم كبير وعدد من الـ Q للحصول على عامل جودة

Active LPF

مرشح الأمرار الواطي، الفعّال

ويقوم بإمرار الترددات الواطئة فقط، ودائرته 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 $X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1}$

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 $A_v = \frac{A}{\sqrt{2}}$)

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 f_c :

$$Z_1 = R_1 \text{ \& } Z_2 = R_2 // \left(\frac{1}{j\omega C_1} \right)$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{\frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{1}{R_2} + j\omega C_1 = \frac{1 + j\omega R_2 C_1}{R_2}$$

$$\therefore Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_1}$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{1 + j\omega R_2 C_1}$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{(1)^2 + (\omega R_2 C_1)^2}}$$

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

$$\omega_c R_2 C_1 = 1 \Rightarrow 2\pi f_c R_2 C_1 = 1$$

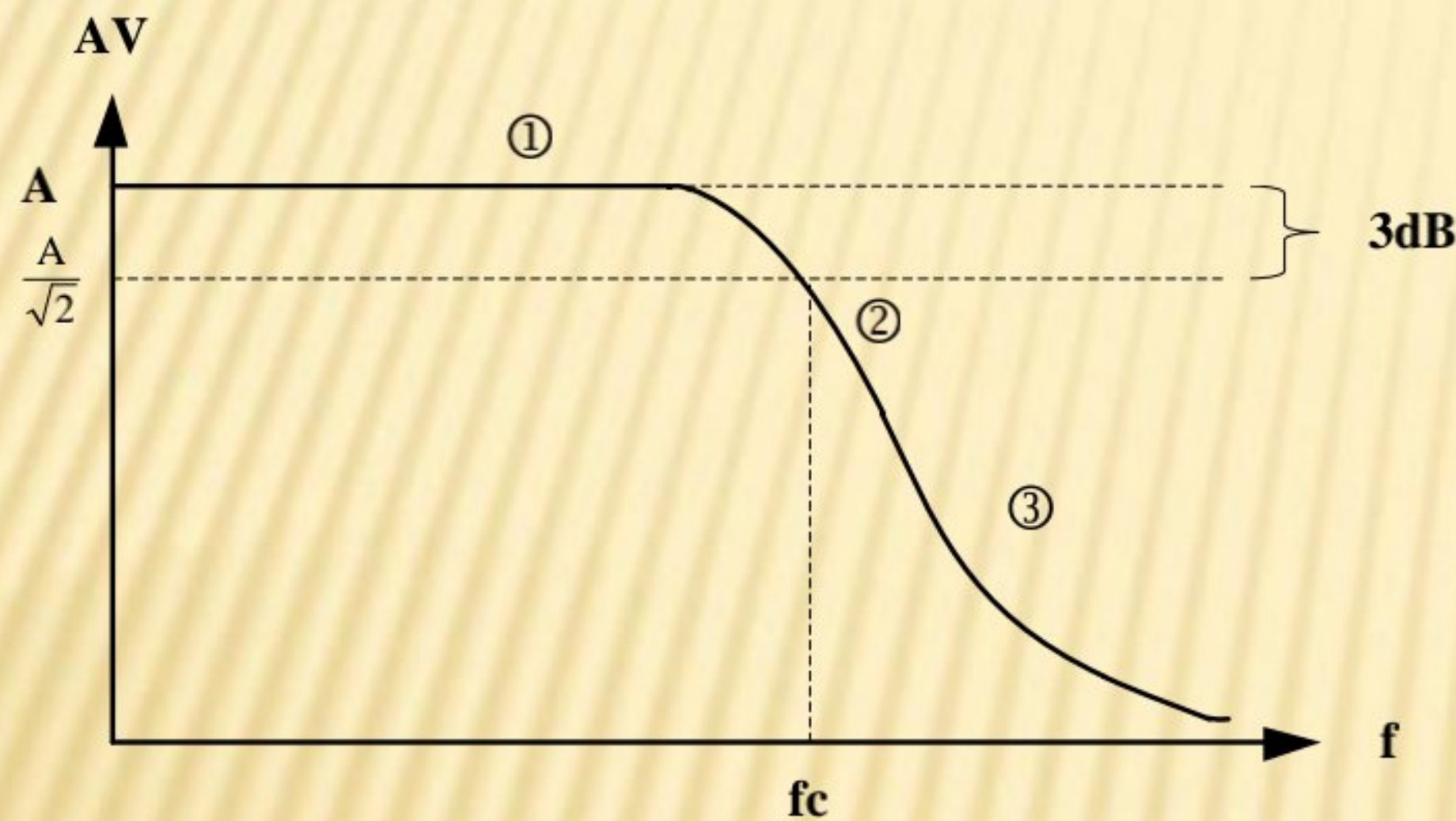
$$\therefore f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_1}$$

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



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

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

٢٠- عند تردد القطع:

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

(لأن $WR_2C_1=1$)

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

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

٣٠- بعد تردد القطع بكثير أي $f \geq 10 f_c$ بالإمكان إهمال تأثير R_2 :

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

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

الحل:

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

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

$$A_{v1} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{100 * 10^3}{1 * 10^3} = -100 \Rightarrow 40\text{dB}$$

$$A_{v2} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{2}} = -100 * \frac{1}{\sqrt{2}} = -70.7 \Rightarrow 37\text{dB}$$

$$= 40 - 3 = 37\text{dB} \quad \text{أو}$$

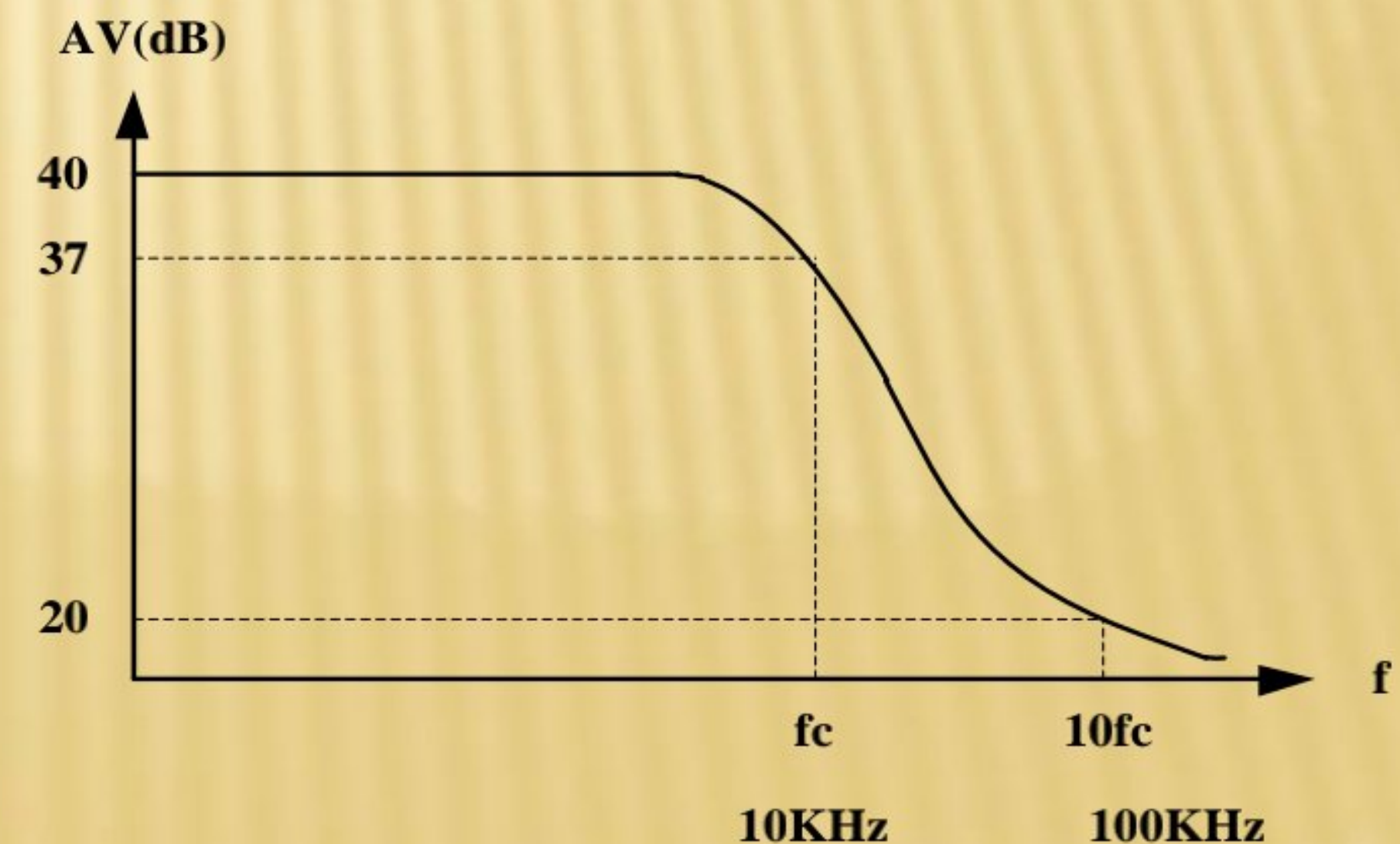
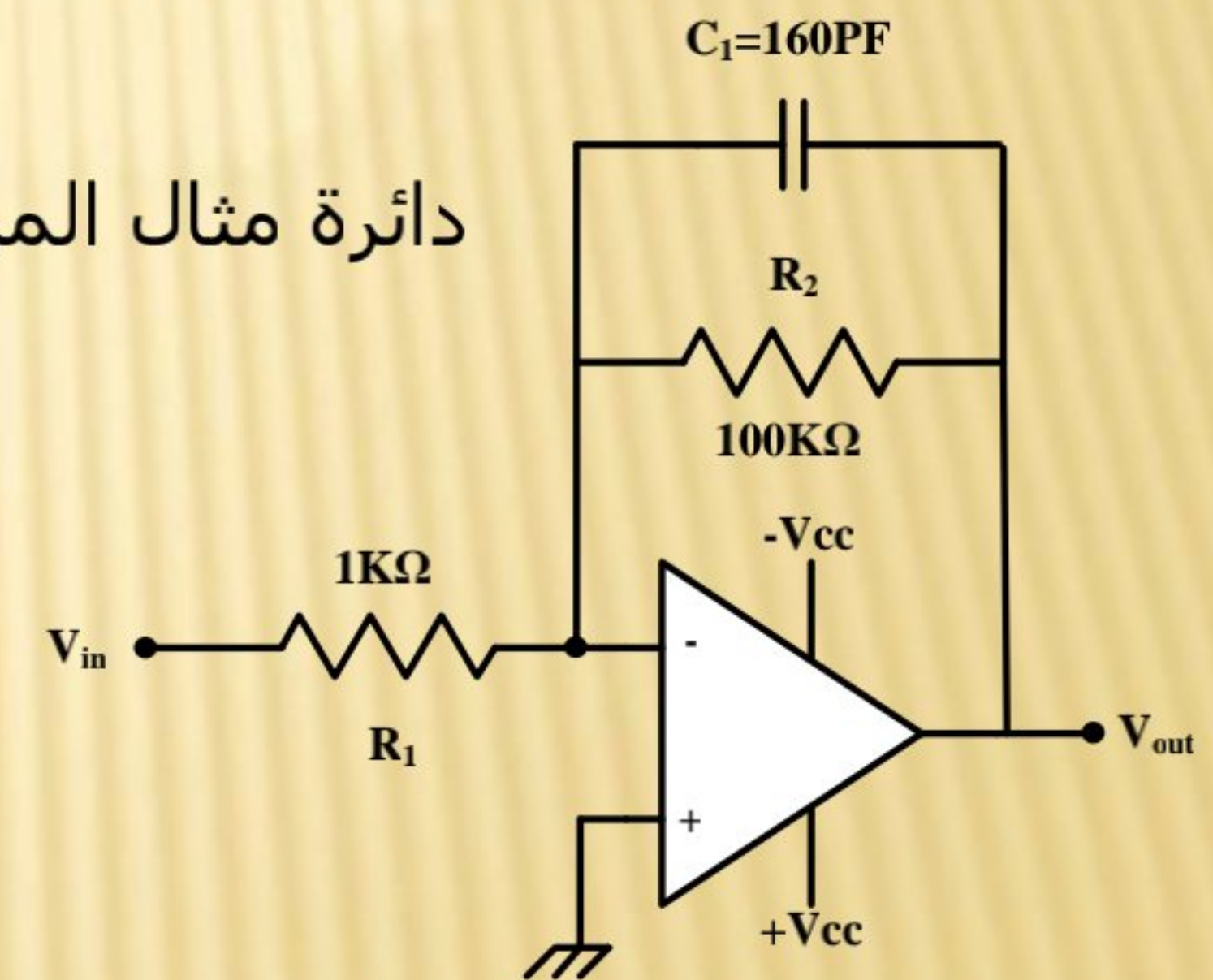
$$A_{v3} = -\frac{1}{2\pi f R_1 C_1} = -\frac{1}{2 * 3.14 * 100 * 10^3 * 1 * 10^3 * 100 * 10^{-12}}$$

$$= -10 \Rightarrow 20\text{dB}$$

عند $f = 10f_c$

منحنى الاستجابة للمثال

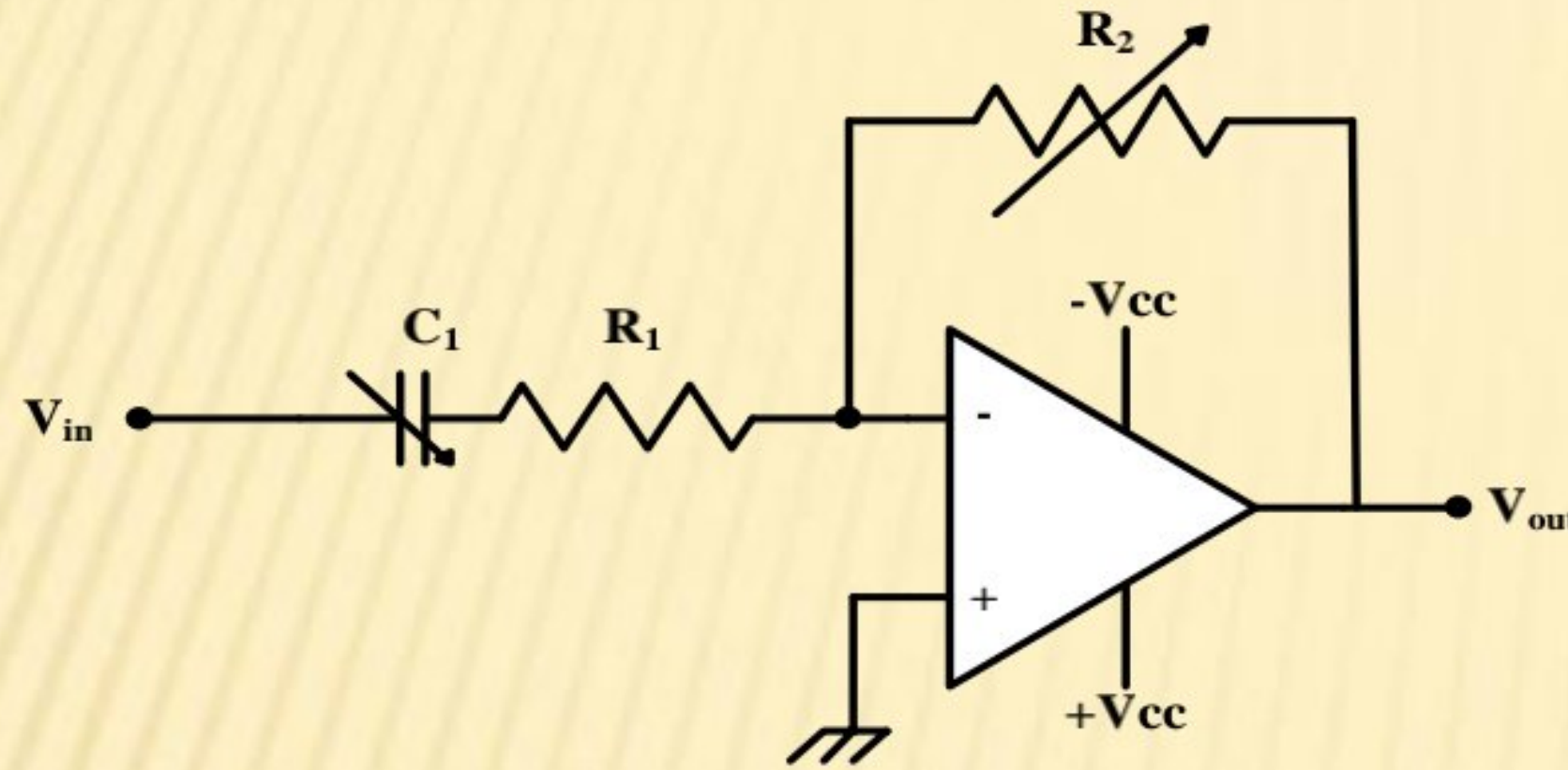
دائرة مثال المرشح LPF الفعال



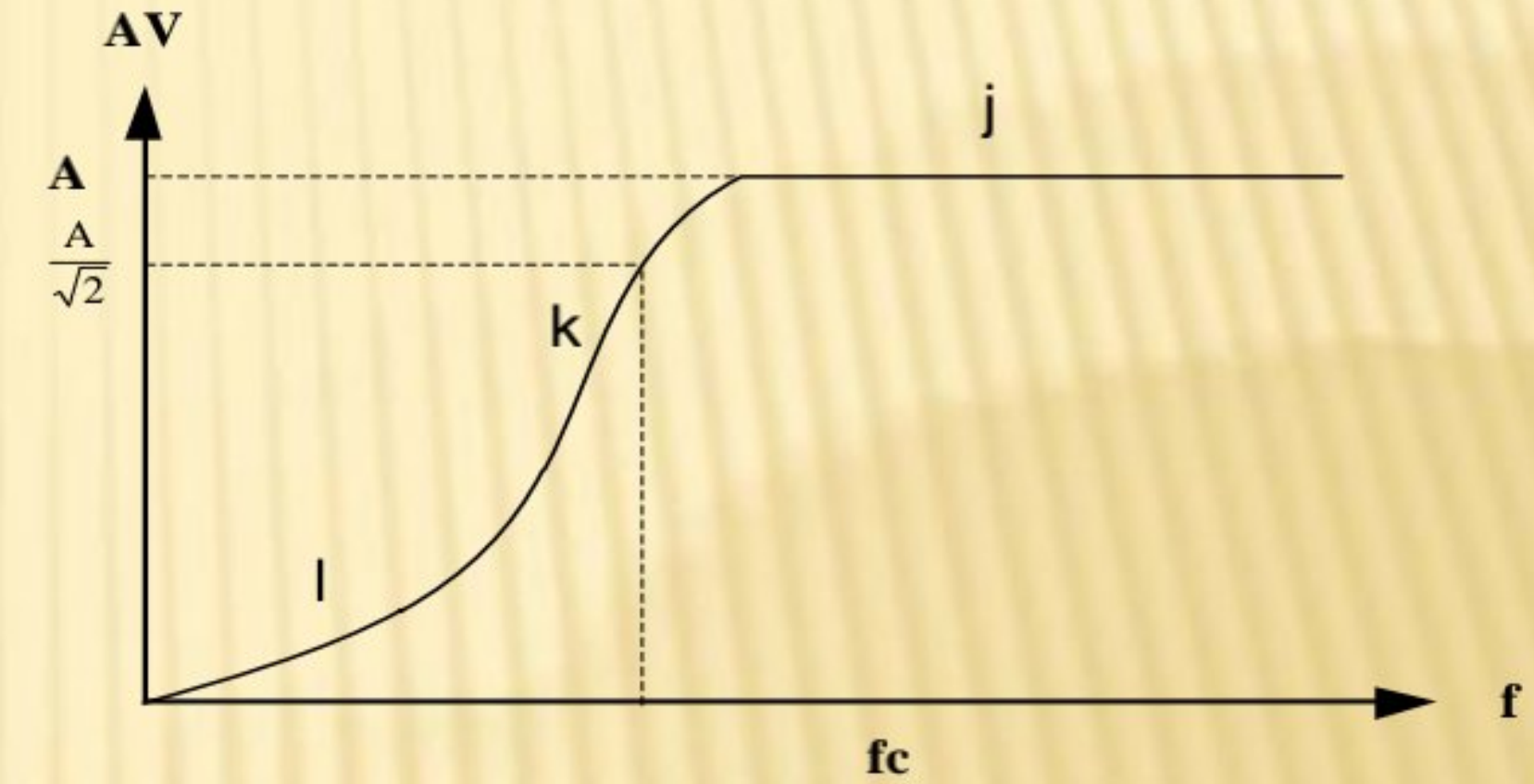
Active HPF

مرشح الامرار العالي الفعّال

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

$$Av_1 = A \quad \text{حيث} \quad A = -\frac{R_2}{R_1}$$

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

$$WcR_1C_1 = 1$$

عند تردد القطع يقل عامل التكبير بمقدار 3dB عن القيمة العليا لمكبر A وهذا يتحقق عندما:

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

أما عامل التكبير فيمكن حسابه من العلاقات التالية:

$$1- \text{ عند الترددات العالية } A_{v1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$2- \text{ عند تردد القطع: } A_{v2} = -\frac{R_2}{R_1} * \frac{1}{\sqrt{1^2 + (WR_2C_1)^2}}$$

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

$$3- \text{ عند الترددات الواطئة } f \leq \frac{f_c}{10} \quad A_{v3} = -\frac{\frac{R_2}{1}}{jWC_1} = -jWC_1R_2 = -2\pi fR_2C_1$$

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 منحنى 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 منحنى الاستجابة الترددية.

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad \text{تردد القطع}$$

$$= \frac{1}{2 * 3.14 * 33 * 10^3 * 47 * 10^{-9}}$$
$$= 100Hz$$

$$A_{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{330 * 10^3}{33 * 10^3} \quad \text{التكبير عند الترددات العالية}$$

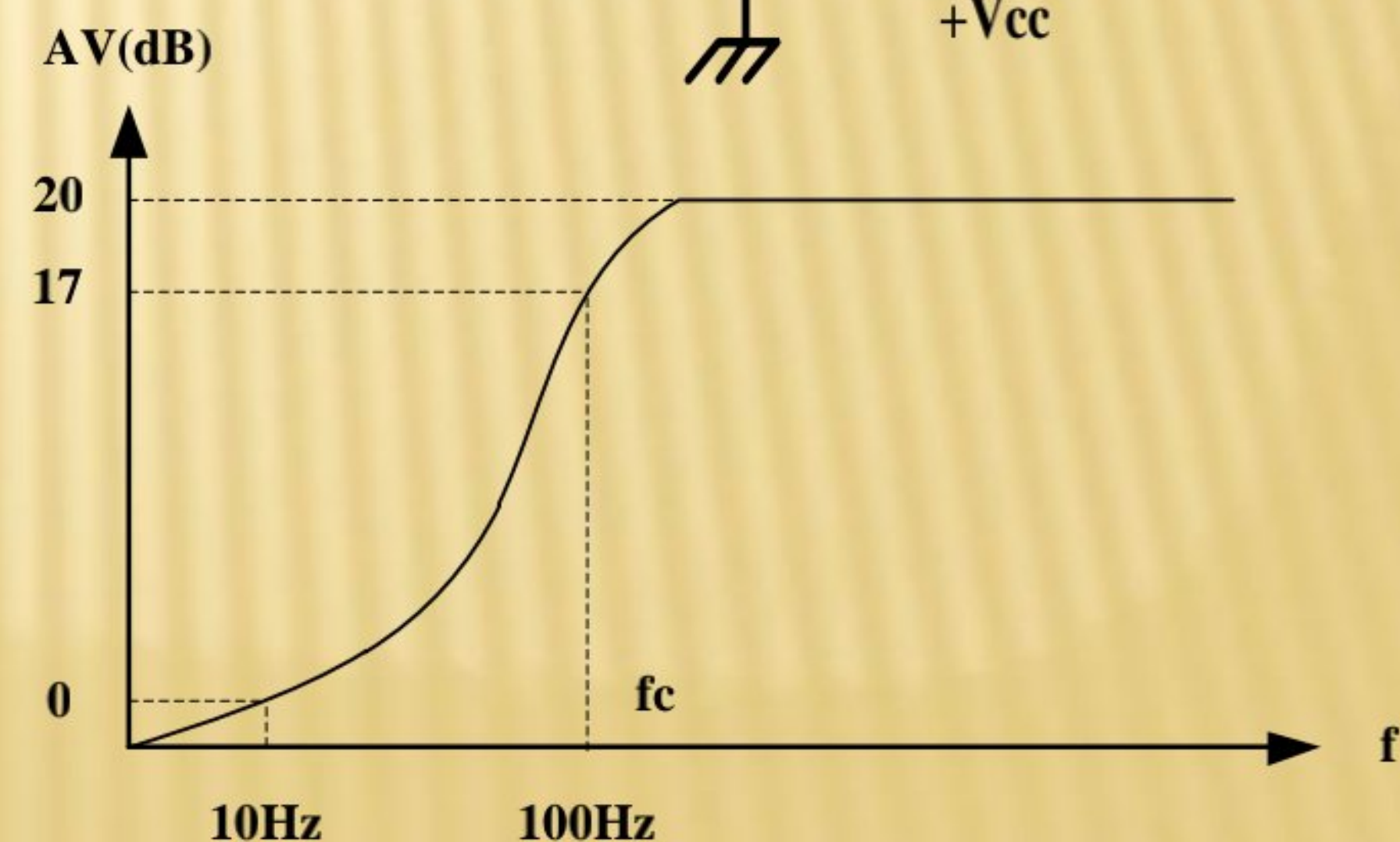
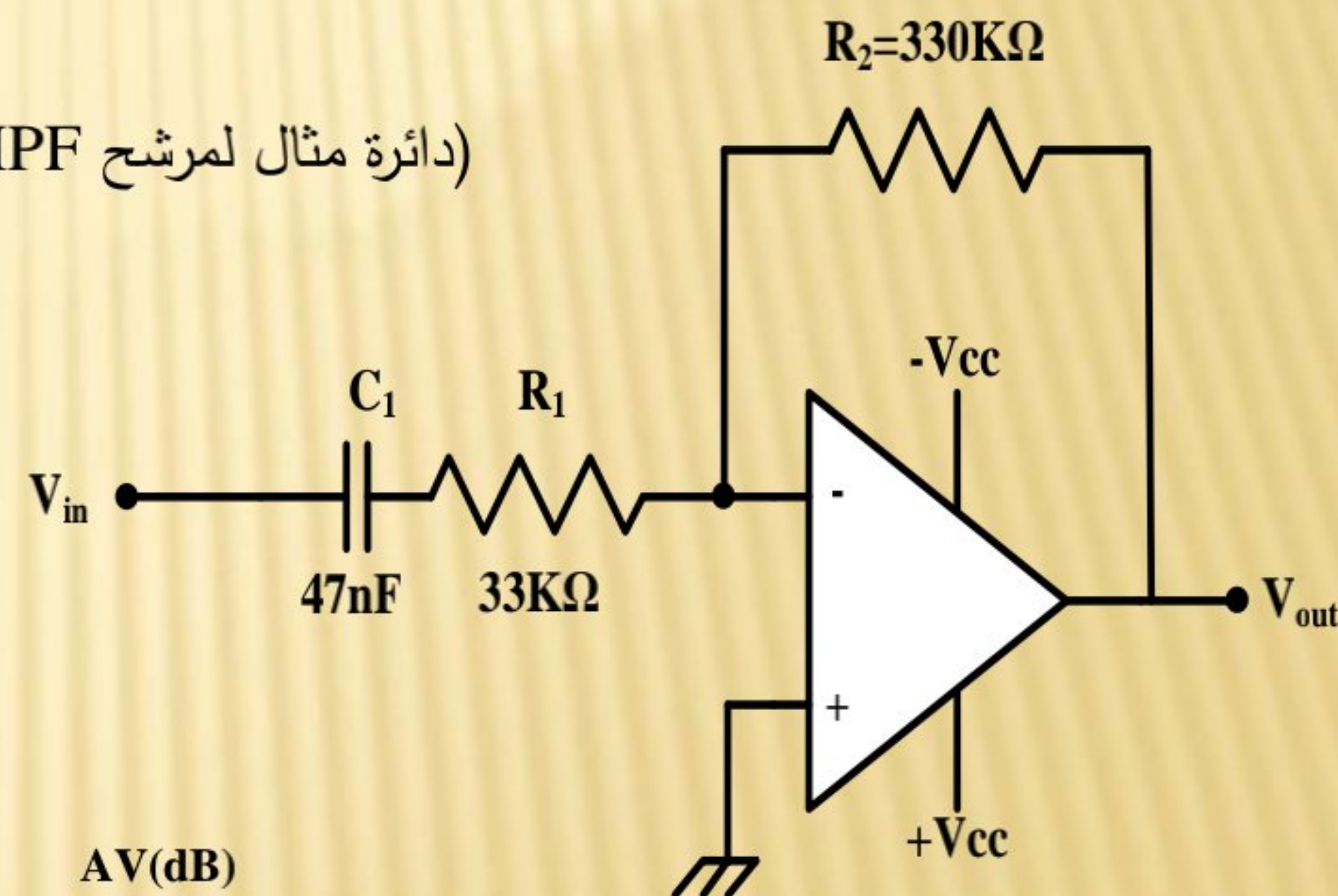
$$= -10 \Rightarrow 20dB$$

$$A_{V_3} = -2\pi f R_2 C_1 = -2\pi * 10 * 330 * 10^3 * 47 * 10^{-9}$$

$$= -1 \Rightarrow 0dB$$

$$f = \frac{f_c}{10} \quad \text{التكبير عند تردد واطئ}$$

(دائرة مثال لمرشح HPF الفعّال)



(منحنى الاستجابة الترددية لمثال مرشح HPF الفعّال)

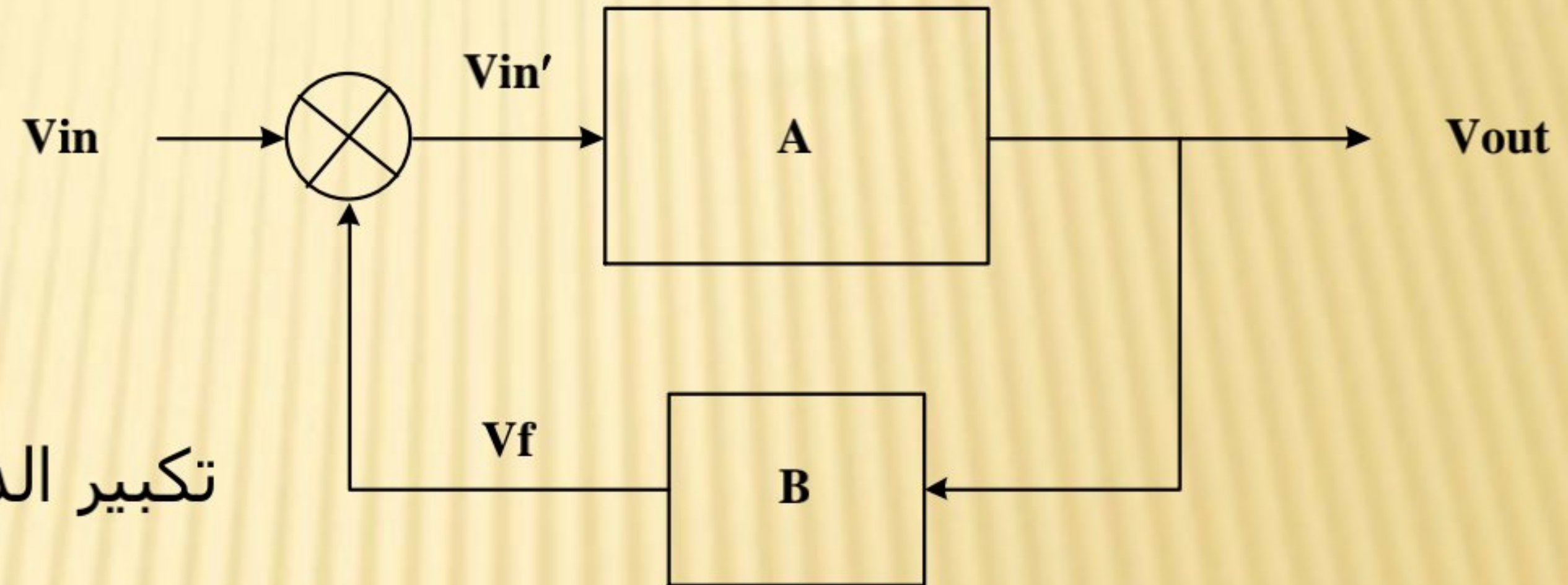
تعريفها

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.

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in'}} \quad \text{تكبير الدائرة المفتوحة:}$$

$$B = \frac{V_f}{V_{out}} \quad \text{عامل التغذية الخلفية:}$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A}{1 \mp AB} \cong \frac{1}{B} \quad \text{تكبير الدائرة المغلقة:}$$



اشتقاق علاقة الـ A_v :

$$V_{in'} = V_{in} \mp BV_{out}$$

$$V_{out} = AV_{in} = A(V_{in} \mp BV_{out})$$

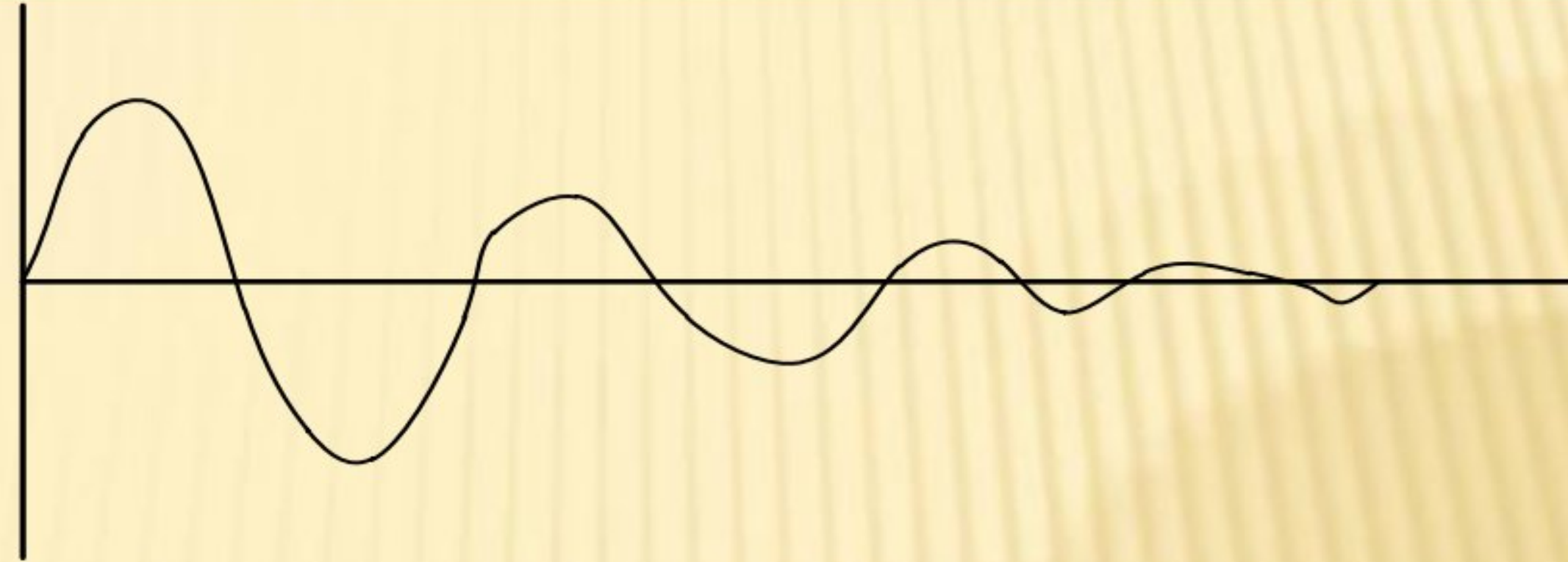
$$V_{out} = AV_{in} \mp ABV_{out}$$

$$V_{out} \mp ABV_{out} = AV_{in}$$

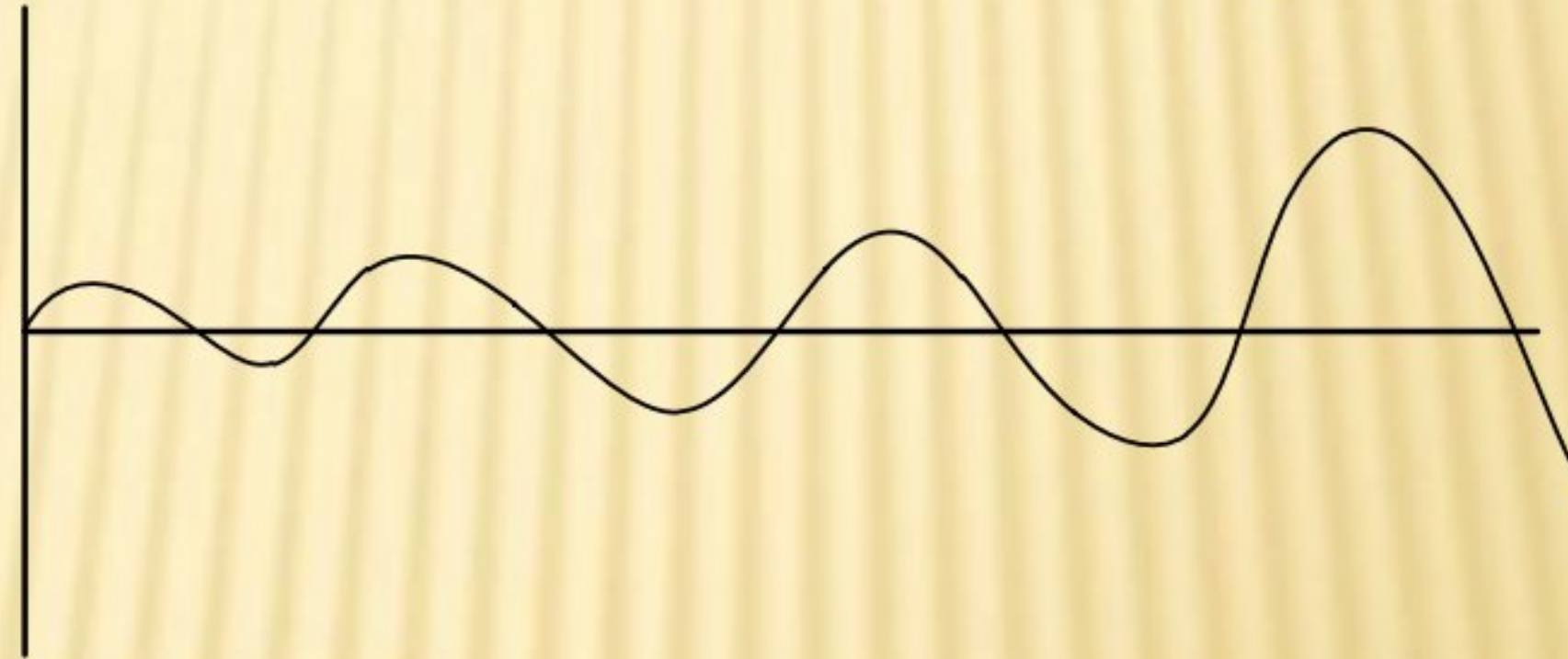
$$V_{out}(1 \mp AB) = AV_{in}$$

$$\therefore \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 \mp AB} = A_v \quad \text{و.ه.م}$$

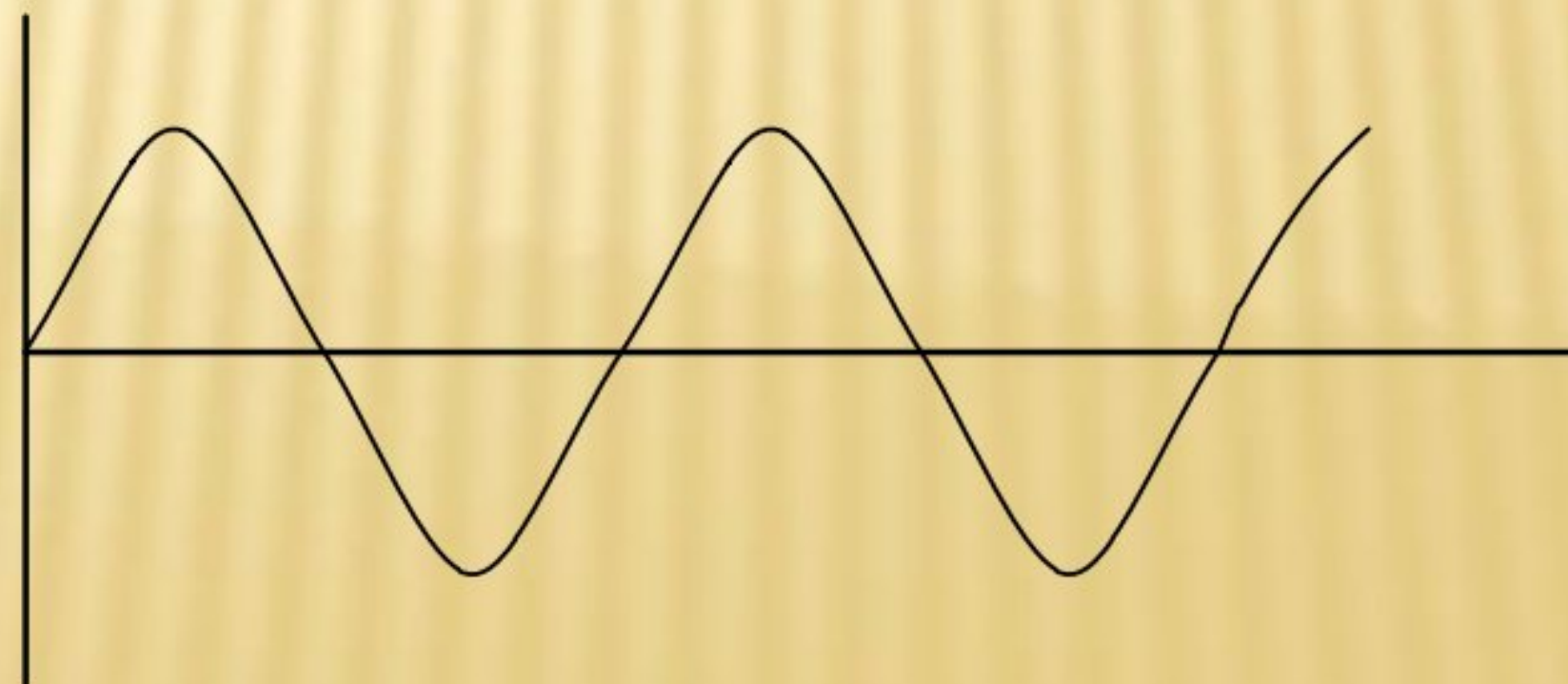
• إذا كانت $AB < 1$ تتلاشى الإشارة بالتدريج لأننا نقوم بإعادة جهد تغذية تتناقص قيمتها (تغذية خلفية سالبة).



• إذا كانت $AB > 1$ تنامي الإشارة بالتدريج لأن الإشارة المعاد تغذيتها تزداد قيمتها (تغذية عكسية موجبة).



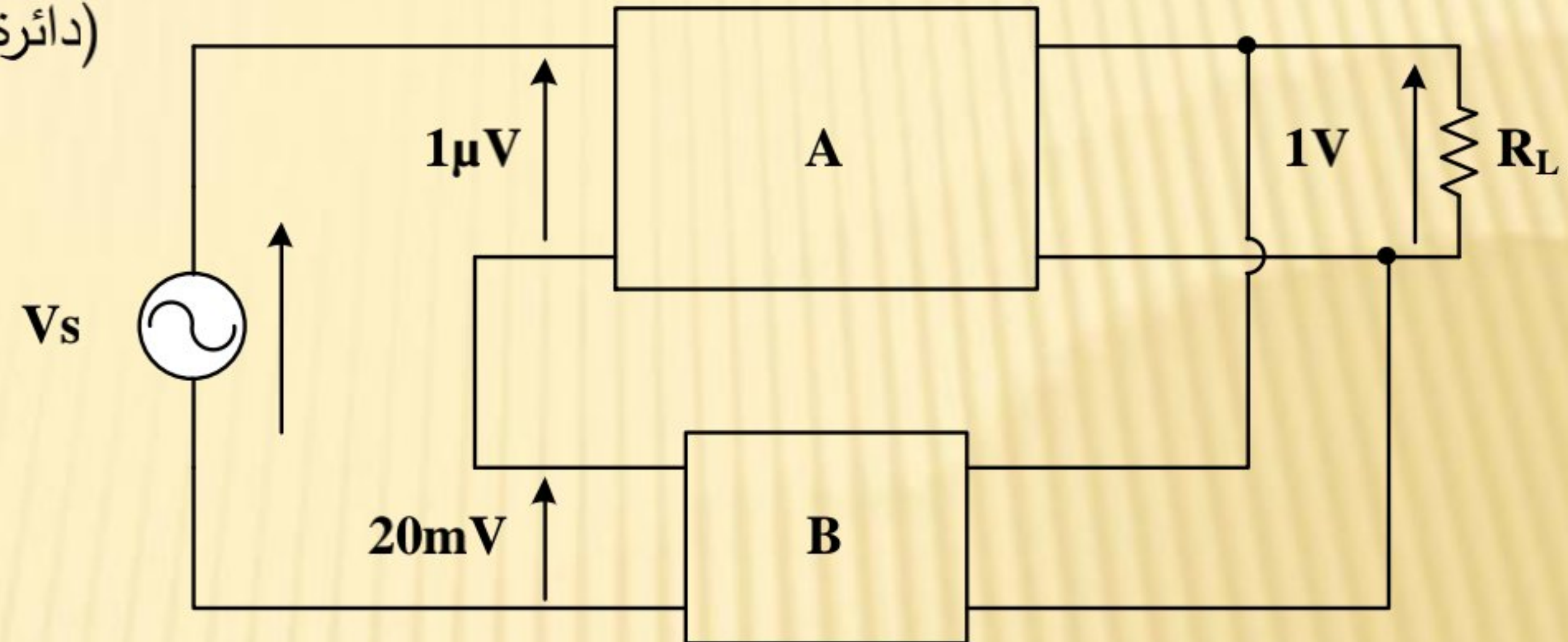
• إذا كانت $AB = 1$ تبقى الإشارة ثابتة لأن الإشارة المعاد تغذيتها تبقى ثابتة القيمة (حالة تذبذب).



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:

$$V_f = 20mV, V_{in'} = 1\mu V, V_{out} = 1V, V_{in} = V_s = 20.001mV$$

وعليه يمكن ايجاد المطلوب كما يأتي:

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in'}} = \frac{1V}{1\mu V} = \frac{10^6 \mu V}{1\mu V} = 10^6$$

$$B = \frac{V_f}{V_{out}} = \frac{20mV}{1V} = \frac{20mV}{1000mV} = 0.02$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{20.001mV} = \frac{1000mV}{20.001mV} = 50$$

وهي دوائر اليكترونية تقوم بتوليد موجات جيبيه (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

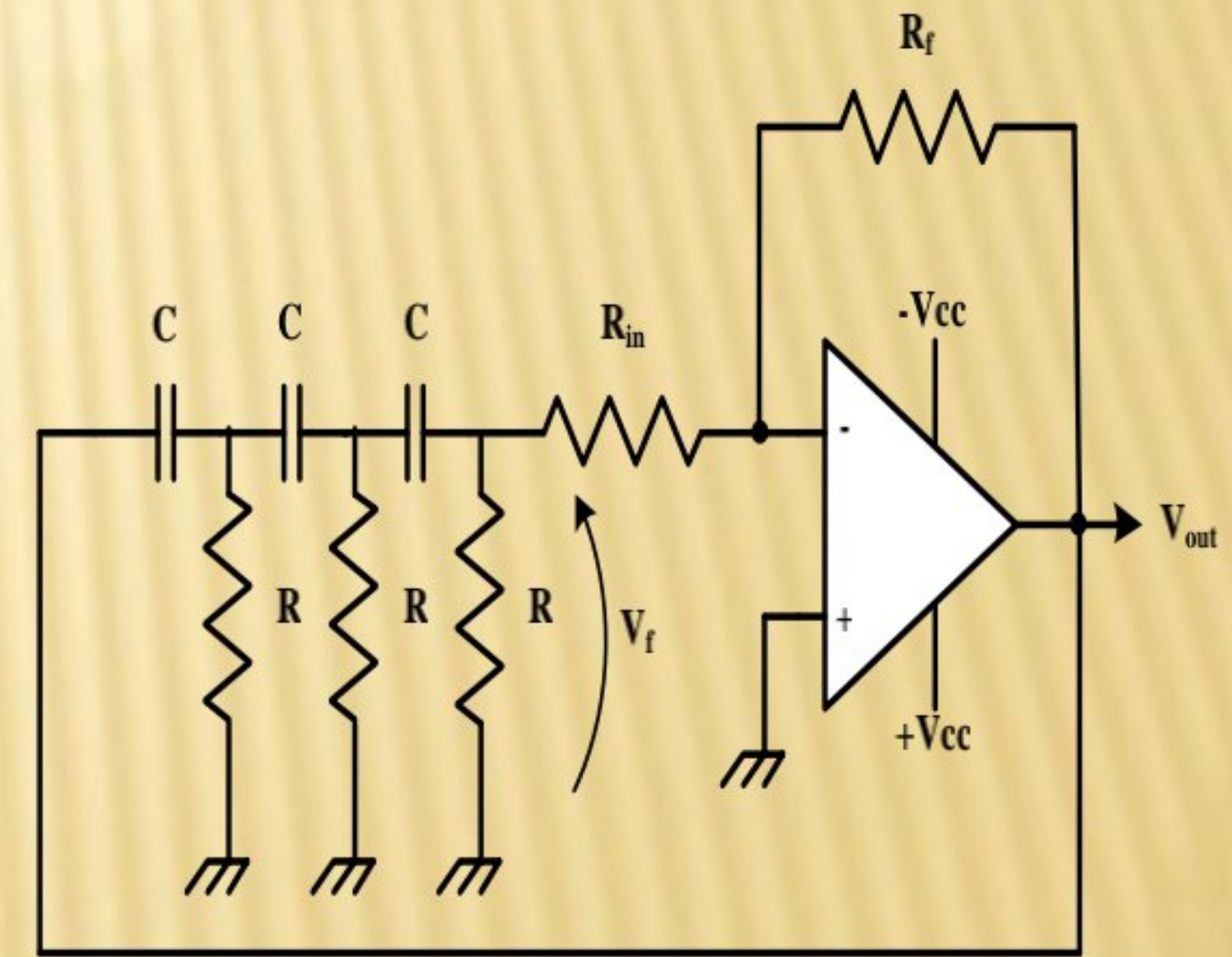
- وجود فرق طور 0° أو 350° (أي تغذية خلفية موجبة) بين V_f و V_{out} .
- $AB=1$ (في البداية أكبر من واحد ثم تقل إلى الواحد).
- وجود فولتية بدء (شوشرة) noise.

جدول مقارنة بين بعض أنواع المذبذبات

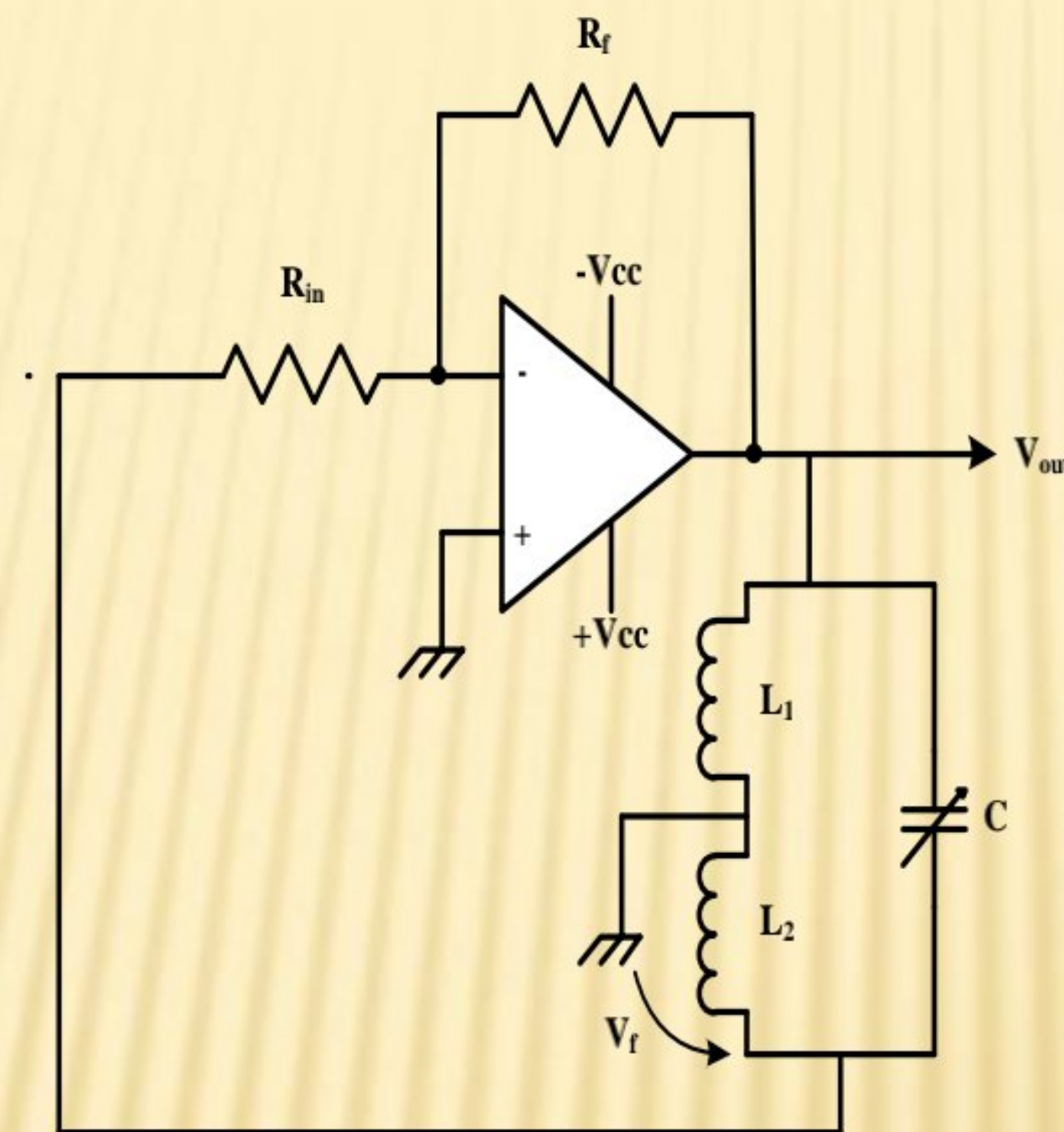
مذبذب كولبيتس	مذبذب هارتلي	مذبذب إزاحة الطور
١. يقوم بتوليد موجة جيبية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من 500MHz. ٢. تردد التذبذب (الرنين). $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ; C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ ٣. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{C_1}{C_2}$ ٤. تكبير المكبر . $A = \frac{R_f}{R_{in}} \quad \frac{C_2}{C_1} \leq A$ ٥. تتألف دائرة التغذية الخلفية من متسعتين C_1 و C_2 وملف L تقوم بإزاحة 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° فينتج 360°.	١. يقوم بتوليد موجة جيبية ذات ترددات عالية تصل إلى أكثر من 500MHz. ٢. تردد التذبذب (الرنين). $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ; L = L_1 + L_2$ ٣. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{L_2}{L_1}$ ٤. تكبير المكبر . $A = \frac{R_f}{R_{in}} \quad \frac{L_1}{L_2} \leq A$ ٥. تتألف دائرة التغذية الخلفية من ملفين L_1 و L_2 ومتسعة C تقوم بإزاحة طور 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° درجة فينتج 360°.	١. يقوم بتوليد موجة جيبية بمدى تردد من 5Hz إلى 800KHz. ٢. تردد التذبذب (الرنين). $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}$ ٣. عامل التغذية الخلفية . $B = \frac{1}{29}$ ٤. تكبير المكبر . $\left[A \frac{R_f}{R_{in}} \right] 29 \leq A$ ٥. تتألف دائرة التغذية الخلفية من ثلاثة مراحل RC تقوم بإزاحة طور 180° ويقوم المكبر بإزاحة 180° فينتج 350°.

تكملة جدول المقارنة

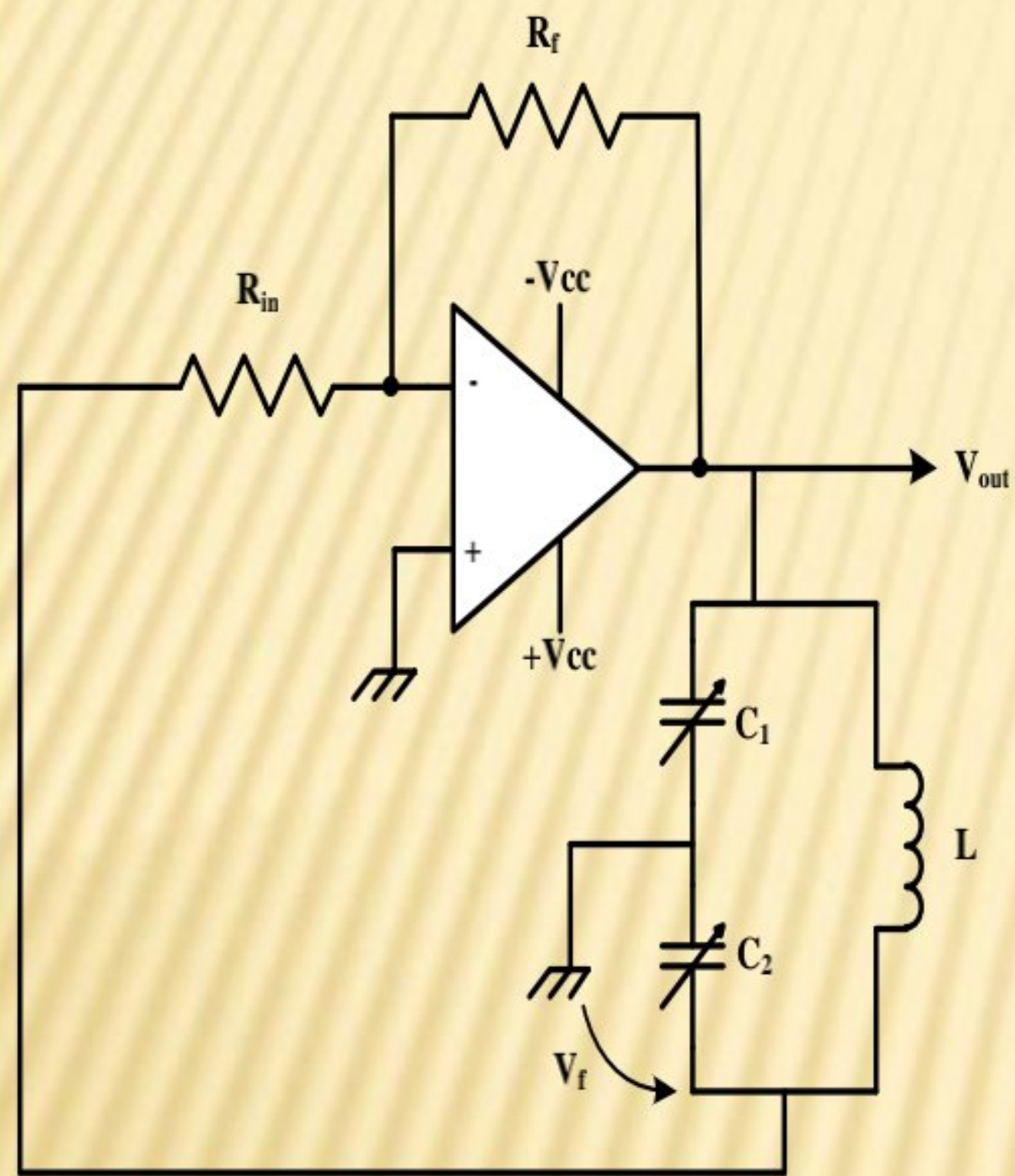
٦. رسم الدائرة كما يلي:



٦. رسم الدائرة كما يلي:



٦. 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 $R_{in}=5K\Omega$ ، $C=1nf$ ، $R=10K\Omega$. 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:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \quad \text{تردد التذبذب}$$

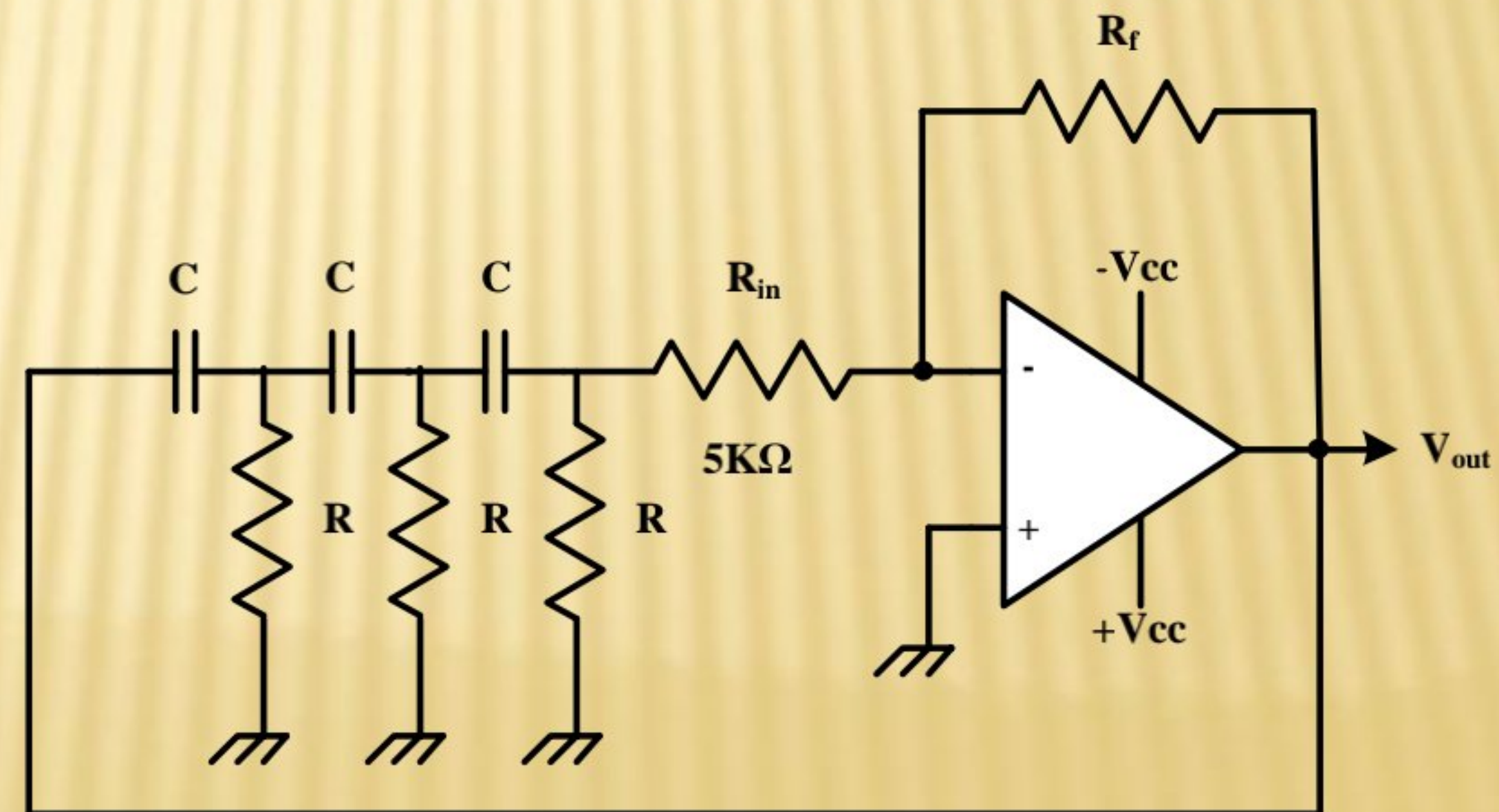
$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{6} * 10 * 10^3 * 1 * 10^{-9}}$$

$$= 6501Hz = 6.5KHz$$

$$A = 29 = \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$\therefore R_f = A * R_{in}$$

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



$$R=10K\Omega \text{ \& } C=1nf$$

مثال:

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

الحل:

نرسم الدائرة ثم نثبت القيم عليها ونوجد f_0 و R_f كما يلي:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{تردد التذبذب}$$

$$L = L_1 + L_2$$

$$= 1 + 0.1 = 1.1\text{mH}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.1*10^{-3} * 0.1*10^{-6}}}$$

$$= 15923\text{Hz} = 15.9\text{KHz}$$

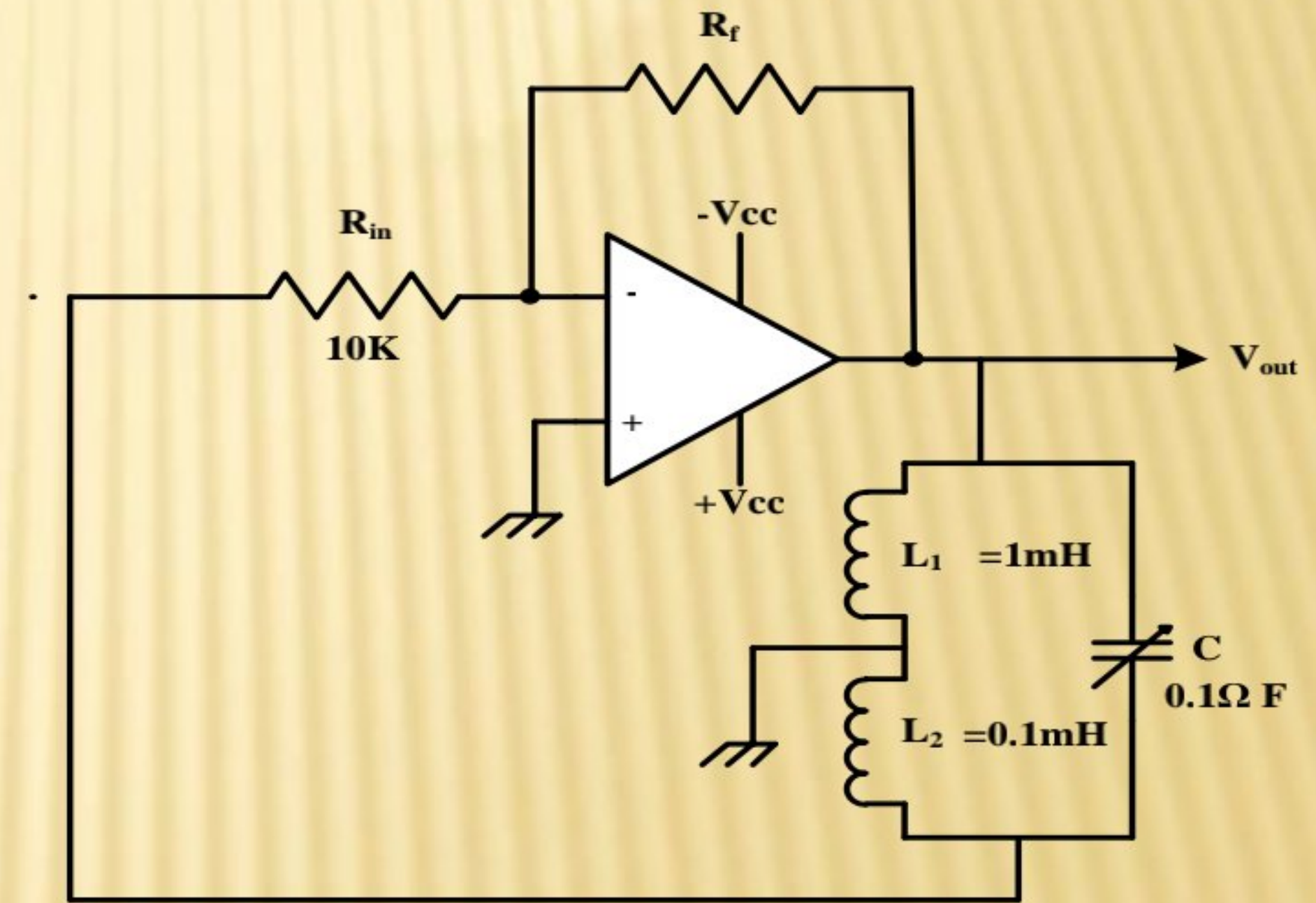
$$B = \frac{L_2}{L_1} = \frac{0.1\text{mH}}{1\text{mH}} = 0.1$$

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

$$A = \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$\therefore R_f = A * R_{in} = 10 * 10\text{K} = 100\text{K}\Omega$$

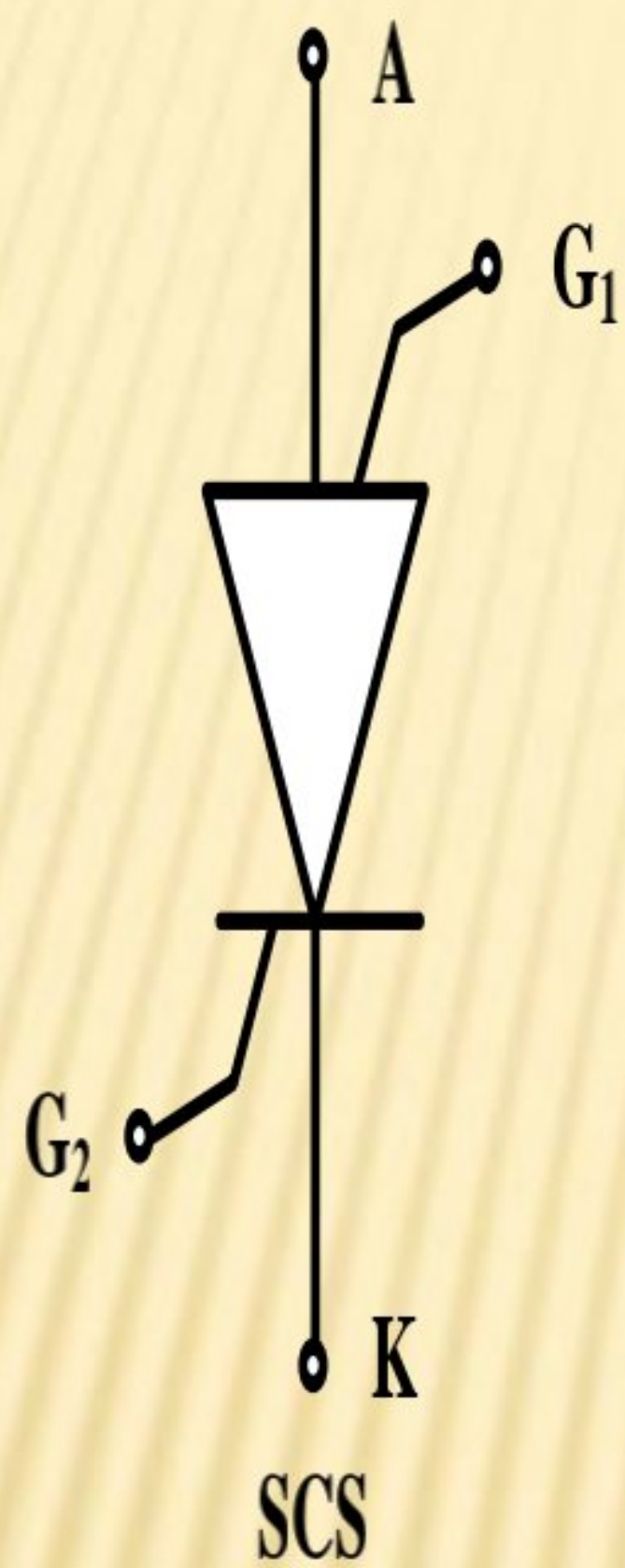
مقاومة التغذية العكسية اللازمة لعمل الدائرة



عائلة الثايرستور



Silicon Unilateral Switch
مفتاح سيليكوني أحادي الاتجاه



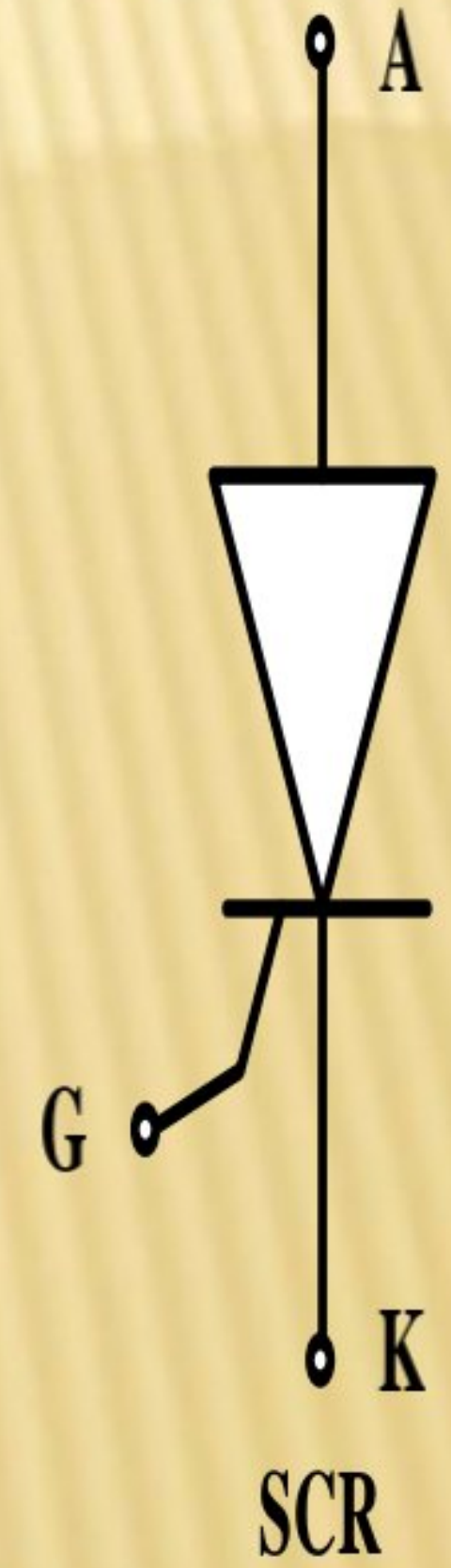
Silicon Controlled Switch
مفتاح سيليكوني متحكم



داياك



تراياك



Silicon Controlled Rectifier
موحد سيليكوني متحكم

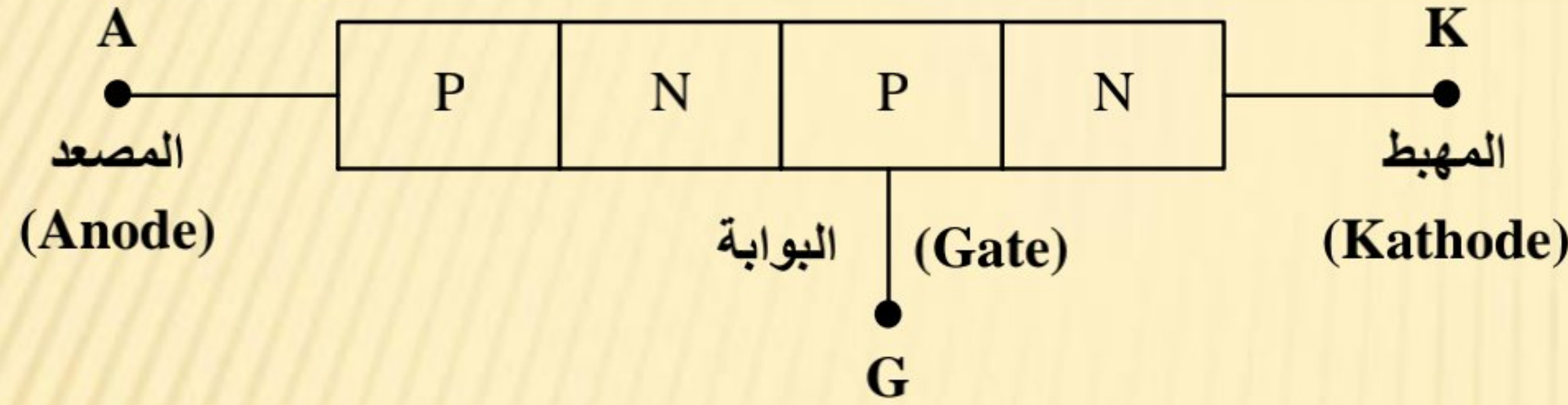
الموحد السيليكوني المحكوم (SCR) Silicon Controlled Rectifier

يعتبر الموحد السيليكوني المحكوم (SCR) أهم عائلة الثايرستور 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 و فرق 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 ال Stater في النيون.

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

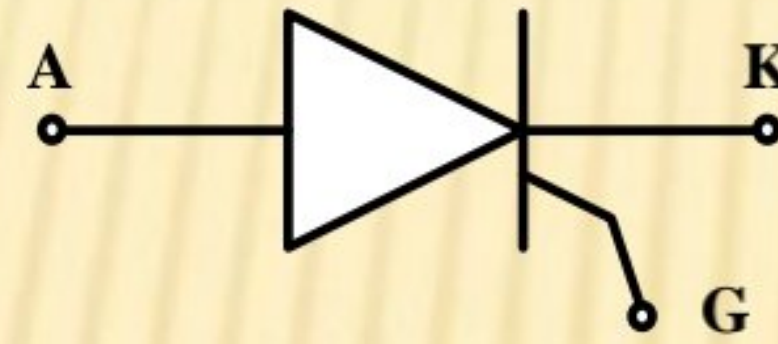
تركيب الـ SCR ورمزه والدائرة المكافئة له

يتألف الـ SCR من أربعة طبقات كما يلي:



تركيب الـ SCR

أما رمزه بالرسم فله ثلاثة أطراف كما مبين أدناه:



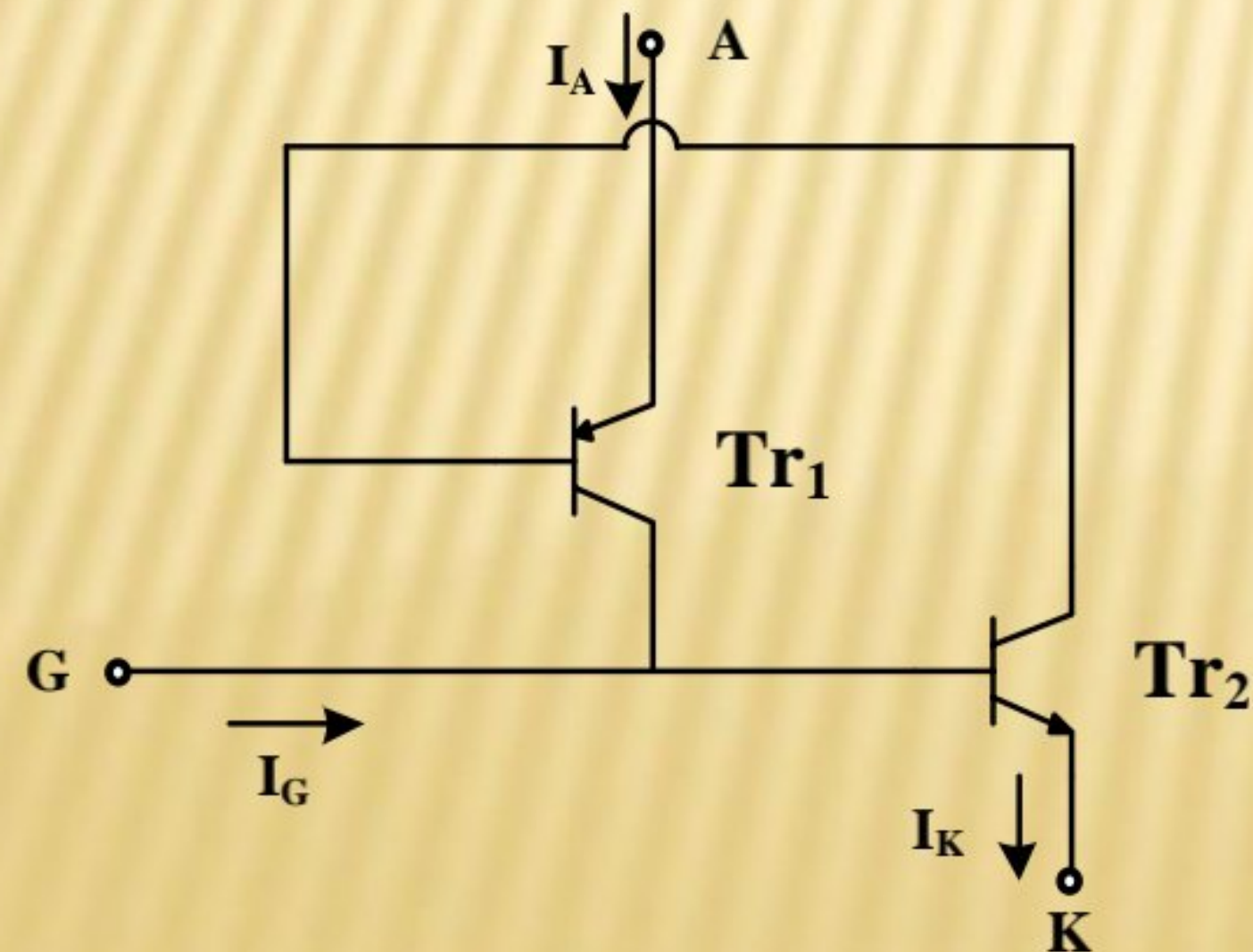
المصعد : طرف دخول التيار.

(Anode)

المهبط : طرف خروج التيار.

(Cathode)

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:

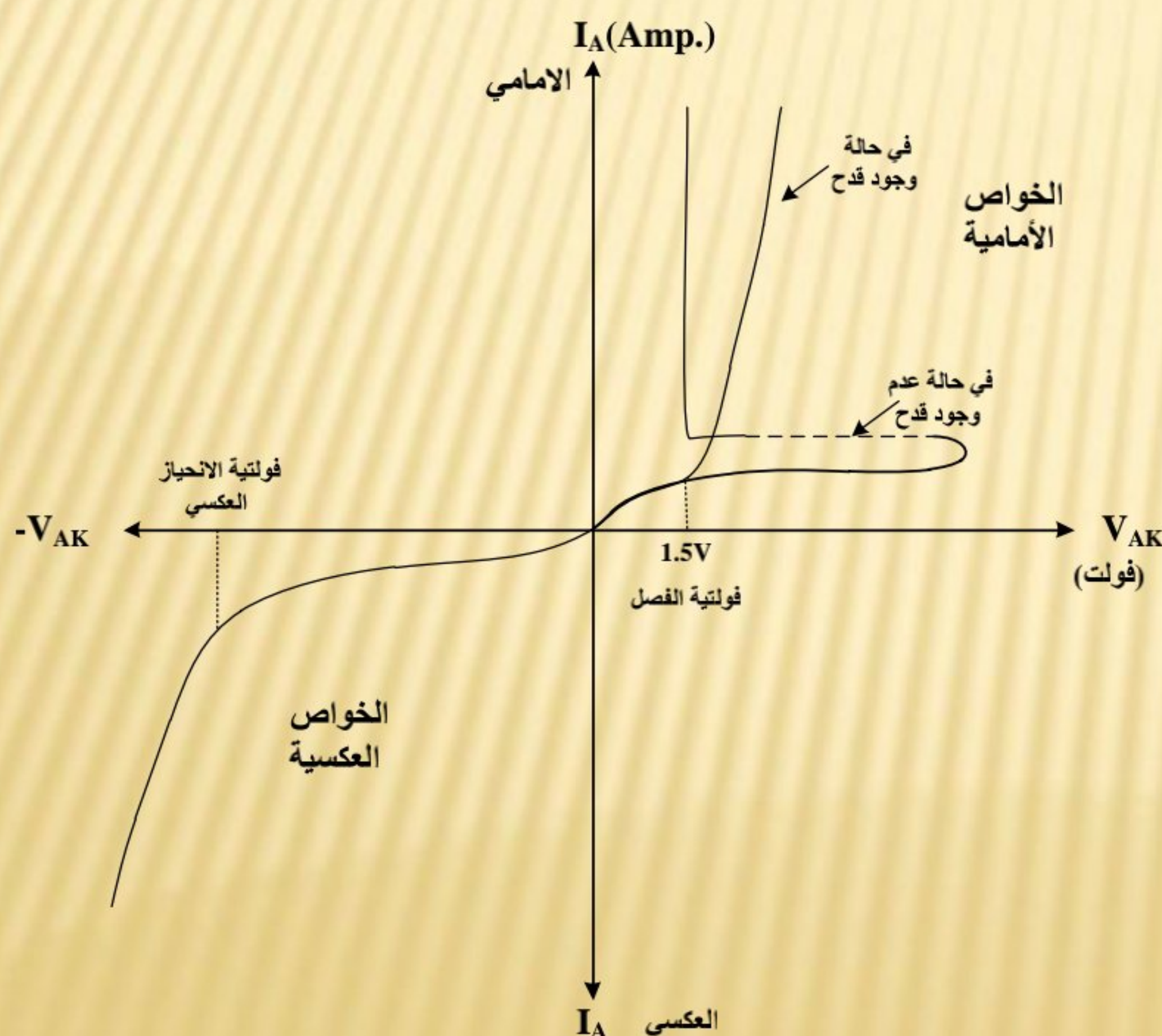
• تحديد هل أن الـ SCR صالح للعمل أم عاطل.

• 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 للـ SCR عبارة عن العلاقة بين تيار المصعد I_A وفولتية المصعد إلى المهبط V_{AK} في حالتَي 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 القذح على البوابة، أما عند عدم وجود القذح فإن المنحني مختلف تماماً.

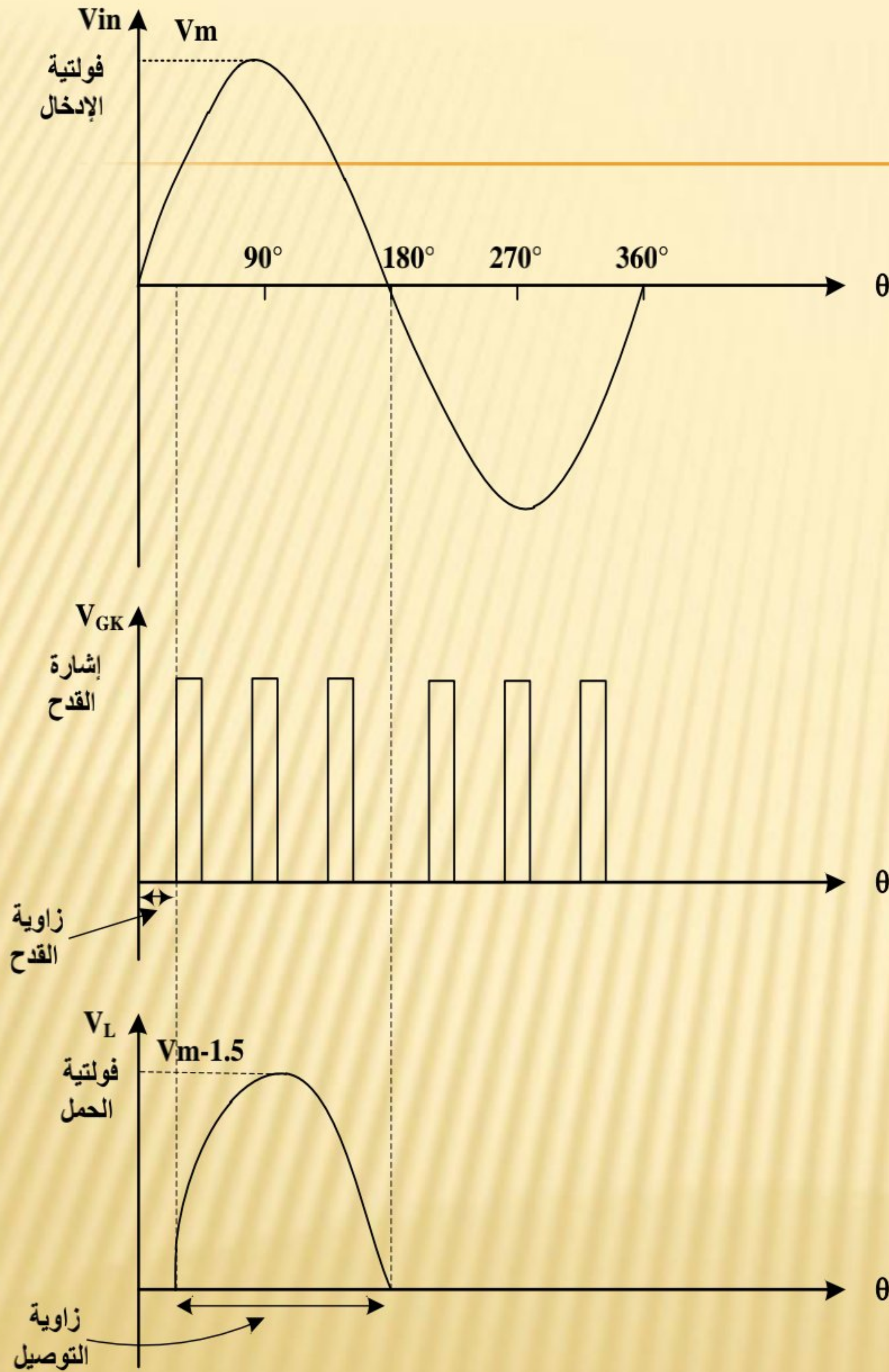
نظرية اشتغال ال SCR

لكي يعمل ال SCR بشكل صحيح يجب تسليط فولتية قدح موجبة كافية بين البوابة والكاثود VGK بحدود 5 فولت وعندما يكون اشتغال ال 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 ال SCR عن عدم تسليط فولتية قدح مناسبة أي يكون عبارة عن مفتاح مفتوح.

استعمالات ال SCR

- لا 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 القذح وزاوية التوصيل



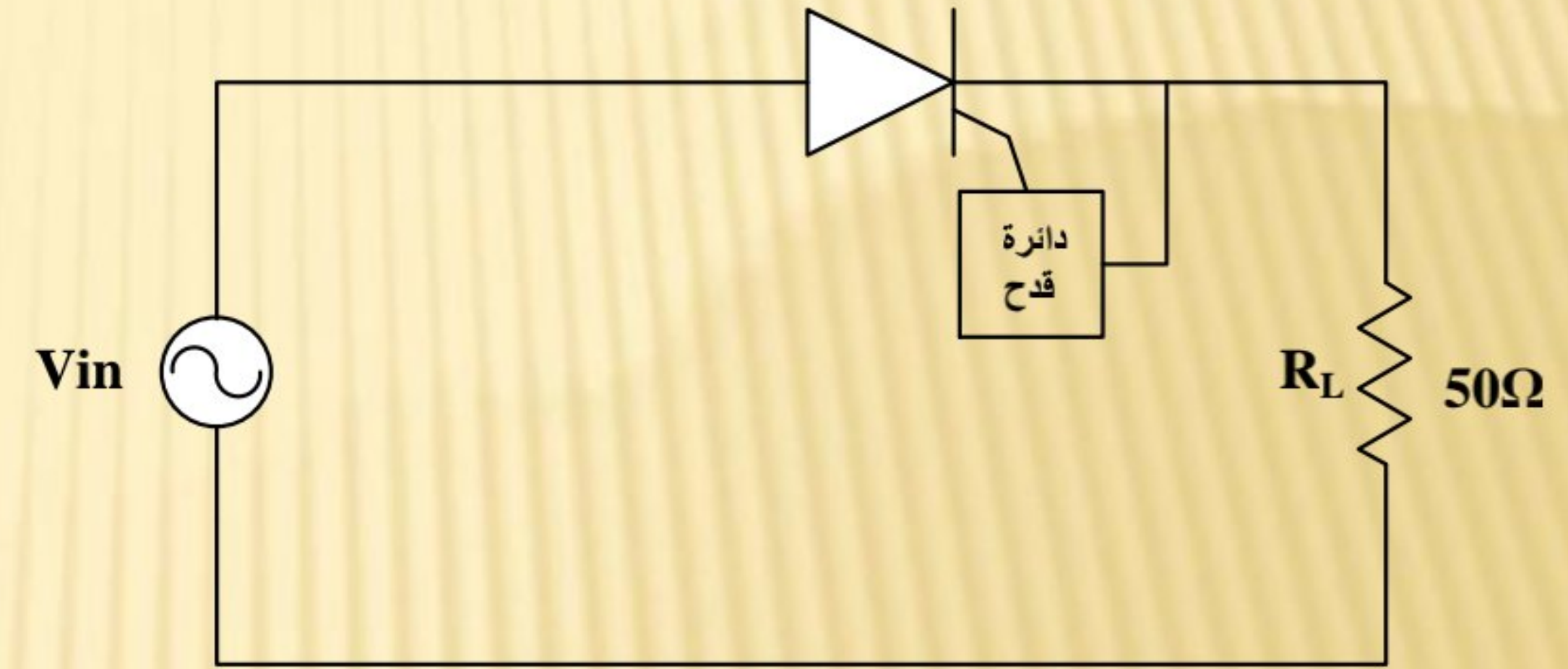
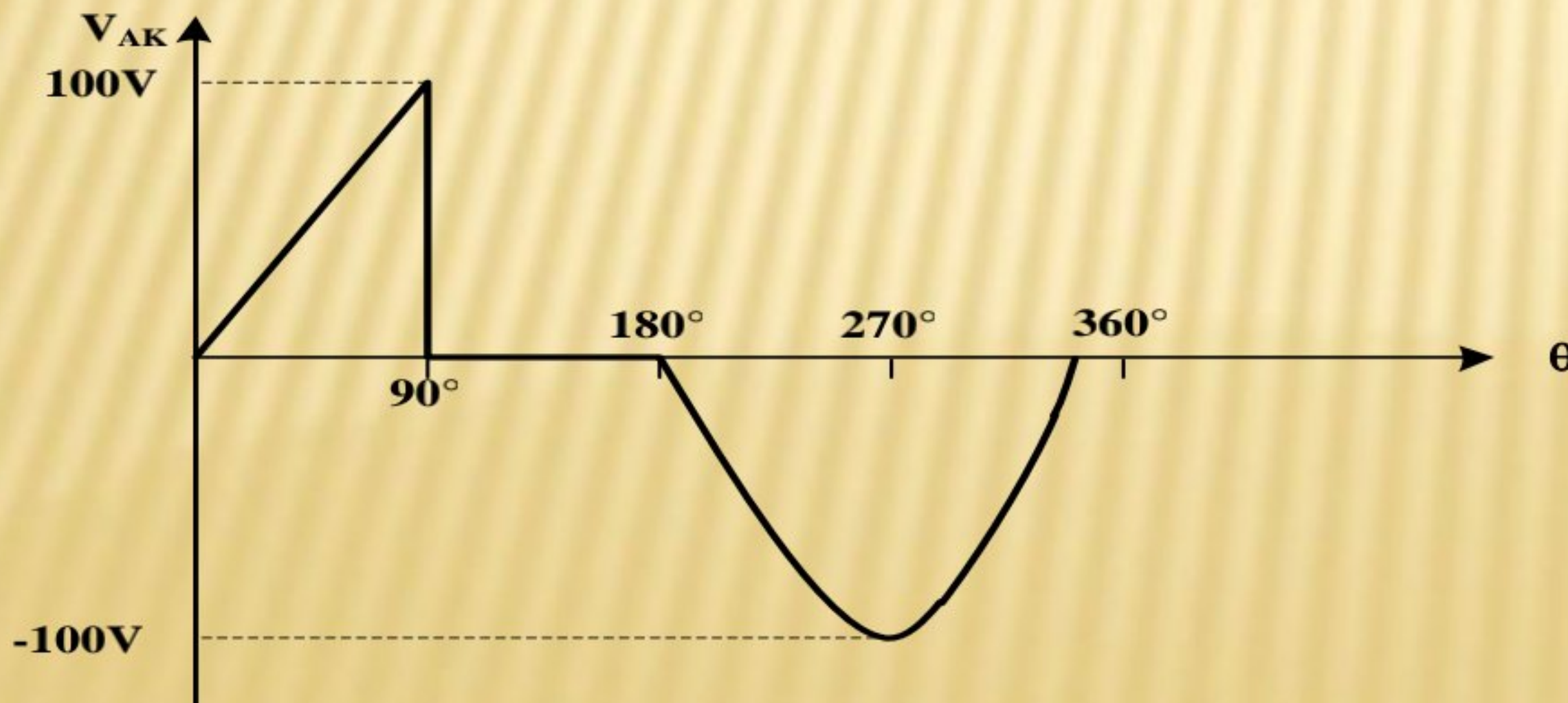
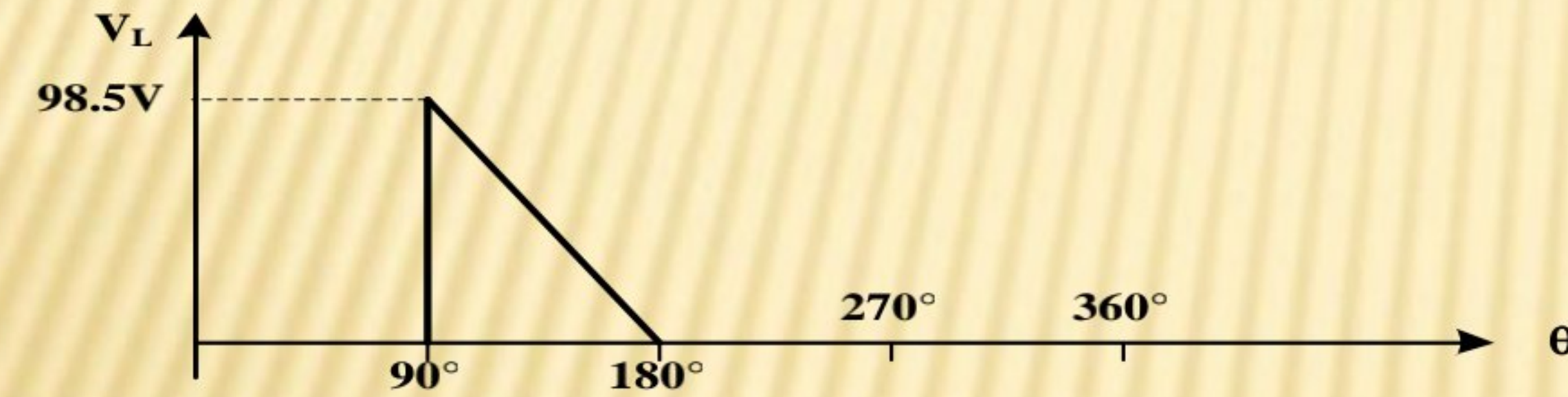
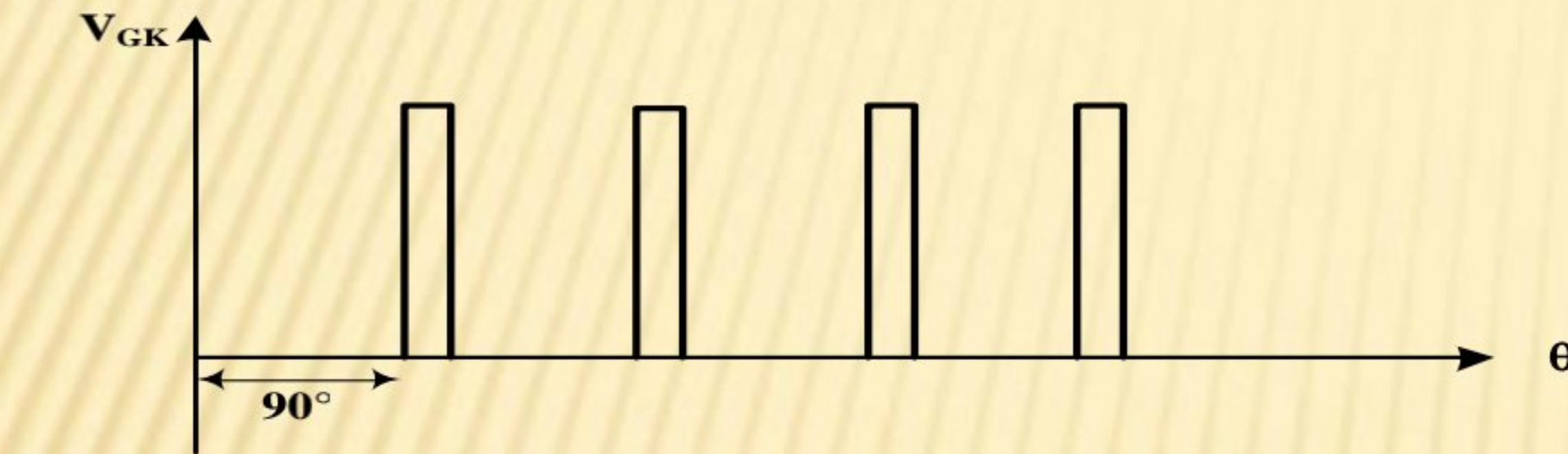
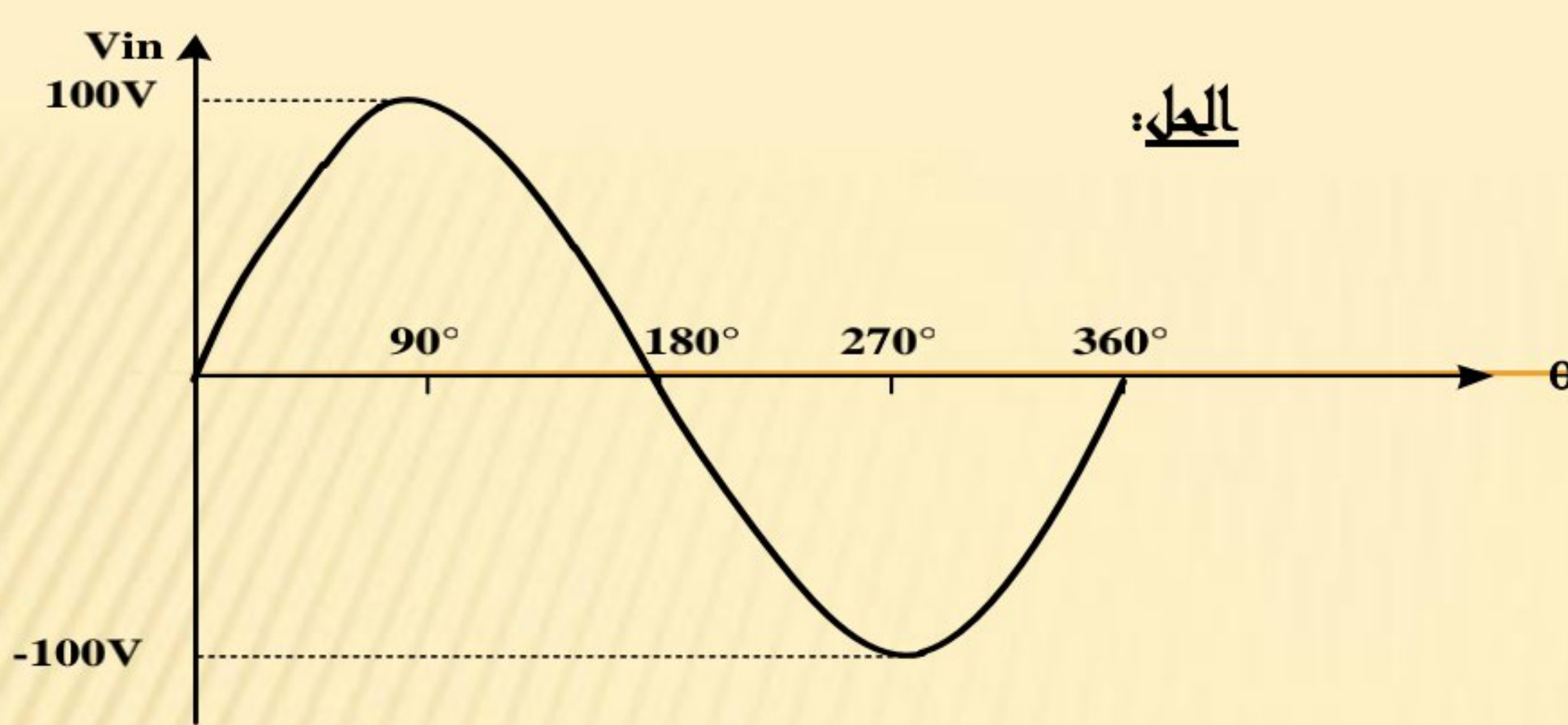
زاوية القذح هي الفترة الزمنية معرفة بدلالة الزاوية لأول نبضة قذح في الانحياز الأمامي عندما تكون إشارة القذح بشكل نبضات (كما موضح في الشكل المجاور) وتكون قيمة هذه الزاوية صفراً عندما تكون الفولتية المسلطة على البوابة بشكل مستمر. أما زاوية التوصيل فهي الفترة الزمنية التي يكون فيها ال SCR في حالة توصيل ومعرفة بدلالة الزاوية ويمكن حسابها من العلاقة التالية:
زاوية التوصيل $180^\circ - \text{زاوية القذح}$

مثال:

الحل:

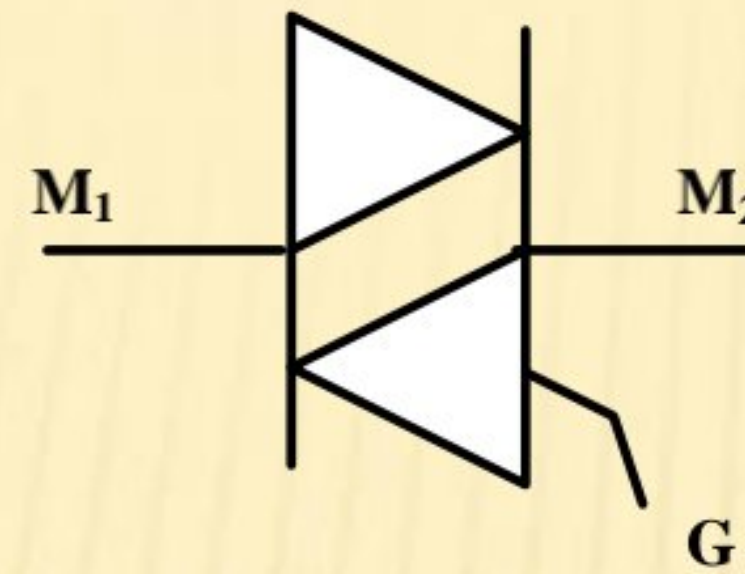
في الدائرة المرسومة أدناه، إذا كانت زاوية القدح 90°
وفولتية الإدخال $V_{in}=100\sin 314t$.

أرسم شكل موجة الحمل والموجة على الـ SCR.

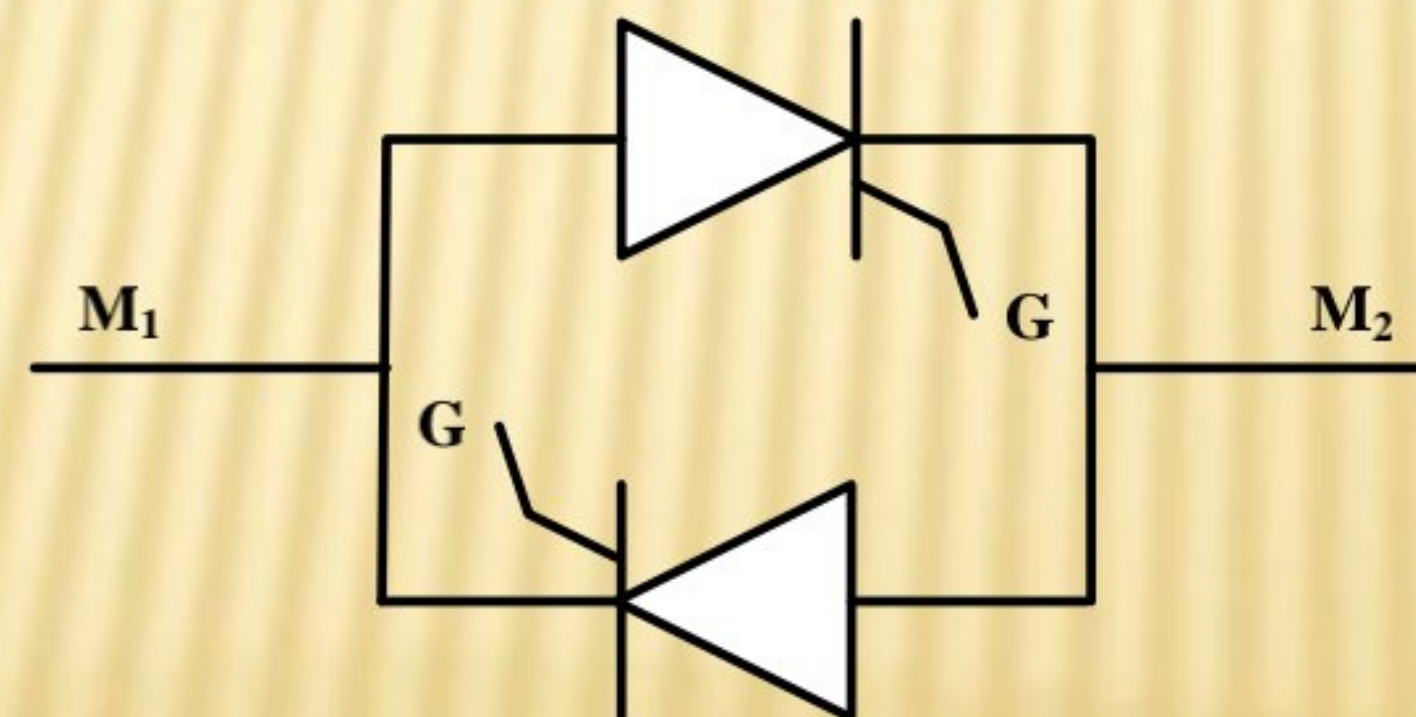


التراياك Triac

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



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



جدول مقارنة بين الـ SCR وثنائي القدرة

ثنائي القدرة	الـ SCR الموحد السيليكوني المحكوم
١. أحد العناصر الالكترونية.	١. أحد عناصر اليكترونيات القدرة.
٢. عنصر ثنائي الطبقة.	٢. عنصر رباعي الطبقة.
٣. له طرفان (A, K).	٣. له ثلاثة أطراف (A, K, G).
٤. لا يحتاج لفولتية قدح. (لماذا؟)	٤. يحتاج إلى فولتية قدح لكي يعمل.
٥. يستعمل في تحويل إشارة الـ A.C إلى D.C.	٥. يستعمل في تحويل إشارة الـ A.C إلى D.C.
٦. يستعمل في دوائر الالزام والتقليم وغيرها.	٦. يستعمل في دوائر السيطرة الصناعية والمنزلية.
٧. يمر فيه تيار واحد.	٧. يمر فيه تيار رئيسي واحد.

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

جدول مقارنة بين الثرانزستور ثنائي القطبية وال SCR

الثرانزستور ثنائي القطبية (BJT)	الموحد السيليكوني المحكوم (SCR)
١. أهم العناصر الالكترونية الفعالة.	١. أحد عناصر اليكترونيات القدرة.
٢. مكون ثلاثي الطبقة.	٢. مكون رباعي الطبقة.
٣. له ثلاثة أطراف.	٣. له ثلاثة أطراف
٤. أطرافه (G, K, A).	٤. أطرافه (B, E, C).
٥. له ثلاثة تيارات مختلفة.	٥. له تيار رئيسي واحد.
٦. يحتاج لتيار قاعدة مستمر.	٦. يحتاج لفولتية بوابة متقطع.
٧. له استعمالات كثيرة منها التكبير، التنظيم في الدوائر الرقمية ... الخ.	٧. 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

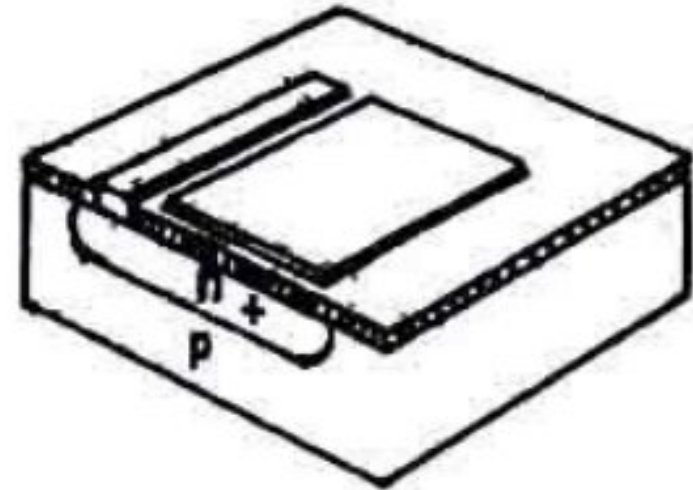
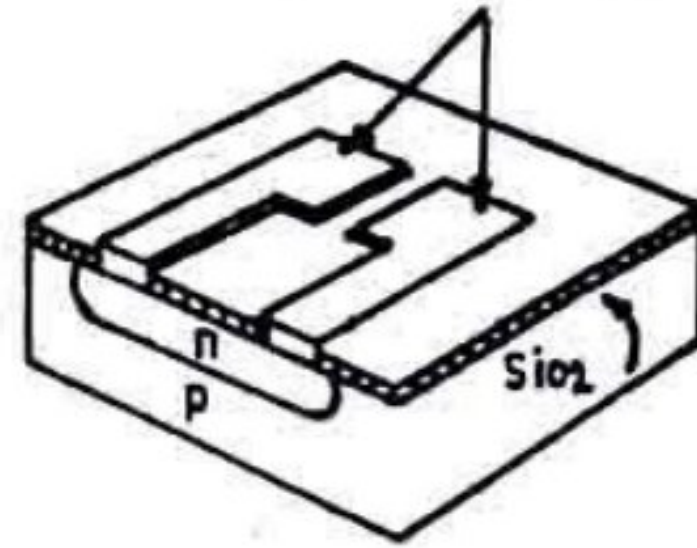
تشمل الدائرة المتكاملة على العناصر غير الفعالة (المقاومات، المتسعات والمحاثات) وكذلك العناصر الفعالة (الثنائيات والترانزستورات) وهي عناصر الدائرة الالكترونية الاعتيادية والمأوفة وتصنع جميع هذه العناصر باستخدام أشباه الموصلات.

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.

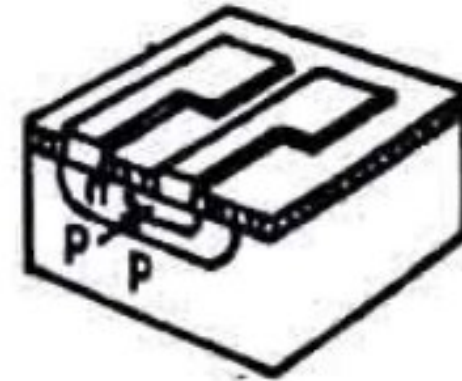
كما تصنع المتسعات بترسيب طبقة عازلة من ثاني اوكسيد السيلكون SiO_2 على طبقة موصلة وبعدئذ تشكل طبقة معدنية لتوليد الصفيحة الثانية للمتسعة كما في الشكل (ب).

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

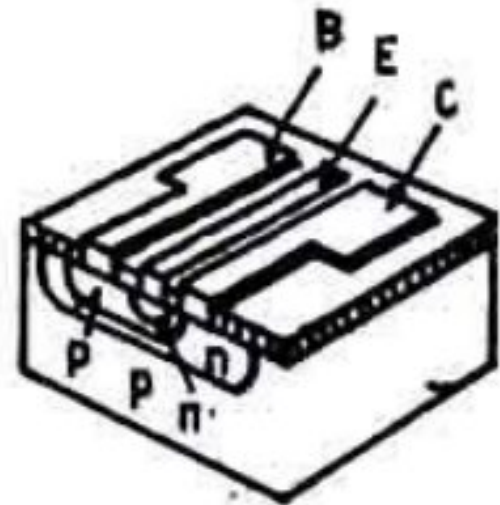
توصيلات معدنية



آ- مقاومات



ب- متسعة



ج- ترانزستور

د- ثنائي

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).

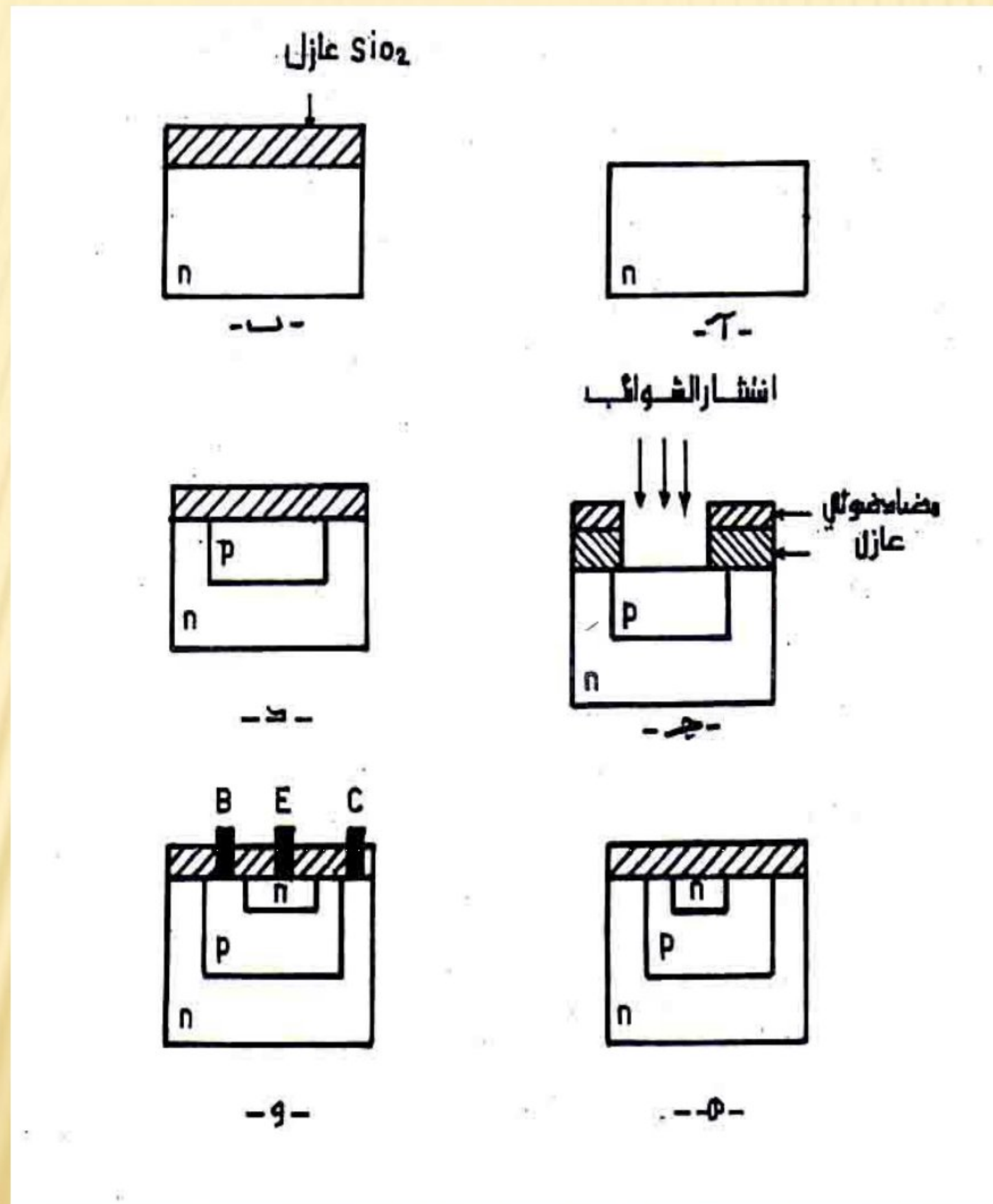
الخطوة الثالثة – انتشار الباعث

- 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 الباعث.
- يغطي السطح بطبقة الاوكسيد العازلة مرة أخرى كما مبين بالشكل (ه).

الخطوة الرابعة – المعدنة بالالمنيوم

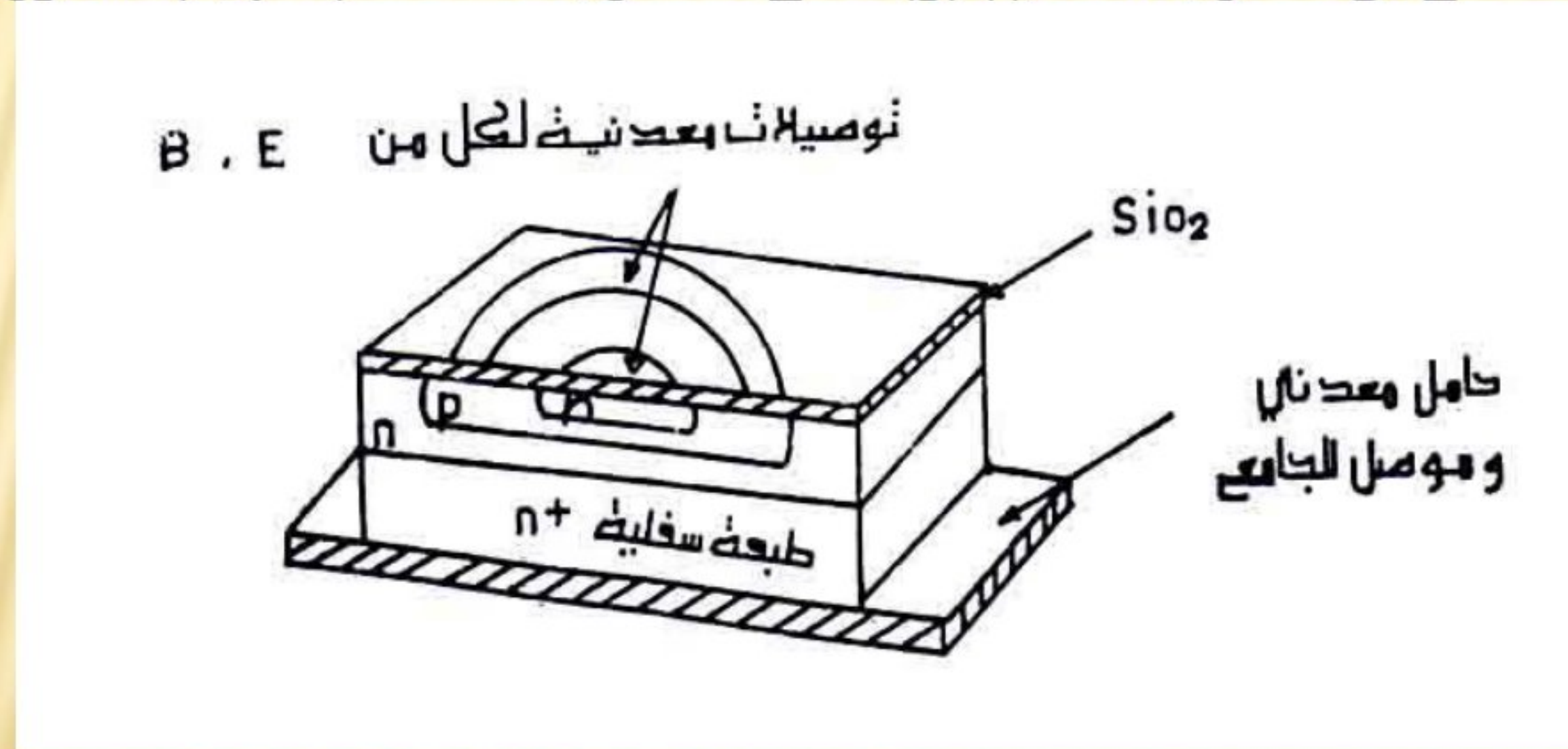
- لأجل تكوين توصيلات اقطاب الترانزستور تستخدم اغشية معدنية ذات مقاوميات واطئة، ويعد الالمنيوم وسبائكه من أكثر المعادن شيوعاً في الدوائر المتكاملة والمنفصلة على السواء. إضافة إلى ان الالمنيوم يلتصق جيداً مع ثاني اوكسيد السيلكون، وتدعى عملية ترسيب غشاء رقيق من الالمنيوم على طبقات الترانزستور بالمعدنة metallization. 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 بالالمنيوم 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 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 سنتيمتر واحد وخلال مرحلة تصنيع واحدة. ومن الجدير بالذكر ، أن صناعة الترانزستور (هنا npn) تعد أساساً في الدائرة المنفصلة أو المتكاملة، غير أن 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 مقاومة 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.



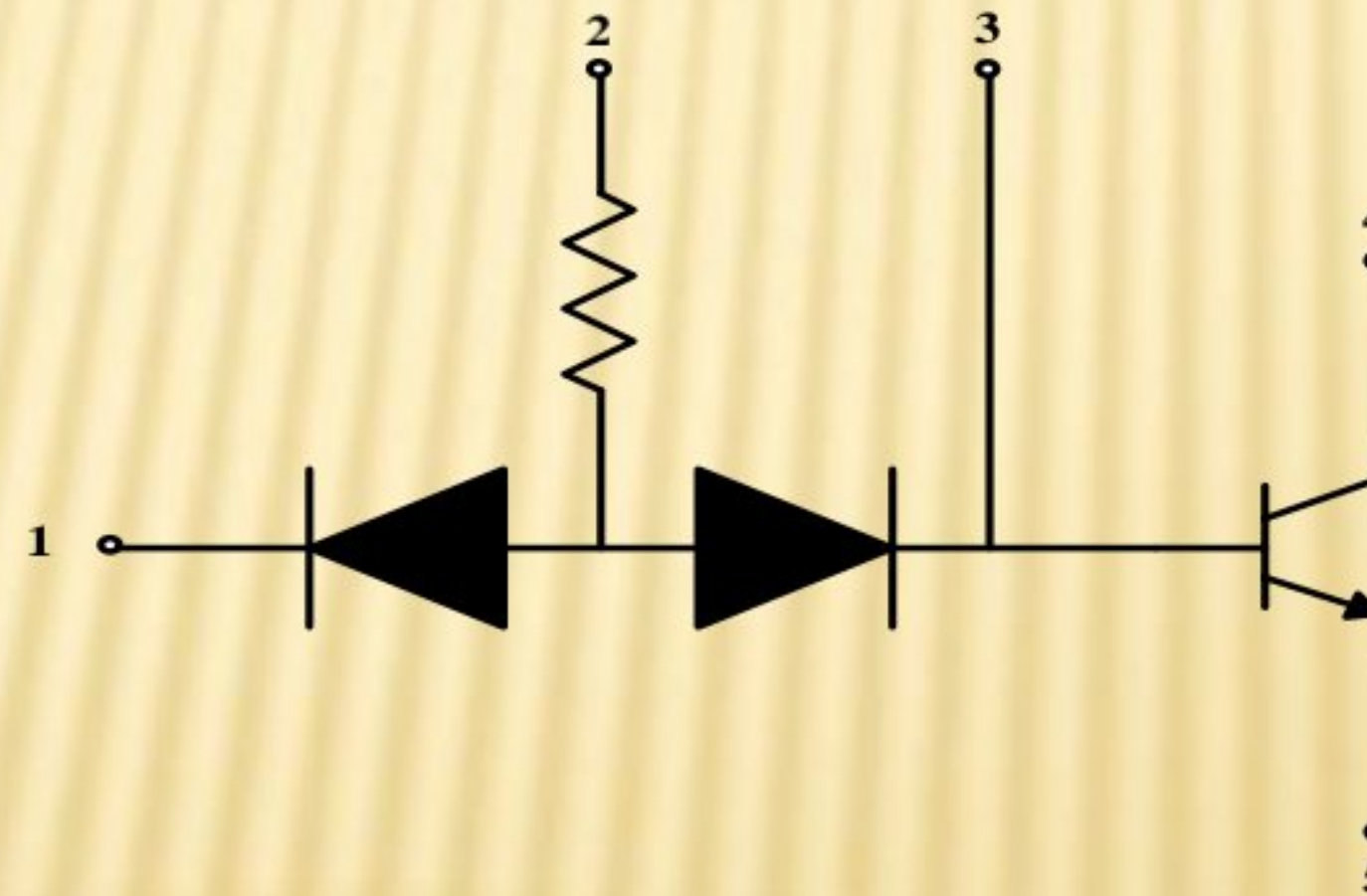
ترانزستور مستوي ذو الترتيب الفوقي

الدوائر المتكاملة احادية (البلورة) القطعة Monolithic Integrated 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:

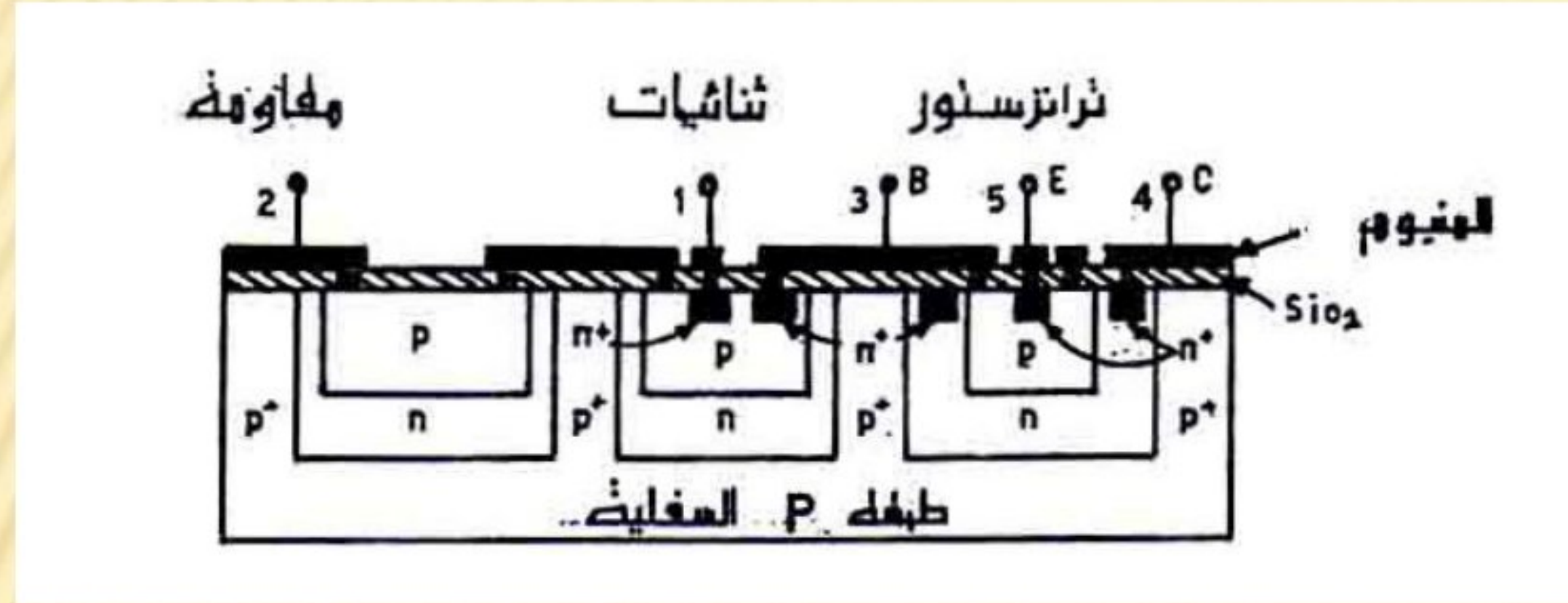
ارسم مقطعاً عرضياً للدائرة المتكاملة بتقنية احادية القطعة للدائرة الالكترونية المبينة بالشكل أدناه، ثم وضح خطوات تصنيع الدائرة المتكاملة.



الدائرة الالكترونية

الخط:

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:



Epitaxy

Diffusion

Oxidation

Deposition & Metallization

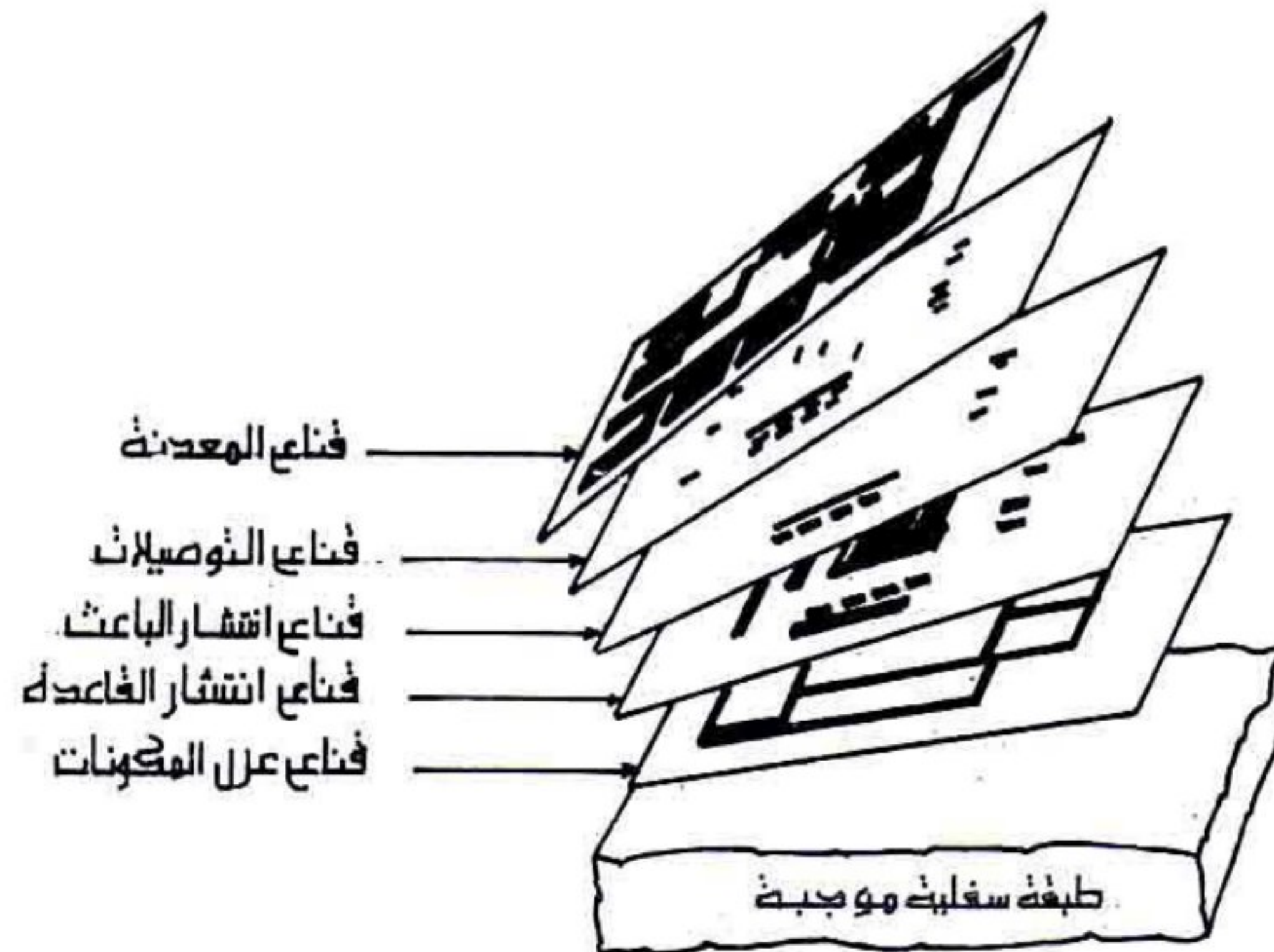
١. نمو الترتيب الفوقي

٢. الانتشار

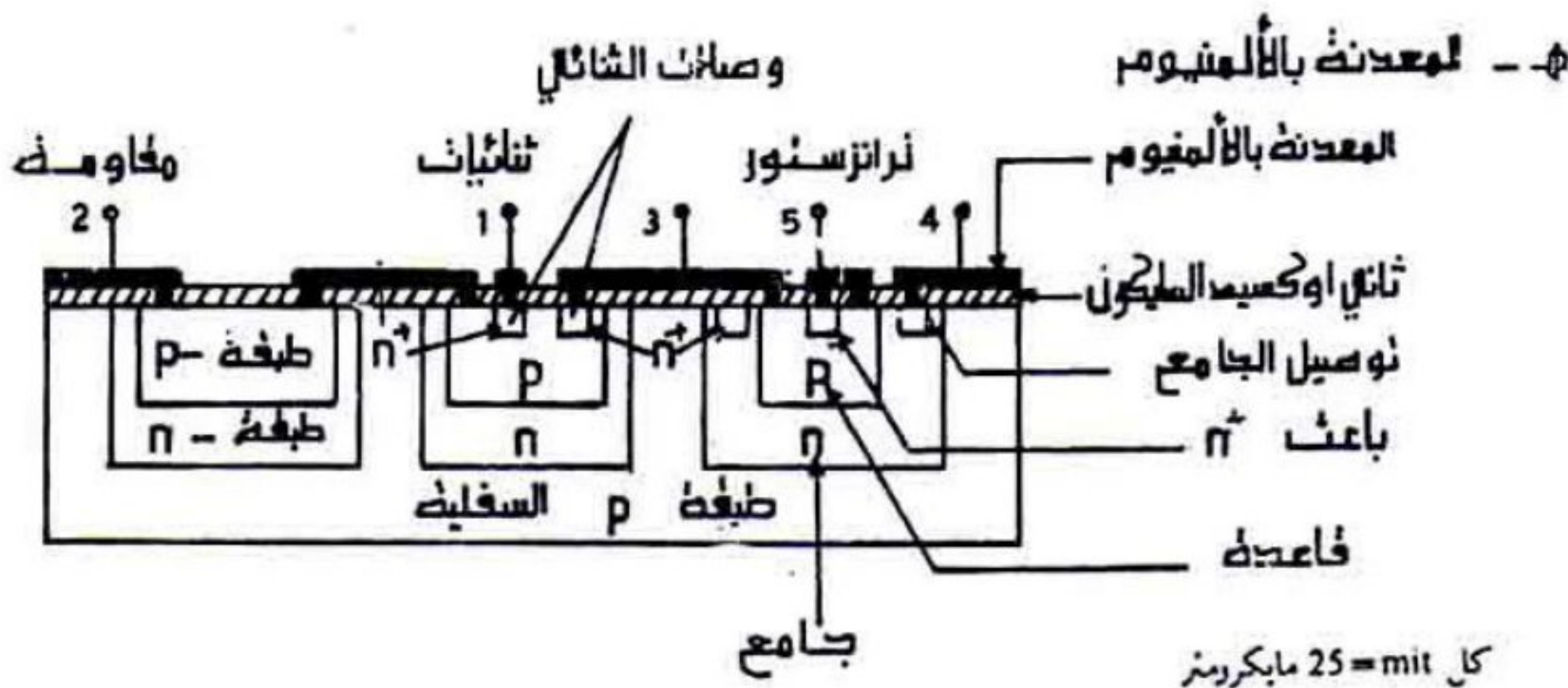
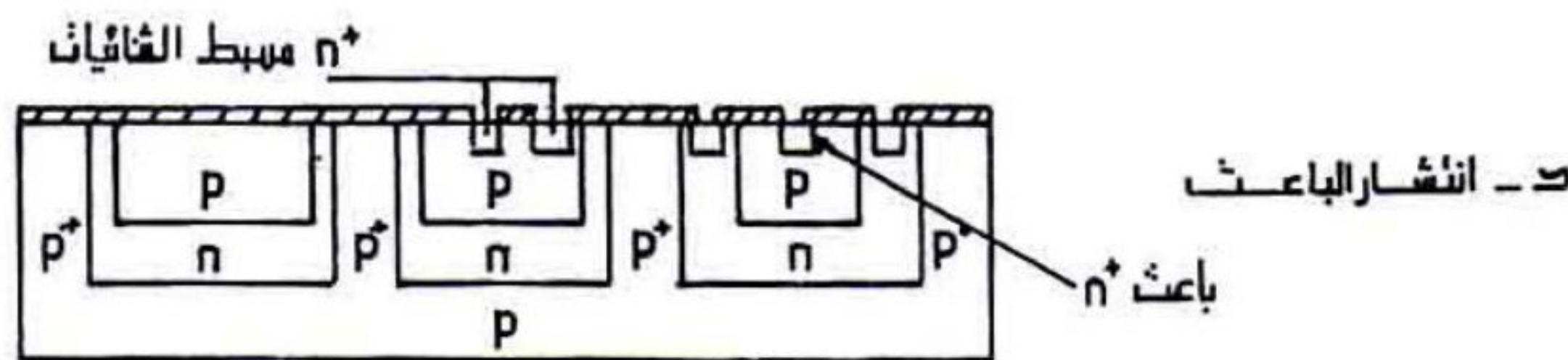
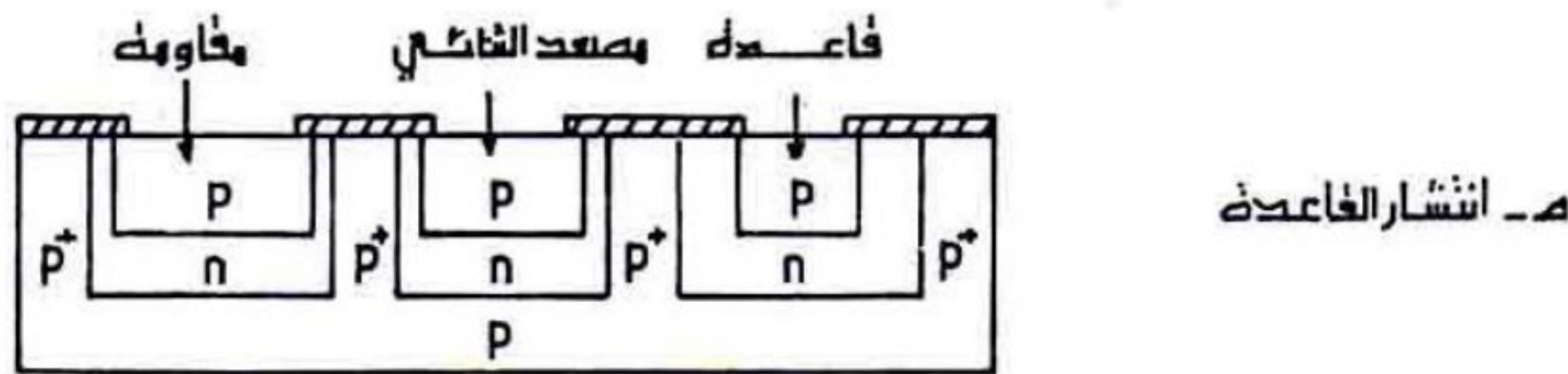
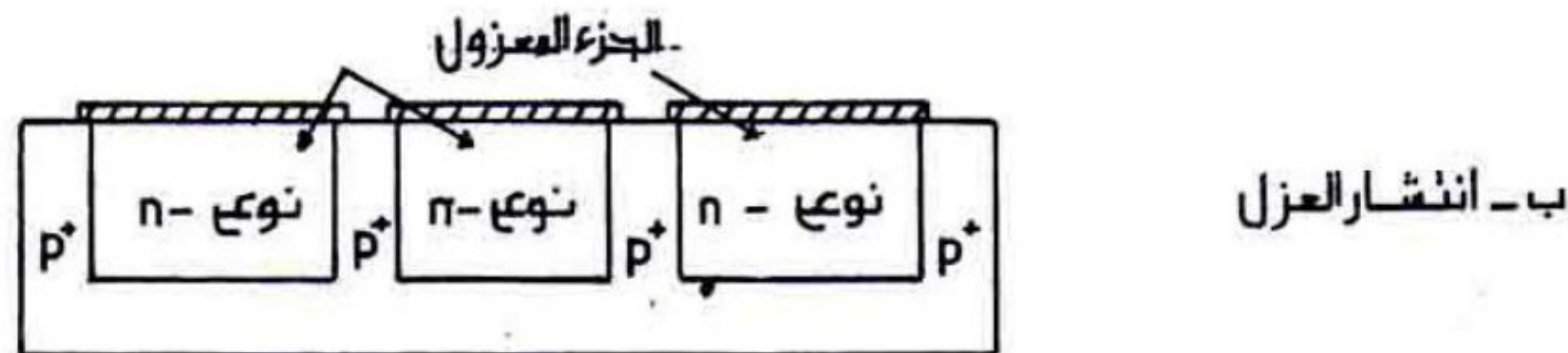
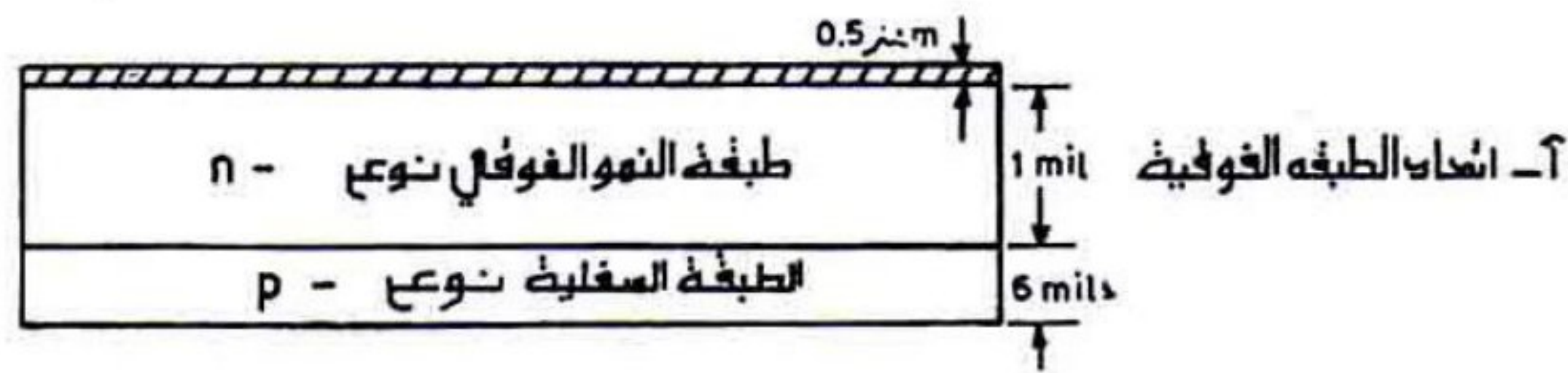
٣. الأكسدة

٤. الترسيب والمعدنة

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



مصفوفة تعاقب الاقنعة

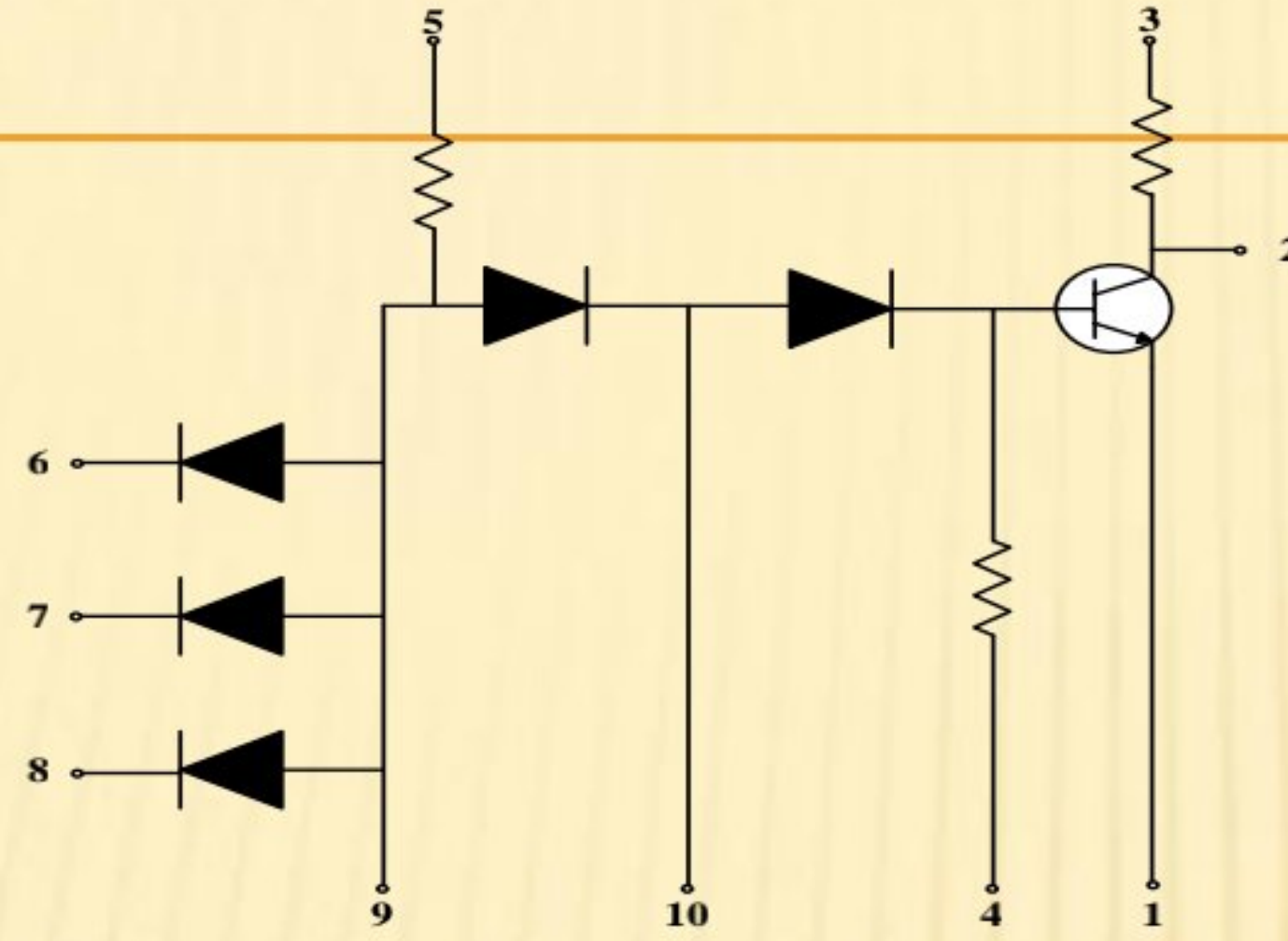


ويظهر من الشكل السابق وجود قناع عزل المكونات. فكيف يتم عزل المكونات عن بعضها في الدائرة المتكاملة؟ والجواب ببساطة يتضح من الشكل المجاور (ب). فبعد إزالة الطبقة الاوكسيدية من أربعة مناطق على سطح الرقاقة بطريقة الاستتساخ الضوئي والحفر تعرض الرقاقة لانتشار شوائب قابلة (بورون مثلاً) داخل فرن وتحت ظروف حرارة معينة وخلال فترة زمنية تسمح بانتشار الشوائب الموجية 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.



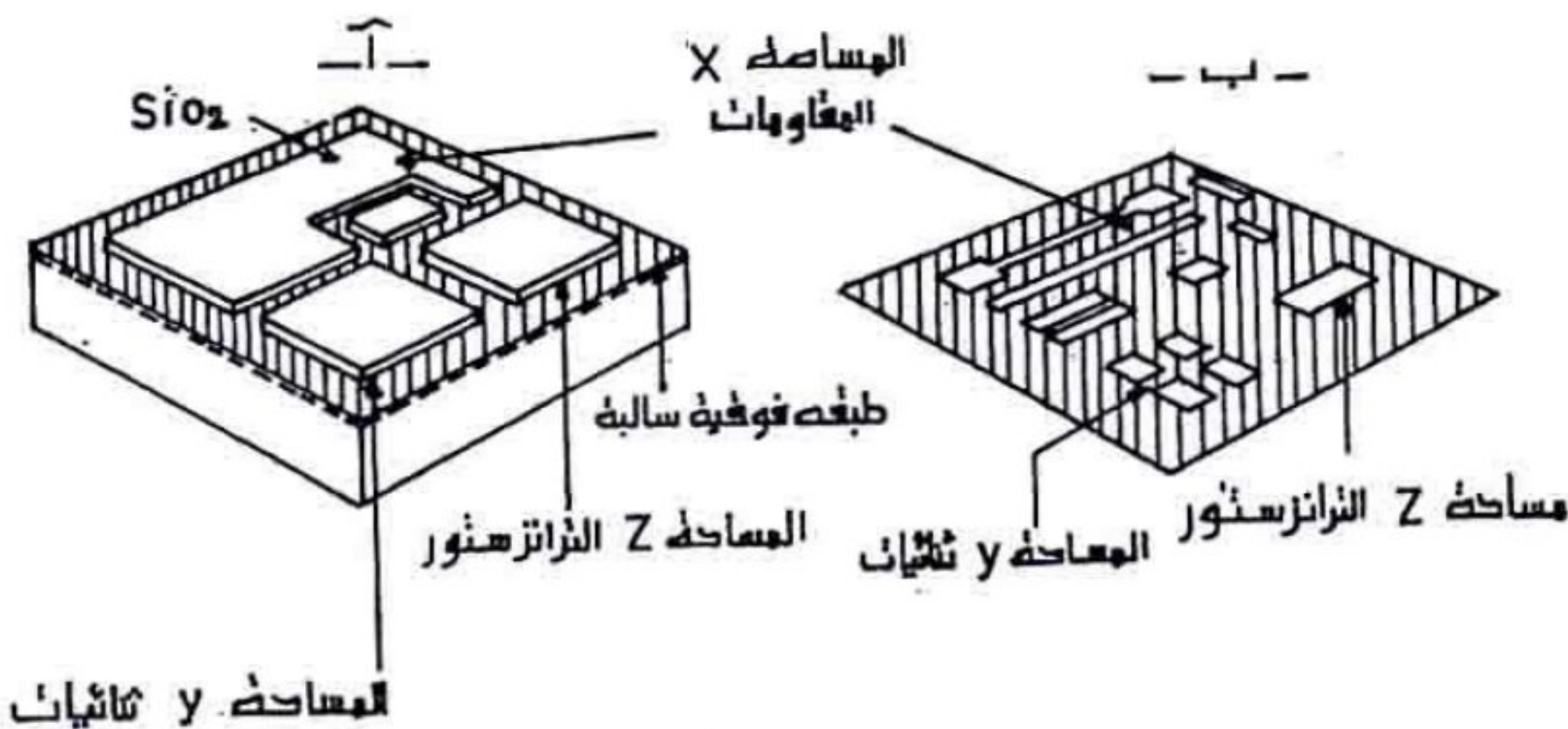
الحل:

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).



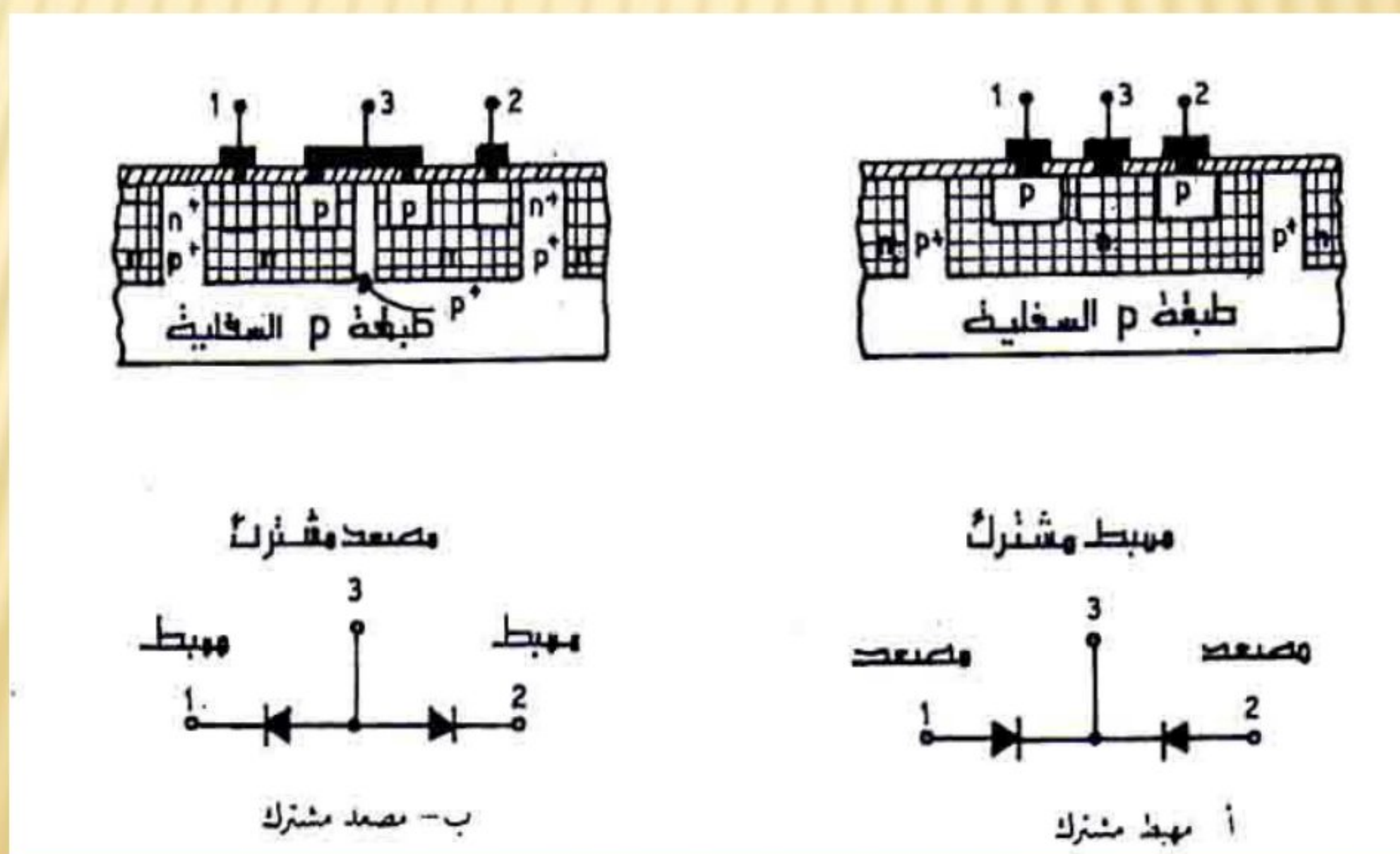
مخطط المساحات اللازمة للمثال السابق

الترانزستورات المتكاملة

لا يختلف الترانزستور المستوي في صناعته عن ترانزستورات الدوائر المتكاملة احادية القطعة، ولكن في الدوائر المتكاملة يتم عزل الجامع عن الطبقة السفلية بواسطة 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 متسعاً خيالية إلى قطب الجامع وتزيد من مسار تيار التسرب وطول مسار تيار الجامع مولداً ارتفاعاً 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.

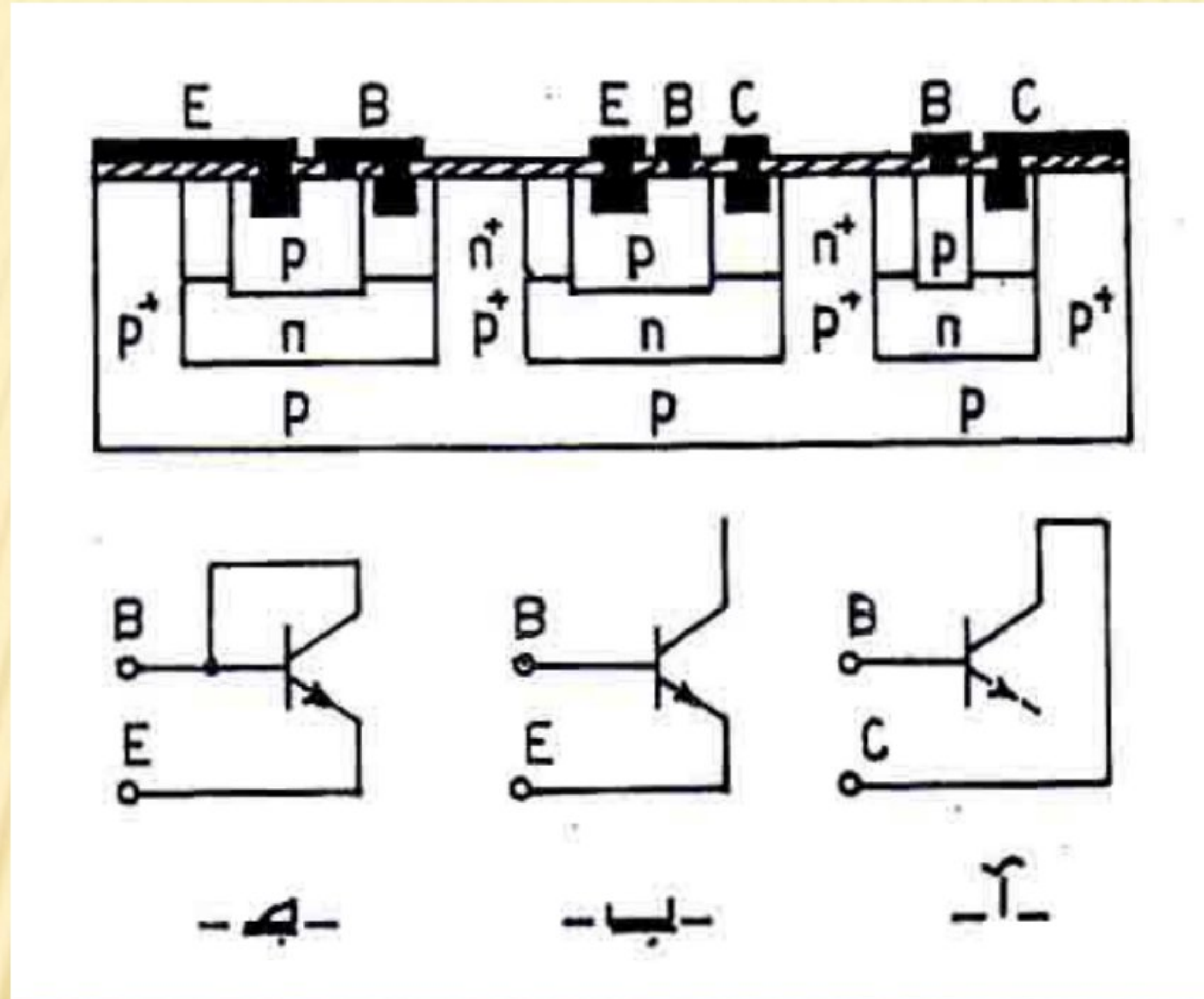
الثنائيات المتكاملة

تصنع ثنائيات الدوائر المتكاملة بنفس قننية 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

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



الثنائيات المتكاملة المستقلة

