دارات الكترونية

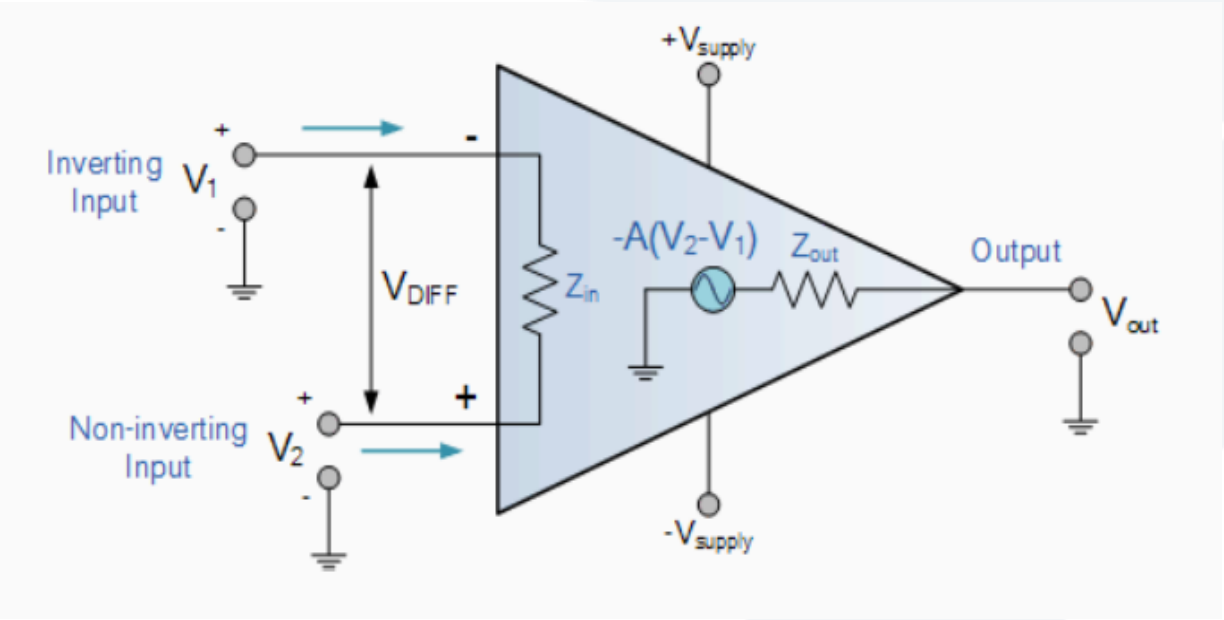
تطبيقات مضخم العمليات

Operational amplifier Applications

مدرس المقرر
د. السموءل صالح

بعض تطبيقات مكبر العمليات

- مرشح تمرير ترددات منخفضة
- مرشح تمرير ترددات عالية
- مرشح تمرير حزمة
- عديم الاستقرار
- أحادي الاستقرار
- ثنائي الاستقرار
- قادح شميث

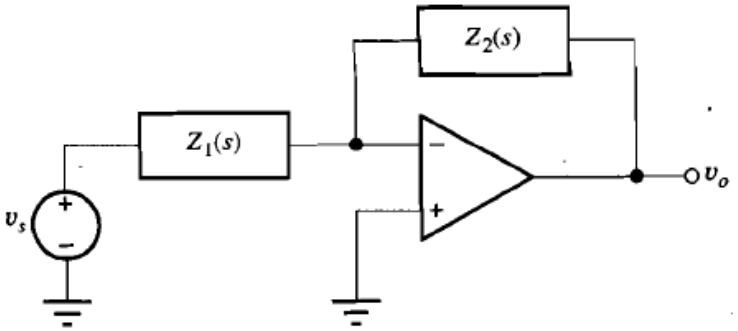


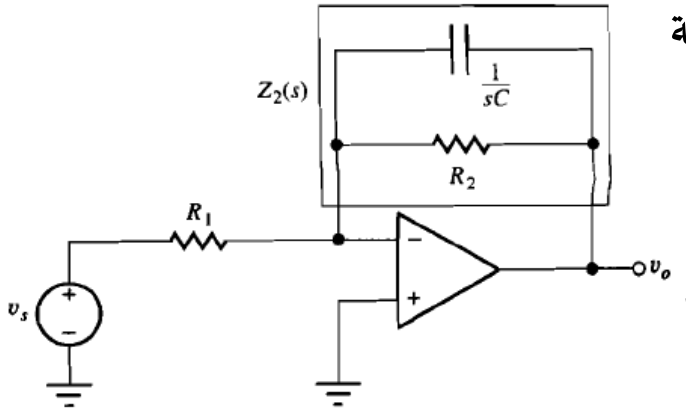
المكبر المستخدم بدارات الترشيح

بوضع ممانعة في دارة التغذية العكسية لمضخم العمليات وممانعة بدارة الدخل نحصل على مرشح وبتغيير هذه الممانعات يمكن تحديد نوع المرشح وهي:

-- مرشح تمرير منخفض. -- مرشح تمرير مرتفع.

-- مرشح تمرير حزمة. -- مرشح منع حزمة.





$$Z_1(s) = R_1$$

$$A_v(s) = \frac{\mathbf{V_o}(s)}{\mathbf{V_s}(s)} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

$$Z_2(s) = \frac{R_2 \frac{1}{sC}}{R_2 + \frac{1}{sC}} = \frac{R_2}{sCR_2 + 1}$$

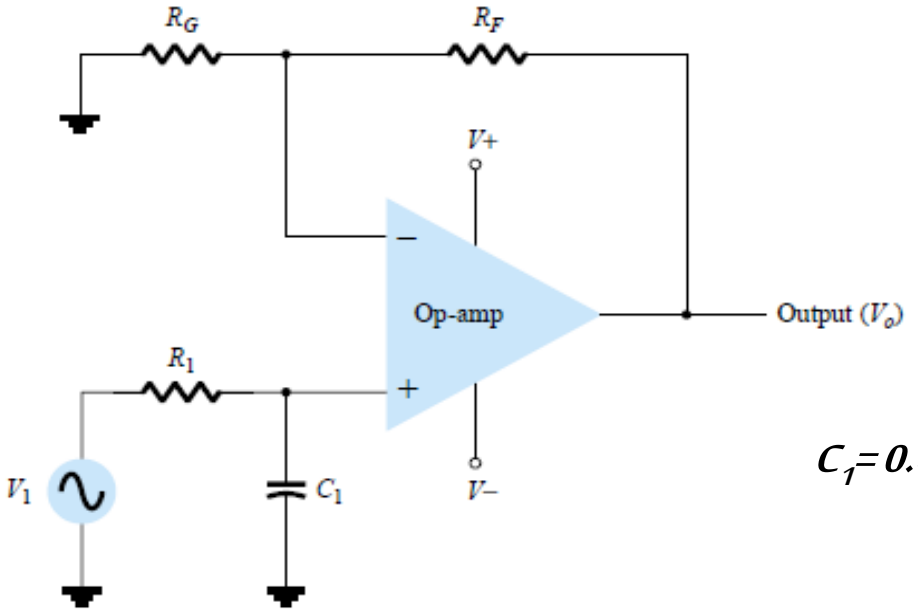
$$A_v(s) = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{(1 + sR_2C)} = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\left(1 + \frac{s}{\omega_H}\right)}$$

$$\text{where } \omega_H = 2\pi f_H = \frac{1}{R_2C}$$

مرشح تمرير ترددات منخفضة

Op amp Low pass filter

يستخدم مرشح تمرير ترددات منخفضة مقاومة وسعة كما في الشكل المجاور



يعطى ربح هذا المرشح بالعلاقة:

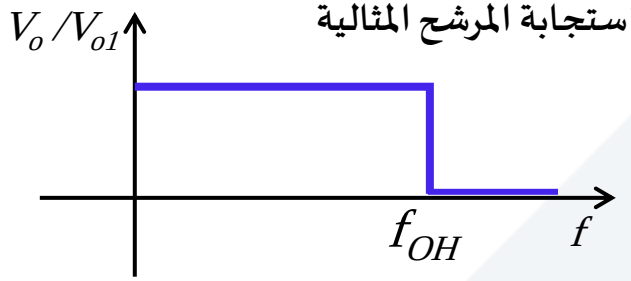
$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

وتردد القطع بالعلاقة:

$$f_{OH} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

تطبيق: احسب تردد القطع لمرشح تمرير ترددات منخفضة إذا علمت أن $R_1 = 1.2\ k\Omega$ و $C_1 = 0.02\ \mu F$

استجابة المرشح المثالية

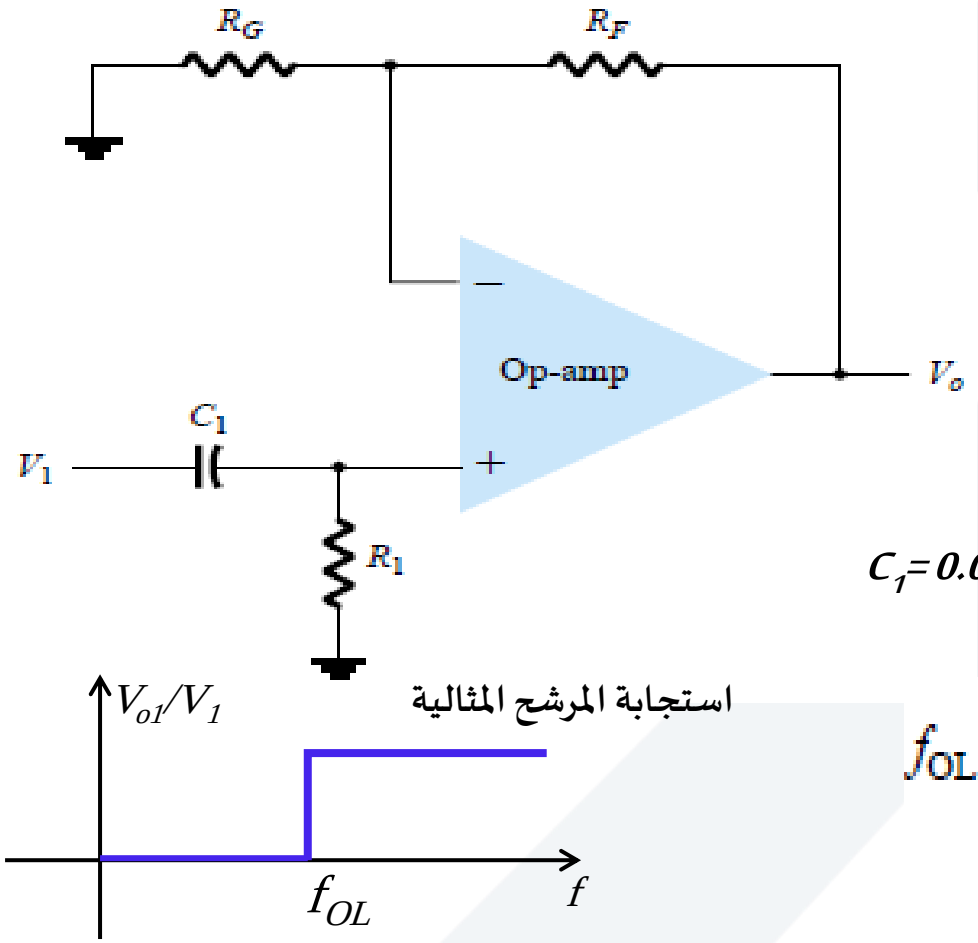


$$f_{OH} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi(1.2 \times 10^3)(0.02 \times 10^{-6})} = 6.63\ \text{kHz}$$

Op amp High pass filtre

مرشح تمرير ترددات مرتفعة

يستخدم مرشح تمرير ترددات عالية مقاومة وسعة كما في الشكل المجاور



استجابة المرشح المثالية

يعطى ربح هذا المرشح بالعلاقة:

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

وتردد القطع بالعلاقة:

$$f_{OL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

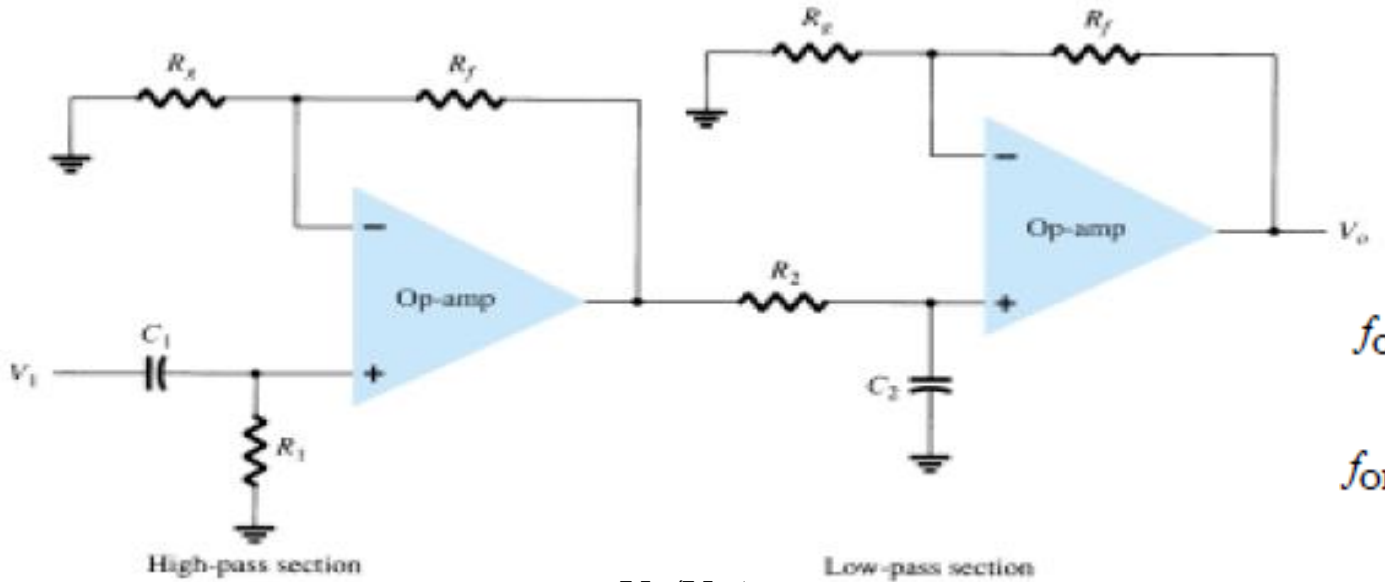
تطبيق: احسب تردد القطع لمرشح تمرير ترددات عالية إذا علمت أن $R_1 = 2.1\,k\Omega$ و $C_1 = 0.05\,\mu F$

$$f_{OL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi(2.1 \times 10^3)(0.05 \times 10^{-6})} \approx 1.5\ \text{kHz}$$

Op amp Band pass filter

مرشح تمرير حزمة

يتألف هذا المرشح من مرحلتين هما مرشح تمرير ترددات عالية متبوعاً بمرشح تمرير ترددات منخفضة.



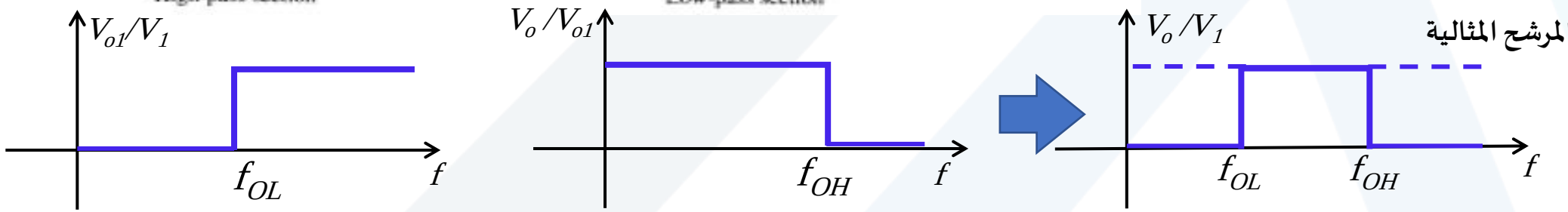
تطبيق: احسب ترددات القطع لمرشح تمرير حزمة؟

$C_2 = 0.002\,\mu F$ و $C_1 = 0.1\,\mu F$ و $R_1 = R_2 = 10\,k\Omega$

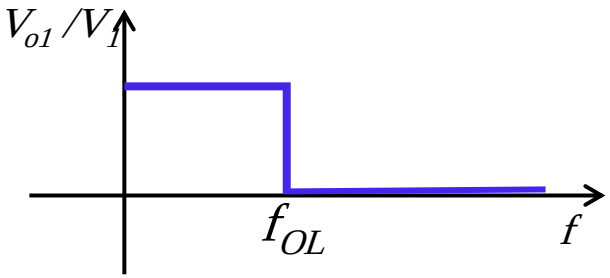
$$f_{OL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi(10 \times 10^3)(0.1 \times 10^{-6})} = 159.15\ \text{Hz}$$

$$f_{OH} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2\pi(10 \times 10^3)(0.002 \times 10^{-6})} = 7.96\ \text{kHz}$$

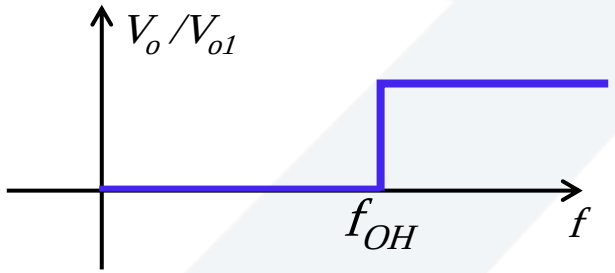
استجابة المرشح المثالية



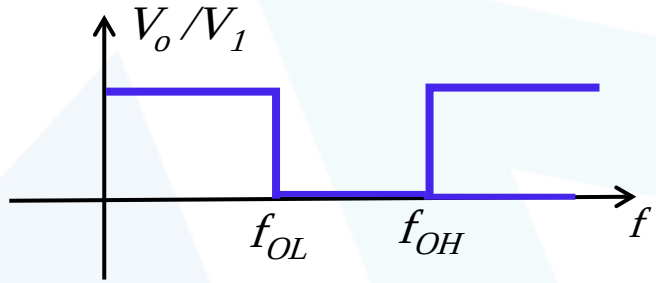
يتألف هذا المرشح من مرحلتين هما مرشح تمرير ترددات منخفضة متبوعاً بمرشح تمرير ترددات عالية .



استجابة مرشح تمرير منخفض مثالي



استجابة مرشح تمرير عال مثالي



استجابة مرشح منع الحزمة المثالي

توليد النبضات باستخدام مضخم العمليات

Pulse Generation

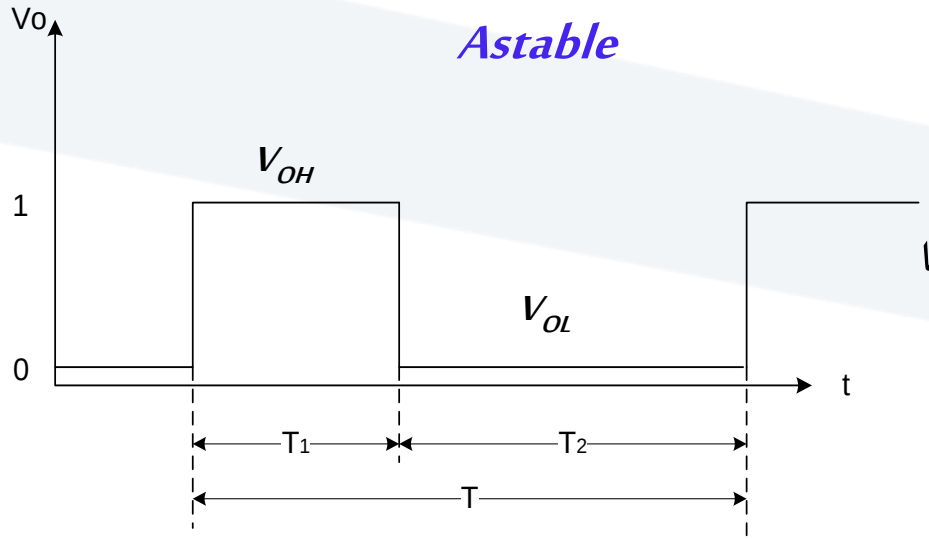
--- مقدمة عامة ---

- المولد النبضي عبارة عن دارة تقوم بتحويل طاقة منبع الجهد المستمر إلى طاقة نبضات كهربائية، وتختلف دارات توليد النبضات عن دارات المهتزات بأنها تقوم بتوليد النبضات انطلاقاً من التغذية المستمرة ولا تعتمد على تغيير شكل النبضات كذلك لا تعتمد على دارة رنين.
- تقسم مولدات الإشارة بشكل عام إلى مولدات الإشارات النبضية ومولدات الإشارات الخطية ومولدات الإشارة الجيبية بالإضافة إلى مولدات الإشارة ذات الشكل الخاص.
- تقوم مولدات الإشارة النبضية بتوليد إشارات شكلها قريب من الإشارة النبضية وتتغير إشارة الخرج بشكل حدي من قيمة صغيرة جداً ذات مستوى منخفض إلى قيمة عالية نسبياً ذات مستوى مرتفع
- يطلق على الحالة المو افقة لمستويات الخرج (0) و (1) بالحالة المستقرة وتعتبر الحالة المستقرة أحد معايير تصنيف مولدات الإشارة النبضية.
- من الممكن أن توجد الحالة المستقرة لفترة طويلة نسبياً ولكي يتم الانتقال من هذه الحالة المستقرة إلى حالة أخرى يجب أن يتم التأثير على الدارة بفعل خارجي مثل استخدام إشارة قدح أو تهييج على دخل الدارة .
- يمكن تصنيف مولدات الإشارة النبضية حسب ارتباطها بخواص الحالة المستقرة إلى :

(١) عديم الاستقرار (٢) أحادي استقرار (٣) ثنائي استقرار

دارة عديم الاستقرار

Astable



- لا يمتلك المذبذب عديم الاستقرار حالة مستقرة تعتبر كل من الإمكانيتين المستقرتين شبه مستقرة.
- بعد وصل التغذية المستمرة لدارة المذبذب عديم الاستقرار تتالى هاتين الحالتين وبشكل دوري كما هو مبين في الشكل المجاور دون تطبيق أي نبضة قدح على الدخل وبدور اهتزاز $T=T_1+T_2$ إذ أن T_1 و T_2 فترتا تواجد المذبذب في الحالة الأولى والثانية.
- تعتبر المولدات النبضية كغيرها من مولدات الإشارات الكهربائية نظماً ذات تغذية عكسية موجبة ويمكن تمييز نوعين من المولدات النبضية حسب طريقة التغذية العكسية الموجبة المتبعة:

١- المولدات ذات المرحلتين والتي تعتمد على دارات تغذية عكسية *RC* ومثال على ذلك المهتز عديم الاستقرار.

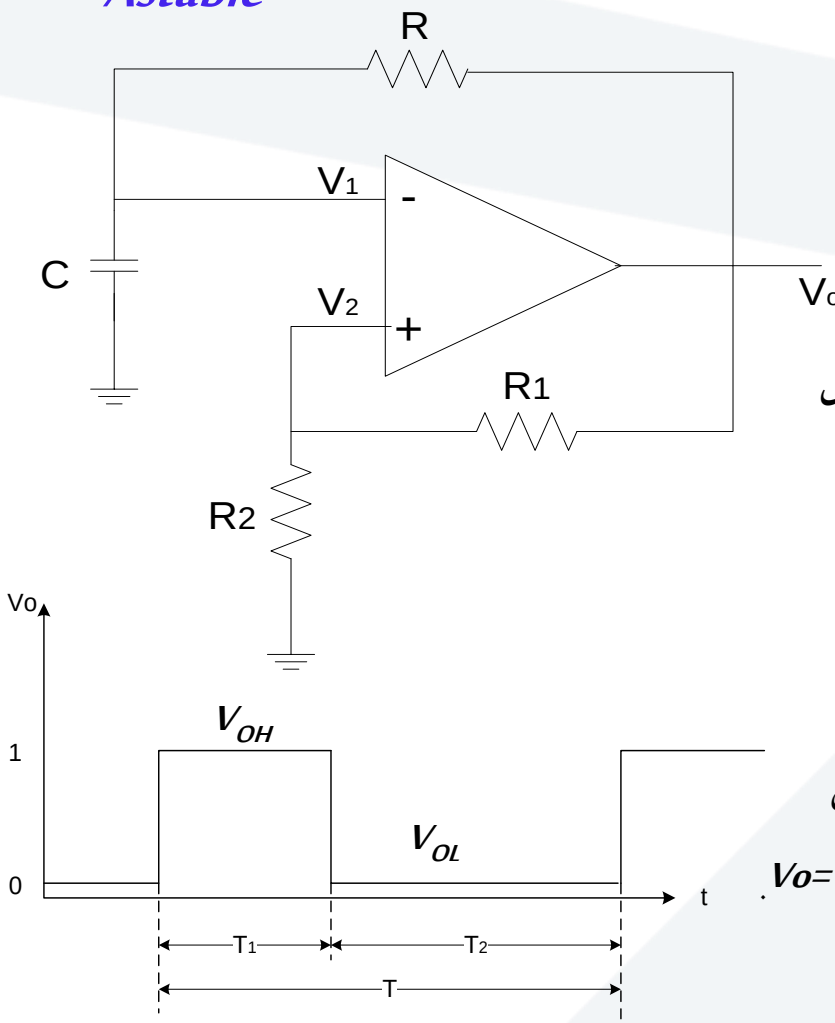
٢- المولدات ذات التغذية الرجعة مع تحويل في الإشارة وكمثال على ذلك مذبذبات المنبع.

- يمكن تصنيف مولدات الإشارة النبضية حسب العنصر الفعال المستخدم في المولد النبضي وهي على عدة أنواع نذكر منها:

١- مولدات باستخدام الترانزستورات. ٢- باستخدام المكبر العملياتي. ٣- باستخدام العناصر المنطقية.

دارة عديم الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

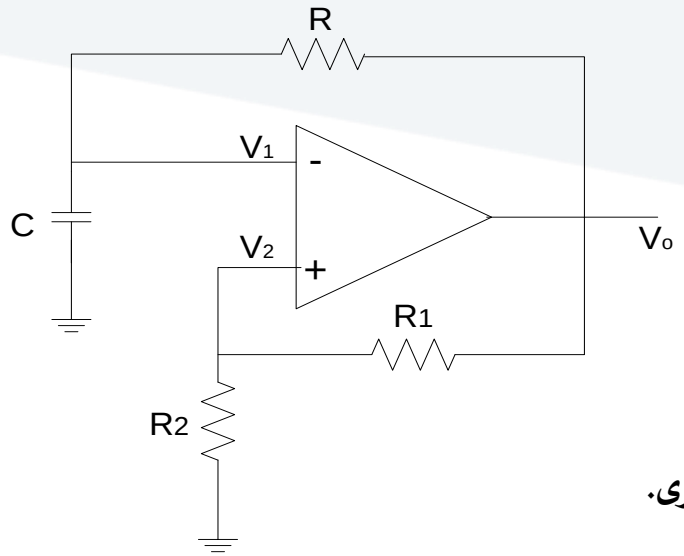
Astable



- إن دارة عديم الاستقرار ذات حالتين غير مستقرتين محددتين مسبقاً V_{OH}، V_{OL}.
- يتم الانتقال بين الحالتين بشكل آلي وذلك باستخدام دارة (RC) والتي تستخدم بشكل أساسي لتوليد النبضات المربعة.
- يبين الشكل المجاور دارة عديم الاستقرار باستخدام مكبر العمليات حيث توصل مقاومة R بين الخرج والمدخل العاكس ومكثف C بين المدخل العاكس والأرض.
- نفرض أنه عند وصل التغذية زاد V_+ عن V_- عندئذ سينتقل جهد الخرج إلى القيمة V_{OH} وذلك لأن $V_+ - V_- > 0$
- عندما $V_o=V_{OH}$ فإن $V_+=kV_{OH}$ وهذا يعني أن المكثف C سوف يشحن بثابت زمني $\tau=RC$ إلى القيمة V_{OH}.
- إن جهد المكثف هو نفس الجهد $V-$ وهو يشحن بشكل متزايد أسيا إلى V_{OH} ولن يصل إلى V_{OH} لأنه عند وصوله إلى قيمة أو أكبر بقليل $KV_{OH}=V+$ يصبح $V_+ - V_- < 0$ وبالتالي ينتقل خرج الدارة إلى الحالة غير المستقرة الثانية $Vo=V_{OL}$.

دارة عديم الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

Astable



- بذلك ينتقل الجهد المرجعي على الدخل غير العاكس ليصبح $V_+ = KV_{OL}$ ويسعى الجهد على المكثف C للوصول إلى قيمة V_{OL} ولكن عند وصوله إلى KV_{OL} أو إلى قيمة أقل بقليل يصبح $V_+ - V_- > 0$ أي أن $V_O = V_{OH}$.
- تتكرر هذه الحالات بشكل دائم ومع كل انتقال للجهد على الخرج من V_{OL} إلى V_{OH} أو بالعكس يحصل ما يلي:

١- تغير الجهد المرجعي $V_+ = KV_{OH}$. ٢- تغير اتجاه شحن المكثف إلى الجهد المرجعي.

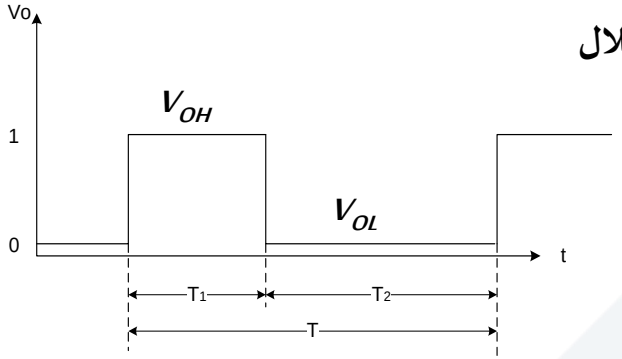
-- اعتبارات في تصميم دارة عديم الاستقرار

- يتم اختيار المقاومات R_1, R_2 انطلاقاً من علاقة K المحددة: $K = \frac{R_2}{R_1+R_2}$ نفرض إحدى قيم المقاومات ونحسب القيمة الأخرى.
- قيم $(C\text{-}R)$ تحدد الفترة الزمنية لعدم الاستقرار وذلك وفق الحالتين:

١- في حالة عدم التناظر بالتغذية أي في حالة أن $T_1 \neq T_2$ تحسب C و R بحيث تحقق متطلبات حساب T_1, T_2 واللذين يحسبان من خلال العلاقتين التاليتين:

$$T_1 = RC\frac{V_{OL}-KV_{OL}}{V_{OL}-KV_{OH}}, \qquad T_2 = RC\frac{V_{OH}-KV_{OL}}{V_{OH}-KV_{OH}}$$

إن قيم كل من K ، V_{OL} ، V_{OH} تكون معروفة ويكفي حساب قيم R ، C بحيث تحقق العلاقتين السابقتين.

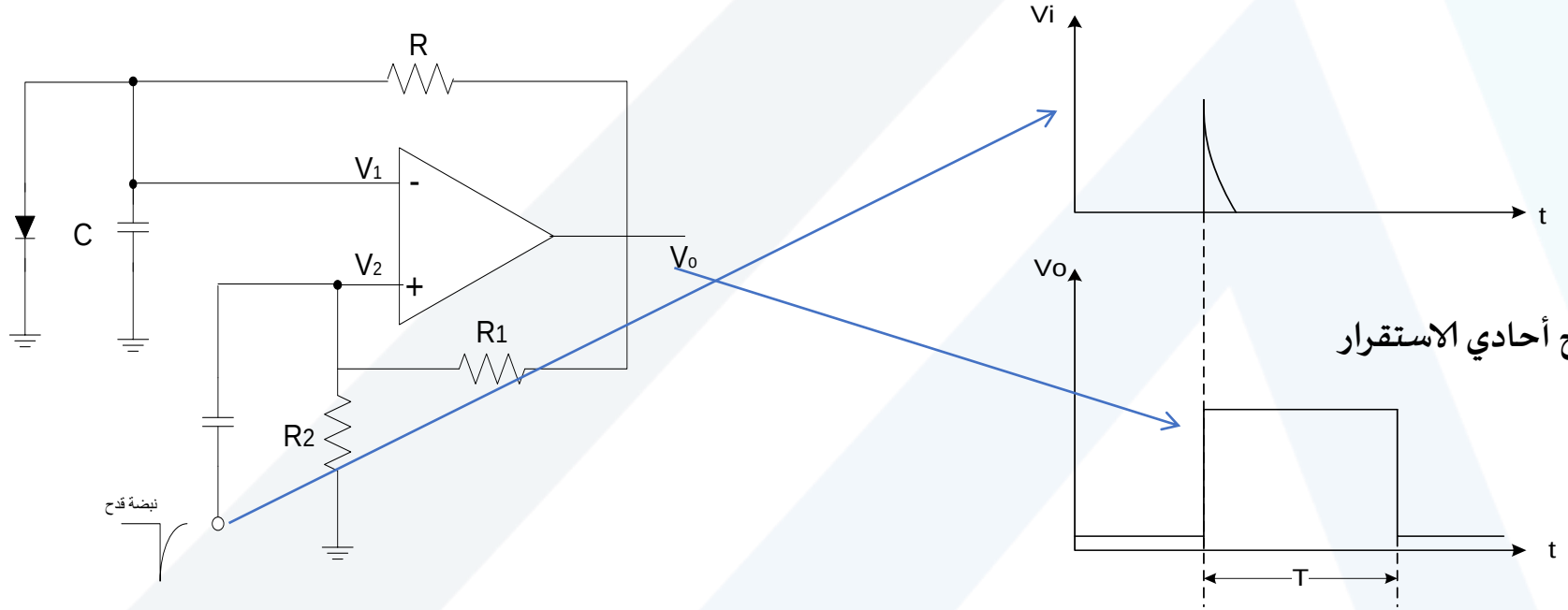


2. في حالة كون $T_1 = T_2$ يتم فرض قيمة محددة لـ C أو R ومن ثم تحسب القيمة الثانية.

دارة أحادي الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

Mono-stable

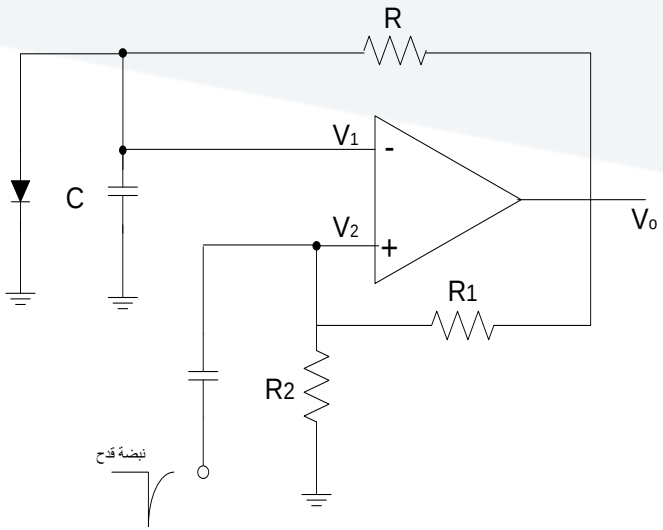
- لدارة أحادي الاستقرار حالة مستقرة وحيدة أي أن نبضة الخرج تكون ذات عرض زمني محدد .
- عند وصل التغذية يأخذ خرج المذبذب أحادي الاستقرار إحدى الوضعيات (0) مثلاً، ينتقل مستوى جهد الخرج لهذا المذبذب إلى الحالة (1) تحت تأثير نبضة قدح خارجية.
- يبقى المستوى (1) لفترة زمنية محددة (T) تتعلق ببارامترات وعناصر الدارة المستخدمة ثم تعود حالة الخرج بعد الزمن (T) إلى الحالة (0) ذات الجهد الأصغر.
- من أجل هذا، يسمى هذا المولد (المهتز) في بعض المراجع بالمهتز المنتظر اي أنه ينتظر نبضة القدح حتى يغير حالة خرجه إلى حالة أخرى لفترة زمنية T .



تغيرات إشارة خرج أحادي الاستقرار

دارة أحادي الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

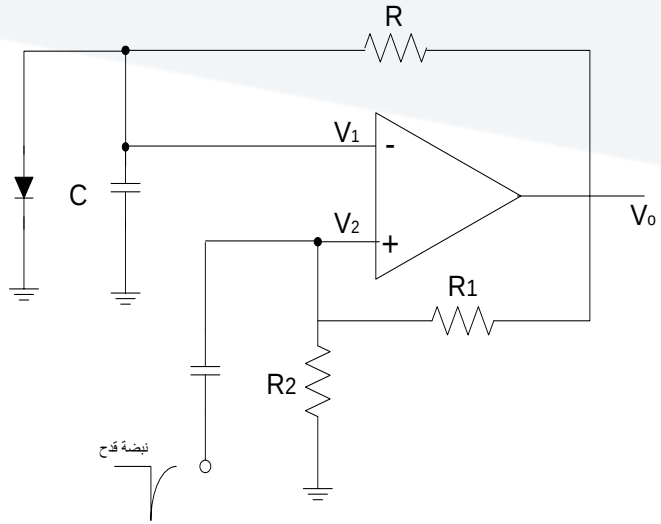
Mono-stable



- لأحادي الاستقرار حالتين: ١- حالة مستقرة وفيها $V_O = V_{OH}$. ٢- حالة غير مستقرة وفيها $V_O = V_{OL}$.
- يتم تغيير حالة الاستقرار إلى حالة غير مستقرة لفترة زمنية T بتطبيق نبضة قدح سالبة على المدخل V_+ لمضخم العمليات بمطال $A > |KV_{OH}|$ أو نبضة قدح موجبة على المدخل V_- لها نفس المطال بالقيمة المطلقة.
- إن إضافة ديود إلى دارة عديم الاستقرار بين المدخل السالب والأرضي يمكن من الحصول على دارة أحادي الاستقرار.
- إن وصل الديود يجعل المكثف أحادي الاتجاه (غير متناظر) وهذا يعني عزل المكثف عن العمل مدة نصف الدور.
- لنفرض أنه لحظة وصل التغذية كان $V_+ - V_- > 0$ وهذا يعني أن $V_O = V_{OH}$ و $V_- = 0$ و $V_+ = KV_{OH}$ وهذ الحالة هي الحالة المستقرة لدارة أحادي الاستقرار.
- من أجل تغيير حالة الاستقرار هذه تطبق نبضة قدح سالبة على المدخل (+) أو نبضة قدح موجبة على المدخل (-).
- إن تطبيق نبضة قدح يعني أنه يصبح $V_+ - V_- < 0$ وهذا يعني $V_O = V_{OL}$ يكون الديود منحازاً بشكل عكسي وهذا يعني أن المكثف C سيشحن عن طريق المقاومة R بثابت زمني RC نحو القيمة V_{OL} ولكن المكثف لا يصل إليها لأنه عندما يصل إلى KV_{OL} يقلب أحادي الاستقرار حالته إذ يصبح $V_+ - V_- > 0$ في هذه الحالة ويعود إلى الحالة المستقرة $V_O = V_{OH}$ ويبقى عليها حتى تطبيق نبضة قدح أخرى.

دارة أحادي الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

Mono-stable



الية تصميم أحادي الاستقرار

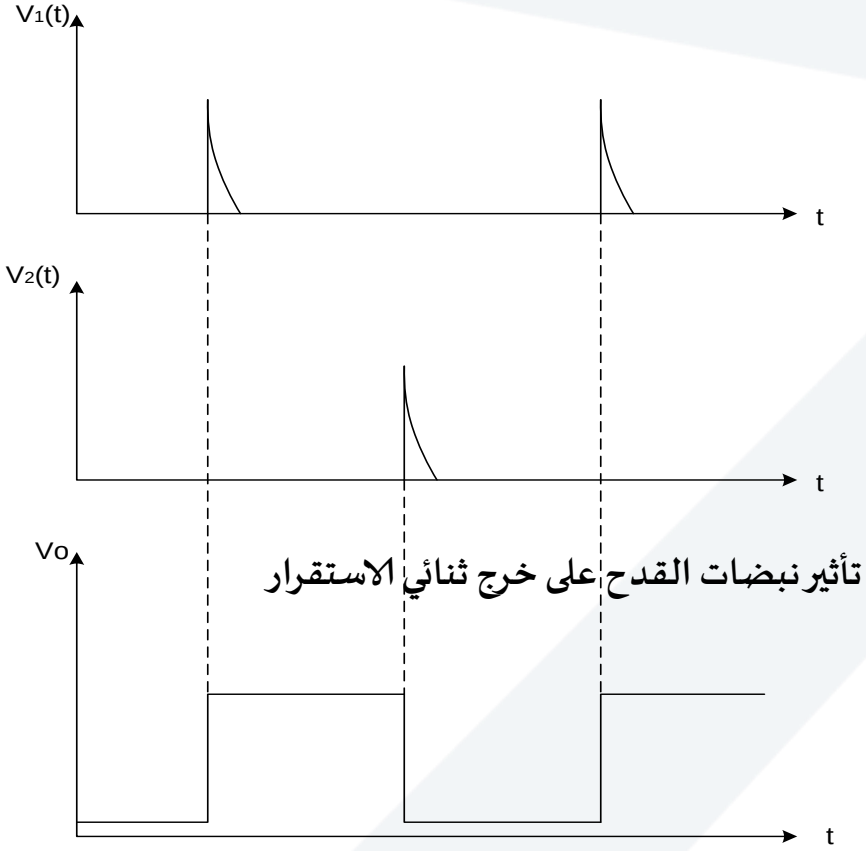
- يتم اختيار قيمة K وفقاً لمطالات نبضات القدح المفترضة إذ أن مطال نبضات القدح A يجب أن تحقق المتراجحة $A \geq KV_O$ ومن هنا يتم الحصول على قيمة K ويفضل اختيار $A > KV_{OH}$.
- بعد معرفة قيمة K يمكن حساب قيم R_1, R_2 وفق العلاقة: $K = \frac{R_2}{R_1+R_2}$ حيث نفرض إحدى القيم وتحسب الأخرى.
- العناصر R, C تحدد وفق زمن عدم الاستقرار المطلوب T وذلك وفق العلاقة التالية: $\mathbf{T} = \boldsymbol{RC\ ln}\ (1 + \frac{R_2}{R_1})$ وهنا يتم فرض قيمة لـ R أو C وحساب القيمة الأخرى

ملاحظة: إذا تم تطبيق سلسلة نبضات قدح فإنه يجب أن يكون الفاصل الزمني بين نبضتي قدح مساوياً $\Delta a > T+T'$ إذ أن T' يطابق الزمن اللازم لتفريغ المكثف إلى الجهد صفر عبر المقاومة الأمامية للديود .

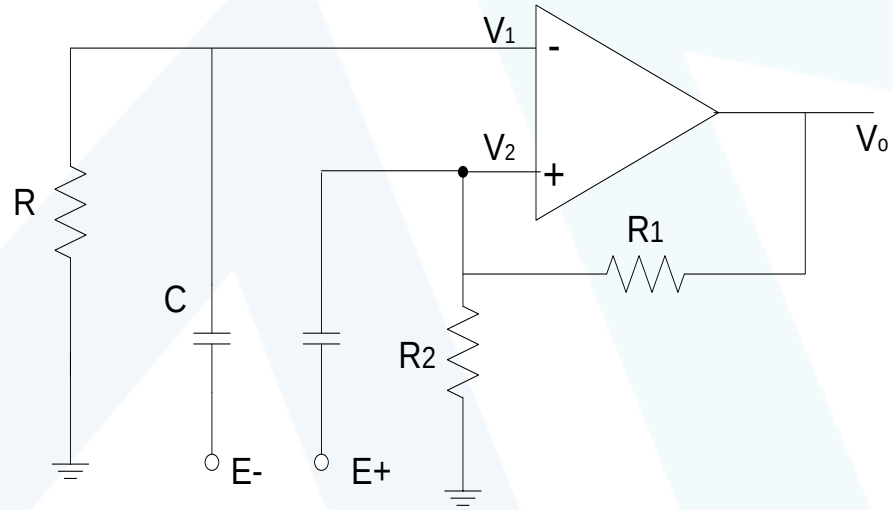
دارة ثنائي الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

Bi-stable

- يتمتع ثنائي الاستقرار بميزة وجود حالتين مستقرتين على خرجه، عند وصل التغذية المستمرة للدارة فإن الخرج يكون وباحتمالات متساوية بإحدى الحالتين المستقرتين.
- يتم الانتقال من حالة إلى أخرى تحت تأثير إشارات خارجية $V_1(t)$ و $V_2(t)$، بعد الانتهاء من تطبيق نبضات القدح يبقى الخرج في الحالة التي أدى إليها تطبيق آخر نبضة قدح أو بعبارة أخرى يتم حفظ أو تذكّر آخر حالة.
- يبين الشكل دارة ثنائي الاستقرار وكذلك تغير إشارة خرجها تحت تأثير نبضات القدح.



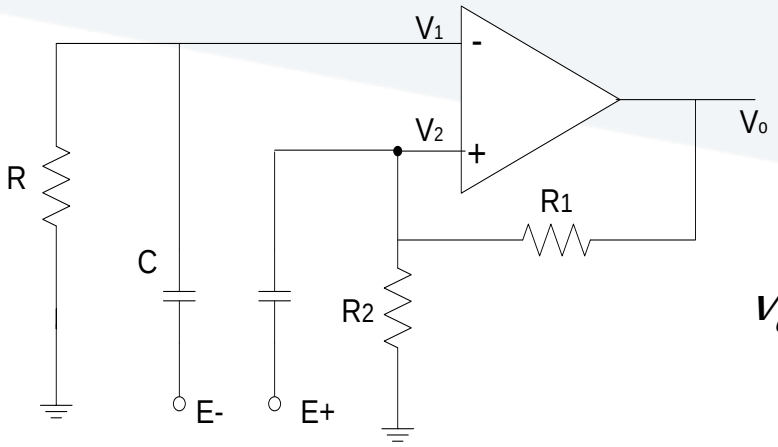
تأثير نبضات القدح على خرج ثنائي الاستقرار



دارة مولد النبضات ثنائي الاستقرار

دارة ثنائي الاستقرار باستخدام مضخم العمليات

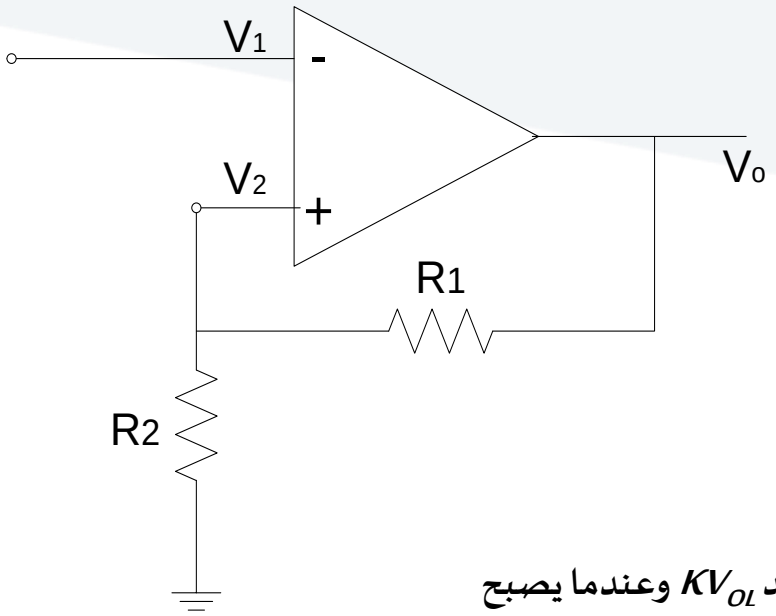
Bi-stable



- يبين الشكل المجاور دارة ثنائي استقرار باستخدام مكبر العمليات، لهذه الدارة حالتين مستقرتين: $V_O=V_{OH}$ و $V_O=V_{OL}$.
- من أجل الانتقال من حالة مستقرة إلى حالة مستقرة اخرى يتم تطبيق نبضات قدح سالبة على المدخل غير العاكس (+) أو موجبة على المدخل العاكس (-) ويجب ان يكون مطالها $A > K\,V_{OH}$ عندها ينتقل ثنائي الاستقرار إلى الحالة الثانية $V_O=V_{OL}$
- في الحالة الثانية الجهد على المدخل (+) يصبح KV_{OL} ومن أجل نقل حالة ثنائي الاستقرار للحالة الأولى يجب تطبيق نبضات قدح موجبة على القطب (+) أو سالبة على القطب (-) بحيث يكون مطال نبضات القدح A محققاً للمتراجحة $|A| > V_{OL}$ وعندئذ تستقر الدارة من جديد على الحالة الأولى $V_O=V_{OL}$
- يتم تطبيق نبضات القدح عن طريق مكثفات C من أجل حذف المركبة المستمرة إن وجدت.
- في تصميم دارة ثنائي الاستقرار يتم اختيار قيم المقاومات R_1، R_2 حسب قيمة K الذي يتحدد بمطال نبضات القدح المقترحة، أما قيمة R فيتم اختيارها كبيرة من أجل الحفاظ على جهد ذي قيمة مساوية للصفر على المدخل العاكس (-)

قادح شميث باستخدام مضخم العمليات

Schmitt Trigger

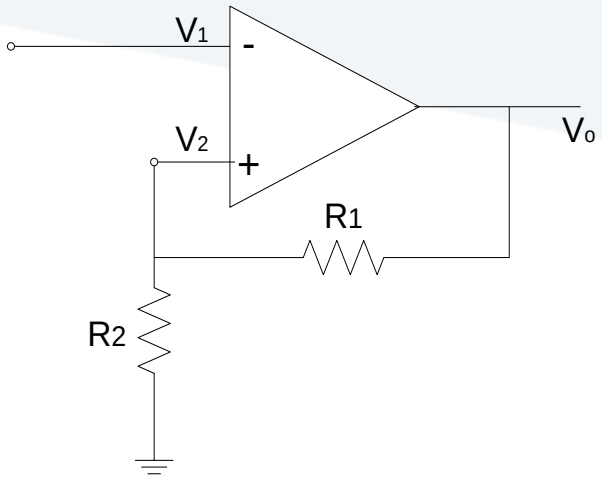


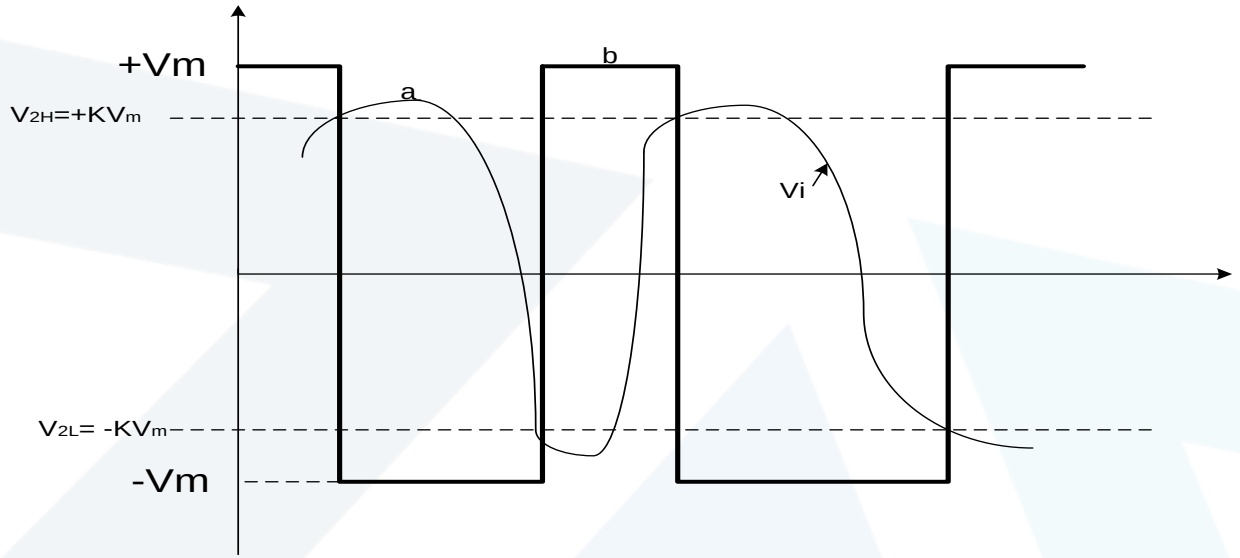
- يطبق جهد الدخل على المدخل السالب لمكبر العمليات ونفرض أنه بتطبيق جهد التغذية على مكبر العمليات فإن $V+ > V-$ وبالتالي $V+ - V- > 0$ هذا يعني أن $V_O=V_{OH}$.
- كي تتغير حالة الاستقرار يجب أن يزيد $V-$ بحيث يصبح $V+ - V- < 0$.
- عندما يبلغ $V-$ القيمة KV_{OH} ويزيد عنها بقليل يصبح $V+ - V- < 0$ فإن $V_O=V_{OL}$ وفي هذه اللحظة يتحدد الجهد $V+$ بالقيمة $V+ = KV_{OL}$.
- مهما زادت قيمة جهد المدخل $Vi =V-$ يبقى الخرج $V_O=V_{OL}$.
- إذا تناقص جهد الدخل لا تتغير حالة خرج المضخم التفاضلي حتى ينخفض جهد الدخل إلى قيمة أقل بقليل من الجهد KV_{OL} وعندما يصبح $V+ = KV_{OH}$ ومهما تناقص $V-$ لن تتغير قيمة الخرج $V+ = KV_{OL}$.
- تستخدم هذه الدارات بشكل أساسي من أجل: تشكيل الأشارة المربعة وحذف الضجيج بين قيمتين محددتين من قبل المضخم إن المجال الذي يمكن إلغاء الضجيج فيه هو: $H = KV_{OH} - KV_{OL}$.

إذا كان $V_{OH}= -V_{OL}=V_{max}$ فإن: $H = 2KV_{max}$ إذ أن V_{max} هو جهد تغذية مكبر العمليات.

Schmitt Trigger

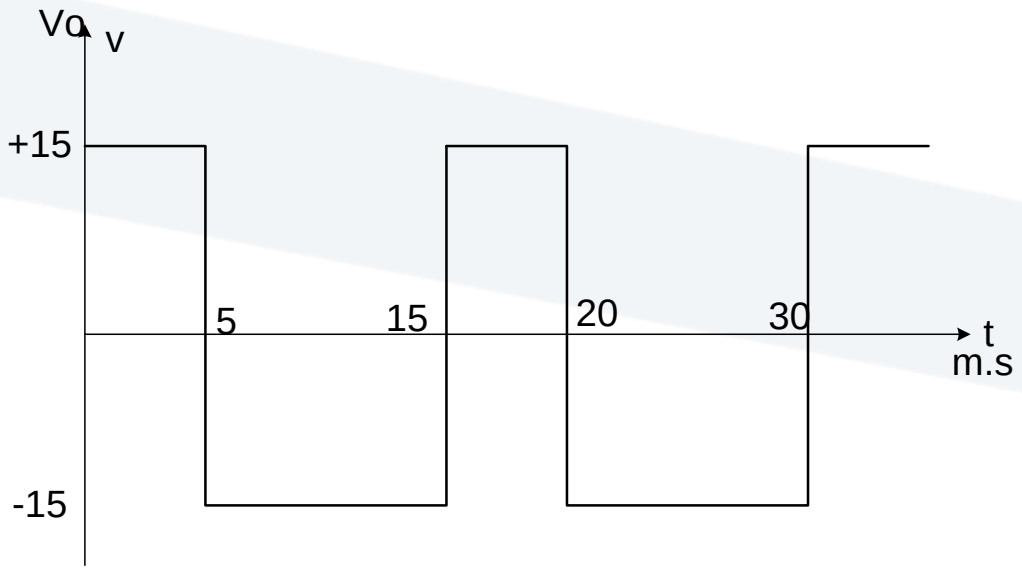
قادح شميث باستخدام مضخم العمليات





- لندرس كمثال على دارة قادح شميث الإشارة المبينة في الشكل إذا كانت هذه الإشارة مطبقة على المدخل -V لقادح شميث فإن إشارة الخرج تكون كما هو مبين في الشكل.
- لدى زيادة جهد الدخل عن KV_{OH} فإن جهد الخرج ينتقل إلى V_{OL} ويبقى كذلك حتى يتناقص جهد الدخل إلى قيمة أقل من KV_{OL} عندها يعود جهد الخرج إلى القيمة V_{OH} وهكذا...
- بذلك تتكون إشارة مربعة بمطالات (V_{OL}+V_{OH}) عند التقاطع KV_{OH} إذا كانت الإشارة متزايدة و KV_{OL} إذا كانت الإشارة متناقصة.

تمارين



مثال: المطلوب اختيار عناصر أحادي استقرار باستخدام مكبر عمليات، إذا كان عامل التغذية الخلفية $K=0.8\ V$ والتغذية اللازمة لانحياز مكبر العمليات $\pm 15\ V$ وذلك للحصول على الإشارة المبينة في الشكل:

الحل: حتى تعمل دارة أحادي الاستقرار المبينة سابقاً وتعطي على خرجها النبضات المذكورة يجب تطبيق نبضات قدح سالبة على المدخل الموجب لمضخم العمليات مطالها:

$$|A| \geq 0.8 \times 15\ v \quad Then \quad |A| \geq 12\ v \quad Then \quad R_2 = 4R_1$$

نفرض أن $R_1=10k\Omega$ فتكون $R_2=40\ k\Omega$ يتم تحديد R و C من زمن عدم الاستقرار وهو يساوي $10\ ms$

$$T = R.C \ln(1 + \frac{R_2}{R_1}) = R.C \ln 5 = 1{,}6.RC \rightarrow R.C = T/1{,}6 = 6{,}25\ ms$$

نفرض أن $R=62{,}5\ k\Omega$ فتكون $C=0.1\ \mu F$