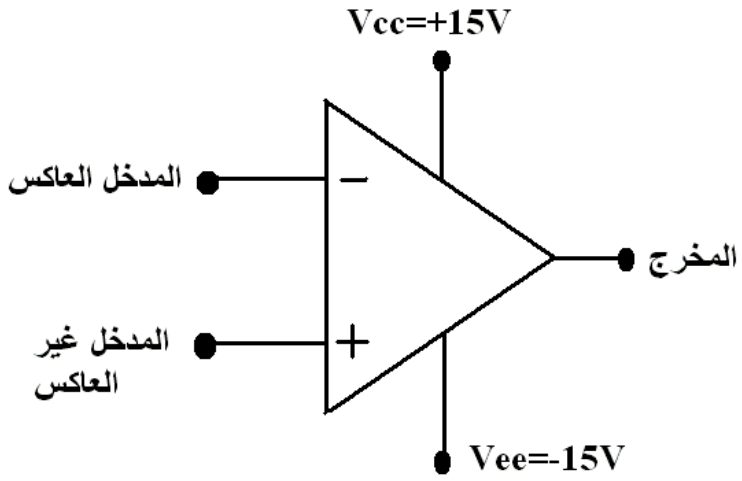
مقدّمة:

للحصول على إشارات إلكترونيّة مختلفة الشكل والتردّد نحتاج إلى دارات تسمّى المذبذبات، وسنتحدّث في هذا البحث المتواضع عن مذبذب قنطرة واين.

مضخّم العمليّات:

مضخّم العمليّات (Operational Amplifier) عبارة عن دارة متكاملة (Linear Integrated Circuit) تستخدم بكثرة في الأجهزة الإلكترونيّة في مجالات التحكم والاتصالات والحاسبات ومولّدات الإشارة وغير ذلك، وقد أطلق عليه اسم مضخّم العمليّات لأنّه صمّم في البداية للقيام بالعمليّات الحسابيّة، وقد تمّ اختراعه في الأربعينات خلال الحرب العالميّة الثانية، وكانت وظيفته هي القيام بالعمليّات الحسابيّة في أجهزة الحاسب الموجودة في ذلك الوقت، وطبعا المضخّمات الحديثة تختلف عن سابقاتها في طريقة صنعها وصغر حجمها وأدائها المتميّز، نرمز لمضخّم العمليّات بالرمز التالي:



الشكل(١-١) رمز مضخّم العمليّات

لمضخّم العمليّات مخرج واحد له مقاومة منخفضة جدّا، ومدخلان لهما ومقاومة عالية، أحدهما مدخل عاكس والآخر غير عاكس، حيث إذا سلّطنا إشارة على المدخل العاكس فإنّ قطبيّتها (Polarity) ستنعكس عند المخرج، أمّا إذا سلّطناها على المدخل غير العاكس فإنّ قطبيّتها (Polarity) ستبقى كما هي.

الخواصّ الأساسيّة لمضخّم العمليّات (Characteristics of op . amp):

عند الكلام عن خواصّ مضخّم العمليّات فسوف نفرّق بين المضخّم المثاليّ والمضخّم غير المثاليّ، علما أنّ المضخّم المثاليّ لا يمكن بناؤه على الإطلاق.

أ - الخواصّ المثاليّة للمضخّم (Ideal properties):

1) كسب الجهد للمسار المفتوح يساوي ما لا نهاية ∞= AVOL.
2) مقاومة الدخل تساوي ما لا نهاية $R_{in}=\infty$.
3) مقاومة الخرج تساوي صفر $R_o=0$.
4) له حيز تردّدات غير محدود (يساوي ما لا نهاية) $B=\infty$.
5) نسبة رفض (نبذ) الأسلوب المشترك تساوي ما لا نهاية CNMMR $= \infty$.
6) خواصّه (معاملاته) لا تتأثّر بتغيّرات درجة الحرارة.

ب - الخواصّ العمليّة لمضخّم العمليّات:

1) كسب الجهد للمسار المفتوح كبير جدّا حولي AVOL > 100 000
2) مقاومة الدخل كبيرة جدّا $R_{in}>200k\Omega$.
3) حيّز التردّدات كبير جدّا.
4) نسبة رفض الأسلوب المشترك كبيرة جدّا CMMR = 90 Db.
5) يمكن التحكّم في معاملاته عن طريق العناصر الخارجيّة الموصولة معه.

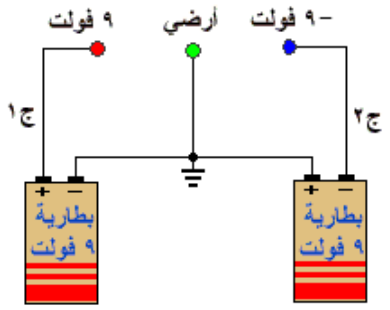
يوجد العديد من أنواع المضخّمات العمليّات منها μA 708 وأشهرها مضخّم العمليّات 741 والّذي له الخواصّ الآتية نقلا من جدول البيانات.

1) كسب المسار المفتوح AVOL > 200 000.
2) مقاومة الدخل $R_{in} = 2\ M\Omega$.
3) مقاومة الخرج $RO = 75\Omega$.
4) CMMR = 90 Db.

تشغيل مضخّم العمليّات:

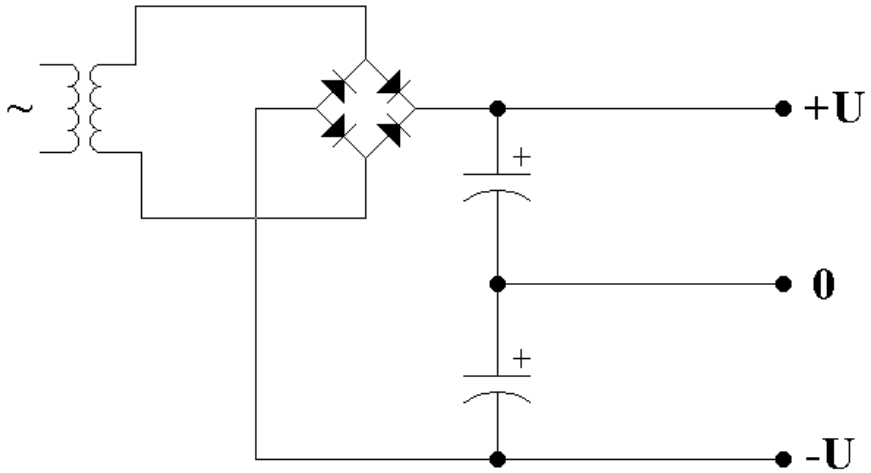
لتشغيل مضخّم العمليّات نحتاج إلى مصدر للتغذية قادر على إعطاء جهد موجب وآخر سالب يوصلان إلى نقطتي التغذية $(V_{cc}-V_{ee})$، يمكن تأمين هذا النوع من التغذية بإحدى الطرق التالية:

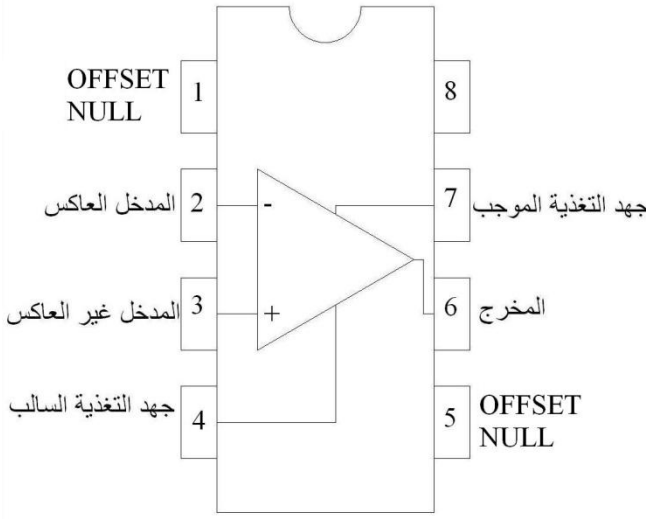
1) باستعمال بطاريتين:



الشكل(١-٢) توصيل بطاريتين

2) باستعمال دارة تغذية مستقرّة:





الشكل (١-٤) شريحة مضخّم العمليّات

يمكن إضافة طرفين آخرين لضبط الخرج على الجهد صفر عندما تكون إشارة الدخل صفرا (أطراف الدخل مترابطة مع بعضها) تسمى هذه الأطراف بأطراف تصفير الإزاحة (OFFSET NULL)، نضبط الخرج على الصفر عندما يكون الدخلان متساويين، نشغّل مضخّم العمليّات بجهدين متساويين ومتعاكسين مثل (V15+،V15-)، (V18 +،V18-)، وفي بعض الأحيان نستعمل جهدين غير متناظرين مثل (V18 +،V12-)، و(V30+،V0)، هذه المصادر للجهد توفّر القدرة اللازمة للتشغيل، وتحدّد أقصى مستوى لإشارة المخرج، هذه الجهود تسمّى جهود الإشباع وتحسب كالتالي:

$$+V_{sat} = +V_{\sup pmy} - 2V \quad \text{.....(1-1)}$$

$$-V_{sat} = -V_{\sup pmy} + 2V \quad \text{.....(2-1)}$$

مما يعني أنّ الخرج سيكون في حدود:

$$-V_{sat} < V_{out} < +V_{sat}$$

إشارة المدخل هي الفرق بين إشارتي المدخل العاكس والمدخل غير العاكس.

الدخل الفرقيّ V_d يعطى بالعلاقة:

$$V_d = V^+ - V^-$$

لتحديد مستوى إشارة الخرج لا بدّ أن نحدّد كسب مضخّم العمليّات، إذا لم نوصل مكوّنات خارجيّة نحصل على ما يسمّى كسب الدائرة المفتوحة (Open Loop Gain)، نحصل على هذه القيمة من ورقة المواصفات (Data sheet) للمضخّم، القيمة العمليّة لهذا الكسب هي $A_{o1} = 200000$ من هذا نحصل على:

$$V_{out} = A_{o1} Vd \quad \text{.....(4-1)}$$

طالما $V_{out} > V_{sat}$، إذا كان حاصل الضرب أكبر من V_{sat} يكون الخرج مساويا $+V_{sat}$ أو $-V_{sat}$ على حسب قيمة V_d.

مثال:

إذا كان جهد المصدر يساوي 15فو وكسب الدائرة المفتوحة 200000 حدّد أقصى جهد دخل فرقيّ لتجنّب الإشباع لإشارة الخرج، كرّر الحلّ لكسب دائرة مفتوحة بقيمة 50000.

الحلّ:

$+V_{sat}=+V_{supply}-2V=15V-2V=13V$

$-V_{sat}=-V_{supply}+2V=-15V+2V=-13V$

إذن أقصى خرج يجب أن لا يتعدّى 13V.

$$V_d = \frac{V_{out}}{A_{o1}} = \frac{13V}{200000} = 65\mu V$$

وعند $V_{o1}=500000$: $V_d = \frac{V_{out}}{A_{o1}} = \frac{13V}{500000} = 26\mu V$

إذا زاد الدخل عن القيم أعلاه فإنّ الخرج يصل للإشباع، هذا يعني أنّ الدخل الذي لا يوصل المضخّم إلى الإشباع بالنسبة للدائرة المفتوحة صغير جدّا، ولهذا يمكن اعتبار هذا الدخل متساويا في كلّ الحالات، ولهذا الفرض أهميّة كبيرة في مناقشة دوائر هذه المضخّمات.

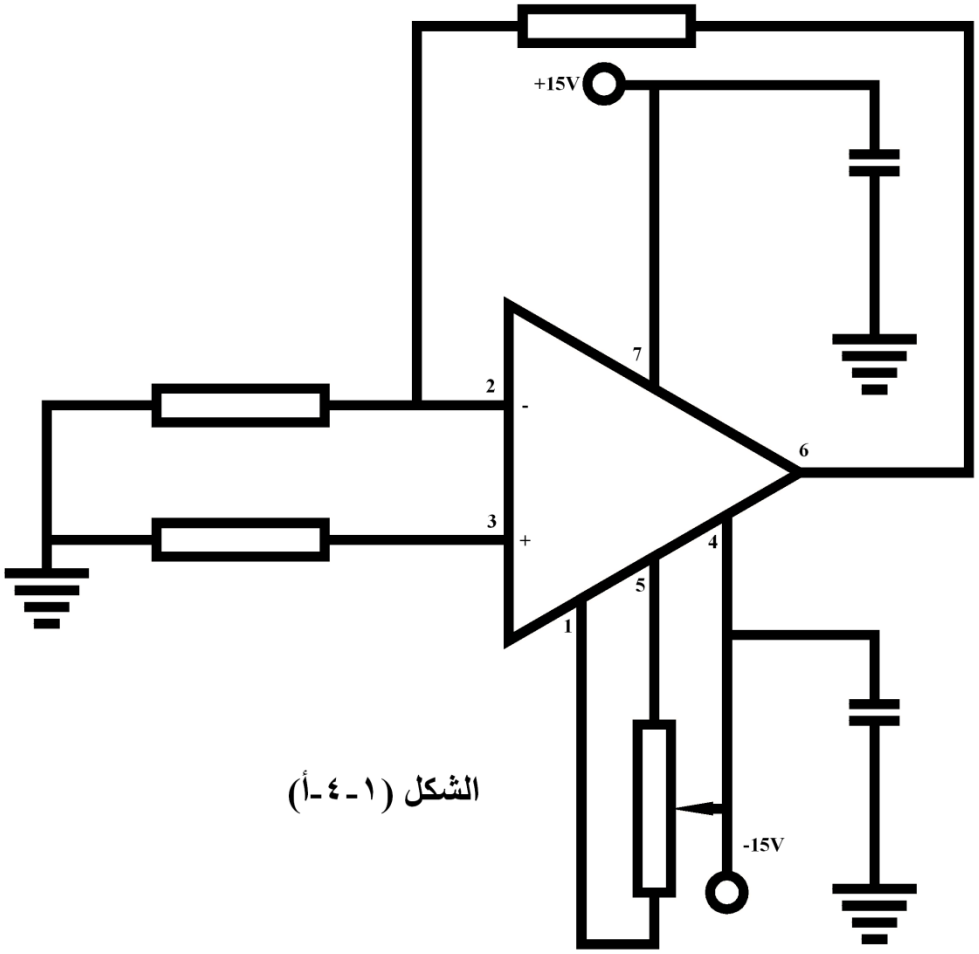
جهد موازنة (اتّزان) الدخل input offset voltage:

عند توصيل طرفي دخل مضخّم العمليّات بالأرض يجب أن يكون جهد خرج المضخّم يساوي صفرا، ولكن عمليّا لا يكون الخرج مساويا للصفر بل يساوي بضعة ميلي فولط، وذلك بسبب عدم التوافق الداخليّ لمكوّنات المضخّم.

ويعرف جهد موازنة الدخل (V_{os}) جهد الدخل الفارق (الجهد المستمر) اللازم لجعل جهد خرج المضخّم يساوي صفرا، ونموذجيّا يساوي (1mV) وللمضخّم 741 هذا الجهد يساوي (5mV).

ضبط الدخل للحصول على خرج يساوي صفرا:

يوجد لبعض مضخّمات العمليّات مثل المضخّم 741 طرفان لموازنة الجهد هما الطرف 1 والطرف 5 ويمكن توصيل مجزئ جهد بين طرفي الموازنة وتوصيل الطرف المنزلق بجهد المصدر كما في الشكل (1-4-أ)، ولضبط جهد الخرج على الصفر يوصل دخلا المضخّم بالأرض ثمّ يتمّ تحريك المنزلق حتّى يصبح جهد الخرج صفرا.



الشكل (١-٤-أ)

التغذية العكسيّة في مضخّمات العمليّات:

تحدّثنا عن كسب الدائرة المفتوحة وهي كمّيّة مفيدة، ولكن في معظم الأحيان نريد تجنّب الإشباع، ولهذا يصبح A_{o1} غير مرغوب فيه، نستخدم في هذه الحالة ما يسمّى بالتغذية العكسيّة (Feedback).

التغذية العكسيّة عبارة عن أخذ كلّ أو بعض من إشارة الخرج وإعادته إلى الدخل، يمكن أن نسمّي هذه التغذية بالتغذية العكسيّة أو التغذية الخلفيّة أو التغذية الرجعيّة أو التغذية الراجعة، وهناك نوعان من هذه التغذية هما:

- التغذية الرجعيّة السالبة: تؤدّي إلى تناقص إشارة الدخل.
- التغذية الرجعيّة الموجبة: تؤدّي إلى زيادة إشارة الدخل.

المذبذبات (The Oscillators):

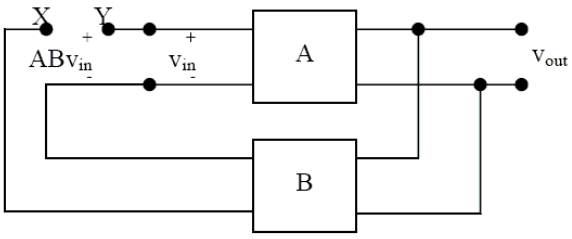
1. تمهيد:

تعتبر المذبذبات مهمّة في كثير من المعدّات الإلكترونيّة، فمثلا أجهزة البثّ الإذاعيّ تستخدم المذبذبات لإيجاد موجات مناسبة للبث وأجهزة الراديو تستخدم المذبذبات لاسقبال الموجات والاستماع إلى المحطّات المتنوّعة، المذبذب هو دائرة تولّد إشارة خرج بدون ضرورة وجود إشارة دخل، تستعمل المذبذبات كمصادر إشارة في كثير من التطبيقات، توجد أنواع كثيرة من المذبذبات، منها من تولّد إشارة جيبيّة ومنها من تولّد إشارة مربّعة ومنها من تولّد إشارة مثلّثة وأخرى إشارة أسنان المنشار، ترتكز المذبذبات على مفهوم التغذية الخلفيّة الموجبة حيث نسبة من إشارة الخرج ترجع في الدخل، دائرة مذبذب الكريستال تنتج ذبذبات مستقرّة لدرجة عالية جدّا، للحصول على تردّد عال باستخدام مذبذب البلّورة فإنّه يلزم استخدام بلورة ذات أبعاد صغيرة، عمليّا وجد أنّه لا يمكن إنتاج بلّورة تعطي تردّدا أعلى من 15MHz.

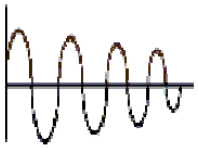
ولكن من خصائص لبلّورة أنّها تنتج تردّدات متوافقة مع التردّد الأساسيّ للبلّورة والذي هو عبارة عن عدد فرديّ من التردّد الأساسيّ أي $f_0, 3f_0, 5f_0$ وهكذا، ولذلك عند استخدام دائرة رنين ذات تردّد رنين يساوي أحد هذه التردّدات فإنّه يمكن الحصول على تردّدات عالية من بلّورة تنتج تردّدا أساسيّا أصغر نسبيّا.

2. كسب الدائرة وزاوية الطور:

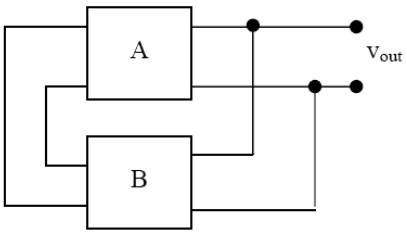
الشكل(3-1) يوضّح جهدا متناوبا (AC) على طرفي دخل المضخّم، جهد الخرج يعطى بالمعادلة: $V_{out}=AV_{in}$، إذا وصلنا العقدتين X و Y ونزعنا جهد الدخل نحصل على دائرة مغلقة كما هو موضّح في الشكل(3-3)، تكبير الدائرة المغلقة يساوي $A_{CL}=AB$ حيث A وB تكبير الدائرتين على التوالي.



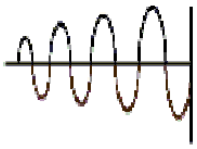
الشكل3 -1: جهد تغذية خلفية عند العقدة X



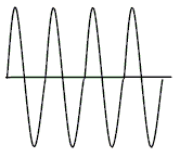
الشكل3 -2: إشارة جهد الخرج



الشكل3 -3: توصيل العقد X



الشكل3 -4: تذبذب إشارة الخرج



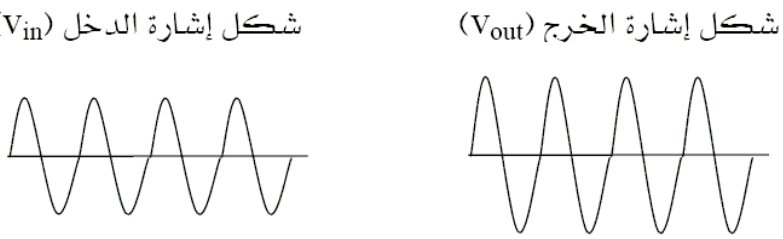
الشكل3 -5: سعة التذبذب تثبت

إشارة جهد الخرج في الشكل(3-3) تكون جيبيّة إذا تحقّق شرطان هما:

أ - $A_{CL}=AB$.

ب - إزاحة زاوية الطور بين إشارة الخرج بعد المضخّم A وإشارة الخرج بعد المضخّم B تساوي صفر(0) (الشكل3-6).

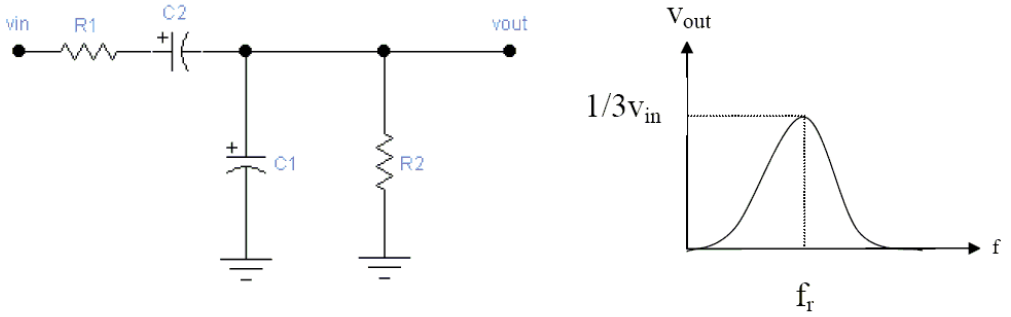
في هذه الحالة تأخذ إشارة الخرج الشكل الموضّح في الشكل(3-6).



الشكل3 -6: إزاحة زاوية الطور بين إشارة الدخل (V_{in}) و إشارة الخرج (V_{out}) تساوي صفر

3. مذبذب قنطرة(جسر) واين (Wien-Bridge Oscillator):

مذبذب قنطرة واين هو نوع من أنواع المذبذبات الجيبيّة، قنطرة واين ومنحنى استجابتها موضّحان في الشكل(3-7).



الشكل3 -7: قنطرة واين على اليسار و استجابتها الترددية على اليمين

عند التردّد التطابقيّ (f_r)، كسب الجهد $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{3}$ في حالة $R_1 = R_2 = X_{C1} = X_{C2}$.

والتردّد التطابقيّ يعطى بالعلاقة $f_r = \frac{1}{2\pi RC}$

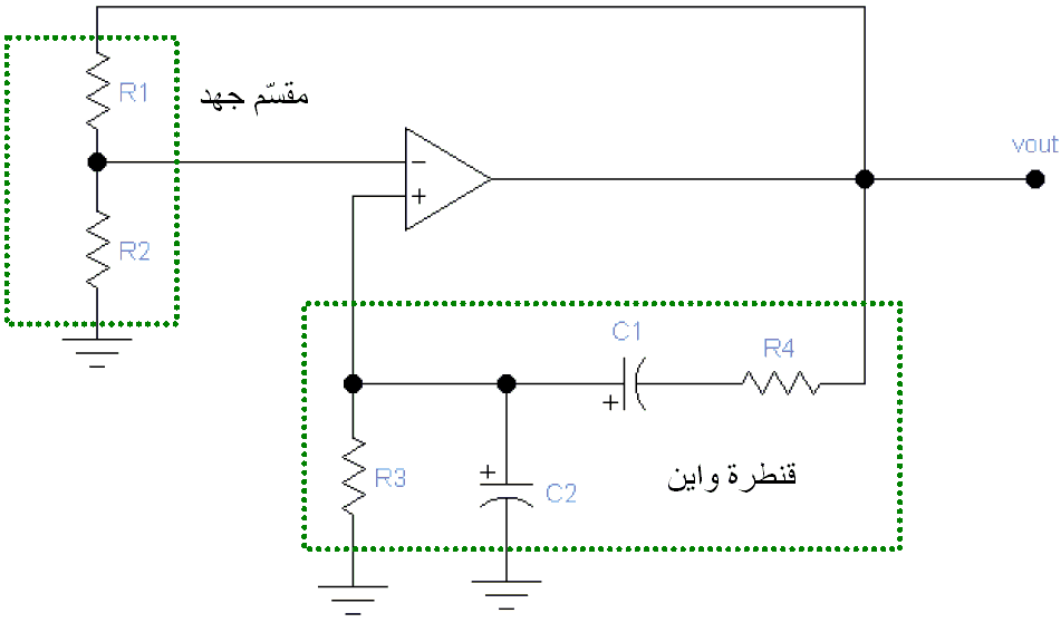
كسب جهد الدائرة المغلقة للمضخّم (A_{CL}) تحدّد من نوع مقسّم الجهد.

$A_{CL} = \frac{1}{B} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$ حيث B كسب جهد مضخّم عمليّات عاكس.

للحصول على إشارة جيبيّة يجب أن يتحقّق الشرطان المتعلّقان بالكسب الكلّيّ للدائرة المغلقة: (A_{CL}=1) وزاوية إزاحة الطور تساوي 0.

بالنسبة للشرط الأوّل: إذا كان $R_1=2R_2$ نحصل على: $A_{CL} = \frac{1}{B} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{3R_2}{R_2} = 3$

بالنسبة للشرط الثاني: فإنّه محقّق لأنّ التغذي الخلفية تتمّ من الدخل الموجب لمضخّم العمليّات.



الشكل3 -8: دائرة مذبذب قنطرة واين (Wien-Bridge Oscillator)