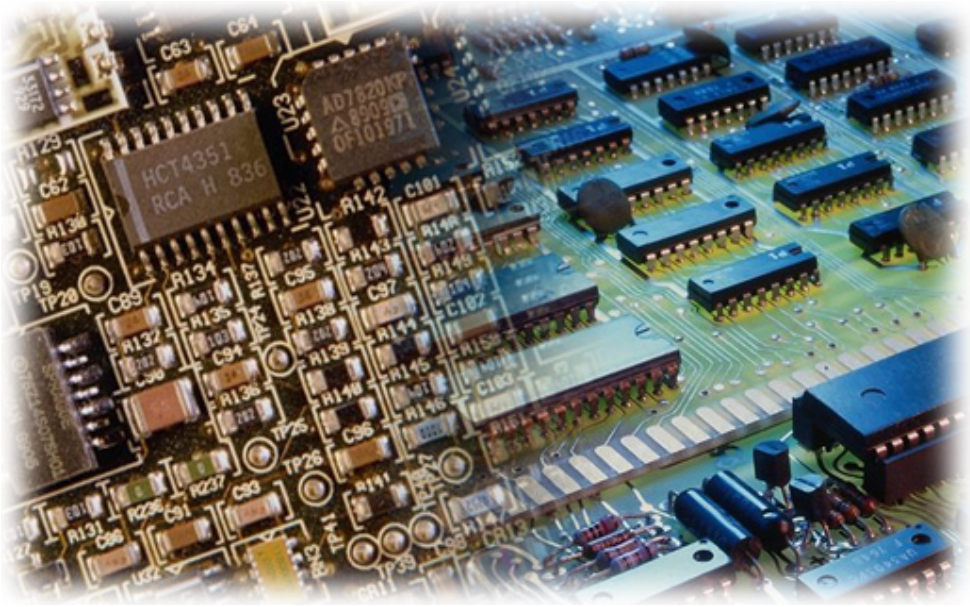
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكترونيات صناعية وتحكم

دوائر إلكترونية

٢٤٠ الك



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي، لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " دوائر الكترونية " لمتدربي قسم" إلكترونيات صناعية وتحكم " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

بعد دراسة العناصر الإلكترونية بالتفصيل كالمقاومة والمكثف والملف و الدايود والترانزستور و خلاف ذلك في المقرر "عناصر إلكترونية" يتطرق المتدرب في المقرر "دوائر إلكترونية" بدراسة مختلف الدوائر الإلكترونية المتكونة من مكبرات عمليات ومؤقتات ومذبذبات جيبية ومكبرات الترانزستور.

الدوائر الإلكترونية تستعمل بكثرة في الأجهزة الإلكترونية في مجالات التحكم والاتصالات والحاسبات ومولدات الإشارة وخلاف ذلك. يدرس المتدرب الدوائر الإلكترونية نظريا ثم عمليا و بعد ذلك يمكنه دراستها بواسطة الحاسب باستعمال برامج مختلفة مثل (Circuit Maker, EWB, PSPICE, ORCAD).

ينجز المتدرب العمل على شكل مشروع عندما تكون الدائرة الإلكترونية معقدة نسبيا ولا يمكن إنجازها في المعمل خلال حصة عادية. يتحقق المتدرب من استيعابه الدرس بمحاولته حل تمارين نموذجية.

الحقيبة التدريبية موجهة إلى فنيين. تعطى التعاريف والقوانين والاستنتاجات بدون التطرق إلى التفاصيل الطويلة و خاصة تلك التي تعتمد على مفاهيم رياضية معقدة و غير ضرورية.

تتكون هذه المذكرة من أربعة فصول وهي:

١. مكبرات العمليات.
٢. المؤقتات.
٣. المذبذبات الجيبية.
٤. مكبرات الترانزستور.

بعد كل فقرة يوجد تمرين نموذجي محلول و يكون على شكل تطبيق مباشر. في نهاية كل فصل أقترح على المتدرب حل التدريبات ذات الاختيار المتعدد وكذلك تمارين متنوعة. يتأكد المتدرب من صحة إجابته بالنظر إلى الحل الموجود في نهاية الوحدة. وفي نهاية دراسة المقرر "دوائر إلكترونية" يكتسب المتدرب المعرفة الأساسية في الدوائر الالكترونية المحتوية على مكبرات عمليات ومؤقتات ومذبذبات جيبية ومكبرات الترانزستور. يكون المتدرب قادرا على معرفة وظيفة أي دائرة مع حساب و قياس مقاومة الدخل و مقاومة الخرج و الكسب و النطاق و كذلك مجال استعمالها.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

دوائر الكترونية

مكبرات العمليات

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

١. مقدمة :

الأهداف السلوكية :

بعد دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من:

- ✓ فهم مهمات مكبر العمليات.
- ✓ معرفة المهمات المختلفة بين مكبر العمليات المثالي و الحقيقي.
- ✓ معرفة المقصود بالجهد المتشبع.
- ✓ التصنيف بين التغذية العكسية الموجبة و السالبة.
- ✓ استخراج العوامل الثابتة من كتب البيانات.
- ✓ وصف عمليات الدوائر المختلفة إضافة إلى المرشح الفعلي (العملي).

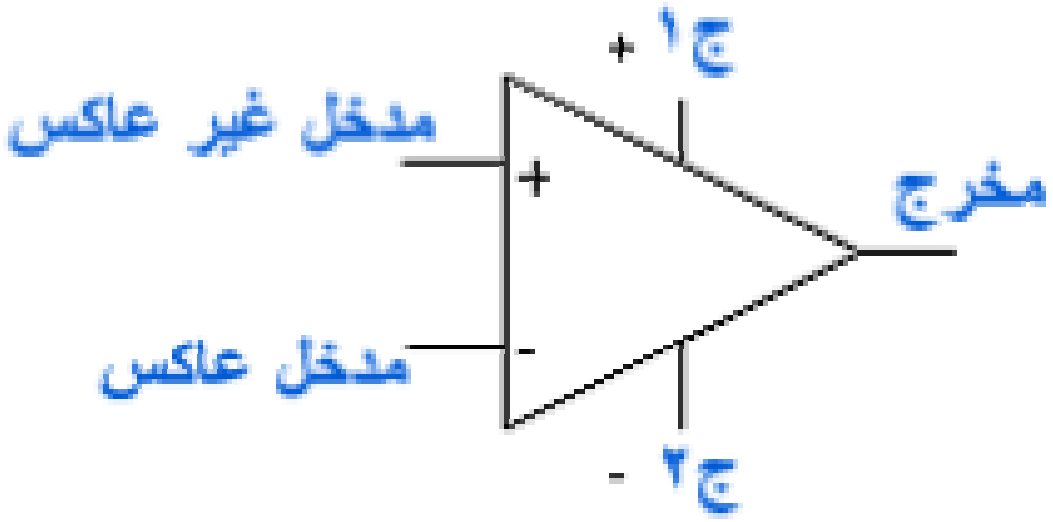
مكبر عمليات (Operational Amplifier) عبارة عن دائرة متكاملة (Linear Integrated Circuit) تستخدم بكثرة في الأجهزة الإلكترونية في مجالات التحكم و الاتصالات والحاسبات ومولدات الإشارة وخلاف ذلك.

ولقد أطلق عليه اسم مكبر عمليات لأنه صمم في البداية للقيام بالعمليات الحسابية من جمع وطرح وضرب وقسمة وغيرها من تكامل و تفاضل. وهو عبارة عن دائرة متكاملة مكونة من العديد من الدوائر بداخلها.

٢. نظرية وخصائص مكبر عمليات :

تم اختراع مكبر العمليات (Operational Amplifier) خلال الحرب العالمية الثانية في الأربعينيات وكانت وظيفته هي القيام بالعمليات الحسابية في الكمبيوترات الموجودة في ذلك الوقت. ولهذا سميت بمكبرات العمليات. وطبعاً المكبرات الحديثة تختلف عن سابقاتها في طريقة صنعها و صغر حجمها وأدائها المتميز. مكبر العمليات دائرة متكاملة (Integrated Circuit). والدائرة المتكاملة تحتوي على عدد كبير من الترانزستورات و المقاومات و المكثفات مدمجة في غلاف واحد.

نرمز للمكبر بالشكل التالي:



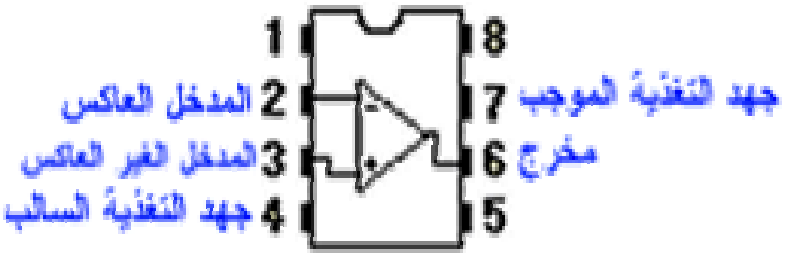
شكل١ -١: رمز مكبر عمليات

لمكبر العمليات خرج واحد و له مقاومة خرج منخفضة جداً. كما يوجد مدخلين: الأول يسمى المدخل العاكس (-)، و الآخر يسمى المدخل غير العاكس (+). وإذا سلطنا إشارة عند المدخل العاكس فإن قطبتها (Polarity) سوف تنعكس عند المخرج. أما الإشارة المسلطة عند المدخل غير العاكس فإن قطبتها لا يحدث لها أي تغيير عند المخرج.

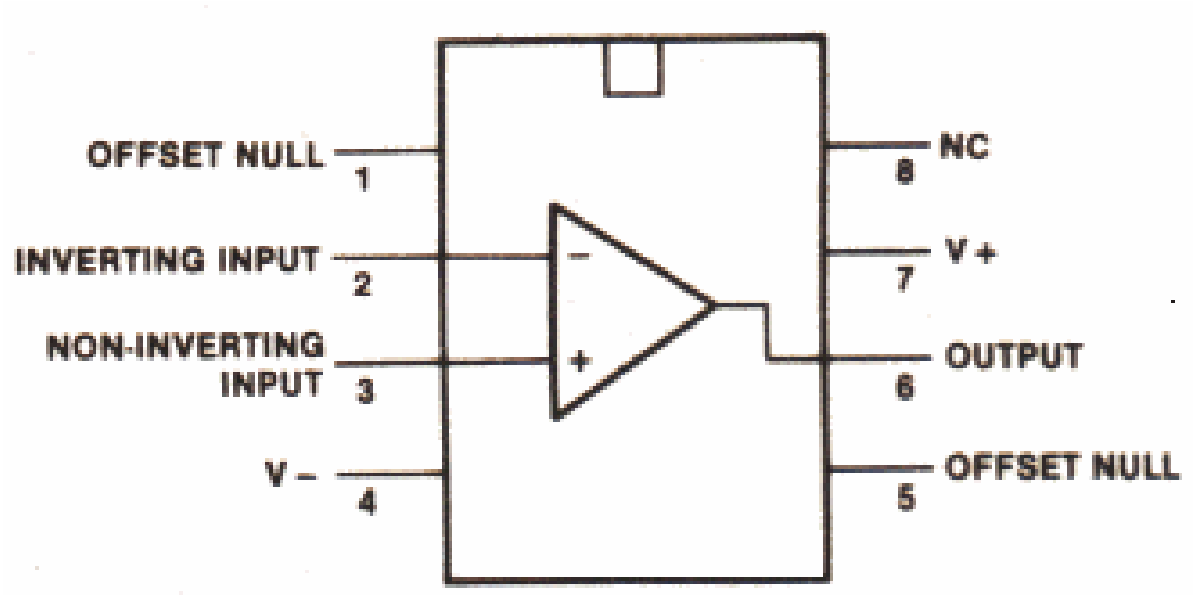
ومن خواص المداخل أنها تمتاز بمقاومة عالية.

لتشغيل المكبر نحتاج إلى مصدر للتغذية قادر على إعطاء جهد موجب وجهد سالب توصل إلى نقاط التغذية ج١ و ج٢.

المكبر٧٤١: من أشهر مكبرات العمليات نوع يسمى المكبر ٧٤١ (OP AMP ٧٤١) وهو مكبر مشهور وله استخدامات عديدة ويتوفر على شكل شريحة كما هو موضح بالشكل١ -٢ و الشكل١ -٣.



شكل١ -٢: شريحة مكبر



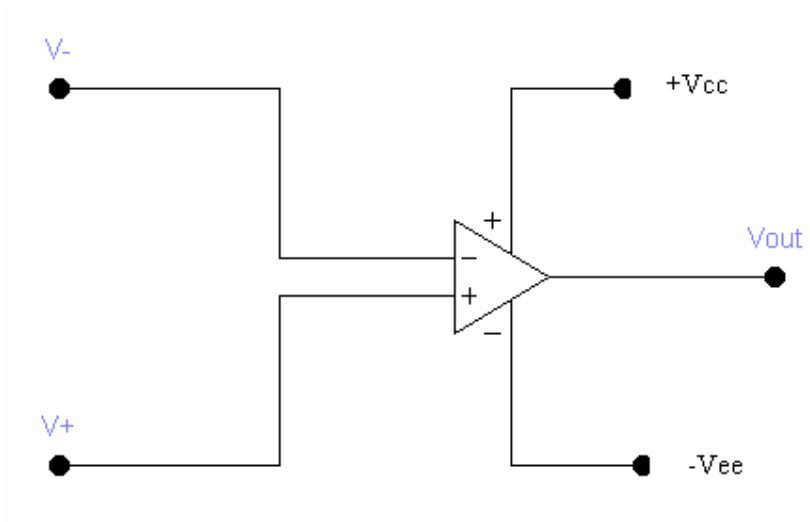
شكل١ -٣: شريحة مكبر

يمكن إضافة طرفين آخرين لضبط الخرج على الجهد صفر عندما تكون إشارة الدخل صفرا (أطراف الدخل مترابطة مع بعضها) تسمى هذه الأطراف أطراف تصفير الإزاحة (Offset Null). نضبط الخرجين على الصفر عندما يكون الدخلان متساويين. : الأطراف الرئيسية لمكبر عمليات موضحة في الشكل١ -٤.

نشغل مكبر العمليات بجهدين متساويين و متعاكسين مثل (١٥V,+١٥V)، (١٨V,+١٨V). في بعض الأحيان نستخدم جهدين غير متناظرين مثل (١٢V,+١٨V)، و (٠V,٣٠V). هذه المصادر للجهد توفر القدرة اللازمة للتشغيل و تحدد أقصى مستوى لإشارة الخرج، هذه الأخيرة تسمى جهود الإشباع و تحسب كالتالي:

$$+V_{sat} = +V_{Supply} - ٢\ V \qquad (١-١)$$

$$-V_{sat} = -V_{Supply} + ٢\ V \qquad (٢-١)$$



شكل١ -٤: أطراف رئيسية لمكبر عمليات

مم يعني أن خرج مكبر العمليات سيكون في الحدود:

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

إشارة الدخل هي الفرق بين الدخل غير العاكس والدخل العاكس.

الدخل الفرقي V_d يعطى بالعلاقة:

$$V_d = V^+ - V^- \qquad (٣-١)$$

لتحديد مستوى إشارة الخرج لابد أن نحدد كسب مكبر العمليات. إذا لم نوصل مكونات خارجية نحصل على ما يسمى كسب الدائرة المفتوحة (Open Loop Gain). نحصل على هذه القيمة من ورقة مواصفات المكبر (A_{ol}). القيمة العملية لهذا الكسب هي ٢٠٠ ٠٠٠. من هذا نحصل على:

$$V_{out} = A_{ol}V_d \qquad (٤-١)$$

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

مثال(١ -١):

إذا كان جهد المصدر يساوي V ١٥ و كسب الدائرة المفتوحة ٢٠٠,٠٠٠ حدد أقصى جهد دخل فرقي لتجنب الإشباع لإشارة الخرج. كرر الحل لكسب دائرة مفتوحة بقيمة ٥٠,٠٠٠.

الحل:

$$+V_{sat} = +V_{Supply} - ٢V = ١٥V - ٢V = ١٣V$$

$$-V_{sat} = -V_{Supply} + ٢V = ١٥V - ٢V = \square ١٣V$$

إذاً أقصى خرج لا يجب أن يتعدى ١٣V.

$$V_d = V_{out}/A_{ol} = ١٣V/٢٠٠٠٠٠ = ٦٥\mu V$$

وعند $A_{ol} = ٥٠٠٠٠٠$: $V_d = V_{out}/A_{ol} = ١٣V/٥٠٠٠٠٠ = ٢٦\ \mu V$

إذا زاد الدخل عن القيم أعلاه فان الخرج يصل للإشباع. هذا يعني أن الدخل الذي لا يدخل المكبر في الإشباع بالنسبة للدائرة المفتوحة صغير جدا و لهذا يمكن اعتبار هذا الدخل متساويا في كل الحالات و لهذا الفرض أهمية كبرى في نقاش دوائر المكبرات هذه.

مقاومة الدخل:

مقاومة الدخل الكبيرة تعني أن هذا المكبر لن يؤثر على مصدر إشارة الدخل حيث إن مقاومة الدخل عمليا في حدود (١ MΩ) مما يجعل الحمل على إشارة الدخل (التيار) صفرا.

مقاومة الخرج:

مقاومة الخرج تكون أيضا صغيرة ولهذا يمكن استخدام المكبر في تجانس المقاومة رغم أن هذا ليس العمل الأساسي لهذا المكبر.

٣. التغذية الخلفية في مكبرات العمليات:

تحدثنا عن كسب الدائرة المفتوحة و هي كمية مفيدة و لكن في معظم الأحيان نريد تجنب الإشباع و لهذا يصبح A_{ol} غير مرغوب فيه. نستخدم في هذه الحالة ما يسمى بالتغذية الخلفية (Feedback).

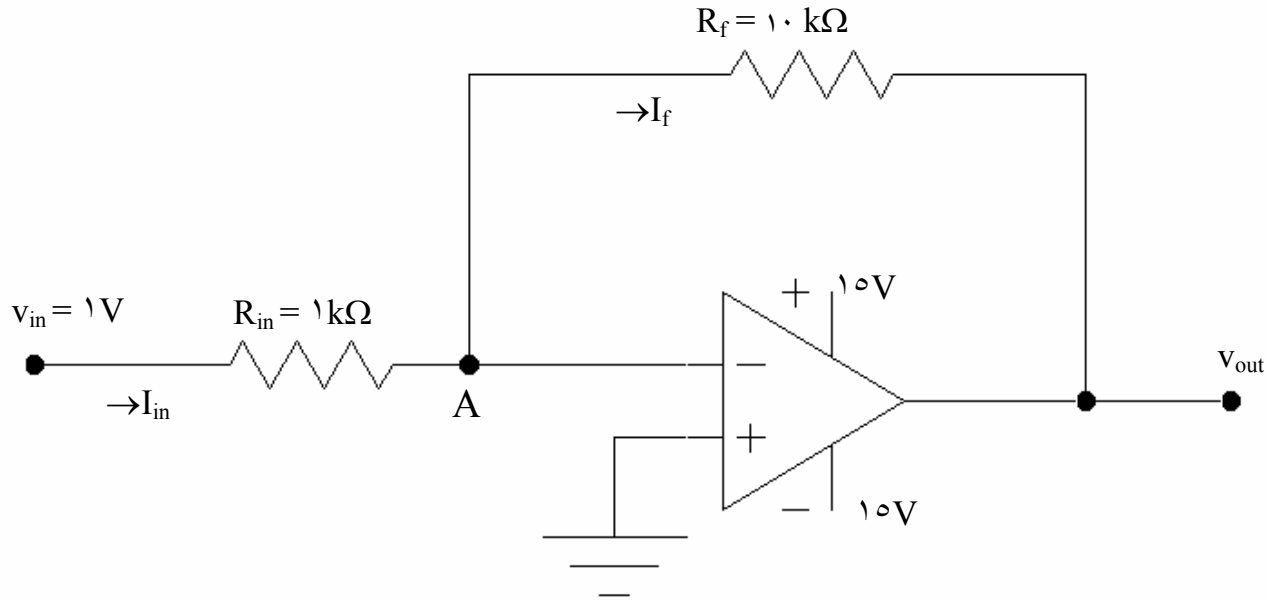
التغذية الخلفية هي عبارة عن أخذ كل أو جزء من إشارة الخرج و إعادتها إلى الدخل.

هناك نوعان من التغذية الخلفية: تغذية خلفية سالبة و أخرى موجبة. التغذية الخلفية الموجبة تؤدي لزيادة إشارة الدخل والتغذية الخلفية السالبة تؤدي لتناقص إشارة الدخل. في دوائر مكبرات العمليات نستخدم التغذية الخلفية السالبة حيث إن دخل قليل جدا كاف لإيجاد خرج كبير من المكبر و لذا فإن التغذية الخلفية الموجبة ستدفع إشارة الخرج للإشباع بسرعة و هذا لن يكون ذا فائدة في التكبير.

الشكل١ -٥ يوضح مثال للتغذية الخلفية السالبة. سنفترض أن الإشارة في الخرج خارج الإشباع و لذا تكون الإشارة V_d أقل من ٦٥ μV.

بما أن الدخل غير العاكس على مستوى جهد الأرض فإن الدخل على النقطة A يكون: $-٦٥\ \mu V < V_A < +٦٥\ \mu V$

هذا الجهد لصغره المتناهي يمكن افتراض أنه يساوي صفر وهذه النقطة تسمى نقطة الأرض الافتراضي (Virtual Earth). لذا سنفرض دائما $V_A = ٠\ V$.



شكل١ -٥: التغذية الخلفية السالبة

ثانياً بما أن مقاومة الدخل لهذه المكبرات كبيرة جدا فيمكن القول أن $Z_{in} >> R_f$

و هذا يعني أن كل التيار الذي يمر بمقاومة الدخل R_{in} يمر أيضا بمقاومة التغذية الخلفية R_f تقريبا حيث إن التيار الذي يدخل إلى المكبر يساوي صفر تقريبا. إذا كتبنا معادلة التيارات سنجد:

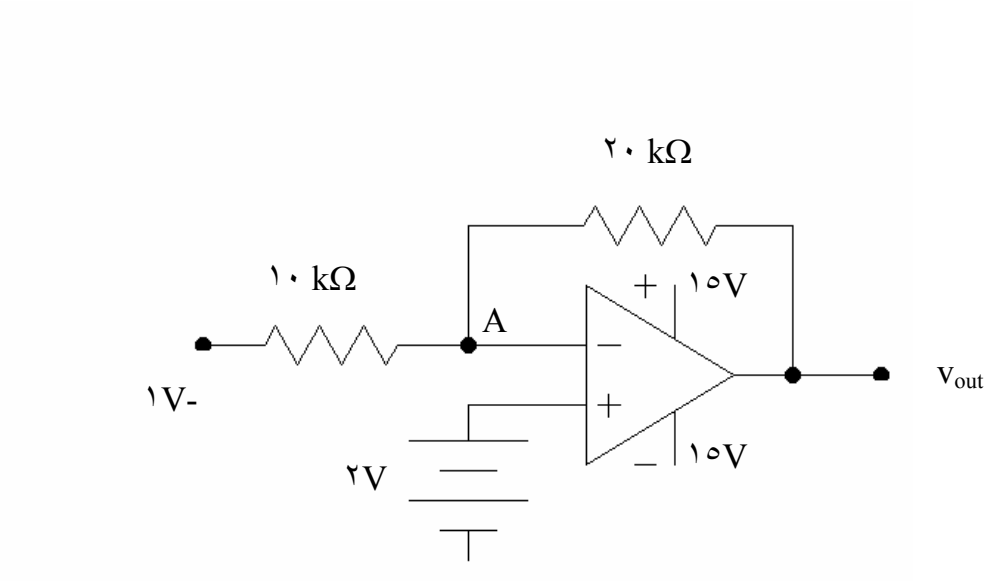
$$I_{in} = (V_{in} - V_A) / R_{in} \quad (٥-١)$$

$$I_f = (V_A - V_{out}) / R_f \quad (٦-١)$$

لكن هذين التيارين متطابقين و $V_A = ٠$ ، إذن: $V_{in} / R_{in} = - V_{out} / R_f$

بوضع $V_{in} = ١$ V ، $R_{in} = ١k\Omega$ ، $R_f = ١٠k\Omega$ نجد $V_{out} = \square ١٠V$.

مثال١ -٢: احسب جهد الخرج للدائرة بالشكل ١ -٦



شكل١ -٦

الحل:

نفرض أن الخرج خارج الإشباع نجد: $V_A = ٢V$. بكتابة معادلات التيار نجد:

$$I_{in} = (V_A - V_{in}) / ١٠\ k\Omega$$

$$I_f = (V_{out} - V_A) / ٢٠\ k\Omega$$

$$I_{in} = I_{out}$$

نعوض $V_A = ٢$ V ، $V_{in} = \square ١$ V نجد $V_{out} = ٨$ V

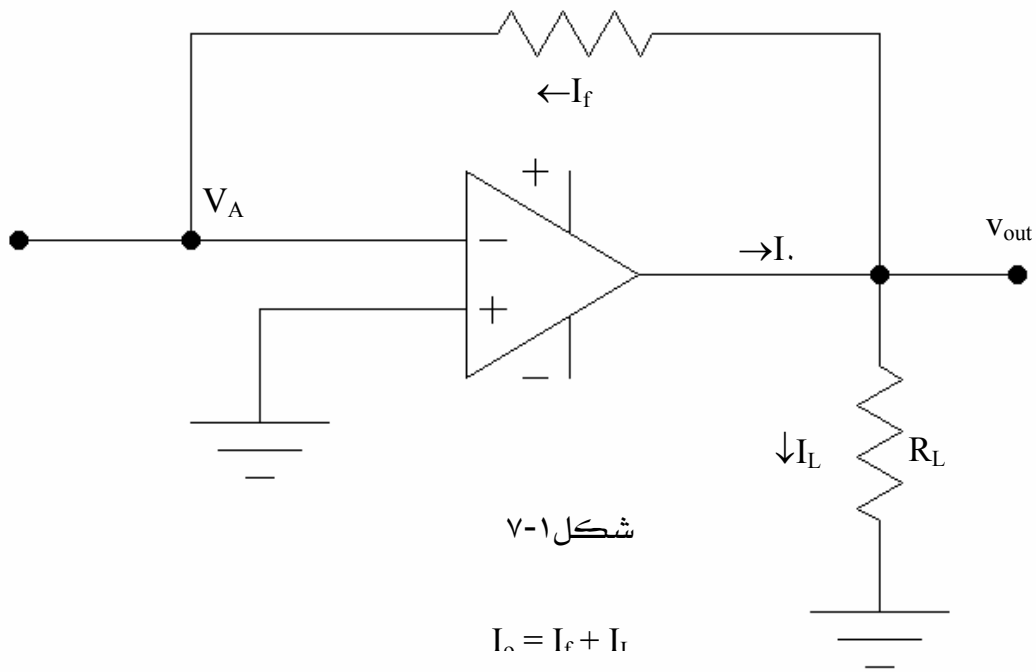
٤. مواصفات مكبرات العمليات:

٤ -١. جهد المصدر: يكون هذا جهد مصدر تغذية للمكبر و يكون متناظرا عادة (مثل مع ٧٤١) و يحدد أقصى جهد للخرج (بتحديد قيم جهد الإشباع).

٤ -٢. الدخل الفرقي(V_d): وهو يساوي جهد الدخل غير العاكس ناقص جهد الدخل العاكس.

$$V_d = (V^+ - V^-) \qquad (١ -٧)$$

٤ -٣. القدرة المستهلكة(PD): و هي حاصل ضرب التيار في الخرج و الجهد بين طرفي الخرج و الدخل للمكبر. هذه قدرة قصوى و تقلل باستخدام معامل تناقص القدرة مع ازدياد درجة الحرارة.



شكل١-٧

$I_o = I_f + I_L$

٤ -٤. درجة حرارة التشغيل: هي حدود درجات الحرارة التي سيعمل عندها المكبر. إذا تجاوزت هذه الحدود ربما عمل المكبر بصورة غير متوقعة أو لا يعمل مطلقا.

٤ -٥. مقاومة الدخل: و هذه هي المقاومة بين أطراف الدخل و يجب أن تكون كبيرة جدا (٢ MΩ للمكبر ٧٤١).

٤ -٦. مدى جهد الدخل: أقصى مدى يعمل عنده المكبر كما توضح أوراق المواصفات مثلا للمكبر ٧٤١ مدى جهد الدخل من ١٣V□ إلى ١٣V+ مع جهد مصدر١٥V□ و١٥V+.

٤ -٧. كسب جهد الإشارات الكبيرة: هو كسب الدائرة المفتوحة و هو كبير جدا في العادة. للمكبر ٧٤١ يساوي هذا الكسب ٢٠٠V/١mV أي ٢٠٠,٠٠٠ .

٤ -٨. أقصى مدى لجهد الرج: ويحدد المدى الأقصى بجهد المصدر و الحمل. عند الحمل الصغير يقترب المدى من جهد المصدر و عند الحمل الكبير يبتعد عنه. عند حمل صغير (أقل من ١٠kΩ) للمكبر ٧٤١ يتراوح مدى الجهد من ١٤ V□ إلى ١٤ V+ و عند حمل كبير (أكبر من ٢kΩ) يتراوح مدى الجهد من ١٣ V□ إلى ١٣ V+.

٤ -٩. نسبة رفض الإشارات النسق المشترك(CMMR): يعرف كسب النسق المشترك بأنه $A_{cm} = -v_{out}/v^+$ حيث $v^+=v^-$ وصلة صريحة. و غلبا ما يكون A_{cm} أقل بكثير من الوحدة($A_{cm} = \square$ ٠,٠١ قيمة نموذجية). تحدد حساسية كسب النسق المشترك من نسبة رفض النسق المشترك(CMMR) والمحدد بالمعادلة التالية: $CMMR = A_{ol}/A_{cm}$

وبالديسيبل(db): $CMMR_{db} = ٢٠\log(A_{ol}/A_{cm}) = ٢٠\log(CMMR)$

تتراوح القيم النموذجية CMMR بين ١٠٠ و ١٠٠٠٠ و تتراوح قيم $CMMR_{db}$ المقابلة بين ٤٠ و ٨٠db.

٤ -١٠. معدل تغير إشارة الخرج (Slew Rate): ويحدد سرعة تغير مستوى إشارة الخرج و كلما ارتفعت هذه القيمة كلما زاد التردد الأقصى الذي يستطيع المكبر أن يتعامل معه. بالنسبة للمكبر ٧٤١ قيمة هذا المعدل هي ٠,٥ V/μs. هذا يعني أن الإشارة جيبية بقيمة قصوى ١ V تردد ٨٠ Hz. كلما زادت القيمة القصوى كلما تناقص التردد.

نحصل على ذلك من المعادلة للإشارة الجيبية:

$$S_R=\Delta v_{out}/\Delta t \qquad (٨- ١)$$

٥. المكبر المثالي و المكبر الحقيقي:

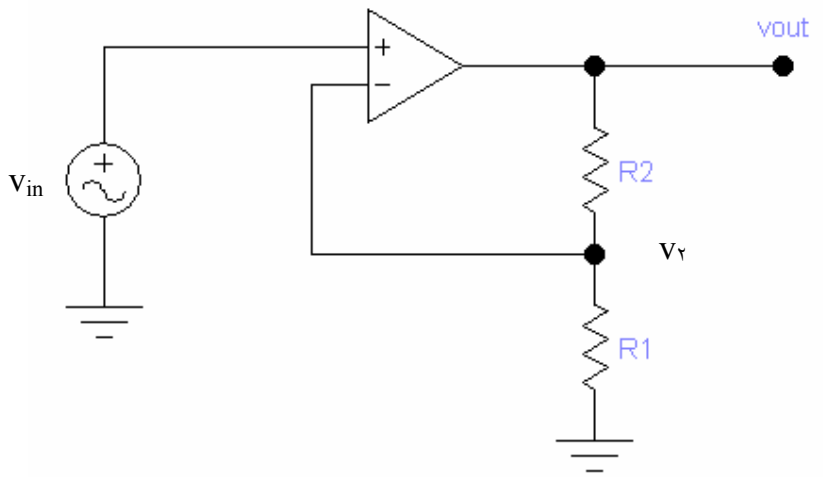
بعض القيم لمكبر عمليات مثالي و حقيقي لدائرة مفتوحة نقلناها في الجدول١ -١

القيمة	الرمز	مكبر مثالي	LM٧٨٤١C	LF١٥٧A
كسب جهد دائرة مفتوحة	A_{ol}	∞	١٠٠,٠٠٠	٢٠٠,٠٠٠
مقاومة الدخل	R_{in}	∞	٢MΩ	$١٠^{١٢}\Omega$
مقاومة الخرج	R_{out}	٠	٧٥ Ω	١٠٠ Ω

جدول١ -١: قيم مكبر عمليات مثالي وحقيقي

في حالة دائرة مغلقة هذه القيم تختلف و تتعلق بالطبع بالدائرة.

مثال١-٣: في الشكل١-٨ حدد كسب الجهد للدائرة في حالة مكبر مثالي و في حالة مكبر حقيقي.



شكل١-٨: شكل المثال١ -٣

الحل:

في حالة مكبر مثالي: الجهد v_{in} يساوي الجهد v_2 لأن المكبر مثالي.

$v_{in} = v_2 = R_1/(R_1+R_2)v_{out}$ من قانون توزيع الجهد.

و منه نجد كسب الجهد للدائرة المغلقة:

$$A_{cl} = v_{out}/v_{in} = R_2/R_1 + 1$$

في حالة مكبر حقيقي: لدينا

$v_2 = R_1/(R_1+R_2)v_{out}$ ، ليكن $B = v_2/v_{out}$ حيث $v_{out} = A_{ol}(v_{in}-v_2)=A_{ol}(v_1-Bv_{out})$

بالتعويض نجد $A_{cl} = v_{out}/v_{in} = A_{ol}/(1+A_{ol}B)$

٦. تطبيقات مكبر العمليات:

٦ -١. مكبر عاكس (Inverting Amplifier):

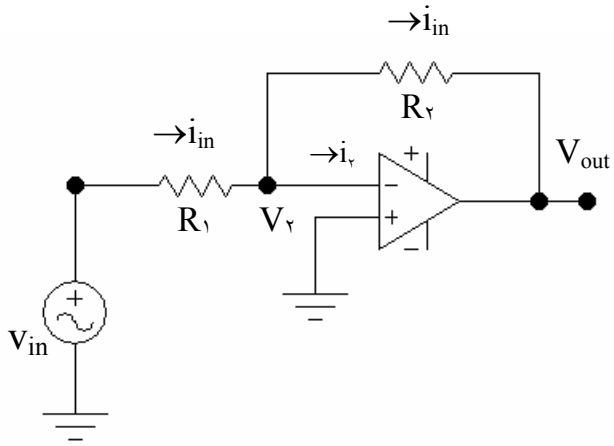
هذا يعتبر التطبيق الأساسي لمكبر العمليات.

مفهوم الأرض الافتراضي: لمكبر عمليات مثالي كسب جهد دائرة مفتوحة لانهائي و مقاومة دخل لانهائية. من هذا نستطيع القول (شكل١ -١٠) :

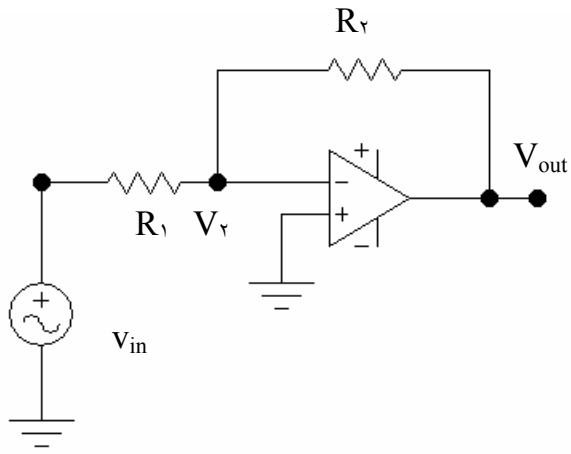
أ. بما أن مقاومة الدخل($R_{in} = \infty$) إذن $i_2 = 0$.

ب. بما أن $A_{ol} = \infty$ إذن $v_2 = 0$.

بما أن التيار الذي يدخل المكبر من الإشارة السالبة(-) يساوي صفر إذا التيار الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار الذي يمر في المقاومة R_2 كما هو موضح في الشكل١ -١٠.



شكل١-١٠: مفهوم الأرض الافتراضي



شكل١-٩: مكبر عاكس

مفتوح للتيار($i_2 = 0$) وموصل للجهد($v_2=0$).

كسب الجهد:

بما أن ($v_2 = 0$) إذا $v_{in} = i_{in}R_1$ و كذلك $v_{out} = -i_{in}R_2$.

بقسمة v_{out} على v_{in} نحصل على كسب الجهد A_{cl} للدائرة المغلقة الموضحة في الشكل١ -١٠.

$$A_{cl} = v_{out}/v_{in} = -i_{in}R_2/ i_{in}R_1 = -R_2/R_1 \qquad (١ -$$

لاحظ أن الإشارة الخارجة عكس الإشارة الداخلة.

النطاق(Bandwidth):

نطاق الدائرة المفتوحة أو تردد القطع لمكبر عمليات صغيرة جدا بسبب وجود مكثف.

في حالة مكبر ٧٤١C : $f_{2(ol)} = 10Hz$.

وفي حالة تغذية خلفية النطاق يزداد و يعطى بالعلاقة التالية:

$$f_{2(cl)} = f_{unity} / (A_{cl} +1) \qquad (١ -$$

مثال١-٤ :

في الشكل١-١١ جهد الخرج v_{out} غير معروف. احسب كسب جهد الدائرة المغلقة و النطاق. احسب جهد الخرج عند ١ kHz. وعند ١ MH.

الحل:

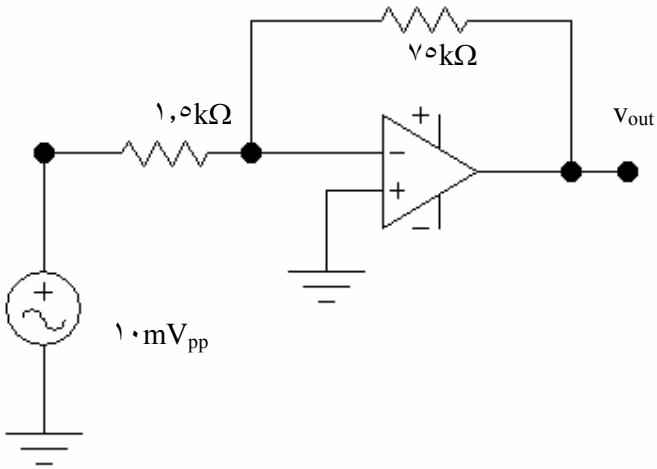
باستعمال المعادلة (١ -٩) كسب جهد الدائرة المغلقة يساوي: $A_{cl} = ٧٥k\Omega/١,٥k\Omega = ٥٠$

باستعمال المعادلة (١-١٠) نطاق الدائرة المغلقة تساوي: $f_{r(cl)} = ١MHz/٥٠ = ٢٠kHz$

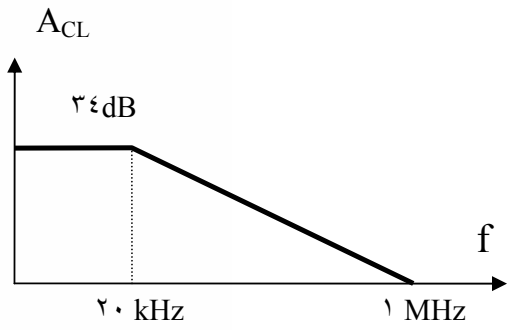
جهد الخرج عند ١ kHz هو: $v_{out} = ٥٠(١٠mV_{pp}) = ٥٠٠mV_{pp}$

بما أن ١ MHz هو كسب التردد الأحادي فإن جهد الخرج عند ١ MHz يساوي: $v_{out} = ١٠\ mV_{pp}$

الشكل١-١٢ يبين رسم بود (Bode) المثالي لكسب جهد لدائرة مغلقة. القيمة المكافئة بالديسيبل (decibel) لـ ٥٠ هي ٣٤dB (بطريقة مختصرة: ٥٠ هي نصف ١٠٠، أو أقل بـ ٦ dB من ٤٠dB).



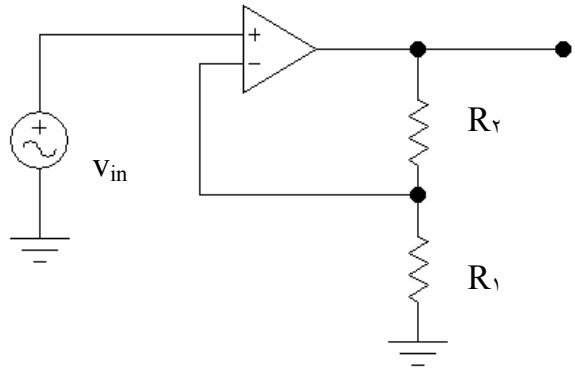
شكل١ -١١: مكبر عاكس للمثال١ -٤



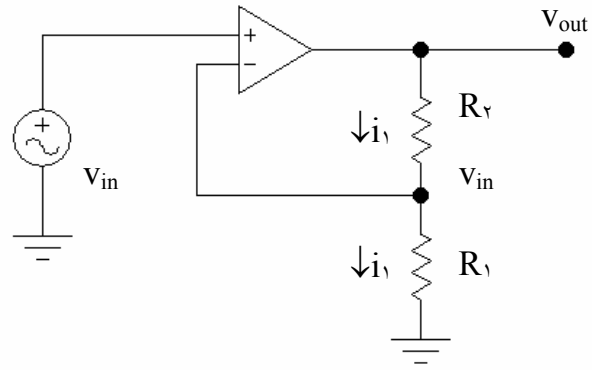
شكل١ -١٢: النطاق في المثال١ -٤

٦ -٢. مكبر غير عاكس(Noninverting Amplifier):

دائرة مكبر غير عاكس موضحة في الشكل١-١٣.



شكل١ -١٣: مكبر غير عاكس



شكل١ -١٤: الجهد بين المقاومتين يساوي جهد الدخل و نفس التيار يمر في المقاومتين R_1 و R_2.

في حالة مكبر مثالي، التيار الذي يدخل مكبر العمليات من الطرف(+) يساوي صفر و التيار الذي يدخل من الطرف(-) يساوي صفر. فرق الجهد بين مدخلا مكبر العمليات يساوي صفر. إذا جهد الدخل v_{in} يساوي الجهد بين المقاومتين R_1 وR_2. والتيار(i_1) الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار(i_2) الذي يمر في المقاومة R_2.

كسب الجهد:

بتطبيق قانون توزيع الجهد على مقاومتين نحصل على المعادلة التالية:

$$v_{in} = R_1 / (R_1 + R_2)v_{out} \qquad (١١-١)$$

و منه نحصل على كسب الجهد(A_{CL}) لمكبر العمليات لدائرة مغلقة (شكل١ -١٤) لمكبر غير عاكس.

$$A_{CL} = v_{out} / v_{in} = (R_2+R_1) / R_1 = (R_2 / R_1) + 1 \qquad (١٢-١)$$

لاحظ أن الإشارة الخارجة و الإشارة الداخلة غير متعاكستان.

النطاق(Bandwidth):

نطاق الدائرة المفتوحة أو تردد القطع لمكبر عمليات صغيرة جدا بسبب وجود مكثف.

في حالة مكبر ٧٤١C : $f_{2(ol)} = 10$ Hz.

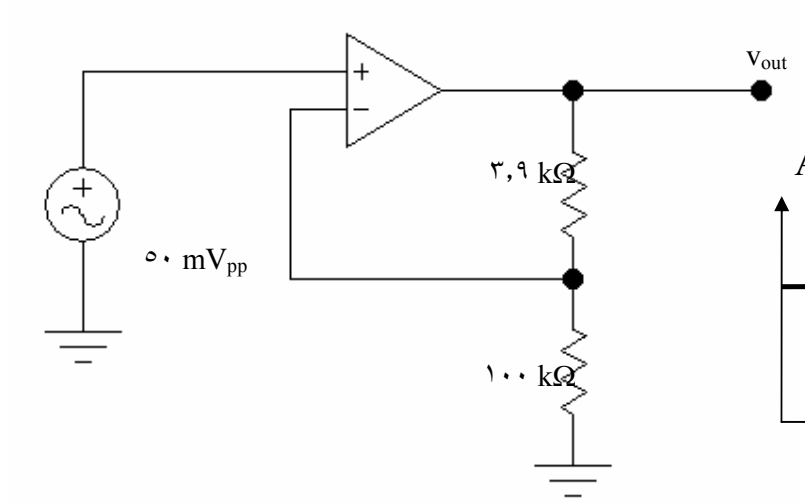
وفي حالة تغذية خلفية النطاق يزداد و يعطى بالعلاقة التالية:

$$f_{2(cl)} = f_{unity} / (A_{cl} + 1) \qquad (١٣-١)$$

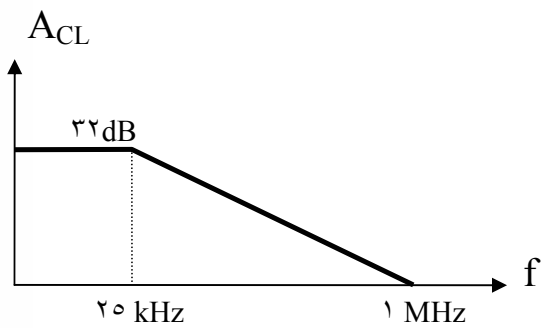
مثال١ -٥:

في الشكل١-١٥ احسب كسب جهد الدائرة المغلقة (A_{CL}) و النطاق ($f_{٢(CL)}$).

أحسب جهد الخرج عند ٢٥٠ kHz.



الشكل١ -١٥: مكبر غير عاكس للمثال١ -٥



الشكل١ -١٦: النطاق

الحل:

$$A_{CL} = (٣,٩\ k\Omega / ١٠٠\Omega) + ١ = ٤٠$$

$$f_{٢(cl)} = ١MHz/٤٠ = ٢٥kHz$$

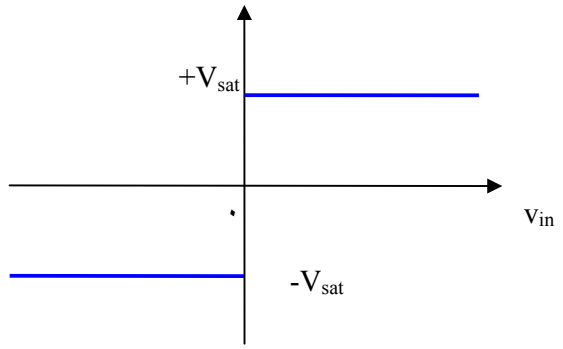
$$v_{out} = (٥٠\ mV_{pp}) = ٢٠٠\ mV_{pp}$$

٦ -٣. المكبر المقارن (Comparator Amplifier):

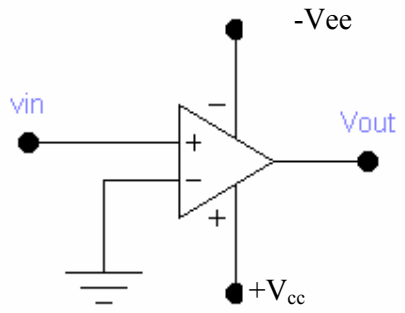
الهدف من المقارن هو مقارنة جهدين عند المدخلين و إنتاج إشارة تدل على أي الجهدين أكبر.

في هذا التطبيق مكبر العمليات يستعمل في حالة دائرة مفتوحة. في الدخل الأول إشارة جهد و في الدخل الثاني إشارة جهد مرجع.

مقارن بسيط: خرج مقارن الشكل١ -١٧ موضح في الشكل١ -١٨.



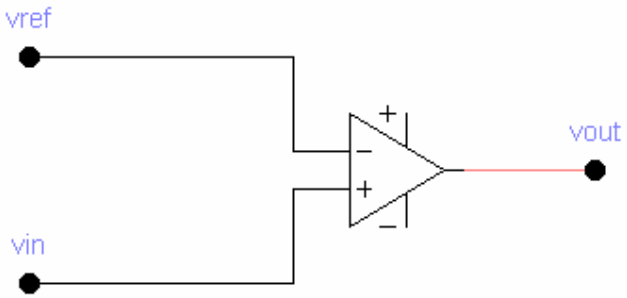
الشكل١ -١٨: الخرج بدلالة الدخل



الشكل١ -١٧: مكبر عمليات

لاحظ أن مقاومة التغذية الخلفية لا تستخدم في هذه الدائرة.

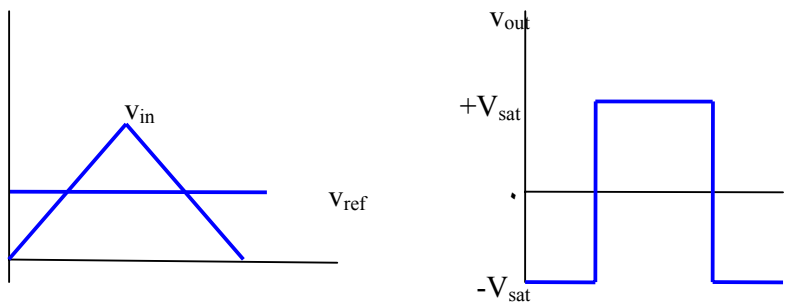
الاستخدام الأساسي لدائرة مكبر التشغيل هي مقارنة الجهد. بدون استخدام التغذية الخلفية يقوم المكبر بمقارنة جهد الدخل المطابق بجهد الدخل العاكس ويجد الفرق بينهما ويقوم بتكبيره بنسبة كسب الدائرة المفتوحة للمكبر. الخرج الناتج هو خرج التكبير إذا لم يصل لجهد الإشباع فإذا وصل جهد الإشباع يصبح جهد الإشباع هو الخرج. إحدى التطبيقات التي تستخدم هذه الحقيقة هو مجس الجهد الموضح بالشكل١ -١٩ . نستخدم لهذا التطبيق جهد ثابت نسميه جهد المرجع V_{ref} .



الشكل١ -١٩: مكبر مقارن مع جهد مرجعي

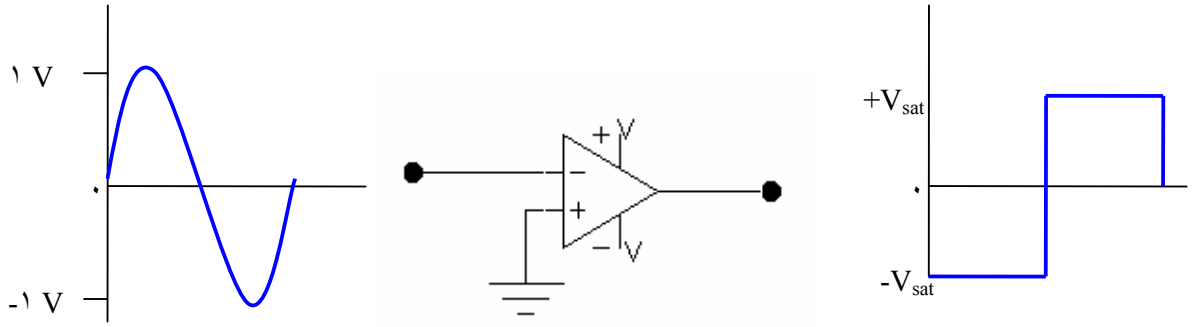
عندما يكون جهد الدخل أقل من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي سالبا وتكون إشارة الخرج هي جهد الإشباع السالب. عندما تكون إشارة الدخل اكبر من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي موجبا

وتكون إشارة الخرج هي جهد الإشباع الموجب . الشكل١ -٢٠ يوضح إشارة الدخل والخرج لهذه الدائرة .



الشكل١ -٢٠: مكبر مقارن مع جهد مرجعي

نحصل على نفس النتيجة عند استخدام دخل جيبي للدائرة مما يدل على إمكانية استخدام الدائرة كمولد إشارات مربعه (الشكل١ -٢١) وذالك من إشارة جيبية.

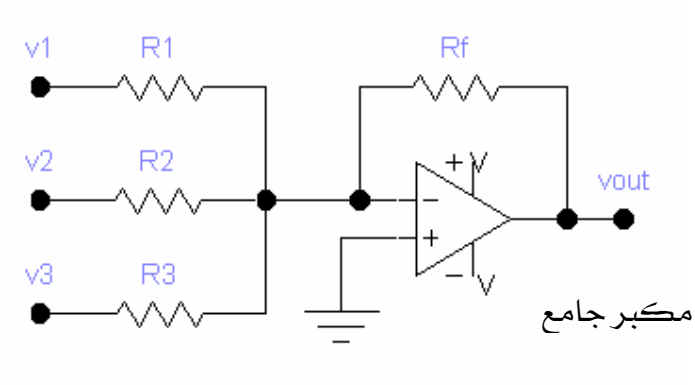


الشكل١ -٢١: جهد الدخل إشارة جيبية وجهد الخرج إشارة مربعة

٦ -٤. المكبر الجامع (Summing Amplifier):

يقوم المكبر الجمعي بجمع الجهود الموجودة عند الدخل.

بالإضافة للتكبير ومقارنة الجهد فإن مكبر العمليات يستخدم أيضا في بعض العمليات الرياضية. مثال ذلك دائرة الجامع المبينة بالشكل١-٢٢.



الشكل١ -٢٢: مكبر جامع

ليكن A_{CL_1} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل v_1 لوحده.

ليكن A_{CL_2} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل v_2 لوحده.

ليكن A_{CL_3} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل v_3 لوحده.

باستعمال مبرهنة التراكم (Theorem Superposition) نجد:

$$v_{out} = A_{CL_1}v_1 + A_{CL_2}v_2 + A_{CL_3}v_3 \qquad (١-١٤)$$

حيث $A_{CL_1} = -R_f/R_1$ (كسب جهد مكبر عاكس) و $A_{CL_2} = -R_f/R_2$ و $A_{CL_3} = -R_f/R_3$.

و منه نحصل على عبارة كسب جهد الخرج :

$$v_{out} = (-R_f/R_1)v_1 + (-R_f/R_2)v_2 + (-R_f/R_3)v_3 \qquad (١-١٥)$$

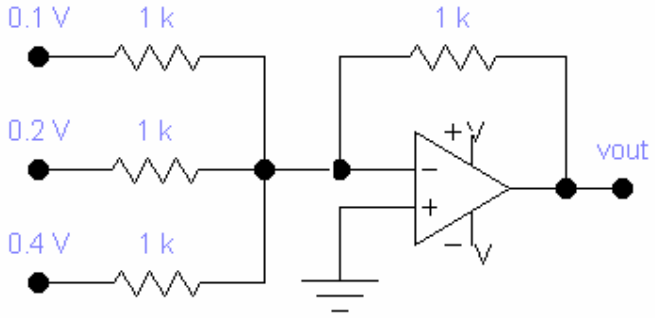
إذا كانت كل المقاومات متساوية أي $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R$ تأخذ المعادلة (١ -١٥) الشكل التالي:

$$v_{out}=-(v_1 + v_2 + v_3) \qquad (١-١٦)$$

تبين هذه المعادلة أن إشارة جهد الخرج تساوي جمع إشارات الدخل.

مثال١-٥:

حدد جهد الخرج للدائرة بالشكل١ -٢٣:



الشكل١ -٢٣: مكبر جامع (مثال١ -

الحل:

هناك ثلاثة إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي .

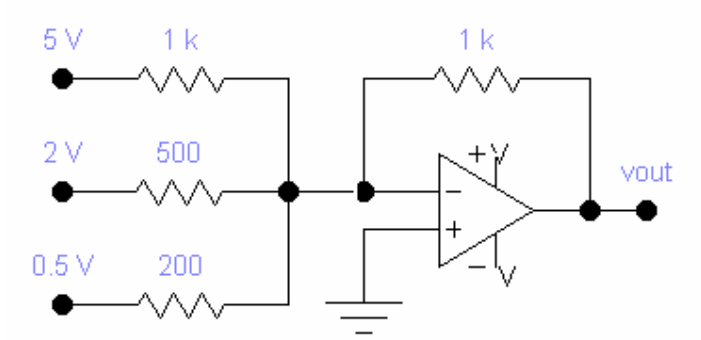
الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية:

$v_{out} = -(v_1 + v_2 + v_3) =$

$-(٠,١\ V + ٠,٢\ V + ٠,٤\ V) = \square ٠,٧\ V$

مثال١-٦:

حدد الخرج للدائرة بالشكل١ -٢٤.



الشكل١ -٢٤: مكبر جامع (مثال١ -

الحل:

هناك ثلاثة إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي .

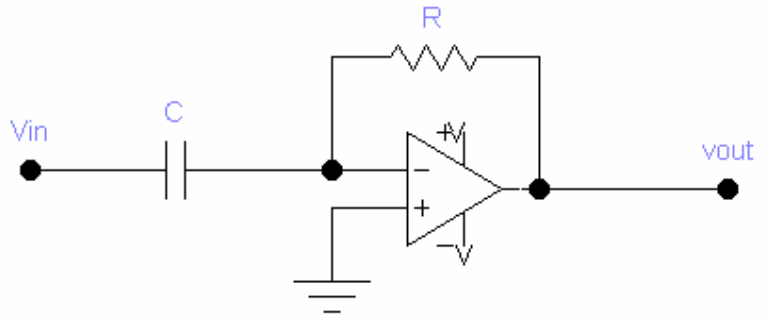
الجهد الكلي هو مجموع الجهود الجزئية:

$$v_{out} = (-R_f/R_١)v_١ + (-R_f/R_٢)v_٢ + (-R_f/R_٣)v_٣ = (\square ١/١)٥\ V + (\square ١/٠,٥)٢\ V + (\square ١/٠,٢)٠,٥\ V = \square$$

$$٥\ V - ٤\ V - ٢,٥\ V = \square ١١,٥\ V$$

٦ -٥. المكبر التفاضلي (Differentiator Amplifier):

عملية التفاضل عملية رياضية وهي إيجاد معدل التغيير لكمية ما. المفاضل دائرة إلكترونية لإيجاد معدل تغيير إشارة ما. يظهر هذا المعدل في شكل إشارة الخرج. هنا أيضا للمكثف دور في العملية مع مكبر العمليات. انظر الدائرة في الشكل١ -٢٥



الشكل١ -٢٥: مكبر عمليات تفاضلي

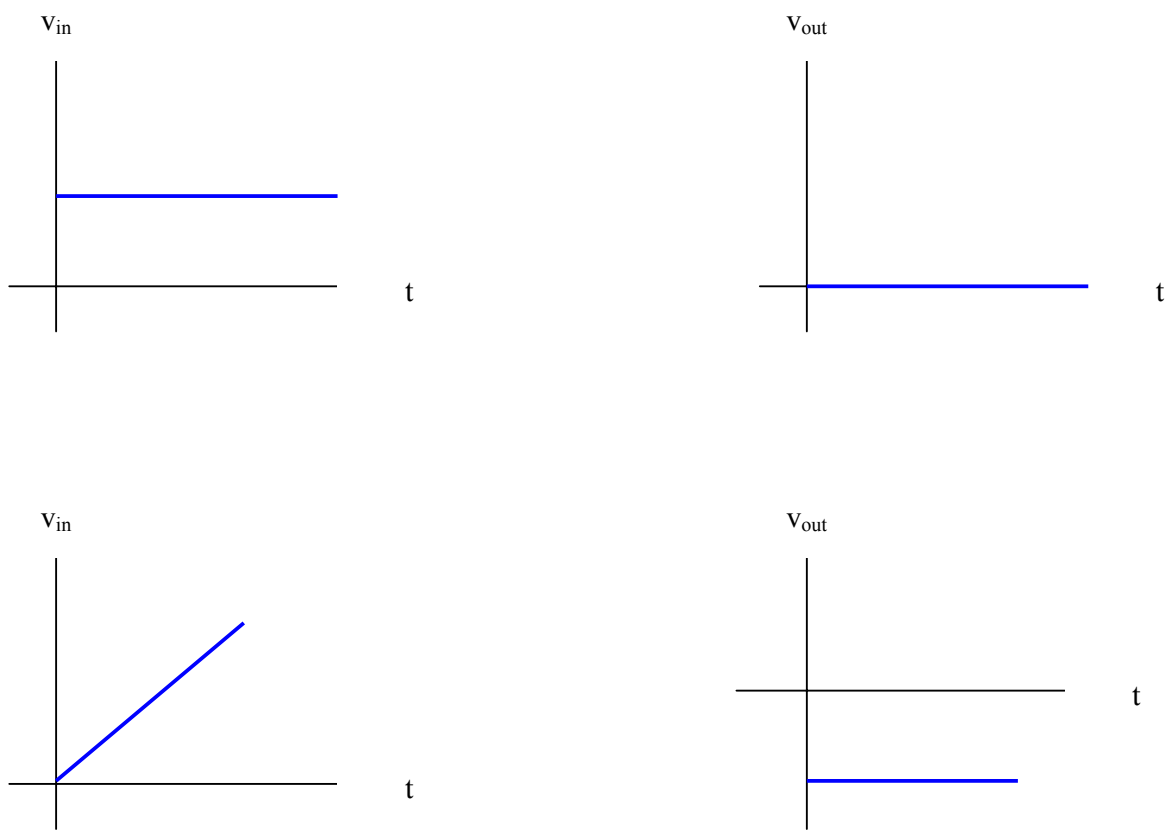
يعارض المكثف تغيير الجهد ولذا يكون تيار المكثف متناسبا مع معدل تغير الجهد ويتبع العلاقة الآتية:

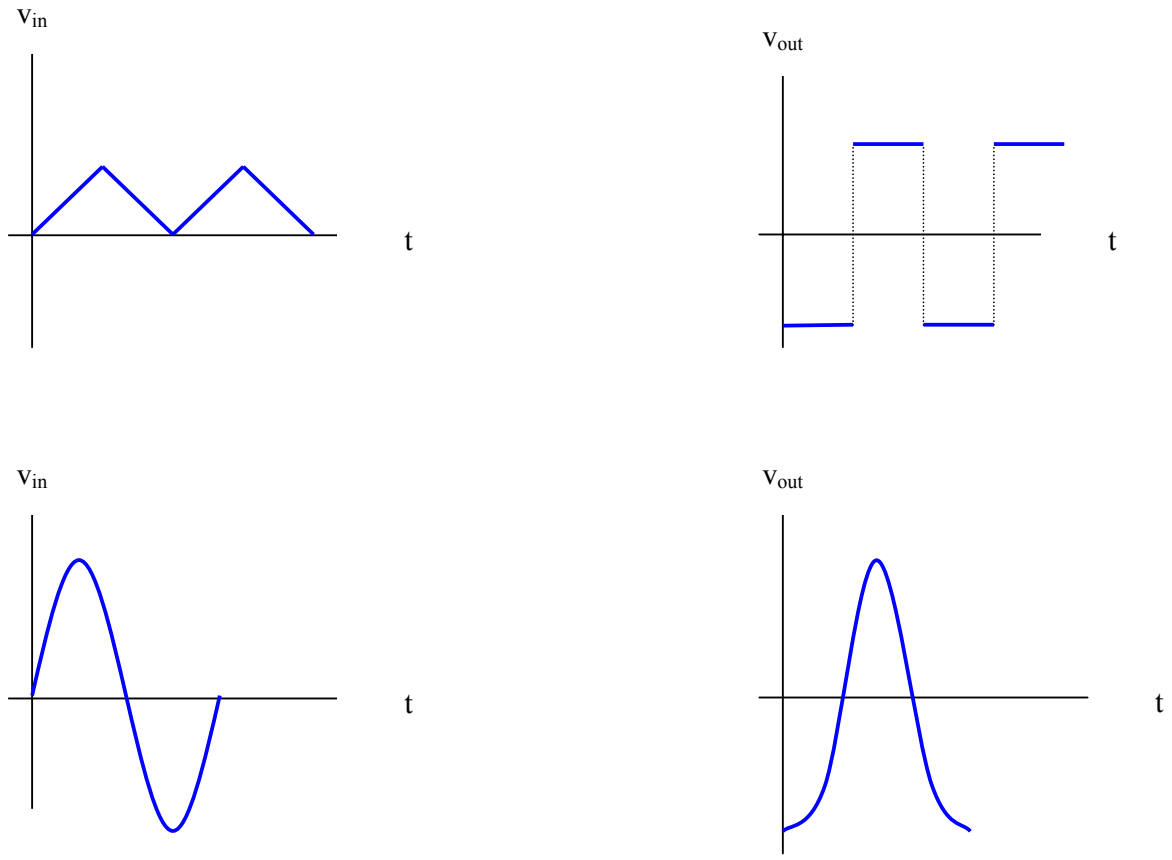
$$i_c = C(dv/dt) \qquad (١٧-١)$$

حيث أن (dv/dt) هي معدل تغيير جهد الدخل. بما أن كل تيار الدخل يمر بمقاومة التغذية الخلفية فإن الجهد على طرفي هذه المقاومة هو :

$$v_R = -RC(dv/dt) \qquad (١٨-١)$$

بالنظر لهذا التعبير نجد أن مع جهد دخل ثابت يكون الخرج صفرا وذلك لأن dv/dt تساوي صفر في هذه الحالة . كلما ازدادت سرعة التغيير كلما زاد جهد الخرج. بعض أمثلة الخرج المتوقعة نجدها بالشكل١ -٢٦. في كل الحالات فرضنا أن الخرج لا يصل لجهد الإشباع.



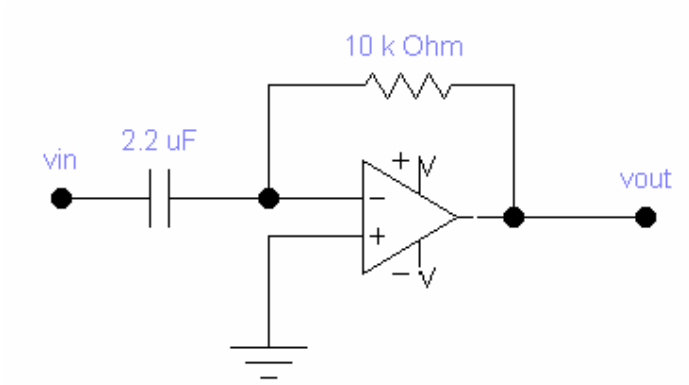


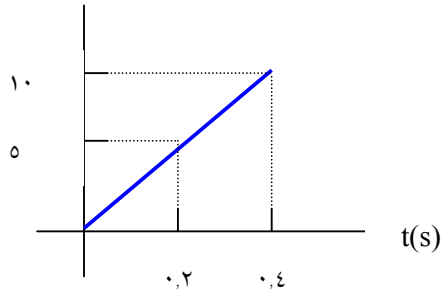
االشكل١ -٢٦ : أربعة أنواع إشارات الدخل (على اليسار) مع إشارات الخرج المرافقة (على اليمين)

مثال١-٨:

للدائرة بالشكل١-٢٦ أوجد جهد الخرج إذا كان الدخل يتغير خطيا من ٠ V إلى ١٠ V خلال ٠,٤ s .

v_{in} (V)





الشكل١ -٢٦ : تغير خطي لإشارة الدخل

الحل:

إذا فرضنا أن الدخل يتغير بمعدل ثابت . نجد أن :

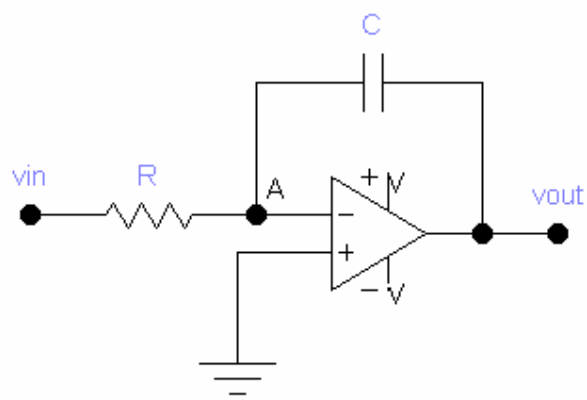
$$dv/dt = ١٠V/٠,٤s = ٢٥V/s$$

باستخدام المعادلة (١ -١٨) نجد:

$$V_{out} = -(١٠k\Omega)\ (٢,٢\mu F)\ (٢٥V/s) = \square ٠,٥٥V$$

٦ -٦. المكبر التكاملي (Integrator Amplifier):

بالاضافه للعمليات الحسابيه فإن للمكبر العمليات استخدامات ايضا في عمليات الرياضيات مثل التكامل والتفاضل . التكامل لإشارة إلكترونية هو عبارة عن الجمع في الزمن لقيمة إشارة دخل الجهد. العنصر الاكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو المكثف،أنظر الشكل١-٢٧.



الشكل١ -٢٧ : دائرة مكبر عمليات تكاملي

معادلة الجهد على أطراف المكثف هي:

$$V_C = (١/C)\int i(t)dt \qquad -\ ١)$$

لننظر لدائرة مكبر عمليات مستخدمة في التكامل (الشكل١ -٢٨). لنفرض أن v_{in} هو جهد ثابت. بما أن النقطة A هي نقطة الارض الافتراضي فإن التيار المار في المقاومة R هو:

$$i = v_{in}/R \qquad (٢٠-١)$$

هذه القيمة ثابتة مع الزمن. كل التيار سيمر بالمكثف C من خلال النقطه A. الجهد المتكون على المكثف سيزداد مع الزمن حتى يصل إلى جهد الاشباع. بفرض اننا سنضل تحت جهد الاشباع فاننا نعبر عن الخرج بالمعادلة :

$$v_C = -(١/RC)\int v_{in}dt \qquad (٢١-١)$$

$$v_C = -(١/RC)v_{in}t \qquad (٢٢-$$

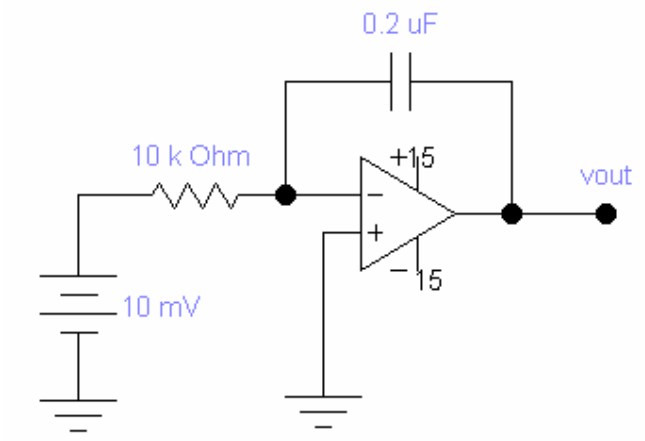
مثلا بفرض أن $C = ١\ \mu F$ و $R = ١\ k\Omega$ و $V_{in} = ٥\ mV$ فنجد أن $V_C = \square ٥\ Vt$.

هذه النتيجة موضحة بالشكل١-٢٨.

الشكل١ -٢٨ : اشارة الدخل و اشارة الخرج للمثال أعلاه

مثال١ -٩:

للدائرة بالشكل١ -٣٠ ما هو الزمن الذي تاخذه الدائرة لتصل بالخرج لجهد الإشباع؟



الشكل١ -٢٩ : شكل للمثال١ -٩

الحل:

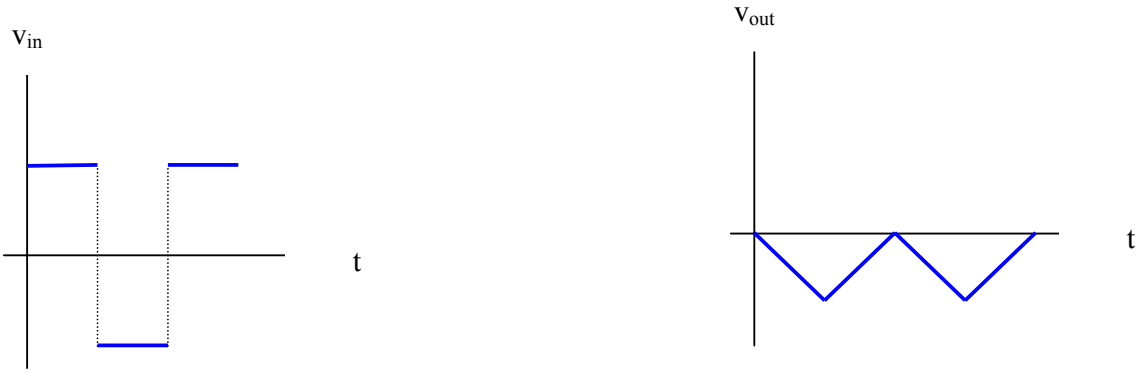
لان إشارة الدخل ثابتة فان جهد المكثف يعطى بالمعادله (١-٢٢):

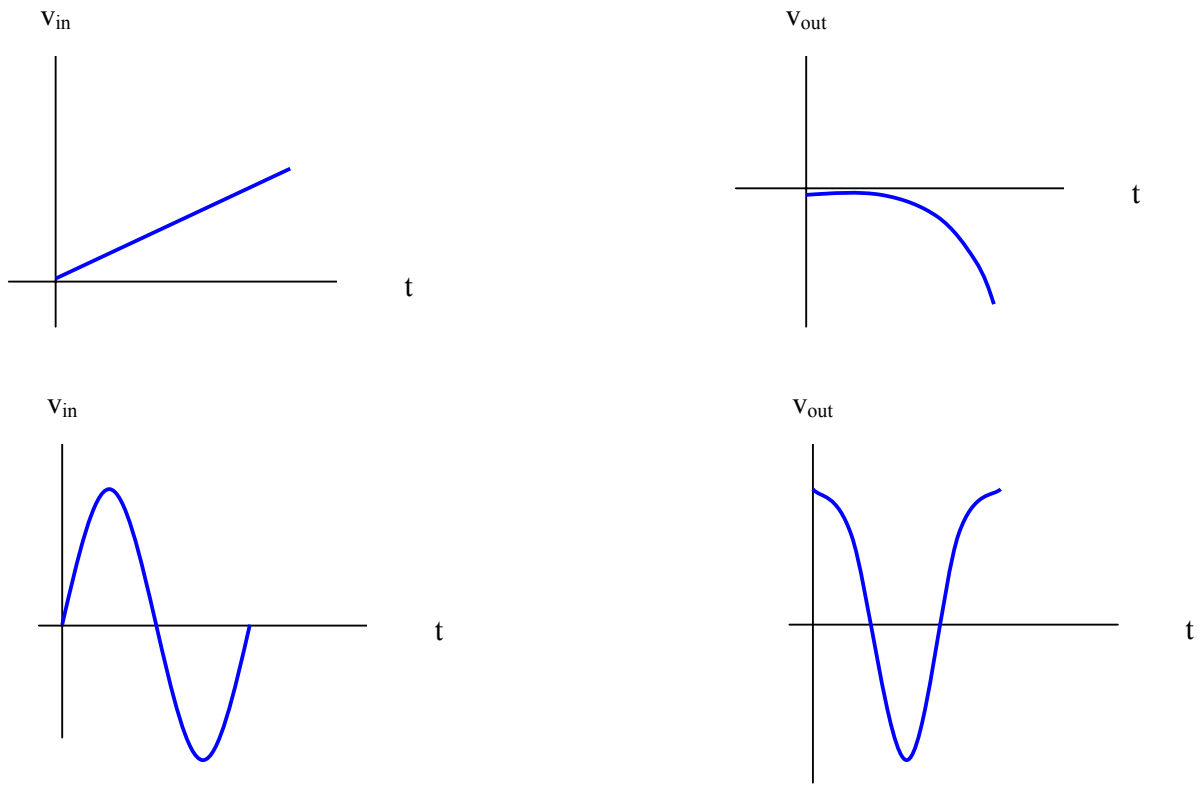
$$v_C = -(١/RC)v_{int} = -(١/١٠k\Omega \times ٠,٢\mu F)(١٠mV)t = \square ٥t\ V$$

ليصل الجهد للاشباع فان $v_C = \square ١٣V$ و نحل المعادلة لايجاد القيمة t:

$$t = \square ١٣/\square ٥ = ٢,٦\ s$$

إذا كانت إشارة الدخل غير ثابتة مع الزمن فان اشارة الخرج يختلف شكلها حسب شكل اشارة الدخل. بعض الامثلة موضحة في الشكل١ -٣٠.





الشكل١ -٢٩ : ثلاثة أنواع إشارات الدخل (على اليسار) مع إشارات الخرج المرافقة (على اليمين)

٧. المرشحات (Filters):

تستعمل المرشحات في جميع ميادين الاتصالات. مرشح ما يسمح بمرور نطاق ترددي و يمنع مرور آخر. المرشح يكون نشط أو سلبي. المرشحات السلبية تتكون من مقاومات ومكثفات وملفات. تستعمل عند ترددات أكبر من MHz ١ و لا تحدث كسب للقدرة.

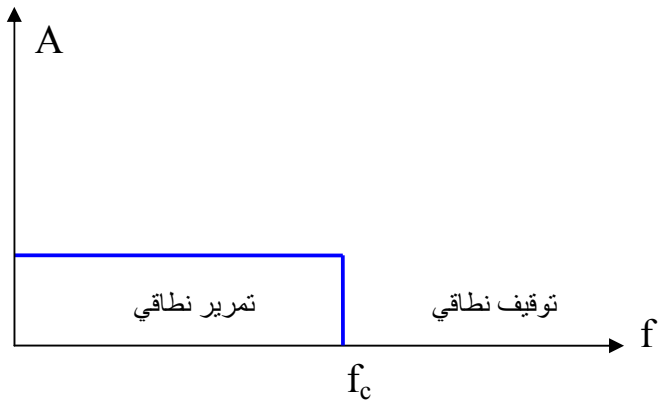
المرشحات النشطة تتكون من مقاومات ومكثفات ومكبرات عمليات. تستعمل عند ترددات أقل من MHz ١ وتحدث كسب للقدرة.

المرشحات تستطيع تفريق الإشارة المرغوب فيها عن الإشارة غير المرغوب فيها وقطع الإشارات المتداخلة وتحسين الصوت و الصورة.

أولا: الاستجابة المثالية (Ideal Responses):

استجابة ترددية لمرشح هو مخطط كسب الجهد بدلالة التردد. يوجد خمسة أنواع من المرشحات: تمرير ترددات منخفضة (Low Pass Filter) وتمرير ترددات عالية (High Pass Filter) وتمرير مجال نطاقي (Band Pass Filter) وتوقيف مجال نطاقي (Band Stop Filter) وتمرير كلي (All Pass Filter).

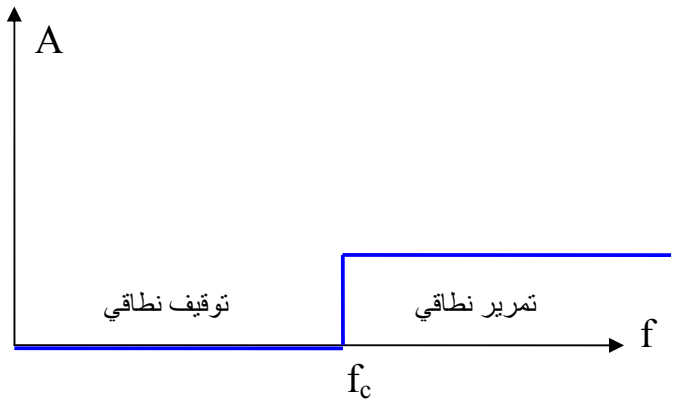
أ. مرشح تمرير الترددات المنخفضة (Low-Pass Filter):



شكل١-٣٢: استجابة مرشح تمرير الترددات المنخفضة مثالى

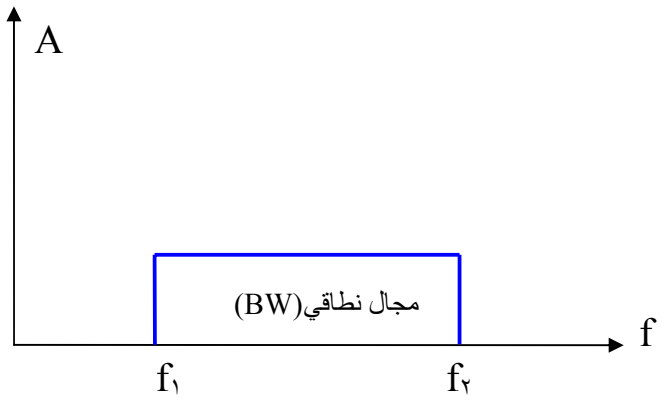
ملاحظة: f_c تمثل تردد القطع.

ب. مرشح تمرير الترددات العالية: (High-Pass Filter)



شكل١ -٣٣: استجابة مرشح تمرير الترددات العالية مثالى

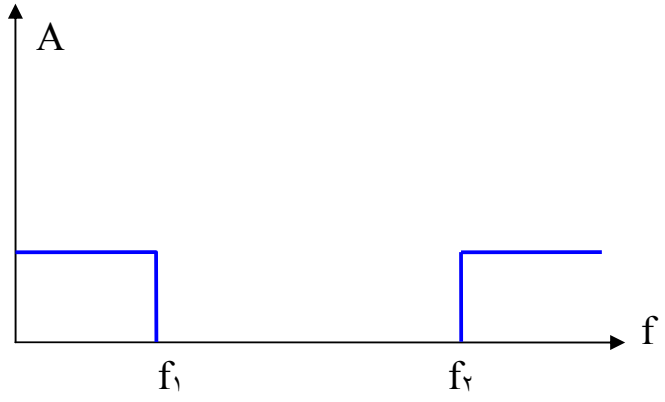
ت. مرشح تمرير مجال ترددات: (Band Pass Filter)



شكل١-٣٤: استجابة مرشح تمرير مجال ترددات مثالى

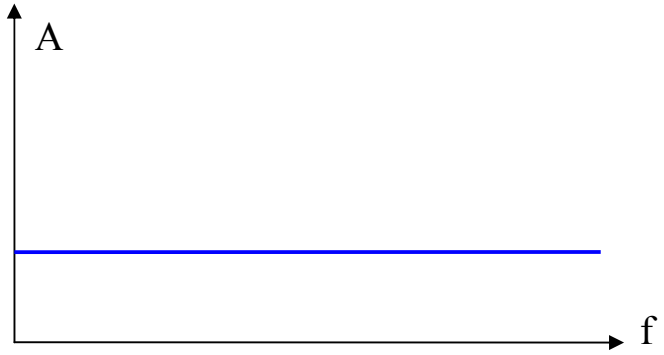
ملاحظة: f_1 وf_2 يمثلان ترددا القطع.

ث. مرشح توقيف مجال نطاقي: (Band Stop Filter)



شكل١ -٣٥: استجابة مرشح توقيف مجال ترددات

ج. مرشح تمرير كلي (All Pass Filter):



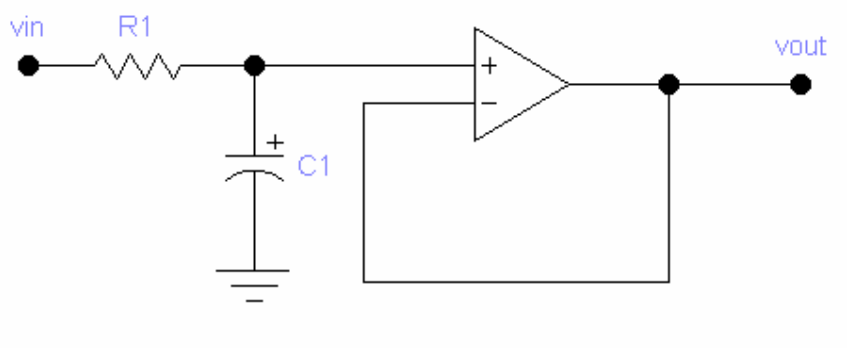
شكل١-٣٦: استجابة مرشح تمرير

ثانيا: استجابة المرشح الفعلي (العملي)

أ. **مرشح من الرتبة الأولى:**

هذه المرشحات تحتوي على مكثف واحد. ولذا تنتج فقط مرشح تمرير الترددات الصغيرة أو مرشح الترددات العالية.

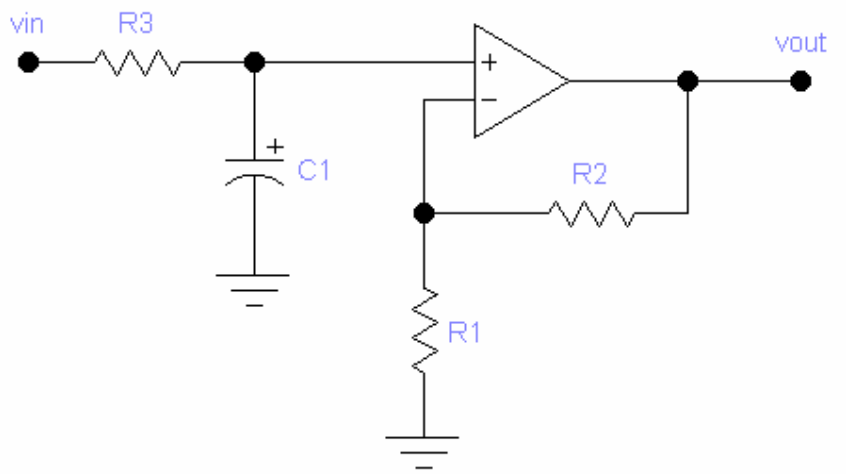
أ -١. مرشح تمرير الترددات الصغيرة (Low Pass Filter)



$A_v = ١$

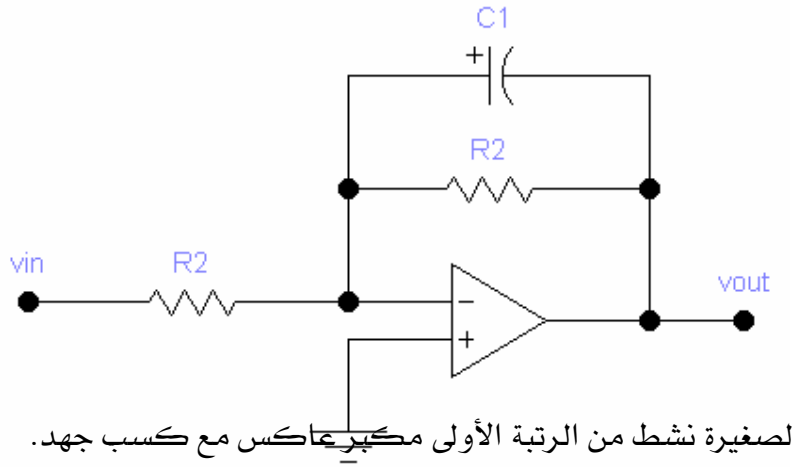
$f_c = ١ / (٢\pi R_١ C_١)$

شكل١ -٣٧: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى مكبر غير عاكس تابع



$A_v = (R_٢/R_١) + ١$
$f_c = ١ / (٢\pi R_٢ C_١)$

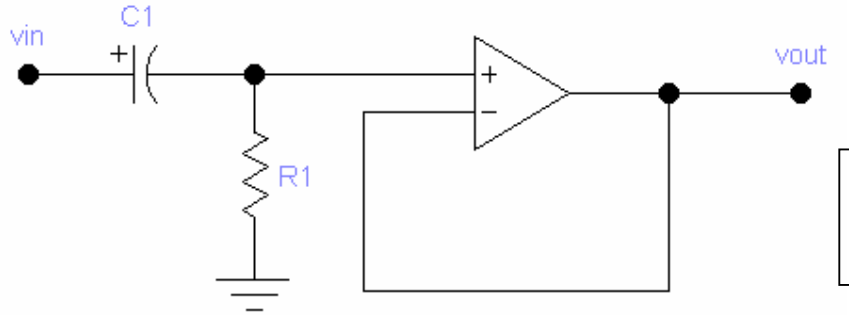
شكل١ -٣٧: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى



$A_v = -R_٢/R_١$
$f_c = ١ / (٢\pi R_٢ C_١)$

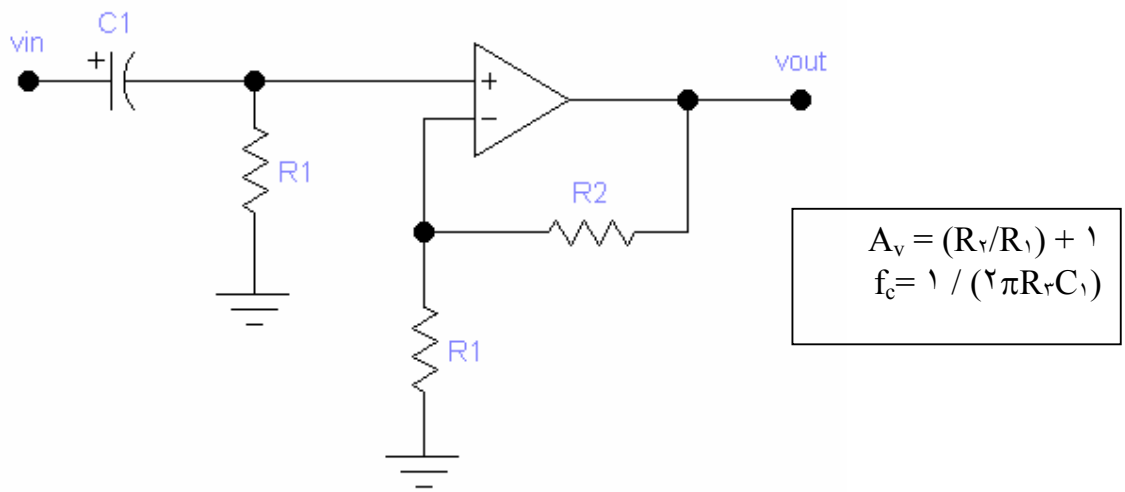
شكل١ -٣٧: مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى مكبرعاكس مع كسب جهد.

أ -٢. مرشح تمرير الترددات العالية (High Pass Filter)

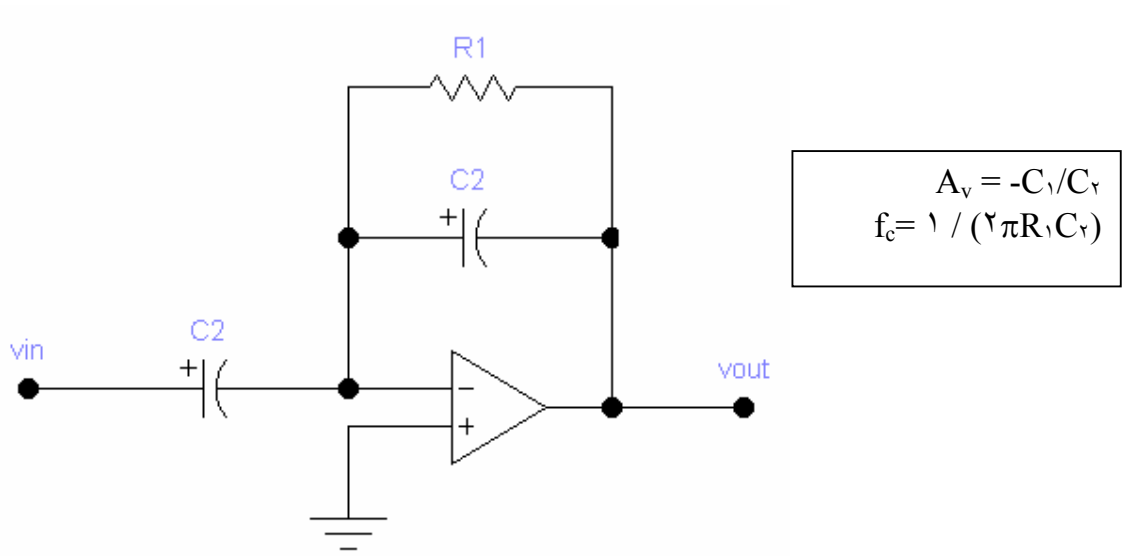


$A_v = ١$
$f_c = ١ / (٢\pi R_١ C_١)$

شكل١ -٣٧: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى مكبرغير عاكس تابع.



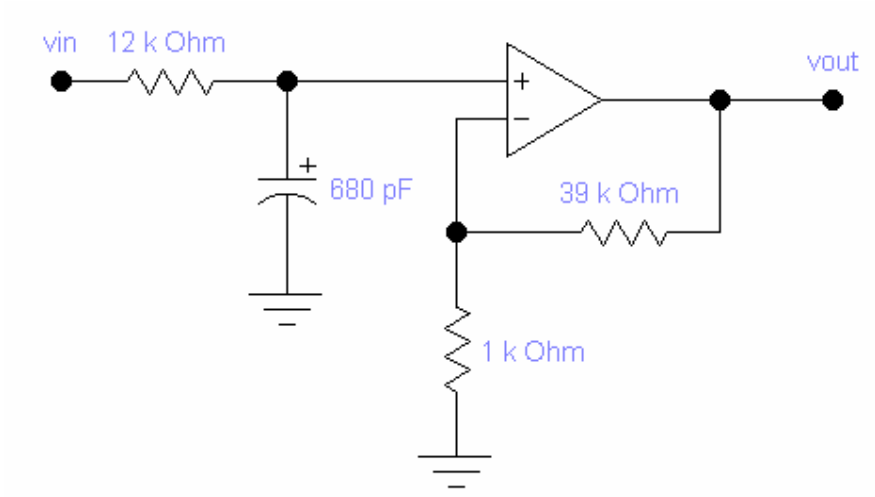
شكل١ -٣٧: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى



شكل١-٣٧: مرشح تمرير الترددات العالية نشط من الرتبة الأولى

مثال١-١٠:

احسب كسب الجهد في الشكل١ -٣٨ . احسب تردد القطع؟ ارسم الإستجاب الترددي.

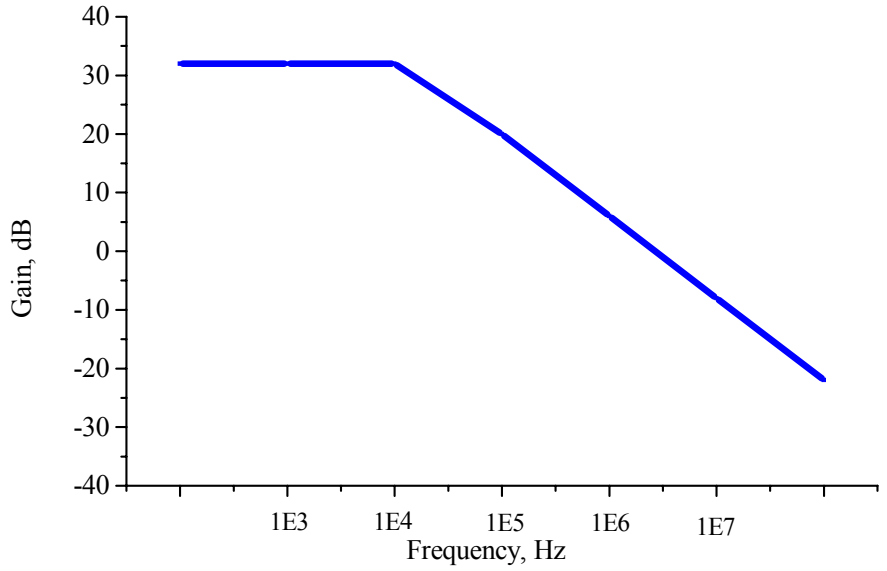


شكل١ -٣٨: شكل المثال١ -١٠.

الحل: الشكل١ -٣٨ يمثل مرشح تمرير الترددات الصغيرة نشط من الرتبة الأولى ومكبر غير عاكس مع كسب جهد. كسب الجهد وتردد القطع تحسب كالتالي:

$$A_v = (٣٩\ k\Omega / ١\ k\Omega) + ١ = ٤٠$$

$$f_c = ١ / (٢\pi)(١٢k\Omega)(٦٨٠pF) = ١٩,٥\ kHz$$

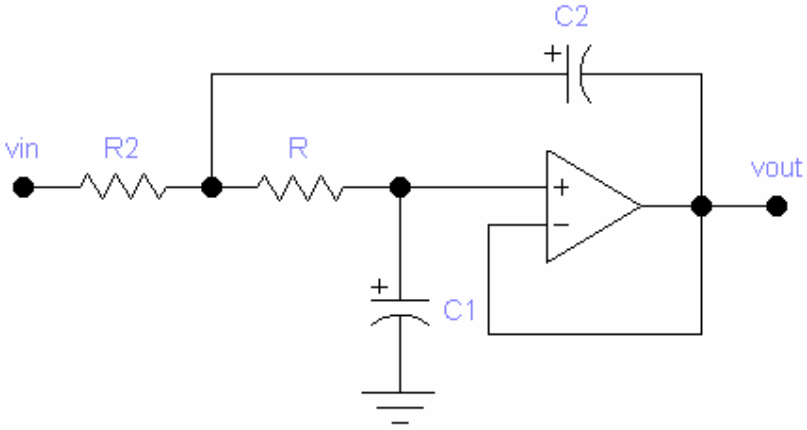


شكل١ -٣٩: استجابة التردد

الشكل١ -٣٩ يمثل استجابة التردد. كسب الجهد يساوي ٣٢ dB عند تمرير النطاق. الاستجابة تقطع في حدود ١٩,٥ kHz وتتناقص بمقدار ٢٠ dB في كل ديكاد(decade).

ب. **مرشح من الرتبة الثانية: مرشح تمرير الترددات الصغيرة (Low Pass Filter)**

المرشح من الرتبة الثانية هو أكثر استعمال لأنه سهل التصميم و الدراسة. المرشحات من رتبة أعلى تكون على شكل مرشحات من الرتبة الثانية متتالية على التوالي. كل مرشح جزئي يتمتع بتردد التطابق و قيمة المعامل Q. الشكل١ -٤٠ يبين مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية.

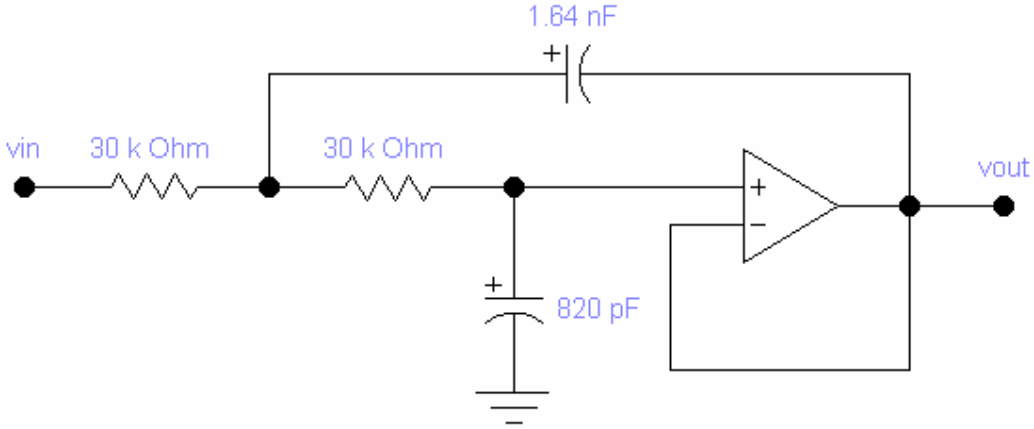


$A_v = ١$
$Q = ٠,٥(C_٢/C_١)^{١/٢}$
$f_p = ١ / (٢\pi R(C_١C_٢)^{١/٢})$
Butterworth:
$Q=٠٧٠٧,\ K_c=١$
Bessel:
$Q=٠,٥٧٧,\ Kc=٠,٧٨٦$

شكل١-٤٠: مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية

مثال١-١١:

أحسب القطب الترددي (f_p) و(Q) للمرشح الموضح في الشكل١ -٤١. كم هي قيمة تردد القطع (f_c)؟



شكل١-٤١: مرشح تمرير الترددات الصغيرة من الرتبة الثانية

الحل: قيمة Q و التردد القطبي f_p تحسب كما يلي:

$$Q = ٠,٥(C_٢/C_١)^{١/٢} = ٠,٥(١,٦٤nF/٨٢٠pF)^{١/٢} = ٠,٧٠٧$$

$$f_p = ١ / (٢\pi R(C_١C_٢)^{١/٢}) = ١/٢\pi(٣٠\ k\Omega)((٨٢٠\ pF)(١,٦٤\ nF))^{١/٢} = ٤,٥٨\ kHz$$

قيمة Q تبين أن الاستجابة هي استجابة (Butterworth) و منه:

$$F_c = f_p = ٤,٥٨ \text{ kHz}$$

قطع استجابة هذا المرشح يساوي ٤,٥٨ kHz و تتناقص بمقدار ٤٠ dB مع كل عشرية.

التقويم الذاتي

١. كسب جهد مكبر عمليات يساوي٥٠٠٠٠٠. إذا كان جهد خرجه يساوي ١V فجهد دخله يساوي:

أ. ٢μV

ب. ٥mV

ج. ١٠mV

د. ١V

٢. مكبر عمليات ٧٤١C له:

أ. كسب جهد ١٠٠٠٠٠

ب. مقاومة دخل ٢MΩ

ج. مقاومة خرج ٧٥Ω

د. كل ما سبق

٣. كسب جهد دائرة مغلقة (A_{CL}) لمكبر عاكس يساوي:

أ. قسمة مقاومة الدخل على مقاومة التغذية الخلفية

ب. كسب جهد الدائرة المغلقة

ج. قسمة مقاومة التغذية الخلفية على مقاومة الدخل

د. مقاومة الخرج

٤. مكبر غير عاكس له:

أ. كسب جهد دائرة مغلقة (A_{CL}) كبير

ب. كسب جهد دائرة مفتوحة (A_{OL}) صغير

ج. مقاومة دخل دائرة مغلقة (R_{in}) كبيرة

د. مقاومة خرج دائرة مغلقة (R_{out}) كبيرة

٥. مكبر تابع له:

أ. كسب جهد دائرة مغلقة (A_{CL}) يساوي واحد

ب. كسب جهد دائرة مفتوحة (A_{OL}) صغير

ج. ممر نطاق دائرة مغلقة صفر

د. مقاومة خرج دائرة مغلقة كبيرة

٦. مكبر جامع يحتوي على:

أ. إشارتان دخل على الأكثر

ب. اثنان أو أكثر إشارات دخل

ج. مقاومة دخل دائرة مغلقة (R_{in}) لمتناهية

د. كسب جهد دائرة مفتوحة صغير

٧. التغذية الخلفية:

أ. تساعد إشارة الدخل

ب. تعاكس إشارة الدخل

ج. متناسبة مع تيار الخرج

د. متناسبة مع فرق كسب الجهد

٨. كم عدد أنواع التغذية الخلفية؟

أ. واحد

ب. اثنان

ج. ثلاثة

د. أربعة

٩. الجهد بين طرفي دخل مكبر عمليات مثالي يساوي:

أ. صفر

ب. صغير جدا

ج. كبير جدا

د.جهد الدخل

١٠. الجهد بين طرفي دخل مكبر عمليات حقيقي يساوي:

أ. صفر

ب. صغير جدا

ج. كبير جدا

د. جهد الدخل

١١. مكبر عمليات له:

أ. دخلان و خرجان

ب. دخلان و خرج واحد

ج. دخل واحد وخرج واحد

د. دخل واحد و خرجان

١٢. مكبر عمليات هو:

أ. دائرة مغلقة

ب. دائرة متكاملة

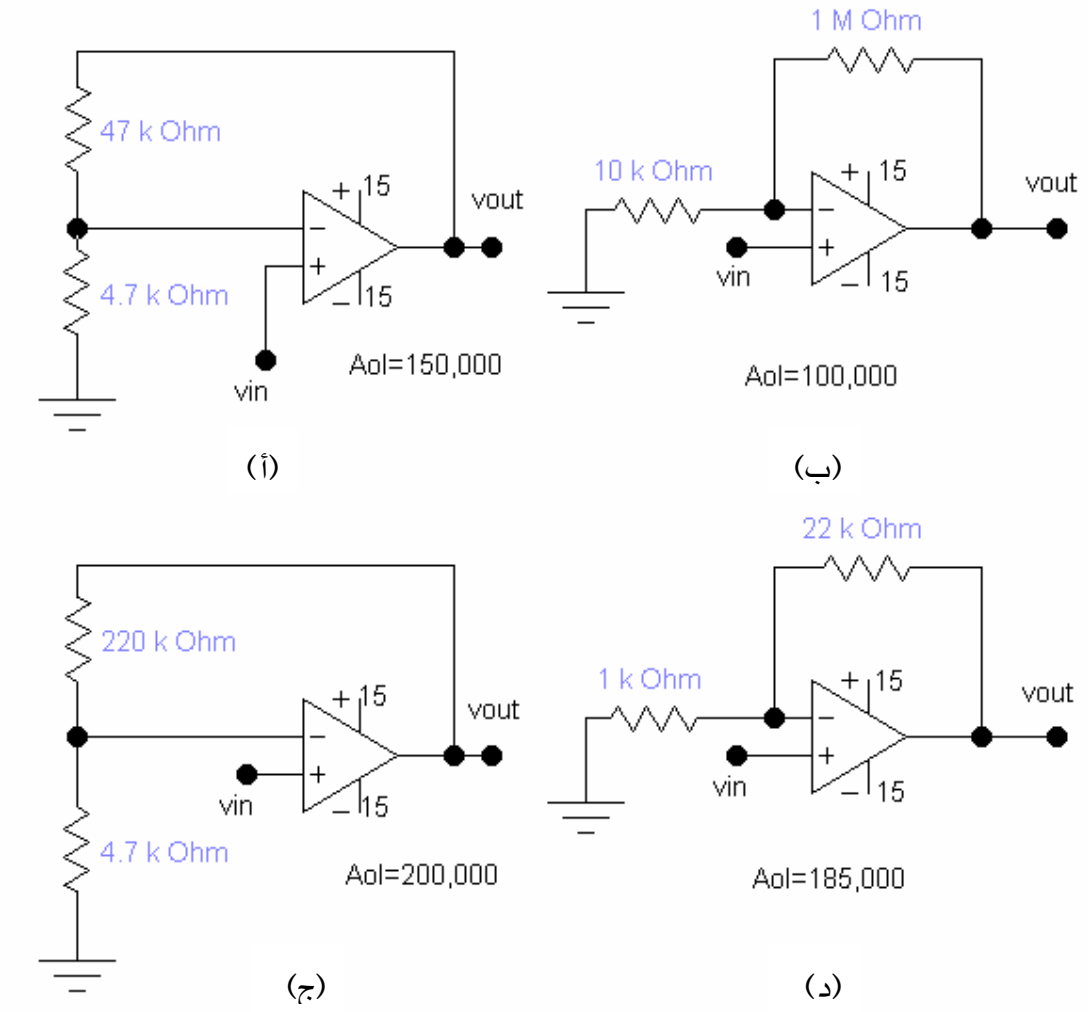
ج. دائرة مفتوحة

د. الجواب (ب) و(ج)

تمارين

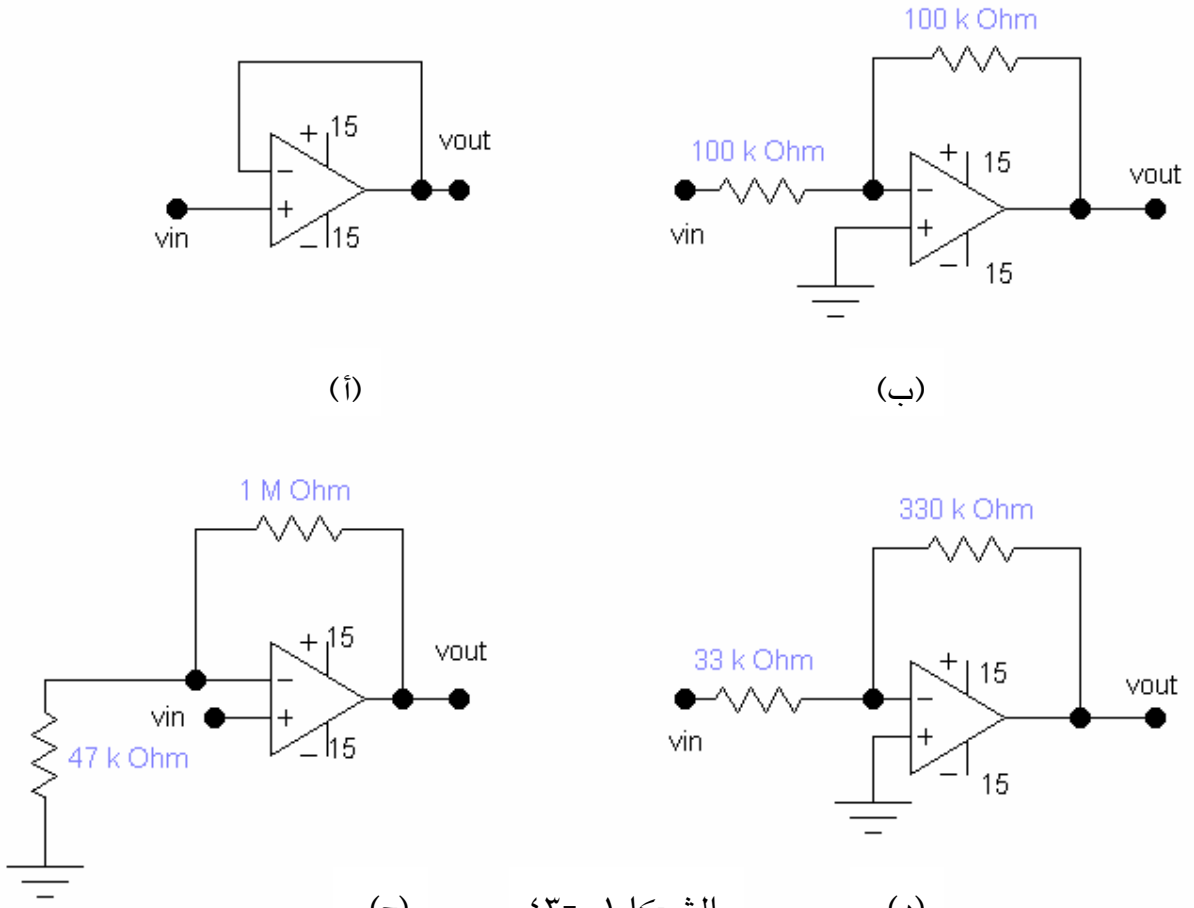
١ -١:

أحسب كسب الدائرة المغلقة لكل مكبر (الشكل١ -٤٢)



الشكل١ -٤٢

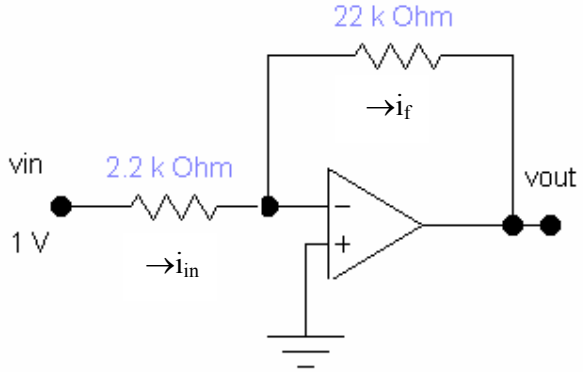
١ -٢: أوجد الكسب لكل مكبر في الشكل١ -٤٣:



الشكل١ -٤٣

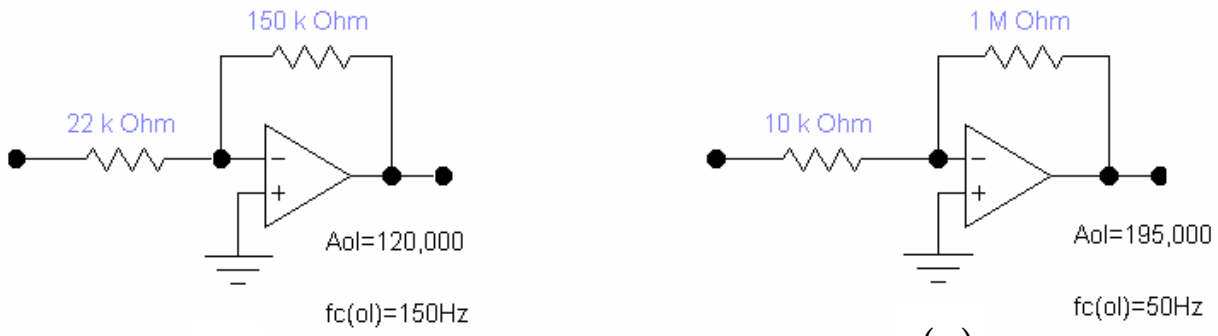
١ -٣: احسب مقدار لكل من القيم التالية الموضحة في الشكل١ -٤٤

(أ) i_{in}، (ب) i_f، (د) v_{out}، (ج) كسب جهد الدائرة المغلقة(A_{CL}).



الشكل١ -٤٤

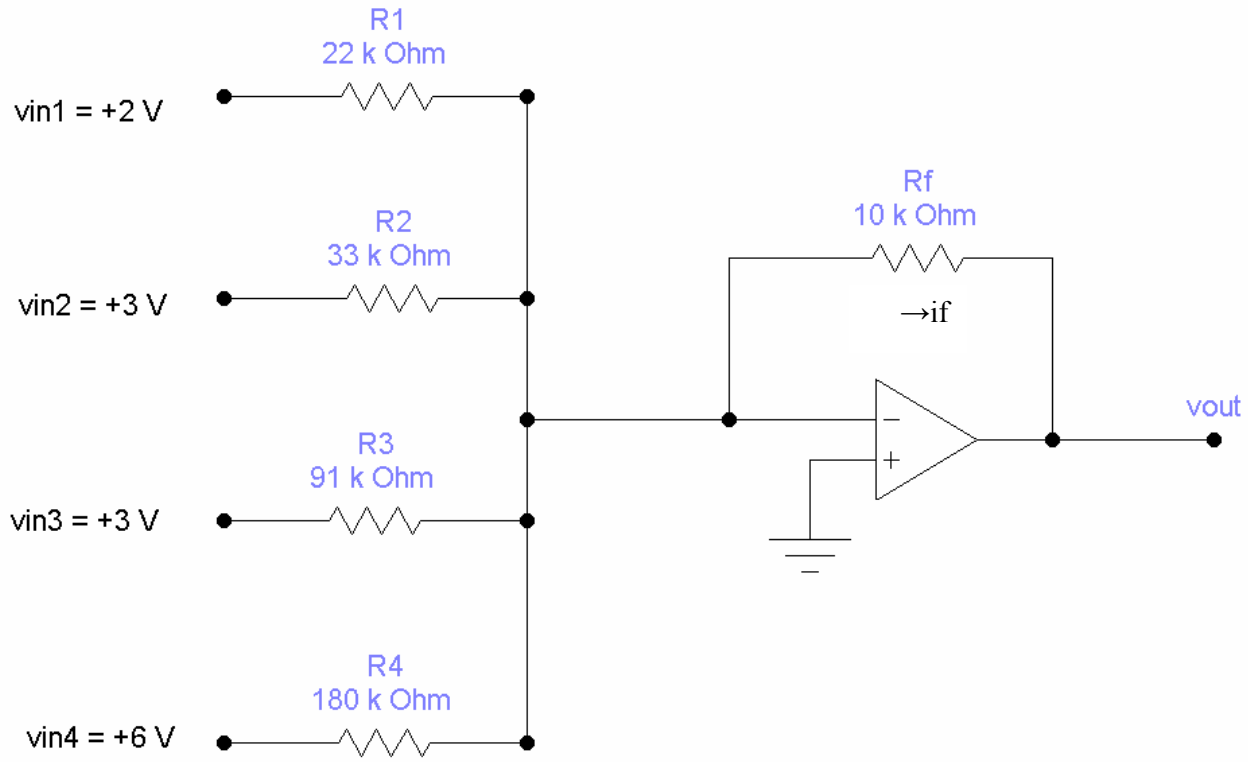
١-٤ : من المكبران الموضحان في الشكل١-٤٥ له أقل مجال نطاق؟



الشكل١ -٤٥

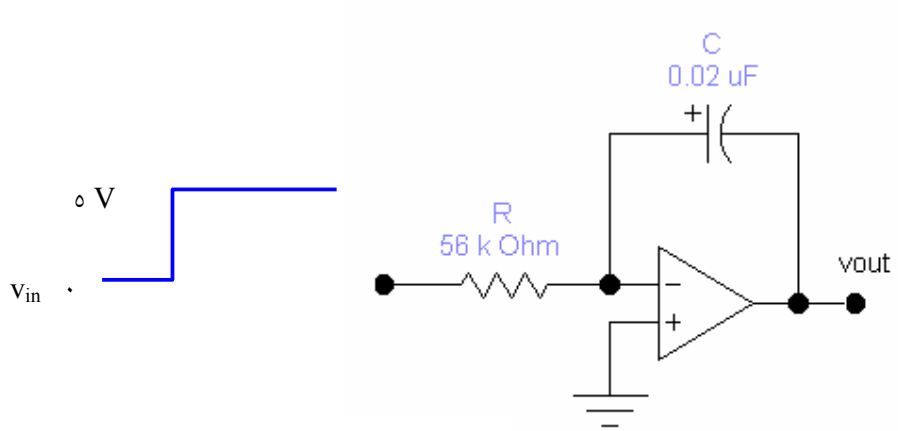
١ -٥ : أوجد كسب الجهد عندما تطبق جهود الدخل الموضحة في الشكل ١ -٤٦.

أحسب التيار الذي يمر في المقاومة R_f.



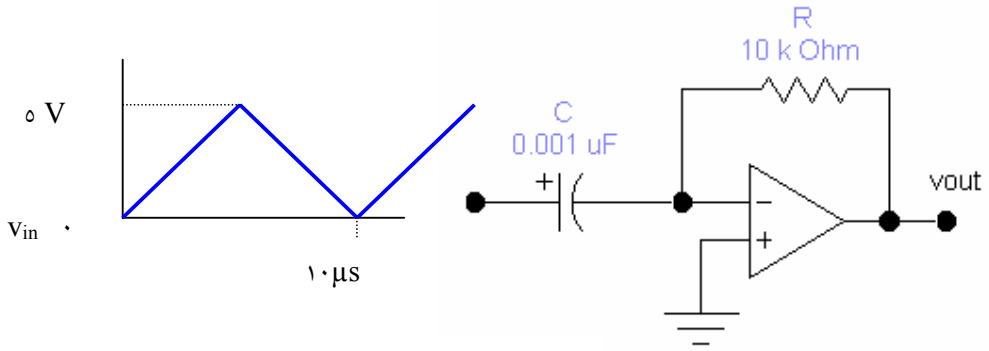
الشكل١ -٤٦

١ -٦: احسب ميل الخرج عندما يكون شكل اشارة الدخل لمكامل كما هي موضحة في الشكل.١ - ٤٧



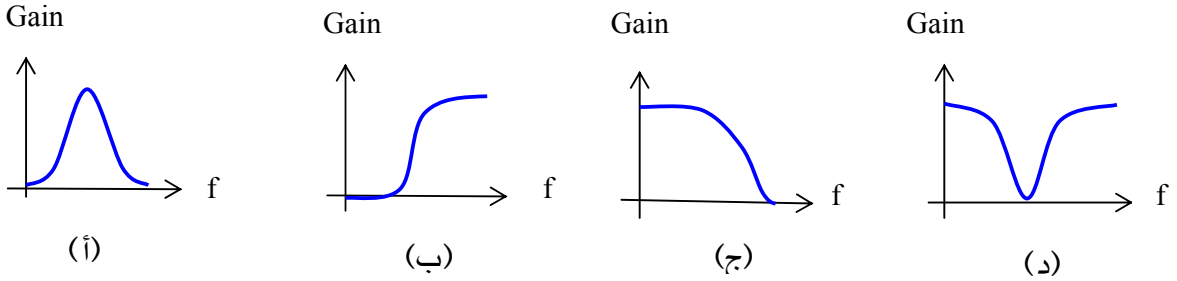
الشكل١ -٤٧

١ -٧: احسب سعة التيار الذي يمر في المكثف الموضح في الشكل١ -٤٨.



الشكل١ -٤٨

١-٨: عرف نوع كل مرشح (Low-Pass, High-Pass, Band-Pass, Band-Stop) من المرشحات الموضحة في الشكل١-٤٩



الشكل١ -٤٩

١ -٩: أي مقدار يحدد مجال نطاق مرشح تمرير الترددات الصغيرة؟

أجوبة التقويم الذاتي

١. (أ)، ٢. (د)، ٣.(ج)، ٤. (ج)، ٥. (أ)، ٦. (ب)، ٧. (أ)، ٨. (د)، ٩. (أ)، ١٠.(ب)، ١١.(د)، ١٢. (د).

أجوبة التمارين

١ -١: (أ)١١، (ب)١٠١، (ج)٤٧,٨، (د)٢٣.

١ -٢: (أ)١، (ب)١ - ، (ج)٢٢، (د)١٠ -.

١ -٣: (أ)٤٥٥μA، (ب)٤٥٥μA ، (ج)١٠V-، (د)١٠□.

١ -٤: الدائرة (ب) لها أقل مجال نطاق (٩٧,٥kHz).

١ -٥: v_{out} = □٣,٥٧ V, i_f = ٣٥٧ μA

١ -٦: □٤,٤٦ mV/μs

١ -٧: ١ mA

١ -٨: (أ)BP، (ب)HP، (ج)LP، (د)BS.

١ -٩: التردد الحرج يحدد مجال النطاق.

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

دوائر الكترونية

المؤقتات

المؤقتات

٢

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

٢. مقدمة:

الأهداف السلوكية:

بعد دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من:

- ✓ حساب العناصر الخارجية للمؤقتات.
- ✓ معرفة مواصفات المؤقت.
- ✓ اختبار سلوك المؤقت.
- ✓ التعرف على المؤقت وحيد الاستقرار.
- ✓ التعرف على المؤقت عديم الاستقرار.

٣. خصائص المؤقتات:

المؤقت (Timer) كدائرة متكاملة(IC) تستخدم بشكل واسع في تطبيقات مولدات النبضات (Pulse Generator) في معظم فروع الإلكترونيات.

تم تقديم شريحة المؤقت ٥٥٥ في بداية السبعينات وهي من أشهر الشرائح المفضلة لدى مصممي وهواة الإلكترونيات حيث يمكن استخدامها في الكثير من التطبيقات. ويرمز لها تجارياً NE٥٥٥ كما تتوفر تحت الرمز MC١٤٥٥ وCA٥٥٥ وLM٥٥٥ . وتمثل شريحة المؤقت ٥٥٥ بالشكل٢-١ التالي:

الشكل٢-١: شريحة مؤقت ٥٥٥

كما تلاحظ فالشريحة لها ثمانية أطراف فيما يلي وصف لوظيفة كل طرف:

الطرف	اسم الطرف		وظيفة الطرف
١	أرضي	Ground	يربط به الجهد السالب في الدائرة
٢	قدح أو اطلاق	Trigger	يستعمل لإرسال النبضة التي تجعل الخارج يرتفع ويبدأ دورة التوقيت
٣	خرج	Output	خرج الشريحة
٤	إعادة الضبط	Reset	يعيد النبض الخارج من الشريحة إلى وضع منخفض
٥	جهد التحكم	Control Voltage	يسمح بتغيير جهد القدح و جهد المبدى وذلك بتسليط جهد خارجي عند هذا الطرف
٦	المبدى	Threshold	يستعمل لجعل النبض الخارج يتحول إلى وضع منخفض ويحدث ذلك عندما يكون الجهد عند هذا الطرف بين ٣/٢ أقل و ٣/٢ أكثر من قيمة جهد مصدر التغذية.
٧	تفريغ	Discharge	
٨	مصدر التغذية	Supply Voltage	يربط به الطرف الموجب من مصدر التغذية ويتراوح بين ٥ و ١٥ فولت

الجدول٢ -١: وظائف أطراف شريحة مؤقت ٥٥٥

٤. طرق استخدام المؤقت ٥٥٥:

يمكن تشغيل المؤقت ٥٥٥ على نمطين الأول يسمى الوضع الأحادي الإستقرار (Monostable) والثاني يسمى الوضع عديم الإستقرار (Astable).

٣ -١. الوضع الأحادي الاستقرار (Monostable) :

عند ربط المؤقت ٥٥٥ كما في الشكل٢ -٢ التالي يكون في الوضع الأحادي الإستقرار.

في هذا الوضع يكون مخرج المؤقت (الطرف ٣) في وضعه العادي عند الوضع المنخفض إلى أن يتم إرسال نبضة إطلاق سالبة عند الطرف ٢ فيبدأ الخارج من الشريحة بالارتفاع ويبقى كذلك لفترة محدودة ثم يعود إلى حالته المنخفضة (حالة الاستقرار). معنى ذلك أن دائرة الوضع الأحادي الاستقرار تقوم بإنتاج نبضة واحدة لوقت محدد كلما سلط عليها نبضة إطلاق سالبة.

مثال٢ -١:

إذا استعملنا مكثف بسعة ٠,٦٨ μF ومقاومة بقيمة ١٠ MΩ فكم ستكون الفترة التقريبية للنبض الصادر من المؤقت ٥٥٥ ؟

سعة المكثف = ٠,٦٨ μF

لتحويلها إلى فاراد نقسم على مليون

فتكون السعة= ٠,٦٨/١٠٠٠٠٠٠ = ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨ F

قيمة المقاومة = ١٠٠٠٠٠٠٠ Ω

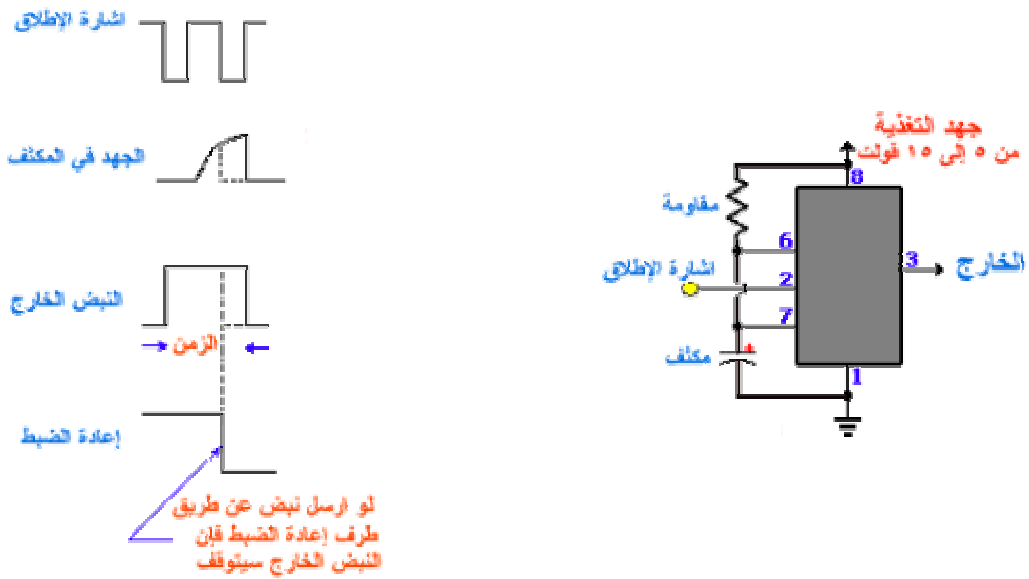
فترة النبض التقريبية = ١,١ x قيمة المقاومة x سعة المكثف

= ١,١ x ١٠٠٠٠٠٠٠ x ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨

= ٧,٤٨ ثانية

سؤال: كم ستكون فترة النبض لو استعملنا في المثال السابق مقاومة قيمتها ١٠٠٠٠٠٠ أوم بدلاً من ١٠٠٠٠٠٠٠ أوم

الفترة ستكون ٠,٧٤٨ ثانية



الشكل٢-٢ : مؤقت في وضع أحادي الاستقرار

ملاحظة : يمكننا أن ننهي النبضة الخارجة من المؤقت وذلك بإرسال نبضة سالبة عند الطرف ٤ (طرف إعادة الضبط).

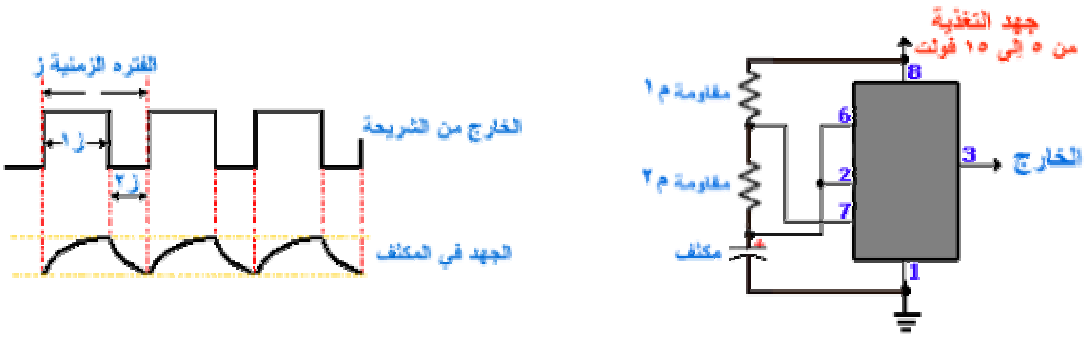
ولكن كيف نحدد الزمن الذي يبقى فيه النبض عند مخرج الدائرة؟

لاحظ وجود مكثف و مقاومة. وهما يستخدمان للتحكم بفترة النبض.

بحسب قيمة المقاومة وسعة المكثف يمكننا إنتاج نبض يستمر لجزء من الثانية وحتى مائة ثانية.

٣ -٢. الوضع عديم الإستقرار (Astable):

عند ربط المؤقت ٥٥٥ كما في الشكل٢-٣ التالي يكون في الوضع عديم الإستقرار.



الشكل٢ -٣: مؤقت في وضع عديم الإستقرار

لاحظ هنا أن الأطراف ٢ و ٣ من الشريحة موصلة بطريقة تسمح للدائرة بإرسال نبضات إطلاق في كل دورة زمنية. ولذلك فإن هذه الدائرة تعمل كدائرة تذبذب أو اهتزاز. بمعنى أن الدائرة تنتج نبضاً يبقى لفترة زمنية ثم يختفي لمدة من الزمن ليعود النبض من جديد وهكذا.

يمكننا حساب الفترة الزمنية بين كل نبضتين عن طريق تردد هذه الدائرة (frequency) حيث إن المكثف والمقاومتين م١ و م٢ تؤثر تأثيراً مباشراً على التردد.

التردد = سعة المكثف x (م١ +٢م٢) / ١,٤٤

الفترة الزمنية ز = التردد / ١

المكثف والمقاومتين تؤثر أيضاً على الزمن التي يبقى فيها النبض الخارج موجوداً (t_1) و الزمن الذي يختفي فيه النبض الخارج (t_2). وذلك حسب القوانين التالية :

الزمن t_1 = (م١ + م٢) x سعة المكثف x ٠,٦٩٣

الزمن ز٢ = ٠,٦٩٣ x م٢ x سعة المكثف

لاحظ أن الفترة الزمنية ز التي حسبناها سابقاً ستكون مساوية لمجموع ز١ و ز٢

بقي كمية أخيرة يمكننا حسابها في هذه الدائرة وهي دورة التشغيل (Duty Cycle) وتعرف بأنها النسبة من مجموع الزمن الذي تكون فيه الإشارة الخارجة من الشريحة موجودة .

أي أن دورة التشغيل = ز١ / ز = (م١ + م٢) / (م١ + ٢م٢)

فإذا قلنا مثلاً أن دورة التشغيل هي ٧٥٪ فنقصد بذلك أن النبض الخارج من الشريحة يكون موجودا ٧٥٪ من مجموع الفترة الزمنية .

و يمكننا تعديل دورة التشغيل بتغيير قيمة المقاومتين م١ و م٢

مثال٢-٢ :

إذا استعملنا مكثف بسعة ٠,٦٨ μF وكانت المقاومة م١ بقيمة ١٠ MΩ والمقاومة م٢ بقيمة ١ MΩ . احسب الكميات التالية المتعلقة بالإشارة الخارجة من الشريحة ٥٥٥ الفترة الزمنية ز ، الزمن ز١ ، الزمن ز٢ وأخيراً دورة التشغيل .

سعة المكثف = ٠,٦٨ μF أي ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨ F

التردد = ١,٤٤ / (م١ +٢م٢) x سعة المكثف

١,٤٤ / (١٠٠٠٠٠٠٠ + ٢ x ١٠٠٠٠٠٠) x ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨

= ٠,١٧٦ هيرتز

الفترة الزمنية ز = ١/ التردد =١,١٧٦ / ١ = ٥,٦٦ ثانية

الزمن ز١ = ٠,٦٩٣ x (م١ + م٢) x سعة المكثف

= ٠,٦٩٣ x (١٠٠٠٠٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠٠) x ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨

=٥,١٨ ثانية

الزمن ز٢ = ٠,٦٩٣ x م٢ x سعة المكثف

= ٠,٦٩٣ x ١٠٠٠٠٠٠ x ٠,٠٠٠٠٠٠٦٨

=٠,٤٧ ثانية

دورة التشغيل = ز١ / ز

= ٥,١٨ / ٥,٦٦

= ٠,٩١٥ أو ٩٥ %

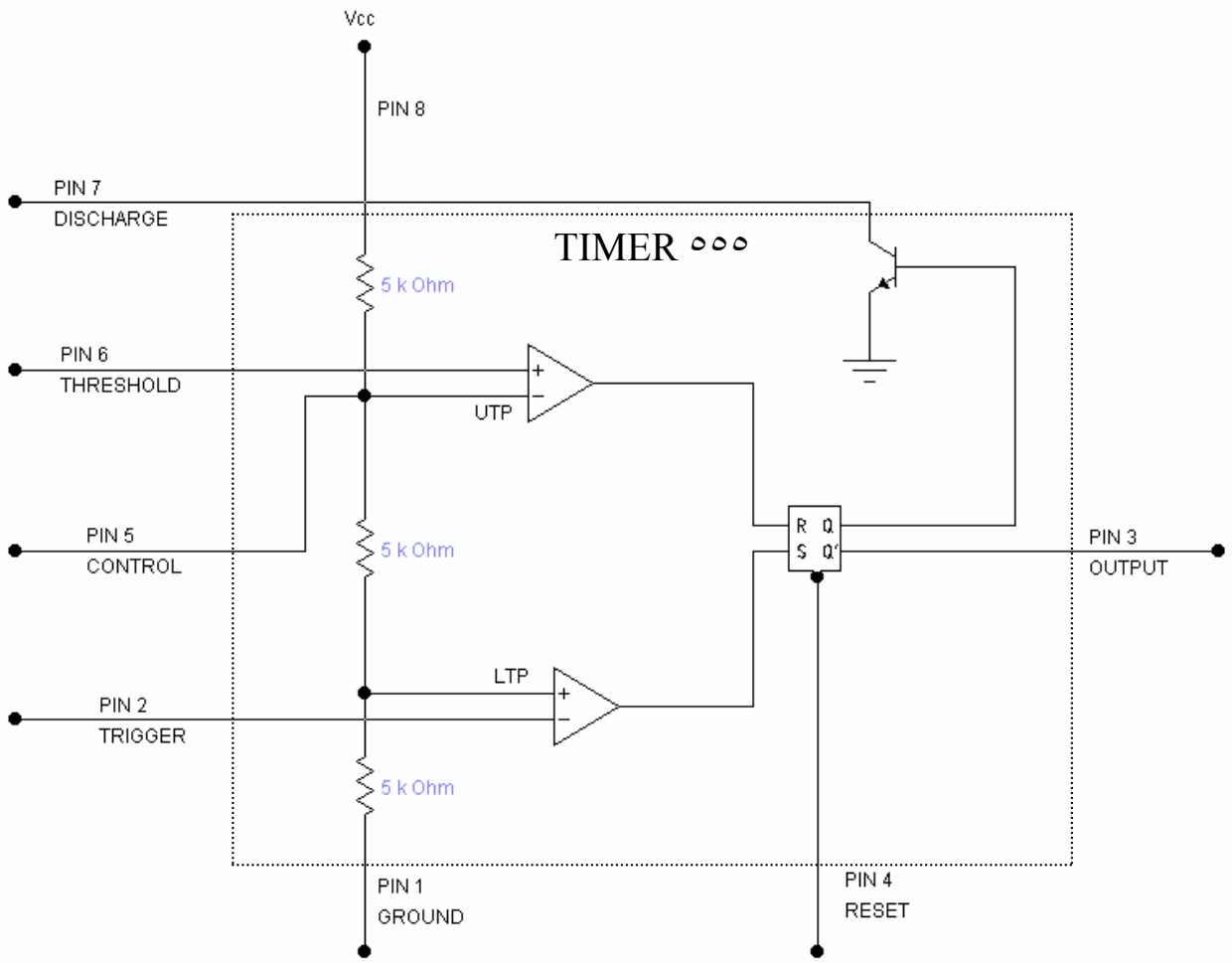
٥. حساب العوامل الخارجية للمؤقت ٥٥٥ :

الدائرة المتكاملة (٥٥٥) دائرة المؤقت العام وهي دائرة متعددة الاستخدام تتكون داخليا كما هو مبين في الشكل٢ -٤ من دوائر رقمية وكذلك دوائر تناظرية.

تتكون دائرة المؤقت ٥٥٥ من:

٤ -١. دائرتين من مكبر عمليات كمقارن

٤ -٢. دائرة قلب (RS FLIP-FLOP)



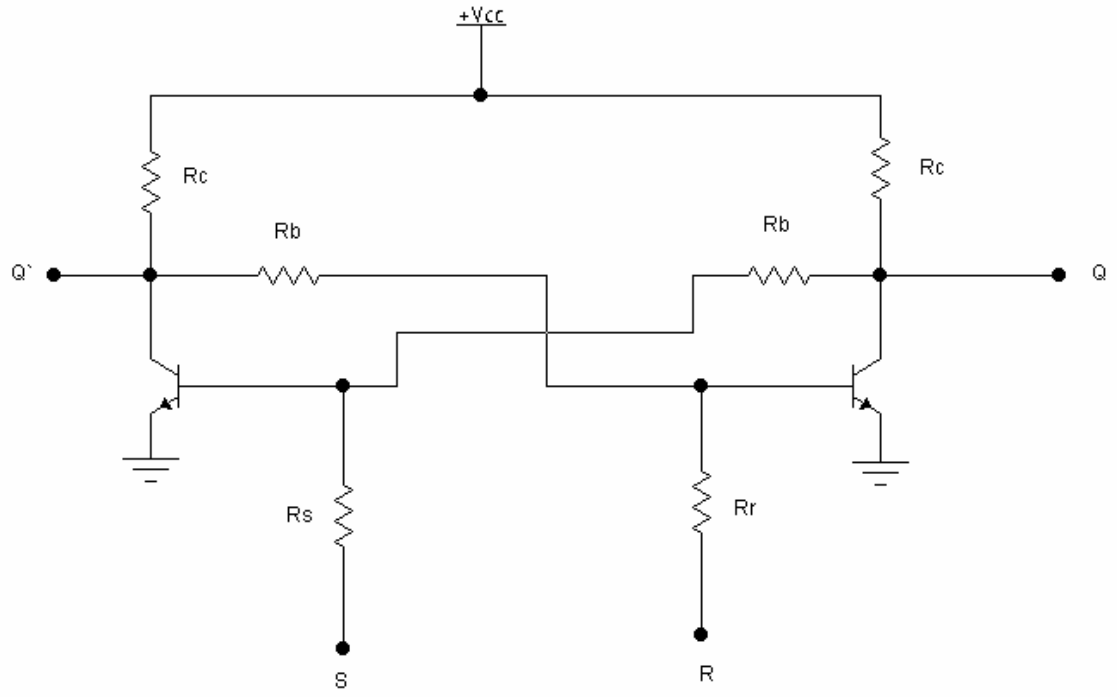
الشكل٢ -٤: المكونات الداخلية للمؤقت ٥٥٥

٤ -٣. ترانزستور ويستخدم في تفريغ المكثف والذي يسمى بمكثف التوقيت(Timing Capacitor)

دائرة قلب (الشكل٢ -٥)(RS FLIP-FLOP):

القلب RS يحتوي على خرجان Q و`Q لهما حالتان أعلى(High) و أدنى(Low). هذان الخرجان يكونان دائما متعاكسان.عندما يكون Q أدنى يكون `Q أعلى. وعندما يكون Q أعلى يكون `Q أدنى.

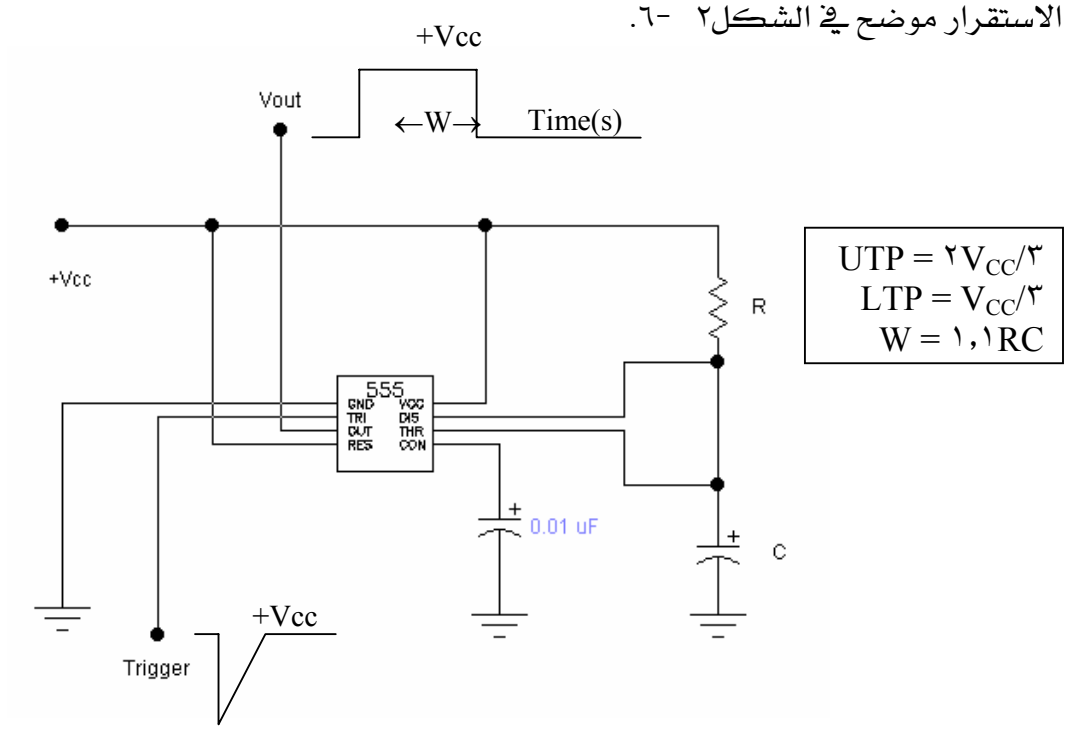
عندما نطبق جهد كبير نسبيا على الدخل S يشغل الترانزستور الأيسر في حالة التشبع(Saturation). هذا يؤدي إلى حالة قطع الترانزستور الأيمن(Cut off). وهكذا يكون Q أعلى و`Q أدنى. و إذا طبقنا جهد كبير نسبيا على الدخل R يشغل الترانزستور الأيمن في حالة التشبع و الترانزستور الأيسر في حالة القطع. دائرة القلب RS تسمى أحيانا مولد نبضات ثنائي الاستقرار (Bistable Multivibrator).



الشكل٢ -٥: قلب RS مكون من ترانزستوران

٦. دائرة مؤقت وحيد الاستقرار(Monostable):

دائرة مؤقت وحيد الاستقرار موضح في الشكل٢ -٦.



الشكل٢ -٦: دائرة مؤقت وحيد الاستقرار مع العناصر الخارجية

يلاحظ في هذه الدائرة أنه يجب إعطاء نبضة قدح على الطرف ٢ (TRI). عند تطبيق هذه الحافة على طرف القدح وعند وصول جهد إشارة القدح إلى أقل من ثلث جهد التغذية تتغير حالة خرج المؤقت عند الطرف ٣ (out) إلى الحالة H. تستخدم هذه الحالة لفترة زمنية مقدارها (١,١RC).

بعد مرور هذه الفترة تعود حالة خرج المؤقت إلى الحالة الأولى (حالة الاستقرار) و هي الحالة L.

اتساع (Amplitude) إشارة خرج هذا المؤقت يساوي تقريبا مقدار جهد التغذية.

حساب العوامل تعطى بالمعادلات التالية:

$$UTP = ٢V_{CC}/٣ \quad (١-٢)$$

$$LTP = V_{CC}/٣ \quad (٢-٢)$$

$$W = ١,١RC \quad (٣-٢)$$

حيث W طول النبضة في الخرج، UTP الجهد المطبق على الدخل العاكس(شكل٢-٤)، وLTP الجهد المطبق على الدخل الغير عاكس(الشكل٢-٤).

مثال٢-٣:

في الشكل٢-٦ : V_{CC} = ١٢V ، R = ٣٣ kΩ ، و C = ٠,٤٧ μF. احسب أقل جهد للقدح الذي ينتج نبضة في الخرج. احسب أكبر جهد للمكثف. احسب طول نبضة الخرج.

الحل:

للإجابة نستعمل المعادلات (٢ -١) و(٢ -٢) و(٢ -٣):

$$LTP = V_{CC}/٣ = ١٢\ V/٣ = ٤\ V$$

$$UTP = ٢V_{CC}/٣ = ٢(١٢\ V)/٣ = ٨\ V$$

$$W = ١,١RC = ١,١(٣٣\ k\Omega)(٠,٤٧\ \mu F) = ١٧,١\ ms$$

مثال٢-٤:

أحسب طول النبضة في الشكل٢-٦ في حالة R = ١٠ MΩ و C = ٤٧٠ μF.

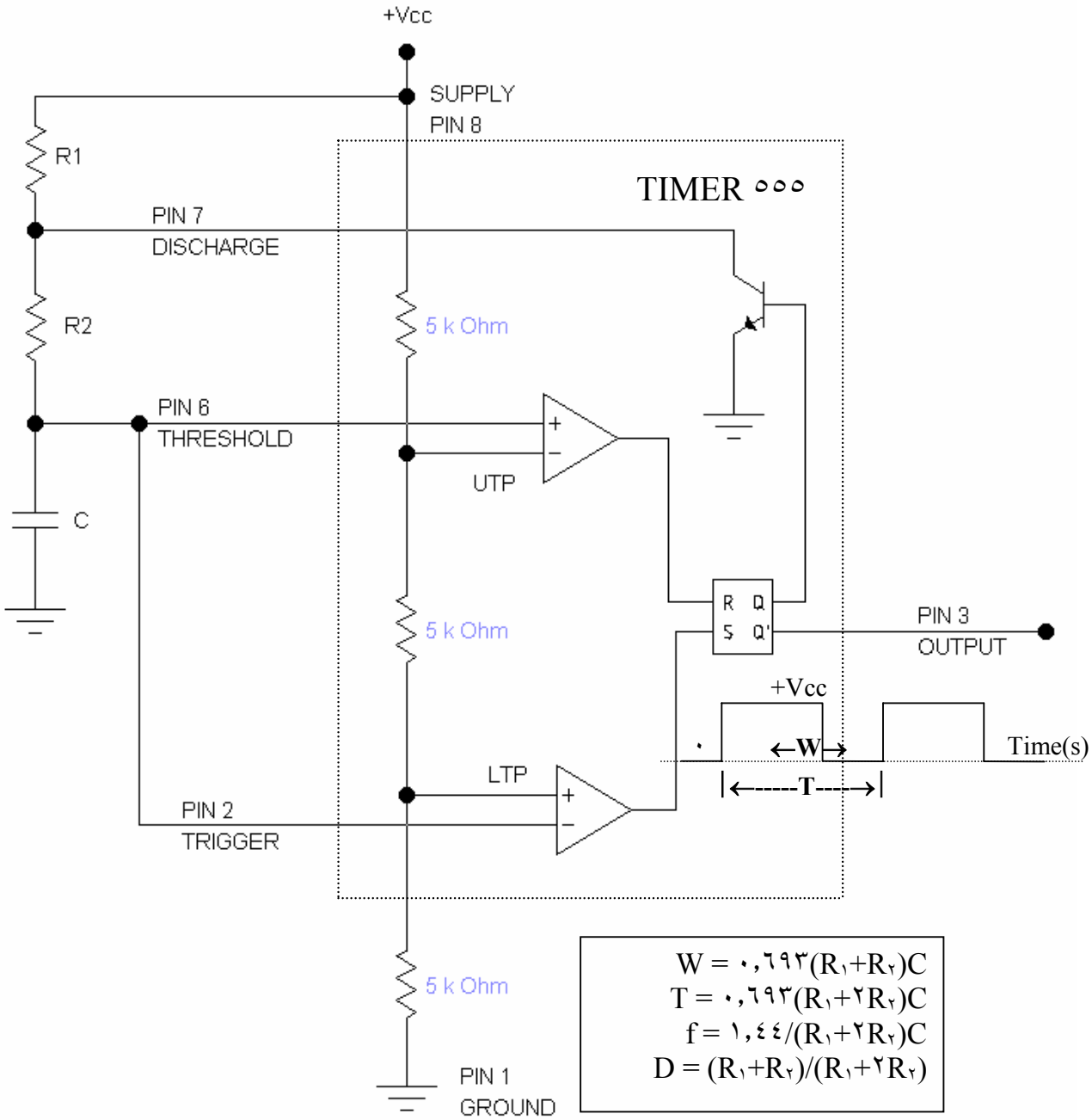
الحل:

$$W = ١,١RC = ١,١(١٠\ M\Omega)(٤٧٠\ \mu F) = ٥١٧٠\ s = ٨٦,٢\ mn = ١,٤٤\ hr$$

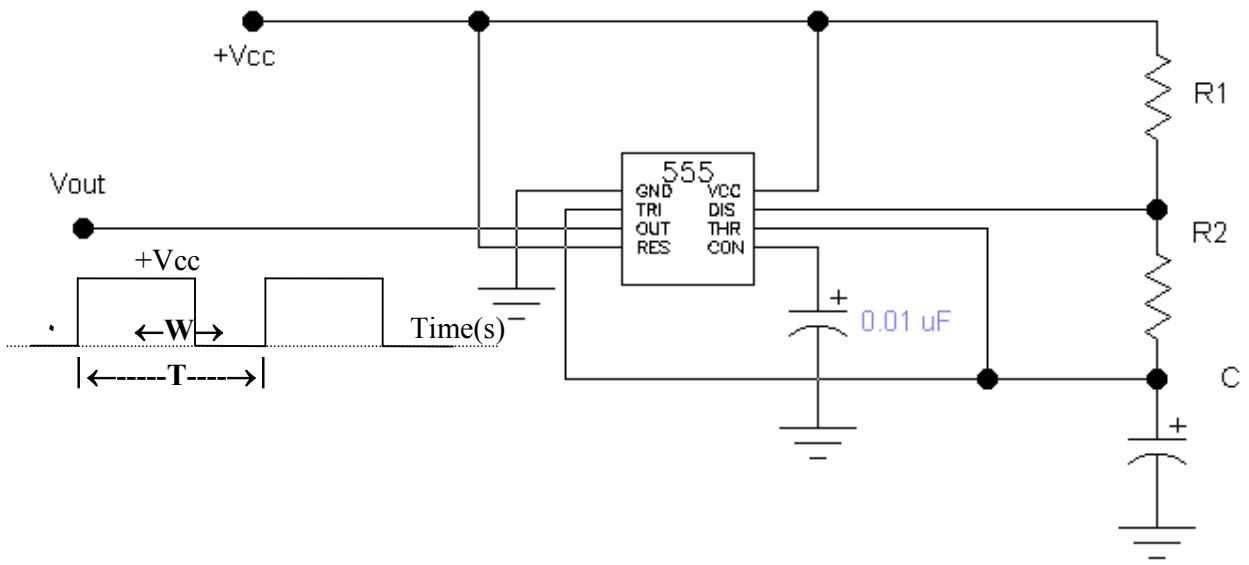
طول النبضة أكبر من ساعة.

٧. دائرة مؤقت عديم الاستقرار(Astable):

دائرة مؤقت عديم الاستقرار موضح في الشكل٢ -٧.



الشكل٢ -٧: دائرة مؤقت عديم الاستقرار مع العناصر الخارجية والداخلية



الشكل٢ -٨: دائرة مؤقت عديم الاستقرار مع العناصر الخارجية

في المؤقت ٥٥٥ المستخدم كمولد نبضات عديم الاستقرار(Astable Pulse generator) يكون شكل إشارة الخرج كما هو موضح في الشكل٢,٨ و الشكل٢ -٧. يحدد مقدار الزمن الدوري (Period) عن طريق اختيار قيم العناصر R_1 و R_2 و C. مواصفات إشارة الخرج (W, T, f, D) موضحة في الشكل٢ -٧ حيث W تمثل طول النبضة و T الدور الزمني و f التردد و D نسبة التشغيل.

مثال٢ -٥:

المؤقت ٥٥٥ الموضح في الشكل٢-٨ يحتوي على العناصر التالية بالقيم R_1 = ٧٥ kΩ ، R_2 = ٣٠ kΩ ، C = ٤٧ nF. احسب تردد إشارة الخرج.

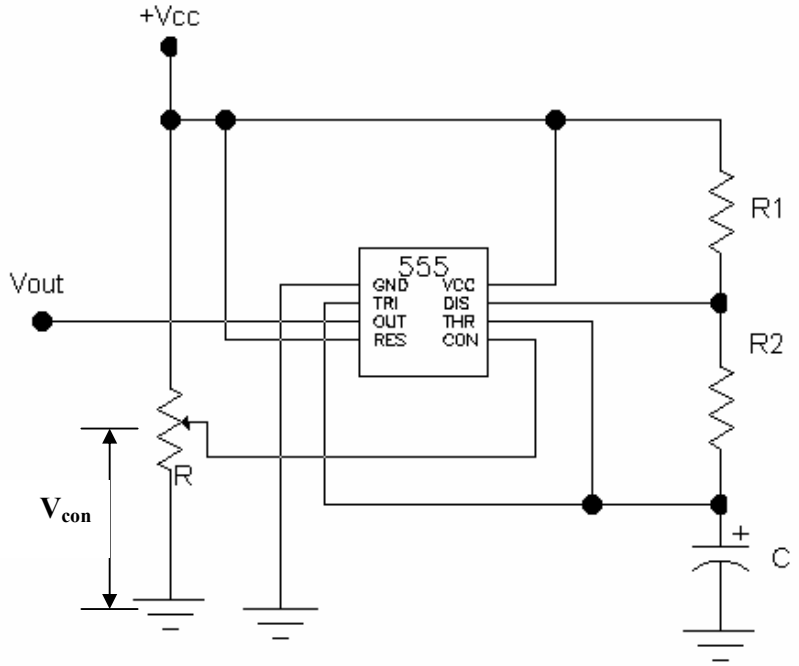
الحل:

باستعمال المعادلة في الشكل٢ -٧ نجد:

$$f = ١,٤٤/(R_1+٢R_2)C = ١,٤٤/(٧٥\ k\Omega+٦٠\ k\Omega)(٤٧\ nF) = ٢٢٧\ Hz$$

٨. دائرة مؤقت تحكم جهد في مذبذب (Voltage Controlled Oscillator):

دائرة مؤقت تحكم جهد في مذبذب (VCO) مع مواصفات اشارة الخرج موضحة في الشكل٢ -٨.



$$W = -(R_1+R_2)C\ln(V_{cc}-V_{con}/V_{cc}-0.5V_{con})$$
$$T = W+0.693R_2C$$
$$f = 1/(W+0.693R_2C)$$

الشكل٢ -٨: دائرة مؤقت تحكم جهد في مذبذب (VCO)

أين W طول النبضة و T الدور الزمني وf تردد اشارة الخرج.

مثال٢ -٦:

في الشكل٢ -٨ قيم العناصر تساوي: $R_1 = 75\ k\Omega$ ، $R_2 = 30\ k\Omega$ ، $C = 47\ nF$

أحسب التردد (f) و نسبة التشغيل(D) عند $V_{con} = 11V$. احسب التردد (f) و نسبة التشغيل(D) عند $V_{con} = 1V$.

الحل:

باستعمل المعادلات الموضحة في الشكل٢ -٨ نجد:

في حالة جهد التحكم V_{con} = ١١ V نجد:

طوت النبضة يساوي:

$$W = -(R_١+R_٢)C\ln(V_{cc}-V_{con}/V_{cc}\square ٠,٥V_{con})$$

$$= -(٧٥\ k\Omega + ٣٠\ k\Omega)(٤٧nF)\ln(١٢V - ١١V)/(١٢V - ٥,٥V) = ٩,٢٤\ ms$$

الدور الزمني للخرج يساوي:

$$T = W+٠,٦٩٣R_٢C = ٩,٢٤\ ms + ٠,٦٩٣(٣٠\ k\Omega)(٤٧\ nF) = ١٠,٢\ ms$$

نسبة التشغيل تساوي:

$$D = W/T = ٩,٢٤\ ms/١٠,٢\ ms = ٠,٩٠٦$$

التردد يساوي:

$$f = ١/T = ١/(W+٠,٦٩٣R_٢C) = ١/١٠,٢\ ms = ٩٨\ Hz$$

في حالة جهد التحكم V_{con} = ١ V نجد:

طوت النبضة يساوي:

$$W = -(R_١+R_٢)C\ln(V_{cc}-V_{con}/V_{cc}\square ٠,٥V_{con})$$

$$= -(٧٥\ k\Omega + ٣٠\ k\Omega)(٤٧nF)\ln(١٢V\square ١V)/(١٢V- ٠,٥V) = ٠,٢١٩\ ms$$

الدور الزمني للخرج يساوي:

$$T = W+٠,٦٩٣R_٢C = ٠,٢١٩\ ms + ٠,٦٩٣(٣٠\ k\Omega)(٤٧\ nF) = ١,٢\ ms$$

نسبة التشغيل تساوي:

$$D = W/T = ٠,٢١٩\ ms/١,٢\ ms = ٠,١٨٣$$

التردد يساوي:

$$f = ١/T = ١/(W+٠,٦٩٣R_٢C) = ١/١,٢\ ms = ٨٣٣\ Hz$$

التقويم الذاتي

٢ -١. مؤقت وحيد الاستقرار ٥٥٥ له العدد التالي من حالات الاستقرار:

(أ)٠ ، (ب)١ ، (ج)٢ ، (د)٣.

٢ -٢. مؤقت عديم الاستقرار ٥٥٥ له العدد التالي من حالات الاستقرار:

(أ)٠ ، (ب)١ ، (ج)٢ ، (د)٣.

٣ -٢. شكل إشارة خرج مؤقت ٥٥٥ تكون:

(أ) جيبية ، (ب) مثلث ، (ج) مربع ، (د) ناقص.

٤ -٢. من من المقادير التالية ليست بدخل و لا بخرج لمؤقت ٥٥٥؟

(أ)المبدأ ، (ب) جهد التحكم ، (ج) الساعة ، (د) القدح ، (هـ) التفريغ ، (و) اعادة الضبط،

تمارين

٢ -١. أعط أسماء العناصر الخمسة للدائرة المتكاملة للمؤقت ٥٥٥.

٢ -٢. احسب جهد المرجع لكل مقارن لمؤقت ٥٥٥ عند V_{CC} = ١٠ V.

٢ -٣. مؤقت عديم الاستقرار ٥٥٥ له R_1 = ١٠ kΩ, R_2 = ٢ kΩ, C = ٠,٠٠٤٧ μF. أوجد التردد.

٢ -٤. مؤقت ٥٥٥ وحيد الاستقرار له R_1 = ١٠ kΩ, C = ٠,٠٢٢ μF. ما هو عرض خرج النبظة؟

الأجوبة على اسئلة التقويم الذاتي

٢ -١. (ب)، ٢ -٢. (أ)، ٢ -٣ (ج)، ٢ -٤. (ج)

الأجوبة على التمارين

٢ -١. دائرة قلب (RS FLIP-FLOP)، دائرتين من مكبر عمليات كمقارن، ترانزستور تفريغ، و موزع جهد.

٢ -٢. $R_٤ = ٦٥,٨\ k\Omega$ ، $R_٥ = ٤٧\ k\Omega$.

٢ -٣. ٢١,٩ kHz

٢ -٤. ٢٤٢ µs

المحتويات

العنوان	الصفحة
مقدمة	
الوحدة الأولى : مكبرات العمليات	١
الوحدة الثانية :المؤقتات	٤١

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS