

دوائر إلكترونية

مكبرات العمليات

الوحدة الثانية: مكibrات العمليات

الجدارة: تعريف المتدرب بمكibr العمليات وتطبيقاته

الأهداف: عندما تكمل هذه الوحدة يكون لديك القدرة على:

- ✓ معرفة نظرية وخصائص مكibr العمليات
- ✓ معرفة معامل الجهد والنطاق ومقاومة الدخل ومقاومة الخرج
- ✓ معرفة الفرق بين مكibr عمليات مثالي و حقيقي
- ✓ معرفة مفهوم التغذية الخلفية السالبة وتأثيرها على خصائص المكibr
- ✓ معرفة المكibr العاكس وغير عاكس
- ✓ معرفة المكibr التفاضلي والتكاملى
- ✓ معرفة المرشحات الفعالة

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة .٪٨٠

الوقت المتوقع للتدريب: ١٤ ساعة.

الوسائل المساعدة:

- ✓ حاسوب.
- ✓ برنامج تصميم الدوائر الالكترونية
- ✓ وسائل العرض المرئية
- ✓ برنامج رسم المنحنيات

متطلبات الجدارة: تعلم جميع الجدارات السابقة لأول مرة

مقدمة :**الأهداف السلوكية:**

بعد دراسة هذه الوحدة يمكن المتدرب من:

- ✓ فهم مهام مكبر العمليات.
- ✓ معرفة المهام المختلفة بين مكبر العمليات المثالي و الحقيقى.
- ✓ معرفة المقصود بالجهد المشبع.
- ✓ التصنيف بين التغذية العكssية الموجبة والسلبية.
- ✓ استخراج العوامل الثابتة من كتب البيانات.
- ✓ وصف عمليات الدوائر المختلفة إضافة إلى المرشح الفعلى (العملى).

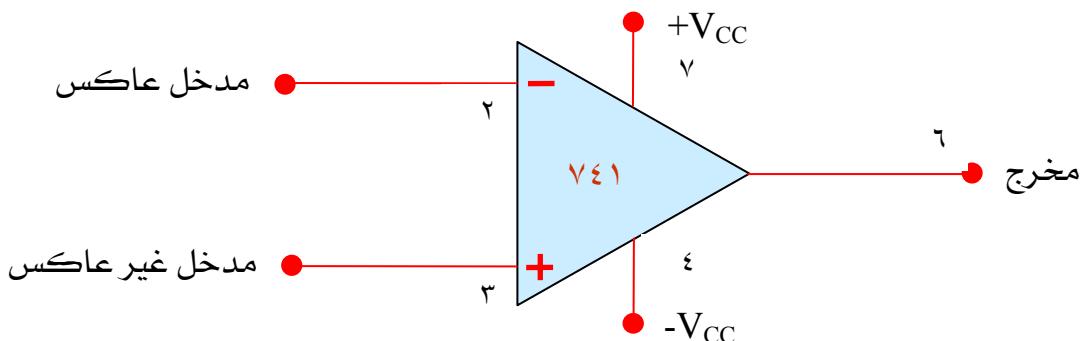
مكبر العمليات (Operational Amplifier) عبارة عن دائرة متکاملة (Integrated Circuit) تستخدم بكثرة في الأجهزة الإلكترونية في مجالات التحكم والاتصالات والحواسيب ومولدات الإشارة وخلاف ذلك.

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

١-١. نظرية وخصائص مكبر العمليات:**١-٢-٢. مقدمة:**

تم اختراع مكبر العمليات (Operational Amplifier) خلال الحرب العالمية الثانية في الأربعينيات وكانت وظيفته هي القيام بالعمليات الحسابية في أجهزة الحاسوب الموجودة في ذلك الوقت. ولهذا سميت بمكبرات العمليات. وطبعاً المكبرات الحديثة تختلف عن سابقاتها في طريقة صنعها و صفر حجمها وأدائها المتميز. مكبر العمليات دائرة متکاملة (Integrated Circuit) والدائرة المتکاملة تحتوي على عدد كبير من الترانزستورات والمقاومات والمكثفات مدمجة في شريحة واحدة.

نرمز للمكبر بالشكل التالي (شكل 1-2):

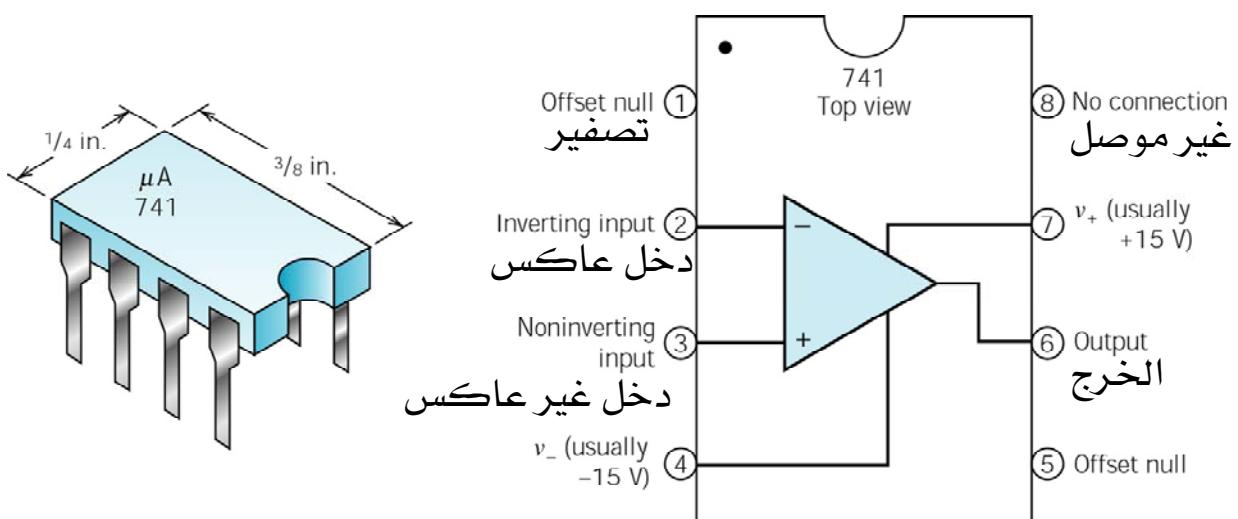


شكل 2-1: رمز مكابر عمليات

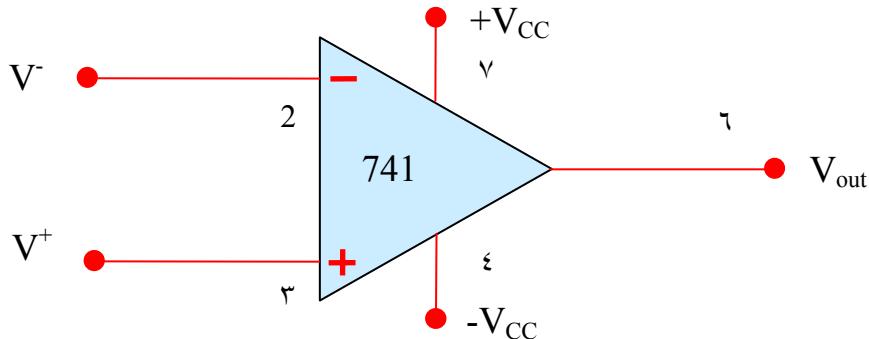
لمكابر العمليات خرج واحد ومدخلان: الأول يسمى المدخل العاكس (-) والآخر يسمى مدخل غير عاكس (+). وإذا طبقنا إشارة عند المدخل العاكس فإن قطببها (Polarity) سوف تتعكس عند المخرج. أما الإشارة المطبقة عند المدخل غير العاكس فإن قطببها لا يحدث لها أي تغيير عند المخرج. ومن خواص المداخل أنها تمتاز بمقاومة عالية.

لتشغيل المكابر نحتاج إلى مصدر للتغذية قادر على إعطاء جهد موجب (+V_{CC}) وجهد سالب (-V_{CC}) كما هو موضح في الشكل 2-1.

من أشهر مكibrات العمليات نوع يسمى المكابر 741 (OP AMP 741) وهو مكابر مشهور وله استخدامات عديدة ويتوفر على شكل شريحة كما هو موضح بالشكل 2-2 والشكل 2-3.



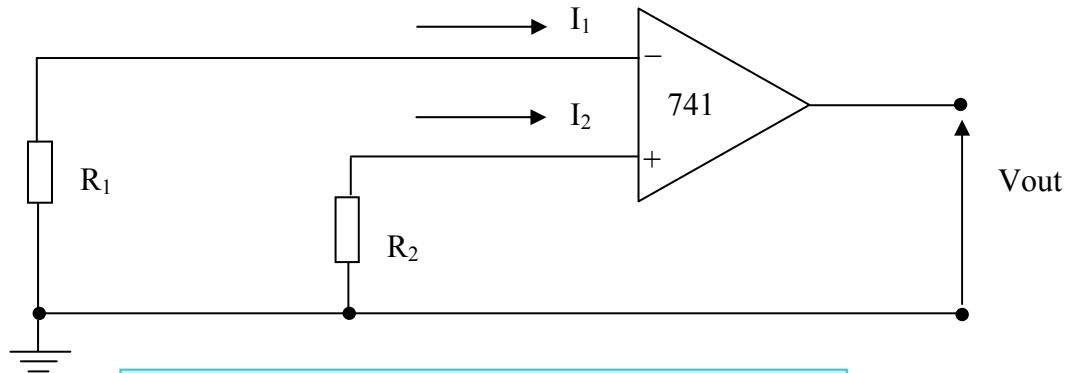
يمكن إضافة طرفين آخرين لضبط الخرج على الجهد صفر عندما تكون إشارة الدخل صفراء (أطراف الدخل متراكبة مع بعضها) تسمى هذه الأطراف تصفيير الإزاحة (Offset Null). نضبط الخرج على الصفر عندما يكون الدخالان متساوين. الأطراف الرئيسية لمكبر العمليات موضحة في الشكل 4-2.



شكل 4-4: الأطراف الرئيسية لمكبر عمليات 741

٤-٢-٢. خصائص مكبر عمليات: (تحسب هذه الخصائص من الشكل 5-5)

$A_{cm} < 1$	كسب نسق مشترك Common-Mode Gain
$CMRR = \frac{A_{OL}}{A_{cm}}$	نسبة رفض النسق المشترك Common-Mode Rejection Ratio
$CMRR = 20 \log \left(\frac{A_{OL}}{A_{cm}} \right)$	نسبة رفض النسق المشترك بالديسيبل Common-Mode Rejection Ratio (dB)
$I_{BIAS} = \frac{I_1 + I_2}{2}$	تيار الدخل الانحيازي Input bias current
$I_{os} = I_1 - I_2 $	تيار دخل الضبط Input offset current
$V_{os} = I_{os} R_{in}$	جهد الضبط Offset voltage
$V_{OUT(error)} = A_V I_{os} R_{in}$	خطأ جهد الخرج Output error voltage
$SR = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta t}$	نسبة تغير جهد الخرج Slew rate



شكل 2-5: مكبر عمليات بدون إشارات دخل

٣-٢-٢. جهد الإشباع:

نشغل مكبر العمليات بجهدين متساوين و متعاكسين مثل (-18V,+18V)، (-15V,+15V)، (0V,30V). هذه المصادر للجهد بعض الأحيان نستخدم جهدين غير متناظرين مثل (-12V,+18V)، و (0V,30V). توفر القدرة اللازمة للتشغيل وتحدد أقصى مستوى لإشارة الخرج، هذه الأخيرة تسمى جهد الإشباع وتحسب كالتالي:

$$(1-2) \quad +V_{sat} = +V_{supply} - 2V$$

$$(2-2) \quad -V_{sat} = -V_{supply} + 2V$$

حيث (V_{Supply}) يمثل جهد تغذية مكبر العمليات و (V_{Sat}) يمثل جهد التشبع. جهد التشبع يكون دائماً أقل من جهد التغذية بحوالي (2V) بسبب ضياع قدرة على شكل حرارة داخل مكبر العمليات. مما يعني أن خرج مكبر العمليات يكون في الحدود:

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

نعرف جهد إشارة الدخل بالفرق بين جهد الدخل (V^+) وجهد الدخل (V^-) ويسمى جهد الدخل الفرقي. الدخل الفرقي V_d يعطى بالعلاقة:

$$(3-2) \quad V_d = V^+ - V^-$$

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 لمكبر عمليات 741 هي 200,000. من هذا نحصل على:

$$(4-2) \quad V_{out} = A_{OL} V_d$$

طاما $V_{out} < V_{sat}$. إذا كان حاصل الضرب أكبر من V_{sat} يكون الخرج $+V_{sat}$ أو $-V_{sat}$ على حسب إشارة الجهد الفرقي V_d .

مثال (1-2):

إذا كان جهد المصدر يساوي 15V و كسب الدائرة المفتوحة يساوي 200,000 حدد أقصى جهد دخل فرقي لتجنب الإشباع لإشارة الخرج. كرر الحل لكسب دائرة مفتوحة بقيمة 500,000.

الحل:

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

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

إذاً أقصى جهد الخرج لا يجب أن يتعدى 13V.

$$V_d = V_{out}/A_{OL} = 13V/200000 = 65\mu V$$

$$V_d = V_{out}/A_{OL} = 13V/500000 = 26 \mu V : A_{OL} = 500000$$

إذا زاد الدخل عن القيم أعلاه فإن الخرج يصل للإشباع. هذا يعني أن الدخل الذي لا يدخل المكبر في الإشباع بالنسبة للدائرة المفتوحة صغير جدا.

ملاحظة:

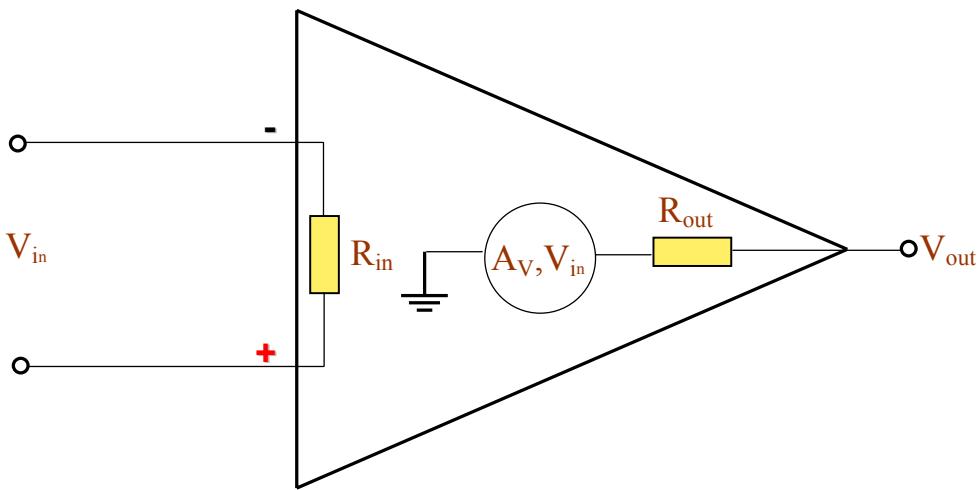
- (١) بما أن كسب الدائرة المفتوحة كبير جدا فإن هذه الدائرة تستعمل عادة كدائرة مقارن.
- (٢) لتقليل كسب الجهد ومنه تجنب الإشباع نستعمل ما يسمى باللغزية الخلفية وتصبح الدائرة أكثر استقراراً.

٤-٢-٢. مقاومة الدخل (R_{in}):

مقاومة الدخل الكبيرة تعني أن هذا المكابرلن يؤثر على مصدر إشارة الدخل حيث إن مقاومة الدخل عملياً في حدود $1 M\Omega$ مما يجعل الحمل على إشارة الدخل (التيار) صفراء. الشكل 2-6 يوضح مقاومة الدخل (R_{in}) في الدائرة المكافئة.

٥-٢-٢. مقاومة الخرج (R_{out}):

مقاومة الخرج هي المقاومة المرئية من عقدة الخرج وتكون صغيرة جداً. الشكل 2-6 يوضح مقاومة الخرج (R_{out}) في الدائرة المكافئة.



شكل 2-6: الدائرة المكافئة لمكبر العمليات 741

٦-٢-٢. التغذية الخلفية في مكبرات العمليات:

تحدثنا عن كسب الدائرة المفتوحة وهي كمية مفيدة ولكن في معظم الأحيان نريد تجنب الإشباع ولهذا يصبح A_{OL} غير مرغوب فيه. نستخدم في هذه الحالة ما يسمى بالتغذية الخلفية (Feedback). التغذية الخلفية هي عبارة عنأخذ كل أو جزء من إشارة الخرج وإعادتها إلى الدخل.

هناك نوعان من التغذية الخلفية: تغذية خلفية سالبة وأخرى موجبة. التغذية الخلفية الموجبة تؤدي لزيادة إشارة الدخل والتغذية الخلفية السالبة تؤدي لتتناقص إشارة الدخل. في دوائر مكبرات العمليات نستخدم التغذية الخلفية السالبة حيث إن دخلاً قليلاً جداً كاف لإيجاد خرج كبير من المكابر وهذا فإن التغذية

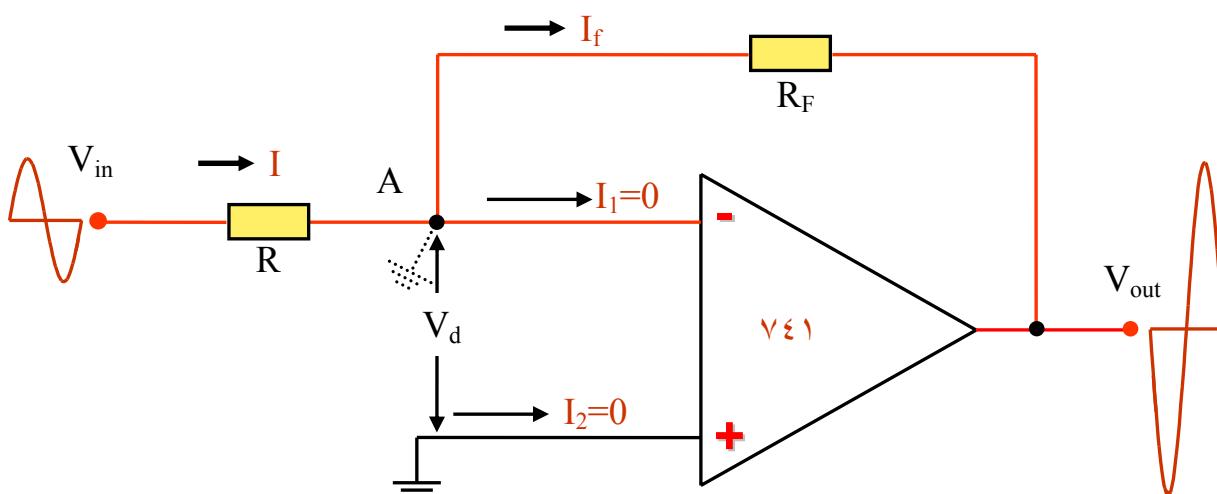
الخلفية الموجبة ستدفع إشارة الخرج للإشباع بسرعة وهذا لن يكون ذا فائدة في التكبير ويؤدي إلى زيادة عدم الاستقرار.

الشكل 2-7 يوضح مثلاً للتغذية الخلفية السالبة. سنفترض أن الإشارة في الخرج خارج الإشباع ولذا تكون الإشارة V_d أقل من $65 \mu V$.

بما أن الدخل غير العاكس على مستوى جهد الأرض فإن الدخل على النقطة A يكون:

$$-65 \mu V < V_A < +65 \mu V$$

هذا الجهد لصغره المتناهي يمكن افتراض أنه يساوي صفرًا وهذه النقطة تسمى نقطة الأرض الافتراضي $. V_A = 0 V$. لذا سنفترض دائمًا (Virtual Earth).



شكل 2-7: التغذية الخلفية السالبة

ثانياً بما أن مقاومة الدخل لهذه المكibrات كبيرة جداً فيمكن القول أن $R_{in} \gg R_F$ حيث وهذا يعني أن كل التيار الذي يمر بمقاومة الدخل R_{in} يمر أيضاً بمقاومة التغذية الخلفية R_F تقريباً حيث إن التيار الذي يدخل إلى المكابر يساوي صفرًا تقريباً. إذا كتبنا معادلة التيارات سنجد:

$$(5-2) \quad I = \frac{V_{in} - V_A}{R_{in}}$$

$$(6-2) \quad I_f = (V_A - V_{out}) / R_F$$

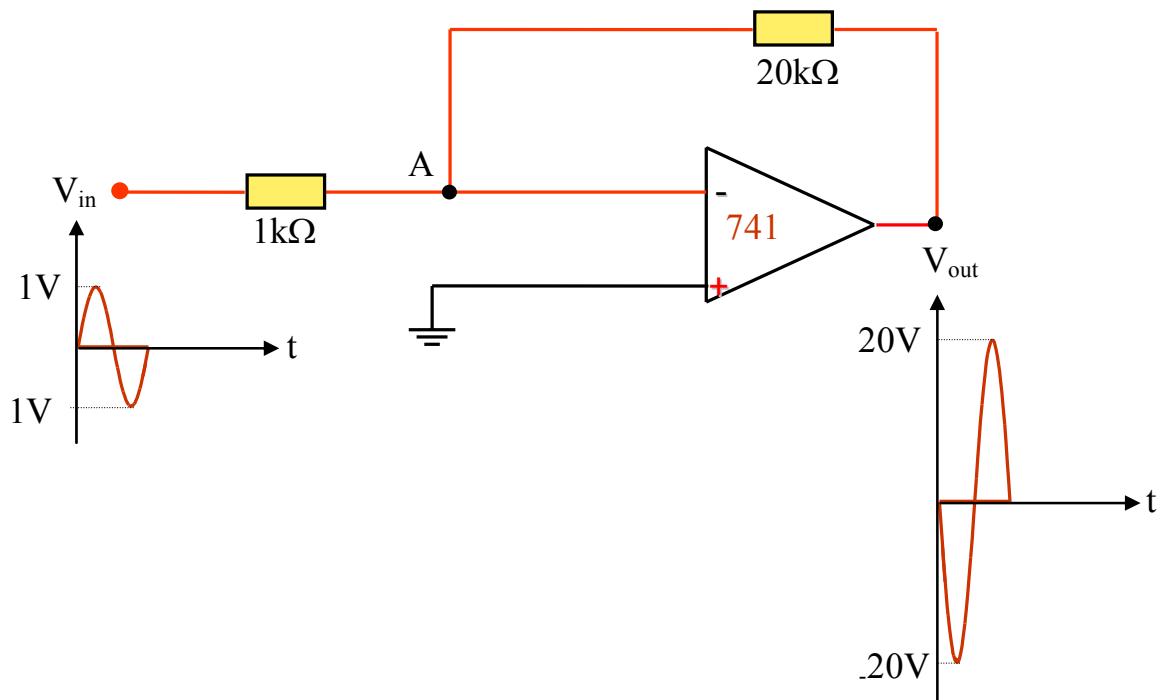
بتطبيق قانون التيار في العقدة A نحصل على المعادلة التالية: $I_f = I$

$$\frac{V_{in}}{R_{in}} = -\frac{V_{out}}{R_F} \Leftarrow V_A = 0$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_{in}} \Leftarrow \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{جهد الدخل}} = \frac{\text{كسب الجهد}}{\text{جهد الدخل}}$$

ومنه نحصل على العلاقة بين جهد الخرج V_{out} وجهد الدخل V_{in}

مثال 2-2: احسب جهد الخرج للدائرة بالشكل 8-2



شكل 2-8: شكل المثال 2-2

$$\text{الحل: } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_{in}} = -\frac{20k\Omega}{1k\Omega} = -10$$

$$V_{out}(P) = A_v V_{in} = -20 \times 1V = -20V \quad : V_{out}(P)$$

٧-٢-٢. مواصفات مكبرات العمليات:**-٢ -٢ -١. جهد المصدر:**

يكون هذا جهد مصدر تغذية للمكثف ويكون متاظرا عادة (مثل مع 741) ويحدد أقصى جهد للخرج (بتحديد قيمة جهد الإشباع).

-٢ -٢ -٢. الدخل الفرقي (V_d):

وهو يساوي جهد الدخل غير العاكس ناقص جهد الدخل العاكس.

(7-2)

$$V_d = (V^+ - V^-)$$

-٢ -٢ -٣. القدرة المستهلكة (Power Dissipation):

وهي حاصل ضرب التيار في الخرج والجهد بين طرفي الدخل للمكثف. هذه قدرة قصوى وتقلل باستخدام معامل تناقص القدرة مع ازدياد درجة الحرارة.

$$P = I_{out} \cdot V_d$$

مثال 3-2:

أحسب القدرة المستهلكة من طرف مكثف عمليات مع $V_d=10V$ و $I_{out}=100mA$.

الحل:

$$P = I_{out} \cdot V_d = (100mA)(10V) = 1000mW = 1W$$

-٢ -٢ -٤. درجة حرارة التشغيل:

هي حدود درجات الحرارة التي سيعمل بها المكثف. إذا تجاوزت هذه الحدود ربما عمل المكثف بصورة غير متوقعة أو لا يعمل مطلقا.

-٢ -٢ -٥. مقاومة الدخل:

وهذه هي مقاومة بين أطراف الدخل وتكون كبيرة جدا ($2M\Omega$ للمكثف 741).

-٢ -٦ . مدى جهد الدخل:

أقصى مدى يعمل عنده المكابر كما توضح أوراق الموصفات مثلاً للمكابر 741 ومدى جهد الدخل من $+13V$ إلى $+15V$ مع جهد مصدر $-15V$ و $+15V$.

-٢ -٧ . كسب جهد الإشارات الصغيرة:

هو كسب الدائرة المفتوحة وهو كبير جداً في العادة. للمكابر 741 يساوي هذا الكسب $200,000$ أي $200V/1mV$.

-٢ -٨ . أقصى مدى لجهد الخرج:

ويحدد المدى الأقصى بجهد المصدر والحمل. عند الحمل الصغير يقترب المدى من جهد المصدر وعند الحمل الكبير يبتعد عنه. عند حمل صغير (أقل من $10k\Omega$) للمكابر 741 يتراوح مدى الجهد من $+13V$ إلى $+14V$ وعند حمل كبير (أكبر من $2k\Omega$) يتراوح مدى الجهد من $+13V$ إلى $+14V$.

-٢ -٩ . نسبة رفض إشارات النسق المشتركة (CMRR):

يعرف كسب النسق المشترك بأنه $A_{cm} = \frac{V_{out}}{V^+ - V^-}$ حيث V^+ وصلة صريحة. غالباً ما يكون أقل بكثير من الوحدة ($A_{cm} = 0.01$ قيمة نموذجية). تحدد حساسية كسب النسق المشترك من نسبة رفض النسق المشترك (CMRR) والمحدد بالمعادلة التالية:

$$CMRR = \frac{A_{OL}}{A_{cm}}$$

وبالديسيبل (db):

$$CMRR(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{A_{OL}}{A_{cm}} \right) = 20 \log(CMRR)$$

تتراوح القيم النموذجية لـ CMRR بين 100 و 10000 وتتراوح قيم CMRR(dB) المقابلة بين 40dB و 80dB.

ستعمل وحدة الديسيبل (Decibel) لتحويل أعداد كبيرة إلى أعداد صغيرة وكذلك للتوحيد مع هذه الوحدة المستعملة في مواد أخرى كدراسة الصوت.

٧ - ٢ - ١٠. معدل تغير إشارة الخرج (Slew Rate) :

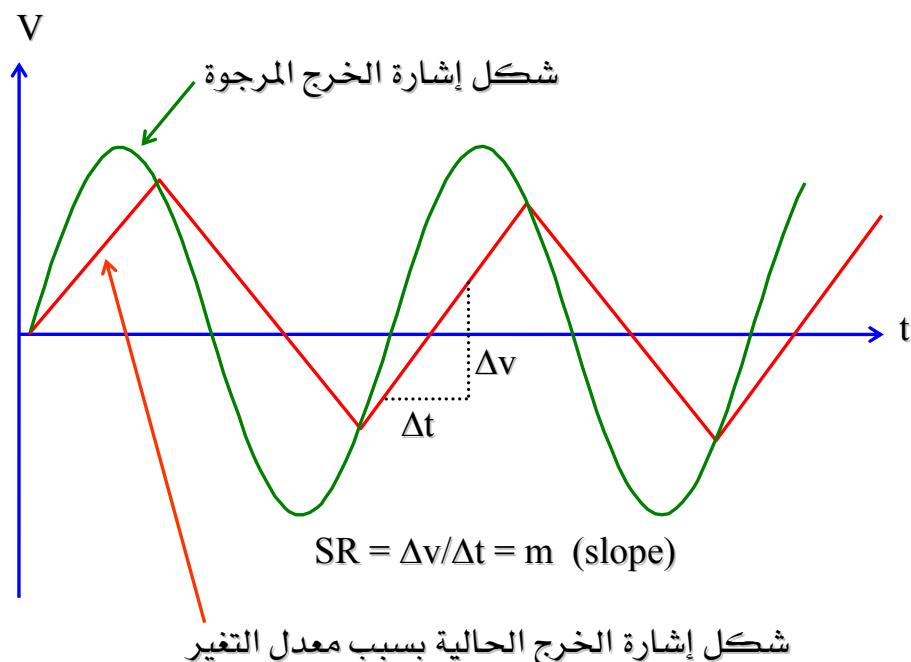
ويحدد سرعة تغير مستوى إشارة الخرج وكلما ارتفعت هذه القيمة كلما زاد التردد الأقصى الذي يستطيع المكابر أن يتعامل معه. بالنسبة للمكابر 741 فـيقيمة هذا المعدل هي $0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$. هذا يعني أن الإشارة

جيبيـة بـقيـمة قصـوى V 80 Hz. كلـما زـادـتـ الـقـيـمةـ القـصـوىـ كـلـماـ تـاقـصـ التـرـددـ.

نـحـصلـ عـلـىـ ذـلـكـ مـنـ الـمـعـادـلـةـ لـإـشـارـةـ الـجـيـبـيـةـ:

$$(8-2) \quad S_R = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta t}$$

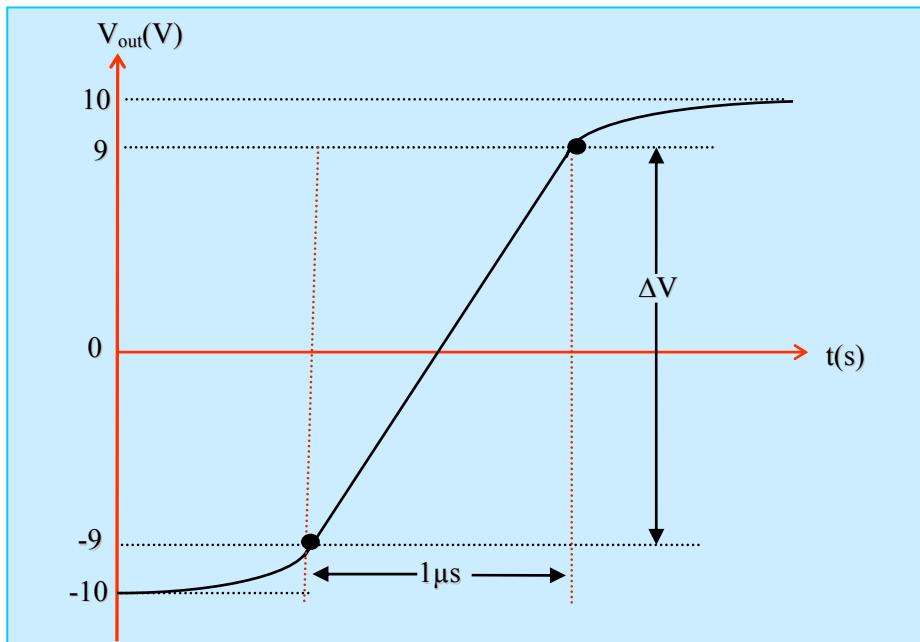
الشكل 9 يوضح تغير جهد الخرج مع الزمن.



شكل 9: إشارة الخرج الحالية والمرجوة

مثال 2-4: جهد خرج مكibr عمليات موضح في الشكل 2-10. حدد معدل تغير إشارة الخرج.

$$\text{الحل: } SR = \frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta t} = \frac{+9V - (-9V)}{1\mu s} = 18V/\mu s = 18mV/ns$$



شكل 2-10: شكل مثال 2-4

يُلاحظ أن كلما كان معدل تغير إشارة الخرج (Slew Rate) صغير كلما كانت إشارة الخرج غير مشوهة. مثلاً بالنسبة لمكibr عمليات 741، معدل تغير إشارة الخرج يساوي $0.5 V/\mu s$. بالنسبة للمكibrات المستعملة في قطاع الصحة تكون موصفاتها قريبة جداً من المثالية حسب الجدول 2-1، ومكافأة عشرات المرات مقارنة بسعر تلك المستعملة في الورش الإلكترونية.

٨-٢-٢. المكير المثالي والمكير الحقيقي:

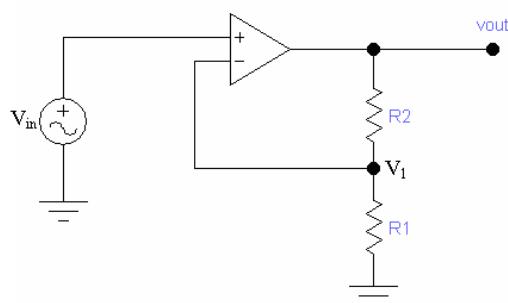
بعض القيم لمكير عمليات مثالي وحقيقي لدائرة مفتوحة نقلناها في الجدول ١-٢ :

مثالي Ideal	LH0003	OP-07	LF351	LM741C	العنصر Device	الخاصة
	Hybrid BJT	BJT	BiFET	BJT	Technology	
∞	40 k	400 k	100 k	200 k	A_{OL}	كسب مكير العمليات كسب دائرة مفتوحة
∞	100 k Ω	8 M Ω	10 T Ω	2 M Ω	R_{in}	مقاومة الدخل
0	50 Ω	60 Ω	30 Ω	50 Ω	R_{out}	مقاومة الخرج
0	70 V/ μ s	0.3 V/ μ s	13 V/ μ s	0.5 V/ μ s	SR	معدل تغير جهد إشارة الخرج
∞	90 dB	110 dB	100 dB	90 dB	CMRR	نسبة رفض النسق المشترك

جدول ١-٢: قيم مكير عمليات مثالي وحقيقي

في حالة دائرة مغلقة هذه القيم تختلف وتعلق بالطبع بالدائرة.

مثال ٥-٢-١١: في الشكل ١١-٢ حدد كسب الجهد للدائرة في حالة مكير مثالي وفي حالة مكير حقيقي



شكل ١١-٢: شكل المثال ٥-٢-١١

الحل:

في حالة مكابر مثالي: الجهد V_{in} يساوي الجهد V_1 لأن المكابر مثالي.

من قانون توزيع الجهد:

$$V_{in} = V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out}$$

: (Closed Loop Gain) و منه نجد كسب الجهد للدائرة المغلقة

$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

في حالة مكابر حقيقي:

بتطبيق قانون توزيع الجهد نحصل على:

$$B = \frac{V_1}{V_{out}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

وبالتعويض في عبارة جهد خرج الدائرة المغلقة نحصل على:

$$V_{out} = A_{OL} (V_{in} - V_1) = A_{OL} (V_{in} - BV_{out})$$

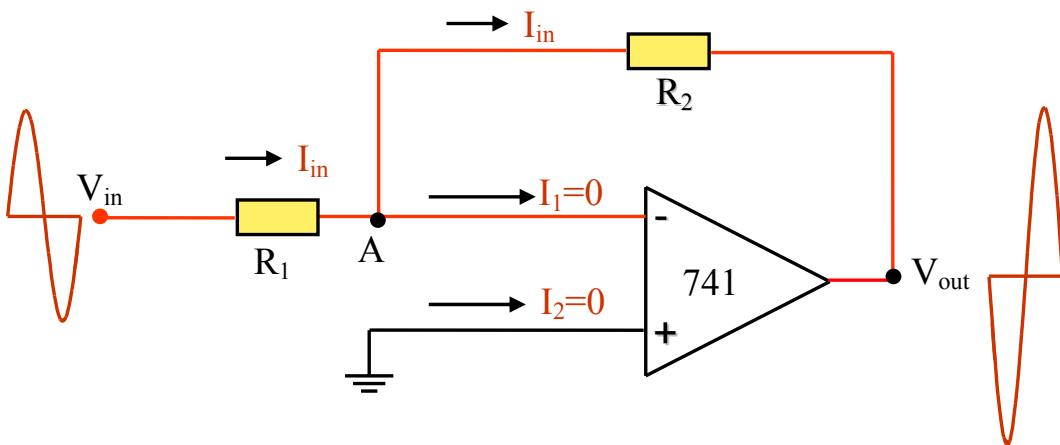
ومنه نجد كسب جهد الدائرة المغلقة : A_{CL}

$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_{OL}}{1 + A_{OL} B}$$

٩-٢-٢. تطبيقات مكibr العمليات:

١-٢-٩. مكibr عاكس (Inverting Amplifier):

دائرة مكibr عاكس باستعمال مكibr عمليات موضحة في الشكل 12-1.



شكل 12-1: دائرة مكibr عاكس

تعتبر دائرة مكibr عاكس باستعمال مكibr عمليات التطبيق الأساسي لمكibr العمليات.

مفهوم الأرض الافتراضي: مكibr عمليات مثالي كسب جهد دائرة مفتوحة لانهائي ومقاومة دخل

لانهائي. من هذا نستطيع القول (شكل 12-12):

أ. بما أن مقاومة الدخل كبيرة جدا ($R_{in} = \infty$) إذن $I_1 = 0$ و $I_2 = 0$.

ب. إذا فرق الجهد على طرفي الدخلين يساوي صفر (عدم وجود تيار يؤدي إلى عدم وجود جهد).

وبما أن الدخل الغير عاكس موصل بالأرضي فالجهد يساوي صفر وبالتالي الجهد في العقدة A يساوي بالطبع صفر ($V_A = 0$).

بما أن التيار الذي يدخل المكibr من الإشارة السالبة (-) يساوي صفرًا إذا التيار الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار الذي يمر في المقاومة R_2 كما هو موضح في الشكل 12-12.

كسب الجهد:

بما أن ($V_A = 0$) إذن $V_{out} = -I_{in}R_2$ وكذلك $V_{in} = I_{in}R_1$

بقسمة V_{out} على V_{in} نحصل على كسب الجهد A_{CL} للدائرة المغلقة الموضحة في الشكل 12-12.

$$(9-2) \quad A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{-R_2 I_{in}}{R_1 I_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

لاحظ أن الإشارة الخارجية عكس الإشارة الداخلية.

عرض النطاق (Bandwidth)

نطاق الدائرة المفتوحة BW يساوي تردد القطع f_c لمكابر العمليات.

في حالة مكابر $C_{OL} = 10\text{Hz}$: $f_{C(OL)} = 741C$

و في حالة تغذية خلفية النطاق يزداد و يعطى بالعلاقة التالية:

$$(10-2) \quad BW = f_{C(CL)} = \frac{f_{unity}}{A_{CL}}$$

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_1 \Leftarrow$$

مقاومة الدخل = $\frac{\text{جهد الدخل}}{\text{تيار الدخل}}$ مقاومة الدخل:

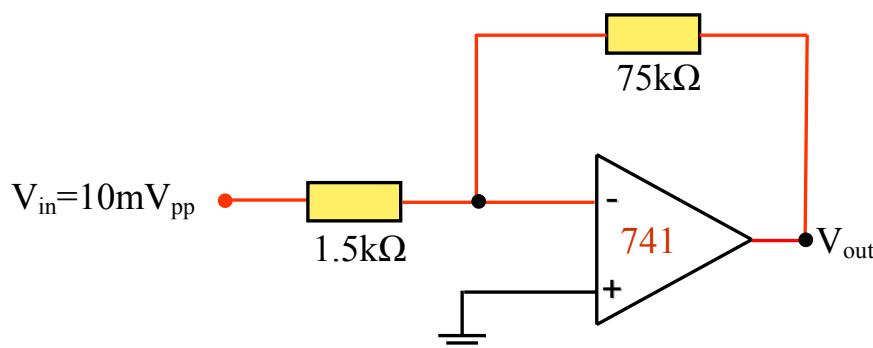
$$R_{out} = \frac{V_{out}}{I_{out}} = 0 \Leftarrow$$

مقاومة الخرج = $\frac{\text{جهد الخرج}}{\text{تيار الخرج}}$ مقاومة الخرج:

أي أن مقاومة خرج دائرة مكابر عاكس تساوي مقاومة خرج مكابر عمليات مثالي

مثال 6-2:

في الشكل 6-13 جهد الخرج V_{out} غير معروف. احسب كسب جهد الدائرة المغلقة وعرض النطاق حيث $f_{unity} = 1\text{MHz}$. احسب جهد الخرج عند 1kHz و عند 1MHz ثم ارسم مخطط بود (الاستجابة التردية).



شكل 2-13: دائرة مكبر عاكس للمثال 2-6

الحل:

باستعمال المعادلة (9-2) كسب جهد الدائرة المغلقة يساوي: $A_{CL} = -75\text{k}\Omega / 1.5\text{k}\Omega = -50$

باستعمال المعادلة (10-2) عرض نطاق الدائرة المغلقة يساوي: $f_{C(CL)} = 1\text{MHz} / 50 = 20\text{kHz}$

جهد الخرج عند 1 kHz هو: $V_{out} = -50(10\text{mV}_{pp}) = -500\text{mV}_{pp}$

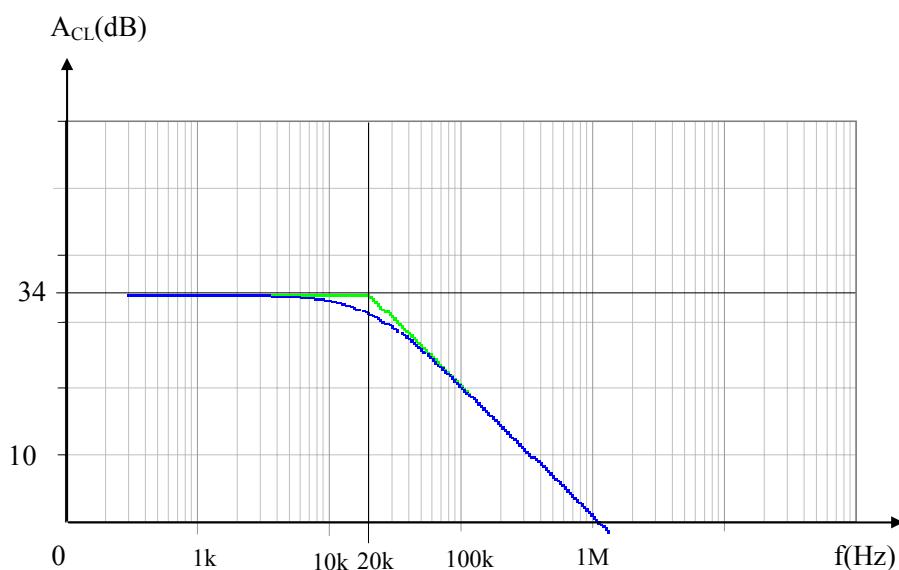
بما أن 1MHz هو كسب التردد الوحيد $A_{CL} = 1 = 0\text{dB}$ فإن جهد الخرج عند 1MHz يساوي:

$$V_{out} = 10 \text{ mV}_{pp}$$

الشكل 2-14 يبين رسم الاستجابة التردديّة (Bode) المثالي لـ كسب جهد الدائرة مغلقة. القيمة

المكافأة بالديسيبل (Decibel) لـ 50 هي 34dB (طريقة مختصرة: 50 هي نصف 100، أو أقل

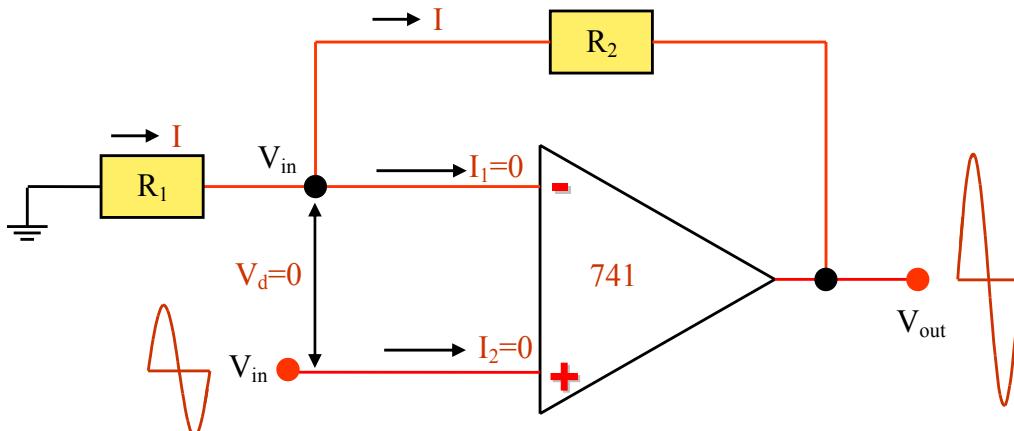
بـ 6 dB من 40dB).



شكل 2-14: الاستجابة التردديّة للمثال 2-6

٢-٩-٢. مكابر غير عاكس (Noninverting Amplifier)

دائرة مكابر غير عاكس موضحة في الشكل 2-15.



شكل 2-15: دائرة مكابر غير عاكس

في حالة مكابر مثالي، التيار الذي يدخل مكابر العمليات من الطرف (+) يساوي صفر والتيار الذي يدخل من الطرف (-) يساوي صفر. فرق الجهد بين مدخل مكابر العمليات يساوي صفر. إذا جهد الدخل V_{in} يساوي الجهد بين المقاومتين R_1 و R_2 . والتيار الذي يمر في المقاومة R_1 يساوي التيار الذي يمر في المقاومة R_2 . ليكن هذا التيار I .

كسب الجهد:

بتطبيق قانون توزيع الجهد على مقاومتين نحصل على المعادلة التالية:

$$(11-2) \quad V_{in} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{out}$$

و منه نحصل على **كسب الجهد** (A_{CL}) لمكابر العمليات لدائرة مغلقة (شكل 2-15) لمكابر غير عاكس.

$$A_{CL} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$(12-2) \quad A_{CL} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

$$V_{out} = A_{CL} V_{in}$$

جهد الخرج:

لاحظ أن الإشارة الخارجية والإشارة الداخلية غير متعاكستين.

عرض النطاق (Bandwidth): نطاق الدائرة المفتوحة أو تردد القطع لمكبر عمليات صغيرة جداً بسبب وجود مكثف.

في حالة مكبر $f_{C(OL)} = 10 \text{ Hz}$: $741C$

وفي حالة تغذية خلفية النطاق يزداد ويعطى بالعلاقة التالية:

$$(13-2) \quad BW = f_{C(CL)} = \frac{f_{\text{unity}}}{A_{CL}}$$

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{V_{in}}{0} = \infty \Leftarrow \frac{\text{جهد الدخل}}{\text{تيار الدخل}} = \frac{\text{مقاومة الدخل}}{\text{جهد الدخل}} \quad \text{مقاومة الدخل:}$$

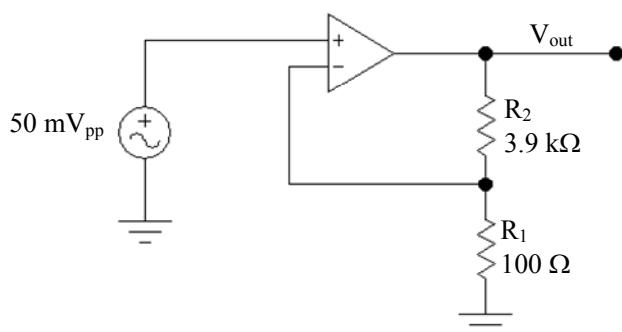
أي أن مقاومة دخل دائرة مكبر غير عاكس تساوي مقاومة دخل مكبر عمليات مثالى.

$$R_{out} = \frac{V_{out}}{I_{out}} = 0 \Leftarrow \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{تيار الخرج}} = \frac{\text{مقاومة الخرج}}{\text{جهد الخرج}} \quad \text{مقاومة الخرج:}$$

أي أن مقاومة خرج دائرة مكبر غير عاكس تساوي مقاومة خرج مكبر عمليات مثالى.

مثال 7-2:

في الشكل 7-16 احسب كسب جهد الدائرة المغلقة (A_{CL}) والنطاق ($f_{C(CL)}$).
أحسب جهد الخرج عند 250 kHz .



الشكل 7-16: مكبر غير عاكس للمثال 7-2

الحل:

كسب الجهد:

$$A_{CL} = \frac{R_2}{R_1} + 1 = \frac{3.9k\Omega}{100\Omega} + 1 = 40$$

كسب الجهد بالديسيبل:

$$A_{CL} = 20 \log(40) = 32 \text{dB}$$

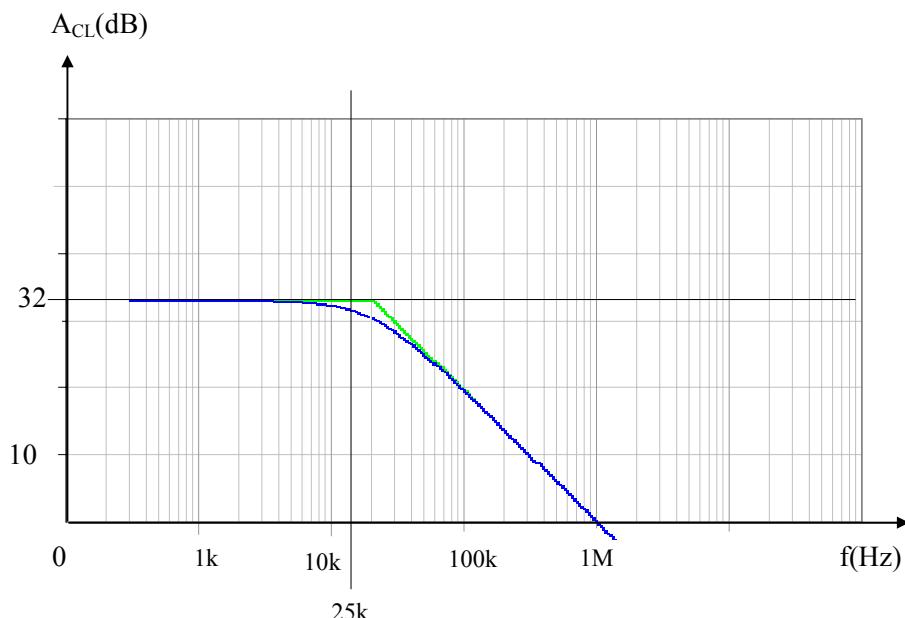
النطاق:

$$f_{C(CL)} = \frac{1 \text{MHz}}{40} = 25 \text{kHz}$$

جهد الخرج:

$$V_{out} = A_{CL} V_{in} = 40 \times (50 \text{mV}_{pp}) = 200 \text{mV}_{pp}$$

الاستجابة التردية موضحة في الشكل 17-2

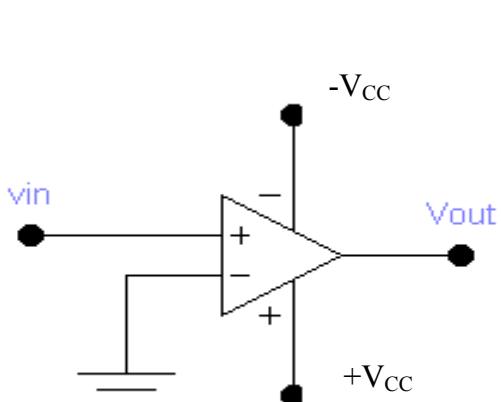


الشكل 17-2: النطاق للمثال 7-2

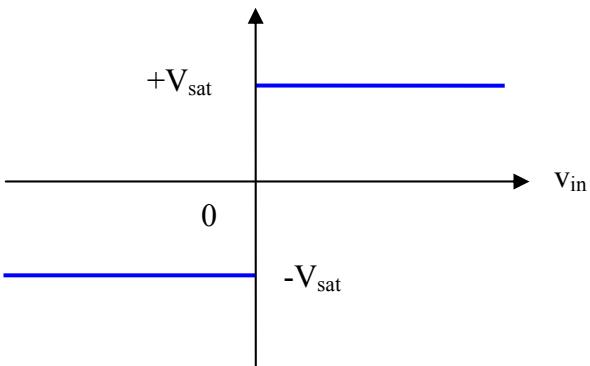
٣-٩-٢. المكبر المقارن (Comparator Amplifier):

الهدف من المقارن هو مقارنة جهدتين عند المدخلين وإنتاج إشارة تدل على أي الجهد أكبر. في هذا التطبيق مكبر العمليات يستعمل في حالة دائرة مفتوحة. في الدخل الأول إشارة جهد وفي الدخل الثاني إشارة جهد مرجعية.

مقارن بسيط: خرج مقارن الشكل 18-19 موضح في الشكل 19-2.

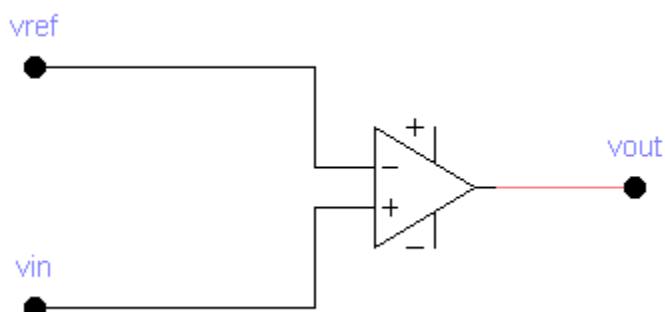


الشكل 18: مكبر عمليات مقارن



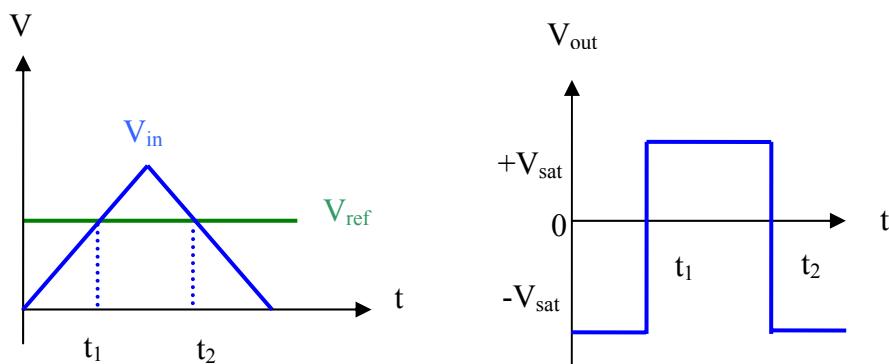
الشكل 19: الخرج بدلالة الدخل

لاحظ أن مقاومة التغذية الخلفية لا تستخدم في هذه الدائرة. الاستخدام الأساسي لدائرة مفتوحة باستخدام مكبر عمليات هي مقارنة جهدى الدخل. 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. أحد التطبيقات التي تستخدم هذه الحقيقة هو كاشف جهد الموضح بالشكل 20. نستخدم لهذا التطبيق جهاً ثابتاً نسميه جهد المرجع V_{REF} .



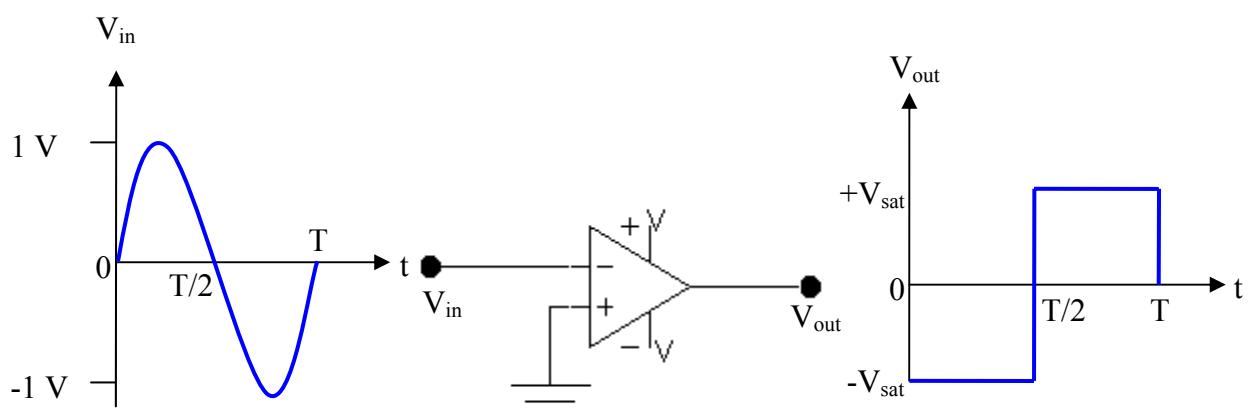
الشكل 20: دائرة مكبر مقارن مع جهد

عندما يكون جهد الدخل أقل من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي سالباً وتكون إشارة الخرج هي جهد الإشباع السالب. عندما تكون إشارة الدخل أكبر من جهد المرجع يكون الجهد الفرقي موجباً وتكون إشارة الخرج هي جهد الإشباع الموجب . الشكل 21-2 يوضح إشارة الدخل والخرج لهذه الدائرة.



الشكل 21-2: مكibr مقارن مع جهد مرجعى

نحصل على نفس النتيجة عند استخدام دخل جيبي للدائرة مما يدل على إمكانية استخدام الدائرة كمولد إشارات مربعة (الشكل 22-2) وذلك من إشارة جيبية.



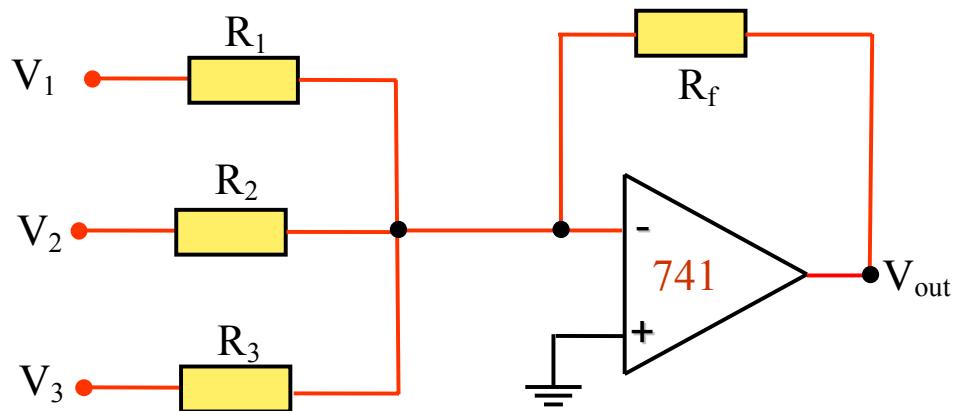
الشكل 22-2: جهد الدخل إشارة جيبية وجهد الخرج إشارة مربعة

٤ - ٩ - ٢ . دائرة المكبر الجامع (Summing Amplifier)

يقوم المكبر الجامع بجمع الجهد الموجدة عند الدخل.

بالإضافة للتثبيت ومقارنة الجهد فإن مكبر العمليات يستخدم أيضاً في بعض العمليات الرياضية. مثال

ذلك دائرة الجامع المبينة بالشكل 2-23.



الشكل 2-23: دائرة مكبر عاكس جامع

ليكن A_{CL1} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_1 لوحده.

ليكن A_{CL2} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_2 لوحده.

ليكن A_{CL3} كسب الجهد في حالة وجود جهد دخل V_3 لوحده.

باستعمال مبرهنة التراكب (Theorem Superposition) نجد :

$$(14-2) \quad V_{out} = A_{CL1} V_1 + A_{CL2} V_2 + A_{CL3} V_3$$

حيث $A_{CL3} = -R_f/R_3$ (كسب جهد مكبر عاكس) و $A_{CL2} = -R_f/R_2$ و $A_{CL1} = -R_f/R_1$

و منه نحصل على عبارة كسب جهد الخرج :

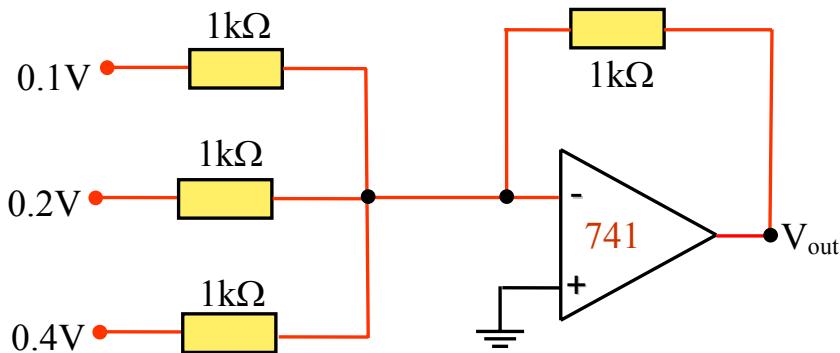
$$(15-2) \quad V_{out} = \left(-\frac{R_f}{R_1} V_1 \right) + \left(-\frac{R_f}{R_2} V_2 \right) + \left(-\frac{R_f}{R_3} V_3 \right)$$

إذا كانت كل المقاومات متساوية أي $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R$ تأخذ المعادلة (15-2) الشكل التالي:

$$(16-2) \quad V_{out} = -(V_1 + V_2 + V_3)$$

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

مثال 2-8: حدد جهد الخرج للدائرة بالشكل 24-2:



الشكل 24-2: مكبر جامع (مثال 2-8)

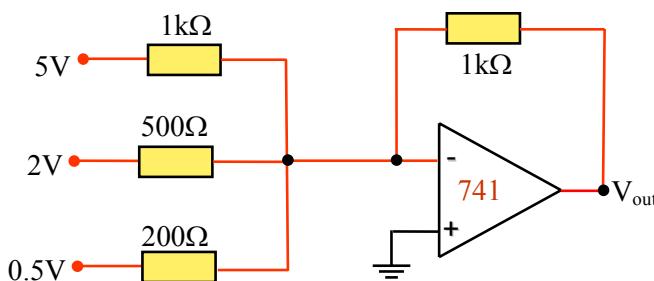
الحل: هناك ثلاثة إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي.

الجهد الكلي هو مجموع الجهدات الجزئية:

$$V_{\text{out}} = -(V_1 + V_2 + V_3) = -(0.1 \text{ V} + 0.2 \text{ V} + 0.4 \text{ V}) = -0.7 \text{ V}$$

مثال 2-9:

حدد جهد الخرج للدائرة بالشكل 25-2.



الشكل 25-2: مكبر جامع (مثال 2-9)

الحل:

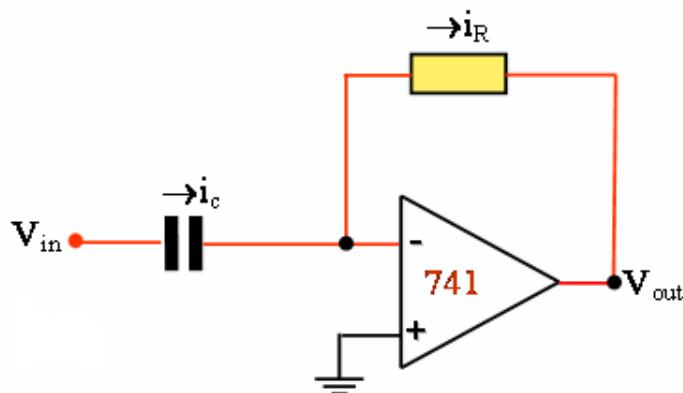
هناك ثلاثة إشارات دخل كل منها يعطي جهد خرج جزئي.

الجهد الكلي هو مجموع الجهدات الجزئية:

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= \left(\frac{-R_f}{R_1} \right) V_1 + \left(\frac{-R_f}{R_2} \right) V_2 + \left(\frac{-R_f}{R_3} \right) V_3 = \left(\frac{-1k\Omega}{1k\Omega} \right) 5V + \left(\frac{-1k\Omega}{0.5k\Omega} \right) 2V + \left(\frac{-1k\Omega}{0.2k\Omega} \right) 0.5V \\ &= -5V - 4V - 2.5V = -11.5V \end{aligned}$$

٤-٢-٩. المكابر التفاضلي (Differentiator Amplifier):

بالإضافة للعمليات الحسابية فإن المكابر العمليات استخدامات أيضا في عمليات الرياضية مثل التكامل والتفاضل. عملية التفاضل عملية رياضية وهي إيجاد معدل التغيير لكمية ما. المفاضل دائرة إلكترونية لإيجاد معدل تغير إشارة ما. يظهر هذا المعدل في شكل إشارة الخرج. هنا أيضا للمكثف دور في العملية مع مكابر العمليات. انظر الدائرة في الشكل 26-2.



الشكل 26-2: دائرة مكابر مفاضل

لحسب جهد الخرج بدلالة جهد الدخل أي $V_{\text{out}} = f(V_{\text{in}})$

$V_{\text{out}} = -Ri_R$	فرق الجهد على طرفي المقاومة R (قانون الجهد)
$dq = Cdv_{\text{in}}$	فرق الجهد على طرفي المكثف C (قانون الجهد)
$i_c = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = i_c dt$	قانون تعريف التيار

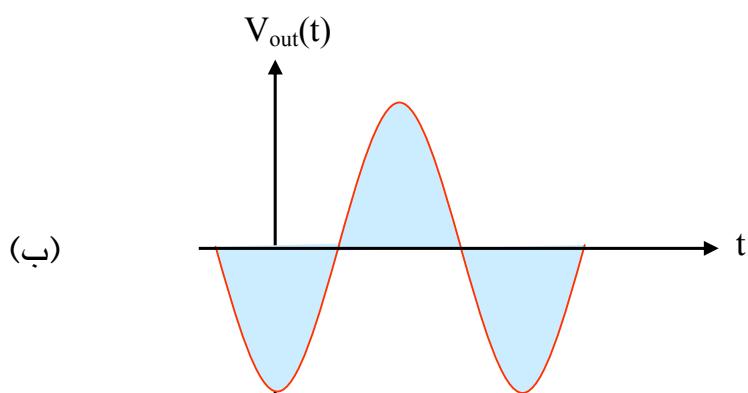
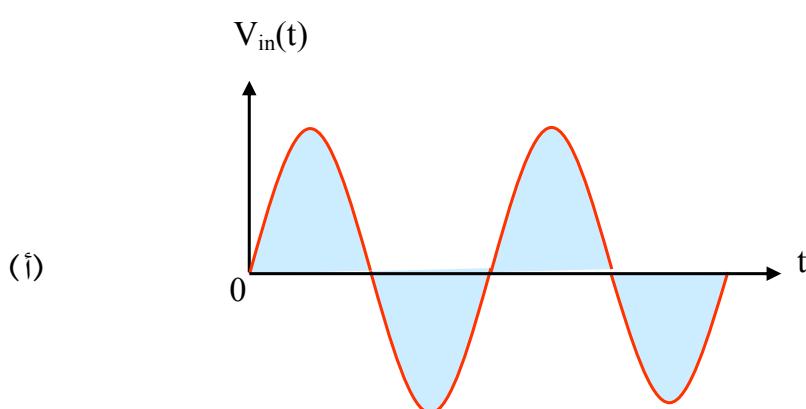
$$(17-2) \quad i_R = i_C$$

$$V_{out} = -Ri_R = -R \frac{dq}{dt} = -RC \frac{dv_{in}}{dt} = -\tau \frac{dv_{in}}{dt}$$

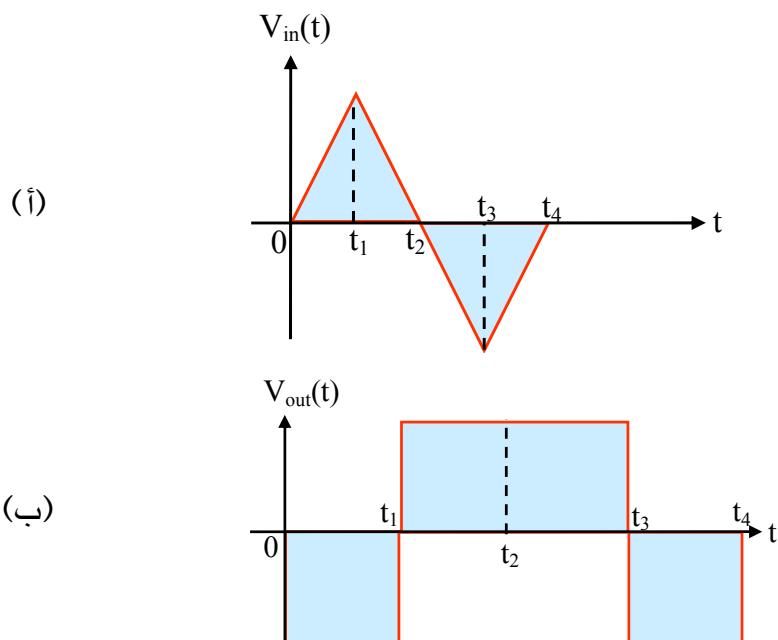
$\tau = RC$ حيث :

العلاقة (17-2) تبين أن جهد الخرج هو تفاضل جهد الدخل مضروب في (τ) .

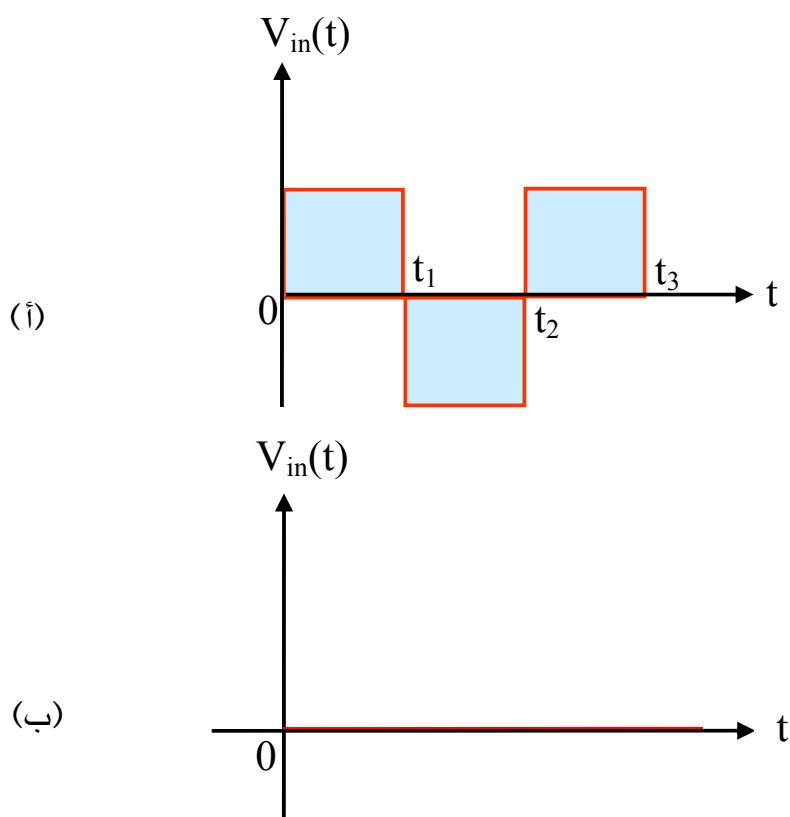
الأشكال 27-2 و 28-2 و 29-2 توضح شكل إشارة الخرج لبعض أشكال إشارات الدخل.



الشكل 27-2 : إشارة دخل جيبية (أ) و شكل إشارة الخرج (ب)



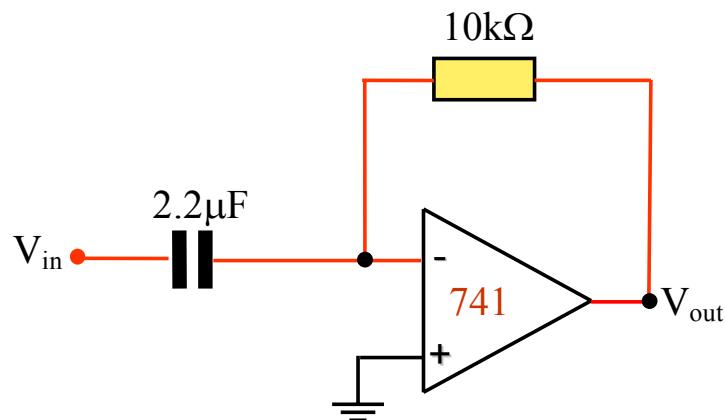
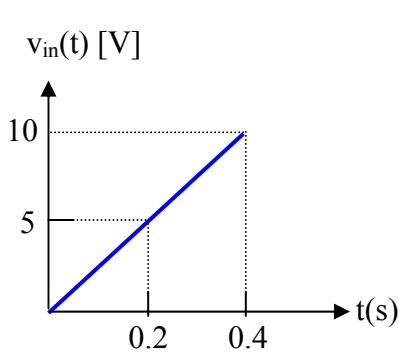
الشكل 28 : إشارة دخل مثلثة (أ) و شكل إشارة الخرج (ب)



الشكل 29 : إشارة دخل مربعة (أ) و شكل إشارة الخرج (ب)

مثال 2-10:

للدائرة بالشكل 2-30 أوجد جهد الخرج إذا كان الدخل يتغير خطياً من 0 V إلى 10 V خلال 0.4 s.



الشكل 2-30: تغير خطوي لإشارة الدخل

الحل:

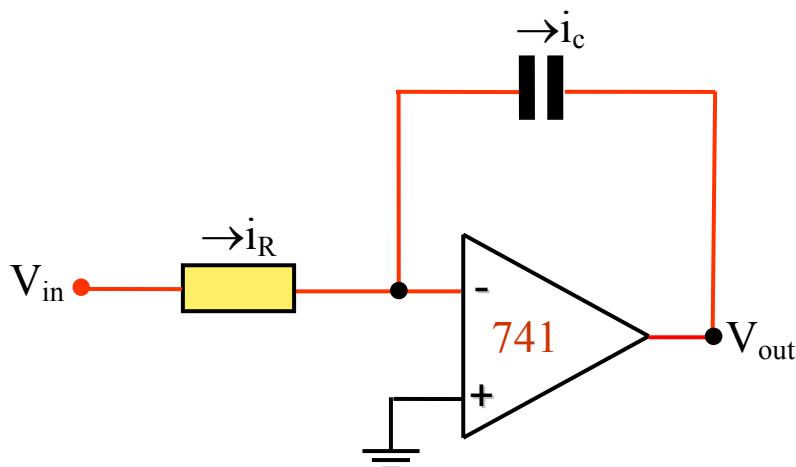
إذا فرضنا أن الدخل يتغير بمعدل ثابت . نجد أن :

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{out}}{dt} = -(10k\Omega)(2.2\mu F) \times \frac{10V - 0V}{0.4s} = -0.55V$$

إشارة الخرج تكون ثابتة.

٢ -٩ -٦ . المكابر التكاملي (Integrator Amplifier):

التكامل لإشارة إلكترونية هو عبارة عن الجمع في الزمن لقيمة إشارة دخل الجهد. العنصر الإلكتروني الذي يقوم بهذه العملية هو المكثف، أنظر الشكل 2-31.



الشكل 2-31: دائرة مكابر متكامل

فرق الجهد على طرفي المكثف C

(قانون الجهد):

فرق الجهد على طرفي المقاومة R

(قانون الجهد):

قانون تعريف الشحنة:

قانون تعريف التيار:

بالتعويض نجد:

$$dv_{out} = -dv_c$$

$$v_{in} = Ri \Rightarrow i = \frac{v_{in}}{R}$$

$$dq = Cdv_c \Rightarrow dv_c = \frac{dq}{C}$$

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow dq = idt$$

$$dv_{out} = -dv_c = \left(-\frac{dq}{C}\right) = \left(-\frac{idt}{C}\right) = \left(-\frac{dt}{C}\right) \frac{v_{in}}{R} = -\frac{v_{in} dt}{RC}$$

وبعد القيام بالتكامل نحصل على المعادلة التالية:

$$(18-2) \quad \Delta v_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int v_{in}(t) dt = -\frac{1}{\tau} \int v_{in}(t) dt$$

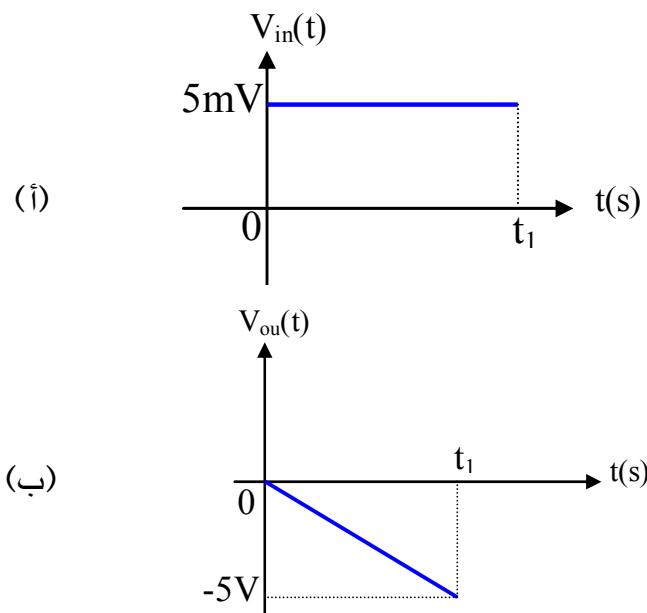
جهد الخرج يساوي تكامل جهد الدخل مضروب في $(\tau/1)$

إذا كان جهد الدخل ثابت نحصل على المعادلة التالية:

$$(19-2) \quad \frac{\Delta V_{\text{out}}}{\Delta t} = -\frac{V_{\text{in}}}{\tau}$$

مثلا بفرض أن $V_C = 1 \mu F$ و $R = 1 k\Omega$ فنجد أن $t = 5V / (-5mV) = 1000 \text{ s}$

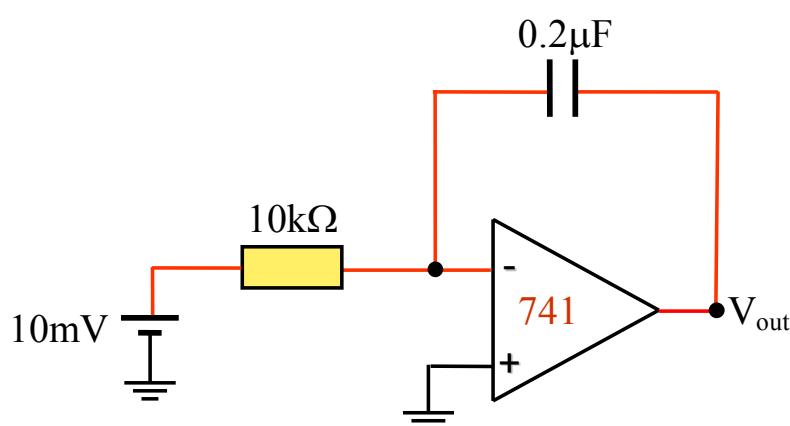
هذه النتيجة موضحة بالشكل 32-2.



الشكل 32-2 : إشارة الدخل (أ) وإشارة الخرج (أ) للمثال أعلاه

مثال 11-2 :

للدائرة بالشكل 33 ما هو الزمن الذي تأخذه الدائرة لتصل بالخرج لجهد الإشباع؟



الشكل 33 : شكل للمثال 11-2

الحل:

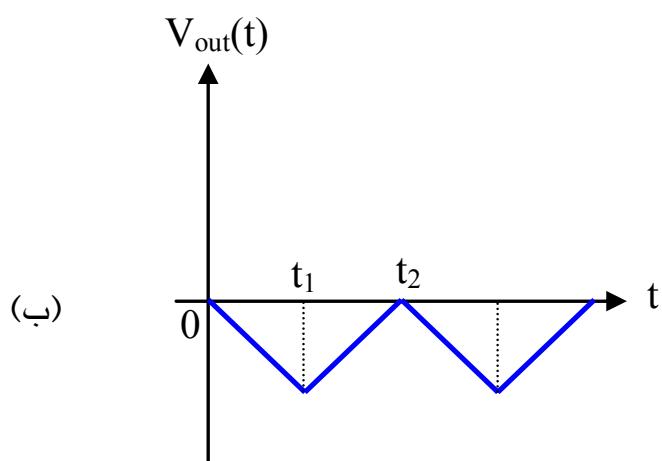
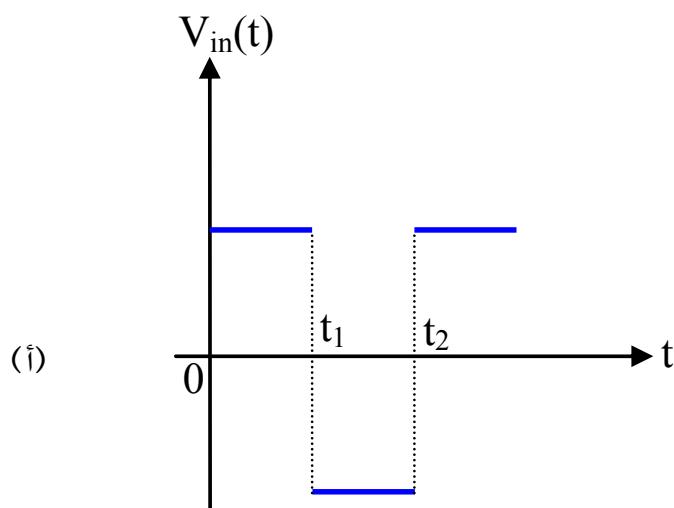
لأن إشارة الدخل ثابتة فإن جهد المكثف يعطى بالمعادلة (19-2):

$$V_{out} = -V_C = -\frac{1}{RC} \times V_{in} t = -\frac{1}{10k\Omega \times 0.2\mu F} \times (10mV) \times t = -5t \text{ V}$$

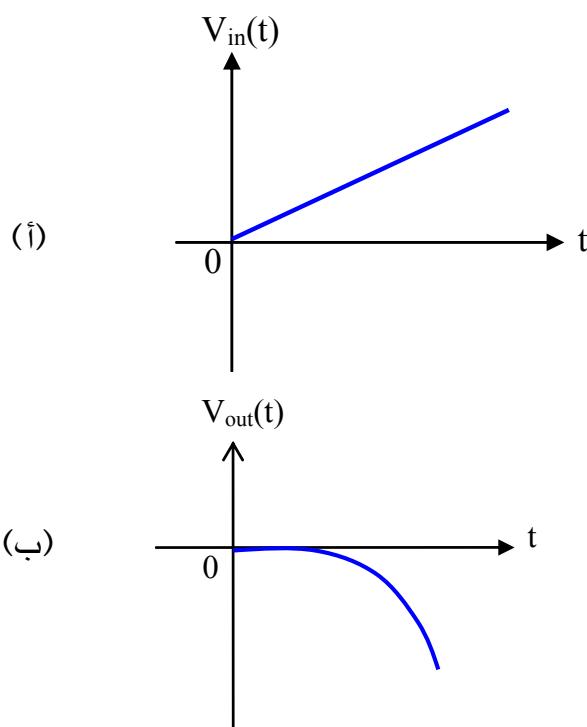
ليصل الجهد للإشباع فإن $V_C = -13V$ و نحل المعادلة لإيجاد القيمة t :

$$t = \frac{-13V}{-5} = -2.6s$$

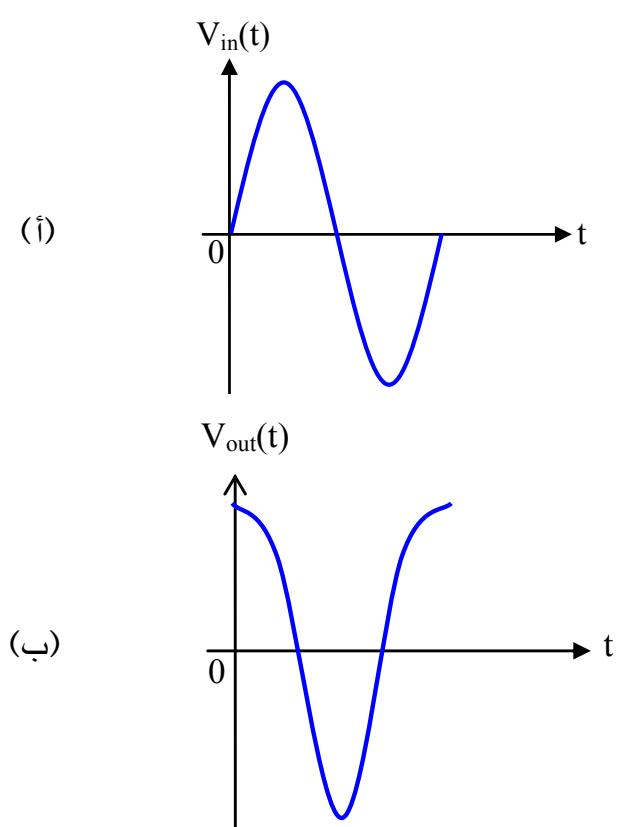
إذا كانت إشارة الدخل غير ثابتة مع الزمن فإن إشارة الخرج يختلف شكلها حسب شكل إشارة الدخل.
بعض الأمثلة موضحة في الأشكال من 34-2 إلى 36-2.



الشكل 34-2: إشارة دخل مربعة (ا) و شكل إشارة الخرج (ب)



الشكل 2-35: إشارة دخل خطية (أ) و شكل إشارة الخرج (ب)



الشكل 2-36: إشارة دخل جيبية (أ) و شكل إشارة الخرج (ب)

١٠-٢-٢. المرشحات (Filters):

تستعمل المرشحات في جميع ميادين الاتصالات. مرشح ما يسمح بمرور نطاق تردد معين ويعيق مرور آخر. المرشح يكون فعال (Active) أو سلبي (Passive). المرشحات السلبية تتكون من مقاومات ومكثفات وملفات. تستعمل عند ترددات أكبر من 1 MHz ولا تحدث كسباً للقدرة.

المرشحات النشطة تتكون من مقاومات ومكثفات ومكبرات عمليات. تستعمل عند ترددات أقل من 1 MHz وتحدث كسباً للقدرة.

المرشحات تستطيع تفريغ الإشارة غير المرغوب فيها عن الإشارة المرغوب فيها وقطع الإشارات المتداخلة وتحسين الصوت والصورة.

استجابة تردديّة لمُرْشح هو مخطط كسب الجهد بدلالة التردد. يوجد أربعه أنواع من المُرْشحات: تمrir ترددات منخفضة (Low Pass Filter) وتمrir ترددات عالية (High Pass Filter) وتمrir مجال نطاق (Band Stop Filter) وتوقف مجال نطاق (Band Pass Filter).

كسب الجهد معرف بالعلاقة:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

كسب الجهد بالديسيبل يعطى بالعلاقة:

$$A_v(\text{dB}) = 20 \log(A_v)$$

كسب الجهد الموحد:

$$A_{VN} = \frac{A_v}{A_v(\text{Max})}$$

كسب الجهد الموحد بالديسيبل:

$$A_{VN}(\text{dB}) = 20 \log(A_{VN})$$

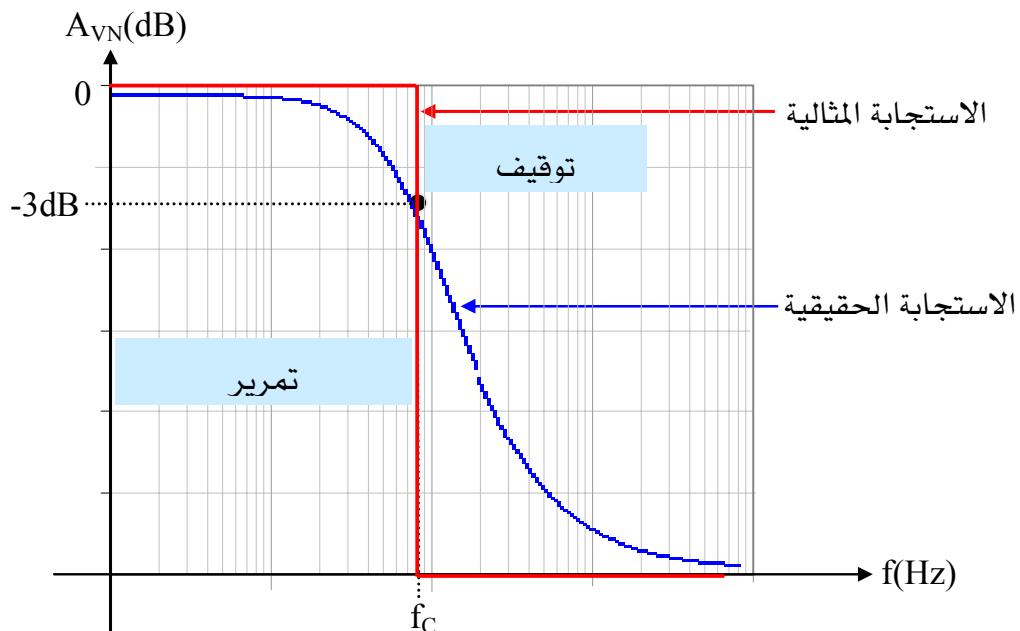
الاستجابة التردديّة لأنواع المُرْشحات الأربع موضحة في الأشكال من ٣٧-٤٠ إلى ٤٠-٣٧.

ملاحظة:

أكبر كسب جهد موحد يساوي ١.

أكبر كسب جهد موحد بالديسيبل يساوي صفر.

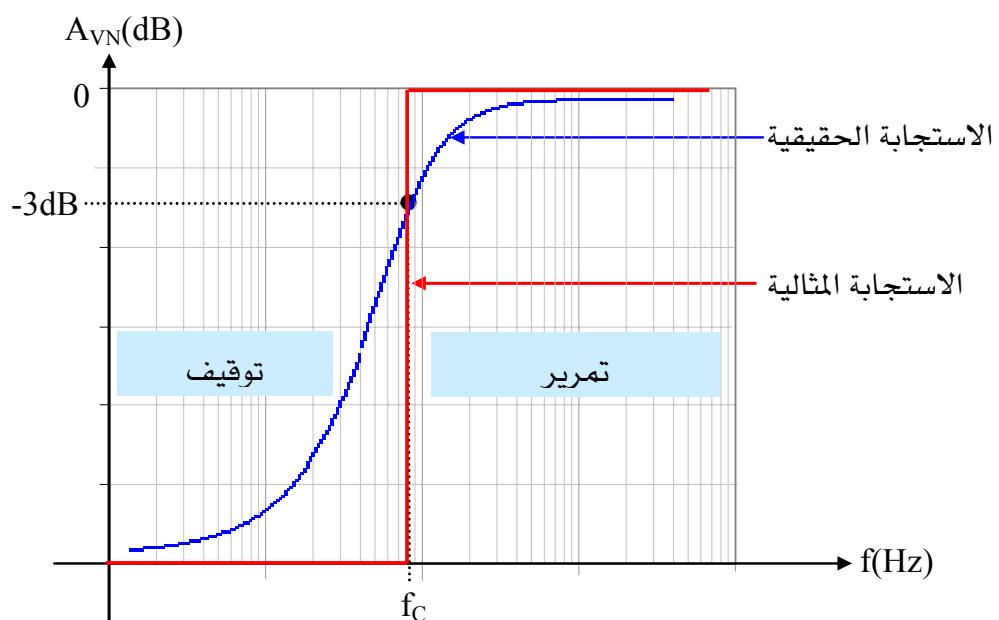
١-١٠-٢-٢ الاستجابة المثالية والحقيقة لمرشح تمrir الترددات المنخفضة (الشكل 2-37):
(Low-Pass Filter)



شكل 2-37: استجابة مرشح تمrir الترددات المنخفضة

ملحوظة: f_c تمثل تردد القطع.

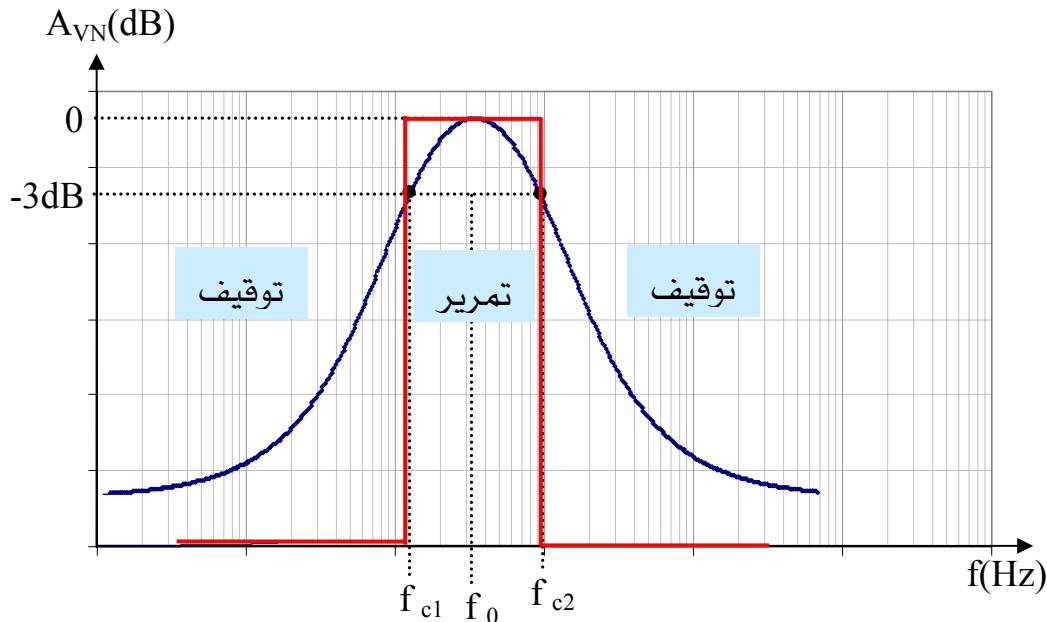
٢-١٠-٢-٢ الاستجابة المثالية والحقيقة لمرشح تمrir الترددات العالية (شكل 2-38):
(High-Pass Filter)



شكل 2-38: استجابة مرشح تمrir الترددات العالية

٣-١٠-٢-٢ الاستجابة المثالية والحقيقة لمرشح تمريض مجال نطاق (شكل 2-39):

(Band Pass Filter)



شكل 2-39: استجابة مرشح تمريض مجال نطاق

ملحوظة: f_{c1} و f_{c2} يمثلان تردد القطع.

$$f_0 = \sqrt{f_{c1} f_{c2}} : f_0 \text{ التردد المركزي}$$

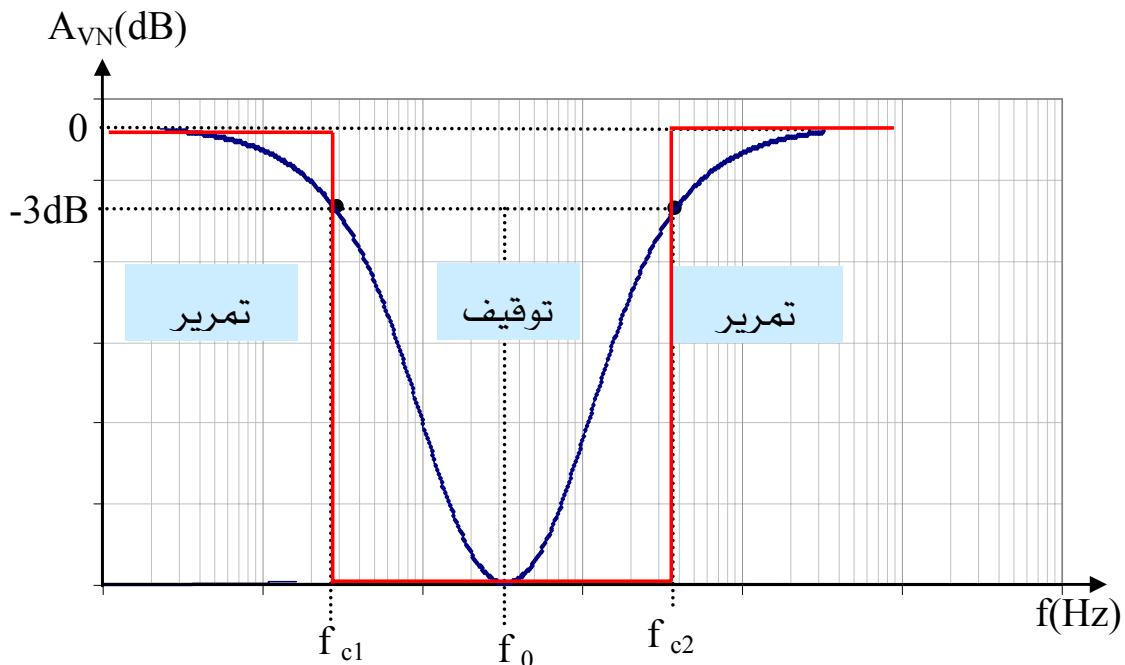
$$BW = f_{c2} - f_{c1} : BW \text{ عرض المجال}$$

$$Q = \frac{f_0}{BW} : Q \text{ معامل الكفاءة}$$

يعبر معامل الكفاءة Q على انتقائية مرشح تمريض مجال نطاق. نقول على مجال توقف أنه ضيق النطاق إذا كان $Q > 10$ وعرض النطاق إذا كان $Q < 10$.

٤-١٠-٢-٢ الاستجابة المثالية والحقيقة لمرشح توقف مجال نطقي (شكل 2-40):

(Band Stop Filter)



شكل 2-40: استجابة مرشح توقف مجال نطقي

ملحوظة: f_{c1} و f_{c2} يمثلان تردد القطع.

$$f_0 = \sqrt{f_{c1} f_{c2}} \quad : f_0 \text{ التردد المركزي}$$

$$\text{عرض المجال: } BW = f_{c2} - f_{c1}$$

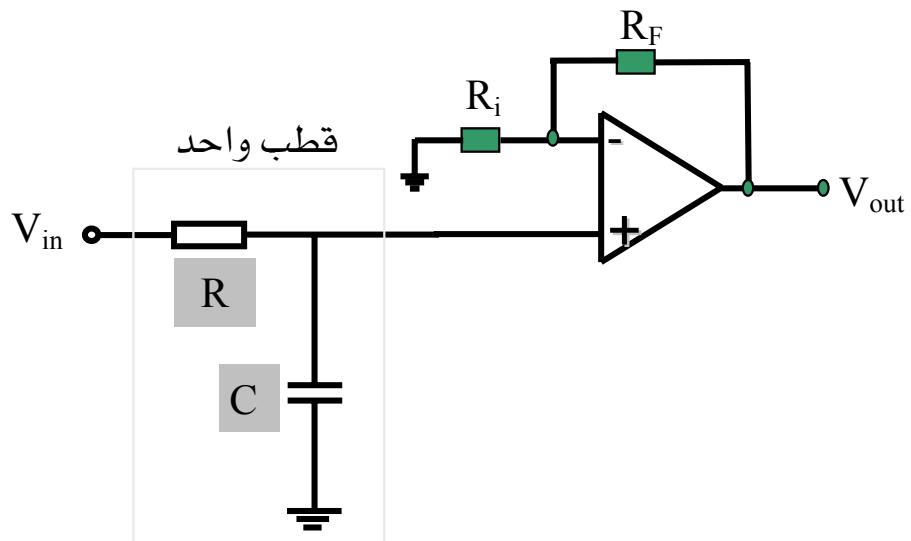
$$\text{معامل الكفاءة: } Q = \frac{f_0}{BW}$$

يعبر معامل الكفاءة على انتقائية مرشح توقف مجال نطقي.

نقول على مجال توقف أنه ضيق النطاق إذا كان $Q < 10$ وعربيض النطاق إذا كان $Q > 10$.

(41-٢-١٠-٥). دائرة مرشح تمrir الترددات المنخفضة فعال(شكل 2-41)

(Active Low Pass Filter Circuit)



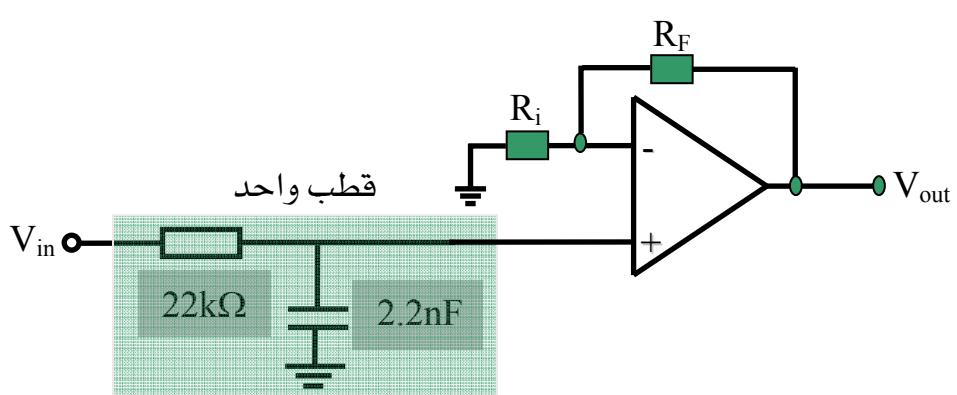
شكل 2-41: مرشح تمrir الترددات المنخفضة فعال من الرتبة الأولى

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{تردد القطع } f_c \text{ يعطى بالمعادلة التالية:}$$

$$A_V = \frac{R_F}{R_i} + 1 \quad \text{كسب المكبر الغير عاكس تساوي:}$$

مثال 2-12: دائرة مرشح تمrir الترددات المنخفضة فعال موضحة في الشكل 2-42.

- أ- أحسب تردد القطع f_c
ب- ارسم الشكل العام للاستجابة التردية



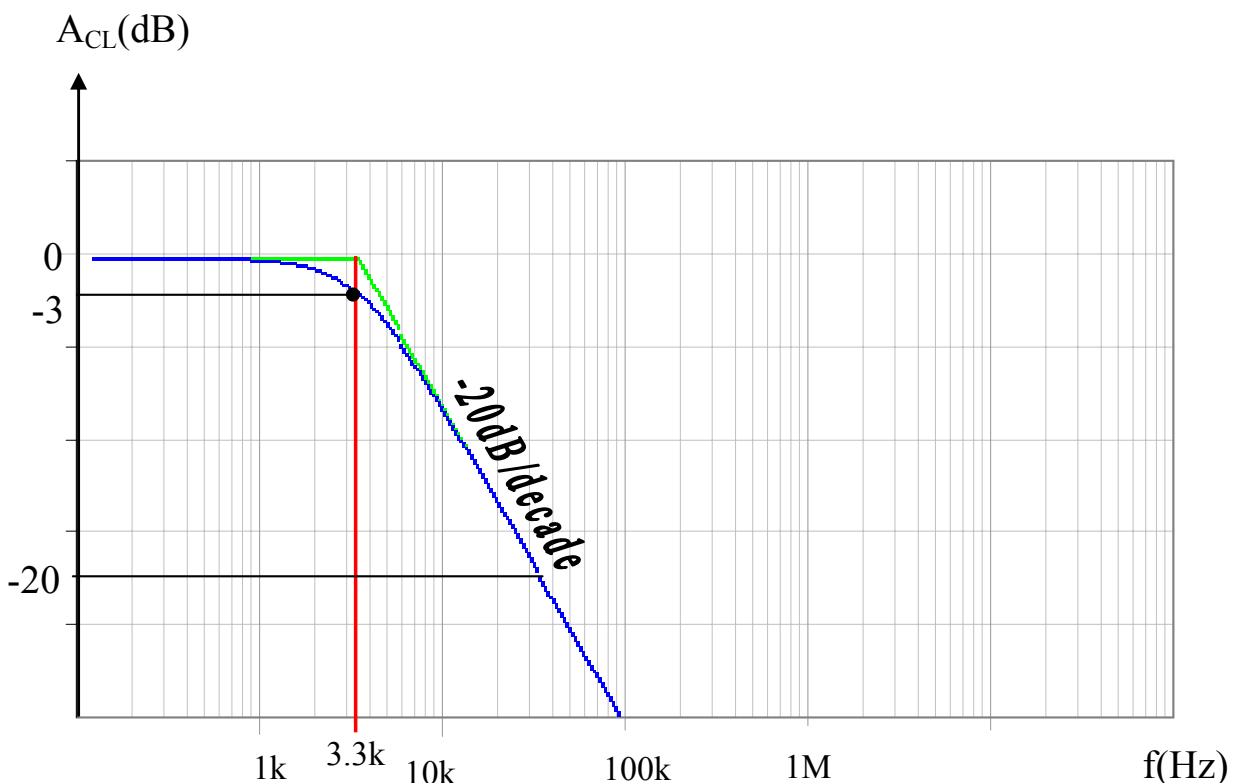
شكل 2-42: شكل المثال 2-12

الحل:

$$f_C = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(22k\Omega)(2.2nF)} = 3.3kHz$$

أ - تردد القطع:

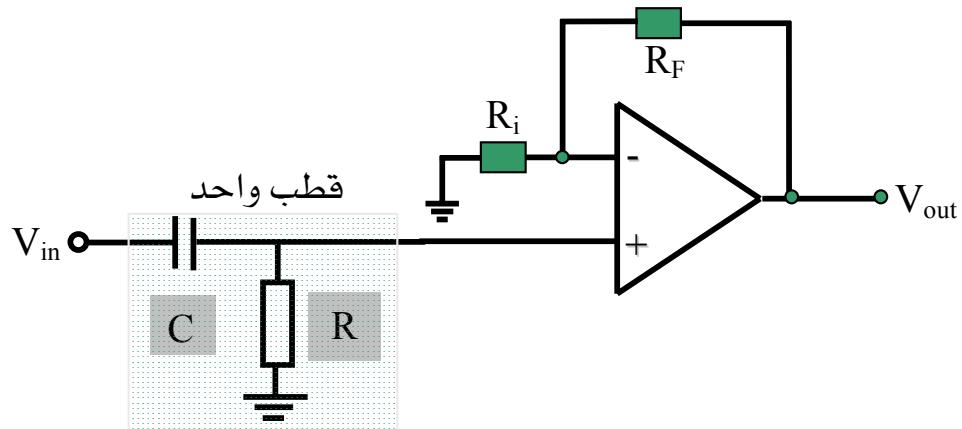
ب - الاستجابة التردديّة (شكل 2-43) (Frequency response) (شكل 2-43)



شكل 2-43: الاستجابة التردديّة للمثال 2-12

٦-١٠-٤-٢. دائرة مرشح تمرير الترددات العالية فعال (شكل 2-44)

(Active High Pass Filter Circuit)



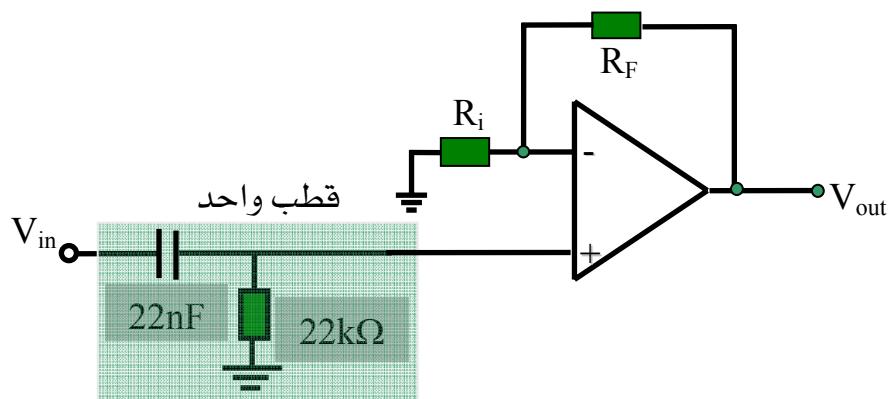
شكل 2-44: مرشح تمرير الترددات العالية فعال من الرتبة الأولى

$$\text{تردد القطع } f_c \text{ يعطى بالمعادلة التالية: } f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\text{كسب المكبر الغير عاكس تساوي: } A_V = \frac{R_F}{R_i} + 1$$

مثال 2-13: دائرة مرشح تمرير الترددات العالية فعال موضحة في الشكل 2-45.

- أ- أحسب تردد القطع f_c
ب- ارسم الشكل العام للاستجابة التردودية

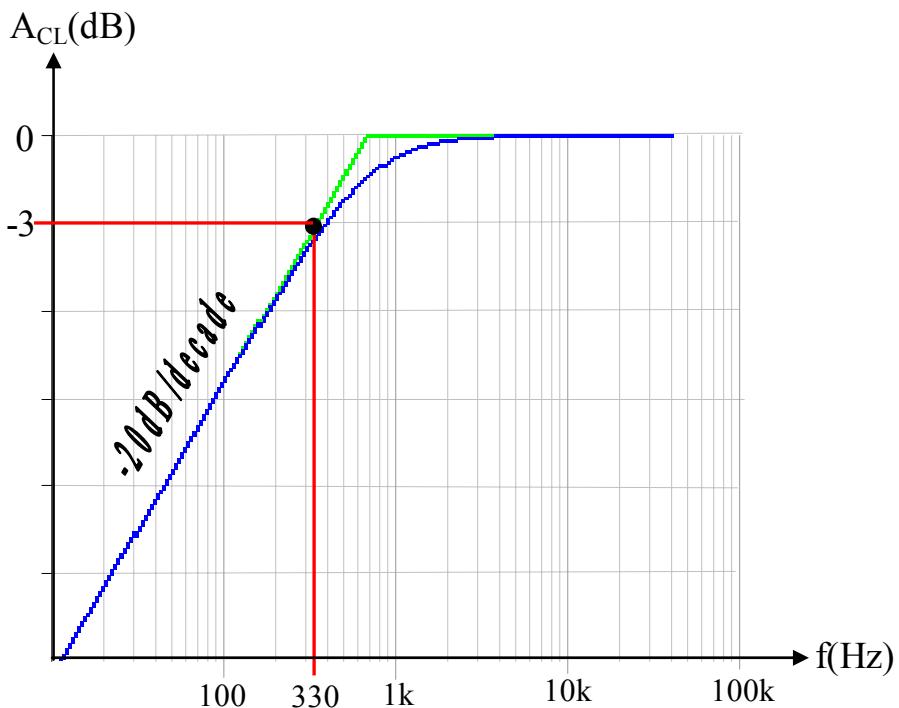


شكل 2-45: شكل المثال 2-13

الحل:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(22k\Omega)(22nF)} = 0.33\text{kHz} = 330\text{Hz}$$

بـ- الاستجابة التردديّة (شكل 46-2) (Frequency response)



شكل 46-2: الاستجابة التردديّة للمثال 13-2

١٣-٢-٧. دائرة مرشح تمrir مجال نطاقی فعال (شكل 47-2):

(Active Band Pass Filter Circuit)

للحصول على مرشح تمrir أو توقيف مجال نطاقی نستعمل دائرة مرشح تمrir ترددات منخفضة ودائرة مرشح تمrir ترددات عالية متعاكبان.

لتكن f_{c1} تردد القطع لدائرة مرشح تمrir ترددات منخفضة.

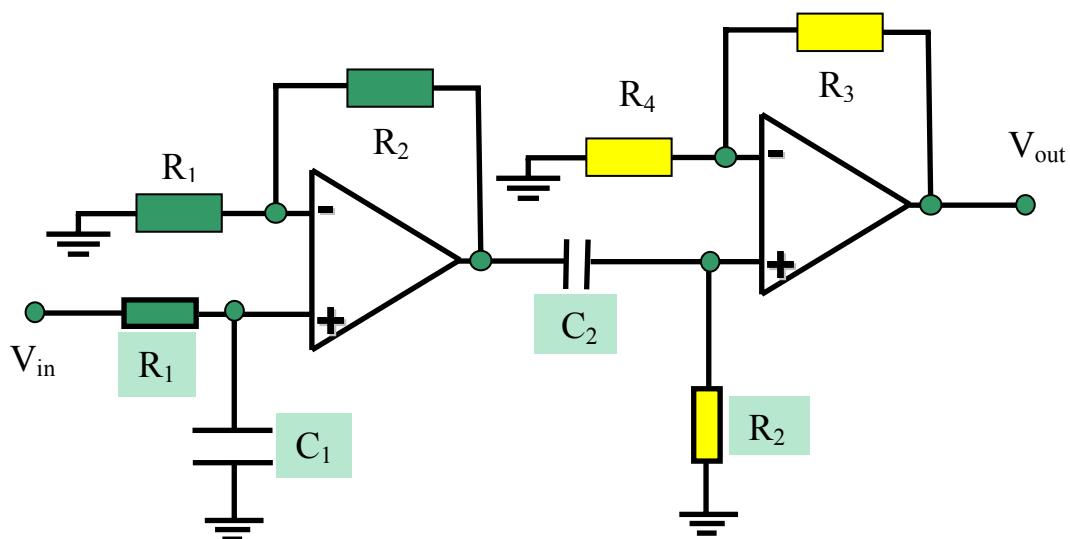
ولتكن f_{c2} تردد القطع لدائرة مرشح تمrir ترددات عالية.

إذا كان $f_{c1} < f_{c2}$ نحصل على مرشح تمrir مجال نطاقی.

وإذا كان $f_{c2} < f_{c1}$ نحصل على مرشح توقيف مجال نطاقی.

نكتفي بدراسة مرشح تمrir مجال نطاقی.

نستخدم قيم العناصر المستعملة في المثالين 12-2 و 13-2 في الشكل 47-2

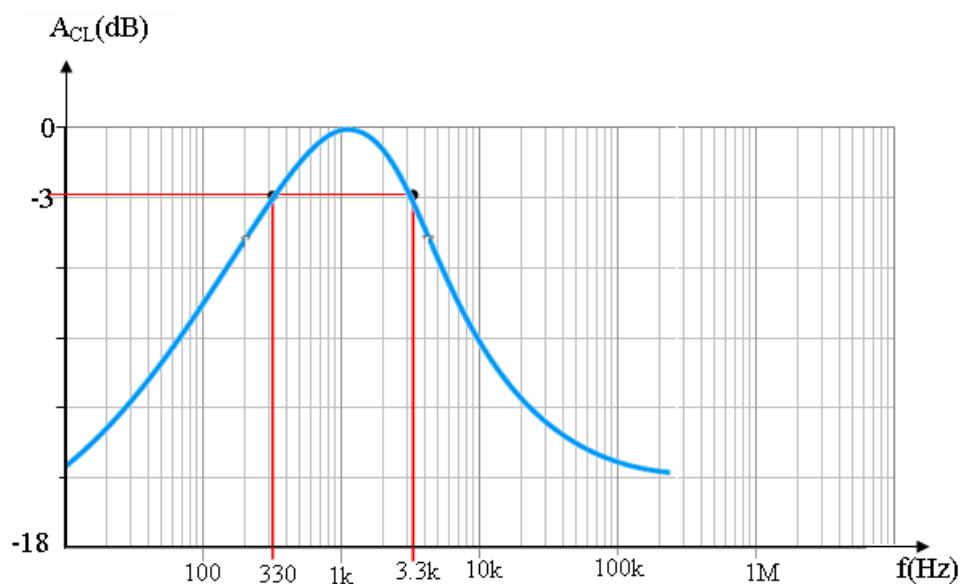


شكل 47-2: دائرة مرشح تمريض مجال نطاقي فعال

قوانين دائرة مرشح تمريض مجال نطاقي فعال الموضح في الشكل 46-2 تكون على النحو التالي:

$f_{c1} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(22k\Omega)(2.2nF)} = 3.3kHz$	تردد القطع للدائرة الأولى
$f_{c2} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(22k\Omega)(22nF)} = 0.33kHz$	تردد القطع للدائرة الثانية
$A_v = A_{v1}A_{v2} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)\left(\frac{R_3}{R_4} + 1\right) = 11 \times 11 = 121$	كسب جهد الدائرة الكلية
$Q = \frac{f_0}{BW} = \frac{\sqrt{f_{c2} \cdot f_{c1}}}{f_{c1} - f_{c2}} = \frac{\sqrt{(3.3kHz)(0.33kHz)}}{3.3kHz - 0.33kHz} = \frac{\sqrt{9.9}}{0.3} = 0.35$	معامل الكفاءة

الاستجابة التردديّة موضحة في الشكل 48-2



شكل 48-2: الاستجابة التردديّة للدائرة الموضحة في الشكل 47-2

التقويم الذاتي

- ١-٢.** كسب جهد مكبر عمليات يساوي 500000. إذا كان جهد خرجه يساوي 1V فجهد دخله يساوي:
- أ. $2\mu V$
 - ب. 5mV
 - ج. 10mV
 - د. 1V
- ٢-٢.** مكبر عمليات 741C له:
- أ. كسب جهد 100000
 - ب. مقاومة دخل $2M\Omega$
 - ج. مقاومة خرج 75Ω
 - د. كل ما سبق
- ٣-٢.** كسب جهد دائرة مغلقة (A_{CL}) لمكبر عاكس يساوي:
- أ. قسمة مقاومة الدخل على مقاومة التغذية الخلفية
 - ب. كسب جهد دائرة المغلقة
 - ج. قسمة مقاومة التغذية الخلفية على مقاومة الدخل
 - د. مقاومة الخرج
- ٤-٢.** 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
- ٥-٢.** 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

٦-٢. مكابر جامع يحتوي على:

أ. إشارتي دخل على الأكثر

ب. اثنين أو أكثر إشارات دخل

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

د. كسب جهد دائرة مفتوحة صغير

٧-٢. التغذية الخلفية:

أ. تساعد إشارة الدخل

ب. تعكس إشارة الدخل

ج. متناسبة مع تيار الخرج

د. متناسبة مع فرق كسب الجهد

٨-٢. كم عدد أنواع التغذية الخلفية؟

أ. واحد

ب. اثنان

ج. ثلاثة

د. أربعة

٩-٢. الجهد بين طرفي دخل مكابر عمليات مثالي يساوي:

أ. صفر

ب. صغير جدا

ج. كبير جدا

د. جهد الدخل

١٠-٢. الجهد بين طرفي دخل مكابر عمليات حقيقي يساوي:

أ. صفر

ب. صغير جدا

ج. كبير جدا

د. جهد الدخل

١١-٢. مكابر عمليات له:

أ. دخلان و خرجان

ب. دخلان و خرج واحد

ج. دخل واحد وخرج واحد

د. دخل واحد وخرجان

١٢-٢. مكابر عمليات هو:

أ. دائرة مغلقة

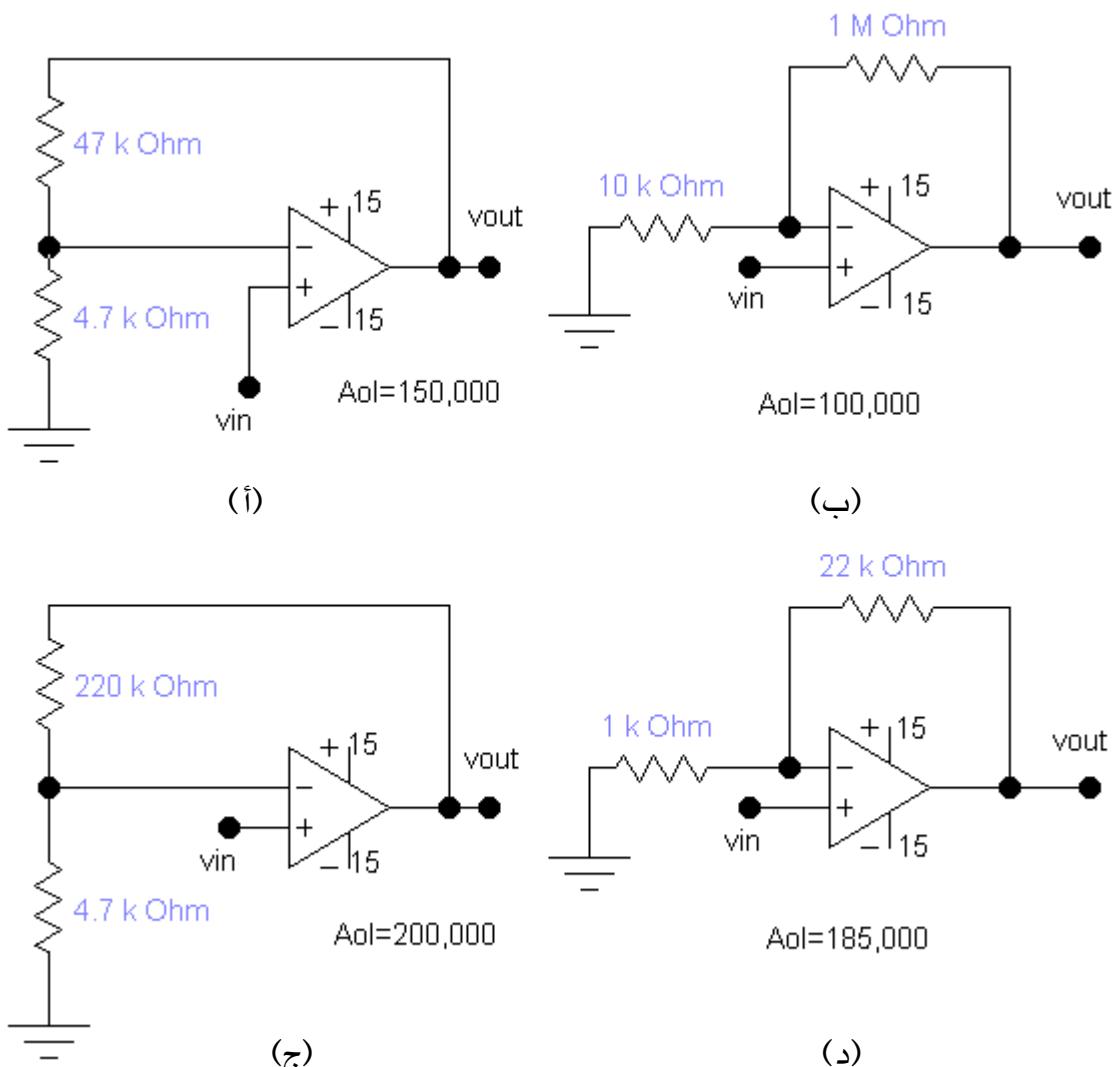
ب. دائرة متكاملة

ج. دائرة مفتوحة

د. الجواب (ب) وج

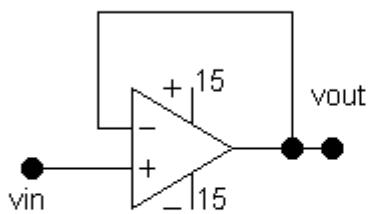
تمارين

٢ - ١. أحسب كسب الدائرة المغلقة لكل مكابر (الشكل 41-2)

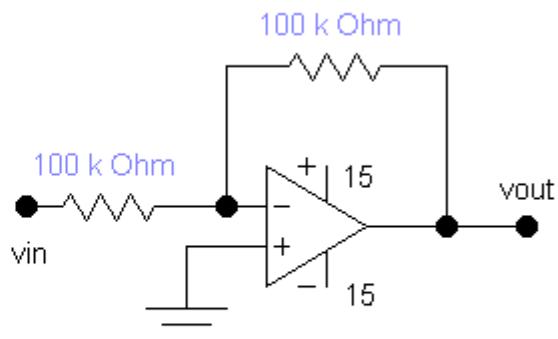


الشكل 41-2

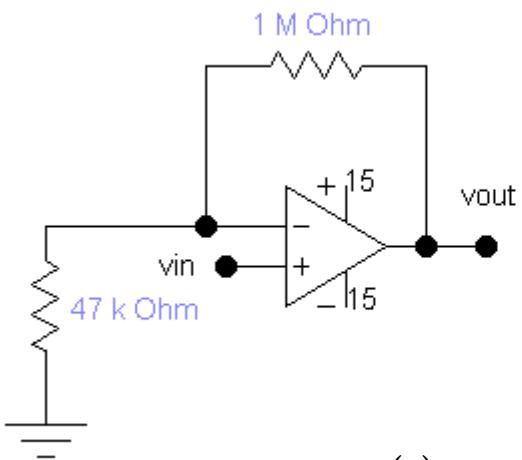
- ٢. أوجد الكسب لكل مكبر في الشكل 42-2:



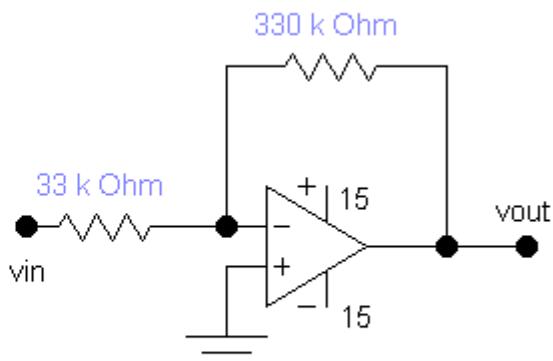
(أ)



(ب)



(ج)

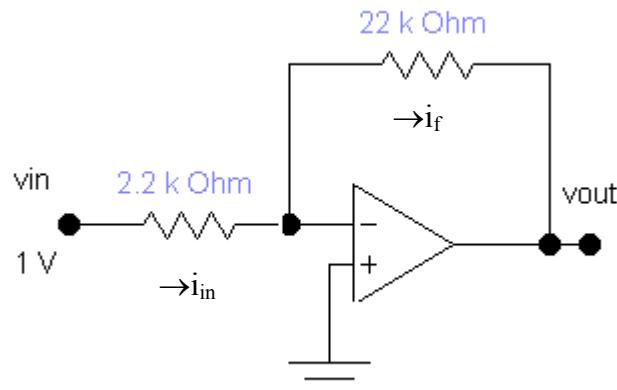


(د)

الشكل 42-2

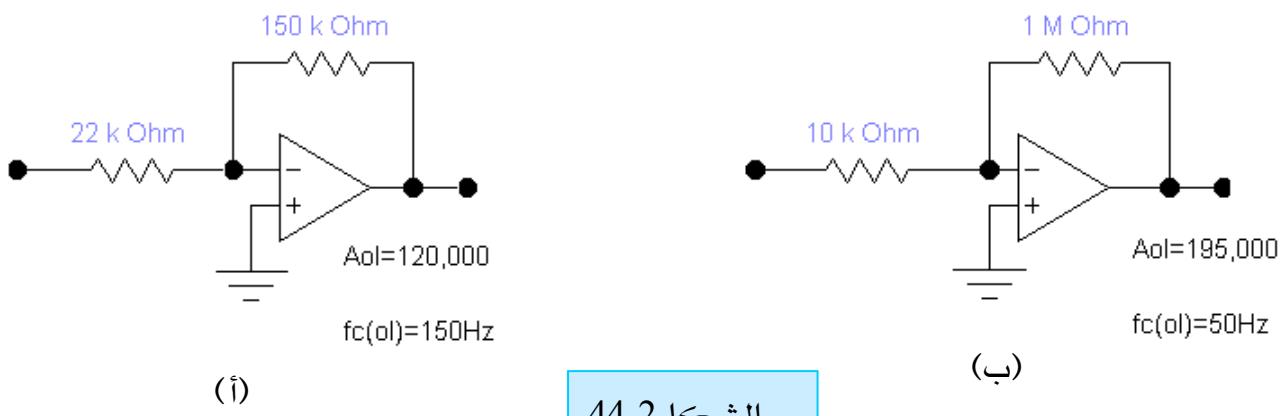
- ٣. احسب مقداراً لك كل من القيم التالية الموضحة في الشكل 43-2

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



الشكل 43-2

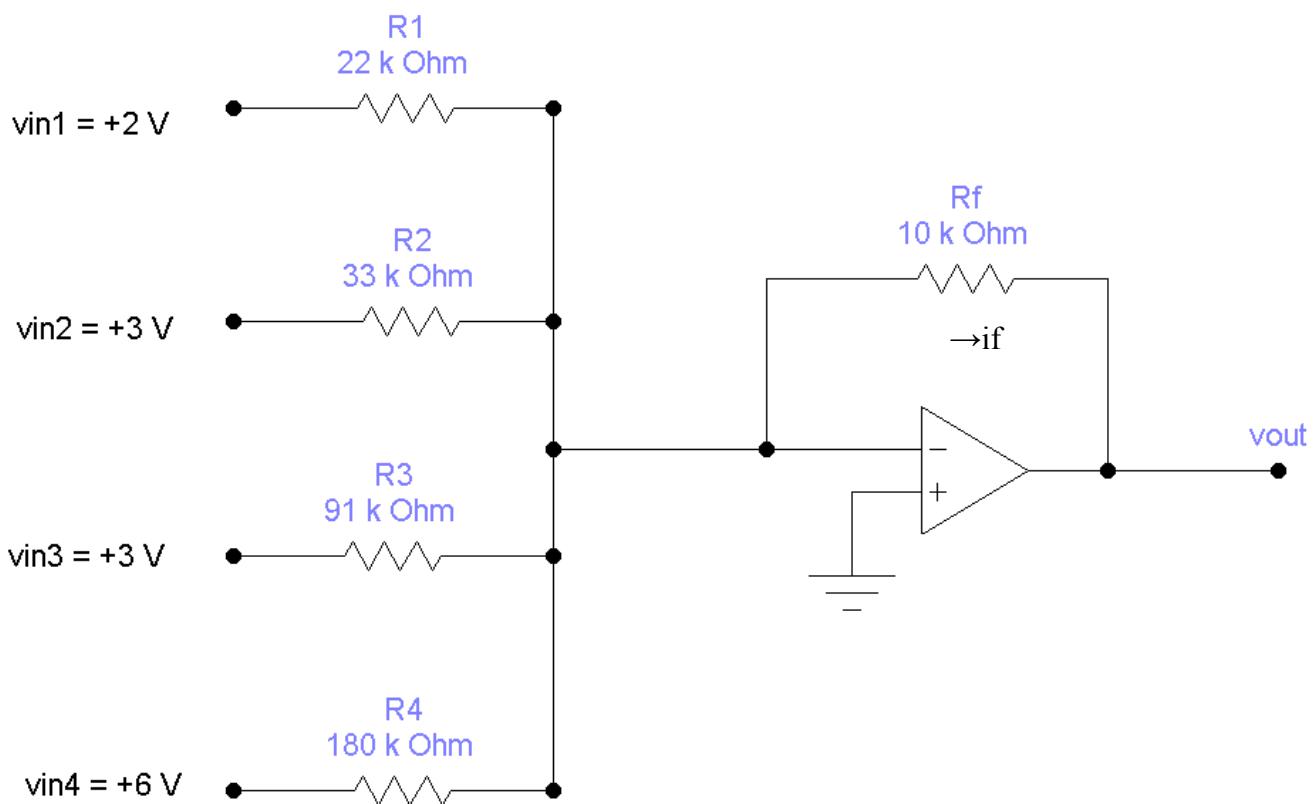
-٤. من المكبرين الموضعين في الشكل 44-44 له أقل مجال نطاق؟



الشكل 44-2

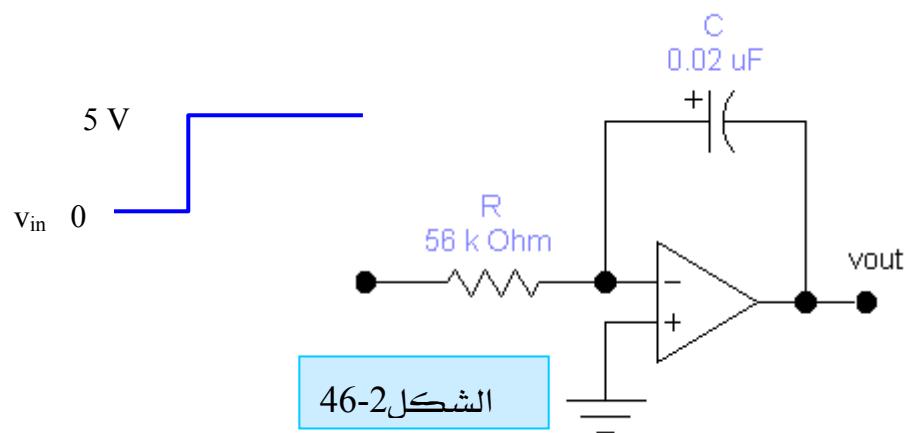
-٥. أوجد كسب الجهد عندما تطبق جهود الدخل الموضحة في الشكل 45-45.

أحسب التيار الذي يمر في المقاومة R_f .



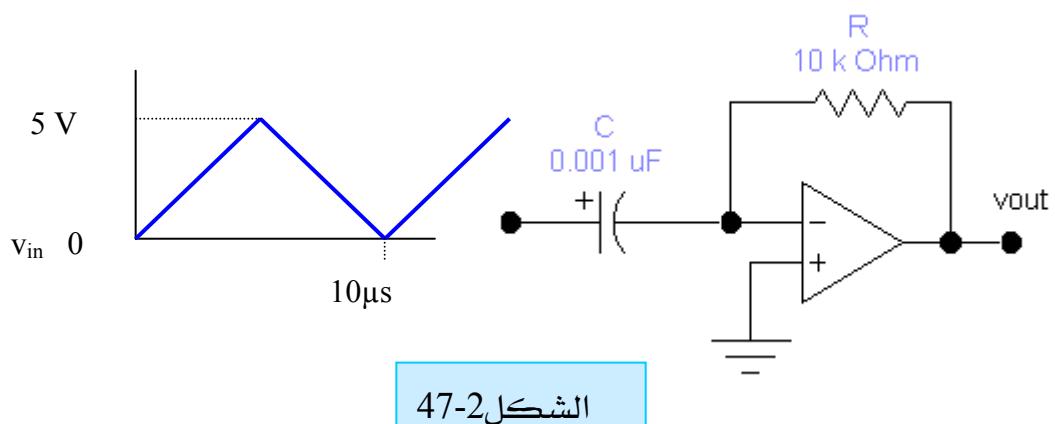
الشكل 45-2

٦. احسب ميل الخرج عندما يكون شكل إشارة الدخل لـكامل كما هي موضحة في الشكل 46-2

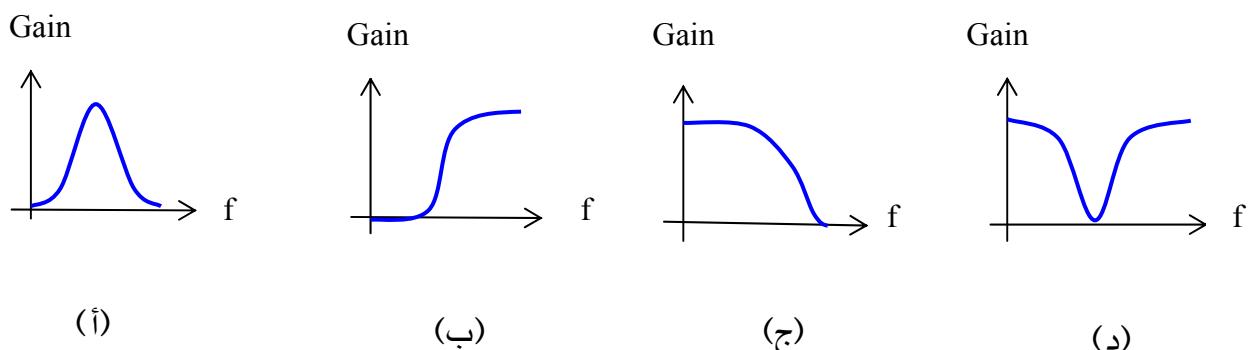


الشكل 46-2

٧. احسب سعة التيار الذي يمر في المكثف الموضح في الشكل 47-2



-٨. عرف نوع كل مرشح (Low-Pass, High-Pass, Band-Pass, Band-Stop) من المروضات
الموضحة في الشكل 48-2



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

أجوبة التقويم الذاتي

(أ). 9-2 .(ب). 8-2 .(ج). 7-2 .(د). 6-2 .(أ). 5-2 .(ج). 4-2 .(د). 3-2 .(أ). 2-2 .(أ). 1-2
 .(ب). 12-2 .(ج). 12-2 .(د). 2-10

أجوبة التمارين

. ٢٣(د) ، ٤٧.٨(ج) ، (ج) ١٠١ ، (ب) ١١(أ) . ١ -٢

. ١٠(أ) . ٢ -٢ ، (ج) ٢٢ ، (د) ١٠ -٢

. ٣ -٢ ، ٤٥٥ μ A(ج) ، ٤٥٥ μ A(أ) . ٤ -٢

. ٥ -٢ . ٦ -٢ ، ٩٧.٥kHz . ٧ -٢

$V_{out} = -3.57 \text{ V}$, $i_f = 357 \mu\text{A}$. ٨ -٢

-4.46 mV/ μ s . ٩ -٢

1 mA . ١٠ -٢

. BS(LP)، BP(أ)، (ج)، (ب)، (د) . ١١ -٢

. ١٢ -٢ . التردد الحرج يحدد مجال النطاق.

مسائل إضافية

١-٢. أجب على الأسئلة التالية:

١. ما هي التوصيلات الأساسية لمكابر عمليات؟

٢. صف بعض خواص مكابر عمليات عملي.

٣. ميز بين دخل تقاضلي ودخل وحيد.

٤. عرف رفض النسق المشترك.

٥. في حالة قيمة ما لكسب دائرة مفتوحة (A_{OL})، هل قيمة كبيرة للكمية CMRR تنتج عن قيمة كبيرة أو صغيرة لكسب النسق المشترك (A_{cm})؟

٦. أعط قائمة لعشرة كميات لمكابر عمليات.

٧. ما هي الكميات التي تتعلق بالتردد؟

٨. ما هي منافع التغذية الخلفية؟

٩. لما ضرورة خفض كسب جهد مكابر عمليات (دائرة مفتوحة)؟

١٠. ما الغرض الرئيسي من تغذية خلفية؟

١١. كسب جهد دائرة مغلقة يتعلق بكسب مكابر العمليات.(صحيح أم خطأ)

١٢. إذا كان جهد الدخل لمكابر غير عاكس $V_{out} = 0.02V$ وجهد الخرج $V_{out} = 1V$ أحسب كسب جهد الدائرة.

٢-٢. حل المعادلة التالية باستعمال لغة الدوائر الالكترونية:

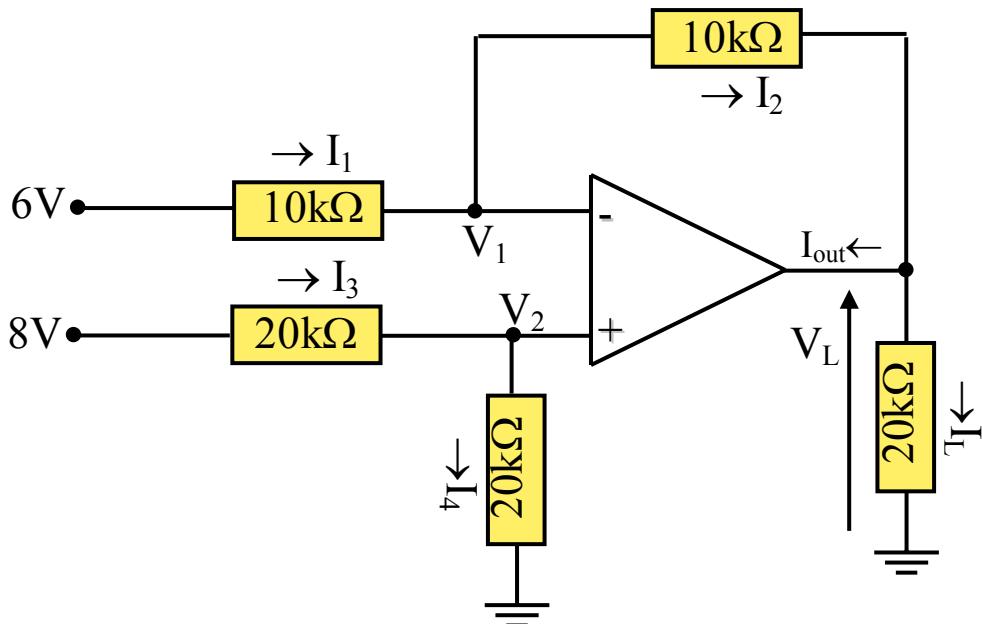
$$f(x, y, z) = 5x - 4y + 3z - 2$$

٣-٢. حل المعادلة الرياضية التالية بلغة الدوائر الالكترونية:

$$f(x, y) = 3x - 5y$$

العناصر المتاحة: $10k\Omega \times 7$; $20k\Omega \times 1$; $50k\Omega \times 1$; $LM741C \times 3$

٤-٤. لتكن الدائرة الالكترونية التالية: مكابر العمليات مثالياً.



أملأ الجدول التالي بعد القيام بالحسابات:

I _L	V _L	A _V (-)	A _V (+)	I ₂	I ₁	V ₁	I ₄	I ₃	V ₂

٥-٢. صمم دائرة مكابر حيث جهد الخرج يساوي 5V

٦-٢. صمم دائرة مكابر حيث جهد الخرج يساوي -4V

٧-٢. صمم دائرة مكابر حيث جهد الخرج يساوي 3V

٨-٢. صمم دائرة مكابر حيث جهد الخرج يساوي 1V