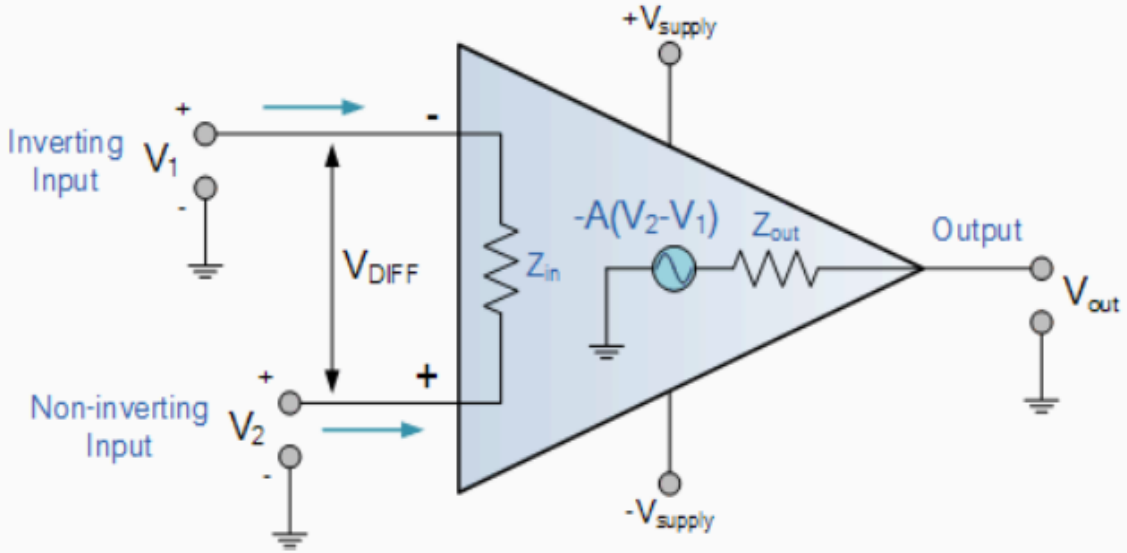
دارات الكترونية /٢/

تطبيقات مضخم العمليات

Operational amplifier Applications

مدرس المقرر
د. السموءل صالح

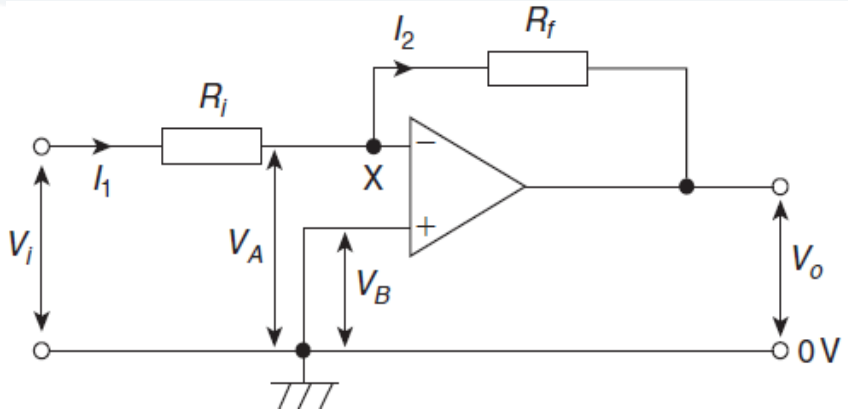
بعض تطبيقات مكبر العمليات



- المكبر العاكس
- المكبر غير العاكس
- متتبع الجهد
- المكبر الجامع
- مقارن الجهد
- المكبر التكاملي
- المكبر التفاضلي
- مبدل رقمي تشابهي
- مبدل تشابهي رقمي
- مرشح تمرير ترددات منخفضة
- مرشح تمرير ترددات عالية
- مرشح تمرير حزمة

بعض تطبيقات مكبر العمليات (تذكير)

المكبر العملياتي العاكس (Op amp inverting amplifier)



ربح التكبير: تظهر العلاقة $\frac{V_i}{R_i} = -\frac{V_o}{R_f}$، أن Vo يكون سالباً عندما Vi يكون موجباً والعكس صحيح.

ربح الحلقة المغلقة A يعطى بالعلاقة :

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_f}{R_i}$$

نلاحظ: أن A يتعلق فقط بالمقاومتين R_f و R_i وليس بخصائص مكبر العمليات.

مثال: ليكن لدينا المكبر العاكس المبين سابقاً والذي فيه Ri=1 kΩ و Rf= 2kΩ. حدد جهد الخرج عندما يكون جهد الدخل (١) +0.4 V (٢) -1.2 V

الحل: من المعادلة المبينة أعلاه يمكن أن نكتب

$$V_o = \left(\frac{-R_f}{R_i}\right) V_i ,$$

(١)

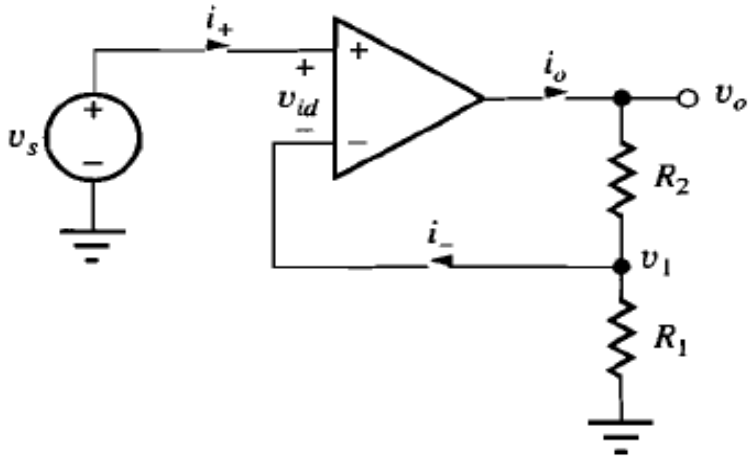
$$V_o = \left(\frac{-2000}{1000}\right)(+0.4) = -0.8\,\text{V} .$$

(٢)

$$V_o = \left(\frac{-2000}{1000}\right)(-1.2) = +2.4\,\text{V} .$$

المكبر غير العاكس

Op amp non-inverting amplifier



- يظهر الشكل الدارة الأساسية للمكبر غير العاكس حيث يطبق جهد الدخلِ *Vs* (مستمر أو متناوب) على المدخل غير العاكس (+) وبالتالي فإن جهد الخرج يماثل في الطور جهد الدخل.
- يمكننا الحصول على التغذية العكسية السالبة من خلال التغذية العكسية للمدخل العاكس.
- يمكن استنتاج علاقة التكبير وفق:

-- علاقة مقسم جهد:

$$\mathbf{v_1} = \mathbf{v_o}\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

-- باستخدام الحلقة التي تحوي كل من V_s و V_{id} كذلك V_1 نحصل على :

$$\mathbf{v_s} - \mathbf{v_{id}} = \mathbf{v_1} \qquad \mathbf{v_{id}} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{v_s} = \mathbf{v_1}$$

-- بالتعويض في علاقة مقسم جهد السابقة فنحصل على ربح الجهد وهو أكبر من الواحد:

$$A_v = \frac{\mathbf{v_o}}{\mathbf{v_s}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

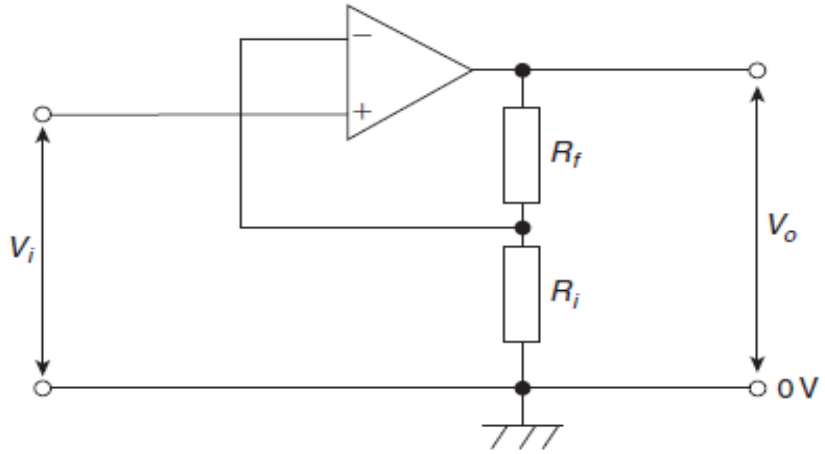
$$R_{in} = \frac{\mathbf{v_s}}{\mathbf{i_+}} = \infty \qquad \text{because } \mathbf{i_+} = 0$$

$$R_{out} = 0$$

المكبر غير العاكس

Op amp non-inverting amplifier

- يظهر الشكل تصميم اخر للمكبر غير العاكس حيث يطبق جهد الدخل *Vi* (مستمر أو متناوب) على المدخل غير العاكس (+) وبالتالي فإن جهد الخرج يماثل في الطور جهد الدخل.
- يصرف جزء من جهد الخرج *Vo* ضمن المقاومة R_i وذلك من خلال مقسم الجهد المكون من *Vo*, R_i, R_f.



ربح التكبير

ليكن لدينا معامل التغذية العكسية: $\beta = \frac{R_i}{R_i + R_f}$

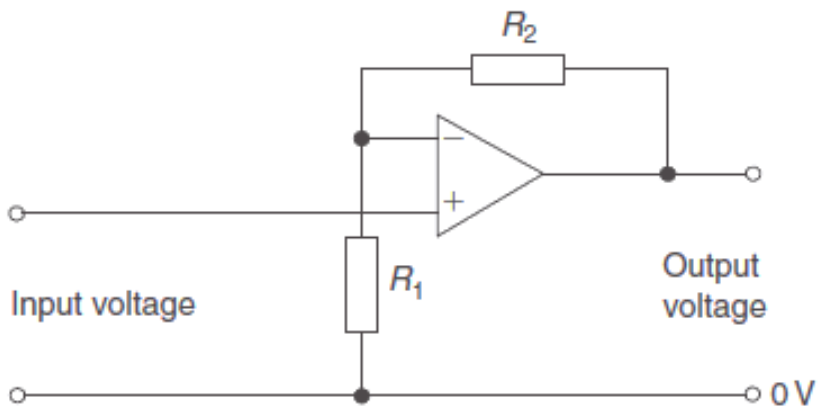
علاقة ربح جهد الحلقة المغلقة لمكبر عمليات بربح جهد حلقة مفتوحة Ao يعطى بالعلاقة: $A = \frac{A_o}{1 + \beta A_o}$

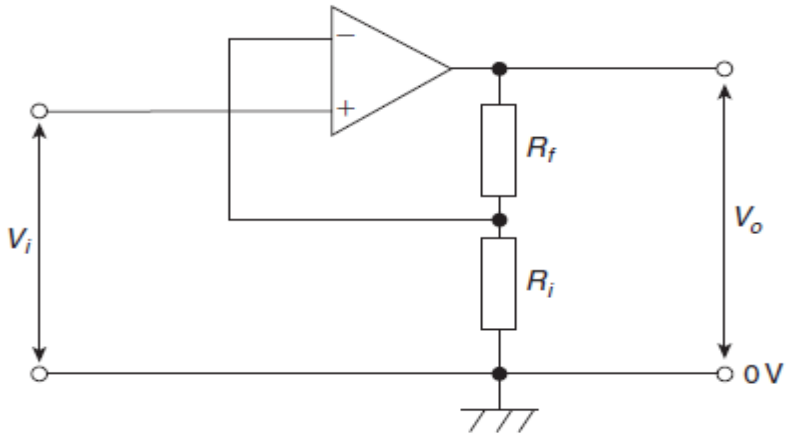
من أجل مكبر عمليات مثالي يكون $A_o = 10^5$ وبالتالي βAo كبير مقارنة مع *1* وبالتالي:

$$A = \frac{A_o}{\beta A_o} = \frac{1}{\beta} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_i + R_f}{R_i} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

المكبر غير العاكس

Op amp non-inverting amplifier





مثال: ليكن لدينا المكبر المبين في الشكل المجاور فيه $R_1=4.7\,k\Omega$ و $R_2=10\,k\Omega$، إذا كان جهد الدخل يساوي $-0.4V$ حدد (١) ربح الجهد (٢) جهد الخرج.

الحل: يمثل المكبر المبين أعلاه مكبر غير عاكس حيث أنه يطابق الشكل المبين جانباً والذي يمثل مكبر غير عاكس

(١) يعطى ربح الجهد بالعلاقة:

$$A = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \times 10^3}{4.7 \times 10^3}$$

$$= 1 + 2.13 = \mathbf{3.13}$$

(٢) جهد الخرج يعطى بالعلاقة:

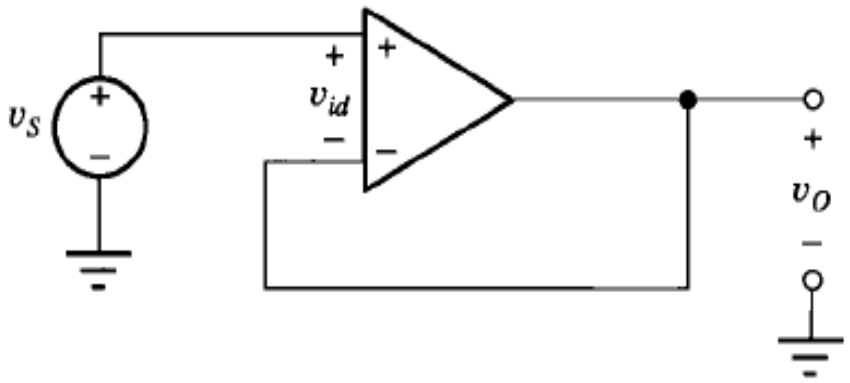
$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i$$

$$V_o = (3.13)(-0.4) = \mathbf{-1.25\,V}$$

المكبر ذو الربح الواحدي أو متتبع الجهد

Op amp voltage-follower

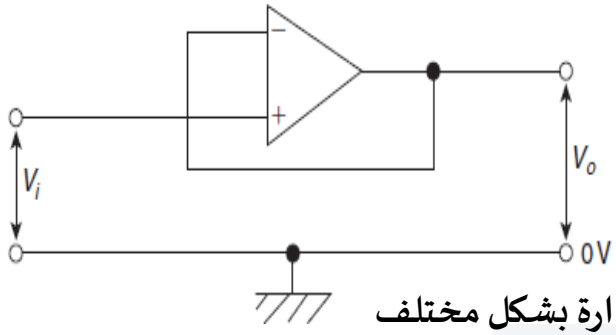
-- متتبع الجهد هو حالة خاصة من المكبر غير العاكس والذي نحصل فيه على تغذية عكسية كاملة (100%) وذلك من خلال وصل الخرج مباشرة مع المدخل العاكس لمكبر العمليات وبالتالي فإن R_f الموجودة في المكبر غير العاكس تقابل في حالة متتبع الجهد قيمة الصفر في حين أن R_i تكون لا نهائية.



$$\mathbf{v_s - v_{id} = v_o} \quad \text{or} \quad \mathbf{v_o = v_s} \text{ and } A_v = 1$$

$$R_{in} \rightarrow \infty \qquad R_{out} = 0$$

-- يعطى ربح الحلقة المغلقة A (عندما يكون ربح الحلقة المفتوحة كبيراً جداً) بالعلاقة $A=1/\beta$ وبما أن كل الخرج يغذى به عكسياً فإن $\beta=1$ و $A\approx1$ تسمى الدارة المبينة في الشكل أعلاه دارة متتبع جهد حيث أن Vo يتتبع Vi. تستخدم هذه الدارة بشكل أساسي كمكبر عازل (Buffer Amplifier) تصل بين منبع بممانعة عالية مع حمل بممانعة منخفضة.

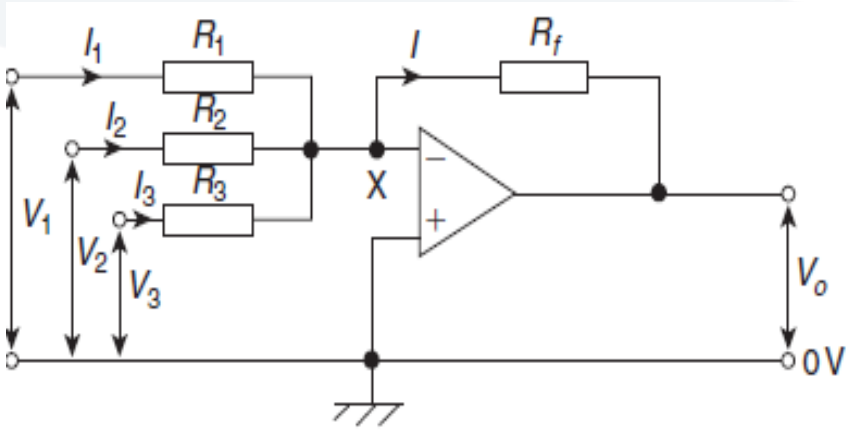


الدارة بشكل مختلف

على سبيل المثال: تستخدم هذه الدارة كمرحلة دخل لمقياس جهد تشابهي حيث يجب أن تكون ممانعة الدخل أكبر ما يمكن كي لا تسبب اضطراب في الدارة المقاسة.

المكبر الجامع

Op amp summing amplifier



- يمكن أن يستخدم مكبر العمليات كجامع لعدة قيم جهود (مستمر أو متناوبة) وذلك من خلال وصل عدة مداخل جهد على مدخله العاكس وهذا يعطي بدورة ربح حلقة مفتوحة *Ao* عالي.
- يمكن أن تستخدم هذه الدارة كدارة مازج في أنظمة الصوت لتركيب خرج الميكروفون. كما يمكن أن تستخدم لإنجاز عملية الجمع الرياضية في الحوسبة التشابهية.
- تتمتلك دارة الجامع المبينة في الشكل ثلاثة جهود دخل V_1 V_2 V_3 مطبقة من خلال ثلاثة مقاومات R_1 R_2 ،R_3
- إذا افترضنا أن المدخل العاكس لا يمرر أي تيار (Xأرضي افتراضي أو تسمى نقطة الجمع) عند ذلك فإن جميع التيارات ستمر من خلال المقاومة R_f.

بالنتيجة وحسب كيرشوف تكون قيمة التيار: $I= I_1+ I_2+I_3$ وبتعويض قيم التيارات نحصل على:

$$\frac{-V_o}{R_f} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

--- من هذه العلاقة حصل على قيمة جهد الخرج للدارة وفق:

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

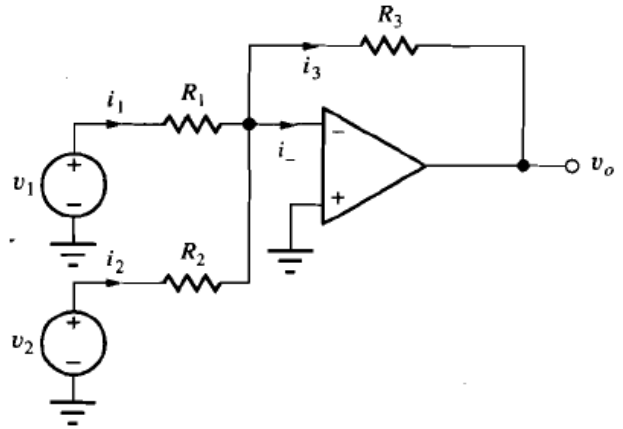
ملاحظة١: إذا كانت قيم المقاومات متساوية فتكون الخرج عبا الجمع الجبري لإشارات الدخل.

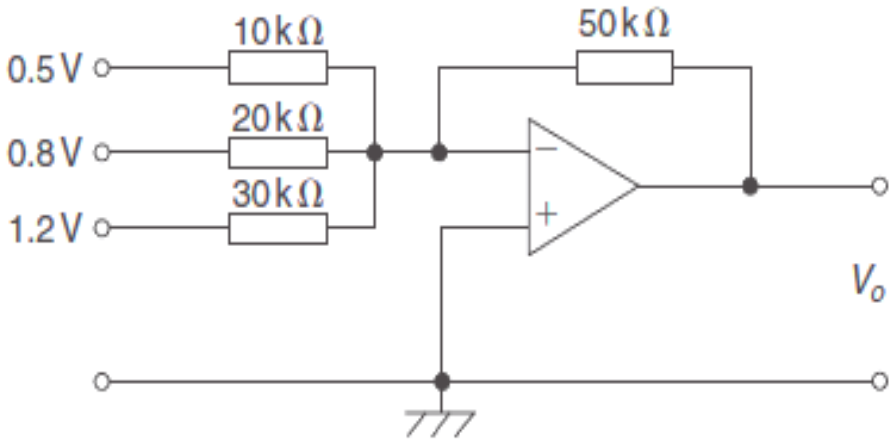
$$= -R_f\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$$

ملاحظة: تجمع الجهود الثلاثة وتُكبّر إذا كانت R_f أكبر من كلٍ من مقاومات الدخل في حين أنها تجمع وتُخَمّد في الحالة العكسية

المكبر الجامع

Op amp summing amplifier





تطبيق١: ليكن لدينا مكبر العمليات الموضح بالشكل الجانبي و المطلوب حساب جهد الخرج؟

الحل: يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

$$\mathbf{i_1} = \frac{\mathbf{v_1}}{R_1} \qquad \mathbf{i_2} = \frac{\mathbf{v_2}}{R_2} \qquad \mathbf{i_3} = -\frac{\mathbf{v_o}}{R_3}$$

$$\text{Because } \mathbf{i_-} = \mathbf{0}, \mathbf{i_3} = \mathbf{i_1} + \mathbf{i_2},$$

$$\mathbf{v_o} = -\frac{R_3}{R_1}\mathbf{v_1} - \frac{R_3}{R_2}\mathbf{v_2}$$

تطبيق٢: ليكن لدينا مكبر العمليات الجامع المبين في الشكل المجاور. أحسب جهد الخرج؟

الحل: يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

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

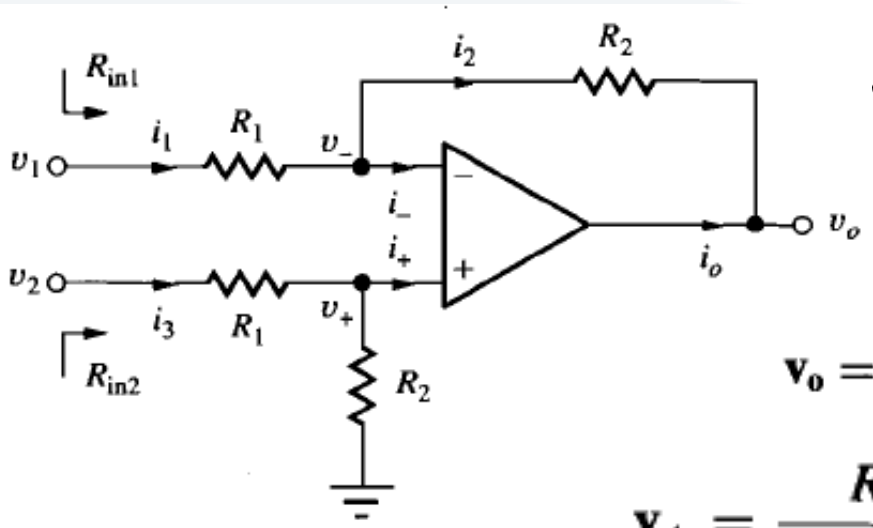
$$= -(50 \times 10^3)\left(\frac{0.5}{10 \times 10^3} + \frac{0.8}{20 \times 10^3} + \frac{1.2}{30 \times 10^3}\right)$$

$$= -(50 \times 10^3)(5 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5})$$

$$= -(50 \times 10^3)(13 \times 10^{-5}) = \mathbf{-6.5V}$$

Op amp diff amplifier

المكبر الطارح



-- من الدارة نجد أن علاقة جهد الخرج تعطى بالشكل: $\mathbf{v_o = v_- - i_2 R_2 = v_- - i_1 R_2}$

because $\mathbf{i_2 = i_1}$ since $\mathbf{i_-}$ must be zero. $\Rightarrow$ $\mathbf{i_1 = \dfrac{v_1 - v_-}{R_1}}$

-- نعوض في علاقة جهد الخرج وفق: $\mathbf{v_o = v_- - \dfrac{R_2}{R_1}(v_1 - v_-) = \left(\dfrac{R_1 + R_2}{R_1}\right) v_- - \dfrac{R_2}{R_1} v_1}$

-- ولكن وكون $\mathbf{v_- = v_+}$ ومن علاقة مقسم جهد على المدخل غير العاكس نجد: $\mathbf{v_+ = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} v_2}$

-- نعوض في علاقة جهد الخرج السابقة فتنتج علاقة الخرج للمكبر الطارح:

$$\mathbf{v_o = \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)(v_1 - v_2)}$$

-- يكبر الفرق بين اشارتي الدخل بمقدار معامل يحدد بواسطة المقاومتين.

-- عندما $\mathbf{R_2 = R_1}$ يكون الخرج هو الفرق بين اشارتي الدخل. $\mathbf{v_o = -(v_1 - v_2)}$

differential subtractor.

-- تطبيق:

Find the values of V_O, V_+, V_-, I_1, I_2, I_3, and I_O for the difference amplifier $V_1 = 5$ V, $V_2 = 3$ V, $R_1 = 10$ kΩ, and $R_2 = 100$ kΩ.

Since $I_+ = 0$, V_+ can be found directly by voltage division.

$$V_+ = V_2 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3\text{ V} \frac{100\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega + 100\text{ k}\Omega} = 2.73\text{ V} \quad \text{and} \quad V_- = 2.73\text{ V}$$

and V_O can be related to V_1 using Kirchhoff's voltage law: $V_1 - I_1R_1 - I_2R_2 - V_O = 0$

We know that $I_- = 0$, and $I_2 = I_1$

We can find I_1 since we know the values of V_1, V_-, and R_1

$$I_1 = \frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{5\text{ V} - 2.73\text{ V}}{10\text{ k}\Omega} = 227\ \mu\text{A} \quad \text{and} \quad I_2 = 227\ \mu\text{A}$$

Then the output voltage can be found

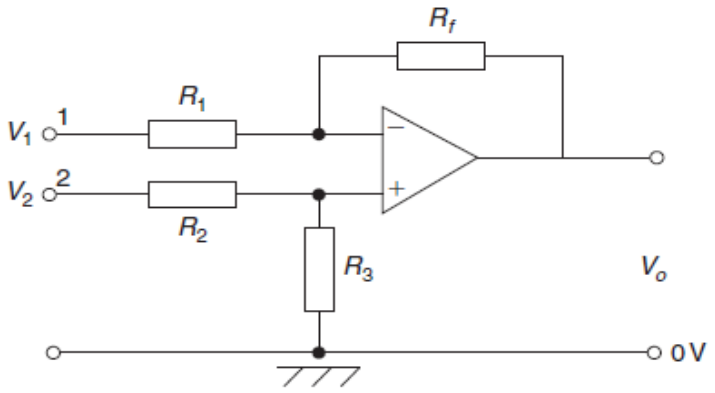
$$V_O = V_1 - I_1R_1 - I_2R_2 = V_1 - I_1(R_1 + R_2)$$

$$V_O = 5\text{ V} - (227\ \mu\text{A})(110\text{ k}\Omega) = -20.0\text{ V}$$

The op amp output current is $I_O = -I_2 = -227\ \mu\text{A}$.

مكبر التفاضل (مكبر الفرق)

Op amp differential amplifier



- يبين الشكل المجاور دارة المكبر التفاضلي باستخدام المكبر العملياتي حيث نجد الجهدين V_1 و V_2 مطبقين على مدخلي مكبر العمليات حيث يضخم الفرق بين هذين الجهدين.
- يمكن أن نميز ثلاثة حالات:

١. $V_2 = 0$ يتحول هذا المكبر إلى مكبر عاكس وبالتالي ربح الجهد يعطى بالعلاقة التالية:

$$A = \frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$

٢. $V_1 = 0$ فإن الجهد الذي سيظهر على المدخل غير العاكس يساوي:

$$\frac{R_3}{R_2 + V_3} V_2$$

هذا الجهد سيظهر أيضاً على المدخل العاكس بسبب وجود التغذية العكسية السالبة وبالتالي سيكون جهد الخرج:

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) V_2 + \left[-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) V_2\right]\left(-\frac{R_f}{R_1}\right) \Rightarrow A = \frac{V_o}{V_2} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) + \left[-\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\right]\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$

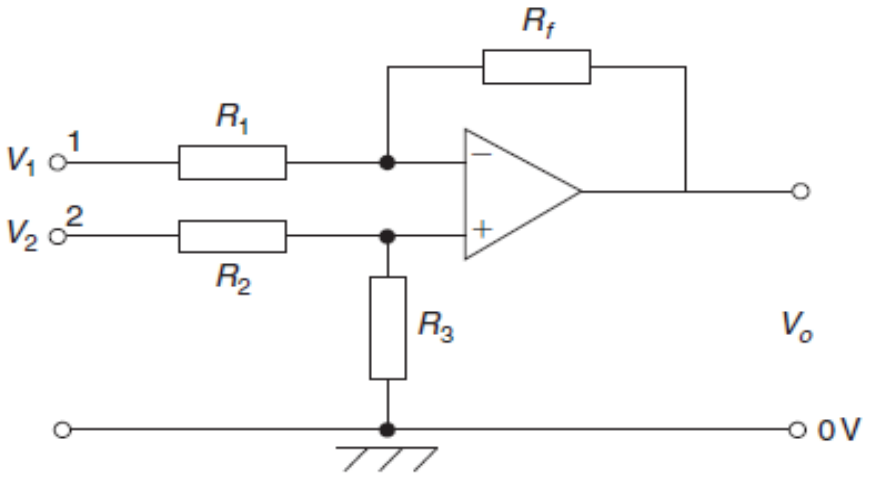
وربح الجهد يعطى بالعلاقة:

$$A = \frac{V_o}{V_2} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

مكبر التفاضل (مكبر الفرق)

Op amp differential amplifier

- يبين الشكل المجاور دارة المكبر التفاضلي باستخدام المكبر العملياتي حيث نجد الجهدين V_1 و V_2 مطبقين على مدخلي مكبر العمليات حيث يضخم الفرق بين هذين الجهدين.
- يمكن أن نميز ثلاثة حالات:



٣. إذا كانت V_1 و V_2 غير معدومان فإن الفرق بين هذين الجهدين سوف يُضخّم وفق الالية الاتية:

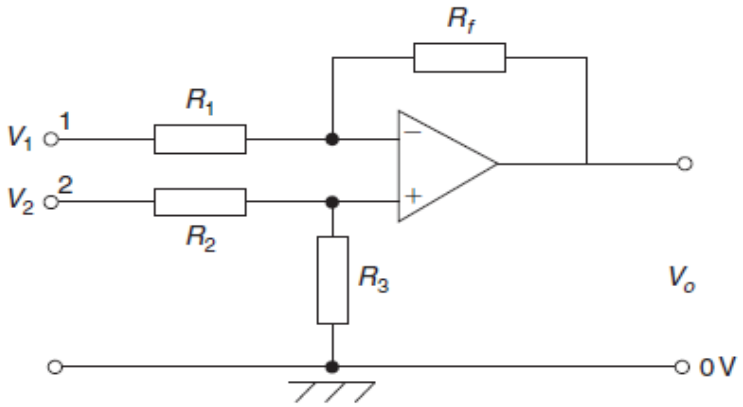
If $V_1 > V_2$, then:

$$V_o = (V_1 - V_2)\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$

If $V_2 > V_1$, then:

$$V_o = (V_2 - V_1)\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

مثال: إذا كان لدينا المكبر التفاضلي المبين سابقاً بالعناصر التالية: $R1=10\ k\Omega$, $R2=10\ k\Omega$, $R3=100\ k\Omega$, $Rf=100\ k\Omega$ حدد جهد الخرج في الحالات التالية: ١- $V_1=5mV$ و $V_2=0$ ، ٢- $V_1=0$ و $V_2=5mV$ ، ٣- $V_1=50mV$ و $V_2=25mV$ ، ٤- $V_1=25mV$ و $V_2=50mV$.



الحل:

(-١)
$$V_o = -\frac{R_f}{R_1}V_1 = -\left(\frac{100\times10^3}{10\times10^3}\right)(5)\,\text{mV}$$
$$= -50\,\text{mV}$$

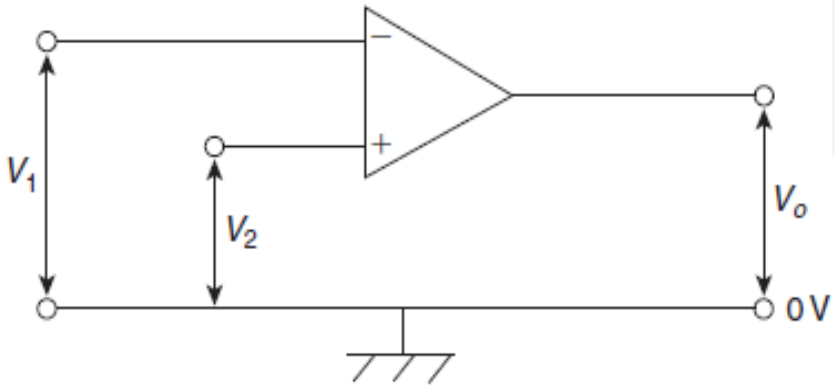
(-٢)
$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_2+R_3}\right)\left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)V_2$$
$$= \left(\frac{100}{110}\right)\left(1+\frac{100}{10}\right)(5)\ \text{mV} = +50\,\text{mV}$$

(-٣)
$$V_o = (V_1 - V_2)\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$
$$= (50-25)\left(-\frac{100}{10}\right)\text{mV} = -250\,\text{mV}$$

(-٤)
$$V_o = (V_2 - V_1)\left(\frac{R_3}{R_2+R_3}\right)\left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)$$
$$= (50-25)\left(\frac{100}{100+10}\right)\left(1+\frac{100}{10}\right)\text{mV}$$
$$= (25)\left(\frac{100}{110}\right)(11) = +250\,\text{mV}$$

Op amp voltage comparateur

مقارن الجهد



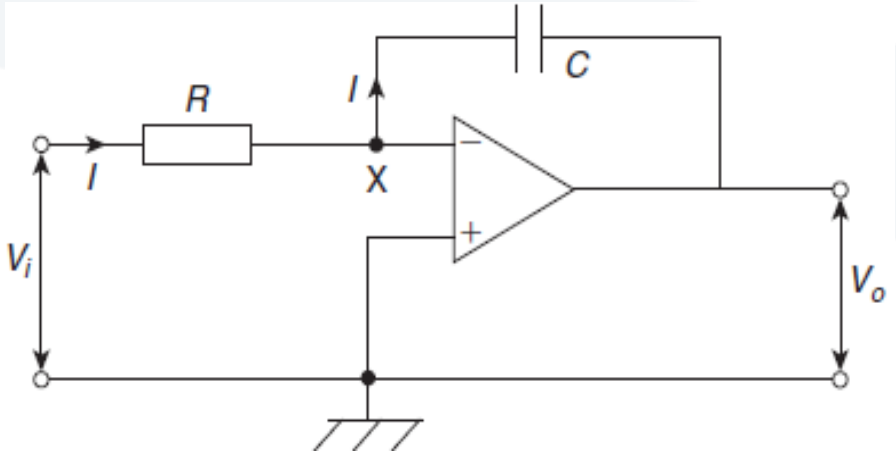
- إذا كان دخلي مكبر العمليات مستخدمين بشكل متماثل كما هو مبين في الشكل المجاور فإن جهد الخرج في هذه الحالة سيعطى بالعلاقة:

$$V_o = A_o(V_2 - V_1)$$

- عندما $V_2>V_1$ فإن Vo موجب، قيمته الأعظمية تساوي جهد التغذية الموجب Vs+ والتي يحصل عليها عندما $(V_2-V_1) \geq Vs/Ao$ وعندها يكون المكبر العملياتي في حالة الإشباع.
- على سبيل المثال، إذا كان جهد المنبع Vs=+9V و $Ao=10^5$. سيحصل الإشباع عندما $V_2 - V_1) \geq 9/10^5$ أي عندما V_2 يتجاوز V_1 بمقدار 90µV ويكون الخرج في هذه الحالة $Vo \approx 9V$.
- عندما يكون $V_1>V_2$ يكون جهد الخرج سالباً ويحدث الإشباع عندما V_1 يتجاوز V_2 بمقدار Vs/Ao.
- إن تغير بسيط في قيمة (V_2-V_1) يسبب انتقال جهد الخرج بين قيمتين Vs+ و Vs– ويسمح للمكبر العملياتي بتحديد ما إذا كانت V_2 أكبر أو أصغر من V_1 (مقارن جهد).

المضخم المكامل

Op amp integrator



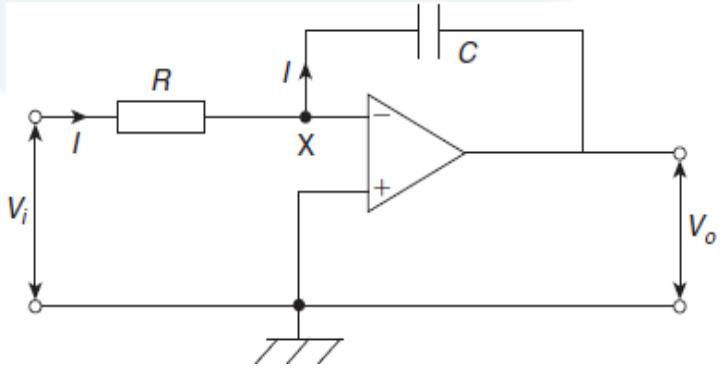
- يبين الشكل المجاور دارة المكامل التي تشبه إلى دارة المكبر العاكس ولكن في هذه الحالة تتم التغذية العكسية من خلال السعة C بدلاً من المقاومة R_f المستخدمة في حالة المكبر العاكس
- يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

$$V_O = -\frac{1}{RC}\int V_i\, dt \qquad (*)$$

- تدل الإشارة السالبة على أن جهد الخرج يعاكس بالإشارة جهد الدخل (استخدام المدخل العاكس لمكبر العمليات).
- بما أن X تعتبر نقطة أرضي افتراضي فإن الجهد عبر المقاومة R هو Vi في حين أن الجهد عبر السعة C هو Vo.
- بفرض أنه ليس لدينا أي تيار يدخل إلى المدخل العاكس فإن التيار I يمر عبر السعة C متسبباً في شحن هذه السعة.
- بفرض أن Vi ثابت فإن قيمة التيار I تعطى بالعلاقة $I=Vi/R$ وبالتالي تُشحَن السعة C بمعدل ثابت فتكون التغذية العكسية ماصة للتيار *I*.
- إذا كانت Q هي شحنة السعة C بالزمن t وهبوط الجهد على هذه السعة يتغير من 0 إلى Vo ضمن نفس الفترة الزمنية .

المضخم المكامل

Op amp integrator

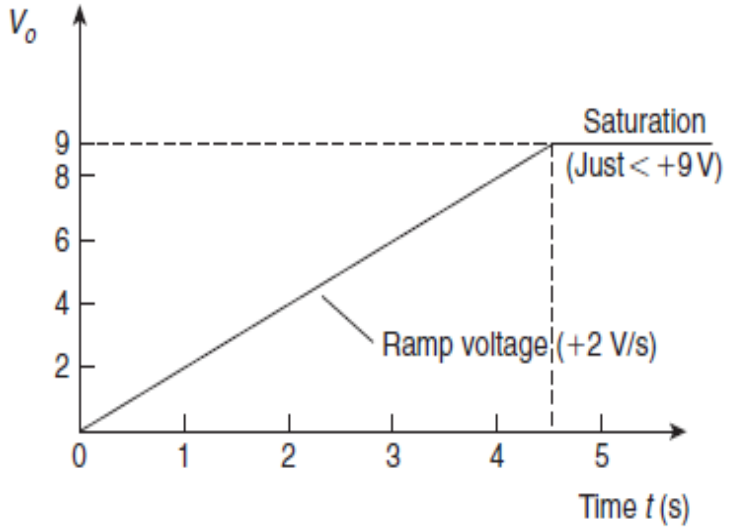


- إذا كانت Q هي شحنة السعة C بالزمن t وهبوط الجهد على هذه السعة يتغير من 0 إلى Vo ضمن نفس الفترة الزمنية يمكن استنتاج العلاقة بين الدخل والخرج بالشكل:

$$Q = -V_O C = It \rightarrow -V_O C = \frac{V_i}{R} t \rightarrow Then: V_O = \frac{1}{CR} V_i t$$

- هذه النتيجة هي ذاتها التي يمكن أن نحصل عليها من العلاقة (*) إذا كانت Vi ثابتة على سبيل المثال إذا كان جهد الدخل $Vi=-2V$ وبافتراض $CR=1$ فإن:

$$Vo= -(-2t)= 2t$$

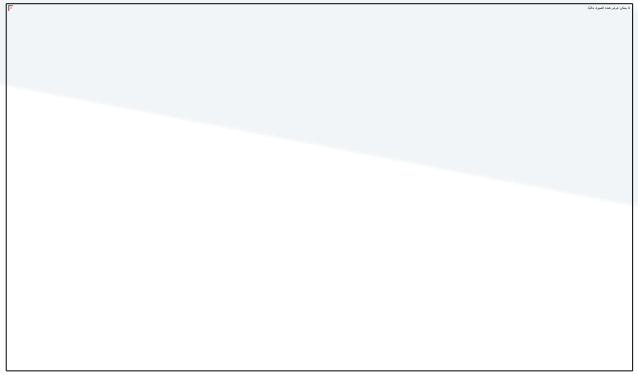


- تمثل علاقة جهد الخرج مع الزمن بتابع قفزة $Vo=2t$ يمثل الخط المستقيم من الشكل $y=mx+c$ حيث $y=Vo$ و $x=t$ يرتفع جهد الخرج Vo بمعدل ثابت مقداره $+2V/s$.

---- إذا افترضنا أن جهد التغذية يساوي $\pm 9V$ فإن Vo يصل إلى القيمة $+9V$ بعد $4.5s$ وذلك عندما يصل مكبر العمليات إلى حالة الإشباع.

المضخم المكامل

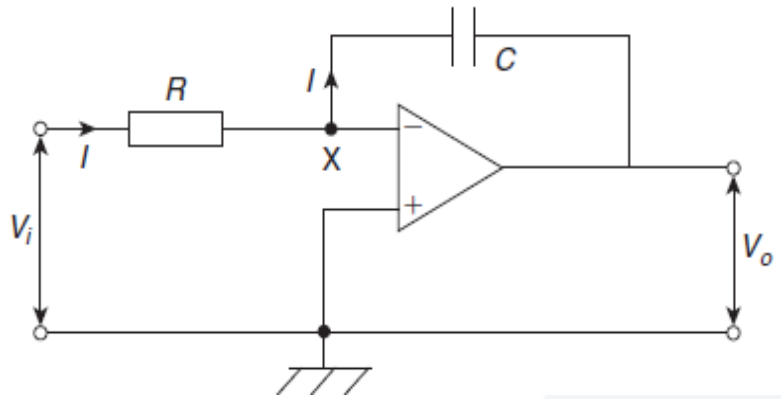
Op amp integrator



- تلخيص للحصول على جهد الخرج: يتم استخراج علاقة خرج المكامل وفق:

and *Then* $i_S = i_C$

مثال: لدينا جهد ثابت قيمته *-0.75V* مطبق على مكبر عمليات مكامل يمتلك العناصر ذات القيم التالية $R=200k\Omega$ و $C=2.5\mu F$. إذا افترضنا أن السعة الابتدائية تُشحَن عند الزمن صفر حدد قيمة جهد الخرج عند *100ms* بعد تطبيق جهد الدخل.



الحل: من المعادلة السابقة نجد:

$$V_o = -\frac{1}{CR}\int V_i\,dt$$

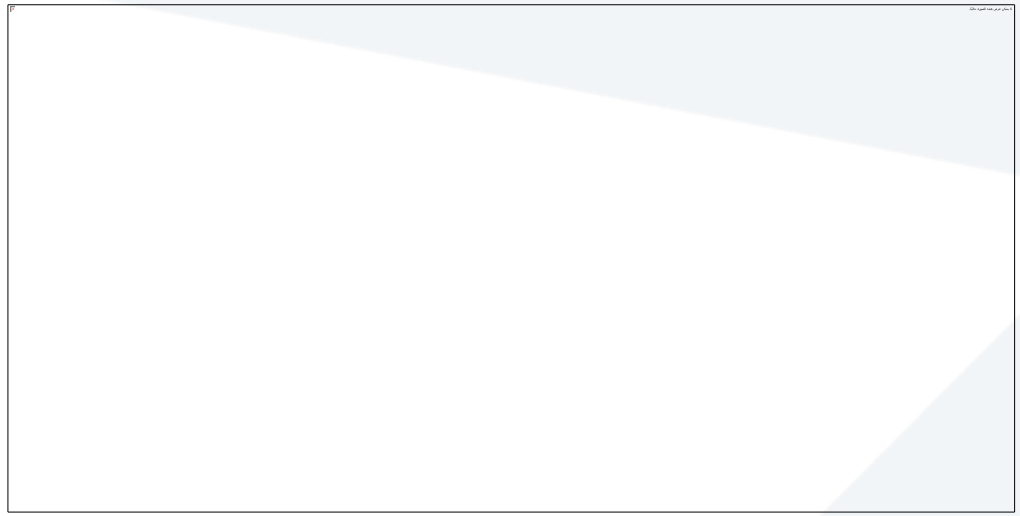
$$= -\frac{1}{(2.5\times10^{-6})(200\times10^{3})}\int(-0.75)\,dt$$

$$= -\frac{1}{0.5}\int(-0.75)\,dt = -2[-0.75t] = +1.5t$$

جهد الخرج عند *100ms* يكون جهد الخرج:

$$V_o = (1.5)(100\times10^{-3}) = \mathbf{0.15\,V}$$

- للحصول على جهد خرج دارة المفاضل نقوم بتحليل الدارة بطريقة مشابه تماما لدارة المضخم المكامل فنحصل على علاقة خرج المفاضل:



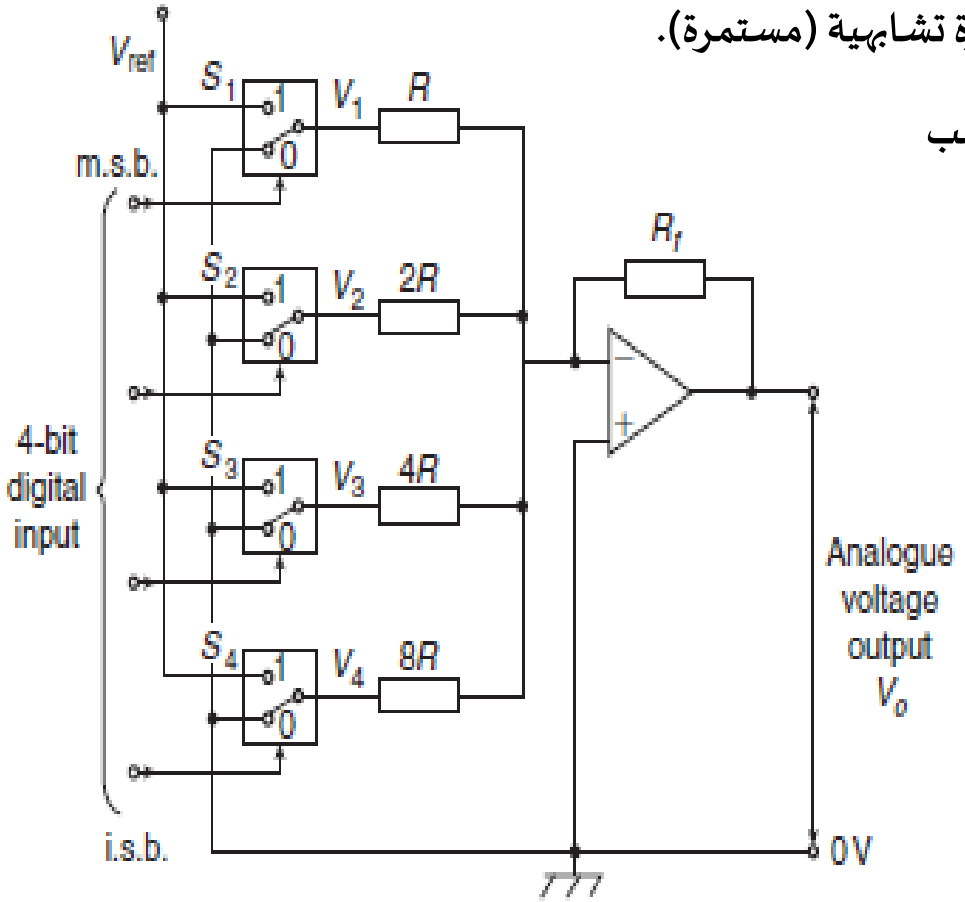
$$i_s = C\frac{dv_s}{dt} \qquad \text{and} \qquad i_R = -\frac{v_o}{R}$$

Since $i_- = 0$, these two currents must be equal.

$$v_o = -RC\frac{dv_s}{dt}$$

مضخم العمليات كمبدل رقمي - تشابهي

Digital to Analogue (D/A) converter



- تعرف عملية التبديل من الرقمي إلى التشابهي بأنها تحويل الإشارة الرقمية (متقطعة) إلى إشارة تشابهية (مستمرة).
- يبين الشكل المجاور مبدل *D/A* بأربعة مداخل ثنائية، تزداد قيم المقاومات *R, 2R, 4R, 8R* بحسب تدرج هذه المداخل.
- تستخدم الدارة مكبر عمليات كمكبر جامع مع تغذية عكسية مشكّلة من خلال المقاومة R_f
- تحتوي الدارة أيضاً على أربعة مفاتيح مقادة رقمياً (من S_1 إلى S_4).
- يصل كل مفتاح المقاومة المربوطة به على التسلسل:

١- مع جهد مرجعي V_{ref} عندما يكون بت (*bit*) الدخل مساوياً للواحد.

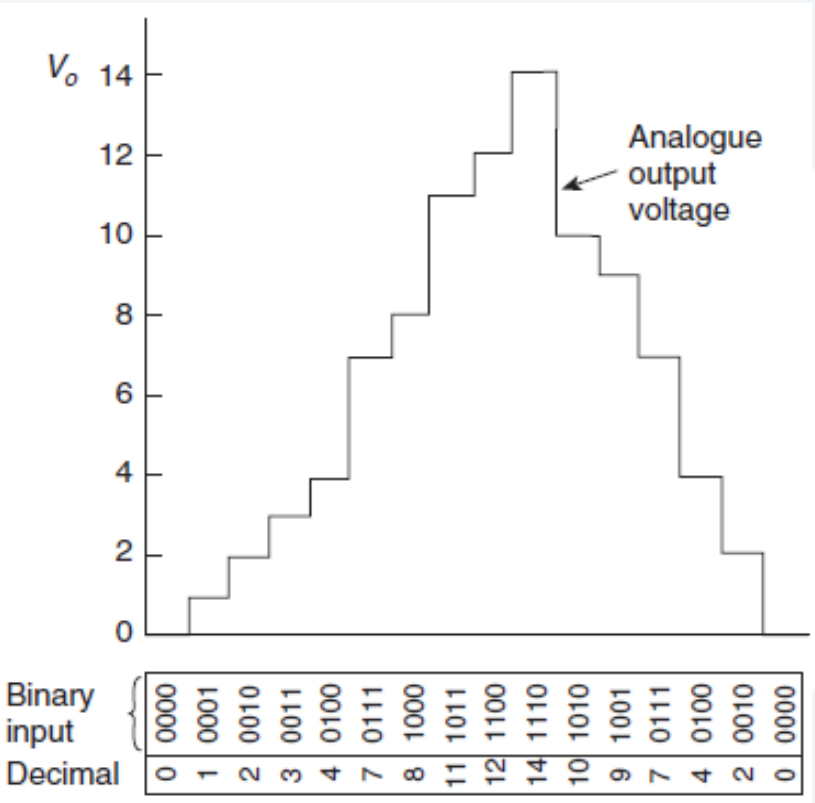
٢- مع الأرضي(*ground*) عندما يكون بت الدخل مساوياً للصفر.

وبالتالي فإن جهود الدخل(من V_1 إلى V_4) المطبقة على دخل مكبر العمليات تمتلك إحدى القيمتين V_{ref} أو *0* فولت يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R}V_1 + \frac{R_f}{2R}V_2 + \frac{R_f}{4R}V_3 + \frac{R_f}{8R}V_4\right)$$

Digital to Analogue (D/A) converter

مبدل رقمي - تشابهي



تطبيق: لدينا مبدل رقمي يمتلك أربع مداخل احسب جهد الخرج المعبر عن الأعداد الثنائية التالية:

0001 و 0101 إذا علمت أن: $R_f = R = 1k\Omega$ و $V_{ref} = -8V$

الحل: من أجل الدخل الأول ذو القيمة 0001 نلاحظ أن S_4 تصل المقاومة $8R$ إلى V_{ref} أي أن $V_4 = V_{ref}$ في حين أن S_1, S_2, S_3 تصل المقاومات $R, 2R, 4R$ إلى الأرضي وبالتالي $V_1 = V_2 = V_3 = 0\ V$ وبالنتيجة:

$$V_o = -\left(0 + 0 + 0 + \frac{1}{8}(-8)\right) = +1\,\mathrm{V}$$

من أجل الدخل الثاني ذو القيمة 0101 نلاحظ أن S_2, S_4 تصل المقاومة $2R, 8R$ إلى V_{ref} أي أن $V_2 = V_4 = V_{ref}$

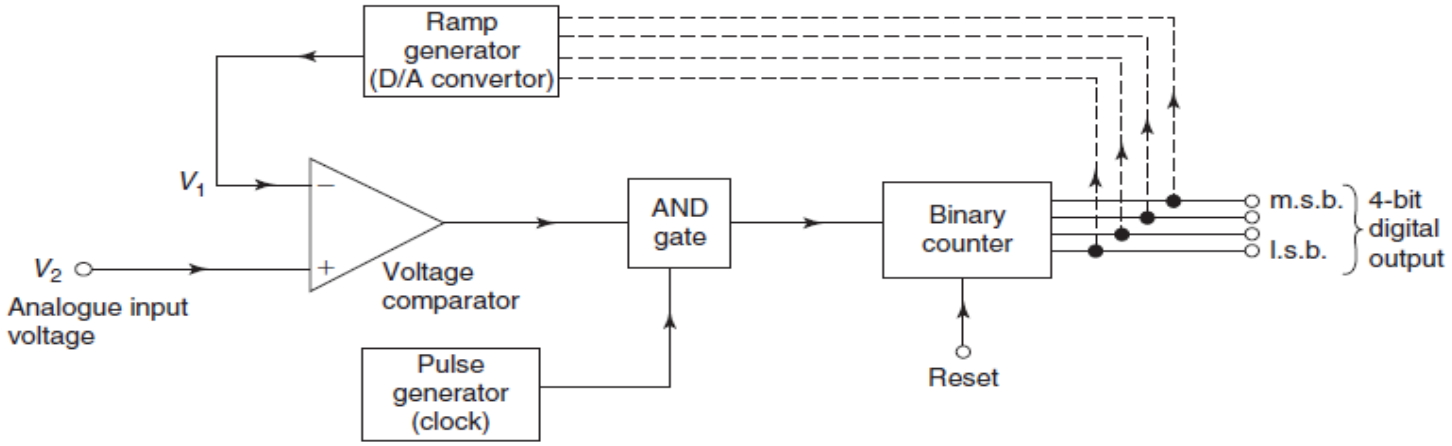
في حين أن S_1, S_3 تصل المقاومتين $R, 4R$ إلى الأرضي وبالتالي $V_1 = V_3 = 0\ V$ وبالنتيجة:

$$V_o = -\left(0 + \frac{1}{2}(-8) + 0 + \frac{1}{8}(-8)\right) = +5\,\mathrm{V}$$

مضخم العمليات كمبدل تشابهي - رقمي

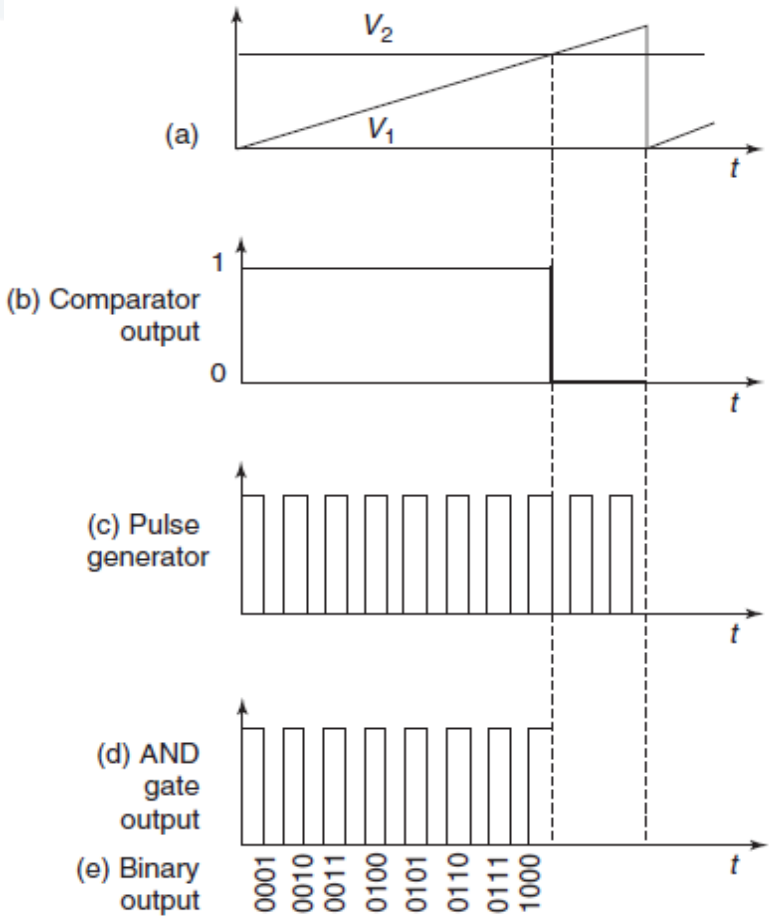
Analogue to Digital (A/D) converter

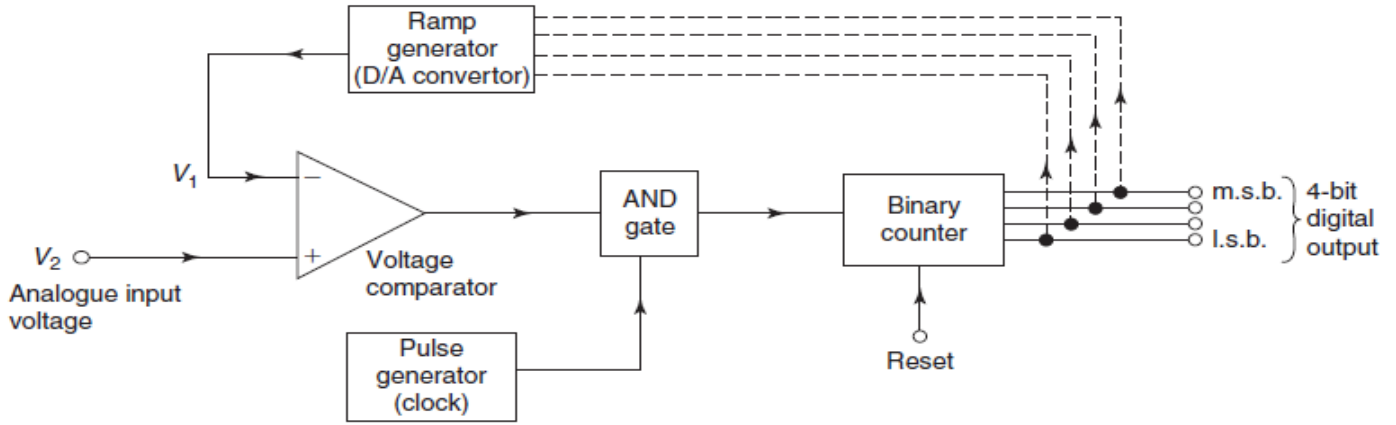
- في مقياس الجهد الرقمي تُقاس إشارة الدخل كإشارة تشابهية في حين تظهر القيمة المقاسة رقمياً وبالتالي نحتاج إلى مبدل تشابهي رقمي.
- يمثل الشكل مخطط صندوقي لعداد رقمي بأربع خانات من نوع مبدل *A/D* يُستخدَم فيها مكبر العمليات كمقارن جهد.
- نطبق جهد دخل تشابهي V_2 على المدخل غير العاكس لمكبر العمليات كدخل مستمروثابت في حين نطبق جهد على شكل إشارة سن منشار V_1 على المدخل العاكس.
- يطبق جهد خرج المقارن على بوابة *AND* وهذا الجهد يساوي الواحد (عالي) طالما أن V_2 أكبر من V_1.
- عندما يصبح V_2 يساوي أو أصغر من V_1 فإن خرج المقارن يساوي الصفر (منخفض).
- يُغذَّى المدخل الثاني لبوابة *AND* من خلال قطار نبضات ناتج عن مولد نبضات (*clock*).



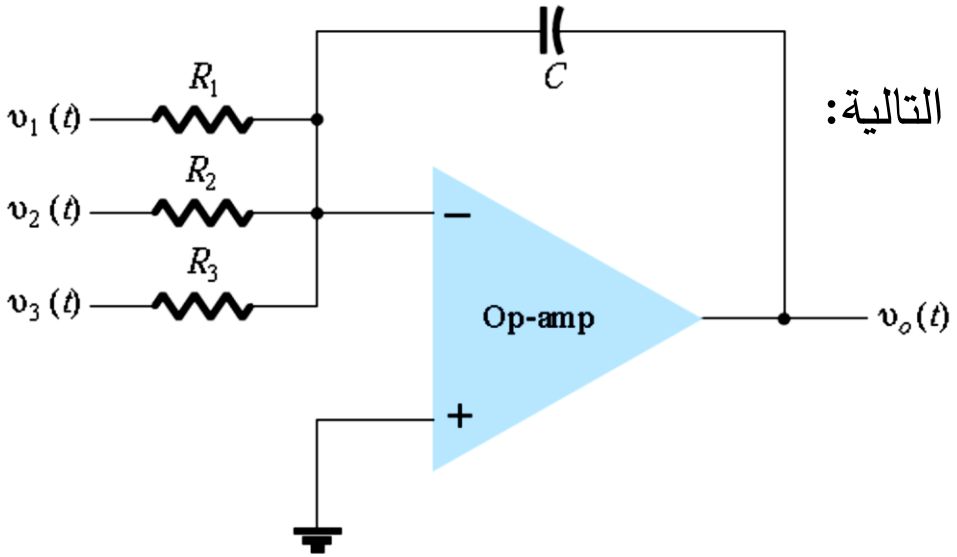
Analogue to Digital (A/D) converter

مبدل تشابهي - رقمي





- عدما يكون دخلي بوابة الـ *AND* مرتفعين ← تفتح البوابة لتعطي خرج عالي أو بكلام آخر تعطي نبضة كما هو موضح بالشكل(d).
- تُخزّن النبضات الناتجة عن بوابة الـ*AND* بواسطة عداد ثنائي.
- تُكافئ هذه النبضات جهد الدخل التشابهي V_2.
- يمثل مولد سن المنشار عملياً مبدل رقمي تشابهي *D/A* يأخذ جهد دخله الرقمي من العداد الثنائي ليعطي على خرجه إشارة سن منشار (تشابهية).



مثال: احسب جهد الخرج لمضخم جامع $R_f = 1\ M\Omega$، وذلك لحالات العمل التالية:

$V_1 = 1\ V \quad , \quad V_2 = 2\ V \quad , \quad V_3 = 3\ V$ (a

$R_2 = R_3 = 1\ M\Omega \quad ، \quad R_1 = 500\ k\Omega$

$V_1 = -2\ V \quad , \quad V_2 = 3\ V \quad , \quad V_3 = 1\ V$ (b

$R_1 = 200\ k\Omega, \quad R_2 = 500k\Omega \quad R_3 = 1\ M\Omega$

الحل:

Solution

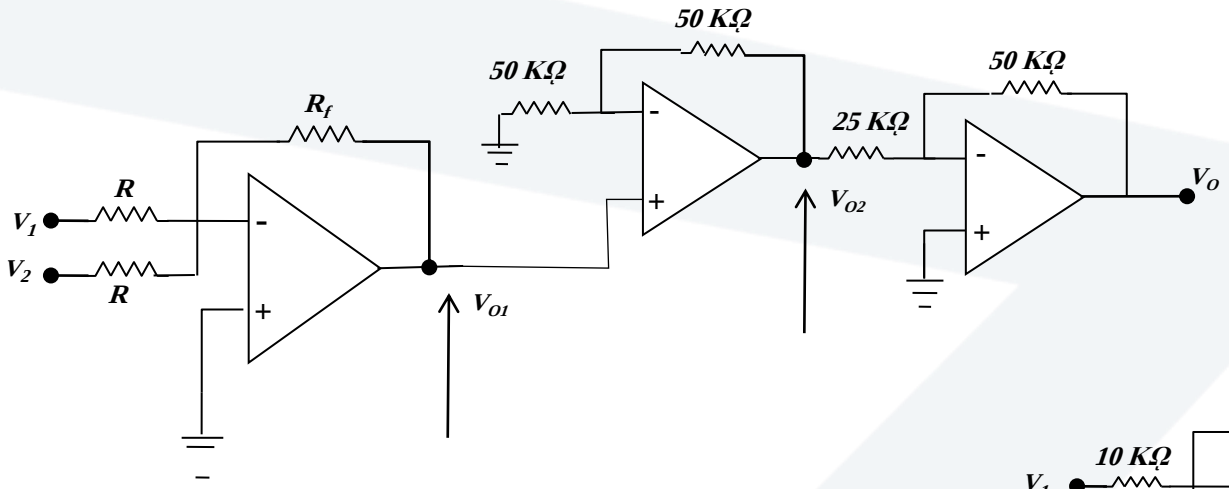
Using Eq. (14.11):

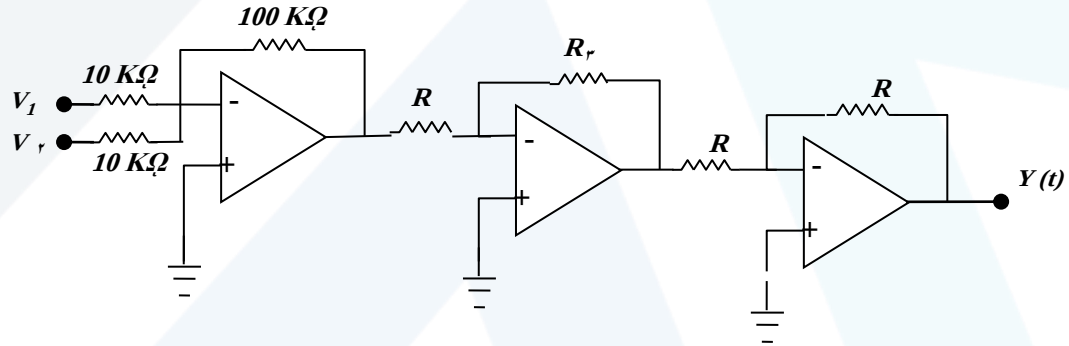
$$\text{(a)}\quad V_o = -\left[\frac{1000\ \text{k}\Omega}{500\ \text{k}\Omega}(+1\ \text{V}) + \frac{1000\ \text{k}\Omega}{1000\ \text{k}\Omega}(+2\ \text{V}) + \frac{1000\ \text{k}\Omega}{1000\ \text{k}\Omega}(+3\ \text{V})\right]$$

$$= -[2(1\ \text{V}) + 1(2\ \text{V}) + 1(3\ \text{V})] = \mathbf{-7\ V}$$

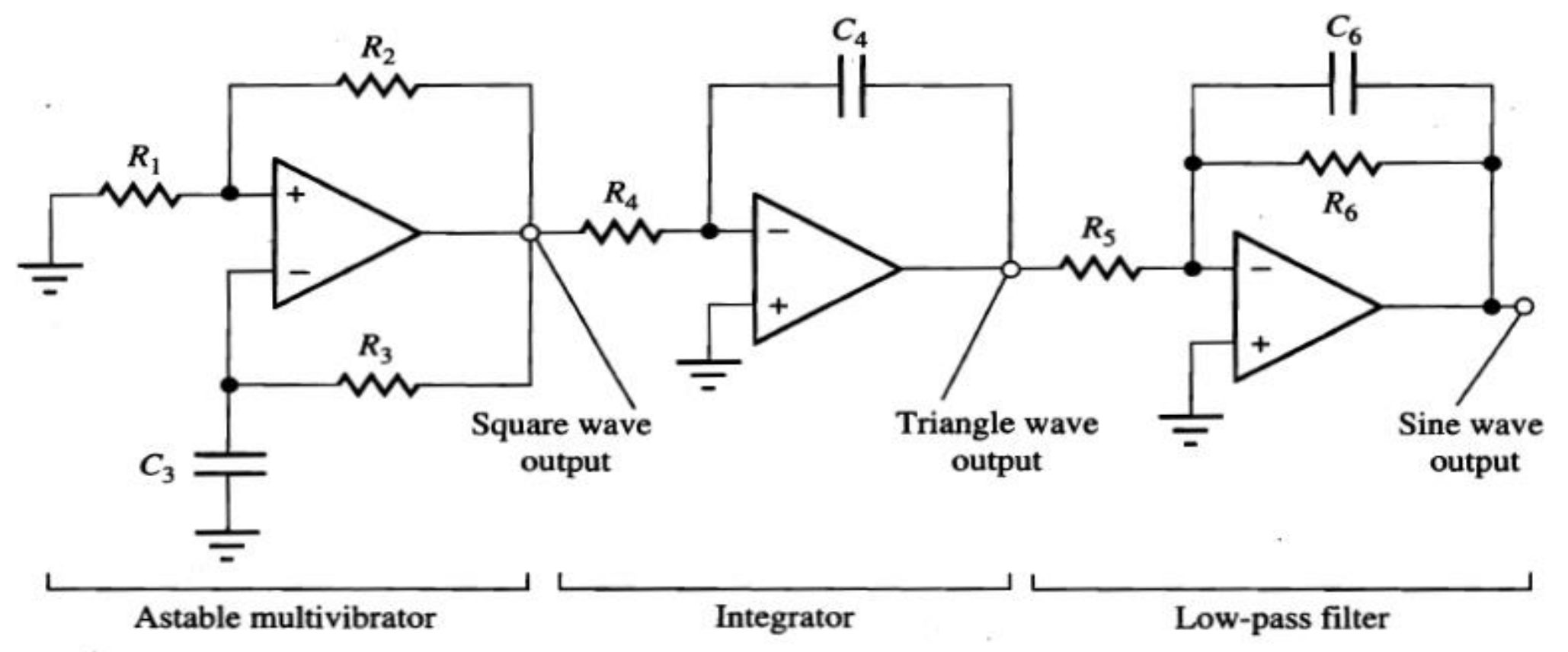
$$\text{(b)}\quad V_o = -\left[\frac{1000\ \text{k}\Omega}{200\ \text{k}\Omega}(-2\ \text{V}) + \frac{1000\ \text{k}\Omega}{500\ \text{k}\Omega}(+3\ \text{V}) + \frac{1000\ \text{k}\Omega}{1000\ \text{k}\Omega}(+1\ \text{V})\right]$$

$$= -[5(-2\ \text{V}) + 2(3\ \text{V}) + 1(1\ \text{V})] = \mathbf{+3\ V}$$

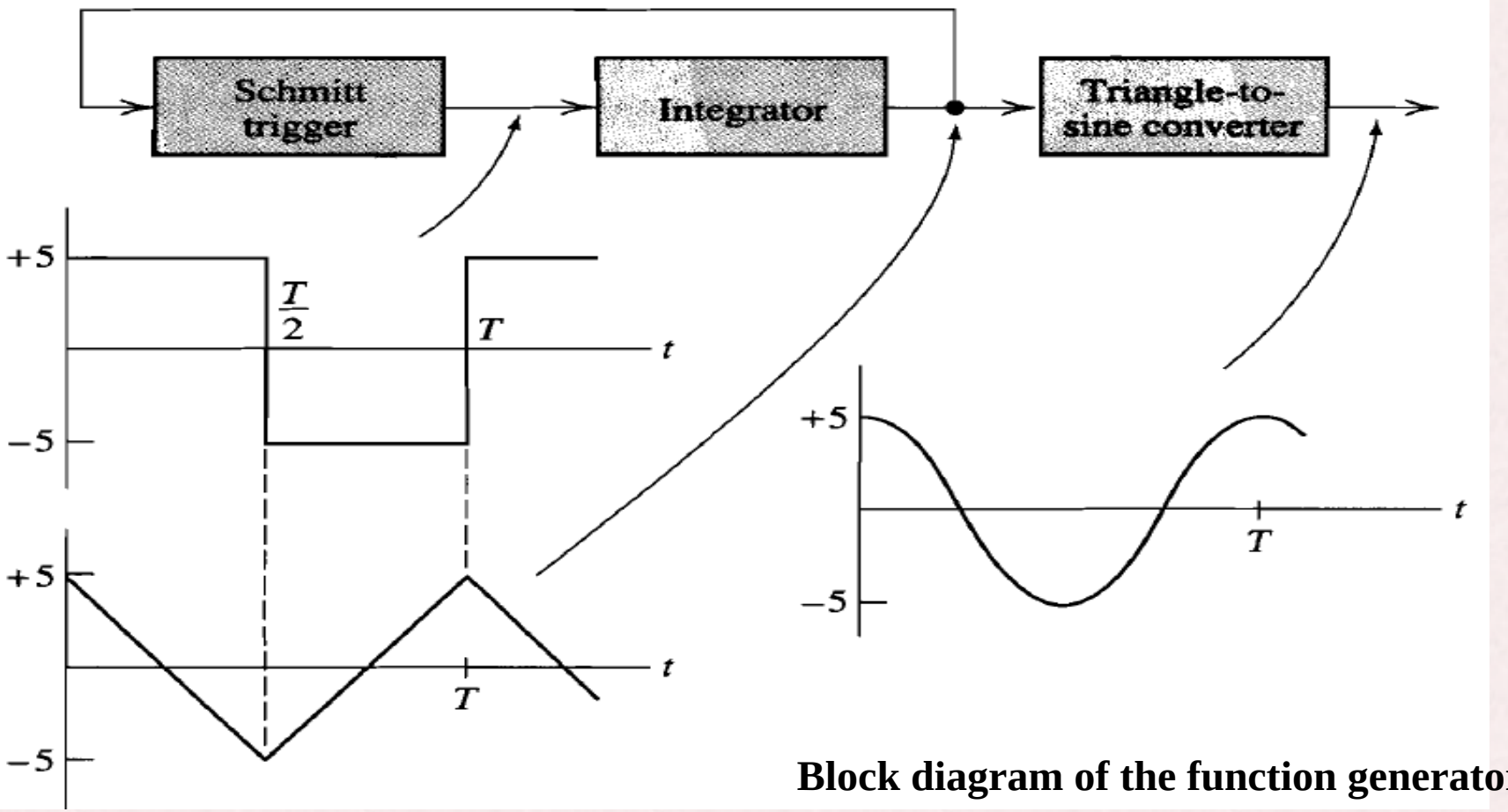

50 KΩ
50 KΩ
50 KΩ
R_f
25 KΩ
R
V_1
V_2
R
V_{O1}
V_{O2}
V_O


100 KΩ
R_f
10 KΩ
V_1
V_2
10 KΩ
R
R
R
Y (t)

Function Generator



Function Generator



Block diagram of the function generator.