

دارات الكترونية

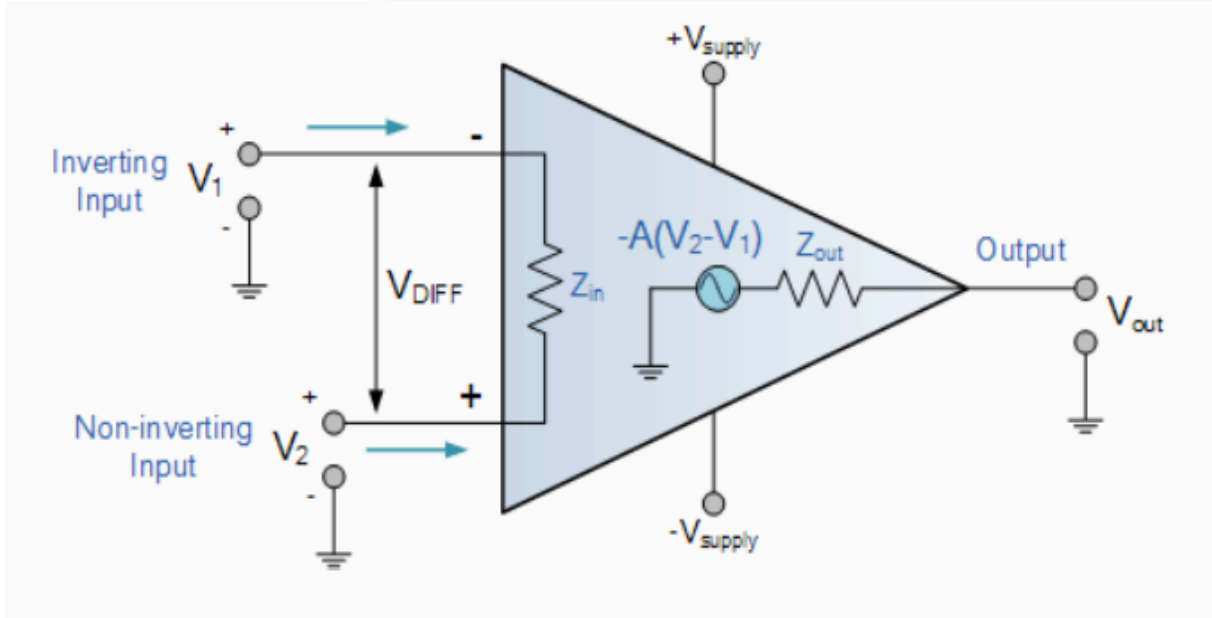
تطبيقات مضخم العمليات

Operational amplifier Applications

مدرس المقرر

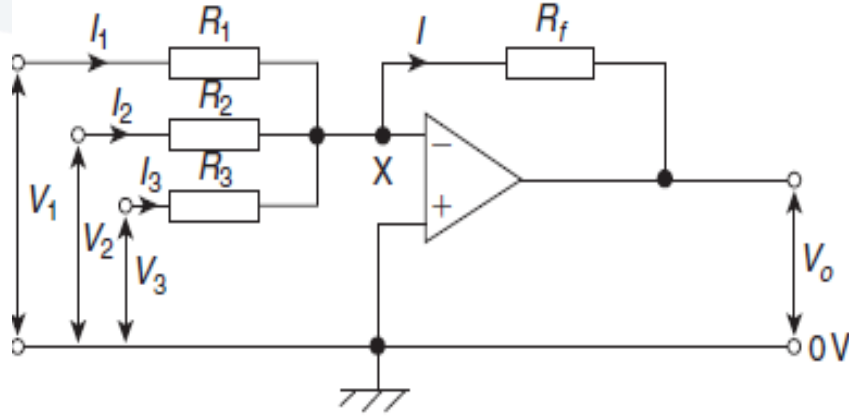
د. السموءل صالح

بعض تطبيقات مكبر العمليات



- 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

Op amp summing amplifier



المكبر الجامع

- 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.

- تتملك 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 (X أرضي 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:

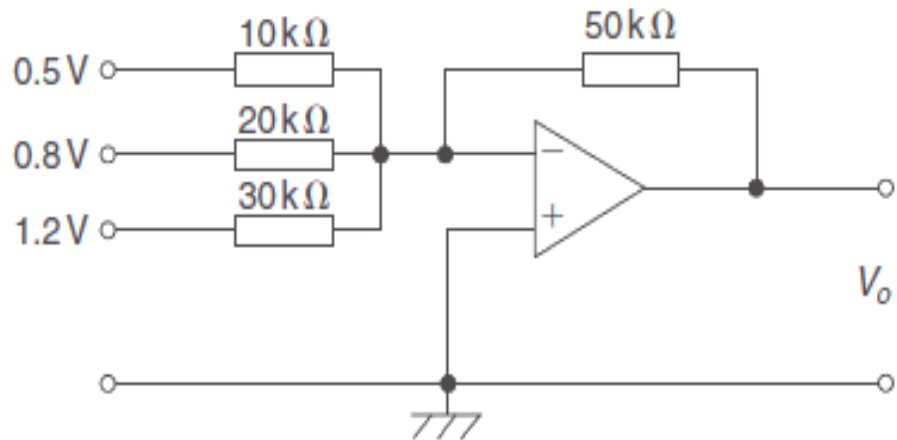
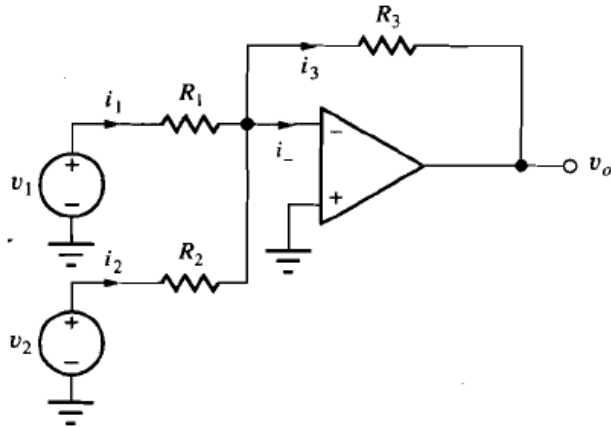
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2 + \frac{R_f}{R_3}V_3\right)$$

ملاحظة ٢: تجمع الجهود الثلاثة وتكبر إذا كانت R_f أكبر من كلٍ من مقاومات الدخل في حين أنها تجمع وتُخمد في الحالة العكسية.

ملاحظة ١: إذا كانت قيم المقاومات متساوية فتكون الخرج عبارة عن الجمع الجبري لإشارات الدخل.

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

Op amp summing amplifier



المكبر الجامع

تطبيق ١: ليكن لدينا مكبر العمليات الموضح بالشكل الجانبي والمطلوب حساب جهد الخرج؟

الحل: يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

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

Because $i_- = 0$, $i_3 = i_1 + i_2$;

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

تطبيق ٢: ليكن لدينا مكبر العمليات الجامع المبين في الشكل المجاور. أحسب جهد الخرج؟

الحل: يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

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

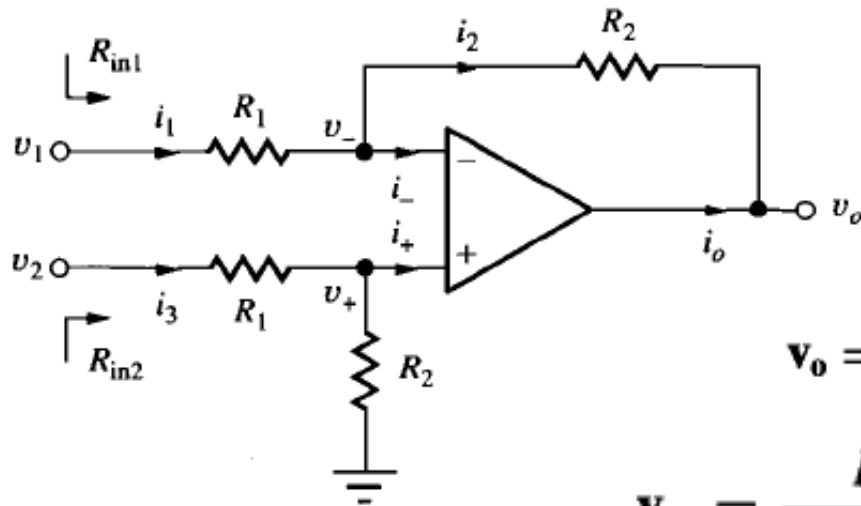
$$= -(50 \times 10^3) \left(\frac{0.5}{10 \times 10^3} + \frac{0.8}{20 \times 10^3} + \frac{1.2}{30 \times 10^3} \right)$$

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

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

Op amp diff amplifier

المكبر الطارح



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

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

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

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

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

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

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

-- عندما $R_2 = R_1$ يكون الخرج هو الفرق بين اشارتي الدخل. $v_o = -(v_1 - v_2)$ differential subtractor.

Op amp diff amplifier

المكبر الطارح

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

-- تطبيق على دائرة المكبر الطارح:

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: $V_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 - V_O = 0$

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

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

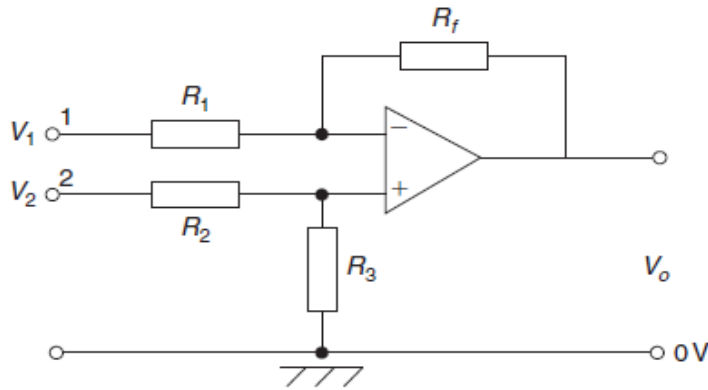
Then the output voltage can be found

$$V_O = V_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 = V_1 - I_1 (R_1 + R_2)$$

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

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

Op amp differential amplifier



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

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

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

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

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

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

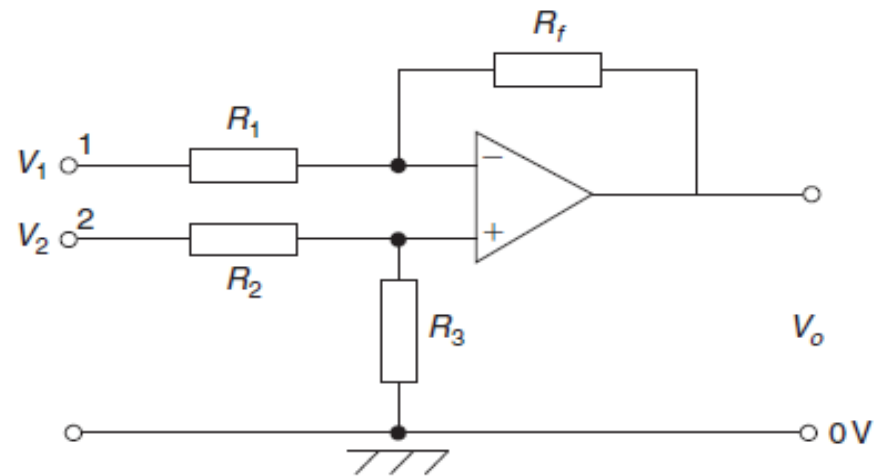
$$A = \frac{V_o}{V_2} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

وربح الجهد يعطى بالعلاقة:

Op amp differential amplifier

مكبر التفاضل (مكبر الفرق)

- يبين الشكل المجاور دائرة 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 يُضخَّم

وفق الآلية الآتية:

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:

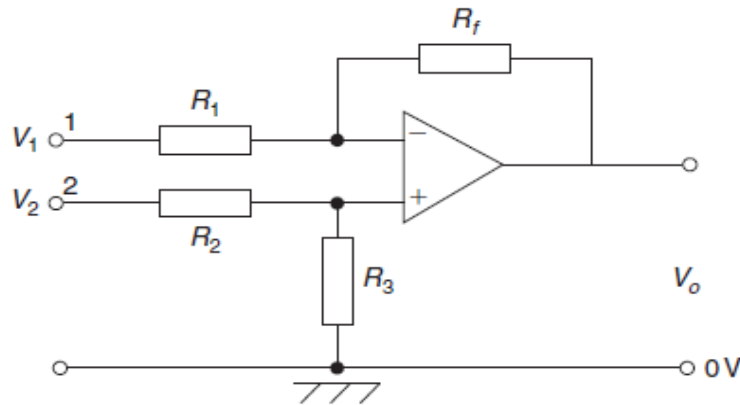
$$V_o = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right)$$

Op amp differential amplifier

مكبر التفاضل (مكبر الفرق)

مثال: إذا كان لدينا المكبر التفاضلي المبين سابقاً بالعناصر التالية: $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=10\text{ k}\Omega$, $R_3=100\text{ k}\Omega$, $R_f=100\text{ k}\Omega$ حدد جهد الخرج في

الحالات التالية: ١- $V_1=5\text{mV}$ و $V_2=0$ ، ٢- $V_1=0$ و $V_2=5\text{mV}$ ، ٣- $V_1=50\text{mV}$ و $V_2=25\text{mV}$ ، ٤- $V_1=25\text{mV}$ و $V_2=50\text{mV}$.



الحل:

$$V_o = (V_1 - V_2) \left(-\frac{R_f}{R_1} \right) \quad (-٣)$$

$$= (50 - 25) \left(-\frac{100}{10} \right) \text{mV} = -250 \text{mV}$$

$$V_o = (V_2 - V_1) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) \quad (-٤)$$

$$= (50 - 25) \left(\frac{100}{100 + 10} \right) \left(1 + \frac{100}{10} \right) \text{mV}$$

$$= (25) \left(\frac{100}{110} \right) (11) = +250 \text{mV}$$

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

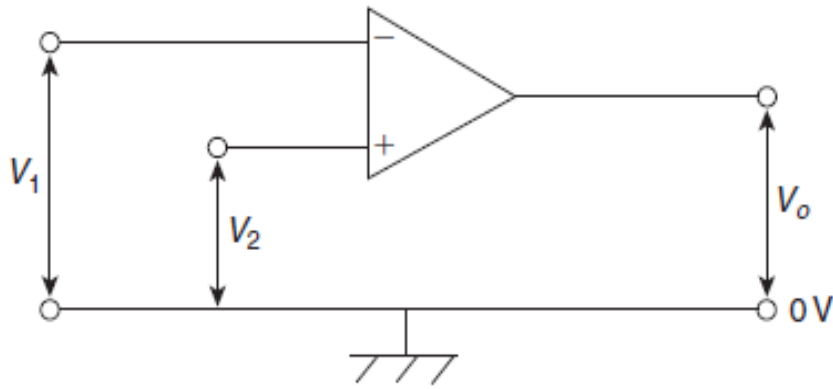
$$= -50 \text{mV}$$

$$V_o = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \left(1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_2 \quad (-٢)$$

$$= \left(\frac{100}{110} \right) \left(1 + \frac{100}{10} \right) (5) \text{mV} = +50 \text{mV}$$

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 V_o موجب، قيمته الأعظمية تساوي جهد التغذية الموجب $+V_s$ والتي يحصل

عليها عندما $(V_2 - V_1) \geq V_s/A_o$ وعندها يكون المكبر العملياتي في حالة الإشباع.

- على سبيل المثال، إذا كان جهد المنبع $V_s = +9V$ و $A_o = 10^5$. سيحصل الإشباع عندما $(V_2 - V_1) \geq 9/10^5$ أي عندما V_2 يتجاوز V_1 بمقدار $90\mu V$ ويكون الخرج في هذه

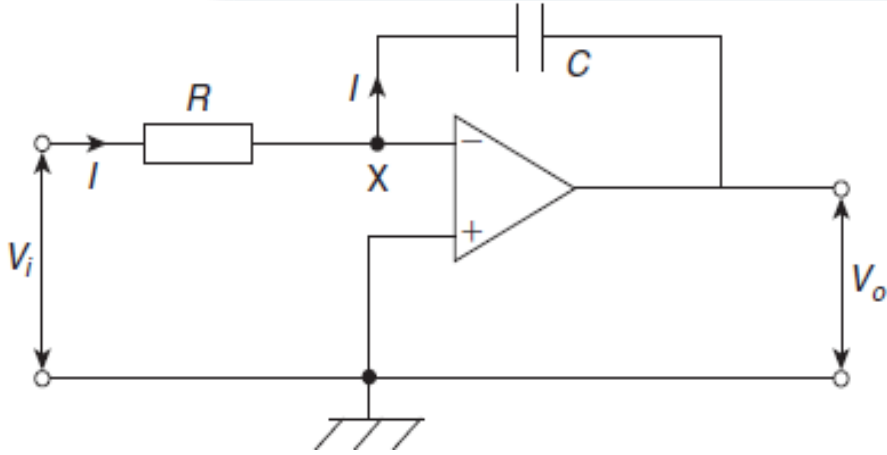
الحالة $V_o \approx 9V$.

- عندما يكون $V_1 > V_2$ يكون جهد الخرج سالباً ويحدث الإشباع عندما V_1 يتجاوز V_2 بمقدار V_s/A_o .

- إن تغير بسيط في قيمة $(V_2 - V_1)$ يسبب انتقال جهد الخرج بين قيمتين $+V_s$ و $-V_s$ ويسمح للمكبر العملياتي بتحديد ما إذا كانت V_2 أكبر أو أصغر من V_1 (مقارن جهد).

Op amp integrator

المضخم المكامل

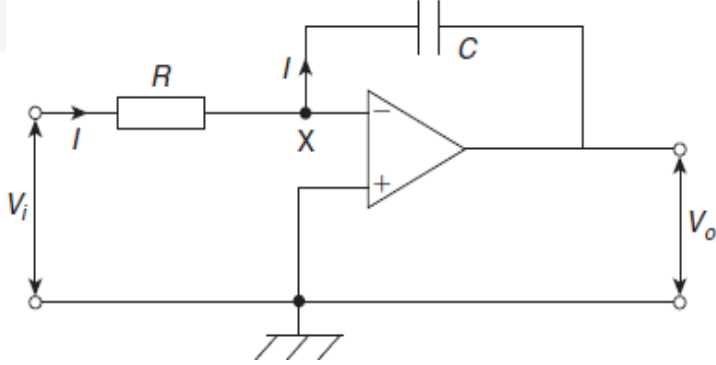


- يبين الشكل المجاور دائرة المكامل التي تشبه إلى دائرة المكبر العاكس ولكن في هذه الحالة تتم التغذية العكسية من خلال السعة C بدلاً من المقاومة R المستخدمة في حالة المكبر العاكس
- يعطى جهد الخرج بالعلاقة:

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt \quad (*)$$

- 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 V_i في حين أن الجهد عبر السعة C هو V_o .
- بفرض أنه ليس لدينا أي تيار يدخل إلى المدخل العاكس فإن التيار I يمر عبر السعة C متسبباً في شحن هذه السعة.
- بفرض أن V_i ثابت فإن قيمة التيار I تعطى بالعلاقة $I = V_i/R$ وبالتالي تُشحن السعة C بمعدل ثابت.

Op amp integrator



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

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

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

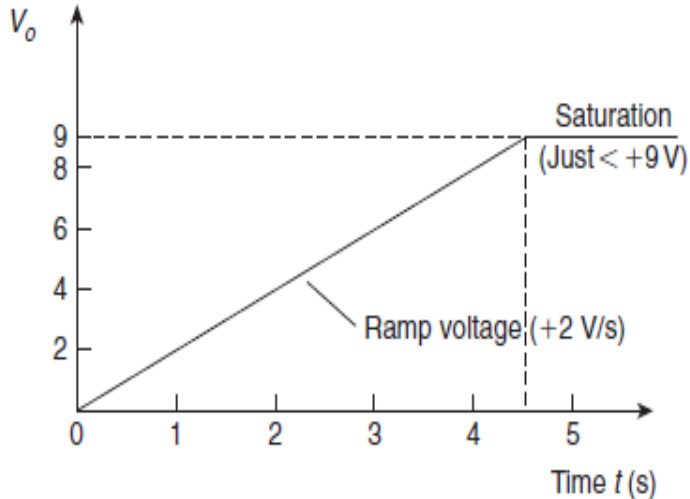
$$V_o = -(-2t) = 2t$$

- تمثل علاقة جهد الخرج مع الزمن بتابع قفزة $V_o = 2t$ يمثل الخط المستقيم من الشكل $y = mx + c$

حيث $y = V_o$ و $x = t$ يرتفع جهد الخرج V_o بمعدل ثابت مقداره $+2V/s$.

---- إذا افترضنا أن جهد التغذية يساوي $\pm 9V$ فإن V_o يصل إلى القيمة $+9V$ بعد $4.5s$

وذلك عندما يصل مكبر العمليات إلى حالة الإشباع.

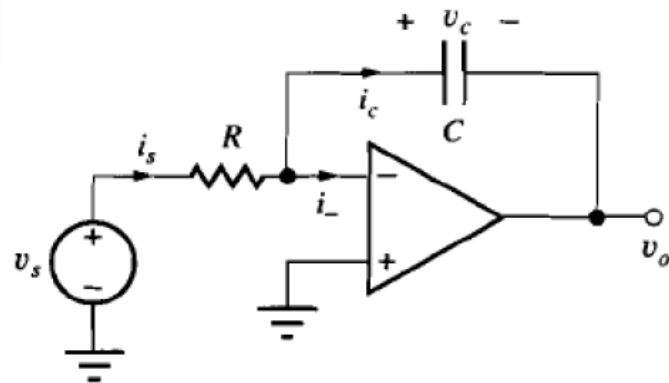


Op amp integrator

المضخم المكامل

- استنتاج علاقة جهد الخرج: يتم استخراج علاقة خرج المكامل بعد اخذ بعين الاعتبار النقاط

السابقة وفق:

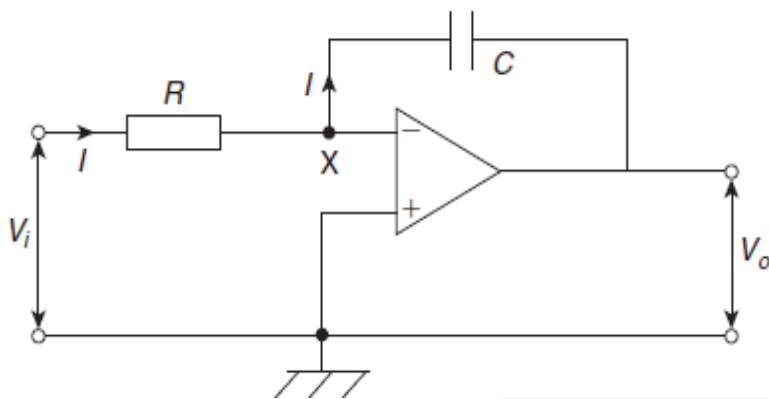


$$i_s = \frac{v_s}{R} \quad \text{and} \quad i_c = -C \frac{dv_o}{dt} \quad \text{and} \quad i_- = 0, \quad \text{Then } i_s = i_c$$

$$\int dv_o = \int -\frac{1}{RC} v_s d\tau \quad \text{or} \quad v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_s(\tau) d\tau + v_o(0)$$

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

تُشحن عند الزمن صفر حدد قيمة جهد الخرج عند $100ms$ بعد تطبيق جهد الدخل.



الحل: من المعادلة السابقة نجد:

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

$$= -\frac{1}{(2.5 \times 10^{-6})(200 \times 10^3)} \int (-0.75) dt$$

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

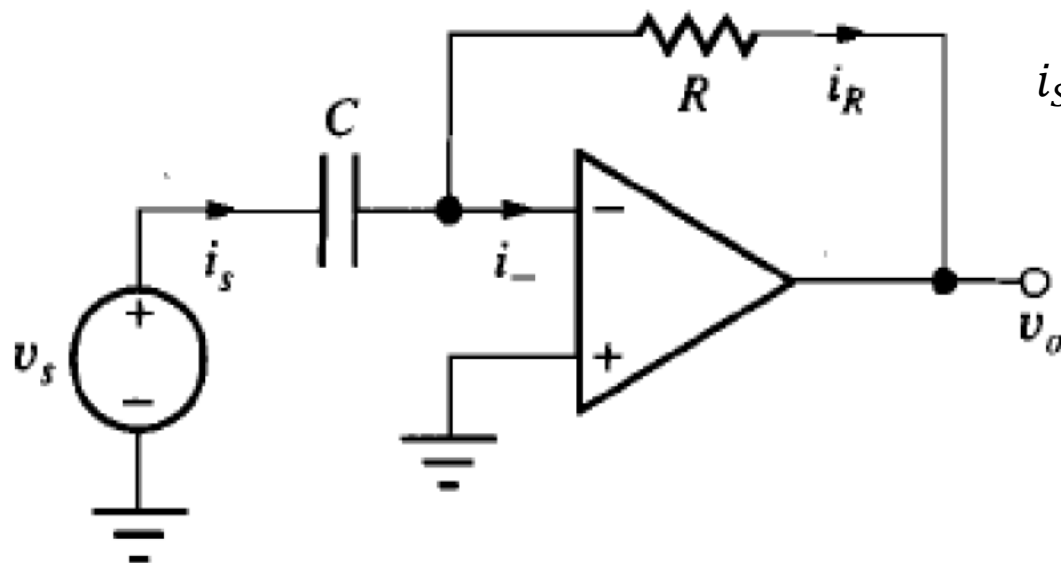
$$V_o = (1.5)(100 \times 10^{-3}) = 0.15 V$$

جهد الخرج عند $100ms$ يكون جهد الخرج:

Op amp integrator

المضخم المفاضل

- للحصول على جهد خرج دائرة المفاضل نقوم بتحليل الدارة بطريقة مشابهة تماما لدائرة المضخم المكامل فنحصل على علاقة خرج المفاضل:



$$i_s = \frac{dQ}{dt} = \frac{dCV_s}{dt} \rightarrow i_s = C \frac{dv_s}{dt} \quad \text{and} \quad i_R = -\frac{v_o}{R}$$

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

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

Digital to Analogue (D/A) converter

مضخم العمليات كمبدل رقمي - تشابهي

• تعرف عملية التبدل 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).

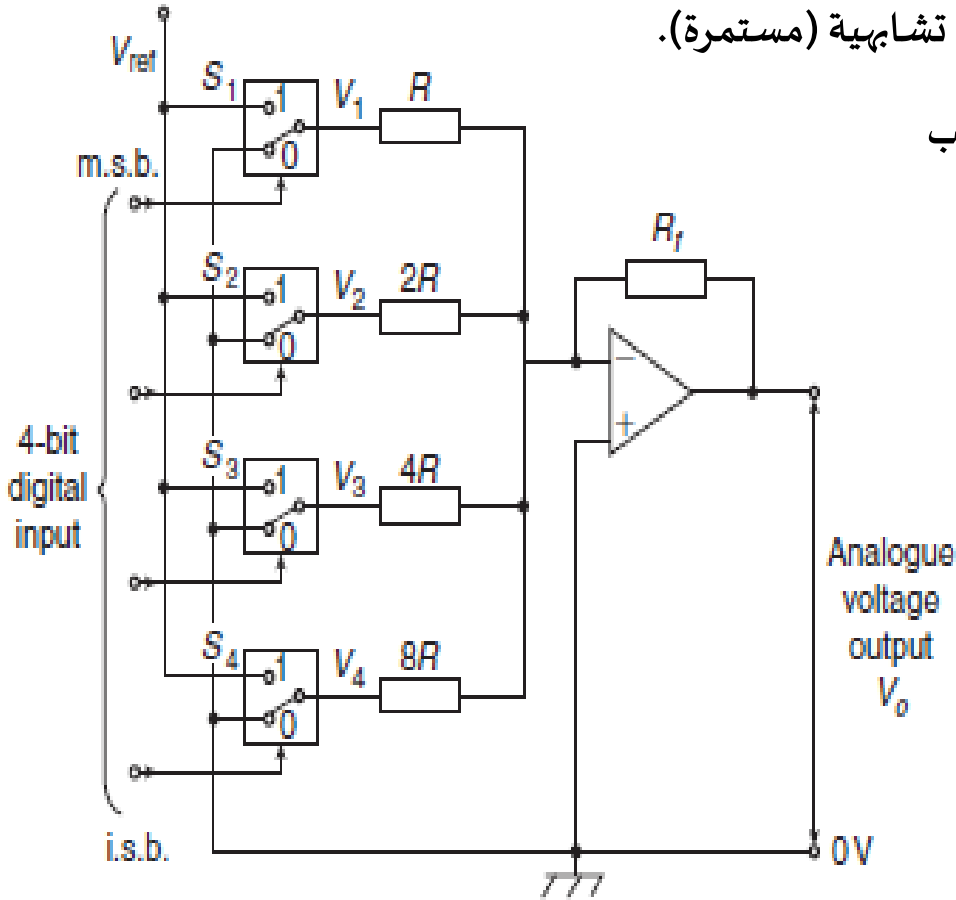
• يصل كل مفتاح المقاومة المربوطة به على التسلسل:

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

$$V_o = - \left(\frac{R_f}{R} V_1 + \frac{R_f}{2R} V_2 + \frac{R_f}{4R} V_3 + \frac{R_f}{8R} V_4 \right) \quad V_{ref} \text{ أو } 0 \text{ فولت يعطى جهد الخرج بالعلاقة:}$$



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: $V_{ref} = -8V$ و $R_f = R = 1k\Omega$

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

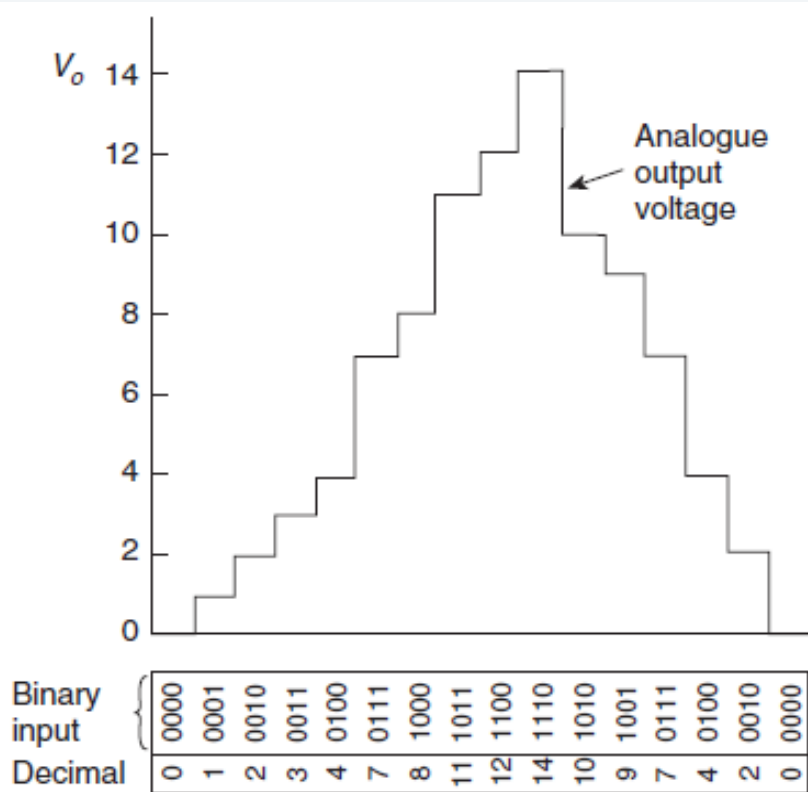
أن S_1, S_2, S_3 تصل المقاومات $R, 2R, 4R$ إلى الأرضي وبالتالي $V_1 = V_2 = V_3 = 0V$ وبالنسبة:

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

من أجل الدخل الثاني ذو القيمة 0101 نلاحظ أن 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 $V_1 = V_3 = 0V$ وبالنسبة:

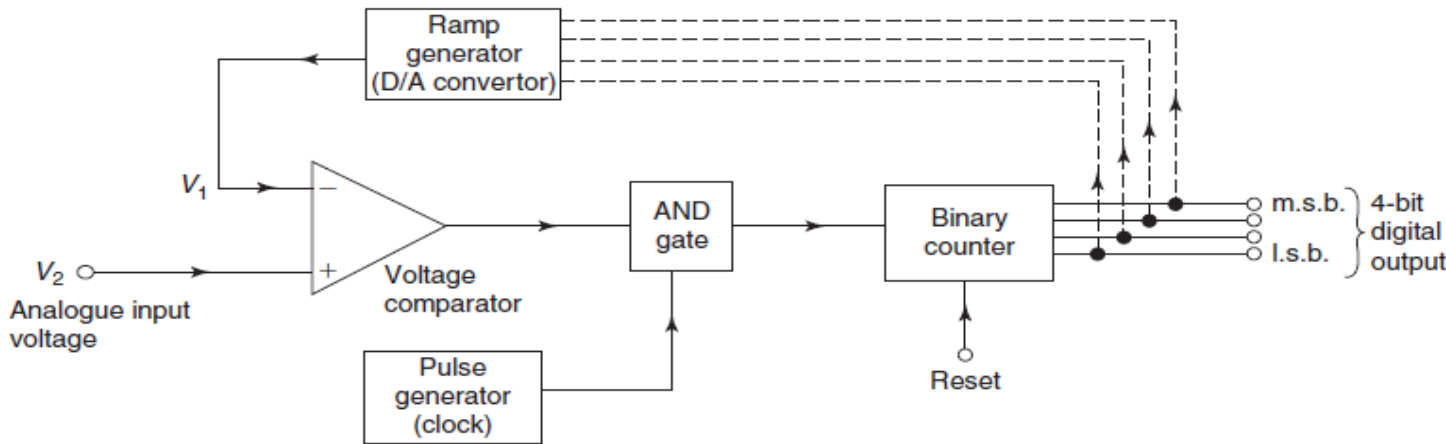
$$V_o = -\left(0 + \frac{1}{2}(-8) + 0 + \frac{1}{8}(-8)\right) = +5V$$



Analogue to Digital (A/D) converter

مضخم العمليات كمبدل تشابهي - رقمي

- 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 يُستخدم فيها مكبر العمليات كمقارن جهد.

- نطبق جهد دخل تشابهي V_2 على المدخل غير العاكس لمكبر

العمليات كدخل مستمر وثابت في حين نطبق جهد على شكل

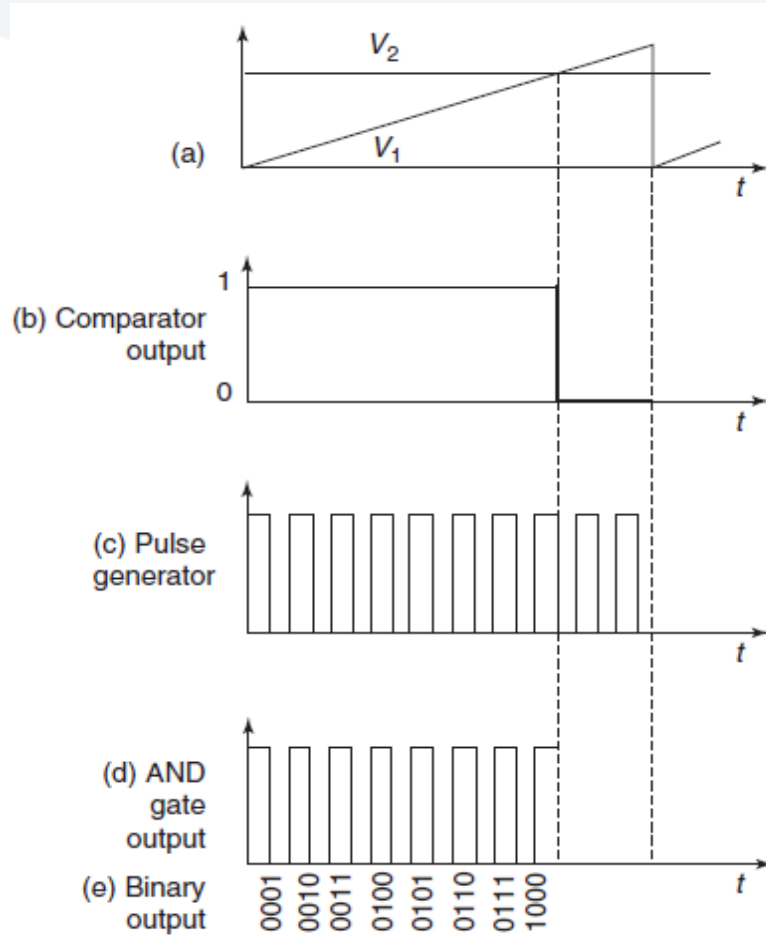
إشارة سن منشار V_1 على المدخل العاكس.

- يطبق جهد خرج المقارن على بوابة AND وهذا الجهد يساوي الواحد (عالي) طالما أن V_2 أكبر من V_1 .

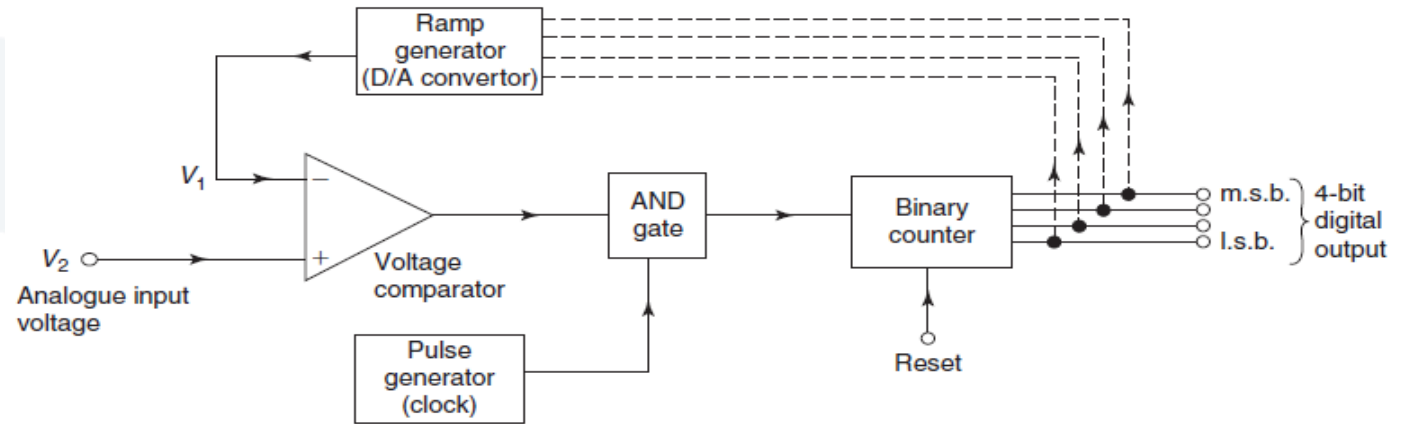
- عندما يصبح V_2 يساوي أو أصغر من V_1 فإن خرج المقارن يساوي الصفر (منخفض).

- يُغذى المدخل الثاني لبوابة AND من خلال قطار نبضات ناتج عن مولد نبضات ($clock$).

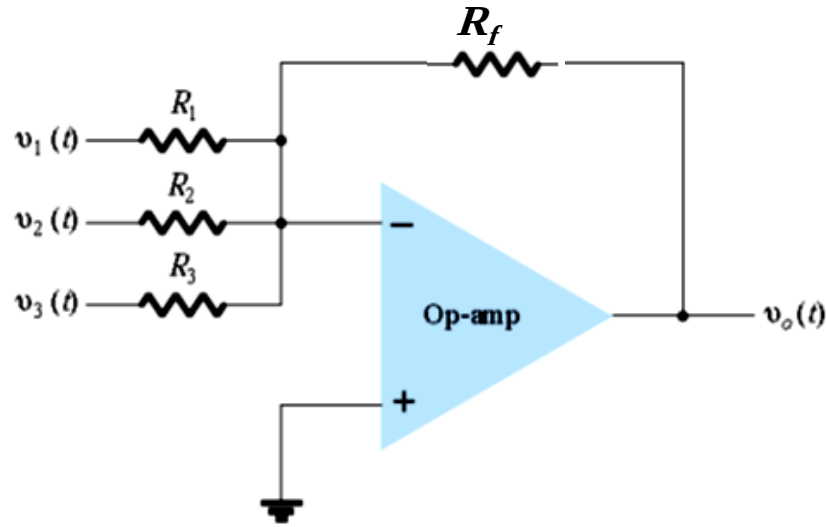
Analogue to Digital (A/D) converter



مبدل تشابهي - رقمي



- عندما يكون دخلي بوابة الـ AND مرتفعين $\leftarrow$ تفتح البوابة لتعطي خرج عالي أو بكلام آخر تعطي نبضة كما هو موضح بالشكل (d).
- تُخزن النبضات الناتجة عن بوابة الـ AND بواسطة عداد ثنائي.
- تكافئ 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:

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

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

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

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

Solution

Using Eq. (14.11):

$$\begin{aligned} (a) \quad V_o &= - \left[\frac{1000 k\Omega}{500 k\Omega} (+1 V) + \frac{1000 k\Omega}{1000 k\Omega} (+2 V) + \frac{1000 k\Omega}{1000 k\Omega} (+3 V) \right] \\ &= - [2(1 V) + 1(2 V) + 1(3 V)] = -7 V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \quad V_o &= - \left[\frac{1000 k\Omega}{200 k\Omega} (-2 V) + \frac{1000 k\Omega}{500 k\Omega} (+3 V) + \frac{1000 k\Omega}{1000 k\Omega} (+1 V) \right] \\ &= - [5(-2 V) + 2(3 V) + 1(1 V)] = +3 V \end{aligned}$$

الحل: