دارات الكترونية
(السنة الثالثة- ميكاترونكس)

مدرس المقرر :الدكتور المهندس رائد محمد الشرع

- تعريف وخصائص مكبر العمليات .
- أنواع مكبرات العمليات.

١. العاكس

٢. غير العاكس

٣. الجامع

٤. الطارح

- الربط التتابعي (التسلسلي) لمكبرات العمليات.

- تطبيقات مكبرات العمليات

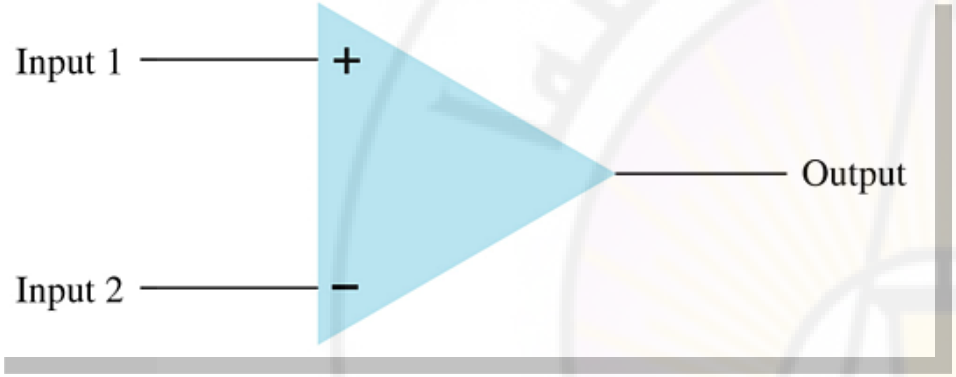
١. العازل الغير عاكس أو المكبر ذو التكبير الواحدي

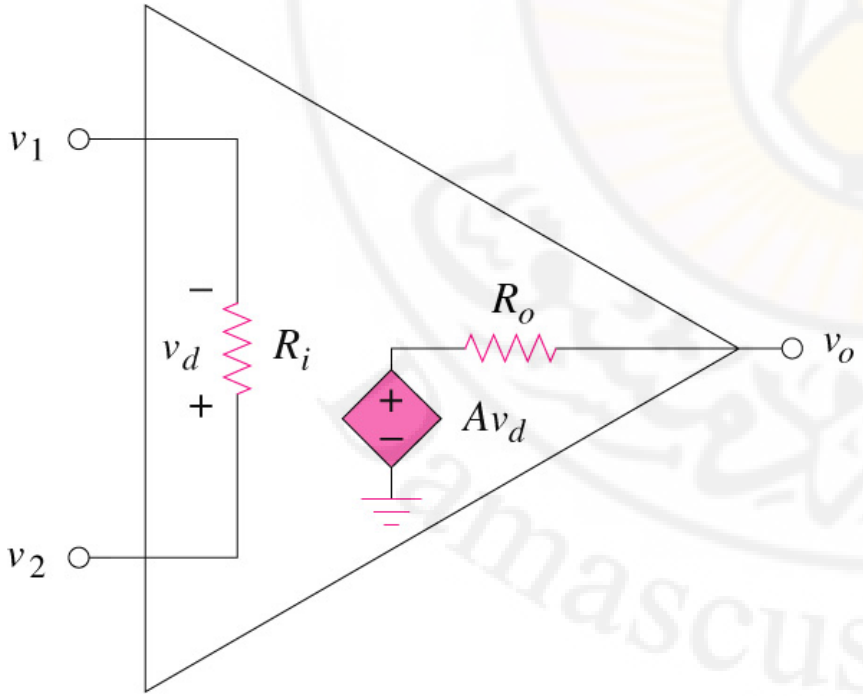
٢. المكامل العاكس

٣. المفاضل

- المنابع المتحكم بها
- المرشحات
- دارات القياس

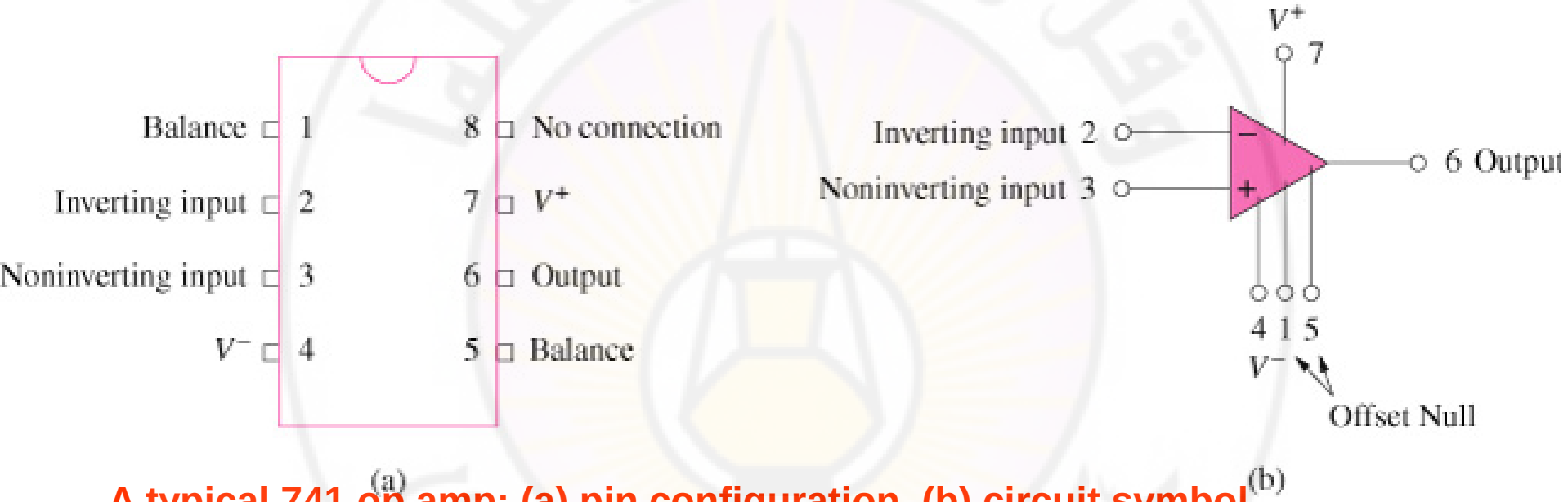
What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات





- مضخم أو مكبر العمليات: هو دارة الكترونية تسلك سلوك منبع جهد متحكم به من خلال الجهد.
- و المضخم هو عنصر فعال (يكبر إشارة دخله) مصمم لإنجاز عمليات حسابية: الجمع، الطرح، القسمة، التفاضل و التكامل. بالإضافة لاستخدامه في تطبيقات أخرى كالمرشحات الفعالة، القياسات ....
- عملياً يكون مكبر العمليات على شكل دارة متكاملة (IC: Integrated Circuit)
- لمكبر العمليات مدخلين و مخرج واحد.

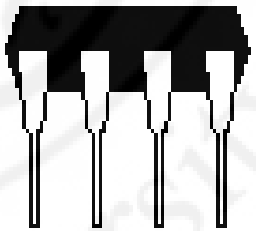
What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات



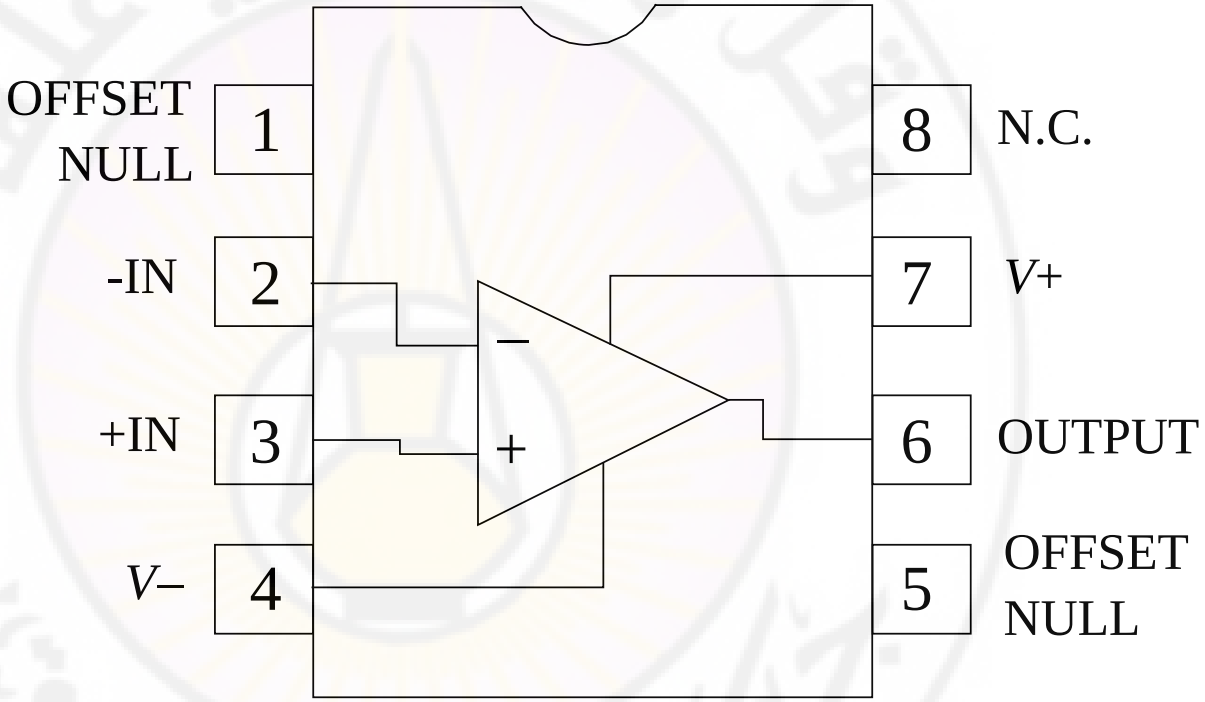
A typical 741 op amp: (a) pin configuration, (b) circuit symbol

Op Amp Circuit Chip





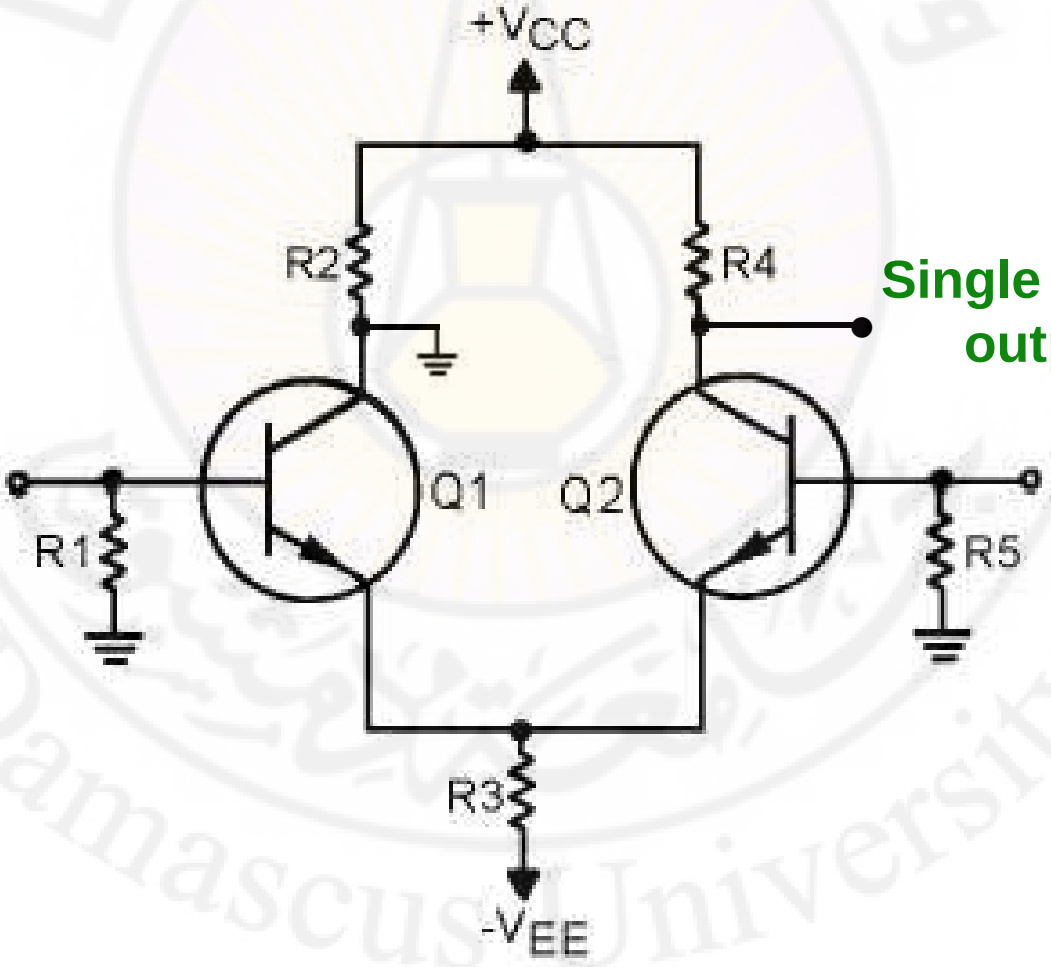
IC Product



DIP-741
Dual-Inline Packages

البنية الداخلية لمكبر العمليات (المفاضل)

ترانزستورين يشكلان مكبر العمليات وفق التركيبة التالية:



What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات

جهد الأشباع:يتم تغذية مكبر العمليات بتوترين متساويين ومتعاكسين(-15V,+15V)

توترات الأشباع:

$$Vcc+=V+_{suply}-2V$$

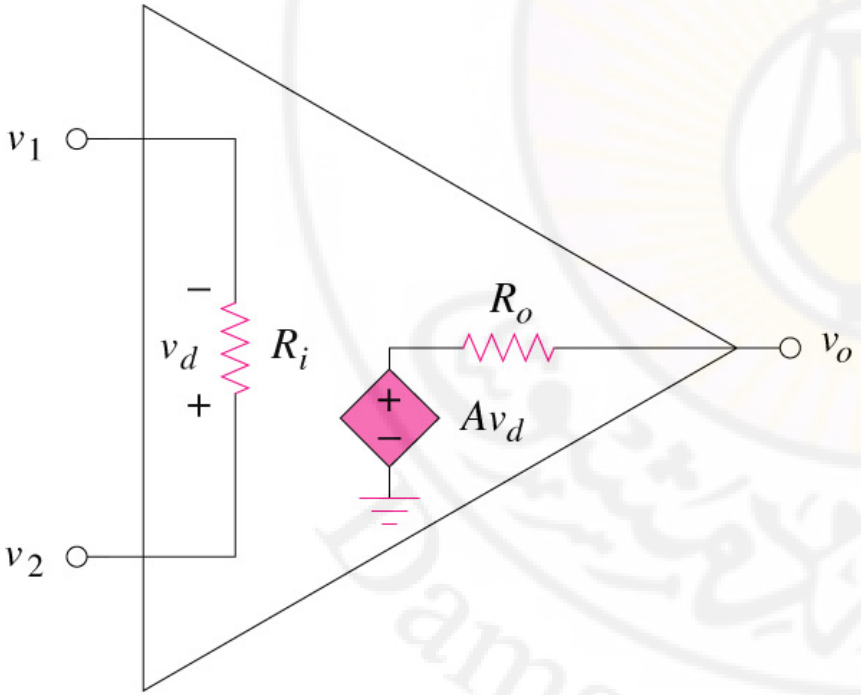
$$Vcc-=V-_{suply}+2V$$

$$Vcc-<Vout<Vcc+$$

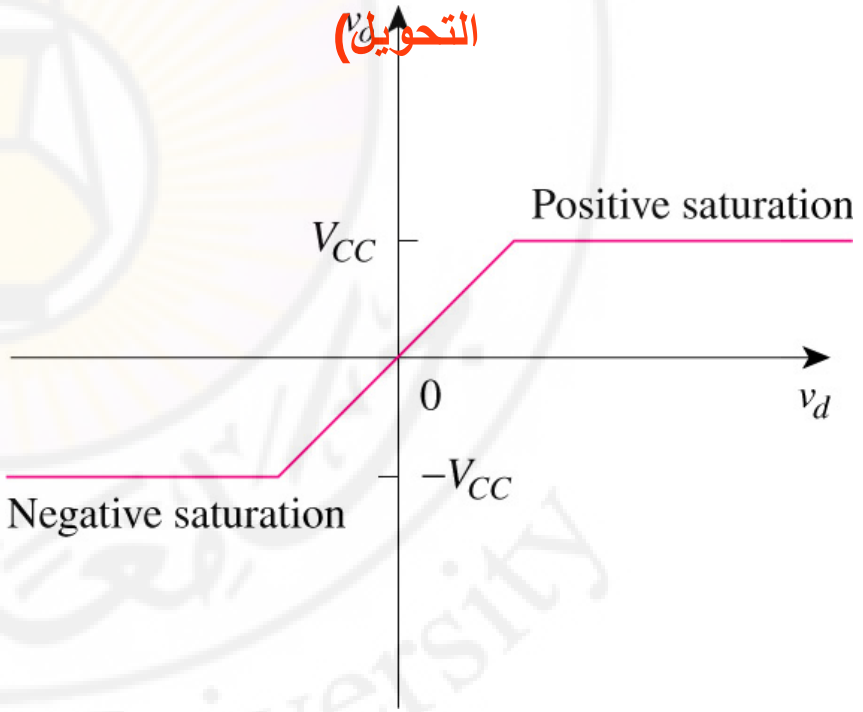
Damascus University

What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات

The equivalent circuit
Of the non-ideal op amp
الدارة المكافئة للمكبر الغير مثالي



Op Amp output: v_o as a function of V_d (transfer function (voltage transfer characteristics: VTC))
خرج المكبر: الخرج كتابع لفرق جهود الدخل (خواص التحويل)



عندما يعمل بالمنطقة الخطية $v_d = v_2 - v_1$; $v_o = Av_d = A(v_2 - v_1)$

What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات

Example 1:

مكبر عمليات توتر تغذيته [15[V وكسب الدارة المفتوحة 200000 .حدد خرج. أقصى فرق جهد على الدخل لتجنب الأشباع لأشارة الخرج. كرر الحل لكسب دارة مفتوحة ٥٠٠٠٠٠.

Vcc+=V+suply-2V=13V

Vcc-=V-suply+2V=-13V

$v_d = v_2 - v_1 = v_o / A = 13/200000 = 65[\mu V]$

$v_d = v_2 - v_1 = v_o / A = 13/500000 = 26[\mu V]$

اذا زادت قيم الدخل عن القيم السابقة يصل المكبر للاشباع

What is an Op Amp
ما هو مكبر العمليات

Typical ranges for op amp parameters

المجالات النموذجية لبارامترات المكبر

Parameter	Typical range	Ideal values
Open-loop gain, A أي عندما لا يوجد تغذية خلفية	10^5 to 10^8	∞
Input resistance, R_i	10^5 to 10^{13} Ω	∞ Ω
Output resistance, R_o	10 to 100 Ω	0 Ω
Supply voltage, V_{CC}	5 to 24 V	

Damascus University

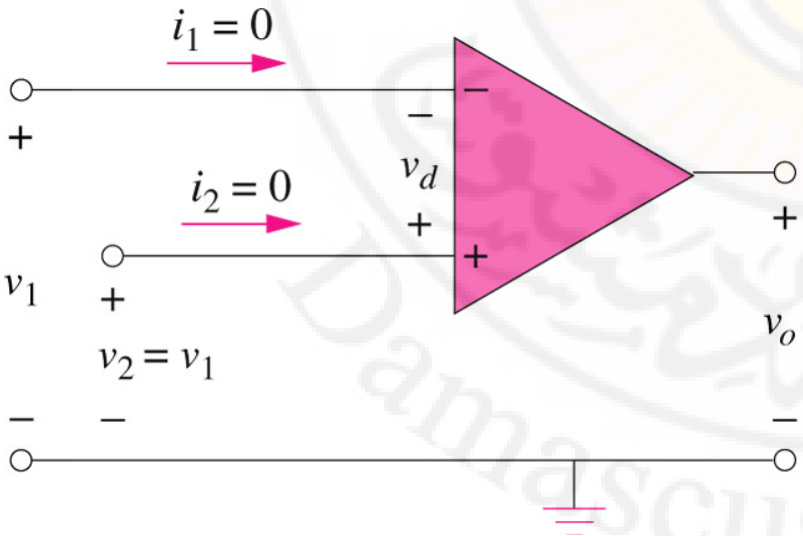
المكبر المثالي Ideal Op Amp

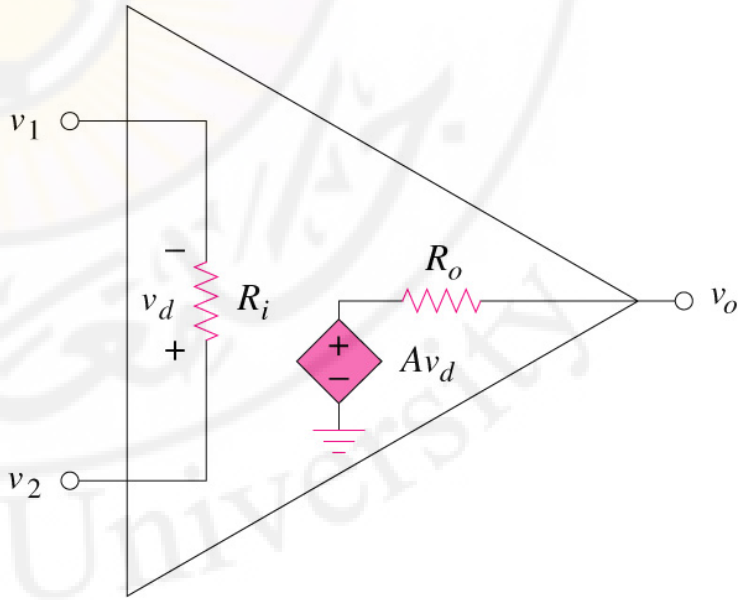
يتصف مكبر العمليات المثالي بالخواص التالية:

١. ربح الحلقة المفتوحة (أي عندما لا يوجد تغذية خلفية): لانهائي ($A \approx \infty$)

٢. مقاومة الدخل لا نهائية في الكبر ($R_i \approx \infty$) و عليه تيارات الدخل معدومة (لا يتم تحميل المنبع).

$$|i_+| = |i_-| = \frac{|V_- - V_+|}{R_i} \approx 0$$





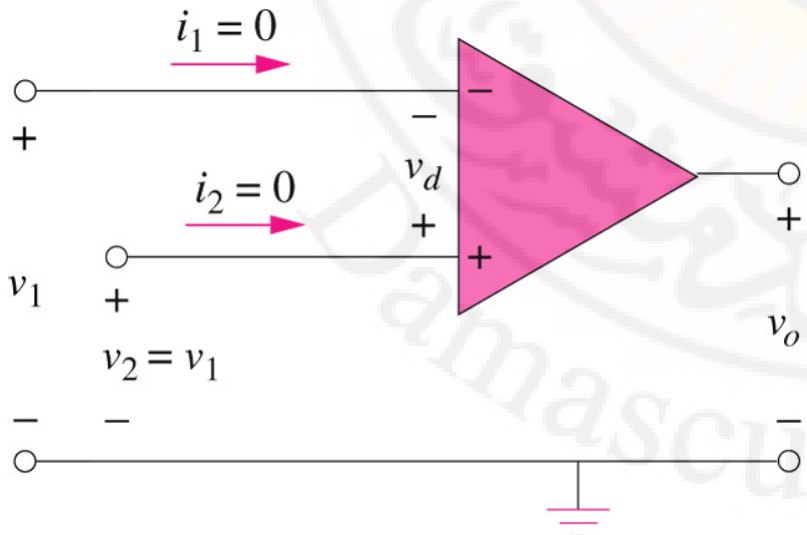
المكبر المثالي Ideal Op Amp

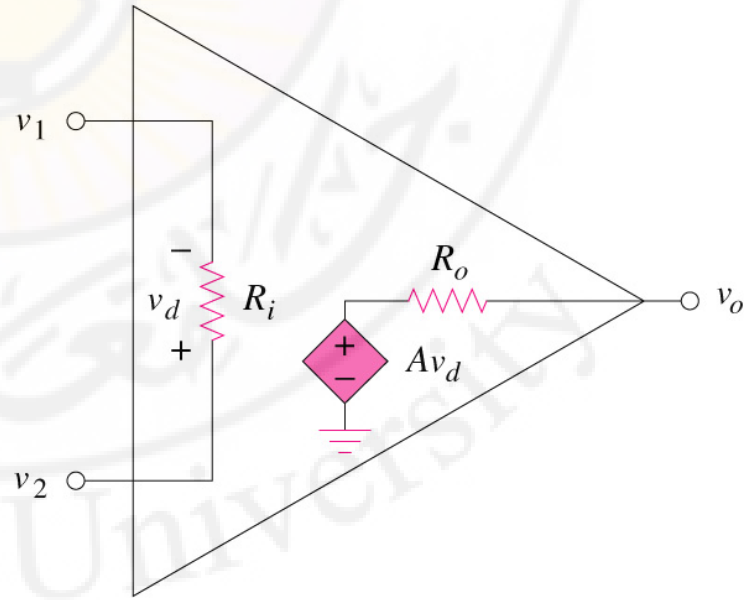
٣. مقاومة الخرج معدومة ($R_o = 0$)

٤. عندما (V1=V2) فإن جهد الخرج (Vo=0V) أي لايوجد جهد انحياز (no offset voltage).
عملياً، جهد الخرج لا يساوي الصفر و يمكن قياس إشارة صغيرة في الخرج.

$$V_+ - V_- = \frac{V_{out}}{A} = \frac{V_{out}}{\infty} = 0 \Rightarrow V_+ \approx V_-$$

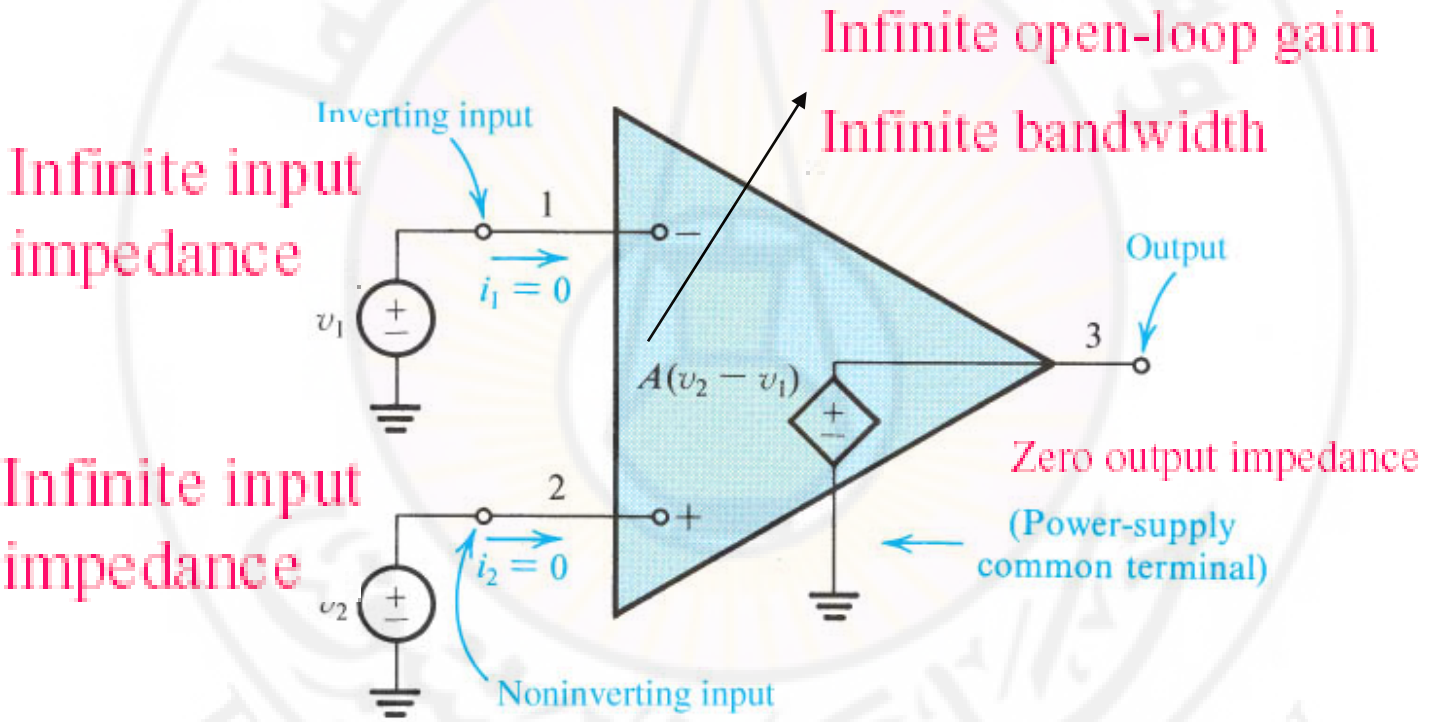
٥. عرض الحزمة لانهائي (infinite bandwidth) أي أنه يمرر و يكبر أي اشارة مهما كان ترددها
و عمليا سنرى أن ذلك غير ممكن عند التطرق للمرشحات (filters).





شكل يلخص خصائص مكبر العمليات

- الدارة المكافئة لمكبر العمليات المثالي:

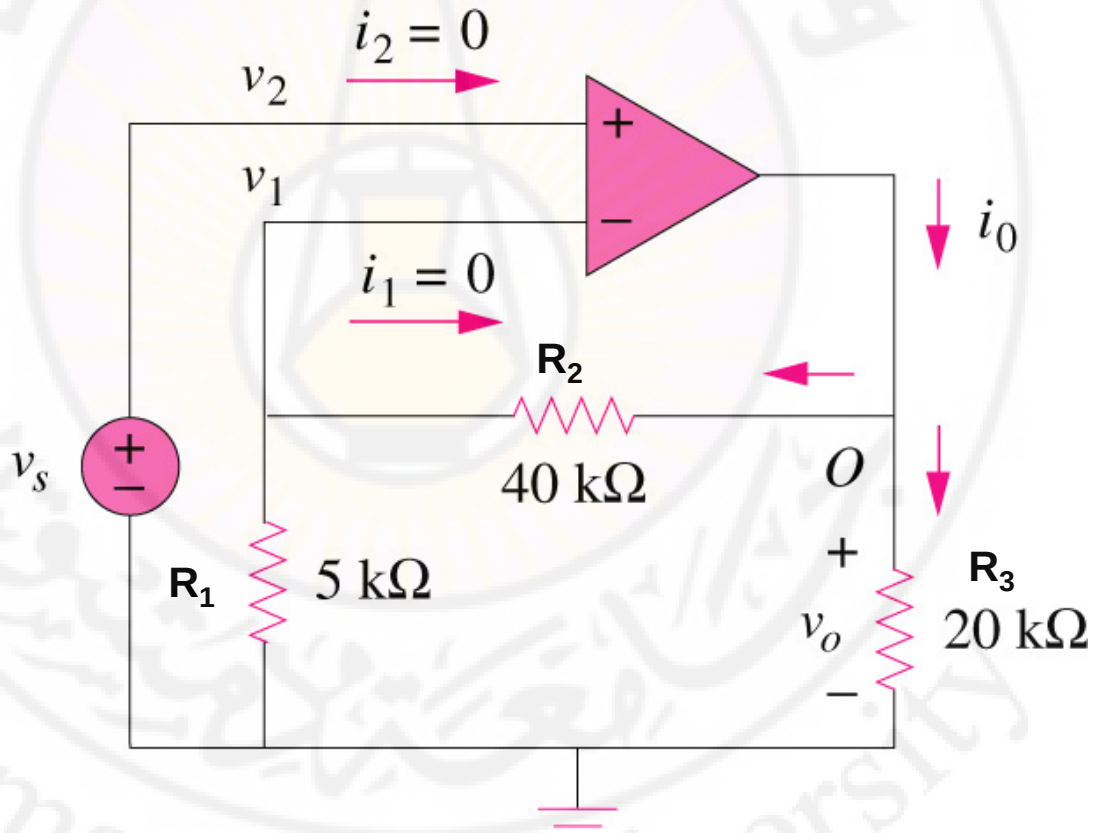


- Op amp is DC (direct-coupled) amplifier (it amplifies signal whose frequency as low as zero).
- Current gain: $A_i = i_O / i_i$. Power gain: $A_p = P_O/P_i = A_v A_i$

Ideal Op Amp

Example 2:

حدد قيمة تيار الخرج (i_o)، إذا علمت أن: (V_s=1V, V_o=9V).

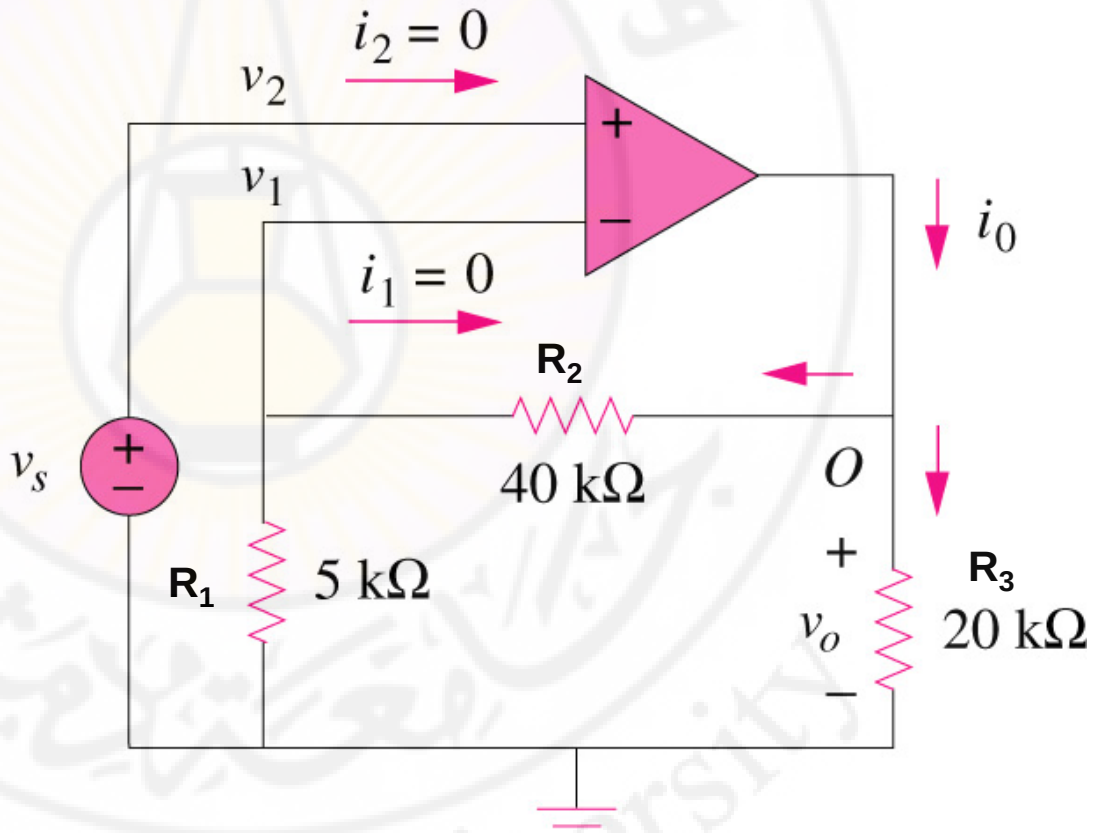


Ans: 0.65mA

Ideal Op Amp (2)

Example 2:

حدد قيمة تيار الخرج (i_o)، إذا علمت أن: (V_s=1V, V_o=9V).



Vs=V2=V1

io=Vo/R3+Vo/(R1+R2)

io=Vo/20+Vo/45

io=9/20+9/45

io=0.65mA

Ans: 0.65mA

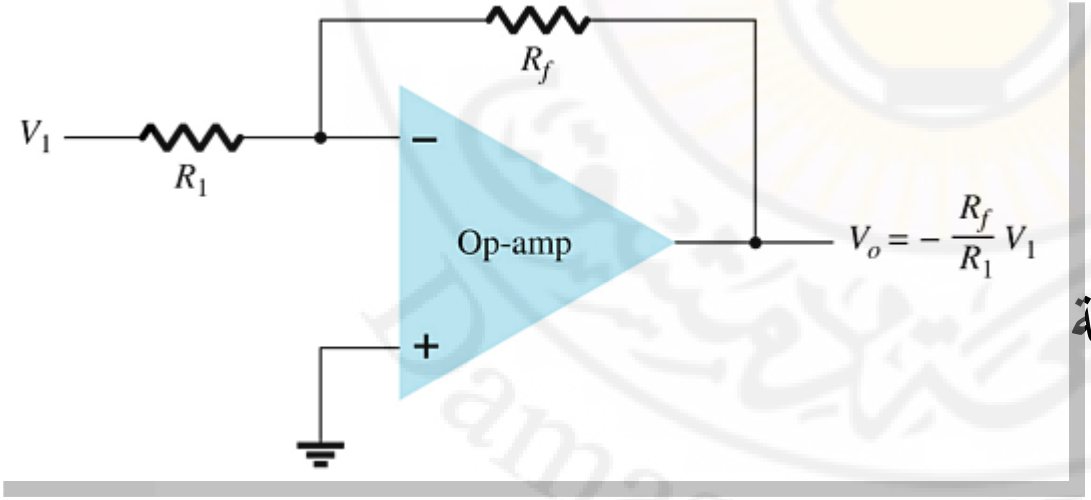
Op-Amp Gain
ربح مكبر العمليات

- لمكبر العمليات ربح مرتفع. و يمكن أن يكون بتشكيلتين: حلقة مغلقة (open-loop) أو مفتوحة (closed-loop).
- **حلقة مفتوحة:** عندما لايوجد تغذية خلفية من الخرج إلى الدخل و ربحه هنا يتجاوز الـ(10,000).
- **حلقة مغلقة:** بوجود تغذية خلفية، هذه التشكيلة تقلل من ربحه كما وجدنا و لكنها تساعدنا في التحكم بالربح وتحسن من خواص الدارة.

- وسندرس في المحاضرة القادمة تطبيقات مكبر العمليات.

التغذية الخلفية في مكبر العمليات

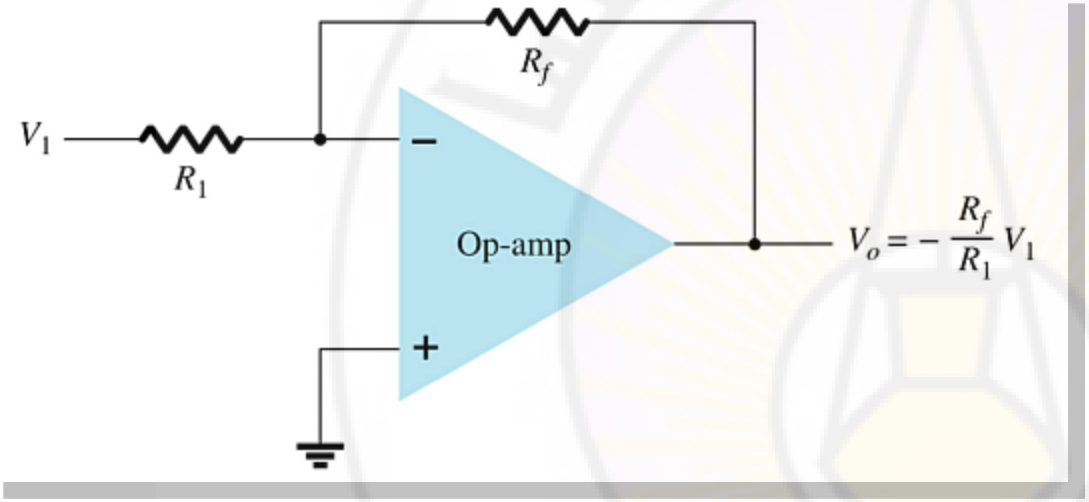
- لمكبر العمليات ربح مرتفع. ولهذا يصبح مكبر العمليات في حالة الإشباع.
- لتجنب الإشباع نستخدم التغذية العكسية(Feed back) و هي بالتعريف أخذ جزء أو كل من أشارة الخرج وأعادتها إلى الدخل.وتصنف:
- التغذية الخلفية السالبة: تؤدي إلى إنقاص إشارة الدخل وهي الأكثر استخداما في مكبر العمليات (أشارة دخل صغيرة جدا كافية لإعطاء خرج كبير)
- التغذية الخلفية الموجبة: تؤدي إلى زيادة إشارة الدخل مما يسرع في إشباع مكبر العمليات مما يؤدي إلى عدم الاستقرار.

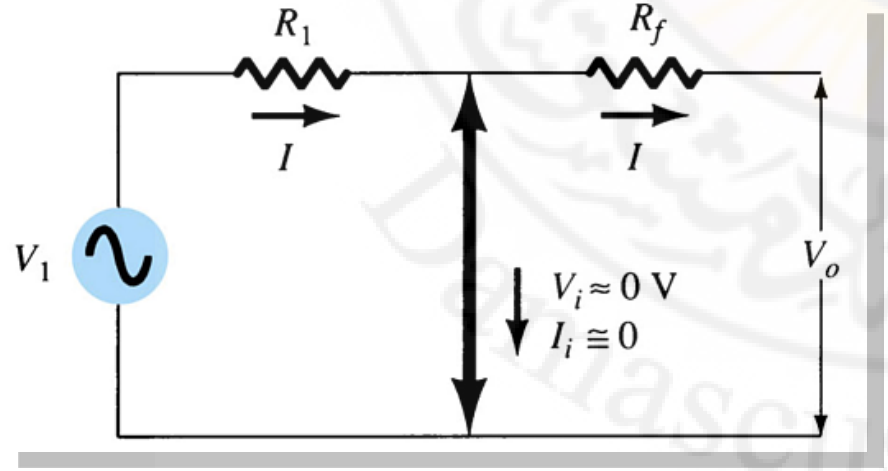


دارة التغذية الخلفية السالبة

- وسندرس في المحاضرة القادمة
- تطبيقات مكبر العمليات.

Virtual Ground
التأريض الافتراضي



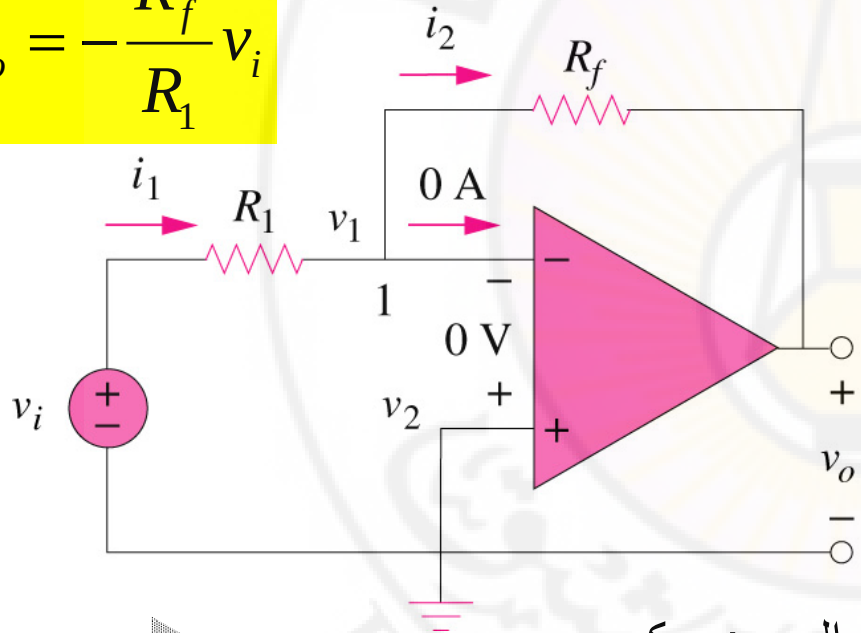


- إن فهم التأريض الافتراضي يسهل علينا معرفة كيفية عمل مكبر العمليات.
- كما نرى فإن رجل الدخل الغير عاكسة (*non-inverting* input pin) موصولة للأرض و بالتالي فرجل الدخل العاكسة (*inverting* input pin) ستوصل إلى الأرض عندما يعمل المكبر من أجل منبع دخل AC. و تكون الدارة المكافئة وفق الشكل.
- **التبرير:** على اعتبار ممانعة دخل مكبر العمليات المثالي لانهائية في الكبر فإنه لن يدخل أي تيار عبر الرجل العاكسة و عليه فهبوط للجهد بين الرجل العاكسة و الأرض معدوم، و سيمر كل تيار الدخل عبر (R_f).
- **ملاحظة:** على الطالب حفظ رسمة وعلاقة الربح لكل التشكيلات المعروفة التي سنتناولها (عاكس، غير عاكس، جامع ....إلخ).

مكبر العمليات العاكس (Inverting Op-Amp):

- **مكبر العمليات العاكس (Inverting Op-Amp): يقلب (يعكس) قطبية إشارة الدخل المطبقة على المدخل العاكس و يكبرها و مقاومة دخله هي (R_1). و فيه يكون القطب الموجب موصول إلى الأرض و يكون لدينا تغذية خلفية سالبة من خلال (R_f) وفق الشكل. ولنحسب ربحه:**

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i$$



$i_+ = i_- = 0$ ($R_{in} = \infty$)

$V_o = -i_2 R_f$

$i_2 = i_1 = (V_i - V_1)/R_1$

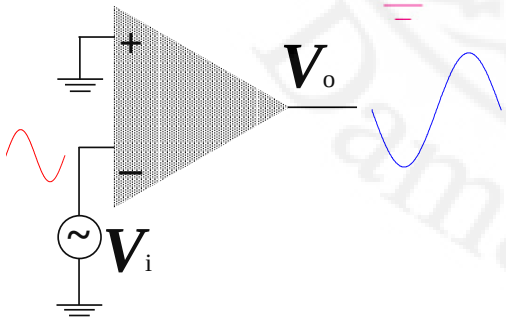
$V_1 = V_2 = 0V$ ($V_+ - V_- = V_o/A = 0$)

So $i_1 = V_i/R_1$

نعوض في العلاقة الأولى فيكون:

$V_o = (-R_f/R_1)\, V_i$

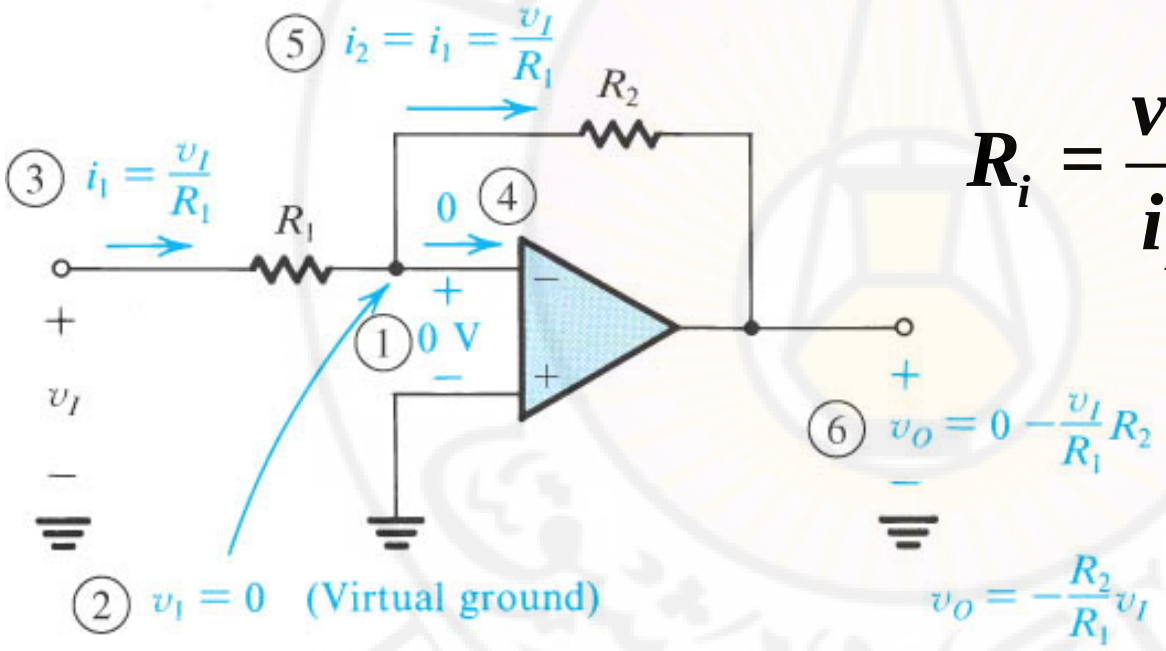
و بالتالي لزيادة الربح يجب زيادة النسبة بين هاتين المقاومتين لكن هذا سيزيد جهد إزاحة الخرج كما سنرى.



ملاحظة: عملياً نستخدم المكبر العاكس و السبب: مكبر العمليات يدخل بحالة إشباع بسرعة عند إشارة دخل كبيرة فهو يحتاج فقط لإشارة صغيرة في الدخل ليكبرها كون تكبيره كبير و يهتز عندما تتم التغذية العكسية عبر الدخل الموجب لأن إشارة الخرج تضاف للدخل.

Input Resistance of Inverting Configuration مقاومة الدخل

- كما نرى من الشكل فإنه مقاومة دخل الدارة تحسب على النحو:



(b)

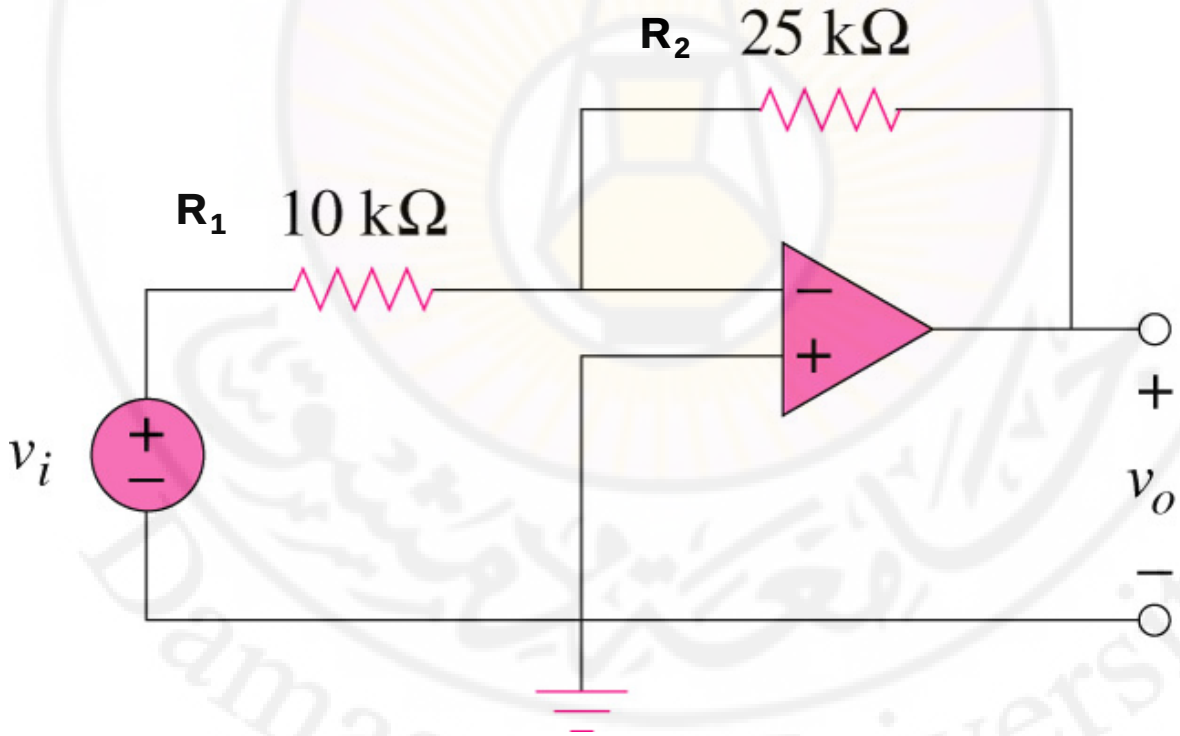
$$R_i = \frac{v_I}{i_1} = \frac{v_I}{\frac{v_I}{R_1}} = R_1$$

- أما مقاومة خرج الدارة فهي معدومة بكل التشكيلات على اعتبار مكبر العمليات مثالي و إلا فهي R_O

مكبر العمليات العاكس (Inverting Op-Amp):

Example 1

- إذا علمت أن ($V_i = 0.5V$)، احسب جهد الخرج (V_o) و كذلك التيار المار في المقاومة (R_1).

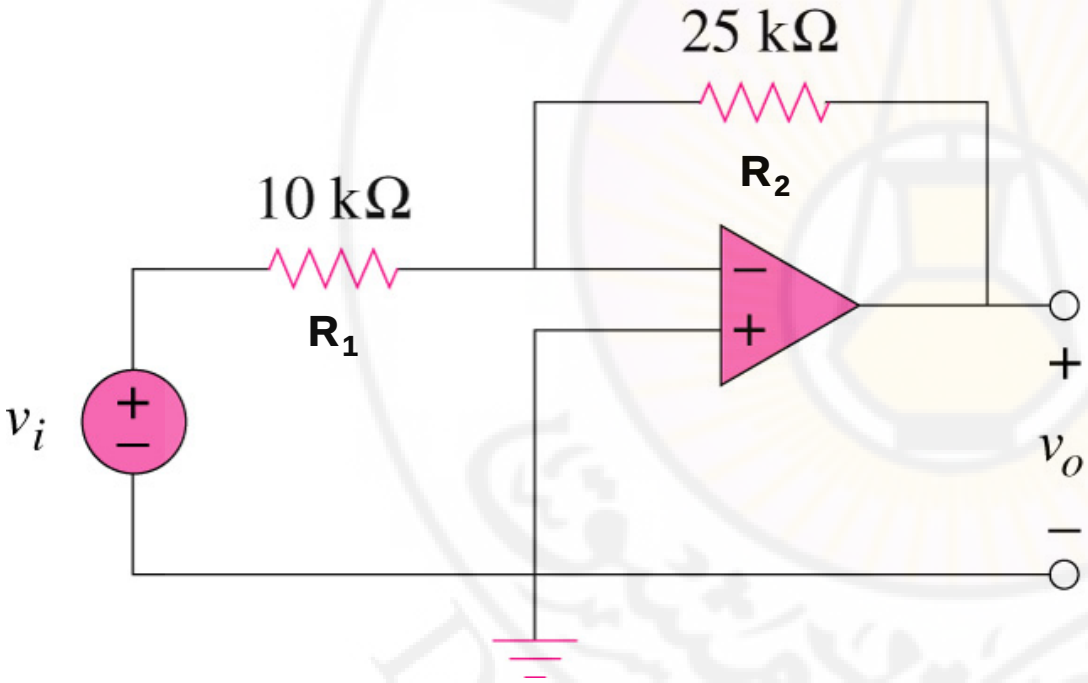


Ans: (a) -1.25V; (b) 50μA

مكبر العمليات العاكس (Inverting Op-Amp):

Example 1

- إذا علمت أن ($V_i = 0.5V$)، احسب جهد الخرج (V_o) و كذلك التيار المار في المقاومة (R_1).



$i_1=V_i/R_1$

$i_1=0.5/10=0.05$ mA

$V_o=-i_1 . 25=-1.25V$

Or

Non-inverting op-Amp:

$A=-R_2/R_1=-2.5$

$V_o=A.V_i=-2.5xV_i$

$V_o=-1.25V$

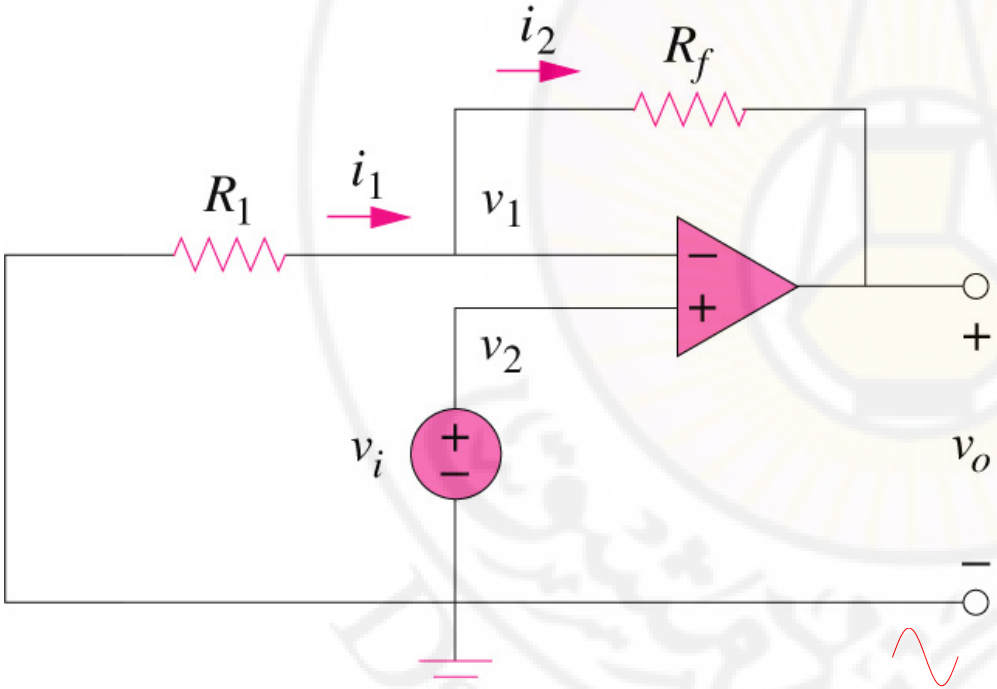
$i_1=V_i/R_1=0.5/10k$

$i_1=0.5mA$

Ans: (a) -1.25V; (b) 50μA

مكبر العمليات غير العاكس (non-Inverting Op-Amp):

- المكبر الغير عاكس (non-inverting op-amp): و هنا يكون جهد الدخل موصول إلي القطب الموجب و بالتالي فإن مكبر العمليات لا يعكس الاشارة و مقاومة دخل الدارة (∞) ولنرى كيفية حساب ربحه.



$i_1=i_2$

$V_2=V_1=V_i$

$(0-V_i)/R_1=(V_i-V_o)/R_f$

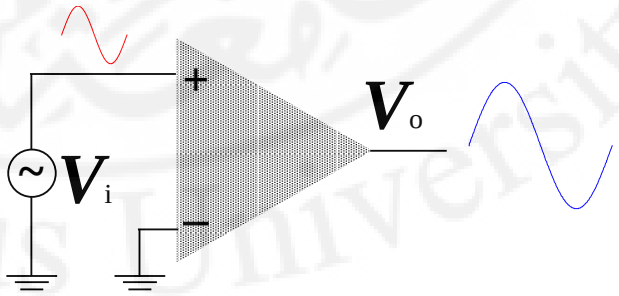
$-V_i/R_1-V_i/R_f=-V_o/R_f$

$V_i(1/(R_1+R_f))=V_o/R_f$

$V_o/V_i=(1+(R_f/R_1))$

أو مباشرة نطبق مقسم جهد و نرى نفس النتيجة.

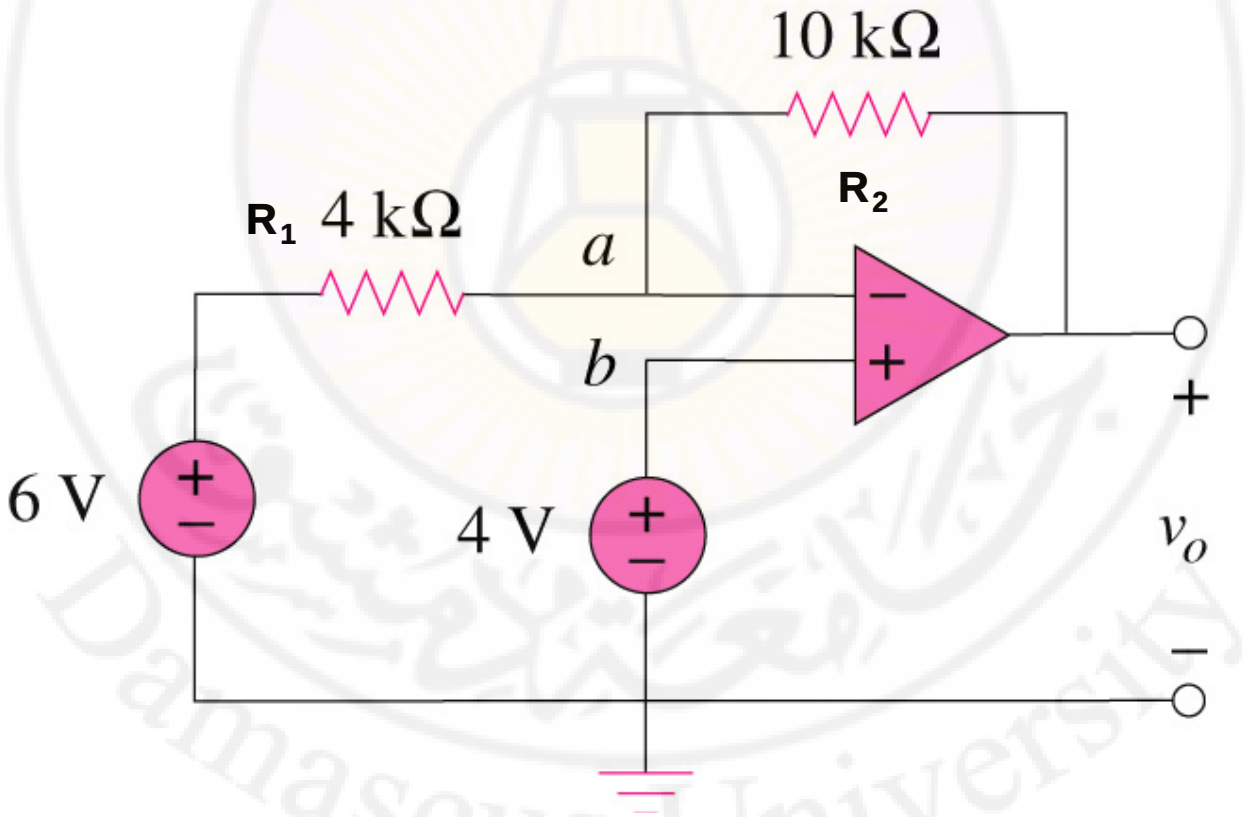
$$v_o=\left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)vi$$



مكبر العمليات غير العاكس (non-Inverting Op-Amp):

Example 2

احسب جهد الخرج (V_o) للدارة المبينة أدناه:

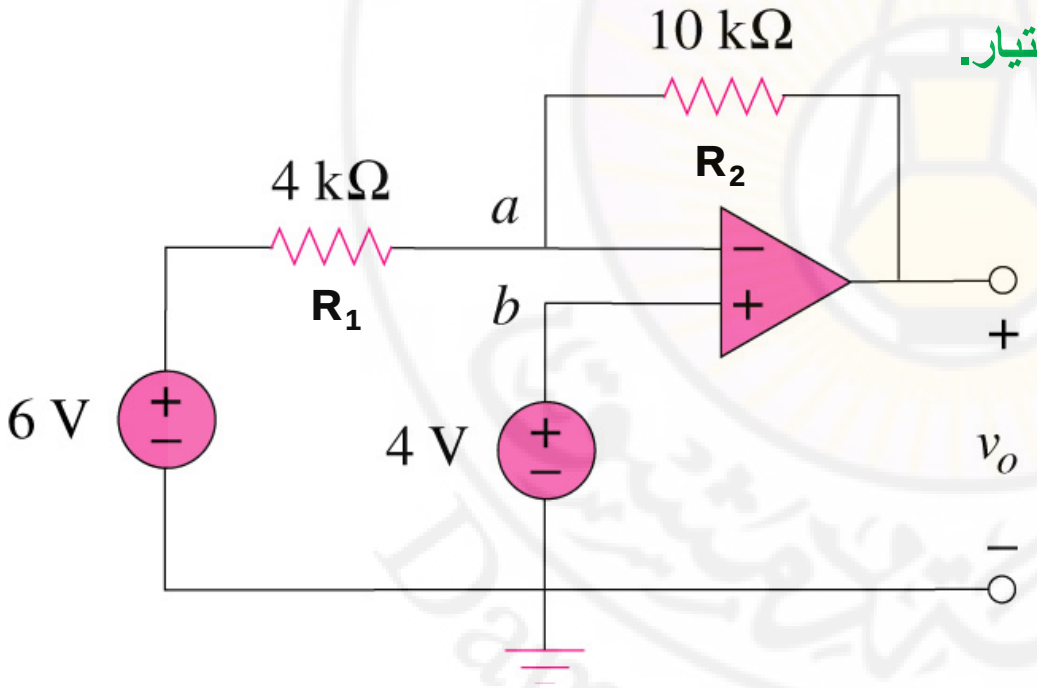


Ans: -1V

مكبر العمليات غير العاكس (non-Inverting Op-Amp):

Example 2

احسب جهد الخرج (v_o) للدارة المبينة أدناه:



الحل بطريقتين: نظرية التراكب و كيرشوف للتيار.

١. نظرية التراكم: $V_o=V_{o1}+V_{o2}$

$V_{o1}=-(R_2/R_1)\,V_i$

$V_{o1}=-(10/4)\,6=-15V$

$V_{o1}=(1+R_2/R_1)\,V_i$

$V_{o2}=(1+10/4)4=14V$

$V_o=V_{o1}+V_{o2}=-1V$

٢. نظرية كيرشوف للتيار (مفضلة):

$i_1=i_2$

$(6-V_a)/4=(V_a-V_o)/10$

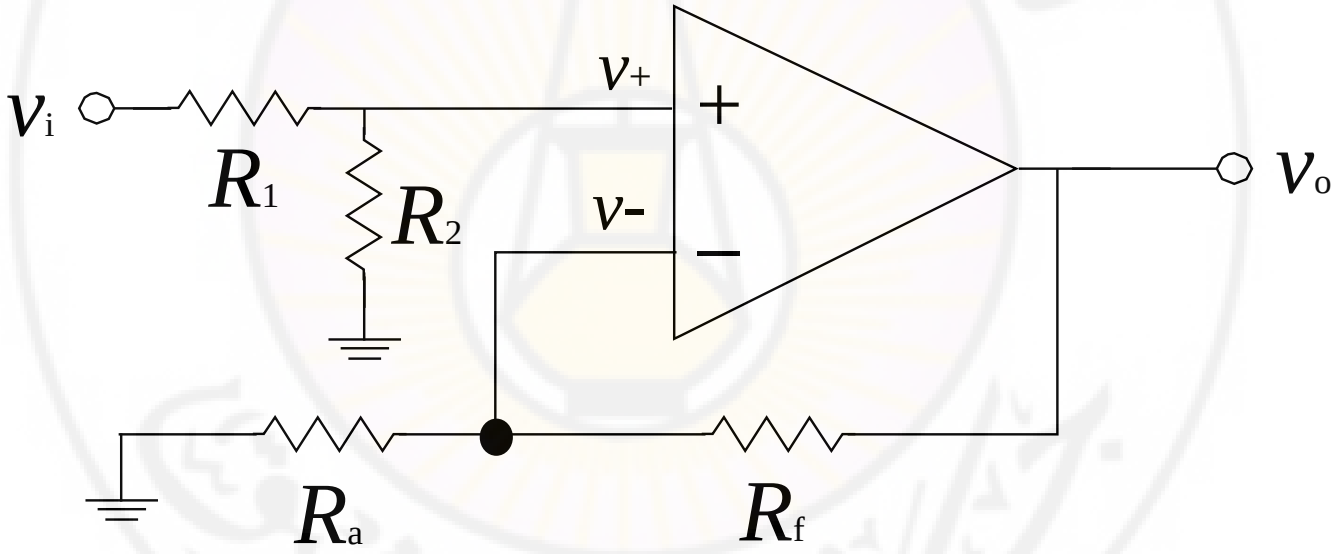
$V_a=v_b=4V$

$V_o=-1V$

Ans: -1V

Non-inverting input with voltage divider

- **المكبر الغير عاكس مع مجزئ جهد: أوجد ربح الدارة بدلالة المقاومات.**

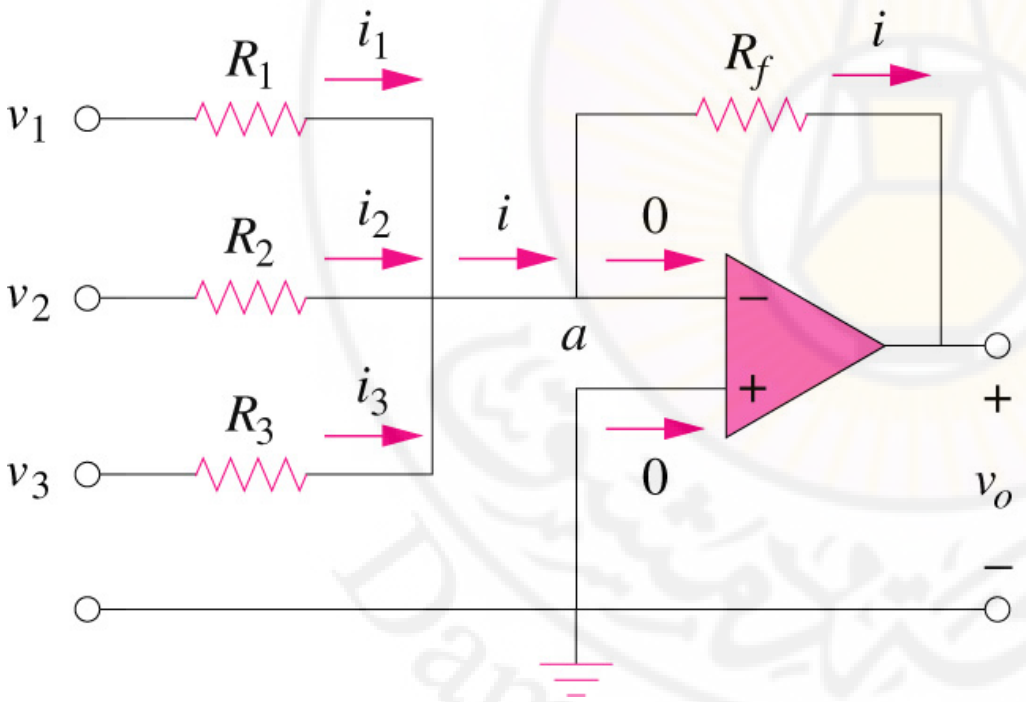


$$v_o = (1 + \frac{R_f}{R_a})(\frac{R_2}{R_1 + R_2})v_i$$

تحقق من صحة العلاقة في المنزل

مكبر العمليات الجامع

- **مكبر العمليات الجامع (العاكس كون المنابع على المدخل السالب): لمكبر العمليات الجامع (adder/Summing Amplifier) عدة مداخل، و خرجه هو جمع للمداخل الموزونة (كل جهد دخل له وزن) و يحسب ربحه وفق:**

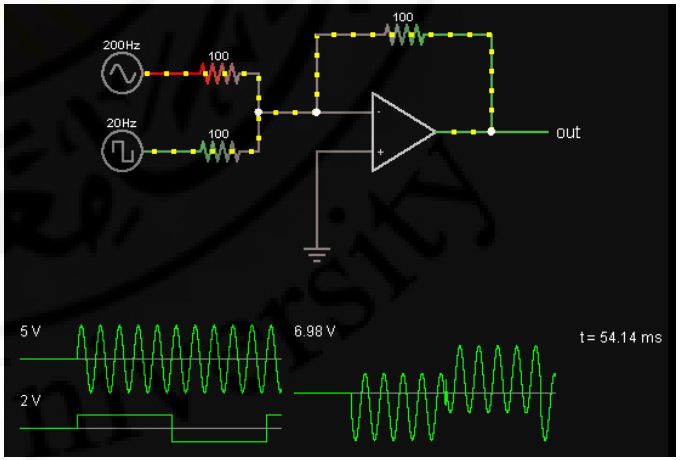


$$Vo = -i\,R_f$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

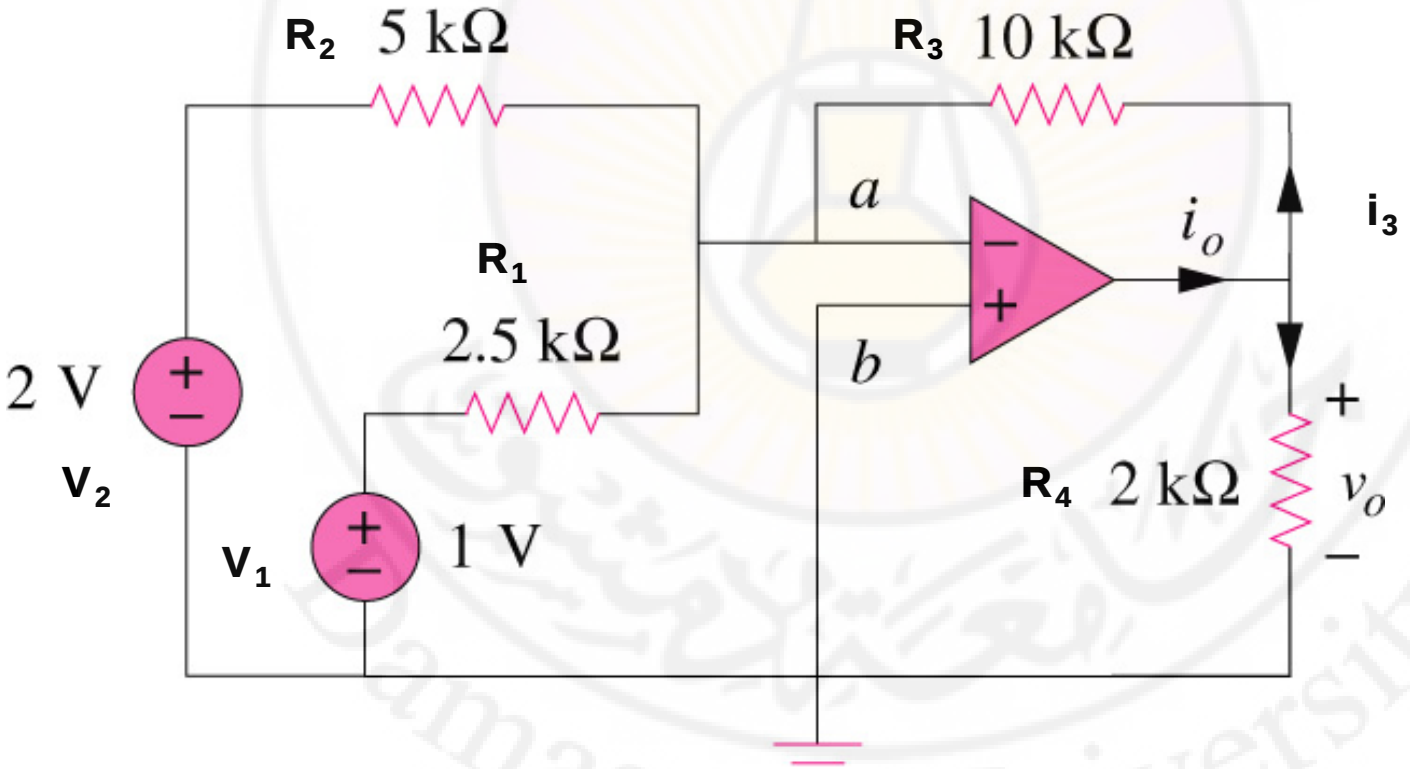
$$i = V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3$$

$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \frac{R_f}{R_3}v_3\right)$$



Example 3

احسب جهد و تيار الخرج (v_o and i_o) للدارة المبينة أدناه:

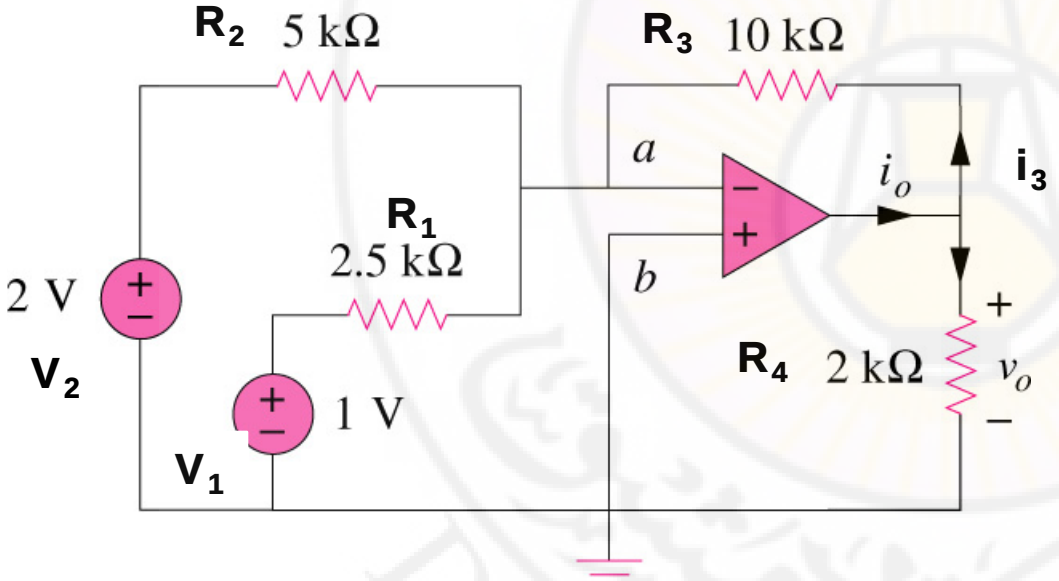


Ans: -8V, -4.8mA

مكبر العمليات الجامع

Example 3

احسب جهد و تيار الخرج (v_o and i_o) للدارة المبينة أدناه:



لدينا جامع عاكس له العلاقة التالية:

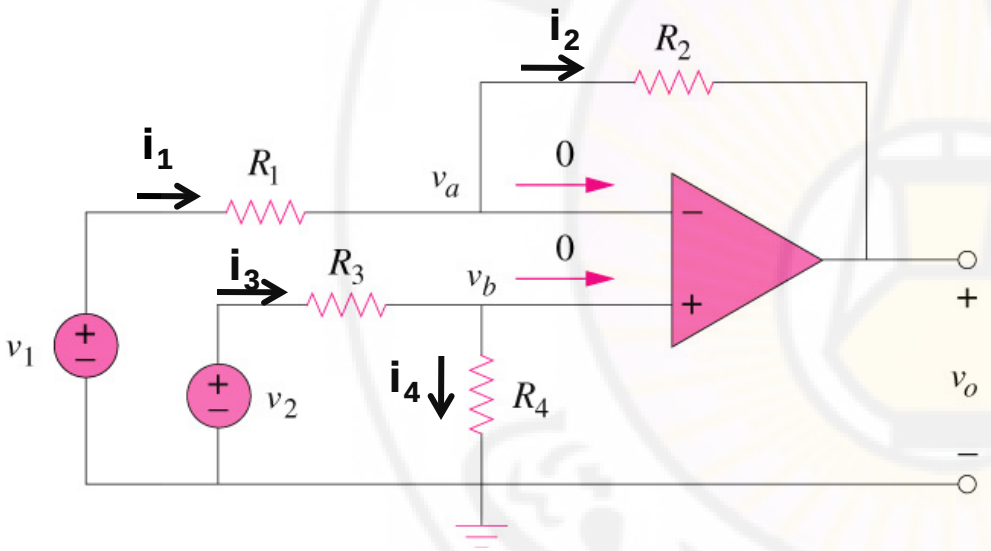
$$v_o = -\left(\frac{R_3}{R_1}v_1 + \frac{R_3}{R_2}v_2\right)$$

Vo=-((10/2.5) .1+(10/5).2)=-(4+4)=-8V

i_4=Vo/R_4= -8/2= -4 mA, io=i_4+i_3=Vo/R_3+i_4= -8/10-4=-4.8mA

مكبر العمليات الطارح (Difference/differential amplifier)

- مكبر العمليات الطارح (Difference/differential amplifier): يكبر الفرق بين إشارات الدخل (يطرح و يكبر)، و يلغي أي اشارات مشتركة بين المدخل (reject any signals common to the two inputs).



$i_1=i_2,\ (V_1-V_a)/R_1=(V_a-V_o)/R_2$

$V_o=(R_2/R_1+1)V_a-(R_2/R_1)V_1$

$i_3=i_4,\ (V_2-V_b)/R_3=(V_b-0)/R_4$

$V_b=(R_4/(R_3+R_4))V_2$

نعوض هذه العلاقة في ثانية علاقة كون: $V_a=V_b$

من المشاكل التي يعاني منها المكبر العملي هي عدم توازن مقاومة الدخل (أي أن مقاومة الدخل لا تكون لانهائية في الكبر و بالتالي يكون لدينا $i_1 \neq i_2 \neq 0$) و الحل هو جعل المقاومة (R_4) متغيرة و تعييرها لإلغاء جهد الازاحة.

$$v_o=\frac{R_2(1+R_1/R_2)}{R_1(1+R_3/R_4)}v_2-\frac{R_2}{R_1}v_1 \Rightarrow v_o=v_2-v_1,\ \text{if}\ \frac{R_2}{R_1}=\frac{R_3}{R_4}=1,\ A_d=1$$

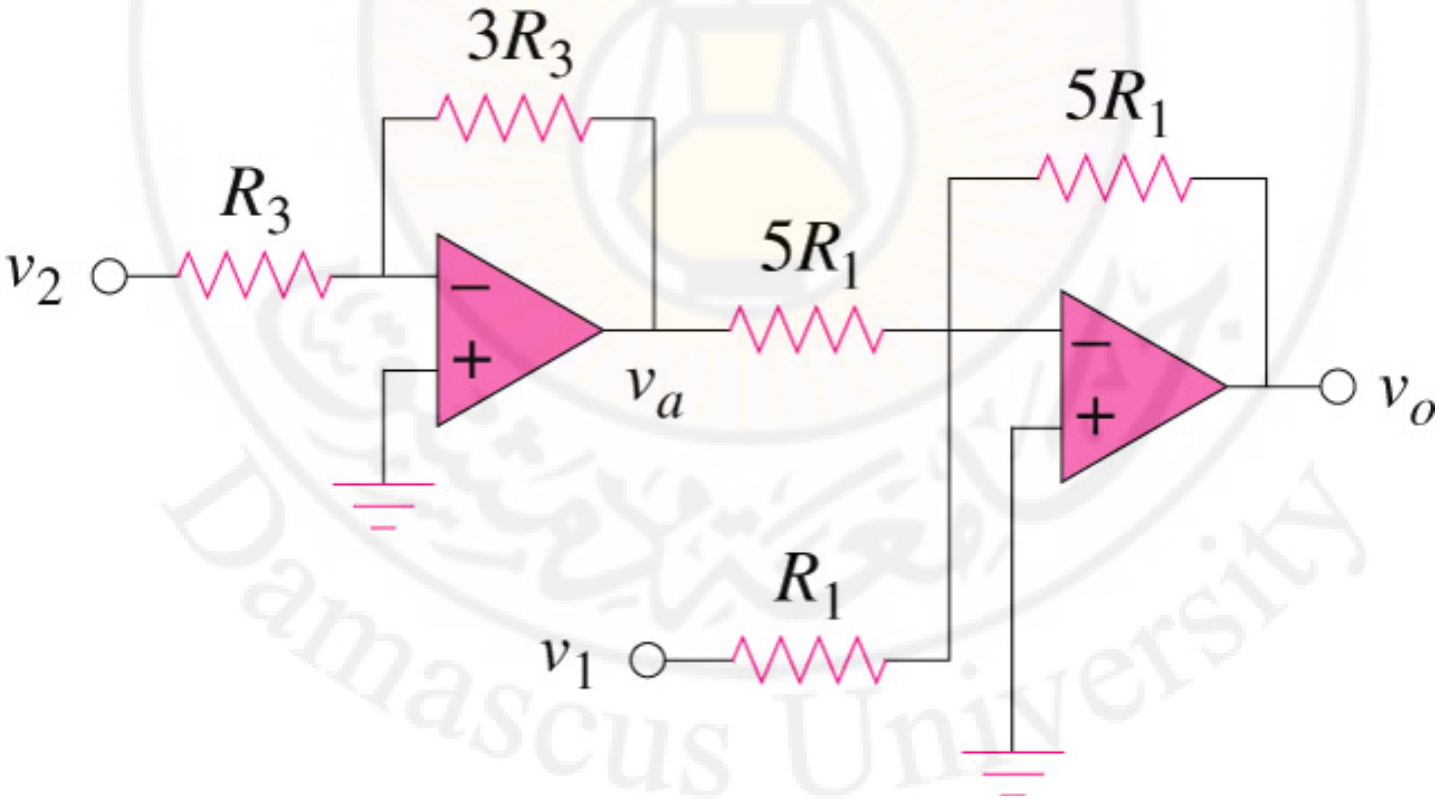
$$\text{but if } R_1=R_3 \text{ and } R_2=R_4 \text{ so } v_o=(R_2/R_1)(V_2-V_1)=A_d(V_2-V_1)$$

$$\text{Differential Mode Gain}: A_d=R_2/R_1$$

مكبر العمليات الطارح (Difference/differential amplifier)

Example 4

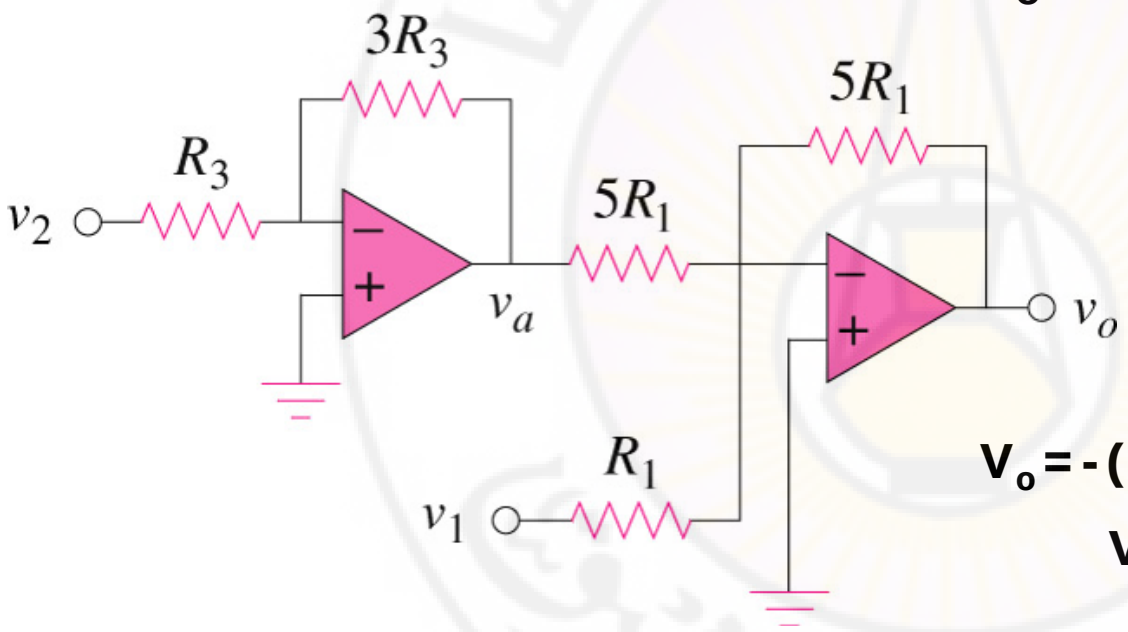
للدارة أدناه أثبت أن $v_o = -5v_1+3v_2$.



مكبر العمليات الطارح (Difference/differential amplifier)

Example 4

للدارة أدناه أثبت أن $v_o = -5v_1+3v_2$.



المكبر الأول هو مكبر عاكس و بالتالي:

$$V_a/V_2 = -3R_3/R_3 = -3$$

المكبر الثاني هو مكبر جامع عاكس و بالتالي:

$$V_o = -((5R_1/5R_1)V_a + (5R_1/R_1.V_1))$$

$$V_o = -(V_a + 5V_1) = -(-3V_2 + 5V_1)$$

$$V_o = 3V_2 - 5V_1$$

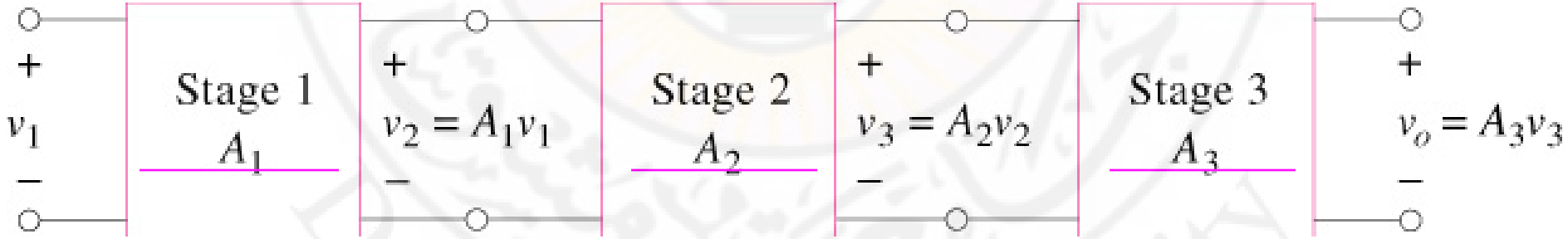
$$v_o = -\frac{R_f}{R_1}v_i$$

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

Cascaded Op Amp
الربط التتابعي (التسلسلي) لمكبرات العمليات

- كما نلاحظ من الشكل أدناه أن خرج المكبر الأول هو دخل للمكبر التالي و هكذا.
- التكبير (الربح) الكلي هو جداء كل مراحل التكبير:

$$V_o = A_3 V_3 = A_3 A_2 V_2 = A_3 A_2 A_1 V_1$$

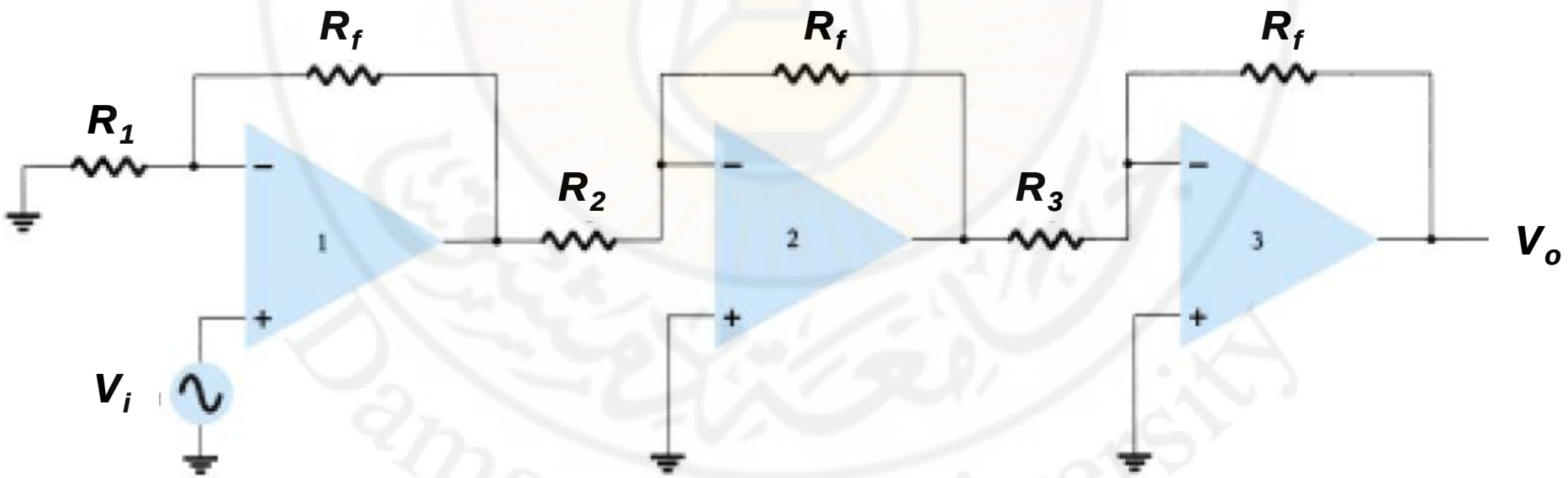


الربط التتابعي (التسلسلي) لمكبرات العمليات

Example

للدارة أدناه أثبت أن ربح الدارة يعطى بالعلاقة:

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

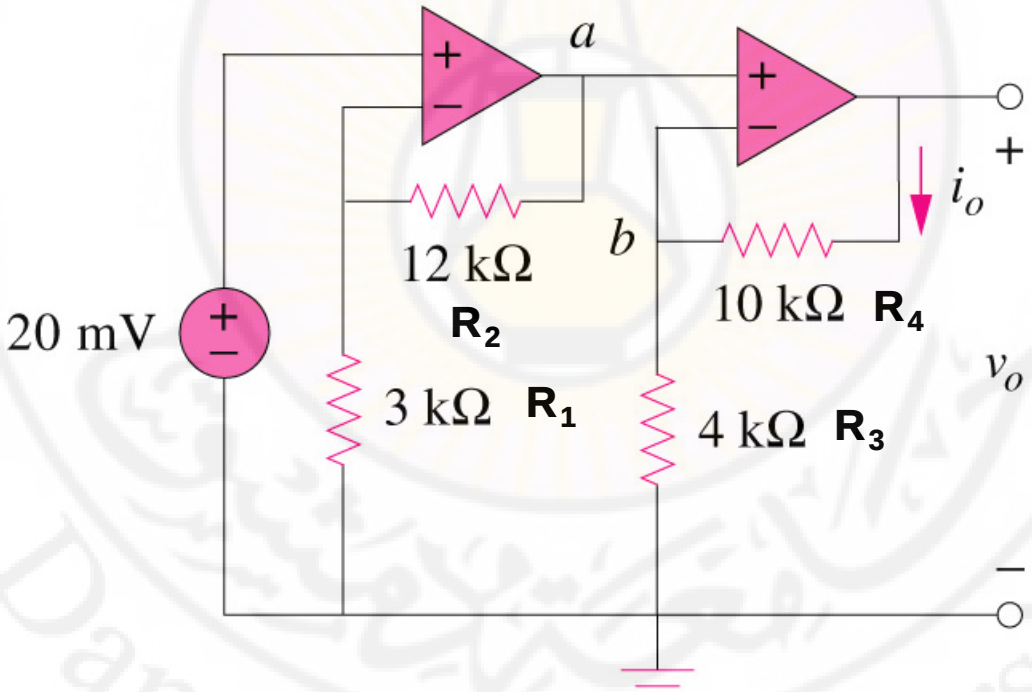


Damascus University

الربط التتابعي (التسلسلي) لمكبرات العمليات

Example

احسب (V_o and i_o) للدارة أدناه:

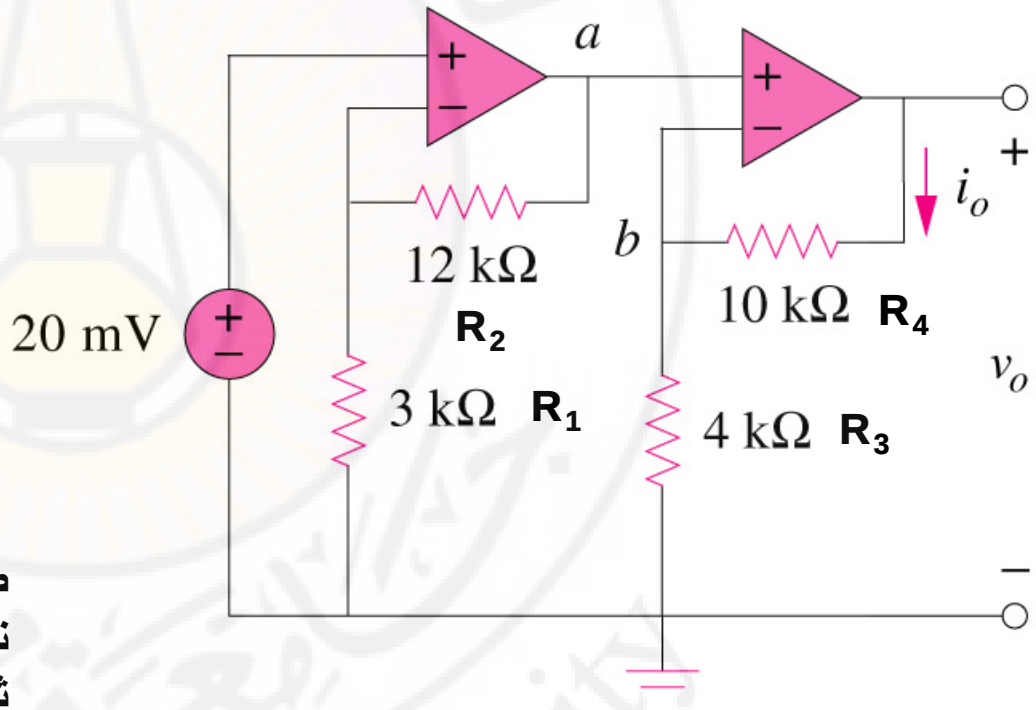


Ans: 350mV, 25 μA

الربط التتابعي (التسلسلي) لمكبرات العمليات

Example

احسب (v_o and i_o) للدارة أدناه:



$V_o = i_o . (R_3 + R_4) = 14\ i_o$

$/ (R_3 + R_4))_{\text{٣}} V_b = V_o (R$

$V_b = V_o (4/14)$

$V_o = (14\ Vb)/4 = 3.5\ V_b$

$V_a = V_b,\ V_{in} = V_a (3/15) = 20\ mv,$

$V_b = V_a = 20 (1 + R_2/R_1) = 100\ mV$

$V_o = 3.5 \times 100 = 350\ mV$

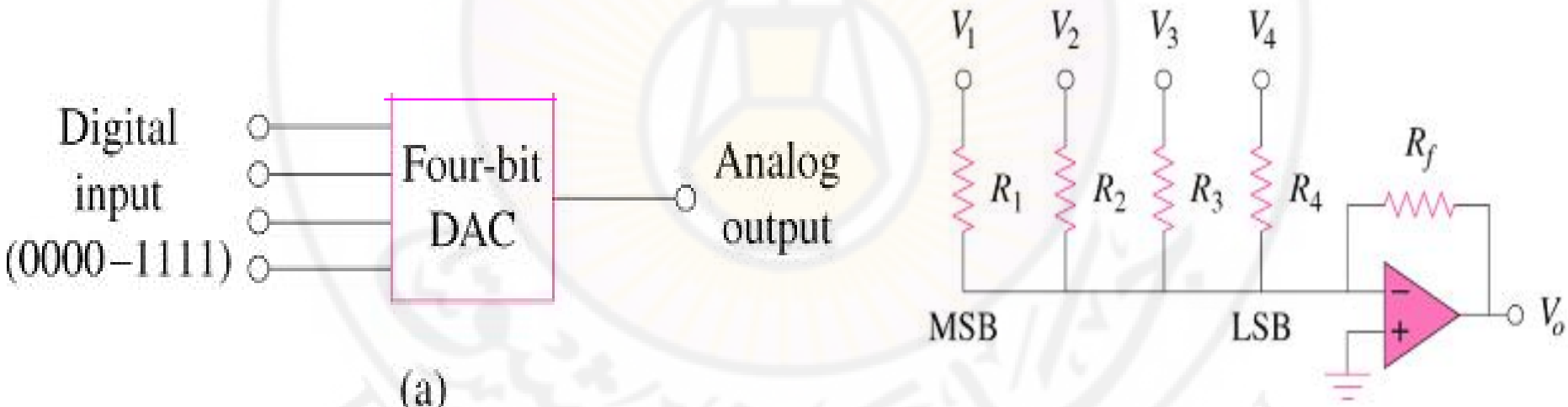
$i_o = V_o/14 = 350\ mV/14 = 25\ \mu A$

طريقة ٢: لدينا مكبريين غير عاكسين على التتابع، نطبق علاقة الخرج لكل منهما و نحسب الخرج الكلي ثم التيار الكلي.

Application
تطبيقات مكبر العمليات

- **المبدل الرقمي التماثلي :** Digital-to Analog Converter (DAC) وهو دارة تحول الاشارات الرقمية إلى إشارة تماثلية. عدد مداخله هو عدد البيتات. و كما نلاحظ أن له نفس دارة الجامع و الفرق هو أن جهود الدخل هي أرقام ثنائية (إما صفر أو واحد).

Four-bit DAC: (a) block diagram (b) binary weighted ladder type



where $R1 = R,\ R2 = 2R1,\ R3 = 2R2,\ R4 = 2R3$

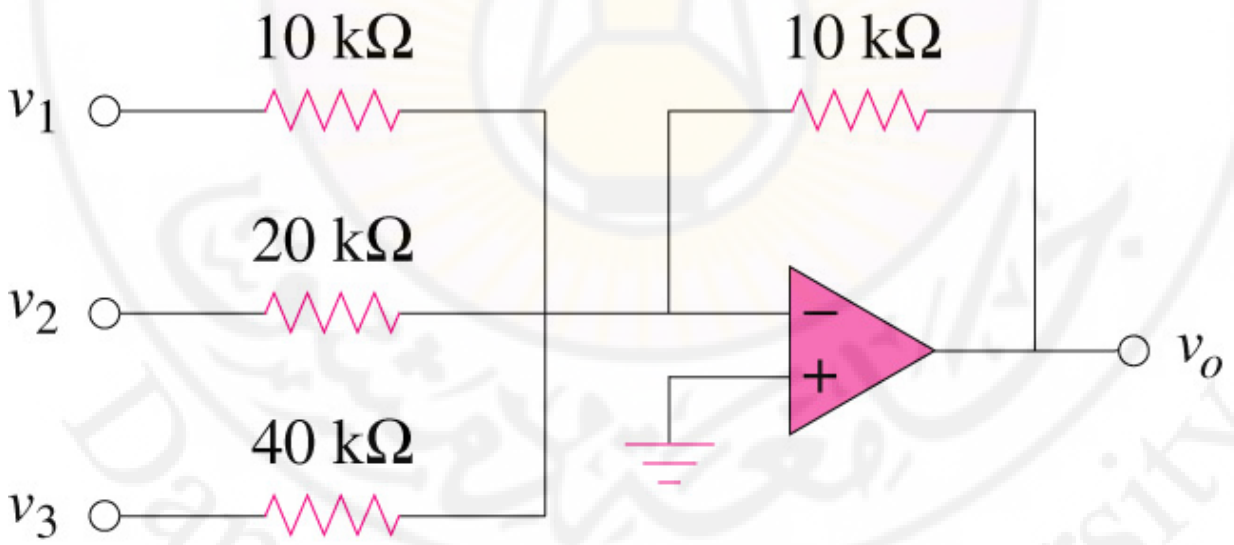
V_1 – MSB, V_4 – LSB — MSB: Most Significant Bit الوزن الاكبر (الربح الأكبر)

V_1 to V_4 are either 0 or 1 V — LSB: Least significant Bit الوزن الأقل

أي أنه نعرف المدخل ذو الوزن الأعلى من خلال المقاومة الأصغر (التي يمر بها تيار أكبر) أي لها ربح أكبر.

Example

احسب جهد الخرج (v_o) لدارة المحول (DAC) أدناه، إذا علمت أن:
v_1= 0V,v_2=1V and v_3 = 1V.



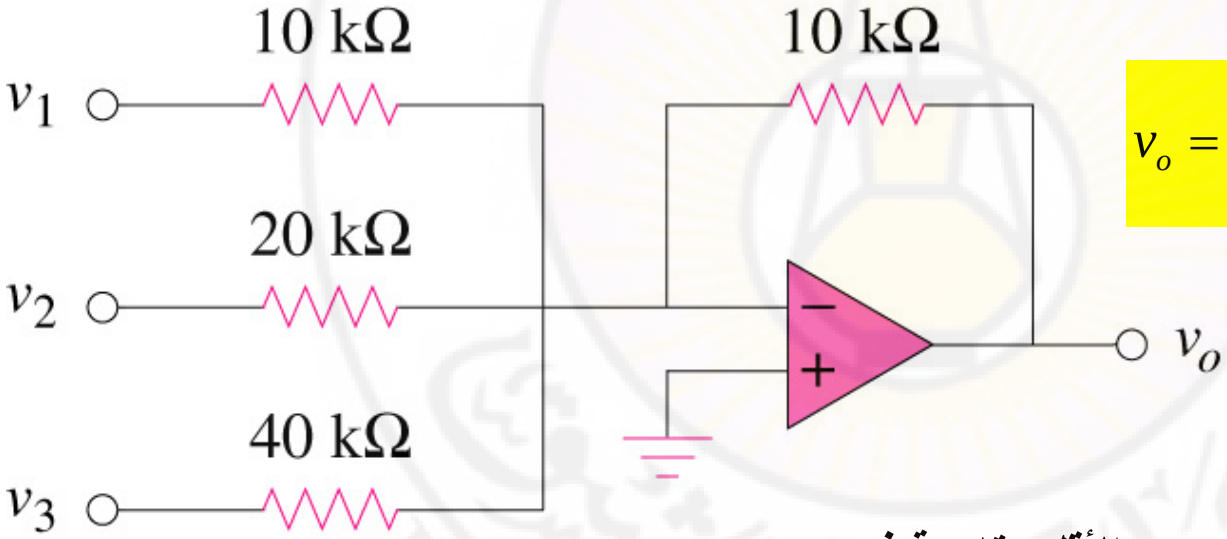
Ans:-0.75V

تطبيقات مكبر العمليات

Example

احسب جهد الخرج (v_o) لدارة المحول (DAC) أدناه، إذا علمت أن:

v_1= 0V,v_2=1V and v_3 = 1V.



$$v_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \frac{R_f}{R_3}v_3\right)$$

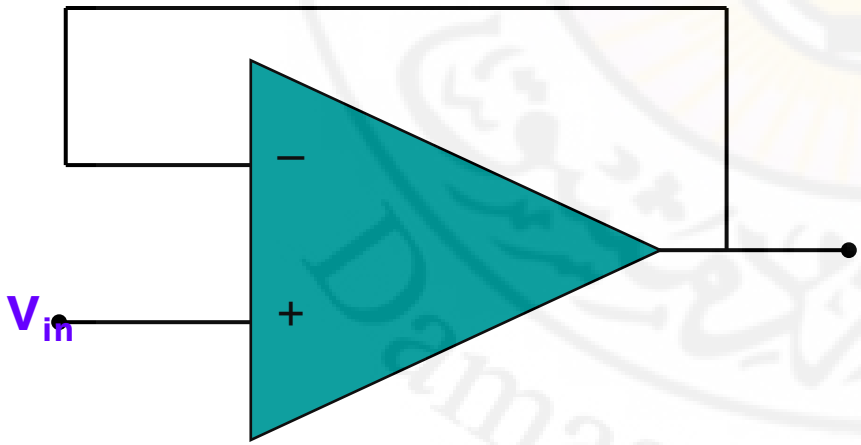
على اعتبار أن الدخل الأول (V1) هو الأقل مقاومة فهو الأكثر وزنا MSB (يمرر أكبر تيار) من خلال الربح الأكبر.

Vo=-(0+1x10/20+1x10/40)=-0.75V

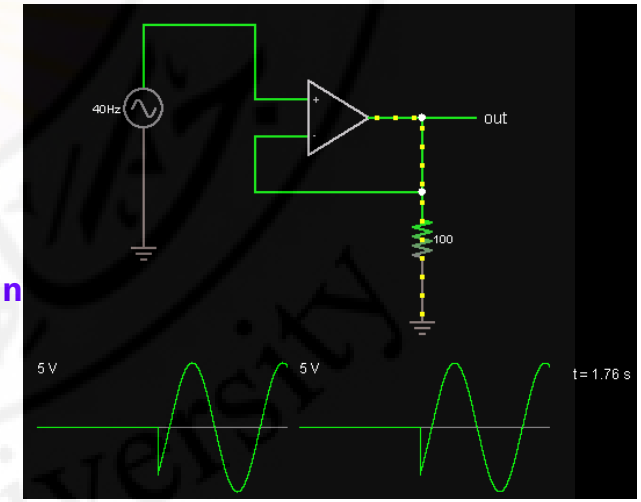
Unity-Gain Amplifier (Non-inverting Buffer/voltage buffer)

العازل الغير عاكس أو المكبر ذو التكبير الواحدي

- يستخدم لذلك المكبر الغير عاكس كون مقاومة دخله هي الأكبر.
- يسمى أيضاً: Voltage Follower وهو مكبر غير عاكس و لكن بدون مقاومة التغذية الخلفية و بدون مقاومة في الدخل (أو $R_f=R_i=0$).
- تكبيره ($A=1$) لأن ($V_o=V_i$).
- الهدف منه هو عزل دارة ما و عدم تحميلها من قبل دارة المرحلة التالية و يسمى أيضاً محول الممانعات (impedance transformer). حيث مقاومة دخله عالية جداً و مقاومة خرجه صغيرة جداً.



$V_{out} = V_{in}$

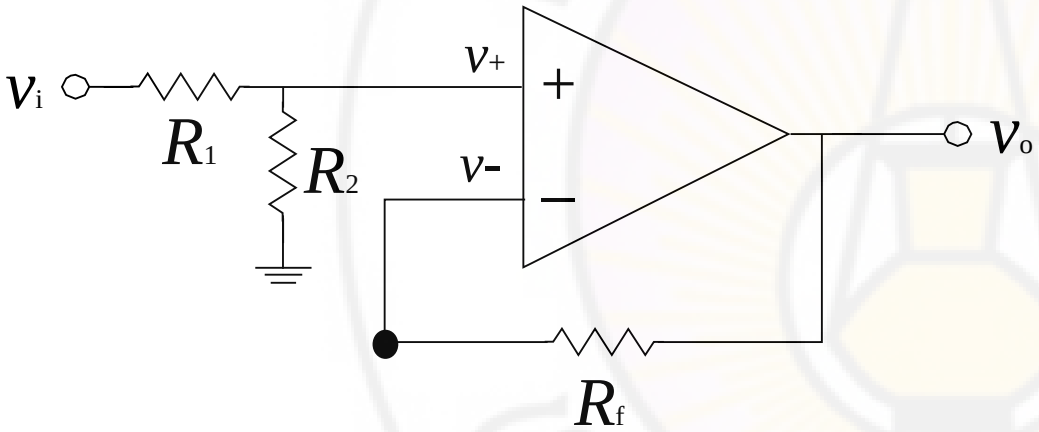


$$A_v = 1$$

Voltage Divider with Buffer

- لدينا في الشكل مجزىء (مقسم) جهد متبوعاً بمكبر عمليات عازل:
- $(V_o<V_i)$
- يعطى جهد الخرج وفق:

$$v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i$$



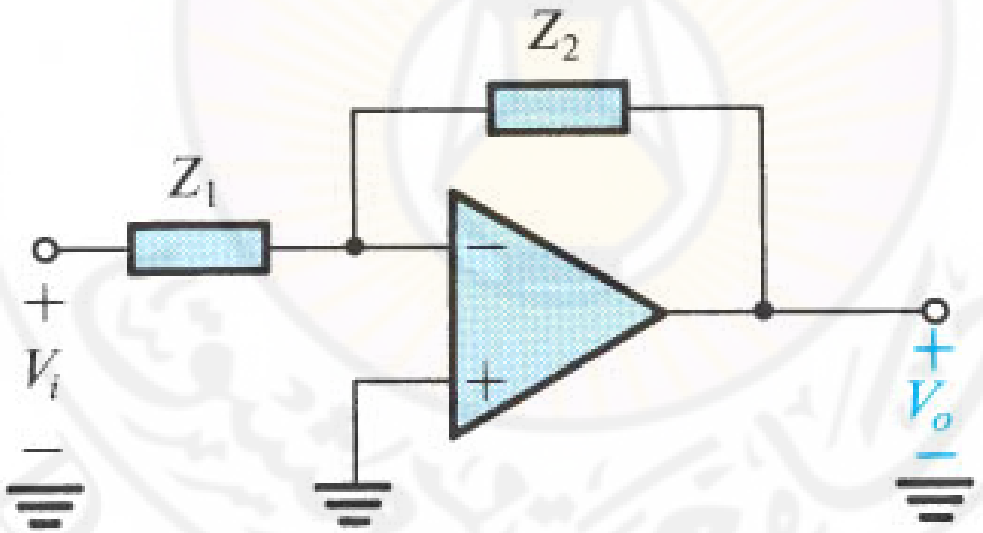
- تستنتج كمايلي:

$$V_o - V^- = i_o . R_f = 0,\ i_o = 0\ (R_{in} = \infty)$$
$$V_o = V^- = V^+$$
$$V_o = V_i\ (R_2/(R_1 + R_2))$$

The Inverting Configuration with General Impedances

التشكيلة العاكسة مع ممانعات عامة

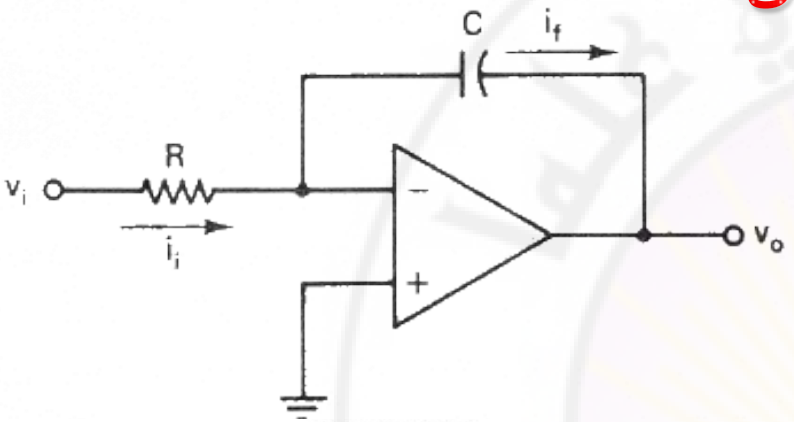
- فيما سبق كنا قد استخدمنا المقاومات في التغذية الخلفية. لكن باستخدام مزيج من المقاومات والسعات فإنه يمكن أن نرى العديد من التطبيقات الأخرى لمكبر العمليات.



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

Damascus University

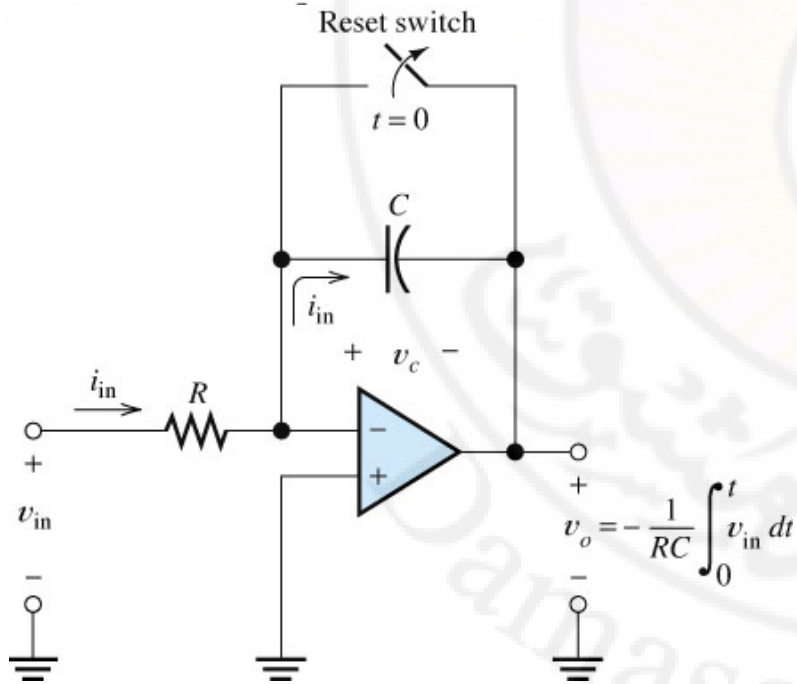
Inverting Integrator
المكامل العاكس



$$q=CV_o,\ dq/dt=i=C\ dV_o/dt$$
$$i=-\ C\ dV_o/dt=V_i/R$$
$$dV_o/dt=-V_i/RC$$

$$V_{out}(t_2)-V_{out}(t_1)=-\frac{1}{RC}\int_{t_1}^{t_2}V_{in}.dt$$

التكامل هو المساحة تحت مخطط ما خلال فترة ما.

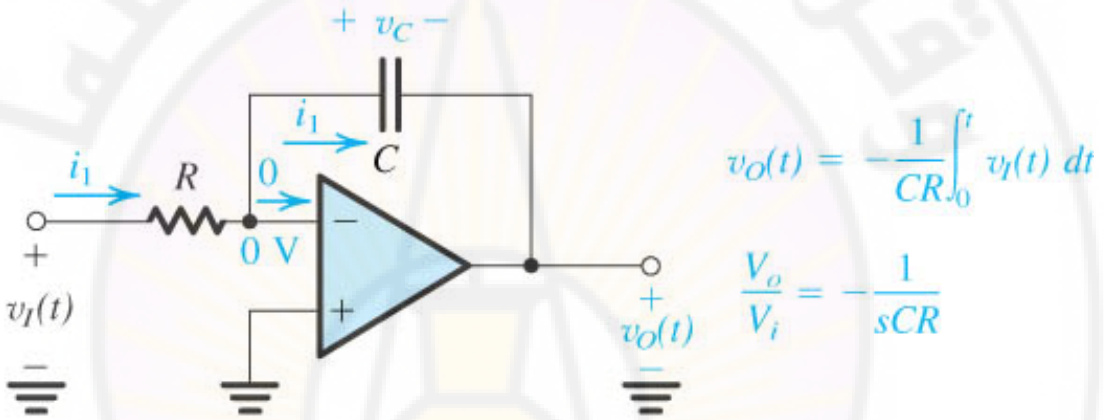


مساوىء الدارة الأولى:

- جهد الخرج (V_o) سيصل إلى حالة الإشباع (عند شحن المكثف) في حال ترك (V_i) متصل لفترة طويلة و لذلك يوضع على التفرع مع المكثف قاطع لتفريغ هذا المكثف كما في الدارة أدناه.
- **ملاحظة:** يعمل المكامل كدارة مفتوحة عند جهد (DC) و عليه يستخدم المكامل كمرشح (LPF) في مستوى التردد. ($Xc=1/jWC=1/0=\infty$).
- تكامل الإشارة المربعة هو إشارة مثلثية.

The Inverting Integrator المكامل العاكس

- تسمى تشكيلة المكامل هذا أيضاً بمكامل ميلر (Miller integrator).



(a)

$$i_1(t) = \frac{V_i(t)}{R} \text{ charges } C \Rightarrow \text{a charge on } C \text{ is } \int_0^t i_1(t)\,dt$$

$$v_C(t) = V_C + \frac{1}{C}\int_0^t i_1(t)\,dt \Rightarrow v_O(t) = -v_C(t) = -\frac{1}{C}\int_0^t i_1(t)\,dt - V_C$$

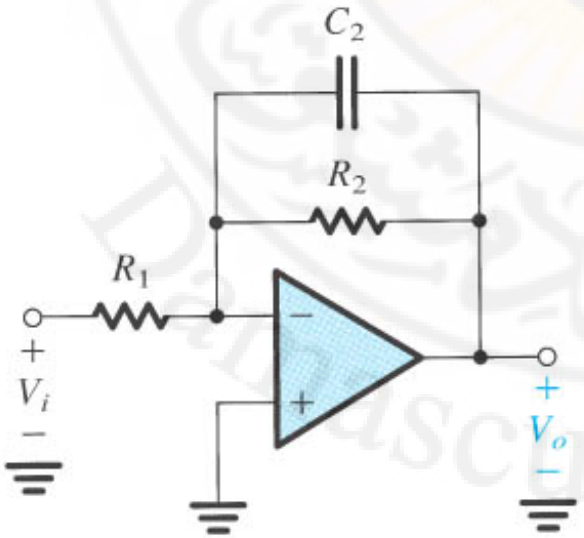
- كما نرى فإن ($v_O(t)$) يتناسب مع تكامل جهد الدخل.
- جهد المكثف (V_C) المتبقي هو القيمة الابتدائية للتكامل.
- يسمى ($\tau=RC$) بالثابت الزمني للمكامل و يجب أن يكون كبير نسبياً حتى يشحن المكثف كفايته.

The Inverting Configuration with General Impedances

- قد توضع مقاومة على التفرع مع المكثف ليفرغ بها وفق الشكل التالي:

$$v_o = -\frac{R_f}{R_1} v_i$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-\left(\frac{1}{sC_2} \parallel R_2\right)}{R_1} = \frac{-\left(\frac{\frac{1}{sC_2} R_2}{\frac{1}{sC_2} + R_2}\right)}{R_1} = \frac{-\left(\frac{R_2}{1 + sC_2R_2}\right)}{R_1} = \frac{-\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{1 + sC_2R_2}$$



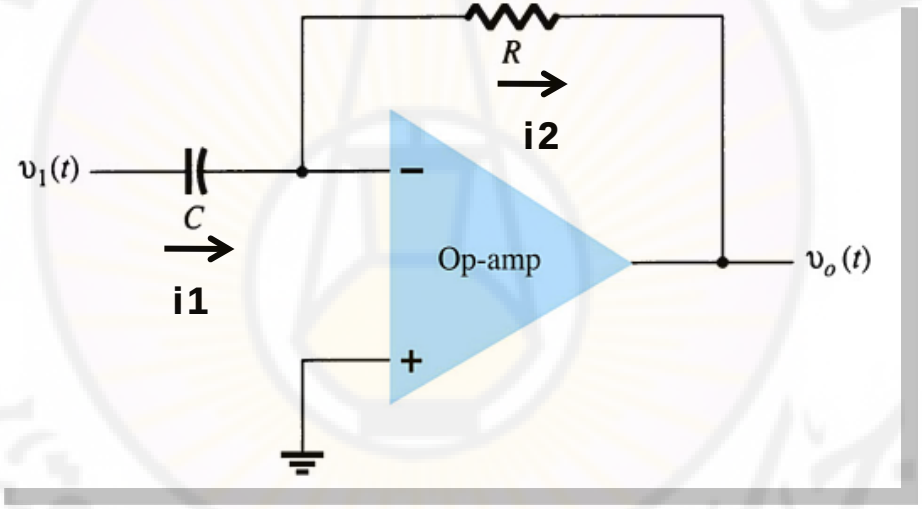
حيث: S=jw

$$k = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right), \omega_0 = \frac{1}{C_2R_2}$$

(LPF) Filter

Differentiator
المفاضل

- و هنا على عكس المكامل، تتم التغذية الخلفية عبر المقاومة و يوضع المكثف في الدخل.



ملاحظة:

- يجب أن يكون الثابت الزمني للمفاضل صغير جداً نسبياً. و في حال الاشارات المربعة أو المثلثية فيجب أن يكون هذا الزمن أصغر بكثير من زمن الصعود للجبهة الأمامية للاشارة.
- إذا كانت إشارة الدخل إشارة مربعة فإن إشارة الخرج هي نبضات ديراك (مشتق الإشارة المربعة).
- يستخدم المفاضل كمرشح (HPF) في مستوي التردد.

$i_1=i_2$, $i_1=C\ dV_i/dt$

$V_o= -i_2\ R$

$$v_o(t) = -RC\frac{dv_i(t)}{dt}$$

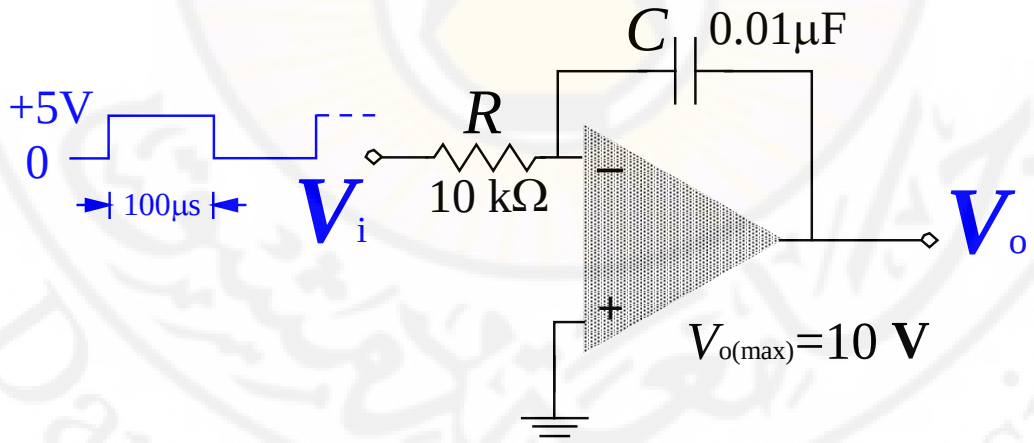
Op-Amp Integrator

Example 1:

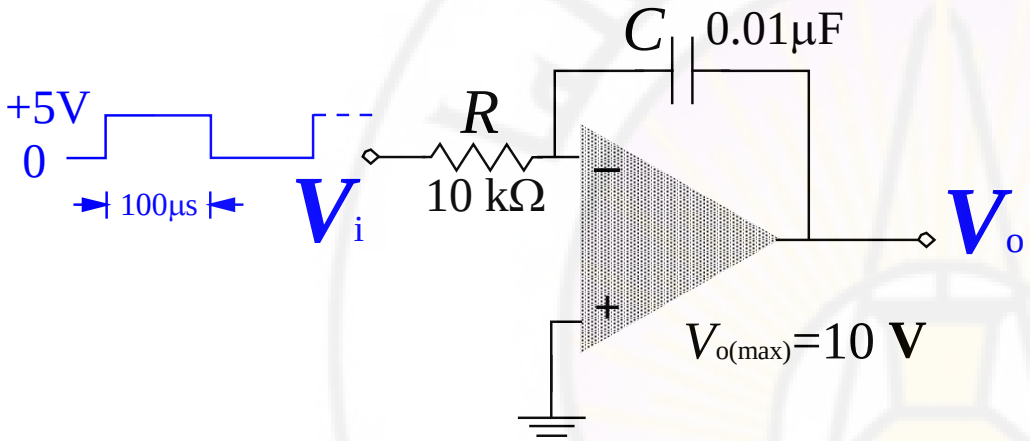
- للدارة المبينة أدناه:

(a) حدد معدل تغير جهد الخرج (dV_o/dt).

(b) ارسم إشارة الخرج.



Op-Amp Integrator



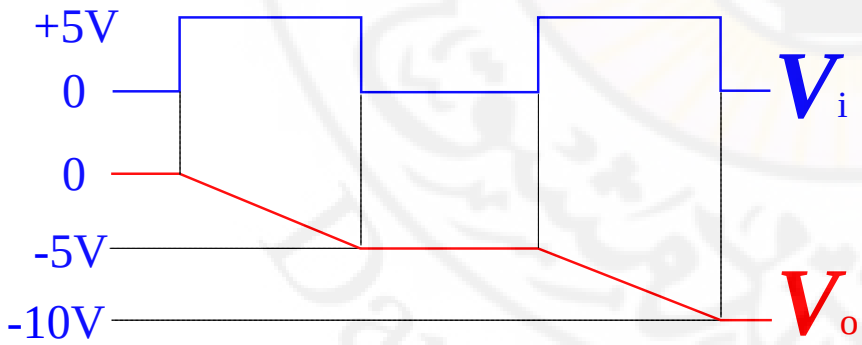
Example 1:

(a) حدد معدل تغير جهد الخرج (dV_o/dt).

(b) ارسم إشارة الخرج.

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta t} = -\frac{V_i}{RC} = -\frac{5\text{ V}}{(10\text{ k}\Omega)(0.01\,\mu\text{F})}$$

$$= -50\text{ mV}/\mu\text{s}$$



عند الزمن $(100\ \mu s)$، فإن جهد الخرج يتناقص بمقدار:

$$\Delta V_o = (-50\,\mathbf{mV}/\mu\mathbf{s})(100\mu\mathbf{s}) = -5\mathbf{V}$$

Op-Amp Differentiator

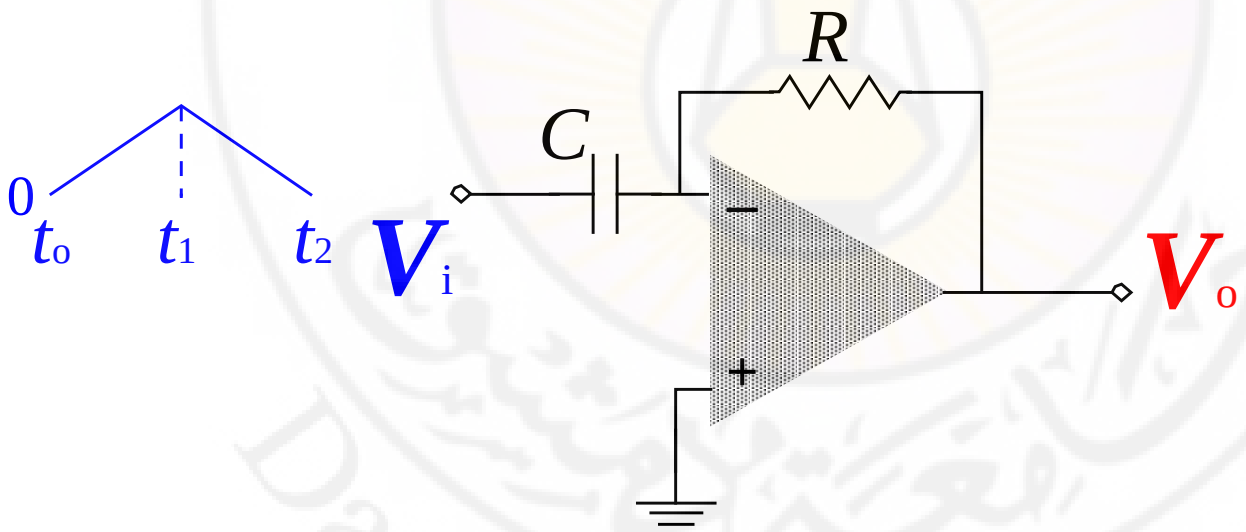
Example 2:

ارسم إشارة للدارة إذا علمت أن:

for t_0 to t_1 $V_i=2t$

for t_1 to t_2 $V_i=-2t$

R=10kΩ, C=0.01μF



Op-Amp Differentiator

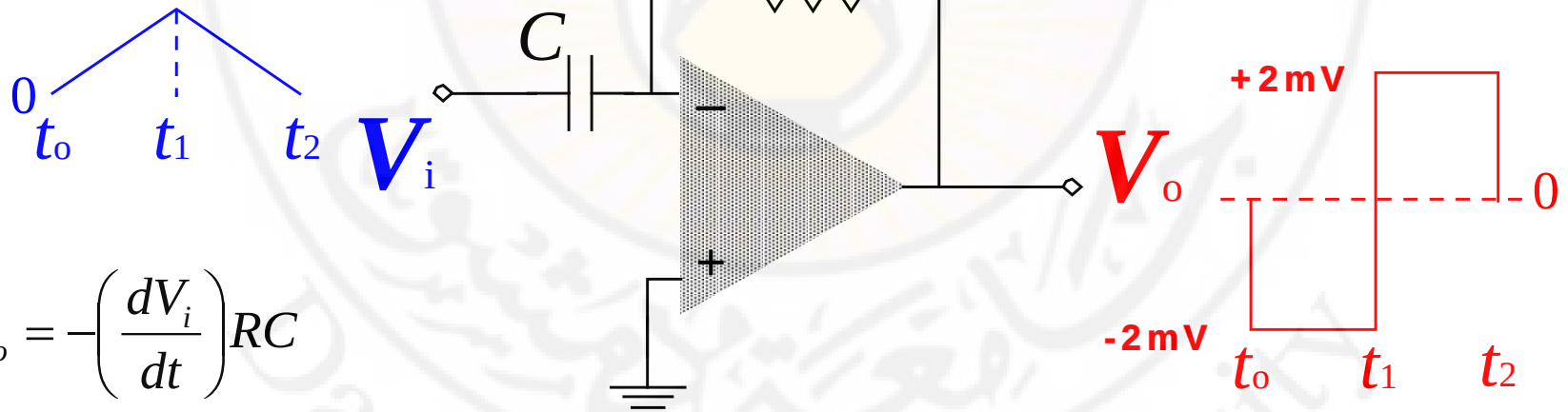
Example 2:

ارسم إشارة للدارة إذا علمت أن:

for t_0 to t_1 $V_i=2t$

for t_1 to t_2 $V_i=-2t$

R=10kΩ, C=0. 1μF



$$v_o = -\left(\frac{dV_i}{dt}\right)RC$$

V_{o1}= -(2) RC= -2mV

V_{o2}= -(-2) RC= 2mV

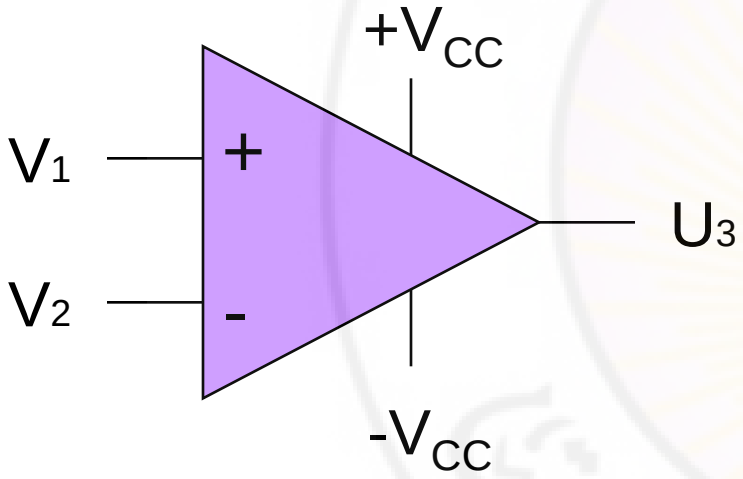
العمل في المنطقة اللا خطية Non Linear Mode

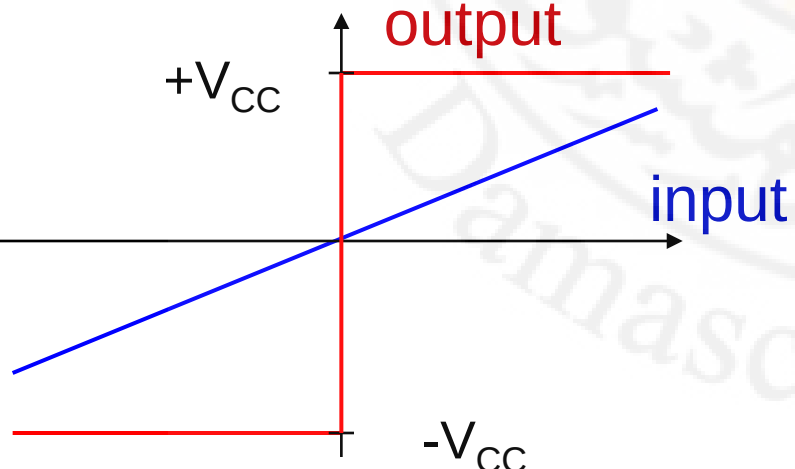
تطبيق ١ : المقارن Comparator

- لا يوجد تغذية خلفية في تشكلية المقارن و يعمل مكبر العمليات هذا في منطقة الإشباع و ليس في المنطقة الخطية كما سبق من تطبيقات.
- يتم فيه مقارنة المدخلين وفق:

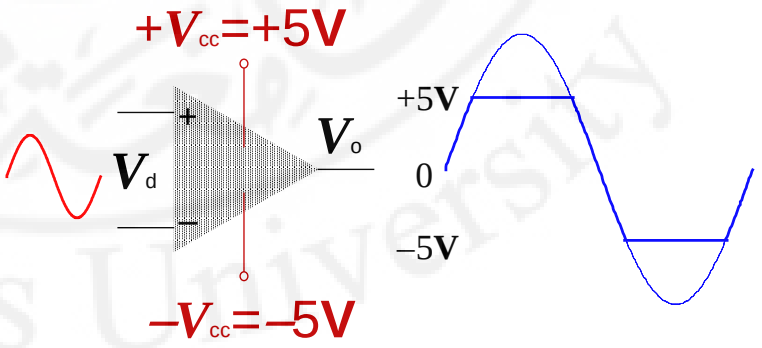
If $V_1 > V_2$, $V_o = +V_{CC}$

If $V_2 > V_1$, $V_o = -V_{CC}$



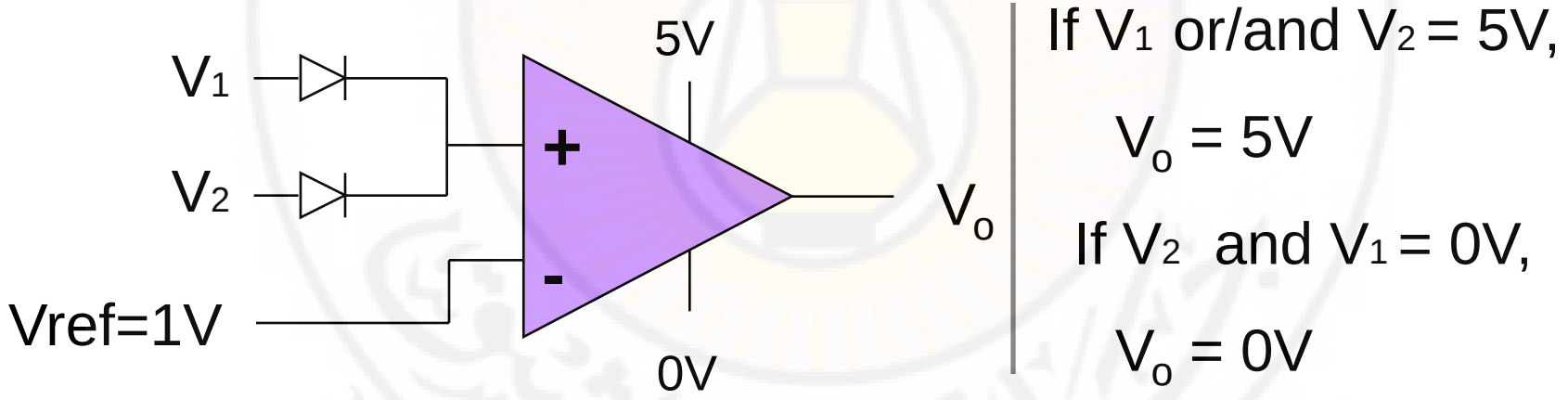


ملاحظة هامة: لا يمكن لإشارة خرج المكبر أن تتجاوز جهد منبع التغذية (عادةً جهد الخرج يكون أقل من جهد التغذية بـ ١ لـ ٢ فولط) و الذي هو أكبر جهد خرج يمكن أن يعطيه :



تطبيق ٢ : بوابة OR

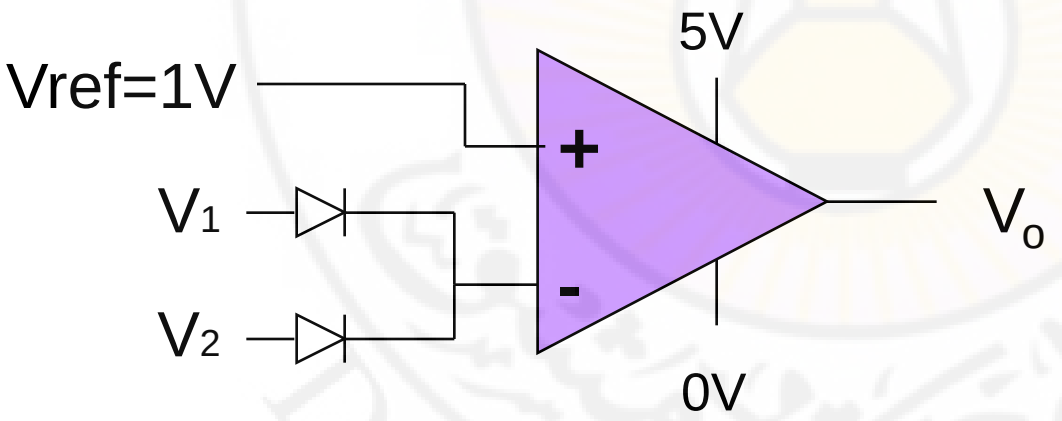
- في هذه البوابة يكون ($+V_{CC}$=5V) و ($-V_{CC}$=0V) و توصل الديودات إلى الدخل الغير عاكس بينما يكون لدينا جهد مرجعي على المدخل العاكس.



ملاحظة: إذا وضعنا بدل الديودين منبع جهد متناوب فإننا سنحصل في الخرج على إشارة مربعة و بذلك نكون قد حولنا الإشارة المتناوبة إلى إشارة مربعة.

تطبيق ٣: بوابة NOR

- نعكس التوصيلات في هذا البوابة، حيث توصل الديودات إلى الدخل العاكس بينما يوصل الجهد مرجعي إلى المدخل الغير عاكس.



If V_1 or/and V_2 = 5V,

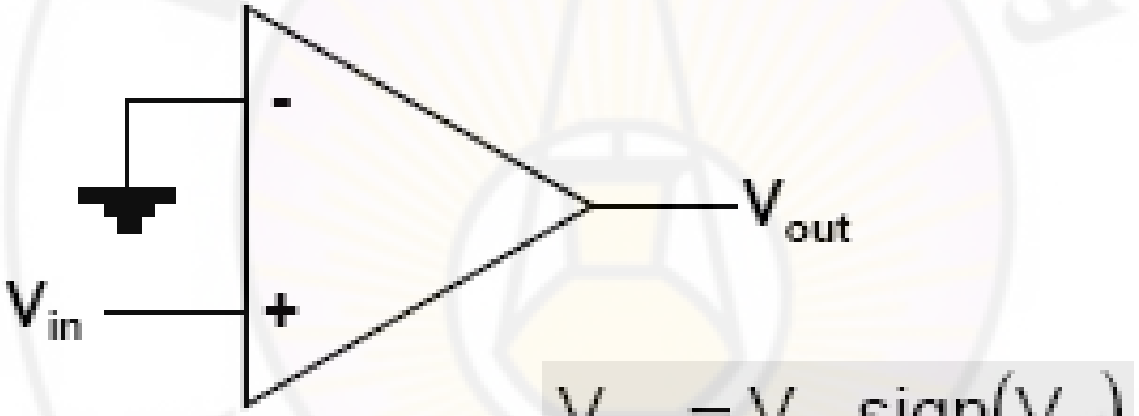
V_o = 0V

If V_2 and V_1 = 0V,

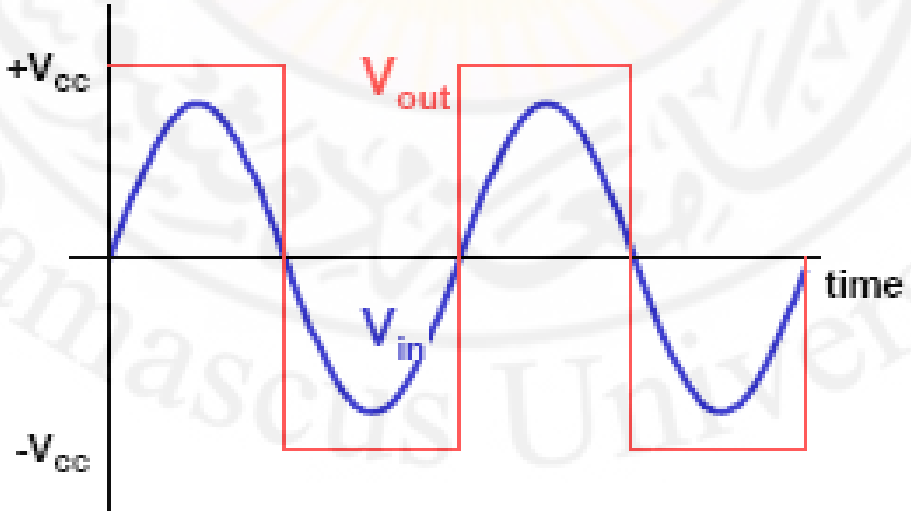
V_o = 5V

تحويل الاشارة المتناوبة إلى مربعة

- حيث نقوم بتحويل الدخل التماثلي إلى رقمي (digitize input) و تسمى أيضاً دارة كاشف العبور بالصفر.



$$V_{out} = V_{CC}\,\mathrm{sign}(V_{in})$$



Controlled Sources

المنابع المتحكم بها

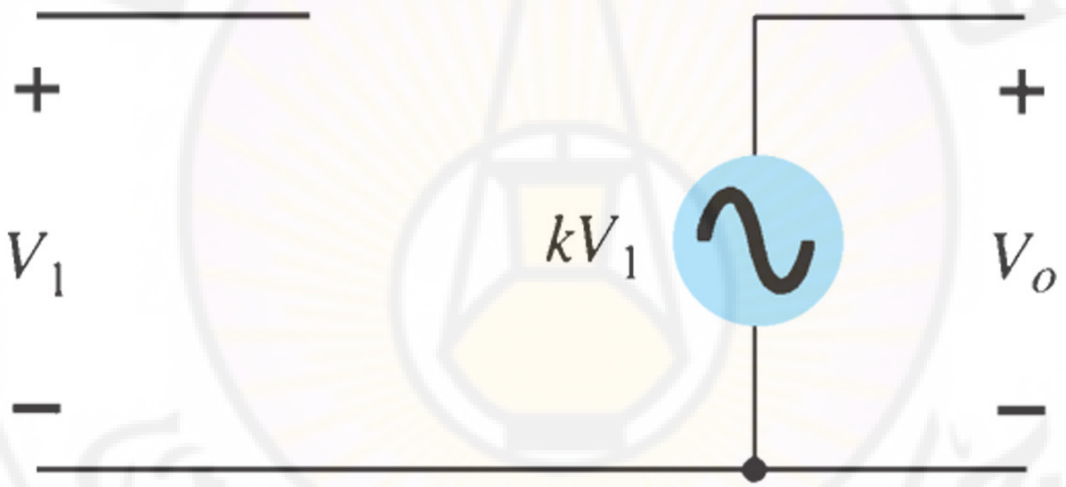
- بالواقع لدينا أربع أنماط من المنابع المتحكم بها و هي:

١. Voltage-controlled voltage source (منبع توتر متحكم بالتوتر)
٢. Voltage-controlled current source (منبع تيار متحكم بالتوتر)
٣. Current-controlled voltage source (منبع توتر متحكم بالتيار)
٤. Current-controlled current source (منبع تيار متحكم بالتيار)

Damascus University

•الدارة المكافئة لمكبر العمليات المثالي في هذه الحالة هي على النحو:

كم بالتوتر)
voltage-c

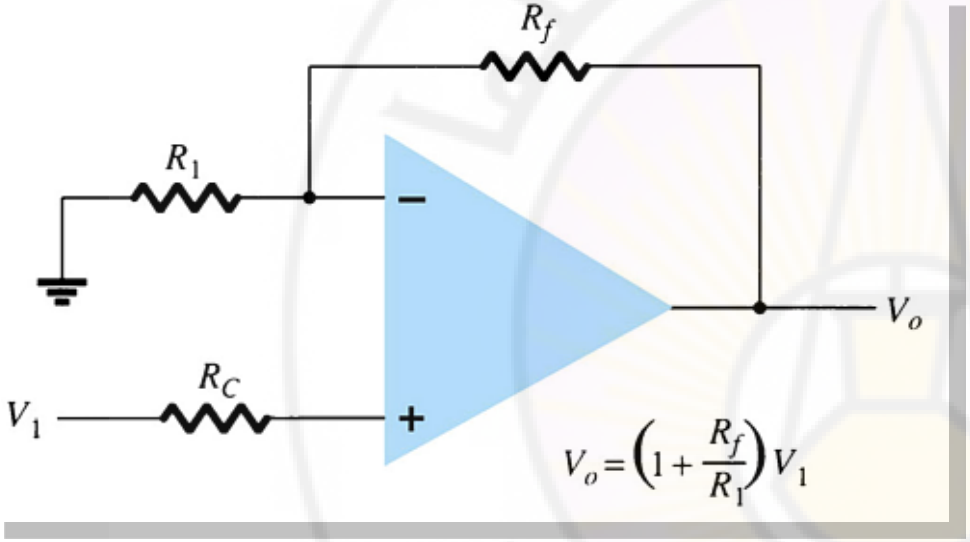


$$V_o = kV_1$$

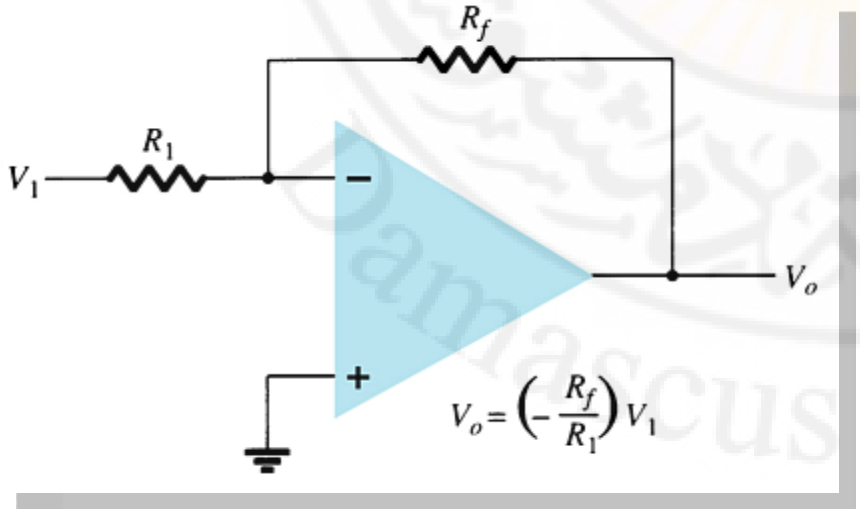
حيث المعامل (k) هو ربح الحلقة المفتوحة (A) و بإهمال مقاومة الخرج $(R_o = 0)$.

Practical voltage-controlled voltage source circuits أمثلة عملية

Noninverting Amplifier Version



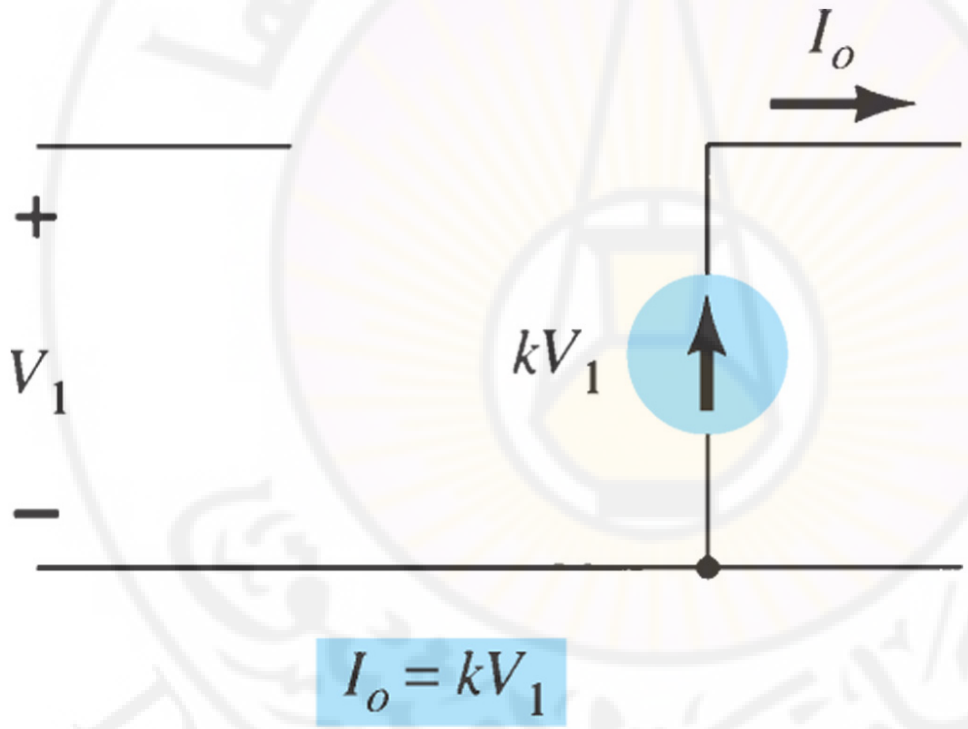
Inverting Amplifier Version



- هنا لدينا كما يظهره الشكل منبع جهد متحكم به من خلال جهد الدخل.
- التشيكلة الموضحة هي لمكبر غير عاكس و آخر عاكس.
- جهد الخرج هو الربح مضروباً بجهد الدخل.
- ما يميز مكبر العمليات عن الآخر هو كيفية حساب ربح و ممانعته و هذا يعتمد بشكل أساسي على المقاومات الخارجية.

(منبع تيار متحكم بالتوتر)
Ideal voltage-controlled current source

- الدارة المكافئة لمكبر العمليات المثالي في هذه الحالة هي على النحو:

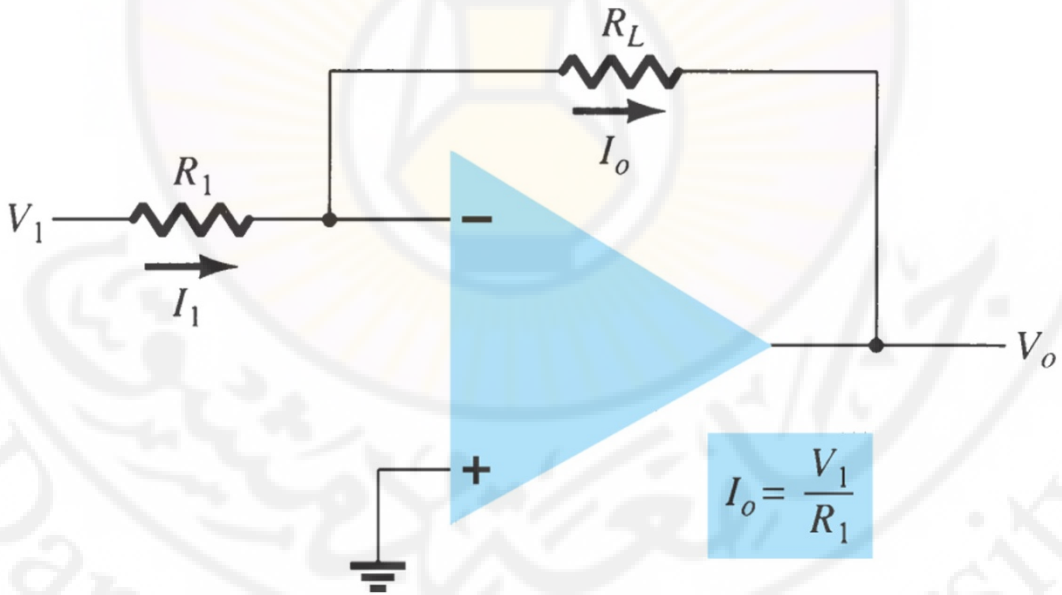


$$I_o = kV_1$$

حيث المعامل (k) هو ناقلية الدارة المكافئة هذه.

Practical voltage-controlled current source

- يمكن رؤية دارة المكبر العاكس على أنها منبع تيار متحكم به من خلال جهد الدخل وفق الشكل.
- **تسمى هذه التشكيلة أيضاً مبدل جهد إلى تيار**
- **(**Voltage-to-current converting configuration**)**

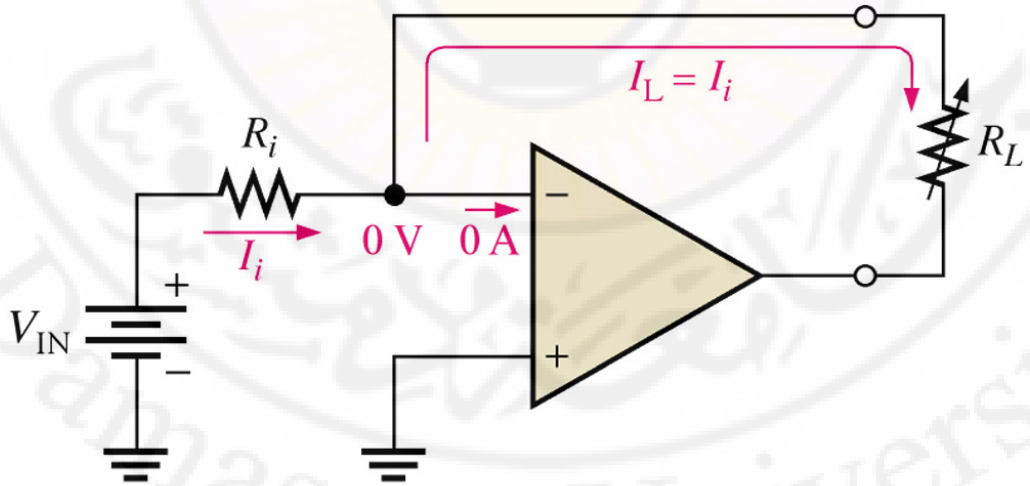


منبع تيار ثابت
Constant-current source

- في منبع التيار الثابت يكون لدينا تيار خرج ثابت مهما تغير الحمل وفق المعادلة:

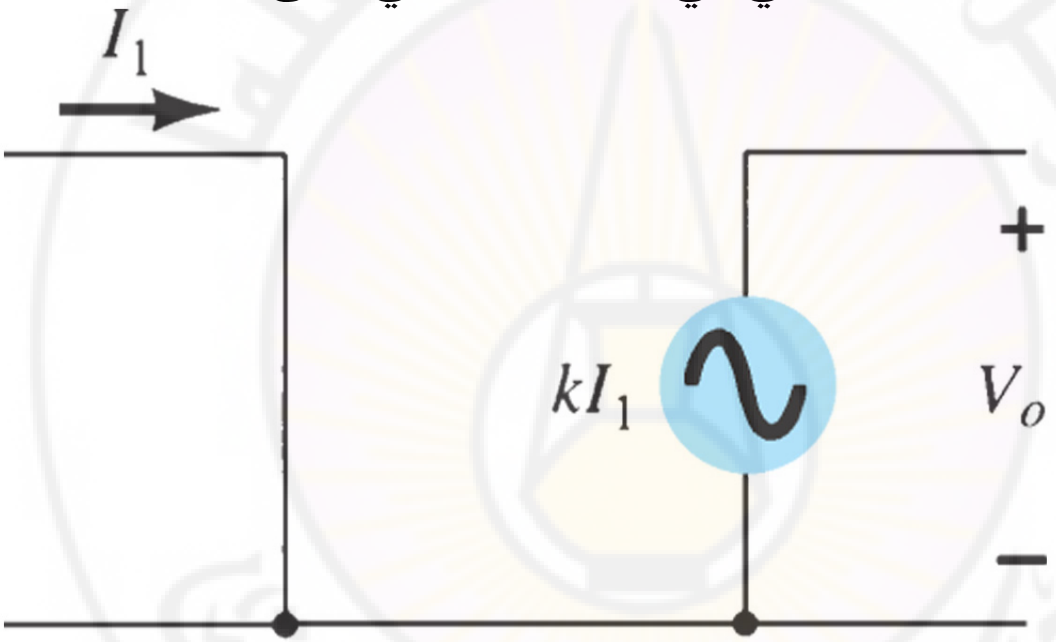
$$I_L = V_{IN} / R_i$$

- عملياً يكون ثبات هذا التيار ضمن مجال محدد مثله مثل ثبات الجهد ضمن مجال تنظيم الجهد سواءاً من خلال ديود زينر أو من خلال أي منظم جهد كما سنرى ذلك في بحث منظمات الجهد في الفصل القادم.



(منبع توتر متحكم بالتيار)
Ideal current-controlled voltage source

- الدارة المكافئة لمكبر العمليات المثالي في هذه الحالة هي على النحو:



$$V_o = kI_1$$

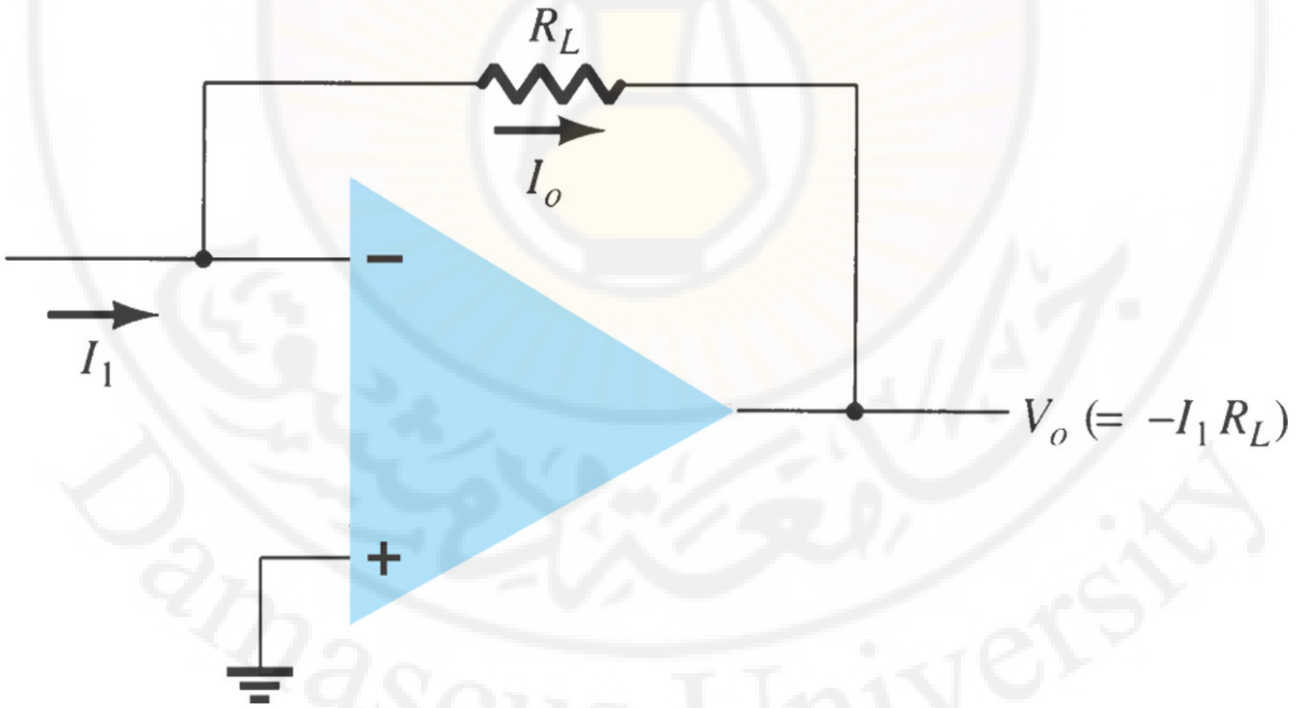
حيث المعامل (k) هو مقاومة الدارة المكافئة هذه.

Damascus University

Practical form of current-controlled voltage source

- يمكن النظر لتشكيلة المكبر العاكس على أنها منبع تيار متحكم به من خلال تيار الدخل وفق الشكل.
- **تسمى هذه التشكيلة أيضاً مبدل تيار إلى جهد**

(Current-to-Voltage converting configuration**)**



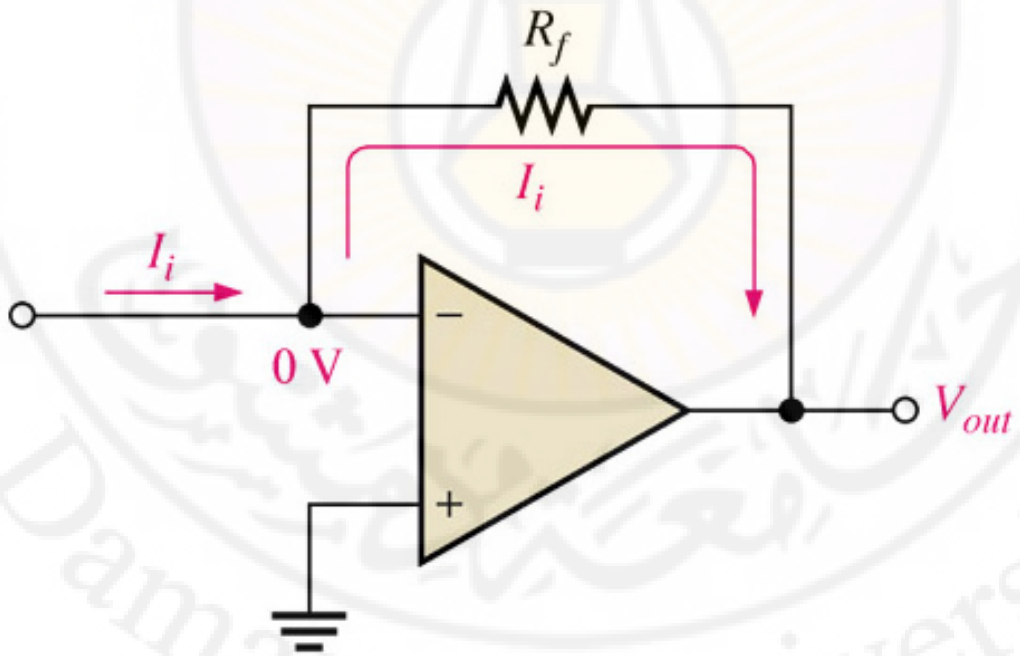
مبدل تيار لتوتر

Current-to-voltage converter

- و هنا نحصل على جهد خرج بالاعتماد على تيار الدخل وفق مايلي:

$$V_{out} = -I_i R_f$$

و بذلك نكون قد حولنا تيار الدخل إلى جهد في الخرج.

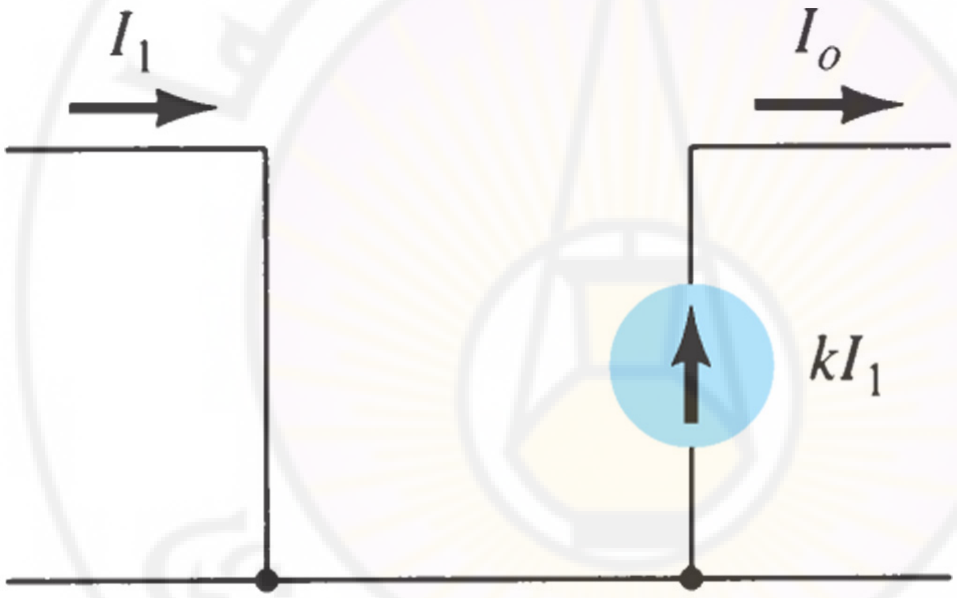


(a) Basic circuit

(منبع تيار متحكم بالتيار)

Ideal current-controlled current source

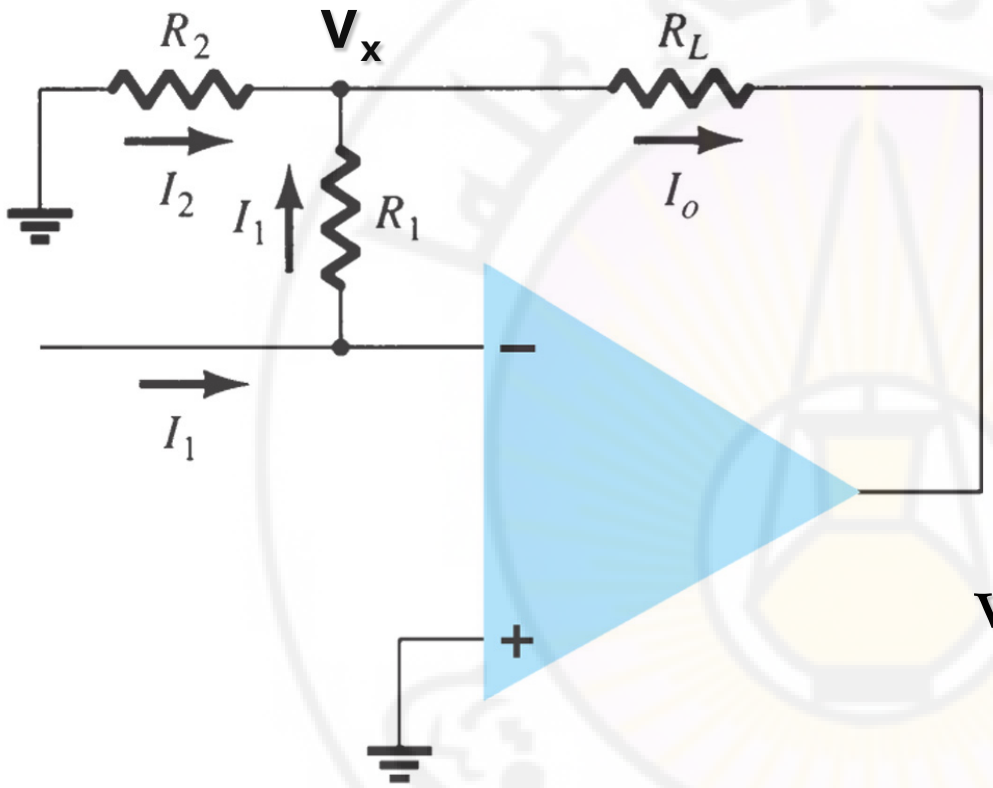
- الدارة المكافئة لمكبر العمليات المثالي في هذه الحالة هي على النحو:



$$I_o = kI_1$$

حيث المعامل (k) هو ربح التيار للدارة المكافئة هذه.

Practical form of current-controlled



- تكون الدارة المكافئة لمنبع التيار المتحكم به من خلال تيار الدخل وفق الشكل.

$$V_x=-I_1.R_1=-I_2.R_2,\ I_2=I_1.\ R_1/R_2$$
$$I_1=I_{in}$$
$$I_o=I_1+I_2=I_1+I_1.R_1/R_2$$
$$I_o=(1+R_1/R_2)\ I_{in}$$

ملاحظة للامتحان: إذا طلب ما هو نمط المنبع المتحكم به لهذه الدارة فكيف نعرفه؟

- إذا أعطيت الدارة فنعرفه من خلال ما هو مذكور في الشكل.
- و إلا فمن خلال المطلوب فعندما يطلب في المسألة مثلاً ربح الجهد فالنمط هو منبع جهد متحكم به بالجهد و عندما يطلب ربح التيار فالنمط هو منبع تيار متحكم به بالتيار و هكذا.

Difference Op-Amp: Common-Mode Operation العمل بالنمط المشترك

- نرى هذا النمط في المكبر الطارح عندما يكون لدينا منبع جهد واحد مطبق على كلا المدخلين. أي نفس الجهد مطبق على كلا مدخلي مكبر العمليات الطارح (أو أن يكون لدينا على كل مدخل منبع لكنهما متساويان).

- مثالياً تكبر إشارة الدخلين بشكل متساوي.

- و عليه فإن جهد الخرج مثالياً يكون معدوم و ذلك نتيجة طرح الجهدين من خلال المكبر الطارح.

- لكن عملياً فإنه يمكن قياس إشارة جهد صغيرة في الخرج.

Common-Mode Operation

- الشيء الملاحظ في المكبر الطارح أنه عند إدخال قيم مختلفة على مدخلي الطارح فإنه يعطي بالخرج قيمة كبيرة لجهد الخرج.
- أما عند النمط المشترك حيث يتساوا المدخلان فإن تكبيره يكون صغير جداً (مثالياً معدوم).
- و من هنا يأتي مفهوم رفض النمط المشترك (Common-Mode Rejection) أي كأن الطارح يرفض التكبير في هذا النمط.

- جهد دخل الطارح هو فرق الجهد بين المدخلين:

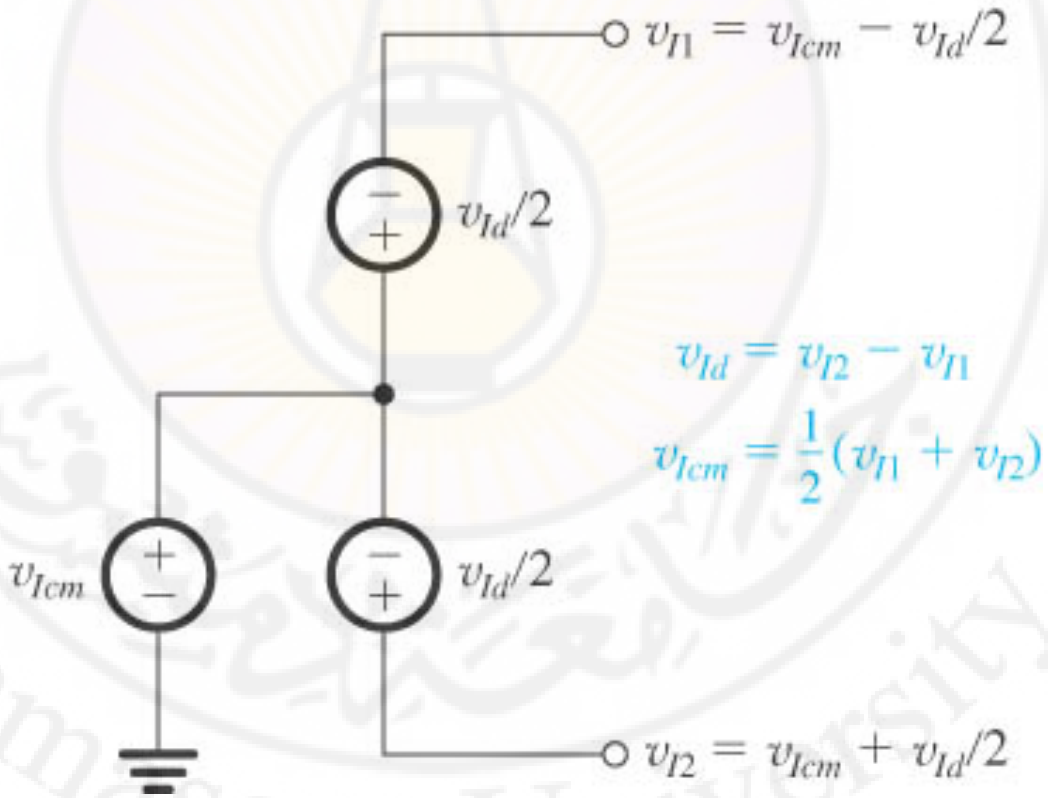
$$V_{id} = V_+ - V_-$$

- أما جهد دخل النمط المشترك فهو متوسط جهد الدخلين :

$$V_{icm} = \frac{1}{2}(V_+ + V_-)$$

المكبر الطارحDifference Amplifier

- يقوم الطارح بطرح إشارتين مطبقتين على مدخله و بالتالي فإنه يلغي (يعدم) كل الإشارات المشتركة بين المدخلين.



Damascus University

Difference Amplifiers

- بشكل عام يعطى جهد خرج مكبر العمليات العملي بالعلاقة:

$$v_o = A_d\ v_{id} + A_{cm}\ v_{icm}$$

- تعطى نسبة رفض النمط المشترك (common-mode rejection ratio (CMRR)) بالعلاقة التالية:

$$CMRR = 20\log\frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

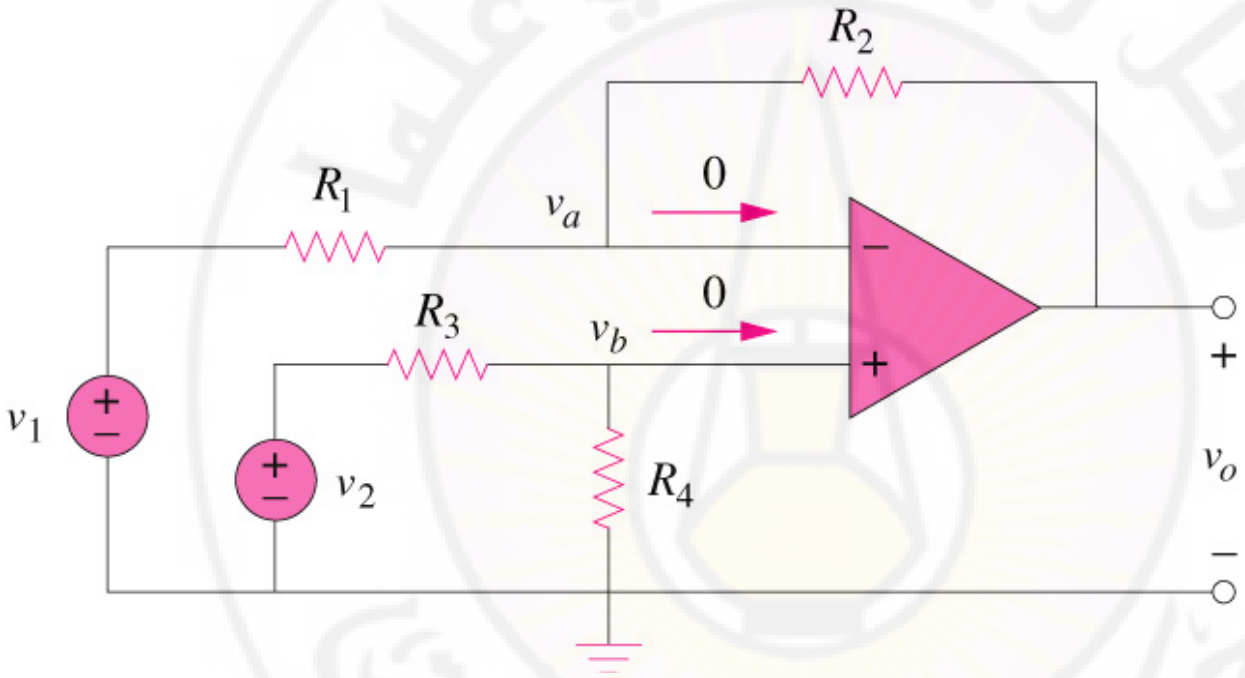
- يستخدم المكبر الطارح في تصميم النظم الالكترونية و خصوصاً تلك المستخدمة في عمليات القياس (instrumentation (instrument circuits).
- **ملاحظة:** يكبر مضخم العمليات الإشارات المستمرة و المتناوبة أي يمكن تشبيه مكبر العمليات بمرشح تمرير منخفض (Low Pass Filter: LPF). هذا عند وجود المقاومات فقط و بإدخال المكثفات فإن نوع المرشح يختلف كما سنرى لاحقاً.

A Single Op-Amp Difference Amplifier

- لنقم بحساب مايلي: ربح الطارح، ربح النمط المشترك و كذلك مقاومة دخل الطارح.
- وجدنا أن ربح المكبر الغير عاكس هو: $1+\frac{R_2}{R_1}$
- و أن ربح المكبر العاكس هو: $-\frac{R_2}{R_1}$
- للحصول على نفس الربح، يجب تخميد إشارة الدخل الغير عاكس (ربح المكبر الغير عاكس) لتخفيض الربح من $1+\frac{R_2}{R_1}$ إلى $\frac{R_2}{R_1}$. و بذلك يكون (ربح) كلا الدخلين متساويين (حالة النمط المشترك).

A Single Op-Amp Difference Amplifier

- كنا قد وجدنا أن ربح المكبر الطارح يعطي بالعلاقة:



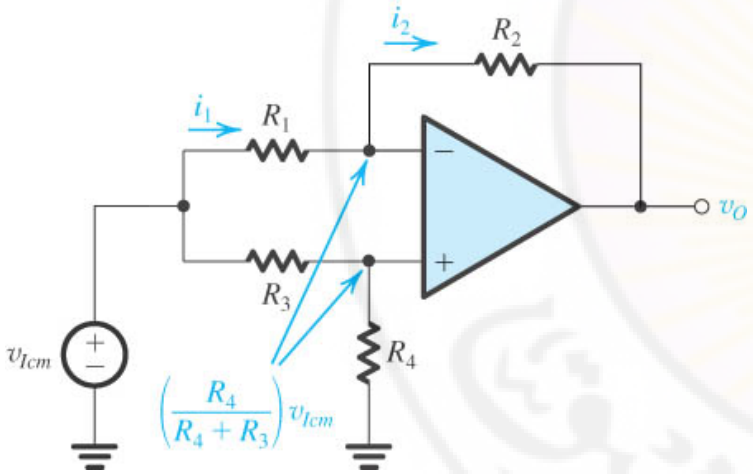
$$v_o = \frac{R_2(1+R_1/R_2)}{R_1(1+R_3/R_4)}v_2 - \frac{R_2}{R_1}v_1 \Rightarrow v_o = v_2 - v_1 \text{ , if } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} = 1, A_d = 1$$

$$\text{but if } R_1 = R_3 \text{ and } R_2 = R_4 \text{ so } v_o = R_2/R_1\ (V_2 - V_1) = A_d(V_2 - V_1)$$

$$\text{Differential Mode Gain : } A_d = R_2/R_1$$

A Single Op-Amp Difference Amplifier (4)

- أما ربح النمط المشترك فيمكن أن يحسب على النحو:



$$i_1 = \frac{1}{R_1}\left[v_{ICm} - \frac{R_4}{R_4+R_3}v_{ICm}\right] \quad , i1=(V_{icm}-V^+)/R_1$$

$$i_1 = v_{ICm}\left[\frac{R_3}{R_1\left(R_4+R_3\right)}\right] = i_2$$

$$v_O = \frac{R_4}{R_4+R_3}v_{ICm} - i_2 R_2 \qquad V^-\text{-}Vo=i2.R_2$$

$$v_O = \frac{R_4}{R_4+R_3}v_{ICm} - v_{ICm}\left[\frac{R_3}{R_1\left(R_4+R_3\right)}\right]R_2$$

$$v_O = \frac{R_4}{R_4+R_3}\left(1 - \frac{R_3}{R_4}\frac{R_2}{R_1}\right)v_{ICm}$$

$$A_{Cm} = \frac{v_O}{v_{ICm}} = \frac{R_4}{R_4+R_3}\left(1 - \frac{R_3}{R_4}\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$For\ R_1 = R_3\ and\ R_2 = R_4,\ A_{Cm} = 0$$

النتيجة: يجب إختيار قيم المقاومات و نسبها بشكل مناسب حتى يكون (A_{cm}=0) و إلا سيكون له قيمة ما.

Op-Amp Specifications—DC Offset Parameters

جهد الازاحة في الخرج (output offset voltage): هو الجهد الذي يظهر في خرج مكبر العمليات عند جهد دخل قيمته الصفر و مايلي يمكن أن يسبب جهد الازاحة هذا:

- جهد إزاحة الدخل (Input offset voltage).
- تيار إزاحة الدخل (Input offset current) الناجم عن الفرق بين تيار الدخل الموجب و تيار الدخل السالب.
- جهد إزاحة الدخل (Input offset voltage) و تيار إزاحة الدخل (input offset current) معاً.
- تيار انحياز الدخل (Input bias current)

- **ملاحظة:** تعطى كل البارامترات هذه و غيرها من البارامترات في مواصفات مكبر عمليات (data sheet).

Electrical Characteristics

TABLE 14.2 μA741 Electrical Characteristics: $V_{CC} = \pm 15$ V, $T_A = 25°C$

Characteristic	*MIN*	*TYP*	*MAX*	*Unit*
V_{IO} Input offset voltage		1	6	mV
I_{IO} Input offset current		20	200	nA
I_{IB} Input bias current		80	500	nA
V_{ICR} Common-mode input voltage range	±12	±13		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	±12	±14		V
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	20	200		V/mV
r_i Input resistance	0.3	2		MΩ
r_o Output resistance		75		Ω
C_i Input capacitance		1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	70	90		dB
I_{CC} Supply current		1.7	2.8	mA
P_D Total power dissipation		50	85	mW

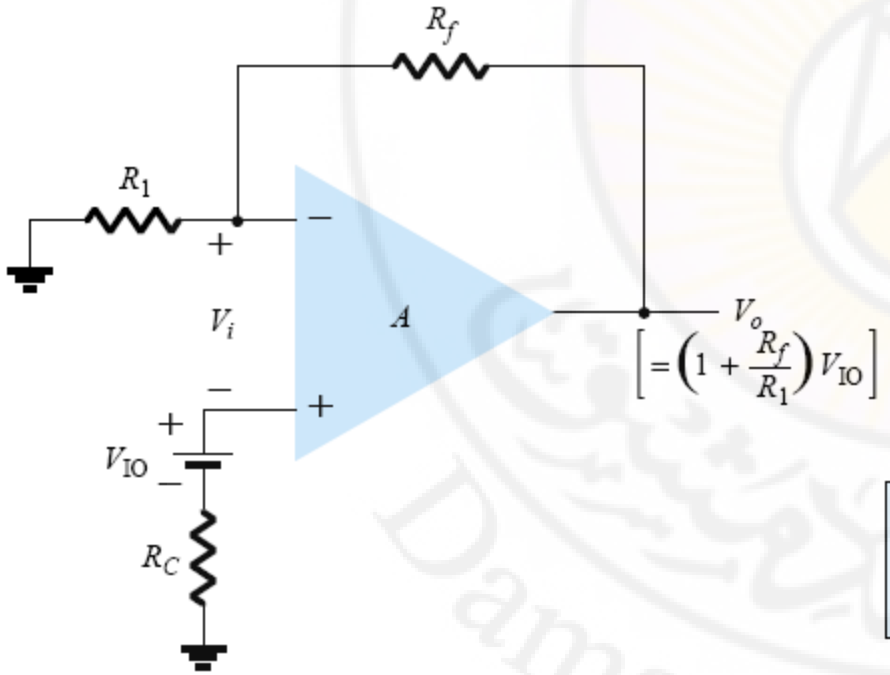
- يوضح الجدول قيم الخصائص الكهربائية من أجل شروط معينة للدارة. و هذه القيم تتضمن قيم أصغرية (MIN)، قيم أعظيمة (MAX) و قيم نموذجية (TYP (typical)) وهذه الأخير هى التى نعتبرها فى حل المسائل.

75

Input Offset Voltage (V_{IO})

- عند إنعدام دخل مكبر العمليات لا ينعدم الخرج و لذلك يُعرف جهد ازاحة الدخل على أنه الجهد اللازم تطبيقه بين المدخل العاكس و المدخل الغير العاكس ليكون الخرج معدوماً. تتم معالجته من خلال إضافة مقاومة تعيير خارجية وفق المواصفات المعطاة للمكبر.

- يحسب أثر (effect) جهد إزاحة الدخل على الخرج وفق العلاقة:



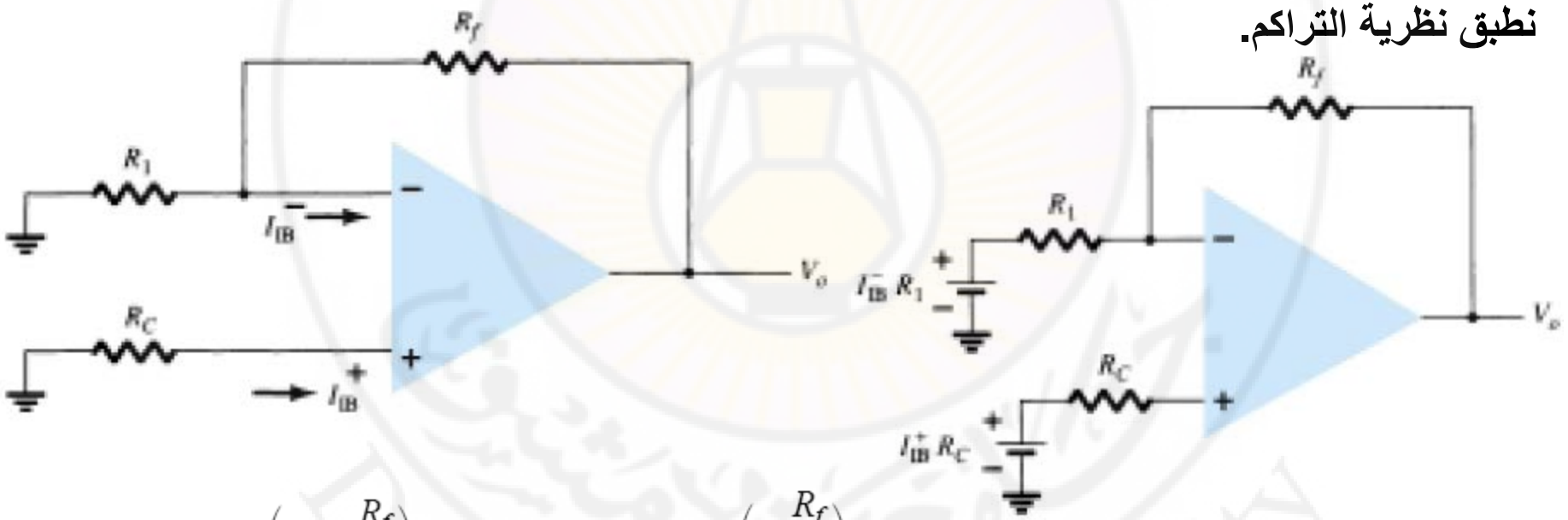
$$V_o = AV_i = A(V^+ - V^-)$$

$$V_o(\text{offset}) = V_{IO}\frac{R_1 + R_f}{R_1} = V_{IO}\left(1+\frac{R_f}{R_1}\right)$$

- لاحظ أن جهد إزاحة الخرج قد تكبر بنفس ربح مكبر العمليات الغير عاكس و عليه فإن زيادة نسبة المقاومات هذه تزيد ربح الحلقة المغلقة من جهة و لكنها أيضاً تزيد من جهد الإزاحة في نفس الوقت.

Output Offset Voltage Due to Input Offset Current (I_{IO})

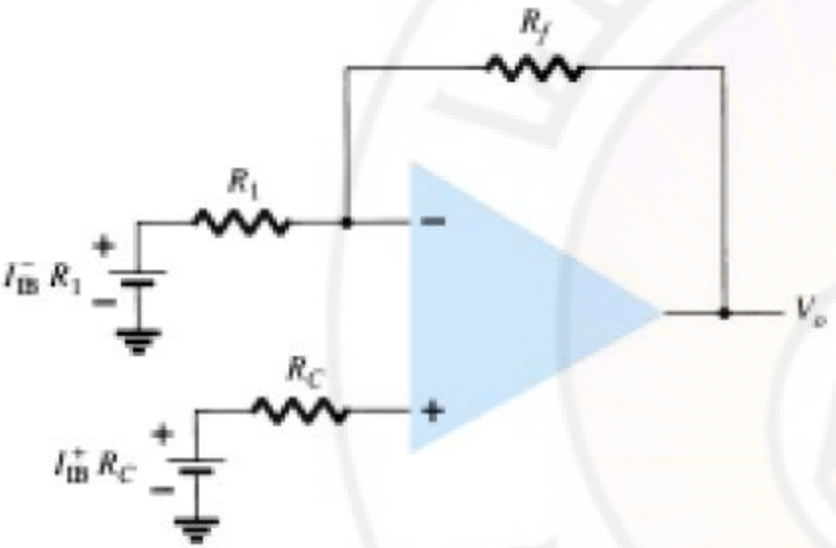
- عندما يكون هناك فرق بين تيارات الانحياز المستمرة (dc bias currents) في المدخلين العاكس و غير العاكس، حيث لايمكن أن يكون ترانزستوري الدخل متماثلين تماماً، وبالتالي كل منهما سيكون له تيار مختلف قليلاً عن الآخر، بالتالي سيسبب هذا جهد إزاحة في الخرج. عدا ذلك فإنه لابد أن يكون هناك تيارات دخل صغيرة وإلا فلن يعمل ترانزستوري الدخل و هذه التيارات تسبب أخطاء في شبكة التغذية الخلفية والحل هو أن تكون مقاومة التغذية الخلفية أقل من (10kΩ).
- لحساب جهد الازاحة هنا يتم تبديل تيارات الازاحة مع مقاومات الدخل بمنابع جهد وفق الشكل ثم نطبق نظرية التراكم.



$$V_o^+ = I_{IB}^+ R_C\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \qquad V_o^- = I_{IB}^- R_1\left(-\frac{R_f}{R_1}\right)$$

$$V_o(\text{offset due to } I_{IB}^+ \text{ and } I_{IB}^-) = I_{IB}^+ R_C\left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) - I_{IB}^- R_1\frac{R_f}{R_1}$$

Output Offset Voltage Due to Input Offset Current (I_{IO})



- بما أن الاعتبار الرئيسي هو الفرق بين تيارات انحياز الدخل أكثر من قيمة كل منهم فإن تيار إزاحة الدخل يعرف وفق:

$$I_{IO} = I_{IB}^+ - I_{IB}^-$$

- غالباً ما تكون مقاومة التعويض (التعيير) (compensating resistance) (R_C) مساوية للمقاومة (R_1) بالتالي:

$$V_o(\text{offset}) = I_{IB}^+(R_1 + R_f) - I_{IB}^- R_f$$

$$= I_{IB}^+ R_f - I_{IB}^- R_f = R_f (I_{IB}^+ - I_{IB}^-)$$

- نهمل الحد ($I^+_{IB} R_1$) باعتبار مقاومة التغذية الخلفية (R_f) أكبر بكثير من (R_1).

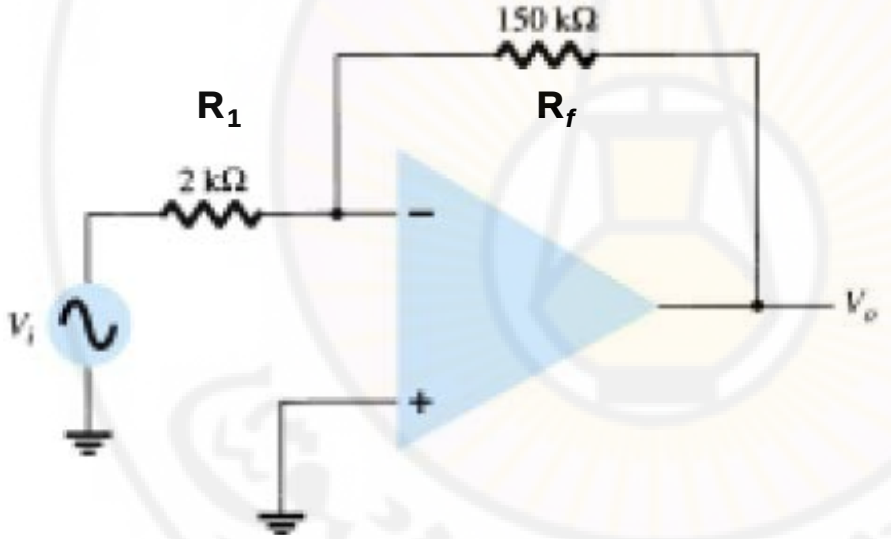
$$V_o(\text{offset due to } I_{IO}) = I_{IO} R_f$$

لاحظ أن جهد إزاحة الخرج الناتج عن تيار إزاحة الدخل يتناسب طرداً مع مقاومة التغذية الخلفية و التي بزيادتها أيضاً يزداد الربح.

Input Offset Voltage (V_{IO})

مثال ١:

احسب جهد إزاحة الخرج الناتج عن جهد إزاحة الدخل ثم الناتج عن تيار إزاحة الدخل و ذلك للدارة المبينة حيث جهد إزاحة الدخل V_{IO}=1.2mV و تيار إزاحة الدخل I_{IO}=100nA



$$V_o(\text{offset}) = V_{IO}\frac{R_1 + R_f}{R_1} = (1.2\text{ mV})\left(\frac{2\text{ k}\Omega + 150\text{ k}\Omega}{2\text{ k}\Omega}\right) = \mathbf{91.2\text{ mV}}$$

$$V_o = I_{IO}\,R_f = (100\text{ nA})(150\text{ k}\Omega) = \mathbf{15\text{ mV}}$$

Total Offset Due to V_{IO} and I_{IO}

- يمكن لمكبر العمليات أن يكون له جهد إزاحة في الخرج ناتج عن كلا المعاملين (V_{IO} and I_{IO}).
- و يكون جهد إزاحة الخرج الكلي هو مجموع الاثنين وفق:

$$V_o(\text{offset}) = V_o(\text{offset due to } V_{IO}) + V_o(\text{offset due to } I_{IO})$$

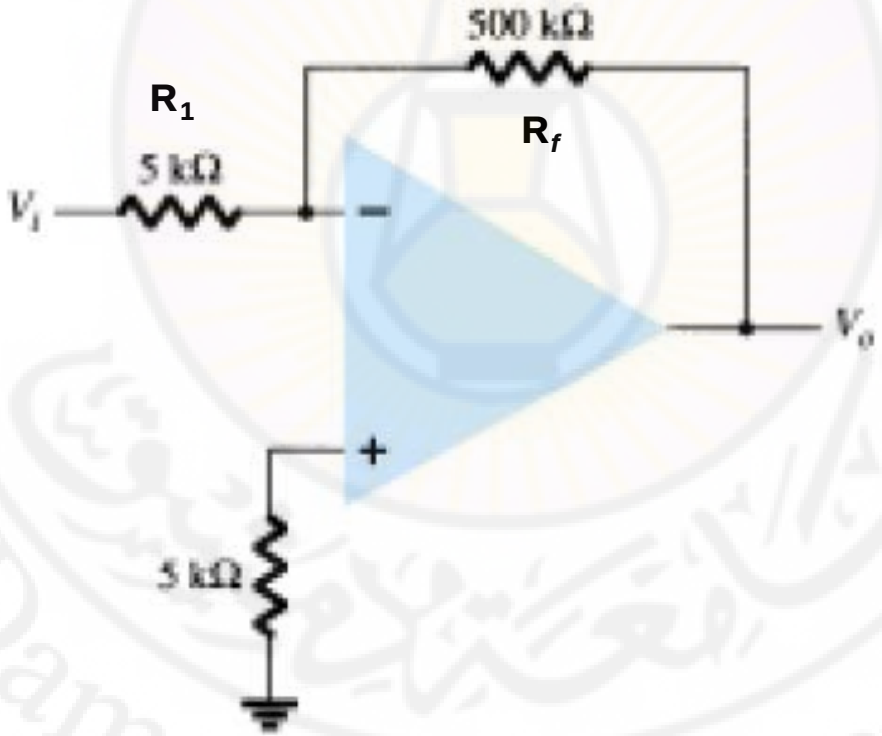
- عادةً ماتحسب هذه القيم بالقيمة المطلقة (عند وجود قيم سالبة) وفق:

$$|V_o(\text{offset})| = |V_o(\text{offset due to } V_{IO})| + |V_o(\text{offset due to } I_{IO})|$$

Total Offset Due to V_{IO} and I_{IO}

مثال ٢:

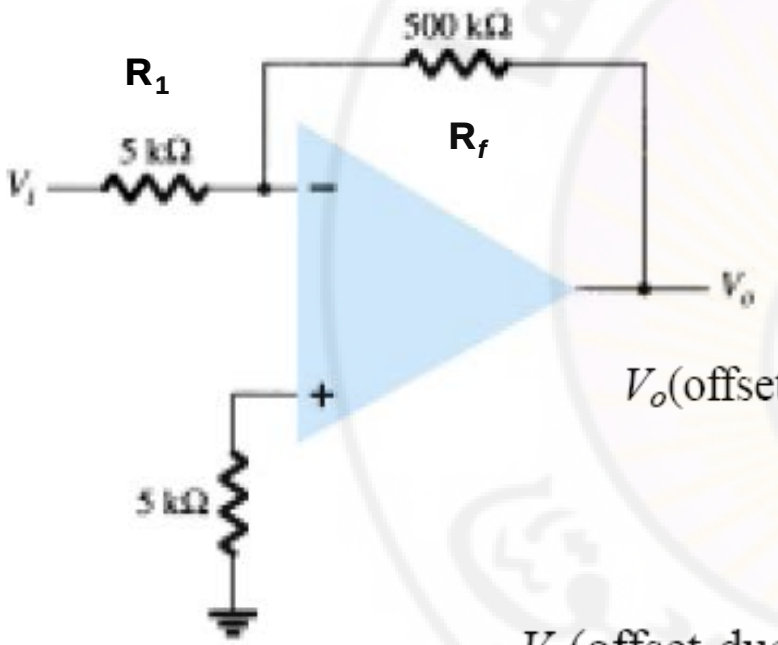
احسب جهد الازاحة الكلي لجهد الخرج للدارة المبينة إذا علمت أن قيم جهد إزاحة الدخل و تيار إزاحة الدخل تعطى وفق: $V_{IO}=4mv, I_{IO}=150nA$



Total Offset Due to V_{IO} and I_{IO}

مثال ٢:

احسب جهد الازاحة الكلي لجهد الخرج للدارة المبينة إذا علمت أن قيم جهد إزاحة الدخل و تيار إزاحة الدخل تعطى وفق: V_{IO}=4mV, I_{IO}=150nA



$$V_o(\text{offset due to } V_{IO}) = V_{IO}\frac{R_1 + R_f}{R_1} = (4\text{ mV})\left(\frac{5\text{ k}\Omega + 500\text{ k}\Omega}{5\text{ k}\Omega}\right)$$

$$= 404\text{ mV}$$

$$V_o(\text{offset due to } I_{IO}) = I_{IO}R_f = (150\text{ nA})(500\text{ k}\Omega) = 75\text{ mV}$$

$$V_o(\text{total offset}) = V_o(\text{offset due to } V_{IO}) + V_o(\text{offset due to } I_{IO})$$

$$= 404\text{ mV} + 75\text{ mV} = \mathbf{479\text{ mV}}$$

Input Bias Current (I_{IB})

- يتعلق تيار إنحياز الدخل (**input bias current**) (I_{IB}) بتيار إزاحة الدخل (I_{IO}).
- تقسم تيارات إنحياز الدخل إلى قسمين منفصليين وفق:

$$I_{IB}^{+} = I_{IB} + \frac{I_{IO}}{2} \qquad I_{IB}^{-} = I_{IB} - \frac{I_{IO}}{2}$$

- و بالتالي فإن: $I_{IB}^{+} > I_{IB}^{-}$
- ويعطى تيار إنحياز الدخل الكلي كمتوسط لهما وفق:

$$I_{IB} = \frac{I_{IB}^{-} + I_{IB}^{+}}{2}$$

مثال ٣:

احسب تيارات إنحياز الدخل لكل مدخل من مداخل مكبر عمليات له المواصفات التالية:

I_{IO}=5nA and I_{IB}=30nA

$$I_{IB}^{+} = I_{IB} + \frac{I_{IO}}{2} = 30\ \text{nA} + \frac{5\ \text{nA}}{2} = \mathbf{32.5\ nA}$$

$$I_{IB}^{-} = I_{IB} - \frac{I_{IO}}{2} = 30\ \text{nA} - \frac{5\ \text{nA}}{2} = \mathbf{27.5\ nA}$$

Absolute Ratings

- توجد لمكبر العمليات معدلات أعظمية عامة وفق الجدول المبين:

TABLE 14.1 Absolute Maximum Ratings

Supply voltage	±22 V
Internal power dissipation	500 mW
Differential input voltage	±30 V
Input voltage	±15 V

- عادةً ما تكون قيمة جهد التغذية المستمرة (±15V) و لكن المجال الخطي فيها (±13V) و عند تقليل جهد التغذية هذا فإن ذلك سيقلل المجال الخطي ، و لايمكن أن تكون جهود التغذية أقل من (4V) و إلا فإن العناصر الداخلية الموجودة في مكبر العمليات لن تعمل.

Absolute Ratings

مثال ٨:

حدد قيمة التيار المستجر من وحدة التغذية المضاعفة (±12V)، إذا علمت أن الدارة المتكاملة تستهلك استطاعة قدرها (50 mW).

- **على اعتبار أن لمكبر العمليات منبعي جهد مستقلين فكل منبع منهما يستهلك استطاعة قدرها:**

$$P_{Vcc} = P_{total} / 2 = 25mW$$

- **وعليه يحسب التيار المستجر من كل منبع وفق:**

$$P_{Vcc} = V_{cc} I_{cc} \Rightarrow I_{cc} = \frac{P_{Vcc}}{V_{cc}}$$

$$I_{cc} = \frac{25\ mW}{12\ V} = 2.83\ mA$$

Electrical Characteristics

TABLE 14.2 μA741 Electrical Characteristics: $V_{CC} = \pm 15$ V, $T_A = 25°C$

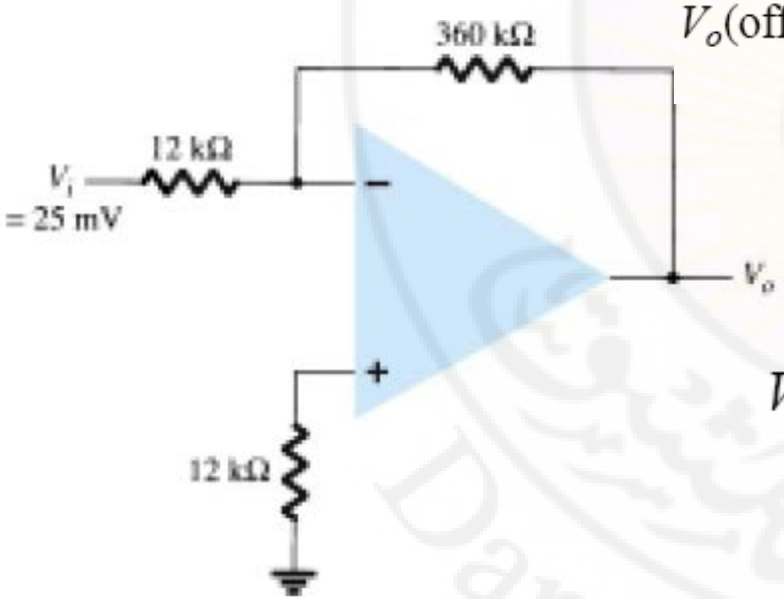
Characteristic	*MIN*	*TYP*	*MAX*	*Unit*
V_{IO} Input offset voltage		1	6	mV
I_{IO} Input offset current		20	200	nA
I_{IB} Input bias current		80	500	nA
V_{ICR} Common-mode input voltage range	±12	±13		V
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	±12	±14		V
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	20	200		V/mV
r_i Input resistance	0.3	2		MΩ
r_o Output resistance		75		Ω
C_i Input capacitance		1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	70	90		dB
I_{CC} Supply current		1.7	2.8	mA
P_D Total power dissipation		50	85	mW

- يوضح الجدول قيم الخصائص الكهربائية من أجل شروط معينة للدارة. و هذه القيم تتضمن قيم أصغرية (MIN)، قيم أعظيمة (MAX) و قيم نموذجية (TYP (typical)) وهذه الأخير هى التى نعتبرها فى حل المسائل.

Electrical Characteristics

مثال ٩:

باستخدام الجدول السابق، احسب القيمة النموذجية لجهد إزاحة الخرج الناتج عن جهد و تيار إزاحة الدخل للدارة المبينة (مكبر العمليات 741).

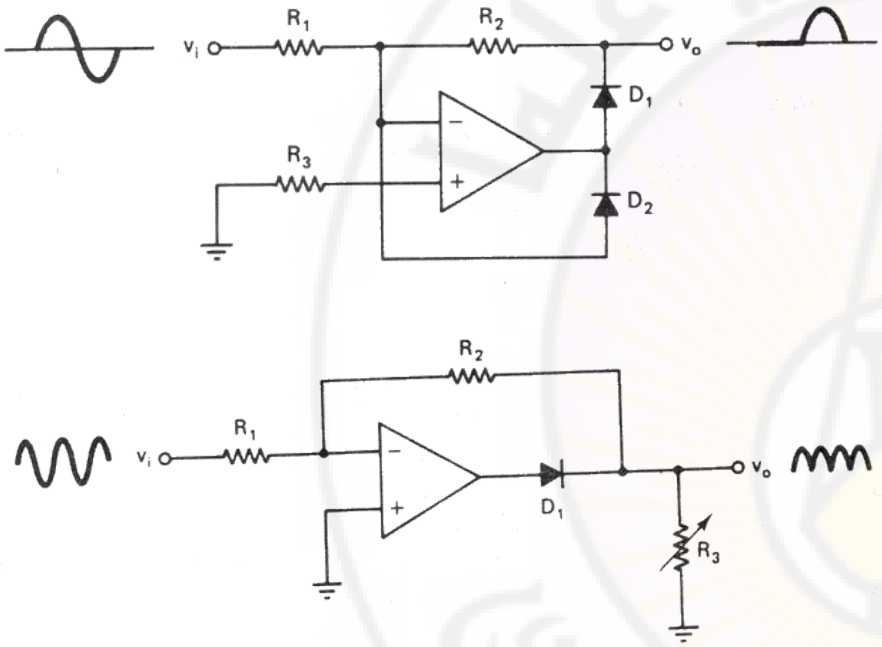


$$V_o(\text{offset}) = V_{IO}\frac{R_1 + R_f}{R_1} = (1\text{ mV})\left(\frac{12\text{ k}\Omega + 360\text{ k}\Omega}{12\text{ k}\Omega}\right) = 31\text{ mV}$$

$$V_o(\text{offset}) = I_{IO}R_f = 20\text{ nA}(360\text{ k}\Omega) = 7.2\text{ mV}$$

$$V_o(\text{offset}) = 31\text{ mV} + 7.2\text{ mV} = \mathbf{38.2\text{ mV}}$$

Limiters + Active Rectifiers
تطبيق ١: المقومات و المحددات



- **مقوم نصف موجة دقيق فعال (Precision Half Wave Rectifier).**
- +pulse: D1, D2 on, short circuit in output so V_o=0V
- -pulse: D2 off, D1 on, inverting op-amp, Vo=-(R_2/R_1) Vi
- **مقوم موجة كامل دقيق فعال (Precision Full Wave Rectifier).**
- +pulse: D1 off, V_o= -I R2
- -pulse: D1 on, inverting op-amp, Vo=-(R_2/R_1) Vi

Passive Filters
المرشحات الغير فعالة

- **الدارات الغير فعالة (Passive Circuits) :**
  - تحتوي على عناصر غير فعالة: مقاومات، مكثفات، وشائع (ملفات).
  - أمثلة: جسر التقويم (المقوم الجسري bridge rectifier)، مقسم (مجزئ) الجهد، المرشحات (الفلاتر).

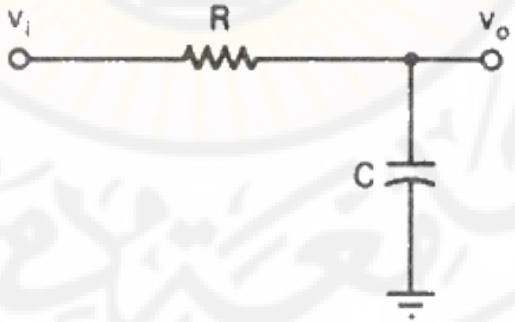
- **المرشحات (الفلاتر):**
  - تمرر فقط الاشارات المرغوب بها و تمنع مرور (تحذف) الإشارات الغير مرغوب بها.
  - أنواعها: مرشحات التمرير المنخفض (Low Pass Filters)، مرشحات التمرير المرتفع (High Pass Filters)، مرشحات تمرير الحزمة (Band Pass Filters)، مرشحات حذف الحزمة (Band Stop (Reject) Filters)....إلخ.

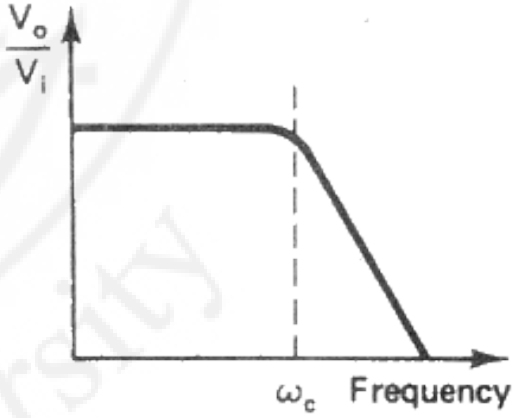
Passive first-order Low pass Filter
مرشح تمرير منخفض من الدرجة الأولى غير الفعال

- يمرر الإشارات ذات التردد المنخفض و يمنع مرور الاشارات ذات التردد العالي (الإشارات الغير مرغوبة).
- لاحظ أن دارة مرشح التمرير المنخفض هي نفسها دارة المكامل لكن هنا ندرسه في المجال الترددي.

$$V_o = V_C = I.Xc = I\ (1/jWC)$$
$$V_i = V_R + V_C = I\ (R + 1/jWC)$$
$$W = 0,\ V_o / V_i = 1$$

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

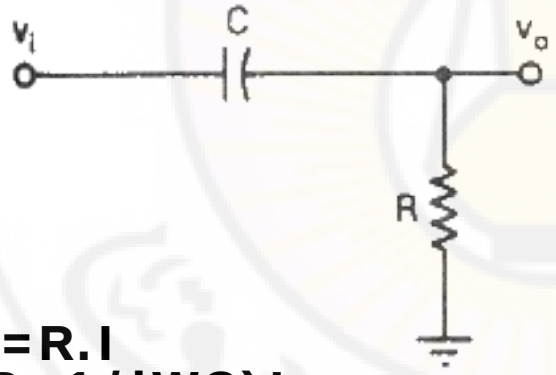


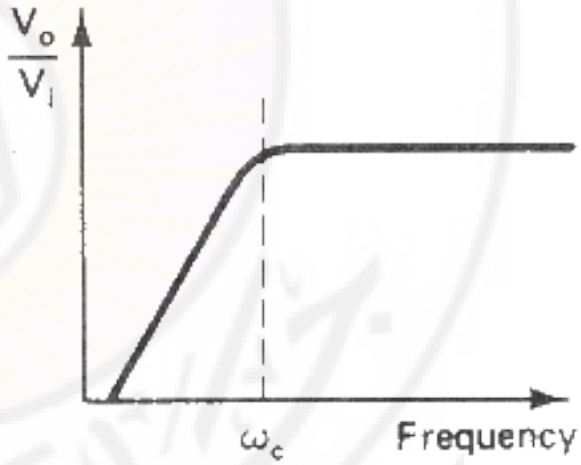


$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}, \quad \tau = RC$$

Passive first-order High pass Filter
مرشح تمرير عالي من الدرجة الأولى غير الفعال

- و هذا المرشح عكس المرشح السابق يمرر الإشارات ذات التردد العالي و يمنع مرور الإشارات ذات التردد المنخفض.
- و هو المفاضل في مجال الزمن و مرشح تمرير عالي (مرتفع) في مستوى الترددي.





$$V_o = V_R = R.I$$
$$V_i = V_R + V_C = (R + 1/jWC)\,I$$
$$V_o / V_i = R/(1 + jWC)$$
$$W = 0,\ V_o / V_i = 0$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}, \quad \tau = RC$$

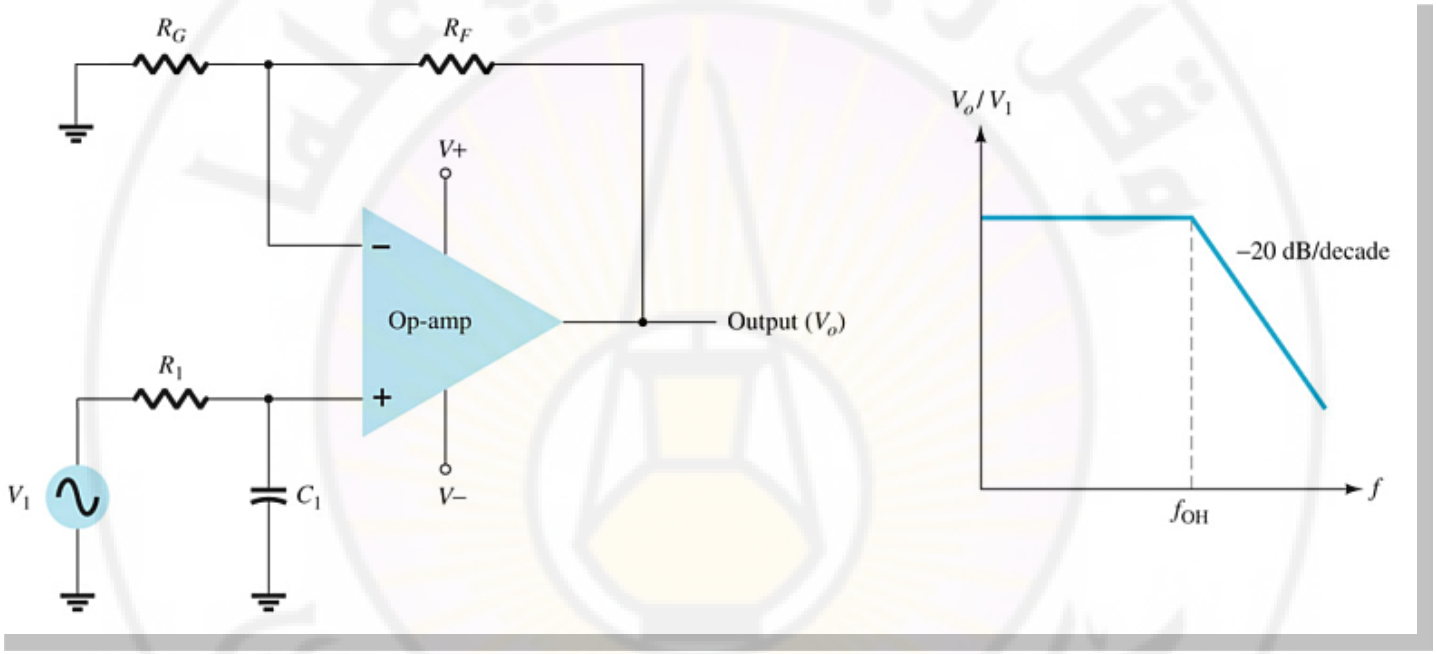
Active Filters

تطبيق ٢ : المرشحات الفعالة

- المرشح الفعال هو مرشح بوجود مكبر العمليات و سمى بالفعال كونه يكبر الاشارة.
- إن إضافة المكثفات لدارة مكبر العمليات يسمح لنا بالتحكم بترددات القطع للمرشح (cutoff frequencies) الذي تمثله للدارة.
- للمرشح الفعال نفس استجابة المرشح الغير فعال لكن مقاومة دخله عالية (لايستجر تيار كبير) و مقاومة خرجه منخفضة ناهيك أنه فعال.
- عادةً ما يستخدم المكثف بدل الملف للابتعاد عن التحريض الناجم عنه.
- يتم التحكم بربح المرشح الفعال من خلال إختيار قيم مناسبة لعناصر الدارة (المقاومات و المكثفات).
- من أشهر المرشحات الفعالة كما في حال المرشحات غير الفعالة وهي:

- Low-pass filter
- High-pass filter
- Bandpass filter

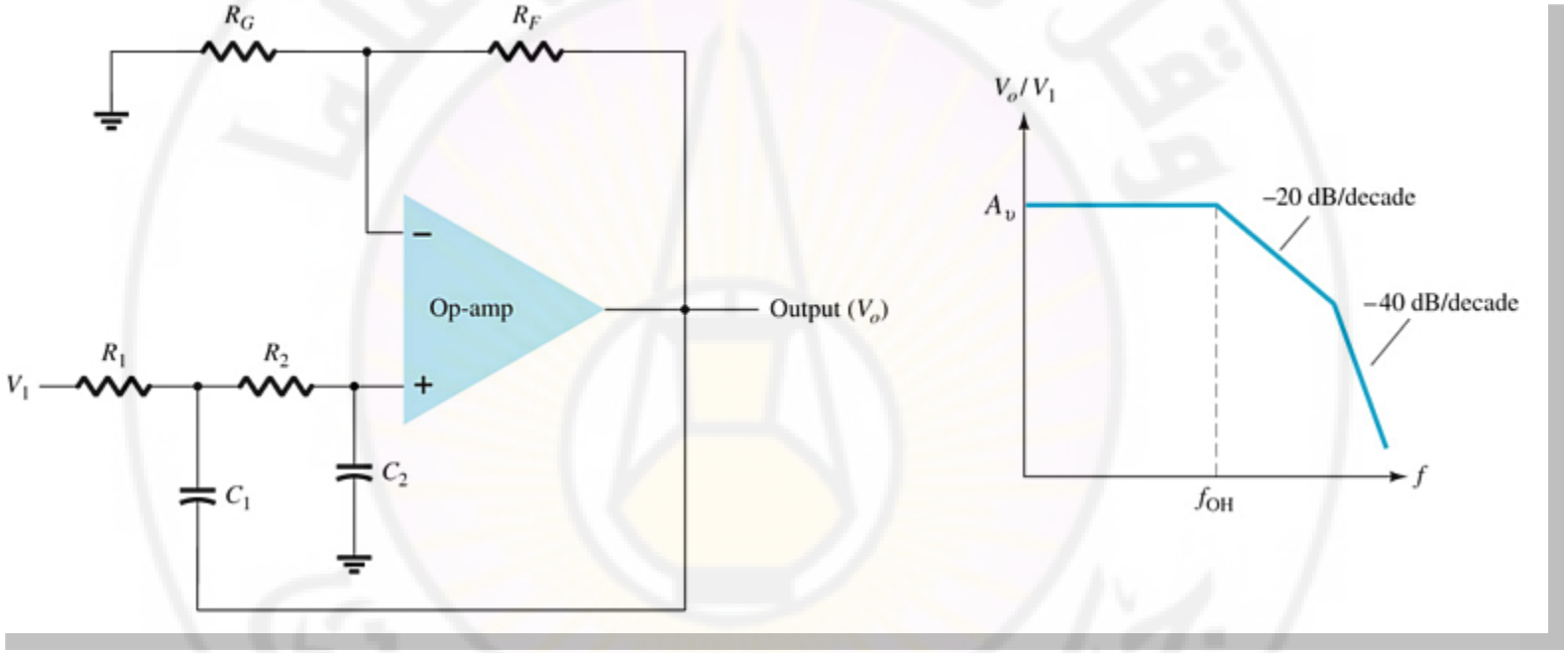
Low-Pass Filter—First-Order



- تمثل الدارة مرشح تمرير حزمة منخفض فعال من الدرجة الأولى (لوجود عنصر تخزين واحد هو المكثف C_1). حيث درجة المرشح (Filter-order) هي عدد المكثفات أو الملفات في الدارة.
- يعطى تردد القطع الأعلى (upper cutoff frequency) و ربح الجهد للدارة الموضحة وفق:

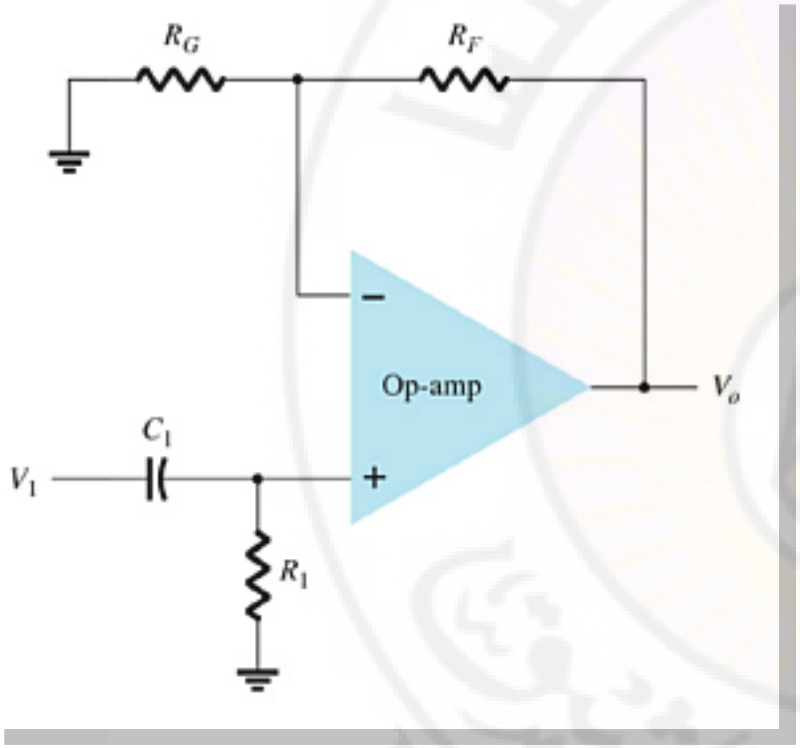
$$f_{OH} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \qquad A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

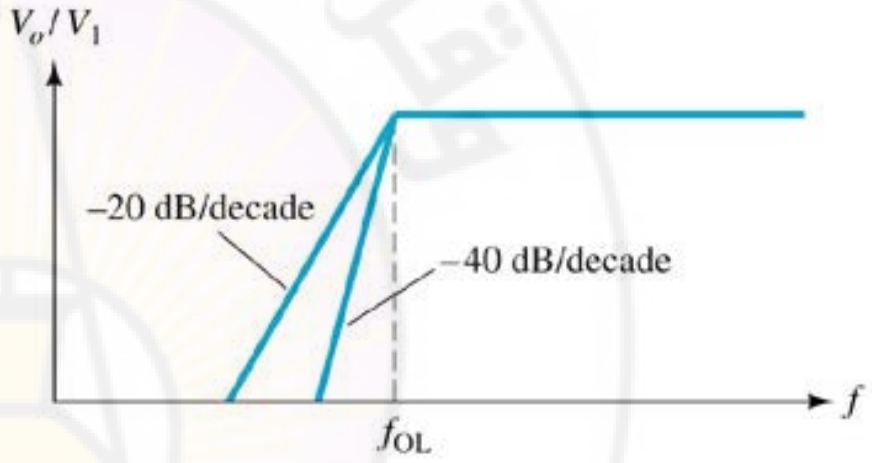
Low-Pass Filter—Second-Order



- تمثل الدارة مرشح تمرير منخفض من الدرجة الثانية (لوجود مكثفتين C_1, C_2).
- لهذا المرشح نفس علاقة الربح و تردد القطع السابقين (شرط $C_1=C_2$, $R_1=R_2$).
- و أيضاً يخمد الاشارات فوق تردد القطع بشكل أفضل (أكبر).

High-Pass Filter—First-Order

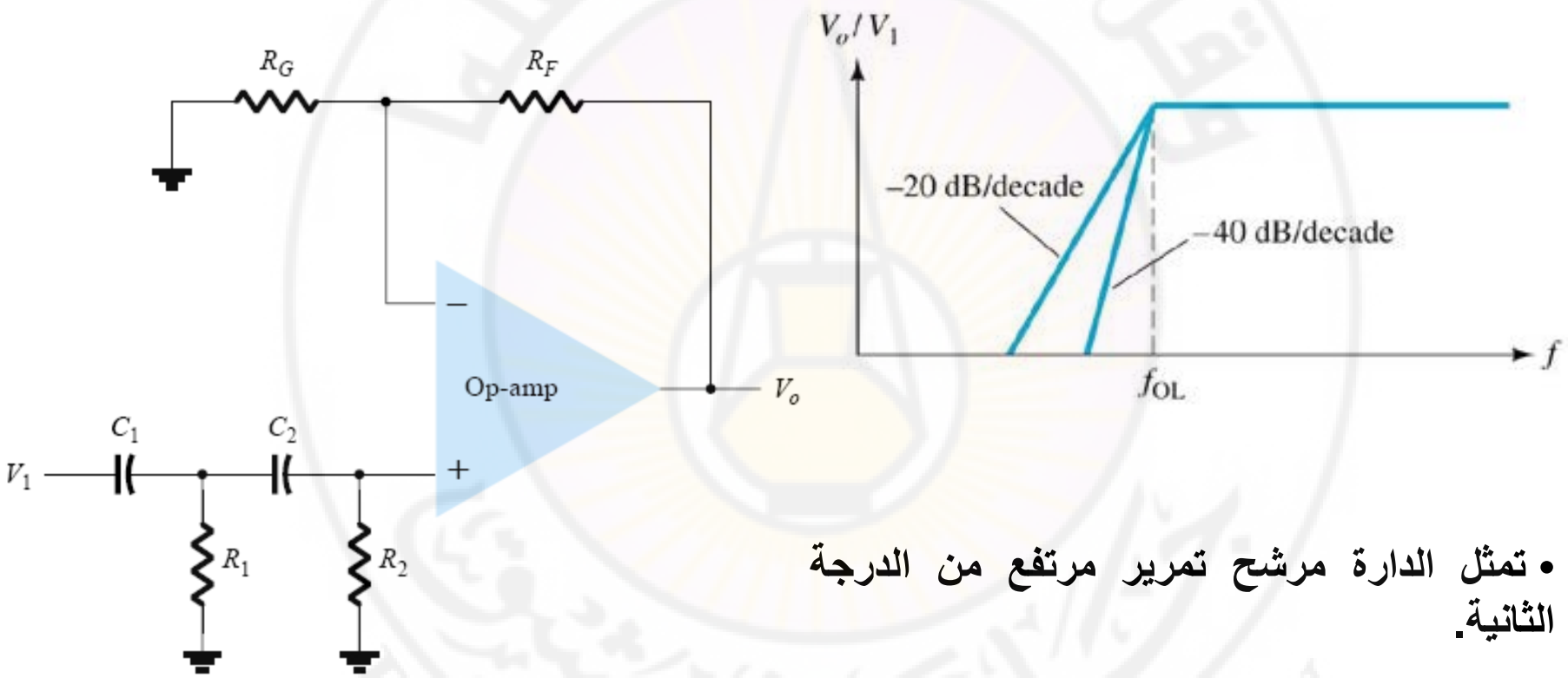




- تمثل الدارة مرشح تمرير مرتفع من الدرجة الأولى.
- يعطى تردد القطع المنخفض (lower cutoff frequency) وفق:

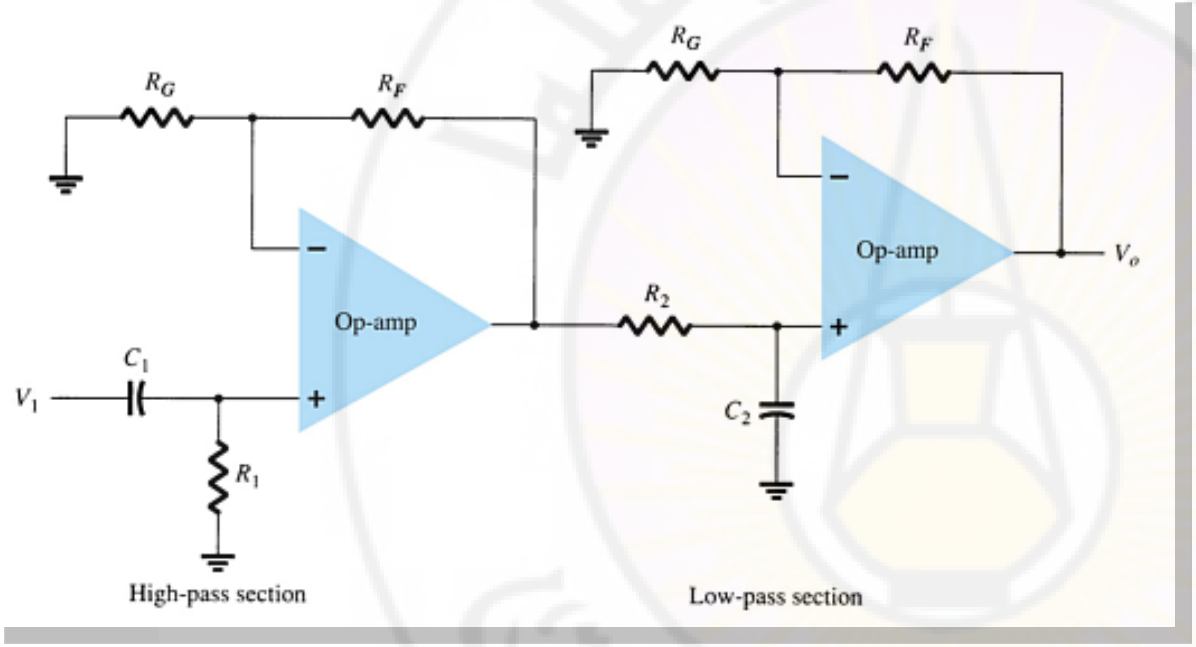
$$f_{OL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \qquad A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

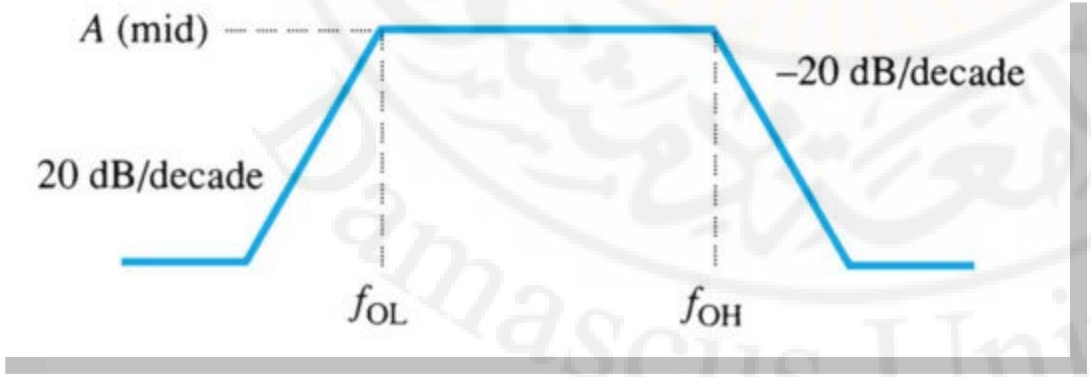
High-Pass Filter—Second-Order



- تمثل الدارة مرشح تمرير مرتفع من الدرجة الثانية.
- يعطى تردد القطع المنخفض له بنفس العلاقة السابقة بشرط ($C_1=C_2$, $R_1=R_2$).

pass Filter Band





•تبين الدارة مرشح تمرير حزمة مؤلف من مرشحين موصولين على التسلسل وفق الشكل.

• وبالتالي لدينا ترددي قطع: أعلى و أدنى.

• يحسبان وفق ماسبق مع مراعاة أسماء العناصر.

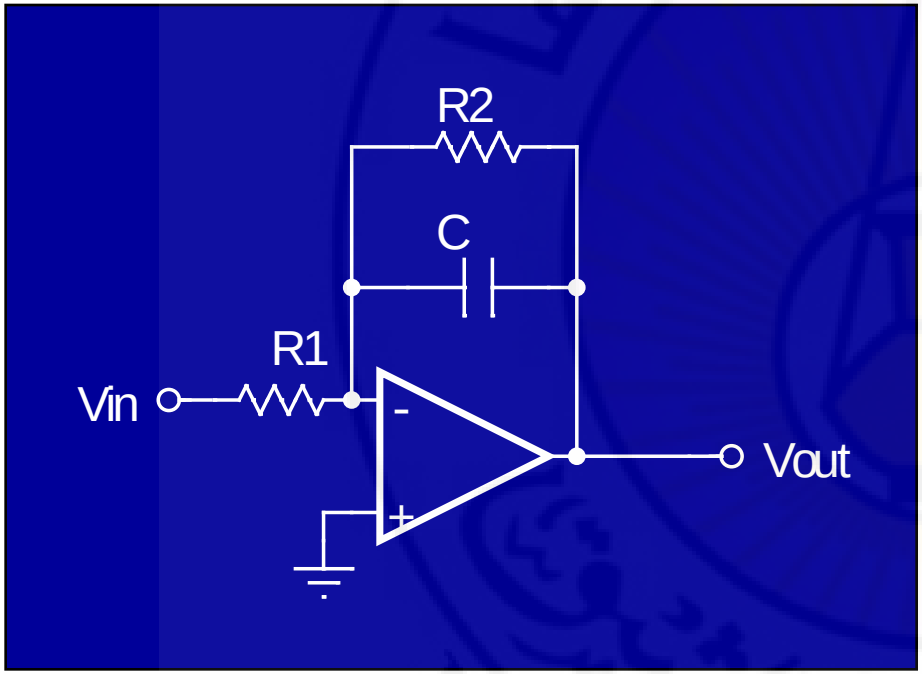
•ملاحظة: إذا تم وصل هذان المرشحان على التفرع فإننا نحصل على مرشح حذف حزمة (BSF/BRF).

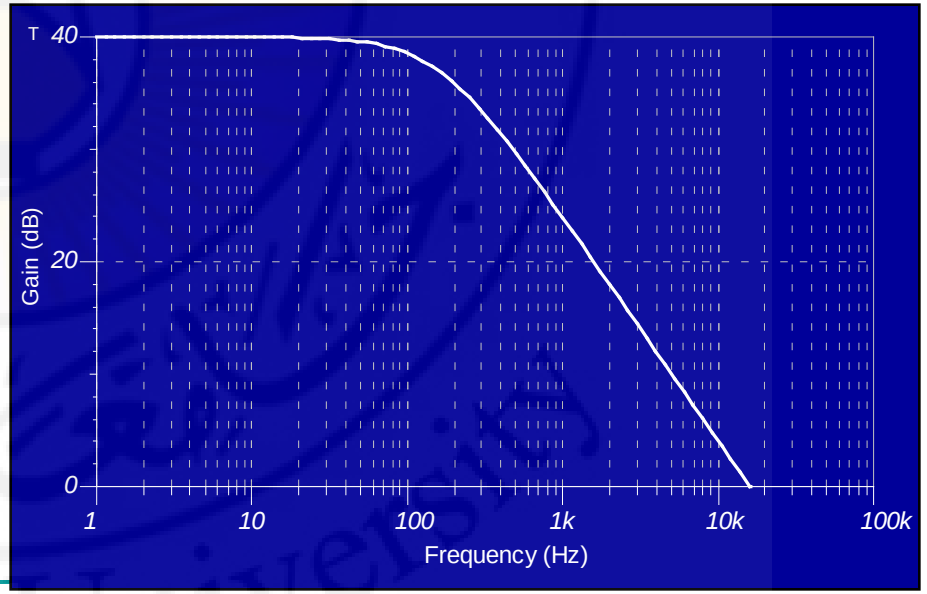
Low Pass Filter (LPF)

- شكل آخر للحصول على مرشح تمرير منخفض مرنا معنا عند حديثنا عن المكامل.

- يعطى ربح جهده وفق العلاقة:

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{1+ j\omega R_2 C}\right)$$



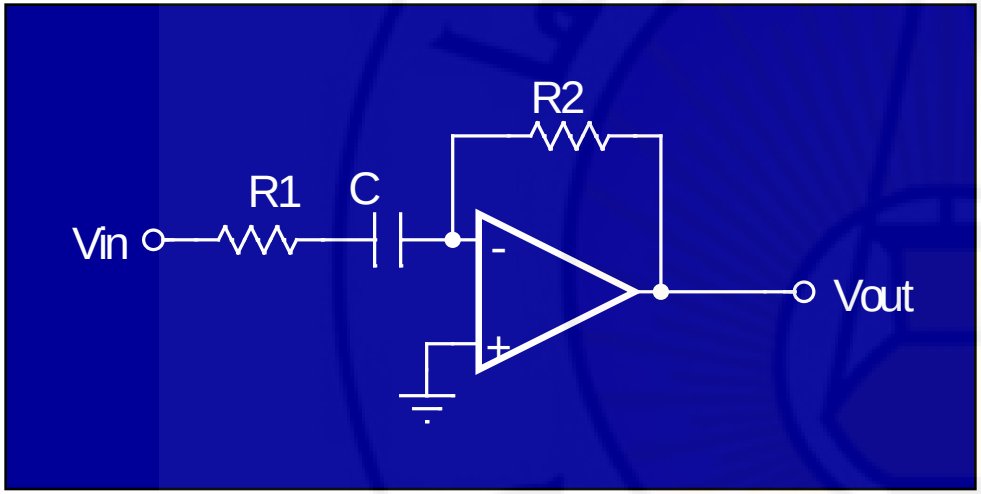


- تردد القطع الأعلى له يعطى وفق:

$$f_C = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 C}$$

High Pass Filter (HPF)

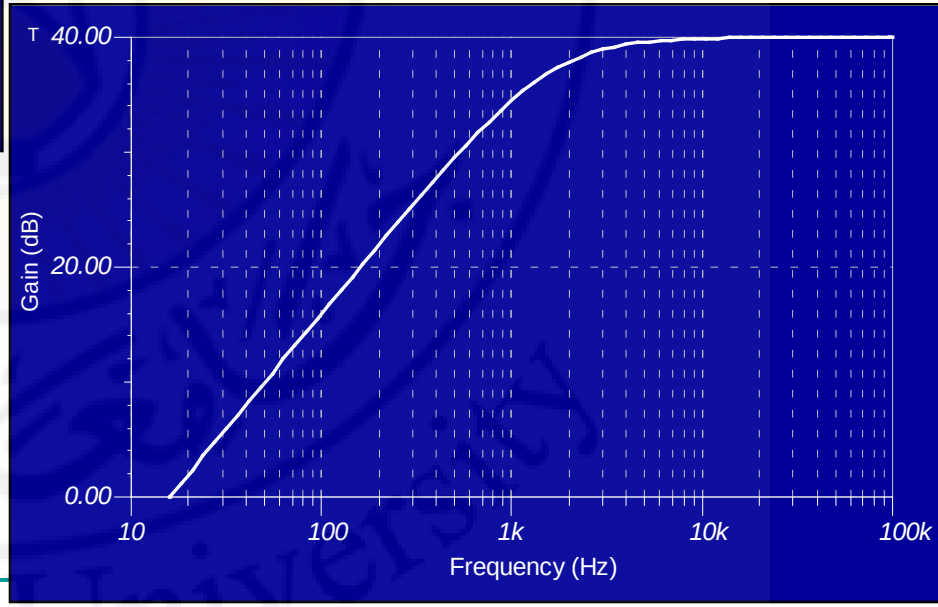
- شكل آخر لمرشح تمرير عالي. يعطى ربحه وفق:



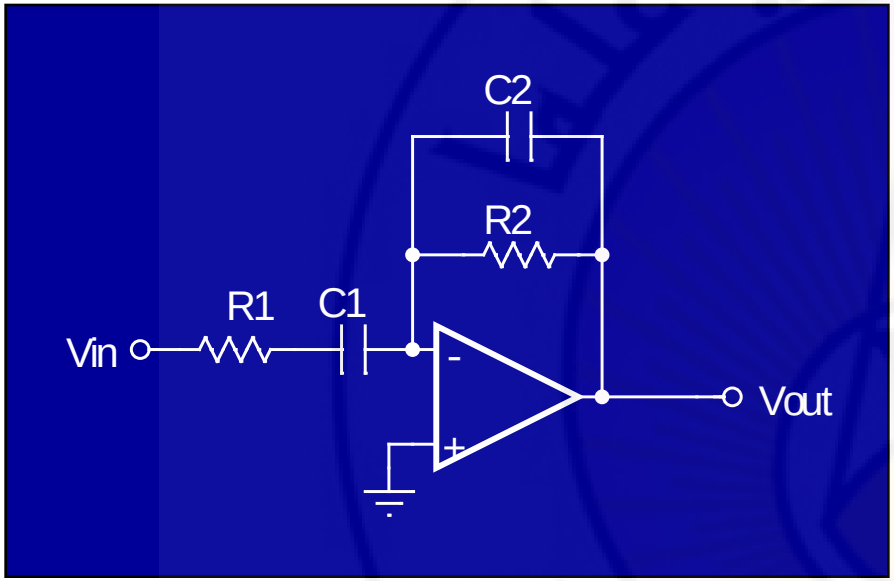
$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{1+\frac{1}{j\omega \cdot R_1 C}}\right)$$

- تردد القطع الأدنى له يعطى وفق:

$$f_C = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 C}$$

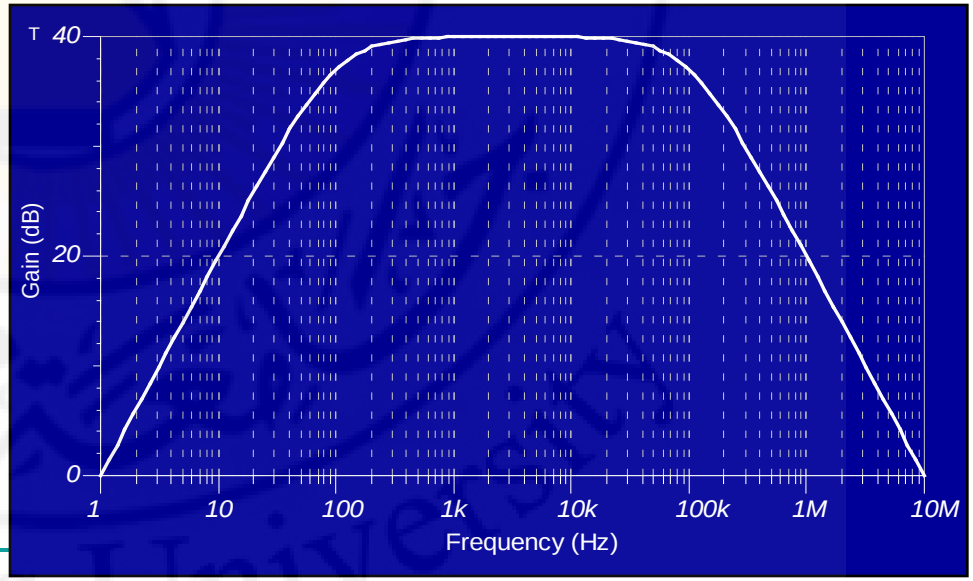


Band Pass Filter (BPF)



• شكل آخر لمرشح تمرير حزمة. له الربح التالي:

$$H(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1}\left(\frac{1}{1+\frac{1}{j\omega \cdot R_1 C_1}}\right)\cdot\left(\frac{1}{1+ j\omega \cdot R_2 C_2}\right)$$

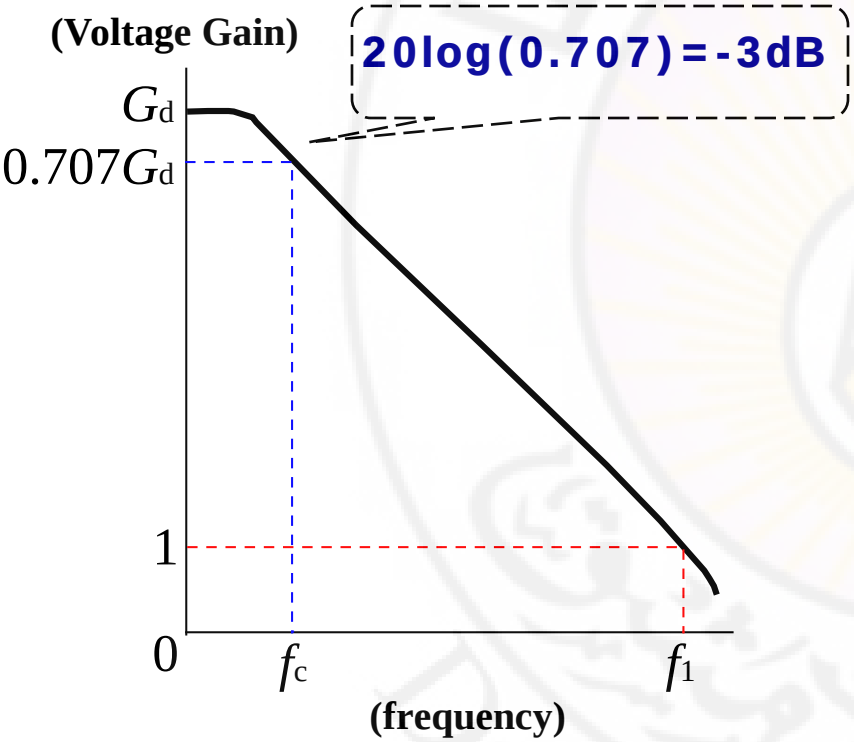


• يعطى ترددي القطع له وفق:

$$f_L = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 C_1}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 C_2}$$

Frequency-Gain Relation
علاقة الربح مع التردد



- **مثالياً**، يمكن تكبير الإشارة في مكبر العمليات مهما كان ترددها: مستمرة أم متناوبة مهما علا ترددها.
- **عملياً**، عرض الحزمة (bandwidth) للمكبر محدود و لا يمكنه تمرر كل الترددات.
- **مثال**: تمتلك عائلة المكبرات (741 family op-amp) عرض حزمة من عدة (KHz).
- **تعاريف**: نسمى التردد (f_1) بتردد الربح الواحدي (Unity Gain frequency) (أو عرض المجال الواحدي كما ورد معنا)، أما تردد القطع (Cutoff frequency f_c) فهو التردد المقابل لانخفاض الربح بمقدار (3dB) من قيمة ربح الجهد التفاضلي (**voltage differential gain (A_{VD})**) (G_d) (ربح الحلقة المفتوحة) أي عند (70%) من قيمة الربح (G_d) أو نقول عند الانخفاض (30%) من قيمة الربح.
- المعامل الـ (**GB:Gain-Bandwidth**):

GB Product : $f_1 = G_d f_c$

GB Product

Example 1: **Determine the cutoff frequency of an op-amp having a unity gain frequency f_1 = 10 MHz and voltage differential gain G_d = 20V/mV**

Sol:

Since $f_1 = 10$ MHz

By using GB production equation

$$f_1 = G_d f_c$$

$$f_c = f_1 / G_d = 10 \text{ MHz} / 20 \text{ V/mV}$$

$$= 10 \times 10^6 / 20 \times 10^3$$

$$= 500 \text{ Hz}$$

