

دارات الكترونية /٢/

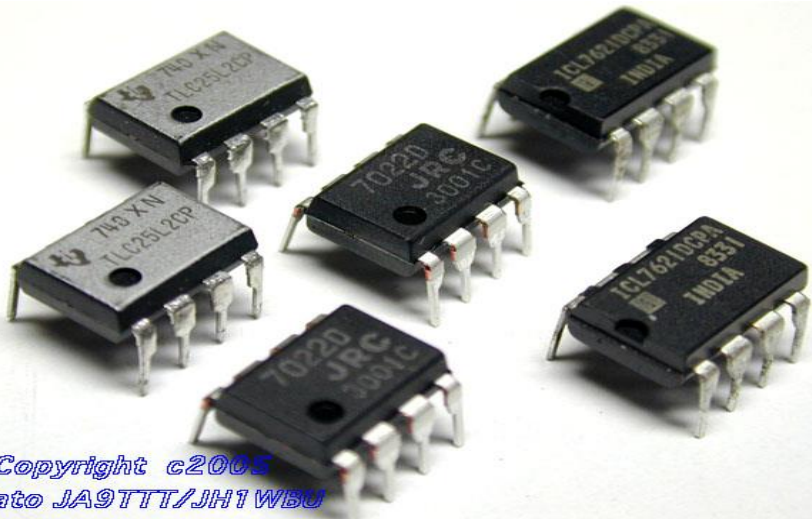
مضخم العمليات - *Operational amplifier*

مدرس المقرر
د. السموءل صالح

Operational amplifier

مضخم العمليات -- ملخص --

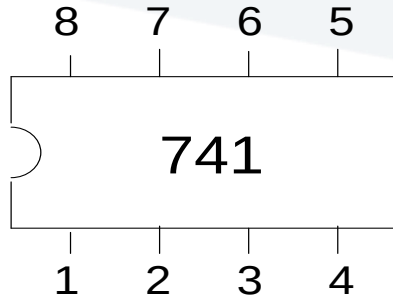
- يعد مكبر العمليات (Operational Amplifier (op-amp من أكثر العناصر الالكترونية استخداماً ضمن تطبيقات الدارات الخطية بسبب كلفته البسيطة وسهولة استخدامه واستهلاكه القليل للطاقة ودقة أدائه والوثوقية العالية وإمكانية استخدامه دون معرفة بنيته الداخلية المعقدة والمؤلفة من العديد من الترانزستورات والمقاومات وبعض المكثفات. يتم تصنيع مكبرات العمليات على شكل دارات متكاملة (ICs) لاحظ الشكل
- كما رأينا تتألف مكبرات العمليات من حيث تكوين بنيتها النموذجية من أربع مراحل:
 - ١- مرحلة دخل: عبارة عن مكبر تفاضلي. ٢- مرحلة تكبير خطية عالية الريح.
 - ٣- مرحلة إزاحة المستوى وظيفتها الحفاظ على جهد خرج مساوياً للصفر عند تأريض المدخلين العاكس وغير العاكس.
 - ٤- مرحلة خرج وهي عبارة عن مكبر استطاعة
- يمكن لمكبر العمليات أن يشكل العديد من الدارات الالكترونية وذلك بحسب العناصر الكهربائية التي يتم توصيلها معه فيمكن أن يستخدم كمكبر، مقوم، مفاضل، مكامل، مرشح، جامع، طارح، دارة قص وتحديد، قاذح شميت، وحيد وثنائي وعديم الاستقرار، مولد الإشارات....



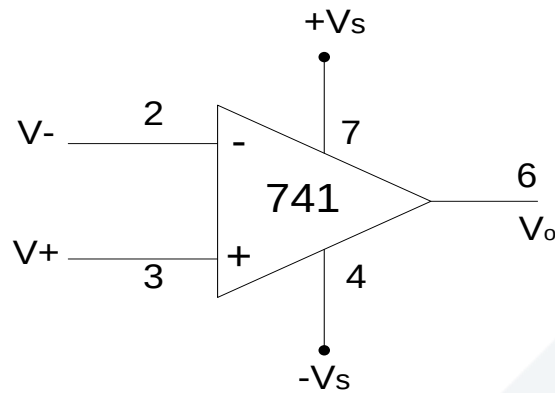
Copyright c2005
T.Kato JA9TTT/JH1WBU

The 741 Operational amplifier

الرمز الالكتروني لمضخم العمليات 741



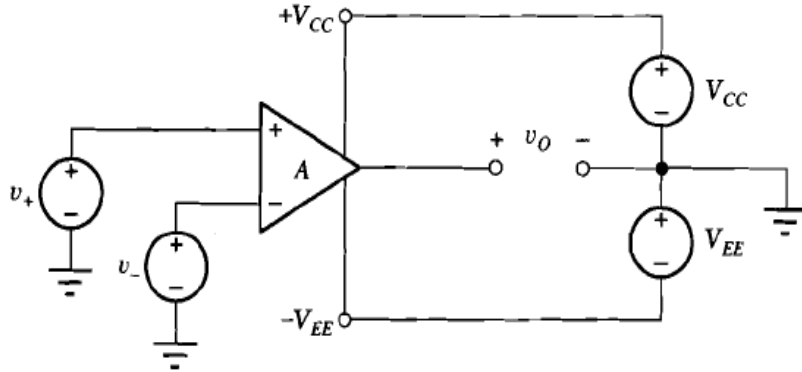
- هو عبارة عن دائرة متكاملة بثمانية أرجل حيث لها مدخلان ومخرج وحيد وتحتاج إلى تغذيتين موجبة وسالبة وذلك بسبب وجود نوعين من الترانزستورات بداخلها npn و pnp يرمز للمكبر بمثلث يتجه رأسه باتجاه سريان الإشارة وله الأرجل (نقاط التوصيل) التالية:



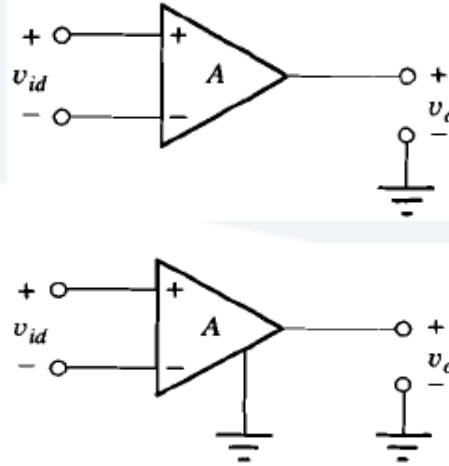
- الرجل رقم (٢): المدخل العاكس (-) ، الرجل رقم (٣): المدخل غير العاكس (+)
- الرجل رقم (٤): التغذية السالبة (-Vs) ، الرجل رقم (٧): التغذية الموجبة (+Vs)
- الرجل رقم (٦): المخرج ، الرجل رقم (٨): ليس لديها استخدام
- الرجلان (١) و (٥): يستخدمان في بعض الدارات من أجل المعايرة وذلك بوصل دائرة خارجية بسيطة فيما بينهما تحتوي على مقاومة متغيرة يتم ضبطها لجعل جهد المخرج مساوياً للصفر في حال عدم تطبيق أي جهد على المداخل.

The 741 Operational amplifier

الرمز الالكتروني لمضخم العمليات 741



مكبر العمليات مع نهايات التغذية المستمرة لتأمين
انحياز الترانزستورات الداخلية



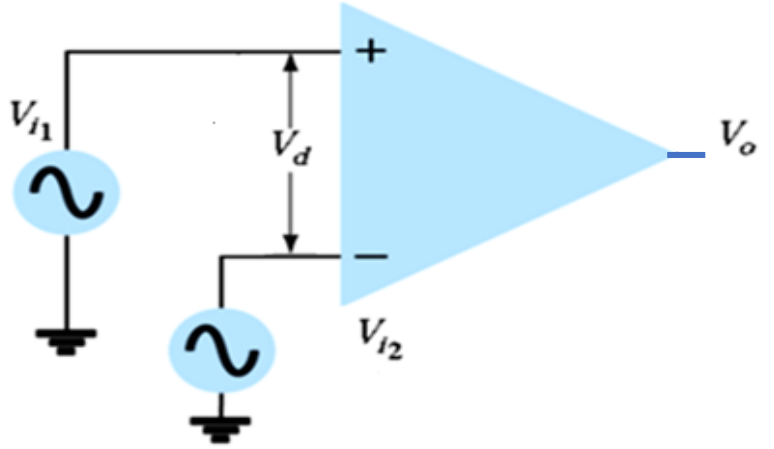
الرمز المبسط لمكبر العمليات

مكبر العمليات مع الارضي

تلخيص

- من مدخلين v_+ و v_-
- خرج وحيد v_o و جميع الجهود مقاسه بالنسبة للأرضي.
- V_{CC} و $-V_{EE}$ التغذية المستمرة وتختار متناظرة $\pm 5, \pm 12, \pm 18$.
- قيمة جهد الخرج تتراوح بين جهدي التغذية $-V_{EE} \leq v_o \leq V_{CC}$.
- A ربح الجهد للمكبر وهو ربح الحلقة المفتوحة $open\ loop\ gain$ ويساوي إلى ربح المكبر في النمط التفاضلي A_d .
- بالحالة العامة يقوم مكبر العمليات بتضخيم الفرق بين إشارتي الدخل $v_{id} = v_+ - v_-$ جهد الدخل التفاضلي.

حالات تشغيل مضخم العمليات 741



١- **الدخل التفاضلي Differential Inputs**: يتحدد الدخل التفاضلي للمضخم عند تطبيق اشارات دخل منفصلة بالعلاقة التالية، التي تمثل الفرق بين اشارات الدخل: $V_{id} = V_{i1} - V_{i2}$

٢- **الدخل المشترك Common Inputs**: يتحدد الدخل المشترك للمضخم عندما تكون اشارات الدخل واحدة بالعلاقة التالية، التي تمثل متوسط اشارات الدخل: $V_{ic} = \frac{1}{2} (V_{i1} + V_{i2})$

٣- **جهد الخرج Output Voltage**: تتحدد اشارة خرج المضخم لحالات التشغيل العامة بالعلاقة الاتية:

$$v_o = A_{dm}(v_{i1} - v_{i2}) + \frac{A_{cm}}{2} (v_{i1} + v_{i2}) \rightarrow v_o = A_{dm}(v_{id}) + A_{cm}(v_{ic})$$

حيث: A_{dm} = Differential-mode gain ربح النمط التفاضلي و A_{cm} = Commun-mode gain ربح النمط المشترك

حالات دخل مضخم العمليات

١- **المداخل بقطبية متوافقة Same Polarity Inputs:** عند تطبيق اشارات متوافقة على مداخل المضخم يكون: $V_{i1} = V_{i2} = V_s$

$$V_{id} = V_{i1} - V_{i2} = V_s - V_s = 0 \quad \text{اشارة الدخل التفاضلي:}$$

$$V_{ic} = \frac{1}{2} (V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2} (V_s + V_s) = V_s \quad \text{اشارة الدخل المشترك:}$$

$$V_o = (A_{dm} V_{id} + A_{cm} V_{ic}) = A_{dm}(0) + A_{cm}V_s = A_{cm}V_s \quad \text{اشارة الخرج للمضخم:}$$

--عندما تكون المداخل متوافقة تماما (بدون اي فرق بينهما بالطور)، يكون الخرج اكبر من اشارة الدخل بعامل التضخيم المشترك.

٢- **المداخل بقطبية متعاكسة:** عند تطبيق اشارات متعاكسة على مداخل المضخم يكون: $V_{i1} = -V_{i2} = V_s$

$$V_{id} = V_{i1} - V_{i2} = V_s - (-V_s) = 2V_s \quad \text{اشارة الدخل التفاضلي:}$$

$$V_{ic} = \frac{1}{2} (V_{i1} + V_{i2}) = \frac{1}{2} (V_s + (-V_s)) = 0 \quad \text{اشارة الدخل المشترك:}$$

$$V_o = (A_{dm} V_{id} + A_{cm} V_{ic}) = A_{dm}(2V_s) + 0 = 2 A_{dm}V_s \quad \text{اشارة الخرج للمضخم:}$$

-- عندما تكون المداخل متعاكسة تماما (بدون عنصر مشترك)، يكون الخرج اكبر من اشارة الدخل بضعف عامل التضخيم التفاضلي.

The 741 Operational amplifier

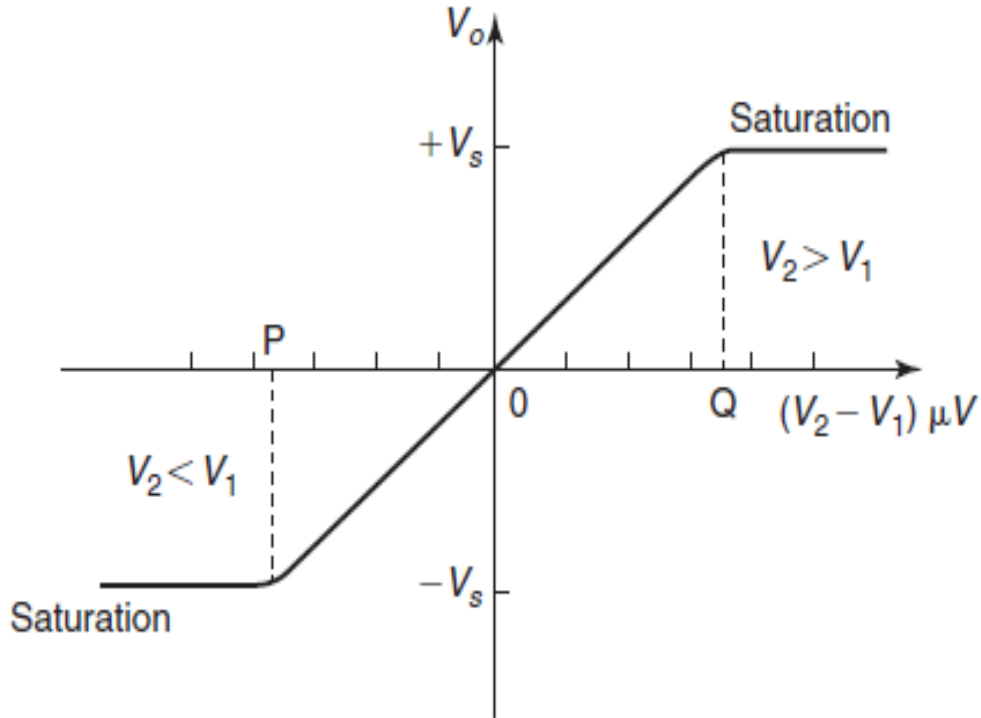
العمل العام لمضخم العمليات 741

- الحالة العامة للعمل في مضخم العمليات هي حالة تضخيم النمط التفاضلي.
- تكون قطبية جهد الخرج لمكبر العمليات تعتمد على قطبية فرق الجهد بين مدخليه أي أنه يضخم الفرق بين جهدي الدخل V_1 (المدخل العاكس) و V_2 (المدخل غير العاكس)، يمكن التمييز بين ثلاثة حالات عند العمل في الحالة العامة وهي النمط التفاضلي:
 ١. إذا كان $V_1 < V_2$ ، V_o موجب -- إذا كان $V_1 > V_2$ ، V_o سالب -- إذا كان $V_1 = V_2$ ، V_o معدوم
- يمكن تلخيص أهم خصائص مكبر العمليات بالنقاط التالية:
 - ١- ربح الحلقة المفتوحة عالي جداً A_o والذي يقدر بحوالي 10^5 من أجل الجهد المستمر والجهد المتناوب منخفض التردد ($A_o = \infty$ للمكبر المثالي).
 - ٢- ممانعة دخل عالية جداً تأخذ القيمة بين $10^6 \Omega$ و $10^{12} \Omega$ وبالتالي يمر جهد التغذية (الدخل) دون ضياع كبير.
 - ٣- ممانعة خرج منخفضة جداً حوالي 600Ω وبالتالي جهد الخرج يمكن استخدامه بشكل فعال مع أي حمل خارجي حتى ولو بلغت قيمته عدة كيلو أوم.
 - ٤- عرض المجال الترددي كبير جداً ($B_w = \infty$ للمكبر المثالي).
 - ٥- مواصفات ثابتة مع تغيرات درجة الحرارة.

The 741 Operational amplifier

مضخم العمليات 741

خواص النقل في الحالة العامة (النمط التفاضلي)



- تظهر خواص الجهد كيفية تغير جهد الخرج V_o مع الجهد $(V_2 - V_1)$
- بين النقطتين P و Q يكون جهد الخرج خطياً مع جهد الدخل، ضمن هذا المجال يتصرف مكبر العمليات بشكل خطي مع تشوه قليل في الجهد المكبر
- يسبب جهد الدخل خارج المنطقة الخطية حالة إشباع ويكون عندها جهد الخرج قريباً من القيم العظمى $+V_s$ و $-V_s$
- ينتج هذا الأداء الخطي عن ربح الجهد العالي للحلقة المفتوحة A_o الذي يعطى

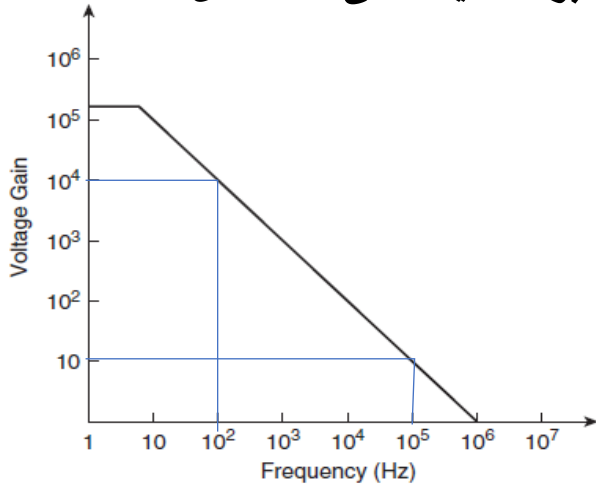
بالعلاقة التالية:

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

$$A = \frac{V_o}{V_2 - V_1}$$

التغذية العكسية السالبة

- يستخدم مكبر العمليات التغذية العكسية السالبة *Negative Feedback* والتي نحصل عليها من التغذية العكسية لبعض أو لكل جهد خرج إلى المدخل العاكس (-) وتنتج جهد خرج يعاكس الجهد الذي أخذ منه.
- تقلل التغذية العكسية جهد الخرج ليتشكل ربح جهد الحلقة المغلقة A وهو أقل من ربح جهد الحلقة المفتوحة A_o .
- تعطي التغذية العكسية السالبة: ١- ربح جهد ثابت A . ٢- تشوه أقل في جهد الخرج. ٣- استجابة ترددية أفضل.
- تتغلب التغذية العكسية على الخسارة في ربح الجهد ويمكن زيادة ربح الجهد من خلال استخدام مرحلتين أو أكثر من مكبر العمليات على التسلسل.



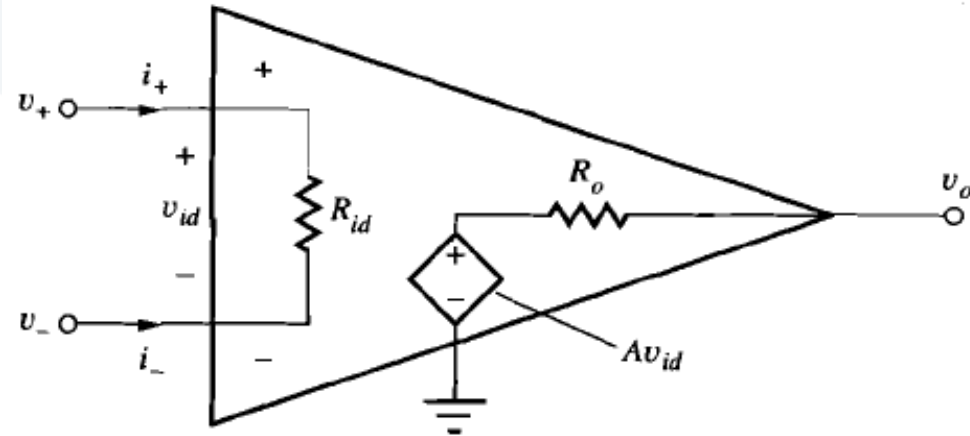
عرض الحزمة

- إن ربح الجهد للحلقة المفتوحة ليس ثابتاً عند جميع الترددات حيث أنه يتناقص عند الترددات العالية.
- يظهر الشكل المجاور العلاقة بين ربح الجهد وعرض الحزمة لمكبر العمليات 741.
- عند الترددات الأقل من 10Hz يكون الربح ثابتاً ثم يبدأ بالتناقص بمعدل ثابت (بشكل خطي) ليصل إلى 0Hz.
- قيمة التردد عندما يكون ربح الحلقة المفتوحة مساوياً للواحد تقابل تردد الانتقال f_T Transition frequency.

تردد الانتقال $f_T = 1\text{MHz}$ ، عند ربح 20 dB أي $(20 \log 10)$ يعطي عرض حزمة قيمته 100KHz،
بينما الربح ذو القيمة 80dB يعطي عرض حزمة مقدارها 100 Hz.

$$f_T = \text{closed-loop voltage gain} \times \text{bandwidth}$$

الدارة المكافئة لمضخم العمليات



(v_+ الدخل غير العاكس، و v_- الدخل العاكس)

-- بهدف تحليل الإشارة يمكن تمثيل مضخم العمليات بالدارة المكافئة المبينة جانبا حيث

يمثل الدخل بالمقاومة R_{id} تملك مقاومة عالية ومقاومة خرج R_o تملك مقاومة

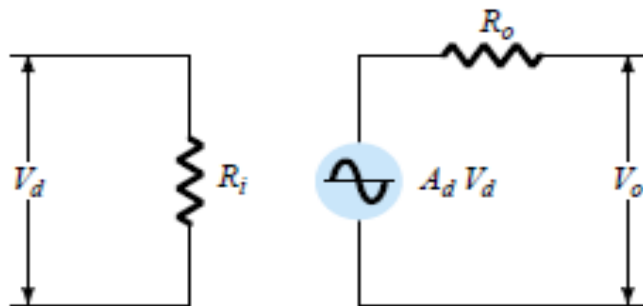
منخفضة ومنبع جهد متحكم به $A v_{id}$.

-- تمتلك الدارة المثالية ممانعة دخل لا نهائية، ممانعة خرج معدومة وربع جهد لا نهائي.

-- تتكون الدارة الأساسية لمكبر العمليات من مكبر تفاضلي يمتلك دخلين أساسيين (+ & -) وخرج واحد على الأقل.

-- يعطي المدخل الموجب إشارة على الخرج متطابقة بالطور مع إشارة الدخل في حين أن المدخل السالب

يعطي إشارة معاكسة في الطور لإشارة الدخل. يمكن تحديد البارامترات وفق:



A ربع الجهد للمكبر عند الدارة مفتوحة

جهد الدخل التفاضلي

مقاومة الدخل للمضخم في النمط التفاضلي

مقاومة الخرج للمضخم في النمط التفاضلي

$A =$ voltage gain (open-circuit voltage gain)

$v_{id} = (v_+ - v_-) =$ differential input signal voltage

$R_{id} =$ amplifier input resistance

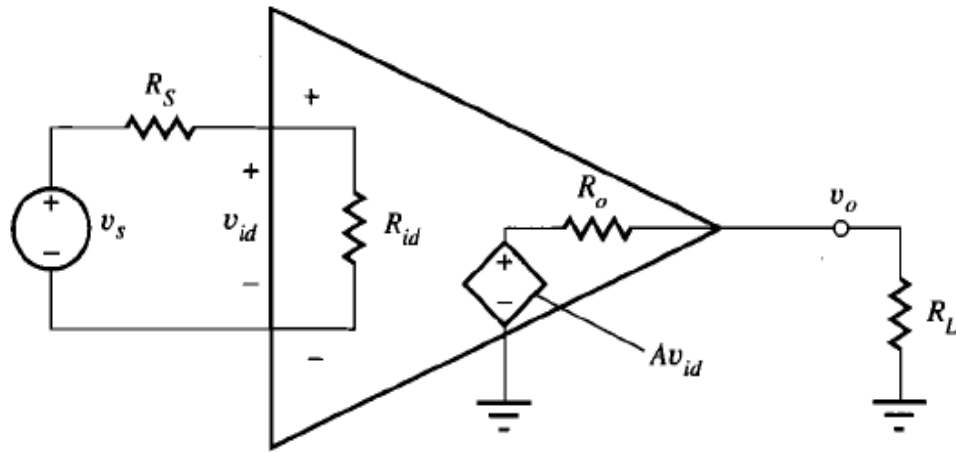
$R_o =$ amplifier output resistance

في مكبر العمليات

أثر كل من مقاومة المصدر والحمل على التضخيم

-- لدراسة مكبر العمليات (في هذه الحالة) نستخدم الدارة المبينة بالشكل يطبق على الدخل جهد v_s مع مقاومة R_s ويوصل إلى الخرج الحمل R_L .

Amplifier with source and load attached.



$$v_{id} = v_s \frac{R_{id}}{R_{id} + R_s}$$

-- علاقة مقسم جهد الدخل

$$v_o = A v_{id} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

-- علاقة مقسم جهد الخرج

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = A \frac{R_{id}}{R_s + R_{id}} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

Example:

Calculate the voltage gain for an amplifier with the following parameters:

$A = 100$, $R_{id} = 100 \text{ k}\Omega$, and $R_o = 100 \text{ }\Omega$, with $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ and $R_L = 1000 \text{ }\Omega$. Express the result in dB.

$$A_v = 100 \left(\frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} \right) \left(\frac{1000 \text{ }\Omega}{100 \text{ }\Omega + 1000 \text{ }\Omega} \right) = 82.6$$

$$A_{v\text{dB}} = 20 \log |A_v| = 20 \log |82.6| = 38.3 \text{ dB}$$

بعض بارامترات مكبر العمليات

- ١- تيار انحياز الدخل I_B : هو متوسط تيارى الدخلين عندما يكون الخرج معدوماً ويقدر بحوالي 80nA من أجل مكبر العمليات ٧٤١. يسبب تيار انحياز الدخل هبوطاً في الجهد من خلال ممانعة المنبع المكافئة والمرئية من دخل مكبر العمليات.
- ٢- تيار إزاحة الدخل I_{OS} : هو الفرق بين تيارى الدخلين عندما يكون الخرج معدوماً. في مكبر العمليات ٧٤١ تكون قيمة هذا التيار مساوية 20nA.

- ٣- جهد إزاحة الخرج V_{OS} : في مكبر العمليات المثالي يجب أن يكون الخرج مساوياً للصفر عندما يكون دخلي المكبر معدومين، ولكن بسبب عدم مثالية مكبر العمليات فإنه يظهر جهد بقيمة صغيرة عندما يكون جهدي الدخل معدومين. للتغلب على هذا الأثر نقوم بتطبيق جهد إزاحة الدخل على المكبر. في مكبر العمليات ٧٤١ تعطى قيمة هذا الجهد بـ 1mV.

- ٤- نسبة رفض النمط المشترك: يتناسب جهد الخرج لمكبر عمليات مع الفرق بين قيمتي الجهدين المطبقين على مدخله. بالشكل المثالي، عندما يكون هذين الجهدين متساويين فإن جهد الخرج يجب أن يساوي الصفر. تسمى الإشارة المطبقة على مداخل مكبر العمليات إشارة النمط المشترك والتي تكون عادة عبارة عن ضجيج غير مرغوب به. تسمى قدرة مكبر العمليات على حذف هذه الإشارة بنسبة رفض النمط المشترك وتعطى بالعلاقة:

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{differential voltage gain}}{\text{common mode gain}} \right) \text{dB}$$

$$A_{com} = \frac{V_o}{V_{com}}$$

- ٥- ربح النمط المشترك A_{com} : هو النسبة بين جهد الخرج وجهد الدخل المشترك.

نسبة رفض النمط المشترك

-- يعرف بارامتر نسبة رفض النمط المشترك من المرحلة الاولى لمكبر العملية وهي مرحلة التضخيم التفاضلي والتي درست سابقا ويعاد تحديدها هنا بالنسبة للمضخم ٧٤١ وفق الاستنتاج الاتي:

-- تعطى علاقة جهد خرج المضخم في الحالة العملية (غير المثالية) كما رأينا سابقا بالعلاقة:

$$v_o = A(v_{id}) + A_{cm}(v_{ic})$$

وجدنا عند دراسة المضخم الترانزستور التفاضلي والذي يمثل المرحلة الاولى لمكبر العمليات أن:

$$v_{id} = (v_1 - v_2) = \text{differential-mode input voltage}$$

$$v_{ic} = \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) = \text{common-mode input voltage}$$

$$v_1 = v_{ic} + \frac{v_{id}}{2}$$

$$v_2 = v_{ic} - \frac{v_{id}}{2}$$

-- يمكن استنتاج نسبة رفض النمط المشترك من علاقة الخرج:

$$v_o = Av_{id} \left(1 + \frac{A_{cm}v_{ic}}{A_{dm}v_{id}} \right) = Av_{id} \left(1 + \frac{1}{CMRR} \frac{v_{ic}}{v_{id}} \right)$$

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

نسبة رفض النمط المشترك

-- كما رأينا: المكبر المثالي يضخم إشارة الفرق ويرفض إشارة النمط المشترك ($A_{cm} = 0$) لكن المكبر الفعلي يملك قيمة لا تساوي الصفر A_{cm} .

-- يمكن استنتاج علاقة نسبة رفض النمط المشترك $CMRR$ بشكل ثان من علاقة جهد خرج المضخم في الحالة العملية :

$$v_o = A \left[v_{id} + \frac{A_{cm} v_{ic}}{A} \right] = A \left[v_{id} + \frac{v_{ic}}{CMRR} \right] \quad \Rightarrow \quad CMRR = \left| \frac{A}{A_{cm}} \right|$$

-- يمكن التعبير غالبا عن نسبة رفض النمط المشترك بال dB وفق: $CMRR_{dB} = 20 \log \left| \frac{A}{A_{cm}} \right| \text{ dB}$

- **ملاحظات:**
- ١- بالنسبة للمكبر المثالي تكون نسبة رفض النمط المشترك $A_{cm} = 0$ بالنتيجة تكون ال $CMRR$ لانهائية .
 - ٢- بالنسبة للمضخم الفعلي يملك $A \gg A_{cm}$ وتكون قيمة نسبة رفض النمط المشترك ال $CMRR$ محصور في المجال المبين:

$$60 \text{ dB} \leq CMRR_{dB} \leq 120 \text{ dB}$$

٣- تعتبر قيمة ال 60 dB لنسبة رفض النمط المشترك نسبيا قيمة ذات مستوا ضعيفا لأنه من الممكن الحصول على نسبة $CMRR$ تصل لل 120 dB أو أكثر.

٤- عند العمل على قيم كبير ل $CMRR$ فإن الخرج ينتج فقط عن تضخيم الدخل التفاضلي لاننا نهمل المركبة الخاصة بالدخل المشترك في المعادلة.

مثال: احسب $CMRR$ لقياسات الدارة المبينة على الشكل.

الحل:

من نتائج القياس الاول في الشكل a نحدد عامل الريح التفاضلي A_d

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{8}{1 \text{ mV}} = 8000$$

من نتائج القياس الثاني في الشكل b نحدد عامل الريح المشترك A_c

$$A_c = \frac{V_o}{V_c} = \frac{12 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} = 12$$

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c} = \frac{8000}{12} = 666.7$$

وبالتاي يكون نسبة رفض الحالة المشتركة:

كما يمكن التعبير عن نسبة رفض الحالة المشتركة بالديسبيل وفق ما يلي:

$$CMRR (\log) = 20 \log_{10} \frac{A_d}{A_c} = 20 \log_{10} \frac{8000}{12} = 56.48 \text{ (dB)}$$

نلاحظ ان عامل الريح التفاضلي عالي وعامل الريح المشترك منخفض، وهذا يعود لسبب انه في حالة العمل على اشارات دخل متعاكسة، فان اشارة الخرج سوف تكون مرتفعة بشكل كبير (A_d مرتفع)، في حين، عند العمل على اشارات متوافقة (حالة العمل المشترك) تكون اشارة الخرج منخفضة (A_c منخفض).

مثال 1: حدد ربح النمط المشترك لمكبر عمليات لديه ربح جهد تفاضلي قيمته ١٥٠٠٠٠ ونسبة رفض النمط المشترك CMRR تساوي 90 dB.

من المعادلة

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{differential voltage gain}}{\text{common-mode gain}} \right) \text{dB}$$

بالتالي:

$$90 = 20 \log_{10} \left(\frac{150 \times 10^3}{\text{common-mode gain}} \right) \quad \leftarrow \quad 4.5 = \log_{10} \left(\frac{150 \times 10^3}{\text{common-mode gain}} \right) \quad \leftarrow \quad 10^{4.5} = \left(\frac{150 \times 10^3}{\text{common-mode gain}} \right)$$

ربح النمط المشترك

$$\text{common-mode gain} = \frac{150 \times 10^3}{10^{4.5}} = 4.74$$

مثال 2: مكبر عمليات يمتلك ربح حلقة مفتوحة يساوي ١٢٠ وإشارة دخل مشترك بقيمة 3V مطبقة على مدخلي المكبر. إشارة الخرج الناتجة تساوي 24mV.

احسب ربح النمط المشترك ونسبة رفض النمط المشترك

ربح النمط المشترك

$$A_{com} = \frac{V_o}{V_{com}} = \frac{24 \times 10^{-3}}{3.0} = 8 \times 10^{-3} = 0.008$$

نسبة رفض النمط المشترك

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{differential voltage gain}}{\text{common-mode gain}} \right) \text{dB}$$

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{120}{0.008} \right) = 20 \log_{10} 15000 = 83.52 \text{ dB}$$

مثال:

حدد جهد الخرج لمضخم عملياتي عندما تكون اشارات جهود الدخل $V_{i1} = 150 \mu V$ و $V_{i2} = 140 \mu V$ و $A_d = 4000$ وذلك عند قيمتي الاتيتين $CMRR = 100$ & 10^5 ثم قارن النتيجة.

الحل:

$$V_d = V_{i1} - V_{i2} = (150 - 140) \mu V = 10 \mu V$$

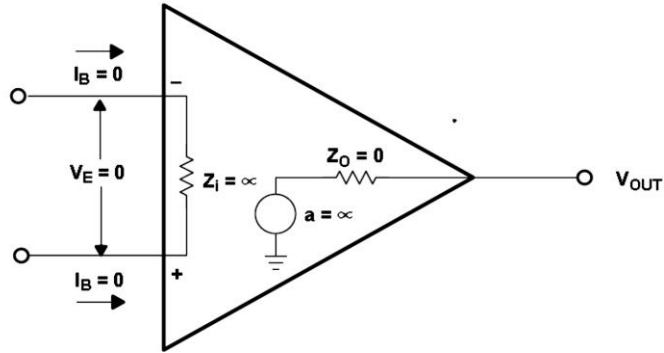
$$V_c = \frac{1}{2}(V_{i1} + V_{i2}) = \frac{150 \mu V + 140 \mu V}{2} = 145 \mu V$$

$$V_o = A_d V_d \left(1 + \frac{1}{CMRR} \frac{V_c}{V_d} \right) = (4000)(10 \mu V) \left(1 + \frac{1}{100} \frac{145 \mu V}{10 \mu V} \right) = 40 \text{ mV}(1.145) = \mathbf{45.8 \text{ mV}}$$

$$V_o = (4000)(10 \mu V) \left(1 + \frac{1}{10^5} \frac{145 \mu V}{10 \mu V} \right) = 40 \text{ mV}(1.000145) = \mathbf{40.006 \text{ mV}}$$

مميزات مكبر العمليات المثالي

- ينتج مكبر العمليات المثالي خرجا معتمدا فقط على فرق الجهد بين مدخليه (العاكس وغير العاكس) v_{id} ويكون هذا الجهد مستقلا عن المنبع ومقاومة الحمل.
- يضخم اشارة الفرق ويرفض اشارة النمط المشترك ($A_{cm} = 0$) أما الفعلي فتكون ($A_{cm} \neq 0$).
- مقاومة دخل مضخم العمليات المثالي لانهاية ومقاومة خرجه تساوي الصفر.



$$R_{id} = \infty \text{ and } R_o = 0 \quad \Rightarrow \quad v_o = A v_{id} \quad \text{or} \quad A_v = \frac{v_o}{v_{id}} = A$$

-- ربح المكبر يساوي الى ربح الحلقة المفتوحة وهو يعبر عن القيمة العظمى التي يمكن الحصول عليها من مكبر العمليات

-- الجهد المطبق على المدخل العاكس يساوي الى الجهد المطبق على المدخل غير العاكس $v_+ = v_-$ هذا يؤدي الى:

$$v_{id} = v_+ - v_- = 0 \rightarrow A_v = v_o / v_{id} = \infty$$

$$1. \quad A \rightarrow \infty \Rightarrow v_E = v_{id} = 0 \quad (v_+ = v_-)$$

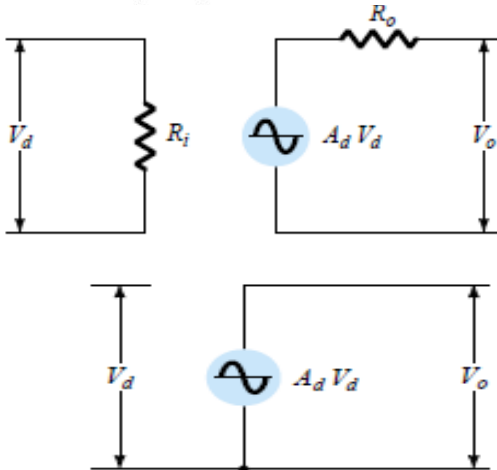
$$2. \quad Z_{in} \rightarrow \infty \Rightarrow i_+ = i_-$$

$$3. \quad R_o = 0$$

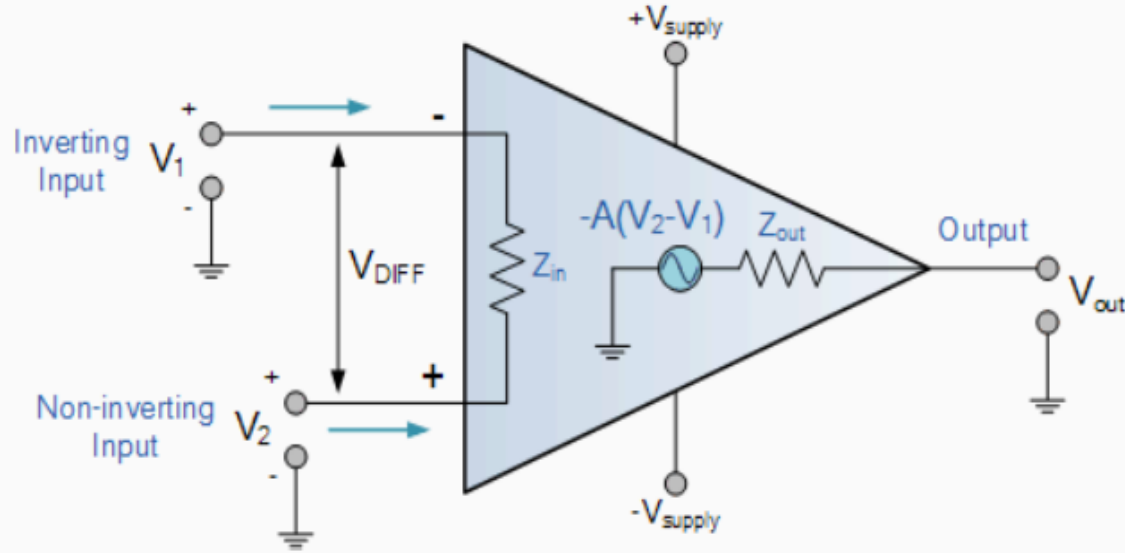
$$4. \quad CMRR \rightarrow \infty$$

يمكن أن نلخص:

1. The Ideal Op Amp



بعض تطبيقات مكبر العمليات



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

المكبر العملياتي العاكس (Op amp inverting amplifier)

بعض تطبيقات مكبر العمليات

المدخل غير العاكس موصول إلى الأرضي والمدخل العاكس يطبق عليه جهد الدخل المراد تضخيمه

من حلقة الخرج- دخل نكتب: $v_s - i_s R_1 - i_2 R_2 - v_o = 0$

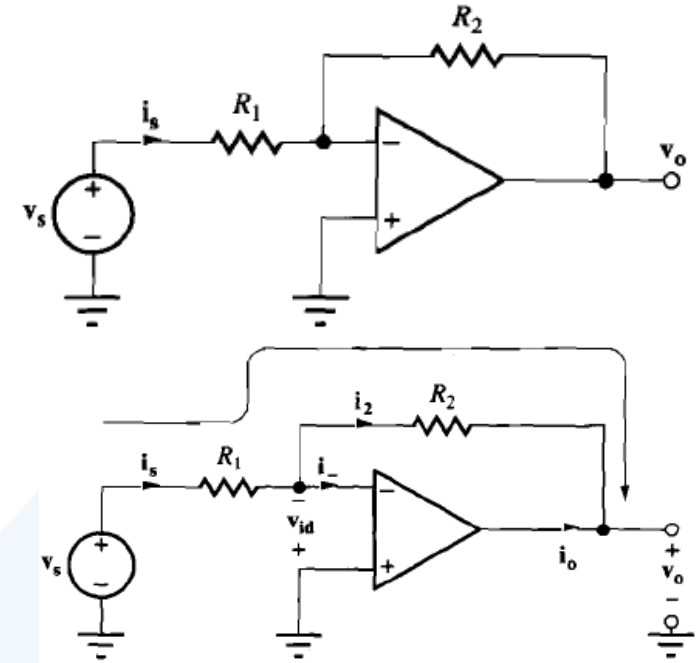
من عقدة المدخل العاكس نكتب:

But $i_s = i_- + i_2$ & $i_- = 0 \rightarrow i_s = i_2$

$\rightarrow v_s - i_s R_1 - i_s R_2 - v_o = 0 \rightarrow i_s = \frac{v_s - v_-}{R_1}$

$v_{id} = v_+ - v_- = 0$ $v_+ = 0 \rightarrow v_- = 0$

$i_s = \frac{v_s}{R_1} \rightarrow -v_s \frac{R_2}{R_1} - v_o = 0$ or $v_o = -v_s \frac{R_2}{R_1}$



-- تظهر العلاقة أن ربح الحلقة المغلقة يتعلق فقط بالمقاومتين R_1 و R_2 وليس بخصائص مكبر العمليات.

-- فرق طور = 180 درجة.

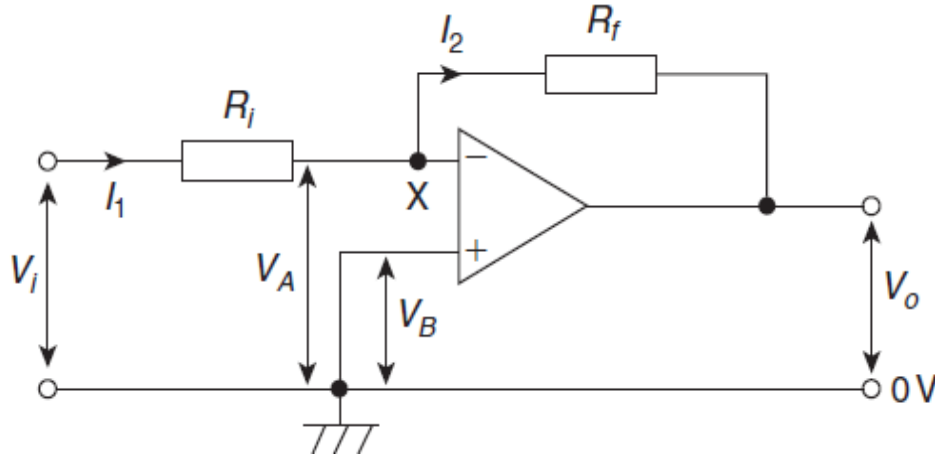
-- ربح الجهد يمكن أن يكون أكبر أو أصغر من الواحد حسب قيم المقاومات المدخل العاكس يعتبر أرض وهمية (التيار = صفر) وهو غير موصول إلى الأرضي.

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

المكبر العملياتي العاكس (Op amp inverting amplifier)

بعض تطبيقات مكبر العمليات

حل دائرة المكبر العاكس بطريقة أخرى



- يبين الشكل المجاور الدارة الأساسية للمكبر العاكس والتي فيها يطبق جهد الدخل V_i المراد تكبيره من خلال المقاومة R_i على المدخل العاكس (-) ولذلك فإن جهد الخرج V_o يعاكس بالطور جهد الدخل.
- جهد المدخل غير العاكس يساوي الصفر.
- تنفذ التغذية العكسية السالبة من خلال المقاومة R_f وذلك بنقل أجزاء من جهد الخرج إلى الدخل العاكس

ربح التكبير في حالة مكبر العمليات المثالي، تطرح فرضيتين أساسيتين:

١. ممانعة الدخل لمداخل مكبر العمليات لا نهائية (لا يوجد تيار مستجر من المنبع) إذا $I_1 = I_2$ من عقدة المدخل العاكس.

٢. يمتلك مدخلي مكبر العمليات نفس قيمة الجهد وذلك في حالة أن هذا المكبر غير مشبع ($V_A = V_B$)

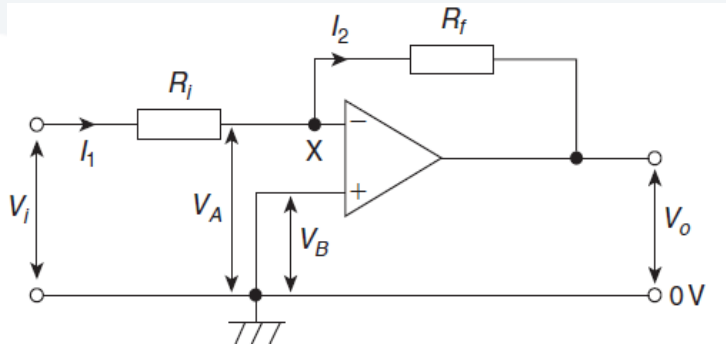
من الشكل أعلاه: $V_B = 0$ وبالتالي $V_A = 0$ ومن الفرضية الأولى تكون نسبة التضخيم معطاة بالعلاقة:

$$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_i} \text{ and } I_2 = \frac{0 - V_o}{R_f}$$

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

المكبر العملياتي العاكس (Op amp inverting amplifier)

بعض تطبيقات مكبر العمليات



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

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

ربح الحلقة المغلقة A يعطى بالعلاقة:

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

مثال: ليكن لدينا المكبر العاكس المبين سابقاً والذي فيه $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ و $R_f = 2 \text{ k}\Omega$. حدد جهد الخرج عندما يكون جهد الدخل $+0.4 \text{ V}$ (١) و -1.2 V (٢).

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)

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