

دارات الكترونية

المضخم التفاضلي - *Differential amplifier*

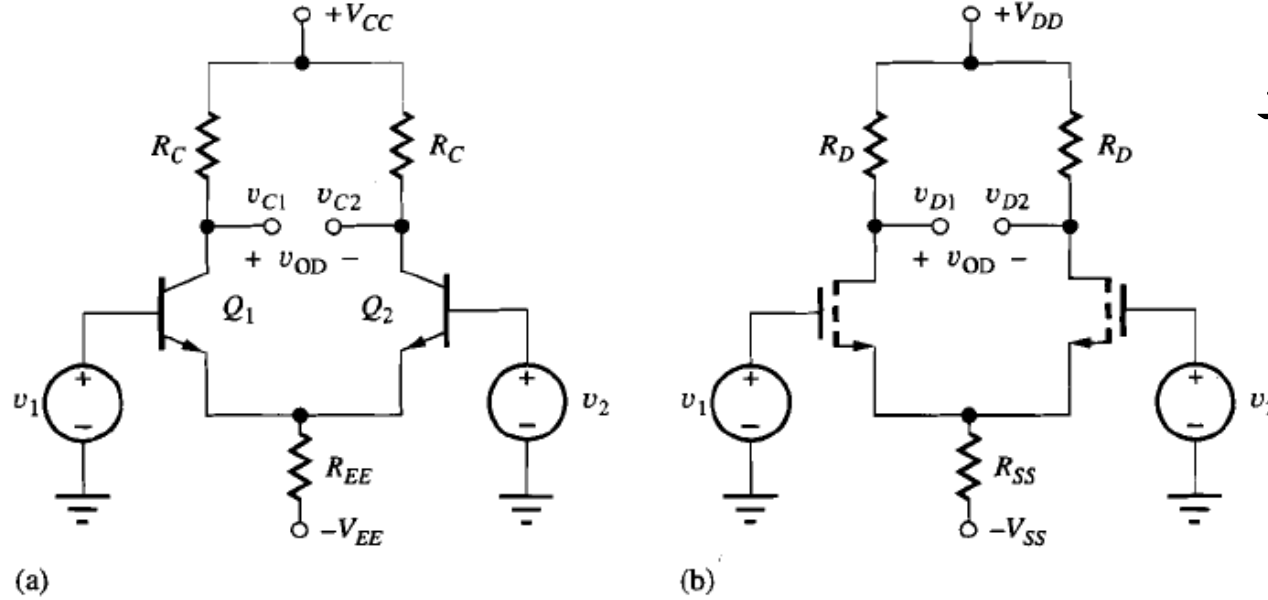
مضخم العمليات - *Operational amplifier*

مدرس المقرر

د. السموءل صالح

مقدمة

المضخم التفاضلي (Differential amplifier)

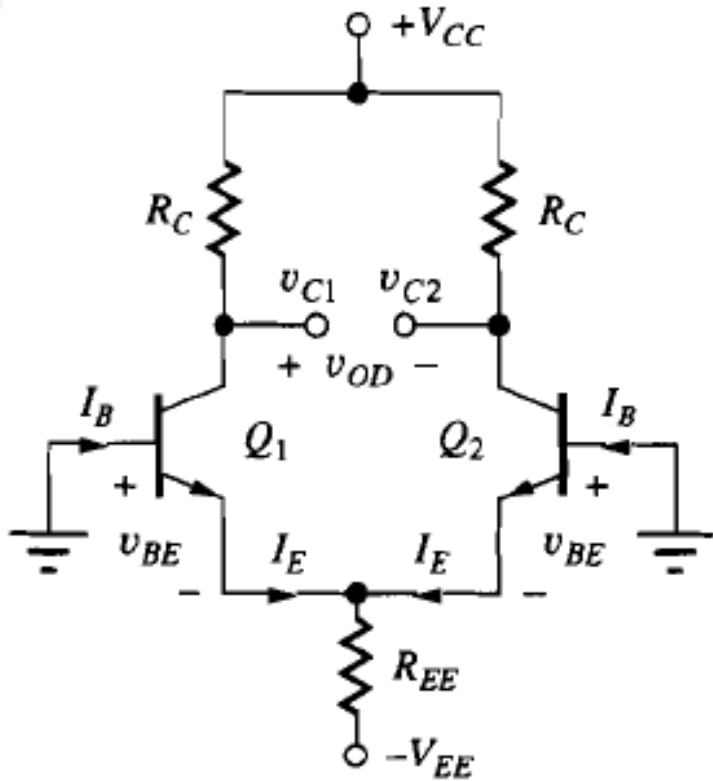


- يتكون المضخم التفاضلي من ترانزستورين متماثلين تمام BJT or MOS موصولين بالشكل المبين، يملك مدخلين v_1 & v_2 وله خرج v_{OD} يمثل النمط التفاضلي ويعرف بالفرق الجهد بين مجمعي او مصرفي الترانزستورين. ويمكن أخذ الخرج بين كل من المجمع أو المصرفين v_{C1} , v_{C2} or v_{D1} , v_{D2} والارضي.
- التناظر الموجود في المضخم يقدم خصائص مستمرة dc ومتناوبة ac مفيدة جدا.

- على جميع الجهات نحصل على اداء مثالي للمضخم التفاضلي فقط عندما يكون الترانزستورين متناظرين بشكل مثالي، و أفضل نسخة لهذا المضخم هي المصممة بتقنية الدارات المتكاملة IC والتي تقدم أفضل تقارب ويسمى بدارة مضخم العمليات.
- نقول عن ترانزستورين أنهما متماثلين اذا كان لدهما نفس الخصائص ونفس قيم البارامترات مثل: للترانزستور BJT (I_s , β_{FO} , V_A) أو للترانزستور Mos (K , V_{TN} and λ), ولهما نفس درجة الحرارة.

DC Analyze of Differential Amplifiers

التحليل المستمر للمكبر التفاضلي



- لإيجاد نقطة العمل الساكنة للمضخم نقصر إشارة الدخل كما الشكل وبذلك يمكن كتابة: $V_{BE1} = V_{BE2} = V_{BE}$

- بفرض التطابق بين الترانزستورين $Q1$ and $Q2$ هذا التطابق يفرض ما يلي: $V_{C1} = V_{C2} = V_C$ وكذلك قيم التيارات

على خرج كل من الترانزستورين متطابقة وفق: $I_{C1} = I_{C2} = I_C$ $I_{E1} = I_{E2} = I_E$ $I_{B1} = I_{B2} = I_B$

- يكتب تيار الباعث لكلا الترانزستورين من حلقة دخل $Q1$ وفق:

$$V_{BE} + 2I_E R_{EE} - V_{EE} = 0 \quad \text{Then} \quad I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_{EE}} \quad I_C = \alpha_F I_E \quad I_B = \frac{I_C}{\beta_F}$$

- الجهد على كل من المجمعين يساوي الى: $V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - I_C R_C$ كذلك: $V_{CE1} = V_{CE2}$

- من أجل المضخم التفاضلي المتناظر جهد الخرج المستمر يكون معدوماً: $V_{OD} = V_{C1} - V_{C2} = 0 \text{ V}$

Example: Find the Q-points plus V_C and I_B for the differential amplifier if

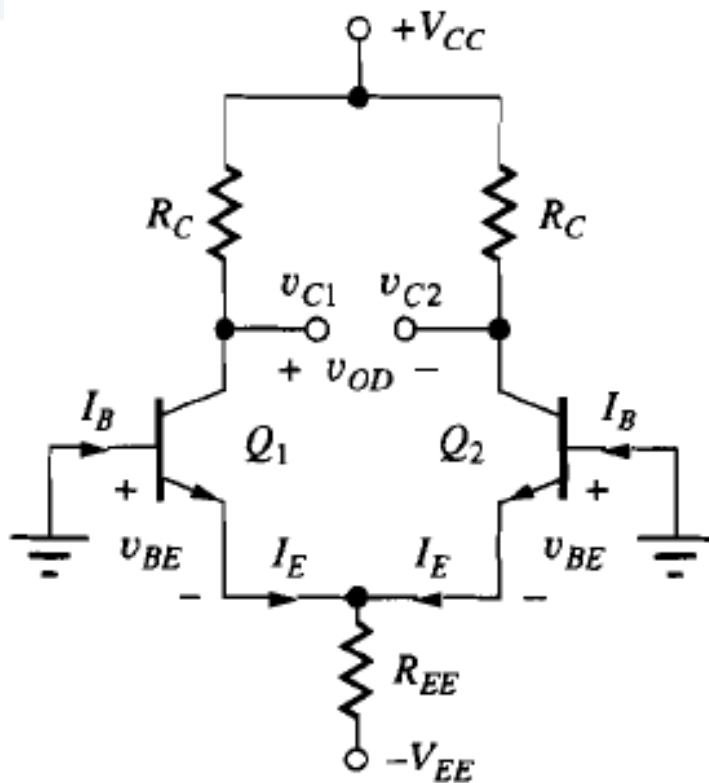
$$V_{CC} = V_{EE} = 15 \text{ V}, R_{EE} = 75 \text{ K}\Omega, R_C = 75 \text{ K}\Omega, \text{ and } \beta_F = 100.$$

Active region operation with $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_A = \infty$

الدارة المكافئة المستمرة DC لتحليل المضخم التفاضلي الذي يستخدم الترانزستور

DC Analyze of Differential Amplifiers

التحليل المستمر للمكبر التفاضلي



Example: Find the Q-points plus V_C and I_B for the differential amplifier if

$V_{CC} = V_{EE} = 15 \text{ V}$, $R_{EE} = 75 \text{ k}\Omega$, $R_C = 75 \text{ k}\Omega$, and $\beta_F = 100$.

Active region operation with $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $V_A = \infty$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{2R_{EE}} = \frac{(15 - 0.7) \text{ V}}{2(75 \times 10^3 \Omega)} = 95.3 \mu\text{A}$$

$$I_C = \alpha_F I_E = \frac{100}{101} I_E = 94.4 \mu\text{A}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{94.4 \mu\text{A}}{100} = 0.944 \mu\text{A}$$

$$V_C = 15 - I_C R_C = 15 \text{ V} - (9.44 \times 10^{-5} \text{ A})(7.5 \times 10^4 \Omega) = 7.92 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 7.92 \text{ V} - (-0.7 \text{ V}) = 8.62 \text{ V}$$

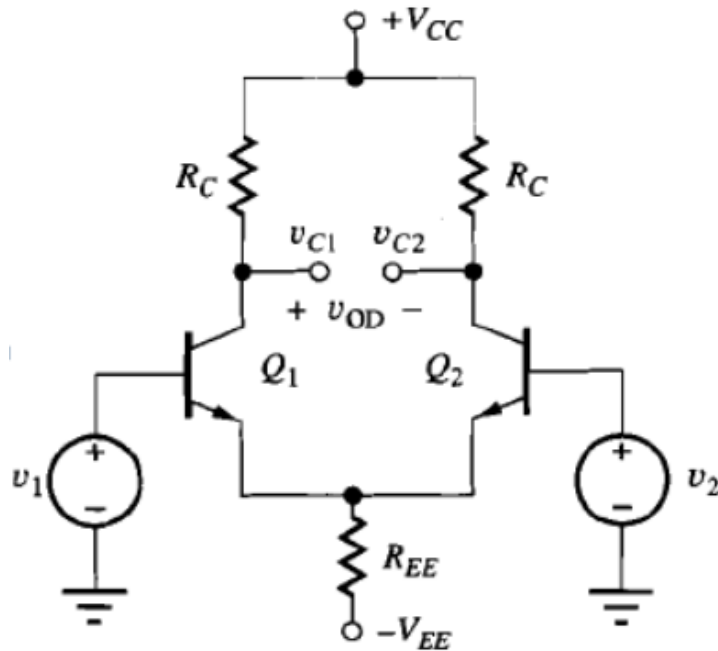
الدارة المكافئة المستمرة DC لتحليل المضخم التفاضلي
الذي يستخدم الترانزستور

Because of the circuit symmetry, both transistors in the differential amplifier are biased at a Q-point of $(94.4 \mu\text{A}, 8.62 \text{ V})$ with $I_S = 0.944 \mu\text{A}$ and $V_C = 7.92 \text{ V}$.

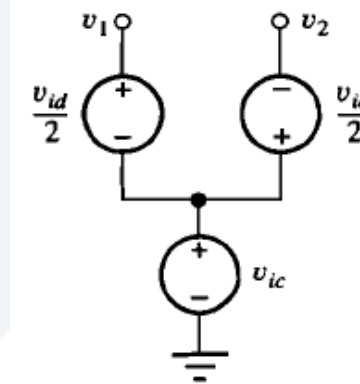
AC Analyze of Differential Amplifiers

التحليل المتناوب للمكبر التفاضلي

يمكن تبسيط التحليل المتناوب للمضخم التفاضلي بمكافئة كل من جهدي الدخل v_1 and v_2 بالنمطين الآتين كمركبات لإشارة الدخل:
 ١- نمط الدخل التفاضلي (differential-mode input (v_{id}) والمعرف وفق الشكل المبين:

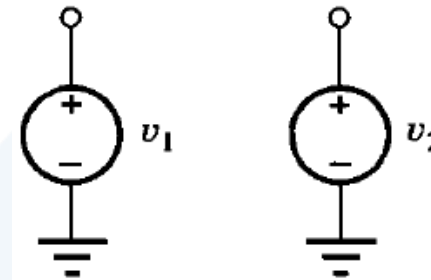


1- Definition of differential-mode (v_{id}) input voltages.



$$v_{id} = v_1 - v_2$$

٢- نمط الدخل المشترك (common-mode input (v_{ic}) والمعرف وفق الشكل المبين:



$$v_{ic} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

2- Definition of the common-mode (v_{ic}).

AC Analyze of Differential Amplifiers

التحليل المتناوب للمكبر التفاضلي

يمكن تبسيط التحليل المتناوب للمضخم التفاضلي بمكافئة كل من جهدي الدخل v_1 and v_2 بالنمطين الآتين كمركبات لإشارة الدخل:
 ١- نمط الدخل التفاضلي (differential-mode input) (v_{id}). ٢- نمط الدخل المشترك (common-mode input) (v_{ic}).

-- بناء على ذلك يمكن كتابة جهد الدخل باستخدام النمطين السابقين v_{ic} and v_{id} وفق:

$$v_1 = v_{ic} + \frac{v_{id}}{2} \quad \text{and} \quad v_2 = v_{ic} - \frac{v_{id}}{2}$$

-- وبنفس الالية يمكن كتابة جهد الخرج لكل من النمطين v_{od} and v_{oc} وفق:

$$v_{od} = v_{c1} - v_{c2} \quad \text{and} \quad v_{oc} = \frac{v_{c1} + v_{c2}}{2}$$

-- يمكن الان تعميم النتيجة وايجاد العلاقة في الحالة العامة بين دخل وخرج المضخم التفاضلي والتي تعطي اربع معاملات تضخيم معرفة بـ:

A_{dd} = differential-mode gain

A_{cd} = common-mode (to differential-mode) conversion gain

A_{cc} = common-mode gain

A_{dc} = differential-mode (to common-mode) conversion gain

$$\begin{bmatrix} v_{od} \\ v_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{dd} & A_{cd} \\ A_{dc} & A_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{id} \\ v_{ic} \end{bmatrix}$$

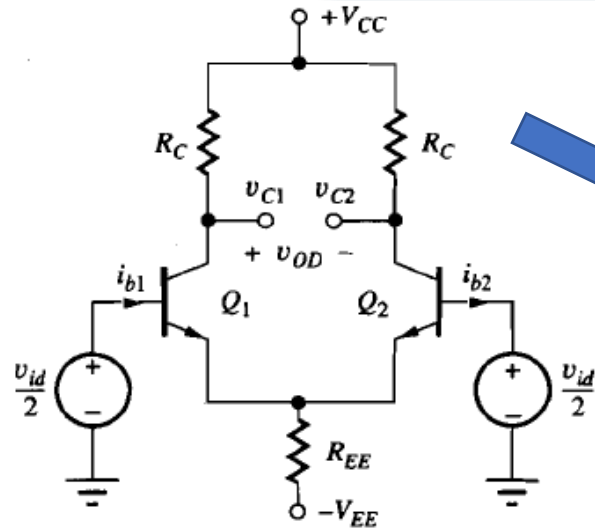
-- في هذه الحالة تنتج عن نمط إشارة الدخل التفاضلية إشارة خرج صرفة بالنمط التفاضلي، وعن إشارة النمط المشترك في الدخل ينتج فقط خرج بنمط مشترك صرف.

$$\begin{bmatrix} v_{od} \\ v_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{dd} & 0 \\ 0 & A_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{id} \\ v_{ic} \end{bmatrix}$$

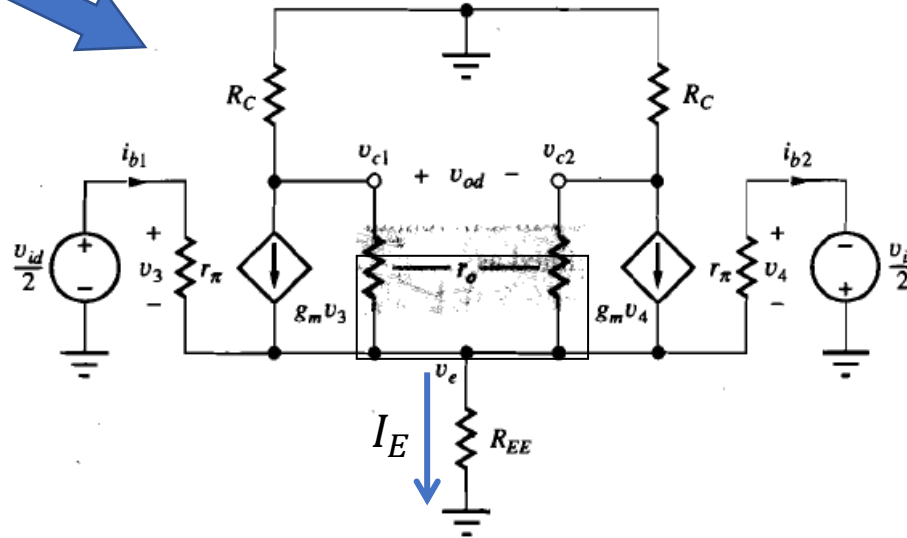
-- عندما يكون كل من الترانزستورين مثالين ومتطابقين تماما يكون كل من المعاملين A_{cd} and A_{dc} مساوين للصفر ونكتب:

AC Analyze of Differential Amplifiers

Differential-mode Gain and Input Resistance



Differential amplifier with a differential-mode input signal.



التحليل المتناوب للمكبر التفاضلي

ربح المكبر التفاضلي ومقاومة الدخل عند النمط التفاضلي

- ١- طبقت اشارة الدخل من النمط التفاضلي على مداخل المضخم لاحظ الشكل.
- ٢- المطلوب حساب الربح للخروج التفاضلي ولك خرج مفرد.
- ٣- بسبب وجود مقاومة حمل للترانزستور، يمكن اهمال مقاومة خرجه r_o عند الدارة المكافئة المتناوبة للإشارة الصغيرة المبينة بالشكل.

لحساب التيار الكلي على عقدة الباعث:

$$I_E = \frac{v_e}{R_{EE}} = g_m v_3 + \frac{v_3}{r_\pi} + g_m v_4 + \frac{v_4}{r_\pi}$$

يمكن تبسيط هذه المعادلة بأخذ الناقلية بدل المقاومة:

$$I_E = g_{EE} v_e = (g_m + g_\pi)(v_3 + v_4)$$

يحسب الربح للنمط التفاضلي A_{dd} من اجل خرج متوازن

وفق: $v_d = v_{c1} - v_{c2}$

الربح لكل خرج على حدى
باعتداد v_{c1} or v_{c2}

$$A_{dd} = \left. \frac{v_{od}}{v_{id}} \right|_{v_k=0} = -g_m R_C$$

$$A_{dd1} = \left. \frac{v_{c1}}{v_{id}} \right|_{v_k=0} = \frac{g_m R_C}{2} = \frac{A_{dd}}{2} \quad \text{or} \quad A_{dd2} = \left. \frac{v_{c2}}{v_{id}} \right|_{v_k=0} = +\frac{g_m R_C}{2} = -\frac{A_{dd}}{2}$$

AC Analyze of Differential Amplifiers

Differential-mode Gain and Input Resistance

التحليل المتناوب للمكبر التفاضلي

ربح المكبر التفاضلي ومقاومة الدخل عند النمط التفاضلي

-- بالنسبة لحساب الربح الناتج عن النمط المشترك يكون $A_{cc} = 0$ لان $v_{C2} = -v_{C1}$

-- لحساب مقاومة دخل النمط التفاضلي R_{id} وهي المقاومة التي تمثل مقاومة الاشارة الصغيرة بالنسبة لجهد دخل النمط التفاضلي وتظهر بين قاعدتي الترانزستورين وتعطى بـ:

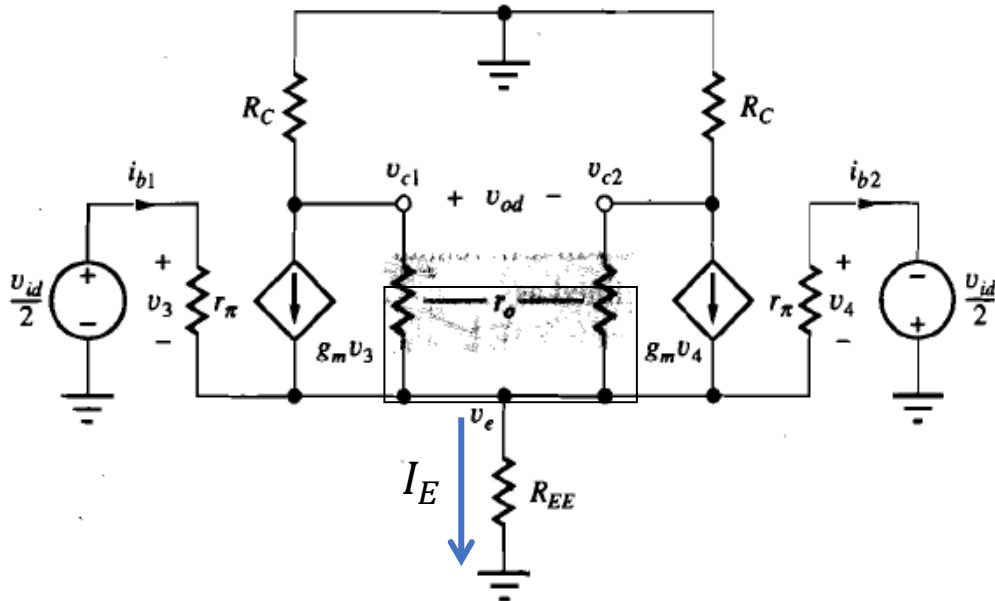
$$R_{id} = \frac{v_{id}}{i_{b1}} = 2r_{\pi} \quad \text{because } i_{b1} = \frac{v_{id}}{2r_{\pi}}$$

-- إذا أصبحت قيمة $v_{id} = 0$ إذا $g_m v_3 = g_m v_4 = 0$ وبذلك تأخذ مقاومة الخرج R_{od} للنمط التفاضلي القيمة:

$$R_{od} = 2(R_C \parallel r_o) \cong 2R_C$$

-- وتصبح قيمة المقاومة لكل خرج على حدى:

$$R_{od} \cong R_C$$



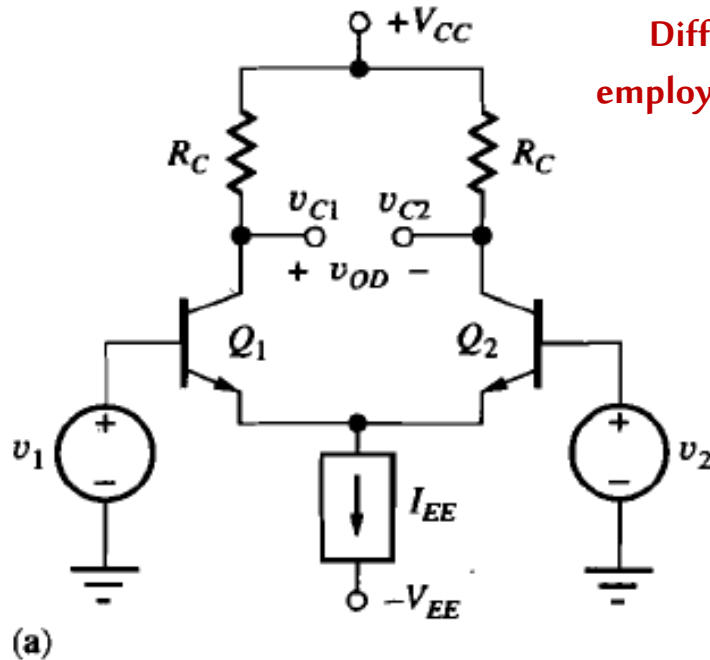
Biasing with Electronic Current Sources

التحيز باستخدام تيار منبع الكتروني على الباعث

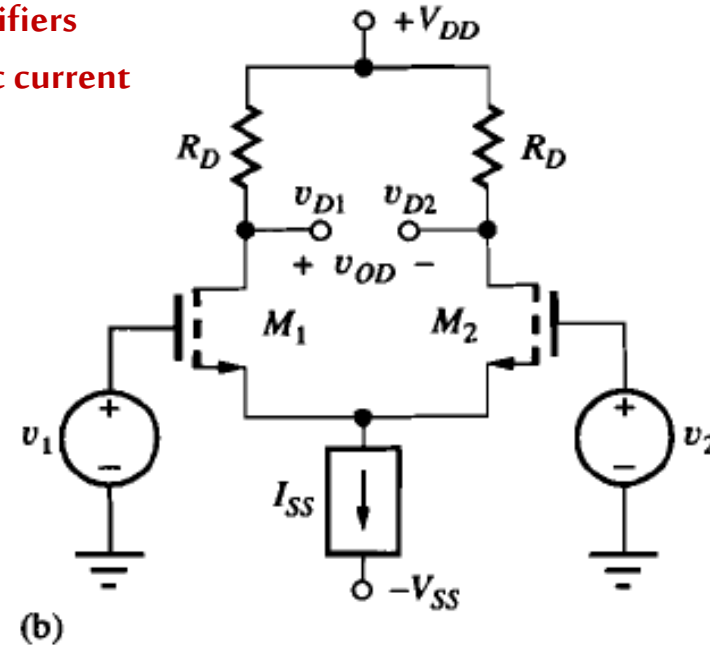
-- تعتمد نقطة العمل للمضخم التفاضلي بشكل مباشر على جهد المنبع وخاصة الجهد السالب وكذلك على مقاومة الباعث R_{EE} .

-- حتى نتخلص من هذه الحدود ونعمل على استقرار نقطة العمل ودعم مقاومة الباعث يجب تحيز المضخم التفاضلي باستخدام منبع التيار على الباعث.

-- التحيز باستخدام منبع التيار على للمضخم التفاضلي المكون من الترانزستور BJT أو MOSFET حيث نستبدل كل من المقاومة R_{EE} او المقاومة R_{SS} بمنبع التيار.



Differential amplifiers
employing electronic current
source bias.



Biasing with Electronic Current Sources

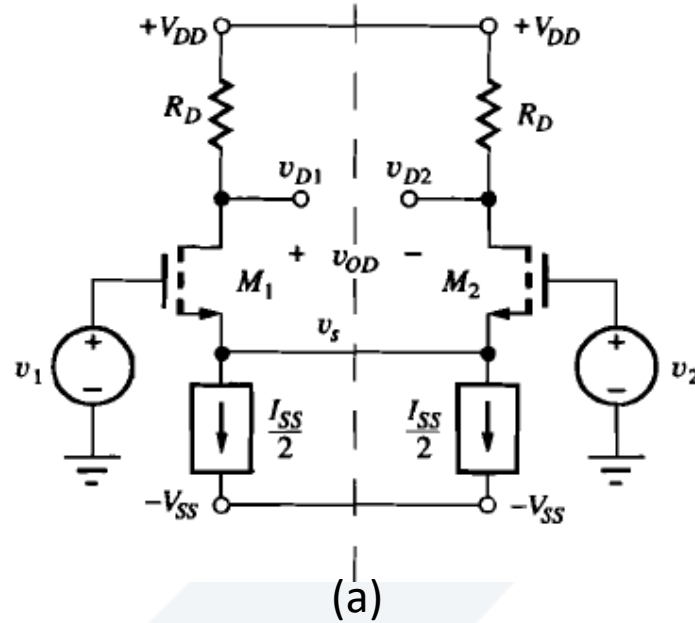
التحيز باستخدام تيار منبع الكهروني

DC Analysis of the MOSFET Differential Amplifier

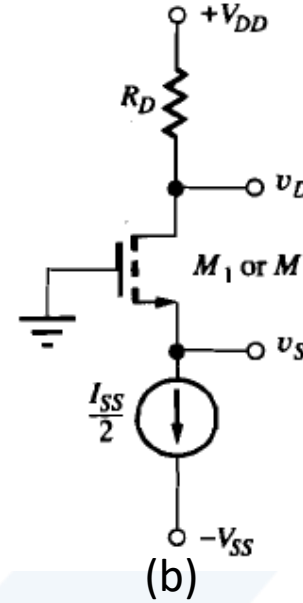
التحليل المستمر للمضخم التفاضلي الذي يستخدم ترانزستور تأثير الحقل

- من المعروف أن الترانزستور MOSFETs يقدم مقاومة دخل عالية جدا وهو مستخدم بشكل كبير في تقنية الـ CMOS.
- بالإضافة لمقاومة الدخل العالية يقدم المضخم الذي يستخدم ترانزستور تأثير الحقل نسبة تضخيم عالية بالمقارنة مع الذي يستخدم الترانزستور ثنائي القطبية.

(a) دائرة المضخم التفاضلي
المتناظر باستخدام الـ MOS



(b) تقنية نصف الدارة من أجل
التحليل المستمر.



-- من الواضح أن قيمة تيار منبع I_S مساوي
لنصف قيمة تيار المنبع

-- بالنسبة لجهد بوابة الـ MOSFET ممكن أن يحسب بشكل
مباشر عن طريق تيار المصرف وفق:

$$I_D = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 \quad \text{Then:}$$

$$V_{GS} = V_{TN} + \sqrt{\frac{2I_D}{K_n}} = V_{TN} + \sqrt{\frac{I_{SS}}{K_n}}$$

ولدينا أيضا جهد المنبع:
جهد المصرف:

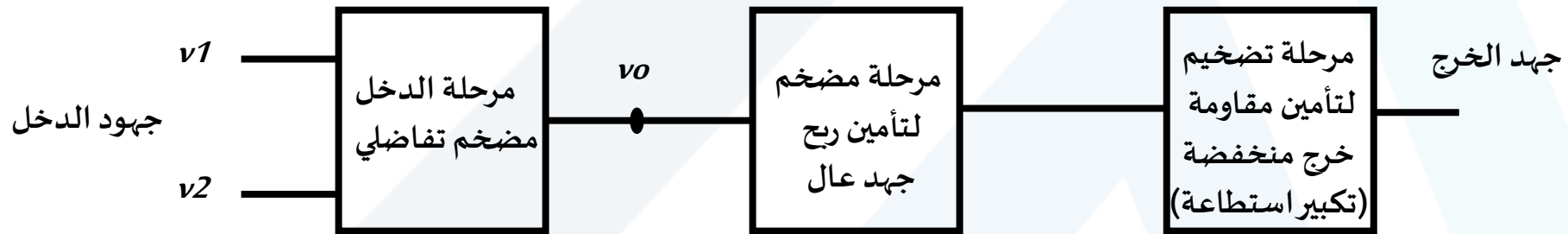
$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D + V_{GS} \quad \text{جهد المنبع-مصرف يعطى:}$$

$$V_{D1} = V_{D2} = V_{DD} - I_D R_D \quad \text{and} \quad V_O = 0$$

Operational amplifier

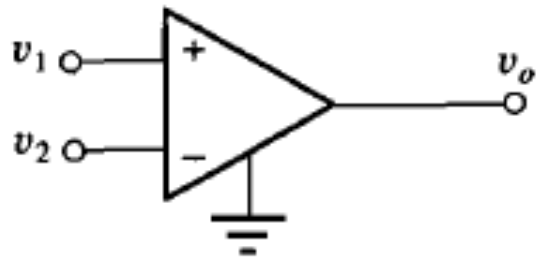
مضخم العمليات

- أهم تطبيق للمضخم التفاضلي هو استخدامه كدائرة دخل لمكبر العمليات باعتباره يؤمن جهد الدخل التفاضلي المرغوب فيه.
- لكن مكبر العمليات يحتاج الى ربح جهد عال الذي لا يستطيع المضخم التفاضلي تأمينه.
- لذلك يربط الى المضخم التفاضلي مرحلة أو أكثر لتأمين ربح الجهد المطلوب.
- يجب على المرحلة النهائية (وعادة المرحلة الثالثة) أن تؤمن مقاومة خرج منخفضة لمكبر العمليات وتيار خرج عال (تكبير استطاعة).

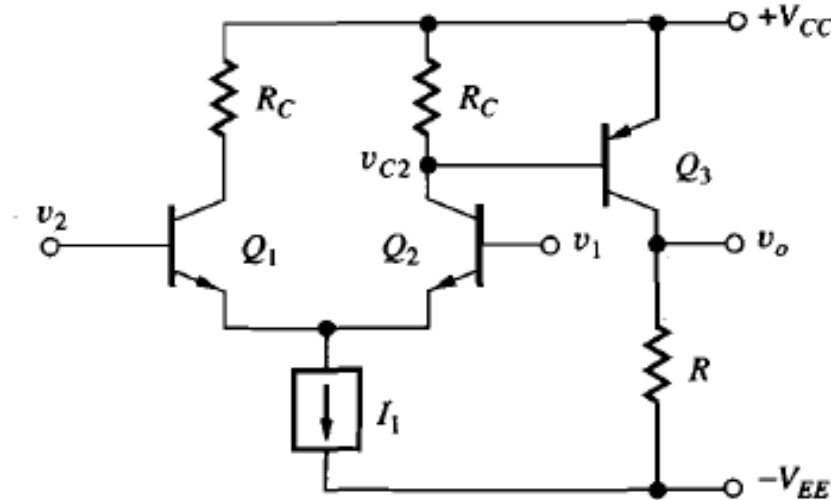


- يعد مكبر العمليات (Operational Amplifier (op-amp) من أكثر العناصر الالكترونية استخداماً ضمن تطبيقات الدارات الخطية بسبب كلفته البسيطة وسهولة استخدامه واستهلاكه القليل للاستطاعة ودقة أدائه والوثوقية العالية وإمكانية استخدامه دون معرفة بنيته الداخلية المعقدة والمؤلفة من العديد من الترانزستورات والمقاومات وبعض المكثفات لاحظ الدارة المكافئة.

Operational amplifier



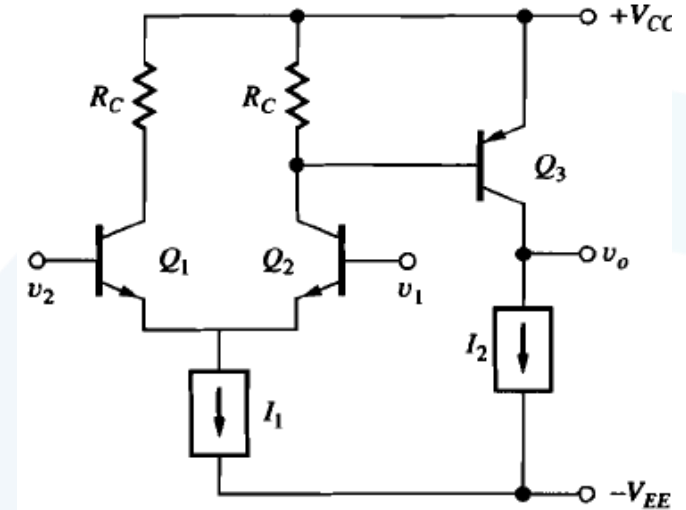
الرمز الفيزيائي لدارة مضخم العمليات



دائرة مكبر عمليات بمرحلتين الأولى مضخم تفاضلي
والثانية مضخم باعث مشترك لتأمين ربح جهد عال

مضخم العمليات

دائرة مكبر عمليات بمرحلتين



يمكن تحسين الربح وذلك باستبدال المقاومة R المربوطة مع
مجمع الترانزستور Q3 بممنوع تيار كما في الشكل

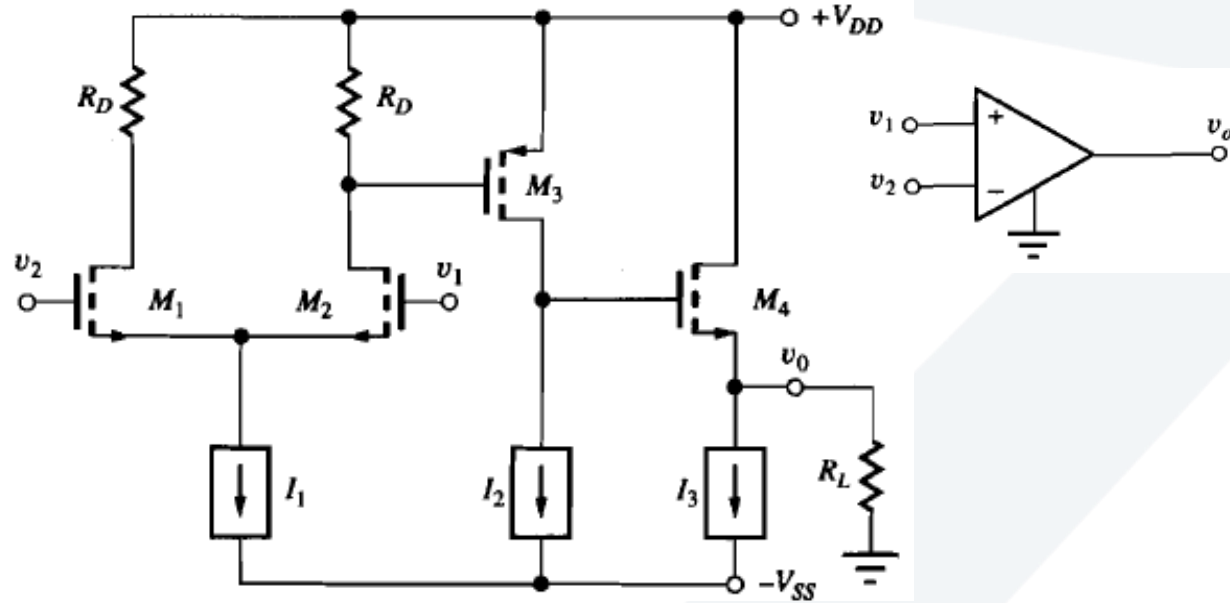
Operational amplifier

مضخم العمليات

دائرة مكبر عمليات بثلاث مراحل

يتم تخفيض مقاومة الخرج بإضافة مرحلة جديدة (ثالثة) ذات مقاومة خرج منخفضة،
وصلة المجمع المشترك تؤمن مقاومة خرج منخفضة

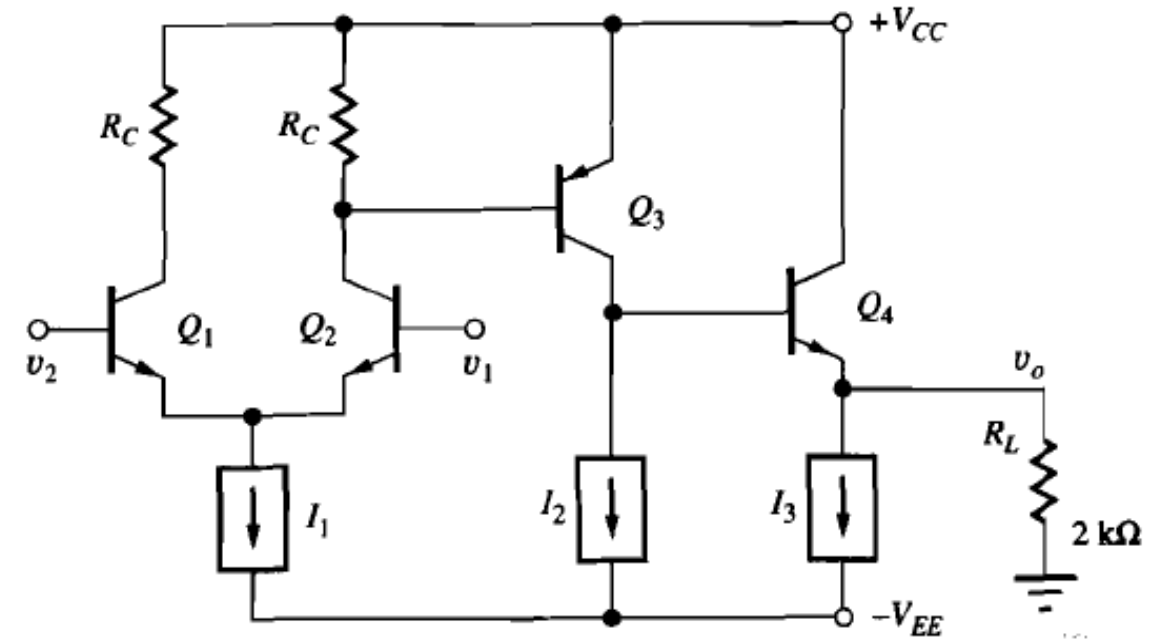
مكبر العمليات باستخدام ترانزستور MOSFET



مرحلة-١- دائرة الدخل: مضخم تفاضلي باستخدام MOSFET ترانزستور.

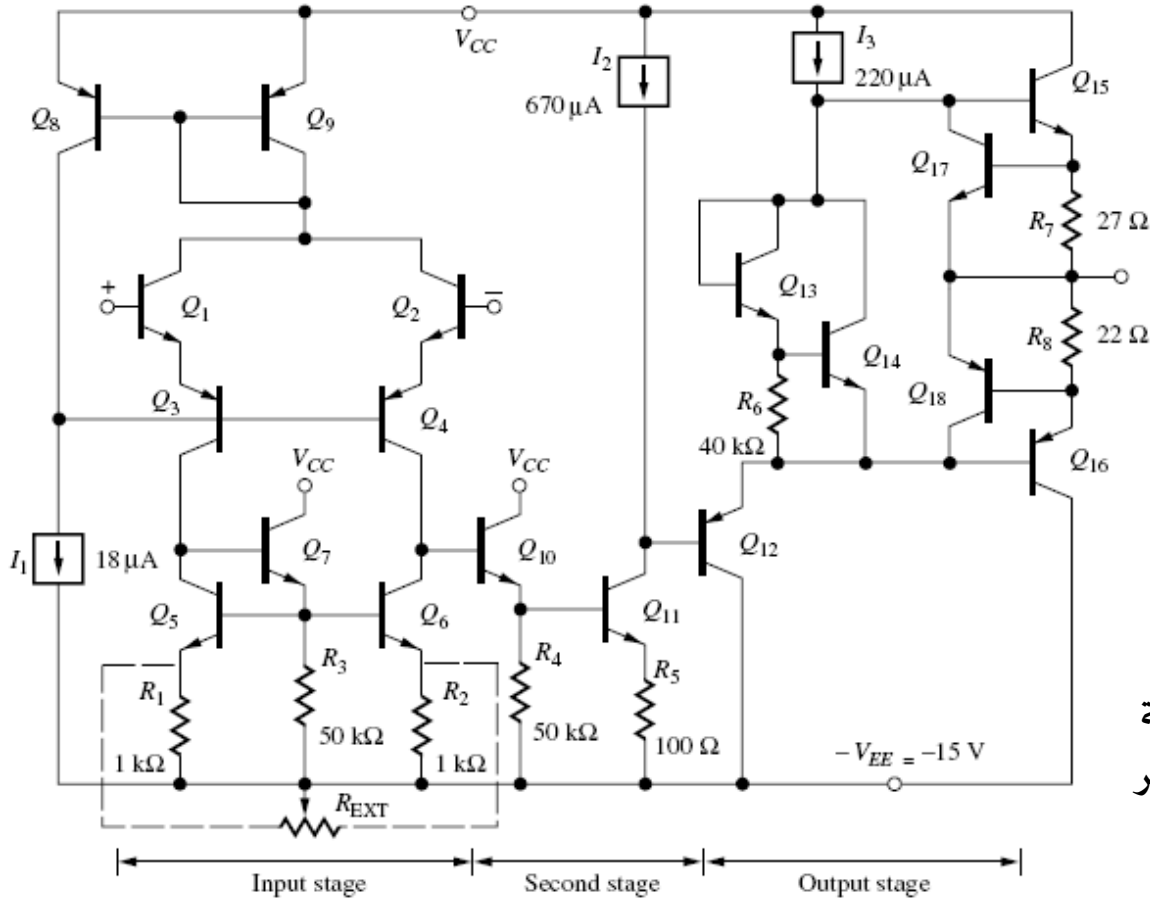
مرحلة-٢- دائرة التضخيم وصلة المنبع المشترك.

مرحلة-٣- دائرة الخرج وصلة المصرف المشترك (ربح = ١ ومقاومة خرج منخفضة).



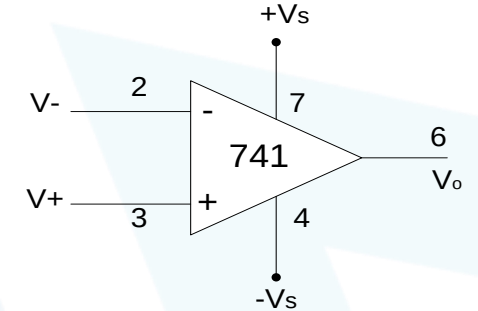
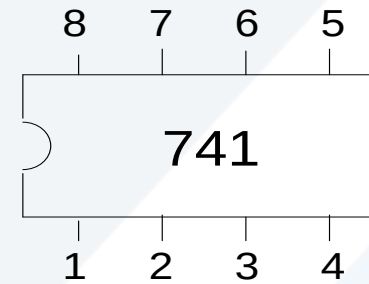
• يتم تصنيع مكبرات العمليات على شكل دارات متكاملة (ICs)

The 741 Operational amplifier



مضخم العمليات 741

هو عبارة عن دائرة متكاملة بثمانية أرجل، 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:



١. الرجل رقم (٢): المدخل العاكس (-) ،
٢. الرجل رقم (٤): التغذية السالبة (-Vs) ،
٣. الرجل رقم (٦): المخرج ،
٤. 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 المدخل

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، دائرة قص وتحديد، وحيد وثنائي وعديم الاستقرار، مولد الإشارات....

The 741 Operational amplifier

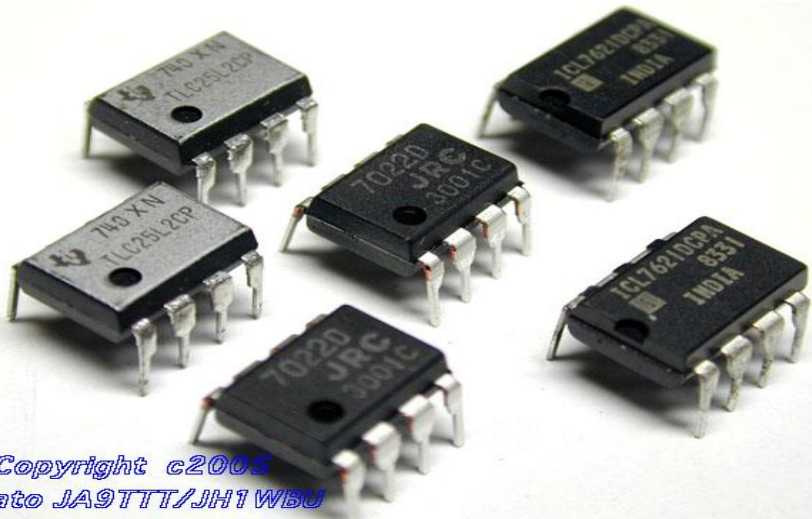
مضخم العمليات 741

- إن قطبية جهد الخرج لمكبر العمليات تعتمد على قطبية فرق الجهد بين مدخله أي أنه يضخم الفرق بين جهدي الدخل V_1 (المدخل العاكس) و V_2 (المدخل غير العاكس) ، يمكن التمييز بين ثلاثة حالات:
 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 و 10^{12} 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

Operational amplifier

مضخم العمليات -- ملخص --

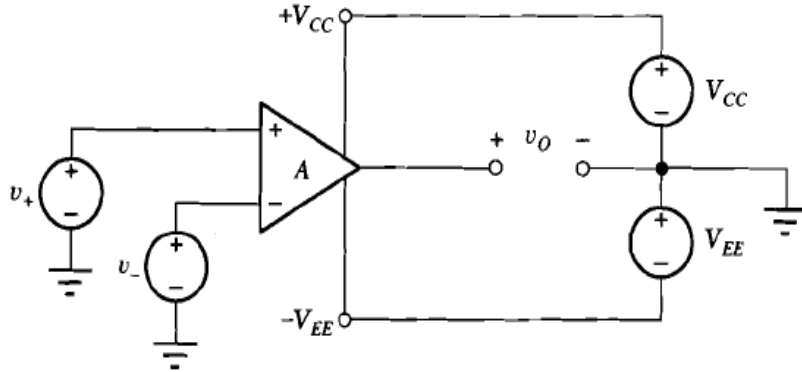
- يعد مكبر العمليات (Operational Amplifier (op-amp من أكثر العناصر الالكترونية استخداماً ضمن تطبيقات الدارات الخطية بسبب كلفته البسيطة وسهولة استخدامه واستهلاكه القليل للطاقة ودقة أدائه والوثوقية العالية وإمكانية استخدامه دون معرفة بنيته الداخلية المعقدة والمؤلفة من العديد من الترانزستورات والمقاومات 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
 - 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....



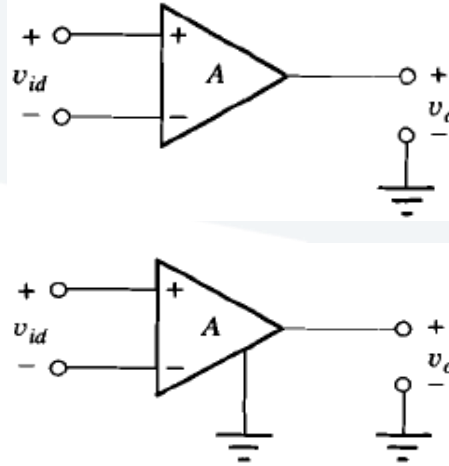
Copyright c2005
T.Kato JA9TTT/JH1WBU

The 741 Operational amplifier

الرمز الالكتروني لمضخم العمليات 741



مكبر العمليات مع نهايات التغذية المستمرة لتأمين
انحياز الترانزستورات الداخلية



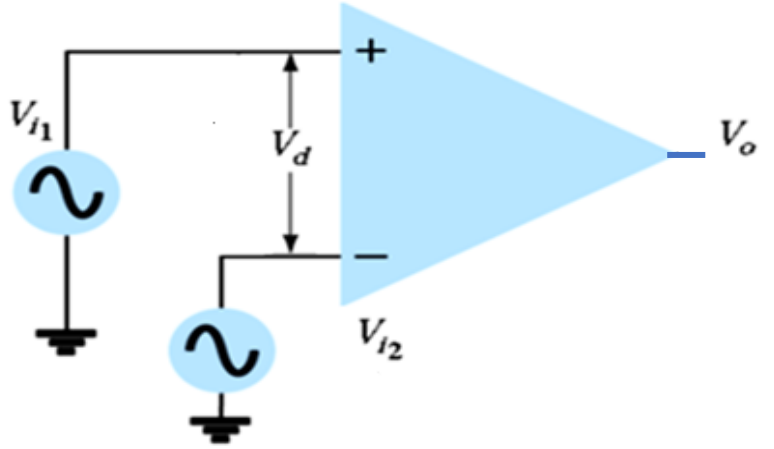
الرمز المبسط لمكبر العمليات

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 الآتية:

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

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

حالات دخل مضخم العمليات

١- **المدخل بقطبية متوافقة Same Polarity Inputs:** عند تطبيق اشارات متوافقة على مدخل 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 المدخل متوافقة تماما (بدون اي فرق بينهما بالطور)، يكون الخرج اكبر من اشارة الدخل بعامل التضخيم المشترك.

٢- **المدخل بقطبية متعاكسة:** عند تطبيق اشارات متعاكسة على مدخل 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 المدخل متعاكسة تماما (بدون عنصر مشترك)، يكون الخرج اكبر من اشارة الدخل بضعف عامل التضخيم التفاضلي.

The 741 Operational amplifier

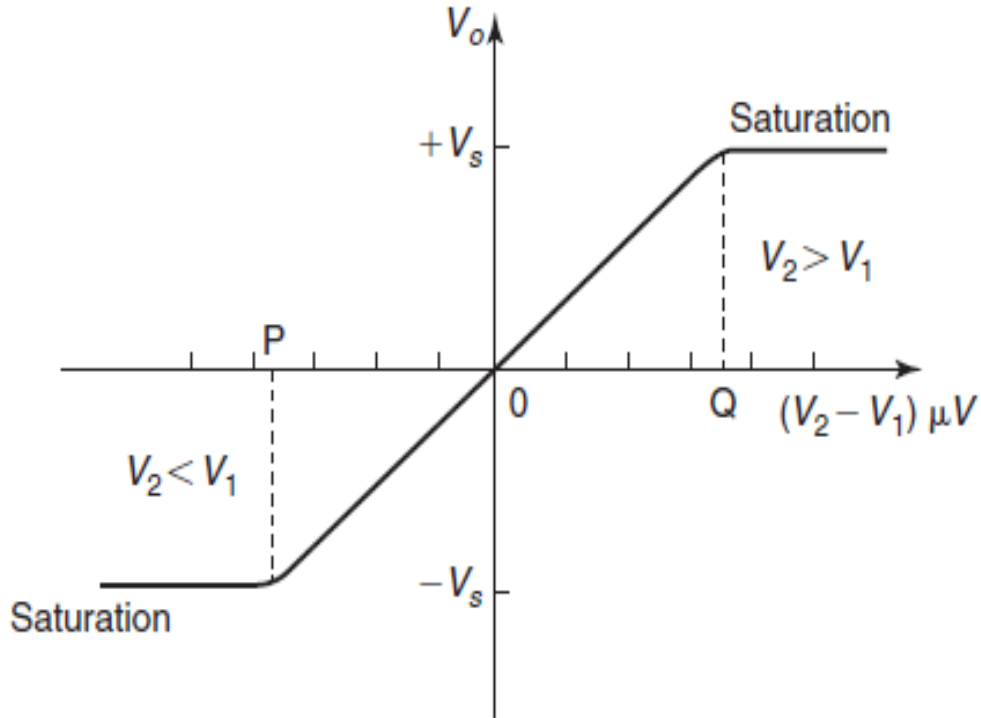
العمل العام لمضخم العمليات 741

- 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:

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

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