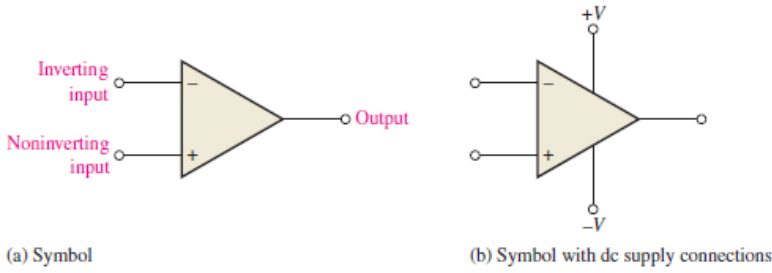


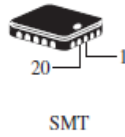
المحاضـ 16 — مرة

مكبر العمليات Operational Amplifier

تم اختراع مكبر العمليات في اربعينيات القرن الماضي اثناء الحرب العالمية الثانية وذلك للقيام بالعمليات الحسابية ولهذا السبب سمي بمكبر العمليات. مكبر العمليات عبارة عن دائرة متكاملة تحتوي ترازستورات، مقاومات، متسعات وغيرها مدمجة ضمن شريحة واحدة صغيرة الحجم. الشكل ادناه يبين مخطط لمكبر العمليات.

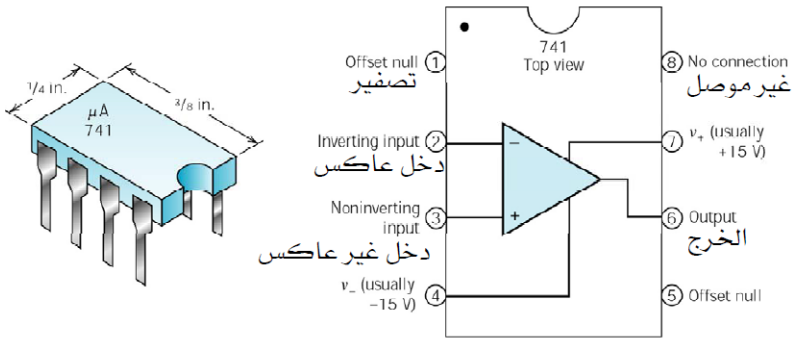


لمكبر العمليات مدخلان، عاكس (-) وغير عاكس (+) ومخرج واحد وتكون الاشارة الخارجة بنفس طور الاشارة الداخلة من المدخل غير العاكس بينما تكون معكوسة القطبية اذا كانت مدخلة من الطرف العاكس



لتشغيل مكبر العمليات يجب تسليط جهد تحييز موجب (+V) واخر سالب (-V) كما في الشكل اعلاه.

اشهر مكبر عمليات هو OP AMP 741 وشكله مبين ادناه.



الطرفان 1 و 5 في المكبر 741 اضيفا

لضبط اشارة الخرج على الصفر عندما

تكون الاشارة الداخلة صفر وتسمى اطراف

تصفير الازاحة Offset null.

جهد الإشباع

نشغل مكبر العمليات بجهدين متساويين و متعاكسين مثل $(-15V,+15V)$ ، $(-18V,+18V)$. في بعض الأحيان نستخدم جهدين غير متناظرين مثل $(-12V,+18V)$ ، و $(0V,30V)$. هذه المصادر للجهد توفر القدرة اللازمة للتشغيل وتحدد أقصى مستوى لإشارة الخرج، هذه الأخيرة تسمى جهود الإشباع وتحسب كالتالي:

$$(1-2) \quad +V_{sat} = +V_{supply} - 2V$$

$$(2-2) \quad -V_{sat} = -V_{supply} + 2V$$

حيث (V_{Supply}) يمثل جهد تغذية مكبر العمليات و (V_{sat}) يمثل جهد التشبع. جهد التشبع يكون دائما أقل من جهد التغذية بحوالي $(2V)$ بسبب ضياع قدرة على شكل حرارة داخل مكبر العمليات. مما يعني أن خرج مكبر العمليات يكون في الحدود:

$$-V_{sat} < V_{out} < +V_{sat}$$

نعرف جهد إشارة الدخل بالفرق بين جهد الدخل (V^+) وجهد الدخل (V^-) ويسمى جهد الدخل الفرقي. الدخل الفرقي V_d يعطى بالعلاقة:

$$(3-2) \quad V_d = V^+ - V^-$$

لتحديد مستوى إشارة الخرج لا بد أن نحدد كسب مكبر العمليات. إذا لم نوصل مكونات خارجية نحصل على ما يسمى كسب الدائرة المفتوحة (Open Loop Gain). نحصل على هذه القيمة من ورقة مواصفات المكبر (A_{OL}) . القيمة العملية لهذا الكسب لمكبر عمليات 741 هي 200, 000. من هذا نحصل على:

$$(4-2) \quad V_{out} = A_{OL} V_d$$

طالما $V_{out} < V_{sat}$. إذا كان حاصل الضرب أكبر من V_{sat} يكون الخرج $+V_{sat}$ أو $-V_{sat}$ على حسب إشارة الجهد الفرقي V_d .

إذا كان جهد المصدر يساوي 15V و كسب الدائرة المفتوحة يساوي 200,000 حدد أقصى جهد دخل فرقي لتجنب الإشباع لإشارة الخرج. كرر الحل لكسب دائرة مفتوحة بقيمة 500,000.

الحل:

$$+V_{sat} = +V_{Supply} - 2V = 15V - 2V = 13V$$

$$-V_{sat} = -V_{Supply} + 2V = 15V - 2V = -13V$$

إذاً أقصى جهد الخرج لا يجب أن يتعدى 13V.

$$V_d = V_{out}/A_{OL} = 13V/200000 = 65\mu V$$

$$V_d = V_{out}/A_{OL} = 13V/500000 = 26\mu V \quad ; \quad A_{OL} = 500000$$

إذا زاد الدخل عن القيم أعلاه فإن الخرج يصل للإشباع. هذا يعني أن الدخل الذي لا يدخل المكبر في الإشباع بالنسبة للدائرة المفتوحة صغير جداً.

ملاحظة:

(١) بما أن كسب الدائرة المفتوحة كبير جداً فإن هذه الدائرة تستعمل عادة كدائرة مقارن.

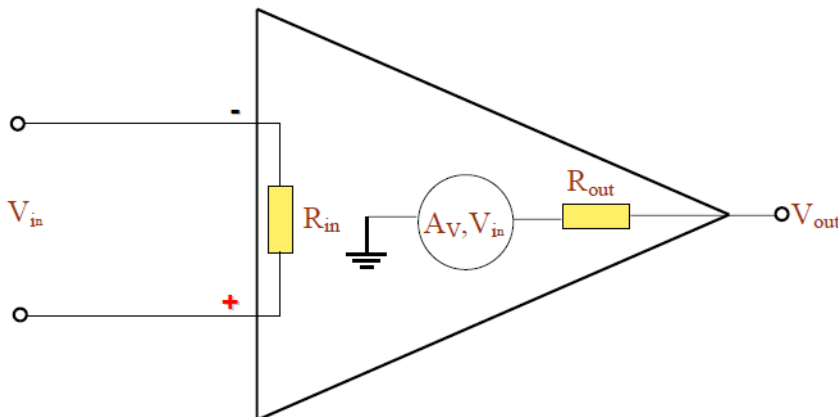
(٢) لتقليل كسب الجهد ومنه تجنب الإشباع نستعمل ما يسمى بالتغذية الخلفية وتصبح الدائرة أكثر استقراراً.

مقاومة الدخل R_{in}

مقاومة الدخل الكبيرة تعني أن هذا المكبر لن يؤثر على مصدر إشارة الدخل حيث إن مقاومة الدخل عملياً في حدود (1 M Ω) مما يجعل الحمل على إشارة الدخل (التيار) صفراً. الشكل 6-2 يوضح مقاومة الدخل (R_{in}) في الدائرة المكافئة.

٥-٢-٢. مقاومة الخرج (R_{out}):

مقاومة الخرج هي المقاومة المرئية من عقدة الخرج وتكون صغيرة جداً. الشكل 6-2 يوضح مقاومة الخرج (R_{out}) في الدائرة المكافئة.



التغذية الخلفية في مكبرات العمليات

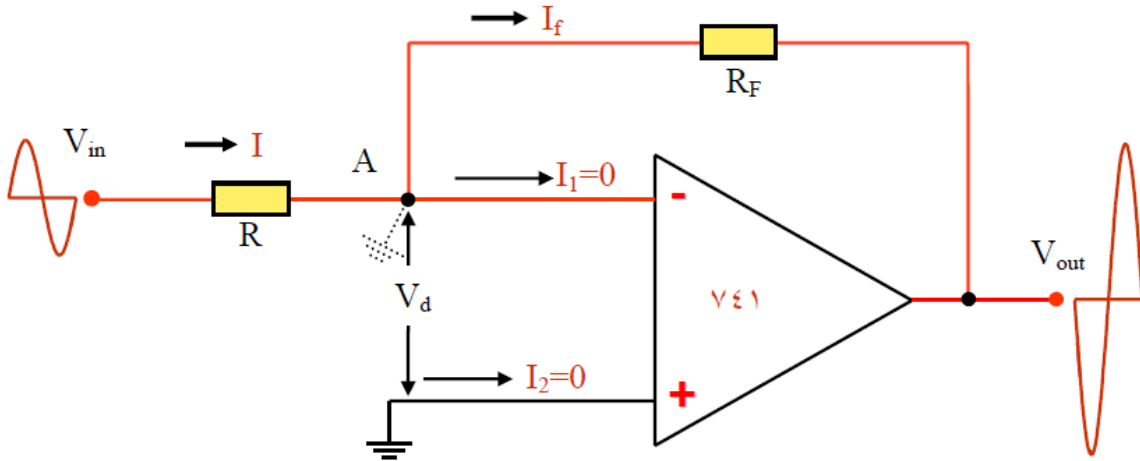
تحدثنا عن كسب الدائرة المفتوحة وهي كمية مفيدة ولكن في معظم الأحيان نريد تجنب الإشباع ولهذا يصبح A_{OL} غير مرغوب فيه. نستخدم في هذه الحالة ما يسمى بالتغذية الخلفية (Feedback). التغذية الخلفية هي عبارة عن أخذ كل أو جزء من إشارة الخرج وإعادة إدخالها إلى الدخل.

هناك نوعان من التغذية الخلفية: تغذية خلفية سالبة وأخرى موجبة. التغذية الخلفية الموجبة تؤدي لزيادة إشارة الدخل والتغذية الخلفية السالبة تؤدي لتناقص إشارة الدخل. في دوائر مكبرات العمليات نستخدم التغذية الخلفية السالبة حيث إن دخلاً قليلاً جداً كاف لإيجاد خرج كبير من المكبر ولذا فإن التغذية الخلفية الموجبة ستدفع إشارة الخرج للإشباع بسرعة وهذا لن يكون ذا فائدة في التكبير ويؤدي إلى زيادة عدم الاستقرار.

الشكل 7-2 يوضح مثالاً للتغذية الخلفية السالبة. سنفترض أن الإشارة في الخرج خارج الإشباع ولذا تكون الإشارة V_d أقل من $65 \mu V$.

بما أن الدخل غير العاكس على مستوى جهد الأرض فإن الدخل على النقطة A يكون:
 $-65 \mu V < V_A < +65 \mu V$

هذا الجهد لصغره المتناهي يمكن افتراض أنه يساوي صفرًا وهذه النقطة تسمى نقطة الأرض الافتراضي (Virtual Earth). لذا سنفرض دائماً $V_A = 0 V$.



شكل 7-2: التغذية الخلفية السالبة

ثانياً بما أن مقاومة الدخل لهذه المكبرات كبيرة جداً فيمكن القول أن $R_{in} \gg R_F$ وهذا يعني أن كل التيار الذي يمر بمقاومة الدخل R_{in} يمر أيضاً بمقاومة التغذية الخلفية R_F تقريباً حيث إن التيار الذي يدخل إلى المكبر يساوي صفراً تقريباً. إذا كتبنا معادلة التيارات سنجد:

$$(5-2) \quad I = \frac{V_{in} - V_A}{R_{in}}$$

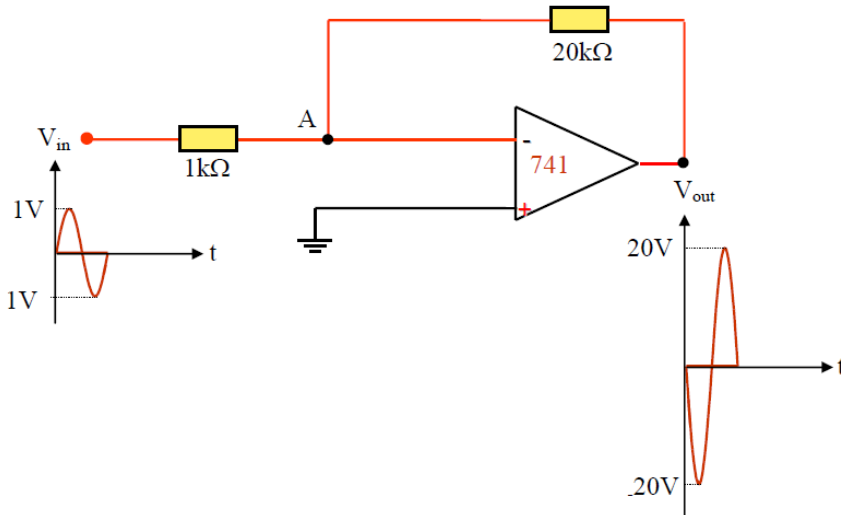
$$(6-2) \quad I_f = (V_A - V_{out}) / R_F$$

بتطبيق قانون التيار في العقدة A نحصل على المعادلة التالية:

$$\frac{V_{in}}{R_{in}} = -\frac{V_{out}}{R_F} \leftarrow V_A = 0$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_{in}} \leftarrow \text{كسب الجهد} = \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{جهد الدخل}}$$

ومنه نحصل على العلاقة بين جهد الخرج V_{out} وجهد الدخل V_{in} : $V_{out} = A_v V_{in}$



مثال احسب جهد الخرج للدائرة ادناه

$$\text{الحل: } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_F}{R_{in}} = -\frac{20k\Omega}{1k\Omega} = -10$$

$$V_{out}(P) = A_v V_{in} = -10 \times 1V = -10V \quad ; \quad V_{out}(P) \text{ جهد الخرج}$$