الباب الثانى

دوائر المكبرات AMPLIFIERS CIRCUITS

2-1 تعريف المكبرات – التصنيف العام – المواصفات الفنية :-

أولاً / تعريف المكبر :-

هو عبارة عن دائرة الكترونية تعمل على تكبير جهد أو تيار أو قدرة كمية كهربية متغيرة تحتوى على المعلومات او البيانات المراد نقلها وتعرف بإشارة الدخل بحيث يمكن الحصول عليها مكبرة القيمة فى خرج تلك الدائرة دون المساس بقيمة التردد لتلك الإشارة .

ثانيًا : التصنيف العام :-

يمكن تصنيف المكبرات من عدة نواحى أهمها :

أ – التردد . ب – نوع القيمة المكبرة . ج- مرتبة التشغيل .

أ- تصنيف المكبرات من حيث التردد :-

يمكن تقسيم المكبرات الالكترونية من حيث التردد إلى الأنواع الآتية :

١ **مكبرات الترددات السمعية (المنخفضة) A F AMPLIFIERS**

وتعتمد هذه المكبرات على تكبير الإشارات التى يقع ترددها فى نطاق التردد السمعى الذى يبدأ من 10 ذ/ث إلى 20 ك ذ/ث

٢ **مكبرات الترددات العالية(الترددات الراديوية) R F AMPLIFIERS**

وهى تعتمد على تكبير الإشارات التى يكون ترددها أعلى من 30 ك ذ/ث وغالبًا ما تكون المكبرات منغمة (مولفة) .

٣ **مكبرات ذات نطاق ترددى عريض (مكبرات مرئية) VF AMPLIFIERS**

وهى المكبرات التى تستعمل لتكبير الإشارات التى ينتشر ترددها فى نطاق واسع يبدأ من الترددات السمعية وينتهى عند قيمة عالية من الترددات مثل مكبرات الإشارة المرئية .

ب- تصنيف المكبرات حسب نوع القيمة المكبرة :-

يمكن تقسيم المكبرات حسب نوع القيمة المكبرة إلى ثلاثة أنواع :

1- مكبر ابتدائى PRE . AMPLIFIER :

وهو يعتبر أول مرحلة فى المكبرات وفيه يتم تكبير جهد الإشارات الضعيفة كما فى حالة استخدام الصمامات أو تيار الإشارات الضعيفة كما فى حالة الترانزستور ليضاعفها عدة مرات على شرط أن يكون التكبير لموجة الاشارة كاملة وهذا المكبر يعمل عادة بنظام CLASS A

2- مكبر حافز DRIVER: وهذا النوع من المكبرات يعمل أيضًا على تكبير كل من جهد أو تيار الإشارة حسب استخدام الصمامات أو الترانزستور بدائرة المكبر وعادة يعمل بنظام CLASS A هذا المكبر لا يستطيع تحسس الإشارات الضعيفة الصادرة من لاقط صوتى أو ميكروفون بل بحاجة إلى إشارة دخل ذات مستوى مناسب وعادة يربط قبله مكبر ابتدائى **PRE AMPLIFIER**

3- مكبر القدرة POWER AMPLIFIER :

وهى المرحلة النهائية للمكبر حيث يربط مدخل هذه المرحلة إلى إشارات ذات مستوى عالى وعادة تربط هذه المرحلة على خرج مرحلة المكبر الحافز أما خرج مكبر القدرة فعادة يربط على الحمل الذى يكون غالبًا سماعة المكبر فى حالة كون المكبر يكبر الترددات الصوتية وغالبًا يستخدم المكبر نظام (ب) CLASS B الذى يعمل بنظام الدفع والجذب . وتعمل مرحلة تكبير القدرة على رفع قدرة الإشارة .

ج – تصنيف المكبرات حسب مرتبة التشغيل : –

توجد أربعة مراتب لتشغيل المكبرات وهى :

١ مكبر صنف (أ) CLASS A :

حيث يكبر هذا الصنف الموجة الداخلة بكاملها (360 °) كما بالشكل (2-1 أ) ويستخدم هذا الصنف فى مراحل التكبير الأولى للمكبرات .

٢ مكبر صنف (ب) CLASS B :

حيث يكبر هذا الصنف نصف الموجة (180 °) الموجب الداخلة كما بالشكل (2 – 1 ب) ويستخدم هذا الصنف من المكبرات فى مكبرات القدرة المستخدمة بنظام الجذب والدفع .

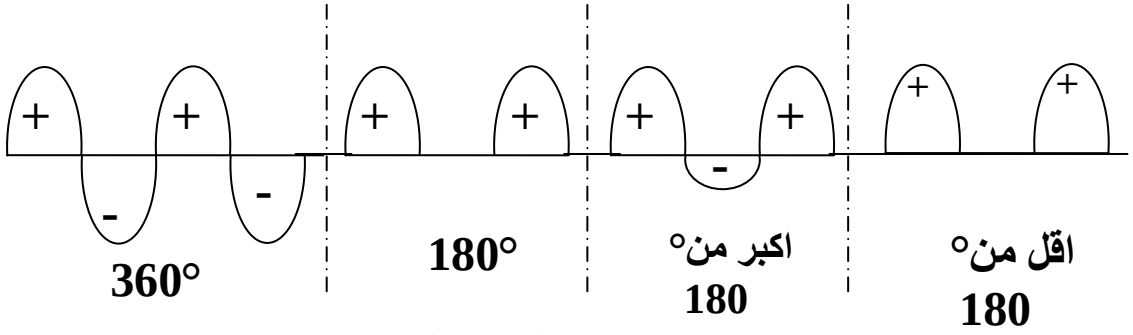
٣ -مكبر صنف (أ ب) CLASS A – B :

هذا الصنف من المكبرات يكبر أكثر من نصف الموجة وأقل من الموجة الكاملة (أكبر من 180° وأقل من 360°) كما بالشكل (2 – 1ج) ويستخدم فى مكبرات القدرة بنظام الجذب والدفع التتابعى

٤ -مكبر صنف (ج) CLASS C :

وهذا الصنف يكبر أقل من نصف الموجة (أقل من 180°) بحيث تصبح الموجة الخارجة تشبه النبضه كما بالشكل (2 – 1 د) ويستخدم الترددات الراديوية بشكل خاص وكذلك دوائر المحددات .

صنف أ Class A صنف ب Class B صنف أ.ب Class A.B صنف ج Class C



شكل (2 – 1)

ثالثًا : المواصفات الفنية للمكبرات :

من أهم المواصفات الفنية للمكبرات :

1- **نسبة التكبير (الكسب)** : وتعرف بمقدار تكبير (كسب) المكبر وهى النسبة بين خرج الإشارة المكبرة الى دخل تلك الإشارة قبل التكبير . وكلما زادت نسبة تكبير المكبر زادت جودة المكبر .

أ – **كسب القدرة** = 10 لو P_2/P_1 ديسبل (dB) حيث أن P_1 قدرة الدخل ، P_2 قدرة الخرج للمكبر .

ب- **كسب الجهد** = 20 لو V_2/V_1 ديسبل حيث أنV_1 جهد الدخل ، V_2 جهد الخرج للمكبر .

ج- **كسب التيار** = 20 لو I_2 / I_1 ديسبل حيث ان I_1 تيار إشارة الدخل ، I_2 تيار إشارة الخرج للمكبر .

2- **عرض النطاق الترددى :** وهو نطاق التردد الذى يستطيع المكبر أن يعمل داخله معطيًا بذلك التكبير المطلوب ويتوقف النطاق الترددى لكل مكبر على الغرض الذى يستخدم من أجله .

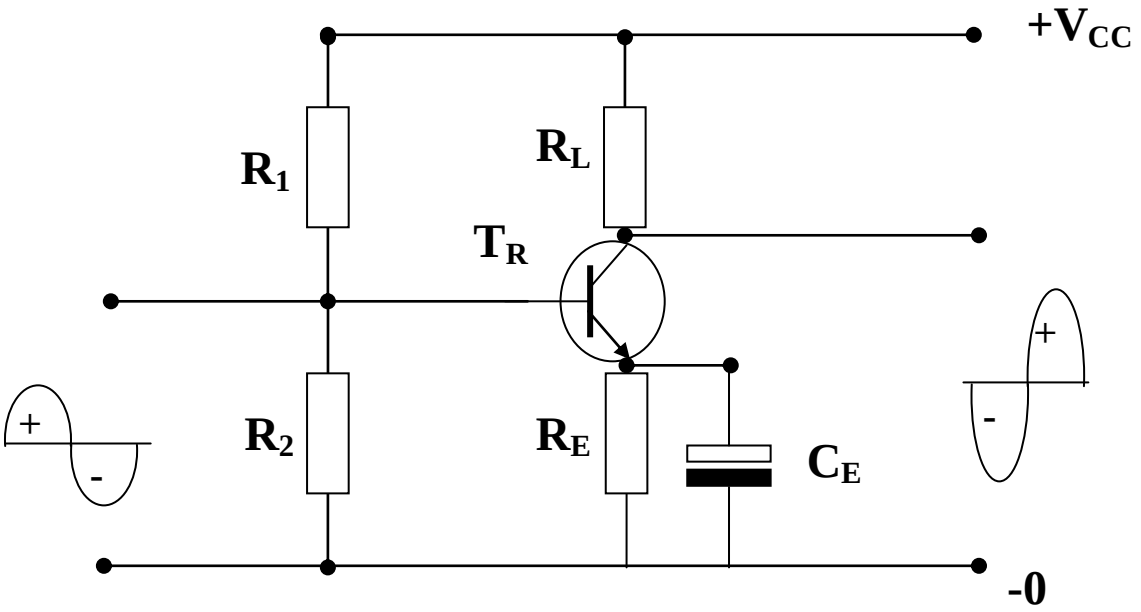
3- **الحساسية :** وتقدر بقيمة جهد الإشارة الداخلة (مللى أو ميكرفولت) الذى يناظر قدرة خرج معينة(قياسية) .

4- **معامل التشويه :** (نسبة الإشارة للشوشرة) : وهو النسبة بين القيمة الفعالة لجهد أو تيار التوافقيات (الإشارات الغير مرغوب فيها) وبين القيمة الفعالة لجهد أو تيار الإشارة الكلى وكلما قل معامل التشويه زادت بذلك جودة المكبر .

5- **ممانعة كل من الدخل والخرج (zi,zo):** ويتم تحديد تلك الممانعات حتى يتم عمل توافق للمكبر لما لها من تأثير على نسبة التكبير واستقرار المكبر .

2-2 دائرة مكبر ترانزستور واحد (ذات المرحله الواحده):-

أولاً : الدائرة الالكترونية لمكبر ترانزستوربسيط :



شكل (2 – 2)

شكل (2 – 2) عبارة عن مرحلة واحدة لدائرة مكبر الكترونى بسيط يعمل بالترانزستور وتشمل الدائرة على :-

١- المقاومات R_1 ، R_2 مع المقاومة R_E يعملان على تحديد شروط الانحياز للتيار المستمر لتحديد نقطة تشغيل الترانزستور كما تستخدم R_E لاعطاء الاستقرار الحرارى للترانزستور .

٢ – المكثف C_E (و هو ذات سعة كبيرة) يعمل على امرار التيار المتردد(التوافقيات) الى الارض بعيدا عن المقاومة RE لاستقرار جهد الانحياز بالتيار المستمر على R_E وتحقيق الاستقرار الحرارى للترلنزستور TR .

٣ – المقاومة R_L وهى مقاومة الحمل التى ينشأ عبرها تغير فى الجهد من التغيرات فى تيار المجمع . وتوجد عدة طرق لتقسيم المكبرات من ناحية الاستخدام هى :

أ- مكبرات خطية ب- مكبرات مفتاحية .

المكبرات الخطية و تعتمد على تكبير الشكل الموجى لإشارة الدخل بأمانة ودون تشويه حيث يكبر القيم الصغيرة لجهود الدخل بطريقة خطية .

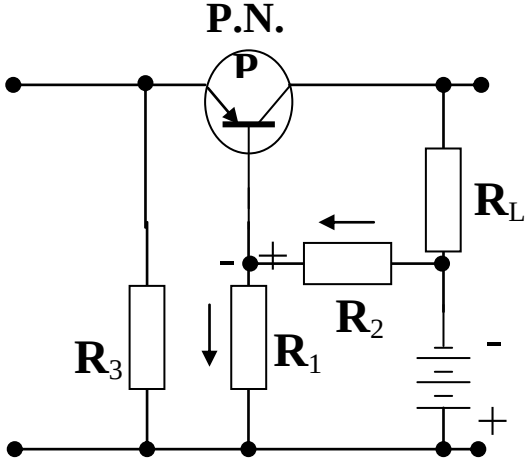
المكبرات المفتاحية و تعتمد على التكبير المفاجئ من قيمة صغيرة إلى ما لانهاية . ويستخدم هذا النوع فى طائفة الدوائر المنطقية .

ثانيًا : طرق الحصول على انحيازات الترانزستور :-

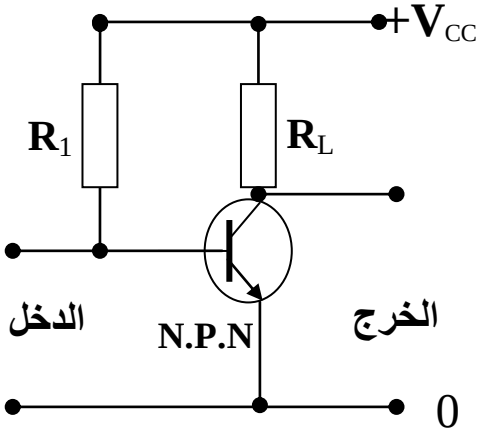
تعتمد نقطة تشغيل الترانزستور المستخدم فى المكبرات على قيمة جهد المجمع وتيار المشع فى حالة عدم وجود إشارة وعمومًا يمكن اعتبار أن تشغيل الترانزستور يعتمد على التيار أى ان التيار المار فى دائرة (المشع – القاعدة) يتحكم فى التيار المار فى دائرة المجمع واختيار قيمة الجهد والتيار وكذلك طريقة الانحياز تعتمد على كل من خواص الترانزستور ومتطلبات الاستخدام .

ويتكون انحياز الترانزستور فى اغلب الاستخدامات من انحياز أمامى على وصلة (المشع – القاعدة) وانحياز عكسى على وصلة (المجمع – القاعدة) . وتوجد عدة طرق مختلفة لعمل الانحياز هى :

أ- الانحياز الثابت Fixed Bias . ب- الانحياز الذاتى Self Bias .



شكل (2-3)



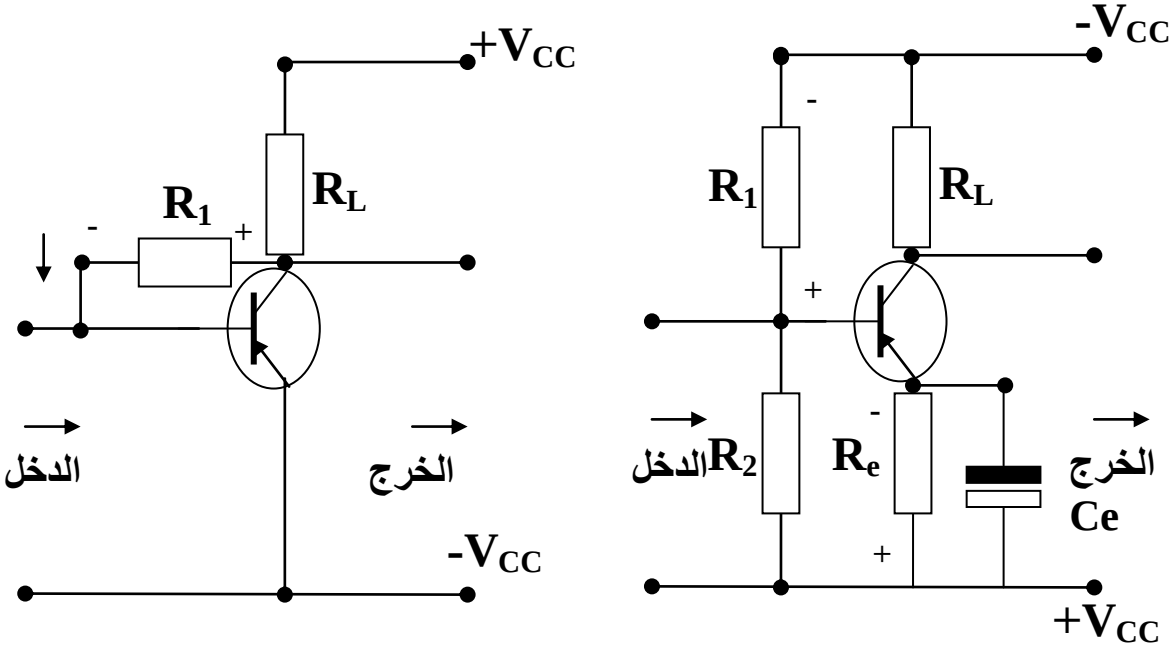
شكل (2-4)

شكل (2 – 3) يبين طريقة مبسطة لدائرة قاعدة مشتركة وفيها نحصل على انحياز كل من وصلة (المجمع القاعدة) ووصلة (المشع – القاعدة) من بطارية واحدة V cc مع دائرة مجزئ جهد مكون من المقاومتان R1 ، R2 ويكون الجهد المفقود خلال المقاومة R1 هو جهد الانحياز المطلوب (للمشع – القاعدة) وهو انحياز أمامى .

ويبين شكل (2 – 4) دئرة المشع المشترك وفيها تتصل مقاومة R1 مباشرة بين القاعدة وجهد المجمع العكس Vcc+ وعند مرور تيار خلال المقاومة R1 يسبب جهد مفقود خلال المقاومة R1 وهذا الجهد مضاد لجهد البطارية ويكون قيمة الانحياز الأمامى الموجب عبارة عن الفرق بين جهد الانحياز العكسى Vcc والجهد خلال المقاومة R1

وهاتين الطريقتين يطلق عليهما اسم الانحياز الثابت و تعتبر طريقة الانحياز الثابت غير مرضية لانحياز القاعدة فى دائرة المشع المشترك . أذ أنه فى تلك الدائرة يصعب المحافظة على قيمه ثابته لتيار القاعدة تحت ظروف انحياز ثابت وذلك بسبب الاختلافات الموجودة بين ترانزستور وأخر من نفس النوع وكذا الحساسية للترانزستور لتغيرات درجة الحرارة .

ب– الانحياز الذاتى Self bias :



شكل (2– 6) شكل (2 – 5)

لتلافى عيوب الانحياز الثابت امكن استخدام الانحياز الذاتى والشكل (2 – 5) يوضح دائرة ترانزستور NPN يعمل بطريقة المشع المشترك وفيه توصل المقاومة R1 مباشرة بين القاعدة والمجمع وطريقة التوصيل هذه تساعد على استقرار نقطة التشغيل لأن أى زيادة او نقص فى تيار المجمع يترتب عليه زيادة او نقص مناظر فى انحياز القاعدة .

وهذه الدائرة تقوم بتحسين الاستقرار وذلك بإدخال تغذية خلفية سالبة خلال المقاومة R1 وبالتالى يمنع الانحراف عن نقطة التشغيل نتيجة للارتفاع فى درجة الحرارة واستبدال الترانزستور كما يلى :

١ -فعند ارتفاع درجة الحرارة يزيد تيار المجمع ويوازن الارتفاع فى درجة الحرارة .

٢ -والعكس إذا قل تيار المجمع فيقل الجهد المفقود خلال مقاومة الحمل RL فيزيد جهد المجمع وبالتالى يزيد الانحياز الأمامى

والشكل (2 – 6) يبين طريقة شائعة الاستعمال للحصول على الانحياز الذاتى وتتلخص فى استعمال المقاومتان R1 ، R2 أحدهما بين طرفى القاعدة واحد قطبى البطارية والأخرى بين طرفى القاعدة والقطب الأخر للبطارية . وهاتان المقاومتان تعملان كمقسم لجهد البطارية حيث يظهر خلال المقاومة R1 جهد انحياز عكسى بين المجمع والقاعدة . وهو كبير نسبيًا بينما يظهر خلال المقاومة R2 جهد الانحياز الأمامى المطلوب بين المشع والقاعدة . وهو صغير نسبيًا لذلك تكون قيمة المقاومة R1 أكبر من قيمة المقاومة R2 بمقدار 10 مرات تقريبًا .

ولكى يكون الانحياز مستقر ضد التغير فى درجة الحرارة وضد عملية استبدال ترانزستور تالف بأخر جديد توضع المقاومة Re بين طرفى المشع والطرف الأخر متصل بالأرض وتسمى مقاومة استقرار حيث تقوم بإحداث اتزان مناسب لأن الجهد علي المقاومه R_E مضاد لجهد الانحياز الأمامى وانحياز (القاعدة – المشع) هو الفرق بين الجهدين . ويوصل مكثف الأمرار Ce على التوازى مع مقاومة Re لجعل جهد الانحياز ثابت فتمر خلاله الإشارة المتغيرة (التوافقيات) للارض وهذا المكثف من النوع الكيميائى وتكون سعته عادة فى حدود 50 ميكروفاراد وعلى كل فيمكن أن تكون قيمته أعلى بكثير اعتمادًا على عوامل أخرى منها(أقل تردد يلزم تكبيره) .

<u>2-3 المكبرات متعددة المراحل وطرق الربط بينها عند الترددات المختلفة:</u>

نجد انه في دوائر الترانزستور للمكبرات ان المراحل المختلفة تربط ببعضها وذلك بطرق ربط مختلفة وطريقة الربط الممكنة هي:

<u>1- الربط في مكبرات التردد المنخفض:</u>

أ- الربط بواسطة المقاومة والمكثف R.C. coupling

ب- الربط بواسطة المحول Trans . Coupling

ج- الربط المباشر Directed Coupling

2- الربط في مكبرات التردد المتوسط

3- الربط في مكبرات التردد العالي

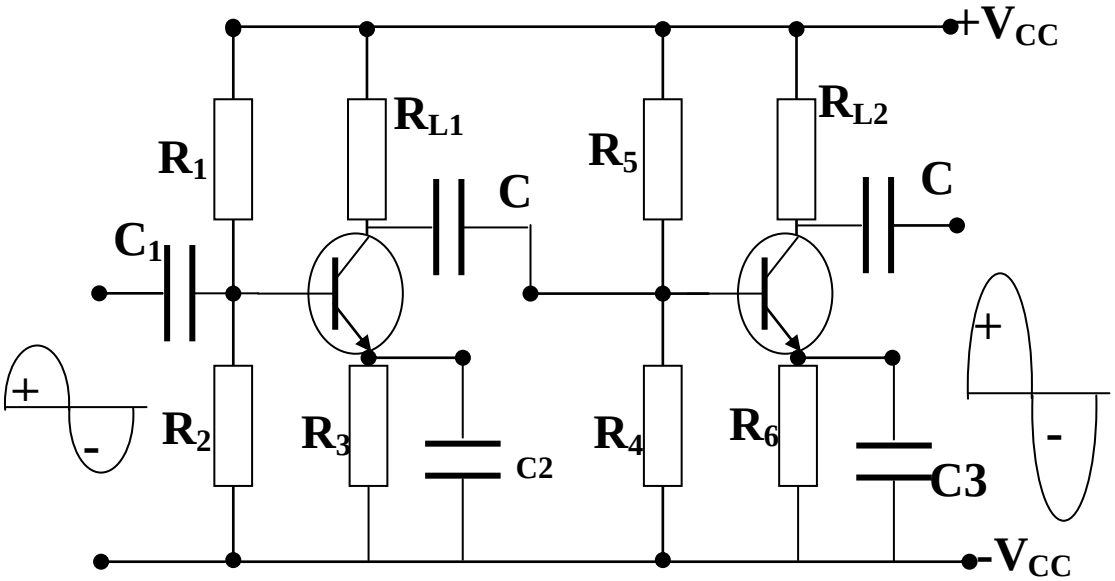
أ- الربط بواسطة ملف خافض تردد عالي

ب- الربط بواسطة محول تردد عالي

ج- الربط بواسطة دائرة رنين مزدوجة.

1- الربط في مكبرات التردد المنخفض

أ- الربط بواسطة المقاومة والمكثف



شكل (2-7)

شكل (2-7) يوضح رسم لدائرة مرحلتي تكبير الربط بينهما بواسطة المقاومة المكافئه R4//R5 والمكثف C وتستخدم ترانزستور من نوع N.P.N موصلين بطريقة المشع المشترك وطريقة الانحياز في هذه الدائرة تستخدم كل من الانحياز الثابت والانحياز الذاتي.

تركيب الدائرة :-

1- الترانزستور TR1 ، TR2 من نوع N. P . N وموصلان بالدائرة بطريقة المشع المشترك

2- المقاومتان R1 ، R2 مجزئ جهد لتوفير الانحياز الأمامى لقاعدة الترانزستور TR1 وكذلك المقاومتان R4 ، R5 لتوفير الانحياز الأمامى لقاعدة الترانزستور TR2 .

3- المقاومة R3 والمكثف C2 للمحافظة على الاستقرار الحرارى للترانزستور TR1 وجعل قيمة الانحياز الأمامى ثابت بواسطة المكثف C2 الذى يمرر التيار المتغير (التوافقات) إلى الأرض . وكذلك المقاومة R6 والمكثف C3 يقومان بنفسى العمل للترانزستور TR2 .

4- مقاومة الحمل RL1 للترانزستور TR1 حيث يؤخذ الخرج المكبر من على طرفيها وكذلك توصيل الانحياز العكس إلى المجمع ويجب أن لا تزيد قيمتها حتى لا يقل الفقد فى جهد البطارية Vcc + وكذلك مقاومة الحمل RL2 للترانزستور TR2 لها نفس الوظيفة .

5- مكثف الربط C يعمل على تمرير خرج الإشارة المكبرة وتوصيلها إلى دخل المرحلة التالية كما يعمل على عدم وصول الانحياز العكسى لمجمع TR1 إلى القاعدة TR2 .

طريقة عمل الدائرة :-

١ -يتم تمرير إشارة الدخل المراد تكبيرها إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق المكثف C1 فتعمل على تغيير جهد الانحياز الأمامى للقاعدة .

٢ -نتيجة لذلك يتم التغير فى تيار المجمع وفقًا لتغير جهد الانحياز الأمامى فنحصل بذلك على خرج مكبر مشابه لإشارة الدخل ومعاكس لها فى الوجه بمقدار 180° وذلك عن طريق مقاومة الحمل RL .

٣ -يمرر خرج المرحله الاولي إلى دخل المرحلة التالية [قاعدة الترانزستور TR2] عن طريق مكثف الربط C وذلك لمضاعفة عملية التكبير .

المميزات :-

١ -صغر حجم الدائرة وقلة تكاليفها .

٢ -تستخدم فى مكبرات التردد الصوتى المنخفض المستوى والمنخفض الشوشرة .

٣ -الحصول على استجابة ترددية أفضل .

العيوب :-

١ -الحصول على كسب منخفض .

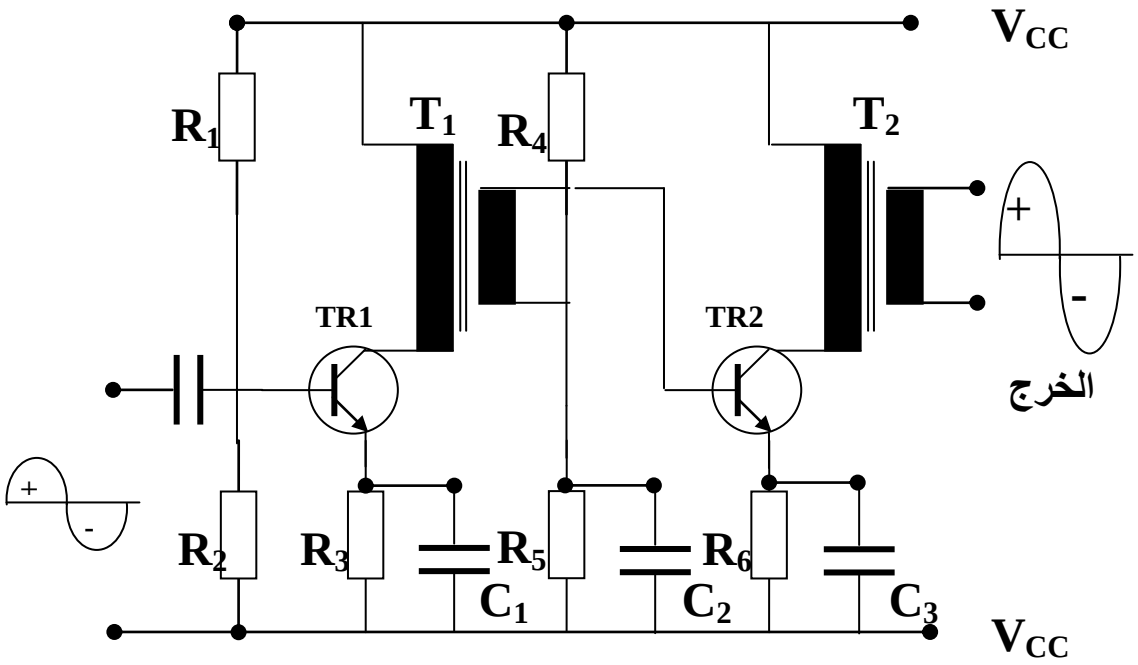
٢ -لا تصلح للاستخدام فى الترددات العالية .

ب- الربط بواسطة المحول :-

شكل (2 – 8) يوضح دائرة مكبر مكونه من مرحلتى تكبير الربط بينهما بواسطة المحول T1 وتستخدم كل مرحله دائرة ترانزستور واحده N.P.N موصله بطريقة المشع المشترك وطريقة الانحياز فى هذه الدائرة تستخدم كل من الانحياز الثابت والانحياز الذاتى.

تركيب الدائرة :-

١ -ترانزاستور TR1 ، TR2 من نوع N.P.N وموصلان بطريقة المشع المشترك .



شكل (2 – 8)

٢ -المقاومتان R1 ، R2 يعملان كمجزئ جهد لتوفير الانحياز الأمامى إلى قاعدة الترانزستور TR1 وكذلك المقاومتان R4 ، R5 يقومان بنفس الوظيفة للترانزستور TR2 .

٣ -المكثف C2 يعمل على تلافى اضمحلال الإشارة .

٤ -المقاومة R3 والمكثف C1 يعملان على تحقيق الاستقرار الحرارى للترانزستور TR1 وجعل قيمة الانحياز الأمامى ثابت. وكذلك المقاومة R6 والمكثف C3 يقومان بنفس العمل بالنسبة للترانزستور TR2 .

٥ -محول الربط T1 هو عبارة عن محول خفض يربط بين كلا من دائرة خرج المجمع للمرحلة الأولى ودائرة دخل قاعدة ترانزستور المرحلة الثانية ليوصل الإشارة ورغم أن هذا المحول يخفض الجهد إلا أنه فى نفس الوقت يرفع التيار اللازم لتشغيل الترانزستور إذ أن الترانزستور يعمل بواسطة التيار . كما يعمل الملف الابتدائى

لمحول الربط T1 على توصيل الانحياز العكسى لمجمع الترانزستور TR1 وكذلك المحول T2 يقوم بنفس عمل المحول T1 للمرحلة التالية .

طريقة عمل الدائرة :-

١ -تصل الإشارة المراد تكبيرها إلى دخل قاعدة الترانزستور TR1 فينتج عنها تغير فى تيار القاعدة .

٢ -نتيجة لذلك يولد تيار متغيرًا فى دائرة الخرج للمجمع وذلك فى الملف الابتدائى للمحول T1 الذى ينتقل بدوره إلى الملف الثانوى مكبرًا مرة اخرى وذلك عن طريق الحث المتبادل حيث يمرر بعد ذلك إلى دخل قاعدة ترانزستور TR2 للمرحلة الثانية وذلك لمضاعفة عملية التكبير .

المميزات :-

١ -محول الربط يقوم بالتوفيق بين ممانعة خرج المرحلة الأولى وممانعة دخل المرحلة الثانية وذلك للحصول على أكبر كسب للقدرة .

٢ -قلة الفقد فى جهد البطارية وذلك لصغر ممانعة الملف الابتدائى .

٣ -زيادة نسبة التكبير للإشارة عن طريق نسبة التحويل للمحول .

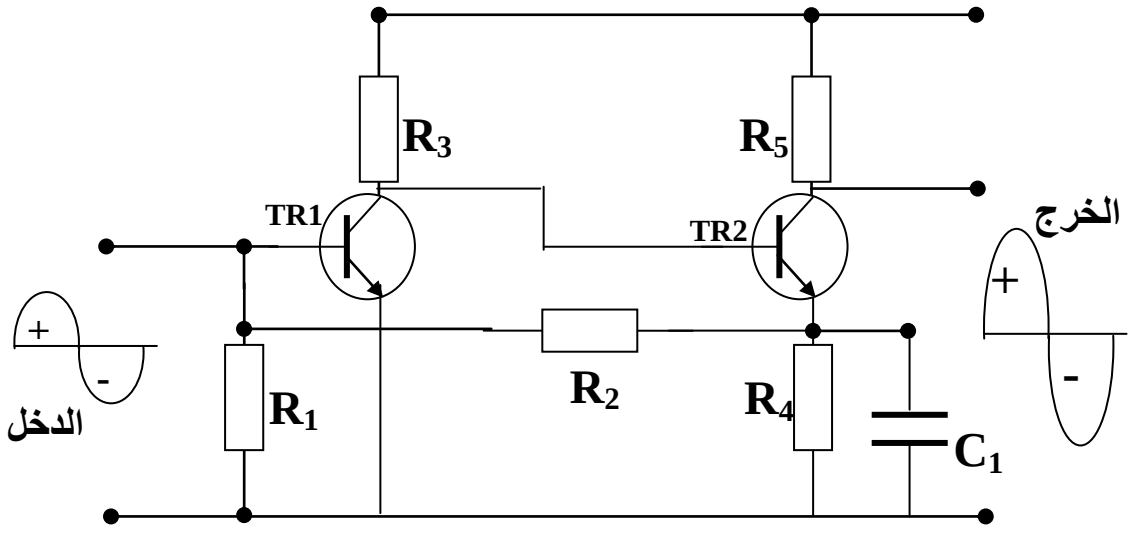
العيوب :-

١ -كبر حجم المحول وزيادة التكاليف .

٢ -عدم الحصول على استجابة ترددية أفضل .

٣ -نسبة الشوشرة عالية .

ج- الربط المباشر:



شكل (2 – 9)

تركيب الدائرة :-

١ -الترانزستور TR1 ، TR2 من نوع N P N وموصلان بطريقة المشع المشترك .

٢ -المقاومتان R1 ، R2 يعملان على استقرار الدائرة وتوفير جهد الانحياز الأمامى لقاعدة الترانزستور TR1 .

٣ -R3 تعتبر مقاومة حمل الترانزستور TR1 وعن طريقها يتم توصيل جهد الانحياز العكسى لمجمع الترانزستور TR1 وكذلك الانحياز الأمامى لقاعدة الترانزستور TR2 وكذلك المقاومة R5 تقوم بنفس عمل المقاومة R3 وهى تعتبر مقاومة حمل الترانزستور TR2 .

٤ -R4 و C1 يعملان على توفير الاستقرار الحرارى للترانزستور وجعل قيمة الانحياز الأمامى ثابت

طريقة عمل الدائرة :-

١ -تمرر إشارة الدخل المراد تكبيرها مباشرة إلى قاعدة الترانزستور TR1 فتعمل على تغير جهد الانحياز الأمامى لقاعدة الترانزستور TR1 .

٢ -نتيجة لذلك يتغير جهد الانحياز العكسى لمجمع الترانزستور TR1 ويتم الحصول على تيار متغير مكبر للمجمع ينتقل مباشرة إلى قاعدة الترانزستور TR2 فيكبر مرة أخرى

المميزات :-

١ -قلة المكونات تؤدى إلى قلة التكاليف .

٢ -يستخدم بكثرة فى الداوئر المتكاملة .

٣ -سهولة التوصيل .

العيوب :-

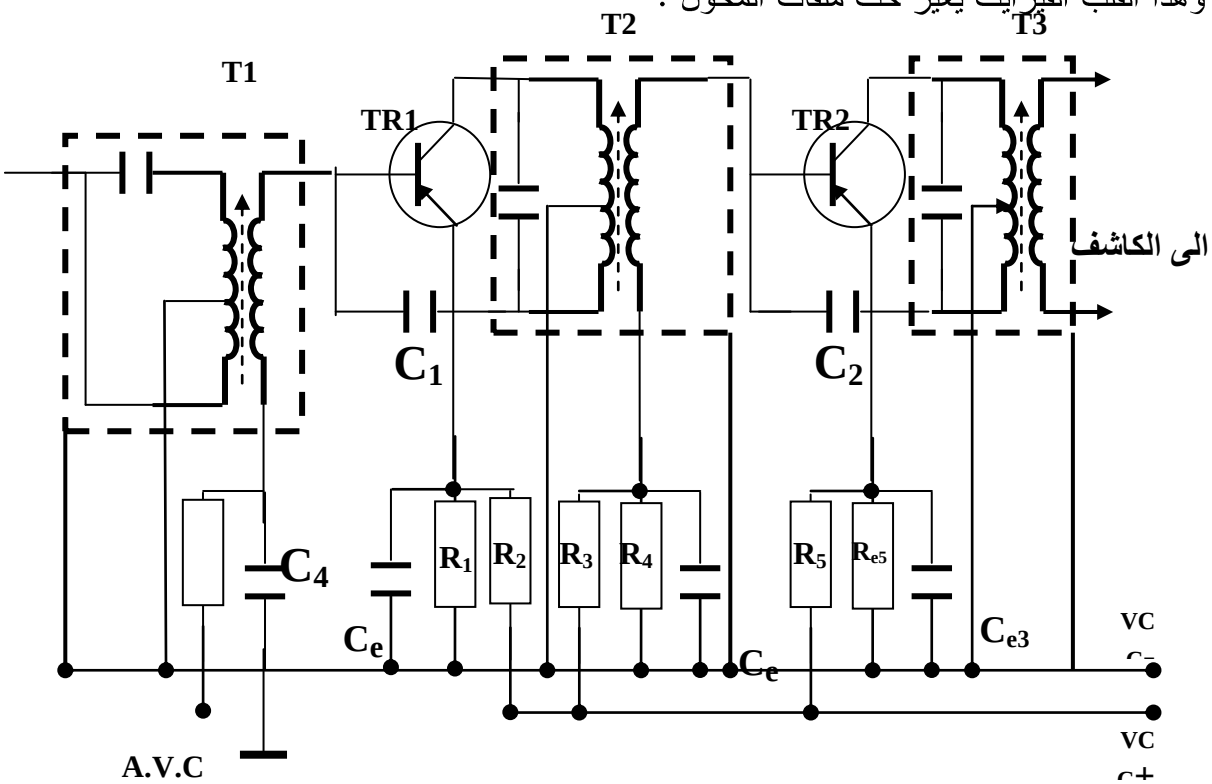
١ -تحتاج إلى استقرار شديد فى منبع الانحياز .

٢ -عدم الاستقرار الحرارى بنسبة كبيرة .

٣ -عدد المراحل المستخدمة فى هذه الطريقة محدود وبالتالى نسبة التكبير أقل بالمقارنة بطرق الربط الأخرى

2- الربط فى مكبرات التردد المتوسط

يتم الربط بالمحول بين الخالط(MIXER) وبين مكبر التردد المتوسط(IF AMPLIFIER) وكذلك بين مكبر التردد المتوسط وبين الكاشف(DETECTOR) . وتنغم دوائر التنغيم الخاصة بمكبر التردد المتوسط بدقة إلى التردد المتوسط بواسطة القلب الفيرايت المتحرك فى الملفات وهذا القلب الفيرايت يغير حث ملفات المحول .



شكل (2 – 10)

تركيب الدائرة :-

١ -شكل (2 – 10) يبين مرحلة تكبير تردد متوسط باستخدام عدد 2 ترانزستور هما TR1 ، TR2 موصلين فى صورة مكبر باعث مشترك .

٢ -تغذى قاعدة الترانزستور الأول TR1 (عن طريق أول محول التردد المتوسط T1) بالإشارة الناتجة من المبدل أو الخالط وتكون دائرة رنين حمل المبدل مضبوطة على التردد المتوسط .

٣ -يوصل إلى قاعدة الترانزستور الأول TR1(عن طريق الملف الثانوى لمحول التردد المتوسط الأول) خط ضابط الصوت الاتوماتيكى (AVC) وذلك للمحافظة على شدة الصوت فى السماعة .

٤ -يوصل بدائرة مشع التانزستور TR1 مجزئ لجهد انحياز المشع المقاومتان R1 ، Re1 وتوصلان بين الطرف الموجب للبطارية والطرف الأرضى للحصول على

الانحياز المطلوب ويوصل المكثف Ce1 لتمرير الإشارة المتغيرة حتى يظل جهد الانحياز ثابت .

٥ -يوصل بمجمع الترانزستور TR1 الملف الابتدائى الثانى لمحول تردد متوسط T2وهو عبارة عن دائرة رنين توازى ويعطى الانحياز العكسى للترانزستور عن طريق الطرف المتوسط لابتدائى المحول حيث أنه موصل بالأرض .

٦ -يوصل الملف الثانوى لمحو ل ا لتردد ا لمتوسط T2 إلى قاعدة الترانزستور TR2 ويوصل بها مجزئ لجهد الانحياز R4 ، R3 الانحياز اللازم لها . كما يوجد مجزئ لجهد انحياز دائرة المشع مكون من المقاومتان R5 ، Re5 ويوصل المكثف Ce2 لتمرير الإشارة المتغيرة حتى يظل جهد الانحياز ثابت .

٧ -يوصل مجمع الترانزستور TR2 بالملف الابتدائى لمحول التردد المتوسط الأخير T3 ويوصل الملف الثانوى للمحول بالكاشف .

٨ -يتم عمل تغذية خلفية سالبة عن طريق C1 ، C2 لمنع حدوث تذبذب وعمل استقرار للدائرة .

طريقة عمل الدائرة :-

١ -تدخل الإشارة ذات التردد المتوسط الناتجة من مرحلة المبدل أو الخالط وهى ذات تردد 455 ك ذ / ث الملف الابتدائى لمحول التردد المتوسط الأول T1 وتنتقل بالحث المتبادل إلى المف الثانوى للمحول ومنه إلى قاعدة الترانزستور TR1 .

٢ -تعمل تلك الإشارة على تغيير قيمة جهد الانحياز الأمامى لدائرة القاعدة بالزيادة والنقصان وتظهر الاشارة ذات التردد المتوسط مكبرة في دائرة المجمع .

٣ -وحيث ان محول التردد المتوسط محول خفض حيث عدد لفات الملف الابتدائى أكبر من عدد لفات الملف الثانوى فيقوم بعمل موائمه بين مقاومة مجمع الترانزستور TR1 العالية ومقاومة قاعدة TR2 المنخفضة كما أن هذا المحول يعمل على تكبير التيار حيث أنه محول خفض للجهد.

٤ -تدخل الإشارة المكبرة الناتجة من TR1 إلى قاعدة الترانزستور TR2 الذى يضاعف من عملية التكبير .

٥ -ينتقل جزء من خرج TR1 إلى دخله عن طريق مكثف الإمرار C1 وأيضًا ينتقل جزء من خرج TR2 إلى دخله عن طريق مكثف الأمرار C2 وذلك لعمل تغذية خلفية سالبة للترانزستورين وجعل التكبير ثابت تقريبًا .

٦ -يوصل خط ضابط الصوت الاتوماتيكى إلى أول محول تردد متوسط أو إلى الأول والثانى وذلك للمحافظة على شدة الصوت الصادر من سماعة جهاز الاستقبال سواء كانت الإشارة قوية أو ضعيفة .

المميزات :-

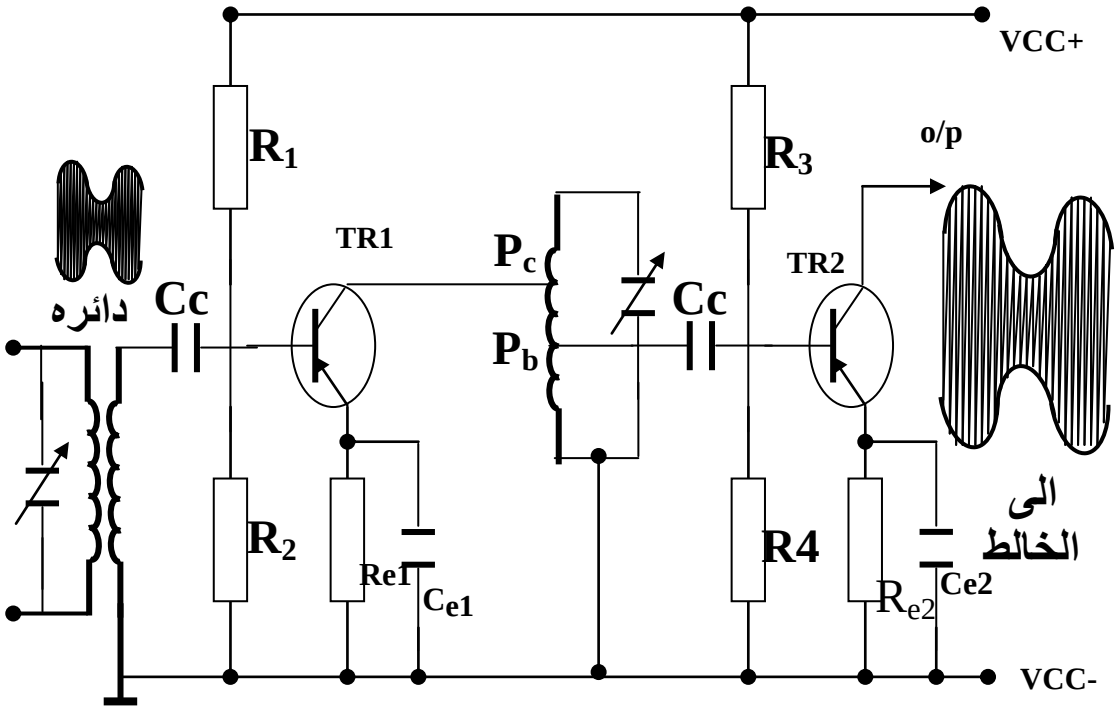
١ -الحساسية العالية لارتباط دائرتى الرنين مغناطيسيًا .

٢ -ممانعة الدائرة عالية مما يزيد من كفاءتها .

٣ -الحصول على نسبة تكبير عالية لإشارة واحدة فقط وهى المنغمة عليها الدائرة .

3- الربط فى مكبرات التردد العالى

أ- الربط بواسطة ملف خانق تردد عالى :



شكل (2 – 11)

تركيب الدائرة :

١ -شكل (2-11) يبين مرحلتين لمكبر مشع مشترك باستخدام عدد 2 ترانزستور نوع P.N.P قد تم ربطهما معاً بواسطة ملف خانق تردد عالي ذو قلب من مادة عازلة تستخدم الدائرة لتكبير الترددات العالية VHF أو الترددات فوق العالية U.H.F

٢ -تصل الاشارة المستقبلة عن طريق دائرة الأختيار إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق الحث المتبادل.

٣ -يوصل في دائرة القاعدة المقاومتان R2,R1 وتعملان كمجزئ جهد لتزويد قاعدة الترانزستورTR1 بجهد الانحياز الامامي السالب اللازم لتشغيلها. وكذا R3,R4 للترانزستور TR2 .

٤ -يوصل في دائرة المشع المقاومة Re والمكثف Ce فتعمل المقاومة Re على جعل الانحياز الامامي ثابت عند تغيير درجة الحرارة للدائرة أو استبدال الترانزستور ويعمل المكثف Ce على جعل الانحياز الامامي ثابت حيث تمر خلاله الاشارة المتغيرة.

٥ -يوصل في دائرة المجمع خانق التردد العالي وهو له اربعة اطراف يوصل معه على التوازي مكثف متغير مربوط مع دائرة الإختيار على محور واحد.

٦ -يؤخذ خرج الترانزستور TR1 عن طريق مكثف الربط C_C الذي يمرر الإشارة ذات التردد العالي المكبرة ويمنع الجهد المستمر من المرور إلى قاعدة الترانزستور TR2

طريقة عمل الدائرة:

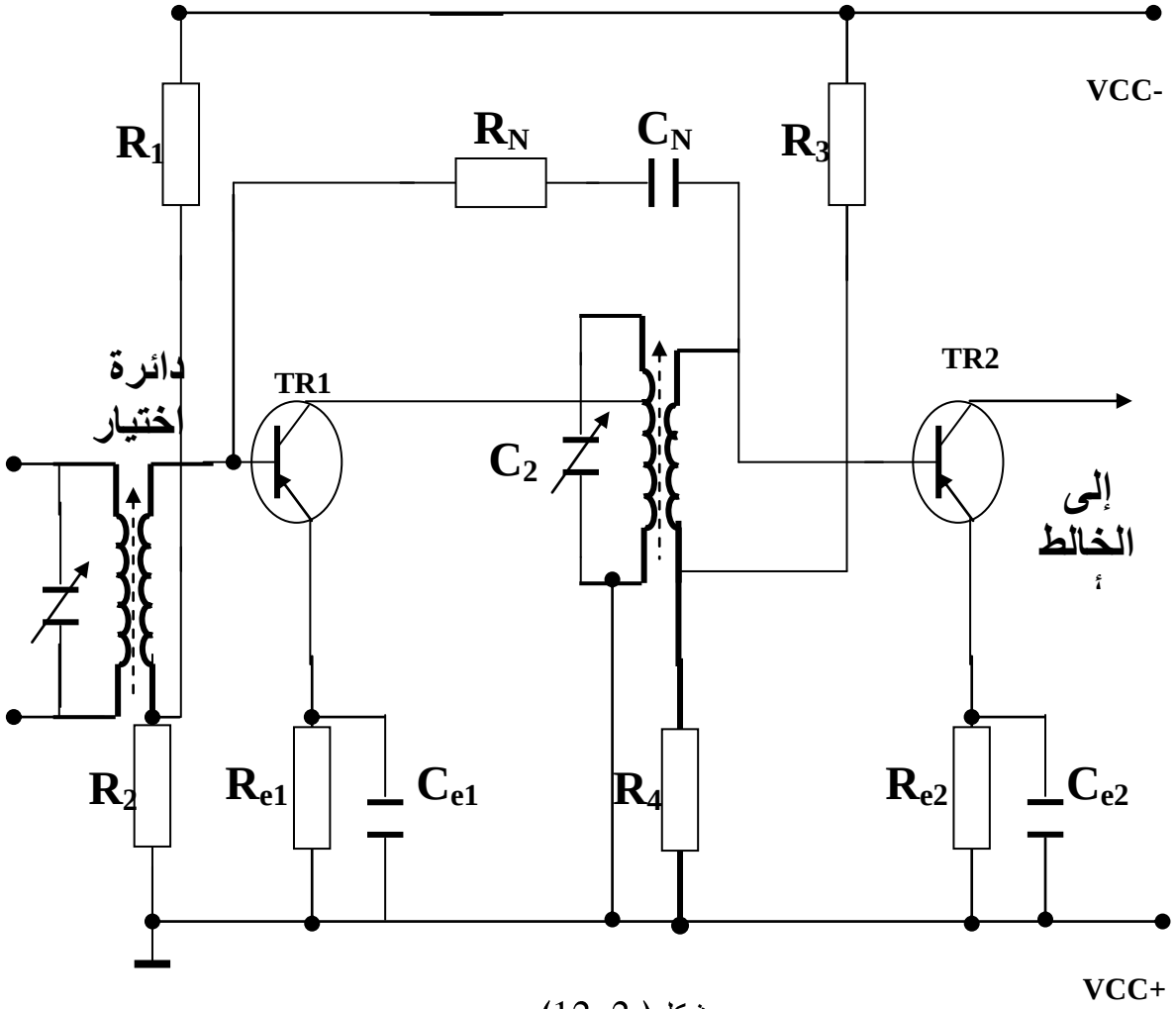
١ -تدخل الاشارة المعدلة ذات التردد العالي الضعيفة المستوى والتي تم اختيارها عن طريق دائرة الاختيار إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق الحث المتبادل.

٢ -يقوم جهد الاشارة بتغيير جهد القاعدة السالب " جهد الانحياز الامامي " بالزيادة والنقصان حسب الانصاف الموجبة والسالبة وتظهر هذه الأشارة بنفس شكلها ولكن مكبره في دائرة المجمع.

٣ -تكون دائرة المجمع عبارة عن دائرة رنين توازي مضبوطة على تردد المحطة المستقبلة فيكبر الأشاره ذات التردد المختار فقط و ينقل إلى قاعدة الترانزستور TR2 الذي يضاعف من عملية التكبير.

٤ -يؤخذ جزء من لفات الملف إلى قاعدة الترانزستور TR2 لعمل موائمة بين ممانعة مجمع الترانزستور TR1 العالية وممانعة الترانزستور TR2 المنخفضة لنقل أكبر قدرة وتنقل الاشارة المعدله و المكبرة إلى دائرة الخالط أو المبدل.

ب- الربط بواسطة محول تردد عالي:



شكل(2-12)

تركيب الدائرة :-

١ -شكل (2 – 12) يبين مرحلتى مكبر مشع مشترك باستخدام عدد 2 ترانزستور نوع P N P قد تم ربطهما معًا بواسطة محول تردد عالى ذو قلب من مادة عازلة وتستخدم الدائرة فى تكبير الترددات العالية V H F أو الترددات فوق العالية U H F

٢ ـ تصل الإشارة المستقبلة عن طريق دائرة الاختيار إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق الحث المتبادل

٣ -يوصل فى دائرة القاعدة المقاومتان R1 ، R2 تعملان كمجزئ جهد لتزويد القاعدة بجهد الانحياز الأمامى السالب اللازم لتشغيلها .

٤ -يوصل فى دائرة المشع المقاومة Re1 والمكثف Ce1 للأستقرار الحرارى و ثبات الأنحياز الأمامي للترانزستور (كما سبق)

٥ -يوصل فى دائرة المجمع محول تردد عالى وهو له خمس اطراف ويتصل المجمع بالطرف الأوسط والمكثف المتغير C2 بالطرفين الاخرين المتغير C2 مربوط مع مكثف دائرة الاختيار C1 بمحور دوران واحد .

٦ -يؤخذ خرج الترانزستور TR1 عن طريق الحث المتبادل من الملف الابتدائى او الملف الثانوى للمحول ويوصل إلى قاعدة الترانزستور TR2 . ويعمل المحول على أمرار الإشارة المتغيرة ومنع الجهد المستمر من المرور كما يعمل للموائمة بين مقاومة المجمع العالية ومقاومة القاعدة للمرحلة التالية المنخفضة الممانعة لنقل أكبر قدرة .

٧ -يوصل جزء من الإشارة المكبرة على قاعدة الترانزستور TR2 إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق المكثف CN والمقاومة RN كتغذية خلفية سالبة للمحافظة على استقرار المكبر .

<u>طريقة عمل الدائرة :-</u>

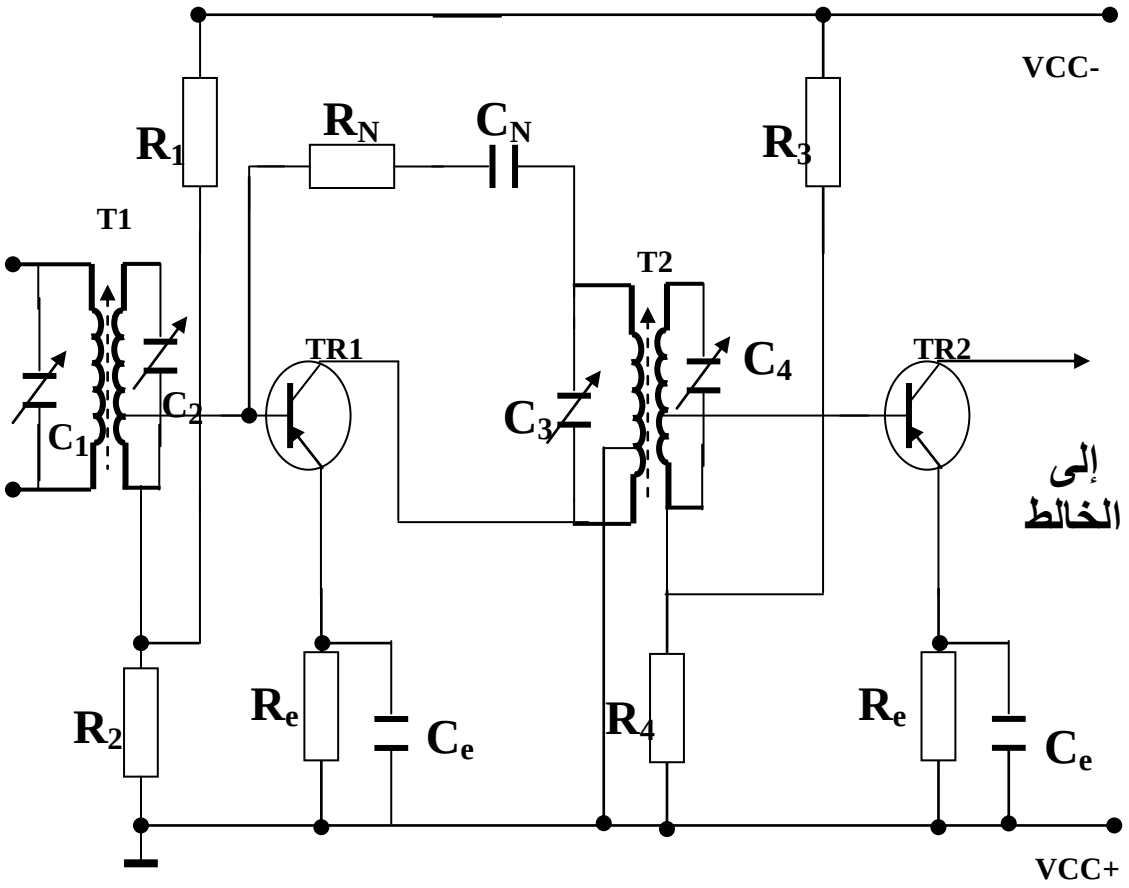
١ -تدخل الإشارة المعدله العالية التردد الضعيفة المستوى والتى تم اختيارها عن طريق دائرة الاختيار إلى قاعدة الترانزستور TR1 عن طريق الحث المتبادل .

٢ -تغير الإشارة من سالبية القاعدة .(جهد الانحياز الأمامى بالزيادة والنقصان حسب الانصاف الموجبة والسالبة) وتظهر الإشارة بنفس شكلها مكبرة فى دائرة المجمع .

٣ -يوصل فى دائرة المجمع دائرة رنين توازى مضبوطه على تردد المحطة المستقبلة فيكبر هذا التردد فقط وينقل إلى قاعدة الترانزستور TR2 عن طريق الحث المتبادل الذى يضاعف من عملية التكبير .

٤ -يعمل المحول على الماوئمة بين ممانعة المجمع العالية وممانعة القاعدة للمرحلة التالية المنخفضة لنقل أكبر قدرة ، كما يعمل المحول على تكبير التيار لأنه محول خفض وبالتالى يزيد التكبير وتنقل الإشارة المعدله مكبرة إلى دائرة الخالط أو المبدل .

جـــ – الربط بواسطة دائرة رنين مزدوجة (دائرة الربط الرنانة)



شكل (2 – 13)

نفس الدائره السابقه المبيبه فى شكل (2–12) إلا أن محول التردد العالى منغم كل من ملفه الأبتدائى و الثانوى على تردد المحطه المراد استقبالها عن طريق المكثفات C1,C2,C3,C4

و تمتاز هذه الدائره:

بوجود دائرتى رنين مزدوجتان فى دائرة المجمع والقاعدة يعمل على زيادة الاختيارية وزيادة عرض النطاق الترددى بحيث يمكن استقبال نطاق ترددى عريض .

4-2 مكبرات القدرة بانواعها Power Amplifiers : -

تقوم مكبرات القدرة بتكبير كلا من الجهد والتيار وبالتالى حاصل ضربهما أى القدرة تبعًا للعلاقة (P = I . V) وتستخدم مكبرات القدرة فى عدة أغراض فى الأجهزة الالكترونية فمنها المكبرات التى تلى مرحلة كشف الصوت وتسبق السماعة مباشرة فى الأجهزة المسموعة وتعمل على نطاق الترددات السمعية (A. F power Amplifiers) ومنها مكبرات المرحلة الأخيرة فى الأجهزة فى أجهزة الارسال قبل هوائى الارسال مباشرة وتعمل فى نطاق الترادد العالية (R . F power Amplifiers) .

وتنقسم مكبرات القدرة من حيث تركيبها ونظرية عملها إلى عدة أنواع تختلف فى درجة التعقيد والتكلفة وكفاءة التشغيل .

وتعرف كفاءة التشغيل (efficiency) لدائرة مكبرة القدرة (ويرمز لها بالرمز m) بأنها نسبة قدرة إشارة الخرج المتردد P_{ac} إلى القدرة المستهلكة من مصدر التغذية بالجهد المستمر P_{dc}

$$m = \frac{P_{ac}}{P_{dc}}$$

ويمكن حساب القدرة المستهلكة من مصدر التغذية بالجهد المستمر P_{dc} من حاصل ضرب جهد مصدر التغذية Vcc وقيمة التيار المستمر المسحوب من هذا المصدر لترانزستورات القدرة الموجودة بالدئرة .

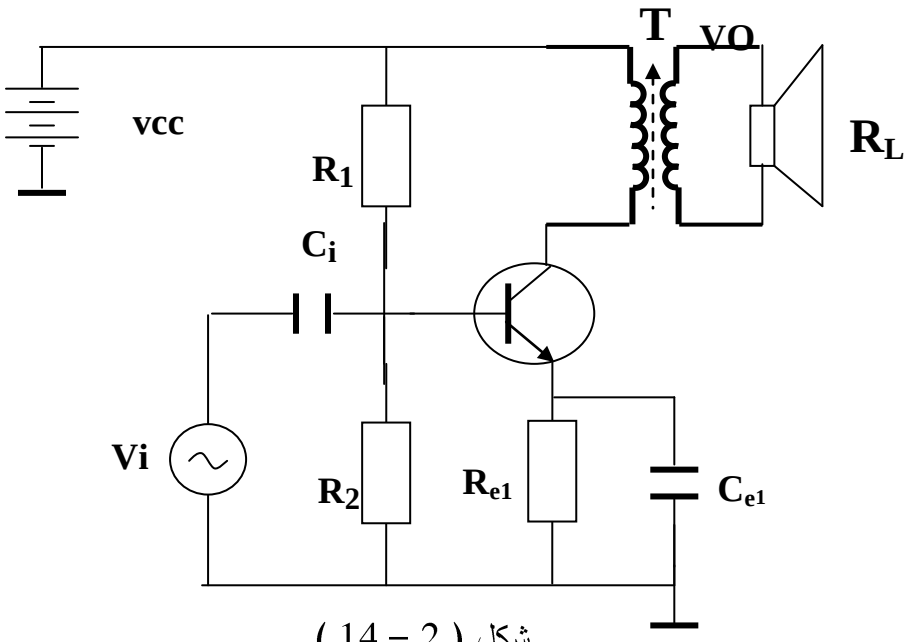
ومن اهم أنوع مكبرات القدرة :-

١ -مكبرات القدرة مفردة النهاية Single Ended power Amplifiers .

٢ -مكبرات القدرة بنظام الدفع والجذب Push – pull power Amplifiers

٣ -مكبرات القدرة بنظام الدفع والجذب التتابعي Complementary Push pull power Amplifiers .

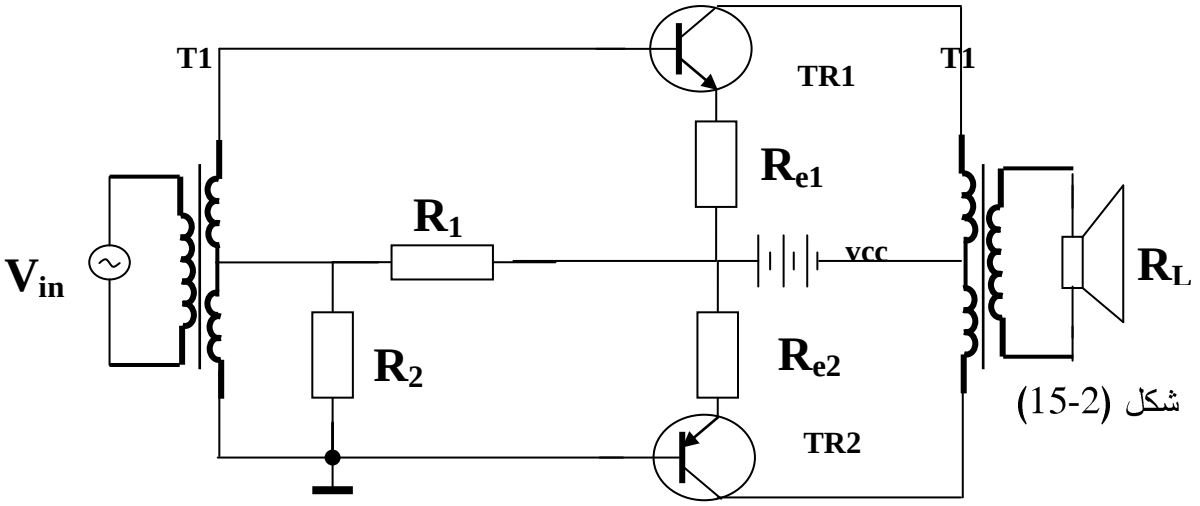
1- مكبر قدرة مفرد النهاية:-



شكل (2 – 14)

يوضح شكل (2 – 14) دائرة مكبر قدرة للترددات السمعية مفرد النهاية . وفى هذه الدائرة يقوم المحول بعمل مواءمة بين مقاومة خرج الترانزستور العالية القيمة ومقاومة السماعة المنخفضة القيمة ويعمل هذا النوع من المكبرات عند نقطة تشغيل بحيث يمكن الحصول على شكل موجى كامل لإشارة الدخل مع أقل تشوية . ولكن كفاءة مثل هذه الدائرة منخفضة (لا تتجاوز 50 %) أى انها تسحب تيار كبير من مصدر التغذية بالجهد المستمر **وتعطى قدرة صغيرة عند الخرج .**

٣ - مكبرات القدرة بنظام الدفع والجذب:



شكل (2-15)

من أجل تلافى عيوب مكبرات القدرة المفردة النهاية تم استحداث دوائر القدرة التى تعمل بنظام الدفع والجذب (Push – pull) وذلك للحصول على كفاءة أكبر للتشغيل وبالتالى قدرة خرج عالية بتكلفة أقل . ويوضح شكل (2 – 15) دائرة لمكبر قدرة بنظام الدفع والجذب .

وفى هذه الدائرة يعمل الترانزستوران TR1 ، TR2 بالتبادل على النصف الموجب والنصف السالب لإشارة الدخل . أى أن الترانزستور TR1 يقوم بتكبير النصف الاعلى فقط من إشارة الدخل (بعد مرورها على محول الدخل T1) بينما يقوم الترانزستور TR2 بتكبير النصف الاسفل فقط من هذه الإشارة . وبذلك يعمل كلا من الترانزستورين على إخراج قدرة كبيرة (مجموع قدريتهما) للحمل من خلال محول الخرج T2 .

ويطلق أحياناً على هذ النوع من مكبرات القدرة التى يتعامل كل ترانزستور مع نصف الإشارة فقط : مكبرات القدرة من الطبقة ب (class B power Amplifiers)

ويعيب مكبرات القدرة من الطبقة ب التى تستخدم الترانزستور ثنائى القطب حدوث تشوه نسبى فى شكل موجة الخرج (Crossover distortion) . ولكن يمكن تلاشى هذا العيب بتعديل الدائرة قليلاً بحيث يتناول كل ترانزستور جزء أكبر قليلاً من نصف الموجه .

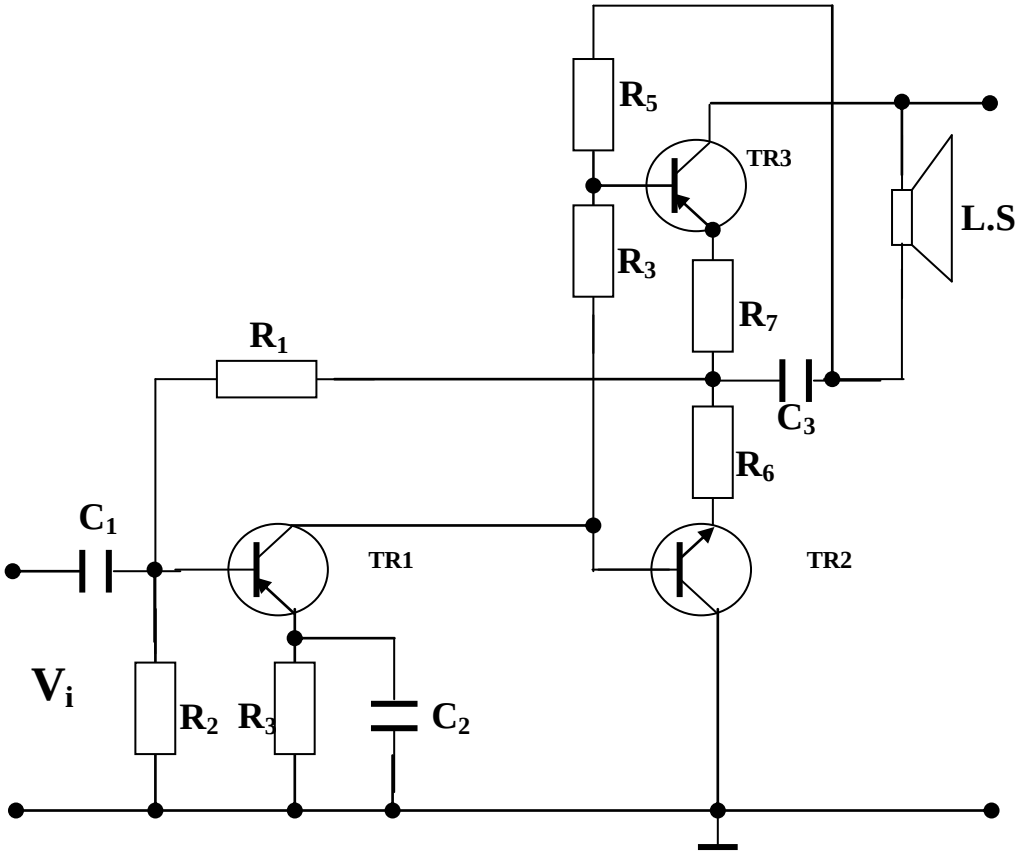
مميزاتها :-

١ -الحصول على قدرة خرج كبيرة .

٢ -نسبة تشوبه قليلة فى خرج القدرة المكبرة .

٣ -عدم مرور تيار المجمع فى حالة عدم وجود إشارة وذلك لانحياز القاعدة والمشع إلى نقطة القطع للمجمع مما يؤدى إلى أن قدرة المجمع المشتته صغيرة جدًا فى هذه الحالة

3- مكبرات القدرة بنظام الدفع والجذب التتابعى :-



شكل (2 – 16)

شكل (2 – 16) يوضح دائرة مكبر قدرة بنظام الدفع والجذب التتابعى حيث تتكون الدائرة من الآتى :

١ -ترانزستور TR1 من نوع PNP يعمل كحافز Driver حيث يتم التوافق بين خرج مرحلة تكبير التردد الصوتى (الدخل) وكذلك مرحلة الخرج .

٢ -دائرة الخرج وهى عبارة عن دائرة تتامى Complementary تتكون من الترانزستور TR2 وهو من نوع PNP والترانزستور TR3 من النوع NPN يعملان بدرجة (Class A . B)

٣ -المقاومة R1 تعمل على تأمين جهد الانحياز الصحيح للترانزستور TR1 وتطبيق تغذية عكسية سالبة لتنقص من قيمة الكسب الكلى للمكبر ولكنها تخفض كثيرًا التشو يةوتحسن نسبة الإشارة إلى الشوشرة .

٤ -المقاومة R5 تعمل على توصيل تغذية عكسية موجبة طفيفة تقوم بزيادة كسب الترانزستور TR3 لتخفيض قيمة التشوية الحاصل عند عمل المكبر

٥ -المقاومتان R6 ، R7 هى مقاومات خرج المشعين للترانزستورين TR 3، TR2 ويعملان على تحسين الاستقرار الحرارى للترانزستورين .

٦ -المقاومتان R5 ، R3 يعملان كمجزئ جهد لقاعدة الترانزستور TR3 للانحياز الأمامى

طريقة عمل الدائرة :-

١ -يتم دخول الإشارة الصوتية المكبرة إلى قاعدة ترانزستور الحافز TR1 عن طريق المكثف C1 .

٢ -يسلط خرج حافز الصوت TR1 مباشرة إلى قاعدة الترانزستور TR2 وأيضًا إلى قاعدة الترانزستورTR3 عن طريق المقاومة R3 وفى حالة تسليط الإشارة يحدث الأتى:

أ- خلال نصف الذبذبة الموجب يعمل الترانزستور TR2 لأن انحيازه أمامى أما الترانزستور TR3 فلا يعمل لأن قاعدته منحازه عكسيًا وبذلك يكون هناك خرج على TR2 .

ب- فى خلال نصف الذبذبة السالبة فإن الترانزستور TR2 لا يعمل لأنه منحاز عكسيًا بينما الترانزستور TR3 يعمل لانحيازه الأمامى فيكون هناك خرج على الترانزستور TR3 وبهذا يتم تكبير نصفى الذبذبة الصوتية .

ج – تصل إشارة الخرج المكبر الى السماعة عن طريق المكثف C3 .

المميزات :-

١ -خفض التكاليف حيث أنه يتم الاستغناء عن محولات الدخل وكذلك محولات الخرج .

٢ -خفض التشوبة الناتج عن عكس الطور .

٣ -الاستغناء عن عاكس الطور .

٤ -الحصول على قدرة خرج كبيرة .

5-2 التغذية الخلفية (المرتدة) بالمكبرات :-

المقصود بالتغذية الخلفية فى المكبرات هو أرجاع جزء أو كل إشارة الخرج سواء كانت تيار أو جهد إلى الدخل مرة أخرى وذلك لإعادة مستوى الإشارة إلى الحد الأمثل لها وتغذية الدخل دائمًا كلما نقصت الإشارة بجزء من الخرج .

أنواع التغذية الخلفية :-

١ تغذية خلفية موجبة (Positive Feed back) :-

إذا كانت الإشارة المرتدة سواء جهد أو تيار فى نفس الاتجاه ونفس الطور (زاوية الوجه) مع إشارة الدخل فيتم الجمع بين الاشارتين وتزداد بالتالى الإشارة الكليه للدخل . وتستخدم هذه النوعية من التغذية الخلفية فى تصميم المذبذبات التى هى فى أصلها مكبرات ذات تغذية خلفية موجبة ويتوافر بها شروط معينة .

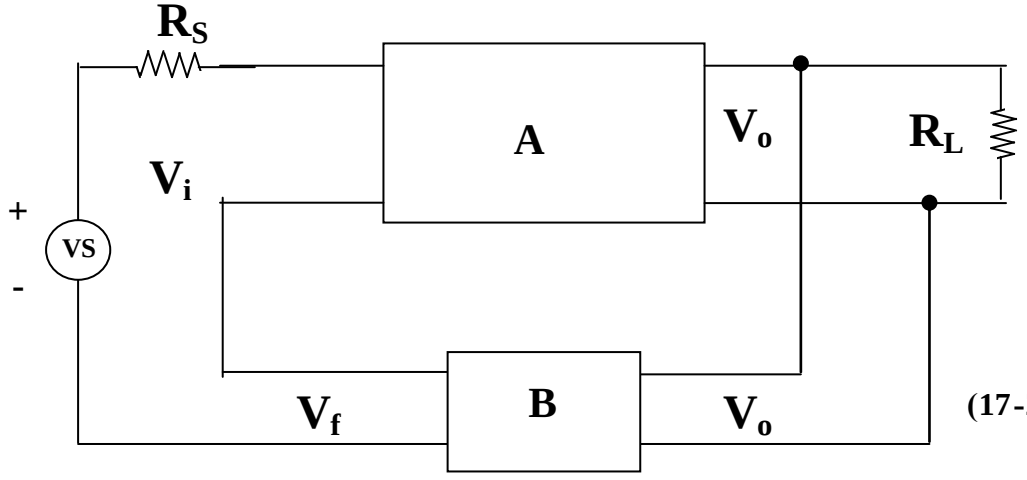
٢ تغذية خلفية سالبة (Negative Feed back) :-

إذا كانت الإشارة المرتدة سواء جهد او تيار فى عكس الاتجاه وعكس الطور (زاوية الوجه) مع إشارة الدخل فيتم الطرح بين الاشارتين وتقل بالتالى الاشارة الكليه للدخل وتستخدم هذه النوعية من التغذية الخلفية فى المكبرات للحصول على مميزات عديدة .

وتبعًا للاشارة المرتدة التى هى نسبة من (جهد أو تيار) الخرج وطريقة التوصيل (توالى أو توازى) يتم تقسيم دوائر التغذية الخلفية إلى :

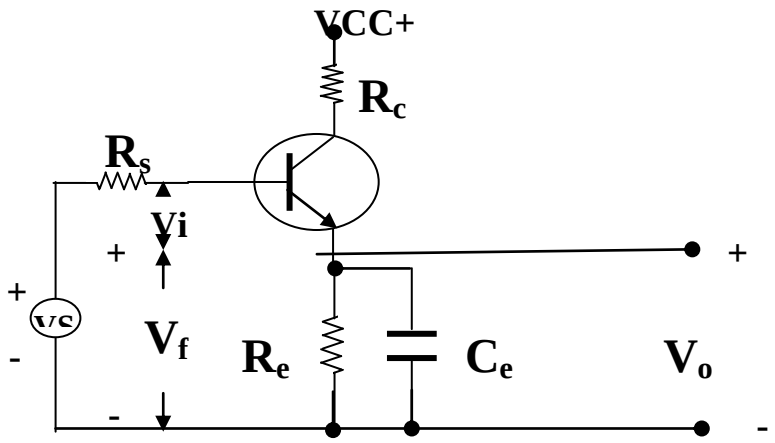
٣ تغذية خلفية للجهد توصل على التوالى :-

وفى هذه الطريقة يرد جزء من جهد الخرج ويوصل كتغذية خلفية على التوالى مع إشارة الدخل وتسمى هذه الحالة (ضغطية متوالية) . ويوضح شكل (2 – 17) طريقة توصيل هذه الدائرة حيث (Vo) جهد خرج المرحلة الاساسية و يستخدم هو أو جزء منه كجهد دخل لمرحلة التغذية الخلفية والاشارة المرتدة المغذاه خلفيا هى (Vf) ، وجهد الدخل بعد التغذية الخلفية هو (Vi) وجهد الاشارة أو جهد المصدر أو المنبع هو (Vs) وتكبير المرحلة الاساسية هو (A) أما تكبير مرحلة التغذية الخلفية أو نسبة التغذية الخلفية هى (B) .



(شكل 2-17)

ويوضح شكل (2 – 18) دائرة عملية لطريقة هذا التوصيل :-

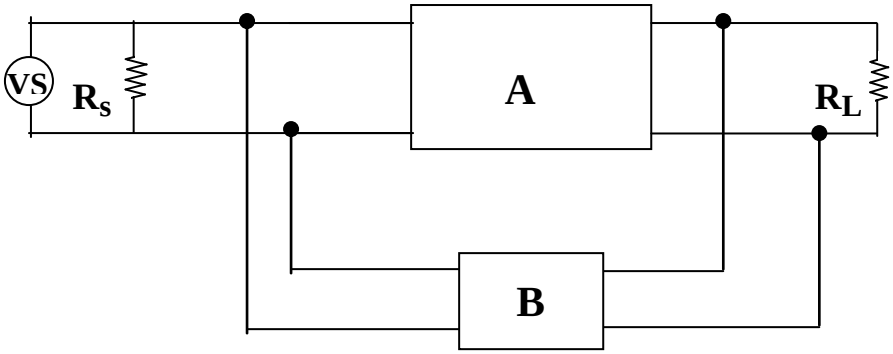


شكل (2 – 18)

دائرة عملية لطريقة التغذية الخلفية (الضغطية المتوالية)

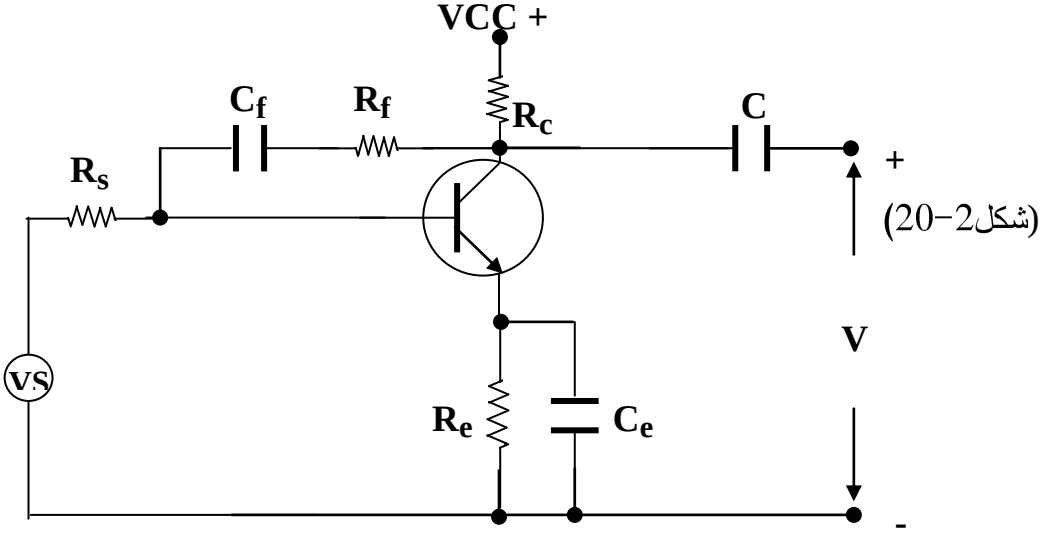
ب- تغذية خلفية للجهد توصل على التوازى : -

وفى هذه الطريقة يرد جزء من جهد الخرج ويوصل كتغذية خلفية على توازى مع إشارة الدخل وتسمى هذه الحالة (ضغطية متوازية) . ويوضح شكل (2 – 19) طريقة هذا التوصيل



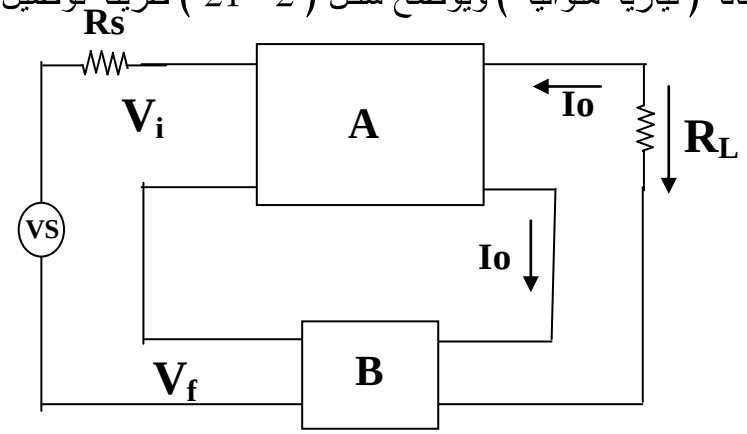
شكل (2 – 19)

ويوضح شكل (2-20) دائرة عملية لطريقة هذا التوصيل



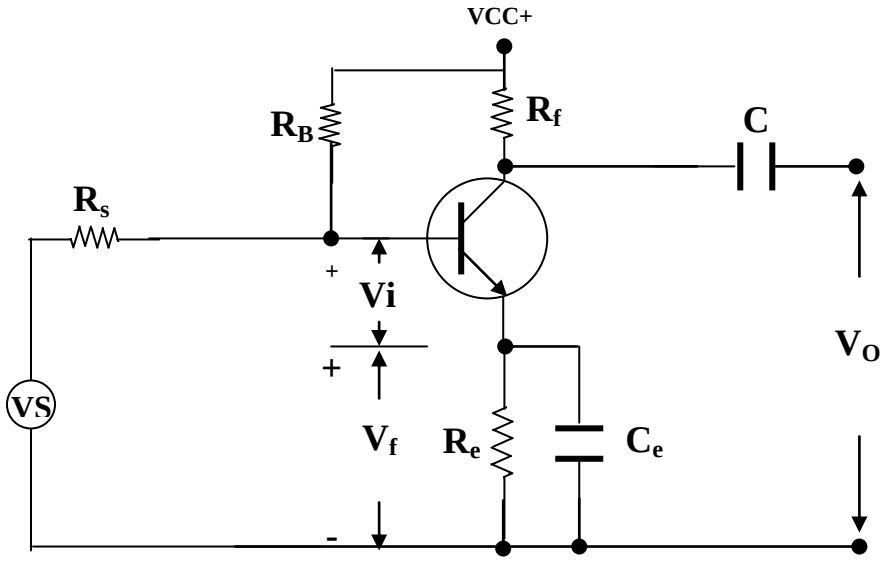
ج – تغذية – خليفة للتيار على التوالى :-

وفى هذه الطريقة يرد جزء من تيار الخرج ويوصل كتغذية خلفية على التوالى مع إشارة الدخل وتسمى هذه الحالة (تيارية متوالية) ويوضح شكل (2- 21) طريقة توصيل هذه الطريقة .



شكل (2 – 21)

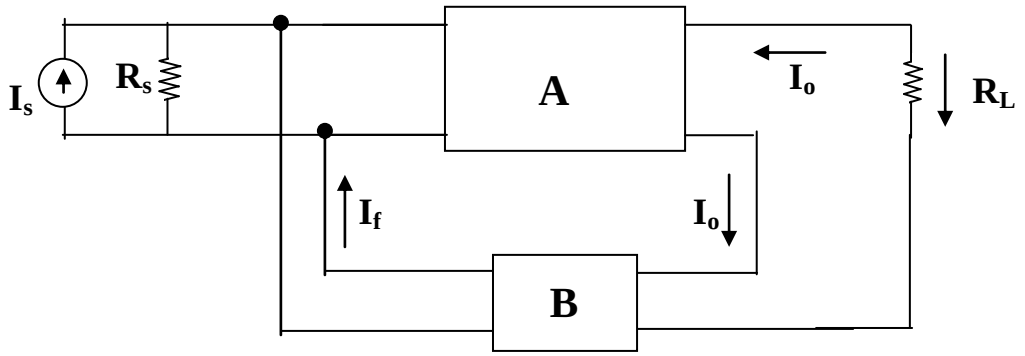
ويوضح شكل (2 – 22) دائرة عملية لطريقة هذا التوصيل :



شكل (2 – 22)

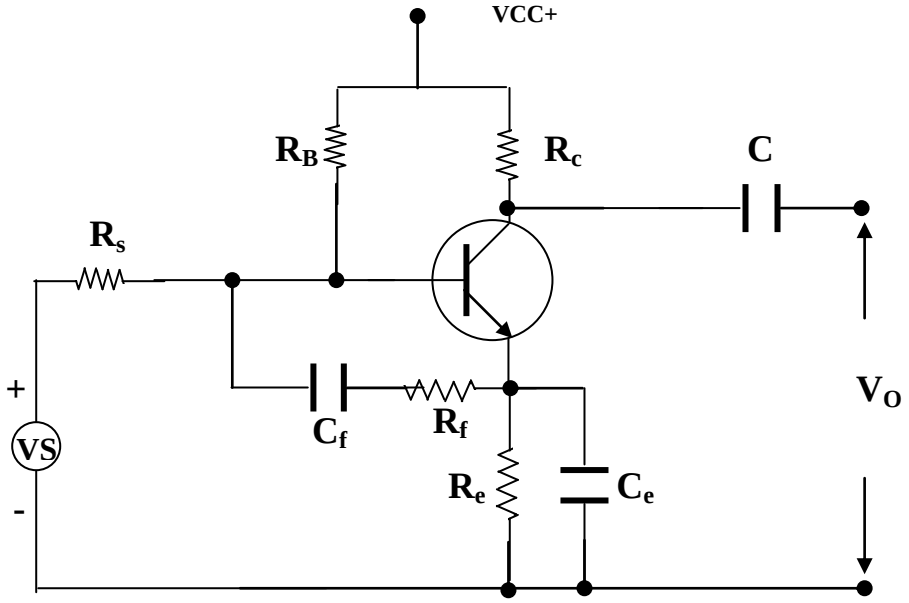
د- تغذية خلفية للتيار على التوازى :-

وفى هذه الطريقة يرد جزء من تيار الخرج ويوصل كتغذية خليفة على التوازى مع أشارة الدخل وتسمى هذه الحالة (تيارية متوازية) . ويوضح شكل (2-23) طريقة توصيل هذه الطريقة .



شكل (2 – 23)

ويوضح شكل (2- 24)



شكل (2 – 24)

تأثير التغذية الخلفية السالبة على التكبير : -

من الشكل (2- 17) يتضح لنا ان

التكبير قبل التغذية الخلفية

$$A = \frac{Vo}{Vi}$$

$$\therefore Vo = A\,Vi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1$$

نسبة التغذية الخلفية

$$B = \frac{V_f}{V_o}$$

$$Vf = B\,Vo \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2$$

الجهد المغذى خلفيا

$$Vf = A\,B\,Vi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3$$

المعادلة العامة للجهود

$$Vs = Vi + Vf \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4$$

من المعادلتين 3 ، 4

$$Vs = Vi + AB\,Vi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= Vi\,(1 + AB) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5$$

التكبير بعد التغذية الخفية

$$A_{FB} = \frac{Vo}{Vs} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6$$

من المعادلتين 5 ، 6

$$A_{FB} = \frac{Vo}{Vi\,(1 + AB)}$$

$$A_{FB} = \frac{A}{1 + AB}$$

الصورة العامة للتكبيرفى حالة التغذية الخلفية

ويلاحظ أن نسبة الكسب في المكبر تتغير بعد التغذية الخلفية حيث انها تتوقف

$$\frac{1}{(1 + AB)}$$ على المقدار

حيث ان : المكبر يعطى زاويه وجه 180درجه بين اشارتى

الدخل و الخرج اى ان A سالبه

أ – عندما تكون B سالبه فإن $\frac{1}{1+ AB} < 1$ تغذية سالبة

ب عندما تكون B موجبه فإن $\frac{1}{1- AB} > 1$ تغذية موجبة

ج – عندما $1 – AB = o$

($\frac{1}{A}$ B) يزداد التكبير بعد التغذية لخلفية

زيادة لا نهائية ويصبح المكبر غير متزن ويولد المكبر جهد خرج بدون إشارة دخل ويتحول المكبر إلى مذبذب .

تأثير التغذية الخلفية السالبة على عرض النطاق التردد : –

فى دوائر المكبرات ذات المقاومة والمكثف وفى حالة التكبير المتوسط ومقداره يساوى (A) الذى يقل بمقدار (3db) عند التردد المنخفض لعرض النطاق (FL) والتردد المرتفع لعرض النطاق (FH) .

وعندما نغذى المكبر بتغذية خلفية بنسبة (B) من جهد الخرج ويؤدى ذلك إلى تغيير نسبة التكبير عند أى تردد ونسبة التكبير فى المكبر تتغير بعلاقة مشابهة لقانون المكبر الأصلى

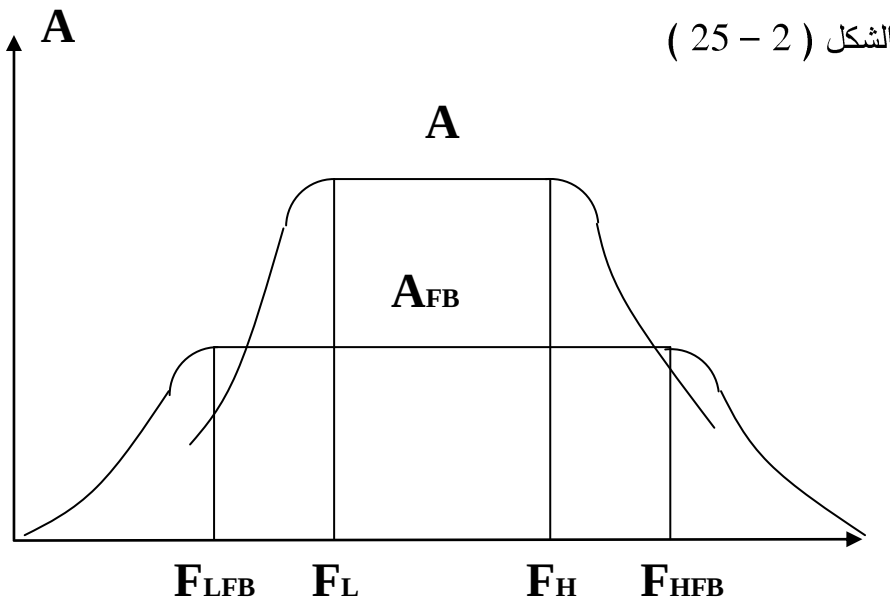
وينخفض بمقدار نسبة الكسب مقدارها (3 db) من القيمة المتوسطة الجديدة عند التردد المنخفض الجديد من العلاقة :

$$F_{L\,(FB)} = \frac{F_L}{1 + AB}$$

والتردد المرتفع الجديد من العلاقة

$$F_{H\,(FB)} = F_H\,(1 + AB)$$

ويتضح من الشكل (2 – 25)



شكل (2 – 25)

تأثير التغذية الخلفية السالبة على التشوبة :

يقل التشوبة فى المكبر مع استخدام التغذية السالبة . وتكون العلاقة المحددة لذلك هى :

$$D_{(FB)} = \frac{D}{1 + AB}$$

ويمكن اثبات هذه العلاقة كما يلى :

$$Vo = AVi + D$$

$$D = \frac{\text{جهد التشوبة } V_D}{\text{جهد الخرج } Vo} = \frac{}{}$$

وباعتبار التغذية الخلفية سالبة

$$Vs = Vi + Vf$$
$$Vi = Vs + Vf$$
$$Vo = A (Vs – Vf) + D$$
$$= A (Vs – BVo) + D$$
$$= A Vs – A B Vo + D$$
$$Vo + A B Vo = AVs + D$$
$$Vo (1 + AB) = AVs + D$$

$$Vo = \frac{A}{1+ A B} Vs + \frac{D}{1+ AB}$$

$$Vo = A_{(FB)} Vs + D_{(FB)}$$

حيث ($D_{(FB)}$) هو مقدار التشوبة بعد التغذية الخلفية السالبة :

تاثير التغذية الخلفية السالبة على معاوقتى الدخل والخرج :-

تؤثر التغذية الخلفية السالبة على معاوقتى الدخل والخرج حيث تزيد التغذية الخلفية السالبة من معاوقة الدخل للمكبر وتقلل من معاوقة الخرج وهذا توضحه العلاقات الآتية :-

$$Zi (FB) = (1 + A B) Zo$$

$$Zo (FB) = \frac{Zo}{1 + AB}$$

حيث ان :-

معاوقة الدخل قبل التغذية الخلفية = Zi

معاوقة الدخل بعد التغذية الخلفية = Zi (FB)

معاوقة الخرج قبل التغذية الخلفية=Zo

معاوقة الخرج بعد التغذية الخلفية =Zo (FB)

و يمكن تلخيص تأثير التغذيه الخلفيه السالبه على المكبر فيما يلى:-

١ -التغذية الخلفية السالبة تقلل من التكبير ولكن تزيد من استقرار المكبر .

٢ -التغذية الخلفية السالبة تزيد من عرض النطاق الترددى للمكبر .

٣ -التغذية الخلفية السالبة تقلل من التشوبة فى المكبر .

٤ -التغذية الخلفية السالبة تزيد من معاوقة دخل المكبر .

٥ -التغذية الخلفية السالبة تقلل من معاوقة الخرج للمكبر

(2 – 6) مكبر العميات (المكبر التشغيلى) OPERATIONOL AMPLIFIERS :

المكبر التشغيلى أو مكبر العمليات هو نوع خاص من المكبرات متعددة المراحل ذات الكسب العالى .

ويتكون المكبر التشغيلى من عدة مراحل متعاقبة ومتصلة بطريقة الربط المباشر (أى بدون وسائل ربط من مكونات سعوية او حثية من مكثفات ومحولات وخلافه) وكل مرحلة من هذه المراحل تعطى بعض الخواص والصفات المطلوبة التى توضح وتميز المكبر عن انواع المكبرات العادية . ومن صفات وخصائص المكبر التشغيلى ما يلى :

١ -كسب عالى جدًا فى الجهد (فى حدود 100000 مرة أى ما يكافئ 100 ديسيل)

٢ -مقاومة دخل Rin عالية جدًا وتكون فى حدود 100 كيلو أوم وذلك فى حالة استخدام ترانزستورات ثنائية القطب وتكون فى حدود 10 جيجا أوم فى حالة استخدام ترانزستورات تأثير المجال FIELD EFFECT TRONSISTORS (FET) .

٣ -مقاومة خرج R_{OUT} منخفضة جدًا وتكون فى حدود 50 اوم أو أقل .

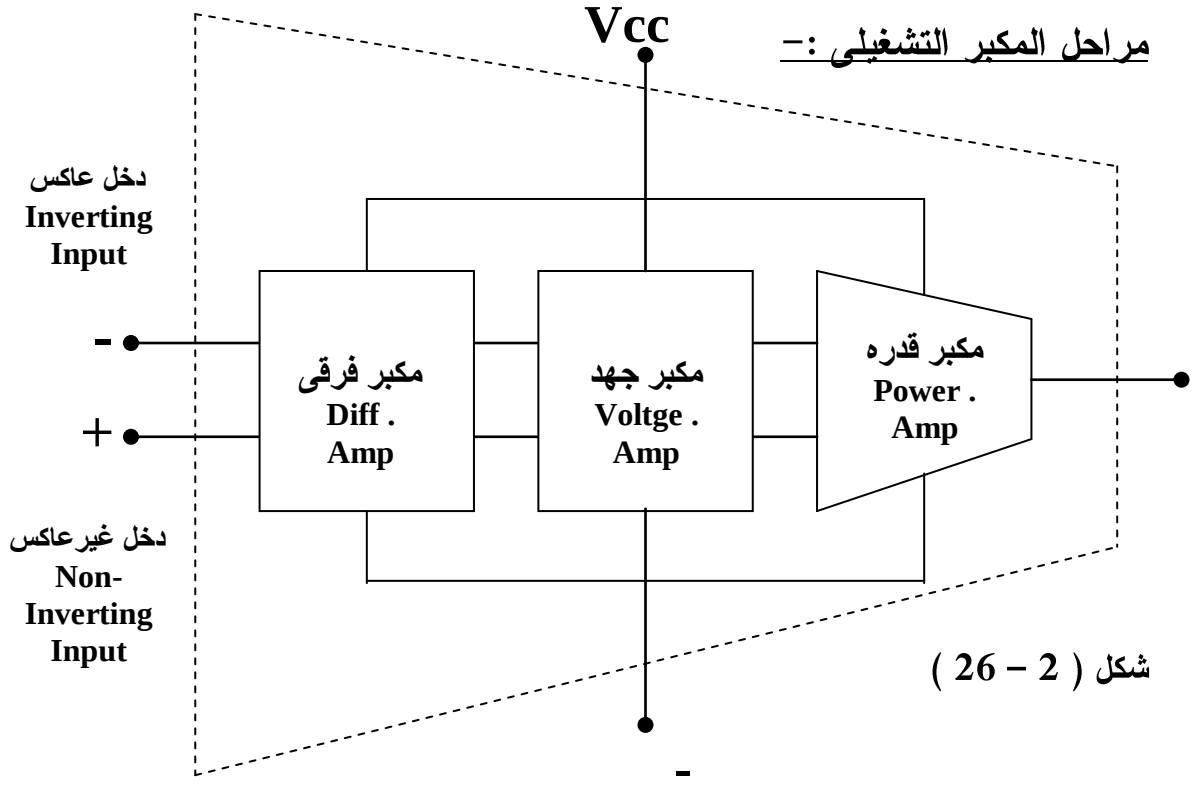
٤ -القدرة على تكبير الترددات المنخفضة جدًا فى حدود التيار المستمر وذلك بسبب استخدام الربط المباشر ولتحقيق تلك الخواص للمكبر التشغيلى فإنه يحتاج إلى عشرات الترانزستورات المتصلة ببعضها إما على هيئة مكونات مجمعة أو غالبًا فى صورة دائرة متكاملة على شريحة واحدة من مادة نصف موصلة . وتمتاز الدوائر المتكاملة بالصفات الآتية .

أ- صغر حجم وسهولة الاستخدام فى الدوائر الكهربية .

ب- الجودة العالية والاعتمادية .

ج- رخص الثمن وقلة استهلاك الطاقة .

مراحل المكبر التشغيلى :-



شكل (2 – 26)

يتكون المكبر التشغيلى عمومًا من ثلاثة مراحل – كل مرحلة عبارة عن مكبر له صفات وخصائص معينة :

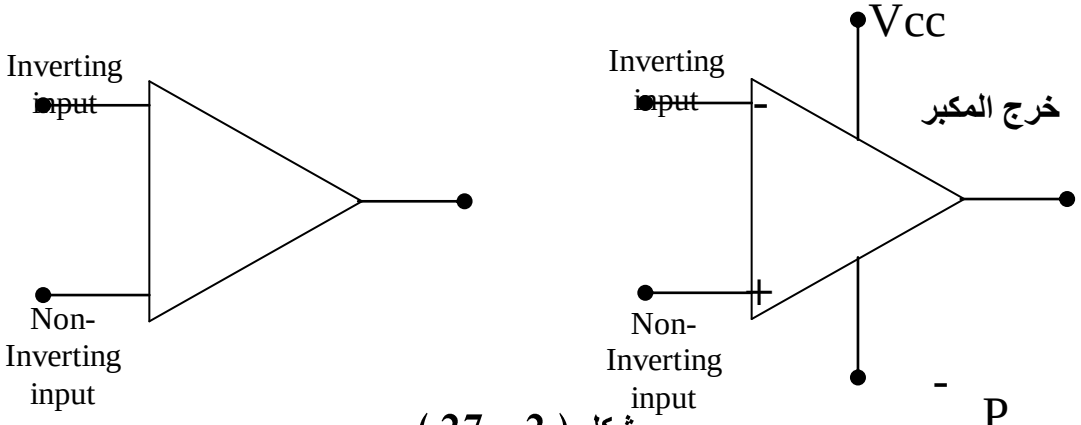
المرحلة الأولى : عبارة عن مكبر فرقى (Differential amplifier) ويمتاز هذا النوع من المكبرات بأنه له مقاومة دخل عالية واستجابة ترددية واسعة تصل حتى الترددات القريبة من التيار المستمر .

المرحلة الثانية : عبارة عن مكبر جهد (Voltage amplifier) ذو كسب عالى يصل إلى 100.000 مرة . وهذه المرحلة تعطى معظم التكبير الكلى للمكبر التشغيلى .

المرحلة الثالثة : هى عبارة عن مكبر قدرة (power amplifier) ذو مقاومة خرج صغيرة أو دائرة ترانزستور ذو باعث تابع (Emitter Follower) .

ويتم تغذية المكبر التشغيلى غالبًا بمصدرين للجهد المستمر (وأحياناً بمصدر واحد) : أحداهما موجب Vcc+ والاخر سالب Vcc− ومقدار كل منهما فى حدود 15 فولت . ويوضح الشـــكل (2−27 أ) رمز المكبر التشغيلى حيث له دخلان : الدخل الأول مميز بالعلامة (−) ويسمى بالدخل العاكس (inverting input) والدخل الثانى مميز بالعلامة (+) ويسمى بالدخل الغير العاكس (Non – inverting input)

ويرمز أحيانا للمكبر التشغيلى بدون توضيح أطراف مصدر التغذية كما هو موضح بالشـــــكل (2 – 27 ب) .



شكل (2 – 27)

وقد يستخدم طرف دخل واحد للمكبر التشغيلى فقط أو الدخلين معًا . وفى حالة استخدام دخل واحد فقط فإن طرف الدخل الثانى يوصل بالارضى أو بالقاعدة المعدنية للجهاز (الشاسية) إما مباشرة أو عن طريق مقاومة .

وفى حالة استخدام إشارتين على طرفى الدخل فإن المحصلة التى يقوم المكبر التشغيلى بتكبيرها تكون هى الفرق بين الإشارتين . ويعرف هذا الفرق بين إشارتى الدخل على أنه (جهد خطأ الدخل) كما يطلق أحياناً على مثل هذا المكبر (مكبر الخطأ) .

واقصى قيمة مسموح بها لجهد خطأ الدخل تكون فى حدود 30 مللى فولت حتى يعمل المكبر التشغيلى بصورة خطية سليمة كما ان أقصى تأرجح فى جهد خرج المكبر التشغيلى يجب أن تكون أقل من جهد الانحياز (مصدر التغذية المستمر) أى فى حدود = 15 فولت . وعادة ما يكون أقصى تأرجح فى جهد خرج المكبر التشغيلى أقل من جهد الانحياز بحوالى 2 فولت .

ويمكن استخدام المكبر التشغيلى فى عدة تطبيقات خطية وغير خطية فى الصناعة وذلك بإدماج هذا المكبر مع مجموعة من المقاومات والمكثفات وأحياناً نبائط أشباه الموصلات . ومن اهم تطبيقات المكبر التشغيلى تلك التى تجعله يقوم بالوظائف الرئيسية فى الحاسب التماثلى (Analog computer) وهى :-

1- مكبر عاكسى (inverting Amplifier) :

ويمكن الحصول منه على الدخل مضروبًا فى معامل ثابت ومحدد أو مقسومًا على معامل ثابت ومعكوسًا فى الإشارة .

2- مكبر غير عاكسى (Non – inverting Amplifier) :

ويمكن الحصول منه على الدخل مضروبًا فى معامل ثابت وموجب .

3- الجمع (Summer) :

ويكون الخرج هو مجموع الإشارات الداخلة مضروبًا فى ثابت .

4- الطرح (Subtractor) :

ويكون الخرج هو فرق إشارتى الدخل مضروبًا فى ثابت .

5- الضرب والقسمة (Multiplier / Divider) :

ويكون الخرج هو حاصل ضرب أو خارج قسمة إشارتى الدخل .

6- التكامل (Integrator) :

ويكون الخرج هو تكامل إشارة الدخل .

7- التفاضل (Differentiator) :

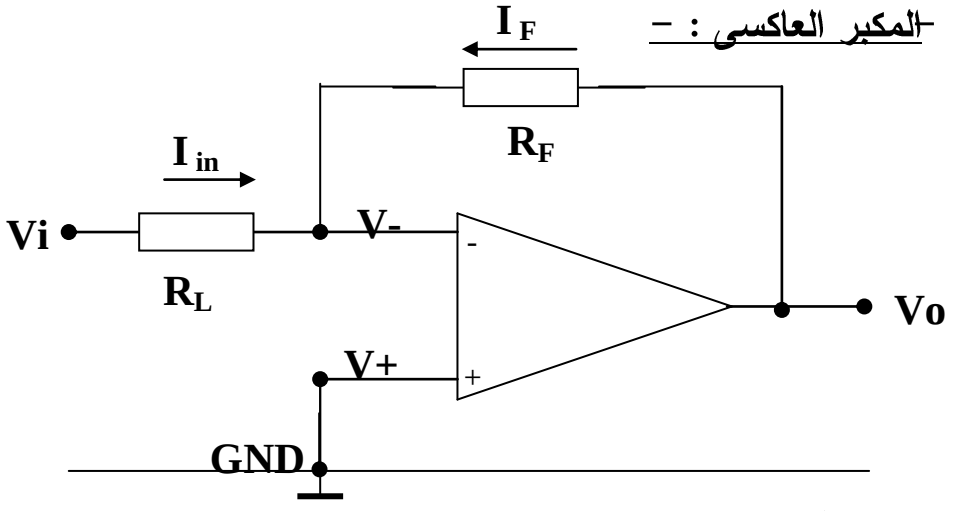
ويكون الخرج هو تفاضل إشارة الدخل .

8- حاسب تماثلى لحل المعادلات التفاضلية (Analog Computer) :

ويكون الخرج هو قيمة المتغيرات

ولفهم طريقة عمل المكبر التشغيلى بصورة اوضح سوف نقوم بشرح بعض استخداماته :

١- **المكبر العاكسى : -**



شكل (2 – 28)

حيث أن المكبر التشغيلى له كسب جهد كبير جدًا فإن فرق الجهد بين طرفيه يمكن أهماله . أى أن فرق الجهد بين نقطة الدخل العكسى (النقطة S وجهدV-) ونقطة الدخل الغير عكســـــــى (موصلة بالأرضى) وجهدها بالتالى zero =(V +) يعتبر مهملاً 1) 0 = (-V) –(+V)

لذا يقال عن النقطة S بأنها أرضا ظاهرية (virtual ground) حيث يؤول جهدها للصفر ولكنها لا تسحب تيار بعكس الارضي الحقيقي الذى جهده دائماً يساوي الصفر ولكنه قادر على سحب اي تيار مهما كبر.

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيارات عند النقطة S (مجموع التيارات الداخلة عند النقطة في الدائرة يساوي صفر)

نحصل على الآتي: $I_{in} + I_i + I_f = 0$ --- (2)

وحيث ان المكبر التشغيلي له مقاومة دخل كبيرة فإنه يسحب تياراً مهملاً من طرفيه (العاكس والغير عاكس) .

لذا فان التيار الداخل للمكبر التشغيلي I_i يمكن اعتباره مساوياً للصفر وبناء عليه فان تيار اشارة الدخل I_{in} يساوي تيار التغذية العكسية I_f فى المقدار و يضاده فى الأتجاه

$Iin=-If$.....(4)

وبحساب كلا من التيارين I_{in}, I_f (التيار يساوي فرق الجهد مقسوماً على المقاومة) ومساواة طرفي المعادلة يمكننا الحصول على الكسب في الجهد للدائرة كما يلي :

$$Iin = \frac{Vi-V^-}{R1} \quad (4)$$

$$I_f = \frac{V_0-V^+}{Rf} \quad (5)$$

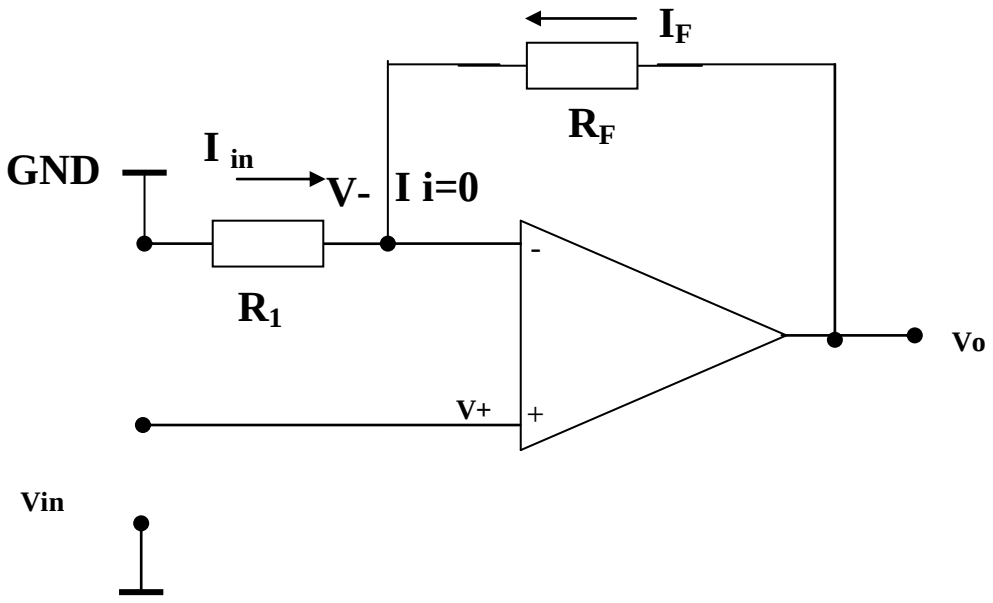
وبالتعويض من معادلات 4، 5 في المعادلة 3

$$\frac{V_o}{R_1} = -\frac{V_i}{R_f} \quad (6)$$

و يكون كسب الجهد Av

$$Av = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (7)$$

2- المكبر التشغيلي الغير عاكس:



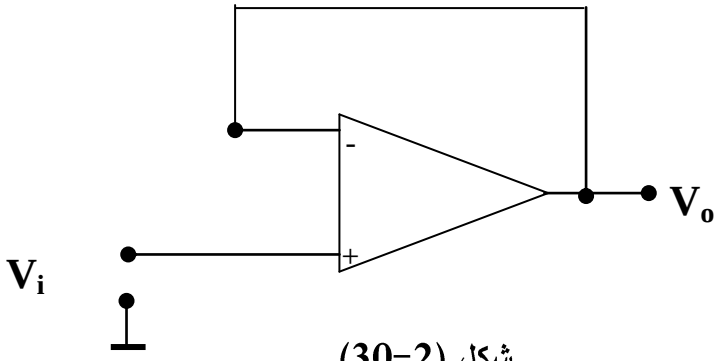
شكل (2-29)

يوضح شكل (2-29) الدائرة الاساسية للمكبر الغير عاكس حيث يكون الدخل عبر مقاومة موصلة بالطرف الغير عاكس للمكبر التشغيلي ويتشابه المكبر الغير عاكس والمكبر العاكس في ان قيمة الخرج تتناسب مع قيمة الدخل ولكن خرج المكبرالغير عاكس لا يختلف عن الدخل في الإشارة ويمكن حساب الكسب في الجهد للمكبر الغير عاكس بطريقة مشابهة الطريقة التي اتبعناها مع المكبر العاكس.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1+R_f}{R_1}$$

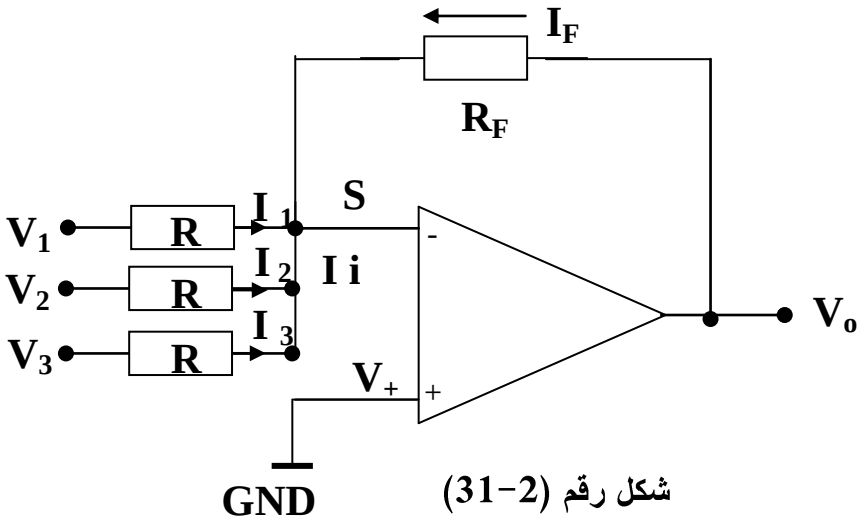
وهناك حالة خاصة في هذه الدائرة تمكننا من الحصول على ما يسمى بدائرة تابع الجهد حيث الكسب في الجهد يساوي الوحدة ولا تستخدم اي مقاومات في هذه الدائرة وانما يوصل الطرف العاكس لدخل مكبر التشغيل بالخرج مباشرة

ومن اهم خواص هذه الدائرة معاوقة دخلها كبيرة جداً بينما معاوقة خرجها صغيرة للغاية (تقارب الصفر) وبالتالي تستخدم هذه الدائرة كعازل (BUffer) في الدوائر الالكترونية بين ما قبلها وما بعدها من مراحل.



شكل (2-30)

٢ -**المكبر التشغيلي كجامع للاشارات:**



شكل رقم (2-31)

الشكل(2-31) يوضح مكبر تشغيلي يعمل كجامع أي يعطي خرجاً يتناسب مع مجموع إشارات الدخل والدائرة الموضحة بالشكل ماهي الا صورة معدلة من دائرة المكبر العاكس التي سبق ان قمنا بتحليلها وحساب كسب الجهد الخاص بها.

وينحصر التعديل في اضافة عدة مداخل للاشارة على التوازي مع الدخل الاصلي لدائرة المكبر العاكس .لذا فإن طريقة حساب خرج دائرة الجامع يتشابه كثيراً مع الطريقة التي اتبعناها لحساب كسب جهد وخرج المكبر العاكس.

وحيث ان النقطة S هي ارضي ظاهري لان جهدها يساوي تقريباً للصفر وبتطبيق قانون كيرشوف للتيارات عند النقطة S نحصل على الآتي:

$I1+I2+I3+Ii+If= 0$ – (1)

وحيث ان مقاومة دخل المكبر التشغيلي كبيرة جداً فإن التيار Ii الداخل إلى الطرف العاكس يساوي الصفر وبحذف Ii وبنقل التيار If للطرف الايمن للمعادلة ينتج:

$I_1+I_2+I_3 = - I_f$ --- (2)

بحساب التيارات في المعادلة السابقة ومساواة الطرفين نحصل على الآتي:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{(Vi-V^-)}{R} = \frac{V1}{R} \\ I_2 &= \frac{(V2-V^-)}{R} = \frac{V2}{R} \\ I_3 &= \frac{(V3-V^-)}{R} = \frac{V3}{R} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$I_f = \frac{(V_0-V^+)}{Rf} = \frac{V_0}{R_f} \quad (4)$$

وبالتعويض من المعادلات (3) ، (4) في المعادلة (2)

$$(V1+ V2+V3) \text{ --- } (5) = \frac{(R_f)}{R} V_0$$

اي ان قيمة جهد الخرج تتناسب مع مجموع جهد الدخل وباختيار المقاومات بحيث يكون $R_f=R$ يصبح الخرج مساوياً مجموع جهد الدخل (مضروباً في إشارة سالبة)

$$Vo= - (V1+V2+V3) \text{ ---- } (6)$$

ومن الطبيعي استخدام هذا النوع من المكبرات في وحدة خلط اشارات التردد السمعي والتي تخلط بها مجموعة إشارات من عدة مصادر اشارة مثل الميكرفون – جهاز التسجيل – الة موسيقية ... الخ

أسئلـــــة على الباب الثانى

س1 : عرف المكبر . ثم اشرح مع الرسم دائرة مكبر بسيط يعمل بالترانزستور .

س2: وضح كيف يمكن تصنيف المكبرات من النواحى الآتية :-

أ – التردد . ب– نوع القيمة المكبرة . ج – مرتبة التشغيل .

س3: ما هى المواصفات الفنية للمكبرات .

س4: اذكر طرق عمل الانحياز . ثم اشرح مع الرسم دائرة توضح الانحياز الثابت .

س5: اشرح مع الرسم دائرة الانحياز الذاتى . وكيف تعمل على تحسين الاستقرار لنقطة التشغيل .

س6: اذكر طرق الربط فى مكبرات التردد المنخفض .

س7: اشرح مع الرسم طريقة الربط بواسطة المقاومة والمكثف مع ذكر مميزات وعيوب هذه الطريقة .

س8: وضح بالرسم فائدة المكونات بدائرة الربط بواسطة محول تردد منخفض . ثم اشرح بايجاز طريقة عمل الدائرة مع ذكر المميزات والعيوب .

س9: اشرح موضحًا اجابتك بالرسم تركيب وطريقة عمل ومميزات وعيوب طريقة الربط المباشر .

س10: اشرح مع الرسم تركيب وطريقة عمل ومميزات الربط فى مكبرات التردد المتوسط .

س11: ما هى طرق الربط فى مكبرات التردد العالى .

س12 : اشرح مع الرسم تركيب ونظرية عمل الربط بواسطة ملف خانق تردد عالى .

س13 : ارسم دائرة توضح طريقة الربط بواسطة محولات التردد العالى موضحًا عمل كل جزء فيها – ثم اشرح طريقة عمل الدائرة .

س14: اشرح موضحًا اجابتك بالرسم طريقة الربط بواسطة دوائر الربط الرنانة .

س15: فيما تستخدم مكبرات القدرة . اذكر أهم انواع مكبرات القدرة .

س16 : اشرح مع الرسم دائرة مكبر قدرة مفرد النهاية يعمل فيها الترانزستور بدرجة (أ) .

س17 : لماذا تستخدم مكبرات قدرة بنظام الدفع والجذب . اشرح مع الرسم أحد دوائر هذه المكبرات مع ذكر مميزاتها .

س18 : اشرح مع الرسم دائرة مكبر قدرة بنظام الدفع والجذب والتتابعى مع ذكر مميزاتها .

س19 : اشرح مع الرسم تركيب وطريقة عمل مكبر التشغيلى .

س20: ما هى أهم تطبيقات المكبر التشغيلى .

س21: اشرح موضحًا إجابتك بالرسم طريقة عمل المكبر العاكسى . موضحًا الفرق بينه وبين المكبر الغير عاكسى .

س22 : اشرح مع الرسم المكبر التشغيلى كجامع للاشارات .

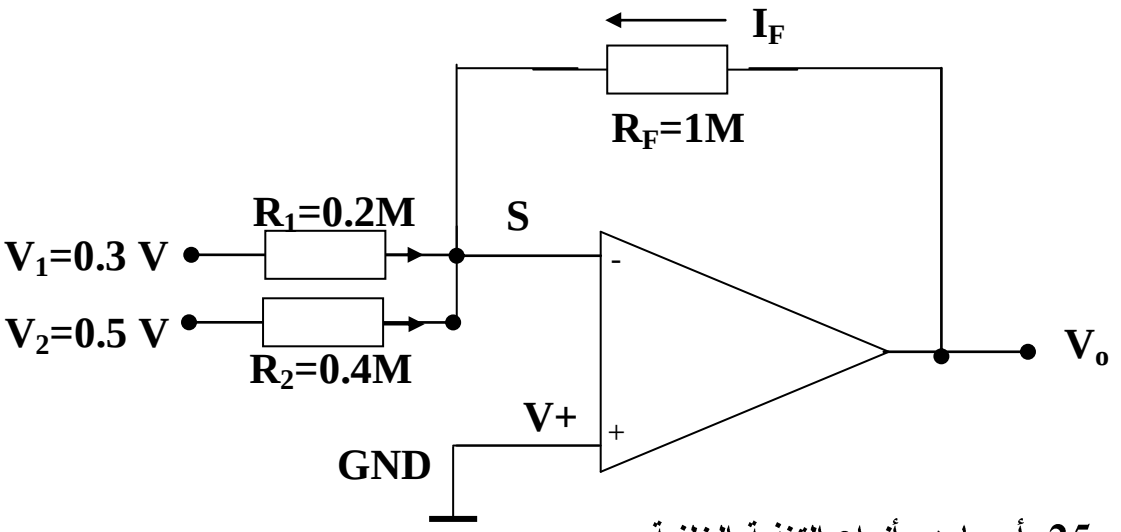
س23 : فى دائرة مكبر تشغيل عاكسى يستخدم فى عمليات الضرب والقسمة كانت المقاومة R_f تساوى 1 ميجا أوم .

احسب قيمة المقاومة R1 ليكون جهد الخرج على النحو الآتى :-

أ- جهد الخرج خمس أضعاف جهد الدخل .

ب- جهد الخرج نصف جهد الدخل .

س24 : احسب جهد الخرج Vo للمكبر الجامع الموضح بالشكل :



س25: أ- ما هى أنواع التغذية الخلفية .

ب- اشرح مع الرسم تأثير التغذية الخلفية السالبة على عرض النطاق الترددى .

س26 : أ- ما هى مميزات التغذية الخلفية السالبة .

ب- اشرح تأثير التغذية الخلفية السالبة على التشوبة .