٣- الباب الثالث

قياسات منجزة على دارات التضخيم

Performance measures for amplifying circuits

ان المكبر الالكتروني: هو دارة قادرة على تكبير مطال الاشارات الكهربائية. مثل هذه الدارة تحتوى على مركبات غير فعالة Passive (مقاومات ، ملفات، مكثفات ثنائيات ، محولات) ووسائل فعالة Active (ترانزيستورات).

٣-١ : نظرية التضخيم - تقريب العلبة السوداء:

The Black Box Approch

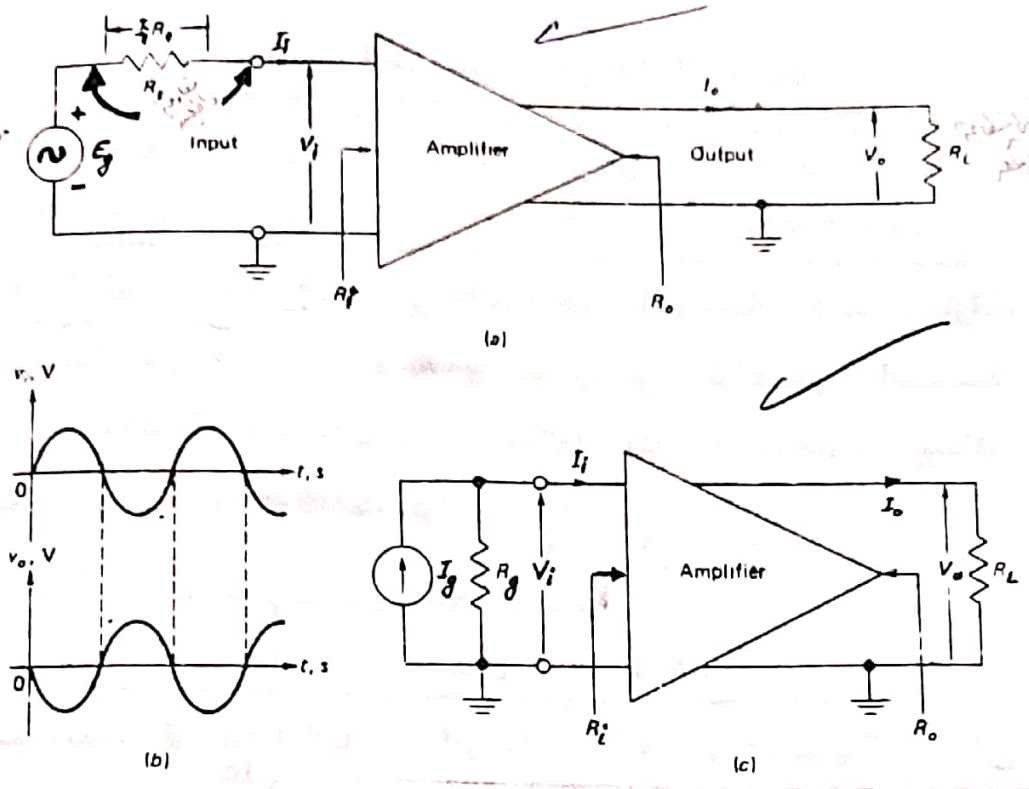
سوف نعتبر في هذا الباب خواص عامة للمكبرات. المكبر يمكن ان يميز بانه عبارة عن علبة سوداء (black box)، اى فقط نعتبر سلوك الاشارات الكهربائية في نهايات الخارجيه. في الشكل (٣-١ a) رمز المثلث يمثل مكبر، يوجد مجموعتين من النهايات له. نهايات المدخل توصل الاشارة الى المكبر، والاشارة المكبرة التي تظهر عبر نهايات الخرج. (E_g) هو مولد جهد الذى يمثل منبع الاشارة. (R_g) هي المقاومة الداخليه للمولد. الحمل (R_L) تمثل اى مركبه تمتص استطاعة خرج المكبر.

نتيجة لـ (E_g) هنالك تيار وجهد في مدخل المكبر. تيار المدخل يعتمد على المقاومة الكليه المنظورة من قبل (E_g) :

$$I_i = \frac{E_g}{R_g + R_i} \qquad (٣-١)$$

حيث (R_i) المقاومة المنظورة من قبل مدخل المكبر.

Scanned with CamScanner



الشـــكل (٣—١)

$$V_i = I_i R_i \qquad (٣-٢)$$

$$V_i = E_g - I_i R_g \qquad (٣-٣)$$

$$V_i = E_g \frac{R_i}{R_i + R_g} \qquad (٣-٤)$$

في جانب المخرج ، المكبر يقدم جهد خرج (V_o) وتيار خرج (I_o) . بالنسبه لمقاومة الحمل نجـد :

$$I_o = \frac{V_o}{R_L} \qquad (٣-٥)$$

العلاقة بين (V_o و V_i) كما بين (I_i , I_o) تدعـــى بمعامل التضخيم كالتالـــي :

تضخيم الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ (٣—٦)

Scanned with CamScanner

(٣–٧)

تضخيم التيار $A_i = \frac{I_o}{I_i}$

نلاحظ انه في الشكل (٣–١ a) ، V_o ، V_i هما موجبان بالنسبة للارض . هذا هو في الواقع اصطلاح للتبسيط تستخدم حين تحليل دارات المضخم . نفس الشيء يطبق على (I_i ، I_o) حيث الاتجاهات المفترضه هي اعتباطيه .

في كثير من انواع المكبرات فان جهد الدخل المتغير من الناحيه الموجبه يولد جهد خرج متغير من الناحيه السالبه ، وبالعكس. في هذه الحالة نقول ان الخرج منزاح بالطور (180°) عن الدخل ، او بشكل اكثر بساطه ، المكبر يولد قلبا بالطور. اشكال موجات الدخل والخرج النوذجيه لمكبر مبينه بالشكل (٣–١ b) . في هذه الحالة ، حينما (v_i) يكون موجبا ، (v_o) يكون سالبا ، وتضخيم الجهد (A_v) يكتسب اشارة سالبه .

مسألة (١) :

مولد ذو مقاومة داخليه (600 Ω) يسوق مكبر مقاومة مدخله (400 Ω) . جهد المولد في حالة دارة مفتوحه (1mV) ، المكبر يقدم جهداً قدره (100mV أو 0.1V) يظهر عبر مقاومة الحمل (8KΩ) . حدد A_v و A_i .

الحل :

باستخدام الشكل (٣–١ a) فان جهد الدخل للمكبر هو:

Scanned with CamScanner

$$V_i = E_g \frac{R_i}{R_g + R_i} = \frac{400 \times 10^{-3}}{600 + 400} = 0.4 \text{ mV}$$

$$I_i = \frac{E_g}{R_g + R_i} = \frac{10^{-3}}{1000} = 1 \text{ MA}$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_L} = \frac{0.1}{8000} = 12.5 \text{ MA}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{0.1}{4 \times 10^{-4}} = 250$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{12.5 \times 10^{-6}}{10^{-6}} = 12.5$$

في الدارة شكل (٣-١ a) فان (E_g) و(V_i) يكونان نفسهما عندما ($R_g = 0$). في هذه الحالة فان (E_g) سوف يكون منبع جهد مثالي. لو كانت (R_g) كبيرة بالنسبة لـ (R_i) فان معظم (E_g) يظهر عبر (R_g) وبالتالي (V_i) تصبح اقل بكثير من (E_g).

في الدارة شكل (٣-١ C)، فان (I_g) و(I_i) تكونان متساويتان اذا كانت ($R_g = \infty$). في هذه الحالة فان كل (I_g) سوف يتدفق خلال مدخل المكبر ($I_i = I_g$). لو ان (R_g) كانت صغيره بالنسبة لـ (R_i) فان معظم (I_g) سيتدفق خلال (R_g) و ($I_i << I_g$). بشكل عام فان :

$$I_i = I_g \frac{R_g}{R_i + R_g} \qquad (٣-٨)$$

بالنسبة لتضخيم الاستطاعة يمكننا ان نكتب :

$$P_i = |V_i I_i| \qquad (٣-٩)$$ استطاعة الدخل

$$P_o = |V_o I_o| \qquad (٣-١٠)$$ استطاعة الخرج

Scanned with CamScanner

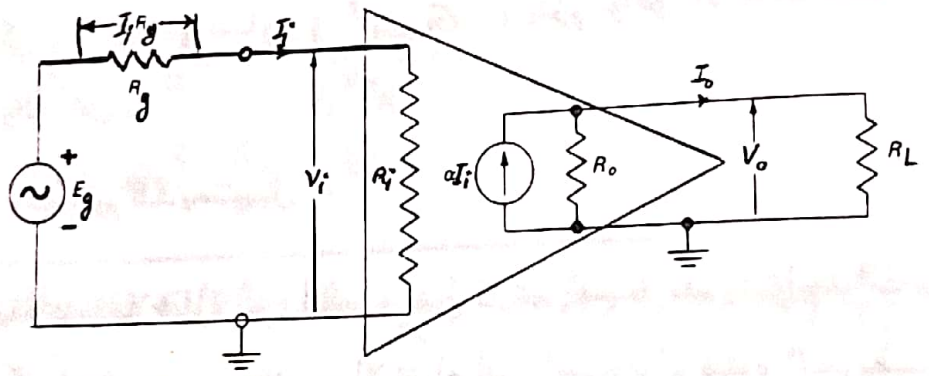
(٣-١١)

كسب الاستطاعة $G = \frac{P_o}{P_i}$

(٣-١٢)

$$G = \frac{|V_o I_o|}{|V_i I_i|} = |A_v A_i|$$

الدارات شكل (٣-١ a) و (C) يمكن ان تحلل باستخدام دارة مكافئه ملائمة (model) . المكبر يقدم تيارا الى (R_L) وبذا سلوكه يمكن ان يمثل بمولد تيار خرج ، مشتملا على مقاومة خرج (R_o) كما مبين بالشكل (٣-٢) . التيار المولد من قبل هذا المولد هو (αI_i) حيث (α) هو معامل تضخيم التيار للوسيلة للالكترونيه المستخدمه .



الشكل (٣-٢)

نلاحظ ان (αI_i) متناسبه مع تيار الدخل (I_i) ، لذلك تسمى بمولد التيار المتحكم به من قبل التيار . نلاحظ وجود معرين يفرعان (αI_i) هما (R_L) و (R_o) . التيار المار خلال (R_L) يكون :

(٣-١٣)

$$I_o = \alpha I_i \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

القياس الاخر الذى يمكن ان نجريه على كسب الاستطاعة هو مايدعى بكسب التحويل (transducer gain) (G_T) والكسب المتوفر الاعظمى (G_{MA}) الذى يدعى أيضا بـ MAG . كسب التحويل

Scanned with CamScanner

يحـــدد كما يلـــــــي :

$$G_T = \frac{P_o}{P_{i(max)}} \qquad (٣-١٤)$$

حيث (P_o) استطاعة الخرج الفعليه ($P_{i(max)}$) الاستطاعـــــه الاعظميه المتوفرة للمنبع. كسب الاستطاعة الفعلي (G) يساوى الى كسب التحويل لو ان مقاومة دخل المكبر توافقت مع مقاومة المنبع. الكسب المتوفر الاعظمي هـــو:

$$G_{MA} = \frac{P_{o(max)}}{P_{i(max)}} \qquad (٣-١٥)$$

حيث ($P_{o(max)}$) الاستطاعة المترفرة العظمى الماخوذة من خرج المكبر يمكن الحصول على ($P_{o(max)}$) فقط عندما يتوافق الحمل مع (R_o). لذلك لكي (G) تساوى (G_{MA}) يلزم توافق الاستطاعات فـــي الخرج والدخل .

٣-٢ : مفهـــوم للديسيبل :

طريقة عامة للاشارة الى النسبه بين كميتين لهما نفس الواحدات يعبر عنها بشكل لوغاريتمي . وقد تم الانتباه الى استخدام هذه الطريقـــــه بسبب استجابه الاذن البشرية . مثلا لو ان مستوى الاستطاعة لصـــوت ماتزايد بالمعامل (١٥٥) فان تزايد شدة الصوت المستقبل من قبل اذن الانسان لايكون (١٥٥) مرة بل بمعامل اصغر متناسب مـــع لوغاريتم الـ (١٥٥) ويدعى بالديسيبل (decibel). ايضـــا التكبير الذى لايقتصر فقط على الاشارات الصوتيه ،يستخدم الديســـيبل لتبسيط الحسابات ذات الارقام الكبيـــرة.

ذكرنا ان كسب الاستطاعة الفعلية لمكبر يحدد بالعلاقة :

$$G = \frac{P_o}{P_i} \qquad (٣-١١)$$

Scanned with CamScanner

نفس الكسب يمكن ان يعبر عنه كما يلي :

$$G(dB) = 10 \log G \qquad (٣-١٦)$$

مثلا اذا كان كسب الاستطاعة لمكبر هو (1000) ، فاذا اردنا التعبير عنه بالديسيبل نكتب :

$$G(dB) = 10 \log 1000$$
$$G(dB) = 10(3) = 30\ dB$$

اى المكبر ـــــــه كسب استطاعة مقداره (30 dB) ، اوان مستوى استطاعة الخرج اكبر من مستوى استطاعة الدخل بـ (30dB) .

بما ان كسب الاستطاعة متعلق بتكبير الجهد والتيار ، فانه مـــن الممكن ان نكتب مايلـــي :

1) $$G = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o^2/R_L}{V_i^2/R_i}$$

$$G = A_v^2 \frac{R_i}{R_L}$$

$$G(dB) = 10 \log \left(A_v^2 \frac{R_i}{R_L}\right) = 10 \log A_v^2 + 10 \log \frac{R_i}{R_L}$$

$$G(dB) = 20 \log A_v + 10 \log \frac{R_i}{R_L} \qquad (٣-١٧)$$

2) $$G = \frac{P_o}{P_i} = \frac{I_o^2 R_L}{I_i^2 R_i}$$

$$G = A_i^2 \frac{R_L}{R_i}$$

$$G(dB) = 10 \log \left(A_i^2 \frac{R_L}{R_i}\right) = 10 \log A_i^2 + 10 \log \frac{R_L}{R_i}$$

$$G(dB) = 20 \log A_i + 10 \log \frac{R_L}{R_i} \qquad (٣-١٨)$$

Scanned with CamScanner

في الحالة الخاصه عندما $R_L = R_i$ فان الحد الثنائي من المعادلات (١٧و١٨) يساوى الصفر:

$$G(dB) = 20 \log A_v \qquad (٣-١٩)$$

$$G(dB) = 20 \log A_i \qquad (٣-٢٠)$$

نلاحظ انه عندما تكون نسبه كميتين اقل من الواحد فالديسيبل المكافئ يكون سالبا. مثلا في شبكة تخميد: (

حيث المطلوب تخميد استطاعة اشارة الدخل بمعامل ما وليكن (100)

هذا يعني ان: $P_o = \frac{P_i}{100}$ وبالتالي:

$$G = \frac{P_o}{P_i} = \frac{1}{100}$$

$$G(dB) = 10 \log G = 10 \log \frac{1}{100} = 10(\log 1 - \log 100)$$

$$G(dB) = 10(0-2) = -20\ dB$$

هنا يكون مستوى استطاعة الدخل اكبر من مستوى استطاعة الخرج بـ (20dB) او ان مستوى استطاعة الخرج اقل من مستوى استطاعة الدخل بـ (20dB). اعتبار اخر مفيد يمكن ان نذكره وهو ان:

$$G(dB) = 10 \log 2 = 3\ dB$$

اى انه دوما عندما يتزايد مستوى الاستطاعة بمقدار الضعف هذا يعني ان يتزايد بمقدار (3dB). ولهذا استخدامات تطبيقية كثيرة.

ان الديسيبل ليست واحدة، ولا تقيس اى كمية فيزيائية، هي بشكل بسيط نسبه بين كميتين فيزيائيتين. في بعض الحالات قد نريد ان نقارن مستوى استطاعة خاص (P_x) بمستوى استطاعة مرجعي

Scanned with CamScanner

(reference) . المستوى المرجعي المعروف هـــو (1 mW) . كمية الديسيبل التي تعطي لمستوى استطاعه (P_x) اعلى من المستوى (1 mW) تكون :

$$P_x(dBm) = 10 \log \frac{P_{dc}}{10^{-3}} \qquad (٢١-٣)$$

الرمز (dBm) يعطي بدلا من (dB) للاشارة الى مستوى الاستطاعة المرجعي (1 mW) . مثلا ان الاستطاعه (100mW) تكافئ :

$$10 \log \frac{100}{1} = 20 \ dBm$$

المزيه الواضحة لرمز الديسيبل ينتج عندما يكون لدينا عدة مكبرات على التسلسل لكل منها كسب (G_1 , G_2 , ... etc.) فالكسب الكلي العادي يكون عبارة عن جداء كل من ($G_1, G_2, \ldots$) ، بينما الكسب بالديسيبل هو مجموع الـ ($G_1, G_2, \ldots$) . مثلا لـــو ان مرحلة مكبر لديها كسب استطاعة (1000) تبعت بمرحلة اخرى كسب الاستطاعة لها (100) فان الكسب الاجمالي لهما هـو:

$$G = G_1 G_2 \qquad (٢٢-٣)$$

$$G = (1000)(100) = 10^5$$

اذا اردنا التعبير عن ذلك بالديسيبل نجـد :

$$G(dB) = 10 \log G_1 G_2 \qquad (٢٢-٣)$$

$$G(dB) = 10 (\log G_1 + \log G_2)$$

$$G(dB) = 10(3+2) = 50 dB$$

اي ان الكسب بالديسيبل يكون ابسـط .

٣-٣ : المضخـات المثاليـة :-Ideal Amplifiers

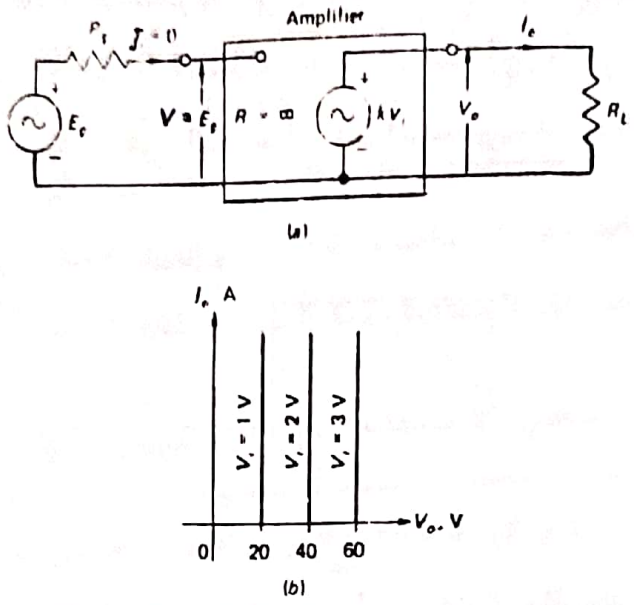
Scanned with CamScanner

ان دراستنا للمضخم المثالي هو مفيد للمقارنه مع المضخات الحقيقية (real) حيث ان مانرغبه هو الوصول الى خواص المضخم المثالي الذى يحوق ذلك اعتبارات عملية عديدة . سنحدد نوعين من المضخات المثاليه : مضخم الجهد المثالي ومضخم التيار المثالي . مضخم الجهد المثالي يملك مقاومة مدخل لا نهائية ومقاومة مخرج تساوى الصفر.

مثل هذا المضخم مبين بالشكل (٣-٣ a) ،يقدم استطاعة خرج تعتمد فقط على استطاعة الدخل ،لذا يدعى بالمضخم ذو الجهد المتحكم به . المقاومة الداخلية للمنبع غير معتبره ، بسبب ان الدارة المفتوحه التي تمثل مدخل المكبر تدفع التيار (I_i) الى الصفر فان ($E_g = V_i$) في كل الاوقات. بسبب انه لايوجد تيار مسحوب، ينتج ان الاستطاعة المستخرجه من المنبع تساوى الصفر. على جانب الخرج من الملائم استخدام منبع جهد مقابل لمنبع تيار ، بسبب ان ($R_o = 0$). معامل التكبير (K) بدون واحدة ،يحدد بكمية التكبير لـ (V_i) لتقديم (V_o). بما ان ($R_o = 0$) فان الجهد عبر (R_L) يساوى دوما (KV_i) اى (V_o) لايتأثر بقيمة (R_L).

الخواص المميزة البيانيه لمضخم جهد مثالي يعطي بالشكل (٣-٣ b). لنفترض ان ($V_i = 2V$) و($K = 20$). بما ان ($V_o = KV_i$) هذا يعني ان ($V_o = 2(20) = 40V$). الخط العمودى ($V_i = 2V$) يعبر عن هذه النتيجة بيانيا وتشير الى ان (V_o) يبقى ثابتا مهما كانت قيم (I_o) تيار الخرج المسحوب من قبل (R_L).

Scanned with CamScanner



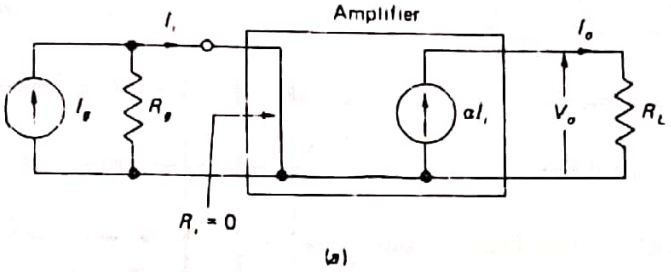
الشـــكل (٣ــ ٣)

كملخص ، مضخم الجهد المثالي المبين بالشكل (٣ــ٣ a) يملـــك مقاومة دخل لا نهائية ، وبذا هو لا يحمل منبع الاشارة . هذا مرغـــوب جدا . بالاضافه لذلك فان كون ($R_o = 0\ \Omega$) يسمح للمضخم بسوق اى حمل بدون انخفاض في (V_o). الوسائل الالكترونيه العمليـــة التي تملك خواصا مقاربه لما ذكر هي الصمامات والترانزيستور ذو الاثـــر الحقلي (FET) على الاقل بالنسبه لموضوع مقاومة الدخل .

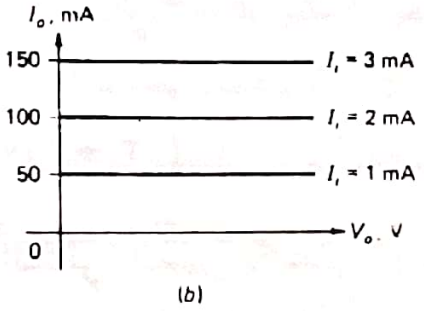
لنتعبر الان مضخم التيار المثالي المبين بالشكل (٣ــ٤ a) . مضخم التيار المثالي يتميز بمقاومة مدخل تساوى الصفر ومقاومة مخرج لا نهائيـــه . على جانب المدخل ، يوجد مولد الاشارة بمقاومة داخليه (R_g). دارة نورتن المكافئه تستخدم لمنبع الاشارة لتسهيل التحليل . ان مقاومـــة الدخل الصفريه للمكبر تسبب ل (I_g) ان يساوى (I_i) مهمـــا

Scanned with CamScanner

كانت قيمة (R_g)، هذا المضخم يدعى بمضخم التيار المتحكم بـــــه. لايوجد هنالك جهد مدخل او استطاعة مدخل بسبب ان ($R_i = 0$). هذا الشرط يمكن ان يطبق على المضخمات الترانزيستوريه ذات الوصله.



(a)



(b)

الشـــــكل (٣ــ ٤)

دارة الخرج تحتوى على مولد تيار الذى يقدم تيار خرج مســـــاوى لـ (αI_i). بما ان ($R_o = \infty$) هذا يعني ان: ($\alpha I_i = I_o$) بغض النظر عن قيمة (R_L). الحمل فـــــي الواقع يساق من منبع تيار ثابت. مهما تغير (R_L) فان (I_o) يبقى نفسه، و(V_o) فقط هو الذى يتغير حيث ($V_o = I_o R_L$). خواص الخرج مبينه بالشكل (٣ــ٤ b) وتشرح عطل المكبر بيانيا. مثلاً اذا كان ($I_i = 2mA$) و($\alpha = 50$) فـان:

$$I_o = \alpha I_i = 50(2 \times 10^{-3}) = 100\ mA$$

Scanned with CamScanner

الخط الافقي الموافق لـ ($I_i = 2\,mA$) و($I_o = 100\,mA$)
يتضمن ان (V_o) يمكن ان تاخذ اى قيمة . القيمة الفعليه لـ (V_o) يتحكم بها بواسطة (R_L)، فاذا كانت ($R_L = \infty$) ، ينتج جهد لا نهائي واستطاعة حمل لا نهائية. اذا مضخم التيار المثالي يمكن ان يقـــدم استطاعة حمل لا نهائية مهما كانت استطاعة الدخل .

٣-٤ : منحني الاستجابه الترددى Frequency Response :-

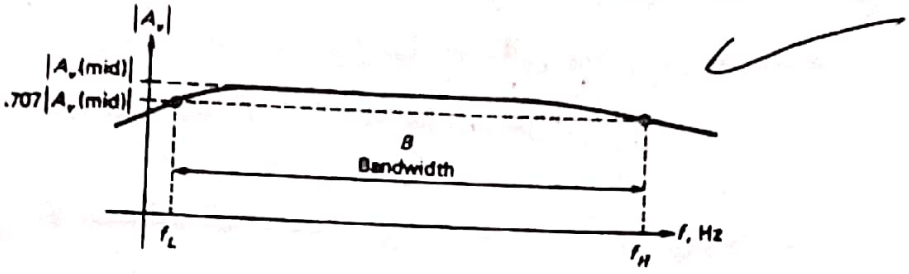
لنتذكر بان كل الاشارات المراد تكبيرها تتغير مع الزمن بطريقه مـا . هنالك تطبيقات لاشارات دورها يتراوح بين بضعة عشرات نانو ثانيـــه الى بضعة ساعات ، هذا يطابق لترددات بين بضعة جيجاهرتز GHz ($10^9\,Hz$) حتى ($0.001\,Hz$) أو اقل . المشـاكـل التي تصادفنا هو في تكبير الاشارات في حديها الاقصى والادنى بالنسبه لطيف الترددات.

ليس هنالك اى مكبر يؤمن بشكل جيد تكبيراً للاشارات بالنسبه لكـــل الترددات. هنالك تحديدات في وسائل التكبير نفسها تحول دون الوضع المثالي . يوجد ايضا بعض الحالات التي نريد منها من المكبر ان يكون انتقائيا (Selective)، اى يكبر مجموعة ترددات دون غيرها كما في المستقبلات الاذاعية حيث نريد استقبال فقط محطة واحـــدة في نفس الوقت دون غيرها (اى التقاط تردد وحيد) . في هذه الحالة فان المكبر يقوم بعملية الترشيح (Filtering) بالاضافه الى وظيفة في التكبير.

بشكل عام فان التكبير يهبط عند الترددات العاليه والمنخفضـــــه .

Scanned with CamScanner

نموذج لمنحني اداستجابه الترددى لمكبر مبين بالشكل (٣—٥) . في هذا المنحني رسمت القيمة المطلقة (المطال) لتكبير الجهد ($|Av|$) كتابع للتردد .



الشـــكل (٣ — ٥)

استخدمنا القيمة المطلقة بسبب ان (Av) بشكل عام عدد مركب يحتوى على مطال وفرق طور. فرق الطور خلال المكبر يكون ناتجا عـــن وجود المركبات الردية (reactive).

نلاحظ ان (Av) مسطحة بشكل واضح على المنحني في مجال الترددات المتوسطة (midfrequency) لكنها تهبـط على كلا جانبي المنحني . الهبوط ليس حاداً بل تدريجي ، بـــهذا الترددات الابعد من منطقة [redacted] الاستجابه المسطحة تكهـــر ايضا ولكن بدرجة اقل . مقياس الاستجابه الترددية لمكبر هوعـــرض المجال (Bandwidth "B") الذى يحدد بالحزمـــة الترددية التي فيها يبقى ($|Av|$) اعلى من (70.7 %) من تكبير الترددات المتوسطة ($|Av(mid)|$) . في الشكل (٣—٥) الترددات التي عندها يهبط ($|Av|$) الى اسفل ($0.707|Av(mid)|$)

Scanned with CamScanner

مشار اليها بـ (F_L) و(F_H) . هذه الترددات تمثل ترددات القطع الدنيا والعليا على التوالي . عرض المجال يحدد كما يلي :

(٣-٢٣)

$$B = F_H - F_L$$

بما ان الاستطاعة تتناسب مع مربع الجهد هذا يعني انه عندما الترددات المتوسطة ، فان كسب الاستطاعة يهبط بمقدار :

($0.707^2 = \frac{1}{2}$) من قيمته عند الترددات المتوسطة.

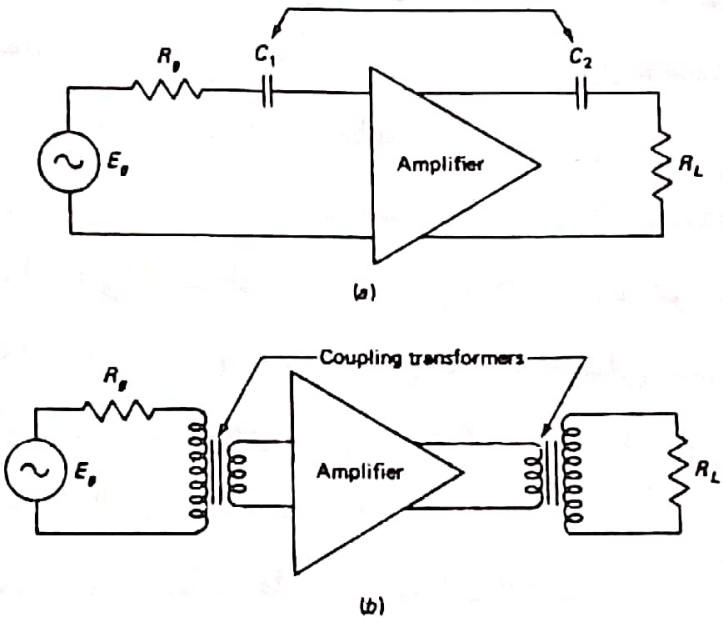
نلاحظ ان هذا يكافئ هبوطا مقداره ($3\,dB$) كما شرحنا في السابق . الترددات (F_H) و (F_L) لذلك يدعيان بترددات نصف الاستطاعة او ترددات ($3\,dB$) . بشكل مماثل فان (B) يمكن ان تدعى بعرض مجال الـ ($3\,dB$) .

بالاضافه الى وسيلة التكبير فان تحديدات التردد تظهر بسبب شبكات الربط (coupling) . شبكة ربط تشتمل بشكل بسيط على مكثفة او محول ، او من الممكن ان تشتمل على دارة معقدة كالدارات المولفة (tuned circuits) . بشكل بسيط ، فان شبكة الربط تسمح للاشارة المرغوبه من المرور من المنبع الى مدخل المكبر ومن مخرج المكبر الى الحمل بينما تمنع كل الجهود والتيارات التي لا تشكل جزءا من الاشارة من المرور . هذه الجهود والتيارات غير المرغوبه في المرور تكون عادة مستويات الـ (Dc) المستمرة اللازمة لعمل وسيلة التكبير .

في الشكل (٣-٦ a) المكثفات (C_1 و C_2) تستخدم لربط الاشارة من المولد الى مدخل المكبر ومن مخرج المكبر الى الحمل .

Scanned with CamScanner

كلا المكثفتين يختاران بشكل ان اعاقتهما تكون مهملة عند تردد الاشارة الاخفض المراد تكبيره بحيث ان تدفق تيار الاشارة لا يقاوم بوجود هذه المكثفات. التيارات المباشرة تمنع بواسطة المكثفات من التدفق خلال مولد الاشارة والحمل.



الشـــكل (٣ — ٦)

محول الربط في الشكل (٣—٦ b) ينجز نفس العمل الاساسي لمكثفات الترابط. بما ان المحول لا يستجيب للتيارات المباشرة (DC) فان الاشارات المتناوبه (AC) فقط هي التي تترابط من المولد الى مدخل المكبر ومن مخرج المكبر الى الحمل. المحول له مزيه نسبه التحويل التي يمكن توضع بشكل تقدم مستويات ممانعة ضروريه للحصول على انجاز افضل للدارة. لانجاز عملية الترابط بشكل افضل مايمكن يجب ان تكون الاعاقة التفرعية للمحول نسبيا عالية عند تردد

Scanned with CamScanner

الاشـــــارة .

في الواقع بالنسبه لمكثفات المربط فانه عند تناقص تردد الاشارة فـان اعاقتها تزداد ، هذا يخفض من تيار وجهد الدخل للمكبر . النتيجـة هو انخفـاض في مستوى الخرج . عندما تستخدم المحولات فان تاثيـرا مماثلا يحدث. عند الترددات المنخفضه الاعاقة التفرعيه للمحول تنخفض وهذا يسبب سحبا اكثر للتيار من مولد الاشارة وبالتالي هبوط جهد اكثر يحدث عبر (Rg) تاركا جهد اقل يظهر عبر نهايات مدخل المكبر. يمكننا لذلك ان نستنتج ان كلا مكثفات الربط والمحولات تغير من مستوى منحني الاستجابه الترديه المنخفض.

عند الترددات العاليه ،فان وسيلة التكبير تقدم معامل تكبير اخفـض ناتج عن تاثيرات زمن العبور (زمن العبور يغني مقدره حوامل الشـحنة من الاستجابه للتغيرات السريعة للاشارة) . يوجد ايضا سعات متغيرة على التفرع مع مرور الاشارة. بعض السعات تكون اصلا موجودة بين نهايات وسيلة التكبير وملازمة لها . البعض الاخر تكون ناتجة عن السعة الموزعـة على محول الربط (سعات شاردة Stray) والاسلاك التـي توصل وسيلة التكبير بالدارة الخارجيه . التاثير النهائي لهذه الاعاقـات السعويه التفرعيه هو تغير من مستوى منحني الاستجابه الترديـه العالـي .

٣-٥ : المراحـل التتاليـة cascaded Stages :-

قد يكون من الضروري وضع دارتين او اكثر على التتالي بغرض الوصول الى تضخيم اكبر او ترشيح افضل او اى غاية اخرى . دارتين تكونان متتاليتن

Scanned with CamScanner

(cascaded) اذا كان خرج الاولى يخدم كدخل للدارة التالية .

لنفترض مثلا ان المكبر (A) لديه تكبير جهد يساوى (2000) لو ان خرج المكبر (A) غذى الى دخل المكبر (B) ذو تكبير الجهد (1000) ، فان التكبير الاجمالي سوف يظهر كجداء الـ (1000) والـ (2000) والذى يساوى الى (2×10^6) . هذا يكون صحيحا طالما ان ممانعة المدخل للمكبر (B) لا تحمل المكبر (A)، اى ان الممانعة المنظورة الى مدخل (B) اكبر بكثير من ممانعة خرج (A) . التكبير الاجمالي بالديسيبل يساوى (126 dB) .

لنعتبر الدارتين المتتاليتين شكل (٣ـ ٩٧). لو ان (C_1) ليست محطة بشكل واضح من قبل ممانعة المدخل للدارة (B) فاننا نكتب:

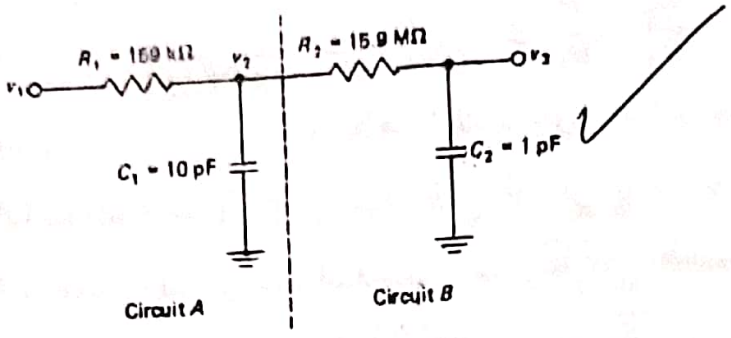
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1/j\omega C_1}{(1/j\omega C_1) + R_1} = \frac{1}{1 + j\omega R_1 C_1} = \frac{1}{1 + jf/f_1}$$

حيث :

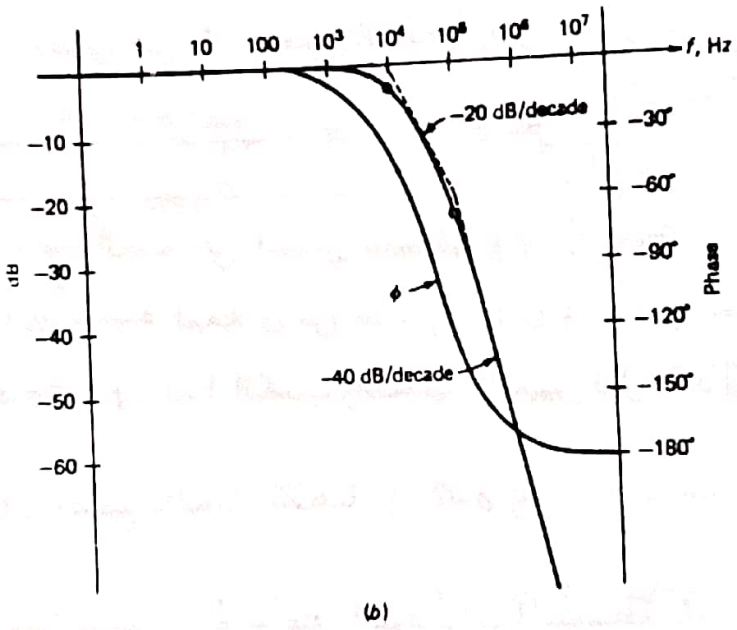
$$f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

ان الحقيقية بان (C_1) ليست محطة بشكل واضح بممانعة المدخل للدارة (B) يمكن التحقق فنه بالملاحظة بان قيمة (C_2) هي عشر قيمة (C_1) وبالتالي (X_{C_2}) هي دوما اكبر بعشرة مرات من (X_{C_1}). لذا الحمل المطبق على (C_1) الذى هو تركيبه تسلسلية من (R_2) و (X_{C_2}) يكون على الاقل اكبر بعشرة مرات من (X_{C_1}) ، ومثل هذا الحمل يعتبر عادة مهملا بدون ادخال اى خطأ واضح . بشكل مماثل اذا كان الحمل المطبق عبر (C_2) ليس ذو اهمية ، فان تابع التحويل للجهد للدارة (B) يمكن ان يكتب :

Scanned with CamScanner



(a)



(b)

الشـــكل (٣ – ٧)

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{1}{1 + jf/f_2}$$

حيث :

$$f_2 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$$

بتعويض القيمة العددية فان توابع التحويل تكون :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{1 + jf/10^5} \qquad (a)$$

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{1}{1 + jf/10^4} \qquad (b)$$

Scanned with CamScanner

تابع تحويل الجهد الاجمالي اذا :

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{v_3}{v_2}\,\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{1+jf/10^4}\,\frac{1}{1+jf/10^5} \qquad (c)$$

مخططات بود ( ) (علاقة الكسب وفرق الطور مع التردد)
للاستجابه الكلية للمادلة (c) مبينه على الشكل)(٣—٧ b) .

نلاحظ انه طالما افتراض عدم التحميل صحيحا فان المنحنيات للاستجابه الكلية تكون عبارة عن مجموع منحنيات بود للاستجابه لكل دارة مستقلة.

هذا ينطبق على كلا منحني المطال وفرق الطور .

مسألة

المخطط الصندوقي المبين بالشكل (٣—٨) يمثل نظاما فيه كل الدارات مصممة لتغذى من منابع (50Ω) وتعمل مع احمال (50Ω) . لذا الكسب والتخميد المبين لكل الدارات صحيح طالما ممانعات المنبع والحمل كلاهما (50Ω) . حدد :

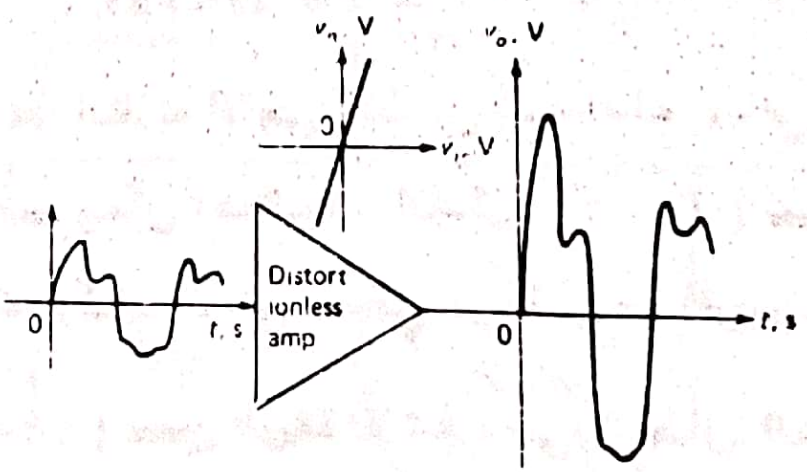
a) قيمة مستوى الخرج عند الترددات المتوسطة بال (dBm) لكل مرحلة اخيرة .

b) تردد القطع العالي لكل خرج ومعدل هبوط الخرج فيما وراء تردد القطع هذا .

Scanned with CamScanner

٣-٦ : التشـــــــويـــه Distortion :-

يفترض بالمكبرات انها تقدم خرجا يختلف عن الدخل فقط في مطال الاشارة ، اى ان الخرج سيكون اكبر من الدخل ، وماعدا ذلك فان الخرج يتبع الدخل في كل خواصه . اشكال موجات دخل وخرج نموذجيه لمكبر عديم التشويه مبين بالشكل (٣-١٠) . مثل هذا المكبر يطلق تابع تحويل خطي (Linear) مبين ايضا على الشكل .



الشـــكل (٣ — ١٠)

Scanned with CamScanner

المكبرات الحقيقية لا تكون جيدة . بسبب او اخر ،فان كل المكبـــرات تملك عدم خطيه (nonlinearities) في خواصها التـــي تصبح ذات معنى طالما الاشارات كانت ذات مطال كبير. هذه العـدم خطيه تملك تاثيرا على الاشارة المكبرة في مختلف اجزائها . مثلا نصـف الدورة الموجب من الاشارة يمكن ان يكبر بمعامل اصغر من نصف الدورة السالب. مثل هذا الانزياح عن التكبير الخطي يمثل تشويها لشـكل الموجـه .

بشكل عام نحن نفترض عند تحليل الدارات ان الاشارة جيبيه ،ليـس بسبب ان الاشارة جيبية بالضرورة وانما السبب ان اى اشارة يمكـن ان يعبر عنها بمركبات جيبية عديدة ،لكل منها مطال وتردد وفرق طـور. مثلا . موجه مربعه ذات مطال (1V) يمكن ان تشرح على انها عبارة عن مجموع سلسلة لا نهائيه من المركبات الجيبية كالتالـي :

$$e=1.27\sin(\omega t)+0.42\sin(3\omega t)+0.25\sin(5\omega t)+\ldots \quad (٣-٢٤)$$

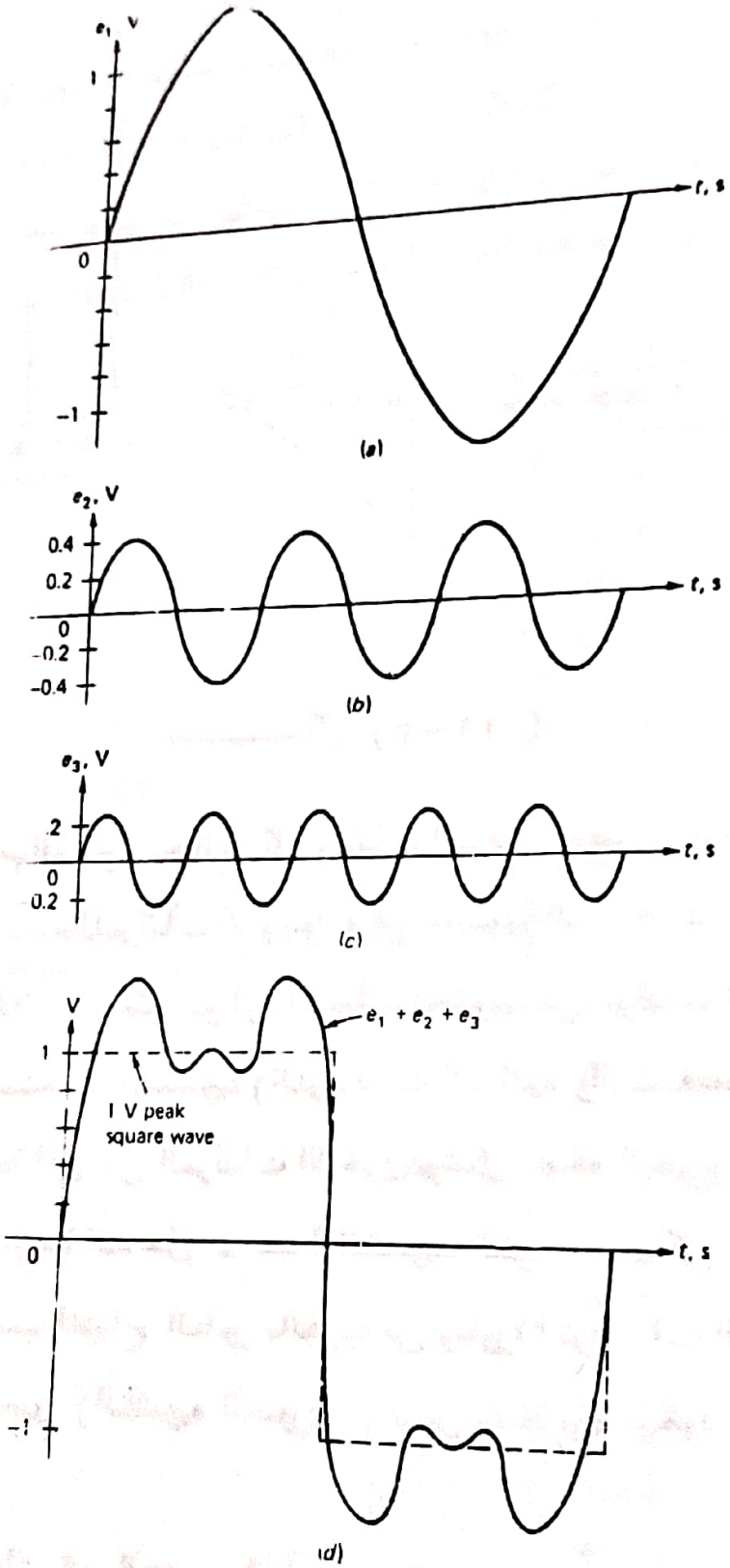
حيث (ω) التردد الزاوى للموجه المربعه (rad/sec) . لو كان دور الموجه المربعة (1ms) : $T = 10^{-3}S$ فان :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10^{-3}} = 6.280 \text{ rad/S}$$

لنعتبر الحدود الثلاثه الاولى فقط من المعادلة ،باقي المركبـات يكون مطالها صغير ويمكن اهمالها . الشكل (٣-١١) يبين كيـف ان مجموع الثلاثه مركبات الاولى يعطي موجة مربعة تقريبيـة .

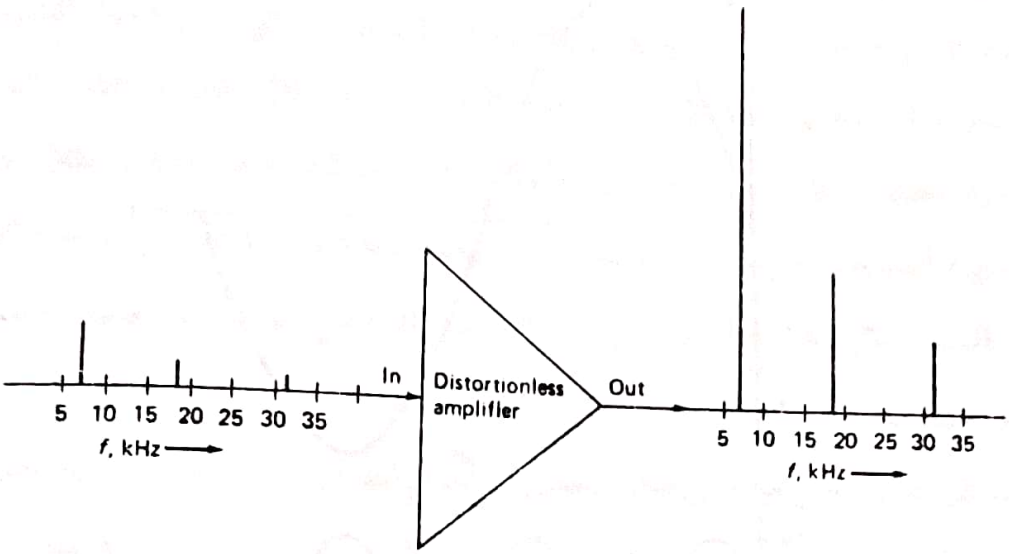
الشكل (٣-١٢) يبين طريقة للاشارة الى المطال النسبي لكـل مركبه ترديه . هذا يدعى بالمطيف الترددى (Frequency Spectrum) للاشـارة .

Scanned with CamScanner



شـــــكل (٣-١١)

Scanned with CamScanner



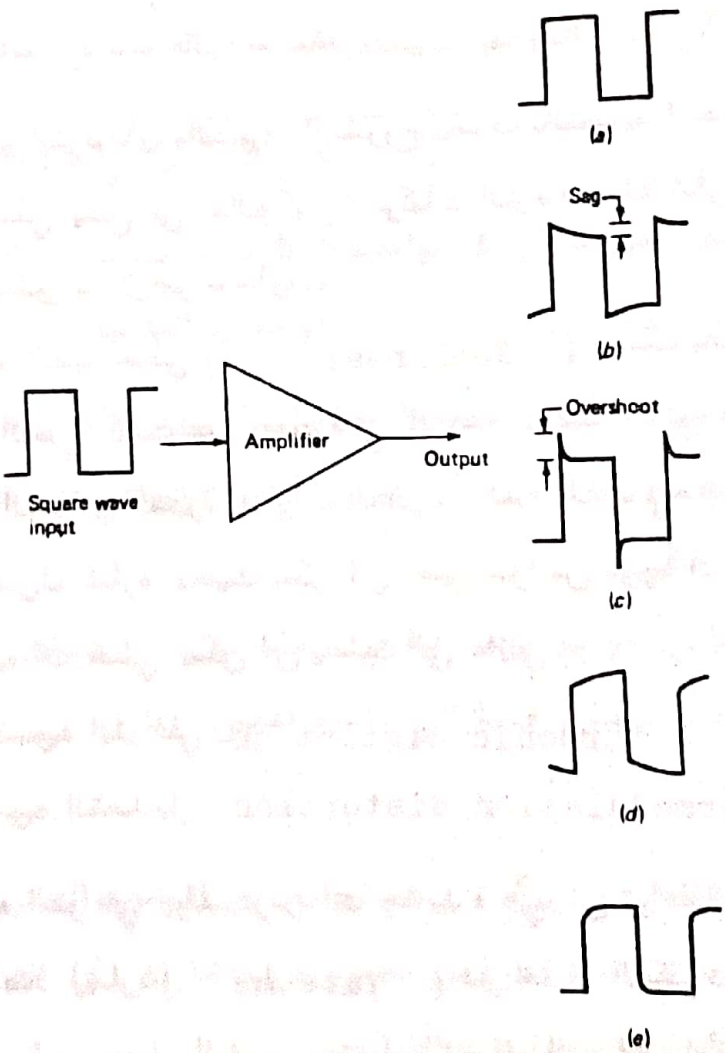
شـــــــكل (٣–١٢)

المكبر عديم التشويه يعالج كل مركبات التردد بنفس الشكل . عطيا هذا صحيح بالنسبه للمركبات الموجودة في مستوى الترددات المتوسطة (لها نفس المطال) . مثلا لو ان الاشارة تحتوى على مركبات ترديه خارج منطقة الاستجابه المستويه (الترددات العاليه والمنخفضه) ، فانها سوف تكبر بدرجة اقل من المركبات الاخرى، وشكل موجه الخرج لن ينطبق تماما على شكل موجة الدخل . هذا التشويه الترددى يمكن ان يكـــون اكثر تعقيدا بسبب انزياح الطور بالقرب من وماوراء ترددات القطع. هذا هذا التشويه الاخير (التشويه الطورى) ليس بالضرورة موجودا في كـــل المكبرات.

لشرح بعض تاثيرات التشويه الطورى والترددى ، نعتبر شكل موجه مربعه كاملة لجهد الدخل في الشكل (٣–١٣) . بالاعتماد على الخواص

Scanned with CamScanner

الترددية للمكبر، فان اشكال خرج متعددة يمكن تظهر. بشكل عـ
الجزء المسطح من موجة الخرج المربعة يقدم معلومات حول كيفية معا
المكبر لتغيرات الدخل البطيئة (الاستجابه الترددية المنخفضه) .
الصاعدة والنازلة، تبين لنا كيفية معالجة المكبر لتغيرات الدخل الس
(الاستجابه الترددية العالية) . لنحلل الان كل موجه خرج على حد



شـــكل (٣-١٣)

Scanned with CamScanner

a) لا يوجد تشويه . استجابه ترددية عالية ومنخفضه جيدة .

b) استجابه ترددية منخفضه سيئة تظهر من التدلي (Sag) .
انزياح طور موجب في الترددات المنخفضه (الخرج متقدم عن الدخل) .

c) استجابه ترددية عالية مرتفعة تظهر من التدلي الزائد .

d) استجابه ترددية منخفضه مرتفعة . انزياح طور سالب في الترددات المنخفضه (الخرج متاخر عن الدخل) .

e) استجابه ترددية عالية سيئة .

التشويه الترددى والطورى المشروح يعرف بالتشويه الخطي .
التشويه الخطي ينتج في حالة كون المركبات الترددية للاشارة كبرت او ازيحت بالطور بشكل غير متساوى .

التشويه الغير خطي (Nonlinear) يسبب بظهور مركبات ترددية في الخرج كانت غير موجودة في الدخل . هذا ناتج عن عدم الخطية في الخواص المميزة لدارات المكبر . هذه العدم خطية يمكن ان تسبب قص للاشارة ، حيث يمكن ان يضيع جزء من موجة الدخل . ايضا فان التشويه اللاخطي يمكن ان يصنف الى مايلي :

a) التشويه التوافقي Harmonic distortion

b) تشويه التعديل Intermadulation distortion

التشويه التوافقي يولد ترددات جديدة هي من توافقيات (مضاريب) الاشارة . مثلا اشارة (1000 Hz) تمر خلال المكبر تولد تشويها توافقيا يمكن ان يجعل الخرج محتويا بالاضافه الى الاشارة المرغوبه (1000 Hz) على توافقية ثانيه (2000 Hz) وتوافقية

Scanned with CamScanner

ثالثه (3000 Hz) وهكذا .

التشويه الثوى (D_n) الناتج عن اى توافقية (n) يمكن ان يحدد كما يلي :

$$D_n = \frac{A_n}{A_1} 100 \qquad (٣-٢٥)$$

حيث : (A_n) مطال التوافقية رقم (n) و (A_1) مطال التردد الاساسي .

التشويه الكلي لكل التوافقيات يساوى :

$$D_{tot} = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + \cdots D_n^2} \qquad (٣-٢٦)$$

يمكن الحصول على مطال كل توافقية لاشارة ماباستخدام المحلل الطيفي (analyzer) او محلل التشويه .

المكبرات تكون عموما خطية طالما مستويات الجهد والتيار والاستطاعة بقيت ضمن حدود معنية . في حالة مستوى الاشارة تجاوز هذه الحدود يصبح المكبرغير خطي .

التشويه الناتج هو غير مرغوب فيه في المكبرات ،لكن هنالك كثير من التطبيقات التي تحتاج فيها الى تشويه اعلى كما في دارات مضاعفات التردد .

التشويه التعديلي (I_M) هو نموذج من التشويه الغير خطي الذى يولد مركبات ترديه عبارة عن مجموع وفرق اشارتين في الدخل أومن الممكن ان تكون مجموع وفرق توافقيات .

المكبرات الصوتيه عالية الوثوقية تكون مخصصه بشكل ان يوجد

Scanned with CamScanner

نسبه مئويه محددة (يجب عدم تجاوزها) من التوافقيات والتشويه التعديلي في مستوى استطاعة الخرج. على كل حال كلما انخفض قيمة التشويه التوافقي كلما انخفض قيمة التشويه التعديلي ايضا.

٢-٧ : الضجيج NOISE : -

التشويه كان عاملا محددا للمكبرات في حالة كون الاشارة كبيره.
الضجيج الان هو عامل محدد في المكبرات في حالة الاشارات الصغيرة.
مثاليا، اى اشارة مهما كان صغرها يمكن ان تكبر داخل المكبر. لكن بسبب وجود الضجيج (مطال صغير جدا) فانه قد نجد صعوبه بالتميز بينه وبين الاشارة الصغيرة جدا.

عامل الجودة لنوعية اي اشارة هو نسبه استطاعة الاشارة الى الضجيج (S/N). بالنسبة لاشارة واضحة وجيدة يجب ان تكون (S/N) عالية.
الاشارات المراد تكبيرها يمكن ان تصاحب بضجيج كنتيجة لنقلها خلال وسط ضجيجي (الجو المحيط او كابل طويل)، لذلك هنالك النسبة (S/N) للدخل التي تحدد نوعيه الاشارة قبل ان تمر خلال المكبر.
كل المكبرات تقدم ضجيجا داخليا اضافيا للضجيج المحتمل وجوده عند دخلها لذلك تبدو (S/N) للخرج اقل من (S/N) للدخل.
المكبرات عالية للجودة تصمم لانقاص ضجيجها الداخلي للوصول الى (S/N) في الخرج قريبة من نسبة (S/N) في الدخل قدر الامكان.
بشكل عام استطاعة الدخل الكلية تحتوى على مركبه الاشارة ومركبة الضجيج اى :

$$P_i = S_i + N_i \qquad (٢٧-٣)$$

Scanned with CamScanner

بشكل مماثل نكتب استطاعة الخرج :

(٣-٢٨)

$$P_o = S_o + N_o$$

ان (S_i) و(S_o) تمثلان استطاعة الاشارة في دخل وخرج المكبر . بينما (N_i N_o) هما استطاعة الضجيج في دخل وخرج المكبر المقياس المهام لمجمس المكبرات هو نسبه (S/N) للدخل الـــى (S/N) للخرج والتي تدعى بعامل الضجيج : Noise Factor

(٣-٢٩)

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o}$$

عامل الضجيج يعبر عنه عادة بالديسيبل ، حيث يدعى عندهـــا برقم الضجيج : Noise Figure

(٣-٣٠)

$$NF = 10 \log F$$

رقم الضجيج يبين لنا كمية الضجيج للمكبر . اذا كان المكبر لا يقدم اى ضجيج داخلي فان النسبه (S/N) في الدخل والخرج تكونـــان متساويتين ، وعامل الضجيج عندها يساوى الواحد ورقم الضجيج يســـاوى ($0\,dB$) . كل المكبرات الحقيقة لديها رقم ضجيج اكبر من ($0dB$).

استطاعة اشارة الخرج (S_o) عبارة عن استطاعة اشارة الدخل مضروبه بكسب الاستطاعة (G) اى :

(٣-٣١)

$$S_o = S_i \cdot G$$

استطاعة الضجيج في الخرج (N_o) تساوى استطاعة ضجيـــج الدخل المكبر ($N_i \cdot G$) بالاضافة الى الضجيج المولد من قبل المكبر

Scanned with CamScanner

نفسه (N_A) اى :

$$N_o = N_i G + N_A \qquad (٢-٣٦)$$

مسألة :

استطاعة اشارة الدخل لمكبر معين ($100\,\mu W$) واستطاعة الضجيج المصاحبه لها ($1\,\mu W$). المكبر يقدم ضجيجا داخليا قدره ($100\,\mu W$) ، والمكبر لديه كسب استطاعة ($20\,dB$). حدد كلا من (S/N) للدخل و (S/N) للخرج ، عامل الضجيج ورقم الضجيج .

Scanned with CamScanner