دوائر التعديل

الجدارة: القدرة على التعامل مع دوائر التعديل التماثلي بأنواعها الرئيسية.

الأهداف: بعد دراسة هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على:

- أن يتعرف المتدرب على دوائر التعديل التماثلي
- أن يتعرف المتدرب دوائر توليد تعديل السعة
- أن يتعرف المتدرب دوائر توليد تعديل التردد
- أن يتعرف المتدرب دوائر توليد تعديل الطور

الوقت المتوقع للتدريب: 6 ساعات.

دوائر التعديل

Modulation Circuits

مقدمة:

سوف نتناول في هذه الوحدة دراسة دوائر التعديل التماثلي والتي تستخدم في أنظمة الاتصالات التماثلية (Analog Communication Systems) وتحديداً دوائر تعديل السعة (Amplitude Modulation) ودوائر تعديل التردد (Frequency Modulation).

هنالك أكثر من سبب لتعديل أو تضمين الإشارات:

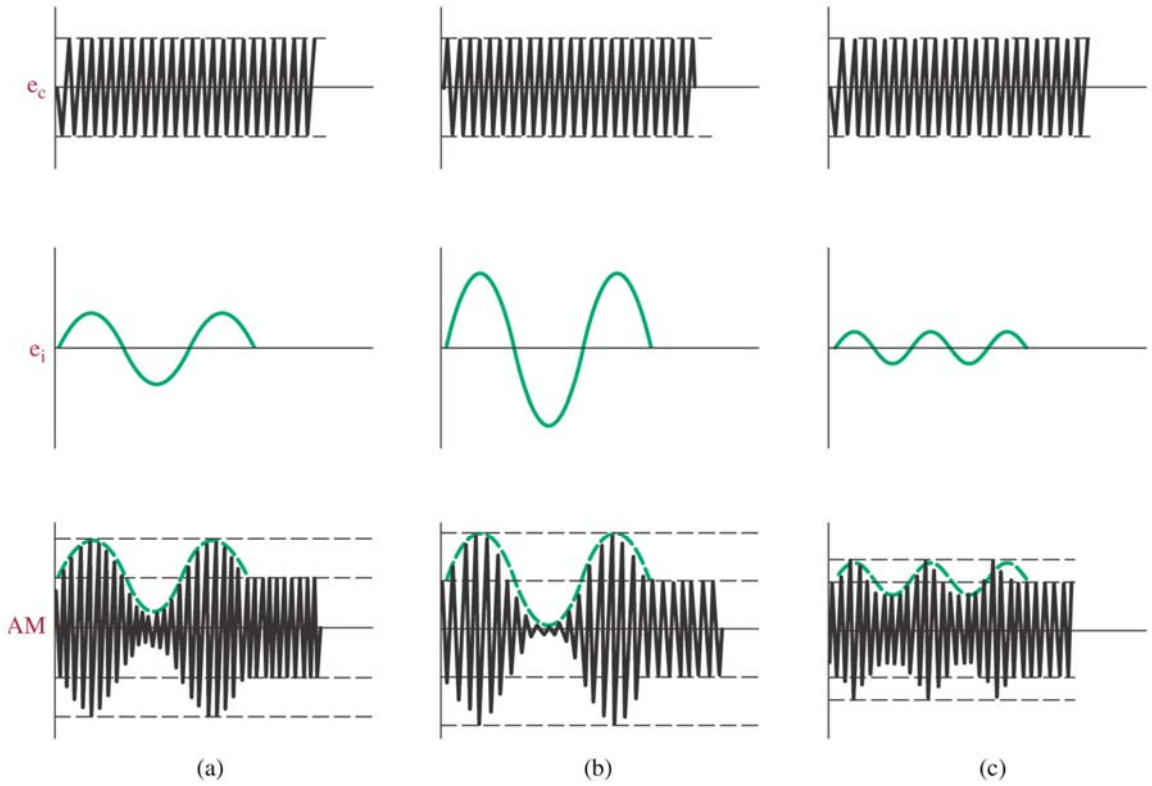
- معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة من مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر قنوات الاتصالات المتاحة (السلكية أو اللاسلكية). فمثلاً الإشارة الصوتية في نظام الاتصالات الهاتفية ذات تردد من صفر إلى (4)كيلوهيرتز وإشارة التلفزيون التماثلي من صفر إلى (6)ميجاهيرتز.
- إمكانية دمج (Multiplexing) أكثر من إشارة عبر نفس قناة الاتصال.
- تسهيل عملية تصميم الهوائي في حالة الاتصالات اللاسلكية.

ولذلك فإن الإشارات المراد إرسالها عبر أنظمة الاتصالات تعدل لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتضمين حيث من خلالها تُعدل إشارة المعلومات الأساسية **(Information Signal)** والتي سنرمز لها m(t) على بعض خصائص الإشارة الحاملة (Carrier) ذات التردد العالي (السعة أو التردد أو الطور)، حيث تتم عملية التضمين في منطقة الإرسال (Transmitter). الإشارة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد ويتم تعديل أحد خواصها مثل السعة، والتردد ، والطور بمقدار يتناسب مع إشارة

المعلومات الأساسية $m(t)$. وهذا يؤدي لإنتاج تضمين السعة (AM)، وتضمين ترددي (FM)، وتضمين طوري (PM).

5- 1 دوائر تعديل السعة AM Modulators:

للحصول على تعديل السعة يجب تعديل سعة أو ارتفاع (Amplitude) إشارة الحامل وفقاً لتغير الإشارة المراد إرسالها (الشكل 5- 1).



الشكل (5-1) تعديل السعة AM

رياضياً، يمكننا كتابة إشارة الحامل كإشارة جيبية حسب الصيغة التالية:

$$carrier,\ v_c = V_c \sin 2\pi f_c t \quad (5\text{-}1)$$

حيث الرموز:

Vc : سعة أو ارتفاع (Amplitude) الإشارة

fc : تردد الحامل بوحدة الهيرتز

t : متغير الزمن

يمكننا كتابة الإشارة المراد تحميلها أو إرسالها (المعلومة) كإشارة جيبية حسب الصيغة التالية:

$$message,\ v_m = V_m \sin 2\pi f_m t \quad (5\text{-}2)$$

مع نفس معاني الرموز السابقة إنما لإشارة المعلومة.

هنالك أكثر من نوع لتعديل السعة أهمها:

- التعديل السعوي مع النطاق الجانبي المزدوج والحامل Double Sideband with Carrier
- التعديل السعوي مع النطاق الجانبي المزدوج مع إلغاء الحامل

Double Sideband Suppressed Carrier وتعرف اختصاراً DSBSC

- التعديل السعوي أحادي الجانب Single Sideband AM .

هنالك نطاق جانبي أعلى (Upper Side Band) ونطاق أدنى (Lower Side Band) سوف نتعرف في المثال التالي على كيفية حسابهما.

لتحديد معامل التعديل (Modulation Index) أو نسبة التعديل والذي يرمز له m يجب أن نعرف سعة إشارة الحامل (Vc) وسعة الإشارة المراد إرسالها أو تحميلها (Vm)

مثال 5- 1

لديك إشارة موسيقية ذات نطاق ترددي من (20 Hz) ولغاية (10 kHz) يلزمنا تحميلها على تردد (1.4 MHz) باستخدام التعديل السعوي (AM). أوجد ترددات النطاق الجانبي الأعلى والأدنى.

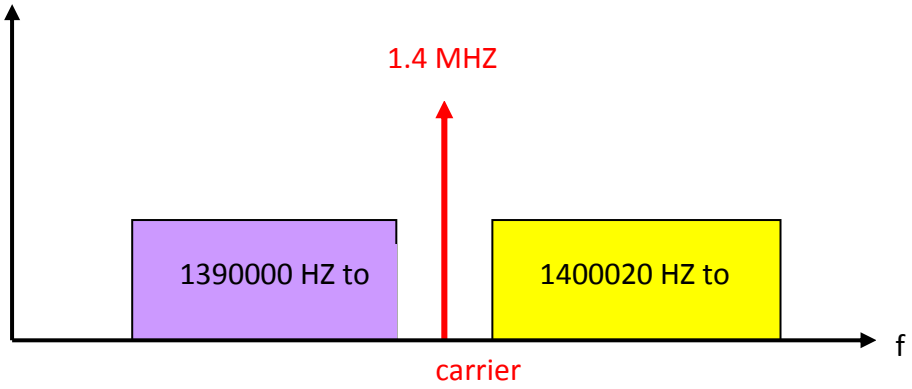
الحل:

النطاق الأعلى:

$$From\ 1.4\,MHz + 20\,Hz \quad to \quad 1.4\,MHz + 10\,kHz$$
$$= 1400020\ Hz \quad to \quad 1401000\ Hz$$

النطاق الأدنى:

$$From\ 1.4\,MHz - 10\,kHz \quad to \quad 1.4\,MHz - 20\,Hz$$
$$= 1390000\ Hz \quad to \quad 1399980\,Hz$$



هنالك طريقتان للحصول على تعديل السعة:

الطريقة الأولى: من خلال ضرب الحامل (Carrier) بمعامل تكبير (Gain) أو توهين (Attenuation) والذي يتغير وفقاً للإشارة المراد تعديلها m(t). لتوضيح عمل هذه الطريقة انظر العلاقة (5- 1):

$$V_{AM} = V_C \sin 2\pi f_C t\,(1 + m \sin 2\pi f_m t) \qquad (5\text{-}3)$$

حيث ترمز m إلى معامل التعديل (Modulation Index) و (fc) إلى تردد الحامل و (fm) إلى تردد الإشارة أو المعلومة المراد تعديلها.

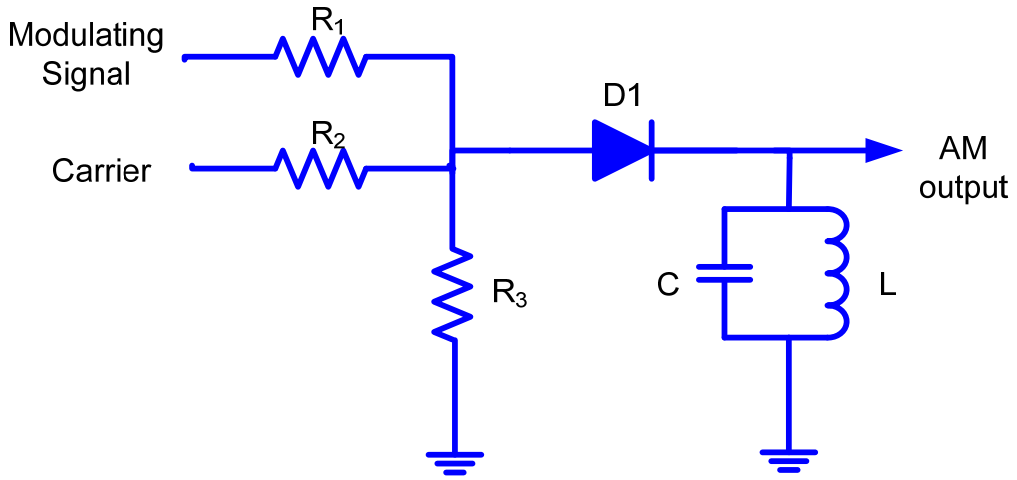
الطريقة الثانية: من خلال الدمج (Mixing) الخطي أو الجمع الجبري للحامل والإشارة المراد تعديلها m(t) ومن ثم إدخال الإشارة الناتجة على قطعة إلكترونية أو دائرة غير خطية (مثل الصمام الثنائي، والترانزستور، وترانزستور تأثير المجال FET) حيث يتغير التيار مع مربع الجهد الداخل عليه. للتخلص من

الترددات غير المرغوب بها والتي ستظهر على مخرج الدائرة نستخدم مرشح (Filter) أو دائرة توليف (Tuning Circuit) والذي سيمرر تردد الحامل والتردد الجانبي المجاور (Sidebands).

5- 1- 1 دائرة التعديل باستخدام الصمام الثنائي Amplitude Modulator with a Diode

تعتبر هذه الدائرة (الشكل 5- 2) الأقدم والأبسط للحصول على تعديل السعة حيث تتكون من:

- دائرة الخلط (مقاومتين R1 و R2).
- صمام ثنائي D1.
- دائرة التوليف LC .



الشكل (5- 2) دائرة التعديل باستخدام الصمام الثنائي

مبدأ العمل:

يتم إدخال الحامل على إحدى المقاومتين (R1) أو (R2) بينما يتم إدخال الإشارة المراد تعديلها على المقاومة الأخرى. بعد الخلط أو الدمج الخطي (كجمع جبري لهما) يتشكل الجهد الناتج على المقاومة (R3). بعد ذلك يتم إدخال الإشارة على الصمام الثنائي (ذو انحياز أمامي) حيث يقوم بتمرير الأجزاء الموجبة ذات ارتفاعات مختلفة وفقاً للإشارة الأصلية فقط ويلغي الأجزاء السالبة. تدخل تلك الإشارات

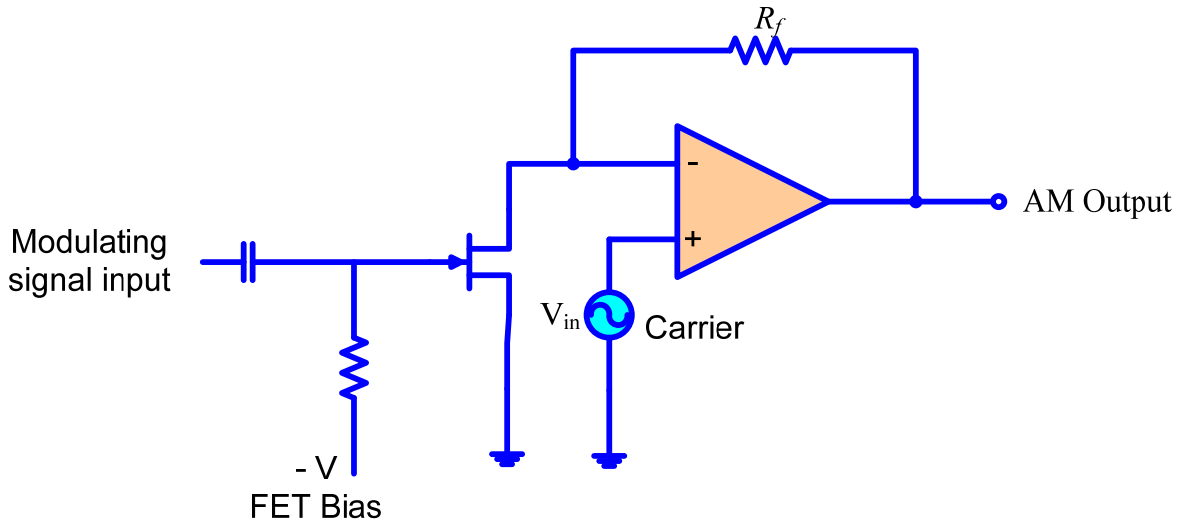
الموجبة على دائرة التوليف (Parallel LC) ذات تردد رنين مساوي لتردد الحامل (بعبارة أوضح تعمل دائرة LC كمذبذب على نفس تردد الحامل fc). الإشارة الناتجة على مخرج دائرة (LC) هي إشارة التعديل السعوي AM.

2-1-5 دائرة التعديل باستخدام ترانزستور تأثير المجال ومكبر العمليات

Amplitude Modulator with a JFET and Op-Amp

تتكون هذه الدائرة من مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال والذي يستخدم هنا كمقاومة متغيرة. كما هو واضح من الشكل (5- 3) فان مكبر العمليات يستخدم في حالة الغير عاكس

(Noninverting) حيث يقوم بتكبير إشارة الحامل بمعامل تكبير يساوي:



الشكل (5- 3) دائرة التعديل باستخدام ترانزستور تأثير المجال ومكبر العمليات

$$Gain\ A = 1 + \frac{R_f}{R_i} \qquad (5\text{-}4)$$

حيث ترمز Ri هنا إلى مقاومة الترانزستور المتغيرة. يتم توصيل الإشارة المراد إرسالها على بوابة الترانزستور (Gate) عبر مكثف. للحفاظ على انحياز عكسي على بوابة الترانزستور يتم تغذيتها بجهد مباشر سالب (Negative DC).

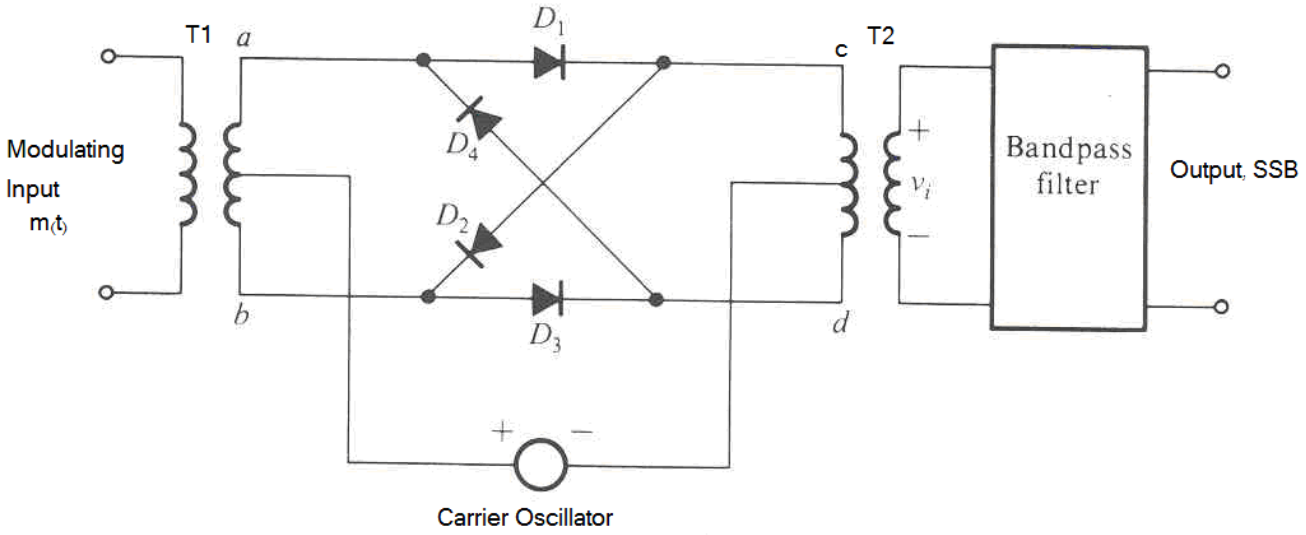
مبدأ العمل:

يتم توصيل الحامل بتردد وسعة محددين على المدخل الموجب لمكبر العمليات، يتغير معامل التكبير لمكبر العمليات بناء على تغير قيمة Ri والتي هي مقاومة الترانزستور والتي يحدد قيمتها ارتفاع أو سعة الإشارة المراد تحميلها أو إرسالها m(t) (عندما تكون الإشارة أعلى قيمة فإن مقاومة الترانزستور تصغر وبالتالي يزداد معامل التكبير والعكس صحيح) مما يغير من سعة إشارة الحامل وبالتالي الحصول على التعديل السعوي AM.

5-1-3 دائرة التعديل المتوازن Balanced Modulator

يستخدم هذا النوع من دوائر التعديل للحصول على نطاق جانبي مزدوج (Double Side Band ,DSB) الأعلى (Upper) والأدنى (Lower) مع إلغاء تردد الحامل (suppressed Carrier). للحصول على نطاق جانبي واحد (Single Side Band, SSB) يلزمنا استخدام دائرة مرشح (Filter) أو دائرة إزاحة الطور (Phase Shifting). أشهر أنوع دوائر التعديل المتوازن هو الصمام الثنائي الحلقي

(Diode Ring) كما هو موضح على الشكل (5- 4).



الشكل (5- 4) دائرة التعديل الصمام الثنائي الحلقي

مبدأ العمل:

تتكون الدائرة من:

- محوّلين، عن طريق المحول الأول (T1) يتم إدخال الإشارة المراد تحميلها وإرسالها ومن المحول الثاني (T2) يتم الحصول على إشارة الخرج.
- أربعة صمامات ثنائية موصولة حسب الشكل أعلاه (D1, D2, D3, and D4).
- يتم توصيل الحامل (Carrier) على نقطتي الوسط للمحولين الأول والثاني حيث إن إشارة الحامل أعلى من الإشارة المراد تحميلها من ناحية التردد والسعة (Amplitude). تتحكم إشارة الحامل بفتح وإغلاق الصمامات الثنائية عن طريق تحديد انحيازها الأمامي والعكسي.

تعمل الصمامات الثنائية كمفاتيح تقوم بتوصيل الإشارة المراد تحميلها من الملف الثاني للمحول الأول إلى الملف الأول للمحول الثاني.

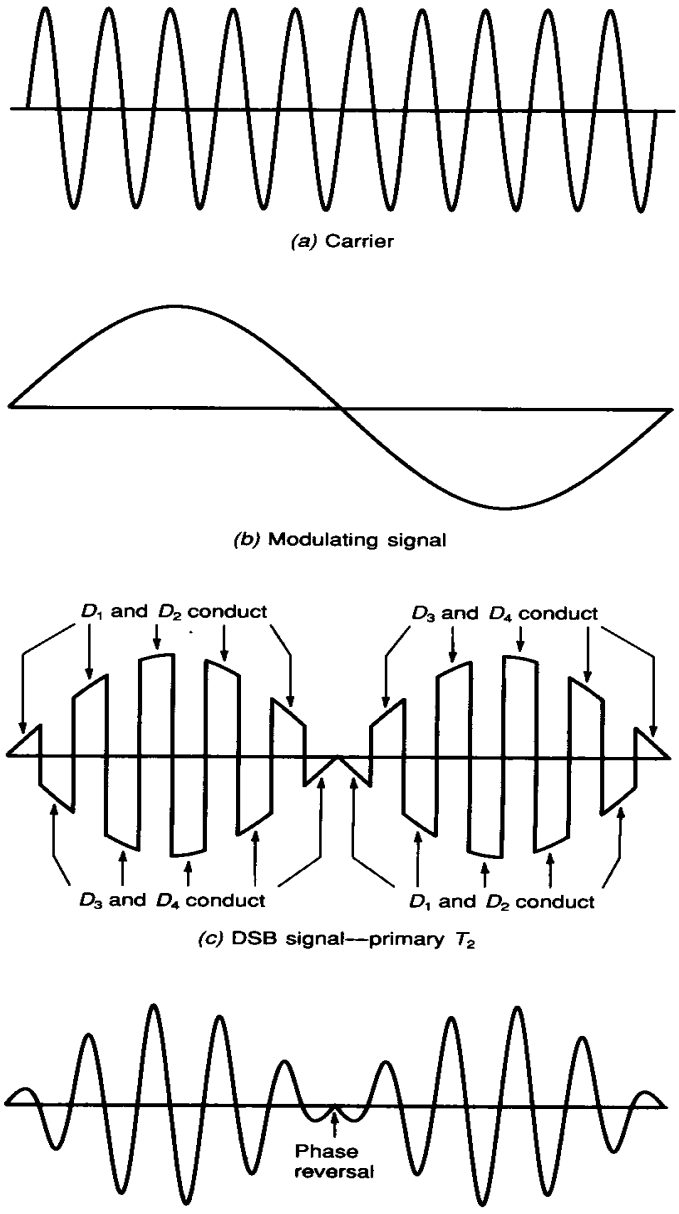
حسب قطبية إشارة الحامل يكون اثنان من الصمامات في حالة (ON) واثنان في حالة (OFF) (في حالة الرسم أعلاه يكون D1 و D3 في حالة انحياز أمامي (ON) بينما يكون كل من (D2) و (D4)في حالة انحياز عكسي (OFF).

أولاً: في حالة الإشارة على المدخل m(t) تساوي الصفر نحصل على تيارين متساويين ومتعاكسين في الاتجاه في الملف الأول للمحول الثاني مما يعطي محصلة صفر على المخرج للمحول الثاني (تم إلغاء الحامل). تعتمد درجة ومستوى إلغاء الحامل على دقة تصنيع المحولات ووضعية نقطة الوسط (Center Tap) فيهما مما يضمن الحصول على تيارين في الجزء العلوي والسفلي متساويين في القيمة ومتعاكسين في الاتجاه للحصول على الصفر وبالتالي إلغاء الحامل.

ثانياً: في حالة الإشارة على المدخل m(t) لا تساوي الصفر (إشارة جيبية بتردد منخفض) سوف تظهر على الملف الثاني للمحول الأول ومن ثم تقوم الصمامات الثنائية بتوصيلها بعدد من المرات إلى الملف الأول من المحول الثاني وذلك بالاعتماد على إشارة الحامل من حيث القطبية والتردد.

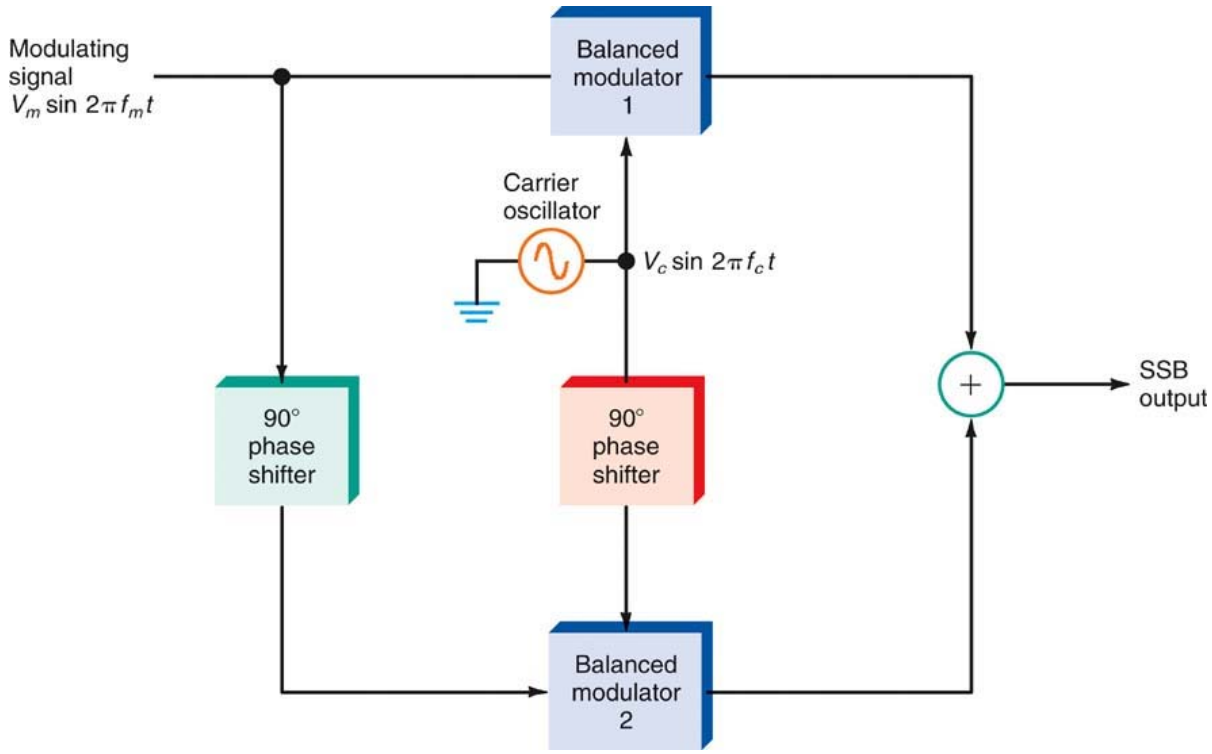
عملياً يمكننا تصميم دائرة التعديل المتوازن (الشكل 5- 4) باستخدام العناصر الالكترونية الظاهرة في الرسم ويمكننا إيجادها كقطعة واحدة (Chip).

لتوضيح مبدأ العمل انظر الشكل (5- 5).



الشكل (5-5)

للحصول على التعديل السعوي أحادي الجانب الترددي (Single-Side Band, SSB) تستخدم الدائرة الموضحة أدناه.

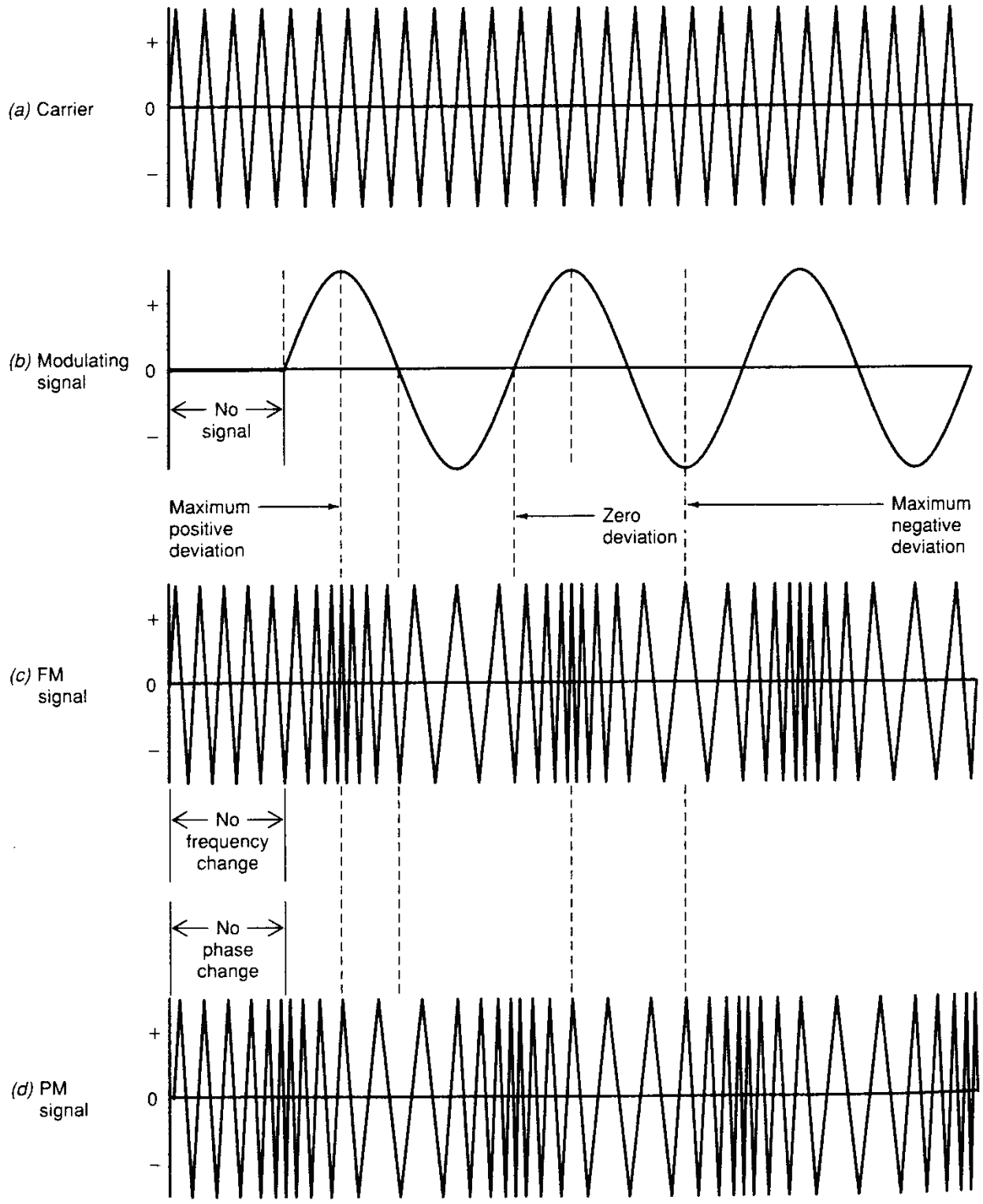


الشكل (5-6) التعديل السعوي أحادي الجانب الترددي.

5- 2 دوائر تعديل التردد FM Modulators:

في هذا النوع من التعديل سعة إشارة الحامل تبقى ثابتة دون تغيير بينما يتغير تردد الحامل وفقاً لقيمة الإشارة المراد تحميلها. كلما ارتفعت سعة إشارة المعلومة (Vm) كلما ازداد تردد الحامل عن القيمة الأساسية والعكس صحيح. كذلك يمكننا استخدام عكس ما سبق أي كلما ارتفعت سعة إشارة المعلومة (Vm) كلما نقص تردد الحامل والعكس صحيح. تنقسم دوائر تعديل التردد إلى قسمين:

- دوائر التعديل المباشر والتي تعتمد مبدأ تغيير تردد الحامل وفقاً للتغير في قيمة إشارة المعلومة
- دوائر التعديل غير المباشر عن طريق تقنيات تعديل الطور (Phase Modulation) والتي تستخدم دائرة إزاحة الطور بعد مولد إشارة الحامل.



الشكل (5 -7) تعديل التردد

لنفرض أنه لدينا إشارة الحامل على الشكل التالي:

$$carrier,\ v_c = V_c \sin 2\pi f_c t \quad (5\text{-}5)$$

لنفرض أنه لدينا الإشارة المراد تحميلها على الشكل التالي:

$$message,\ v_m = V_m \sin 2\pi f_m t \quad (5\text{-}6)$$

في حالة التعديل الترددي نحصل على العلاقة التالية:

$$v_{FM} = V_c \sin\left[2\pi\left(f_c + \Delta f \sin 2\pi f_m t\right)t\right] \quad (5\text{-}7)$$

حيث يتغير التردد وفقاً للعلاقة التالية:

$$f = f_c + \Delta f \sin 2\pi f_m t \quad (5\text{-}8)$$

ترمز (Δf) إلى أقصى تغيير في قيمة التردد وتسمى انحراف التردد (Frequency Deviation) بينما يسمى المدى الكامل لتغيير التردد من أصغر قيمة لأعلى قيمة تأرجح أو دوران الحامل (Carrier Swing). في حالة الموجة الجيبية:

Carrier Swing = 2 × Frequency Deviation

لحساب معامل التعديل m (Modulation Index):

$$Modulation\ Index = m = \frac{\Delta f}{f_m} \qquad (5\text{-}9)$$

إذا ما قسمنا الانحراف الترددي الحقيقي على القيمة القصوى للانحراف الترددي وضربنا بمائة نحصل على نسبة التعديل (Percent Modulation):

$$Percent\ Modulation = M = \frac{\Delta f_{actual}}{\Delta f_{\max}} \times 100 \qquad (5\text{-}10)$$

يستخدم التعديل الترددي في البث الإذاعي FM في المجال الترددي من 88 MHZ ولغاية 108 MHz وذلك وفقاً للجنة الفدرالية الأمريكية للاتصالات وبمقدار انحراف ترددي 75 kHz للمحطات الإذاعية. كذلك يستخدم التعديل الترددي كتقنية تعديل للصوت في الإشارة التلفزيونية وبمقدار انحراف ترددي يساوي 25 kHz.

مثال 5- 2:

لديك حامل ترددي مقداره (107.6 MHz) تم تعديله ترددياً بموجة جيبية ذات تردد (7 kHz) علماً بأن الانحراف الترددي هو 50 kHz، أوجد:

أ- التأرجح أو دوران الحامل.

ب- أعلى وأدنى تردد للإشارة المعدلة.

جـ- معامل التعديل m.

الحل:

أ-

Carrier Swing = 2 × Frequency Deviation

= 2 × 50 kHz = 100 kHz

ب-

التردد الأعلى:

fH = fc + Δf = 107.6 MHz + 50 kHz = 107.65 MHz

التردد الأدنى:

fH = fc - Δf = 107.6 MHz - 50 kHz = 107.55 MHz

جـ-

$$Modulation\ Index = m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{50\,kHz}{7\,kHz} = 7.143$$

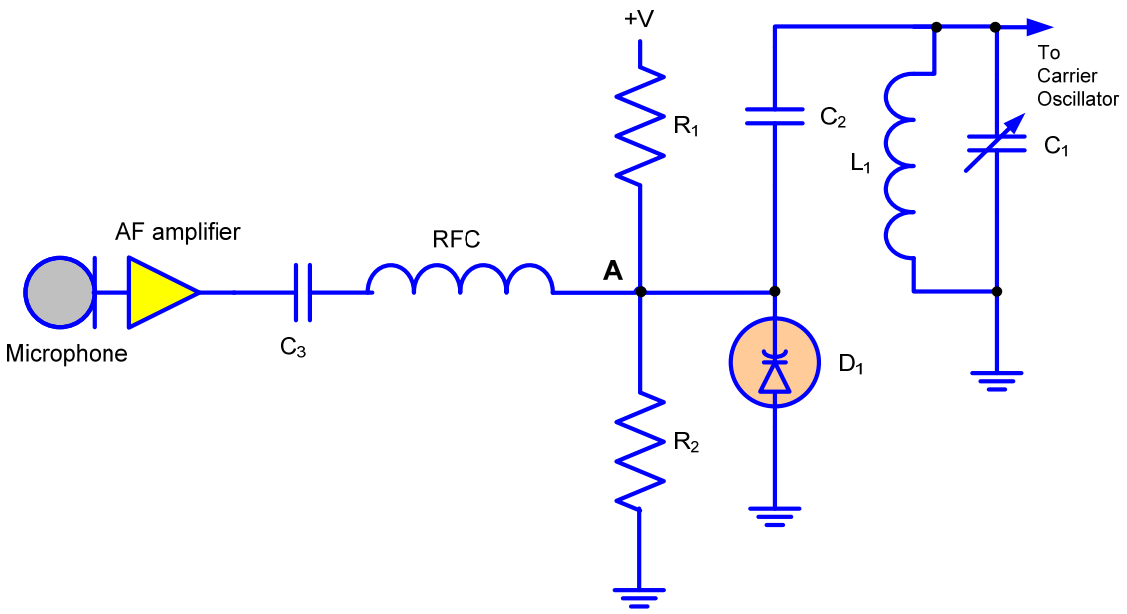
5- 2- 1 دائرة تعديل التردد باستخدام فاراكتور

Frequency Modulator with VVC

يوضح الشكل أدناه (5- 8) دائرة بسيطة للحصول على تعديل التردد (FM) باستخدام عناصر الكترونية يمكن التحكم بسعتها (Capacitance) عن طريق تغيير الجهد عليها (Voltage-variable capacitors) وتعرف اختصاراً VVC.

تتكون الدائرة من:

- ميكرفون
- مكبر صوتي (AF amplifier)
- ملف (L1) و مكثف (C1) يشكلان دائرة التوليف لمذبذب الحامل
- دايود فاراكتور D1 (Varactor Diode) موصول على التوالي مع مكثف C2 وهما على التوازي مع دائرة التوليف (L1C1). يمكننا التحكم بالسعة الكهربائية للفاراكتور من خلال الجهد المباشر (DC Bias) وإشارة المعلومة (m(t
- مقسم الجهد (Voltage Divider) مكون من R1 و R2.
- مكثف C3 يمنع DC.
- ملف الخنق RFC (Radio Frequency Choke) وهو عبارة عن ملف ذي تفاعلية عالية جداً (Reactance) على تردد الحامل لمنعه من الرجوع لدائرة إشارة المعلومة.



الشكل (5-8) دائرة تعديل التردد باستخدام فاراكتور دايود .

مبدأ العمل:

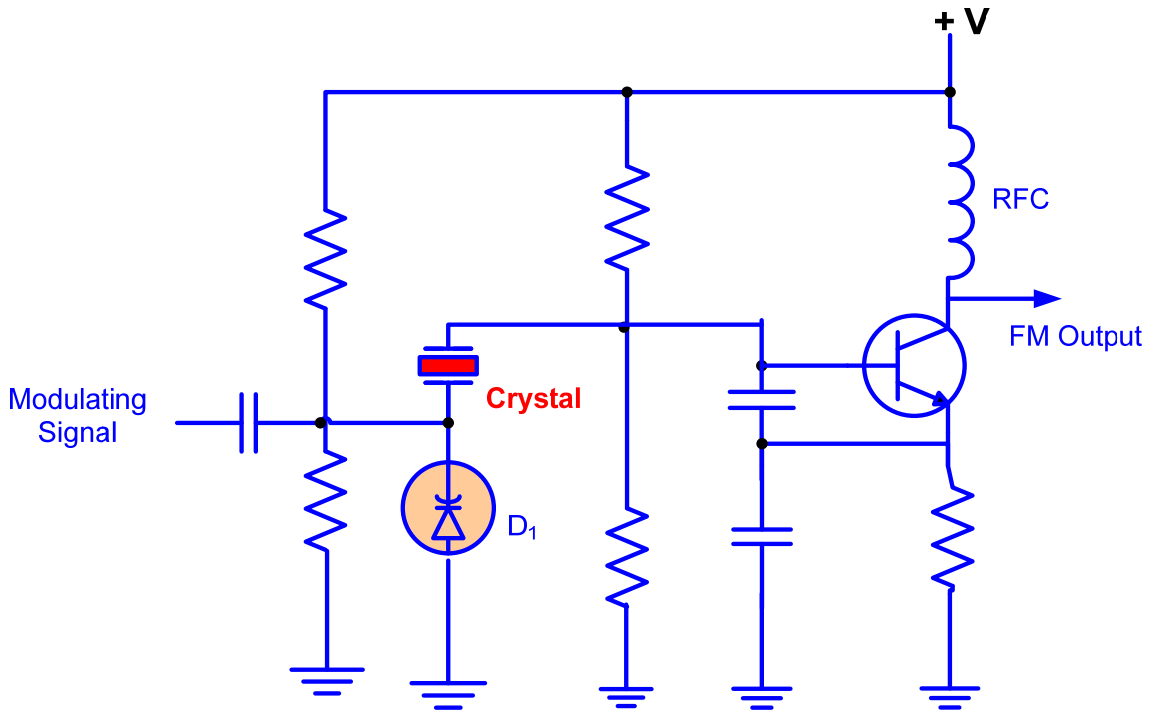
تأتي الإشارة الصوتية الضعيفة من الميكرفون حيث يتم تكبيرها عبر المكبر (AF). عندما تبدأ الإشارة بالتغير ارتفاعا أو نزولاً تتغير قيمة جهد الانحياز (زيادة أو نقصان) في النقطة (A) والتي تغذي الفاراكتور وبالتالي تتغير سعته الكهربائية وذلك وفقاً لمبدأ عمله. عندما تتغير سعته الكهربائية تتغير السعة لدائرة التوليف مما يغير تردد الحامل.

عندما تزداد قيمة إشارة المعلومة المراد تحميلها تزيد قيمة جهد الانحياز على الفاراكتور مما يؤدي إلى إنقاص سعته الكهربائية (تناسب عكسي) مما يؤدي لارتفاع قيمة التردد والعكس صحيح. إن المشكلة الأساسية لهذه الدائرة هي أن دائرة المذبذب (LC) غير مستقرة لتوليد تردد حامل ذي قيمة ثابتة حيث تتأثر بدرجات الحرارة وتغير الجهد في الدائرة، مما يستدعي استخدام المذبذب الكريستالي.

5-2-2 دائرة تعديل التردد مع المذبذب الكريستالي

Frequency Modulator of a Crystal Oscillator

يتميز هذا النوع من دوائر التعديل الشكل (5- 9) بثبات عالٍ لتردد الحامل والذي نحصل عليه من المذبذب الكريستالي. يمكننا تغيير التردد من خلال تغيير قيمة السعة الكهربائية على التوالي أو التوازي مع الكريستال.



الشكل (5-9) دائرة تعديل التردد مع المذبذب الكريستالي

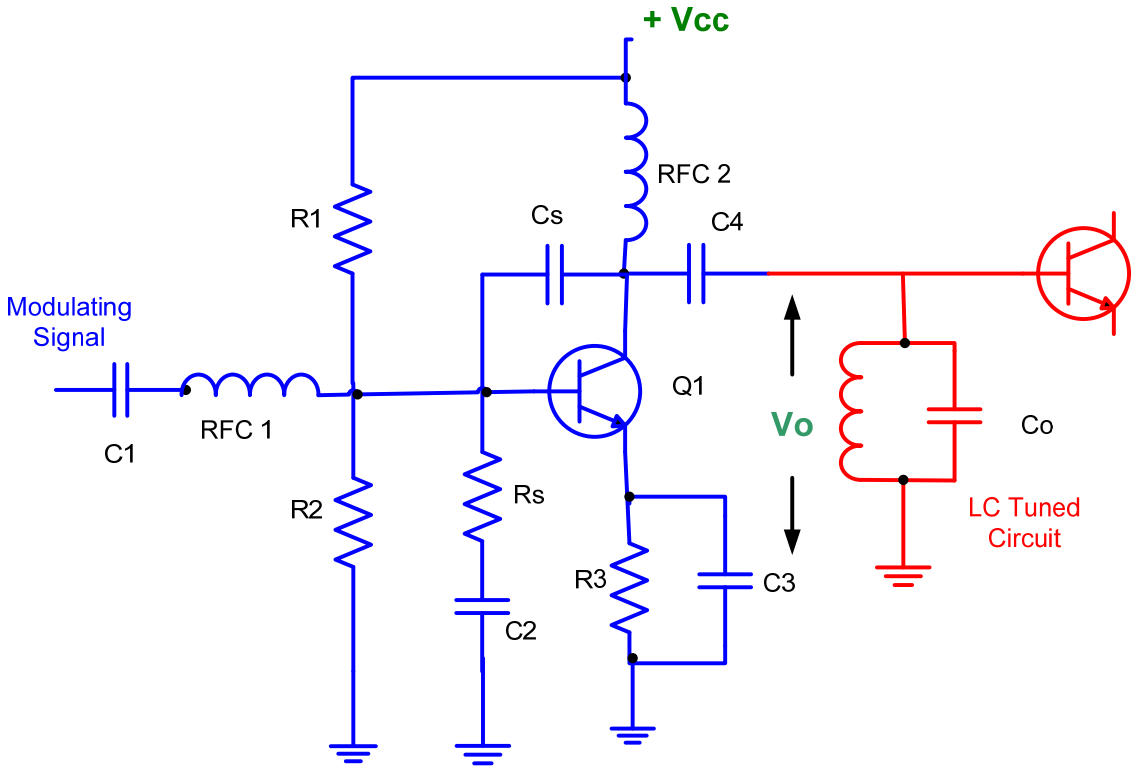
مبدأ العمل:

نقوم بتوصيل الإشارة المراد تحميلها (Modulating Signal) على الفاراكتور دايود ، عندما تتغير هذه الإشارة فإنها تقوم بتغيير سعة الفاراكتور (D1) الموصول على التوالي مع الكريستال مما يؤدي لتغيير في تردد الكريستال مقارنة بتردده الأصلي وبالتالي الحصول على التعديل الترددي.

إن السلبية الرئيسة لهذا النوع من دوائر التعديل هو عدم إمكانية الحصول على قيمة عالية للانحراف الترددي (Frequency Deviation). للحصول على قيمة عالية يجب استخدام مذبذب (LC).

3-2-5 دائرة تعديل التردد المفاعلي Reactance Frequency Modulator:

للحصول على التعديل الترددي تستخدم هذه الدائرة ترانزستور ثنائي القطبية (BJT) في حالة الباعث المشترك (Common Emitter) والذي يقوم بدور مكثف أو ملف متغير حيث يكون موصولاً على دائرة التوليف للمذبذب (الشكل 5- 10).



الشكل (5-10) دائرة تعديل التردد المفاعلي

مكونات الدائرة:

- ترانزستور Q1.
- ترانزستور Q2 ويتبع دائرة المذبذب .
- المقاومات (R1) و (R2) تشكل مقسم الجهد (Voltage Divider) للحصول على انحياز الترانزستور المطلوب.

- المقاومة (Rs)والمكثف (Cs)يشكلان دائرة إزاحة الطور (Phase Shift Circuit) للإشارة الراجعة من دائرة التوليف (LC). يتم اختيار قيمة المكثف بحيث تكون ممانعته أكبر بعشر مرات أو أكثر من المقاومة Rs .

- المكثف C2 (ذو ممانعة صغيرة على تردد التشغيل وبالتالي لا يؤثر على إزاحة الطور) موصول على التوالي مع المقاومة (Rs) ليمنع تأثير (Rs)على انحياز الترانزستور (Q1).

- المكثف (C1)يمنع الجهد المباشر (DC) من التأثير على انحياز الترانزستور (Q1)والملف (RFC1)يفصل الإشارة المراد تعديلها عن المذبذب.

- المكثف (CO)والملف (LO)يشكلان دائرة التوليف للمذبذب.

- المكثف (C4) يساعد في التوصيل بين دائرة مكبر الترانزستور(Q1)ودائرة المذبذب حيث يمنع (DC)من الوصول للملف (LO).

- المكثف (C3) والمقاومة (R3)للتحكم بعمل المكبر في حالة الباعث المشترك.

- الملف (RFC2) ذو ممانعة عالية جداً على تردد التشغيل ويقوم مكان مقاومة الجامع (Rc)

مبدأ العمل:

الفكرة الرئيسية لعمل هذه الدائرة هو الاستفادة من عمل مكبر الترانزستور (Q1)كمكثف أو ملف متغير حيث إنها موصولة مع دائرة التوليف للمذبذب وبالتالي يتم التحكم بالتردد الناتج زيادة أو نقصاناً مما يتيح الحصول على التعديل الترددي. حسبما هو موضح على الشكل (5- 10) فان إشارة المذبذب (VO) من دائرة التوليف يتم إرجاعها إلى دائرة إزاحة الطور المكونة من (Rs)و (Cs).

حسب قيمة الإشارة المراد تعديلها الداخلة على مكبر الترانزستور يتغير الجهد على قاعدة الترانزستور (Q1)وبالتالي يتغير تيار الجامع (Collector Current) للترانزستور مما يؤدي لتغيير زاوية إزاحة الطور مقارنة مع جهد إشارة المذبذب (VO). كلما تغيرت الإشارة المراد تعديلها كلما تغيرت السعة الكهربائية وبالتالي تغير التردد.

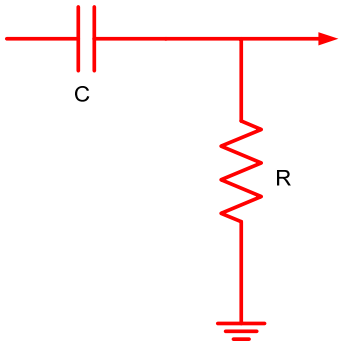
إذا قمنا بتغيير Rs و Cs مكان بعضهما البعض يصبح المكبر يتصرف كملف وبالتالي تتغير قيمة الحثيّة مع تغير قيمة الإشارة المراد تعديلها مما يؤدي لتغيير تردد المذبذب.

يعتبر معدّل التردد المفاعلي من أفضل أنوع دوائر تعديل التردد لأنه يتيح الحصول على انحراف ترددي ضمن مجال ترددي واسع.

5- 3 دوائر تعديل الطور Phase Modulators

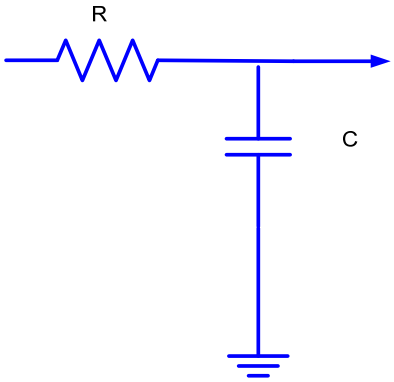
غالباً ما يستخدم في أجهزة إرسال التعديل الترددي (FM Transmitters) بعض أنواع تعديل الطور للحصول على التعديل الترددي غير المباشر (Indirect FM) وذلك لإمكانية التحكم بدقة واستقرارية مذبذب الحامل. عادة ما يستخدم المذبذب الكريستالي للحصول على تردد الحامل بشكل دقيق ومستقر، بعدها يتم التوصيل على دائرة تعديل الطور حيث يتم التحكم بتغيير إزاحة الطور وفقاً لقيمة الإشارة المراد تحميلها. حيث إن التغير في إزاحة الطور يولد تغيير في التردد وبذلك نحصل على التعديل الترددي غير المباشر.

إن أبسط أنواع دوائر إزاحة الطور هي دوائر(RC)حيث يمكننا التحكم بقيمة الزاوية من خلال تغيير قيم (R)و(C). يظهر الشكل (5- 11) دائرة (RC)حيث يسبق الخرج الناتج إشارة الدخل بزاوية من صفر (لغاية °90) وذلك حسب قيم(R)و(C).



الشكل (5- 11) دائرة إزاحة الطور(RC)

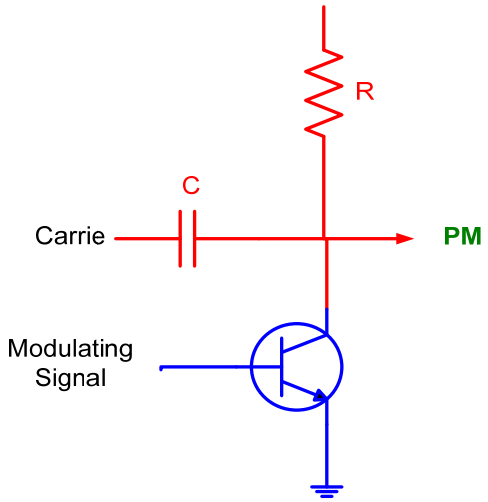
يظهر الشكل (5- 12) دائرة(RC)حيث يتأخر الخرج الناتج عن إشارة الدخل بزاوية من صفر لغاية 90° وذلك حسب قيم(R)و (C).



الشكل (5- 12) دائرة إزاحة الطور RC

5- 3 - 1 دائرة تعديل الطور باستخدام الترانزستور Transistor Phase Modulator :

لكي نستخدم دوائر(RC)البسيطة كأساس لدوائر تعديل الطور يجب أن نتمكن من جعل المقاومة(R)أو المكثف(C)يتغير وفقاً لتغير قيمة الإشارة المراد تحميلها. يظهر الشكل (5- 13) أبسط أنواع دوائر تعديل الطور وهي باستخدام ترانزستور ثنائي القطبية (BJT).



الشكل (5- 13) دائرة تعديل الطور باستخدام الترانزستور

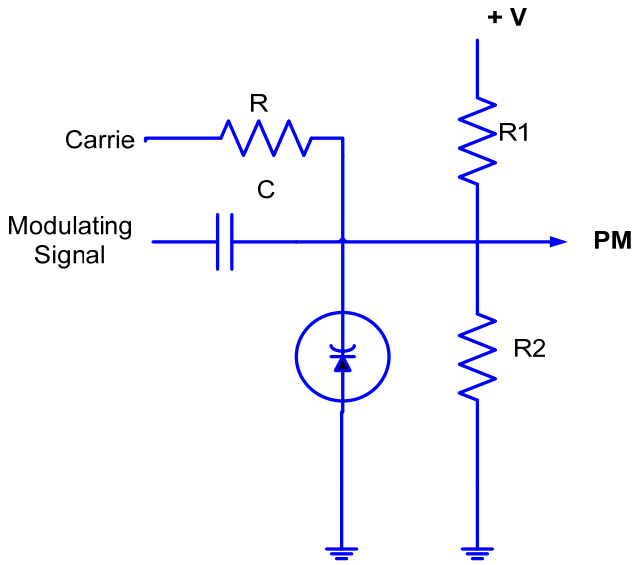
في هذه الدائرة قمنا بوضع الترانزستور مكان المقاومة(R)في الدائرة (الشكل 5- 11) وبذلك كلما زادت الإشارة المراد تحميلها كلما زاد تيار القاعدة وتيار الجامع للترانزستور مما يقلل من المقاومة الفعلية للترانزستور (Effective Transistor Resistance). كلما نقصت المقاومة زادت قيمة الزاوية مما يتسبب في زيادة التردد والعكس صحيح.

يمكننا استبدال ترانزستور ثنائي القطبية بترانزستور تأثير المجال (FET).

5- 3 - 2 دائرة تعديل الطور باستخدام الفاراكتور Varactor Phase Modulator

يظهر الشكل (5- 14) دائرة تعديل الطور باستخدام فاراكتور دايود حيث تتغير سعته وفقاً للجهد الواصل عليه.

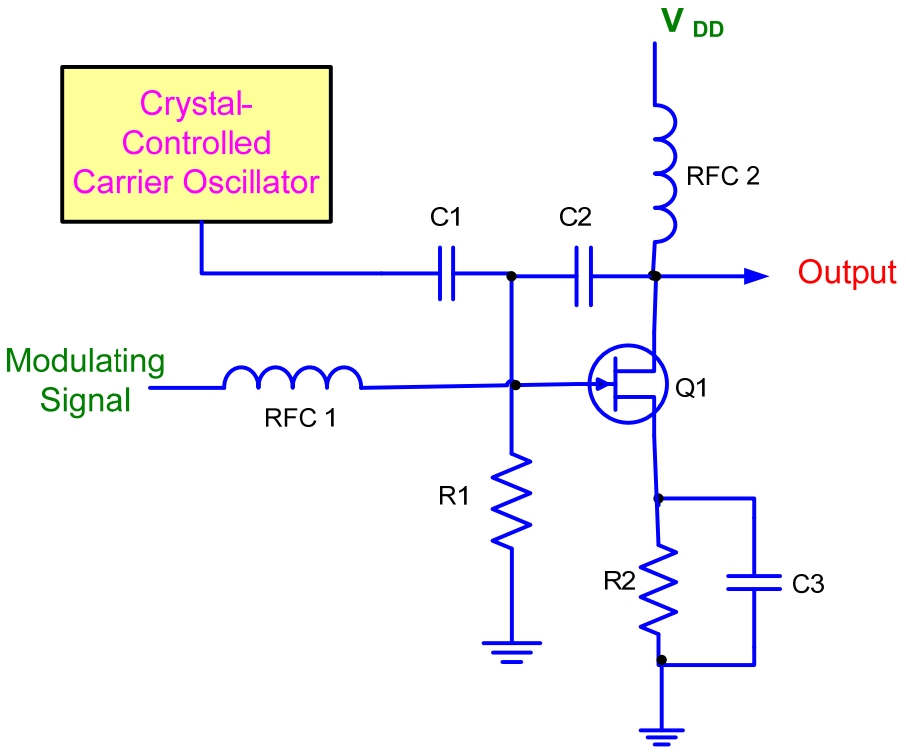
كلما زادت الإشارة المراد تحميلها كلما زاد تيار الجهد الواصل على الفاراكتور الواصل أصلاً عن طريق مقسم الجهد المكون من(R1)و (R2)وبالتالي تنقص قيمة السعة الكهربائية له (تناسب عكسي) مما يزيد من قيمة التفاعلية السعوية وبالتالي إلى نقصان زاوية إزاحة الطور والعكس صحيح.



الشكل (5- 14) دائرة تعديل الطور باستخدام الفاراكتور

5- 3 - 3 دائرة تعديل الطور المطورة Improved Phase Modulator

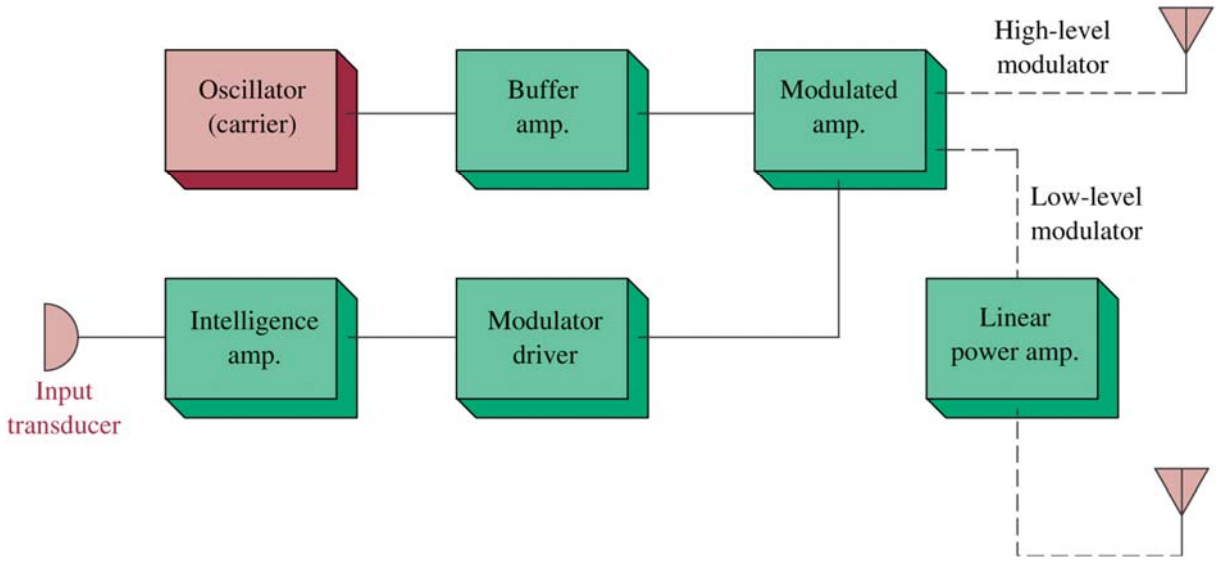
تتألف هذه الدائرة الشكل (5- 15) من دائرة إزاحة الطور (Phase Shifter) المكونة من المكثف (C3) والمقاومة المتغيرة لترانزستور تأثير المجال (FET). تردد الحامل يتم الحصول عليه من دائرة مذبذب كريستالي ويتم توصيله إلى مخرج الدائرة من خلال المكثفات(C1)و (C2). أيضاً يتم توصيل الحامل إلى بوابة (Gate) الترانزستور عبر المكثف (C1). يتم توصيل الإشارة المراد تحميلها على بوابة الترانزستور حيث يقوم الملف (RFC1) بعزل تردد الحامل عن دائرة الصوت. تقوم الإشارة الداخلة بالتحكم بتيار الترانزستور بالإضافة إلى الجهد الموجود على المقاومة(R1)والذي يتحكم بتيار الترانزستور أيضاً. سوف تتغير إشارة الحامل التي تظهر على المخرج (FET Drain) بالنسبة للسعة والطور. عادة ما يتناسب مقدار ناتج التغير في الطور مع قيمة الإشارة المراد تحميلها (Modulating Signal).



الشكل (5- 15) دائرة تعديل الطور المطورة

5- 4 أجهزة الإرسال Transmitters:

يقوم جهاز الإرسال بأخذ المعلومات المراد إرسالها وبتحويلها إلى موجات كهرومغناطيسية تتناسب مع وسط الانتشار أو النقل. تتطلب هذه العملية توليد تردد الحامل، إجراء عملية التعديل، والتكبير. بعد ذلك يتم توصيل هذه الإشارات عبر خطوط نقل إلى هوائي الإرسال الذي يقوم ببثها عبر الأثير. هنالك أشكال كثيرة لدوائر الإرسال نقدم واحدة منها على الشكل (5- 16).



الشكل (5- 16) نموذج جهاز إرسال

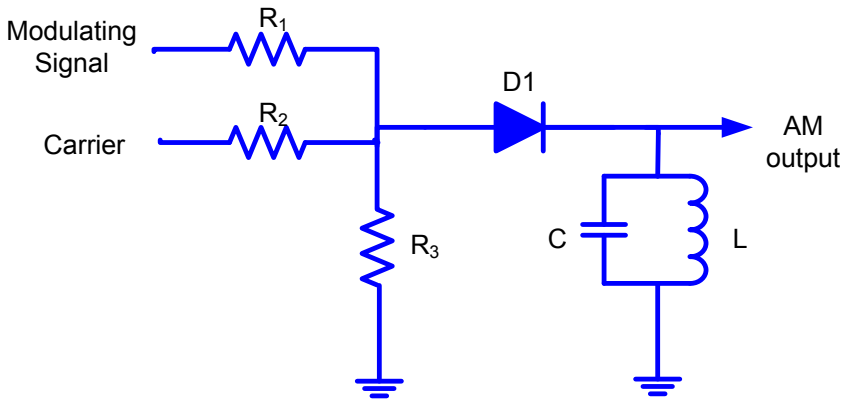
مكونات الدائرة:

- محوّل الصوت (microphone) Input Transducer.
- مذبذب الحامل Oscillator (carrier).
- مكبر الموائمة Buffer Amplifier.
- مكبر التعديل Modulated Amplifier.
- مكبر المعلومات المراد إرسالها Intelligence Amplifier.
- مشغل دائرة التعديل Modulator Driver.
- مكبر القدرة الخطي Linear Power Amplifier.

يتضح من الشكل أعلاه أن هنالك نموذجين للإرسال، أحدهما عالي المستوى (High Level Modulator) والآخر منخفض المستوى (Low Level Modulator) حيث يلزم في هذه الحالة إدخال الإشارة المعدّلة على مكبر القدرة الخطي قبل إيصالها للهوائي.

أسئلة وتمارين

من الشكل أدناه، أجب على الأسئلة التالية:



الشكل (5- 17)

1- إشارة الحامل والإشارة المراد تحميلها يحصل لهما عملية:

ا- ضرب

ب- جمع

جـ- قسمة

د- طرح

2- وظيفة الصمام الثنائي D1:

أ- شاحن

ب- مقاومة متغيرة

جـ- جامع

د- موحّد

3- وظيفة دائرة (LC)على المخرج:

أ- مرشح

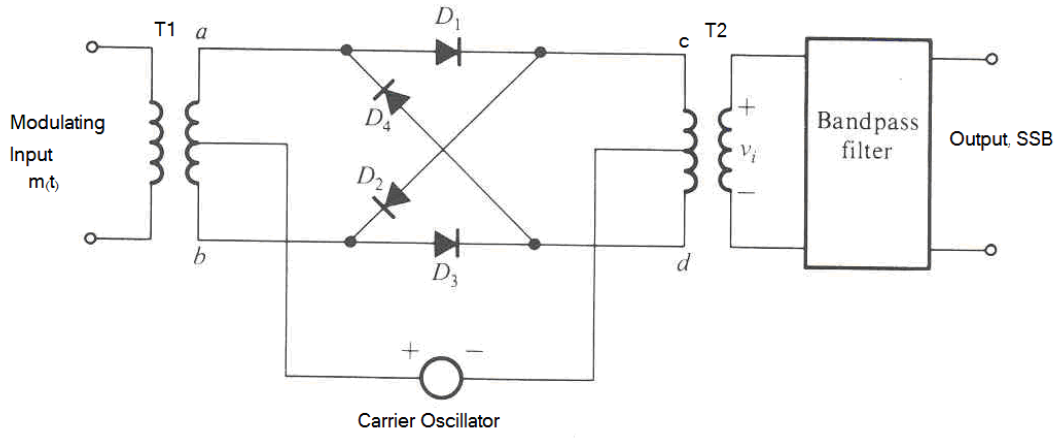
ب- موزع جهد

جـ- دائرة توليف

د- أ و ت

4- لديك إشارة صوتية ذات نطاق ترددي من(300 Hz)ولغاية (3.4 kHz) يلزمنا تحميلها على تردد (800 kHz) باستخدام التعديل السعوي (AM). أوجد ترددات النطاق الجانبي الأعلى والأدنى.

من الشكل أدناه، أجب عن الأسئلة التالية:

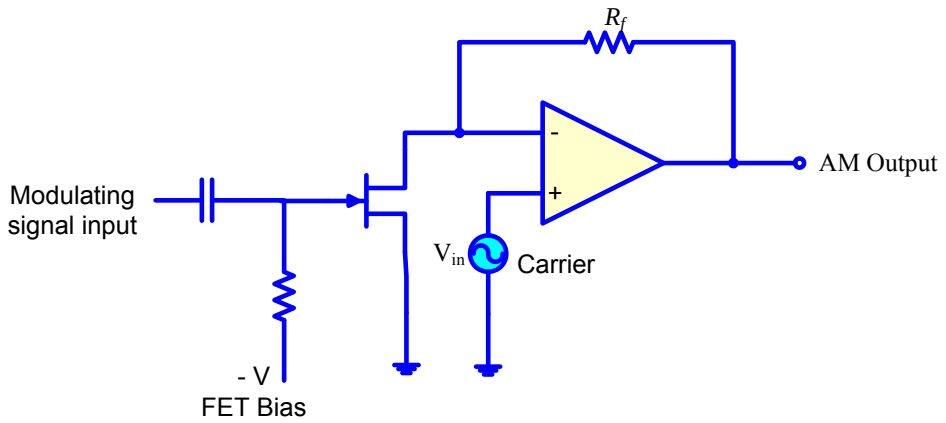


الشكل (5-18)

5- وضح بالرسم مسار التيارات خلال الصمامات الثنائية في حالة الإشارة m(t) لا تساوي الصفر وقطبية إشارة الحامل كما هو موضح على الرسم.

6- وضح بالرسم مسار التيارات خلال الصمامات الثنائية في حالة الإشارة m(t) لا تساوي الصفر وقطبية إشارة الحامل عكس ما هو موضح على الرسم.

من الشكل أدناه، أجب عن الأسئلة التالية:



الشكل (5-19)

7- ما هي وظيفة كل من المكثف على المدخل والمقاومة Rf ؟

8- ما هي وظيفة الترانزستور JFET في الدائرة.؟

9- احسب معامل التكبير إذا علمت أن $Rf = 1\ k\Omega$ و قيمة $Ri = 100\ \Omega$

10- لديك إشارة معدلة ترددياً والتي تم تعديلها باستخدام إشارة صوتية جيبية ذات تردد(3 kHz)علماً بأن التردد الأعلى(100.02 MHZ) والتردد الأدنى(99.98 MHz).

أوجد:

أ- تردد الحامل.

ب- الانحراف الترددي (Δf).

جـ- معامل التعديل m.

11- لديك إشارة تلفزيونية تم استخدام تعديل التردد لإرسال الصوت الملازم لها (أقصى تردد للصوت 15 kHz)، إذا علمت أن الموجة الحاملة ذات تردد(95.75 MHz) وأقصى انحراف ترددي(25kHz).

أوجد:

أ- معامل التعديل

ب- حيز التردد المشغول