الفصل الأول

١ – ١ – تطور الاتصالات :

كان البرق الوسيلة الوحيدة للاتصال خلال المسافات الطويلة ، ويعود أول اتصال معروف في سورية إلى عام ١٩٠٠ ميلادي ،حيث تم انتشار خط برقي بين دمشق و المدينة المنورة مرافق للخط الحديدي الحجازي .

في عام ١٨٦٠ تم استعمال الأسلاك الهوائية في الاتصالات ، وبعدها استخدمت الكابلات البرقية تحت الماء ، وفي عام ١٩٠٦ استخدمت الأمواج الراديوية في الاتصال حيث بلغت مسافات النقل بواسطة الأسلاك آنذاك حتى ٧٠٠ كم .

يعد الاتصال بالأسلاك باهظ الكلفة بسبب التجهيزات التي يحتاجها .

بعد ذلك استخدمت وشائع التقوية على مسافات متساوية من خطوط النقل للتقليل من التضعيف الناشئ على الخطوط وزيادة مسافة النقل حتى ١٣٠٠ كم ، في عام ١٩٢٤م تم صنع كوابل هاتفية للترددات المنخفضة للمسافات البعيدة وكان تضعيفه أكبر من تضعيف الأسلاك الهوائية لكنه باستخدام المضخات الصمامية في الكوابل قللت من هذا التضعيف ، حيث وضعت في أبنية خاصة على امتداد الكابل وسميت / محطات تقوية / .

في عام ١٩٥٦ ظهرت الكوابل المحورية ومكنت من نقل ١٨٠٠ مكالمة على خط محوري واحد ومدت هذه الكوابل عبر المحيطات. و بعدها ظهرت الاتصالات الضوئية والتي تعتبر فرع أساسي في فروع الإلكترونيات الضوئية وتعتمد هذه الاتصالات على معالجة الإشارة الكهربائية وتحويلها إلى ضوء و بالعكس ، وطرق نقل المعلومات ، وذلك بتحميلها على إشارات ضوئية ذات طول موجي مناسب للإرسال ، وأدى اكتشاف الليزر إلى اتصالات ضوئية عالية السعة للمعلومات مقارنة مع وسائل الاتصال السابقة وأدى كذلك استخدام الألياف الزجاجية كوسط للاتصال بين جهة الإرسال والاستقبال إلى تخفيض الضياعات الناتجة بحدود 1dB/km .

أما الاتصال اللاسلكي فقد بدأ باستخدام الأمواج الراديوية ، حيث بدأ الإرسال على الأمواج الطويلة ، ثم القصيرة والمتوسطة ، لقد كانت البداية باستخدام تجهيزات الاتصال اللاسلكية مع تجهيزات النقل السلكية ، واستخدمت محطات الإرسال ومحطات الاستقبال .

بعدها استخدمت الوصلات الميكروية للاتصال (VHF-UHF) ، حيث استخدمت تجهيزات إرسال ومحطات تقوية موضوعة على مد خط النظر FDM ، وكانت المسافة بين محطة وأخرى تبلغ حوالي ٥٠ كم مسافة مستوية ، وباستخدام الهضاب والجبال امتدت المسافة حتى ١٠٠ كم لكن من مساوئ هذا النوع من الاتصال كان صعوبة استعمالها في المناطق الوعرة حيث إنها تحتاج إلى صيانة ، توجد في سورية شبكة ميكروية من هذا النوع ما بين قاسيون وحتى المالكية مع وجود عدة محطات تقوية 400MHZ .

وجدت بعدها الأجهزة التي تعمل مع الانعكاسات في الطبقات الجوية العليا الأيونوسفير والتي تعكس جميع الموجات الراديوية التي يزيد طولها عن 10 m أو ينقص ترددها عن 30 MHZ بينما تمر الأمواج ذات التردد الأعلى، ساعد ذلك على زيادة المسافة بين محطات التقوية المجاورة حتى ١٠٠٠ كم ، وتم كذلك استخدام الوصلة الميكروية المتعددة القنوات النبضية TDM ، والتي تعمل على تقسيم القنوات على أساس الزمن .

بعدها تم استخدام أنظمة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية ، حيث أن القمر الصناعي يدور على ارتفاع شاهق من الأرض وبشكل متزامن مع دوران الأرض حول نفسها وتعمل على حزمة ترددية من مرتبة GHZ . وبإطلاق ثلاثة أقمار صناعية متوضعة بشكل مدروس على سطح الكرة الأرضية، تم إيصال المعلومات والإرسال إلى مجمل سطح الأرض باستخدام المحطات الأرضية التابعة لها .

١ – ٢ – مفهوم الاتصالات :

تعرف الاتصالات بأنها العملية التي يتم فيها نقل ، أو تحويل المعلومات من نقطة ما في مكان وزمان معين تسمى(المصدر أو المنبع)إلى نقطة أخرى تسمى(الهدف) ومنظومة الاتصال هي الآليات والأساليب التي تيسر عملية نقل وتحويل المعلومات أو البيانات من المصدر إلى الهدف ، ومنظومات الاتصال الإلكترونية هي التي تحقق هذه الغاية باستخدام الأجهزة والأدوات الكهربائية والإلكترونية .

١ – ٣ – عناصر ومكونات منظومة الاتصال :

نبين فيما يلي العناصر الأساسية لمنظومة الاتصال .

ونذكر هنا باختصار وظائف هذه العناصر كما يلي :

أ – المصدر :

هو مصدر المعلومات المراد إرسالها ويمكن أن تكون على أشكال مختلفة :

الضغط السمعي الناتج من الكلام أو الموسيقى ، الرموز أو الحروف ، ألوان الصور والمناظر .

ب- جهاز الدخل (محول الطاقة) :

يستخدم عند مدخل المنظومة ليقوم بتحويل المعلومات المراد إرسالها إلى إشارات كهربائية على هيئة تيار أو جهد ، ومن الأمثلة على ذلك :

لاقط الصوت (الميكرفون) ، الذي يقوم على تحويل الصوت إلى إشارات كهربائية آلة التصوير المرئية : تحول المناظر والصور إلى إشارات كهربائية .

ج- المرسل :

يقوم المرسل بعدة عمليات لتجهيز الإشارات بحيث تكون مناسبة للإرسال عبر قناة الاتصال المستخدمة مثل التعديل ، التضخيم ، المزج ، والترشيح وغيرها، ويتكون المرسل بشكل عام من المذبذب والمعدل والمضخم والمرشح والهوائي .

د – قناة الإتصال :

هي وسيلة الربط بين المرسل والمستقبل، فهي إذا الوسط الذي تنتشر فيه الإشارات على شكل أمواج يمكن أن تكون :

١ – زوج من الأسلاك الكهربائية .

٢ – كوابل عادية ومحورية .

٣ – أدلة موجية .

٤ – كابلات ضوئية .

٥ – الغلاف الجوي (طبقات التروبوسفير أو الأيونوسفير) ويطرأ على الإشارة عبر القناة تضعيف لها وتختلف درجة التضعيف حسب وسط الانتشار المستخدم .

هـ – المستقبل :

وظيفة المستقبل هو استخلاص وكشف إشارة المعلومات وفك شيفرة المعلومات الواردة من المرسل وتسليمها إلى جهاز خرج منظومة الاتصال ، والذي يحول الإشارات الكهربائية إلى الشكل الأصلي الذي كانت عليه عند الإرسال و يتكون المستقبل من :

١ – دارات توليف .

٢ – مرشحات .

٣ – كاشف إشارة .

٤ – مضخمات وغيرها .

و – الضجيج :

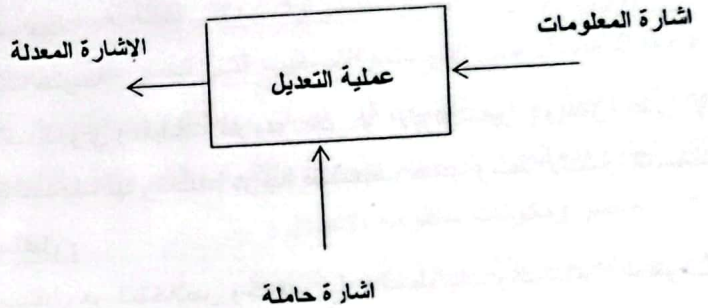
عبارة عن إشارات كهربائية عشوائية ناتجه عن مسببات الطبيعة داخل وخارج منظومة الاتصال، والمطلوب التخلص منه قدر الإمكان للحصول على جودة في الإشارة المستقبلة .

- مفهوم و مبادئ التعديل :

١ – ٤ – مفهوم التعديل :

عند خروج الإشارات الصوتية والرقمية من مصادرها تكون بوضع غير مناسب لإرسالها ، وعليه لابد من تجهيزات وإعدادها في صورة تتناسب لإرسالها عبر قنوات الاتصال المستخدمة وتسمى هذه العملية بعملية التعديل ، فالتعديل إذا هو عملية تغير خصائص الإشارة الحاملة بما يتناسب وخصائص إشارة المعلومات المراد إرسالها وبما يضمن ملائمتها للإرسال عبر قناة الاتصال ، أي أن عملية

التعديل تتطلب وجود إشارة المعلومات و إشارة حاملة كما بالشكل (١- ١) ٠



الشكل (١ – ١)

إذا كانت قناة الاتصال عبارة عن مرشح تمرير حزمة ترددية عالية فإن عملية التعديل تكون عبارة عن تحويل النطاق الترددي الأساسي لإشارة المعلومات من موقعه إلى مجال التمرير الترددي العالي لقناة الاتصال كما هو موضح بالشكل (١- ٢) .

الشكل (١ – ٢)

١ – ٥ – أنواع التعديل :

التعديل كما ذكر أعلاه هو عملية تغير لعنصر أو اكثر من عناصر الإشارة الحاملة بما يتناسب مع خصائص اشارة المعلومات المراد إرسالها ،ويستخدم التعديل في المنظومات التماثلية و المنظومات النبضية (الرقمية) ،وتكون الإشارة الحاملة في المنظومات التماثلية عبارة عن إشارة جيبيه وفي المنظومات الرقمية تكون على شكل سلسلة من النبضات الدورية كمايلى :

$$e_c = E_c.\cos(2\pi f_c t + \Phi) \qquad (1-1)$$

حيث أن :

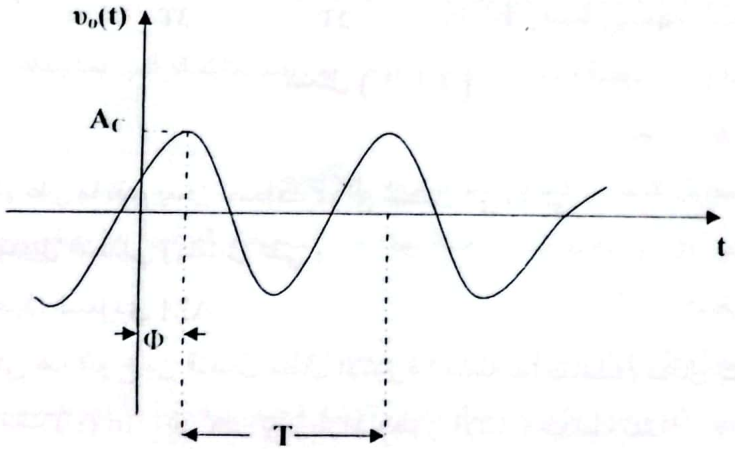
e_c : هي الإشارة الحاملة في حاملة التعديل التماثلي ٠

E_c : مطال الإشارة الحاملة .

f_c : تردد الإشارة الحاملة .

Φ طور الإشارة الحاملة .

يمثل الشكل (١ – ٣) رسم توضيحي للمعادلة (1 - 1) ٠



الشكل (١ – ٣)

في حالة التعديل النبضي تكون الإشارة الحاملة كما يلي :

$$e_c = \sum_{K=-\infty}^{\infty} E_c . P(t-KT) \qquad (1-2)$$

حيث أن :

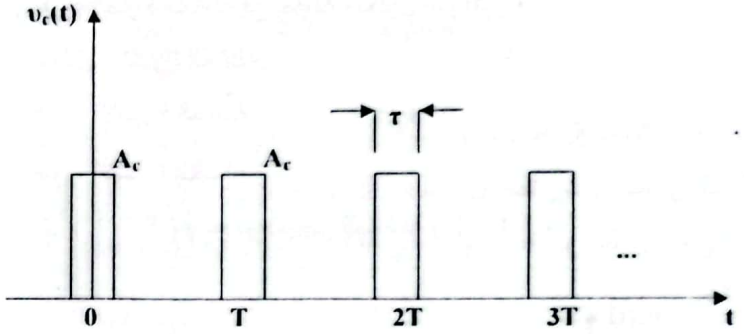
E_c : مطال الإشارة الحاملة .

T : دور الإشارة الحاملة .

P(t) : شكل نبضات الإشارة الحاملة التي لها عرض τ ومرتكزة عند

$$T , 2T , ..., KT$$

ويوضح الشكل (١ – ٤) مثالاً لإشارة حاملة في حالة التعديل النبضي .



الشكل (١ – ٤)

وبنـــاء على ما تقدم يمكن تصنيف انواع التعديل إلى ما يلي :

١ – التعديل التماثلي ويشتمل على :

أ – التعديل السعودي AM .

يتغير في هذا النوع من التعديل مطال الإشارة الحاملة بما يتناسب ومطال إشـــارة المعلومات (m (t ، في حين يبقى تردد وطور الإشارة الحاملة ثابتاً .

ب – التعديل الترددي FM

في هذا النظام يتغير تردد الإشارة الحاملة بما يتناسب والتغيير اللحظي لمطـــال إشارة المعلومات (m (t في حين يبقى مطال وطور الإشارة الحاملة ثابتاً .

ج – التعديل الطوري PM

يتغير هنا طور الإشارة الحاملة بما يتناسب والتغيير اللحظي لمطال إشـــارة المعلومات (m (t ، في حين يبقى مطال الإشارة الحاملة وترددها ثابتاً .

٢ – التعديل النبضي ويشتمل على الأنواع التالية :

أ – تعديل مطال النبضه PAM

في هذا النوع يتغير مطال سلسلة النبضات بما يتناسب وتغير مطال إشـــارة المعلومات مع بقاء عرض النبضات وموقعها ثابتاً .

ب – تعديل عرض النبضة PWM

يتغير في هذا النوع من التعديل عرض النبضات الحاملة بما يتناسب وتغير مطـال إشارة المعلومات مع بقاء مطال ومركز النبضات ثابتاً .

ج – تعديل موقع النبضة PPM

في هذا النظام يتغير موقع النبضات الحاملة بما يتناسب وتغير مطال إشـــارة المعلومات مع بقاء مطال النبضات وعرضها ثابتين .

٣ – التعديل الرقمي ويشتمل على الأنواع التالية :

أ – التعديل النبضي المشفر PCM

ويتم تشفير كل نبضة معدلة (PAM) بعدد من النبضات الرقمية بما يتناسب مع مطال هذه النبضة .

ب – التعديل النبضي المشفر التفاضلي DPCM

يتم تشفير كل نبضة تفاضلية معدلة بعدد من النبضات الرقمية بما يتناسب ومطال هذه النبضة .

ج – تعديل دلتا DM

يتم تشفير الفرق بين إشارة المعلومات والإشارة التقريبية الناتجة لها بنبضـــات رقمية (1 أو 0) وفق الإشارة الجبرية لهذا الفرق .

١ – ٦ – لماذا نلجأ إلى التعديل ؟ :

توجد عدة اعتبارات وفوائد تحتم علينا استخدام التعديل في منظومات الاتصالات

نذكر منها ما يلي :

أ – لتسهيل عملية البث اللاسلكي :

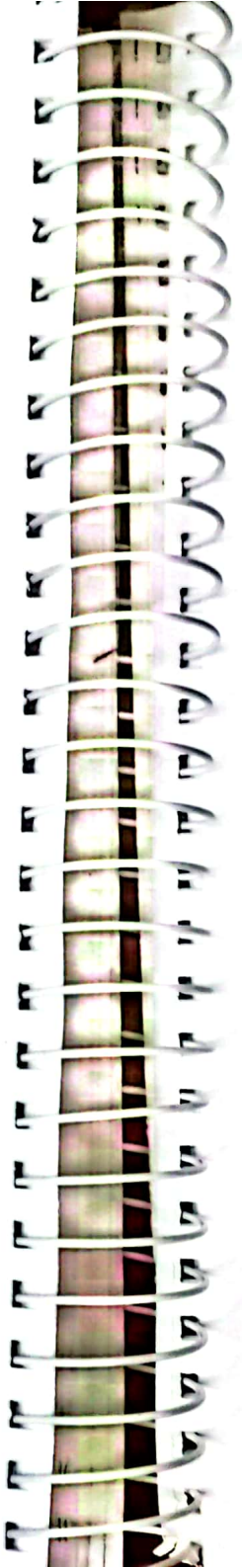
نعلم بأن الطول الفعلي المناسب لهوائي الإرسال يجب أن يكون بطول $\frac{\lambda}{10}$ على الأقل حيث أن λ هي طول الموجة لذلك للحصول على إشعاع جيد لإشارة صوتية ذات تردد 1 كيلو هرتز فإننا بحاجة إلى هوائي بطول 3.10^{4} متر أي 30 كيلومتر على الأقل ، وإذا كان تردد الإشارة الصوتية 100 هرتز فإن طول الهوائي يكون 300 كيلو متر على الأقل ($\lambda = \frac{v}{F}$) ، وهذه الأطوال غير عملية ومن الصعب تنفيذها ، إذا استخدمنا التعديل أي تحويل الحزمة الترددية المنخفضة إلى مجال ترددي عالي تصبح هوائيات الإشعاع الجيد ذات أطوال عملية فمثلا في البث الإذاعي للموجة المتوسطة عند تردد 1MHZ يكون طول الهوائي $(\lambda = \frac{v}{F}), \frac{\lambda}{10} = 30m$ ، حيث أن $v = 3.10^{8} m \setminus sec$ ، وإذا استخدمنا هوائي بطول ($\frac{\lambda}{2}$) فيكون بذلك طوله (150 m) وهي من الأطوال المستخدمة في البث الإذاعي .

ب- يستخدم التعديل لغرض التجميع (الإرسال المتعدد) :

نستخدم التعديل عند تجميع الإشارات وفق التقسيم الترددي FDM ، ثم إرسالها عبر قناة الاتصال ، ومن ثم نقوم باستقبالها وتوزيع هذه الإشارات للأماكن المرسلة إليها ، وتعتبر منظومات القنوات الهاتفية مثالاً تطبيقياً لطريقة التجميع وفق التقسيم الترددي ٠

جـ- لفحص تحديد وتوزيع الترددات :

يساعد التعديل على عملية توزيع الترددات وفق محطات الإرسال ووفق الاستخدامات المختلفة ، فعملية بث عدة قنوات تلفزيونية وعدة محطات إذاعية في منطقة واحدة وفي آن واحد أصبحت ممكنة بوجود عملية التعديل ، وبدونها لايمكن السماح إلا لمحطة أو إذاعة واحدة للبث في آن واحد وإلا سيحدث التداخل بينها ٠



ء - للتغلب على الضجيج والتداخل :

يستخدم التعديل كأداة للتقليل من تأثير الضجيج والتداخل على جودة الاستقبال كما هو الحال في نظام التعديل الترددي الذي يمتاز بقدرته على التغلب على الضجيج والتداخل ٠

الفصل الثاني

أنظمة التعديل المطالية

Amplitude-Modulated - System

٢ – ١ – مفهوم التعديل المطالي :

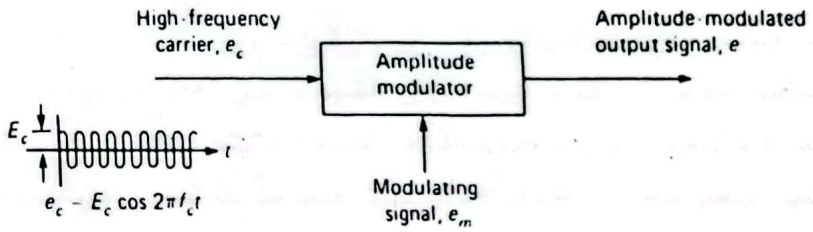
علمنا بأن التعديل هو عملية نقل المعلومات بشكل جيد باستخدام ترددات عالية ، وتشمل عملية التعديل المطالي (AM) تطبيق التردد الراديوي للحامل مع التردد المنخفض الصوتي Audio على أداة خواصها المميزة غير خطية وذلك للحصول على موجة معدلة مطاليا أي تحتوي على ترددات أخرى حول الحامل غير الأصلية تعطى إشارة الحامل الجيبية الغير معدلة بالعلاقة الرياضية :

$$e_c = E_c.\cos 2.\pi.f_c.t \qquad (2-1)$$

حيث أن :

E_c : تمثل المطال الأعظمي للموجة الحاملة .

f_c : تردد الموجة الحاملة ويقاس ب Hz .



a. No modulation — A.

b. Squarewave — B.

c. Sinusoid — C.

الشكل (٢ – ١)

يبين الشكل (٢ – ١) نتيجة التعديل المطالي لإشارة الموجة الحاملة e_c المعرفة بالعلاقة (٢ – ١) مع إشارات دخل مربعة الشكل وجيبية ، حيث أن إشارات التعديل الجيبية والمبينة على الشكل (٢ – ١) يمكن كتابتها رياضيا بالعلاقة :

$$e_m = E_m.\cos 2\pi.f_m.t \qquad (2-2)$$

حيث أن :

E_m : يمثل المطال الأعظمي لإشارة التعديل .

f_m : تردد إشارة التعديل .

نلاحظ من الشكل السابق بأن مطال إشارة الحامل يتغير بنفس معدل تغير f_m إشارة المعلومات ، وأيضا يتغير مطال الموجة الحاملة بشكل يتناسب مع مطال إشارة المعلومات e_m .

تبدو الإشارة المعدلة مطاليا (إشارة الخرج) بالشكل الرياضي التالي :

$$e(t) = (E_c + E_m.\cos 2\pi.f_m.t).\cos 2\pi.f_c.t \qquad (2-3)$$

ومن أجل فصل إشارة المعلومات m (t) نكتب الإشارة AM بالشكل التالي :

$$e(t) = [E_c + m(t)].\cos 2\pi.f_c.t \qquad (2-4)$$

٢ – ٢ – عامل التعديل :

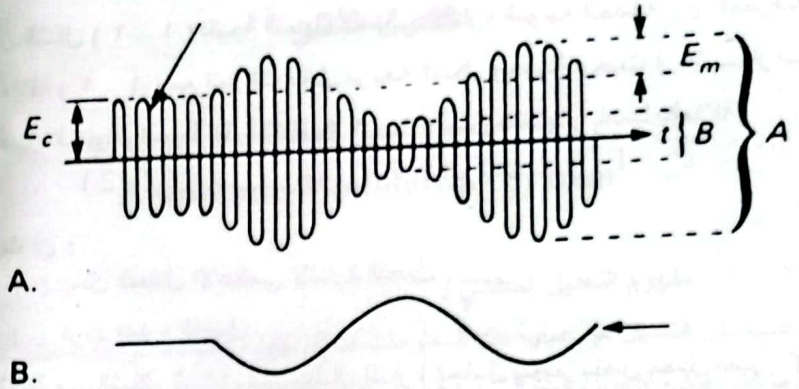
يعبر عن المقدار الذي يتغير فيه مطال الإشارة الحاملة بسبب قيمة مطال إشارة المعلومات المحمولة ، أي هو النسبة بين مطال إشارة المعلومات و مطال إشارة الحامل ، ويرمز له بـ m_a ويعرف بالعلاقة :

$$m_a = \frac{E_m}{E_c} \qquad ..(2-5)$$

وتتراوح نسبة التعديل ما بين (0% - 100 %) حيث أن القيمة الأعظمية هي 100 % والقيمة الدنيا هي 0 % بدون تعديل .

وبما أن $m_a = \frac{E_m}{E_c}$ فإننا نستطيع كتابة المعادلة المعدلة مطاليا من أجل إشارة تعديل جيبية بالشكل :

$$e = E_c(1 + m_a.\cos 2\pi.f_m.t).\cos 2\pi.f_c.t \qquad (2-6)$$



الشكل (٢ – ٢)

شكل الموجة المعدلة مطاليا

إن الطريقة الأكثر ملائمة لقياس عامل التعديل المطالي ومعرفة قيمته تكون باستعمال راسم الإشارة ، حيث يظهر لنا هذا الجهاز شكل الموجة المعدلة مطاليا AM كما هو مبين بالشكل (٢ – ٢) ، ويقيس القيمة الأعظمية للمطال A والقيمة الأصغرية للمطال B (لغلاف الموجة) ، وتكون المعلومات موجودة في هذا الغلاف ، ويحسب عامل التعديل بناء على ذلك رياضيا من المعادلة التالية :

$$m_a = \frac{A - B}{A + B} \qquad (2 - 7)$$

حيث أنه ومن الشكل نجد :

$$\left.\begin{aligned} A &= 2(E_c + E_m) \\ B &= 2(E_c - E_m) \end{aligned}\right\} \qquad (2 - 8)$$

بحل المعادلتين (8 - 2) معا وبعد تعويضها في العلاقة (5 - 2) نحصل على العلاقة (7 - 2) .

إن القيمة العددية لعامل تعديل m_a تكون دائما في المجال من الصفر (عدم وجود تعديل) إلى الواحد (تعديل كامل) .

وعندما تكون الإشارة المحمولة عبارة عن عدد من الإشارات الجيبية كما هو الحال

في حالة العزف الموسيقي عندها نحصل على عامل تعديل (ma بواسطة RMS) أي الجذر التربيعي لمجموع مربعات عوامل التعديل الناتجة من كل اشارة جيبية على حدة أي أن :

$$m_a = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2} \qquad (2 - 9)$$

٢ – ٣ – طيف الإشارة المعدلة سعويا AM وعرض الحزمة :

تتألف الإشارة المعدلة سعويا والمبينة على الشكل (٢ – ٢) من ثلاث مركبات ترددية عالية من أجل إشارة تعديل جيبية ، ولا توجد مركبات ترددية منخفضة وبناء على ذلك فإنه يمكن ارسال الإشارة AM من الهوائي ذو التردد العالي بحجم معقول ومقبول .

نسمي هذه المركبات الثلاث على الشكل التالي :

الحامل – حزمة جانبية سفلى – حزمة جانبية عليا ، ولكي نرى هذه المركبات الثلاث للترددات العالية ، سنقوم بالتحليل الرياضي لهذه الإشارة انطلاقا من العلاقة (3 - 2) :

$$e = (E_c + E_m \cos 2\pi.f_m.t).\cos 2\pi.f_c.t$$
$$= E_c.\cos 2\pi.f_c.t + E_m.\cos 2\pi.f_m.t.\cos 2\pi.f_c.t$$

باستخدام المتطابقة المثلثية يمكن كتابة القسم الثاني من التغير الناتج كما يلي :

$$\cos A.\cos B = \frac{1}{2}.[\cos(A - B) + \cos(A + B)]$$

ويصبح القسم الثاني الناتج باستخدام العلاقة المذكورة بالشكل :

$$\frac{1}{2}E_m[\cos 2\pi.(f_c - f_m)t + \cos 2\pi.(f_c + f_m)t]$$

يكون عادة تردد الحامل أكبر من تردد اشارة التعديل الأعظمي ، أي أن :

$$f_c > 2f_m$$

وتبدو إشارة الموجة المعدلة AM وكأنها مجموع ثلاثة اشارات ذات ترددات عالية :

مركبة الحامل

$$e = E_c \cos 2\pi f_c t$$

(LSB) الحزمة الجانبية السفلى.....

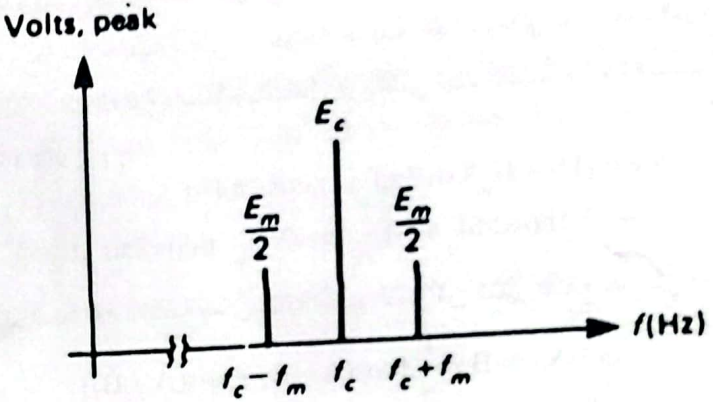
$$+ \frac{E_m}{2} \cos 2\pi (f_c - f_m)t$$

(USB) الحزمة الجانبية العليا

$$+ \frac{E_m}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m)t$$

(2 - 10).....

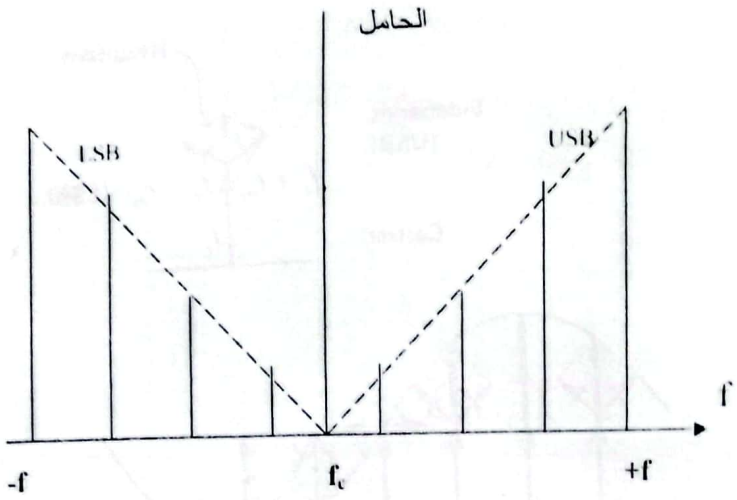
توجد كمية من المعلومات يمكن اشتقاقها من هذه العلاقة الرياضية وهي :
الطيف الترددي – عرض الحزمة الترددية – علاقات الاستطاعة .
يبين الشكل (٢ – ٣) علاقة المطال بالنسبة لترددات مختلفة (الطيف الترددي لإشارة AM) .



الشكل (٢ – ٣)

علاقة المطال بالنسبة للترددات المختلفة

إذا طبق على الموجة الحاملة موجة صوتية ذات عدة ترددات ابتداء من الصفر وحتى قيمة ما مثل f_m ، عندئذ يمكن تمثيل الموجة المعدلة سعويا كما بالشكل (٢ – ٤) التالي :



الشكل (٢ – ٤)

الطيف الترددي لإشارة معدلة مطاليا ذات عدة ترددات

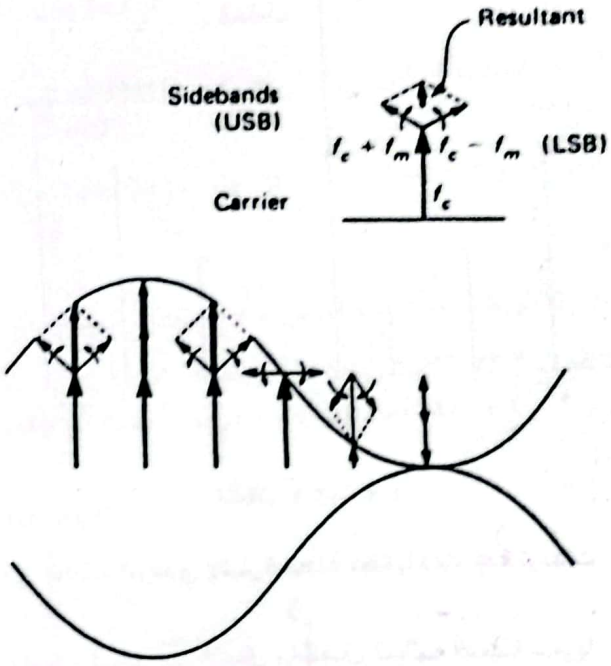
نلاحظ من الشكل السابق بان ارسال واستقبال الموجة المعدلة سعويا AM يتطلب مجال من الترددات بحيث يشمل التردد الحامل وتردد الحزمتين الجانبيتين .
ويمكن تمثيل الموجة المعدلة سعويا بشعاع كما بالشكل (٢ – ٥) .
يمكن حساب عرض حزمة الإشارة المعدلة سعويا AM من الطيف الترددي لإشارة AM المبين على الشكل (٢ – ٣) ،لأن عرض الحزمة تقاس من تغيرات المطال مع التردد . وتبدو إشارة AM بأنها محتفظة بعرض حزمة ترددية قدرة $2f_m$ متمركز عند تردد الحامل ، وهو ضعف أعلى تردد في إشارة المعلومات .

$$B_w = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m$$

إذا كان تردد إشارة الحامل 1 MHZ ومعدل بتردد 5 KHZ للصوت ، فان عرض الحزمة اللازمة لإرسال واستقبال كامل الإشارة تكون :

$$B_w = 2f_m = 2.5 = 10KHZ$$

ومتمركزة حول تردد الحامل 1MHZ .



الشكل (٢ – ٥)

المخطط الشعاعي للموجة المعدلة سعويا

مثال ١ : بفرض ان إشارة المعلومات هي من الشكل :

$$m_{(t)} = m_1.\cos\omega_1 t + m_2.\cos\omega_2 t \qquad \ldots (1)$$

والمطلوب حساب طيف الإشارة المعدلة سعويا لإشارة المعلومات ، عندما تكون إشارة الحامل هي : $E_c.\cos\omega_c t$.

نبدل العلاقة (١) في معادلة الإشارة المعدلة سعويا :

$$e_{(t)} = E_c\,[1 + m_{(t)}].\cos\omega_c t$$

نحصل منها على الإشارة المعدلة سعويا التالية :

$$e_{(t)} = E_c[1 + m_1.\cos\omega_1 t + m_2.\cos\omega_2 t].\cos\omega_c t$$

$$e_{(t)} = E_c.\cos\omega_c t + m_1 E_c.\cos\omega_1 t.\cos\omega_c t + m_2.E_c.\cos\omega t_2.\cos\omega_c t$$

وباستخدام العلاقة المثلثية نحصل على :

$$e_{(t)} = E_c.\cos\omega_c t + \frac{m_1.E_c}{2}[\cos(\omega_c - \omega_1).t + \cos(\omega_c + \omega_1).t] + \frac{m_2.E_c}{2}[\cos(\omega_c - \omega_2).t + \cos(\omega_c + \omega_2).t]$$

وبما أن خصائص طيف الإشارة الحقيقية له تماثل بالنسبة للمحور العمودي لـــذا نكتفي برسم الطيف المفرد الجانب ، أي طيف الإشارة عند المحور الترددي الموجب .

يوضح الشكل(٢ – ٦) طيف الإشارة المعدلة سعويا $e_{(t)}$.

نستنتج مما سبق الخصائص التالية لطيف الإشارة المعدلة سعويا :

١ – طيف المطال متماثل حول تردد الحامل .

٢ – يتكون طيف الإشارة AM من ثلاث مركبات :

- مركبة الحامل .
- حزمة جانبية علوية .
- حزمة جانبية سفلية .

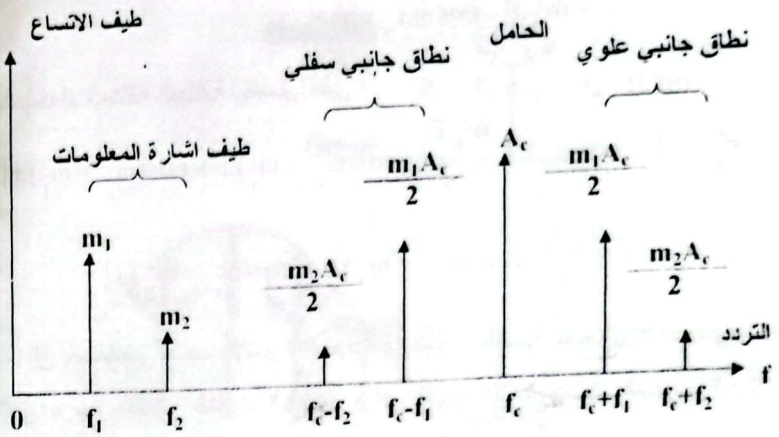
وتحتوي الحزمتين الجانبيتين على جميع المعلومات المطلوب ارسالها . .

٣ – عرض الحزمة الترددية المطلوبة لإرسال الإشارة AM هو ضعف عرض حزمة إشارة المعلومات أي أن :

$$B_w = 2f_m$$

٤ – يشترط في تردد الحامل أن يكون أكبر من ضعف أعلى تردد في حزمة إشارة المعلومات أي أن : $f_c > 2f_m$ لكي لا يحدث تداخل بين حزمة الإشارة المعدلـــة وحزمة اشارة المعلومات و عمليا يكون :

$$f_c > 2f_m$$



الشكل (٢- ٦)

طيف الإشارة المعدلة AM مع طيف إشارة المعلومات

مثال ٢ :

عند عرض إشارة معدلة سعويا AM على راسم الإشارة ، لوحظ ان القيمـــــــة الأعظمية للمطال هو 50 v والقيمة الأصغرية للمطال هو : 10 v .

احسب :

١ - نسبة التعديل .

٢ - مطال إشارة الحامل .

٣ - مطال اشارة المعلومات .

الحل :

١ - نحسب عامل التعديل باستخدام العلاقة :

$$m_a = \frac{A-B}{A+B} = \frac{50-10}{51+10} = \frac{40}{60} = 0.667$$

وتكون نسبة التعديل

$$100 \times 0.667 = 66.7\ \%$$

٢ - نعلم بان :

$$m = \frac{A-B}{2E_c} = \frac{50-10}{2E_c} = 0.667$$

$$E_c = \frac{20}{0.667} = 30v$$

أي أن المطال الأعظمي للحامل = 30 فولط .

٣ - مطال إشارة المعلومات E_m نعبر عنه بالعلاقة التالية :

$$m = \frac{E_m}{E_c} \Rightarrow E_m = m.E_c$$

$$E_m = o.667 \times 30 = 20v$$

مثال٣ :

عند تعديل إشارة الحامل ذو التردد 1.4 MHz تعديلا سعويا بإشارة موسيقية والتي لها مركبات ترددية ضمن المجال 20 Hz - 15 KHz .

احسب مجال الترددات المولدة في الحزم الجانبية العليا والسفلى .

الحل :

- الحزمة الجانبية العليا = الحامل + الترددات الصوتية

$$(f_1 + f_c) + (f_2 + f_c) = Usb$$

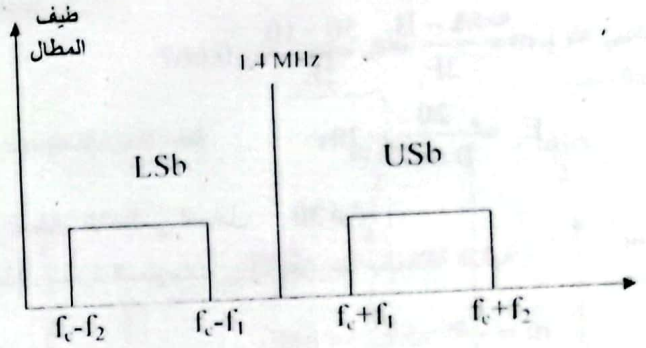
$$USb \begin{pmatrix} = 1400000 + 20 = 1400020Hz \\ = 1400000 + 15000 = 1415000Hz \end{pmatrix}$$

- الحزم الجانبية السفلى LSb تأخذ الترددات التالية :

$$(f_c - f_1) + (-f_2 + f_c) = LSb$$

$$LSb = \begin{pmatrix} 1400000 - 15000 = 1385000Hz \\ 1400000 - 20 = 1399980Hz \end{pmatrix}$$

والنتيجة مبينة على الشكل مع الطيف الترددي AM لخرج المعدل .



٢ – ٤ – الاستطاعة في الإشارة المعدلة سعويا AM :

لحساب هذه الاستطاعة، نفترض أن الإشارة المعدلة $e_{(t)}$ يتم ارسالها عبر هوائي له مقامة فعلية قدرها (R) أوم ، و تمثل هنا مقاومة الحمل .

لاستنتاج الإستطاعة ننطلق من المعادلة :

$$e_{(t)} = E_c.\cos 2\pi f_c t + \frac{E_m}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t + \frac{E_m}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t$$

الاستطاعة في مقاومة تكتب بشكل عام بالشكل :

$$P = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2_m}{2R} \qquad (2-11)$$

حيث أن v : القيمة المنتجة للجهد .

V_m: القيمة العظمى للجهد .

١ – نحسب أولا الإستطاعة الموجودة في الحامل و التي تساوي إلى مربع القيمة الفعالة للجهد مقسوما على المقاومة و استنادا الى العلاقة (١) نكتب :

$$P_C = \frac{v_m^2}{2R} = \frac{E_C^2}{2R} \qquad (2-12)$$

2 – نحسب الاستطاعة في الحزمتين الجانبيتين باستخدام العلاقة (11 - 2) نجد :

$$P_lSb = \frac{(E_m/2)^2}{2R} = \frac{E_m^2}{4\times 2R} = \frac{m^2.E_C^2}{8R} \qquad (2-13)$$

حيث ان :

$$E_m = mE_c \Leftarrow m = \frac{E_m}{E_c}$$

وبفترض ان مقاومة الهوائي $R = 1\ \Omega$ لسهولة التحليل ، وبتعويض العلاقة (12 -2) في (13 - 2) تصبح الاستطاعة الموجودة في الحزمة الجانبية الواحدة P_lSb بالشكل التالي :

$$P_lSb = \frac{m^2}{4}P_c \qquad (2-14)$$

٣ – نحسب الاستطاعة الكلية في الاشارة AM والتي ستكون مساوية الى مجموعة استطاعة الحامل مع الاستطاعة الموجودة في الحزمتين الجانبيتين العلوية و السفلية

$$P_t = P_c + P_{LSb} + P_{USb} \qquad (2-15)$$

وبما أن الجهد الأعظمي في الحزمتين الجانبيتين متساوي ويساوي $\frac{mE_c}{2}$

فان الاستطاعة في الحزمتين متساوية اي ان :

$$P_{LSb} = P_{LSb} = P_{USb} = \frac{m^2}{4}.P_c \qquad (2-16)$$

بتبديل العلاقة (16 - 2) في العلاقة (15 - 2) نجد :

$$P_t = P_c + \frac{m^2}{4}P_c + \frac{m^2}{4}P_c$$

$$P_t = P_c\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \qquad (2-17)$$

تمثل هذه العلاقة الاستطاعة الكلية في اشارة AM ويرمز لها بـ P_t

حالة خاصة :

عندما يكون عامل التعديل $m = 1$ (تعديل تام) نجد ان :

$$P_t = P_c(1 + \frac{1}{2}) = \frac{3}{2}P_c \Rightarrow P_c = \frac{2}{3}P_t$$

أي أن استطاعة الحامل تساوي 2\3 الاستطاعة الكلية ، أي أن الحامل يأخذ استطاعة كبيرة دون فائدة لأن المعلومات متمركزة في الحزم الجانبية .

وتكون الاستطاعة في الحزمتين :

$$P_s = P_t - P_c = P_t - \frac{2}{3}P_t = \frac{1}{3}P_t$$

وهذا يعني أن الاستطاعة في الحزمتين الجانبيتين تساوي نصف استطاعة الحامل .

ملاحظة :

- يمكن حذف إشارة الحامل واحدى الحزم الجانبية بدون فقدان للمعلومات ، لأن المعلومات تبقى موجودة في الحزمة الباقية .

٢ ـ ٥ ـ مردود التعديل :

يعرف مردود التعديل على انه النسبة المئوية لاستطاعة الحزم الجانبية الحاملة للمعلومات إلى الاستطاعة الكلية للإشارة AM المعدة للارسال ويرمزله η ويكتب بالشكل :

$$\eta = \frac{2 \times P_{sb}}{P_t} \times 100 = \frac{2(\frac{m^2}{4}P_c)}{P_c + \frac{m^2}{2}P_c} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\frac{m^2}{2}}{1 + \frac{m^2}{2}} = \frac{m^2}{2 + m^2} \times 100$$

وإذا كان عامل التعديل $m = 1$ يكونُ مردود التعديل :

$$\eta = \frac{1}{2+1} = \frac{1}{3} = 33.33\%$$

نستنتج

من ذلك بأن مردود التعديل في حالة التعديل باشارة جيبية وبنسبة تعديل 100% لا تتعدى 33.33% و تقل عن ذلك إذا قلّ عامل التعديل ، لذلك يفضل أن تعمل منظومة التعديل السعوية بنسبة تعديل قريبة من 100% من اجل تحقيق اكبر قدر من مردود التعديل .

مثال ٤ :

اوجد الاستطاعة في كل من المركبات الطيفية لإشارة تعديل سعوي ، اذا كان $E_c = 30$ v وان نسبة التعديل 66.7 % والمقاومة الفعلية $R = 50\Omega$.

الحل :

- استطاعة الحامل هي :

$$P_c = \frac{E_c^2}{2R} = \frac{(30)^2}{2 \times 50} = 9 \text{ watt}$$

- استطاعة الحزمة الجانبية العلوية :

$$P_{usb} = \frac{m^2 . P_c}{4} = \frac{(0.667)^2}{4} \times 9 = 1 \text{ watt}$$

- الاستطاعة بالحزمة الجانبية العلوية = الاستطاعة بالحزمة الجانبية السفلية = 1 واط

- الاستطاعة الكلية للإشارة AM :

$$P_t = P_c + P_{Usb} + P_{Lsb}$$

$$P_t = 9 + 1 + 1 = 11 \quad \text{watt}$$

مثال ٥:

إذا كانت استطاعة الحامل للموجة المعدلة سعويا هي 40 watt ، والاستطاعة الكلية للحزمتين هي 8 watt ، ما هو عامل التعديل .

الحل :

الاستطاعة في الحزمة الجانبية الواحدة = 4 watt لان الاستطاعة في الحزمتين متساوية .وباستخدام علاقة الاستطاعة في الحزمة الواحدة نكتب :

$$PSb = \frac{m^2}{4} P_c \Leftrightarrow 4 = \frac{m^2}{4} \times 40 \Rightarrow$$

$$m^2 = \frac{16}{40} \Rightarrow m = 0.63$$

مثال ٦ :

محطة ارسال AM تعمل باستطاعة أعظميه 50 KW ونسبة تعديل 95%

- ما هي الاستطاعة المرسلة في الحزم الجانبية .

الحل : $P_t = P_c(1+\frac{m^2}{2}) \Leftrightarrow 50KW = P_c(1+\frac{(0.95)^2}{2})$

الاستطاعة في الحامل $P_c = 34.5\ Kw$

- الاستطاعة في الحزم الجانبية:

$$P_t = P_c + P_{usb} + P_{lsb}$$
$$P_s = P_{usb} + P_{lsb} = P_t - P_c$$
$$P_s = 50 - 34.5 = 15.5KW$$

٢ ـ ٦ ـ المعدلات السعوية :

المعدل هو دارة إلكترونية تقوم بتوليد الإشارة المعدلة من واقع إشارة الحامل واشارة المعلومات الداخلة لها ، ويتكون المعدل بشكل عام من أداة غير خطية ، أو أداة متغيرة مع الزمن ، وتعتبر عملية الضرب لإشارتين أساسا لنظم التعديل الخطية .

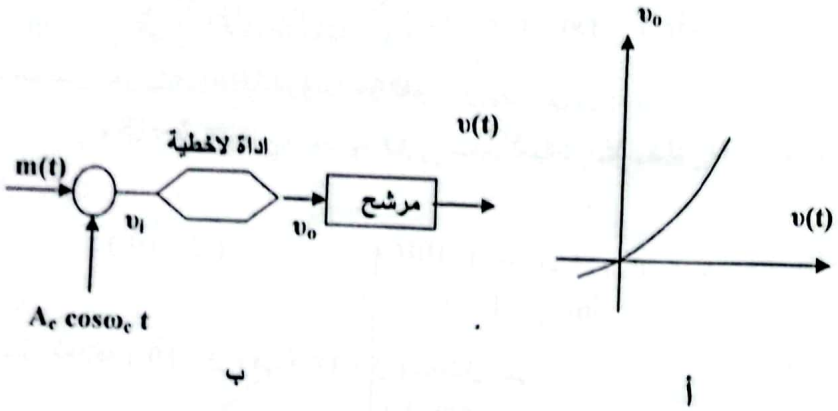
توجد عدة أنواع من المعدلات بعضها يقوم بعملية التعديل عند مستوى الاستطاعة المنخفضة ، ويتم بعدها تكبير الإشارة المعدلة الى المستوى المطلوب ، وبعضها يقوم بعملية التعديل عند مستوى الاستطاعة العالي المطلوب للإرسال ، حيث يتم تكبير إشارة الحامل ، وإشارة المعلومات الى المستوى المطلوب قبل إجراء عملية التعديل .

سنقدم فيما يلي بعض مبادئ المعدلات :

٢ ـ ٦ ـ ١ ـ المعدل بقانون أسي تربيعي :

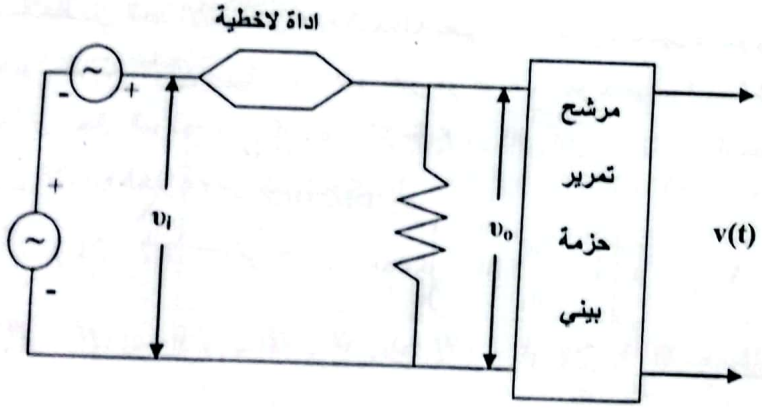
يتكون هذا المعدل من أداة غير خطية ذات علاقة أسية بين الدخل والخرج ومرشح تمرير حزمة ترددية كما الشكل (٢ ـ ٧) .

لتوضيح كيف يقوم هذا المعدل بعملية التعديل وتوليد الإشارة المعدلة سنجري التحليل التالي كما بالشكل (٢ ـ ٨) .



الشكل (٢ ـ ٧)

أ ـ خصائص الأداة ب ـ مكونات المعدل



الشكل (٢ ـ ٨)

دارة المعدل

بفرض ان :

$\cos\omega_c.t$: هي إشارة الحامل .

$m_{(t)}$: هي إشارة المعلومات .

خصائص تحويل الأداة الإلكترونية هو قانون تربيعي أي ان :

$$V_o = a_1.V_i + a_2.V_i^2 \qquad (2-18)$$

حيث ان :

$$V_i = m_{(t)} + \cos\omega_c.t \qquad (2-19)$$
$$|m_{(t)}| \le 1$$

بتبديل العلاقة (19 - 2) في (18 - 2) نحصل على .

$$V_{o(t)} = a_1.m_{(t)} + a_1.\cos\omega_c.t + a_2.\left[m_{(t)}^2 + \cos^2\omega_c.t + 2m_{(t)}.\cos\omega_c.t\right]$$

$$V_{o(t)} = a_1.m_{(t)} + a_2.m_{(t)}^2 + a_2\cos^2\omega_c.t + a_1\left[1 + \frac{2a_2}{a_1}m_{(t)}\right]\cos\omega_c.t$$

..... (2 - 20)

نـــلاحظ بأن الحد الأخير من هذه المعادلة يعبر عن إشـــارة تعديل ســعوي ، وان الحدود الثلاثة الأولى من اليسار تعتبر غير مرغوبة ، ويتم حذفها بواسطة المرشح وبما ان مجال المرشح متمركز على التردد f_c ، وكافي لتقرير الإشارة المعدلة لذلك تكون الإشارة الخارجة من المرشح كما يلي :

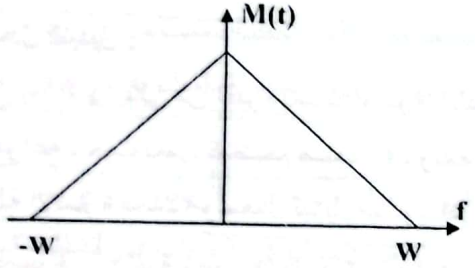
$$V_{o(t)} = a_1\left[1 + \frac{2a_2}{a_1}m_{(t)}\right]\cos\omega_c.t \qquad (2-21)$$

تمثل هذه المعادلة إشارة معدلة سعويا بعامل تعديل قدرة $\frac{2a_2}{a_1}$ ، وبمطال أعظمي للحامل قدرة $E_c = a_1$.

ومن اجل سهولة فصل الحدود المرغوبة عن الحدود الغير مرغوبة، لجري تحويل فوريه للمعادلة (20 - 2) فنحصل على :

$$V_{o(f)} = a_1.m_{(t)} + a_2.M_{(t)} * M_{(t)} + \frac{a_1}{2}\delta_{(t)} + \frac{a_2}{2}\delta(f - 2f_c)$$
$$+ \frac{a_2}{2}\delta(f + 2f_c) + \frac{a_1}{2}\left[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)\right] +$$
$$2a_2\left[M(f - f_c) + M(f + f_c)\right]$$

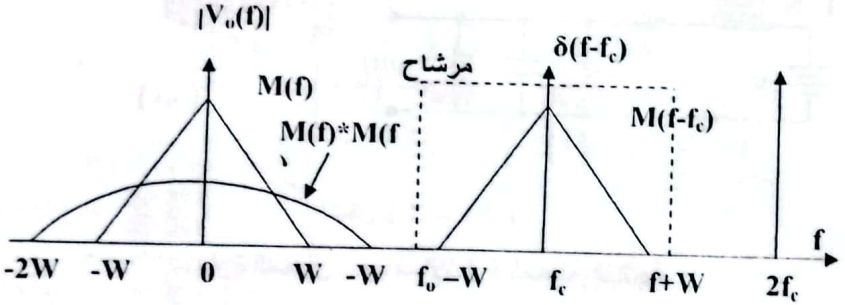
إذا فرضنا أن طيف إشارة المعلومات $M_{(t)}$ هو كما في الشكل (٢ – ٩)



الشكـــــل (٢ – ٩)

طيف إشارة المعلومات

نحصل على طيف الخرج $V_{o\,(t)}$ والمبين على الشكل (٢ – ١٠)



الشكـــــل (٢ – ١٠)

طيف الإشارة $V_{o\,(t)}$

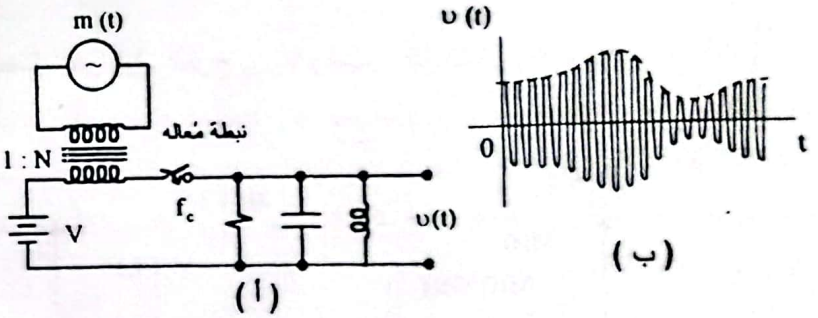
نلاحظ من الشكل (٢ – ١٠) انه إذا كانت $f_c - \omega > 2\omega$ او $f_c \geq \omega$ لا يحدث تداخل بين مجال الإشارة المعدلة سعوياً ، ومجال الاشارات الغير مرغوبة ، لذلك فمن السهل الفصل بينهما بواسطة مرشح تمرير حزمة مرتكزة حول تردد f_c ، وله عرض حزمة قدرها $B = 2\omega$.

إذا الشرط المطلوب تحقيقه عند استخدام معدل بقانون تربيعي هو $f_c \geq 3\omega$

حيث أن ω هو عرض حزمة اشارة المعلومات

٢ – ٦ – ٢ – معدل التبديل :

يمكن تنفيذ معدلات بمستوى عالي من القدرة باستخدام أدوات تبديل مثل الصمامات والترانزيستور بأنواعه ، حيث تعمل كمضخم صنف C ، وكمفتاح تبديل ، يتم التحكم فيه بواسطة الإشارة الحاملة وبمعدل تبديل مساويا لتردد الحامل ، أي أن المفتاح يقفل لمدة قصيرة $\frac{1}{f_c}$ ثانية ، يبين الشكل (٢ – ١١) مثالاً لهذا النوع من المعدلات .



الشكل (٢ – ١١)

أ – دارة المعدل ب – الإشارة المعدلة الناتجة

يتم اختيار تردد دارة الرنين حتى يكون مساويا لتردد الحامل f_c ، فعندما تكون $m_{(t)} = 0$ فإن :

$$v_{(t)} = V.\cos\omega_c t$$

وبإضافة إشارة المعلومات $m_{(t)}$ إلى جهد التغذية بواسطة محول تكون إشارة

الخرج :

$$v_{(t)} = [V + N.m_{(t)}]\cos\omega_c t$$

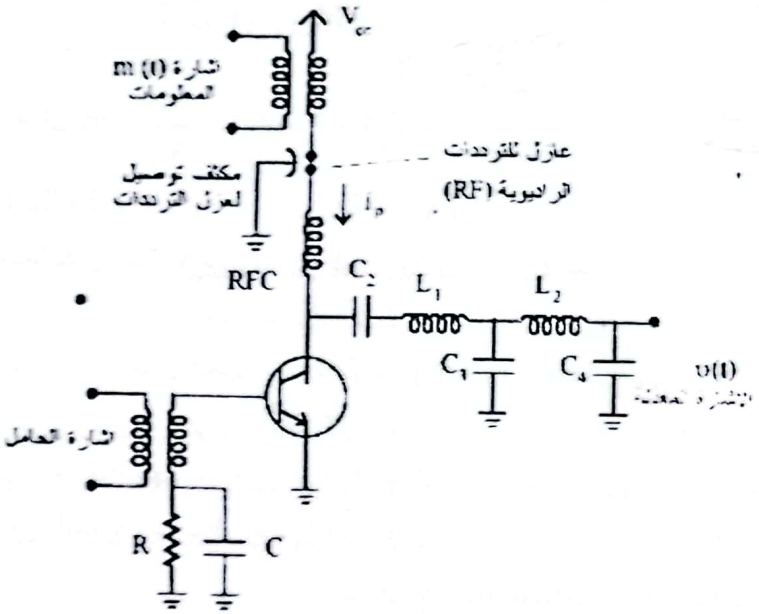
حيث ان N : نسبة عدد لفات المحول ويتم اختيار قيم V ، N حتى تحقق مستوى التعديل المطلوب .

تستخدم في محطات الارسال الإذاعية مضخمات صنف C ، التي تمتاز بمردود عالي لتوليد الاستطاعة ، وتمكن من التعديل بمستوى عالي للاستطاعة ، وتحدث عملية التعديل نتيجة للخصائص الغير خطية للمضخم .

تستخدم دارة الرنين لاختيار الإشارة المعدلة المطلوبة ، وحذف الإشارات الاخرى الغير مرغوبة .

سنقدم فيما يلي **مثالاً** لدارة معدل باستخدام ترانزيستور :

يستخدم الترانزيستور بدلاً من الصمام في الحالات التي تتطلب استطاعة ارسال منخفضة كما هو مبين في الشكل (٢ – ١٢)



الشكل (٢ – ١٢)

دارة معدل باستخدام ترانزيستور

نلاحظ من الشكل بان مطال إشارة الخرج للترددات الراديوية يكون معدلا بواسطة الجهد المغذى إلى المجمع الذي يتغير مع إشارة المعلومات $m_{(t)}$ ، ويكون بذلك جهد المجمع متغير عن طريق محولة الربط ، وتكون إشارة التعديل الصوتية على التسلسل مع V_{cc} عندما يكون جهد التغذية للمضخم RF ثابت اي (عدم وجود تعديل) فان جهد المجمع سيكون مساويا جهد التغذية V_{cc}

تقوم دارة الرنين باختيار الإشارة المعدلة وحذف بقية الإشارات الغير مرغوب فيها اما وظيفة الملف الخانق RFC فهي عزل إشارة الحامل عن ممر الإشارة الصوتية (اشارة المعلومات) وخط تغذية الاستطاعة وإذا كانت إشارة المعلومات عبارة عن اشارة جيبية من الشكل :

$$m_{(t)} = V_{pk}.\sin 2\pi f_m t$$

من اجل هذه الإشارة يكون الجهد الواصل والمغذى للمجمع :

$$V_{ce} = V_{cc} + V_{pk}.\sin 2\pi f_m t$$

$$V_{ce} = V_{cc}(1 + \frac{V_{pk}}{V_{cc}}.\sin 2\pi f_m t)$$

وبما أن $\frac{V_{pk}}{V_{cc}} = m$ (عامل التعديل) فيكون لدينا :

$$V_{ce} = V_c c(1 + m.\sin 2\pi f_m t) \quad \text{..... (2 - 22)}$$

عندما يكون عامل التعديل مساويا الصفر أي ان $m = 0$ نحصل على

$V_{ce} = V_{cc}$ ..... (حالة عدم التعديل)

وعندما يكون عامل التعديل مساويا الواحد ($m = 1$) نحصل على

$$V_{ce} = V_{cc} + V_{cc}.\sin 2\pi f_m t$$

في هذه الحالة يجب ان يكون مطال الجهد الصوتي لإشارة المعلومات المرتبط مع ثانوي المحولة مساويا إلى جهد التغذية أي ان :

$$V_{pk}(audio) = V_{cc}$$

تقدر استطاعة محطات الإرسال AM , FM التلفزيونية بـ 50 kw أو اكثر .

وهذه الأجهزة تتطلب جهد مصعد عالي ولا نجدها إلا في تقنية الصمام الإلكتروني

ويستخدم الترانزيستور في اجهزة الإرسال التي لا تتجاوز استطاعتها 10 KW

٢ – ٦ – ٣ – الكاشف السعوي (كاشف الغلاف)

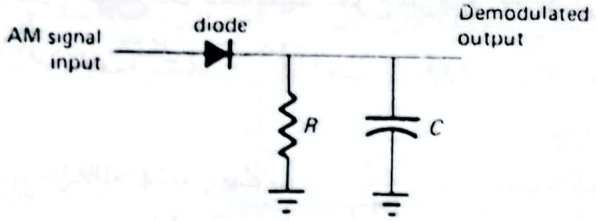
تسمى عملية فصل إشارة المعلومات من الإشارة المعدلة سعويا بعملية كشف الإشارة وتتم بعملية معاكسة لعملية التعديل ، والدارة المستخدمة هي المبينة على الشكل (٢ – ١٣) وتسمى بكاشف الغلاف .

ان الجهد الحاصل بين طرفي المكثفة C يتبع الذروات الموجبة للحامل المعدل خلال عملية الشحن وفي الفترات التي يكون فيها الحامل سالب يتم تفريغ المكثفة .

سوف ندرس كاشف الغلاف بحالتين :

أ – بوجود مكثف بالدارة .

ب – بدون وجود مكثف .



الشكل (٢ – ١٣)

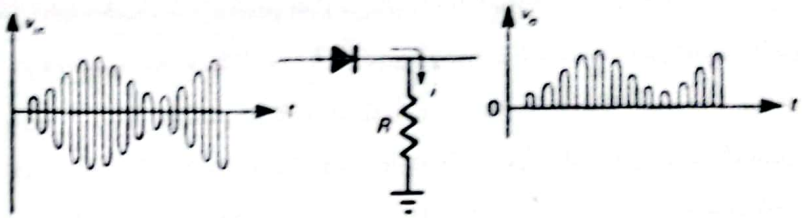
كاشف الغلاف أو كاشف المطالات الأعظمية

أ – عند عدم وجود المكثفه :

يكون خرج الكاشف حاويا فقط الذروات الموجبة لإشارة الدخل ، وسوف ترتفع القيمة المتوسطة لجهد الخرج V_0 وتنخفض بنفس معدل تغير إشارة المعلومات الصوتية كما هو مبين على الشكل (٢ – ١٤) ، ونحتاج هنا إلى عملية ترشيح لتنعيم إشارة المعلومات الناتجة في خرج الكاشف .

في هذه الدارة يعمل الثنائي على توصيل التيار عندما يكون جهد الدخل V_{in} اكبر من جهد الخرج V_0 ، ويحدث هذا عندما يكون vin اكبر من جهد قطع الثنائي والذي

يكون بحدود 0.2V ، اذا كان الثنائي مصنوع من الجرمانيوم .

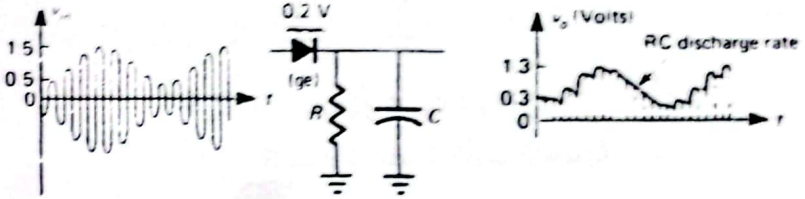


الشكل (٢ – ١٤)

كاشف الغلاف مع عدم وجود مكثفة

ب – عند وجود المكثفه :

في هذه الدارة تكون القيمة المتوسطة لجهد الخرج متزايدة ، وبذلك يزداد مردود الكاشف ، كما هو مبين بالشكل (٢ – ١٥) .



الشكل (٢ – ١٥)

الاشارة على خرج الكاشف

يقوم المكثف بالشحن حتى القيمة الاعظمية الموجبة لمطال نبضات الحامل المعدل ويكون الثنائي بحالة توصيل للتيار ، ويتوقف المكثف عندها عن الشحن ويكون بذلك جهد الخرج v_o اكبر من جهد الدخل v_{in} ويتوقف عندها الثنائي عن التوصيل وتبدأ عندها المكثفة بتفريغ شحنتها ببطء في المقاومة R(اثناء كون الحامل سالب)

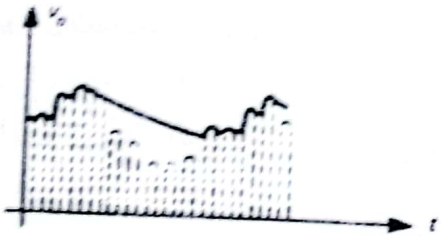
حتى تبدأ الموجة الثانية الموجبة للحامل المعدل مسببة زيادة في جهد الدخل v_{in} ويبدأ الثنائي بالتوصيل وشحن المكثفة من جديد حتى القيمة الاعظمية الجديدة لمطال الحامل المعدل ، والنتيجة تكون ان جهد الخرج سيكون تابعا لمطالات اشارة الدخل AM مع ضياعات تحدث بسبب هبوط الجهد عبر الثنائي ، لكن جهد الخرج v_o سيبقى محتفظا بتموجات ترددية عالية كما هو مبين على الشكل (٢ – ١٥) حيث يمكن تنعيم هذا التموج باضافة وحدة ترشيح . ونلاحظ بأن إشارة المعلومات الحاصلة على خرج الكاشف هي عبارة عن جهد بقيمة متوسطة 0.8 v .

- تشوه القص المائل :

يجب اختيار قيم المكثفة C والمقاومة R في دارة خرج الكاشف بحيث نجعل عمليه الكشف مثالية .

من الشكل (٢ – ١٦) **تلاحظ** انه عندما تكون المكثفة C كبيرة فان المكثفة لن تفرغ شحنتها بسرعة كافية من اجل جهد الخرج v_o المتعلق بالمتغيرات السريعة لغلاف الاشارة AM . والنتيجة تكون ان معظم المعلومات سوف تضيع اثناء زمن التفريغ .

تسمى هذه الحادثة بعملية القص المائل بسبب ظهور ميلان منحنى التفريغ .



الشكل (٢ – ١٦)

القص المائل

يحسب الثابت الزمني المثالي من تحليل عملية القص المائل ، وبمقارنة معدل التفريغ (Rc) المطلوب من اجل عامل تعديل منخفض و المبين على الشكل

(٢- ١٧- A) مع معدل التفريغ المطلوب من اجل نفس إشارة التعديل لكن مع عامل تعديل عالي و المبين على الشكل (٢ – ١٧ – B) ، نجد بوضوح بأن عامل التعديل m هو مقدار هام وان الثابت الزمني المناسب يعتمد على تردد التعديل الأعظمي لإشارة المعلومات $f_m(max)$ وعلى عامل التعديل m وبمعرفة المقاومة R يمكن حساب القيمة الأعظمية لسعة المكثفة C بحيث تكون إشارة خرج الكاشف هي المعلومات بدون تشويه بالعلاقة :

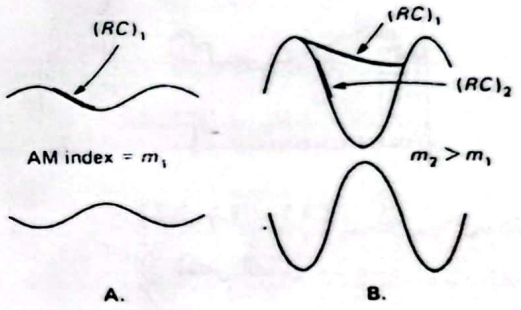
$$C \le \frac{\sqrt{(\frac{1}{m^2} - 1)}}{2\pi R f_m(max)}$$

وبشكل عام يتم اختيار قيمة R_c بحيث تكون كبيرة بالنسبة لدورة الحامل $\frac{1}{f_c}$

وقصيرة بالنسبة لدورة إشارة المعلومات $\frac{1}{f_m}$ أي أن :

$$\frac{1}{f_c} < R_c < \frac{1}{f_m}$$

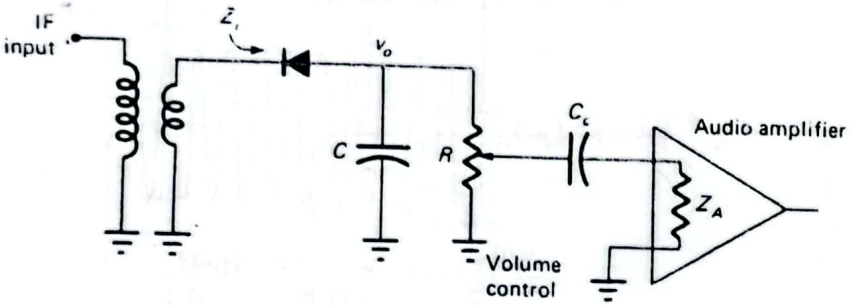
وبذلك يكون خرج الكاشف متتبعا لغلاف الإشارة المعدلة ولكن مضافا اليه إشارة من المنشار ذات تردد الحامل كما هو موضح في الأشكال السابقة ، ويمكن إزالة هذا التشويه باستخدام المرشحات .



الشكل (٢ – ١٧ – A – B)

عامل التعديل المطلوب لأقصر ثابت زمني R_c

يبين الشكل (٢ – ١٨) دارة كاشف كاملة مع التحكم في مستوى الصوت ومضخم الصوت ، حيث ان إشارة المعلومات في خرج الكاشف تكون مرتبطة مع المضخمات الصوتية عن طريق المكثفة C_c ، وتكون هذه المكثفة بقيمة عالية كي تسمح بمرور الترددات الصوتية المنخفضة وتمنع مرور التيار المستمر إلى المضخم الصوتي أي أنها تشكل وسيلة عزل ما بين دارة المضخم الصوتي وجهد V_o . ويشترط أن تكون ممانعة دخل المضخم الصوتي Z_A اكبر من ممانعة خرج الكاشف كي تلغي التشويه الناتج عن قص الذروات للإشارة .



الشكل (٢ – ١٨)

دارة الكاشف الكاملة مع التحكم بالصوت

٢ – ٧ – نظام التعديل بحزمتين جانبيتين مع كبت الحامل DSB - SC :

هو احد عائلات التعديل السعوي ، تولد هذا النظام لحل مشكلة القدرة العالية للحامل والتي تعتبر ضائعة ، ولا علاقة لها بقدرة إشارة المعلومات ، لهذا فبكبت إشارة الحامل نحصل على نظام التعديل DSB - SC ، والصيغة الرياضية لهذا النظام هي :

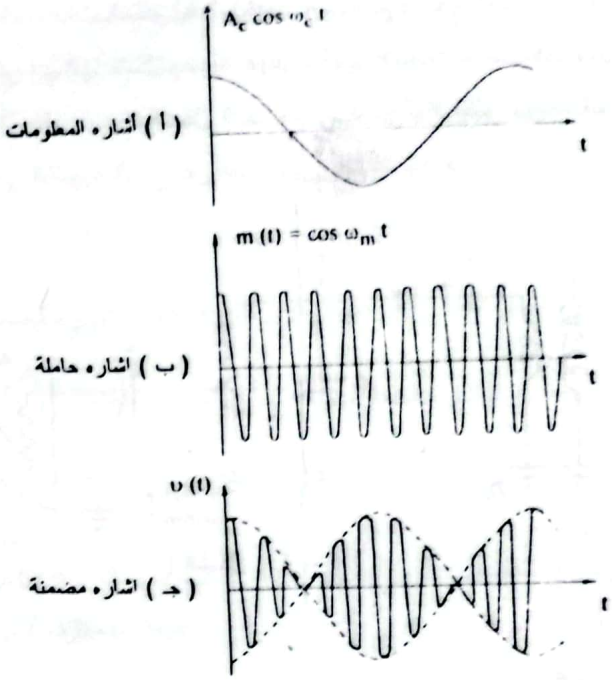
$$V(t) = A_c \cdot m(t) \cdot \cos\omega_c t$$

حيث ان $m(t)$ هي إشارة المعلومات و $AC.\cos\omega_c t$ هي إشارة الحامل .

عندما لاتوجد إشارة معلومات اي : ($m(t) = 0$) ، فإن الإشارة المعدلة سعويا $v(t) = 0$ تكون معدومة . إذا كانت إشارة المعلومات عبارة عن إشارة جيبية من الشكل $m(t) = \cos\omega_m t$ تصبح الإشارة المعدلة كما يلي :

$$v(t) = Ac.\cos\omega_m t \,.\, \cos\omega_c t \qquad (2-23)$$

وهذه الإشارة موضحة على الشكل (٢ – ١٩) .



الشكل (٢ – ١٩)

أ – إشارة المعلومات ب – إشارة الحامل ج – الإشارة المعدلة DSB - SC

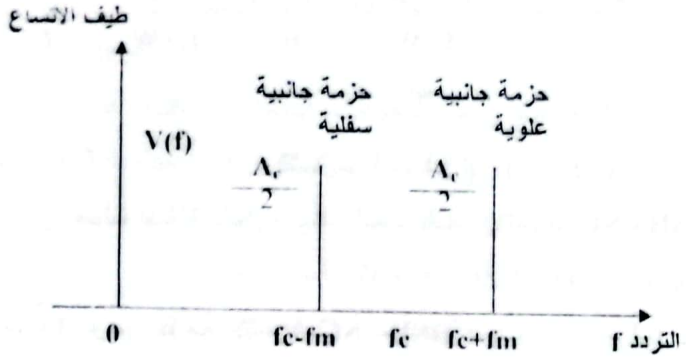
نلاحظ من الشكل بان غلاف الإشارة المعدلة لا يشبه إشارة المعلومات ، وان القيمة السالبة لإشارة المعلومات تنعكس في طور إشارة الحامل ، إي إنه كلما تغيرت $m(t)$ يحدث تغير في طور الإشارة المحمولة بمقدار 180° .

٢ – ٧ – ١ – طيف الإشارة DSB - SC

ننطلق من المعادلة (23 - 2) للحصول على الطيف والتي يمكن كتابتها باستخدام العلاقات المثلثية بالشكل التالي :

$$v(t) = \frac{A_c}{2}.\cos(\omega_c - \omega_m)t + \frac{A_c}{2}\cos(\omega_c + \omega_m)t$$

وبرسم الطيف الخطي لهذه المعادلة نحصل علي الشكل (٢ – ٢٠) .

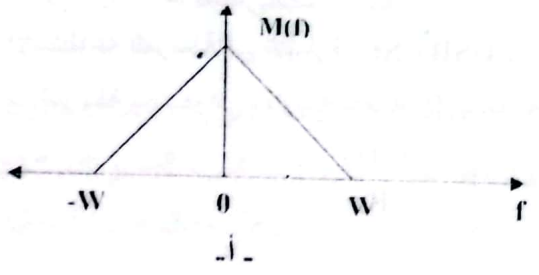


الشكل (٢ – ٢٠)

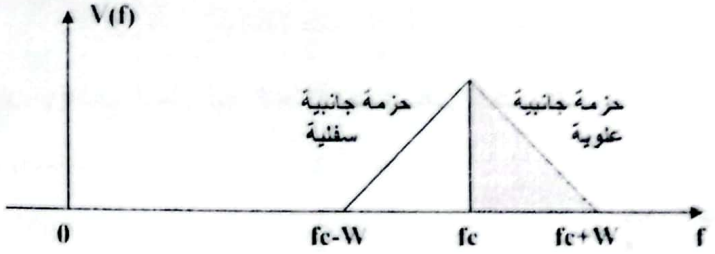
طيف الإشارة المعدلة سعويا DSB - SC

نـلاحظ من الشكل بان الطيف يحتوي على حزمتين جانبيتين علوية وسفلية فقط ولا يحتوي على إشارة الحامل .

في حالة إذا كانت اشارة المعلومات غير جيبية ولها طيف ما مثل (f) M في هذه الحالة نطبق تحويل فورييه على المعادلة (23 - 2) للحصول على طيف الإشارة (f)v ، وفي هذه الحالة يكون طيف الإشارة المعدلة وطيف اشارة المعلومات كما هو مبين على الشكل (٢ – ٢١) .



- أ -



- ب -

الشكل (٢ – ٢١)

١ – طيف إشارة المعلومات ب – طيف الإشارة DSB - SC

٢ – ٧ – ٢ عرض حزمة الإشارة DSB - SC :

من الأشكال السابقة (٢ – ١٤) ، (٢ – ١٥) نجد ان :

١ – عند وجود إشارة معلومات جيبية ، فان عرض الحزمة الترددية الذي يشغله طيف الإشارة المعدلة بحزمتين فقط هو :

$$B = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m$$

٢ – عند وجود إشارة معلومات غير جيبية يكون لدينا :

$$B = f_c + \omega - (f_c - \omega) = 2\omega$$

حيث ان : f_m – هو تردد الإشارة الجيبية .

ω – هو أعلى تردد في طيف إشارة المعلومات .

نستنتج مما سبق أن عرض الحزمة الترددية للإشارة DSB - SC يساوي ضعف أعلى تردد في طيف إشارة المعلومات أي ان $B = 2\omega$ وهو نفس عرض حزمة الإشارة المعدلة سعويا مع حامل AM .

٢ – ٧ – ٣ – الاستطاعة المرسلة في الإشارة DSB - SC :

تعطى الاستطاعة المرسلة عبر هوائي مقاومته الفعلية R بالعلاقة :

$$p_t = \frac{v^2(t)}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-24)$$

نعوض العلاقة (23 - 2) في (24 -2) نحصل على :

$$p_t = \frac{A_c^2}{2R} . m^2(t)$$

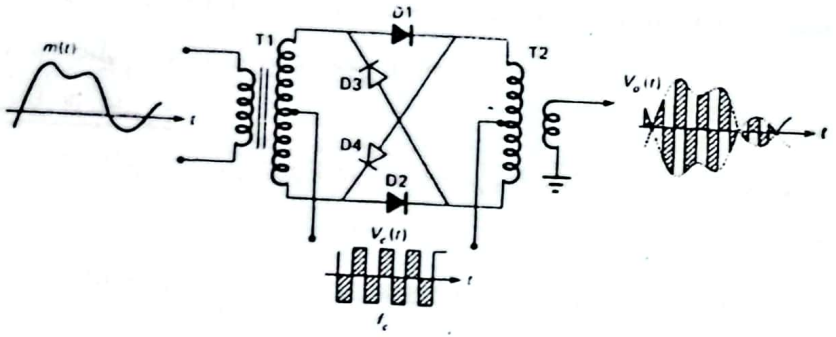
حيث أن $m^2(t)$ تمثل استطاعة إشارة المعلومات .

٢ – ٧ – ٤ – معدل إشارة DSB - SC (المعدل المتوازن)

Balanced -Modulator

نـــظرا لأن الحامل لا يحتوي على معلومات فيمكن كبتة كليا ، او جزئيا ، وهذا يعطي نظام اسمه (DSB - SC) ، حيث يكون الوفر في استطاعة الحامل كبير ، إلا ان الحامل يجب إعادته بطرف الاستقبال لكي تستعاد الإشارة وتسمى الدارات التي تستخدم لتوليد DSB - SC بالمعدلات المتوازنة .

يبين الشـكل (٢ – ٢٢) الدارة المستخدمة لإنتاج الإشارة المعدلة سعويا بحامل مكبوت،تمثل هذه الدارة مازج مضاعف التوازن ، وتتكون الدارة من أربعة ثنائيات متصلة على شكل حلقة، ويتم اختيارهم بحيث تكون انواعهم وخصائصهم متطابقة.



الشكل (٢ – ٢٢)

المعدل الحلقي المتوازن

تعمل الثنائيات D1 , D2 والزوج الاخر D3 , D4 بشكل متناوب (بحالة تمرير وعدم تمرير) بواسطة إشارة الحامل ذات التردد العالي $v_c(t)$ ، ويمكن ان تكون هذه الإشارة جيبية أو مربعة بتردد f_c . ويكون مطال إشارة الحامل اكبر بكثير من

مطال إشارة المعلومات .

يوضح الشكل (٢ – ٢٣) كيف يسبب الحامل وبشكل متناوب تغير قطبية إشارة المعلومات m(t) عند الخرج .

نلاحظ من الشكل (٢ – ٢٣ – A) أن قطبية إشارة الحامل موجبة وبذلك تصبح الثنائيات (D1 - D2) ذات ممانعة منخفضة ومنحاز ان اماميا ويمكن إهمالهما في حين أن الثنائيين (D3 - D4) تكون مقاومتهما عالية ويصبحان كدارة مفتوحة (انحياز عكسي) أي لا تمرر ان الاشارة ، وبذلك تمر عينة الإشارة m (t) عبر الدارة إلى خرجها وتكون قطبيتها موجبة .

وفي الشكل (٢ – ٢٣ – B) تكون قطبية الحامل سالبة وبذلك تكون الثنائيات (D3 - D4) بحالة توصيل (انحياز امامي) ، بينما الثنائيات (D1 - D2) تكون بانحياز عكسي (عدم توصيل) ، أي دارة مفتوحة ، وبذلك تكون عينة الإشارة m(t) الخارجة تحمل قطبية سالبة ، وتتكرر هذه العمليات كل نصف دورة من دورات الحامل لتتولد الإشارة DSB - SC .

وتكون إشارة الخرج $v_o(t)$ مضروبة بـ ± 1 بشكل متناوب ويعود هذا إلى وضع إشارة الحامل بالنسبة للثنائيات وحسب m(t) .

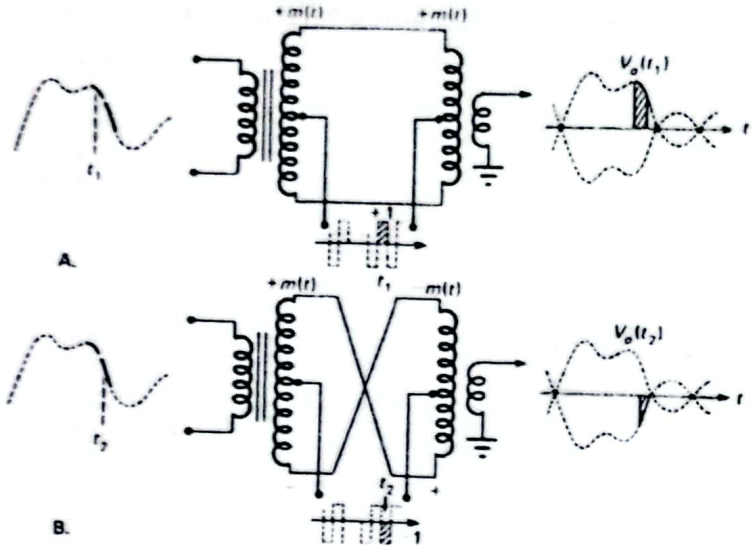
التحليل الرياضي :

بفرض أن إشارة الحامل عبارة عن موجة مربعة بمطال يساوي الواحد ومن الشكل:

$$v_c(t) = \sin 2\pi f_c t + \frac{1}{3}\sin 2\pi(3f_c)t + \ldots + \frac{1}{n}\sin 2\pi(nf_c)t$$

حيث ان n وجميع التوافقيات النافذة تكون موجودة .

ويمكن مكافئة الدارة الفيزيائية بجداء الإشارة $v_c(t)$ مع إشارة المعلومات المولدة m(t) ويكون الخرج :



الشكل (٢ – ٢٣)

عكس اطوار المعدل المتوازن

$$v_o(t) = m(t) \times v_c(t)$$

$$v_o(t) = m(t).\sin 2\pi f_c t + \frac{1}{3}m(t).\sin 2\pi(3f_c)t + \ldots$$

بفرض ان اشارة التعديل من الشكل :

$$m(t) = A.\cos 2\pi f_m t$$

تصبح علاقة الخرج كما يلي :

$$v_o(t) = A\cos 2\pi f_m t.\sin 2\pi f_c t + \frac{A}{3}.\cos 2\pi f_m t.\sin 2\pi(3f_c)t + \ldots$$

وباستخدام العلاقة المثلثية :

$$\cos A.\sin B = \frac{1}{2}\sin(A-B) + \frac{1}{2}\sin(A+B)$$

تصبح إشارة الخرج بالشكل :

$$v_o(t) = \frac{A}{2}\sin 2\pi(f_c - f_m)t + \frac{A}{2}\sin 2\pi(f_c + f_m)t + \quad (2-25)$$

$$\ldots\frac{A}{6}\sin 2\pi(3f_c - f_m)t + \frac{A}{6}\sin 2\pi(3f_c + f_m)t \ldots$$

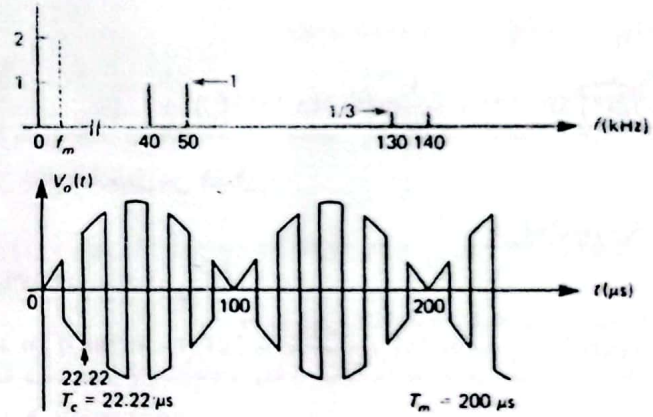
ومن اجل المعطيات التالية :

$f_m = 5$ KHz , $A = 2v$, $f_c = 45$ KHz

نستطيع ان نكتب المعادلة (2 - 25) بالشكل :

$$\left.\begin{aligned} v_o(y) = &\sin 2\pi(40)t \\ &+ \sin 2\pi(50)t \\ &+\frac{1}{3}\sin 2\pi(130)t \\ &+\frac{1}{3}\sin 2\pi(140)t + .. \end{aligned}\right\} \ldots\ldots(2-26)$$

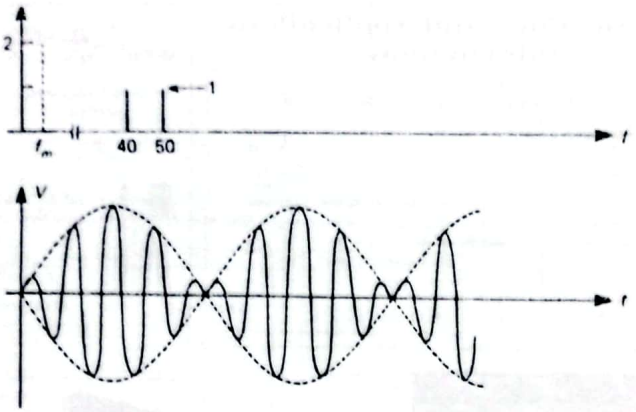
يبين الشكل (٢ – ٢٤) الرسم التخطيطي للمعادلة (26 - 2) في المجالين الزمني و الترددي .



الشكل (٢ – ٢٤)

الحزم الجانبية للإشارة DSB - SC .

إذا رشحنا إشارة الخرج $v_o(t)$ فان المجموعة الأولى فقط من الحزم الجانبية يتم ارسالها وتحذف التوافقيات وتصبح النتيجة كما هو مبين على الشكل (٢ – ٢٥)



الشكل (٢ – ٢٥)

الإشارة DSB - SC بعد ترشيح التوافقيات العالية

يمكن استخدام الدارات المتكاملة نوع M 1596 , M 1496 ذات الترددات الحاملة الأكبر من 100 MHz كأجهزة معدلة وكاشفة للإشارة DSB - SC ويظهر الشكل (٢ – ٢٦) مواصفات هذه الدارات بما فيها اشكال الموجة DSB - SC والطيف .

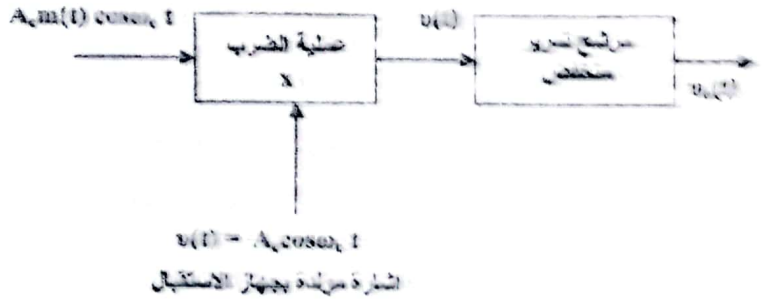
٢ – ٧ – ٥ – كشف إشارة المعلومات من الإشارة : DSB - SC

يتم كشف إشارة المعلومات $m(t)$ من الإشارة المعدلة بطريقة معاكسة لعملية التعديل . وتتطلب عملية الكشف مايلي :

١ – توليد إشارة مطابقة لإشارة الحامل من حيث التردد والطور .

٢ – دائرة إلكترونية للقيام بعملية ضرب الإشارة المستقبلة بالإشارة المولدة .

٣ – مرشح تمرير منخفض لعزل إشارة المعلومات عن بقية الإشارات الغير مرغوبة كما بالشكل (٢ – ٢٧) .



الشكل (٢ – ٢٧)

مخطط كاشف الإشارة

التحليل الرياضي :

من الشكل كتب :

$$v(t) = A_c . m(t) . \cos\omega_c t . \cos\omega_c t$$

$$= A_c . m(t) \cos^2 \omega_c t$$

$$= \frac{A_c}{2} . m(t) + \frac{Ac}{2} . m(t) . \cos 2\omega_c t$$

يمر هذه الإشارة خلال مرشح تمرير منخفض يعرض حزمة ترددية مساوي لعرض حزمة الإشارة $m(t)$ نحصل على :

$$v_o(t) = \frac{A_c}{2} . m(t) \qquad (2 - 27)$$

وهي إشارة المعلومات المطلوبة .

٢ – ٧ – ٦ – بيان تأثير اختلاف تردد أو طور إشارة الحامل المولدة بجهاز الاستقبال عن تردد أو طور الإشارة المستقبلة على الإشارة المكشوفة :

أ – نفرض أن الإشارة المولدة لها طور إضافي قدرة Φ أي أن :

$$v_L(t) = \cos(\omega_c t + \Phi)$$

وحسب الشكل (٢ – ١٩) نحصل على :

$$v(t) = A_c.m(t).\cos\omega_c(t).\cos(\omega_c t + \Phi)$$

$$= \frac{A_c}{2}.m(t).\cos\Phi + \frac{Ac}{2}m(t).\cos(2\omega_c t + \Phi)$$

$$v_o(t) = \frac{A_c}{2}m(t).\cos\Phi \qquad (٢-٢٨)$$

وبذلك نحصل على إشارة المعلومات المطلوبة ، ولكن مضروبة بمعامل $\cos\Phi$ وهو يعتمد على الطور الإضافي للإشارة المولدة .

إذا كان الطور $\Phi = \frac{\pi}{2}$ فإن $\cos\Phi = ٠$ وتكون $v_o(t) = ٠$ أي أن إشارة الخرج تكون معدومة وتختفي إشارة المعلومات ، وهذا يدل على أهمية أن يكون طور الإشارة المولدة محليا مساويا لطور الإشارة المستقبلة .

ب – عندما تكون الإشارة المولدة لها تردد إضافي قدرة Δf أي أن :

$$v_L(t) = \cos(\omega_c + \Delta\omega)t$$

وتكون إشارة الخرج مساوية إلى :

$$v_o(t) = \frac{A_c}{2}.m(t).\cos(\Delta\omega t) \qquad (٢-٢٩)$$

أي أن الخرج بعد المرشح يحتوي على إشارة المعلومات $m(t)$ مع إنزياح بالمركبات الترددية التابعة للإشارة $m(t)$ بمقدار إضافي Δf وهو التردد الإضافي للإشارة المولدة محلياً .

وعمليا إذا كان التردد الإضافي $\Delta f \le 30Hz$ فإنه يعتبر مقبول ولا يشعر به المستمع ، وعلية يجب ضمان استقرار تردد إشارة الحامل عند الإرسال وعند

الاستقبال بحيث لا يصل الفارق الترددي بينهما ٣٠Hz .

نلاحظ مما سبق أن هذا النظام بما يوفره من اقتصاد في الاستطاعة الضائعة مقارنة مع نظام التعديل السعوي DSB إلا أنه يضيف تعقيدات في أجهزة الاستقبال مما يزيد من تكلفة الجهاز

٢ – ٨ – التعديل بحزمة جانبية وحيدة : SSB - SC

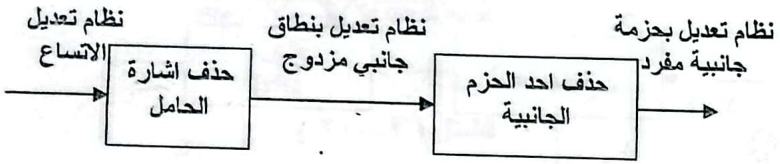
بما أن المعلومات توجد في إحدى الحزم الجانبية فقط ، فعند كبت إحداهما العليا والدنيا يحقق لدينا وفر في الإستطاعة وفي عرض الحزمة .

إن الوفر بالاستطاعة يساوي ٢ % من استطاعة الحامل بالنسبة لعامل تعديل قدرة $m = ٠,٣$

حيث أن الاستطاعة بحزمة جانبية وحيدة تساوي :

$$p_{sb} = \frac{m^2}{4}.pc = \frac{(0.3)^2}{4}.pc \approx 0.02\ pc$$

أما الوفر في عرض الحزمة فهو ٥٠ % لأن كل حزمة تعطي نصف الطيف يتم الحصول على هذا النظام بحذف الحامل وأحد الحزم الجانبية كما بالشكل(٢ – ٢٨)



الشكل (٢ – ٢٨)

توليد نظام التعديل ssb – sc

ويعتبر هذا النظام تحسين للنظامين المدروسين سابقاً ، ولكن سيئته هو أنه يتطلب إعادة توليد إشارة الحامل ، وهذا يتطلب بعض التعقيدات في جهاز الاستقبال.

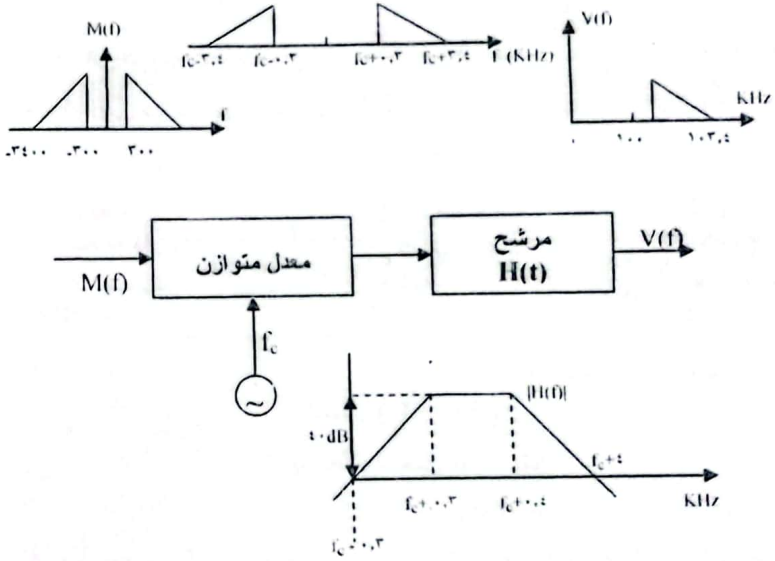
٢ – ٨ – ١ – توليد الإشارة : SSB - SC

يتم توليد إشارة ssb - sc بطريقتين :

١ – طريقة المرشحات :

يتم الحصول على إشارة ssb - sc بهذه الطريقة باستخدام المتوازن وكبت الحزمة الجانبية الغير مطلوبة بواسطة مرشح حزمة ترددية ، ويحتوي الخرج عندها على حزمة جانبية واحدة فقط ، ونكون بذلك حصلنا على نظام ssb - sc والمخطط الصندوقي لهذه الطريقة مبين على الشكل (٢ – ٢٩) .

إن الصعوبات العملية بهذه الطريق تنتج في تصميم المرشح ذو القطع الحاد على الجانبين وباستخدام مرشح ذو عرض حزمة ضيقة ، وهذا يعطي قطعا جيدا ولكنة يسبب خسارة بعض مركبات الحزمة الجانبية .



الشكل (٢ – ٢٩)

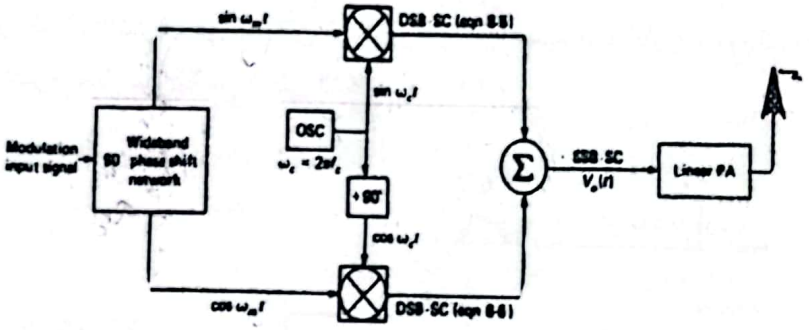
المخطط الصندوقي لنظام ssb - sc

٢ – طريقة الإزاحة الطورية :

يمكن توليد الإشارة ssb - sc من إشارة DSB - SC لحاملين ، يزاح حامل أحدهما بالنسبة للأخر وبالنسبة للإشارة المعدلة بمقدار 90^{o} ، والمخطط الصندوقي لهذه الطريقة مبين على الشكل (٢ – ٣٠) .

التحليل الرياضي :

نفرض أن إشارة الدخل جيبية بتردد قدره ω_m ونفرض كذلك أن مداخل المعدل المتوازن العلوي هي $\sin \omega_c t$ - $\sin \omega_m t$ فيكون الخرج عبارة عن جدائهم ($\sin\omega_c t \cdot \sin\omega_m t$) وباستخدام علاقة الحداء المثلثية نحصل على :



الشكل (٢ – ٣٠)

المخطط الصندوقي لجهاز إرسال بحزمة جانبية وحيدة بطريقة الإزاحة الطورية

$$\sin\omega_m t.\sin\omega_c t = \frac{1}{2}[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] \quad (2-30)$$

أما مداخل المعدل المتوازن السفلي تكون $\cos\omega_m t$, $\cos\omega_c t$ ، وبذلك يكون خرج هذا المعدل وبطريقة مشابهة لما سبق :

$$\cos\omega_m t.\cos\omega_c t = \frac{1}{2}[\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t] \quad (2-31)$$

تمثل المعادلة (2 - 30) الإشارة DSB-SC حيث أن قطبية الحزمة الجانبية

العليا تكون عكس قطبية الحزمة الجانبية العليا في المعادلة (31 - 2) .

ويكون خرج الشبكة الكلية هو حاصل جمع الخرجين أن المعادلتين (30 - 2) ، (31 - 2) ونحصل بذلك على النظام المطلوب ssb - sc

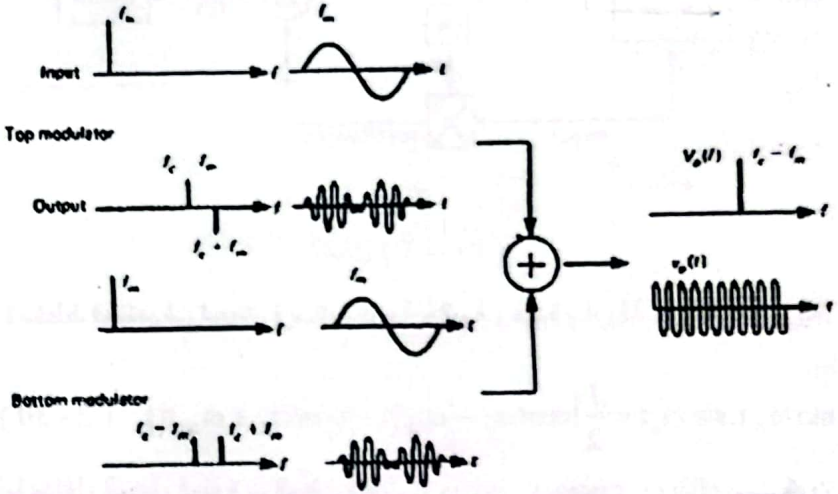
$$v_o(t) = \frac{1}{2}[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t] +$$

$$\frac{1}{2}[\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t]$$

$$v_o(t) = ssb - sc = \cos(\omega_c - \omega_m)t \qquad (2 - 32)$$

تمثل المعادلة(32 - 2) معادلة الحزمة الجانبية الدنيا بمطال قدرة 1 ، بينما التردد هو الفرق بين تردد الحامل وتردد إشارة المعلومات .

إن أشكال الإشارات في المجالين الزمني والترددي حسب هذه الطريقة ، وبالنسبة لإشارة تعديل صوتية مبينة على الشكل (٢ – ٣١) .



الشكل (٢ – ٣١)

الطيف الزمني والترددي الناتج عن طريقة الإزاحة الطورية

إذا استبدلنا الجامع في دارة الخرج بأداة طرح فإننا في هذه الحالة سوف نطرح المعادلة (٣٠ - ٢) من (٣١ - ٢) وسوف يتم إرسال الحزمة الجانبية العليا ، وأيضا إذا عكسنا وضع الحامل أو مداخل الإشارة الصوتية ، فان المعادلات المتوازنة سوف ترسل حزم جانبية معاكسة .

نلاحظ من الأشكال (٢ – ٢٣) بأن عرض الحزمة الترددية المطلوب لتمرير الإشارة يساوي إلى عرض إشارة المعلومات .

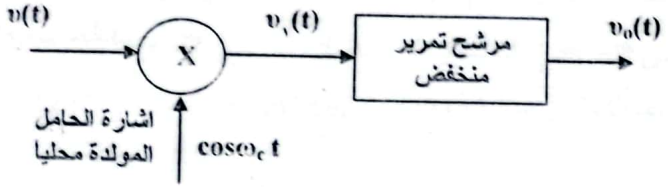
إشارة للمعلومات من $B = f_m$

٢ – ٨ – ٢ – كشف إشارة المعلومات من الإشارة : ssb - sc

يتم كشف الإشارة باستخدام الكاشف المتزامن ، ويتطلب هذا النوع من الكشف المتزامن ما يلي :

١ – تواجد إشارة مماثلة لإشارة الحامل ومتزامنة معها من حيث التردد والطور .

٢ – تتم عملية الكشف بضرب الإشارة المستقبلة بإشارة الحامل المولدة محليا ، ثم تمرير الإشارة الناتجة عبر مرشح تمرير منخفض ذو عرض مساوي لعرض حزمة إشارة المعلومات كما هو مبين على الشكل (٢ – ٣٢) .



الشكل (٢ – ٣٢)

مخطط الكاشف المتزامن

٢ – ٩ – نظام الحزمة الجانبية المتبقية VSB :

يستخدم هذا النظام بكثرة في التلفزيون ويستخدم غالبا في الإرسال التلفزيوني حيث

يحتاج إلى عرض حزمة كبير .

ففي نظام التلفزيون الذي يستخدم ٦٢٥ خط يكون عرض حزمة إشارة الفيديو اللازمة هو ٦ MHz وفي نظام DSB تكون الحزمة الكلية ١٢ MHz ، لكن في نظام vSB ترسل إحدى الحزم ومعها جزء من الحزمة الأخرى مما يؤدي إلى تخفيض في عرض الحزمة الكلي ليصبح في حدود ٨ MHz تقريباً .

٢ – ١٠ – مقارنة بين نظم التعديل الخطية :

نستطيع مقارنة نظم التعديل الخطية من حيث عرض الحزمة المستخدمة ودرجة تعقيد جهاز الاستقبال ، ومما سبق نستطيع الوصول إلى الملاحظات التالية :

١ – يعتبر نظام التعديل السعوي أبسط الأنظمة من حيث درجة التعقيد حيث يستخدم به كاشف الغلاف لكشف إشارة المعلومات ولهذا السبب يستخدم هذا النظام في الإرسال الإذاعي ، حيث أجهزة الاستقبال الراديوية تكون بسيطة وقليلة التكلفة.

٢ – يعتبر النظام SC – SSB من أنسب النظم إذا كان المعيار هو التوفير في استخدام عرض الحزمة الترددية المتاحة .

٣ – يعتبر النظام SC – SSB أقل حساسية لدرجة التزامن المطلوبة في جهاز الاستقبال من النظام SC – DSB ، لذلك يستخدم في منظومات الاتصال للموجات العالية بين نقطتين (من موقع إلى موقع) .

٤ – تعتبر النظم التي تستخدم الكاشف المتزامن أكثر تعقيداً من الأنظمة التي تستخدم كاشف الغلاف .

الفصل الثالث

التعديل الزاوي / اللاخطي /

٣ – ١ – مبادئ التعديل اللاخطي :

إن التعديل الذي ينتج بتغيير طور الإشارة الحاملة يعرف بأنه تعديل لاخطي حيث لا يمكن تطبيق مبدأ التراكب لأن العلاقة بين قيمة الإشارة وطورها علاقة غير خطية ويحكم هذه العلاقة الإشارات الجيبية . يتضمن هذا النوع من التعديل نوعان رئيسيان هما تعديل التردد وتعديل الطور ويمكن تعريفهما كما يلي :

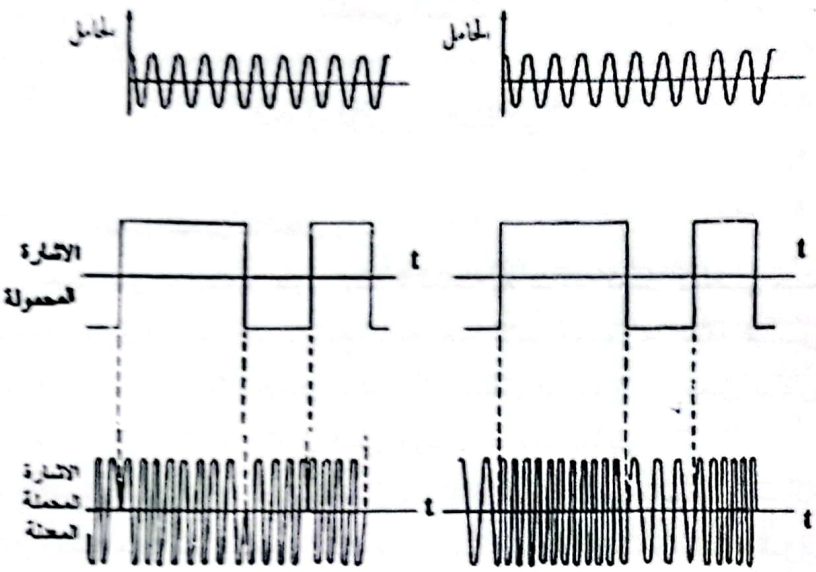
١ – التعديل الترددي : ينتج هذا النوع عند تغيير تردد الإشارة الحاملة بواسطة إشارة المعلومات المراد تعديله ، فإذا كان تردد الإشارة الحاملة والإشارة المراد تعديلها $m(t)$ فإن التردد الخطي الناتج عند التغير يكون :

$$f_i = f_c + k_o.m(t)$$

٢ – التعديل الطوري : ينتج هذا النوع عند تغيير طور الإشارة الحاملة بواسطة إشارة المعلومات المراد تعديلها ، فإذا فرضنا أن طور الإشارة الحاملة هو تابع زمني $\theta(t)$ وأن إشارة المعلومات $m(t)$ فإن الطور اللحظي الناتج بعد التغيير هو

$$\theta_c(t) = \theta(t) + k_o.m(t)$$

وبناءً على التعريفين السابقين فإن الشكل الموجي لإشارة ذات تعديل ترددي وطوري عندما تكون إشارة المعلومات جيبية هو كما بالشكل (٣- ١) .



(٣ – ١)

الشكل الموجي بحالة التعديل الترددي والتعديل الطوري لإشارة جيبية

٣ ـ٢ ـ نظام التعديل الترددي :

يعتمد تعديل التردد تغيير الإشارة المعلومة وينتج عن هذا ،التغير في تردد الإشارة الحاملة زيادة أو نقصان وفقا لطبيعة إشارة المعلومات أي أن التردد اللـــحظي f_i يكون منزاحاً عن تردد الإشارة الحاملة f_c بواسطة إشارة المعلومات $m(t)$.

تحدد القيمة العظمى لإشارة المعلومات القيمة الاعظمية للتغيير في تردد الإشـــارة الحاملة ، ونسمي هذا التغيير باسم الانزياح الترددي لإشارة الحامل $\Delta f_{c(PK)}$.

وبناءً على ذلك يكون الانزياح الترددي متناسباً مع قيمة مطال إشارة المعلومـــات أي أن :

$$\Delta f_c \propto |m(t)|$$

أو $$\Delta f_c = K_o . |m(t)|$$

ويكون الانزياح الأعظمي :

$$\Delta f_{max} = K_o . |m(t)|_{max}$$

وبذلك يمكن التعبير عن تردد الخرج اللحظي بالشكل :

$$f_i = f_c \mp K_o . v_m(t) \qquad (3-1)$$

وبطريقة أخرى نكتب :

الانزياح في تردد الحامل $\Delta f_c = K_o . v_m(t) \ldots$

التردد اللحظي للموجة المعدلة ترددياً $f_i = f_c \mp \Delta f_c \ldots$

عامل التعديل :

يستخدم عامل التعديل في الاتصالات لقياس نسبة مطال إشارة المعلومات إلى مطال إشارة الحامل في الإشارة المعدلة .

للحصول على الموجة الحاملة نفرض أن موجة الحامل تساوي إلى

$$S(t) = A . \cos \theta(t) \ldots \qquad (3-2)$$

حيث أن $\theta(t)$ هو الطور اللحظي للإشارة الحاملة حيث أن ($\theta = 0$ بالبداية) .

لكن التردد الزاوي ω_i هو عبارة عن تغير الطور بالنسبة للزمن .

$$\omega_i = \frac{d\theta}{d_t} \qquad (3-3)$$

تعطي المعادلة (3 - 3) العلاقة بين التردد والطور .

لكن التردد اللاخطي للإشارة المعدلة حسب المعادلة (3 - 1) يكتب بالشكل

$$f_i = f_c + k_o . v_m(t) \qquad (3-4)$$

حيث أن $v_m(t)$: جهد إشارة المعلومات المتغير بالنسبة للزمن .

f_c : تردد الحامل .

$K_o = \frac{Hz}{volt}$ هو مقدار ثابت ويشير إلى حساسية المعدل .

بتبديل قيمة $\omega = 2\pi f_i$ في المعادلة (3 - 3) والتعويض عن قيمة f_i بقيمته من المعادلة (3 - 4) تصبح العلاقة (3 - 3) بالشكل .

$$\frac{d\theta}{d_t} = 2\pi(f_c + k_o.v_m(t)) = 2\pi f_c + 2\pi ko.v_m(t) \qquad (3-5)$$

تمثل المعادلة (5 - 3) معادلة تفاضلية يمكن حلها بالنسبة لـ θ بفصل متغيرات الزمن والطور كما يلي :

$$d\theta = 2\pi f_c.dt + 2\pi k_o.v_m(t).dt$$

بتكامل هذه العلاقة بالنسبة للزمن نحصل على

$$\theta(t) = \int 2\pi f_c.dt + \int 2\pi k_o.v_m(t).dt$$

$$\theta(t) = 2\pi f_c.t + 2\pi k_o \int v_m(t).dt + \theta_o \qquad (3-6)$$

حيث أن θ_o تمثل الطور البدائي عند $t = o$

إذا كانت إشارة المعلومات جيبية ومن الشكل

$$v_m(t) = v_{pk}.\cos 2\pi f_m t$$

تصبح المعادلة (6 - 3) كما يلي :

$$\theta(t) = 2\pi f_c.t + +2\pi k_o \int v_{pk}.\cos 2\pi f_m t dt + \theta_o$$

بإجراء المكاملة وبوضع الثابت الكيفي الجديد θ مع الثابت θ_o مساوية للصفر وباختصار قيمة 2π الناتجة نحصل على :

$$\theta(t) = 2\pi f_c.t + (\frac{k_o.v_{pk}}{f_m}).\sin 2\pi f_m t$$

وبما أن :

$$\Delta f_c(pk) = k_o.v_{pk}$$

$$\theta(t) = 2\pi f_c.t + \frac{\Delta f_c(pk)}{f_m}.\sin 2f_m.t$$

$$\theta(t) = 2\pi f_c t + mf.\sin 2\pi f_m.t \qquad (3-7)$$

حيث أن mf عامل التعديل الترددي ويساوي إلى $\frac{\Delta f_{c(pk)}}{f_m}$.

بتبديل المعادلة (7 - 3) بالمعادلة (2 - 3) نحصل على معادلة الموجة المعدلة

ترددياً بالشكل :

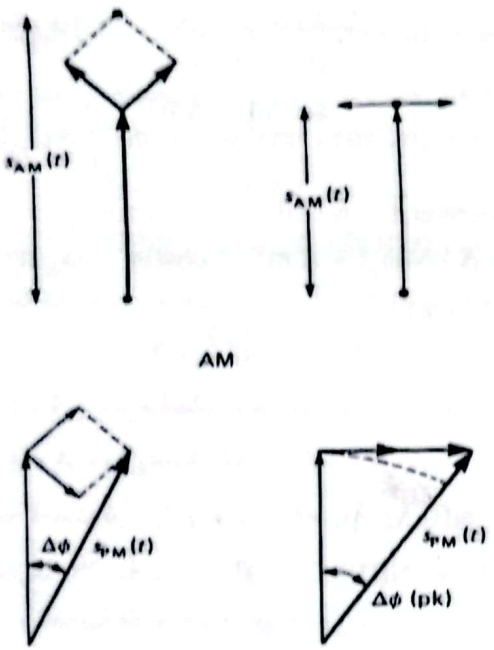
$$S_{FM}(t) = A.\cos[2\pi f_c t + mf.\sin 2\pi f_m t]$$

$$S_{FM}(t) = A.\cos(\omega_c t + mf.\sin\omega_m t).... \qquad (3-8)$$

٣ – ٣ – التعديل الترددي ضيق الحزمة الترددية :

عندما يكون الانزياح الترددي منخفض أي عندما يكون mf < 1 ندعو إشارة (FM) بالحزمة الضيقة ونرمز لها بـ (NBFM) ، حيث يوجد الحامل مع مجموعة حزم جانبية .

يبين الشكل (٣ – ٢) مقارنة أطوار الإشارات AM , FM/PM .



الشكل (٣ – ٢)

مقارنة أطوار الإشارات AM و FM/PM

يمكن حساب طيف الإشارات المعدلة طوريا (FM/PM) من العلاقة (8 - 3) لإشارة FM ، حيث أن A هو الجهد الأعظمي لإشارة الحامل نكتب :

$$v_{FM}(t) = A.\cos(\omega_c t + mf.\sin\omega_m.t) \qquad (3-9)$$

وباستخدام العلاقة المثلثية :

$$\cos(a+b) = \cos b.\cos a - \sin b.\sin a$$

تصبح العلاقة (9 - 3) كما يلي :

$$v_{FN}(t) = A.[\cos(mf.\sin\omega_m t)].\cos\omega_c t - A.[\sin(mf.\sin\omega_m t)].\sin\omega_c t \qquad (3-10)$$

عندما يكون الاتزياح منخفض أي عندما $mf < 1$ فإن التغيرات الزاوية للجيب والتجيب في العلاقة (10 - 3) يمكن تقديرها بالشكل :

$$\cos\Delta\Phi \approx 1$$

$$\sin\Delta\Phi \approx \Delta\Phi$$

وتصبح العلاقة (10 - 3)

$$v_{FM}(t) = A.\cos\omega_c t - A.(mf.\sin\omega_m.t).\sin\omega_c.t$$

$$v_{NBFM}(t) = A.\cos\omega_c t + A.mf/2.\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{A.mf}{2}.\cos(\omega_c + \omega_m)t \qquad (3-11)$$

تمثل المعادلة (11 - 3) إشارة الحامل وحزمتين جانبيتين علوية وسفلية بمطال أعظمي قدره $A.mf/2$ ، وأن مطال الحامل ثابت وهو A .

وهي معادلة الموجة المعدلة ترديديا ذو الحزمة الضيقة NBFM . ومن العلاقة نجد بأن عرض الحزمة اللازمة لإرسال الإشارة NBFM يجب أن تتضمن الحامل ومجموعة من الحزم الجانبية بتردد قدره $\pm\omega_m$ من تردد الحامل ويكون عرض الحزمة مساويا لضعف تردد إشارة المعلومات أي أن : $B_{NBFM} = 2.fm$

٣ ــ ٤ ــ التعديل الترددي عريض الحزمة الترددية :

في هذا النوع من التعديل يكون عامل التعديل أكبر من الواحد $mf >> 1$ وستظهر لدينا مجموعة من الحزم الجانبية الأخرى تغطي طيفا واسعا ولكن

مطالاتها متناقصة ويرمز للحزمة العريضة لإشارة FM بواسطة ωBFM أو نسميها FM بالشكل العام ويعبر عن هذه الحزمة العريضة رياضيا بالعلاقة (10 - 3) من أجل إشارة معلومات جيبية .

إذا كانت إشارة الحامل من الشكل $V_c = A.\sin\theta(t)$ ، وإشارة المعلومات $\sin\omega_m.t$ فإن المعادلة المعدلة ترديديا تكون بشكل مشابهة لما سبق من الشكل

$$V_c(t) = S_{FM}(t) = A.\sin(\omega_c.t - mf\cos\omega_m t) \qquad (3-12)$$

وباستخدام العلاقة المثلثية $\sin(a-b) = \sin a.\cos b - \cos a.\sin b$

تصبح العلاقة (12 - 3) بالشكل :

$$V_c(t) = A.[\sin\omega_c.t.\cos(mf.\cos\omega_m t) - \cos\omega_c.t.\sin(mf.\cos\omega_m t)]$$

إن المقادير $\cos(mf.\cos\omega_m t)$ ، $\sin(mf.\cos\omega_m t)$ يمكن كتابتها على شكل سلسلة ذات مطال متغير حسب توابع بيسيل الغير خطية من الدرجة n .

$$\cos(mf.\cos\omega_m t) = J_o(mf) - 2J2(mf).\cos 2\omega_m.t + 2J4(mf).\cos 4\omega_m t + ...$$

$$\sin(mf.\cos\omega_m.t) = 2J1(mf).\cos\omega_m.t - 2J3(mf).\cos 3\omega_m.t + ...$$

نسمي الأمثال $J_n(mf)$ بتوابع بيسيل من المرتبة n . إن الرسم البياني لتوابع بيسيل $\{J_0 , J_1 , J_2 , ...J_n(mf)\}$ كماهي في الشكل (٣ – ٣) .