

الاتصالات الإلكترونية هي عبارة عن عملية إرسال، واستقبال ومعالجة الإشارة بين محطتين أو أكثر وذلك باستعمال الدوائر الإلكترونية. إن إشارة المعلومات يمكن أن تأخذ إحدى الصيغتين إما إشارة تماثلية (مستمرة) أو إشارة رقمية (متقطعة).

أ تاريخ الاتصالات Historical Review

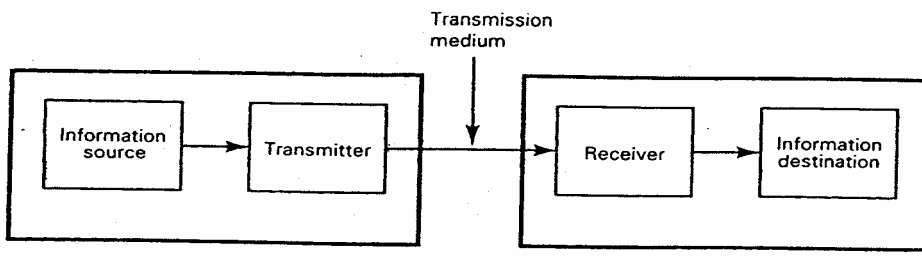
- في سنة ١٨٣٧م استطاع مورس أن يطور أول نظام للاتصالات الإلكترونية.
 - في سنة ١٨٧٦م تم ولأول مرة في التاريخ نقل صوت الإنسان عبر الأسلاك الكهربائية من طرف جراهام بل وتوماس.
 - في سنة ١٨٩٤م بدأت الاتصالات باستخدام موجات الراديو.
 - في سنة ١٩٢٠م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات AM.
 - في سنة ١٩٣٣م اكتشفت موجات FM.
 - في سنة ١٩٣٦م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات FM.
- وبعد أن تم اكتشاف أشباه الموصلات التي أحدثت تقدماً هائلاً في عالم الاتصالات بفضل صناعة الشرائح الإلكترونية الدقيقة والمتناهية في الصغر والتي سمحت لأنظمة الاتصالات الإلكترونية المتطورة والتي تشمل أنظمة رقمية، وأنظمة الميكروبيف، والأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات الضوئية باستعمال الألياف بأن تحول العالم إلى قرية صغيرة.

و يمكن تصنيف أنظمة الاتصالات الإلكترونية إلى نوعين:

نظام الاتصالات التماثلية Analog Communications System هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث ترسل الطاقة وتستقبل على شكل مستمر.

- نظام الاتصالات الرقمية: هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث الطاقة ترسل وتستقبل على شكل مستويات متقطعة مثل +5V والأرضي.

مهما كان نوع نظام الاتصالات فإنه يتشكل من العناصر التالية: منبع لإشارة المعلومات، وقسم الإرسال (المرسال)، والوسط الناقل (والذي بدوره ينقسم إلى قسمين سلكي ولا سلكي)، وقسم الاستقبال (المستقبل). الشكل 1-1 يوضح الأجزاء الرئيسية لأي نظام اتصالات.



الشكل 1-1 يوضح العناصر الأساسية لنظام الاتصالات

٢-١ التضمين وكشف التضمين

إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر الوسط الناقل (قنوات الاتصال المتاحة) ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتضمين حيث تستعمل إشارة النطاق الترددي الأساسي (إشارة ذات تردد ضعيف) لتعديل بعض خصائص الموجة الحاملة العالية التردد.

وهذه الموجة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجبة عالية التردد والتي تولد من طرق المذبذب الموضوعي والمتواجد في قسم الإرسال. والمذبذب هو عبارة عن دائرة إلكترونية والتي تنتج موجة ذبذبات عند الخرج والتي تغذي فقط عند الدخل بواسطة جهد مستمر.

تستعمل إشارة المعلومات والتي يطلق عليها إشارة التضمين في تعديل التردد أو الطور. ولهذا يمكن أن نقول أن هناك ثلاثة أنواع من التضمين وهي:

١ - تضمين السعة (AM) : وهو عبارة عن تغيير سعة أو اتساع الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع إشارة التضمين أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تضمين السعة (Amplitude Modulation).

٢ - تضمين التردد (FM) هو عبارة عن تغيير تردد الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغيير الذي يطرأ على إشارة التضمين أما الموجة الناتجة تدعى موجة تضمين التردد (Frequency Modulation).

٣ - تضمين الطور (PM) وهو عبارة عن تغيير في طور الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغيير الحاصل في إشارة التضمين نفسها أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تضمين الطور (Phase Modulation).

أما عملية كشف التضمين أو ما يسمى كذلك بإزالة التضمين هي عبارة عن عملية استخلاص إشارة المعلومات (إشارة التضمين أو إشارة النطاق الأساسي الأصلية) من الموجة الحاملة.

نود التنبيه على أن عملية التضمين تتم في قسم الإرسال أما الإشارة الناتجة من عملية التضمين والتي يمكن أن يطلق عليها الموجة المضمنة (modulated wave) ويمكن أن تكون إحدى الأنواع الثلاثة التي

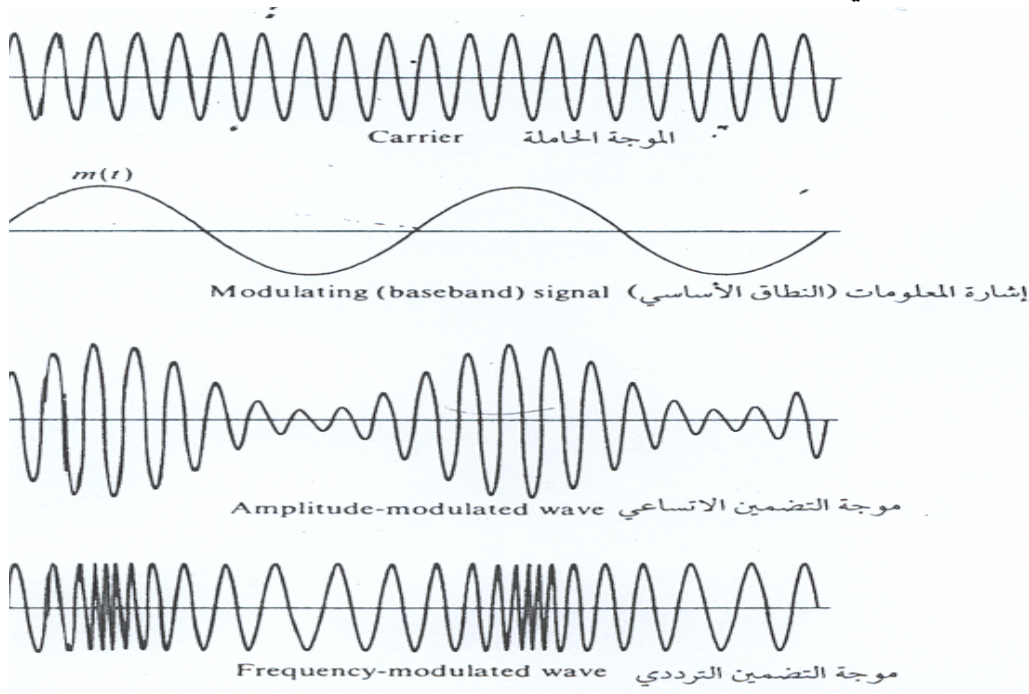
سبق ذكرها فإما أن تأخذ صيغة AM أو FM أو PM حسب طبيعة التضمين الذي تم في قسم الإرسال. أما الإشارة التي تخرج من قسم الاستقبال فهي تدعى الإشارة المستخلصة (Demodulated Signal).. كما هو موضح في الشكل 1-2

هناك سؤال مهم جداً يطرح نفسه ويطرحة كل قارئ لماذا عملية التضمين؟ وهل هي عملية ضرورية في الاتصالات؟ وهل يمكن الاستغناء عنها؟ للإجابة على هذا السؤال سوف نناقش بعض الأسباب المهمة لعملية التضمين وهي:

Ease of Radiation

أ - سهولة الإشعاع

لكي يتم بث الموجات المغناطيسية بكفاءة فإن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود 10٪ من طول موجة الإشارة المرسله. وبالنسبة لكثير من إشارات النطاق الترددي الأساسي (إشارات المعلومات) فإن أطوال الموجات تكون كبيرة جداً لدرجة أن أبعاد الهوائيات المطلوبة تتجاوز الأرقام المعقولة. وكمثال فإن موجة الصوت تتركز في الترددات بين 100 هيرتز و 3000 هرتز. أي إن أطوال موجاتها تتراوح بين 100 كم و 3000 كـم على الترتيب مما يستدعي هوائيات ذات أطوال غير عملية (في حدود 10 كم إلى 300 كم). وبدلاً من ذلك يتم تضمين الموجة الحاملة العالية التردد ذات طول موجي صغير مما يتطلب استعمال هوائيات عملية ذات أقل تكلفة. وبذلك يتم بث الموجة المغناطيسية التي تحمل إشارة المعلومات بكفاءة عالية. وكمثال فلو كان تردد الموجة الحاملة 100 جيجاهرتز لكان الطول الموجي لها 300 سم. وبالتالي يمكن استعمال هوائي يبلغ من



الشكل 1-2 أنواع التضمين.

الطول 30سم. ومن هذه الناحية فإن عملية التضمين تشبه حمل إشارة التردد الأساسي فوق موجة جيبيية عالية التردد (الحامل). ويمكن تشبيه الموجة الحاملة وإشارة المعلومات بقلم وورقة: فلو أردنا أن نرسم الورقة بحالها فلن تذهب بعيداً، ولكن لو لففنا الورقة حول القلم، فإننا نستطيع أن نرسمها إلى مسافة أطول.

ب - النقل المتزامن لعدة إشارات Simultaneous Transmission of many Signals

أفرض أن عدداً من محطات الإذاعة تبث إشارتها الصوتية مباشرة وبدون أي تعديل. بطبيعة الحال سوف تتداخل هذه الإشارات لأن طيفها الترددي يشغل النطاق نفسه تقريباً. ولهذا فلن يكون من الممكن بث أكثر من قناة إذاعية واحدة في الوقت نفسه. وإحدى الطرق الناجحة لحل مثل هذه المعضلة تكمن في استعمال التضمين حيث يمكن تضمين إشارات صوتية متعددة فوق حوامل ذات ترددات مختلفة وبهذا فإننا ننقل كل إشارة إلى نطاق ترددي مختلف. وإذا كانت ترددات الموجات الحاملة بعيدة عن بعضها بما فيه الكفاية فإن أطراف الإشارات المضمنة لن تتداخل مع بعضها، ويمكن في جهاز الاستقبال استعمال مرشح إمرار نطاقي قابل للتغيير لاختيار الإشارة أو المحطة المرغوبة. وتعرف بتقسيم التردد Frequency Division Multiplexing (FDM) حيث تشترك إشارات مختلفة في استعمال النطاق الترددي للقناة بدون أي تداخل.

Electromagnetic Spectrum

٣-١ الطيف الكهرومغناطيسي

تنقسم ترددات الموجات الكهرومغناطيسية التي يجري إرسالها إلى أنظمة الاتصالات المعتادة إلى ثمانية أقسام رئيسية. وتتمتع كل هذه الأقسام بمواصفات إرسال خاصة تجعلها مناسبة لعدد من التطبيقات. ويبين الجدول 1-1 هذه الأقسام الثمانية إلى جانب أطوال موجاتها، ويمكن استخلاص أطوال الموجات هذه اعتماداً على القانون التالي:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m] \quad (1-1)$$

حيث: يمثل طول الموجة بالمتري

C: سرعة الضوء = 300000000 م/ث

f: تردد الموجة بالهرتز.

القسم	الترددات	أطوال الموجات
قسم الترددات المنخفضة جداً (VLF)	3kHz-30kHz	100km-10km
قسم الترددات المنخفضة (LF)	30kHz-300kHz	10km-1km
قسم الترددات المتوسطة (MF)	300kHz-3MHz	1000m-1km
قسم الترددات العالية (HF)	3MHz-30MHz	1000m-10m
قسم الترددات العالية جداً (VHF)	30MHz-300MHz	100m-10m
قسم الترددات المتفوقة (UHF)	300MHz-3GHz	10m-1m
قسم الترددات الفائقة (SHF)	3GHz-30GHz	10cm-1cm
قسم الفائقة للغاية (EHF)	30GHz-300GHz	1cm-1mm

حيث نعني بـ V: very , L: Low , H: High , F: Frequency , M: medium ,
 .E: Extremely, S: Super, U: Ultra

مثال ١-١

أ. أوجد الطول الموجي (λ) لكل من الترددات التالية

1 كيلو هرتز (1 KHz)

100 كيلو هرتز (100 KHz)

10 ميغاهرتز (10 MHz)

ب. ماذا تستنتج؟

الحل:

أ. باستعمال العلاقة (1-1) نجد

$$f = 1000 \text{ Hz} : \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1000} = 300 \text{ Km}$$

$$f = 10^5 \text{ H} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^5} = 3 \text{ Km}$$

$$f = 10^6 \text{ Hz} : \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^6} = 30 \text{ m}$$

ب. من خلال الأرقام التي حصلنا عليها نستنتج أنه كلما زاد التردد قل طول الموجة، وهذا يوضح لنا لماذا موجات الميكروبييف (أو الموجات الدقيقة) تستعمل في الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية لأن أطوال موجاتها قصيرة جداً كما يوضح الجدول 1-1 وبالتالي بإمكان الموجة اختراق الغلاف الجوي بكل سهولة ولا يحدث لها انعكاس كما في الترددات المنخفضة والمتوسطة وبالتالي تلتحق هذه الموجات بالأقمار الصناعية ليعاد إرسالها إلى المناطق المرغوبة.

والآن بعدما عرفنا الأقسام الرئيسية لطيف الترددات المغناطيسية نلقي الضوء فيما يلي على بعض التطبيقات الهامة ضمن كل من هذه الأقسام.

أ - قسم الترددات المنخفضة جداً (VLF). ومجال الترددات المنخفضة (LF) ويستخدم أساساً في الملاحة .

ب - قسم الترددات المتوسطة (MF): يستخدم غالباً في البث الإذاعي المعتاد.

ج - قسم الترددات العالية (HF): ويستخدم في بعض الهواتف، والاتصال بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

د - قسم الترددات العالية جداً (VHF): ويستخدم في بعض أنظمة التلفاز والإرسال الإذاعي، وأنظمة التحكم بالحركة الجوية، وأنظمة اتصالات الشرطة، وغيرها.

هـ - قسم الترددات المتفوقة (UHF): ويستخدم أيضاً في بعض أنظمة التلفاز، وعدد من أنظمة الرادار، والأقمار الصناعية.

و قسم الترددات الفائقة (SHF): يستخدم في عدد من أنظمة الرادار المختلفة وفي توصيلات موجات الميكروبييف، وعدد من أنظمة الاتصالات المتحركة.

ز - قسم الترددات الفائقة للغاية (EHF): ويستخدم في بعض أنظمة القطارات، وبعض أنظمة الرادار. ونظراً لاتساع مجالات الترددات العليا، وإمكاناتها في استيعاب العديد من التطبيقات، فإنها قسمت بدورها إلى عدد من الأقسام حيث وضع لكل قسم اسم ورمز كما يوضحه الجدول 1-2.

بالإضافة إلى ما سبق من مجالات ترددات معروف يقل في معظم تردداته عن قسم الترددات المنخفضة وهذا يعرف بقسم الترددات الصوتية Voice Frequency VF، حيث تقع تردداته ما بين 300-3400 هرتز.

الرمز الحالي	الرمز السابق	نطاق الترددات
C	VHF	500 MHz - 1GHz
D	L	1GHz - 2GHz
E	S	2GHz - 3GHz
F	S	3GHz - 4GHz
G	C	4GHz - 6GHz
H	C	6GHz - 8GHz
I	X	8GHz - 10GHz
J	X	10GHz - 12.4GHz
J	Ku	12.4GHz - 18GHz
J	K	18GHz - 20GHz
K	K	20GHz - 26.5GHz
K	Ka	26.5GHz - 40GHz

نود أن نلتف الانتباه بأن مجموع الأقسام التالية UHF , SHF , EHF هي جزء من مجال ترددات الميكروبيف المحصورة بين (300MHz – 300GHz).

أما الترددات التي تفوق قسم الترددات الفائقة EHF فتتقسم إلى عدة أقسام وهي:

أ - قسم الترددات الضوئية ويبدأ هذا القسم عن حوالي 10^{12} Hz ويمتد حتى يتجاوز 10^{16} Hz, وينقسم إلى ثلاثة مجالات هي: الأشعة تحت الحمراء infrared, والضوء المرئي Visible, والأشعة فوق البنفسجية ultraviolet.

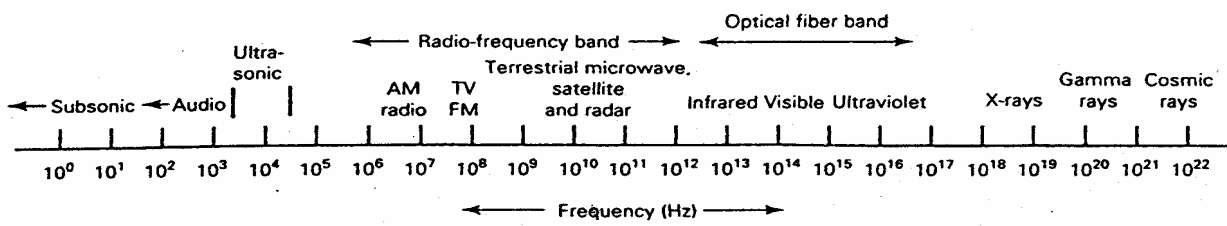
ب - قسم ترددات الأشعة السينية X-rays ويقع ضمن نطاق يتوسطه التردد 10^{18} Hz.

ج - قسم ترددات أشعة جاما Gama rays؛ ويفوق مجال تردداتها الأشعة السينية ويتداخل معه ويقع ضمن ترددات يتوسطه 10^{20} Hz على وجه التقريب.

د - قسم ترددات فوتونات الأشعة الكونية (cosmic photons) ويتجاوز هذا المجال مجال أشعة جاما ويصل إلى أكثر من التردد 10^{32} Hz.

أما ترددات الاتصالات عبر الألياف البصرية Fiber Optics وترددات الليزر Laser تقع ضمن الترددات الضوئية أما الضوء المرئي فهو يشكل جزءاً محدوداً من مجال الترددات الضوئية ويقع هذا الجزء بين بداية الضوء الأحمر (4.285×10^{14} Hz) وحتى نهاية الضوء البنفسجي (7.5×10^{14} Hz).

يمكن أن نعبر على كل ما سبق ذكره من مختلف أقسام الترددات بالشكل 1-3.



الشكل 1-3 ترددات الطيف الكهرومغناطيسي

Bandwidth

١-٤ عرض النطاق

يعتبر عرض النطاق أحد العناصر الأساسية بجانب الضوضاء الذي يقلل من كفاءة نظم الاتصالات. هنا يجب التمييز بين نوعين من عرض النطاق. هناك عرض نطاق إشارة المعلومات (BW_{inf}) وعرض نطاق قناة الإرسال أو ما يسمى كذلك عرض قناة النقل (BW_{ch}). فإن عرض نطاق إشارة المعلومات فهو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى المحتويين ضمن إشارة المعلومات. أما عرض نطاق القناة هو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والأدنى اللذين تسمح لهما القناة بالمرور. وبالتالي نخلص إلى القاعدة التالية حتى تنقل إشارة المعلومات عبر أي قناة لا بد أن يكون عرض نطاق إشارة المعلومات أقل أو يساوي عرض نطاق القناة. أي

$$BW_{inf} \leq BW_{ch} \quad (1-2)$$

BW_{inf} : عرض نطاق إشارة المعلومات

BW_{ch} : عرض نطاق إشارة المعلومات.

مثال 1-2

إذا كان نظام الإرسال التلفزيوني الذي يستخدم الكوابل للنقل له عرض نطاق من 500 كيلو هرتز إلى 5000 كيلو هرتز.

أ. احسب عرض نطاق القناة (BW_{ch}).

ب. هل هذه القناة تسمح بمرور الإشارات الصوتية؟

ج. هل تتمكن الإشارات ذات الترددات العالية العبور خلال هذه القناة؟

الحل:

أ. عرض نطاق القناة

$$BW_{ch} = 5000 - 500 = 4500 \text{ KHz}$$

ب. عرض نطاق الإشارة الصوتية ($BW_{information}$)

$$BW_{inf} = 3400 - 300 = 3100 \text{ KHz}$$

واضح أن هذه القناة تسمح للإشارات الصوتية بالمرور لأن عرض نطاق هذه القناة أكبر من عرض نطاق الإشارات الصوتية.

ج. عرض نطاق إشارات ذات الترددات العالية

$$BW_{inf} = 30 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 27 \text{ MHz}$$

واضح أن هذا النوع من الإشارات لا يمكنها العبور خلال هذه القناة لأن عرض نطاقها أكبر بكثير من عرض نطاق القناة.

Transmission Modes

٥-١ أنماط الإرسال

إن الإرسال في نظام الاتصالات الإلكترونية لا بد أن يصمم حسب الاحتياجات التالية:

أ. الإرسال في اتجاه واحد ويدعى Simplex (SX) وكمثال على ذلك المذياع والتلفاز .

ب. الإرسال المتناوب وهو يتم في اتجاهين لكن ليس في نفس الوقت وهو يدعى Half Duplex (HDX) وكمثال على ذلك نظام المذياع ذو اتجاهين (اضغط لكي تتكلم) .

ج. الإرسال في اتجاهين هنا الإرسال يتم في اتجاهين وفي نفس الوقت ويطلق عليه Full Duplex (FDX), وكمثال على ذلك نظام الهاتف و الجوال.

د. الإرسال متعدد الاتجاهات في هذا النوع من الإرسال يمكن إرسال واستقبال إلى ومن عدة محطات وفي آن واحد ويطلق عليه Full/Full Duplex (F/FDX) وكمثال على ذلك خدمات البريد.

Noise

٦-١ التشويش

يعتبر التشويش أحد العوائق الرئيسية لأنظمة الاتصالات وكما يقال لولا التشويش لاستطعنا أن نرسل المعلومة إلى أبعد ما يمكن. ويعرّف على أنه الطاقة غير المرغوب فيها التي تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الاتصالات لتشارك الإشارة الأصلية بالمرور عبر هذه العناصر.

ينقسم التشويش إلى نوعين رئيسيين هما:

Uncorrelated Noise

١-٦-١ التشويش غير المرتبط بالإشارة

وهو عبارة عن التشويش الذي ليس له علاقة بالإشارة الأصلية المطلوب نقلها عبر أنظمة الاتصالات, وهو ينقسم إلى قسمين:

أ. التشويش الخارجي External Noise

وهو عبارة عن التشويش الذي يتولد من طرف مصادر خارجية أي ليس له علاقة بالدوائر الإلكترونية المستخدمة في أنظمة الاتصالات لكن يؤثر فيها وكمثال على ذلك: ضوء الغلاف الجوي, وضوء أشعة الشمس, وضوء الأشعة الكونية, والضوء الناتجة من صنع الإنسان.

ويقصد به التأثيرات الغير المرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدوائر الإلكترونية، مثل المقاومات وغيرها، والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها عبر هذه الدوائر. وللتشويش الداخلي أشكال متعددة تنتج عن أسباب مختلفة وكمثال على ذلك تشويش جونسون Johnson Noise وينشأ بسبب ارتفاع درجة الحرارة في مكونات الدوائر الكهربائية.

فارتفاع درجة الحرارة يزيد الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات في المادة. ويؤدي ذلك إلى إشعاع طاقة كهرومغناطيسية تظهر على هيئة جهد تشويش غير مرغوب فيه. ويقع جهد التشويش هذا ضمن ما يسمى بالتشويش الأبيض White Noise، أي الذي يشمل جميع الترددات. ويزداد هذا التشويش كلما ازداد عرض نطاق ترددات نظام الاتصالات. أما المثال الثاني على التشويش الداخلي فيتمثل في التشويش الناتج عن مشاكل التغذية الكهربائية لمكونات الدوائر الإلكترونية في أنظمة الاتصالات. ويتضمن هذا التشويش أثر الطلقة Shot noise وتشويش التقسيم Partition noise. ويقصد بأثر الطلقة الجهد المتغير الناتج عن تغير تيار التغذية الكهربائية في الوقت الذي يفترض بهذا التيار أن يكون ثابتاً. أما تشويش التقسيم فهو الذي ينتج عن اختلال توزيع تيار التغذية بين فروع الدائرة التي يغذيها. وهناك أشكال أخرى كثيرة من التشويش الداخلي مثل تشويش زمن التحول transit noise الذي ينشأ عن تماثل زمن حركة الإلكترونات بين أطراف دائرة كهربائية مع دور الموجة المطلوبة التي تعبر الدائرة. والتشويش الناتج عن الحقول المغناطيسية لمحولات الربط في المضخات.

١-٦-٢ التشويش المرتبط بالإشارة Correlated Noise

هو عبارة عن التشويش المرتبط بالإشارة الأصلية التي تعبر الدوائر الإلكترونية التي تدخل في تكوين نظام اتصالات. هذا النوع من التشويش لا يمكن أن يتواجد في الدائرة بدون تواجد الإشارة ولهذا يقال لا إشارة، لا تشويش. وإن التشويش المرتبط بالإشارة ينتج عن طريق التضخم اللاخطي ويشمل كل من التشويش الناتج عن المركبات التوافقية والتشويش الناتج على التشوه الذي يحدث أثناء عملية التضمين.

نود التنبيه على أن التشويش الناتج عن الغلاف الجوي والصادر عن العواصف الرعدية thunderstorms تؤثر تأثيراً مباشراً على البث الإذاعي الذي يستخدم AM: Amplitude Modulation. والسبب في ذلك يعود على أن الموجات الناتجة من العواصف الرعدية تتناسب عكسياً مع التردد الواقع في المجال أقل من 100MHz. أي كلما قل التردد كلما زاد التشويش. لكنه أقل تأثيراً على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم FM: Frequency Modulation حيث مجال تردداته

[88MHz – 108 MHz].

لنعود الآن قليلاً إلى الوراء ونقوم بدراسة تفصيلية لنوع مهم في التشويش والذي لا تخلو منه أي دائرة إلكترونية هذا النوع هو التشويش الحراري Thermal noise ويطلق عليه تشويش جونسون. حيث استطاع الباحث Johnson أن يبرهن على أن طاقة التشويش الحراري تتناسب طردياً مع عرض النطاق ودرجة الحرارة. يمكن التعبير عليه بالعلاقة الرياضية التالية:

$$N = KTB \quad (1-3)$$

حيث:

N : طاقة التشويش (Watts)

B : عرض النطاق (Hertz)

T : درجة الحرارة (Kelvin)

ولتحويل من درجة حرارة عادية إلى Kelvin لتستعمل العلاقة التالية:

$$T = C^{\circ} + 273$$

$$K : \text{ثابت بولتزمان} = 1.38 \times 10^{-23} \left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kelvin}} \right)$$

أما إذا أردنا أن نعبر على الطاقة بوحدة ديسبال Decibel ويرمز له عادة بـ dB، فنأخذ الدالة اللوغارتمية في الأساس 10 للمعادلة (1 3) مضروباً في العدد 10. أي:

$$N_{dB} = 10 \text{ Log } (KTB) \quad [\text{dB}] \quad (1-4)$$

حيث:

N_{dB} : طاقة التشويش بالديسيبال.

مثال 1-3

إذا كان جهاز إلكتروني يشتغل عند درجة الحرارة 17° وعرض نطاق 10 كيلوهرتز.

احسب ما يلي:

أ - طاقة التشويش بالواط.

ب - طاقة التشويش بالديسيبال.

الحل:

أ. طاقة التشويش بالواط

$$N = KTB = 1.38 \times 10^{-23} \times (17+273) \times 10 \times 10^3 = 4 \times 10^{-17} \text{ Watts}$$

ب. طاقة التشويش بالديسيبال

$$N_{dB} = 10 \text{ Log } (KTB) = 10 \text{ Log } (4 \times 10^{-17}) \approx -164 \text{ dB}$$

إن عامل نسبة الإشارة إلى التشويش كثيراً ما يستعمل في تباين أداء أنظمة الاتصالات. فكلما زادت هذه النسبة كلما ازدادت كفاءة نظام الاتصالات. تعرض هذه النسبة كحاصل قسمة قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء. يعبر عليها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} \quad (1-5)$$

ويمكن التعبير على هذه النسبة بواسطة الديسيبل

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \text{Log} \left(\frac{P_s}{P_n}\right) \quad (1-6)$$

حيث:

: نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة التشويش بالديسيبل. $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$

: قدرة الإشارة بالواط P_s

: قدرة التشويش بالواط. P_N

ويمكنك بكل بساطة أن تثبت العلاقات التالية عندما تتعامل مع كل من الجهد والتيار فإن

النسبة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20 \text{Log} \left(\frac{V_s}{V_n}\right) \quad (1-7)$$

و

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20 \text{Log} \left(\frac{I_s}{I_n}\right) \quad (1-8)$$

مثال 1-4

إذا كانت طاقة إشارة خرج مضخم تساوي 10W وطاقة تشويش إشارة الخرج تساوي 0.01W.

أوجد:

أ. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش $\left(\frac{S}{N}\right)$.

ب. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش مقدر بالديسيبل $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$.

الحل:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} = \frac{10}{0.01} = 1000 \quad \text{أ.}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) = 10 \log(1000) = 30 \text{ dB} \quad \text{ب.}$$

Spectral Analysis

٧-١ تحليل ترددات الطيف

يختص علم تحليل ترددات الطيف باستخدام الوسائل الرياضية لإيجاد مواصفات الموجات في مجال التردد، ومعرفة العلاقات التي تربط هذه المواصفات بتلك القائمة في مجال الزمن. ويفيد هذا العلم مهندس وفني الاتصالات في دراسة الموجات المرسله والمستقبلة والمعالجة في أنظمة الاتصالات. إن نظرية تحليل ترددات الطيف تشمل دراسة لنشر فورير بحالاته المختلفة وتطبيقاته في حساب القدرة القياسية للموجات عند تردداتها المختلفة، وكذلك تحويل فورير وتطبيقاته في الطاقة القياسية ونظرية الالتفاق، واستجابة الأنظمة وارتباط الموجات. نحن في هذه الحقيبة نستعرض لنشر فورير فقط، أما من أراد أن يتوسع أكثر فعليه بالرجوع إلى المراجع المذكورة في نهاية الحقيبة.

Fourier Expansion

١-٧-١ نشر فورير

الغاية من نشر فورير هي تحويل دالة مثل دالة الجهد $V(t)$ بتغير ضمن مجال الزمن بشكل دوري إلى مركبات الأساسية في مجال التردد. ويعطي هذا النشر معلومات حول هيكل ترددات الموجة. وبالتالي عرض نطاق تردداتها، التي تساعد في تصميم واختيار أجهزة الاتصالات المناسبة.

ولدراسة نشر فورير نفرض أن لدينا الموجة الدورية $V(t)$ ، حيث يبلغ دورها T ، وترددها f وترددها الزاوي ω . يعطى نشر فورير لهذه الموجة على النحو التالي:

$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t) + A_2 \cos(2 \omega t) + \dots + A_n \cos(n \omega t) +$$

$$B_0 + B_1 \sin(\omega t) + A_2 \sin(2\omega t) + \dots + A_n \sin(n\omega t) \quad (1-9)$$

يمكن كتابة السلسلة (1 9) على الشكل التالي:

$$V(t) = A_0 + \text{fundamental} + 2^{\text{nd}} \text{ harmonic} + \dots + n^{\text{th}} \text{ harmonic} \quad (1-10)$$

حيث :

A_0 : يمثل القيمة الثابتة للجهد أو التيار المستمر (DC value).

Fundamental : المركبة الأساسية للموجة كما تدعى التوافق الأساسي للموجة وترديدها هو تردد

الموجة الأصلية (f_1).

2nd harmonic : المركبة الثابتة للموجة بعد الأساسية وتدعى كذلك التوافق الثاني وترددها

$$f_2 = 2.f_1 \text{ وهكذا بالنسبة لبقية الحدود.}$$

والغاية من هذا هو السماح بإيجاد مركبات الموجة في المجال الترددي كما تسمح بإيجاد عرض نطاقها.

أما الثوابت $A_0, A_1, A_n, B_1, B_2, B_n, \dots$

فهي تحسب باستعمال العلاقات التالية:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (1-11)$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \cos(n\omega t) dt \quad (1-12)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \sin(n\omega t) dt \quad (1-13)$$

هناك حالات خاصة للمعادلة (1-7) فإذا كانت دالة $V(t)$ دالة زوجية فإن العلاقة (1-9) تختصر

إلى ما يلي:

$$V(t) = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + \dots + A_n \cos n\omega t \quad (1-14)$$

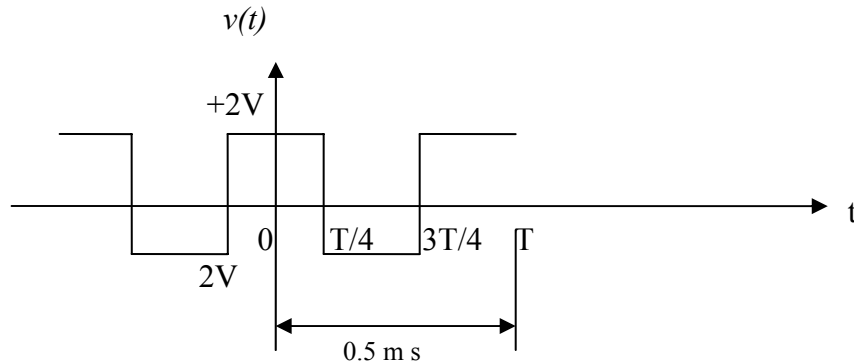
أما إذا كانت $V(t)$ دالة فردية فإن العلاقة (1-9) تختصر إلى ما يلي:

$$V(t) = B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + \dots + B_n \sin n\omega t \quad (1-15)$$

مثال 1-5

لدينا موجة النبضات الدورية المبينة بالشكل أوجد سلسلة فورييه للمركبتين الأوليتين

(التوافقيين الأولين).



١. أوجد التردد للمركبة الأساسية.

٢. أوجد التردد للمركبة الثانية (التوافق الثاني).

٣. ارسم الطيف الترددي للجهد.

الحل:

١. لإيجاد سلسلة فوريير للمركبتين الأوليتين (التوافقين الأولين) نتبع الخطوات التالية:

$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t) + A_2 \cos(2\omega t) + \dots + A_n \cos(n\omega t)$$

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} 2 dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2 dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{3T}{4}}^T 2 dt = 0$$

$$A_1 = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \cos(\omega t) dt =$$

$$A_1 = \frac{2}{T} \left[\int_0^{\frac{T}{4}} 2 \cos(\omega t) dt + \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2 \cos(\omega t) dt + \int_{\frac{3T}{4}}^T 2 \cos(\omega t) dt \right] = \frac{8}{\pi}$$

باستخدام نفس الخطوات السابقة نحصل على

$$A_2 = 0 \quad \& \quad A_3 = -\frac{8}{3\pi}$$

إذاً سلسلة فوريير للمركبتين الأوليتين تعطى كمايلي:

$$v(t) = \frac{8}{\pi} \cos(\omega t) - \frac{8}{3\pi} \cos(3\omega t)$$

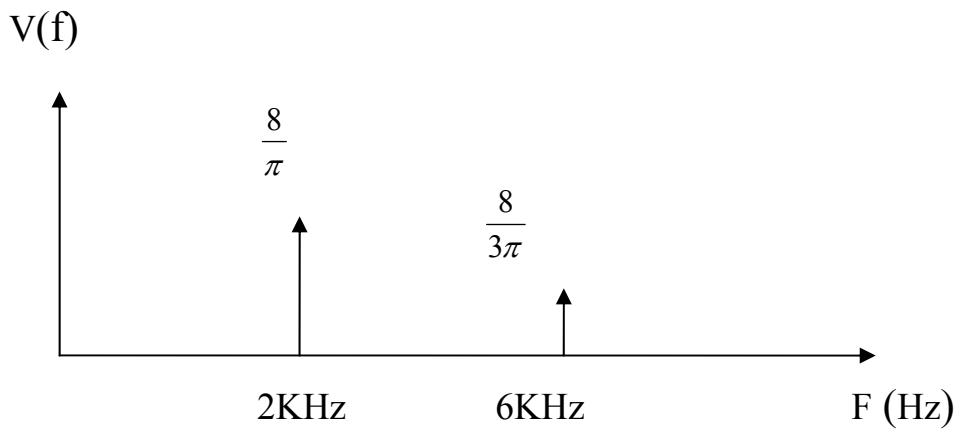
٢. لإيجاد التردد للمركبة الأساسية نتبع مايلي:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2000 \text{ Hz}$$

$$f = 2 \text{ KHz}$$

٣. لإيجاد التردد للمركبة الثانية نتبع مايلي:

$$f_s = 3f = 3 \times 2 \text{ K} = 6 \text{ KHz}$$



تمارين

التمرين الأول

- أ. عرف الاتصالات الإلكترونية.
- ب. ما هي العناصر الثلاثة الأساسية لنظام الاتصالات ؟
- ج. ارسم شكلاً توضيحياً لنظام الاتصالات مع كتابة العناصر الأساسية على الشكل.
- د. اذكر الأنواع الأساسية لأنظمة الاتصالات.

التمرين الثاني

- أ. عرف ما يلي: إشارة التضمين، والموجة الحاملة، والموجة المضمنة، والإشارة المستخلصة.
- ب. عرف التضمين وكشف التضمين.
- ج. اشرح لماذا عملية التضمين عملية ضرورية في الاتصالات.

التمرين الثالث

- أ. اذكر الخواص الأساسية التي يمكن تغييرها في الموجة الجيبية وما هي أنواع التضمين الناتجة عن ذلك ؟ وعرف كل نوع.
- ب. عرف عرض النطاق.
- ج. اذكر أنواع عرض النطاق.
- د. عرف كل نوع من هذه الأنواع.

التمرين الرابع:

- أ. اذكر أنماط الإرسال.
- ب. عرف كل نمط من أنماط الإرسال.
- ج. أعط أمثلة تطبيقية على كل نمط من أنماط الإرسال .

التمرين الخامس

- أ. عرف التشويش.
- ب. اذكر الأقسام الرئيسية للتشويش وأعط تعريفاً لكل قسم.

- ج. أعط أمثلة من التشويش على كل قسم.
- د. لماذا يؤثر التشويش الناتج من العواصف الرعدية على البث الإذاعي الذي يستخدم Amplitude Modulation ولا يؤثر على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم Frequency Modulation.

التمرين السادس

- إذا كان جهاز الحاسوب يشتغل عند درجة الحرارة 27° بعرض نطاق قدرة 5 كيلو هرتز.
- أ. هل جهاز الحاسوب يتعرض إلى عملية التشويش؟
- ب. ما هو نوع هذا التشويش، أعط تعريفاً له وكيفيته؟
- ج. أحسب طاقة التشويش بالواط.
- د. أحسب طاقة التشويش بالديسيبل.

التمرين السابع:

أثبت صحة العلاقات (1-5) و (1-6).

التمرين الثامن

- إذا كانت طاقة إشارة الخرج من جهاز ما 20 واط وطاقة إشارة التشويش عند الخرج تساوي 0.02 واط.
- أ. احسب نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش.
- ب. احسب هذه النسبة بالديسيبل.

التمرين التاسع

- أ. ما هي الغاية المرجوة من دراسة نشر فورييه.
- ب. أعط سلسلة فورييه لموجة $V(t)$ وكيفية حساب الثوابت التي تدخل في تكوينها.
- ج. على أي شكل يمكن كتابة هذه السلسلة وما هي الفائدة من وراء ذلك.

الوحدة الثانية: تضمين السعة (الإرسال)

Amplitude Modulation (AM) Transmission

• الهدف

- عند نهاية هذه الوحدة فإن المتدرب بإمكانه
- أ. معرفة أهمية عملية التضمين.
 - ب. التعرف على التضمين الاتساعي(السعة).
 - ج. معرفة الفرق بين إشارة التضمين والإشارة المضمنة.
 - د. توليد موجة AM نظرياً وعملياً.
 - هـ. حساب معامل ونسبة التضمين.

• محتوى الوحدة الثانية :

- | | |
|---|-------|
| مقدمة. | ١- ٢ |
| أساسيات تضمين السعة. | ٢- ٢ |
| الطيف الترددي لتضمين السعة وعرض نطاقها. | ٣- ٢ |
| ثابت التضمين والنسبة المئوية للتضمين. | ٤- ٢ |
| توزيع لجهد تضمين السعة. | ٥- ٢ |
| توزيع الطاقة. | ٦- ٢ |
| حساب تيار موجة AM. | ٧- ٢ |
| التضمين بواسطة الإشارة المركبة. | ٨- ٢ |
| دائرة المعدل ودائرة الكاشف . | ٩- ٢ |
| جهاز الإرسال. | ١٠- ٢ |

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 12 ساعة

إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر قنوات الاتصالات المتاحة، ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتضمين حيث من خلالها تُعدل إشارة المعلومات الأساسية (information) على بعض خصائص الإشارة الحاملة ذات التردد العالي.

وهذه الإشارة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد يطلق عليها كلمة حامل (Carrier) 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). إن التضمين يتشكل في قسم الإرسال، فإن إحدى هذه الموجات الثلاث، تبعاً لنوعية التضمين، هي التي ترسل من قسم الإرسال إلى قسم الاستقبال. وفي جهاز الاستقبال تمر الموجة AM بعملية عكسية تسمى إزالة التضمين (demodulation) وذلك لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية المرسله. فمن خلال هذه الوحدة، سنقوم بدراسة شاملة للنوع الأول من التضمين الذي يتمثل في تضمين السعة (AM).

Amplitude Modulation

٢-٢ أساسيات تضمين السعة

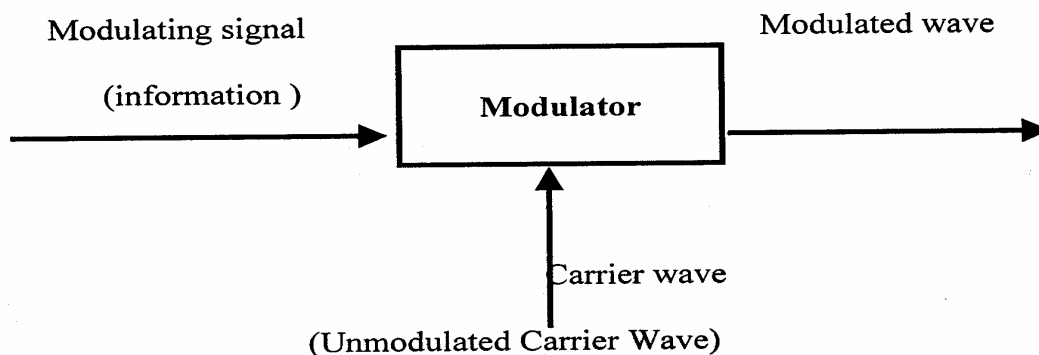
أ - تعريف تضمين السعة (AM)

هو تغيير اتساع الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع حيث يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات الأساسية $m(t)$.

AM Modulator

ب - المضمن السعوي

هو عبارة عن جهاز غير خطي ذي دخلين إحداهما مخصص لإشارة المعلومات والآخر مخصص للموجة الحاملة، وخرج نحصل عن طريقه على الموجة المضمنة (Modulated wave). الشكل 2-1 يوضح المضمن.



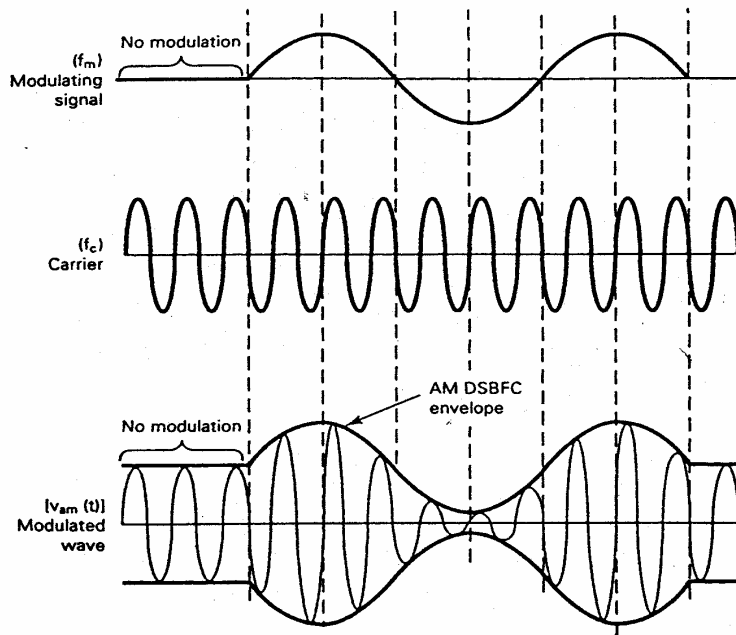
الشكل 2-1 : رسم توضيحي للمضمن.

على الرغم من وجود عدة أنواع من إشارات تضمين السعة، فإن النطاق الجانبي المزدوج ذا الموجة الحاملة

الكاملة (AM SBFC) Amplitude Modulation Double Sideband Full Carrier

هو الأكثر استعمالاً "AM DSBFC" في بعض الأحيان تستخدم بدلاً عنها AM للتبسيط.

إن الشكل 2-2 يوضح العلاقة بين إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t) = E_m \sin(2\pi f_m t)$ وإشارة الموجة الحاملة $V_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t)$ والإشارة أو الموجة الناتجة عن عملية التضمين $V_{AM}(t)$ التي سوف نحدد طبيعتها الرياضية من خلال هذه الوحدة عند تناولنا دراسة توزيع الجهد لإشارة تضمين السعة. إن الشكل 2-2 يبين كيفية إنتاج موجة AM، وذلك عندما إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض تؤثر في الإشارة الحاملة ذات التردد العالي. نلاحظ كما هو مبين في الشكل 2-2 أنه عند انعدام إشارة المعلومات التي نطلق عليها من الآن فصاعداً إشارة التضمين، فإن الموجة الناتجة هي فقط الموجة الحاملة. ونظراً لأن من الصعوبة نقل الإشارات بشكل عام عند الترددات المنخفضة فإن إنتاج موجة AM بواسطة التضمين تسمح بنقل إشارة المعلومات خلال جهاز نظام الاتصالات.



الشكل 2-2 إنتاج الموجة المضمنة، من الأعلى إلى الأسفل إشارة المعلومات، والإشارة الحاملة وموجة AM.

(Modulated Wave Characteristics)

د - خصائص الموجة المضمنة

تتميز الموجة الناتجة عن طريق عملية التضمين (الموجة المضمنة) بما يلي:

الموجة المضمنة لها نفس تردد الموجة الحاملة (f_c) .

التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المضمنة أثناء عملية التضمين يساوي التغير الذي يحدث لسعة إشارة التضمين (إشارة المعلومات الأساسية).

تردد الغلاف الخارجي (الكاشف) يساوي تردد إشارات التضمين.
سعة الغلاف الخارجي (الكاشف) تساوي سعة إشارة التضمين.

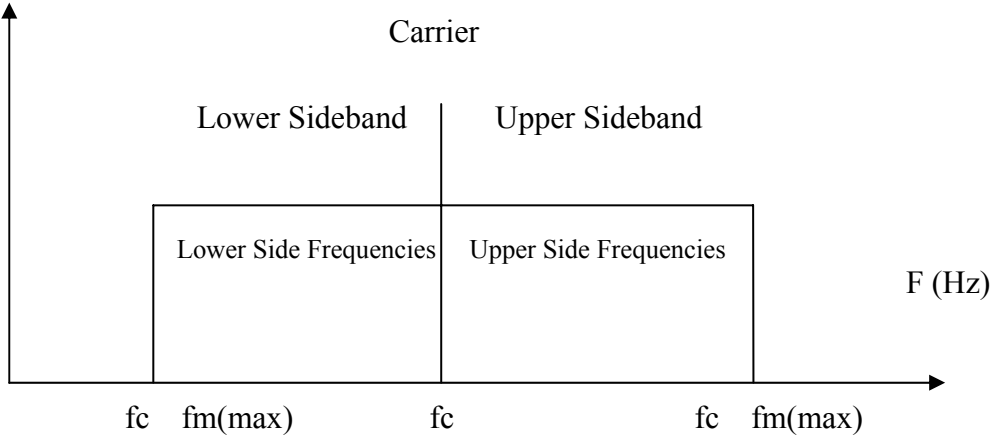
AM Frequency Spectrum and Bandwidth

٢-٣ الطيف الترددي وعرض النطاق

AM Frequency Spectrum

أ - الطيف الترددي

كما ذكرنا آنفاً أنه من الصعوبة إرسال الإشارات ذات الترددات المنخفضة، لأن هذا يتطلب هوائياً تبلغ من الضخامة حداً غير معقول، لأن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود (10%) من طول موجة الإشارة المرسله. لهذا السبب فإن إزاحة طيف الإشارة إلى مدى ترددي مرتفع بواسطة التضمين يعتبر شيئاً مرغوباً. فمن هنا نقول إن تأثير عملية التضمين هو إزاحة تردد إشارة المعلومات في المجال الطيفي حيث ينعكس بالتساوي حول محور تردد الموجة الحاملة (f_c) كما هو موضح في الشكل 2-3.



الشكل 2-3 الطيف الترددي لموجة AM

نلاحظ من الشكل 2-3 أن طيف الموجة المضمنة والمرتكز عند التردد f_c يتكون مما يلي:

عرض النطاق الجانبي العلوي (USB)

هو عبارة عن عرض نطاق المحصور بين f_c و $f_c + f_m$ كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$f_c \leq USB \leq f_c + f_m \quad (2-1)$$

وكل إشارة لها تردد يقع في USB فإنه يدعى تردد الجانب العلوي (USF) Upper Side Frequency

ويرمز لها بـ USF ومعطاة بالعلاقة التالية:

$$f_{usf} = f_c + f_m \quad (2-2)$$

حيث :

f_{USF} : تردد الجانب العلوي

f_c : تردد الموجة الحاملة

f_m : تردد إشارة التضمين (إشارة المعلومات الأساسية).

Lower Sideband (LSB)

عرض النطاق الجانبي السفلي:

هو عبارة عن نطاق محصور بين:

$$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c \quad (2-3)$$

Lower Side Frequency (LSF) وكل إشارة لها تردد يقع في LSB فإنه يدعى تردد الجانب السفلي

(LSF) ويرمز لها ب LSF وهو معطى بالعلاقة التالية:

$$f_{Lsf} = f_c - f_m \quad (2-4)$$

AM Bandwidth

ب - عرض النطاق تضمين السعة

إن عرض نطاق إشارة التضمين الاتساعي (السعوي) يمكن أن تستخرج تبعاً للشكل 2-3 كما يلي:

$$BW_{AM} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2 f_m$$

إذا عرض نطاق موجة AM هو:

$$BW_{AM} = 2 f_m \quad [Hz] \quad (2-5)$$

حيث :

BW_{AM} : هو عرض نطاق موجة AM ويعطى بالهرتز (Hz).

f_m : تردد إشارة التضمين (المعلومات) بالهرتز (Hz).

مثال 1-2

إذا كان لدينا جهاز التضمين (المضمن السعوي AMDSBFC modulator) ذو الدخلين الأول

الموجه الحاملة ذات تردد $f_c=100kHz$ و الثاني موجة المعلومات الأساسية ذات تردد $f_m=5kHz$.

احسب ما يلي:

أ. النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب. عرض النطاق BW_{AM}

ج. التردد الجانبي العلوي (USF) عندما $f_m = 3kHz$.

د. التردد الجانبي السفلي (LSF) عندما $f_m = 3kHz$.

هـ. ارسم الطيف الترددي للخروج.

أ. حسب المعادلة (2-1):

$$f_c \leq USB \leq f_c + f_m$$

$$100 \text{ kHz} \leq USB \leq 105 \text{ kHz}$$

ب. حسب المعادلة (2-3)

$$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c$$

$$95 \text{ kHz} \leq LSB \leq 100 \text{ kHz}$$

ج. حسب المعادلة (2-5) فإن

$$BW_{AM} = 2 f_m = 2 \times 5 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$$

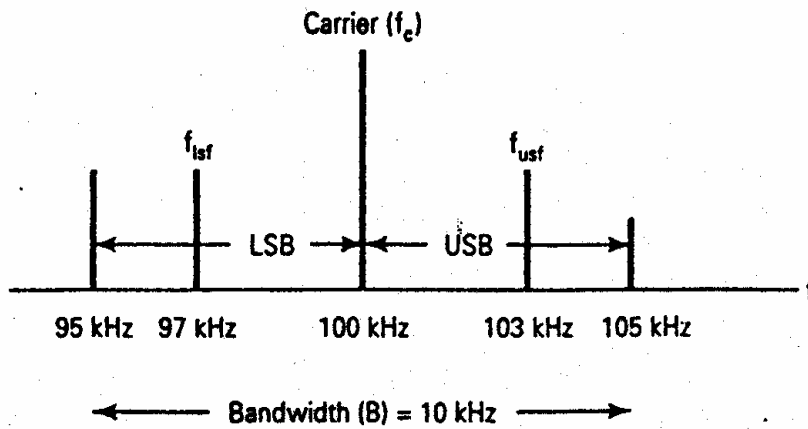
د. حسب المعادلة (2-2)

$$f_{usf} = f_c + f_m = 100 \text{ kHz} + 3 \text{ kHz} = 103 \text{ kHz}$$

هـ. حسب المعادلة 2-4

$$\begin{aligned} f_{Lsf} &= f_c - f_m \\ &= 100 \text{ kHz} - 3 \text{ kHz} = 97 \text{ kHz} \end{aligned}$$

هـ. رسم الطيف الترددي



Coefficient of Modulation and Percent Modulation

Coefficient of Modulation

أ -معامل التضمين

هو عبارة عن معامل نستطيع من خلاله قياس ما مدى التغير الذي يحدث في سعة موجة AM أثناء عملية التضمين. ويعبر عليه رياضياً بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{E_m}{E_c} \quad (2-6)$$

حيث

m : معامل التضمين (بدون وحدة)

E_m : هو مقدار التغير الأقصى الذي يطرأ على سعة الموجة المضمنة (موجه خرج المضمن) وتقاس بالفولط.

E_c : سعة الموجة الحاملة (فولط).

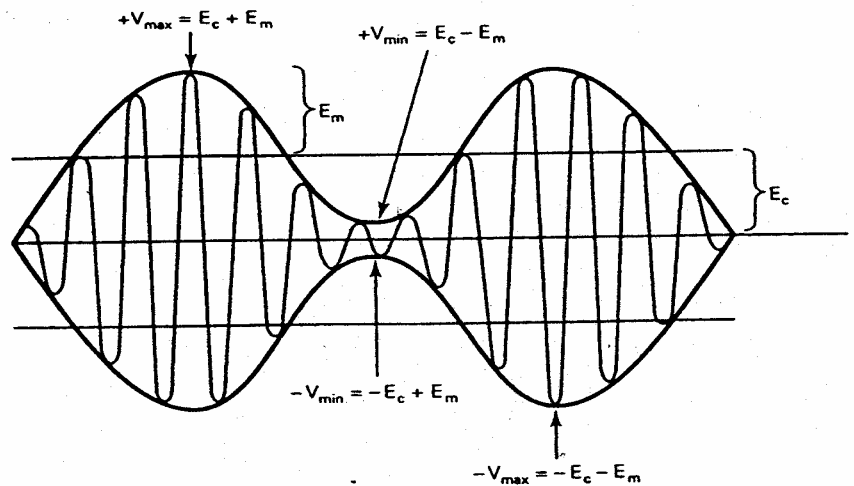
Percent Modulation (M)

ب النسبة المئوية للتضمين

هي عبارة عن النسبة المئوية لمعامل التضمين حيث تعطى بالعلاقة التالية:

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \% \quad (2-7)$$

العلاقة بين m , E_m و E_c مبينة في الشكل 2-4



الشكل 2-4 يوضح معامل التضمين E_m و E_c .

من الشكل 2-4 نستنتج ما يلي:

$$V_{\max} = E_c + E_m \quad (2-8)$$

$$V_{\min} = E_c - E_m \quad (2-9)$$

بجمع المعادلتين (2-8) و (2-9) طرف إلى طرف نجد

$$E_c = \frac{1}{2}(V_{\max} - V_{\min}) \quad (2-10)$$

ثم بطرح المعادلة 2-8 من 2-9 نجد

$$E_m = \frac{1}{2}(V_{\max} + V_{\min}) \quad (2-11)$$

حيث

V_{\max} : يمثل قيمة الجهد الأقصى لموجة AM

V_{\min} : يمثل قيمة الجهد الأدنى لموجة AM

لقد سبق أن بينا بأن الموجة المضمنة (موجة AM) تتكون من الجانب العلوي والجانب السفلي،

فبالتالي أي تغيير يطرأ على الموجة المضمنة هو ناتج من كلا الجانبين وهذا يقودنا إلى التعبير على E_m بما يلي:

$$E_m = E_{USF} + E_{LSF} \quad (2-12)$$

أي المعادلة (2-12) تنص على أن التغيير الأقصى في الجهد الذي يطرأ على الموجة المضمنة هو

حاصل جمع مركبتي الجهد الناتجين من الجانب العلوي والجانب السفلي.

بما أن

$$E_{USF} = E_{LSF} \quad (2-13)$$

نعوض المعادلة (2-13) في المعادلة (2-12) نجد

$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{E_m}{2} \quad (2-14)$$

ثم نعوض (2-10) في المعادلة (2-14) لكي نخلص إلى ما يلي:

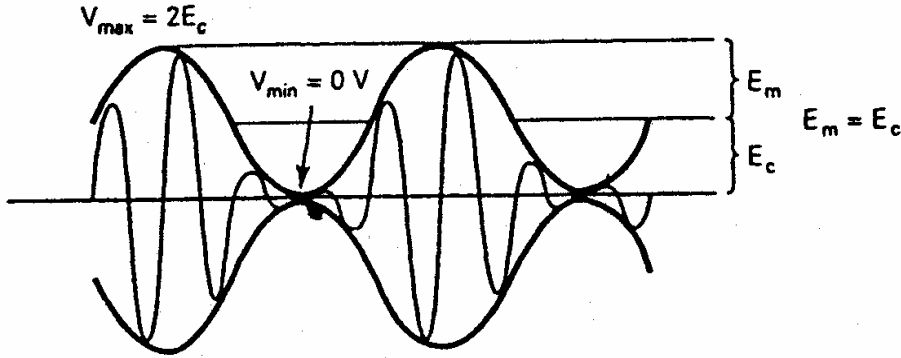
$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{1}{4}(V_{\max} - V_{\min}) \quad (2-15)$$

حيث:

E_{USF} : جهد الجانب العلوي [Volts]

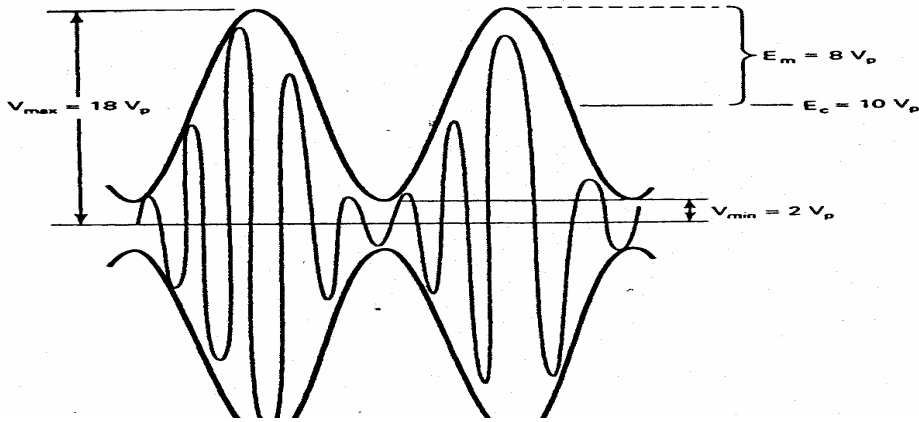
E_{LSF} : جهد الجانب السفلي [Volts]

نود أن التنبيه إلى أن نسبة التضمين تصل إلى 100% عندما $E_m = E_c$ و هذا يتضح من المعادلة (2-7).
 كذلك يمكن ملحوظة أن $V_{min} = 0$ عندما تصل نسبة التضمين 100% و هذا يتضح من المعادلة (2-9).
 هذا الشرط موضح في الشكل التالي:



الشكل 2-5 يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التضمين 100%.

مثال 2-2 من أجل موجة AM المبينة في الشكل التالي



أوجد ما يلي:

- السعة القصوى للجانب العلوي والسفلي.
- السعة القصوى للموجة الحاملة قبل التضمين.
- التغيير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي لموجة AM
- معامل التضمين.
- نسبة التضمين.

أ - بتطبيق المعادلة (2-15) وبالرجوع إلى الشكل المعطى في المثال:

$$E_{\text{USF}} = E_{\text{LSF}} = \frac{1}{4}(V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) = \frac{1}{2}(18 - 2) = 8V$$

ب - بتطبيق المعادلة (2-10)

$$E_c = \frac{1}{2}(V_{\text{max}} + V_{\text{min}}) = \frac{1}{2}(18 + 2) = 10V$$

أو تقرأ مباشرة من الشكل $E_c = 10V$

ج - بتطبيق المعادلة (2-11)

$$E_m = \frac{1}{2}(V_{\text{max}} - V_{\text{min}}) = \frac{1}{2}(18 - 2) = 8V$$

د - بتطبيق المعادلة (2-6)

$$M = \frac{E_m}{E_c} = \frac{8}{10} = 0.8$$

هـ - بتطبيق المعادلة (2-7)

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \% = 0.8 \times 100 \% = 80 \%$$

٢-٥ توزيع جهد موجة AM

AM Voltage Distribution (AM) $V_{\text{am}(t)}$

كما هو معروف لكل موجة كهربائية تحمل في طياتها، جهد تيار، وطاقة، من خلال هذا الجزء

نريد أن نعبر رياضياً عن توزيع جهد موجة AM. حتى يتسنى لنا ذلك، تعبر عن الجهد اللحظي الجيبي للموجة الحاملة قبل التضمين بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) \quad (2-16)$$

$V_c(t)$: هو الجهد اللحظي للموجة الحاملة (Volts)

E_c : السعة القصوى للموجة الحاملة (Volts)

f_c : تردد الموجة الحاملة

لقد مر معنا ما يلي:

أ - معدل الإعادة (repetition rate) لغللاف الخارجي لموجة AM يساوي تردد إشارة التضمين (المعلومات).

ب - سعة الغلاف الخارجي لموجة AM تتغير تبعا لسعة إشارة التضمين.

ج - السعة القصوى لغلاف الخارجي لموجة AM تساوي $E_m + E_c$.

ومن هنا يمكن التعبير على السعة اللحظية لموجة AM بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V_{am}(t) = [E_c + E_m \sin(2\pi f_m t)] \sin 2\pi f_c t \quad (2-17)$$

حيث

$[E_c + E_m \sin(2\pi f_m t)]$: تمثل سعة الموجة المضمنة

E_m : التغيير الأقصى في الغلاف (Volts)

f_m : تردد إشارة التضمين (Hz)

من المعادلة (2.6) يمكن أن نكتب

$$E_m = mE_c \quad (2-18)$$

بتعويض المعادلة (2.8) في المعادلة (2.15) نجد:

$$V_{am}(t) = [E_c + mE_c \sin(2\pi f_m t)] \sin(2\pi f_c t) \quad (2-19)$$

يمكن كتابتها على الشكل التالي

$$V_{am}(t) = [1 + m \sin(2\pi f_m t)] E_c \sin(2\pi f_c t)$$

$$V_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) + mE_c \sin(2\pi f_m t) (E_c \sin(2\pi f_c t)) \quad (2-20)$$

❖ تذكرة

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)] \quad (2-21)$$

باستعمال المعادلة القصيرة (2-21) فإن المعادلة (2-20) يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t \quad (2-22)$$

حيث

$E_c \sin(2\pi f_c t)$: يمثل الموجة الحاملة (Volts)

$-\frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t$: يمثل إشارة الجانب العلوي (Volts)

$\frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t$: يمثل إشارة الجانب السفلي (Volts)

هناك عدة نقاط مهمة يمكن استخلاصها من المعادلة (2-22) وهي:

أ. سعة إشارة الموجة الحاملة بعد التضمين تساوي سعة الموجة الحاملة قبل التضمين.

$$E_{c(\text{modulated})} = E_{c(\text{unmodulated})} \quad (2-23)$$

ب. سعتا الجانب العلوي والسفلي متساويتان وترتبطان بمعامل التضمين وسعة الموجة الحاملة.

ج. عندما تبلغ نسبة التضمين 100%، فإن سعتا الجانب العلوي والسفلي تساوي كل واحدة منهما

نصف سعة الموجة الحاملة $(\frac{E_c}{2})$.

ومن هنا نكتب:

$$E_m = E_{usf} + E_{Lsf}$$

$$E_m = \frac{E_c}{2} + \frac{E_c}{2} = E_c$$

وبما أن:

$$V_{\max} = E_c + E_m = E_c + E_c = 2E_c$$

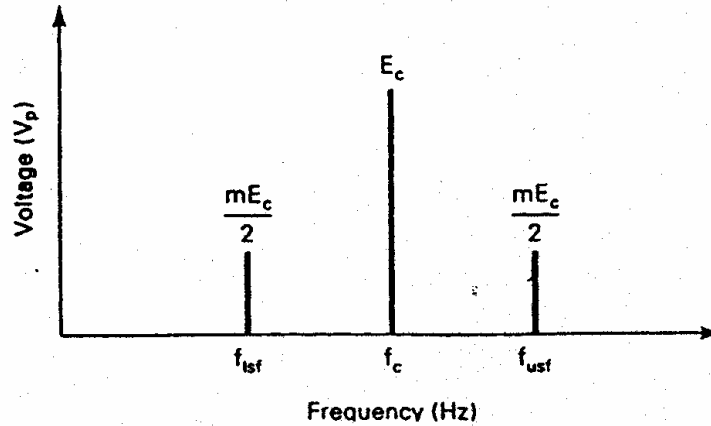
$$V_{\min} = E_c - E_m = E_c - E_c = 0$$

مما سبق، فإنه من الواضح أنه عندما يساوي معامل التضمين الواحد ($m=1$) فإن السعة القصوى

للفلاف الخارجي هي $V_{\max} = 2E_c$ والسعة الدنيا $V_{\min} = 0$. هذه الحالة موضحة في الشكل 2-5.

د. إن الشكل 2-6 يمثل الطيف الترددي للنطاق الجانبي المزدوج ذي الموجة الحاملة الكاملة

(AM DSBFC) وذلك بالرجوع إلى المعادلة (2-22)



الشكل 2-6 يوضح الطيف الترددي لجهد موجة AM DSBFC

هـ. آخر ملاحظة يمكن استنتاجها من المعادلة (2-22) وهي: عند كل بداية للدورة (cycle) فإن

المركبتين الجانبيتين تصنعان بينهما زاوية 180° بينما الموجة الحاملة تصنع مع كل واحدة منهما 90°

وهذا ما يفسر المعنى الفيزيائي لإشارة السالب (-) التي يحملها الحد الخاص بالجانب العلوي في المعادلة

(2-22).

أحد المدخلين لمعدل موجة AM هو عبارة عن الموجة الحاملة ذات تردد 500KHz ذات السعة $20V_p$. أما المدخل الثاني فهو مخصص لإشارة التضمين ذات تردد 10kHz والتي تكفي لإحداث التغيير في موجة الخرج قدره $\pm 7.5V_p$. أوجد ما يلي:

- تردد الجانب العلوي والسفلي.
- معامل التضمين والنسبة المئوية للتضمين.
- السعة القصوى للموجة الحاملة بعد التضمين.
- جهد الجانب العلوي والسفلي.
- السعة القصوى والدنيا للغلاف.
- علاقة الموجة المضمنة.
- ارسم الطيف الترددي.
- ارسم الغلاف الخارجي.

حل مثال 2-3

أ - حسب المعادلتين (2-2) و (2-4) نكتب

$$f_{usf} = f_c + f_m = 500 \text{ K} + 10 \text{ K} = 510 \text{ KHz}$$

$$f_{Lsf} = f_c - f_m = 500 \text{ K} - 10 \text{ K} = 490 \text{ KHz}$$

ب - معامل التضمين ونسبة التضمين: حسب المعادلتين (2-6) و (2-7) يكتب:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{7.5}{20} = 0.375$$

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\% = \frac{7.5}{20} \times 100\% = 37.5\%$$

ج - حسب المعادلة (2-23)

$$E_{c(\text{modulated})} = E_{c(\text{unmodulated})} = 20V$$

د - من المعادلة (2-22) يمكن كتابة:

$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{mE_c}{2} = \frac{0.375 \times 20}{2} = 3.75V$$

هـ - حسب المعادلتين (2-8) و (2-9) يمكن كتابة:

$$V_{\max} = E_c + E_m = 20 + 7.5 = 27.5V$$

$$V_{\min} = E_c - E_m = 20 - 7.5 = 12.5V$$

و -علاقة الموجة المضمنة معطاة بالمعادلة (2-22) وهي:

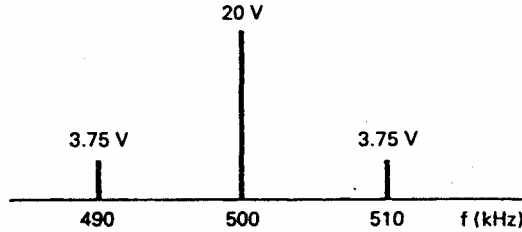
$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t$$

الآن نعوض بالمعطيات المتوفرة لدينا نحصل على:

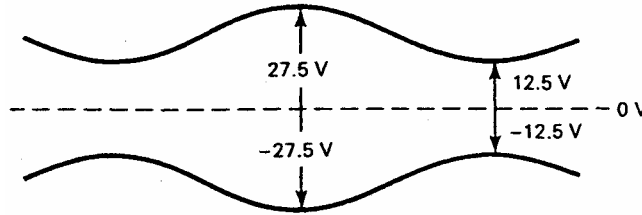
$$V_{am}(t) = 20 \sin(2\pi 500 Kt) - 3.75 \cos(2\pi 510 Kt) + 3.75 \cos(2\pi 490 Kt)$$

وهي العلاقة المطلوبة.

ز - الطيف الترددي مبين بالشكل التالي:



ح -رسم الغلاف الخارجي مبين بالشكل اسفل



AM Power Distribution

٦-٢ توزيع القدرة لموجة AM

في أي دائرة كهربائية فإن القدرة المستهلكة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2-24)$$

أما القيمة المتوسطة للقدرة:

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (2-25)$$

حيث

$$V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}} \quad (2-26)$$

نعوض المعادلة (2-26) في المعادلة (2-25) نجد

$$P_{av} = \frac{V^2}{2R} \quad (2-27)$$

تبعاً للمعادلة (2-27) يمكننا استنتاج قيمة القدرة المتوسطة للموجه الحاملة المستهلكة في الحمل R.

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \quad (2-28)$$

حيث:

P_C : طاقة الموجة الحاملة (Volts)

E_C : السعة القصوى للموجه الحاملة (Volts)

R: مقاومة الحمل (Ohms)

أما القدرة لكل من الجانب العلوي والسفلي.

$$P_{usf} = P_{Lsf} = \frac{\left(\frac{mE_C}{2R}\right)^2}{2R} = \frac{m^2 E_C^2}{8R} \quad (2-29)$$

نعوض المعادلة (2-28) في المعادلة (2-29) نجد:

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C \quad (2-30)$$

أما القدرة الكلية لموجة AM

$$P_T = P_C + P_{Usf} + P_{Lsf}$$

$$P_T = P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C \quad (2-31)$$

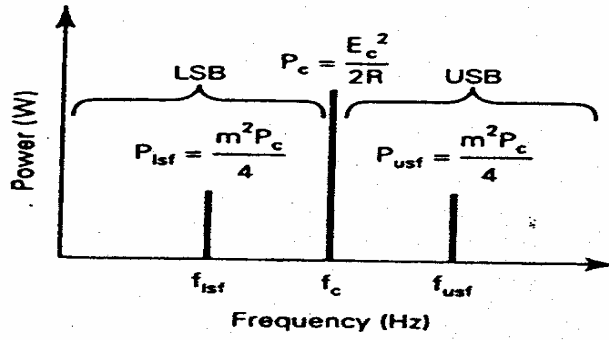
$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C \quad (2-32)$$

يمكن ملاحظة من المعادلة (2-31) أن الموجة الحاملة تحافظ على نفس القدرة بعد التضمين. أما

المعادلة (2-32) تسمح لنا باستنتاج ما يلي:

أن القدرة الكلية تزداد بازدياد معامل التضمين.

تبعاً للمعادلة (2-31) يمكن رسم الطيف الترددي للقدرة الموضح في الشكل 2-7:



الشكل 2-7 يوضح الطيف الترددي لقدرة الموجة AM DSBFC وذلك باستعمال إشارة التضمين ذات أحادية التردد.

عندما يحدث التضمين 100% فإن :

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{P_c}{4} \quad (2-33)$$

وذلك بتعويض قيمة $m=1$ في المعادلة (2-30)

أما القدرة الكلية المحمولة في كلا الجناحين

$$P_{TUsf} = \frac{P_c}{2} \quad (2-34)$$

من المعادلتين (2-33) و (2-34) نستنتج ما يلي: عندما يحدث التضمين 100% فإن القدرة

المحمولة في كل جانب تساوي ربع قدرة الموجة الحاملة أما القدرة المحمولة في كلا الجانبين فهي تصبح نصف قدرة الموجة الحاملة.

هنا نشير بأن إحدى العيوب الرئيسية عند الإرسال باستعمال AM BSBFC أن المعلومات محتواه في

الجانبين بالرغم من أن معظم القدرة تستهلك بواسطة الموجة الحاملة، لكن فعلياً فإن قدرة الموجة الحاملة لا تضيع كلية بل جزء منها يسمح باستعمال دائرة المفكك بسيطة وبأقل تكلفة وهذا يعتبر في حد ذاته

أحد الخواص المميزة لموجة AM DSBFC.

مثال 2-4

وليكن لدينا المعطيات التالية لموجة AM DSBFC :

سعة الموجة الحاملة $10V_p$, مقاومة الحمل 10Ω والتضمين تم عند 100% :

أوجد ما يلي:

أ. قدرة الموجة الحاملة.

ب. قدرة كل من الجانبين العلوي والسفلي.

ج. القدرة الكلية للجانبين.

د. القدرة الكلية للموجة المضمنة.

هـ. ارسم الطيف الترددي للقذرة .

حل مثال 2-4

أ. باستخدام المعادلة (2-28)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 10} 5W$$

ب. باستخدام المعادلة (2-30)

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C = \frac{1}{4} (1^2) 5 = 1.25W$$

حيث $m=1$ لأن التضمين تم عند 100%.

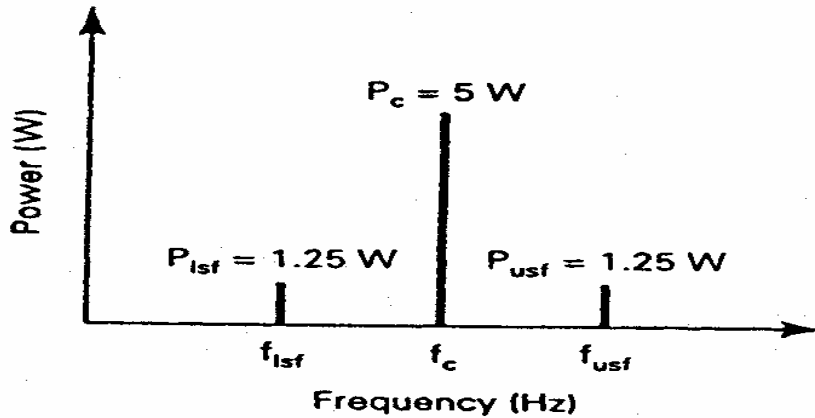
جـ.

$$P_{TUsf} = \frac{P_C}{2} = \frac{5}{2} = 2.5W$$

د. باستخدام المعادلة (2-30)

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2} \right] P_C = \left(1 + \frac{1^2}{2} \right) \times 5 = 7.5W$$

هـ. الطيف الترددي للقذرة



إنه من الضروري حساب تيار كل من الموجة الحاملة والموجة المضمنة ثم يمكن استعمالهما من أجل حساب معامل التضمين والنسبة المئوية. هناك طريقة بسيطة من أجل الحساب وذلك بقياس تيار الهوائي بوجود إشارة التضمين ثم نعيد قياسه بدون إشارة التضمين.

العلاقة بين تيار الموجة الحاملة والموجة المضمنة هي كالتالي:

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{I_t^2 R}{I_C^2 R} = \frac{I_t^2}{I_C^2} \quad (2-35)$$

ومن جهة ثانية فإن

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_C}{P_C} = 1 + \frac{m^2}{2} \quad (2-36)$$

من المعادلتين السابقتين نجد:

$$\frac{I_t}{I_C} = 1 + \frac{m^2}{2} \quad (2-37)$$

ومن المعادلة (2-35) نجد

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} \quad (2-38)$$

حيث:

I_t : تيار الموجة المضمنة (A)

I_C : تيار الموجة الحاملة (A)

مثال 2-5:

إذا كانت طاقة الموجة الحاملة 10w ومقاومة الحمل 10w وتحت نسبة التضمين 100% احسب

تيار الموجة المضمنة (AM DSBFC)

حل المثال 2-5

باستخدام المعادلة (2-38)

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

يجب حساب I_c حتى يتسنى لنا حساب I_T

$$P_C = I_C R \rightarrow I_C = \sqrt{\frac{P_C}{R}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1A$$

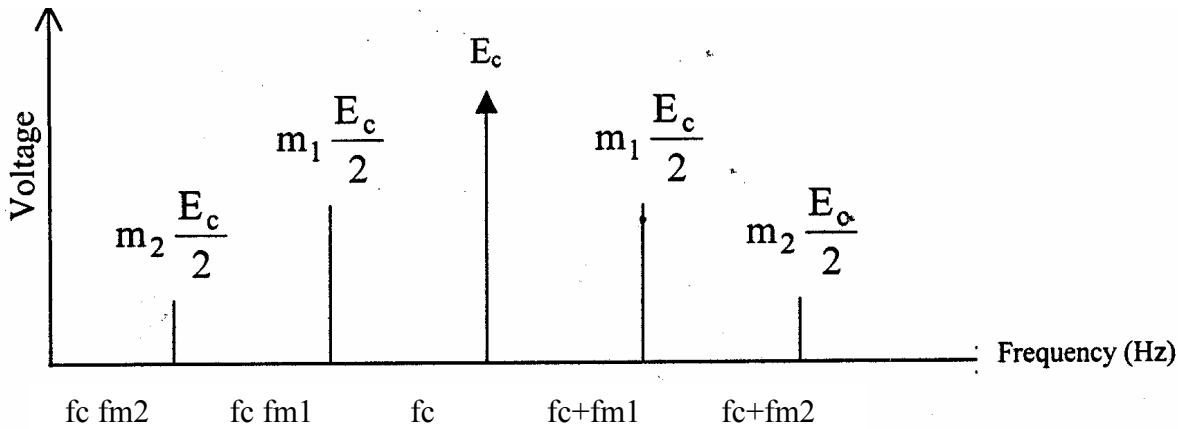
$$I_T = (1) \sqrt{\left(1 + \frac{1^2}{2}\right)} = 1.225 A$$

Modulation by a Complex information

٨-٢ التضمين بواسطة الإشارة المركبة

في الأجزاء السابقة من هذه الوحدة ، قمنا بدراسة الطيف الترددي. وعرض النطاق. ومعامل التضمين. وتوزيع كل من الجهد والقدرة وهذا بواسطة استعمال إشارة التضمين ذات أحادية التردد. أما من الناحية التطبيقية، ففي الغالب تكون إشارة التضمين مركبة أي تكون عبارة عن مجموعة من الإشارات الجيبية ذات ساعات وترددات مختلفة.

لنفترض إن إشارة التضمين تحتوي على ترددين (f_{m1}, f_{m2}) ففي هذه الحالة فإن الموجة الناتجة من عملية التضمين ستحتوي على مركبة الموجة الحاملة بالإضافة إلى مجموعتين من الأجنحة حيث ستقع على مسافات متساوية وبشكل تناظري حول مركبة الموجة الحاملة. والشكل 2-8 يوضح الطيف الترددي الجهد في حالة إشارة التضمين مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2} .



الشكل 2-8. الطيف الترددي للجهد نتيجة استعمال إشارة التضمين مركبة وعملية التضمين.

بالرجوع إلى المعادلة (2-22) التي استخرجناها وبأخذ بعين الاعتبار الشكل 2-8 يمكن استنتاج

معادلة الجهد لموجة AM في حالة إشارة التضمين تكون مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2} .

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{m_1 E_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_{m1})t + \frac{m_1 E_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_{m1})t - \frac{m_2 E_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_{m2})t + \frac{m_2 E_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_{m2})t \quad (2-39)$$

حيث يمكن تعميم هذه المعادلة لإشارة التضمين التي تتكون من أكثر من ترددتين. عند استعمال إشارات التضمين ذات ترددات مختلفة في تضمين الموجة الحاملة على التوالي فإن معامل التضمين في هذه الحالة يعطى بالعلاقة التالية:

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2} \quad (2-40)$$

حيث

m_t : المعامل الكلي للتضمين

m_1, m_2, \dots, m_n : معاملات التضمين لإشارات الدخل.

هذا يقودنا إلى إدخال تغييرات طفيفة على معادلات القدرة التي درستها في الجزء السادس في حالة

الإشارة ذات أحادية التردد. ففي حالة الإشارة المركبة تكتب كما يلي:

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2} \right] P_C \quad (2-41)$$

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m_t^2 P_C \quad (2-42)$$

$$P_{tsb} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C \quad (2-43)$$

مثال 2-6

لدينا AM DSBFC ذو الموجة الحاملة ذات القدرة 200w ضمن على التوالي بواسطة ثلاث

إشارات التضمين ذوات معاملات التضمين التالية:

$$m_3 = 0.5, \quad m_2 = 0.4, \quad m_1 = 0.2$$

أوجد ما يلي:

أ. المعامل الكلي للتضمين.

ب. القدرة الكلية للجانبين.

ج. القدرة الكلية المرسله

حل المثال 2-6

أ. باستعمال المعادلة (2-40) تكتب

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.4)^2 + (0.5)^2} = 0.67$$

ب. باستعمال المعادلة (2-43)

$$P_{tsb} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C = \frac{1}{2} (0.67)^2 (200) = 22.445 W$$

ج. باستعمال المعادلة (2.41)

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2} \right] P_C = \left[1 + \frac{(0.67)^2}{2} \right] (200) = 122.445 W$$

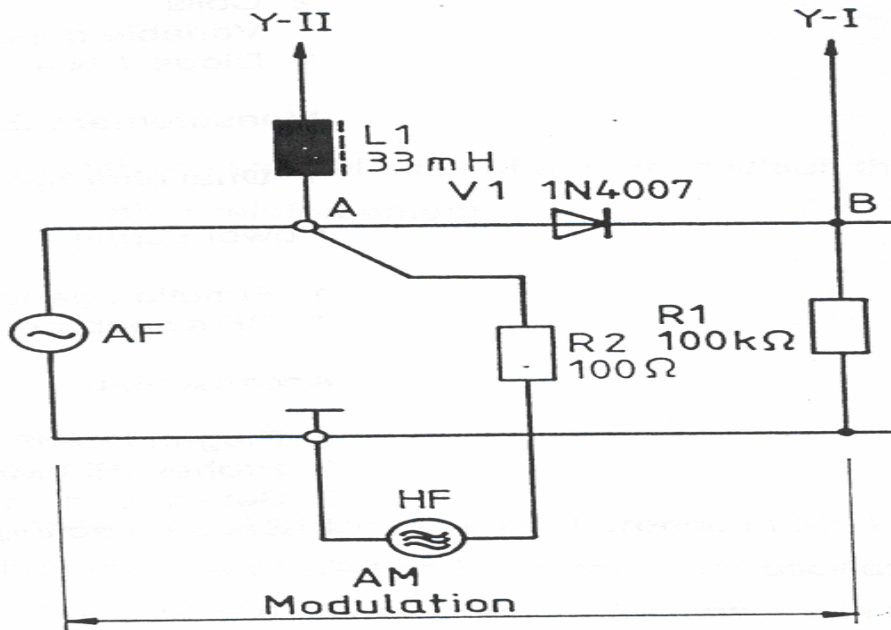
AM Modulator and Demodulator circuits

٢-٩ دائرة المعدل ودائرة الكاشف

AM Modulator Circuit

أ - دائرة المضمن

أعتقد الآن السؤال المطروح، كيف نستطيع إنتاج موجة AM عملياً. نلاحظ أن عملية التضمين تنتج إزاحة لتردد إشارة المعلومات. هذا يعني ترددات جديدة لا بد أن تنتج. واستناداً إلى الدراسة النظرية للدوائر، لا يمكن إنتاج ترددات جديدة باستعمال الدوائر الخطية. ومن هنا حتى يتسنى لنا إنتاج موجة AM لا بد من استعمال عناصر إلكترونية غير خطية. وهناك عدة دوائر يمكنها إنتاج موجة AM. إحدى هذه الدوائر التي يمكن استعمالها في إنتاج موجة AM هي مبينة في الشكل التالي:



الشكل 2-9: معدل باستعمال صمام ثنائي غير خطي

الآن نريد أن نثبت رياضياً على أن معادلة الخرج $V_{out}(t)$ تشبه إلى حد ما المعادلة (2-22) الخاصة بموجة AM فإذا استطعنا أن نبرهن ذلك فمعنى ذلك أن الدائرة في الشكل 2-9 ممكن أن تستعمل في إنتاج موجة AM. ومن أجل القيام بذلك، نعتبر أن المنحنى المميز للصمام الثنائي غير الخطي يعبر عليه بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_{out}(t) = C_1 V_{in}^1(t) + C_2 V_{in}^2(t) + C_3 V_{in}^3(t) + \dots \quad (2-44)$$

واضح من دائرة الشكل 2-9

$$V_{in}(t) = E_m \sin(2\pi f_m)t + E_c \sin(2\pi f_c)t \quad (2-45)$$

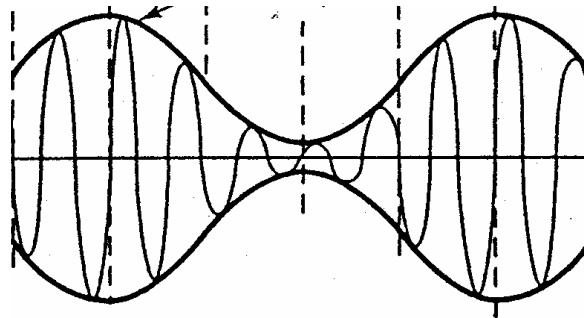
نعوض المعادلة (2-44) في المعادلة (2-43) مع إهمال الحد من الدرجة الثالثة نجد:

$$V_{out}(t) = C_1 [E_m \sin(2\pi f_m)t + E_c \sin(2\pi f_c)t]^2 + C_2 [E_m \sin(2\pi f_m)t + E_c \sin(2\pi f_c)t]^2 \quad (2-46)$$

بتفكيك هذه المعادلة واستعمال الخصائص الشهيرة للدوال الجيبية مع إعادة ترتيب الحدود تبعاً للمعادلة 2-22 نجد:

$$\begin{aligned} V_{out}(t) = & C_1 E_c \sin(2\pi f_c)t - C_2 E_m E_c \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \\ & C_2 E_m E_c \cos 2\pi(f_c - f_m)t + C_1 E_m \sin(2\pi f_m)t + C_2 E_m^2 \sin^2(2\pi f_m)t + \\ & C_2 E_c^2 \sin^2(2\pi f_c)t \end{aligned} \quad (2-47)$$

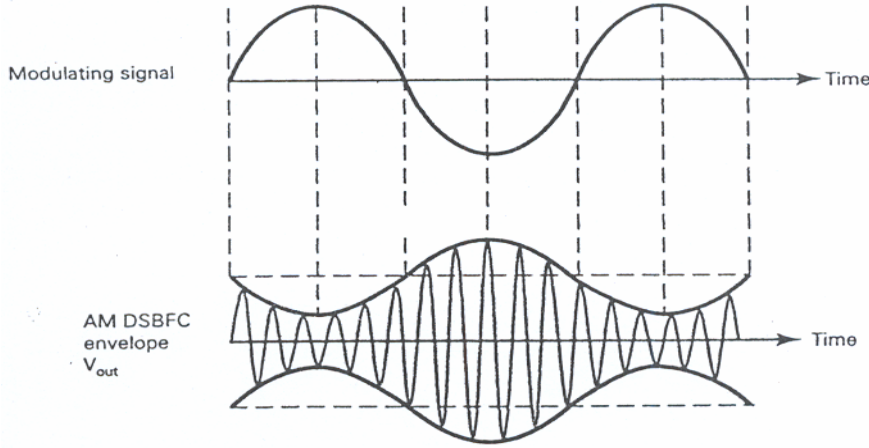
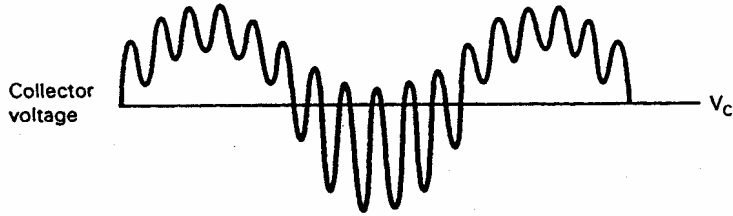
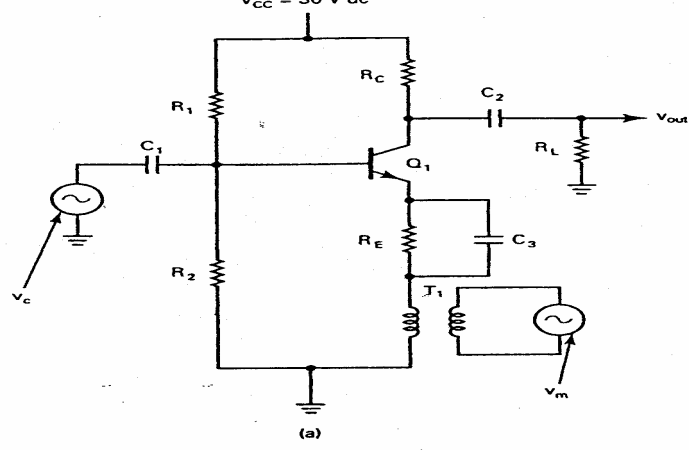
لو تأملنا بعمق في المعادلة 2-47 لوجدناها تحتوي على ترددات جديدة $(F_c + F_m)$, $(F_c - F_m)$ وهي نفس الترددات المحتواة في موجة AM. ثم الحدود الثلاثة الأولى من المعادلة (2-47) هي نفس الحدود التي تتشكل منها المحاولة (2.22) أما الحدود غير المرغوبة فيها في المعادلة (2-47) يمكن التخلص منها بواسطة الترشيح وبالتالي المعادلة (2-47) تنطبق على صيغة المعادلة (2-22) ومن هنا تستنتج موجة AM كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 2-10: إنتاج موجة AM بواسطة دائرة المعدل باستخدام صمام ثنائي غير خطي.

هناك دوائر أخرى يمكن استعمالها لإنتاج موجة AM على سبيل الذكر لا الحصر الدائرة

الموضحة في الشكل التالي:



الشكل 2-11: إنتاج موجة AM باستخدام مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn).

AM Demodolator Circuit

ب. دائرة كشف التضمين

إن كشف الموجة المضمنة لـ AM أو ما يسمى استخلاص إشارة التضمين من الموجة الحاملة، يمكن أن تنجز بإحدى الطرق الثلاث: الأولى تسمى كشف المقوم (Rectifier Circuit) والثانية تسمى كشف الغلاف (Envelope Detector) والثالثة تسمى كشف قانون التربيع (Square-law detector)

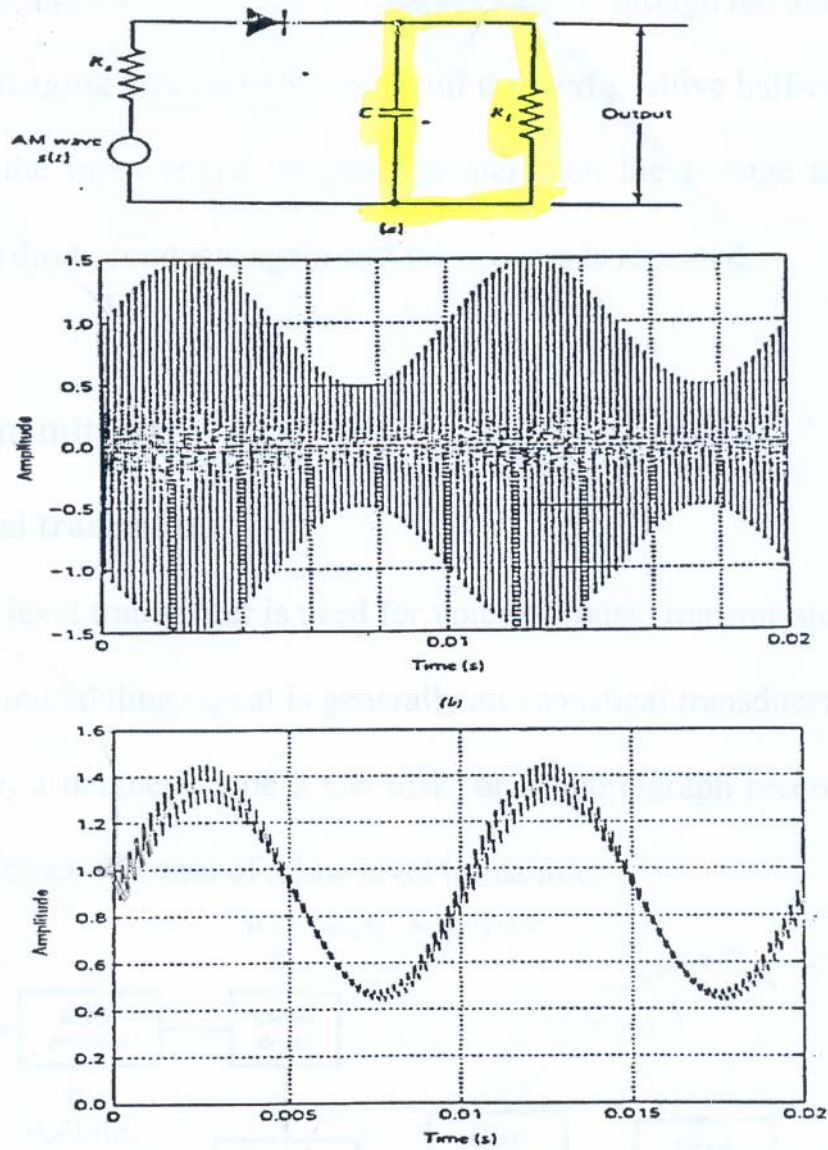
هنا سنكتفي بعرض الطريقة الثانية وهي:

كاشف الغلاف – Envelope Detector

هذه الطريقة تعتمد على اكتشاف الغلاف الخارجي لموجة AM بواسطة استعمال الدائرة الموضحة

في الشكل التالي 2-12:

في هذا النوع من الكاشف تكون الإشارة الناتجة عند مخرجه حصيلة تتبع غلاف الإشارة المضمنة AM الداخلة إليه (Am as input wave). ويمكن شرح ذلك من الدائرة الإلكترونية المبينة في الشكل (2-12) والتي تعمل ككاشف غلاف. فخلال الدورة الموجبة من الإشارة الداخلة يتم شحن المكثف C حتى تصل إلى ذروة جهد الإشارة الداخلة ولما تقل قيمة الإشارة الداخلة عن القيمة التي وصل إليها جهد المكثف يفصل عندئذ الصمام الثنائي. وذلك لأن جهد المكثف في هذه اللحظة (والذي يساوي تقريباً ذروة الإشارة الداخلة) أكبر من قيمة الإشارة الداخلة مما يؤدي إلى فتح الصمام الثنائي. وبعدها يبدأ المكثف بالتفريغ عبر المقاومة R بمعدل منخفض. وخلال الدورة الموجبة التالية والتي عندها تكون قيمة الإشارة الداخلة أكبر من جهد المكثف يوصل الصمام مرة أخرى. ومن ثم يبدأ المكثف مرة أخرى



الشكل 2-12. (i) دائرة كاشف الغلاف - ب - موجة AM ج - التقاط الغلاف الخارجي (مخرج الدائرة).

بالشحن حتى يصل إلى ذروة هذه الدورة الجديدة. وخلال الدورة السالبة يبدأ المكثف مرة أخرى بالتفريغ حتى ينخفض جهده قليلاً. ولهذا يتم شحن المكثف خلال نحو دورة موجبة حتى يصل جهده إلى ذروة الإشارة الداخلة، ولكن جهده ينخفض ببطء حتى تصل الدورة الموجبة التالية وهكذا يكون الجهد عند مخرج الدائرة متتبعاً لغللاف الإشارة الداخلة (موجه AM) وهذا مبين من خلال الشكل (ج) 2-12.

AM Transmitters

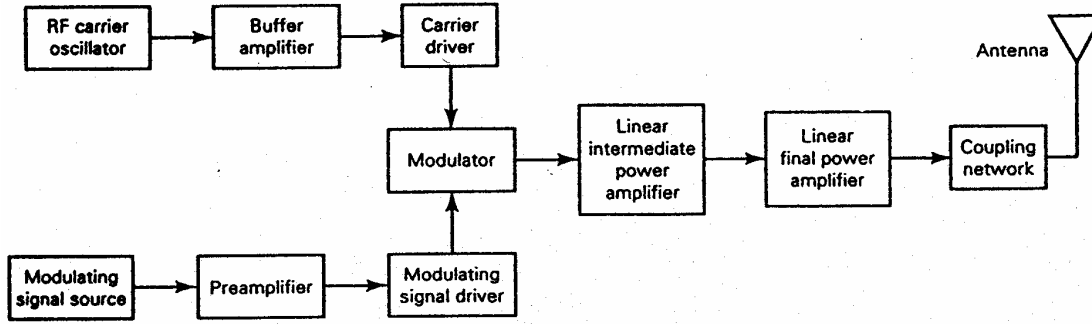
٢-١٠ جهاز الإرسال (المرسل)

هناك نوعان من أجهزة الإرسال:

(Low Level transmitter)

أ. المرسل ذو مستوى منخفض

هذا النوع من الأجهزة يستعمل من أجل إرسال الإشارات الصوتية (100kHz – 300kHz)، وغالباً ما يكون المنبع عبارة عن آلة يمرر من خلالها الصوت مثال: الميكروفون (Microphone)، أو قرص مغناطيسي (CD Rom) أو مسجل صوت (Phonograph record). الشكل 2-13 يوضح مجسم المرسل ذي مستوى منخفض.

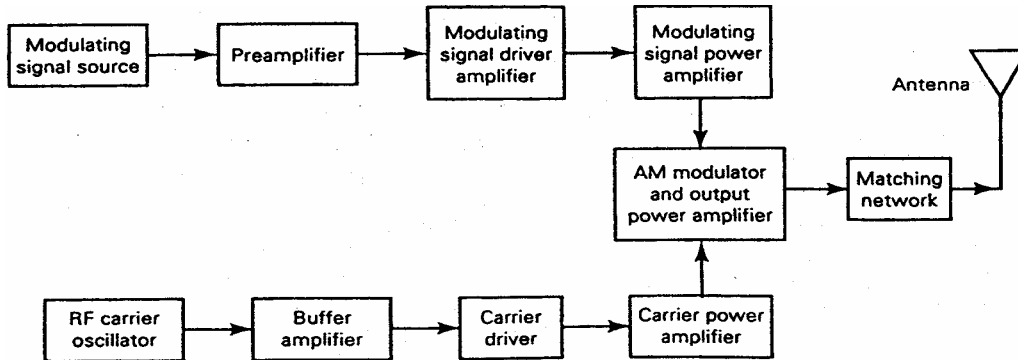


الشكل 2-13 يوضح المرسل ذا مستوى منخفض

(High Level transmitter)

ب. المرسل ذو مستوى عال

في هذا النوع من الضروري أن تكون قدرة إشارة التنفيذ في مستوى أعلى مقارنة بالمرسل ذي المستوى المنخفض. وهذا يبدو واضحاً من خلال إضافة مكبر التضخيم ثالث من أجل تكبير إشارة التضمين انظر الشكل 2-14.



الشكل 2-14 يوضح المرسل ذا مستوى عال.

الوحدة الثالثة: تضمين السعة (الاتساعي) استقبال

Amplitude Modulation Reception

• الهدف

عند نهاية الوحدة فإن المتدرب بإمكانه:

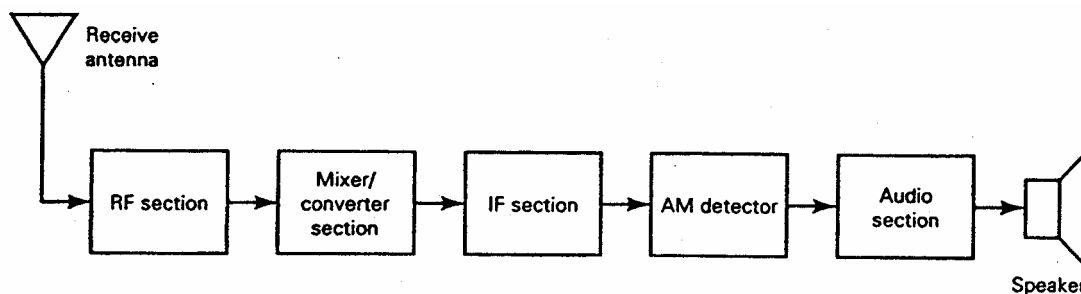
- أ. إعداد مخطط نموذجي لجهاز الاستقبال.
- ب. شرح العناصر الأساسية لجهاز الاستقبال حتى يقوم بوظيفته.
- ج. تعداد أنواع أجهزة الاستقبال الخاصة بموجة AM وشرح وظيفة كل نوع.

• محتوى هذه الوحدة:

- | | |
|------|-------------------------------------|
| ١- ٣ | مقدمة. |
| ٢- ٣ | خصائص جهاز الاستقبال (المرسل). |
| ٣- ٣ | عناصر (وسائط) جهاز الاستقبال. |
| ٤- ٣ | أنواع أجهزة الاستقبال الخاصة بـ AM. |
- عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة: 4 ساعات

يعتبر استقبال تضمين السعة الذي يتم في جهاز الاستقبال هو عملية عكسية لعملية التضمين التي تتم في جهاز الإرسال.

إن مهمة جهاز استقبال موجة AM هو تحويل الموجة المضمنة إلى إشارة معلوماتية أصلية. إنه لمن الضروري أن يكون جهاز استقبال موجة AM قادراً على الاستقبال، والتكبير، وتفكيك موجة AM. كذلك لا بد أن يكون هذا الجهاز قادراً على تحديد عرض النطاق الكلي لطيف ترددات موجات المذياع (RF) إلى عرض نطاق خاص من الترددات. هذه العملية تدعى ضبط طنين جهاز الاستقبال (المستقبل). حتى يتسنى الفهم الكلي لعملية التفكيك أو الاستخلاص (Demodulation). إنه من الضروري أن يفهم مبدئياً المصطلحات الخاصة التي تستعمل في وصف الخصائص المميزة لجهاز الاستقبال (Receiver). إن الشكل 3-1 يوضح مجسماً مثالياً مختصراً لجهاز استقبال موجة AM.



الشكل 3-1 مجسم مختصر لجهاز استقبال موجة AM

Characteristics of AM Receiver

٢-٣ الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM

إن من أهم الخصائص التي يتميز بها جهاز استقبال موجة AM والتي تساعد على فهم هذا الجهاز

هي:

The RF Section

أ - قسم ترددات المذياع

وأهم خصائص هذا القسم هي:

١. كشف موجات المذياع (RF).
٢. تحديد عرض نطاق موجات المذياع.
٣. تضخيم موجات المذياع المستقبلية.

The Mixer and Converter Section

ب - قسم الدمج والتحويل

يتميز هذا القسم بأنه يقوم بتخفيض وتحويل ترددات موجات المذياع إلى ترددات وسطية

ج - قسم الترددات الوسطية

يتميز هذا القسم بعمليتي التضخيم والاختيار.

د - قسم كاشف الغلاف لموجة AM.

يتميز هذا القسم باستخلاص إشارة التضمين من الموجة المضمنة ، وتحويل موجة AM إلى موجة

المعلومات الاساسية.

هـ - القسم الصوتي

يتميز هذا القسم بتضخيم الإشارة المستخلصة.

Receiver Parameters

٣-٣ عناصر جهاز الاستقبال

العناصر التالية تستعمل من أجل تقييم مدى قدرة جهاز الاستقبال باستخلاص إشارة التضمين بنجاح

من الموجة المضمنة والتي في الغالب تكون من نوع موجات المذياع (RF).

أ - الاختيارية (Selectivity)

عنصر الاختيارية يستعمل من أجل قياس ما مدى قدرة جهاز الاستقبال على تغيير عرض نطاق

معطى من الترددات ورفض البقية.

Bandwidth Improvement

ب - تحسين عرض النطاق

هو عبارة عن تخفيض في نسبة الضوضاء والتي يمكن الحصول عليها بواسطة تخفيض في عرض

النطاق.

كما يمكن التعبير رياضياً على تحسين عرض النطاق بالمعادلة التالية:

$$B_I = \frac{B_{RF}}{B_{IF}} \quad (3-1)$$

حيث:

B_I : تحسين عرض النطاق [بدون وحدة]

B_{RF} : عرض نطاق موجات المذياع [Hz]

B_{IF} : عرض نطاق الموجات الوسطية [Hz]

إن عملية تحسين عرض النطاق نتيجة تخفيض في شكل الضوضاء يطابقها فعل يسمى تحسين في شكل الضوضاء والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$NF_i = 10 \text{ Log } B_f \quad (3-2)$$

حيث

NF_i : تحسيناً في شكل الضوضاء [decibel]

مثال 3-1

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (NF_i) لجهاز استقبال موجة AM حيث عرض نطاق موجات المذياع تساوي 200kHz وعرض نطاق الترددات الوسطية تساوي 10kHz.

الحل

باستعمال المعادلتين (3-1) , (3-2) تكتب

$$NF_i = 10 \text{ Log } B_f = 10 \text{ Log } \frac{B_{RF}}{B_{IF}} = 10 \text{ Log } \frac{200}{10} = 13 \text{ dB}$$

Sensitivity

ج - الحساسية

حساسية جهاز الاستقبال هي القيمة الصغرى لتردد إشارة المذياع التي يمكن التقاطها عند دخل المستقبل والتي بإمكان الجهاز إنتاج الإشارة المعلوماتية الآلية المستخلصة.

Dynamic Power range

د - المجال الديناميكي للقدرة

المجال الديناميكي هو عبارة عن مجال لطاقة الدخل، من خلاله يكون جهاز الاستقبال قادراً على استقبال وتحليل الإشارة.

Fidelity Factor

هـ - عامل الدقة

عامل الدقة يقوم بقياس ما مدى قدرة نظام الاتصالات على إنتاج صورة مطابقة تماماً لإشارة المعلومات عند خرج جهاز الاستقبال.

هناك ثلاثة أشكال ممكن أن تقلل من دقة نظام الاتصالات

١. التشوه في السعة: يحدث هذا النوع من التشوه عندما تتلف سعة الموجة المضمنة بواسطة الضوضاء.

٢. التشوه في التردد: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف تردد الموجة بواسطة الضوضاء.

٣. التشوه في الطور: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف طور الموجة المضمنة بواسطة التردد.

Insertion Loss (IL)

و - عامل الضياع في الدخل

عامل الضياع في الدخل هو عبارة عن نسبة القدرة المحولة إلى الحمل في دائرة بوجود مرشح إلى قدرة المحولة إلى الحمل مع عدم وجود المرشح.
ويعرف بالعلاقة التالية:

$$IL = 10 \text{ Log } \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3-3)$$

ي - درجة حرارة الضوضاء والدرجة المكافئة للضوضاء
(Noise Temperature and Equivalent Noise Temperature)

درجة حرارة الضوضاء: يعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$T = \frac{N}{KB} \quad (3-4)$$

حيث:

T: درجة حرارة الضوضاء [Kelvin]

N: طاقة الضوضاء [watts]

K: ثابت بولتزمان $K = 1.38 \times 10^{-23} \left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kelvin}} \right)$

B: عرض نطاق (Hertz)

ك - درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Te)

هي عبارة عن مؤشر يدل على انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal to noise ratio) أثناء صدور الإشارة خلال جهاز الاستقبال. فكلما قلت درجة الحرارة المكافئة للضوضاء كلما دل على جودة جهاز الاستقبال. والقيم المثالية لـ T_e تتراوح بين 20° لأجهزة استقبال ذات الجودة إلى غاية 1000° لأجهزة الاستقبال ذات ضوضاء عالية.

يعبر رياضياً على T_e عند دخل جهاز الاستقبال بالعلاقة التالية:

$$T_e = T(F - 1) \quad (3-5)$$

Te: درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Kelvin)

T: درجة حرارة الوسط (Kelvin)

F: معامل الضوضاء (بدون وحدة).

٣-٤ أنواع أجهزة الاستقبال لموجة AM

هناك نوعان من أجهزة المذياع للاستقبال:

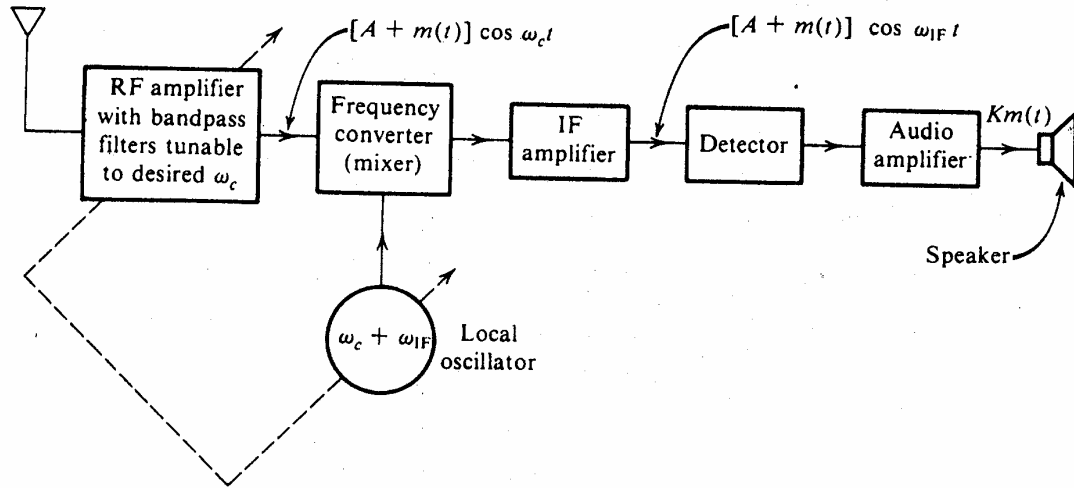
أ - أجهزة الاستقبال المتزامنة Coherent receivers

يشترط في هذا النوع من الأجهزة أن تكون الترددات المنتجة في قسم الاستقبال والتي تستعمل في عملية الكشف (أي استخلاص إشارة المعلومات الأصلية) متزامنة مع الترددات المنتجة من طرف المذبذب (Oscillator) في قسم الإرسال.

Non coherent receivers

ب - أجهزة الاستقبال غير المتزامنة

في هذا النوع من الأجهزة يحتمل أن لا تنتج ترددات أو إن استعملت ترددات من أجل الكشف فإنها غير مرتبطة وليس لها أي علاقة مع تردد الموجة الحاملة الخاصة بقسم الإرسال. ومن الأمثلة الشائعة على هذا النوع من أجهزة الاستقبال هو ما يعرف ب: جهاز استقبال تضمين السعة بالفعل المتغاير الفوقي (The Super heterodyne AM receiver) والمبين في الشكل 2-3 و يمكن وصف عمله كمايلي:



الشكل 2-3 يوضح جهاز استقبال بالفعل المتغاير الفوقي

يعرف جهاز استقبال المذياع المستخدم في تصنيف الاتساع عن طريق النقل المتغير بالفعل الفوقي (سوبر هيتتروداين) حيث يتكون هذا الجهاز الموضح في الشكل (2-3)، من الأقسام التالية: قسم تردد الراديو، ومغير التردد، ومضخم الترددات الوسطية، وكاشف الغلاف، ومضخم الترددات السمعية. ويقوم بالنقاط المحطة المرغوبة عن طريق تغيير طنين المرشح حتى يوافق النطاق الترددي الصحيح. أما القسم التالي فهو مغير التردد الذي ينقل الموجة الحاملة من ترددها f_c إلى تردد متوسط وثابت عند القيمة 455 كيلو هرتز. ويستخدم لهذا الغرض مذبذب موضعي قيمة تردده F_{LO} ، بحيث يكون هذا التردد أكبر دائماً من تردد الموجة الحاملة القادمة (F_c) بمقدار 455 كيلوهرتز أي $F_{LO} = F_c + F_{IF}$ حيث

($F_{IF} = 455\text{kHz}$). ويتحكم في طنين المذبذب الموضوعي وطنين مرشح المذياع معا عن طريق تدوير (مفتاح) واحد. وهناك مكثفات للطنين في دوائر كلا القسمين. رصت جميعاً وصممت لكي يكون تردد الطنين في المذبذب الموضوعي أكبر من تردد الطنين في مرشح المذياع بقيمة قدرها 455 كيلوهرتز. وهذا بالتالي يعني أن تردد كل محطة يتم استقبالها بالمذياع سيتغير إلى تردد ثابت قيمته 455 كيلوهرتز. وذلك بواسطة مغير التردد. والسبب نقل تردد جميع المحطات المرغوبة إلى التردد الثابت 455 كيلوهرتز هو ضمان الحصول على انتقائية كافية. حيث يصعب تصميم مرشحات مثالية لإمرار الترددات العالية جداً، وبشكل خاص إذا كان هذا المرشح من النوع الذي يمكن تغيير طنينه. وعلى هذا، لن يتمكن مرشح المذياع من تقديم انتقائية كافية مما يتسبب في حصول تداخل مع القناة المجاورة. ولكن ينقل تردد الإشارة القادمة إلى تردد متوسط بواسطة مغير التردد، فإن مضخم الترددات المتوسطة الذي يتمتع بانتقائية جيدة يقوم حينئذ بزيادة تكبيرها وذلك لأن قيمة تردد مضخم التردد المتوسط منخفضة نسبياً وثابتة عند قيمة محددة. ولهذا فبالرغم من احتواء مدخل مضخم الترددات المتوسطة على مركبات القناة المجاورة إلا أن هذا المضخم بانتقائيته المرتفعة سيقوم بإزالة هذا التداخل وتضخيم الإشارة لكي تكون جاهزة لعملية كشف الغلاف.

وفي الحقيقة، يتم تحقيق صفة الانتقائية عملياً في قسم التردد المتوسط أما قسم متوسط المذياع فليس له دور يذكر في هذا الشأن. فمهمة هذا القسم الرئيسية هي التخلص من تردد الصورة. وإن مخرج مغير الذبذبات يتكون من الفرق بين ترددي الإشارة القادمة f_c وإشارة المذبذب الموضوعي (أي إن $F_{IC} = F_{LO} - F_c$). فإن كان تردد الموجة القادمة f_c يساوي 1000kHz فإن $F_{LO} = F_c + F_{IF} = 1000 + 455 = 1455\text{kHz}$ ولو كانت هناك إشارة أخرى تبث على تردد يساوي $F_c = 1455 + 455 = 1910\text{kHz}$ ، فإن التقاطها يصبح ممكناً أيضاً لأن الفرق $F_{LO} - F_c$ يساوي 455 kHz. وهنا نقول إن المحطة التي ترددها 1910kHz وهي صورة (أو خيال) المحطة التي ترددها 1000kHz وأي محطتين يفصل بين تردديهما $2F_{IF} = 910\text{kHz}$ ، فإن إحداها صورة للأخرى وكلاهما سيظهران عند مخرج الترددات المتوسطة فافتراض عدم وجود قسم مذياع عند مدخل جهاز الاستقبال. وقد يقدم مرشح المذياع انتقائية سيئة ضد المحطات التي يفصل بين تردداتها 70kHz ولكنه يجب أن يوفر انتقائية معقولة المحطات التي يفصل بينها 910kHz.

ويغير جهاز الاستقبال (شكل 2-3) تردد الموجة الحاملة إلى تردد وسيط (IF) باستعمال مولد الذبذبات الموضوعي الذي تردده (F_{LO}) أكبر من الموجة القادمة. ولذا يطلق عليه المستقبل بالفعل المفاير الفوقوي ويستخدم هذا المبدأ الذي قدمه أرمسترونغ في أجهزة استقبال التضمين الاتساعي، والترددي، والتلفازي. والسبب في الاستخدام تردد موضعي أعلى من تردد الموجة القادمة بدلاً من تردد أقل يعود إلى أن الأول يؤدي إلى حدوث مدى طنيني للمذبذب الموضوعي أصغر من ذلك الناتج عند استعمال الأخير. وتمتد

ترددات الموجات الإذاعية المتوسطة كما هو معروف من 550 إلى 1600 كيلو هرتز. ويتمدد تردد التحويل الفوقى المصاحب لهذا النطاق من الذبذبات الإذاعية من 1005 إلى 2055 كيلوهرتز بينما يغطي مدى التحويل السفلي النطاق الممتد من 95 إلى 1145 كيلوهرتز ولا شك أن تصميم المذبذب سيكون أكثر سهولة كلما صغرت النسبة بين تردد النهاية الكبرى والنهاية الصغرى لمدى الطنين.

ويكتسب مبدأ الفعل المتغاير الفوقى أهمية خاصة في البث الإذاعي. ففي السنوات الأولى للبث الإذاعي (قبل عام 1919م) كان مرشح قسم مرحلة المذياع هو المسؤول عن تحقيق الانتقائية بكاملها لتمييز المحطات المتجاورة. ولكون مرشح هذا القسم يتصف بانتقائية رديئة، كان من الضروري استعمال عدة مراحل (عدد من دوائر الطنين) متصلة على التوالي لتخفيف انتقائية كافية. وفي أجهزة الاستقبال القديمة كان طنين كل مرشح يعدل على حدة. وكان من العسير والمضيق للوقت التقاط محطة إذاعية عن طريق جعل جميع دوائر الطنين كلها متزامنة. وقد سهل هذا الأمر بتجميع المكثفات المتغيرة كبيرة الحجم مما يجعل هناك حداً لعدده الذي يمكن تجميعه لهذه الطريقة.

وهذا بلا شك يحد من الانتقائية التي توفرها تلك الأجهزة. وبالتالي كان لابد من فصل بين ترددات الموجات الحاملة المتجاورة بمقادير كبيرة، مما نتج عنه عدد قليل من النطاقات الترددية أو القنوات. وهنا تبرز أهمية جهاز الاستقبال المعتمد على مبدأ الفعل المتغير الفوقى (سوبرهيتراين) في السماح بوجود محطات إذاعية كثيرة.

تمارين

التمرين الأول

ارسم مخطط بيانياً لجهاز استقبال موجة AM مع تسمية مكوناته.

التمرين الثاني

اذكر الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM مع شرح وجيز لكل عنصر.

التمرين الثالث

أوجد عرض نطاق الترددات الوسطية (B_{IF}) الضرورية للوصول إلى عرض تحسين النطاق (B_I) المقدر بـ 16 لجهاز استقبال المذياع حيث عرض نطاق ترددات المذياع (B_{RF}) تساوي 320kHz.

التمرين الرابع

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (N_{Fi}) لجهاز استقبال حيث عرض نطاق ترددات المذياع (RF) يساوي 40kHz وعن عرض نطاق الترددات الوسطية (IF) يساوي 10kHz.

التمرين الخامس

أوجد درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (T_e) حيث شكل الضوضاء يساوي 16dB ودرجة الوسط $T=27^\circ C$.

التمرين السادس

ارسم شكلاً توضيحياً لجهاز سوبر هيردين وشرح وظيفته مع بيان مدى أهميته.

التمرين السابع

إذا كان تردد الموجة الحاملة القادمة إلى جهاز الاستقبال تساوي 500kHz. احسب تردد المذبذب الموضعي في جهاز الاستقبال.

الوحدة الرابعة : تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد

Amplitude Modulation: Single Side band (SSB)

• الهدف

عند نهاية هذه الوحدة فإن المتدرب بإمكانه:

١. أن يتعرف على نظام النطاق الجانبي المفرد لتضمين السعة

٢. أن يقوم بتعداد مختلف أنظمة تضمين السعة.

٣. أن يعرف كل نظام من هذه الأنظمة.

٤. أن يفرق بين هذه الأنظمة.

٥. أن يقترح أي نظام أفضل استعماله في ميدان البث الإذاعي , والإرسال التلفزيوني ونظام الهاتف بعيد المدى.

والاتصالات بواسطة الميكروويف.

* محتوى هذه الوحدة:

١-٤ مقدمة.

٢-٤ أنظمة النطاق الجانبي المفرد:

تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.	١- ٢- ٤
تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.	٢- ٢- ٤
تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المتحقق الحامل.	٣- ٢- ٤
تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي.	٤- ٢- ٤
تضمين السعة: النطاق المزدوج المكبوت الحامل.	٥- ٢- ٤

٣-٤ مقارنة بين الأنظمة المختلفة لتضمين السعة

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 7 ساعات

لقد سبق أن تعرضنا بعمق خلال الوحدة الثانية إلى تضمين السعة المزدوج أو الكامل (AMDSBFC) وتوصلنا إلى أن معظم القدرة الكلية المرسله محتواة في الموجة الحاملة. لكن الموجة الحاملة لا تحتوي على أي معلومات. مع العلم أن النطاقين الجانبين هما اللذان يحتويان على المعلومات. بالإضافة إلى ذلك فإن تضمين السعة ذات النطاق المزدوج يستهلك عرض نطاق مضاعف لما يستهلكه تضمين لاتساع النطاق الجانبي المقرر. إن إرسال كلاً من المركبتين الجانبيتين العليا والدنيا يعتبر إرسال متكرر لنفس المعلومة لأنهما يشملان على نفس المعلومات. بناءً على ما سبق نخلص إلى نتيجة مهمة وهي أن تضمين السعة ذات النطاق المزدوج (AM DSBFC) هو عبارة عن طريقة تبدد من خلالها كثير من القدرة وعرض النطاق ، اللذان يعتبران عنصراً مهماً في تصميم الأجهزة الحديثة في أنظمة الاتصالات. نتيجة ذلك تم إدراج تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد كبديل إلى حد ما لتضمين السعة المزدوج لما يتميز به من خصائص على هذا النوع الأخير.

فالهدف من هذه الوحدة هو دراسة مختلف أنظمة تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد ومميزاته وعيوبه مقارنة بتضمين السعة المزدوج.

Single – Sideband Systems

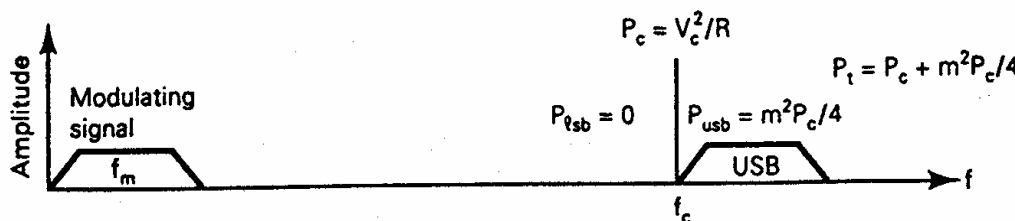
٢-٤ أنظمة النطاق الجانبي المفرد

هناك عدة أنواع من أنظمة الاتصالات الخاصة بالنطاق الجانبي. البعض منها يقتصد في القدرة. والبعض يقتصد في عرض النطاق والآخر يقتصد في القدرة وعرض النطاق. إذا من خلال هذا البند نستعرض إلى دراسة الأنواع التالية:

١-٢-٤ تضمين السعة- النطاق الجانبي المفرد مع الحامل

AM Single – Side band Full Carrier (SSBFC)

تعتبر السعة- النطاق الجانبي المفرد مع الحامل شكل من اشكال تضمين السعة ذات النطاق المزدوج حيث ترسل الموجة الحاملة بكامل طاقتها، إلا أنه يستغنى على أحد النطاقين الجانبيين. الشكل 4-1 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة بالنسبة لتضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.



الشكل 4-1: يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة النظام النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.

وللتعبير عن ذلك رياضياً، نذكر بمعادلة توزيع الجهد بالنسبة لتضمين السعة المزدوج والتي توصلنا

إليها في الوحدة الثانية والمعطاة كما يلي:

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t \quad (1-4)$$

تبعاً لتعريف تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد مع الحامل فإننا نأخذ الموجة الحاملة مع أحد

النطاقين، ولنفرض أنها على النحو التالي:

$$V_{SSBFC}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t \quad (4-2)$$

إذاً من المعادلة (4-2) نستطيع القول بأن القدرة التي تحملها الموجة المضمنة موزعة بين الموجة

الحاملة ومركبة أحد نطاق التردد، وليكن التردد الأعلى .

$$P_t = P_c + P_{USB}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2}{4} P_c \quad (4-3)$$

$$P_t = (1 + \frac{m^2}{4}) P_c$$

وإذا تم التضمين 100% فإن $m=1$ وبالتالي المعادلات السابقة تصبح كمايلي:

$$P_c = \frac{4}{5} P_t$$

$$P_{USB} = \frac{1}{5} P_t$$

(4-4)

من المعادلات (4-4) يمكن القول إن الجزء الأكبر من قدرة الموجة المضمنة ذات النطاق المفرد مع

الحامل يكون من نصيب الموجة الحاملة والجزء الأصغر منها يقع ضمن النطاق المفرد. وتشبه حالة تبديد

القدرة هذه حالة تضمين السعة المزدوج. أما الخاصية التي يتميز بها النطاق الجانبي المفرد مع الحامل هو

الاقتصاد في عرض النطاق المطلوب والمعطى كما يلي:

$$BW_{SSBFC} = f_m \quad (4-5)$$

حيث

BW_{SSBFC} : عرض نطاق بالهرتز

f_m : تردد إشارة المعلومات بالهرتز

أما القيمة القصوى لجهد الغلاف الخارجي للموجة المضمنة

$$V_{max} = E_c + E_{USB} \quad (4-6)$$

$$V_{\min} = E_C - E_{USB} \quad (4-7)$$

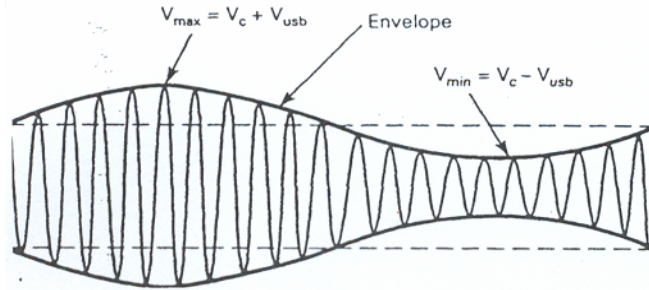
وبما أن

$$E_{USB} = \frac{mE_C}{2} \quad (4-8)$$

بتعويض المعادلة (4-8) في المعادلة (4-7) ومن أجل حالة التضمين 100% نجد

$$V_{\min} (\%) = 50\% E_C \quad (4-9)$$

من المعادلة 4-8 نستنتج بأن حالة التضمين 100% في النطاق الجانبي المفرد مع الحامل تعادل 50% في تضمين السعة المزدوج. الشكل 4-2 يوضح الموجة المضمنة للنطاق الجانبي المفرد مع الحامل عندما يتم التضمين بنسبة 100%.



الشكل 4 2 يوضح موجة النطاق الجانبي المفرد مع الحامل عند نسبة التضمين 100%.

مثال 4-1

لدينا جهاز إرسال موجته الحاملة $P_C = 100W$. يستخدم هذا الجهاز في النطاق الجانبي المفرد (SSB). حيث معامل التضمين $m = 0.8$.

- أوجد قدرة الإرسال التي تحملها إحدى مركبتي النطاق الترددي.
- أوجد قدرة الإرسال التي تحملها موجة النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.
- أجر مقارنة بين قيم الطاقات وماذا يمكن أن تستنتج؟

الحل:

$$P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C = \frac{1}{4} (0.8)^2 100 = 16W \quad \text{أ.}$$

$$P_t = P_C + P_{USB} = 100 + 16 = 116 W \quad \text{ب.}$$

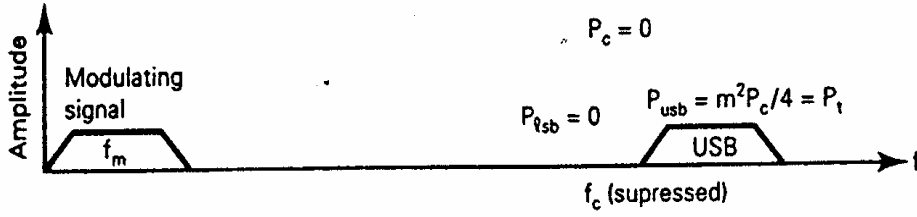
$$P_t = 116 W, P_C = 100 W, P_{USB} = 16 W \quad \text{ج.}$$

نستنتج أن طاقة الإرسال موزعة كما يلي 86% محتواة في طاقة الموجة الحاملة (تبديد للطاقة) و14% محتواة في المركبة الجانبية (المحتواة على المعلومات) أي نستطيع الجزم على أن النطاق الجانبي المفرد مع الحامل يبذل القدرة تقريباً بنفس طريقة تضمين السعة المزدوج.

AM Single Side band Suppressed Carrier (SSBSC)

يعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل شكل من أشكال تضمين السعة

المزدوج حيث الموجة الحاملة ملغاة مع سحب إحدى المركبتين كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 4-3 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

باستخدام المعادلة 4-1, وأخذ بعين الاعتبار تعريف النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل, فيمكن

التعبير رياضياً عن الموجة المضمنة بما يلي (حسب اختيار المركبة).

$$V_{SSBFC}(t) = -\frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t \quad (4-10)$$

من المعادلة 4-10 نستنتج أن القدرة المرسله موزعة 100% على المركبة الجانبية فقط

والتي تحتوي على المعلومات. ومن هنا نقول بأن تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت

الحامل يعتبر أفضل اقتصادياً بالنسبة للطاقة وكذلك بالنسبة لعرض النطاق حيث يبلغ عرض نطاق F_m .

ويمكن أن نعبر عنه رياضياً بما يلي:

$$P_i = P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C \quad (4-11)$$

$$BW = f_m \quad (4-12)$$

مثال 4-2

لدينا جهاز إرسال طاقة موجته الحاملة $P_c = 200w$ يستخدم هذا الجهاز في النطاق الجانبي المفرد

حيث معامل التضمين يساوي $m=1$.

أ. أوجد طاقة الإرسال التي تحملها إحدى المركبتين.

ب. أوجد طاقة الإرسال الكلية للنطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

ج. ماذا تستنتج؟

الحل:

$$P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C = \frac{1}{4} (1)^2 200 = 50 W \quad \text{أ.}$$

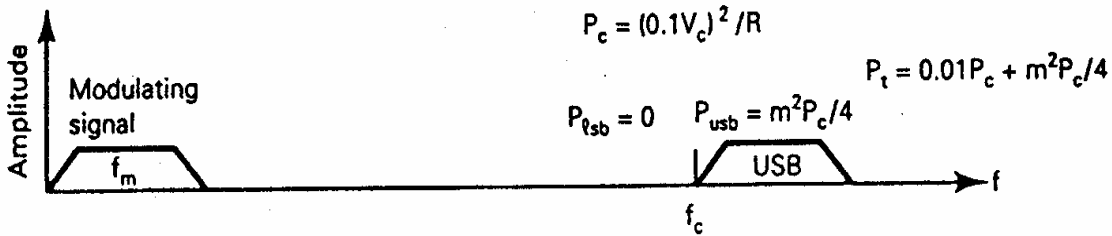
$$P_i = P_{USB} = 50 W \quad \text{ب.}$$

جد. نستنتج بأن القدرة المرسله كلها محتواة في المركبة الجانبية وبالتالي تعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبى المفرد المكبوت الحاملة طريقة اقتصادية من حيث استغلال القدرة وهي تختلف تماماً على طريقة تضمين السعة المزودج.

٣-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبى المفرد المنخفض الحامل

AM Single – side band Reduced Carrier (SSBRC)

يعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبى المفرد المنخفض الحامل شكل من أشكال تضمين السعة المزودج حيث يتم تخفيض في سعة الموجة الحاملة قبل التضمين بنسبة 10% تقريباً. مع سحب إحدى المركبتين العليا أو الدنيا. كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 4-4 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبى المفرد المنخفض الحامل.

يمكن التعبير رياضياً عن معادلة الموجة المضمنة للنطاق الجانبى المفرد المنخفض الحامل بما يلي:

$$V_{SSBFC}(t) = E_{c(reduced)} \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_{c(reduced)}}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t \quad (4-13)$$

إذا اعتبرنا نسبة التخفيض 10% فإن المعادلة (4-13) تصبح على الشكل التالي:

$$V_{SSBFC}(t) = (0.1)E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{(0.1)E_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t \quad (4-14)$$

إن المعادلة (4-14) تخبرنا أن طاقة الإرسال موزعة على الموجة الحاملة والمركبة الجانبية ويمكن

التعبير عن ذلك رياضياً :

$$P_t = P_c + P_{USB} \quad (4-15)$$

$$P_t = \frac{E_{C(reduced)}^2}{R} + \frac{1}{4} m^2 P_c$$

بما أن

$$E_{C(reduced)} = 0.1E_c$$

إذاً

$$P_t = (0.01 + \frac{m^2}{4}) P_c$$

$$BW = f_c \quad (4-16)$$

مثال 4-3

إذا كانت سعة الموجة الحاملة $E_c = 20V$ المستخدمة في جهاز الإرسال المخصص للنطاق الجانبي

المفرد حيث معامل التضمين $m=1$ مع العلم أن مقاومة الحمل $R=5\Omega$

أ. احسب قدرة الموجة الحاملة التي تدخل في تركيب موجة النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل.

ب. احسب قدرة مركبة أحد نطاقي التردد.

ج. احسب القدرة الكلية أو قدرة الإرسال.

د. ماذا تستنتج؟

الحل:

$$P_C = \frac{E_{C(reduced)}^2}{R} = \frac{(0.1E_C)^2}{R} = \frac{0.01E_C^2}{R} \quad \text{أ.}$$

$$P_C = \frac{0.01 \times 400}{5} = 0.8W$$

$$P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C = \frac{1}{4} (1)^2 (0.8) = 0.2 W \quad \text{ب.}$$

$$P_t = P_C + P_{USB} = 0.8 + 0.2 = 1W \quad \text{ج.}$$

د. نستنتج أن 80% من طاقة الإرسال محتواة في الموجة الحاملة (تعتبر تبديد للطاقة لأنها لا تحتوي

على معلومات) بينما 20% من طاقة الإرسال مركزة في مركبة أحد نطاقي التردد، فيمكن القول بأن

طريقة تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل تشترك مع تضمين السعة المزدوج في تبديد

القدرة إلا أنها تتميز عليها في استخدام عرض النطاق أقل.

٤-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي

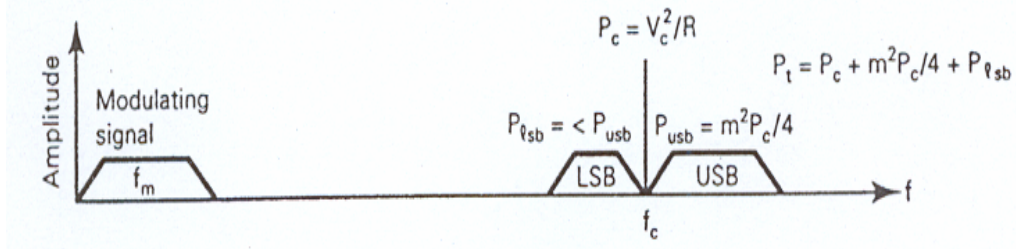
Amplitude Modulation: Vestigial Sideband (VSB)

نظام الاتصال ذو النطاق الجانبي الجزئي هو نظام جامع لخصائص المزدوج والنطاق المفرد. فهو

يحافظ على فوائد النظامين ويتجنب عيوبهما في نفس الوقت. فإشارات النطاق الجزئي سهلة التوليد. وفي

نفس الوقت نجد أن عرض نطاقها لا يزيد إلا قليلاً (في حدود 25%) عن عرض إشارة النطاق المفرد.

في هذا النظام يتم إرسال الموجة الحاملة و عرض نطاق جانبي واحد كلية، مع جزء فقط من النطاق الجانبي الثاني. كما هو موضح في الشكل 4-5



الشكل 4-5 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبي الجزئي (VSB)

إن عرض النطاق المطلوب من أجل إرسال إشارة النطاق المفرد الجزئي (VSB) يكون في حدود

1.25 من عرض النطاق الجانبي المفرد أي يمكن التعبير عنه رياضياً بما يلي:

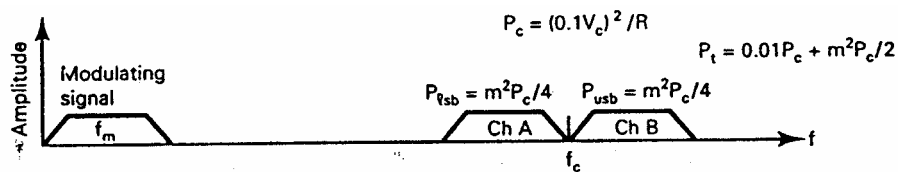
$$BW_{VSB} = 1.25BW_{SSB} = 1.25f_m \quad (4-17)$$

إن VSB يستعمل في إرسال إشارة الفيديو في البث التلفزيوني.

٤-٢-٥ تضمين السعة: النطاق المزدوج المكبوت الحامل

Double Sideband Suppressed Carrier (DSBSC)

كما رأينا في مختلف تقنيات لأنظمة النطاق الجانبي المفرد والتي سبق دراستها، فإنه يفضل التخلص من مركبة الموجة الحاملة نظراً لما تحتويه على معظم طاقة الإرسال دون أن تشمل على المعلومات المطلوبة. وكما قلنا سابقاً فإن المركبات الجانبية العليا والدنيا هما اللتان تشتملان على المعلومات. إن الشكل 4-6 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام السعة المزدوج المكبوت الحامل.



الشكل 4-6 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام السعة المزدوج المكبوت الحامل.

أما الموجة المضمنة الناتجة فيمكن التعبير عنها رياضياً بالمعادلة التالية:

$$V_{DSBFC}(t) = -\frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{m^2E_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t \quad (4-18)$$

واضح من المعادلة (4-18) بأن القدرة الكلية (أو طاقة الإرسال) هي عبارة عن طاقة المركبتين

العليا والدنيا وحيث:

$$P_t = P_{USB} + P_{LSB} \quad (4-19)$$

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

أما عرض النطاق

$$BW_{DSBFC} = 2f_m \quad (4-20)$$

من المعادلة (4-19) نستنتج أن تقنية تضمين السعة المزدوج المكبوت الحامل تقتصد في القدرة المرسله حيث إن كامل القدرة المرسله تقع ضمن المركبات الجانبية التي تحتوي على المعلومات المطلوب إرسالها.

٤-٣ مقارنة بين الأنظمة المختلفة لتضمين السعة

Comparison of Various AM Systems

لقد تطرقنا في مناقشتنا السابقة لعدة خصائص من أنظمة السعة (النطاق المزدوج والنطاق المفرد). ولعل من المفيد أن تجرى مقارنة هذه الأنظمة على ضوء عدد من النقاط الهامة أبرزها عرض نطاق التردد، وطاقة الإرسال وتوزيعها على مختلف مركبات الموجة المضمنة، وسهولة الكشف، والاستخدام التطبيقي الميداني لهذه الأنظمة.

تتميز أنظمة السعة عن أنظمة السعة مع كبت الحامل في جهاز الاستقبال وذلك لسهولة أجهزة الكشف (كاشف الغلاف) المطلوبة في نظام تضمين السعة إذا ما قورنت بتلك المطلوبة في أنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة. ولهذا السبب فإن جميع أنظمة البث الإذاعي ذات التضمين السعوي تستعمل نظام تضمين سعوي عادي بدون كبت الموجة الحاملة. بالإضافة إلى ذلك فإنه من السهل توليد إشارات التضمين السعوي العادي بمستويات عالية من القدرة بالمقارنة مع الإشارات ذات الموجة المكبوتة، حيث تتسم أجهزة التضمين المتزنة والمستعملة لتوليد هذه الإشارة بصعوبة تصميمها.

وهناك ميزة لأنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة تتميز بها على نظام تضمين السعة وهي أن الأنظمة الأولى تتطلب طاقة بث أو إرسال أقل لنقل نفس المعلومات. فتحت الظروف العادية، تستهلك الموجة الحاملة 75% (أو حتى أكثر من ذلك، راجع الأمثلة السابقة) من قدرة النقل الكلية، مما يتطلب جهاز إرسال باهظ التكاليف. وبالمقابل، فإن أنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة تتطلب جهاز استقبال معقداً وبالتالي غالي الثمن مقارنة بجهاز الاستقبال اللازم لنطاق التضمين السعوي. وفي نظام الاتصالات عن طريق وصلات الميكروويف (micro wave link)، والذي يتميز بوجود عدد محدود من أجهزة الاستقبال حيث إنه مع كل جهاز إرسال واحد يوجد جهاز استقبال معقد، أما في أنظمة البث

الإذاعي حيث توجد ملايين من أجهزة الاستقبال لكل جهاز إرسال واحد. فإن التضمين السعوي هو الاختيار الصحيح.

وسنقارن الآن بين نظام النطاق المزدوج بنظام النطاق المفرد وفيما يلي عدد من مميزات النطاق المفرد مقارنة بنظام النطاق المزدوج:

١. يحتاج نظام النطاق المفرد نصف عرض النطاق الترددي اللازم لنطاق المزدوج. وبالرغم من إمكانية معادلة هذا الفرق وذلك عن طريق استخدام التعدد المتعامد لإشارتي النطاق المزدوج. إلا أن الصعوبات العملية الناتجة عن تشويش الحديث التداخلي تكون أكثر خطورة في نظام الإكثار المتعامد.

٢. لأخطاء التردد والطور في الموجة الحاملة المستخدمة لاستخلاص التضمين آثار أكثر خطورة في حالة نظام النطاق المزدوج من تلك الناتجة عن استخدام نطاق النطاق المفرد وبالأخص عند نقل الإشارات الصوتية.

ولهذه الأسباب. يقل استخدام نظام النطاق المزدوج في أنظمة الاتصالات الصوتية. وفي أنظمة الهاتف بعيدة المدى. وتستعمل أنظمة التعدد (التقسيم) باستخدام النطاق المفرد مع وجود موجة حاملة دليلية. أما في الأنظمة القصيرة المدى فيستخدم أحياناً نظام النطاق المزدوج. إلا أن هذين النطاقين يستدلان تدريجياً بنظام التضمين تشفير النبضة (PCM).

ويتغلب نظام النطاق المزدوج على النطاق المفرد في حالة واحدة وهي أن توليد إشارة النطاق المفرد بمستوى عالٍ من القدرة يكون أكثر صعوبة من توليد إشارة النطاق المزدوج ويتم التغلب على هذا العيب لنظام النطاق المفرد بنظام النطاق الجزئي.

تمارين

التمرين الأول

أعط تعريفاً مناسباً لكل مما يلي:

- أ - تضمين السعة: المزدوج العادي أو الكامل.
- ب - تضمين السعة: النطاق الجانبي المزدوج المكبوت الحامل.
- ج - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد.
- د - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.
- هـ - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.
- و - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت
- ز - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.
- ح - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المتحقق الحامل.
- ط - تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي.

التمرين الثاني

أعط مجال استعمال لكل نظام من أنظمته المذكورة في التمرين الأول.

التمرين الثالث

أعط المعادلات الرياضية التي تعبر عن توزيع الجهد لكل نظام من الأنظمة المذكورة في التمرين الأول (ما عدا الجزء ج).

التمرين الرابع

بناء على إجابتك على التمرين الثالث، استنتج قوانين القدرة وعرض النطاق لكل نظام من الأنظمة السابقة.

التمرين الخامس

بناء على إجابتك على التمرين الرابع، ارسم جدولاً تحدد فيه بدقة العلاقة بين هذه الأنظمة وتميزها عن بعضها من وجهة نظر عدد النقاط الهامة مثل عرض نطاق التردد، وتوزيع القدرة، وسهولة إزالة التضمين أو الكشف، والاستخدام التطبيقي.

الوحدة الخامسة : التضمين الزاوي

Angle Modulation

• الهدف

عند نهاية هذه الوحدة بإمكان المتدرب:

- أ. تعريف التضمين الزاوي.
- ب. تعريف تضمين الطور (PM).
- ج. تعريف تضمين التردد (FM).
- د. توليد موجات (PM) و FM نظرياً وعملياً.
- هـ. حساب عرض نطاق التضمين الزاوي بطريقتي قانون كارس وجدول بيسال.

• محتوى الوحدة الخامسة :

- ١- ٥ مقدمة.
 - ٢- ٥ التضمين الزاوي والتردد اللحظي.
 - ٣- ٥ تضمين الطور وتضمين التردد.
 - ٤- ٥ توليد موجتي تضمين الطور والتردد نظرياً.
 - ٥- ٥ دليل التضمين.
 - ٦- ٥ تحليل الموجات المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد.
 - ٧- ٥ متطلبات عرض نطاق الموجات المضمنة زاوياً.
 - ٨- ٥ الطاقة المتوسطة للموجة المضمنة زاوياً.
 - ٩- ٥ الدوائر الإلكترونية المستعملة لتوليد موجات التضمين الزاوي عملياً.
- عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 12 ساعة

هناك ثلاث خصائص يمكن تغييرها للإشارة التماثلية وهي: الاتساع، والتردد والطور. هذه الوحدة تتناول تضمين التردد (FM) وتضمين الطور (PM). إن تضمين التردد وتضمين الطور يعتبران شكلاً للتضمين الزاوي. وهناك خصائص مميزة تستدعي استعمال تضمين الزاوي بدلاً من تضمين الاتساعي (AM) نظراً لمساهمته في إنقاص الضوضاء، وتحسين دقة نظام الاتصالات وأكثر مردودية في استعمال الطاقة. إلا أن التضمين الزاوي يتطلب دوائر إلكترونية معقدة في كل من جهاز الإرسال والاستقبال.

في سنة 1931 اقترح تضمين الزاوي كبديل للتضمين الاتساعي. وفي سنة 1936 تم تمكين العالم أرمسترونغ من تطوير نظام المذياع باستعمال FM، وفي سنة 1939 تم البث الإذاعي باستعمال FM في الولايات المتحدة الأمريكية.

وفي يومنا هذا، أصبح استعمال تضمين الزاوي بشكل كبير جداً حيث يستعمل في البث الإذاعي، وفي التلفاز لنقل الصوت، والمذياع الخليوي، وفي أنظمة الأقمار الصناعية والميكروبيف.

إن الهدف المنشود من هذه الوحدة هو التعريف بأساسيات تضمين التردد وتضمين الطور والعلاقة التي تربط بينهما وما مدى تميزهما على التضمين الاتساعي (AM) وكذلك التعرف على الدوائر الإلكترونية التي تساهم في إنتاج هذين النوعين من التضمين.

٥-٢ التضمين الزاوي والتردد اللحظي

Angle Modulation and Instantaneous Frequency

إن التضمين الزاوي ينتج كلما تغيرت زاوية الموجة الجيبية بدلالة الزمن.

نعتبر رياضياً عن موجة التضمين الزاوي بواسطة المعادلة التالية:

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c + \Phi(t)] \quad (5-1)$$

حيث الطور $\Phi(t)$ هو دالة إشارة المعلومات. لتعيد كتابة المعادلة (5-1) تحت الشكل التالي:

$$V(t) = E_c \cos[\theta(t)] \quad (5-2)$$

حيث

$$\theta(t) = 2\pi f_c + \Phi(t) \quad (5-3)$$

أي $\theta(t)$ هي زاوية الموجة الجيبية وهي متعلقة بالزمن. من هنا يمكن أن نعبر على التردد اللحظي بالمعادلة التالية:

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5-4)$$

نعوض المعادلة (5-3) في المعادلة (5-4) نحصل على ما يلي:

$$\omega_i(t) = \omega_c + \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (5-5)$$

حيث $\omega_c = 2\pi f_c$

$\phi(t)$: يعرف بالانحراف اللحظي في الطور.

$\frac{d\phi(t)}{dt}$: يعرف بالانحراف اللحظي في التردد.

٣-٥ تضمين الطور وتضمين التردد

Phase and Frequency Modulation (PM and FM)

كما أشرنا في المقدمة بأن أنواع التضمين الزاوي هما تضمين الطور (PM) وتضمين التردد (FM).

وبالنسبة لتضمين الطور (PM)، فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات.

أي يمكن التعبير عنه رياضياً بالمعادلة التالية:

$$\phi(t) = \kappa_p V_m(t) \quad (5-6)$$

حيث:

κ_p : هو عبارة عن ثابت انحراف الطور ووحدته [$\frac{\text{radian}}{\text{Volts}}$]

$V_m(t)$: هو عبارة عن الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

أما بالنسبة لتضمين التردد (FM)، فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طردياً مع إشارة

المعلومات ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \kappa_f V_m(t) \quad (5-7)$$

ومن هنا يمكن التعبير عن قيمة الانحراف اللحظي بما يلي:

$$\phi(t) = \kappa_f \int_{t_0}^t V_m(\lambda) d\lambda + \phi(t_0) \quad (5-8)$$

حيث:

κ_f : هو عبارة عن ثابت انحراف التردد معبراً عنه بـ [$\frac{\text{Hz}}{\mathcal{V}}$]

$\phi(t_0)$: هو عبارة عن الطور الابتدائي عند 0

في الغالب يفترض أنه عندما يؤول الزمن إلى ناقص ما لانهاية فإن الطور ينعدم، ومن هنا يمكن تعويض المعادلات (5-6) و (5-8) في المعادلة الأصلية (5-1) التي جعلناها محطة الانطلاق لتعبر على التضمين الزاوي بما يلي:

$$V_{PM}(t) = E_C \cos[2\pi f_c t + \kappa_p V_m(t)] \quad (5-9)$$

$$V_{FM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_c t + \kappa_f \int_{-\infty}^t V_m(\lambda) d\lambda\right] \quad (5-10)$$

حيث المعادلتان (5-9) و (5-10) تعبران عن الجهد اللحظي لكل من موجة تضمين الطور وموجة تضمين التردد على التوالي.

والآن نريد استخراج كلاً من معادلتنا التردد اللحظي لكل من تضمين الطور وتضمين التردد حتى يتسنى لنا رسم موجتيهما.

ومن أجل ذلك، نعوض المعادلة (5-6) في المعادلة (5-5) نحصل على:

$$\omega_{i(PM)}(t) = \omega_C + \kappa_p \frac{dV_m(t)}{dt} \quad (5-11)$$

أما تعويض المعادلة (5-7) في المعادلة (5-5) يعطي ما يلي:

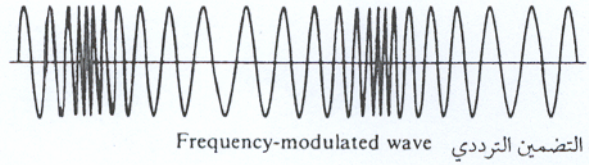
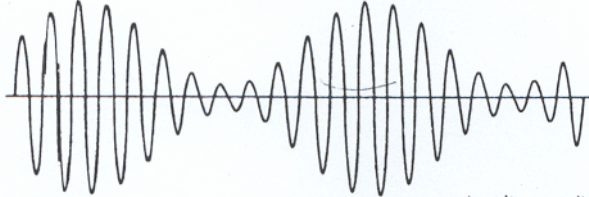
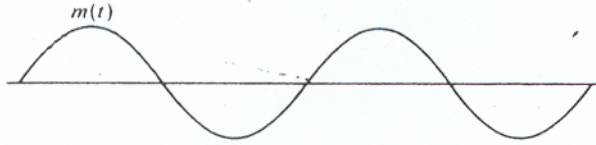
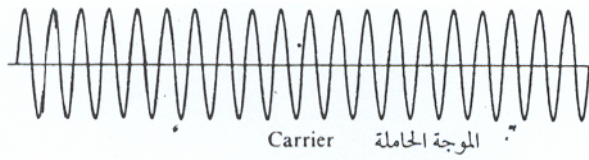
$$\omega_{i(FM)}(t) = \omega_C + \kappa_f V_m(t) \quad (5-12)$$

من المعادلتين (5-11) و (5-12) نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع تفاضل الجهد اللحظي إشارة المعلومات بالنسبة للزمن هذا خاص بتضمين الطور أما فيما يخص تضمين التردد نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

٥-٤ توليد موجتي تضمين الطور وتضمين التردد نظرياً:

Theoretical Generation of PM and FM waves

كما أشرنا في الجزء السابق (5-3) على أن معادلات التردد اللحظي لكل من تضمين الطور وتضمين الطور هما الركيزتان الأساسيتان لفهم طريقة توليد موجتي (PM) و (FM) نظرياً كما يوضحه الشكل التالي:



الشكل 5-1 يوضح كيفية توليد موجتي (PM) و (FM).

مثال 5-1

أوجد التردد اللحظي بالهرتز لإشارة التضمين الزاوي.

$$V(t) = 10 \cos\left(200\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$$

الحل:

$$\theta(t) = 200\pi t + \frac{\pi}{3}$$

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = 200\pi$$

$$\omega_i = 2\pi f_i = 200\pi \Rightarrow f_i = 100 \text{ Hz}$$

أ. دليل التضمين لموجة تضمين الطور:

دليل التضمين لموجة تضمين الطور يعطى بالعلاقة التالية :

$$m = \kappa_{\rho} V_m \quad (5-13)$$

حيث :

m : دليل التضمين ويقاس بالرادين

κ_p : ثابت انحراف الحساسية ويقاس بالرادين/الفولط

V_m : السعة القصوى لجهد إشارة المعلومات.

يجب التنبيه على أن دليل التضمين لموجة تضمين الطور يدعى كذلك "الانحراف الأقصى في الطور".

مثال 5-2

أوجد دليل التضمين (الانحراف الأقصى في الطور) لتضمين الطور حيث ثابت انحراف الحساسية:

$$V(t) = 2 \cos(2\pi 2000t)$$

الحل:

$$m = \kappa_{\rho} V_m = 2.5 \times 2 = 5rd$$

ب. دليل التضمين لموجة تضمين التردد:

دليل التضمين لموجة تضمين التردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{\kappa_f V_m}{f_m} \quad (5-14)$$

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (5-15)$$

حيث:

$\Delta f = \kappa_f V_m$: يدعى الانحراف في التردد أو الانحراف الأقصى في التردد.

f_m : تردد إشارة المعلومات

κ_f : ثابت انحراف الحساسية لضمن التردد.

أوجد الانحراف الأقصى للتردد ودليل التضمين لمضمن التردد حيث ثابت إنحراف الحساسية

$$\kappa_f = 5 \frac{KHz}{V}$$

وإشارة المعلومات

$$V(t) = 2 \cos(2\pi 2000t)$$

الحل:

أ. الانحراف الأقصى في التردد لمضمن FM

$$\Delta f = \kappa_f V_m = 5 \left[\frac{KHz}{V} \right] \times 2V = 10KHz$$

ب. دليل التضمين لموجة FM

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{10 KHz}{2 KHz} = 5$$

٥-٦ تحليل الموجات المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد

Frequency Analysis of Angle Modulated Waves

إن احتمال إشارة المعلومات أحادية التردد من أجل تضمين الموجة الحاملة تضميناً زاوياً فإن مضمن

الطور أو التردد ينتج عدداً غير منتهى من أزواج الأجنحة الترددية والتي تمتلك عرض نطاق غير منتهى.

كل جناح يزاح على الموجة الحاملة بواسطة حاصل ضرب عدد الذي يلي العدد قبله (العدد الأول

يساوي واحد).

$$\text{أي } f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, \dots, f_c \pm nf_m$$

ومن ناحية أخرى يمكن إهمال معظم الأجنحة لأن سعتها ضعيفة.

من أجل تحليل الموجة المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد، نذكر بمعادلة التضمين الزاوي (5-

1) والمعطاة بما يلي:

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c + \Phi(t)] \quad (5-16)$$

بتعويض المعادلة (5-6) في المعادلة (5-16) نحصل على

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c + \kappa_f V_m(t)] \quad (5-17)$$

لنفترض أن إشارة المعلومات معطاة بالعلاقة التالية:

$$V_m(t) = V \cos \omega_m t \quad (5-18)$$

نعوض المعادلة (5-18) في المعادلة (5-17) نحصل على:

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c + \kappa_p V \cos \omega_m t]$$

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c + m \cos \omega_m t] \quad (5-19)$$

حيث استبدلنا $\kappa_p V$ بـ m (انظر المعادلة 5-13) باستعمال تعريف دالة بيسال:

$$\cos(\alpha + m \cos \beta) = \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos(\alpha + n \cos \beta + \frac{n\pi}{2}) \quad (5-20)$$

حيث $J_n(m)$ هي دالة بيسال من النوع الأول ومن الدرجة n بطويلة m .

بتطبيق المعادلة (5-20) على المعادلة (5-19) نحصل على

$$V(t) = E_c \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos(\omega_c t + n \omega_m t + \frac{n\pi}{2}) \quad (5-21)$$

الآن نقوم بنشر للمعادلة (5-21) إلى غاية الحدود الأربع الأولى نحصل على

$$V(t) = E_c \left\{ \begin{array}{l} J_0(m) \cos \omega_c t + J_1(m) \left[\cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{\pi}{2} \right] - \\ J_1(m) \left[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\pi}{2} \right] + J_2(m) \left[\cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{\pi}{2} \right] - \\ J_2(m) \left[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\pi}{2} \right] + \dots \end{array} \right\} \quad (5-22)$$

إن المعادلة (5-22) تبين أن استعمال إشارة المعلومات أحادية التردد في التضمين الزاوي ينتج عنه

عدد غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والواقعة على جانبي المركبة الترددية المركزية للموجه الحاملة

$$f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, \dots, f_c \pm n f_m \quad (f_c) \text{ على الشكل التالي:}$$

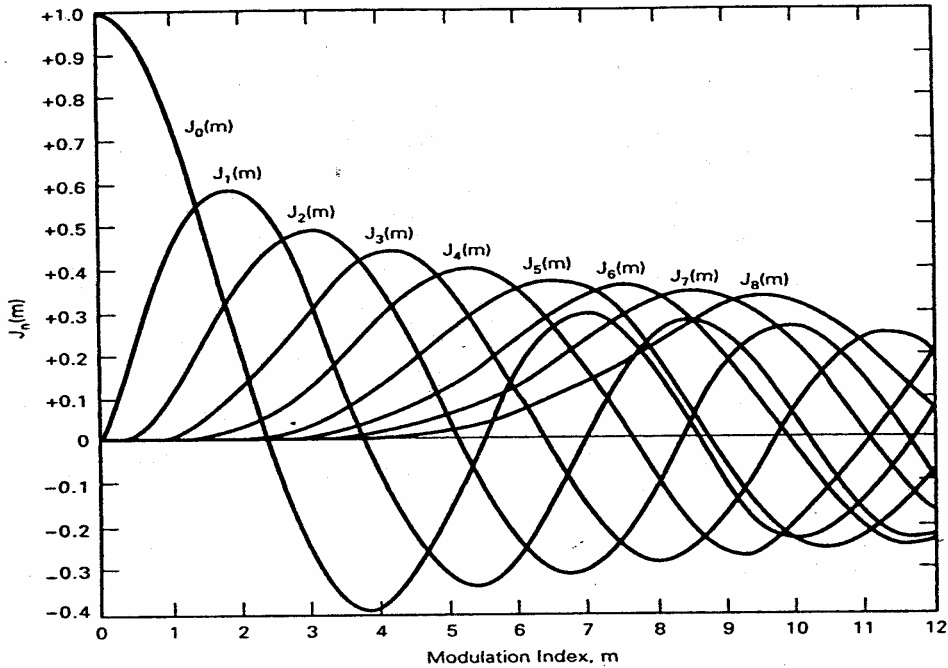
الأزواج المتتالية تُدعى عرض الجناح من الدرجة الأولى. عرض الجناح من الدرجة الثانية وهكذا.

أما أطوال ساعاتها فهي محددة بواسطة الثوابت $J_1(m)$ و $J_2(m)$ بالترتيب. إن الجدول 5-1 يوضح دوال بيسال من النوع الأول من أجل عدة قيم لدليل التضمين.

جدول 5-1 دوال بيسال من النوع الأول $J_n[m]$

m	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	-0.05	0.5	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	-0.04	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	-
10.0	-0.25	0.05	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

يمكن ملاحظة من الجدول 5-1 أنه كلما زاد معامل التضمين (m) فإن طولية الموجة الحاملة $J_n[m]$ تتناقص. وإن الشكل 5-2 يوضح منحنيات السعات النسبية للموجة الحاملة وبعض أزواج من الأجنحة الترددية من أجل قيم m إلى غاية 10.



الشكل 5-2 رسم بياني يوضح قيم $J_n[m]$ مقابل m .

مثال 4-5

من أجل مضمن FM, حيث دليل التضمين $m=1$, إشارة المعلومات

$$V_m(t) = V_m \sin(2\pi 1000t)$$

وإشارة الموجة الحاملة قبل التضمين

$$V_c(t) = 10 \sin(2\pi 5 \times 10^5 t)$$

أوجد:

- عدد أزواج الأجنحة الترددية المميزة.
- السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة.
- ارسم الطيف الترددي موضحاً عليه قيم السعات النسبية

الحل:

أ. باستعمال الجدول 5-1 من أجل $m=1$ فإن عدد الأزواج يساوي 3.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة هي:

$$J_0 = 0.77 (10) = 7.7 \text{ V}$$

$$J_1 = 0.44 (10) = 4.4 \text{ V}$$

$$J_2 = 0.11 (10) = 1.1 \text{ V}$$

$$J_3 = 0.02 (10) = 0.2 \text{ V}$$

ج. الطيف الترددي مبين في الشكل التالي:

٧-٥ متطلبات عرض نطاق موجات المضمنة زاوياً

Bandwidth requirement for Angle Modulated

نود أن ننتبه إلى الملاحظة التالية بناءً على الكلام السابق وكذلك المثال 4-5 فإن عرض نطاق

التضمين الزاوي يتعلق بتردد إشارة المعلومات وثابت التضمين. فبالتالي لا بد أن نقوم بتمييز عدة حالات:

• الحالة الأولى: عندما يكون ثابت التضمين منخفضاً، ففي هذه الحالة فإن الطيف الترددي

للتضمين الزاوي يشبه تماماً الطيف الترددي للتضمين الاتساعي (AM), وعرض النطاق الأدنى

تجاوزاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = 2.f_m \quad (5-24)$$

• الحالة الثانية: من أجل دليل التضمين العالي, فإن عرض النطاق في هذه الحالة يقرب بالعلاقة

التالية:

$$B = 2\Delta f \quad (5-25)$$

• الحالة الثالثة: إن عرض النطاق المطلوب من أجل تمرير جميع الأجنحة الترددية لموجة التضمين

الزاوي معطاة بالعلاقة التالية:

$$B = 2(n \times f_m) \quad (5-26)$$

حيث:

N: عدد أزواج الأجنحة وتحدد من جدول بيسال

F_m: تردد إشارة المعلومات (إشارة التضمين).

• الحالة الرابعة: بتاريخ 28 أغسطس 1939م، أوجد العالم كارسن (Carson) قانون بموجبه يحدد

عرض نطاق موجة التضمين الزاوي وهذا بغض النظر على دليل التضمين وأصبح يدعى قانون

كارسن الذي ينص رياضياً على ما يلي:

$$B = 2[\Delta f + f_{m(\max)}] \quad [Hz] \quad \text{حيث:}$$

ΔF : الانحراف الأقصى في التردد

f_{m(max)}: التردد الأقصى لإشارة التضمين (المعلومات)

لو تأملنا قانون كارسن لوجد أنه يأخذ بعين الاعتبار الحالة الأولى والثانية كيف؟

لو فرض أن f_{m(max)} كبيرة جداً مقارنة بـ ΔF فإن قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم (5-24)

وهي تمثل الحالة الأولى التي مرت معنا ومن جهة أخرى، لو افترضنا أن ΔF كبيرة جداً أمام f_{m(max)}، فإن

قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم (5-25) والتي تمثل الثانية التي سبق ذكرها. وبالتالي يمكن

القول أن قانون كارسن شامل. إن قانون كارسن يحدد عرض النطاق الذي يشمل تقريباً 98% من الطاقة

المحتواة في الموجة المضمنة. إن عرض النطاق الفعلي المطلوب يتعلق بإشارة التضمين (المعلومات) ونوعية

الإرسال المرغوب فيه.

مثال 5-5

من أجل مضمن FM حيث الانحراف الأقصى في التردد $\Delta F = 10\text{kHz}$ ، تردد إشارة التضمين

F_m=10kHz، سعة الموجة الحاملة E_c=10v، وترددها F_c= 500kHz.

أوجد :

أ. عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال.

ب. عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن

ج. ارسم الطيف الترددي للخروج باستعمال تقريبات بيسال

$$B = 2 (n \times f_m)$$

أ.

$$m = 1 \Rightarrow n=3$$

$$B = 2 (3 \times 10) = 60 \text{ KHz.}$$

$$B = 2 (\Delta F + F_{m(\max)})$$

ب.

$$B = 2 (10 + 10) = 40 \text{ kHz}$$

ج.

نلاحظ أن عرض نطاق الفعلي الناتج من قانون كارسن والمطلوب لتمرير جميع الأجنحة الترددية أقل من عرض النطاق الناتج من استعمال جدول بيسال. فبالتالي يمكن أن نخلص إلى الاستنتاج التالي عند تصميم نظام اتصالات باستعمال قانون كارسن سيكون هذا النظام أقل مردودية بنسبة ضئيلة مقارنة مع أي نظام يصمم بواسطة جدول بيسال.

٨-٥ القدرة المتوسطة للموجة المضمنة زاوياً

Average Power of an Angle – Modulated Wave

أحد الفروق الأساسية بين التضمين الزاوي وتضمين السعة يكمن في توزيع الطاقة في الموجة المضمنة وهذا على خلاف AM، فإن الطاقة الكلية في الموجة المضمنة في التضمين الزاوي تساوي طاقة الموجة الحاملة قبل التضمين وهذا جوهر الاختلاف بينهما.

وبالتالي يمكن القول أن الطاقة التي تحملها الموجة الحاملة قبل التضمين سيعاد توزيعها بعد التضمين على كل من الموجة الحاملة بعد التضمين والأجنحة الترددية.

ورياً يمكن التعبير عن قدرة الموجة الحاملة قبل التضمين بالمعادلة التالية (انظر الوحدة الثانية)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \quad (5-28)$$

أما القدرة الكلية فهي معطاة بالعلاقة التالية

$$P_t = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (5-29)$$

$$P_t = \frac{E_0^2}{2R} + 2 \left[\frac{V_1^2}{2R} + \frac{V_2^2}{2R} + \frac{V_3^2}{2R} + \dots + \frac{V_n^2}{2R} \right] \quad (5-30)$$

حيث:

P_L : القدرة الكلية للموجة المضمنة زاوياً

P_0 : قدرة الموجة الحاملة بعد التضمين

P_1 : قدرة المجموعة الأولى من الأجنحة الترددية

P_2 : قدرة المجموعة الثانية من الأجنحة الترددية

P_3 : قدرة المجموعة الثالثة من الأجنحة الترددية

P_n : قدرة المجموعة n من الأجنحة الترددية

$E_0 = J_0 E_c$: سعة الموجة الحاملة بعد التضمين

$V_1: J_1 E_c$: سعة الجناح الترددي الأول

$V_n = J_n E_c$: سعة الجناح الترددي n .

أما J_0, J_1, \dots, J_n هي عبارة عن جذور دالة بيسال من النوع الأول والمعطاة في الجدول 5-1 حسب قيمة دليل التضمين. كذلك نلاحظ أن الرقم 2 الوارد في المعادلة (5-30) نتيجة وجود زوج من الأجنحة واحد على يمين f_c والآخر على يسار f_c .

مثال 5-6

1. أوجد قدرة الموجة الحاملة قبل التضمين لمضمن FM مع الشروط المعطاة في المثال 5-5 (افتراض أن مقاومة الحمل $R_L = 50 \text{ Ohms}$).
2. أوجد القدرة الكلية المحتواه في الموجة المضمنة للتضمين الزاوي.

الحل:

$$P_c = \frac{10^2}{2(50)} = 1 \text{ W} \quad (\text{أ})$$

$$P_t = 1.0051 \text{ W} \quad (\text{ب})$$

نلاحظ أن قيمة الطاقة الكلية قريبة من طاقة الموجة الحاملة قبل التضمين. أما الفروقات الطفيفة بينهما ترجع إلى القيم المقربة في جدول بيسال.

5-9 الدوائر الإلكترونية المستعملة في توليد موجات التضمين الزاوي عملياً

Practical Generation of Angle Modulated Waves

أ . دائرة معدل FM

إن الشكل 3-5 يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة FM. وفي هذا الشكل صمام متغير المكثفة قد استعمل لتحويل كل تغيير يطرأ على سعة إشارة المعلومات إلى تغيير في التردد من المعروف من مقرر الإلكترونيات أن تردد الاهتزاز للمذبذب يعطى بالعلاقة التالية

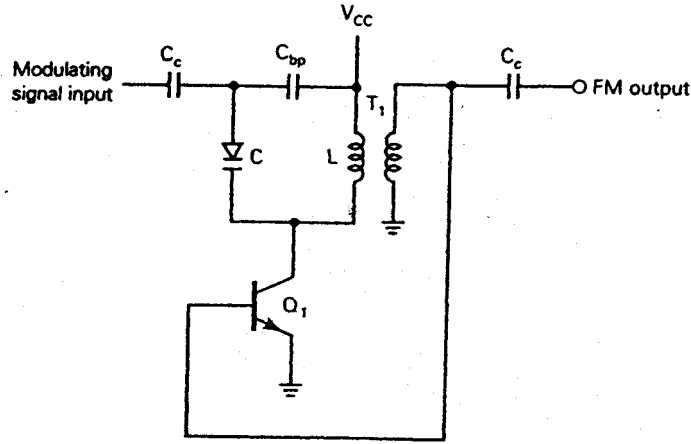
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}} \quad (5-31)$$

عند تطبيق إشارة المعلومات، فإن تردد الاهتزاز يصبح كالتالي:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c + \Delta c)}} \quad (5-32)$$

حيث f هو التردد الجديد للمذبذب و ΔC هو التغيير الذي حصل في المكثفة نتيجة تطبيق إشارة

المعلومات. أما L فهي قيمة الملف وتعطى بـ هنري (H)



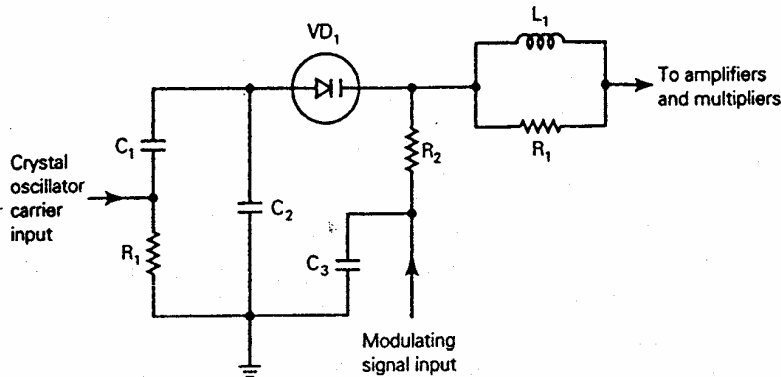
الشكل 5-3 يوضح دائرة معدل لإنتاج موجة FM.

ب. دائرة معدل PM.

إن الشكل 5-4 يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة PM.

فنتيجة تطبيق إشارة المعلومات على صمام متغير المكثفة، سيحدث تغيير في قيمة المكثف لهذا

الصمام مما يؤدي إلى تغيير طور الموجة الحاملة.



الشكل 5-4 يوضح دائرة معدل لإنتاج PM

تمارين

التمرين الأول

إذا كان مضمن FM ينتج 5kHz لانحراف في التردد من أجل 10v لإشارة المعلومات.
أوجد:

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في التردد المنتج بواسطة 2V

التمرين الثاني

إذا كان مضمن PM ينتج 2 rad في انحراف الطور من أجل 5V لإشارة المعلومات.
أوجد:

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج بواسطة 2v لإشارة المعلومات.

التمرين الثالث

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمضمن FM يساوي وإشارة المعلومات معطاة كما يلي

$$V_m(t) = 10 \sin 2\pi 2000t$$

أوجد

أ. الانحراف الأقصى في التردد.

ب. دليل التضمين

ج. ما هي قيمة الانحراف الأقصى في التردد المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الرابع

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمعدل PM يساوي $K_p = 1.5$ إشارة المعلومات

$$V_m(t) = 2 \sin (2\pi 2000t)$$

أوجد:

أ. الانحراف الأقصى في الطور.

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الخامس:

إذا كان دليل التضمين $m=2$ لمعدل FM, وإشارة المعلومات $V_m(t) = V_m \sin 2\pi 2000t$, والموجة

$$V_c(t) = 8 \sin (2\pi 800Kt) \quad \text{الحاملة}$$

- أ - عدد أزواج الأجنحة الترددية.
- ب - أوجد سعاتها.
- ج - ارسم الطيف الترددي هوضحاً عليه قيم السعات النسبية.
- د - احسب عرض النطاق.
- هـ - احسب عرض النطاق إذا ازدادت سعة إشارة المعلومات بمعامل 2.5.

Wayane Tomasi `` Electronic communication systems fundamental through advanced `` .

Schaum's outlines `` Analog and digital communications`` McGraw Hill (1993).

Horld B. Killen `` Communication techniques`` Macmilan publishing company New York (1985).

Louis E. Frenzel `` Communication electronics principles and applications`` McGraw Hill 3rd edition (2000).

Gary M. Miller`` Modern electronic communications`` Prentice Hall International Inc (1996).

Dornhofer G. and Nies A. ``STE 6.1.6 High frequency circuits using plug in system electrical engineering and electronics`` Lybold Didactic GMBH (1990).

Lathi B.P. `` Modern digital communication systems`` second edition, Rinehart and Winston Inc., Orlando 32887 (1989). The translated copy by. Dr. Ibrahim El khadi, Dr. Abdelaziz El rouisi amd Dr. Adel Ali `` King Saoud University``.

Saad Ali El Haj Bakri and Mohamad abderhman El harbi`` Intoduction to communication`` King Saoud university (1988).

المحتويات

.....	مقدمة
.....	تمهيد
١	الوحدة الاولى: مدخل إلى الاتصالات الإلكترونية
٢	١-١ مقدمة
٣	٢-١ التضمين وكشف التضمين
٥	٣-١ الطيف الكهرومغناطيسي
٩	٤-١ عرض النطاق
١٠	٥-١ أنماط الإرسال
١٠	٦-١ التشويش
١٤	١-٧ تحليل ترددات الطيف
١٨	تمارين
٢١	الوحدة الثانية: تضمين السعة (الإرسال)
٢٢	١-٢ مقدمة
٢٢	٢-٢ أساسيات تضمين السعة
٢٤	٣-٢ الطيف الترددي وعرض النطاق
٢٧	٤-٢ معامل التضمين ونسبة التضمين
٣٠	٥-٢ توزيع جهد موجة AM
٣٤	٦-٢ توزيع القدرة لموجة AM
٣٨	٧-٢ حساب تيار موجة AM
٣٩	٨-٢ التضمين بواسطة الإشارة المركبة
٤١	٩-٢ دائرة المعدل ودائرة الكاشف
٤٥	١٠-٢ جهاز الإرسال (المرسل)
٤٦	تمارين
٤٧	الوحدة الثالثة: تضمين السعة (الاتساعي) استقبال
٤٨	١-٣ مقدمة

٤٨	٢-٣ الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM
٤٩	٣-٣ عناصر جهاز الاستقبال
٥٢	٣-٤ أنواع أجهزة الاستقبال لموجة AM
٥٥	تمارين
٥٦	الوحدة الرابعة: تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد
٥٧	١-٤ مقدمة
٥٧	٢-٤ أنظمة النطاق الجانبي المفرد
٥٧	١-٢-٤ تضمين السعة- النطاق الجانبي المفرد مع الحامل
٦٠	٢-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل
٦١	٣-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل
٦٢	٤-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي
٦٣	٥-٢-٤ تضمين السعة: النطاق المزدوج المكبوت الحامل
٦٤	٣-٤ مقارنة بين الأنظمة المختلفة لتضمين السعة
٦٦	تمارين
٦٧	الوحدة الخامسة: التضمين الزاوي
٦٨	١-٥ مقدمة
٦٨	٢-٥ التضمين الزاوي والتردد اللحظي
٦٩	٣-٥ تضمين الطور وتضمين التردد
٧٠	٤-٥ توليد موجتي تضمين الطور وتضمين التردد نظرياً:
٧٢	٥-٥ دليل التضمين
٧٣	٦-٥ تحليل الموجات المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد
٧٦	٧-٥ متطلبات عرض نطاق موجات المضمنة زاوياً
٧٨	٨-٥ القدرة المتوسطة للموجة المضمنة زاوياً
٧٩	٩-٥ الدوائر الإلكترونية المستعملة في توليد موجات التضمين الزاوي عملياً
٨١	تمارين
٨٣	المراجع