

أساسيات الاتصالات

تعديل السعة

الوحدة الثانية : تعديل السعة

Amplitude Modulation (AM)

• الهدف

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

- أ. معرفة أهمية عملية التعديل.
- ب. معرفة الفرق بين إشارة التعديل وإشارة المعدلة.
- ج. التعرف على التعديل الاتساعي (السعة).
- د. توليد موجة AM نظرياً.
- هـ. التعرف على خصائص الإرسال لتعديل السعة.
- و. التعرف على خصائص الإستقبال لتعديل السعة.
- ز. حساب معامل ونسبة التعديل.

• محتوى الوحدة الثانية :

- ٢- ١ مبادئ تعديل السعة.
 - ٢- ٢ دوائر تعديل السعة.
 - ٢- ٣ مرسلات معدل السعة.
 - ٢- ٤ رسم تخطيطي لدوائر إستقبال تعديل السعة.
 - ٢- ٥ عناصر المستقبل.
 - ٢- ٦ مستقبلات تعديل السعة.
- عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : ١٥ ساعة.

١-٢ مقدمة

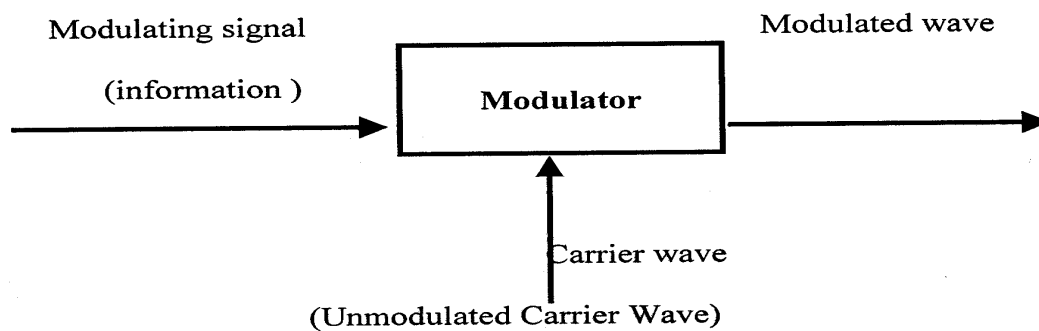
إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر قنوات الاتصالات المتاحة ، ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتعديل حيث من خلالها تُعدل إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ على بعض خصائص الإشارة الحاملة ذات التردد العالي $V_c(t)$. الإشارة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد يطلق عليها كلمة حامل (Carrier) ويتم تعديل أحد خواصها مثل السعة، أو التردد ، أو الطور بمقدار يتناسب مع إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ لكي نحصل على تعديل السعة (AM) أو تعديل تردد (FM) أو تعديل الطور (PM) تبعاً.

و كما إن التعديل يتشكل في قسم الإرسال ، فإن إحدى هذه الموجات الثلاث (AM, FM, PM) ، تبعاً لنوعية التعديل ، هي التي ترسل من قسم الإرسال إلى قسم الاستقبال. وفي جهاز الاستقبال تمر الموجة بعملية عكسية تسمى إزالة التعديل (demodulation) وذلك لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية المرسل.

فمن خلال هذه الوحدة ، سنقوم بدراسة شاملة للنوع الأول من التعديل الذي يتمثل في تعديل السعة (AM).

٢-٢ أساسيات تعديل السعة Amplitude Modulation

تعديل السعة (AM) : هو تغيير اتساع الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع حيث يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$. شكل ٢- ١ يعطينا وصف مبسط لتعديل السعة حيث يتألف من المعدل السعوي (Modulator) ، وإشارة المعلومات $V_m(t)$ ، والموجة الحاملة $V_c(t)$ ، وأخيراً الموجة المعدلة.



الشكل ٢- ١ : رسم توضيحي للمعدل السعوي.

AM Modulator

٢- ٢- ١ المعدل السعوي

هو عبارة عن جهاز غير خطي ذي دخلين إحداهما مخصص لإشارة المعلومات والآخر مخصص للموجة الحاملة ، وخرج نحصل عن طريقه على الموجة المعدلة (Modulated wave) كما هو موضح في شكل ٢- ١.

Generation of AM Signals

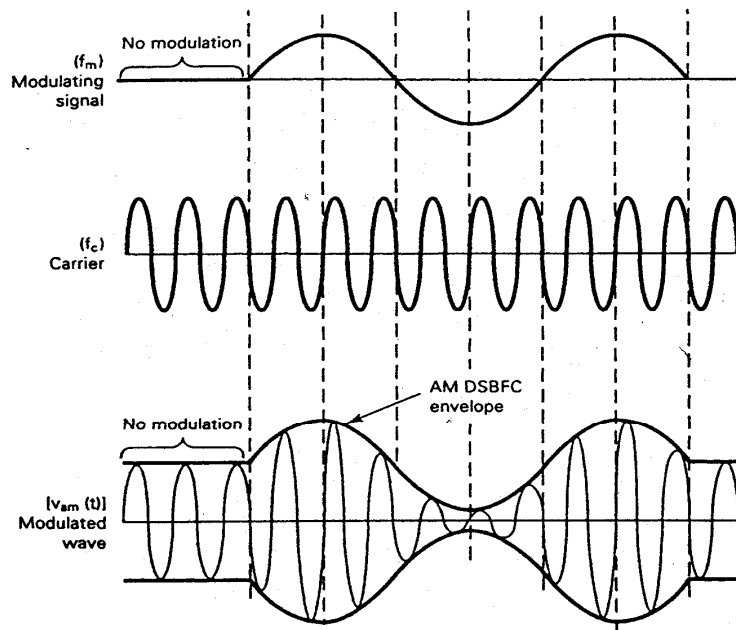
٢-٢-٢ توليد إشارات تعديل السعة (الاتساع)

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

الحاملة الكاملة Amplitude Modulation Double Sideband Full Carrier (AM DSBFC)

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

إن العلاقة بين إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t) = E_m \sin(2\pi f_m t)$ ، وإشارة الموجة الحاملة $V_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t)$ والموجة الناتجة عن عملية التعديل $V_{AM}(t)$ موضحة في الشكل ٢-٢ التي سوف نحدد طبيعتها الرياضية من خلال هذه الوحدة عند تناولنا دراسة توزيع الجهد لإشارة تعديل السعة. إن الشكل ٢-٢ 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 ٢-٢ أنه عند انعدام إشارة المعلومات التي نطلق عليها من الآن فصاعداً إشارة التعديل، فإن الموجة الناتجة هي فقط الموجة الحاملة. ونظراً لأن من الصعوبة نقل الإشارات بشكل عام عند الترددات المنخفضة فإن إنتاج موجة AM بواسطة التعديل تسمح بنقل إشارة المعلومات خلال جهاز نظام الاتصالات.



الشكل ٢-٢ إنتاج الموجة المعدلة، من الأعلى إلى الأسفل إشارة المعلومات، والإشارة الحاملة وموجة AM.

Modulated Wave Characteristics

٢-٢-٣ خصائص الموجة المعدلة

تتميز الموجة الناتجة عن طريق عملية التعديل (الموجة المعدلة) بما يلي:

١- الموجة المعدلة $V_{AM}(t)$ لها نفس تردد الموجة الحاملة (f_c) .

٢- التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المعدلة $V_{AM}(t)$ أثناء عملية التعديل يساوي التغير الذي يحدث

لسعة إشارة التعديل (إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$).

٣- تردد الغلاف الخارجي (الكاشف) للموجة المعدلة $V_{AM}(t)$ يساوي تردد إشارات التعديل $V_m(t)$.

٤- سعة الغلاف الخارجي (الكاشف) للموجة المعدلة $V_{AM}(t)$ تساوي سعة إشارة التعديل $V_m(t)$.

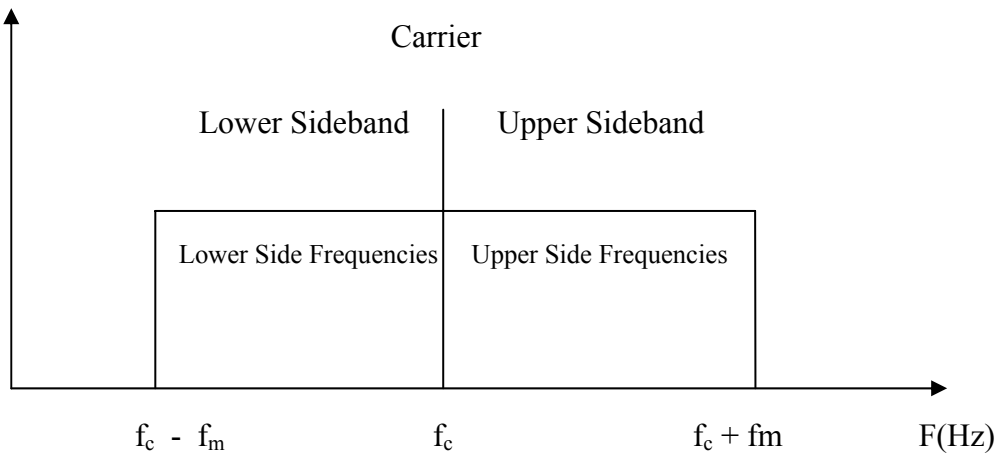
٣-٢ الطيف الترددي وعرض النطاق لتعديل السعة

AM Frequency Spectrum and Bandwidth

AM Frequency Spectrum

٢- ٣- ١ 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 المرسل. لهذا السبب فإن إزاحة طيف الإشارة إلى مدى ترددي مرتفع بواسطة التعديل يعتبر شيئاً مرغوباً. فمن هنا نقول إن تأثير عملية التعديل هو إزاحة تردد إشارة المعلومات في المجال الطيفي حيث ينعكس بالتساوي حول محور تردد الموجة الحاملة (f_c) كما هو موضح في الشكل ٢- ٣.



الشكل ٢- ٣ الطيف الترددي لموجة AM

نلاحظ من الشكل ٢- ٣ أن طيف الموجة المعدلة والمتمركز عند التردد f_c يتكون مما يلي:

عرض النطاق الجانبي العلوي (USB)

هو عبارة عن عرض النطاق المحصور بين الترددين f_c و $f_c + f_m$ (النهاية الترددية) كما هو موضح في المعادلة التالية :

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

وكل إشارة لها تردد f_m يقع في USB فإنه يدعى تردد الجانب العلوي (USF) Upper Side Frequency (USF) 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 التعديل (إشارة المعلومات الأساسية).

Lower Sideband (LSB)

عرض النطاق الجانبي السفلي:

هو عبارة عن النطاق (النهاية الترددية) المحصور بين:

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

وكل إشارة لها تردد f_m يقع في LSB فإنه يدعى تردد الجانب السفلي Lower Side Frequency

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

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

AM Bandwidth

٢-٣ عرض النطاق لتعديل السعة

إن عرض نطاق إشارة التعديل الاتساعي (السعوي) يمكن أن تستخرج تبعاً للشكل ٢-٣ 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 التعديل (المعلومات) بالهرتز (Hz).

مثال ٢-١

إذا كان لدينا جهاز التعديل (المعدل السعوي AMDSBFC modulator) ذو الدخلين، الأول

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

احسب ما يلي:

أ. النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب. عرض النطاق BW_{AM}

ج. التردد الجانبي العلوي (USF) عندما $f_m = 3\text{kHz}$.

د. التردد الجانبي السفلي (LSF) عندما $f_m = 3\text{kHz}$.

هـ. ارسم الطيف الترددي للخروج.

حل المثال ٢- ١

أ. نوجد النهاية الترددية لـ USB من المعادلة (2-1)

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

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

و نوجد النهاية الترددية لـ LSB من المعادلة (2-3)

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

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

ب. حسب المعادلة (2-5) فإن

ج. حسب المعادلة (2-2)

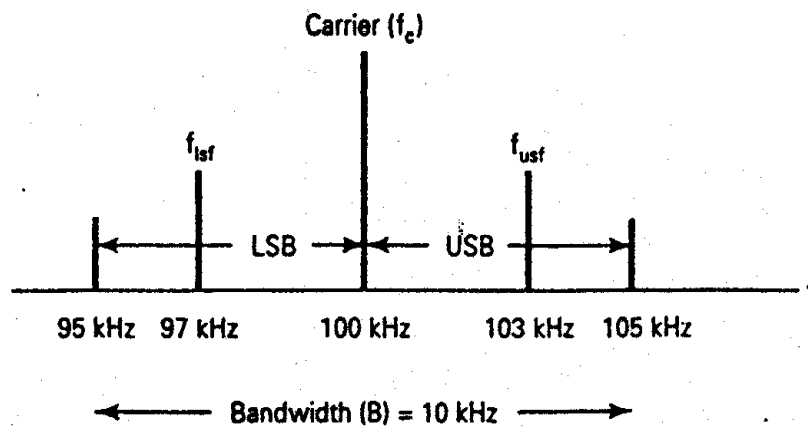
$$f_{usf} = f_c + f_m = 100 \text{ KHz} + 3 \text{ KHz} = 103 \text{ KHz}$$

د. 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

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



٢-٤ معامل التعديل والنسبة المئوية لتعديل السعة

Coefficient of Modulation and Percent Modulation

Coefficient of Modulation

٢-٤ -١ معامل التعديل

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

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

حيث

m : معامل التعديل (بدون وحدة)

E_m : سعة إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ وتقاس بالفولت.

E_c : سعة الموجة الحاملة $V_c(t)$ وتقاس بالفولت.

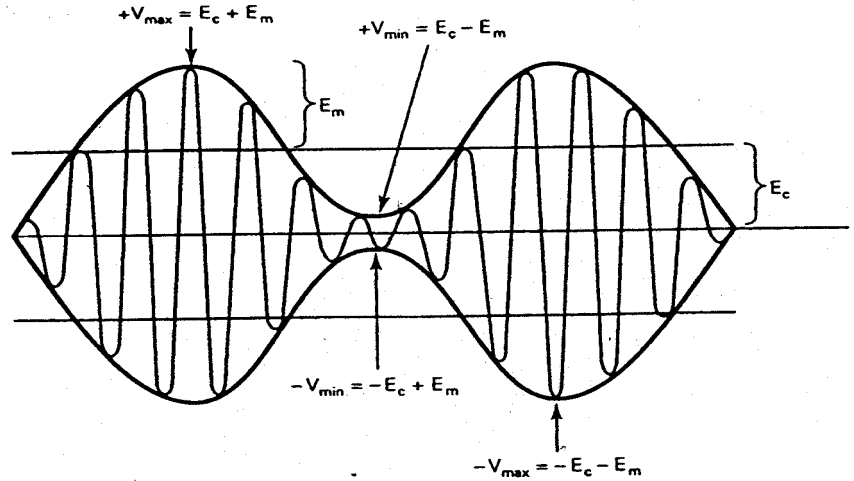
Percent Modulation (M)

٢-٤ -٢ النسبة المئوية للتعديل

هي عبارة عن النسبة المئوية لمعامل التعديل، 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 ٢-٤.



الشكل ٢-٤ يوضح معامل التعديل، E_m و E_c .

من الشكل ٢-٤ 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 المعدلة (موجة AM) تتكون من الجانب العلوي والجانب السفلي، فبالتالي أي تغيير يطرأ على الموجة المعدلة هو ناتج من كلا الجانبين وهذا يقودنا إلى التعبير على E_m بما يلي:

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

حيث:

E_{USF} : جهد الجانب العلوي [Volts]

E_{LSF} : جهد الجانب السفلي [Volts]

أي المعادلة (2-12) تنص على أن التغيير الأقصى في الجهد الذي يطرأ على الموجة المعدلة هو حاصل جمع مركبتي الجهد الناتجين من الجانب العلوي والجانب السفلي. بما أن

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

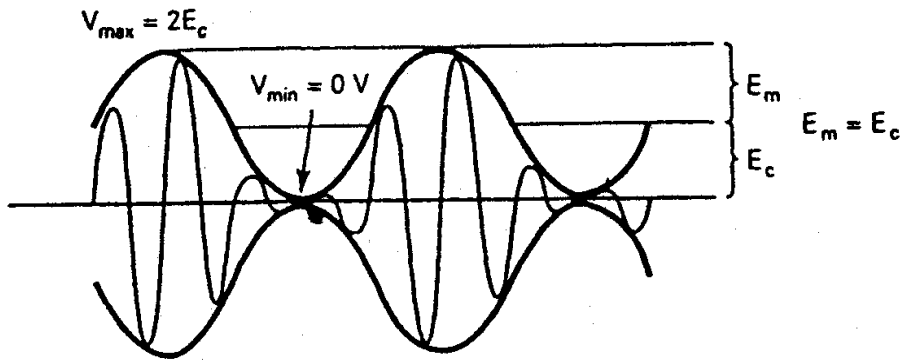
نعوض المعادلة (2-13) في المعادلة (2-12) نجد

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

ثم نعوض (2-11) في المعادلة (2-14) لكي نخلص إلى ما يلي:

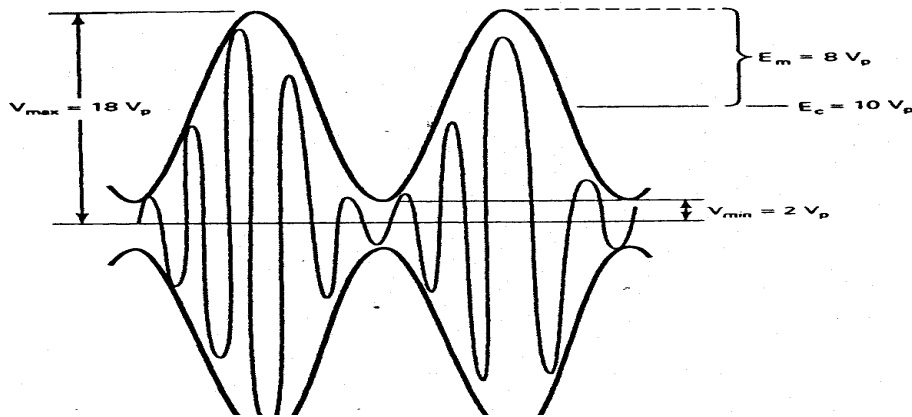
$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{1}{4} (V_{max} - V_{min}) \quad (2-15)$$

نود أن التنبيه إلى أنه من المعادلة (2-7) يتضح أن نسبة التعديل تصل إلى 100% عندما $E_m = E_c$ وفي هذه الحالة نستطيع القول من المعادلة (2-8) أن $V_{max} = 2E_c$ وكذلك من المعادلة (2-9) أن $V_{min} = 0$ كما هو موضح في الشكل ٢- ٥.



الشكل ٢- ٥ يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التعديل 100%.

مثال ٢- ٢ من أجل موجة AM المبينة في الشكل التالي



أوجد ما يلي:

- السعة القصوى للجانب العلوي E_{USF} والسفلي E_{LSF} .
- السعة القصوى للموجة الحاملة قبل التعديل $(E_c)_{unmod}$.
- التغيير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي لموجة AM E_m .
- معامل التعديل m .
- نسبة التعديل $\%M$.

الحل

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

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

ب- السعة القصوى للموجة الحاملة قبل التعديل تساوي السعة القصوى للموجة الحاملة بعد التعديل

$$(E_c)_{unmod} = (E_c)_{mod} \quad \text{أي}$$

و بتطبيق المعادلة (2-10)

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

أو تقرأ مباشرة من الشكل $E_c=10V$

ج- بتطبيق المعادلة (2-11)

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

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) $V_{am(t)}$

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

نريد أن نعبر رياضياً عن توزيع جهد موجة تعديل السعة $V_{am(t)}$. حتى يتسنى لنا ذلك، نعبر عن الجهد اللحظي الجيبي للموجة الحاملة قبل التعديل 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 قبل التعديل (Volts)

f_c : تردد الموجة الحاملة (Hz).

لقد مر معنا ما يلي:

أ- معدل الإعادة (repetition rate) لغلاف الخارجي لموجة $V_{am(t)}$ يساوي تردد إشارة التعديل (المعلومات) $V_m(t)$.

ب- سعة الغلاف الخارجي لموجة $V_{am(t)}$ تتغير تبعاً لسعة إشارة التعديل $V_m(t)$.

ج- السعة القصوى لغلاف الخارجي لموجة $V_{am(t)}$ تساوي $V_{\max} = E_m + E_c$ ،

ومن هنا يمكن التعبير على السعة اللحظية لموجة $V_{am}(t)$ بالعلاقة الرياضية التالية:

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

حيث

$$[Ec + E_m \sin(2\pi f_m t)] \text{ : تمثل سعة الموجة المعدلة (Volts)}$$

$$E_m \text{ : التغيير الأقصى في الغلاف (Volts)}$$

$$f_m \text{ : تردد إشارة التعديل (Hz)}$$

من المعادلة (2.6) يمكن أن نكتب

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

بتعويض المعادلة (2.18) في المعادلة (2.17) نجد:

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

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

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

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

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

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

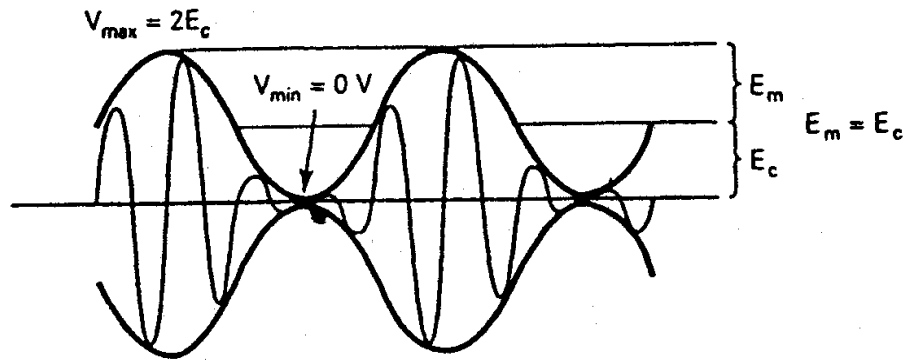
أ. سعة إشارة الموجة الحاملة بعد التعديل تساوي سعة الموجة الحاملة قبل التعديل.

$$Ec_{(modulated)} = Ec_{(unmodulated)} \quad (2-23)$$

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

ج. عندما تبلغ نسبة التعديل 100% (أي $m=1, E_m=E_c$) فإن سعتا الجانب العلوي والسفلي تساوي

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



الشكل ٢-٥ يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التعديل 100%.

ومن هنا نكتب:

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

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

وبما أن:

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

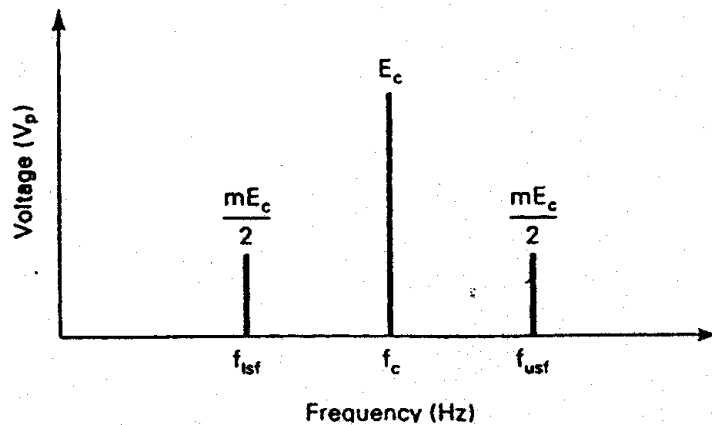
$$V_{min} = E_c - E_m = E_c - E_c = 0$$

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

للفلاف الخارجي هي $V_{max} = 2E_c$ والسعة الدنيا $V_{min} = 0$ ، هذه الحالة موضحة في الشكل ٢-٥.

د. إن الشكل ٢-٦ يمثل الطيف الترددي للنطاق الجانبي المزدوج ذي الموجة الحاملة الكاملة

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



الشكل ٢-٦ يوضح الطيف الترددي لجهد موجة AM DSBFC

هـ. 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).

مثال ٢ - ٣

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

- تردد الجانب العلوي f_{usf} والسفلي f_{lsf} .
- معامل التعديل m والنسبة المئوية للتعديل M .
- السعة القصوى للموجة الحاملة بعد التعديل $(Ec)_{modulated}$.
- جهد الجانب العلوي E_{usf} والسفلي E_{lsf} .
- السعة القصوى V_{max} والدنيا للغلاف V_{min} .
- علاقة الموجة المعدلة $V_{am}(t)$.
- ارسم الطيف الترددي.
- ارسم الغلاف الخارجي.

الحل

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 التعديل ونسبة التعديل: 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)

$$Ec_{(modulated)} = Ec_{(unmodulated)} = 20V$$

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 المعدلة معطاة بالمعادلة (2-22) وهي:

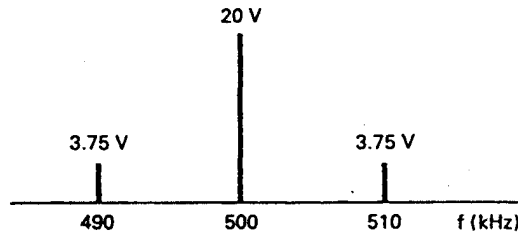
$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t$$

الآن نعوض بالمعطيات المتوفرة لدينا نحصل على:

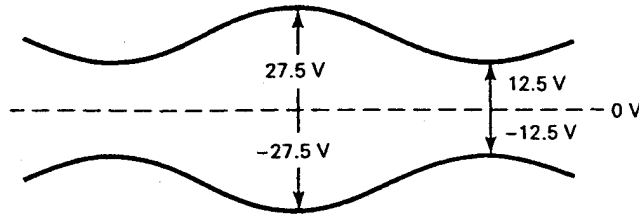
$$V_{am}(t) = 20 \sin(2\pi 500 Kt) - 3.75 \cos(2\pi 510 Kt) + 3.75 \cos(2\pi 490 Kt)$$

وهي العلاقة المطلوبة.

ز- الطيف الترددي مبين بالشكل التالي:



ح- رسم الغلاف الخارجي مبين بالشكل اسفل



AM Power Distribution

٦-٢ توزيع القدرة لموجة تعديل السعة

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 للموجة الحاملة المستهلكة في الحمل R.

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

حيث :

P_C : طاقة الموجة الحاملة (Watts)

E_C : السعة القصوى للموجة الحاملة (Volts)

R : مقاومة الحمل (Ohm)

أما القدرة لكل من الجانب العلوي والسفلي.

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

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

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

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

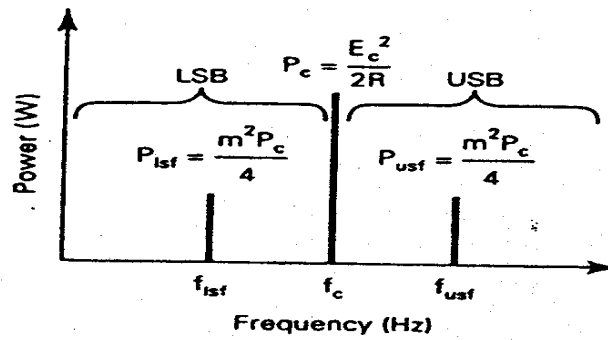
$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C \quad (2-32)$$

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

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

أن القدرة الكلية تزداد بازدياد معامل التعديل.

تبعاً للمعادلة (2-31) يمكن رسم الطيف الترددي للقدرة الموضح في الشكل ٢- ٧ :



الشكل ٢-٧ يوضح الطيف الترددي لقدرة الموجة AM DSBFC وذلك باستعمال إشارة التعديل ذات أحادية التردد.

عندما يحدث التعديل 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

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

من المعادلتين (2-33) و (2-34) نستنتج ما يلي: عندما يحدث التعديل 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 الرئيسة عند الإرسال باستعمال AM DSBFC 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 فكك التعديل البسيطة وبأقل تكلفة وهذا يعتبر في حد ذاته أحد الخواص المميزة لموجة AM DSBFC.

مثال ٢-٤

وليكن لدينا المعطيات التالية لموجة AM DSBFC :

سعة الموجة الحاملة $10V_p$ ، مقاومة الحمل 10Ω والتعديل تم عند 100% :

أوجد ما يلي:

أ. قدرة الموجة الحاملة P_c .

ب. قدرة كل من الجانبين العلوي P_{usf} والسفلي P_{lsf} .

ج. القدرة الكلية للجانبين P_{tsf} .

د. القدرة الكلية للموجه المعدلة P_T .

هـ. ارسم الطيف الترددي للقدرة .

الحل

أ. باستخدام المعادلة (2-28)

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

ب. باستخدام المعادلة (2-30)

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

حيث $m=1$ لأن التعديل تم عند 100%.

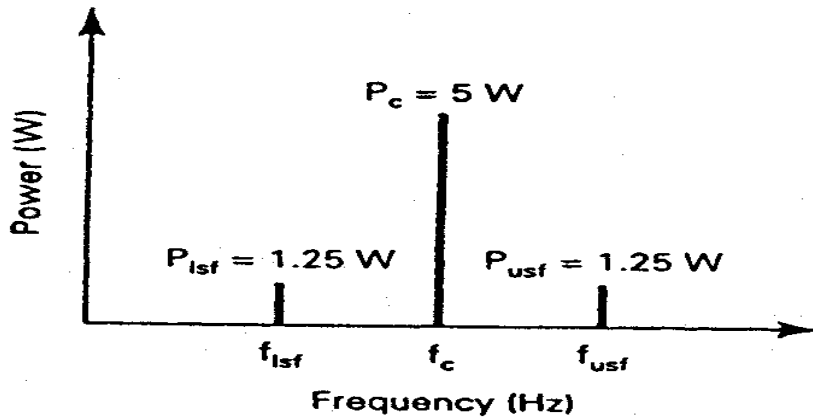
جـ.

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

د. باستخدام المعادلة (2-30)

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

هـ. الطيف الترددي للقدرة



AM Current Calculations

٧-٢ حساب تيار موجة تعديل السعة

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

العلاقة بين تيار الموجة الحاملة والموجة المعدلة 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:

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

ومن المعادلة (2-35) نجد

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

حيث:

I_T : تيار الموجة المعدلة (A)

I_c : تيار الموجة الحاملة (A)

مثال ٢- ٥

إذا كانت طاقة الموجة الحاملة 10W ومقاومة الحمل 10Ω وتحت نسبة التعديل 100% احسب تيار الموجة المعدلة (AM DSBFC)

حل المثال 2-5

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

يجب حساب I_C حتى يتسنى لنا حساب I_T

$$P_C = I_C^2 R \rightarrow I_C = \sqrt{\frac{P_C}{R}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1 A$$

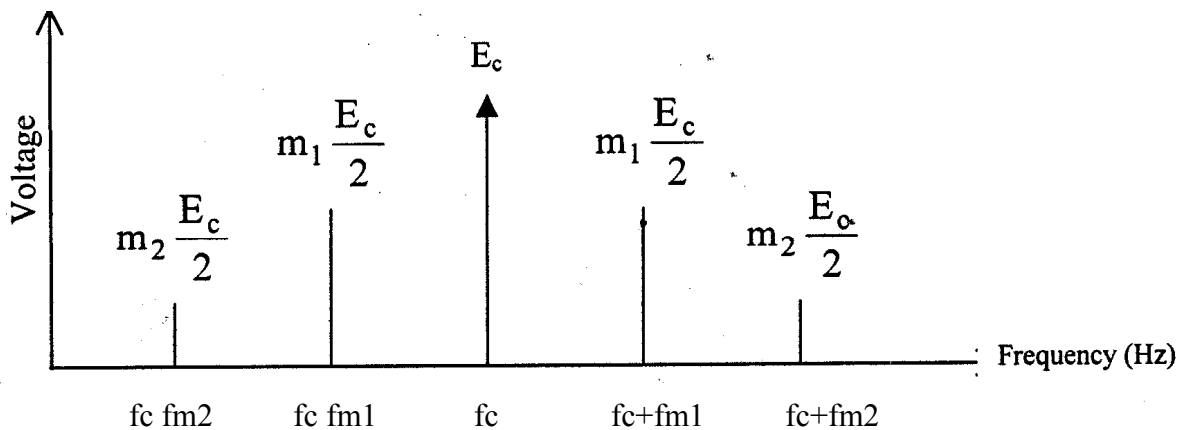
$$I_T = (1) \sqrt{1 + \frac{1^2}{2}} = 1.225 A$$

AM Modulation by a Complex information

٨-٢ تعديل السعة بواسطة الإشارة المركبة

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

لنفترض إن إشارة التعديل تحتوي على ترددين (f_{m1}, f_{m2}) ففي هذه الحالة فإن الموجة الناتجة من عملية التعديل ستحتوي على مركبة الموجة الحاملة بالإضافة إلى مجموعتين من الأجنحة حيث ستقع على مسافات متساوية وبشكل تناظري حول مركبة الموجة الحاملة. والشكل ٢- ٨ يوضح الطيف الترددي الجهد في حالة إشارة التعديل مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2} .



الشكل ٢- ٨ الطيف الترددي للجهد لإشارتين تعديل باستخدام تعديل السعة بواسطة الإشارة المركبة.

بالرجوع إلى المعادلة (2-22) التي وبأخذ بعين الاعتبار الشكل ٢- ٨ يمكن استنتاج معادلة الجهد لموجة AM في حالة إشارة التعديل 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 التعديل التي تتكون من أكثر من ترددين. عند استعمال إشارات التعديل ذات ترددات مختلفة في تعديل الموجة الحاملة على التوالي فإن معامل التعديل 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 : معامل التعديل الكلي

m_1, m_2, \dots, m_n : معاملات التعديل 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:

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

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

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

مثال ٢- ٦

لدينا AM DSBFC ذو الموجة الحاملة ذات القدرة 200 W ضمنت على التوالي بواسطة ثلاث

إشارات التعديل ذوات معاملات التعديل التالية:

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

أوجد ما يلي:

أ. المعامل الكلي للتعديل m_t .

ب. القدرة الكلية للجانبين P_{tsf} .

ج. القدرة الكلية المرسل P_T .

الحل

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)

$$P_{tsf} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C = \frac{1}{2} (0.67)^2 (200) = 45 \text{ W}$$

ج. باستعمال المعادلة (2.41)

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2} \right] P_C = \left[1 + \frac{(0.67)^2}{2} \right] (200) = 245 \text{ W}$$

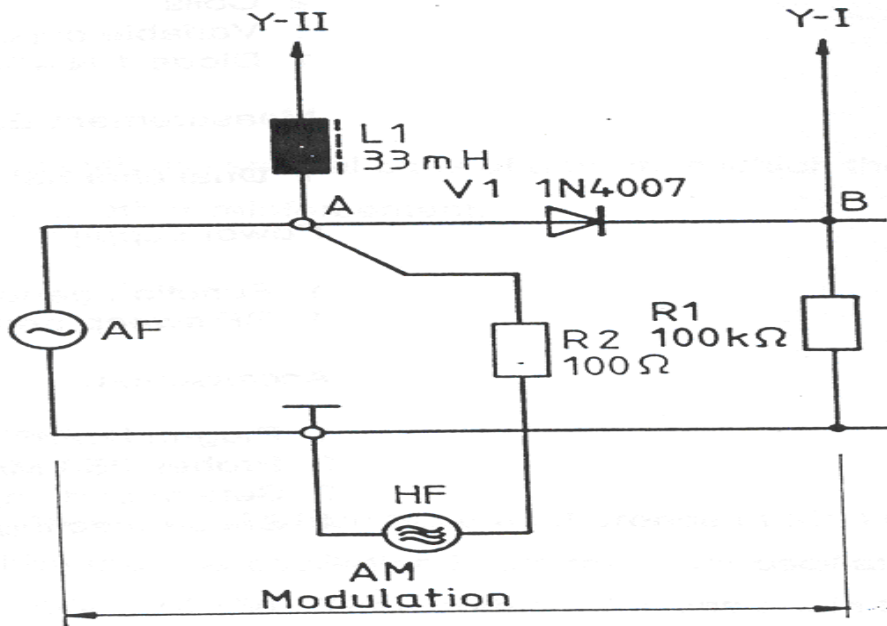
AM Circuits

٩-٢ دوائر تعديل السعة

AM Modulator Circuit

أ- دائرة المعدل

أعتقد الآن السؤال المطروح، كيف نستطيع إنتاج موجة AM عملياً. نلاحظ أن عملية التعديل 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 لابد 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 ٩-٢:



الشكل ٢-٩: 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 ٢-٩ 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 (2-45) مع إهمال الحد من الدرجة الثالثة نجد:

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

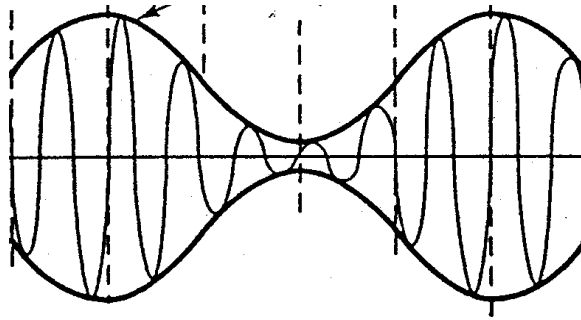
بتفكيك هذه المعادلة واستعمال الخصائص الشهيرة للدوال الجيبية مع إعادة ترتيب الحدود تبعاً

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 المعادلة (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 أن خرج

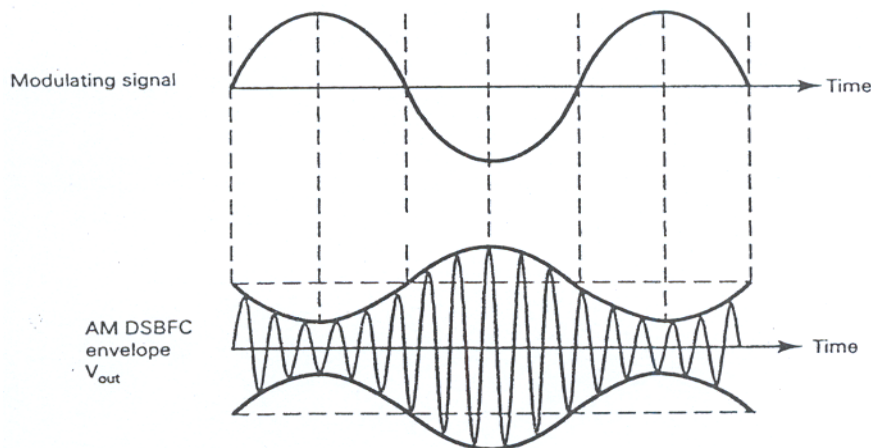
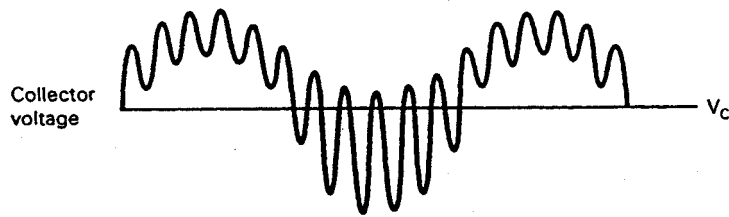
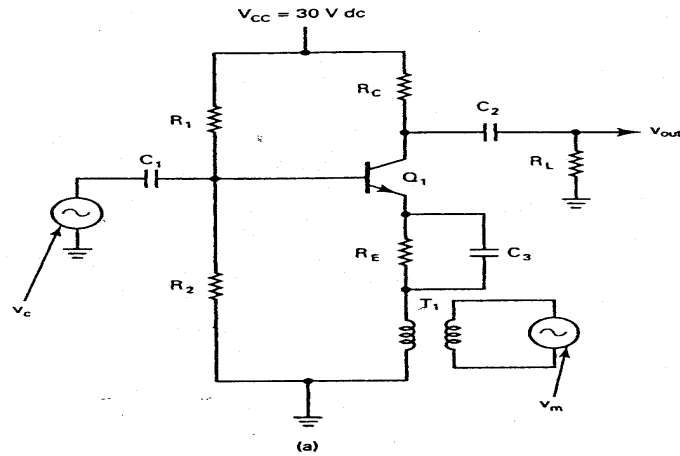
الدائرة في شكل ٢-٩ هي موجة تعديل السعة AM كما هو موضح في الشكل ٢-١٠



الشكل ٢- ١٠: إنتاج موجة AM بواسطة دائرة المعدل باستخدام صمام ثنائي غير خطي.

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

دائرة إنتاج موجة AM باستعمال مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn) الموضحة في الشكل ٢- ١١ و لمزيد من المعلومات الخاصة بهذه الدوائر عليك الرجوع إلى المراجع في آخر الحقيبة.



الشكل ٢- ١١: إنتاج موجة AM باستعمال مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn).

AM Demodulator Circuit

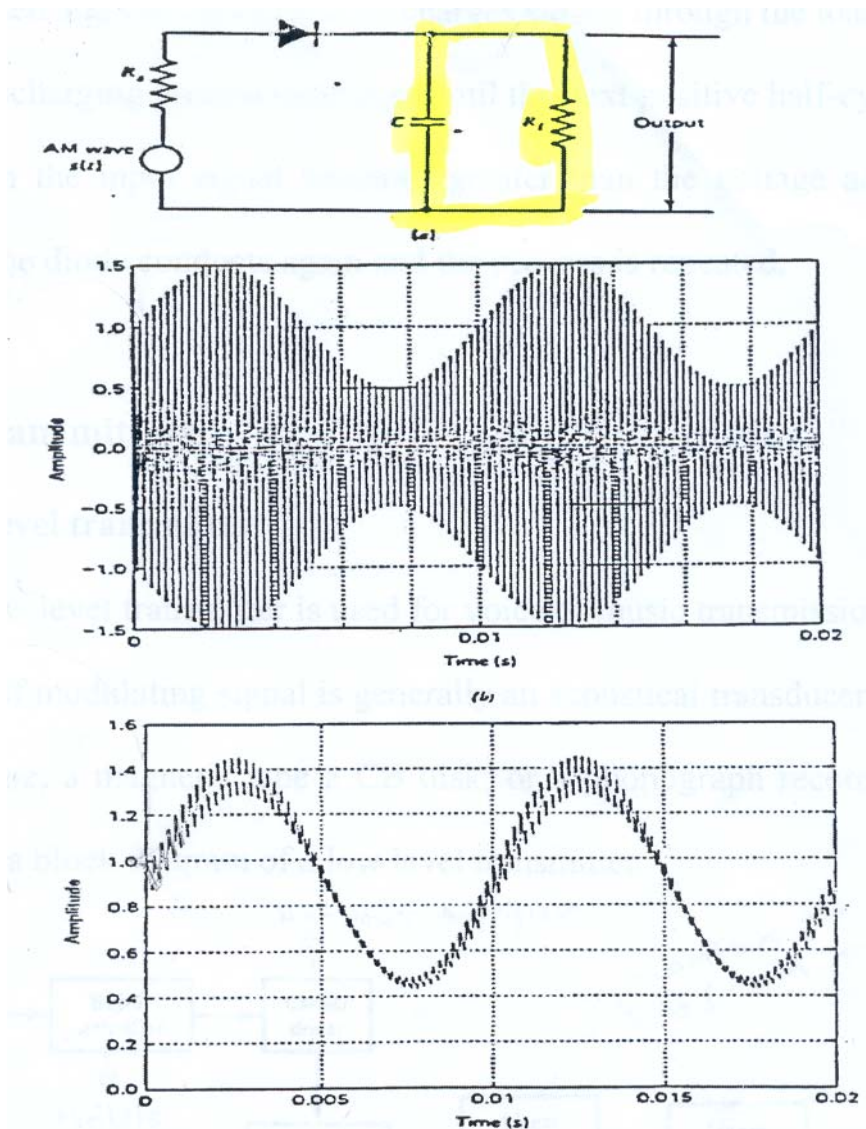
ب. دائرة كشف التعديل

إن كشف الموجة المعدلة لـ AM أو ما يسمى استخلاص إشارة التعديل 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 ٢- ١٢.



الشكل ٢- ١٢. (أ) دائرة كاشف الغلاف - ب - موجة AM ج - التقاط الغلاف الخارجي (مخرج الدائرة).

عمل الدائرة

في هذا النوع من الكاشف تكون الإشارة الناتجة عند مخرجه حصىلة تتبع غلاف الإشارة المعدلة AM الداخلة إليه (Am as input wave). ويمكن شرح ذلك من الدائرة الإلكترونية المبينة في الشكل ٢-١٢ 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 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 لغلاف الإشارة الداخلة (موجة AM) وهذا مبين من خلال الشكل (ج) ٢-١٢.

AM Transmitters

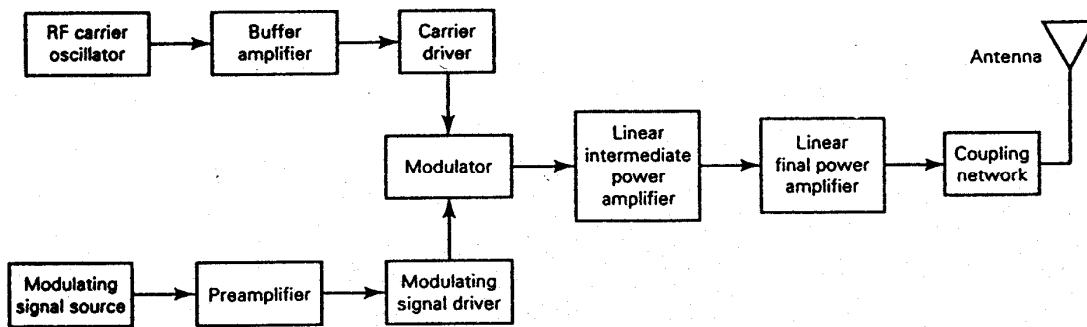
١٠-٢ مرسلات معدل السعة

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 ٢-١٣ يوضح مجسم المرسل ذي مستوى منخفض والذي يتميز بقلة المكبرات.

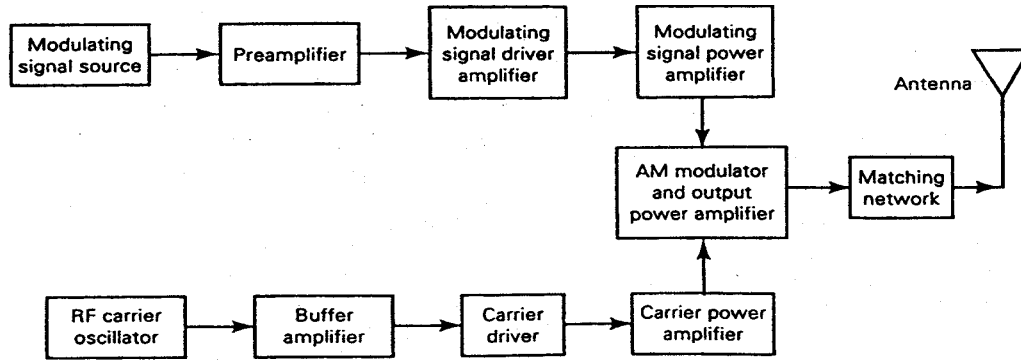


الشكل ٢-١٣ يوضح المرسل ذا مستوى منخفض

(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 التعديل انظر الشكل ١٤-٢.



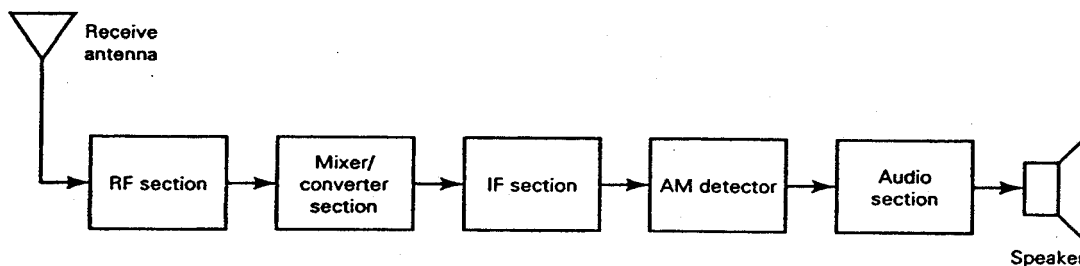
الشكل ١٤ - ٢ يوضح المرسل ذا مستوى عال.

١١-٢ رسم تخطيطي لدوائر استقبال تعديل السعة AM Receiver Block Diagram

يتم استقبال موجة تعديل السعة في جهاز الاستقبال وهذه العملية هي عملية عكسية لعملية التعديل التي تمت في جهاز الإرسال.

إن مهمة جهاز استقبال موجة AM هو تحويل الموجة المعدلة إلى إشارة معلوماتية أصلية لذلك من الضروري أن يكون جهاز استقبال موجة AM قادراً على الاستقبال، والتكبير، وتفكيك موجة AM. كذلك لا بد أن يكون هذا الجهاز قادراً على ضبط طنين جهاز الاستقبال (المستقبل) أي يتم تحديد عرض النطاق الكلي لطيف ترددات موجات المذياع (RF) إلى عرض نطاق خاص من الترددات.

حتى يتسنى الفهم الكلي لعملية التفكيك أو الاستخلاص (Demodulation)، إنه من الضروري أن نتطرق مبدئياً للمصطلحات الخاصة والتي تستعمل في وصف الخصائص المميزة لجهاز الاستقبال (Receiver). الشكل ١٥-٢ يوضح مجسماً مثالياً مختصراً لجهاز استقبال موجة AM.



الشكل ١٥ - ٢ مجسم مختصر 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 (Intermediate Frequencies (IF)

IF

ج- قسم الترددات الوسطية

يتميز هذا القسم بعملية التضخيم، والاختيار.

د- قسم كاشف الغلاف لموجة AM.

يتميز هذا القسم باستخلاص إشارة التعديل من الموجة المعدلة ، وتحويل موجة AM إلى موجة المعلومات الأساسية.

هـ- القسم الصوتي

يتميز هذا القسم بتضخيم الإشارة المستخلصة.

Receiver Parameters

٢- ١٢ عناصر المستقبل

العناصر التالية تستعمل من أجل تقييم مدى قدرة جهاز الاستقبال باستخلاص إشارة التعديل بنجاح من الموجة المعدلة 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:

$$B_I = \frac{B_{RF}}{B_{IF}} \quad (2-48)$$

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:

$$NF_i = 10 \text{ Log } B_I \quad (2-49)$$

حيث

NF_i : تحسيناً في شكل الضوضاء [decibel]

مثال ٢ - ٧

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

حل مثال ٢ - ٧

باستعمال المعادلتين (2-48) , (2-49) تكتب

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

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 للإشارة 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 المعدلة 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 المعدلة 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:

$$IL = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2-50)$$

ي- درجة حرارة الضوضاء والدرجة المكافئة للضوضاء

(Noise Temperature and Equivalent Noise Temperature)

درجة حرارة الضوضاء: يعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$T = \frac{N}{KB} \quad (2-51)$$

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:

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

T_e : درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Kelvin)

T : درجة حرارة الوسط (Kelvin)

F : معامل الضوضاء (بدون وحدة).

AM Receivers

٢- ١٣ مستقبلات تعديل السعة

هناك نوعان من الأجهزة للاستقبال موجة تعديل السعة وهما:

أ- أجهزة الاستقبال المتزامنة Coherent receivers

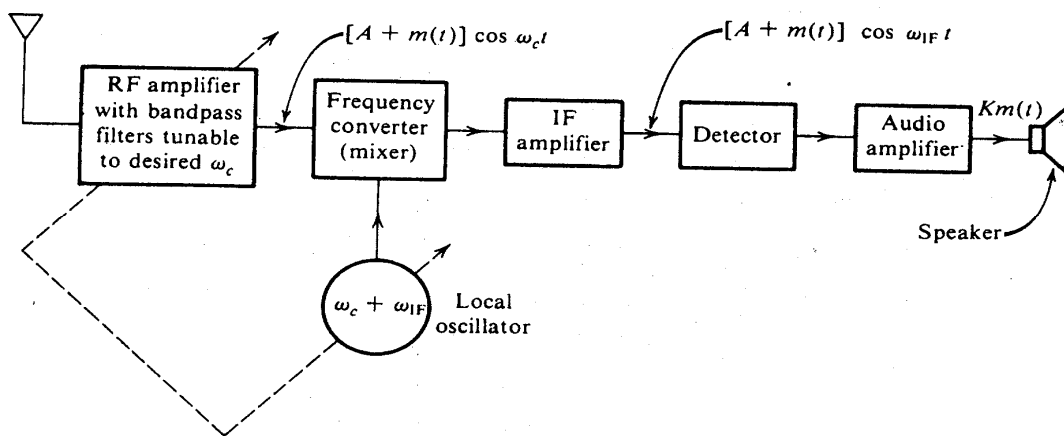
يشترط في هذا النوع من الأجهزة أن تكون الترددات المنتجة في قسم الاستقبال والتي تستعمل في عملية الكشف (أي استخلاص إشارة المعلومات الأصلية) متزامنة مع الترددات المنتجة من طرف المذبذب (Oscillator) في قسم الإرسال.

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 بـ: جهاز استقبال تعديل السعة بالفعل المتغاير الفوقي (The Super heterodyne AM receiver) والمبين في الشكل 2-3 ويمكن وصف عمله كمايلي:.



الشكل ٢-١٦ يوضح جهاز استقبال بالفعل المتغاير الفوقي

يعرف جهاز استقبال المذياع المستخدم في تصنيف الاتساع عن طريق النقل المتغير بالفعل

الفوقى (سوبر هيتروداين) حيث يتكون هذا الجهاز الموضح في الشكل ٢- ١٦، من الأقسام التالية: قسم تردد الراديو، ومغير التردد، ومضخم الترددات الوسطية، وكاشف الغلاف، ومضخم الترددات السمعية. ويقوم بالتقاط 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 دأئماً من تردد الموجة الحاملة القادمة (F_c) بمقدار 455 كيلو هرتز أي $F_{LO} = F_c + F_{IF}$ حيث $(F_{IF} = 455 \text{ kHz})$. ويتحكم في طنين المذبذب الموضعي وطين مرشح المذياع معاً عن طريق تدوير (مفتاح) واحد. وهناك مكثفات للطنين في دوائر كلا القسمين، رصت جميعاً وصممت لكي يكون تردد الطنين في المذبذب الموضعي أكبر من تردد الطنين في مرشح المذياع بقيمة قدرها 455 كيلو هرتز، وهذا بالتالي يعني أن تردد كل محطة يتم استقبالها بالمذياع سيتغير إلى تردد ثابت قيمته 455 كيلو هرتز، وذلك بواسطة مغير التردد. والسبب نقل تردد جميع المحطات المرغوبة إلى التردد الثابت 455 كيلو هرتز 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 الموضعي (أي إن $F_{IC} = F_{LO}$ F_c). فإن كان تردد الموجة القادمة f_c يساوي 1000 kHz فإن $F_{LO} = F_c + F_{IF} = 1000 + 455 = 1455 \text{ kHz}$ ، فإن كانت هناك إشارة أخرى تبث على تردد يساوي $F_c = 1455 + 455 = 1910 \text{ kHz}$ ، فإن التقاطها يصبح ممكناً أيضاً لأن الفرق $F_c - F_{co}$ يساوي 455 kHz. وهنا نقول إن المحطة التي ترددها 1910 kHz وهي صورة (أو خيال) المحطة التي ترددها 1000 kHz 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 ٢- ١٦ تردد الموجة الحاملة إلى تردد وسيط (IF) باستعمال مولد الذبذبات الموضعي الذي تردده (FLO) أكبر من الموجة القادمة. ولذا يطلق عليه المستقبل بالفعل المفاير الفوقي ويستخدم هذا المبدأ الذي قدمه أرمسترونغ في أجهزة استقبال التعديل الاتساعي، والتردد، والتلفازي. والسبب في الاستخدام تردد موضعي أعلى من تردد الموجة القادمة بدلاً من تردد أقل يعود إلى أن الأول يؤدي إلى حدوث مدى طينيني للمذبذب الموضعي أصغر من ذاك الناتج عند استعمال الأخير. وتمتد ترددات الموجات الإذاعية المتوسطة كما هو معروف من 550 إلى 1600 كيلو هرتز. ويتمدد تردد التحويل الفوقي 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 الفوقي أهمية خاصة في البث الإذاعي. ففي السنوات الأولى للبث الإذاعي (قبل عام ١٩١٩م) 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 الفوقي (سوبرهيتراين) في السماح بوجود محطات إذاعية كثيرة.

تمارين

التمرين الأول

من أجل مضمن الـ AM DSBFC استعملنا موجة حاملة ذات تردد 100kHz وإشارة التعديل ترددها الأقصى 5kHz .

أوجد ما يلي:

- حدود التردد لكل من عرض النطاق الجانب العلوي وعرض النطاق الجانب السفلي.
- عرض النطاق.
- التردد الأقصى والأدنى لكل من الجانبين عندما يصبح تردد إشارة المعلومات 3kHz .
- ارسم الطيف الترددي للخروج.

التمرين الثاني

ما هو التردد الأقصى لإشارة التعديل الذي يمكن أن يستعمل مع نظام AM DSBFC ذي عرض نطاق 20kHz .

التمرين الثالث

إذا كانت السعة المتوسطة للموجة المعدلة تساوي $20V_p$ ومقدار تغير سعتها هو $\pm 5V$.

أوجد ما يلي:

- السعة القصوى والدنيا للغلاف الخارجي.
- معامل التعديل.
- النسبة المئوية للتعديل (إذا كان $E_c=20V_p$ ، $E_m = \pm 5V$).

التمرين الرابع

ارسم شكل الغلاف الخارجي للتمرين الثالث مع تعيين كل القيم الضرورية على الرسم.

التمرين الخامس

من أجل معامل التعديل $m=0.2$ قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل $P_c=1000\text{w}$

أوجد ما يلي:

- القدرة المحتواة في كلا الجانبين.
- قدرة كل جانب (الجانب العلوي والسفلي).
- قدرة الموجة الحاملة المعدلة.
- القدرة الكلية المرسل.

التمرين السادس

ارسم مخطط بيانياً لجهاز استقبال موجة AM مع تسمية مكوناته.

التمرين السابع

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

التمرين الثامن

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 التاسع

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

التمرين العاشر

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

التمرين الحادي عشر

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

التمرين الثاني عشر

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