

أساسيات الاتصالات

تعديل الزاوية

الوحدة الثالثة : تعديل الزاوية**Angle Modulation****• الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

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

• محتوى الوحدة الخامسة :

- | | |
|-----|--------------------------|
| ١-٣ | مقدمة. |
| ٢-٣ | تعديل الزاوية. |
| ٣-٣ | مرسلات تعديل الزاوية. |
| ٤-٣ | مستقبلات معدلات الزاوية. |

عدد الساعات المطلوبة لتدريب هذه الوحدة : ١٥ ساعة

Introduction

٣-١ مقدمة

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

في سنة 1931 اقترح تعديل الزاوي كبديل للتعديل الاتساعي. وفي سنة 1936م تمكن العالم أرمسترونغ من تطوير نظام المذياع باستعمال FM، وفي سنة 1939م تم البث الإذاعي باستعمال FM في الولايات المتحدة الأمريكية.

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

إن الهدف المنشود من هذه الوحدة هو التعريف بأساسيات التعديل الزاوي بشقية تعديل التردد وتعديل الطور والعلاقة التي تربط بينهما وما مدى تميزهما على التعديل الاتساعي (AM) وكذلك التعرف على الدوائر الإلكترونية التي تساهم في إنتاج هذين النوعين من التعديل بالإضافة الى دوائر الاستقبال.

٣-٢ تعديل الزاوية

Angle Modulation

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

نعتبر رياضياً عن موجة التعديل الزاوي بواسطة المعادلة التالية:

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_c t + \Phi(t)] \quad (3-1)$$

حيث الطور $\Phi(t)$ هو دالة إشارة المعلومات. لتعيد كتابة المعادلة (3-1) تحت الشكل التالي:

$$V(t) = E_C \cos[\theta(t)] \quad (3-2)$$

حيث

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

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

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (3-4)$$

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

$$\omega_i(t) = \omega_c + \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (3-5)$$

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- ٢- ١ تعديل الطور وتعديل التردد

Phase and Frequency Modulation (PM and FM)

كما أشرنا في المقدمة بأن أنواع التعديل الزاوي هما تعديل الطور (PM) وتعديل التردد (FM). وبالنسبة لتعديل الطور (PM)، فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات، أي يمكن التعبير عنه رياضياً بالمعادلة التالية:

$$\phi(t) = \kappa_p V_m(t) \quad (3-6)$$

حيث :

κ_p : هو عبارة عن ثابت انحراف الطور و وحدته $\frac{\text{radian}}{\text{Volts}}$.

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

أما بالنسبة لتعديل التردد (FM) فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \kappa_f V_m(t) \quad (3-7)$$

ومن هنا يمكن التعبير عن قيمة الانحراف اللحظي بما يلي:

$$\phi(t) = \kappa_f \int_{t_o}^t V_m(\lambda) d\lambda + \phi(t_o) \quad (3-8)$$

حيث :

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

$\phi(t_0)$: 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 (3-6) و (3-8) في المعادلة الأصلية (3-1) التي جعلناها محطة الانطلاق لنعبر على التعديل الزاوي بما يلي:

$$V_{PM}(t) = E_C \cos[2\pi f_C t + \kappa_\rho V_m(t)] \quad (3-9)$$

$$V_{FM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_f \int_{-\infty}^t V_m(\lambda) d\lambda\right] \quad (3-10)$$

حيث المعادلتان (3-9) و (3-10) تعبران عن الجهد اللحظي لكل من موجة تعديل الطور وموجة تعديل التردد على التوالي.

والآن نريد استخراج كلاً من معادلتى التردد اللحظي لكل من تعديل الطور وتعديل التردد حتى يتسنى لنا رسم موجتيهما.

ومن أجل ذلك، نعوض المعادلة (3-6) في المعادلة (3-5) نحصل على:

$$\omega_{i(PM)}(t) = \omega_C + \kappa_\rho \frac{dV_m(t)}{dt} \quad (3-11)$$

أما تعويض المعادلة (3-7) في المعادلة (3-5) يعطي ما يلي:

$$\omega_{i(FM)}(t) = \omega_C + \kappa_f V_m(t) \quad (3-12)$$

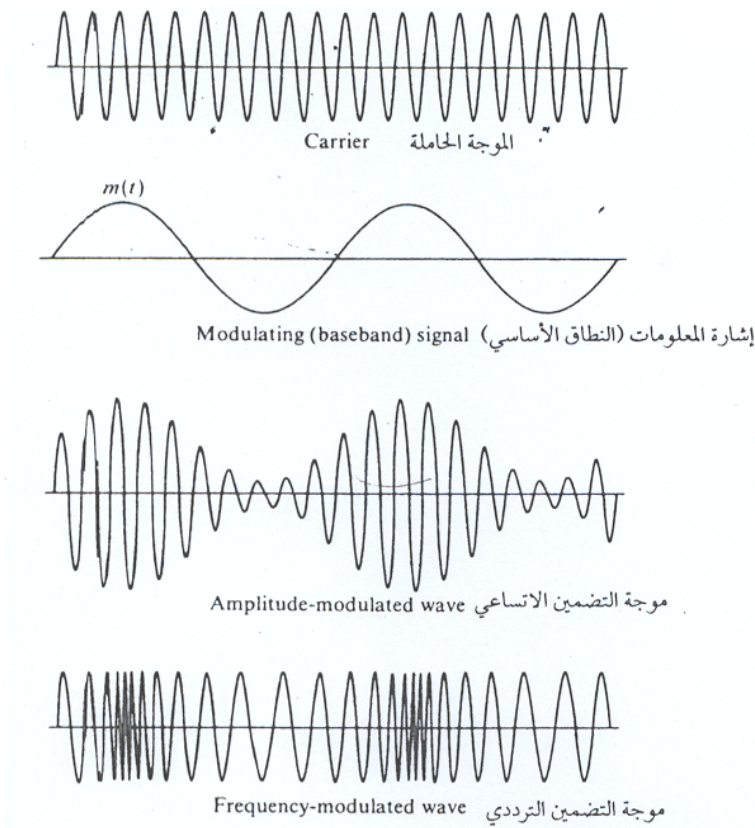
من المعادلتين (3-11) و (3-12) نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع تفاضل الجهد اللحظي إشارة المعلومات بالنسبة للزمن هذا خاص بتعديل الطور أما فيما يخص تعديل التردد نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

٣-٢ توليد موجتي تعديل الطور وتعديل التردد نظرياً

Theoretical Generation of PM and FM waves

كما أشرنا في الجزء السابق على أن معادلات التردد اللحظي لتعديل التردد هو الركيزة الأساسية لفهم طريقة توليد موجة (FM) نظرياً كما يوضحه الشكل ٣-١.

بالتدقيق في شكل ٣-١ و بالرجوع الى معادلة ٣-١٠ نجد إنه يوجد علاقة طردية بين سعة إشارة المعلومات V_m و تردد موجة تعديل التردد. أي أنه كلما زاد قيمة V_m ، زاد تردد موجة تعديل التردد و كلما قل قيمة V_m ، قل تردد موجة تعديل التردد. و لذلك نلاحظ أن أعلى قيمة للتردد في موجة الخرج تقابل أعلى قيمة لسعة إشارة المعلومات و العكس صحيح.



الشكل ٣- ١ يوضح كيفية توليد موجة (FM).

مثال ٣- ١

أوجد التردد اللحظي بالهرتز لإشارة التعديل الزاوي.

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

الحل:

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

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

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

Modulation Index

٣ - ٢ - ٣ دليل التعديل

أ. دليل التعديل لموجة تعديل الطور

دليل التعديل لموجة تعديل الطور يعطى بالعلاقة التالية :

$$m = \kappa_p V_m \quad (3-13)$$

حيث :

m : دليل التعديل ويقاس بالراديان (rad)

K_p : ثابت انحراف الحساسية ويقاس بالراديان/الفولت

V_m : السعة القصوى لجهد إشارة المعلومات.

يجب التنبيه على أن دليل التعديل لموجة تعديل الطور يدعى كذلك "الانحراف الأقصى في الطور".

مثال ٣ - ٢

إذا علمت أن ثابت انحراف الحساسية ($K_p = 2.5 \text{ rad / V}$)، أوجد دليل التعديل m (الانحراف

الأقصى في الطور) لتعديل الطور:

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

الحل:

$$m = \kappa_p V_m = 2.5 \times 2 = 5 \text{ rad}$$

ب. دليل التعديل لموجة تعديل التردد:

دليل التعديل لموجة تعديل التردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{\kappa_f V_m}{f_m} \quad (3-14)$$

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (3-15)$$

حيث:

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

f_m : تردد إشارة المعلومات

k_f : ثابت انحراف الحساسية لتعديل التردد.

مثال ٣-٣

أوجد الانحراف الأقصى للتردد ودليل التعديل لمعدل التردد حيث ثابت إنحراف الحساسية

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

وإشارة المعلومات

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

الحل:

الانحراف الأقصى في التردد لمعدل FM

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

دليل التعديل لموجة FM

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

٣-٢-٤ تحليل موجات التعديل الزاوي بواسطة التردد

Frequency Analysis of Angle Modulated Waves

إن اشتغال إشارة المعلومات أحادية التردد من أجل تعديل الموجة الحاملة تعديلاً زاوياً فإن معدل الطور أو التردد ينتج عدداً غير منتهى من أزواج الأجنحة الترددية والتي تمتلك عرض نطاق غير منتهى. كل جناح يزاح عن الموجة الحاملة بواسطة حاصل ضرب عدد الذي يلي العدد قبله (العدد الأول يساوي واحد). 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 التعديل الزاوي بواسطة التردد، نذكر بمعادلة التعديل الزاوي (3-1) والمعطاة بما يلي:

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c t + \Phi(t)] \quad (3-16)$$

بتعويض المعادلة (3-6) في المعادلة (3-16) نحصل على

$$V(t) = E_c \cos[2\pi f_c t + \kappa_f V_m(t)] \quad (3-17)$$

لنفترض أن إشارة المعلومات معطاة بالعلاقة التالية:

$$V_m(t) = V \cos \omega_m t \quad (3-18)$$

نعوض المعادلة (3-18) في المعادلة (3-17) نحصل على:

$$V(t) = E_C \cos \left[2\pi f_c t + K_p V \cos \omega_m t \right]$$

$$V(t) = E_C \cos \left[2\pi f_c t + m \cos \omega_m t \right]$$

(3-19)

حيث استبدلنا $K_p V$ بـ m (انظر المعادلة 3-13) باستعمال تعريف دالة بيسال:

$$\cos(\alpha + m \cos \beta) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos\left(\alpha + n \cos \beta + \frac{n\pi}{2}\right) \quad (3-20)$$

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

بتطبيق المعادلة (3-20) على المعادلة (3-19) نحصل على

$$V(t) = E_C \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos(\omega_c t + n \omega_m t + \frac{n\pi}{2}) \quad (3-21)$$

الآن نقوم بنشر للمعادلة (3-21) إلى غاية الحدود الأربع الأولى نحصل على

$$V(t) = E_C \left\{ \begin{aligned} & J_0(m) \cos \omega_c t + J_1(m) \left[\cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{\pi}{2} \right] - \\ & J_1(m) \left[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\pi}{2} \right] + J_2(m) \left[\cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{\pi}{2} \right] - \\ & J_2(m) \left[\cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\pi}{2} \right] + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3-22)$$

إن المعادلة (3-22) تبين أن استعمال إشارة المعلومات أحادية التردد في التعديل الزاوي ينتج عنه عدد

غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والواقعة على جانبي المركبة الترددية المركزية للموجة الحاملة (f_c)

على الشكل التالي: $f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, \dots, f_c \pm nf_m$

الأزواج المتتابة 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 ٣-١ يوضح دوال بيسال من النوع الأول من أجل عدة قيم لدليل التعديل. مع ملاحظة

أنه يمكننا تحديد عدد أزواج الأجنحة الترددية المميزة عن طريق عدد الخانات التي لها قيم في الأجنحة بعد

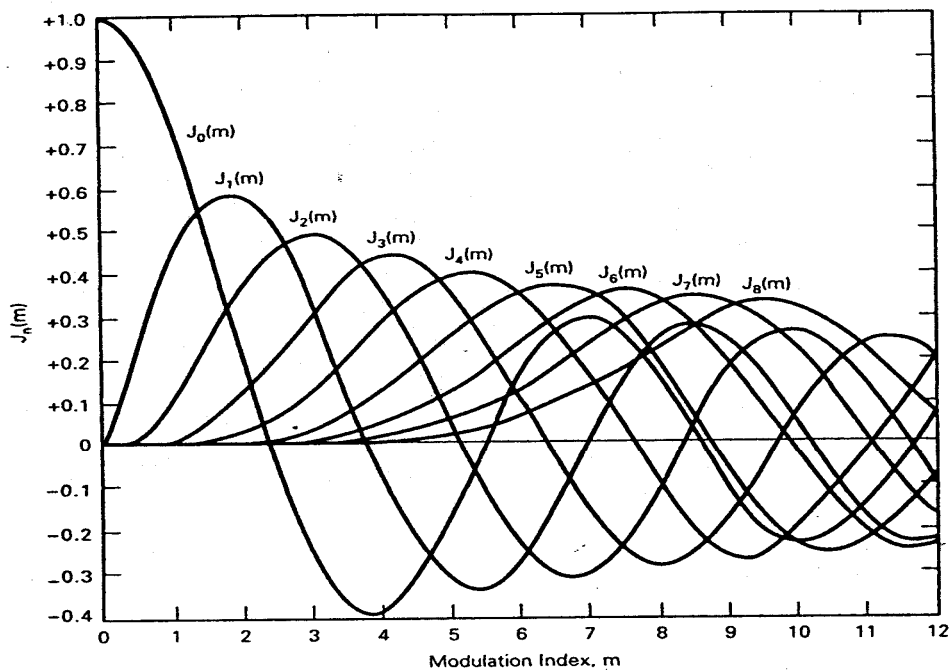
خانة جناح الحامل ($J_1, J_2, J_3, J_4, \dots$). أما السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة فهي القيمو

الموجودة في الخانة مضروبة في سعة الموجة الحاملة قبل التعديل ($(J_{n(m)}(E_C)_{unmodulated})$)

جدول ٣-١ 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 ٣-١ أنه كلما زاد معامل التعديل (m) فإن طولية الموجة الحاملة $J_n[m]$ تتناقص. وإن الشكل ٣-٢ يوضح منحنيات السعات النسبية للموجة الحاملة وبعض أزواج من الأجنحة الترددية من أجل قيم m إلى غاية 10.

الشكل ٣-٢ رسم بياني يوضح قيم $J_n[m]$ مقابل m .

مثال ٣- ٤

من أجل معدل FM، حيث دليل التعديل $m=1$ ، إشارة المعلومات

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

وإشارة الموجة الحاملة قبل التعديل

$$V_c(t) = 10 \sin(2\pi 5 \times 10^4 t)$$

أوجد:

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

الحل:

أ. باستعمال الجدول ٣- ١ من أجل $m=1$ فإن عدد الأزواج يساوي 3.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة هي:

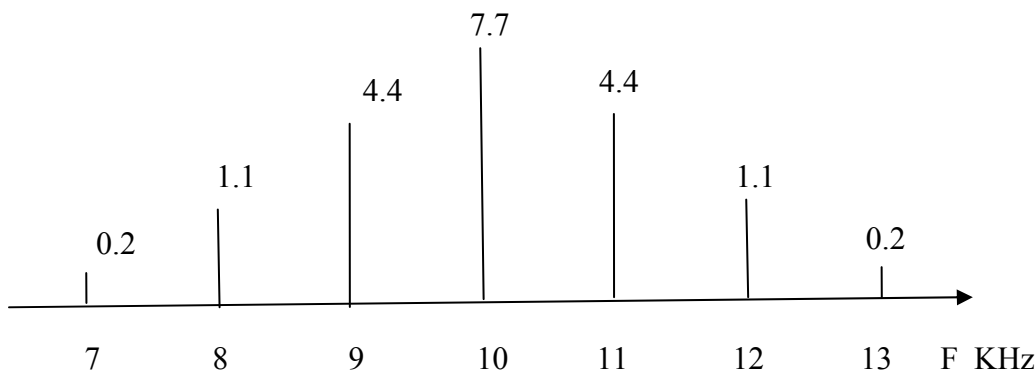
$$J_0 = 0.77 (10) = 7.7 \text{ V}$$

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

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

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

ج. الطيف الترددي مبين في الشكل التالي:



٣- ٢- ٥ متطلبات عرض نطاق موجات المعدلة زاوياً

Bandwidth requirement for Angle Modulated

نود أن ننبه إلى الملاحظة التالية بناءً على الشرح السابق وكذلك إلى المثال ٣- ٤ فإن عرض نطاق

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

الحالة الأولى: عندما يكون ثابت التعديل منخفضاً، ففي هذه الحالة فإن الطيف الترددي للتعديل الزاوي يشبه تماماً الطيف الترددي للتعديل الاتساعي (AM)، وعرض النطاق الأدنى تجاوزاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = 2 \cdot f_m \quad (3-24)$$

الحالة الثانية: من أجل دليل التعديل العالي، فإن عرض النطاق في هذه الحالة يقرب بالعلاقة التالية:

$$B = 2\Delta f \quad (3-25)$$

الحالة الثالثة: إن عرض النطاق المطلوب من أجل تمرير جميع الأجنحة الترددية لموجة التعديل الزاوي معطاة بالعلاقة التالية:

$$B = 2(n \times f_m) \quad (3-26)$$

حيث:

n : عدد أزواج الأجنحة وتحدد من جدول بيسال

f_m : تردد إشارة المعلومات (إشارة التعديل).

الحالة الرابعة: بتاريخ 28 أغسطس 1939م، أوجد العالم كارسن (Carson) قانون بموجبه يحدد عرض نطاق موجة التعديل الزاوي وهذا بغض النظر على دليل التعديل وأصبح يدعى قانون كارسن الذي ينص رياضياً على ما يلي:

$$B = 2[\Delta f + f_{m(max)}] \quad [Hz] \quad (3-27)$$

حيث:

ΔF : الانحراف الأقصى في التردد

$f_{m(max)}$: التردد الأقصى لإشارة التعديل (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 (3-24)

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 (3-25) 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 المعدلة. إن عرض النطاق الفعلي المطلوب يتعلق بإشارة التعديل (المعلومات) ونوعية الإرسال المرغوب فيه.

مثال ٥- ٥

من أجل معدل FM حيث الانحراف الأقصى في التردد $\Delta F = 10\text{kHz}$ ، تردد إشارة التعديل $f_m = 10\text{kHz}$ ، سعة الموجة الحاملة $E_c = 10\text{V}$ ، وترددها $f_c = 500\text{kHz}$.
أوجد :

- عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال.
- عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن.

الحل

أ- عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال
 $B = 2 (n \times f_m)$
لإيجاد n عدد أزواج الأجنحة والتي تحدد من جدول بيسال، نريد أولاً إيجاد m وذلك عن طريق العلاقة التالية

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

$$m = 10k / 10k = 1, \quad m = 1$$

و باستعمال الجدول ٣- ١ من أجل $m=1$ فإن عدد الأزواج يساوي: $n=3$
إذاً عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال:

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

ب- عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن:

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

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

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.

٣- ٢- ٦ القدرة المتوسطة للموجة المعدلة زاوياً

Average Power of an Angle – Modulated Wave

أحد الفروق الأساسية بين التعديل الزاوي وتعديل السعة يكمن في توزيع الطاقة في الموجة المعدلة و هذا على خلاف AM ، فإن الطاقة الكلية في الموجة المعدلة في التعديل الزاوي تساوي طاقة الموجة الحاملة قبل التعديل وهذا جوهر الاختلاف بينهما.

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

ورياًضياً يمكن التعبير عن قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل بالمعادلة التالية (انظر الوحدة الثانية)

$$P_c = \frac{E_c^2}{2R} \quad (3-28)$$

أما القدرة الكلية فهي معطاة بالعلاقة التالية

$$P_t = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (3-29)$$

$$P_t = \frac{E_0^2}{2R} + 2 \left[\frac{V_1^2}{2R} + \frac{V_2^2}{2R} + \frac{V_3^2}{2R} + \dots + \frac{V_n^2}{2R} \right] \quad (3-30)$$

حيث:

P_t : القدرة الكلية للموجة المعدلة زاوياً

P_0 : قدرة الموجة الحاملة بعد التعديل

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 التعديل

$V_1 = J_1 E_c$: 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 ٣- ١

حسب قيمة دليل التعديل. كذلك نلاحظ أن الرقم 2 الوارد في المعادلة (3-30) نتيجة وجود زوج من

الأجنحة واحد على يمين f_c والآخر على يسار f_c .

مثال ٣- ٦

- أ - أوجد قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل لمضمن FM مع الشروط المعطاة في المثال ٣- ٥ (افتراض أن مقاومة الحمل $R_L = 50 \text{ Ohms}$).
- ب - أوجد القدرة الكلية المحتواه في الموجة المعدلة للتعديل الزاوي.

الحل:

من المثال السابق نجد أن

$$E_c = 10V, m=1, n=3$$

- أ - لإيجاد قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل نستخدم المعادلة رقم (3-28)

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

- ب - لإيجاد القدرة الكلية نطبق معادلة (3-30) لذلك نحتاج الى ايجاد القيم التالية:

$$1 - E_0 = J_0 E_c = 7.7V \text{ بعد أخذ قيمة } J_0 \text{ من جدول ٣- ١.}$$

$$V_1 = J_1 E_c = 0.2 V$$

-٢

$$V_2 = J_2 E_c = 1.1 V$$

$$V_3 = J_3 E_c = 4.4V$$

$$\text{بعد أخذ قيم } (J_1=0.44, J_2=0.11, J_3=0.02) \text{ من جدول ٣- ١}$$

- ٣ - بعد ذلك يمكننا تطبيق المعادلة (3-30) الى الحد الثالث و من ثم نحصل على:

$$P_t = 1.0051 W$$

نلاحظ أن قيمة الطاقة الكلية قريبة من طاقة الموجة الحاملة قبل التعديل. أما الفروقات

الطيفية بينهما ترجع إلى القيم المقربة في جدول بيسال.

٣-٣ مرسلات تعديل الزاوية

Angle Modulated Transmitters

أ. دائرة معدل FM

إن الشكل ٣-٣ 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

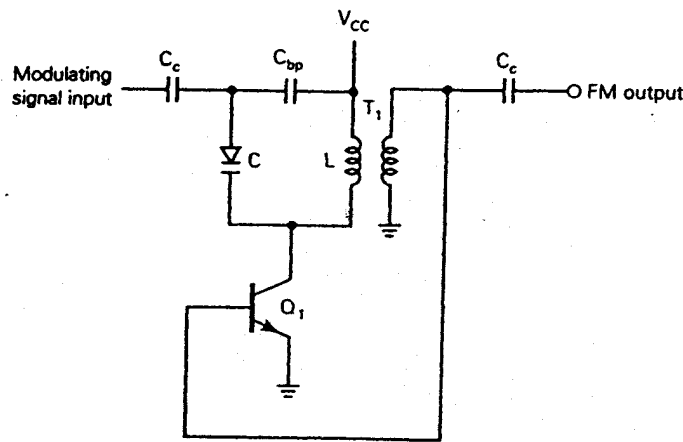
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3-31)$$

عند تطبيق إشارة المعلومات، فإن تردد الاهتزاز يصبح كالتالي:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c + \Delta c)}} \quad (3-32)$$

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

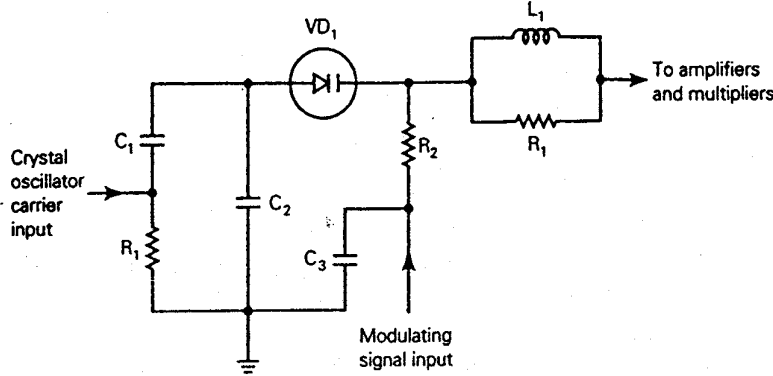
المعلومات. أما L فهي قيمة الملف وتعطى بـ هنري (H)



الشكل ٣-٣ يوضح دائرة معدل لإنتاج موجة FM.

ب. دائرة معدل PM.

إن الشكل ٣-٤ 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 ٣- ٤ يوضح دائرة معدل لإنتاج PM

Angle Modulated Receivers

٣- ٤ مستقبلات تعديل الزاوية

يوجد عدة طرق لإزالة التعديل و سوف نقوم بهذه الفقرة بدراسة بعض منها ، و لكن نواد التنبية على إنه في حالة موجات التعديل الزاوي فإن الانحراف الترددي يجب تحويله الى تغير السعة.

إزالة تعديل التردد لموجة معدلة

في عملية إزالة التعديل لموجة التعديل في حالة حالة تعديل التردد أو الطور فإن الانحراف الترددي لهذه الموجات يجب تحويله إلى تغير في السعة.

و فيما يلي بعض الطرق المختلفة للقسم بهذه العملية :

Slop detection circuit

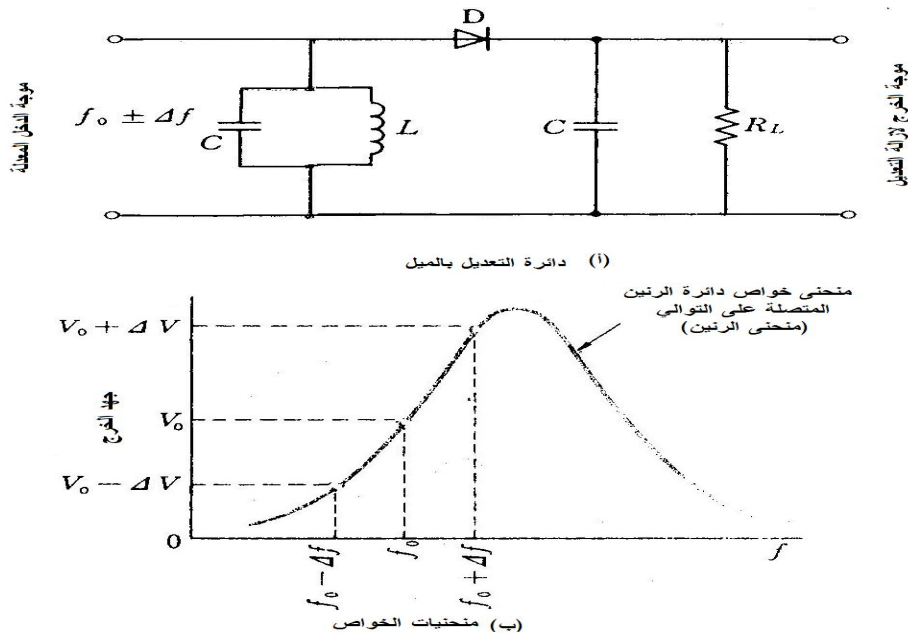
أ- دائرة إزالة التعديل بواسطة الميل

يوضح الشكل ٣- ٥ فكرة إزالة التعديل بواسطة الميل ، حيث أن ميل منحنى الرنين لدائرة الرنين

المكونة من ملف ومكثف والمبين في الشكل ٣- ٥ ، يتم إستغلاله في تحويل إنحراف التردد إلى تغيير

السعة. حيث يتم ضبط تردد الرنين الخاص بهذه الدائرة ليكون أعلى من تردد الموجة الحاملة f_0 وليكون

هذا التردد في منتصف الجزء المائل من منحنى الرنين لدائرة الرنين.



الشكل ٣- ٥ دائرة إزالة التعديل بواسطة الميل

والإنحراف الترددي الذي مقداره $\pm \Delta f$ يسبب تغييراً الجهد الموجود على طرفي الدائرة الرنين بمقدار $\pm \Delta V$ كما هو موضح في الشكل ٣- ٥ .

وبذلك فإن التغيير في التردد تم تحويله إلى تغيير في السعة ، وبالتالي فإنه يمكن استخدام دائرة إزالة التعديل مثل تلك المستخدمة في حالة إزالة التعديل لموجات تعديل السعة للحصول على إشارة تعديل التردد.

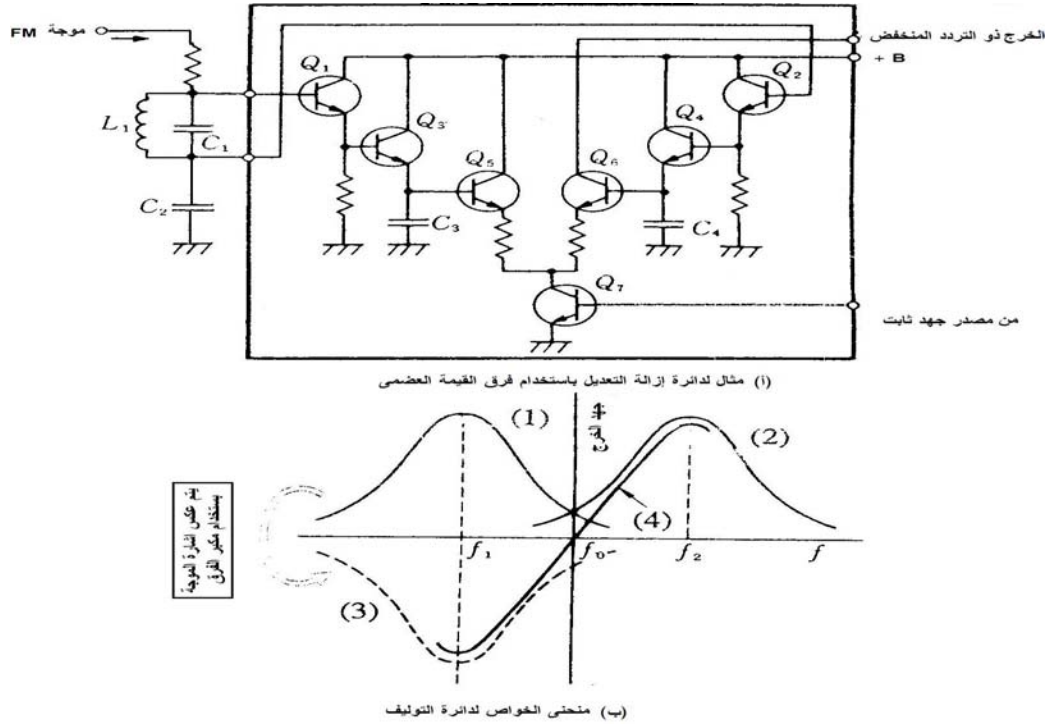
ولهذه الطريقة ميزة البساطة في الدائرة المستخدمة ولكن لها عيب لأنها تسبب تشويهاً للموجة إزالة التعديل بسبب أن الجزء المائل في منحنى دائرة الرنين ليس خطياً.

ب - دائرة إزالة التعديل باستخدام فرق القيمة العظمى

Peak-Differential detection circuit

يوضح الشكل ٣- ٦ مثلاً لدائرة متكاملة لإزالة التعديل باستخدام الفرق في القيمة العظمى.

منحنى الرنين المبين بالشكل ٣- ٦ و المشار اليه بالرقم (١) و هو الذي نحصل عليه من قاعدة



الشكل ٣-٦ دائرة إزالة التعديل الترددي بواسطة الدائرة المتكاملة

الترانزستور Q_2 و الناشئ عن دائرة رنين تتكون من C_1, C_2, L_1 والتي لها تردد رنين قيمته f_1 ، و منحنى الرنين الذي نحصل عليه عند قاعدة الترانزستور Q_1 له تردد رنين قيمته f_2 كما هو مبين بالشكل ٣-٦. و عند إدخال الموجة المعدلة ترددياً ذات التردد المركزي f_c إلى دائرة الرنين فإنه يتم تكبير الجهد المقابل لكل تردد في هذه الموجة تبعاً لمنحنى الرنين بواسطة الترانزستورين Q_1, Q_2 و بالتالي فإننا سوف نحصل على موجتين ذات تعديل اتساع (السعة) من تلك المعدلة ترددياً عند القاعدة.

و كل من الترانزستورين Q_3, Q_4 يتم استخدام دائرة إزالة التعديل والتي تتكون من ثنائي بين قاعدة و باعث الترانزستور Q_3 أو Q_4 و المكثف C_3 أو C_4 على الترتيب. يلي ذلك تكبير الفرق بين موجتي إزالة التعديل بواسطة دائرة إزالة التعديل، و ذلك بواسطة الترانزستورين Q_5, Q_6 و في خلال هذه العملية يتم عكس إشارة المنحنى (١) ليصبح (٣) و بالتالي فإن الموجة التي تظهر عند مجمع الترانزستور Q_6 تكون ممثلة بالمنحنى (٤) لكل تردد من الترددات المحتواة، في موجة تعديل التردد.

و يشبه هذا المنحى منحى دائرة إزالة التعديل بالميل و لكن مع خطية أكبر، و بالتالي لا يسبب تشويها في إشارة إزالة التعديل بالقدر نفسه الموجود في دائرة إزالة التعديل بالميل.

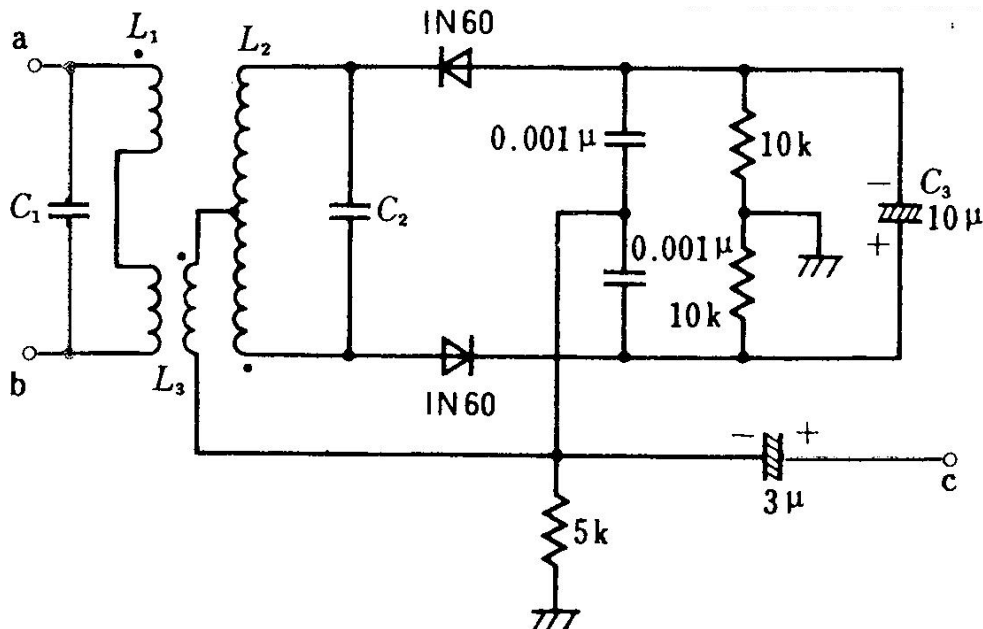
ج - دائرة إزالة التعديل بالنسبة

Ratio detection circuit

يوضح الشكل ٧ - ٣ مثلاً عملياً لدائرة إزالة التعديل بالنسبة، فعند تطبيق موجة تعديل التردد إلى ملف L_1 فإننا نحصل على إشارة إزالة التعديل عند الطرف (C).

و هذه الدائرة لها منحى الخواص الموضح في شكل ٧ - ٣. كما أن هذا المنحى له نطاق خطي كبير أكبر من الذي حصلنا عليه بالطريقتين السابقتين و بالتالي فإنه يسبب تشويهاً قليلاً جداً.

و في الدائرة الموضحة بالشكل ٧ - ٣ فإن المكثف C_3 يقوم بدور دائرة تحديد السعة و ذلك لأنه بإزالة الضوضاء الموجودة في الموجة المعدلة.



الشكل ٧ - ٣ دائرة إزالة التعديل الترددي بالنسبة

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 التعديل

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 التعديل $m=2$ لمعدل FM، وإشارة المعلومات $V_{m(t)} = V_m \sin 2\pi 2000t$ ، والموجة

$$V_c(t) = 8 \sin (2\pi 800Kt)$$

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.