الضجيج (التشويش) Noise

يعتبر الضجيج أحد العوائق الرئيسية لأنظمة الاتصالات. ويعرّف على أنه الطاقة الغير مرغوب فيها التي تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الاتصالات لتشارك الإشارة الأصلية بالمرور عبر هذه العناصر.

يقسم الضجيج إلى نوعين رئيسين هما:

1- الضجيج الغير مرتبط بالإشارة Un correlated Noise

هو الضجيج الذي ليس له علاقة بالإشارة الأصلية المطلوب نقلها عبر أنظمة الاتصالات

ويقسم إلى:

A- الضجيج الخارجي External Noise

هو الضجيج الذي يتولد من مصادر خارجية. أي ليس له علاقة بالدارات الإلكترونية المستخدمة في أنظمة الاتصالات لكن يؤثر فيها

مثال: ضجيج الغلاف الجوي، ضجيج أشعة الشمس، ضجيج الأشعة الكونية، والضوضاء الناتجة عن صنع الإنسان

B- الضجيج الداخلي Internal Noise

ويقصد به التأثيرات الغير مرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدارات الإلكترونية مثل المقاومات وغيرها والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها عبر هذه الدارات.

له أشكال متعددة تنتج عن أسباب مختلفة

مثال: ضجيج جونسون Johnson Noise الذي ينشأ بسبب ارتفاع درجة الحرارة في مكونات الدارات الكهربائية

SABBAGH STATIONERY

2. الضجيج المرتبط بالإشارة Correlated Noise

هو الضجيج المرتبط بالإشارة التي تعبر الدارات الإلكترونية التي تدخل في تكوين نظام اتصالات.

هذا النوع من الضجيج لا يتواجد في الدارة بدون تواجد الإشارة ولهذا يقال: لا إشارة : لا ضجيج ☺

وإن الضجيج المرتبط بالإشارة ينتج عن طريق التضخم اللاخطي. ويشمل كل من الضجيج الناتج عن المركبات التوافقية والضجيج الناتج على التشويه الذي يحدث أثناء عملية التعديل

نود التنبيه أن الضجيج الناتج عن الغلاف الجوي والصادر عن العواصف الرعدية thunderstorms تؤثر تأثيراً مباشراً على البث الإذاعي الذي يستخدم AM. والسبب أن الموجات الناتجة عن العواصف الرعدية تتناسب عكساً مع التردد الواقع في المجال الأقل من 100 MHz. أي كلما قل التردد زاد الضجيج (التشويش). لكنه أقل تأثيراً على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم FM [88MHz → 108MHz]

- يعتبر نوع مهم في التشويش تكاد لا تخلو منه أي دارة إلكترونية هو الضجيج الحراري Thermal noise ويطلق عليه ضجيج جونسون.

يمكن التعبير عنه بالعلاقة $N = KTB$

حيث N : طاقة الضجيج (Watts)

B : عرض النطاق (Hz)

T : درجة الحرارة (Kelvin)

تذكير: للتحويل من درجة حرارة سيليسيوس إلى كلفن نستعمل

SABBAGH STATIONERY

$$T = C^\circ + 273$$ العلاقة

$$K = 1{,}38 \times 10^{-23} \ \frac{\text{Joules}}{\text{Kelvin}}$$ k - ثابت بولتزمان

أما إذا أردنا أن نعبر عن الطاقة بوحدة ديسيبل Decibel ويرمز له اختصاراً بـ dB فنأخذ التابع اللوغاريتمي للأساس 10 مضروباً بالعدد 10 . أي :

$$N_{dB} = 10 \log (KTB) \quad [dB]$$

N_{dB} - طاقة الضجيج بالديسيبل .

مثال : إذا كان جهاز إلكتروني يعمل عند درجة حرارة 17° . وعرض حزمة 10 KHz

أحسب : 1- طاقة الضجيج بـ Watt

2- طاقة الضجيج بـ dB

الحل

1/ $N = KTB = 1{,}38 \times 10^{-23} \times (17 + 273) \times 10 \times 10^3$

$= 4 \times 10^{-17}$ watts

2/ $N_{dB} = 10 \log(KTB) = 10 \log (4 \times 10^{-17}) \approx -164$ dB

- نسبة الإشارة إلى الضجيج : Signal - to - Noise ratio

كثيراً ما تستخدم هذه النسبة لتقييم بارامتر أداء أنظمة الاتصالات . كلما زادت هذه النسبة كلما زادت كفاءة نظام الاتصالات .

وتعطى بالعلاقة :

$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N}$$

ويعبّر عنها بالديسيبل بالعلاقة :

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log \left[\frac{P_S}{P_N}\right]$$

SABBAGH STATIONERY

حيث $\left[\frac{S}{N}\right]_{dB}$ - نسبة الإشارة إلى الضجيج بالديسيبل

P_S - استطاعة الإشارة بالواط Watt

P_N - استطاعة الضجيج بالواط Watt

وعند التعامل مع الجهد والتيار تعطى النسبة بالعلاقة:

$$\left[\frac{S}{N}\right]_{dB} = 20 \log \frac{V_S}{V_n}$$

$$\left[\frac{S}{N}\right]_{dB} = 20 \log \frac{I_S}{I_n}$$

مثال: إذا كانت استطاعة إشارة خرج مضخم تساوي 10 Watt
واستطاعة ضجيج إشارة الخرج تساوي 0,01 Watt
أوجد: 1- نسبة الإشارة إلى الضجيج
2- نسبة الإشارة إلى الضجيج مقدرة بالديسيبل

الحل: 1- $\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N} = \frac{10}{0,01} = 1000$

2- $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log \frac{S}{N} = 10 \log(1000) = 30 dB$

التعديل الزاوي
Angle Modulation

يتضمن هذا النوع من التعديل نوعان رئيسيان هما :
تعديل التردد Frequency Modulation
وتعديل الطور Phase Modulation

Frequency Modulation التعديل الترددي
FM

ينتج عن تغير تردد إشارة الحامل بواسطة إشارة المعلومات .
فإذا كان تردد الحامل f_c و الإشارة المراد إرسالها $v_m(t)$
يكون التردد اللحظي الناتج :

$$f_i = f_c + k \cdot v_m(t)$$

أي أن التردد اللحظي سيكون مزاحاً عن تردد الإشارة الحاملة f_c بواسطة إشارة المعلومات

$$f_i = f_c \mp \Delta f$$

k - مقدار ثابت يشير إلى حساسية المعدل.

يعرف عامل التعديل الترددي بأنه نسبة الانزياح الأعظمي لتردد الإشارة المعدلة Δf_{max} إلى تردد إشارة المعلومات

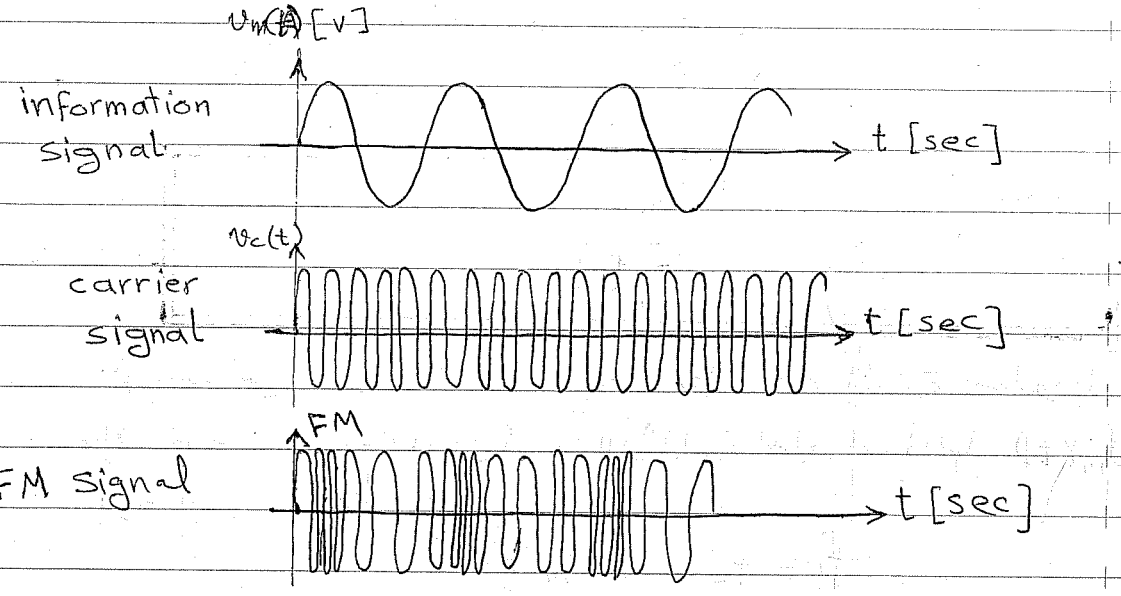
$$m_f = \frac{\Delta f_{max}}{f_m}$$

ويكون الانزياح الأعظمي $\Delta f_{max} = f_c + k V_m$

SABBAGH STATIONERY

توليد التعديل الترددي :

تعتمد المعدلات الترددية على إيجاد دارة إلكترونية يمكن تغيير قيمة أحد عناصر الرنين (C و L) بواسطة إشارة المعلومات، عندها يصبح تردد الإشارة المولدة f_c ومعها انزياح ترددي يعتمد على $v_m(t)$



هزاز التحكم بالجهد VCO Voltage Controlled Oscillator

هو عبارة عن هزاز يتم التحكم بتردده عن طريق تغيير جهد الانحياز المستمر المطبق على ثنائي الفاراكتور (ثنائي سعوي تتغير فيه السعة بتغير جهد الانحياز العكسي المطبق عليه)

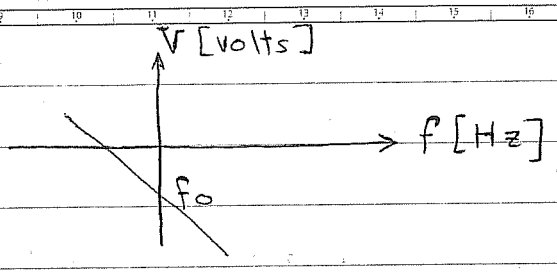
ويستخدم VCO في معدلات التعديل الترددي FM وأجهزة الاستقبال التلفزيوني.

يقوم تردد إشارة الدخل f_m بتغيير انحياز ثنائي الفاراكتور مما يغير في سعة الثنائي وبالتالي تغير تردد الهزاز

وتكون العلاقة بين الجهد والتردد علاقة طردية

$$f \sim V$$

$$f = K \cdot V$$



f_o - يمثل تردد الاهتزاز الحر للهزاز وهو تردد الهزاز عندما يكون الجهد المطبق معدوم

• كشف التعديل الترددي: FM Demodulators

يعطي كاشف FM جهد خرج متناسب مع التردد اللحظي للدخل. ومهمة الكاشف هي قلب انزياح التردد الحامل إلى تغير في المطال في المدى المسموح، وتكون تغيرات المطال دالة للتغيرات التي سببت انزياح التردد. ويجب ان يتم ذلك بمردود جيد خطي.

من كواشف FM:

1. كاشف الطور ذو حلقة القفل الطوري Phase Locked Loop: PLL
2. الكشف بالميل slop detection
3. كاشف الميل المتوازن
4. كاشف الطور Foster - seely
5. الكاشف النسبي Ratio Detector

سندرس بالتفصيل حلقة القفل الطوري

• حلقة القفل الطوري PLL Phase Locked Loop

تتألف من:

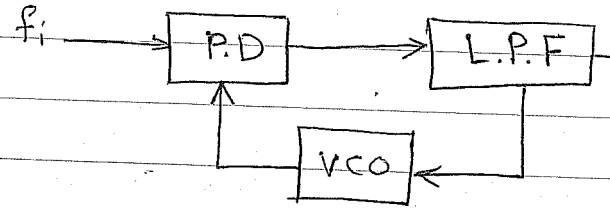
* كاشف طور (Phase Detector) P.D

يقوم بمقارنة طور إشارة الدخل المعدلة f_i مع تردد خرج VCO ويعطي جهد يتناسب مع الفرق بين هذين الترددين

* مرشح تمرير منخفض (Low Pass Filter) L.P.F

يقوم بحذف الترددات العالية. وإشارة خرجه تعبر عن جهد الفرق وتغذي هزاز الـ VCO.

* هزاز التحكم بالجهد VCO :
يغير تردد خرجه حسب هذا الجهد .



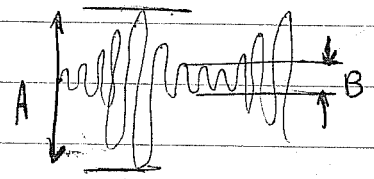
- طيف الإشارة FM :
بما أن تردد الإشارة المعدلة يتغير لحظياً مع تغيرات إشارة المعلومات فإن طيف الترددي لإشارة FM يحوي عدداً لانهائياً من المركبات (الحزم) الترددية . وكلما كان عامل التعديل أصغر فإن عدد الحزم ينقص .

- يساهم التعديل الزاوي في إنقاص الضجيج ، وتحسين دقة نظام الاتصالات ، وأكثر مردودية في استعمال الطاقة .
إلا أنه يتطلب دارات إلكترونية معقدة في جهازي الإرسال و الاستقبال .
- يستخدم التعديل الزاوي في أيامنا في البث الإذاعي ، وفي التلفاز لنقل الصوت ، وفي الملاحة الجوي ، وفي أنظمة الأقمار الصناعية والميكروويف .

SABBAGH STATIONERY

ملاحظة: يحسب عامل التعديل لمطالي بقياس القيمة الأعظمية للمطال A والقيمة الأصغرية B للموجة المعدلة AM وتكون:

$$Ma = \frac{A - B}{A + B}$$



حيث $A = 2(V_c + V_m)$

$B = 2(V_c - V_m)$

* استنتاجات:

التعديل المطالي (السعوي) AM الذي درسناه سابقاً يمكن أن نطلق عليه اسم AMDSBFC

Amplitude Modulation_Double SideBand Full carrier

ولاحظنا أن معظم القدرة الكلية المرسلة محتواة في الموجة الحاملة، لكن الموجة الحاملة لا تحتوي أي معلومات.

إضافة إلى ذلك فإن التعديل السعوي (ذو الحزمتين الجانبيتين) يستهلك عرض حزمة (نطاق) مضاعف لما يستهلكه تعديل الحزمة الجانبية الوحيدة.

أي أنه يتم تبديد الكثير من الطاقة وعرض الحزمة في التعديل AM وهما عنصران مهمان في تصميم الأجهزة الحديثة

لذلك تم ابتداع التعديل السعوي لحزمة جانبية مفردة كبديل إلى حد ما عن التعديل DSB

SABBAGH STATIONERY

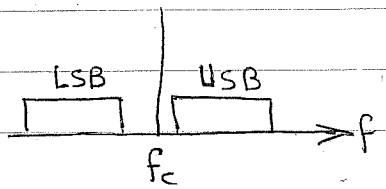
الأطياف الترددية لتعديلات AM

1. AM أو DSB-FC

تعديل سعوي : حزمتين جانبيتين وحامل كامل

Double Side Band Full Carrier

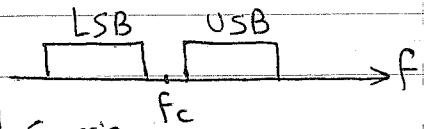
$$P_t = P_c + 2P_s$$



2. DSB-SC

Double Side Band - Suppressed Carrier

تعديل سعوي : تعديل حزمتين جانبيتين مع كبت الحامل



$$P_c = 0$$

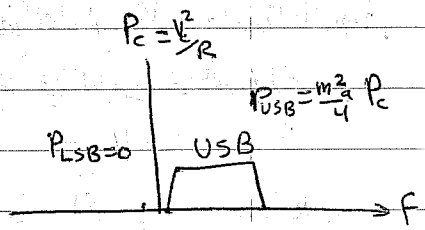
$$P_t = 2P_s = 2\frac{m_a^2}{4}P_c$$

3. SSB-FC

Single-Side Band Full carrier

تعديل سعوي : نطاق (حزمة) جانبي مفرد مع حامل كامل

$$P_t = P_c + P_s$$

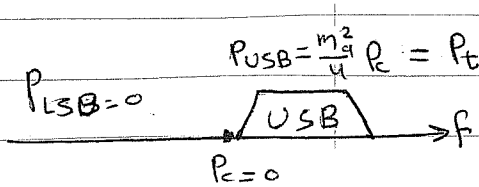


4. SSB-SC

Sigle Side Band Suppressed Carrier

تعديل سعوي : حزمة جانبية وحيدة مع كبت الحامل

$$P_t = P_s$$



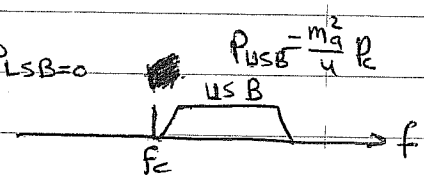
SABBAGH STATIONERY

5. SSB-RC

Single Side Band Reduced Carrier

تعديل سعوي : حزمة جانبية مفردة مع حامل مخفض

$$P_c = (0,1\ V_c)^2 / R$$



$$P_t = 0,01\ P_c + \frac{m_a^2}{4} P_c$$

يتم تخفيض سعة الموجة الحاملة قبل التعديل بنسبة 90% تقريباً.

Filters المرشحات

المرشح هو دارة إلكترونية تسمح لنا باختيار أو التقاء مجموعة من الترددات المرغوبة وحذف ترددات أخرى.

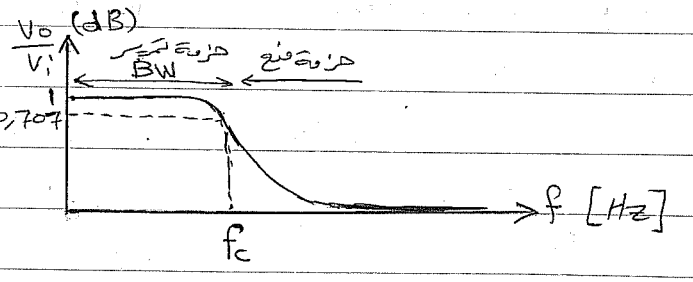
تقسم المرشحات حسب العناصر التي تُبنى منها إلى:

* مرشحات غير فعالة Passive Filters:
فتستخدم في بنائها العناصر الغير فعالة: مقاومة R، مكثف C، ملف L.

* مرشحات فعالة Active Filters:
تستخدم على الأقل عنصر فعال (مكبر عمليات مثلاً) بالإضافة إلى العناصر الغير فعالة R, L, C.

- تصنيف المرشحات حسب مجال التمرير:

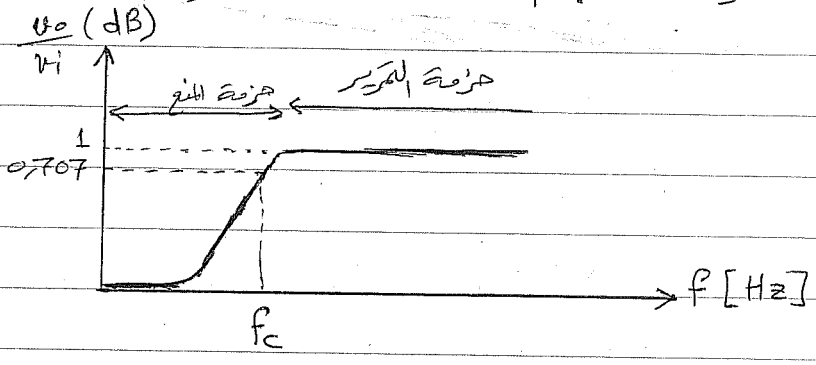
① مرشح تمرير منخفض LPF Low Pass Filter
يسمح هذا المرشح بمرور الإشارات ذات الترددات المنخفضة، بدءاً من 0 Hz وحتى تردد محدد يسمى تردد القطع f_c (c = cut)
• يكون منحنى الاستجابة الترددية لمرشح التمرير المنخفض كما يلي:



② مرشح تمرير عالي HPF High Pass Filter
يقوم بتمرير الترددات الأعلى من تردد معين هو تردد القطع (f_c) ويحجب الترددات الأقل من f_c.

SABBAGH STATIONERY

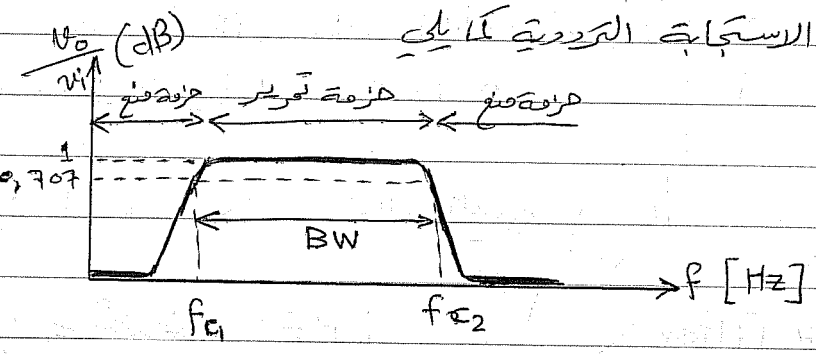
ويكون منحنى الاستجابة الترددية له كما يلي :



③ مرشح تمرير حزمة BPF : Band Pass Filter

يسمح لنطاق معين من الترددات بالمرور ويمنع الترددات الأعلى والأدنى من هذه الحزمة.

منحنى الاستجابة الترددية كما يلي



حزمة المرور واقعة بين تردد القطع f_{c_1} و f_{c_2}

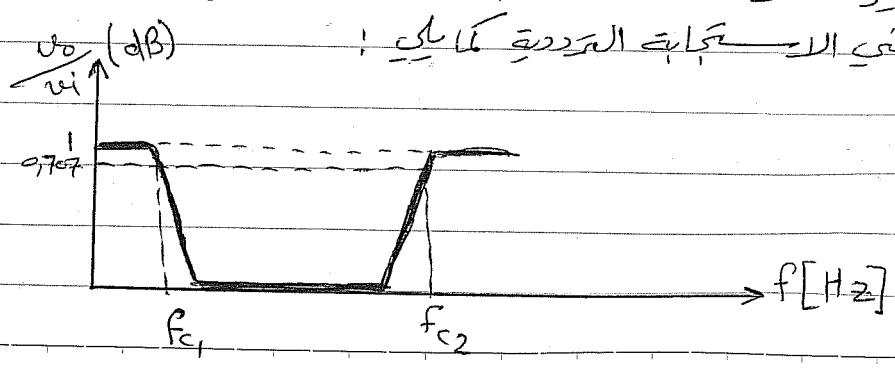
حزمة المنع : الترددات الأدنى من f_{c_1} والأعلى من f_{c_2}

④ مرشح منع حزمة BSF : Band Stop Filter

يمنع مرور نطاق معين من الترددات يقع بين الترددين f_{c_1} و f_{c_2}

ويمرر الترددات الأدنى من f_{c_1} والأعلى من f_{c_2}

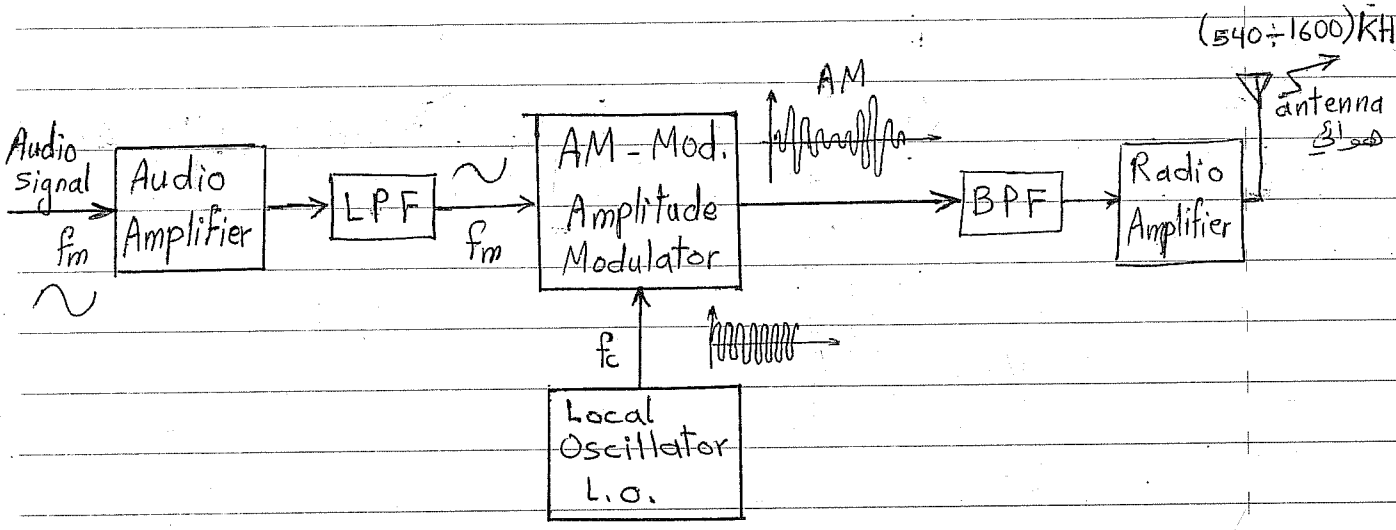
منحنى الاستجابة الترددية كما يلي :



SABBAGH STATIONERY

* المخططات الصندوقية للأنظمة الإرسال و الاستقبال *

1 مرسل AM — AM Transmitter Block Diagram

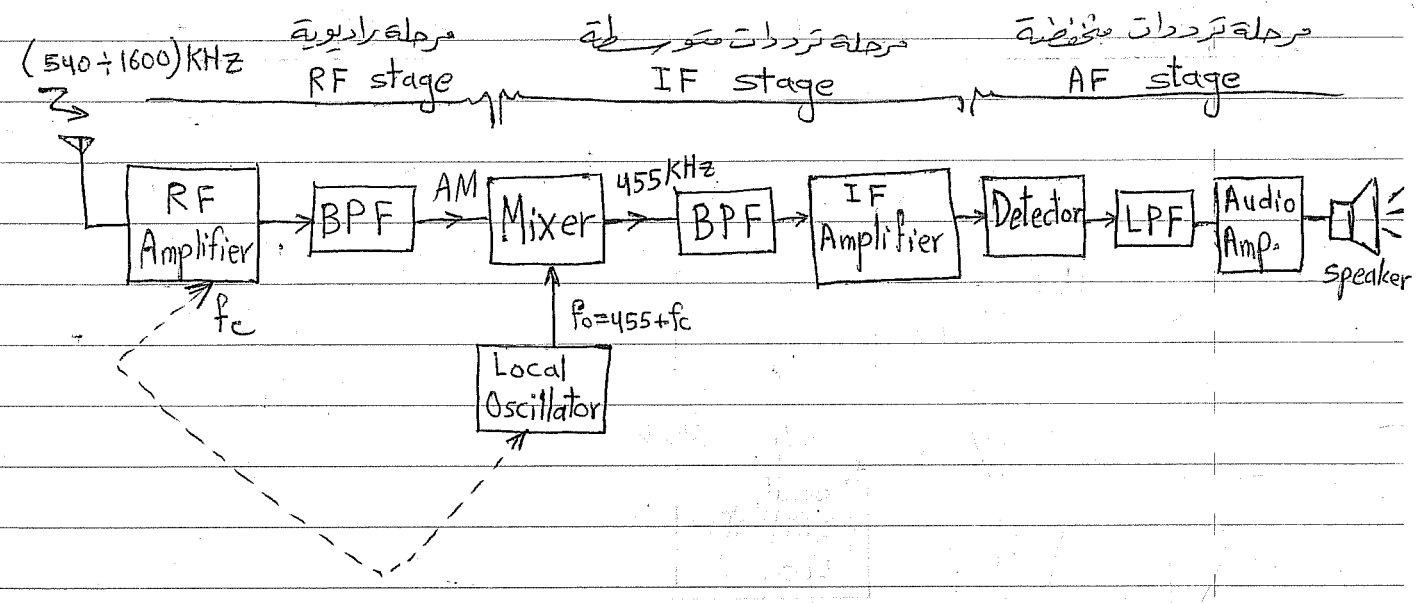


- في المكبر الصوتي Audio Amplifier يتم تكبير الإشارة الصوتية
- المعدل السعوي Amplitude Modulator له مدخلان:
  مدخل أول هو إشارة صوتية مكبرة (إشارة المعلومات ذات التردد f_m)
  المدخل الثاني هو إشارة الحامل الراديوية والتي يتم توليدها بواسطة مهتز محلي.
- المهتز المحلي Local Oscillator: يقوم بتوليد إشارة الحامل ذات التردد العالي f_c.
  وهي إشارة ذات تردد عالي وسعة ثابتة ودورها صغير.
- يقوم المعدل السعوي بتحميل الإشارة الصوتية على الإشارة الحاملة الراديوية.
  ويولد في خرجه الإشارة المعدلة سعوياً AM.
- مضخم الاستطاعة الراديوي Radio Amplifier: يعتبر المرحلة النهائية قبل هوائي الإرسال. وهو يؤمن تضخيم الاستطاعة الضروري للهوائي كي يشع الإشارات اللاسلكية إلى مسافات طويلة.
- الهوائي Antenna: يقوم بتحويل الإشارة الكهربائية إلى لاسلكية كي يتم بثها ضمن المجال المخصص لـ AM وهو (540 ÷ 1600)KHz

SABBAGH STATIONERY

AM Receiver Block Diagram

مستقبل AM 2



- الهوائي antenna : وظيفته التقاط الأمواج الكهرطيسية المرسلة من محطة الإرسال وتحويلها إلى إشارة كهربائية وإيصالها إلى المضخم الراديوي .

- هنالك دارة التخاب (توليف) Tuner وهي دارة رنين تفرعية مؤلفة من ملف ومكثف متغير

يتم توليف هذه الدارة بتغيير قيمة المكثف حتى يصبح رنين الدارة يساوي رنين المحطة المراد استقبالها fc . وتكون هذه الدارة جزء من دارة المضخم الراديوي .

- مضخم الترددات الراديوية RF Amplifier : يعمل على تضخيم الإشارة المستقبلة للمحطة ، والتي تكون عادة من مستوى MV (ميكروفولط) . وتتكون من مرحلة أو عدة مراحل للتكبير .

- المازج Mixer :

نظرياً : وظيفة المازج هي تحويل تردد المحطة المختارة إلى تردد ثابت هو التردد المتوسط لـ AM وهو $f_i = 455$ KHz

فهو يقوم بعملية جداء للإشارة المستقبلة بإشارة جيبية مولدة من هزاز محلي Local Oscillator ذو تردد متغير تحدد قيمته تلقائياً .

SABBAGH STATIONERY

خرج المازج مكون من أربع مركبات هي: 1- إشارة المحطة المستقبلة f_{RF}

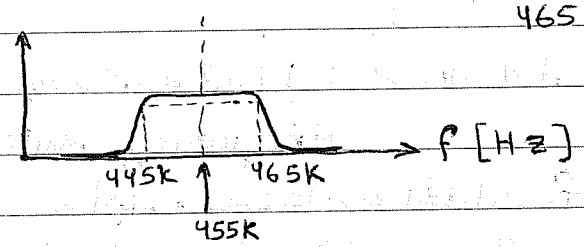
2- الإشارة المولدة من المهتز المحلي f_o

3- حاصل جمع الإشارتين $f_o + f_{RF}$

4- حاصل فرق الإشارتين $f_o - f_{RF}$

في الدارة السابقة: يقوم المازج بمزج الإشارة المعدلة سعوياً ذات التردد 1000KHz من مرحلة RF مع إشارة الهزاز المحلي 1455 KHz لتوليد تردد الفرق 455 KHz. وتردد المجموع 2455 KHz بالإضافة إلى ترددي المحطة والهزاز.

- مرشح تمرير الحزمة BPF (مرشح IF) مصمم لتمرير الإشارة 455 KHz بعرض حزمة 20KHz. وهذا يشمل الحزم الجانبية: LSB بتردد 445 KHz و USB بتردد 465KHz



ويمكن أن يكون مرشح IF جزء من المازج

- IF Amp: مضخم الترددات المتوسطة: يتكون من عدة مراحل لتضخيم الإشارة المتوسطة في خرج المازج. وله توليف ثابت عند التردد $f_i = 455$ KHz، ويعمل على تضخيم الإشارة المستقبلة إلى المستوى المطلوب بداية الكاشف وإلغاء المحطات الغير مرغوبة.

- الكاشف الثاني envelope detector (كاشف الغلاف): هو دارة شحنة RC غير خطية (تقوم بنصف موجة D ومرشح تمرير منخفض RC)، وتستخدم هذه الدارة لغاية التعديل

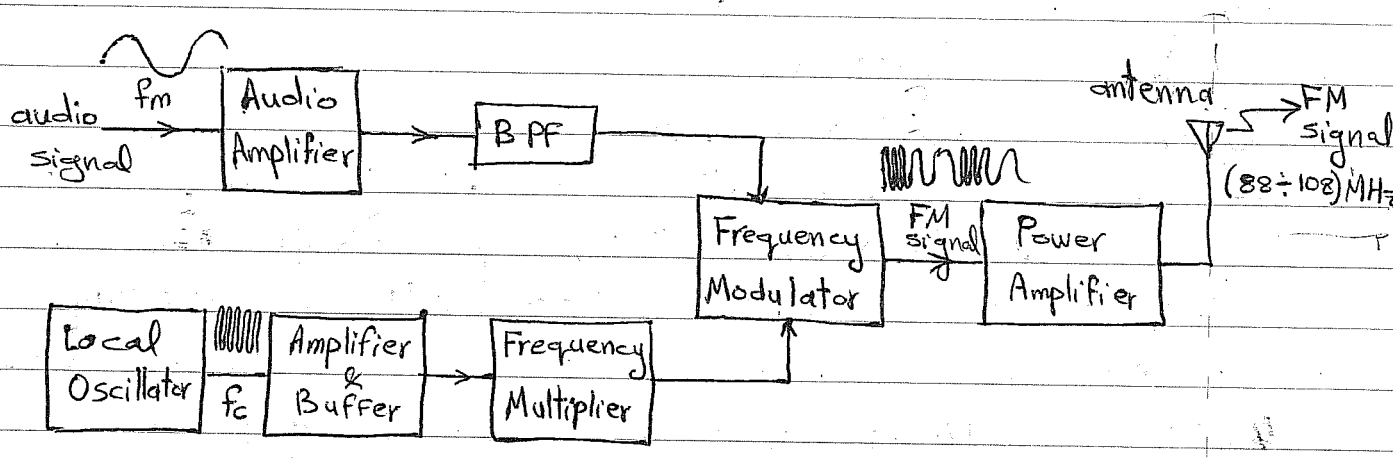
- مضخم الإشارة الصوتية: يتكون من مرحلة أو أكثر، يقوم بتضخيم الإشارة الصوتية ورفع استطاعتها إلى المستوى المطلوب لتشغيل السماعة.

- السماعة speaker: وظيفتها تحويل الإشارات الكهربائية إلى أصوات مسموعة وذلك من خلال مبدأ عمل السماعة.

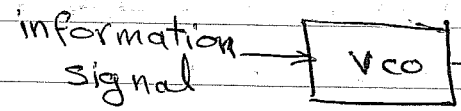
SABBAGH STATIONERY

FM - Transmitter Block Diagram

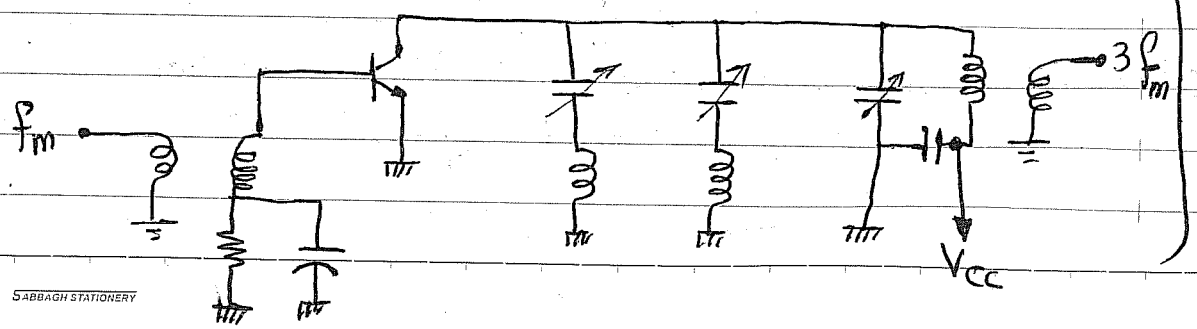
مرسل FM 3



- يعمل جهاز إرسال FM بطريقة مشابهة تماماً لجهاز إرسال AM مع ملاحظة وجود دارة مضاعف تردد Frequency Multiplier
- يستخدم مضاعف التردد من أجل مضاعفة تردد الحامل fc عدة مرات للوصول إلى مجال تردد FM الواقع في المجال (88÷108) MHz
- وسبب وجود FM في الحزمة VHF (Very High Frequency) كونه يحتاج إلى عرض حزمة كبير، وهذا غير متوفر في المجالات الترددية الأدنى.
- مرحلة المكبر العازل Amplifier & Buffer : وظيفته تكبير الإشارة الراديوية وعزل دارة الهزاز عن المراحل اللاحقة لتأمين استقرار الهزاز.
- المعدل الترددي Frequency Modulator هو دارة VCO .

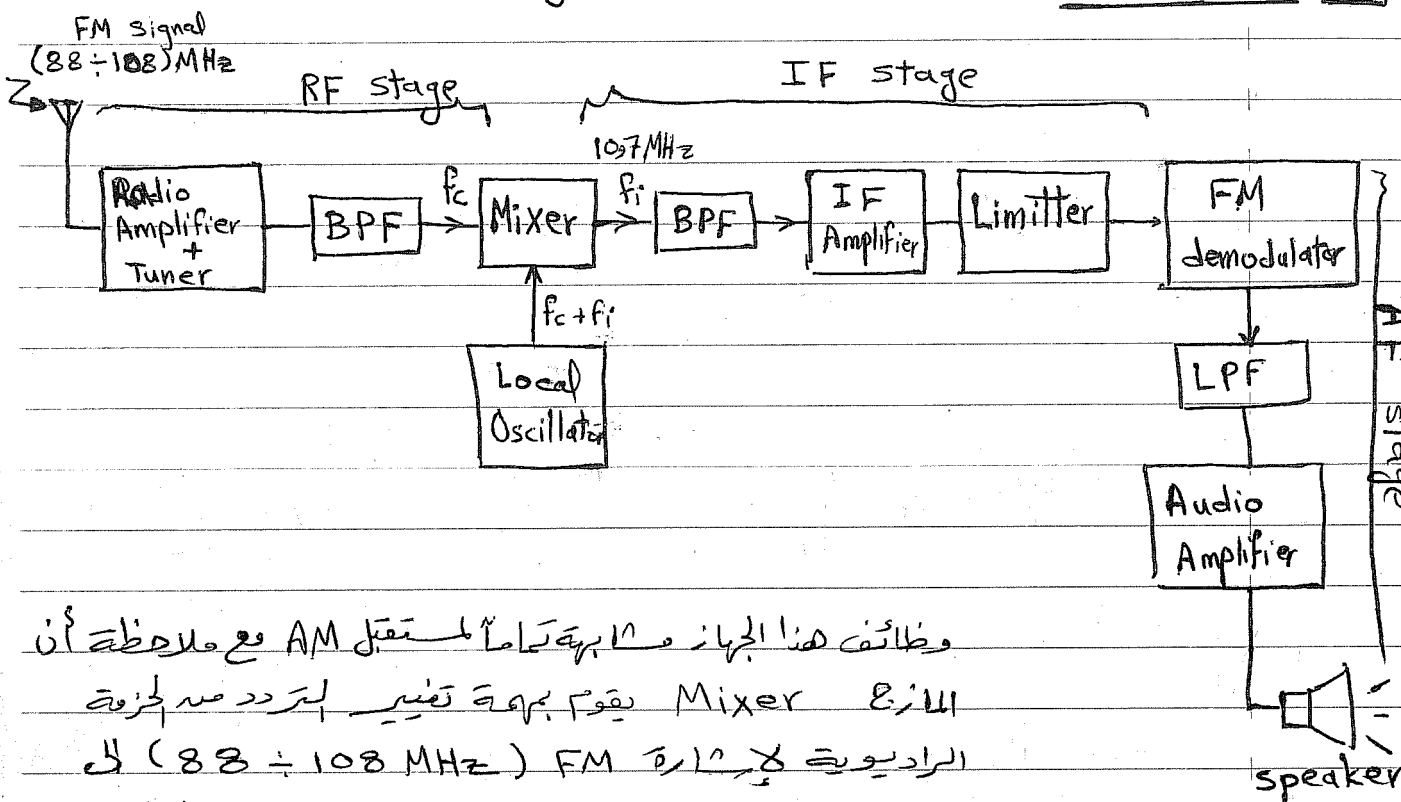


للاطلاع: هذه الدارة تبين مضاعف تردد بـ 3 مراحل 3-stages Frequency Multiplier



SABBAGH STATIONERY

FM Receiver Block Diagram



وظائف هذا الجهاز مشابهة تماماً لمستقبل AM مع ملاحظة أن الـ Mixer يقوم بمهمة تغيير التردد من الحزمة الراديوية لإشارة FM (88 ÷ 108 MHz) إلى الحزمة المتوسطة. وقيمة التردد المتوسط في نظام استقبال FM المعروفة هي $f_i = 10.7\ MHz$.

المحدد Limitter: يقوم بتحديد مطال الإشارة في طرف مضخم التردد المتوسط بحيث يكون مطال الإشارة على مدخل الكاشف الترددي ثابت. أي إلغاء التغيرات الطارئة لمطال الموجة المعدلة.

يقوم المحدد بقطع الزيادة في مطال الإشارة كاملة المعدلة حتى تضمن العمل في المنطقة الخطية للكاشف.

- كاشف FM (FM demodulator) هو حلقة القفل الطوري PLL (Phase Locked Loop) التي درسناها سابقاً

نظم تجميع الإشارات
Multiplexing Systems

مع تطور أنظمة الاتصال وتوسعها ازداد عدد المشتركين بشكل كبير.
وبالتالي لابد من تأمين عدد كبير من الرسائل المرسلة والمستقبلة بين عدد كبير من المشتركين بنفس الوقت. وبالتالي الحاجة لأنظمة التجميع.

فالهدف من تقنيات التجميع (تعدد الوصول) هو تركيب الإشارات الصادرة من مصادر مختلفة على وسط نقل مشترك. بحيث يمكن فصل هذه الإشارات بدون تداخل عند النهاية.

فمثلاً باستخدام نظام خليوي يستخدم طرق التعديل الرقمي والتجميع بتقسيم الزمن أو التردد أو الشيفرة يمكن زيادة سعة النظام إلى عدة أضعاف بالمقارنة مع نظام التعديل الترددي التماثلي.

- وتقسم أنظمة التجميع (تعدد الوصول) إلى:

- نظام التجميع بتقسيم الزمن (TDM) Time Division Multiplexing: حيث تخصص شريحة زمنية لكل مكالمة تستخدم خلالها كل نطاق التردد المخصص للنظام وذلك طوال مدة المكالمة الهاتفية
- نظام التجميع بتقسيم التردد (FDM) Frequency Division Multiplexing: حيث يقتسم المستخدمون النطاق الترددي بأن يخصص جزء من هذا النطاق لكل مستخدم طوال مدة مكالمته الهاتفية.
- نظام التجميع بتقسيم طول الموجة (WDM) Wavelength Division Multiplexing: يتم إرسال عدد من إشارات الموجة الحاملة الضوئية optical carrier

SABBAGH STATIONERY

على لبث بصري واحد باستخدام أطوال موجية مختلفة (أي ألوان) من الضوء.

• نظام التجميع بتقسيم الشيفرة CDMA
Code Division Multiplexing Access

يخصص هذا النوع من التجميع لكل مستخدم شيفرة خاصة، ويستخدم كل النطاق الترددي المخصص للنظام طوال مكالمته الهاتفية. ويطبق مبدأ الطيف الموسع (spread spectrum) بحيث تكون الشيفرات المخصصة لمستخدمين مختلفين متعامدة حتى يمكنه فصل إشارة كل مستخدم بواسطة شيفرته الخاصة في النهاية وبأقل تداخل من المستخدمين الآخرين.

* وبشكل عام يمكننا القول أن التجميع بتقسيم التردد FDM مرتبط بالنظام التماثلي. أما التجميع بتقسيم الزمن فهو مرتبط بالنظام الرقمي.

التجميع بتقسيم التردد FDM

Frequency Division Multiplexing

يستخدم هذا النظام في التطبيقات التي تتطلب إرسال عدة إشارات عبر قناة اتصال واحدة.

فمثلاً عند الحاجة إلى نقل عدة مكالمات هاتفية من مدينة إلى أخرى عبر قناة اتصال واحدة فإننا نحتاج إلى ترتيب وتجميع النطاق الترددي (المجال الترددي) لكل المكالمات في مجال أساسي واحد، وبعدها نستطيع إرسال هذا المجال الترددي عبر قناة الاتصال.

يقوم التجميع بتقسيم التردد على مبدأ اشتراك عدد من الإشارات النطاق المسموح به لقناة الاتصال

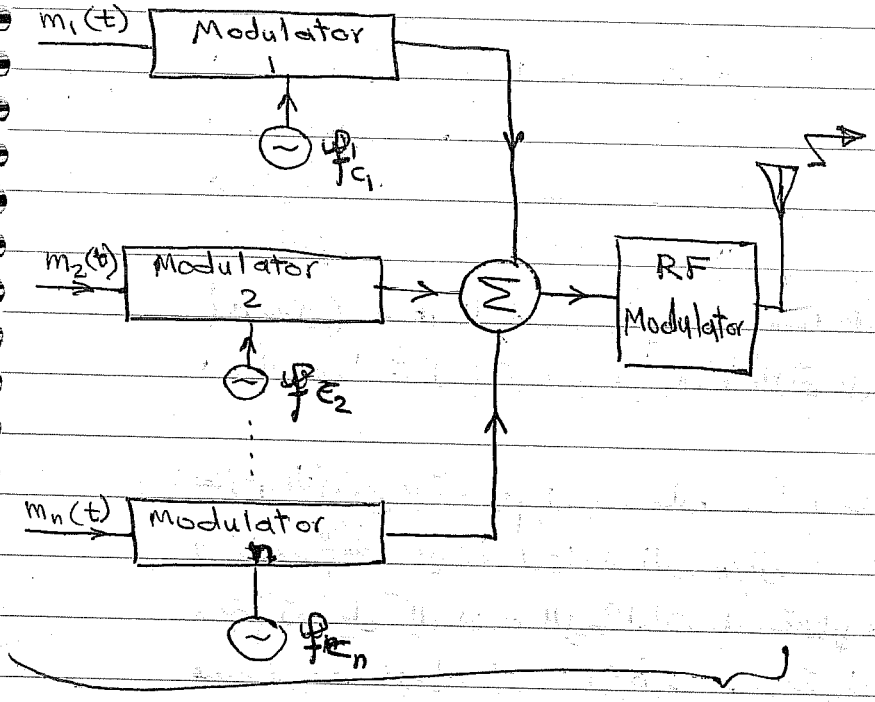
ويتم تعديل كل هذه الإشارات باستعمال موجة حاملة لها تردد مختلف عن تردد الإشارات الأخرى. ويتم فصل الترددات المختلفة لهذه الموجات فصلاً كافياً بمقدار التردد الحارس fg لكي يمنع حدوث التداخل بين أطياف مختلف هذه الإشارات المعدلة. وتعرف هذه الموجات الحاملة بالموجات الفرعية.

وعند إضافة كل أطياف الإشارات بعد التعديل نحصل على إشارة مركبة يمكن اعتبارها إشارة نظام أساسي تدخل في تعديل موجة حاملة لها تردد عالي بغرض الإرسال.

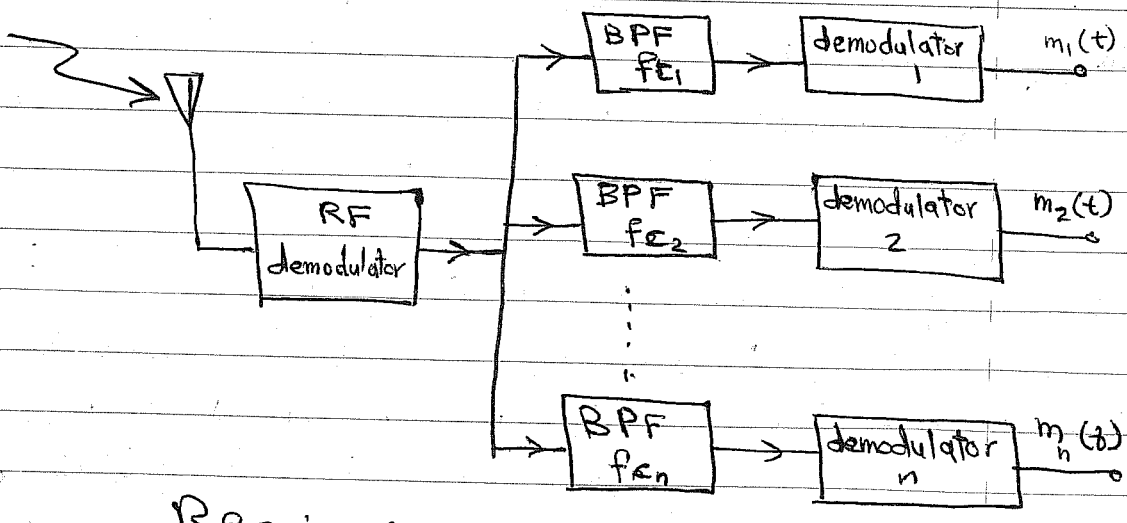
وفي جهاز الاستقبال يتم استخلاص الإشارات المعدلة عن طريق الموجة الحاملة ذات التردد الراديوي العالي لكي تمر على مرشحات تمرير حزمة لفصل كل إشارة على حدة. ثم يتم استخلاص كل إشارة عن طريق الموجة الحاملة الفرعية الخاصة بها.

SABBAGH STATIONERY

يوضح الشكل التالي عملية دمج هذه الإشارات في الحمل بالإضافة
إلى عملية فك الدمج للإشارات في المستقبل :

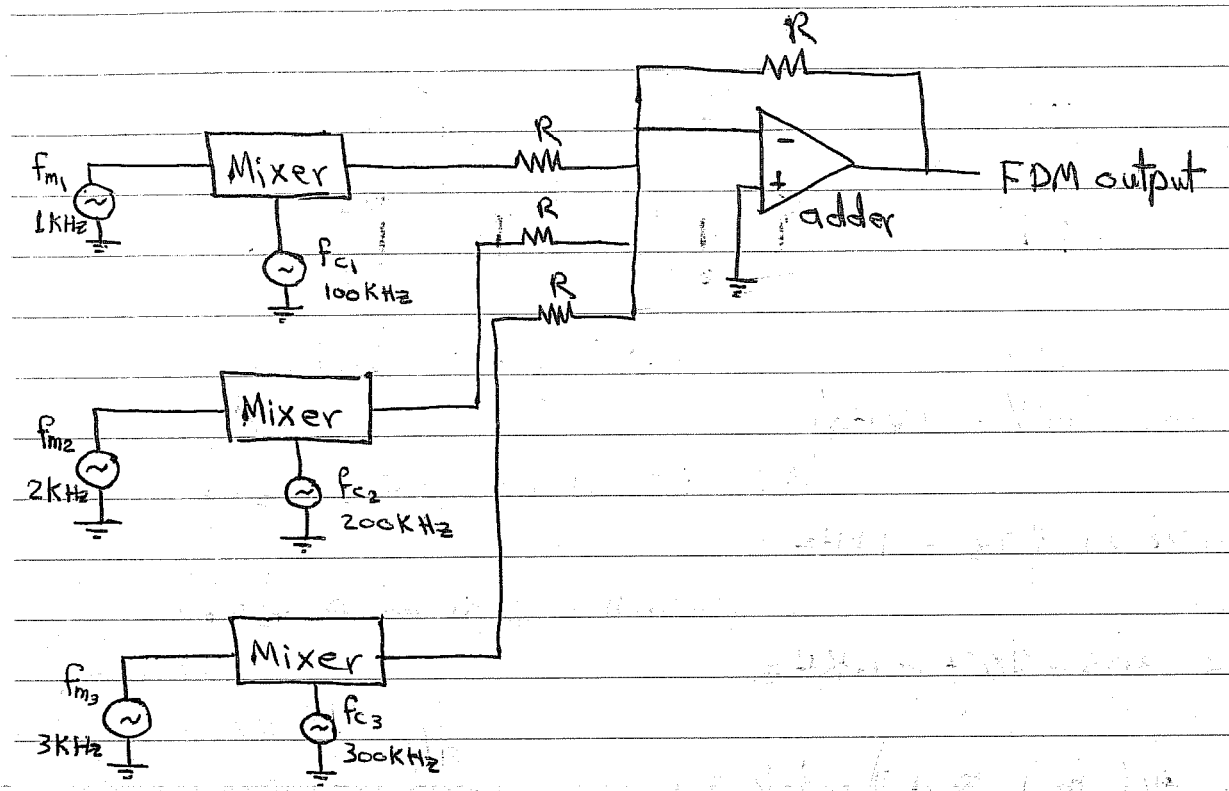


Transmitter



Receiver

مثال : لدينا ثلاث إشارات جيبية نريد إرسالها باستخدام قناة اتصال واحدة باستخدام تقنية FDM



الإشارة الأولى لها تردد $f_{m_1} = 1\,KHz$ وحملت على تردد $f_{c_1} = 100\,KHz$

الإشارة الثانية لها تردد $f_{m_2} = 2KHz$ وحملت على تردد $f_{c_2} = 200\,KHz$

الإشارة الثالثة لها تردد $f_{m_3} = 3KHz$ وحملت على تردد $f_{c_3} = 300\,KHz$

المطلوب :

1- ارسم الطيف الترددي عند المرسل الخاص بالتجميع بتقسيم الترددات FDM

2- عرض الحزمة الخاص بكل إشارة

3- قيمة التردد الحارس بين الإشارة الأولى والثانية f_{g_1}

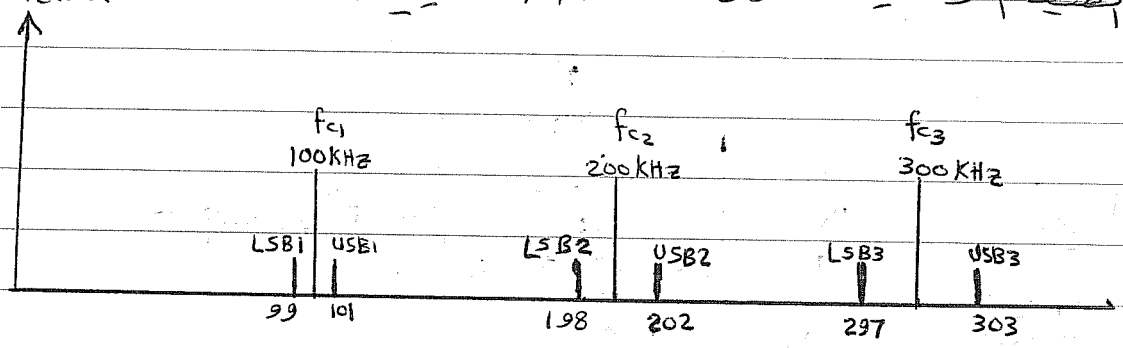
وقيمة التردد الحارس بين الإشارة الثانية والثالثة f_{g_2}

4- عرض الحزمة الكلي BW_T بطريقتين

SABBAGH STATIONERY

الحل

1- لطيف الترددي عند خرج الـ FDM كما يلي :



2- عرض حزمة الإشارة الأولى :

$BW_1 = 101 - 99 = 2\,KHz$

• عرض حزمة الإشارة الثانية :

$BW_2 = 202 - 198 = 4\,KHz$

• عرض حزمة الإشارة الثالثة :

$BW_3 = 303 - 297 = 6\,KHz$

3- قيمة التردد الحارس بين الإشارة الأولى والثانية (f_{g_1}) هي :

$f_{g_1} = 198 - 101 = 97\,KHz$

• قيمة التردد الحارس بين الإشارة الثانية والثالثة (f_{g_2}) هي :

$f_{g_2} = 297 - 202 = 95\,KHz$

4- عرض الحزمة الكلي هو :

$BW_T = 303 - 99 = 204\,kHz$

طريقة ثانية :

$BW_T = BW_1 + BW_2 + BW_3 + f_{g_1} + f_{g_2}$

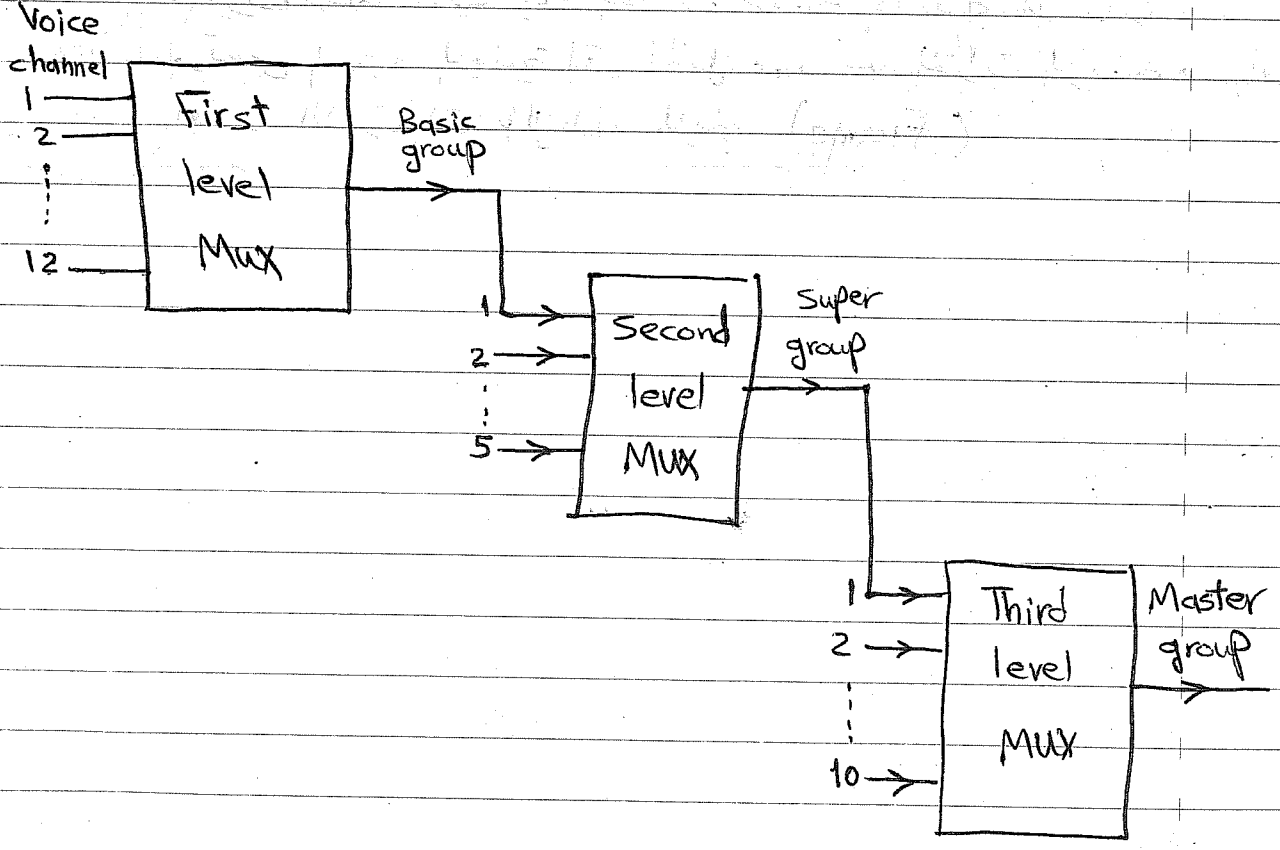
$= 2 + 4 + 6 + 97 + 95 = 204\,KHz$

SABBAGH STATIONERY

Telephone Channel Multiplexing — تجميع القنوات الهاتفية

يبين الشكل التالي نموذج من نظام التجميع بتقسيم التردد لترتيب هاتفي متبع في أمريكا الشمالية.
وهذا النظام معمول به إلى زمن عربي. يُقسَم إلى ثلاثة أقسام هي:
المجموعة الأساسية، المجموعة الكبيرة، المجموعة الرئيسية

- المجموعة الأساسية Basic Group تتكون من /12/ قناة صوتية
عرض حزمة كل قناة 4 KHz
- المجموعة الكبيرة Super Group تتكون من /60/ قناة
عن طريق تجميع خمس مجموعات أساسية.
- المجموعة الرئيسية Master Group تتكون من /600/ قناة
عن طريق تجميع /10/ مجموعات كبيرة super



التجميع بتقسيم الزمن TDM

Time Division Multiplexing

يعتمد التجميع بتقسيم الزمن على إرسال مجموعة من الرسائل (الإشارات) بنفس الوقت من مصادر مختلفة وخلال فترة زمنية محددة وعلى كامل الطيف الترددي.

حيث يقسم المجال الزمني إلى عدة فترات زمنية (فتحة زمنية أو شق زمني Time slot) وتخصص كل فترة لإرسال عينة من عينات إشارة واحدة.

ويتكرر إرسال هذه العينات بنفس معدل أخذ العينات fs ويترك زمن حماية بين الفترات الزمنية المخصصة للإشارة.

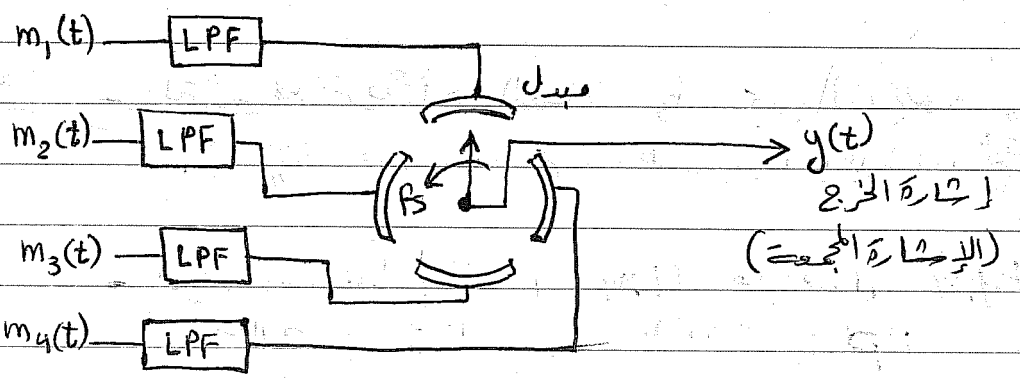
وتسمى الفترة الزمنية التي تشمل عدد من الفترات الزمنية مساوٍ لعدد الإشارات بالإطار الزمني (frame)

توضيح الطريقة :

نفرض أنه يُطلب إرسال عدد N من الإشارات عبر قناة واحدة .
وكل إشارة لها نطاق ترددي عرضه BW
(BW هو عرض النطاق الترددي للإشارة المماثلة أو أكبر تردد فيها
ويقدر بالهرتز Hz)

* الخطوة الأولى :

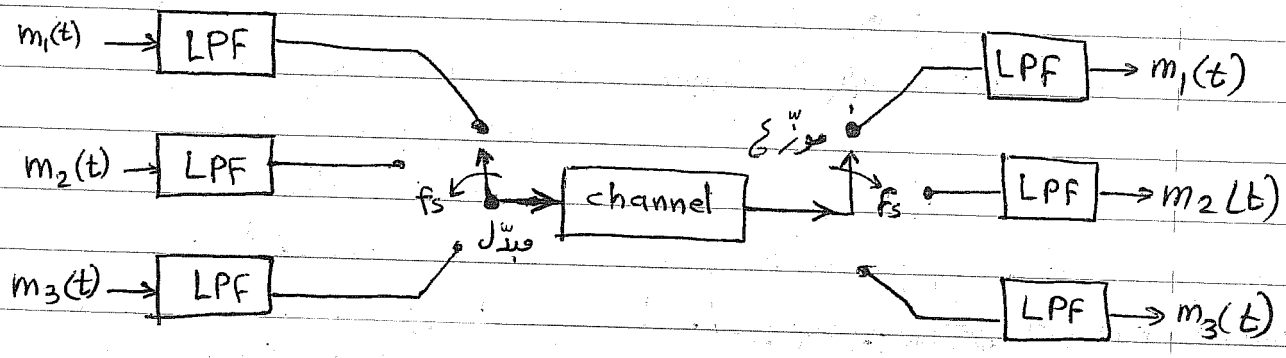
يتم أخذ عينات من هذه الإشارات بطريقة تتابعية . أي عينة من كل إشارة . ويتم ذلك بواسطة مفتاح دوار يسمى المبدّل Commutator
ويعمل هذا المفتاح دورة واحدة كل Ts
وفي هذه الدورة يكون قد أخذ عينة واحدة من كل إشارة
أي في كل Ts يتكون frame فيه N عينة من N إشارة



* الخطوة الثانية :

يتم إرسال الإشارة المجمعة $y(t)$ عبر قناة الاتصال إلى الجهة المستقبلة . وفي المستقبل يوجد مفتاح دوار مماثل تماماً لنظيره في الإرسال ويسمى بالموزع .
مهمة الموزع هي فصل النبضات الخاصة بكل إشارة وإدخال كل منها إلى مرشح تمرير منخفض لتكوين الإشارة الأصلية

- يمكن توضيح نظام TDM يقوم بتجميع 3 إشارات $m_1(t)$ و $m_2(t)$ و $m_3(t)$ بشكل مخطط صندوقي كما يلي



- وظيفة مرشح التمرير المنخفض هي تحديد النطاق الترددي للإشارات بحيث يكون مساوياً BW لكل منها

- لتحديد تردد أخذ العينات f_s يجب أن يكون $f_s \geq 2w_m$ حيث w_m هو أكبر عرض نطاق ترددي للإشارة المجمّعة زمنياً.

- يمكن استخدام نظام TDM مع تعديل PAM تعديل طال النبضة و كذلك مع تعديل موقع النبضة PPM و تعديل عرض النبضة PWM و التعديل النبضي الشفر PCM

- هناك تزامن بين المتزامنين: المبدل في المرسل و الموزع في المستقبل

مسائل

مسألة 1 :

يُراد إرسال إشارة تلفزيونية ذات تردد 6 MHz وفق نظام PCM على أن يتم استبدال كل عينة بـ 7 بت ويضاف بت واحد للتزامن (1 bit للتزامن) ، والمطلوب

1- سرعة النظام وعرض الحزمة

2- حساب النسبة $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$ علماً أن احتمال خطأ البت $P_e = 0$

الحل

① $BW = \frac{R}{2} \Rightarrow R = 2BW$

معدل نايكوست $f_s = 2f_m = 2 \times 6 = 12$ MHz

$r_b = R = n.f_s = 8 \times 12 = 96$ Mbps

(بت التزامن يدخل في حساب سرعة النظام)

$BW = \frac{R}{2} = \frac{96}{2} = 48$ MHz

② $\frac{S}{N} = \frac{3Q^2}{1 + 4(Q^2 - 1)P_e}$

$P_e = 0 \Rightarrow \frac{S}{N} = 3Q^2$

$Q = 2^n = 2^7 = 128$ level (لا يدخل بت التزامن في حساب Q)

$\frac{S}{N} = 3 \times (128)^2 = 49152$

$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log\left(\frac{S}{N}\right) = 10 \log(49152) = 10 \times 4,7 \text{ dB} = 47 \text{ dB}$

SABBAGH STATIONERY

• مسألة 2 :

يتم أخذ عينات لإشارة ذات تردد 4 KHz باستخدام معدل نايكوست. ثم ترسل وفق نظام PCM عبر خط اتصال يمكن أن يتحمل معدل نبضات (40 Kbps).
أوجد عوامل النظام PCM.

الحل

• معدل نايكوست $f_s = 2f_m = 2 \times 4 = 8\ KHz$

• $r_b = n f_s \Rightarrow n = \frac{r_b}{f_s} = \frac{40}{8} = 5\ bit$

• $Q = 2^n = 2^5 = 32\ level$

• مسألة 3 :

يتم تطبيق إشارة جيبية بمطال أعظمي قدره 2V وتردد 4 KHz على دارة VCO حساسيتها 3 KHz/V وتردد 1 MHz.

والمطلوب :

1- الانزياح الترددي الأعظمي

2- عامل التعديل

الحل

① $\Delta f_{max} = K \cdot V_m = 3 \times 2 = 6\ KHz$

(K: حساسية المعدل، V_m: أعلى مطال في إشارة الرسالة)

② $m_f = \frac{\Delta f_{max}}{f_m} = \frac{6}{4} = 1,5$

مسألة 4 :

أوجد الانحراف الأعظمي للتردد وعامل التعديل لمعدل FM مع العلم أن :

$K_f = 10\ KHz/Volts$ وإشارة دخله

$$v(t) = \underbrace{5}_{V_m} \cos(\underbrace{4\times10^3\pi t}_{\omega_m})$$

1) $\Delta f_{max} = k_f |V_{max}|$

لمطال الأعظمي

$$\Delta f_{max} = 10 \times 5 = 50\ KHz$$

2) $m_f = \dfrac{\Delta f_{max}}{f_m}$

f_m حساب : $\omega_m = 2\pi f_m$

$$4\times10^3\pi = 2\pi f_m \Rightarrow f_m = \frac{4\times10^3\pi}{2\pi}$$

$$f_m = 2\times10^3\ Hz = 2\ KHz$$

$$\Rightarrow m_f = \frac{\Delta f_{max}}{f_m} = \frac{50}{2} = 25$$

مسألة 5 :

لدينا جهاز إرسال يستخدم التعديل المطالي. ويبلغ قدرة الإرسال (2500 watt) كما تبلغ قدرة كل من الحزمتين فيه :

$(P_{USB} = P_{LSB} = P_s = 400 \text{ watt})$

المطلوب : 1- أوجد استطاعة مركبة الحامل P_c

2- أوجد معامل التعديل m_a

الحل

① $P_t = P_c + 2P_s \Rightarrow$

$P_c = P_t - 2P_s = 2500 - (2 \times 400)$

$= 2500 - 800 = 1700 \text{ watt}$

② $P_t = \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) P_c \Rightarrow \frac{P_t}{P_c} = 1 + \frac{m_a^2}{2} \Rightarrow$

$\frac{P_t}{P_c} - 1 = \frac{m_a^2}{2} \Rightarrow m_a^2 = 2 \times \left(\frac{P_t}{P_c} - 1\right)$

$\Rightarrow m_a^2 = 2 \times \left(\frac{2500}{1700} - 1\right) = 2(0,47) = 0,941$

$\Rightarrow m_a = \sqrt{0,941} = 0,97$

• مسألة 6 :

أوجد الاستطاعة في التركيبات الترددية لمرسل AM إذا كانت الاستطاعة المرسلة 5Kwatt وعامل التعديل المطلق $Ma=0,7$

الحل

$$P_t = \left(1+\frac{Ma^2}{2}\right) P_c$$

$$5 = \left[1+\frac{(0,7)^2}{2}\right] P_c$$

$$5 = (1,245)\ P_c \Rightarrow P_c = \frac{5}{1,245}$$

$$\Rightarrow P_c = 4,016\ \text{KWatt} = 4016\ \text{watt}$$

• $P_t = P_c + 2P_s \Rightarrow P_s = \frac{5-4,016}{2}$

$$\Rightarrow P_s = 0,492\ \text{KWatt}$$
$$= 492\ \text{watt}$$

مثال 7 :

مرسل AM يعمل عند استطاعة 50 KW ونسبة تعديل 90% احسب الاستطاعة المرسلة في كلا الحزمتين الجانبيتين و الاستطاعة الكلية .

الحل

الاستطاعة الكلية $P_t = 50 \text{ kwatt}$

$= 50 \times 10^3 \text{ watt}$

$$m_a = \frac{90}{100} = 0,9$$

$$P_t = \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) P_c$$

$$50 = \left[1 + \frac{(0,9)^2}{2}\right] P_c$$

$$50 = \left[1 + \frac{0,81}{2}\right] P_c \Rightarrow 50 = (1 + 0,405) P_c$$

$$\Rightarrow P_c = \frac{50}{1,405} = 35,507 \text{ KW}$$

- $P_t = P_c + 2P_s$

(أو) $P_t = P_c + P_{USB} + P_{LSB}$: $P_{USB} = P_{LSB} = P_s$

$$2P_s = P_t - P_c \Rightarrow P_s = \frac{P_t - P_c}{2}$$

$$P_s = \frac{50 - 35,587}{2} = 7,2 \text{ kwatt}$$

SABBAGH STATIONERY

مسألة 8 :

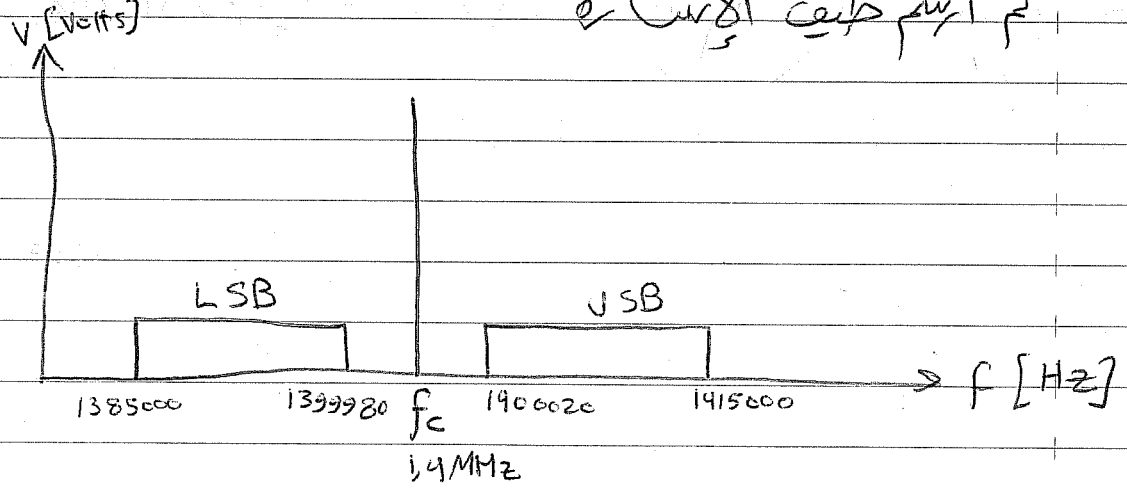
عند تضمين إشارة الحامل ذات التردد 1,4 MHz تضميناً سعوياً بإشارة موسيقية لها مركبات ترددية ضمن المجال (15 KHz ← 20 Hz)
احسب مجال الترددات المولدة في الحزم الجانبية العلوية والسفلية

الحل

USB
$= 1,4 \times 10^6 + 20 = 1400000 + 20 = 1400020\ Hz$
$= 1,4 \times 10^6 + 15 \times 10^3 = 1400000 + 15000 = 1415000\ Hz$

LSB
$= 1400000 - 15000 = 1385000\ Hz$
$= 1400000 - 20 = 1399980\ Hz$

ثم ارسم طيف الإشارة



SABBAGH STATIONERY

• مسألة 9 :

أحد المدخلين لمعدل سعوي AM هو لموجة الحاملة ذات تردد 500 KHz
ذات السعة 20V
أما المدخل الثاني فهو إشارة المعلومات ذات التردد 10 KHz تكفي لإحداث
تغيير في الخرج قدره ∓7,5 V . المطلوب

① الترددات الجانبي العلوي والسفلي

$$f_{USB} = f_1 = f_c + f_m = 500k + 10k = 510\ KHz$$

$$f_{LSB} = f_2 = f_c - f_m = 500k - 10K = 490\ KHz$$

② عامل التعديل والنسبة المئوية للتعديل

$$m_a = \frac{V_m}{V_c} = \frac{7,5}{20} = 0,375$$

عامل التعديل

$\Rightarrow$ النسبة المئوية للتعديل $M = m_a \times 100\% = 0,375 \times 100\%$

$$\Rightarrow M = 37,5\ \%$$

③ سعة الموجة الحاملة بعد التعديل.

$$\underbrace{V_c}_{\text{سعة الحامل قبل التعديل}} = \underbrace{V_c}_{\text{سعة الحامل بعد التعديل}} = 20V$$

④ سعة (سعة أعظمي) الحزمة الجانبية العليا والسفلى

$$V_{LSB} = V_{USB} = \frac{m_a V_c}{2} = \frac{0,375 \times 20}{2} = 3,75\ V$$

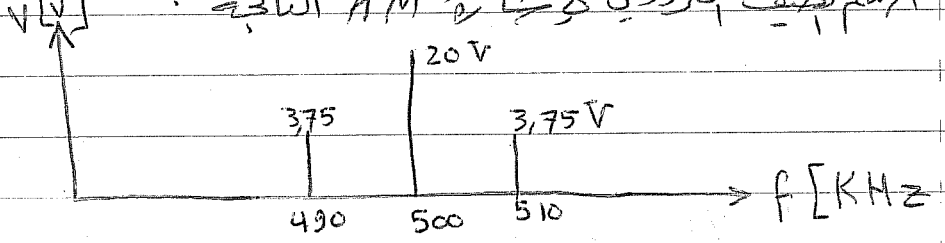
⑤ معادلة موجة AM .

نعطى معادلة AM بالعلاقة

$$v_{AM}(t) = V_c \cdot \sin 2\pi f_c t - \frac{m_a \cdot V_c}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m)t + \frac{m_a V_c}{2} \cos 2\pi (f_c - f_m)t$$

$$\Rightarrow v_{AM}(t) = 20 \sin(2\pi \cdot 500.10^3 t) - 3{,}75 \cos(2\pi \cdot 510.10^3 t) + 3{,}75 \cos(2\pi \cdot 490.10^3 t)$$

⑥ ارسم الطيف الترددي لإشارة AM الناتجة.



السؤال 10 :

لدينا موجة AM : سعة الموجة الحاملة 10V ، مقاومة الحمل 10W ، التعديل تم عند 100% . المطلوب :

1- استطاعة الموجة الحاملة

2- استطاعة الحزمة الجانبية العليا والدنيا

3- الاستطاعة الكلية للموجة المعدلة

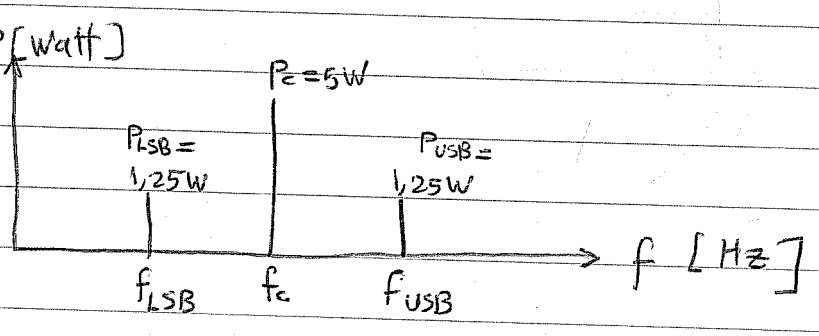
4- ارسم الطيف الترددي للقدرة .

(1) $P_c = \frac{V_c^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 10} = 5\,W$

(2) $P_{LSB} = P_{USB} = \frac{1}{4} m^2 P_c = \frac{1}{4}(1)^2 \cdot 5 = 1{,}25\,Watt$

(3) $P_T = \left[1 + \frac{ma^2}{2}\right] P_c = \left(1 + \frac{(1)^2}{2}\right) \times 5 = 7{,}5\,watt$

(4)



انتهى الحل

يرجى اعطائي آلة حاسبة علمية في الامتحان

أتمنى لكم بالتوفيق والنجاح

م. رانيا

SABBAGH STATIONERY