المحاضرة الأولى (First Lecture)

1.1 نظم الاتصالات.

يمكـن تعريـف نظـام الاتصـالات (Communications System) : بانـه مجموعـة مـن الأجهـزة والبرامج والشبكات التي تتيح لنقل وتبادل المعلومات بين المرسل والمستقبل عبر قنوات اتصال معينة تكون اما (سلكية) او (لاسلكية) ، ويمكن تقسيم نظم الاتصالات الى :

أولا : أنظمـة الاتصـالات التماثليـة(Analogue Communications Systems) : وهي عبارة عن أنظمة الكترونية ترسل وتستقبل الطاقة على شكل تماثلي (اشارة ذات تغير متصل مثل الموجات الجيبية).

ثانيًا : أنظمـة الاتصـالات الرقميـة (Digital Communications Systems): وهي عبارة عن أنظمة الكترونية ، حيث الطاقة ترسل وتستقبل على شكل رقمي ، بمستويات متقطعة مثل +5 V والأرضي.

2.1 المخطـط الصـندوقي العـام للاتصـالات (General Block Diagram of Communications)

مهما كان نوع نظام الاتصالات فإنه يتكون من ثلاثة أقسام أساسية هي (قسم الارسال، الوسط الناقل، قسم الاستقبال)

أولا: قسم الإرسال (Transmitter Section): يتكون القسم من مصدر لإشارة المعلومات المطلوب ارسالها " Information Source " ، مثل الصوت (Voice) أو الصورة (Picture) أو الفيديو (Video) ، أو البيانات الرقمية (Digital Data) ، حيث يقوم قسم الارسال بمعالجة هذه المعلومات لتصبح مناسبة للوسط الناقل.

ثانيـاً : الوسـط النـاقـل (Transmission Medium Section) : الـذي يـربط وسـط الإرسـال " Transmission Medium" بين كل من قسمي الإرسال والاستقبال والذي بدوره ينقسم الى قسمين أساسيين **سلكي** أو **لاسلكي** كما يلي:

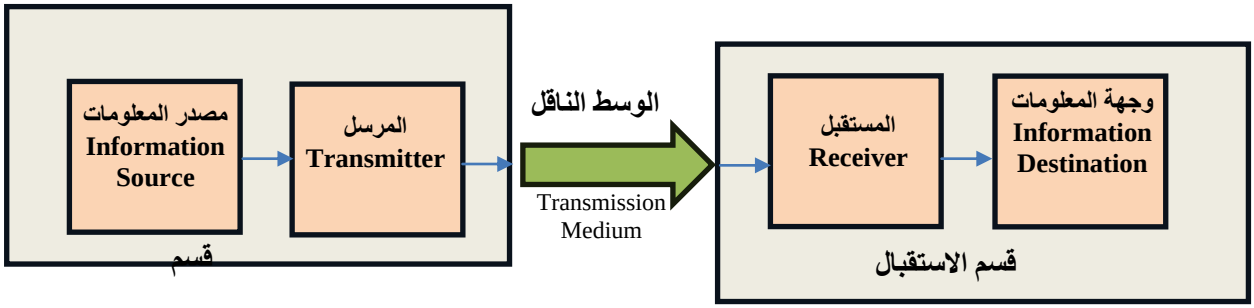
- **الاوساط السلكي Wires Transmission Media:**

الخطوط الثنائية: الخطوط التي توصل جهاز الهاتف الثابت المقسم داخل القرى والمدن.
الكيبل المحوري: الكيبل الذي يربط هوائي الطبق بجهاز التلفزيون في بيتك لنقل القنوات المختلفة.
كيبل الألياف البصرية: وهو أحدث التقنيات السلكية ذات النطاق الترددي الواسع، القادرة على نقل كماً هائلاً من المعلومات.

- **أوساط الإرسال اللاسلكية Wireless Transmission Media:**

موجات الراديو : موجات سماوية تستخدم في البث الإذاعي عبر طبقات الغلاف الجوي.
موجات التلفزيون : موجات أرضية تستخدم للبث المرئي وتنتشر موازية لسطح الأرض.
الميكروويف : لنقل الإشارات بين أبراج الجوال للمحطات الرئيسة بالمدينة أو بين المدن.
الأقمار الصناعية : الاتصالات بين محطات أرضية عبر القمر الصناعي الثابت بالفضاء.

ثالثاً: قسم الاستقبال (Receiver Section): يتكون من المستقبل " Receiver " الذي ينتقي الإشارات المطلوب استقبالها ويعالجها لاستعادة أصل المعلومات المرسلة لكي تصل الى وجهتها المقصودة والتي يطلق عليها اسم (Information Destination).



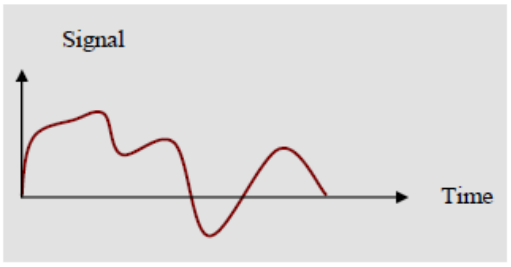
الشكل يوضح (المخطط الصندوقي العام للاتصالات)

3.1 أنواع الإشارات

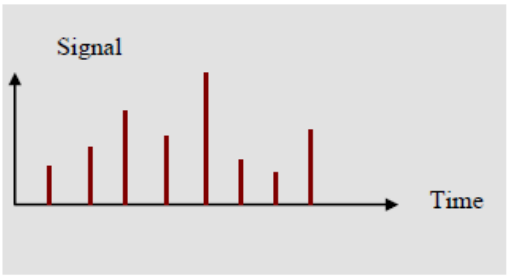
تقسم الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات الى نوعين أساسيين وهما:

أولا: الإشارات التماثلية (Analog Signals): هي الإشارات التي تتغير مع الزمن بشكل مستمر ويكون لها قيمة في أي لحظة زمنية ضمن نطاق وجودها ، ان مثل هذه الإشارات لا يمكن ارسالها عبر النظام الرقمي الا بعد معالجتها وتهيئتها للأرسال.

ثانياً: الإشارات الرقمية (Digital Signals): هي الإشارات التي تتغير مع الزمن بشكل منقطع وليس مستمر (عند قيم زمن محددة) ، ومثل هذه الإشارات التي يتم ارسالها في النظام الرقمي مباشرةً.



أ- إشارة تماثلية



ب- إشارة رقمية

بناءً على ماسبق , وحسب نوع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات ، فأنها تقسم الى :

- **أنظمة اتصالات تماثلية (Analog Communication Systems)**
- **أنظمة اتصالات رقمية (Digital Communication Systems)**

وهنالك تقسيمات أخرى من المفيد ان نتعرف عليها وهي:

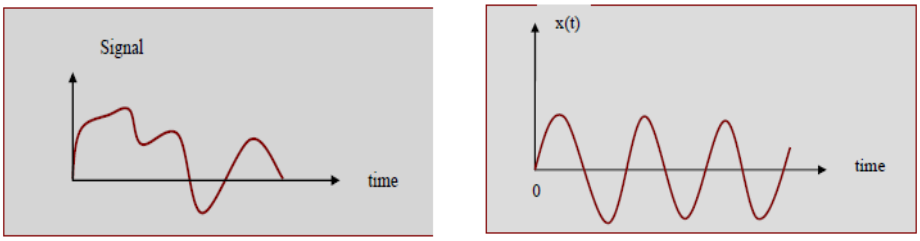
وفقاً لقيم الإشارات تقسم الى :

❖ **إشارات ذات قيم محددة (Deterministic Signals) :**حيث تكون ذات قيم معلومة ومحددة وفقاً لصيغة أو قانون او دالة رياضية معينة.

❖ **إشارات ذات قيم عشوائية (Random Signals) :** حيث تتغير قيمتها بشكل مستمر وبطريقة عشوائية غير منتظمة، ان ابسط انواع هذه الإشارات هي الضوضاء التي تؤثر على أداء أنظمة الاتصالات المختلفة.

وفقاً لتكرار الإشارات تقسم الى :

- إشارات دورية (Periodic Signals) : الإشارات التي تعيد نفسها بانتظام بزمن يعرف بالزمن الدوري (Period) ، ان ابسط واهم مثال على هذه الإشارات هي الإشارات الجيبية واشارات النبضات على اختلاف اشكالها.
- إشارات غير دورية (Aperiodic Signals): الإشارات التي لا تعيد نفسها بانتظام ، حيث تأخذ اشكال مختلفة.



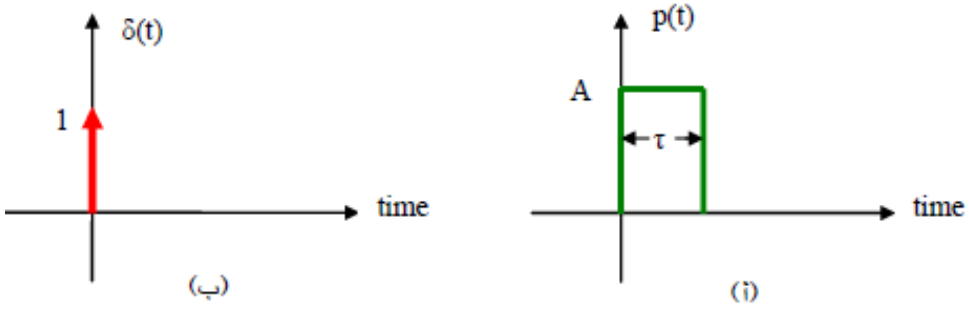
-أ - - ب-

(أ) إشارة دورية (ب) إشارة غير دورية

وكذلك تقسم الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات الى إشارات جيبية (Sinusoidal Signals) واشارات غير جيبية (Nonsinusoidal Signals) ، واهمها إشارات النبضات (Pulse Signals) بأشكالها المختلفة (المربعة ،المثلثة والمسننة ... الخ).

4.1 إشارة النبضة المثالية (Unit Impulse Signal):

عادة ما تتميز النبضات العادية بارتفاع وعرض زمني محددين، بينما يقصد بإشارة النبضة المثالية والتي يرمز له **"δ(t)"** كما هو موضح على الشكل التالي ، بأنها نبضة ذات ارتفاع ما لا نهائي وعرض زمني يساوي الصفر.



(أ) النبضة العادية و (ب) المثالية

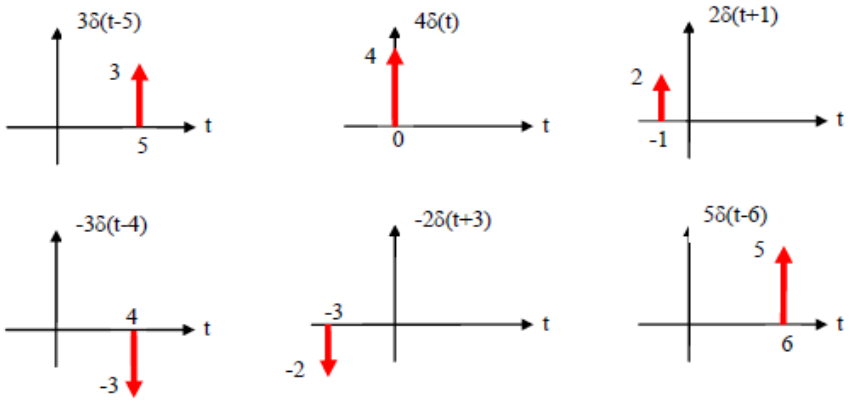
تتميز النبضة المثالية بالخصائص التالية :

- الارتفاع يساوي مالا نهاية.
- العرض الزمني يساوي صفر.
- الموقع عند نقطة الصفر.

- المساحة تساوي وحدة واحدة، مما يعني ان تكامل الإشارة يساوي الوحدة.

$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)dt = 1$ δ(t)= 0 when (t≠0) and

النبضة المثالية تأخذ وضعيات مختلفة من ناحية الموقع والمساحة وتؤول النبضة العادية الى نبضة مثالية عندما يؤول عرضها للصفر وارتفاعها الى ما لا نهاية، حيث انه لا يمكن تمثيل قيمة ما لانهاية على الرسم نلجأ لاستخدام السهم لتدل على ان ارتفاع الإشارة مستمر الى ما لانهاية



يظهر الشكل في ادناه ، إشارة نبضة مثالية دورية تعيد نفسها بأنتظام ، حيث يمكننا صياغتها وفقاً للعلاقة الاتية :

$$P(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a\delta(t - nTs)$$

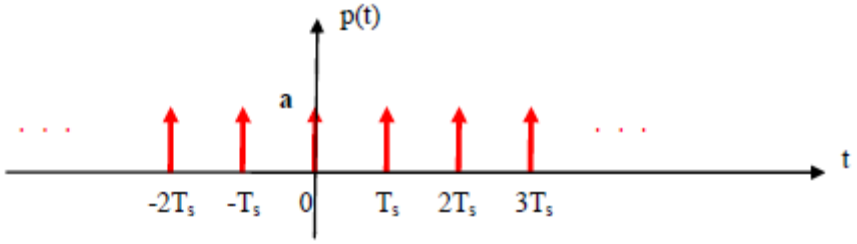
حيث ان :

P(t)= إشارة النبضة.

a= مساحة النبضة.

Ts= الفترة الزمنية بين النبضات.

n=عدد صحيح لتحديد النبضات.



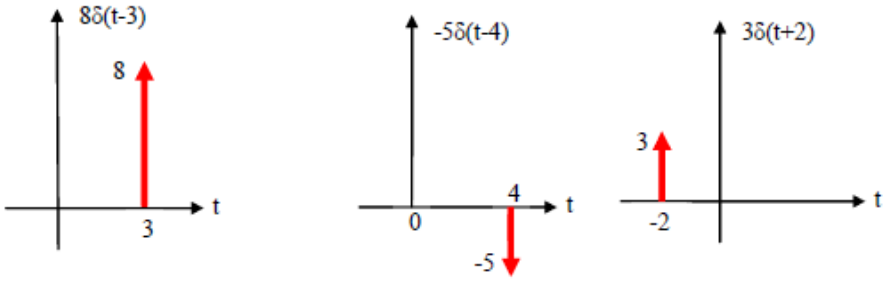
الشكل يوضح (سلسلة نبضات مثالية)

تكمن أهمية النبضة المثالية في استخدامها في عملية أخذ العينات (الحالة المثالية) كما سنشرح ذلك لاحقاً.

مثال ١- ١:- ارسم الإشارات التالية:

أ- $8\,\delta(t-3)$ ب- $-5\,\delta(t-4)$ ج- $3\,\delta(t+2)$

الحل



واجب بيتي رقم (1): ارسم الإشارة التالية

علماً بان Ts=2ms

$$P(t) = \sum_{n=-3}^{+5} 2\delta(t - nTs)$$

5.1 متسلسلة فورير

ان الغاية من متسلسلة فورير هي تحويل الإشارة المتغيرة بالنسبة للزمن **بشكل دوري** الى مركباتها الأساسية في مجال التردد ، وتعطي هذه المتسلسلة معلومات حول هيكل ترددات الموجة ، وبالتالي عرض نطاق ترددا تها ، التي تساعد في تصميم واختيار أجهزة الاتصالات المناسبة ، ولتوضيح متسلسلة فورير نفرض ان لدينا الإشارة الزمنية v(t) ، حيث زمنها الدوري To وترددها fo ، تعطى مستلسلة فورير لهذه الإشارة المركبة على النحو التالي :

$$v(t) = A_o + A_1\cos 2\pi f_o t + A_2\cos 2\pi(2f_o)t + \ldots + A_n\cos 2\pi(nf_o)t + B_1\sin 2\pi f_o t + B_2\sin 2\pi(2f_o)t + \ldots + B_n\sin 2\pi(nf_o)t \qquad (2.3)$$

أما المعاملات A_o , A_1 , ... , A_n, B_1, B_2, ... B_n فهي تحسب باستعمال العلاقات التالية:

$$A_o = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\ dt \qquad (2.4)$$

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\ \cos(2\pi n f_o t)\ dt \qquad (2.5)$$

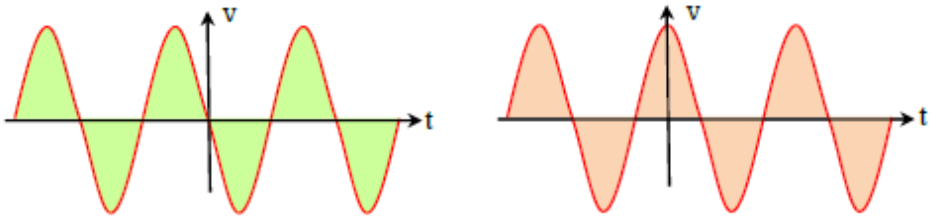
$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\ \sin(2\pi n f_o t)\ dt \qquad (2.6)$$

فإذا كانت الإشارة المركبة v(t) دالة زوجية "Even" تختصر العلاقة (2.3) إلى ما يلي:

$$v(t) = A_o + A_1 \cos 2\pi f_o t + A_2 \cos 2\pi(2f_o)t + \ldots + A_n \cos 2\pi(nf_o)t \qquad (2.7)$$

أما إذا كانت v(t) دالة فردية "Odd" تصبح العلاقة (2.3) كما يلي:

$$v(t) = A_o + B_1 \sin 2\pi f_o t + B_2 \sin 2\pi(2f_o)t + \ldots + B_n \sin 2\pi(nf_o)t \qquad (2.8)$$



ب. الدالة الفردية أ. الدالة الزوجية

الشكل ٢ : الفرق بين الدالة الزوجية والفردية

والشكل أ) يوضح الفرق بين الدالة الزوجية المتماثلة حول نقطة الأصل وتلك الدالة الفردية ذات التمثيل المنعكس حول نقطة الأصل كما بالشكل ب). ويمكن إعادة صياغة متسلسلة فورير للمعادلة (2.3) على صورة المركبات كما يلي:

$$v(t) = A_o + \text{fundamental} + 2^{nd}\text{harmonic} + \ldots + n^{th}\text{harmonic} \qquad (2.9)$$

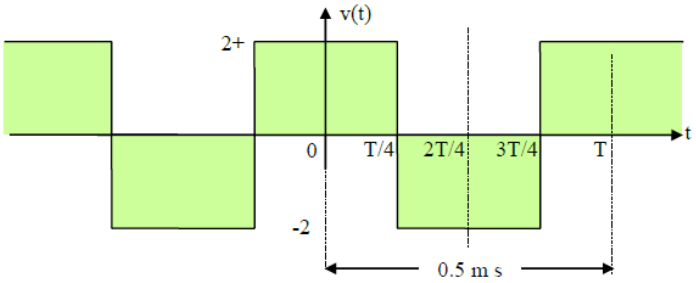
- A_o: يمثل القيمة الثابتة للجهد أو مركبة DC.
- Fundamental: المركبة الأساسية وترددها f_o مقلوب الزمن الدوري للموجة الأصلية.
- 2^{nd} harmonic: المركبة الثانية وترددها $2f_o$ وتدعى كذلك التوافق الثاني وهكذا بالنسبة لبقية الحدود.

الغاية من استخدام متسلسلة فورير هو السماح بإيجاد مركبات الموجة في المجال الترددي كما تسمح بإيجاد عرض نطاقها.

مثال رقم (2-2) / اذا كان لدينا الموجة المربعة الدورية المبينة في الشكل ادناه فأوجد مايلي :

أولا : سلسلة فورير للمركبتين الاوليتيين (التوافقيين الأوليين).

ثانياً : تردد المركبة (Fundamental)



ثالثاً : تردد المركبة الثانية (التوافق الثاني).

رابعاً : رسم الطيف الترددي للجهد.

الحل :

أولا: لان دالة الشكل أعلاه زوجية لتماثلها حول المحور الرأسي ، تختصر سلسلة فورير الى :

$$v(t) = Ao + A1cos2\pi\text{fot} + \text{A2}cos2\pi(2\text{fo})\text{t} + \cdots + Ancos2\pi(n\text{fo})\text{t} \quad (2.10)$$

الإشارة المربعة تحتوي على الترددات الفردية فقط، ولذلك نحسب المعادلة كما يلي :

$$Ao = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{T/4} 2dt + \frac{1}{T}\int_{T/4}^{3T/4} -2dt + \frac{1}{T}\int_{3T/4}^{T} 2dt = 0 \quad (2.11)$$

$$A_1 = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos 2\pi f_o t\ dt$$
$$= \frac{2}{T}\int_0^{T/4} 2\cos 2\pi f_o t dt + \frac{2}{T}\int_{T/4}^{3T/4} -2\cos 2\pi f_o t dt + \frac{2}{T}\int_{3T/4}^{T} 2\cos 2\pi f_o t dt = \frac{8}{\pi} \quad (2.12)$$

$$A_3 = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos 2\pi(3f_o)t\ dt$$
$$= \frac{2}{T}\int_0^{T/4} 2\cos 2\pi(3f_o t)\ dt + \frac{2}{T}\int_{T/4}^{3T/4} -2\cos 2\pi(3f_o)t\ dt \quad (2.13)$$
$$+ \frac{2}{T}\int_{3T/4}^{T} 2\cos 2\pi(3f_o)t\ dt = \frac{-8}{3\pi}$$

وبالتالي فالمركبتين الأوليتين يمكن صياغتهما في المعادلة كما يلي:

$$v(t) = \frac{8}{\pi}\cos 2\pi f_o t - \frac{8}{3\pi}\cos 2\pi(3f_o)t \quad (2.14)$$

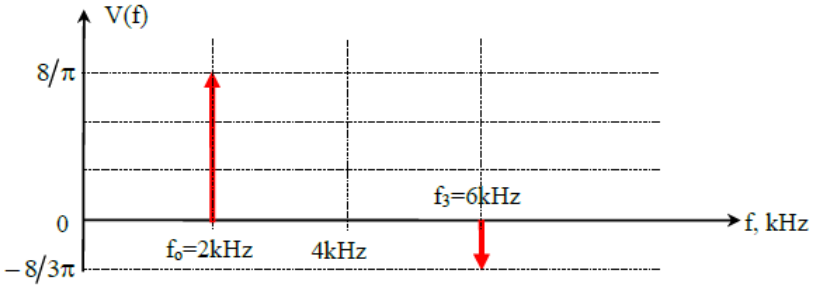
ثانيا: ولإيجاد تردد المركبة الأساسية نستخدم المعادلة حيث الزمن الدوري 0.5 ms:

$$f_o = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5x10^{-3}} = 2000\ Hz \quad (2.15)$$

ثالثا: لإيجاد تردد المركبة الثانية التي هي التوافق الثالث نتبع ما يلي:

$$f_3 = 3\ x\ f_o = 3\ x\ 2000 = 6000\ Hz \quad (2.16)$$

رابعا: الطيف الترددي للجهد كما بالشكل (٢- ١٠).



الشكل (٢- ١٠): الطيف الترددي للمثال (٢- ٢)

6.1 تحويل فوريير (Fourier Transform)

يمكننا تمثيل الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات بطريقتين وهما :

الأولى : في المجال الزمني (Time Domain) : حيث تتغير قيم الإشارة مع تغير الزمين ويمكننا تمثيلها باستخدام دوال رياضية بالاعتماد على متغير الزمن (t) لمشاهدة مثل هذه الإشارات يمكننا استخدام جهاز راسم الإشارة (Oscilloscope).

الثانية : في المجال الترددي (Frequency Domain): حيث تتغير قيم الإشارة مع تغير التردد ويمكننا تمثيلها باستخدام دوال رياضية بالاعتماد على متغير (f) لمشاهدة مثل هذه الإشارات ، يمكننا استخدام جهاز محلل الطيف الترددي (Spectrum Analysis).

لتحويل الإشارات من المجال الزمني الى المجال الترددي وبالعكس نستخدم طريقة (Fourier Method) ، حيث تستخدم متسلسلة فورير (Fourier Series) للإشارات الدورية (Periodic Signals) وتحويل فورير (Fourier Transform) للإشارات الدورية وغير الدورية ، سوف نتناول في هذا الجزء تحويل فورير بشكل مختصر ، وذلك للحاجة لاستخدامه في الأجزاء القادمة ، ولتحويل الإشارة من المجال الزمني x(t) الى المجال الترددي X (ω) ، نستخدم العلاقات التالية حيث يجري التكامل للزمن :

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t}\, dt$$

حيث ان (ω) ترمز الى التردد الزاوي (Angular Frequency) وتقاس بوحدة(radian / second) للتحويل الى التردد العادي (f) بالهيرتز ، نستخدم العلاقة ($\omega = 2\pi f$) لتحويل الإشارة من المجال الترددي X (ω) للمجال الزمني x(t) نستخدم العلاقة الاتية :

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{+j\omega t}\, d\omega$$

حيث يجرى التكامل بالنسبة للتردد.

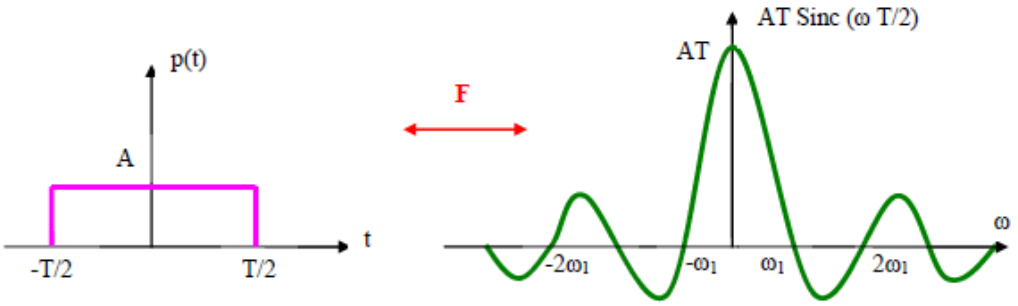
سوف نركز على نوعين من الإشارات، النبضة المربعة والنبضة المثلثة،بينما نقدم في الجدول (٢- ١) تحويل فوريير لبعض الإشارات المشهورة.

الجدول (٢- ١): تحويل فوريير لبعض الإشارات المعروفة

Time Function, f(t)	Frequency Spectrum, F(ω)
δ(t)	1
u(t)	π δ(ω) + 1/j ω
1	2π δ(ω)
$e^{-at}u(t)$	1/(a + j ω)
sin ($2\pi f_o t$)	0.5 [δ(f-f_o) - δ(f-f_o)]
cos ($2\pi f_o t$)	0.5 [δ(f-f_o) + δ(f-f_o)]
$te^{-at}u(t)$	$1/(a + j\omega)^2$

- **النبضة المربعة Rectangular Pulse:**

للتسهيل، سوف نقوم باستخدام النتيجة الجاهزة لتحويل فوريير للنبضة المربعة بدون إجراء عملية التكامل. يمثل الشكل (٢- ٧) نبضة مربعة وتحويل فوريير لها.



الشكل (٢- ٧): النبضة المربعة وتحويل فوريير

الرموز المستخدمة:

Sinc: دالة مثلثية خاصة (sinc x = sin x/x)

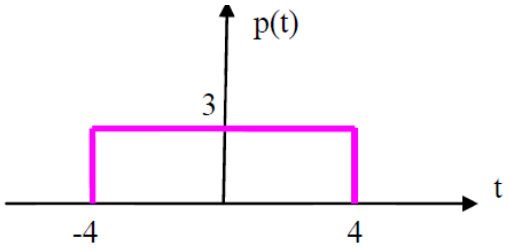
T: عرض النبضة (بوحدة الزمن)، Pulse Width

A: سعة النبضة (الارتفاع)، Amplitude

ω_1: التردد الأول (الأساسي) وقيمته ($= 2\pi/T$)، Fundamental Frequency

$2\omega_1$: التردد الثاني ($= 4\pi/T$) وهكذا بالنسبة لبقية الترددات والتي هي مضاعفات التردد الأول والتي سوف تستمر إلى ما لا نهاية. كلما ازداد التردد نقص ارتفاع دالة (sinc).

مثال رقم (2-3) : اوجد تحويل فورير للإشارة على الشكل (2-8)



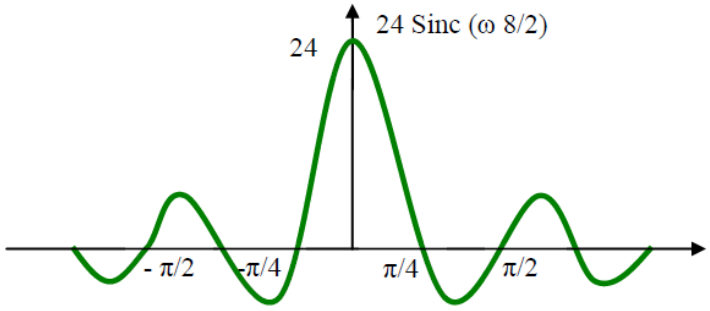
الشكل (٢- ٨)

الحل:

يتضح من الشكل أعلاه، بأن $T = 8$ و $A = 3$ وبذلك تكون الترددات:

$\omega_1 = 2\pi/T = 2\pi/8 = \pi/4,\ 2\omega_1 = 4\pi/T = 4\pi/8 = \pi/2,\ \ldots..$

وبناء على ذلك يكون تحويل فوريير:



الشكل (٢- ٩) :

- **النبضة المثلثة** Triangular Pulse:

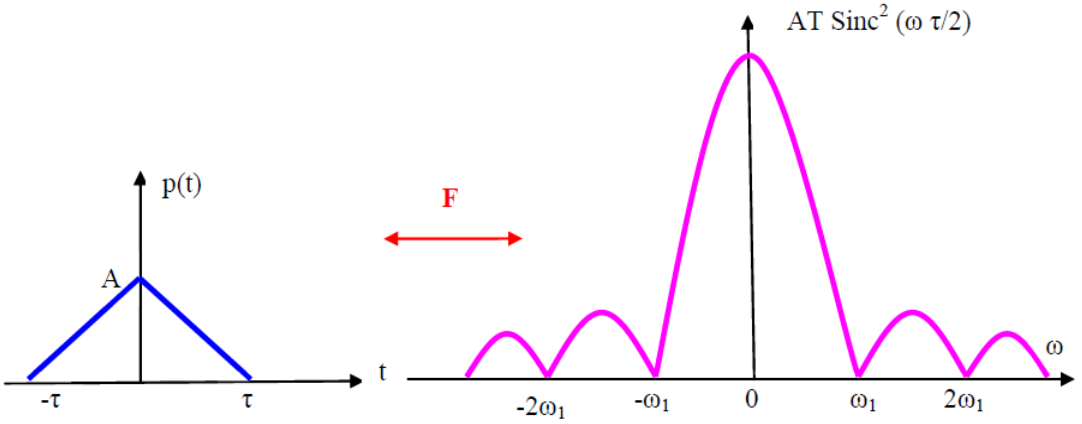
للتسهيل، سوف نقوم باستخدام النتيجة الجاهزة لتحويل فوريير للنبضة المثلثة بدون إجراء عملية التكامل. يمثل الشكل (٢- ١٠) نبضة مثلثة وتحويل فوريير لها، حيث ان:

2τ: عرض قاعدة النبضة (بوحدة الزمن). يكون عرض النبضة يساوي "τ" على مستوى نصف الارتفاع.

A: سعة النبضة (الارتفاع)، Amplitude

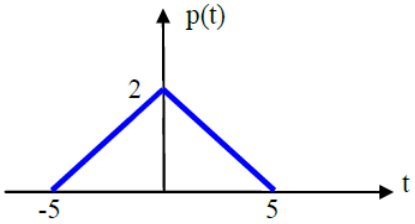
ω_1: التردد الأول (الأساسي) وقيمته ($= 2\pi/\tau$)، Fundamental Frequency

$2\omega_1$: التردد الثاني ($= 4\pi/\tau$) وهكذا بالنسبة لبقية الترددات والتي هي مضاعفات التردد الأول والتي سوف تستمر إلى ما لا نهاية. كلما ازداد التردد نقص ارتفاع دالة (sinc^2). من الملاحظ أن التربيع يلغي الأجزاء السالبة حيث تصبح موجبة.



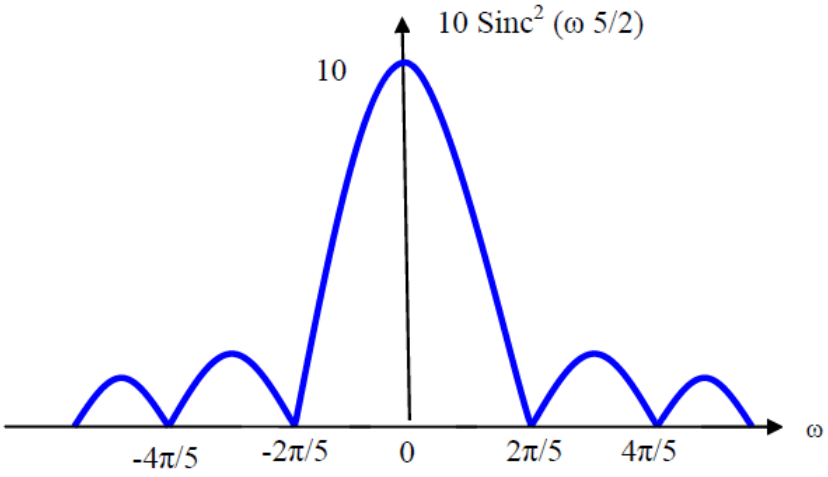
الشكل (٢- ١٠): النبضة المثلثة وتحويل فوريير

مثال٢- ٤:- أوجد تحويل فوريير للإشارة على الشكل (٢- ١١).



الشكل (٢- ١١)

الحل



الشكل (٢- ١٢):

المحاضرة الثانية (Second Lecture)

المرشحات (Filters)

- **تقسم المرشحات الى نوعين : المرشحات الفعالة والمرشحات الخاملة**
- **المرشحات الفعالة (Active Filters)**

يعرف المرشح : على انه أداة تعمل على تمرير الإشارات الكهربائية عند ترددات معينة أو بمدى ترددي محدد ، ويمنع مرور الإشارات الأخرى ، تستخدم دوائر المرشحات في مجالات وتطبيقات مختلفة وبشكل خاص في مجالات الاتصالات ، حيث يتم تصميم تلك المرشحات بناءً على قيم الترددات المراد تمريرها او منعها ، وتسمى هذه الخاصية بانتقائية المرشح (Filter Selectivity) فعلى سبيل المثال ، تستخدم مرشحات لتمرير نطاق ترددي في نطاق الترددات الصوتية (Audio Frequency Range 0KHz to 20KHz) لاستخدامات المودم وعمليات الكلام (Modems & Speech Processing) كذلك الامر بالنسبة للترددات العالية ، فتستخدم مرشحات بنطاق ترددي لاختيار قنوات محددة ، وفي أنظمة مزودات القدرة او مصادر القدرة (Power Supplies system) ، غالباً ما تستخدم مرشحات إيقاف تمرير نطاق ترددي لإزالة المركبة ذات التردد (60 Hz) . في الغالب تتكون دوائر المرشحات العادية من المقاومة والمكثف والملف (غالباً ما يستخدم المكثف مع المقاومة) ، ويمكن ان تكون (RC, RLC,RL) وتسمى بالمرشحات الخاملة (Passive Filter) ، تستخدم هذه المرشحات في الاغلب عند الترددات العالية اكبر من (1 MHz) ، اما عند الترددات المنخفضة (1 Hz -1 MHz) تصبح قيمة المحاثة للملف (Inductor) عالية جداً مما يدعو الحاجة الى ملف ضخم جداً ، وهذا صعب من الناحية الاقتصادية.

كذلك من سلبيات المرشحات الخاملة أن سعة إشارة الخرج (Output Signal) تكون دائمًا أقل من سعة إشارة الدخل (Input Signal)،وهذا يدل على أن الكسب في مثل هذه المرشحات لا يمكن أن يكون أكبر من الوحدة (Less than Unity Gain) بالإضافة إلى تأثير ممانعة الحمل على خصائص المرشح. وفي حالة تركيب عدة مرشحات على التوالي فإن المشكلة تتضاعف.

هنا تصبح الحاجة إلى المرشحات الفعَّالة (Active Filters) ضرورية. حيث أن المرشحات الفعَّالة تستخدم الترانزستور أو مكبر العمليات بالإضافة للمقاومة والمكثف وذلك للحصول على تكبير (Gain) معين (تكبير الجهد) من أجل تحسين أداء المرشحات عند الترددات المنخفضة. من أهم ميزات المرشحات الفعَّالة ما يلي:

١. عدم استخدام الملفات أو المحاثات (Inductors).
٢. الحصول على كسب فعلي والذي يمكن التحكم به.
٣. سهولة التصميم لهذه المرشحات.
٤. ممانعة دخل عالية تمنع تأثير الحمل الزائد (Excessive Loading) لمصادر التشغيل.
٥. ممانعة خرج منخفضة بحيث يمنع تأثر المرشح بالحمل (Load).

هناك أربعة أنواع رئيسة من المرشحات النشطة سوف نقوم بدراستها وهي:

- مرشح فعَّال لإمرار الترددات المنخفضة Active Low-Pass Filter (LPF).
- مرشح فعَّال لإمرار الترددات العالية Active High-Pass Filter (HPF).
- مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي Active Band-Pass Filter (BPF).
- مرشح فعَّال لإيقاف نطاق ترددي Active Band-Stop Filter (BSF).

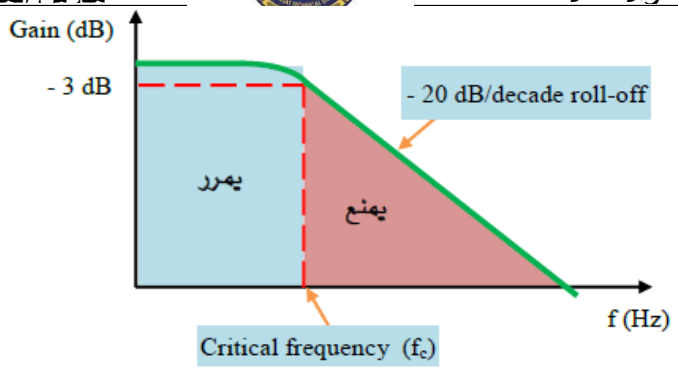
يعتمد أداء وعمل المرشح على عدد العناصر الداخلة في تكوين الدائرة (ونخص هنا المكثفات) والتي تحدد درجة المرشح (Filter Order). كلما زاد عدد المكثفات كلما ارتفعت درجة المكثف وتحسن أداءه من حيث انتقائية الترددات المراد تمريرها أو منعها. تستخدم المرشحات الكهربائية الخاملة و الفعَّالة في مختلف دوائر وأنظمة الاتصالات التماثلية والرقمية كذلك تستخدم في الأنظمة الإلكترونية في مختلف التطبيقات.

المرشح الفعَّال لإمرار الترددات المنخفضة Active Low-Pass Filter (LPF)

يعمل مرشح إمرار الترددات المنخفضة على تمرير الترددات المنخفضة (من 0 Hz لغاية تردد f_c يطلق عليه تردد القطع أو التردد الحرج Critical or Cutoff Frequency) ويمنع مرور الترددات فوق تردد القطع. لتوضيح ذلك سنقوم برسم الاستجابة الترددية (Frequency Response) والتي هي عبارة عن رسم بياني يمثل كيفية تغير معامل التكبير مع تغير التردد هناك طريقتان للرسم؛ إما باستخدام الوحدات العادية لمعامل التكبير (بالمرات) أو باستخدام وحدة الديسبل (dB) للتعبير عن عدد مرات معامل التكبير وفقًا للعلاقة التالية:

$$\text{Gain} = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$\text{Gain (dB)} = 20 \log \left(\frac{V_o}{V_{in}} \right)$$

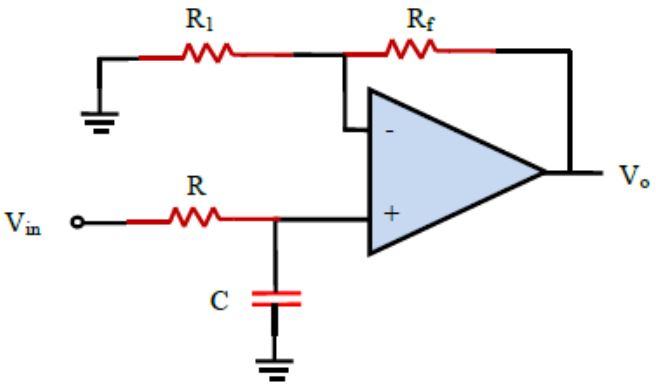


شكل رقم (1): الاستجابة الترددية للمرشح (Active LPF)

يتم تحديد قيمة تردد القطع (f_c) من الرسم على مستوى أقل من القيمة القصوى للتكبير بمقدار 3dB مما يعادل هبوط قيمة التكبير إلى النصف بالوحدات العادية.

ملاحظة: في حالة التعامل مع الجهد أو التيار للحصول على -3dB تنخفض القيمة القصوى بمعدل $\frac{1}{\sqrt{2}}$ وفي حالة التعامل مع القدرة (Power) تنخفض القيمة إلى النصف.

يوضح الشكل رقم (2) ، دائرة مرشح فعال لامرار الترددات المنخفضة (Active LPF) من الدرجة الأولى ، حيث يتم تحديد تردد القطع (fc) حسب العلاقة التالية : $fc = \frac{1}{2\pi RC}$

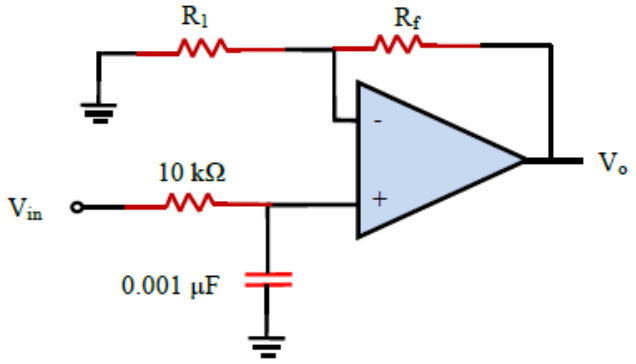


شكل رقم (2): دائرة مرشح فعّال لإمرار الترددات المنخفضة (Active LPF)

تعمل كل من المقاومة (R) والمكثف (C) على تحديد تردد القطع (f_c) الذي يبدأ عنده إيقاف تمرير الترددات الغير مرغوب بها وبذلك يكون قد تم اختيار وضبط انتقائية المرشح، أما المقاومتين (R_1, R_f) فيتم من خلالهما تحديد الكسب للمرشح الفعّال.

مثال رقم (1) : من خلال الدائرة الموضحة في الشكل رقم (3) ، حدد مايلي :

1- احسب تردد القطع (f_c).
2- ارسم الاستجابة الترددية للمرشح.



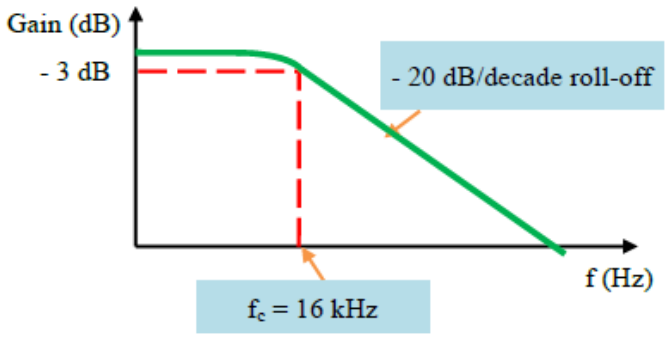
شكل رقم (3): مرشح فعال لإمرار الترددات المنخفضة.

الحل

١. لحساب تردد القطع (f_c) نطبق المعادلة (2.17)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(10\ k\Omega)(0.001\ \mu F)} \cong 16\ kHz$$

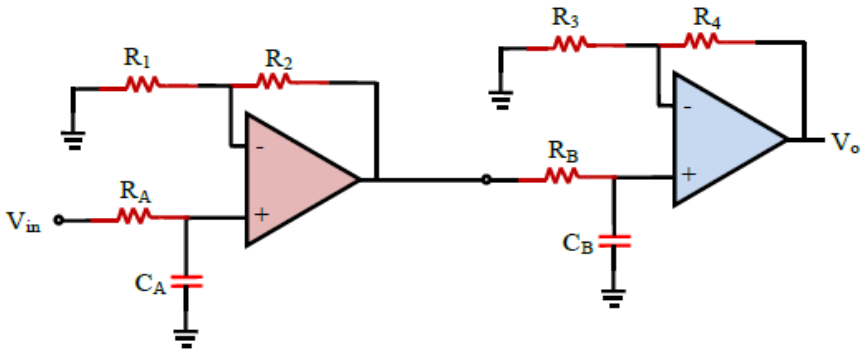
٢. يوضح الشكل (4) الاستجابة الترددية للمرشح بناءً على تردد القطع (16 kHz).



شكل رقم (4)

حتى نحصل على مرشح فعّال لإمرار الترددات المنخفضة (LPF) ذو انحدار حاد (Roll-off) بعد تردد القطع وذلك لزيادة الدقة في انتقائية المرشح نقوم بزيادة درجة المرشح بتوصيل عدد (n) من المرشحات على التوالي. بنفس الوقت يقوم مكبر العمليات على فصل دائرة كل مرشح عن دائرة المرشح التالي حتى لا يكون هنالك أي تأثير لحمل كل دائرة على الدائرة

التي قبلها، بمعنى آخر يعمل المكبر على إعطاء مقاومة دخل عالية للتقليل من تأثير الدوائر السابقة. للحصول على مرشح (LPF) فعّال من الدرجة الثانية نقوم بتوصيل دائرتين من الدرجة الأولى على التوالي



شكـل رقم (5) : دائرة (Active LPF) من الدرجة الثانية

لحساب تردد القطع (f_c) لدائرة المرشح (Active LPF) من الدرجة الثانية نستخدم العلاقة التالية:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

مثال رقم (2) : من خلال الشكل رقم (5) ، اعتمد على القيم التالية :

$$R_A = 1\ k\Omega,\ R_B = 2\ k\Omega,\ C_A = 0.1\ \mu F,\ C_B = 0.01\ \mu F$$

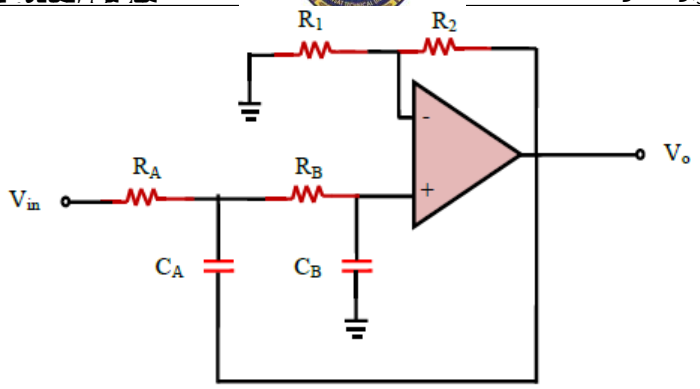
حدد درجة المرشح ثم احسب تردد القطع.

الحل

هذا المرشح من الدرجة الثانية لوجود مرشحين على التوالي (مرحلتين). أما تردد القطع فيحسب بتطبيق المعادلة

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1\ k\Omega)(2\ k\Omega)(0.1\ \mu F)(0.01\ \mu F)}} = 3.56\ kHz$$

يمكن الحصول على مرشح (Active LPF) من الدرجة الثانية وذلك باستخدام مكبر عمليات واحد فقط. ومن أشهر أنواع هذه المرشحات مرشح سالين (Sallen-Key LPF) والموضح بالشكل



شكـل رقم (6): دائرة لمرشح سالين (Sallen-key LPF)

مثال رقم (3) : من خلال الشكل رقم (6) ، واعتماداً على القيم التالية :

$R_A = 1\ k\Omega,\ R_B = 1\ k\Omega,\ C_A = 0.1\ \mu F,\ C_B = 0.1\ \mu F$

حدد درجة ونوع المرشح ثم احسب تردد القطع.

الحل

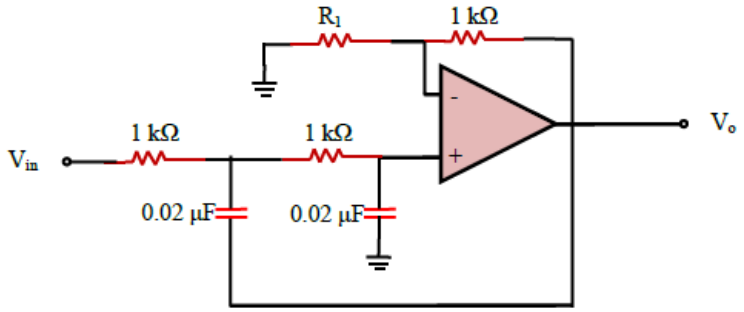
هذا المرشح من الدرجة الثانية وهو من نوع سالين (Sallen-key). أما تردد القطع فيحسب بتطبيق المعادلة

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1\ k\Omega)(1\ k\Omega)(0.1\ \mu F)(0.1\ \mu F)}} = 1.6\ kHz$$

حتى نتمكن من تصميم مرشح من نوع سالين نستخدم نموذج معين يدعى نموذج بترورث (Butterworth) الموضح بالشكل (أعلاه)، حيث يستخدم نموذج بترورث للحصول على مرشح (Active LPF) يتميز بنطاق تمريري مستوي بأكبر قدر ممكن (Maximum Flatness). من خلال نموذج بترورث يمكننا تحديد العناصر التالية

- حساب قيم المقاومات R_1 أو R_2 المناسبة للحصول على مقدار الكسب المطلوب.
- عدد الأقطاب (Number of Poles).
- هبوط المنحنى (Roll-off, dB/decade).
- معامل التخميد (Damping Factor).
- نسبة المقاومات R_1 إلى R_2 (R_1 / R_2).

مثال رقم (4) : من خلال الشكل رقم (7) ، احسب تردد القطع ثم قم بحساب قيمة المقاومة(R1) :



شكل رقم (7): دائرة لمرشح سالين (Sallen-key LPF)

الحل

لحساب تردد القطع نستخدم المعادلة

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(1\ \text{k}\Omega)(1\ \text{k}\Omega)(0.02\ \mu\text{F})(0.02\ \mu\text{F})}} = 7.96\ \text{kHz}$$

لحساب قيمة R_1 نستخدم نموذج بتروورث الموضح بالشكل (أعلاه) واعتمادًا على أن المرشح من الدرجة الثانية فيكون هنا

- عدد الأقطاب (Number of Poles) يساوي 2 لأنه من الدرجة الثانية.
- هبوط المنحنى (Roll-off, dB/decade) يساوي -40 dB/decade
- معامل التخميد (Damping Factor) يساوي 1.414
- نسبة المقاومات R_1 إلى R_2 (R_1 / R_2)

$$\frac{R_1}{R_2} = 0.586$$

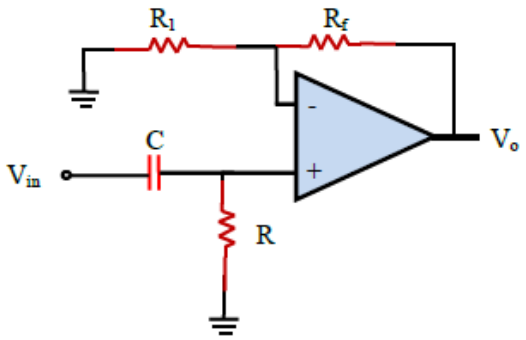
من هنا يمكننا حساب قيمة المقاومة R_1 كما يلي

$$\frac{R_1}{1\ \text{k}\Omega} = 0.586 \rightarrow R_1 = 0.586 \times 1\ \text{k}\Omega$$

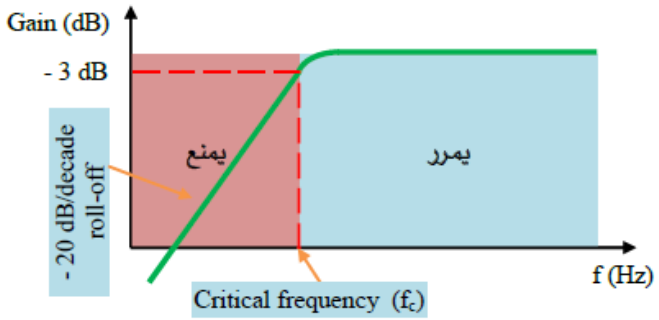
$$R_1 = 0.586\ \text{k}\Omega = 586\Omega$$

المرشح الفعال لإمرار الترددات العالية (Active High- Pass Filter(HPF))

في المرشح (Active LPF) وبتبديل المقاومة (R) مكان المكثف (C) والمكثف بمكان المقاومة ، نحصل على مرشح فعال لامرار الترددات العالية (Active HPF) كما موضح في الشكل رقم(8) ، يقوم عمل المرشح(Active HPF) على تمرير الترددات العالية والتي تكون اعلى من تردد القطع (FC) بنفس الوقت يمنع مرور الترددات المنخفضة دون تردد القطع كما هو موضح في الاستجابة الترددية للمرشح في الشكل رقم(9).



شكل رقم (8): دائرة مرشح فعّال لإمرار الترددات العالية (Active HPF)



شكل رقم (9): الاستجابة الترددية للمرشح (Active HPF)

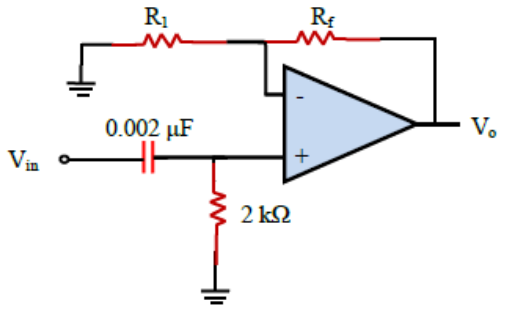
يحسب تردد القطع للمرشح (Active HPF) بنفس طريقة حساب تردد القطع للمرشح (Active LPF) كما في المعادلة التالية:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

مثال رقم (5) : من خلال الشكل رقم (10) ، حدد مايلي :

1-احسب تردد القطع (fc)

2-ارسم الاستجابة الترددية للمرشح.



رقم (10): مرشح فعّال لإمرار الترددات العالية

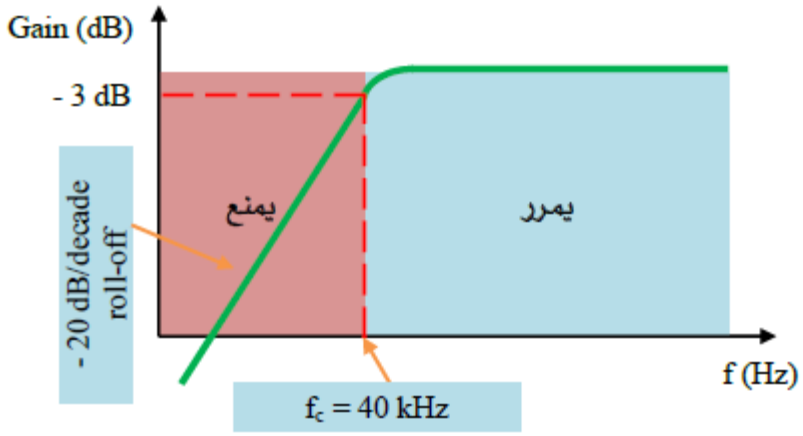
الحل

١. لحساب تردد القطع (f_c) نطبق المعادلة

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(2\ k\Omega)(0.002\ \mu F)} \cong 40\ kHz$$

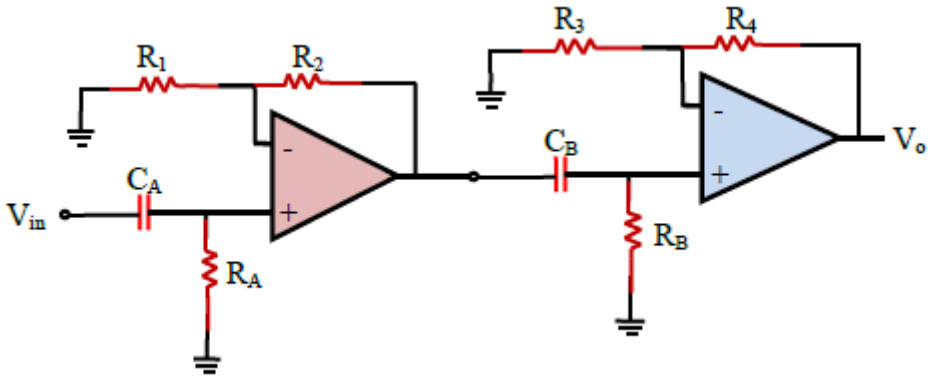
رقم (11): يوضح الاستجابة الترددية للمرشح بناءً على تردد القطع (40 kHz).

2-الاستجابة الترددية للمرشح بناءً على تردد القطع (40kHz).



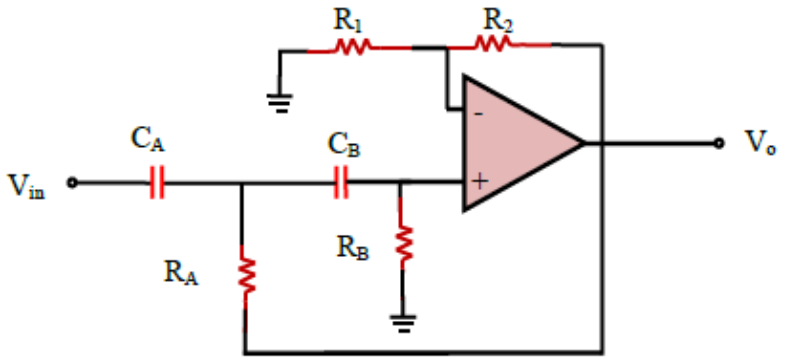
رقم (11): الاستجابة الترددية للمرشح (Active HPF)

للحصول على مرشح (Active HPF) من الدرجة الثانية نقوم بتوصيل دائرتين من الدرجة الأولى على التوالي ، كما في الشكل رقم (12) :



الشكل رقم (12): يوضح دائرة المرشح (Active HPF) من الدرجة الثانية

كما هو الحال في المرشح (Active LPF) يمكن استخدام مكبر واحد في المرشحات من الدرجة الثانية من نوع (Active HPF) وذلك باستخدام مرشحات سالين (Sallen-Key HPF) وذلك بتبديل المقاومة مكان المكثف وبالعكس ، كما مبين في الشكل رقم (13) يوضح النوع من المرشحات.



الشكل رقم (13): دائرة المرشح سالين (Sallen-Key HPF)

يحسب تردد القطع للمرشح (Active HPF) من الدرجة الثانية بنفس الطريقة التي يتم فيها حساب تردد القطع للمرشح (Active LPF) من الدرجة الثانية ، ولحساب تردد القطع (fc) نستخدم العلاقة التالية :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_A R_B C_A C_B}}$$

مثال رقم (6) : في الشكل رقم (12) اذا علمت أن قيم المقاومات والمكثفات للمرشح كما يلي :

$$R_A = 10\ k\Omega,\ R_B = 1\ k\Omega,\ C_A = 10\ nF,\ C_B = 0.01\ \mu F$$

احسب تردد القطع للمرشح.

الحل

يحسب تردد القطع للمرشح (Active HPF) من الدرجة الثانية بتطبيق المعادلة (2.20)

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{(10\ k\Omega)(1\ k\Omega)(10\ nF)(0.01\ \mu F)}} = 5\ kHz$$

مثال رقم (7) : اوجد القيم اللازمة للحصول على المرشح (Active HPF)من الدرجة الثانية كما في الشكل رقم (13) وبتردد قطع يساوي (10kHz) :

الحل

للتبسيط،لنقم باختيار قيمة معينة واحدة للمقاومتين R_A ، R_B بمعنى آخر $(R_A = R_B = R)$ ولتكن 10 kΩ ،ولنفترض أن سعة المكثفين أيضًا متساوية $(C_A = C_B = C)$. بذلك نستطيع حساب سعة المكثفين كالتالي

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(10\ k\Omega)C} = 10\ kHz$$

$$C = \frac{1}{2\pi(10\ k\Omega)(10\ kHz)} \cong 1.6\ nF$$

والآن لحساب قيم (R_1, R_2) نستخدم نموذج بتروورث للدرجة الثانية (-40 dB/decade)

$$\frac{R_1}{R_2} = 0.586$$

باختيار قيمة معينة لأحدى المقاومتين نستطيع حساب قيمة المقاومة الثانية. لنقم باختيار قيمة للمقاومة $(R_1 = 3.3\ k\Omega)$ فتكون قيمة المقاومة (R_2)

$$\frac{3.3\ k\Omega}{R_2} = 0.586 \Rightarrow R_2 = \frac{3.3\ k\Omega}{0.586} = 5.63\ k\Omega$$

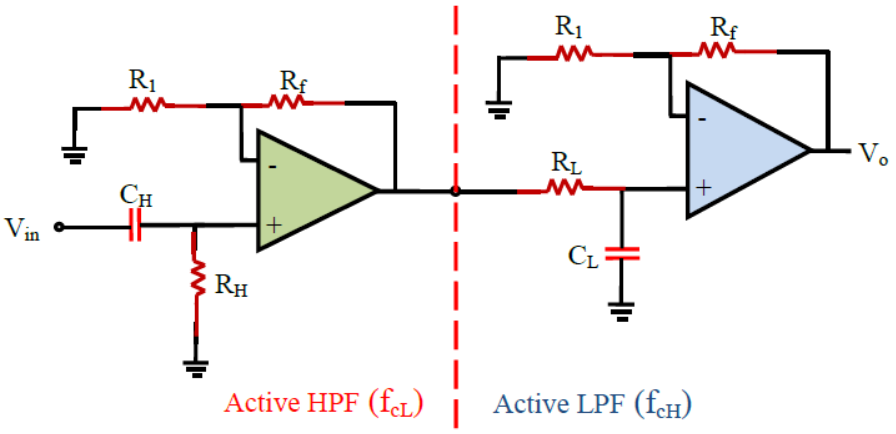
يستخدم مرشح التردد العالي في مختلف المجالات وأهمها أنظمة الاتصالات التماثلية والرقمية، البث الإذاعي والتلفزيوني والأنظمة الإلكترونية المختلفة.

المرشح الفعَّال لإمرار نطاق ترددي(Active Band-Pass Filter (BPF

يستخدم المرشح الفعّال لإمرار نطاق ترددي (Active BPF) لاختيار تردد محدد أو نطاق ترددي وذلك لفصل(عزل) إشارة بتردد معين أو مجال من الإشارات والتي تقع ضمن نطاق ترددي عن الإشارات الأخرى والتي تقع خارج هذا النطاق. يحدد النطاق الترددي للمرشح (Active BPF) بين ترددين ، حيث يبدأ عند **تردد القطع الأول والذي يسمى بتردد القطع السفل (Lower Frequency "fcL")** وينتهي عند تردد القطع الثاني **والمسمى بتردد القطع العلوي ("Higher Frequency "fcH).**

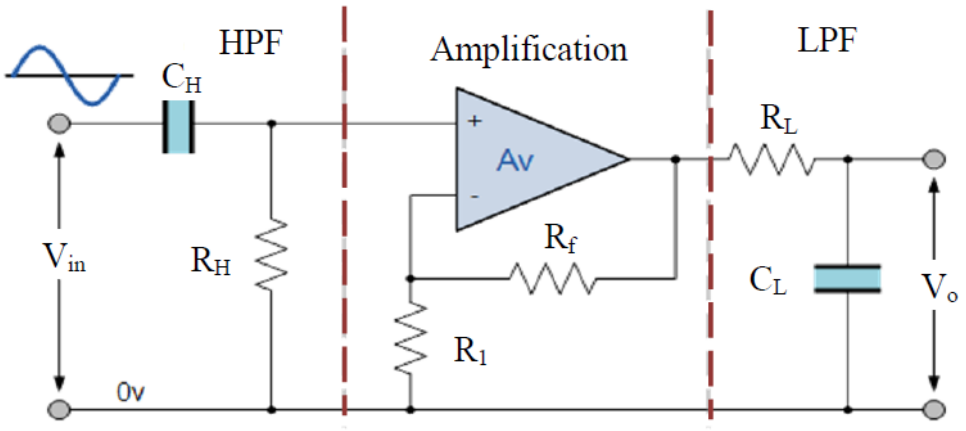
يمكن الحصول على مرشح (Active BPF) بتوصيل مرشحين على التوالي أحدهما مرشح فعَّال لإمرار الترددات العالية (Active HPF) يتبعه مرشح فعَّال لإمرار الترددات المنخفضة (Active LPF) كما هو موضح في الشكل (14)، حيث أن المرشح الفعَّال (Active HPF)يحدد تردد القطع السفل (fcL)، وأما المرشح الفعَّال (Active LPF)فيحدد تردد القطع العلوي (fcH).

يجب الملاحظة إلى أن تردد القطع للمرشح الفعَّال (Active LPF) يكون أعلى من تردد القطع للمرشح الفعَّال (Active HPF) الفرق بينهما يحدد عرس النطاق الترددي للمرشح الفعَّال(Active BPF) .



الشكل رقم (14): دائرة مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي(Active BPF)

يمكن استخدام مكبر عمليات واحد فقط في المرشح(Active BPF) كما في الشكل (15).



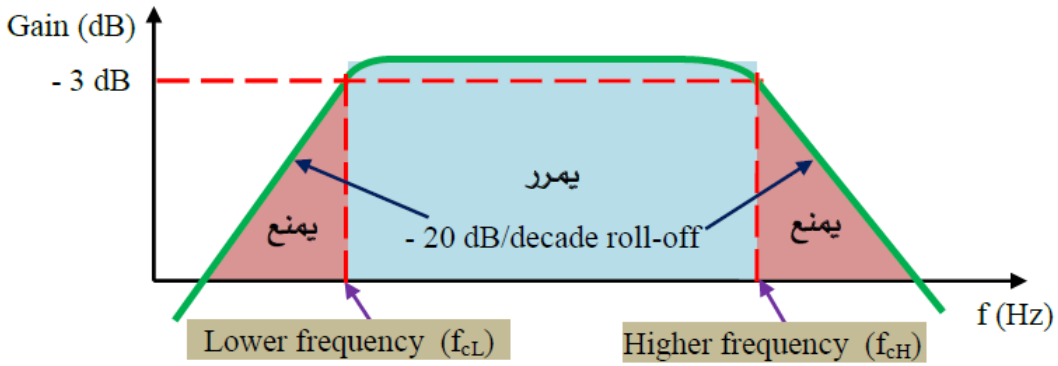
الشكل رقم (15): دائرة مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي(Active BPF)

يحسب كل من التردد السفلي(fcL) والتردد العلوي (fcH) بحساب تردد القطع لكل من المرشحين كما في المعادلتين التاليتين:

$$f_{cL} = \frac{1}{2\pi R_H C_H}$$

$$f_{cH} = \frac{1}{2\pi R_L C_L}$$

أما بالنسبة للاستجابة الترددية للمرشح الفعَّال لإمرار نطاق ترددي (Active BPF) ،فيتبين ذلك من خلال الشكل رقم (16)



الشكل رقم (16): الاستجابة الترددية لمرشح (Active BPF)

يمكن وصف المرشح الفعَّال لإمرار نطاق ترددي (Active BPF) بالتردد المركزي (Center Frequency "f_o") وعرض النطاق الترددي ومعامل النوعية (Quality-Factor "Q") حيث يمكن حساب كل منها من خلال المعادلات التالية:

$$f_o = \sqrt{f_{cL} \cdot f_{cH}}$$

$$BW = f_{cH} - f_{cL}$$

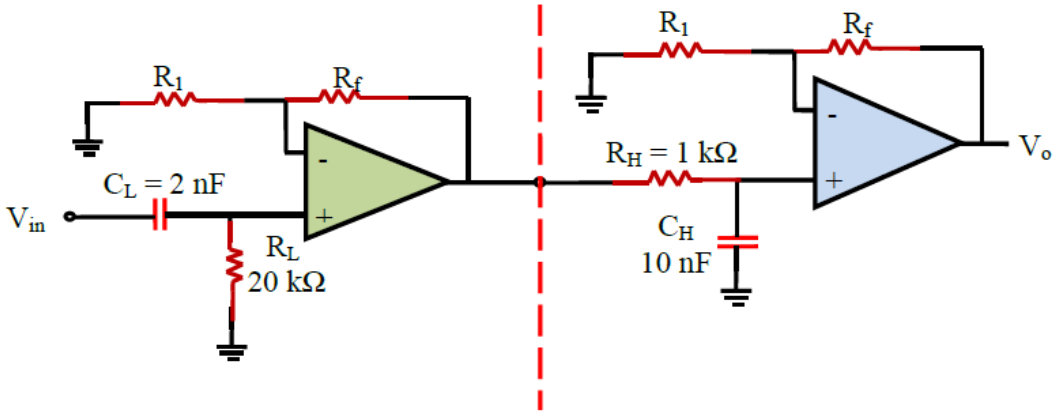
$$Q = \frac{f_o}{BW}$$

من المعادلات أعلاه نجد أنه كلما صغر عرض النطاق الترددي كلما تحسنت انتقائية المرشح(Selectivity) ، بمعنى آخر كلما كبرت قيمة معامل النوعية للمرشح كلما كان أداء المرشح أفضل من حيث الانتقائية للترددات المسموح بمرورها، بناء على ما سبق، تقسم المرشحات الفعَّالة لإمرار نطاق ترددي (Active BPF)إلى نوعين:

- المرشحات ذات عرض النطاق الضيق(Narrow-Band BPF) ويكون (Q > 10)
- المرشحات ذات عرض النطاق الواسع (Wide-Band BPF) ويكون(Q < 10)

مثال رقم (8) : في الدائرة الموضحة بالشكل رقم (17) اوجد مايلي :

١. تردد القطع السفلي وتردد القطع العلوي.
٢. التردد المركزي للمرشح.
٣. عرض النطاق الترددي للمرشح.
٤. معامل النوعية Q-Factor.



الشكل رقم (17): مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي

الحل

١. تردد القطع السفلي (f_{cL}) وتردد القطع العلوي (f_{cH})

$$f_{cL} = \frac{1}{2\pi R_H C_H} = \frac{1}{2\pi(20\ k\Omega)(2\ nF)} = 3.98\ kHz$$

$$f_{cH} = \frac{1}{2\pi R_L C_L} = \frac{1}{2\pi(1\ k\Omega)(10\ nF)} = 15.9\ kHz$$

٢. التردد المركزي للمرشح

$$f_o = \sqrt{f_{cL} \cdot f_{cH}} = \sqrt{(3.98\ kHz) \cdot (15.9\ kHz)} = 7.96\ kHz$$

٣. عرض النطاق الترددي للمرشح

$$BW = f_{cH} - f_{cL} = 15.9\ kHz - 3.98\ kHz$$

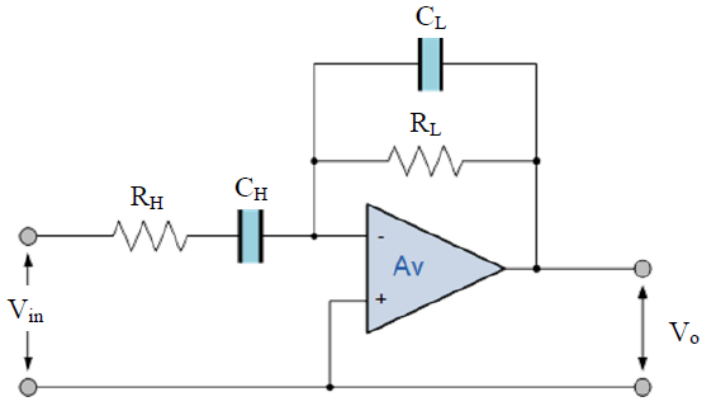
$$BW = 11.92\ kHz$$

٤. معامل النوعية للمرشح

$$Q = \frac{f_o}{BW} = \frac{7.96\ kHz}{11.92\ kHz} = 0.668$$

يتضح من النتيجة الأخيرة بأن المرشح من النوع ذي عرض النطاق الواسع ويعتبر عمليًا غير جيد من حيث قدرته الانتقائية على تمرير الترددات.

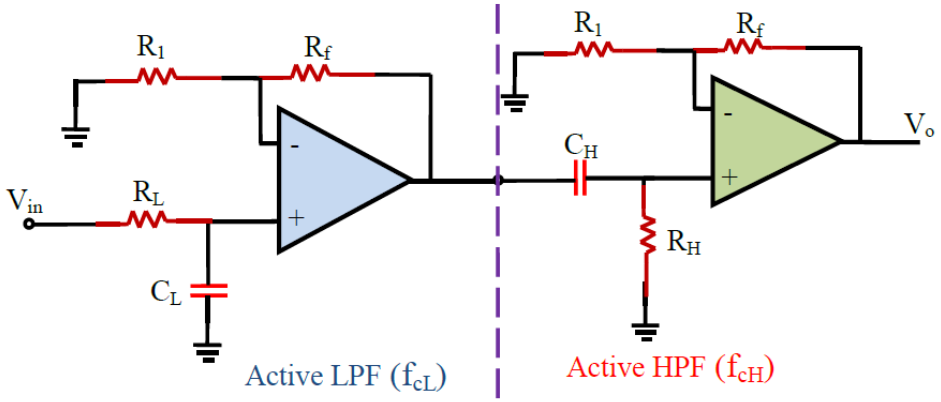
للحصول على مرشح (Active BPF) ذو نطاق ترددي ضيق يمكن استخدام دائرة المرشح الموضحة بالشكل رقم (18) :



الشكل رقم (18): دائرة مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي ضيق

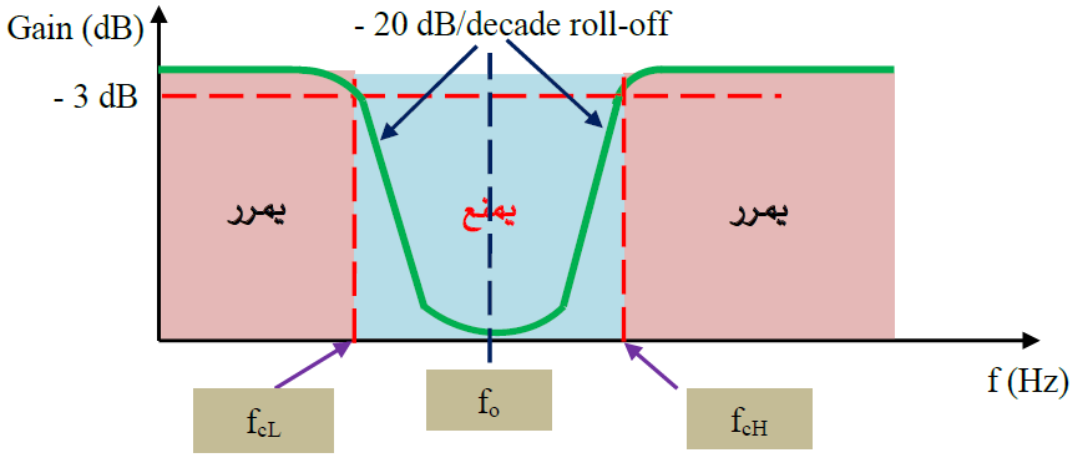
مرشح فعَّال لإيقاف نطاق ترددي((BSF) Active Band-Stop Filters)

يقوم المرشح الفعَّال لإيقاف نطاق ترددي (Active BSF) على إلغاء وحذف أو منع مرور الترددات ضمن نطاق معين والسماح بمرور جميع الترددات التي تقع خارج هذا النطاق ، يمكن الحصول على المرشح (Active BSF) وذلك بتوصيل مرشح (Active LPF) على التوالي مع مرشح (Active HPF) كما هو موضح بالشكل رقم (19)



الشكل رقم (19): دائرة مرشح فعَّال لإمرار نطاق ترددي(Active BSF)

يطلق عادةً على المرشح (Active BSF) اسم المرشح الشَّقي (Notch Filter) ويكون النطاق الترددي له محصورًا بين تردد القطع السفلي (fcL) و تردد القطع العلوي (fcH) ،حيث يكون تردد القطع السفلي (fcL) محددًا من قبل المرشح (Active LPF) وأما تردد القطع العلوي فيتم تحديده من قبل المرشح (Active HPF) يبين الشكل رقم (20) الاستجابة الترددية للمرشح (Active BSF)



الشكل رقم (20): الاستجابة الترددية للمرشح(Active BSF)

نلاحظ من الشكل رقم (20) ، بأن المرشح (Active LPF) يعمل على تمرير الترددات من الصفر هيرتز إلى تردد القطع السفلي (f_{cL}) والذي يتم تحديده من خلال المقاومة (R_L) والمكثف (C_L) ، أما المرشح (Active HPF) فيعمل على تمرير الترددات الأعلى من تردد القطع العلوي (f_{cH}) والذي يتم تحديده من خلال المقاومة (R_H) والمكثف (C_H). كما في المعادلات ادناه.

$$f_{cL} = \frac{1}{2\pi R_L C_L}$$

$$f_{cH} = \frac{1}{2\pi R_H C_H}$$

عند الحاجة إلى منع تردد محدد يجب أن يكون كل من (f_{cL}, f_{cH}) متساويان. نحصل على هذا الشرط عندما تكون

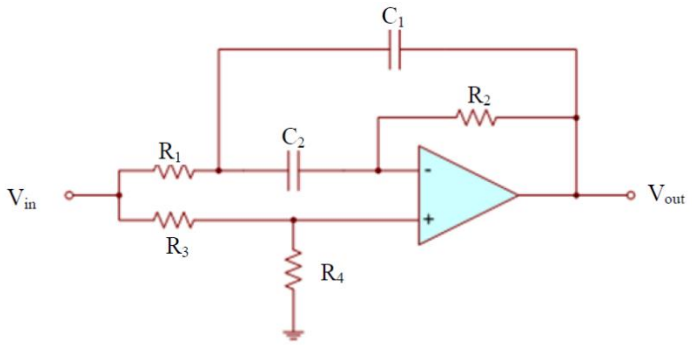
$$R_H = R_L$$
$$C_H = C_L$$

مثال على ذلك،لمنع التشويش على الأجهزة الإلكترونية والكهربائية المنزلية والذي يحصل نتيجة التيار الكهربائي بتردد 60 Hz يجب مراعاة أن تكون قيمة ترددي القطع متساوية ($f_{cL} = f_{cH} = 60$ Hz). وفي هذه الحالة تصبح قيمة التردد المركزي (f_o)

$$f_o = \frac{1}{2\pi R_L C_L} = \frac{1}{2\pi R_H C_H}$$

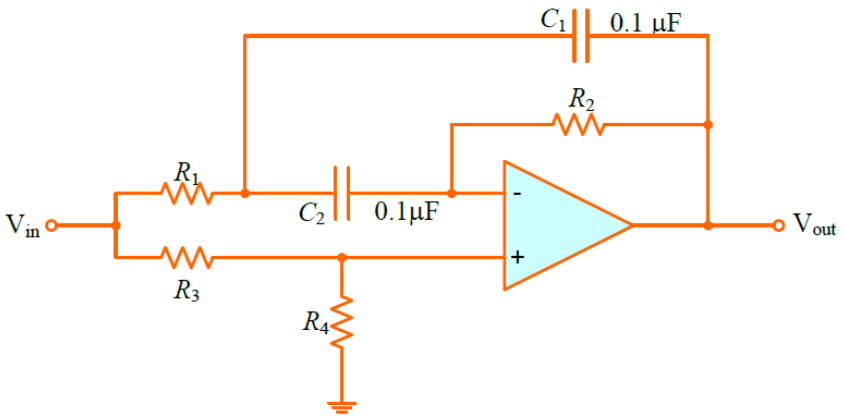
$$f_o = \sqrt{f_{cL} \cdot f_{cH}}$$

يمكن الحصول على مرشح (Active BSF) باستخدام مكبر عمليات واحد كما في الشكل رقم (21) :



الشكل رقم (21): مرشح(Active BSF) باستخدام مكبر عمليات واحد

مثال رقم (9) : ما هي قيمة (R_1) و (R_2) اللازمة لمنع التردد (100 Hz) في الدائرة التالية



الحل

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_o C} = \frac{1}{2\pi \times 100\ \text{Hz} \times 0.1\ \mu\text{F}} = 15.92\ \text{k}\Omega$$

المحاضرة الثالثة (Third Lecture)

المذبذبات (Oscillators)

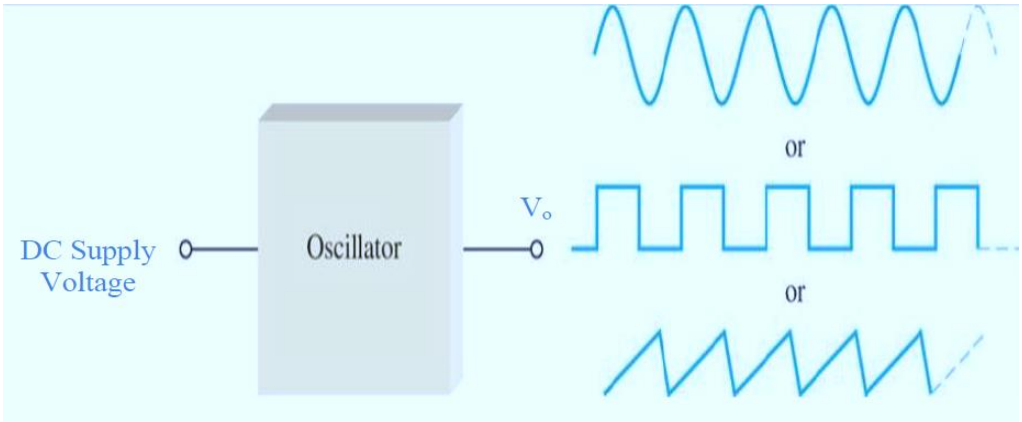
يمكن تعريف المذبذبات : بأنها دوائر كهربائية تقوم بأنتاج إشارة مستمرة ومتكررة أي دورية وتكون إمّا موجة جيبية أو موجة مربعة وغيرها ، حيث تقوم بتحويل التيار المستمر (DC) من مصدر طاقة إلى إشارة تيار متردد (AC) ، ويكمّن استخدامها على نطاق واسع في العديد من الأجهزة الإلكترونية و يكثر استخدام المذبذبات في الكثير من دوائر الاتصالات وبشكل خاص في دوائر الإرسال ودوائر الاستقبال والتي يستفاد منها في توليد العديد من الإشارات مختلفة أشكالها التماثلية والرقمية بناءً على نوع التطبيق المستخدم مثل الإشارات الحاملة ذات الترددات العالية وفي الدوائر الرقمية كإشارات رقمية ذات التطبيقات المختلفة وغيرها.

يمكن تقسيم المذبذبات الى نوعين رئيسيين هما:

1- **مذبذبات التغذية الراجعة Feedback Oscillators.**
2- **المذبذبات الهادئة (الاسترخاء) Relaxation Oscillators.**

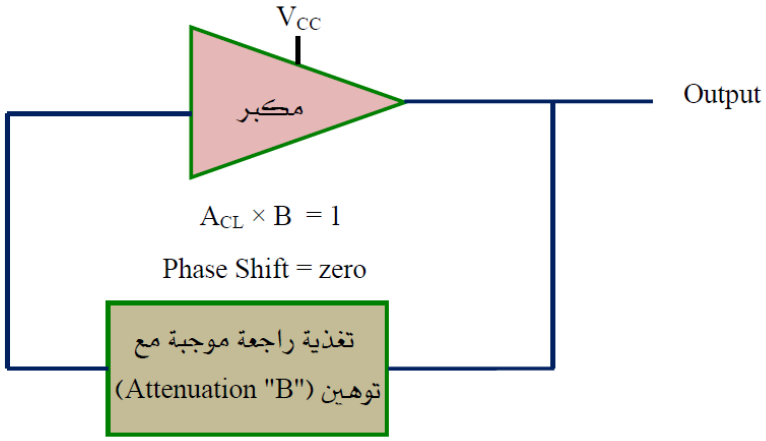
- **المذبذبات والتغذية الراجعة الموجبة Feedback (+) and Oscillators -**

تستخدم المذبذبات (Oscillators) في العديد من الدوائر الإلكترونية ودوائر الاتصالات التماثلية والرقمية وأنظمة الحاسب ، حيث تتوفر الأنظمة التي تقوم على توفير إشارة التوقيت أو التزامن المركزية (Central Clock Signal) لكافة دوائر النظام الواحد ، تعمل دوائر المذبذبات على تحويل جهد التغذية المستمر (DC Supply Voltage) إلى إشارة خرج متـــــــــرددة(AC Output Signal) والتي من الممكن أن تكون بأشكال وترددات مختلفة بناءً على تصميم وتركيب المذبذب والتطبيق المستخدم له ، من أشهر الإشارات التي تقوم المذبذبات على توليدها، الإشارة الجيبية (Sinusoidal signal) والتي تعد من أبسط وأسهل الإشارات ، الإشارة المربعة (Square Signal) ، الإشارة المثلثية(Triangular Signal) وإشارة أسنان المنشار (Sawtooth Signal) بالإضافة إلى إمكانية توليد سلسلة من النبضات ذات العرس الثابت أو المتغير (Train of Pulses) الشكل رقم (1) يبين المبدأ العام لدائرة المذبذب.



الشكل رقم (1) يبين المبدأ العام للمذبذب.

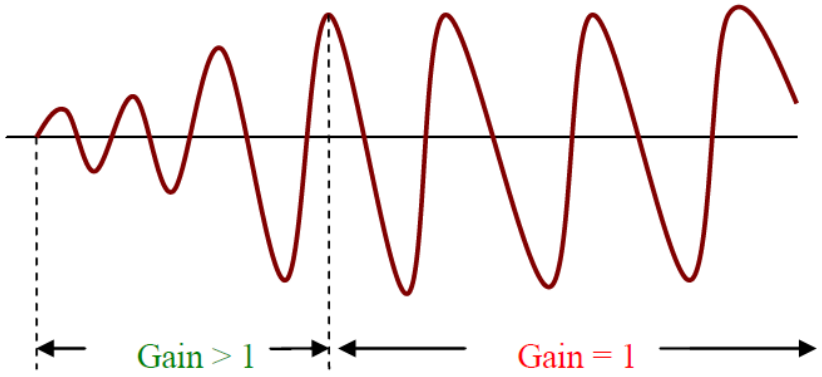
في الأساس ، المذبذب (Oscillator) عبارة عن مكبر، إما ترانزستور أو مكبر عمليات، يستخدم التغذية الراجعة الموجبة (Positive Feedback) حيث تعمل على توليد إشارة خرج (Output Signal)بتردد محدد دون الحاجة إلى إشارة دخل(Input Signal) ، فهو يقوم على تغذية نفسه بنفسه كما هو موضح بالشكل رقم (2)



الشكل رقم (2): الدائرة العامة للمذبذب بالتغذية الراجعة الموجبة

يبين لنا الشكل رقم (2) أن كسب المكبر في دائرة المذبذب في حالة الحلقة المغلقة ، يجب أن يكون مساوياً للوحدة (Unity Gain "ACL × B = 1") يعمل المذبذب كالتالي:

- يبدأ المذبذب بإشارة صغيرة في دائرة التغذية الراجعة الموجبة للمكبر مع كسب أكبر من الواحد بكثير أو قدار بسيط وذلك حتى يبدأ التذبذب (Oscillation)
- حتى تبقى عملية التذبذب يجب أن يعود الكسب للمكبر إلى الوحدة ، يبين الشكل رقم (3) مبدأ عمل المذبذب.



الشكل رقم (3): مبدأ عمل المذبذب

بذلك يمكن اعتبار المذبذبات على أنها دوائر تعمل على توليد إشارة خرج بالتردد المحدد والمطلوب اعتمادًا على قيم الملفات والمكثفات والمقاومات والتي بدورها تكون دائرة رنين لاختيار التردد وبنفس الوقت دائرة تغذية راجعة ، حيث تقسم المذبذبات إلى نوعين:

- **المذبذبات الجيبية (Sinusoidal Oscillators)** وهي المذبذبات التي تعرف بالمذبذبات التوافقية (Harmonic Oscillators) تعتمد هذه المذبذبات على التغذية الراجعة الموجبة وتتكون عادةً دائرة التغذية الراجعة من (LC) أو (RC) حيث تولد إشارة جيبية بسعة (Amplitude) وتردد ثابتين.
- **المذبذبات الغير جيبية (Non-Sinusoidal Oscillators)** وهي المذبذبات التي تعرف ذبذبات الاسترخاء (Relaxation Oscillators) تعمل هذه المذبذبات على توليد إشارات غير جيبية معقدة حيث تتغير هذه الإشارات من حالة الاستقرار إلى حالة أخرى بشكل سريع جدًا مثل الإشارة المربعة ، والإشارة المثلثية.

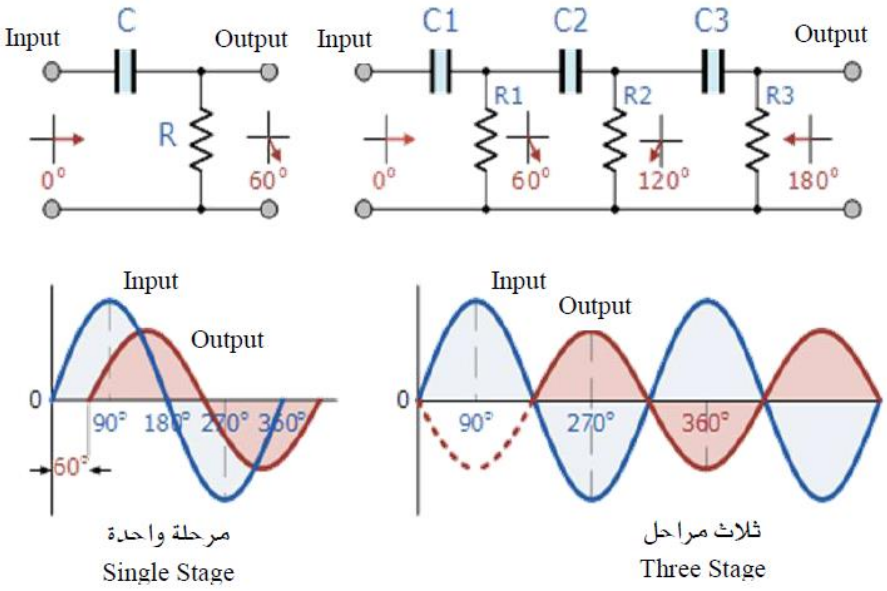
1- المذبذبات الجيبية (Sinusoidal Oscillators)

تقسم المذبذبات الجيبية إلى نوعين :

الأول: مذبذبات دوائر (RC) حيث تتكون دائرة التغذية الراجعة الموجبة من المكثف والمقاومة. **أما النوع الثاني :** فهو مذبذبات دوائر (LC) والتي تكون فيها دائرة التغذية الراجعة الموجبة عبارة عن دائرة ملف ومكثف.

1-1 مذبذبات دوائر المقاومة والمكثف (RC Oscillators)

من المعروف لنا أنه عند استخدام مكبر العمليات في حالة المكبر العاكس (Inverting Op Amp) أو استخدام الترانزستور من الصنف A سوف ينتج لدينا إشارة خرج بينها وبين إشارة الدخل زاوية طور مقدارها (180°) . ولكي يبقى المذبذب في حال التذبذب المستمر دون توقف لا بد من تصحيح زاوية الطور بين الدخل والخرج وجعلها مساوية للصفر، بمعنى آخر يجب توفير إشارة تغذية راجعة موجبة تعمل على تصحيح زاوية الطور وذلك باستخدام دائرة تعمل على عكس إشارة الخرج كمرحلة ثانية. يمكن الحصول على دائرة لتصحيح زاوية الطور باستخدام دائرة (RC) حيث تعمل هذه الدائرة على توليد زاوية طور مقدارها (180°) بين دخل دائرة (RC) وخرجها ، كما يوضح المثال في الشكل رقم (4). تستخدم مذبذبات دوائر (RC) لتوليد إشارات بترددات تصل حتى (1 MHz).



الشكل رقم (4): مبدأ عمل دائرة (RC) في المذبذبات

تعتمد زاوية الطور في دوائر (RC) على قيم كلا من المقاومة والمكثف وبالاعتماد على تساوي المقاومات وتساوي المكثفات يمكن تحديد زاوية الطور من المعادلة التالية :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) \qquad (1)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \qquad (2)$$

من خلال الشكل (4) يتضح لنا أن زاوية الطور لدائرة (RC) تساوي (60°) وللحصول على زاوية طور مقدارها (180°) ، فلابد من استخدام ثلاثة مراحل لدائرة (RC) إن ضرورة استخدام دوائر (RC) يتحدد في سببين ، **الأول للحصول على زاوية الطور المطلوبة لحدود التذبذب، والثاني للحصول على مرشح لتحديد التردد المطلوب (Resonance Filter)** ، من أشهر المذبذبات التي تستخدم دوائر (RC) :

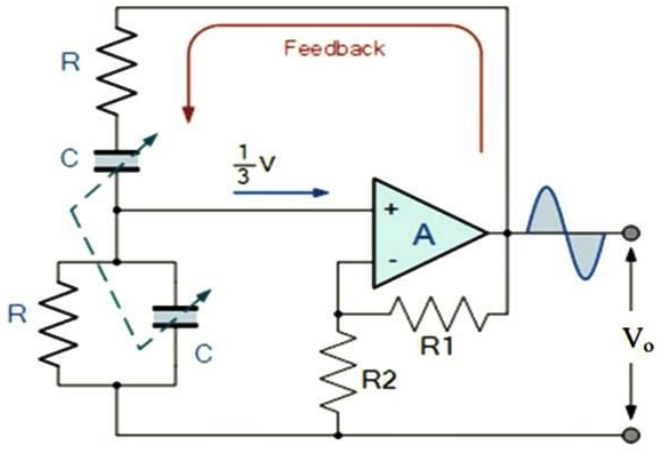
1- مذبذبات قنطرة واين (Wien Bridge Oscillators).

2- مذبذبات فرق الطور (Phase Shift Oscillators).

3- مذبذبات توين (Twin Oscillators).

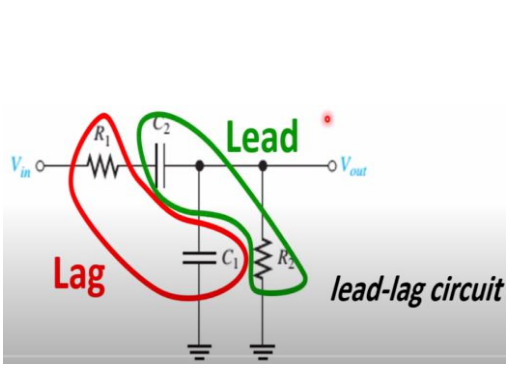
- **مذبذبات قنطرة واين (Wien Bridge Oscillators).**

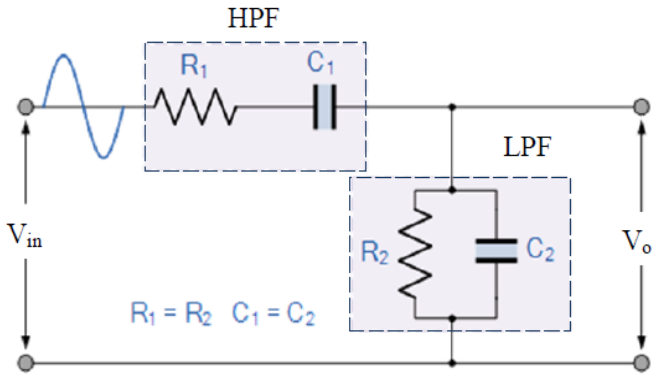
تعتبر مذبذبات قنطرة واين من أبسط أنواع هذه المذبذبات ، حيث أخذ هذا الاسـم بناءً على وسيلة اختيار التردد لدائرة قنطرة وتستون (Whetstone Bridge) ، تتكون دائرة مذبذب قنطرة (وأين) من مرحلتين لدائرة (RC) مع مكبر عمليات ، كما يوضح الشكل رقم (5).



الشكل رقم (5): مذبذب قنطرة واين (Wien Bridge)

في مذبذب (وأين) يتم استخدام دائرة تغذية راجعة التي تتكون، كما هو موضح بالشكل رقم (5) من دائرة (RC) توالي ترتبط مع دائرة (RC) توازي وبنفس القيم لكل من المقاومات والمكثفات مكونة ما يسمى **بدائرة تأخير(Delay) أو تقديم (Advance)** ، بناءً على التردد حيث تكون زاوية الطور تساوي (0°) عند تردد الرنين (fr) ، حيث تمثل دائرة (RC) توالي مرشح إمرار الترددات العالية (HPF) بينما تمثل دائرة (RC) توازي مرشح إمرار الترددات المنخفضة (LPF) ، كما في الشكل رقم (6).



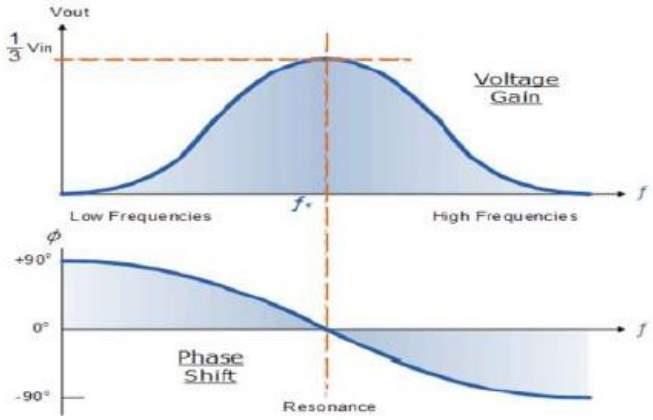


الشكل رقم (6): دائرة (RC) في مذبذب واين

نتيجة لتوصيل دائرة (HPF) مع دائرة (LPF) يتكون لدينا مرشح إمرار نطاق ترددي ذو درجة اختيار عالية ودقيقة بحيث يسمح فقط بمرور التردد المطلوب وهو تردد الرنين للدائرة ، حيث يقوم المكثف الأول (C1) عند الترددات المنخفضة على منع مرور أي إشارة دخل نتيجة لممانعة المكثف العالية وبالتالي لا يكون هنالك أي خرج ، أما عند الترددات العالية تصبح ممانعة المكثف (C2) منخفضة جدًا والذي يعمل كدائرة قصر (Short Circuit) على الخرج مما يمنع خروج أي إشارة على خرج الدائرة ، بينما يكون لدينا إشارة خرج فقط عندما يكون تردد إشارة الدخل يساوي تردد الرنين (fr) يمكن حساب تردد الرنين كما في المعادلة التالية :

$$f_r = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (3)$$

عنـد حدوث التذبذب عند تردد الرنين لدائرة (RC) تكون قيمة المفاعلة السعوية مساوية تماماً لقيمة المقاومة (XC = R) وبالتـــالي زاوية الطـــور بين الدخل والخرج مساوية للصـــفر ($\theta = 0°$) ، وتكون كذلك إشارة الخرج عند أقصى قيمة لها حيث تساوي ثلث قيمة إشارة الدخل ، كما في الشكل رقم (7).



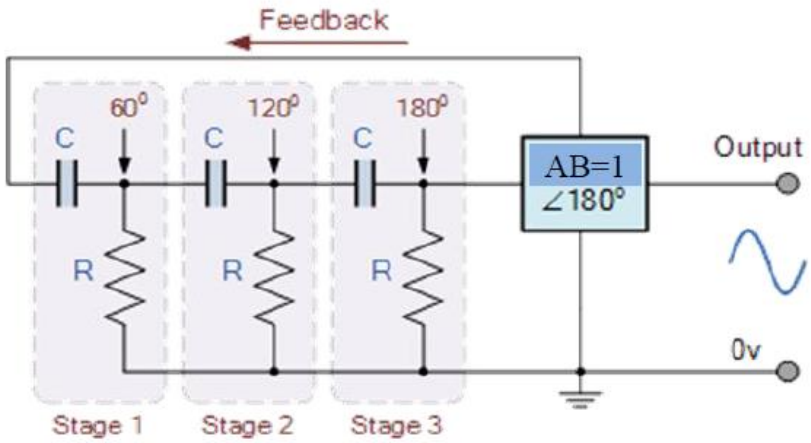
الشكل رقم (7): تغيير خرج وزاوية طور دائرة (RC) مع التردد

أما نسبة خرج دائرة (RC) إلى دخلها فيمثل مقدار التوهين (B) لدائرة (RC) ويكون مقداره ، كما في المعادلة التالية:

$$B = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{3} \qquad (4)$$

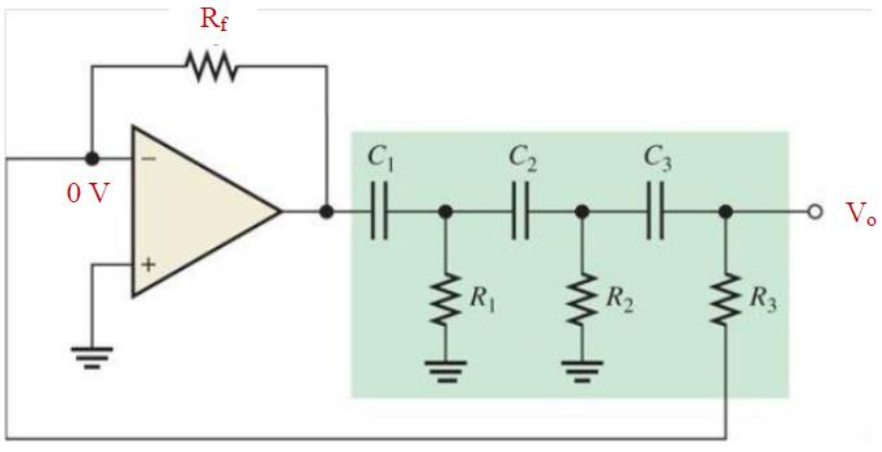
- **مذبذبات فرق الطور(Phase Shift Oscillators)**

يعتبر مذبذب فرق الطور من المذبذبات الأساسية والتي تعتمد على دوائر (RC) ، حيث يتم استخدام دائرة (RC) ذات الثلاثة مراحل (Stages "N" = 3) كما في الشكل رقم (8) ، تعمل كل مرحلة من مراحل دائرة (RC) على إنتاج زاوية طور مقدارها (60°) وبذلك تكون زاوية الطور الكلية للدائرة (180°)



الشكل رقم (8): مبدأ عمل دائرة (RC) في مذبذب فرق الطور

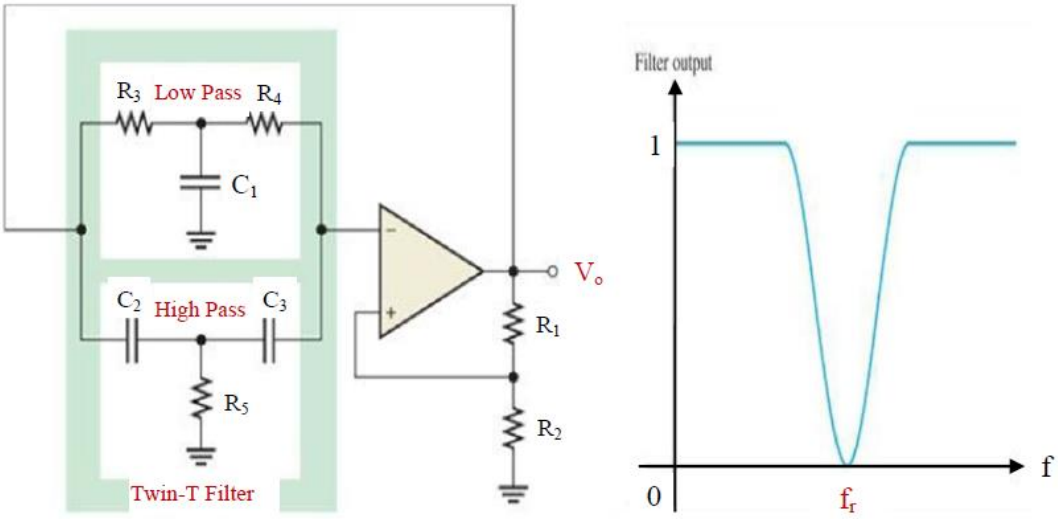
حتى نحصل على التذبذب المطلوب على التردد المحدد يجب أن تكون زاوية الطور الكلية تساوي (360°) ، لتعويض فرق الطور هذا نقوم باستخدام مكبر العمليات بحيث يتم توصيل دائرة (RC) على دخل المكبر العاكس بدلًا من الدخل الغير عاكس ، كما في الشكل رقم (9)



الشكل رقم (9): دائرة مذبذب فرق الطور (RC)

- **مذبذبات توين(Twin-T Oscillators)**

يستخدم مذبذب توين دائرتي (RC) ، كما في الشكل رقم (10) إحداهما تعمل كمرشح (LPF) والأخرى كمرشح (HPF) ، حيث يتكون من جراء هذه التشكيلة للمرشحين مرشح جديد هو **مرشح إيقاف نطاق محدد (BSF)** ، توصل دائرة (RC) بدخل مكبر العمليات السالب فتعمل كتغـــذية راجعة سالبة ، أما التغـــــذية الراجعـة الموجبة فنحصل عليها من توصيل المقاومات (R1, R2) كدائرة مجزئ للجهد على دخل المكبر الغير العاكس ، الذي يمنع المكبر حصول التذبذب على الترددات الأقل أو الأعلى من تردد الرنين أو التردد المركزي للمرشح (BSF) بسبب التغذية الراجعة السالبة عند التردد **المركزي (أو الرنين)** يصبح وجود التغذية الراجعة السالبة مهملاً فيحدد التذبذب نتيجة للتغذية الراجعة الموجبة من خلال دائرة مقسم الجهد.

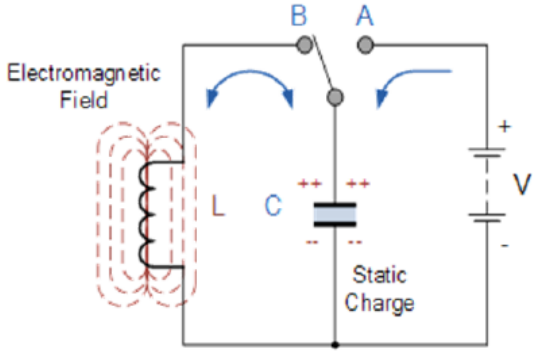


الشكل رقم (10): دائرة مذبذب توين

المحاضرة الرابعة (Fourth Lecture)

- **مذبذبات دوائر المكثف والملف (LC Oscillators)**

يكثر استخدام هذا النوع من المذبذبات في دوائر وتطبيقات الترددات الراديوية (RF) ، حيث الترددات العالية وذلك لخصائصها الجيدة في مقاومة طور الضوضاء وسهولة تكوينها. يتم التحكم بتردد مذبذبات دوائر (LC) من خلال دائرة رنين تتكون من مكثف وملف، ويمكن ان يعرف تردد الرنين أيضاً بتردد التذبذب **(Oscillation Frequency)** ، الشكل رقم (1) يبين أبسط دوائر الرنين التي تتكون من (LC).

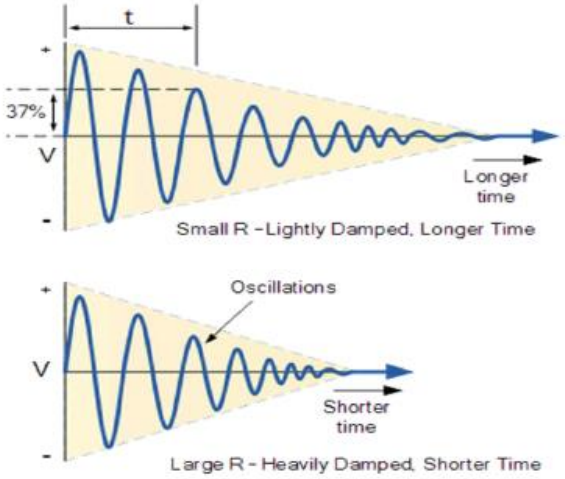


الشكل رقم (1): دائرة رنين(LC)

يمكن حساب تردد الرنين لدائرة (LC) من المعادلة التالية :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (1)$$

في الدائرة الموضحة بالشكل رقم (1) ، تتنقل الطاقة بين المكثف والملف حيث تتحول من كهرباء ساكنة (Electrostatic Field) في المكثف إلى مجال كهرومغناطيسي (Electromagnetic Field) في الملف ثم تعود إلى المكثف وهكذا بشكل غير محدود، مع مرور الوقت تتناقص الطاقة نتيجة لعدم وجود العناصر أو المكونات المثالية، يبين الشكل رقم (2) عملية الفقد الحاصلة مع مرور الزمن.



الشكل رقم (2): الفقد الحاصل في دائرة رنين(LC)

من أجل الحفاظ على عملية التذبذب (Oscillation) الحاصلة في دائرة (LC) يجب علينا تعويض الطاقة المفقودة في كل عمـــلية تـــذبذب والحفاظ على مســـتوى ثابت لمقدار السعـــة (Amplitude) لإشارة التذبذب ، و يجب أن تكون كمية طاقة التعويض مساوية تمامًا لكمية الطاقة المفقودة ، إذا كانت كمية طاقة التعويض أكبر من كمية الطاقة المفقودة بكثير فسيحدث زيادة كبيرة في سعة الإشارة إلى أن يحدث تشوه كبير في شكلها وهو حدوث قص في قمة الإشارة ، كذلك الأمر إذا كانت كمية طاقة التعويض أقل من الطاقة المفقودة فسيحدث نقصان في سعة الإشارة بشكل مستمر إلى الصفر.

لتوليد تذبذب ثابت نعمل على التحكم مستوى الطاقة المُعادة لتغذية دائرة(LC) ،عند تغير مقدار السعة أكثر أو أقل من بمستوى جهد مرجعي (Reference Voltage) ، لهذا أي نقص سوف يؤدي إلى عدم بدء التذبذب واتجاهه إلى الصفر، وأي زيادة سوف تؤدي إلى حدوث التذبذب ولكن مع حدوث تشوه وقص لسعة إشارة التذبذب. بنفس الوقت يجب الحفاظ على مقدار الكسب مساويًا للواحد، يستخدم هذا النوع من المذبذبات مكبرات الترانزستور(Bipolar) أو (FET) ، بسبب الحدود الترددية لمكبر العمليات ، من أشهر مذبذبات دوائر(LC) :

1- مذبذب هارتلي (Hartley LC Oscillator).
2- مذبذب كولبت (Colpitts LC Oscillator).
3- مذبذب كلاب (Clapp LC Oscillator).
4- مذبذب ارمسترونج (Armstrong LC Oscillator).
5- المذبذبات الكرستالية (Crystal Oscillators).

❖ المذبذبات الكريستالية (Crystal Oscillator)

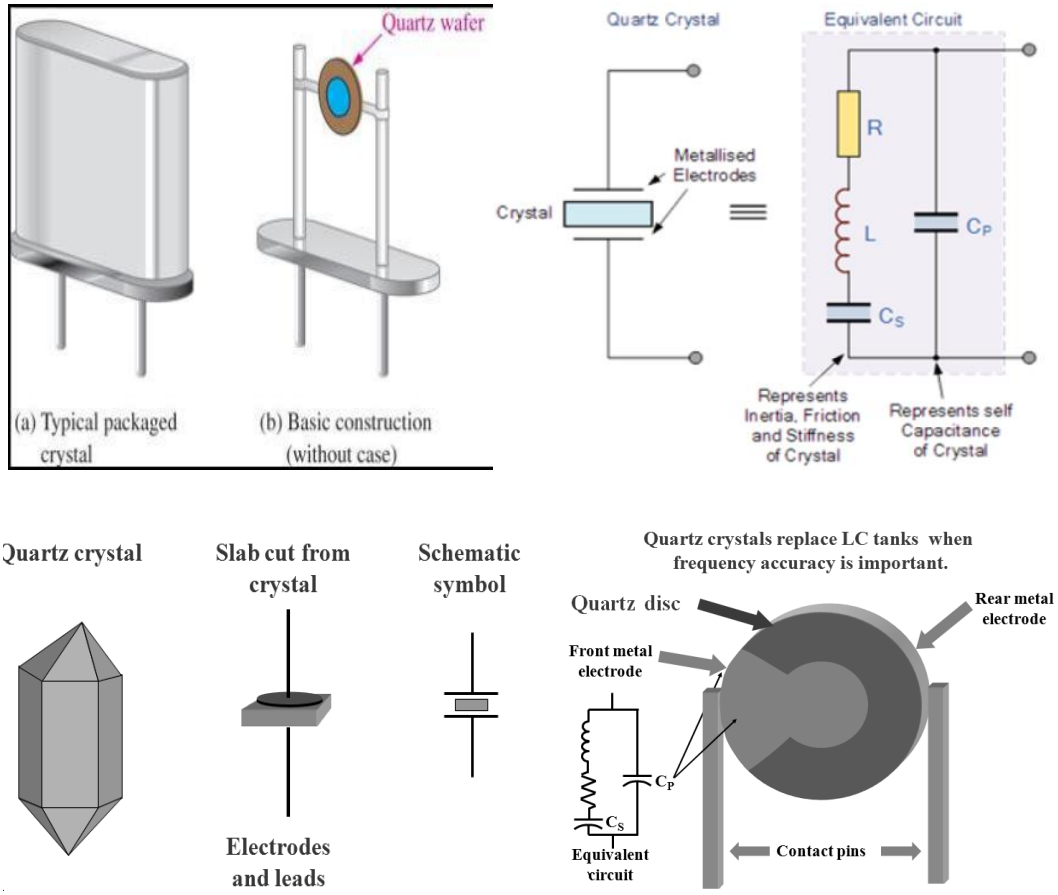
يعتبر من اكثر المذبذبات دقة وثبات في الأداء ، و التي تستخدم الكريستال (Crystal) في دائرة التغذية الراجعة للتحكم بقيمة التردد المراد توليده ، هنالك عدة عوامل تؤثر على ثبات ودقة واستقرارية المذبذب منها :

1- **درجة الحرارة.**

2- **اختلاف الحمل (Load) .**

3- **التغيرات التي تحدث في مصدر التغذية المستمر (DC Power Supply).**

الكريستال عبارة عن مادة طبيعية تولد ترددات دقيقة جدًا بحسب حجم القطعة ، يرمز إلى المذبذبات الكريستالية ، كما في الشكل رقم (3) ، حيث يتكون الكريستال المستخدم في التطبيقات الإلكترونية من رقاقة كريستال مثبتة بين قطبين ومغلفة بغلاف خارجي للحماية.

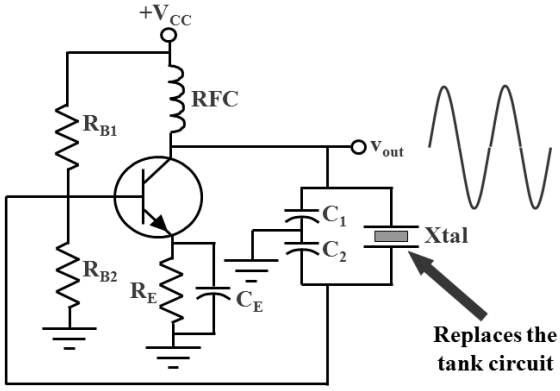


الشكل رقم (3): المذبذبات الكريستالية (Crystal Oscillator)

يتمتع الكريستال الطبيعي بخاصية فريدة تسمى بظاهرة تأثير الإجهاد الكهربائي (Piezoelectric Effect) والتي تعني أنه عند تعرض قطعة من الكريستال بحجم معين لحركة ميكانيكية خارجية فإنها تقوم بالتذبذب ويتكون جهد كهربائي على نفس تردد الذبذبة المتكونة والعكس صحيح ، بمعنى أنه عند توصيل جهد متناوب على قطعة الكريستال فإنها ستقوم بالتذبذب على نفس تردد الجهد الواصل عليها ، يمكن وصف هذا النوع من العناصر (Piezoelectric Devices) كمحولات طاقة (Transducers) ، التي تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى ميكانيكية والعكس ينتج عن ذلك اهتزازات (Vibrations) أو تذبذبات (Oscillations) تستخدم بدلًا من دوائر الرنين (LC)، حيث يستخدم في معظم الأجهزة الاستهلاكية مثل ساعات اليد والساعات الجدارية وأجهزة الراديو وأجهزة الكمبيوتر والهواتف المحمولة. وبعضها تستخدم بلورات الكوارتز في اجهزة القياس مثل العدادات وموالدات الاشارات وكذلك الاوسلسكوب.

مبدأ عمله

الكوارتز هي مادة ذات مفعول ارتدادي إذا تعرضت إلى صدمة ميكانيكية يكون رد فعلها جهد كهربائي على سطح الكريستاله ، أما اذا تعرضت شريحة الكوارتز الى جهد كهربائي فسينتج عنه اهتزاز لمادة كوارتز حيث يتولد رنين " ذبذبات " على جانبي القطبين الكهربائيين ويكون متحكما في مقدار زمن الذبذبات في الدائرة وذلك حسب أبعاد الشريحة من حيث المساحة والسمك حيث يعتمد اضطرابات الناتجة بواسطة الاهتزازات الميكانيكية الخارجية.



الشكل رقم (4): دائرة المذبذب الكريستال (Crystal Oscillator)

❖ نظرية التعديل والخلط Theory of Modulation and Mixing

• نظرية التعديل Modulation Theory

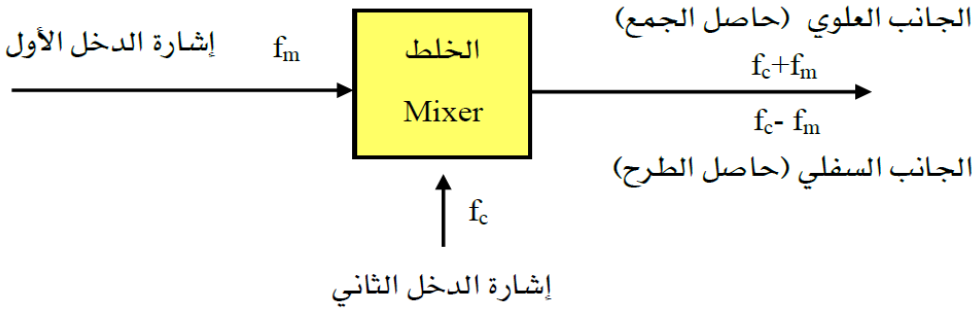
تنص نظرية التعديل على ان حاصل ضرب إشارة زمنية V(t) بالإشارة الجيبية $\cos 2\pi f_c t$ ذات التردد العالي f_c للإشارة الزمنية حول التردد الكبير للإشارة الجيبية ذات التردد العـــالي f_c ، كما يلي :

$$v(t)\cos 2\pi f_c t \quad \overset{F}{\Rightarrow} \quad \frac{1}{2}[V(f-f_c)+V(f+f_c)] \quad (2)$$

ويكمن تفسير أهمية هذه النظرية في كون اشارة المعلومات الأساسية تعتبر إشارة زمنية بطيئة السرعة v(t) ،لاحتوائها على ترددات منخفضة حول نقطة الأصل، والآن بضرب هذه الإشارة البطيئة v(t) بالإشارة الزمنية السريعة جدًّا $\cos 2\pi f_c t$ ،سوف تزداد سرعتها في المحور الزمني ، وهذا يؤدي بدوره الى تعديل الطيف الترددي وذلك بإزاحة الترددات المنخفضة المرتكزة حول نقطة الأصل لتصبح حول التردد العالي للإشارة الجيبية السريعة.

• الخلط Mixing

الخلط أو المزج ينتج عن دائرة غير خطية لها دخلين وخرج واحد كما هو موضح في الشكل رقم (4) ويعمل الخلط على ازاحـــة موقع الترددات على خط الطيف الترددي نتيـجة عملية المزج (Multiply أي الضرب) لإشارتي الدخل ، وقد يطلق عليه أيضا اسم المعدّل (Modulator). لنفرض أن اشارة الدخل الأول في الشكل رقم (5) لها تردد (f_m) واشارة الدخل الثاني لها تردد(f_c) ، فإن تردد اشارة الخرج سوف تتكون من حاصل الجمع(f_c+f_m) ويسمي الجانب العلوي وحاصل الطرح(f_c-f_m) ويسمى الجانب السفلي.



الشكل رقم (5): المخطط الصندوقي للخلط

اذا كان ناتج عملية الخلط هي تحويل الترددات من تردد أقل الى تردد أعلى فتسمى عملية الخلط هذه **بالتحويل العلوي** ونحصل عند مخرج الخلط على اشارة ذات تردد يساوي مجموع ترددات اشارتي مدخل الخلط ، أما اذا كان ناتج عملية الخلط هي تحويل الترددات من تردد أعلى الى تردد أقل فتسمى عملية الخلط هذه **بالتحويل السفلي** ونحصل عند مخرج الخلط على اشارة ذات تردد يساوي الفرق بين ترددات اشارتي مدخل الخلط.

مثال رقم (1): احسب خرج المعدّل إذا كان دخلي عملية الخلط هما $f_m = 5kHz$ و $f_c = 465kHz$.

الحـــل

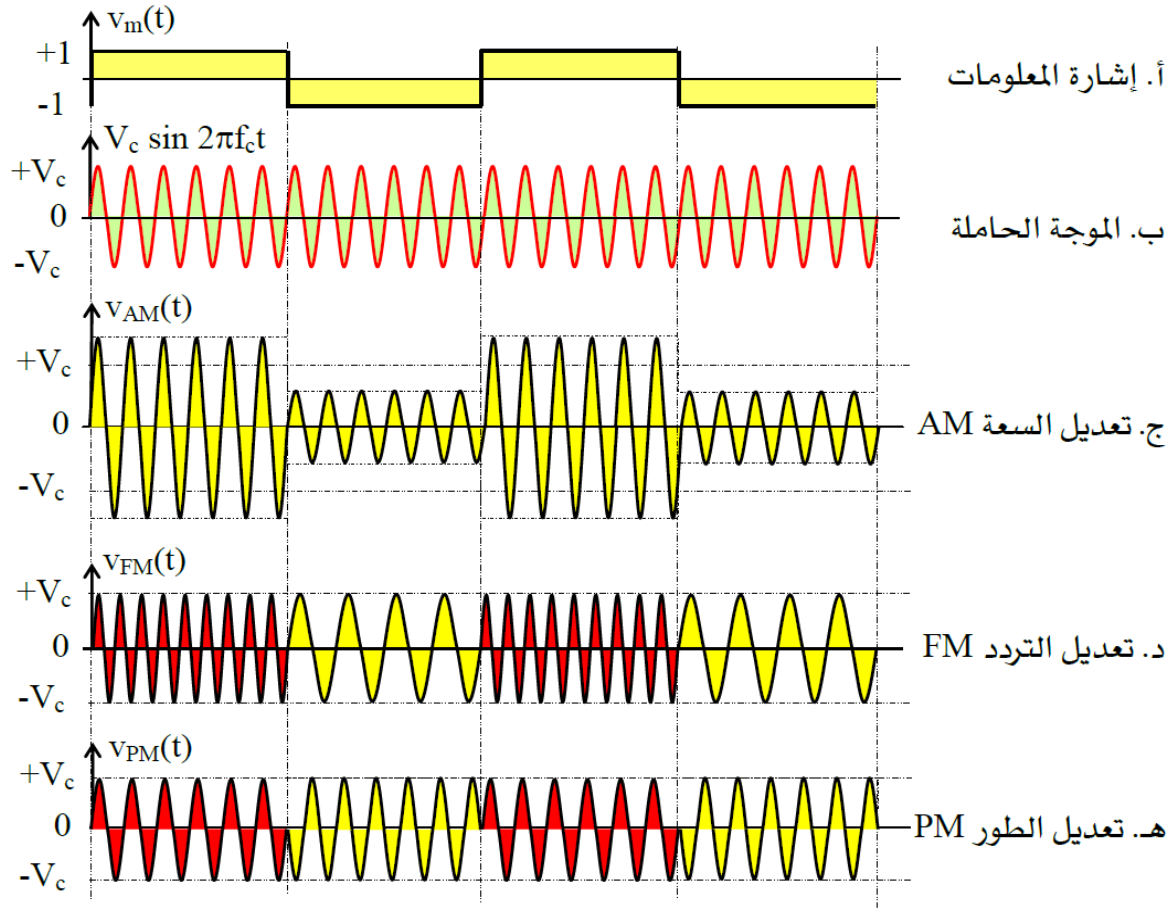
$$f_c + f_m = 465 + 5 = 470\ kHz \qquad \& \qquad f_c - f_m = 465 - 5 = 460\ kHz$$

أنواع التعديل الأساسية Basic Types of Modulation

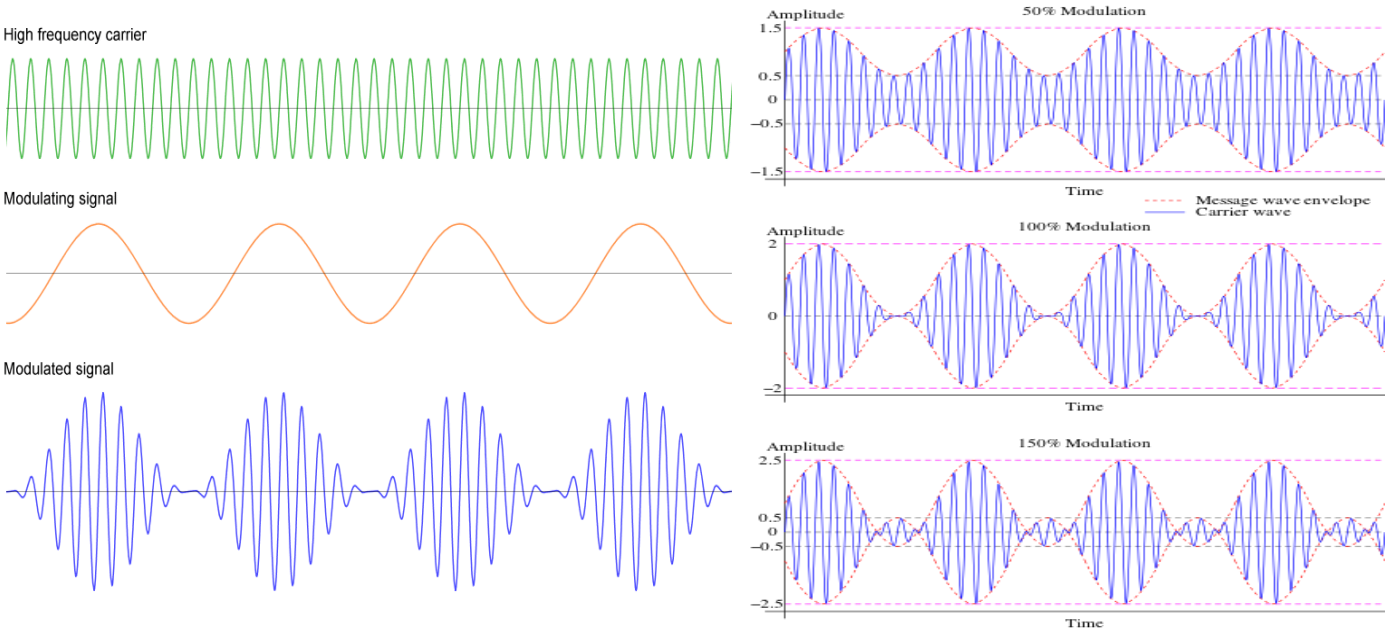
تستخدم اشارة المعلومات (Information) والتي يطلق عليها اسم اشارة التعديل (Modulating Signal) لتعديل أحد خصائص الموجة الحاملة (Carrier) الخصائص هي السعة Amplitude أو التردد Frequency أو الطور Phase ، لذلك هناك ثلاثة أنواع أساسية للتعديل:

1- تعديل السعة Amplitude Modulation

وهو تغير سعة الموجة الحاملة Carrier Wave ، كما مبين في الشكل رقم (6-ب) يتناسب مع سعة اشارة التعديل (Information) كما مبين في الشكل رقم (6-أ) والموجة الناتجة تسمى موجة تعديل السعة ويرمز لها AM ، تصبح كالتي مبينة في الشكل رقم (6-ج)



الشكل رقم (6): أنواع التعديل الأساسية



الشكل رقم (7): تعديل السعة AM

2- تعديل التردد
Frequency Modulation

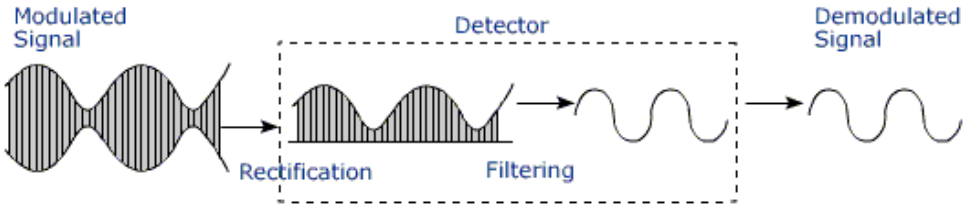
هو عبارة عن تغير تردد الموجة الحاملة Carrier Wave بمقدار يتناسب مع سعة اشارة التعديل، والموجة الناتجة تسمى **تعديل التردد ويرمز لها FM** ، كما مبين في الشكل رقم (6-د)

3- تعديل الطور Phase Modulation

وهو عبارة عن تغير في طور الموجة الحاملة Carrier Wave بما يتناسب مع سعة اشارة التعديل، والموجة الناتجة تسمى **تعديل الطور ورمزها(PM)** ، كما مبين في الشكل رقم (6-هـ)

❖ التعديل وإزالة التعديل (الكشف)
Modulation and Demodulation (Detection)

تتم عملية التعديل Modulation في قسم الإرسال والإشارة الناتجة من عملية التعديل يطلق عليها اسم الموجة المعدلة Modulated Wave ، ويمكن أن تكون احدى الأنواع الثلاثة التي سبق ذكرها AM أو FM أو PM ، أما عملية الكشف Detection أو ازالة التعديل Demodulation فتتم في قسم الاستقبال وتهدف الى استخلاص اشارة المعلومات الأصلية Information من الموجة المعدّلة Modulated Signal والتي سيتم شرحها مفصلا المحاضرات القادمة .



الشكل رقم (8): إزالة التحديلDemodulation

المحاضرة الخامسة (Fifth Lecture)

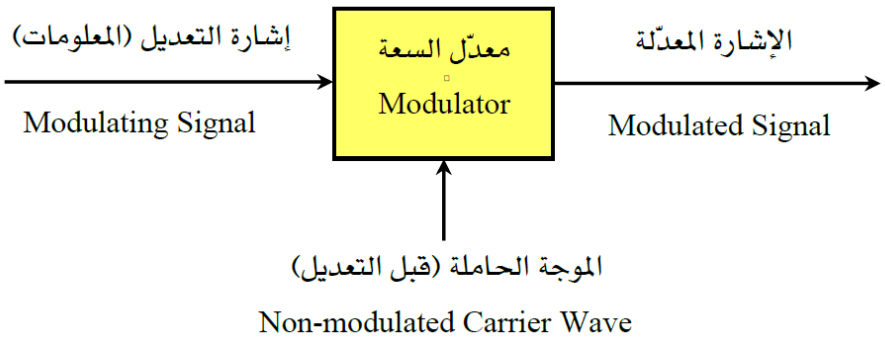
تعديل السعة Amplitude Modulation

التعديل **(Modulation)** يختص بإزاحة الترددات المنخفضة لإشارة المعلومات الأساسية حول تردد عالٍ مناسب للإرسال عبر وسط الاتصالات المطلوب بناءً على نوع التطبيق المرغوب فيه، وللتعديل أنواع ثلاثة رئيسية تعتمد على الخصائص الثلاث للموجة الحاملة " Carrier " ذات التردد العالي، وهي السعة Amplitude والتردد Frequency والطور Phase .

والجدير بالذكر أن الموجة الحاملة العالية التردد " Carrier " يتم توليدها عن طريق **المذبذب الموضعي Local Oscillator** الموجود في قسم الإرسال ، أما المذبذب فهو عبارة عن دائرة الكترونية تنتج موجة ذبذبات عند الخرج والتي تغذى فقط عند الدخل بواسطة الجهد المستمر.

1- مبادئ تعديل السعة " AM " Principles of Amplitude Modulation

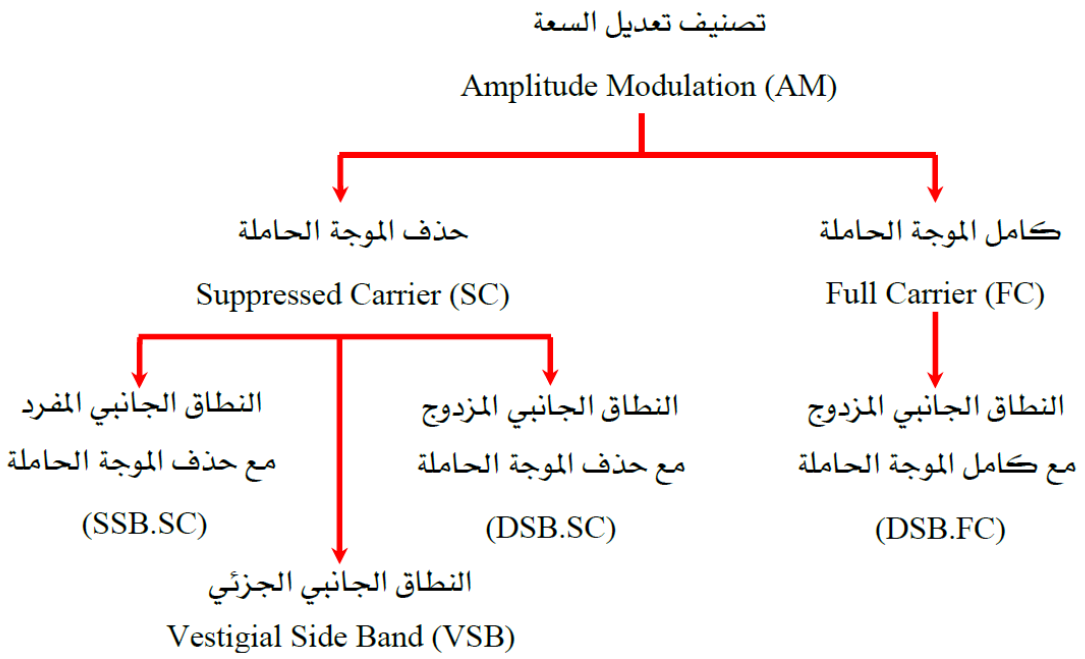
تعديل السعة **" AM "** هو تغيير سعة الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع بحيث تتناسب طرديًا مع اشارة المعلومات الأساسية $v_{m(t)}$ ، الشكل رقم (1) يوضح مخططاً مبسطاً لعملية تعديل السعة والذي يتألف من معدّل السعة **" Modulator "وهو عبارة عن جهاز ذو دخلين خصائصه غير خطية، احداهما مخصص لإشارة المعلومات والتى يطلق عليها اسم اشارة التعديل Modulating Signal والآخر مخصص للموجة الحاملة Carrier Wave العالية التردد، والخرج نحصل عن طريقه على الموجة المعدّلة Modulated Signal .**



الشكل رقم (1): يوضح معدّل السعة Amplitude Modulator

2- الأنواع المختلفة لتعديل السعة Different Types of Amplitude Modulation

يمكن تصنيف أنواع تعديل السعة بناءً على الموجة الحاملة الى قسمين رئيسين كما في الشكل رقم (2) ، الأول تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة والثاني مع حذف الموجة الحاملة ، والقسم الثاني بدوره ينقسم الى ثلاثة أنواع هي؛ **تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة، وتعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد، ثم تعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي.**



الشكل رقم (2): يوضح تصنيف الأنواع المختلفة لتعديل السعة

3- النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة Double Side Band Suppressed Carrier

تتميز أنظمة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة DSB.SC **بسهولة التوليد** ، وفي المقابل نجد أنه لا يمكن ازالة التعديل لمثل هذه الأنظمة الا بتقنية الكشف المترابط وما يتبع ذلك من دوائر تتبّع الموجة الحاملة ويستخدم هذا النوع من التعديل في ارسال

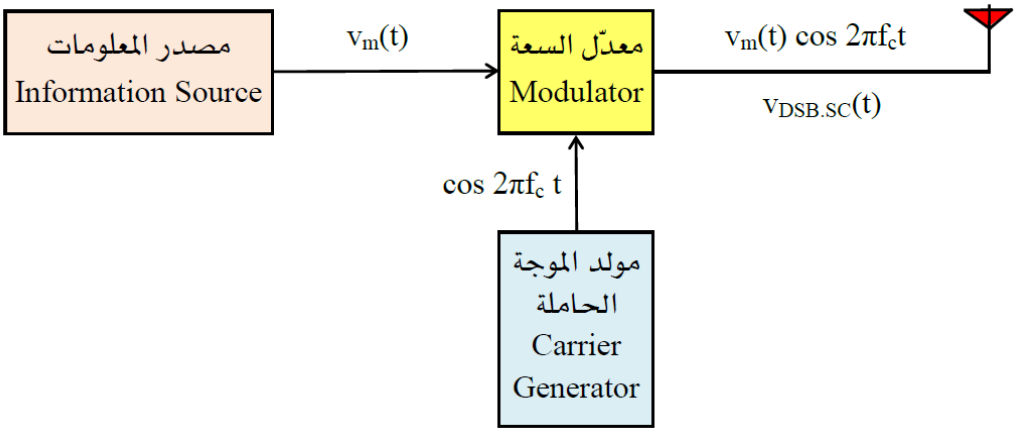
المعلومات الخاصة **بالألوان في الإرسال التلفزيوني وأيضا في محطات التقوية لبعض أنواع الإرسال الإذاعي وذلك للتوفير في القدرة المرسلة** والذي سوف نتعرف عليه خلال هذه الوحدة.

3. A- مخطط تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة DSB.SC

يتم اختيار الموجة الحاملة السريعة $\cos f_c t$ بتردد f_c كبير جدًّا مقارنة بأقصى تردد f_m في إشارة المعلومات الأساسية المطلوب إرسالها $v_m(t)$. أما قيمة تردد الموجة الحاملة فتتعلق بطبيعة قناة الإرسال وأبعاد الهوائي بالإضافة إلى طريقة الكشف المستخدمة عند الاستقبال. وللحصول على إشارة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة $v_{DSB.SC}(t)$ يتم ضرب الموجة الحاملة $\cos f_c t$ في إشارة المعلومات الأساسية $v_m(t)$ كما يلي:

$$v_{DSB.SC}(t) = v_m(t)\cos 2\pi f_c t \qquad (1)$$

بناءً على عملية الضرب في المعادلة (1) يمكن رسم المخطط الصندوقي المبسط لمرسل أنظمة (DSB.SC) كما في الشكل رقم (3) حيث تتم عملية الضرب في معدّل السعة أوModulator .



الشكل رقم (3): يوضح المخطط الصندوقي المبسط لمرسل أنظمة (DSB.SC)

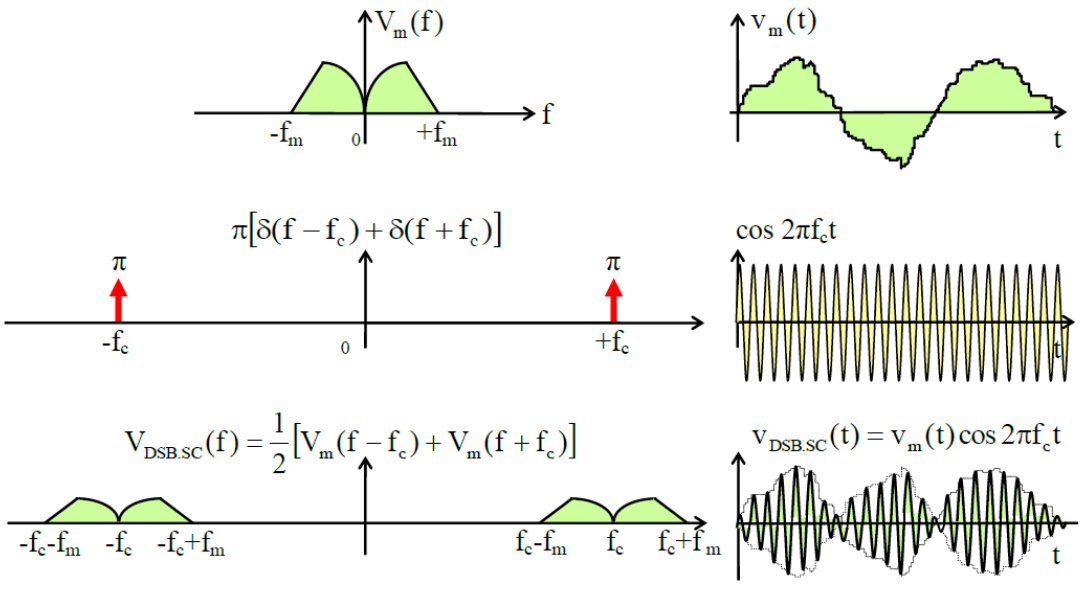
وطبقا لنظرية التعديل فإن عملية الضرب سوف تؤدي إلى إزاحة طيف إشارة المعلومات الأساسية $V_m(f)$ حول التردد العالي للموجة الحاملة f_c على شكل جانبين كما يلي:

$$V_{DSB.SC}(f) = \frac{1}{2}[V_m(f - f_c) + V_m(f + f_c)] \qquad (2)$$

حيث تمثل المركبة $V_m(f+f_c)$ الجانب العلوي بعد التعديل بينما المركبة $V_m(f-f_c)$ فتمثل الجانب السفلي.

B.3- التمثيل الزمني والترددي لعملية التعديل في أنظمة (DSB.SC)

الشكل رقم (4-أ) يوضح التمثيل الزمني لعملية التعديل أو الضرب لكل من إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ مع الموجة الحاملة $V_c(t)$ طبقاً للمعادلة رقم (1) الذي يوضح التحرك البطيء لإطار اشارة المعلومات يتذبذب بنفس حركة الموجة الحاملة السريعة ، وفي المقابل نجد أن الشكل (4 -ب) يبين كيفية ازاحة الطيف الترددي لإشارة المعلومات $V_m(f)$ حول تردد الموجة الحامل(f_c) طبقا للمعادلة رقم (2) ، الى كل من الجانب العلوي($V_m(f+f_c$ والجانب السفلي $V_m(f-f_c$) بالإضافة الى انخفاض الجهد الى النصف.



أ. التمثيل الزمني ب. التمثيل الترددي

الشكل رقم (4) : توليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملةDSB.SC

C.3- عرض النطاق الترددي لأنظمة (DSB.SC)

من الشكل رقم (4-ب) نجد أن النطاق الترددي المطلوب لإرسال اشارة تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة يكافئ ضعف أقصى تردد لإشارة المعلومات.

$$BW_{DSB.SC} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m \qquad (3)$$

4- النطـاق الجانبـي المـزدوج مـــع كامـــل الموجـــة الحـاملـــــةDouble Side Band Full Carrier

على الرغم من وجود عدة أنواع من اشارات تعديل السعة، فإن تعديل السعة ذو النطـاق الجـانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة **هو الأكثر استعمالا DSB.FC لذا يرمز لـه للتبسيط AM. ويستخدم هذا النوع من تعديل السعة في البث الإذاعي المحلي للموجات المتوسطة Medium Waves وكذلك البث الإذاعي للموجات القصيرة Short wave عبر الدول.**

وترجع أهمية هذا النوع من تعديل السعة في سهولة كشف أو ازالة التعديل عند الاستقبال وذلك من خلال ارسال الموجة الحاملة الكاملة. فالإشارة المرسلة تتكون من حاصل الجمع الخطي لكل من الموجة الحاملة والموجة المعدّلة السابقة كما يلي :

$$v_{AM}(t) = v_{DSB.FC}(t) = V_c \cos 2\pi f_c t + v_m(t) \cos 2\pi f_c t \qquad (4)$$

$$v_{AM}(t) = v_{DSB.FC}(t) = [V_c + v_m(t)] \cos 2\pi f_c t \quad \& \quad V_c \geq v_m(t)_{max} \qquad (5)$$

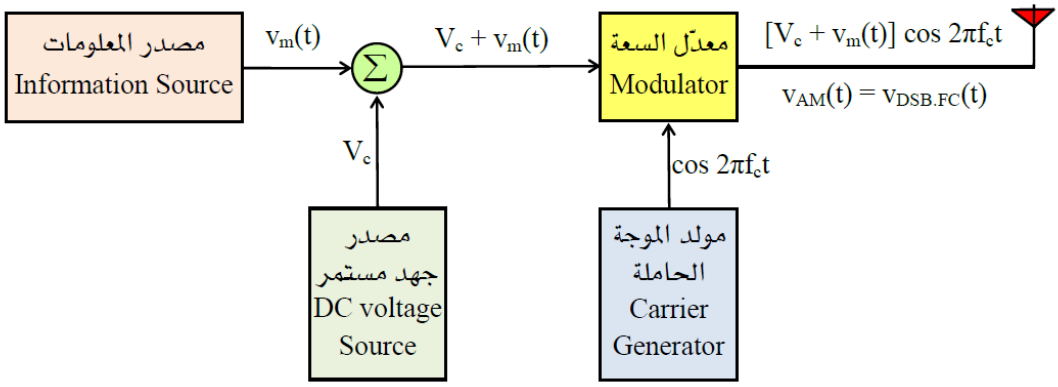
A.4-مخطط تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة DSB.FC

يمكن رسم المخطط الصندوقي المبسط لمرسل تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة(DSB.FC) في الشكل رقم (5) وهو يتركب من عمليتين متتاليتين:

- جمع: إضافة الجهد V_c على إشارة المعلومات $v_m(t)$ للحصول على $V_c+v_m(t)$.
- تعديل: ضرب المجموع $V_c+v_m(t)$ بالموجة الحاملة $\cos 2\pi f_c t$ لإنتاج إشارة $v_{DSB.FC}(t)$.

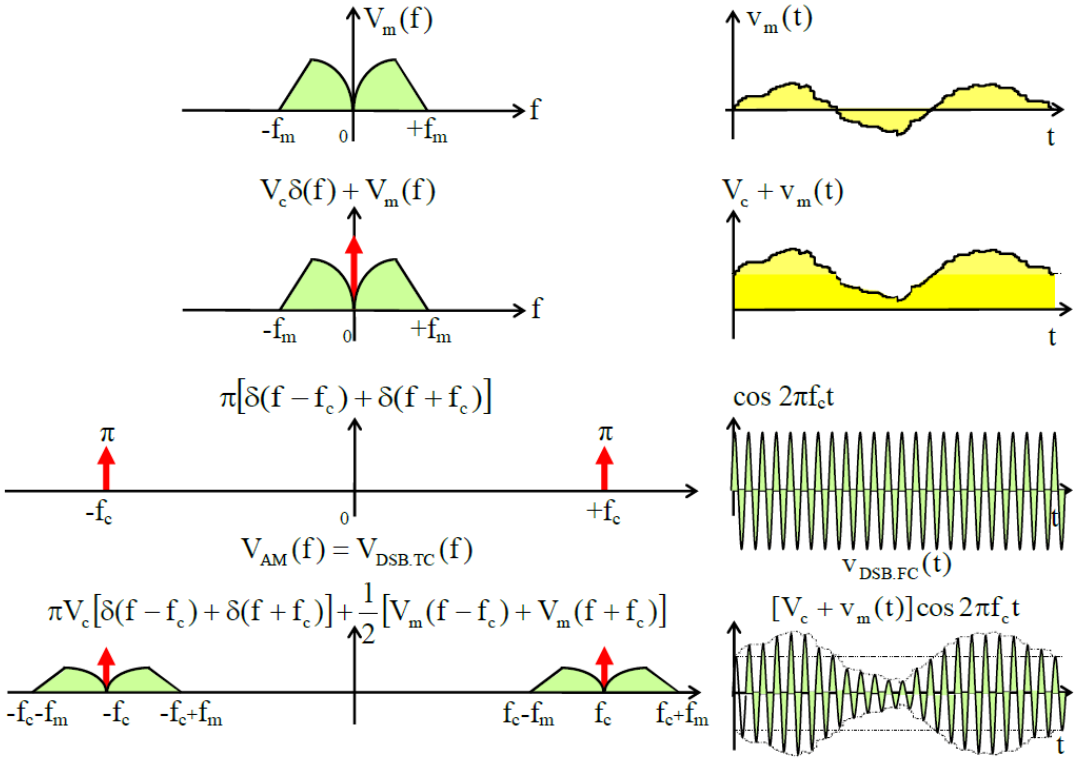
من المعلوم أن عملية الضرب تؤدي إلى إزاحة طيف إشارة المعلومات الأساسية $V_m(f)$ حول التردد العالي للموجة الحاملة f_c على شكل جانبين. والآن يضاف إلى ذلك طيف الموجة الحاملة الجيبية عند التردد f_c ليصبح الطيف الكلي لتعديل السعة كما يلي:

$$V_{AM}(f) = V_m\pi[\delta(f-f_c)+\delta(f+f_c)]+\frac{1}{2}[V_m(f-f_c)+V_m(f+f_c)] \qquad (6)$$



الشكل رقم (5) : المخطط الصندوقي للمرسل في أنظمة DSB.FC

هناك العديد من الدوائر التي يمكن استخدامها لتوليد تعديل السعة مع كامل الموجة الحاملة AM.احدى هذه الدوائر تستخدم الدايود كعنصر غير خطي.



ب. التمثيل الترددي　　أ. التمثيل الزمني

الشكل (6): توليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة DSB.FC

المحاضرة السادسة (Sixth Lecture)

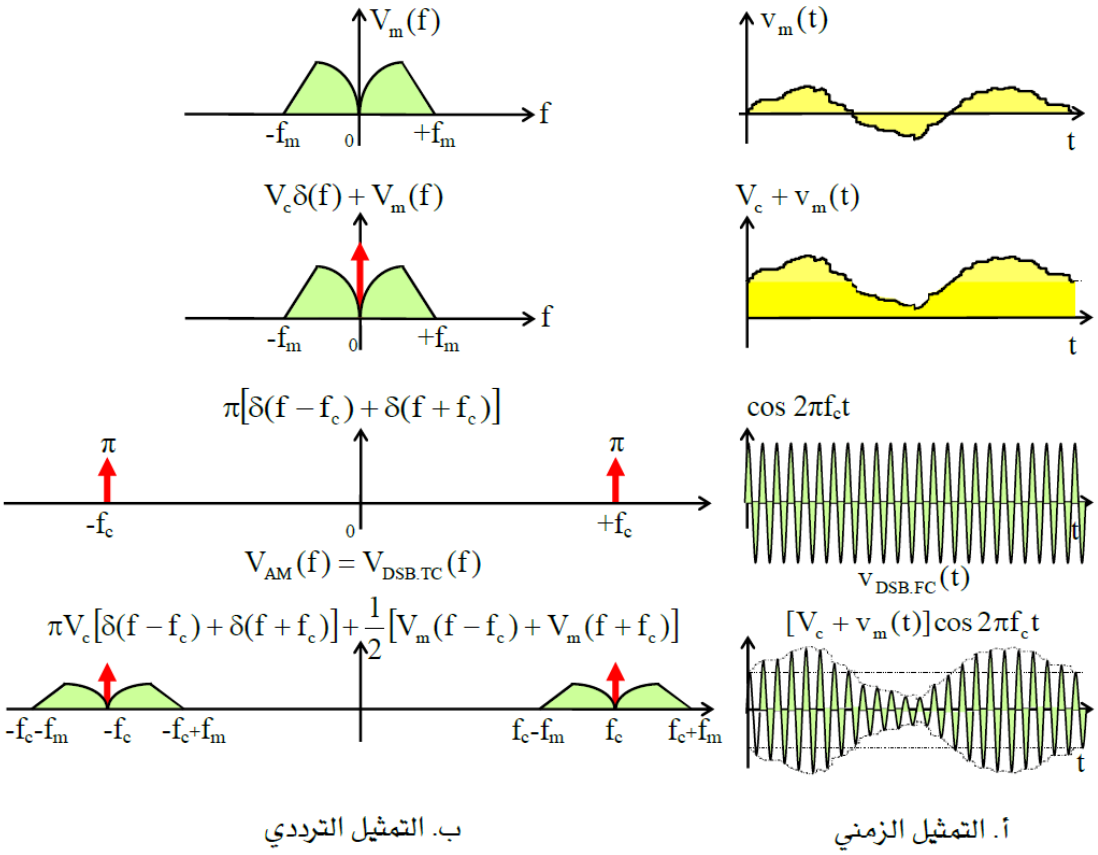
B.4- التمثيل الزمني والترددي لعملية التعديل في أنظمة DSB.FC

العلاقة بين إشارة المعلومات الأساسية $v_m(t)$، والموجة الحاملة $\cos 2\pi f_c t$ والموجة الناتجة عن عملية التعديل $v_{AM}(t)$ موضحة في الشكل ( ) في كل من المجالين الزمني والترددي حيث تؤثر إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض في سعة الموجة الحاملة ذات التردد العالي. هذه العلاقة سوف نحدد طبيعتها الرياضية من خلال هذه الوحدة عند تناولنا دراسة توزيع الجهد لإشارة تعديل السعة.

C.4- خصائص الموجة المعدّلة Modulated Wave Characteristics

التمثيل الزمني في الشكل (1- أ) يوضح كيف أن التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المعدّلة $v_{AM}(t)$ أثناء عملية التعديل هو نفس التغيير الذي يحدث لسعة إشارة التعديل أو إشارة المعلومات الأساسية $v_m(t)$. لذلك تتميز الموجة المعدّلة الناتجة عن عملية التعديل بما يلي:

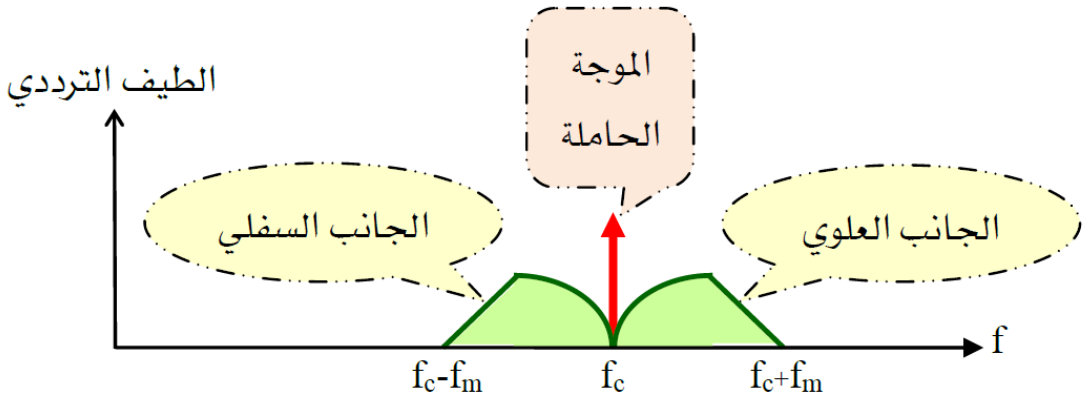
- تردد الغلاف الخارجي للموجة المعدّلة $v_{AM}(t)$ يساوي تردد إشارة التعديل $v_m(t)$.
- الغلاف الخارجي للموجة المعدّلة $v_{AM}(t)$ مطابق تمامًا لشكل إشارة التعديل $v_m(t)$.
- يرتكز طيف الموجة المعدّلة $v_{AM}(t)$ حول التردد العالي للموجة الحاملة f_c.



ب. التمثيل الترددي　　أ. التمثيل الزمني

الشكل (1): توليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة DSB.FC

ان تأثير عملية التعديل هو ازاحة طيف اشارة المعلومات في المجال الطيفي بحيث ينعكس بالتساوي حول تردد الموجة الحاملة fc كما في الشكل رقم (2) نلاحظ من الشكل أن طيف الموجة المعدّلة والمتمركز عند التردد fc يتكون مما يلي:



الشكل (2): الطيف الترددي للموجة المعدّلة AM

النطاق الجانبي العلوي: Upper Sideband "USB"

النطاق الجانبي العلوي USB هو عبارة عن عرض النطاق المحصور بين الترددين f_c وf_c+f_m حيث f_c تردد الموجة الحاملة f_m أقصى تردد لإشارة التعديل كما في المعادلة:

$$f_c \le USB \le f_c+f_m \qquad (1)$$

النطاق الجانبي السفلي: Lower Sideband "LSB"

أيضًا النطاق الجانبي السفلي LSB هو عرض النطاق المحصور بين التردد f_c والتردد f_c-f_m أي أن:

$$f_c - f_m \le LSB \le f_c \qquad (2)$$

عرض النطاق لتعديل السعة: AM Bandwidth

إن عرض نطاق إشارة تعديل السعة BW_{AM} يمكن أن يستنتج بمعرفة أقصى تردد لإشارة المعلومات الأساسية f_m تبعا للشكل (2) كما يلي:

$$BW_{AM} = BW_{DSB.FC} = (f_c+f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m \quad Hz \qquad (3)$$

مثال رقم (1) :

إذا كان جهاز تعديل السعة DSB.FC ذا دخلين، الأول الموجة الحاملة ذات تردد f_c=100kHz، والثاني إشارة المعلومات الأساسية ذات تردد f_m = 5kHz. احسب ما يلي:

أ. الحدود الترددية للنطاق الجانبي العلوي USB.
ب. الحدود الترددية للنطاق الجانبي السفلي LSB.
ج. عرض النطاق الترددي للخرج BW_{AM}.
د. ارسم الطيف الترددي للخرج.

الحل :

أ. نوجد الحدود الترددية للنطاق الترددي العلوي USB من المعادلة رقم (1)

$$f_c \le USB \le f_c + f_m \qquad (4)$$

$$100\ kHz \le USB \le 105\ kHz \qquad (5)$$

ب. نوجد الحدود الترددية للنطاق الترددي السفلي LSB من المعادلة (2):

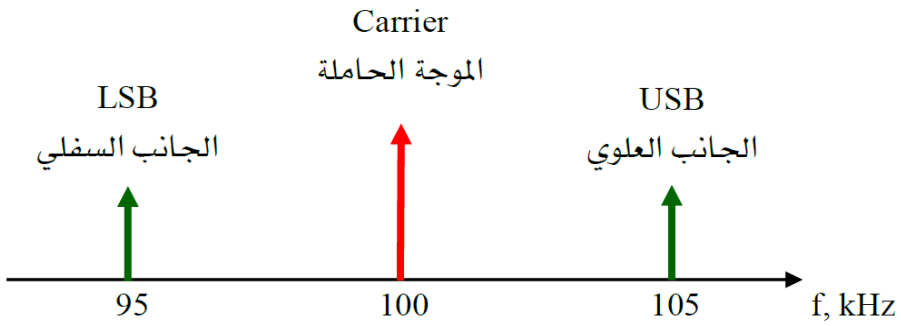
$$f_c - f_m \le LSB \le f_c \qquad (6)$$

$$95\ kHz \le LSB \le 100\ kHz \qquad (7)$$

ج. حسب المعادلة (3) فإن عرض النطاق الترددي للخرج:

$$BW_{AM} = 2f_m = 2x5 = 10\ kH \qquad (8)$$

د. رسم الطيف الترددي: ومما سبق يمكن رسم الطيف الترددي كما يلي:



يبين الطيف الترددي للمثال رقم (1):الشكل رقم (3)

5- معامل التعديل ونسبته المئوية Coefficient of Modulation and Its Percentage

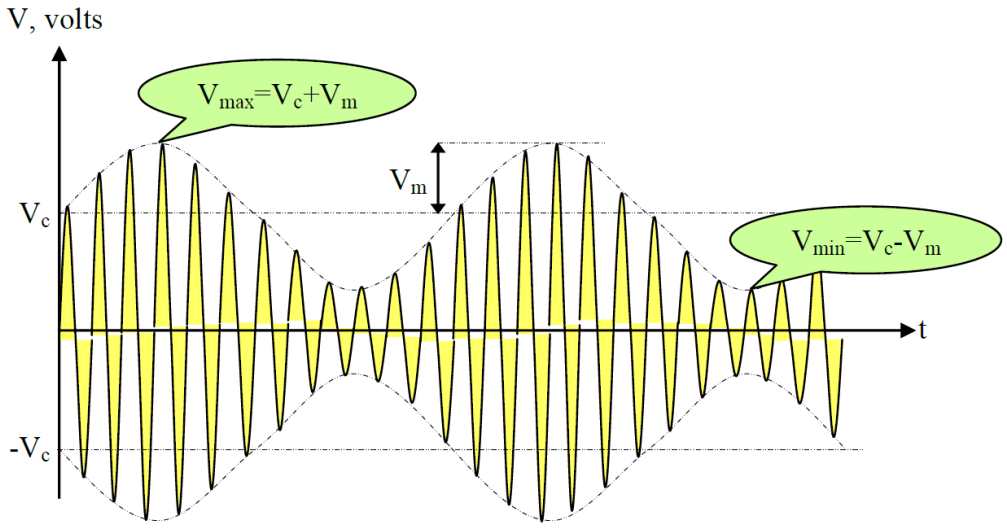
معامل التعديل m يعبر عن عمق عملية تعديل السعة ونستطيع من خلاله قياس مقدار التغير الذي يحدث في سعة الموجة المعدّلة AM أثناء عملية التعديل. يُحسب معامل تعديل السعة m من العلاقة التالية: حيث V_m أقصى سعة لإشارة المعلومات الأساسية $v_m(t)$ وتقاس بالفولت، V_c أقصى سعة للموجة الحاملة $v_c(t)$ وتقاس بالفولت.

$$m = \frac{V_m}{V_c} \qquad (9)$$

والجدير بالذكر أنه من المناسب أن يتم صياغة معامل التعديل كنسبة مئوية، ومن ثم يمكن حساب النسبة المئوية لمعامل التعديل M كما بالعلاقة التالية:

$$M = \frac{V_m}{V_c} x100\ \% \qquad (10)$$

العلاقة بين معامل التعديل m والسعة القصوى لكل من إشارة التعديل V_m والموجة الحاملة V_c مبينة في الشكل (4) ومنه نستنتج ما يلي:



الشكل (4): العلاقة بين معامل التعديل m و V_c و V_m

$$V_{max} = V_c + V_m \qquad (11)$$

$$V_{min} = V_c - V_m \qquad (12)$$

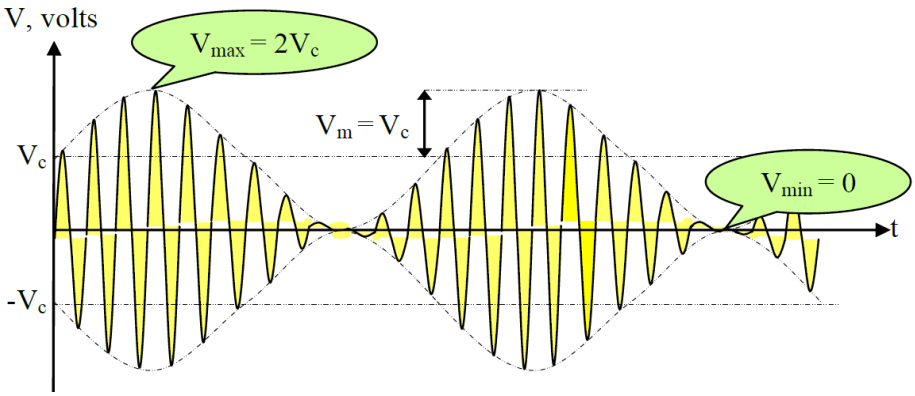
ثم بجمع وطرح المعادلتين (11) و (12) نحصل على:

$$V_c = \frac{1}{2}(V_{max} + V_{min}) \qquad (13)$$

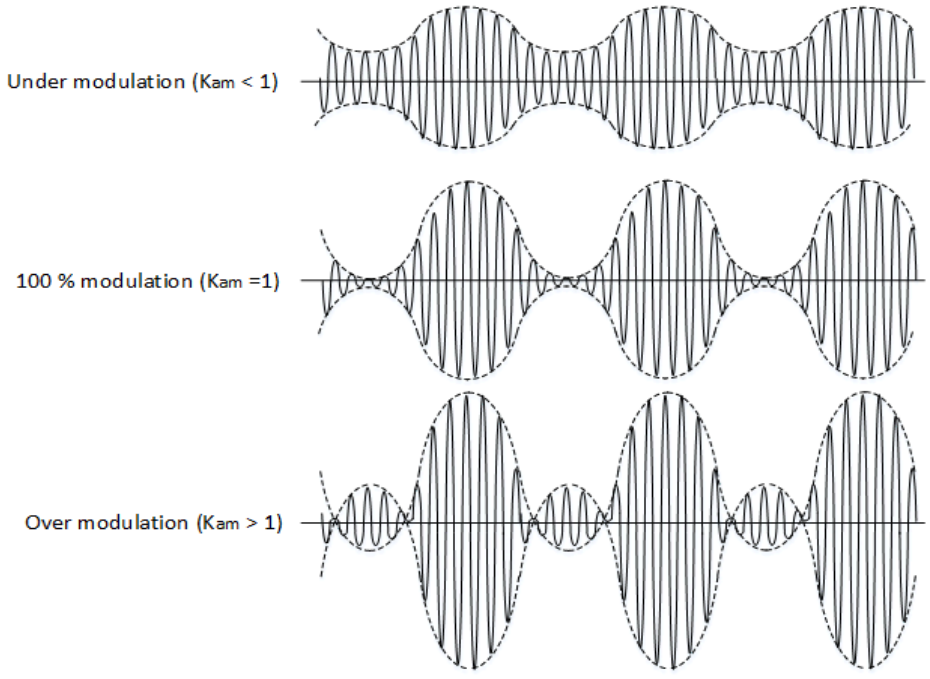
$$V_m = \frac{1}{2}(V_{max} - V_{min}) \qquad (14)$$

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} \qquad (15)$$

حيث V_{max} يمثل قيمة الجهد الأقصى للموجة المعدّلة AM بينما V_{min} يمثل قيمة الجهد الأدنى لها. من المعادلة (9) يتضح أن نسبة التعديل تصل إلى 100% عندما يتساوى جهد إشارة المعلومات مع جهد الموجة الحاملة $V_m = V_c$. عندئذ يحدث تماس أو تقابل لطرفي غلاف الموجة المعدّلة على محور الزمن كما في الشكل (5). وفي هذه الحالة نستنتج من الشكل (5) أن $V_{min} = 0$ ، ومن ثم نستنتج من المعادلة (13) أن $V_{max} = 2V_c$.



الشكل رقم (5): يبين الموجة المعدّلة AM100 % عندما تبلغ نسبة التعديل

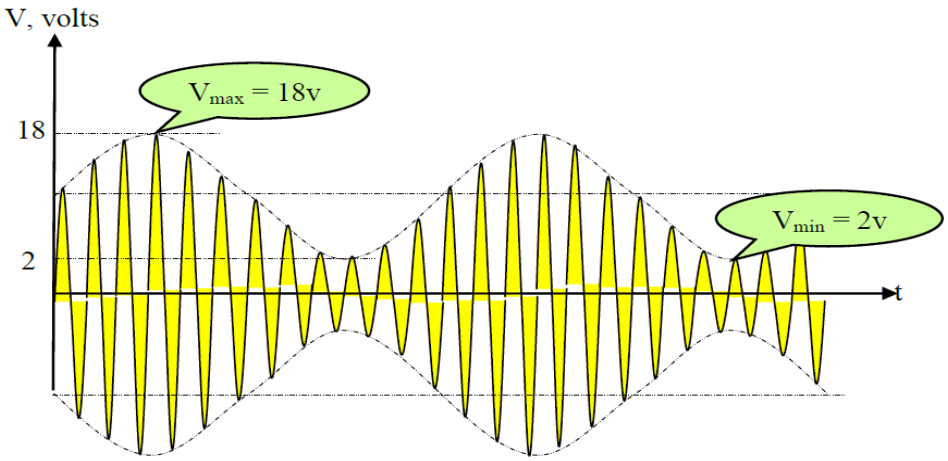


الشكل رقم (6): يبين انواع الموجة المعدّلة AM

مثال رقم (1) :

باستخدام موجة AM المبينة في الشكل (7) التالي، أوجد ما يلي:

أ. السعة القصوى للموجه الحاملة قبل التعديل.



الشكل (7): تعديل السعة بالنطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة AM

ب. التغير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي للموجة المعدّلة AM.

ت. معامل التعديل m.

ث. النسبة المئوية للتعديل M.

الحـــل

أ. من الشكل السابق نجد أن $V_{max} = 18v$, $V_{min} = 2v$ وبالتطبيق في المعادلة (13) نجد أن:

$$V_c = \frac{1}{2}(V_{max} + V_{min}) = \frac{1}{2}(18+2) = 10 \text{ V} \qquad (16)$$

ب. كذلك بالتطبيق في المعادلة (14) نجد أن:

$$V_m = \frac{1}{2}(V_{max} - V_{min}) = \frac{1}{2}(18-2) = 8 \text{ V} \qquad (17)$$

ت. بتطبيق المعادلة (15):

$$m = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}} = \frac{18-2}{18+2} = \frac{16}{20} = 0.8 \qquad (18)$$

ث. بتطبيق المعادلة (10):

$$M = \frac{V_m}{V_c} x100\ \% = \frac{8}{10} x100\ \% = 80\ \% \qquad (19)$$

6- توزيع قدرة تعديل السعة AM Power Distribution

نعلم من دراستنا للدوائر الكهربائية أن القدرة المستهلكة في حمل مقاومته R_L مع انخفاض جهد قدره V تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R_L} \qquad (20)$$

أما القيمة المتوسطة للقدرة فتحسب من القيمة الفعالة للجهد أو ما يطلق عليه اسم جذر متوسط التربيع V_{rms} كما يلي:

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^{\ 2}}{R_L} \qquad (21)$$

كذلك في الإشارات الجيبية نجد أن هذه القيمة الفعالة للجهد V_{rms} ترتبط مع السعة القصوى للجهد V_m بالعلاقة التالية:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad (22)$$

وبالتعويض في المعادلة (22) نجد أن:

$$P_{av} = \frac{V_m^{\ 2}}{2R_L} \qquad (23)$$

تبعا للمعادلة (23) يمكن استنتاج القيمة المتوسطة لقدرة الموجه الحاملة P_c بالوات المستهلكة في حمل مقاومته R_L بالأوم بدلالة السعة القصوى للموجة الحاملة V_c بالفولت:

$$P_c = \frac{V_c^{\ 2}}{2R_L} \qquad (24)$$

بالمثل يمكن حساب القدرة لكل من الجانب العلوي أو السفلي بدلالة السعة القصوى لهما من المعادلة (24) كما يلي:

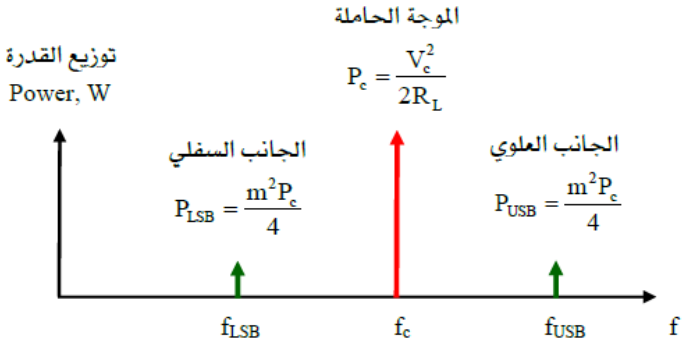
$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{\left(\frac{mV_c}{2}\right)^2}{2R_L} = \frac{m^2 V_c^2}{8R_L} \qquad (25)$$

بالمقارنة بين المعادلة (24) والمعادلة (25) نجد أن:

$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{1}{4}m^2P_c \qquad (26)$$

وبالتالي نستطيع حساب القدرة الكلية P_T للموجة المعدّلة AM كما يلي:

$$P_T = P_c + P_{LSB} + P_{USB} = P_c + \frac{1}{4}m^2P_c + \frac{1}{4}m^2P_c = \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)P_c \qquad (27)$$



الشكل رقم (8) :يبين الطيف الترددي لقدرة الموجة المعدلة AM مع إشارة التعديل احادي التردد

ملاحظة : إحدى العيوب الرئيسة لإرسال تعديل السعة DSB.FC هي أن معلومات الإشارة المرسلة توجد فقط في الجانبين، بينما معظم القدرة تستهلك في الموجة الحاملة. هنا تجدر الإشارة بأن قدرة الموجة الحاملة لا تضيع هباءً بل إن جزءً منها يسمح باستعمال دائرة فك التعديل البسيطة وبأقل تكلفة وهذا يعتبر في حد ذاته أحد الخواص المميزة لأنظمة DSB.FC.

مثال رقم (2) :

لدينا المعطيات التالية لموجة DSB.FC: سعة الموجة الحاملة $10V_p$ ، مقاومة الحمل 10Ω والتعديل تم عند 100%. أوجد ما يلي:

أولا: قدرة الموجة الحاملة P_c.

ثانيًا: قدرة كل من الجانبين العلوي والسفلي.

ثالثًا: القدرة الكلية للجانبين.

رابعًا: القدرة الكلية للموجه المعدّلة P_T.

خامسًا: ارسم الطيف الترددي للقدرة.

الحل :

أولا: نبدأ بحساب قدرة الموجة الحاملة P_c باستخدام المعادلة (24):

$$P_c = \frac{V_c^2}{2R_L} = \frac{10^2}{2x10} = 5\ W \qquad (28)$$

ثانيًا: ومن المعادلة (26) نحسب قدرة الجانب السفلي أو العلوي حيث m=1 لأن M=100%:

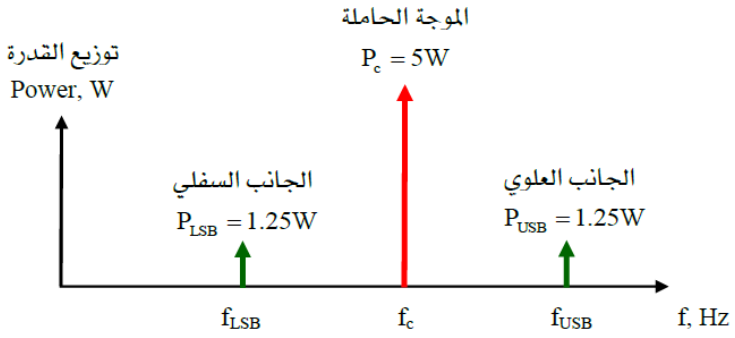
$$P_{LSB} = P_{USB} = \frac{1}{4}m^2P_c = \frac{1}{4}(1^2x5) = 1.25\ W \qquad (29)$$

ثالثًا: أما القدرة الكلية للجانبين فتساوي ضعف القدرة للجانب الواحد أي 2.5W.

رابعًا: حساب القدرة الكلية يكون باستخدام المعادلة (27) كما يلي:

$$P_T = \left(1+\frac{m^2}{2}\right)P_c = \left(1+\frac{(1)^2}{2}\right)x5 = 7.5\ W \qquad (30)$$

خامسًا: وأخيرا نستطيع رسم الطيف الترددي للقدرة كما في الشكل



الشكل رقم (9) :يبين التمثيل الطيفي لقدرة الموجة المعدّلة للمثال رقم (2) DSB.FC

المحاضرة السابعة (Seventh Lecture)

5- النطـــاق الجانـبي المفـرد مع حذف المـوجـــة الحامـــلة Single Sideband Suppressed Carrier

في الدراسة السابقة من تعديل السعة DSB.FC وجدنا أن مركبة الموجة الحاملة تحتوي على معظم الطاقة المرسلة دون أن تشتمل على المعلومات المطلوبة، بل هذه المعلومات تكون موجودة في المركبات الجانبية العليا والدنيا فقط.

ونظرا لأن معظم قدرة الموجة الحاملة لا يستفاد منها فإنها تعتبر قدرة مفقودة ويفضل التخلص منها للاستفادة من المركبات الجانبية فقط وهو ما يسمى تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة DSB.SC، الذي سبق تقديمه في صدر هذه الوحدة.

في المقابل، حيث المعلومات الموجودة في النطاق الجانبي السفلي توجد أيضا في النطاق الجانبي العلوي فيمكننا إرسال أحد هذه الجوانب فقط وهو ما يطلق عليه اسم تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد مع حذف الموجة الحاملة SSB.SC.

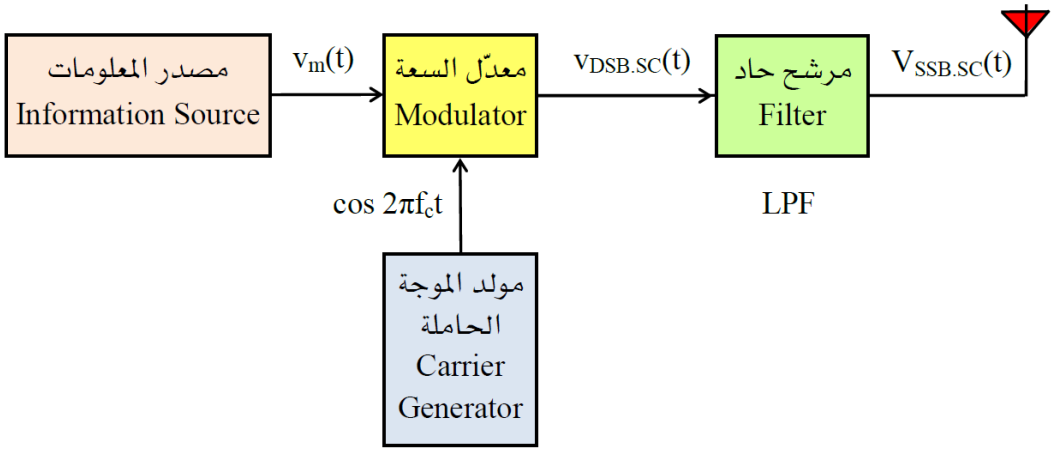
في هذا النوع SSB.SC يتم إرسال أحد النطاقات الجانبية فقط (العلوي أو السفلي) بدون مركبة الموجة الحاملة. ويستخدم هذا النوع من التعديل في شبكة الاتصالات الهاتفية وبعض الاتصالات الخاصة بقوات الدفاع والشرطة وأيضا في محطات التقوية لبعض أنواع الإرسال الإذاعي وذلك للتوفير في القدرة المرسلة وأيضا للتوفير في النطاق الترددي للموجة المعدّلة المرسلة.

5-1 المخطط الصندوقي لتعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد SSB.SC

يمكن الحصول على الموجة المعدّلة بنظام تعديل السعة ذي النطاق الجانبي المفرد مع حذف الموجة الحاملة SSB.SC بطريقتين. الأولى باستخدام مرشح ذو خصائص قطع حادة والثانية بإزاحة الطور وسوف نتناولهما فيما يلي بالتفصيل.

أولا: طريقة المرشح الحاد Method of Sharp Filter

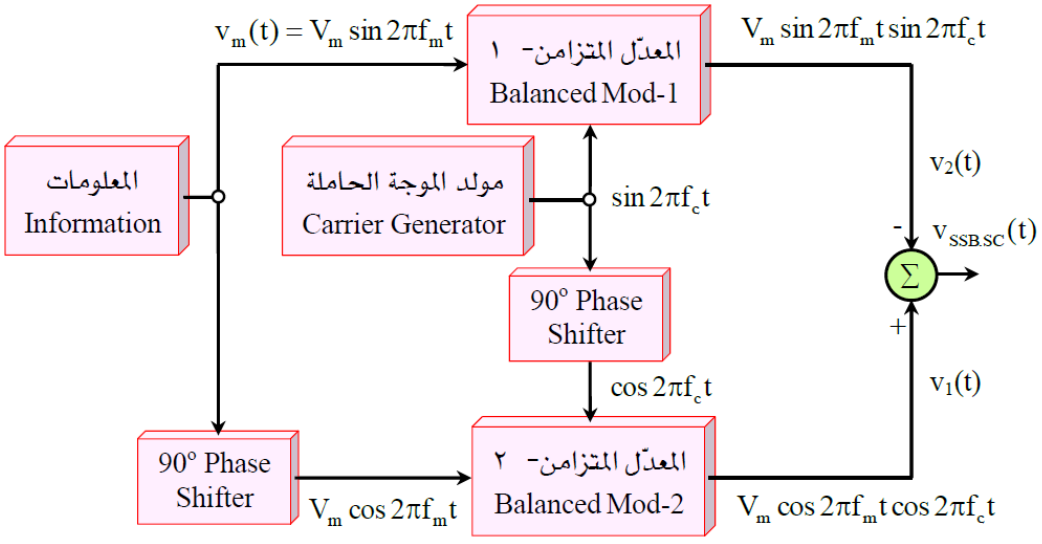
يستخدم المعدّل المتوازن لتوليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج DSB.SC يعقبه استخدام مرشح تمرير نطاق ترددي مناسب لتمرير النطاق الجانبي المفرد المطلوب (العلوي أو السفلي) والتخلص من النطاق الجانبي الآخر الغير مرغوب فيه. الشكل (1) يبين المخطط الصندوقي لهذا النوع من التعديل مع استخدام مرشح LPF.



الشكل (1): المخطط الصندوقي لمرسلSSB.SC باستخدام المرشح الحاد

ثانيًا: طريقة إزاحة زاوية الطور Method of Phase Angle Shift

الشكل (2) يبين المخطط الصندوقي لتوليد إشارة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد SSB باستخدام فكرة إزاحة الطور.



الشكل (2): المخطط الصندوقي لمرسل SSB.SC باستخدام إزاحة الطور

وفيه نلاحظ وجود زوج من المعدّل المتوازن لتوليد تعديل السعة من النوع DSB.SC بشرط وجود زاوية طور قدرها ٩٠° بين دخلي الموجة الحاملة للمُعدّليْن وذلك باستخدام دائرة إزاحة الطور Phase Shifter 90°. كذلك نستخدم دائرة إزاحة الطور لتحقيق زاوية قدرها ٩٠° بين دخلي إشارة المعلومات للمُعدّليْن كما هو مبين بالشكل.

ونستطيع بسهولة تتبع عمل الدائرة بفرض إشارة المعلومات الأساسية جيبية ذات التردد f_m والسعة V_m كما في الشكل (2). يمكننا تحليل خرج حاصل الطرح طبقاً لاتجاه الإشارات الموضح بالشكل وإثبات أنه يمثل الجانب العلوي كما يلي:

$$v_{SSB.SC} = v_1(t) - v_2(t) = V_m \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_c t - V_m \sin 2\pi f_m t \sin 2\pi f_c t = V_m \cos 2\pi (f_c + f_m)t \qquad (1)$$

وفي المقابل فإن خرج الدائرة النهائي عند إجراء حاصل الجمع سوف يؤدي للحصول على الجانب السفلي كما يلي:

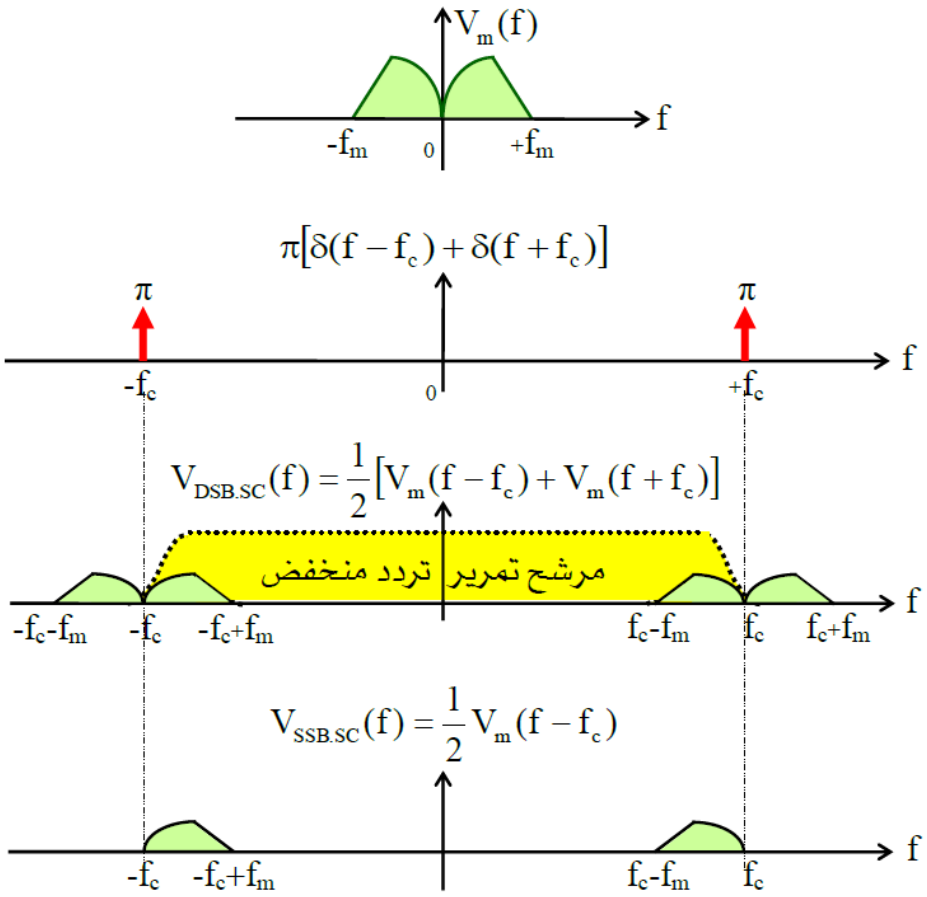
$$v_{SSB.SC} = v_1(t) + v_2(t) = V_m \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_c t + V_m \sin 2\pi f_m t \sin 2\pi f_c t = V_m \cos 2\pi (f_c - f_m)t \qquad (2)$$

تتميز هذه الطريقة بعدم انخفاض قدرة الخرج كما في حالة المرشح الحاد حيث أن قدرة أحد الجوانب تستخدم في تقوية الجانب الثاني. وعلى الرغم من أن كفاءة هذه الدائرة تعتمد على ضبط التوازن بين مُعدّلي الدائرة، فإن ذلك لا يعيبها حيث توجد آليات معروفة لضبط ذلك التوازن.

2-5 التمثيل الترددي للنطاق الجانبي المفرد SSB.SC

في البداية يبين الشكل (3) توليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج DSB.SC بإزاحة الطيف الترددي لإشارة المعلومات الأساسية $V_m(f)$ حول تردد الموجة الحاملة f_c إلى كل من الجانب العلوي $V_m(f + f_c)$ والجانب السفلي $V_m(f - f_c)$.

ولكي نحصل على النطاق الجانبي السفلي LSB فقط نستخدم مرشح تمرير الترددات المنخفضة LPF بالمواصفات الموضحة في الشكل (3). وفي المقابل، يمكن الحصول على النطاق الجانبي العلوي USB باستخدام مرشح تمرير الترددات العالية HPF.



الشكل (3): توليد إشارة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد SSB.SC

3-5 عرض نطاق تعديل السعة SSB.SC

عرض النطاق الترددي المطلوب لإرسال تعديل السعة بنظام SSB.SC يعتبر الأكفأ في أنظمة تعديل السعة حيث يتم إرسال نطاق جانبي مفرد فقط كما يلي:

$$BW_{SSB.SC} = f_m \quad Hz \qquad (3)$$

6- تعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي Vestigial Side Band Amplitude Modulation

عند دراسة بعض إشارات المعلومات كإشارة التلفزيون TV أو الفاكس Facsimile أو البيانات Digital Data ذات السرعات العالية كما في الكمبيوتر نجد أن لها نطاقًا ترددياً عاليًا بالإضافة إلى أنها تحتوي على ترددات لا يمكن إهمالها خاصة عند الترددات المنخفضة.

باستخدام طريقة التعديل ذو النطاق الجانبي المزدوج سوف تشغل نطاقًا ترددياً عاليًا BW=2fm مما يقلل من كفاءة استخدام قنوات التراسل وهو ما يطلق عليه اسم الكفاءة الطيفية Spectral Efficiency.

في المقابل استخدام طريقة التعديل ذو النطاق الجانبي المفرد تعتبر طريقة غير عملية خاصة عند استخدام طريقة المرشح حيث يتسبب في فقد بعض محتويات المعلومات ذات التردد المنخفض.

تتم المواءمة بين هاتين الطريقتين باستخدام مرشح ذو نطاق ترددي مصمم بحيث يمرر معظم نطاق أحد الجوانب بالإضافة إلى جزء من النطاق الجانبي الآخر (في حدود ٢٥٪ من عرض نطاقه) وهو ما يسمى تعديل السعة ذات النطاق الجانبي الجزئي VSB. ويتميز بما يلي:

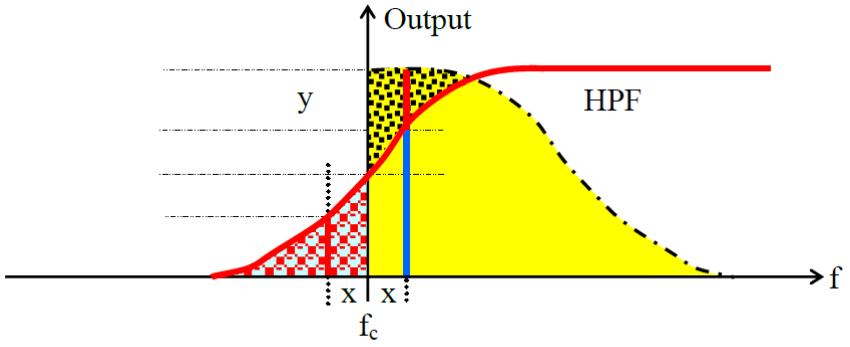
أولا: يجمع بين خصائص كلا من نظام تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج DSB.SC ونظام تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المفرد SSB.

ثانيًا: سهولة تصميم مرشح نطاق تردد الجانب مقارنة بالمرشح الحاد المطلوب في حالة SSB.SC كما سيتم توضيحه فيما يلي.

1-6 مواصفات مرشح الجانب Specifications of Side Filter

الوظيفة الرئيسة لهذا المرشح هي حذف أحد الجوانب مع تعويض مركبات الترددات المنخفضة والتى تأثرت بعملية الحذف بالمركبات الترددية المناظرة من الجانب الآخر. يوضح الشكل (4) المواصفات الطيفية لمرشح الجانب والذي يمكن أن يكون أحد نوعين:

- مرشح تمرير الترددات المنخفضة LPF يقل خرجه للنصف عند تردد الموجة الحاملة.
- مرشح تمرير الترددات العالية HPF يقل خرجه للنصف عند تردد الموجة الحاملة.

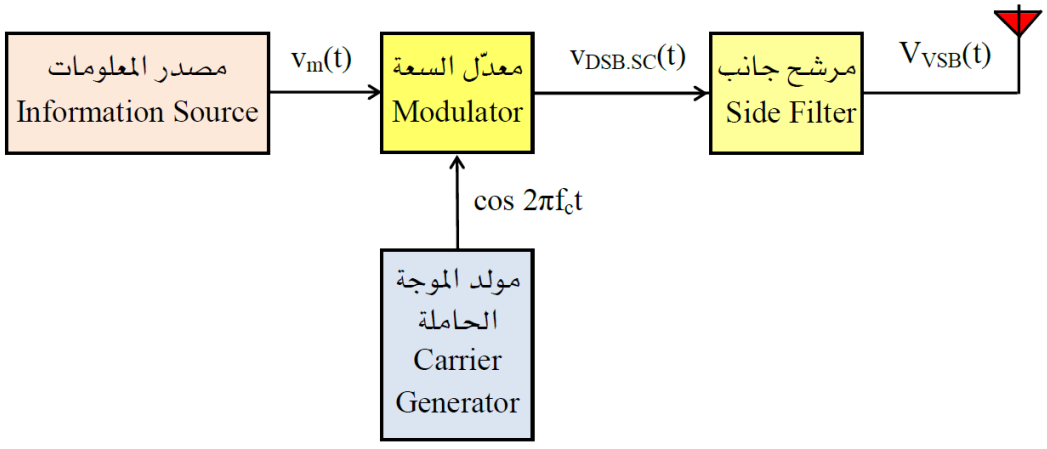


الشكل (4): مواصفات مرشح نطاق تردد الجانب HPF

2-6 المخطط الصندوقي لتعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي VSB

يمكن الحصول على تعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي VSB بتوليد إشارة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة DSB.SC. ثم يتم استخدام مرشح نطاق تردد الجانب لتمرير معظم النطاق الترددي لأحد الجوانب بالإضافة إلى جزء صغير من النطاق الجانبي للجانب الآخر.

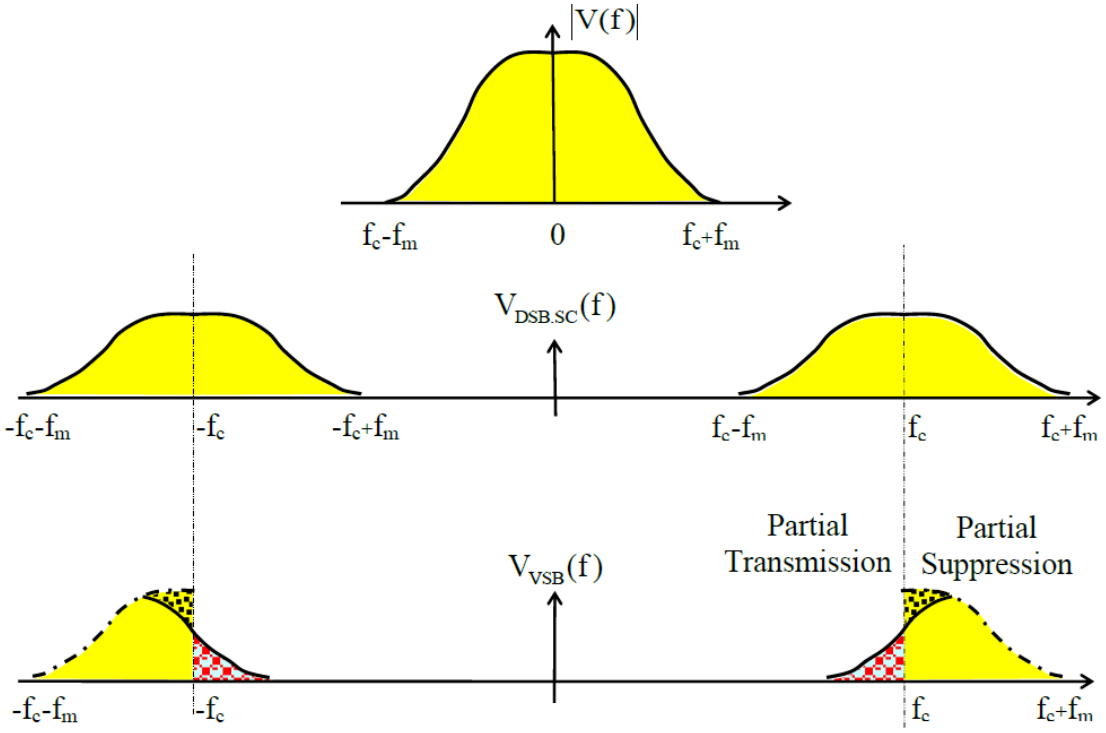
الشكل (5) يوضح استخدام مرشح جانب من النوع HPF والذي يمرر معظم الجانب العلوي وجزء من الجانب السفلي بحيث يعوض الترددات المضعفة والتي انخفضت نتيجة عملية الترشيح الغير متوازنة كما في الشكل (4).



الشكل (5): المخطط الصندوقي لمرسل VSB باستخدام HPF

3-6 التمثيل الترددي للنطاق الجانبي الجزئي VSB

الشكل (6) يبين آلية توليد تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج DSB.SC ثم استخدام مرشح تمرير تردد الجانب لتمرير معظم الجانب العلوي $V_m(f + f_c)$ وأثر من الجانب السفلي $V_m(f - f_c)$.



الشكل (6): تعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي

4-6 عرض نطاق تعديل السعة ذو النطاق الجانبي الجزئي VSB

من تعريف أنظمة VSB حيث يتم إرسال النطاق الترددي لأحد الجوانب f_m وجزء من الجانب الآخر لا يزيد عن 25% وبمراجعة الشكل (5) يمكن استنتاج عرض النطاق الترددي كما يلي:

$$BW_{VSB} \le f_m + 0.25\ f_m = 1.25 f_m \quad Hz$$

المحاضرة الثامنة (Eighth Lecture)
دوائر المزج (الدايود والترانسيستور) Mixer Circuits(Diodes & Transistors)

ما هي المازجات الإلكترونية؟

المازج الإلكتروني: هو جهاز يجمع بين إشارتين كهربائيتين أو إلكترونيتين أو أكثر في إشارة أو اثنتين من إشارات الإخراج المركبة، هناك دائرتان أساسيتان تستخدمان مصطلح الخلاط (المزج) ، لكنهما مختلفان تمامًا في اختلاف الدوائر ويمكن تصنيفها الى: المازجات المضافة والمازجات المضاعفة.

1- المازجات المضافة (Additive Mixer) :

تضيف دوائر المزج الإضافية إشارتين أو أكثر، مما يعطي إشارة مركبة تحتوي على مكونات التردد لكل إشارة من إشارات المصدر.

2- المازجات المضاعفة (Multiplicative Mixer):

تنتج المازجات المضاعفة المثالية ، إشارة خرج مساوية لمنتج إشارتي الإدخال، غالبًا ما تُستخدم المازجات المضاعفة في **الاقتران مع المذبذبات في مجال الاتصالات لتعديل ترددات الإشارة.**

❖ **أنـــــــواع المازجـــات (Type of Mixers) :**

1- **المازجـــات النشطة (Active Mixers)**

2- **المازجـــات الخاملة (Passive Mixers)**

1- **المازجـــات النشطة (Active Mixers)**

تستخدم المازجات النشطة في اجهزة التضخيم (مثل الترانزستور أو الأنبوب المفرغ) لزيادة قوة الاشارة المنتجة ، حيث تعمل المازجات النشطة على تحسين العزل بين المنافذ ، ولكنها قد تحتوي على ضوضاء أعلى واستهلاك أكبر للطاقة ، يمكن أن يكون المازج النشط **أقل تحملاً للحمل الزائد.**

2- **المازجات الخاملة (Passive Mixers)**

تستخدم دوائر المازجات الخاملة **عنصر دايود واحدًا أو أكثر** ، حيث تكون العلاقة غير خطية بين الجهد والتيار لتوفير عنصر الضرب في المزج الخامل ، **تكون إشارة الخرج المطلوبة دائمًا ذات طاقة أقل من إشارات الإدخال.**

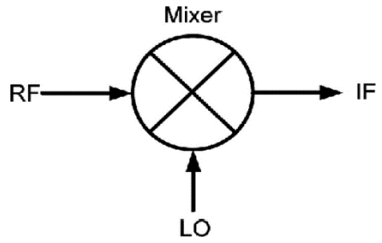
❖ **المـــــــــازج**

الترددي (Frequency Mixer) :

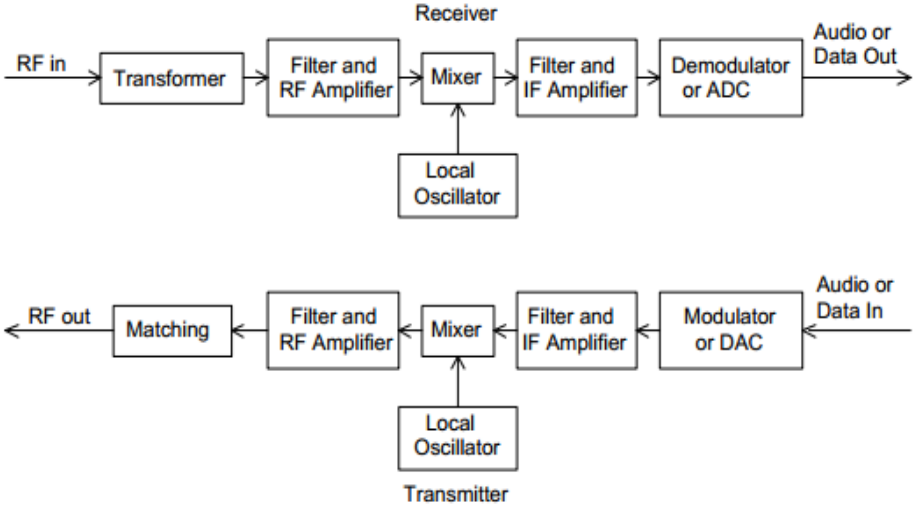
هي دائرة خصائصها تكون **غير خطي** ، يتلقى كمدخل له ترددين مختلفين ويقدم عند مخرجه مزيجاً من الإشارات عند عدة ترددات.

❖ المُخْلِطات (المازجات) هي أجهزة تحويل التردد حيث تسمح بتحويل الإشارات بين تردد عالٍ تردد (RF) مع المذبذب المحلي الى تردد وسيط(IF) .

❖ في أنظمة الاتصالات، يكون RF هو تردد الإرسال، والذي يتم تحويله إلى IF للسماح بتحديد انتقائي محسن (تصفية) وتنفيذ أسهل للتضخيم ذي الضوضاء المنخفضة والكسب العالي.



شكل رقم (1) يبين المازج الترددي



شكل رقم (2) دائرة الارسال والاستقبال في المازج الترددي

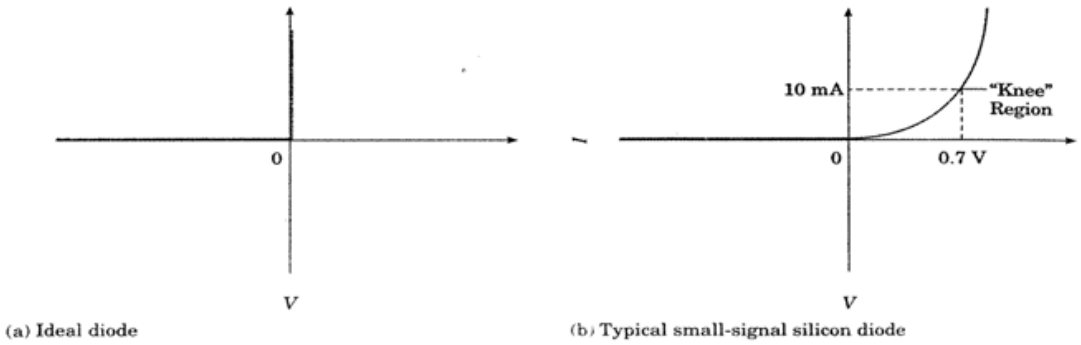
- المذبـــــــذب المحلي (LO) : هو عبارة عن مذبذب الكتروني يستخدم مع دوائر المزج لتغيير تردد إشارة عند تركيبه مع إشارة الادخال (RF) للحصول على التردد المتوسط (IF).
- **التـــــــــردد المتوسط(Intermediate Frequency (IF):** هو تردد يتم من خلاله تحويل تردد الناقل إليه كخطوة وسيطة في الإرسال أو الاستقبال، يتم إنشاء التردد المتوسط عن طريق خلط إشارة الناقل مع إشارة المذبذب المحلي في عملية تسمى ، **(heterodyning) (التغاير).**

استخدامات التردد المتوسط (Intermediate Frequency Used)

1- فـــي أجهـــزة استقبال البث حوالي 455 كيلو هرتز لأجهزة استقبال **AM** و 10.7 ميجا هرتز لأجهزة استقبال**.FM**
2- فـــي جهـــاز الاستقبال الرقمي، المحول التناظري إلى الرقمي (ADC)
3- تستخدم أجهزة الاستقبال الفضائية الحديثة عدة ترددات متوسطة .
4- فـــي دوائـــر الرنين الثابتة (RF)
5- الرادار.
6- أجهـــــــزة الموجات الدقيقة الأرضية: 250 ميجا هرتز، 70 ميجا هرتز، 75 ميجا هرتز.

❖ **مازجات الدايود (Diode Mixers)**

تعد مازجات الصمام الثنائي (الدايود) : هي أحدى أكثر أنواع مازجات الترددات اللاسلكية شيوعاً، حيث تستخدم ثنائي واحد او اكثر لخلط إشارات الإدخال بشكل غير خطي، عادةً ما يكون مذبذبًا محليًا(Local Oscillator) (LO) وإشارة RF ، يستخدم الصمام الثنائي (الدايود) في تصحيح **إشارات الدخل** ، مما ينتج عنه تردد مختلف عند الخرج ، يتم استخدام إشارة LO لتحويل إشارة التردد اللاسلكي إلى تردد جديد ، والذي يعرف بالتردد المتوسط (IF) ، من مزايا مازجات الدايود هي **بسيطة نسبيًا وغير مكلفة في البناء**، ومن عيوبها ، **ضعف العزل بين منافذ الإدخال والإخراج، مما قد يؤدي إلى انتاج إشارات غير مرغوب فيها عند الإخراج.**



شكل رقم (3) يبين الشكل البياني لمازجات الدايود

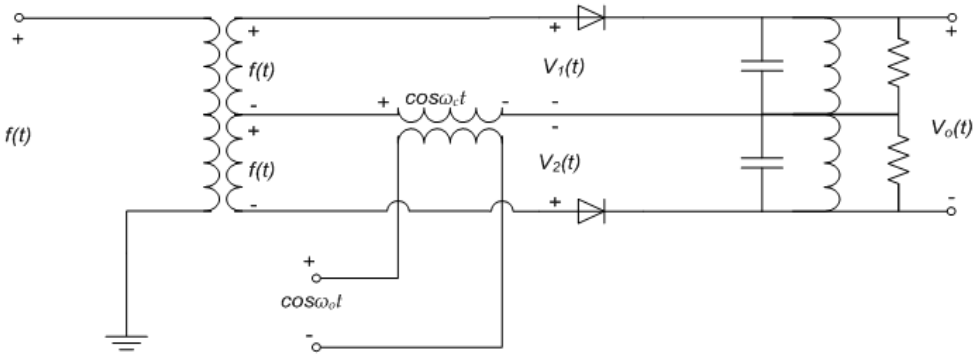
- **انواع مازجات**

الدايود :

1- المـــــــــازج

المتوازن (Balanced Mixer)

هو نوع من أجهزة مزج الترددات اللاسلكية، حيث لا تظهر ترددات الإدخال عند الإخراج، من الناحية المثالية، فإن الترددات الوحيدة التي تظهر والتي تم إنتاجها هي مجموع ترددات الإدخال المختلفة.



شكل رقم (4) يبين الدائرة الخاصة بمازج الدايود المتوازن

Analysis of balanced modulator mixer

- The voltage applied to the input of the upper diode is:

(فولتية الادخال العلوية)

$$V_1(t) = \cos\omega_c t + f(t)$$

- The voltage applied to the input of the lower diode is:

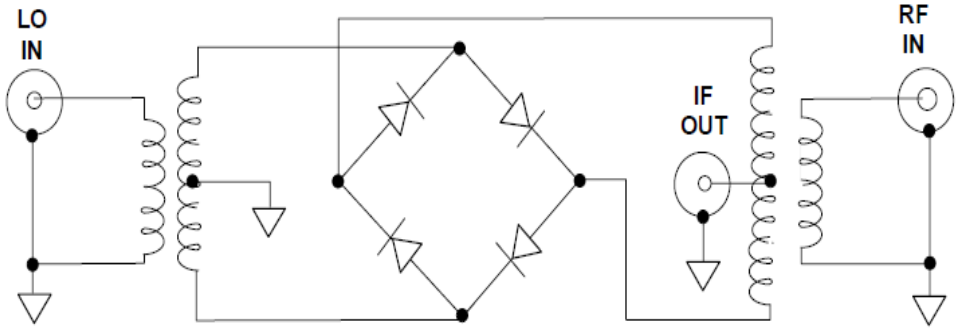
(فولتية الادخال السفلية)

$$V_2(t) = \cos \omega_c t - f(t)$$

-2 مـازج الـدايود

الدائري Diode-Ring Mixer

هو احد انواع مازجات الدايود **و الأكثر شيوعًا للتطبيقات عالية الأداء** والتي تكون مصنوعة من موصلات السيليكون، او الجرمانيوم، و بسبب الطبيعة غير الخطية للمازج ، فإن الممانعات عند المنافذ الثلاثة يتم التحكم فيها بشكل سيئ ، مما يجعل المطابقة صعبة، وبذلك فانه بشكل عملي تكون الخسائر عالية ، بسبب مقاومة الثنائيات والخسائر في المحولات.



شكل رقم (5) يبين دائرة مازج الدايود الدائري

❖ **مازجات الترانسيستور (Transistor Mixers)**

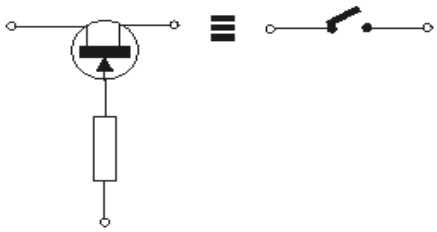
هي نوع آخر من خلاطات (مازجات) الترددات اللاسلكية التي تستخدم الترانزستورات لخلط إشارات الإدخال بشكل غير خطي، مثل خلاطات الصمام الثنائي، فإنها تنتج ترددًا مختلفًا عند الخرج عن طريق تصحيح إشارات الإدخال، ومع ذلك، تتمتع خلاطات الترانزستور ببعض المزايا مقارنة بخلاطات الصمام الثنائي، مثل **العزل الأفضل بين منافذ الإدخال والإخراج والقدرة على التعامل مع مستويات طاقة الإدخال الأعلى**، يمكن أن يكون خلاط الترانزستور عبارة عن خلاط BJT أو خلاط FET والذي يمكن أن يكون إما خلاط JFET أو خلاط MOSFET على التوالي، كما قد يستخدم خلاط الترانزستور ، ترانزستورات متعددة كما هو الحال في خلاط الصمام الثنائي ، مازجات FET غالبًا ما تستخدم في الترددات الراديوية وتطبيقات الترددات اللاسلكية، يمكن أن توفر خلاطات FET مزايا مقارنة بأشكال الخلاطات الأخرى، وبالتالي يتم استخدامها في عدد من تطبيقات الترددات الراديوية المختلفة.

- **انواع مازجات الترانسيستور: (Bipolar Junction Transistor)BJT ، (Field Effect Transistor) FET**

-1 FET

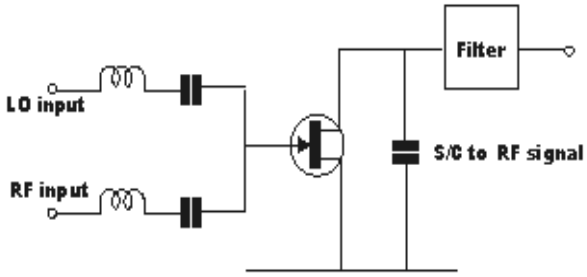
Mixer: يتكون من نوعين :

A- Passive FET mixer: In this form of mixer, the FET is used as a switch and it operates in a similar manner to that of a diode mixer.



شكل رقم (6) يبين المازج الخامل FET

B- Active FET mixer: In this form of FET mixer, the circuit is operated as a transconductance (موصلية)mixer.



شكل رقم (7) يبين المازج الفعال FET

المحاضرة التاسعة (Ninth Lecture)

مفهوم الاتصالات وتطور الأجيال

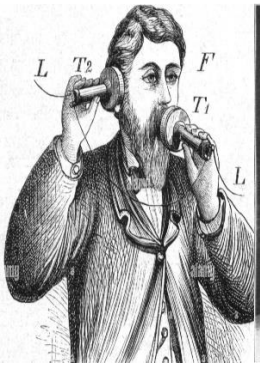
كيف تعمل شبكات الاتصال؟

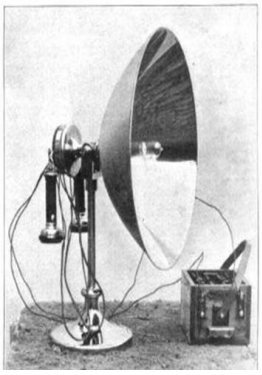
تقوم نظم الاتصال اللاسلكية ببث موجات من مصدر ثابت لتغطية منطقة ما ، التي تنتشر عبر طيف من الموجات لتلتقطها الهواتف أو الأجهزة المستقبلة ، هذه لإشارات تنقسم في طريقة عملها إلى نوعين **Analog Signals** و **Digital Signals**

- Maxwell equations and displacement current (wireless telegraph by Marconi 1897) معادلات ماكسويل وتيار الإزاحة(كود مورس)

- Marconi first signal transmission on 1901- اول عملية نقل لإرسال الإشارة

- First voice transmission on 1914- اول عملية نقل للصوت –





- استخدام مستقبل الإشارات 1920s using mobile receivers by police in USA في الشرطة

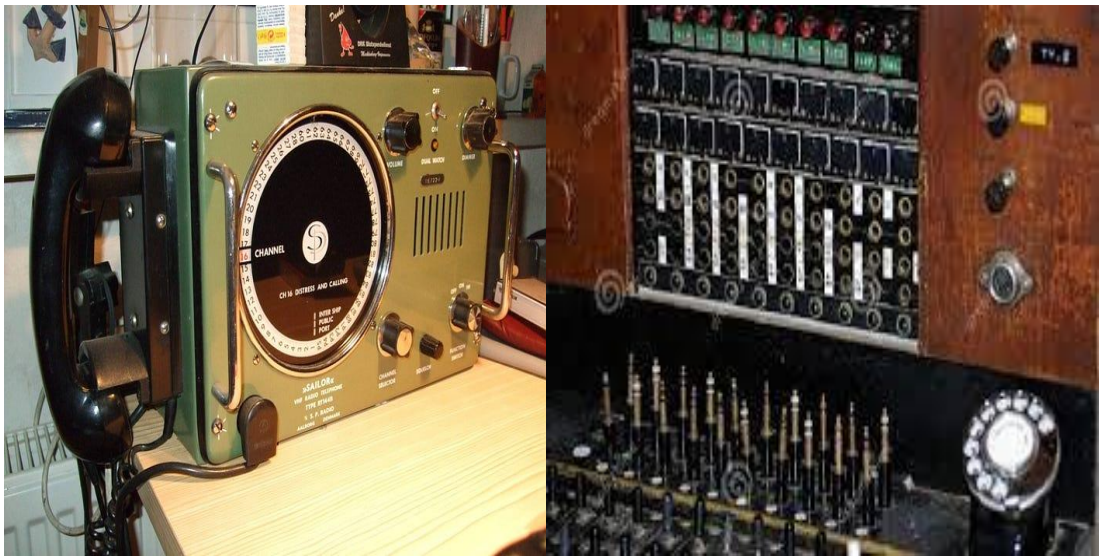
رحلة تطوير نظم الاتصالات من 0 G إلى G5 (أجيال الاتصالات) في الوقت الحالي

The Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G

في مجال الاتصالات المتنقلة، يشير مصطلح "الجيل" عموماً إلى تغيير في الطبيعة الأساسية للخدمة، وتكنولوجيا نقل غير متوافقة مع الإصدارات السابقة، ومعدلات بتات أعلى، ونطاقات تردد جديدة ، وعرض نطاق ترددي أوسع للقناة بالهيرتز، وأعلى القدرة على العديد من عمليات نقل البيانات في وقت واحد.

(الجيل صفر0G) (Pre-Cellular Mobile Technology)

ظهر الجيل في (1970's) بدأ الهاتف اللاسلكي بتقنية 0G، والذي أصبح متاحاً بعد الحرب العالمية الثانية ، حيث كان مشُغل الهاتف المحمول يقوم بإعداد المكالمات ولم يكن هناك سوى عدد قليل من القنوات المتاحة التي لا تدعم هذه الهواتف ميزة التسليم ، مثل الهواتف اللاسلكية التي كان البعض يمتلكها في السيارات قبل ظهور الهواتف المحمولة.



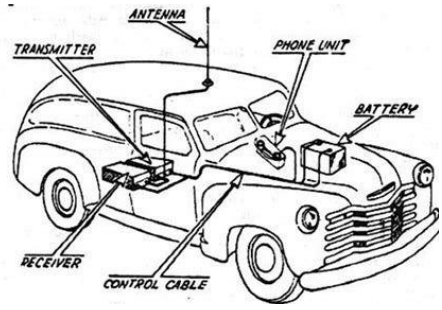
شكل رقم (1) تقنيات الاتصالات (0 G)

Technologies used in 0G systems included : PTT (Push to Talk), MTS (Mobile Telephone System) , IMTS (Improved Mobile Telephone Service),AMTS (Advanced Mobile Telephone System), OLT (Norwegian for Offentlig Landmobil Telefoni, Public Land Mobile Telephony) and MTD (Swedish abbreviation for Mobile Telephony system D).

وكان المستخدمون الأساسيون هم قاطعو الأشجار ورؤساء عمال البناء وأصحاب العقارات والمشاهير، تم استخدامها لهم للاتصالات الصوتية الأساسية.

الجيل (0.5)

عبارة عن مجموعة من التقنيات ذات الميزات المحسنة من تقنيات 0Gالأساسية ، يمكن ان تمييز عن أنظمة الهاتف المحمول المبكرة هذه عن أنظمة الهاتف الراديوي المغلقة السابقة من حيث أنها كانت متاحة كخدمة تجارية كانت جزءاً من شبكة الهاتف العامة التبديلية ، بأرقام هواتف خاصة بها، بدلاً من كونها جزءًا من شبكة مغلقة مثل راديو الشرطة أو نظام إرسال سيارات الأجرة، عادة ما يتم تركيب هذه الهواتف المحمولة في السيارات أو الشاحنات، على الرغم من تصنيع نماذج من الحقائب أيضًا ، يتم تركيب جهاز الإرسال والاستقبال (مستقبل الإرسال) في صندوق السيارة ويتم تثبيته على "الرأس" (القرص والشاشة وسماعة الهاتف) المثبت بالقرب من مقعد السائق.

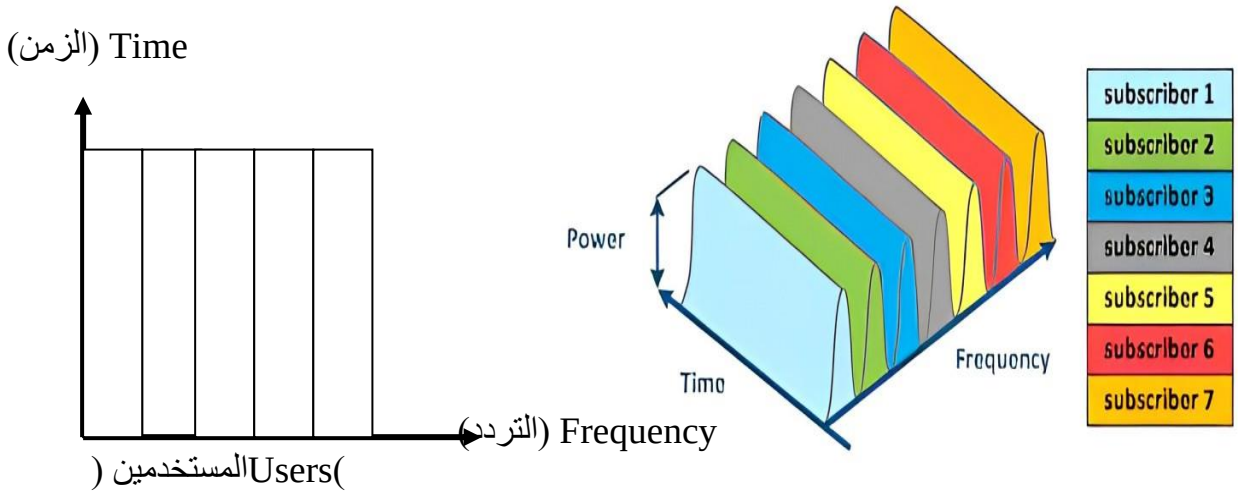


شكل رقم (2) تقنيات الاتصالات (0.5G)

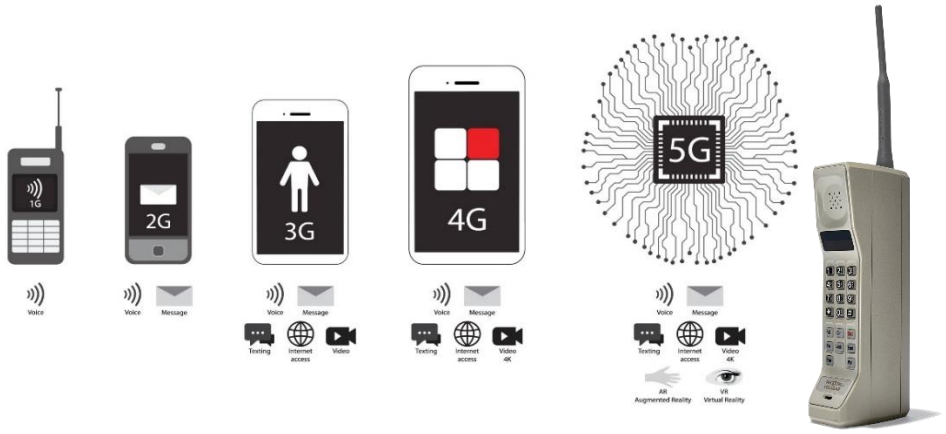
- **1935 FM transmission**
- **1946 first connection between mobile user with PSTN(public switched telephone network** شبكة الهاتف العامة)
- **1957 first satellite Sputlink-1**
- **1979 Japan use cellular system**
- **1982 AMPS used in USA**
- **1989 GSM is used in Europe**
- **1993 CDMA is used in USA in IS-95**

الجيل الأول (1G)

ظهر الجيل الأول للاتصالات بالتحديد في عام 1979 ليقدم نواة الاتصالات اللاسلكية في عالم اقتصرت فيه الاتصالات الهاتفية على الاتصالات السلكية ،الجيل الجديد لم يستخدم بشكله النهائي حتى **1982** الذي ظهر في الولايات المتحدة الامريكية استخدم نظام **(AMPS)**(Advanced Mobile Telephone System) بحزمة **مقدارها (40)** ميكا هيرتز بطيف ترددي بين **800 ميجاهيرتز و 900 ميجاهيرتز** ، بناءاً على القوانين الصادرة من هيأة الاتصالات الفيدرالية الدولية ، معتمداً على إشارات (التماثلية) ليكون قادراً فقط على نقل المكالمات الصوتية بالإضافة إلى مواجهته لعدة مشاكل ، أبرزها احتاج الهواتف أن **تكون بحجم ضخم وببطارية كبيرة نظراً للاستهلاك العالي للطاقة لزيادة تردد الموجات كما كان من السهل فقدان الاتصال نظراً لتعرض عملية نقل الموجات لأي خلل بسبب حالة الطقس**. ومع التقدم الهائل الذي قدمه الجيل الأول في هذا الوقت لم يتم استخدامه بشكل تجاري إلى في نطاق محدود للغاية. بدأ تشغيل أول نظام خلوي في العالم بواسطة شركة نيبون للهاتف والتلغراف (NTT)في طوكيو، اليابان .في أوروبا، كان النظامان التناظريان الأكثر شيوعًا هما Nordic Mobile Telephone (NMT)و (TACS) كما تم طرح أنظمة تناظرية أخرى في الثمانينيات في جميع أنحاء أوروبا ، **حيث تم استخدام التضمين الترددي (FM) وتقنية (Frequency Division Multiple Access) (FDMA)**



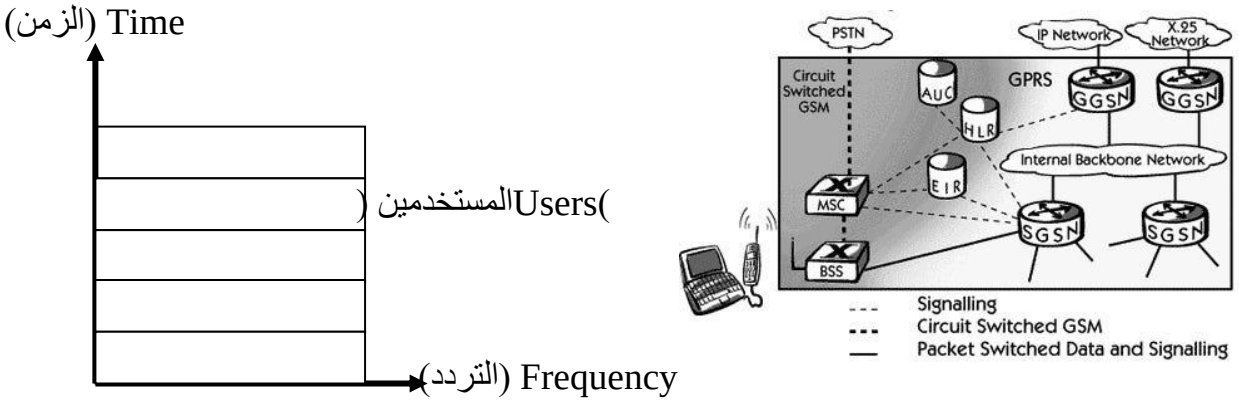
شكل رقم (3) تقنيات الاتصالات (1 G)



شكل رقم (4) أجهزة الاتصالات (1-5 G)

الجيل الثاني (2G)

بدأ الجيل الثاني للاتصالات مع بداية العقد الأخير في القرن الماضي 1990 مقدماً تطوراً هائلاً مقارنـــة بالجيل السابق كان أبرزها اعتماده على GSM والانتـــقال من العمل بطريقة Analog Signals إلى Digital Signals. وصول الجيل الجديد للاتصالات في هذا الوقت أتاح انتشار الهواتف بشكل كبير ، كما تمتعت بجودة اعلى بالإضافة إلى دعم الرسائل النصية ثم الرسائل التي تحتوي على صور أو فيديو لتكون سرعة نقل البيانات في هذه الحقبة تصل إلى 64 كيلوبت/ ثانية. الأمر لم يتوقف عند هذا الحد في هذا الجيل فمع توفير GPRS و EDGE لاحقاً انطلق الجيل الثاني وبقوة من خلال دعمه لسرعات أعلى في نقل البيانات تصل إلى 144 كيلوبت/ ثانية مع دعم الإنترنت لأول مرة وإمكانية إرسال واستقبال البريد الإلكتروني على عدد محدود من الأجهزة في هذا الوقت. الجيل الثاني ما زال مستخدم في الكثير من البلدان حول العالم خاصة في المناطق النائية وبعض المناطق النامية فقط لتوفير خدمات الاتصال الصوتي نظراً لبطء سرعة اتصاله بالإنترنت، **حيث تم استخدام التضمين على أساس الزمن بنفس التردد بتقنية (Time Division Multiple Access) (TDMA) ، يستخدم GSM تقنية TDMAلتعدد إرسال ما يصل إلى 8 مكالمات لكل قناة في نطاقي 900 و1800 ميجا هرتز**



شكل رقم (5) تقنيات الاتصالات (2 G)

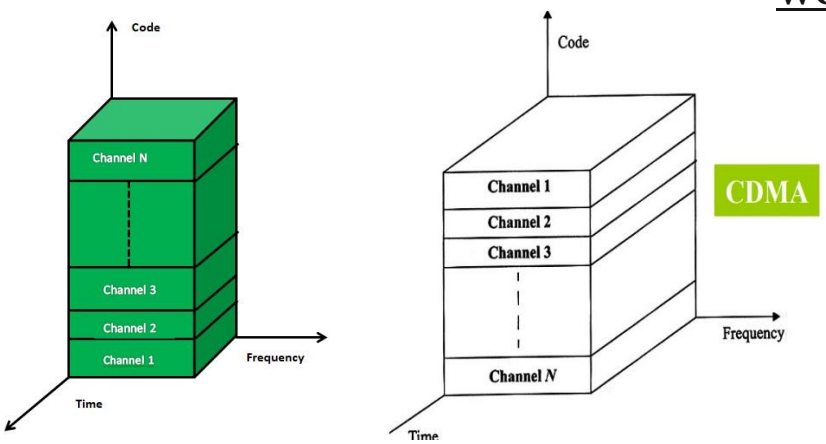
- **Integrated Digital Enhanced Network (iDEN)**
- **Personal Digital Cellular (PDC)**
- **Personal Handy-phone System (PHS)**
- **SMR: Specialized Mobile Radio band**
- **WiDEN: Wideband Iden**
- **GPRS: General Packet Radio Service**
- **EDGE: Enhanced Data route for Global Evolution**
- **UMTS: Universal Mobile Telecommunication Service**
- **TD-SCDMA: Time Division Synchronous CDMA**
- **DECT: Digital European Cordless Telephony**

2.5G—GPRS (General Packet Radio Service) **الجيل(2.5)**

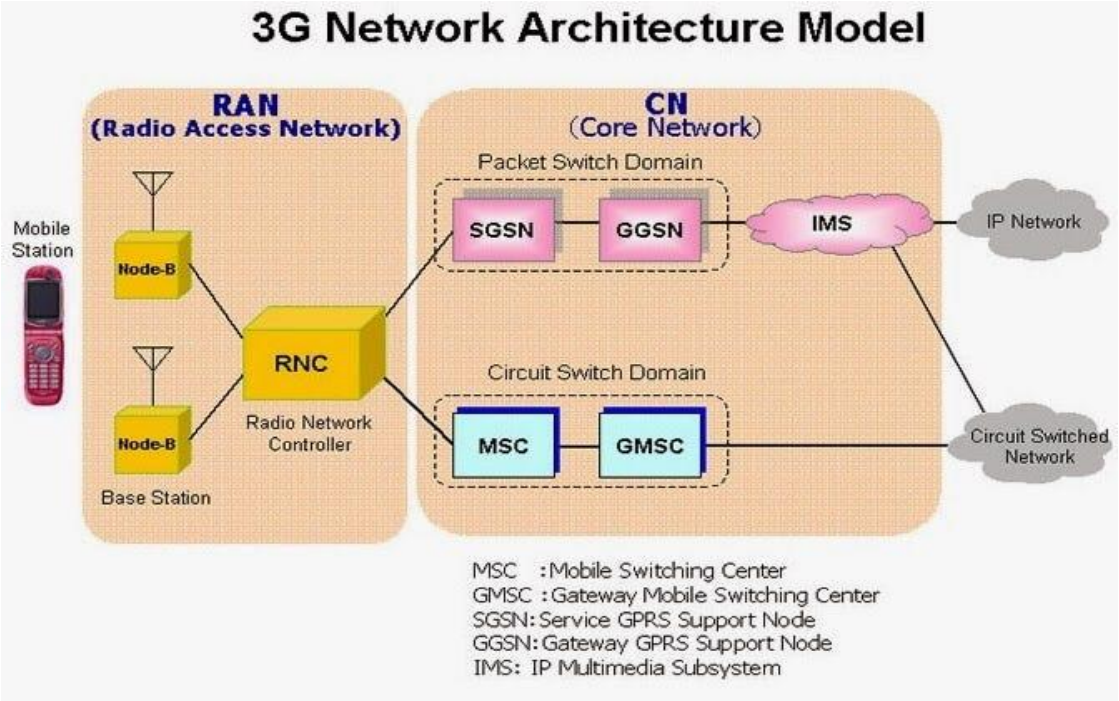
2.75—EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) **الجيل(2.75)**

الجيل الثالث (3G):

مثل الجيل الثالث للاتصالات 3G ثورة حقيقية، فبـانطلاقه في عام 2003 قدم تطوراً هائلاً في سرعة نقل البيانات التي قفزت إلى 2 ميجابت/ ثانية في بدايتها وصولاً إلى 14 ميجابت/ ثانية فيما بعد، هذه السرعة العالية مكنت من توفير سرعات إنترنت عالية ليتمكن مستخدمي الهواتف من استخدام الإنترنت بسلاسة على الهواتف والتمتع بخدمات مثل تشغيل مقاطع الفيديو والموسيقي عبر الإنترنت، رفع وتحميل ملفات كبيرة الحجم، ظهور اللعب المباشر للألعاب الفيديو على الهواتف واستخدام شرائح الاتصال في تشغيل الإنترنت على أجهزة الحساب المكتبي والمحمولة دون الشعور ببطء السرعة بالإضافة إلى العديد من الاستخدامات الأخرى التي حولت شبكات الاتصالات من شبكات الهدف منها القيام بالمكالمات الصوتية إلى الاهتمام بسرعتها في تشغيل الإنترنت في المقام الأول. هذا الجيل والذي مازال يعمل بصورة كبيرة في العديد من دول العالم يعمل على موجات بتردد بين 900 ميجاهيرتز و 1.8 جيجاهيرتز ، **حيث تم استخدام التضمين على أساس الكود بنفس التردد والزمن بتقنية (CDMA) (Code Division Multiple Access) ، يستخدم CDMA و CDMA2000 و (IS95) GSM و WCDMA**



شكل رقم (6) تقنيات الاتصالات (3 G)



شكل رقم (7) الهيكلية المعمارية لشبكة الاتصالات (3G)

3.5 G—HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) الجيل (3.5)

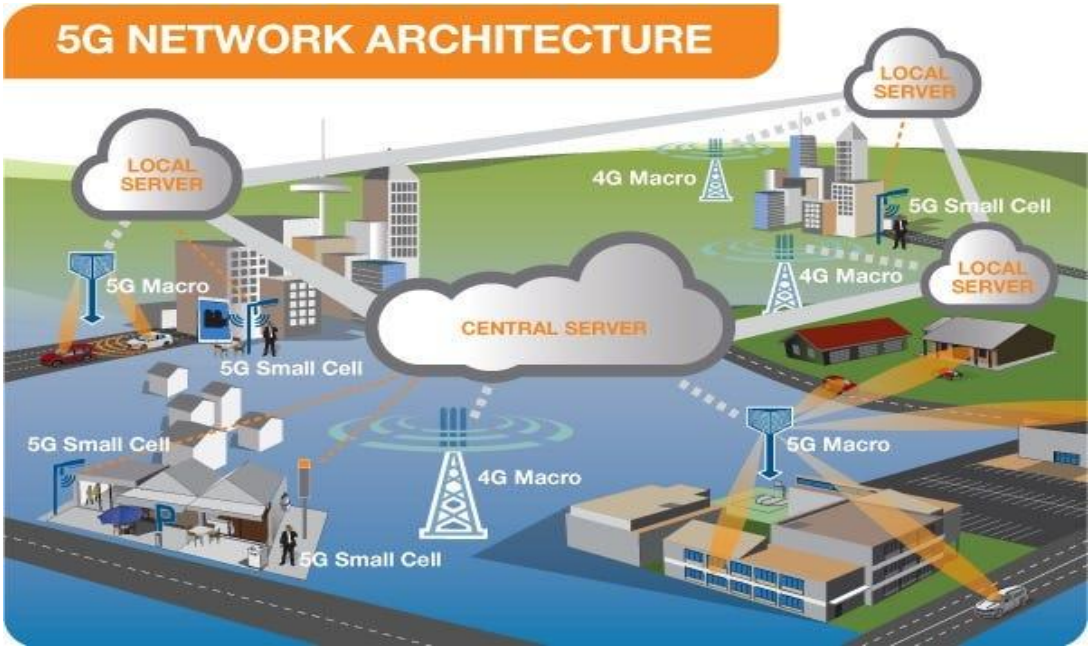
3.75G—HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) الجيل (3.75)

الجيل الرابع (4G)

ظهر الجيل الرابع للاتصالات G4 مع بداية العقد التالي في أعوام 2009 و 2010 ليقدم تطوراً عن الجيل السابق في سرعات نقل البيانات وسرعة الإنترنت، التطور الذي قدمه 4G لم يكن كان الفارق بين 2G و 3G حيث يعتبر هذا الجيل امتداداً للجيل السابق ولكن بإمكانيات أفضل. يعتمد G4 على طيف من الموجات بين 800 ميجاهيرتز إلى 2 جيجاهيرتز وتصل سرعة نقل البيانات فيه إلى 100 ميجابت/ ثانية مقدماً القدرة لتشغيل كافة المحتوي عالي الجودة بسهولة وسلاسة كما يتميز بأمان أكبر مقارنة بالأجيال السابقة بالإضافة إلى دعمه لتقنية Wi-Max في تشغيل الإنترنت ، **أما التقنيات المستخدمة فيه هي (LTE) و (LTE-A) اختصار (Long Term Evolution (LTE) و (Long Term Evolution Advanced (LTE-A) و (OFDMA)(Orthogonal frequency-division multiple access) – Single Carrier Frequency Division Multiplexing((SCFDMA)**

الجيل الخامس 5G

هو الجيل الخامس من تكنولوجيا الشبكات الخلوية ، حيث ان شبكات 5G هي شبكات خلوية رقمية، يتم تقسيم منطقة الخدمة التي يغطيها مقدمو الخدمة إلى مناطق جغرافية صغيرة تسمى **الخلايا** ، يتم رقمنة الإشارات التناظرية التي تمثل الأصوات والصور في الهاتف، وتحويلها بواسطة محول **تناظري إلى رقمي وإرسالها كتدفق من البتات** ، تتواصل جميع الأجهزة اللاسلكية 5G الموجودة في الخلية عبر **موجات الراديو مع مجموعة هوائيات محلية وجهاز إرسال واستقبال آلي منخفض الطاقة (جهاز الإرسال والاستقبال) في الخلية**، عبر قنوات التردد المخصصة بواسطة جهاز الإرسال والاستقبال من مجموعة من الترددات التي يتم إعادة استخدامها في خلايا أخرى. ترتبط الهوائيات المحلية بشبكة الهاتف والإنترنت عن طريق الألياف الضوئية ذات النطاق الترددي العالي أو اتصال خلفي لاسلكي. وكما هو الحال في الشبكات الخلوية الأخرى، يتم تلقائيًا **"تسليم" الجهاز المحمول الذي يعبر من خلية إلى أخرى بسلاسة إلى الخلية الجديدة**. هناك خطط لاستخدام الموجات المليمترية لشبكات الجيل الخامس. **الموجات المليمترية لها نطاق أقصر من الموجات الدقيقة، وبالتالي فإن الخلايا تقتصر على حجم أصغر، تواجه الموجات المليمترية أيضًا صعوبة أكبر في المرور عبر جدران المبنى. تعتبر هوائيات الموجات المليمترية أصغر من الهوائيات الكبيرة المستخدمة في الشبكات الخلوية السابقة. يبلغ طولها بضع بوصات فقط (عدة سنتيمترات). هناك أسلوب آخر يستخدم لزيادة معدل البيانات وهو MIMO الضخم (متعدد المدخلات والمخرجات المتعددة). سيكون لكل خلية هوائيات متعددة تتصل بالجهاز اللاسلكي**، ويتم استقبالها بواسطة هوائيات متعددة في الجهاز، وبالتالي سيتم إرسال تدفقات بت متعددة من البيانات في وقت واحد، بالتوازي في تقنية تسمى تشكيل الشعاع، **حيث يتم استخدام تقنية انترنت الاشياء (IOT)(Internet Of Things)**



شكل رقم (8) تقنيات الاتصالات (5G)

الجيل 6G) : لغاية الان جاري الأبحاث على التقنيات التي سوف يتم استخدامها مستقبلاً.

المحاضرة العاشرة (Tenth Lecture)

1- كاشف تضمين الاتساع (AM Detection Or DeModulaion)

تعرفنا على بعض تقنيات تعديل السعة وكيف يتم تشكيلها في قسم الإرسال. وتبعا لنوعية التعديل، فإن إحدى هذه الطرق الأربعة لتعديل السعة، DSB.FC, DSB.SC, SSB.SC أو VSB هي التي ترسل من قسم الإرسال إلى قسم الاستقبال.

وفي جهاز الاستقبال تمر تلك الموجات بعملية عكسية تسمى الكشف Detection أو إزالة التعديل Demodulation وذلك لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية من الإشارة المعدّلة المرسلة. ومن خلال هذه الوحدة سنقوم بدراسة الأنواع المختلفة لإزالة تعديل السعة.

❖ **تصنيف أنظمة الاستقبال** Classification of Receiving Systems

يمكن تصنيف أنظمة الاستقبال بشكل عام إلى نوعين رئيسين وهما الاستقبال المتزامن والاستقبال غير المتزامن كما سنوضحه فيما يلي.

1- **الاستقبال المتزامن** Synchronous Reception or Coherent Detection

يشترط في هذا النوع من الأجهزة أن يكون تردد الموجة الحاملة للمذبذب المحلي Local Oscillator في قسم الاستقبال والذي يستعمل في عملية الكشف أو إزالة التعديل لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية متزامنًا أو متطابقًا مع تردد المذبذب Oscillator المستخدم في قسم الإرسال أي مساويًا له تمامًا من حيث التردد وزاوية الطور.

2- **استقبال غير متزامن** Asynchronous Reception or Noncoherent Detection

وهنا نستخدم تقنيات أخرى لكشف واستخلاص الإشارة بدون الحاجة لإجراء عملية إزالة التعديل باستخدام مذبذب محلي له نفس تردد ونفس طور المذبذب الذي تم استخدامه في عملية الإرسال. بل في هذا النوع يحتمل أن لا تنتج ترددات في المسْتقْبل أو إن استعملت ترددات من أجل الكشف فإنها تكون غير مرتبطة أو ليس لها أي علاقة مع تردد الموجة الحاملة الموجودة بقسم الإرسال.

الاستقبال غير المتزامن Noncoherent Reception

❖ إزالة تعديل النطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة DSB.FC

عادة يتم إزالة التعديل في أنظمة تعديل السعة ذو النطاق الجانبي المزدوج مع كامل الموجة الحاملة DSB.FC أو AM بتقنية الاستقبال غير المتزامن، وذلك للاستفادة من قدرة الموجة الحاملة المرسلة في تبسيط الدوائر وبالتالي تقليل تكلفة أجهزة الاستقبال.

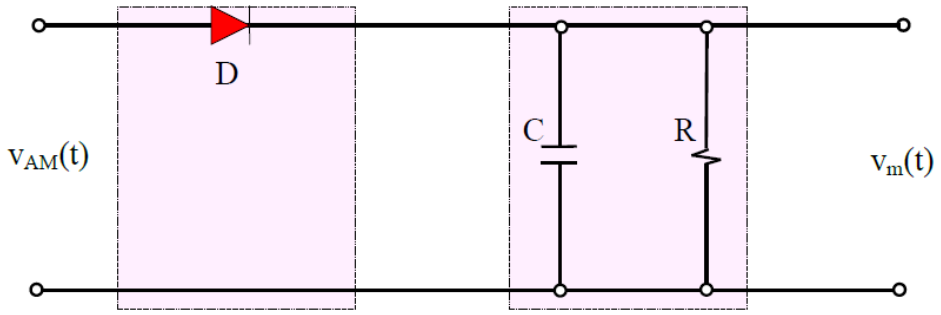
وتوجد أساليب متعددة لعملية الكشف Detection أو إزالة التعديل Demodulation لتعديل السعة AM أو DSB.FC نذكر منها ما يلي:

- كاشف التوحيد: Rectifier Detector.
- كاشف قانون التربيع: Square Law Detector.
- كاشف الغلاف: Envelope Detector.

❖ دائرة كاشف الغلاف Envelope Detector Circuit

دائرة كاشف الغلاف هي أشهر وأوفر طريقة للاستقبال غير المتزامن لتعديل السعة. وهذه الطريقة تعتمد على اكتشاف الغلاف الخارجي لموجة AM باستخدام الدائرة الموضحة في الشكل رقم (1).

تتكون الدائرة فقط من دايود ومكثف ومقاومة. يحذف الدايود النصف السالب للموجة المعدّلة. ويعقب ذلك استخلاص التموج البطيء لإشارة المعلومات من بين التموجات السريعة جدًّا للموجة الحاملة عن طريق الشحن والتفريغ للمكثف عبر المقاومة. ويشترط فيها:



الشكل رقم (1): دائرة كاشف الغلاف

أولا: للحد من قيمة التموجات Ripples يجب أن يكون الثابت الزمني للدائرة τ_c صغير جدًّا بالمقارنة بتردد الموجة الحاملة f_c كما يلي:

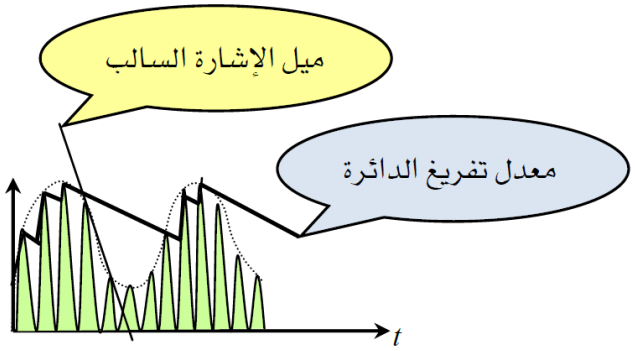
$$\tau_c = \frac{1}{RC} << f_c \qquad (1).$$

ثانيا: ولكي تستجيب الدائرة لإشارة المعلومات بكفاءة عند المعدلات العالية لتناقصها نجعل الثابت الزمني أكبر من أقصى تردد للإشارة كما يلي:Fm

$$\frac{1}{RC} \geq Fm \qquad (2).$$

الشكل رقم (2).يوضح حدوث تشوه لإشارة المعلومات عندما يكون ميل الإشارة السالب أكبر من معدل تفريغ الدائرة. ويمكن الجمع بين الشرطين السابقين كما يلي:

$$Fm \leq \frac{1}{RC} << f_c \qquad (3).$$



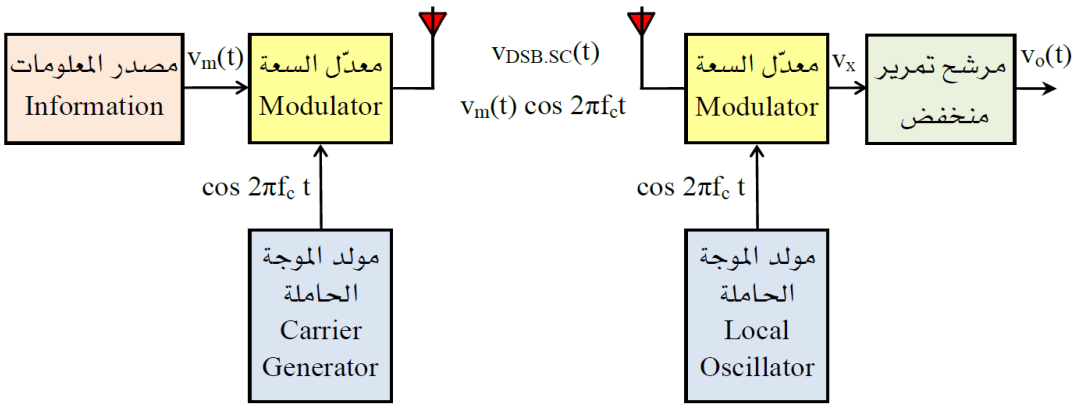
الشكل رقم (2): تشوه إشارة المعلومات عندما يكون ميل الإشارة السالب أكبر من معدل التفريغ

الاستقبال المتزامن Coherent Reception

العيب الرئيس لأنظمة تعديل السعة مع حذف الموجة الحاملة يكمن في ضرورة إزالة التعديل عن طريق تقنية الكاشف المتزامن. هذا التصميم المتزامن ليس من السهل تحقيقه عمليا حيث يحتاج لتوليد نفس الموجة الحاملة التي تم استخدامها عند الإرسال.

- **إزالة تعديل النطاق الجانبي المزدوج مع حذف الموجة الحاملة** DSB.SC

الشكل رقم (3). يبين المخطط الصندوقي للكاشف المتزامن. وهو مكون من معدّل متوازن مع مرشح تمرير الترددات المنخفضة تصميمه ملائم لاستخلاص إشارة المعلومات من الموجة المعدّلة المستقبلة.



الشكل رقم (3): المخطط الصندوقي الكامل لإرسال واستقبال DSB.SC

ونبدأ تحليل المستقبل بكتابة الإشارة التي تم استقبالها من الهوائي كما يلي:

$$v_{DSB.SC} = v_m(t)\cos 2\pi f_c t \qquad (4)$$

وفي المعدّل يتم ضرب الإشارة المستقبلة بتردد الموجة الحاملة فيصبح خرجه v_x كما يلي:

$$v_x = [v_m(t)\cos 2\pi f_c t]\cos 2\pi f_c t = v_m(t)\cos^2 2\pi f_c t$$
$$= v_m(t)\left[\frac{1}{2}\{1+\cos 2\pi(2f_c)t\}\right] = \frac{1}{2}v_m(t) + \frac{1}{2}v_m(t)\cos 2\pi(2f_c)t \qquad (5)$$

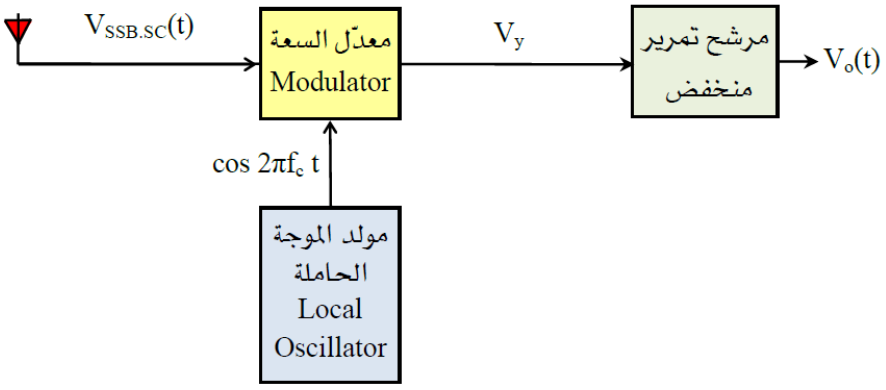
ثم بعد مرشح التمرير المنخفض تحذف مركبة التردد $2f_c$ وتبقى مركبة الإشارة كما يلي:

$$v_o = \frac{1}{2}v_m(t) \qquad (6)$$

يشترط أن يكون المذبذب المحلي المستخدم مع المعدّل المتوازن عند المستقبل له نفس تردد وطور الموجة الحاملة المستخدمة عند المرسل. توجد دوائر متعددة لضمان استقرار التزامن بين تردد وطور الموجة الحاملة لكل من المرسل والمستقبل.

- **إزالة تعديل النطاق الجانبي المفرد مع حذف الموجة الحاملة** SSB.SC

الشكل رقم (4) يوضح أن المخطط الصندوقي لمستقبل النطاق الجانبي المفرد SSB.SC لا يختلف عن مستقبل النطاق الجانبي المزدوج DSB.SC السابق.



الشكل رقم (4): المخطط الصندوقي لمستقبل أنظمة SSB.SC

يستقبل الهوائي إشارة النطاق الجانبي المفرد

$$v_{SSB.SC}(t) = V_m \cos 2\pi(f_c + f_m)t \qquad (7)$$

يستخدم المعدّل لضرب الإشارة في الموجة الحاملة وخرجه حاصل جمع وطرح ترددي دخليه:

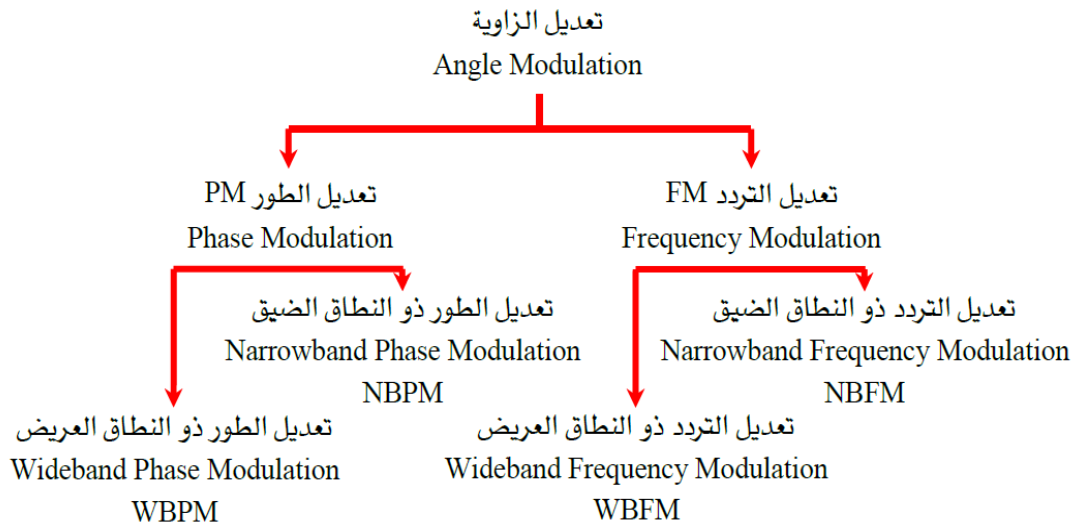
$$\begin{aligned} v_y(t) &= [V_m \cos 2\pi(f_c + f_m)t]\cos 2\pi f_c t \\ &= \frac{V_m}{2}[\cos 2\pi(f_c + f_m - f_c)t + \cos 2\pi(f_c + f_m + f_c)t] \\ &= \frac{V_m}{2}[\cos 2\pi f_m t] + \frac{V_m}{2}[\cos 2\pi(2f_c + f_m)t] \end{aligned} \qquad (8)$$

المرشح المنخفض يحذف المركبة عند تردد $2f_c$ فيصبح خرجه مركبة المعلومات كما يلي:

$$v_{out}(t) = \frac{1}{2}[V_m \cos 2\pi f_m t] = \frac{1}{2}[v_m(t)] \qquad (9)$$

2- أنواع تعديل الزاوية Types of Angle Modulation

يتضمن تعديل الزاوية كل من تعديل التردد Frequency Modulation ورمزه FM وتعديل الطور Phase Modulation ورمزه PM وكل منهما ينقسم بدورة من حيث النطاق الترددي إلى نوعين ضيق أو عريض كما في الشكل رقم (5).



الشكل رقم (5): تصنيف الأنواع المختلفة لتعديل الزاوية

❖ مبادئ تعديل الزاوية Concepts of Angle Modulation

• طور وتردد زاوية الموجة الحاملة Phase and Frequency of Carrier Angle

كل من تعديل التردد FM وتعديل الطور PM يشتركان في كونهما يمثلان زاوية الموجة الحاملة Carrier Angle ولهذا السبب أطلق عليهما اسم تعديل الزاوية. يمكن إعادة صياغة الموجة الحاملة بدلالة السعة والزاوية كما يلي:

$$v_c(t) = V_c \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)] = V_c \cos[\omega_c t + \varphi(t)] = V_c \cos[\theta_i(t)] \qquad (10)$$

حيث V_c هي السعة القصوى للموجة الحاملة، بينما $\theta_i(t)$ تمثل القيمة اللحظية لزاويتها والتي تشمل دالة التردد الزاوي $\omega_c t$ بالإضافة إلى الانحراف اللحظي في الطور $\varphi(t)$:

$$\theta_i(t) = \omega_c t + \varphi(t) = 2\pi f_c t + \varphi(t) \qquad (11)$$

- **تعديل الطور** Phase Modulation PM

للحصول على تعديل الطور PM، فإننا نجعل الانحراف اللحظي في الطور للموجة الحاملة يتناسب تناسبًا خطيًّا مع إشارة المعلومات الأساسية، كما يلي:

$$\varphi(t) = k_{PM}\, v_m(t) \qquad (12).$$

حيث k_{PM} هو ثابت انحراف الطور ووحدته rad/v، كما أن $v_m(t)$ هو الجهد اللحظي لإشارة المعلومات بالفولت، وبالتالي يمكن التعبير على تعديل الطور بالمعادلة التالية:

$$v_{PM}(t) = V_c \cos\left[2\pi f_c t + k_{PM} v_m(t)\right] \qquad (13).$$

- **تعديل التردد** Frequency Modulation FM

أما بالنسبة لتعديل التردد FM فإن الانحراف اللحظي لتردد الموجة الحاملة يجب أن يتناسب تناسبًا خطيًّا مع إشارة المعلومات حيث k_{FM} هو ثابت انحراف التردد ووحدته Hz/v كما يلي:

$$\omega_i(t) = 2\pi\left[f_c + k_{FM}\, v_m(t)\right] = 2\pi f_c + 2\pi k_{FM}\, v_m(t) \qquad (14).$$

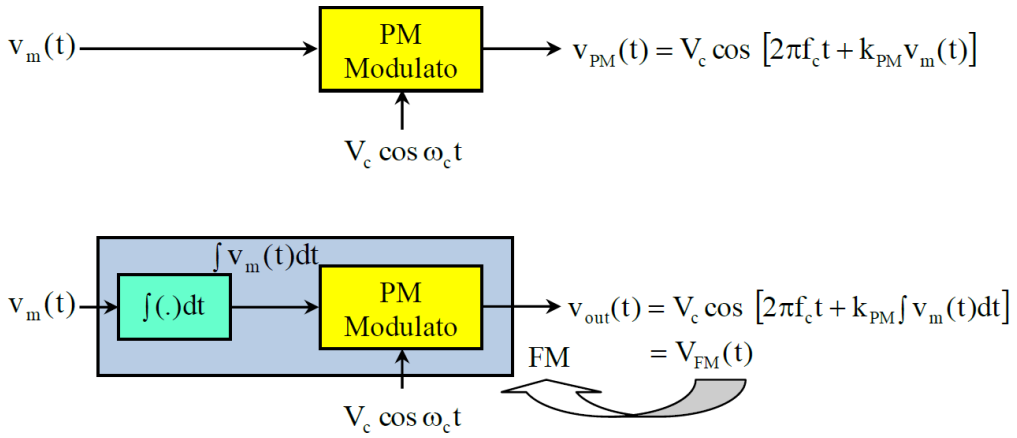
المعادلة (14). تؤكد أن التردد اللحظي للموجة الحاملة يتغير خطيا مع الجهد اللحظي لإشارة المعلومات بالنسبة لتعديل التردد.

وبالتالي يمكن كتابة معادلة الموجة المعدّلة بتعديل التردد كما يلي:

$$v_{FM}(t) = V_c \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi k_{FM} \int v_m(t)dt\right] \qquad (15).$$

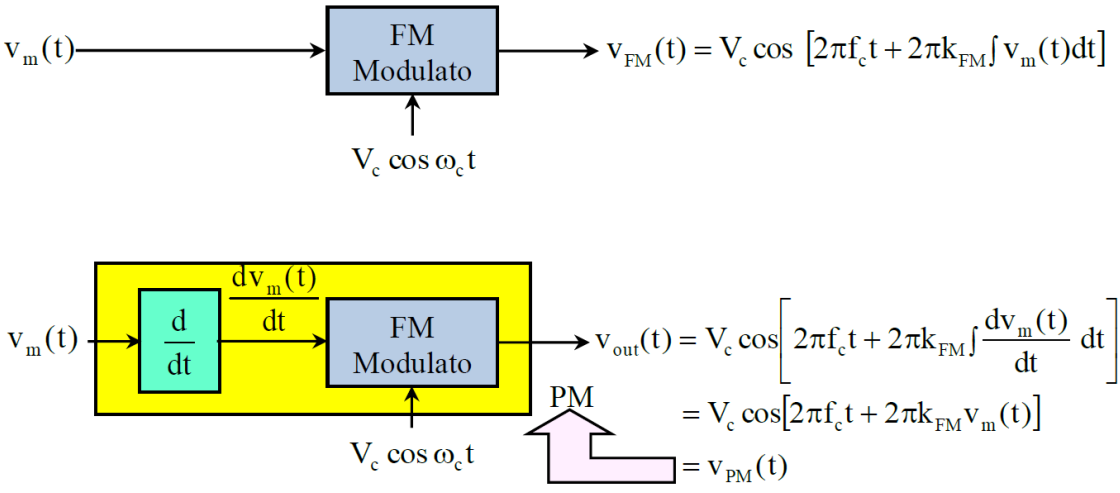
- **العلاقة بين تعديل الطور وتعديل التردد** FM and PM Interrelation

بمراجعة تعديل الطور وتعديل التردد كما في المعادلتين (12) و (15) نلاحظ أنه يمكن الحصول على أحدها من الآخر. الشكل رقم (6). يوضح كيفية الحصول على FM من PM وذلك باستخدام دائرة التكامل قبل إدخال إشارة المعلومات.



الشكل رقم (6): التحويل من تعديل الطور PM إلى تعديل التردد FM

وبالعكس يمكن الحصول على PM من FM عند استخدام التفاضل كما هو موضح في الشكل رقم (7).



الشكل رقم (7): التحويل من تعديل التردد FM إلى تعديل الطور PM