الموجات الكهرمغنطيسية – تضمين الوسع

- ملخص الدرس -

مقدمة :

انتصر الأثينيون على الفرس سنة 490 قبل الميلاد، في معركة دارت بمنطقة ماراتون التي تبعد حوالي 40 كيلومترا عن مدينة أثينا. و لنقل الخبر الى تلك المدينة قطع جندي هذه المسافة جريا، و مات ارهاقا حين وصوله. لهذا أحدث سباق الماراتون و هو قطع مسافة 42 كيلومترا جريا في معظم التظاهرات الرياضية.
اليوم أصبحت الأخبار تنقل باستعمال تقنيات و اليات متعددة (سواتل-حاسوب-هاتف محمول ...) ميسرة بذلك التواصل الأفضل و السريع بين نقط متباعدة ، و في مناطق مختلفة من العالم.

I. الموجات الكهرمغنطيسية :

1. مميزات الموجات الكهرمغنطيسية

+ تنتشر الموجات الكهرمغنطيسية في جميع الأوساط المادية،وفي جميع الاتجاهات. وتنعكس على السطوح الموصلة لتنتقل لمسافات بعيدة. و خلافا للموجات الميكانيكية فهي تنتشر كذلك في الفراغ.

+ تتميز الموجات الكهرمغنطيسية بترددها f ، وتنتشر في الفراغ بالسرعة $c = 3.10^8 m.s^{-1}$. و يرتبط ترددها f بطول موجتها λ بالعلاقة :

$c = \lambda . f$ حيث $f = \frac{1}{T}$ و T هو الدور.

2. ضرورة وجود موجة كهرمغنطيسية حاملة : ضرورة عملية التضمين

تكون المعلومة المراد ارسالها (صوت – صورة) ذات تردد منخفـــــض BF (بين $20Hz$ و $20KHz$) الا أنها لا يمكن أن تنتقل لمسافات بعيدة للأسباب التالية:

+ الاشارة ذات التردد المنخفض تخمد مع طول المسافة،

+ لا يميز المستقبل (الراديو – المحمول ...) بين مختلف الارساليات ، لضيق مجال الترددات المنخفضة،

+ بعد الهوائي المستقبل لموجة يقارب نصف طول الموجة (أي $l \approx \frac{\lambda}{2}$) ، مما يفرض استعمال هوائيات ذات أبعاد كبيرة غير قابلة للإنجاز.

مثال : موجة ذات تردد منخفض حيث $f = 1KHz$ ، لنحسب قيمة l بعد الهوائي المستقبل.

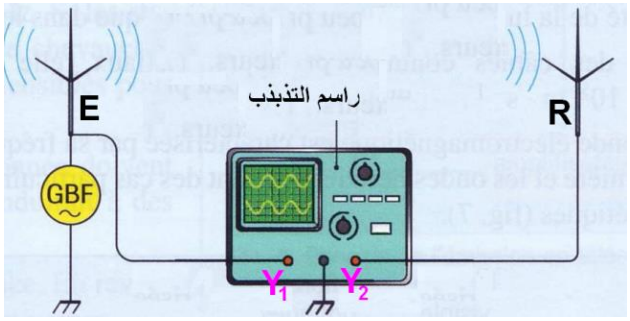
$$l \approx \frac{\lambda}{2} \Rightarrow l \approx \frac{c/f}{2} \Rightarrow l \approx \frac{c}{2.f} \Rightarrow l \approx \frac{3.10^8}{2.10^3} \Rightarrow l \approx 1{,}5\times 10^5 m = 150Km$$

و هو بعد غير قابل للانجاز.

اذن لنقل الاشارة ذات التردد المنخفض(الاشارة التي تضم المعلومة) على مسافات بعيدة نستعمل موجة كهرمغنطسية حاملة تسمى الموجة الحاملة ذات تردد عال HF (بعض مئات KHz الى بعض عشرات GHz)، و يتم تغيير بعض خاصيات الموجة الحاملة من طرف الاشارة ذات التردد المنخفض.

3. ارسال و استقبال موجة كهرمغنطيسية

يتكون التركيب التجريبي أسفله من سلك موصل E يلعب دور الهوائي الباعث و سلك موصل يلعب دور الهوائي المستقبل R و راسم التذبذب لمعاينة توتر الاشارة الكهربائية التي يستقبلها الهوائي E و الاشارة الكهربائية الناتجة عن الهوائي R .

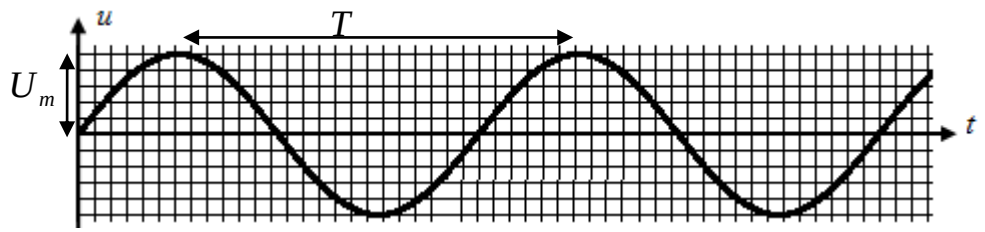


خلاصة :

- يحول الهوائي E الاشارة الكهربائية الى موجة كهرمغنطيسية يتم استقبالها بواسطة هوائي مستقبل R .
- الاشارة الكهربائية الواردة على الهوائي E و الموجة الكهرمغنطيسية المرسلة من طرف الهوائي E لهما نفس التردد.
- للموجة الكهرمغنطيسية الواردة على الهوائي R و الاشارة الكهربائية الناتجة عنه نفس التردد.

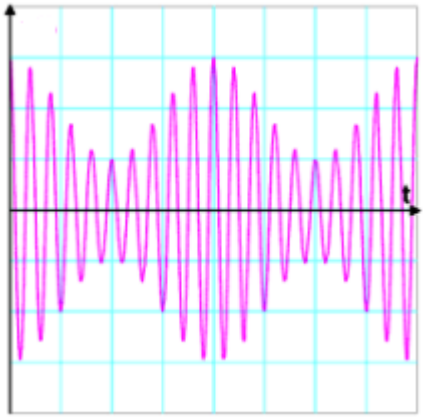
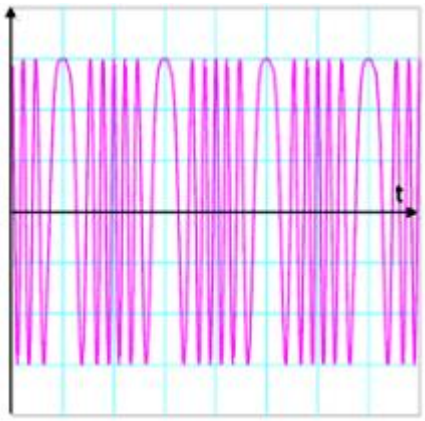
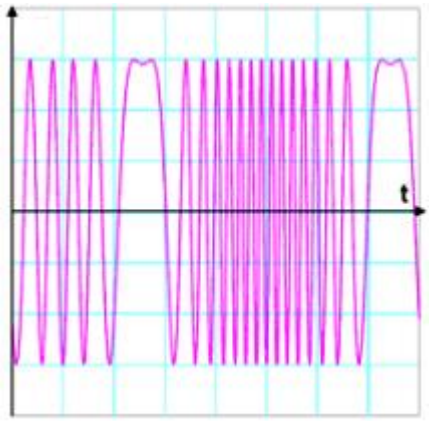
II. تضمين توتر جيبي

1. التوتر الجيبي : يعبر عن التوتر الجيبي $u(t)$ ب : $u(t) = U_m.\cos(2.\pi.f.t + \varphi)$ حيث U_m الوسع و $f = \frac{1}{T}$ التردد و T الدور.



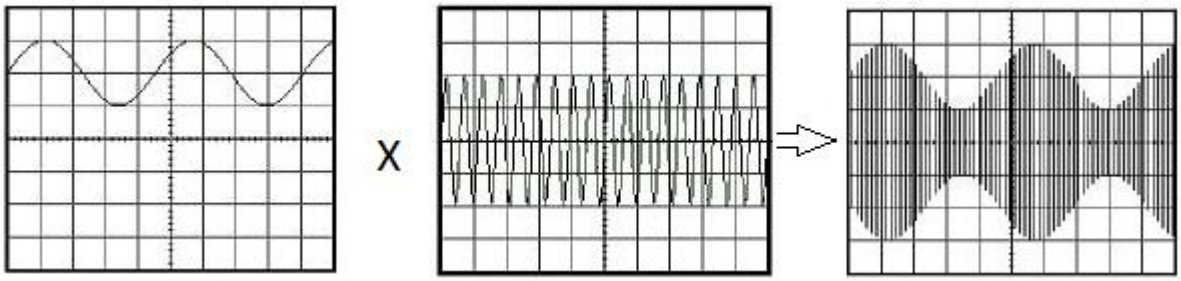
2. البارامترات القابلة للتضمين بالنسبة لتوتر جيبي :

في الحالة التي تكون فيها الموجة الحاملة عبارة عن توتر جيبي يمكن تضمين ثلاث بارامترات لهذه الموجة وهي :

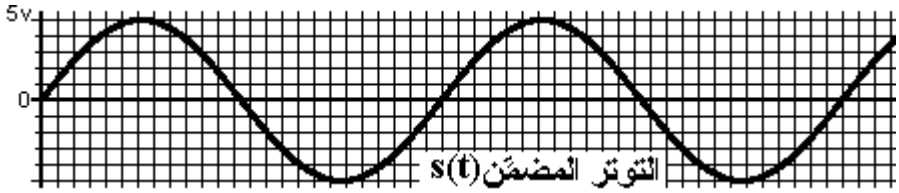
تضمين الوسع	تضمين التردد	تضمين الطور
تعبير التوتر المضمَّن $u_s(t) = U_m(t).\cos(2.\pi.F.t + \varphi)$  المقدار الذي يتغير مع الزمن هو الوسع	تعبير التوتر المضمَّن : $u_s(t) = U_m.\cos(2.\pi.F(t).t + \varphi)$  المقدار الذي يتغير مع الزمن هو التردد	تعبير التوتر المضمَّن : $u_s(t) = U_m.\cos(2.\pi.F.t + \varphi(t))$  المقدار الذي يتغير مع الزمن هو الطور

3. تضمين الوسع :

تضمين الوسع تقنية تعتمد على ضرب الاشارة التي تحمل المعلومة (الاشارة ذات التردد المنخفض BF) في اشارة اخرى عالية التردد HF (الموجة الحاملة) ، ويتم ذلك بعد اضافة توتر ثابت للاشارة BF و ذلك من أجل الحصول على تضمين جيد.

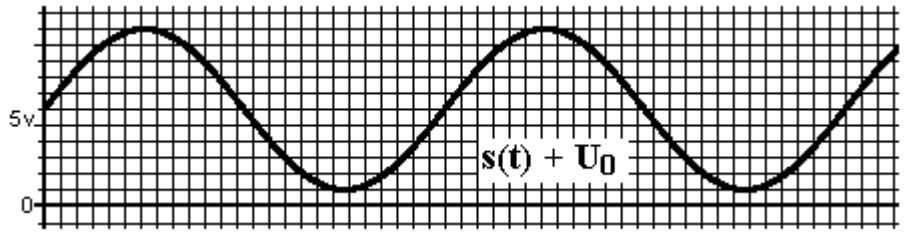


- التوتر المضمِّن : $s(t) = S_m.\cos(2.\pi.f.t)$ ذات تردد عال (يضم المعلومة المراد ارسالها)



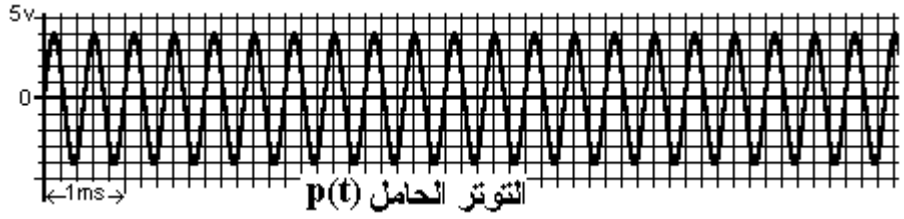
$f = 200Hz$ ، $S_m = 5V$

- التوتر المضمِّن المزاح : نضيف الى التوتر المضمِّن (التوتر ذو التردد المنخفض الذي يضم المعلومة المراد ارسالها) توترا ثابتا U_0 يسمى المركبة المستمرة (توتر الازاحة) من أجل الحصول على تضمين جيد. $s(t) + U_0 = U_0 + S_m.\cos(2.\pi.f.t)$



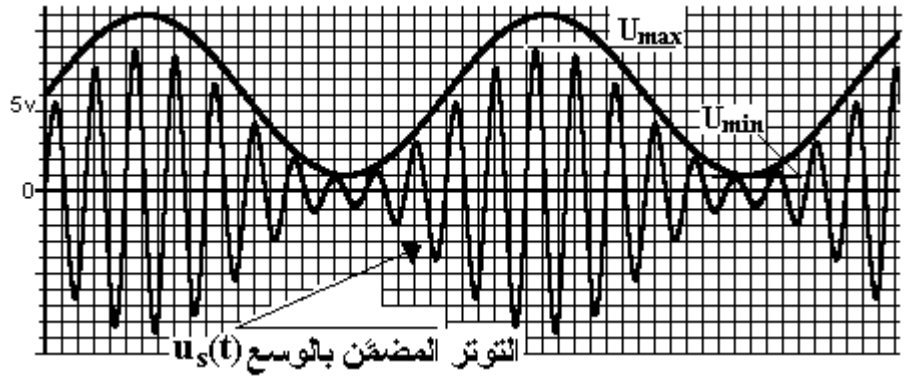
$U_0 = 6V$

- التوتر الحامل : $p(t) = P_m.\cos(2.\pi.F.t)$ ذات تردد عال



$F = 2000Hz$ ، $P_m = 4V$

- التوتر المضمَّن : بعد انجاز عملية الجداء نحصل على توتر مضمَّن الوسع $u_s(t) = U_m(t).\cos(2.\pi.F.t)$



تتم عملية التضمين بواسطة تركيب الكتروني خاص يسمى الدارة المتكاملة المنجزة للجداء : تقوم بانجاز جداء التوتر الحامل و التوتر المضمِّن المزاح.

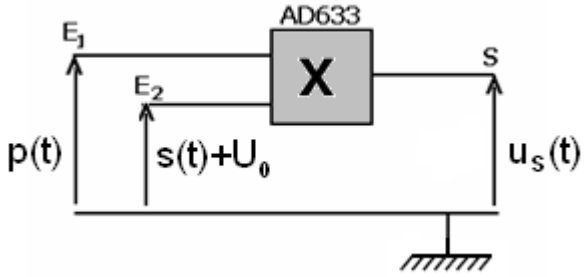
عند مخرج الدارة المتكاملة المنجزة للجداء : $u_s(t) = k.[s(t)+U_0]\times p(t)$

حيث k ثابتة التناسب تتعلق بالدارة المتكاملة المنجزة للجداء.

+ وحدة k : لدينا $u_s(t) = k.[s(t)+U_0]\times p(t)$

و انطلاقا من معادلة الأبعاد نجد ان وحدة k هي V^{-1}.

4. تعبير وسع التوتر المضمَّن :



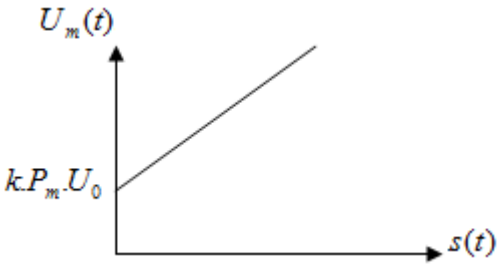
$$u_s(t) = k.[s(t)+U_0]\times p(t)$$

$$\Rightarrow u_s(t) = k.[s(t)+U_0].P_m.\cos(2.\pi.F.t)$$

و بما ان $u_s(t) = U_m(t).\cos(2.\pi.F.t)$ فان $u_m(t) = k.P_m[s(t)+U_0]$.

أي $U_m(t) = k.P_m.s(t) + k.P_m.U_0$

$\Leftarrow$ تضمين الوسع هو جعل وسع التوتر المضمَّن دالة تالفية للتوتر المضمِّن.



- نسبة التضمين :

لدينا $U_m(t) = k.P_m[s(t)+U_0]$ يعني $U_m(t) = k.P_m[S_m.\cos(2\pi.f_s.t)+U_0]$

يعني $U_m(t) = k.P_m.U_0\left[1+\frac{S_m}{U_0}.\cos(2\pi.f_s.t)\right]$

نضع : $A = k.P_m.U_0$ و $m = \frac{S_m}{U_0}$ (m نسبة التضمين) $\Leftarrow$ $U_m(t) = A.[1+m.\cos(2\pi.f_s.t)]$

لدينا $-1 \le \cos(2\pi.f_s.t) \le 1$ $\Leftarrow$ $A.(1-m) \le U_m(t) \le A.(1+m)$ $\Leftarrow$ $U_{m,\min} \le U_m(t) \le U_{m,\max}$

حيث : $U_{m,\max} = A.(1+m)$ (1) و $U_{m,\min} = A.(1-m)$ (2)

+ تحديد نسبة التضمين m بدلالة $U_{m,\max}$ و $U_{m,\min}$

$$\frac{(1)}{(2)} \Rightarrow \frac{U_{m,\max}}{U_{m,\min}} = \frac{A.(1+m)}{A.(1-m)} \Rightarrow m = \frac{U_{m,\max}-U_{m,\min}}{U_{m,\max}+U_{m,\min}}$$

+ تحديد A بدلالة $U_{m,\max}$ و $U_{m,\min}$

$$(1)+(2) \Rightarrow A = \frac{U_{m,\max}+U_{m,\min}}{2}$$

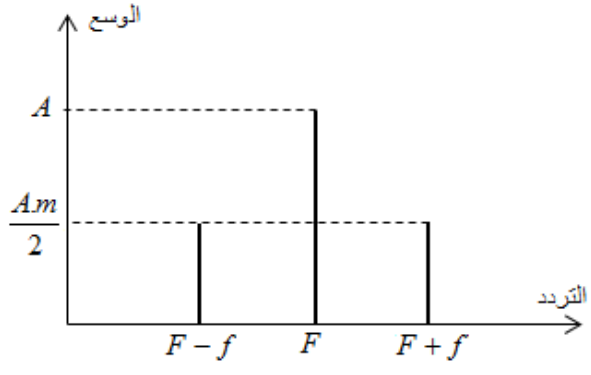
- طيف الترددات للتردد المضمَّن :

لدينا : $u_s(t) = A.[1+m.\cos(2\pi.f_s.t)].\cos(2.\pi.F.t)$ يعني : $u_s(t) = A.\cos(2.\pi.F.t) + A.m.\cos(2.\pi.F.t).\cos(2.\pi.f.t)$

نذكر أن : $\cos p.\cos q = \frac{1}{2}[\cos(p+q)+\cos(p-q)]$ حيث $p,q \in IR$

يعني : $u_s(t) = \frac{A.m}{2}.\cos[2.\pi.(F-f).t] + A.\cos(2.\pi.F.t) + \frac{A.m}{2}\cos[2.\pi.(F+f).t]$

$\Leftarrow$ طيف الترددات للتوتر المضمَّن يتكون من ثلاث حزات :



5. جودة التضمين :

للحصول على توتر مضمَّن بجودة جيدة ينبغي تحقيق الشرطين التاليين :

- $m \prec 1$ أي $S_m \prec U_0$
- تردد الحاملة F أكبر بكثير من تردد التوتر المضمِّن f (على الأقل $F \succ 10 f$).

مثال : في التوتر المضمَّن أعلاه

الطريقة 1 : $m = \dfrac{U_{m,\max} - U_{m,\min}}{U_{m,\max} + U_{m,\min}} = \dfrac{9-1}{9+1} = 0{,}8 \prec 1$

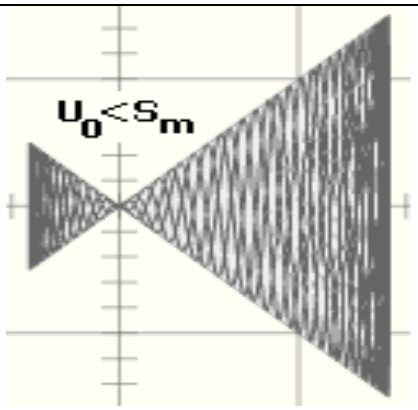
الطريقة 2 : $m = \dfrac{S_m}{U_0} = \dfrac{5}{6} = 0{,}83 \prec 1$

و لدينا : $F \succ\succ f$

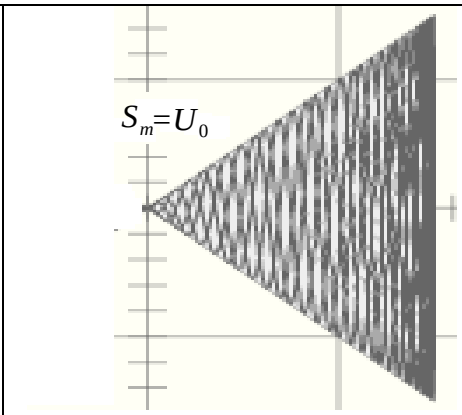
$\Leftarrow$ التضمين جيد

ملحوظة : يكون التضمين جيد اذا كان غلاف التوتر المضمَّن يوافق التوتر المضمِّن المزاح.

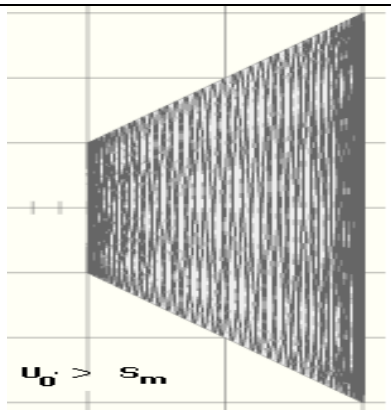
للتأكد من الحصول على تضمين جيد، نربط التوتر المضمَّن $u_s(t)$ بأحد مدخلي راسم التذبذب و التوتر المضمِّن المزاح $s(t) + U_0$ بالمدخل الاخر ثم نزيل الكسح بالضغط على الزر XY .



فرط التضمين (فوق تضمين) : $m \succ 1$



تضمين حرج : $m = 1$



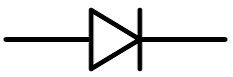
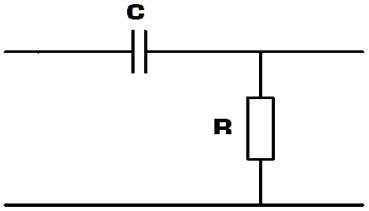
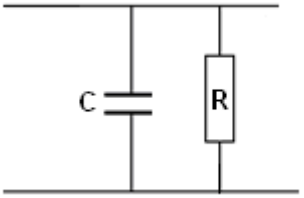
تضمين جيد : $m \prec 1$

اذا لم تتوفر شرط التضمين الجيد نحصل على فوق التضمين ، بحيث غلاف التوتر المضمَّن لا يوافق التوتر المضمِّن المزاح. في هذه الحالة لا نحصل على شبه المنحرف عند استعمال الزر XY لراسم التذبذب .

III. ازالة التضمين

1. مفهوم ازالة التضمين

تهدف ازالة التضمين الى استرجاع الاشارة ذات التردد المنخفض BF المبعوثة عبر الموجة المضمَّنة ذات التردد العالي HF . أي أن الشيء الذي نود استرجاعه من الموجة هو غلافها العلوي.

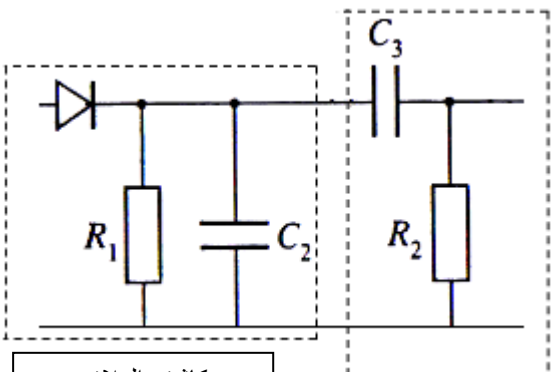
الصمام الثنائي	مرشح ممرر للترددات العالية	مرشح ممرر للترددات المنخفضة
		
	موصل اومي مركب على التوالي مع مكثف يسمح بمرور الترددات العالية و لا يسمح بمرور التوترات المستمرة.	موصل اومي مركب على التوازي مع مكثف يسمح بمرور الترددات المنخفضة.

2. مراحل عملية ازالة التضمين :

تتم عملية ازالة التضمين عبر مرحلتين متتاليتين :

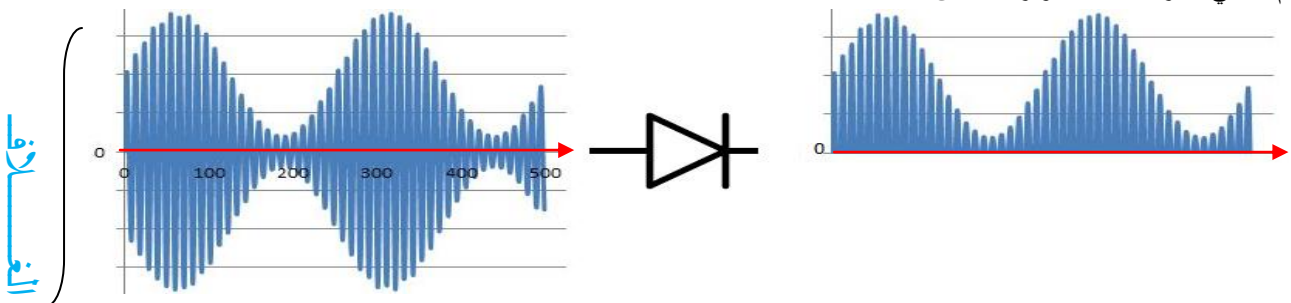
- كشف الغلاف ، أي حذف الموجة الحاملة،
- حذف المركبة المستمرة U_0،

يستعمل التركيب التالي :

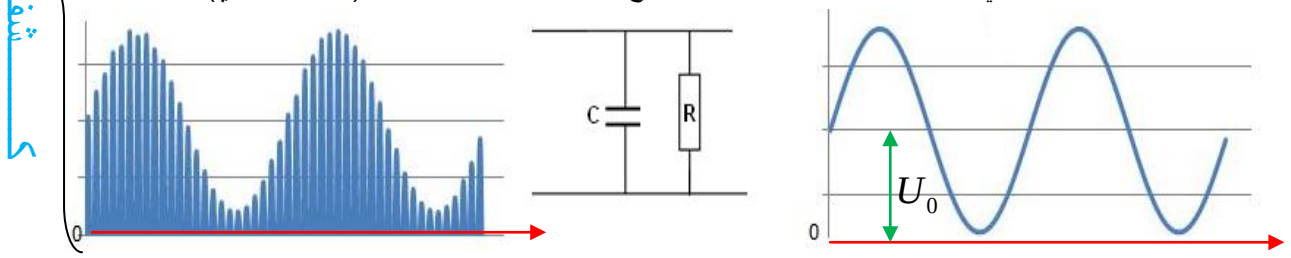


❖ المرحلة الأولى : مرحلة التقويم redressement

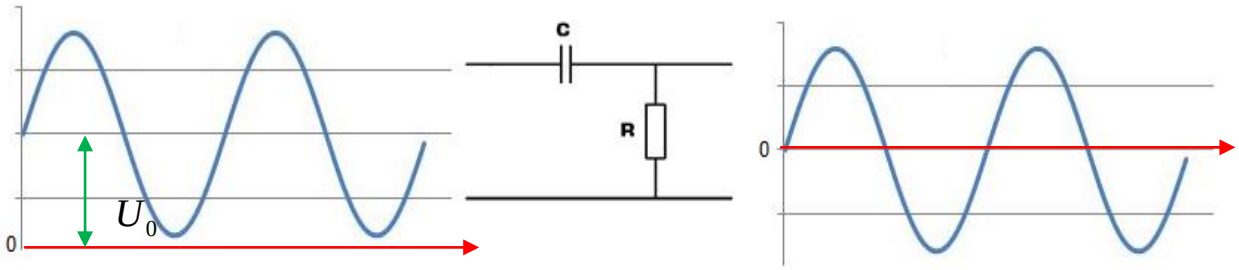
يحذف الصمام الثنائي الجزء السالب للتوتر المضمَّن .



❖ المرحلة الثانية : ازالة الجزء المتبقي من الموجة الحاملة من طرف المرشح الممرر للترددات المنخفضة (RC المتوازي)



❖ المرحلة الثالثة : ازالة الجزء المتبقي من الموجة الحاملة من طرف المرشح الممرر للترددات العالية (RC المتوالي)

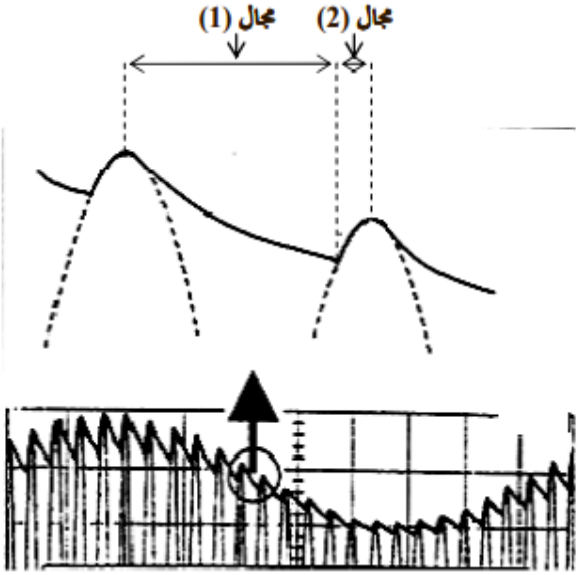


3. جودة ازالة التضمين :

تكمن جودة ازالة التضمين في جودة كاشف الغلاف و التي ترتبط بثابتة الزمن $\tau = RC$ للتركيب RC المتوازي.

للحصول على كشف غلاف جيد ينبغي ان تحقق ثابتة الزمن لثنائي القطب RC المتوازي المتفاوتة التالية : $T_p \prec\prec \tau \prec T_s$

أي : $\frac{1}{F_p} \prec\prec \tau \prec \frac{1}{f_s}$ حيث T_p دور الموجة الحاملة و T_s دور التوتر المضمن



تفسير :

يعطي الرسم التذبذبي جانبه ، بعد التكبير ، قمم كل من التوترين $u_s(t)$ و $u_s(t)$.

+ المجال 1 : الصمام حاجز ، المكثف يفرغ في R .

+ المجال 2 : الصمام موصل ، المكثف يشحن.

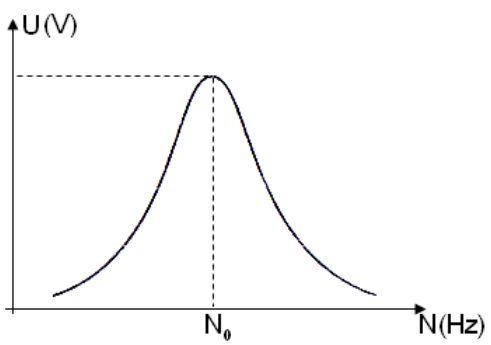
ينتج عن عملية شحن و تفريغ المكثف بكيفية سريعة جدا استرجاع قمم التوتر المضمَّن و بالتالي ازالة ما تبقى من الموجة الحاملة.

-يشحن المكثف خلال نصف الدور $\frac{T_p}{2}$ و تفريغه يستلزم المدة $5.\tau = R.C$ ، لا يجد المكثف المدة اللازمة للتفريغ فتفاجئه عملية الشحن الموالية.

IV. سلسلة استقبال بث اداعي بتضمين الوسع AM

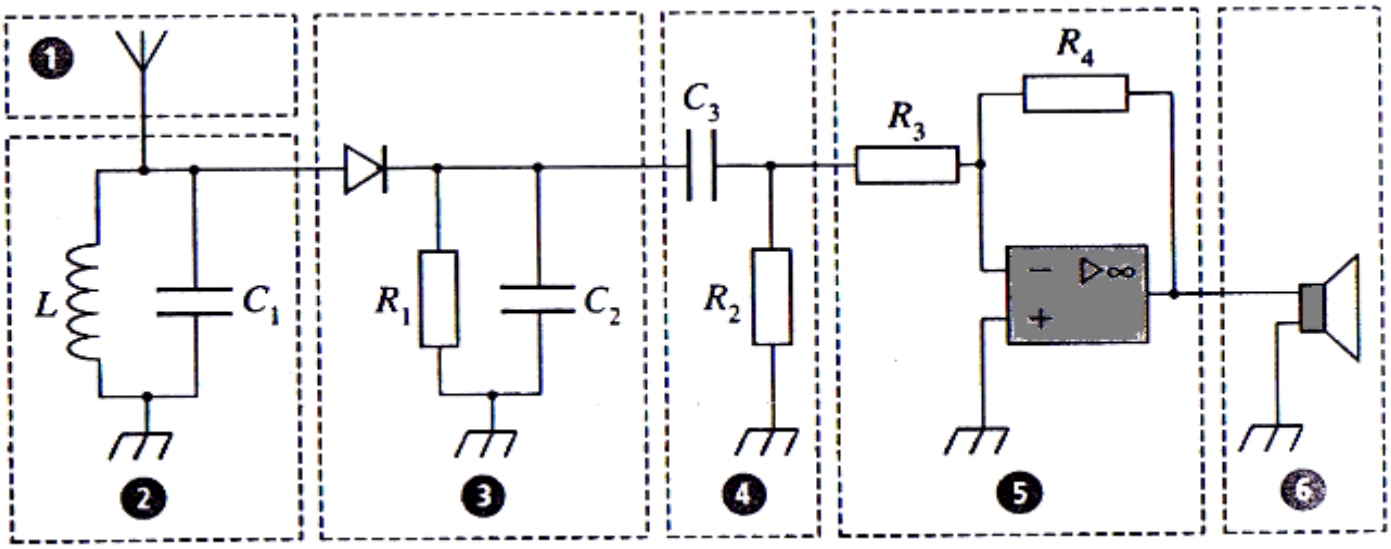
1. المرشح الممرر للمنطقة :

تعتبر الدارة LC مرشحا ممررا للمنطقة بحيث تسمح بمرور الترددات الممركزة حول التردد الخاص N_0 حيث : $N_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$. (تعتبر الدارة LC تسمى كذلك دارة الانتقاء أ الدارة السدادة). و لتحقيق انتقاء (التقاط) ارسال أو محطة يجب التوفيق بين التردد الخاص N_0 للدارة LC و التردد F للتوتر المضمَّن ، أي ان نحقق الشرط : $F = N_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$ و ذلك بتغيير قيمة L او C .



2. انجاز جهاز مستقبل راديو بسيط :

يتكون المستقبل راديو مما يلي :



- (1) هوائي
- (2) دارة الانتقاء = دارة التوافق = الدارة السدادة : يتم انتقاء الموجة المضمنة اذا كان $F = N_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C_1}}$ μAمضخم
- (3) كاشف الغلاف
- (4) مرشح ممرر للترددات العالية
- (5) مضخم الاشارة BF
- (6) مكبر الصوت

ملحوظة : نظرا لكون الموجة الملتقطة من طرف الهوائي ضعيفة يتم تضخيمها قبل ازالة تضمينها.

الأستاذ : مبارك هندا

www.handa-physique.e-monsite.com

Phy.handa@gmail.com

06.61.93.12.83