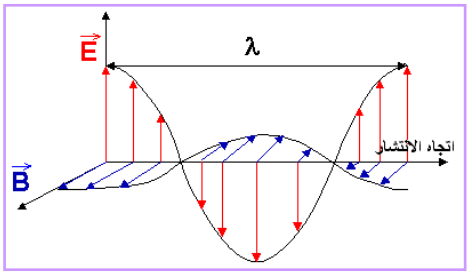
8 الموجات الكهرمغنطيسية – نقل المعلومات
تضمين الوسع

I. الموجات الكهرمغنطيسية

• تعريفها و مميزاتها

تعريف

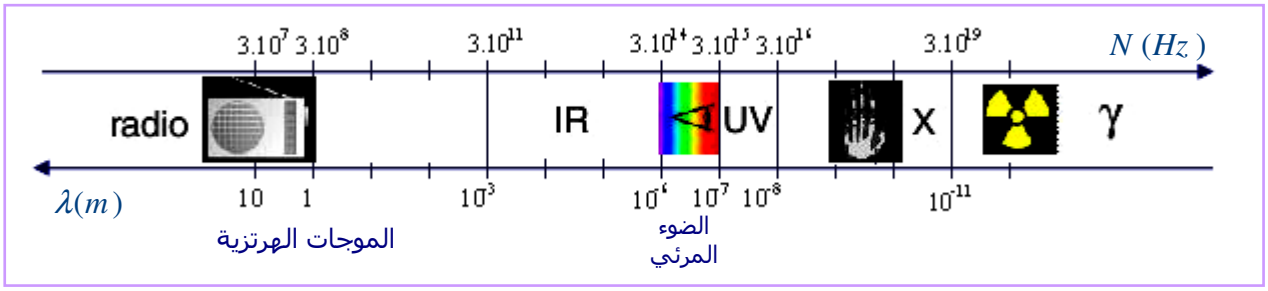
لشحن كهربائية متحركة تأثير كهربائي يمكن وصفه بمجال كهربائي $\vec{E}$ و تأثير مغنطيسي يمكن وصفه بمجال مغنطيسي $\vec{B}$. انتشار هاذين المجالين يشكل موجة كهرمغنطيسية.



- تنتشر الموجات الكهرمغنطيسية في الفراغ كما في الأوساط المادية العازلة بسرعة الضوء: $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$ في الفراغ .
- تنعكس على السطوح الفلزية (خاصية تستغل في هوائيات الاستقبال).
- تتميز موجة كهرمغنطيسية بترددها N أو بطول موجتها في الفراغ λ ، و هما يرتبطان بالعلاقة التالية:

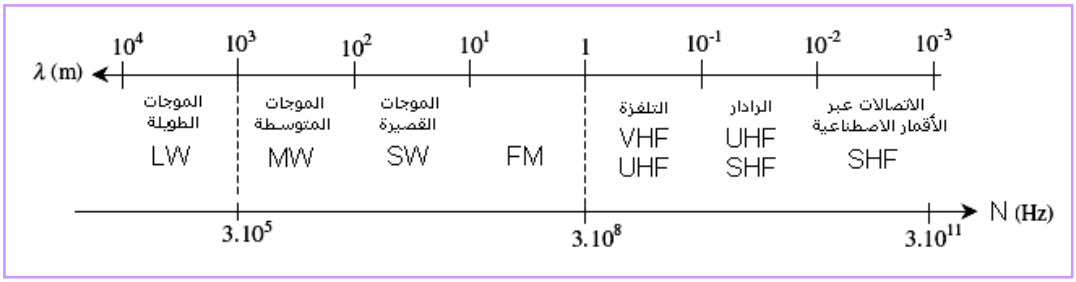
$$\lambda = cT = \frac{c}{N}$$

- الطيف الكهرمغنطيسي:



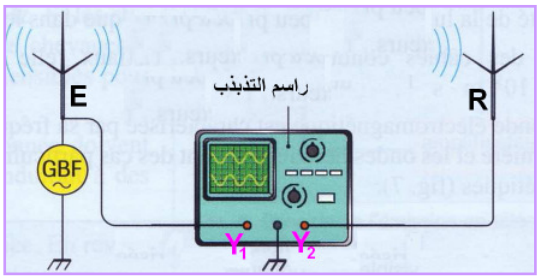
• الموجات الهرتزية

- تستعمل الموجات الهرتزية في نقل المعلومات و الإشارات في مجال الاتصالات اللاسلكية و البث الإذاعي و التلفزي.....
- تستعمل الموجات الهرتزية ذات التردد العالي (HF) كموجات حاملة لنقل إشارات ذات تردد منخفض(BF) بواسطة تقنية التضمين.



II. إرسال و استقبال موجة كهرمغنطيسية

• الإبراز التجريبي



E سلك يؤدي دور هوائي الإرسال.

R سلك يؤدي دور هوائي الاستقبال.

على الشاشة تعاين إشارتان كهربائيتان لهما نفس التردد.

• دور هوائي الإرسال و هوائي الاستقبال

يحول هوائي الإرسال إشارة كهربائية (توتر كهربائي) إلى إشارة كهرمغنطيسية بينما يقوم هوائي الاستقبال بالدور المعاكس.

خاصية للموجة الكهرمغنطيسية و الإشارة الكهربائية المحدثة في هوائي الإرسال أو في هوائي الاستقبال نفس التردد.

III. تضمين موجة جيبية

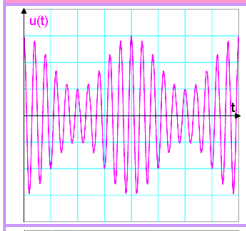
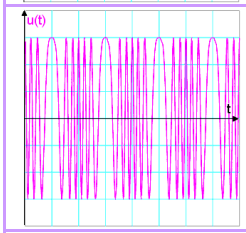
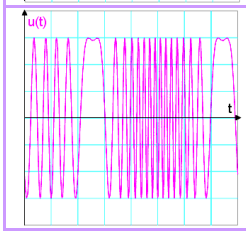
• مبدأ التضمين

تعريف تسمى الموجة الكهرمغنطيسية التي تنقل معلومة موجة حاملة. أما المعلومة فتسمى الإشارة المضمّنة.

تتمثل تقنية التضمين في جعل الإشارة المضمّنة تغير أحد المقادير المميزة للموجة الحاملة (وسعها، ترددها، أو طورها)بدلالة الزمن.

• تضمين توتر جيبي

الجدول التالي يلخص أنماط تضمين توتر جيبي تعبيره: $u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi Nt+\varphi)$

	المقدار المضمّن	تعبير u بعد التضمين	التمثيل المبياني
تضمين الوسع (AM)	الوسع	$u(t)=\mathbf{U_m(t)}\cdot\cos(2\pi Nt+\varphi)$	
تضمين التردد (FM)	التردد	$u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi\mathbf{N(t)}t+\varphi)$	
تضمين الطور	الطور	$u(t)=U_m\cdot\cos(2\pi Nt+\mathbf{\varphi(t)})$	

IV. تضمين الوسع Modulation d'amplitude

• مبدأ تضمين الوسع

يحصل على تضمين الوسع بإنجاز جذاء توترين:

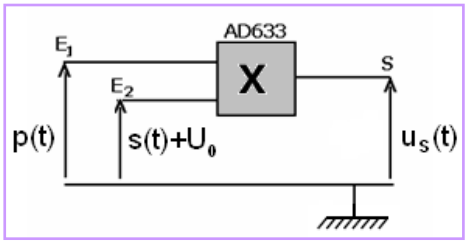
- توتر جيبي عالي التردد (الموافق للموجة الحاملة): $p(t) = P_m \cos 2\pi N_p t$
- و توتر يساوي مجموع توتر جيبي منخفض التردد $s(t)$ (الموافق للإشارة المضمنة) و توتر مستمر يسمى توتر الإزاحة أو المركبة المستمرة: $s(t) + U_0 = S_m \cos 2\pi N_s t + U_0$

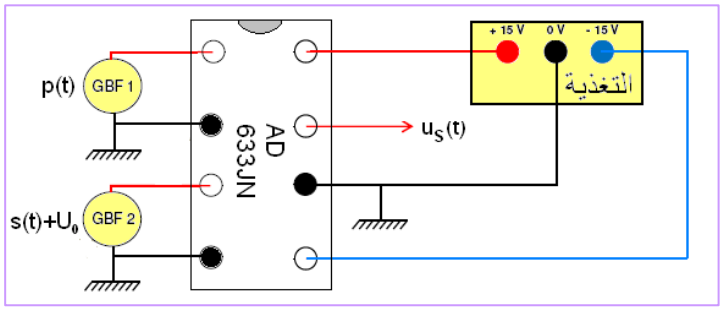
يستعمل تركيب إلكتروني منجز للجذاء للحصول على توتر مضمّن يتناسب مع هذا الجذاء:

$$u_S(t) = k \cdot p(t) \cdot (s(t) + U_0)$$

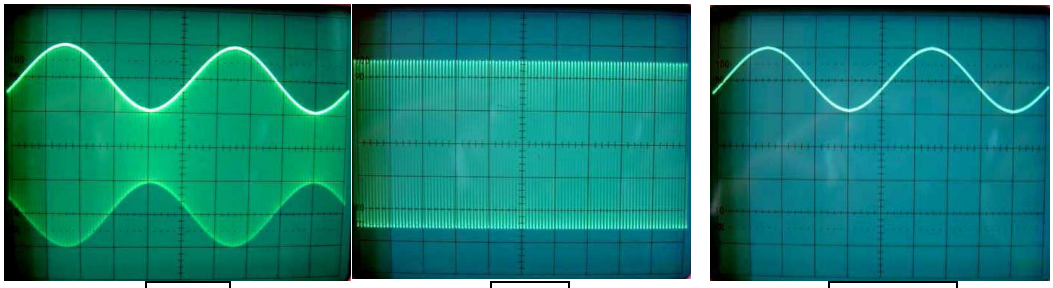
معامل التناسب k يميز التركيب المنجز للجذاء.

• الإبراز التجريبي لتضمين الوسع





بواسطة راسم التذبذب أو حاسوب تعاين مختلف الإشارات:



$u_S(t)$ $p(t)$ $s(t)+U_0$

يلاحظ أن وسع الإشارة المضمّنة $u_S(t)$ يتغير بدلالة الزمن حسب تغيرات الإشارة المضمّنة $s(t)$.

• تعبير وسع الإشارة المضمّنة

بتعويض $p(t)$ و $s(t)$ بتعبيريهما نستنتج معادلة التوتر المضمّن:

$$u_s(t) = k \cdot P_m \cdot (S_m \cos 2\pi N_s t + U_0) \cdot \cos 2\pi N_p t$$

ووسعه: $U_m(t) = A \cdot (m \cdot \cos 2\pi N_s t + 1)$

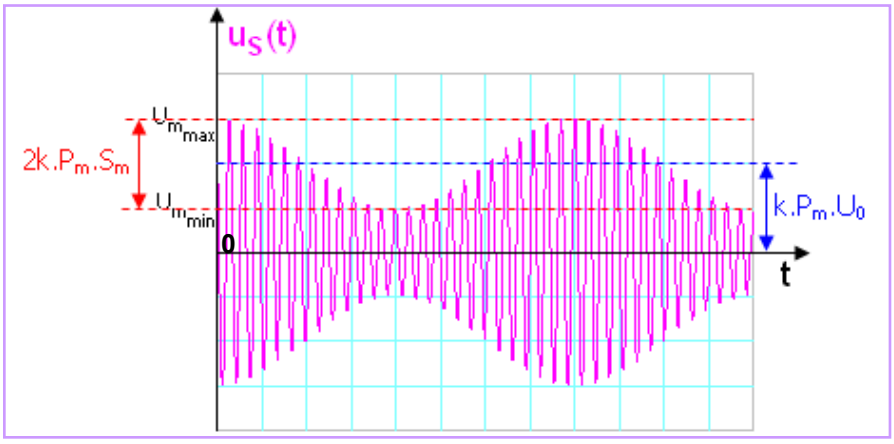
بوضع: $A = k \cdot P_m \cdot U_0$

و $m = \dfrac{S_m}{U_0}$ نسبة التضمين

خاصية في تضمين الوسع وسع الإشارة المضمَّنة دالة تآلفية للتوتر المضمِّن:

$$U_m(t) = A\cdot(m\cdot\cos 2\pi N_s t + 1)$$

• تعبير آخر لنسبة التضمين



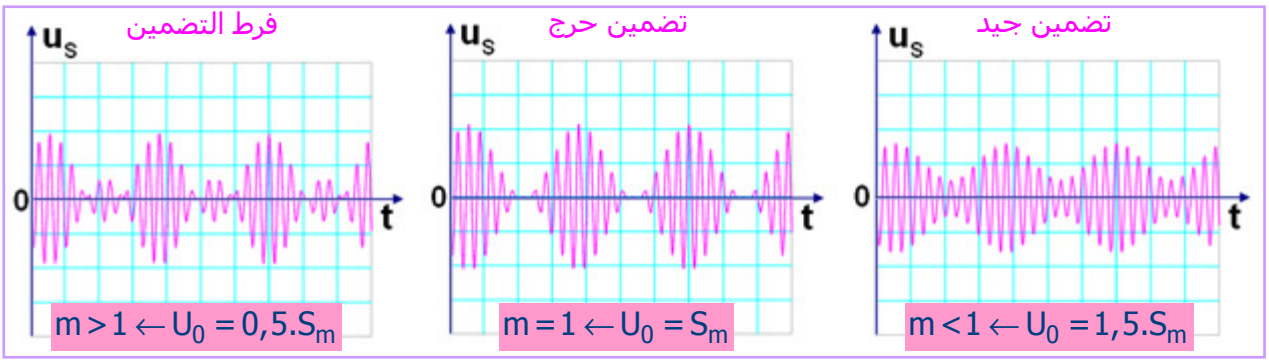
تتراوح القيمة القصوى للتوتر المضمَّن(غلاف الإشارة المضمَّنة)بين قيمتين حديتين $U_{m_{max}}$ و $U_{m_{min}}$

بحيث: $U_{m_{max}} = A\cdot(+m+1)$ و $U_{m_{min}} = A\cdot(-m+1)$، نستنتج تعبيرا لنسبة التضمين:

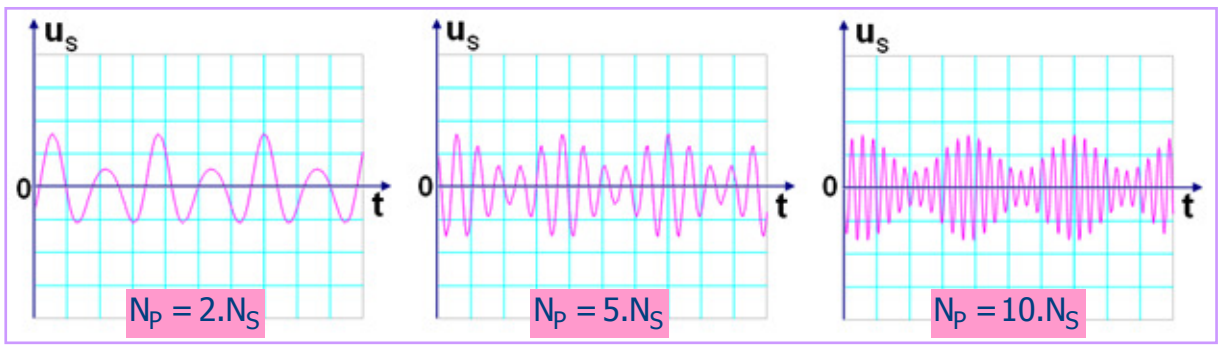
$$m = \frac{U_{m_{max}} - U_{m_{min}}}{U_{m_{max}} + U_{m_{min}}}$$

• جودة التضمين

· تأثير U_0



·اختيار N_p



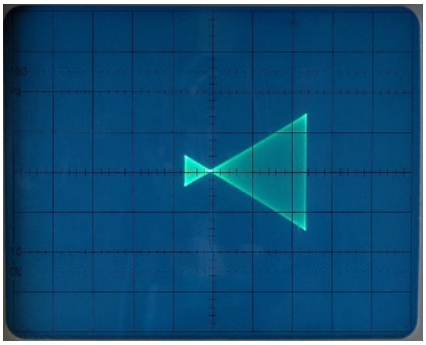
▪ شرطا التضمين

تتحقق جودة التضمين بالشرطين التاليين:

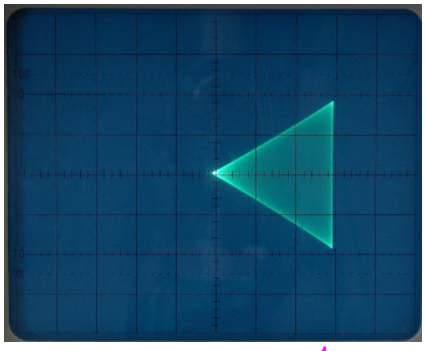
- $U_0 > S_m$ أي $m<1$
- $N_p \gg N_s$

• التحقق من جودة التضمين

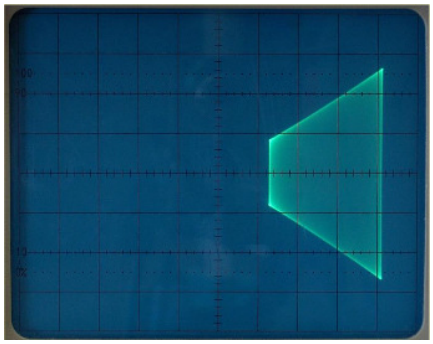
للتحقق من جودة التضمين تستعمل طريقة شبه المنحرف و فيها يشغل راسم التذبذب على النمط XY أي يحذف الكسح، حيث تعاين تغيرات التوتر المضمَّن بدلالة التوتر المضمِّن: $u_S=f(s+U_0)$



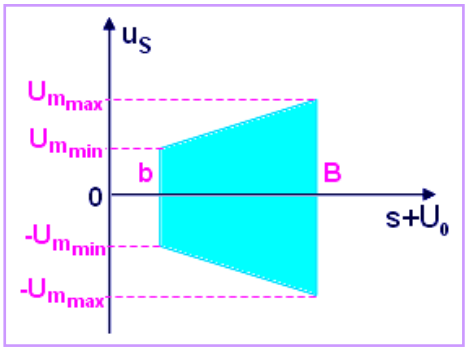
فرط التضمين : $m>1$



تضمين حرج : $m=1$



تضمين جيد : $m<1$



يمكن تحديد نسبة التضمين انطلاقا من أبعاد شبه المنحرف:

قاعدته الكبرى B و قاعدته الصغرى b بالعلاقة التالية:

$$m=\frac{B-b}{B+b}$$

V. إزالة تضمين الوسع Démodulation d'amplitude

• مبدأ إزالة تضمين الوسع

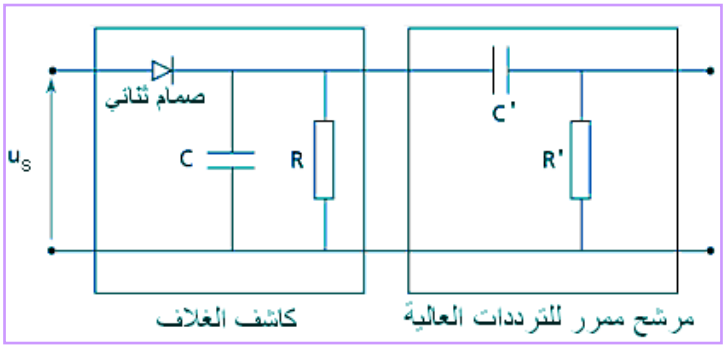
تعريف

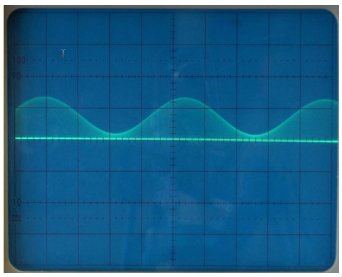
تتمثل عملية إزالة التضمين في استخراج المعلومة المنقولة (الإشارة المضمّنة) من الإشارة المضمَّنة و تضم مرحلتين متتاليتين:

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

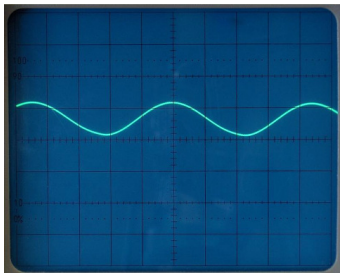
• مرحلتا إزالة تضمين الوسع

يستعمل التركيب التالي:

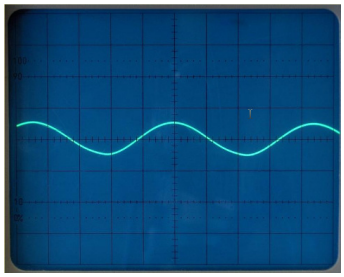




الإشارة بعد الصمام:
يحذف الصمام الجزء السالب للإشارة المضمَّنة



الإشارة بعد التركيب RC المتوازي:
يحذف هذا المرشح الإشارة الحاملة ذات التردد العالي.



الإشارة بعد التركيب R'C' المتوالي:
يحذف هذا المرشح المركبة المستمرة U_0.

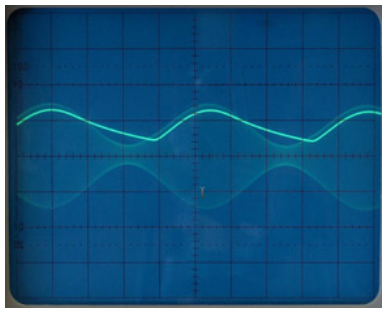
كشف الغلاف

حذف توتر الإزاحة

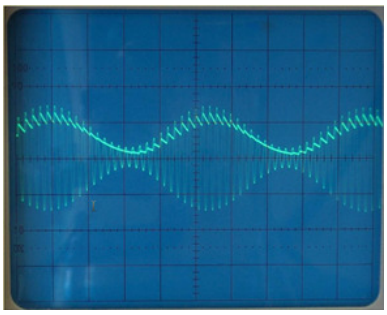
• جودة إزالة التضمين

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

▪ الإبراز التجريبي لتأثير $\tau = RC$



$\tau = RC$ كبيرة ($\tau \approx T_s$):
تفريغ بطيء للمكثف.
← كشف غلاف رديء.



$\tau = RC$ صغيرة ($\tau \approx T_p$):
تفريغ سريع للمكثف.
← كشف غلاف رديء.

▪ شرط إزالة التضمين

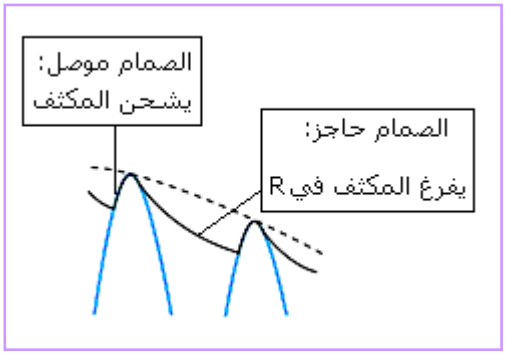
للحصول على إزالة تضمين جيدة ينبغي أن تكون الإشارة المضمّنة المسترجعة قليلة التموج و يتحقق ذلك إذا حققت ثابتة الزمن للتركيب (RC) المكون لكاشف الغلاف الشرط التالي:

$$T_p \ll \tau < T_s$$

أي:

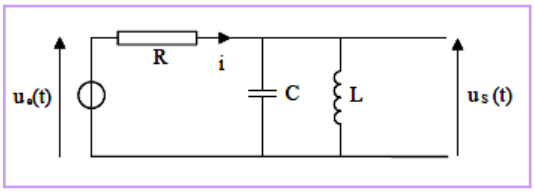
$$\frac{1}{N_p} \ll RC < \frac{1}{N_s}$$

▪ تفسير



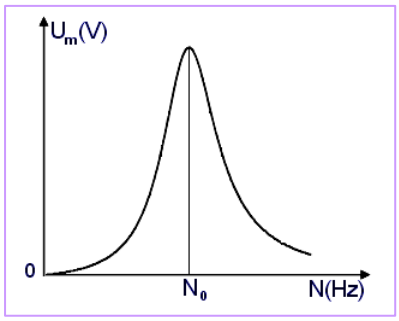
VI. سلسلة استقبال بث إذاعي AM

• الدارة (LC)المتوازية



يطبق المولد توترا جيبيا u_0 وسعه ثابت و تردده قابل للضبط.

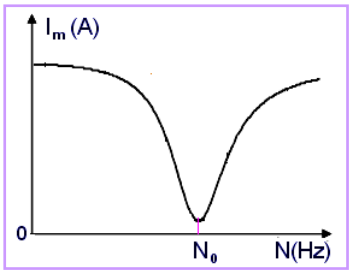
بواسطة فولطمتر أو راسم تذبذب تقاس تغيرات الوسع U_m للتوتر u_S بدلالة التردد. التمثيل المبياني لهذه التغيرات يعطي منحنى الاستجابة جانبه.



يبرز هذا المنحنى أن استجابة الدارة (LC) تكون قصوى عند تساوي تردد المولد مع ترددها الخاص $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

خاصية

الدارة (LC) المتوازية هي مرشح ممرر لمنطقة من الترددات حيث تمكن من تمرير الإشارات ذات ترددات ممركزة حول ترددها الخاص الذي يسمى أيضا التردد المركزي: $N_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$



بالنسبة لشدة التيار يكون منحنى الاستجابة على الشكل التالي.

يبين المنحنى أن الدارة المتوازية (LC) تمنع مرور التيار في منطقة للتردد ممركزة حول ترددها الخاص.و لذلك تسمى "الدارة السدادة"circuit bouchon .

• المستقبل راديو

يتكون المستقبل راديو مما يلي:

① هوائي يستقبل الموجات الكهرمغنطيسية مختلفة الترددات.

② دارة الانتقاء يمكن توفيقها على التردد N_P للموجة الحاملة(HF) الواردة من المحطة الإذاعية بضبط قيمة L أو C.

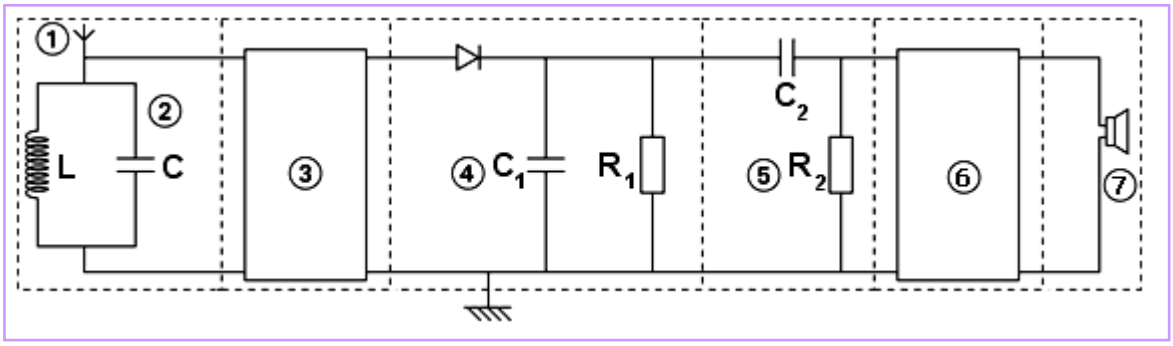
③ مضخم الإشارة (HF).

④ كاشف الغلاف.

⑤ مرشح ممرر للترددات العالية لحذف المركبة المستمرة.

⑥ مضخم الإشارة (BF) المستخلصة.

⑦ سماعة أو مكبر الصوت.



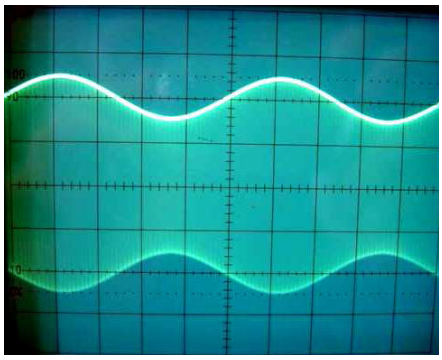
تمارين

تمرين 1

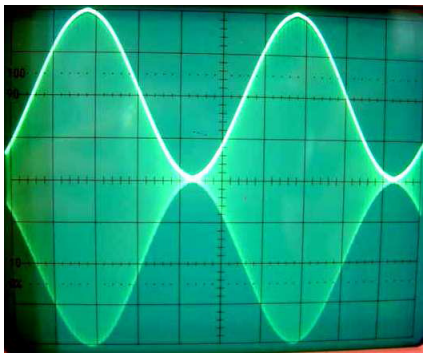
بواسطة راسم التذبذب يعاين توتر مضمَّن الوسع في 3 حالات و ذلك حسب قيمة توتر الإزاحة. ضبطت الحساسية الرأسية على نفس القيمة: 1 V/div.

1- أحسب نسبة التضمين في كل من الحالات الثلاث.

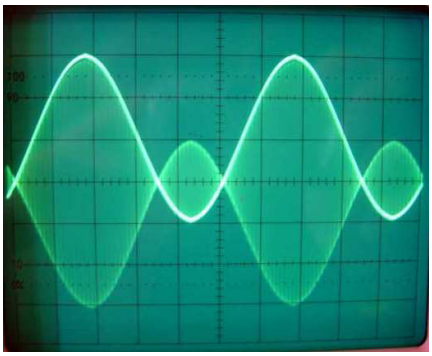
2- استنتج، معللا جوابك، في أي حالة يكون التضمين جيدا.



حالة 1



حالة 2



حالة 3

تمرين 2

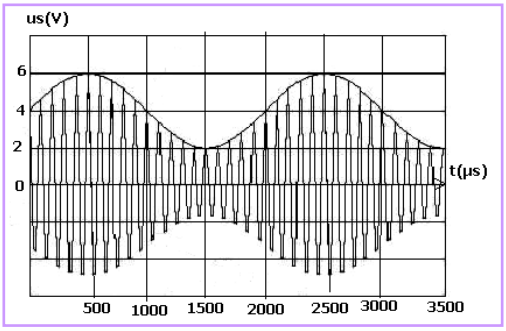
نعتبر توترا مضمَّن الوسع تعبيره: $u_s(t) = (S_m \cos 2\pi ft + U_0)\cos 2\pi Ft$

يعاين الرسم التذبذبي التالي (الشكل جانبه).

1) عين مبيانيا الإشارة المضمِّنة و الإشارة المضمَّنة وحدد قيمة كل منf و F.

2) ماذا يمثل كل من المقدارين S_m و U_0؟ حدد قيمة كل منهما مبيانيا.

3) أحسب نسبة التضمين.ماذا تستنتج بالنسبة لجودة التضمين؟.



تمرين 3

تتكون دارة إزالة التضمين لجهاز راديو AM من صمام ثنائي و كاشف غلاف RC .

مقاومة الموصل الأومي هي : $R = 15\ k\Omega$.

متوسط تردد الموجات الصوتية هو 1 kHz و يلتقط مستقبل موجات الراديو موجة ترددها هو 164 kHz.

من بين السعات التالية : 10 pF ; 100 pF ; 1 nF ; 10 nF ; 100 nF ; 1 µF ; 10 µF حدد السعة C التي تمكن من الحصول على موجات صوتية ذات جودة عالية.