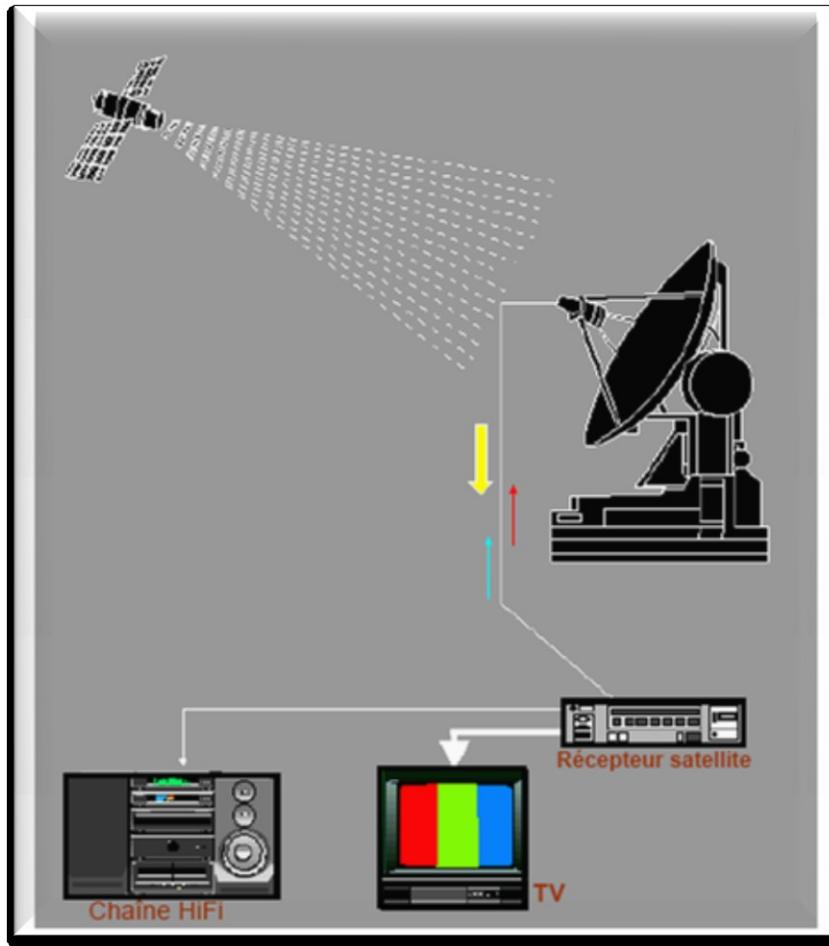
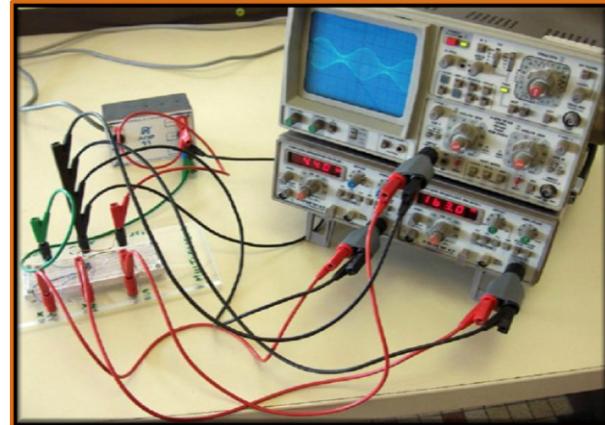
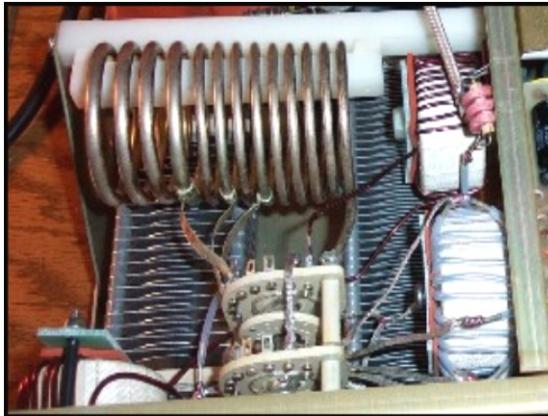
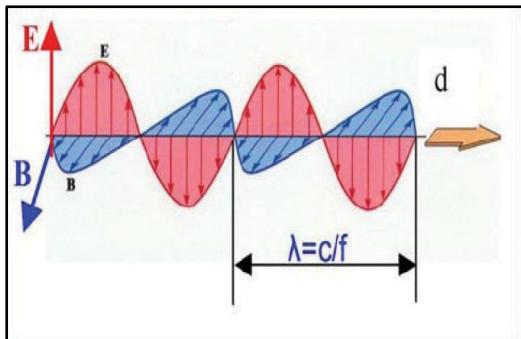


الموجات الكهرومغناطيسية
نقل المعلومات - تضمين الوسع



تعد الموجات الكهرومغناطيسية أحد أهم الاكتشافات العلمية في العصر الحديث ، بواسطتها يتم انتقال المعلومات ، الأخبار ، الموسيقى و الحوارات من و إلى جميع مناطق العالم .
فهناك عدة أجهزة تعتمد في استغلالها على هذا النوع من الموجات : محطات إذاعية ، أجهزة التلفزيون ، الهاتف النقالة ، أجهزة الاتصالات الفضائية
فكيف تعمل هذه الملايين من الموجات غير المرئية و المنتشرة حول العالم ، بدون أن يحدث تداخل أو تشويش لبعضها البعض ؟



- 1) الموجات الكهرمغنتيسية .
- 1 - 1) تعريف و مميزات .

ت تكون الموجة الكهرمغنتيسية من مجال كهربائي \vec{E} و مجال مغنتيسي \vec{B} متعاكسين فيما بينهما و مع اتجاه انتشارهما .

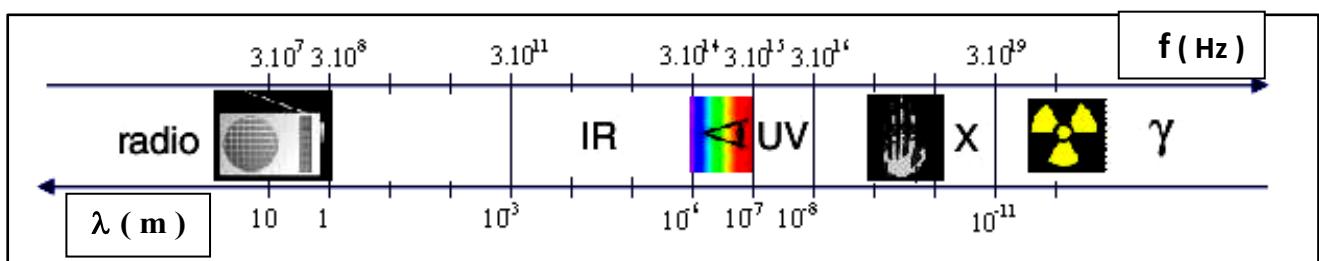
- تنتشر في الفراغ بسرعة $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ، و هي موجات دورية تتميز بدور T و بتردد f و بطول موجة λ :

$$\lambda = c.T$$

- موجات مستعرضة تخضع للخصائص الموجية كالاحيود ، التداخل ، الانكسار و الانعكاس .

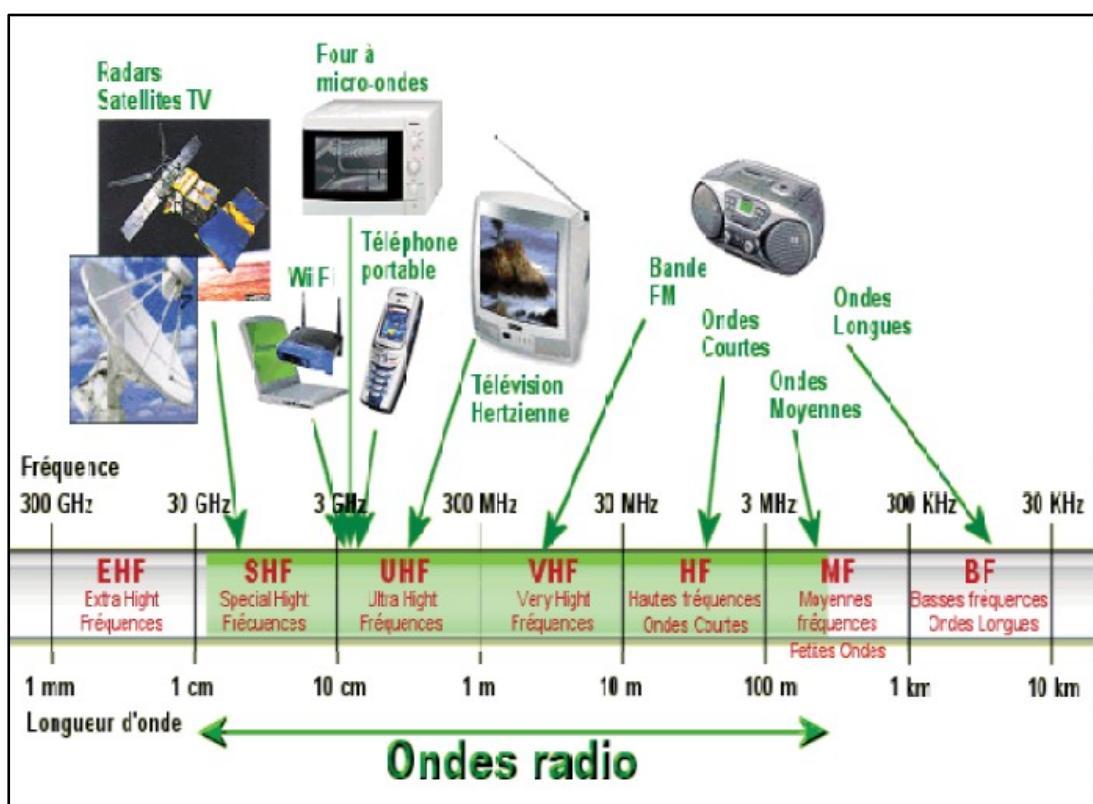
، قدرة الموجة الكهرمغنتيسية تتعلق بوعس الموجة ، ترددتها و العوامل الجوية .

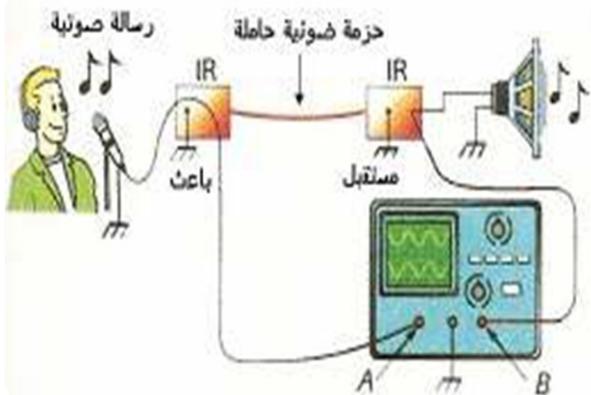
طيف الموجات الكهرمغنتيسية



1 - 2) الموجات الهرتزية .

موجات كهرمغنتيسية طول موجتها في الفراغ أكبر أو تساوي 1mm ، تستعمل في نقل المعلومات في مجال الاتصالات اللاسلكية و البث الإذاعي و التلفزي و تستعمل الموجات الهرتزية ذات التردد المرتفع في حمل (نقل) الإشارات ذات ترددات منخفضة باعتماد عملية التضمين .





2) إرسال و استقبال موجة كهرمغنتيسية .

1-2) نقل إشارة صوتية

نجز التركيب التجريبي جانبه ونصر صوتا لآلة موسيقية أمام الميكروفون ونسمع الصوت من مكبر الصوت .

نعرض الميكروفون بمولد التردد المنخفض GBF ضبط على توتر متذبذب جيبي تردد مسموع وقيمة 440Hz .

نعاين على شاشة راسم التذبذب الإشارتين ؛ المنبعثة من جهاز GBF والمستقبلة من طرف مكبر الصوت .

الصوت المحدث أمام الميكروفون هو المعلومة المراد إرسالها .

الميكروفون يحول الرسالة الصوتية إلى إشارة كهربائية (توتر كهربائي) مكبر الصوت يستقبل الإشارة الكهربائية ويعولها إلى إشارة صوتية أي الرسالة الصوتية .

ما دور الليف البصري ؟

موجة الحزمة الضوئية (guide) أي أن الحزمة الضوئية الحاملة للإشارة الكهربائية تنتشر داخله

نسمي الحزمة الضوئية بالموجة الحاملة Onde porteuse فهي تتغير حسب الإشارة المراد نقلها ، نقول أن الحزمة الضوئية مضمنة Modulé .

قارن بين شكلي ودوري ووسعى الإشارة المنبعثة من GBF والإشارة التي يستقبلها مكبر الصوت من خلال الشكل يلاحظ أن لهما نفس الدور ونفس الوسع

الموجة الحاملة موجة جيبية ترددتها عالي محصور بين 100KHz و 10GHz .

رتبة قدر سرعة انتشارها هي $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ وهي تقارب سرعة الضوء في الفراغ .

ما الإشارة المضمنة ؟ وما الإشارة المضمنة ؟

الإشارة المضمنة ، الإشارة الكهربائية المراد إرسالها : المعلومة ذات تردد منخفض من 20Hz إلى 20KHz .

الإشارة المضمنة ، الحزمة الضوئية : الموجة الحاملة

أعط تعريفا لعملية التضمين .

عندما تغير الإشارة إحدى مميزات الموجة الحاملة (الوسع أو التردد) تسمى هذه العملية بالتضمين

ملحوظة : يمكن للموجة الحاملة أن تكون موجة ضوئية أو موجة هيرتزية (الراديو ، الهاتف المحمول إلخ) عند الاستقبال يجب فصل الإشارة (المعلومة) عن الموجة الحاملة تسمى هذه العملية بإزالة التضمين .

2 -2) إرسال واستقبال موجة كهرمغنتيسية

نجز التركيب التجريبي الممثل جانبه .

نغذي السلك الكهربائي E بواسطة مولد التردد المنخفض GBF ضبط على

توتر جيبي وسعة $U_m=5V$ وتردد $f=20\text{kHz}$.

نعاين على شاشة راسم التذبذب التوتر بين مربطي GBF والتوتر الذي يستقبله السلك الكهربائي R .

ما دور كل من السلكين الكهربائيين E و R ؟

- السلك الكهربائي E : دور الهوائي الباعث

- السلك الكهربائي R : دور الهوائي المستقبل

قارن بين التوترين المشاهدين على شاشة راسم التذبذب .

ماذا تستنتج ؟

لهما نفس الوسع ونفس التردد نستنتج أنه تم الحفاظ على نفس المميزات التي تحملها الإشارة المراد إرسالها .

ما طبيعة الموجة المنتشرة بين السلكين E و R ؟ وما سرعة انتشارها ؟

طبيعة الموجة : موجة كهرمغنتيسية . سرعتها تساوي سرعة الضوء في الفراغ $C = 3.18^8 \text{ m/s}$.

هل هناك انتقال للمادة بين E و R ؟

ليس هناك انتقال المادة بين الهوائيين ، بل انتقال الطاقة بواسطة الموجة الكهرمغنتيسية .

خلاصة :

- تنقل المعلومة بواسطة موجة كهرمغنتيسية في الغلاف الجوي مادة أو الفراغ بدون انتقال للمادة وإنما بانتقال الطاقة .
- يستقبل الهوائي الباعث E إشارة كهربائية ، ويبعث موجة كهرمغنتيسية لل媿ة الكهرمغنتيسية المرسلة من الهوائي الباعث نفس تردد الإشارة التي يستقبلها .
- للم媿ة الكهرمغنتيسية الواردة على الهوائي المستقبل والإشارة الكهربائية الناتجة عنها نفس التردد .

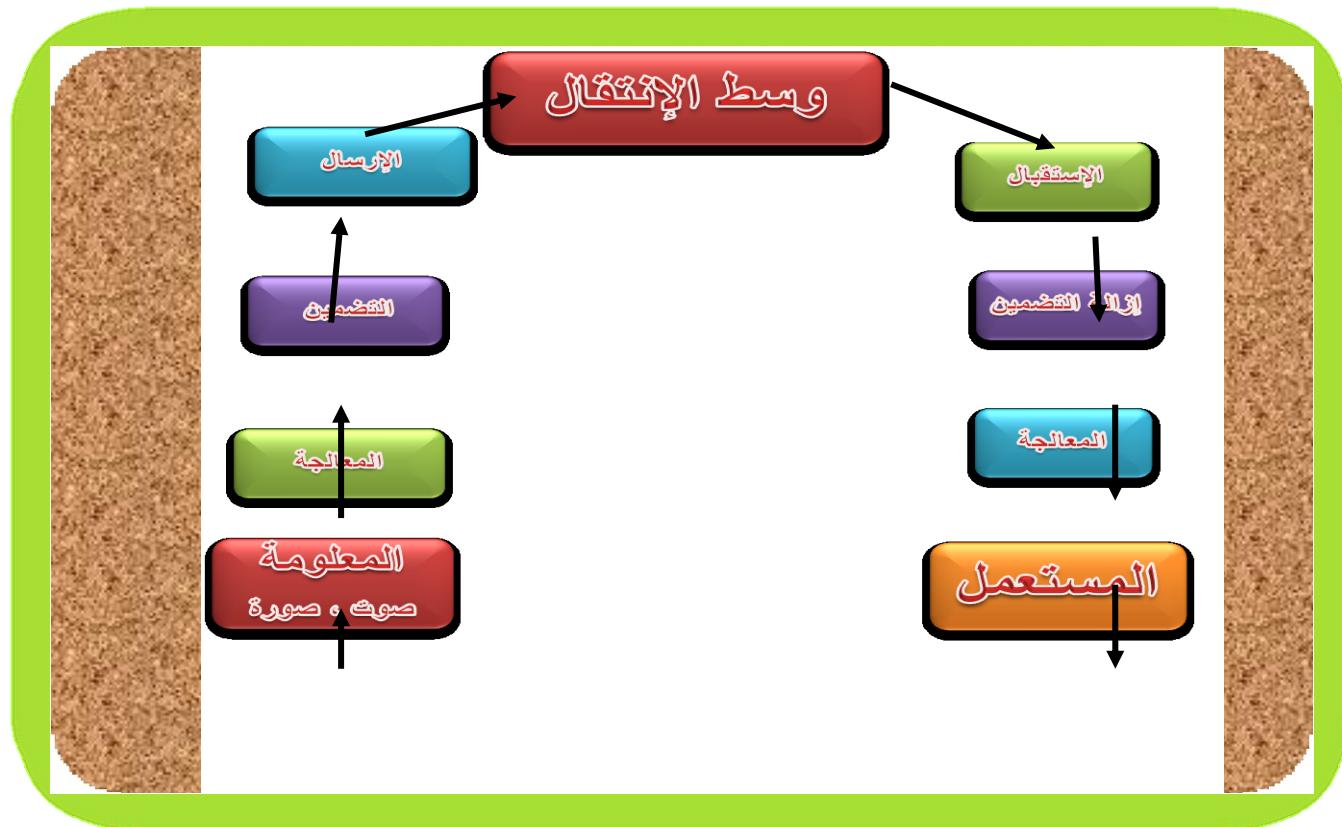
2 - 3) صعوبات تعترض نقل معلومة .

المعلومة المنقولة : صوت ، صورة ، بيانات كتابية تردداتها منخفضة تقريبا من 20kHz إلى 20Hz و بذلك فإنها تتأثر بالخواص الفيزيائية والكهربائية لوسط الانتقال (امتصاص ، تبدد ، تداخل ، تشويش) فينتج عن هذا خمود الموجات .

من جهة أخرى يسهل اعتراضها و التصنّت عليها ، كما أنها تتطلب هوائيات ذات أبعاد كبيرة $L = \frac{\lambda}{2}$.

لتجاوز هذه الصعوبات نلجأ إلى عملية التضمّن
و ذلك باعتماد موجة حاملة ذات تردد عال

2 - 4) خطاطة لانتقال المعلومات .



3) تضمين موجة جيبية.

1 - 3) مبدأ التضمين .

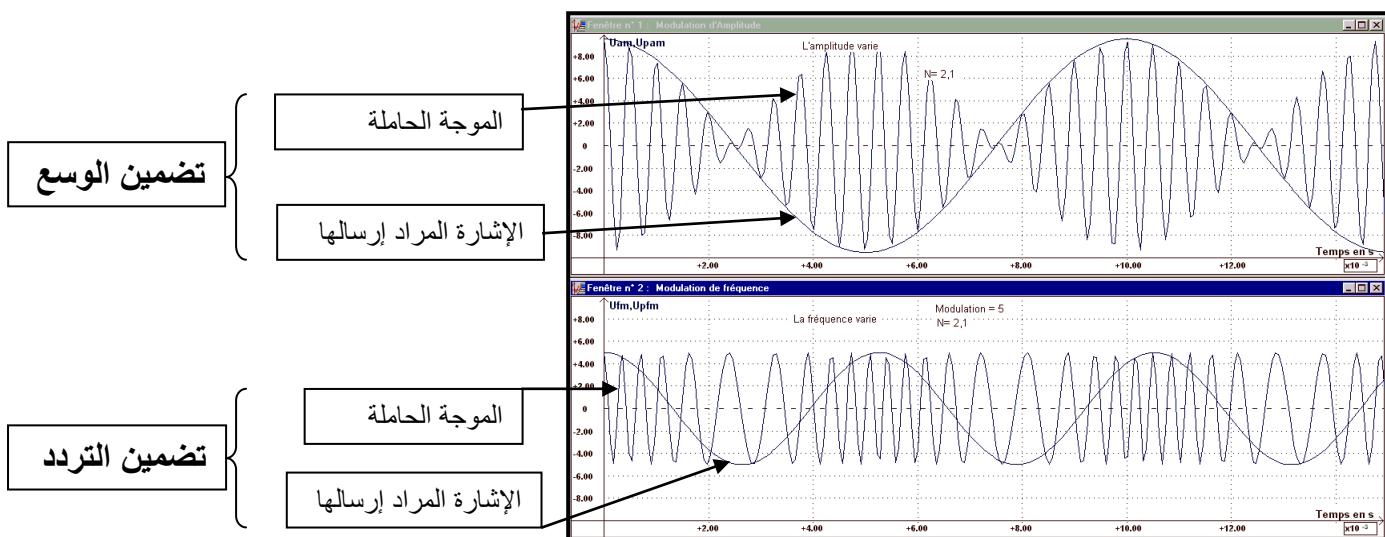
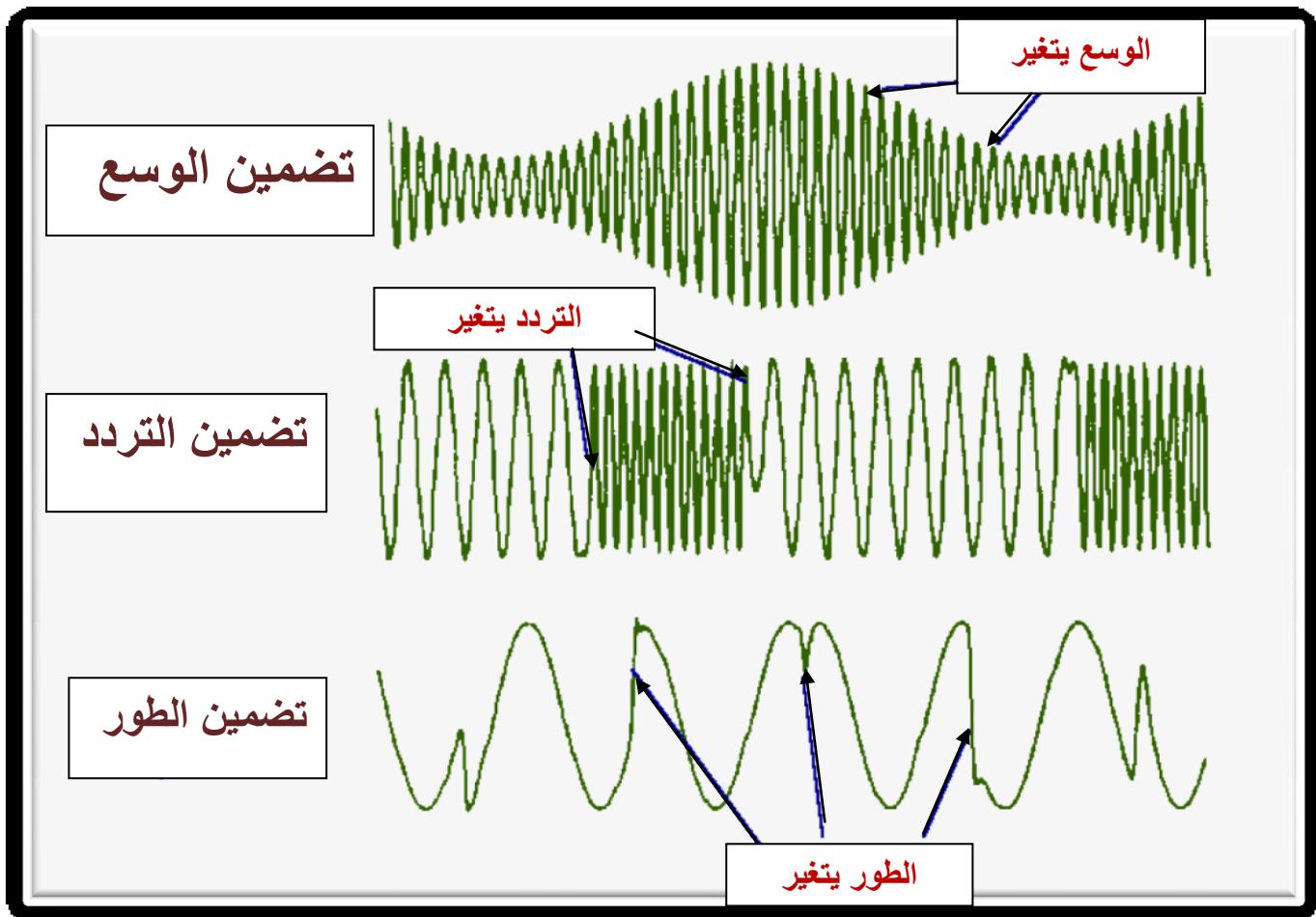
تسمى الموجة الكهرومغناطيسية التي تنقل معلومة بالموجة الحاملة . أما المعلومة فتسمى بالإشارة المضمنة . تتمثل تقنية التضمين في جعل الإشارة المضمنة (المعلومة) تغير أحد المقادير المميز للموجة الحاملة أي تغيير وسعتها ، ترددتها أو طورها بدلالة الزمن .

3 - 2) تضمين توتر جيبي .

التعبير العام لموجة جيبية هو : $u(t) = U_m \cos(2\pi F t + \phi)$

لتسجيل معلومة على هذه الموجة الحاملة ، يمكن أن نغير :

- وسعتها U_m بدلالة المعلومة المراد إرسالها (تضمين الوسع AM ، SSB أو BLU)
- ترددتها F بدلالة المعلومة المراد إرسالها (تضمين التردد FSK ، GMSK ، FM)
- طورها ϕ بدلالة المعلومة المراد إرسالها (تضمين الطور PSK ، PM)



4) تضمين الوسع .

4 - 1) مبدأ تضمين الوسع .

نحصل على تضمين الوسع بإنجاز جداء توترین :

$$u_p(t) = P_m \cos(2\pi F t) : \text{توتر جيبي تردد عال (المواافق للموجة الحاملة)}$$

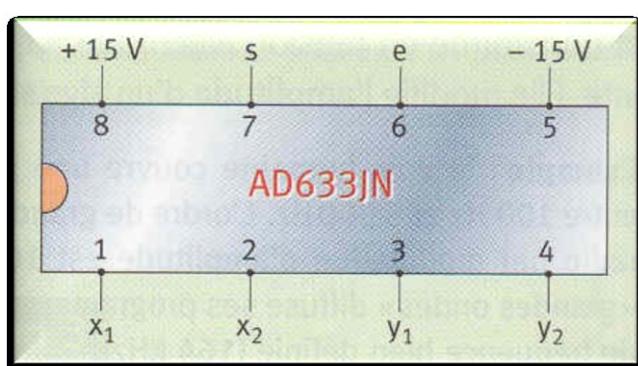
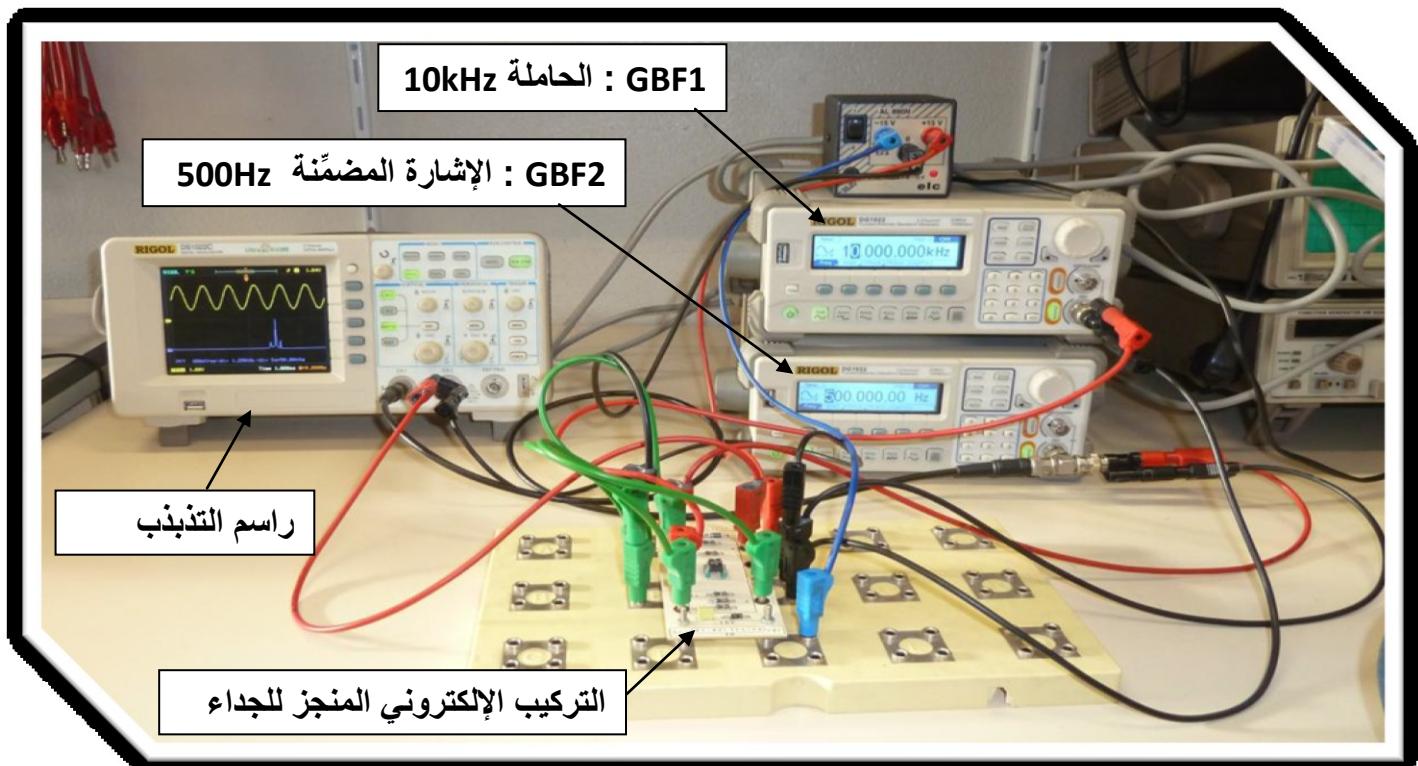
توتر يساوي مجموع توتر جيبي منخفض التردد $u_s(t)$ (المواافق للإشارة المضمنة) و توتر مستمر U_0 يسمى توتر

$$u_s(t) + U_0 = S_m \cos(2\pi f t) + U_0 : \text{الإراحة أو المركبة المستمرة}$$

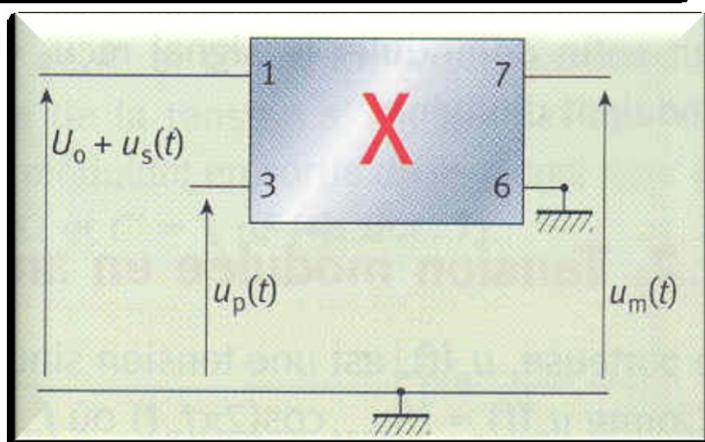
حيث نستعمل تركيبا إلكترونيا منجزا للجاء للحصول على توتر مضمن يتناسب مع هذا الجاء :

$$u_m(t) = k \cdot u_p(t) \cdot u_s(t) + U_0$$

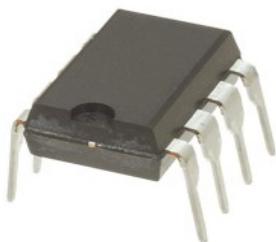
معامل التنااسب k يميز الدارة المنجزة للجاء . AD633

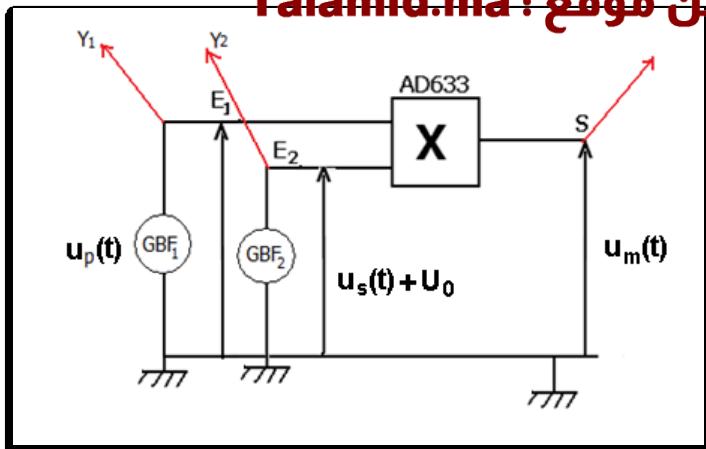


الدارة المتكاملة المنجزة للجاء



التركيب التجريبي





2 - 4) الإبراز التجريبي .

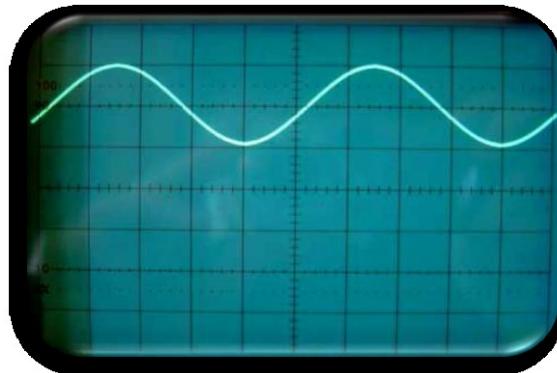
تنجز التركيب التجريبي جانبه حيث :
 الحساسية الرأسية في المدخل Y1 $2V/div$
 الحساسية الرأسية في المدخل Y2 $1V/div$

يطبق مولد GBF في المدخل E التوتر $U_0 = 2V$

إشارة جببية وسعها $S_m = 1V$ وترددتها $f = 500Hz$

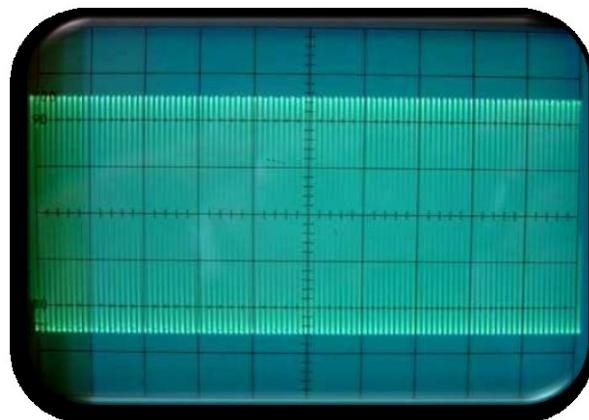
توتر مستمر ضبط بواسطة GBF على القيمة $U_0 = 2V > S_m$

نعاين على شاشة راسم التذبذب في المدخل Y التوتر $U_0 + U_s(t)$ فنحصل على الرسم التذبذبي التالي :

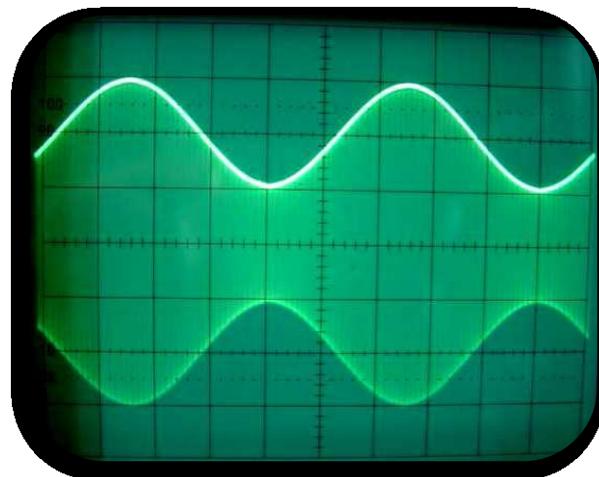


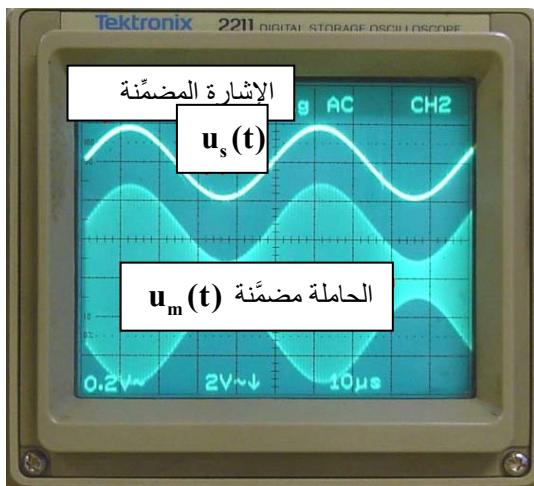
نطبق في المدخل E ، بواسطة GBF توتر جببي $u_p(t)$ وسعه $S_m = 5V$ وتردد $F = 10kHz$ حيث $F > 10f$

نعاين $u_p(t)$ في المدخل Y لراسم التذبذب فنحصل على الشكل التالي :



بعد ذلك نعاين على شاشة راسم التذبذب توتر الخروج $u_m(t)$ فنحصل على الشكل :





خلاصة

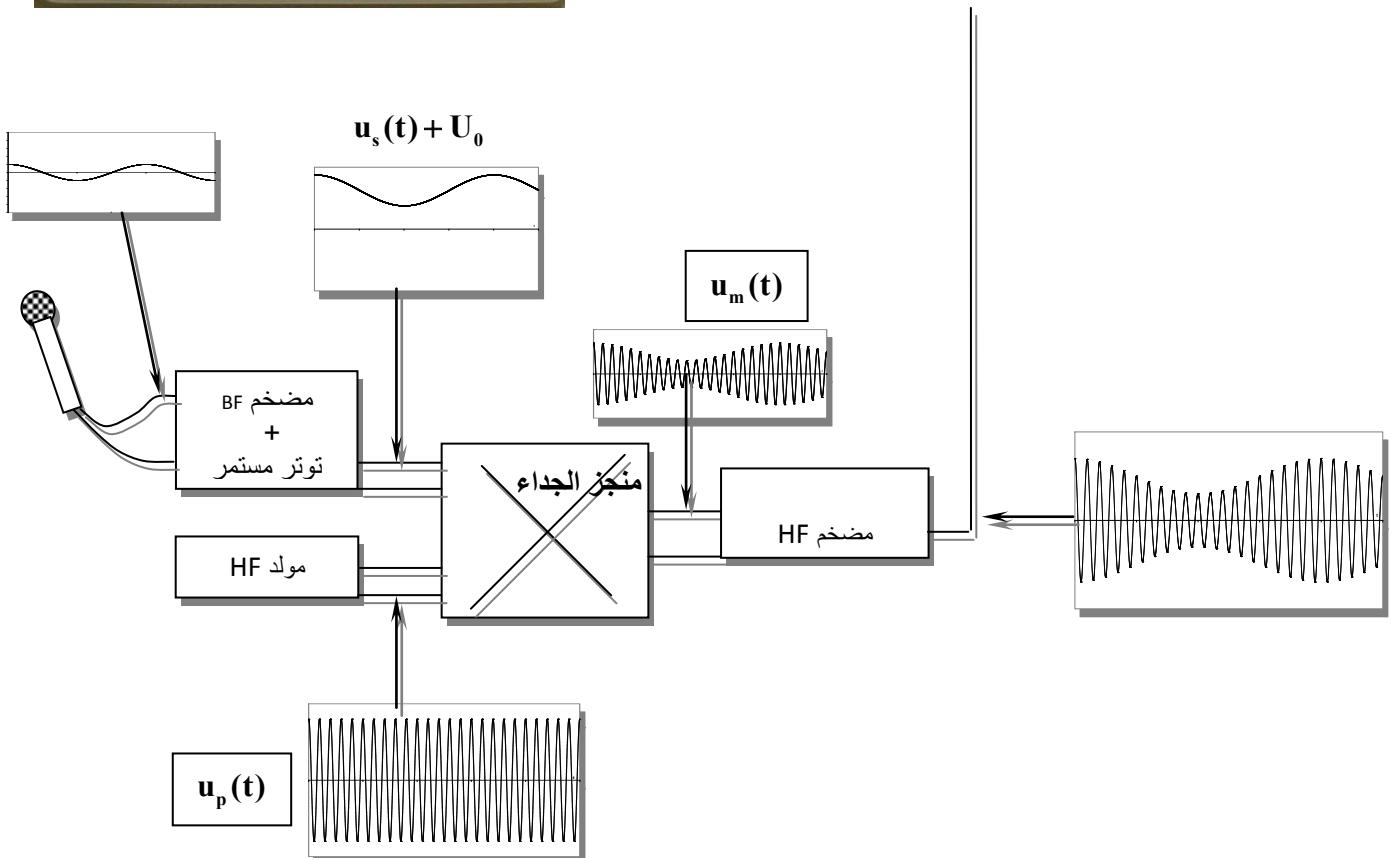
التوتر $u_m(t)$ المحصل عليه عند مخرج الدارة المتكاملة المنجزة للجاء توتر مضمن الوسع .

غلاف التوتر $u_m(t)$ يتبع تغيرات الإشارة التي تضم المعلومة $u_s(t)$.

التوتر $u_m(t)$ توثر مضمن والإشارة $u_s(t)$ توثر مضمن .

التوتر المحصل عند مخرج الدارة المتكاملة المنجزة للجاء ، توثر مضمن الوسع .

يضمّن التوتر ذو التردد المنخفض وسع التوتر ذا التردد العالي والذي يسمى التوتر الحامل .



3 - 4) تعبير توتر مضمن الوسع

عند المدخل E^2 للدارة المنجزة للجاء ، لدينا $U_0 + U_s(t)$ مع U_0 المركبة المستمرة و $U_s(t)$ المركبة المضمنة .

والتوتر المطبق عند المدخل E^1 هو :

$u_p(t) = P_m \cos(2\pi F t)$

عند المخرج S لدينا التوتر :

$$u_m(t) = k \cdot u_p(t) \cdot (u_s(t) + U_0)$$

$$u_m(t) = k \times P_m \times (u_s(t) + U_0) \cdot \cos(2\pi F t)$$

التعبير العام لتوتر مضمن الوسع هو :

$$u_m(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi F_p t)$$

$$U_m(t) = k \times P_m \times (u_s(t) + U_0)$$

نضع $a = k \cdot P_m$ و $b = k \cdot P_m \cdot U_0$ فيصبح تعبير الوسع هو $b + a \cdot u_s(t)$ و هو عبارة عن دالة تألفية للتوتر

المضمن (t) . $u_s(t)$ الوسع المضمن أي أنه يعيد تغيرات

4 - 4) حالة توتر مضمّن جيبي .

نعتبر أن التوتر المضمّن دالة جيبية على الشكل التالي : $u_s(t) = S_m \cos(2\pi ft)$

يصبح الوسع المضمّن هو :

$$U_m(t) = k.P_m \times (S_m \cos(2\pi ft) + U_0) \Rightarrow U_m(t) = k.P_m.U_0 \left(\left(\frac{S_m}{U_0} \right) \cos(2\pi ft) + 1 \right)$$

نضع $m = S_m/U_0$ و $A = k.P_m.U_0$ فتصبح العلاقة على الشكل التالي :

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

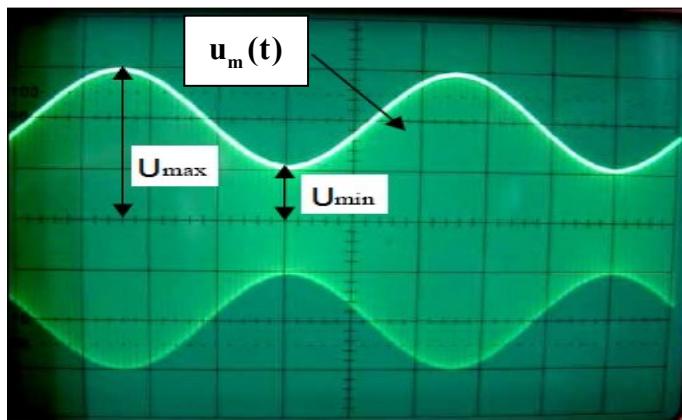
نسمى m نسبة التضمين (le taux de modulation)

من خلال العلاقة يتبيّن أن الوسع المضمّن يتغيّر بين قيمتين :

$$U_{m\max} = A(m+1) \quad \text{أي أن} \quad \cos(2\pi f.t) = +1$$

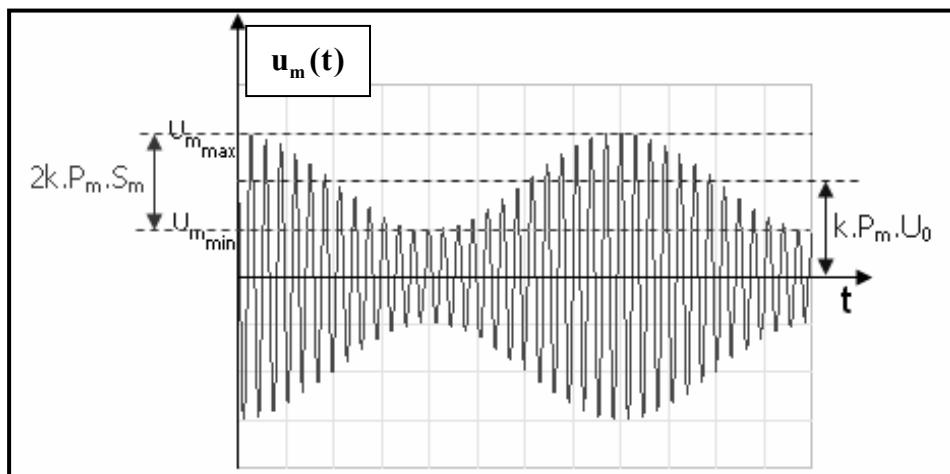
و بالتألّي نعيّن عن نسبة التضمين بدالة U_m و $U_{m\min} = A(1-m)$ أي أن $\cos(2\pi f.t) = -1$

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



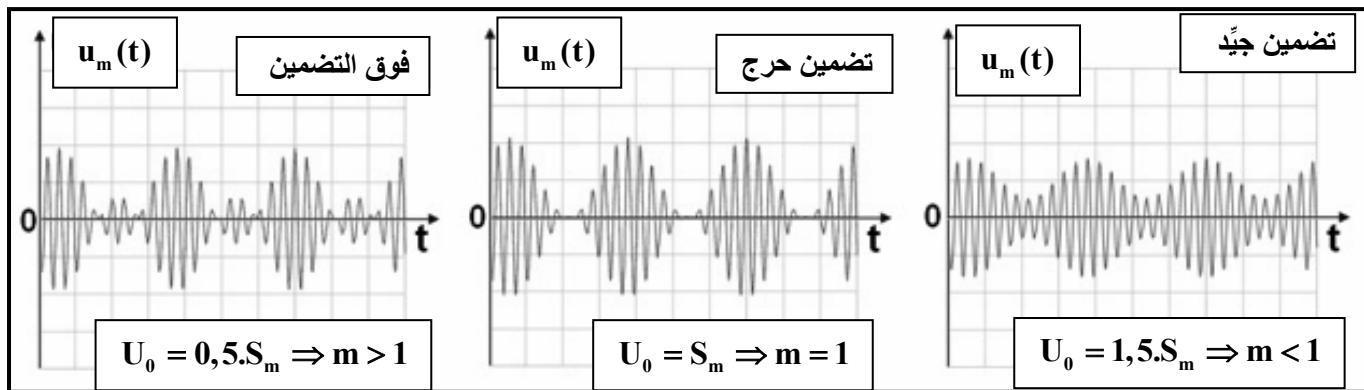
مثلاً من خلال المنحني التالي نحسب نسبة التضمين
نعطي : الحساسية الرأسية هي 2V/div

$$m = \frac{U_{m\max} - U_{m\min}}{U_{m\max} + U_{m\min}} = \frac{6 - 2}{6 + 2} = 0,5$$

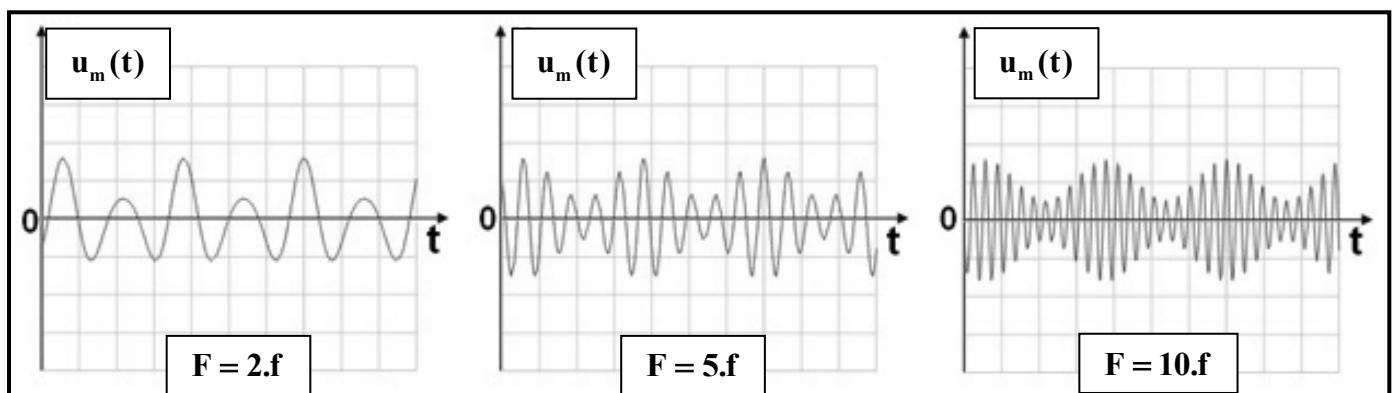


٤ - ٥) جودة التضمين .

- تأثير المركبة المستمرة U_0 .



- تأثير تردد الموجة الحاملة F .



مع f تردد الإشارة المضمّنة .

نستنتج أن جودة التضمين تتحقق بتحقق الشرطين التاليين :

$$S_m < U_0 \quad \text{أي} \quad m < 1 \quad \checkmark$$

$$F \geq 10f \quad \text{أو} \quad F \gg \quad \checkmark$$

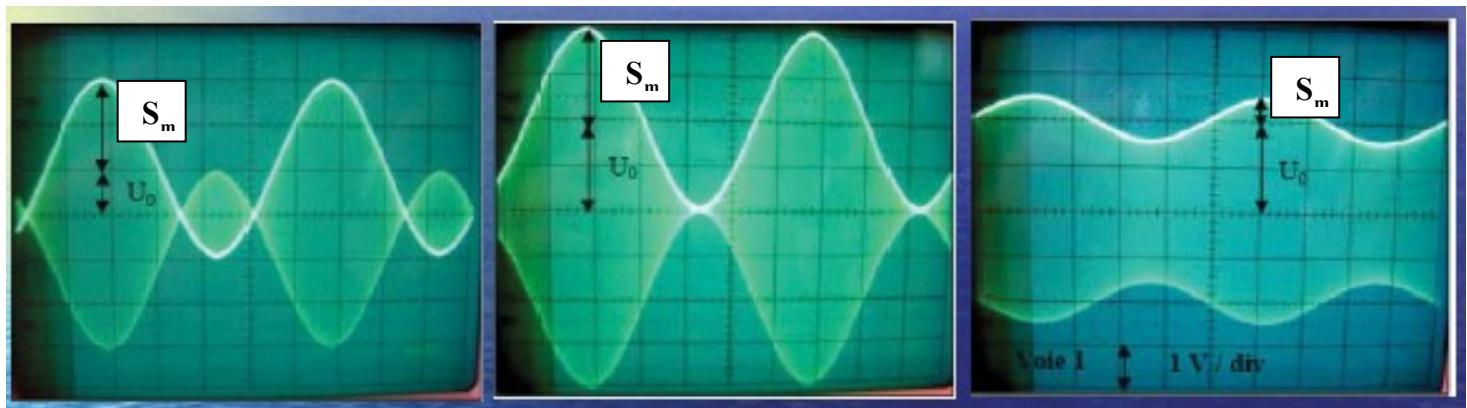
في الحالات الأخرى التضمين يكون لدينا :

$$S_m > U_0 \quad \text{أي} \quad m > 1 \quad \checkmark$$

نقول بأن هناك فوق التضمين

$$S_m = U_0 \quad \text{أي} \quad m = 1 \quad \checkmark$$

نقول بأن لدينا تضمين حرج



للتحقق من جودة التضمين تجربيا نستعمل طريقة شبه المنحرف :

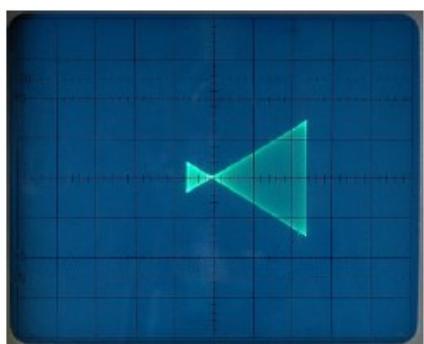
نستعمل راسم التذبذب في النظام XY أي في غياب الكسح

ثم نعاين تغيرات التوتر المضمن بدلالة التوتر المضمن $u_m = f(u_s + U_0)$

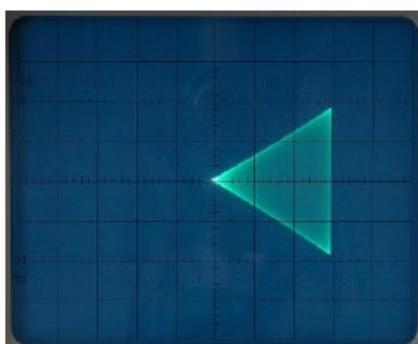
نصل الإشارة المعلومة + المركبة المستمرة بالمدخل X

و نصل توتر الخروج من الدارة المنجزة للجاء بالمدخل Y

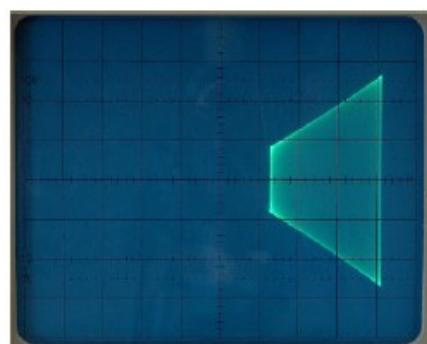
ثم باستعمال الزر XY نعاين $u_m = f(u_s + U_0)$



فوق التضمين $m > 1$

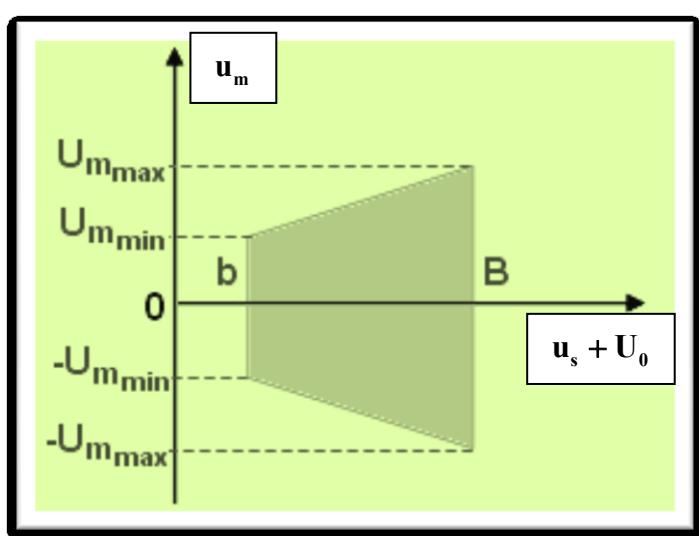


تضمين حرج $m=1$



تضمين جيد $m < 1$

يمكن تحديد نسبة التضمين m انطلاقا من أبعاد شبه المنحرف :



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

6 - 4) طيف الترددات AM .

يكتب تعبير التوتر المضمن على الشكل : $u_m(t) = k \cdot P_m (u_s(t) + U_0) \cos(2\pi F \cdot t)$ حيث $u_s(t)$ توتر الإشارة المراد نقلها

بتعميض $u_m(t) = kP_m(S_m \cos(2\pi f \cdot t) + U_0) \cos(2\pi F \cdot t)$ في المعادلة السابقة نحصل على :

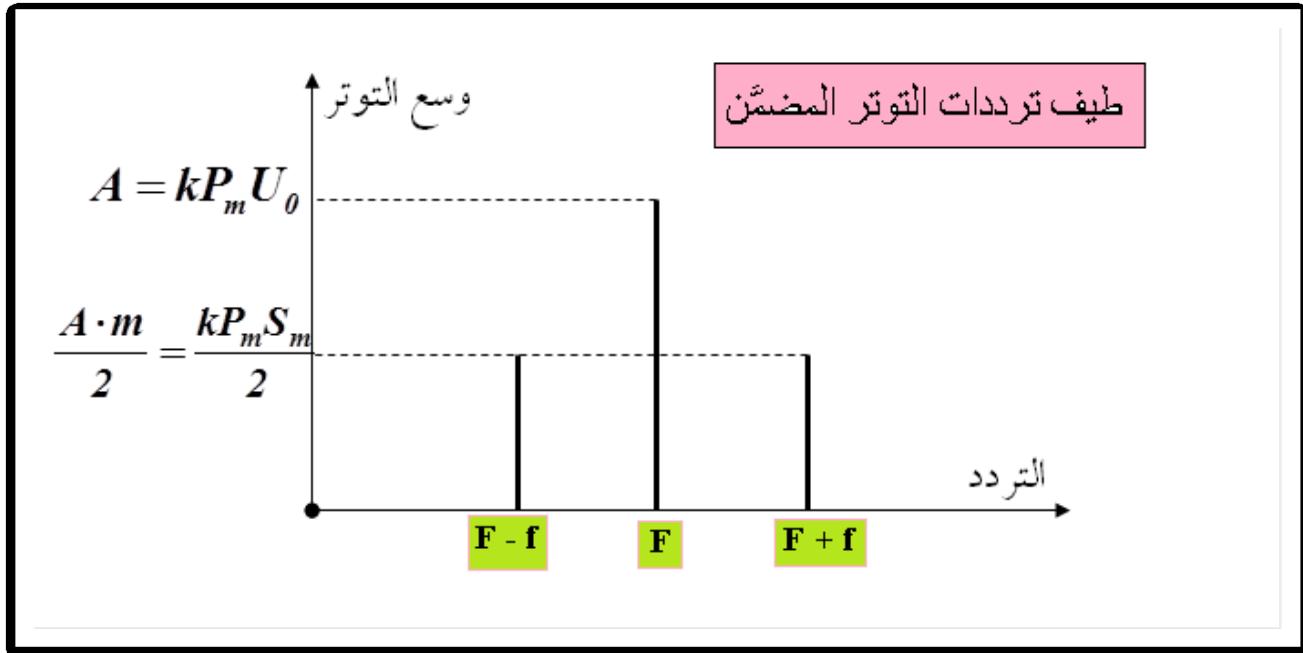
$$u_m(t) = kP_m S_m \cos(2\pi f \cdot t) \cdot \cos(2\pi F \cdot t) + kP_m U_0 \cos(2\pi F \cdot t)$$

أي أن : $\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$ و بالتالي تعبير التوتر المضمن هو :

$$u_m(t) = \frac{kP_m S_m}{2} \cos[2\pi(F-f)t] + \frac{kP_m S_m}{2} \cos[2\pi(F+f)t] + kP_m U_0 \cos(2\pi F \cdot t)$$

نلاحظ أن التوتر المضمن هو مجموع ثلاثة توترات جيبية تردداتها هي :

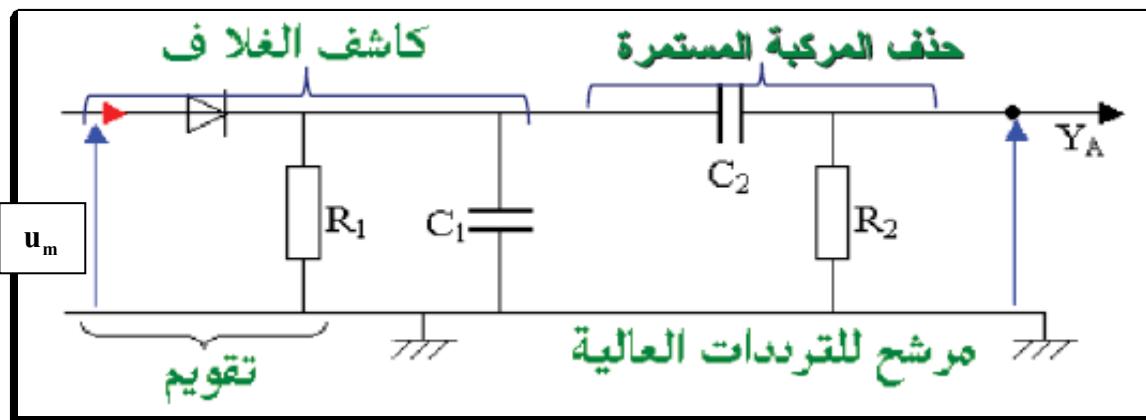
$$(F-f) \quad F \quad (F+f)$$



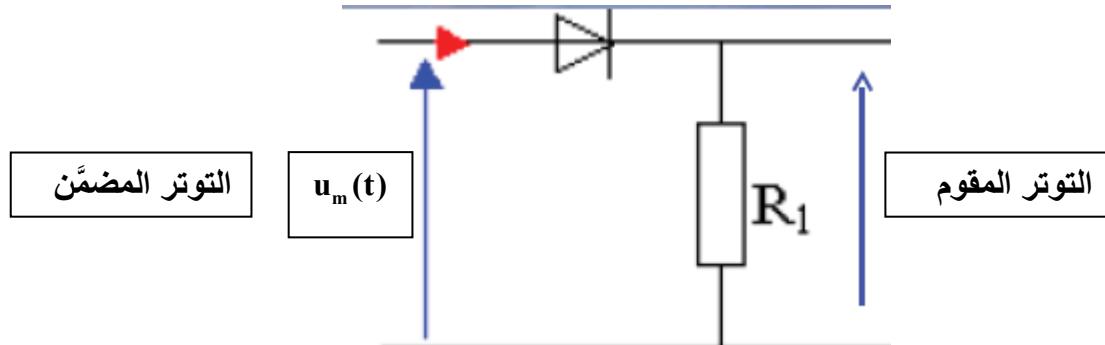
6) إزالة التضمين .

هو العملية العكسية للتضمين ، حيث يتم استرجاع المعلومة BF المبعوثة عبر الموجة المضمنة HF . و تتم عبر مراحلتين :

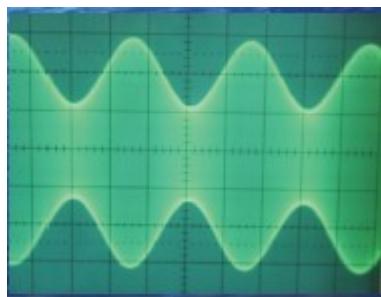
- كشف الغلاف : إزالة الموجة الحاملة $u_p(t)$
- حذف المركبة المستمرة للتوتر U_0



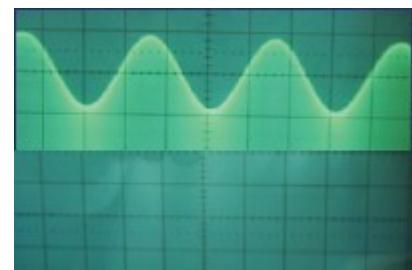
1 - 6) التقويم .



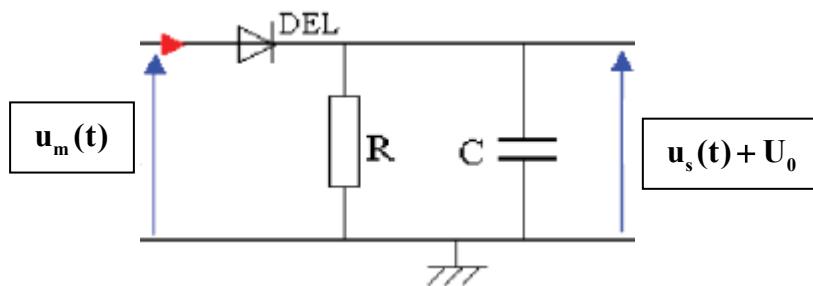
يعمل الصمام الثاني على حذف الجزء السالب من التوتر المضمن



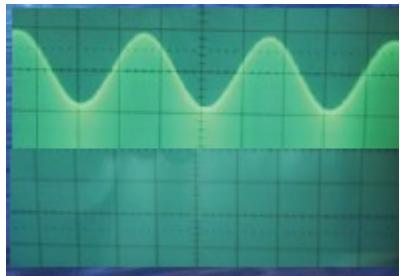
التقويم



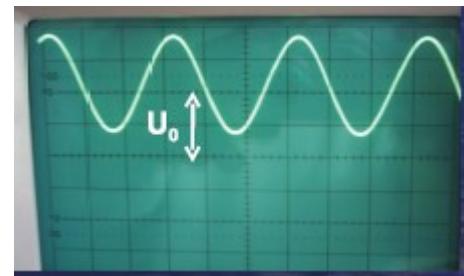
. 6 - 2) كاشف الغلاف .



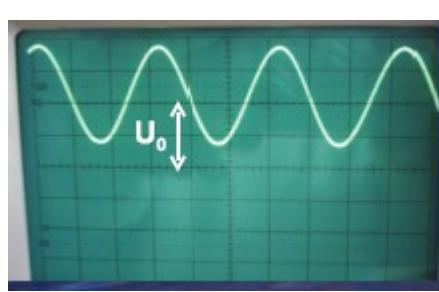
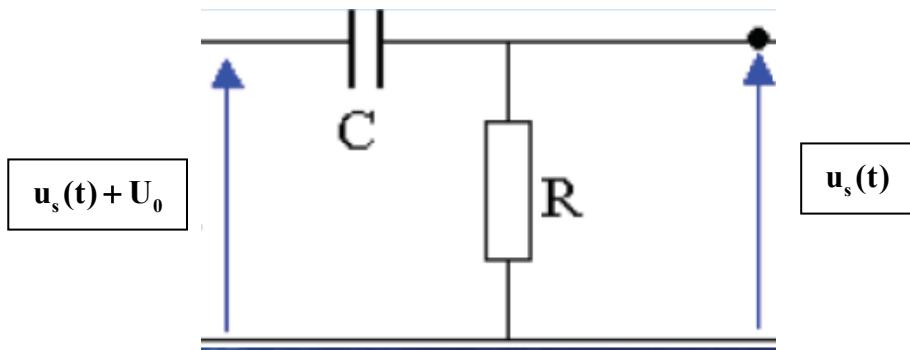
يهدف كاشف الغلاف للتواتر الحامل ذو التردد العالي



الكشف عن الغلاف



. 6 - 3) حذف المركبة المستمرة : مرشح الترددات العالية .



مرشح ممرر الترددات العالية



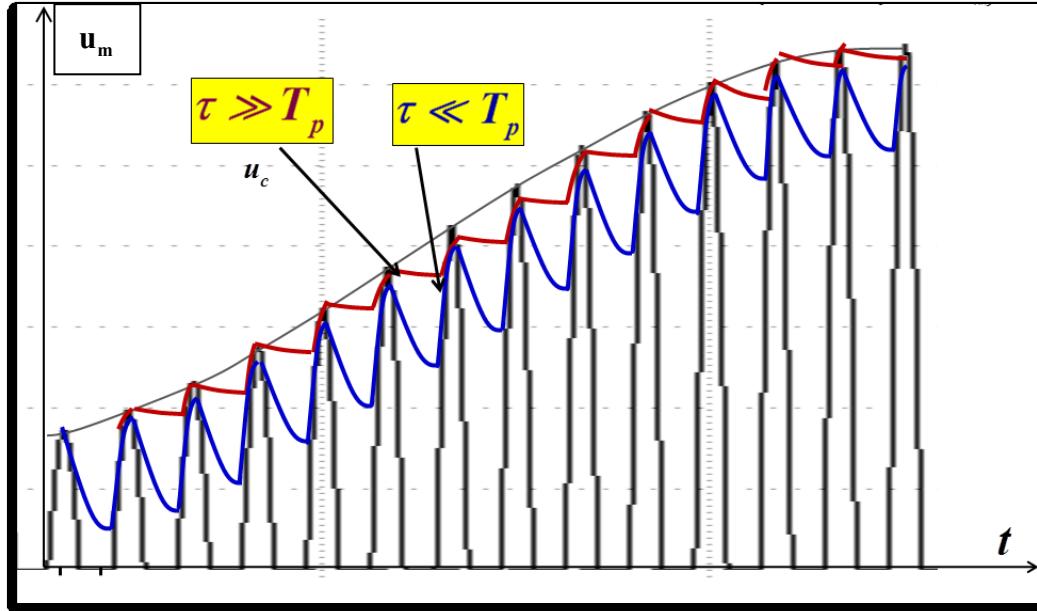
4 - 6 شروط إزالة تضمين جيد .

شروط الحصول على كشف غلاف جيد هي :

أن يكون التوتر في مخرج دارة كاشف الغلاف ذا تموجات صغيرة وتتبع بكيفية أحسن شكل الإشارة المضمّنة .
ويتحقق هذا إذا كانت ثابتة الزمن $\tau = R.C$ تحقق المترابطة التالية :

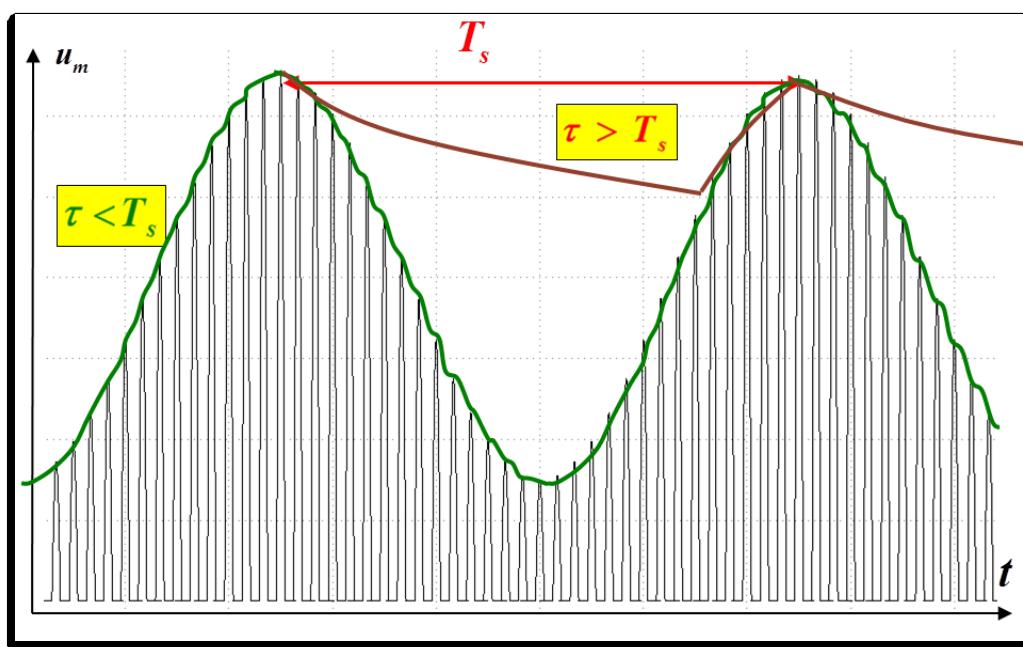
$$\frac{f}{s} \ll \frac{1}{\tau} < \frac{F_p}{T_p} \quad \text{أي أن} \quad T_s < \tau < T_p$$

دور التوتر الحامل و T_s دور الإشارة المضمّنة .

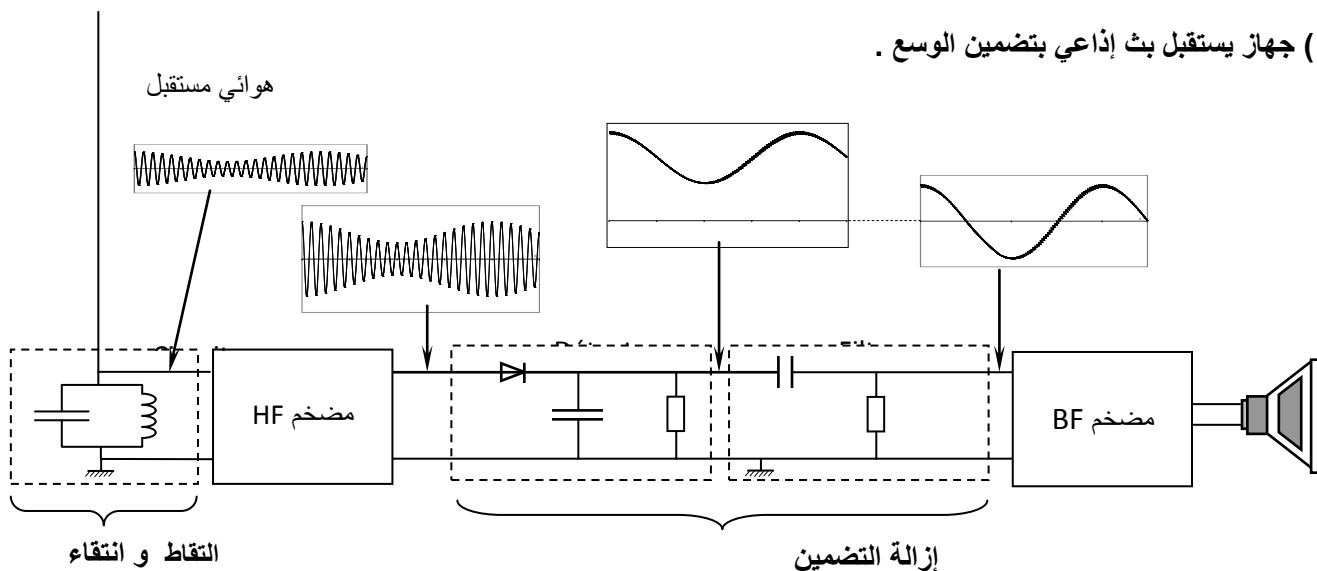


في حالة $T_s < \tau$ فإن التوتر في مخرج كاشف الغلاف يتبع غلاف الموجة المضمّنة .

في حالة $T_s > \tau$ فإن التوتر عند مخرج كاشف الغلاف لا يتبع غلاف الموجة المضمّنة .



7) جهاز يستقبل إذاعي يتضمن الوسع .



- يلقط الهوائي الموجات الكهرومغناطيسية ، و يحدث تذبذبات كهربائية في الدارة LC . بهدف الاستماع لمحطة إذاعية معينة ، يلزم انتقاء هذه الموجات ، حيث نقوم بتغيير إما سعة المكثف أو قيمة معامل تحريض الوشيعة .

تمرر الدارة LC الإشارات ذات الترددات ذات الترددات التي تتسمى بمنطقة مركبة حول التردد الخاص $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

- و بذلك فإن تردد الموجة الحاملة يجب أن يحقق العلاقة $F = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ لكي يمر .

يتكون مستقبل راديو من :

- هوائي يستقبل الموجات الكهرومغناطيسية مختلفة الترددات
- دائرة LC للانتقاء يمكن توفيقها على التردد F للموجة الحاملة الواردة من المحطة الإذاعية و ذلك بضبط قيمة L أو C
- مضخم الإشارات HF
- كاشف غلاف
- مرشح مر器 للترددات العالية لحذف المركبة المستمرة .
- مضخم الإشارات BF
- مكبر الصوت

