

## الباب الرابع

### التيار المتردد

#### 1-4 طرق توليده :

1-1-4 توليد الموجه الجيبية - التردد - الزمن الدورى - زاوية الوجه - الاختلاف الوجهى .

2-1-4 قيم الجهد والتيار المتردد للموجه الجيبية ( القيمة اللحظية - القيمة المتوسطة - القيمة الفعالة - القيمة العظمى - معامل الشكل ) .

#### 2 -4 دوائر التيار المتردد :

1-2-4 تأثير العناصر ( R - L - C ) في دوائر التيار المتردد - توصيل المقاومة في دائرة التيار المتردد - توصيل المقاومة والمكثف توالي - توصيل المقاومة والملف توالي - توصيل المقاومة والملف والمكثف توالي .

2-2-4 حساب المعاوقة والممانعة الكلية في كل حالة والمتجهات لكل من التيار والجهد والممانعة .

3-2-4 توصيل المعاوقة والملف توازى - توصيل المقاومة والمكثف توازى - حساب المعاوقة والممانعة الكلية والمتجهات لكل من التيار والجهد والممانعة .

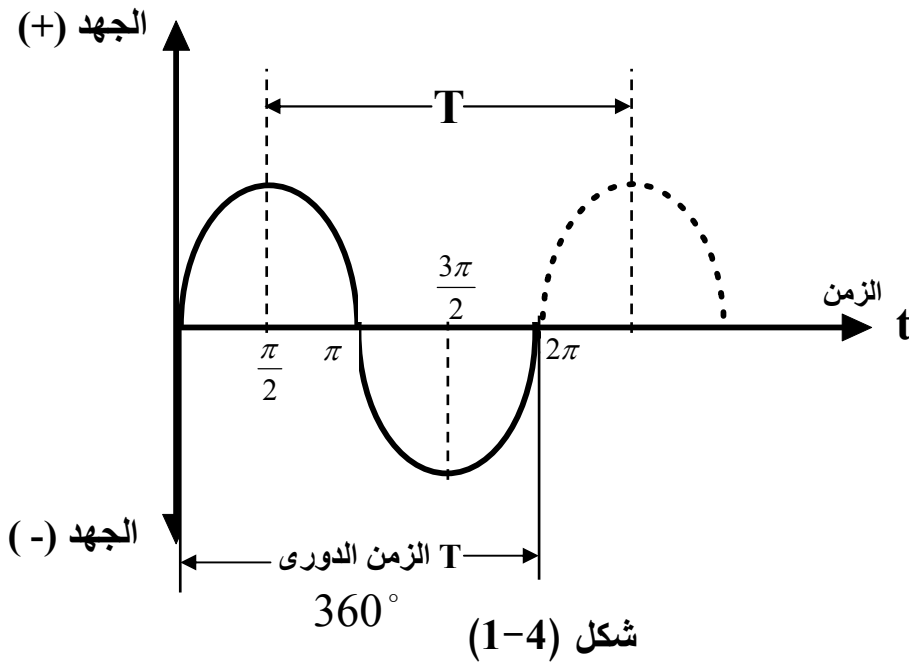
4-2-4 استنتاج حالة الرنين في الدوائر السابقة .

## الباب الرابع

### التيار المتردد

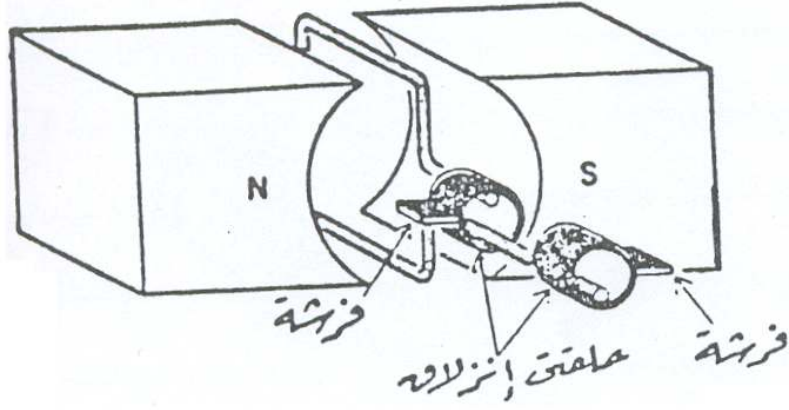
#### تعريف التيار المتغير ( المتردد ) :

- يعرف التيار المتغير ( أو الجهد المتغير ) وأحياناً يسمى التيار المتناوب بأنه التيار الكهربى الذى يتغير فى القيمة والإتجاه مع تكرار نفسه دورياً مع مرور الزمن . ويوضح شكل (1-4) موجة متغيرة للجهد الكهربى حيث يمثل المحور الرأسى الجهد بينما يمثل المحور الأفقى الزمن ( أو زاوية القطع ) .



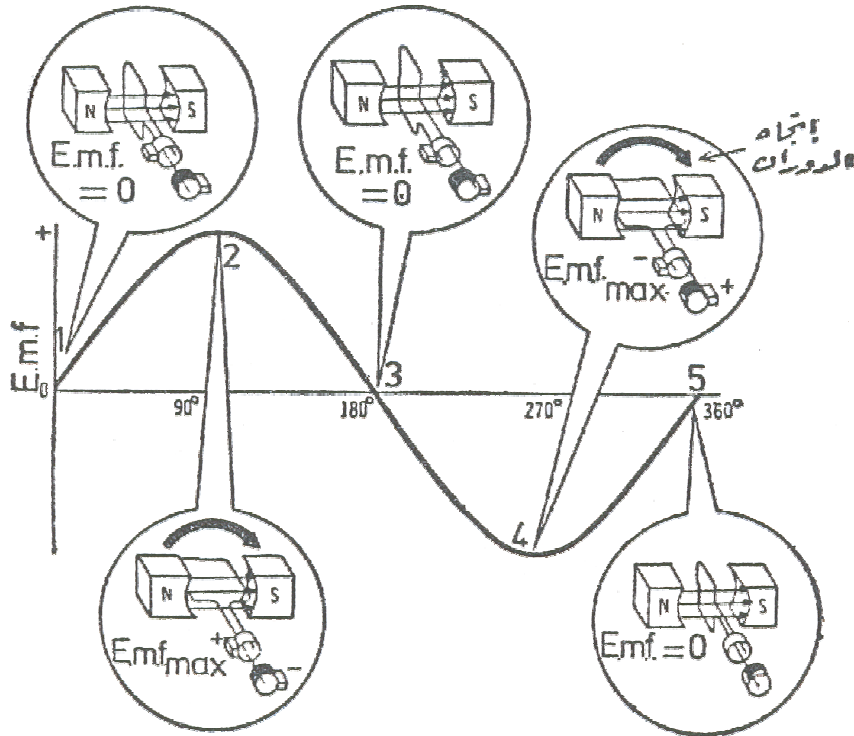
#### 1-1-4 توليد الموجه الجيبية :

ينص قانون فاراداي للمولد - السابق دراسته - على أنه إذا قطع موصل كهربى مجالاً مغناطيسياً فإنه يتولد بالموصل قوة دافعة كهربية تكون قيمتها أكبر ما يمكن عندما تكون زاوية القطع  $90^\circ$  <sup>5</sup> . ومن المعروف أن معظم الطرق المعروفة لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ينتج عنها موجات مترددة ( Alternating waves ) للجهد الكهربى ويوضح شكل ( 2-4 ) أحد الأمثلة المبسطة لمثل هذه الطرق ، وهو يمثل نموذجاً بدائياً للمولد الكهربى .



شكل ( 2-4 ) نموذج مبسط للمولد الكهربى

يتكون النموذج المبسط للمولد الكهربى ( generator ) من لفة مستطيلة الشكل بين قطبين مغناطيسيين ، وتتصل بالدائرة الخارجية عن طريق حلقتى انزلاق slip rings تتحركان أمام فرشيتين ( 2 brushes ) . فعندما يدور الموصل في المجال المغناطيسي للقطبين المغناطيسيين يتولد جهد كهربى . يعتمد معدل قطع خطوط القوى المغناطيسية اعتماداً كلياً على وضع الموصل بالنسبة للمجال المغناطيسي حتى لو كانت سرعة دوران الموصل منتظمة . وعموماً يمكن رصد خمسة أوضاع للموصل الكهربى الذى يدور بسرعة زاوية  $\omega$  داخل المجال المغناطيسي كما هو موضح بشكل (3-4) .



شكل (3-4) توليد الجهد المتردد ذى الموجه الجيبية

**الوضع (1)** في هذا الوضع تكون حركة الموصل موازية لخطوط المجال المغناطيسي فلا تتولد (ق . د . ك ) لأن زاوية القطع تساوى صفراً .

**الوضع (2)** يكون الموصل قد تحرك حركة زاوية مقدارها  $90^\circ$  أى أنه أصبح متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي وبذلك تتولد قوة دافعة كهربية وتأخذ قيمتها النهاية العظمى للجهد الكهربي  $E_{max}$  وتكون موجبه القيمة " أو موجبة القطبية".

**الوضع (3)** في هذا الوضع يكون الموصل قد تحرك زاوية مقدارها  $180^\circ$  ويصبح موازياً لخطوط القوى المغناطيسية وتكون القوة الدافعة الكهربية صفراً لأن زاوية القطع تساوى  $180^\circ$ ، ويكون الموصل قد تحرك نصف دوره .

**الوضع (4)** في هذا الوضع يكون الموصل قد تحرك حركة زاوية مقدارها  $270^\circ$  ويصبح متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي وبذلك تكون قيمة ( ق . د . ك ) نهاية عظمى سالبة **الوضع (5)** في هذا الوضع يكون الموصل قد تحرك حركة زاوية مقدارها  $360^\circ$  ويكون بذلك قد قطع دوره كامله وأصبح الموصل موازياً لخطوط المجال المغناطيسي وبذلك تؤول قيمة ق . د . ك المتولدة إلى الصفر مرة أخرى .

تتكرر الدورة السابقة عند كل لفة تالية من حركة الموصل الدائرية . ونلاحظ أن قيمة القوة الدافعة الكهربية الناتجة تتغير من الصفر إلى قيمة النهاية العظمى ثم إلى الصفر وبعد ذلك تعكس القطبية وتصل إلى النهاية العظمى ثم إلى الصفر وبذلك تتولد موجة مترددة للجهد الكهربي في الموصل.

ونلاحظ كذلك أن التيار الناتج من هذا الجهد يتغير بنفس الكيفية . هذا التغير يشبه تماماً التغير الحادث في منحنى الجيب ( Sine Wave ) بين الزاويتين ( صفر ،  $360^\circ$  ) كما في شكل (4-1) السابق. ولهذا يسمى هذا التغير بالموجة الجيبية ويمكن كتابتها على الصورة :

$$e = E_m \sin \omega t$$

حيث :  $e$  هي القيمة اللحظية للجهد الكهربي أو قيمة الجهد عند زمن مقداره  $t$  ثانية

$E_m$  هي القيمة العظمى للجهد

$\omega$  هي السرعة الزاوية أو سرعة دوران الموصل الكهربي .

## وهناك ملاحظتان :

1- العلاقة  $e = E_m \sin \omega t$  تمثل الموجه الجيبية المرسومة بشكل ( 1-4 ) .

2-  $\omega t$  تمثل زاوية دوران الموصل الكهربى خلال زمن  $t$  ثانية ويرمز لها بالرمز  $\emptyset$

### **\* التردد : ( Frequency )**

يعرف التردد بأنه عدد الذبذبات أو الموجات في الثانية الواحدة ويرمز له بالرمز “ f ”

ويقاس التردد بوحدة الذبذبة / ثانية أو الهيرتز ويرمز لها بالرمز “ Hz ” وهناك الوحدات

الكبيرة الآتية :

الكيلو هيرتز =  $10^3$  هيرتز

الميجا هيرتز =  $10^6$  هيرتز

بعض الدول تستخدم التردد 50 هيرتز مثل مصر والهند . وتستخدم بعض الدول

الأخرى 60 هيرتز مثل أمريكا وكندا - واليابان هي الدولة الوحيدة التي تستخدم كلاً من

الترددين 50 هيرتز ، 60 هيرتز .

### **\* الزمن الدوري :**

هو الزمن بالثانية التي تستغرقه الدورة أو الذبذبة الواحدة ويرمز له بالرمز  $T$  وهو نفس

الزمن بين نقطتين متماثلتين على الشكل الموجى كما هو موضح بشكل ( 1-4 )

### \* زاوية الوجه ( Phase Angle )

مما سبق يتبين أن الموجه الجيبية لها قيم عظمى ( سواء بإشارات موجبه أو سالبة ) عند الزاويا  $(\frac{3\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$  وتكون قيمتها صفر عند الزاويا  $(0, \pi, 2\pi)$  كما هو مبين بشكل (4-1) .

وبالتالي اتفق على التعبير عن الموجه الجيبية رياضياً بالعلاقة e

$$e = E_m \sin \omega t$$

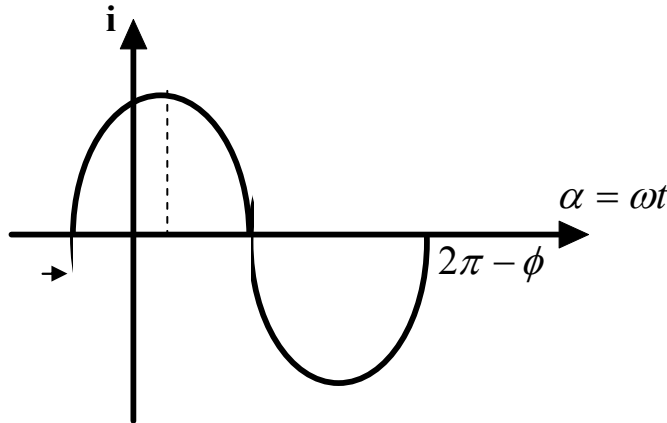
إذا كانت الموجه تعبر عن تيار . يمكن التعبير عنها بالعلاقة i

$$i = I_m \sin \omega t$$

حيث  $I_m$  هي القيمة العظمى لتيار الموجه

وإذا تم عمل إزاحة للموجه إلى يسار المحور الرأسي بزاوية مقدارها  $\phi$  فإنها تصبح

كما في شكل ( 4-4 ) .



شكل ( 4-4 )

في هذه الحالة تقطع الموجه المحور الأفقي وتزيد بقيم موجبه قبل نقطة الاصل وتصبح

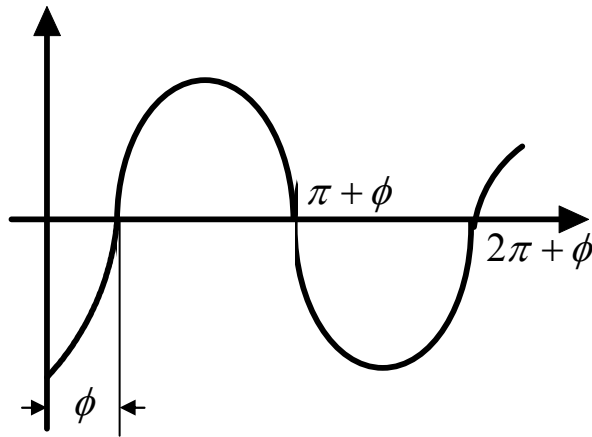
المعادلة التي تعبر عن الموجه في هذه الحالة هي :

$$i = I_m \sin (\omega t + \phi)$$

$$i = I_m \sin \phi$$

وعند  $\omega t=0$

وإذا تم إزاحة الموجه إلى يمين المحور الرأسى بنفس الزاوية كما في شكل (5-4) فإن الموجه تقطع المحور الافقى وتزيد بقيم موجبة بعد نقطة الاصل



شكل (5-4)

$$i = I_m \sin (\omega t - \phi)$$

$$i = I_m \sin ( - \phi )$$

$$\omega t = 0 \quad \text{وعند}$$

والزاوية  $\phi$  في كل من الشكلين (4-4) ، (5-4) تسمى زاوية الوجه للموجه

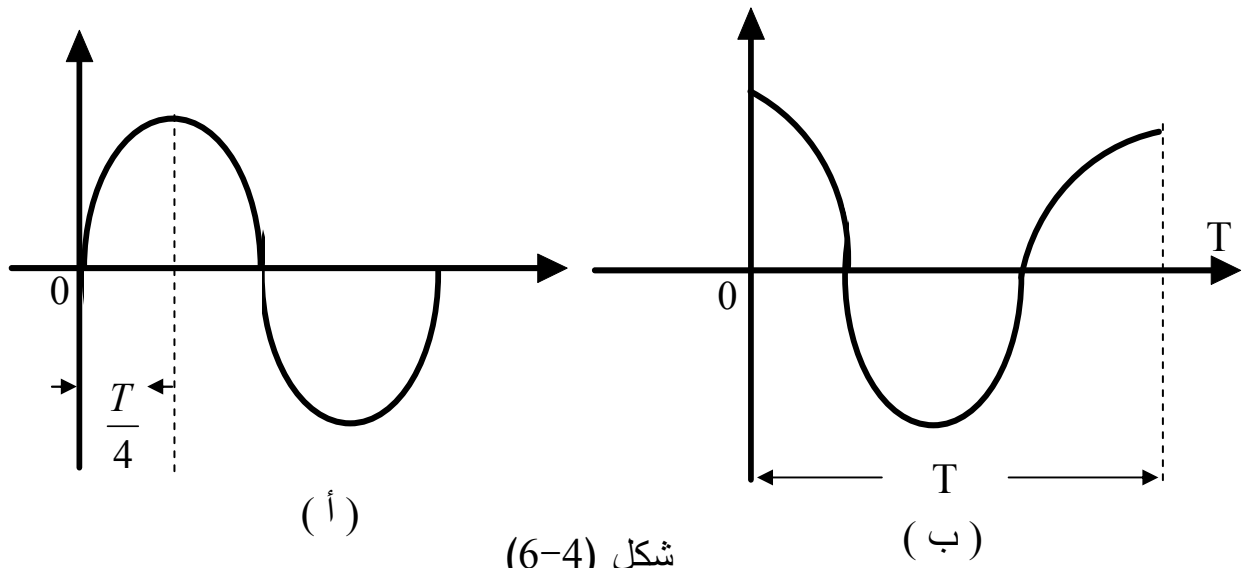
**توضيح آخر لزاوية الوجه ( $\phi$ )**

تعرف زاوية الوجه لأى قيمة مترددة بأنها جزء من الدورة الزمنية ، تقدمت به أو تأخرت قيم الكمية عن نقطة البدء المختارة . وعلى ذلك فزاوية وجه النهاية العظمى تعادل ربع الزمن الدورى  $\frac{T}{4}$  كما في شكل ( 4-6 أ )

وزاوية الوجه = 0 كما في شكل ( 4-6 ب )

وزاوية الوجه تقاس بالزاويا النصف قطرية أو الدرجات فزاوية وجه النهاية العظمى  $( \frac{\pi}{2} )$

$$\text{حيث: } \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$



وهناك عبارات مهمة لها علاقة بزاوية الوجه (Ø)

1- نفس الوجه : أى زاوية الوجه تساوى صفراً

2- وجه متعامد : زاوية الوجه =  $90^\circ = \frac{\pi}{2}$

3- وجه معاكس : زاوية الوجه =  $180^\circ = \pi$

\* الاختلاف الوجهى ( اختلاف زاوية الوجه ) :

يستخدم اصطلاح يتأخر ( Lag ) أو متأخر ( Lagging ) واصطلاح يسبق ( Lead ) أو سابق ( Leading ) للتعبير

عن علاقة زوايا الوجه بين موجتين جيبيتين

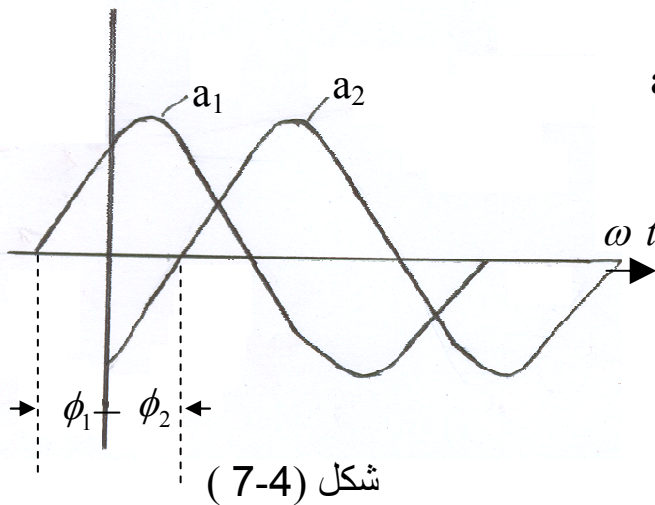
كما في شكل (7-4) فإن الموجه الجيبية  $a_1$

تسبق Lead أو سابقة Leading الموجه

الجيبية  $a_2$  التي تتأخر Lag أو متأخرة

Lagging عن الموجه  $a_1$  ويحدث ذلك

لاختلاف زوايتى الوجه للموجتين و تكون





علاقة الموجه الأولي  $a_1 = A_{m1} \cdot \sin(\omega t + \phi)$

وتكون علاقة الموجه الثانية  $a_2 = A_{m2} \cdot \sin(\omega t - \phi)$

حيث  $A, a$  هما القيمتين اللحظيتين والقيمتين العظميتين لأى موجتين جيبيتين .

وبالتالي يكون الفرق بين زاويتي الوجه للموجتين هو :

$$\phi_1 - (-\phi_2) = \phi_1 + \phi_2$$

إذا كان الفرق بين  $(\phi_1 - \phi_2) = 0$  صفرًا يقال أن الموجتين متفقتين في زاوية الوجه In phase

وإذا كان الفرق بين  $(\phi_1 - \phi_2) \neq 0$  صفرًا يقال أن الموجتين مختلفتان في زاوية الوجه un phase

4-1-2 قيمة الجهد والتيار المتردد للموجه الجيبية ( القيمة اللحظية - القيمة المتوسطة -

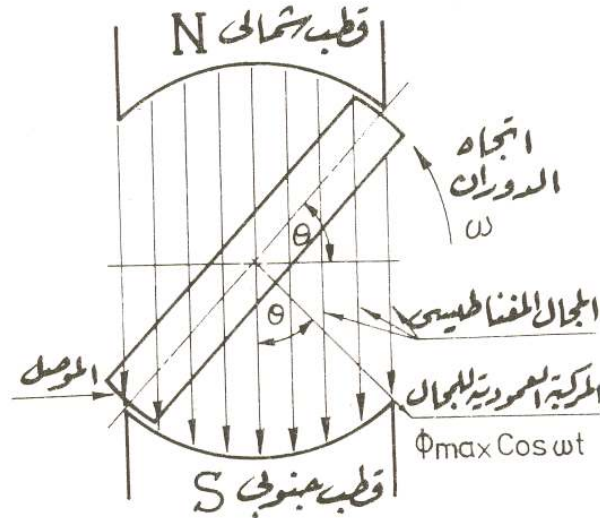
القيمة الفعالة - القيمة العظمي - معامل الشكل ) :

\* القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية :

يمكن استنتاج ق . د . ك اللحظية في موصل يدور بين قطبين مغناطيسيين كما في شكل

(4-8) ويبين المركبة العمودية للمجال المغناطيسي على الموصل والتي تسبب تولد القوة

الدافعة الكهربائية



شكل ( 4 - 8 )

وهي تتوقف على :

1- طول الموصل أو عدد لفات  $N$  .

2- الفيض المغناطيسي الأعظم  $\Phi_{\max}$

3- سرعة دوران الموصل أو المجال  $n$  إذا تحرك الموصل قاطعاً المجال بزاوية نصف

قطرية  $\omega = \theta$

∴ القيمة اللحظية للقوة الدافعة الكهربائية = القيمة العظمى  $\times$  جيب الزاوية  $\omega t$

$$e_{inst} = E_{\max} \cdot \sin \omega t$$

$$= E_{\max} \cdot \sin \theta$$

\* القيمة العظمى للجهد أو التيار ( المتردد ) :

هى القيمة التي تكون عندها زاوية القطع  $90^\circ$  كهربية أى يكون مستوى الملف عمودياً على مستوى خطوط المجال المغناطيسي

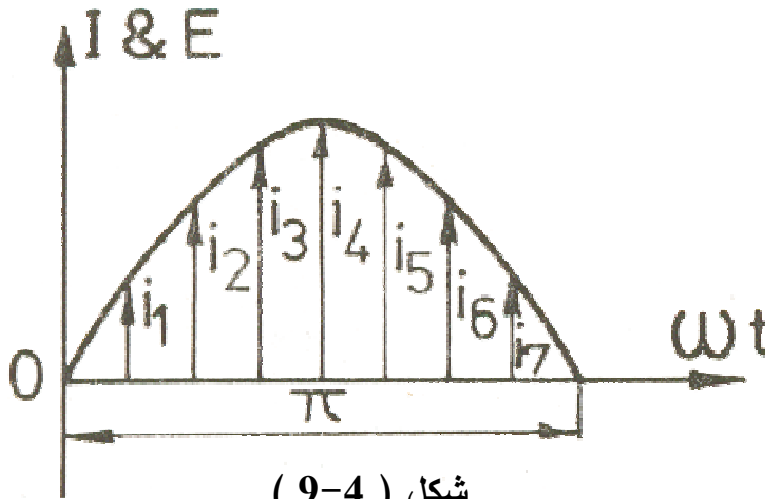
$$e = E_m \sin 90 = E_m \quad \text{volt.}$$

or :

$$i = I_m \sin 90 = I_m \quad \text{Amper.}$$

\* القيمة المتوسطة للجهد أو التيار ( المتردد ) :

هى متوسط قيم الجهد أو قيم التيار خلال نصف دورة زمنية واحدة



فإذا قسمنا نصف الموجه يتم جمع المتوسطات ثم يقسم على النسبة التقريبية كما في

الشكل ( 9-4 )

$$I_{av} = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + \dots}{\pi}$$

وقد وجد أنها ضعف القيمة العظمى أى  $I_m = 2 I_{av}$

إذن القيمة المتوسطة للتيار  $I_{av}$

$$I_{av} = \frac{2 I_{max}}{\pi} = 0.637 I_{max}$$

القيمة المتوسطة للجهد  $V_{av}$

$$V_{av} = \frac{2 E_m}{\pi} = 0.637 E_m.$$

\* القيمة الفعالة للجهد أو للتيار المتردد:

وهى قيمة جذر متوسط المربعات ( r . m . s ) للتيار المتردد التي تعطى نفس الطاقة والقيمة الحرارية التي تنتجها نفس القيمة للتيار المستمر

$$\text{والقيمة الفعالة للتيار المتردد} = \frac{\text{القيمة العظمى}}{2\sqrt{2}} = 0.707 \text{ من القيمة العظمى}$$

القيمة الفعالة للتيار  $I$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

القيمة الفعالة للجهد  $V$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m$$

**ملحوظة :** حسابات دوائر التيار المتردد مبنية على إستعمال القيمة الفعالة وهى القيمة التي تبينها أجهزة القياس للتيار المتردد .

\* معامل الشكل ( Form Factor )  $K_f$

يمكن ربط القيمة الفعالة لموجه التيار أو موجه الجهد المتردد بالقيمة المتوسطة عن طريق معامل يسمى معامل الشكل وهو النسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة

$$\text{أي أن معامل الشكل } K_f = \frac{\text{القيمة الفعالة}}{\text{القيمة المتوسطة}}$$

$$K_f = \frac{0.707 I_m}{0.637 I_m} = 1.11$$

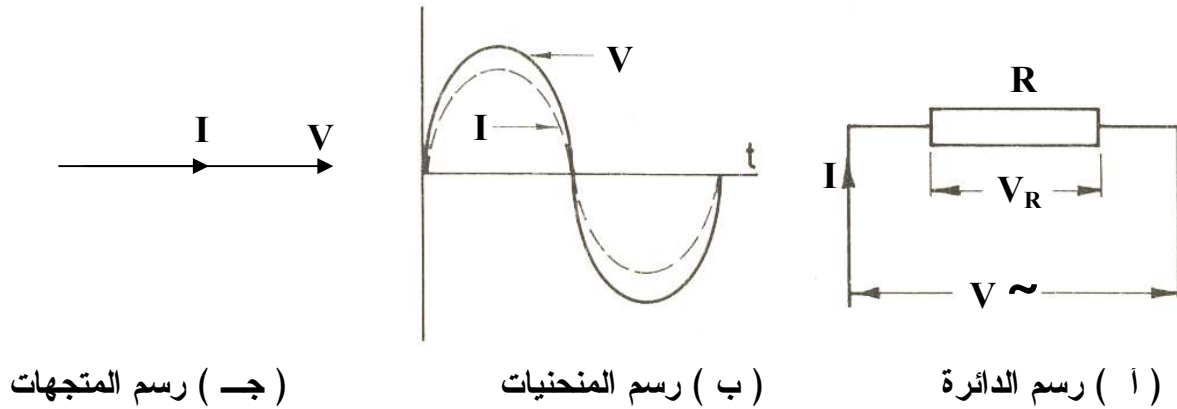
2-4 دوائر التيار المتردد :

1-2-4 تأثير العناصر ( R - L - C ) في دوائر التيار المتردد

\* دائرة تحتوي على مقاومة مادية بحتة R :

كما في الشكل ( 9-4 - أ . ب . ج - )

شكل ( 9-4 - أ ) يبين رسم الدائرة - شكل ( 9-4 - ب ) يبين رسم المنحنيات لكل من الجهد والتيار - شكل ( 9-4 - ج ) يبين رسم المتجهات للجهد والتيار بفرض أن الزاوية  $\theta = 0$  أى أن زاوية الوجه بين التيار والجهد مساوية للصفر



شكل ( 9-4 - أ ، ب ، ج - )

$$I = \frac{V}{R} \text{ amper}$$

وبتطبيق قانون أوم فإن

$$V_R = I \cdot R$$

ويكون الجهد على أطراف المقاومة V

\* دائرة تحتوى على ملف ( ممانعة حثية )  $X_L$  :

معلوم أنه إذا تغير التيار في دائرة يتولد فيض متغير فإذا كانت الدائرة تحتوى على ملف فإن هذا الفيض يولد ق. د. ك بالتأثير الذاتي.

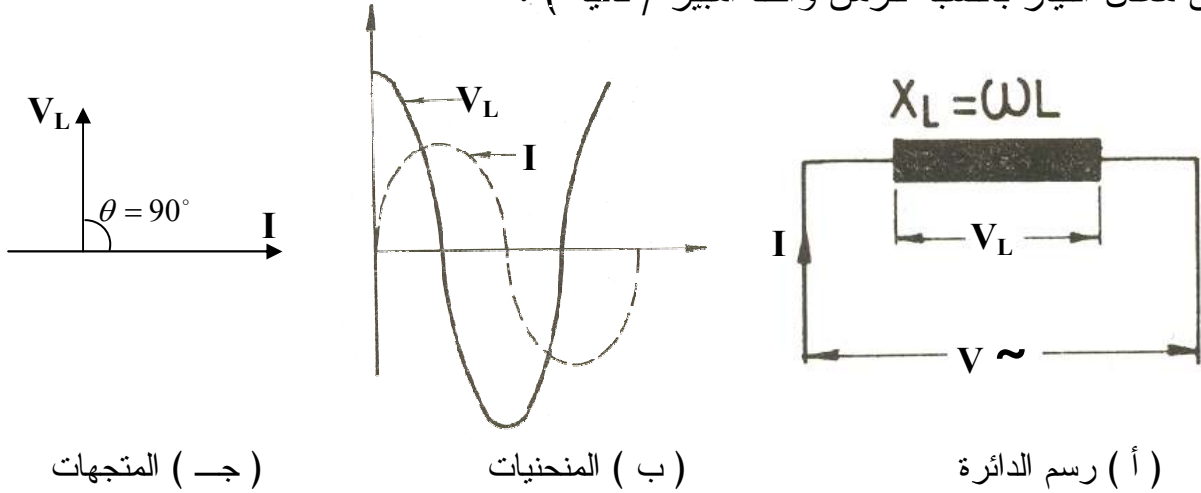
وتعتمد قيمة ق. د. ك بالتأثر على معدل تغير التيار بالنسبة للزمن وعلى معامل الحث

$$e.m.f = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

الذاتي للملف فإن القوة الدافعة الكهربائية العكسية

حيث  $L$  معامل الحث الذاتي بالهنري ،  $\frac{di}{dt}$  معدل تغير التيار بالنسبة للزمن

( تعريف الهنرى : هو الاستنتاج النفسى لملف عندما يستنتج به ق. د. ك واحد فولت عندما يكون معدل التيار بالنسبة للزمن واحد أمبير / ثانية ) .



شكل ( 10-4 - أ ، ب ، ج )

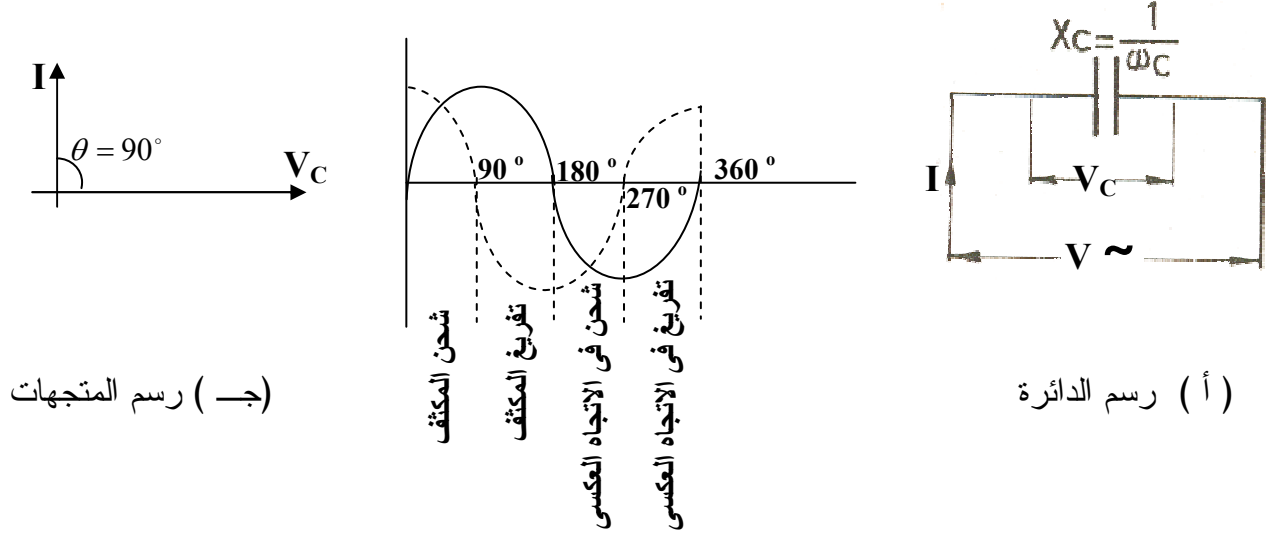
ومن الشكل ( 10-4 - ب ، ج ) نلاحظ أن موجة الجهد تتقدم عن موجة التيار  $I$  بزاوية  $90^\circ$  كهربية أو التيار يتأخر عن الجهد بزاوية  $90^\circ$  .

والرسم الاتجاهي بالشكل ( 10-4 - ج ) يوضح أن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها  $90^\circ$  وقيمة ممانعة الملف  $X_L$  بالأوم هي

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L \quad \Omega$$

\* دائرة تحتوي مكثف " ممانعة سعوية فقط  $X_C$  :

كما بشكل ( 11-4 - أ ، ب ، ج ) إذا وصل مكثف بدائرة تيار متردد فإنه يتم شحنه وتفريغه باستمرار طبقاً لتغير جهد المصدر وينتج عن ذلك مرور تيار متردد في المكثف



شكل ( 11-4 - أ ، ب ، ج )

إذا تم وضع الجهد على هيئة موجة جيبية على أطراف المكثف فنجد من الشكل أنه خلال الربع الأول فإن المكثف يشحن حتى يصل جهده إلى القيمة القصوى

ونجد أن تيار الشحن يكون أكبر ما يمكن في البداية حتى يصل إلى قيمة الصفر حينما يتم شحن المكثف إلى القيمة العظمى وفي الربع الثاني يقل جهد المصدر وبالتالي يبدأ المكثف في التفريغ فيزداد تيار التفريغ من الصفر إلى أكبر قيمة سالبة وهكذا يتم شحن وتفريغ المكثف في الربع الثالث والرابع ولكن يتم ذلك عكس الاتجاه الذي يتم في الربع الأول والثاني

وبين شكل ( 11-4 - ج ) رسم المتجهات لكل من التيار والجهد والذي يتضح منه أن التيار متقدم عن الجهد بزاوية مقدارها  $90^\circ$  أو أن الجهد متأخر عن التيار  $90^\circ$

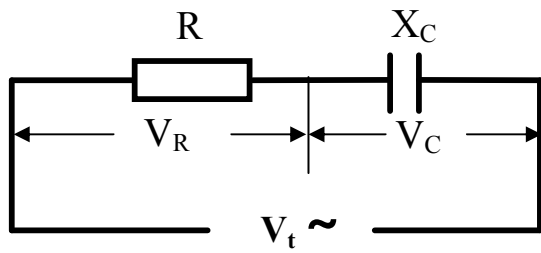
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot c} = \frac{1}{2\pi f c} \Omega$$

ممانعة المكثف  $X_C$

### نستخلص مما سبق

- (1) عند توصيل مقاومة مادية  $R$  بجهد تيار متردد فإن التيار  $I$  المار يتفق مع الجهد  $V$  والزاوية بينها = صفر
- (2) عند توصيل ملف حثي له ممانعة  $X_L$  بجهد تيار متردد فإن التيار  $I$  يتأخر عن الجهد بزاوية  $90^\circ$  والزاوية بينها  $90^\circ$  بأهمال المقاومة المادية للملف .
- (3) عند توصيل مكثف له ممانعة  $X_C$  بجهد تيار متردد فإن التيار  $I$  يتقدم عن الجهد بزاوية  $90^\circ$  والزاوية بينهما  $90^\circ$  .

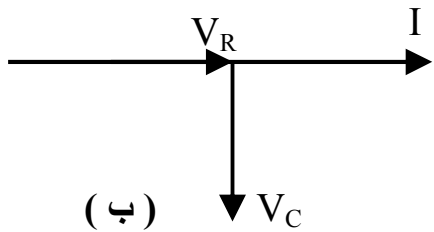
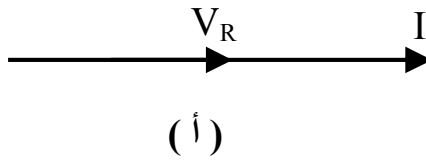
\* توصيل المقاومة والمكثف على التوالي ( وحساب الممانعة الكلية لهما ورسم المتجهات )  
في هذه الحالة نجد أن :



1- التيار I المار في المقاومة R في نفس الوجه مع فرق الجهد على طرفيها كما بشكل (1-12-4) .

2- التيار يتقدم فرق الجهد على المكثف (الممانعة

Xc) بزاوية مقدارها 90° كما بشكل (12-4-ب) .

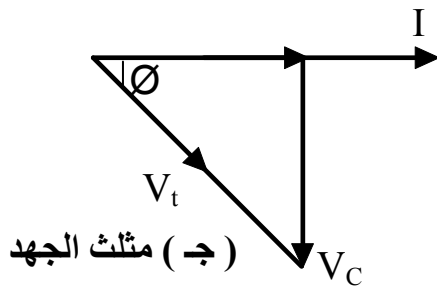


3- نرسم مثلث الجهد كما بشكل (12-4-جـ)

ومنه نحصل على:

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_t}$$

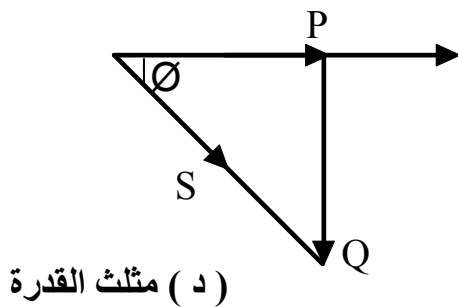


حيث:  $V_t$  الجهد الكلي المسلط على أطراف الدائرة

$V_R$  الجهد على طرفي المقاومة

$V_C$  الجهد على طرفي المكثف

$\cos \phi$  معامل القدرة



شكل (12-4-أ ، ب ، ج ، د)

القدرة في دائرة تحتوى على مقاومة ومكثف:

بضرب مثلث الجهود في التيار I نحصل على مثلث القدرة كما بشكل (12-4، د)

ومثلث القدرة عبارة عن مثلث قائم الزاوية يكون فيه ضلعي القائمة هما P ، Q حيث P

هى القدرة الفعالة ( في اتفاق وجه مع التيار ) ، Q هى القدرة الغير فعالة وهى الضلع العمودى



على اتجار التيار  $I$  ، وتر ضلعي القائمة هو  $S$  وهو ما يعبر عنه بالقدرة الظاهرية ويحصر مع القدرة الفعالة زاوية الوجه  $(\theta)$  ومن مثلث القدرة الفعالة  $P$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} = I^2 \cdot R = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

القدرة الغير فعالة  $Q$ :

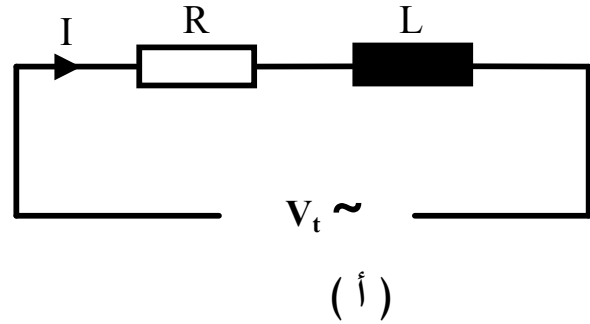
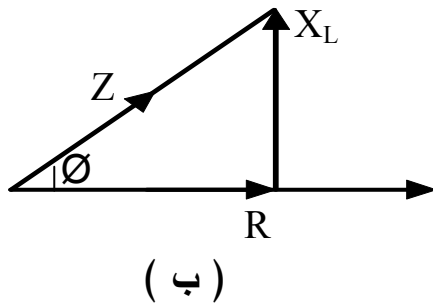
$$Q = I^2 X_c = V_t I \sin \phi = \sqrt{S^2 - P^2}$$

القدرة الظاهرة  $S$

$$S = I^2 \cdot Z = V_t I^2 = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

وفي حالة عنصرين فقط  $(L, R)$  أو  $(C, R)$  فإن هناك مثلث آخر يسمى مثلث الممانعات وهو ما سوف نوضحه لاحقاً .

\* دائرة  $L, R$  :



شكل (4-13، أ، ب)

حيث  $R$  هي المقاومة المادية للدائرة بالأوم  
 $X_L$  هي ممانعة الدائرة بالأوم .

وبالتالي فإن مقاومة الدائرة ويرمز لها بالرمز  $Z$  يمكن حسابها من المثلث المبين في

شكل (4-13، ب ) كالآتي:

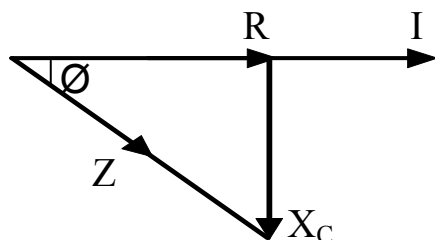
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$X_L = Z.\sin \phi$$

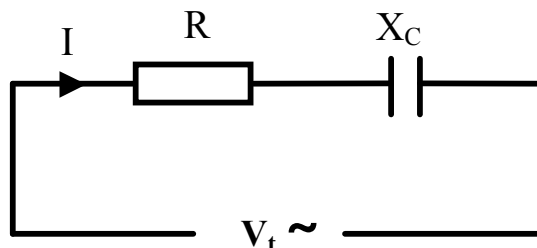
$$R = Z.\cos \phi$$

\* دائرة R , C :

بنفس الطريقة السابقة



( ب )



( أ )

شكل (4-14، أ، ب)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$R = Z.\cos \phi$$

$$X_C = Z.\sin \phi$$

مثال : في الدائرة الموضحة بشكل (4-15) احسب :

أ- المعاوقة الكلية Z

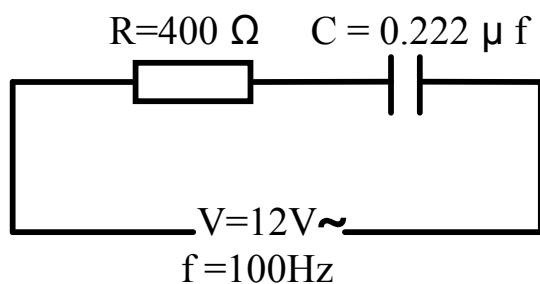
ب - شدة التيار I

ج- زاوية الوجه  $\phi$

علما بأن:

الجهود = 12 فولت تيار متغير

التردد = 100 ذ / ث



شكل ( 4 - 15 )

الحل

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 0.222 \times 10^{-6}} = 7170 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(400)^2 + (7170)^2}$$

$$Z = 7181 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{12}{7181} = 0.00167 \text{ A}$$

$$I = 1.67 \text{ m.A}$$

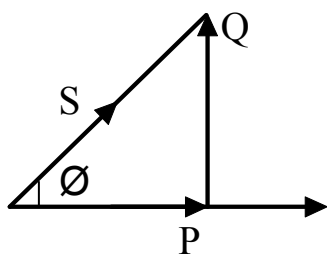
من مثلث الممانعات والمعاوقة

$$\begin{aligned} \cos \phi &= \frac{R}{Z} \\ &= \frac{400}{7181} = 0.0557 \end{aligned}$$

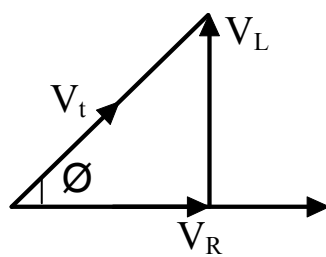
$$\phi = \cos^{-1} 0.05577$$

$$\phi = 86.81^\circ$$

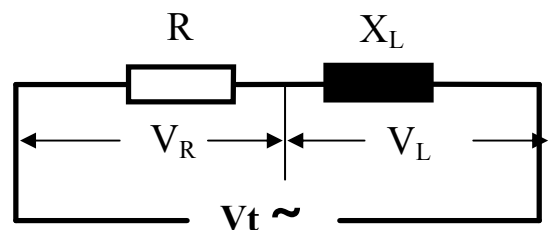
\* توصيل مقاومة مادية وملف ( ممانعة حثية ) على التوالي وحساب ( المعاوقة الكلية والمتجهات ) :



( ج ) مثلث القدرة



( ب ) مثلث الجهود



( أ ) الدائرة

شكل ( 16-4 )

كما في شكل ( 16-4 ) الدائرة تحتوى على مقاومة مادية وملف على التوالي وشكل (16-4) يبين رسم المتجهات الخاصة بهذه الدائرة فنجد أن الجهد على أطراف المقاومة  $V_R$  في نفس

إتجاه التيار ومتجه الجهد على اطراف الملف ( $V_L$ ) متقدم عن التيار بزاوية قدرها  $90^\circ$ <sup>5</sup> والجهد الكلي  $V_t$  هو محصلة  $V_R$  ,  $V_L$  من مثلث الجهود

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_t} = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \cos \phi$$
 ومعامل القدرة جتا  $\phi$

مثلث القدرة نحصل عليه بضرب أضلاع مثلث الجهد في التيار  $I$  كما بشكل (4-16 جـ) .

أ- المركبة الأفقية تمثل القدرة الفعالة ( المستهلكة ) ويرمز لها بالرمز  $P$  وتميز بالوات

$$P = I^2 \cdot R = V_R \cdot I = V_t \cdot I \cdot \cos \phi = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

ب- المركبة الرأسية تمثل القدرة الغير فعالة له ( المسببة لانتاج المجال المغناطيسي والكهربي )

ويرمز لها بالرمز  $Q$  وتميز بالفولت امبير غير فعال  $V \cdot A \cdot R$

$$Q = I^2 X_C = V_L I = V_t I \sin \phi = \sqrt{S^2 - P^2} \quad V \cdot A \cdot R$$

جـ المحصلة الكلية تمثل القدرة الكلية المرسله من المحطة ( المنبع ) وتسمى بالقدرة الظاهرية

ويرمز لها بالرمز  $S$  وتميز بالفولت . امبير (  $V \cdot A$  ) وهى :

$$S = I^2 \cdot Z = V_t I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

**ملحوظة هامة :** من مثلث القدرة نجد أن القدرة الفعالة تزيد كلما قلت زاوية الوجه  $\phi$  أى تزيد

كلما كبر جيب تمام زاوية الوجه ( $\cos \phi$ ) وتصبح نهاية عظمى عندما يكون معامل القدرة

الوحدة وتصبح القدرة الفعالة مساوية للقدرة الظاهرية  $P = S$ .

**مثال :** دائرة توالي مكونة من مقاومة وملف على التوالي موصلة بمصدر جهد متردد فإذا كان

الجهد على المقاومة  $30V$  والجهد على الملف  $40 V$  احسب جهد المصدر المتردد

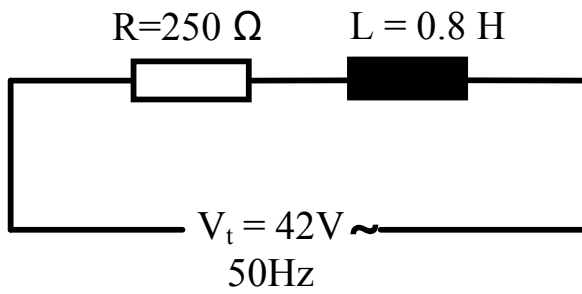
**الحل :**

$$\therefore V_R = 30V \quad V_L = 40V \quad V_t = ?$$

$$V_t = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(30)^2 + (40)^2} = 50V$$

مثال :

ملف ومقاومة متصلين على التوالي كما في الرسم بشكل ( 4-17 ) احسب :



شكل ( 4-17 )

1- الممانعة الحثية للملف .

2- المعاوقة الكلية .

3 -شدة التيار الكلية .

الحل

$$R=250\ \Omega$$

$$L=0.8\ H$$

$$X_L=?$$

$$X_L=2\pi f \cdot L = 2 \times \pi \times 50 \times 0.8 = 251\ \Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

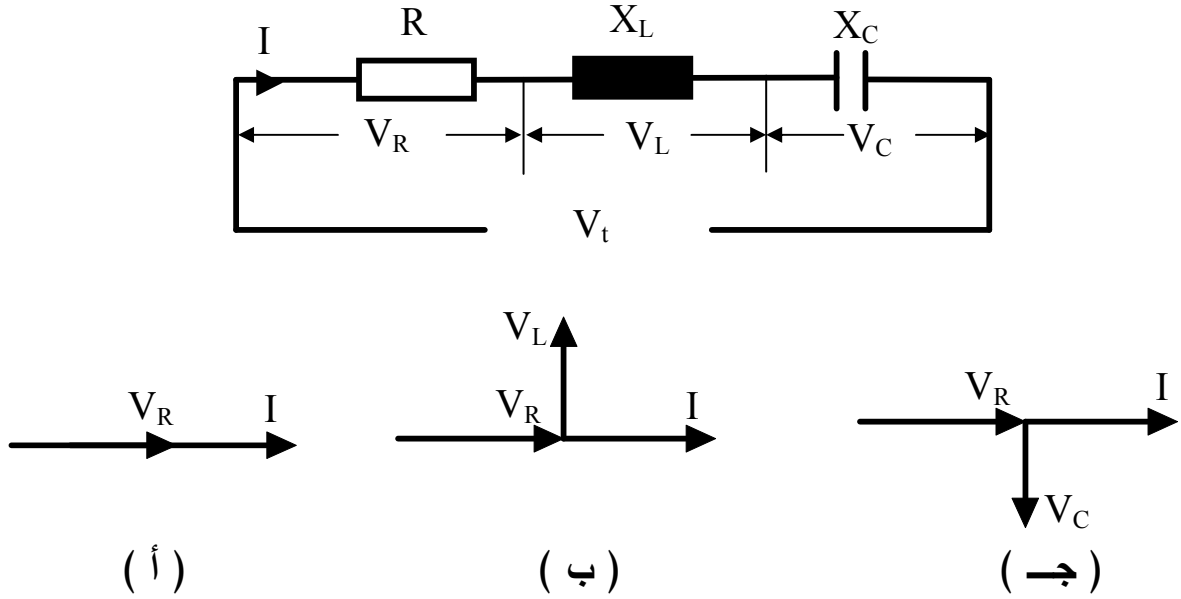
$$= \sqrt{(250)^2 + (251)^2} = 354\ \Omega$$

لحساب شدة التيار I

$$I=\frac{V_t}{Z}$$

$$=\frac{42}{354}=0.118\ Ampers$$

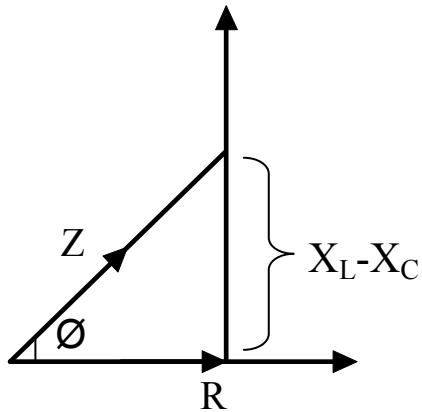
\* توصيل المقاومة والملف والمكثف على التوالي وحساب المعاوقة والممانعة الكلية والمتجهات:



شكل ( 4 - 18 - أ - ب - ج )

في هذا الدائرة:

- 1- التيار المار في الدائرة ثابت وهو يساوي  $I$  .
- 2- التيار في نفس الوجه مع الجهد على طرفي المقاومة شكل ( 4 - 18 - أ ) .
- 3- التيار يتأخر بزاوية  $90^\circ$  عن الجهد على طرفي الملف شكل ( 4 - 16 - ب ) .
- 4- التيار يتقدم بزاوية  $90^\circ$  عن الجهد في المكثف شكل ( 4 - 16 - ج ) من ذلك يمكن رسم المتجهات لهذه الدائرة ورسم مثلث الجهود



من شكل ( 4 - 18 - أ ، ب )

$$\sin \phi = \frac{V_L - V_C}{V_t}$$

شكل ( 4 - 19 ) مثلث المقاومات

رسم مثلث المقاومات شكل (4-19) تم الحصول عليه من مثلث الجهود بقسمة قيم الجهود على التيار I فنحصل على مثلث المقاومات ومنه نستنتج المعاوقة الكلية Z

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

معامل القدرة للدائرة جتا Ø

$$R = \frac{X_L - X_C}{\tan \phi}$$

قيمة المقاومة R

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

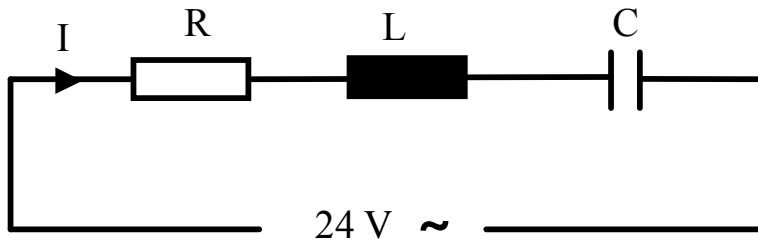
ظل الزاوية = tanφ

$$X_L - X_C = Z \cdot \sin \phi = R \cdot \tan \phi$$

قيمة الممانعة (X<sub>L</sub> - X<sub>C</sub>)

مثال :

في شكل (4-20) وصلت مقاومة ومكثف وملف على التوالي وكانت بيانات الدائرة كالتالي:  
الجهود المسلط 24 V .



شكل ( 4-20 )

التردد f = 50 Hz

$$C = 2 \times 10^{-6} \text{ F}$$

C سعة المكثف

$$L = 2.5 \text{ H}$$

L حث الملف

$$R = 120 \Omega$$

R المقاومة

جـ - زاوية الوجه Ø

ب - شدة التيار I

احسب أ - المعاوقة الكلية Z

الحل :

$$X_L = 2\pi f \cdot L$$

$$= 2\pi (50)(2.5)$$

$$= 785 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2\pi (50)(2 \times 10^{-6})}$$

$$= 1.59 \times 10^3 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(120)^2 + (785 - 1590)^2}$$

$$= 814 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{24}{814}$$

$$= 0.295 A$$

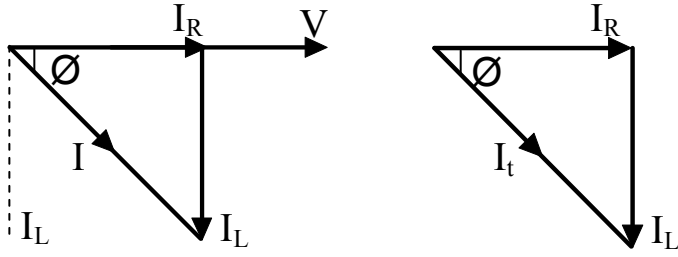
$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{120}{814} = 0.147$$

$$\phi = \cos^{-1} 0.147 = 81.5^\circ$$

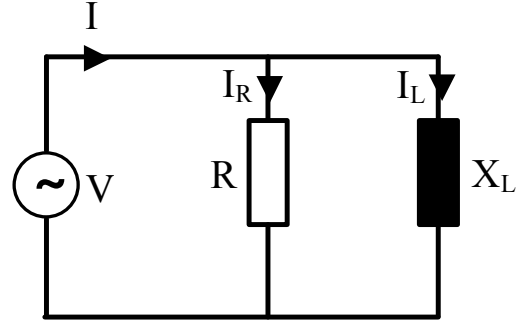
4-2-3 توصيل المقاومة والملف على التوازي :

شكل (4-21) يوضح دائرة التيار المتردد التي تحتوى على مقاومة وملف على التوازي ومن الدائرة نجد أن التيار الكلي I ينقسم الى مركبتين احدهما التيار المار في المقاومة  $I_R$  والآخر التيار المار في الملف  $I_L$  وبرسم المتجهات نجد أننا نرسم متجه الجهد  $V$  للمنبع كأساس ونحصل على رسم المتجهات للتيارات كما بشكل (4-22) .





شكل ( 22-4 )



شكل ( 21-4 )

ومن مثلث التيار نجد أن:

$$I^2 = I_R^2 + I_L^2$$

وذلك حسب نظرية فيثاغورث:

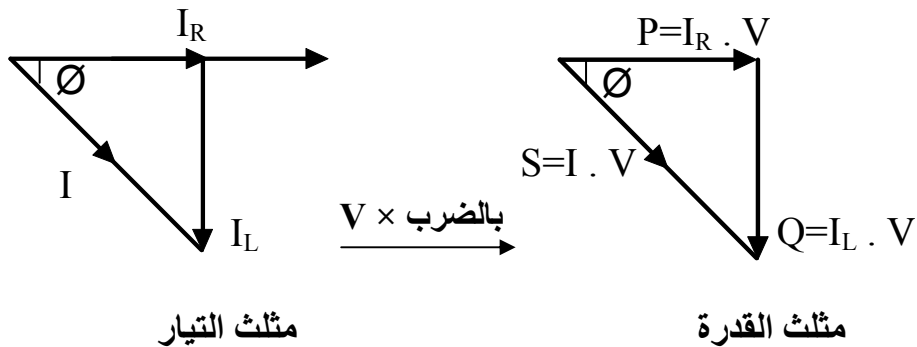
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

$$\cos \phi = \frac{I_R}{I}$$

ونجد أن التيار الكلي في الدائرة متأخر عن الجهد بزاوية (  $\phi$  )

مثلث القدرة :

ويمكن تعيين مثلث القدرة بضرب اضلاع مثلث التيار في قيمة الجهد كما في شكل (23-4)



شكل ( 23-4 )

من مثلث القدرة

$$P = I_R \cdot V \quad W$$

P القدرة الفعالة

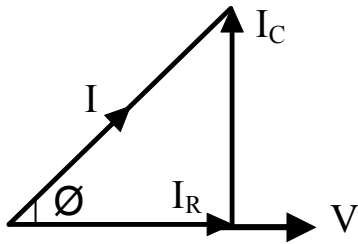
$$Q = I_L \cdot V \quad VAR$$

Q القدرة الغير فعالة

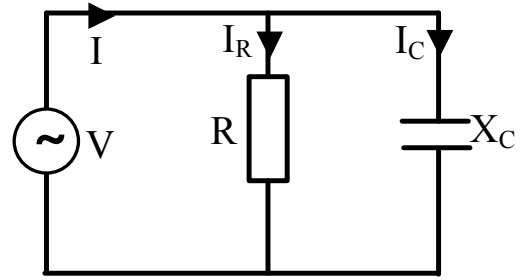
$$S = I \cdot V \quad VA$$

S القدرة الظاهرية

دائرة تحتوى مقاومة ومكثف على التوازي :



رسم متجهات مثلث التيار



رسم الدائرة

شكل ( 4-24 )

شكل (4-24) يوضح دائرة التيار المتردد التي تحتوى مقاومة ومكثف توازي ورسم المتجهات ومن هذا الشكل يتضح أن التيار الكلي في الدائرة متقدم عن الجهد بزاوية مقدارها  $\phi$  وعلاقات التيارات كما يلي :

$$I^2 = I_R^2 + I_c^2$$

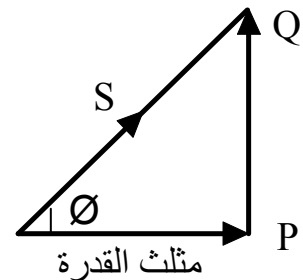
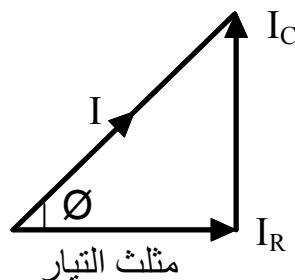
$$I = \sqrt{I_R^2 + I_c^2}$$

$$\cos \phi = \frac{I_R}{I}$$

وبضرب مثلث التيار في الجهد نحصل على مثلث القدرة كما بشكل (4-25)

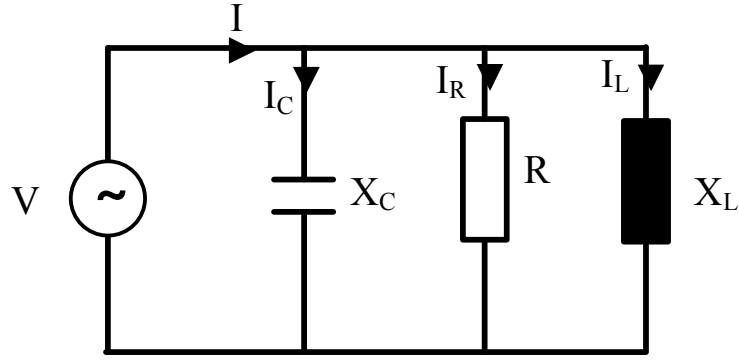
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$



شكل ( 4-25 )

دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة وملف ومكثف على التوازي :



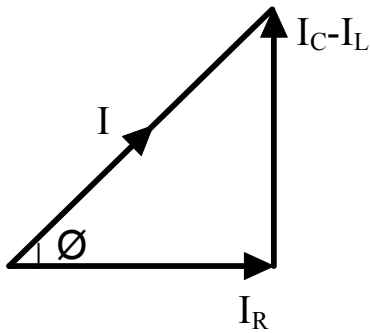
شكل (4-26) دائرة تحتوى على مقاومة وملف ومكثف على التوازي

هناك ثلاث حالات (1)  $X_L > X_C$

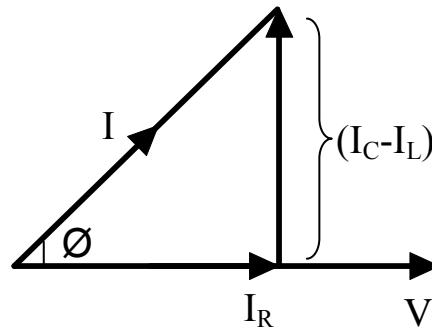
(2)  $X_L = X_C$

(3)  $X_L < X_C$

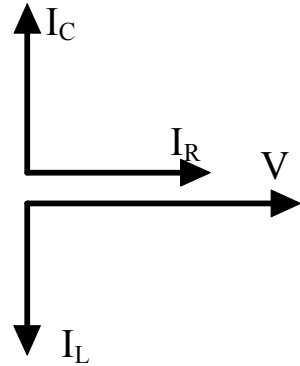
برسم مثلث التيار والجهد شكل ( 4-27 )



أ - مثلث التيار



ب - محصلة التيار



متجهات التيار والجهد حالة  $I_C > I_L$

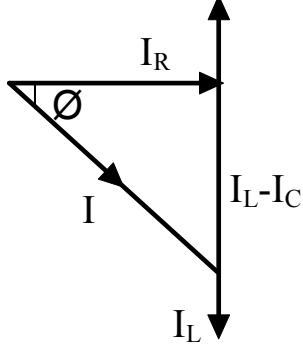
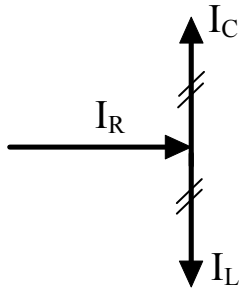
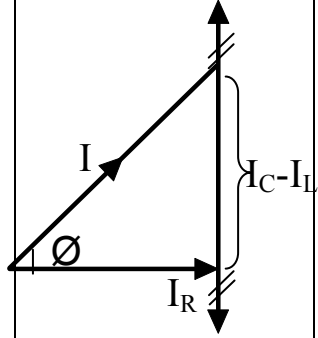
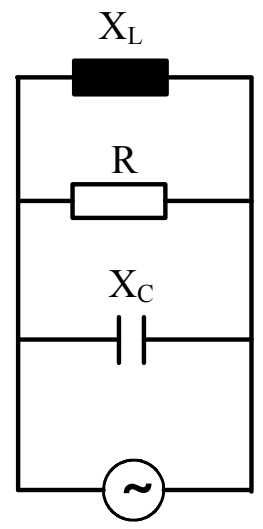
شكل ( 4-27 )

ومنها نحصل على التيار الكلي I

$$I = \sqrt{(I_R)^2 + (I_C - I_L)^2}$$

$$\cos \phi = \frac{I_R}{I}$$

ملخص للحالات الممكنة في حالة دائرة التيار المتردد التي تحتوى على مقاومة ومكثف وملف على التوازي :

$X_L > X_C$	$X_L = X_C$	$X_L < X_C$	تركيب الدائرة
<p>التيار الكلي في الدائرة متأخر عن الجهد بزاوية أقل من <math>90^\circ</math> ونعامل الدائرة كأنها دائرة حثية</p> 	<p>التيار الكلي في الدائرة في نفس زاوية الوجه مع الجهد ويعامل الدائرة كأنها ذات دائرة مقاومة مادية فقط</p> 	<p>التيار الكلي في الدائرة يسبق الجهد بزاوية أقل من <math>90^\circ</math> ونعامل الدائرة كأنها دائرة سعوية</p> 	

استنتاج حالة الرنين في دوائر التوالي:

في حالة الدائرة المكونة من ملف  $X_L$  ومقاومة  $R$  ومكثف  $X_C$  على التوالي إذا كانت  $X_L = X_C$  فإن الممانعة الكلية  $Z = R$  ويصبح جهد الدائرة  $V$  منطبقاً في الوجه مع التيار  $I$  ويقال في هذه الحالة أنها دائرة رنين .

استنتاج تردد الرنين في حالة التوالي :

$$X_L = X_C$$

$$2\pi f \cdot L = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

ومنه

$$(f)^2 = \frac{1}{4\pi^2 L.C}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L.C}}$$

وتردد الرنين f

وتُستعمل هذه الدائرة عملياً في دوائر الراديو والتحكم الآلى

**ملاحظات هامة :**

إذا ذكر أن الدائرة في حالة رنين تكون التعبيرات الآتية صحيحة :

$$Z = R \quad \text{1- الازعاج الكلية}$$

$$R \quad \text{2- جهه المنبع = الجهد على أطراف المقاومة}$$

$$\cos \phi = 1 \quad \text{3- معامل القدرة = الوحدة}$$

$$\phi = 0 \quad \text{4- زاوية الوجه للدائرة = صفر .}$$

$$\text{5- القدرة الغير فعالة = صفر .}$$

$$\text{6- التيار متوافق مع الجهد أو يقال في نفس الوجه}$$

$$\text{7- القدرة الفعالة = القدرة الظاهرية}$$

**مثال :** في دائرة للرنين وجد أن معامل الحث للملف 0.01 هنرى وأن سعة المكثف الذى يحدث الرنين هو 100 ميكروفاراد . احسب تردد الرنين

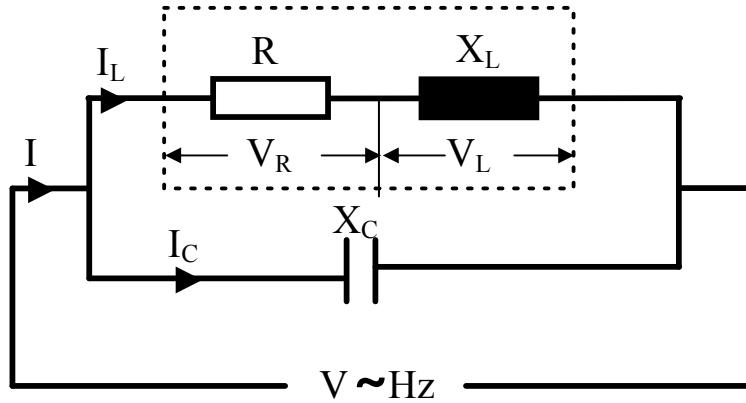
**الحل:**

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L.C}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \sqrt{0.01 \times 100 \times 10^{-6}}} = 159 \text{ Hz}$$

استنتاج حالة الرنين في دوائر التوازي :

تتكون دائرة الرنين على التوازي من ملف موصل على التوازي مع مكثف وعموماً الملف غير مثالي فيمكن تمثيل الملف بمحاثة + مقاومة مادية أى  $X_L$  مع التوالي مع المقاومة المادية  $R$  كما بشكل (4- 28)



شكل ( 4 - 28 )

ومنها نحصل على تردد الرنين في حالة التوازي (بدون برهان)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

جدول مقارنة بين خصائص دائرة رنين التوالي ودائرة رنين التوازي

أوجه المقارنة	دائرة التوالي	دائرة التوازي
1- عند الرنين المعاوقة	قيمة صغرى	قيمة عظمى
2- المعاوقة	R	$\frac{L}{C.R}$ وتسمى الاعاقة الديناميكية
3- التيار عند الرنين	قيمة عظمى $\frac{V}{R}$	قيمة صغرى $\frac{V}{\frac{L}{R.C}}$
4- معامل القدرة عند الرنين	$\cos \phi = 1$	$\cos \phi = 1$
5- تردد الرنين	$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L.C}}$	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L.C} - \frac{R^2}{L^2}}$
6- الكمية المكبره بالدائرة	التيار	الجهد

## تذكر ( التيار المتردد )

- التيار المتغير هو تيار متغير فى القيمة والإتجاه مع تكرار نفسه دورياً مع مرور الزمن
- يعرف التردد بأنه عدد الذبذبات أو الموجات فى الثانية الواحدة ويرمز له بالرمز  $f$
- الزمن الدورى هو الزمن بالثانية الذى تستغرقه الذبذبة الواحدة ويرمز له بالرمز  $T$
- القيمة العظمى للجهد أو التيار عندها زاوية القطع  $90^\circ$  كهربية أى يكون مستوى الملف عمودياً على مستوى خطوط المجال المغناطيسى
- حسابات دوائر التيار المتردد مبنية على استعمال القيمة الفعالة وهى القيمة التى تبينها أجهزة القياس للتيار المتردد
- معامل الشكل هو النسبة بين القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة
- الهنرى : هو الاستنتاج النفسى لملف عندما يستنتج به ق.د.ك واحد فولت عندما يكون معدل التيار بالنسبة للزمن واحد أمبير/ثانية
- عند توصيل مقاومة مادية بجهد تيار متردد فإن التيار يتفق مع الجهد والزاوية بينهما=صفر
- عند توصيل ملف حتى بجهد تيار متردد فإن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية  $90^\circ$
- عند توصيل مكثف بجهد تيار متردد فإن التيار يتقدم عن الجهد بزاوية  $90^\circ$
- من مثلث القدرة نجد أن القدرة الفعالة تزيد كلما قلت زاوية الوجه  $\phi$
- التردد فى حالة رنين التوالى 
$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L.C}}$$
- التردد فى حالة رنين التوازي 
$$f = \frac{1}{2 \pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$



## أسئلة على الباب الرابع

1- يستخدم الجهد المتردد في المنازل والمصانع في مصر بتردد 50% ذبذبة /ث ماذا يعنى ذلك ؟

2- اشرح مع رسم بسيط كيفية توليد الموجه الجيبية .

3- عرف كل مما يأتى :

(أ) الدورة (ب) التردد (ج) الزمن الدورى (د) زاوية الوجه

4- عرف كلاً من القيم الآتية للقوة الدافعة الكهربائية ذات الموجه الجيبية .

1- القيمة اللحظية 2- القيمة المتوسطة 3- القيمة العظمى .

5- وضح بالرسم - ( بالمتجهات والمنحنيات ) الزاوية بين كل من التيار المار بملف حثى والجهد المسلط على طرفيه .

6- أوجد الممانعة الحثية  $X_L$  لملف حثه الذاتى  $H = 0.05$  إذا علم أن تردد المنبع  $50\text{Hz}$  ثم احسب ممانعته عند تردد  $120\text{Hz}$  وماذا تستنتج .

7- أوجد الممانعة السعوية  $X_C$  لدائرة تيار متردد بها مكثف فقط سعته  $400\text{ }\mu\text{f}$  إذا علم أن التردد  $50\text{Hz}$  . ثم أوجد ممانعته إذا زاد التردد إلى  $300\text{Hz}$  وماذا تستنتج .

8- مقاومة مادية  $80\text{ }\Omega$  أوم وملف حثه  $240$  ميلي هنرى وصلا على التوالي بمنبع  $220$  فولت ،  $50$  ذ/ث احسب :

أ- الممانعة الحثية للملف ب - شدة التيار

ج- المعاوقة د - زاوية الوجه بين الجهد والتيار .

( الجواب  $43.34^\circ$  ،  $110\text{ }\Omega$  ،  $2\text{A}$  ،  $75.4\text{ }\Omega$  )

9- وصلت مقاومة مادية وممانعة استنتاجية بالتوالي خلال منبع جهده  $240$  فولت فإذا كان الجهد على الممانعة الاستنتاجية  $185$  فولت احسب :

أ- الجهد الواقع على المقاومة المادية التي قيمتها  $25\text{ }\Omega$

ب- مقدار الممانعة الحثية .

الجواب (  $30.25 \Omega$  ،  $152.9 V$  )

10- مكثف سعته 8 ميكروفاراد وصل بالتوالي مع مقاومة أومية 60 أوم بمنبع جهده 220 فولت 50 هرتز أوجد :

أ- الممانعة السعوية      ب- المعاوقة      ج- التيار  
د - القدرة الفعالة      هـ- القدرة الغير فعالة .

الجواب (  $398 \Omega - 402.5 - 0.547 A - 17.93 W - 119 VAR$  )

11- مكثف سعته 2 ميكروفاراد . وملف حثه 2.5 هنرى ومقاومته الأومية 120 أوم وصلا بالتوالي بمنبع جهده 24 فولت وتردده 50 هيرتز .  
إحسب :

(أ) معاوقة الدائرة      (ب) التيار  
(ج) معامل القدرة      (د) تردد الرنين

الجواب (  $814\Omega$  ,  $29 m.A$  ,  $0.147$  ,  $71.2 Hz$  )

12- دائرة رنين تحتوى على ملف 160 مللي هنرى ومقاومة أومية 150 أوم متصلين بالتوازي بمكثف سعته 22 نانو فاراد - فإحسب تردد الرنين

الجواب (  $45 M. Hz$  )

13- مقاومة مقدارها 12 أوم وملف حثه الذاتي 0.15 هنرى ومكثف سعته 100 ميكروفاراد وصلت على التوالي عبر منبع جهده 100 فولت وتردده 50 ذ/ث  
احسب ما يأتي :

أ - معاوقة الدائرة      ب- التيار المار بالدائرة .  
ج- زاوية الوجه بين التيار وجهد المنبع      د - معامل القدرة .

الاجابة (  $19.44$  ،  $5.14$  أمبير ،  $51.88^5$  ،  $0.6173$  تأخر )

14- أذكر خواص دائرة رنين التوالي ؟

15- قارن بين دائرة رنين التوالي ودائرة رنين التوازي من حيث التيار عند الرنين

- الاعاقة عند الرنين - معامل القدرة عند الرنين - تردد الرنين .

16- دائرة رنين توازي بها مكثف (  $4 \mu F$  ) بالتوازي مع ملف حثي مقاومته المادية

(  $50 \Omega$  ) والحث الذاتي له (  $0.25 H$  ) وصلت الدائرة بمنبع (  $110 V$  )

فاحسب :

أولاً : تردد الرنين.

ثانياً : معاوقة الدائرة عند هذا التردد

ثالثاً : شدة التيار المسحوب من الدائرة .

الجواب (  $F = 156 Hz$  ، المعاوقة  $1250 \Omega$  ، شدة التيار  $0.08$  أمبير )