التيار المتردد

للفرقة الثانية أساسى

المحاضر/
د. خالد حسين

مقدمة فى التيار المتردد

مقدمة

ينقسم التيار الكهربائي الى نوعين النوع الأول هو التيار المستمر والذي يرمز له بالإنجليزية بـ DC ، والنوع الأخر هو التيار المتردد والذي يرمز له بالإنجليزية بـ AC.

التيار المستمر DC

ويرمز له اختصارا بـالحرفين DC وهما اختصارا من المصطلح الانجليزي Direct currentاي التيار المستمر بالعربية ويمسى احيانا بالتيار المباشر ويعرف ببساطة على انه: عبارة عن تدفق ثابت للإلكترونات من منطقة ذات جهد عال (القطب السالب) إلى أخرى ذات جهد أقل (القطب الموجب). وبالتالي فهو ثابت الشدة وموحد الأتجاه اي انه يسري في أتجاه واحد فقط. وفي التيار المستمر تتدفق الشحنة الكهربائيه في نفس الاتجاة بعكس النوع الاخر وهو التيار المتردد. ويظهر التيار المستمر في العديد من التطبيقات المنخفضة الجهد، خصوصا تلك التي تعمل بالبطاريات، التي تولد تيارًا مستمرا فقط، أو أنظمة الطاقة الشمسية، حيث أن الخلايا

الشمسية بإمكانها توليد تيارات مستمرة فقط. اذا فنظام توليد الطاقة الكهربائيه من الخلايا الشمسية يقوم بتوليد تيار كهربائي مستمر

التيار المترددAC

ويرمز له اختصارا بالحرفين AC وهما اختصارا من المصطلح الانجليزي Alternating Currentاي التيار المتردد بالعربية ويسمى ايضا بـ التيار المتردد الجيبي وبالإنجليزية Sinusoidal Alternating Current ويطلق عليه ايضا التيار المتناوب ويعرف على انه تيار كهربائي يعكس اتجاهه بشكل دوري ويتذبذب في مكانه ذهابا وإيابا 50 أو 60 مرة في الثانية حسب النظام الكهربائي المستخدم. وبالتالي فهو متغير الشدة ومتغير الاتجاه (أي يتغير اتجاه سريانه بين القطبين الموجب والسالب). والتيار المتردد له عده انواع منها التيار المتردد الجيبي والتيار المتردد المنشاري والتيار المتردد المثلثي والتيار المتردد الرباعي، وكل نوع له خصائص ومميزات. وأكثر الأنواع المستخدم هو التيار المتردد الجيبي. نحن اليوم وفي عالمنا هذا نستخدم التيار المتردد لكل استخدامات نقل الطاقة الكهربية لأنه ملائم أكثر من التيار المباشر عند النقل لمسافات طويلة ولا يفقد نسبه كبيرة من طاقته لأغراض توزيع ونقل الطاقة الكهربائيه وقلة تكلفت نقلة مقارنة بالتيار المستمر الا

ان التيار المستمر ذو الجهد العالي ايضا يُستخدم لنقل الطاقة من نقطة لأخرى لمسافات طويلة وللكابلات التي تمر تحت الماء، وقد تكون قيمة الجهد بضعة كيلوفولت إلي حوالي واحد ميجافولت.

الأجهزة في بيوتنا تستخدم التيار الكهربائي المتردد AC

جميع البيوت واغلب الاجهزة الكهربائية المستخدمه فى المنازل تستخدم تيارا كهربائي مترددا AC وكما ذكرت بما ان الخلايا الشمسية تقوم بإنتاج تيار كهربائي مستمر فلهذا حتى نستطيع تشغيل الاجهزة الكهربائية التي تعمل بتيار كهربائي متردد فلا بد لنا من تحويل التيار من DC الى AC عن طريق جهاز يسمى inverterانفيرتر) او العاكس لو اردنا تحويل التيار المتردد AC الى التيار المستمر DC فاننا نستخدم جهازا يسمى) Rectifier ريكتيفير). اذا فأول ما يجب ان نعرفه عند بناء نظام توليد طاقة كهربائية من الطاقة الشمسية اننا سوف نحتاج انفرتر Inverter لتحويل التيار الكهربائي من تيار مستمر DC الى تيار متردد AC ان كنا نود تشغيل اجهزة المنزل الكهربائية المعتاده كالتلفزيون والكمبيوتر والاضاءة التي تعمل في المنزل.

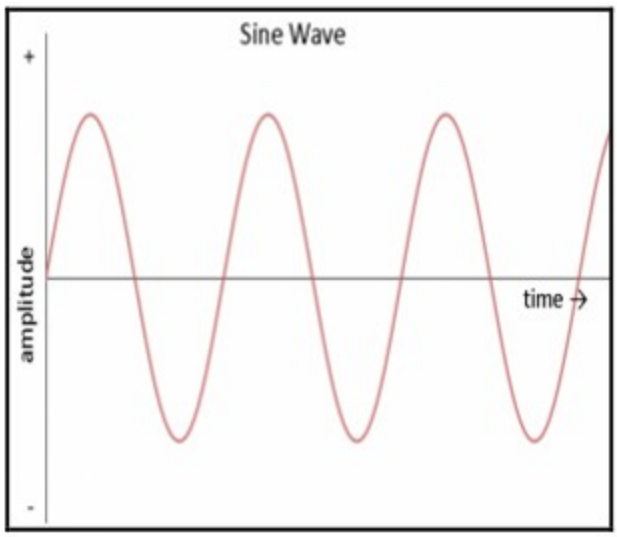
.

الأشكال الموجية (waveforms)

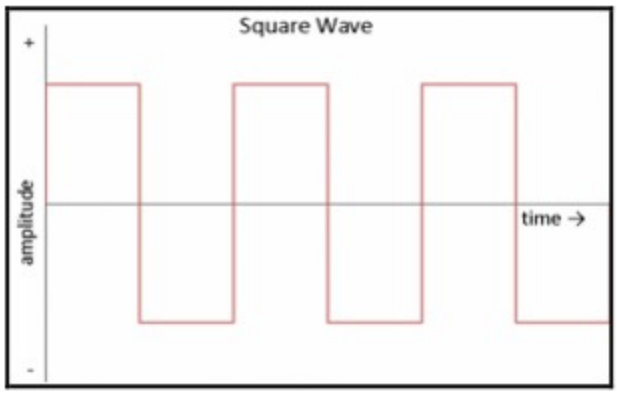
للتيار المتردد أشكال عديدة يمكن أن يتواجد عليها طالما أن التيار والجهد يتغيران. إذا قمنا بتوصيل راسم اهتزازات (oscilloscope) في دائرة تعمل بالتيار المتردد ثم قمنا برسم مخطط لتغير الجهد مع مرور الزمن فربما نلاحظ عدداً من الأشكال الموجيه المختلفة. وأكثر أشكال التيار المتردد شيوعاً هي الموجة الجيبية (sine wave). التيار المتردد في معظم المنازل والمكاتب له جهد متذبذب ينتج عنه موجة جيبية.

فيما يلى بعض أنواع التيار المتردد :

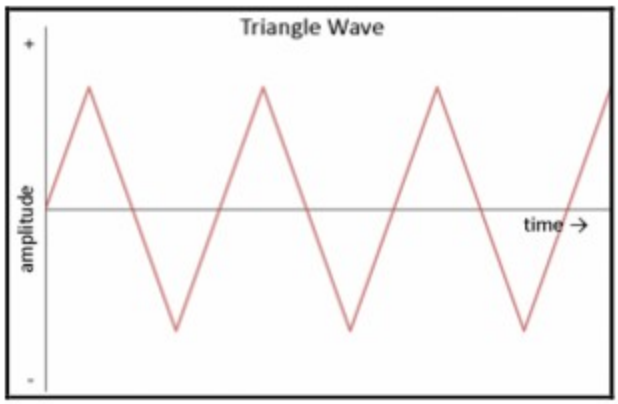
1- التيار المتردد الجيبى Sinusoidal Alternating Current



2- التيار المتردد ذو الموجات المربعة غالباً تُستخدم الموجات المربعة في الإلكترونيات الرقمية وإلكترونيات التحويل لاختبار عملها.



3- التيار المتردد ذو الموجات المثلثية التى تستخدم في توليف الصوت (sound synthesis)، ومفيدة أيضاً في اختبار الإلكترونيات الخطية مثل المضخمات (amplifiers).



الكميات الأساسية للتيار والجهد المتردد

الموجه هى المسار الذى يرسمه الجهد أو التيار بدلالة الزمن

الزمن الدورى هو الزمن اللازم لأتمام دورة كاملة ويرمز لها ب T

التردد هو عدد الذبذبات التى يحدثها التيار او الجهد فى الثانية الواحدة ويرمز لها ب f وتقاس بالهيرتز Hz

KHz =1000 Hz MHz =10^6 Hz

التردد الزاوى هو مقدار الزاويه المقطوعة فى الثانية الواحدة وتعطى ب

$$w = 2\pi f$$

ويقاس التردد الزاوى بوحدة rad/second اى زاوية نصف قطريه فى الثانية

القيم العظمى V_m هى مقدار أعلى قيمة للجهد

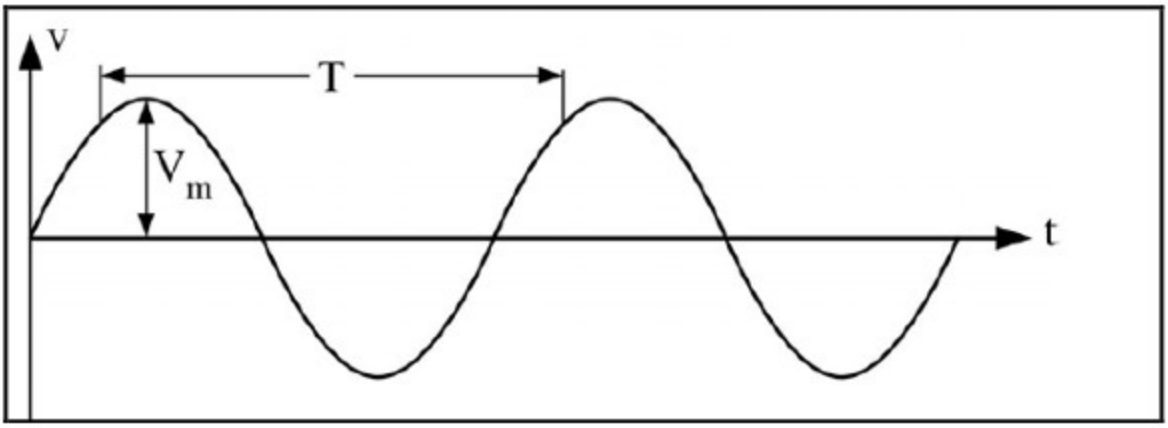
القيمة الفعالة للتيار المتردد I_{eff} او $I_{r.m.s}$ هى شدة التيار المستمر الذى يولد نفس كمية الحرارة التى يولدها تيار متردد خلال نفس الفترة الزمنية فى نفس المقاومه

$$\frac{I_{eff}}{I_m} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

القيمة اللحظية V_t هى مقدار الجهد عند اى لحظه ويعطى ب

$$V_t = V_m \sin wt$$



خواص التيار المتردد

1. يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية للتيار المتردد باستخدام المحولات الكهربية
2. يمكن نقله لمسافات بعيدة دون فقد كبير في الطاقة الكهربية
3. يمكن تحويله إلى مستمر
4. يصلح في عمليات الإضاءة والتسخين ولا يصلح في التحليل الكهربي والطلاء بالكهرباء.
5. له تأثير حرارى

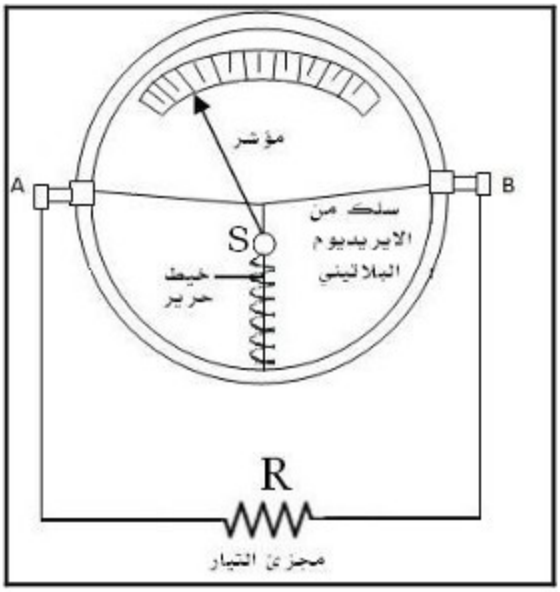
المقارنة بين التيار المتردد والتيار المستمر

1	متغير الشدة والاتجاه بصفة دورية مع الزمن	ثابت الشدة موحد الاتجاه
2	يتولد من دينامو التيار المتردد	يتولد من دينامو التيار المستمر اوالبطاريات
3	يمكن رفع او خفض جهده بواسطة المحولات	لا يمكن رفع او خفض جهده
4	ينقل دون فقد كبير في الطاقة عبر اسلاك النقل بواسطة المحولات	ينقل مع فقد كبير في الطاقة عبر اسلاك النقل
5	يستخدم في الإضاءة وتشغيل الآلات الكهربائية	.يستخدم في الشحن وطلاء المعادن بالتحليل الكهربي
6	يقاس بواسطة الأميتر الحراري (ذو السلك الساخن	يقاس بواسطة الأميتر ذو الملف المتحرك والأميتر الحراري
7	يمر خلال المكثفات	لا يمر خلال المكثفات

قباس التيار المتردد

يقاس التيار المتردد باستخدام الاميتر ذو الملف الساخن لان فكرته تعتمد على التأثير الحراري للتيار الكهربي

تركيب الأميتر الحراري



1. سلك رفيع من سبيكة الايريديوم و البلاتين مشدود بين المسمارين. A, B
2. يتصل السلك من منتصفة بطرف خيط حرير يلف لفة واحدة حول بكرة S
3. يشد الخيط الحريري بواسطة زنبرك مثبت في الجدار ويكون مشدود دائماً.
4. يثبت على البكرة مؤشر يتحرك طرفه أمام تدريج غير منتظم لقياس شدة التيار.
5. يوصل سلك الايريديوم -البلاتيني على التوازي بمقاومة R تستخدم كمجزئ التيار.
6. يعطي الاميتر الحراري القيمة الفعالة للتيار المتردد أو شدة التيار المستمر

نظرية عمل الاميتر الحرارى

- يوصل الاميتر الحراري على التوالي بالدائرة المراد قياس شدة التيار (المتردد أو المستمر) بها.
- عند مرور التيار في السلك ترفع درجة حرارته ويتمدد ويرتخي إلى أسفل.
- يقوم خيط الحرير بشد السلك فتدور البكرة ويتحرك المؤشر على التدريج.
- تؤخذ القراءة عند ثبات المؤشر(الاتزان) وذلك عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة في السلك في زمن معين مع كمية الحرارة المفقودة في نفس الزمن
- يدل التدريج(غير منتظم) على القيمة الفعالة للتيار المتردد.
- عند قطع التيار يبرد السلك وينكمش فيعود المؤشر إلى صفر التدريج

عيوب الاميتر الحراري

- تحرك المؤشر ببطء عند القياس وعودته الي الصفر ببطء عن انتهاء القياس (عند قطع التيار)
- يوجد به خطأ صفري لتأثره بدرجة حرارة الجو المحيط للتغلب على هذا العيب يشد السلك على لوحة من مادة لها نفس معامل تمدد السلك مع عزله عنها.

معايرة الاميتر الحرارى

يعاير الاميتر الحراري بمقارنته بالأميتر ذو الملف المتحرك عندما يوصلا معاً على التوالي في دائرة ويمر فيهما تيار مستمر

لتأثر الأميتر بدرجة حرار ة الجو المحيط , لذلك يوجد به مسمار ضبط لإعادة المؤشر الى صفر التدريج قبل القياس بين الأميتر الحراري والأميتر ذو الملف المتحرك:

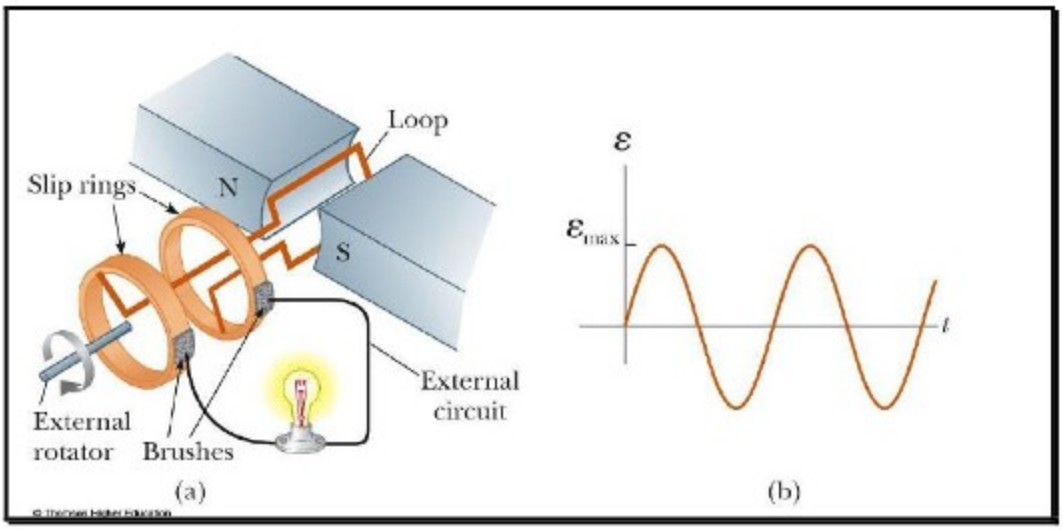
توليد التيار المتردد

يقوم المولّد الكهربائيّ أو الدينامو بتحويل الطاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهر بائية لنقلّها وتوزيعها خلال خطوط الكهرباء لاستخدامها بالصناعة، والتجارة، كما يتم استخدام الدينامو لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لحركة السيارات، والسفن، والطائرات، والقطارات ويتم ذلك عن طريق سقوط الشلالات أو حرق المواد البترولية أو الطاقة النوويه .

تركيب الدينامو

يتكون المولد الكهربى من ملف من النحاس يدور بفعل قوة خارجية بين قلبى مغناطيس ويوضح الشكل التالى المولد الكهربى الفيض المغناطيسى خلال الملف فى

$$\phi_B = BA\cos\varphi = BA\cos wt$$ أى وقت هو



أذا كان عدد اللفات للملف الذى يدور بين قطبى المغناطيس هو N والقوة الدفعة الكهربية المتولدة هى E

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt} = -N\frac{d(BA\cos\omega t)}{dt}$$

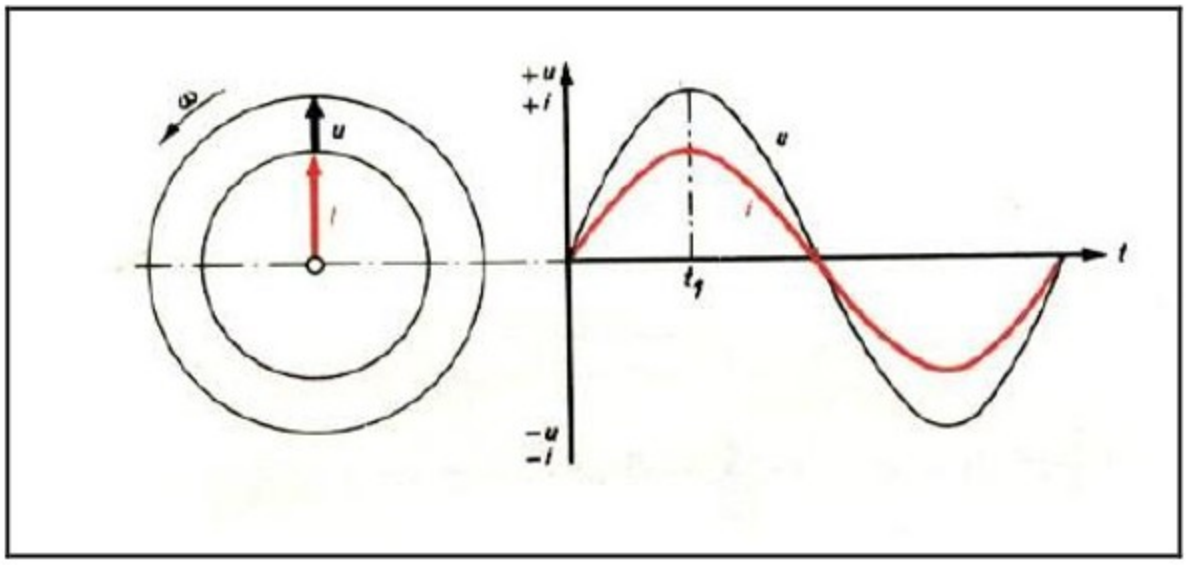
$$= NBA\omega \sin\omega t$$

$$\varepsilon = NBA\omega \sin\omega t = \varepsilon_{max} \sin\omega t$$

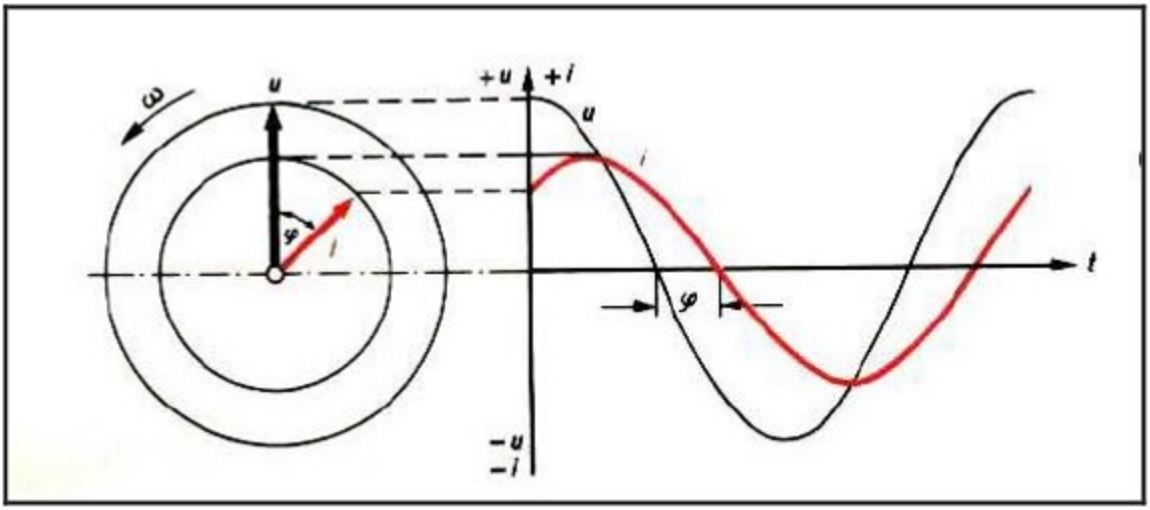
$$\varepsilon_{max} = NBA\omega$$

يمكن تمثيل الموجه الجيبية بمتجه يدور بسرعة ثابتة وفى حالة تمثيل اكثر من موجه جيبية نحصل على مخطط المتجهات

1. موجتان متوافقتان فى الطور اذا كانتا تصلان الى القيمة العظمى والصغرى فى أن واحد كما بالشكل



2. موجتان بينهما زاويه Q تعرف بزاوية الأزاحة مقدارها Q ويقال ان موجة التيار تأخرت عن موجة الجهد بزاوية مقدارها Q كما بالشكل



ضع علامه √ أمام العبارة الصحيحة وعلامة × أمام العبارة الخاطئة

1) التيار المستمر يرمز له بالإنجليزية بـ DC ، و التيار المتردد يرمز له بالإنجليزية بـ AC.
2) التيار المتردد هو تيار ثابت الشده بينما التيار المستمر متغير الشدة والاتجاه
3) تعتبر الخلايا الشمسية أحد مصادر التيار المتردد
4) يستخدم الانفرتر inverter فى تحويل التيار المستمر الى تيار متردد
5) يستخدم التيار المتردد فى الإضاءة وتشغيل الأدوات الكهربية
6) يستخدم التيار المتردد فى طلاء المعادن
7) يمر التيار المتردد خلال المكثفات بينما لا يمر التيار المستمر خلال المكثفات
8) يستخدم الأميتر ذو الملف الساخن فى قياس التيار المستمر
9) القيمة الفعالة للتيار المتردد تساوى القيمة العظمى / $\sqrt{2}$
10) يمكن تحويل التيار المتردد الى مستمر
11) يتكون المولد الكهربى من ملف من النحاس بين قطبى مغناطيس
12) يمكن رفع اوخفض جهد التيار المستمر
13) عند نقل التيار المتردد عبر الاسلاك يفقد كمية كبيرة من قيمته
14) الاميتر ذو الملف الساخن فكرته تعتمد على التأثير الحراري للتيار الكهربي

أختر الأجابة الصحيحة

1-المعادلة التى تحدد الجهد فى التيار المتردد

A. $V \sin \omega$
B. $\sin t$
C. $V_m \sin \omega t$
D. $V=IR$

2-المعادلة التى تحدد قيمة التيار المتردد

A. $I \sin \omega$
B. $\sin t$
C. $I_m \sin \omega t$
D. $V=IR$

3- التيار والجهد للتيار المتردد لهما موجتان متوافقتان فى الطور اذا كانتا

A. تصلان الى القيمة العظمى والصغرى فى أن واحد
B. الجهد يسبق التيار بزاوية
C. التيار يسبق الجهد بزاويه
D. القيمه الصغرى للجهد تساوى القيمة العظمى للتيار

4- يعاير الاميتر الحراري

A. بمقارنته بالأميتر ذو الملف المتحرك
B. بتوصيلة فى دائرة تيار مستمر
C. بتوصيله فى قنطرة مترية
D. بتوصيله مع اميتر على التوازى

5- من عيوب الاميترالحرارى

A.لايقيس التيار مباشرة

B.تحرك المؤشر ببطء عند القياس

C.كبر حجمه

D.يحتاج الى معايرة مستمرة

6- يعطي الاميتر الحراري عند القياس

A.القيمه العظمى للتيار المتردد

B.القيمة الفعالة للتيار المتردد

C.القيمة المتوسطة للتيار المتردد

D.القيمة الصغرى للتيار المتردد

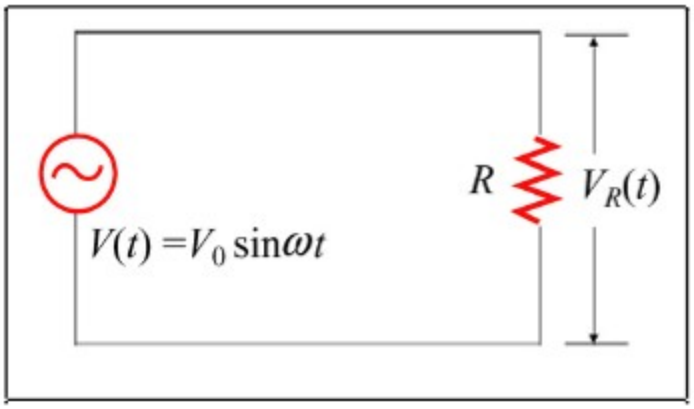
دوائـــــــــــــــر التيار المتردد

هناك ثلاثة عناصر أساسية في دوائر التيار الكهربي المتردد هي المقاومة والملف والمكثف .فقد تحتوي دائرة التيار المتردد على واحدة او اثنتين من هذه العناصر او عليها جميعا .ويساهم كل من هذه العناصر للدائرة في اعاقة نمو التيار الكهربي ويسمى مجموع تأثيرات هذه العناصر بالمعاوقة الكلية نستعرض هذا فيما يلي بشيء من التفصيل

أولا: دائـــــــرة تحتوة على مقاومة عديمة الحث:

المقاومة الاومية

هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد او المستمر عن مروره في موصل نتيجة تصادم الكترونات التيار مع ذرات وجزيئات الموصل وتستنفذ فيها الطاقة على شكل حرارة



$$V = V_{max} \sin \omega t$$

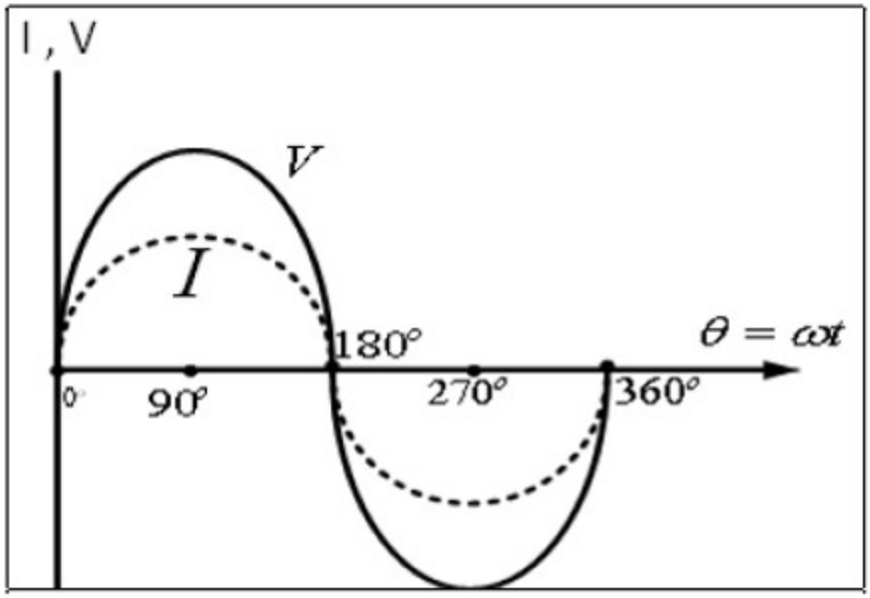
من قانون أوم

$$\because I = \frac{V}{R}$$

$$\because V = V_{max} . \sin \theta \quad (1)$$

$$\therefore I = I_{max} . \sin \theta \quad (2)$$

المعادلتان لهما نفس الطور اى أن الجهد والتيار يصلان معا الى النهاية العظمى والصغرى



واضح أن عند مرور التيار المتردد في مقاومة اومية عديمة الحث ينمو الجهد والتيار معاً ويصلان الي قيمة عظمي في آن واحد ثم يهبطان الي الصفر في آن واحد أي انهما في طور واحد حيث المقاومة لا تعتمد علي تردد المصدر وتحسب من العلاقة:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V_{max}}{I_{max}} = \frac{V_{eff}}{I_{eff}}$$

يمكن ايجاد القدرة p المتولدة فى المقاومة من العلاقى

$$P = V_{rms} I_{rms}$$

$$P = \frac{V_{\max} I_{\max}}{\sqrt{2\sqrt{2}}} = \frac{V_{\max} I_{\max}}{2}$$

أيضا يمكن حساب القدرة من العلاقة التالية

$$P = I_{rms}^2 R = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

مثال- أحسب القيمة العظمى لتيار متردد ينتج ثلاث امثال حرارة فى الثانية لتيار مستمر قيمته 2 امبير فى مثاومة R

الحل

الحرارة التى تنتج فى الثانية من تيار 2 امبير

$I^2R = 2^2R = 4R$

ثلاث امثال الحرارة فى الثانية $R = 12$

القدرة يمكن حسابها من

$$P = I_{rms}^2 R$$

$$P = I_{rms}^2 R = 12R$$

$$I_{rms} = \sqrt{12}$$

$$I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\max} = \sqrt{2} I_{rms} = \sqrt{12}\sqrt{2} = 4.94$$

—

2- وصل جهد متردد قيمته العظمى 4 فولت مع مقاومه قيمتها 100 اوم فما :

- طور التيار والجهد
- التيار فى المقاومة بوحدة ملى أمبير
- القدره فى المقاومة بوحدة ةً ملى وات

الحل

- كل من التيار واجهد لهما نفس الطور

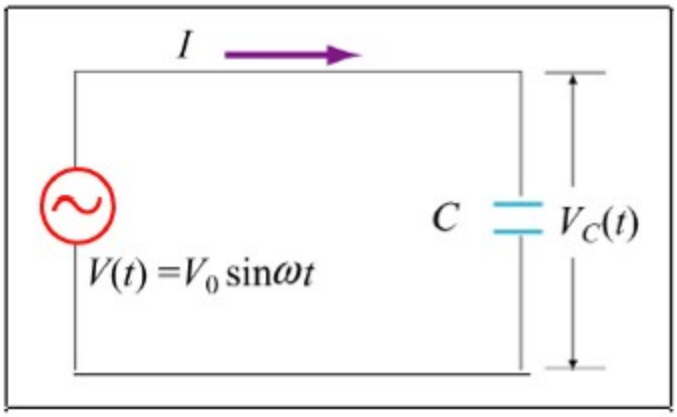
$$V_{rms} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2.828 \text{ volt}$$

- $$\mathrm{I}_{\mathrm{rms}} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{2.828}{100} = 0.028 = 28mA$$

- القدرة فى هذه الحالة

$$P = I_{rms}^2 R = 0.028 \times 0.028 \times 100 = 0.078W = 78mW$$

ثانيا : دائـــــــرة تحتوة على مكثف سعته C



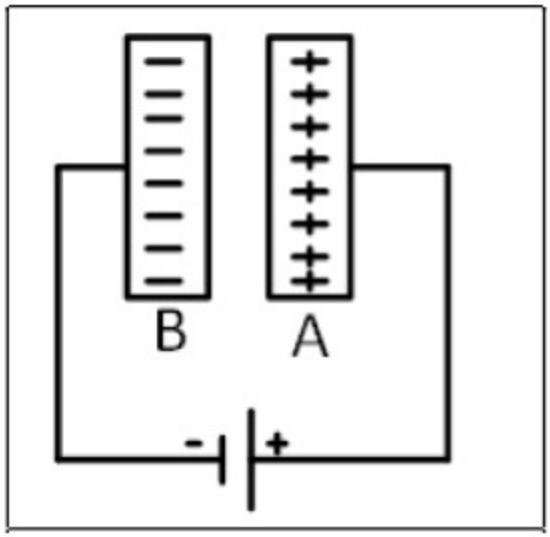
المكثف هو عبارة لوحان معدنيان متوازيين بينهما مادة عازلة ويخزن الطاقة الكهربية على شكل مجال كهربي

سعة المكث هي مقدار الشحنة الكهربية اللازمة لرفع فرق الجهد بين اللوحين بمقدار واحد فولت أو هي النسبة بين الشحنة المتراكمة على أي من لوحي المكثف إلى فرق الجهد بينهما وتقاس بوحدة الفاراد

$$C = \frac{Q}{V}$$

الفاراد هو سعة مكثف إذا شحن بشحنة مقدارها 1 كولوم يكون فرق الجهد بين لوحيه 1 فولت

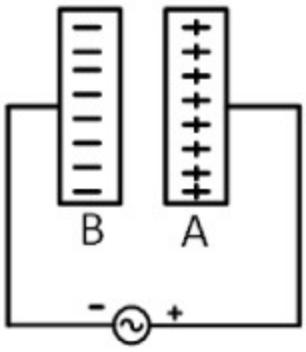
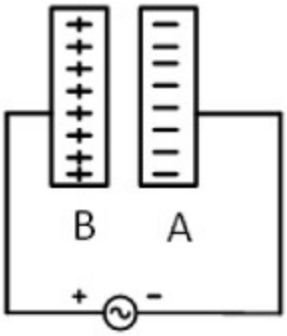
توصيـــــل المكثف بجهد مستمر



1. اللوح A متصل بالقطب الموجب : يشحن بشحنة موجبة ويرتفع جهده الموجب.
2. اللوح B متصل بالقطب السالب :يشحن بشحنة سالبة ويرتفع جهده السالب.
3. يزداد فرق الجهد بين لوحي المكثف تدريجياً بمرور الزمن حتى يتساوى مع فرق الجهد بين قطبي البطارية وبذلك يكون قد تم شحن المكثف ويتوقف مرور التيار. وبذلك يكون مرور التيار لحظي عند

توصيل المكثف بمصدر جهد مستمر(اثناء الشحن فقط) ويتوقف تماما عند تمام الشحن.

توصيـــل المكثف بمصدر جهد متردد

خلال نصف الدورة الأول يكون اللوح A موجب و اللوح B سالب	خلال نصف الدورة الثاني يكون اللوح A سالب و اللوح B موجب
	
في ربع الدورة الأول (شحن)	في ربع الدورة الثالث (شحن)
تزداد emf للمصدر من صفر إلى نهاية عظمى فيشحن المكثف ويزداد فرق الجهد بين اللوحين حتى يصل لقيمة عظمى تساوي emf للمصدر	يعكس التيار اتجاهه ويتم شحن المكثف كما في الربع الأول ولكن بشحنات مضادة ويزداد فرق الجهد بين اللوحين حتى يصل لقيمة عظمى تساوي emf للمصدر
في ربع الدورة الثاني (تفريغ)	في ربع الدورة الرابع (تفريغ)
تقل emf للمصدر من نهاية عظمى إلى صفر ويصبح فرق الجهد بين لوحي المكثف اكبر من emf للمصدر فيفرغ شحنته في المصدر ويقل فرق الجهد بين اللوحين تدريجياً حتى يصل للصفر وذلك عندما تصل emf للمصدر إلى الصفر	تقل emf للمصدر من نهاية عظمى إلى صفر ويصبح v المكثف اكبر من emf للمصدر فيفرغ شحنته في المصدر ويقل فرق الجهد بين اللوحين تدريجياً حتى يصل للصفر وذلك عندما تصل emf للمصدر إلى الصفر كما حدث في الربع الثاني
يتكرر ذلك بصفة دورية وبذلك يمر التيار المتردد في دائرة المكثف عن طريق الشحن والتفريغ	

واضح ان التيار المستمر لا يستطيع ان ينساب خلال المكثف لوجود وسط عازل بين الالواح . على النقيض نجد ان التيار المتردد ينساب خلال المكثف حيث يتم شحن وتفريغ الواح المكثف باستمرار

من المعروف ان التيار هو معدل تغير الشحنة اى ان

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

بفرض ان الجهد المطبق على المكثف هو

$$V = V_{\max} \sin wt$$

مما سبق

$$Q = CV$$
$$= CV_{\max} \sin wt$$

وبالتالى

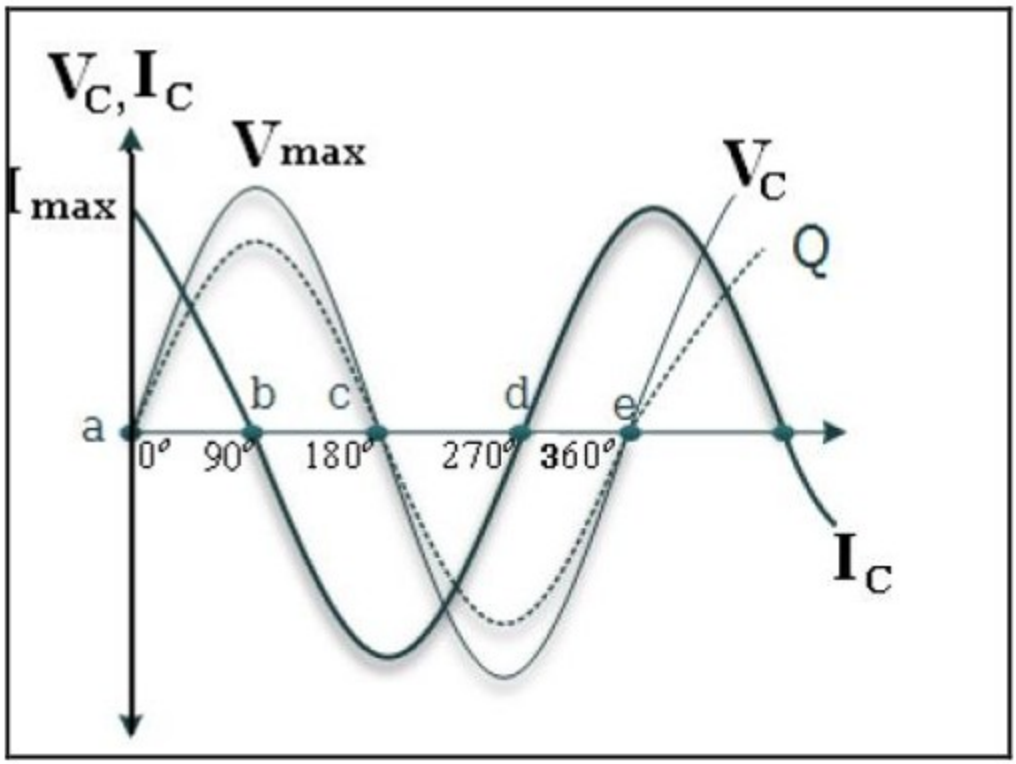
$$I = CV_{\max} w \cos wt$$
$$I = CV_{\max} w \sin(wt + 90)$$

$$I_{\max} = CV_{\max} w$$

وبالتالى يكون

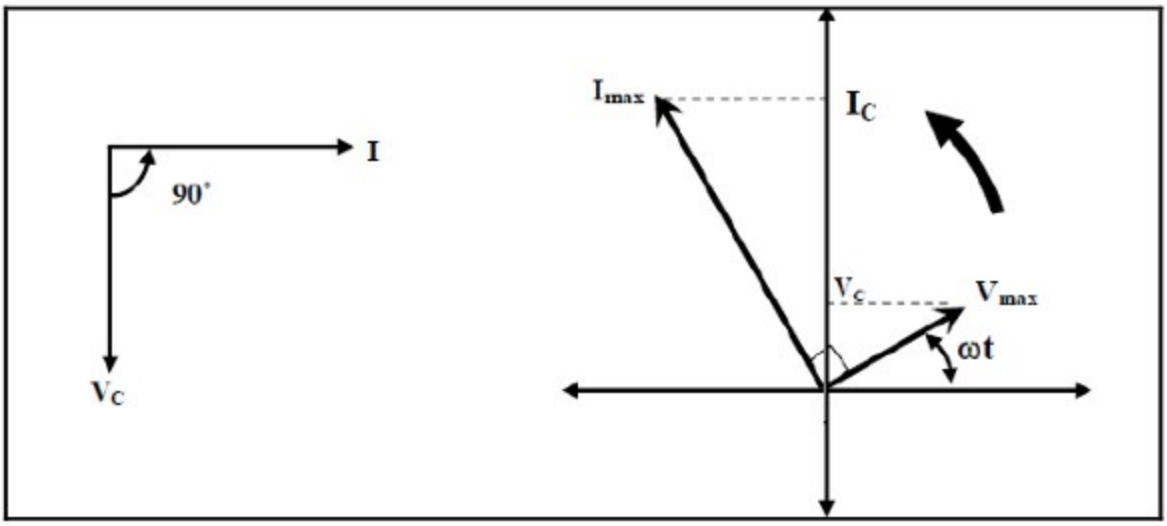
$$\frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \frac{1}{wC}$$

فى هذه الحالة يكون التيار متقدما على الجهد بزاوية 90



يتضح انه عندما يكون الجهد فى اقصى قيمة فان المكث قد شحن تماما

التمثيل الاتجاهى للتيار والجهد



المفاعلة السعويه لمكثف هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في مكثف

نتيجة سعة المكثف

$$X_c = \frac{1}{wC} = \frac{1}{2\pi fC}$$

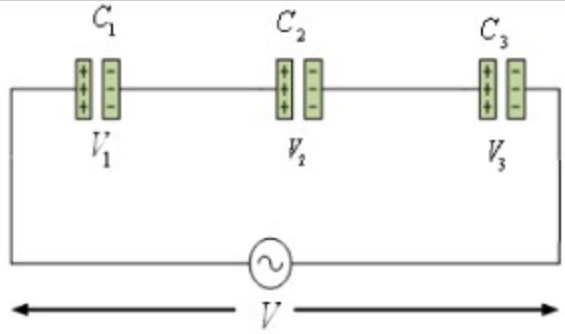
العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة السعوية

1. تردد التيار(علاقة عكسية)

2. سعة المكثف(علاقة عكسية)

توصيل المكثفات :

التوالى



تشحن جميع المكثفات بنفس الشحنة ويجزئ فرق الجهد

$$\therefore V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\therefore \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} = \frac{Q}{C_2} = \frac{Q}{C_3}$$

$$\therefore \boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_3}}$$

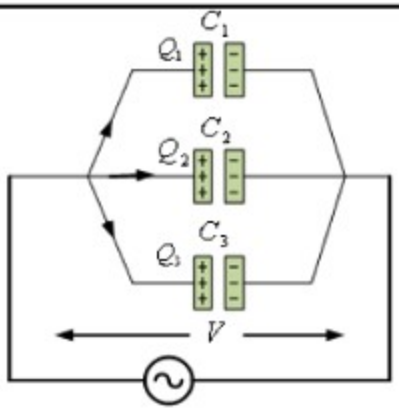
اذا كانت السعات متساوية

$$\boxed{C = \frac{C_1}{N}} \; farad$$

السعة الكلية لمكثفين:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

التوازى



يكون فرق الجهد ثابت وتجزئ الشحنة.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\therefore VC = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

$$\therefore \boxed{C = C_1 + C_2 + C_3} \; farad$$

اذا كانت السعات متساوية

$$\boxed{C = N C_1} \; farad$$

مثال

دائرة تيار متردد تحتوى على مكثف سعته 1 ميكروفاراد أذا كان التردد 1000 هيرتز والتيار المنساب خلال الدائرة يساوى2 مللى امبير I_{rms} احسب الجهد عبر المكثف وما هو التيار المنساب عندما يكون الجهد المتردد هو 20 فولت (V_{rms}) والتردد يساوى 50 هيرتز المستخدم مع المكثف

الحل

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\times 3.14\times 1000\times 10^{-6}} = 159 \text{ ohom}$$

ولكن

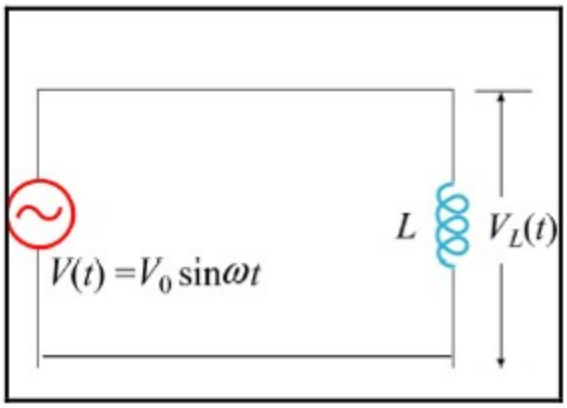
$$V = IX_c = \frac{2}{1000}\times 159 = 0.32 \textbf{ volt}$$

عند استخدام تردد 50 هيرتز و جهد 20 فولت تكون الممانعة السعوية

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\times 3.14\times 50\times 10^{-6}} = 3180 \text{ ohom}$$

$$\mathrm{I} = \frac{V}{X_c} = \frac{20}{3180} = 6.3\times 10^{-3} \, Ampere$$

ثالثا دائـــــــرة تحتوى على ملف حث عديم المقاومة :



عند توصيل مصدر تيار متردد بملف حث عديم المقاومة فإن

1. ينمو التيار تدريجيا من صفر إلى نهاية عظمى بمعدل $\frac{\Delta L}{\Delta t}$

2. يتغير قيمة شدة التيار بمرور الزمن يولد قوة دافعة مستحثة عكسية بالحث الذاتي مقدارها

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

القوة الدافعة الكهربية ا لمستحثة العكسية تقاوم التغير الحادث في شدة التيار ويكون اتجاهها معاكساً(مضاداً)لاتجاه القوة الدافعة الكهربية للمصدر ويكون ترددها مساوياً لتردد المصدر.

أي أن القيمة اللحظية للجهد

$$V_L = -L\frac{dI}{dt}$$

بتطبيق قانون كيروشوف

$$V_t - V_L = V_t - L\frac{dI}{dt} = 0$$

$$V_t = L\frac{dI}{dt}$$

$$\frac{V_m}{L}\sin wt.dt = dI$$

بأجراء التكامل

$$\frac{V_m}{L}\int \sin wt.dt = \int dI$$

$$-\frac{V_m}{L.w}.\cos wt = I$$

$$I = \frac{V_m}{L.w}.\sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

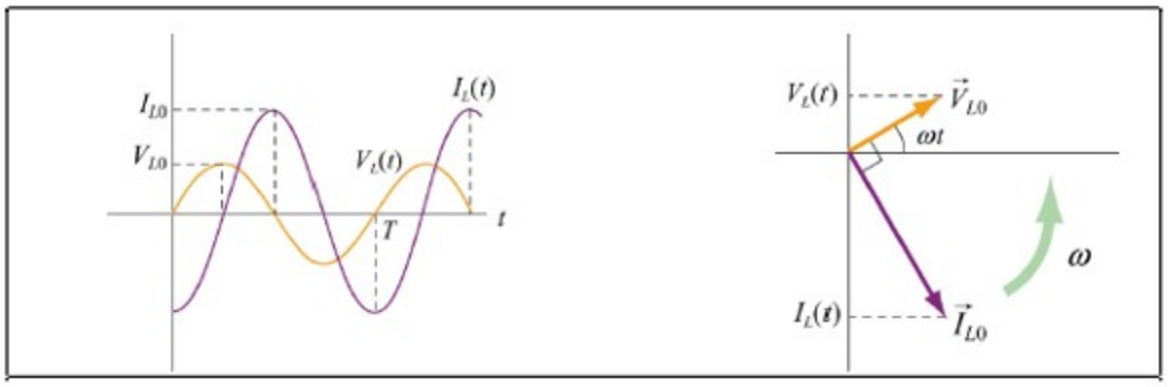
$$I = I_m \sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$I_m = \frac{V_m}{wL}$$

$$\frac{V_m}{I_m} = wL$$

$$X_L = 2\pi fL$$

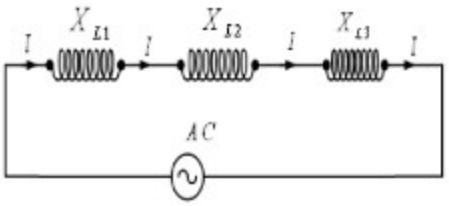
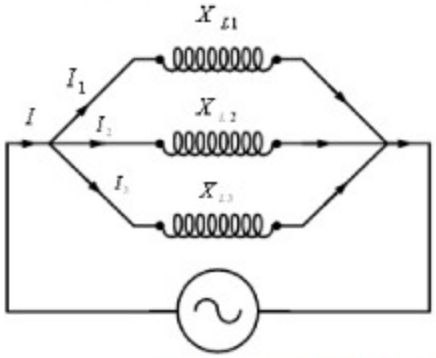
X_L تسمى المفاعلة الحثية ووحداتها أوم وتعتمد طرديا على التردد الزاوى w . اى ان المعاوقة تزداد مع زيادة التردد.برسم التيار والجهد نحصل على شكل الموجه لهما وفرق الطور كما واضح بالشكل التالى



نجد ان الجهد يسبق التيار بزاويه $\pi/2$ حيث يصل الى القيمه العظمى بعد ربع دورة اى ان التيار يتأخر عن الجهد فى حالة دائرة تيار متردد تحتوى على ملف حث عديم المقاومة

العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة الحثية

1. تردد التيار علاقة طردية
2. معامل الحث الذاتى علاقة طردية

المفاعلة الحثية المكافئة لعدة ملفات متصلة على التوالي	المفاعلة الحثية المكافئة لعدة ملفات متصلة على التوازي
	
المفاعلة الحثية المكافئة: $V = V_1 + V_2 + V_3$ $IX_L = I X_{L1} + I X_{L2} + I X_{L3}$ $X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$ وحيث أن: $X_L = 2\pi f L$ وبالتالي يكون: $L = L_1 + L_2 + L_3$	**المفاعلة الحثية المكافئة:** $I = I_1 + I_2 + I_3$ $\frac{V}{X_L} = \frac{V}{X_{L1}} + \frac{V}{X_{L2}} + \frac{V}{X_{L3}}$ $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$ وحيث أن: $X_L = 2\pi f L$ وبالتالي يكون: $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$ في حالة وجود ملفين: $X_L = \frac{X_{L1} X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$ OR $L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$
إذا كانت المفاعلات أو معامل الحث الذاتي متساوي	
$X'_L = N X_L$ $L' = N L$	$X'_L = \frac{X_L}{N}$ $L' = \frac{L}{N}$

مثال

ملف حثى حثه الذاتى 2 هنرى مهمل المقاومة الكهربية وصل بمصدر جهد متردد 12 فولت وتردده 50 هيرتز اوجد :

1. شدة التيار المار
2. شدة التيار عندما يتغير الحث اى 6 هنرى

الحل

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 2$$

628 ohm

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{12}{628} = 19mA$$

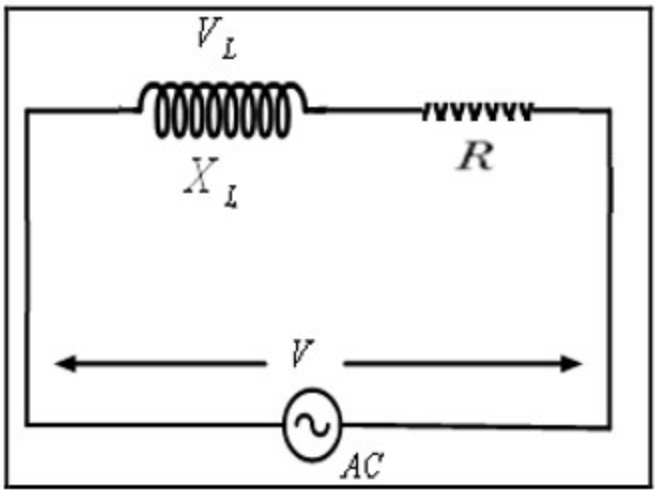
$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 6$$

=1884 ohm

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{12}{1884} = 6\,mA$$

دوائر التوالى فى التيار المتردد

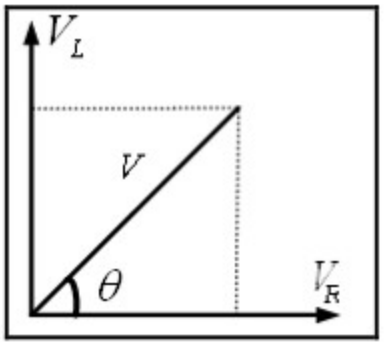
1- دائرة تحوى على ملف حث ومقاومة كهربية



الدائرة تحتوى على ملف حث حثه الذاتى L ومقاومة كهربية R متصلين على التوالى مع مصدر تيار متردد . من المعروف سابقا انه عند مرور تيار كهربى فى الدائرة يكون :

- في المقاومة الأومية يكون فرق الجهد والتيار في نفس الطور
- .في ملف الحث يسبق فرق الجهد التيار بزاوية فرق طور = 90

ويمكن تمثيل ذلك بالمتجهات



يكون فرق الجهد الكلى

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

ولكن

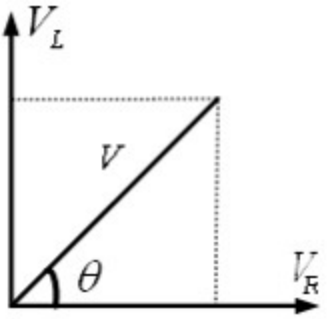
$$V_L = IX_L \quad V_R = IR \quad V = IZ$$

بالتعويض فى المعادلة السابقة

$$IZ = I\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

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

حيث Z المعاوقة الكلية و لحساب زاوية الطور نحسب ظل الزاوية بين الجهد المحصل والتيار



$$\tan\theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

مثال

ملف حثه الذاتى 2 هنرى ومقاومته الكهربية 50 اوم وصل على التوالى مع مقاومة كهربية 450 اوم ومصدر جهد متردد 100 فولت ذو تردد 50 هيرتز

اوجد :

1. شدة التيار المار فى الملف
2. زاوية طور التيار بالنسبة للجهد المستمد من المصدر
3. الجهد خلال الملف

الحل

(1)

$$X_l = 2\pi fl = 2 \times 3.14 \times 50 \times 2 = 628\,\Omega$$

$$\mathrm{R} = 50 + 450 \quad \Omega$$

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

$$Z = \sqrt{(500)^2 + (638)^2} = 803\,\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{803} = 12.5\,\text{mA}$$

(2)

$$\tan\phi = \frac{X_L}{R} = \frac{628}{500} = 1.256$$

$$\phi = 515.5^0$$

(3)

$$X_L = 628\ \Omega \qquad \text{R} = 50\ \Omega$$

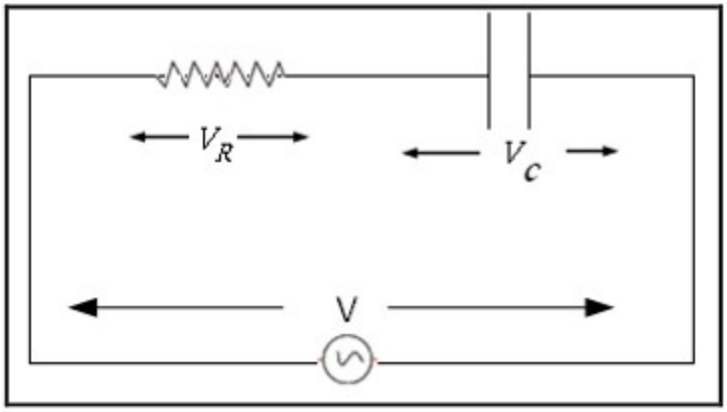
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$$

$$Z = \sqrt{(628)^2 + (50)^2} = 630\ \ \Omega$$

فرق الجهد عبر الملف

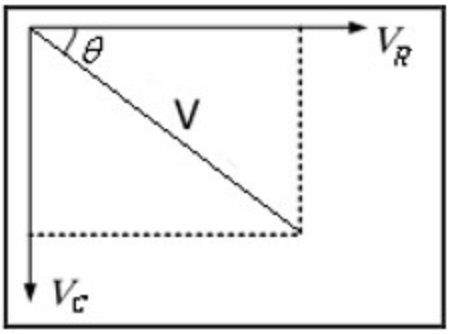
$$V = IZ = 12.5 \times 10^{-3} \times 630 = 7.9 \text{ Volt}$$

2- دائرة تحوى على مكثف ومقاومة كهربية RC :



دائرة تحتوى على مكثف سعته (C)متصل على التوالى مع مقاومة أوميه (R) ومصدر جهد متردد .عند **مرور التيار فى الدائرة يكون :**

- في المقاومة الأومية يكون فرق الجهد والتيارمتفقين فى الطور اى لهما نفس الطور
- .فى المكثف يتاخر فرق الجهد عن التيار بزاوية فرق طور = 90



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

$$V_C = I\,X_C \quad V_R = IR \quad \text{and} \quad V = I\,Z$$

بالتعويض

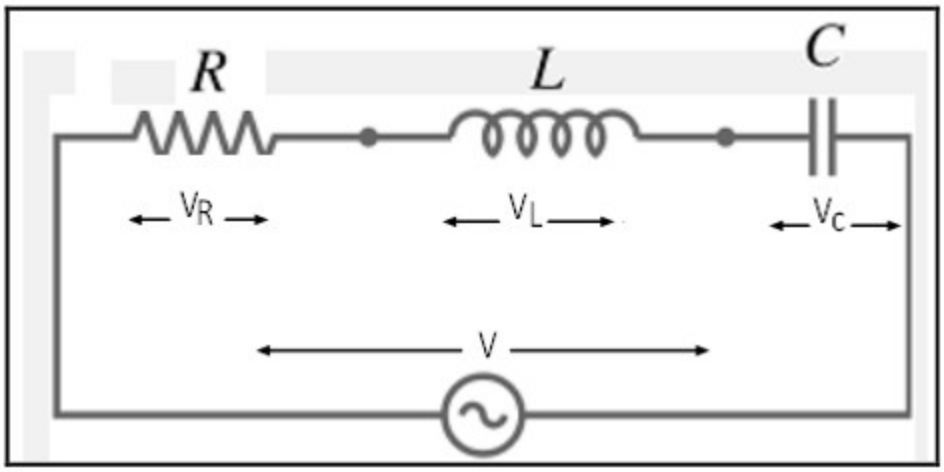
$$IZ = I\sqrt{R^2 + X_C^2}$$

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

ولحساب زاوية الطور نوجد ظل الزاوية التى يصنعها الجهد المحصل مع التيار

$$\tan\Phi = \frac{-V_c}{V_R} = \frac{-IX_C}{IR} = \frac{-X_C}{R}$$

3- دائرة تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف RLC



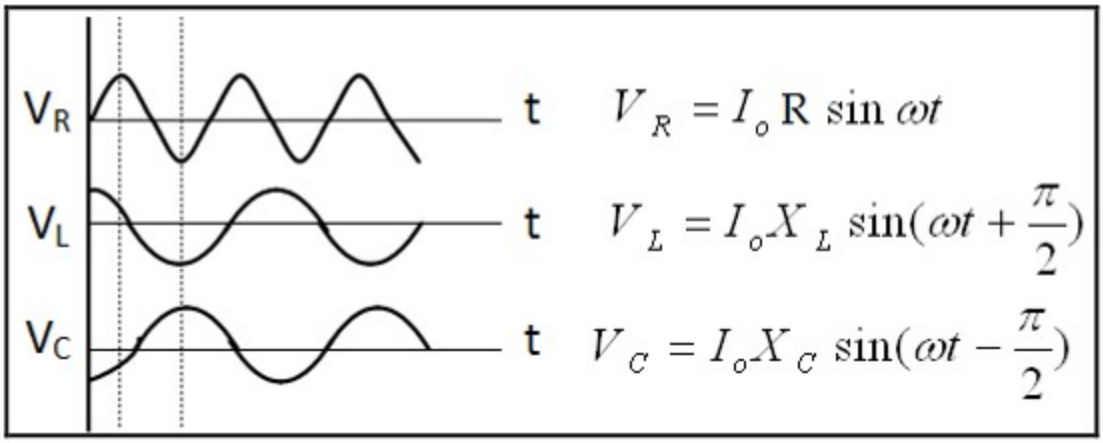
الدائرة الموضحة بالشكل تحتوى على كل من مكث و مقاومة وملف حث متصلين على التوالى مع مصدر تيار متردد يكون جهدة

$$V = V_m \sin wt$$

من المعروف سابقا ان عند مرور التيار فى الدائرة

- الجهد والتيار متفقان فى الطور
- عند مرور التيار فى الملف يتقدم الجهد عن التيار بزاوية 90
- عند مرور التيار فى المكثف يتخلف الجهد عن التيار بزاوية 90

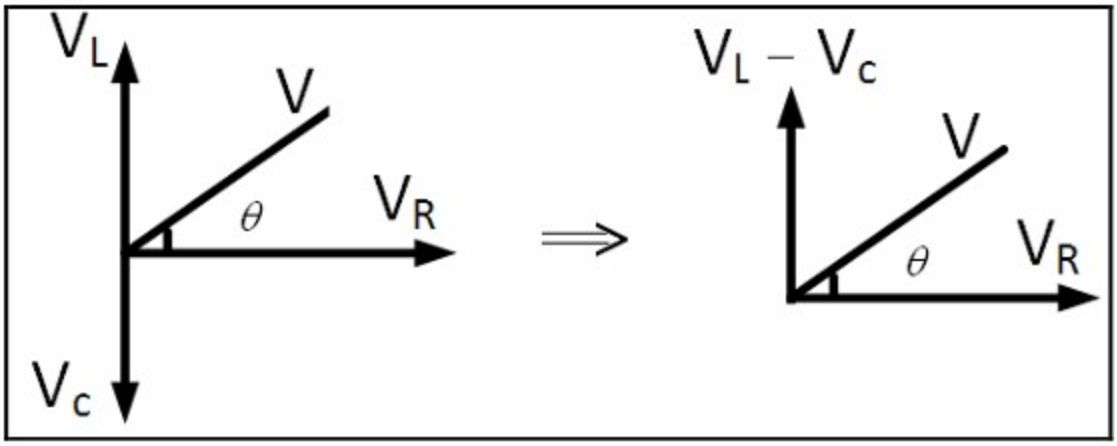
يمكن تمثيل ذلك اتجاهي كالاتى



$$V_R = I_o R \sin \omega t$$

$$V_L = I_o X_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$V_C = I_o X_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$



واضح من الشكل أن

$$V = \sqrt{V_R^{\,2} + (V_L - V_C)^2}$$

ولكن

$$V_C = I\,X_C \quad V_R = IR \quad V_L = IX_L \quad V = IZ$$

$$IZ = I\sqrt{R^2 + \left[(X_L - X_C)^2\right]}$$

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

زاوية الطور تحدد من العلاقة التالية

$$\tan\Phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$X_L > X_C$	فرق الجهد الكلي يتقدم شدة التيار بزاوية فرق طور ⌝ تقع في الربع الأول ويكون: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	حثيه
$X_L < X_C$	فرق الجهد الكلي يتأخر عن شدة التيار بزاوية فرق طور تقع في الربع الرابع ويكون $Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$	سعويه
$X_l = X_c$	فرق الجهد الكلي يتفق مع شدة التيار في الطور ويكون: Z=R	أوميه

عندما تكون المفاعلة الحثيه للملف تساوى المفاعلة السعوية للمكثف $X_C=X_L$ وذلك يعنى ان معاوقة الدائرة للتيار المتردد تساوى المقاومة الاومية وذلك يحدث عندها تردد الرنين Resonance وفى حالة دائرة RLC فتكون المعاوقة الكلية

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

$$Z = R$$

$$X_L = X_C$$

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

$$\therefore 4\pi^2 f^2 LC = 1$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad Hz$$

اى ان حالة الرنين تحدث عند قيمة معينة من التردد

جدير بالذكر ان نذكر ان الحالة التى تكون المعاوقة الكلية اقل ما يمكن والتيار اكبر ما يمكن تسمى حالة الرنين وتحدث عند قيمة معينة من التردد يسمى تردد الرنين f_r عند $X_L = X_c$

$$X_L = X_C$$

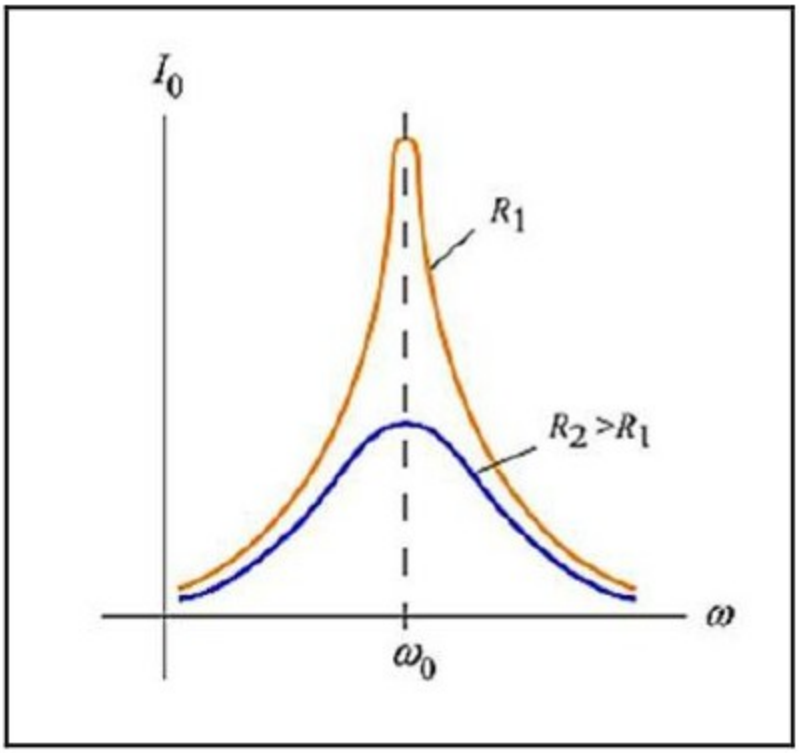
$$w_r L = \frac{1}{w_r C}$$

$$w_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$w_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

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

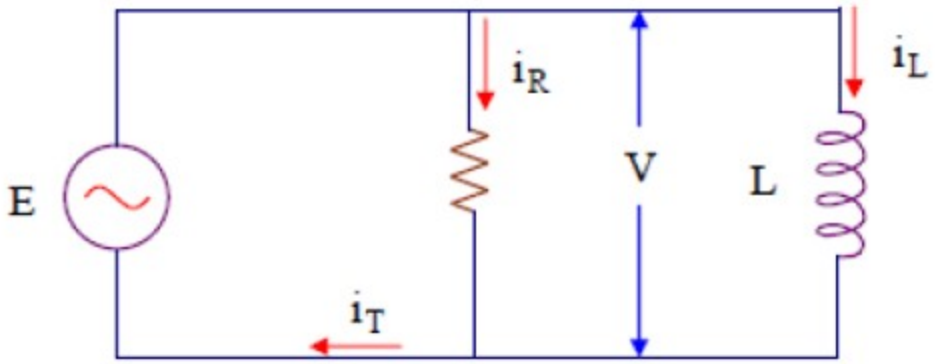


عند حدوث الرنين فى دائرة RLC

1. المفاعلة الحثية = المفاعلة السعوية.
2. المقاومة في الدائرة تساوي المقاومة الأومية فقط.
3. الجهد الكلي يتساوى مع فرق الجهد بين طرفي المقاومة الأومية.
4. فرق الطور بين التيار والجهد يساوي الصفر.
5. يتفق التيار والجهد الكلي في الطور.
6. تكون للدائرة أقل مقاومة.
7. يمر في الدائرة أقصى شدة تيار

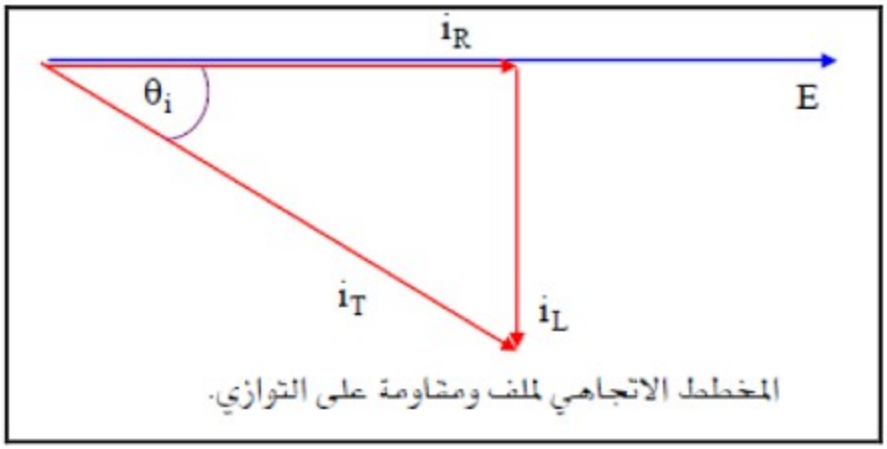
التوصيل على التوازى :

1-دائرة تحتوى على مقاومة وملف متصلين على التوازى مع مصدر تيار متردد



مقاومة وملف على التوازي

يمثل الشكل السابق حالة مستقرة state steady لدائرة تيار متردد AC تحتوي على عنصرين فقط هما المقاومة R والملف L متصلين على التوازي مع مصدر القدرة الكهربية in parallel connection



المخطط الاتجاهي لملف ومقاومة على التوازي.

من المعروف سابقا ان تيار الحث I_L يتاخر عن تيار المقاومه I_R وذلك لان تيار المقاومه I_R فى نفس الطور مع الجهد V وتيار الحث I_L يتخلف 90 درجة عن الجهد

من الشكل نجد ان

$$I_t^2 = I_R^2 + I_L^2$$

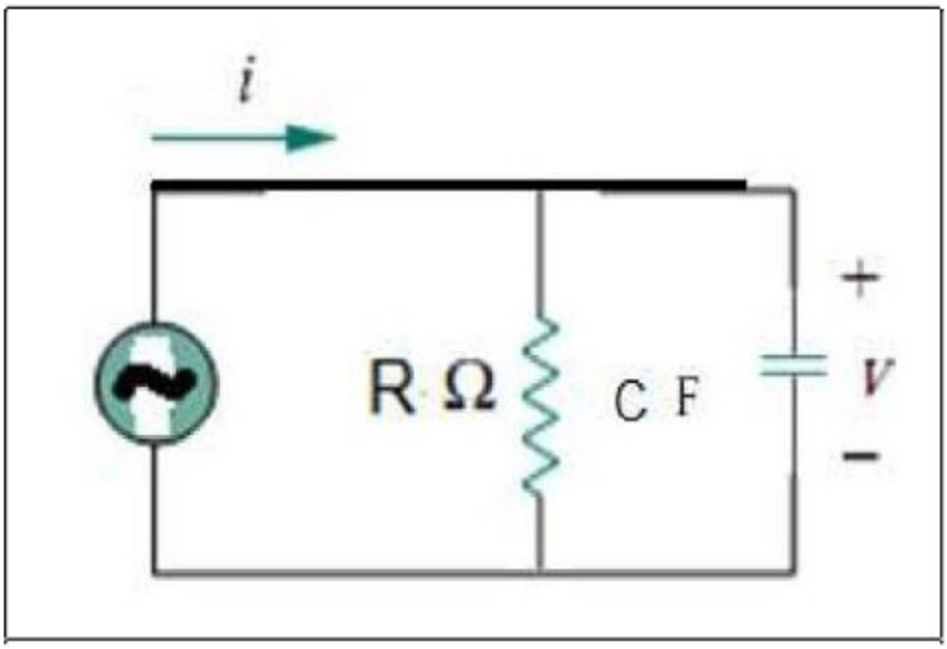
$$= \left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L}\right)^2$$

$$I_t = V\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L{}^2}}$$

يتخلف التيار الكلى عن الجهد الكلى بزاوية ϕ

$$\tan\Phi_i = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R}{X_L}$$

2-دائرة تحتوى على مقاومة ومكثف سعوى متصلين على التوازى مع مصدر تيار متردد



فى هذه الحالة تيار المكثف يتقدم على تيار المقهومة بزاوية 90 حيث ان تيار المقاومة فى نفس الطور مع الجهد. يكون تيار المكثف متقدما ب 90 عن الجهد

$$I_t^2 = I_R^2 + I_c^2$$

$$= \left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_C}\right)^2$$

$$I_t = V\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C{}^2}}$$

يتقدم التيار الكلى للدائرة عن الجهد بزاوية

$$\tan\Phi_i = \frac{I_C}{I_R} = \frac{R}{X_C}$$

الفصل الثالث : القدرة الكهربائية للتيار المتردد

١- ٣- ١ مقدمة

عندما نغذي حملاً معاوقته $\mathbf{Z} = Z\angle\theta$ بالجهد

$$v(t)=V_m \sin\omega t=V\sqrt{2}\sin\omega t$$

فإن التيار

$$i(t)=I_m \sin(\omega t-\theta)=I\sqrt{2}\sin(\omega t-\theta)$$

سيمر في هذا الحمل. وفي اللحظة t فإن القدرة الداخلة في الحمل هي

$$p(t)=v(t)i(t) \qquad 1\text{-}47$$

وتسمى القدرة اللحظية للحمل. وتكون هذه القدرة موجبة عندما تكون إشارة التيار تساوي إشـ الجهد، وفي هذه الحالة نقول إن الحمل يستهلك تلك القدرة. أما إذا اختلفت الإشارتان فإن القدرة تك سالبة، وهنا يصبح 'الحمل' مصدرا للقدرة.

وبتعويض قيمتي الجهد والتيار وبعد حسابات طفيفة نجد

$$t)=VI\cos\theta-VI\cos\theta\cos 2\omega t+VI\sin\theta\sin 2\omega t \qquad 1\text{-}48$$

وكما نلاحظ فإن القدرة اللحظية تتركب من ثلاثة أجزاء : جزء ثابت ويمثل القيمة المتوسطة، وجز يتذبذبان بتردد يساوي ضعف تردد الجهد (والتيار).

أما الشغل الكهربائي الذي يبذل في الحمل بين الفترتين الزمنيتين t_1 و t_2 فهو

$$W=\int_{t_1}^{t_2} p(t)\,dt \qquad 1\text{-}49$$

ووحدته الجول (Joule ورمزه J).

وفيما يلي تفاصيل لأنواع القدرة المستعملة في دوائر التيار المتردد.

١- ٣- ٢ القدرة الفعالة

نلاحظ أن القيمة المتوسطة للقدرة اللحظية هي

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt=VI\cos\theta \qquad 1\text{-}50$$

و نسميها القدرة الفعالة أو الحقيقية للحمل، وهي القدرة التي يستهلكها الحمل فعلياً (التي تتحول إلى حرارة في مقاومة مثلاً)، ووحدتها الواط (Watt ورمزه W).

ففي حالة حمل مادي مقاومته R فإن الجهد و التيار لهما نفس الطور وتكون الزاوية $\theta=0$ وبهذا فإن القدرة اللحظية تصبح

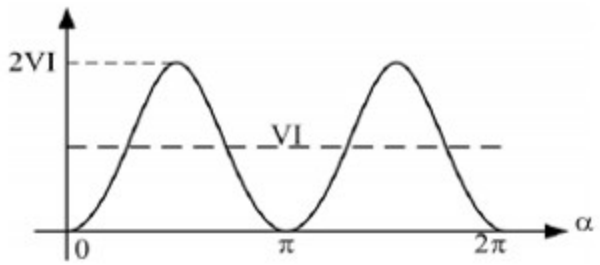
$$p_R(t)=VI-VI\cos 2\omega t \qquad 1\text{-}51$$

وهي مبينة في الشكل ١- ٥٢ نلاحظ أن هذه القدرة موجبة في كل لحظة وهي متذبذبة حول قيمتها المتوسطة

$$P=VI=RI^2=V^2/R \qquad 1\text{-}52$$

بتردد $2f$ حيث f هو تردد الجهد (والتيار). وهذا يعني أن الحمل المادي يستهلك كل القدرة التي تأتيه من المصدر. أما الشغل الكهربائي المستهلك في المقاومة خلال دورة تيار كاملة فهو

$$W_R=\int_0^T p_R(t)\,dt=VIT=RI^2T=(V^2/R)T \qquad 1\text{-}53$$



الشكل ١- ٥٢ : القدرة اللحظية في مقاومة

أما في حالة حمل حثي (سعوي) فإن الجهد يتقدم (يتأخر) على التيار بزاوية $\theta=90^\circ$ وبهذا فإن القدرة الفعالة تساوي الصفر، وعليه فإن كلاً من الحمل الحثي والحمل السعوي لا يستهلكان أي قدرة فعلياً وإنما يستعيرانها كما سنرى فيما بعد.

١- ٣- ٣ القدرة الظاهرية ومعامل القدرة

القدرة الظاهرية S في حمل معاوقته Z هي حاصل ضرب القيمة الفعالة للتيار المار في هذا الحمل والقيمة الفعالة للجهد بين طرفيه، ووحدتها الفولط أمبير (VA)، أي

$$S = V\,I = Z\,I^2 = V^2 / Z \qquad 1\text{-}54$$

ورغم أنها ليست هي القدرة المستهلكة فعلياً في كل الحالات إلا أنها مهمة في تحديد القدرة القصوى (المتوفرة عند تيار وجهد معينين) لعدد من الأجهزة كالمحولات مثلاً.

ومن المعادلتين ١- ٥٠ و ١- ٥٤ نرى أن العلاقة بين القدرتين الظاهرية والفعالة هي

$$P = S\cos\theta \qquad 1\text{-}55$$

ونسمي النسبة

$$\cos\theta = \frac{P}{S} \qquad 1\text{-}56$$

معامل القدرة، لأنه يعطي نسبة القدرة المتوفرة التي تستهلك فعلياً من طرف الحمل. فبالنسبة للحمل الذي على شكل مقاومة فإن $\theta=0$، وبهذا فإن كل القدرة الظاهرية الداخلة في المقاومة ستستهلك فعلياً (تحول إلى حرارة). أما بالنسبة لحمل حثي أو سعوي فإن $\cos\theta=0$ ولن يستهلك هذا النوع من الأحمال أي جزء من القدرة الظاهرية فعلياً.

وكلما كان معامل القدرة قريباً من الواحد، كلما كان استعمال القدرة المتوفرة أحسن. وفي الحالات التي يكون فيها هذا المعامل صغيراً، نلجأ إلى تحسينه أي الرفع من قيمته.

١- ٣- ٤ القدرة غير الفعالة

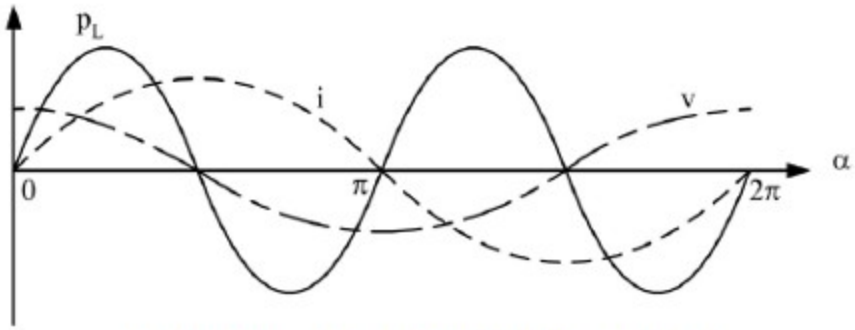
في حالة حمل حثي (ملف) نعوض الزاوية θ بـ 90° في المعادلة ١- ٤٨، وبهذا تصبح القدرة اللحظية

$$p_L(t) = V\,I\sin 2\omega t \qquad 1\text{-}57$$

وكما نرى فإنها متذبذبة بتردد يساوي ضعف تردد التيار وبقيمة قصوى تساوي القدرة الظاهرية، كما أن قيمتها المتوسطة معدومة.

ويبين الشكل ١- ٥٤ كلاً من القدرة p_L وموجات الجهد والتيار في الحمل الحثي. وهنا فإن الحمل يستعير القدرة الظاهرية VI من المصدر (p_L موجبة) عندما تتساوى إشارة الجهد مع إشارة التيار، وعندئذ فإن الملف يحول طاقة المصدر إلى طاقة مغناطيسية تتخزن في مجاله المغناطيسي. وعندما تختلف إشارة

الجهد مع إشارة التيار فإن الطاقة المغناطيسية تتحول إلى طاقة كهربائية وترجع إلى المصدر. وهكذا فلن يستهلك الملف أي قدرة.



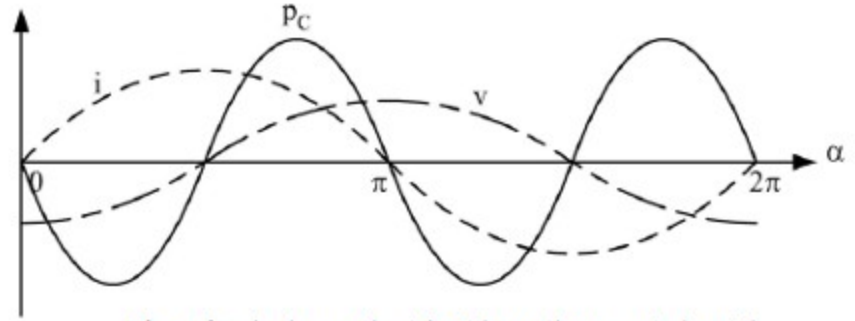
الشكل ١- ٥٤: القدرة اللحظية و الجهد والتيار في ملف

وفي حالة حمل سعوي (مكثفة) فإننا نعوض الزاوية θ بـ-90° في المعادلة ١- ٤٨ ، وهكذا تصبح القدرة اللحظية

$$p_c(t) = -VI \sin 2\omega t \qquad 1\text{-}58$$

وكما نرى فإنها متذبذبة بتردد يساوي ضعف تردد التيار وبقيمة قصوى تساوي القدرة الظاهرية، كما أن قيمتها المتوسطة معدومة.

ويبين الشكل ١- ٥٥ كلاً من القدرة p_C وموجات الجهد والتيار في الحمل السعوي. وهنا كذلك فإن الحمل يستعير القدرة الظاهرية VI من المصدر (p_C موجبة) عندما تتساوى إشارة الجهد وإشارة التيار، وعندئذ فإن المكثفة تخزن طاقة المصدر في مجالها الكهروستاتيكي. وعندما تختلف إشارة الجهد مع إشارة التيار فإن الطاقة المخزنة تسترجع إلى المصدر. وهكذا فلن تستهلك المكثفة أي قدرة.



الشكل ١- ٥٥ : القدرة اللحظية و الجهد والتيار في مكثفة

وعلى العموم نعرف القدرة غير الفعالة أو المفاعلة Q في أي حمل معاوقته $\mathbf{Z} = Z\angle\theta$ بالمعادلة

$$Q = V\,I\sin\theta \qquad 1\text{-}59$$

ووحدتها الفولط-أمبير مفاعل (volt-ampere reactive ورمزه VAR) وهي نسبة القدرة الظاهرية التي تستعار من طرف الحمل لإحداث مجال مغناطيسي (ملف) أو مجال كهروستاتيكي (مكثفة).

ففي ملف ممانعته X_L ، فإننا نرمز للقدرة المفاعلة التي يستعيرها بالرمز Q_L وهي تساوي

$$Q_L = V\,I = X_L\,I^2 = V^2 / X_L \qquad 1\text{-}60$$

وكما نرى فإنها موجبة، ولهذا نقول أن الملف "يستهلك" القدرة المفاعلة.

وفي مكثفة ممانعتها X_C، فإننا نرمز للقدرة المفاعلة التي تستعيرها بالرمز Q_C وهي تساوي

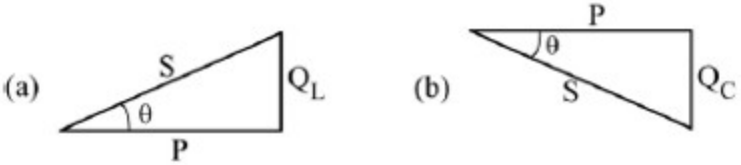
$$Q_C = -V\,I = -X_C\,I^2 = -V^2 / X_C \qquad 1\text{-}61$$

وهي سالبة، ولهذا السبب نقول إن المكثفة "تولد" القدرة المفاعلة.

١- ٣- ٥ مثلث القدرة

نستطيع تمثيل العلاقة بين أنواع القدرة الثلاثة باستعمال مثلث القدرة. فلو رسمنا مثلثاً قائماً تساوي قاعدته القدرة الفعالة، ويساوي ارتفاعه القدرة غير الفعالة، فإن الوتر سيساوي القدرة الظاهرية وذلك حسب المعادلات ١- ٥٠ و ١- ٥٤ و ١- ٥٩.

ويبين الشكلان ١- a٥٦ و ١- b٥٦ مثلثي القدرة في حالة حمل مادي-حثي و في حالة حمل مادي-سعوي. وإذا كان الحمل يحتوي على مقاومة وملف ومكثفة فإن القدرة غير الفعالة Q تساوي مجموع Q_L و Q_C، حيث Q_L هي القدرة المفاعلة للملف و Q_C هي القدرة المفاعلة للمكثفة. فإذا كانت القدرة الأولى أكبر فإن Q تكون موجبة ويظهر الحمل كأنه مادي-حثي، وإذا كان العكس فإن الحمل يظهر كأنه مادي-سعوي. أما إذا تساوت Q_L و Q_C فإن الحمل يصبح مادي بحت .



الشكل ١- ٥٦ : مثلث القدرة في حمل مادي-حثي (a)، وفي حمل مادي-سعوي (b)

ونستطيع استعمال العلاقة

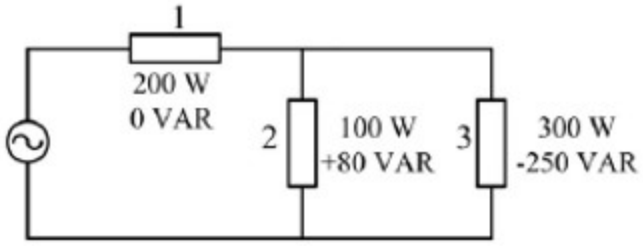
$$S^2 = P^2 + Q^2 \qquad 1\text{-}62$$

لحساب إحدى القدرات عندما تكون القدرتان الأخرتان معلومتين.

في دائرة كهربائية مكونة من عدة عناصر نحسب القدرات الكلية و معامل القدرة الكلي حسب الطريقة الآتية:

- تساوي القدرة الفعالة الكلية P_T مجموع القدرات الفعالة لكل عنصر؛
- تساوي القدرة المفاعلة الكلية Q_T مجموع القدرات المفاعلة لكل عنصر؛
- تعطى القدرة الظاهرية الكلية S_T بالمعادلة $S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$. نلاحظ هنا أن القدرة الظاهرية الكلية لا تساوي مجموع القدرات الظاهرية لكل عنصر، فلننتبه لهذا.
- معامل القدرة الكلي هو : $\cos\theta_T = P_T / S_T$

مثال ١- ٢- ١: احسب القدرات الفعالة والمفاعلة والظاهرية الكلية وكذلك معامل القدرة الكلي للدائرة المبينة في الشكل ١- ٥٧ ، ثم ارسم مثلث القدرة. بين طبيعة كل حمل من الأحمال الثلاثة.



الشكل ١- ٥٧

الحل:

القدرة الفعالة الكلية: $P_T = P_1 + P_2 + P_3 = 200 + 100 + 300 = 600\ W$

القدرة المفاعلة الكلية: $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 + 80 - 250 = -170\ VAR$

نستنتج أن الحمل الكلي مادي- سعوي.

القدرة الظاهرية الكلية:

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(600)^2 + (-170)^2} = 624\ VA$$

المحولات الكهربائيه

تسمي المحولات الكهربائيه بقلب المحطات فهي تعتبر من اهم المعدات الموجودة في المحطات او غيرها من الاماكن التي تتطلب تخفيض او رفع الجهد الكهربائي

ويمكن تعريف المحول الكهربائي بأنه جهاز يعمل بالتيار المتردد يحول الجهد اما لقيمة أعلى أو أقل حسب المطلوب من قبل المستخدم

الغرض منه :

رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية المترددة

نقل الطاقة الكهربائية من أماكن توليدها الى أماكن استهلاكها

فكرة عمله

يتم توصيل تيار متردد في الملف الأبتدائي فيتكون مجال مغناطيسي على القلب الحديدي ثم يمر بالملف الثانوي فيتكون تيار متردد تعتمد قيمته على عدد لفات الملف وعلى قيمه الفيض المغناطيسي وقيمه تردد التيار

تركيب المحولات:

ملف أبتدائي :

وهي ملفات مصنوعة من النحاس الأحمر المعزول بالورنيش ويتوقف قطر الموصل على قيمة التيار المار فيه

ملف ثانوي :

وهي ملفات مصنوعة من النحاس الأحمر المعزول بالورنيش وتتميز لصغر مساحة المقطع نظرا لانخفاض التيار

القلب الحديدي:

يلف حوله الملفات ويعزل بينهما الورق المشبع بالزيت وهذا الورق يكون عازل لكل لفة عن الأخرى ويعزل ايضا الملف عن القلب الحديدي مصنوع من مادة الحديد المطاوع السليكوني وهو يكون على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض وذلك للحد من التيارات الدوامية

الخزان الرئيسي:

وظيفته تقتصر على احتواء الملفات بداخله بأرضيه معزولة ويكون مملوءاً بالزيت.

الخزان الاضافي:

يكون متصل بالخزان الرئيسي ووظيفته الأساسية السماح بتمديد الزيت وضمان عدم خروجه خارج المحول

شرح عمله

يوصل طرفا الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد ويوصل الملف الثانوي الجهاز المستهلك للطاقة الكهربية عند غلق دائرة الملف الثانوي فان التيار المار في الملف الابتدائي يحدث سيلا مغناطيسيا متناوبا في القلب الحديدي يولد في كل لفة من كلا الملفين قوة دافعة كهربائيه في كلا الملفين تكون متناسبة طرديا مع عدد اللفات فيهما

عند فتح دائرة الملف الثانوي فان تيار الملف الابتدائي يكاد ينعدم حيث أن الحث الذاتي للملف الابتدائي يعمل على توليد تيار تأثيري عكسي يكاد يكون مساويا ومعاكسا للتيار الأصلي فينعدم التيار في الابتدائي ولا يحدث استهلاك للطاقة ـ العمل العقيم للمحول ـ

أنواع المحولات

محول رافع STEP UP TRANSFORMERS

محول يرفع القوة الدافعة المترددة ويكون فيه عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الابتدائي

محول خافض **STEPDOWN TRANSFORMERS**

محول يقوم بتحويل قوة دافعة مترددة كبيرة الى قوة دافعة مترددة صغيرة ويكون فيه عدد لفات الملف الابتدائي أكبر من عدد لفات الملف الثانوي

كفاءة المحول

هي النسبة بين الطاقة الكهربائية في الملف الثانوي الى الطاقة الكهربائية في الملف الابتدائي أو هي النسبة بين قدرة الملف الثانوي وقدرة الملف الابتدائي

استخدام المحول في نقل القدرة الكهربية

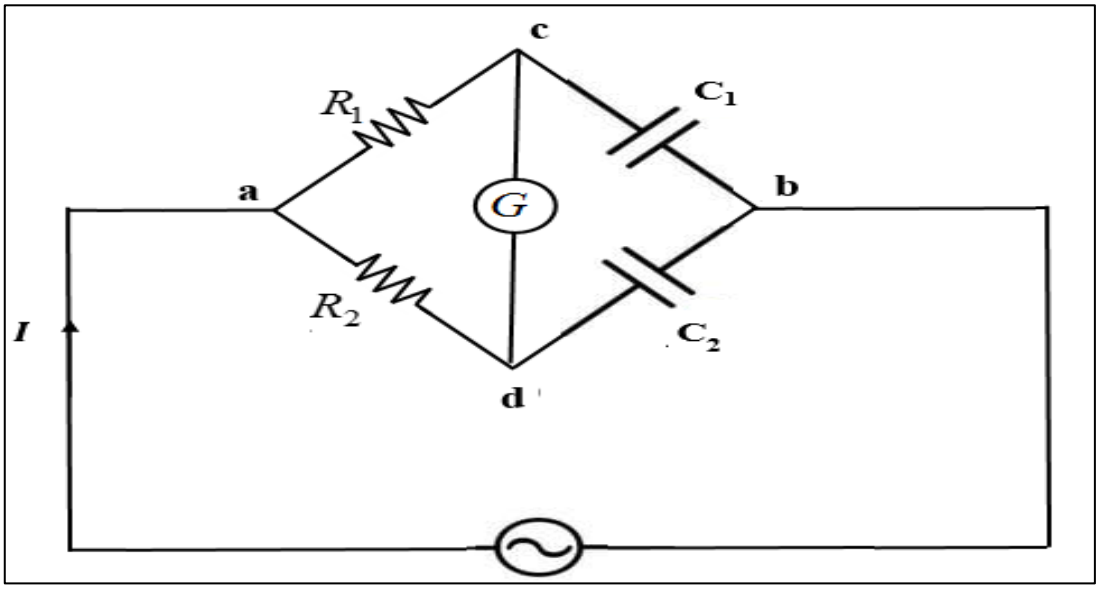
لا يمكن تحقيق الاستعمال الفعال للطاقة الكهربائية الا بواسطة نقلها لمسافات بعيدة بأقل خسارة ممكنة ويجب لهذا نقل الطاقة تحت جهد عالي جدا حيث توجد محولات رافعة عند أماكن توليد الطاقة وتنقل الطاقة عبر الأسلاك والأبراج الهوائية الى أماكن الاستهلاك حيث توجد محولات لخفض القوة الدافعة

قنطرة دى سوتيه

تعيين سعة مكثف مجهول.

تتكون قنطرة دى سوتى كما هو موضح شكل (1) من مقاومتين معلومتين R_1, R_2 وكذلك مكثفان C_1, C_2 أحدهما معلوم السعة والاخر مجهول.

يتصل الجميع على هيئة قنطرة رباعية بمصدر جهد متردد منخفض القيمة عند a,b. والنقطتان d،c تتصل بجلفانومتر، عند توصيل مصدرالجهد المتردد للدائرة ينحرف مؤشر الجلفانومترعند مرور تيار بداخله، اى عند اختلاف قيمة الجهد عند النقطتين c,d وعندما يكون فرق الجهد بين النقطتين يساوى صفر لا ينحرف مؤشرالجلفانومترنتيجة عدم مرور تيار وتسمى هذه الحالة بالاتزان الكهربى. ويعرف الاتزان الكهربى بانه اعدام مرورالتيار الكهربى في أحد أفرع دائرة مغلقة نتيجة تساوى الجهد بين طرفى هذا الفرع. ويمكن ان نحصل على هذا الاتزان بتغير قيم المقاومات.



القانون

عند حدوث الاتزان في الفرع cd يكون التيار المار في المقاومة R_1 هو نفسه التيار I_1 المار في المكثف C_1 وكذلك التيار I_2 المار فى المقاومة R_2 هونفسه التيار المار ف المكثف C_2

وحيث ان الجهد على النقطتين c وd تساوي

اذن فرق الجهد على الذراعين ac وad متساوى اى ان

$$V_{ab} = V_{ac}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (1)$$

كذلك الجهد على الذراعين bc، bd متساوى اى ان

$$V_{bd} = V_{bc}$$

$$I_1 X_{C1} = I_2 X_{C2}$$

حيث $X_C = \frac{1}{wc}$ تدل على الممانعة السعوية للمكثف

حيث C سعة المكثف وFالتردد العام للمصدر المستخدم

$$I_1 C_2 = I_2 C_1 \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) نحصل على

$$\frac{\boldsymbol{R_1}}{\boldsymbol{C_2}} = \frac{\boldsymbol{R_2}}{\boldsymbol{C_1}} \qquad (3)$$

وبذلك يمكن استخدام المعادلة (3) لمعرفة سعة مكثف مجهول بمعلومية مقاومتين وسعة مكثف اخر معلوم.

خطوات العمل: -

1-وصل الدائرة التى امامك كما موضح بالشكل (1) مع ملاحظة وضع قيم دائما للمقاومتان R_1, R_2وعدم جعلهما اصفار اثناء التجربة.

2-ثبت المقاومة R_1 عند قيمة معينة وغيرمن قيمة R_2 حتى نحصل على حالة الاتزان (عندما يعود مؤشر الجلفانومتر الى الصفر) ودون قيمة R_1, R_2 اللازمة لحدوث الاتزان.

3-كرر الخطوة السابقة عدة مرات مع تغييرقيمة R_1 في كل مرة ودون النتائج في جدول

4-ارسم العلاقة بين $R_{1,}\ R_2$ تبعا للمعادلة (4) وبذلك يمكن تعيين قيمة المكثف المجهول من من الميل بمعلومية المكثف الاخر.

جدول النتائج: -

$R_{1,}$	R_2

ميل الخط الناتج من الرسم يساوى:

$$slope\ = \frac{R_1}{R_2}\ = \frac{C_2}{C_1}$$

سعة المكثف المعلوم = ميكروفاراد

سعة المكثف المجهول = ميكروفاراد

مرة وصل المكثفين C_1 , C_2 مرة على التوالى ثم على التوازى وضعها فى الذراع CD وعين السعة الكلية فى كلتا الحالتين من المعادلة (4).

-السعة الكلية على التوالى = ميكروفاراد

-السعة الكلية على التوازى= ميكروفاراد

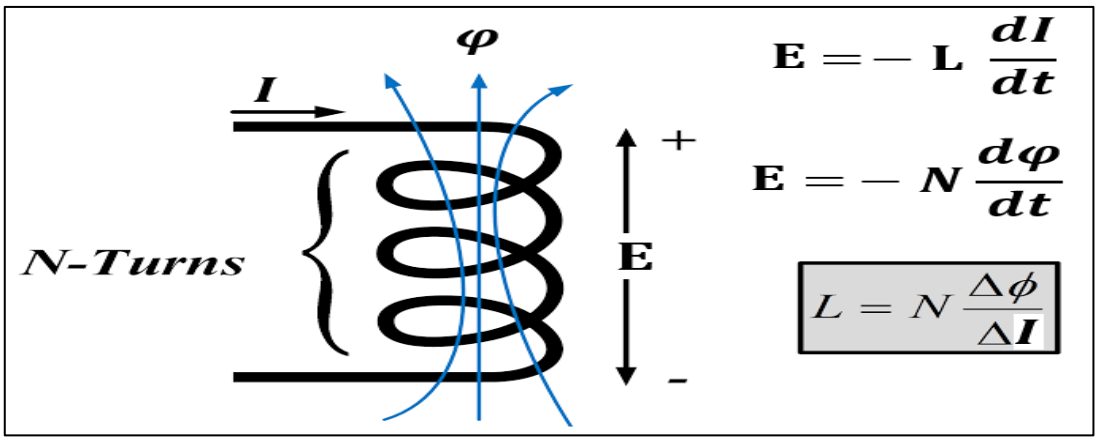
من الخطوة 6 نستنتج ان .....

س1: هل يمكن استخدام مصدر جهد مستمربدلا من الجهد المتردد فى هذه الدائرة؟

ايجاد معامل الحث الذاتى لملف باستخدام طريقة المتجهات.

الحث الذاتي هو ظاهرة تولد قوة دافعة كهربية عكسية في ملف نتيجة تغير التيار المار في الملف. فعند مرور تيار كهربى في احدى لفات الملف يتولد مجال مغناطيسى وهذا المجال سوف يؤثر على الشحنات الى تمر في باقى لفات الملف بقوة معاكسة لحركة الشحنات وبالتالي فان هذه القوة سوف تعيق حركة الشحنات وبالتالي نقول ان الملف يمتلك قوة معاوقة تختلف عن المقاومة الاومية الناتجة من تصادم الالكترنات مع ذرات الموصل المصنوع منه الملف. وهذه المعاوقة التي تنشا من التاثير المغناطيسى تسمى بالممانعة الحثية ويرمز لها بالرمز (X_L).

ولقد وجد فاراداى ان القوة الدافعة العكسية تتناسب مع التغيرفى الفيض المغناطيسى حول دائرة الملف وحيث ان التغير في الفيض يتنسب مع التغير في التيار المار في الدائرة فان القوة الدافعة المستحثة المتولدة تتناسب مع معدل تغير التياروثابت التناسب بينهما يسمى معامل الحث الذاتي.



القانون

لحساب قيمة هذه المقاومة الحثية الناشئة من الحث الذاتى نفرض ملف (نقى) عديم المقاومة الاومية (اى باهمال مقاومة مادة اسلاكه) متصل بطرفى مصدر تيارمتردد يعطى بالعلاقة

$$I = I_m \sin wt \qquad (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف فان: -

$$V = L\, dI/dt$$

اى ان فرق الجهد على طرفى الملف

$$V = L\, dI/dt = I_m w L \cos wt$$

$$= I_m w L \sin(wt + 90)$$

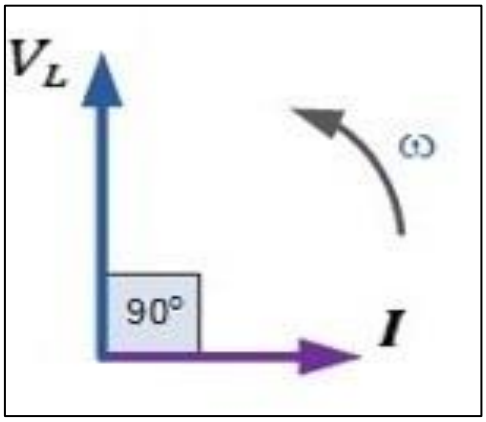
$$V = V_m \sin(wt + 90) \qquad (2)$$

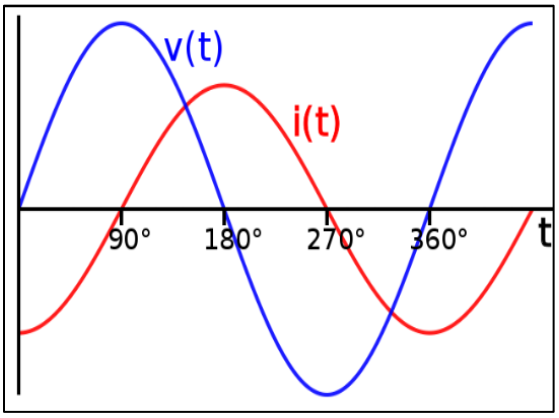
حيث ان V_m هى النهاية العظمى لفرق الجهد على طرفى الملف ويمكن ان نرى ان

$$V_m = I_m\, wL$$

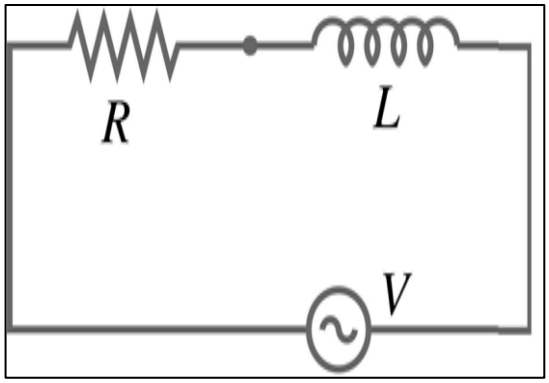
منها نرى ان المقاومة التي تنشأ فى هذا الملف فى حالة التيار المتردد الذي له ترددF تسمى بالممانعة الحثية للملف وهي تساوى $X_L = wL = 2\pi F\, L$

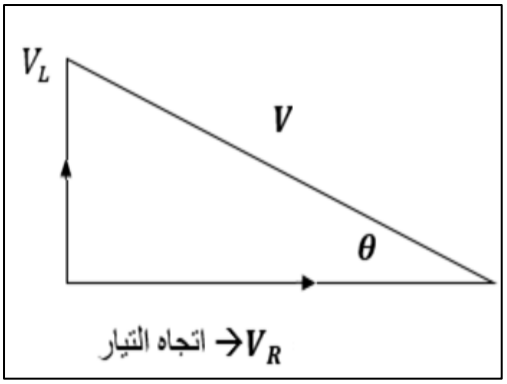
وبمقارنة المعادلتان (1)، (2) نجد ان التيار الذي يمر فى الملف لا يتغير فى نفس اللحظة بنفس الطريقة التى يتغير بها الجهد فبينما يتزايد الجهد حتى يصل قيمته العظمىV_0 نجد ان التيار فى نفس اللحظة يبدأ فى القراءة من الصفرونجد ان الجهد يسبق التيار فى الملف بربع دورة اى بفرق فى الطور مقداره 90 درجة.





إذا احتوت الدائرة على مقاومات اومية بالاضافة الى المقاومة الحثية للملف فان فرق الطور فى هذه الحالة سيقل عن 90 وليكن (α) مثلا وهذا سيتضح كما فى الشكل فان الدائرة الكهربية تتكون من مصدر للتيار المتردد ومقاومة اومية وملف له معامل حث ذاتى L.





معادلة الجهود طبقا لقانون كيرشوف هى

$$V = V_R + V_L$$

$$V = RI + L\, dI/dt$$

وان التيارالمار يمثل منحنى جيبى على الصورة:

$$I = I_0 \sin wt$$

فاذا علمنا ان قيمتى L،R ثوابت وبالتعويض عن قيمة التيار فى المعادلة السابقة يكون:

$$V = I_m R \sin wt + I_m wL \cos wt$$

وحيث ان الفرق بين دالة الجيب ودالة جيب التمام هو 90 درجة بذلك فان الجهد على الملف يختلف عن جهد المقاومة في الاتجاه وكذلك الجهد الكلى.

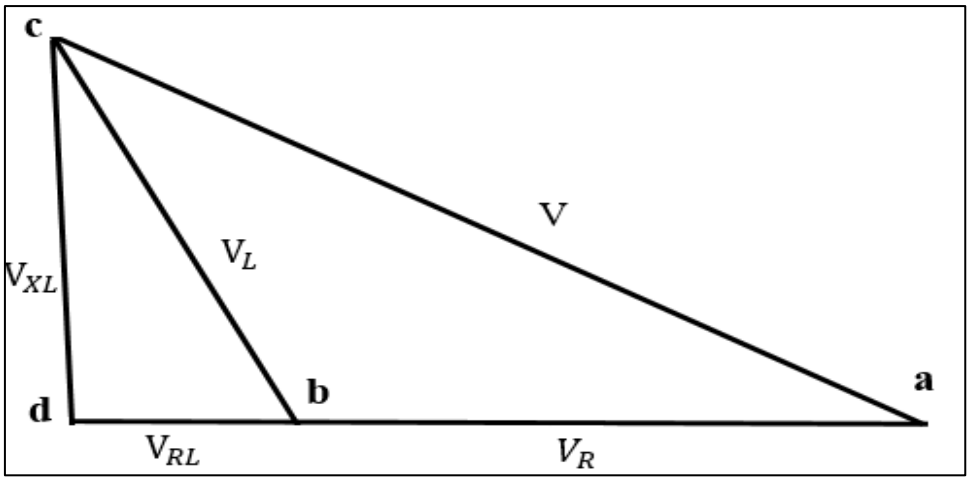
ويمكن ملاحظة ان الجهد الكلى هو محصلة مركبتين متعامدتين أحدهما مقاومة اومية R الى جانب الممانعة الحثية للملف مما يسبب فرقا فى الطور بين الجهد والتيار يختلف عن 90 وهذا يعنى ان الجهد الكلى يسبق التيار بفرق فى الطور مقداره α حيث

$$\tan \alpha = \frac{wL}{R}$$

المقاومة الكلية للدائرة تحسب بطريقة المتجهات حيث تمثل R بيانيا على أحد اضلاع مثلث قائم الزاوية وتمثل wL بيانيا عل الضلع الراسى فيكون الوتر ممثلا للمقاومة الكلية للدائرة الكهربية. وتكون الزاوية المحصورة بين الوتر واتجاه الضلع الذي يمثل المقاومة الاومية هى زاوية الطور فى هذه الحالة.

وإذا كان للملف مقاومة اومية فان فروق الجهد يمكن تمثيلها بيانيا كما فى الشكل التالى فاذا كان لدينا ملف حثه L ومقاوته الاومية R_L يتصل على التوالى مع مقاومة R وكان الجهد على المقاومة V_R ومصدر التيار المتردد جهده V وفرق الجهد على الملفV_L وهو يساوى فرق الجهد الحثىV_{XL} وفرق الجهد الناتج عن المقاومة الاومية للملفV_{RL}

$$V_L = V_{XL} + V_{RL}$$



ويتم رسم المثلث الموضح في الشكل باستخدام الخطوات التالية

خطوات العمل: -

1- وصل الدائرة المكونة من مصدر تيار متردد منخفض الجهد على التوالى مع ملف L وصندوق مقاومات R.

2- قم بإدخال قيمة للمقاومة ولتكن R=100

3- باستخدام فولتميترلقياس فرق الجهد المتردد، قس فرق الجهد على المقاومة V_R

4- احسب قيمة التيار من المعادلة $\mathbf{I = \frac{V_R}{R}}$

5- افتح الفرجار مسافة تساوىV_R ثم قف بسن الفرجار عند b وارسم قوسا.

6- افتح الفرجار مسافة تساوىV_T ثم قف بسن الفرجار عند a وارسم قوسا اخر يتقاطع مع القوس الأول عند نقطة (c).

7- وصل النقطة (c) مع (a) وكذلك النقطة (c) مع (b) نحصل على المثلث abc

8- مد الخط ab افقيا على استقامتها وأسقط من النقطة (c) خطاعموديا يتقاطع مع الخط الافقى عند النقطة (d) كما بالشكل.

9- قم بقياس المسافة الراسية (cd) وهي تمثل فرق الجهد الحثى للملف (V_{XL}).

10- قم بالتعويض في المعادلة $V_{XL} = I.2\pi F.L$ واحسب قيمة معامل الحث الذاتي L.

11- قم بقياس المسافة (bd) وهي تمثل فرق الجهد الناتج عن المقاومة الاومية للملف V_{RL}

12- قم بحساب قيمة المقاومة الاومية للملف من المعادلة

$$V_{RL} = I.R_L$$

13- قم بتغيير قيمة المقاومة عند R=200Ω، R=300Ω وكرر الخطوات السابقة. واحسب في كل مرة معامل الحث الذاتي والمقاومة الاومية للملف ثم احسب متوسط القراءات الثلاثة.

النتائج: -

R	V_R	V_L	V	$I = \frac{V_R}{R}$
100				
200				
300				

قيمة التردد (F) = 50هرتز

$$L = \frac{V_{XL}}{I.2\pi F} =$$

قياس السعة باستخدام دائرة التيار المتردد (RC)

المكثف عبارة عن لوحين معدنيين متوازيين يفصل بينهما مادة عازلة وتعتمد فكرة عمله على مبدا الشحن والتفريغ للشحنات بين طرفيه. فعند توصيله بمصدر جهد مستمر فان الشحنة الكهربية تنتقل من المصدر ويكون التيار أكبر ما يمكن وتتراكم هذه الشحنات على لوحي المكثف ويزداد فرق الجهد بين طرفى المكثف حتى يتساوى مع فرق جهد المصدر وعند هذه الحظة يقل التيار حتى يصل الى الصفر وهذه الشحنة المخزنة Q على لوحي المكثف تتناسب مع فرق الجهد المطبق V.

$$Q = C\ V$$

حيث C هى سعة المكث، وهذا يعنى ان التيار المارفى الدائرة يعطى من العلاقة

$$I = \frac{dQ}{dt} = c\frac{dV}{dt}$$

وعندما يطبق فرق جهد متردد بين لوحي مكثف يعطى من المعادلة

$$V = V_m\ \sin wt$$

فان التيار المار سيعطى من العلاقة

$$I = -\ wc\ V_m \cos wt = wc\ V_m\ \sin(wt + 90)$$

ويمكن وضعها على الصورة

$$I = \ I_m\ \sin(wt + 90)$$

ويحسب فرق الجهد بين طرفى المكثف من المعادلة

$$I_m = \ wc\ V_m = \frac{V_m}{X_c}\ \implies\ X_c = \frac{1}{wc}$$

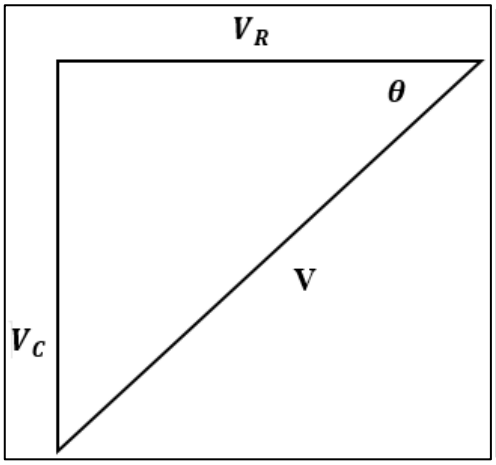
ومنها نلاحظ ان للمكثف نوع من المقاومة يسمى بالممانعة السعوية X_c او "رد الفعل السعوي" وهي تتناسب عكسيا مع سعة المكثف وتردد التيار.

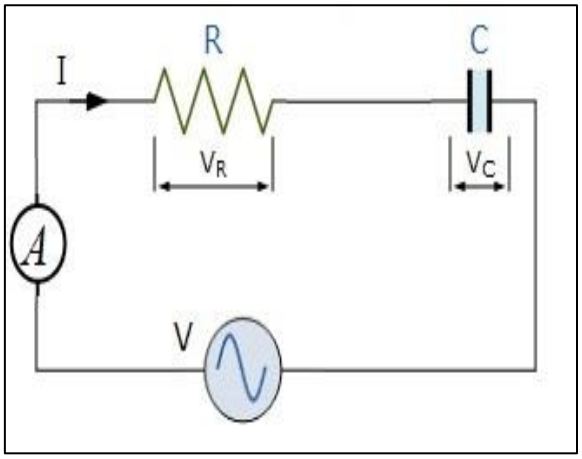
ومن هذه المعادلة نستنتج ان التيار المتردد يمر في دائرة المكثف ويتقدم في الطور عن فرق الجهد بمقدار 90 درجة. اى انه في ربع الدورة الاول عندما يبدا فرق الجهد بين طرفى المكثف في

النمو نتيجة لتخزين الشحنات بين طرفيه يكون التيار قيمة عظمى ويقل التيار تدريجيا مع زيادة فرق الجهد حتى يصل الجهد الى قيمته العظمى وعندها يكون التيارمساويا للصفر وفى ربع الدورة الثانى يقل فرق جهد المصدر مما يؤدى الى ان يقوم المكثف بتفريغ شحنته اى ان التيار يزداد في الاتجاه العكسى ويقل فرق الجهد على المكثف.

القانون

إذا كان مصدر جهد متردد مطبق على دائرة تحتوي مكثف متصل مع مقاومة على التوالي سيكون التيار المار واحد ولكن فرق الجهد بين طرفى المكثف سيختلف عن فرق الجهد بين طرفى المقاومة في الطور بمقدار 90درجة.





ويجب في هذه الحالة اعتبار فرق الجهد الكلى محصلة فرق الجهدين على طريقة متوازي الاضلاع اى باعتبار الكميات المذكورة كميات متجهة تنطبق عليها نظرية فيثاغورث كما بالشكل تمثل قيمة فرق الجهد بين طرفى المكثف $(\frac{I}{wc})$ بالضلع الراسى ويمثل فرق الجهد بين طرفى المقاومة (I R) بالضلع الافقى ولذا فان الوتر يمثل فرق الجهد الكلى.

$$V = I.Z$$

$$V^2 = \mathrm{I}^2.\{R^2 + (\frac{1}{wc})^2\}$$

$$\boldsymbol{R^2 = V^2.\frac{1}{I^2} - (\frac{1}{wc})^2}$$

وتبين المعادلة ان العلاقة بين R^2 و $\frac{1}{I^2}$ علاقة خط مستقيم يقطع جزء سالب مقداره $(\frac{1}{wc})^2$

الدائرة

محول 12 فولت يتصل مع مكثف موصل على التوالي مع صندوق مقاومات عيارى واميترAC.

خطوات العمل: -

1-صل الدائرة كما في الشكل.

2-ادخل قيمة للمقاومة R وسجل قراءة الاميتر I.

3-كرر الخطوة السابقة عدة مرات مع تغيير قيمة المقاومة في كل مرة وتسجيل قيمة التيار.

4-ارسم خطا بيانيا يمثل العلاقة بين (R^2) على المحور الراسى وبين $\frac{1}{I^2}$ على المحور الافقى.

5-من تقاطع الخط المستقيم على المحور الراسى نوجد سعة المكثف.

النتائج: -

R	I	R^2	$1/I^2$

من الخط البيانى الجزءالمقطوع $= (\frac{1}{wc})^2$

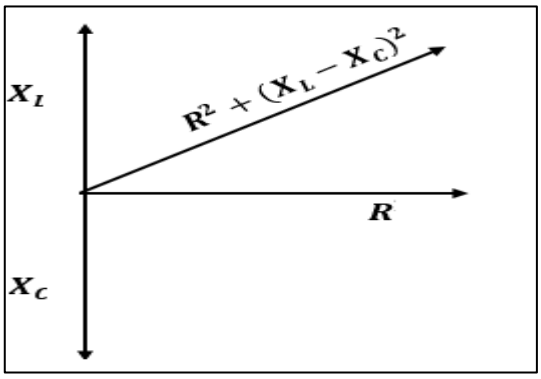
w=2πf= → C=

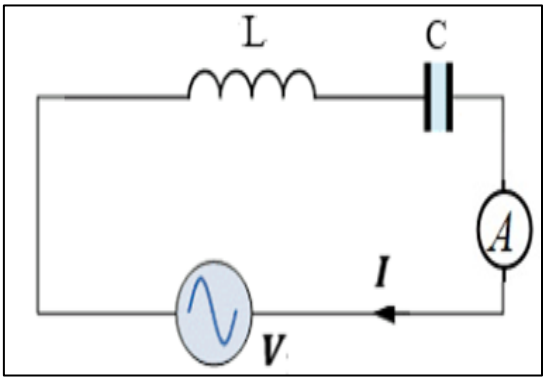
منحنى الرنين فى دائرة التيار المتردد

تحقيق حالة الرنين فى الدائرة (LC)عن طريق تغيير تردد التيار.

عند توصيل مولد للذبذبات على التوالي مع ملف (L) ومكثف متغير السعة (C) وملى اميتر(mA) لقياس شدة التيار في الدائرة. فان التيار المار في الدائرة تعتمد قيمته على المعاوقة الكلية للدائرة (Z) والتي تساوى محصلة كلا من الممانعة الحثية للملف ($X_L = \mathrm{wL}$) والممانعة السعوية للمكثف ($\mathrm{X}_c = \frac{1}{\mathrm{w}C}$) بالإضافة الى المقومة الاومية للدائرة (R) وتعطى بالمعادلة

$$Z^2 = R^2 + \{(wL) - (\frac{1}{wc})\}^2$$





وحيث ان كلا من الممانعة الحثية والممانعة السعوية تعتمد على تردد التيار فان المعاوقة الكلية للدائرة وكذلك التيار المار سوف يتغيران بتغير تردد التيار(F). في البداية فاذا كانت قيمة التردد تساوى صفر فان الممانعة السعوية ستكون كبيرة جدا (∞) والممانعة الحثية تساوى صفر ولذلك لا يمر تيار في الدائرة وعند زيادة التردد من مولد الذبذبات فان الممانعة السعوية تقل بصورة كبيرة جدا والممانعة الحثية تزداد زيادة صغيرة ولذلك يزداد التيار تدريجيا لان المعاوقة الكلية تقل وعند قيمة معينة للتردد (F_r) تتساوى الممانعة الحثية مع الممانعة السعوية ($X_l = X_c$) وتكون المقاومة الكلية أصغر ما يمكن، وتكون قيمتها مساوية لقيمة المقاومة الاومية فقط وتكون قيمة التيار الناتج فى الدائرة أكبر ما يمكن.

كما ان التيار يكون متفقا فى الطور مع الجهد وتكون الدائرة فى حالة رنين والتردد المسبب لتلك الحالة يسمى تردد الرنين.

مما سبق يتضح ان شرط الرنين لابد ان يكون:

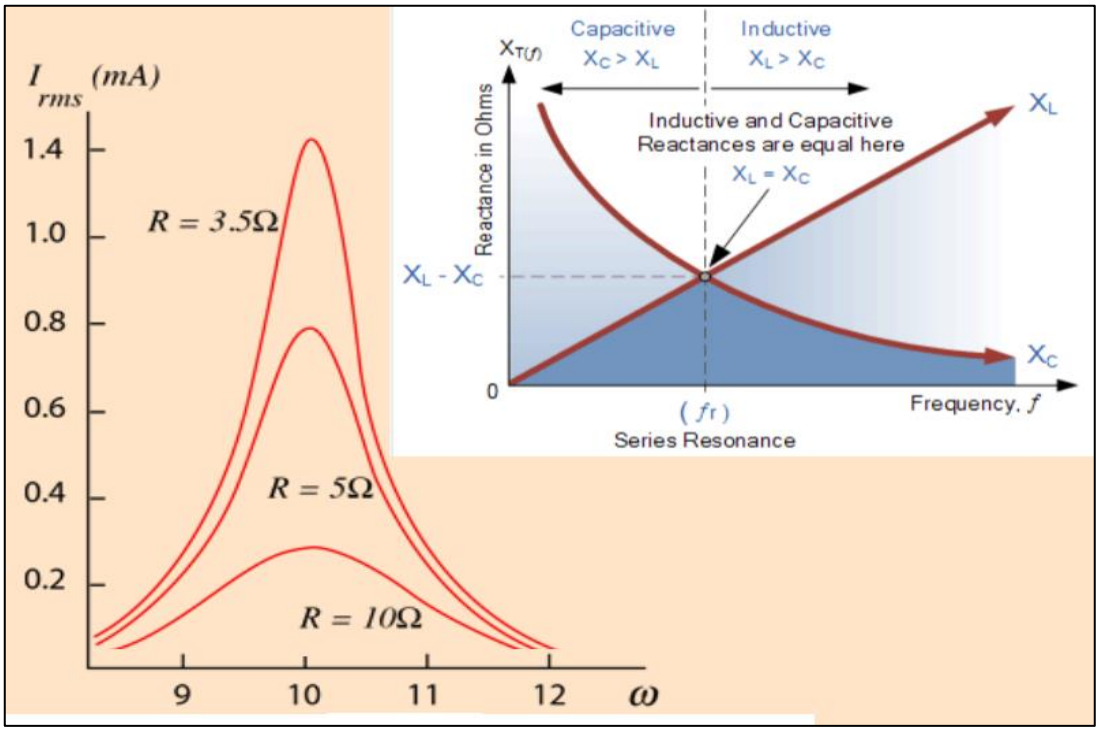
$$X_L = X_C$$

$$2\pi F_r L = \frac{1}{2\pi F_r c}$$

$$F_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L\,C}}$$

وعند زيادة التردد مرة أخرى فان التيار يقل تدريجيا وذلك لان مقدار قيمة الممانعة السعوية ستقل والممانعة الحثية تزداد وبذلك تزداد المعاوقة الكلية مرة أخرى مما يؤدي الى نقصان التيار.

ويمكن تحقيق ذلك برسم العلاقة بين التردد والتيار الما في الدائرة وستلاحظ ان التيار سيبلغ نهاية عظمى عند حالة الرنين والتردد المقابل لذلك هو تردد الرنين عمليا. ويمكن مقارنة القيمة العملية بالقيمة النظرية المحسوبة من المعادلة السابقة بمعلومية سعة المكثف والحث الذاتي للملف.



الأجهزة

مولد ذبذبات يتصل على التوالي مع ملف حثه (L) ومكثف سعته (C) وملى اميتر(mA) لقياس شدة التيار في الدائرة.

خطوات العمل: -

1. وصل الدائرة الكهربية كما هو مبين بالشكل مع اختار قيمة مناسبة لكل من سعة المكثف والحث الذاتي للملف وثبت قيمة الجهد الخارج من مولد الذبذبات عند قيمة معينة
2. غير تردد الذبذبات الصادرة من مولد الذبذبات ابتداء من الصفر وسجل قراءة التيار من الملى اميتر (.M.A) عند كل قيمة للتردد.
3. ارسم علاقة بيانية بين التيار على المحور الراسى والتردد على المحور الافقى واوجد قيمة تردد الرنين عمليا.
4. بمعلومية معامل الحث الذاتى (L) للملف، وسعة المكثف (C) احسب قيمة "تردد الرنين" حسابيا من المعادلة التالية وقارنها بالقيمة المستنبطة من الرسم البيانى.

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C}}$$

النتائج

F	I