

لاحظ أن موجة القدرة موجبة دائما ولا تذهب أبدا إلى الناحية السالبة وذلك في دارة مقاومة نقية. وهذا يعني أن القدرة تكون مهدرة دائما عند وجود حمل مقاوم نقى.

لاحظ أيضا أن شكل موجة القدرة ليس لها نفس تردد الجهد أو التيار بل إن ترددها ضعفهما.

أما إذا أخذنا دارة ذات حمل فعال reactive:



فإن معاوقة الحمل يجب حسابها تبعا لتردد المصدر لتساوى:

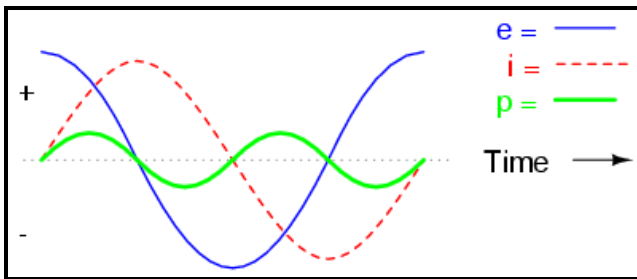
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 160m = 60.319\Omega$$

$$\therefore Z_L = R + jX_L = 0 + j60.319$$

or

$$Z_L = 60.319 \angle 90^\circ$$

$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{120}{60.319} = 1.989A$$



لاحظ أن القدرة تتأرجح بين الجزء السالب والموجب وهذا يعنى أن الحمل يعيد قدرة للدائرة (فى النصف السالب) بقدر ما يهدر من قدرة (فى النصف الموجب) أى أن محصلة القدرة المهدرة فى الحمل تساوى صفر.

## معامل القدرة

## POWER FACTOR

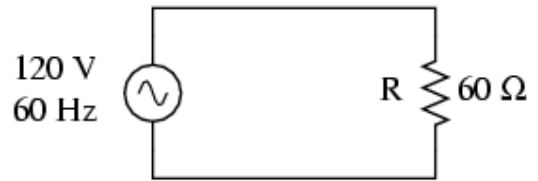
إعداد: مهندس/ محمد الحريرى

[Mgh\\_arab@hotmail.com](mailto:Mgh_arab@hotmail.com)

[www.olom.info](http://www.olom.info)

القدرة فى دارات التيار المتردد ذات الحمل المقاوم والفعال:

أفترض دارة تيار متردد مفردة الطور single-phase حيث يغذى مصدر 120 فولت و 60 هرتز حمل مقاوم نقى:



حيث يمكن التعبير عن معاوقة الحمل بـ  $Z_R$

$$Z_R = 60 + j0\Omega$$

أو

$$Z = 60 \angle 0^\circ$$

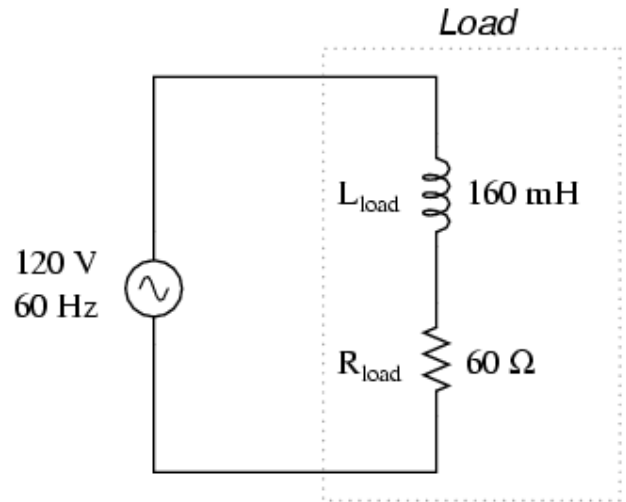
$$\therefore I = \frac{E}{Z}$$

حيث E هى جهد المصدر (الجهد على الحمل) و Z هى معاوقة الدارة (الحمل فى حالتها).

$$\therefore I = \frac{120V}{60\Omega} = 2A$$

يتضح لنا أن تيار الحمل سيكون 2 أمبير (مربع جذر المتوسط (RMS). وستكون القدرة المهدرة فى الحمل  $240 = I^2 R$  واط وذلك لأنه حمل مقاوم نقى (وطور التيار هو نفس طور الجهد). ولو أردنا رسم موجة التيار والجهد والقدرة على الحمل سيكون كالاتى:

والآن لنأخذ دائرة حملها يجمع بين النوع المقاوم والفعال:



ولكن سيزيد تأرجحها في الجانب الموجب عن الجانب السالب أي أن الدائرة التي تجمع بين الحمل المقاوم والحمل الفعال تهدر جزءا من القدرة أكبر من الجزء الذي تعيده للمصدر. وهذا الجزء الذي يعود إلى المصدر (أو إلى بقية الدائرة) سببه وجود جزء فعال بالحمل أما سبب إهدار القدرة فهو الجزء المقاوم من الحمل (وغالبا ما يكون هذا الإهدار في صورة حرارة).

وتمثل القدرة رياضيا في دوائر التيار المتردد يعتبر تحديا لأن موجة القدرة مختلفة في التردد عن الجهد والتيار مما يعنى أن زاوية طور القدرة تختلف عن زاوية الطور للجهد والتيار وهذا يدل على وجود إزاحة زمنية بين موجتي الجهد والتيار. وزاوية طور القدرة تمثل النسبة بين القدرة المهذرة والقدرة المتولدة.

### القدرة الفعالة والحقيقية والظاهرة:

عرفنا أن الأحمال الفعالة مثل الملفات والمكثفات لا تهدر أى قدرة على الرغم من الإنطباع الخادع بعكس ذلك نظرا لوجود جهد عليها والتيار مار بها. وهذه القدرة الخيالية التي يوحى بها مرور التيار ووجود الجهد على الأحمال الفعالة تسمى القدرة الفعالة *reactive power* وتقاس بوحدات تسمى جهد-أمبير-فعال *Volt-Amps-Reactive* وتعرف أختصارا بالوحدة فار - بتعطيش الفاء - (VAR) ويرمز لها بالرمز Q. أما القدرة الفعلية المستعملة بالدائرة فتسمى بالقدرة الحقيقية *true power* وتقاس بالواط watts ويرمز لها بالرمز P ومحصلة هاتان القدرتان (القدرة الفعالة والقدرة الحقيقية) تسمى بالقدرة الظاهرة *apparent power* وتحسب من حاصل ضرب الجهد والتيار وبدون أخذ زاوية الطور في الاعتبار. وتقاس القدرة الظاهرة بوحدات فولت-أمبير *Volt-Amps (VA)* ويرمز لها بالرمز S.

وتنتج القدرة الحقيقية من عناصر الإهدار في الدائرة مثل المقاومات (R) أما القدرة الفعالة فتنتج من العناصر الفعالة (X) أما القدرة الظاهرة فتنتج من المعاوقة الكلية للدائرة (Z).

يوجد العديد من العلاقات التي يمكن منها حساب الثلاثة أنواع من القدرة:

#### 1- القدرة الحقيقية *true power*

$$P = I^2 R \text{ (watts)}$$

$$P = \frac{E^2}{R} \text{ (watts)}$$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 60 \times 160m$$

$$Z_L = 0 + j 60.319\Omega$$

or

$$Z_L = 60.319\Omega \angle 90^\circ$$

$$Z_R = 60 + j 0\Omega$$

or

$$Z_R = 60\Omega \angle 0^\circ$$

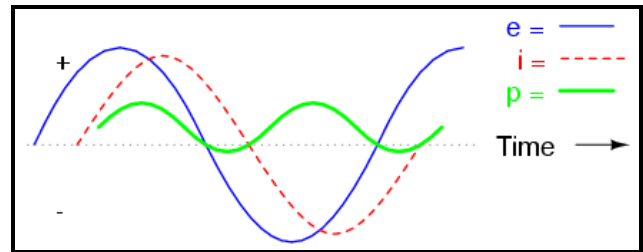
$$\therefore Z_{total} = 60 + j 60.391\Omega$$

or

$$Z_{total} = 85.078\Omega \angle 45.152^\circ$$

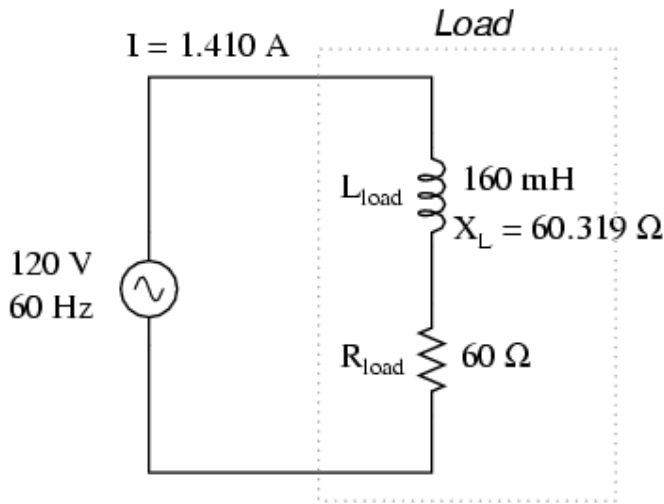
$$\therefore I = \frac{E}{Z} = \frac{120}{85.075} = 1.41A$$

ولو رسمنا التيار والجهد والقدرة ستكون كالآتي:



عندما كان الحمل فعالا نقتا كانت القدرة تتأرجح بين الموجب والسالب بشكل متساوى مما يجعل الفقد الكلى في القدرة بدارات الأحمال الفعالة النقية يساوى صفرا.

أما في الدارات التي تجمع بين الحمل المقاوم والحمل الفعال (كالدائرة السابقة) ستتأرجح القدرة بين السالب والموجب أيضا



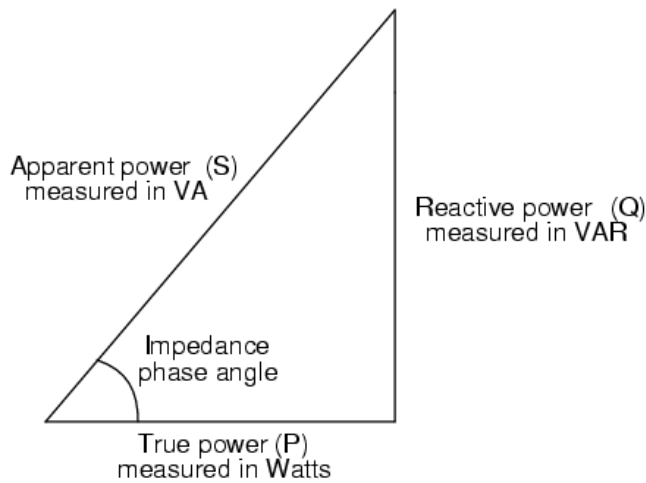
$$P = \text{true power} = I^2 R = 119.365 \text{ W}$$

$$Q = \text{reactive power} = I^2 X = 119.998 \text{ VAR}$$

$$S = \text{apparent power} = I^2 Z = 169.256 \text{ VA}$$

يمكن تمثيل العلاقة بين الثلاثة أنواع من القدرة بمثلث يعرف بـ "مثلث القدرة":

The "Power Triangle"



وباستخدام هذا المثلث القائم الزاوية يمكننا حساب قيمة أى نوع من أنواع القدرة بمعرفة قيمتى النوعين الآخرين أو بمعرفة قيمة وزاوية.

#### حساب معامل القدرة:

معامل القدرة هو النسبة بين القدرة الحقيقية (المهدرة) P والقدرة الظاهرة S. ولأن القدرة الحقيقية يمثلها الضلع المجاور لزاوية القدرة والقدرة الظاهرة تمثل الوتر في مثلث القدرة فإن معامل القدرة يساوى أيضا جيب تمام Cosine زاوية القدرة.

#### 2- القدرة الفعالة reactive power

$$Q = I^2 X \text{ (VAR)}$$

$$, Q = \frac{E^2}{X} \text{ (VAR)}$$

#### 3- القدرة الظاهرة apparent power

$$S = I^2 Z \text{ (VA)}$$

$$, S = \frac{E^2}{Z} \text{ (VA)}$$

مثال: أنظر الدارات التالية وكيفية استنتاج الثلاثة أنواع من القدرة:

١- دارة حمل مقاوم نقي:

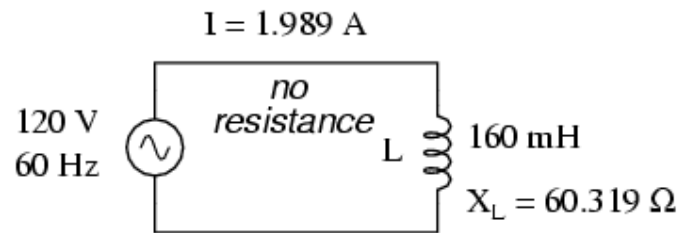


$$P = \text{true power} = I^2 R = 240 \text{ W}$$

$$Q = \text{reactive power} = I^2 X = 0 \text{ VAR}$$

$$S = \text{apparent power} = I^2 Z = 240 \text{ VA}$$

٢- دارة حمل فعال نقي:



$$P = \text{true power} = I^2 R = 0 \text{ W}$$

$$Q = \text{reactive power} = I^2 X = 238.73 \text{ VAR}$$

$$S = \text{apparent power} = I^2 Z = 238.73 \text{ VA}$$

٤- دارة حمل خليط بين الفعال والمقاوم:

ويمكن حساب معامل القدرة للدارة السابقة:

$$\text{Power factor} = \frac{\text{True power}}{\text{Apparent power}}$$

$$\text{Power factor} = \frac{119.365 \text{ W}}{169.256 \text{ VA}}$$

$$\text{Power factor} = 0.705$$

$$\cos 45.152^\circ = 0.705$$

ويجب أن تلاحظ أن معامل القدرة وكأى كمية نسبية ليس له أى تمييز.

\* فى الدارات ذات الأحمال المقاومة resistive النقية يكون معامل القدرة مساو للواحد الصحيح (تام) وذلك لأن القدرة الفعالة ستساوى صفرا وسيبدو مثلث القدرة حينها كخط أفقى منطبق على ضلع القدرة الحقيقية.

\* فى الدارات ذات الأحمال الفعالة النقية سيساوى معامل القدرة صفرا وسيبدو مثلث القدرة كخط رأسى منطبق على ضلع القدرة الفعالة لأن طول ضلع القدرة الحقيقية سيساوى صفر.

ويبدو معامل القدرة مهما فى دارات التيار المتردد لأنه عندما يقل عن الواحد الصحيح سيكون على وصلات الدارة تحمل تيار يفوق ما عليها أن تحمله فى عدم وجود أحمال فعالة وذلك لإيصال نفس القدرة الحقيقية للحمل المقاوم. ومعامل القدرة السيئ ينتج من نظام تغذية كهربية غير كفاء.

ولكن معامل القدرة السيئ يمكن أن يصحح بإضافة حمل إلى الدارة ليسحب قدرة مساوية ومعاكسة للقدرة الفعالة مما يلاشى تأثيرات الحمل الحثية. فتأثير الملفات يمكن ملاحظته بتأثير المكثفات لذا فإنه يكون علينا توصيل مكثف بالتوازي مع الدارة الموجودة بالمثال السابق (كحمل إضافى). وهذا الحمل الإضافى (المكثف) وعندما يلاشى تأثير الحمل الفعال الأسمى (الملف) تصبح معاوقة الدارة الكلية هى المقاومة فقط ويصبح معامل القدرة مساو للواحد الصحيح (تقريباً).

وبما أننا نعلم بأن القدرة الفعالة قبل التصحيح تساوى 119,998 فار (ملفات) فإن علينا حساب قيمة المكثف الذى يمكنه معادلة هذه القدرة. ولأن المكثف المضاف سيوصل على التوازي مع الحمل

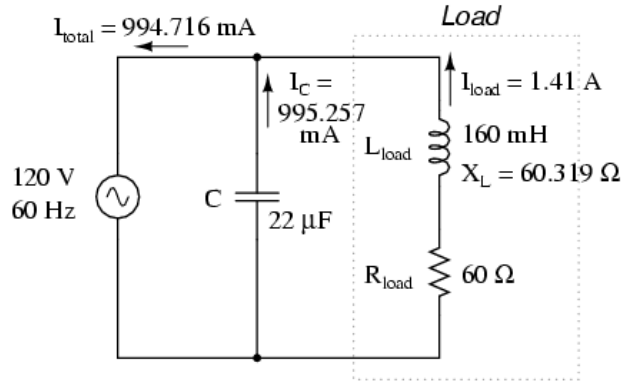
السابق فإن الجهد المسلط عليه سيكون هو جهد المصدر المعلوم لدينا ولذلك يمكننا أن نبدأ بالعلاقة بين الجهد والحمل الفعال والقدرة الفعالة:

$$Q = \frac{E^2}{X}$$

$$X = \frac{E^2}{Q} = \frac{(120)^2}{119.998(\text{VAR})} = 120.002\Omega$$

$$C = \frac{1}{2\text{pf}X_c} = \frac{1}{2\text{p} \times (60\text{Hz}) \times (120.002\Omega)} = 22.105\text{mF}$$

والآن دعنا نضع مكثف (C=22.105uF) على التوازي مع الحمل فى دارتنا السابقة.



$$Z_{total} = Z_C \parallel (Z_L + Z_R)$$

$$Z_{total} = (120.57\Omega \angle -90^\circ) \parallel (60.319\Omega \angle 90^\circ + 60\Omega \angle 0^\circ)$$

$$Z_{total} = 120.64 - j 573.58\text{m}\Omega$$

or

$$Z_{total} = 120.64\Omega \angle 0.2724^\circ$$

$$\therefore P = \text{True power} = I^2 R = 119.365\text{W}$$

$$,S = \text{Apparent power} = I^2 Z = 119.366\text{VA}$$

وبذلك قد تم تحسين معامل القدرة. كما قل التيار العام من 1,41 أمبير إلى 994,7 مللى أمبير وظلت القدرة المهذرة على المقاومة كما كانت.

$$\text{power factor} = \frac{\text{True power}}{\text{Apparent power}}$$

$$\text{power factor} = \frac{119.365\text{W}}{119.366\text{VA}} = 0.9999887$$

وبطريقة أخرى:

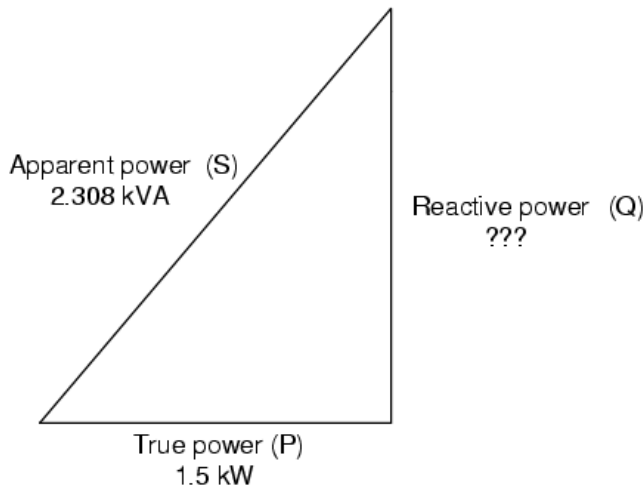
علينا أولاً حساب القدرة الظاهرة وسنعمل ذلك بضرب جهد الحمل في التيار المار به :

$$S = IE = (9.615A)(240V) = 2.308kVA$$

وبمقارنة القدرة الظاهرة (المحسوبة) والقدرة الحقيقية (المقاسة بالواط ميتر) نجد أن القدرة الظاهرة (٢,٣٠٨ كيلو فولت أمبير) أكبر بكثير من القدرة الحقيقية (١,٥ كيلو واط) وهذا يعني أن لدينا معامل قدرة سيئ.

$$\text{Power factor} = 1.5/2.308 = 0.65$$

ومن القيم المعروفة للقدرة الحقيقية والقدرة الظاهرة يمكننا رسم مثلث القدرة:



ومن مثلث القدرة وبنظرية فيثاغورث يمكن حساب القدرة الفعالة:

$$\text{Reactive power} = \sqrt{(\text{Apparent power})^2 - (\text{True power})^2}$$

$$\therefore Q = 1.754 \text{ KVAR}$$

لو كان الحمل هو محرك كهربى فإنه سيكون له معامل قدرة متأخر lagging (حتى) مما يعنى بأن علينا تصحيحه بإضافة مكثف بحجم مناسب وموصول بالتوازي مع الحمل. ولحساب قيمة المكثف المطلوب:

$$\therefore Q = \frac{E^2}{X}$$

$$\therefore X = \frac{E^2}{Q} = \frac{(240)^2}{1.754 \text{ KVAR}} = 32.845\Omega$$

$$\therefore \text{impedance angle} = 0.272^\circ$$

$$\therefore \cos(0.272^\circ) = 0.9999887$$

تدل زاوية المعاوقة impedance angle الموجبة على أن الحمل الحثى inductive لازال أكبر من الحمل السعوى capacitive ولو وصلنا بها إلى الصفر (معامل القدرة=١) فإن ذلك يعنى أن الحمل أصبح مقاوم نقى وفى حال وجود زاوية حمل سالبة فإن ذلك مؤشر على أن الحمل السعوى أصبح أكبر من الحمل الحثى.

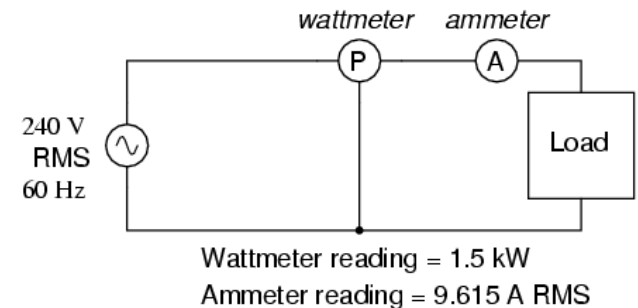
ويجب ملاحظة أن وجود حمل سعوى كبير جدا فى الدارة (مكثفات) سيقفل من معامل القدرة أيضا. ولذلك عليك الحذر من المبالغة فى تصحيح معامل القدرة بإضافة مكثفات كثيرة جدا للدارة. كما عليك أن تستخدم مكثفات مناسبة للجهود المستخدمة فى الدارة وأن تكون قادرة على تحمل المستويات المتوقعة للتيار.

\* لو كان الحمل الحثى (الملفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة متأخر lagging (لأن تيار الدارة متأخر عن جهدها). أما لو كان الحمل السعوى (المكثفات) هو الغالب فإننا نقول أن معامل القدرة قائد leading .

### التصحيح العملى لمعامل القدرة:

ستكون محظوظا لو لديك جهاز لقياس معامل القدرة power factor meter مباشرة إذا أردت تحسين معامل القدرة فى نظام كهربى متردد التيار الذى سيعطيك قراءة تتراوح من الصفر إلى الواحد الصحيح. أما لو لم يكن لديك هذا الجهاز فيمكنك قياس القدرة الظاهرة بضرب قيمتى الجهد والتيار الممكن قياسهما بسهولة وقياس القدرة الحقيقية بجهاز واط ميتر wattmeter ، ومن ثم حساب معامل القدرة من النسبة بينهما.

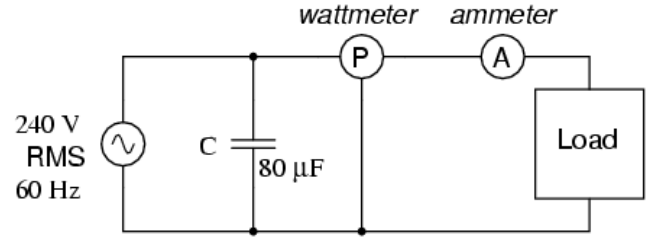
وإليك هذا المثال:



$$\therefore X_c = \frac{1}{2pfC}$$

$$\therefore C = \frac{1}{2pfX_c} = 80.761\mu F$$

إذن قيمة المكثف المطلوبة هي ٨٠,٧٦١ ميكروفاراد وتتم إضافته:



وبما أن الفرق في الطور بين تيار المكثف و تيار الملف يساوى ١٨٠ درجة فسيلاشى كلاهما الآخر.

وبحساب القدرة الظاهرة كما سبق فإنها ستساوى ١,٥٠٠٠٩ كيلو فولت أمبير . ولأن القدرة الحقيقية سنظل ثابتة بعد إضافة المكثف فإن معامل القدرة الجديد سيساوى 0.99994 كما سيقبل التيار من 9.615 أمبير إلى 6.25 وهذا يعنى فقدا حراريا أقل فى توصيلات الدارة مما يزيد من كفاءة الدارة ككل.

أنتهى ..