

## 1. A CORRENTE ALTERNA

### 1.1. VANTAXES DA CORRENTE ALTERNA

Ao comezo do desenvolvemento dos sistemas eléctricos, a electricidade producíase en forma de corrente continua mediante dínamos. Este tipo de xerador resultaba máis complexo e difícil de manter que os alternadores. Ademais a enerxía non se podía transportar a grandes distancias, xa que non había ningún sistema práctico que fose capaz de elevar e reducir a tensión de grandes cantidades de enerxía.

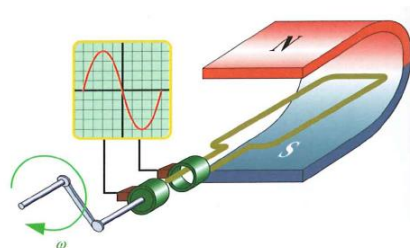
En canto ao consumo de enerxía eléctrica, os motores de corrente alterna son máis sinxelos e robustos que os de corrente continuo e resultan axeitados para a maioría das aplicacións. Naqueles usos onde se precisa corrente continua (aparells electrónicos, tratamentos electroquímicos, recarga de acumuladores, motores de corrente continua...). A conversión de CA en CC é sinxela e barata grazas aos rectificadores a base de díodos.

Denomínase **corrente alterna** á corrente eléctrica na que a magnitude e a dirección varían constantemente.

### 1.2. PRODUCCIÓN DUNHA CORRENTE ALTERNA

#### Repaso trigonometría básica

Na seguinte figura móstrase o aspecto dun alternador elemental. Consta dun campo magnético fixo producido por un imán, dentro do cal faise xirar un condutor eléctrico en forma de espira. Cando os condutores cortan no seu movemento xiratorio, as liñas de campo prodúcese neles unha f.e.m. de indución que se mostra como unha tensión  $V$  nos extremos da espira. Os extremos da espira están conectados a un par de aneis condutores situados no eixo de xiro da espira. Os receptores conéctanse a través dunhas vasoiras fixas de grafito que mediante friccionamiento conseguen un contacto aceptable cos aneis colectores.



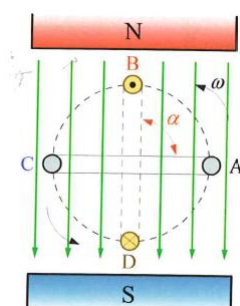
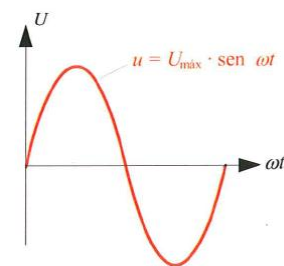
A tensión que aparece nos terminais da espira é variable e posúe forma de senoide. **Unha corrente alterna senoidal caracterízase porque a corrente e a tensión están cambiando a cada momento de valor e de sentido**, segundo un ciclo repetitivo.

O valor instantáneo da tensión é:

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

Onde:

- $V_{\max}$  é o valor máis alto que alcanza a tensión.
- $\omega$  é a velocidade angular que subministra o alternador ( $\omega = \alpha/t$ ).
- $t$  é o tempo.



Dado un alternador elemental, a espira xira no seo dun campo magnético a unha certa velocidade angular  $\omega$ .

No seu xiro os condutores da espira cortan o campo magnético, polo que aparece neles unha f.e.m. inducida. Estudando as distintas posicións que toma a espira respecto ao campo magnético, pódese comprobar que o corte da espira non é sempre perpendicular ao campo magnético. Nos puntos B e D o corte é perpendicular. Nos puntos A e C os condutores móvense paralelamente ao campo magnético, polo que aí a f.e.m.

inducida é cero. Ao moverse o condutor entre calquera destes puntos aparece un ángulo de corte que está entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . Ao longo dun ciclo completo f.e.m. inducida varía segundo a curva adxunta.

A f.e.m. inducida terá entón un valor de:

$$\varepsilon = B \cdot l \cdot v \cdot \cos \gamma$$

Onde:

- $\varepsilon$  é a f.e.m. inducida en voltios
- $B$  é a indución magnética en teslas
- $l$  a lonxitude en metros
- $v$  é a velocidade do condutor en m/s
- $\cos \gamma$  é o coseno do ángulo co que se move o condutor respecto á perpendicular do campo magnético.

Cando o movemento do condutor é en sentido xiratorio no seo dun campo magnético, este móvese cunha velocidade angular  $\omega$ . No punto A móvese cunha velocidade tanxencial  $v$ . Descompoñendo esta velocidade na súa compoñente perpendicular respecto ás liñas de campo, terase que:

$$\varepsilon = B \cdot l \cdot v \cdot \cos \gamma$$

O ángulo de xiro  $\alpha$  e o ángulo da compoñente perpendicular  $\gamma$  son complementarios, e como o ángulo  $\alpha = \omega t$ , entón:

$$\varepsilon = B \cdot l \cdot v \sin \alpha = B \cdot l \cdot v \sin \omega t$$

Os valores de  $B$ ,  $l$  e  $v$  adoitan ser constantes nun alternador e coinciden co valor máximo da f.e.m.. polo que pode expresarse o valor instantáneo da f.e.m. como:

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

A velocidade angular  $\omega$  coñécese polo nome de pulsación da corrente e exprésase en radiáns/segundo. A forza electromotriz segue os cambios da función senoidal como se pode ver na figura.

- No punto **A**: o condutor móvese en dirección paralela á liñas de forza,  $\alpha=0^\circ$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin 0^\circ = 0$ .

- No punto **B**: o condutor móvese cun ángulo de  $45^\circ$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin 45^\circ$ .

- No punto **C**: o ángulo é de  $90^\circ$ , alcázase o valor máximo da forza electromotriz:  $\uparrow \varepsilon = \varepsilon_{\max} \sin 90^\circ = \varepsilon_{\max}$ .

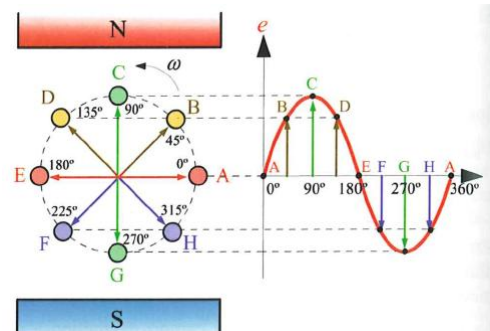
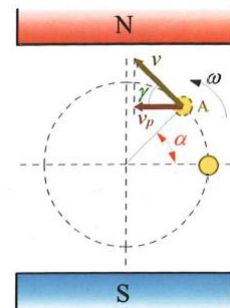
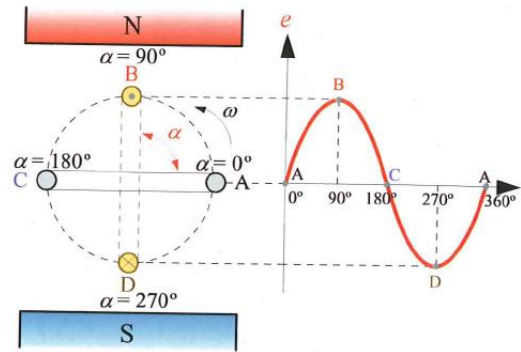
- No punto **D**: o ángulo é de  $135^\circ$ , e a f.e.m. alcanza o mesmo valor que no punto B.

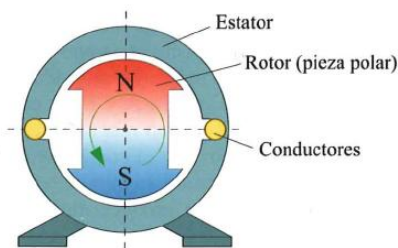
- No punto **E**: o ángulo é de  $180^\circ$  e o condutor móvese en dirección paralela ás liñas de forza, polo que  $\varepsilon = 0$ .

- No punto **F**: Invértese o sentido do movemento do condutor e, con el, o da f.e.m. .

- No punto **G**: Alcázase o valor máximo negativo:  $\varepsilon_{\max} \sin 270^\circ = -\varepsilon_{\max}$ .

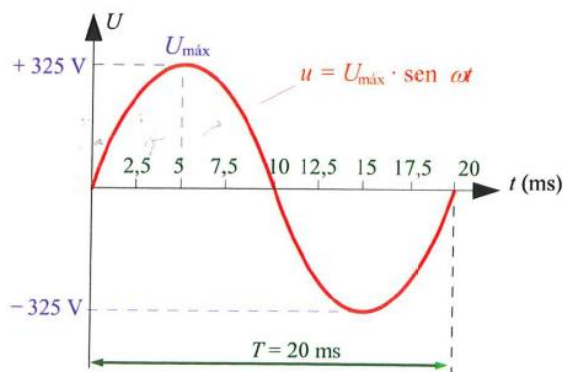
- No punto **A**: Complétase unha volta do condutor e con ela cóbrese o ciclo completo.





Na práctica, os alternadores constrúense de tal xeito que o que se pon en movemento son as pezas polares que producen o campo magnético indutor. No estator sitúanse os condutores onde se xera a f.e.m. de indución cando son cortados polo campo magnético en movemento.

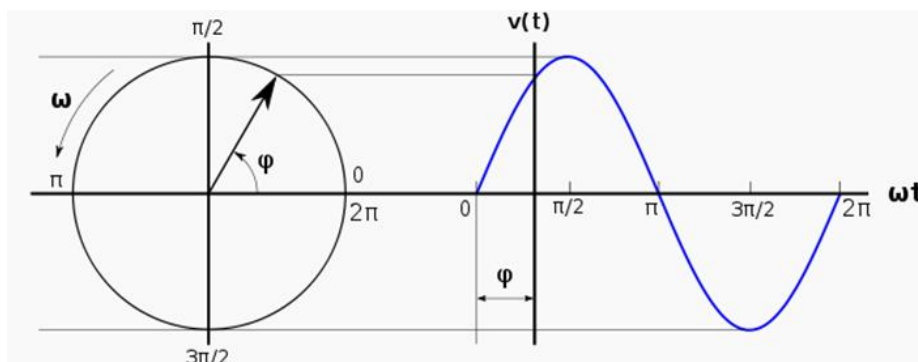
### 1.3. VALORES CARACTERÍSTICOS DA CORRENTE ALTERNA



Ao representar nun gráfico a tensión que aparece no alternador en función do tempo ou do ángulo de xiro, aparece unha curva que se coñece co nome de **senoide** que a na tensión queda en función do seno do ángulo  $\alpha$  de xiro. Represéntanse na figura os valores que dunha tensión alterna senoidal de 230 V e frecuencia 50 Hz, ou sexa 50 ciclos por segundo.

Hai outra posible representación das magnitudes senoidais que é representación vectorial ou de Fresnel: mediante un fasor ou vector xiratorio de

módulo o valor máximo da función e que xira cun movemento circular uniforme describindo unha rotación completa no tempo dun período, cunha velocidade  $\omega$ .



<http://www.tuveras.com/electrotecnia/vectores/fresnel.htm>

Imos definir unha serie de parámetros precisos para o estudo da corrente alterna

#### Frecuencia (f)

É o número de veces que se repite o sinal de corrente alterna nun segundo represéntase pola letra  $f$  e mídese en ciclos por segundo, hercios (Hz). O sinal gradúase tamén en graos, de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . En Europa a frecuencia da rede está normalizada a 50 Hz.

#### Período (T)

O período é o tempo que transcorre nun ciclo completo, polo que é a inversa da frecuencia. Désígnase coa letra  $T$  e mídese en segundos.

$$T = \frac{1}{f}$$

No sinal da tensión á frecuencia industrial de 50 Hz, o período é de 20 ms. Isto quere dicir que un alternador en 1 segundo daría:

$$T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

#### O desfase ( $\varphi$ )

É a diferenza de tempo (ou graos) entre dous valores de corrente alterna (tensión, intensidade). Adoita expresarse en graos. Cando o seu valor é 0º, dise que ambos dous valores están en fase.

### Valor instantáneo (v, i)

É o valor que toma a tensión en cada instante de tempo seguindo a función senoidal

$$v = V_{m\acute{a}x} \sin \omega t$$

No exemplo existen todos aqueles valores instantáneos entre 0 e 325 V e entre 0 e -325V.

1. Cal sería a tensión instantánea no exemplo para un ángulo de xiro de 30º do alternador elemental?

### Valor máximo (V<sub>max</sub>, I<sub>max</sub>)

O maior valor que alcanza en cada ciclo o sinal. No exemplo do inicio será 325 V.

### Valor eficaz (V<sub>ef</sub>, I<sub>ef</sub> ou V, I)

A tensión alterna cambia constantemente entón cómpre determinar un valor intermedio para poder realizar cálculos e medidas, está é a tensión eficaz. No exemplo a tensión eficaz é 230 V e é a que mide un voltímetro de corrente alterna. A tensión eficaz é o valor que en corrente continua produce os mesmos efectos caloríficos nunha resistencia eléctrica.

Para unha corrente alterna senoidal a tensión eficaz é  $\sqrt{2}$  veces máis pequena que a tensión máxima:

$$V_{ef} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

A intensidade tamén varía de xeito. A intensidade eficaz é o valor intermedio que produce os mesmos efectos enerxéticos que unha corrente continua do mesmo valor, e é a medida que indicará un amperímetro de C.A. Aplicando a lei de Ohm, terase que:

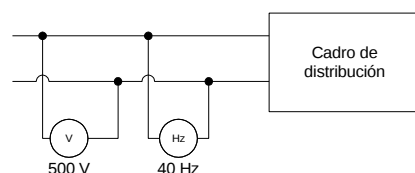
$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R}, \quad \text{sendo} \quad I_{ef} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

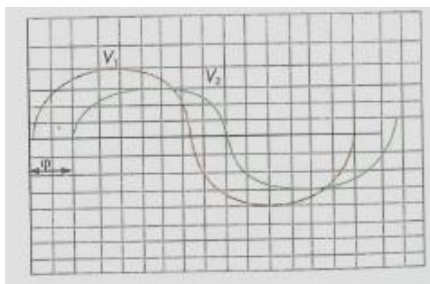
### Valor medio

É a media de todos os valores nun ciclo completo, neste caso é cero, xa que a metade dos valores son positivos e a outra metade negativos. Os aparellos de medida de corrente continuo miden exclusivamente o valor medio, por iso ao realizar unha medida un voltímetro ou amperímetro de corrente continua nun sistema de corrente alterna, sempre dará unha medida de cero.

## EXERCICIOS

2. Cal é o valor eficaz dunha tensión alterna se o seu valor máximo é 325 V?
3. Cal é o valor máximo dunha tensión alterna de 125 V?
4. Conéctase unha resistencia de 100  $\Omega$  a unha rede de C.A. de 230 V. Determinar o valor eficaz e máximo da corrente.
5. Cal será o valor da frecuencia dunha corrente alterna senoidal de mediante un osciloscopio se determina que o seu período é de 0,010 s?
6. Determinar o período que lle corresponde á frecuencia da rede eléctrica americana se a súa frecuencia é de 60 Hz.
7. Na seguinte figura móstrase o esquema de conexión dun frecuencímetro e de un voltímetro de C.A. conectados á entrada de un quadro de distribución. As lecturas dos aparellos de medida son 40 Hz e 500 V, respectivamente. Determinar o período e o valor máximo





da tensión.

8. A figura está graduada de tal xeito que cada cadro horizontal vale  $30^\circ$  e cada cadro vertical vale 2 V.

- Mide o desfase entre os dous sinais.
- Mide o valor máximo do sinal e calcula o valor eficaz.
- Representa de xeito vectorial as dúas tensións.

## Relación entre a frecuencia e a velocidade angular

A velocidade angular,  $\omega$ , coa que xira o alternador e a frecuencia,  $f$ , están directamente relacionadas. Para que un alternador, con un par de polos, produza unha frecuencia de 50 Hz, precisa xirar a unha velocidade ( $n$ ) de 50 revolucións por segundo:

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{50 \cdot 2\pi}{1} = 100\pi \text{ rad/s}$$

Nunha revolución cubre un ángulo,  $\alpha$ , igual a  $2\pi$  radiáns e o tempo é igual a un período ( $t=T$ )

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

9. Calcular o valor instantáneo que alcanzará unha tensión de 50 Hz se o valor máximo é 311 V e o tempo 0,003 s?

## 2. RECEPTORES ELEMENTAIS EN CORRENTE ALTERNA

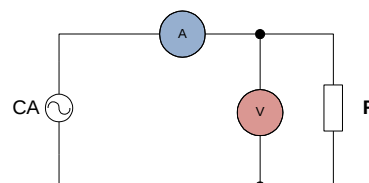
### 2.1. Circuito con resistencia pura

Unha resistencia pura, compórtase de xeito moi semellante en corrente alterna que en corrente continua. Neste caso tamén se cumpre a lei de Ohm, pero agora aplícaselle aos valores eficaces de tensión e intensidade, que son os que medirían un voltímetro e un amperímetro respectivamente:

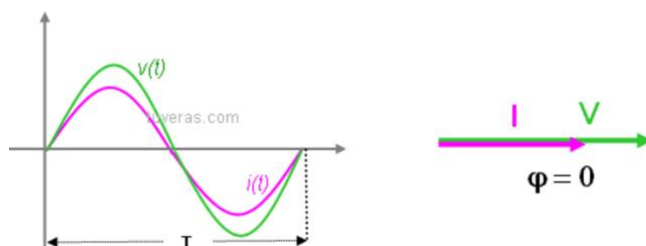
$$I = \frac{V}{R}$$

Onde:

- $I$  é a intensidade eficaz en amperes.
- $V$  é a tensión eficaz en voltios.
- $R$  é a resistencia en  $\Omega$ .



Dado que a tensión que se lle aplica a resistencia varía segundo a forma dunha senoide, a intensidade de corrente tamén é unha senoide, tal como se aprecia na figura.



Pódese observar que cando a tensión  $V$  aumenta tamén o fai a intensidade e que cando diminúe  $V$  tamén o fai  $I$ , alcanzando os valores máximos e mínimos á vez. Dise que **tensión e intensidade están en fase**.

Na figura tamén se representa o diagrama vectorial de  $V$  e  $I$ . Estas magnitudes aparecen debuxadas como dous vectores que xiran á velocidade  $\omega$ , no sentido contrario ás agullas do

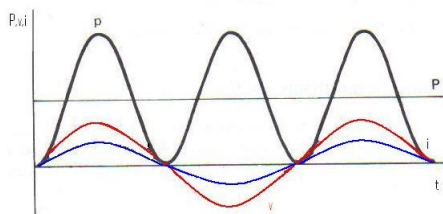
reloxo. O valor instantáneo destas magnitudes correspóndese coa proxección destes vectores sobre o eixo Y.

## Potencia con unha resistencia

Como a tensión e a corrente son variables a potencia coa que traballa a resistencia tamén o será. A potencia instantánea é o produto dos valores instantáneos de  $v$  e  $i$ .

$$p = v \cdot i$$

Na seguinte figura obtense a curva da potencia instantánea. A potencia nunha resistencia é sempre positiva, o receptor absorbe en todo momento enerxía do xerador.



A potencia consumida pola resistencia chámase Potencia activa. Calcúlase obtendo a potencia media da potencia instantánea, ou multiplicando os valores eficaces de tensión e intensidade:

$$P = V \cdot I \quad P = I^2 \cdot R$$

10. Determinar a corrente e a potencia activa que aparecerán nunha resistencia pura de  $50 \, \Omega$  se se somete a unha tensión alterna senoidal de  $230 \, \text{V}$ . Debuxar o diagrama vectorial.

## 2.2. Circuito con bobina

As bobinas están presentes en todos receptores nos que sexa necesaria a produción dun campo magnético: electroimáns, contactores, motores, reactancias ...

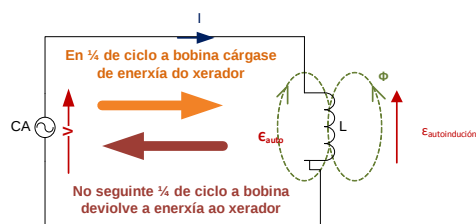
Para estudar as bobinas vaise partir do feito de que a resistencia das bobinas é cero, aínda que isto sexa falso posto que os condutores que conforman as bobinas posúen unha certa resistencia.

Cando se conecta unha bobina a unha corrente alterna compróbase experimentalmente que circula unha intensidade, pero se se conecta un vatímetro compróbase que a potencia consumida é practicamente nula a pesar da circulación de intensidade. Conclúese, entón, que a bobina desenvolve unha certa oposición á corrente eléctrica pero de carácter totalmente distinto á resistencia óhmica.

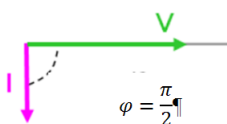
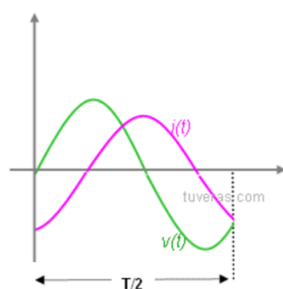
O que ocorre explícase co efecto da autoindución: cando a bobina é percorrida por unha corrente variable aparece un campo magnético variable e xurde unha f.e.m. de autoindución, que se opón á devandita variación.

Cando a corrente crece, o campo magnético tamén o fai, aparece unha f.e.m. que se opón a ese crecemento, así, a bobina estase a cargar de enerxía magnética.

Cando a corrente diminúe tamén o fai o campo magnético, entón xérase unha f.e.m. de autoindución que se opón a que a corrente desapareza. Agora a bobina descarga cara ao xerador a enerxía magnética



O resultado é que a corrente presenta un retraso de  $90^\circ$  con respecto á tensión. É dicir o ángulo de **desfase entre tensión e intensidade é  $\varphi = 90^\circ$  en atraso.**



### Reactancia indutiva

Canto maior sexa o coeficiente de autoindución,  $L$ , e canto maior sexa a frecuencia,  $f$ , maior será a oposición da bobina ao paso de corrente. Chámase **reactancia indutiva**,  $X_L$ , á oposición que presenta a bobina ao paso de corrente, e calcúlase:

$$X_L = 2\pi fL$$

Onde:

- $X_L$  é a reactancia indutiva e mídese en ohmios [ $\Omega$ ].
- $f$  é a frecuencia en hercios [Hz].
- $L$  é o coeficiente de autoindución en henrios [H].

Para calcular o valor eficaz da corrente nunha bobina aplicarase a seguinte expresión, moi semellante á lei de Ohm:

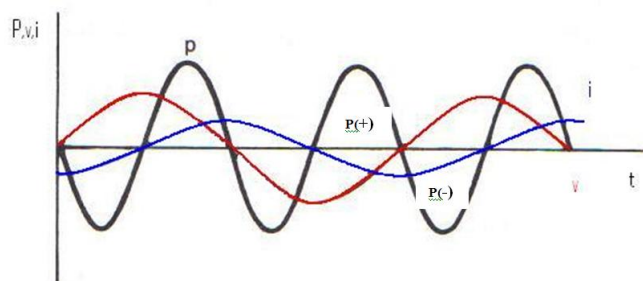
$$I = \frac{V}{X_L}$$

### Potencia con unha bobina

Nunha bobina non se produce ningún consumo de enerxía calorífica. A corrente que percorre a bobina serve unicamente para xerar o campo magnético

O que ocorre é que ao intentar crecer a corrente a enerxía flúe do xerador cara á bobina, estase a cargar de enerxía electromagnética. Unha vez alcanzada a corrente máxima, esta tende a diminuír, desenvólvese entón unha f.e.m. de autoindución que xera unha enerxía eléctrica que flúe agora dende a bobina cara ao xerador. De este xeito terase que a bobina non consome realmente enerxía, tómaa prestada durante un cuarto de ciclo para xerar o seu campo magnético e logo devólvea no seguinte cuarto de ciclo.

Na seguinte figura represéntanse os valores instantáneos de tensión e intensidade,  $v$  e  $i$ , e o produto de ambos,  $p = v \cdot i$ . Obsérvase que a potencia media é cero.



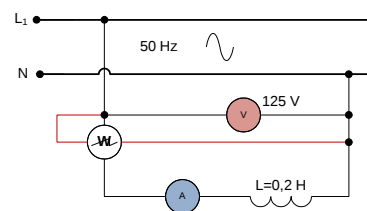
Aínda que a bobina non consuma enerxía real para o seu funcionamento, as súas constantes cargas e descargas fan que circule unha determinada corrente polos condutores e, polo tanto, tamén aparece unha potencia que flutúa por estes, que se chama **potencia reactiva**,  $Q_L$ .

$$Q_L = I^2 \cdot X_L$$

Onde:

- $Q_L$  é a potencia reactiva, mídese en voltiamperes reactivos [VAR].
- $I$  é a intensidade en amperes [A].
- $X_L$  é a reactancia indutiva en ohmios [ $\Omega$ ].

11. Conéctase unha bobina cun coeficiente de autoindución de 0,2 H a unha rede de C.A. de 50 Hz, tal como mostra a figura. Se o voltímetro indica unha tensión de 125 V, achar as lecturas do amperímetro e do vatímetro, así como a potencia reactiva da



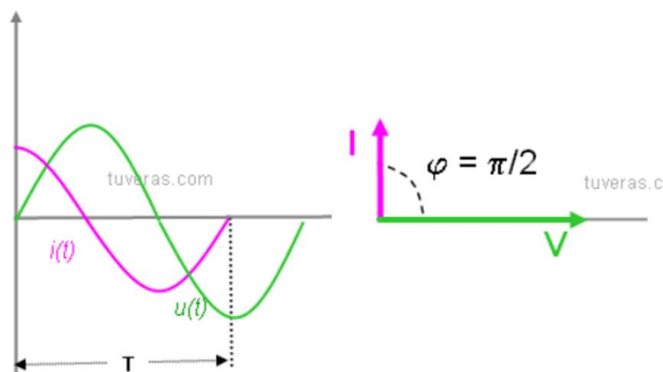
bobina. Debuxa o diagrama vectorial.

### 2.3. Circuito con condensador

Os condensadores non son receptores habituais de corrente alterna, pero son moi útiles para contrarrestar os fenómenos negativos das bobinas.

Ao aplicar a tensión ao condensador, como está totalmente descargado, aparece unha corrente de carga. Cando aumenta a carga do condensador a súa tensión aumenta mentres que a intensidade vai diminuindo. Cando remata de cargar a intensidade é cero e a tensión alcanza o seu valor máximo. Pódese dicir que o condensador adianta a corrente con respecto á tensión. No diagrama vectorial ese desfase correspóndese a un ángulo de  $90^\circ$ . Cando a tensión aplicada ao condensador comeza o seu descenso, este descarga a enerxía acumulada no  $\frac{1}{4}$  de ciclo anterior e aparece unha corrente de descarga polo circuito.

Un condensador puro **adianta un ángulo de  $90^\circ$  á corrente con respecto á tensión.**



#### Reactancia capacitiva

Un condensador en corrente alterna fai que flúa constantemente unha corrente eléctrica polo circuito debido as constantes cargas e descargas do mesmo. A corrente nunca chega a atravesar o dieléctrico do condensador, pero si flúe polos condutores.

A corrente que flúe polo circuito será maior canto maior sexa a capacidade do condensador e canto máis rápidas sexan as cargas e descargas do mesmo, é dicir da frecuencia. Chamándolle reactancia capacitiva,  $X_c$  á oposición que presenta o condensador á corrente:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Onde:

- $X_c$  é a reactancia capacitiva e mídese en ohmios  $[\Omega]$ .
- $f$  é a frecuencia en hercios  $[Hz]$ .
- $C$  é a capacidade do condensador en faradios  $[F]$ .

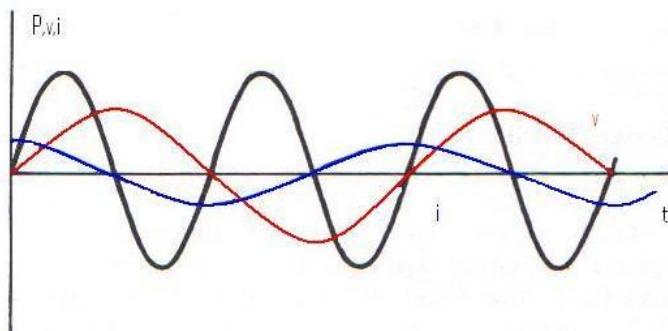
Para calcular o valor eficaz da corrente nun condensador aplicárase a seguinte expresión, moi semellante á lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{X_c}$$

#### Potencia nun condensador

Nun condensador tampouco se produce ningún consumo de enerxía calorífica. No primeiro cuarto de ciclo o condensador cárgase de enerxía electrostática, a enerxía flúe do xerador cara ao condensador. No seguinte cuarto de ciclo o condensador descárgase cara ao xerador e devólvelle a enerxía acumulada.

Ao representar a potencia instantánea no condensador,  $p = v \cdot i$ , tal como se mostra na figura seguinte, a potencia activa media é cero.



A corrente que flúe cara ao condensador serve só para producir cargas e descargas constantes do mesmo. Ademais, aquí tamén aparece unha **potencia reactiva  $Q_c$**  producida pola enerxía que se intercambia entre o condensador e o xerador:

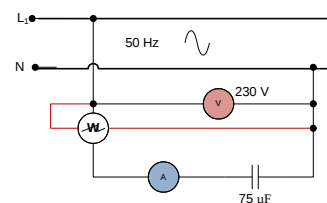
$$Q_c = I^2 \cdot X_c$$

Onde:

- $Q_c$  é a potencia reactiva, mídese en voltiamperes reactivos [VAR].
- $I$  é a intensidade en amperes [A].
- $X_c$  é a reactancia capacitiva en ohmios [ $\Omega$ ].

Pódese comprobar que cando a bobina descarga a súa enerxía eléctrica acumulada en forma de campo magnético, prodúcese o ciclo de carga do condensador, e viceversa. Pódese dicir que a potencia reactiva do condensador é negativa respecto á bobina e que polo tanto os seus efectos compénsase.

12. Conéctase un condensador de  $75 \mu\text{F}$  a unha rede de C.A. de 50 Hz, tal como mostra a figura. Se o voltímetro indica unha tensión de 230 V, achar as lecturas do amperímetro e do vatímetro, así como a potencia reactiva do condensador. Debuxa o diagrama vectorial.



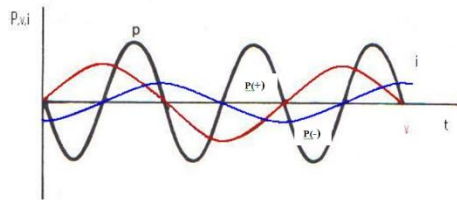
Un resumo dos efectos que producen os receptores elementais en corrente alterna sería:

| Receptor     | Diagrama cartesiano | Resistencia Reactancia    | Desfase entre V e I                 | Potencia                                     | Diagrama vectorial |
|--------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| <b>R</b><br> |                     | R                         | En fase                             | Activa<br>$P = I^2 \cdot R$                  |                    |
| <b>L</b><br> |                     | $X_L = 2\pi fL$           | I atrasase $90^\circ$ respecto a V  | $P = 0$<br>Reactiva<br>$Q_L = I^2 \cdot X_L$ |                    |
| <b>C</b><br> |                     | $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ | I adiantase $90^\circ$ respecto a V | $P = 0$<br>Reactiva<br>$Q_C = I^2 \cdot X_C$ |                    |

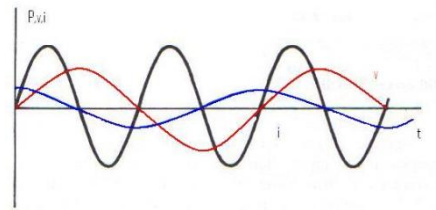
En relación coa potencia instantánea dunha bobina e un condensador, pódese dicir que cando

a bobina esta a descargar enerxía o condensador cárgase. A potencia reactiva do condensador é negativa con respecto á da bobina, polo tanto os seus efectos compénsanse.

Circuíto con bobina



Circuíto con condensador



13. Calcular a reactancia dunha bobina de 3 H e un condensador de 20  $\mu\text{F}$  nos seguintes casos:

- Se están conectados a unha rede de 50 Hz.
- Se están conectados a unha rede de 100 Hz.

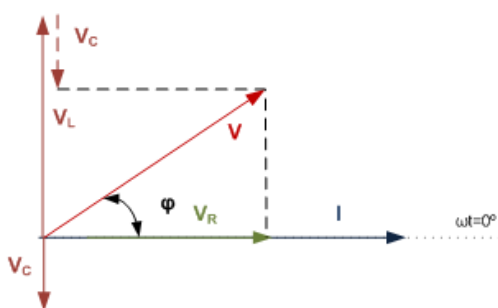
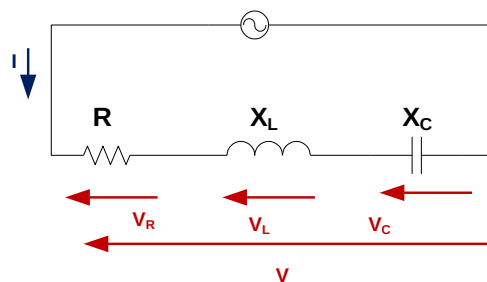
### 3. CIRCUITOS SERIE R-L-C EN CORRENTE ALTERNA

#### 3.1. Circuito RLC

Un circuito R-L-C ser está composto por unha resistencia en serie cunha bobina de reactancia indutiva  $X_L$  e un condensador cunha reactancia capacitiva  $X_C$ , todos eles alimentados por unha corrente alterna sinusoidal.

Na seguinte figura móstrase o diagrama vectorial correspondente ao devandito circuito. As caídas de tensión na bobina e no condensador,  $V_L$  e  $V_C$ , quedan en oposición. Logo, a suma vectorial destas tensións convértese nunha resta aritmética.

As tensións que aparecen nos distintos elementos son.

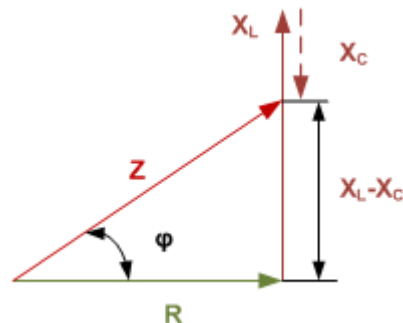


$$V_R = IR \quad V_L = IX_L \quad V_C = IX_C$$

$$\vec{V} = \vec{V}_R + \vec{V}_L + \vec{V}_C$$

#### Triángulo de impedancias

Dividindo os lados do triángulo de tensións entre a intensidade, obtérase o triángulo de impedancias, onde se observa que as reactancias da bobina e do condensador quedan tamén en oposición. Neste exemplo a reactancia indutiva é maior que a reactancia capacitiva. Para obter a impedancia tomárase a reactancia total, que é a resta da reactancia indutiva menos a capacitiva, e a resistencia.



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

Unha vez obtida a impedancia xa se pode calcular a intensidade da corrente eléctrica:

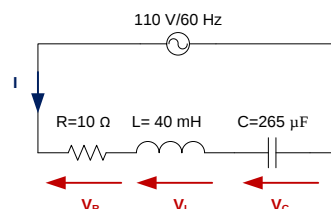
$$I = \frac{V}{Z}$$

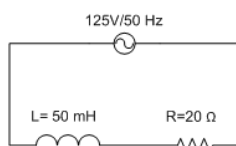
Neste caso predomina a reactancia indutiva sobre a capacitiva, prodúcese un ángulo de retraso  $\varphi$  da corrente respecto da tensión. Para calcular este ángulo recórrase ao triángulo de impedancias, ao que se lle aplica calquera das funcións trigonométricas

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$

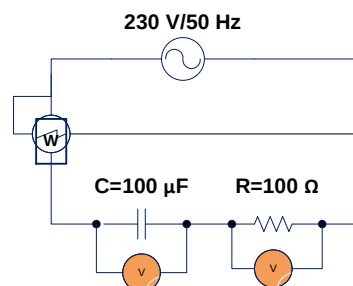
#### EXERCICIOS

14. Achar os valores de  $Z$ ,  $I$ ,  $V_R$ ,  $V_L$ ,  $V_C$ , do circuito serie R-L-C da figura. Debuxar o diagrama vectorial.





15. O circuito equivalente da bobina dun contactor é o que representa a figura. O circuito consta dunha resistencia de  $20\ \Omega$  e dunha bobina pura cun coeficiente de autoindución de  $50\text{ mH}$ . Obter os valores de  $Z$ ,  $I$ ,  $\phi$ ,  $V_R$  e  $V_L$  se se aplica unha tensión senoidal de  $125\text{ V}$  e  $50\text{ Hz}$ . Debuxar o diagrama vectorial de  $V$  e  $I$  e o triángulo de impedancias.

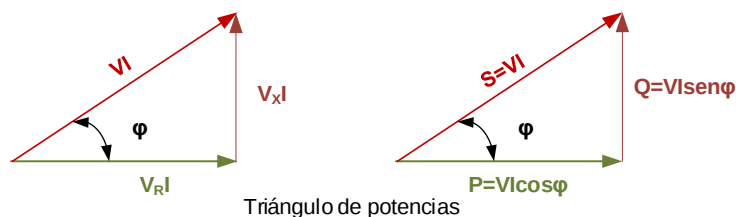


16. Na figura móstrase un circuito serie R-C. Obter os valores de  $Z$ ,  $I$ ,  $\phi$ ,  $V_R$  e  $V_C$  se se aplica unha tensión senoidal de  $230\text{ V}$  e  $50\text{ Hz}$ . Debuxar o diagrama vectorial de  $V$  e o triángulo de impedancias  $I$ .

### Potencia nun circuito R-L-C

Nun circuito con resistencia, bobina e condensador pódese observar que existe un consumo de enerxía eléctrica que se transforma en calor a causa da resistencia  $R$ . Por outra banda na bobina estanse producindo constantes cargas e descargas de enerxía en forma de campo electromagnético e no condensador tamén se están producindo constantes cargas e descargas en forma de campo eléctrico. Isto fai que coexistan distintos tipos de potencias no circuito.

Ao multiplicar o triángulo de tensións pola intensidade obtérase o triángulo de potencias:



Aparecen tres tipos de potencias:

- **Potencia activa(P):** é o tipo de potencia que transforma en calor a resistencia. É a única potencia que realmente se consome no circuito, a que aporta o xerador. É a potencia que miden os vatímetros e calcúlase:

$$P = I^2 R = V_R I$$

A súa unidade é o vatio. Segundo o triángulo de potencias, para calcular a potencia activa de calquera circuito, pódese utilizar a seguinte expresión:

$$P = VI \cos \phi$$

- **Potencia reactiva(Q):** é a potencia coa que se cargan e descargan constantemente a bobina e o condensador ( $Q_C$  e  $Q_L$ ). É unha potencia que non se consome, intercámbiase entre bobina e condensador e a fonte de alimentación, facendo fluír unha corrente extra polos condutores e calcúlase:

$$Q_L = I^2 (X_L - X_C) = I^2 X$$

A súa unidade é o voltiamperre reactivo (VAR). Segundo o triángulo de potencias, para calcular a potencia reactiva de calquera circuito, pódese utilizar a seguinte expresión:

$$Q = VI \sin \phi$$

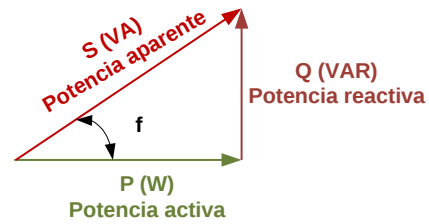
- **Potencia aparente (S):** é a potencia total que transportan os condutores que alimentan ao circuito. Sumando vectorialmente a potencia activa e a reactiva obtense a aparente.

Adoítase representar pola letra  $S$  e a súa unidade de medida é o voltampere (VA). Para calcular a potencia aparente úsase a expresión:

$$S = VI$$

Do triángulo de potencias dedúcese que a potencia aparente tamén é:

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



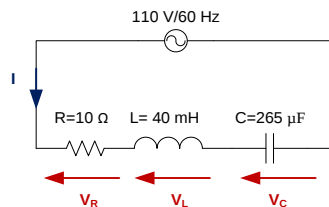
O **factor de potencia (FP)** é a relación que existe entre a potencia activa e a aparente

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi$$

Observando o triángulo de potencias compróbase que o factor de potencia coincide co valor do coseno de  $\varphi$ , ángulo de desfase entre tensión e intensidade. O factor de potencia indica a cantidade de potencia que existe nun circuíto respecto á potencia total aparente.

### EXERCICIOS

17. Dado o circuíto do exercicio 14, achar os valores  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  e o factor de potencia. Debuxar o triángulo de potencias



18. Conéctanse en serie unha bobina de reactancia inductiva igual a  $20 \Omega$  cunha resistencia de  $40 \Omega$  a unha tensión de  $100 \text{ V}$ . Achar a potencia activa, reactiva, e aparente do circuíto, así como o factor de potencia. Debuxar o triángulo de potencias e valorar o significado do factor de potencia obtido.
19. As características dunha lámpada fluorescente son as seguintes:  $P=40 \text{ W}$ ,  $V=230 \text{ V}$ ,  $\cos\varphi=0,6$ . Determinar a intensidade, a potencia reactiva e aparente e o circuíto equivalente.
20. Dado o circuíto do exercicio 16, achar a lectura do vatímetro, os valores da potencia activa, da potencia reactiva e o factor de potencia. Debuxar o triángulo de potencias

### 3.2. IMPORTANCIA PRÁCTICA DO FACTOR DE POTENCIA

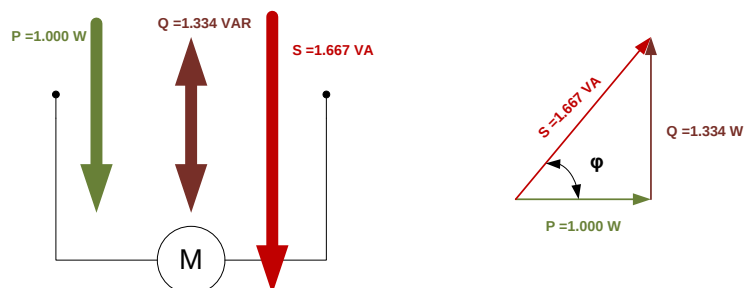
Poñamos como exemplo un motor monofásico de  $1.000 \text{ W}$  a  $230 \text{ V}$  cun  $\cos\varphi=0,6$ . Estes datos indican que o motor desenvolve unha potencia mecánica equivalente aos  $1000 \text{ W}$  de potencia activa subministrados pola rede. Por outra banda o factor de potencia é bastante baixo o que demostra unha potencia reactiva elevada. Esta potencia reactiva non se transforma en traballo útil no motor, pero si fai que a compañía subministradora proporcione unha potencia aparente que realmente non se consume. En consecuencia prodúcese un aumento de intensidade polos condutores das liñas que repercuten directamente nos custos das instalacións eléctricas. No noso caso:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1000}{0,6} = 1667 \text{ VA}$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0,6 = 53,13^\circ$$

$$Q = S \sin \varphi = 1667 \sin 36,87^\circ = 1334 \text{ VAR}$$

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} = 7,25 \text{ A}$$



Dos datos obtidos dedúcese que o motor produce un consumo de 1.000 W pero precisa un subministro de 1.667 VA para traballar.

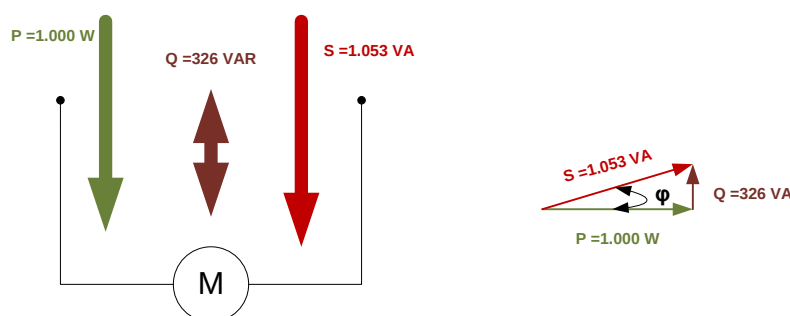
Se dalgún xeito conseguimos mellorar o factor de potencia ata 0,95, por exemplo, obteríase os seguintes resultados:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{1000}{0,95} = 1053 \text{ VA}$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0,95 = 18,19^\circ$$

$$Q = S \sin \varphi = 1053 \sin 18,19^\circ = 329 \text{ VAR}$$

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} = 4,6 \text{ A}$$

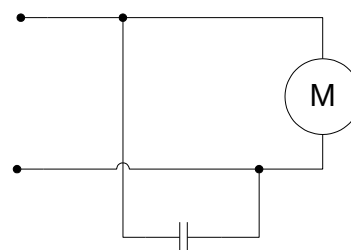


Do que se deduce que ao achegar o factor de potencia cara á unidade obtense unha redución de corrente considerable, así como da potencia aparente e reactiva.

Para contrarrestar o consumo excesivo de potencia reactiva inductiva e así reducir o consumo de intensidade pola liña, instálanse condensadores conectados en paralelo cos receptores.

As compañías eléctricas non facturan a enerxía reactiva, pero esixen que os consumidores traballen con un factor de potencia próximo á unidade ( $\cos \varphi \approx 0,95$ ). Para elo dispoñen de equipos de medida para determinar o factor de potencia medio durante o período de facturación. Como a enerxía reactiva non se cobra, o que fan as compañías é aplicar un recargo na factura a aqueles clientes que traballen cun factor de potencia por debaixo do recomendado.

Ademais cando un abonado teña na súa instalación un factor de potencia por debaixo de 0,55, a Administración Pública pode dar un prazo para que o usuario mellore o seu factor de potencia e se non cumpre pode chegar a ordenar o corte de subministración de enerxía eléctrica.

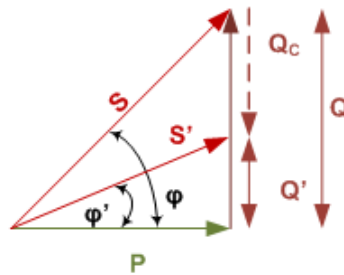
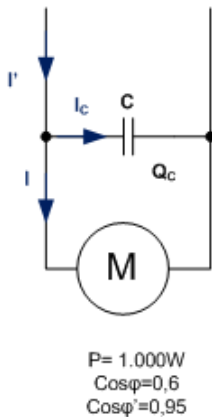


En resume, ao mellorar o factor de potencia, redúcese a potencia aparente dunha instalación sen variar a potencia activa, polo que se reduce a intensidade corrente. Isto supón que se pode reducir a sección dos condutores da liña, a redución da caída de tensión e das perdas de potencia nos cables.

### Corrección do factor de potencia mediante condensadores

As instalacións industriais adoitan utilizar normalmente receptores do tipo indutivo como motores lámpadas de descarga, transformadores, electroimáns... Para compensar a enerxía reactiva producida por estes elementos utilizaremos un condensador ou varios acoplados en

batería, de tal xeito que o  $\cos\phi$  final obtido estea preto da unidade.



Tómese o exemplo anterior, un motor de 1.000 W/230 V con un factor de potencia 0,6 e tentárase achegar o factor de potencia a 0,95. Para elo vaise conectar un condensador de capacidade C en paralelo co motor. A solución deste problema comeza coa busca da reactancia capacitiva  $Q_c$ , que ten que posuír o condensador para pasar dun factor de potencia 0,6 a 0,95. Para elo utilizarase o triángulo de potencias.

Chamarase  $\phi$  ao ángulo que corresponde ao factor de potencia inicial de 0,6 e  $\phi'$  ao ángulo de factor de potencia que se quere obter 0,95.  $Q$  é a potencia reactiva inicial do motor, á que lle hai que restar a potencia reactiva  $Q_c$  do condensador.

Unha vez mellorado o factor de potencia obtérase unha potencia reactiva

$$Q' = Q - Q_c \quad \text{onde} \quad Q_c = Q - Q'$$

Nos dous triángulos de potencia que se obteñen cúmprese que:

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \quad \text{onde} \quad Q = P \tan \phi$$

$$\tan \phi' = \frac{Q'}{P} \quad \text{onde} \quad Q' = P \tan \phi'$$

Substituíndo:

$$Q_c = Q - Q' = P \tan \phi - P \tan \phi'$$

$$Q_c = P(\tan \phi - \tan \phi')$$

No exemplo do motor  $\phi = \cos^{-1} 0,6 = 53^\circ$  e  $\phi' = \cos^{-1} 0,95 = 18^\circ$ , entón:

$$Q_c = P(\tan \phi - \tan \phi') = 1000(\tan 53 - \tan 18) = 1002 \text{ VAR}$$

A capacidade do condensador que presenta esa potencia reactiva obtense tendo en conta que

$$Q_c = I^2 X_c = \frac{V^2}{X_c} = \frac{V^2}{1/\omega C} \quad \text{onde} \quad C = \frac{Q_c}{V^2 \omega}$$

Entón:

$$C = \frac{P(\tan \phi - \tan \phi')}{\omega \cdot V^2}$$

No exemplo do motor:

$$C = \frac{1000(\tan 53 - \tan 18)}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 230^2} = 60 \cdot 10^{-6} F = 60 \mu F$$

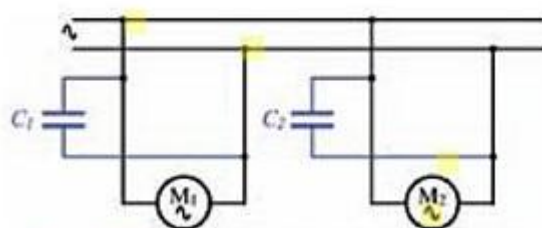
En resume, precísase un condensador de 60  $\mu F$  a 230 V para corrixir o actor de potencia a 0,95.

21. Nunha instalación industrial mídese un factor de potencia de 0,7. Obter a dimensión da batería de condensadores para mellorar o factor de potencia ata 0,9. Os datos da devandita instalación son os seguintes: potencia instalada 15 kW, frecuencia 50 Hz, tensión entre fases 400 V. Calcular tamén a corrente eléctrica pola liña antes e despois de mellorar o factor de potencia.

### Tipos de compensación de enerxía reactiva

A compensación da enerxía reactiva faise sempre mediante a conexión de condensadores en paralelo coa carga a compensar. Nunha instalación eléctrica con moitas cargas de carácter indutivo pódese levar a cabo de dous xeitos distintos:

- **Compensación individual:** conéctase un condensador en paralelo con cada carga inductiva a compensar.
- **Compensación central:** Conéctase unha gran batería de condensadores en



paralelo coa liña xeral para compensar a potencia reactiva de todo o conxunto da instalación eléctrica. Como a potencia reactiva a compensar depende das cargas que estean conectadas en cada momento, cómpre utilizar baterías automáticas de condensadores que sexan

capaces de conectar e desconectar gradualmente grupos de condensadores. O dispositivo que é capaz de medir en todo momento o factor de potencia da instalación e conecta automaticamente os condensadores precisos, coñécese polo nome de regulador de potencia reactiva.

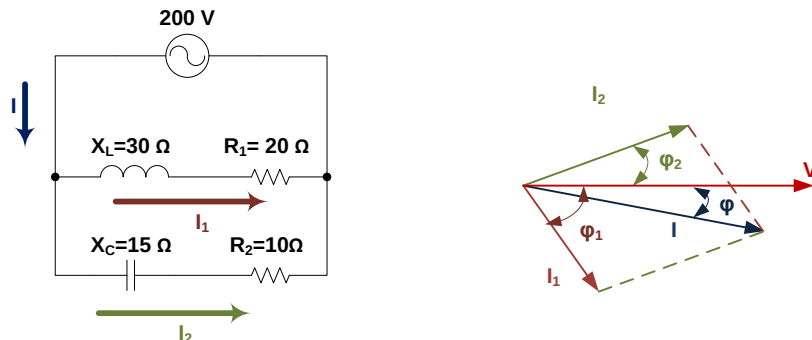
A compensación individual resulta moi custosa e utilízase fundamentalmente nas lámpadas de descarga; incorpóraselles o condensador directamente no equipo de arranque e coñécese como lámpadas de alto factor AF. Nas instalacións trifásicas industriais con moitos receptores resulta moito máis vantaxosa a compensación central con baterías automáticas de condensadores.



#### 4. RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS PARALELOS E MIXTOS EN CORRENTE ALTERNA

##### 4.1. ACOPLAMIENTO DE RECEPTORES EN PARALELO EN CORRENTE ALTERNA

A característica fundamental nos sistemas onde se conectan os receptores en paralelo é que quedan sometidos á mesma tensión. Na seguinte figura pódese ver un circuito onde se conecta unha rama cun circuito RL en paralelo con outra que contén un circuito RC:



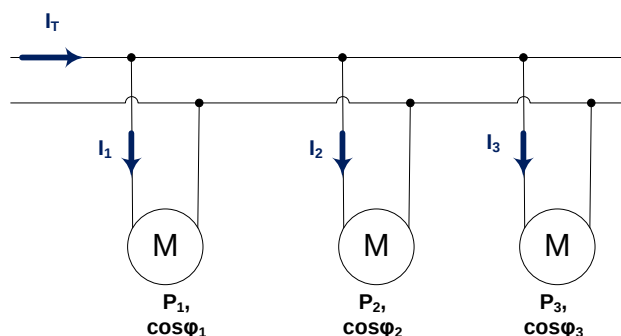
Para resolver este circuito, no diagrama vectorial, tómate como referencia a tensión  $V$  en común coas dúas ramas e calcúlase por separado as intensidades  $I_1$  e  $I_2$  de cada circuito. A intensidade total que subministra o xerador ao circuito é a suma vectorial de ambas intensidades.

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} \quad I_2 = \frac{V}{Z_2} \quad \vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

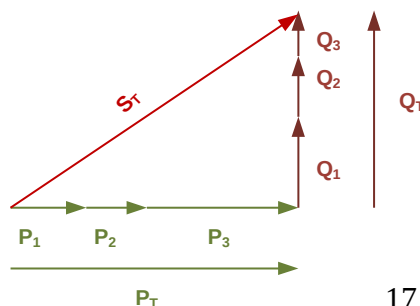
A resolución deste tipo de circuito é complicado, hai que recorrer ao uso de números complexos. Hai un caso particular onde hai varios receptores conectados en paralelo no que a resolución pode vir dada polo método da suma de potencias.

##### 4.2. INSTALACIÓN MONOFÁSICAS DE VARIOS RECEPTORES. PRINCIPIO DE SEPARACIÓN DE POTENCIAS

Neste caso trátase de calcular a potencia total instalada, o factor de potencia e a intensidade total que circula por unha instalación monofásica na que se conectan varias cargas de potencia activa e factor de potencia coñecidos.



Para resolver estes circuitos basta con achar a potencia activa e reactiva de cada receptor, despois débúxase o triángulo de potencias de cada unha das cargas e procédese á suma vectorial das potencias, tal como se pode ver na figura.



Desta suma obtense o triángulo de potencias correspondente á potencia total, onde se cumpre que:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

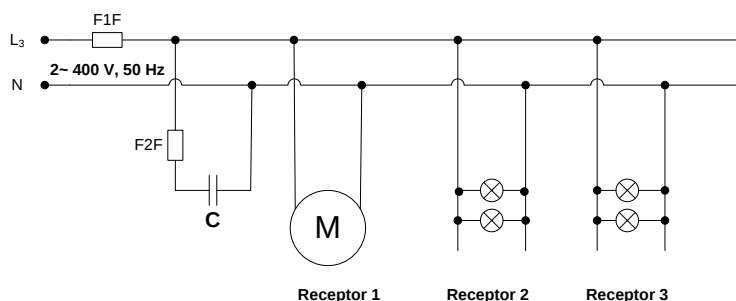
(Olo!! Se hai unha carga de carácter capacitivo a súa potencia reactiva restaríase das cargas de carácter indutivo)

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2}$$

$$\cos \varphi_T = \frac{P_T}{S_T}$$

22. A instalación eléctrica dunha nave industrial consta dos seguintes receptores, conectados a unha liña monofásica de 400 V, 50 Hz:

- Un motor monofásico de 10 kW,  $\cos\phi=0,7$ .
- 30 lámpadas incandescentes de 60 W cada unha.
- 50 lámpadas de vapor de mercurio de 200 W,  $\cos\phi=0,6$  cada unha delas.



Achar:

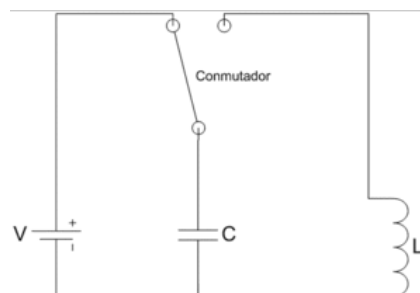
- A potencia total da instalación e o factor de potencia.
- Intensidade de corrente pola liña xeral.
- Sección dos condutores, tendo en conta que a liña consta de dous condutores unipolares de PVC instalado baixo tubo encastrado en obra
- Características da batería de condensadores para corrixir o factor de potencia ata 0,95.
- Intensidade total antes e despois de corrixir o factor de potencia

## 5. CIRCUÍTO OSCILANTES

Un circuito oscilante fórmase cando se interconectan bobinas e condensadores, de tal xeito que intercambien entre eles enerxía eléctrica.

Se se carga un condensador, tal como mostra a figura, e se conecta posteriormente en paralelo a unha bobina que posúa a mesma reactancia indutiva que a capacitiva do condensador,  $X_L = X_C$ , ao conectar un osciloscopio poderase observar que aparecen oscilacións que amortecen pouco a pouco.

Este fenómeno débese a que aparecen sucesivos ciclos de carga e descarga entre bobina e condensador. Estes ciclos repetidos amortecen debido á presenza da resistencia óhmica do circuito (na bobina, nos condutores,...) que fai que a enerxía se vaia transformando en calor en cada un dos ciclos.



### Resonancia

O intercambio constante de enerxía entre unha bobina e un condensador nun circuito oscilante prodúcese a unha determinada frecuencia, coñecida polo nome de frecuencia de resonancia. Alcázase a resonancia cando o valor da reactancia indutiva é igual á da reactancia capacitiva:

$$X_L = X_C; \quad 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Entón:

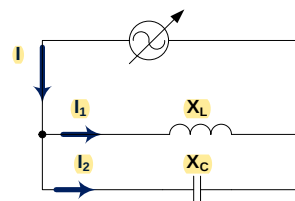
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Onde:

- $f_r$  é a frecuencia de resonancia en Hz.
- $L$  é o coeficiente de autoindución en H.
- $C$  é a capacidade en F.

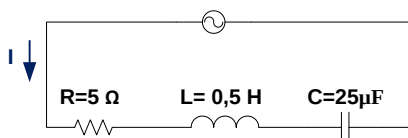
Para evitar que as oscilacións non desaparezan cómpre alimentar ao circuito cunha tensión alterna que posúa a mesma frecuencia que o circuito resonante. Existen dúas posibilidades de conseguir un circuito resonante: en serie ou en paralelo.

- **Resonancia en serie:** cando un circuito serie entra en resonancia corrente faise moi elevada, xa que ao anularse as reactancias o único elemento que limita a corrente é a resistencia do circuito.
- **Resonancia en paralelo:** no caso de que a resistencia da bobina sexa practicamente nula, a intensidade total absorbida polo conxunto é tamén practicamente nula e o circuito compórtase como se estivese aberto, como se tivese unha reactancia infinita.



### EXERCICIOS

23. Dado o circuito da figura achar cal será a frecuencia da tensión que haberá que aplicar para que o circuito entre en resonancia. Se o valor da tensión aplicada é de 50 V, calcular o valor da corrente e das caídas de tensión na bobina e o condensador para a frecuencia de resonancia.

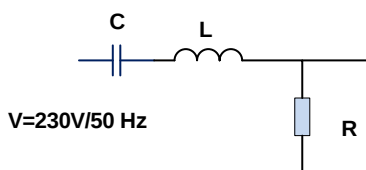


24. Determinar a frecuencia de resonancia dun circuito paralelo composto por unha bobina de 10 mH de indutancia e un condensador de 100 μF.
25. Nunha vivenda vese mal a televisión e compróbase que é debido a un sinal de 47 MHz procedente dun hospital. Calcula o valor da bobina e realiza o esquema para construír un filtro que elimine ese sinal se se dispón dun condensador de 10 pF.

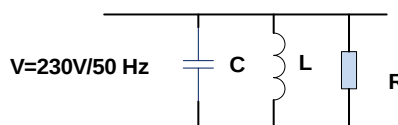
O circuito resonante en paralelo pódese utilizar, por exemplo para sintonizar unha determinada emisora de radio. O que fai o circuito, neste caso, é separar de entre a mestura de frecuencias que aparece entre os terminais dunha antena dun receptor de radio, unha determinada frecuencia (a de resonancia). Para elo conectase en paralelo coa antena e terra o circuito resonante paralelo, o cal presenta unha impedancia moi baixa para todas as frecuencias que non sexan a de resonancia. Neses casos  $Z$  é moi pequena, polo que as

curtocircuíta e as elimina. Cando o que se recibe é un sinal á frecuencia de resonancia, a impedancia faise moi elevada, e o sinal aparece integramente na antena.

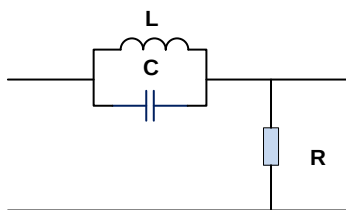
Os circuitos oscilantes utilízanse como filtros. As figuras seguintes representan distintos tipos de filtros:



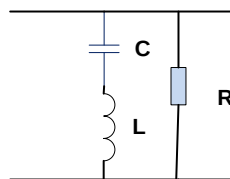
a) Paso banda serie



b) Paso banda paralelo



c) Para banda serie



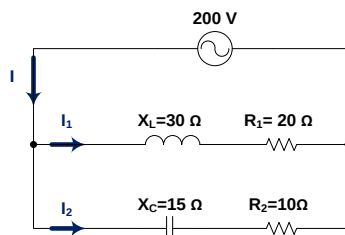
d) Para banda paralelo

- Filtros paso banda (a e b), isto significa que so deixa pasar unha banda de frecuencias.
- Circuitos para banda (c e d), eliminan unha frecuencia ou unha banda de frecuencias.

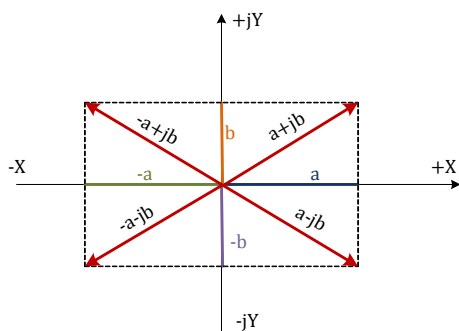
Cando se colocan en paralelo cunha carga filtran un sinal dunha determinada frecuencia, e evitan que ese sinal pase pola carga. Cando o circuito é alimentado por sinais de diferente frecuencia, aquela que fai entrar circuito en resonancia, fai que a impedancia que presenta o circuito resonante sexa moi elevada, pasando todo o sinal pola carga.

## 6. RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNA MEDIANTE O CÁLCULO VECTORIAL CON NÚMEROS COMPLEXOS

Mediante a utilización de números complexos poderanse resolver circuitos nos que aparecen combinacións de elementos en serie e en paralelo, como por exemplo o circuito da figura:



Un número complexo pode representar un vector nun sistema de cartesiano. Como todas as magnitudes en corrente alterna se poden trazar como vectores, operando con números complexos, pódense resolver os circuitos de corrente alterna aplicando os mesmos métodos que en corrente continua.



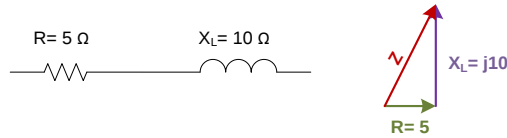
Os números complexos, como por exemplo  $a + jb$ , constan dunha parte real,  $a$ , e unha parte imaxinaria,  $b$ .

Os valores reais positivos represéntanse sobre a dereita do eixo  $X$ , e os negativos á esquerda deste mesmo eixo.

Os valores imaxinarios positivos represéntanse sobre a parte superior do eixo Y, e os negativos na súa parte inferior.

### Representación dun número complexo

Sexa un circuito serie RL da figura do que se quere determinar a súa impedancia en forma complexa



- A súa representación **alxébrica, rectangular ou cartesiana** sería:

$$Z = a + jb = R + j(X_L - X_C) = 5 + j10$$

Onde  $R = 5$  é a parte real e  $X_L = j10$  é a parte imaxinaria.

- A súa representación **módulo argumental ou polar** sería:

$$Z = m \angle \varphi$$

Onde  $m$  é o módulo e  $\varphi$  o ángulo ou argumento

$$m = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \varphi = \arctan \frac{b}{a}$$

No exemplo, a impedancia  $Z$  sería:

$$m = \sqrt{5^2 + 10^2} = 11,18 \Omega \quad \varphi = \arctan \frac{10}{5} = 63,4^\circ$$

$$Z = 11,18 \angle 63,4^\circ$$

Para facer un cambio de rectangular a polar procédese do seguinte xeito:

De rectangular a polar, dado  $Z = a + jb$ , entón:

$$m = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \varphi = \arctan \frac{b}{a}$$

De polar a rectangular, dado  $Z = m \angle \varphi$ , entón:

$$a = m \cos \varphi \quad b = m \sin \varphi$$

26. Representar en forma alxébrica e polar a impedancia do circuito RC da figura:



### Operacións con números complexos

**Suma:** da suma (resta) de dous números complexos obtense outro número complexo que ten por parte real a suma (resta) das partes reais e por parte imaxinaria a suma (resta) das partes imaxinarias. **Sempre se suma partindo da forma alxébrica.** Exemplo:

$$(5 + j10) + (15 - j12) = (5 + 15) + j(10 - 12) = 20 - j2$$

**Produto ou cociente:** o produto (cociente) de dous números complexos é outro número complexo, de módulo é o produto (cociente) de ambos módulos e o argumento é a suma (resta) dos ángulos. **Adoítase facer en notación polar.** Exemplo:

$$4 \angle 30^\circ \cdot 5 \angle 25^\circ = 4 \cdot 5 \angle (30^\circ + 25^\circ) = 20 \angle 55^\circ$$

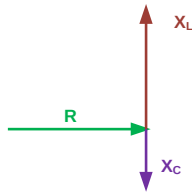
$$\frac{20 \angle 80^\circ}{5 \angle 60^\circ} = \frac{20}{5} \angle (80^\circ - 60^\circ) = 4 \angle 20^\circ$$

### Aplicación dos números complexo á resolución de circuitos

A impedancia dun circuito pode describirse como un número imaxinario, que ten por parte

real o valor óhmico da resistencia  $R$ , e por parte imaxinaria o valor da reactancia  $X = X_L - X_C$ , sendo esta positiva para as reactancias indutivas e negativa para as capacitivas

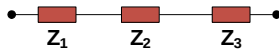
como a impedancia é unha cantidade complexa, pódese expresar de forma cartesiana ou polar:



$$Z = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} \angle \arctan \frac{X}{R}$$

Os acoplamentos en serie e en paralelo en corrente alterna resólvense utilizando os mesmos procedementos que para corrente continua, pero tendo en conta que nas operacións utilizaranse números complexos.

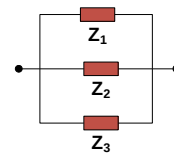
Impedancias en serie:



$$\vec{Z}_T = \vec{Z}_1 + \vec{Z}_2 + \vec{Z}_3$$

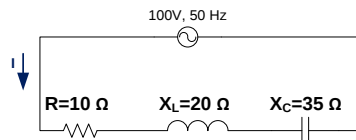
Impedancias en paralelo:

$$\vec{Z}_T = \frac{1}{\frac{1}{\vec{Z}_1} + \frac{1}{\vec{Z}_2} + \frac{1}{\vec{Z}_3}}$$

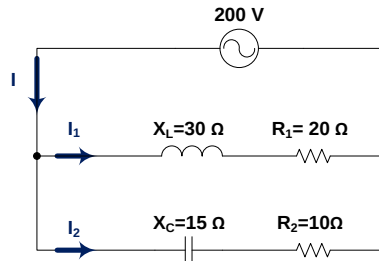


### EXERCICIOS

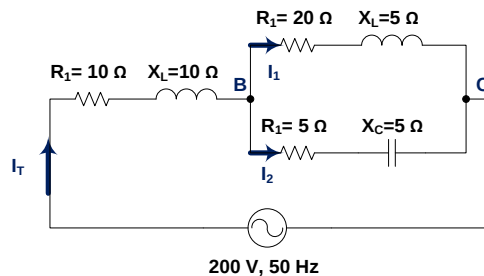
27. Dado o circuito RLC da figura, achar a impedancia, intensidade, ángulo de desfase e potencias:



28. Dado o circuito da figura, achar  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $P_T$ ,  $Q_T$ ,  $S_T$ , factor de potencia e a lectura dun voltímetro conectado en paralelo coa reactancia  $X_C$ .



29. Achar a impedancia equivalente e as correntes  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ , que aparecerán no circuito mixto da figura. Determinar, tamén as potencias e o factor de potencia do conxunto.



### Bibliografía:

- Electrotecnia, *Pablo Alcalde San Miguel*. Paraninfo.
- Electrotecnia, *Germán Santamaría, Agustín Castejón*. Editex.
- Electrotecnia, *José Alberto Moreno Sánchez, José Luis Cano Shaw, Ignacio Guerrero Garay, Alberto Guerrero Fernández, Alejandro Porras Criado*. Mc Graw Hill. 2010

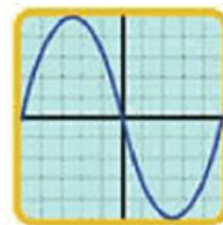
### Test de repaso de corriente alterna monofásica

1. Para que tipo de onda se utiliza a expresión  $V_{ef} = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}}$ ?
  - a) Para a onda cadrada.
  - b) Para onda sinusoidal.
  - c) Para onda triangular.
2. A impedancia dun condensador, ten sempre signo negativo?
  - a) Si, sempre.
  - b) Só cando se coloca o condensador do revés.
  - c) Non, nunca.
3. Que indica un voltímetro de corrente continua ao ser conectado a unha rede de corrente alterna?
  - a) O valor eficaz.
  - b) O valor máximo.
  - c) Cero.
4. As bobinas ideais retrasan a intensidade con respecto á tensión nos seus extremos?
  - a) Non a retrasan, adiantana 45°.
  - b) Si, retrásana 45°.
  - c) Si, retrásana 90°.
5. De todos os valores que compoñen unha corrente alterna senoidal, cal é o que se utiliza sempre para cálculos e medidas?
  - a) O valor eficaz.
  - b) O valor medio.
  - c) O valor máximo.
6. A resonancia prodúcese cando:
  - a) valor relativo da reactancia capacitiva é igual ao da indutiva.
  - b) Nunha impedancia a parte resistiva é igual á reactiva.
  - c) valor absoluto da reactancia capacitiva é igual ao da indutiva.
7. As bobinas e condensadores non consomen realmente enerxía eléctrica. Como se denomina á potencia eléctrica que intercambian co xerador?
  - a) Potencia activa.
  - b) Potencia aparente.
  - c) Potencia reactiva.
8. O factor de potencia empeora debido a:
  - a) As resistencias calefactoras.
  - b) As bobinas das máquinas ou das pantallas de fluorescentes.
  - c) A caída de tensión dos cables.
9. Os circuitos resonantes utilízanse para:
  - a) Seleccionar ou eliminar frecuencias.
  - b) Amplificar sinais.
  - c) Corrixir o factor de potencia.
10. Dos elementos que a continuación se expoñen, cal deles produce un adianto de 90° á corrente respecto da tensión
  - a) Unha bobina.
  - b) Un condensador.
  - c) Unha resistencia.
11. Que elementos producen potencia reactiva nun circuito de corrente alterna?
  - a) Un forno eléctrico.
  - b) Un motor .
  - c) Un contactor.

12. A potencia aparente mídese en:
  - a) VAR
  - b) VA
  - c) W
13. Que nome se lle da á potencia que realmente se transforma en enerxía útil no receptor?
  - a) Potencia activa.
  - b) Potencia reactiva.
  - c) Potencia aparente.
14. Para mellorar o factor de potencia:
  - a) Conéctanse baterías de condensadores en paralelo.
  - b) Conéctanse grupos de bobinas en paralelo.
  - c) Conéctanse grupos de filtros resonantes en paralelo.

### EXERCICIOS UD 5

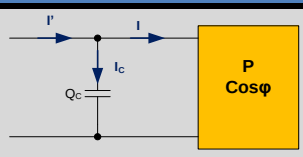
1. Con un voltímetro de corrente alterna, mídese unha tensión de 100 V, cal é o valor máximo da tensión?
2. Achar a frecuencia dunha corrente alterna se o seu período é de 5 ms.
3. Determinar a tensión máxima que debe soportar un illador dunha liña de transporte de enerxía eléctrica se a tensión eficaz entre fases é de 220.000 V
4. Ao medir cun osciloscopio unha tensión alterna, obtense o sinal da figura. Estando o atenuador vertical en 10 V/div. e a base de tempos en 5ms/div., determinar o valor máximo, o valor eficaz, o período, a frecuencia e o valor instantáneo aos 5 ms.
5. Ao conectar un osciloscopio a unha fonte de tensión senoidal aparece na súa pantalla a imaxe da figura. Achar a lectura dos seguintes aparellos de medida conectados á mesma fonte:
  - a) Un voltímetro de corrente alterna.
  - b) Un voltímetro de corrente continua.
  - c) Un frecuencímetro.
6. As características eléctricas dun ferro de pasar son:  $R=50\ \Omega$ ;  $V=230\text{ V}$ ,  $f=50\text{ Hz}$ . Calcular a intensidade, a potencia e a enerxía consumida en 8 horas.
7. Unha bobina posúe un coeficiente de autoindución de 0,4 H. Conéctase a unha rede de corrente alterna de 400 V e 60 Hz. Calcular a reactancia indutiva, a intensidade, a potencia reactiva e a enerxía consumida en 8 horas.
8. Conéctase un condensador de 200  $\mu\text{F}$  a un alternador de 100 Hz e 50 V. Determinar a intensidade da corrente e a potencia reactiva.
9. Conéctanse en serie unha resistencia de 50  $\Omega$  e unha bobina de 250 mH a unha rede de corrente alterna de 230 V, 50 Hz. Achar  $Z$ ,  $I$ ,  $\phi$ ,  $V_R$ ,  $V_L$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $FP$  e debuxar o diagrama vectorial.
10. Conéctanse en serie unha resistencia de 10 k $\Omega$  e un condensador de 150 nF a unha rede de corrente alterna de 100 V, 60 Hz. Achar  $Z$ ,  $I$ ,  $V_R$ ,  $V_C$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $FP$  e debuxar o diagrama vectorial.
11. Conéctanse en serie unha resistencia de 10  $\Omega$ , un condensador de 100  $\mu\text{F}$  e unha bobina de 200 mH a un xerador de corrente alterna de 230 V, 50 Hz. Achar  $I$ ,  $V_R$ ,  $V_C$ ,  $V_L$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ,  $FP$  e debuxar o diagrama vectorial. Que tipo de reactancia predomina no circuito?
12. Un motor posúe as seguintes características:  $P=2\text{ kW}$ ,  $V=125\text{ V}$ ,  $I=27\text{ A}$ . Obter o factor de potencia.
13. Resolve os exercicios formulados para diferentes circuitos:



| Exercicio                          | 1º  | 2º  | 3º  | 4º  | 5º  | 6º  |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                    |     |     |     |     |     |     |
| <b>R(<math>\Omega</math>)</b>      | 50  | 10  | 50  | 0   |     |     |
| <b>L(H)</b>                        | 0,1 | 0   | 0,2 | 0,5 |     |     |
| <b>C(<math>\mu\text{F}</math>)</b> | 0   | 10  | 200 | 100 |     |     |
| <b>V(V)</b>                        | 100 | 400 | 230 | 200 | 100 | 230 |
| <b>I(A)</b>                        |     |     |     |     | 10  | 3   |
| <b>f(Hz)</b>                       | 60  | 50  | 50  | 50  | 50  | 50  |
| <b>FP</b>                          |     |     |     |     | 0,5 |     |
| <b>P(W)</b>                        |     |     |     |     |     | 500 |
| <b>Q(VAR)</b>                      |     |     |     |     |     |     |

S(VA)

14. O alumado dunha nave industrial consiste en 20 lámpadas de vapor de mercurio de 500 W cada unha cun factor de potencia de 0,6 a 230 V e 50 Hz. Obter as características da batería de condensadores para conseguir elevar o factor de potencia ata 0,95, así como a intensidade de corrente da instalación antes e despois da corrección do factor de potencia.
15. Unha lámpada fluorescente de 20 W, 230 V e 50 Hz posúe un factor de potencia de 0,6. Que condensador haberá que conectar á lámpada para que traballe a un factor de potencia de 0,9?
16. Conéctanse en serie as bobinas de dous contactores de 230 V, 50 Hz das seguintes características:  
Bobina nº 1:  $R=20\ \Omega$ ;  $L=0,8\text{ H}$ .  
Bobina nº 2:  $R=28\ \Omega$ ;  $L=0,6\text{ H}$ .  
Calcular a corrente que flúe polas bobinas, a tensión aplicada a cada unha delas, o factor de potencia do conxunto e a capacidade do condensador que haberá que conectar en paralelo para conseguir corrixir o factor de potencia do conxunto a 0,95.
17. Na táboa móstranse as características de 5 instalacións das que se desexa mellorar o factor de potencia de  $\cos\phi$  a  $\cos\phi'$ . Calcular a batería de condensadores en cada caso, así como a corrente pola liña, antes e despois da conexión dos condensadores.

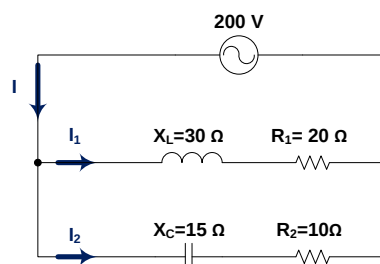
| Exercicio          | 1º                                                                                 | 2º    | 3º    | 4º   | 5º   |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|
|                    |  |       |       |      |      |
| V(V)               | 230                                                                                | 400   | 1.000 | 100  | 200  |
| f(Hz)              | 50                                                                                 | 50    | 60    | 60   | 50   |
| P(W)               | 2.000                                                                              | 1.000 | 9.000 | 40   | 100  |
| Cos $\phi$         | 0,55                                                                               | 0,6   | 0,7   | 0,8  | 0,85 |
| Cos $\phi'$        | 0,95                                                                               | 1     | 0,9   | 0,99 | 0,98 |
| Q(VAR)             |                                                                                    |       |       |      |      |
| C( $\mu\text{F}$ ) |                                                                                    |       |       |      |      |
| $I_c$ (A)          |                                                                                    |       |       |      |      |
| I (A)              |                                                                                    |       |       |      |      |
| $I'$ (A)           |                                                                                    |       |       |      |      |

18. A instalación eléctrica dunha cafetería consta dos seguintes receptores, conectados a unha liña monofásica de 230 V, 50 Hz:
- Un lavalouzas de 5 kW  $\cos\phi=0,8$ .
  - 20 lámpadas incandescentes de 25 W cada unha.

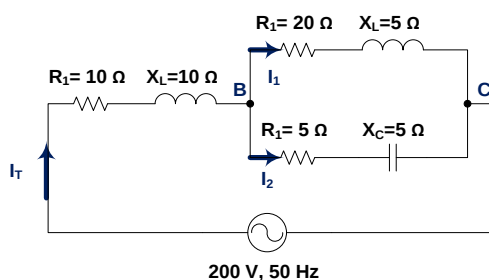
- 100 lámpadas fluorescentes de 40 W,  $\cos\phi=0,6$  cada unha delas.
- Un forno monofásico cunha resistencia de caldeio de 2500 W.

Achar:

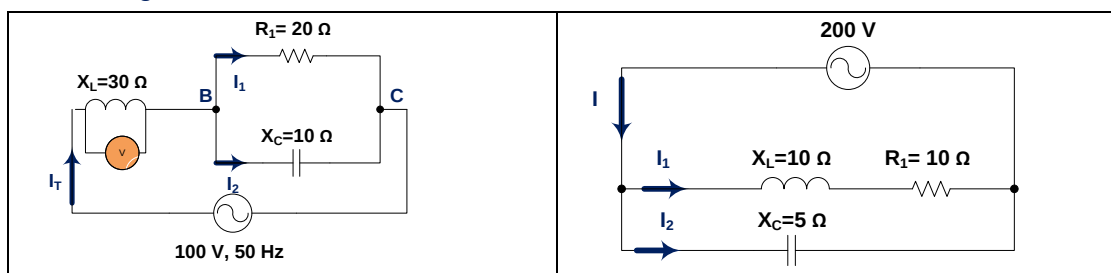
- a) A potencia total da instalación e o factor de potencia.
  - b) Intensidade de corrente pola liña xeral.
  - c) Sección dos condutores, tendo en conta que a liña consta de un cable multicondutor 2xXLPE de 30 m de lonxitude instalado baixo tubo en montaxe superficial e admítase unha caída de tensión do 1,5 %.
  - d) Características da batería de condensadores para corrixir o factor de potencia ata 0,95.
  - e) Intensidade total antes e despois de corrixir o factor de potencia.
19. Dado o circuíto da figura, achar  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $P_T$ ,  $Q_T$ ,  $S_T$ , factor de potencia e a lectura dun voltímetro conectado en paralelo coa reactancia  $X_C$ .



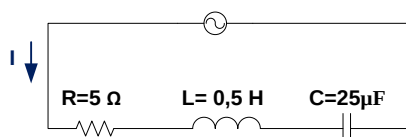
20. Achar a impedancia equivalente e as correntes  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ , que aparecerán no circuíto mixto da figura. Determinar, tamén as potencias e o factor de potencia do conxunto.



21. Determinar as intensidades por cada rama, a intensidade total, as potencias totais o factor de potencia e, se procede, as lecturas dos voltímetros das seguintes figuras. Representar en todos os casos o diagrama vectorial de tensións e correntes.

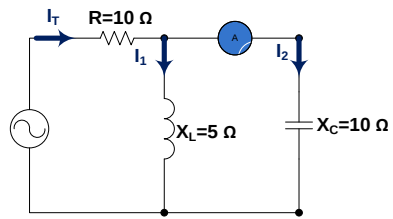


22. Dado o circuíto da figura achar cal será a frecuencia da tensión que haberá que aplicar para que o circuíto entre en resonancia. Se o valor da tensión aplicada é de 50 V, calcular o valor da corrente e das caídas de tensión na bobina e o condensador para a frecuencia de resonancia.



23. No circuíto da figura o amperímetro indica unha lectura de 10 A. Determinar  $I_T$ ,  $I_1$ ,  $V_T$ ,  $P_T$ ,  $Q_T$ ,  $S_T$ , FP e

debuxar o diagrama vectorial.



24. Determinar a frecuencia de resonancia de un circuito paralelo como o da figura se está composto por unha bobina de 10 mH de inductancia e un condensador de 100  $\mu$ F.

