CAPÍTULO 1

CIRCUITOS REATIVOS

CIRCUITO REATIVO EM SÉRIE

Para que os equipamentos eletrônicos (rádio, radar etc.) possam desempenhar suas funções, os circuitos resistivos, indutivos e capacitivos são combinados em associações RL, RC e RLC. Em virtude de tais associações conterem reatâncias, as mesmas são chamadas de circuitos reativos. Todo circuito constituído por resistores e que não contenham quantidades apreciáveis de indutância ou capacitância, são considerados como circuitos resistivos.

Quando uma corrente alternada (CA) é aplicada a um circuito resistivo, a corrente e a tensão do circuito estarão em fase, conforme figura 1-1

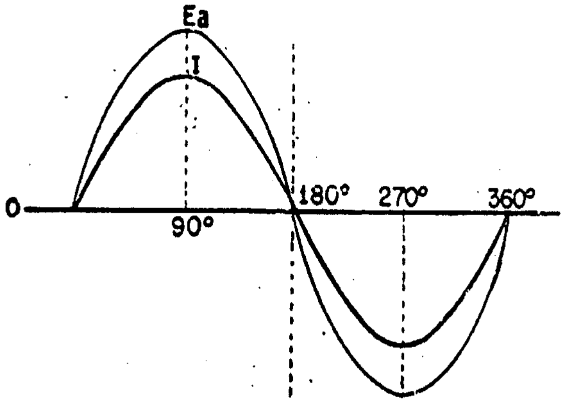


Figura 1-1

Ao se ligar um indutor em série com um resistor, a queda de tensão no resistor (E_R) estará em fase com a corrente (I_R); porém, a tensão no indutor (E_L) está adiantada de 90º.

A figura 1-2A nos mostra um circuito RL em série e a figura 1-2B, a relação de fase entre a corrente e a tensão no indutor e resistor.

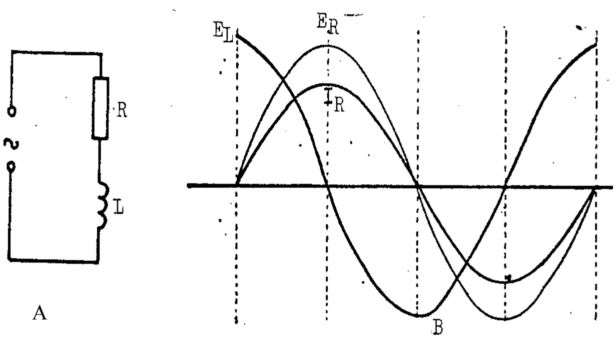


Figura 1-2

Desse modo, pode-se ver que a presença do indutor no circuito, resulta uma defasagem de 90º entre as tensões.

A tensão resultante de qualquer circuito RL pode ser determinada por meio de vetores.

Assim sendo, por intermédio do gráfico da figura 1-3, podemos achar a tensão resultante, que vem a ser a própria tensão aplicada.

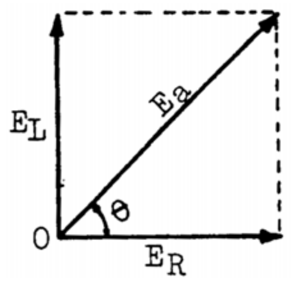


Figura 1-3

A tensão no resistor é tomada sobre o vetor horizontal e a tensão no indutor, sobre o vetor vertical: como as tensões estão defasadas de 90º, o ângulo entre elas será reto.

Traçando um paralelogramo baseado nestes dois vetores, teremos um vetor resultante (E_a) que é a hipotenusa de um triângulo retângulo. Segundo o teorema de Pitágoras o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos; logo:

$$E_a^2 = E_R^2 + E_L^2 \qquad \text{ou}$$

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$$

Impedância

Quando um resistor e um indutor estão ligados em série, a oposição total à passagem da corrente não é uma simples soma aritmética, mas sim uma soma vetorial, em virtude da defasagem de 90º existente entre as tensões no circuito.

Suponha-se, por exemplo, que um resistor de 400 ohms esteja ligado em série com um indutor, cuja reatância indutiva seja de 300 ohms.

A oposição total à passagem da corrente não será de 700 ohms mas sim de 500 ohms.

Cálculo da Impedância

Por intermédio da lei de Ohm, a queda de tensão num resistor (E_R) é o produto da resistência (R) pela corrente (I_T), ou seja:

$$E_R = R \times I_T$$

Como X_L representa a oposição ao fluxo da corrente, a tensão no indutor (E_L) será:

$$E_L = X_L \times I_T$$

Já que, a tensão aplicada (E_a) no circuito é o produto da corrente (I_T) pela oposição total (Z_T), logo:

$$E_a = Z_T \times I_T$$

Uma vez que:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$$

Logo teremos:

$$E_a = \sqrt{(R \times I_T)^2 + (X_L \times I_T)^2}$$

$$Z_T \times I_T = \sqrt{I_T^2 \, (R^2 + X_L^2)}$$

$$Z_T \times I_T = I_T \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

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

Desse modo, a impedância de um circuito R_L em série, é igual a raiz quadrada da soma dos quadrados da resistência e da reatância indutiva.

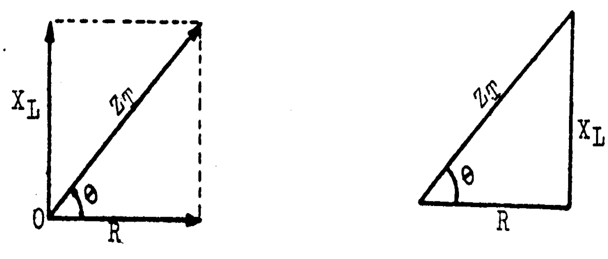


Figura 1-4

Assim, podemos traçar o diagrama vetorial, conforme figura 1-4, uma vez que Z_T corresponde à hipotenusa e $R^2 + X_L^2$, à soma dos quadrados dos catetos.

Ângulo de Fase

Denomina-se ângulo de fase (θ), ao ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada ao circuito (E_a), com o vetor da tensão (E_R), conforme a figura 1-5.

Tomando-se por base o valor da corrente, o ângulo de fase θ será positivo, contando no sentido inverso dos ponteiros do relógio, a partir dessa referência. Uma vez conhecido o ângulo θ podemos, também determinar se o circuito é resistivo, indutivo ou capacitivo, da seguinte forma: o circuito será resistivo quando θ, for igual a zero, indutivo quando θ for positivo e capacitivo quando θ for negativo.

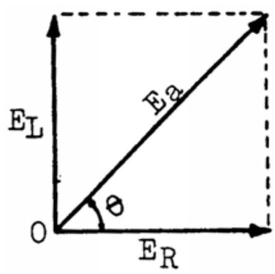


Figura 1-5

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-6 e 1-7

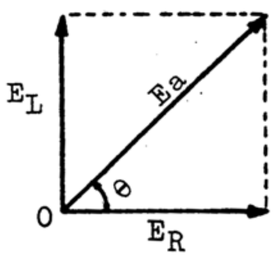


Figura 1-6

Logo: $tg\,\theta = \dfrac{E_L}{E_R}$ $\qquad \cos\theta = \dfrac{E_R}{E_a}$

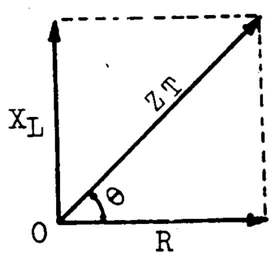


Figura 1-7

Logo: $\text{tg }\theta = \frac{X_L}{R}$ $\qquad \cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Potência Elétrica

No estudo dos circuitos resistivos, a potência dissipada por um resistor, foi determinada pelo produto de tensão (E_a) pela corrente (I_T), ou seja: $P_T = E_a \cdot I_T$ isto, porém não acontece num circuito de CA que contenha resistência e indutância.

A corrente no circuito fluirá, sendo limitada pela impedância, mas a energia utilizada para produzir o campo magnético será desenvolvida à fonte no desenvolvimento do mesmo.

Portanto, num circuito de CA que contenha resistência, parte da potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte.

Assim sendo, o produto, $P_T = E_a \cdot I_T$ não só dá a potência que realmente está sendo consumida pelo circuito, mas sim uma potência que aparenta estar sendo absorvida.

Este produto é chamado de potência aparente (P_A), sendo expresso volt/ampère (VA), e não em watts, para diferenciar da potência real.

A potência aparente (P_A), poderá ser calculada por qualquer uma das equações abaixo:

$$P_A = E_a \cdot I_T$$

$$P_A = I_T^2 \cdot Z_T$$

$$P_A = \frac{E^2}{Z_T}$$

Sempre que a corrente circula num circuito que contenha resistência e reatância, haverá sempre por parte do resistor, uma dissipação de potência, que é chamada potência real (P_R), verdadeira ou efetiva do circuito, sendo expressa em watts.

Portanto, para se achar a potência real de um circuito que contenha resistência e reatância, basta calcular apenas a potência dissipada pelo resistor, a qual será o produto da tensão no resistor (E_R) pela corrente (I_T), ou seja:

$$P_R = E_R \cdot I_T$$

Uma vez que: $\quad \cos\theta = \frac{E_R}{E_a}$

Logo: $\quad E_R = E_a \cdot \cos\theta$

Portanto: $\quad P_R = E_a \cdot I_T \cdot \cos\theta$

Fator de Potência:

O fator de potência de um circuito, é muito importante, porque ele nos permite converter a potência aparente, em potência real ou efetiva.

Define-se como fator de potência (f_p), a relação entre a potência real (P_r) e a potência aparente (P_a) de um circuito.

$$f_p = \frac{P_R}{P_A}$$

Como:

$$P_R = E_a \cdot I_T \cdot \cos\theta \text{ e } P_A = E_a \cdot I_T$$

Logo: $f_p = \frac{E_a\, I_T \cdot \cos\theta}{E_a\, I_T}$

$$f_p = \cos\theta$$

Porém, como: $\cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Logo: $f_p = \frac{R}{Z_T}$

Em conseqüência, o fator de potência poderá ser calculado por qualquer um das três equações apresentadas.

O fator de potência é usualmente expresso em fração decimal ou percentagem.

Exercício resolvido:

Calcular o fator de potência de um circuito, sabendo-se que a potência aparente é de 400 VA (Volt/Ampère) e a potência real é de 200 Watts.

$P_a = 400VA$ $P_R = 200W$

Como: $f_p = \frac{P_R}{P_A}$

Logo: $f_p = \frac{200}{400}$

$f_p = 0,5$ ou 50%

Lei de Ohm

A lei de ohm para circuitos de CA, diz que, a corrente (I_T) é diretamente proporcional à tensão (E_a) e inversamente proporcional à impedância (Z_T). Logo, teremos:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$$

Exercício resolvido

Calcule a corrente total do circuito da figura 1-8.

Dados:

R = 60 ohms

$E_a = 100V$

$X_L = 80\ ohms$

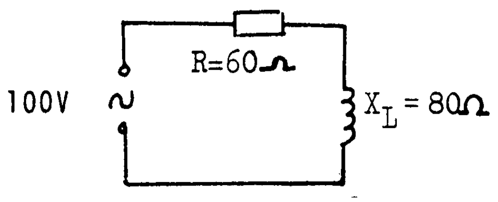


Figura 1-8

Uma vez que: $Z_T = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

Logo:

$Z_T = \sqrt{60^2 + 80^2}$ $Z_T = 100ohms$

Como: $I_T = \frac{E_a}{Z_T}$

Logo: $I_T = \frac{100}{100}$ $I_T = 1A$

Freqüência de Corte

Qualquer circuito que contenha reatância, não responderá igualmente a todas as freqüências.

Ao analisarmos um circuito RL, vimos que seu comportamento foi diferente nas altas freqüências em relação às baixas. No processo de análise, somente uma simples freqüência de cada vez foi aplicada ao circuito.

Contudo, se um sinal contendo uma faixa de freqüências é aplicado ao circuito série RL, a reação do circuito será diferente para cada freqüência individual contida neste sinal.

Por exemplo, conforme a freqüência diminui, a corrente total aumenta. Haverá mais corrente circulando para as baixas freqüências do que para as altas freqüências.

O valor da resistência de um circuito, todavia não é afetada por uma variação de freqüência, mas X_L é uma função direta da freqüência. Portanto, num circuito de CC, a oposição da bobina é desprezível e o circuito é considerado resistivo; o ângulo de fase é zero e a potência real estará no seu máximo valor.

Exemplo:

Considere o circuito série consistindo de um resistor de 80 ohms e uma bobina de 12,73 mH, com uma tensão aplicada de 100 vcc.

Desde que o ângulo de fase é zero, a impedância do circuito será igual a 80 ohms. A corrente será:

$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$ $I_T = \frac{100}{80}$ $I_T = 1,25A$

A potência real do circuito terá como valor:

$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$

$P_R = 100 \times 1,25 \times 1$

$P_R = 125W$

A fonte de CC é substituída por uma fonte de CA de freqüência variável, com 100v RMS de saída. Ao se aumentar a freqüência de saída da fonte, a reatância indutiva (X_L) aumentará, enquanto o valor do resistor permanecerá em 80 ohms.

Quando a freqüência atingir a 500Hz, X_L terá aumentando para 40 ohms.

Calculando os valores teremos:

Z_T = 89,4 ohms

I_T = 1,1 A

cos θ = 0,89

Usando os valores acima observaremos que a potência real do circuito diminui com o aumento da freqüência:

$$P_R = E_a \ x \ I_T \ x \ \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 1{,}1 \times 0{,}89$$

$$P_R = 97{,}9W$$

Conforme a freqüência é aumentada ainda mais, a corrente continuará a diminuir e X_L continuará a aumentar.

Eventualmente atingiremos uma freqüência na qual X_L será igual a resistência. Por exemplo em 1 KHz:

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

$$X_L = 6{,}28 \times 10^3 \times 12{,}73 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 79{,}94 \text{ ohms}$$

Portanto em $1 K_{Hz}$, $X_L = R$. O ângulo de fase do circuito é de 45º e a impedância total é de 113 ohms.

Desde que $X_L = R$, as tensões E_L e E_R também são iguais.

A potência real do circuito é:

$$P_R = E_a \times I_T \ \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 0{,}884 \times 0{,}707$$

$$P_R = 62{,}5W$$

Nota-se que a potência real foi diminuída para a metade de seu valor máximo de 125W. A freqüência em que $X_L = R$ $E_L = E_R$ e a potência real foi diminuída para à metade de seu valor máximo, é denominada de freqüência de corte, ponte de meia potência, ou ponto 0,707.

O termo freqüência de corte é usado porque, para freqüências abaixo do ponto de corte, a resposta do circuito é considerada (em muitos casos) abaixo de um valor utilizável.

Na freqüência de corte, a tensão de corte (E_{CO}) assim como a corrente de corte (I_{CO}), serão respectivamente:

$$E_{CO} = E_a \times 0{,}707$$

$$I_{CO} = I_M \times 0{,}707$$

Uma fórmula pode ser deduzida para determinar a freqüência de corte (f_{CO}) da seguinte maneira:

Na freqüência de corte:

$$R = X_L$$

Como:

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

Então: $R = 2\pi \times f \times L$

Teremos: $R = 2\pi \times f_{CO} \times L$

$$f_{CO} = \frac{R}{2\pi \times L}$$

Onde:

f_{CO} = freqüência de corte (Hertz)

R = Resistência (Ohms)

L = indutância em (Henry)

CIRCUITO RC EM SÉRIE

As considerações básicas feitas para o circuito RL em série continuam a ter valor para o circuito RC em série que agora vamos estudar e no qual temos um resistor e um capacitor associados, como mostra a figura 1-9.

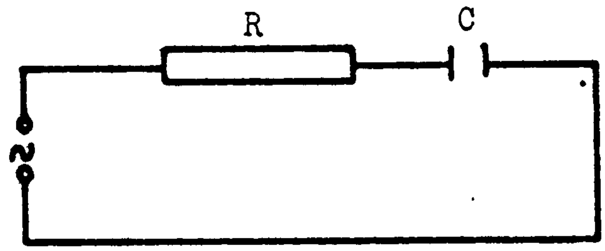


Figura 1-9

Num circuito série contendo resistor e capacitor, a queda de tensão no resistor (E_R) está em fase com a corrente; porém, a queda de tensão no capacitor (E_C) está atrasada de 90º, em relação a E_R, conforme nos mostra a figura 1-10.

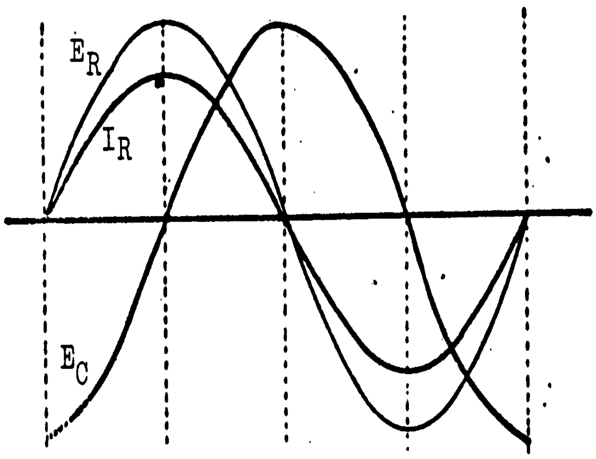


Figura 1-10

Assim, por intermédio do gráfico da figura 1-11, podemos achar a tensão resultante (E_a) que vem a ser a própria tensão aplicada, através da composição vetorial entre E_R e E_C.

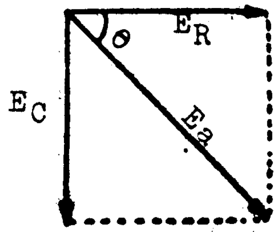


Figura 1-11

Do gráfico, tiramos a seguinte equação para o cálculo da tensão aplicada (E_a) ao circuito:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + E_C^2}$$

Ainda, podemos concluir que a tensão resultante (E_a) está atrasada em relação a E_R de um ângulo 0 negativo.

Impedância

Num circuito contendo resistor e capacitor, a oposição à passagem da corrente não é uma soma aritmética, mas sim uma soma vetorial semelhante ao circuito RL em série.

De acordo com o gráfico da figura 1-12, a impedância ou oposição total ao fluxo da corrente no circuito, será expressa pela equação:

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

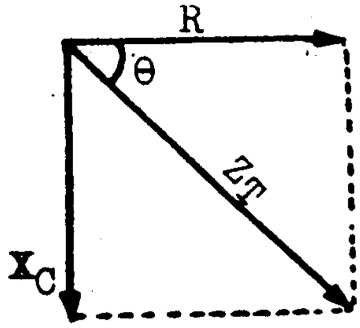


Figura 1-12

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada (E_a) com o vetor da tensão (E_T), conforme nos mostra a figura 1-13. É fácil de se verificar que o ângulo de fase é negativo.

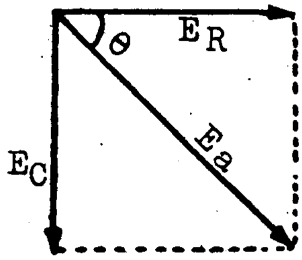


Figura 1-13

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-14 e 1-15.

Como:

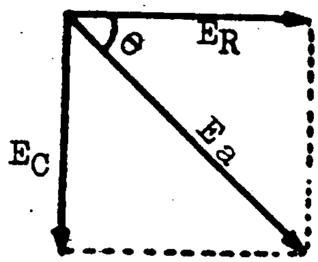


Figura 1-14

Logo: $t_g\ \theta = \dfrac{E_C}{E_R}$ $\cos\theta = \dfrac{E_R}{E_a}$

Como:

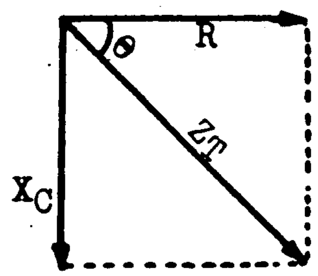


Figura 1-15

Logo: $t_g\ \theta = \frac{X_C}{R}$ $\cos\theta = \frac{R}{Z_T}$

Potência Elétrica

Todo circuito que contenha resistência e reatância, parte de potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte. Portanto, o produto $P_T = E_a \times I_T$, não nos dá a potência que está sendo consumida pelo circuito.

Este produto é chamado de potência aparente (P_A).

A potência aparente poderá ser calculada por qualquer umas das equações abaixo:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_A = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_A = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

Sempre que a corrente circule num circuito que contenha resistência e reatância, haverá sempre por parte do resistor, uma dissipação de potência, que é chamada de potência real, verdadeira ou efetiva do circuito.

Podemos calcular a potência real de um circuito, por intermédio das equações abaixo:

$$P_R = E_R \times I_T$$ e

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

Fator de Potência

Fator de potência é a relação entre a potência real (P_R) e a potência aparente (P_A) de um circuito. O fator de potência (f_p) poderá ser calculado por qualquer uma das equações seguintes:

$$f_p = \frac{P_R}{P_A} \qquad f_p = \cos\theta \qquad f_p = \frac{R}{Z_T}$$

Freqüência de Corte

Um circuito série RC apresentará uma discriminação de freqüência similar, em muitos aspectos, àquela encontrada em um circuito série RL.

Os termos freqüência de corte, ponto de meia potência e freqüência crítica têm o mesmo significado, conforme previamente definidos. Nos circuitos séries, a tensão desenvolvida nos componentes reativos, depende da reatância do componente a qual, por sua vez, depende da freqüência.

Como X_C é uma função inversa da freqüência, logo, à medida que a freqüência for aumentada, a reatância do capacitor diminuirá e a tensão será dividida entre o resistor e o capacitor.

A freqüência de corte será atingida quando a tensão estiver dividida igualmente entre R e C.

A freqüência de corte de um circuito série RC pode ser determinada da seguinte maneira:

Desde que a freqüência de corte (f_{co}) ocorre quando: $R = X_C$

Substituindo a equação para X_C, teremos:

$$R = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

Substituindo f por f_{co}, teremos:

$$R = \frac{1}{2\pi\ x\ f_{CO}\ x\ C}$$

Logo: $f_{co} = \frac{1}{2\pi \times R \times C}$

Onde: F_{CO} = frequência de corte (Hertz)

R = *resistência* (*ohms*)

C = *capacitância* (*Farad*)

CIRCUITO RCL EM SÉRIE

Quando se aplica uma CA em um circuito série contendo resistor, capacitor e indutor, conforme figura 1-16, é necessário levar em consideração o fato de que os ângulos de fase entre a corrente e a tensão diferem em todos os três elementos.

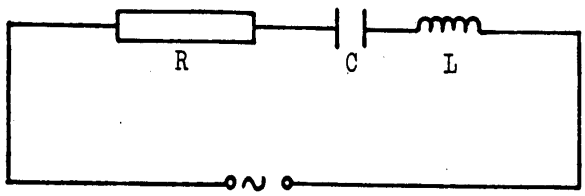
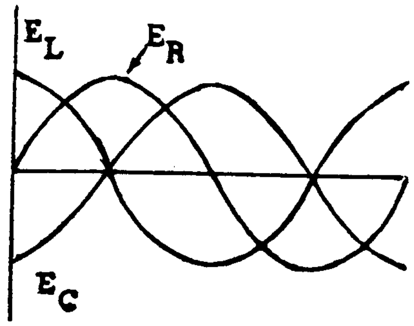


Figura 1-16

Tomando-se a corrente de um circuito série como referência, temos: No resistor, a tensão (E_R) está em fase; no indutor, a tensão (E_L) está adiantada de 90º e no capacitor, a tensão (E_C) está atrasada de 90º. Como em qualquer circuito série, a corrente é a mesma, através de todos seus componentes, podemos concluir que E_L está adiantada de 90º de E_R e E_C, atrasada de 90º de E_R, conforme nos mostra a figura 1-17A.

Logo, podemos compor o diagrama vetorial, conforme figura 1-17B:

A



B

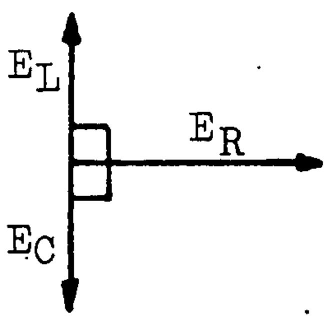


Figura 1-17

A soma vetorial das tensões E_R, E_L e E_C e igual à tensão aplicada (E_a) ao circuito. Como a tensão no capacitor E_C e a tensão no indutor E_L estão defasadas 180º, logo, a tensão resultante da composição vetorial entre E_L e E_C é a diferença, já que são vetores diretamente opostos entre si. Esta tensão resultante será somada vetorialmente com a queda de tensão no resistor (E_R), para a determinação da tensão aplicada (E_a) ao circuito. Isto é expresso pelo gráfico da figura 1-18.

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

$$E_a = \sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2)}$$

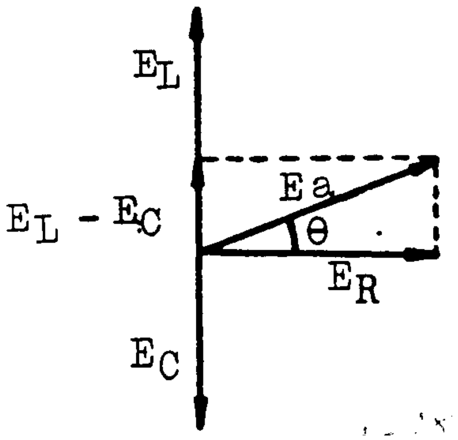


Figura 1-18

Impedância

O raciocínio para o cálculo da impedância de um circuito RCL em série de CA é semelhante ao que foi visto para o cálculo da

Assim tensão aplicada., a primeira operação será a diferença entre X_L e X_C, em virtude de serem vetores diretamente opostos entre si, conforme nos mostra a figura 1-19.

Este resultado será composto vetorialmente com o valor da impedância.

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

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

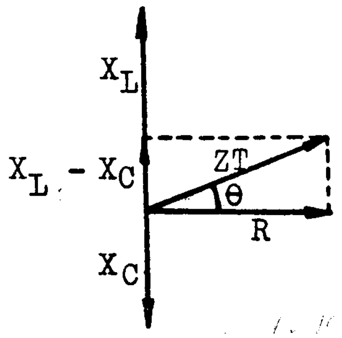


Figura 1-19

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da tensão aplicada (E_a), com o vetor da tensão (E_R) e poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas dos diagramas das figuras 1-20 e 1-21.

Como:

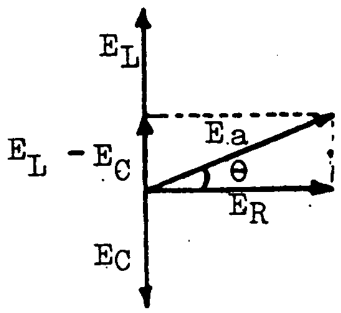


Figura 1-20

Logo:

$$tg\ \theta = \frac{E_L - E_C}{E_R}$$

$$\cos\ \theta = \frac{E_R}{E_a}$$

Como:

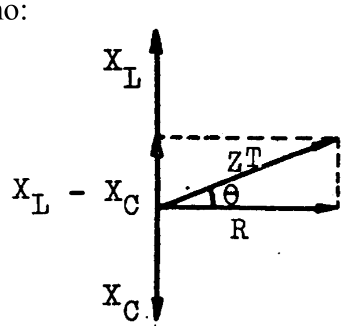


Figura 1-21

Logo: $tg\ \theta = \dfrac{X_L - X_C}{R}$

$$\cos\ \theta = \frac{R}{Z_T}$$

Classificação dos Circuitos RCL em Série:

a) Quando X_L for maior que X_C ou E_L maior que E_C temos: θ positivo, circuito RL;

b) Quando X_C for maior que X_L ou E_C maior que E_L temos: θ negativo, circuito RC;

c) Quando X_L for igual a X_C ou E_L igual a E_C temos: θ igual a zero, circuito resistivo.

Potência aparente, real e fator de potência

Empregam-se as mesmas equações já vistas nos circuitos RL ou RC, ou seja:

$P_A = E_a \times I_T$ $\qquad P_A = I_T^2 \times Z_T$

$$P_A = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

$P_R = E_R \times I_T$ $\qquad P_R = E_a \times I_T \times \cos\ \theta$

$f_p = \dfrac{P_R}{P_A}$ $\qquad f_p = \cos\theta$

$$f_p = \frac{R}{Z_T}$$

Exercício resolvido:

Determine no circuito da figura 1-22, a impedância, o fator de potência, a intensidade da corrente, a potência aparente, real e a tensão em cada um dos elementos.

Dados:

X_L = 900 ohms

X_C = 500 0hms

R = 300 ohms

E_a = 125V

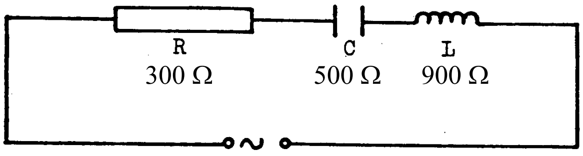


Figura 1-22

Cálculo da impedância

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

$$Z_T = \sqrt{300^2 + (900 - 500)^2}$$

$$Z_T = 500\ \Omega$$

Cálculo do fator de potência:

$$\cos\theta = \frac{R}{Z_T} \qquad \cos\theta = \frac{300}{500}$$

$$\cos\theta = 0,6$$

Como: $f_p = \cos\theta$

Logo: $f_p = 0,6$ ou 60%

Cálculo da intensidade da corrente:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T} \qquad I_T = \frac{125}{500}$$

$$I_T = 0,25A \text{ ou } 250\ mA$$

Cálculo da potência aparente:

$$P_A = E_a \times I_T \qquad P_A = 125 \times 0,25$$

$$P_A = 31,25VA$$

Cálculo da potência real:

$$P_R = E_a\ x\ I_T\ x\ \cos\theta$$

$$P_R = 125 \times 0,25 \times 0,6$$

$$P_R = 18,75W$$

Cálculo da tensão no resistor:

$$E_R = R \times I_T \qquad E_R = 300 \times 0,25$$

$$E_R = 75V$$

Cálculo da tensão no indutor:

$$E_L = X_L \times I_T \qquad E_L = 900 \times 0,25$$

$$E_L = 225V$$

Cálculo da tensão no capacitor:

$$E_C = X_C \times I_T \qquad E_C = 500 \times 0,25$$

$$E_C = 125V$$

RESSONÂNCIA EM SÉRIE

Os fenômenos de um circuito ressonante constituem uma característica muito significativa dos circuitos eletrônicos. São encontrados em rádio, radar, televisão, aplicações em projéteis teleguiados, etc. A forma que um aparelho de rádio pode sintonizar uma estação desejada, encontra sua resposta no estudo dos circuitos ressonantes.

Quando é estabelecida a igualdade entre a reatância indutiva e a reatância capacitiva ($X_L = X_C$), a qual determina a igualdade entre as tensões $E_L = E_C$, dizemos que o circuito está em ressonância.

Esta condição é desejável em vários circuitos usados em eletrônica, mas pode trazer conseqüências desagradáveis, com danos para os elementos de um circuito, quando não é prevista.

Sabemos que a reatância indutiva é diretamente proporcional à freqüência e que a reatância capacitiva é inversamente proporcional à mesma.

Assim, quando aplicamos uma CA a um circuito RCL em série e fazemos a freqüência variar desde um valor praticamente nulo a um valor alto, podemos observar o crescimento da reatância indutiva e a queda da reatância capacitiva.

Numa determinada freqüência as duas grandezas tornam-se iguais, veja a figura 1-23, e o circuito apresenta características que correspondem à condição denominada ressonância.

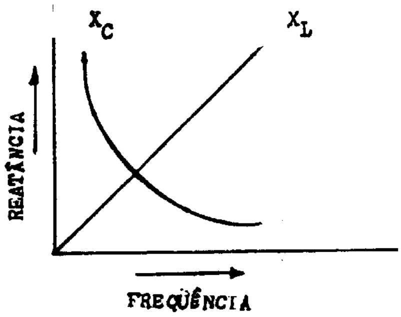


Figura 1-23

Impedância

Quando o circuito RCL em série entra em ressonância, a reatância total do circuito é zero, uma vez que X_L e X_C se anulam mutuamente porque estão 180° defasadas. É claro, portanto, que quando $X_L = X_C$ a impedância (Z_T) do circuito será a própria resistência (R), uma vez que:

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

Como: $X_L = X_C$

Logo: $Z_T = R$

Do exposto, é evidente, que quando um circuito RCL em série entra em ressonância, a corrente do circuito é máxima, uma vez que a impedância é mínima, pois a única oposição que o circuito oferece deve-se somente à sua resistência. Portanto, a corrente de um circuito RCL em série atinge seu maior valor no ponto de ressonância.

Análise do Circuito Ressonante

O estudo feito até agora registra as condições de um circuito sintonizado no ponto de ressonância; contudo, para que se possa entender melhor o comportamento do circuito, é necessário analisar as condições que nele existem, em ambos os lados da ressonância.

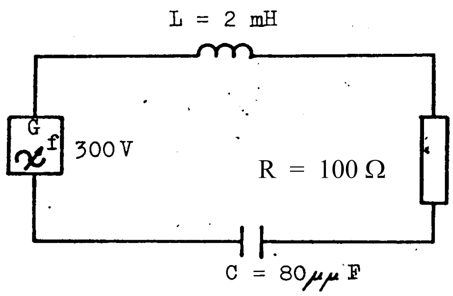


Figura 1-24

Na figura 1-24, temos circuito RCL em série, em que podemos calcular a tensão, a corrente e a impedância.

A freqüência do gerador pode ser variada de 100 a $600 K_{HZ}$, permitindo dessa maneira que se observe a conduta do circuito ao entrar e ao sair de ressonância.

A corrente do circuito é calculada para as diversas freqüências do gerador. Empregando-se as equações já conhecidas, para $100 K_{HZ}$, tem-se:

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

$$X_L = 6{,}28 \times 2 \times 10^2$$

$$X_L = 6{,}28 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 1256 \text{ ohms}$$

Como: $X_C = \dfrac{1}{2 \pi f \times C}$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times 10^5 \times 8 \times 10^{-11}}$$

$$X_C = 19890 \text{ ohms}$$

A reatância efetiva ou total do circuito (X) pode então ser calculada:

$$X = X_C - X_L$$

$$X = 19890 - 1256$$

$$X = 18634$$

A impedância do circuito será:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Como X é 200 vezes maior que R, a impedância pode ser considerada, na prática, igual à própria reatância.

Então, ter-se-á: $Z_T = 18634$

A corrente I_T, calcula-se pela Lei de Ohm, logo teremos: $I_T = \dfrac{E_a}{Z_T}$

$$I_T = \frac{3000}{18634} \qquad I_T = 16\,mA$$

Em uma análise do comportamento do circuito, podem-se calcular os valores acima determinados entre os limites de trabalho do equipamento (100 a 600KHz).

A tabela abaixo (figura 1-25) relaciona os valores das reatâncias, a diferença entre elas, a impedância e a corrente no circuito, para cada freqüência de operação.

FREQ.	X_l	X_C	x	R	Z	E	I
KHz	OHM	OHM	x_l-x_c	OHM	OHM	VOLT	AMPERE
100	1256	19890	18634	100	18634	300	0,016
200	2512	9945	7433	100	7433	300	0,04
398	5000	5000	ZERO	100	100	300	3
500	6280	3978	2302	100	2302	300	0,13
600	7536	3315	4221	100	4221	300	0,071

Figura 1-25

A figura 1-26 apresenta o gráfico da variação da corrente em função da freqüência. O conjunto gráfico e tabela mostra claramente que, na freqüência de ressonância (398), a impedância é mínima (igual a R), a corrente é máxima e as reatâncias são iguais.

Portanto, um circuito série ressonante RCL atua como se fora um circuito simples, unicamente resistivo. O fluxo da corrente é limitado exclusivamente pela resistência.

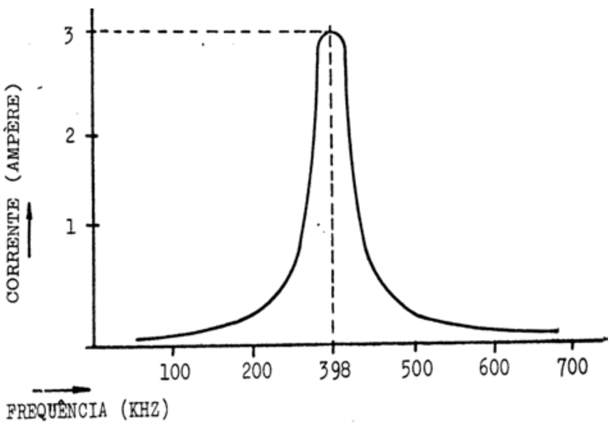


Figura 1-26

Todavia, as tensões nos elementos reativos, embora iguais e opostas, podem atingir valores bastante elevados. Essas tensões são determinadas pela corrente que percorre o circuito multiplicado pela reatância do elemento (Lei de Ohm).

No circuito da figura 27, temos o circuito RCL em ressonância, onde os medidores nos mostram as leituras das tensões e correntes.

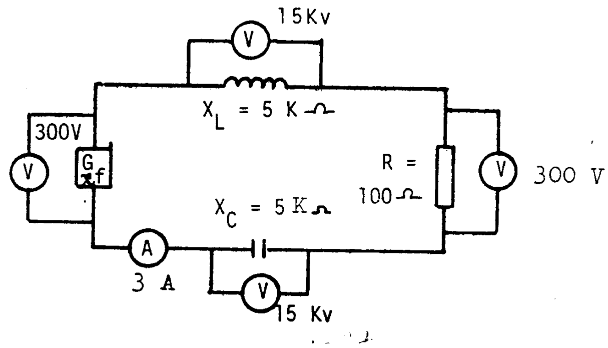


Figura 1-27

$$E_L = I_T \times X_L = 3 \times 5000 = 15000v$$

$$E_C = I_T \times X_C = 3 \times 5000 = 15000v$$

A tensão em L ou C é igual a 50 vezes a tensão aplicada. A tensão reativa depende da corrente que percorre o circuito a qual, por sua vez, depende da resistência ôhmica.

Desta forma, um circuito ressonante de resistência pequena é capaz de gerar tensões elevadas através das reatâncias.

Isto se aplica a circuitos que necessitam de um ganho de tensão, embora lhes seja aplicada uma baixa tensão.

Freqüência de Ressonância

A freqüência em que um circuito RCL em série entra em ressonância pode ser determinada da seguinte maneira:

Como: $X_L = X_C$

Logo teremos:

$$2\pi f \times L = \frac{1}{2\pi f \times c}$$

$$4\pi^2 \times f^2 \times C \times L = 1$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 \times L \times C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

Onde:

f_r = freqüência de ressonância (Hertz)

L = indutância (Henry)

C = Capacitância (Farad)

Um exame da equação em apreço faz-nos concluir que a resistência do circuito não influi na sua freqüência de ressonância e que esta só depende do produto LC. Isto significa que circuitos com valores diferentes para L e para C podem entrar em ressonância na mesma freqüência, desde que os produtos LC sejam iguais.

Por isto, podem-se fazer num circuito, várias combinações de L e C, obtendo-se o mesmo produto. Sendo constante o produto, constante será também a freqüência de ressonância. Exemplo: uma indutância de 0,5 mH e uma capacitância de 32 μμ F irão ressonar na mesma freqüência (398$_{HZ}$ que uma bobina de 2 mH e uma capacitância de 80μμ F.

Curvas de Ressonância

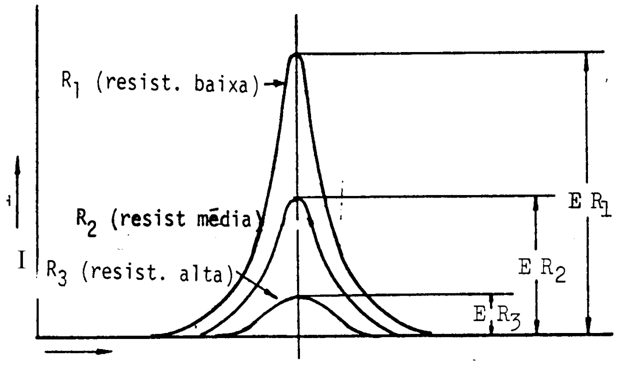
Como já foi visto, a freqüência de ressonância independe do valor da resistência do circuito. Um circuito que tenha uma resistência de 100 ohms terá a mesma freqüência de ressonância que um circuito com 1 ohm de resistência, desde que o produto LC seja constante, em ambos os casos. Entretanto, a intensidade da corrente no circuito cresce à medida que a resistência diminui.

Se fosse possível montar um circuito com resistência nula, a corrente na ressonância seria infinitamente grande.

Na prática, a resistência nunca é nula, mas pode ser elevada e dentro dos limites finitos. Na figura 1-28, temos algumas curvas típicas de ressonância para um circuito que tenha os mesmos valores L de e C, mas valores diferentes para a resistência.

A diferença entre os valores de pico de cada um das curvas deve-se ao fato das resistências possuírem valores diferentes. Observe-se também que à medida que a resistência R aumenta, as curvas de respostas tornam-se mais achatadas e mais largas nas proximidades da freqüência de ressonância.

Se a resistência de um circuito ressonante for muito grande, o circuito perde sua utilidade como seletor de freqüência, por ser diminuta a discriminação do fluxo de corrente entre as freqüências que são e as que não o são.



f_r = freqüência ressonante

Figura 1-28

Assim, o circuito perde a vantagem de seletividade de freqüência.

O “Q” e a seletividade

A fim de que os receptores de rádio possam desempenhar suas funções, é necessário que este selecione uma estreita faixa de freqüência, rejeitando as demais.

Só assim se conseguirá separar emissoras que se acham muito próximas no dial do rádio.

Quanto mais estreita for a faixa de freqüência, maior será sua seletividade. Portanto, seletividade é a aptidão que tem um receptor de selecionar um sinal, entre muitos outros de freqüências próximas.

A seletividade de um aparelho é determinada pelos seus circuitos sintonizados.

Quanto menor possamos fazer a resistência de uma bobina, com respeito à sua reatância, maior será a seletividade.

A seletividade de uma bobina é medida pela relação “Q” que é igual à sua reatância dividida pela sua resistência.

Como a resistência de um capacitor é mais baixa do que a resistência de uma bobina, esta constitui o elo mais fraco do circuito sintonizado.

O “Q” do circuito sintonizado é o “Q” da bobina.

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Como:

$$X_L = \frac{E_L}{I_T} \quad \text{e} \quad R = \frac{E_a}{I_T}$$

$$\text{Logo: } Q = \frac{\frac{E_L}{I_T}}{\frac{E_a}{I_T}} \qquad Q = \frac{E_L}{\cancel{I_T}} \times \frac{\cancel{I_T}}{E_a}$$

$$Q = \frac{E_L}{E_a}$$

Portanto, o “Q” de um circuito série ressonante vem a ser também a relação que existe entre a tensão no indutor ou no capacitor $(E_L = E_C)$ e a tensão aplicada (E_a) ao circuito.

A expressão anterior indica que o “Q” varia inversamente com a resistência do circuito; quanto mais baixa a resistência, maior será o “Q”.

As curvas de ressonância indicam que, quanto mais baixa for a resistência do circuito, maior será sua discriminação de freqüência. Por isto, o “Q” indica a capacidade de um circuito ressonante para selecionar ou rejeitar uma determinada faixa de freqüência, sendo por isso, conhecido como fator de qualidade ou mérito de um circuito.

Quanto maior for o “Q” de um circuito ressonante em série, maior será seu valor como seletor de freqüência.

Influência do “Q” no Ganho de Tensão

No circuito da figura 1-27, as tensões nas reatâncias por ocasião da ressonância são de 15000 volts, ao passo que a tensão aplicada (que é a mesma da resistência) é de 300 volts.

Esta alta tensão depende diretamente da corrente que percorre o circuito, a qual, por sua vez, depende da tensão aplicada e da resistência.

Comparando-se a tensão em uma das reatâncias com a tensão aplicada, tem-se uma idéia exata da qualidade do circuito ressonante.

O circuito ressonante em série amplifica a tensão aplicada na freqüência de ressonância. Se as perdas do circuito são baixas, o “Q” do circuito será alto e a amplificação de tensão será relativamente grande. A amplificação de tensão do circuito da figura 1-27, será de:

$$Q = \frac{E_L}{E_a}$$

$$Q = \frac{15000}{300} \qquad Q = 50$$

Largura de Faixa

Largura de faixa (Band Width) ou faixa de passagem de um circuito é uma faixa de freqüência na qual a variação da tensão aplicada, produz resposta que não difere muito da obtida na freqüência de ressonância.

Os limites mínimos da resposta em geral, são tomadas na curva de ressonância a 0,707 do valor máximo da corrente ou tensão, conforme o que se esteja calculando.

Na figura 1-29, a área sombreada representa a faixa de freqüência para a qual a corrente é maior que 0,707 do valor de pico. Observe-se que a metade desta faixa fica acima da freqüência de ressonância (f_r até f_2) e a outra metade abaixo (f_r até f_1).

As duas freqüências, uma acima e outra abaixo da ressonância, nas quais são obtidas respostas mínimas, formam os limites da largura da faixa aceita do circuito.

Os pontos f_1 e f_2 são chamados pontos de meia potência, em virtude desses pontos corresponderem a 50% da potência máxima.

A largura da faixa de passagem, também conhecida como passa banda (ban pass), pode ser determinada pela seguinte equação:

$$Bw = f_2 - f_1$$

Em que:

Bw = faixa de passagem (Hertz)

f_2 = freqüência mais alta que passa pelo circuito (Hertz)

f_1 = freqüência mais baixa que passa pelo circuito (Hertz)

Todavia, como o “Q” do circuito determina a largura total da curva de ressonância, a faixa de passagem também pode ser calculada baseando-se na freqüência de ressonância (f_r) e no “Q” do circuito, ou seja:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

Em que:

B_w = faixa de passagem (Hertz)

f_r = freqüência de ressonância (Hertz)

Q = qualidade ou ganho

Nesta fórmula, permite ver-se que quanto maior for o "Q", menor será a faixa de passagem e, inversamente, quanto menor for o "Q", maior será a faixa de passagem.

A freqüência mais baixa que passa pelo circuito (f_1) assim como a mais alta (f_2) podem ser calculadas da seguinte maneira:

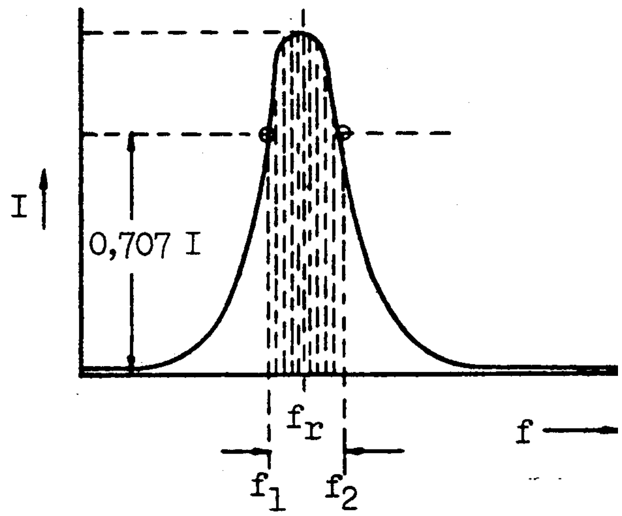


Figura 1-29

Como:

$$f_r - f_1 = \frac{Bw}{2} \quad e \quad f_2 - f_r = \frac{Bw}{2}$$

Logo:

$$f_1 = f_r - \frac{Bw}{2} \qquad f_2 = f_r + \frac{Bw}{2}$$

Exercício resolvido:

Calcule a faixa de passagem do circuito da figura 1-30, sabendo-se que sua freqüência de ressonância é de 160_{HZ} e monte sua curva de ressonância.

Dados: X_L = 400 ohms

X_C = 400 ohms f_r = 160000 Hz

R = 5 ohms E_a = 50v

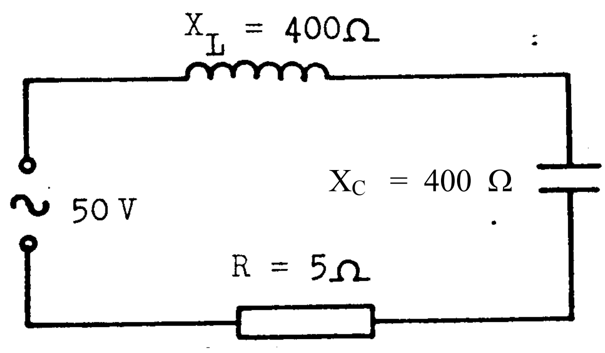


Figura 1-30

Cálculo da corrente:

$$I = \frac{E}{R} \qquad I = \frac{50}{5} \qquad I = 10A$$

Cálculo do "Q":

$$Q = X_L \qquad Q = \frac{400}{5} \qquad Q = 80$$

Cálculo da Faixa de Passagem:

Faixa de passagem:

$$\frac{f_r}{Q} = \frac{160000}{80} = 2000 \text{ Hz}$$

Para a Curva de Ressonância, teremos:

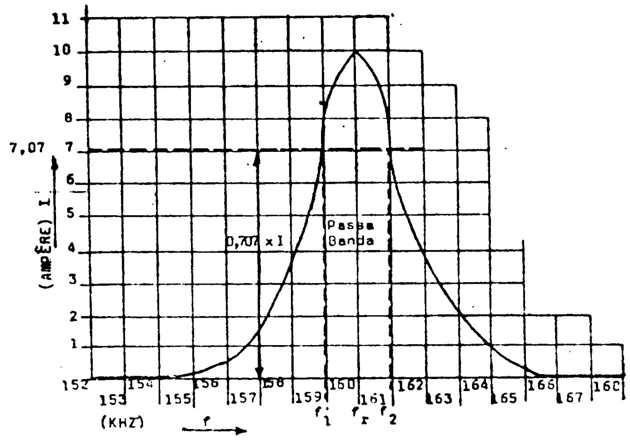


Figura 1-31

No rádio, da mesma forma que nos outros equipamentos eletrônicos, é muito freqüente o uso e a aplicação dos circuitos reativos em paralelo.

A importância dos circuitos reativos em paralelo deve-se ao fato de que eles aparecem no estudo dos amplificadores eletrônicos e, devido a isso, é essencial a compreensão das relações existentes entre tensões, intensidade de corrente, impedância e potência nesses circuitos.

CIRCUITO RL EM PARALELO

Vimos que, no circuito reativo em série, por ser a corrente um elemento constante em todos os pontos do circuito, tomávamos seu vetor como referência, para representação gráfica e cálculos.

No circuito reativo em paralelo, porém, o elemento constante é a tensão, ou seja, a tensão aplicada é a mesma em todos os ramos do circuito. Além de terem o mesmo valor estão em fase.

Daí a razão porque a tomaremos como vetor referência.

Intensidade de corrente

Ao se ligar um indutor em paralelo com um resistor, a tensão no indutor (E_L) e no resistor (E_R) é idêntica à tensão aplicada e estão em fase entre si.

Todavia, a corrente através do indutor está atrasada de 90º em relação à tensão aplicada, e a corrente através do resistor está em fase com a tensão aplicada. Logo, podemos concluir que a corrente no indutor (I_L) está atrasada de 90º em relação a corrente no resistor (I_R).

A figura 1-32, nos mostra um circuito RL em paralelo e a figura 1-33, sua relação de fase.

A corrente total de qualquer circuito RL em paralelo não pode ser determinada pela soma aritmética das correntes nos vários ramais, por causa da diferença de fase.

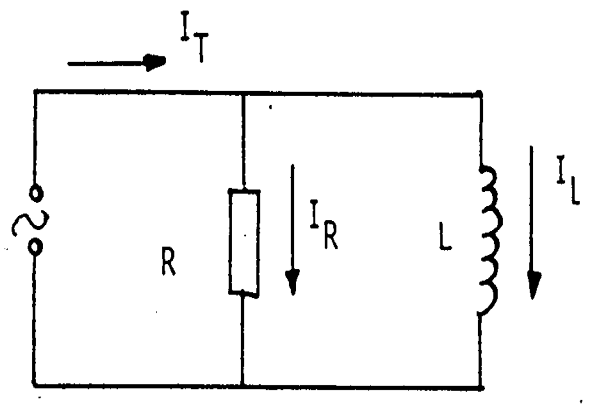


Figura 1-32

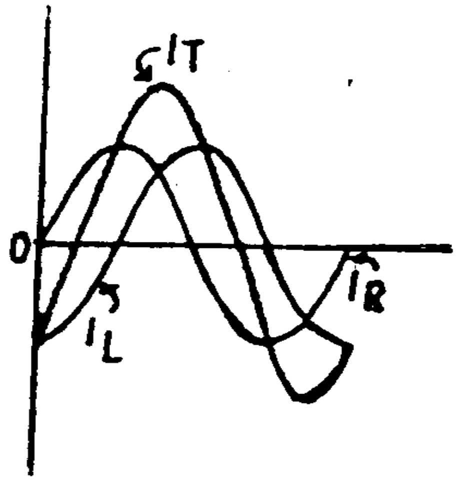


Figura 1-33

No gráfico da figura 1-34, a corrente no resistor I_R é representada pelo vetor horizontal e a corrente no indutor I_L, pelo vetor vertical. O vetor I_L é orientado no sentido negativo porque está atrasado em relação a I_R.

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

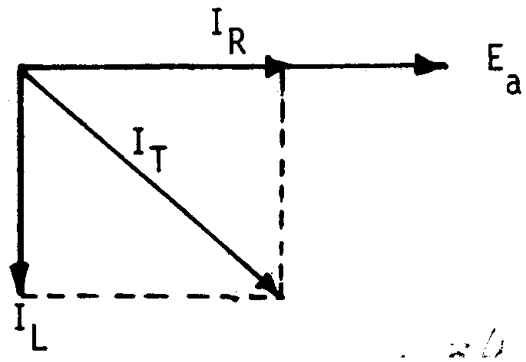


Figura 1-34

O módulo do vetor da corrente de linha I_T é sempre maior do que I_R ou I_L, porque ele é a hipotenusa de um triângulo retângulo.

Para se calcular a corrente no resistor e no indutor, emprega-se a Lei de Ohm:

$$I_R = \frac{E_R}{R} \qquad I_L = \frac{E_L}{X_L}$$

Como: $E_a = E_R = E_L$

Logo:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

Em que:

E_a = tensão aplicada (volts)

E_R = tensão no resistor (volts)

E_L = tensão no indutor (volts)

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RL em paralelo pode ser determinada pela Lei de Ohm, ou seja:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

Todavia, nos circuitos CC, vimos que, para efetuar o cálculo da resistência equivalente entre dois resistores no circuito, empregávamos a seguinte fórmula:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Analogamente, nos circuitos reativos em paralelo, podemos calcular a impedância por intermédio de uma fórmula semelhante a esta. Donde, por analogia, teremos:

$$Z_T = \frac{R \times X_L}{\sqrt{R^2 \times X_L^2}}$$

Ângulo de Fase

Denomina-se ângulo de fase (θ), ao ângulo que a corrente de linha (I_T) forma com a tensão aplicada (E_a). Veja a figura 1-35.

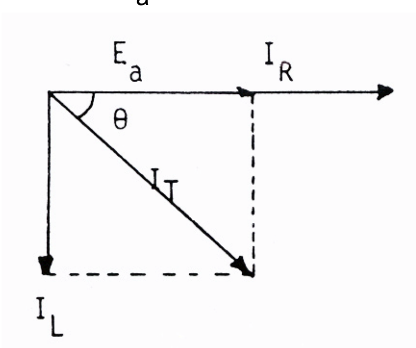


Figura 1-35

O ângulo de fase (θ) poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama vetorial da figura 1-36.

Logo: $\operatorname{tg} \theta = \frac{I_L}{I_R}$

Como: $I_L = \frac{E_a}{X_L}$ e $I_R = \frac{E_a}{R}$

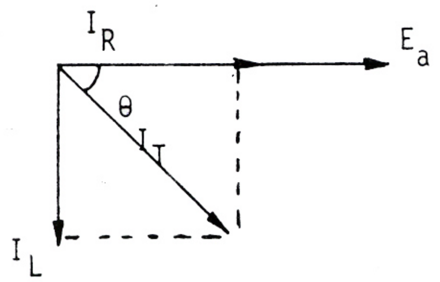


Figura 1-36

Logo: $\operatorname{tg} \theta = \dfrac{\frac{E_a}{X_L}}{\frac{E_a}{R}}$

$\operatorname{tg} \theta = \frac{\cancel{E_a}}{X_L} \times \frac{R}{\cancel{E_a}}$ $\qquad \operatorname{tg} \theta = \frac{R}{X_L}$

Em função do diagrama da figura 1-36 temos que, o $\cos \theta = \frac{I_R}{I_T}$

Como: $I_R = \frac{E_a}{R}$ e $I_T = \frac{E_a}{Z_T}$

Logo: $\cos \theta = \dfrac{\frac{E_a}{R}}{\frac{E_a}{Z_T}}$

$\cos \theta = \frac{\cancel{E_a}}{R} \times \frac{Z_T}{\cancel{E_a}}$ $\qquad \cos \theta = \frac{Z_T}{R}$

Potência Elétrica

Todo circuito que contenha resistência e reatância, parte da potência é dissipada no resistor sob a forma de calor e parte é devolvida à fonte. O produto $P_T = E_a \ x \ I_T$, é chamado de potência aparente, (P_a) sendo sua unidade o Volt Ampère (VA).

A potência aparente poderá ser calculada por qualquer uma das equações abaixo:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_a = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_a = \frac{E_a^2}{Z_T}$$

A potência dissipada pelo resistor é chamada de potência real, verdadeira ou efetiva do circuito, sendo sua unidade o Watt.

Podemos calcular a potência real (P_R) de um circuito por intermédio da seguinte equação:

$$P_R = E_a \times I_R$$

Como:

$$\cos\theta = \frac{I_R}{I_T}$$

Logo::

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

Fator de Potência

Defini-se como fator de potência (f_p), a relação entre a potência real (P_R)e a potência aparente (P_A) de um circuito.

$$f_p = \frac{P_R}{P_A}$$

Como:

$$P_R = E_a \times I_R \quad \text{e} \quad P_A = E_a \times I_T$$

Logo: $f_p = \frac{\cancel{E_a} \times I_R}{\cancel{E_a} \times I_T} \qquad f_p = \frac{I_R}{I_T}$

Porém, como $\cos\theta = \frac{I_R}{I_T}$

Logo: $f_p = \cos\theta$

Em conseqüência, o fator de potência poderá ser calculado por qualquer uma das equações apresentadas.

O fator de potência é usualmente expresso em fração decimal ou percentagem.

CIRCUITO RC EM PARALELO

As considerações básicas, feitas para o circuito RL em paralelo, continuam a ter valor para o circuito RC em paralelo que agora vamos estudar e no qual temos um resistor e um capacitor associados, como mostra a figura 1-37.

Tratando-se de um circuito em paralelo, a tensão é a mesma em qualquer ponto do circuito e estão em fase entre si.

Contudo, a corrente que atravessa o capacitor está adiantada de 90º em relação ã tensão aplicada e a corrente que percorre o resistor está em fase com a mesma tensão, conforme nos mostra a figura 1-38.

Isto quer dizer que a corrente capacitiva se apresenta defasada de 90º, em avanço sobre a corrente resistiva.

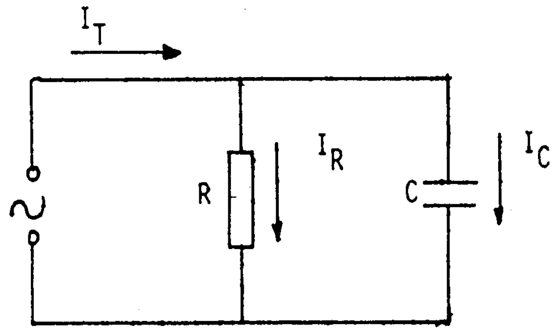


Figura 1-37

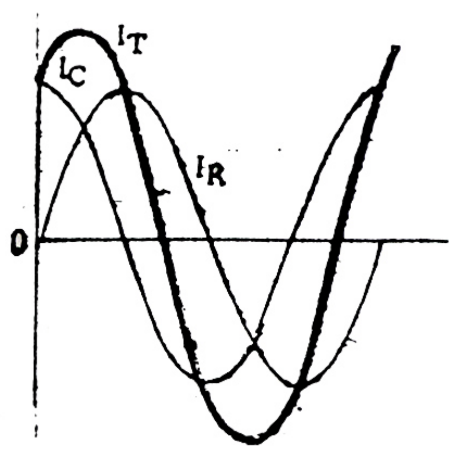


Figura 1-38

No gráfico da figura 1-39, a corrente I_R é representada pelo vetor horizontal e a corrente no indutor I_C pelo vetor vertical. O vetor I_C é orientado no sentido positivo porque está adiantado em relação a I_R.

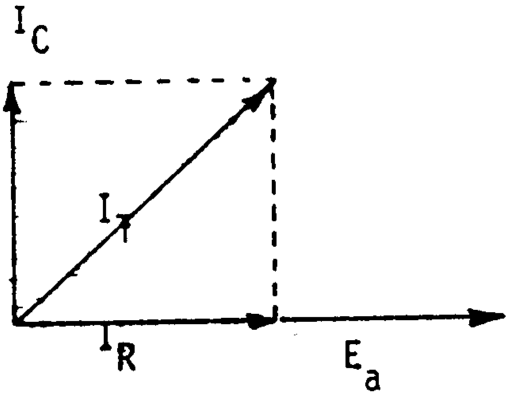


Figura 1-39

A corrente resultante (I_T) ou de linha é a soma vetorial destas duas correntes, ou seja:

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

O módulo do vetor da corrente de linha (I_T) é sempre maior do que I_R ou I_C, porque ele é a hipotenusa de um triângulo retângulo.

Para se calcular a corrente no resistor e no capacitor, emprega-se a Lei de Ohm:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RC em paralelo pode ser determinada pela lei de Ohm, ou seja:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

Ou através da seguinte equação:

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

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ, como já vimos, é o ângulo formado pelo vetor da corrente de linha (I_T) com o vetor da tensão aplicada (E_a).

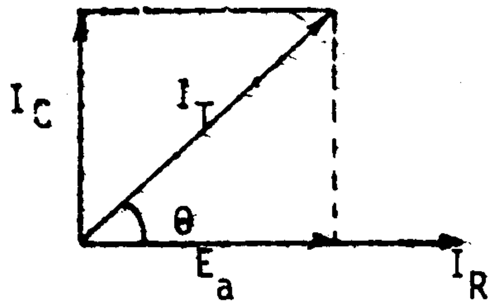


Figura 1-40

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama vetorial da figura 1-41.

Como:

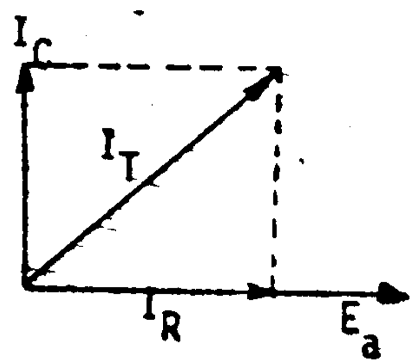


Figura 1-41

Logo: $\text{tg}\ \theta = \frac{I_C}{I_R}$

Porém, como: $I_C = \frac{E_a}{X_C}$ e $I_R = \frac{E_a}{R}$

Logo: $\text{tg}\ \theta = \frac{\frac{E_a}{X_C}}{\frac{E_a}{R}}$ $\quad \text{tg}\,\theta = \frac{E_a}{X_C} \times \frac{R}{E_a}$

$$\text{tg}\ \theta = \frac{R}{X_C}$$

Em função do diagrama da figura 1-41, temos que, o $\cos\ \theta = \frac{I_R}{I_T}$

Como: $I_R = \frac{E_a}{R}$ e $I_T = \frac{E_a}{Z_T}$

Logo:

$$\cos\theta = \frac{\frac{E_a}{R}}{\frac{E_a}{Z_T}} \qquad \cos\theta = \frac{\cancel{E_a}}{R} \times \frac{Z_T}{\cancel{E_a}}$$

$$\cos\theta = \frac{Z_T}{R}$$

Potência aparente e real

Para se calcular a potência aparente (P_a) e a potência real (P_R), empregam-se as mesmas equações já vistas no circuito RL em paralelo, ou seja:

$$P_a = E_a \times I_T \qquad P_a = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_a = \frac{E_a^2}{Z_T} \qquad P_R = E_a \times I_R$$

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

Fator de Potência

Para o cálculo do fator de potência empregam-se as mesmas equações vistas no circuito RL em paralelo, em que:

$$f_p = \frac{P_R}{P_a}$$

$$f_p = \frac{I_R}{I_T}$$

$$f_p = \cos\theta$$

CIRCUITO RCL EM PARALELO

Quando se aplica uma CA em um circuito paralelo contendo resistor, capacitor e indutor, conforme mostra a figura 1-42, é necessário levar em consideração o fato de que os ângulos de fase entre a corrente e a tensão diferem nos três elementos.

Tomando-se a tensão de um circuito paralelo como referência, temos: no resistor, a corrente (I_R) está em fase: no indutor, a corrente (I_L) está atrasada de 90º e no capacitor, a corrente (I_C) está adiantada de 90º.

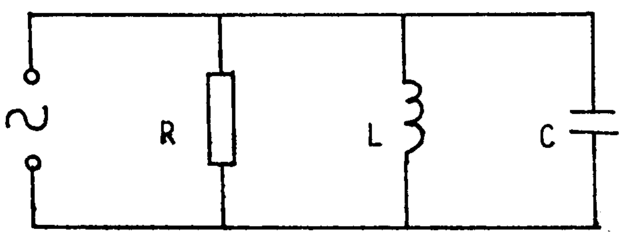


Figura 1-42

Como em qualquer circuito em paralelo, a tensão é a mesma em qualquer ponto do circuito e estão em fase entre si, podemos concluir que I_L está atrasada de 90º de I_R e I_C adiantada de 90º de I_R, conforme nos mostra a figura 1-43. Logo, podemos compor o diagrama vetorial, conforme figura 1-44.

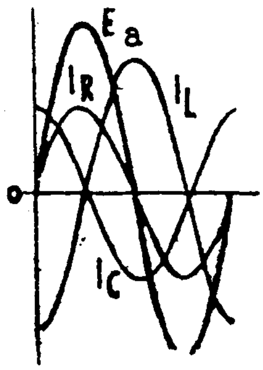


Figura 1-43

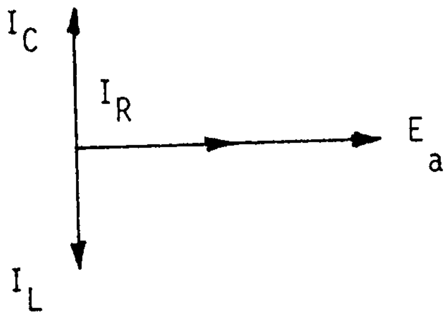


Figura 1-44

A soma vetorial das correntes I_R, I_L e I_C é igual a corrente total ou de linha do circuito. Como a corrente no capacitor I_C e a corrente no indutor I_L estão defasadas de 180º, logo, a corrente resultante da composição vetorial entre I_C e I_L é a diferença, já que são vetores diretamente apostos entre si. Esta corrente resultante será somada vetorialmente, com a corrente do resistor I_R, para a determinação da corrente total ou de linha do circuito. Isto é expresso pelo gráfico da figura 1-45.

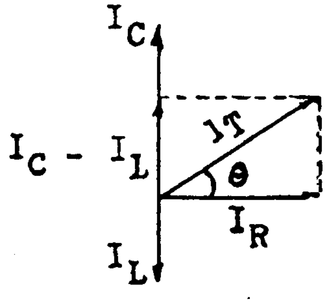


Figura 1-45

Pelo teorema de Pitágoras, teremos:

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

Neste tipo de circuito existe uma corrente circulatória que vem a ser a menor entre as duas correntes I_L e I_C. Esta corrente circula apenas no circuito formado por L e C. Depois da carga inicial do capacitor, ele descarrega através da bobina.

O fluxo da corrente através da bobina produz um campo magnético que se mantém, enquanto a corrente estiver fluindo.

Quando a corrente se reduz a zero, o campo magnético se desvanece, induzindo uma corrente que carrega o capacitor, mas com polaridade oposta à original. Aí o capacitor se descarrega em sentido oposto.

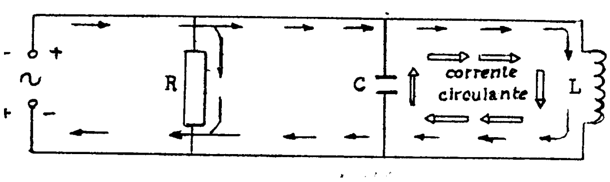


Figura 1-46

Os ciclos se repetem e o capacitor volta a se carregar ao seu estado original. Esses ciclos se repetem periodicamente e a sua ação dá origem a corrente circulatória, veja a figura 1-46.Para se calcular a corrente no resistor, capacitor e indutor, emprega-se a Lei de Ohm.

$$I_R = \frac{E_a}{R}$$

$$I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

$$I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

Cálculo da Impedância

A impedância de um circuito RCL em paralelo pode ser determinada pela Lei de Ohm, em que:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T}$$

ou através da seguinte equação:

$$Z_T = \frac{R \ x \ Z_1}{\sqrt{R^2 + Z_1^2}}$$

Onde:

$$Z_T = \frac{X_L \ x \ X_C}{X_C - X_L}$$

Ângulo de Fase

O ângulo de fase θ poderá ser determinado por meio das funções trigonométricas do diagrama da figura 1-47.

Como:

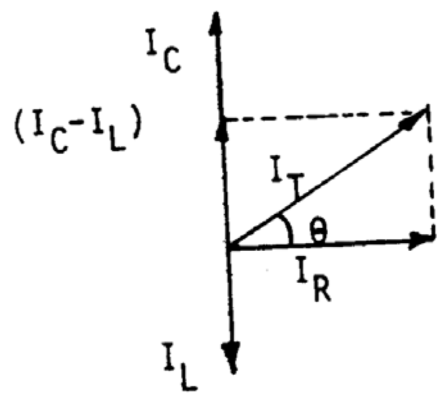


Figura 1-47

Logo:

$$\text{tg } \theta = \frac{I_C - I_L}{I_R} \qquad \cos \theta = \frac{I_R}{I_T} \text{ ou } \frac{Z_T}{R}$$

Classificação dos circuitos RCL em paralelo:

a) Quando X_L for menor que X_C ou I_L maior que I_C, temos: θ negativo, circuito R_L.

b) Quando X_C for menor que X_L ou I_C maior que I_L temos: θ positivo, circuito R_C.

c) Quando X_L for igual a X_C ou I_L igual a I_C, temos: θ igual a zero, circuito RESISTIVO.

Potência aparente, real e fator de potência

Para o cálculo, empregam-se as mesmas equações já vistas nos circuitos R_L ou RC em paralelo, ou seja:

$$P_A = E_a \times I_T \qquad P_A = I_T^2 \times Z_T$$

$$P_A = \frac{E_a^{\,2}}{Z_T}$$

$$P_R = E_a \times I_R$$

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

$$f_p = \frac{P_R}{P_A} \qquad f_p = \cos\theta$$

$$f_p = \frac{I_R}{I_T} \qquad f_p = \frac{Z_T}{R}$$

Dado o circuito da figura 1-48, determinar:

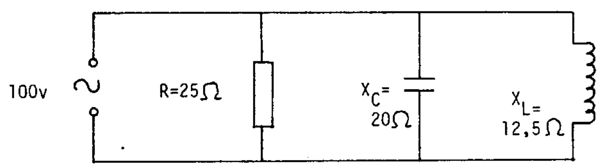


Figura 1-48

As intensidades de corrente I_R, I_C e I_L:

$$I_R = \frac{E_a}{R} \qquad I_R = \frac{100}{25\ \Omega} \qquad I_R = 4A$$

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \qquad I_C = \frac{100V}{20\ \Omega} \qquad I_C = 5A$$

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{100V}{12{,}5\ \Omega} \qquad I_L = 8A$$

A corrente total ou de linha:

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

$$I_T = \sqrt{4^2 + (8 - 5)^2}$$

$$I_T = \sqrt{16 + 9} \qquad I_T = 5\ A$$

A impedância total do circuito:

$$Z_T = \frac{E_a}{I_T} \qquad Z_T = \frac{100V}{5\ A}$$

$$Z_T = 20\ \Omega$$

O fator de potência:

$$f_p = \frac{I_R}{I_T} \qquad f_p = \frac{4\ A}{5\ A}$$

$$f_p = 0{,}8 \text{ ou } 80\%$$

A potência real:

$$P_R = E_a \times I_T \times \cos\theta$$

$$P_R = 100 \times 5 \times 0{,}8$$

$$P_R = 400\ W$$

A potência aparente:

$$P_A = E_a \times I_T$$

$$P_A = 100 \times 5$$

$$P_A = 500\ VA$$

A corrente circulante no tanque:

A corrente circulatória é a menor entre as duas correntes I_L ou I_C.

Como I_C é a menor corrente, logo, a corrente circulatória será de 5^A.

RESSONÂNCIA EM PARALELO E CIRCUITO TANQUE IDEAL

Ressonância em paralelo

O circuito sintonizado em paralelo é um dos mais importantes da eletrônica, sendo amplamente empregado em transmissores, radio, radar, etc.

O fenômeno da ressonância em série, também se presta a uma análise nos circuitos em paralelo, entretanto, sua aplicação revela condições diferentes de operação.

Um circuito em paralelo encontra-se em ressonância quando é estabelecida a igualdade entre a reatância indutiva e a reatância capacitiva ($X_L = X_C$) a qual determina a igualdade entre as correntes $I_L = I_C$.

Circuito Tanque Ideal

Chama-se comumente tanque a qualquer associação LC, particularmente quando as reatâncias são ligadas, conforme a figura 1-49.

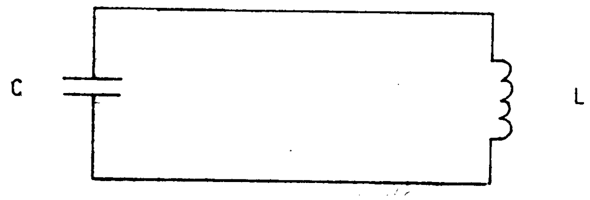


Figura 1-49

A designação tanque resulta da capacidade que têm os circuitos LC de armazenar energia. Embora o circuito tanque ideal não seja exeqüível na prática, uma análise de seu comportamento é instrutiva.

A figura 1-50 representa o esquema de um circuito tanque ideal (R = 0) em que um indutor e um capacitor estão associados em paralelo e ligados a uma fonte de CA de freqüência variável.

Há, portanto, dois caminhos por onde a corrente pode circular; um pelo indutor e outro pelo capacitor.

Se a fonte de CA operar em baixa freqüência, a maior parte da corrente circulará pelo indutor do que pelo capacitor, porque X_L é menor que X_C. Se, porém, a fonte de CA operar em alta freqüência, a maior parte da corrente circulará pelo capacitor porque X_C é menor que X_L.

Para uma determinada freqüência a reatância indutiva será igual à reatância capacitiva ($X_L = X_C$), logo, o circuito entra em ressonância.

A figura 1-51 mostra o gráfico da variação da reatância indutiva e capacitiva em função da freqüência.

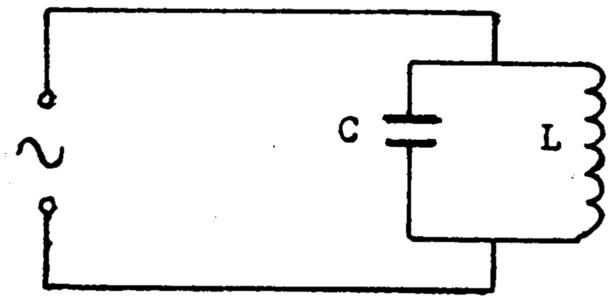


Figura 1-50

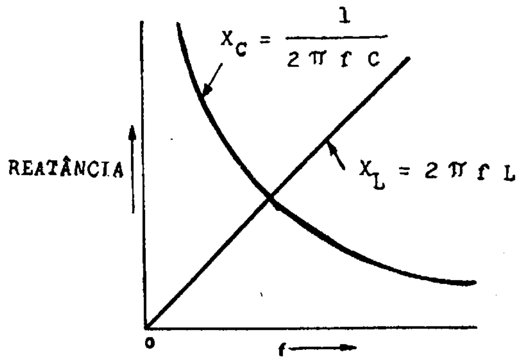


Figura 1-51

Uma vez estando o circuito em ressonância, a corrente através do indutor e do capacitor são iguais ($I_L = I_C$), porém defasadas de 180º. Assim sendo, a corrente total ou de linha que é a soma vetorial de I_L e I_C, é igual a zero. Este fato é mostrado por intermédio do diagrama vetorial da figura 1-52. Assim, nesse circuito ressonante em paralelo hipotético, a impedância do circuito será infinita e não haverá corrente de linha.

Todavia, haverá uma corrente circulatória no tanque apesar de nenhuma corrente ser fornecida pela fonte.

Depois da carga inicial do capacitor, ele descarrega sobre o indutor, isto é, a energia armazenada no capacitor fornece a corrente que percorre o indutor.

O campo magnético resultante em torno do indutor age como fonte de energia para recarregar o capacitor.

Essa transferência de energia entre os dois elementos continua na freqüência de ressonância sem qualquer perda.

O sistema está em estado oscilatório e pode ser comparado com um pêndulo em que, não havendo atrito, oscila continuamente, desde que tenha recebido um deslocamento inicial devido a uma fonte de energia.

$I_L = I_C$ e $X_L = X_C$

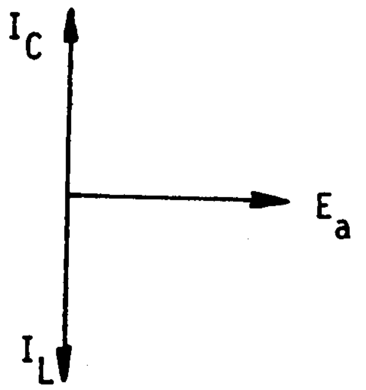


Figura 1-52

Mas, da mesma maneira que o pêndulo real nunca é totalmente desprovido de atrito e dissipa alguma energia durante a oscilação, os circuitos ressonantes em paralelo, na prática, incluem alguma resistência que absorve energia da fonte original.

Conseqüentemente apesar da impedância do circuito ser máxima na ressonância, tem valor finito, e não infinito e a corrente de linha, apesar de ser mínima e estar em fase com a tensão aplicada, não é igual a zero.

Na figura 1-53, temos o gráfico representativo da impedância e corrente em relação à variação de freqüência.

A corrente circulatória no tanque tem o mesmo sentido e é máxima quando o circuito encontra-se em ressonância.

Veja a figura 1-54.

A corrente circulatória, é considerada como sendo a corrente do capacitor I_C ou do indutor I_L, uma vez que $I_L = I_C$ e pode ser facilmente determinada pela Lei de Ohm:

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \quad \text{e} \quad I_L = \frac{E_a}{X_L}$$

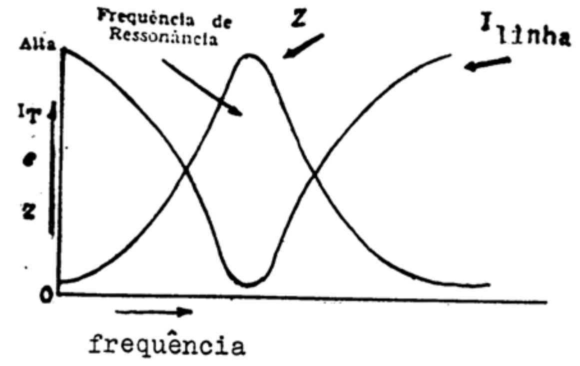


Figura 1-53

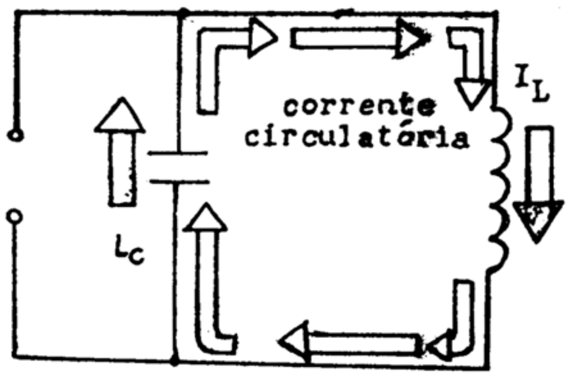


Figura 1-54

A ressonância nos circuitos paralelos é chamada de anti-ressonante, por serem seus efeitos exatamente opostos aos observados nos circuitos em série.

Freqüência Anti-ressonante

Aplica-se a expressão de freqüência anti-ressonante ao circuito em paralelo e freqüência de ressonância ao circuito em série. Em qualquer caso, uma combinação LC tem uma freqüência ressonante, qualquer que seja o nome que esta receba.

A freqüência anti-ressonante de um circuito paralelo é determinada da mesma maneira que num circuito em série, ou seja:

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

Impedância no circuito tanque ideal

No circuito ressonante em paralelo a tensão é a mesma e as correntes em cada ramo e na linha são determinadas pela impedância total da linha. Assim, a corrente no ramo indutivo ou capacitivo em qualquer instante é:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_C = \frac{E_a}{X_C}$$

A corrente total I_T na linha, pela Lei de Ohm, é:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T}$$

Além disso, como já foi visto, a corrente total é igual à soma vetorial das correntes nos ramos. Como essas correntes estão defasadas de 180º e X_C é convencionalmente negativo, tem-se:

$$I_T = I_L - I_C$$

Donde:

$$I_L - I_C = \frac{E_a}{Z_T} \qquad Z_T = \frac{E_a}{I_L - I_C}$$

$$Z_T = \frac{E_a}{\frac{E_a}{X_L} - \frac{E_a}{X_C}}$$

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_C - X_L}$$

A impedância de um circuito em paralelo difere de um circuito em série. Uma reatância indutiva grande em um circuito em série faz com que este haja indutivamente, porém, uma grande reatância indutiva num circuito em paralelo faz este agir capacitivamente, pois passa mais corrente pelo ramo capacitivo.

Um circuito tanque ideal apresenta as seguintes características:

a) Na ressonância, a impedância é infinita;

b) À medida que a freqüência se afasta da freqüência de ressonância, a impedância se aproxima de zero;

c) O circuito se aproxima indutivamente para as freqüências inferiores à de ressonância e, capacitivamente, para as freqüências maiores que a de ressonância. Os pontos precedentes indicam que o circuito tanque é muito versátil. Pode ser usado para substituir um capacitor ou um indutor.

Exercício resolvido

A figura 1-55 mostra o esquema de um circuito RC em paralelo. O gerador de freqüência variável entrega 300V.

A freqüência anti-ressonante será:

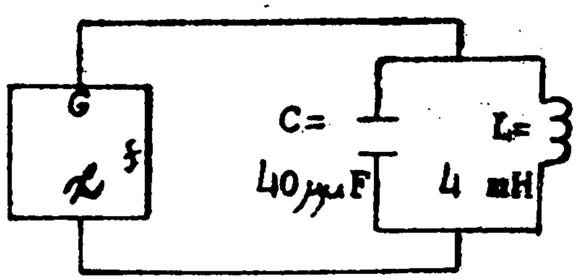


Figura 1-55

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

$$f_r = \frac{1}{6{,}28\sqrt{4 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^{-11}}}$$

$$f_r = 398000\,Hz$$

A corrente em qualquer um dos ramos é determinada pela reatância nesse ramo. Como I_L é igual a I_C, qualquer reatância pode ser usada.

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

$$X_L = 6{,}28 \times 398 \times 10^{3} \times 4 \times 10^{-3}$$

Logo:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{300}{10000}$$

$$X_L = 10000\,\text{ohms} \qquad I_L = 0{,}03\text{A}$$

Assim, a corrente circulatória no tanque é de 0,03A, mas a corrente na linha é praticamente nula; como já sabemos, a freqüência de ressonância oferece o máximo de impedância à linha.

Se a freqüência do gerador for mudada para 200 K_{Hz} a corrente nos ramos diferirá:

$$X_L = 2\,\pi \times f \times L$$

$$X_L = 6{,}28\ 398 \times 10^{3} \times 4 \times 10^{-3}$$

Logo: $I_L = \dfrac{E_a}{X_L}$

$$I_L = \frac{300}{10000}$$

$$X_L = 10000\text{ohms}$$

$$I_L = 0{,}03\text{A}$$

Assim, a corrente circulatória no tanque é de 0,03A, mas a corrente na linha é praticamente nula; como já sabemos, a freqüência de ressonância oferece o máximo de impedância à linha.

Se a freqüência do gerador for mudada para 200 K_{Hz} a corrente nos ramos diferirá:

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

$$X_L = 6{,}28 \times 2 \times 10^5 \times 4 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 5024 \text{ ohms}$$

Logo:

$$I_L = \frac{E_a}{X_L} \qquad I_L = \frac{300}{5024}$$

$$I_L = 0{,}059\text{A}$$

Como: $X_C = \dfrac{1}{2\pi \times f \times c}$

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \times 2\ 10^5 \times 4 \times 10^{-11}}$$

$$X_C = \frac{10^6}{50{,}24} \qquad X_C = 19900 \text{ ohms}$$

Logo:

$$I_C = \frac{E_a}{X_C} \qquad I_C = \frac{300}{19900}$$

$$I_C = 0{,}015\text{A}$$

Como a corrente indutiva é maior que a capacitiva, o circuito se conduz indutivamente. A corrente de linha é:

$$I_T = I_L - I_C$$

$$I_T = 0{,}059 - 0{,}015 \qquad T_T = 0{,}044\text{A}$$

Assim, a corrente na linha é de 44 mA, atrasada de 90º em relação à tensão aplicada. A figura 1-56, mostra o diagrama vetorial deste circuito na freqüência de 200 KHz.

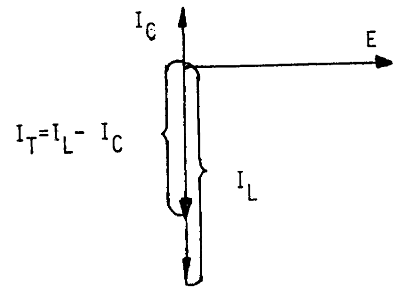


Figura 1-56

Empregando-se a fórmula da impedância, tem-se:

$$Z_T = \frac{X_L \times X_C}{X_C - X_L}$$

$$Z_T = \frac{5024 \times 19900}{19900 - 5024}$$

$$Z_T = 6720 \text{ ohms}$$

CIRCUITO TANQUE REAL E CIRCUITO TANQUE COM RESISTOR EM DERIVAÇÃO

Circuito Tanque Real

As conclusões obtidas no estudo do circuito tanque ideal e os resultados da análise do circuito anterior foram baseados na hipótese da resistência nos ramos em paralelo ser nula ou desprezível.

A figura 1-57 apresenta um diagrama esquemático equivalente a um circuito real. O ramo capacitivo contém uma resistência desprezível, enquanto que o ramo indutivo inclui toda a resistência do circuito.

A presença da resistência no circuito em paralelo significa que as correntes dos respectivos ramos não estão exatamente defasadas de 180º na ressonância. A resistência altera o ângulo de fase de cada ramo, como é visto na figura 1-58.

Assim as correntes dos ramos não se anulam completamente e resulta disso uma corrente de linha.

Dessa forma, o valor da corrente de linha na ressonância é, pois um indicativo da quantidade de resistência presente no circuito.

À medida que a resistência diminui, a corrente de linha tende para uma amplitude mínima e a entrar em fase com a tensão aplicada.

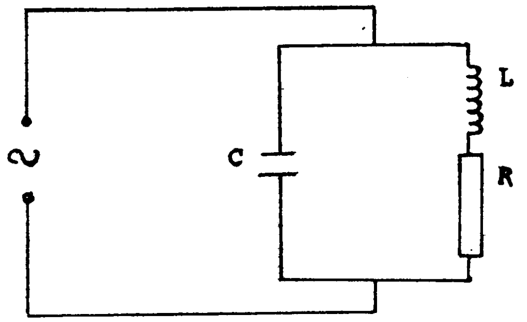


Figura 1-57

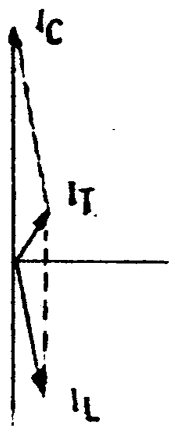


Figura 1-58

Fator de Qualidade

O fator de qualidade ou "Q" de um circuito ressonante em paralelo é igual ao de um circuito ressonante em série, em que:

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

Porém, no circuito ressonante em série, a qualidade ou Q do circuito também é determinada pela relação entre a tensão em cada reatância e a tensão aplicada. Como a tensão é a mesma no circuito ressonante em paralelo, o Q do circuito também é determinado pela relação entre a corrente no tanque e a corrente na linha, ou seja:

$$Q = \frac{I_{tanque}}{I_{linha}}$$

Como a corrente ressonante do tanque é igual à corrente de menor valor, I_C ou I_L e em virtude de I_L ser menor que I_C teremos:

$$Q = \frac{I_{tanque}}{I} \qquad Q = \frac{I_L}{I_T}$$

$$Q = \frac{\frac{E_a}{X_L}}{\frac{E_a}{Z_T}} \qquad Q = \frac{Z_T}{X_L}$$

Como: $X_L = X_C$

Logo: $Q = \frac{Z_T}{X_C}$

Obs.: esta equação, somente deve ser empregada quando o valor de R for muito baixo em relação a XL.

Assim, o Q de um circuito ressonante em paralelo também é considerado como sendo a relação entre a impedância e a reatância indutiva ou capacitiva.

Os circuitos de Q elevados são, como já vimos, muito úteis nos circuitos eletrônicos seletivos. Quanto maior for o Q, maior será a seletividade do circuito.

Curvas de Ressonância

Nos circuitos ressonantes em paralelo, a curva de impedância é a curva característica de ressonância (figura 1-59).

Como já foi visto, a freqüência de ressonância independe do valor da resistência do circuito.

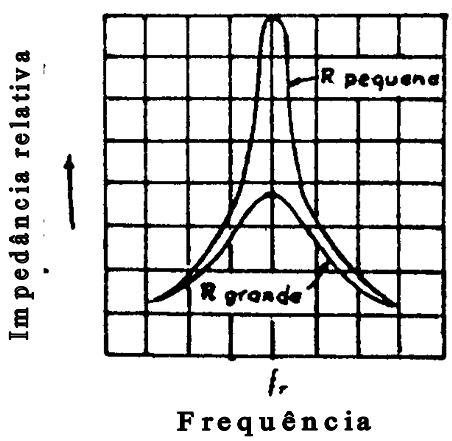


Figura 1-59

A agudeza da curva depende do Q do circuito e pode ser aumentada ou diminuída, respectivamente com o acréscimo ou decréscimo do valor da resistência. Se a resistência do circuito ressonante for muito grande, o circuito perde sua utilidade como seletor de freqüência.

Largura de Faixa

A largura de faixa do circuito ressonante em paralelo, segue as especificações para a largura de faixa do circuito ressonante em série.

Portanto, os limites efetivos da faixa de passagem são tomados nos pontos da curva de ressonância a 0,707 do valor de pico. Assim, as duas freqüências, uma acima e outra abaixo da ressonância (pontos de meia potência), formam os limites da largura de faixa. Veja a figura 1-60.

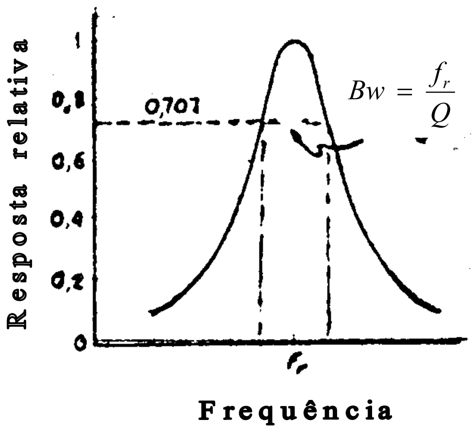


Figura 1-60

A largura de faixa de um circuito sintonizado pode ser determinada por meio da fórmula:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

Onde:

Bw = largura de faixa (hertz)

F_r = freqüência anti-ressonante (hertz)

Q = Qualidade

Circuito Tanque com resistor em derivação

Outro caso que deve ser mencionado é o que acontece quando um resistor está ligado em paralelo com o circuito tanque, conforme a figura 1-61. O resistor R é chamado de "resistor de amortecimento" e aumenta efetivamente a largura de faixa de um circuito, porque ele será responsável por uma parte da corrente de linha que a ressonância não pode cancelar. O amortecimento de derivação faz diminuir o Q do circuito e portanto o circuito fica menos seletivo.

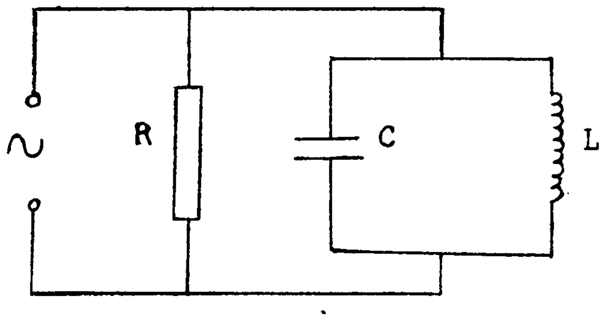


Figura 1-61

Exercício resolvido

Estando o circuito da figura 1-62 em ressonância, calcular:

Q = Z = I_T =

$I_{tan\,que}$ = P_R =

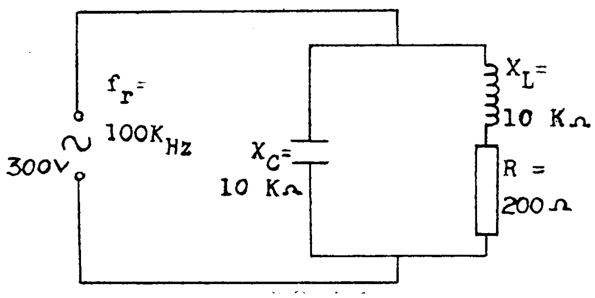


Figura 1-62

Cálculo do Q:

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad Q = \frac{10000}{200}$$

$$Q = 50$$

Cálculo da impedância:

$$Z = Q \times X_L \qquad Z = 50 \times 10000$$

$$Z = 500\ K\Omega$$

Cálculo da corrente de linha:

$$I_T = \frac{E_a}{Z_T} \qquad I_T = \frac{300}{500000}$$

$I_T = 0{,}6\ mA$

Cálculo da corrente no tanque:

$I_{tanque} = Q \times I_T$

$I_{tanque} = 50 \times 0{,}0006 \quad I_{tanque} = 30\ mA$

Cálculo da largura de faixa:

$$Bw = \frac{f_r}{Q}$$

$$Bw = \frac{100000}{50}$$

$$Bw = 2\,KHz$$

$$P_R = I_R^2 \times R$$

$$P_R = 0{,}03^2 \times 200$$

$$P_R = 0{,}18W$$

FILTROS DE FREQÜÊNCIA

Comumente, a corrente em um circuito de rádio contém vários componentes de freqüência. A função de um circuito de filtro é efetuar uma determinada separação destes componentes. Assim, um filtro pode ser usado para separar os componentes de corrente contínua dos de corrente alternada ou para separar grupos de componentes de corrente alternada por faixas de freqüência.

Para conseguir esta finalidade, o filtro deve apresentar baixa atenuação (oposição) para componentes de freqüência dentro de uma faixa particular, a faixa de passagem, e alta atenuação em freqüências dentro de outras faixas atenuadas.

Características dos circuitos de filtros

Os filtros são comumente classificados de acordo com as suas características de seletividade: o filtro "passa-baixa" transmite todas as freqüências abaixo de uma freqüência limite, chamada freqüência de corte (f_{co}), e barra as freqüências mais altas que a freqüência de corte e o filtro "passa-alta" faz exatamente o contrário.

O filtro "passa-faixa" deixa passar as freqüências contidas numa faixa entre duas freqüências de corte e elimina as freqüências que ficarem acima e abaixo dos limites da faixa.

O filtro "corta-faixa" barra as freqüências que ficam dentro de uma faixa, deixando passar todas as demais.

O ponto de corte em um circuito de filtro pode ser facilmente determinado pelas equações abaixo:

$P_{co} = E_a \times 0{,}707$ ou

$P_{co} = I_T \times 0{,}707$

Em que:

P_{co} = ponto de corte

E_a = tensão aplicada

I_T = corrente total

Desde que, idealmente, um filtro deve deixar passar freqüências escolhidas sem atenuação, as perdas de energia devem ser baixas.

Em conseqüência, os componentes de um circuito de filtro consistem comumente em elementos reativos.

Pela disposição conveniente de indutores e capacitores, os filtros podem ser construídos de maneira a permitir qualquer característica de seleção de freqüência.

Filtro Passa-Baixa

A figura 1-63 ilustra um filtro passa-baixa. Na entrada, as altas freqüências encontram uma reatância indutiva relativamente elevada em L e uma baixa reatância capacitiva em C.

Assim, as altas freqüências são detidas por L e postas em curto circuito, por C. As freqüências baixas encontram fraca oposição em L e alta oposição em C.

Por conseguinte, as baixas freqüências passam da entrada para a saída.

Portanto, um filtro pass-baixa destina-se a conduzir todas as freqüências abaixo de uma freqüência crítica pré-determinada ou freqüência de corte e a reduzir ou atenuar consideravelmente as correntes de todas as freqüências acima desta freqüência.

Nesse filtro passará também a freqüência que se encontra no ponto de corte.

Na figura 1-64 vemos o gráfico característico de seu ponto de corte.

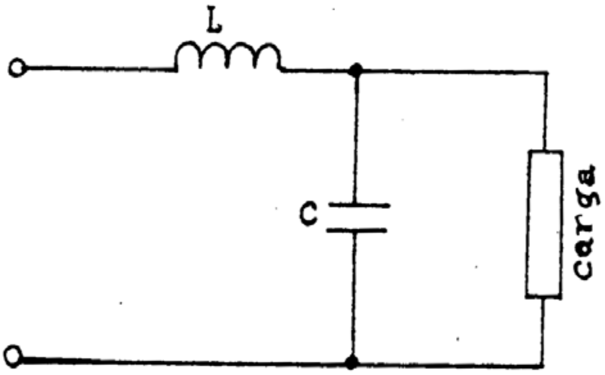


Figura 1-63

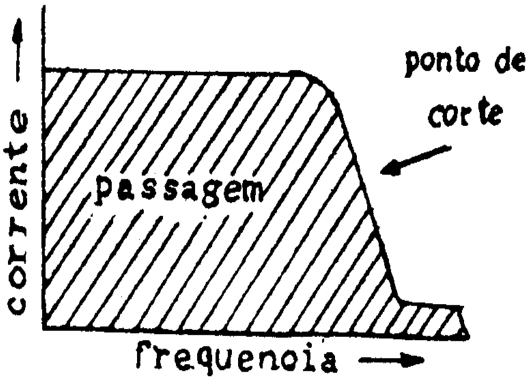


Figura 1-64

Filtro Passa-alta

Na figura 1-65 , temos um filtro passa-alta. As baixas freqüências deparam com uma reatância capacitiva relativamente alta em C e uma reatância indutiva baixa em L. As altas freqüências encontram diminuta oposição em C e alta oposição em L. Por conseguinte, as altas freqüências passam da entrada para a saída. Portanto, um filtro desse tipo destina-se a deixar passar correntes de todas as freqüências acima do ponto de corte e atenuar todas as freqüências abaixo desse ponto. Neste filtro passará também a freqüência que se encontra no ponto de corte. Na figura 1-66, vemos o gráfico característico de seu ponto de corte. Para melhor a ação seletiva dos filtros passa-alta e passa-baixa, eles são projetados com duas ou mais secções.

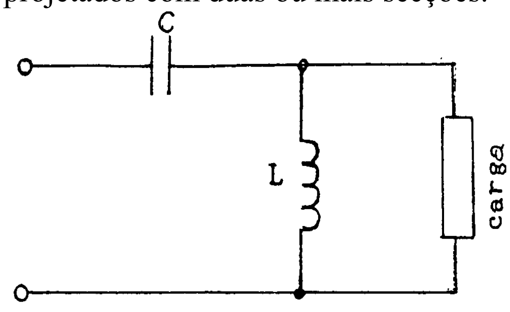


Figura 1-65

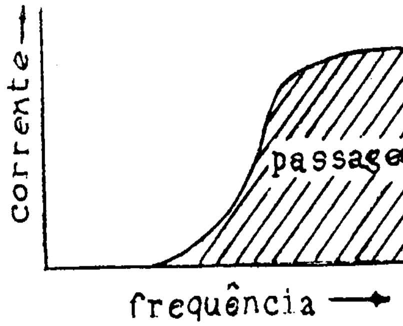


Figura 1-66

As figuras 1-67 e 1-68 mostram respectivamente filtros passa-baixa e passa-alta e do tipo "π", assim designados por causa de sua semelhança com a letra pi.

Os elementos mais perto da entrada caracterizam o filtro. Assim, as figuras 1-69 e 1-70, mostram respectivamente, filtros passa-baixa com entrada a indutor e passa-alta com entrada a capacitor. Todavia, para que estes filtros possam desempenhar satisfatoriamente suas funções, os componentes reativos, devem ser iguais, ou seja: $C_1 = C_2$ e $L_1 = L_2$

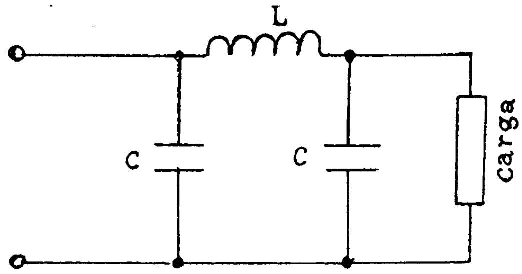


Figura 1-67

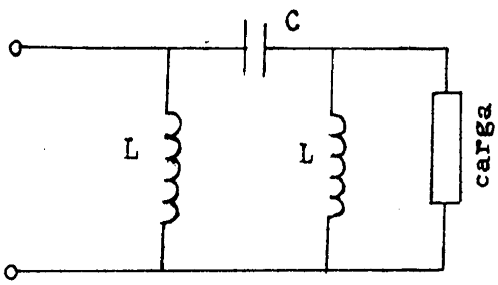


Figura 1-68

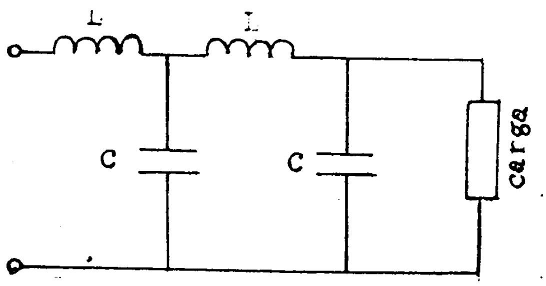


Figura 1-69

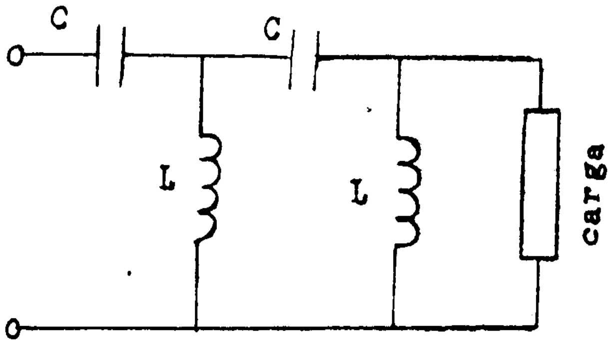


Figura 1-70

Filtros de circuitos sintonizados

Os circuitos ressonantes (sintonizados) possuem características que os tornam ideais para filtros, quando se deseja, grande seletividade.

O circuito ressonante em série oferece baixa impedância à corrente de freqüência em que está sintonizado e uma impedância relativamente grande às correntes das demais freqüências.

O circuito ressonante em paralelo oferece uma impedância muito grande à corrente de sua freqüência ressonante e uma impedância relativamente baixa às outras.

Filtro passa-faixa

Os filtros passa-faixa ou passa-banda destina-se a deixar passar correntes dentro dos limites de uma faixa contínua, limitada por uma alta e por uma baixa freqüência de corte e para reduzir ou atenuar todas as freqüências acima e abaixo desta faixa.

Na figura 1-71, utiliza-se um circuito ressonante em série como filtro passa-faixa.

Na figura 1-72 vemos o gráfico que ilustra a faixa de freqüência desejada.

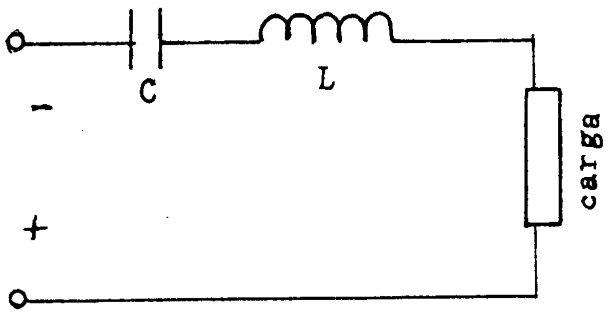


Figura 1-71

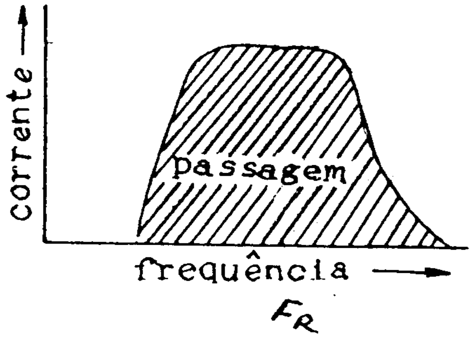


Figura 1-72

Os circuitos sintonizados em série oferecem dentro dessa faixa, uma pequena impedância às correntes dessas freqüências e fora dela uma alta impedância. Assim, as correntes dessas freqüências desejadas dentro da faixa circularão pelo circuito sem serem afetadas, mas as correntes de freqüências indesejadas, isto é, fora da faixa, encontrarão grande impedância e não poderão passar.

Na figura 1-73, temos um circuito ressonante em paralelo como filtro passa-faixa.

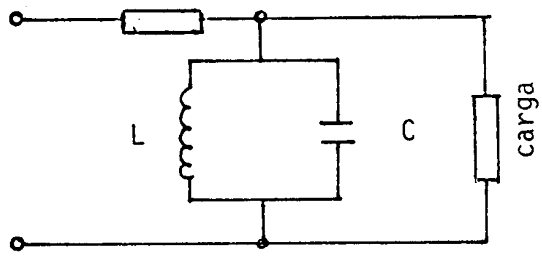


Figura 1-73

Os circuitos sintonizados em paralelo oferecem, dentro dessa faixa, uma alta impedância às correntes dessas freqüências e fora dela uma baixa impedância.

De modo que as correntes das freqüências fora da faixa serão desviadas pelo tanque, ao passo que as correntes das freqüências dentro da faixa circularão pelo circuito sem serem afetadas pelo tanque.

Filtro corta-faixa

Os filtros corta-faixa são destinados a suprimir as correntes de todas as freqüências dentro de uma faixa contínua limitada por duas freqüências de corte, um mais alta e outra mais baixa, e a deixar passar todas as freqüências acima e abaixo dessa faixa.

Na figura 1-74, temos um circuito ressonante em paralelo com filtro corta-faixa e, na figura 1-75, temos o seu gráfico característico.

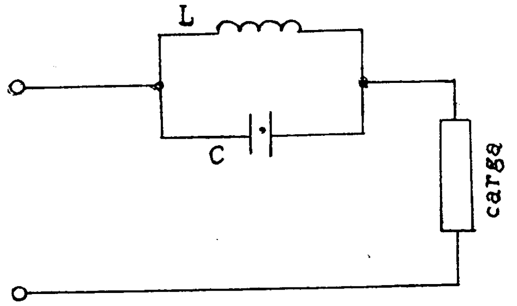


Figura 1-74

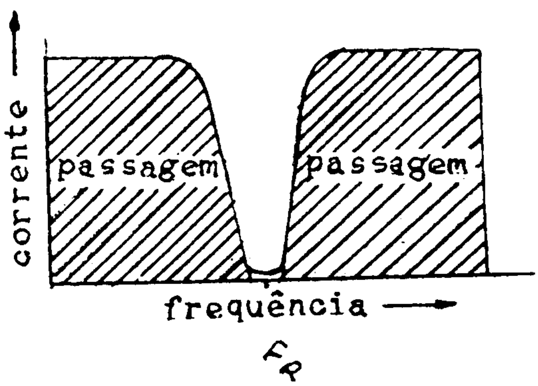


Figura 1-75

O circuito ressonante em paralelo é sintonizado na freqüência do sinal que não se deseja. Logo, o filtro apresenta alta impedância às correntes dessa freqüência e permite a passagem de todas as outras freqüências.

A figura 1-76 ilustra um circuito ressonante em série como filtro corta-faixa.

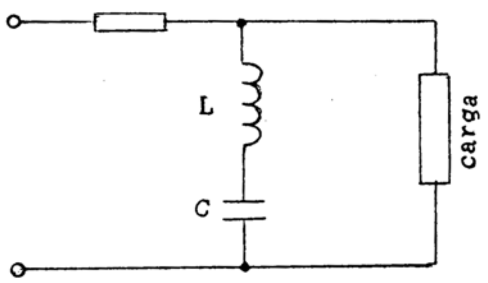


Figura 1-76

O circuito ressonante em série é sintonizado também, na freqüência do sinal indesejado, e estas correntes indesejadas serão eficazmente desviadas, geralmente, para a terra; porém, as demais freqüências não serão afetadas.