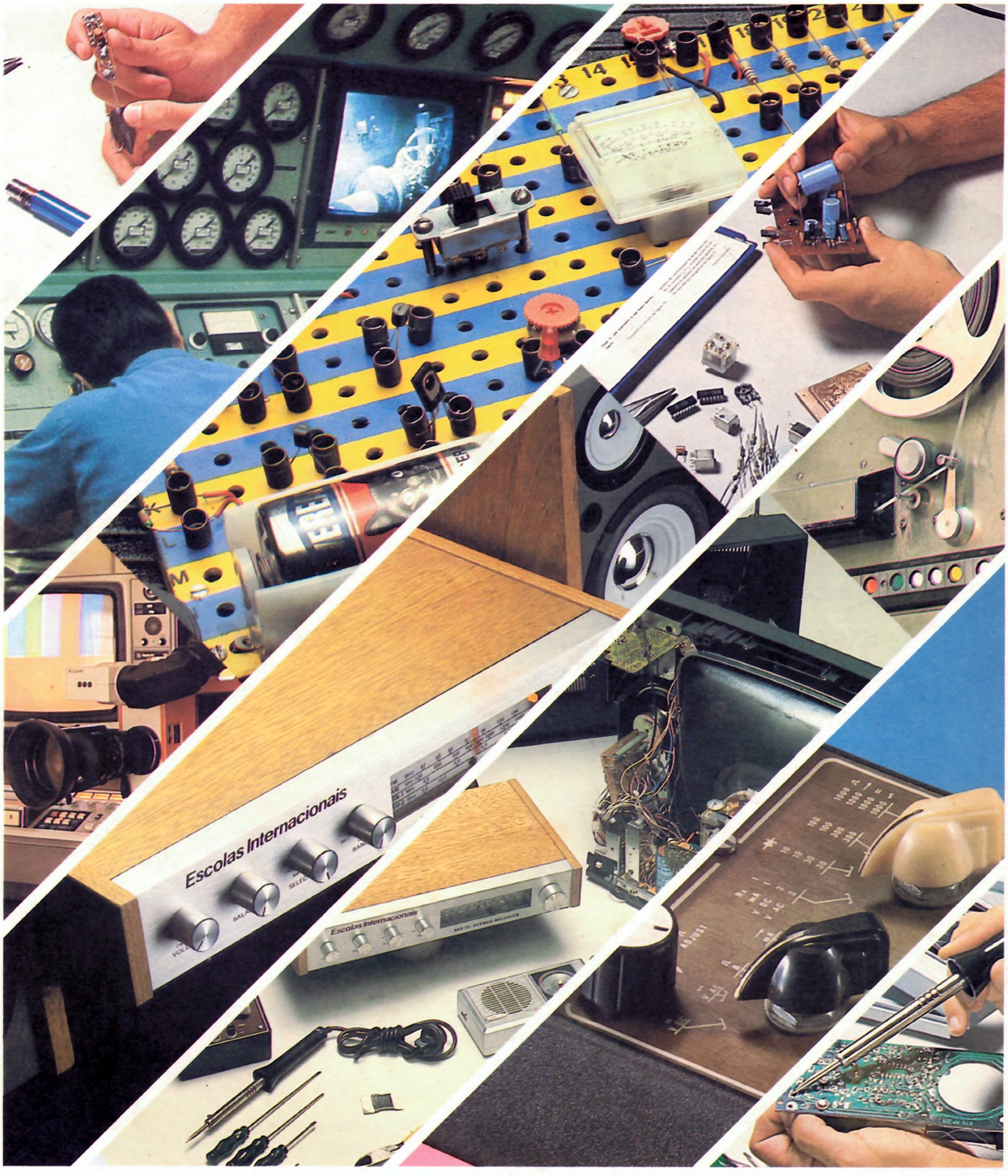
CIRCUITOS RESSONANTES



Escolas Internacionais

Referência

022

Índice Geral

LIÇÃO Nº 11 – CIRCUITOS RESSONANTES

Introdução 9
1. Resistência em circuito C.C. 9
2. Indutância em circuito C.C. 9
3. Constante de tempo de circuitos indutivos 10
4. Capacitância em série com resistência 11
5. Constante de tempo de circuitos capacitivos 11
6. Revisão da teoria da corrente alternada 12
7. Circuito C.A. resistivo 13
8. Reatância indutiva 14
9. Relação de fase nos circuitos indutivos 15
10. Circuito C.A. com capacitância 16
11. Análise da ação do capacitor 16
12. Reatância capacitiva 17
13. Circuito RLC série 18
14. Impedância do circuito RLC série 18
15. Reatância total 19
16. Ressonância 20
17. Circuito Ressonante 21
18. Fórmula da freqüência na ressonância série 21
19. Fórmulas práticas para a ressonância 22
20. Fórmulas de L e C numa dada freqüência 23
21. Representação gráfica da ressonância 23
22. Curva de ressonância 25
23. Efeito da resistência na corrente de ressonância 25
24. Correntes na ressonância 26
25. Relação de fase na ressonância 27
26. Fator de mérito de circuito RLC série 27
27. Variação do "Q" com a freqüência 28
28. Tensões na ressonância 28
29. Aplicações dos circuitos ressonantes série 29
30. Filtros com ressonância série 30
31. Circuito C.A. com resistores em paralelo 31
32. Resistência em paralelo com indutância 32
33. Resistência em paralelo com capacitância 33
34. Circuito LC paralelo 34
35. Resistências em circuitos ressonantes paralelos 35
36. Fator de mérito de um circuito ressonante paralelo 37
37. Circuito ressonante com carga 38
38. Correntes nos circuitos sintonizados paralelos. 39
39. Relação L/C de um circuito sintonizado 40
40. Condutância, suscetância e admitância 41
41. Exercícios de recapitulação 42
Exame da lição nº 11 45

Conteúdo didático programado e elaborado pela equipe técnico-pedagógica das Escolas Internacionais.

Copyright - International Textbook Company - ICS - International Correspondence Schools - Scranton, Pennsylvania - USA - Copyright - Direitos exclusivos no Brasil para ESCOLAS INTERNACIONAIS - São Paulo, SP - Brasil.

Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução total ou parcial do texto e das ilustrações por qualquer forma ou meio, sem prévia autorização por escrito dos detentores do copyright. Edições ou reproduções não autorizadas estarão sujeitas às penalidades da Lei.

Escolas Internacionais

Impresso no parque gráfico das Escolas Internacionais do Brasil.

Introdução

Nesta lição você estudará um dos mais importantes fenômenos da natureza: a ressonância.

Para que você tenha uma idéia, a ressonância é que permite a sintonização de uma emissora de rádio ou televisão, sem que haja uma mistura de sinais no aparelho receptor.

A ressonância caracteriza-se por uma concentração máxima de energia numa determinada freqüência.

Você aprenderá, nesta lição, como que os componentes devem ser ligados, para que se obtenha os diversos tipos de circuitos ressonantes, bem como a aplicação deste fenômeno no campo da eletrônica.

Circuitos Ressonantes

1 - Resistência em circuito C.C

Em um circuito de corrente contínua (C.C.), qualquer resistência ligada em série com a fonte de força-eletromotriz (f.e.m.) limita a intensidade da corrente num determinado nível.

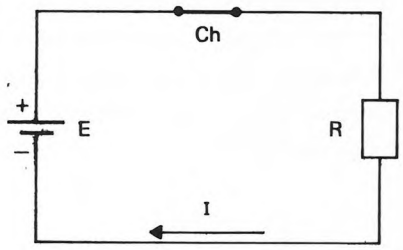


Fig. 1 — Num circuito C.C., onde a resistência está em série com a fonte, não existe atraso da corrente em relação à f.e.m..

O valor da corrente num circuito C.C. é determinado pela Lei de Ohm: $I = \frac{E}{R}$ (E = tensão fornecida pela fonte; R = resistência total do circuito).

Quando o circuito for fechado, a corrente atinge seu valor máximo instantaneamente, isto é, não existe atraso da corrente em relação à tensão aplicada.

Da mesma forma, a corrente cai imediatamente para zero quando a chave for aberta.

2 - Indutância em circuito C.C.

O que será que acontece com a corrente contínua, se em vez de termos uma resistência em série com a fonte, tivermos uma bobina?

Com a resistência em série com a fonte, a corrente atinge imediatamente seu valor máximo quando a chave for fechada. Entretanto, se a resistência for substituída por uma bobina, ***a corrente não atingirá imediatamente o seu valor final.*** A corrente irá crescendo lentamente, em vez de fazê-lo de imediato.

Direitos reservados

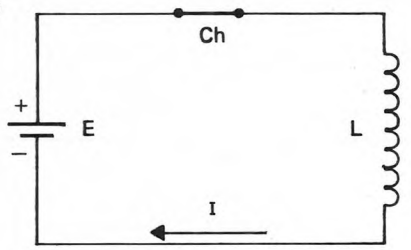


Fig. 2 – A corrente cresce lentamente até atingir seu valor final, quando uma indutância está em série com a fonte C.C..

Mas, quando a corrente atingir o seu valor máximo para o circuito considerado, ela permanecerá neste valor enquanto a bateria for mantida no circuito.

Com a corrente em seu valor final, ela pode ser determinada através da Lei de Ohm, pois em regime de corrente contínua a indutância não tem efeitos.

É sempre bom lembrar que qualquer circuito apresenta uma determinada resistência, por menor que seja. Algumas vezes ela é colocada intensionalmente, quando se utiliza um resistor combinado com outros componentes. Mas, até mesmo um fio de cobre (fio condutor) apresenta um determinado valor de resistência.

3- Constante de tempo de circuitos indutivos

Se você desligar a chave (Ch) do circuito da figura 2, a corrente não cairá imediatamente para zero.

Vamos fazer uma analogia para que você possa compreender melhor. Considere um automóvel rodando em uma estrada plana, com velocidade constante. Se, de repente, o motor for desligado, o carro ainda rodará por algum tempo até finalmente parar. O carro nunca pára no mesmo instante em que a chave é desligada. É mais ou menos isso que acontece com a corrente, quando a chave (Ch) for desligada.

O papel que a resistência desempenha num circuito indutivo é duplo: de um lado ela limita o valor final da corrente, e de outro lado ela determina a constante de tempo do circuito.

A constante de tempo de um circuito indutivo é o tempo que a corrente leva para atingir 63% (aproximadamente 2/3) do seu valor final, quando o circuito for fechado. Também pode ser definida como sendo o tempo que a corrente leva para cair a 37% (aproximadamente 1/3) do seu valor inicial, quando o circuito for aberto.

A fórmula que permite calcular a constante de tempo para um circuito RL, isto é, um circuito que apresenta resistências e indutâncias é a seguinte:

$$t = \frac{L}{R} \qquad (11.1)$$

t = constante de tempo, em segundo.
L = indutância, em henry.
R = resistência, em ohm.

O gráfico da figura 3 apresenta o comportamento da corrente num circuito indutivo. A curva (a) corresponde ao crescimento da corrente quando a chave for fechada, enquanto que a curva (b) se refere à queda da corrente quando a chave for aberta.

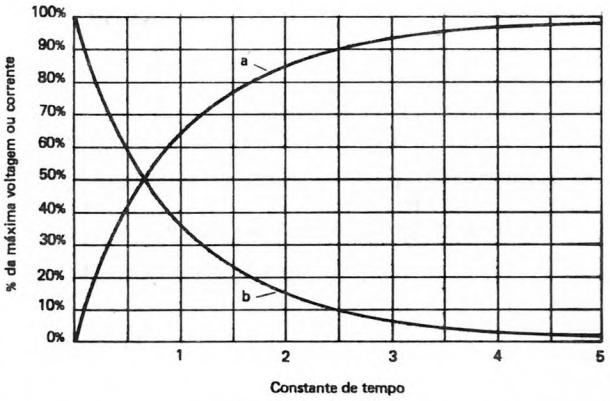


Fig. 3 – Comportamento da corrente em circuito C.C. indutivo.

Exemplo

Para o circuito RL da figura 4, determinar: a) o valor final da corrente no circuito; b) o tempo necessário para que a corrente atinja 63% (aproximadamente 2/3) do valor final.

Direitos reservados

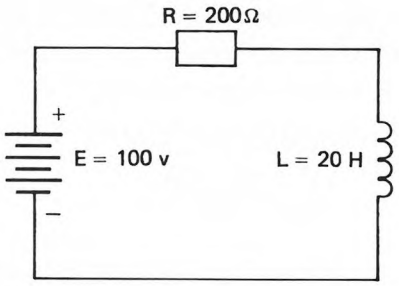


Fig. 4 – Circuito RL.

Solução

a) O valor final, também chamado de valor de regime ou valor quiescente, é calculado através da Lei de Ohm. Isto porque, quando a corrente contínua atinge seu valor máximo, a indutância não tem mais efeito.

$$I = \frac{E}{R} \Rightarrow I = \frac{100 \text{ volts}}{200 \text{ ohms}} \Rightarrow \underline{I = 0{,}5 \text{ ampère}}$$

b) O tempo necessário para que a corrente atinja 63% do valor final, é a constante de tempo do circuito, que pode ser determinada através da fórmula 11.1:

$$t = \frac{L}{R} \Rightarrow t = \frac{20 \text{ henrys}}{200 \text{ ohms}} \Rightarrow \underline{t = 0{,}1 \text{ segundo}}$$

4 - Capacitância em série com resistência

Agora, vamos considerar o circuito RC (resistivo-capacitivo) ilustrado na figura 5. Nesse circuito temos um capacitor ligado em série com uma resistência e uma fonte de corrente contínua.

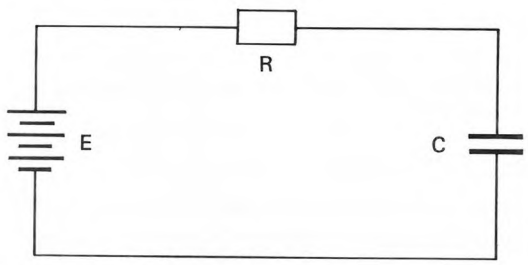


Fig. 5 – Circuito RC.

Quando este circuito for fechado, haverá uma passagem momentânea de corrente, enquanto o capacitor estiver sendo carregado.

A corrente de carga do capacitor terá um valor inicial alto e irá caindo, gradativamente, para zero, A corrente do circuito será igual a zero, quando a tensão nos terminais do capacitor for igual à tensão nos terminais da fonte.

Se a corrente de carga puder ser mantida constante, durante a carga do capacitor, a tensão do capacitor pode ser calculada pela fórmula seguinte:

$$E = \frac{It}{C} \qquad (11.2)$$

E = tensão entre os terminais do capacitor, em volts.
I = corrente de carga, em ampères.
t = tempo desde o início da carga, em segundos.
C = capacitância do capacitor, em farads.

Exemplo

Qual a tensão nos terminais de um capacitor de 2 μF (microfarads), se a corrente de carga for mantida constante em 5 mA (miliampères), durante um intervalo de tempo de 2 segundos?

Solução

Como a corrente é mantida constante, a tensão em volts pode ser determinada através da fórmula 11.2. Antes, porém, é necessário converter as unidades de capacitância e corrente. Então, temos que:

$2\,\mu F = 2 \times 10^{-6} F$

$5\,mA = 5 \times 10^{-3} A$

Aplicando-se a fórmula 11.2, vem:

$$E = \frac{It}{C} \Rightarrow E = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{2 \times 10^{-6}}$$

$$\underline{E = 5 \times 10^{3} \text{ V ou } 5 \text{ kV}}$$

5 - Constante de tempo de circuitos capacitivos

Quando a tensão da bateria aplicada a um circuito RC for constante, como normalmente acontece, a corrente de carga não permanece constante. Ela cai rapidamente para zero.

Teoricamente, o tempo necessário para a corrente atingir zero é muito grande. Assim sendo, para os circuitos capacitivos também foi estabelecido uma constante de tempo.

O tempo necessário para que a corrente caia para 37% do valor inicial (ou seja, aproximadamente 1/3) em um circuito capacitivo, é definido como ***constante de tempo*** do circuito.

A fórmula 11.3 permite determinar a constante de tempo de um circuito capacitivo.

$$t = R \times C \qquad (11.3)$$

t = constante de tempo, em segundos.
R = resistência, em ohms.
C = capacitância, em farads.

Esta fórmula vale também para calcular o tempo que a tensão do capacitor leva para atingir 63% do valor final.

Exemplo

Determinar para o circuito da figura 6, o tempo necessário para que a corrente caia para aproximadamente 1/3 do valor inicial, bem como o tempo gasto para que a tensão no capacitor atinja 63% do seu valor final.

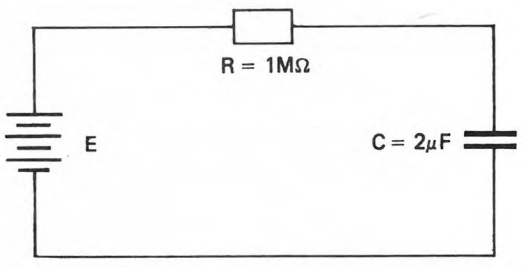


Fig. 6 – Circuito RC.

Solução

Aparentemente, o problema está solicitando duas respostas. Na realidade, trata-se de uma única resposta, pois o tempo necessário para que a corrente caia para, aproximadamente, 1/3 do valor inicial e o tempo gasto para a tensão atingir 63% do valor final corresponde à constante de tempo do circuito. Então, basta aplicar a fórmula 11.3, fazendo antes as devidas conversões de unidades:
$1\ M\Omega = 1 \times 10^{6}\ \Omega$ e $2\mu F = 2 \times 10^{-6}\ F$.

$$t = R \times C \Rightarrow t = 1 \times 10^{6} \times 2 \times 10^{-6}$$
$$t = 2 \text{ segundos}$$

6 - Revisão da teoria da corrente alternada

Ao contrário da corrente contínua, ***a corrente alternada muda periodicamente de intensidade e direção.***

Ela começa, por exemplo, do zero, cresce gradativamente até o seu valor máximo e volta novamente ao zero. A partir deste instante, ela muda de direção, atinge seu valor máximo nesta outra direção, e finalmente diminui até voltar a zero outra vez.

Este conjunto de valores numa direção, seguido de uma alteração semelhante na direção oposta é denominado de ***ciclo.*** O número de ciclos que acontece num segundo é chamado de ***freqüência.***

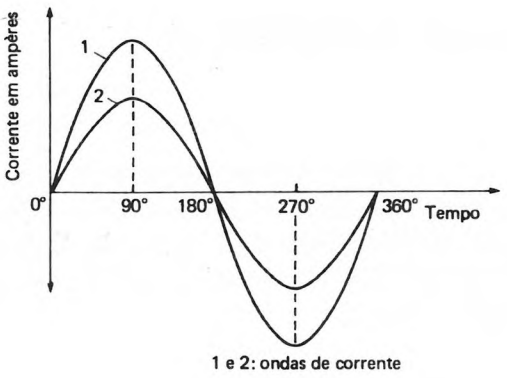


Fig. 7 – Representação de um ciclo para duas correntes alternadas.

A curva que representa o ciclo da corrente alternada é chamada de ***curva senoidal*** ou ***onda senoidal.***

Para se comparar duas correntes alternadas, desenham-se as duas ondas senoidais num mesmo gráfico, cada uma representando uma das correntes em questão. Quando ambas tiverem a mesma freqüência e ao longo de cada ciclo atingirem seus máximos e mínimos, assim como passarem pelo zero,

sempre juntas, ambas as ***correntes*** são ditas ***em fase.*** A figura 7 representa duas ondas de correntes em fase.

Por outro lado, se as correntes atingirem seus valores máximos, mínimos e zeros, em instantes diferentes, elas são consideradas ***fora de fase*** ou ***defasadas.*** A figura 8 representa duas curvas fora de fase.

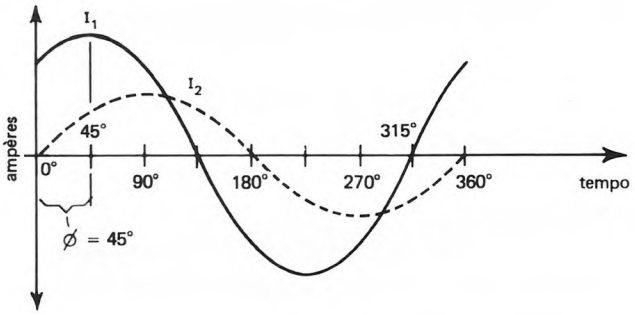


Fig. 8 — Correntes alternadas defasadas.

7- Circuito C.A. resistivo

Se uma corrente alternada for aplicada a um circuito resistivo, isto é, um circuito que só tenha resistências, a corrente obedecerá a Lei de Ohm, pois não haverão outras forças que se oponham à passagem da corrente pelo circuito.

A única oposição à passagem da corrente alternada é a da resistência que o circuito apresenta, como conseqüência dos elementos do circuito serem bons ou maus condutores.

Além disso, em qualquer instante, a corrente e a tensão estarão em fase. Isto é, quando a tensão aplicada for nula, a corrente será igual a zero; quando a tensão aplicada atingir o máximo, a corrente também será máxima, e assim sucessivamente.

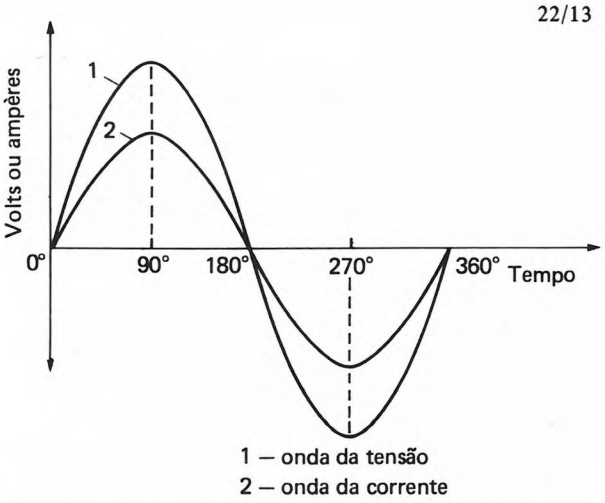


Fig. 9 — Num circuito C.A. resistivo, a corrente e a tensão estão em fase.

Num circuito C.A. resistivo, a corrente está em fase com a tensão e obedece à Lei de Ohm, como se uma corrente contínua equivalente estivesse circulando pelo circuito.

Exemplo

Se dois resistores estiverem ligados em série, tanto num circuito C.C. como num circuito C.A., a oposição total é a soma das resistências destes resistores.

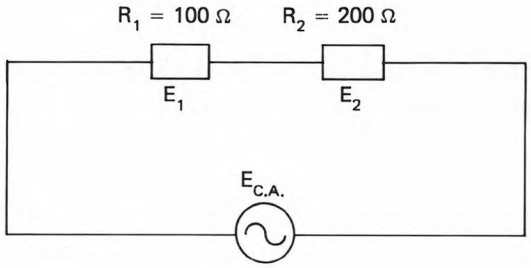


Fig. 10 — Circuito C.A. resistivo.

Se a tensão eficaz do circuito da figura 10 for 150 volts, a corrente do circuito será:

$$I = \frac{E}{R} \Rightarrow I = \frac{150}{100 + 200} \Rightarrow I = \frac{150}{300} \Rightarrow \underline{I = 0{,}5\ A}$$

A queda de tensão sobre cada resistor (E_1 e E_2) será:

$$E_1 = R_1 \times I \Rightarrow E_1 = 100 \times 0{,}5 \Rightarrow \underline{E_1 = 50 \text{ volts}}$$

$$E_2 = R_2 \times I \Rightarrow E_2 = 200 \times 0{,}5 \Rightarrow \underline{E_2 = 100 \text{ volts}}$$

Como você pode comprovar, a soma das quedas de tensão sobre os dois resistores é igual à tensão aplicada pela fonte.

Direitos reservados

8 - Reatância indutiva

A oposição que uma bobina apresenta à passagem da corrente alternada é chamada de reatância indutiva (X_L).

A fórmula que permite determinar o valor da reatância indutiva é a seguinte:

$$X_L = 2\pi f L \qquad (11.4)$$

X_L = reatância indutiva, em ohm.
π = 3,14 (constante).
f = freqüência da corrente, em hertz.
L = indutância da bobina, em henry.

A reatância, tal como a resistência, é medida em ohm (Ω).

Como você pode observar pela fórmula 11.4, a reatância indutiva é proporcional à freqüência da corrente. Logo, ***quanto maior a freqüência, tanto maior será a oposição à passagem da corrente alternada.***

Quando uma resistência estiver em série com uma indutância, o valor em Ω da resistência não é adicionado diretamente com o valor em Ω da reatância. Além disso, o valor combinado, apesar de expresso também em Ω, não é chamado de resistência ou de reatância, mas sim de ***impedância.***

Quando uma bobina e uma resistência estiverem ligadas em série, a oposição total à passagem da corrente alternada é chamada de impedância.

A fórmula 11.5 permite determinar o valor total de oposição à corrente alternada — impedância.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \qquad (11.5)$$

A corrente alternada que passa pelo circuito é determinada através da seguinte fórmula:

$$I = \frac{E}{Z} \qquad (11.6)$$

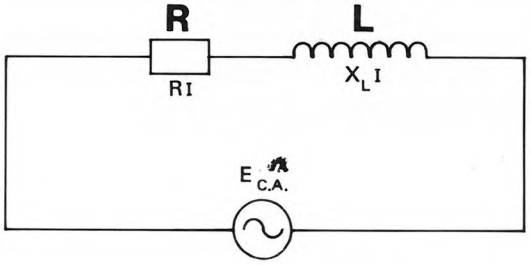


Fig. 11 — Resistência em série com bobina num circuito C.A.

A queda de tensão sobre a resistência é igual ao produto R x I, enquanto que a queda de tensão sobre a bobina é igual ao produto X_L x I.

Mas, a simples soma das quedas de tensão sobre a bobina e sobre a resistência, não é igual à tensão aplicada pela fonte.

Vamos fazer a dedução da fórmula que permite determinar a tensão total, a partir das quedas de tensão sobre a bobina e sobre a resistência. Para isso, vamos partir das fórmula 11.6:

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

Elevando-se os dois membros ao quadrado, não se altera a igualdade. Temos, então:

$$I^2 = \frac{E^2}{Z^2}$$

A fórmula 11.5 diz que $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$. Logo, Z^2 será igual a $R^2 + X_L^2$. Substituindo este valor na equação anterior, vem:

$$I^2 = \frac{E^2}{R^2 + X_L^2}$$

Isolando a tensão (E) num membro da equação, teremos:

$E^2 = I^2 (R^2 + X_L^2)$

$E^2 = (R^2 I^2) + (X_L^2 I^2) \Rightarrow E^2 = (RI)^2 + (X_L I)^2$

$$E = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I)^2} \qquad (11.7)$$

A fórmula 11.7 permite determinar a tensão fornecida pela fonte, a partir das quedas de tensão sobre a resistência e bobina.

Direitos reservados

Exemplo

Conforme está mostrado na figura 12, uma resistência de 1 kΩ está ligada em série com uma bobina de 10 H num circuito C.A. de 110 v, 60 Hertz. Pergunta-se: a) qual é a impedância do circuito? b) que corrente passa pelo circuito? c) Quais as quedas de tensão sobre a bobina e sobre a resistência?

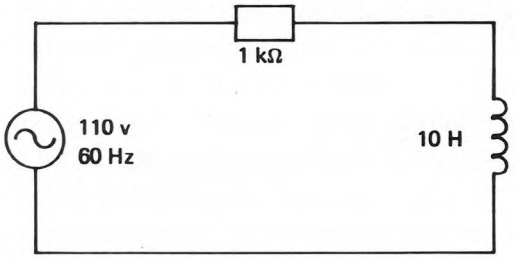


Fig. 12 – Circuito RL série.

Solução

a) R é dado e vale 1 kΩ = 1×10^3 Ω.

X_L deve ser determinado através da fórmula 11.4: $X_L = 2\pi fL \Rightarrow X_L = 2 \times 3{,}14 \times 60 \times 10$

$$X_L = 3{,}77 \times 10^3\ \Omega$$

Com estes valores, para determinar a impedância basta aplicar a fórmula 11.5.

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

$$Z = \sqrt{(1 \times 10^3)^2 + (3{,}77 \times 10^3)^2}$$

$$Z = \sqrt{1 \times 10^6 + 14{,}2 \times 10^6}$$

$$Z = \sqrt{15{,}2 \times 10^6} \Rightarrow Z = 3{,}9 \times 10^3\ \Omega \text{ ou } \underline{Z = 3{,}9\ k\Omega}$$

b) Uma vez determinado o valor da impedância, basta aplicar a fórmula 11.6 para conhecer o valor da corrente:

$$I = \frac{E}{Z} \Rightarrow I = \frac{110}{3{,}9 \times 10^3}$$

$$I = 28{,}2 \times 10^{-3} \text{ ou } \underline{I = 28{,}2\ mA}$$

c) Para se determinar a queda de tensão sobre a resistência, basta aplicar a Lei de Ohm:

$E_r = I \times R \Rightarrow E_r = 28{,}2 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3$

$$\underline{E_r = 28{,}2\ v}$$

A queda de tensão sobre a bobina é determinada multiplicando-se a corrente pela reatância indutiva:

$E_b = I \times X_L \Rightarrow E_b = 28{,}2 \times 10^{-3} \times 3{,}77 \times 10^3$

$$\underline{E_b = 106\ v}$$

Para se tirar uma prova, aplica-se a fórmula 11.7:

$$E = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2}$$

$$E = \sqrt{(28{,}2)^2 + (106)^2}$$

$$\underline{E \approx 110 \text{ volts.}}$$

Observe que o resultado coincidiu, aproximadamente, com a tensão aplicada. Logo, o resultado deve estar correto.

9 - Relação de fase nos circuitos indutivos

Em qualquer circuito onde a reatância indutiva não seja desprezível, a ***corrente*** encontra-se ***atrasada*** em relação à força-eletromotriz (f.e.m.) aplicada.

Este atraso se deve à força-contra-eletromotriz (f.c.e.m.) exercida pela bobina, por causa da variação da corrente.

A diferença de fase entre a f.e.m. e a corrente é de praticamente 90°, nos circuitos onde a resistência seja desprezível. Por outro lado, quando a reatância for desprezível, a tensão e a corrente estarão praticamente em fase.

A figura 13 apresenta as ondas da f.e.m., corrente e f.c.e.m.:

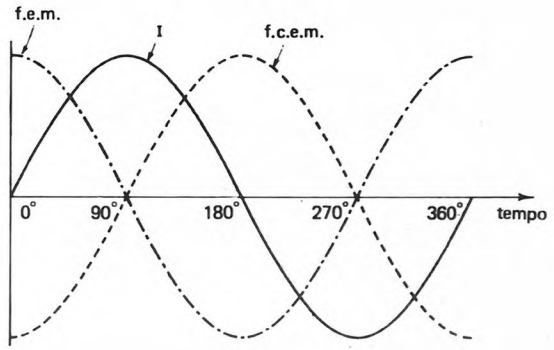


Fig. 13 – Curvas de tensão e corrente em circuito indutivo.

Observe na figura 13 que a corrente está atrasada de 90° em relação à tensão aplicada. Quando a f.e.m. aplicada for máxima, a corrente será nula, e vice-versa.

Direitos reservados

Com relação à f.c.e.m., esta só aparece com a variação da corrente. Logo, ***quanto maior a variação na corrente, tanto maior será o valor da f.c.e.m.***. Observe no gráfico que os valores máximos da f.c.e.m. aparecem, por exemplo, a 0° e 180°. Isto porque nestes instantes a corrente varia de intensidade e de sentido. Logicamente, quando a variação da corrente for desprezível, como acontece a 90° e a 270°, a f.c.e.m. será nula.

Em resumo, num circuito C.A. onde a oposição à passagem da corrente seja devida unicamente à reatância indutiva, a corrente está atrasada de 90° em relação à tensão. A f.c.e.m. está defasada de 180° em relação à f.c.e.m., ou seja, está em oposição direta.

10 - Circuito C.A. com capacitância

Quando um capacitor estiver ligado num circuito C.A., a corrente alternada está constantemente carregando e descarregando o capacitor, de modo que a tensão nos terminais do capacitor fique igual, em cada instante, à tensão aplicada.

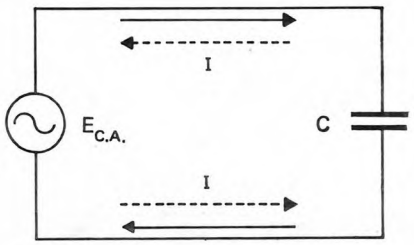


Fig. 14 — A tensão no capacitor é sempre igual à tensão aplicada.

A *corrente atinge o máximo* naqueles momentos em que a variação da tensão é mais rápida. Isso acontece quando a ***tensão aplicada passa pelo zero e muda de polaridade.***

Da mesma forma, a ***corrente se anula*** naqueles instantes em que a ***tensão atingir o máximo valor*** (positivo ou negativo).

11 - Análise da ação do capacitor

Quando se aplica uma corrente alternada a um circuito elétrico, aparecem dois efeitos ao mesmo tempo. Um destes efeitos, é a variação da corrente devida ao fato dela própria variar periodicamente e ser influenciada pelos elementos do circuito. Uma outra variação é devida à aplicação súbita da tensão: o valor da tensão alternada no instante em que for feita a aplicação. Esta última variação desaparece rapidamente, como no caso da aplicação de uma corrente contínua.

Então, durante certo tempo após o fechamento do circuito, ***duas variações ocorrem simultaneamente.*** Este intervalo de tempo em que as duas variações ocorrem simultaneamente é chamado de ***estado transitório.***

Após decorrido este estado transitório, ***só ficam as variações próprias do circuito.*** Diz-se, então, que o circuito entrou em ***estado de regime.***

Você verá agora, com mais detalhes, a ação do capacitor sobre a corrente num circuito C.A.. Para isso, acompanhe a análise das ondas da figura 15.

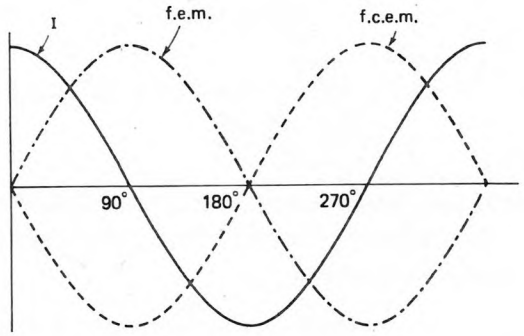


Fig. 15 — Curvas da tensão e corrente num circuito capacitivo.

Em estado de regime, a corrente é devida à carga e descarga do capacitor. Tenha em mente que, a força-contra-eletromotriz nos terminais do capacitor é sempre de igual valor à da voltagem aplicada, mas de polaridade oposta.

Conforme você pode observar na figura 15, a 90° e 270° a f.e.m. atinge o máximo e permanece neste valor por um diminuto intervalo de tempo. Isto é, a 90° e 270° a f.e.m. não varia e, por isso, a f.c.e.m. também não varia. Disso resulta que a ***corrente*** nestes instantes é ***nula.***

Direitos reservados

No instante 180° a tensão aplicada é igual a zero e o capacitor se descarregou totalmente, de modo que a tensão nos seus terminais fica também igual a zero. Observe que neste instante a ***corrente*** é ***máxima*** num sentido.

Esta análise mostra que a corrente está sempre adiantada em relação à tensão. ***A corrente está sempre adiantada de 90° em relação à tensão aplicada.***

A ***resistência*** que houver em série com o capacitor tende a ***diminuir a diferença de fase*** entre a tensão aplicada e a corrente. Ela reduz, também, o valor instantâneo da corrente do circuito.

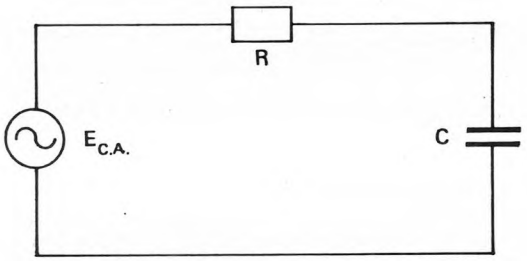


Fig. 16 — A resistência em série reduz a defasagem e o valor instantâneo da corrente.

12 - Reatância capacitiva

A oposição que um capacitor apresenta à passagem da corrente alternada é chamada de reatância capacitiva (X_C).

A fórmula que permite determinar a reatância capacitiva de um capacitor é a seguinte:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \qquad (11.8)$$

X_C = reatância capacitiva, em ohm.
π = 3,14 (constante).
f = freqüência da corrente, em hertz.
C = capacitância, em farad.

Observe na fórmula 11.8 que a reatância capacitiva é inversamente proporcional à freqüência. Logo, quanto maior a freqüência da corrente alternada, menor será a oposição exercida pelo capacitor.

A oposição total à passagem da corrente alternada, provocada pela resistência e pelo capacitor, ligados em série, é chamada de impedância.

A fórmula 11.9 permite determinar o valor para a impedância de um circuito que apresenta um capacitor ligado em série com uma resistência. Observe a semelhança existente entre as fórmulas 11.5 e 11.9.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \qquad (11.9)$$

Exemplo

Para o circuito da figura 17, determinar: a) a reatância do capacitor; b) impedância do circuito.

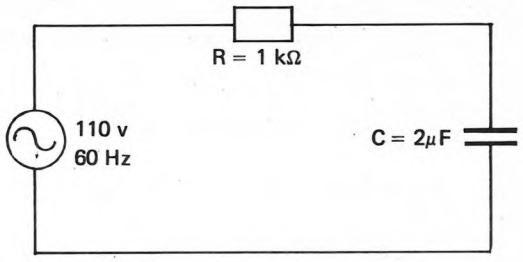


Fig. 17 — Capacitor em série com resistência.

Solução

a) A determinação da reatância capacitiva é feita através da fórmula 11.8. Antes, porém, é necessário transformar a unidade da capacitância para farad: $2\mu F = 2 \times 10^{-6}$ F.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 60 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = \frac{1}{753{,}6 \times 10^{-6}} \Rightarrow X_C = \frac{1}{7{,}54 \times 10^{2} \times 10^{-6}}$$

$$X_C = \frac{1}{7{,}54 \times 10^{-4}} \Rightarrow X_C = 1{,}33 \times 10^{3}$$

b) A impedância é calculada através da fórmula 11.9, onde R= 1 x $10^3\ \Omega$.

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

$$Z = \sqrt{(1 \times 10^3)^2 + (1{,}33 \times 10^3)^2}$$

$$Z = \sqrt{2{,}76 \times 10^6} \Rightarrow Z = 1{,}66 \times 10^3\ \Omega \text{ ou}$$

$$Z = 1{,}66\ k\Omega$$

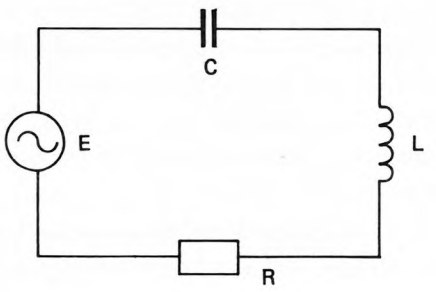


Fig. 19 — Circuito RLC série.

13 - Circuito RLC série

Até este ponto desta lição, foram consideradas várias combinações de resistência, indutância e capacitância, mas nenhuma em que aparecesse, ao mesmo tempo, uma indutância e uma capacitância.

Os circuitos que apresentam uma combinação de resistência, indutância e capacitância são chamados de circuito RLC.

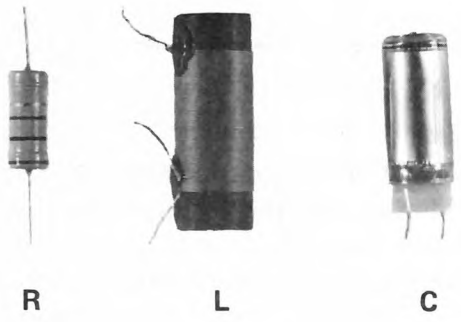


Fig. 18 — Resistor, bobina e capacitor.

O tipo mais simples de um circuito RLC está esquematizado na figura 19. Consiste de uma capacitância (C), uma resistência (R) e de uma indutância (L), todos em série com a fonte de f.e.m. alternada.

Os circuitos RLC desempenham um papel muito importante em transmissores e receptores de rádios. Pode-se dizer que o progresso na rádio-comunicação se tornou possível devido à ação dos circuitos RLC.

14 - Impedância do circuito RLC série

O valor da corrente alternada em um circuito RLC, como o da figura 19, é determinado por meio de uma fórmula semelhante à usada em circuitos de corrente contínua:

$$I = \frac{E}{Z} \qquad (11.10)$$

Na fórmula 11.10, a corrente e a tensão alternada são representadas, respectivamente, pelas letras I e E, enquanto que a letra Z representa a impedância do circuito.

Agora, se desejarmos conhecer o ***valor da impedância de um circuito RLC,*** podemos proceder da seguinte maneira: 1°) colocar um amperímetro em série com o circuito, e medir o valor da corrente; 2°) colocar um voltímetro em paralelo com a fonte, e medir a tensão fornecida ao circuito, quando ela não for conhecida. Com estes valores em mãos, a impedância do circuito RLC pode ser determinada aplicando-se a seguinte fórmula:

$$Z = \frac{E}{I} \qquad (11.11)$$

A impedância (Z) de um circuito RLC depende dos valores da resistência (R) e da reatância combinada (X) do capacitor e da bobina.

Direitos reservados

A fórmula que permite determinar o valor da impedância a partir da resistência e da reatância combinada do capacitor e da bobina, é semelhante a aquela usada quando se tinha somente indutância ou capacitância em série com a resistência.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \qquad (11.12)$$

15 - Reatância total

A reatância total de um circuito RLC depende dos valores da reatância indutiva (X_L) e da reatância capacitiva (X_C).

As reatâncias indutivas e capacitivas têm efeitos opostos: X_L provoca um atraso na corrente, enquanto que X_C faz com que a corrente se adiante em relação à tensão aplicada.

É evidente que, havendo duas forças opostas, a mais forte predomina. Por outro lado, se as duas forças opostas forem iguais, uma neutralizará a ação da outra.

Assim sendo, a reatância total de um circuito RLC é a diferença entre as reatâncias.

A reatância total é a diferença entre a reatância maior e a reatância menor. Se a reatância capacitiva (X_C) for maior, o circuito será capacitivo e a corrente estará adiantada em relação à tensão. Se a reatância indutiva (X_L) for maior, o circuito será indutivo e a corrente estará atrasada.

As fórmulas que permitem determinar a reatância total ou combinada são as seguintes:

$$X = X_L - X_C \quad \text{ou} \quad X = X_C - X_L \qquad (11.13)$$

Desse modo, se tivermos um ***circuito indutivo,*** a equação 11.12 pode ser escrita da seguinte forma:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad (11.14)$$

E, por outro lado, se tivermos um ***circuito capacitivo,*** a equação 11.12 pode ser escrita da seguinte forma:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \qquad (11.15)$$

Pode-se ainda obter fórmulas diferentes para o cálculo da impedância, substituindo os valores de X_L e X_C dados através das fórmulas 11.4 e 11.8:

$$X_L = 2\pi f L \quad \text{e} \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Portanto, para um circuito indutivo a impedância pode também ser calculada através da fórmula 11.16.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2} \qquad (11.16)$$

Exemplo

Para o circuito da figura 20, calcular: a) impedância do circuito; b) o valor da corrente do circuito; c) posicionar a fase da corrente em relação à tensão.

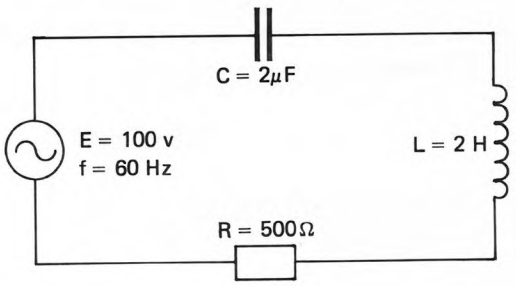


Fig. 20 – Circuito RLC.

Solução

a) Antes de determinarmos a impedância, temos que calcular X_L e X_C.

$X_L = 2\pi f L \Rightarrow X_L = 2 \times 3{,}14 \times 60 \times 2$

$X_L = 754\,\Omega$

Para determinarmos X_C temos que converter a unidade da capacitância para farad:
$2\,\mu F = 2 \times 10^{-6}$ F.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 60 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$X_C = 1{,}33 \times 10^3\,\Omega$.

Direitos reservados

Em seguida, determinamos a reatância total, efetuando a diferença entre as reatâncias capacitiva e indutiva, tendo em conta que a reatância capacitiva é maior. De acordo com a fórmula 11.13, vem:

$$X = X_C - X_L \Rightarrow X = 1{,}33 \times 10^3 - 754$$

$$X = 576\,\Omega$$

Aplicando-se, agora, a fórmula 11.12, determinaremos a impedância.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \Rightarrow Z = \sqrt{(500)^2 + (576)^2}$$

$$Z = \sqrt{250\,000 + 332\,000}$$

$$Z = \sqrt{25 \times 10^4 + 33{,}2 \times 10^4}$$

$$Z = \sqrt{58{,}2 \times 10^4} \Rightarrow \underline{Z = 7{,}63 \times 10^2\,\Omega}$$

b) O valor da corrente é determinado diretamente através da fórmula 11.10:

$$I = \frac{E}{Z} \Rightarrow I = \frac{100}{7{,}63 \times 10^2} \Rightarrow \underline{I = 0{,}13\,A}$$

c) Pelos cálculos efetuados no item (a), verificou-se que a reatância capacitiva era maior que a reatância indutiva. Logo, conclui-se que a reatância total também é capacitiva, e isto significa que a corrente do circuito está adiantada em relação à tensão aplicada.

16 - Ressonância

Estudaremos a seguir, um dos fenômenos mais notáveis e importantes da natureza. Trata-se do fenômeno da ressonância.

O conhecimento da ***ressonância,*** permite a sua aplicação nos mais diversos campos da atividade humana. Por exemplo: a existência de vasta rede de emissoras de rádio e televisão sem que se misturem, permitindo a recepção de cada uma delas; a separação de sinais específicos ou freqüências elétricas, responsáveis por todo tipo de transmissão de dados para comunicação de mensagens; nas construções de aviões para não desintegrarem em pleno ar, quando submetidos a intensas vibrações causadas por nuvens; nas construções de pontes e viadutos ferroviários e rodoviários; nas estruturas de veículos, etc.

Pode-se definir a ressonância como sendo o fenômeno físico causado por uma oscilação natural (mecânica ou elétrica), em que há acúmulo de energia. A concentração de energia alcança um nível máximo, numa determinada freqüência, caindo de valor tanto para freqüências maiores como também para freqüências menores.

A freqüência em que ocorre a ressonância é chamada de ***freqüência de ressonância*** ou ***freqüência natural de oscilação.*** Todo corpo, até mesmo o tampo de uma mesa, tem a sua freqüência natural de oscilação.

Um conhecido exemplo de ressonância acontece com as cordas de dois violões colocados lado a lado. Fazendo-se vibrar uma corda do primeiro violão, as ondas sonoras fazem vibrar as cordas do segundo violão, Porém, somente a corda de nota musical corresponde a aquela que foi vibrada, é que sofrerá a máxima vibração. Diz-se, então, que a corda do segundo violão está em ressonância com a corda que foi vibrada no primeiro violão.

Um outro caso de ressonância foi solucionado pelo ilustre e saudoso professor Ademar Fonseca, da Universidade Católica do Rio de Janeiro. As novas máquinas de tecelagem de uma importante fábrica de tecidos em Bangu (Rio de Janeiro), arrebentavam com todo o piso à sua volta. Os supervisores da empresa, primeiramente, haviam determinado que as máquinas tivessem por alicerce um sólido bloco de concreto. No entanto, após algumas horas de funcionamento, enormes fendas se espalharam pelo chão, ao redor das máquinas.

Os diretores da firma determinaram que o alicerce fosse refeito, dobrando-se as dimensões do bloco de concreto. Entretanto, após alguns dias de funcionamento, eis que novamente o fato se repetiu.

Tentaram mais uma vez, quadruplicando o concreto, mas após algumas semanas, as trincas tornaram a se estender pela fábrica.

Finalmente, os diretores da empresa resolveram apelar para a Escola de Engenharia da Universidade, e coube ao professor Ademar a incumbência de estudar e resolver o problema.

Chefiados pelo professor, assistentes e alunos mediram a freqüência de osci-

Direitos reservados

lação natural das máquinas por meio de instrumentos sensíveis. Verificaram, dessa forma, que as máquinas apresentavam o fenômeno da ressonância quando em funcionamento, e isso provocava as rachaduras na estrutura.

Calcularam, então, uma estrutura com molas, que fizesse o necessário amortecimento. Esta nova estrutura acabou empregando uma menor quantidade de concreto até então utilizada, e resolveu o problema: não mais apareceram trincas no piso.

Os atuais aviões Eletra II, em uso intenso nas diversas pontes aéreas pelo território brasileiro, são sucessores dos aviões Eletra I, que jamais chegaram a operar comercialmente. Isto porque os dois primeiros aparelhos de prova que voaram, partiram-se em pleno vôo, com a morte de ambos os pilotos.

Na época foram feitos exaustivos estudos aeronáuticos, e chegou-se a conclusão que as estruturas dos aparelhos entravam em ressonância, quando submetidos a intensas vibrações causadas pelas nuvens, e isto provocava a destruição do aparelho.

Como solução, alteraram significativamente as formas, peso e estruturas das aeronaves, situando sua freqüência de ressonância bem longe da primeira. Os novos modelos tem voado há mais de 20 anos, sem problema algum.

E como exemplo final, podemos dizer que a sintonia de uma estação de rádio é, nada mais nada menos, do que fazer vários circuitos eletrônicos do aparelho receptor entrarem em ressonância na freqüência da emissora.

17- Circuito ressonante

Você viu no capítulo 15 que, em qualquer circuito onde existam indutância e capacitância em série, a reatância total é a diferença entre a reatância maior e a reatância menor.

Se a reatância capacitiva for maior, o circuito será capacitivo e a corrente estará adiantada em relação à tensão. Veja novamente o exemplo do capítulo 15.

Por outro lado, se a reatância indutiva for maior, o circuito será indutivo e a corrente estará atrasada em relação à tensão aplicada.

Mas, e se ocorrer uma situação em que a reatância capacitiva for igual à reatância indutiva? Que tipo de circuito será?

Ora, se X_L for igual a X_C uma neutralizará o efeito da outra, pois estas reatâncias tem efeitos contrários. Tudo se passa como se não houvesse reatância alguma presente no circuito. A única oposição à passagem da corrente elétrica será devida à resistência.

Esta condição de não haver reatância num circuito, apesar da existência de capacitância e indutância, é geralmente chamada de ***ressonância série.***

A ressonância série só existirá para determinados valores de capacitância e indutância e para uma certa freqüência.

O circuito RLC que em uma determinada freqüência apresenta $X_L = X_C$ é chamado de ***circuito ressonante ou sintonizado.***

18- Fórmula da freqüência na ressonância série

A freqüência em que a reatância capacitiva é igual à reatância indutiva, é chamada de ***freqüência de ressonância.***

A fórmula que permite determinar a freqüência na ressonância série, pode ser deduzida a partir da igualdade entre as duas reatâncias: $X_L = X_C$.

De acordo com as fórmulas 11.4 e 11.8, temos:

$$X_L = 2\pi f L \quad \text{e} \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Na ressonância série, existe a igualdade entre as reatâncias. Logo, teremos:

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

Direitos reservados

Multiplicando-se os dois membros por $2\pi f$ resulta:

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

Passando-se L para o segundo membro, tem-se:

$$(2\pi f)^2 = \frac{1}{LC}$$

Extraindo a raiz quadrada dos dois membros, obtém-se:

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

Isolando no primeiro membro a freqüência, obtém-se a fórmula que permite determinar a freqüência de ressonância série:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (11.17)$$

f = freqüência de ressonância, em hertz.
π = 3,14 (constante).
L = indutância, em henry.
C = capacitância, em farad.

Se as unidades de indutância e capacitância não forem em henry e farad, respectivamente, é necessário fazer as devidas conversões. O capítulo seguinte apresenta algumas fórmulas que permitem determinar a freqüência de ressonância em hertz, sem a necessidade de fazer as conversões.

19 - Fórmulas práticas para a ressonância

A fórmula 11.17 pode ser modificada para atender as diversas condições dos circuitos.

A primeira ***simplificação*** que se pode fazer, é efetuar a divisão de 1 (que se encontra no numerador) por 2π (que se encontra no denominador). Como π é aproximadamente 3,14, obviamente 2π será igual a 6,28.

Então, $\frac{1}{2\pi}$ é igual a 0,159.

Logo, a expressão 11.17 se transforma em:

$$f = \frac{0{,}159}{\sqrt{LC}} \qquad (11.18)$$

L = indutância em henry.
C = capacitância, em farad.
f = freqüência, em hertz.

Se as unidades de ***indutância*** for em ***henry*** e de ***capacitância*** em ***microfarad,*** a fórmula passa a ser:

$$f = \frac{159}{\sqrt{LC}} \qquad (11.19)$$

com a freqüência em hertz.

Para freqüências altas, a ***indutância*** é dada em ***microhenry*** e a ***capacitância*** em ***picofarad.*** Nestas unidades a fórmula passa a ser:

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{LC}} \qquad (11.20)$$

L = em microhenry (μH).
C = em picofarad (pF).
f = em quilohertz (kHz).

Exemplo 1

Qual é a freqüência de ressonância de um circuito em que a indutância é igual a 30 H e a capacitância é igual a 0,05μF?

Solução

Como a indutância está dada em henry e a capacitância está dada em microfarad, basta aplicar a fórmula 11.19.

$$f = \frac{159}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f = \frac{159}{\sqrt{30 \times 0{,}05}} \Rightarrow f = \frac{159}{\sqrt{1{,}50}}$$

$$f = \frac{159}{1{,}22} \Rightarrow \underline{f = 130 \text{ Hz.}}$$

Exemplo 2

Qual é a freqüência de ressonância de um circuito em que L = 200μH e C = = 350pF?

Solução

Agora a indutância está dada em microhenry e a capacitância em picofarad. Desse modo, a fórmula a ser aplicada é a 11.20.

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{200 \times 350}}$$

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{700 \times 10^2}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{26{,}5 \times 10}$$

$$\underline{f = 600 \text{ kHz}}$$

Direitos reservados

Exemplo 3

Um capacitor variável que pode ser variado de 50 a 500 pF vai ser usado com uma bobina com indutância de 200μH. Qual a faixa de freqüência que pode ser coberta?

Solução

Como a indutância está dada em microhenry e a capacitância em picofarad, a fórmula a ser empregada é a 11.20.

Para a capacitância de 500 pF, a freqüência será:

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{500 \times 200}}$$

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{10 \times 10^4}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{3{,}16 \times 10}$$

$$\underline{\underline{f = 503 \text{ kHz}}}$$

Para a capacitância de 50 pF, a freqüência será:

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{50 \times 200}}$$

$$f = \frac{159 \times 10^3}{\sqrt{1 \times 10^4}} \Rightarrow f = \frac{159 \times 10^3}{1 \times 10^2}$$

$$f = 1{,}59 \times 10^3 \text{ kHz} \quad \text{ou} \quad \underline{\underline{f = 1{,}59 \text{ MHz}}}$$

Portanto, este circuito pode cobrir uma faixa de freqüência desde 503 kHz até 1,59 MHz.

20 - Fórmulas de L e C numa dada freqüência

As fórmulas de 11.18 a 11.20 podem ser modificadas convenientemente, para se determinar os valores de *L* e *C* numa dada freqüência.

Então, elevando-se ao quadrado os dois membros da fórmula 11.18, obtém-se:

$$f = \frac{0{,}159}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f^2 = \frac{(0{,}159)^2}{LC} \Rightarrow f^2 = \frac{2{,}54 \times 10^{-2}}{LC}$$

Desta última forma pode-se tirar as expressões que permitem determinar o valor da indutância (L) e da capacitância (C). Para isto, basta passar f^2 para o segundo membro, e passar *L* ou *C* para o primeiro membro.

$$\boxed{L = \frac{2{,}54 \times 10^{-2}}{f^2 C}} \quad (11.21)$$

$$\boxed{C = \frac{2{,}54 \times 10^{-2}}{f^2 L}} \quad (11.22)$$

L = em henry.
C = em farad.
f = em hertz.

Efetuando-se transformações análogas na fórmula 11.20, obtém-se as seguintes fórmulas para o cálculo da indutância e capacitância:

$$\boxed{L = \frac{2{,}54 \times 10^{10}}{f^2 C}} \quad (11.23)$$

$$\boxed{C = \frac{2{,}54 \times 10^{10}}{f^2 L}} \quad (11.24)$$

L = em microhenry (μH).
C = em picofarad (pF).
f = em quilohertz (kHz).

Exemplo

Qual o valor da indutância em microhenry que uma bobina deve apresentar, para ressonar com um capacitor de 500 pF na freqüência de 600 kHz?

Solução

Como a indutância pedida é em microhenry e a capacitância dada é em picofarad, a fórmula a ser empregada é a 11.23.

$$L = \frac{2{,}54 \times 10^{10}}{f^2 C} \Rightarrow L = \frac{2{,}54 \times 10^{10}}{(6 \times 10^2)^2 \times 5 \times 10^2}$$

$$L = \frac{2{,}54 \times 10^{10}}{36 \times 10^4 \times 5 \times 10^2} \Rightarrow \underline{\underline{L = 141\mu H}}$$

21 - Representação gráfica da ressonância

Um circuito RLC, como o esquematizado na figura 21, pode apresentar

Direitos reservados

reatância total indutiva, capacitiva ou ser ressonante, dependendo do valor da freqüência da corrente alternada.

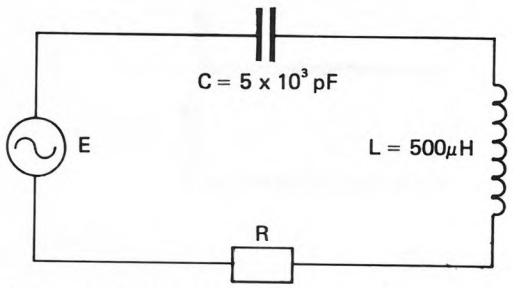


Fig. 21 – Circuito RLC.

Para analisarmos a influência da freqüência sobre o circuito da figura 21, vamos considerar o gráfico da figura 22 que apresenta na ordenada (eixo vertical) os valores das reatâncias, e na abscissa (eixo horizontal) as freqüências. A reatância indutiva (X_L) é considerada positiva, e por isso está representada acima da linha zero. A reatância capacitiva, ao contrário, é considerada negativa e por isso está representada abaixo da linha zero.

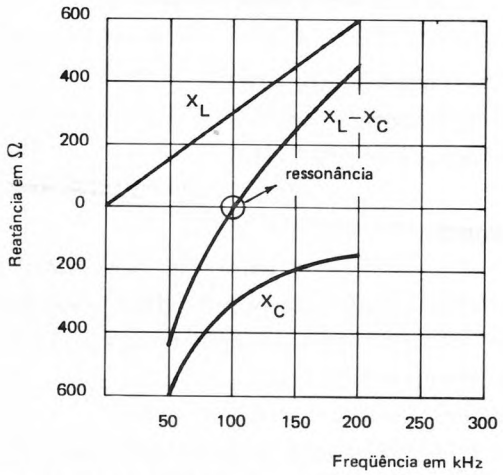


Fig. 22 – Variação da reatância em função da freqüência para o circuito RLC da figura 21.

A curva de X_L mostra que a ***reatância indutiva*** da bobina de 500μH ***cresce*** proporcionalmente ***com a freqüência.*** Por exemplo: a 50 kHz o valor de X_L é de 150Ω; a 100 kHz é 300Ω; a 150 kHz é 450Ω; a 200 kHz é 600Ω.

A ***reatância capacitiva*** X_C do capacitor de 5 x 10^3 pF ***decresce*** à medida que a ***freqüência cresce.*** Por exemplo: a 50 kHz o valor de X_C é 600 Ω; a 100 kHz é 300Ω; a 150 kHz é 200Ω; a 200 kHz é 150Ω.

A terceira curva, $X_L - X_C$, representa a ***reatância total ou combinada.*** Observe no gráfico que ***abaixo de 100 kHz a*** reatância total é ***capacitiva,*** ou seja, o circuito é capacitivo. Por exemplo: a 50 kHz, X_C vale 600Ω enquanto que X_L vale 150Ω. Logo, a diferença é de 450Ω a favor da reatância capacitiva.

Por outro lado, nas freqüências ***acima de 100 kHz,*** a ***reatância total*** ($X_L - -X_C$) é ***indutiva,*** ou seja, o circuito é indutivo. Por exemplo: a 150 kHz, X_C vale 200Ω enquanto X_L vale 450Ω. Logo, a diferença é de 250Ω a favor da reatância indutiva.

No gráfico da figura 22, a freqüência de 100 kHz corresponde à freqüência de ressonância do circuito da figura 21, pois nesta freqüência a reatância total é igual a zero.

Observe no gráfico que na freqüência de ressonância, X_L é igual a 300Ω, e X_C também vale 300Ω. Logo, a diferença entre elas é igual a zero.

Num circuito sintonizado, como o da figura 21, a reatância é capacitiva nas freqüências abaixo da ressonância e indutiva nas freqüências acima da freqüência de ressonância.

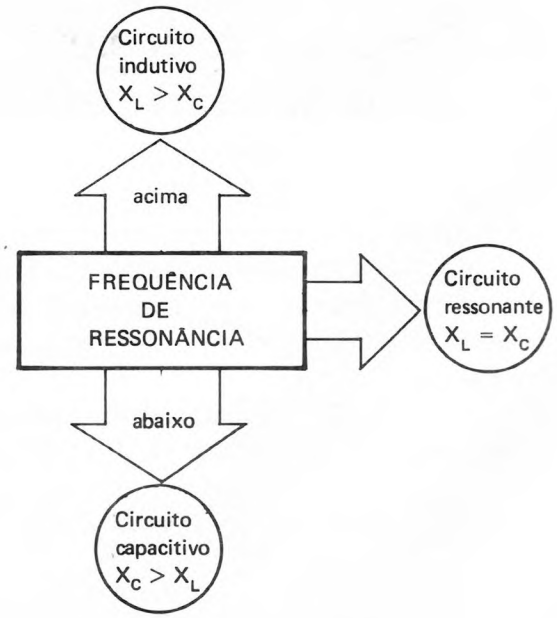


Fig. 23 – Influência da freqüência na característica do circuito.

22 - Curva de ressonância

Num circuito RLC como o da figura 24, a reatância combinada na freqüência de ressonância é igual a zero. Porém, mesmo que não exista nenhum resistor colocado em série com o capacitor e a bobina, existe ainda uma pequena resistência devida aos condutores e ao fio que forma a bobina.

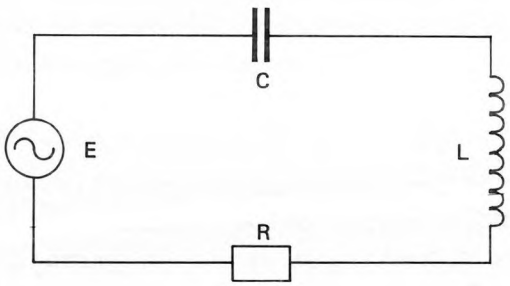


Fig. 24 — A resistência dos condutores e do fio da bobina está simbolizada por R.

O fio que constitui a bobina, além da resistência propriamente dita, pode apresentar, conforme a freqüência, o efeito pelicular.

Nas freqüências muito altas, somente a superfície do fio toma parte na condução da eletricidade. Nestas condições, todo o restante do condutor é "peso morto". Este efeito que aparece nas freqüências muito altas é chamado de ***efeito pelicular.***

O ***resultado prático do efeito pelicular*** é que, diminuindo a área do condutor que toma parte na condução da corrente elétrica, aumentam as perdas, como se a ***resistência tivesse aumentado.***

Para facilitar a condução da corrente elétrica nas freqüências muito altas, costuma-se ***pratear os fios das bobinas de alta freqüência.*** Isto porque a prata é um dos melhores condutores de eletricidade.

O capacitor também pode contribuir para aumentar a resistência, devido a imperfeições no seu dielétrico (material isolante, existente entre as placas).

Entretanto, usando-se capacitores de boa qualidade e construindo-se bobinas "conforme manda o figurino", ***o valor da corrente na freqüência de ressonância pode ser muito alto.*** Observe o gráfico da figura 25, que apresenta a variação no valor da corrente em função da freqüência.

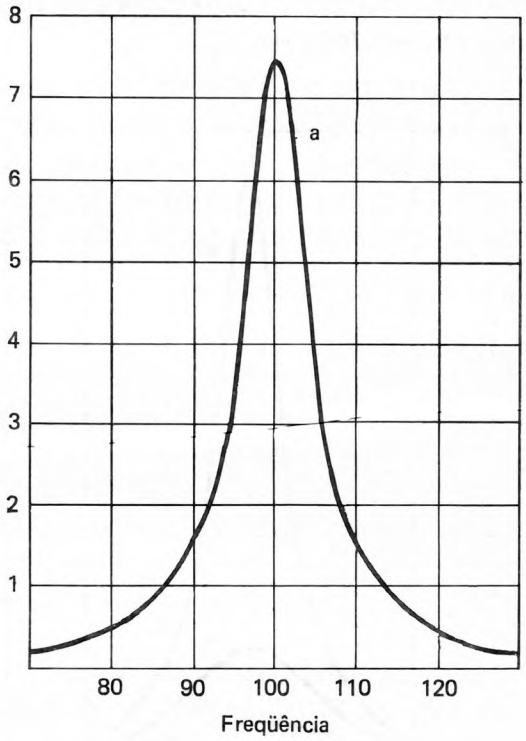


Fig. 25 — O valor da corrente é muito maior na freqüência de ressonância.

O gráfico da figura 25 é obtido, aplicando-se uma tensão alternada constante sobre um circuito como o da figura 24. Varia-se a freqüência desde abaixo da ressonância até acima da ressonância, e mede-se o valor da corrente no circuito em cada freqüência. Uma tensão alternada é dita "constante" quando sua variação ocorre de maneira uniforme, com os máximos e mínimos atingindo sempre o mesmo valor.

23 - Efeito da resistência na corrente de ressonância

A presença da resistência reduz o valor da corrente na freqüência de ressonância.

Para que você possa compreender a influência da resistência sobre a corrente nos

circuitos RLC série, vamos analisar as três curvas do gráfico da figura 26. A freqüência em quilohertz está representada no eixo horizontal, enquanto que os valores da corrente estão indicados no eixo vertical, numa unidade arbitrária. Para este gráfico, ***a freqüência de ressonância está em 100 kHz.***

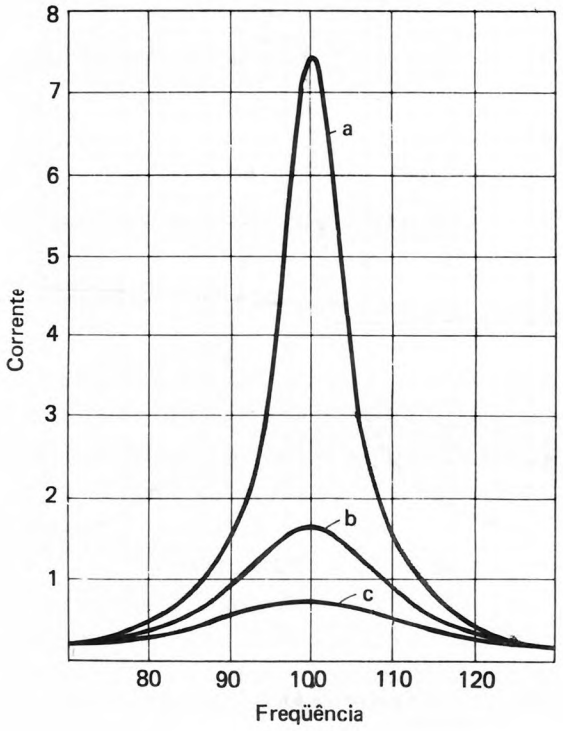


Fig. 26 — Efeito da resistência sobre a corrente em circuitos RLC série.

A curva "a" mostra que a 80 kHz, a corrente é 0,5 unidade. Em 90 kHz, a corrente atinge 1,5 unidade. Em 100 kHz, freqüência de ressonância, a corrente atinge seu valor máximo de 7,5 unidades.

Depois da ressonância os valores da corrente tornam a cair, valendo 1,5 unidade em 110 kHz e 0,5 unidade em 120 kHz.

A curva "b" representa a variação da corrente com uma resistência maior que em "a"; e a curva "c" representa a variação da corrente com uma resistência ainda maior.

Estas curvas mostram com toda a clareza, que quanto maior a resistência, tanto menor a corrente que passa pelos circuitos sintonizados. E esta diminuição no valor da corrente é ainda muito mais significativa na freqüência de ressonância.

É por isso que se procura manter a resistência no mínimo possível, a fim de se conseguir valores elevados de corrente mesmo com tensões pequenas.

24 - Correntes na ressonância

Num circuito ressonante série, como o da figura 24, os efeitos da indutância e da capacitância se cancelam mutuamente na freqüência de ressonância. O único efeito que persiste é o da resistência. Por isso, a impedância se reduz a uma simples resistência e a corrente obedece a Lei de Ohm.

Havendo variação na freqüência do sinal (tensão) aplicado ao circuito, as reatâncias indutiva e capacitiva mudam de valor. Quando a freqüência aumentar, a reatância indutiva (X_L) também aumenta. Por outro lado, quando a freqüência diminuir, a reatância capacitiva (X_C) é que aumenta.

A corrente atinge o seu valor máximo na freqüência de ressonância, porque as reatâncias se tornam iguais e se cancelam mutuamente. Logo, na ressonância, passa pelo circuito a corrente máxima.

Em qualquer outra freqüência, haverá uma predominância de X_L ou de X_C. Nestes casos, o valor da corrente, assim como sua fase, serão determinados pela característica da reatância total.

25 - Relação de fase na ressonância

A relação de fase entre a corrente e a tensão em um circuito sintonizado, é determinada pela reatância total do circuito.

Se a reatância total for indutiva, a corrente estará atrasada em relação à tensão; se a reatância total for capacitiva, a corrente estará adiantada em relação à tensão; e finalmente, se a reatância total for nula, a corrente estará em fase com a tensão.

Na freqüência de ressonância, a reatância total é nula. Logo, a corrente está em fase com a tensão aplicada.

Contudo, fora da ressonância, haverá predomínio da reatância indutiva (X_L) ou da reatância capacitiva (X_C). Veja novamente a figura 22.

Nas freqüências abaixo da freqüência de ressonância, haverá um predomínio de X_C, enquanto que nas freqüências acima da freqüência de ressonância haverá uma predominância de X_L.

Abaixo da freqüência de ressonância a corrente se adianta em relação à tensão, enquanto que acima da freqüência de ressonância a corrente se atrasa em relação à tensão aplicada.

26 - Fator de mérito de circuito RLC série

A figura 26 mostra claramente o efeito da resistência em circuitos ressonantes. Quanto menor a resistência do circuito, mais pronunciado é o crescimento da corrente na freqüência de ressonância. Este efeito é maior na ressonância, e se dilui fora dela.

Em um circuito ressonante, quanto menor a resistência mais "seletivo" ele se torna. Isto é, a corrente cresce significativamente na freqüência de ressonância.

A resistência de um circuito sintonizado inclui, além da resistência resultante da resistividade dos materiais condutores, o efeito pelicular. O efeito pelicular é maior, quanto maior for a freqüência.

A resistência devida à resistividade dos materiais é chamada de ***resistência ôhmica.***

Acontece que a maior parte da resistência ôhmica do circuito é devida à resistência do condutor que forma a bobina. Logo, a seletividade de um circuito ressonante é, basicamente, determinada pela qualidade da bobina.

A capacidade seletiva que um circuito ressonante apresenta é chamada de fator de mérito do circuito, e representado pela letra "Q".

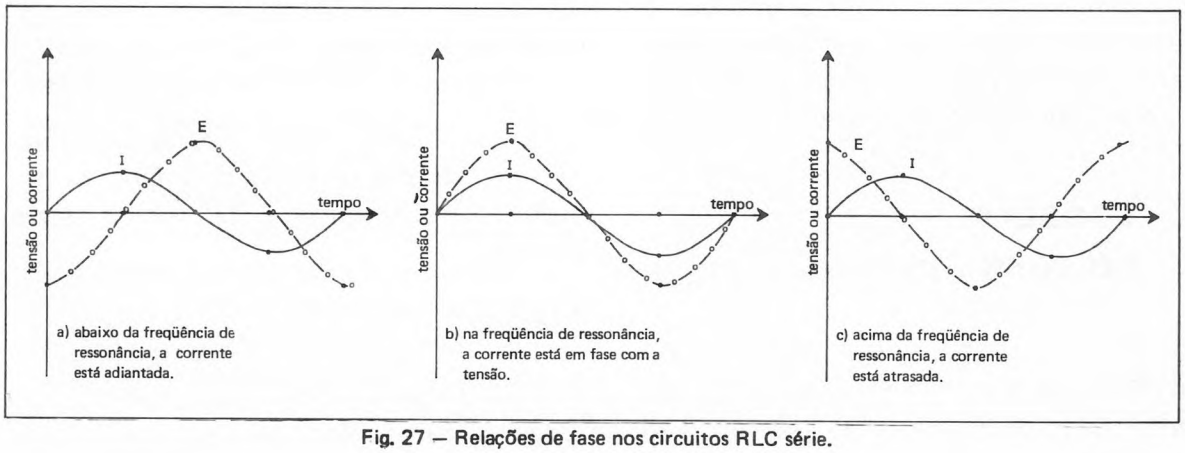


Fig. 27 — Relações de fase nos circuitos RLC série.

A fórmula que permite determinar o fator de mérito de uma bobina é a seguinte:

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad (11.25)$$

Q = fator de mérito do circuito.
X_L = reatância indutiva, em ohm.
R = resistência do circuito, em ohm.

27 - Variação do "Q" com a freqüência

O fator de mérito (Q) não é um número fixo, constante, devido a variação do efeito pelicular de uma freqüência para outra. Todavia, ***para uma pequena faixa de freqüência, a variação é desprezível e pode-se considerar o fator de mérito constante.***

Isto se aplica aos circuitos sintonizados dos receptores de rádio. Na faixa de sintonia de 500 a 1 500 kHz, os circuitos ressonantes devem poder responder a qualquer freqüência dentro da faixa. Mas, será que neste intervalo o fator de mérito se manterá constante?

Vamos considerar a fórmula 11.25. No numerador tem-se a reatância da bobina, que, naturalmente, cresce com a freqüência. No denominador tem-se R, que seria constante se não fosse o efeito pelicular. O efeito pelicular aumenta com a freqüência, mas não necessariamente no mesmo ritmo que a variação de X_L. Nos modernos receptores de rádio, para reduzir o volume das peças, usa-se núcleos nas bobinas e o material do núcleo também pode apresentar características que variam com a freqüência.

Então, para uma faixa de 500 a 1 500 kHz, o certo é que o fator de mérito varia, geralmente de maneira acentuada. O que se faz é aplicar todos os truques da engenharia para manter o mais alto possível o valor do fator de mérito do circuito.

28 - Tensões na ressonância

A tensão nos terminais do capacitor atinge um pico numa freqüência ligeiramente abaixo da freqüência de ressonância do circuito. A bobina também apresenta um pico de tensão, porém, numa freqüência um pouco acima da de ressonância.

Quando o fator de mérito for alto, a diferença entre estas freqüências, onde ocorrem os picos nas tensões do capacitor e bobina, ***são tão pequenas que se pode considerar iguais à freqüência de ressonância do circuito.***

Por isso, na ressonância em circuito de alto "Q", as tensões sobre a bobina e o capacitor são iguais.

Além disso, estas tensões são muito mais elevadas que a tensão aplicada, pois nestas condições a tensão sobre a bobina ou sobre o capacitor vale ***E x Q,*** isto é, ***"Q" vezes a tensão aplicada.***

Este aumento de tensão que se verifica nos terminais da bobina ou do capacitor, pode ser demonstrado da seguinte forma: na freqüência de ressonância, a reatância total (X) é igual a zero. Logo, a corrente e a tensão fornecida são determinadas do seguinte modo.

$$I = \frac{E}{R} \qquad \text{e} \qquad E = I \times R$$

Mas, esta mesma corrente passa pela bobina e pelo capacitor. Então, a tensão nos terminais da bobina é:

$$E_L = I \times X_L \qquad (11.28.1)$$

Por outro lado, de acordo com a fórmula 11.25, temos:

$$Q = \frac{X_L}{R} \Rightarrow X_L = Q \times R \qquad (11.28.2)$$

Substituindo o valor de X_L dado através da fórmula 11.28.2, na fórmula 11.28.1, vem:

$$E_L = I \times Q \times R \qquad \text{ou} \qquad E_L = Q \times I \times R$$

Mas, $I \times R = E$. Portanto, conclui-se que:

$$E_L = Q \times E$$

Desse modo, fica demonstrado que a tensão nos terminais da bobina, na freqüência de ressonância, é "Q" vezes a tensão aplicada.

Exemplo

Determinar para o circuito da figura 28, as tensões sobre a bobina e sobre o capacitor, na freqüência de ressonância.

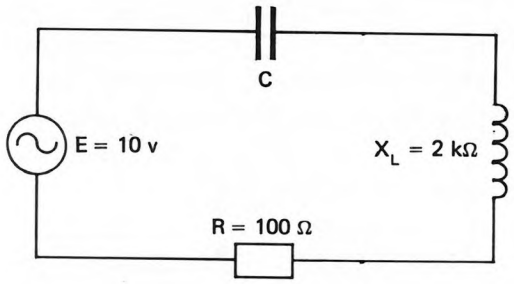


Fig. 28 — Circuito RLC.

Solução

Inicialmente determina-se o fator de mérito (Q), por meio da fórmula 11.25:

$$Q = \frac{X_L}{R} \Rightarrow Q = \frac{2\ k\Omega}{100\ \Omega} \Rightarrow Q = \frac{2\,000\ \Omega}{100\ \Omega}$$

$$Q = 20$$

Como está sendo considerado uma tensão aplicada de 10 volts, a tensão sobre a bobina ou sobre o capacitor na freqüência de ressonância será: E x Q = 10 volts x 20 = = 200 volts.

Se quisermos determinar, também, a corrente que passa pelo circuito durante a ressonância, basta aplicar a Lei de Ohm.

$$I = \frac{E}{R} \Rightarrow I = \frac{10\ v}{100\,\Omega} \Rightarrow I = 0{,}1\ A.$$

Só para conferir, observe que o produto da corrente pela reatância indutiva corresponde a 200 volts: 0,1 A x 2 kΩ = 200 volts.

29 - Aplicações dos circuitos ressonantes série

Os ganhos de tensão conseguidos nos circuitos ressonantes série são utilizados em muitos dispositivos. Um exemplo está ilustrado na figura 29, onde aparece um circuito de antena de um receptor de rádio.

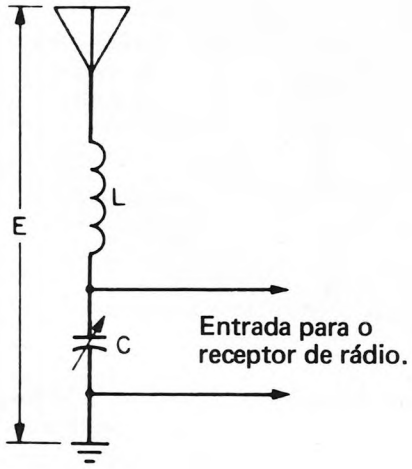


Fig. 29 — Circuito de antena com ressonância série.

A freqüência de ressonância é ajustada no valor desejado variando o valor da capacitância.

Os sinais de rádio captados pela antena induzem uma tensão "E" entre o terminal da antena e a terra. Estes sinais provêm de várias emissoras operando em diferentes freqüências. Todas estas tensões, cada uma correspondendo a uma emissora, se repartem entre a bobina e o capacitor, numa proporção determinada pelas respectivas reatâncias.

Quando a freqüência de ressonância do circuito coincidir com a freqüência de uma das emissoras, o sinal desta emissora aparecerá multiplicado por "Q" sobre o capacitor.

Se o fator de mérito (Q) do circuito for suficientemente alto, a diferença entre as tensões será tão grande que será ouvido somente o sinal da emissora sintonizada, isto é, da emissora cuja freqüência coincidir com a freqüência de ressonância do circuito.

No cálculo de um circuito deste tipo, deve-se levar em conta, também, a indutância da antena e as "capacitâncias parasitas" que aparecem entre a antena e a terra.

Na figura 30 aparece outra aplicação da ressonância série. É um circuito que não se usa mais, mas que foi largamente usado para ***realçar os graves,*** isto é, os sons de freqüência baixa em amplificadores de áudio.

Direitos reservados

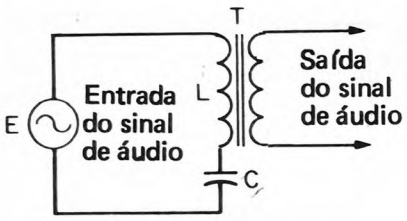


Fig. 30 – Circuito ressonante série usado em áudio-freqüência.

A tensão da fonte "E" representa a tensão fornecida pelo estágio excitador, e "T" é o transformador de acoplamento entre diferentes estágios de um amplificador. A indutância "L" é a indutância do primário do transformador.

Com um valor adequado de "C" consegue-se sintonizar o conjunto em qualquer freqüência desejada. Usualmente a freqüência de sintonia é escolhida para ficar abaixo de 100 Hz.

Em freqüências altas, a reatância de "L" predomina sobre a reatância de "C", de modo que quase toda a tensão aparece sobre "L". A tensão do primário do transformador é transferida magneticamente para o secundário do transformador, e daí para o estágio seguinte do amplificador.

Em freqüências baixas, a tensão do sinal será dividida entre "L" e "C" de acordo com a proporção entre suas reatâncias. A tensão que aparece sobre "C" não é usada.

Nas freqüências próximas da ressonância de "L–C", haverá uma elevação pronunciada da tensão através de "L", devido ao pico de corrente que aparece na freqüência de ressonância. Daí estas freqüências serem grandemente acentuadas em relação às demais.

30 - Filtros com ressonância série

Neste capítulo você vai conhecer alguns tipos de filtros que funcionam com um circuito ressonante série.

A figura 31 apresenta um filtro de áudio, utilizado para diminuir o nível dos sinais em determinadas freqüências.

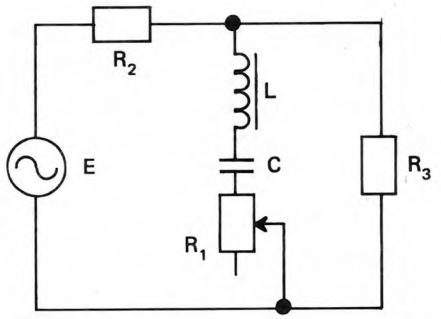


Fig. 31 – Filtro de áudio.

A fonte "E" da figura 31 pode representar o sinal fornecido por um gerador ou por um microfone. A tensão do sinal é dividida, normalmente, entre R_1 e R_2. A parte que fica sobre R_3 é usada para alimentar os estágios seguintes.

A resistência R_2 pode ser uma resistência colocada no circuito, mas, em geral, representa a resistência interna da fonte.

O circuito série ressonante, constituído por L, C e R_1 é shuntado (colocado em paralelo) com R_3. O efeito do shuntamento depende da freqüência do sinal recebido, pois as reatâncias de "L" e de "C" variam com a freqüência. O grau de shuntamento pode ser variado ajustando R_1.

Na freqüência de ressonância de "L" com "C", as reatâncias se cancelam e sobra somente R_1 em paralelo com R_3.

Este tipo de filtro pode ser utilizado para eliminar zumbido, ou outro sinal interferente que tenha uma freqüência determinada.

A figura 32 apresenta o esquema de um circuito ressonante, que funciona como uma armadilha no circuito de antena de um receptor de rádio.

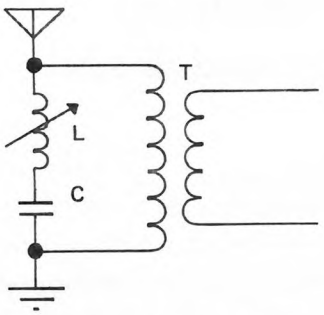


Fig. 32 – Armadilha para freqüências de rádio.

Direitos reservados

O transformador "T" é o circuito de entrada do receptor. A bobina "L" e o capacitor "C" são ajustados para ressonar na freqüência de um sinal de rádio indesejado, que interfere na recepção.

Neste caso, o capacitor apresenta um valor fixo, enquanto que a bobina pode ter seu valor ajustado, por meio do posicionamento de seu núcleo.

A figura 33 apresenta um outro tipo de filtro ressonante.

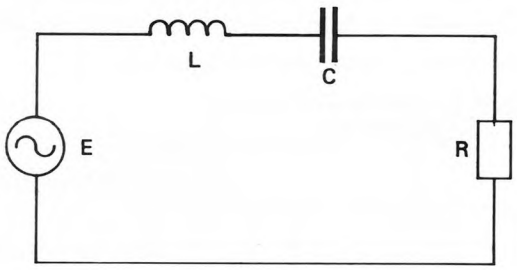


Fig. 33 — Filtro ressonante em série com a carga.

O circuito ressonante série limita o sinal que aparece sobre a carga "R". Mas, na freqüência de ressonância, a reatância total é nula e todo o sinal é aplicado sobre a carga "R".

31- Circuito C.A. com resistores em paralelo

Antes de entrarmos na análise dos circuitos ressonantes paralelos, vamos ver o comportamento de dois resistores ligados em paralelo com uma fonte de corrente alternada, conforme está esquematizado na figura 34.

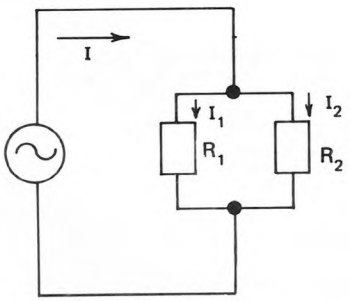


Fig. 34 — Resistores em paralelo num circuito C.A..

Conforme você pode observar na figura 34, a voltagem aplicada sobre os dois resistores é a mesma.

A corrente que passa em cada resistor segue a Lei de Ohm, e é igual à tensão fornecida pela fonte dividida pela respectiva resistência.

Num circuito resistivo, isto é, que só contém resistências, ***a tensão e a corrente estão em fase.*** E como os dois ramos também são resistivos, as correntes I_1 e I_2 estão em fase e, por isso, ***a corrente total é a soma das correntes em cada ramo.***

Observe na figura 35 a representação das ondas das correntes em cada ramo (I_1 e I_2) e da corrente total do circuito (I).

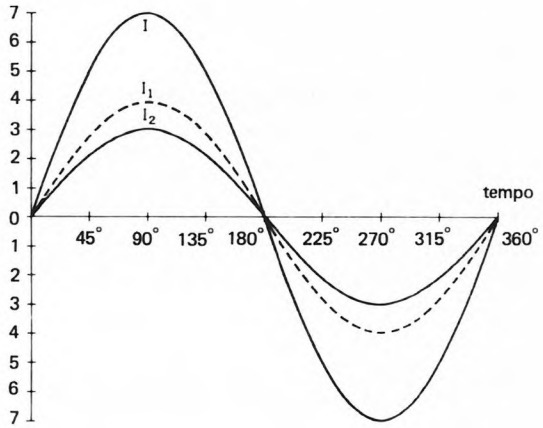


Fig. 35 — Curvas das correntes do circuito da figura 34.

E como é que se determina a resistência equivalente para o circuito da figura 34?

Ora, a resistência equivalente é determinada da mesma forma que para os circuitos de corrente contínua.

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (11.26)$$

Evidentemente, a corrente total do circuito pode ser calculada através da Lei de Ohm.

Exemplo

Determinar para o circuito da figura 36: a) resistência equivalente; b) valor da corrente em cada ramo; c) corrente total fornecida pela fonte.

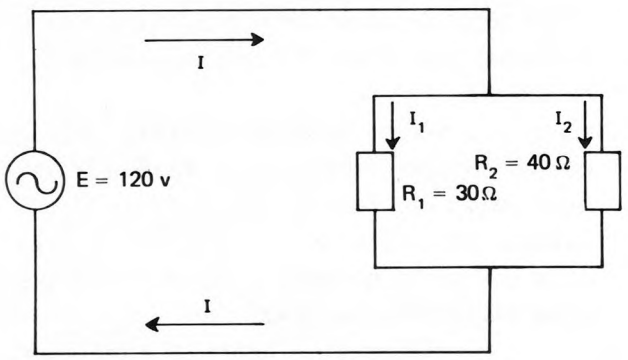


Fig. 36 – Circuito C.A. com resistores em paralelo.

Solução

a) A resistência equivalente é determinada pela fórmula 11.26:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R = \frac{30 \times 40}{30 + 40} \Rightarrow R = \frac{120}{7}$$

$$R = 17\frac{1}{7}\ \Omega$$

b) A corrente em cada ramo é determinada por meio da Lei de Ohm:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} \Rightarrow I_1 = \frac{120}{30} \Rightarrow I_1 = 4\ A$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} \Rightarrow I_2 = \frac{120}{40} \Rightarrow I_2 = 3\ A$$

c) A corrente total é a soma das correntes em cada ramo. $I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = 4 + 3 \Rightarrow I = 7\ A$

ou $I = \frac{E}{R} = \frac{120}{17\frac{1}{7}} = 7\ A$

32 - Resistência em paralelo com indutância

Agora, vamos considerar um circuito de corrente alternada, que apresenta um resistor em paralelo com um indutor, conforme está esquematizado na figura 37.

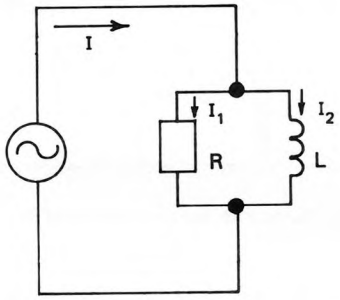


Fig. 37 – Circuito C.A. com resistor em paralelo com bobina.

A corrente total fornecida pela fonte de corrente alternada está representada por "I" no circuito.

Como neste caso temos um ramo indutivo e um ramo resistivo, ***haverá uma defasagem entre as curvas das correntes.***

A figura 38 apresenta a relação entre as fases das curvas das correntes I_1, I_2 e I.

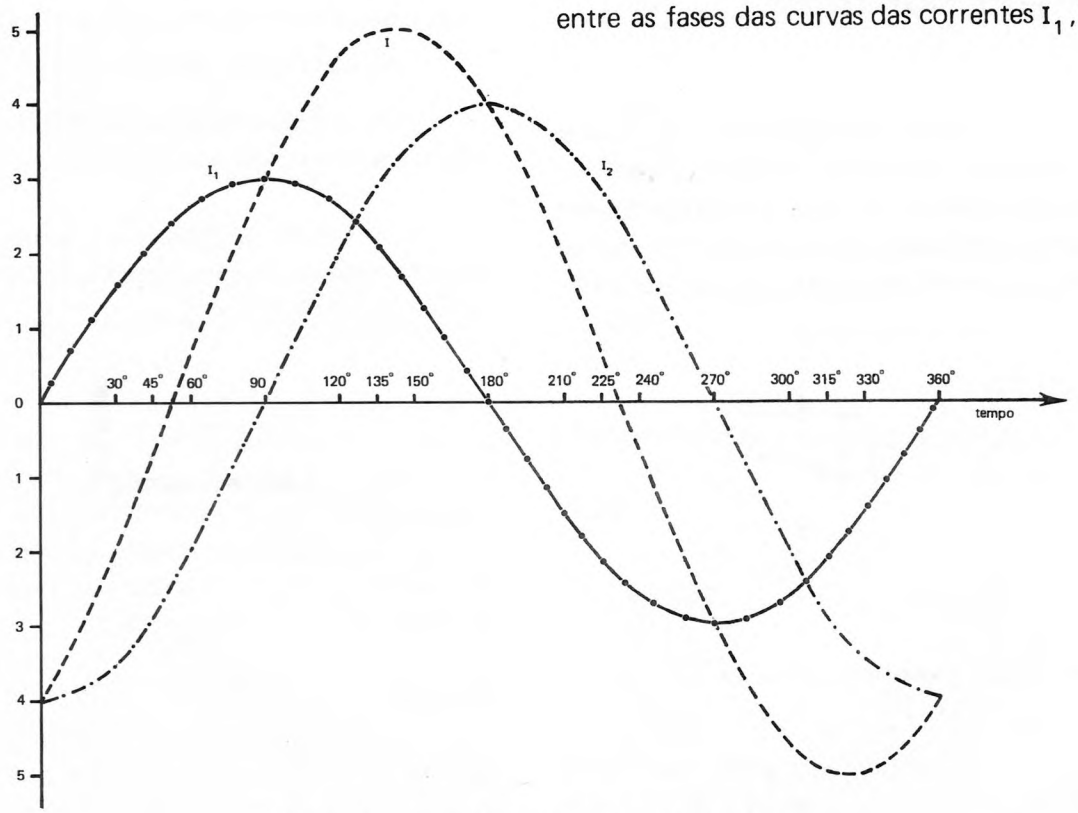


Fig. 38 – Curvas das correntes do circuito da figura 37.

Direitos reservados

Observando o gráfico da figura 38, você pode comprovar que ***a corrente no ramo resistivo (I_1) está adiantada de 90° em relação à corrente no ramo indutivo (I_2).***

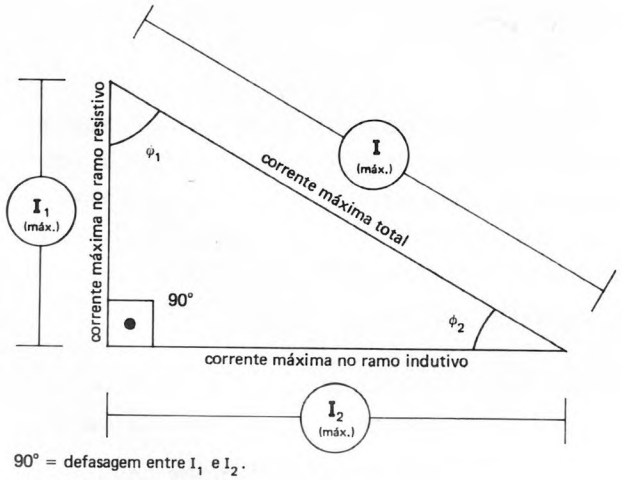
Assim, no começo do ciclo, isto é, de zero até 90°, enquanto I_1 está crescendo de zero até +3, I_2 está decrescendo de –4 para zero.

Quanto à corrente total do circuito (I), ela está defasada em relação às duas correntes: I ***está adiantada em relação à I_2 e atrasada em relação à I_1.***

Mas, ***a corrente total em cada instante, continua sendo a soma das correntes em cada ramo:*** $I = I_1 + I_2$. Por exemplo: a 0°, I_1 vale zero e I_2 vale –4. Logo, o valor de I é também –4, como você pode comprovar pelo gráfico. A 90°, $I_1 = +3$ e $I_2 = 0$. Portanto, $I = 3 + 0 = +3$.

A curva I da figura 38 mostra ainda uma outra coisa: ***a corrente total máxima não é a soma dos valores máximos das correntes em cada ramo,*** pois os valores máximos de I_1, I_2 e I, são 3, 4 e 5, respectivamente. Isto porque os valores máximos são atingidos em instantes diferentes: I_1 a 90°, I_2 a 180° e I a 135°.

Entretanto, como as correntes máximas dos ramos estão defasadas de 90°, ***a corrente máxima total pode ser determinada a partir da relação entre os lados de um triângulo retângulo.*** Veja a figura 39.



90° = defasagem entre I_1 e I_2.
ϕ_1 = defasagem entre I e I_1.
ϕ_2 = defasagem entre I e I_2.

Fig. 39 – Relação entre os valores máximos das correntes.

Assim sendo, a relação entre as correntes máximas obedece a lei dos triângulos retângulos.

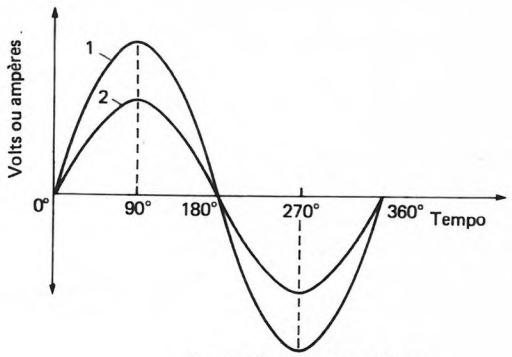
$$I^2_{(máx)} = I^2_{1\,(máx)} + I^2_{2\,(máx)} \qquad (11.27)$$

A fórmula 11.27 foi determinada para os valores máximos das correntes. Porém, ela também pode ser utilizada para determinar os ***valores eficazes, valores médios,*** ou quaisquer outros valores correspondentes.

O triângulo retângulo da figura 39, além de indicar a defasagem de 90° entre as correntes I_1 e I_2, indica também a defasagem entre a corrente total (I) e as correntes nos ramos (I_1 e I_2). ***O ângulo ϕ_1 indica a defasagem entre I e I_1, e o ângulo ϕ_2 indica a defasagem entre I e I_2.***

O ângulo ϕ_1 é ligeiramente menor que 45°, enquanto que o ângulo ϕ_2 é um pouco maior que 45°. Se as correntes I_1 e I_2 apresentarem o mesmo valor, os ângulos ϕ_1 e ϕ_2 serão iguais a 45°.

Finalmente, com relação à ***tensão aplicada pela fonte,*** ela está sempre ***em fase com a corrente do ramo resistivo,*** conforme está indicado na figura 40.



1 – tensão aplicada pela fonte
2 – corrente no ramo resistivo

Fig. 40 – A tensão está sempre em fase com a corrente no ramo resistivo, num circuito RL paralelo.

33 - Resistência em paralelo com capacitância

Vamos agora considerar um circuito que apresenta um resistor ligado em

Direitos reservados

paralelo com um capacitor, num circuito de corrente alternada, conforme está ilustrado na figura 41.

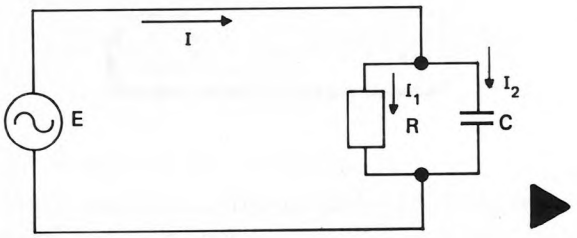


Fig. 41 – Circuito RC paralelo.

A corrente total fornecida pela fonte está representada no esquema da figura 41 por "I", enquanto que as correntes dos ramos resistivo e capacitivo estão representadas, respectivamente, por I_1 e I_2.

Como neste caso temos um ***ramo capacitivo*** e um ***ramo resistivo,*** haverá uma ***defasagem entre as curvas das correntes.*** A figura 42 apresenta o gráfico que corresponde às curvas das correntes.

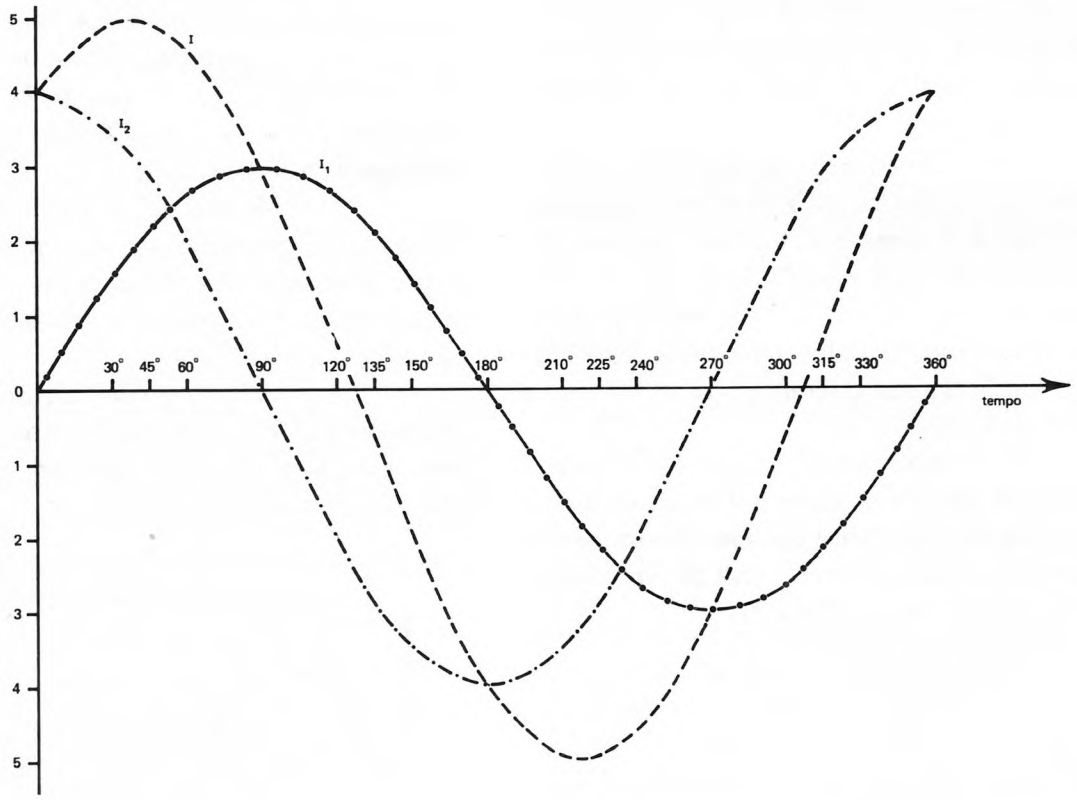


Fig. 42 – Curvas das correntes do circuito RC paralelo.

Analisando as ondas da figura 42, você conclui que a ***corrente no ramo resistivo*** (I_1) está ***atrasada*** em relação à ***corrente no ramo capacitivo*** (I_2). A defasagem entre elas é de ***90°.***

Quanto à ***corrente total,*** esta se encontra ***adiantada em relação à corrente no ramo resistivo.*** (I_1), e ***atrasada em relação à corrente no ramo capacitivo*** (I_2).

O mesmo triângulo retângulo da figura 39 pode ser utilizado para determinar o valor máximo da corrente total (ou outros valores correspondentes), bem como a defasagem entre as correntes, porque I_1 está atrasada de 90° de I_2.

Entretanto, para cada instante considerado, a corrente total é a soma das correntes em cada ramo: $I = I_1 + I_2$. Por exemplo: para o instante 0°, I_1 vale zero, I_2 vale +4 e I vale também +4.

34 - Circuito LC paralelo

Neste capítulo vamos analisar o comportamento que a corrente alternada apresenta em um circuito que tem uma bobina ligada em paralelo com um capacitor.

A figura 43 apresenta o esquema de um circuito com indutância em paralelo com capacitância.

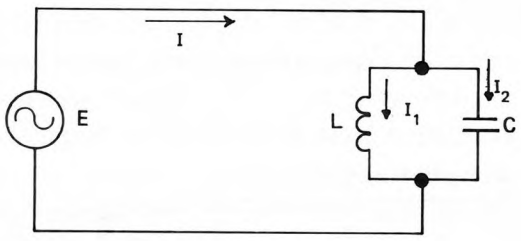


Fig. 43 – Circuito LC paralelo.

A corrente (I) fornecida pela fonte (E) estará atrasada ou adiantada em relação à tensão, dependendo da diferença entre a reatância indutiva (X_L) e a reatância capacitiva (X_C). Em outras palavras, o atraso ou o avanço dependerá da freqüência.

Se a ***reatância indutiva*** for ***maior,*** a ***corrente total*** estará ***atrasada*** em relação à tensão aplicada. Por outro lado, se a ***reatância capacitiva*** for ***maior,*** a ***corrente total*** estará ***adiantada*** em relação à tensão.

Além disso, a corrente total sempre estará em fase com a corrente de um dos dois ramos. Ou melhor, ***a corrente total estará em fase com a maior corrente de ramo.***

Assim sendo, se a reatância indutiva apresentar um valor menor que a reatância capacitiva, passará pelo ramo indutivo uma corrente maior do que no ramo capacitivo. Logo, a corrente total estará em fase com a corrente do ramo indutivo.

Por outro lado, se X_C for menor do que X_L, passará uma corrente maior pelo ramo capacitivo. Portanto, a corrente total estará em fase com a corrente do ramo capacitivo.

Entretanto, existe uma determinada freqüência em que as reatâncias são iguais ($X_L = X_C$). Nesta situação, as correntes I_1 e I_2 seriam iguais em valor e opostas em termos de fase. Numa situação deste tipo, a corrente total (I) será praticamente nula. Veja a figura 44.

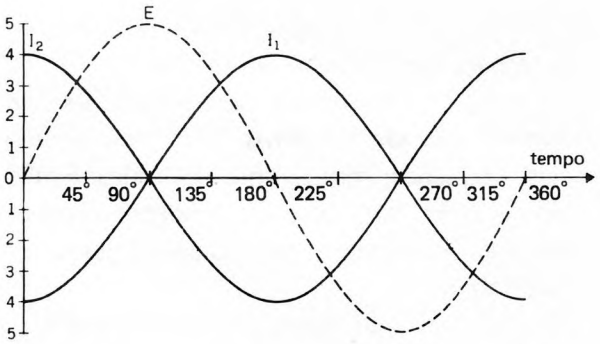


Fig. 44 – Curvas da tensão e das correntes dos ramos, quando $X_C = X_L$.

Quando $X_C = X_L$ tem-se a condição chamada de ressonância, e como "L" e "C" estão em paralelo, tem-se a ***ressonância paralela.***

Teoricamente, não existe corrente na ressonância paralela, pois a oposição apresentada seria infinita. Em outras palavras, a impedância de um circuito LC paralelo atinge o máximo na ressonância, e diminui nas demais freqüências.

A figura 45 apresenta de forma simbólica o comportamento apresentado pela corrente total, em um circuito LC paralelo, em função da relação entre as reatâncias.

$X_L > X_C \Rightarrow I$ ATRASADA

$X_L < X_C \Rightarrow I$ ADIANTADA

$X_L = X_C \Rightarrow I \approx$ ZERO

Fig. 45 – A corrente total depende da diferença entre as reatâncias.

35 - Resistências em circuitos ressonantes paralelos

Quando se discutiu o circuito ressonante paralelo, no capítulo 34, foram considerados somente os "atores" principais: a in-

dutância "L" e a capacitância "C". Isso foi feito para simplificar a explicação.

Entretanto, sabe-se que ***os condutores não são perfeitos.*** Eles têm resistências, pequenas, mas sempre presentes. Então, uma bobina, feita com um condutor enrolado em espiral, sempre tem uma ***pequena resistência.***

Qual seria o papel desempenhado por esta pequena resistência?

Na conclusão do capítulo 34, dissemos que "teoricamente não existe corrente na ressonância paralela". Na prática, entretanto, devido à presença dessas pequenas resistências, ***a corrente atinge um mínimo na ressonância paralela. Ela fica bem pequenininha, mas não se anula.***

Isto dito de outra forma, significa que a impedância de um circuito paralelo cresce muito, atingindo um máximo na ressonância, mas não fica infinita.

A resistência, presente principalmente em série com a bobina, faz com que a corrente do ramo não esteja defasada de exatamente 90° em relação à tensão aplicada. Como resultado, as correntes dos dois ramos não se opõem exatamente, de modo que fica sempre uma pequena diferença.

Na prática, o capacitor é considerado perfeito, sem perdas. Somente a bobina, então, tem associada a resistência, pois é realmente impossível construir uma bobina sem resistência. Esta resistência desloca a curva I da figura 44 para a direita, isto é, fazendo com que o atraso não seja mais de 90° mas um pouco menor.

A análise matemática de um circuito ressonante paralelo é bastante complexa. Porém, na ressonância muitas coisas podem ser desprezadas e a análise se torna até que bem fácil.

Num ***circuito RLC série,*** como o da figura 46, as reatâncias se cancelam na ressonância e a corrente é limitada apenas pela resistência "R". (Lembre-se que esta resistência "R" está simbolizando a resistência do material de que é feito a bobina, já que é impossível construir uma bobina perfeita).

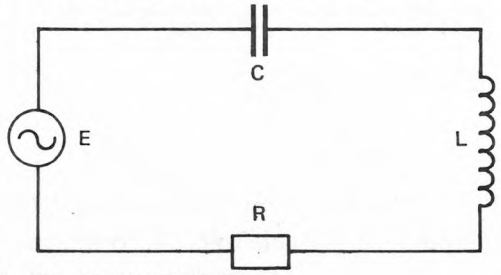


Fig. 46 – Circuito RLC série.

A fórmula que permite calcular a ***impedância num circuito RLC série*** é:

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

Mas, na ressonância, as reatâncias se anulam, pois $X_L = X_C$. Desse modo, ***na ressonância a impedância pode ser determinada da seguinte forma:***

$$Z = \sqrt{R^2} \quad \text{ou} \quad Z = R \qquad (11.28)$$

Logicamente, de acordo com a Lei de Ohm, quanto menor a resistência, maior a corrente. Se fosse possível eliminar completamente a resistência, a corrente tenderia para um valor extremamente grande (infinito).

Num ***circuito RLC paralelo,*** como o da figura 47, onde a resistência "R" representa a resistência da própria bobina, a resistência efetiva do circuito paralelo pode ser determinada pela fórmula 11.29.

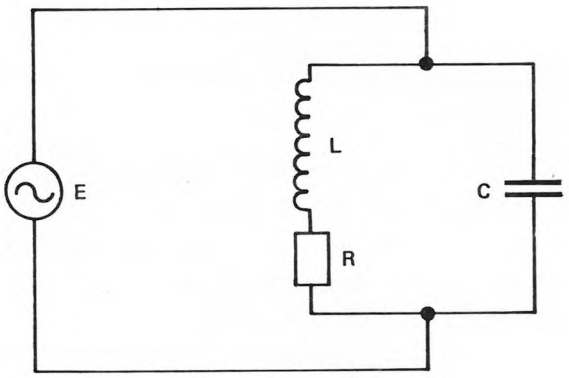


Fig. 47 – Circuito RLC paralelo.

$$R_e = \frac{L}{CR} \qquad (11.29)$$

R_e = resistência equivalente, em ohm.
L = indutância, em henry.
C = capacitância, em farad.
R = resistência dos condutores (principalmente da bobina), em ohm.

É esta resistência equivalente (R_e) que determina a corrente que a fonte tem que fornecer ao circuito paralelo na freqüência de ressonância.

Exemplo 1

Determinar para o circuito da figura 48, a resistência equivalente, na freqüência de ressonância.

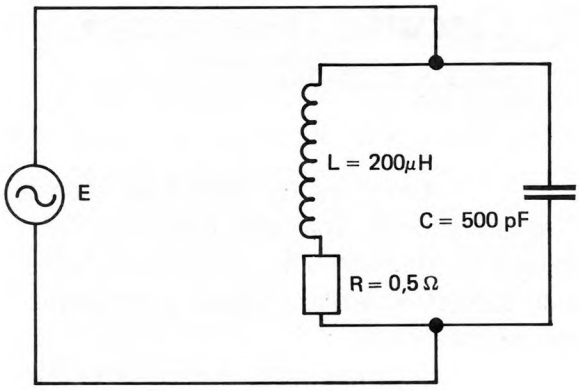


Fig. 48 – Circuito RLC paralelo.

Solução

Para determinarmos a resistência equivalente, basta aplicarmos a fórmula 11.29, efetuando antes as seguintes conversões de unidades:

$200\mu H = 200 \times 10^{-6}\ H$

$500\ pF = 500 \times 10^{-12}\ F$

$$R_e = \frac{L}{CR} \Rightarrow R_e = \frac{200 \times 10^{-6}}{500 \times 10^{-12} \times 0{,}5}$$

$$R_e = 800 \times 10^3\ \Omega \Rightarrow \underline{\underline{R_e = 800\ k\Omega.}}$$

Se estes mesmos componentes da figura 48 estivessem ligados ***em série,*** a resistência do circuito na freqüência de ressonância seria 0,5 Ω. Veja a fórmula 11.28 que dá o valor da impedância do circuito RLC série, na ressonância.

Exemplo 2

Determinar para o circuito da figura 49, a resistência equivalente, na freqüência de ressonância.

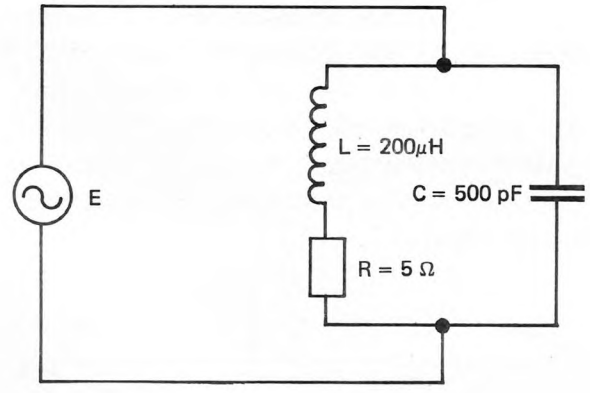


Fig. 49 – Circuito RLC em paralelo.

Solução

Se você comparar o circuito da figura 49 com o circuito da figura 48, concluirá que a única alteração foi no valor da resistência: passou de 0,5 Ω para 5 Ω.

Fazendo-se as devidas conversões nas unidades de "L" e "C" e aplicando a fórmula 11.29, tem-se o valor da resistência equivalente:

$$R_e = \frac{L}{CR} \Rightarrow R_e = \frac{200 \times 10^{-6}}{500 \times 10^{-12} \times 5}$$

$$R_e = 80 \times 10^3\ \Omega \Rightarrow \underline{\underline{R_e = 80\ k\Omega}}$$

Se estes mesmos componentes da figura 49 estivessem ligados ***em série,*** a resistência do circuito na freqüência de ressonância seria de 5 Ω. Veja a fórmula 11.28 que dá o valor da impedância do circuito RLC série, na freqüência de ressonância.

Compare agora os valores encontrados nos exemplos 1 e 2. Verifique a variação que ocorreu nos valores das resistências equivalentes para o circuito em série e em paralelo. A que conclusão você chega?

Ora, a sua conclusão só pode ser a seguinte:

Quando a resistência da bobina aumentar, a resistência equivalente do circuito paralelo em ressonância diminui, enquanto que a resistência equivalente do circuito série em ressonância aumenta.

36 - Fator de mérito de um circuito ressonante paralelo

Quanto maior a resistência equivalente de um circuito RLC paralelo na freqüência de ressonância, maior é a qualidade do circuito. A qualidade do circuito é indicada pelo fator de mérito (Q).

Direitos reservados

A fórmula que permite determinar o fator de mérito de um circuito RLC paralelo é a seguinte:

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad (11.30)$$

Q = fator de mérito do circuito.
X_L = reatância indutiva da bobina, em ohm.
R = resistência da bobina, em ohm. (Veja bem, ***não é*** a resistência equivalente).

Observe que o fator de mérito é calculado para o circuito série e paralelo da mesma forma. Isto porque ***a bobina foi considerada como a única contribuinte para a resistência R.*** A prática demonstra que isto é verdade para quase a totalidade dos casos. Quando isto não acontecer, pode trocar o capacitor que deve estar defeituoso.

Como a bobina é a principal responsável pelo fator de mérito do circuito, costuma-se falar em fator de mérito da bobina, sem considerar se se trata de um circuito paralelo ou série.

Conhecendo-se o fator de mérito do circuito e a reatância indutiva da bobina, é possível determinar a ***impedância do circuito.*** Veja a fórmula 11.31.

$$Z = Q \cdot X_L \qquad (11.31)$$

Exemplo

Um circuito ressonante paralelo é constituído por uma bobina e um capacitor que na freqüência de ressonância apresentam reatâncias de 2 kΩ cada. Considerando que a bobina apresenta uma resistência de 10 Ω, determinar o fator de mérito do circuito e a impedância.

Solução

Aplicando-se a fórmula 11.30, determina-se o fator de mérito do circuito:

$$Q = \frac{X_L}{R} \Rightarrow Q = \frac{2\ k\Omega}{10\ \Omega} \Rightarrow Q = \frac{2\,000\ \Omega}{10\Omega}$$

$$\underline{Q = 200}$$

Conhecendo-se a reatância indutiva e o fator de mérito do circuito, pode-se determinar a impedância através da fórmula 11.31.

$$Z = Q \times X_L \Rightarrow Z = 200 \times 2\ k\Omega \Rightarrow \underline{Z = 400\ k\Omega}$$

37- Circuito ressonante com carga

Um circuito ressonante sempre sofre os efeitos de uma carga, quer do circuito seguinte ou até mesmo do instrumento de medição que estiver sendo utilizado para levantar suas características.

Algumas vezes é necessário alargar a curva de ressonância de um circuito ressonante paralelo.

Para alargar a curva de ressonância de um circuito ressonante paralelo, deve-se simplesmente colocar em paralelo com o circuito uma resistência (carga).

A figura 50 apresenta o esquema de um circuito ressonante paralelo com uma carga adicionada (R_2).

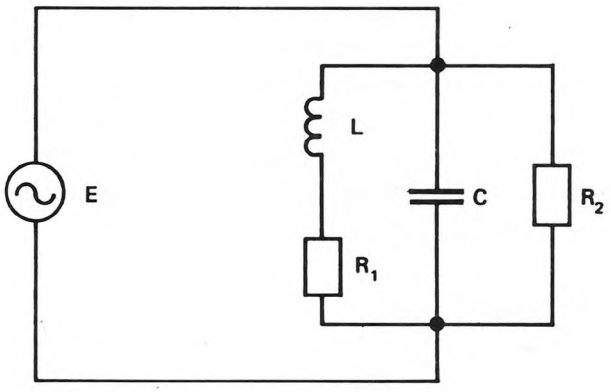


Fig. 50 – Circuito ressonante paralelo com carga.

O que acontece com a impedância do circuito, com a adição da carga R_2?

Toda vez que se adiciona uma carga em paralelo com o circuito, a impedância do circuito se reduz. A impedância do circuito com a carga pode ser determinada pela fórmula seguinte:

$$Z_c = \frac{Z \times R_2}{Z + R_2} \qquad (11.32)$$

Z_c = impedância do circuito com carga, em ohm.
Z = impedância do circuito sem carga, em ohm.
R_2 = resistência da carga, em ohm.

Direitos reservados

Observe que a fórmula 11.32 é semelhante a aquela usada para determinar a resistência equivalente para duas resistências em paralelo.

Exemplo 1

Se um circuito ressonante paralelo que apresente uma impedância de 400 kΩ, for shuntado com uma resistência R_2 de 470 kΩ, qual será a impedância do circuito com a carga?

Solução

Basta aplicarmos a fórmula 11.32 que determinaremos a impedância do circuito com carga.

$$Z_C = \frac{Z \times R_2}{Z + R_2} \Rightarrow Z_c = \frac{400 \times 470}{400 + 470}$$

$$\underline{\underline{Z_C = 216\ k\Omega}}$$

O que acontece com o fator de mérito do circuito (Q), com a adição da resistência R_2 em paralelo com o circuito?

Para respondermos a esta questão, vamos manipular a fórmula 11.31, isolando o "Q" num membro da equação. Fazendo isto, obteremos a fórmula 11.33, que permite determinar o fator de mérito a partir da impedância e reatância indutiva do circuito.

$$Q = \frac{Z}{X_L} \qquad (11.33)$$

Analisando a fórmula 11.33, concluiremos que, com a adição da carga R_2 em paralelo com o circuito, o fator de mérito será reduzido. Isto porque a impedância total diminui e a reatância não se altera, pois ela é uma característica da bobina numa determinada freqüência.

Para que você possa compreender melhor a redução que ocorre no fator de mérito do circuito com a adição de R_2, vamos utilizar a fórmula 11.33 e calcular o "Q" antes e depois da ligação de R_2, admitindo que X_L é igual a 2 kΩ.

Circuito sem a carga

$$Q = \frac{Z}{X_L} \Rightarrow Q = \frac{400\ k\Omega}{2\ k\Omega} \Rightarrow \underline{\underline{Q = 200}}$$

Circuito com a carga

$$Q = \frac{Z_C}{X_L} \Rightarrow Q = \frac{216\ k\Omega}{2\ k\Omega} \Rightarrow \underline{\underline{Q = 108}}$$

Toda vez que se coloca uma carga em paralelo com um circuito ressonante paralelo, haverá uma redução da impedância e do fator de mérito do circuito.

Quando o ***capacitor*** apresentar ***correntes de fuga,*** isto é, correntes que passam através do dielétrico devido a imperfeições neste isolante, o efeito é o mesmo: ***baixa o fator de mérito do circuito ressonante e alarga a curva de ressonância.*** É por isso que se procura sempre utilizar capacitores de melhor qualidade nos circuitos sintonizados.

38 - Correntes nos circuitos sintonizados paralelos

Um circuito ressonante paralelo, assim como o circuito ressonante série, pode ser ***sintonizado em qualquer freqüência,*** isto é, sua freqüência de ressonância pode ser ajustada para qualquer valor que se queira, variando o valor da indutância ou o valor da capacitância.

Foi visto nos capítulos anteriores que, a impedância de um circuito ressonante paralelo cresce próximo da freqüência de ressonância, atingindo o máximo justamente quando a freqüência do sinal coincidir com a freqüência de ressonância. Conseqüentemente, a ***tensão*** nos terminais de um circuito ressonante paralelo atinge o ***máximo*** quando a freqüência do sinal coincidir com a ***freqüência de ressonância*** do circuito ressonante paralelo. A ***corrente*** fornecida pela fonte, por sua vez, atinge o ***mínimo.***

Fora da freqüência de ressonância do circuito paralelo, a corrente crescerá, e sua fase assumirá valores que dependem da reatância dominante.

Abaixo da freqüência de ressonância, a reatância indutiva (X_L) é menor que a reatância capacitiva (X_C). Desse modo, a

Direitos reservados

corrente no ramo indutivo é maior que a corrente no ramo capacitivo ($I_1 > I_2$). Logo, a fase da corrente total (I) é a mesma da corrente no ramo indutivo (I_1), ou seja, ***a corrente total (I) está atrasada em relação à tensão aplicada.***

Acima da freqüência de ressonância, a reatância capacitiva (X_C) é menor que a reatância indutiva (X_L). Desse modo, a corrente no ramo capacitivo é maior que a corrente no ramo indutivo ($I_2 > I_1$). Logo, a fase da corrente total (I) é a mesma da corrente no ramo capacitivo (I_2), ou seja, ***a corrente total (I) está adiantada em relação à tensão aplicada.***

39 - Relação L/C de um circuito sintonizado

Um circuito ressonante pode ser sintonizado em qualquer freqüência, desde que se faça um ajuste na indutância (L) ou capacitância (C). Existem inúmeras combinações de "L" e "C" que podem provocar a ressonância numa determinada freqüência.

Das relações L/C, merecem destaque aquelas que apresentam elevado valor de "C". Para que você possa compreender o funcionamento destes tipos de circuitos, vamos fazer uma analogia com um sino.

Um sino, quando tocado, produz um som na freqüência de ressonância própria. Este som não morre imediatamente, mas vai enfraquecendo gradualmente, até morrer de todo.

Existe uma classe de circuitos sintonizados, que se comportam exatamente como os sinos. Mesmo após interrompido o fornecimento de tensão, eles continuam funcionando durante algum tempo.

Os circuitos que continuam funcionando por algum tempo, mesmo depois de interrompido o fornecimento de tensão, são chamados de ***circuitos oscilantes.*** Estes circuitos são justamente os circuitos sintonizados que apresentam alto valor de capacitância (C).

Vamos considerar as figuras seguintes, para que se possa compreender como funcionam os circuitos oscilantes.

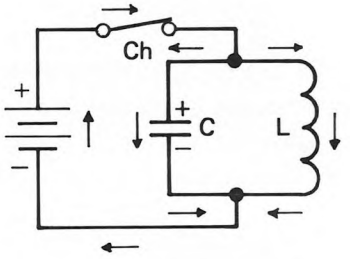


Fig. 51 — Com a chave fechada, o capacitor está sendo carregado.

Quando a chave (Ch) for fechada, conforme está indicado na figura 51, a corrente passa através da bobina (L), ao mesmo tempo em que carrega o capacitor (C), com a polaridade indicada.

Abrindo-se a chave (Ch), conforme está indicado na figura 52, o capacitor se descarrega através da bobina, com a corrente circulando no sentido indicado pelas setas.

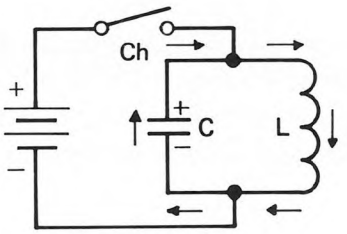


Fig. 52 — Capacitor se descarregando através da bobina.

Quando o capacitor acabar de descarregar, cessa a corrente, e o campo magnético da bobina entra em colapso. Este colapso no campo magnético da bobina induz uma tensão na bobina, e como conseqüência disto surge uma nova corrente, em sentido contrário, que carrega novamente o capacitor. A figura 53 traz a indicação desta corrente induzida pelo campo magnético da bobina.

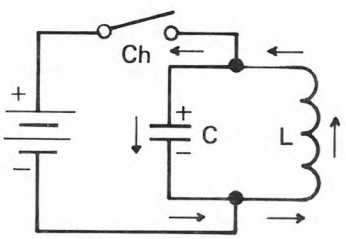


Fig. 53 — O campo magnético da bobina induz uma corrente que recarrega o capacitor.

Se não houvesse a resistência da própria bobina, a oscilação da corrente conti-

Direitos reservados

nuaria indefinidamente, isto é, o capacitor se descarregaria; tornaria a ser carregado, e assim por diante.

Entretanto, como a resistência está sempre presente, cada vez que circular uma corrente, parte da energia será perdida em forma de calor. Então, ***devido à resistência do circuito, a energia vai diminuindo e a oscilação da corrente vai morrendo.***

Se o valor de "C" for grande, o valor de "L" deve ser pequeno, pois para uma dada freqüência de ressonância o produto L x x C deve ser constante. (Veja a fórmula 11.18).

Valores pequenos de "L" significam também valores pequenos de resistência, pois será necessário menos condutor para formar a bobina.

A combinação de uma capacitância (C) grande, com uma pequena resistência (R) da bobina, é a condição que permite prolongar bastante a oscilação da corrente no circuito.

Esta condição, em geral, provoca também uma ***melhoria da seletividade,*** isto é, estreitamento da curva de ressonância.

40 - Condutância, suscetância e admitância

Você já viu nesta e em lições anteriores que, termos como volt, ampère e resistência são comuns tanto a circuitos C.C. como a circuitos C.A.. Até aqui surgiram alguns termos específicos de circuitos C.A., tais como ciclo, freqüência, impedância e reatância.

Neste capítulo serão apresentados três novos personagens: condutância, suscetância e admitância.

Ao contrário da reatância, resistência e impedância que são termos empregados para se referir à oposição enfrentada pela corrente elétrica, esses novos termos são utilizados para expressar a facilidade de condução da eletricidade.

A condutância (G) é o inverso da resistência. Sua unidade de medida é o siemens (S).

Matematicamente, a condutância pode ser determinada através da seguinte fórmula:

$$G = \frac{1}{R} \qquad (11.34)$$

G = condutância, em siemens.
R = resistência, em ohm.

A reatância é um termo relativo aos circuitos C.A., que se refere à oposição que indutância e capacitância oferecem à passagem da corrente. Existe um termo para expressar a relativa facilidade com que a corrente alternada possa passar por um circuito reativo. Este termo é a suscetância.

A suscetância (B) é o inverso da reatância total de um circuito. Sua unidade de medida é o siemens.

A fórmula da suscetância é a seguinte:

$$B = \frac{1}{X} \qquad (11.35)$$

B = suscetância, em siemens.
X = reatância total, em ohm.

Você também já aprendeu que a oposição total à passagem da corrente alternada é chamada de impedância. A admitância serve para exprimir exatamente o inverso.

A admitância (Y) é o inverso da impedância. Sua unidade de medida é o siemens.

A fórmula que permite determinar a admitância, a partir da impedância é a

seguinte:

$$Y = \frac{1}{Z} \qquad (11.36)$$

Y = admitância, em siemens.
Z = impedância, em ohm.

Siemens é a unidade oficialmente indicada para expressar a condutância, suscetância e admitância. Entretanto, existem autores que ainda utilizam uma outra unidade de medida.

Uma outra unidade de medida da condutância, suscetância e admitância é o ***mho*** (lê-se "mo" — veja que é a palavra ohm, escrita de trás para frente), cujo símbolo é ℧ (o símbolo Ω de cabeça para baixo). É usada principalmente em textos de origem americana.

41- Exercícios de recapitulação

Exercício 1

Qual o efeito da indutância na passagem da corrente contínua num circuito?
a) A indutância se opõe à passagem da corrente contínua.
b) Não tem influência sobre a corrente contínua.
c) Ela muda as relações de fase.
d) Faz a corrente fluir na direção oposta.

Exercício 2

Qual é a reatância indutiva, em ohm, de uma bobina de 10 H, num circuito de corrente contínua?
a) 10 ohms.
b) zero ohms.
c) A mesma que em qualquer circuito.
d) Depende do valor da corrente.

Exercício 3

Qual é a relação de fase entre a tensão e a corrente num circuito C.A. constituído unicamente por resistências?
a) A corrente está adiantada em relação à tensão.
b) A corrente está atrasada em relação à tensão.
c) A corrente e a tensão estão em fase.
d) A corrente está atrasada ou adiantada, dependendo da freqüência.

Exercício 4

Qual o efeito de uma resistência em série com um capacitor num circuito C.A.?
a) A resistência diminui o avanço da fase.
b) A resistência aumenta o avanço da fase.
c) A resistência não influi no defasamento.
d) A resistência aumenta o atraso.

Exercício 5

Qual é a impedância combinada de uma resistência de 3 kΩ em série com uma reatância de 4 kΩ?
a) 12 kΩ b) 7 kΩ c) 5 kΩ d) 1 kΩ

Exercício 6

Qual é a impedância de um circuito onde se tem R= 10Ω, $X_L = 60\Omega$ e $X_C = -60\Omega$, em série?
a) 130 Ω b) 70 Ω c) 50 Ω d) 10 Ω

Exercício 7

Qual é a relação de fase entre o sinal aplicado e a corrente resultante num circuito RLC série, em freqüências acima da ressonância?
a) A corrente está adiantada.
b) A corrente está atrasada.
c) A corrente e a tensão estão em fase.
d) Há um defasamento de 180°.

Exercício 8

Que vantagem pode trazer um circuito ressonante série com alto fator de mérito (Q)?
a) Maior seletividade.
b) Maior ganho em todas as freqüências.
c) Mais indutância.
d) Menor capacitância.

Exercício 9

Num circuito RLC série, que grandezas ficam iguais na ressonância?
a) L e C b) X e R c) X_L e X_C d) L+C e R.

Exercício 10

Dois resistores de 40 Ω estão ligados em paralelo com uma fonte de 100 v CA. Qual é a corrente total fornecida pela fonte?
a) 1,25 A b) 2,5 A c) 5 A d) 10 A.

Exercício 11

Num circuito onde se tem uma resistência em paralelo com uma indutância (veja figura 37), qual é a relação de fase entre a tensão aplicada e a corrente total, se X_L for igual a R?

a) Corrente em fase com a tensão.
b) Corrente atrasada de quase 90°.
c) Corrente adiantada de aproximadamente 90°.
d) Corrente atrasada de 45°.

Exercício 12

Num circuito paralelo onde X_L = = 100 Ω e X_C = 200 Ω, qual das reatâncias determina a fase da corrente fornecida pela fonte?

a) O ramo indutivo.
b) O ramo capacitivo.
c) Nenhum dos ramos.
d) Os dois ramos.

Exercício 13

Num circuito paralelo, quando se tem $X_L = X_C$, como a corrente fornecida pela fonte se relaciona com as correntes dos ramos?

a) A corrente fornecida é máxima.
b) A corrente fornecida é mínima.
c) A corrente fornecida é igual à corrente dos ramos.
d) Não há correntes para serem comparadas.

Exercício 14

De que maneira a resistência do ramo indutivo afeta a impedância de um circuito ressonante paralelo?

a) A impedância aumenta com a resistência.
b) A impedância diminui quando a resistência aumenta.
c) A impedância não é afetada.
d) Depende de outras coisas também.

Respostas dos exercícios

1-b	2-b	3-c	4-a	5-c
6-d	7-b	8-a	9-c	10-c
11-d	12-a	13-b	14-b	

Exame

CIRCUITOS RESSONANTES
REFERÊNCIA 022

Observações Para o Aluno

- Antes de responder as questões você deverá ter feito um estudo minucioso e completo desta lição.
- Agora, leia cada questão até compreender bem o que se pede.
- Cada questão apresenta várias soluções. Apenas uma solução é correta.
- Em cada questão indique a solução que você julgar correta e, a seguir, transcreva, com atenção, as suas respostas para a Folha de Respostas, anexa.

1. Num certo circuito sintonizado, se a admitância for igual a 0,5 S (siemens), a impedância vale:
   a) 2 Ω b) 5 Ω c) 2 ℧ d) 10 Ω

2. A freqüência de sintonia de um circuito com L = 300μH e C = 150 pF é aproximadamente:
   a) 50 kHz b) 450 kHz c) 750 kHz d) 2 MHz.

3. Uma reatância capacitiva de 450Ω em série com uma reatância indutiva de 150Ω dá:
   a) 300Ω indutivo.
   b) 300Ω capacitivo.
   c) 600Ω indutivo.
   d) 600Ω resistivo.

4. Um circuito ressonante série poderia ser usado para:
   a) bloquear todas as freqüências acima de 500 Hz.
   b) bloquear todas as freqüências entre 50 e 500 Hz.
   c) deixar passar somente a freqüência de 500 Hz.
   d) não serve como filtro seletivo.

5. Qual a resistência efetiva de um circuito ressonante paralelo onde fosse usada a bobina de L = 150μH e R = 1Ω, e um capacitor de 25 pF?
   a) 3,75 kΩ b) 375 kΩ c) 600 kΩ d) 6×10^6 Ω

6. Num circuito ressonante série, qual a relação entre a reatância capacitiva e a reatância indutiva?
   a) X_L é máximo; X_C é mínimo.
   b) X_L é mínimo; X_C é máximo.
   c) São iguais e aditivos, donde a reatância total dobra.
   d) São iguais e opostos, donde a reatância total é nula.

7. A seletividade e o efeito oscilante de um circuito ressonante podem ser melhorados:
   a) com alto valor de C e baixo valor de L.
   b) com baixo valor de C e alto valor de L.
   c) com ambos de alto valor.
   d) com ambos de baixo valor.

8. Num circuito sintonizado paralelo, quando $X_L = X_C$, como está a relação entre as correntes?
   a) A corrente da fonte é máxima; as correntes dos ramos são mínimas.
   b) A corrente da fonte é mínima; as correntes dos ramos são máximas.
   c) Todas as correntes atingem o máximo.
   d) Todas as correntes atingem o mínimo.

9. Num circuito RLC série, se a tensão aplicada for de 200 v, R = 400Ω, X_L = 1,6 kΩ e X_C = 1,6 kΩ, determinar a tensão do capacitor.
   a) 64 v b) 640 v c) 800 v d) 8 kV.

10. Um circuito ressonante com LC = $2{,}5 \times 10^{-12}$ está sintonizado na freqüência de:
    a) 632 kHz b) 1,6 MHz c) 10 MHz d) 100 kHz

11. Num circuito ressonante série, a corrente é:
    a) Baixa fora da ressonância e atinge o máximo na ressonância.
    b) Alta fora da ressonância e atinge o mínimo na ressonância.
    c) Proporcional à freqüência.
    d) Inversamente proporcional à freqüência.

12. Uma bobina com R = 40Ω e X_L = 3,6 kΩ numa certa freqüência, tem o fator de mérito (Q) de:
    a) 1,54 b) 15,4 c) 90 d) 900

13. Num circuito em ressonância, o que se tornam iguais?
    a) X_L e X_C b) X_L e R c) X_C e R d) X_L e L.

14. Um circuito série tem R = 2Ω, X_L = 3 kΩ e X_C = 30Ω, numa dada freqüência. Se for aplicado a este circuito uma fonte de 200 mV, na freqüência de ressonância, resultará uma corrente de:
    a) 6 A b) 6 mA c) 400 mA d) 100 mA

15. Num circuito ressonante paralelo, acima da freqüência de ressonância, tem-se:
    a) Corrente da fonte com a fase oposta à do ramo capacitivo.
    b) Corrente da fonte em fase com a do ramo capacitivo.
    c) Corrente da fonte determinada pela corrente do ramo indutivo.
    d) Corrente da fonte é independente da corrente dos ramos.

16. Se aumentar a resistência do fio que forma uma bobina, o seu fator de mérito (Q):
    a) aumenta. b) diminui. c) indiferente. d) fica igual.

17. Se diminuir a resistência da bobina, a resistência equivalente do circuito ressonante paralelo:
    a) aumenta. b) diminui. c) depende. d) fica igual.

18. Se diminuir a resistência da bobina que faz parte de um circuito ressonante série, na ressonância, a corrente:
    a) depende de outras coisas.
    b) depende só da freqüência.
    c) aumenta.
    d) diminui.

Direitos reservados