

## PARÂMETROS ELÉTRICOS

### 1 - CONCEITOS BÁSICOS DE FÍSICA, CÁLCULO E CIRCUITOS

**1.1 - FORÇA** - as cargas elétricas são definidas em termos das forças que exercem entre si.

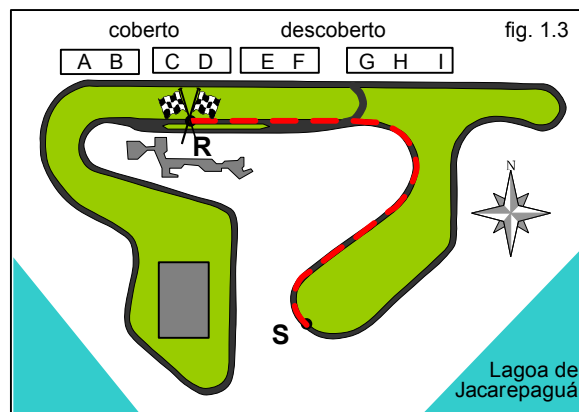
Experimentalmente verifica-se que a força depende da magnitude, da posição relativa e da velocidade das cargas.

- **FORÇAS ELÉTRICAS** - são as devidas à posição.
- **FORÇAS MAGNÉTICAS** - são as devidas à velocidade.

Todos os fenômenos elétricos e magnéticos de interesse da engenharia podem ser explicitados em termos de forças entre cargas.

**1.2 - CAMPO** - os fenômenos elétricos e magnéticos são bem representados em física, em linguagem matemática, através de campos. Os campos desenvolvem-se em uma certa região do espaço e por isso são então representados em termos de duas ( 2 ) ou mais dimensões.

**1.3 - CIRCUITO** - contrastando com um campo o comportamento de um circuito é bem representado, em linguagem matemática, por uma única dimensão. Na figura 1.3, no circuito do autódromo Nelson Piquet, no Rio de Janeiro, um veículo em " S " será definido em função do percurso ( da distância ) de " R " até " S " no circuito.



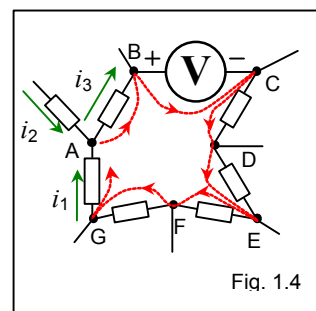
**1.4 - DIFERENÇA DE POTENCIAL** - a diferença de potencial entre dois pontos A e B , isto é,  $V_A - V_B$  que representamos por  $V_{A-B}$  ou mais simplificada por  $V_{AB}$  é o trabalho por unidade de carga , realizado quando movimentamos a carga desde B até o ponto A ou, como convencionou-se dizer, medida do potencial de A tomando-se B como referência . Na fig. 1.4  $V_{GD}$  , isto é, o potencial de G tomando-se D como referência (  $V_G - V_D$  ) será;  $V_{GD} = V_{ED} + V_{FE} + V_{GF} = V_{E-D} + V_{F-E} + V_{G-F} = V_{E-D+F-E+G-F} = V_{G+E-E+F-F-D} = V_{G-D}$  . É importante observar que a diferença de potencial, para ter utilidade necessita que seja definido claramente qual o ponto considerado como referência, daí a importância da convenção acima .

### 1.5 - LEIS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS: LEIS DE KIRCHHOFF

- **LEI DAS TENSÕES** - a soma algébrica dos potenciais ao percorrer-se uma malha é sempre zero.

Na fig. 1.4 a soma dos potenciais  $V_{BA} - V + V_{DC} + V_{ED} + V_{FE} + V_{GF} + V_{AG} = 0$  ( acompanhe a linha pontilhada ), e o mesmo acontecerá em qualquer malha de qualquer um circuito.

- **LEI DAS CORRENTES** - a soma algébrica das correntes que concorrem em um determinado nó é sempre zero . Na fig. 1.4 ,  $i_1 + i_2 - i_3 = 0$  ( correntes que chegam ao nó A ), e o mesmo acontecerá em qualquer nó de um circuito.



**1.6 - CIRCUITOS EQUIVALENTES** - na análise dos circuitos elétricos torna-se necessário na maioria das vezes trabalhar-se com uma forma mais simples denominado circuito equivalente.

Dos circuitos equivalentes, dois são considerados fundamentais :

- **CIRCUITOS SÉRIE** - elementos de circuitos elétricos são ditos estarem conectados como um circuito em série quando a corrente que passa por um deles é a mesma que passa pelo outro ( fig. 1.6.A ).

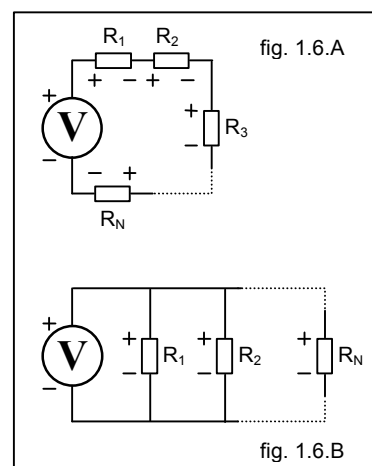
Um circuito série pode ser substituído por um outro equivalente ( lei das tensões de KIRCHHOFF) conforme a expressão :

$$R_{EQV} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N .$$

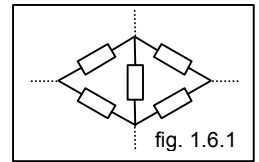
- **CIRCUITOS PARALELOS** - elementos de circuitos elétricos são ditos estarem conectados como um circuito em paralelo quando a tensão que é aplicada a um deles é a mesma que é aplicada ao outro ( fig. 1.6.B ).

Um circuito paralelo pode ser substituído por um outro equivalente (lei das correntes de KIRCHHOFF) conforme a expressão :

$$\frac{1}{R_{EQV}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$



**1.6.1 - CIRCUITO EQUIVALENTE DE UM CIRCUITO QUALQUER** - um circuito elétrico genérico poderá, após diversas conversões série e, ou paralelo **não ser redutível** a um circuito equivalente mais simples ( fig. 1.6.1 ) .

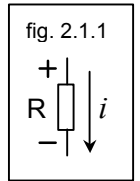


Nesses casos a **aplicação simultânea das duas leis de KIRCHHOFF** permitirá a sua simplificação, na análise de redes pelos métodos de tensões entre nós e, ou método das malhas.

**2 - ELEMENTOS DE CIRCUITOS.**

**2.1 - PARÂMETROS ELÉTRICOS.**

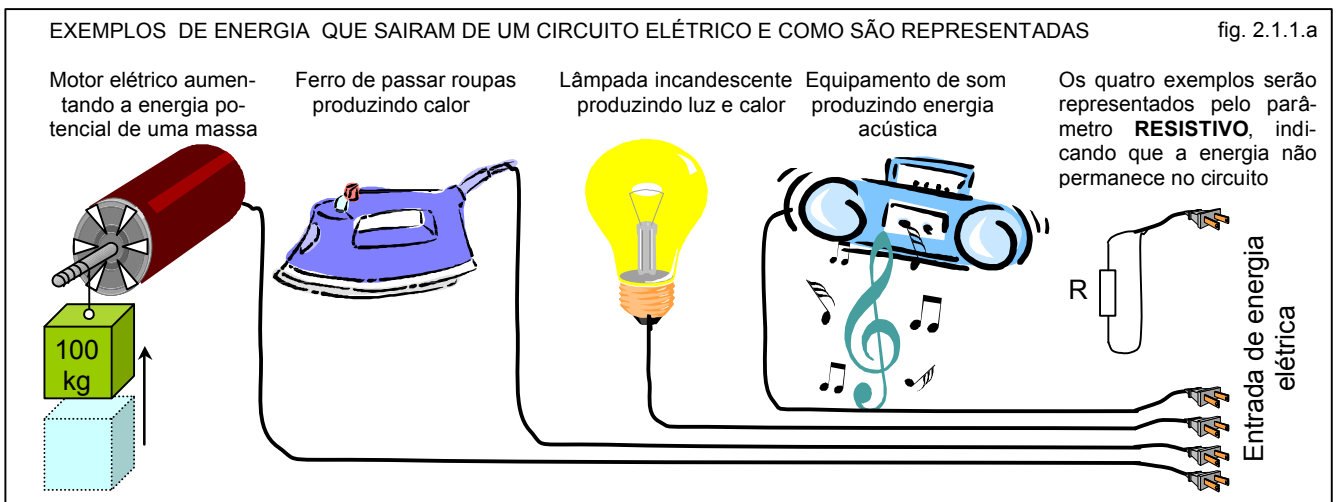
**2.1.1 - RESISTÊNCIA** - mede a propriedade existente em um trecho de circuito, onde nesse trecho a energia elétrica ou parte dela é colocada para fora do circuito.



Exemplos:

- representar o trabalho realizado por um motor elétrico.
- representar a luz fornecida por uma lâmpada.
- representar o trabalho realizado por um resistor , e nesse caso o processo é irreversível ( efeito joule ) .

Preste atenção à polaridade da tensão e ao sentido da corrente representados na figura 2.1.1. Tornaremos a ver essa particularidade mais adiante no item 2.3 à página 8 .



$$v(t) = R \cdot i(t) \quad p(t) = R \cdot i(t)^2$$

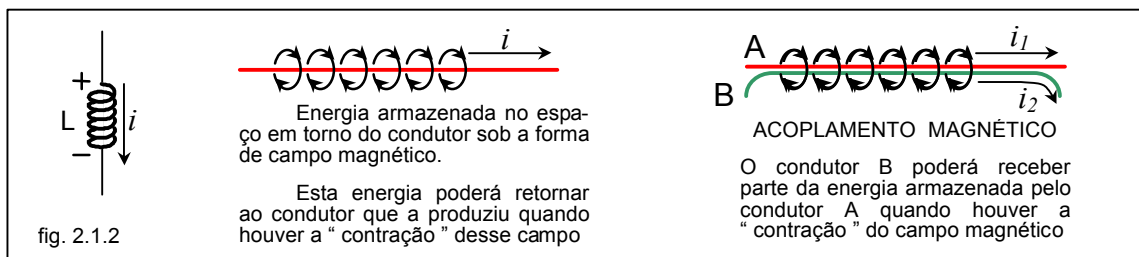
$$p(t) = \frac{v(t)^2}{R}$$

Modelos:

**2.1.2 - INDUTÂNCIA** - Mede a propriedade existente em um trecho de circuito, que ao receber energia elétrica a mantém no circuito sob a forma de um campo magnético. Esta energia ficará distribuída no espaço circundante ao condutor que conduz a corrente que a produz .

Esta energia poderá ser devolvida ao circuito original, ou poderá ser entregue a outro circuito, quando, então, diz-se haver um acoplamento magnético entre os circuitos e nesse caso convencionam-se que estamos tratando de um único circuito.

Preste atenção à polaridade da tensão e ao sentido da corrente representados na figura 2.1.2. A corrente está perdendo potencial. Tornaremos a ver essa particularidade mais adiante no item 2.3 à página 8.



## INTERPRETAÇÃO DOS MODELOS:

modelos:  $v(t) = L \frac{di}{dt}$  ou  $i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} v dt + I_{t_1}$  e também  $w_L = \frac{1}{2} L I^2$  [J]

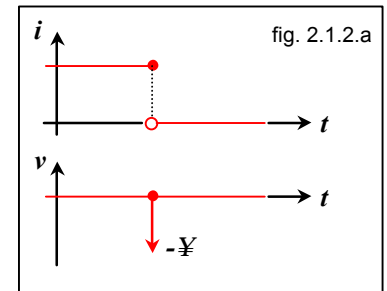
A - nos dois primeiros

- a tensão depende da taxa de variação da corrente no tempo ou,
- a corrente depende da integral da tensão e do valor  $I_{t_1}$  existente no início dos cálculos.

B - no último:

- a energia armazenada depende da corrente que a atravessa naquele momento. A energia armazenada na indutância é representada pela corrente .

Os gráficos da fig. 2.1.2.a podem ser entendidos dizendo-se que a indutância não pode permitir variações bruscas ( instantâneas ) da corrente ( a corrente representa a energia que é armazenada na indutância ) .



Uma variação instantânea de energia ( corrente ) , ocasiona uma potência (  $P = V.I$  ) que tende para valores muito altos ( infinito ) , conforme previsto pela física, isto é, a energia armazenada em um elemento de circuito indutivo deve ser uma função contínua no tempo.

## APLICAÇÃO DOS MODELOS INDUTIVOS:

O sistema de ignição dos automóveis é baseado nos modelos acima ( fig. 2.1.2.b ) .

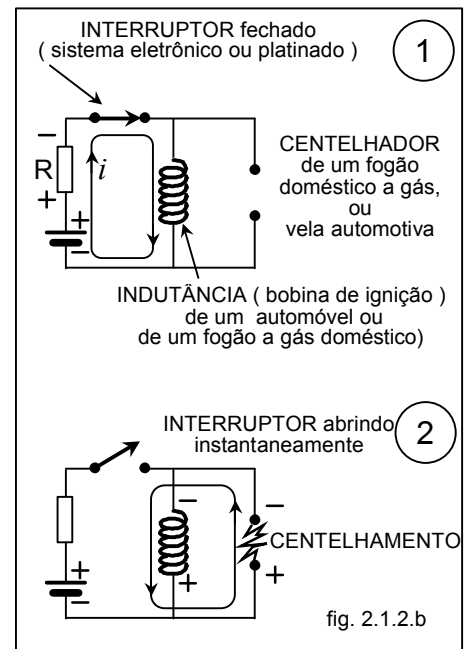
Ao interromper-se a corrente que circula pela “ BOBINA DE IGNIÇÃO ” do automóvel ( fig. 2.1.2.b.2 ), a indutância da mesma irá produzir um tensão muito alta capaz de romper o dielétrico existente entre os eletrodos dos centelhadores conhecidos popularmente como “ VELA DE AUTOMÓVEL ” ( fig. 2.1.2.c ), e essa centelha irá ocasionar a explosão da mistura ar-combustível existente nas câmaras de explosão ( cilindros ).

Nos automóveis atuais há um complexo eletrônico que desempenha a mesma função do interruptor, indicado na figura, conhecido como ignição eletrônica.

Obs. – O interruptor, nos automóveis mais antigos ( até meados dos anos 80 ), é conhecido como platinado ( um sistema mecânico ) .

Os fogões domésticos que dispõem de acendedores elétricos incorporados, também usam o mesmo sistema.

Obs. - Ao acionar-se o acendedor, o barulho estranho que se houve, não é proveniente do centelhamento; é produzido por uma chave elétrica-mecânica, ( que abre e fecha o circuito da bobina ) sendo acionada automaticamente, várias vezes por segundo, produzindo uma sucessão de centelhas ( para garantir que haverá a ignição da mistura ar-gás, pois um único centelhamento necessariamente não garante que ocorra a ignição ).



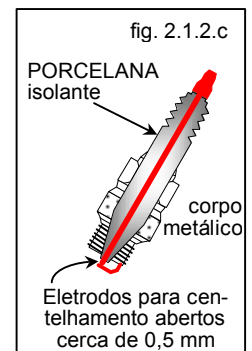
- preste atenção aos seguintes fatos :

- a ddp na bobina é zero ( porque a ddp é zero ? ), na condição inicial ( fig. 2.1.2.b.1 ), embora exista uma corrente ( contínua ) . No instante da comutação ( fig. 2.1.2.b.2 ) a corrente na bobina permanece a mesma ( em módulo, e sentido ) conforme gráficos da figura 2.1.2.a .
- a polaridade da tensão na bobina no instante da abertura da chave, é contrária ao representado no desenho da representação da indutância ( figura 2.1.2 ) , o que identifica a indutância , nesse instante como um “ gerador ” ( fornece energia à corrente ), isto é, eleva o potencial da corrente que a atravessa .

Compare a polaridade da tensão e o sentido da corrente na bobina, no instante da abertura, com a polaridade e o sentido da corrente, antes da abertura, no resistor existente no circuito ( figura 2.1.2.b ) .

Tornaremos a ver essas particularidades mais adiante no item 2.3 á página 8 .

- existe alguma polaridade no resistor ( fig. 2.1.2.b 2 ) após a abertura ? Explique . Qual a finalidade do resistor nesse circuito, considerando-se os parâmetros elétricos todos ideais ?
- qual parâmetro elétrico deve ser usado para representar o centelhamento ? Lembre-se que no centelhamento a energia elétrica transforma-se em luz, calor além de radiação eletromagnética, e esta energia deixa de fazer parte do circuito.



Uma brincadeira muito antiga, que sempre reaparece, é um livro que dá um choque em quem o abra ( fig. 2.1.2.d ). Este livro, na sua forma mais simples, tem o seu interior recortado para que no espaço vazio sejam colocadas algumas pilhas e uma indutância. Um interruptor, acionado pela capa do livro, interrompe o circuito da indutância quando o livro é aberto, provocando uma alta tensão que é conduzida para as capas. Nas capas são colocadas peças metálicas em posição tal que qualquer um, ao tentar abrir o livro, sempre entre em contato com elas .

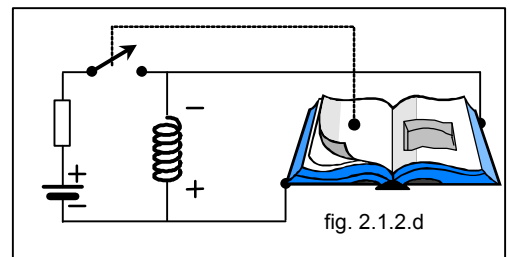


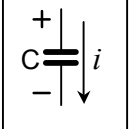
fig. 2.1.2.d

**2.1.3 - CAPACITÂNCIA** - mede a propriedade existente em um trecho de circuito, que ao receber energia elétrica a mantém no circuito sob a forma de um campo elétrico. Esta energia fica armazenada no dielétrico da capacitância.

Posteriormente esta energia será devolvida ao circuito original.

Preste atenção à polaridade da tensão e ao sentido da corrente representados na figura 2.1.3 . Tornaremos a ver essa particularidade mais adiante no item 2.3 á página 8.

fig. 2.1.3



**INTERPRETAÇÃO DOS MODELOS:**

modelos:  $v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt + V_{t1}$  ou  $i(t) = C \frac{dv}{dt}$  e também  $w_C = \frac{1}{2} C V^2$  [J]

A - nos dois primeiros

- a tensão depende da integral da corrente no tempo e do valor  $V_{t1}$  existente no início dos cálculos ou,
- a corrente depende da taxa de variação da tensão no tempo.

B - no último

- a energia armazenada depende da tensão existente naquele momento. A energia armazenada na capacitância é representada pela tensão .

Os gráficos da fig.2.1.3.a podem ser entendidos dizendo-se que a capacitância não pode permitir variações bruscas ( instantâneas ) da tensão ( que representa a energia que armazena ) .

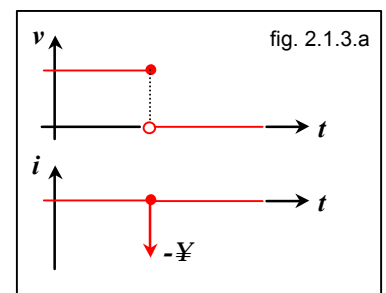


fig. 2.1.3.a

Uma variação instantânea de energia ( tensão ) , ocasiona uma potência (  $P = V \cdot I$  ) que tende para valores muito altos ( infinito ) , conforme previsto pela física, isto é, a energia armazenada em um elemento de circuito capacitivo deve ser uma função contínua no tempo.

**APLICAÇÃO DOS MODELOS CAPACITIVOS :**

O “ FLASH ELETRÔNICO ” ( fig. 2.1.3.b ), muito usado para fotografar-se em ambientes cuja iluminação seja insuficiente para sensibilizar o filme, é baseado nos modelos acima ( fig. 2.1.3.a ) .

A - um capacitor é “ carregado ” por  $V_{CC}$  ( fig. 2.1.3.b.1 ) e está ligado a uma lâmpada “ especial ” . A lâmpada do “ flash ” .

A lâmpada do “ flash ” , na verdade, é um interruptor muito especial com as seguintes características:

- em condições normais é um circuito aberto onde  $R$  é muito elevado, (  $R \cong \infty$  ) que equivale a uma chave elétrica aberta ( fig. 2.1.3.b.2 ).
- após a excitação ( disparo ) de um eletrodo especial, sua resistência cai para um valor muito baixo (  $R \cong 0$  ), porém não infinitesimal, quase instantaneamente, que equivale a uma chave elétrica fechada ( fig. 2.1.3.b.3 )

Nessa condição o capacitor interpreta que há um curto circuito nos seus terminais, isto é, a sua tensão irá cair praticamente para zero e a corrente tende para infinito ( ver gráficos da fig. 2.1.3.a ) .

B - a segunda condição do item A acima ao ocasionar uma corrente muito elevada resultará em  $P=V \cdot I$  muito elevada, e como a corrente está sendo conduzida em um meio gasoso ( vide física, descarga em gases ) haverá a produção de luz com intensidade também muito elevada.

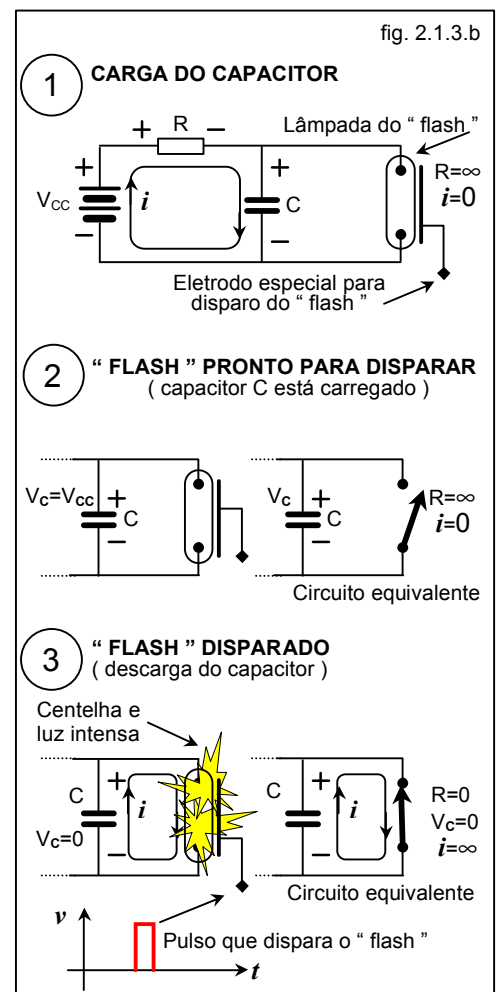


fig. 2.1.3.b



- preste atenção aos seguintes fatos :

- a corrente no capacitor é zero ( porque a corrente é zero ? ), na condição inicial ( fig. 2.1.3.b 2- “ flash ” pronto para disparar ) embora exista uma tensão ( contínua ). No instante da comutação ( fig. 2.1.3.b.3 - disparo ), a tensão no capacitor permanece a mesma ( em módulo e polaridade ) conforme gráficos da figura 2.1.3.a .
- o sentido da corrente no capacitor, no instante do disparo do “ flash ” ( fig. 2.1.3.b.3 – “ flash ” disparado ) é contrário ao representado no desenho de representação da capacitância ( fig. 2.1.3 ) o que identifica o capacitor nesse instante como um “ gerador ” ( fornece energia à corrente, isto é, eleva o potencial da corrente que o atravessa ) .

Compare a polaridade da tensão e o sentido da corrente no capacitor, no instante do fechamento ( figura 2.1.3.b.3 – flash disparado ), com a polaridade e o sentido da corrente, durante a carga , no resistor existente no circuito ( figura 2.1.3.b.1 – carga do capacitor ) .

Tornaremos a ver essa particularidade mais adiante no item 2.3 à página 8.

- existe alguma polaridade no resistor ( fig. 2.1.3.b.1 ) após o disparo ( fig.2.1.3.b.3 - “ flash ” disparado )? Explique . Qual a finalidade do resistor nesse circuito, considerando-se os parâmetros elétricos todos ideais ?
- qual parâmetro elétrico deve ser usado para representar a luz produzida ? Lembre-se que ao disparar o “ flash ” a energia elétrica transforma-se em luz, calor além de radiação eletromagnética, e esta energia deixa de fazer parte do circuito.

### 2.1.4 – APLICAÇÃO SIMULTÂNEA DOS PARÂMETROS “ L ” e “ C ”

- O circuito da fig. 2.1.4 emprega os dois parâmetros acima para “ **FILTRAR** ” a corrente e a tensão alternadas de modo a torná-la **contínua e constante**.
- Um modelo deste dispositivo é comercialmente conhecido como “ **ELIMINADOR DE PILHAS** ” e é usado para alimentar pequenos aparelhos eletrônicos tais como rádios portáteis, “ diskmans, walkmans ”, etc.
- A capacitância tentará evitar as variações da tensão e a indutância as da corrente.

Os quatro gráficos mostram:

a- Tensão CA do gerador.

b- Tensão (\*) **contínua porém variável** á saída dos retificadores

c- Tensão em uma primeira etapa de filtragem (\*\*)

d- Tensão e corrente com a filtragem proporcionada por “ L ” e “ C ” .

(\*) caso não houvessem ainda “ L ” e “ C ”

(\*\*) com a presença de “ C ” .

(\*\*\*) dispositivo que só permite a passagem da corrente em um único sentido.

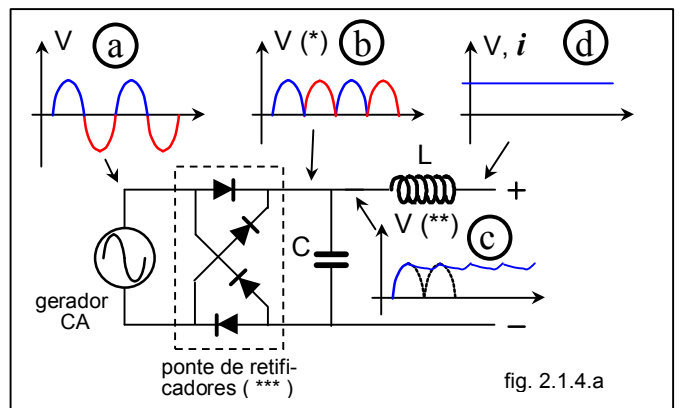


fig. 2.1.4.a

- No sistema de ignição do automóvel também são empregados os dois parâmetros .

Aqui o capacitor, por impedir variações violentas de tensão, é usado para evitar que o centelhamento também ocorra nas chaves que irão interromper a corrente que passa pelo indutor ( terminais da ignição eletrônica ou contatos do platinado ) pois para a indutância ( bobina ), o centelhador e a ignição eletrônica ( ou platinado ) abertos ( ou no momento da comutação ) são a mesma coisa.

A necessidade do capacitor deve-se ao fato que no sistema de ignição eletrônica os dispositivos eletrônicos semicondutores utilizados possuem uma tensão limite para operarem com segurança, e além disso são muito sensíveis a uma variação brusca de tensão (  $dV / dt$  ) .

No antigo sistema de platinado o capacitor também era necessário pois os platinados não eram projetados para resistir a um forte centelhamento . Caso fosse permitido um centelhamento no platinado o sistema de ignição se tornaria mais caro e menos eficiente ( pois o centelhamento é desejado somente dentro da câmara de combustão ) .

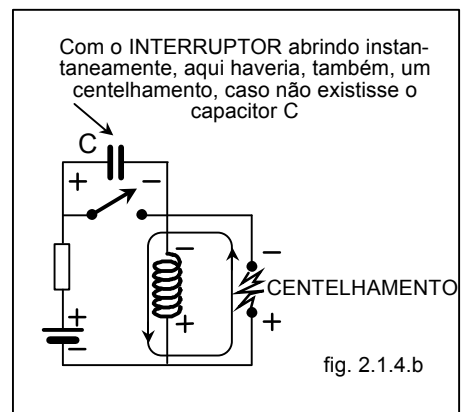


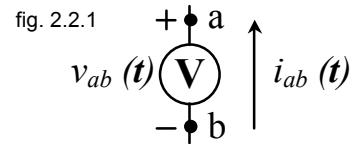
fig. 2.1.4.b

## 2.2 - OUTROS ELEMENTOS DE CIRCUITOS

### FONTE DE TENSÃO IDEAL ( fig. 2.2.1 )

É aquela que mantém a tensão e a polaridade em seus terminais qualquer que seja a corrente que a atravesse, isto é :

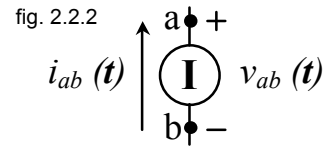
$$v_{ab}(t) = V \text{ para qualquer } i_{ab}(t)$$



### FONTE DE CORRENTE IDEAL ( fig. 2.2.2 )

É aquela que mantém a corrente através de seus terminais qualquer que seja a tensão e polaridade que se apresente, isto é :

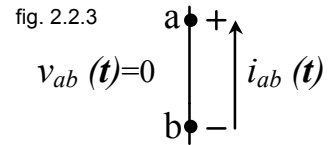
$$i_{ab}(t) = I \text{ para qualquer } v_{ab}(t)$$



### CURTO CIRCUITO ( fig. 2.2.3 ) .

É o trecho de um circuito onde a ddp é zero ( 0 ) qualquer que seja a corrente que o atravesse, isto é :

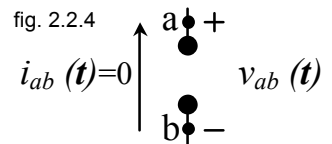
$$v_{ab}(t) = 0 \text{ para qualquer } i_{ab}(t)$$



### CIRCUITO ABERTO ( fig. 2.2.4 ) .

É o trecho de circuito onde a corrente é zero ( 0 ) qualquer que seja a ddp que se apresente, isto é :

$$i_{ab}(t) = 0 \text{ para qualquer } v_{ab}(t)$$



### EXEMPLO DE FONTE DE TENSÃO IDEAL

- a bateria de automóvel, em bom estado e sob condições normais de operação é bem próxima, para efeitos práticos, de uma fonte de tensão ideal. Obs. Os valores apresentados em B e C são estimativas que variam conforme os modelos de automóveis.
- A - Inicialmente o automóvel está com o motor desligado. Nessa condição a corrente fornecida pela bateria é zero ampère
- B - Quando damos a partida, a bateria ( **bat.** ) fornece uma corrente ( relativamente elevada, de 100 a 300 ampères ) para o motor de arranque ( **m.arr.** ).
- C - Após este ciclo, caso o “ carro pegue ”, a bateria é recarregada recebendo corrente em sentido contrário ( valor relativamente pequeno, de 15 ampères por exemplo ) fornecida pelo alternador ( **alt.** ) existente no veículo .

Nas três condições ( **A** , **B** e **C** ) a bateria mantém o módulo da **DDP** sensivelmente constante e a polaridade inalterável enquanto a corrente sofreu variações em módulo e sentido ( condições **B** e **C** ) ou simplesmente era zero ( condição **A** ).

Obs. o retificador ( **ret.** ) indicada na figura 2.2.5 permite que a tensão alternada fornecida pelo alternador ( **alt.** ) seja modificada para a forma contínua, a única que o projeto do sistema elétrico do automóvel permite.

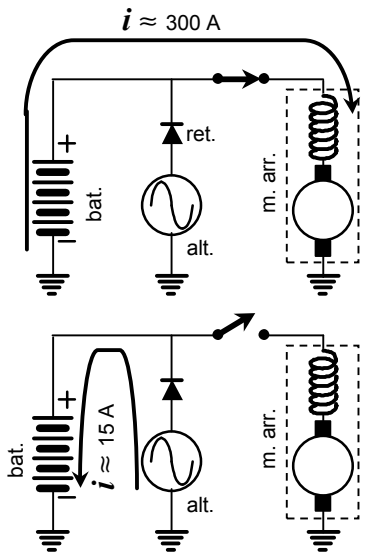


fig. 2.2.5

### MODELAGEM DO CIRCUITO DO “ FLASH ” ELETRÔNICO NO INSTANTE DA COMUTAÇÃO

A capacitância, na região de contorno onde ocorre a comutação ( fig. 2.1.3 a ) tem o comportamento de uma fonte de tensão ideal, isto é, manterá a tensão que existe entre seus terminais antes da comutação, qualquer que seja a tentativa de levar-se instantaneamente este potencial a zero, e para isso produz a corrente que o resto do circuito solicitar, mesmo que essa corrente tenda para valores muito elevados quando, então, o capacitor interpreta que o resto do circuito tem uma resistência muito baixa ou que tende para valores próximo a zero ( caso do curto-circuito ).

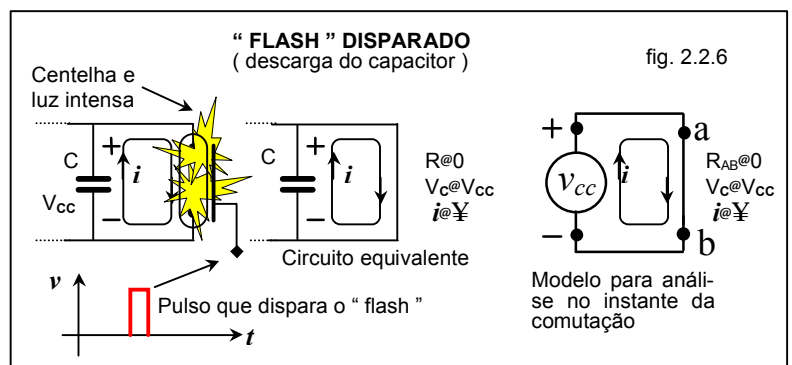
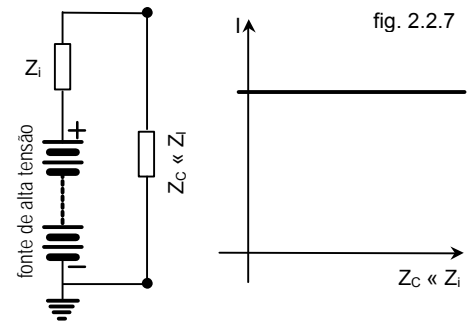


fig. 2.2.6

## EXEMPLO DE SIMULAÇÃO DE FONTE DE CORRENTE IDEAL

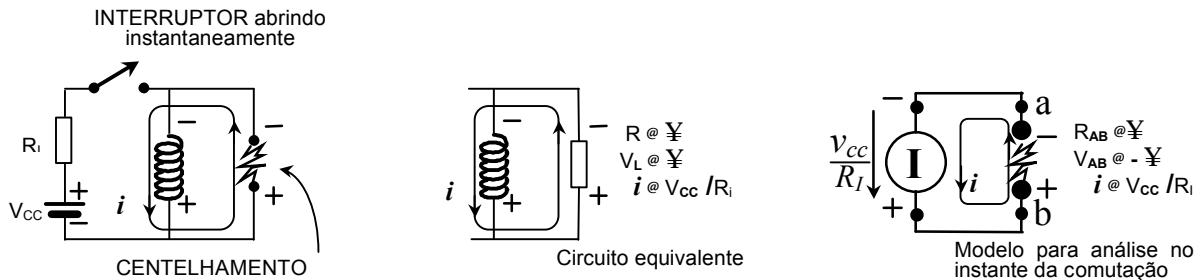
- Pode-se simular uma fonte de corrente bem próxima de um comportamento ideal ( fig. 2.2.7 ), usando-se uma fonte de tensão ( em geral uma com alta tensão ) com uma **impedância** <sup>(1)</sup>  $Z_I$ , em série, de grande valor quando comparada com a impedância da carga. . Nessas condições se uma carga com uma **impedância**  $Z_C$  muito menor que  $Z_I$  for conectada nos terminais de nossa fonte, a corrente fornecida será sensivelmente independente do valor dessa carga, isto é, será algo parecido com uma fonte de corrente ideal.

Um dispositivo que sirva de modelo simples de fonte de corrente ideal ( como a bateria do automóvel o é para a fonte de tensão ideal ) ainda está um pouco fora da compreensão do aluno, mas tenha certeza que existem. Em eletrônica uma das modelagens de transistores bipolares utiliza uma fonte de corrente. Em sistemas de potência existe um dispositivo denominado transformador de corrente que possui um comportamento algo similar ao de uma fonte de corrente.



## MODELAGEM DO CIRCUITO DE IGNIÇÃO NO INSTANTE DA COMUTAÇÃO

- A indutância, na região de contorno onde ocorre a comutação ( fig. 2.1.2.b ) tem o comportamento de uma fonte de corrente ideal, isto é, manterá a corrente que por ela circulava antes da comutação, qualquer que seja a tentativa de interromper-se instantaneamente a circulação da mesma e para isso produz a tensão que o resto do circuito necessitar para que essa corrente seja mantida ( no resto circuito e nela mesmo ), mesmo que essa tensão tenda para valores muito elevados quando, então, o indutor interpreta que o resto do circuito tem uma resistência muito alta ou que tende para valores infinitos ( caso do circuito aberto ) .



## REGRAS PRÁTICAS

Fica mais fácil assimilar todo o conjunto de elementos de circuitos ( inclusive os parâmetros R, L, C ) quando associamos aos elementos de circuitos algumas propriedades de aplicação prática em projetos, todas obtidas através de seus modelos.

**RESISTÊNCIA** - indica a propriedade da energia de poder sair de um circuito.

- RESISTOR - dispositivo que possui a propriedade resistiva bem pronunciada. Servem para dissipar energia de uma maneira irreversível ( efeito Joule ).

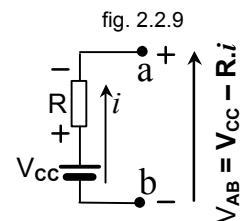
**INDUTÂNCIA** - indica a propriedade da energia de manter-se no circuito em campo magnético.

- INDUTOR - dispositivo que possui a propriedade indutiva bem pronunciada. Servem para armazenar energia sob a forma magnética, ou evitar que a corrente varie rapidamente e nesse caso comportam-se produzindo a tensão necessária, capaz de forçar a permanência dessa corrente.

**CAPACITÂNCIA** - indica a propriedade da energia de manter-se no circuito em campo elétrico.

- CAPACITOR - dispositivo que possui a propriedade capacitiva bem pronunciada. Serve para armazenar energia sob a forma de campo elétrico, ou evitar que a tensão varie rapidamente e nesse caso comporta-se produzindo a corrente necessária, capaz de forçar a permanência dessa tensão.

**GERADOR DE TENSÃO IDEAL** - serve para modelar os geradores de tensão realmente existentes ( fig. 2.2.9 ), permitindo-nos representá-los com dois componentes: o GERADOR DE TENSÃO IDEAL + uma IMPEDÂNCIA <sup>(1)</sup> em série, que servirá para explicar a variação de tensão nos terminais do gerador real (  $V_{ab}$  na figura 2.2.9 ) que ocorrerá quando uma corrente circular. Serve também para modelar um capacitor quando houver variação muito rápida da tensão ( fig. 2.2.6 )



<sup>1</sup> O conceito de impedância será visto quando falarmos em senóides. No momento imagine a IMPEDÂNCIA como sendo um conceito que pode representar algebricamente o comportamento de resistências, indutâncias e capacitâncias em um único modelo matemático, ou, de maneira mais simples, a RESISTÊNCIA sendo um caso particular da IMPEDÂNCIA.

**GERADOR DE CORRENTE IDEAL** - serve para modelarmos situações similares as que ocorrem com uma indutância quando há uma variação muito rápida de corrente ( fig. 2.2.8 ).

É também muito útil em eletrônica para modelar um transistor bipolar conforme fig. 2.2.10

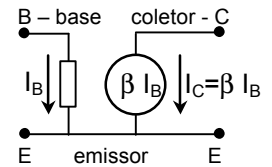


fig. 2.2.10

### 2.3 - ALGUMAS CONVENÇÕES

As polaridades indicadas quando representamos os parâmetros elétricos são uma convenção necessária para que possamos descrever algebricamente os circuitos. Todos os parâmetros devem ser considerados inicialmente absorvendo energia, isto é, são cargas. Nas cargas a corrente sempre entra por um ponto situado a um potencial mais elevado do que por onde sai ( fig. 2.3 ) indicando que a corrente cedeu energia ao dispositivo que estiver atravessando. Mesmo os capacitores e os indutores que, durante a operação do circuito, têm a possibilidade de devolver a energia que armazenaram.

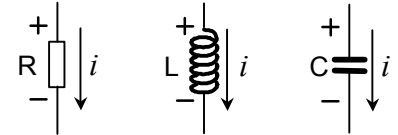


fig. 2.3



Se “ L ” e “ C ” serão realmente carga ou “ gerador ” nas condições dadas no problema em estudo, somente será possível saber-se no final dos cálculos.

- Veja por exemplo a polaridade da indutância quando sofreu a comutação ( fig. 2.1.2.a ) ; a sua tensão ( polaridade ) ficou negativa , isto é, a bobina manteve o sentido da corrente ( por que ? ..... ) porém inverteu a polaridade da tensão, contrariando a convenção acima , isto é, o potencial da corrente será aumentado. Devemos entender que a indutância, nessa condição, está devolvendo energia ao circuito, comportando-se como um “ gerador ”.
- Veja agora o sentido da corrente no capacitor quando sofreu a comutação ( fig. 2.1.3.a ) ; sua corrente ficou negativa, isto é, o capacitor manteve a polaridade da tensão ( por que ? ..... ) porém inverteu o sentido da corrente, contrariando a convenção acima, isto é, o potencial da corrente será aumentado contrariando as convenções, isto é, devemos entender que o capacitor, nessa condição, está devolvendo energia ao circuito comportando-se como um “ gerador ”.



“ R ” sempre será carga.

### 2.4 - NOSSA ÁREA DE ESTUDOS EM ELETRICIDADE II :

Nesse período as análises de circuitos elétricos que faremos estarão limitadas :

- às condições de contorno dos instantes de variação de estado do sistema (  $t=t^0$ ,  $t=0$ ,  $t=t^{+0}$  );
  - e, ou aos denominados regimes, ou estados, permanentes ( “ steady state ” ), isto é, muito tempo após ter ocorrida a mudança de estado e portanto com todos os elementos passivos capazes de armazenar energia , indutâncias e capacitâncias, terem alcançado um equilíbrio ( em termos de energia que manipulam, armazenam ).
- Obs. para efeitos práticos considere, a nível de seu conhecimento atual, que o regime permanente se estabelece após um “ relativo ” longo intervalo de tempo desde a modificação do estado do sistema .
- e, ou resposta forçada das quais somente estudaremos as funções senoidais ( que é tratada também como uma condição em regime permanente ), que é um assunto a ser visto mais adiante ( senóides - 2º módulo de estudos em Eletricidade II ).

O intervalo de tempo desde a variação de estado do sistema até a nova condição de equilíbrio, conhecida como “ resposta natural ” ou regime transitório, é **objeto de estudo específico do engenheiro electricista.**

Os que desejarem aprofundar-se mais nesse estudo poderão examinar o capítulo 4 do livro texto que trata somente de “ resposta natural ” de um circuito e o capítulo 6, “ resposta forçada ”. O livro apresenta os assuntos de uma forma bem agradável e digerível.

Obs. para efeitos práticos considere, a nível de seu conhecimento atual, então que o regime permanente se estabelece após um “ relativo ” longo intervalo de tempo desde a modificação do estado do sistema

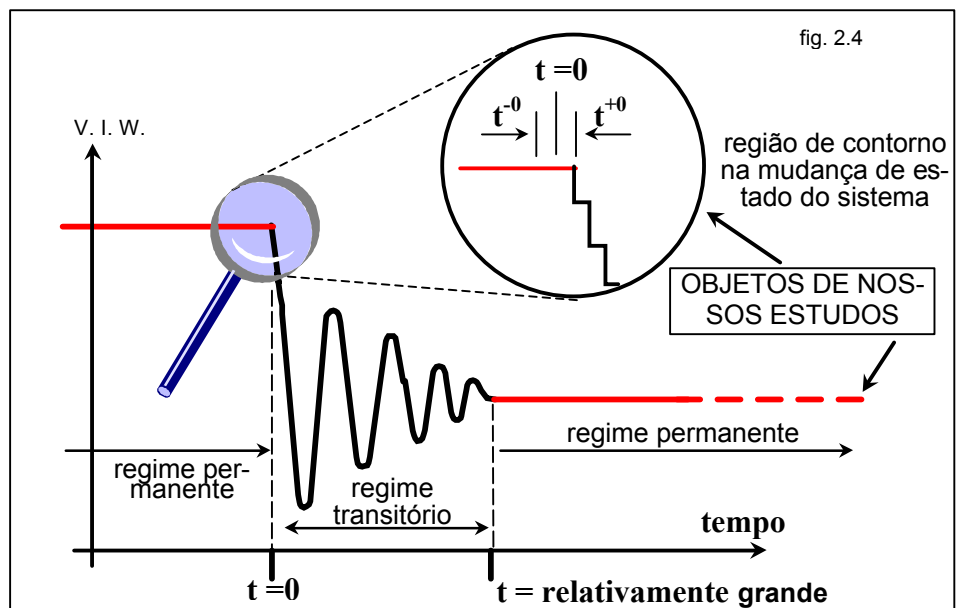
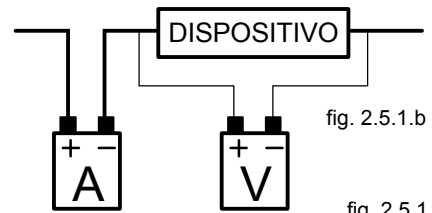


fig. 2.4

**2.4.1 – ATENÇÃO :** Embora você não tenha percebido ( ou sido informado ), as formas de onda de tensões e correntes exponenciais que você estudou em física para circuitos R L , R C e R L C , são respostas no regime transitório. Você tentará, o que é perfeitamente normal, usar este tipo de conhecimento já adquirido, porém, conforme o parágrafo acima, lembre-se que não são objeto de nossos estudos. **CONTROLE-SE .**

**2.5 - EXERCÍCIOS E PROBLEMAS .**

1 - Sabe-se que todo instrumento de medição é uma carga para o sistema em observação. Isto inclui os instrumentos de medidas elétricas, isto é, obedecem às convenções do item 2.3 . Nos instrumentos da figura ao lado o fabricante marcou na caixa dos instrumentos ( e costumam fazer isso ) a polaridade da tensão ( sinais de + e - na fig. 2.5.1.a e 2.5.1.b ) que devem receber do circuito a ser medido para que possam fazer medições positivas.



- entenda-se como leitura positiva uma condição em que o índice ( ponteiro ) tende a deslocar-se corretamente pela escala tornando possível a leitura de valores ( fig. 2.5.1.a ).
- entenda-se como leitura negativa uma condição em que o índice ( ponteiro ) tende a deslocar-se para o lado oposto da escala onde não existem valores que possam ser lidos ( fig. 2.5.1.a ).
- Considere que a queda de potencial no amperímetro e a corrente no voltmeter sejam desprezíveis quando comparado com a tensão e a corrente no dispositivo.

fig. 2.5.1.a

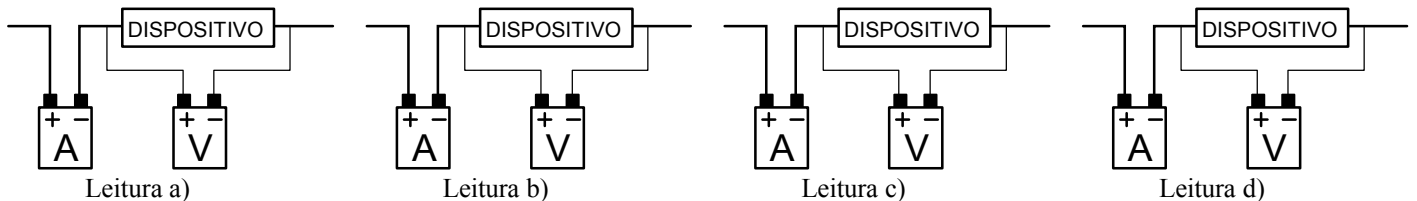
LEITURAS		
	Ampères	Volts
a)	+	+
b)	+	-
c)	-	+
d)	-	-

fig. 2.5.1.c

O que estamos solicitando: um voltmeter e um amperímetro estão conectados para medições em um dispositivo desconhecido, como na fig. 2.5.1.b

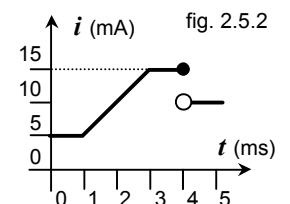
A tabela 2.5.1.c indica os possíveis tipos de leitura que os instrumentos podem fornecer, supondo-se que os instrumentos citados são analógicos e sem zero central ( fig. 2.5.1.a ) :

- Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa, no trecho de circuito acima, entre o voltmeter, o amperímetro e o dispositivo ?
- Qual informação, a respeito do dispositivo, que o amperímetro fornece ? E o voltmeter ? Indique nos desenhos abaixo essas informações para cada item ( a, b, c e d ) da tabela



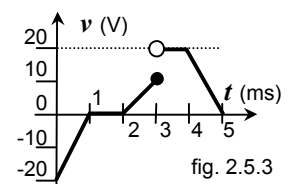
- com base nas informações do item b) acima determine se o dispositivo está absorvendo energia ou fornecendo energia para cada um dos itens da tabela 2.5.1.c.
- qual(is) dos elementos de circuito que pode(m) ser o dispositivo para cada um dos itens da tabela ? Justifique .
- qual(is) dos elementos de circuito que não pode(m) ser o dispositivo para cada um dos itens da tabela? Justifique .
- explique o que ocorre quando o instrumento de medida possui as polaridades já marcadas pelo fabricante e você conclui que a corrente circula pelo instrumento no sentido contrário ao convencional no item 2.3 . O instrumento está “ gerando ” energia ?

2.- Uma única corrente, mostrada na figura 2.5.2 , flui através de dois dispositivos : um indutor  $L = 0,044 H$  e um capacitor ( sem tensão inicial )  $C = 2 m F$ .



- desenhe em escala ( use sempre papel milimetrado ) os gráficos de  $V_C$  ,  $V_L$  e  $V_C + V_L$  .
- como estão conectados entre si os dispositivos para que exista ( para que você possa medir de fato )  $V_C + V_L$  e como chegou a essa conclusão ?
- como usou, ou qual foi a utilidade da informação “ sem tensão inicial ” ?

3.- Uma única voltagem, mostrada na figura 2.5.3 , é aplicada a dois dispositivos : um indutor  $L = 0,044 H$  sem corrente ( ou carregamento ) inicial e um capacitor  $C = 2 m F$ .

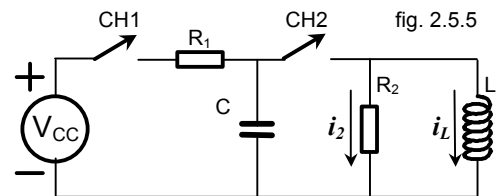


- desenhe em escala ( use sempre papel milimetrado ) os gráficos de  $I_C$  ,  $I_L$  e  $I_C + I_L$  .
- como estão conectados entre si os dispositivos para que exista ( para que você possa medir de fato )  $I_C + I_L$  e como chegou a essa conclusão ?
- como usou, ou qual foi a utilidade da informação “ sem corrente inicial ” ?

- calcule a energia armazenada em uma indutância  $L=0,044 H$  nos tempos  $T=0,5 ms$  ,  $T=1 ms$  ,  $T=2 ms$  ,  $T=4 ms$  ,  $T+t^0=4 ms$  da forma de onda ( fig. 2.5.2 ) do problema 2.
  - calcule a energia armazenada na capacitância  $C = 2 m F$  nos tempos  $T=0,5 ms$  ,  $T=1 ms$  ,  $T=1,5 ms$  ,  $T=3 ms$  ,  $T+t^0=3 ms$  , da forma de onda ( fig. 2.5.3 ) do problema 3.
  - descreva as dificuldades encontrou em calcular os itens **A** e **B** acima.

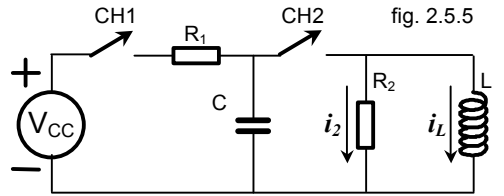
5.- 1) Na figura 2.5.5 suponha que as chaves (**CH1** e **CH2**) estão fechadas. Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos ?

2) Inicialmente a chave **CH1** está fechada ( e o capacitor **C** é carregado ) e a chave **CH2** está aberta. Depois que há o equilíbrio das tensões e correntes em todo o circuito a chave **CH2** será fechada.



Responda:

- qual o nome que damos ao comportamento de um circuito quando já alcançou uma condição ( estado ) de “ equilíbrio ( estabilidade ) das tensões e correntes ” ? Caracterize e, ou descreva o intervalo de tempo necessário para que isto ocorra .
  - qual o nome que damos ao comportamento de um circuito quando ainda não alcançou uma condição ( estado ) de “ equilíbrio ( estabilidade ) das tensões e correntes ” ? Caracterize e, ou descreva o intervalo de tempo necessário para que isto ocorra .
  - faça um gráfico, mostrando alguma grandeza elétrica, que mostre genericamente os itens a) e b) acima .
  - imediatamente antes de fechar-se a chave **CH2** ( $t=0$ ), qual é a voltagem  $V_C$  ? E a corrente no indutor **L** ? Obs. Este item d) é um preparatório para os dois itens seguintes .
  - imediatamente após o fechamento de **CH2**, qual é a voltagem  $V_C$  ? A corrente  $I_L$  ? A corrente  $I_2$  ?
  - quais as alterações que as respostas em e) sofrem se considerarmos a chave **CH1** fechada ou aberta ?
- 3) Agora as duas chaves (**CH1** e **CH2**) estão fechadas . Depois que há o equilíbrio das tensões e correntes em todo o circuito responda ou faça o solicitado:



- reveja os itens a) , b) e c) do item 2 acima .
- com as duas chaves fechadas e já em regime permanente, qual a corrente e a ddp em **R1** , **R2** , **C** e **L** ? Obs. Este item b) é um preparatório para os dois itens seguintes .
- com as duas chaves fechadas e já em regime permanente, qual a corrente e a ddp em **R1** , **R2** , **C** e **L** imediatamente após a abertura da chave **CH2** , mantendo-se **CH1** fechada ?
- com as duas chaves fechadas e já em regime permanente, qual a corrente e a ddp em **R1** , **R2** , **C** e **L** imediatamente após a abertura da chave **CH1** , mantendo-se **CH2** fechada ?

**SOLUÇÕES:**

5 – 1) As figuras 2.5.1 mostram os circuitos equivalentes nas condições do enunciado.

- $V_{CC}$  e  $R_1$  estão em série entre si, isto é, estão sujeitos à uma mesma corrente ( conjunto 1, fig. 2.5.1.2 ) .
- $C$  ,  $R_2$  e  $L$  estão em paralelo entre si, isto é, estão sujeitos à mesma tensão ( conjunto 2, fig. 2.5.1.2 ) .
- O 1º conjunto ( a série  $V_{CC}$  e  $R_1$  ) está em série com o 2º conjunto ( o paralelo  $C$  ,  $R_2$  e  $L$  ) , isto é, a corrente que atravessa o 1º conjunto atravessa o equivalente do paralelo do segundo conjunto

Obs. 1 – O circuito está redesenhado para que possa representar melhor o descrito ( figura 2.5.1.2 ) .

Obs. 2 - Foi retirada a informação de polaridade no 1º conjunto para enfatizar que está sujeito a mesma corrente. Também não sabemos qual o sentido correto da corrente . A informação importante é que o 1º conjunto está sujeito à uma única corrente, seja ela qual for em intensidade e sentido .

Obs. 3 - Foram retiradas as informações de  $i_2$  e  $i_L$  no 2º conjunto para enfatizar que está sujeito à uma única tensão. Também não sabemos qual a polaridade desta tensão . A informação importante é que o 2º conjunto está sujeito à uma única tensão, seja ela qual for em módulo e polaridade.

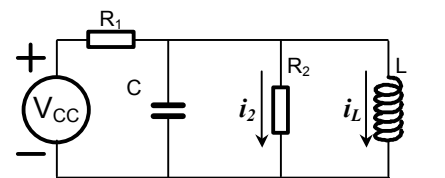


fig. 2.5.1.1

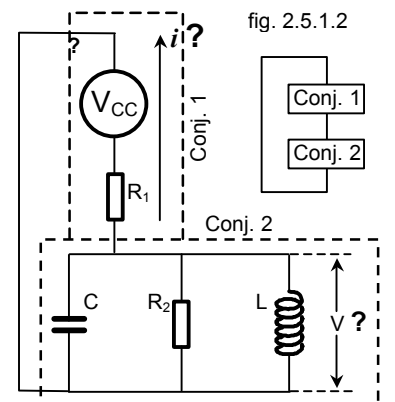


fig. 2.5.1.2

5 – 2 a) Conforme o descrito no item 2.4 ( nossa área de estudos em Eletricidade II ) e o indicado na figura do mesmo item, este comportamento de um circuito é denominado de resposta, ou regime, ou estado permanente ( “steady state” ).

Geralmente é necessário um “ relativo ” grande intervalo de tempo para o circuito chegar ao regime permanente, após ter ocorrido alguma mudança “ elétrica”.

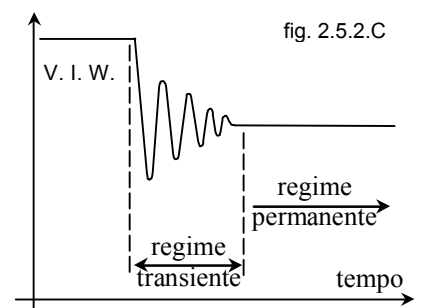


fig. 2.5.2.C

5 – 2.b) Conforme o descrito no item 2.4 ( nossa área de estudos em Eletricidade II ) e o indicado na figura do mesmo item, este comportamento de um circuito é denominado resposta, ou regime, ou estado transiente ( “ transient state ” ).  
 Geralmente o circuito permanece no regime transiente, após ter ocorrido alguma mudança “ elétrica”, durante um “ relativo ” curto intervalo de tempo.

5 – 2.c) Ver figura 2.5.2.C . O gráfico pode ser V e, ou I e, ou W e, ou qualquer grandeza elétrica que possa estar envolvida com potência e energia.

5 – 2.d) imediatamente antes de fechar-se a chave **CH2** , qual é a voltagem  $V_C$  ? E a corrente no indutor **L** ?

Interpretação do enunciado ( os sublinhados são informações contidas no item 2.4 – NOSSA ÁREA DE ESTUDOS )

- não há informação da existência de alguma energia inicialmente armazenada em **C** e, ou **L** .
- a informação “ o capacitor **C** é carregado quando a chave **CH1** é fechada ” desdobra-se em:
  1. No ato do fechamento da chave CH1 teremos uma condição de mudança de estado do sistema , cuja região de contorno (  $t = t^0$  ,  $t=0$  ,  $t = t^0$  ) pode ser objeto de nossos estudos ( veja o detalhe da lupa na fig. 2.4 ).
  2. logo após, quando “ o capacitor **C** é carregado ” ( ou, o que é o mesmo, durante a carga do capacitor ) o sistema entrará em regime transitório que dura de  $t = 0$  até  $t =$  muito grande, que não é objeto de nossos estudos (fig. 2.4).
- a informação “ Depois que há o equilíbrio das tensões e correntes ... ” significa que já ocorreu muito tempo (  $t =$  muito grande ) e o circuito entrará em regime permanente ( “ steady state ” ) o qual pode ser objeto de nossos estudos ( fig. 2.4 ).

Temos portanto definidas as duas condições que serão objeto de nossa análise neste item d) do problema: O instante da mudança de estado, em que o sistema tente mas ainda não conseguiu mudar de estado (  $\Delta t =$  infinitésimo =  $t^0$  ), e após muito tempo decorrido, quando o circuito chega a uma nova condição de equilíbrio ( regime permanente ) .

1ª hipótese: quando do fechamento de **CH1** não há energia armazenada no circuito, isto é,  $w_C = 0$  e em **C** ,  $V_C = 0$  enquanto  $w_L = 0$  e em **L** ,  $I_L = 0$  pois  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  e  $w_L = \frac{1}{2} LI^2$  .

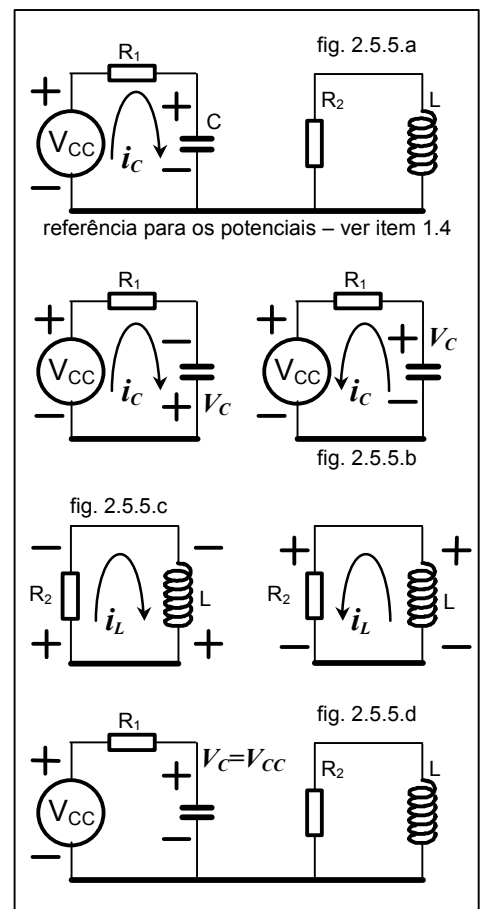
- I - O circuito equivalente ( fig. 2.5.5.a ) tem duas malhas independententes.
- II - Na malha de  $V_{CC}$  existirá uma corrente  $I_C$  que carregará o capacitor **C** até que alcance a mesma tensão do gerador. E quando  $V_C = V_{CC}$  teremos  $I_C = 0$  pois  $i_C = C \frac{dv}{dt}$  e  $V_C = \text{cte.} = V_{CC}$
- III - Na outra malha  $I_L = 0$  , não há corrente pois afirmamos na 1ª hipótese que não existe energia em **L** .
- IV - Portanto, quando for alcançado o equilíbrio das tensões e correntes, o circuito equivalente será o da fig. 2.5.5.d , com  $V_C = V_{CC}$  ,  $I_C = 0$  ,  $I_L = 0$  e  $V_L = 0$  pois  $V_L = L \frac{di}{dt}$  e  $I_L = \text{cte.} = 0$

2ª hipótese: quando do fechamento de **CH1** já há alguma energia armazenada em **C** (  $V_C \neq 0$  )

- I - Se  $V_C > V_{CC}$  a situação é a mesma da 1ª hipótese item ( II ) e ( IV ) .  
 Obs. No primeiro desenho da figura 2.5.5.b a polaridade indicada também é uma situação em que  $V_C > V_{CC}$  ( por que !? ver item 1.4 ).
- II - Se  $V_C < V_{CC}$  ( 2º desenho da figura 2.5.5.b ) na malha de  $V_{CC}$  existirá uma corrente  $I_C$  ( de sentido contrário à do item ( I ) ) que fornecerá energia ao gerador  $V_{CC}$  descarregando o capacitor **C** até que chegue a mesma tensão do gerador ( 1ª hipótese item ( IV ) ), isto é,  $V_C = V_{CC}$

3ª hipótese: quando do fechamento de **CH1** já há energia armazenada em **L** (  $I_L \neq 0$  )

- I - Nesse caso toda a energia contida inicialmente em **L** será dissipada em **R2** , qualquer que seja o módulo e o sentido dessa corrente ( fig. 2.5.5.c ).
- II - Quando toda a energia de **L** for dissipada ,  $I_L = 0$  ( por que ? ) e a situação é a mesma descrita na 1ª hipótese item ( III ) e ( IV ) .



Conclusão: quaisquer que sejam os estados iniciais de energia em **C** e **L** , “ Depois que há o equilíbrio das tensões e correntes ... ”, isto é,  $t =$  muito grande o estado do sistema é o do item ( IV ) da 1ª hipótese e o circuito equivalente é o da fig. 2.5.5.d .

Resposta para este item 5 – 2.d) : imediatamente antes de fechar-se a chave **CH2** , qual é a voltagem  $V_C$  ? E a corrente no indutor  $L$  ?

- Este item já foi resolvido quando interpretou-se o enunciado. Conforme a “ Conclusão ” acima e o item ( IV ) da 1ª hipótese,  $V_C = V_{CC}$  ,  $I_L = 0$  quaisquer que sejam as condições iniciais de energia em  $C$  e  $L$  .

Obs. Este item é um preparatório para o item a seguir.

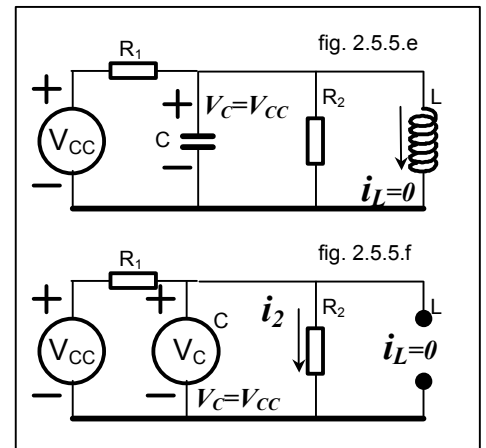
5 – 2.e): imediatamente após o fechamento de **CH2** , qual é a voltagem  $V_C$  ? A corrente  $I_L$  ? A corrente  $I_2$  ?

- “ ... imediatamente após ... ” deve ser interpretado como no instante de tempo  $t^{+0}$  .
- com **CH2** fechada o circuito equivalente é o da figura 2.5.5.e . Observe que neste circuito equivalente estão os valores achados no item 5 – 2.d) , isto é,  $V_C = V_{CC}$  ,  $I_L = 0$  conforme justificado a seguir .

- Os modelos matemáticos  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  e  $w_L = \frac{1}{2} LI^2$  deverão ser empregados pois representam o comportamento da energia em dois elementos presentes no circuito em estudo, energias estas que não podem variar instantaneamente, isto é, permanecem as mesmas entre  $t=0$  e  $t^{+0}$  . Esses modelos sugerem a substituição de  $C$  por uma fonte ideal de tensão  $V_C = V_{CC}$  (  $C$  tenta manter a tensão entre os seus terminais para qualquer  $i$  ) e a substituição de  $L$  por um circuito aberto  $I_L = 0$  (  $L$  tenta manter a corrente que a atravessa para qualquer  $v$  ) . Obtemos assim o modelo para análise do circuito em  $t = t^{+0}$  ( fig. 2.5.5.f )

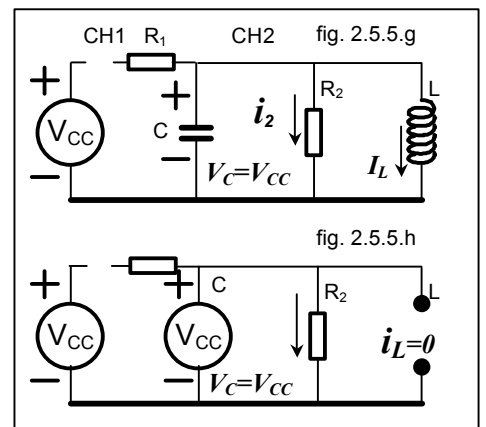
- A análise desse novo modelo do circuito ( fig. 2.5.5.f ) revela que <sup>(2)</sup>  $V_C = V_{CC}$  [ 2.5.5.2.d ] ,  $I_L = 0$  [ 2.5.5.2.d ] e a corrente no resistor será achada aplicando-se a lei de ohm, pois a tensão é conhecida ( é a tensão do capacitor ) , isto é,  $I_2 = V_C / R_2 = V_{CC} / R_2$  .

Obs. Como pode haver corrente  $I_2$  se o capacitor não consegue fornecer energia ao circuito ?



5 – 2.f) quais as alterações que as respostas em 5.2.e) sofrem se considerarmos a chave **CH1** fechada ou aberta ?

- As respostas ao item 5.2.e) foram desenvolvidas conforme o enunciado em 5 – 2) , isto é, mantendo-se chave **CH1** fechada .
- O enunciado em 5 – 2) afirma que  $C$  é carregado quando **CH1** fecha e solicita que **CH2** seja acionada após o equilíbrio de tensões e correntes. Essas informações implicam então em que o capacitor  $C$  já esteja carregado quando **CH1** for aberta .
- Com o capacitor  $C$  já carregado o circuito equivalente com a chave **CH1** aberta é o da fig. 2.5.5.g e, usando-se os mesmos argumentos do item e) , o modelo para análise do circuito em  $t = t^{+0}$  é o da fig. 2.5.5.h .
- A análise do modelo de circuito ( fig. 2.5.5.h ) revela que  $V_C = V_{CC}$ ,  $I_L = 0$  , e  $I_2 = V_C / R_2 = V_{CC} / R_2$  , resposta idêntica ao do item b)
- Conclui-se que as respostas do item 5.2.e) , após o carregamento de  $C$  , independem da posição da chave **CH1**



5 – 3.a) reveja os itens 5 – 2.a, b e c .

5 – 3.b) com as duas chaves fechadas e após muito tempo decorrido, qual a corrente e a ddp em  $R_1$  ,  $R_2$  ,  $C$  e  $L$  ?

- “ ... com as duas chaves fechadas após muito tempo decorrido ... ” deve ser interpretado que o sistema está em regime permanente, isto é, “ ... depois que há o equilíbrio das tensões e correntes ... ”
- O circuito equivalente para as condições do item 5.3.b está indicado na fig. 2.5.5.i onde as correntes possíveis <sup>(3)</sup>, respectivamente  $I_C$  ,  $I_{R2}$  ,  $I_L$  , além do somatório delas em  $R_1$  também são indicadas .
- A solução trivial pode ser obtida pelo emprego das leis de Kirchhoff,  $\sum V_{MALHAS} = 0$  e  $\sum I_{NÓ} = 0$  que nos forneceriam equações com alguns termos constituídos de derivadas e integrais. Porém uma análise mais cuidadosa

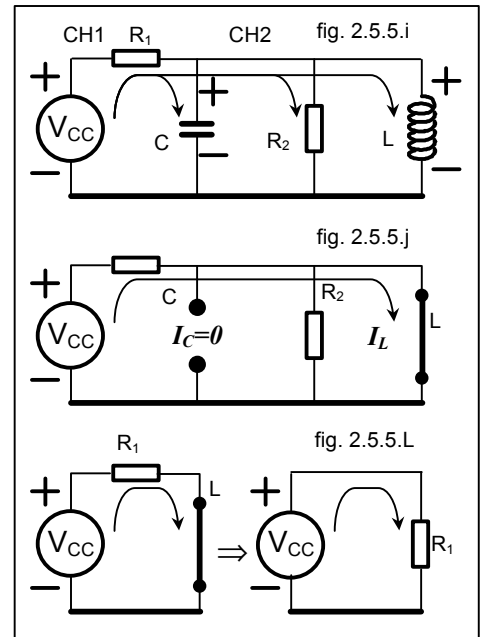
<sup>2</sup> As informações entre colchetes [ ] indicam o item onde os resultados foram obtidos

<sup>3</sup> São especulações. Para ter-se certeza, somente como descrito no parágrafo seguinte: “ solução trivial ”

do circuito e de seus elementos vai nos mostrar algumas peculiaridades ( que já apresentamos em Eletricidade II ) que permitirão uma solução mais rápida.

Um primeiro exame nos mostrará as seguintes características :

- I - O único tipo de tensão e corrente que existirá no circuito será contínua e constante devido a presença do gerador  $V_{CC}$  .
- II - A corrente total passando em  $R_1$  ocasionará uma queda de potencial em  $R_1$  de tal modo que a ddp aplicada ao restante do circuito ( $C // R_2 // L$ ) será  $V_{CC} - V_{R1}$  (menor que  $V_{CC}$  ) . Não temos ainda meios de calcular esta corrente , e portanto qual o potencial aplicado ao restante do circuito .
- III - Que esta ddp aplicada ao resto do circuito ( item II acima ) carregará  $C$  até uma condição de equilíbrio com uma tensão contínua e constante. Teremos  $I_C = 0$  pois  $i_C = C \frac{dv}{dt}$  e  $V_C = \text{cte.} = (V_{CC} - V_{R1})$  . Nessa condição  $C$  terá um comportamento de circuito aberto.
- IV - Que esta ddp aplicada ao resto do circuito ( item II acima ) fará circular normalmente uma corrente em  $R_2$  . O valor dessa corrente não pode ainda ser avaliada com base nas informações e conclusões já levantadas no item II acima .
- V - Que esta ddp aplicada ao resto do circuito ( item II acima ) fará circular uma corrente contínua e constante em  $L$  . Teremos  $V_L = 0$  pois  $V_L = L \frac{di}{dt}$  e  $I_L = \text{cte.}$  ( de valor desconhecido ) . Nessa condição  $L$  teria um comportamento de um curto-circuito.



- O modelo para análise, com base nos itens ( I ) a ( V ) acima, será o da fig. 2.5.5.j que devidamente simplificado toma a forma da fig. 2.5.5.L . Observe que o Indutor anula a presença de  $C$  e  $R_2$  por se comportar como um curto circuito em paralelo com eles .

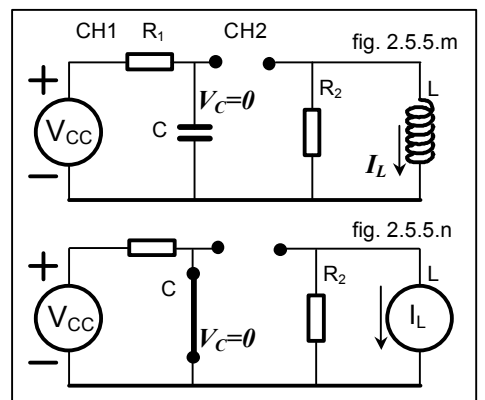
- A análise do modelo do circuito (fig. 2.5.5.L ) revela que

$$\begin{array}{llll} V_{R1} = V_{CC} & V_{R2} = V_L & V_C = V_L & V_L = L(dI / dt) = 0 \\ I_{R1} = V_{CC} / R_1 & I_{R2} = V_L / R_2 = 0 & I_C = C(dV / dt) = 0 & I_L = I_{R1}. \end{array}$$

5 – 3.c) com as duas chaves fechadas e já em regime permanente, qual a corrente e a ddp em  $R_1$  ,  $R_2$  ,  $C$  e  $L$  imediatamente após a abertura da chave **CH2** , mantendo-se **CHI** fechada ?

- “ ... imediatamente após a abertura da chave **CH2** ... ” ..deve ser interpretado como no instante  $t^{+0}$  .
- com **CHI** fechada e **CH2** aberta o circuito equivalente é o da figura 2.5.5.m . Observe que neste circuito equivalente estão alguns valores achados no item 5 – 3.b), isto é,  $V_C = V_L = L(dI / dt) = 0$  e  $I_L = I_{R1} = V_{CC} / R_1$  conforme justificado a seguir.

- Os modelos matemáticos  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  e  $w_L = \frac{1}{2} LI^2$  deverão ser empregados pois representam o comportamento da energia em dois elementos presentes no circuito em estudo, energia esta que não pode variar instantaneamente, isto é, permanece a mesma entre  $t=0$  e  $t=t^{+0}$  . Esses modelos sugerem a substituição de  $C$  por um curto circuito pois  $V_C = 0$  ( $C$  tenta manter a tensão entre os seus terminais ) e a substituição de  $L$  por uma fonte de corrente ideal pois  $I_L = V_{CC} / R_1$  ( $L$  tenta manter a corrente que a atravessa ) . Obtemos assim o modelo para análise do circuito em  $t^{+0}$  ( fig. 2.5.5.n )



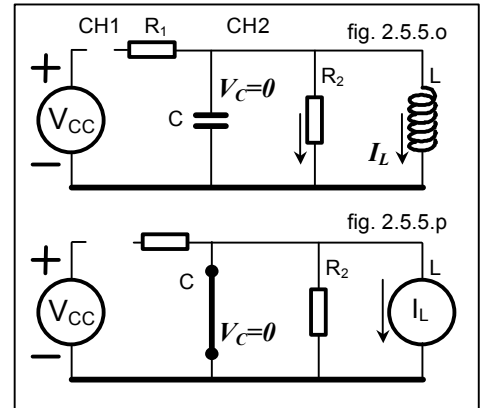
- A análise desse novo modelo do circuito (fig. 2.5.5.n ) revela que <sup>(2)</sup>

$$\begin{array}{llll} V_{R1} = V_{CC} & V_{R2} = I_L \times R_2 & V_C = 0 \text{ [ 3.b ]} & V_L = V_{R2} = I_L \times R_2 \\ I_{R1} = V_{CC} / R_1 & I_{R2} = I_L = V_{CC} / R_1 \text{ [ 3.b ]} & I_C = I_{R1} = V_{CC} / R_1 \text{ [ 3.b ]} & I_L = V_{CC} / R_1 \text{ [ 3.b ]} \end{array}$$

5 – 3.d) com as duas chaves fechadas e já em regime permanente, qual a corrente e a ddp em  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C$  e  $L$  imediatamente após a abertura da chave **CHI**, mantendo-se **CH2** fechada ?

- “... imediatamente após a abertura da chave **CHI** ...” ..deve ser interpretado como no instante  $t = t^{+0}$ .
- com **CHI** aberta e **CH2** fechada o circuito equivalente é o da figura 2.5.5.o. Observe que neste circuito equivalente estão alguns valores achados no item 5 – 3.b), isto é,  $V_C = V_L = L(dI/dt) = 0$  e  $I_L = I_{R1} = V_{CC}/R_1$  conforme justificado a seguir.

- Os modelos matemáticos  $w_C = \frac{1}{2}CV^2$  e  $w_L = \frac{1}{2}LI^2$  deverão ser empregados pois representam o comportamento da energia em dois elementos presentes no circuito em estudo, energia esta que não pode variar instantaneamente, isto é, permanece a mesma entre  $t=0$  e  $t^{+0}$ . Esses modelos sugerem a substituição de  $C$  por um curto circuito pois  $V_C = 0$  ( $C$  tenta manter a tensão entre os seus terminais) e a substituição de  $L$  por uma fonte de corrente ideal pois  $I_L = V_{CC}/R_1$  ( $L$  tenta manter a corrente que a atravessa). Obtemos assim o modelo para análise do circuito em  $t^{+0}$  (fig. 2.5.5.p).



- A análise desse novo modelo do circuito (fig. 2.5.5.p) revela que <sup>(2)</sup>

$$\begin{array}{llll} V_{R1} = 0 & V_{R2} = V_C = 0 & V_C = 0 [3.b] & V_L = V_C = 0 \\ I_{R1} = 0 & I_{R2} = V_C/R_2 = 0 & I_C = I_L & I_L = V_{CC}/R_1 [3.b] \end{array}$$

Observe: os itens 2.d e 3.b ( estados iniciais do sistema ) são os preparatórios dos itens 2.e, 2.f e 3.c, 3.d respectivamente .

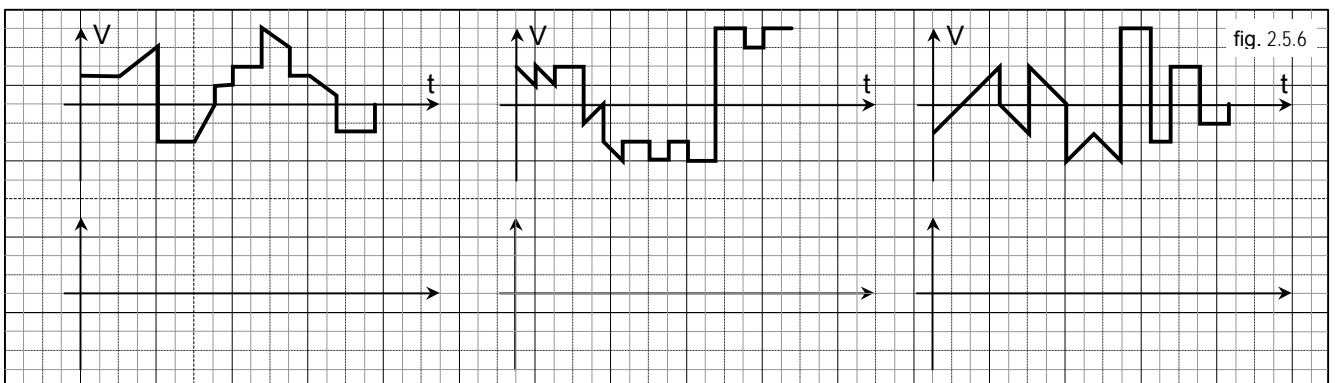
Tabela resumo : ( as letras entre colchetes indicam um item anterior onde a variável foi calculada )

Variáveis <sup>(2)</sup>	$V_{R1}$	$I_{R1}$	$V_{R2}$	$I_{R2}$	$V_C$	$I_C$	$V_L$	$I_L$
Enunciado	0	0	0	0	$V_{CC}$	0	0	0
Item 5.2.d	---	---	---	---	$V_{CC}$	---	---	0
Item 5.2.e	---	---	---	$V_C/R_2$	$V_{CC}$ [5.2.d]	---	---	0 [5.2.d]
Item 5.2.f	---	---	---	$V_C/R_2$	$V_{CC}$ [5.2.d]	---	---	0 [5.2.d]
Item 5.3.b	$V_{CC}$	$V_{CC}/R_1$	$V_L$	$V_L/R_2 = 0$	$V_L$	$C (dV/dt) = 0$	$L (dI/dt) = 0$	$I_{R1}$
Item 5.3.c	$V_{CC}$	$V_{CC}/R_1$	$I_L R_2$	$I_L = V_{CC}/R_1$ [5.3.b]	0 [5.3.b]	$I_{R1}$	$V_{R2} = I_L R_2$	$I_{R1} = V_{CC}/R_1$ [5.3.b]
Item 5.3.d	0	0	$=V_C$	$V_C/R_2$	0 [5.3.b]	$I_L$	$=V_C = 0$	$I_{R1} = V_{CC}/R_1$ [5.3.b]

6.- Em papel milimetrado ( sempre ) faça um esboço das curvas das correntes resultantes quando as tensões indicadas nos gráficos da figura 2.5.6 , são aplicadas :

- Nos parâmetros elétricos ideais.
- Nos outros elementos de circuitos ideais.

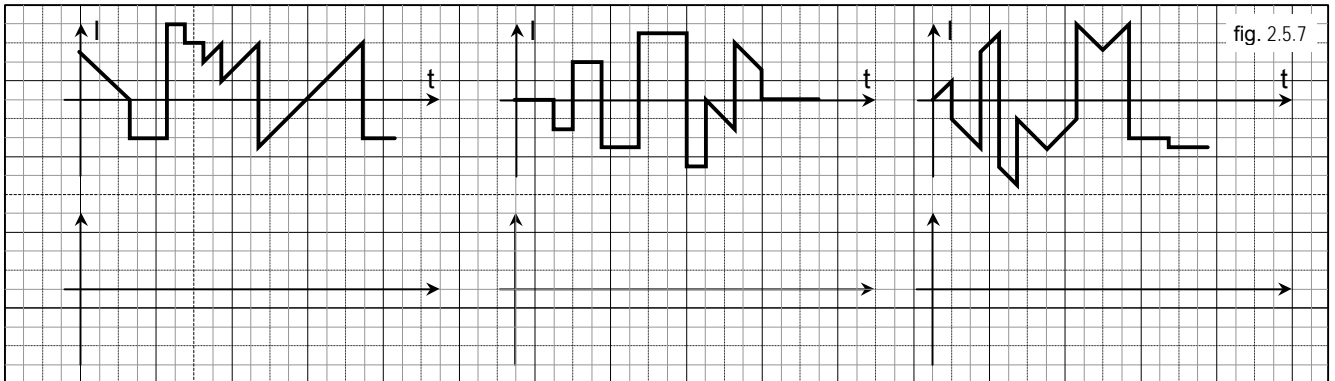
Use os eixos no espaço disponível na fig. 2.5.6 . Não esqueça as unidades dos eixos



7.- Em papel milimetrado ( sempre ) faça um esboço das curvas das tensões resultantes quando as correntes indicadas nos gráficos da figura 2.5.7 ,passam :

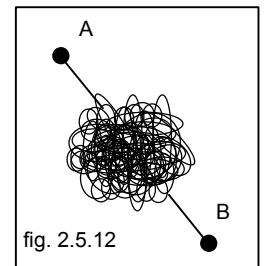
- Nos parâmetros elétricos ideais.
- Nos outros elementos de circuitos ideais.

Use os eixos no espaço disponível na fig. 2.5.7 . Não esqueça as unidades dos eixos



- 8.- Qual a diferença entre um resistor e a resistência, entre o indutor e a indutância, entre o capacitor e a capacitância ?
- 9.- Como pode uma corrente elétrica fluir, isto é, haver deslocamento de elétrons, em um trecho de circuito onde exista um capacitor, que, como todo capacitor “honesto”, possui um dielétrico ( material isolante ) interrompendo o circuito? ( procure informar-se no curso de física ) .
- 10.- Como pode uma corrente elétrica fluir em um trecho de um circuito **B** que não possui nenhum gerador, mas que está próximo a um outro circuito **A** por onde circula uma corrente ? ( sugestão: ver item 2.1.2 )
- 11.- Qual o comportamento de indutâncias e capacitâncias quando tenta-se desobedecer um princípio da física que diz: a energia armazenada em um elemento É UMA FUNÇÃO CONTÍNUA NO TEMPO ?

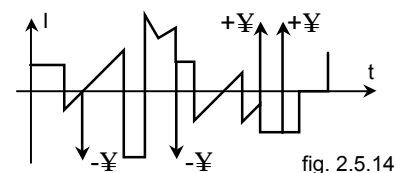
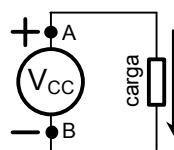
- 12.- Um condutor todo emaranhado ( uma bolinha de fios esmaltados <sup>(4)</sup> - fig. 2.5.12 ) foi ensaiado no laboratório obtendo-se os seguintes resultados:
- uma variação linear da corrente que nela circulava de **A** para **B** , de **-10 mA** a **+10 mA** em **50 ms** , causou uma ddp  **$V_{AB} = 17,6$  volts**.
  - uma corrente continua constante que nela circulava de **A** para **B** , de **10 mA** , causou uma dissipação de **0,00095 W** .



Com base no comportamento observado no laboratório e nos conhecimentos já adquiridos em Eletricidade II :

- Quais parâmetros elétricos podem ter o comportamento verificado em cada ensaio?
  - Faça um modelo elétrico, deste condutor todo enrolado, com os parâmetros determinados acima. Como decidirá entre a representação série ou paralela ? Sugestão: tente todas as possibilidades e veja qual(is) é(são) incompatível(veis) com os resultados dos ensaios.
  - Faça três gráficos mostrando: 1º) a corrente aplicada no 1º ensaio, 2º) a diferença de potencial no parâmetro que determinou com o primeiro ensaio, 3º) a diferença de potencial produzida pelos valores do 1º ensaio, no parâmetro que achou com o segundo ensaio. Coloque os gráficos alinhados verticalmente. e use a mesma escala de tempo nos três.
  - Faça um quarto gráfico mostrando o somatório das tensões do 2º) e 3º) gráficos. Compare este gráfico com o primeiro. Qual a simplificação ( ou erro ) de sua modelagem ?
- 13.- Desenhe um esquema elétrico simplificado e descreva, com suas palavras, usando os termos e definições apresentados nessa primeira parte do curso de Eletricidade II .
- o funcionamento elétrico do " flash " eletrônico .
  - o funcionamento elétrico do sistema de ignição dos fogões domésticos ou do automóvel .

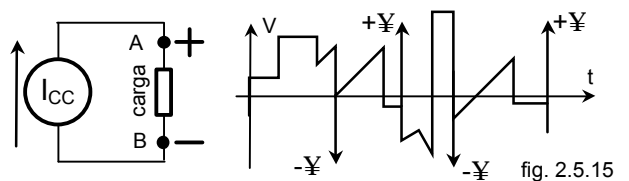
- 14.- Faça o gráfico da tensão  $V_{AB}$  que existe nos extremos do gerador de tensão ideal quando circula na carga a corrente indicada no gráfico da fig. 2.5.14 ? Sabe-se que  $V_{CC} = 10$  volts .



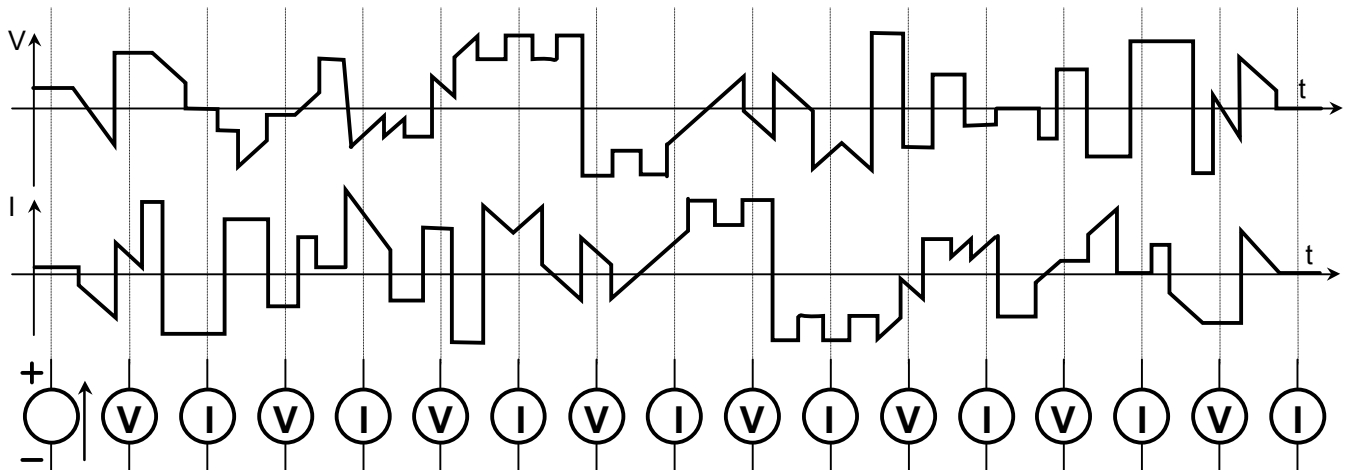
Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre o gerador e a carga .

<sup>4</sup> Os enrolamentos das máquinas elétricas necessitam que as espiras dos fios sejam isoladas entre si. Industrialmente isso é conseguido com uma película de esmalte isolante, isto é, no caso da bolinha de fios do problema proposto os fios não têm contato elétrico entre si

- 15.- Faça o gráfico da corrente  $I_{AB}$  que existe no gerador de corrente ideal quando existe na carga a tensão indicada no gráfico da fig 2.5.15 . Saiba-se que  $I_{CC} = 10 \text{ ampères}$  .  
 Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre o gerador e a carga .

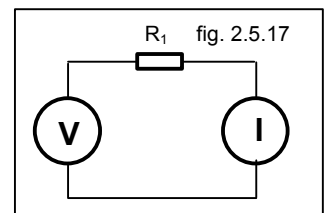


- 16.- Indicar em cada gerador a polaridade da tensão e o sentido da corrente dos gráficos. Como referência positiva use o 1º gerador . Observe as suas respostas para os três últimos geradores .



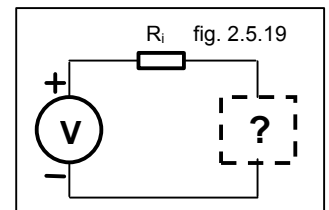
- 17.- Um gerador de tensão ideal e um gerador de corrente ideal estão conectados como na figura 2.5.17 . Saiba-se que  $V=10 \text{ volts}$  ,  $I=10 \text{ ampères}$  e  $R=10 \text{ W}$  .

- a) Ache todas as respostas possíveis para a seguinte questão :  
 Qual a ddp no resistor e no gerador de corrente ?  
 b) Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos .



- 18.- Um dispositivo teve a sua corrente e tensão monitoradas. Observou-se que a corrente não mudava de sentido, porém a polaridade da tensão eventualmente modificava-se .

- a) qual (is ) o(s) elemento(s) de circuito que pode(m) representar este dispositivo ? Justifique .  
 b) qual a diferença entre o comportamento do dispositivo quando a tensão tinha uma polaridade e quando a polaridade modificava-se ?



- 19.- a) Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos, inclusive o elemento desconhecido, da fig. 2.5.19.

- b) Calcule a fonte de corrente ideal  $I$  e respectiva resistência em paralelo que podem substituir a fonte de tensão ideal  $V$  e respectiva resistência série  $R_i$  que alimenta o circuito da fig. 2.5.19, representado pela caixa pontilhada, qualquer que seja o conteúdo do circuito .

- 20.- a) Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos, inclusive o elemento desconhecido, da fig. 2.5.20

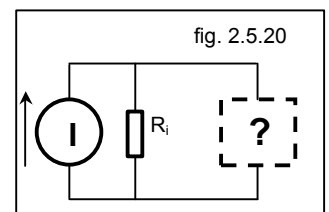
- b) Calcule a fonte de tensão ideal  $V$  e respectiva resistência em série que podem substituir a fonte de corrente ideal  $I$  e respectiva resistência paralela  $R_i$  que alimenta o circuito da fig. 2.5.20, qualquer que seja o conteúdo do circuito .

- 21.- Qual a potência fornecida por uma fonte de tensão ideal quando:

- a) seus terminais estão abertos ?  
 b) seus terminais estão ligados em curto circuito ?

- 22.- Qual a potência fornecida por uma fonte de corrente ideal quando:

- a) seus terminais estão abertos ?  
 b) seus terminais estão em curto circuito ?



- 23.- Baseado nas suas resposta aos itens 21 e 22 como devemos guardar:

- a) uma fonte de tensão ideal ?  
 b) uma fonte de corrente ideal ?

24.- Problemas de revisão .

24.1.-No circuito da fig. 24.1.A a tensão é constante e igual a **60 volts** ,  $R_1 = 5 W$  ,  $R_2 = 1 W$  ,  $R_3 = 6 W$  .

- Ache a corrente e a potência em cada um dos elementos de circuitos
- Diga quem fornece energia ao circuito e quem recebe energia do circuito.

SOLUÇÃO:

Lei de Kirchoff: lei das tensões . A soma algébrica dos potenciais ao percorrer-se uma malha é sempre zero.

Na fig. 24.1.a a soma dos potenciais será :  $\sum V_{MALHA} = 0$  ou  $V + V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = 0$  .

1ª hipótese ( fig B ) : associando-se, à representação gráfica do circuito, um sinal positivo para as elevações de potenciais no sentido de percurso anti-trigonométrico,

$$V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0 \Rightarrow V - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0 \Rightarrow 60 - i5 - i1 - i6 = 0$$

$$\Rightarrow i = 5 \text{ Ampères.}$$

2ª hipótese ( fig C ) : associando-se, à representação gráfica do circuito, um sinal positivo para as elevações de potenciais no sentido de percurso trigonométrico,

$$-V - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0 \Rightarrow -V - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0 \Rightarrow -60 - i5 - i1 - i6 = 0$$

$$\Rightarrow i = -5 \text{ ampères.}$$

onde o sinal negativo para a corrente nos informa que o sentido arbitrado deve ser invertido .

- Cálculo da potência : Modelos disponíveis para esse problema.  $P = V \cdot i$  ,  $P = R \cdot i^2$

$$P_{GERADOR} = 60 \times 5 = 300 \text{ Watts}$$

$$P_{R1} = 5 \times 5^2 = 125 \text{ Watts} \quad P_{R2} = 1 \times 5^2 = 25 \text{ Watts} \quad P_{R3} = 6 \times 5^2 = 150 \text{ Watts}$$

- Os resistores sempre são cargas, isto é, sempre recebem energia do circuito

Conforme indicado pelas hipóteses que determinaram o sentido da corrente a corrente sofre uma elevação de potencial ao passar pelo gerador, isto é, o gerador fornece energia ao circuito

24.2.- No circuito da fig. 24.2. três resistores ,  $R_1$  ,  $R_2$  ,  $R_3$  , estão interligados entre os nós **A** e **B** de uma forma chamada , por convenção, de “ ligação em paralelo ” , isto é, estão sujeitos a uma mesma tensão  $V_{AB}$  .

- Deduzir uma expressão para um dispositivo que seja equivalente em termos elétricos a uma “ligação em paralelo”
- Idem substituindo os resistores por indutores.
- Idem substituindo os resistores por capacitores.

SOLUÇÃO: ( os itens **b**) e **c**) deverão ser feitos pelo aluno . Use  $i(t)$  dos itens 2.1.2 e 2.1.3 )

Item a) Lei de Kirchoff: lei das correntes . A soma algébrica das correntes que concorrem em determinado nó é sempre zero. Na fig. 24.2 a soma das correntes será :

$$\sum I_{Nó} = 0 \text{ ou } I_T + I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

Usando o nó A e arbitrando o sinal (+) para as correntes que chegam .

$$I_T - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

As correntes podem ser calculadas supondo-se uma tensão aplicada entre os nós **A** e **B** ( fig. 24.2 ) e

$$\frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{que pode ser generalizado para qualquer número de resistências em paralelo, isto é,}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \frac{1}{R_N}$$

$$\text{Para o caso particular de 2 resistências} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{ou} \quad R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

24.3.- Duas fontes de tensões ideais estão conectadas como na figura 24.3.A onde  $V1 = 30 \text{ volts}$  ,  $V2 = 40 \text{ volts}$  ,  $R_A = 2 W$  ,  $R_B = 3 W$  . Qual a potência fornecida por cada fonte de tensão e qual a potência dissipada pelas resistências ?

Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos

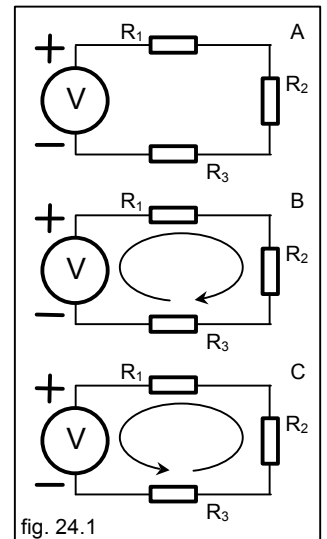


fig. 24.1

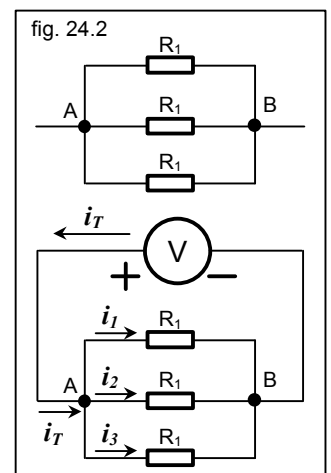


fig. 24.2

SOLUÇÃO:

Lei de Kirchoff: lei das tensões ( fig. 24.3.B ) .  $\sum V_{MALHA} = 0$  ou

$$V_1 - iR_A - V_2 - iR_B = 0 \Rightarrow 30 - i \cdot 2 - 40 - i \cdot 3 = 0 \Rightarrow i = -2 \text{ ampères}$$

Trocando-se o sinal do  $i$  calculado ( ver problema 24.1 ) .  $i = 2 \text{ ampères}$  ( fig. 24.3.C )

Calculo da potência : modelos disponíveis para esse problema.

$$P = V \cdot i, P = R \cdot i^2$$

- potências dos resistores: os resistores sempre serão cargas.

$$P_{R_A} = 2 \cdot 2^2 = 8 \text{ Watts} \quad P_{R_B} = 3 \cdot 2^2 = 12 \text{ Watts}$$

- potências dos geradores: considerando a corrente com o sinal corrigido, e observando as relações entre o novo sentido da corrente e as polaridades indicadas na figura 24.3.C .

$$P_{V_1} = 2 \cdot (-30) = -60 \text{ Watts} \quad P_{V_2} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ Watts} \quad \text{onde o sinal negativo indica que } V_1 \text{ é uma carga.}$$

- Todos os elementos indicados estão conectados entre si em série, isto é, são atravessados pela mesma corrente .

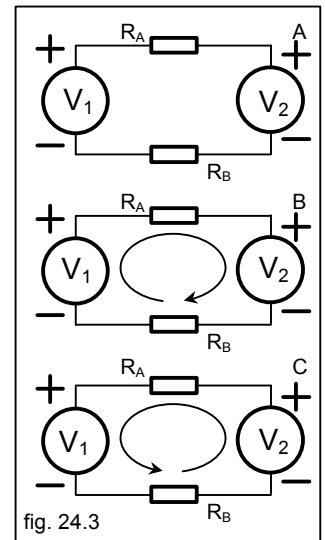


fig. 24.3

24.4.- Qual a corrente que circula no circuito da figura 24.4 onde  $R = 15 \text{ W}$  e  $v(t) = 150 \text{ sen } \omega t$  ?

Observação. A polaridade indicada no gerador de CA é necessária e será explicada quando tratarmos especificamente de tensões alternadas .

SOLUÇÃO: Lei de Ohm:

$$v(t) = R \cdot i(t) \Rightarrow i(t) = (150 \text{ sen } \omega t) / 15 = 10 \text{ sen } \omega t \text{ ampères.}$$

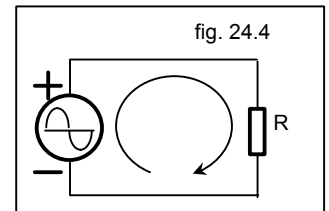


fig. 24.4

24.5 - Na figura 24.5  $V_1 = 50 \text{ volts}$ ,  $R_1 = 5 \text{ W}$  e  $R_2 = 25 \text{ W}$

- Descreva em termos de estarem associados em série e, ou paralelo, qual a posição relativa entre os elementos de circuitos e como a tensão da fonte é aplicada ao restante do circuito .
- Qual o valor de  $R$  para que  $R_1$  dissipe  $45 \text{ Watts}$  ?

SOLUÇÃO:

a) Reveja o item 5.1 à pag. 10 .  $R_1$  e  $R_2$  estão em paralelo, isto é estão sujeitas à mesma tensão, mas ATENÇÃO, esta tensão não é  $V_1$  .  $V_1$  e  $R$  estão em série entre si, e a resultante está também em série com o paralelo de  $R // R_2$ , isto é, estão sujeitas à mesma tensão. Agora sim, podemos concluir que a tensão aplicada a  $R + (R_1 // R_2)$  é  $V_1$ . ( fig. 24.5.a ) .

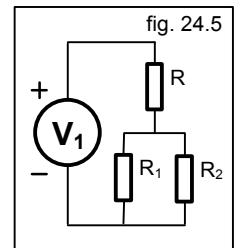


fig. 24.5

Cálculo da potência : Modelo disponível para esse problema  $P = V^2 / R$

Cálculo da tensão em  $R_1$ :

$$\text{Tensão em } R_1 \Rightarrow 45 \text{ Watts} = (V_{R_1})^2 / 5 \Rightarrow V_{R_1} = 15 \text{ volts} .$$

$$\text{Como } R_2 \text{ está em paralelo com } R_1 \Rightarrow V_{R_2} = V_{R_1} = 15 \text{ volts} .$$

Cálculo da corrente que circula no paralelo de  $R_1$  com  $R_2$

$$15 / ((5 \times 25) / (5 + 25)) = 3,6 \text{ ampères} \text{ que é a corrente que circula por } R \text{ ( } R \text{ está em série com } R_1 // R_2 \text{ )}$$

em série com  $R_1 // R_2$  )

$$\text{Queda de potencial em } R : V_1 - 15 = 35 \text{ volts}$$

$$\text{Cálculo de } R : R = 35 / 3,6 = 9,722 \text{ W}$$

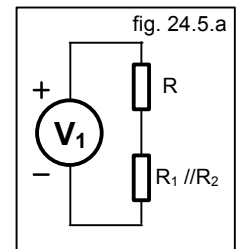


fig. 24.5.a

24.6 - Na figura 24.6 o resistor dissipa uma energia de  $10 \text{ Joules}$  após o fechamento da chave  $CH1$  . Sabe-se que a corrente inicial é  $10 \text{ ampères}$  e a tensão inicial é  $10 \text{ volts}$ . Avaliar e, ou calcular o(s) tipo(s) e valor do elemento de circuito desconhecido e o valor do resistor  $R_1$  que podem causar esta manifestação de energia .

SOLUÇÃO:

$$\text{Calculo de } R . \text{ Lei de Ohm: } v(t) = R \cdot i(t) \Rightarrow 10 \text{ volts} / 10 \text{ ampères} = 1 \text{ W}$$

Avaliação do tipo de elemento de circuito desconhecido . Sobre os 7 elementos de circuitos podemos afirmar:

- no circuito aberto  $i(t) = 0$  e no curto circuito  $v(t) = 0$  . Portanto não possibilitam  $R_1$  dissipar qualquer quantidade de energia .
- as fontes de tensões e correntes podem fornecer energia ao resistor  $R_1$  com algumas restrições devido o enunciado ( ver cálculo dos elementos de circuito possíveis mais abaixo ) .
- dos parâmetros elétricos  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , como  $R$  é sempre carga não poderá fornecer energia a  $R_1$  .

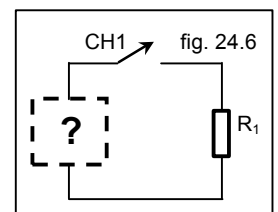


fig. 24.6

Cálculo dos elementos de circuitos possíveis:

- as fontes de tensões e correntes, caso sejam uma solução aceita para a questão, não podem ser calculadas pois o problema não fornece informações sobre o intervalo de tempo e a forma de onda da potência em que ocorreu a dissipação de energia, não sendo portanto possível calcular o valor de  $v(t)$  ou  $i(t)$  dessas fontes. Mesmo aceitando as fontes como elementos de circuito possíveis, o enunciado “... dissipa uma energia de **10 Joules** após o fechamento da chave **CHI** ...” teria que ser claro, informando se após a dissipação dos **10 joules** a chave **CHI** foi aberta ou se os geradores foram desligados, caso contrário não seria possível limitar a dissipação de energia, isto é, os geradores ficariam fornecendo energia indefinidamente.
- Energia em  $L$ :  $w_L = (1/2) L I^2 \Rightarrow L = 0,20 H$
- Energia em  $C$ :  $w_C = (1/2) C V^2 \Rightarrow C = 0,20 F = 200.000 mF$

24.7 - Um gerador de tensão e um gerador de corrente, ideais, estão conectadas como no circuito da fig. 24.7 onde  $V_1=15\text{ volts}$ ,  $I_2=2\text{ ampères}$ ,  $R_3=5\text{ W}$ . Achar:

- a corrente e a potência no gerador de tensão e se está absorvendo ou entregando energia.
- a potência no gerador de corrente e se está absorvendo ou entregando energia.
- a corrente e a potência em  $R_3$  e se está absorvendo ou entregando energia.

SOLUÇÃO:

Os três elementos de circuitos estão ligadas em paralelo, e então a tensão é a mesma em todos eles  $V_1 = V_{I_2} = V_{R_3}$

item a: na figura 24.7.a, pela lei das correntes dos nós,  $I_{V_1} + I_{R_3} + I_2 = 0$  se adotarmos como positiva a corrente que chega em  $A$ .

Só conhecemos com certeza a corrente  $I_2$ . Como  $V_1$  fornece a tensão e a polaridade que existe em  $R_3$ , então esta polaridade em  $R_3$  nos informa o sentido de sua corrente (pois  $R$  é sempre carga – fig. 24.7.a) e:

$$I_{R_3} = 15 / 5 = 3 A$$

Cálculo de  $I_{V_1}$ . Com o valor de  $I_{R_3} \Rightarrow I_{V_1} - IR_3 + I_2 = 0 \Rightarrow I_{V_1} = 3 - 1 = 1 A$  com o sinal positivo informando que o sentido da corrente admitido para  $I_{V_1}$  está correto

$$P_{V_1} = V I \Rightarrow P_{V_1} = 15 \times 1 = 15 W.$$

A relação entre a polaridade indicada na fig. 24.7 e o sentido da corrente calculada (fig. 24.7.a) informam que o gerador  $V_1$  está fornecendo energia ao circuito (ver item 2.3)

item b: do item a) sabe-se qual a tensão e polaridade na fonte de corrente (definidas por  $V_1$  pois estão em paralelo).

A relação entre a polaridade e o sentido da corrente (fig. 24.7.a) informam que o gerador  $I_2$  está fornecendo energia ao circuito, e  $P_{I_2} = 15 \times 2 = 30 W$ .

item c: do item a sabe-se que  $I_{R_3} = 3 A$  e  $P_{R_3} = 5 \times 9 = 45 W$ .

Não há necessidade de examinarmos a relação entre a polaridade e o sentido da corrente para saber-se o comportamento de  $R_3$  ao manipular energia: **por definição** resistores sempre absorvem energia.

Ainda dentro da mesma questão podemos testar os resultados obtidos observando-se que os dois geradores fornecem energia ao circuito e o único elemento que absorve é o resistor. Assim o somatório de  $P_{fornecido} = P_{recebido}$

$$P_{V_1} + P_{I_2} = P_{R_3} \Rightarrow 15 W + 30 W = 45 W$$

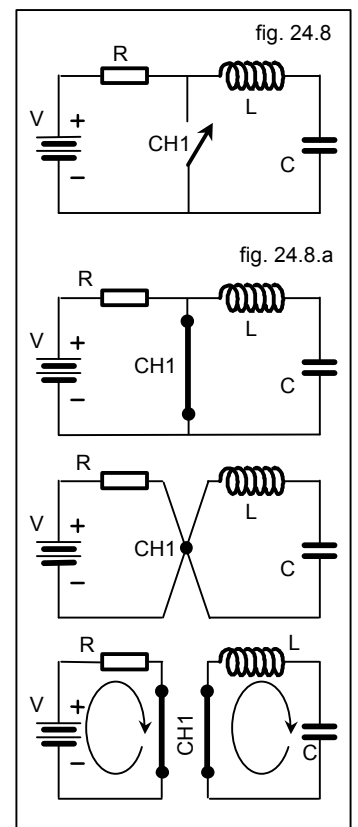
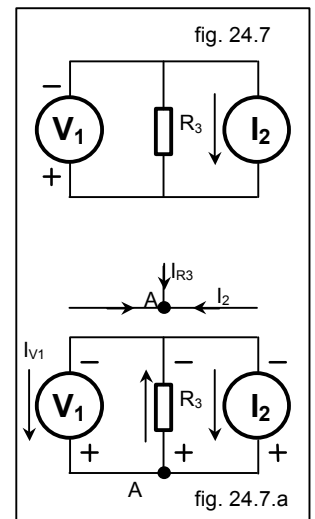
24.8 - No circuito da fig. 24.8 **CHI** está fechada há muito tempo, isto é, já se passou tempo suficiente para o circuito ficar em equilíbrio (ver observação mais abaixo). Pretende-se abrir a chave **CHI**.

- imediatamente antes da abertura de **CHI** qual o valor de  $V_R$ ,  $V_C$ ,  $V_L$
- imediatamente após a abertura de **CHI** qual o valor de  $V_R$ ,  $V_C$ ,  $V_L$  e qual a corrente em  $R$ ,  $L$  e  $C$ ?

SOLUÇÃO:

item a: com a chave fechada podemos substituir o circuito original pelos circuitos equivalentes indicados na fig. 24.8.a.

- Na 1ª figura a chave foi substituída por um curto-circuito.
- Na 2ª figura o curto-circuito foi substituído por um nó (os potenciais nos extremos da chave são iguais) o que nos permite observar que as duas malhas



têm somente um ponto em comum e portanto sem possibilidade de troca de energia entre elas .

- Na 3ª figura, devido à constatação acima, já podemos estudar as duas malhas como circuitos independentes :

na malha da esquerda  $SV = 0 \Rightarrow V - V_R = 0 \Rightarrow V_R = V$

na malha da direita  $SV = 0 \Rightarrow -V_L - V_C = 0 \Rightarrow -V_L = V_C$

Obs.: Uma solução que atende a equação será  $V_C = 0$  ( o que acarreta  $V_L = 0$  ). Nesse caso  $C$  não tem energia porém nada podemos afirmar quanto a  $L$  ( energia em  $L$  ) que, aliás, não faz parte das perguntas do item a. Não necessitamos avaliar a hipótese de existir alguma energia em  $L$  e, ou  $C$  (  $I_L \neq 0, V_C \neq 0$  ) na malha da direita, quando do fechamento de **CHI**, pois esta hipótese foge do significado do termo “ em equilíbrio ” do enunciado . Para que seja considerado que haja alguma energia em  $L$  e, ou  $C$  o enunciado deveria ser “ em regime permanente ( steady state ) ” . Nesse caso, com a presença de energia em  $L$  e, ou  $C$  o circuito estaria em oscilação indefinidamente ( que é considerado um tipo de regime permanente ) pois os parâmetros são considerados ideais ( não há perdas ), e isto não é objeto de estudo da nossa matéria e, portanto, o aluno está desobrigado de considerar esta hipótese, mesmo já a tendo estudado em física , além disso, como o circuito estaria oscilando, ele não se enquadraria no enunciado que afirma que o circuito alcança um equilíbrio . Ao oscilar, o circuito está em constante desequilíbrio .

item b: com a chave aberta podemos substituir o circuito original pelo circuito equivalente indicado na fig. 24.8.b ( mesmo circuito, sem a chave **CHI** ).

$$SV = 0 \Rightarrow V - V_R - V_L - V_C = 0 \quad \text{que nos conduz para} \quad V - R \cdot i - L \frac{di}{dt} - \int_{t=m}^{t=n} \dot{i} \times dt + V_m \frac{\ddot{0}}{\dot{0}} = 0$$

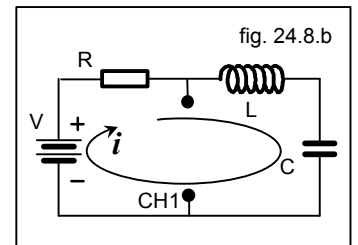
Uma solução particular poderá ser facilmente determinada se lembrarmos que trabalhamos com a hipótese de  $L$  e  $C$  estarem sem energia quando a chave **CHI** estava fechada . Nesse caso em  $t = +0$  ( exato momento da abertura de **CHI** ) :

$$V_C = 0 \quad \text{pois} \quad w_C = (1/2) \cdot C \cdot V^2$$

$$I_L = 0 \quad \text{pois} \quad w_L = (1/2) \cdot L \cdot i^2 \quad \text{o que acarreta não existir corrente na malha em}$$

$$t = +0 \quad \text{e portanto} \quad V_R = R \cdot i \quad \text{e} \quad \int_{t=0}^{t=+0} \dot{i} \times dt = 0 \quad \text{e a equação se reduz a}$$

$$V - V_L = 0 \Rightarrow V_L = V$$



Resumo do item b:

Partindo da hipótese que não há energia armazenada em  $L$  e, ou  $C$  no momento da abertura de **CHI**, por inspeção observamos que a corrente na malha sofrerá impedimentos em sua variação devido a presença da indutância a qual manterá em  $t=+0$  a mesma corrente,  $i = 0$ , que existia em  $t = 0$  e conseqüentemente  $V_R = 0$ .

A capacitância impedirá a variação da tensão entre  $t = 0$  e  $t = +0$  e por isso a ddp em seus terminais ( e somente em seus terminais ),  $V_C = 0$ , será mantida ,

A equação da malha se reduz a  $V - V_L = 0 \Rightarrow V_L = V$  isto é, a indutância produzirá uma ddp capaz de anular a ddp do gerador V de modo que não será possível a existência de uma corrente ou, o que é o mesmo, impedirá que a corrente varie no intervalo de tempo de  $t = 0$  até  $t = +0$

24.9 - No circuito da fig. 24.9 ,  $R = 45 \text{ W}$ ,  $I_{CC} = 45 \text{ A}$ ,  $V_{CC} = 45 \text{ V}$ ,  $L = 44 \text{ mH}$

- qual a potência fornecida ao circuito pela fonte de corrente
- qual a quantidade de energia armazenada em  $L$  ?
- qual a potência dissipada pelo resistor ?

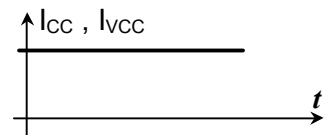
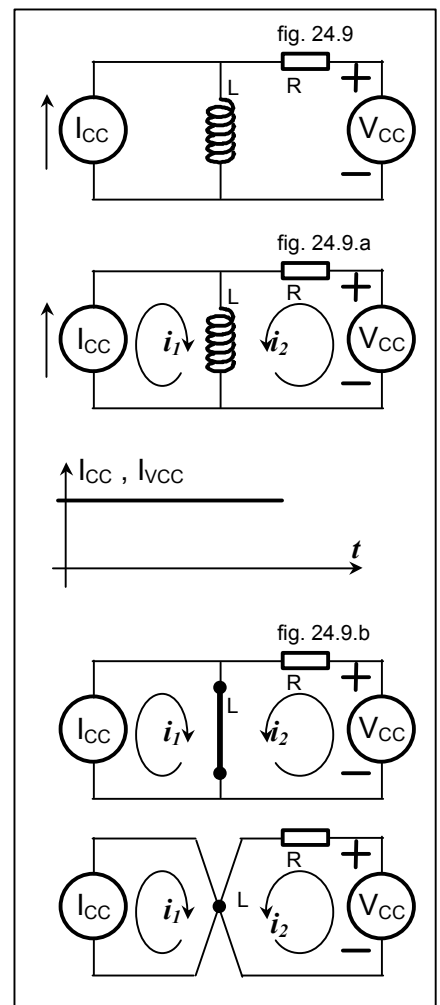
SOLUÇÃO :

item a: A potência fornecida por  $I_{CC}$  será  $P = I_{CC} \times V$  onde  $V$  é a diferença de potencial nos extremos de  $I_{CC}$

A fonte de corrente e a fonte de tensão fornecerão correntes a  $L$  conforme indicado na figura 24.9.a (  $i_1$  e  $i_2$  ).

Como essas correntes são contínuas e constantes,  $i = Cte$ , a indutância  $L$  será um curto-circuito,  $V_L = 0$  para qualquer valor de  $i$  pois  $V = L \cdot (-di/dt)$ ,

Na figura 24.9.b o curto-circuito foi substituído por um nó ( os potenciais nos extremos da indutância são iguais ) o que nos permite observar que as duas malhas têm somente um ponto em comum e portanto sem possibilidade de troca de energia entre elas .



Na malha de  $I_{CC}$  :

$$S V = 0 \Rightarrow V_{ICC} - V_L = 0 \Rightarrow V_{ICC} - 0 = 0 \Rightarrow V_{ICC} = 0$$

Diferente do problema anterior, a separação do circuito em duas malhas independentes pode conduzir a erros . No item **b)** abaixo é necessário saber-se a corrente total que passa por  $L$  e essa corrente é a soma das correntes das duas malhas que passam pelo “ curto-circuito ” representado por  $L$  . Os sentidos das correntes, nesse caso, são fáceis de determinar.

Pode-se também avaliar o valor da ddp em  $I_{CC}$  observando-se que está em paralelo com  $L$  ( figura 24.7.a e b ) e, portanto, também terá uma ddp zero.

$$\text{A potência fornecida por } I_{CC} \text{ será } P_{ICC} = I_{CC} \cdot V_{ICC} = I_{CC} \cdot 0 = 0 \text{ Watt}$$

item b: A energia armazenada em  $L$  será  $w_L = (1/2) L i^2$ .

Por  $L$  circulará a corrente produzida por  $V_{CC}$ , e  $I_{CC}$  ( fig 24.9.a e b )

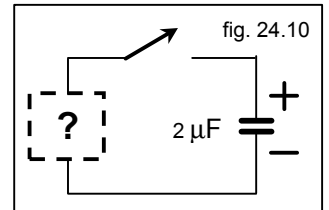
Na malha de  $V_{CC}$   $S V = 0 \Rightarrow V_{CC} - R i^2 - V_L = 0$  e como  $V_L = 0$  ( no item a )  $i_2 = V_{CC} / R = 1 \text{ A}$

Na malha de  $I_{CC}$  a corrente será a fornecida por  $I_{CC}$ ,

$$i_1 = 45 \text{ A } \quad I_L = I_1 + i_2 = 45 + 1 = 46 \text{ A } \Rightarrow w_L = (1/2) 0,044 \times 46^2 = 46,55 \text{ J}$$

item c:  $P_R = R \times i_2^2 = 45 \text{ W}$  onde  $i_2$  foi o calculado no item b .

Observação: nesse circuito, então, somente o gerador  $V_{CC}$  consegue fornecer energia ao circuito .



24.10 - Ao ser fechado o interruptor do circuito da fig. 24.10 toda a energia de  $C$  , num total de **10.10-3 J** , é colocada para fora do circuito.

- qual a tensão no capacitor antes do fechamento da chave ?
- estando a chave fechada, e após muito tempo, qual a tensão no capacitor ?
- qual o outro parâmetro desconhecido existente no circuito ?
- qual o(s) valor(es) possível(is) para o parâmetro desconhecido ?

24.11 - Uma indutância e uma capacitância estão ligadas como na fig. 24.11 onde  $L=0,05 \text{ H}$  ,  $C=3 \text{ mF}$  , e  $V_C=100 \text{ volts}$  e todas as outras informações estão na fig. 24.11.

Após a chave **CH1** ser fechada, e permanecer fechada, observou-se a presença de uma oscilação senoidal, estável, permanente. Com o circuito oscilando observou-se também que:

- em determinados instantes havia uma condição em que toda a energia do capacitor foi transferida para o indutor.
- em outros determinados instantes observou-se que toda a energia do indutor foi transferida para o capacitor .

Responda:

- porque a oscilação presente é estável, permanente ?
- qual a tensão no capacitor, no indutor e a corrente no circuito na condição **1)** ?
- qual a corrente no capacitor, no indutor, e a tensão  $V_C$  , no circuito na condição **2)** ?
- qual a potência dissipada pelo circuito nas condições dos itens **1)** e **2)** ?
- qual a potência no indutor e no capacitor nas condições **1)** e **2)** ?
- qual a potência dissipada pelo circuito fora das condições dos itens **1)** e **2)** , ou , porque a oscilação presente é estável, permanente ?

SOLUÇÃO :

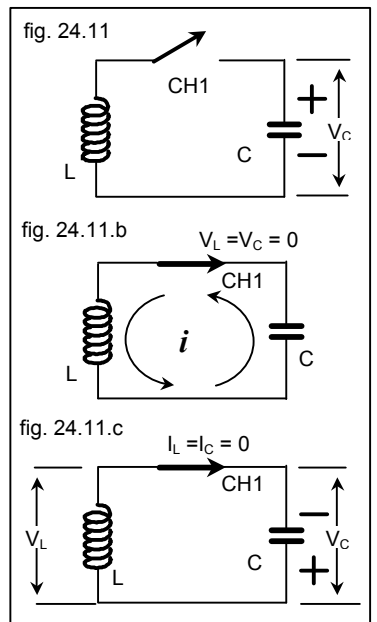
item a: A voltagem que existe inicialmente no capacitor indica a presença de energia armazenada no mesmo. O capacitor entregará toda a energia para o resto do circuito, que no caso se resume a indutância indicada. Posteriormente a indutância devolve toda a energia recebida, ao resto do circuito que agora se resume ao capacitor, quando então estamos na situação inicial . Conforme o enunciado, pelo esquema da fig. 24.11 , não há corrente inicial na indutância

Essa troca de energia entre  $L$  e  $C$  ocorrerá ciclicamente, e será permanente pois não existe indicado no circuito nenhum parâmetro capaz de colocá-la para fora ( parâmetro resistivo ) . Isto pode ser demonstrado analiticamente

achando-se a solução da equação  $\Sigma V = 0 \Rightarrow L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int v dt = V_C$  cuja solução pode ser uma função senoidal .

item b: ( fig. 24.11.b ). Supondo não haver perdas no circuito ( item a ) .

$$\text{Se toda a energia do capacitor foi transferida, para o indutor, sua tensão será zero, pois } w_C = (1/2) C V^2 .$$



A aplicação da lei das tensões de Kirchhoff obriga que o somatório das tensões na malha,  $V_L + V_C$ , seja zero, portanto a tensão na indutância será zero.

Se toda a energia foi transferida para a indutância então :  $w_L = w_C \Rightarrow$

$$(1/2) CV^2 = (1/2) ( 3 \times 10^{-6} \times 100^2 ) = 15 \times 10^{-3} \text{ J} .$$

$(1/2) LI^2 \quad \text{E} \quad I^2 = (2 \times 15 \times 10^{-3}) / 0,05 = 0,06 \quad \text{E} \quad I = 77,5 \times 10^{-3} \text{ ampères} .$  Esta será também a corrente no resto do circuito ( no capacitor ), pois estão em série

Obs. 1 : Existe uma corrente no circuito e nenhuma tensão. A corrente é a forma que a energia assume no circuito nesse momento . Portanto é possível existir corrente sem uma tensão que a provoque, desde que haja energia e essa energia esteja armazenada na forma de um campo magnético.

Obs. 2: Como será possível, nesse caso, saber o sentido da corrente ? A corrente indicada é a que o capacitor obrigou existir no circuito quando começou o seu processo de descarga e como o circuito oscilará, a corrente mudará periodicamente de sentido.

Obs. 3: Nesse momento estamos supondo que toda a energia do capacitor foi entregue ao indutor. Cessaria então, nesse momento, a existência da corrente ?

Não, pois quem representa a presença de energia no capacitor é uma tensão, e essa sim, é igual a zero nesse instante. Se toda a energia foi transferida para o indutor nele existirá uma corrente, e como o indutor tende a manter o seu estado de energia tenderá também a manter a corrente que representa este estado de energia, isto é, a corrente será igual à existente no indutor, quando o capacitor enviou o seu último “ quantum ” de energia

item c: ( fig. 24.11.c ) . Supondo não haver perdas no circuito ( item a )

Se toda a energia do indutor foi transferida, para o capacitor, sua corrente será zero, pois  $w_L = (1/2) \times LI^2$  .

A aplicação da lei das correntes de Kirchhoff obriga que o somatório das correntes no nó ,  $I_L + I_C$  , seja zero, portanto a corrente no capacitor será zero .

Como toda a energia foi transferida para o capacitor, e o circuito não coloca energia para fora, voltamos a condição inicial, onde  $V_C = 100$  volts.

Esta será também a tensão no resto do circuito ( no indutor ), pois estão em paralelo .

Obs. 1 : Existe uma tensão no circuito e nenhuma corrente. A tensão é a forma que a energia assume no circuito nesse momento . Portanto é possível existir tensão sem uma corrente que a provoque, desde que haja energia e essa energia esteja armazenada na forma de um campo elétrico .

Obs. 2: Como será possível, nesse caso, saber a polaridade da tensão ? A tensão indicada é a que o indutor obrigou existir no circuito quando começou o seu processo de descarga . Nesse momento estamos supondo que toda a energia do indutor foi entregue ao capacitor. Cessaria então, nesse momento, a existência da tensão ? Não, pois quem representa a presença de energia no indutor é uma corrente, e essa sim, é igual a zero nesse instante. Se toda a energia foi transferida para o capacitor nele existirá uma tensão, e como o capacitor tende a manter o seu estado de energia tenderá também a manter a tensão que representa este estado de energia, isto é, a tensão será igual à existente no capacitor, quando o indutor enviou o seu último “ quantum ” de energia .

Obs. 3: Observe que a polaridade indicada no fig.24.11.c é contrária àquela indicada na fig. 24.11 .

Obs. 4: Nos itens *b*) e *c*) afirmamos, respectivamente, que o mesmo circuito é série e paralelo : .Justifique.

item d: como não existe parâmetro resistivo indicado no circuito em estudo, não há potência dissipada .

item e: na condição 1 ) a ddp no capacitor é zero e consequentemente a tensão na indutor também será zero ( lei das tensões de Kirchhoff ).

Como a energia foi toda transferida para o indutor neste existirá uma corrente pois  $w_L = (1/2) \times LI^2$  e consequentemente a corrente no capacitor será igual a do indutor ( lei das correntes de Kirchhoff ). A potência em *L* e *C* será zero pois  $p = vi$ .

Na condição 2) a corrente no indutor é zero e consequentemente a corrente no capacitor também será zero ( lei das correntes de Kirchhoff ).

Como a energia foi toda transferida para o capacitor neste existirá uma tensão pois  $w_C = (1/2) \times CV^2$  e consequentemente a tensão na indutor será igual a do capacitor ( lei das tensões de Kirchhoff ). A potência em *L* e *C* será zero pois  $p = vi$  .

item f : fora das condições 1 ) e 2) enunciadas, teremos instantes em que simultaneamente tanto a tensão como a corrente serão diferentes de zero em *L* e *C* .

Acompanhe a fig. 24.11.f no sentido de rotação dos ponteiros de um relógio.

A 1ª figura mostra uma condição inicial, quando o capacitor entrega energia ao circuito ( nesse caso resumido à indutância ). O capacitor ao fornecer energia ao circuito tem uma potência negativa, pois a relação entre a polaridade da tensão e a corrente não está acompanhando as convenções que descrevem algebricamente o Capacitor como carga.

Nesse caso  $P_C = V(+)\times I(-) = (-)P$  e  $P_L = V(+)\times I(+)= (+)P$ .

A 2ª figura mostra a situação do circuito após toda a energia do capacitor ter sido entregue ao indutor. Agora o indutor tende a manter o seu estado de energia ( corrente ) e manterá a corrente circulando. Para isso terá que fornecer energia ao circuito ( à corrente ). Observe como o indutor mudou de polaridade e obrigou o capacitor ( que ao chegar ao potencial zero deixa de ter polaridade ) a acompanhá-lo . O indutor ao fornecer energia ao circuito, tem uma potência negativa, pois a relação entre a polaridade da tensão e a corrente não está acompanhando as convenções que descrevem algebricamente o Indutor como carga.

Nesse caso  $P_L = V(-)\times I(+)= (-)P$  e  $P_C = V(+)\times I(+)= (+)P$ .

A 3ª figura mostra a situação do circuito após toda a energia do indutor ter sido entregue ao capacitor. Agora o capacitor tende a manter o seu estado de energia ( tensão ) e manterá a ddp ( inclusive a polaridade ) que possuía quando o indutor o carregava de energia . Para isso terá que fornecer energia ao circuito ( ddp ). Observe como o capacitor inverteu o sentido da corrente e obrigou o indutor ( que ao chegar à corrente zero deixa de ter sentido ) a acompanhá-lo . O capacitor ao fornecer energia ao circuito, tem uma potência negativa, pois a relação entre a polaridade da tensão e a corrente não está acompanhando as convenções que descrevem algebricamente o Capacitor como carga.

Nesse caso  $P_C = V(-)\times I(+)= (-)P$  e  $P_L = V(+)\times I(+)= (+)P$ .

A 4ª figura mostra a situação da circuito após toda a energia do indutor ter sido entregue ao capacitor. Agora o capacitor tende a manter o seu estado de energia ( tensão ) e manterá a ddp ( inclusive a polaridade ) que possuía quando o indutor o carregava de energia . Para isso terá que fornecer energia ao circuito ( ddp ). Observe como o capacitor inverteu o sentido da corrente e obrigou o indutor ( que ao chegar à corrente zero deixa de ter sentido ) a acompanhá-lo . O capacitor ao fornecer energia ao circuito, tem uma potência negativa, pois a relação entre a polaridade da tensão e a corrente não está acompanhando as convenções que descrevem algebricamente o Capacitor como carga.

Nesse caso  $P_C = V(-)\times I(+)= (-)P$  e  $P_L = V(+)\times I(+)= (+)P$ .

O gráfico senoidal da figura 24.11.f mostra a forma de onda que ocorrerá no circuito quando o mesmo chegar à fase estacionária . Podemos ver os pontos onde a potência é zero, e os outros pontos onde a potência alterna-se . Potência positiva significa que o parâmetro está absorvendo energia no circuito, potência negativa, significa que o parâmetro está liberando energia para o circuito .

Obs. 1 : o cálculo da forma de onda que ocorre no circuito dado acima não é objeto de estudo dessa matéria nesse período.

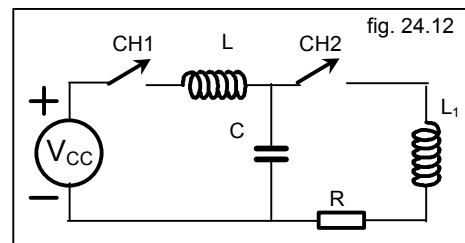
24.12 - No circuito da figura 24.12 **CH1** e **CH2** estão abertas a muito tempo e o circuito alcançou o equilíbrio

1) imediatamente após o fechamento da chave **CH1**:

- qual a corrente fornecida pelo gerador e a tensão no capacitor ?
- qual a alteração na resposta anterior se **CH2** estiver aberta ou fechada?

2) supondo que a chave **CH1** está fechada a muito tempo e permanece fechada, e que a chave **CH2** está aberta e será fechada:

- qual a tensão no capacitor antes do fechamento da chave **CH2** ?
- qual a corrente no capacitor imediatamente após o fechamento da chave **CH2** ?

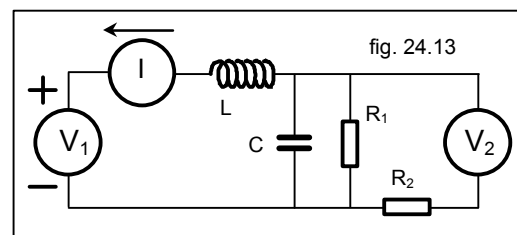


24.13 - No circuito da figura 24.13  $V_1$  ,  $V_2$  e  $I$  são fontes ideais,  $V_1 = 30$  volts ,  $I = 9$  ampères. ,  $R_1 = R_2 = 45$  W ,  $L = 0,044$  H ,  $C = 2$  mF . Sabe-se que o circuito está em equilíbrio. Responda os itens a) , b) e c) para as condições I e II abaixo

I) quando  $V_2$  não consegue fornecer ou receber energia do circuito.

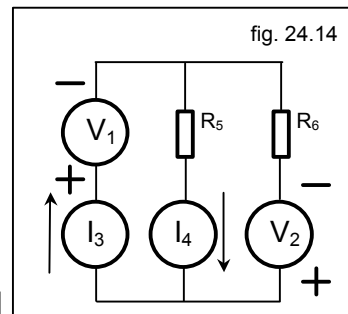
II) quando  $I$  não consegue fornecer ou receber energia do circuito .

- qual(is) elemento(s) de circuito que está(ão) fornecendo energia ao circuito, qual(is) recebe(m) e quais os valores de energia e potência que se desenvolvem em cada elemento de circuito do circuito dado ?
- qual a valor da tensão e a polaridade que se desenvolve na fonte de corrente ?
- qual o valor da tensão e a polaridade que se desenvolve na fonte de tensão  $V_2$  ?



24.14 - Dois geradores de tensões e dois geradores de correntes, ideais, estão conectados como no circuito da fig. 24.14 onde  $V_1 = 15 \text{ volts}$ ,  $V_2 = 20 \text{ volts}$ ,  $I_3 = 1,5 \text{ ampères}$ ,  $I_4 = 3 \text{ ampères}$ ,  $R_5 = 5 \text{ W}$ ,  $R_6 = 10 \text{ W}$ . Achar:

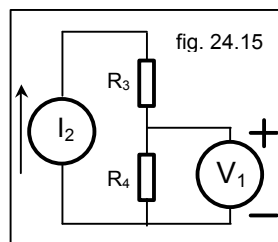
- a corrente e a potência em cada gerador de tensão e se está absorvendo ou entregando energia .
- a tensão, a polaridade e a potência em cada gerador de corrente .
- a tensão a polaridade e a potência em  $R_5$  e  $R_6$  .



24.15- Um gerador de tensão e um gerador de corrente ideais estão conectados como na figura 24.15 onde  $V_1 = 15 \text{ volts}$ ,  $I_2 = 1,5 \text{ ampères}$ ,  $R_3 = 5 \text{ W}$  e  $R_4 = 10 \text{ W}$ .

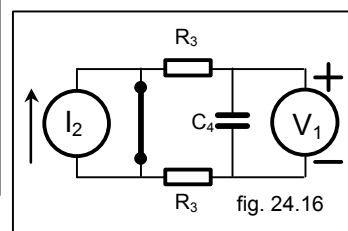
Calcular:

- a corrente no gerador de tensão .
- a tensão e a potência no gerador de corrente .
- a potência em  $R_3$ .



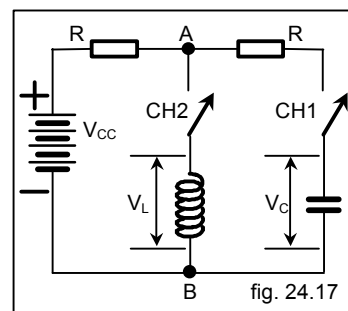
24.16- No circuito da fig. 24.16  $V_1 = 45 \text{ volts}$ ,  $I_2 = 45 \text{ ampères}$ ,  $R_3 = 45 \text{ W}$ ,  $C = 45 \text{ mF}$

- qual a potência fornecida ao circuito pela fonte de corrente ?
- quantos Joules estão armazenados em  $C_4$  ?
- qual a potência dissipada por cada resistor ( em função de  $V_1$  ) ?



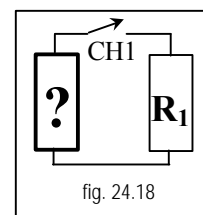
24.17- no circuito da fig. 24.17  $CH1$  está fechada e  $CH2$  está aberta há muito tempo, isto é, já se passou tempo suficiente para o circuito ficar em equilíbrio.

- imediatamente antes do fechamento de  $CH2$  qual o valor de  $V_C$ ,  $V_L$ ,  $V_{AB}$  ( potencial de  $A$  tomando  $B$  como referência )
- Imediatamente após o fechamento de  $CH2$  qual a corrente em  $L$  e o valor de  $V_{AB}$ ?
- após muito tempo  $CH2$  estar fechada qual o valor de  $V_C$ ,  $V_L$ ,  $V_{AB}$ ?



24.18 – (P1t98B) No circuito da figura 24.18 onde existe UM ÚNICO elemento desconhecido ( ? ) e o resistor  $R_1$ , foi dissipada uma energia no total de 2000 Joules após a chave  $CH1$  fechar e permanecer fechada. Justificando as suas respostas e para as condições do enunciado:

- qual (quais) o(s) elemento(s) de circuitos que pode(m) ser o elemento desconhecido?
- qual a tensão e, ou corrente inicial (iniciais) nesse(s) elemento(s) desconhecido(s) ?
- qual (quais) o(s) elemento(s) de circuitos que não podem ser o elemento desconhecido?



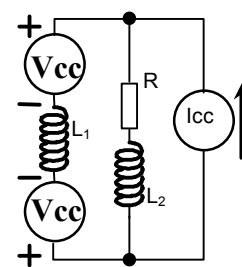
24.19 – (P1t99A) No circuito da figura 24.19 :

$R=35 \text{ W}$ ,  $I_{CC}=35 \text{ A}$ ,  $V_{CC}=1225 \text{ V}$  e  $L_1=L_2=35 \text{ H}$ .

Justificando as respostas:

- qual a potência dissipada pelo resistor ?
- qual a potência fornecida ao circuito pela fonte de corrente?
- qual a potência fornecida ao circuito pelas fontes de tensão ?
- quantos Joules estão armazenados em  $L_2$  ?

Obs.: Todas as tensões e correntes são contínuas e o circuito está em equilíbrio, isto é, todas as tensões e correntes estão estáveis.



24.20 – (P1t99A) No circuito da figura 24.20 não há nenhuma energia armazenada nos parâmetros elétricos. Supondo que a chave  $CH1$  fechará e abrirá instantaneamente, isto é a chave  $CH1$  fechará e abrirá (nesta seqüência) no instante de tempo  $t=0^+$ , justificando as respostas diga:

- no instante do fechamento qual a tensão e corrente em cada elemento de circuito.
- imediatamente após a abertura qual tensão e corrente em cada elemento de circuito.

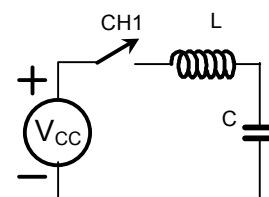


fig. 24.20

25 - Exercícios complementares .

Caso necessite de mais exercícios ou precise de exercícios resolvidos mais simples tente os seguintes :

Problemas e exercícios do livro CIRCUITOS ELÉTRICOS de Joseph A. Edminister - Coleção Schaum - Reimpressão da 1ª impressão - capa laranja .

Obs. 1 - fazer, se possível, na ordem apresentada .

a) problemas resolvidos ( 17 ) de apoio, para quem está com dúvidas básicas .

1.1, 1.2, 1.3, 1.4 .

1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.10, 1.11-----não calcule as potências pedidas

1.12, 1.13, 1.14, 1.17, 1.18, 1.19 .

1.20 -----não discutir a questão da carga .

b) problemas ( 18 ) de apoio mais difíceis .

1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25, 1.26, 1.27, 1.28, 1.29, 1.30, 1.31, 1.32 .

1.40 - Discutir somente  $i(t)$  .

1.42 - Não calcular  $Q_m$  .

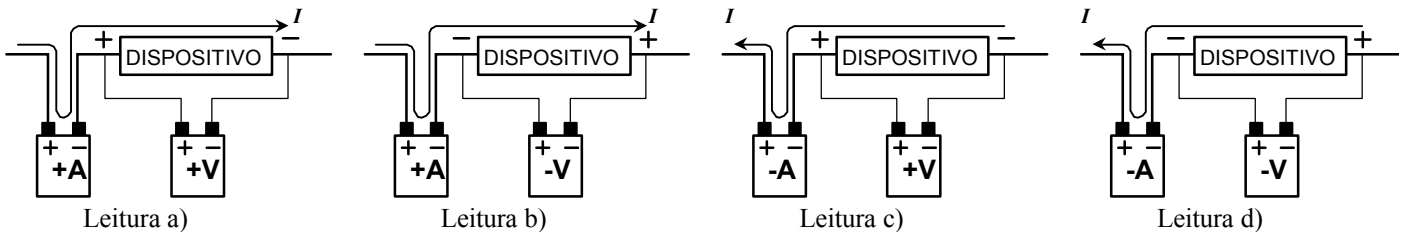
1.44, 1.45, 1.47, 1.52

RESPOSTAS

2.5.1a) O voltímetro está em paralelo com o dispositivo. O amperímetro está em série com o conjunto paralelo ( voltímetro // dispositivo ).

b) O amperímetro indica o sentido da corrente no dispositivo . Observe em cada uma das figuras abaixo esses três detalhes: 1º) o sinal ( + ou - ) associado à letra **A** ( que identificam o amperímetro ); 2º) as polaridades marcadas pelo fabricante nos bornes do amperímetro; 3º) o sentido da corrente indicada que atravessa o dispositivo ( e o amperímetro também ).

O voltímetro indica a polaridade que se encontra no dispositivo. Observe em cada uma das figuras abaixo esses três detalhes: 1º) o sinal ( + ou - ) associado à letra **V** ( que identifica o voltímetro ); 2º) as polaridades marcadas pelo fabricante nos bornes do voltímetro; 3º) as polaridades associadas ao dispositivo .



c.1) conforme a convenção do item 2.3 em a) o dispositivo segue a convenção, a corrente perde potencial, portanto o dispositivo absorve energia do circuito, em b) o dispositivo não acompanha a convenção, a corrente ganha potencial, portanto o dispositivo cede energia ao circuito, em c) temos a situação similar a de b), e em d) temos uma situação similar a de a) .

c.2) outra maneira, mais prática, pode ser observando-se a polaridade da potência que se desenvolve no dispositivo. Pela convenção da Física, potência positiva significa um sistema absorvendo energia do circuito, assim no caso a)  $+. += + \Rightarrow$  dispositivo absorve energia, b)  $+. -= - \Rightarrow$  dispositivo cede energia para o circuito , etc.

d.1) nas leituras a) e d) qualquer elemento de circuito que possa absorver energia, isto é, resistência ( R ), indutância ( L ), capacitância ( C ), fonte ideal de tensão ( FIT ), fonte ideal de corrente ( FIC )

d.2) nas leituras b) e c) qualquer elemento de circuito que possa ceder energia, isto é, indutância ( L ), capacitância ( C ), fonte ideal de tensão ( FIT ), fonte ideal de corrente ( FIC ).

e.1) o curto circuito pois há uma tensão indicada pelo voltímetro ( isto é, não é um curto ), além do que no curto circuito não há manifestação de potência pois  $P=VI$  e  $V=0$  qualquer que seja o I ( cuidado com esta afirmativa: estamos falando de um curto circuito ideal )

e.2) o circuito aberto pois há uma corrente indicada pelo amperímetro ( isto é, não é um circuito aberto ), além do que no circuito aberto não há manifestação de potência pois  $P=VI$  e  $I=0$  qualquer que seja o V.

Tabela resumo dos itens d) e e)							
	R	L	C	FIT	FIC	Curto	C.Abt.
d.1	✓	✓	✓	✓	✓		
d.2		✓	✓	✓	✓		
e.1, e.2						✓	✓

- f) nenhum instrumento pode ou deve <sup>(5)</sup> ser gerador quando examinamos um circuito elétrico. Podemos dizer que o instrumento simplesmente ignora a marcação indicada pelo fabricante e assume a polaridade que as leis e convenções da física obrigam existir.

Obs. Este problema é uma novidade para o aluno em geral, pois apresenta um “pedaço” de circuito. O aluno não sabe o vem antes, nem o que existe após o indicado no esquema. Pense sobre isso.

17 Várias respostas existem por desconhecer-mos a polaridade da tensão em  $V$  e o sentido da corrente em  $I$ . Serão possíveis tantas respostas quantas forem as combinações de polaridade de tensão e sentido de corrente que nesse problema são 4 combinações. As respostas serão iguais duas a duas.

a) 1ª resposta:  $V_{R1} = 100$  volts e  $V_1 = 110$  volts.

2ª resposta:  $V_{R1} = 100$  volts e  $V_1 = 90$  volts.

b) todos os elementos indicados estão conectados entre si em série, isto é, são atravessados pela mesma corrente.

18 a) se a corrente não muda de sentido mas a polaridade muda, o dispositivo pode ter um comportamento tanto de carga como de gerador. Poderá ser então,  $L$ ,  $C$ , **gerador ideal de tensão**, ou **gerador ideal de corrente**.

b) se para uma determinada relação entre sentido de corrente e polaridade de tensão tiver o comportamento de uma carga, quando a polaridade mudar passará a ter o comportamento de gerador.

19. Ver fig. 2.5.20 onde  $I = V / R_i$ . Todos os elementos indicados estão conectados entre si em série, isto é, são atravessados pela mesma corrente

20. Ver fig. 2.5.19 onde  $V = I \times R_i$ . Todos os elementos indicados estão conectados entre si em paralelo, isto é, são sujeitos a mesma tensão

21. a) zero.

b) tende para infinito

22. a) tende para infinito.

b) zero

23. a) com seus terminais abertos.

b) com seus terminais em curto.

24.10 a) 100 volts

b) zero volts

c) ao nível de seus conhecimentos atuais adquiridos em Eletricidade II, a única resposta possível é R.

d) qualquer um, desde que diferente de zero ou infinito.

24.12 1 - a) zero A, zero V b) nenhuma

2 - a)  $V_C = V_{CC}$  b) zero A

24.13.I a)  $V_1$  está recebendo energia a energia em  $V_1$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se integrar a potência Potência em  $V_1$  :  $P_{V1} = V_1 \cdot I = 30 \cdot 9 = 270$  watts .

$V_2$  não recebe nem fornece energia pois os cálculos foram desenvolvidos para que tal aconteça .

$I$  está fornecendo energia a energia em  $I$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se integrar a potência. Potência em  $I$  :  $P_I = P_{V1} + P_{R1} = V_1 \cdot I + R_1 \cdot I^2 = 30 \cdot 9 + 45 \cdot 9^2 = 3915$  watts

$R_1$  só pode receber energia a energia em  $R_1$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se integrar a potência. Potência em  $R_1$  :  $P_{R1} = R \cdot I^2 = 45 \cdot 9^2 = 3645$  watts .

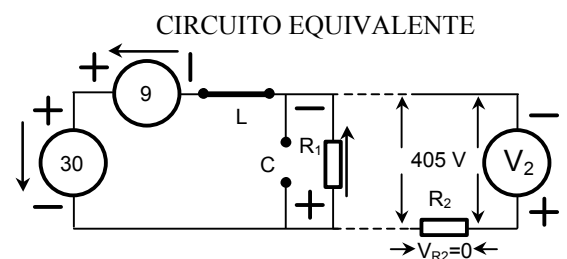
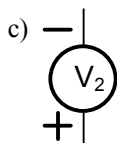
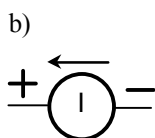
$R_2$  só pode receber energia, porém como não há corrente no braço do gerador  $V_2$  a potência é zero e a energia também

$L$  está com energia armazenada Energia em  $L$  é  $w_L = \frac{1}{2} LI^2$  que não pode ser calculada pois o valor de  $L$  não foi fornecido Potência em  $L$  :  $P_L = V_L \cdot I_L = 0 \cdot 9 =$  zero .

$C$  está com energia armazenada a energia em  $C$  é  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  que não pode ser calculada pois o valor de  $C$  não foi fornecido Potência em  $C$  :  $P_C = V_C \cdot I_C = 405 \cdot 0 =$  zero .

b)  $V_1 = V_1 + V_{R1} = 30 + 405 = 435$  volts ,

c)  $V_2 = V_{R1}$  ( seja cauteloso na sua interpretação ) = 405 volts



<sup>5</sup> Medidores do tipo potenciométricos, quando mal ajustados podem fornecer energia ao circuito.

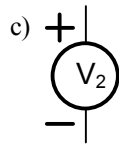
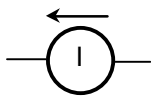
Ohmímetro também fornece energia ao circuito, mas está excluído dessa regra pois estamos nos referindo somente a instrumentos que possam detectar e medir energia elétrica em um circuito.

- 24.13.II a)  $V_1$  está recebendo energia  
 a energia em  $V_1$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se inte-  
 grar a potência  
 Potência em  $V_1$  :  $P_{V1} = V_1 \cdot I = 30 \cdot 9 = 270$  watts .  
 $V_2$  está fornecendo energia  
 a energia em  $V_2$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se inte-  
 grar a potência  
 Potência em  $V_2$  :  $P_{V2} = V_2 \cdot I_2 = 465 \cdot 9,667 = 4495$  watts  
 I não recebe nem fornece energia pois os cálculos foram desenvolvidos para que tal aconteça  
 Potência em I =  $V_I \cdot I = 0 \cdot 9 = 0$  watts .  
 $R_1$  só pode receber energia  
 a energia em  $R_1$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se inte-  
 grar a potência.  
 Potência em  $R_1$  =  $R_1 \cdot I_{R1}^2 = 45 \cdot 0,667^2 = 20$  watts .  
 $R_2$  só pode receber energia  
 a energia em  $R_2$  depende do intervalo de tempo ( não fornecido ) ao se inte-  
 grar a potência  
 Potência em  $R_2$  :  $P_{R2} = R_2 \cdot I_{R2}^2 = 45 \cdot 9,667^2 = 4205$  watts  
 L está com energia armazenada  
 Energia em L é  $w_L = \frac{1}{2} LI^2 =$  que não pode ser calculada pois o valor de L  
 não foi fornecido  
 Potência em L =  $V_L \cdot I_L = 0 \cdot 9 =$  zero .  
 C está com energia armazenada  
 a energia em C é  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  que não pode ser calculada pois o valor de C  
 não foi fornecido  
 Potência em C =  $V_C \cdot I_C = 30 \cdot 0 =$  zero . .

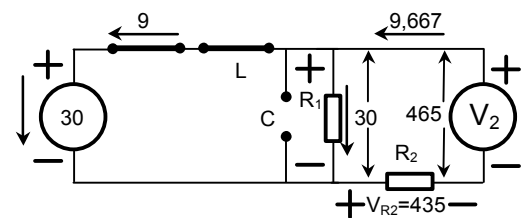
b)  $V_1 = 0$  (ZERO) volts ,

c)  $V_2 = V_{R1} + V_{R2}$  ( seja cauteloso na sua interpretação ) = 465 volts

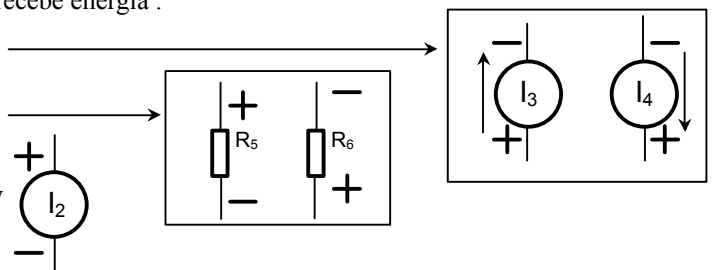
b) sem polaridade:  $V=0$



CIRCUITO EQUIVALENTE



- 24.14 a)  $I_{V1} = 1,5$  A , potência em  $V_1 = 22,5$  W , recebe energia .  
 $I_{V2} = 1,5$  A , potência em  $V_2 = 30$  W , recebe energia .  
 b)  $V_{I3} = 20$  V , potência em  $I_3 = 30$  W .  
 $V_{I4} = 50$  V , potência em  $I_4 = 150$  W .  
 c)  $V_{R5} = 15$  V , potência em  $R_5 = 45$  W .  
 $V_{R6} = 15$  V , potência em  $R_6 = 22,5$  W .



- 24.15 a)  $I_{V1} =$  zero  
 b)  $V_{I2} = 22,5$  volts, potência em  $I_2 = 33,75$  W  
 c) potência em  $R_3 = 11,25$  watts

- 24.16 a) potência em  $I_2 =$  zero  
 b)  $w_C = \frac{1}{2} CV^2$  . que não pode ser calculada pois o valor de C não foi fornecido..  
 c) potência em  $R_3 = 11,25$  W .

- 24.17 a)  $V_{CC} =$  tensão da fonte ,  $V_L =$  zero ,  $V_{AB} = V_{CC}$  tensão da fonte .  
 b)  $I_L =$  zero , pode ser respondido como  $V_{AB} =$  tensão da fonte ou  $V_{AB} = V_{CC}$  pois no modelo podemos substituir C por uma fonte ideal de tensão .  
 c)  $V_C =$  zero ,  $V_L =$  zero ,  $V_{AB} =$  zero .

**3 – VOCABULÁRIO** – Os conhecimentos passados até o momento exigem que você aprimore o seu vocabulário técnico. Compare a forma acadêmica dos significados técnicos fornecida neste primeiro módulo de Eletricidade II com os termos “ legais ” definidos pela ABNT .

Os termos a seguir foram retirados da NBR 5456 / 1987 e estão agrupados aproximadamente na ordem em que foram apresentados. Os números entre parêntesis são os números que identificam os termos na norma.

**Eletricidade** ( 7.3.50 ) - Manifestação de uma forma de energia, associada a cargas elétricas, estáticas ou dinâmicas.

**Elétrico** ( 7.3.51 ) - O que tem propriedades e, ou características relacionadas com a eletricidade.

Nota: Por extensão, o que é relacionado com a eletricidade, ainda que não tenha suas propriedades e, ou características, por exemplo, engenharia elétrica.

**Campo** (3.1.12) - Grandeza física definida em todos os pontos de uma região do espaço.

Nota: Por extensão, este termo designa também essa própria região do espaço.

**Circuito fechado** ( 7.2.1 ) - Circuito que apresenta um trajeto ininterrupto para a corrente.

**Ligação em série** ( 7.2.6 ) - Ligação de dispositivos de modo que todos eles sejam percorridos pela mesma corrente.

**Ligação em paralelo** ( 7.2.7 ) - Ligação de dispositivos de modo que todos eles sejam submetidos à mesma tensão.

**Volt** ( 8.1.38 ) - Tensão elétrica entre os terminais de um elemento passivo de circuito, que dissipa a potência de **1 watt** quando percorrido por uma corrente invariável de **1 ampère**. Símbolo: **V**.

Ampère ( 8.1.1 ) - Corrente elétrica invariável que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível, e situados no vácuo à distância de 1 metro um do outro, produz entre esses condutores uma força igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton, por metro de comprimento desses condutores. Símbolo: **A**.

Joule ( 8.1.16 ) - Trabalho realizado por uma força constante de 1 newton, que desloca seu ponto de aplicação de 1 metro na sua direção : Símbolo: **J**.

Watt ( 8.1.41 ) - Potência desenvolvida quando se realiza, de maneira contínua e uniforme, o trabalho de 1 joule em 1 segundo. Símbolo: **W**.

Parâmetro (de um circuito) ( 6.4.14 ) - Grandeza característica de um elemento ideal de circuito.

Resistência (elétrica) (6.4.20 ) - Grandeza escalar que caracteriza a propriedade de um elemento de circuito de converter energia elétrica em calor, quando percorrido por corrente.

Indutância ( 6.4.12 ) - Grandeza escalar que caracteriza a propriedade que tem um circuito ou um condutor de induzir tensão, por efeito de variação de corrente.

Capacitância ( 6.4.4 ) - Grandeza escalar que caracteriza a propriedade que tem um sistema de condutores e de dielétricos a estes associados, de armazenar energia quando tal sistema é submetido a um campo elétrico.

Resistor ( 7.1.26 ) - Dispositivo elétrico utilizado para introduzir resistência num circuito.

Indutor ( 7.1.29 ) - Dispositivo elétrico utilizado para introduzir indutância num circuito.

Capacitor ( 7.1.31 ) - Dispositivo elétrico utilizado para introduzir capacitância num circuito.

Ohm ( 8.1.26 ) - Resistência elétrica de um elemento passivo de circuito que é percorrido por uma corrente invariável de 1 ampère, quando uma tensão elétrica de 1 volt é aplicada aos seus terminais. Símbolo: **W**.

Henry ( 8.1.14 ) - Indutância de um elemento passivo de circuito entre cujos terminais se induz uma tensão elétrica constante de 1 volt, quando percorrido por uma corrente que varia uniformemente à razão de 1 ampère por segundo. Símbolo: **H**.

Farad ( 8.1.11 ) - Capacitância de um elemento de circuito entre cujos terminais a tensão elétrica varia uniformemente à razão de 1 volt por segundo, percorrido por uma corrente invariável de 1 ampère. Símbolo: **F**.

Resistivo ( 7.3.42 ) - O que apresenta resistência elétrica como grandeza predominante, nas condições consideradas.

Indutivo ( 7.3.43 ) - O que apresenta indutância como grandeza predominante, nas condições consideradas.

Capacitivo ( 7.3.44 ) - O que apresenta capacitância como grandeza característica, nas condições consideradas.

Reativo ( 7.3.45 ) - Termo geral que pode se referir tanto a "indutivo" como a "capacitivo".

Centelha ( 5.3.12 ) - Designação usual de um arco elétrico pequeno e de curta duração.

Centelhador ( 7.1.40 ) - Dispositivo com dois ou mais eletrodos, destinado a produzir um centelhamento, em condições especificadas.

Fonte de tensão ideal ( 6.1.33 ) - Elemento ativo no qual a tensão nos terminais é independente da corrente que o percorre.

Fonte de corrente ideal ( 6.1.32 ) - Elemento ativo através do qual a corrente é independente da tensão nos seus terminais.

Curto-circuito ( 7.3.41 ) - Ligação intencional ou acidental entre dois ou mais pontos de um circuito, através de impedância desprezível.

Nota: Por extensão, este termo designa também o conjunto dos fenômenos que decorrem de um curto-circuito, entre dois ou mais pontos que se encontram sob diferença de potencial.

Circuito aberto ( 7.2.2 ) - Muito embora esteja no índice da NBR – 5456, não consta este verbete .

Carga ( 7.3.8 )

- Dispositivo elétrico que absorve potência. ( 7.3.8.1 )

- Potência transferida por um dispositivo elétrico. ( 7.3.8.2 )

Regime ( 7.4.6 ) - Seqüência de condições de funcionamento às quais um equipamento elétrico é submetido.

Regime permanente ( 3.4.1 ) - Estado de um sistema no qual os parâmetros característicos permanecem constantes.

Por exemplo, os parâmetros característicos de um sistema podem ser os conjuntos das correntes em cada braço, das diferenças de potenciais entre cada par de nós, das potências que se desenvolvem em cada elemento de circuito.

Transitório ( 3.4.2 ) - O que se encontra em transição de um regime permanente para outro regime permanente.

## 5.1 OUTROS TERMOS PERTINENTES

Ligar ( 7.2.3 ) - Unir partes condutoras de modo a realizar um contato elétrico entre elas.

Ligação (elétrica) ( 7.2.4 )

- União de partes condutoras entre si. ( 7.2.4.1 )

- Circuito ou condutor que liga terminais ou outros condutores. ( 7.2.4.2 )

- Maneira de ligar circuitos ou equipamentos elétricos (por exemplo, ligação em série, ligação em estrela). ( 7.4.2.4 )

Interligação ( 7.2.5 ) - Ligação elétrica entre si de dois ou mais circuitos distintos.

Comutação ( 7.3.1 ) - Transferência das ligações de um conjunto de condutores, para um outro conjunto.

Abertura de um circuito ( 7.5.1 ) - Ação ou efeito de se desfazer a continuidade elétrica do circuito.

Fechamento de um circuito ( 7.5.2 ) - Ação ou efeito de se completar a continuidade elétrica do circuito.

Estabelecimento de corrente ( 7.5.3 ) - Ação ou efeito de se iniciar a corrente num circuito.

Interrupção de corrente ( 7.5.4 ) - Ação ou efeito de se reduzir a zero a corrente num circuito.

Funcionamento em carga ( 7.3.12 ) - Funcionamento de um dispositivo elétrico ou circuito enquanto está transferindo potência.

Funcionamento em vazio ( 7.3.13 ) - Funcionamento de um dispositivo elétrico ou circuito enquanto não está transferindo potência, sendo porém normais as outras condições de funcionamento.

Funcionamento em circuito aberto ( 7.3.14 ) - Para um circuito ou gerador, é o funcionamento em vazio com corrente de saída nula.

Funcionamento em curto-circuito ( 7.3.15 ) - Para um circuito ou gerador, é o funcionamento em vazio com tensão de saída nula, e com os terminais de saída curto-circuitados.

Tensão em carga ( 7.5.87 ) - Tensão entre os terminais de saída de um dispositivo elétrico, quando está transferindo potência para o circuito exterior.

Tensão em vazio ( 7.5.88 ) - Tensão entre os terminais de saída de um dispositivo elétrico, quando não está transferindo potência para o circuito exterior, sendo porém normais as demais condições de funcionamento.

Tensão em circuito aberto ( 7.5.89 ) - Tensão entre os terminais de saída de um dispositivo elétrico, quando o circuito exterior está aberto.

Tensão em circuito fechado ( 7.5.90 ) - Tensão entre os terminais de saída de um dispositivo elétrico, quando está circulando corrente para o circuito exterior.

Carregar (um dispositivo ou circuito) ( 7.3.9 ) - Obrigar um dispositivo elétrico ou circuito a transferir potência.

Carregar (um acumulador ou capacitor) ( 7.3.10 ) - Armazenar energia elétrica num acumulador ou capacitor.

Descarregar ( 7.3.11 ) - Retirar total ou parcialmente a energia elétrica armazenada num acumulador, capacitor ou outro dispositivo ( por exemplo, pilha elétrica ).

Condutivo ( 7.3.46 ) - O que pode ser percorrido por correntes de condução.

Conduzindo ( 7.3.47 ) - Termo utilizado para indicar que um dispositivo ou circuito está sendo percorrido por corrente.

Vivo ( 7.3.48 ) - O que está sob tensão elétrica.

Morto ( 7.3.49 ) - O que não está sob tensão elétrica.

Contato ( 7.5.28 ) - Interface de duas superfícies condutoras que se tocam.

Superfície de contato ( 7.5.29 ) - Cada uma das duas superfícies que se tocam efetivamente, ao fazerem um contato.

Diagrama (elétrico) ( 7.5.50 ) - Representação gráfica de relações funcionais entre grandezas que intervêm no estudo de um sistema ou equipamento elétrico.

Esquema (elétrico) ( 7.5.51 ) - Representação gráfica das partes componentes e das ligações de um sistema, instalação ou equipamento elétrico.

Reostato ( 7.5.69 ) - Resistor ou conjunto unitário de resistores interligados, cuja resistência de saída pode ser variada de maneira contínua ou por degraus.

Valor medido ( 7.5.99 ) - Valor de uma grandeza obtido por medição.