



e-Learning tools for Electrical Engineering

Temática – Circuitos Eléctricos

Capítulo – Teoria dos Circuitos

COMPONENTES

INTRODUÇÃO

Nesta secção, estuda-se o comportamento ideal de alguns dos dipolos que mais frequentemente se podem encontrar nos circuitos eléctricos, tais como fontes de tensão independentes, fontes de corrente independentes, resistências, indutâncias e capacidades. Para além das suas equações características, indicam-se também quais os seus símbolos e modelos matemáticos que podem descrever o seu comportamento.

Para finalizar, apresentam-se alguns exemplos de modelos mais realistas dos dipolos estudados, modelos estes que traduzem, com maior realismo, o comportamento dos elementos que compõem os circuitos eléctricos.



Este projecto é financiado pela União Europeia no âmbito de uma acção Sócrates-Minerva. As informações nele contidas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. A União Europeia declina toda a responsabilidade relativamente ao seu uso.

1. INTRODUÇÃO

Baseados no Princípio da Conservação da Energia, pode afirmar-se que uma fonte de energia eléctrica é um conversor (dispositivo ou máquina eléctrica) com capacidade para transformar um outro tipo de energia (química, mecânica, térmica, solar, potencial, cinética) em energia eléctrica.

Como exemplos de fontes de energia eléctrica, tem-se:

Pilha ou **bateria** - conversão de energia Química em energia Eléctrica

Painel Fotovoltaico - conversão de energia Solar em energia Eléctrica

Gerador - conversão de energia Mecânica, Potencial, Cinética ou Térmica em energia Eléctrica

Motor - conversão de energia Eléctrica, Potencial, Cinética ou Térmica em energia Mecânica

Uma grande parte das fontes utilizadas em circuitos eléctricos, pode ser **reversível** isto é, o sentido do fluxo de conversão de energia pode ser invertido. Assim:

- Uma pilha ou uma bateria, quando estão a carregar, estão a converter a energia Eléctrica em energia Química
- Um gerador pode funcionar como motor quando converte em energia Mecânica a energia Eléctrica que absorve

Um painel fotovoltaico é um exemplo de uma fonte não reversível pois, absorvendo energia eléctrica, não a consegue converter em energia solar.

2. FONTE DE TENSÃO

Uma fonte de tensão ideal independente é um dipolo com capacidade para impor uma diferença de potencial aos seus terminais, independentemente do valor da corrente que a percorre.

A equação que caracteriza uma fonte de tensão ideal é:

$$u(t) = E(t)$$

designando-se, genericamente, por $E(t)$ a **força electromotriz** da fonte.

No caso de uma fonte de tensão contínua (DC), $E(t)$ representa um valor constante.

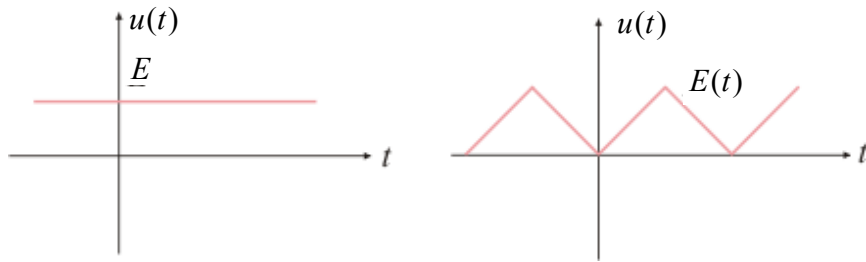


Figura 1 – Exemplos de fontes de tensão contínua e não contínua

Os símbolos mais utilizados para representar uma fonte de tensão, são:

Fonte de Tensão Genérica	Fonte de Tensão Contínua (DC)	Fonte de Tensão Alternada (AC)

Figura 2 – Fonte de tensão ideal a alimentar um elemento passivo

Quando se liga uma fonte de tensão a um outro elemento passivo estabelece-se um percurso fechado onde circula a corrente $i(t)$.

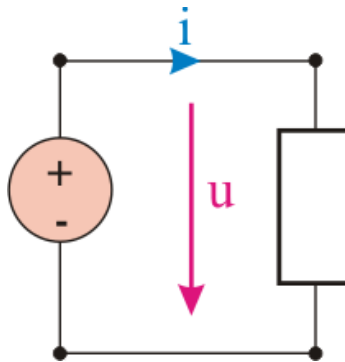


Figura 3 – Fonte de tensão ideal a alimentar um elemento passivo

no entanto, a corrente que a fonte de tensão fornece, depende dos elementos que ela alimenta:

- uma fonte de tensão ideal pode ser deixada em circuito aberto, isto é, sem qualquer ligação aos seus terminais. Neste caso, são nulas a corrente $i(t)$ que ela fornece e, conseqüentemente, a potência $u(t) i(t)$ que ela fornece;
- os terminais de uma fonte de tensão ideal não podem ser ligados entre si por um condutor ideal (curto-circuito) pois essa situação corresponderia a anular a tensão do gerador; enquanto a fonte de tensão impõe $u(t) = E(t)$, o curto-circuito impõe $u(t) = 0$

- duas fontes de tensão só podem ser ligadas em paralelo se tiverem iguais valores de força electromotriz; através da Lei das Malhas obtém-se $E_1(t) = E_2(t)$, que só é uma expressão verdadeira se as duas forças electromotriz forem iguais.

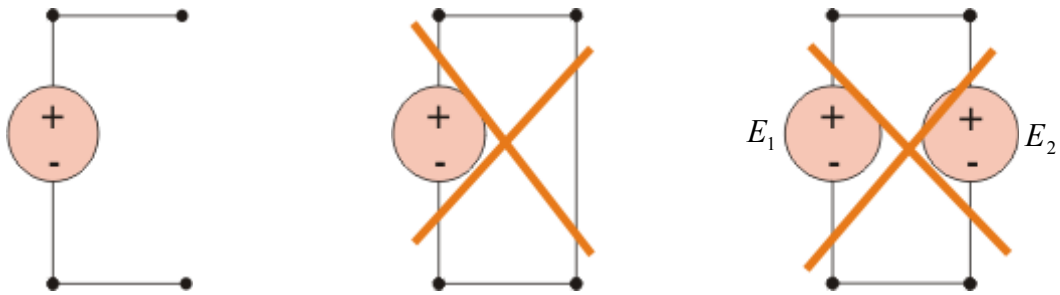
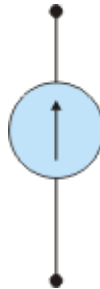


Figura 4 – Fonte de tensão ideal em vazio, em curto-circuito e duas fontes de tensão em paralelo

3. FONTE DE CORRENTE

Uma fonte de corrente ideal independente é um dipolo com capacidade para impor a corrente fornecida, independentemente da tensão que apresenta aos seus terminais.

O símbolo para representar uma fonte de corrente, é:



não existindo símbolos específicos para representar uma fonte de corrente contínua (DC) ou alternada (AC)

A equação que caracteriza uma fonte de corrente ideal é:

$$i(t) = I(t)$$

Quando se liga uma fonte de corrente a um outro elemento passivo estabelece-se um percurso fechado onde circula a corrente $i(t)$

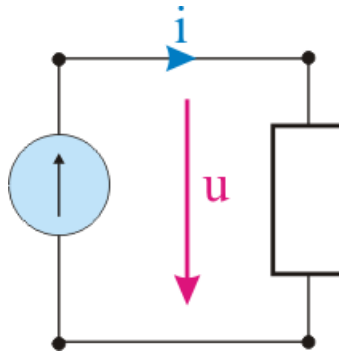


Figura 5 – Fonte de corrente ideal a alimentar um elemento passivo

no entanto, a diferença de potencial $u(t)$ aos seus terminais, dependerá do elemento que a fonte alimenta:

- os terminais de uma fonte de corrente podem ser ligados entre si. Neste caso, são nulas a tensão aos seus terminais $u(t)$ e, conseqüentemente, a potência $u(t) i(t)$ que ela debita;
- uma fonte de corrente não pode ser deixada em circuito aberto, pois isso corresponderia a anular a corrente que ela fornece; deve sempre existir um caminho para que a corrente se feche; enquanto a fonte impõe $i(t) = I(t)$ o circuito aberto impõe $i(t) = 0$
- duas fontes de corrente só podem ser ligadas em série se impuserem o mesmo valor de corrente; através da Lei dos Nós obtém-se $I_1(t) = I_2(t)$ que só é uma expressão verdadeira se os dois valores de corrente forem iguais.

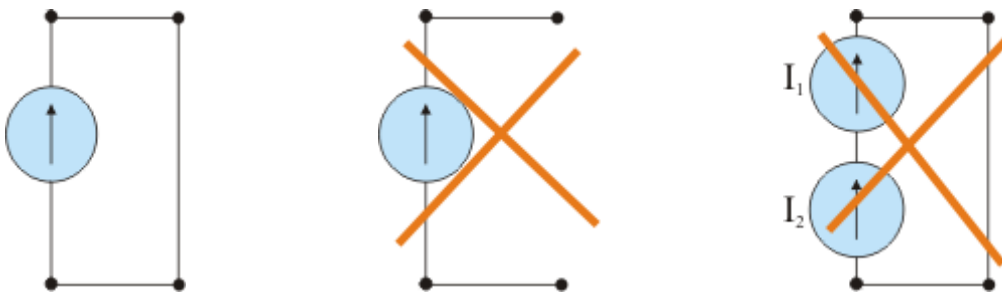


Figura 6 – Fonte de corrente ideal em curto-circuito, em vazio e duas fontes de corrente em série

4. RESISTÊNCIA

A resistência ideal é um dipolo que converte toda a energia eléctrica absorvida, em energia calorífica. Representa a característica física que os materiais apresentam de se oporem à passagem da corrente eléctrica; materiais bons condutores eléctricos apresentam baixas resistências, enquanto que os materiais isolantes apresentam resistências elevadas.

A resistência de um condutor varia com a resistividade ρ do material de que é feito, com a secção do condutor S e com o seu comprimento ℓ de acordo com:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Simbolicamente, uma resistência e os sentidos de referência (convenção receptor) para a corrente que a atravessa e para a tensão aos seus terminais, representa-se por:

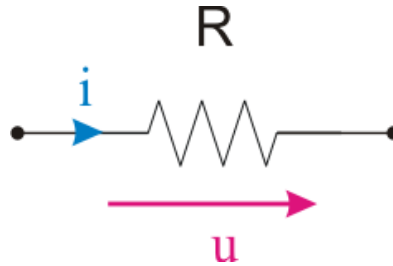


Figura 7 – Representação simbólica da resistência e sentidos de referência

O valor R da resistência exprime-se em ohm ($1\Omega = 1V / 1A$) e, atendendo à expressão anterior, é um valor intrinsecamente positivo.

A equação característica da resistência é:

$$u(t) = R i(t)$$

E a potência aos seus terminais, designada por efeito de Joule, pode ser dada por:

$$p(t) = u(t) i(t) = R [i(t)]^2 = \frac{[u(t)]^2}{R}$$

Atendendo a que tanto $R [i(t)]^2$ como $\frac{[u(t)]^2}{R}$ são valores intrinsecamente positivos e tendo sido utilizada a convenção receptor, conclui-se que a potência $p(t)$ é sempre uma potência absorvida pela resistência.

Define-se condutância G associada a uma resistência R por:

$$G = \frac{1}{R}$$

O valor G da condutância exprime-se em siemens ($1S = 1\Omega^{-1}$).

A equação característica da condutância é:

$$i(t) = G u(t)$$

e a potência aos seus terminais:

$$p(t) = u(t) i(t) = G [u(t)]^2 = \frac{[i(t)]^2}{G}$$

Analogamente ao caso da resistência, a condutância só absorve potência.

5. INDUTÂNCIA

A indutância ideal é um dipolo que pode armazenar energia por intermédio do campo magnético. Consiste num conjunto de espiras de material condutor eléctrico que, normalmente, rodeiam um circuito de material ferromagnético (material bom condutor do campo magnético, Ver temática Máquinas Eléctricas) cuja função é concentrar as linhas do campo magnético induzido pela corrente que esteja a percorrer a bobine.

Uma indutância caracteriza-se pelo seu coeficiente de auto-indução L que depende do número de espiras N e da relutância magnética do circuito R_m (ver temática Máquinas Eléctricas), de acordo com:

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

Simbolicamente, uma indutância e os respectivos sentidos de referência (convenção receptor), representa-se por:

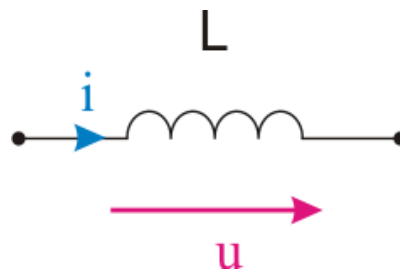


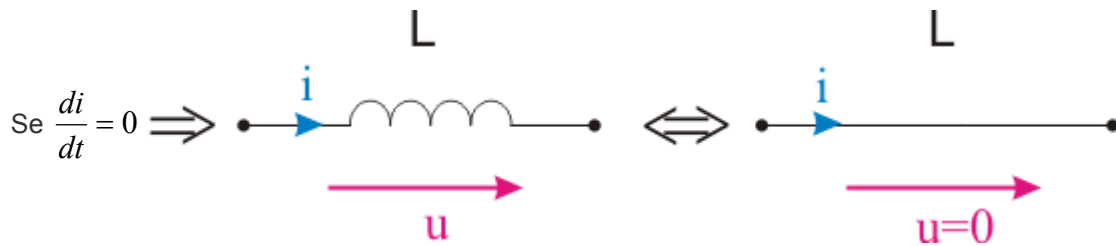
Figura 8 – Representação simbólica da indutância e sentidos de referência

O valor L do coeficiente de auto-indução exprime-se em henry ($1H = 1V \cdot 1s / 1A$) e, atendendo à expressão anterior, é um valor intrinsecamente positivo.

Na ausência de deslocamento físico do elemento, verifica-se que a tensão aos terminais da indutância é directamente proporcional à derivada da corrente que o percorre, sendo L a constante de proporcionalidade:

$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

Uma primeira conclusão a retirar da expressão anterior é que, se a corrente $i(t)$ for invariável no tempo, é nula a tensão aos terminais da indutância. Esta situação ocorre quando se atinge o regime permanente de um circuito alimentado em corrente contínua (corrente DC); nesta situação, a indutância é equivalente a um condutor perfeito (curto-circuito).



Relativamente à potência aos terminais da indutância, tem-se:

$$p(t) = u(t) i(t) = L i \frac{di}{dt}$$

Contrariamente ao verificado para a resistência, o sinal da potência aos terminais da indutância depende do sinal da corrente que a percorre e da respectiva derivada; conclui-se que a indutância tanto pode fornecer como absorver potência.

A energia W_m que transita pela indutância pode ser calculada através de:

$$W_m = \int_0^t p(t) dt + W_m(0) = \frac{1}{2} L [i(t)]^2 + W_m(0)$$

Onde $W_m(0)$ representa a energia armazenada no instante $t = 0$;

Atendendo a que se utilizou a convenção receptor para os sentidos de referência da corrente e tensão, conclui-se que:

- se $p > 0$ (isto é, se a corrente e a sua derivada tiverem o mesmo sinal) a indutância absorve potência e aumenta a energia armazenada;
- se $p < 0$ (isto é, se a corrente e a sua derivada tiverem sinais diferentes) a indutância fornece potência e restitui a energia armazenada.

6. CAPACIDADE

A capacidade é um dipolo que pode armazenar energia eléctrica por intermédio do campo eléctrico.

A capacidade C varia com a constante do dieléctrico, ϵ , com a área das placas condutoras, A , e com a distância, d , a que estas se encontram uma da outra, de acordo com:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Simbolicamente, uma capacidade e os respectivos sentidos de referência (convenção receptor), representa-se por:

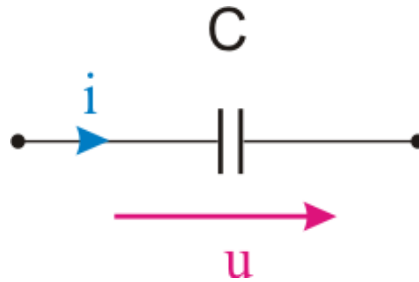


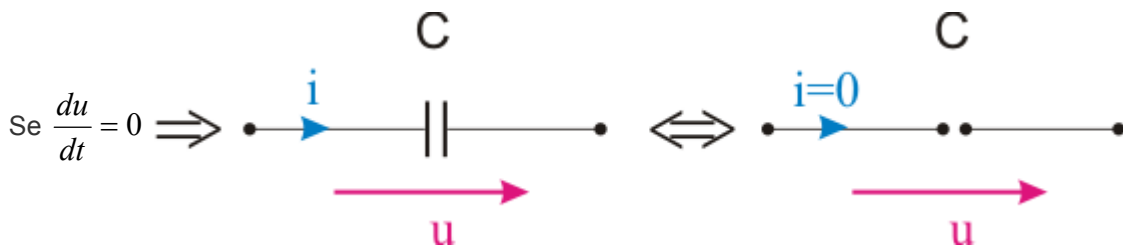
Figura 9 – Representação simbólica da capacidade e sentidos de referência

O valor C da capacidade exprime-se em farads ($1F = 1As/1V$) e, atendendo à expressão anterior, é um valor intrinsecamente positivo.

Na ausência de deslocamento físico do elemento, verifica-se que a corrente que percorre a capacidade é directamente proporcional à derivada da tensão que apresenta aos seus terminais, sendo C a constante de proporcionalidade:

$$i(t) = C \frac{du}{dt}$$

Analogamente à indutância, uma primeira conclusão a retirar da expressão anterior é que, se a tensão $u(t)$ for invariável no tempo, é nula a corrente que percorre a capacidade. Esta situação ocorre quando se atinge o regime permanente de um circuito alimentado em corrente contínua (corrente DC); nesta situação, a capacidade é equivalente a um circuito aberto.



Relativamente à potência aos terminais da capacidade, tem-se:

$$p(t) = u(t) i(t) = C u \frac{du}{dt}$$

Analogamente ao verificado para a indutância, o sinal da potência aos terminais da capacidade depende do sinal da tensão aos seus terminais e da respectiva derivada; conclui-se que a capacidade tanto pode fornecer como absorver potência.

A energia W_C que transita pela capacidade pode ser calculada através de:

$$W_C = \int_0^t p(t) dt + W_C(0) = \frac{1}{2} C [u(t)]^2 + W_C(0)$$

Onde $W_C(0)$ representa a energia armazenada no instante $t = 0$;

Atendendo a que se utilizou a convenção receptor para os sentidos de referência da corrente e tensão, conclui-se que:

- se $p > 0$ (isto é, se a tensão e a sua derivada tiverem o mesmo sinal) a capacidade absorve potência e aumenta a energia armazenada;
- se $p < 0$ (isto é, se a tensão e a sua derivada tiverem sinais diferentes) a capacidade fornece potência e restitui a energia armazenada.

7. MODELOS MAIS REALISTAS

Um modelo é um conjunto de relações matemáticas que descreve o comportamento de determinado sistema em determinadas situações. Dependendo da precisão que se queira obter e da situação em análise, podem usar-se modelos de maior ou menor precisão; haverá sempre uma situação de compromisso entre a simplicidade do modelo e a representatividade (precisão) deste.

Atendendo ao âmbito deste curso poder-se-á afirmar que a maior parte dos componentes que constitui um circuito será, idealmente, semelhante a uma fonte ou a um dos elementos R , L e C anteriormente estudados.

Pilha ou bateria	\Leftrightarrow	fonte de tensão
Resistência	\Leftrightarrow	dipolo R
Bobine	\Leftrightarrow	dipolo L
Condensador	\Leftrightarrow	dipolo C

No entanto, em situações um pouco mais realistas, haverá necessidade de uma maior aproximação à realidade nos modelos destes componentes.

Na prática o que acontece quando se efectua um curto-circuito aos terminais de uma bateria? A resposta é que se estabelece uma corrente muito elevada e rapidamente a bateria se “descarrega”, isto é, anula-se a tensão aos seus terminais. Este comportamento verificado na prática, não é descrito pelo modelo de fonte de tensão ideal anteriormente apresentado porque a bateria é uma fonte de tensão real e não ideal!

Um modelo mais realista para representar uma fonte de tensão, consiste na ligação série de uma fonte de tensão ideal, com uma pequena resistência r_i , designada por resistência interna, conforme se representa na figura seguinte.

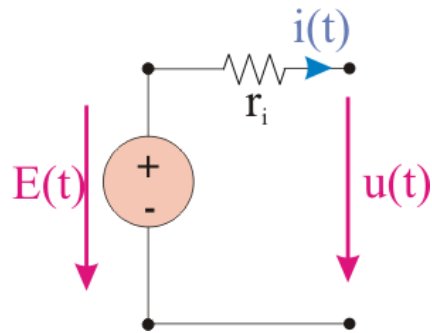


Figura 10 – Esquema equivalente de uma fonte de tensão

Aplicando a Lei das Malhas e a equação característica da resistência, obtém-se:

$$u(t) = E(t) - r_i i(t)$$

Se ocorrer um curto-circuito aos terminais da fonte de tensão, $u(t) = 0$ na expressão anterior, a corrente de curto-circuito, $i_{cc}(t)$, que vai atravessar a fonte é:

$$i_{cc}(t) = \frac{E(t)}{r_i}$$

Como o valor de r_i é muito pequeno comparado com o valor de $E(t)$, a corrente de curto-circuito toma valores muito elevados e pode mesmo danificar a fonte.

Os valores de $E(t)$, r_i e $i_{cc}(t)$ são características da fonte. Conhecidos dois deles, poder-se-á determinar o terceiro.

Analogamente, um modelo mais realista para representar uma fonte de corrente, consiste na ligação paralelo de uma fonte de corrente ideal, com uma grande resistência r_i , designada por resistência interna, conforme se representa na figura seguinte.

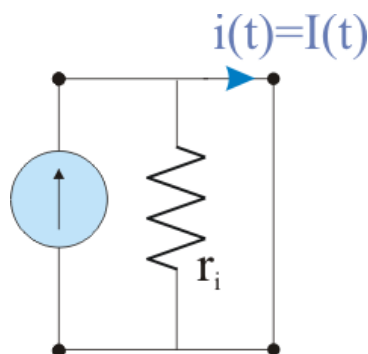


Figura 11 – Esquema equivalente de uma fonte de corrente

Se a fonte for deixada em aberto, $i(t) = 0$, a corrente $I(t)$ circulará entre a fonte e a resistência interna, sendo a tensão aos terminais da fonte, $u_0(t)$:

$$u_0(t) = r_i I(t)$$

Na prática, também uma resistência real apresenta um certo comportamento indutivo, pelo que o seu modelo mais realista pode ser dado por uma resistência ideal, R , em série com uma pequena indutância ℓ , conforme se representa na figura.



Figura 12 – Esquema equivalente de resistência real

Uma bobine é constituída por várias espiras de material condutor, podendo o comprimento total deste condutor atingir valores consideráveis; assim sendo, e atendendo à resistividade do material de que é feito o condutor, a bobine vai apresentar um certo carácter resistivo. O seu modelo real poderá então ser dado por uma indutância L em série com uma pequena resistência r , tal como representado na figura.



Figura 13 – Esquema equivalente de uma bobine real

Um condensador que tenha sido “carregado” (apresente uma tensão não nula aos seus terminais) mas que não seja percorrido por qualquer corrente (circuito aberto), irá, lentamente, “descarregando” (baixando a tensão aos seus terminais), facto que não é explicado pelo modelo anteriormente apresentado. Na prática, representa-se o condensador como uma capacidade ideal C em série com uma grande resistência R . A corrente que circulará entre a capacidade e esta resistência, modeliza o fenómeno de “descarga” do condensador. Este modelo encontra-se representado na figura seguinte.

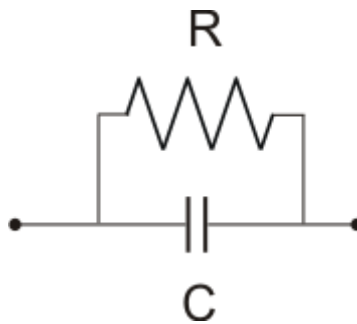


Figura 14 – Esquema equivalente de uma bobine real

NOTA - Os modelos apresentados não são únicos; são apenas aqueles que, no âmbito deste curso, poderão explicar a maior parte dos fenómenos estudados. Situações particulares ou necessidade de uma grande precisão de valores, poderão requerer modelos mais elaborados.