ESTRUTURAS DE CORRENTE CONTÍNUA

Até este capítulo, os circuitos de C.C. estudados têm sido simples, com elementos ligados em série, em paralelo ou constituindo associação mista. O circuito mais complexo analisado foi a ponte de Wheatstone, e, assim mesmo, apenas em equilíbrio.

Neste capítulo trataremos de diversos métodos empregados para a resolução de circuitos que, pela sua complexidade, não podem ser calculados com os conhecimentos já adquiridos.

Leis de Kirchhoff

Estas leis, cujos enunciados damos a seguir, não são totalmente novas para nós, que já as aplicamos nos circuitos em série e em paralelo, embora sem fazer referência a Kirchhoff. Com mais algumas convenções e esclarecimentos ficaremos capacitados a aplicá-las no cálculo de quaisquer circuitos.

Antes, porém, vejamos o que significam três expressões que serão muito utilizadas no decorrer deste capítulo:

NÓ DE INTENSIDADE ou NÓ (ou ainda NODO) é o ponto de concorrência de três ou mais braços.

BRAÇO é uma porção de circuito que liga dois nós consecutivos, e onde todos os elementos que nele figuram estão em série:

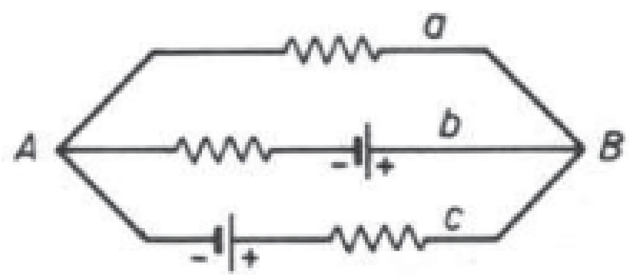


FIG. XVII-1

A e **B** são nós.

AaB é um braço (só elementos em série)

AbB é outro braço (só elementos em série)

AcB é outro braço (só elementos em série)

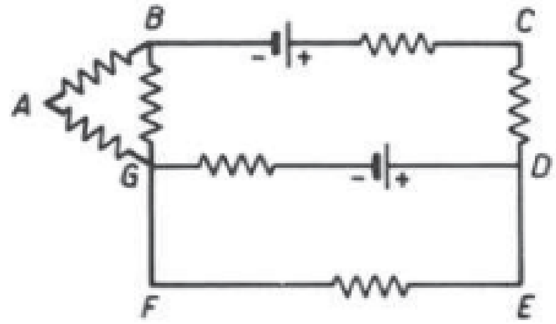


FIG. XVII-2

Neste circuito temos 3 nós (B, G e D) e 5 braços (BAG, BG, GFED, GD e DCB).

Quando partimos de um nó, realizamos um certo percurso, e voltamos ao mesmo nó, o caminho percorrido é denominado CIRCUITO FECHADO; no circuito fechado todos os elementos estão em série.

Na estrutura acima temos os seguintes circuitos fechados:

BGAB

BCDGB

DEFGD

BCDEFGAB

BCDEFGB

BCDGAB

1ª Lei de Kirchhoff

"A SOMA DAS CORRENTES QUE CHEGAM EM UM NÓ É IGUAL À SOMA DAS CORRENTES QUE DELE SE AFASTAM" ou "A SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE SE APROXIMAM E SE AFASTAM DE UM NÓ É IGUAL A ZERO":

$\Sigma I = 0$

Portanto, quando vários condutores se encontram em um ponto, a corrente total que flui em direção a esse ponto é igual à corrente total que dele se afasta:

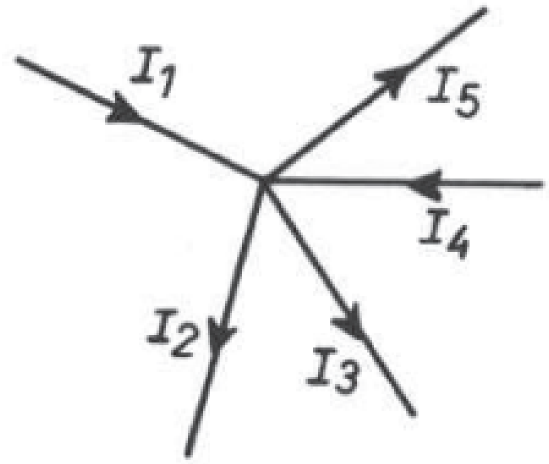


FIG. XVII-3

$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$

ou

$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$

2ª Lei de Kirchhoff

"A SOMA ALGÉBRICA DAS FORÇAS ELETROMOTRIZES NOS DIFERENTES BRAÇOS DE UM CIRCUITO FECHADO É IGUAL À SOMA ALGÉBRICA DAS QUEDAS DE TENSÃO NOS MESMOS":

$\Sigma E = \Sigma IR$

Como exemplo, na FIG. XVII-4,

$E = I R_1 + I R_2$

Na resolução de problemas com auxílio destas leis, temos de estabelecer sistemas de equações para as diversas correntes e tensões.

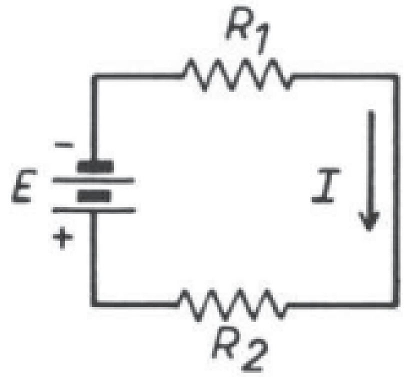


FIG. XVII-4

EXEMPLO:

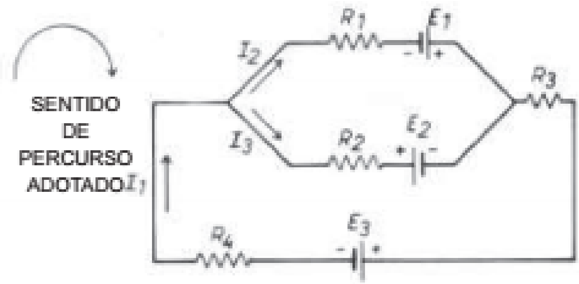


FIG. XVII-5

Chamando de "b" o número de braços e "n" o número de nós, temos tantas equações da primeira lei quantos são os nós menos um:

Equações da 1ª lei = n – 1

Temos, também, tantas equações da 2ª lei quantos são os braços menos os nós, mais um:

Equações da 2ª lei = b – n + 1

Para a obtenção das equações referentes à 2ª lei (relativa às tensões), há necessidade de seguir as normas abaixo:

1 – arbitrar um sentido para a corrente em cada braço;

2 – adotar um SENTIDO DE PERCURSO PARA CADA CIRCUITO FECHADO ou, de preferência, UM SENTIDO COMUM PARA TODOS OS CIRCUITOS FECHADOS;

3 – dar sinal negativo a toda f. e. m. que se opuser ao sentido de percurso adotado;

4 – dar sinal negativo a todo produto "IR" em que o sentido da corrente estiver em oposição ao sentido de percurso adotado.

Temos, neste circuito, uma equação da 1ª lei:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Precisamos de duas equações da 2ª lei, que podem ser escolhidas entre as que vemos abaixo:

1ª) Considerando o circuito fechado formado por R_1, E_1, E_2 e R_2:

$$-E_1 - E_2 = I_2 R_1 - I_3 R_2$$

2ª) Considerando o circuito fechado formado por R_1, E_1, R_3, E_3 e R_4:

$$-E_1 + E_3 = I_2 R_1 + I_1 R_3 + I_1 R_4$$

3ª) Considerando o circuito fechado formado por R_2, E_2, R_3, E_3 e R_4:

$$E_2 + E_3 = I_3 R_2 + I_1 R_3 + I_1 R_4$$

Observação: Quando aplicamos as leis de Kirchhoff e encontramos um resultado negativo para uma corrente, entendemos que o sentido arbitrado para dar início à resolução do problema não era o verdadeiro. O valor encontrado, porém, é o real.

EXEMPLO:

Na estrutura da Fig. XVII-6 temos R_1 = 1 ohm, R_2 = 1 ohm, R_3 = 0,6 ohm, R_4 = 3 ohms e R_5 = 5 ohms. Considerar constante e igual a 115 volts a tensão nos terminais de cada gerador. Determinar a corrente em cada resistor, aplicando o método das leis de Kirchhoff.

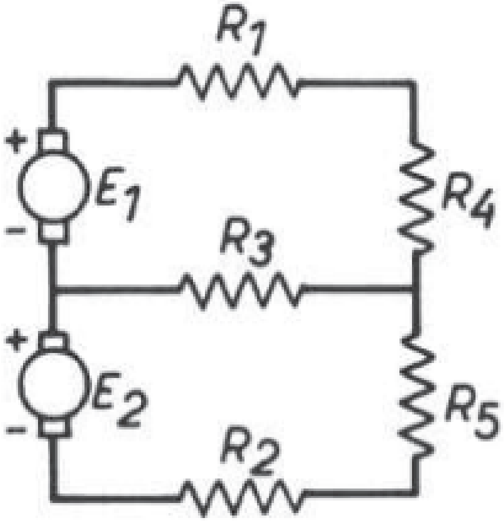


FIG. XVII-6

SOLUÇÃO:

Equações da 1ª lei:

n – 1

2 – 1 = 1

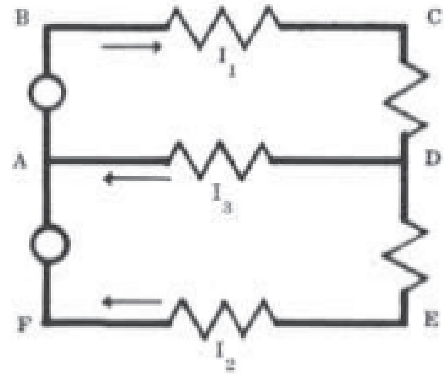
SENTIDO DE PERCURSO ADOTADO

FIG. XVII-7

Equações da 2ª lei:

b – n + 1

3 – 2 + 1 = 2



SENTIDOS CONVENCIONADOS PARA AS CORRENTES

FIG. XVII-8

Equações:

$I_1 = I_2 + I_3$

$I_1 + 3\ I_1 + 0{,}6\ I_3 = -\ 115$

(Circuito ABCDA)

$-\ 0{,}6\ I_3 + 5\ I_2 + I_2 = -\ 115$

(Circuito ADEFA)

$I_1 = I_2 + I_3$

$4\ I_1 + 0{,}6\ I_3 = -\ 115$

$-\ 0{,}6\ I_3 + 6\ I_2 = -\ 115$

Resolvendo o sistema encontramos:

$I_1 = -\ 27{,}6$ A

$I_2 = -\ 19{,}93$ A

$I_3 = -\ 7{,}67$ A

Os resultados em questão mostram que os sentidos reais das correntes são opostos aos que foram arbitrados. Os valores absolutos das correntes são, porém, os procurados.

Método da Superposição

Este método é baseado no teorema da superposição: “EM UMA ESTRUTURA COM MAIS DE UMA FONTE DE FORÇA ELETROMO-

TRIZ, A CORRENTE RESULTANTE EM QUALQUER RAMO (BRAÇO) É IGUAL À SOMA ALGÉBRICA DAS CORRENTES QUE SERIAM PRODUZIDAS PELAS DIVERSAS FONTES, SE CADA UMA ATUASSE ISOLADAMENTE E AS OUTRAS FOSSEM SUBSTITUÍDAS PELAS RESPECTIVAS RESISTÊNCIAS INTERNAS".

Em outras palavras, para resolver uma estrutura ativa por este método, transformaremos a estrutura em tantos circuitos quantos forem os geradores; em cada circuito será considerado apenas um dos geradores, e dos outros só serão tomadas as resistências internas. Em seguida, cada circuito será resolvido pela aplicação do que foi aprendido no estudo dos circuitos em série, em paralelo e mistos, e serão achados valores diversos para as correntes em um dado resistor. A soma algébrica desses valores será o valor real da corrente que passa no resistor considerado.

Exemplo:

Se desejássemos determinar as correntes no circuito

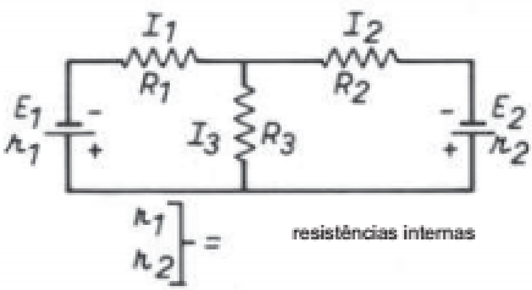
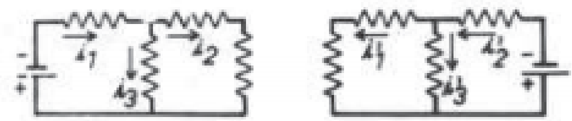


FIG. XVII-9

transformaríamos o mesmo nos circuitos a seguir:



CIRCUITOS OBTIDOS APÓS
A DECOMPOSIÇÃO

FIG. XVII-10

Resolveríamos, então, estes circuitos mistos e, em seguida, efetuaríamos a soma algébrica dos valores encontrados para as correntes; os sentidos reais das diversas correntes seriam determinados pelos maiores valores absolutos:

$$I_1 = i_1 - i_1'$$
$$I_2 = i_2 - i_2'$$
$$I_3 = i_3 + i_3'$$

EXEMPLO:

Determinar I_1, I_2 e I_3, aplicando o método da superposição.

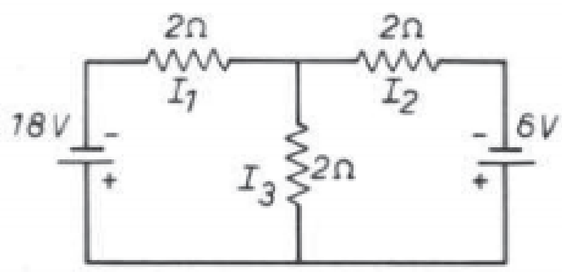


FIG. XVII-11

SOLUÇÃO:

Decompondo o circuito e resolvendo as novas estruturas:

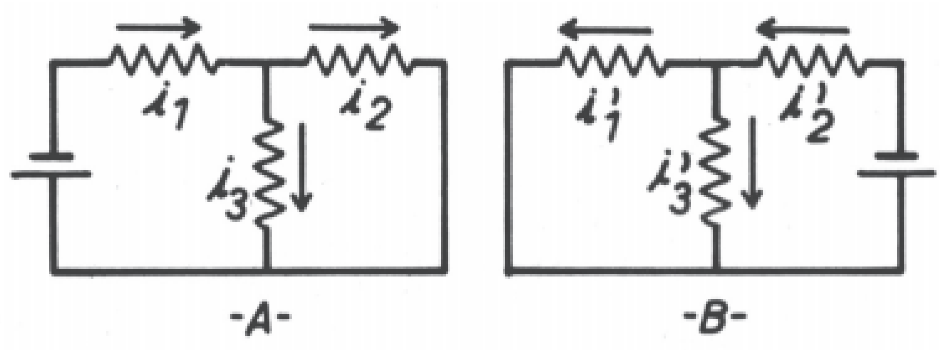


FIG. XVII-12

$$\frac{2}{2} = 1\ \Omega$$

$$1 + 2 = 3\ \Omega = R_t$$

$$\frac{18}{3} = 6A = i_1$$

$$6 \times 2 = 12\ V$$

$$18 - 12 = 6\ V$$

$$i_2 = i_3 = \frac{6}{2} = 3A$$

$$\frac{2}{2} = 1\ \Omega$$

$$1 + 2 = 3\ \Omega = R_t$$

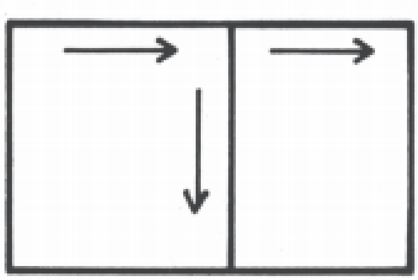
$$\frac{6}{3} = 2A = i_{2'}$$

$$2 \times 2 = 4\ V$$

$$6 - 4 = 2\ V$$

$$i_1' = i_3' = \frac{2}{2} = 1\ A$$

$$I_2 = 3 - 2 = 1\ A$$
$$I_1 = 6 - 1 = 5\ A$$
$$I_3 = 3 + 1 = 4\ A$$



SENTIDOS REAIS
DAS CORRENTES

FIG. XVII-13

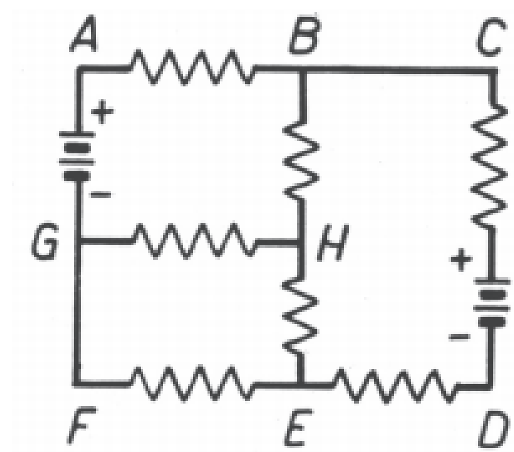


FIG. XVII-14

Método das Malhas ou das Correntes Cíclicas de Maxwell

Vejamos, inicialmente, o que se entende por MALHA, observando a estrutura ao lado:

Neste circuito temos três malhas:

ABHGA
BCDEHB
GHEFG

Concluímos que uma malha é um circuito fechado, com a particularidade de que duas malhas SÓ PODEM TER UM BRAÇO COMUM, e um braço não pode pertencer a mais de duas malhas.

Maxwell imaginou uma modalidade de corrente. CORRENTE CÍCLICA ou DE MALHA, de modo que, quando se considera uma malha, em lugar de se apreciar a corrente que circula em cada braço aprecia-se a corrente que circula na malha.

A corrente que percorre o braço que limita duas malhas vizinhas é a soma ou a diferença das correntes dessas malhas, dependendo de serem iguais ou não os sentidos arbitrados para as correntes das duas malhas.

Normalmente, considera-se o sentido das correntes cíclicas como o que realizam os ponteiros de um relógio, e, assim, para esse sentido; a corremte que passa no braço que limita duas malhas vizinhas é a diferença entre as duas correntes de malha.

Por convenção, adota-se o seguinte (considerando uma estrutura com três malhas):

$R_{1\text{-}1}$ = resistência total da malha 1
$R_{2\text{-}2}$ = resistência total da malha 2
$R_{3\text{-}3}$ = resistência total da malha 3

NOTA: a resistência total de uma malha é a soma de todas as suas resistências.

$R_{1\text{-}2} = R_{2\text{-}1}$ = valor da resistência do braço que limita as malhas 1 e 2
$R_{1\text{-}3} = R_{3\text{-}1}$ = valor da resistência do braço que limita as malhas 1 e 3
$R_{2\text{-}3} = R_{3\text{-}2}$ = valor da resistência do braço entre as malhas 2 e 3

E_1 = soma algébrica das forças eletromotrizes da malha 1
E_2 = soma algébrica das forças eletromotrizes da malha 2
E_3 = soma algébrica das forças eletromotrizes da malha 3

Na resolução de uma estrutura, temos tantas equações quantas são as malhas, obedecendo ao seguinte:

$$R_{1\text{-}1} I_1 + R_{1\text{-}2} I_2 + R_{1\text{-}3} I_3 + \ldots = E_1$$
$$R_{2\text{-}1} I_1 + R_{2\text{-}2} I_2 + R_{2\text{-}3} I_3 + \ldots = E_2$$
$$R_{3\text{-}1} I_1 + R_{3\text{-}2} I_2 + R_{3\text{-}3} I_3 + \ldots = E_3$$

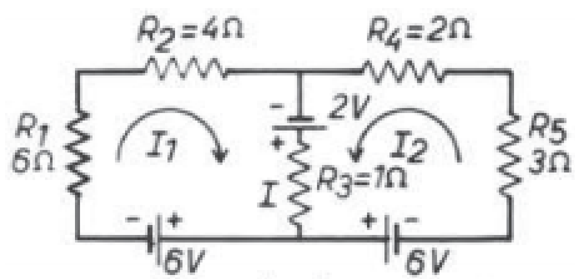
OBSERVAÇÕES:

1 – Nestas equações, todos os termos que correspondem às resistências totais das malhas são positivos.

2 – Os termos que se referem às resistências dos braços que separam malhas são positivos quando as correntes de malha que os percorrem têm o mesmo sentido; no caso contrário, são negativos.

3 – Uma f. e. m. é positiva quando sua polaridade não se opõe ao sentido arbitrado para a corrente de malha; quando a polaridade da f. e. m. se opõe ao sentido da corrente de malha, recebe um sinal negativo.

Exemplo:



I_1 = corrente da malha 1
I_2 = corrente da malha 2

FIG. XVII-15

Neste caso,

$I = I_1 + I_2$
I = corrente no braço que limita as malhas

Podemos escrever:

$$R_{1\text{-}1}\, I_1 + R_{1\text{-}2}\, I_2 = E_1$$

$$R_{2\text{-}1}\, I_1 + R_{2\text{-}2}\, I_2 = E_2$$

– – –

$$11\, I_1 + I_2 = 6 - 2$$

$$I_1 + 6\, I_2 = 6 - 2$$

$$11\, I_1 + I_2 = 4$$

$$I_1 + 6\, I_2 = 4$$

A resolução deste sistema, combinado com a equação

$$I = I_1 + I_2,$$

dá as correntes que passam nos diversos resistores.

Quando se encontra um valor negativo para uma corrente, entende-se que o sentido arbitrado para a mesma não é o verdadeiro.

O sentido da corrente num braço que limita duas malhas é igual ao sentido verdadeiro da maior corrente de malha que o percorre.

As equações práticas dadas acima podem ser justificada com a solução do mesmo problema pelas leis de Kirchhoff:

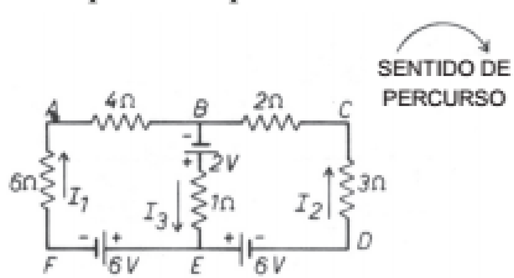


FIG. XVII-16

$$I_3 = I_1 + I_2$$

No circuito ABEFA:

$$6\, I_1 + 4\, I_1 + I_3 = -2 + 6$$
$$10\, I_1 + I_3 = 4$$
ou
$$10\, I_1 + I_1 + I_2 = 4$$
$$11\, I_1 + I_2 = 4$$

Pode-se observar que $11\, I_1$ corresponde ao termo $R_{1\text{-}1}\, I_1$ do método de Maxwell, e que I_2 corresponde ao termo $R_{1\text{-}2}\, I_2$ do mesmo processo.

No circuito BCDEB:

$$-2\, I_2 - 3\, I_2 - I_3 = -6 + 2$$
$$-5\, I_2 - I_3 = -4$$
ou
$$-5\, I_2 - I_1 = I_2 = -4$$
$$-I_1 - 6\, I_2 = -4$$
$$I_1 + 6\, I_2 = 4$$

Aqui também se observa que I_1 corresponde ao termo $R_{2\text{-}1}\, I_1$ do método de Maxwell, e $6\, I_2$ corresponde ao termo $R_{2\text{-}2}\, I_2$ do mesmo processo.

Vê-se, portanto, que o método de Maxwell é apenas uma simplificação do método que aplica as Leis de Kirchhoff.

EXEMPLO:

Calcular, na estrutura abaixo, a corrente através do resistor de 600 ohms, aplicando o método das correntes cíclicas de Maxwell.

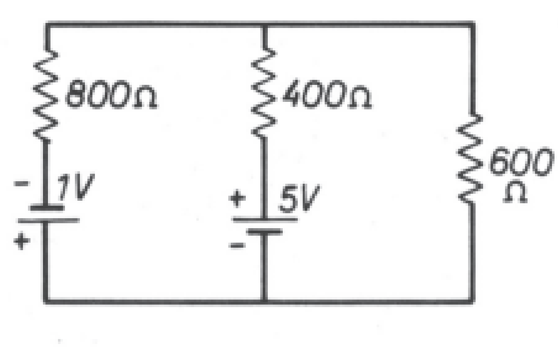
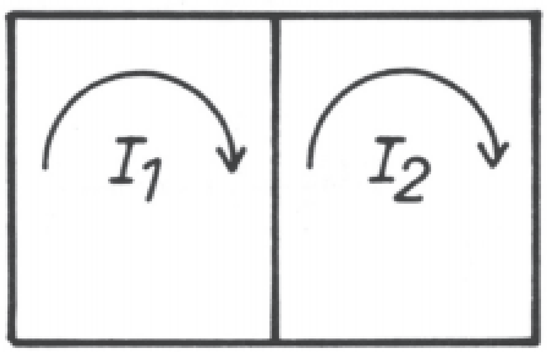


FIG. XVII-17

SOLUÇÃO:

Precisamos de duas equações:

$$R_{1\text{-}1}\, I_1 + R_{1\text{-}2}\, I_2 = E_1$$
$$R_{2\text{-}1}\, I_1 + R_{2\text{-}2}\, I_2 = E_2$$



SENTIDOS ARBITRADOS PARA AS CORRENTES DAS MALHAS

FIG. XVII-18

$$1.200\, I_1 - 400\, I_2 = 1 + 5$$
$$-\,400\, I_1 + 1.000\, I_2 = -\,5$$

Resolvendo o sistema encontramos:

$$I_2 = 0{,}003 \text{ A}$$

O sinal (-) indica que a corrente no resistor de 600 ohms tem o sentido de baixo para cima, e não como foi arbitrado.

Teorema de Thévenin

Este teorema, também conhecido como teorema de Helmholtz-Thévenin, é uma aplicação do teorema da superposição.

Afirma esta proposição que "PARA DETERMINAR A CORRENTE EM UM RESISTOR "R" LIGADO A DOIS TERMINAIS DE UMA ESTRUTURA QUE CONTÉM FONTES DE FORÇA ELETROMOTRIZ E RESISTORES, A ESTRUTURA PODE SER SUBSTITUÍDA POR UMA ÚNICA FONTE COM UM RESISTOR "R_0" EM SÉRIE. ESTA FORÇA ELETROMOTRIZ ÚNICA, DESIGNADA POR "E_0", É IGUAL À DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE OS TERMINAIS DA ESTRUTURA QUANDO O RESISTOR "R" É RETIRADO; O RESISTOR "R_0" É IGUAL À RESISTÊNCIA EQUIVALENTE DA ESTRUTURA SEM O RESISTOR "R", ISTO É, A RESISTÊNCIA DA ESTRUTURA VISTA DOS TERMINAIS DE ONDE FOI RETIRADO O RESISTOR "R".

Assim, se desejássemos calcular a intensidade da corrente no resistor de 4 ohms da figura abaixo,

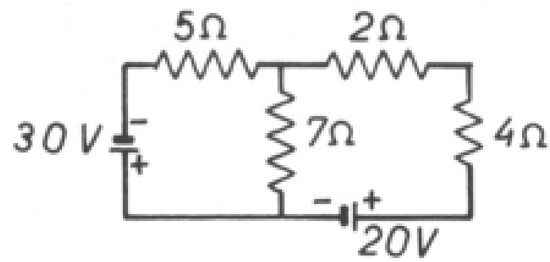


FIG. XVII-19

consideraríamos a figura seguinte:

CIRCUITO EQUIVALENTE DE THÉVENIN

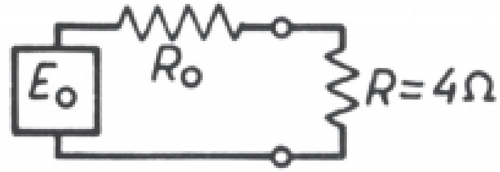


FIG. XVII-20

e a intensidade da corrente no resistor em apreço seria

$$I = \frac{E_o}{R_o + R}$$

EXEMPLO:

Aplicando o teorema de Thévenin, determinar a corrente no resistor de 4 ohms.

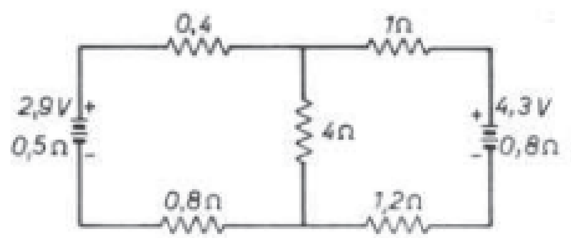


FIG. XVII-21

SOLUÇÃO

É conveniente dividir a solução do problema em duas partes: cálculo de "R_0" e cálculo de "E_0".

Cálculo de "R_0"

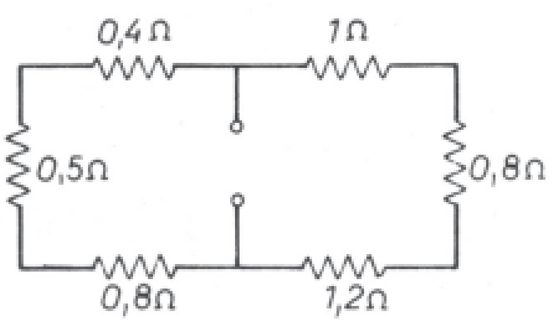


FIG. XVII-22

$0{,}4 + 0{,}5 + 0{,}8 = 1{,}7\ \Omega$

$1 + 0{,}8 + 1{,}2 = 3\ \Omega$

$$R_0 = \frac{3 \times 1{,}7}{3 + 1{,}7} = 1\ \Omega \text{ aprox.}$$

Cálculo de "E_0"

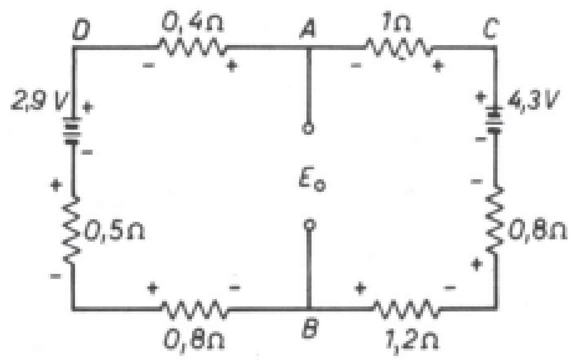


FIG. XVII-23

OBSERVAÇÕES: Para melhor compreensão, as resistências internas foram simbolizadas ao lado dos símbolos das fontes.

– Também com o mesmo objetivo foram indicados os potenciais relativos nos extremos dos resistores; observar que as fontes estão em oposição.

Tensão total = 4,3 – 2,9 = 1,4 V
Resistência total = 0,8 + 1,2 + +0,8 + 0,5 + 0,4 + 1 = 4,7 Ω

$$\text{Corrente no circuito} = \frac{1{,}4}{4{,}7} = 0{,}29\text{A}$$

Tensões nos resistores:

0,8 x 0,29	=	0,232 V
1,2 x 0,29	=	0,348 V
0,8 x 0,29	=	0,232 V
0,5 x 0,29	=	0,145 V
0,4 x 0,29	=	0,116 V
1 x 0,29	=	0,29 V

O valor de "E_0" é dado pela soma das tensões no braço "ACB" ou no braço "ADB". Portanto:

$$E_0 = -0,29 + 4,3 - 0,232 - 0,348 =$$
$$= 3,43 \text{ V}$$

A corrente no resistor de 4 ohms:

$$I = \frac{E_0}{R_0 + R} = \frac{3,43}{1+4} = 0,68\text{A}$$

Circuitos Equivalentes de Três Fios

Há combinações especiais de três resistores ou condutores que não podem ser simplificadas como os circuitos em série, em paralelo e mistos. É verdade que podemos resolvê-las aplicando os novos métodos já apresentados neste capítulo, mas, em face de serem encontradas com tanta freqüência, fazemos uso de regras especiais para sua solução.

Uma dessas ligações, a ligação ESTRELA, poderá ser encontrada numa das formas abaixo:

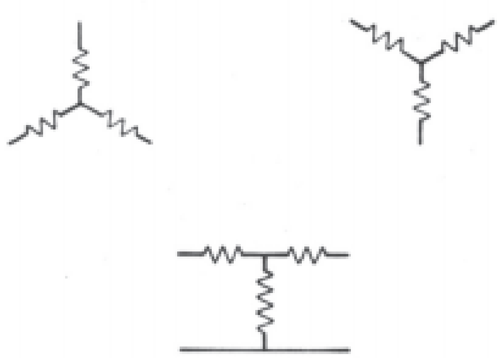


FIG. XVII-24

Este tipo de ligação é conhecido também como ligação "Y" ou "T".

O outro tipo é chamado ligação TRIÂNGULO, e recebe também as denominações de ligação Δ (delta) ou π (pi):

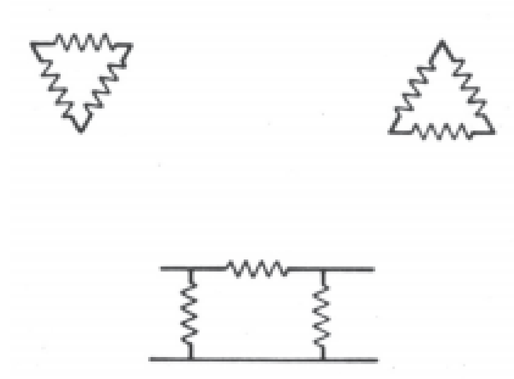


FIG. XVII-25

É possível converter um tipo de ligação em outro, e, para tanto, devemos raciocinar do seguinte modo:

Transformação Triângulo-Estrela

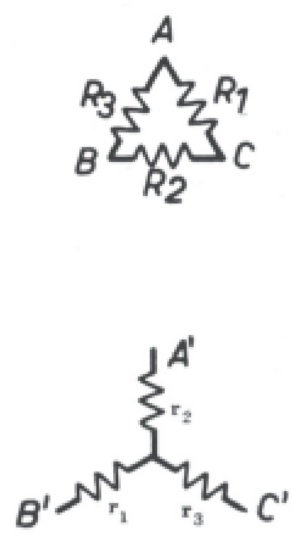


FIG. XVII-26

$$(1)\ \begin{cases} R_{AB} \text{ deverá ser igual à } R_{A'B'} \\ R_{BC} \text{ deverá ser igual à } R_{B'C'} \\ R_{AC} \text{ deverá ser igual à } R_{A'C'} \end{cases}$$

Podemos verificar que

$$(2)\ \begin{cases} R_{AB} = \dfrac{R_3(R_2+R_1)}{R_1+R_2+R_3} = \dfrac{R_1R_3+R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \\ R_{AC} = \dfrac{R_1R_2+R_1R_3}{R_1+R_2+R_3} \\ R_{BC} = \dfrac{R_1R_2+R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \end{cases}$$

Porque "R_1" e "R_2" estão em série e o conjunto em paralelo com "R_3"

POR MOTIVOS SEMELHANTES AO CITADO ACIMA

Para que haja equivalência entre as ligações acima,

$$(3)\ \begin{cases} R_{A'B'} = r_2 + r_1 \\ R_{B'C'} = r_1 + r_3 \\ R_{A'C'} = r_2 + r_3 \end{cases}$$

Tendo em vista a chave (1), teremos:

$$(4)\ \begin{cases} r_2 + r_1 = \dfrac{R_1R_3 + R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (a) \\ r_1 + r_2 = \dfrac{R_1R_2 + R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (b) \\ r_2 + r_3 = \dfrac{R_1R_2 + R_1R_2}{R_1+R_2+R_3} \quad (c) \end{cases}$$

Se somarmos membro a membro "a", "b" e "c", encontraremos (depois de dividir ambos os membros por 2):

$$\frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_1R_3}{R_1+R_2+R_3} = r_1 + r_2 + r_3 \quad (d)$$

Se agora subtrairmos, membro a membro, "d" de "a", "d" de "b" e "d" de "c", teremos:

$$r_3 = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2+R_3} \quad (e)$$

$$r_2 = \frac{R_1R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (f)$$

Fórmulas para a transformação Triângulo-Estrela

$$r_1 = \frac{R_2R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (g)$$

Transformação Estrela-Triângulo

Para obter as fórmulas que permitirão transformar uma ligação estrela em uma na forma de triângulo, bastará multiplicar, membro a membro, a expressão (g) pela expressão (f), e em seguida a expressão (g) pela expressão (e), e depois (f) por (e).

Somando esses resultados membro a membro, e dividindo respectivamente por "r_3", "r_2" e "r_1", encontraremos:

$$R_1 \, \frac{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}{r_1}$$

$$R_2 = \frac{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}{r_2}$$

$$R_3 = \frac{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}{r_3}$$

Fórmulas para a Transformação Estrela-Triângulo

O dispositivo prático abaixo, observadas as posições relativas do triângulo e da estrela, torna mais fácil a aplicação deste método para simplificação de estruturas. Ao lado do mesmo damos um exemplo de transformação estrela--triângulo:

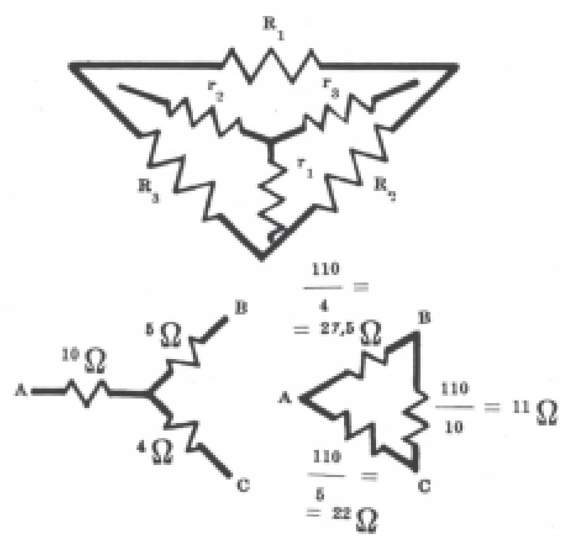


FIG. XVII-27

EXEMPLO:

Dado o circuito a seguir, transformá-lo em outro equivalente, aplicando o método da transformação triângulo-estrela, e achar sua resistência equivalente.

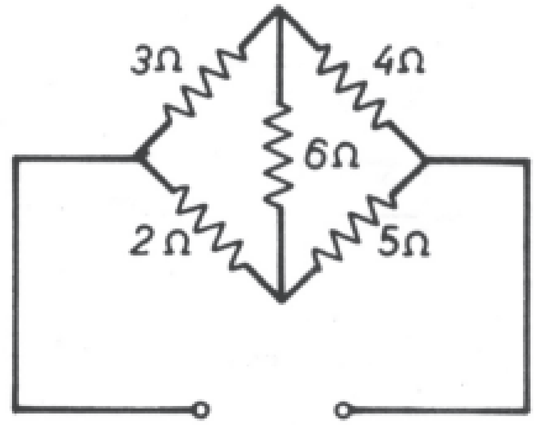


FIG. XVII-28

SOLUÇÃO:

Faremos a seguinte transformação:

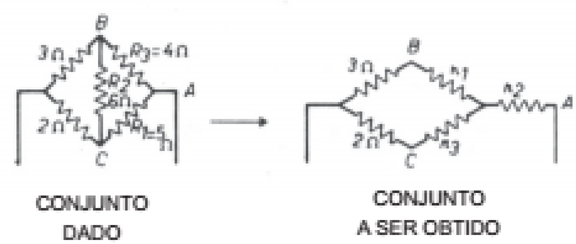


FIG. XVII-29

Fórmulas:

$$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_2 = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$r_1 = \frac{6 \times 4}{5+6+4} = \frac{24}{15} = 1,6\Omega$$

$$r_2 = \frac{5 \times 4}{15} = 1,33\Omega$$

$$r_3 = \frac{5 \times 6}{15} = 2\Omega$$

A resistência equivalente do circuito:

$3 + 1,6 = 4,6\ \Omega$

$2 + 2 = 4\ \Omega$

$$R_t = 1,33 + \frac{4,6 \times 4}{4,6+4} = 3,46\Omega$$

PROBLEMAS

ESTRUTURAS DE C.C.

1 – Determinar a corrente em cada seção do circuito, pelo princípio de superposição.

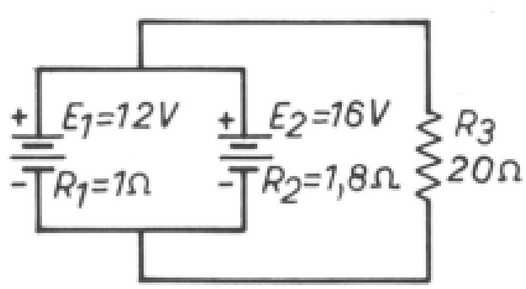


FIG. XVII-30

R.: $I_1 = 1,02$ A; $I_2 = 1,67$ A
$I_3 = 0,65$ A

2 – determinar a corrente em cada seção do circuito, pelo princípio de superposisão. Determinar também as tensões em R_6 e R_7.

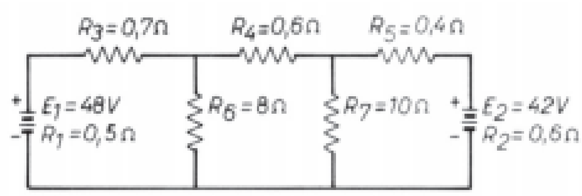


FIG. XVII-31

R.: $I_1 = 6,4$ A; $I_2 = 2,52$ A
$I_3 = 6,4$ A; $I_4 = 1,4$ A
$I_5 = 2,52$ A; $I_6 = 5,04$ A
$I_7 = 3,95$ A; $E_6 = 40,32$ V
$E_7 = 39,5$ V

3 – Determinar os valores das correntes nos resistores de 100 ohms e 85 ohms, aplicando o método das correntes cíclicas de Maxwell.

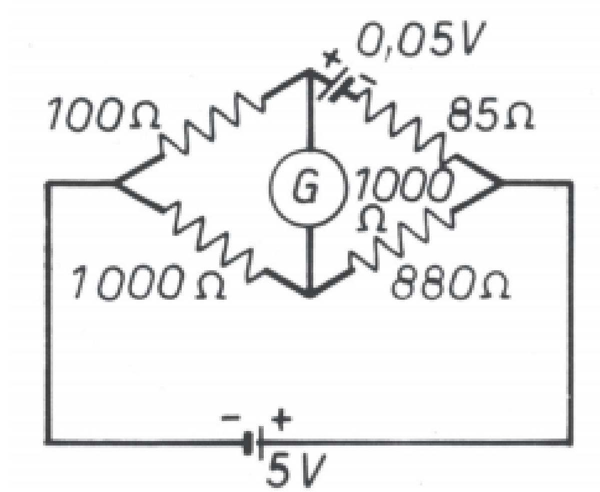


FIG. XVII-32

R.: 0,000 4 A; 0,01 A

4 – Determinar o sentido e a intensidade da corrente através do resistor de 25 ohms. Aplicar o método das correntes cíclicas de Maxwell.

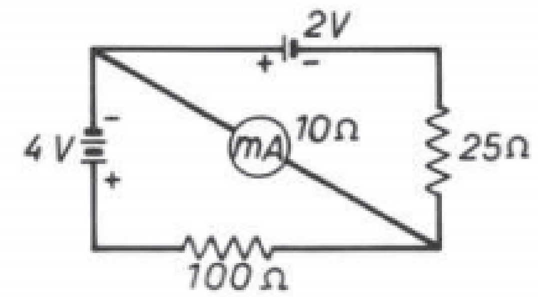


FIG. XVII-33

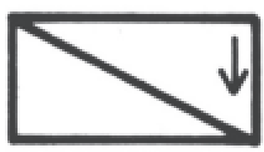


FIG. XVII-34

R.: 0,04 A

5 – No circuito, determinar a intensidade da corrente no resistor de 4 ohms.

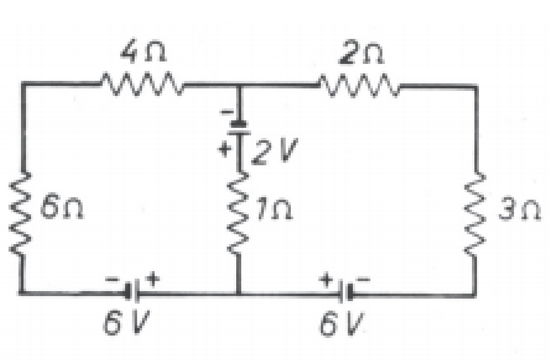


FIG. XVII-35

R.: 0,3 A

6 – Calcular a intensidade da corrente no braço onde está o resistor de 5 ohms.

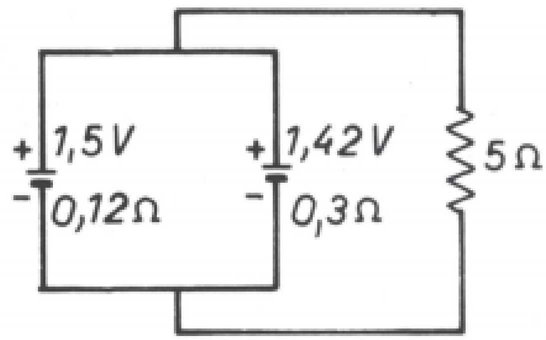


FIG. XVII-36

R.: 0,29 A

7 – Na estrutura, determinar a corrente através do resistor de 8 ohms.

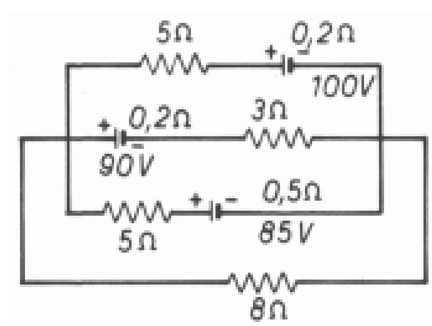


FIG. XVII-37

R.: 9 A

8 – Determinar a corrente no resistor de 8 ohms.

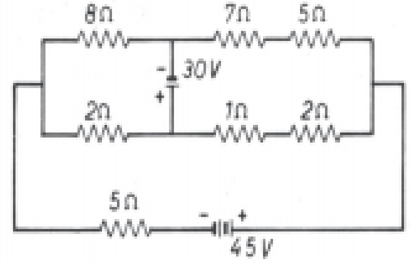


FIG. XVII-38

R.: 2 A