

## Apêndice B

### Análise do Forno Elétrico a Arco em Regime Permanente

Neste capítulo será mostrado os cálculos utilizados para obtenção dos valores da tabela 2.2 e no desenvolvimento dos procedimentos para traçar a curva de carga para o FEA1.

#### B.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA REDE ELÉTRICA

Para se obterem as curvas de carregamento de um forno elétrico a arco a 60 Hz, deve-se determinar o circuito equivalente de Thevenin visto dos eletrodos do forno. Como base para este estudo será utilizado o sistema indicado na Figura 2.1, compreendendo os transformadores T-44, T-45 e T-46, bem como o ramal completo do FEA1 (HSUN-TSU; WU CHI-JUI, 2002). Os dados característicos do sistema elétrico em análise estão listados no Apêndice C.

Com base nas impedâncias equivalentes do sistema de suprimento de energia (concessionário), dos três transformadores em paralelo e do cabo em 23 kV que alimenta o forno e do transformador do FEA1, obtém-se o diagrama unifilar para o sistema em análise, conforme Figura B.1.

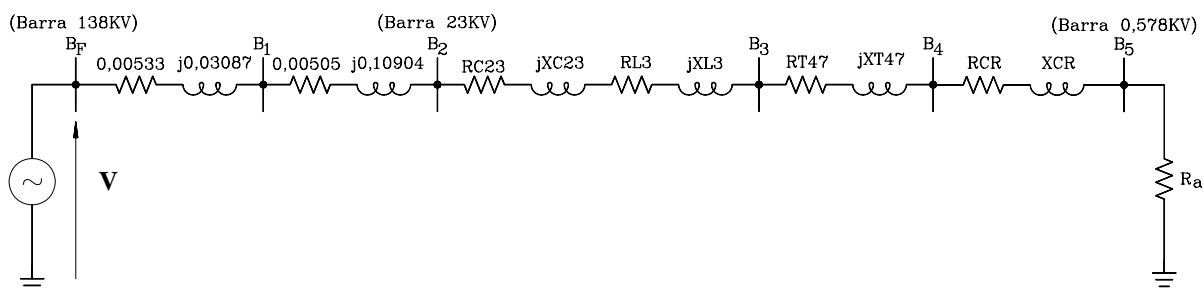


Figura B.1 - Diagrama unifilar para a operação do forno em regime permanente a 60 Hz.

Na Figura B.1 tem-se:

- V - Tensão na barra fictícia (BF) interna ao sistema elétrico;
- B1 - Barra de entrega de energia do concessionário para a indústria;
- B2 - Barra de 23 kV no lado secundário dos transformadores T-44, T-45 e T-46 após os cabos da ordem de 30 m;
- B3 - Barra correspondente ao lado primário do transformador T-047;
- B4 - Barra correspondente ao lado secundário do transformador T-047;
- B5 - Barra correspondente a ponta do eletrodo que entra em contato com a sucata.

O procedimento apresentado, nos itens a seguir, ilustra a determinação da curva de carregamento do FEA1 e do ponto de operação ótimo para esse forno.

#### B.1.1 Cálculo da impedância do concessionário.

A potência de curto circuito do concessionário local, em 138 kV, é de 3192 MVA com ângulo de 80,2°. Na base de 100 MVA tem-se:

$$R_{ss} = \frac{100}{3192} \cdot \cos(80,2) = 0,00533 \text{ pu} \quad (1)$$

$$X_{ss} = \frac{100}{3192} \cdot \sin(80,2) = 0,03087 \text{ pu} \quad (2)$$

#### B.2.2 Equivalente entre as barras em 138 e 23 kV.

Entre essas duas barras existem três transformadores que estão conectados através de cabos em 23 kV com comprimento da ordem de 30 metros. Esses cabos apresentam as seguintes características:

$$R_{cabo} = 0,0010 \text{ pu}$$

$$X_{cabo} = 0,0020 \text{ pu}$$

Os transformadores possuem os dados característicos indicados na Tabela B.1

Grandeza	Transformadores para o circuito da Figura 2.1		
	T-44	T-45	T-46
Potência em MVA	25/30	25/30	25/30
Tensões em kV	131/23	131/23	131/23
Impedância a 75°C em %	7,93	8,70	7,94
Relação X/R	21,59	21,59	21,59

Utilizando os dados anteriores, os transformadores T-44, T-45 e T-46 com os respectivos cabos em 23 kV, operando em paralelo, é apresentado com o seu circuito equivalente em pu, na base de 100 MVA indicado na Figura B.2, cujo equivalente foi inserido entre as barras B1 e B2 na Figura B.1.

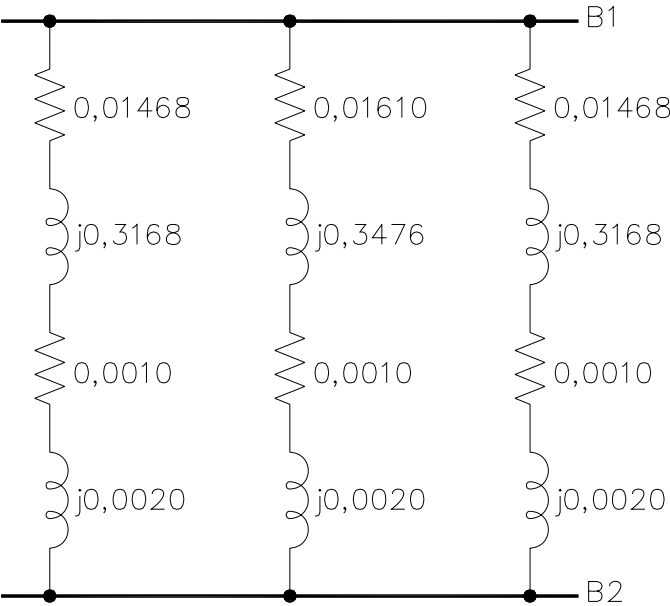


Figura B.2 - Circuito equivalente em pu para os três transformadores de 131 / 23 kV.

### B.1.3 Cabo entre a barra de 23 kV e o forno FEA1.

Os dados deste cabo instalado entre as barras B2 e B3 na Figura B.1, em pu estão apresentados a seguir:

$$RC23 = 0,00190 \text{ pu}$$

$$XC23 = 0,00335 \text{ pu}$$

### B.1.4 Reator $L3$ .

O chaveamento do reator  $L3$  é importante, pois influencia diretamente a curva de carregamento e o intervalo de tempo correspondente ao ciclo de carregamento do forno. Os dados característicos em pu deste reator, utilizados para condição atual ( $1,1 \Omega$ ) e indicados na Figura B.1 entres as barras B2 e B3, são:

$$RL3 = 0,00204 \text{ pu}$$

$$XL3 = 0,20793 \text{ pu}$$

### B.1.5 Transformador do forno elétrico a arco (FEA1).

O transformador do forno apresenta diversos tap's conforme Tabela C.1 que são alterados ao longo do processo de fusão. Os valores de resistência ( $RT047$ ) e de reatância indutiva ( $XT047$ ) do transformador T-047 utilizando-se uma relação X/R de 22,87, correspondente ao FEA1 no tap de 0,578 kV em pu, são:

$$RT047 = 0,01775 \text{ pu}$$

$$XT047 = 0,4059 \text{ pu}$$

Para o cabo refrigerado, há os valores de resistência (RCR) e reatância indutiva (XCR) dados a seguir:

$$RCR = 0,00001 \text{ pu}$$

$$XCR = 1,17402 \text{ pu}$$

O circuito equivalente de Thevenin do FEA1 para a análise do ponto de operação ótimo, na condição de curto circuito trifásico, ou seja, estando os três eletrodos em contato com a sucata, é mostrado na Figura B.3 (HSUN-TSU e WU CHI-JUI, 2002).

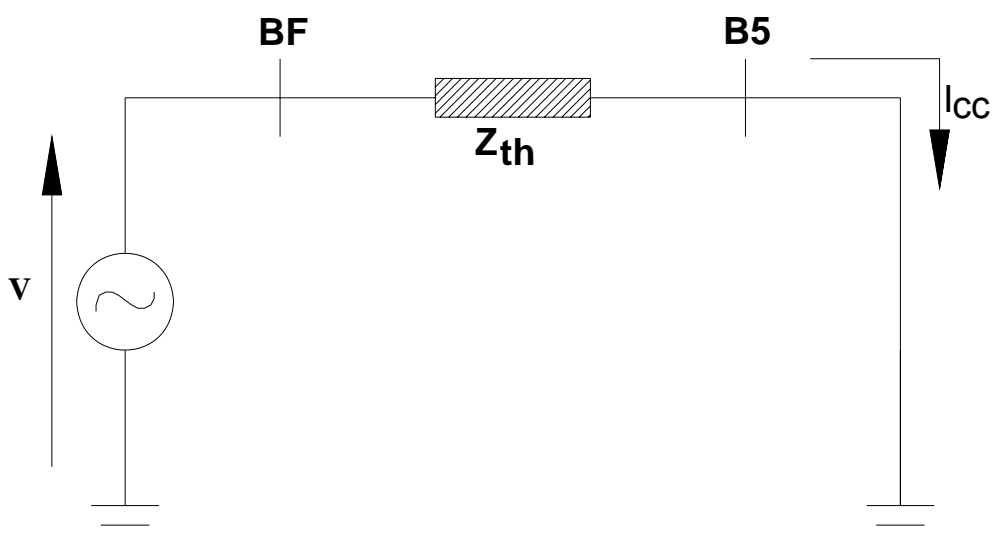


Figura B.3 - Circuito equivalente na condição de máxima corrente.

Para o sistema em análise, tem-se:

$$Z_{th} = 0,03308 + j1,93316 \text{ pu} \quad (3)$$

Logo,

$$I_{cc}(pu) = \frac{1}{Z_{th}} = 0,51721 \text{ pu} \quad (4)$$

Ou ainda,

$$I_{base} = \frac{SB}{\frac{\sqrt{3} \cdot UB}{1000}} = \frac{100}{\frac{\sqrt{3} \cdot 578}{1000}} = 99,89 \text{ kA} \quad (5)$$

$$I_{base} = 0,51721 \cdot 99,89 = 51,66 \text{ kA} \quad (6)$$

A corrente nominal do transformador do FEA1, no tap de 578 V é de:

$$I_{nT} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,578} = 29,96 \text{ kA} \quad (7)$$