

REATÂNCIA INDUTIVA DO CIRCUITO DO FORNO A ARCO E APLICAÇÃO DE REATORES SÉRIE¹

L. R. Jaccard²

Resumo

É comum considerar que a instalação de reatores é a única forma de estabilizar o arco e reduzir as correntes de curto-circuito do forno. Na realidade, a estabilização do arco depende apenas do cosseno ϕ operacional e as correntes de curto-circuito não dependem somente da reatância do circuito mas também da tensão aplicada ($I_{máx} ; V / X$). O certo é que para operar o forno com arco estável durante o início do período de fusão de uma carga de sucata é necessário manter um fator de potência baixo (0,65 a 0,75). E, para obter esses baixos valores de cosseno ϕ é preciso manter a relação $V / (I \cdot X)$ abaixo de determinado valor, concluindo-se que para obter a estabilidade do arco, com determinada relação V / I , é necessário que o circuito possua uma reatância X superior a determinado valor. Mas, também é verdade que para determinada reatância é possível estabilizar o arco diminuindo a tensão (V) ou aumentando a corrente (I). Se o valor de $V / (I \cdot X)$ é demasiado alto, o cosseno ϕ também é elevado (porque $\sin \phi ; I \cdot X / V$), o arco se torna muito instável e a potência ativa do forno cai fortemente. A vantagem de operar com altas tensões é a obtenção de menores consumos de eletrodos e, para operar na fusão de sucata com altas relações V / I e arco estável, e assim poder usufruir dos baixos consumos de eletrodos, é necessário que o circuito possua reatâncias relativamente altas, precisando, em muitos casos, da instalação de um reator em série. Do lado oposto, para reduzir os índices de erosão de refratários precisa-se de tensões mais baixas e correntes mais elevadas, sendo preferível que a reatância do circuito seja baixa.

Palavras-chave: Reator; Reatância; Estabilidade de arco; Fator de potência; Forno a arco.

INDUCTIVE REACTANCE OF THE EAF CIRCUIT AND EMPLOYMENT OF SERIES REACTORS

Abstract

Commonly, it is considered that the only way to stabilize the arc and, also, to reduce the EAF short circuit currents is the installation of a series reactor. But, as a matter of fact, the arc stabilization depends only on power factor and the short circuit currents do not depend exclusively on the circuit reactance but also on the applied voltage ($I_{max} ; V / X$). The truth is that to operate the furnace with a stable arc during the beginning of the scrap melting period it is necessary to maintain a low power factor (0,65 to 0,75). And, in order to obtain these low P.F.'s, the $V / (I \cdot X)$ relation must be lower than a certain value, leading to conclude that to obtain the arc stability with a certain V / I relation the circuit reactance must be higher than a minimum determined value. But, it is also true, that for a certain reactance value it is possible to stabilize the arc lowering the voltage or increasing the current. If the $V / (I \cdot X)$ value is too high, the power factor is also high and the arc becomes too much unstable causing a strong active power reduction. The operation with high voltages is recommended to obtain low electrode consumption. And, to stabilize the arc with high V / I relations during the melting stage, the circuit reactance shall be high enough to reduce the power factor to convenient values (0,65 to 0,75). In some cases, to attain the ideal reactance value, a series reactor must be installed. The opposite situation is the operation with low voltages, recommended to obtain low refractory erosion, which needs a low circuit reactance.

Key words: Reactor; Reactance; Arc stability; Power factor; Arc furnace.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Engenheiro Eletricista – Luis R. Jaccard / Consultoria sobre Fornos a Arco e Sistemas Elétricos.*

HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE REATORES

Até os anos 60, a grande maioria dos fornos operava com reator série. O motivo disto era a baixa potência (1 MVA a 5 MVA) utilizada nessa época. Um forno de, por exemplo, 10 toneladas, com um transformador de 2,5 MVA, operava geralmente com aproximadamente 200 V (a tensão era escolhida entre 120 V e 240 V porque estes eram os valores considerados normais nessa época e não por razões de conveniência operativa). Apesar da tensão de 200 V parecer muito baixa nos dias de hoje, esse valor, em um forno de baixa potência, podia provocar uma relação V / I superior à utilizada atualmente nos fornos modernos. No exemplo anterior, a corrente era de 7,2 kA e a relação V / I era de $200 \text{ V} / 7,2 \text{ kA} = 28 \text{ V} / \text{kA}$. Em casos como este, era necessário instalar reatores série para aumentar a reatância do circuito e estabilizar o arco.

Nos anos 70, para poder utilizar altas potências sem danificar o refratário foi implantada a operação com baixas relações V / I . Um exemplo típico dessa época poderia ser um forno de 48 MVA operando com 520 V e 53 kA, neste caso: $V / I = 520 \text{ V} / 53 \text{ kA} = 9,8 \text{ V} / \text{kA}$. Para casos como este, o ideal era que o circuito fosse de baixa reatância e, por esse motivo, não era conveniente instalar reatores. A grande desvantagem desse tipo de operação (chamada UHP ou ultra alta potência) era o alto consumo de eletrodos (5 kg/t) provocado pelas baixas tensões de arco.

No final dos anos 80 começaram a ser instalados os fornos que foram chamados de alta reatância⁽¹⁾ e que operavam com relações V / I elevadas. Por exemplo, um forno de 48 MVA, como o do exemplo anterior, era modificado para operar com 900 V e 31 kA, relação $V / I = 29 \text{ V} / \text{kA}$. As altas tensões utilizadas permitiam a operação com baixos consumos de eletrodos (2 kg/t) e, pelo fato das potências não serem demasiado elevadas, as correntes eram baixas e as relações V / I eram altas, obrigando à instalação de reatores para poder estabilizar o arco durante a fusão.

A partir dos anos 90 e até a atualidade foram instalados muitos fornos com transformadores de 100 a 120 MVA e tensões de 1000 V a 1.300 V. Para estes fornos, em geral, os aumentos da tensão foram baixos se comparados com os aumentos da potência e, como consequência, a necessidade de reator, em certos casos, desapareceu. Por exemplo, para um forno que operava com 100 MVA, 1000 V e 58 kA, sem SVC, a reatância existente no circuito podia ser suficiente para obter os baixos cossenos fi necessários para estabilizar o arco durante a fusão, sem necessidade do reator série.

COMPARAÇÃO DA OPERAÇÃO DOS FORNOS DE ALTA REATÂNCIA COM OS DE BAIXA REATÂNCIA

Observe-se que a necessidade de operar com baixos cossenos fi ocorre unicamente durante a fusão da sucata, especialmente no período de penetração do eletrodo na sucata e no início da fusão quando as peças de sucata caem próximas aos eletrodos. No final da fusão e, especialmente, no período de operação com escória espumante, o arco é sempre estável, independentemente do valor do cosseno fi . Por esse motivo, um forno pode ser operado nos primeiros minutos com tensões elevadas e reatâncias elevadas e, no final, com tensões elevadas e reatâncias baixas. As tensões mais elevadas são convenientes para obter baixos consumos de eletrodos e, por esse motivo, nos fornos que processam um alto percentual de sucata é necessário, às vezes, utilizar altas reatâncias durante a fusão, entanto que no caso dos fornos que operam com alto percentual de ferro esponja carregado

continuamente, pode ser conveniente operar com tensões um pouco mais baixas durante o curto período da fusão, sem necessidade de reator, e aproveitar a menor reatância durante o período final, quando é possível operar com altas tensões e altos cossenos fi (maior tensão de arco, menor consumo de eletrodos e maior potência), sem que ocorra instabilidade de arco.

Outra possibilidade, que é mais justificável nos fornos que operam com alto percentual de sucata, é instalar reatores com reatância variável para operar com altas reatâncias no início da fusão e baixas reatâncias no final de fusão.

CÁLCULO DAS REATÂNCIAS E DOS REATORES, EXEMPLOS

Faremos uma estimativa das reatâncias necessárias para operar corretamente durante o período de fusão de sucata.

Admitamos que se deseje operar no início da fusão com um cosseno fi de 0,707 (não é uma regra fixa) e que a reatância operacional para essa condição seja igual a 1,25 vezes a reatância senoidal do circuito.⁽²⁾ Nesse caso, a reatância necessária para obter o cosseno fi 0,707 será:

$$X \text{ necessária} = V \cdot \text{sen fi} / (1,73 \cdot I \cdot 1,25) = (V / I) \cdot 0,707 / (1,73 \cdot 1,25) = 0,32 \cdot V / I$$

Para calcular o valor do reator série precisamos conhecer, além do valor da reatância necessária, a reatância total existente no circuito:

$$X \text{ reator} = X \text{ necessária} - X \text{ existente}$$

A reatância existente é igual à soma de todas as reatâncias do circuito (reatância da rede + reatância do transformador da subestação + reatância do transformador do forno + reatância do forno). Aqui existe uma pequena complicação para quem não está familiarizado com circuitos elétricos, que é o cálculo das reatâncias do circuito para cada valor de tensão secundária. Vamos obviar isto, para explicar melhor o conceito, e considerar um sistema típico com uma reatância total de 6,0 mOhms referida ao secundário (inclui 3,5 mOhm do forno + 1,0 mOhm do transformador do forno + 1,5 mOhm do transformador da subestação e da rede).

$$\text{Neste caso: } X'' \text{ reator} = X \text{ necessária} - 6,0 \text{ mOhm} = 0,32 \times (V / I) - 6,0 \text{ mOhm}$$

Como exemplo, tensão secundária nominal de 800 V, corrente de 30 kA:

$$X'' \text{ reator (referida ao secundário)} = 0,32 \times 800 \text{ V} / 30 \text{ kA} - 6,0 \text{ mOhm} = 2,5 \text{ mOhm}$$

Se conclui que, para o caso do exemplo, a reatância do circuito, referida ao secundário, precisa ser aumentada em 2,5 mOhm. Como os reatores só podem ser instalados no primário (porque no secundário as correntes são demasiado elevadas) precisamos saber qual é o valor da reatância a ser acrescentado no primário para provocar o efeito equivalente a 2,5 mOhm no secundário:

$$X \text{ reator (Ohm)} = (V_{\text{prim}} / V_{\text{sec}})^2 \times 2,5 \text{ mOhm} \cdot 10^{-3}$$

Se a tensão primária fosse de, por exemplo, 33 kV:

$$X_{\text{reator}} = (33 \text{ kV} / 0,8 \text{ kV})^2 \times 2,5 \text{ mOhm} \times 10^{-3} = 4,2 \text{ Ohm}$$

Outros exemplos estão na Tabela 1.

Tabela 1. - Cálculo do reator para diferentes valores de V e I.

S (MVA)	V (V)	I (kA)	Xnecessária (mOhm)	Xexistente (mOhm)	Xreator'' (mOhm)	Vprim. (kV)	Xreator (Ohm)
5	300	9,62	9,98	6,0	3,98	13,8	8,4
7,5	300	14,43	6,65	6,0	0,65	13,8	1,4
40	600	38,49	2,77	6,0	- 1,01	33	- 3,0
40	700	32,99	6,79	6,0	1,79	33	2,2
40	800	28,86	8,87	6,0	2,87	33	4,9
75	1000	43,30	7,39	6,0	1,39	33	1,5
100	800	72,16	3,54	6,0	- 2,46	33	- 4,2
100	1050	54,98	6,11	6,0	- 0,11	33	0,1
100	1200	48,11	7,98	6,0	1,98	33	1,5
120	1150	60,24	6,10	6,0	0,10	33	0,0
120	1250	55,42	7,21	6,0	1,21	33	0,8
120	1350	51,32	8,42	6,0	2,42	33	1,4

Se observa que para alguns casos de relações tensão / corrente baixas, seria preferível reduzir a reatância (X reator negativa), em lugar de aumentá-la. Para o caso do forno de 100 MVA que opera com 1050 V não é conveniente instalar um reator e, para o caso do forno de 100 MVA que opera com 1.200 V pode ser instalado um reator de 1,5 Ohm ou pode ser reduzida a tensão nos primeiros minutos da fusão para 1.000 V e operar sempre sem reator. No caso do forno que opera com 120 MVA e 1.150 V também não é conveniente instalar um reator. Se a reatância existente no circuito for inferior a 6 mOhm, a necessidade de aumento da reatância será superior à calculada e, se for superior a 6 mOhm, o reator necessário será menor que o calculado.

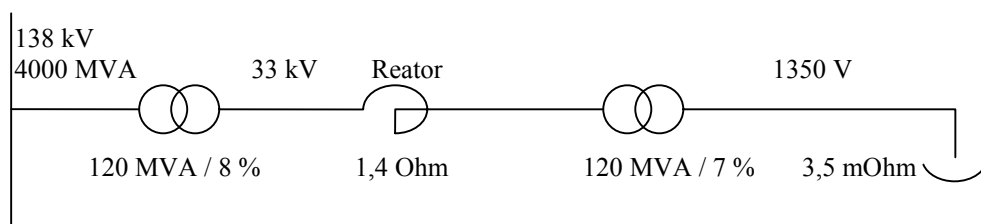


Figura 1 – Exemplo típico do circuito de um forno que opera com 120 MVA e 1350 V.

CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO DOS FORNOS

A corrente de curto-circuito do forno é aquela que ocorre cada vez que uma peça de sucata toca nos eletrodos. O valor da corrente de curto-circuito é igual à tensão dividida pela reatância.

$$I_{cc} = V / 1,73 \cdot X$$

E, a corrente de operação do forno é:

$$I = V \cdot \text{sen } \phi_i / 1,73 \cdot X \cdot F_{op}$$

Concluindo-se que:

$$I_{cc} / I = F_{op} / \text{sen } \phi_i$$

Onde F_{op} é o efeito da instabilidade do arco sobre a reatância, que é função do cosseno ϕ_i .

Alguns exemplos de relações entre a corrente de curto-circuito e a corrente de operação normal durante o início da fusão, estão na Tabela 2.

Tabela 2. Relação entre a corrente de curto-circuito do forno e a corrente nominal.

Cos ϕ_i	F_{op}	I_{cc} / I
0,60	1,20	1,50
0,65	1,22	1,60
0,70	1,25	1,77
0,75	1,32	2,00
0,80	1,45	2,41

De igual forma podem-se relacionar as potências de curto-circuito do forno com as potências ativas:

$$Scf (MVA) / P (MW) = F_{op} / \cos \phi_i \cdot \text{sen } \phi_i$$

Relação Scf / P em função do cosseno ϕ_i , no início da fusão (Tabela 3).

Tabela 3. Relação entre a potência de curto-circuito do forno e a potência ativa.

Cos ϕ_i	F_{op}	Scf / P
0,60	1,20	2,50
0,65	1,22	2,50
0,70	1,25	2,50
0,75	1,32	2,67
0,80	1,45	3,02

Do anterior, conclui-se que, operando em condições normais, para reduzir a potência de curto-circuito do forno deve ser reduzida a potência ativa (menor produção).

EFEITO DA REATÂNCIA SOBRE O FLICKER

As flutuações de tensão (*flicker*) provocadas pelo forno sobre a rede são proporcionais à potência de curto-circuito Sc_f do forno e inversamente proporcionais à potência de curto-circuito da rede, Sc_n :

$$P_{st} = K_{st} \cdot Sc_f / Sc_n$$

Onde K_{st} é uma constante que depende do estágio da fusão.

Na Tabela 3 verificou-se que Sc_f depende apenas do cosseno ϕ_i e da potência ativa e que para obter o mínimo valor de Sc_f e, portanto, os mínimos níveis de *flicker*, operando com uma determinada potência ativa, é necessário reduzir o cosseno ϕ_i a valores próximos de 0,70.

Muitas vezes é defendida a inclusão de um reator série para diminuir o *flicker*. Entretanto, se após a inserção do reator a tensão secundária não é aumentada, a potência ativa cai e a redução do *flicker* é conseguida às custas de uma redução da produtividade. Para recuperar a potência ativa desejada, é necessário aumentar a tensão, e o aumento da tensão provoca o retorno do *flicker* ao nível anterior, quando não existia o reator.

Conclui-se que a regra para considerar a inclusão ou não de um reator continua sendo a de manter o fator de potência em níveis próximos de 0,70 durante o período de início da fusão. É nesse período que o cosseno ϕ_i deve ser mantido em valores baixos para estabilizar o arco e, também, é nesse período que os níveis de *flicker*, para igual Sc_f , são mais elevados (maior K_{st}). A solução para os dois problemas – estabilidade do arco e menor *flicker* – é conseguida, para igual potência ativa, reduzindo o cosseno ϕ_i a valores próximos de 0,70. Portanto, a inclusão do reator só se justifica quando, para os níveis de potência ativa, tensão secundária e corrente desejados, a reatância existente no circuito não é suficiente para permitir a potência ativa requerida operando com cossenos ϕ_i da ordem de 0,70, no início da fusão.

OPERAÇÃO COM SVC

O SVC (*static var compensator*) é um estabilizador de tensão, instalado no barramento de alimentação do transformador do forno, cujo objetivo é diminuir o *flicker* (flutuações da tensão e da iluminação) e / ou compensar os reativos injetados na rede (corrigir o fator de potência da rede). Deve ser esclarecido que o SVC estabiliza a tensão em determinado ponto do circuito, mas não estabiliza o arco.

Do ponto de vista da operação do forno, a instalação de um SVC equivale a uma redução da reatância do circuito porque o efeito de estabilizar a tensão primária (de, por exemplo, 33 kV) é similar ao da eliminação das reatâncias do transformador abaixador da subestação e da rede.

Em um caso típico de um forno com reatância de 3,7 mOhm e transformador de forno com reatância de 0,80 mOhm, a reatância total do circuito cai para apenas 4,5 mOhm. Portanto, um forno que opera alimentado por um circuito onde existe um SVC se comporta como um forno de baixa reatância, com as vantagens e os inconvenientes desse tipo de operação.

Para o período de fusão de sucata, considerando que o SVC provoca um efeito similar ao da redução da reatância existente no circuito, verifica-se a necessidade de instalar um reator de maior reatância que no caso do circuito sem SVC.

No que se refere ao período de refino (no final, quando já não existe mais a escória espumante), as vezes pode ser vantajoso operar com as máximas correntes do transformador, com tensões inferiores à máxima e com reatâncias baixas, para obter altas potências sem aumentar demasiado a tensão de arco (não tomar isto como uma regra fixa porque depende de cada forno).

Com base no anterior se conclui que para o forno que opera com sucata e com SVC no circuito, pode ser interessante instalar um reator com reatância variável que permita inserir altas reatâncias durante a fusão e reatância zero no final da fusão e no refino.

Um exemplo poderia ser um forno de 100 MVA que opere com SVC e 1.200 V (48 kA) durante a fusão de sucata e com 1000 V (58 kA) no período de refino. Neste caso, para operação no início de fusão, com a tensão primária de 33 kV e a reatância existente de 4,5 Ohm, deveria ser instalado um reator de 2,6 Ohm (ver forma de cálculo no item anterior). A reatância do reator seria gradualmente reduzida ao longo da corrida até ser eliminada no período final.

Aqui se verifica um paradoxo que ocorre em casos em que o SVC é instalado para aumentar a potência do forno, como é feito em algumas siderúrgicas da Europa: se instala o SVC com o objetivo de obter um efeito equivalente ao da redução da reatância e, depois, é instalado um reator de alta potência para aumentar a reatância. O SVC deve ser instalado para reduzir o *flicker* ou, dependendo da forma de cobrança do excesso de reativos, para aumentar o fator de potência da rede.

Uma vez instalado o SVC, para operar convenientemente durante o período de fusão, deve ser prevista a necessidade de incorporar um reator série de relativamente alta reatância para compensar o efeito de redução de reatância provocado pelo SVC e estabilizar o arco na fusão.

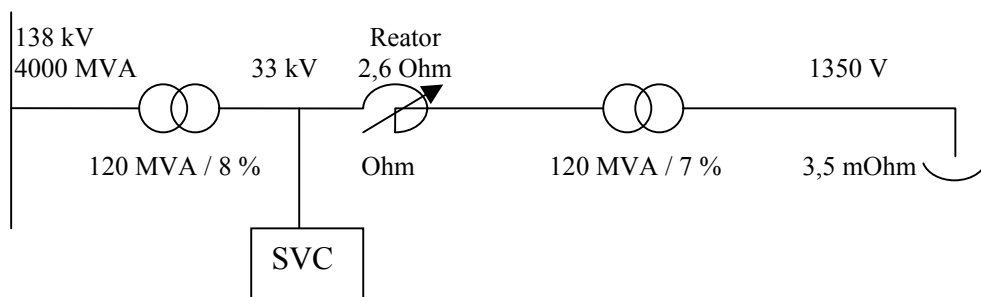


Figura 2 – Exemplo típico do circuito de um forno que opera com 120 MVA e 1350 V, com SVC

CASOS ESPECIAIS

Em certos casos particulares pode ser necessário prever a utilização de reatores para limitar a corrente de inserção (*inrush*) que ocorre cada vez que os transformadores dos fornos são energizados.

Um caso a ser estudado é o dos transformadores de forno ligados diretamente em redes de alta tensão (115 kV, por exemplo) e de alta potência de curto-circuito; em certo caso houve indícios que os esforços eletrodinâmicos criados pelas elevadas correntes de *inrush* provocavam deslocamentos dos enrolamentos de AT do transformador.

Entretanto, sempre que se instale um reator limitador das correntes deve ser lembrado que o mesmo afeta, para bem ou para mal, à operação do forno, conforme foi discutido anteriormente.

OS REATORES

Em primeiro lugar deve ser esclarecido que o reator (ou indutor) é apenas um elemento passivo do circuito que possui uma determinada reatância indutiva ($X = 2\pi fL$, onde L é a indutância e f é a frequência da rede), não se tratando de algum dispositivo inteligente com capacidade de estabilizar as correntes de arco. O efeito de aumento da reatância proporcionado por um reator sobre o circuito é similar ao provocado por um transformador.

O reator deve ser utilizado apenas quando a reatância do circuito do forno, para a condição desejada de tensão e corrente, é insuficiente para reduzir o fator de potência (medido como P (MW) / S (MVA)) até os valores que permitem a estabilização do arco no início da fusão (0,65 / 0,75).

Existem fundamentalmente dois tipos de reatores: os imersos em óleo, que podem ser trifásicos ou monofásicos e, os secos, com núcleo de ar, que são monofásicos.

Os reatores secos normalmente precisam de um espaço maior e, por esse motivo, são instalados na subestação principal enquanto que os reatores em óleo podem ser instalados na mesma sala do transformador do forno ou na subestação principal; no primeiro caso geralmente são refrigerados por água e no segundo caso a refrigeração do óleo é realizada através de ventilação forçada.

Quando se deseja variar a reatância do reator ao longo da corrida, devem ser instalados reatores em óleo, com comutação de taps baixo carga.

Os reatores secos são os de menor preço e os em óleo com comutador baixo carga são os de preço mais elevado.

Outra particularidade dos reatores em óleo, com núcleo de ferro, é que estes podem saturar (perder o efeito da reatância) quando as correntes são muito superiores às nominais. Por este motivo quando os reatores são utilizados para limitar as correntes de curto-circuito da rede ou as correntes de inserção dos transformadores, pode ser necessário instalar reatores secos (a estudar cada caso).

RESUMO

- A instalação de um reator só é justificada quando a reatância existente no circuito não é suficiente para permitir a obtenção dos baixos cossenos ϕ (da ordem de 0,70), necessários para a estabilização do arco no início da fusão.
- Os fornos de arco podem operar com circuitos de baixa reatância (por exemplo, 4,5 mOhm) ou de alta reatância (por exemplo, 8 mOhm).
- A reatância baixa é conveniente para o tipo de operação com tensões baixas e correntes altas que pode ser o preferido, em certos casos ou momentos, para reduzir a irradiação de calor para as paredes ou para diminuir o comprimento do arco, sem reduzir a potência. O inconveniente deste tipo de operação é o maior consumo de eletrodos.
- As reatâncias altas podem ser preferidas para estabilizar o arco ao operar com tensões altas durante a fusão de sucata. Com este tipo de operação podem ser obtidos consumos de eletrodos mais baixos.

- Quando se opera com escória espumante é possível utilizar altas tensões de arco sem necessidade de aumentar a reatância do circuito, porque o arco se estabiliza mesmo com altos cossenos ϕ . Por esse motivo, não se justifica instalar reatores série no caso de fornos que operam com elevado porcentual de carga contínua de ferro esponja. O limite para a tensão de arco nestes casos é o máximo comprimento de arco, que deve ser inferior à altura da escória espumante.
- Nos fornos que utilizam altas tensões durante a fusão de sucata pode ser conveniente operar com alta reatância nesse período e com baixa reatância nos períodos de escória espumante e de refino.
- A medida que a potência nominal do forno aumenta sem a contrapartida de um forte aumento da tensão, a necessidade do reator desaparece. Por exemplo, um forno de 120 MVA que opera com 1150 V, em um circuito com reatância total de 6 mOhm, não precisa de reator.
- A inclusão de reatores para obter reduções dos níveis de flicker segue o mesmo critério da instalação de reatores para estabilização do arco. Isto é, só é justificada quando a reatância existente no circuito não é suficiente para reduzir o cosseno ϕ a valores próximos de 0,70, no início da fusão, operando com os valores de potência, tensão e corrente desejados.
- A instalação de um SVC (static var compensator) equivale a uma redução da reatância do circuito, com as vantagens e inconvenientes que se derivam desse fato.
- Para aumentar a reatância do circuito podem ser utilizados reatores secos com núcleo de ar ou reatores imersos em óleo com comutação de taps sob carga. Os primeiros são de menor custo e os últimos permitem variar a reatância ao longo da fusão.
- Os reatores (ou indutores) são apenas elementos passivos que possuem uma certa reatância indutiva que é utilizada para reduzir o fator de potência do forno quando é necessário, mas não são, como as vezes se imagina, dispositivos inteligentes que aumentam a estabilidade do arco,

REFERÊNCIAS

- 1 Jaccard L. R.- "Tecnologia dos fornos elétricos de corrente alternada a arco longo" – Revista Metalurgia e Materiais – ABM – Vol 53, Nº 464, Abril / 97.
- 2 Jaccard L.R. - "Principios básicos para definición de los parámetros operacionales de los hornos de arco - Diferenciación según la etapa de fusión – Efectos sobre el flicker la productividad y el consumo de electrodos" - 15º Seminario de Acerías del IAS – San Nicolás – Argentina, Nov / 05.