

EFEITOS DOS REATORES DE INTERFASE DOS EQUIPAMENTOS DE TRACÇÃO URBANA (METRÔ), EM SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE ENERGIA (APLICAÇÃO NOS METRÔS DE SUPERFÍCIE DE BRASÍLIA E BELO HORIZONTE)

João Roberto Cogo

Av. BPS, Nº 1303 - Caixa Postal 50 - Itajubá - MG

Fone: (035) 3622-1674 FAX: (035) 3622-3596 - BRASIL

Artigo publicado na Revista Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico
ISSN 0101-5850 - Junho de 1996 - números 1-2 páginas 58 a 60

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de um sistema elétrico face a cargas especiais do tipo tração urbana (metrô). Para tanto, será feita análise do sistema de suprimento de energia considerando-se transformadores de três enrolamentos alimentando pontes conversoras a diodos em formação de GRAETZ, sendo na saída destas pontes será considerado o uso ou não dos reatores de interfase. Serão feitas análises das possibilidades de uso destes equipamentos em um sistema típico (Brasília) visando determinar:

- a - o nível de distorção da corrente e tensão com e sem o reator de interfase;
- b - o efeito dos harmônicos no dimensionamento do transformador e diodos com e sem reator de interfase;
- c - o efeito dos harmônicos determinados em b em bancos de capacitores eletricamente próximos aos transformadores das pontes conversoras com e sem rotor de interfase.

ABSTRACT

The purpose of this work is to assess the behavior of an electrical system in face of special urban traction (underground) - type loads. With this intent, an analysis of the energy supply system will be carried out by considering three-winding transformers feeding diode converter bridges in GRAETZ; in the outlet of bridges the use or not of the interphase reactors will be considered. Analyses of the use possibilities of such equipment in a typical system (Brasília) will be carried out aiming to determine:

- a - current and voltage distortion level with and without interphase reactor;
- b - effect of harmonics on the transformer sizing and or diodes with and without interphase reactor;
- c - effect of harmonics determined in b in capacitor banks electrically near to transformers of the converter bridges with and without interphase reactor.

1 - INTRODUÇÃO

O sistema InterFase (SIF), quando utilizado, permite agrupar em paralelo duas pontes conversoras com os mesmos valores médios de tensões de saída e pulsos fora de fase. O SIF é usado portanto para absorver a diferença de potencial instantânea, entre duas pontes conversoras em paralelo, onde a corrente de carga é subdividida entre as mesmas. O período de condução do elemento de um circuito retificador é portanto determinado pelo número de fases da tensão AC e do grupo de comutação.

O SIF reduz o pico e o valor efetivo da corrente através de cada elemento do circuito. No sistema com interfase é como se houvessem duas pontes em formação de GRAETZ independentes com cada uma fornecendo metade da corrente de carga.

A Bobina de Interfase é recomendável para reduzir o conteúdo harmônico da corrente nos secundários do transformador do conversor acarretando uma redução na potência aparente [KVA] do transformador.

O aumento da impedância dos transformadores provoca o mesmo efeito da bobina interfase, porém piora a regulação do conversor (redução da tensão no lado DC com o aumento da carga) devido aos aumentos da queda de tensão interna no transformador e do ângulo de comutação.

As FIGURAS 1 e 2 ilustram o sistema em análise. O efeito do SIF é obtido usando-se no sistema das FIGURAS 1 ou 2 um valor de indutância, L, diferente de zero.

2 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA EM ANÁLISE

O sistema em análise é aquele apresentado na FIGURA 2 através de seu diagrama unifilar. Assim analisam-se os casos: com interfase (L diferente de zero) e sem interfase (L igual a zero).

As análises no item 2.1, consideram um sistema ideal do lado de corrente alternada onde não se leva em conta o efeito da comutação.

2.1 - ANÁLISE DO SISTEMA COM E SEM INTERFASE

Considerando na FIGURA 2 $L = 0$ a forma de onda de corrente em cada diodo, IDEALMENTE, é definida pela comutação do lado DC. (Vide FIGURA 1).

Devido ao efeito da bobina de interfase ocorre condução simultânea das pontes (geração de f.e.m que mantém os diodos polarizados), porém com metade da corrente de carga, até um valor mínimo de corrente, o qual depende de L. (Vide FIGURA 1).

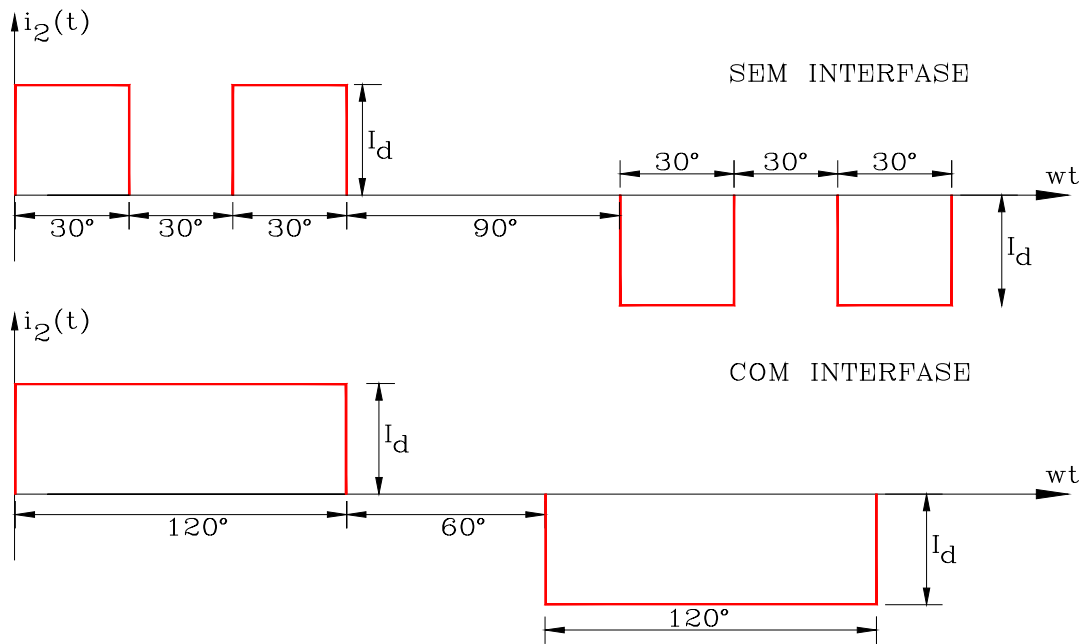


FIGURA 1 - FORMAS DE ONDA TEÓRICA DE CORRENTE

A relação a seguir indica os valores importantes de corrente, tensão e potência com e sem SIF.

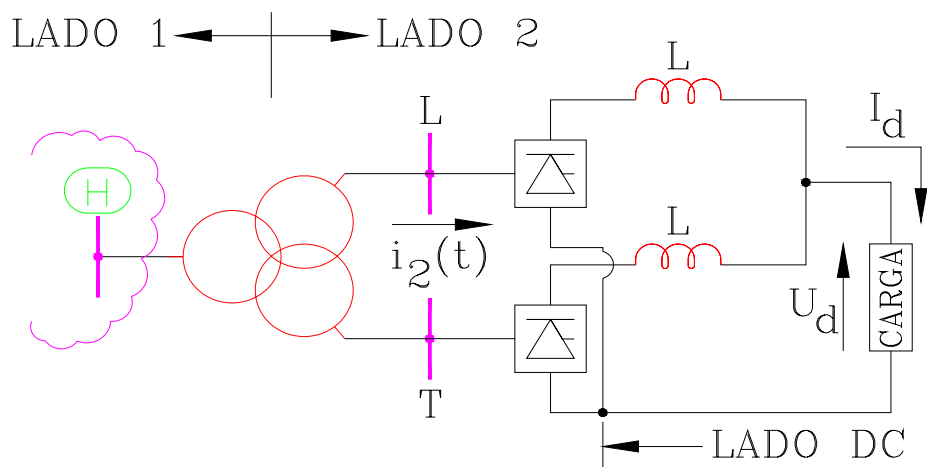


FIGURA 2 - SISTEMA EM ANÁLISE

SEM INTERFASE	COM INTERFASE
$I_2 = I_d / \sqrt{3}$	$I_2 = I_d / \sqrt{6}$
$I_{TAV} = I_d / 6$	$I_{TAV} = I_d / 6$
$I_{RRM} = I_d / \sqrt{6}$	$I_{RRM} = I_d / \sqrt{12}$
$U_d = 1.398 U_2$	$U_d = 1.35 U_2$
$S_2 = 0,715 P_d$	$S_2 = 1,048 P_d$
$S_1 = 1,240 P_d$	$S_1 = 1,048 P_d$

onde:

- I_2 = valor eficaz da corrente de linha no secundário do transformador;
 I_{TAV} = valor médio da corrente no diodo (ramo);
 I_{RRM} = valor eficaz da corrente no diodo (ramo);
 U_d = valor médio da tensão;
 S_2 = potência de cada secundário;
 U_2 = tensão eficaz fase-fase no lado secundário do transformador;
 S_1 = potência no lado primário do transformador;
 I_d = corrente no lado DC.

O conteúdo harmônico do secundário do transformador sofre inferência devido à presença ou não da bobina de interfase e, portanto, a regulação de tensão especificação dos transformadores deve ser diferente para os dois casos. A simulação do sistema em análise foi feito usando-se o programa MICROTRAN*.

Entre os transformadores típicos de Belo Horizonte e Brasília, adotou-se aqueles com as seguintes características.

2.2 - DADOS DO TRANSFORMADOR DE 3025 [KVA] - BRASÍLIA

1512,5[KVA]	14490-637[V] $\Delta/Z_{ps} = 8,0$; $X_{ps} = 7,98517$; $R_{ps} = 0,48690$
	14490-637[V] $Y/Z_{pt} = 8,0$; $X_{pt} = 7,98517$; $R_{pt} = 0,48690$
	637-637[V] $Z_{st} = 14,4$; $X_{st} = 14,37330$; $R_{st} = 0,87642$
	14490 [V] $\Delta/Z_p = 0,8$; 637[V] $\Delta/Z_s = 7,2$; 637[V] $Y/Z_t = 7,2$
3025 [KVA]	14490-637-637[V] $Z_{pst} = 8,0$; $X/R = 16,4$

2.3 - DADOS DO TRANSFORMADOR DE 3150 [KVA] - BELO HORIZONTE

3150 [KVA], 138/1,2777 [KV], $\Delta - Y\Delta$, $U_d = 3000[V]$ com catenária retorno por trilho isolado.

Por motivos de espaço neste trabalho e, pelo fato do Metrô de Belo Horizonte ter optado pela conexão série das pontes (sem reator de interfase) apresenta-se o resultado apenas para o sistema de Brasília onde o sistema elétrico de suprimento de energia é determinado considerado se os seguintes dados.

$$U_N = 13,8 [KV]; S_{CC} = 350 [MVA]$$

 * MICROTAN é marca registrada a Microtran Power System Analysis Corporation

3 - EFEITO DAS CORRENTES DE CARGA DO LADO DE CORRENTE CONTÍNUA

A menor corrente admitida no lado de corrente contínua foi de 100 [A] para o transformador típico de 3025 [KVA] e para o cálculo da corrente máxima admitiu-se que a potência nominal do lado de corrente contínua é de:

$$P_{\text{NDC}} = 3 \times 2750 = 8250 \text{ [KW]} \text{ com e sem interfase}$$

Assim as correntes máximas obtidas serão de 9,263 [KA] sem interfase e 9,594 [KA] com interfase.

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:

As formas de onda apresentadas no item 2.1 deste trabalho referem-se a um ideal sem comutação. Para o sistema em análise, caso real, o limite de corrente para se ter a forma de onda esperada teoricamente é, aproximadamente, de 400 [A].

4 - RESULTADOS OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES

Os harmônicos de corrente obtidos são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 - HARMÔNICOS DE CORRENTE OBTIDAS (n - ORDEM DO HARMÔNICO)							
I_d [A]	n	SEM INTERFASE [%]			BASE [A]		
		IH	IL	IT	IH	IL	IT
100	5	-	73,68	72,82	3,54	40,05	40,56
	7	-	51,57	50,88			
	11	8,22	8,76	7,61			
	13	6,63	6,10	7,04			
3088	5	-	27,11	27,16	106,07	1207,2 1	1205,6 7
	7	-	7,75	7,85			
	11	4,46	4,40	4,50			
	13	3,24	3,23	3,25			
500	5	-	60,38	60,33	17,5	199,8	199,2
	7	-	30,07	38,53			
	11	5,97	5,81	6,18			
	13	4,42	4,37	4,41			

A regulação de tensão com e sem o SIF para o sistema apresentado na FIGURA 2 é dada na TABELA 2.

TABELA 2 - REGULAÇÃO DE TENSÃO COM E SEM INTERFASE		
I_d [A]	U_{dc} [V]	U_{ds} [PU]
0	859,950	890,559
100	838.741	839,433
600	811.623	809,938
3088	773.535	773,535
9263	688.200	608,200

Na TABELA anterior tem-se:

I_d = corrente do lado DC;

U_{dc} = tensão média de saída com interfase;

U_{ds} = tensão média de saída sem interfase.

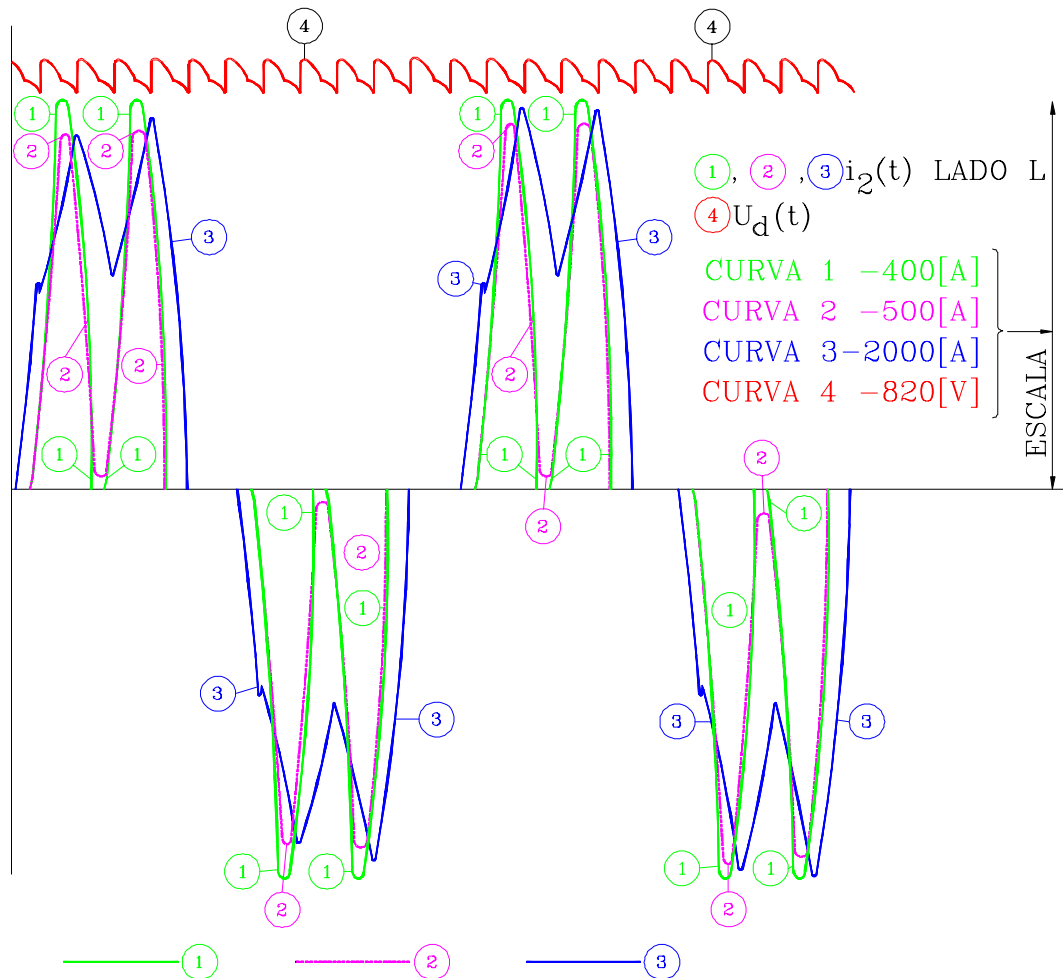
5 - CONCLUSÕES

Nota-se que o efeito da impedância dos transformadores é fazer com que a partir de um certo valor de corrente o sistema se comporte como se houvesse o sistema de interfase. Assim para o sistema simulado até 400 [A] a forma de onda de corrente é a prevista na teoria (item 2.1 deste trabalho) após, aproximadamente, 400 [A] a forma de onda da corrente já se comporta como se houvesse o interfase porém com muita ondulação conforme casos simulados.

Nota-se que a distribuição de corrente para valores elevados não ocorre da mesma forma que para 400 [A] ou seja o período de condução do diodo começa a aumentar comportando-se das seguintes formas:

- para $I_d \leq 400$ [A] condução 30° bloqueio 30° condução 30° bloqueio 270°;
- para $I_d \geq 500$ [A] condução 120° bloqueio 240°.

Ou seja, para correntes menores que 400 [A] o sistema comporta-se como se não tivesse interfase e, a partir de 500 [A], como se houvesse interfase. Por outro lado, a distribuição de corrente no lado de corrente alternada é bem ondulada se comparada ao caso do transformador contendo reator de interfase, levando-se a um aumento de harmônicos em alta frequência bem como alteração do período de condução de correntes dos diodos.



6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - ACOSTA, Orlando N.: Interphase Transforms for multiple connected Power rectifiers - IEEE Transactions on Industry General Applications - Vol. IGA 1 n° 6 - Nov/Dec 1965.
- [2] - VILLABLANCA, M. E. and ARRILAGO, J.: Pulse multiplication in parallel converters by multitap control of interphase Reoutn - IEE proceedings - B. Vol. 139 n°1, January 1992.