







Capítulo XV

Proteção de conversores e semicondutores

Por Cláudio Mardegan*

O objetivo deste capítulo é prover informação para que se possa efetuar ajustes para a proteção de conversores estáticos e semicondutores.

As normas empregadas para a elaboração deste capítulo foram:

- IEC 146 1973 Semiconductor Convertors
- IEEE Std 444 1973 "IEEE Standard Practices and Requirementes for Thyristor Converters for Motor Drives"

IEC Duty classes

Na prática, é difícil prever o perfil diário da carga para definir o conversor e, mesmo conhecendo o perfil, ele não pode ser tomado como base para testes e garantias. Assim, o que se faz é prover valores de corrente constantes de carga para uma dada duração. A norma IEC prevê estes ciclos padronizados de

TABELA I - IEC DUTY CLASSES Corrente nominal para conversores e condições de teste (valores em **Duty class** percentual da corrente nominal DC) 1 100% continuamente Ш 100% continuamente 150% 1 minuto Ш 100% continuamente 150% 2 minutos 200% 10 segundos IV 100% continuamente 125% 2 horas 200% 10 segundos V 100% continuamente 150% 2 horas 200% 1 minuto VΙ 100% continuamente 150% 2 horas 300% 1 minuto

carga, apresentados na Tabela 1, obtida da norma IEC 146 1973. Esta norma apresenta seis níveis de suportabilidade térmica.

IEEE Duty classes

A norma IEEE Std 444 provê estes ciclos padronizados de carga na Tabela 1 da citada norma, representado aqui pela Tabela 11.2. Esta norma apresenta 30 "duty classes", ou seja, 30 ciclos de suportabilidade térmica, tanto para longa como para curta duração.

A Figura 1 mostra um exemplo das curvas tempo versus corrente de um "duty cycle" típico do IEEE, com os pontos característicos:

- A Ponto de operação nominal
- B Ponto de suportabilidade de longa duração
- C Ponto de suportabilidade de curta duração
- D Ponto de ensaio (teste de curta duração)

Uma vez que a corrente é dada do lado DC, as Tabelas 3 e 4 apresentam como calcular o valor do lado AC, conforme a configuração.

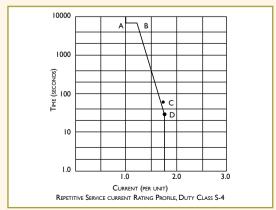


Figura I – Exemplo de curva tempo versus corrente, conforme norma IEEE Std 444 – 1973.











Proteção e seletividade









TABELA 3 - CORRENTE DO LADO AC EM FUNÇÃO DA CONEXÃO DO TRANSFORMADOR (CONFORME IEC).

Con- nec- tion No.	Transformer connection		Celi			Acr	Line	Cell side	Um	rie.	P	duck	Terminals to be short-circuited at transformer loss			Total longs in windings	Terminals, to be short
	Line side	Cell side	connection	'	,	E.	factor	factor I, I,	U _{re}	U _{An}	EFaul.	f.m	tot		****	ін сопусти органия	sincuited for
		,				١,	1. 4						14	15	E In	17	18
-	-			1	-	Si	-		ay connection				1 14	1.15	1 10 1	- "	1 10
		1	1-54-		Г			0.707	0.45	314	3.14	0.707					
1	- 1	~- }-	9	2	2	2	0.5	(1)	(12)	(a):	(1)	$\binom{1}{p_2}$	0-1	0-2		$\frac{P_A+P_B}{2}$	1-2
2	or \prec	un So'	ŧ ŧ ŧ .	3	3	3	$\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$	0.577 (1)	0675 (1/2)	(2n) (2n)	(2*) (3)	(1/3 (1/3)	1-2-3			$P_4 \cdot \frac{r_2}{4} I_4^2$	143
j.	Δ	, \\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\	ŧŧŧŧŧ.	6		6	$(\sqrt[0.8]{\frac{1}{3}})$	(16.)	(365 132	2199 (2.5)	209 (29)	1.5 10 0.5	1-3-5	246		1.5 Px Px	Average of 1-3-5 and 2-4-6
•	$\overset{\triangle}{\circ r}_{\prec}$	冰片	ŧŧŧŧŧ.	6	6	6	$\left(\sqrt[0.816]{\frac{7}{3}}\right)$	0.408 (1)	(34.5 (34.5)	(21)	209 (24 3	1.5 for 0.5	1-2 3-4 5-6	2-3 4-5 6-1	Aver- age of 1-3-5 and 2-4-6	P4 - 2P4 + 3P5	Average of 1-3-5 and 2-4-6
5	$\overset{or}{\prec}$	3 -{}}	\$\$\$ \$\$\$.	.6	3	3 2	0.408 (†)	0.289 (1 21/3)	0.675 (3)	209 (2s)	2.42 (4.4 (3)3)	0.5	1.1-5	2-4-6		$\frac{P_{\bullet} \cdot P_{\bullet}}{2}$	Average of 1-3-5 and 2-4-6
6	Δ	***	++ ++ ++.	6	2	3	(1 V 3)	0236 (1 372)	(1/2) (1/2)	J.14 T.es	50	0.75 hi 0.5	1-3-5 1-11-111	2-4-6 1 III III		1125 21 176	1-4 2-5 3-6
_	4-				5	ingle	convertor, w	niform doub	de-way conn	-							-
,	1	4 j	1 1	2	2	×	, ex	1	(21/2 *)	(†)	(*)	0.707 (1)	1-2			P3	1-2
10	or'\	,Á,****	444	6	3	٨	$(\sqrt[0.816]{\frac{7}{3}})$	$(\sqrt[0.816]{\frac{2}{3}})$	(3)/2 (3)/2	(*)	105 (*)	и5	1-2-3			e,	1-2-3
11a	or'≺	"YA, -< "-		12	1	i	$\begin{pmatrix} 0.789 \\ \frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{3}} \end{pmatrix}$	0.408 (1)	(3/2)	(*)	(*)	0.52 to 0.2h	1-3-5	2-4-6	1,3-5	0.034 (P _A + P _B) +0.340 P _C	Average of 1-3-5 and 3-4-6

TABELA 4 - CORRENTE DO LADO AC EM FUNÇÃO DA CONEXÃO DO TRANSFORMADOR (CONFORME IEEE).

Con- nec- tion No.	Transformer connection		Call	,		Age	Line side current	Cell side current	U _{se}	U _p ,	Em.	-	Terminals to be short-occurred at transformer loss feat			Total losses in windings in sourceton	Terminals tiche about circuited	
	aide	Cell side	4	5		7	factor F _{1.} /f ₂	factor f _e /f _d	16	e dan	U ₄₆	13	A 14	#1. 15	C 16	opuration 17	fue full	
11b Same as 11a but with Sal 100 separate transformers			Same as 11a	12	1	,	(1789 (1747) (217)	(1 am (1)	(3) ² (3) ²	('1)	('1)	0/52		1	135	1.07 /;	1-1-5 2-4-6	
12	$\overset{\circ}{\circ}^{\leftarrow}$	4	\$,\$,\$ <u>\</u>	12	,	,	6.789 (1+9/3 (29/3	0.408	$\binom{3/2}{\sigma}$	(†)	10	0.26	Aver- age of 1-3-5 and 2-4-6	2-3 4-3 6-1	1-2 3-4 5-6	1.31 P _a 0.00 P _a 0.27 P _b	Average of 1-3-5 and 2-4-6	
13a	or-<	"y∆, -		12	1	12	(1.578 (1.173 (13)	$(\sqrt[nate]{\frac{7}{3}})$	(612 (2)	(1524 (1)	(3.24 (*)	0.52 60 0.26	103	246	1-3-5 2-4-6	$\begin{array}{c} 0.003.5(P_4\cdot P_B) \\ + 0.9000P_b^* \end{array}$	Average of 1-3-5 and 2-4-6	
13b	13b Same as 13a but with two separate transformers		Same as 13a	12	,	12	(11/3) (11/3)	$(\sqrt[3]{\frac{7}{3}})$	(%) (%)	(*)	0.534 (*)	0.52			135 246	1.07 Pc	1-3/5 2-4 6	
1					Sing	de ros	evenue, non	uniform do	alite way our	moctives								
21	- 1	чj	# #	2	2	-	V	V.,.	(315)	(157 (1)	(†)	0.307 (1)	1-2			P_{t}	12	
22	or. \	Alle of June	\$ \$ \$		3.	-	See sub- chase 412.2	See sub- clause 412.3	1.85 (3f2)	(1)	(*)	0.5	12.6			P_{i}	123	
_				-	_		Double o	MYCHOLOG	motion									
я	$_{\rm or}^{\prec}$	- (1) - (1) -	titiiiittttt	See contraction No. 5														
32	or'	***	444444444		Sec connection No. 5													
33	or \				See	озвлю	otion No. 10	N.										
34	or \rangle	A or s	41.44		Sex contraction No. 10													









Proteção dos conversores

Nos itens 3 e 4, foram apresentados os valores suportáveis pelos conversores, segundo as normas IEC e IEEE, respectivamente.

A proteção deve permitir a circulação da corrente nominal do sistema, porém, a curva característica do relé de proteção deve ficar abaixo da característica de suportabilidade térmica para o respectivo conversor, de modo a garantir a sua proteção.

Para determinar os valores das correntes do lado AC a partir do lado DC, as Tabelas 3 e 4 podem ser utilizadas.

Devido à característica necessária à proteção dos semicondutores, a curva mais adequada para a proteção de fase é a extremamente inversa.

Deve-se sempre consultar as recomendações dos fabricantes, tanto para saber a real suportabilidade térmica de cada equipamento quanto para os valores recomendados de proteção dos respectivos equipamentos.

Proteção do conjunto

Para a proteção do conversor, é preciso utilizar as suportabilidades térmicas fornecidas pelos fabricantes. Apresenta-se a seguir uma explanação básica para a proteção do conjunto (transformador + cabos + inversor). A Figura 2 mostra duas configurações típicas.

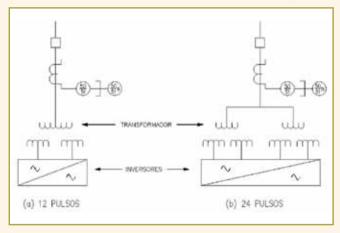


Figura 2 – Topologia típica do conjunto de inversor de frequência e transformador para (a) 12 pulsos e (b) 24 pulsos.

Protecão

Pelo menos os seguintes quesitos devem ser observados para a proteção do conjunto:

- (a) Permitir a circulação da corrente nominal do inversor;
- (b) Proteger termicamente contra sobrecargas do inversor/ transformador/cabos, conforme suas características térmicas de curta e longa duração;
- (c) Permitir a corrente inrush do(s) transformador(es);
- (d) Atuar instantaneamente para curto-circuito no primário;
- (e) Atuar temporizadamente para curto-circuito no secundário.

A Figura 3 mostra o gráfico tempo versus corrente para a proteção de um sistema de 12 pulsos.

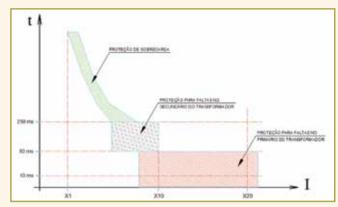


Figura 3 – Coordenograma típico de proteção de um conjunto transformador + inversor.

Proteção contra sobrecarga

Deve permitir o equipamento (inversor) operar à plena carga e também permitir as sobrecargas previstas para as suas respectivas capacidades térmicas (duty cycle).

Proteção para faltas no secundário

Deve permitir que a proteção do inversor opere primeiro. Assim, a proteção primária deve operar de forma temporizada (< 250 ms) para faltas no secundário.

Proteção para faltas no primário

Deve proteger o conjunto para curtos-circuitos no enrolamento primário do transformador/cabo alimentador do transformador e, assim, entrar em operação instantaneamente, porém deve permitir a circulação da corrente inrush, de forma a permitir a sua energização.

Particularidades:

- (a) A corrente que circula quando há queima de um diodo/tiristor, principalmente no caso de um sistema de 24 pulsos, é de difícil determinação.
- (b) Para sistemas de 24 pulsos, fica difícil proteger os quatro enrolamentos secundários, cuja potência individual é ¼ da potência total do enrolamento primário, dentro dos critérios do NEC (< 2.5 ln).
- (c) Para permitir a circulação da corrente inrush e baixar o instantâneo do primário ao máximo possível, recomenda-se utilizar dois grupos de ajustes: o primeiro, que deve ser utilizado na etapa da energização (ajuste instantâneo < corrente de inrush), e o segundo grupo, utilizando um valor menor de corrente que garanta uma melhor proteção.

CLÁUDIO MARDEGAN é engenheiro eletricista formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá (atualmente Unifei). Trabalhou como engenheiro de estudos e desenvolveu softwares de curto-circuito, load flow e seletividade na plataforma do AutoCad. Além disso, tem experiência na área de projetos, engenharia de campo, montagem, manutenção, comissionamento e start up. Em 1995 fundou a empresa EngePower* Engenharia e Comércio Ltda, especializada em engenharia elétrica, benchmark e em estudos elétricos no Brasil, na qual atualmente é sócio diretor. O material apresentado nestes fascículos colecionáveis é uma síntese de parte de um livro que está para ser publicado pelo autor, resultado de 30 anos de trabalho.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br