

Tutorial

Variações de tensão de curta duração – Parte 3

Exemplo de aplicação – Agregação de eventos

A Tabela 1 apresenta o registro de vários eventos individuais obtidos para um determinado ponto de monitoração, em um período de 30 dias consecutivos, culminando em um total de 33 eventos.

TABELA 1 – REGISTRO DE EVENTOS INDIVIDUAIS DE VTCD EM UM DETERMINADO PONTO DE MONITORAÇÃO

Sequência	Data	Instante inicial (t_i)	Instante final (t_f)	Duração (Δt_e)	Amplitude (V_e %)	Tipo	Fase	Evento Agregado			
								Duração (Δt_e)	Amplitude (V_e %)	Fase(s)	Tipo
1	05/11/2016	15:27:16,723	15:27:17,686	00:00:00,963	80%	AMT	A	00:00:01,117	75%	ABC	AMT
2	05/11/2016	15:27:16,800	15:27:17,840	00:00:01,040	75%	AMT	B				
3	05/11/2016	15:27:17,010	15:27:17,654	00:00:00,644	85%	AMT	C				
4	10/11/2016	18:12:24,450	18:12:28,655	00:00:04,205	81%	ATT	B	00:00:04,205	81%	B	ATT
5	12/11/2016	21:45:16,356	21:45:16,879	00:00:00,523	85%	AMT	B	00:00:00,565	78%	BC	AMT
6	12/11/2016	21:45:16,425	21:45:16,921	00:00:00,496	78%	AMT	C				
7	12/11/2016	21:45:16,567	21:45:16,995	00:00:00,428	112%	EMT	A	00:00:00,428	112%	A	EMT
8	24/11/2016	15:56:23,367	15:56:24,231	00:00:00,864	68%	AMT	A	00:00:00,920	65%	ABC	AMT
9	24/11/2016	15:56:23,367	15:56:24,231	00:00:00,864	65%	AMT	B				
10	24/11/2016	15:56:23,367	15:56:24,231	00:00:00,864	67%	AMT	C				
11	24/11/2016	15:57:02,234	15:57:03,154	00:00:00,920	72%	AMT	A				
12	24/11/2016	15:57:02,234	15:57:03,154	00:00:00,920	71%	AMT	B				
13	24/11/2016	15:57:02,234	15:57:03,154	00:00:00,920	73%	AMT	C				
14	26/11/2016	12:14:45,786	12:14:45,824	00:00:00,038	54%	AMT	A	00:00:00,109	54%	AB	AMT
15	26/11/2016	12:14:45,818	12:14:45,895	00:00:00,077	60%	AMT	B				
16	26/11/2016	14:43:56,126	14:43:56,765	00:00:00,639	86%	AMT	C	00:00:00,705	86%	CA	AMT
17	26/11/2016	14:43:56,997	14:43:57,702	00:00:00,705	88%	AMT	A				
18	27/11/2016	17:34:56,345	17:34:56,879	00:00:00,534	89%	AMT	A	00:00:00,836	42%	ABC	AMT
19	27/11/2016	17:34:56,345	17:34:56,879	00:00:00,534	87%	AMT	B				
20	27/11/2016	17:34:56,345	17:34:56,879	00:00:00,534	42%	AMT	C				
21	27/11/2016	17:36:06,121	17:36:06,675	00:00:00,554	87%	AMT	A				
22	27/11/2016	17:36:06,121	17:36:06,675	00:00:00,554	86%	AMT	B				
23	27/11/2016	17:36:06,121	17:36:06,675	00:00:00,554	45%	AMT	C				
24	27/11/2016	17:37:46,340	17:37:47,002	00:00:00,662	88%	AMT	A				
25	27/11/2016	17:37:46,342	17:37:47,176	00:00:00,834	89%	AMT	B				
26	27/11/2016	17:37:46,348	17:37:46,994	00:00:00,646	47%	AMT	C				
27	28/11/2016	12:24:45,678	12:24:46,276	00:00:00,598	78%	AMT	A	00:00:01,580	78%	AB	AMT
28	28/11/2016	12:26:06,723	12:26:07,856	00:00:01,133	81%	AMT	A				
29	28/11/2016	12:27:44,456	12:27:46,036	00:00:01,580	86%	AMT	B				
30	30/11/2016	19:12:23,345	19:12:23,423	00:00:00,078	45%	AMT	A	00:00:00,595	35%	AC	AMT
31	30/11/2016	19:13:54,624	19:13:54,809	00:00:00,185	35%	AMT	A				
32	30/11/2016	19:14:59,748	19:15:00,343	00:00:00,595	65%	AMT	C				
33	30/11/2016	19:15:23,983	19:15:24,718	00:00:00,735	71%	AMT	C	00:00:00,735	71%	C	AMT

Como pode ser observado na Tabela 1, os 33 eventos individuais, após as devidas agregações, resultaram em um total de apenas 11 eventos agregados a serem efetivamente contabilizados. De forma complementar, tem-se ainda que:

- [1] As agregações de fases foram realizadas com base no critério da união de fases;
- [2] Os eventos individuais 16 e 17 são consecutivos (e não simultâneos), de forma que foram considerados os critérios de agregação temporal para caracterização do evento agregado representativo dos mesmos;
- [3] A agregação dos eventos 18 a 26 foi realizada considerando-se inicialmente a agregação de fases para os conjuntos de eventos 18-20, 21-23 e 24-26. Com base nos resultados dessas agregações de fase, procedeu-se à agregação temporal dos três eventos resultantes, conforme mostrado no exemplo da Figura 5 (Parte 2 deste tutorial publicado na edição anterior);
- [4] A agregação dos eventos 27-29 foi realizada conforme mostrado no exemplo da Figura 6 (Parte 2 do tutorial);
- [5] A agregação dos eventos 30-33 foi realizada conforme mostrado no exemplo da Figura 7 (Parte 2 do tutorial).

Exemplo de aplicação – Cálculo do fator de impacto

A Tabela 2 apresenta um resumo dos eventos registrados após as agregações efetuadas no tópico anterior.

TABELA 2 – RESUMO DOS EVENTOS AGREGADOS

Evento	Duração			Amplitude	Fases	Tipo
	hh:mm:ss,000	ms	Ciclos			
1	00:00:01,117	1117,0	67,0	75%	ABC	AMT
2	00:00:04,205	4205,0	252,3	81%	B	ATT
3	00:00:00,565	565,0	33,9	78%	BC	AMT
4	00:00:00,428	428,0	25,7	112%	A	EMT
5	00:00:00,920	920,0	55,2	65%	ABC	AMT
6	00:00:00,109	109,0	6,5	54%	AB	AMT
7	00:00:00,705	705,0	42,3	86%	CA	AMT
8	00:00:00,836	836,0	50,2	42%	ABC	AMT
9	00:00:01,580	1580,0	94,8	78%	AB	AMT
10	00:00:00,595	595,0	35,7	35%	AC	AMT
11	00:00:00,735	735,0	44,1	71%	C	AMT

Na sequência, considerando-se os eventos agregados indicados na Tabela 2, aloca-se a quantidade de eventos registrados em cada região de sensibilidade definida no módulo 8 do Prodist, conforme mostrado nas Tabelas 3 e 4.

TABELA 3 – ESTRATIFICAÇÃO DOS EVENTOS EM FUNÇÃO DA DURAÇÃO E AMPLITUDE

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	[100 ms - 300 ms]	[300 ms - 600 ms]	[600 ms - 1 seg]	[1 seg - 3 seg]	[3 seg - 1 min]	[1 min - 3 min]
< 1,15							
[1,10 - 1,15]			1				
[0,85 - 0,90]				1			
[0,80 - 0,85]						1	
[0,70 - 0,80]			1	1	2		
[0,60 - 0,70]				1			
[0,50 - 0,60]		1					
[0,40 - 0,50]				1			
[0,30 - 0,40]			1				
[0,20 - 0,30]							
[0,10 - 0,20]							
< 0,10							

TABELA 4 – ESTRATIFICAÇÃO DOS EVENTOS POR REGIÃO DE SENSIBILIDADE

Amplitude (pu)	Duração									
	[16,67 ms - 100 ms]	[100 ms - 300 ms]	[300 ms - 600 ms]	[600 ms - 1 seg]	[1 seg - 3 seg]	[3 seg - 1 min]	[1 min - 3 min]			
< 1,15	H (1)			I (0)						
[1,10 - 1,15]	H (1)			I (0)						
[0,85 - 0,90]	A (1)									
[0,80 - 0,85]	A (1)									
[0,70 - 0,80]	B (0)	D (2)		G (4)						
[0,60 - 0,70]				G (4)						
[0,50 - 0,60]	C (0)	D (2)		F (2)						
[0,40 - 0,50]										
[0,30 - 0,40]	E (1)		F (2)							
[0,20 - 0,30]										
[0,10 - 0,20]	E (1)						F (2)			
< 0,10	E (1)									

Na sequência, o cálculo do Fator de Impacto é realizado utilizando-se a equação (1), considerando-se os fatores de ponderação, assim como o FIBASE, indicados na Tabela 5.

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} \times f_{pi})}{FI_{BASE}}$$

TABELA 5 – FATORES DE PONDERAÇÃO E FATOR DE IMPACTO BASE DE ACORDO COM A TENSÃO NOMINAL

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação (fp)	Fator de Impacto Base (FI _{BASE})	
		1,0 kV < Vn < 69 kV	69 kV ≤ Vn < 230 kV
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Considerando-se que o ponto de monitoração se refere ao ponto de entrega de uma unidade consumidora atendida em média tensão, tem-se que FIBASE = 2,13. Assim, tem-se:

$$FI = \frac{(1 \times 0,00) + (0 \times 0,04) + (0 \times 0,07) + (2 \times 0,15) + (1 \times 0,25) + (2 \times 0,36) + (4 \times 0,07) + (1 \times 0,02) + (0 \times 0,04)}{2,13}$$

Resultando, finalmente:

$$FI = 0,737 pu$$

Referências bibliográficas

- [1] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição. Módulo 8, Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 8. 2016.
- [2] IEEE PES. IEEE Guide for Voltage Sag Indices. IEEE Std 1564 - 2014.
- [3] IEC – International Electrotechnical Commission. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4.30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods. IEC 61000-4-30. Edition 2.0, 2008-10.

*José Rubens Macedo Jr. é engenheiro eletricista, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica. Desenvolveu seu pós-doutorado nos Estados Unidos e é senior member no IEEE desde 2007. Atualmente, é professor da Faculdade de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).