

Avaliação do Comportamento de Contatores Frente à Afundamentos de Tensão

Fernanda L. da Silva, Filipe Marçal, Gabriel G. R. Nascimento, Maisa de A. C. Alves, Aurélio L. M. Coelho e José Eugenio L. de Almeida,

Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira

fernandalaura05@hotmail.com, filipemarcal07@hotmail.com, gabriel.guimaraes@unifei.edu.br, assis.maisa@gmail.com, aurelio.coelho@unifei.edu.br, j.eugenio@unifei.edu.br

Resumo — Este artigo apresenta um estudo do comportamento de contatores frente à afundamentos de tensão, onde serão avaliados dois modelos comerciais muito utilizados nas indústrias aqui chamados de X e Y. Sabe-se que contatores submetidos à afundamentos tendem a desatracar suas bobinas, ocasionando interrupções de processos que podem gerar grandes prejuízos financeiros. Devido ao grande potencial de impacto desses eventos, é importante estabelecer limites de imunidade aos afundamentos desses equipamentos, através da determinação da curva de sensibilidade. Assim, esse estudo apresenta as curvas de sensibilidade de ambos os contatores utilizados, comparando-os em relação aos níveis de amplitude e duração suportados.

Palavras-chaves — Contatores, afundamento de tensão, qualidade de energia.

I. INTRODUÇÃO

A qualidade de energia elétrica e o estudo dos seus fenômenos é atualmente um tópico muito importante na Engenharia Elétrica visto sua influência técnica e financeira dentro de uma indústria. Dentre os fenômenos de qualidade, o afundamento momentâneo de tensão (AMT), quando combinado com a sensibilidade de alguns equipamentos, causa um número considerável de interrupções indesejadas no processo produtivo de uma empresa, resultando em prejuízos financeiros e perda de credibilidade das concessionárias frente ao consumidor afetado [1] [2].

Visto a importância do tema, esse artigo aborda o comportamento de contatores quando submetidos à afundamentos de tensão. Sabendo que as características de imunidade à afundamentos podem variar entre fabricantes, será realizado um estudo comparativo entre dois contatores de fabricantes diferentes, aqui denominados X e Y.

A. Afundamentos de Tensão

Os afundamentos de tensão, chamado também de *voltages sags* ou *voltages dips*, são fenômenos inerentes do sistema elétrico que causam variações de tensão de curta duração.

Os AMTs são classificados principalmente segundo dois órgãos: IEEE (*Institute of Electric and Electronics Engineers*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*). O IEEE, órgão americano, estabelece que o afundamento é uma diminuição do valor RMS da tensão para um valor entre 0,1 e 0,9 p.u., de duração entre 0,5 ciclo e 1 min, sendo o afundamento caracterizado pela sua tensão remanescente. Por sua vez, o órgão europeu, IEC, classifica como afundamento

as quedas de tensão que ocorrem entre 0,10 e 0,99 p.u., com duração também entre 0,5 ciclo e 1 min. Apesar de existirem outras classificações de afundamentos, por exemplo em relação a energia presente no fenômeno, as duas formas apresentadas são as mais difundidas entre os pesquisadores, sendo que a forma do IEEE será adotada nesse estudo [1].

Segundo as classificações, os principais parâmetros que definem um AMT são a tensão remanescente, a duração do fenômeno e sua frequência de ocorrência. No caso de eventos monofásicos, que serão os abordados nesse artigo, classifica-se o afundamento de tensão pela sua menor tensão remanescente durante a ocorrência do distúrbio e a duração do evento, como apresentado na Fig. 1 [1] [2].

Com relação às causas, os afundamentos são gerados por eventos do sistema, como por exemplo, partida de grandes motores, energização de transformadores e ocorrência de curto-circuitos. Em geral, a ocorrência de faltas é o fator que mais causa afundamentos de tensão, sendo que o tipo de afundamento irá depender do tipo de falta, da sua duração e localização, da impedância de falta, da tensão pré-falta e da atuação do sistema de proteção [1] [2].

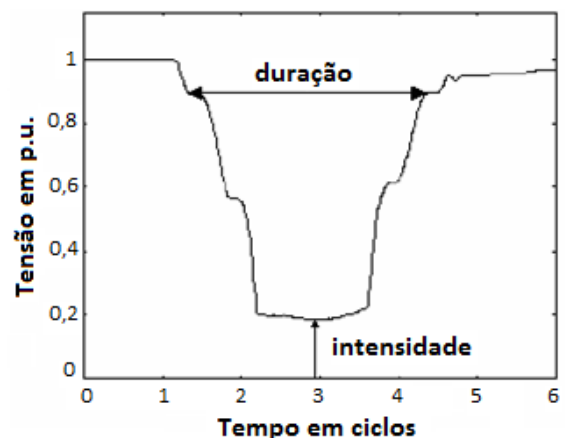


Fig. 1. Caracterização de eventos monofásicos de afundamentos de tensão em relação à intensidade e duração [2].

Já em relação às consequências do AMT, essas irão depender da sensibilidade da carga submetida ao mesmo. Em geral, os afundamentos são muito prejudiciais para as indústrias, uma vez que cargas como controladores lógicos programáveis, cargas com acionamentos à velocidade variável, e motores CA e CC são sensíveis a esse distúrbio. Tratando-se do contator, objeto de estudo do artigo, quando o mesmo é submetido à afundamentos ele pode desatracar as

bobinas e causar perdas de produção devido à paradas indesejadas dos processos [1] [2].

Visto as consequências dos AMTs, existem várias medidas preventivas e corretivas que podem ser aplicadas. Dentre elas estão as práticas realizadas pelas concessionárias, que visam diminuir a severidade do afundamento de tensão, ou práticas dos consumidores, como por exemplo, a instalação de sistemas condicionadores de energia ou sistemas de proteção. Além disso, ainda existem as práticas dos fabricantes de equipamentos que objetivam a diminuição da sua sensibilidade. Em relação aos contadores, por exemplo, podem ser adotadas ações para retardar a abertura das suas bobinas [1] [2].

B. Contadores

Os contadores são dispositivos eletromecânicos de comutação, essenciais para circuitos elétricos, uma vez que podem ser usados para controlar o estado operacional da sua carga, isto é, ligado ou desligado. A principal aplicação desses dispositivos é em partidas de motores, sendo assim, dispositivos extremamente importantes para processos industriais.

Construtivamente, os contadores são compostos por um núcleo ferromagnético, bobina e contatos (principais e auxiliares). O núcleo é composto por uma parte fixa e outra móvel, ver Fig. 2, que ficam separadas pela ação de uma mola.

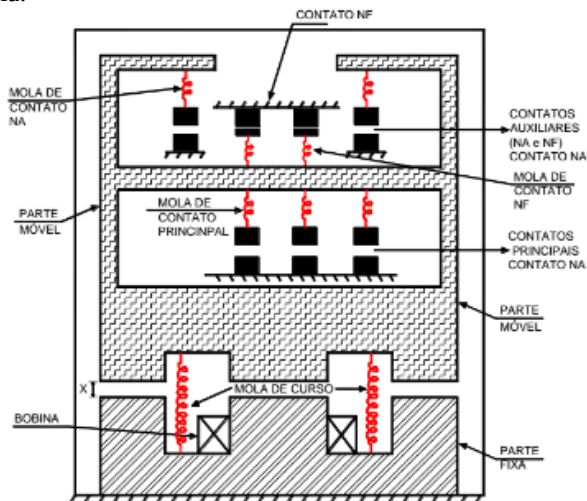


Fig. 2. Diagrama esquemático de um contador [3].

Quando ocorre a energização da bobina do contador, o campo magnético cria uma força capaz de superar a força da mola que atrai a parte móvel, atracando o núcleo. Ao atracar, o contador muda o estado de seus contatos, que podem ser originalmente normalmente abertos ou normalmente fechados, e dessa forma é possível energizar ou desenergizar cargas [3]. Pelo seu aspecto construtivo, as bobinas dos contadores tem que ser alimentadas com tensão suficiente para suprir a força da mola e atracar seu núcleo. Por esse motivo, os contadores são cargas sensíveis aos afundamentos de tensão. Isso porque, como AMTs são caracterizados por uma variação de tensão de

curta duração, dependendo do nível dessa variação, o contador pode vir a desatracar.

Como os afundamentos de tensão são fenômenos presentes no sistema elétrico, e eliminá-los é praticamente impossível, os fabricantes de contadores tem o desafio de construir dispositivos mais robustos, ou seja, com um maior grau de imunidade aos AMTs. Essa imunidade à afundamentos de tensão pode ser caracterizada pela curva de sensibilidade do contador. A Fig. 3 mostra um exemplo de curva de sensibilidade de contadores, onde se relaciona tanto a intensidade quanto a duração de eventos, além dos ângulos de disparo da tensão (ângulo de fase da onda de tensão no qual o AMT irá se iniciar). Nessa curva, a região azul apresenta a região de operação normal do contador, e as demais regiões apresentam as condições de intensidade e duração de AMT que o dispositivo não é capaz de suportar [4].

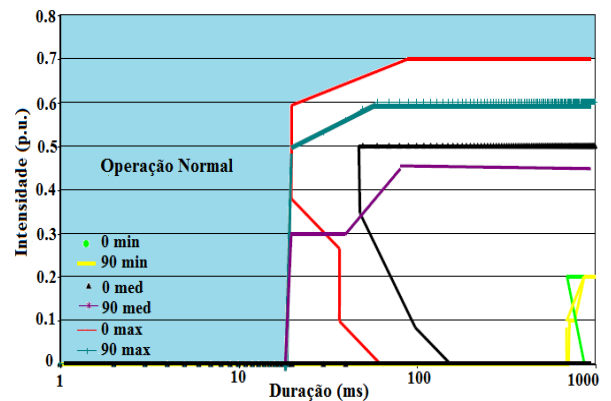


Fig. 3. Exemplo de curva de sensibilidade de contador [1]

II. METODOLOGIA

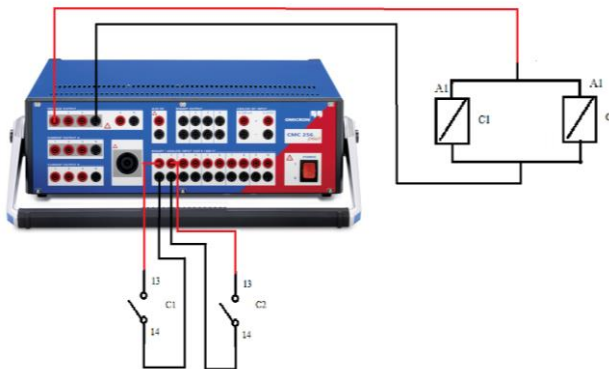
Em contadores eletromecânicos, a mudança de estado dos contatos auxiliares durante o afundamento de tensão é considerada uma falha do equipamento e está relacionada principalmente com a amplitude e duração do evento, mas também poderá ser afetada pelo momento na qual se inicia, ou ângulo de deslocamento.

Para esse trabalho será construída a curva de sensibilidade de contadores apenas avaliando seu comportamento frente a diferentes amplitudes e durações de afundamentos. Assim, devido algumas restrições de testes, desconsiderou-se a influência do ângulo de deslocamento, apesar de já explicado que esta variável poderá interferir na falha dos contadores.

Assim, para a realização dos testes utilizou-se contadores de dois fabricantes. Ambos com tensão de alimentação nominal de 220 V e corrente máxima de 12 A. Para simular os AMTs e averiguar as condições de falha desses equipamentos, foi utilizada a mala de teste do fabricante *Omicron*, modelo CMC 256 Plus [5].

A rotina de testes dos contadores foi criada através do módulo *State Sequence*, disponível no *software* da mala. Esse módulo é capaz de criar uma sequência de diversos estados com duração e nível de tensão pré-determinados. Dessa maneira, variou-se a tensão a ser aplicada, partindo de 0,9 p.u. até 0,1 p.u. com degraus de 0,05 p.u. totalizando 17

Para o teste, foram instalados os dois contatores a serem avaliados em paralelo, e suas bobinas foram conectadas na saída da mala de teste, de acordo com a Fig. 4. Além disso, para observar o comportamento dos contatores, conectou-se um contato normal aberto de cada contator em diferentes entradas binárias da mala, isso possibilitou o registro de qualquer descontinuidade que pudesse caracterizar falha do equipamento.



Os dados coletados alimentaram as Tabelas I e II, sendo utilizada a seguinte nomenclatura para representar os estados de funcionamento: “1” quando mesmo durante o AMT o contator se mantinha inalterado e “0” quando ocorreu uma mudança de estado (falha). Em seguida os dados foram utilizados para plotar a curva de sensibilidade dos equipamentos.

Os resultados obtidos foram utilizados para comparar a resposta de cada contator ao distúrbio de qualidade de energia e serão apresentados e discutidos adiante.

A partir das Tabelas I e II, foi possível traçar as curvas de sensibilidade à afundamentos dos dois contatores testados. Essas curvas foram plotadas com auxílio do *software* Matlab e estão dispostas na Fig. 5. Diante dessas curvas, foram feitas algumas comparações entre os dois dispositivos.

Primeiramente, pode-se observar que nenhum dos contadores avaliados falhou para um afundamento com duração de 0,5 ciclo, independente da tensão aplicada em seus terminais. Isso significa que eventos de AMTs com essa duração seriam imperceptíveis para ambos contadores. No entanto, apesar dessa similaridade, a partir de 0,5 ciclo existe um comportamento distinto entre os contadores X e Y.

Duração (ciclo)	Duração (s)	Amplitude da Tensão Remanescente (p.u.)																	
		0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	
0.5	0.0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
300	5.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
600	10.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
900	15.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
1200	20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
1500	25.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
1800	30.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2100	35.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2400	40.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2700	45.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
3000	50.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
3300	55.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
3600	60.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	

[illegible]

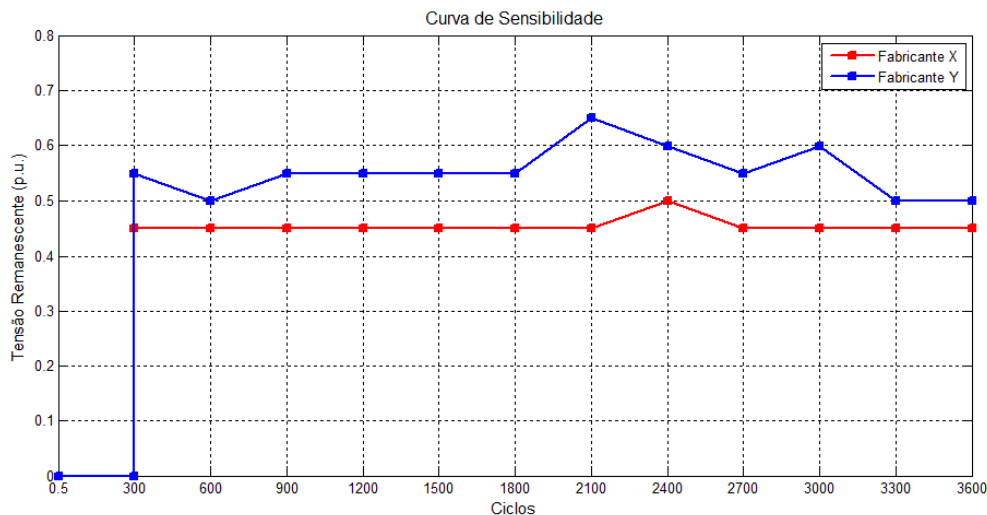


Fig. 5. Curva de sensibilidade dos contadores X e Y.

É possível observar na Fig. 5 que o contador X apresentou uma maior suportabilidade aos distúrbios aplicados, demonstrando um comportamento sempre melhor que o contador Y. O seu pior desempenho ocorreu em 2400 ciclos, quando falhou para uma tensão remanescente de 0,5 p.u.. Já o contador Y, em seu pior caso, apresentou falha para uma tensão remanescente de 0,65 p.u.. Com relação à regularidade de operação, pode-se observar que o contador X tem uma operação regular, onde em aproximadamente 91% do tempo ele falhou para uma tensão remanescente de 0,45 p.u.. Já o contador Y não possui comportamento regular apresentando falhas entre 0,5 a 0,65 p.u., independentemente da duração do evento.

Tendo em vista as análises feitas acerca do desempenho de cada contador, viu-se que a tensão remanescente e a duração do afundamento possuem influência direta na determinação da sensibilidade do dispositivo. Sendo que o contador Y apresenta uma menor imunidade à afundamentos e, por esse motivo, sofreu mais variações relacionadas ao tempo de duração dos AMTs. Por outro lado, o contador X, devido à sua regularidade nos resultados, apresenta maior confiabilidade, com limites bem definidos de suportabilidade ao fenômeno estudado e, portanto, menor sensibilidade ao mesmo.

IV. CONCLUSÕES

Através do estudo, montagem e análise dos testes realizados em laboratório, algumas considerações finais podem ser feitas.

A primeira delas está relacionada à importância da realização de estudos que envolvam os efeitos que os afundamentos podem causar em contadores. Esses dispositivos são extremamente importantes em uma indústria, uma vez que normalmente realizam a conexão entre lógicas de comando e a alimentação de diversas máquinas. Em outras palavras, o mau funcionamento de um contador pode causar a parada do processo produtivo de uma empresa, causando danos e prejuízos irreversíveis.

Além disso, os testes realizados possibilitaram a comparação entre contadores de dois fabricantes, X e Y. Os resultados mostraram que o contador do fabricante X é mais estável frente aos diferentes afundamentos aplicados, demonstrando uma suportabilidade maior diante da

abordagem utilizada. Por outro lado, o contador fabricado por Y não se mostrou tão regular diante dos testes feitos. Esse dispositivo possui variações nos limites de falhas aos afundamentos, o que dificulta a escolha da sua melhor faixa de suportabilidade. No entanto, equipamentos com comportamento semelhante ao contador Y podem ser aplicados em processos que não necessitam de tanta confiabilidade, principalmente se o contador for mais viável economicamente.

Por fim, frente aos aspectos relevantes levantados neste estudo tem-se a importância de se encontrar as melhores formas de mitigar os efeitos dos afundamentos em equipamentos sensíveis e importantes como os contadores. Dentre essas formas, tem-se para um possível trabalho futuro, por exemplo, a utilização de capacitores em paralelo com as bobinas. Essa técnica poderia ser utilizada para manter o nível de tensão nas bobinas do contador durante um curto período de tempo até que o afundamento de tensão termine. Dessa forma, o equipamento ficaria imune a esse fenômeno da qualidade, bem como o processo ao qual ele está inserido não seria afetado.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos concedidos para elaboração desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, T. C.. Afundamentos de tensão: Avaliação Estatística de Resultados de Medição com Base em Simulações. UNIFEI: Itajubá, 2008.
- [2] SILVA, J. A. M.. Análise Comparativa de Resultados de Simulação de Afundamentos de Tensão Utilizando Programas de Curto-Circuito e de Transitórios Eletromagnéticos. UNIFEI: Itajubá, 2004.
- [3] KOLTRMANN et al. Modelagem Matemática para Análise Dinâmica de Dispositivo Eletromagnético – Contador. Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria: Goiás, 2014.
- [4] SAMESIMA, M. I., RESENDE, J. W., PEREIRA, G. M.. Suportabilidade de Contadores CA Submetidos a Afundamentos de Tensão (Voltage Sags). UFU: Uberlândia, 2006.
- [5] OMICRON. Testing Solutions for Protection and Measurement Systems. Disponível em: <https://www.omicronenergy.com/fileadmin/user_upload/pdf/literature/CM-Line-Catalog-ENU.pdf> Acesso em 25 de novembro de 2016.