

SUPORTABILIDADE DE CONTADORES CA SUBMETIDOS A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO (VOLTAGE SAGS)

SUPPORTABILITY OF AC CONTACTORS UNDER VOLTAGE SAGS

Milton I. Samesima, José Wilson Resende e
Gabriel Marques V. Pereira

Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

RESUMO

Este trabalho apresenta aspectos relacionados com a investigação experimental do comportamento operacional de contadores ca quando submetidos às variações de tensão de curta duração (VTCDs). Para fins ilustrativos, o artigo focaliza três contadores distintos, disponíveis comercialmente. Não obstante, deve-se ressaltar que os resultados poderão ser estendidos a outros produtos que utilizam a mesma tecnologia. Os distúrbios aplicados aos equipamentos são implementados na forma de variações de tensão de curta duração e interrupções. Normalmente, os estudos relacionados aos afundamentos de tensão consideram tão somente magnitude da tensão e duração do evento para caracterizar o fenômeno. Todavia, neste trabalho, associado às características mencionadas, considera-se o efeito do ângulo de fase no início do afundamento no tocante à forma de onda da tensão. Os testes experimentais fazem uso de uma fonte capaz de reproduzir sinais ideais e não ideais. A partir de resultados obtidos laboratorialmente, são extraídos os níveis de suportabilidade dos contadores, traduzidos na forma de curvas genéricas.

Palavras-chave: Afundamentos de Tensão, Qualidade da Energia, Suportabilidade, Contadores CA.

ABSTRACT

This work deals with aspects related to the behavior of AC contactors, whenever they are submitted to voltage sags and short interruptions. This work presents results for three contactors commercially available in Brazil. Nevertheless, the findings should be applicable to other contactors produced with the same technology. On the contrary to ordinary tests related to voltage sags, which in general, takes in consideration only the magnitude of the voltage and the duration (in time) of the event, the experiments presented in this work, in addition to these features, includes the effects of the point of the voltage waveform in which the voltage sag occurs. From the experiments, voltage-tolerance curves are presented.

Keywords: Voltage sags, Power Quality, AC Contactors.

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma vertente da área da qualidade da energia que vem ganhando relevância crescente diz respeito à investigação do comportamento operacional de equipamentos elétricos em consequência de variações momentâneas da tensão, presentes nas redes em que estão conectados. Este massivo interesse, que abrange concessionárias de eletricidade e consumidores deste insumo, sustenta-se por um lado, no impacto econômico oriundo dos efeitos nocivos destes fenômenos em dispositivos e, num segundo momento, não menos importante, devido à proliferação de equipamentos elétricos mais modernos e, por vezes, menos robustos ao distúrbio enfocado nos complexos industriais que perfazem a rede de energia. Nesta perspectiva, este tema tem-se revelado de vital importância no contexto da qualidade da energia elétrica, no tocante à suportabilidade de equipamentos frente às variações momentâneas de tensão [1].

Tais distúrbios, conhecidos na literatura internacional como *voltage sags* e, neste trabalho, denominados por afundamentos de tensão representam, atualmente, o principal desafio a ser enfrentado por empresas de energia, consumidores e fornecedores de equipamentos elétricos de um modo geral. Ocorrências de afundamentos de tensão, combinadas com a sensibilidade dos equipamentos, têm

resultado em um número expressivo de interrupções de processos industriais.

Dentre as diversas cargas passíveis de sofrer falha operacional, em função de afundamentos de tensão, destacam-se, sobremaneira, os contadores ca. Estes equipamentos, largamente utilizados em processos industriais envolvendo motores elétricos, são utilizados como interface entre uma determinada carga e o sistema supridor. Nesta perspectiva, a falha operacional deste equipamento, em virtude da presença de afundamentos de tensão, poderá levar a parada parcial ou total de processos industriais, sendo que a plena retomada da produção poderá levar várias horas ou até dias.

Inserido neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo experimental detalhado do comportamento de contadores ca submetidos a afundamentos de tensão, considerando-se, simultaneamente, a influência da magnitude da tensão residual, da duração do evento e do início do distúrbio no que diz respeito ao ângulo de fase da onda da tensão. Mais precisamente, este trabalho vislumbra a obtenção de curvas que descrevam a suportabilidade do equipamento aqui enfocado perante afundamentos de tensão, quando da presença das características acima referidas. As análises foram realizadas utilizando-se três contadores distintos, denominados por C1, C2 e C3, e disponíveis comercialmente no mercado.

2.0 - AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Dentre os fenômenos que contribuem para a perda de qualidade de um determinado suprimento elétrico, aqueles associados às variações dos valores eficazes das tensões ocupam posição de destaque. Em particular, os afundamentos de tensão destacam-se como as mais significantes formas com que tais alterações se manifestam nas redes elétricas.

A norma IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering) Std 1159-1995 [2] define afundamento de tensão como “um decréscimo entre 0,9 e 0,1 pu do valor eficaz da tensão nominal, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto”. Segundo esta norma um afundamento de tensão com intensidade menor do que 0,1 pu é considerado interrupção. A natureza, a magnitude e a duração, principais características de um afundamento de tensão, são parâmetros importantes a serem considerados.

Uma VTCD atinge de forma danosa e prejudicial principalmente as indústrias. Estas trabalham intensamente e impreterivelmente com processos de produção dependentes entre si. Os processos utilizam-se de máquinas que cada vez mais se modernizam através da utilização de microprocessadores, ou eletrônica de potência. Uma VTCD pode levar um equipamento ao funcionamento inadequado de forma a fazer com que a produção perca a qualidade por supostos defeitos surgidos nos produtos, ou em algumas partes do processo.

O interesse no estudo deste fenômeno reside principalmente nos problemas que podem causar em vários tipos de equipamentos, tais como: Controladores Lógico Programáveis (CLPs), Controladores de Velocidade Variáveis, lâmpadas de descarga, contadores, etc., cargas estas bastante sensíveis a estas variações de tensão.

A principal causa do afundamento de tensão é o curto-circuito em qualquer ponto de fornecimento de energia. O curto-circuito provoca uma grande elevação da corrente, e esta, por sua vez, ocasiona grandes quedas de tensão nas impedâncias do sistema. Curto-circuitos são ocorrências inevitáveis nos sistemas elétricos. Suas causas são diversas, mas basicamente envolvem um rompimento do dielétrico que deveria isolar, em condições normais, potenciais diferentes.

O chaveamento de grandes cargas, tais como grandes motores, ou as fortes flutuações características de algumas cargas podem causar grandes variações de corrente, que, no seu efeito, são semelhantes a correntes de curto-circuito. Embora geralmente os chaveamentos de cargas tenham conseqüências menos severas nos pontos em que ocorrem, tais como: energização de transformadores/grandes blocos de carga, etc., as alterações de tensão que provocam em locais distantes podem ser indistinguíveis daquelas causadas por curtos-circuitos e são, portanto, também avaliadas como afundamentos de tensão.

1.0 - METODOLOGIA

Para atingir os propósitos deste estudo, foram realizadas testes experimentais nos equipamentos contemplados, os quais encontram-se detalhados na seqüência.

1.1 Estudos Laboratoriais

A Figura 1 ilustra o diagrama esquemático da montagem para os trabalhos experimentais, identificando as conexões e os diferentes dispositivos utilizados.

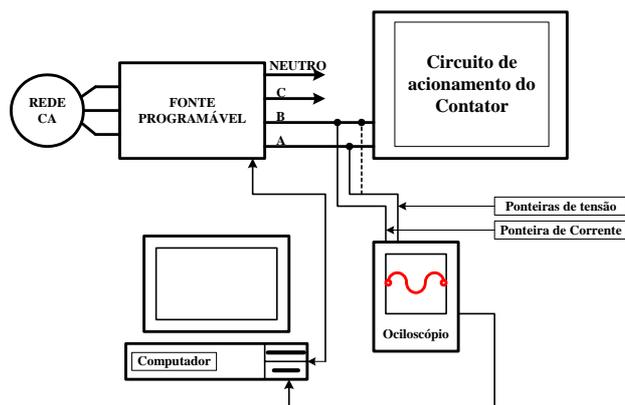


FIGURA 1 – Diagrama de blocos do arranjo utilizado em ensaios de laboratório para análise de desempenho de contadores ac frente aos afundamentos de tensão

A seguir, de forma simplificada, são descritas as principais características dos diversos dispositivos utilizados nos trabalhos.

- A fonte especial, programável, trifásica, marca HP, modelo HP 6834 A, com potência nominal de 4,5 kVA, tem a função de fonte de suprimento para o contator. Ademais, ela permite, quando for o caso, a aplicação dos diversos itens de qualidade, de forma controlada, à tensão de alimentação.
- O osciloscópio, de 4 canais, tem a finalidade de realizar a aquisição dos sinais de tensão e corrente solicitados pelo equipamento em teste;
- O micro-computador tem a função de controlar a fonte programável, além de armazenar e processar o tratamento dos sinais capturados pelo osciloscópio. Para obter-se um controle mais preciso no que diz respeito aos níveis de tensão disponibilizados pela fonte, um software foi elaborado para comandar o equipamento supridor, utilizando-se, para tanto, o pacote computacional C++ Builder [3].
- O circuito de acionamento do contator é constituído pela bobina de comando do contator em série com a associação em paralelo de uma botoeira NA (normalmente aberta) com os contatos auxiliares NA do contator. Dessa forma, na ocorrência de um afundamento de tensão que provoque o desatracamento dos contatos do contator, o mesmo continua desatracado após a ocorrência do fenômeno.

A Figura 2 ilustra a montagem laboratorial para a análise da suportabilidade do equipamento enfocado.

Nesta, é possível observar as partes constituintes do arranjo experimental empregado.



FIGURA 2 - Montagem dos ensaios de laboratório para análise de desempenho do contator ca.

Casos Estudados

Os estudos conduzidos nesta etapa do trabalho consistiram em submeter os contadores analisados a afundamentos de tensão de diversas magnitudes, durações e pontos na onda da tensão no início do evento. A tabela 1 ilustra uma síntese dos testes conduzidos em laboratório.

TABELA 1 – Síntese dos procedimentos laboratoriais

Características do Afundamento	Descrição do ensaio
Magnitude da tensão residual	A magnitude dos afundamentos contempla uma região que varia entre 10% a 90% da tensão nominal. Também foram aplicadas interrupções (entre 0% e 10% de magnitude da tensão).
Duração do evento	A duração dos eventos encontra-se numa faixa variando de 1 a 200 ms.
Ponto na onda da tensão no início do afundamento	Para investigar a influência do início do afundamento no comportamento do dispositivo, os ângulos considerados foram: 0°, 30°, 60° e 90°.

Ressalta-se que cada ângulo considerado, no que diz respeito ao início do afundamento, culminou em uma curva de suportabilidade operacional. Portanto, concluídos todos os procedimentos laboratoriais para cada contator investigado, foi gerada uma família de curvas de tolerância a afundamentos que exprime o grau de imunidade deste dispositivo frente ao fenômeno mencionado.

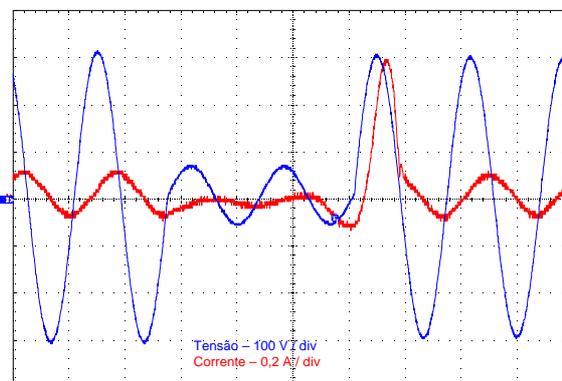
2.0 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS CONTADORES CA

As principais características dos contadores ensaiados são:

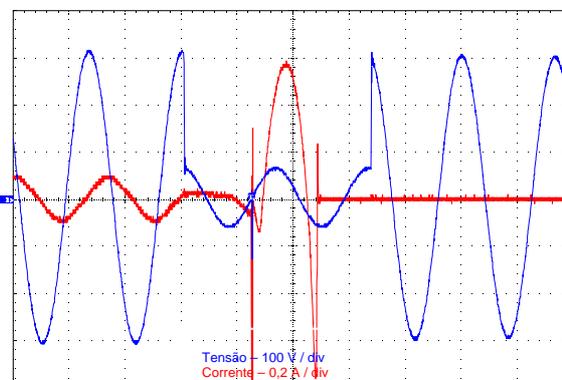
- Tensão nominal = 220 Volts;
- Corrente nominal = 38 Ampéres;
- Regime de operação = AC3;
- Número de contatos = 2NA e 2NF

A título de exemplificação, os gráficos apresentados na Figura 3 mostram o comportamento dos diferentes contadores analisados neste trabalho quando submetidos a um afundamento para 20% da tensão nominal, durante 2 ciclos (33,33 ms), sendo que o início do afundamento, no que diz respeito à forma da onda, encontra-se descrito nas figuras correspondentes. Para fins de identificação, as curvas da Figura 3 - (a) e Figura 3 - (b) estão associadas ao contator 1, as curvas da Figura 3 - (c) e Figura 3 - (d) dizem respeito ao contator 2 enquanto que as curvas representadas pelas Figura 3 - (e) e Figura 3 - (f) tratam do contator 3, sendo que nas curvas da Figura 3 - (a), Figura 3 - (c) e Figura 3 - (e) o afundamento teve início quando o ângulo de fase da tensão era 0° e não provocaram o desatracamento do contator, enquanto que nas curvas da Figura 3 - (b), Figura 3 - (d) e Figura 3 - (f) o ângulo de fase da tensão era 90° e o circuito de acionamento desatracou evidenciando a não suportabilidade ao fenômeno considerado.

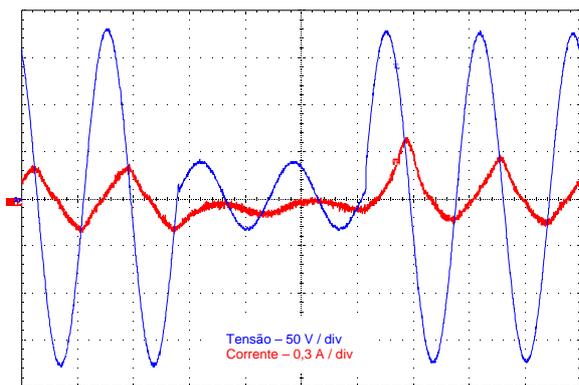
Na Figura 3, as formas de onda representadas na cor azul correspondem à tensão de alimentação, enquanto que as de cor vermelha equivalem à corrente do circuito de acionamento.



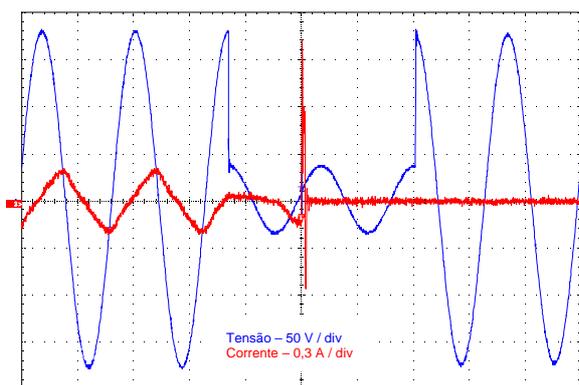
(a) – Início do afundamento em 0°



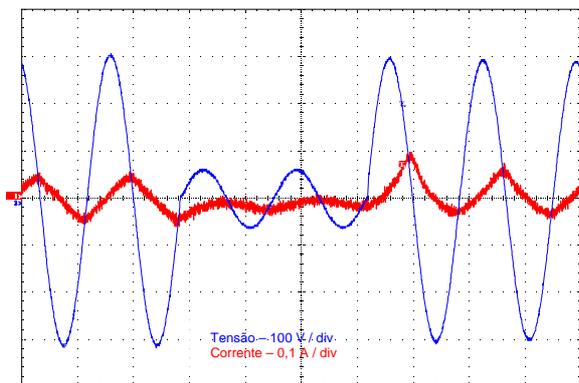
(b) – Início do afundamento em 90°



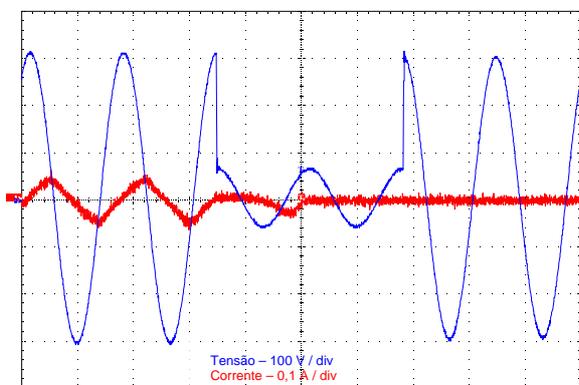
(c) – Início do afundamento em 0°



(d) – Início do afundamento em 90°



(e) – Início do afundamento em 0°



(f) – Início do afundamento em 90°

FIGURA 3 – Formas de onda da tensão de entrada e corrente solicitada pelos contadores avaliados

Através da análise da figuras, observa-se claramente a influência do ponto inicial do afundamento na

suportabilidade operacional dos contadores e que o comportamento das grandezas enfocadas é semelhante para os três dispositivos investigados considerando o afundamento para 20% da tensão nominal, durante 2 ciclos (33,33 ms). Portanto, com vistas a evitar repetições desnecessárias que não trariam benefícios adicionais, os comentários feitos nesta etapa do artigo serão generalizados a todos os dispositivos ora estudados.

Para o ângulo de 0° , durante o afundamento da tensão, ocorre uma redução quantitativa na corrente solicitada pela bobina do contator. Não obstante a esta redução, os contatos do dispositivo mantiveram-se fechados enquanto perdurou o distúrbio. De maneira contrária ao exposto, quando o afundamento inicia-se em 90° , a corrente cai rapidamente e ocorre a falha operacional do equipamento, observada através da abertura dos contatos. Pelos gráficos de forma de onda de tensão e corrente do contator observa-se seu comportamento indutivo, uma vez que a corrente está atrasada em relação à tensão aplicada ao equipamento. Observa-se portanto, a influência do ângulo em que o afundamento se inicia e que pode ser justificado pela teoria eletromagnética pois, sabe-se que a força eletromagnética instantânea que mantém os contatos atracados é proporcional ao quadrado da corrente. Neste sentido, através da análise dos gráficos, observa-se que quando o ângulo inicial do afundamento é zero graus, ou seja, a tensão está passando por zero, a corrente, devido as características indutivas do equipamento (bobina), encontra-se em seu valor máximo. Seguindo o mesmo raciocínio, quando o afundamento inicia-se em 90° , a corrente solicitada pela bobina encontra-se passando por zero. Isto posto, sustentados pela proporcionalidade entre a força eletromagnética e a corrente, conclui-se que os contatos dos dispositivos testados, para zero graus, encontram-se mais fortemente atracados devido ao maior valor instantâneo da corrente solicitada, e portanto da força eletromagnética de atração, durante o fenômeno. Contrariamente, quando o afundamento de tensão inicia-se em 90° , a força magnética, de maneira análoga à corrente, encontra-se passando por zero o que torna o dispositivo mais susceptível à falha operacional.

3.0 - CURVAS DE SUPORTABILIDADE

O conceito de curva de tolerância de tensão para equipamentos eletrônicos sensíveis, formulado inicialmente para computadores de instalações militares, foi introduzido em 1978 por Thomas Key ([4], [5]). Anos mais tarde, a curva de tolerância de tensão resultante de seus testes tornou-se conhecida como “curva CBEMA”, que se popularizou quando a associação CBEMA – *Computer Business Equipment Manufacturer’s Association* começou a utilizá-la como uma recomendação a seus membros. Posteriormente, essa curva foi utilizada na elaboração da norma IEEE Standard 446-1995 (*Orange Book*) e tornou-se uma referência para tolerância de equipamentos frente a variações de tensão, e para severidade de afundamentos de tensão.

Recentemente, a “curva CBEMA revisada” foi adotada pelo ITIC – *Information Technology Industry Council*, sucessor da CBEMA. Assim, verifica-se que os valores na

área abaixo da curva ITIC representam as situações em que o equipamento desligou e acima da curva quando o equipamento continuou em funcionamento após o afundamento. Percebe-se que a suportabilidade do equipamento é diretamente relacionada com a duração e amplitude do fenômeno considerado.

A seguir, são apresentados resultados das curvas de suportabilidade obtidas para os três contatores ensaiados. Nota-se que para cada contator foram ensaiadas 4 situações distintas que representam os ângulos de fase da tensão no início do afundamento.

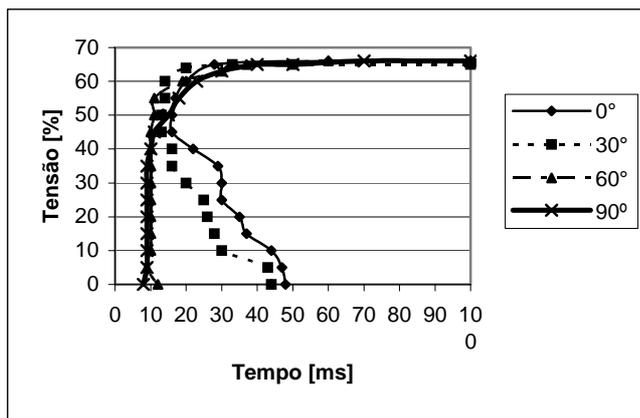


FIGURA 4 – Curvas de suportabilidade para o contator C1

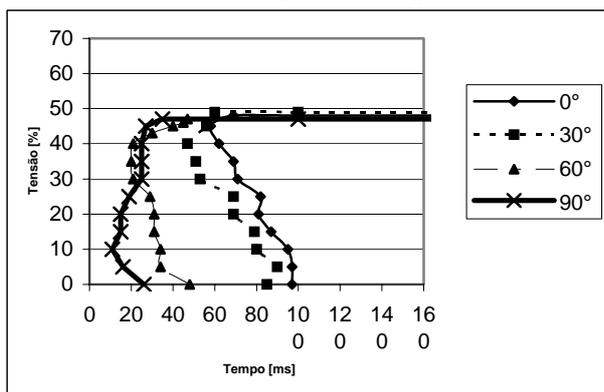


FIGURA 5 – Curvas de suportabilidade para o contator C2

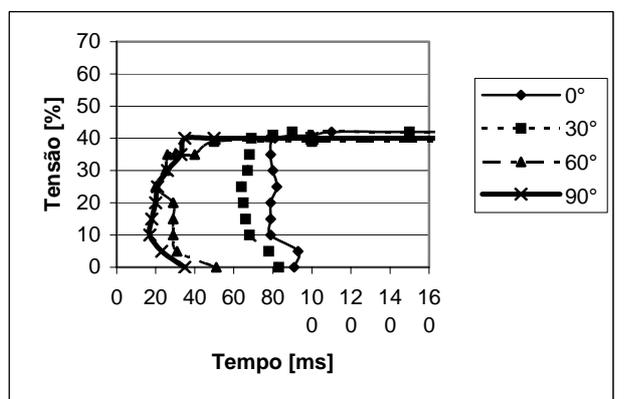


FIGURA 6 – Curvas de suportabilidade para o contator C3

As curvas de suportabilidade obtidas para os três contatores mostram através de regiões se um afundamento de

tensão, que possa ter ocorrido no sistema, corromperá o processo no qual ele foi utilizado.

Para afundamentos de tensão com duração superior a 60 ms o contator C3 foi o que apresentou maior suportabilidade entre os ensaiados.

A título de comparação, pode-se observar na figura 7 as curvas de suportabilidade para os três contatores quando o ângulo de disparo do afundamento de tensão é de 90° (pior caso), comparadas com a curva ITIC. Nota-se que a curva ITIC foi representada quando a duração do afundamento é de até 160 ms, uma vez que a suportabilidade dos contatores se mantém constante quando a duração do fenômeno aqui focalizado é superior a este tempo.

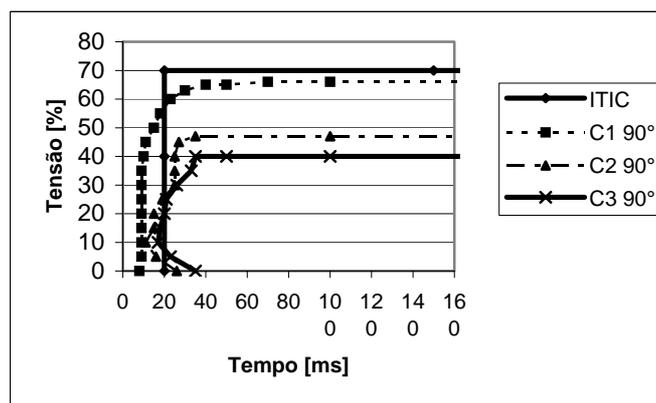


FIGURA 7 – Cuvas de suportabilidade comparadas com a curva ITIC

4.0 - CONCLUSÕES

Sendo os afundamentos de tensão as causas mais importantes dos desligamentos intempestivos nos processos industriais, causando prejuízos associados a paradas de produção e etc. e os contatores um dos principais componentes utilizados nos circuitos de força e de comando dos motores instalados nos processos industriais, conclui-se que o estudo de seu comportamento frente a esses fenômenos se mostra de suma importância.

Nos ensaios realizados verifica-se que os contatores apresentaram suportabilidades distintas, sendo o contator C3 o que apresentou maior suportabilidade dentre os outros ensaiados. No entanto, algumas características comuns, apesar de os contatores serem de diferentes fabricantes e tensão nominal, foram evidenciadas:

- Para interrupções e afundamentos de tensão até aproximadamente 30%, e para ângulo de disparo próximos de 0° a suportabilidade tende a ser maior e diminui à medida que esse valor caminha para 90°;
- Para afundamentos de tensão de 30% a aproximadamente 65% percebe-se que as curvas de suportabilidade para os diferentes ângulos de disparo cruzaram, não identificando uma relação que fosse equivalente para os três contatores ensaiados;
- A suportabilidade dos três contatores tende a se manter constante (mesma magnitude de tensão)

para afundamentos de tensão superiores a 100 [ms].

Todas as informações obtidas através deste trabalho são suficientes para prever o comportamento genérico de contatores quando expostos ao fenômeno afundamento de tensão.

O desempenho dos contatores se mostrou satisfatório, uma vez que, para afundamentos de tensão com duração superior a 20 ms, todos os contatores ensaiados tiveram suportabilidade menor quando comparados com a curva ITIC.

Este estudo evidencia, também, que normas e recomendações mínimas de suprimento devem ser estabelecidas e obedecidas, uma vez que processos diversos podem ser comprometidos, resultando em grandes perdas operacionais e, conseqüentemente, em prejuízos financeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEGORGNE, C. R. Uma Contribuição à Caracterização da Sensibilidade de Processos Industriais frente a Afundamentos de Tensão, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Maio de 2003.
- [2]IEEE Std 1159-1995 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, New York.
- [3]TEIXEIRA, M. D. Uma estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, julho de 2003.
- [4]BOLLEN, M. H. J. Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions. IEEE Press on Power Engineering, Nova York. 2000.
- [5]<http://www.itic.org/technical/iticurve.pdf>
- [6]DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. Electrical power system quality. Mc Graw-Hill,1996. 265 p-Chapter 3.
- [7]Samesima. M.I, Marques. G. , Peniche, R. – “ Avaliação da suportabilidade de contatores CA frente aos afundamentos de tensão (voltage sags)” – XVII SNPTEE’ 2005 – Curitiba - Paraná.
- [8]Collins,E.R.,Zapadiel,F. – “An experimental assessment of AC contactor behavior during voltage sags” , ISIE’97 – Guimarães-Portugal.
- [9]Pedra,J.,Córcoles,F., Sainz,L. – “Study of AC contactors during voltage sags” , ICHQP’2002, Rio de Janeiro,RJ,Brazil, pp.565-570.
- [10]Turner, A. E., Collins, E.R., - “ The performance of AC contactors during voltage sags” , ICHQP’2002, Rio de Janeiro,RJ, Brazil, pp. 589-593.
- [11]Djokic,S.Z.,Milanovic,J.V. – “ Sensitivity of AC coil contactors to voltage sags, short interruptions, and undervoltage transients” , IEEE Transactions on power delivery, vol.19, no.3, july2004, pp. 1299-1307.