

QUALIDADE DE ENERGIA E PARALISAÇÃO DE CONSUMIDORES. O QUE PODE SER FEITO NO ÂMBITO DA INDÚSTRIA?*

Ildeu Marques
Paulo Costa
Gabriel Marques

Resumo

Este artigo apresenta a experiência dos seus autores em evitar ou minimizar a paralisação de inúmeras plantas industriais de celulose, cimento, mineração, etc., empregando técnicas relativamente simples e econômicas. A experiência tem mostrado que, excetuando-se os desligamentos no alimentador do consumidor, 80% dos fenômenos ocorridos na concessionária, e que paralisam uma planta industrial, podem ser controlados a custos baixos na própria indústria, agindo sobretudo na área de controle dos equipamentos dessas indústrias.

Palavras-chave: Qualidade de energia; Continuidade de fornecimento; Subtensões momentâneas.

POWER QUALITY AND CONSUMER SHUTDOWN. WHAT CAN BE DONE WITHIN THE INDUSTRY?

Abstract

This article presents the experience of its authors in avoiding or minimizing the shutdown of numerous industrial plants of pulp, cement, mining, etc., using relatively simple and economical techniques. Experience has shown that, except for disconnections in the consumer feeder, 80% of the phenomena occurred in the concessionaires, which shuts down the industrial plant, can be controlled at low costs in the industry itself, acting mostly in the equipment control areas in these industries.

Keywords: Power quality; Continuity of supply; Momentary subtensions.

¹ Engenheiro Eletricista, UFMG/1985, Msc, UFMG/1990, Advogado, Milton Campos/1985, Especialista em Confiabilidade, PUC-MG/2010, Professor de pós-graduação PUC MG, Diretor da Senior Engenharia e Serviços LTDA, Belo Horizonte, MG Brasil.

² Engenheiro Eletricista, UFMG/1971, Msc, UFMG/1992, Professor aposentado dos cursos de engenharia elétrica da UFMG e CEFET-MG, Diretor da Senior Engenharia e Serviços LTDA, Belo Horizonte, MG Brasil.

³ Formando em Engenharia Elétrica, PUC/2019, Técnico da Senior Engenharia e Serviços LTDA, Belo Horizonte, MG Brasil.

1 INTRODUÇÃO

As modificações no sistema econômico mundial (fenômeno da globalização) obrigaram (e ainda estão obrigando) as indústrias produtoras de bens à modernização rápida, como forma de sobrevivência a uma dura competição internacional. A modernização exige a obtenção de elevados índices de produtividade conseguida pela introdução maciça dos equipamentos da tecnologia da informação. Estes são equipamentos microprocessados, digitais, com saídas seriais, permitindo a associação em rede e integração a sistemas de hierarquia superior. Na indústria, destacam-se os controladores lógicos programáveis (CLP's), os sistemas digitais de controle distribuídos (SDCD's), os microcomputadores de processo, os inversores de frequência, os conversores CA/CC, os instrumentos de medição microprocessados (medidores de fluxo, vazão, pressão, nível, etc.), os relés de proteção e medidores microprocessados digitais (numéricos), os centros de processamento de dados (CPD's), equipamentos robotizados, etc..

Dentro deste quadro da economia, percebe-se que paralisar uma planta industrial por fenômenos ocorridos na concessionária, tornou-se algo grave, e mesmo intolerável. Daí as intensas cobranças que os consumidores de energia elétrica fazem das suas companhias supridoras.

O fenômeno é agravado pelo fato de que os processos industriais modernos utilizam em geral, linhas contínuas. A queda de um equipamento gera a interrupção de toda uma linha de produção, através dos intertravamentos dos sistemas de controle (CLP, por exemplo).

Distúrbios na rede da concessionária provocam perda de tempo e de faturamento nas indústrias consumidoras de energia elétrica. Alguns processos produtivos como plantas de celulose e papel e algumas plantas químicas podem requerer horas para restaurar novamente o processo, após uma parada intempestiva. Também, a partida de uma grande fábrica é algo temido. Os equipamentos elétricos e mecânicos são submetidos a esforços térmicos e dinâmico muito superior ao de trabalho, e não é raro a queda ou falha de um equipamento de grande porte no "arranque" da fábrica. Verifica-se, pois, que a parada das plantas industriais, por distúrbios na concessionária, é de todo indesejável, e mesmo inadmissível.

Do exposto, conclui-se que é necessária uma visão adequada dos fenômenos da rede elétrica que podem afetar uma indústria moderna de alta tecnologia, bem como a forma de eliminá-los ou minimizá-los.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Tipos de Fenômenos

Os fenômenos mais importantes relacionados com a qualidade de energia, utilizando uma proposta de nomenclatura brasileira, são: surtos de tensão, transitórios oscilatórios de tensão, subtensões momentâneas (afundamentos, mergulhos ou "sags"), interrupções momentâneas de tensão, sobretensões momentâneas, distorções harmônicas e cortes na tensão [1].

Entre todos os fenômenos que podem afetar os processos industriais de alta tecnologia destacam-se, sem dúvidas, os fenômenos transitórios de sobretensão (surtos) e subtensões momentâneas.

Os fenômenos de sobretensão, mesmo aqueles produzidos por chaveamentos de capacitores, são mais facilmente controlados por técnicas de proteção de surtos e outras, não sendo abordados neste artigo, que tratará fundamentalmente das subtensões momentâneas.

2.2 Subtensões momentâneas

As subtensões momentâneas, são fenômenos que requerem maior atenção, sendo, de longe, a causa mais importante dos desligamentos intempestivos nos processos industriais.

A duração destas diverge de autor para autor, estando compreendida entre, 0,5 ciclo e 1 minuto, sendo que a magnitude da tensão pode cair a valores próximos do valor nulo. Sua causa principal é a ocorrência de curtos-circuitos no sistema de fornecimento de energia, notadamente o curto fase-terra que corresponde, estatisticamente, mais de 70% do universo de curtos-circuitos.

A figura 1 indica que as subtensões momentâneas são provocadas por curtos em ramais adjacentes de transmissão ou distribuição que podem abranger centenas e mesmo milhares de quilômetros de linhas aéreas. Curtos nos ramais de alimentação, diferentemente, provocam desligamentos.

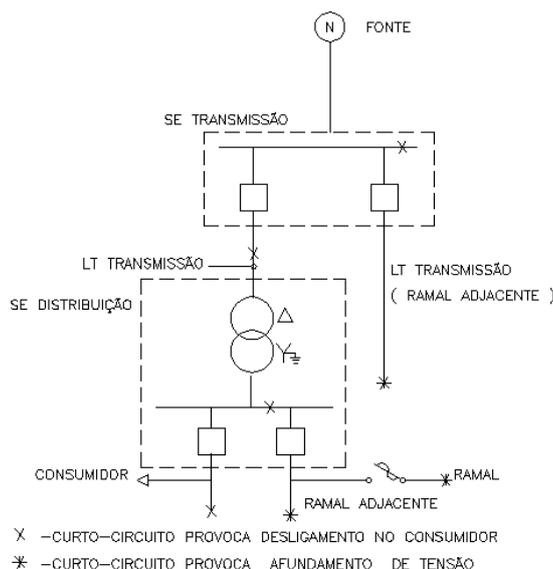


Figura 1.Diagrama unifilar

A maior parte dos curtos-circuitos que ocorrem na concessionária, são do tipo de fase para terra, envolvendo apenas uma fase. As faltas entre três ou duas fases, embora mais severas, são menos comuns.

No Brasil os curtos-circuitos fase-terra nos sistemas de transmissão e distribuição são provocados basicamente por descargas atmosféricas diretas, nos sistemas de transmissão, ou diretas e indiretas (laterais) nos sistemas de distribuição.

Devido ao elevado nível cerâmico as regiões Norte, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, estas são as mais atingidas. No Nordeste, onde o nível cerâmico é menor, existe um elevado índice de paralisações devido a queimadas, principalmente de plantações de cana-de-açúcar (Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, etc.).

No entanto, existem outras causas tais como vento, vandalismo, contato por animais e aves, contaminação de isoladores, acidentes envolvendo veículos automotores (abalroamentos de postes nos circuitos de distribuição, principalmente), falhas

humanas em manobras, além de falhas naturais da isolação de equipamentos como transformadores, disjuntores, TC's, TP's, isoladores, etc.

Verifica-se, no exposto, que embora as concessionárias se esforcem ao máximo para evitar que ocorram curtos-circuitos no seu sistema, elas não podem eliminá-los completamente.

É importante para os consumidores industriais adotar medidas internas, na sua instalação, para garantir que os equipamentos críticos, sensíveis às subtensões momentâneas, sejam protegidos de forma adequada.

2.3 Tensão no consumidor

A tensão no sistema elétrico interno do consumidor depende do tipo do curto-circuito, sua localização no sistema da concessionária, bem como da conexão do transformador de acoplamento entre a concessionária e o consumidor.

A Figura 2 apresenta as tensões no secundário do transformador do consumidor para um curto-circuito fase-terra no primário (concessionária)

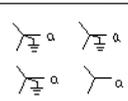
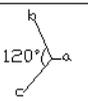
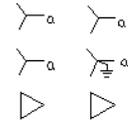
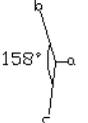
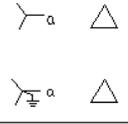
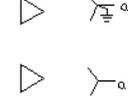
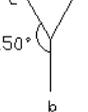
CONEXÃO DO TRANSFORMADOR	TENSÃO FASE – FASE	TENSÃO FASE – NEUTRO	DIAGRAMA FASORIAL
	0.58 1.00 0.58	0.00 1.00 1.00	
	0.58 1.00 0.58	0.33 0.88 0.88	
	0.33 0.88 0.88	-- -- --	
	0.88 0.88 0.33	0.58 1.00 0.58	

Figura 2. Tensão secundária para uma falta Fase-Terra no primário.

As relações indicadas na figura 2 são muito importantes. Elas mostram, por exemplo, que um curto fase-terra no primário de um transformador estrela aterrado no primário e delta no secundário, não resulta em tensão secundária nula em nenhum enrolamento secundário. Pelo contrário, existe tensão em todos os enrolamentos secundários. A magnitude da tensão secundária mais baixa, dependerá da Equação 1:

$$\beta = \frac{X_T}{X_T + X_S}; 0 < \beta < 1 \quad (1)$$

Onde:

X_T = Reatância de Curto-Circuito do Transformador

X_S = Reatância Equivalente do Sistema de Alimentação

Para sistemas elétricos industriais, o fator β será muito próximo da unidade, e as relações indicadas na figura 2 aplicam-se a este caso.

2.4 Sensibilidade dos equipamentos

A sensibilidade de alguns equipamentos industriais importantes é discutida a seguir.

2.4.1 Contatores e Relés Eletromecânicos

A sensibilidade varia intensamente de fabricante para fabricante. Em geral os fabricantes informam que seus contatores suportam quedas de tensão de 15% (a tensão pode chegar a 85%), sem, todavia, informar o tempo. Testes indicam que alguns contatores desatracam se a queda de tensão atingir 50% do valor da tensão nominal, em um ciclo. Outros, desatracam para uma queda de apenas 30%.

2.4.2 Lâmpadas de Descarga (HID)

As lâmpadas de descarga (vapor) de alta intensidade, como as lâmpadas à mercúrio, apagam praticamente de forma instantânea se a tensão atingir o valor próximo de 80% da sua tensão nominal, e requerem tempo considerável (da ordem de minutos) para reacenderem.

Portanto, é falso o conceito de que o desligamento de lâmpadas a vapor de mercúrio ou sódio indicam subtensões momentâneas de tempos “longos” (maior que um segundo por exemplo).

2.4.3 Acionamentos de Velocidade Variável

Existe também uma grande variação na suportabilidade a subtensões momentâneas nestes equipamentos, dependente da tecnologia empregada pelo fabricante. Alguns acionamentos são fornecidos com “capacidade de sobrevivência a subtensões momentâneas” (Ride-Through) cujo tempo varia entre 0,05 seg. e 0,5 seg., com a tensão aproximando do valor nulo.

Alguns modelos possuem relés de subtensão monitorando a tensão alternada da rede e desligam quando a mesma atinge 90% do valor nominal, por tempos superiores a 50ms.

2.4.4 Controladores Lógicos Programáveis Motores

Esta é uma importante categoria de dispositivo associado ao funcionamento de processos industriais modernos que estão sob o controle destes equipamentos. Estes equipamentos são complexos, possuindo entradas e saídas analógicas, entradas e saídas digitais, portas de comunicação seriais para associação em rede e comunicação com as “remotas” de aquisição de dados do processo produtivo.

Novamente, a sensibilidade a subtensões momentâneas varia em larga escala, sendo que “partes” do CLP são mais sensíveis que outras.

As remotas de aquisição de dados (entradas I/O) por exemplo, desligam quando a tensão atinge cerca de 90% da tensão nominal em poucos ciclos, em alguns modelos.

2.4.5 Motores

Um fato importante a ser notado é que as tensões se apresentam completamente desequilibradas. Para a operação de motores trifásicos, tensões desequilibradas significam alteração do seu conjugado e a presença de componentes de sequência negativa que são prejudiciais ao rotor, principalmente provocando seu aquecimento, devido à alta frequência das correntes induzidas e ao efeito pelicular.

No entanto, durante os subtenções momentâneas os tempos envolvidos são muito curtos (menor que 1,0 segundo em geral) e o aquecimento pode ser desprezado. A redução do conjugado requer melhor análise por que as cargas podem ser desaceleradas e o restabelecimento da tensão plena pode provocar correntes elevadas, suficientes para desligar o sistema por sobrecorrente, devido a reacelerações simultânea dos motores (fenômeno de inrush).

2.4.6 Curva CBEMA x Suportabilidade

O documento mais próximo de se tornar uma norma de sensibilidade é a já conhecida curva CBEMA [3], a qual foi desenvolvida pelo Computer Business Manufactures Association. Este documento aplica-se especialmente aos equipamentos de processamento de dados, todavia existe uma tendência em estender sua aplicação à maioria, senão a todos equipamentos sensíveis.

A curva CBEMA estabelece alguns pontos importantes para funcionamento dos equipamentos sensíveis, indicando que a suportabilidade do equipamento é dependente da duração da subtenção momentânea.

Por exemplo, a tensão pode virtualmente desaparecer durante 0,5 ciclo, sem que o equipamento seja afetado. Por outro lado, o equipamento pode desligar se a tensão cair de 13% (atingir 87% do valor nominal) durante somente 30 ciclos (0,5 segundos). Em curtíssimo tempo (ondas impulsivas) o equipamento suporta em torno de 4 vezes a tensão nominal (caso de surtos de tensão devidos a descargas atmosféricas por exemplo).

Para tempos “longos”, superiores a 2 segundos, a curva permite variações de +6% a -13%.

Por enquanto a curva CBEMA é apenas uma “sugestão” de suportabilidade, sendo que os equipamentos, encontrados nas indústrias, apresentam uma intensa variação na sua sensibilidade a subtenções momentâneas.

Na Figura 3, para comparação, foram superpostas as curvas CBEMA e as curvas de suportabilidade de contatores e inversores de frequência (ASD), adotando-se os valores de suportabilidade indicados [3].

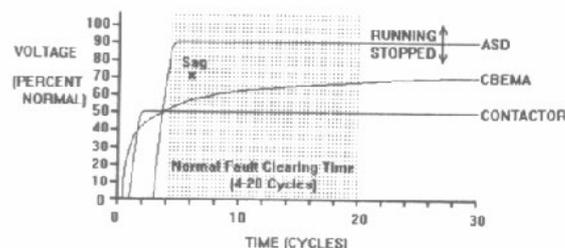


Figura 3. Curva de suportabilidade e curvas CBEMA

Devido à grande variação de suportabilidade a subtenções momentâneas dos equipamentos da tecnologia da informação, realça-se a necessidade de:

- a) Normalização (inexistente no momento);

- b) Interagir com o fabricante, de forma que o mesmo forneça equipamentos que possam funcionar no ambiente industrial onde será utilizado, e não somente sob condições controladas de laboratório, onde eles foram desenvolvidos;
- c) Desenvolver especificações técnicas que retratem as reais condições do sistema elétrico de alimentação.

É extremamente importante reconhecer que todo um processo produtivo industrial, em geral complexo, pode ser afetado pela sensibilidade de um dispositivo isolado, e às vezes, de apenas “parte” deste dispositivo, como é o caso do CLP. Devido às diferenças de sensibilidade, quando ocorre a paralisação da planta, não se sabe em geral qual equipamento sensível originou a mesma. Portanto, é necessário um tratamento geral para os equipamentos sensíveis a subtensões momentâneas.

2.5 Soluções possíveis

2.5.1 Considerações

Deve ser observado o seguinte:

- a) As soluções exigem uma estreita colaboração entre a concessionária supridora de energia elétrica e a indústria consumidora afetada, sobretudo no que diz respeito ao fornecimento de informações dos seus sistemas elétricos;
- b) A gerência da indústria afetada deve ser informada, e então compreender a natureza (causas) dos desligamentos de sua fábrica. Sobretudo deve ficar consciente que é impossível para a concessionária eliminar totalmente as subtensões momentâneas, já que teria de aplicar soluções corretivas em grande extensão da sua rede, tornando o custo proibitivo;
- c) Deve ser entendido que as subtensões momentâneas são fenômenos de curta duração (tempos na maioria das vezes inferiores a 1,0 segundo). O tempo de duração é aquele de operação dos relés de proteção mais o de abertura do disjuntor do ramal adjacente no qual ocorreu o curto;
- d) Em geral a tensão no barramento do consumidor não “desaparece” totalmente, durante as subtensões momentâneas na rede da concessionária (a não ser que ocorra um curto trifásico próximo, o que é raro). As tensões em geral são desequilibradas, conforme indicado na tabela 1. Isto explica a queda aleatória de equipamentos sensíveis e contadores no sistema elétrico do consumidor.

2.5.2 Soluções

- a) São solicitadas à concessionária, informações sobre os tempos e valores de subtensões momentâneas devido a curtos-circuitos nos ramais adjacentes do consumidor. A concessionária fornece estes dados a partir do seu estudo de proteção e através de simulações no seu sistema elétrico;
- b) É solicitado também à concessionária a determinação de curvas de “iso-sags”, isso é, pontos do seu sistema elétrico onde curtos-circuitos produzem subtensões momentâneas suficientes para retirar a fábrica [4]. Os níveis são definidos pela consultoria, em conjunto com os fabricantes dos equipamentos sensíveis. São solicitados também dados estatísticos (probabilidades) de

ocorrências das subtensões momentâneas. Estas são importantes para quantificar eventuais níveis de investimentos;

c) Na indústria é realizado um estudo computacional de “dinâmica de máquinas” visando determinar o máximo tempo que os equipamentos (principalmente motores) suportam subtensões momentâneas sem desligamento da proteção, durante o processo de reaceleração. As Figuras 4 e 5 ilustram os parâmetros envolvidos [5].

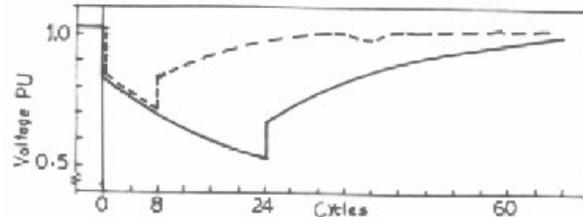


Figura 4. Queda de tensão devido à falta, eliminada em 8 e 24 ciclos

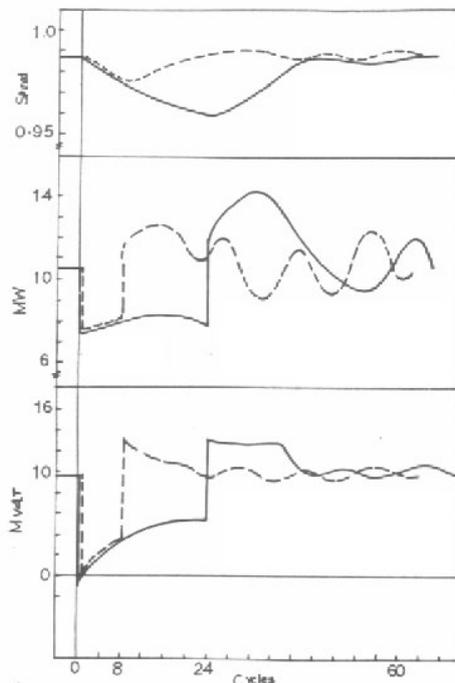


Figura 5. Velocidade, MW e MVar transiente de um motor de indução equivalente para as tensões da Figura 4.

d) De posse dos dados de suportabilidade dos equipamentos sensíveis, e dos dados do sistema da concessionária, são definidas as soluções para permitir que os equipamentos de controle (contatores, relés auxiliares, CLP's, SDCD's, instrumentos de processo, etc.) convivam com o fenômeno de subtensão. Em geral são suficientes alguns kVAs de equipamentos especiais (No-Breaks rotativos ou estáticos, ou transformadores ferro-ressonantes) definidos de acordo com a situação da fábrica e tipo de processo;

e) A alimentação do sistema de controle da fábrica é totalmente refeita, em função dos estudos anteriores;

f) A proteção de subtensão interna da fábrica é totalmente refeita e adaptada aos resultados dos estudos de suportabilidade. Em geral são substituídos os relés de subtensão por outros de curvas adequadas;

3 CONCLUSÃO

As soluções implementadas no sistema elétrico industrial seguram, em geral, cerca de 80% das subtensões momentâneas ocorridas no sistema da concessionária, a custos muito baixos. Os outros 20% são minimizados com investimentos a longo prazo, em conjunto com a concessionária. Deve ser observado que, atualmente, as questões da qualidade de energia dos sistemas elétricos dos consumidores foram normatizadas através do módulo 8 do Prodist.

REFERÊNCIAS

- 1 H. S. Bronzeado e outros. Uma proposta de nomenclatura nacional de termos e definições. Revista Eletricidade Moderna. 1999; março: Págs. 50-56
- 2 P.F. Costa, I.M. Santos. Comportamento de equipamentos sensíveis face a distúrbios na rede; A curva CBEMA. Revista Eletricidade Moderna. 1994;janeiro: Pág. 69
- 3 M. F. McGranaghan, D. R. Mueller and M. J. Samotyj. Voltage Sags in Industrial Systems.Revista IEEE. 1993; Vol. 29, March/April: Págs. 397-403
- 4 L. Conrad, K. Little and C. Grigg. Predicting and Preventing Problems Associated With Remote Fault-Clearing Voltage Dips. Revista IEEE. 1991; Vol. 27, Janeiro/Fevereiro: Págs. 167-172
- 5 J.C. Das. Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Induction and Synchronous Motors. Revista IEEE. 1990; Vol. 26, July/August: Págs. 711-718