

O impacto dos problemas de qualidade da energia em instalações eléctricas.

O caso particular das cavas, conteúdos harmónicos e sobretensões

QEnergia

Pct^a Cesário Verde nº 10 sub/cav

2745 – 740 – Massamá

Tel – 214 307 373

Fax – 214 300 804

www.qenergia.pt

1 . Apresentação da QEnergia

A QEnergia é um novo projecto que nasce a partir da experiência da Infocontrol nas áreas da qualidade da energia, gestão de energia e automação.

A crescente complexidade das instalações eléctricas trazem-nos novos problemas e novas metodologias de análise. Falamos constantemente de falhas originadas por harmónicas, por micro cortes, por sobretensões para as quais temos que implementar novas soluções.

Por outro lado, a pressão para a redução de custos de produção e exploração torna indispensável olhar para a factura de energia eléctrica de uma forma atenta para procurar e eliminar todas as ineficiências. Novas metodologias são necessárias para a gestão de energia, principalmente agora que o processo de liberalização do mercado abre novas oportunidades, mas também novos riscos.

A QEnergia é uma empresa especialista neste domínio e assenta a sua oferta em sete actividades básicas:

1. Equipamentos para verificação da Qualidade da Energia e da onda de tensão.
2. Equipamentos para verificação de instalações eléctricas
3. Equipamentos para medidas eléctricas e gestão de energia
4. Sistemas integrados para qualidade e gestão de energia
5. Inspeções, auditorias e consultoria na Qualidade da Energia, na Qualidade das Instalações e Gestão de energia
6. Soluções reparadoras para perturbações em sistemas de energia.
7. Formação

A QEnergia baseia a sua actividade na excelência do serviço, na competência dos seu técnicos e na alta qualidade dos produtos que promove.

Uma vasta experiência na instalação de centenas de equipamentos para verificação da qualidade da energia e da onda de tensão, aliada a uma intensa actividade na auditoria e consultoria em instalações eléctricas, permite-nos ter hoje uma visão muito clara dos problemas causados pelas perturbações em sistemas de energia. Este artigo reflecte a opinião do autor relativamente às perturbações consideradas relevantes. A proposta de soluções reparadoras para estes problemas é, neste momento, uma actividade em pleno desenvolvimento na QEnergia, embora a sua descrição não caiba no âmbito deste artigo.

2. Um novo conceito- A qualidade da energia

O conceito Qualidade da Energia é novo e está indiscutivelmente ligado à nova realidade que se vive no sector eléctrico.

Durante dezenas de anos a actividade de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica esteve nos diferentes países Europeus concentrada num núcleo restrito de empresas, a maior parte delas com uma forte participação de capitais públicos.

Características específicas deste sector tornaram lógica esta realidade. É uma indústria de capital intensivo, com centros produtores deslocados dos consumidores e com uma componente considerada estratégica para o desenvolvimento do país. A componente de serviço público foi sempre muito vincada. Todos nos lembramos do objectivo estratégico estabelecido nos anos 80 que era a electrificação do país. A prioridade era fazer chegar a energia eléctrica às aldeias mais recônditas, colocando claramente em segundo plano a amortização dos investimentos efectuados.

A inexistência de concorrência era outra das características deste sector em praticamente toda a Europa. As tarifas eram fixadas por despacho e válidas para períodos pré determinados, tipicamente um ano.

Em 1992 as directivas traçadas pela União Europeia, vieram mudar significativamente este cenário, introduzindo e calendarizando um processo de liberalização para ser levado a cabo em todos os países da União. Os objectivos deste processo foram então claramente enunciados e podem ser resumidos nos seguintes pontos:

- o Estimular a concorrência, o que originaria uma redução dos custos de energia, tornando ainda mais transparentes as relações entre produtores, distribuidores e consumidores.
- o Permitir ganhos de competitividade à indústria Europeia, que se encontrava em desvantagem relativamente às empresas Americanas ou do Sudeste Asiático que beneficiavam de custos de energia mais baixos.
- o Reduzir as ineficiências das empresas do sector eléctrico, permitindo estabelecer critérios e rácios que tornassem comparáveis empresas Europeias de características similares, permitindo desta forma uma gestão mais eficiente.

As consequências do processo de liberalização fazem-se sentir em múltiplos aspectos. A alteração do quadro normativo é obviamente um desses aspectos, impondo previamente um conjunto de regras e definições que possam ser utilizadas por todos. Tornou-se indispensável a adopção de uma linguagem uniforme, não ambígua relativamente ao que se fornece e aos intervenientes no processo.

A definição do produto Electricidade merece uma atenção especial. É um produto de características diferentes daquelas que normalmente associamos a bem de consumo.

É um produto que não pode ser armazenado¹, isto é, é produzido na exacta medida em que é consumido. Os desvios aos 50 Hz na frequência da rede atestam precisamente o equilíbrio a que se chegou entre a produção e o consumo.

Os critérios que definem a qualidade deste produto dificilmente são critérios uniformes. Para um utilizador doméstico a qualidade mede-se fundamentalmente de uma forma empírica, usando a maior parte das vezes a iluminação como instrumento de análise. Há luz ou não há luz, dizemos muitas vezes. Para um utilizador industrial, para um hospital ou para um grande edifício do sector terciário os critérios que definem a qualidade são completamente diferentes. Múltiplas perturbações implicam funcionamentos incorrectos de diferentes equipamentos, pelo que se torna indispensável caracterizar e definir essas perturbações.

Outra das características particulares do produto electricidade é a possibilidade de o consumidor receber este bem ao mesmo tempo que o degrada, contribuindo simultaneamente para degradar a “electricidade” recebida pelos seus vizinhos.

A rede de distribuição tem um forte impacto na qualidade. A qualidade na produção é quase sempre muito uniforme e praticamente todas as perturbações sentidas pelos consumidores têm origem em acidentes ou incidentes na rede de distribuição. Muitos destes incidentes têm origens em eventos imprevisíveis tais como descargas atmosféricas, curto circuitos provocados por aves, incêndios florestais, entre muitas outras causas, e não há meios técnicos para evitar as suas consequências.

A definição do que é a qualidade da electricidade, ou melhor da Qualidade da Energia (tradução da expressão Power Quality) foi objecto de uma norma Europeia, a EN 50160. Veremos que o termo Qualidade da Energia não é apropriado quando se fala nesta norma. De facto seria mais rigoroso falar de qualidade da onda de tensão. No entanto para análise do impacto dos problemas de qualidade em instalações eléctricas é muito importante ir além do estudo da qualidade da onda de tensão como pretendo demonstrar neste artigo

A EN 50160 já tem uma tradução Portuguesa, a NP EN 50160, editada pelo IPQ em 1996. Utilizo neste artigo as definições e os conceitos introduzidos nesta norma.

3. A NP EN 50160

Esta norma descreve as características principais, no ponto de entrega ao cliente, da tensão de alimentação por uma rede de distribuição pública em baixa ou média tensão, em condições de exploração normais.

Se bem que o impacto da existência da norma seja reduzido, porque ela se cumpre praticamente em todo o país, a definição de um conjunto de grandezas e simultaneamente a caracterização de um conjunto de perturbações, é uma mais valia muito significativa. Vamos ver com mais detalhe um conjunto de definições introduzidas neste documento.

Características da tensão de alimentação

- o “Frequência - Deve ser igual a 50 Hz. Em condições normais o valor médio medido em intervalos de 10m deve estar:

¹ A possibilidade de armazenar electricidade tem sido um sonho de sucessivas gerações mas os resultados tem sido muito modestos. As formas clássicas de armazenamento passam quase exclusivamente pela utilização de baterias obviamente limitadas na quantidade de energia que podem armazenar. No entanto, novas tecnologias estão já disponíveis, o que nos faz antever um futuro diferente. Os super condensadores, as “fly wheels”, os supercondutores são novas ferramentas que prometem revolucionar o conceito do que é o armazenamento da electricidade.

Entre 49,5 e 50,5 Hz durante 95% de uma semana
 Entre 47 e 52 Hz durante 100% de uma semana

- o Tensão nominal – $U_n = 230V$ entre fase e neutro (BT)
- o Variação da tensão de alimentação – Não considerando as interrupções, 95% dos valores eficazes médios de 10 min para cada período de uma semana devem situar-se na gama $U_n \pm 10\%$
- o Severidade da tremulação (flicker) – Para qualquer período de uma semana, a severidade de longa duração deve ser $P_{lt} < 1$ durante 95% do tempo

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}}$$

Em que P_{st} é a severidade da tremulação de curta duração medida num período de 10 min

- o Desequilíbrio das tensões de alimentação – Para cada período de uma semana 95% dos valores eficazes médios de 10 min da componente inversa das tensões, não devem ultrapassar 2% da correspondente componente directa.
- o Tensão harmónica – Tensão sinusoidal cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da tensão de alimentação. A taxa de distorção harmónica

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}$$

não deve ultrapassar 8% em 95 % dos períodos de 10 minutos

- o Tensão Interharmónica – tensão sinusoidal cuja frequência não é um múltiplo inteiro da fundamental”

O cumprimento da norma é verificado quando todos os valores se encontram no intervalo de confiança de 95%. Tomemos um exemplo:

Lemos o valor eficaz da tensão de alimentação durante 10 minutos. Calculamos o valor médio durante esses 10 minutos. Determinamos o conjunto de valores médios de 1008 períodos (uma semana) de 10 minutos consecutivos. Se 95% desses valores estiverem compreendidos numa banda de $U_n \pm 10\%$, então verifica-se o cumprimento da norma.

Actualmente, o Regulamento da Qualidade de Serviço impõe que o distribuidor verifique anualmente o cumprimento desta norma em diversos pontos do país, fornecendo esses dados à Entidade Reguladora.

O cumprimento da norma não é uma garantia que o utilizador final de energia eléctrica não vai ter nenhum tipo de problemas. Há um conjunto de perturbações que normalmente acontecem, que são imprevisíveis e impossíveis de evitar. Esse conjunto de perturbações é definido da seguinte forma:

- o “Cava – Abaixamento do valor eficaz da tensão de alimentação para:
Um valor situado entre 90% e 1% de U_c durante um período entre 10ms e 1 min
- o Interrupção da alimentação – Variação de tensão para menos de 1% de U_c
 Interrupção curta < 3 min – defeito transitório
 Interrupção longa > 3 min – defeito permanente

- o Sobretensões temporárias – entre condutores activos e a terra
Exemplo a falta de neutro de uma instalação
- o Sobretensões transitórias – entre condutores activos e a terra
Origem – Manobras de comutação e descargas atmosféricas.”

Dada a aleatoriedade dos fenómenos que originam as perturbações, a norma não define o que é cumprimento ou não cumprimento para as cavas e para a sobretensões. Limita-se a referir valores típicos e as origens destes fenómenos. Compete aos utilizadores de energia munirem-se dos meios técnicos necessários que garantam a imunidade das suas instalações a este tipo de eventos.

Como a NP EN 50160 se refere exclusivamente à tensão, não há nenhuma referência às harmónicas de corrente. Não são indicados valores típicos, nem se referem as consequências para a instalação ou para o equipamento de um elevado conteúdo harmónico na corrente.

O utilizador de energia é confrontado regularmente com um conjunto de perturbações que afectam a actividade produtiva. A norma ajuda-nos a definir e caracterizar essas perturbações. Mas não nos responde a um conjunto de perguntas que se colocam no dia a dia:

- o Qual é o impacto das perturbações nas instalações eléctricas?
- o Quais são as perturbações relevantes e prováveis?
- o Que prioridade dar à implementação de sistemas de monitorização da qualidade da energia e da onda de tensão?

Estas perguntas não têm uma resposta fácil, ou sequer uma única resposta. A monitorização da qualidade da energia e da onda de tensão em instalações é uma ferramenta muito útil que nos permite ganhar experiência na avaliação do impacto das perturbações em sistemas de energia.

É precisamente essa experiência que nos permite identificar aquilo que consideramos as perturbações relevante e prováveis e que estão descritas no próximo capítulo.

4. Perturbações relevantes em instalações eléctricas

A actividade da QEnergia na área da consultoria e auditoria tem permitido construir uma base de dados de perturbações com um elevado conjunto de eventos. A correlação entre essas perturbações e os seus impactos na actividade produtiva permitiu-nos identificar aquilo que é relevante.

As perturbações em sistemas de energia com impacto na actividade produtiva e impacto nas instalações eléctricas são:

- o Interrupções da alimentação.
- o Cavas
- o Sobretensões transitórias
- o Harmónicas de Corrente
- o Harmónicas de Tensão.

Vamos ver com mais detalhe cada uma destas perturbações.

4.1. – Interrupções da alimentação

Não há nenhum tipo de discussão sobre o impacto das interrupções da alimentação numa instalação eléctrica. A gravidade deste acontecimento varia consoante a actividade produtiva ou o sistema alimentado. Se tivermos em conta que a energia eléctrica é muitas vezes a forma de energia utilizada por sistemas de apoio à vida, é obvio que os prejuízos decorrentes das interrupções medem-se muita além dos prejuízos ou danos materiais.

Desde sempre os projectistas de instalações eléctricas lidaram com este problema e há inúmeras soluções disponíveis. Os sistemas electrónicos são hoje alimentados a partir de UPS's que asseguram a continuidade da alimentação nos instantes decorrentes a uma interrupção. Se se justificar grupos geradores asseguram para os circuitos prioritários a fornecimento de energia.

Não cabe no âmbito deste artigo a descrição das origens deste problema e das suas soluções. Vamos antes concentrar-nos nas perturbações que até há poucos anos eram consideradas pouco relevantes e para as quais as soluções reparadoras estão menos divulgadas.

4.2. - Cavas

4.2.1– Origem das cavas

As cavas são descritas como variações no valor eficaz da tensão para valores entre 90% e 1% da tensão declarada por períodos entre 10mseg e 1 min. Não está estabelecido o número típico de cavas numa instalação, embora se admita como altamente provável esperar um número de cavas entre as dezenas e um milhar por ano. Note-se que as cavas são a definição de um fenómeno que muitas vezes descrevemos como micro cortes.

A origem das cavas é muito diversificada. Por exemplo é bem conhecido o fenómeno da variação de tensão provocada pelo arranque de um motor de potência muito elevada. Este fenómeno é bem conhecido e tem sido ultrapassado com a separação de circuitos e a colocação de transformadores dedicados ao arranque de motores de potência elevada.

A maior parte das cavas têm origem em fenómenos no exterior das instalações. Vejamos o seguinte exemplo:

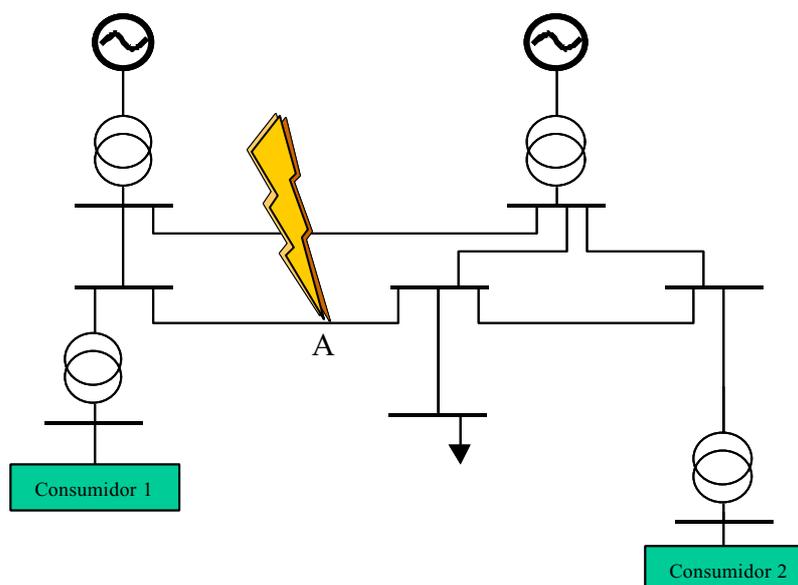


Figura 1 – Origem de uma cava

O consumidor 1 e o consumidor 2 são alimentados por uma rede de média tensão construída em anel, tal como está representado na figura.

Num dado momento há um defeito no ponto A . As origens desse defeito podem ser muito variadas; um isolador que se parte, uma ave que provoca o contornamento do isolador, uma árvore que toca na linha, um incêndio que diminui a rigidez dieléctrica do ar, uma descarga atmosférica são causas possíveis para eventos deste tipo. Aliás, existem estatísticas que dão conta do número de incidentes deste tipo existem nas redes eléctricas.

No ponto A no momento do defeito a tensão fase/terra passa a 0. Como a impedância da linha entre o ponto de defeito e os consumidores não é nula a tensão nestes decresce mas não se anula.

4.2.2– Caracterização das cavas

Mostramos a seguir um exemplo medido numa instalação no centro de país no passado dia 5 de Dezembro de 2001;

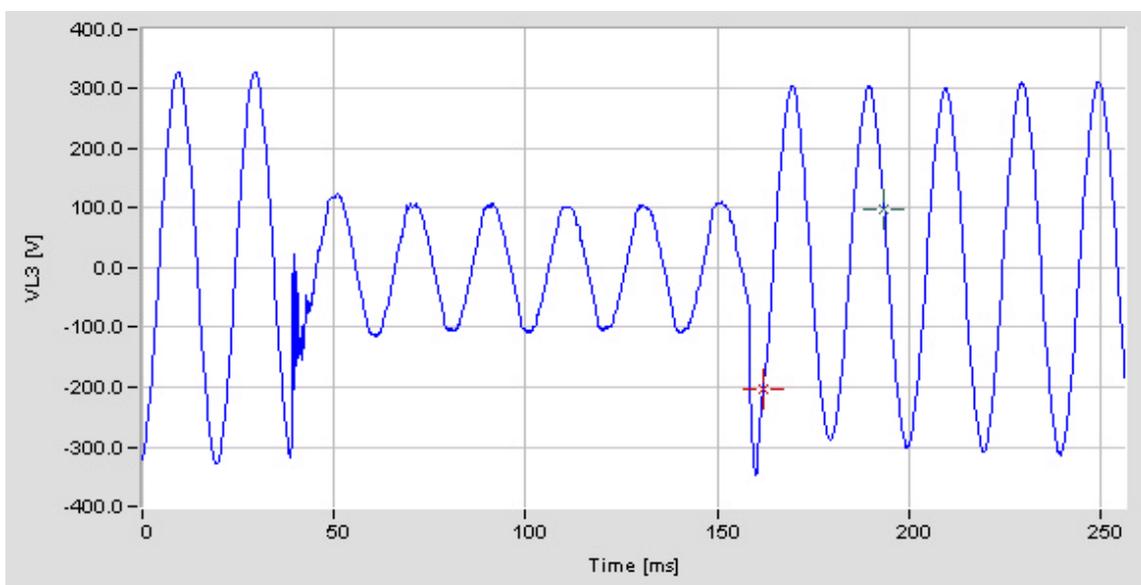


Figura 2 – Valor instantâneo da tensão registada na fase T em 5 de dezembro de 2001 às 3h 07 m

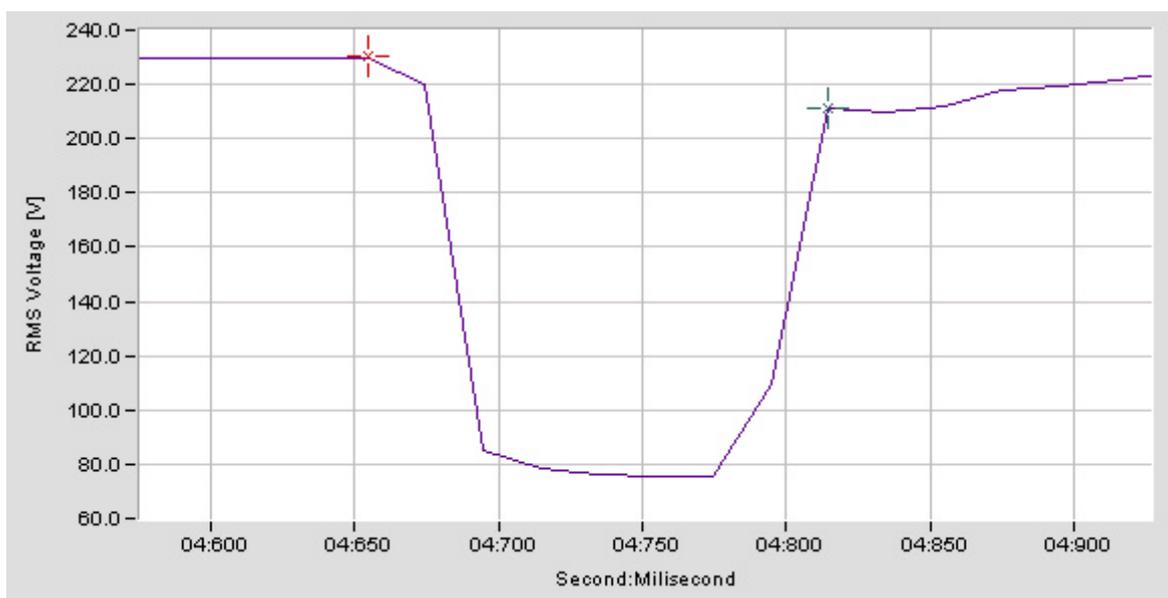


Figura 3 – Valor eficaz da tensão na fase T registada no dia 5 de Dezembro de 2001 às 3h 07m

A duração desta cava é de cerca de 110 mseg, e o valor extremo atingido foi de 73V ou seja 31,7% da tensão declarada. É interessante verificar que a cava foi sentida nas três fases mas com graus diferentes (ver figura 4)

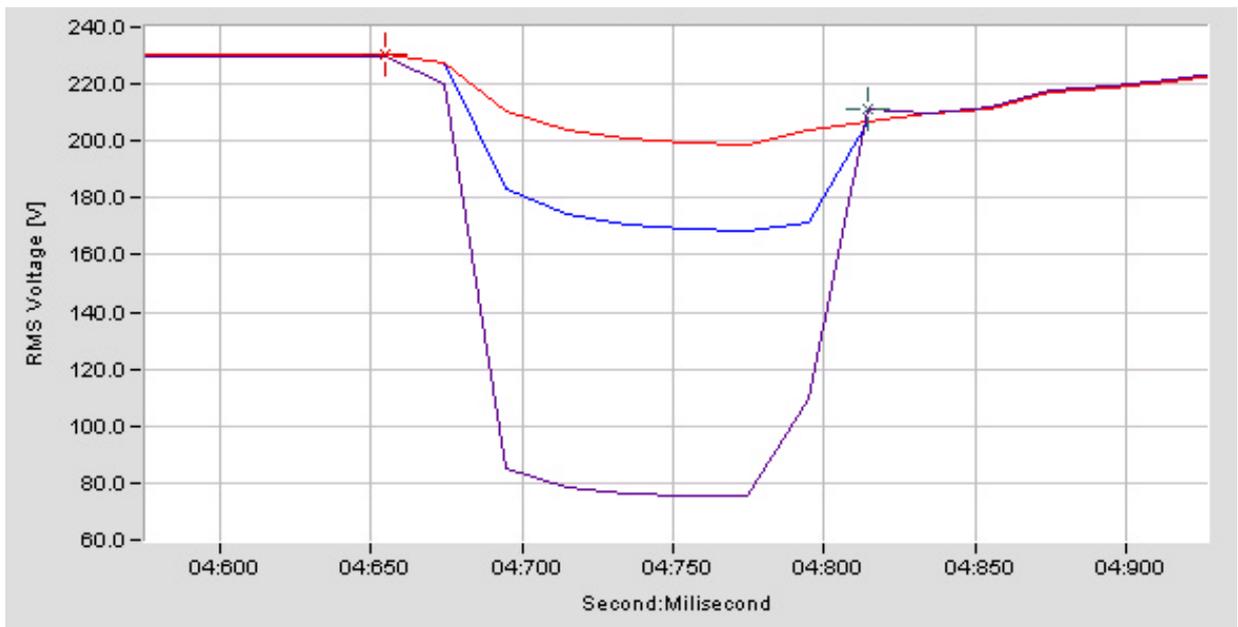


Figura 4 – Valor eficaz da tensão nas três fases

Este tipo de cava é muito frequente. Por exemplo, na campanha de medidas onde recolhemos estes dados foram registadas 8 cavas em cerca de duas semanas.

Nem todas as cavas são igualmente perturbadoras. Quando se faz um estudo deste tipo é indispensável aferir o grau de sensibilidade de uma instalação. Os equipamentos de medida que instalamos e com o qual fizemos estas medidas (TOPAS 1000 da LEM) dão-nos uma boa ajuda com a análise CBEMA (ver figura 5)

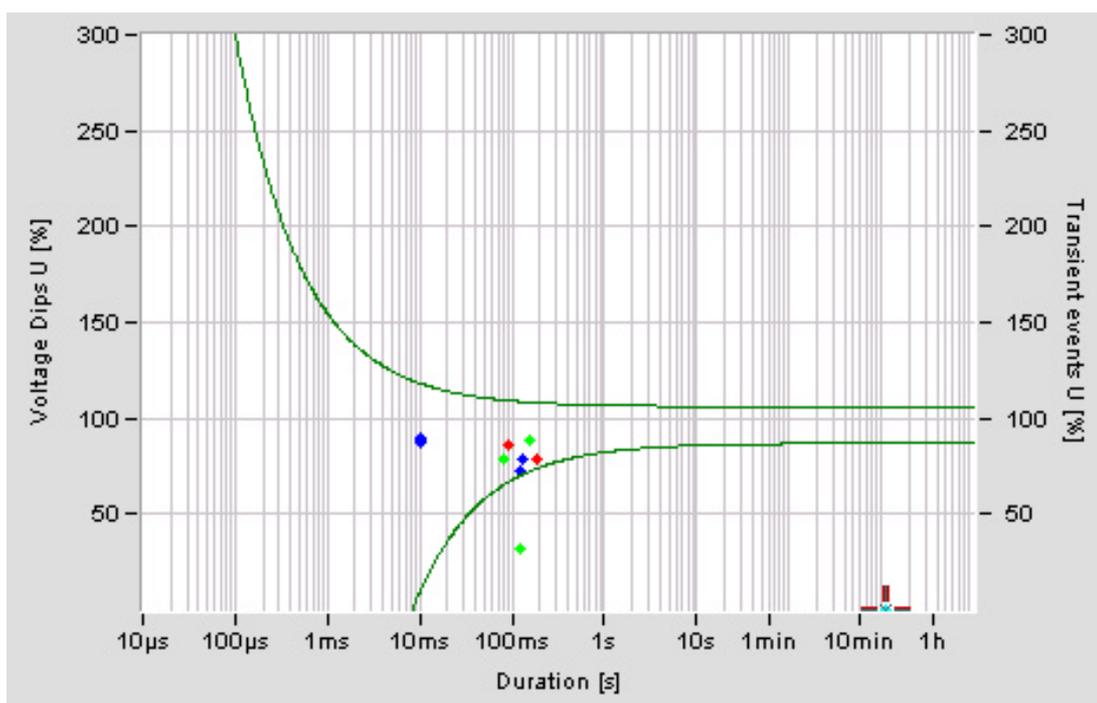


Figura 5 – Curva CBEMA do conjunto de cavas registado na campanha de medidas

Esta é a imagem gráfica daquilo que pode ser entendido como um estudo da sensibilidade da instalação. Nas ordenadas, temos a descrição dos valores atingidos pelas cavas (valor eficaz em percentagem da tensão declarada). Nas abcissas a duração dos eventos.

As linhas vermelhas indicam-nos o limite de imunidade estabelecido para um conjunto de equipamentos segundo uma definição feita pela “Computers Business Equipment Manufacturers Association” (CBEMA). Isto é, os eventos cuja descrição caiba dentro da envolvente definida pelas linhas vermelhas não são perturbadores²

Assim é possível determinar as cavas perturbadoras típicas numa instalação. Repare-se que uma instalação “sofre” um conjunto de cavas que pode estatisticamente ser representado em função da profundidade e da duração.

4.2.3 – Sensibilidade dos equipamento face às cavas

A sensibilidade de equipamentos eléctricos e electrónicos face a cavas está descrita em muita literatura, e sintetizada de uma forma muito clara no Electrical Power Systems Quality, Dugan et al, McGraw-Hill, NY, 1996. Vejamos alguns exemplos:

- Os contactores são tipicamente sensíveis a cavas < 50% de U_c durante mais de 100 mseg.
- Os Field Bus são tipicamente sensíveis a cavas < 80% de U_c durante 40 mseg
- Os variadores de velocidade (potência >25KW) são sensíveis a cavas < 90% de U_c durante 60 mseg

Esta lista é muito grande. Para qualquer equipamento electrónico é possível estabelecer esta relação. Como hoje em dia qualquer instalação industrial está suportada por equipamentos electrónicos, é possível avaliar o enorme impacto que estes eventos têm na actividade produtiva.

4.2.4 – Medidas a tomar- Implementação de tecnologias reparadoras

A partir do diagnóstico do problema é possível estabelecer a estratégia para resolver o problema.

Raramente a abordagem se faz de forma a garantir 100% de imunidade. Esta lógica não é racional e conduz a investimentos desajustados, normalmente demasiado pesados para os benefícios obtidos.

A abordagem que recomendamos passa por uma análise estatística das cavas a que a instalação está sujeita (ver figura 6). Propomos uma estratégia em 5 passos:

- 1 - Determinamos as cavas típicas na nossa instalação
Na figura 6 temos desenhado aquilo que pode ser uma distribuição estatística do conjunto de cavas de uma instalação. O numero de cavas que atinge valores abaixo de 80% de U_c é cerca de 50%. Só em 20% das cavas a tensão desceu abaixo dos 65% de U_c
- 2 – Correlacionamos cavas com acontecimentos tais como paragens de máquinas ou outros erros
- 3 – Para 80% das cavas perturbadoras determinar as tecnologias reparadoras necessárias.

² Os limites definidos pela curva CBEMA não são aceites sem críticas. Esta curva foi desenhada nos anos 70 para equipamentos electrónicos tais como PC's. Hoje em dia a sensibilidade de um vasto número de equipamentos aumentou, pelo que os valores originais definidos na curva CBEMA estão postos em causa. Na campanha de medidas onde recolhemos estes dados registámos precisamente eventos dentro da envolvente que provocaram paragens em equipamentos CNC. O equipamento de mediada que utilizamos permite-nos alterar os parâmetros originais da curva CBEMA e adequa-los a cada instalação de forma a ter uma análise rápida dos eventos perturbadores em campanhas futuras.

- 4 – Orçamento compatível? Executar
 5 – Orçamento não compatível? Refazer os cálculos para 60% das cavas. Orçar e executar

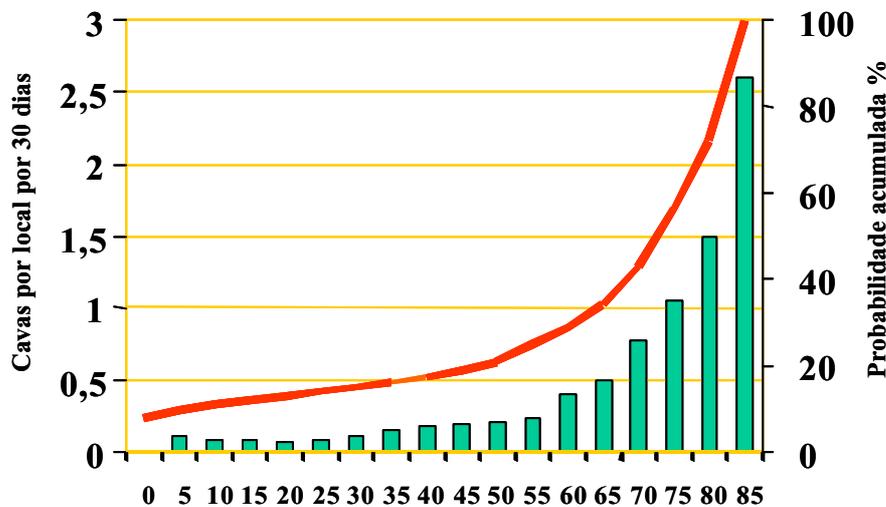


Figura 6 – Probabilidade acumulada de cavas numa instalação

4.3. Sobretensões transitórias

As sobretensões são uma das causas mais frequentes para avarias em equipamento electrónico. Os recentes desenvolvimentos tecnológicos têm conduzido a uma miniaturização dos equipamentos com a redução óbvia das resistências de isolamento. Cada vez mais os equipamentos estão mais sensíveis, e cada vez mais dependemos de equipamento sensível.

As origens das sobretensões são bem conhecidas. Fundamentalmente têm origem em manobras de comutação ou descargas atmosféricas.

4.3.1 – Manobras de comutação

As manobras de comutação que mais frequentemente originam sobretensões são a comutação de baterias de condensadores. Na figura 7 está o registo que obtivemos numa unidade industrial no barramento do QGBT. A sobretensão aqui desenhada é fruto de uma comutação de baterias de condensadores que estavam colocados acerca de 15m do local onde efectuamos as medidas.

Neste caso registámos uma sobretensão não muito elevada (cerca de 150 V), e uma oscilação da tensão com uma frequência próxima de 1 Khz.. Neste caso são os próprios condensadores que mais sofrem com a redução da sua impedância interna. (este assunto será debatido com mais detalhe quando nos referirmos às harmónicas de tensão)

Muitas vezes as soluções para resolver este problema são muito simples. Basta rompermos a condição de ressonância e introduzir no circuito em série coma bateria de condensadores uma pequena impedância.

Muitas vezes é conveniente colocar dispositivos de protecção contra sobretensões de forma e evitar o envelhecimento prematuro dos componentes electrónicos.

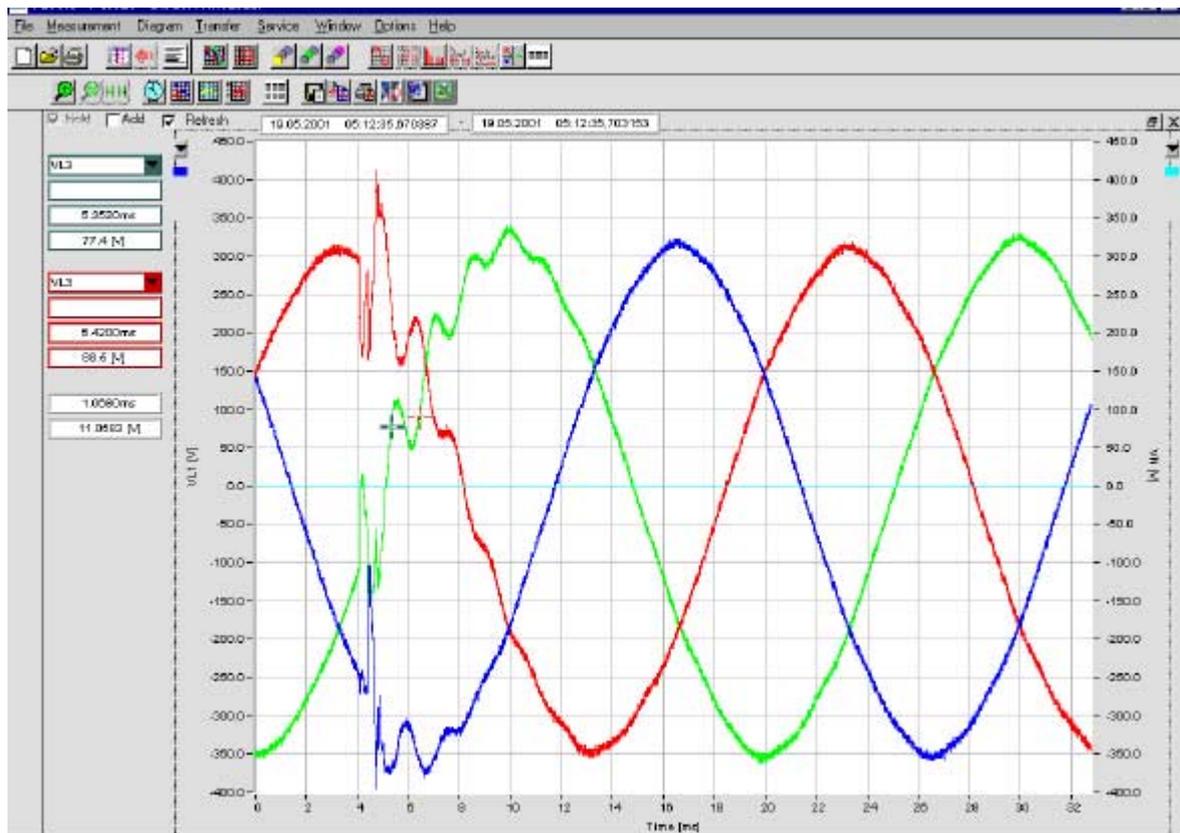
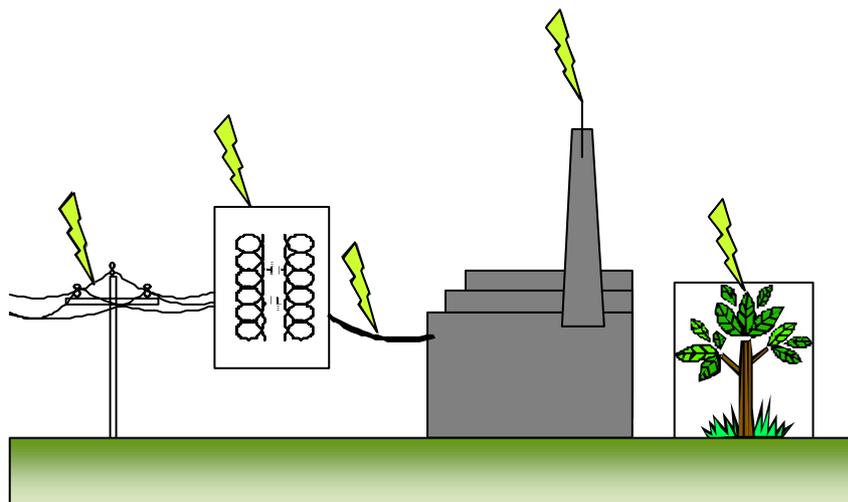


Figura 7 – Variação da tensão na sequência da comutação de uma bateria de condensadores

4.3.2– Descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas são um fenómeno não muito frequente em Portugal, mas suficientemente espectacular para nos infundir temor e respeito.

O número de equipamentos electrónicos que anualmente se danificam por causa das descargas atmosféricas é muito elevado. Todos nós conhecemos casos em que se puderam contabilizar prejuízos muito elevados.



As descargas atmosféricas podem “atingir uma instalação de diferentes maneiras. A figura 8 pretende mostrar como

Figura 8 – Descargas atmosféricas numa instalação

As descargas atmosféricas podem atingir uma instalação de variadas formas. Podem atingir as linhas de alimentação de energia, a zona dos transformadores, os cabos de distribuição de energia ou de comunicação, as massas metálicas ou os para raios, ou ainda atingir uma qualquer estrutura na vizinhança da instalação. Em todos estes fenómenos a elevação do potencial entre fase e terra envolve normalmente energias significativas que são responsáveis por danos em equipamento electrónico.

Na figura 9 está um registo obtido numa instalação de telecomunicações de uma descarga atmosférica que caiu a algumas centenas de metros do local do registo. A medida estava a ser feita simultaneamente em modo diferencial e em modo comum e podemos verificar que a sobretensão se verifica exclusivamente em modo comum.

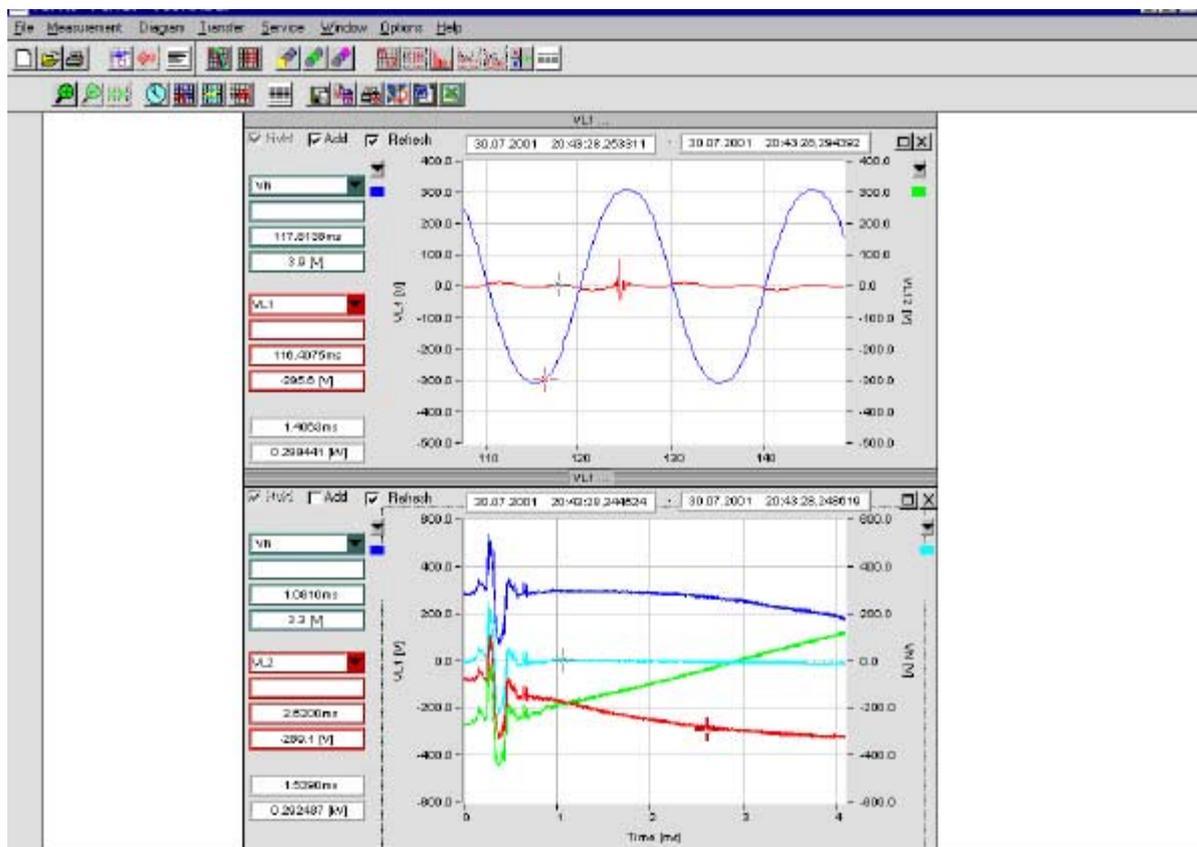


Figura 9 – Registo em modo diferencial (imagem superior) e em modo comum de uma sobretensão originada por uma descarga atmosférica

Proteger as instalações contra sobretensões, nomeadamente descargas atmosféricas passa pela definição de um conjunto de procedimentos em conjunto com a instalação de algum equipamento:

- 1 - Ligação à terra de protecção de todas as massas metálicas Criação de uma malha equipotencial
- 2 – Ligação à malha de terra com cabos curtos – Reduzir as quedas de tensão resultantes da circulação de corrente nas reactâncias dos cabos
- 3 – Instalação de dispositivos de protecção contra sobretensões

4.4 Harmónicas de corrente

A utilização intensiva de cargas não lineares é generalizada nas instalações modernas. Um edifício de escritórios ou comércio apresenta tem hoje em dia mais de 60% de cargas não lineares. Em muitas indústrias as cargas não lineares representam mais de 45% da carga total. Mas o que é uma carga não linear?

Na figura 10 mostramos a representação gráfica da corrente absorvida por uma carga não linear neste caso, um computador.

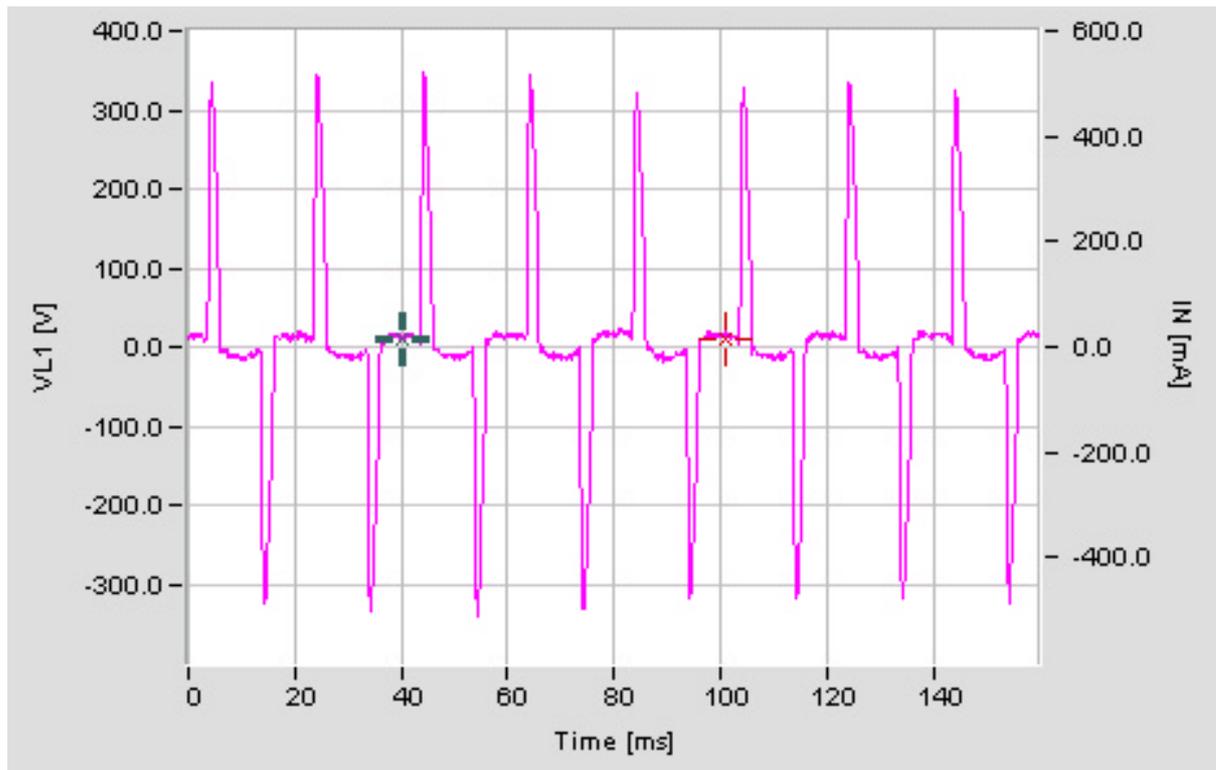


Figura 10 – Forma de onda da corrente absorvida por um computador

Na figura 11 mostramos a análise harmónica desta medida

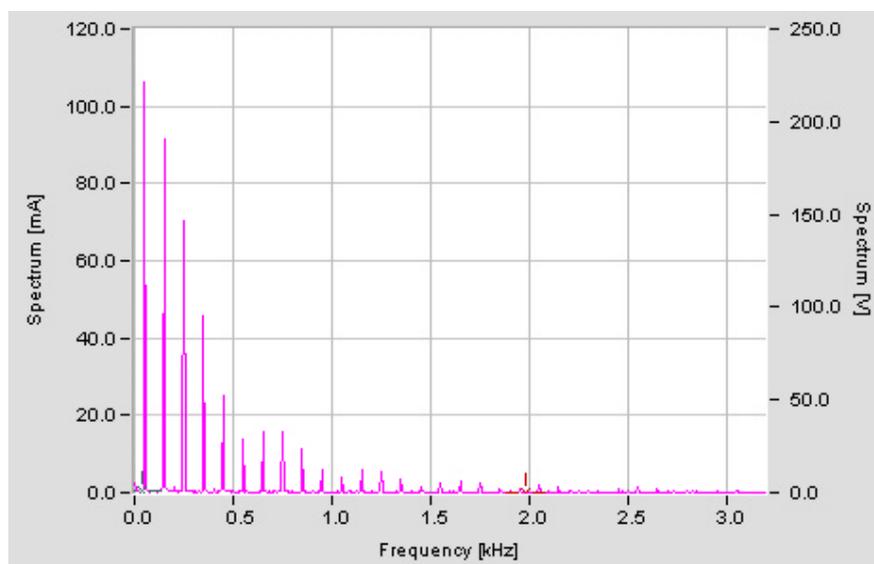


Figura 11- Espectro da corrente absorvida por um computador

Repare-se que a 3ª harmónica representa cerca de 90% da fundamental, a 5ª harmónica cerca de 70%, a 7ª cerca de 50%, a 9ª cerca de 30%.

Repare-se que as cargas que hoje instalamos são sempre cargas similares a computadores, isto é são quase sempre fontes de alimentação comutadas. Computadores, balastos electrónicos, variadores de velocidade, etc.

Qual é o impacto nas instalações deste tipo de procedimento? Será que nos nossos projectos isto é tomado em devida conta?

Numa instalação de escritórios tentamos equilibrar as cargas pelas três fases.

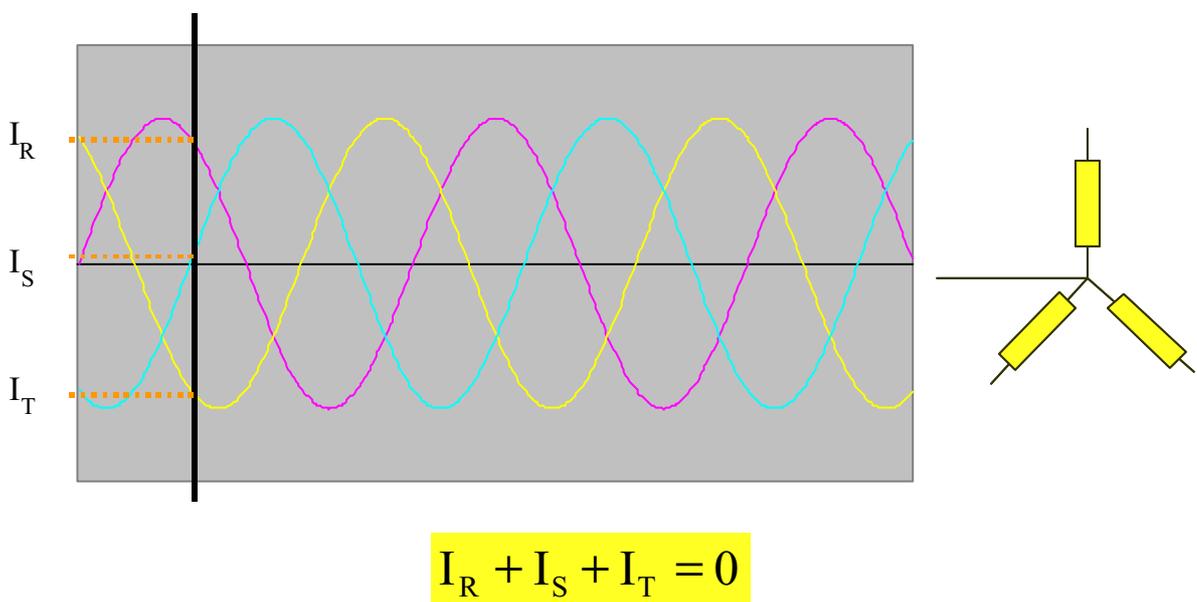


Figura 12 – Corrente num sistema trifásico equilibrado

Esperamos que a corrente que circula no neutro é nula. E por isso dimensionamos tipicamente a secção do condutor de neutro com metade da secção das fases.

Vamos imaginar agora que continuamos num sistema trifásico equilibrado, mas estamos na presença da 3ª harmónica (e só a 3ª)

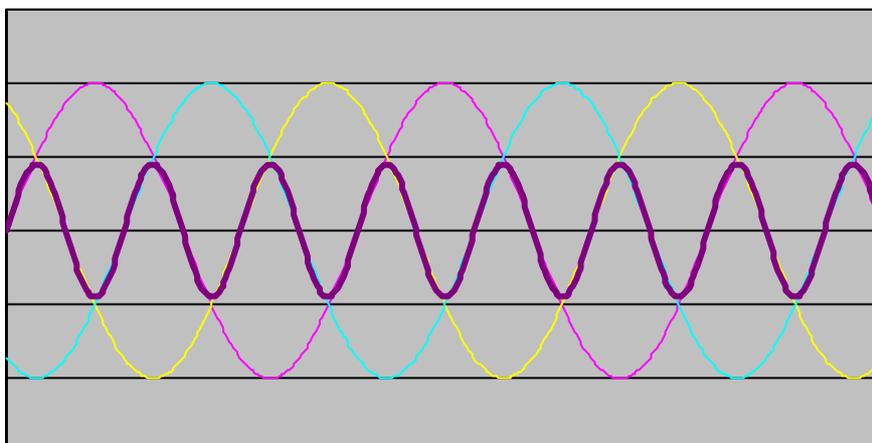


Figura 13 – 3ª harmónica da fase R

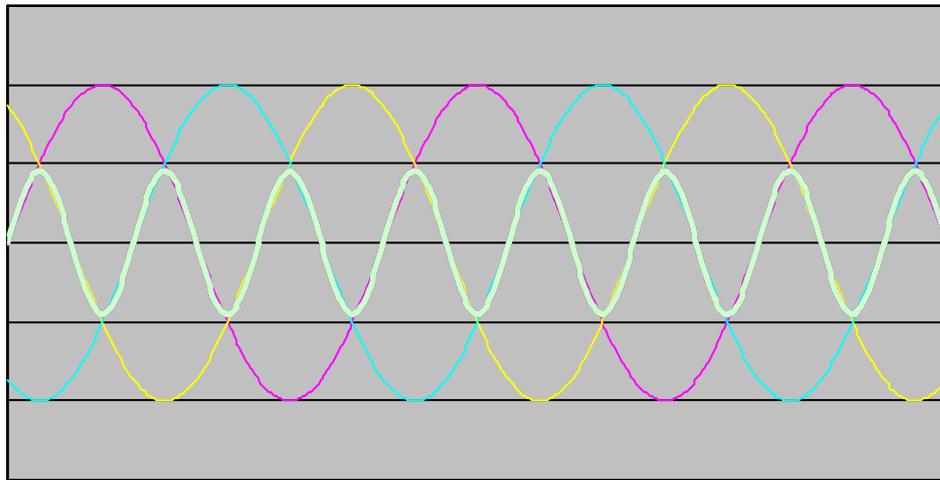


Figura 14 – 3ª harmónica da fase S

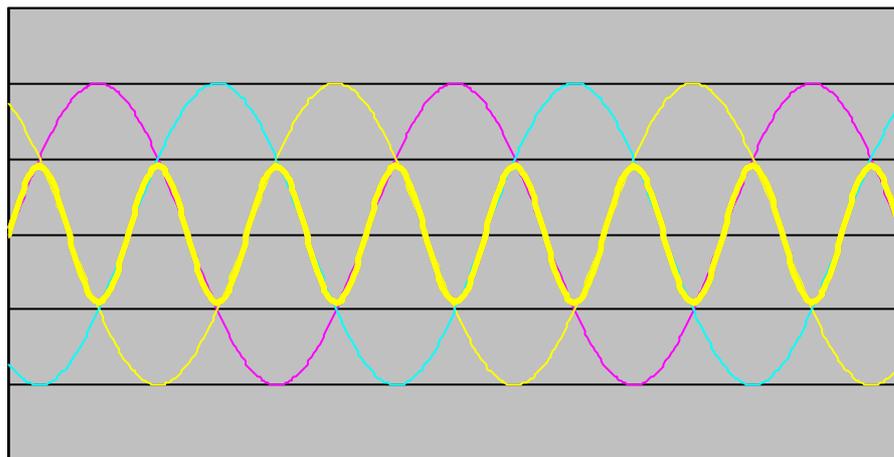


Figura 15 – 3ª harmónica da fase T

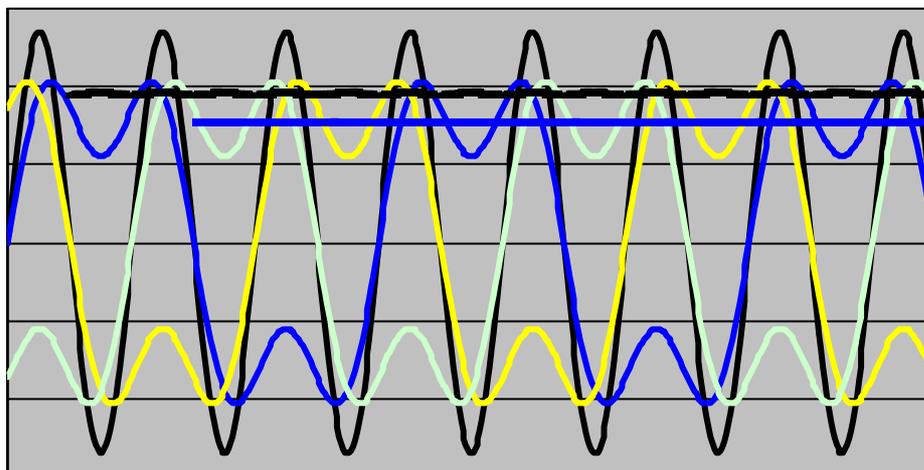


Figura 16 – Valor instantâneo da corrente nas fases e no neutro e respectivo valor eficaz A preto o valor eficaz da corrente no neutro, e a azul valor eficaz da corrente na fase R

Verificamos que soma das 3^{as} harmónicas agora não se anula porque estão em fase. Nest e exemplo a corrente no neutro resulta superior à corrente nas fases. Note que a frequência da corrente no neutro é 150 Hz.

Ora o nosso regulamento (e também a prática electrotécnica) recomenda usar no neutro secções inferiores às secções nas fases. O risco deste procedimento é neste momento muito grande.

Consequências:

A presença de harmónicas múltiplas de 3 conduz-nos a uma corrente no neutro muito superior à esperada, e em muitos casos superior à corrente nas fases. Especial cuidado merecem aplicações com cabos longos onde L é relevante porque neste caso a queda de tensão na reactância pode assumir valores significativos

Quando estamos na presença de regimes TN o problema pode ter outras implicações pela circulação em regime permanente de correntes elevadas nos condutores de protecção, destruindo as equipotencialidades e provocando aquecimentos não esperados.

Nos transformadores dimensionados em função da potência aparente, a presença de harmónicas resulta num valor eficaz superior ao nominal As correntes de Foucault que resultam da magnetização do transformador originam perdas que são proporcionais ao quadrado da frequência.

As soluções para diminuir o impacto das harmónicas de corrente nas isntalações, passam pela instalação de filtros adequados, nomeadamente filtros homopolares, que impeçam a circulação de elevadas correntes no neutro.

Se estivermos em fase de projecto, a alteração do esquema de ligações do transformador para um esquema com elevada impedância homopolar pode ser uma alternativa viável.

A QEnergia é uma empresa especialista neste domínio e oferece um conjunto de soluções que respondem às necessidades dos seus clientes, quer fornecendo equipamento, quer através da actividade de consultoria.

4.5 – Harmónicas de tensão

As cargas não lineares geram harmónicas de corrente. Como é que aparecem as harmónicas de tensão?

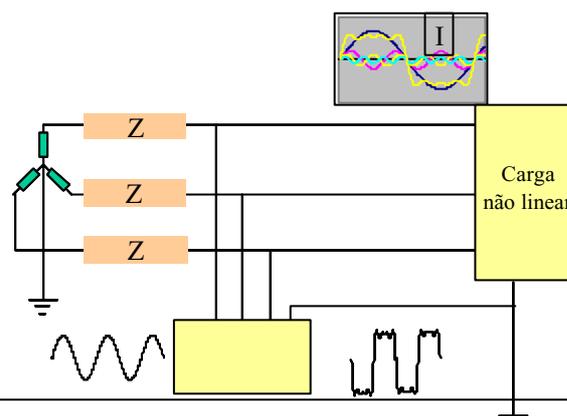


Figura 17 – “geração” das harmónicas de tensão

As Harmónicas de tensão são o resultado do produto da corrente harmónica vezes a impedância Harmónica. Se pretendermos reduzir as harmónicas de tensão, uma das maneiras possíveis é reduzir a impedância harmónica a montante.

As harmónicas de tensão têm impacto em muitos equipamentos:

Impacto nos motores:

- As harmónicas de tensão originam perdas suplementares (devido às correntes de Foucault) que diminuem a eficiência dos motores.
- As harmónicas de tensão induzem harmónicas de corrente nos rotores dos motores que produzem binários pulsantes responsáveis por vibração das máquinas

Impacto nos condensadores

- A presença de harmónicas de tensão faz circular nos circuitos com condensadores correntes superiores à corrente nominal porque

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

- Não deve ser desprezado o efeito amplificador que os circuitos ressonantes LC têm muitas vezes.

Na figura 18 mostramos um conjunto de registos efectuados numa unidade industrial . A amplificação da 11ª harmónica é muito evidente

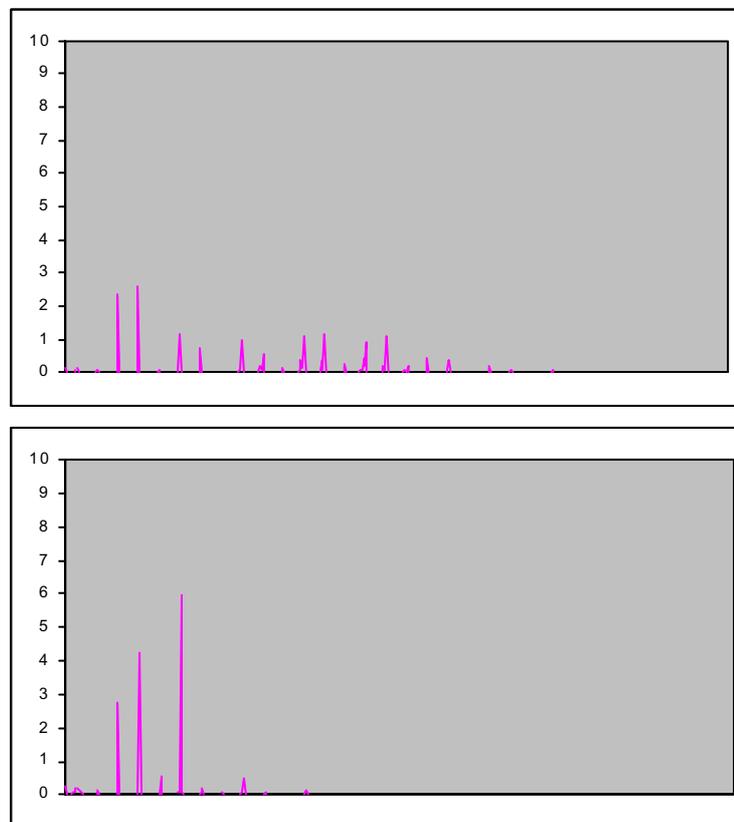


Figura 18 – Espectro da tensão no quadro. Em cima sem compensação do factor de potência

Em baixo espectro no mesmo local, mas com a bateria de compensação ligada

Impacto nos sistemas informáticos

A presença de harmónicas de tensão aumenta os erros na transmissão de dados, reduzindo a velocidade de comunicação. Na indústria os sinais de processo são afectados, originando medidas erradas e perturbando os sistemas de controlo de processo

A resolução dos problemas originados pelas harmónicas de tensão é variada e depende de instalação para instalação

Alguns procedimentos são recomendáveis:

Alteração da impedância a montante – Impedir que as harmónicas de corrente gerem harmónicas de tensão

1. Determinar as harmónicas de tensão em diferentes pontos da instalação
2. Redimensionamento das reservas dos transformadores
3. Redesenhar os sistemas de alimentação
4. Separação de cargas poluentes das não poluentes
5. Equipotencializar as malhas de protecção

Esta metodologia é a mais simples, a mais económica e tem a enorme vantagem de terminado este estudo ficarmos a conhecer detalhadamente a instalação, as reservas de potência disponíveis e determinar prioridades de investimento na rede eléctrica

A QEnergia dispõe de tecnologias reparadoras para a grande maioria dos problemas aqui relatados. O estudo preliminar e a instalação de equipamento de monitorização é na maior parte das vezes uma ferramenta adequada para procurar a melhor e a mais económica solução. A descrição das tecnologias reparadoras que utilizamos para fazer face às perturbações aqui descritas, faz parte do próximo artigo

5. Bibliografia

Caracterização do Sector Eléctrico Português 1999 – Documento ERSE – 2000

Comparação entre o preço de energia eléctrica no SEP e no SENV – Publicação ERSE , Outubro de 1999

Circuitos de Corrente Alternada, Kerchener & Corcoran, Editora Globo – Porto Alegre – 1973

• Electrical Power Systems Quality, Dugan et al, McGraw-Hill, NY, 1996

• NP EN 50160, Edição IPQ, Fevereiro de 1996

Regulamento da Qualidade de Serviço, DR 23 de Junho de 2000, Despacho nº 12 917-A/2000, 2ª série