

1. NORMAS RELATIVAS À CORRENTE DE LINHA: HARMÔNICAS DE BAIXA FREQUÊNCIA E INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA

1.1 Efeito de harmônicas em componentes do sistema de energia elétrica

O grau com que harmônicas podem ser toleradas em um sistema de alimentação depende da susceptibilidade da carga (ou da fonte de potência). Os equipamentos menos sensíveis, geralmente, são os de aquecimento (carga resistiva), para os quais a forma de onda não é relevante. Os mais sensíveis são aqueles que, em seu projeto, assumem a existência de uma alimentação senoidal. No entanto, mesmo para as cargas de baixa susceptibilidade, a presença de harmônicas (de tensão ou de corrente) pode ser prejudicial, produzindo maiores esforços nos componentes e isolantes.

Motores e geradores

O maior efeito dos harmônicos em máquinas rotativas (indução e síncrona) é o aumento do aquecimento devido ao aumento das perdas no ferro e no cobre. Afeta-se, assim, sua eficiência e o torque disponível. Além disso, tem-se um possível aumento do ruído audível, quando comparado com alimentação senoidal. Outro fenômeno é a presença de harmônicos no fluxo, produzindo alterações no acionamento, como componentes de torque que atuam no sentido oposto ao da fundamental (como o 5^o harmônico).

Alguns pares de componentes (por exemplo, 5^a e 7^a) podem produzir oscilações mecânicas em sistemas turbina-gerador ou motor-carga, devido a uma potencial excitação de ressonâncias mecânicas.

Transformadores

Também neste caso tem-se um aumento nas perdas. Harmônicos na tensão aumentam as perdas ferro, enquanto harmônicos na corrente elevam as perdas cobre. Além disso o efeito das reatâncias de dispersão fica ampliado, uma vez que seu valor aumenta com a frequência.

Tem-se ainda uma maior influência das capacitâncias parasitas (entre espiras e entre enrolamento) que podem realizar acoplamentos não desejados e, eventualmente, produzir ressonâncias no próprio dispositivo.

Cabos de alimentação

Em razão do efeito pelicular, que restringe a seção condutora para componentes de frequência elevada, também os cabos de alimentação têm um aumento de perdas devido às harmônicas de corrente. Além disso, caso os cabos sejam longos e os sistemas conectados tenham suas ressonâncias excitadas pelas componentes harmônicas, podem aparecer elevadas sobre-tensões ao longo da linha, podendo danificar o cabo.

Capacitores

O maior problema aqui é a possibilidade de ocorrência de ressonâncias (excitadas pelas harmônicas), podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou de tensão. Além disso, como a

reatância capacitiva diminui com a frequência, tem-se um aumento nas correntes relativas às harmônicas presentes na tensão.

Equipamentos eletrônicos

Alguns equipamentos podem ser muito sensíveis a distorções na forma de onda de tensão. Por exemplo, se um aparelho utiliza os cruzamentos com o zero (ou outros aspectos da onda de tensão) para realizar alguma ação, distorções na forma de onda podem alterar, ou mesmo inviabilizar, seu funcionamento.

Caso as harmônicas penetrem na alimentação do equipamento por meio de acoplamentos indutivos e capacitivos (que se tornam mais efetivos com o aumento da frequência), eles podem também alterar o bom funcionamento do aparelho.

1.2 Fator de Potência

A atual regulamentação brasileira do fator de potência [1.1] estabelece que o mínimo fator de potência (FP) das unidades consumidoras é de 0,92. A partir de abril de 1996 o cálculo do FP deve ser feito por média horária. O consumo de reativos além do permitido (0,425 VARh por cada Wh) é cobrado do consumidor. No intervalo entre 6 e 24 horas isto ocorre se a energia reativa absorvida for indutiva e das 0 às 6 horas, se for capacitiva.

Consideremos, para efeito das definições posteriores o esquema da figura 1.1.

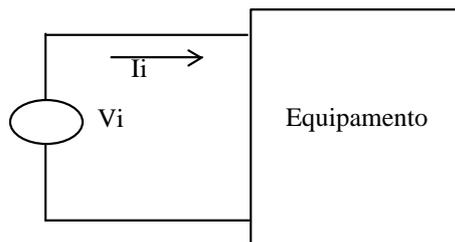


Figura 1.1 Circuito genérico utilizado nas definições de FP

1.2.1 Definição de Fator de Potência

Fator de potência é definido como a relação entre a potência ativa e a potência aparente consumidas por um dispositivo ou equipamento, independentemente das formas que as ondas de tensão e corrente apresentem. Os sinais variantes no tempo devem ser periódicos.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\frac{1}{T} \int v_i(t) \cdot i_i(t) \cdot dt}{V_{RMS} \cdot I_{RMS}} \quad (1.1)$$

Em um sistema com **formas de onda senoidais**, a equação 1.1 torna-se igual ao cosseno da defasagem entre as ondas de tensão e de corrente:

$$FP_{\text{seno}} = \cos \phi \quad (1.2)$$

Quando apenas a tensão de entrada for senoidal, o FP é expresso por:

$$FP_{V_{\text{seno}}} = \frac{I_1}{I_{\text{RMS}}} \cdot \cos \phi_1 \quad (1.3)$$

Neste caso, a potência ativa de entrada é dada pelo produto da tensão (senoidal) por todas as componentes harmônicas da corrente (não-senoidal). Este produto é nulo para todas as harmônicas exceto para a fundamental, devendo-se ponderar tal produto pelo cosseno da defasagem entre a tensão e a primeira harmônica da corrente. Desta forma, o fator de potência é expresso como a relação entre o valor RMS da componente fundamental da corrente e a corrente RMS de entrada, multiplicado pelo cosseno da defasagem entre a tensão e a primeira harmônica da corrente.

A relação entre as correntes é chamada de *fator de forma* e o termo em cosseno é chamado de *fator de deslocamento*.

Por sua vez, o valor RMS da corrente de entrada também pode ser expresso em função das componentes harmônicas:

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} \quad (1.4)$$

Define-se a Taxa de Distorção Harmônica (TDH) como sendo a relação entre o valor RMS das componentes harmônicas da corrente e a fundamental:

$$TDH = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (1.5)$$

Assim, o FP pode ser reescrito como:

$$FP = \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{1 + TDH^2}} \quad (1.6)$$

É evidente a relação entre o FP e a distorção da corrente absorvida da linha. Neste sentido, existem normas internacionais que regulamentam os valores máximos das harmônicas de corrente que um dispositivo ou equipamento pode injetar na linha de alimentação.

1.3 Norma IEC 61000-3-2: Limites para emissão de harmônicas de corrente (≤ 16 A por fase)

Esta norma [1.2], incluindo as alterações feitas pela emenda 14, de janeiro de 2001, refere-se às limitações das harmônicas de corrente injetadas na rede pública de alimentação. Aplica-se a equipamentos elétricos e eletrônicos que tenham uma corrente de entrada de até 16 A por fase, conectado a uma rede pública de baixa tensão alternada, de 50 ou 60 Hz, com tensão fase-neutro entre 220 e 240 V. Para tensões inferiores, os limites não foram estabelecidos, pois esta norma tem aplicação principalmente na comunidade européia, onde as tensões fase-neutro encontra-se na faixa especificada.

Os equipamentos são classificados em 4 classes:

Classe A: Equipamentos com alimentação trifásica equilibrada; aparelhos de uso doméstico, excluindo os classe D; ferramentas, exceto as portáteis; “dimmers” para lâmpadas incandescentes; equipamentos de áudio e todos os demais não incluídos nas classes seguintes.

Classe B: Ferramentas portáteis.

Classe C: Dispositivos de iluminação.

Classe D: Computadores pessoais, monitores de vídeo e aparelhos de televisão, caso a corrente de entrada apresente a forma mostrada na figura 1.2. A potência ativa de entrada deve ser igual ou inferior a 600W, medida esta feita obedecendo às condições de ensaio estabelecidas na norma (que variam de acordo com o tipo de equipamento).

Antes da emenda 14, a definição de classe D era feita a partir de um envelope dentro do qual estaria a corrente de entrada, atingindo qualquer equipamento monofásico, como mostra a figura 1.2. Tal definição mostrou-se inadequada devido ao fato de que os problemas mais relevantes referem-se aos equipamentos agora incluídos na classe D e na classe C (reatores eletrônicos), permitindo retirar dos demais aparelhos estas restrições.

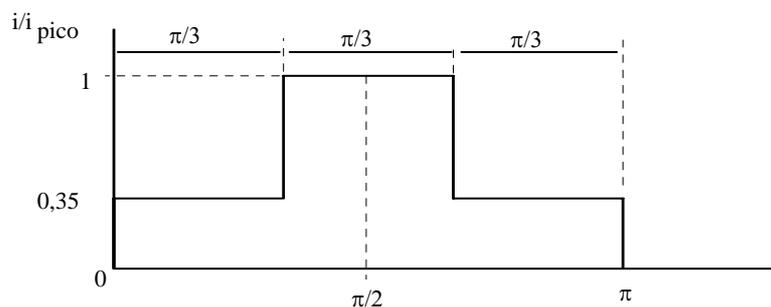


Figura 1.2. Envelope da corrente de entrada que define um equipamento como classe D.

A inclusão apenas destes aparelhos como classe D deve-se ao fato de seu uso se dar em larga escala e ser difundido por todo sistema. Outros equipamentos poderão ser incluídos nesta categoria caso passem a apresentar tais características.

Os valores de cada harmônica são obtidos após a passagem do sinal por um filtro passa-baixas de primeira ordem com constante de tempo de 1,5s. Aplica-se a transformada discreta de Fourier (DFT), com uma janela de medição entre 4 e 30 ciclos da fundamental, com um número inteiro de ciclos. Calcula-se a média aritmética dos valores da DFT durante todo período de observação. Este período varia de acordo com o tipo de equipamento, tendo como regra geral um valor que permita a repetibilidade dos resultados.

A medição da potência ativa é feita de maneira análoga, devendo-se, no entanto, tomar o máximo valor que ocorrer dentro do período de observação. Este é o valor que um fabricante deve indicar em seu produto (com uma tolerância de +/- 10%), conjuntamente como fator de potência (para classe C). Caso o valor medido seja superior ao indicado, deve-se usar o valor medido.

Para cada harmônica medida da forma descrita, o valor deve ser inferior a 150% do limite da Tabela I, em qualquer situação de operação do aparelho.

As correntes harmônicas com valor inferior a 0,6% da corrente de entrada (medida dentro das condições de ensaio), ou inferiores a 5mA não são consideradas.

Foi definida a corrente harmônica parcial de ordem ímpar, para componentes entre a 21^a e a 39^a como sendo:

$$I_{21-39} = \sqrt{\sum_{n=21,23\dots}^{39} I_n^2} \quad (1.7)$$

Para a componente de ordem 21 ou superior (ímpar), o valor individual para cada uma delas, pode exceder o limite em mais 50% desde que a corrente harmônica parcial de ordem ímpar medida não exceda o valor teórico (obtido com os valores da tabela), nem excedam o limite individual de 150% do valor da tabela.

A Tabela I indica os valores máximos para os harmônicos de corrente, no fio de fase (não no de neutro).

Os valores limites para a classe B são os mesmos da classe A, acrescidos de 50%.

Tabela I
Limites para os Harmônicos de Corrente

Ordem do Harmônico n	Classe A Máxima corrente [A]	Classe B Máxima corrente[A]	Classe C (>25W) % da fundamental	Classe D (>75W, <600W) [mA/W]
Harmônicas Ímpares				
3	2,30	3,45	30.FP	3,4
5	1,14	1,71	10	1,9
7	0,77	1,155	7	1,0
9	0,40	0,60	5	0,5
11	0,33	0,495	3	0,35
13	0,21	0,315	3	0,296
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \cdot \frac{15}{n}$	$0,225 \cdot \frac{15}{n}$	3	$3,85/n$
Harmônicos Pares				
2	1,08	1,62	2	
4	0,43	0,645		
6	0,3	0,45		
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot \frac{8}{n}$	$0,35 \cdot \frac{8}{n}$		

FP: fator de potência

1.4 Recomendação IEEE para práticas e requisitos para controle de harmônicas no sistema elétrico de potência: IEEE-519

Esta recomendação (não é uma norma) produzida pelo IEEE [1.4] descreve os principais fenômenos causadores de distorção harmônica, indica métodos de medição e limites de distorção. Seu enfoque é diverso daquele da IEC, uma vez que os limites estabelecidos referem-se aos valores medidos no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), e não em cada equipamento individual. A filosofia é que não interessa ao sistema o que ocorre dentro de uma instalação, mas sim o que ela reflete para o exterior, ou seja, para os outros consumidores conectados à mesma alimentação.

Os limites diferem de acordo com o nível de tensão e com o nível de curto-circuito do PAC. Obviamente, quanto maior for a corrente de curto-circuito (I_{cc}) em relação à corrente de carga, maiores são as distorções de corrente admissíveis, uma vez que elas distorcerão em menor intensidade a tensão no PAC. À medida que se eleva o nível de tensão, menores são os limites aceitáveis.

A grandeza TDD - Total Demand Distortion - é definida como a distorção harmônica da corrente, em % da máxima demanda da corrente de carga (demanda de 15 ou 30 minutos). Isto significa que a medição da TDD deve ser feita no pico de consumo.

Harmônicas pares são limitadas a 25% dos valores acima. Distorções de corrente que resultem em nível CC não são admissíveis.

Tabela II
Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Distribuição (120V a 69kV)

Máxima corrente harmônica em % da corrente de carga (I_o - valor da componente fundamental)						
Harmônicas ímpares:						
I_{cc}/I_o	<11	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 < n$	TDD(%)
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20<50	7	3,5	2,5	1	0,5	8
50<100	10	4,5	4	1,5	0,7	12
100<1000	12	5,5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2,5	1,4	20

Tabela III
Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Subdistribuição (69001V a 161kV)

Limites para harmônicas de corrente de cargas não-lineares no PAC com outras cargas						
Harmônicas ímpares:						
Icc/Io	<11	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 < n$	TDD(%)
<20	2	1	0,75	0,3	0,15	2,5
20<50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4
50<100	5	2,25	2	0,75	0,35	6
100<1000	6	2,75	2,5	1	0,5	7,5
>1000	7,5	3,5	3	1,25	0,7	10

Tabela IV
Limites de distorção de corrente para sistemas de alta tensão (>161kV) e sistemas de geração e co-geração isolados.

Harmônicas ímpares:						
Icc/Io	<11	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 < n$	THD(%)
<50	2	1	0,75	0,3	0,15	2,5
≥ 50	3	1,5	1,15	0,45	0,22	3,75

Para os limites de tensão, os valores mais severos são para as tensões menores (nível de distribuição). Estabelece-se um limite individual por componente e um limite para a distorção harmônica total.

Tabela V
Limites de distorção de tensão

	Distorção individual	THD
69kV e abaixo	3%	5%
69001V até 161kV	1,5%	2,5%
Acima de 161kV	1%	1,5%

1.5 Normas relativas às limitações de níveis de Interferência Eletromagnética Conduzida pela rede

Dois tipos de interferência podem ser considerados: a conduzida pela rede de alimentação e a irradiada.

Diferentes normas, nacionais (VDE - Alemanha, FCC - EUA) e internacionais (CISPR - IEC), determinam os valores limites admissíveis para o ruído eletromagnético produzido pelo equipamento. No Brasil, a adoção de normas específicas sobre este assunto está em discussão, seguindo-se, em princípio, as normas CISPR.

Estas normas, além dos limites de sinal irradiado ou conduzido, determinam os métodos de medida, os equipamentos de teste e classificam os produtos a serem testados em função de suas características próprias e do local onde devem ser utilizados (CISPR 16) [1.6]. Os limites mais severos referem-se a produtos utilizados em ambiente "doméstico" (classe B), o que significa, que são alimentados por uma rede na qual existem usuários que não são indústrias ou estabelecimentos comerciais. Ambientes industriais e comerciais tem seus equipamentos incluídos na chamada classe A.

No que se refere à IEM conduzida, equipamentos de informática possuem suas normas (CISPR 22), enquanto os aparelhos de uso industrial, científico e médico (ISM), são regulados pela CISPR 11 [1.5]; eletrodomésticos, pela CISPR 14 e os dispositivos de iluminação pela CISPR 15.

De modo simplificado, os testes de IEM irradiada podem ser feitos em ambientes anecóicos, quer seja um campo aberto ou uma câmara especial. Já as medidas de IEM conduzida fazem uso de uma impedância artificial de linha, sobre a qual se realiza a medida dos sinais de alta frequência injetados pelo equipamento.

1.5.1 IEM conduzida pela rede

A principal motivação para que se exija um limitante para a IEM que um equipamento injeta na rede é evitar que tal interferência afete o funcionamento de outros aparelhos que estejam sendo alimentados pela mesma rede [1.7]. Esta susceptibilidade dos aparelhos aos ruídos presentes na alimentação não está sujeita a normalização, embora cada fabricante procure atingir níveis de baixa susceptibilidade.

A medição deste tipo de interferência é feita através de uma impedância (LISN - Line Impedance Stabilization Network) colocada entre a rede e o equipamento sob teste, cujo esquema está mostrado na figura 1.3 A indutância em série evita que os ruídos produzidos pelo equipamento fluam para a rede, sendo direcionados para a resistência de $1k\Omega$, sobre a qual é feita a medição (com um analisador de espectro com impedância de entrada de 50Ω). Os eventuais ruídos presentes na linha são desviados pelo capacitor colocado do lado da rede de $1\mu F$, não afetando a medição.

Esta impedância de linha pode ser utilizada na faixa entre 150kHz e 30MHz, que é a banda normalizada pela CISPR. A faixa entre 10kHz e 150kHz é definida apenas pela VDE, estando em estudo por outras agências. Nesta faixa inferior, a LISN é implementada com outros componentes, como mostrado na mesma figura 1.3.

Também são feitas as distinções quanto à aplicação e ao local de instalação do equipamento. A figura 1.4 mostra estes limites para a norma CISPR 11 (equipamentos ISM). O ambiente de medida é composto basicamente por um plano terra sobre o qual é colocada a LISN. Acima deste plano, e isolado dele, coloca-se o equipamento a ser testado.

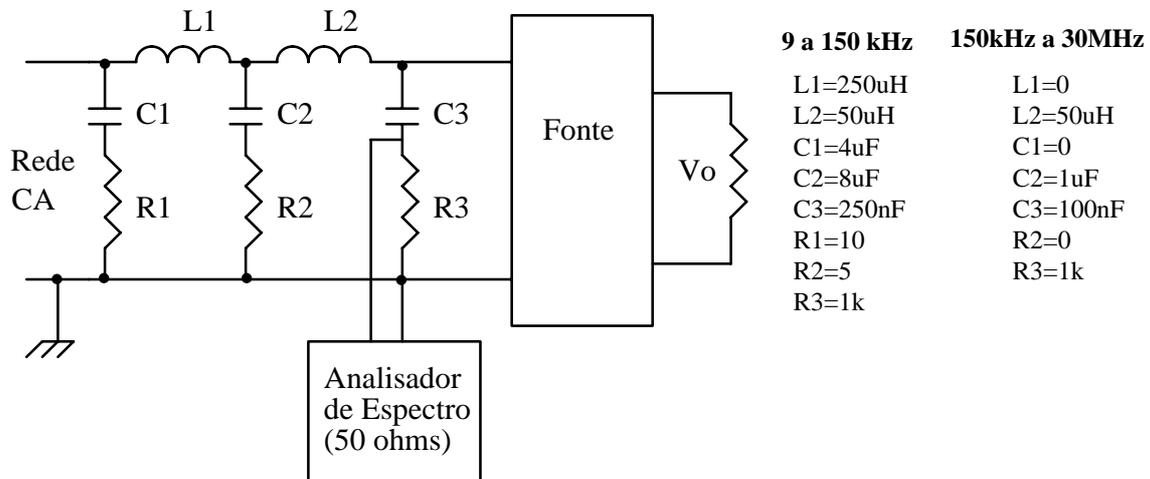


Figura 1.3 Impedância de linha normalizada (LISN).

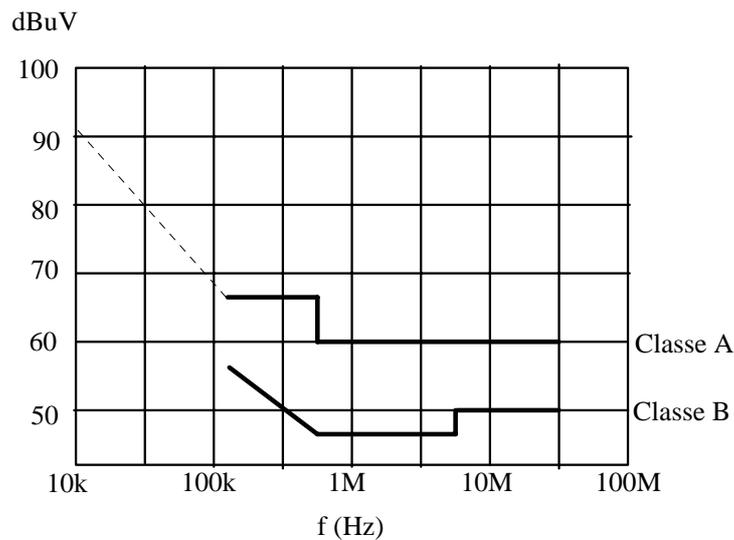


Figura 1.4 Limites de IEM conduzida pela norma CISPR 11 (equipamentos de uso Industrial, Científico e Médico - ISM)

As elevadas taxas de variação de tensão presentes numa fonte chaveada e as correntes pulsadas presentes em estágios de entrada (como nos conversores para correção de fator de potência) são os principais responsáveis pela existência de IEM conduzida pela rede.

No caso das correntes pulsadas, esta razão é óbvia, uma vez que a corrente presente na entrada do conversor está sendo chaveada em alta frequência, tendo suas harmônicas dentro da faixa de verificação de IEM conduzida.

Seja uma forma de corrente como a mostrada na figura 1.5, típica de um pré-conversor tipo flyback, atuando para correção de fator de potência, suponhamos que a corrente seja chaveada em 30kHz.

Tomemos como exemplo uma forma triangular com amplitude da harmônica fundamental de 5A. Sabendo que a amplitude das harmônicas decai com o quadrado da frequência, para a 5ª componente (150 kHz), a amplitude será de 20mA. Tal corrente, passando por uma resistência de 50Ω, provocará uma queda de tensão de 1V, o que corresponde a 120dB/μV. Este valor está muito além do limite estabelecido pelas normas, o que implica na necessidade do uso de algum tipo de filtro de linha para evitar que tal sinal penetre na rede.

Já no caso dos elevados dv/dt, devem ser considerados alguns efeitos de segunda ordem presentes numa fonte chaveada. Tomemos a forma de onda mostrada na figura 1.6 como sendo a tensão de coletor do transistor de uma fonte genérica em relação à terra.

O chaveamento do transistor faz com que, em relação à terra tenha-se onda de tensão como indicada. Tal forma trapezoidal leva a componentes harmônicas cujas amplitudes são dadas por:

$$V_n = \frac{2 \cdot E}{n \cdot \pi} \cdot \frac{\sin(n \cdot \pi \cdot f \cdot \xi)}{n \cdot \pi \cdot f \cdot \xi} \cdot \sin^2\left(\frac{n \cdot \pi}{2}\right) \quad (1.8)$$

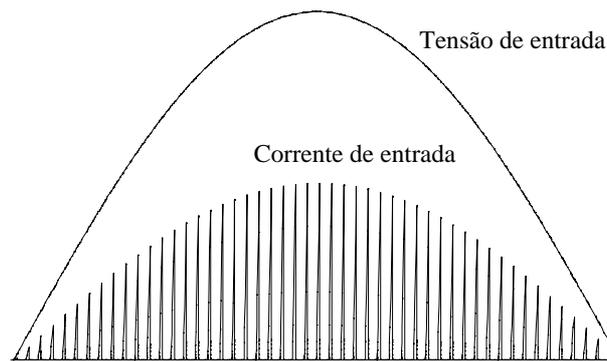


Figura 1.5 Corrente de entrada de um pré-regulador de fator de potência tipo flyback

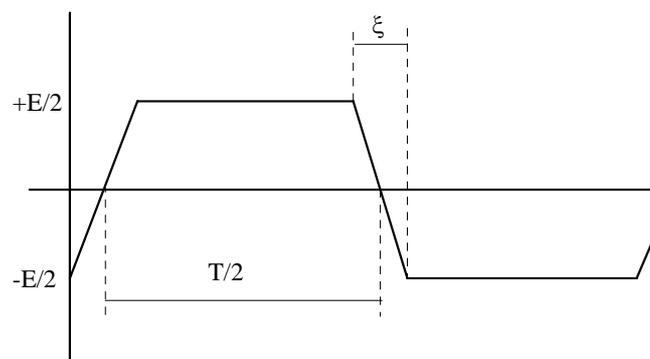


Figura 1.6. Tensão típica entre coletor de transistor e terra em fonte chaveada

A amplitude depende da tensão de alimentação, da frequência de chaveamento e dos tempos de comutação.

São estas componentes harmônicas que, através das capacitâncias parasitas presentes na montagem, produzirão as correntes em alta frequência que circularão para a rede.

A necessidade do uso de dissipadores de calor é muito comum em fontes chaveadas. Quando o transistor tem seu coletor conectado ao corpo metálico do componente, normalmente é necessária uma isolação, evitando que o dissipador fique num potencial elevado, uma vez que é preferível, dadas suas dimensões, que ele fique aterrado. Esta montagem, com um isolante colocado entre duas placas metálicas em potenciais diferentes, cria uma capacitância que acopla a fonte à terra. O valor desta capacitância pode ser obtido, conhecida a constante dielétrica do isolante e as dimensões do transistor.

Considerando um transistor encapsulado em TO-3, para um isolante de mica, com espessura de 0,1mm, tem-se uma capacitância de aproximadamente 150pF. Já com isolante plástico (0,2mm), este valor cai para 95pF. Um isolante cerâmico de 2mm de espessura leva a 20pF.

Como exemplo, consideremos uma onda trapezoidal com as seguintes características: $E=300V$, $f=30kHz$, $n=5$, $\xi=1\mu s$.

A amplitude da 5ª harmônica será de 36,8V.

Em 150kHz a reatância de uma capacitância de 150pF é de 7080Ω . Isto conduz a uma corrente de 5,2mA a circular pela LISN. Tal corrente implica numa tensão de 260mV sobre 50Ω , ou seja, 108dB/ μV .

Em um circuito que faça uso de um transformador entre primário e secundário e tenha um dos terminais de saída aterrado, tem-se um outro caminho possível para a fuga de corrente em alta frequência, que é através da capacitância entre os enrolamentos do transformador.

A redução dos níveis de IEM conduzida pode ser obtida por 2 enfoques básicos: a minimização dos fenômenos parasitas associados à sua produção e o uso de filtros de linha.

A redução do corrente relacionada à fuga entre transistor e dissipador pode ser obtida com o uso de isolantes que impliquem em menor capacitância, o que nem sempre é possível conciliar com a potência a ser dissipada ou com o custo (isolantes cerâmicos são mais caros e frágeis).

Outra idéia é isolar o dissipador do condutor terra. O efeito prático desta medida é criar uma capacitância entre o dissipador e a carcaça da fonte, que pode ser de valor muito menor que a capacitância com o transistor. Como ambas estão associadas em série, o efeito resultante é minimizado, em geral, atingindo-se poucos pF.

A redução da capacitância entre enrolamentos de um transformador pode ser obtida por meio do uso de uma blindagem eletrostática colocada entre primário e secundário.

Quanto aos filtros de linha, seu objetivo é criar um caminho de baixa impedância de modo que as componentes de corrente em alta frequência circulem por tais caminhos, e não pela linha. Deve-se considerar 2 tipos de corrente: a simétrica e a assimétrica.

No caso de correntes simétricas (ou de modo diferencial), sua existência na linha de alimentação se deve ao próprio chaveamento da fonte. A figura a seguir mostra esta situação. A redução da circulação pela linha pode ser obtida pelo uso de um filtro de segunda ordem, com a capacitância oferecendo um caminho de baixa impedância para a componente de corrente que se deseja atenuar. Os indutores criam uma oposição à fuga da corrente para a rede. Em 60Hz a queda sobre tais indutâncias deve ser mínima.

Já para as correntes assimétricas (ou de modo comum), como sua principal origem está no acoplamento capacitivo do transistor com a terra, a redução se faz também com um filtro de

segunda ordem. No entanto, o elemento indutivo deve ser do tipo acoplado e com polaridade adequada de enrolamentos, de modo que represente uma impedância elevada para correntes assimétricas, mas não implique em nenhuma impedância para a corrente simétrica. Os capacitores fornecem o caminho alternativo para a passagem de tal componente de corrente, como se observa na figura 1.7.

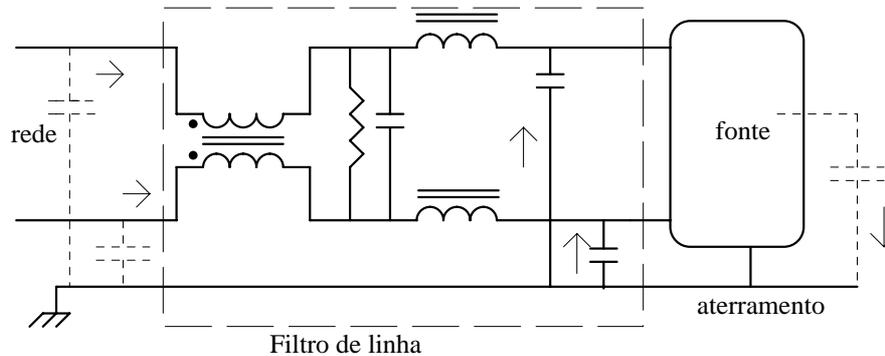


Figura 1.7 Circuito típico com filtro de linha.

1.6 A faixa intermediária (3 kHz a 148,5 kHz): Transmissão de sinais pela rede elétrica de baixa tensão

Nesta faixa de frequência, a rede elétrica (baixa tensão) pode ser utilizada para a transmissão de sinais, seja na rede de distribuição pública, seja no interior de uma instalação de consumidor [1.8]. Indicam-se as bandas de frequência indicadas a cada tipo de usuário, os limites de tensão de saída dos sinais e os limites de distúrbios conduzido e irradiado, além dos métodos de medida.

A faixa de 3 a 9 kHz é limitada aos fornecedores de energia elétrica. Eventualmente, com autorização do fornecedor, o usuário pode utilizar também esta faixa dentro de suas instalações. Na faixa de 9 a 95 kHz, o uso é exclusivo do fornecedor de energia elétrica e seus licenciados. Nas faixas de 95 a 125 kHz e de 140 a 148,5 kHz, o uso é exclusivamente privado, e seu uso não exige um protocolo de acesso. Entre 125 e 140 kHz o uso é também privado, mas com a necessidade de um protocolo de acesso.

1.7 Bibliografia:

- [1.1] Mauro Crestani, "Com uma terceira portaria, o novo fator de potência já vale em Abril". Eletricidade Moderna, Ano XXII, nº 239, Fevereiro de 1994
- [1.2] IEC 1000-3-2: "Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 2: Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment input current $\leq 16A$ per phase)". International Electrotechnical Commission, First edition 1995-03.

- [1.3] Ivo Barbi e Alexandre F. de Souza, Curso de "Correção de Fator de Potência de Fontes de Alimentação". Florianópolis, Julho de 1993.
- [1.4] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System. Project IEEE-519. Outubro 1991.
- [1.5] International Standard CISPR11, International Committee on Radio Interference: "Limits and Methods of Measurements of Electromagnetic Disturbance Characteristics of Industrial, Scientific and Medical (ISM) Radio-frequency Equipment", 1990
- [1.6] International Standard CISPR16, International Committee on Radio Interference: "C.I.S.P.R. Specification for Radio Interference Measuring Apparatus and Measuring Methods", 1993.
- [1.7] E. F. Magnus, J. C. M. de Lima, V. M. Canali, J. A. Pomilio and F. S. dos Reis: "Tool for Conducted EMI and Filter Design", Proc. Of the IEEE IECON 2003, Roanoke, USA, Nov. 2003, pp. 23262331.
- [1.8] European Standard 50065-1, European Committee for Eletrotechnical Standardization: "Signaling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz - Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances", Jan. 1991