

Flutuação de Tensão *Flicker*

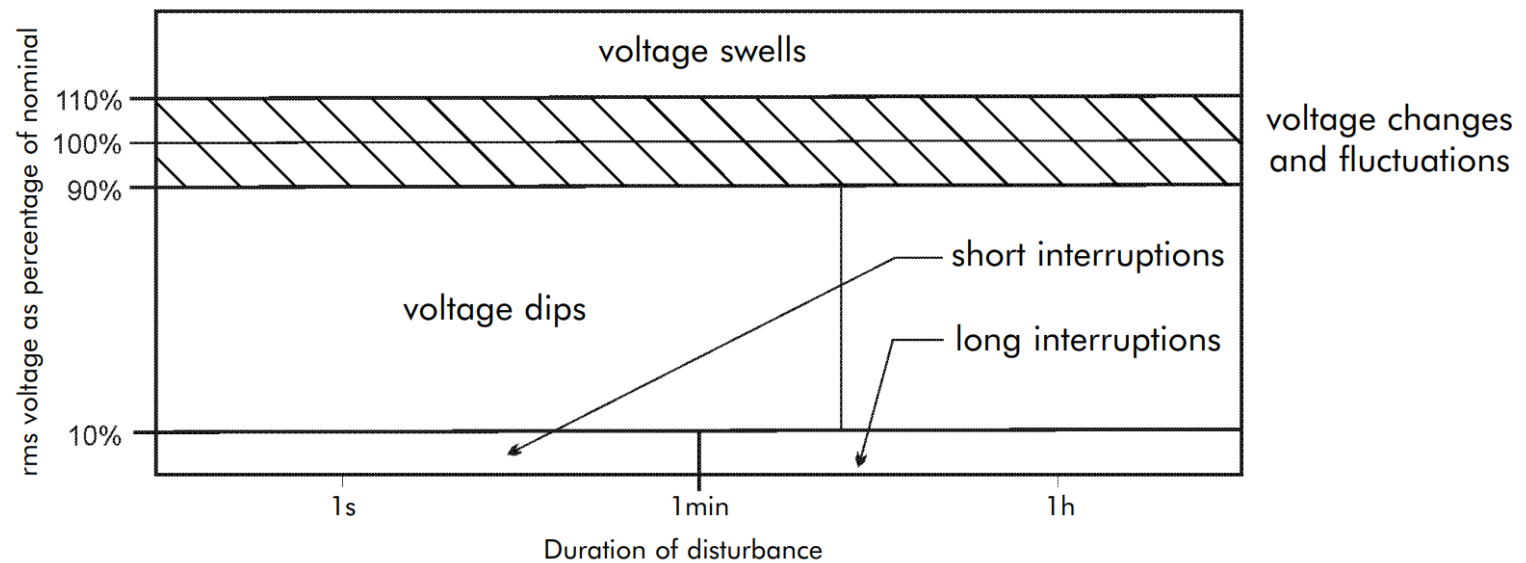
PEA3521

Definição

- *Flicker* (cintilação luminosa) é a impressão de instabilidade da sensação visual induzida por um estímulo de luz, cuja luminância ou distribuição espectral flutua com o tempo.
- Normalmente, aplica-se à variação cíclica da intensidade da luz das lâmpadas causada pela flutuação da tensão de alimentação.
- *Flicker* é um sintoma de flutuação de tensão que pode ser causada por distúrbios introduzidos durante a geração, transmissão ou distribuição de energia, mas são normalmente causados pelo uso de grandes cargas flutuantes, isto é, cargas que têm demanda de energia ativa e reativa que flutua rapidamente.

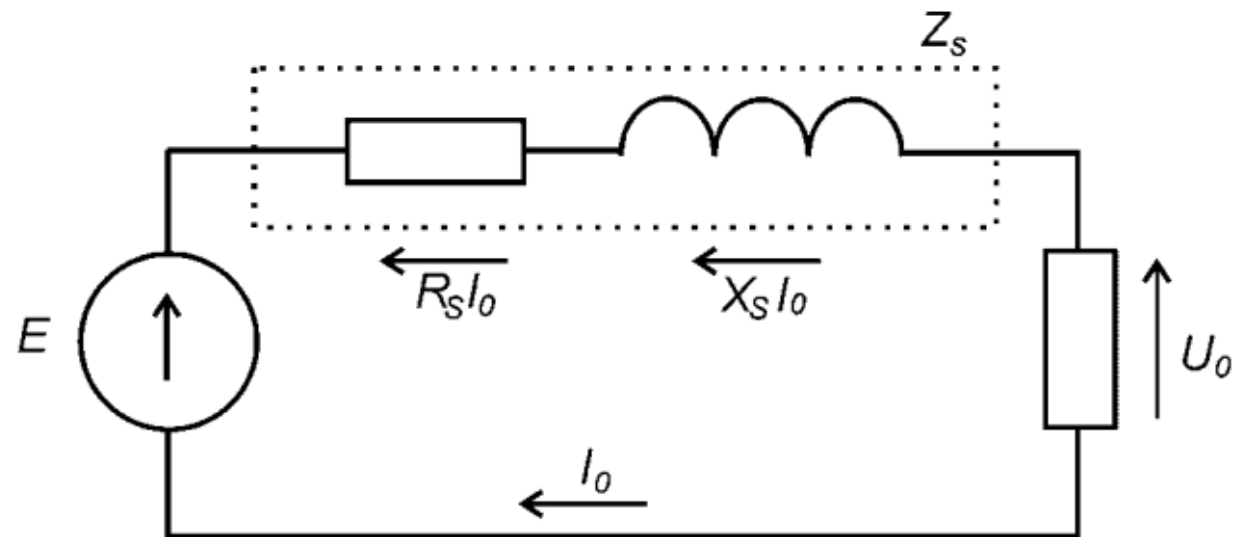
Causas de flutuações de tensão

- A classificação das variações de tensão RMS é mostrada na FIGURA como um gráfico de tensão em relação à duração da perturbação.
- As áreas hachuradas correspondem às flutuações de tensão.



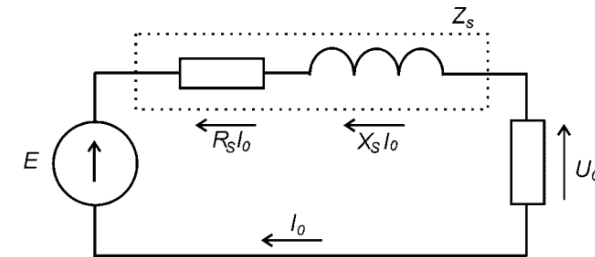
Causas de flutuações de tensão

- Para qualquer circuito de alimentação, a tensão no final da carga é diferente daquela na fonte.
- Isso pode ser demonstrado a partir do circuito equivalente por fase na FIGURA.

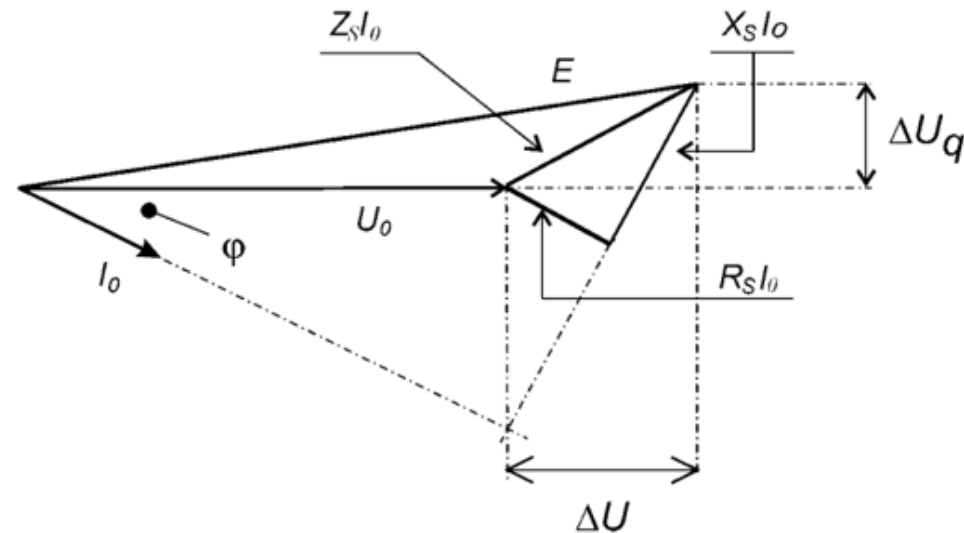


Causas de flutuações de tensão

- A EQUAÇÃO ilustra como o valor da diferença de tensão, definido na FIGURA, pode ser derivado do diagrama fasorial e de regras geométricas simples.



$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_s \frac{P}{U_0^2} + X_s \frac{Q}{U_0^2} \cong R_s \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{zw}}$$



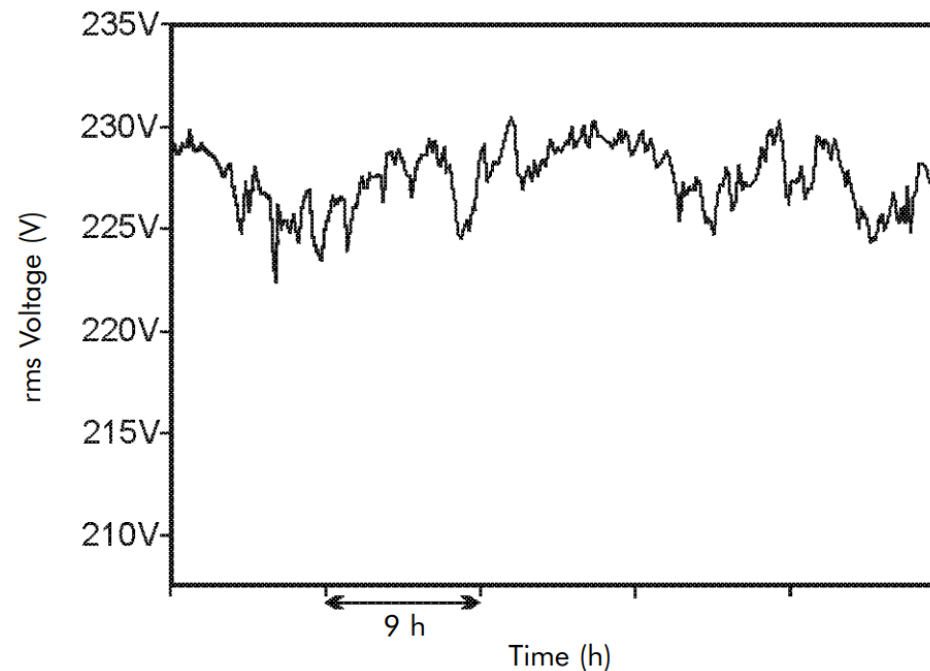
Causas de flutuações de tensão

- Assumindo que a resistência equivalente da linha é muito pequena em comparação com sua reatância ($X_S > 10R_S$), o que é verdadeiro para sistemas de alimentação MT e AT, a seguinte EQUAÇÃO define o valor relativo da mudança de tensão na extremidade da carga da linha :

$$\frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{ZW}}$$

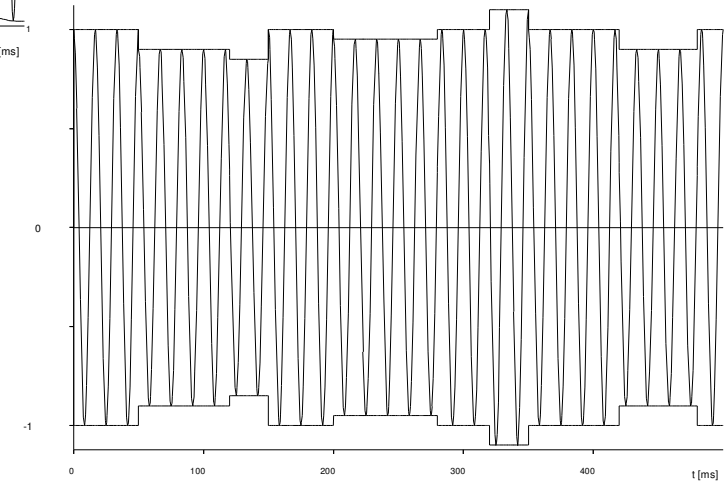
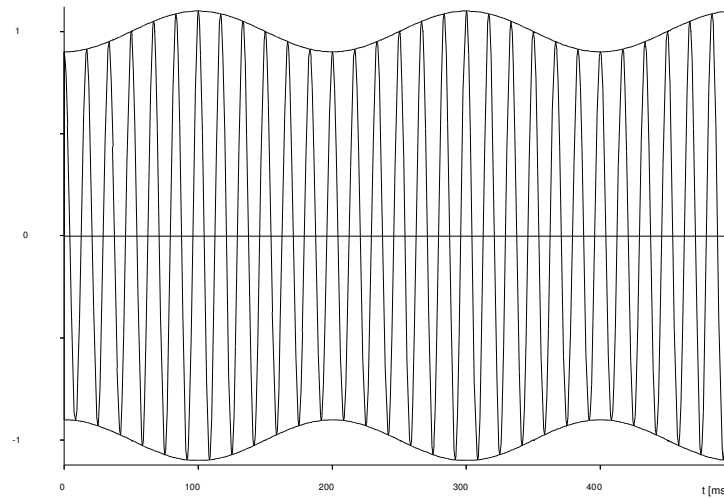
Causas de flutuações de tensão

- Dependendo de sua causa, a mudança de tensão pode assumir a forma de uma queda de tensão com um valor constante durante um longo intervalo de tempo, uma mudança de tensão lenta ou rápida ou uma flutuação de tensão.
- A flutuação de tensão é definida como uma série de mudanças de tensão RMS ou uma variação cíclica do envelope de forma de onda de tensão.



Causas de flutuações de tensão

- A flutuação de tensão é definida como uma série de mudanças de tensão RMS ou uma variação cíclica do envelope de forma de onda de tensão.



Causas de flutuações de tensão

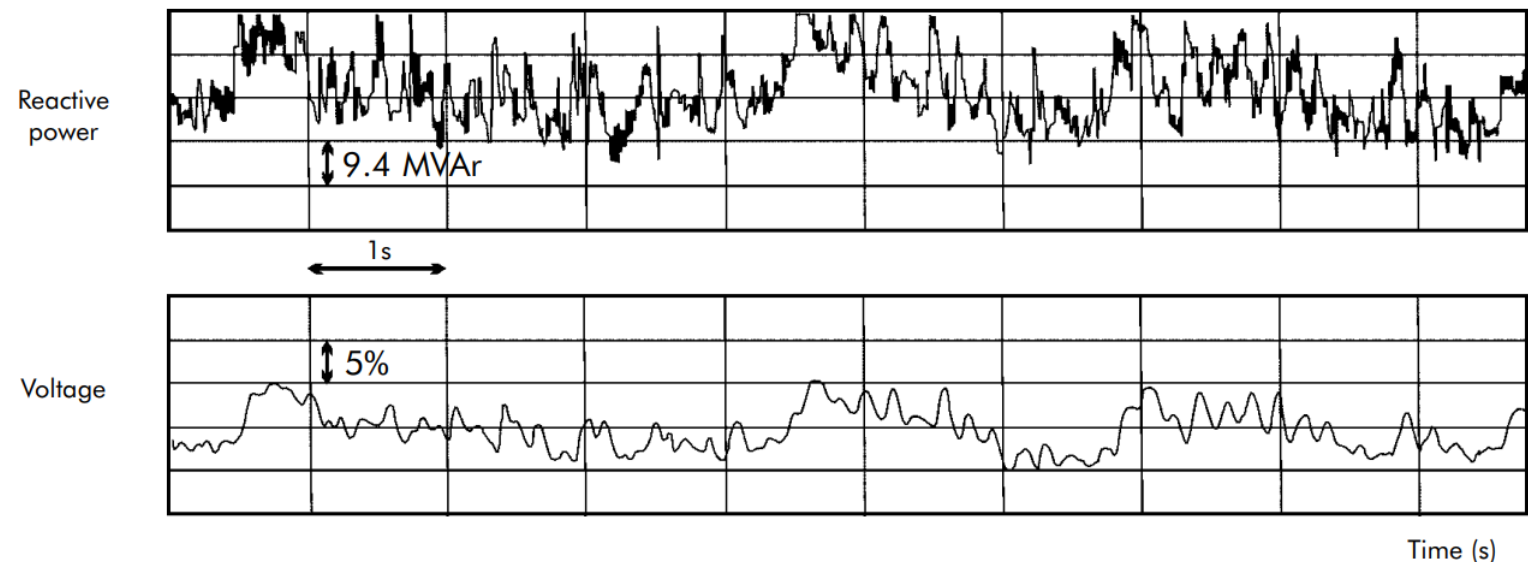
- As características que definem as flutuações de tensão são:
 - a amplitude da mudança de tensão (diferença de máximo e RMS mínimo ou valor de tensão de pico, ocorrendo durante a perturbação);
 - o número de mudanças de tensão ao longo de uma unidade de tempo especificada; e
 - os efeitos consequentes (como oscilação) das mudanças de tensão associadas aos distúrbios.

Fontes de flutuações de tensão

- A partir da EQUAÇÃO, pode ser visto que a causa primária das mudanças de tensão é a variação no tempo do componente de potência reativa de cargas flutuantes.

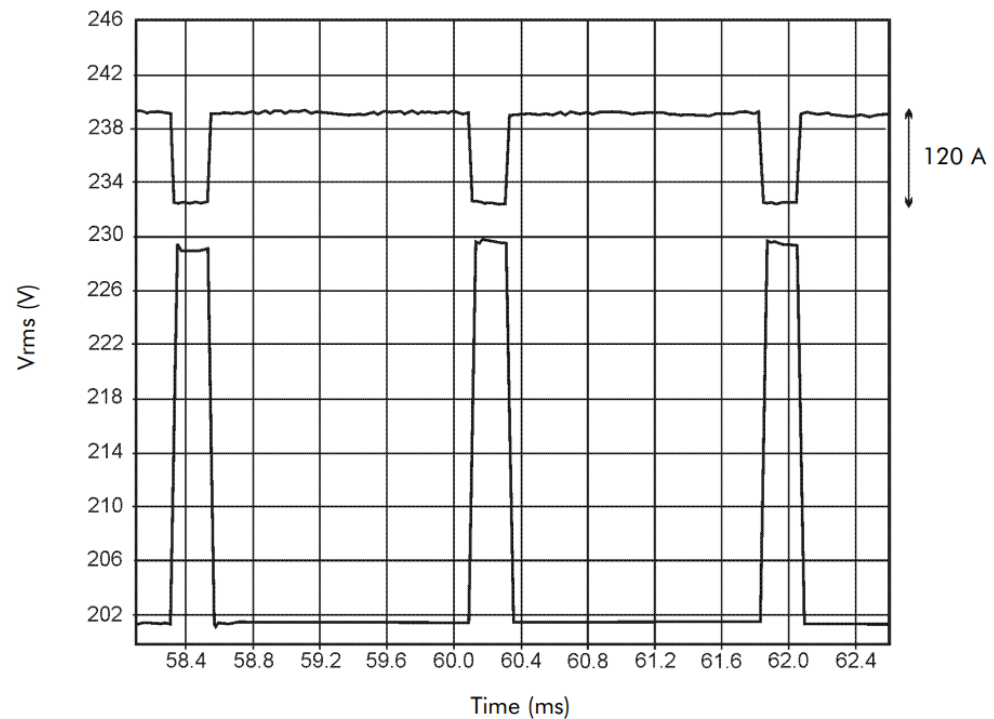
$$\frac{E - U_0}{U_0} \approx \frac{\Delta U}{U_0} = R_S \frac{P}{U_0^2} + X_S \frac{Q}{U_0^2} \cong R_S \frac{P}{U_0^2} + \frac{Q}{S_{zw}} \quad \frac{\Delta U}{U_0} \cong \frac{Q}{S_{zw}}$$

- Tais cargas incluem, por exemplo, fornos a arco (FIGURA), unidades de laminação, bobinadeiras principais, etc. - em geral, cargas com uma alta taxa de variação de potência em relação à capacidade de curto-circuito no ponto de conexão o fornecimento.



Fontes de flutuações de tensão

- É muito importante observar que pequenas cargas de energia, como partida de motores de indução, soldadores (FIGURA), caldeiras, reguladores de energia, serras e martelos elétricos, bombas e compressores, guindastes, elevadores, etc. também podem ser as fontes de cintilação.



Fontes de flutuações de tensão

- Outras causas são a comutação do capacitor e os comutadores do transformador em carga, que podem alterar o componente indutivo da impedância da fonte.
- Variações na capacidade de geração de, por exemplo, turbinas eólicas também podem ter um efeito.
- Em alguns casos, as flutuações de tensão podem ser causadas por interharmônicos de tensão de baixa frequência.

Máquinas elétricas

- Flutuações de tensão nos terminais de um motor de indução causam mudanças no torque e escorregamento e, conseqüentemente, afetam o processo de produção.
- No pior dos casos, podem causar vibração excessiva, reduzindo a resistência mecânica e encurtando a vida útil do motor.
- As flutuações de tensão nos terminais de motores e geradores síncronos dão origem a oscilações e desgaste prematuro dos rotores; eles também causam mudanças no torque e na potência e um aumento nas perdas.

Retificadores estáticos

- O efeito usual da flutuação de tensão em retificadores controlados por fase com controle de parâmetro do lado CC é uma redução do fator de potência e a geração de harmônicos não característicos e interharmônicos.
- No caso de frenagem do inversor em modo inversor, pode ocorrer falha de comutação e consequente dano aos componentes do sistema.

Eletrolisadores

- Tanto a vida útil quanto a eficiência operacional do eletrolisador podem ser reduzidas na presença de flutuações de tensão.
- Além disso, os elementos da linha de alimentação de alta corrente podem se degradar significativamente, aumentando assim os custos de manutenção e / ou reparo.

Equipamentos elétricos de aquecimento

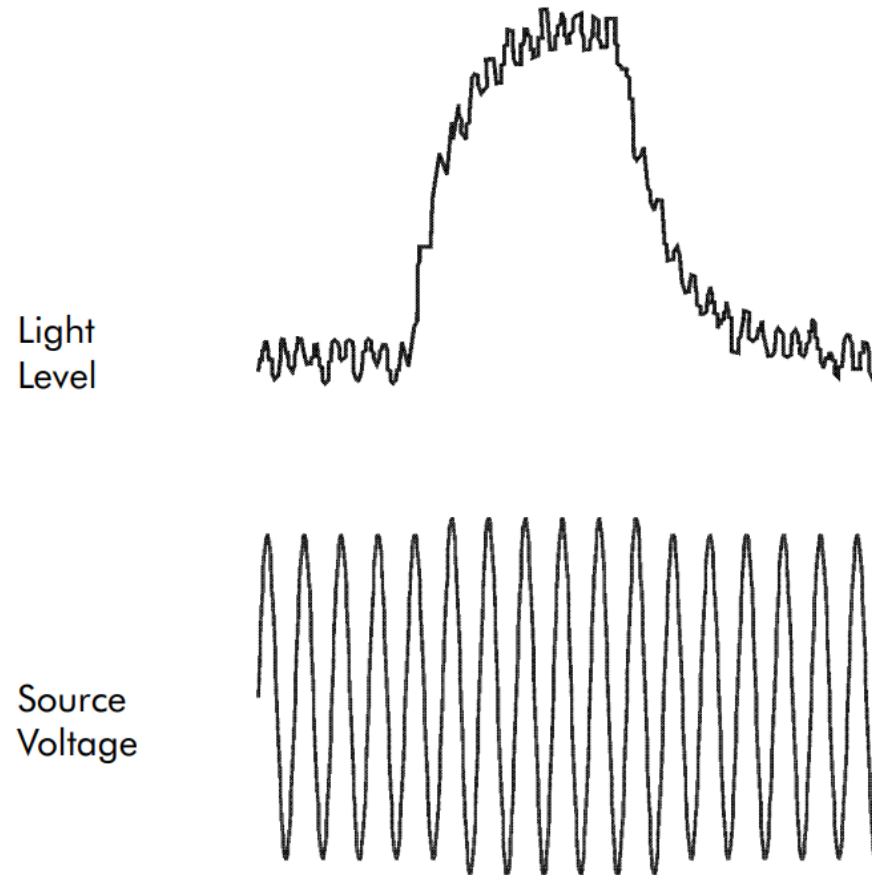
- A eficiência operacional de todos os equipamentos de aquecimento é reduzida na presença de níveis significativos de flutuação de tensão, por exemplo, um forno a arco exigiria um tempo de fusão mais longo.

Fontes de luz

- Qualquer mudança na magnitude da tensão de alimentação resulta em uma mudança no fluxo luminoso de uma fonte de luz.
- Isso é conhecido como *flicker*, que é uma impressão visual subjetiva da instabilidade do fluxo de uma luz, quando sua luminância ou distribuição espectral flutua com o tempo.
- Fontes de luz incandescente são particularmente sensíveis a mudanças na tensão de alimentação, já que o fluxo luminoso, φ , é proporcional à tensão aplicada de acordo com a relação $\varphi \sim U^y$, onde o expoente y normalmente varia entre 3,1 e 3,7.
- Para lâmpadas fluorescentes, o expoente é tipicamente menor, cerca de 1,8.

Fontes de luz

- A FIGURA ilustra a mudança no fluxo luminoso, causada pela flutuação da tensão de alimentação, de uma lâmpada incandescente de 60 W, 230 V.



Fontes de luz

- A cintilação gerada prejudica significativamente a visão e causa desconforto geral e fadiga.
- A fisiologia desse fenômeno é complexa.
- Em termos gerais, pode-se presumir que a cintilação afeta o processo de visão e a reação do cérebro humano.
- Fontes de luz cintilantes podem produzir desconforto e deterioração na qualidade do trabalho - em algumas situações, causando acidentes no local de trabalho.

Medição de *flicker*

- As medições de flutuação de tensão são necessárias para determinar os níveis reais de emissão de carga para comparação com os valores limites dados nos padrões de compatibilidade eletromagnética (EMC).
- As medições de *flicker* são realizadas para duas finalidades:
 - A primeira é avaliar a qualidade de um fornecimento, ou seja, comparar o nível de oscilação existente no ponto de medição com as recomendações formuladas pelos padrões.
 - A segunda é avaliar os níveis de emissão de um projeto de equipamento antes de ser introduzido no mercado, ou seja, um teste de tipo para fins de certificação.

Fatores de flutuação de tensão

- Até bem recentemente, as flutuações de tensão em sistemas de potência, ou nos terminais de carga, eram caracterizadas usando fatores associados à mudança de tensão RMS pico a pico no sistema de potência
- A energia das flutuações de tensão e seu espectro de potência, também chamado de espectro de energia das flutuações de tensão, e sua duração foram levados em consideração ao avaliar as flutuações de tensão
- Atualmente, os parâmetros básicos que determinam as flutuações de tensão são o PST de severidade de cintilação de curto prazo e o índice de PLT de severidade de cintilação de longo prazo
- Esses parâmetros referem-se aos efeitos da flutuação de tensão na iluminação e sua influência nos seres humanos.

Fatores de flutuação de tensão

- A percepção humana da oscilação da luz é quase sempre o critério de limitação para controlar pequenas flutuações de tensão.
- A FIGURA ilustra o nível de percepção da cintilação da luz de uma lâmpada incandescente de 60 watts para variações retangulares.
- A sensibilidade é função da frequência das flutuações e também depende do nível de voltagem da iluminação.

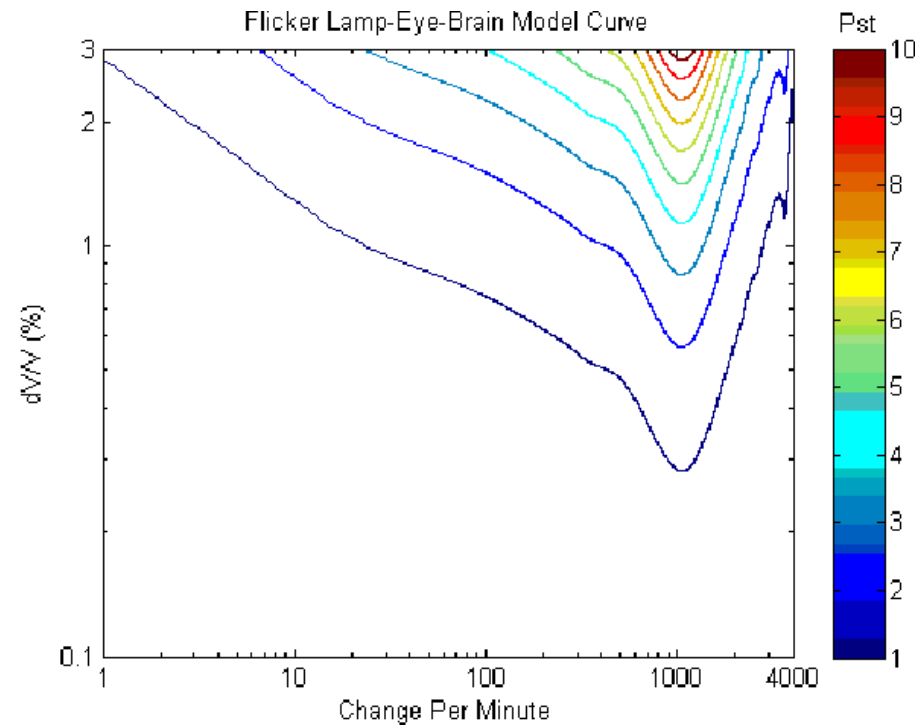


Fig. 3. Flicker Lamp-Eye-Brain model curve in contour plot.

Fatores de flutuação de tensão

- Os níveis de oscilação nos padrões IEC são caracterizados por dois parâmetros:
 - Pst é um valor medido em 10 minutos que caracteriza a probabilidade de que as flutuações de voltagem resultem em tremulação perceptível da luz. Um valor de 1,0 é projetado para representar o nível que 50% das pessoas perceberiam cintilação em uma lâmpada incandescente de 60 watts
 - Plt é derivado de 2 horas de valores de Pst (12 valores combinados em relação cúbica)
- Observe que o IEEE também está adotando este método de caracterização de cintilação (IEEE 1453).
- IEC 61000-2-2 especifica níveis de compatibilidade de oscilação:
 - O nível de compatibilidade para cintilação de curto prazo (Pst) é 1,0
 - O nível de compatibilidade para cintilação de longo prazo (Plt) é 0,8

Fatores de flutuação de tensão

- Reconhecendo que nem sempre é possível manter os níveis de oscilação dentro desses níveis de compatibilidade, a EN 50160 especifica requisitos menos restritivos para o desempenho do sistema de alimentação.
- O limite EN 50160 é que 95% dos valores de tremulação de longo prazo (Plt) devem ser menores que 1,0 em um período de medição de uma semana.
- Observe que as mudanças de passo individuais na tensão, como seriam causadas pela partida do motor ou pela troca de um banco de capacitores, são frequentemente limitadas separadamente dos limites de oscilação contínua.

Fatores de flutuação de tensão

- IEC 61000-2-2 especifica um nível de compatibilidade de 3% para as variações de tensão individuais.
- A EN 50160 especifica um limite de 5% para essas variações, mas menciona que variações mais significativas (até 10%) podem ocorrer para alguns eventos de comutação.
- Recomendações específicas não são fornecidas no IEEE, mas concessionárias internacionais geralmente têm suas próprias diretrizes na faixa de 4-7%.

Cálculo Pst e Plt

Assunto: Qualidade do Produto	Seção: 8.1	Revisão: 11	Data de Vigência: 03/08/2020	Página: 18 de 89
----------------------------------	---------------	----------------	---------------------------------	---------------------

6.2.1 A Tabela 5 sintetiza a terminologia aplicável às formulações de cálculo da sensação de cintilação luminosa:

Tabela 5 – Terminologia.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Severidade de Flutuação de Tensão de Curta Duração	Pst
Severidade de Flutuação de Tensão de Longa Duração	Plt
Valor do indicador Pst que foi superado em apenas 5 % das 1008 leituras válidas	Pst95%

Cálculo Pst e Plt

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

em que:

Pi ($i = 0,1; 1; 3; 10; 50$) corresponde ao nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante i % do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, de acordo com o procedimento estabelecido nas Normas IEC (*International Electrotechnical Commission*): IEC 61000-4-15. Flickermeter – Functional and Design Specifications.

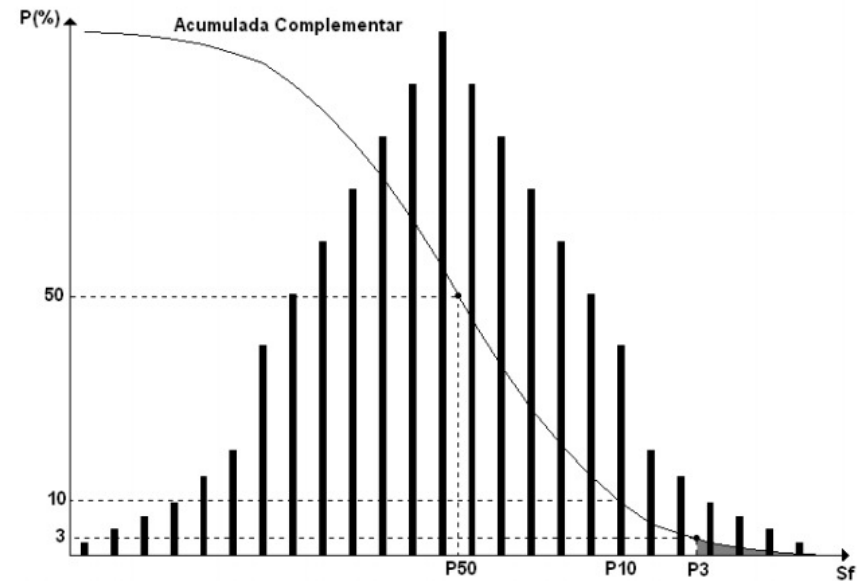


Figura 2 – Distribuição Acumulada Complementar da Sensação de Cintilação.

Cálculo Pst e Plt

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

- PST representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 10 (dez) minutos.
- Da mesma forma, PLT representa a severidade dos níveis de cintilação luminosa associados à flutuação de tensão verificada num período contínuo de 2 (duas) horas.

Limites para os indicadores



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Tabela 6 – Limites para flutuação de tensão.

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0\text{kV}$	$1,0\text{kV} < V_n < 69\text{kV}$	$69\text{kV} \leq V_n < 230\text{kV}$
Pst95%	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu



Operador Nacional do Sistema Elétrico

Tabela 3 – Limites globais para os indicadores de flutuação de tensão

Limite	PstD95%	PltS95%
Limite global inferior	$1\text{pu}/FT$	$0,8\text{pu}/FT$
Limite global superior	$2\text{pu}/FT$	$1,6\text{pu}/FT$

Tabela 4 – Fatores de transferência, em função da tensão nominal de barramento sob responsabilidade de concessionária de transmissão.

Tensão Nominal do barramento (kV)	Fator de Transferência
Tensão Nominal $\geq 230\text{ kV}$	$FT = 0,65$
$69\text{ kV} \leq$ Tensão Nominal $< 230\text{ kV}$	$FT = 0,8$
Tensão Nominal $< 69\text{ kV}$	$FT = 1,0$

Fatores de flutuação de tensão

- A pesquisa sobre o processo de percepção visual tem uma história que remonta a mais de 50 anos.
- Inicialmente, consistia principalmente em testes realizados em grupos de indivíduos selecionados e representativos, usando diversas fontes de luz e várias formas de onda de variações de tensão.
- Com base nisso, as curvas de perceptibilidade e severidade de oscilação foram determinadas.
- Essas curvas apresentam valores de flutuações de tensão senoidal ou retangular (eixo vertical / y) e frequência (eixo horizontal / x).
- A área acima da curva define as flutuações de tensão que produzem cintilação perceptível e inaceitável, enquanto a área abaixo da curva define níveis aceitáveis de cintilação.

Fatores de flutuação de tensão

- A participação de fisiologistas e psicólogos nesses experimentos permitiu o desenvolvimento de modelos matemáticos aprimorados para os processos neurofisiológicos.
- Os experimentos de De Lange ofereceram a primeira oportunidade de avançar a tese da similaridade entre a sensibilidade do olho humano aos estímulos luminosos e a frequência característica de um sinal elétrico analógico.
- Outros estudos extensos realizados por Kelly levaram em consideração, não apenas a amplitude das mudanças, mas também diferentes níveis de adaptação do olho à luminância média.
- Uma contribuição importante para o desenvolvimento neste campo do conhecimento foi feita por Rashbass, Koenderink e Van Doorn.

Fatores de flutuação de tensão

- Seu trabalho de pesquisa resultou no desenvolvimento do medidor de oscilação UIE, que emprega a flutuação de tensão como um sinal de entrada, em vez das próprias mudanças de fluxo luminoso.
- Isso exigiu que o processo fisiológico de percepção visual fosse modelado, de acordo com o trabalho de Rashbass e Koenderink, dentro do instrumento.
- Seu trabalho demonstrou que a resposta do olho humano tem a característica de um filtro passa-banda entre 0,5 Hz e 35 Hz, com máxima sensibilidade ao fluxo luminoso em uma frequência em torno de 8-9 Hz.

Fatores de flutuação de tensão

- Para fontes de luz incandescente, flutuações de tensão de cerca de 0,3% do valor médio são detectadas nesta frequência.
- Os efeitos fisiológicos dependem da amplitude das mudanças do fluxo luminoso, do espectro de frequência e da duração da perturbação.
- A resposta do cérebro ao estímulo de luz tem uma característica inercial com uma constante de tempo de cerca de 300 ms, o que significa que mudanças lentas de fluxo luminoso são seguidas e mudanças rápidas são 'suavizadas'.

Fatores de flutuação de tensão

- Por exemplo, duas mudanças curtas no fluxo luminoso, ocorrendo dentro de 300 ms, são percebidas como uma única mudança.
- Mudanças curtas de fluxo luminoso, seguidas por uma pausa mais longa, são mais irritantes.
- O fenômeno de cintilação é mais dominante na periferia do campo visual do que nas áreas em que a atenção do observador está focada.
- A flutuação de tensão necessária para produzir cintilação perceptível é independente do tipo de tensão de alimentação (CA ou CC) usada para a lâmpada.

O conceito de avaliação da influência da flutuação de tensão no conforto do usuário

- O fenômeno de oscilação em fontes de luz tem sido um problema desde o início do uso de sistemas de distribuição de energia.
- Porém, com o aumento do número de clientes e da potência instalada, passou a crescer rapidamente.
- Para compreender o fenômeno da cintilação e seus efeitos nos países onde era um problema grave, foram realizadas investigações para medi-lo e, em seguida, resolvê-lo.
- Os passos iniciais empregaram uma simples observação das variações do fluxo luminoso.

O conceito de avaliação da influência da flutuação de tensão no conforto do usuário

- Posteriormente, um modelo de reação humana (fadiga) às variações do fluxo luminoso foi desenvolvido, e isso levou ao projeto dos primeiros instrumentos para medir a severidade da cintilação da fonte de luz.
- Esses instrumentos eram compostos por uma lâmpada incandescente normal (60W, 230V), um sensor de fluxo luminoso e um modelo analógico (com amplificadores operacionais) para simular a reação humana.

O conceito de avaliação da influência da flutuação de tensão no conforto do usuário

- O final da década de 1980 trouxe um trabalho mais sistemático e organizado de avaliação da severidade da cintilação, coordenado principalmente pela Union for Electrotechnology (UIE).
- Foi adotado o modelo padronizado de um instrumento que mede a severidade da cintilação em termos de PST para o curto tempo de observação e PLT para longos períodos de tempo.
- Este é um instrumento totalmente eletrônico, que modela o comportamento da fonte de luz de tungstênio e a resposta humana a esse comportamento.

Mitigação de flutuações de tensão em sistemas de potência

- Os efeitos das flutuações de tensão dependem, em primeiro lugar, de sua amplitude, influenciada pelas características do sistema de potência, e da taxa de sua ocorrência, determinada pelo processo tecnológico, ou seja, tipo de carga e característica de seu funcionamento.
- Normalmente, as medidas de mitigação são direcionadas a ações focadas em limitar a amplitude das flutuações de tensão; o processo tecnológico raramente é influenciado.

Mitigação de flutuações de tensão em sistemas de potência

- Exemplos desses métodos são:
 - forno a arco - incorporando reator em série (ou saturação variável), funcionamento adequado do sistema de controle do eletrodo, segregação e aquecimento preliminar de carga, etc.; esses métodos são familiares aos engenheiros de processos metalúrgicos.
 - planta de soldagem - fornecendo a planta de um transformador dedicado, conectando soldadores monofásicos à rede trifásica para distribuição de carga equilibrada entre as fases, conectando máquinas de soldagem monofásicas a diferentes fases dos equipamentos de iluminação de alimentação, etc.
 - drives de velocidade ajustável - uso de dispositivos de partida suave.

Mitigação de flutuações de tensão em sistemas de potência

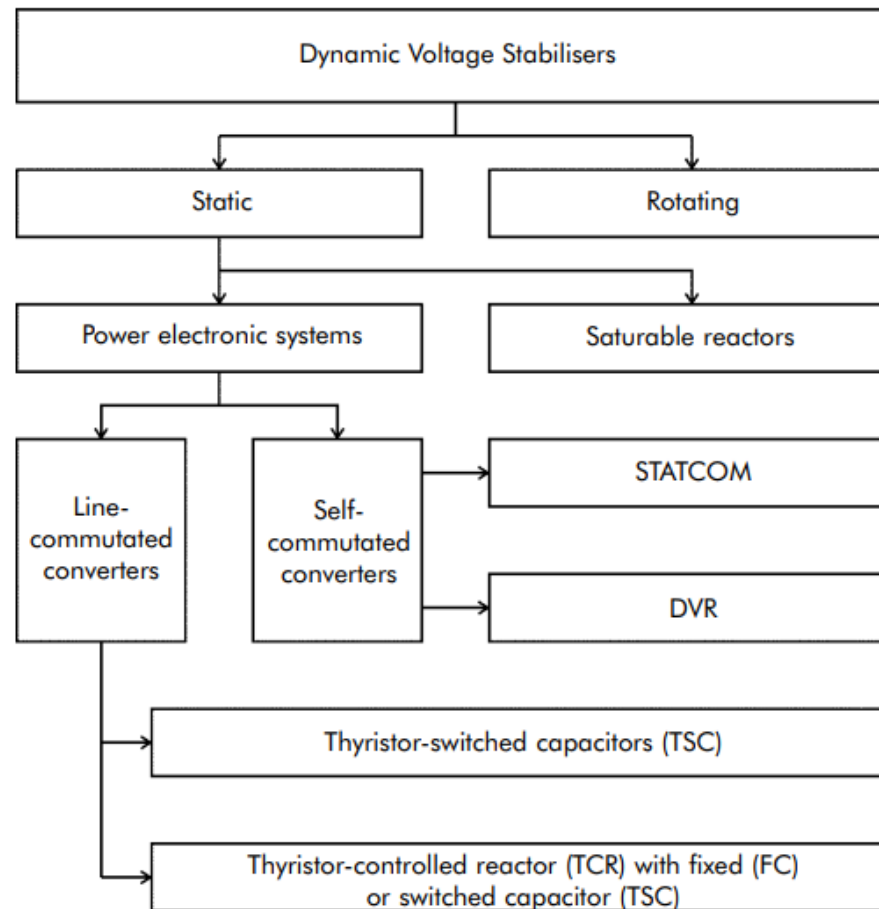
- A amplitude das flutuações de tensão pode ser limitada de duas maneiras:
 - aumentar a potência de curto-circuito (em relação à potência de carga) no ponto de acoplamento ao qual uma carga flutuante está conectada. Em termos práticos, isso significa:
 - conectar a carga a um nível de tensão nominal mais alto;
 - fornecer linhas dedicadas a esta categoria de cargas;
 - separar o fornecimento para cargas flutuantes de cargas constantes usando enrolamentos separados de um transformador de três enrolamentos;
 - aumentar a potência nominal do transformador que fornece a carga flutuante;
 - instalar capacitores em série.
 - redução das mudanças de potência reativa no sistema de alimentação com a instalação de compensadores / estabilizadores dinâmicos.

Estabilizadores dinâmicos de tensão

- São uma solução tecnicamente viável para eliminação ou mitigação de mudanças de tensão.
- Sua eficácia depende principalmente de sua potência nominal e velocidade de reação.
- Ao extrair energia reativa na frequência fundamental, eles produzem quedas de tensão nas impedâncias da rede de alimentação.
- Dependendo se a potência reativa é indutiva ou capacitiva, o valor da tensão RMS no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) pode ser aumentado ou reduzido.
- São principalmente sistemas trifásicos, de alta potência nominal, projetados para estabilização da tensão no ponto principal de um sistema de distribuição ou de uma carga específica ou grupo de cargas em um PCC.
- Como esses sistemas são frequentemente usados como compensadores dinâmicos de potência reativa no fundamental, os termos 'estabilizador' e 'compensador' serão usados indistintamente.

Estabilizadores dinâmicos de tensão

- A FIGURA mostra a classificação de várias soluções para estabilizadores de tensão dinâmicos.

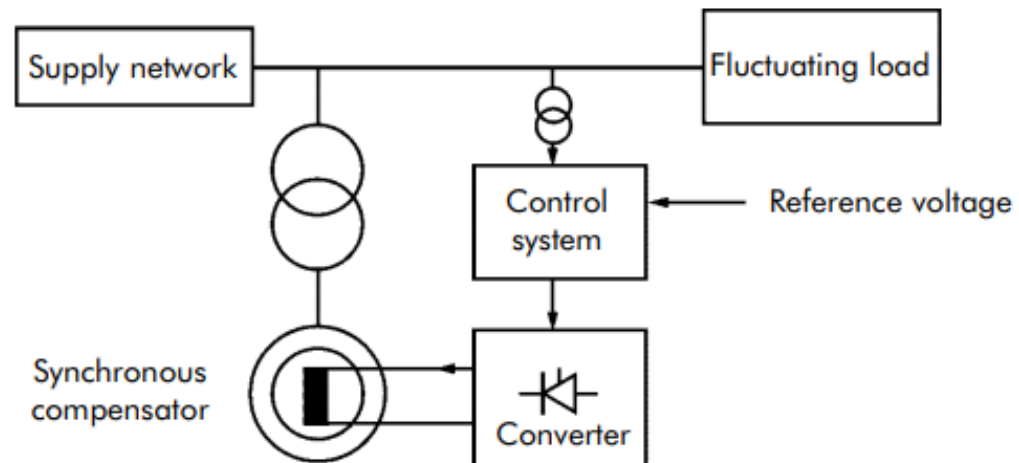


Máquinas síncronas

- São uma fonte tradicional de potência reativa harmônica fundamental, atrasada ou avançada, fornecida de maneira contínua.
- Eles também podem ser a fonte de energia mecânica quando operados como um compensador e um motor.
- O uso de uma máquina síncrona sem controle de corrente de excitação é inútil porque, para atingir o nível limite padrão de mudanças de tensão, a máquina precisaria de uma potência nominal várias vezes maior do que a potência da carga que requer estabilização.

Máquinas síncronas

- Este fato, assim como os parâmetros dinâmicos necessários ao processo de estabilização, requer que a máquina síncrona seja operada em um sistema de controle de tensão em malha fechada com controle rápido de corrente de excitação (vide FIGURA).
- Tal solução permite um tempo de subida rápido da corrente reativa da máquina.

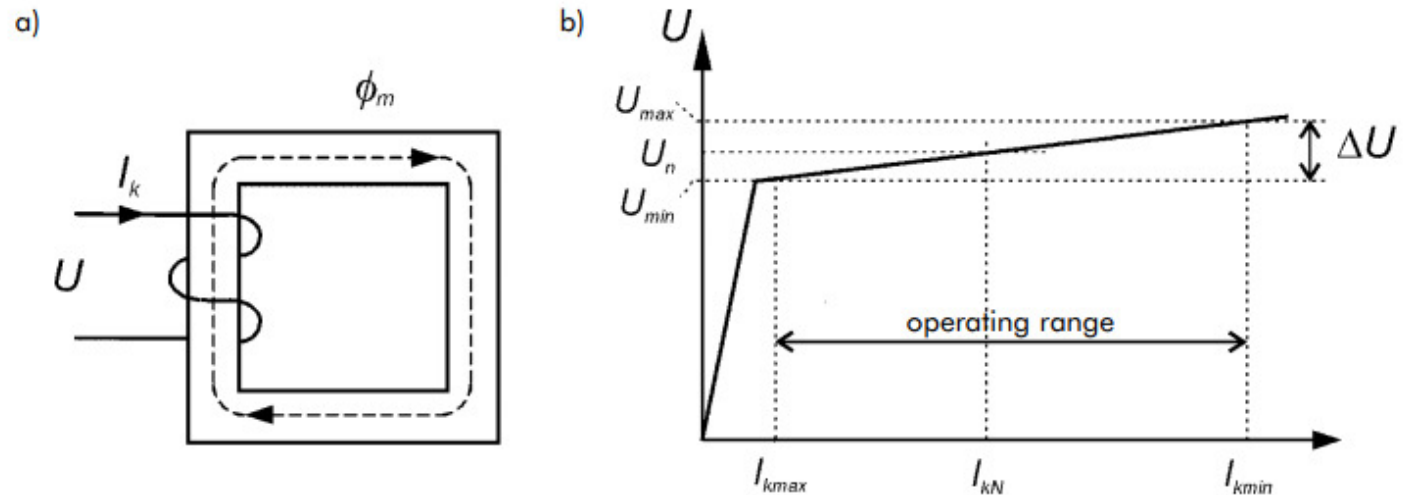


Compensadores estáticos

- Com exceção do STATCOM, empregam componentes passivos capacitivos e / ou indutivos que são chaveados, controlados por fase ou combinados com saturação de núcleo controlada.
- Eles fornecem a corrente reativa estabilizadora necessária em etapas discretas ou, mais frequentemente, em uma forma continuamente variável.
- Os compensadores estáticos são considerados a solução mais vantajosa para melhorar a qualidade do fornecimento de energia, tanto em termos técnicos quanto econômicos.

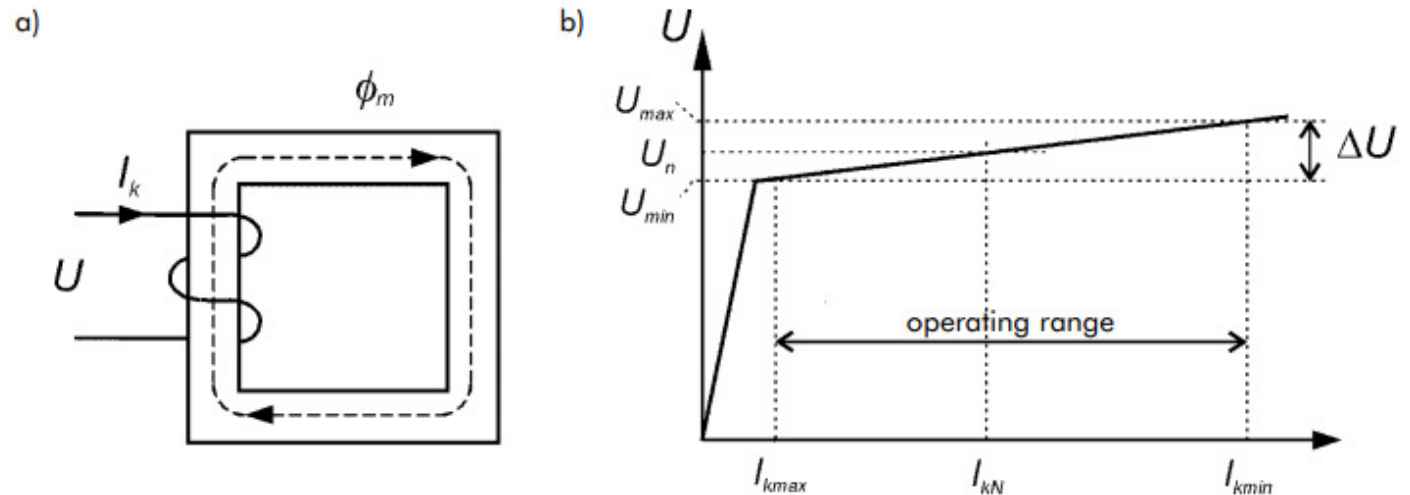
Compensadores estáticos saturáveis

- Reator auto saturável (*Self-saturable Reactor - SR*):
 - Foi um dos primeiros compensadores estáticos aplicados em escala industrial para mitigar os efeitos das flutuações de tensão.
 - O reator é projetado de modo que a característica de magnetização tenha um "joelho" definido com uma pequena inclinação linear positiva ao longo de uma ampla faixa de corrente acima do ponto de saturação (FIGURA).



Compensadores estáticos saturáveis

- Reator auto saturável (*Self-saturable Reactor - SR*):
 - O reator é projetado de forma que, no mínimo da faixa de tensão, o núcleo esteja logo abaixo da saturação e flua uma corrente magnetizante, semelhante à de um transformador sem carga.
 - Neste estado, praticamente não tem influência na magnitude da tensão.
 - Na tensão nominal o reator está saturado, então uma pequena mudança na tensão de alimentação afeta uma mudança considerável na corrente.
 - O compensador é geralmente conectado à rede de alimentação sem um transformador abaixador.



Compensadores estáticos saturáveis

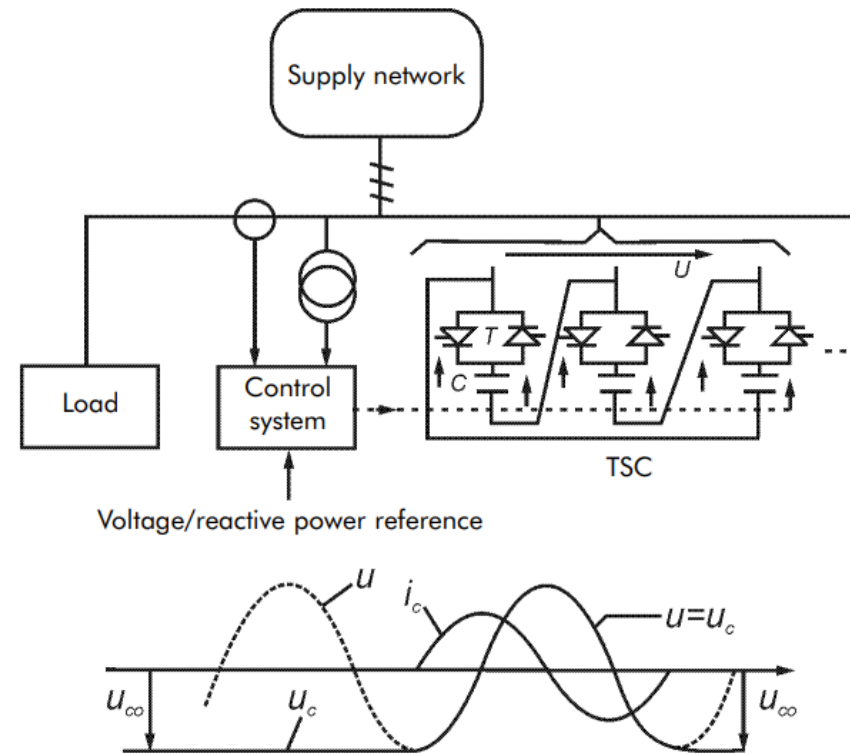
- Reator com circuito de controle CC:
 - É frequentemente operado com um banco de capacitores paralelo, que forma um filtro para harmônicos de alta ordem.
 - Ele funciona essencialmente como um transdutor, no qual a magnitude da corrente primária é controlada pelo ajuste da corrente de magnetização CC.
 - O enrolamento CC de controle é normalmente fornecido por um conversor tiristor totalmente controlado, cuja potência normalmente não excede 1% da potência nominal do estabilizador.
 - Permite forçar a corrente transitória, agilizando assim a operação do sistema.

Compensadores estáticos saturáveis

- Reator com circuito de controle CC:
 - Ao ajustar a corrente de magnetização, a corrente primária do reator muda de praticamente zero (núcleo não-saturado) para o valor máximo (núcleo saturado) ao longo de toda a faixa das mudanças de corrente primária.
 - Uma desvantagem considerável é a geração de harmônicos de corrente de alta ordem.
 - Na versão trifásica, um maior número de slots e uma ligação apropriada de vários enrolamentos permitem que os harmônicos de corrente de alta ordem sejam praticamente eliminados, mas ao custo de uma resposta mais lenta do sistema.
 - O uso de três estabilizadores monofásicos permite a correção do desequilíbrio.

Capacitores comutados a tiristor (TSC)

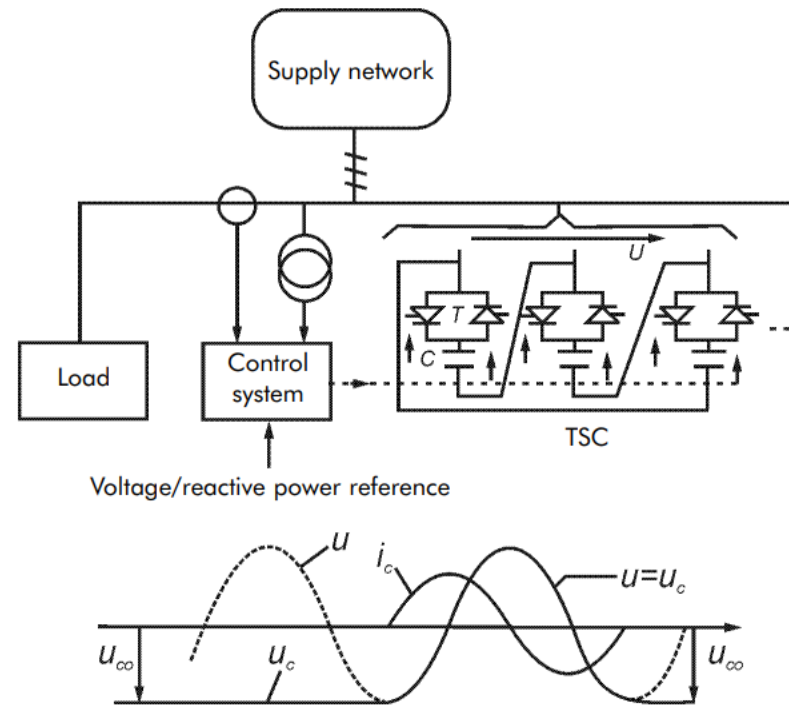
- Bancos de capacitores seccionados são conectados fase-fase com cada seção ligada (ligada ou desligada) por meio de chaves de tiristor CA (FIGURA).



- Os valores das susceptâncias equivalentes do compensador mudam de forma discreta, dependendo do número de seções ativas.

Capacitores comutados a tiristor (TSC)

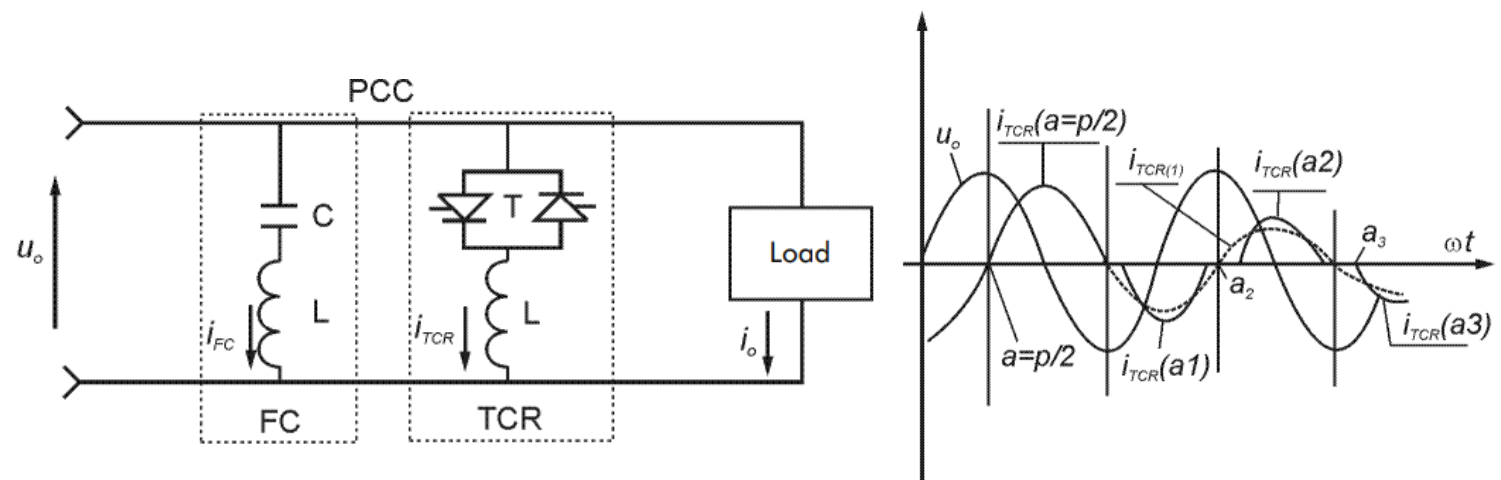
- Ao fornecer um número adequadamente grande de pequenas seções, a resolução necessária de mudança de susceptância para uma única etapa pode ser obtida.



- A sincronização da comutação e o pré-carregamento inicial dos capacitores evita as sobrecorrentes e sobretensões normalmente associadas à comutação do capacitor.
- O tempo de reação para operação simétrica não excede 20 ms.

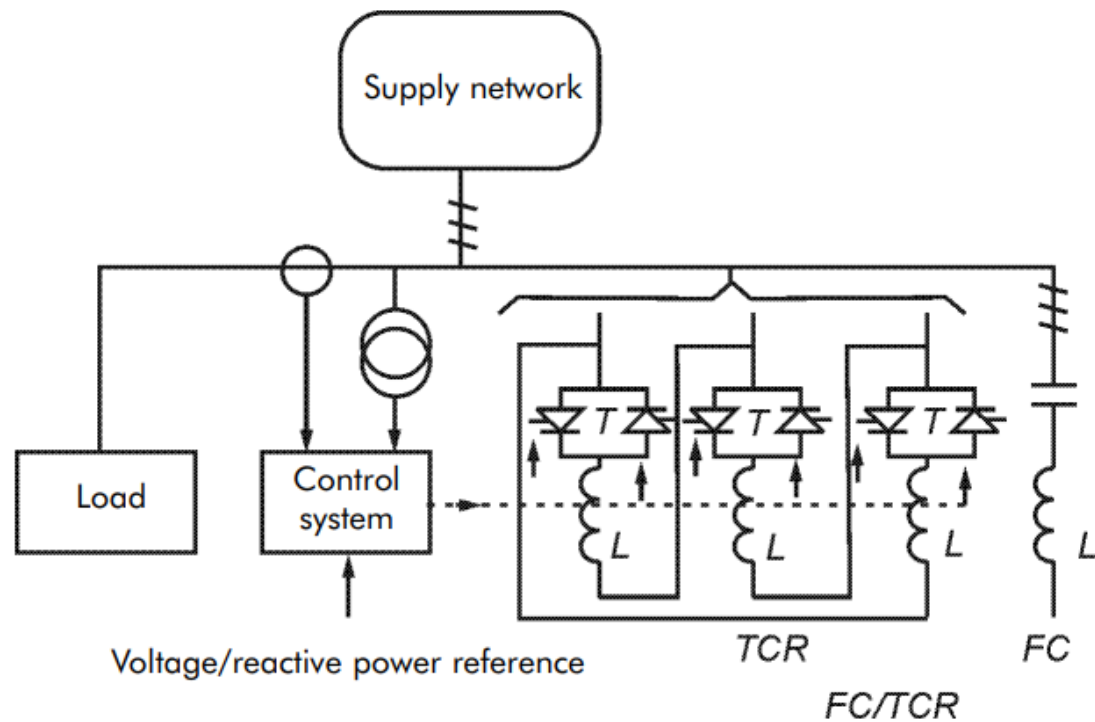
Compensador FC/TCR

- É um exemplo de compensação indireta.
- Dependendo da função necessária - estabilizador de tensão ou compensador de potência reativa - o valor da soma de dois componentes da corrente é controlado (FIGURA):
 - harmônico fundamental da corrente do capacitor; o capacitor é operado como um filtro ou como etapas de capacitor chaveado (TCR / TSC),
 - harmônico fundamental da corrente do reator, controlado por meio de tiristores.



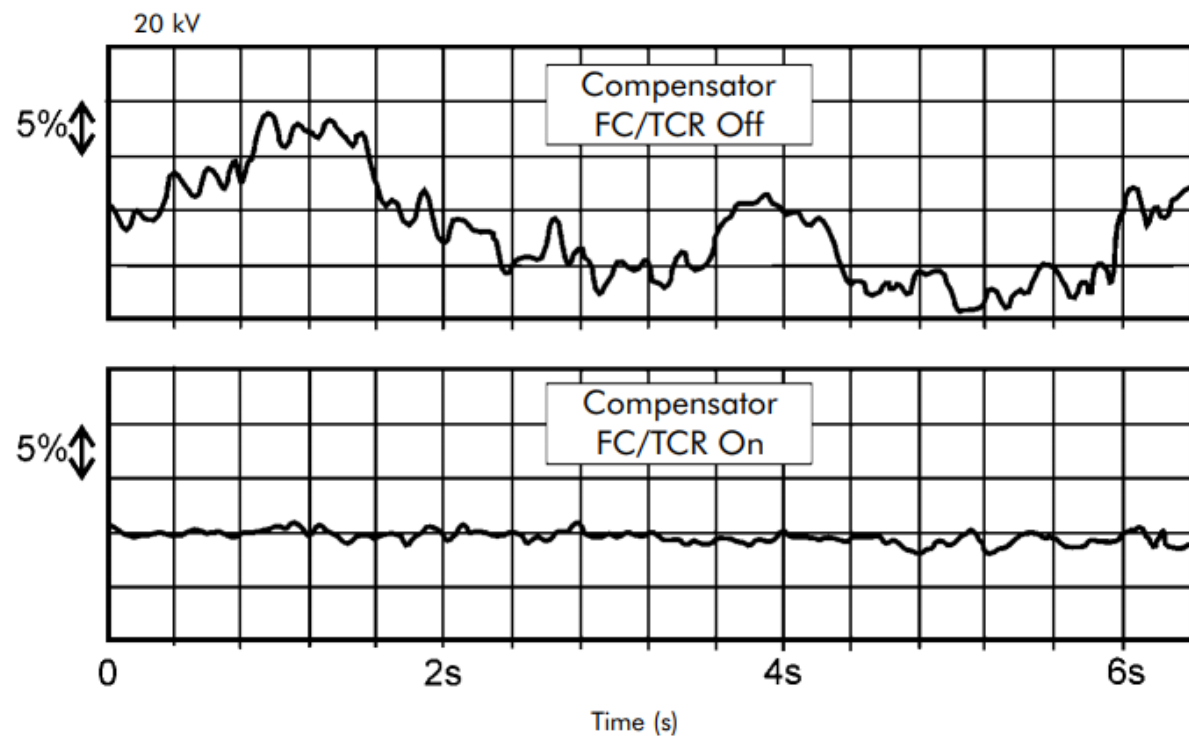
Compensador FC/TCR

- Na configuração trifásica clássica (FIGURA), as ramificações do reator são conectadas em delta com filtros de derivação e são vistas da rede de alimentação como susceptâncias equivalentes conectadas fase a fase.
- Ao alterar os ângulos de controle, os valores das susceptâncias são alterados continuamente e independentemente uns dos outros.



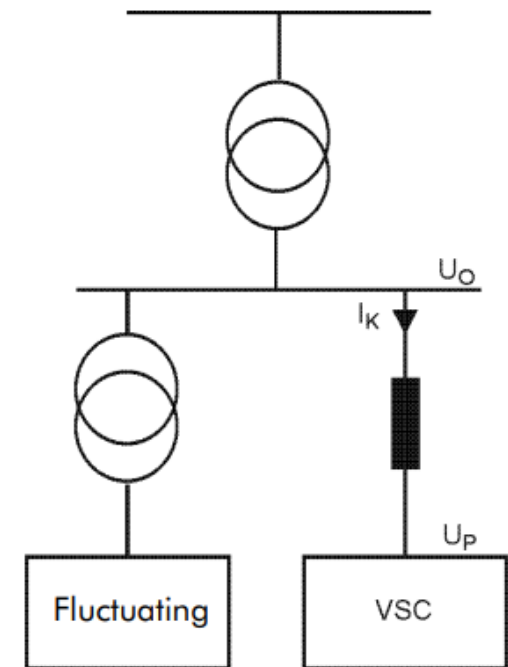
Compensador FC/TCR

- A função do reator pode ser realizada pelas reatâncias equivalentes de um transformador com uma grande tensão de curto-circuito.
- Efeitos de exemplo de desempenho do compensador são mostrados na FIGURA.



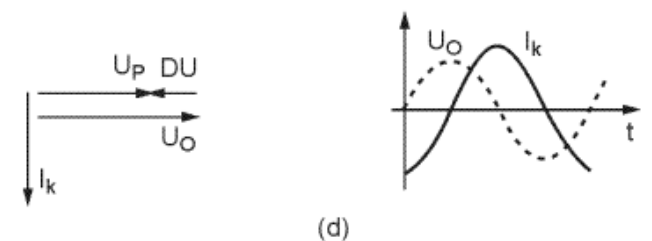
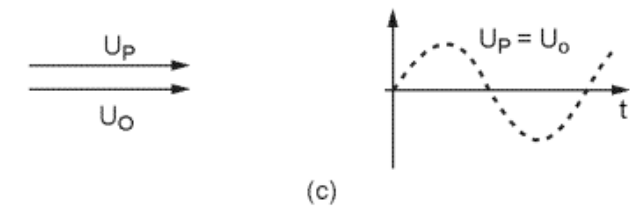
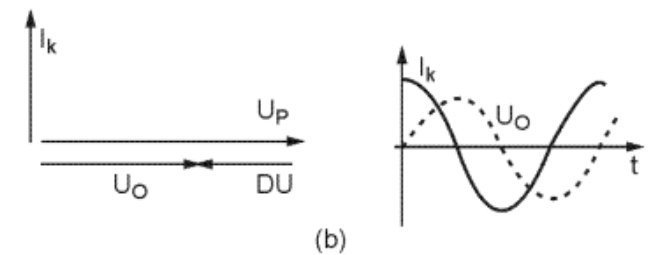
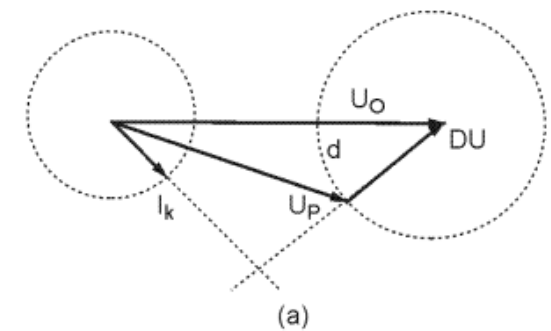
Conversor auto-comutado baseado em fontes de tensão e de reativos

- O compensador é composto por um conversor de fonte de tensão (VSC).
- Os estados de comutação de dispositivos semicondutores (modulação por largura de pulso) determinam o valor e o caráter da potência reativa (indutiva ou capacitiva) – FIGURA.
- Várias soluções práticas para esses compensadores são descritas na literatura.
- As capacidades de tal compensador são análogas às da máquina síncrona, mas com operação muito mais rápida.
- O compensador mais comumente usado é STATCOM.



STATCOM

- STATCOM é uma nova geração de compensadores estáticos, que emprega dispositivos semicondutores com comutação forçada.
- Seu nome - Compensador Síncrono Estático - é derivado do princípio de operação, análogo ao funcionamento do compensador síncrono.
- A parte básica do compensador é um conversor CA / CC, conectado à rede por meio de uma reatância indutiva, geralmente a indutância de um transformador.
- Quando a tensão do conversor é inferior à tensão da rede de alimentação, o compensador é uma carga indutiva; por outro lado, quando a tensão do conversor é maior que a tensão de alimentação, o compensador fornece potência reativa à rede, comportando-se assim como uma carga capacitiva - FIGURA.



Conclusão

- Flicker é um fenômeno subjetivo.
- Conseqüentemente, é difícil determinar o custo direto de seu efeito.
- Afeta a qualidade fundamental do serviço público - ou seja, a capacidade de fornecer iluminação estável e consistente.
- Certamente, pode afetar a produtividade em um escritório ou fábrica, mas o custo da oscilação é geralmente baseado no custo de mitigá-la quando as reclamações se tornam significativas.
- Os desenvolvimentos em eletrônica de potência, em particular na fabricação de dispositivos semicondutores, permitiram a realização prática de sistemas de estabilização dinâmica de tensão de potência nominal cada vez maior, enquanto ao mesmo tempo o investimento e os custos operacionais foram minimizados.
- A disponibilidade de equipamentos com capacidade para executar algoritmos de controle complexos permite a implementação de diversas funções, incluindo a estabilização dinâmica de tensão.