

COMPORTAMENTO DOS GERADORES NA PRESENÇA DE CAPACITORES

*Por Eng. Jose Starosta, MSc
jstarosta@acaoenge.com.br*

O uso de geradores como fonte de energia em instalações (fonte principal ou “back-up”) tem se popularizado em função da importância que a energia elétrica assumiu nos processos de produção e administrativos e nas oportunidades apresentadas pelos sistemas de cogeração largamente utilizados. Desta constatação valem algumas observações interessantes.

1-Comportamento das fontes na variação da carga

O comportamento das fontes e conseqüentemente da tensão do sistema que a mesma alimenta as cargas, será dependente da relação da potência de curto-circuito (ou da impedância) desta fonte e da solicitação ou comportamento da carga a cada instante. Isto é, a cada variação da carga haverá uma resposta da fonte, traduzida pelo comportamento da tensão. Casos mais extremos produzem afundamentos de tensão que podem atingir níveis não tolerados pelas próprias cargas, produzindo efeitos imediatos como a má operação ou desligamento das mesmas.

Este efeito é bastante perceptível quando da partida (e seus transientes associados) ou variação de cargas acionadas por motores como os elevadores, bombas, ventiladores, compressores, guindastes. No caso de geradores aplicados como fonte de “back up”, o que se nota é que o comportamento do sistema piora sensivelmente quando o mesmo assume o lugar da fonte principal (transformador), geralmente por conta da menor potência de curto circuito do primeiro em relação o segundo.

Existe uma relação direta entre o comportamento da tensão do sistema e a energia reativa consumida pela carga, esta situação é tanto mais perceptível quanto menor for a relação da potência de curto circuito da fonte em relação a carga consumidora de significativa quantidade de energia reativa; a tensão tende a “cair” causando os conhecidos afundamento de tensão. A figura 1 apresenta o comportamento da tensão do gerador com a operação de um elevador e a figura 2 apresenta o comportamento da tensão com a mudança de fonte (transformador para gerador) para uma carga industrial.

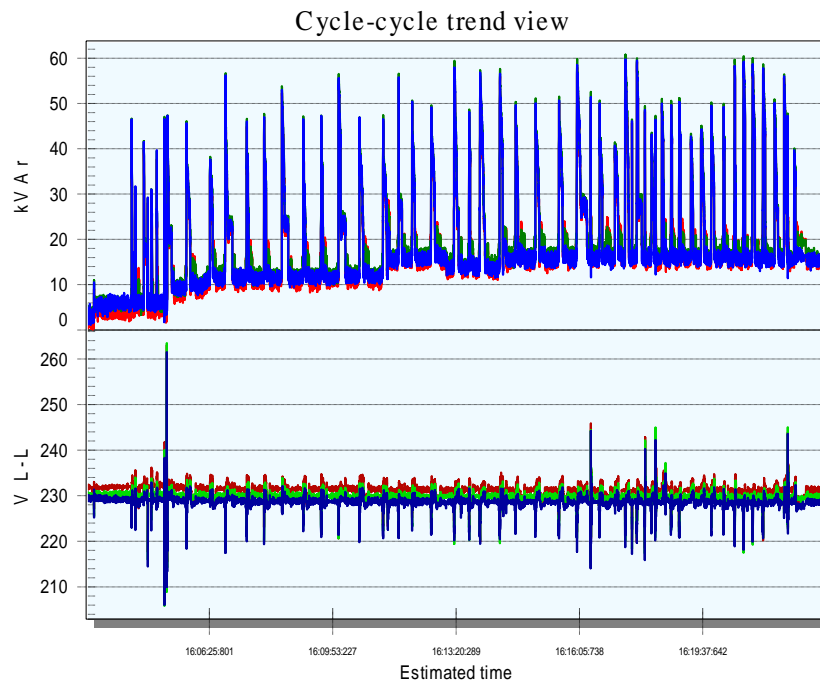


FIGURA 1 – COMPORTAMENTO DA TENSÃO DE GERADOR COM O CONSUMO DE ENERGIA REATIVA DE ELEVADOR.

Comportamento Rede/Gerador

Ação Engenharia e Instalações Ltda

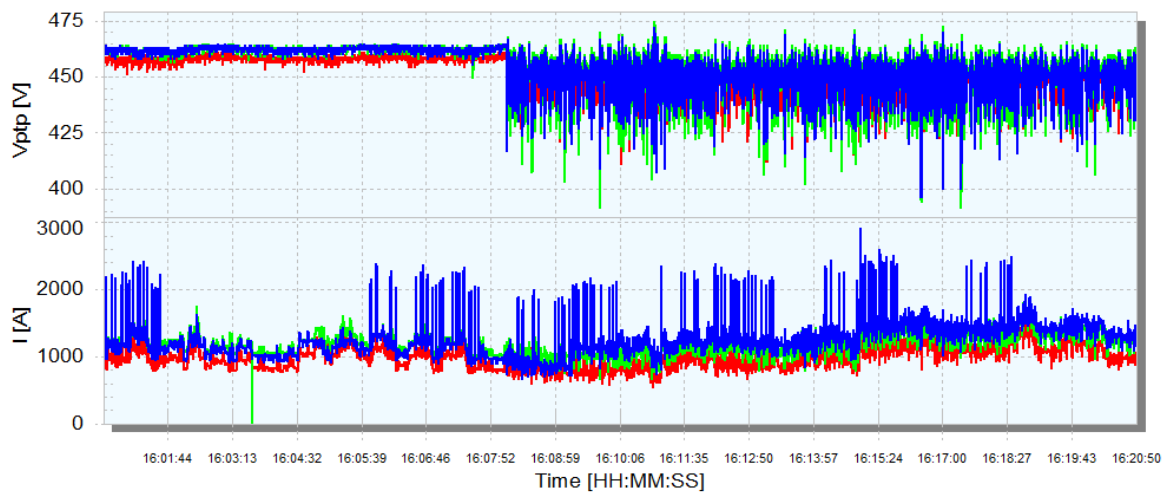


FIGURA 2 – COMPORTAMENTO DA TENSÃO COM FONTE PRINCIPAL (TRANSFORMADOR) E DE “BACK-UP” (GERADOR)

2- Limitação dos geradores - a curva de capacidade

Os geradores apresentam uma característica de operação fortemente dependente da energia reativa consumida (indutiva) ou fornecida (capacitiva) pela carga.

A figura 3 apresenta a curva de capacidade, onde se observa o regime de operação normal limitado pelas curvas azul e vermelha. Analisando-se esta curva, nota-se que na “região capacitiva” (faixa de valores negativos no eixo das abscissas (x)) existe uma importante restrição de operação em relação a região chamada de “indutiva”. Observa-se ainda na curva, que o mesmo eixo das abscissas define a relação da potência reativa instantânea da carga pela potência nominal do gerador; a potência reativa negativa seria aquela fornecida por carga capacitiva ou capacitor e a positiva aquela consumida pela carga. O eixo das ordenadas (y) apresenta a relação da potência ativa instantânea da carga pela potência nominal do gerador.

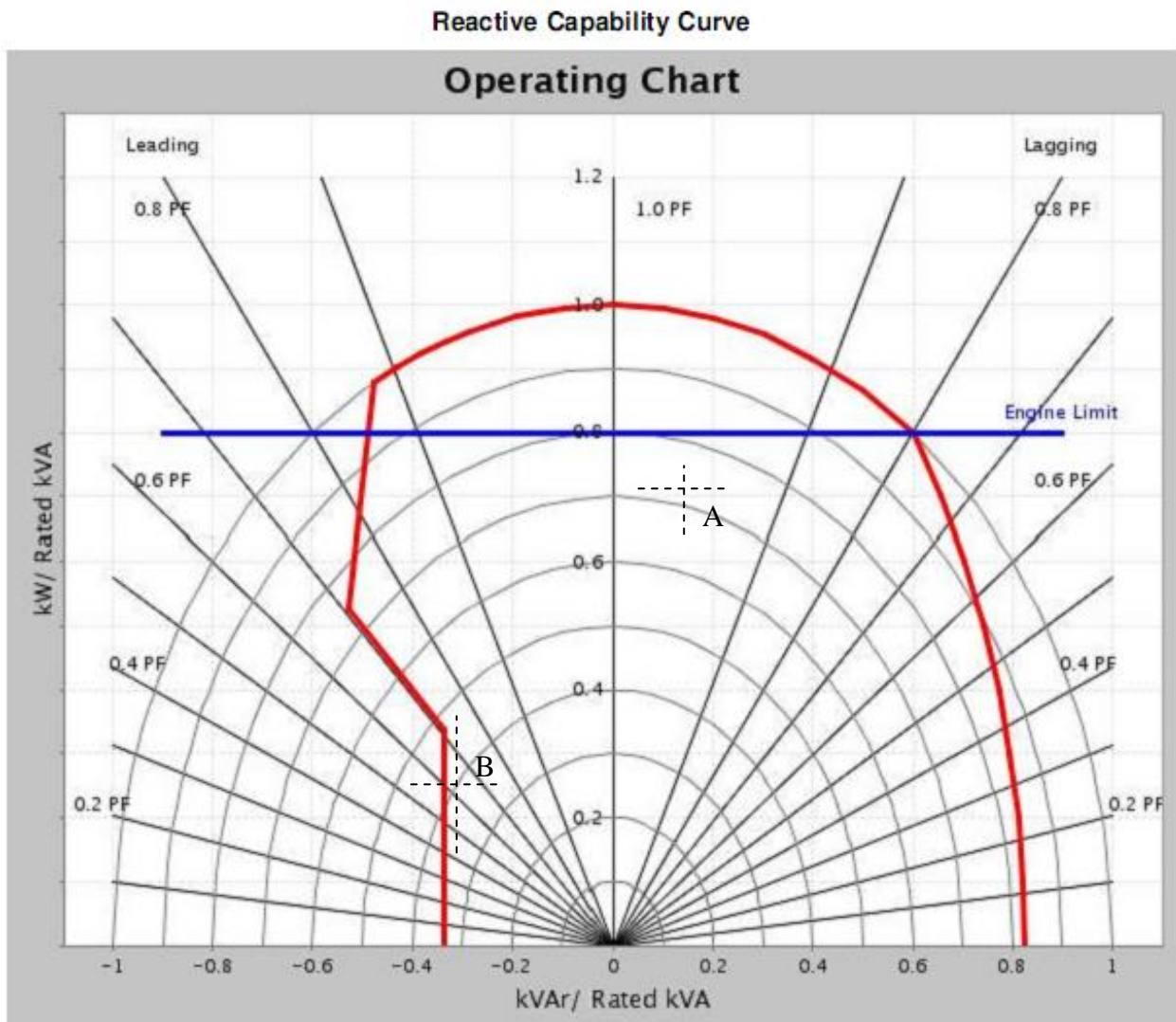


FIGURA 3 – CURVA DE CAPABILIDADE – FONTE: CATERPILLAR

Tomando-se para exemplo o caso de um grupo de motores com 1000 kW, fator de potência de regime de 80%; potência reativa da ordem de 750 kvar, alimentado por um gerador de 1500 kVA, e um sistema de compensação de energia reativa de 500 kvar que corrigiria o fator de potencia para 97%; observa-se:

-A relação kvar/kVA do eixo das abscissas poderá assumir diversos valores, em função da potência reativa injetada pelos capacitores em relação aquela consumida pelos motores. O valor a se utilizar será, portanto, o balanço de reativos (a diferença dos valores consumidos pelos motores e injetados pelos

capacitores) em relação a potência nominal do gerador. No caso da situação de máxima demanda, o reativo fornecido pelo gerador será de 250 kvar (750kvar (carga)-500kvar(capacitor)), e a relação citada será portanto de $250/1500=0,17$. A relação kW/kVA será de $1000/1500=0,67$. Este ponto é representado no diagrama da figura 3 como ponto “A” e está na faixa adequada de operação

-Se em um segundo instante a carga variar sem que o banco de capacitores acompanhe esta variação, pela própria inércia e tempo de resposta do sistema, e que esta variação de carga seja reduzida em 60%, as novas relações serão:

Nova situação da carga: 400 kW; 80%; 300kvar
Injeção de energia reativa mantida em 750 kvar
Novo balanço de energia reativa: -450 kvar (energia reativa injetada)
kvar/kVA= $-450/1500=-0,3$; kW/kVA=0,26

-Esta segunda situação que é ilustrada como o ponto B na curva da figura 2, é uma situação limítrofe de operação do gerador, isto é, caso a carga fosse reduzida para valores ainda mais reduzidos que 60% do valor original sem o conseqüente acompanhamento do banco de capacitores, o gerador seria desligado pelo seu sistema de proteção de excitação. A situação é ainda mais crítica nas situações em que o sistema de compensação reativa é composto por bancos fixos. Portanto, caso o sistema de compensação de energia reativa não tenha velocidade para acompanhar a variação da carga, deve ser desligado quando o gerador assume a carga se aplicado como fonte de contingência, caso a situação possa não atender os limites estabelecidos pela curva de capacidade.

3- Mudança da frequência de ressonância.

A instalação de capacitores em redes indutivas como aquelas típicas em que as fontes são transformadores ou geradores, acaba por definir uma frequência de ressonância. O circuito ressonante apresenta valores diferentes em função de:

- Potência de curto circuito da rede com transformador
- Idem porem com gerador
- Qual o valor da energia reativa injetada (em bancos automáticos, cada estagio deve ser considerado independentemente)

Assumindo-se transformador de 1500 kVA como fonte principal, com impedância de 5% e gerador de 1500 kVA com reatância sub transitória de 15% como fonte de “back up” e banco de capacitores de 750 kvar, obtém-se:

Harmônica de ressonância para operação pelo transformador: 6,3 (ou 378 Hz em rede 60 Hz)

Idem porem para o gerador: 3,6 (ou 220 Hz em rede 60 Hz)

O que se nota é que dependendo do conteúdo harmônico da carga, e da concepção do banco de capacitores a simples mudança de fonte poderá causar o indesejável efeito de ressonância harmônica.

As conclusões são evidentes e chamam a atenção para a necessidade de análise em separado do comportamento do sistema elétrico, seja ele de que aplicação for, em função de trocas de fontes e em especial aplicação de geradores como fontes de contingência ou de “back-up” na presença de sistemas de compensação de energia reativa. Estes por sua vez devem atender as expectativas de operação do sistema em todo o ciclo, inclusive sob os aspectos de ressonância harmônica.

4- Caso de aplicação.

O caso a ser apresentado considera a operação de elevadores em um grande prédio comercial, alimentados tanto por rede como pelos geradores em sistemas de emergência (os geradores assumem a carga em interrupções da distribuidora). Durante a operação chamada de emergência (elevadores alimentados por gerador) os afundamentos de tensão causados pelo consumo instantâneo de energia reativa por parte dos elevadores (picos de reativo) causavam o desligamento e má operação dos elevadores. A situação se agrava em função da distância entre a carga (elevadores instalados na cobertura em prédio de mais de 30 andares) e a fonte (geradores instalados no subsolo do prédio).

A solução encontrada foi a implementação de compensadores estáticos de energia reativa com tempo de resposta de um ciclo (16ms), de forma a compensar adequadamente a potência reativa consumida pelo elevador sem, contudo, injetar potência reativa adicional de forma que o gerador não seja desligado por sobre-excitação devido à alimentação de carga capacitiva. Estes compensadores de energia reativa foram instalados na cobertura do prédio junto à sala de máquinas dos elevadores.

O esquema unifilar resumido é apresentado na figura 4 e a foto da instalação de um dos equipamentos é representada na figura 5.

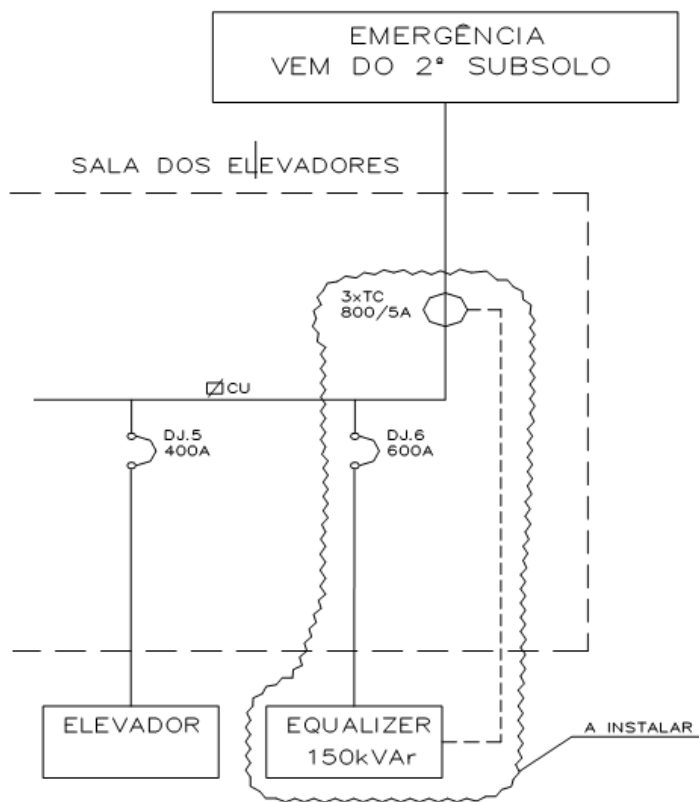


FIGURA 4 – ESQUEMATICO DA INSTALAÇÃO DO COMPENSADOR NA SALA DE MÁQUINA DOS ELEVADORES.



FIGURA 5 – EQUIPAMENTO DE COMPENSAÇÃO REATIVA INSTALADO NA SALA DE MAQUINAS DOS ELEVADORES

Medições e registros:

As figuras 6 (6a; 6b e 6c) apresentam o comportamento das variáveis elétricas indicadas durante três situações distintas fases da operação:

- fase1: alimentação pela rede e compensador de reativo operando
- fase2: alimentação por gerador e compensador de reativo operando
- fase3: alimentação por gerador e compensador de reativo desligado

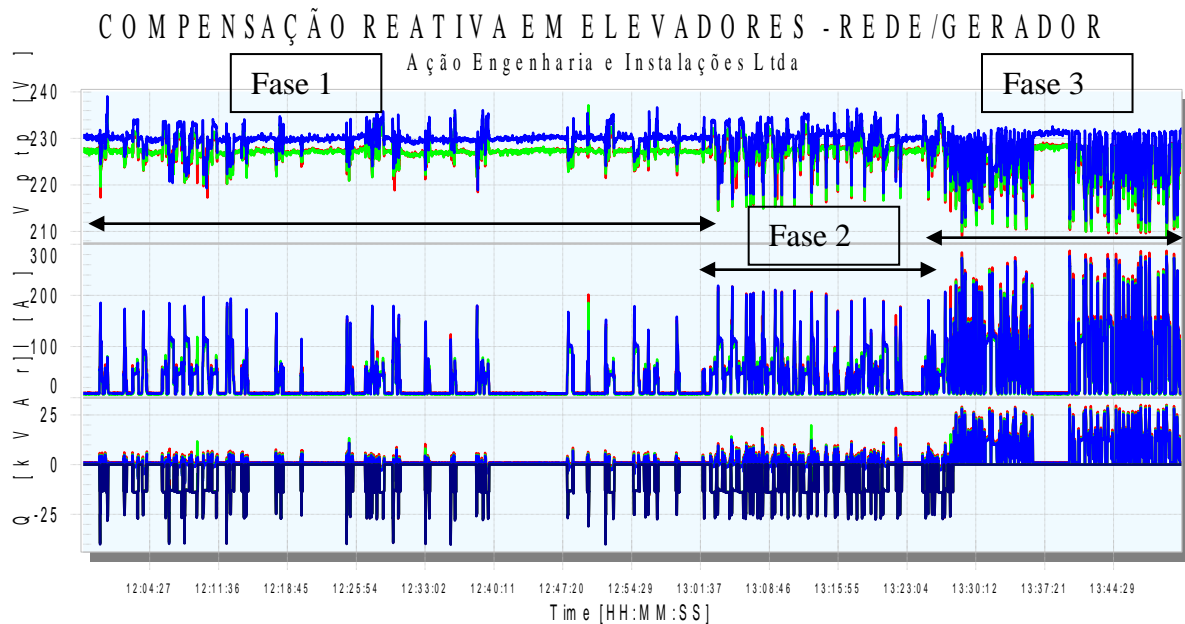


Figura 6a – Potência Reativa injetada por fase (parte negativa) e consumida da rede (parte positiva); Tensão de Linha e corrente de linha nas três fases da operação

Comportamento da Potência Reativa Injetada e Consumida

Ação Engenharia

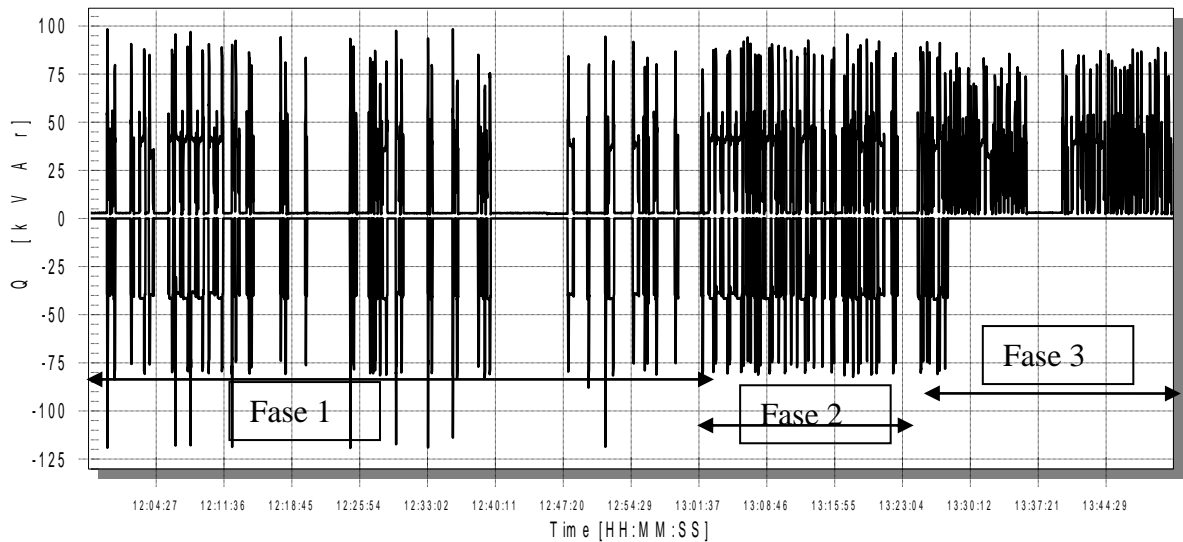


Figura 6b- Potência reativa total consumida pela carga (parte positiva) e injetada pelo compensador (parte negativa) nas três fases da operação.

COMPORTAMENTO DA DISTORÇÃO TOTAL DE TENSÃO

Ação Eng.

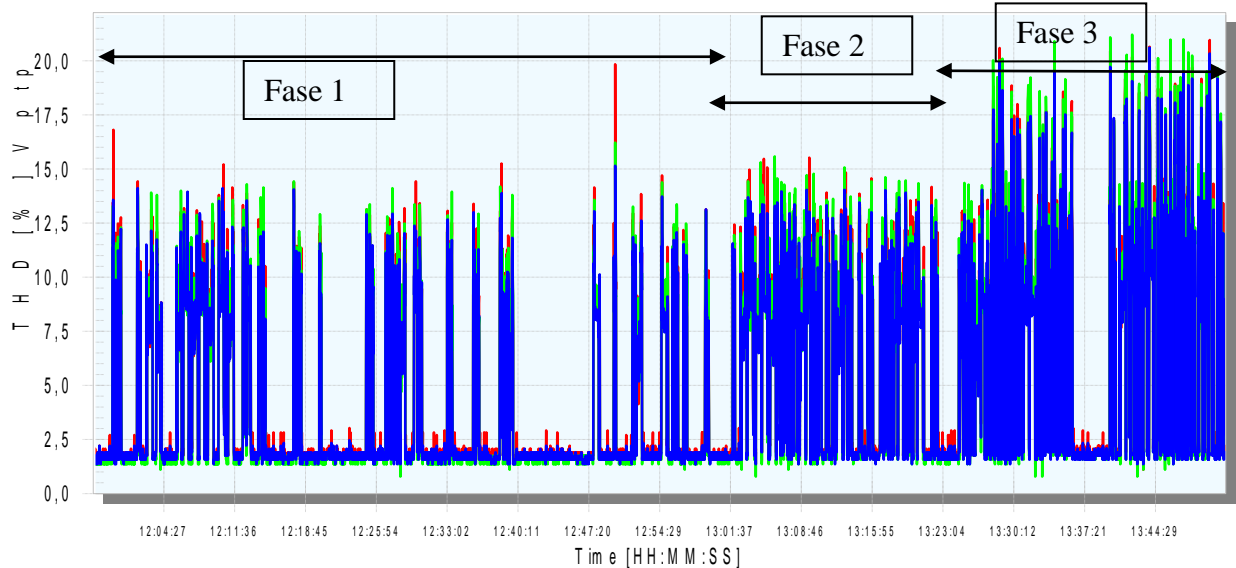


Figura 6c- Comportamento da distorção harmônica de tensão na barra de alimentação dos elevadores nas três fases da operação.

Conclusões:

Pode-se observar nas ilustrações gráficas:

-Durante a fase 1 com o elevador operando pela rede da concessionária, a regulação de tensão apresenta um comportamento adequado para a alimentação da carga, a tensão mínima é da ordem de 220V e a distorção total de tensão é da ordem de 12% a 15% em medições instantâneas; a distorção de tensão é consequência da impedância do circuito de alimentação associado a característica de não linearidade da carga. O sistema compensa instantaneamente valores da ordem de 75 kvar dos quase 90 kvar consumidos por um elevador. (o intervalo de integração dos gráficos é de 1 ciclo).

-Na fase 2, o elevador opera com alimentação pelo gerador, observa-se comportamento semelhante ao anterior da fase 1, durante o período em que o elevador não opera o compensador também não injeta reativo, caso contrário o gerador não suportaria a carga capacitiva atuando sua proteção (sobre-excitação).

-Já na fase 3, onde o elevador opera com gerador sem compensação de energia reativa, a tensão atinge valores menores que 210V e a distorção total de tensão valores superiores a 20%, esta situação é agravada no instante em que o gerador assume outras cargas do prédio, impossibilitando a operação normal dos elevadores.

- A redução da distorção de tensão com a compensação de energia reativa é justificada pela influência da redução da corrente reativa de frequência fundamental e correntes harmônicas na alimentação (em especial as 5^a e 7^a harmônicas) tanto pela operação pela rede quanto pelo gerador; neste caso as perdas elétricas também são reduzidas na proporção quadrática da redução da corrente total, em torno de 100 A, nos circuitos de alimentação de cada uma dos elevadores nos extensos trechos. O modelo de alimentação dos elevadores com circuitos independentes para cada máquina desde a fonte no subsolo até a casa de máquinas impõe ao sistema alta impedância e baixa capacidade de curto circuito com redução do desempenho do sistema, notadamente quando os acionamentos dos elevadores são substituídos por outros estáticos.

-O compensador estático de energia reativa possui uma função especial que possibilita um programa de operação específico em função da fonte de alimentação da carga; em outras palavras quando a carga estiver sendo

alimentada pela rede o sistema possui um ajuste distinto daquele da situação de operação pelo gerador.

-A compensação reativa tempo real (aplicada) melhorou o desempenho de operação das cargas dinâmicas alimentadas por geradores mantendo as condições de alimentação dentro de limites adequados e atendendo as premissas do projeto. A regulação de tensão atingiu valores toleráveis e a distorção de tensão poderá, se