



Sociedade de Engenharia de Áudio

Palestra

Ministrada no 11º Congresso de Engenharia de Áudio
17ª Convenção Nacional da AES Brasil
7 a 9 de Maio de 2013, São Paulo, SP

Este texto foi reproduzido do original final entregue pelo autor, sem edições, correções ou considerações feitas pelo comitê técnico. A AES Brasil não se responsabiliza pelo conteúdo. Outros artigos podem ser adquiridos através da Audio Engineering Society, 60 East 42nd Street, New York, New York 10165-2520, USA, www.aes.org. Informações sobre a seção Brasileira podem ser obtidas em www.aesbrasil.org. Todos os direitos são reservados. Não é permitida a reprodução total ou parcial deste artigo sem autorização expressa da AES Brasil.

Amplificador Trifásico

A terceira e última fase no aumento da eficiência na amplificação de P.A.

Francisco Monteiro e Ruy Monteiro

Studio R / Nashville

São Paulo, SP, 04314-130, Brasil

francisco@studior.com.br e ruymonteiros@msn.com

RESUMO

Para obter eficiência na transmissão da energia de geradores ou redes trifásicas, precisamos do perfeito equilíbrio entre cargas nas 3 fases. Infelizmente, amplificadores atualmente trabalham em regime monofásico, transformando instalações trifásicas em insolúveis quebra-cabeças. Esta falta de equilíbrio entre fases pode causar perdas maiores que 75% de toda a energia gerada.

A solução são amplificadores trifásicos balanceados, compatíveis com redes monofásicas convencionais.

Esta nova geração de amplificadores inicia outra era em termos de economia e aproveitamento de energia e performance em sistemas. Possibilitará desde trios-elétricos tão ou mais potentes quanto os atuais, porém utilizando geradores 6 vezes menores e muito menos combustível, até instalações em redes fixas com vantagens ainda maiores atendendo normas das distribuidoras de energia com reflexo sustentável.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da população da Terra podemos constatar um grande crescimento da necessidade de reforço sonoro para a comunicação em eventos. Estas instalações nos últimos anos tem crescido de forma extraordinária e a tal ponto que já encontramos corriqueiramente sistemas de reforço sonoro com potencia instalada de mais de 100.000 Watts. Existem várias formas de se gerar energia elétrica, mas as opções diminuem quando se trata de quantidades para consumo de uma sociedade.

De acordo com as normas técnicas atuais das concessionárias (aqui em caráter ilustrativo pois estes padrões variam um pouco entre as distribuidoras), o fornecimento de energia elétrica em um sistema monofásico deverá possuir uma carga instalada de até 12 KW. Para um sistema bifásico devemos possuir uma carga instalada entre 12 KW e 25 KW. Para cargas maiores que 25 KW devemos utilizar sistema trifásico. Além disso, por razões de eficiência, a geração de energia é sempre feita

em forma trifásica. É só lembrar que tanto motores quanto geradores trifásicos são mais simples e eficientes e apresentam menos problemas que os monofásicos.

É fato que a eficiência dos amplificadores de audio tem melhorado muito nos últimos anos. Sua eficiência interna total em certas categorias de produtos, já está entre 85% e 95%, o que por si poderia desmotivar maiores investimentos no setor para melhorar ainda mais estes números, pois estamos beirando limites teóricos de eficiência. Entretanto, apesar de os amplificadores serem muito eficientes, os meios com que se leva energia útil até eles em suas aplicações de grande porte é ainda extremamente ineficiente em todo o mundo.

Existem nos amplificadores, entre suas várias interfaces, uma delas com lamentável desempenho econômico para aplicações de alta potência que é a interface "geração trifásica / amplificador de potência". Para se conseguir eficiência na transmissão da energia de um gerador ou rede

trifásica, precisamos de perfeito equilíbrio entre as cargas das 3 fases e, infelizmente, todos os amplificadores atuais, até então, trabalhavam em regime monofásico transformando estas instalações trifásicas em insolúveis quebra cabeças.

Esta falta de equilíbrio entre as cargas nas fases de uma instalação trifásica, é capaz de causar perdas maiores que 75% de toda a energia gerada.

A solução para todos estes problemas está no uso de amplificadores de áudio com entrada de energia trifásica balanceada.

Com o desenvolvimento de uma nova geração de amplificadores trifásicos, se inicia no mundo também uma nova fase em termos de economia e aproveitamento de energia em sistemas de áudio, assim como aumento de sua performance. Um mundo onde serão possíveis desde trios-elétricos tão ou mais potentes quanto os atuais, porém utilizando geradores até 6 vezes menores e muito menos combustível fóssil, até instalações em redes fixas mais potentes, mais econômicas e mais eficientes que atendam as normas das distribuidoras de energia.

Tão significativo quanto o reflexo econômico desta tecnologia, é o seu reflexo potencial em termos de sustentabilidade.

FORNECIMENTO DE ENERGIA TRIFÁSICA

Podemos encontrá-las e separá-las em dois casos mais comuns, que são instalações comerciais ou domésticas atendidas por uma distribuidora de energia e quaisquer outras instalações atendidas por um gerador trifásico.

Medição do consumo, o que se paga e o que se perde e a percepção do problema

Em instalações atendidas por distribuidoras de energia, um medidor de consumo trifásico, pela norma, deve considerar sempre a fase em que ocorre a maior demanda a cada instante, efetuar a somatória de todos os instantes e multiplicar por três (na suposição de que existe um consumo balanceado das 3 fases).

Portanto sempre devemos carregar um sistema trifásico fixo de distribuidora com cargas perfeitamente balanceadas sob pena de pagar o dobro ou até o triplo do consumo. Este em si é o principal grande problema da utilização de amplificadores monofásicos ao invés de trifásicos nestas instalações do ponto de vista econômico, pois se paga muito a mais por energia que simplesmente não se utiliza.

Em instalações atendidas por geradores trifásicos ocorre algo mais sutil. Não existe um registro de um suposto consumo nem o triplo da conta de luz e tudo parece estar normal, a não ser pela decepção comum com geradores de colossal capacidade em kVA que, mesmo assim, parecem não “aguentar” como deveriam e acabam gerando a necessidade de outro reserva.

Em boletins técnicos redigidos pelos responsáveis técnicos de grandes fabricantes de geradores, é especificado que em situações onde existem 1 fase (110 V) ou 2 fases (220 V), é necessário respeitar as seguintes regras:

- Potência conectada de 1 fase = potência do gerador dividido por 6. Ou seja, em um gerador de 6,0 kW, a carga monofásica máxima, quando conectada apenas uma fase, será de 1,0 kW.

- Potência conectada de 2 fases = potência do gerador dividido por 3. Ou seja, em um gerador de 6,0 kW, a carga monofásica máxima, quando conectada apenas duas fases (220V), será de 2,0 kW.

Portanto, no caso de geradores, temos ainda por cima perda de energia quando utilizamos amplificadores monofásicos, além de pagarmos mais por energia não aproveitada. Aproximadamente 66% do que é investido na locação de um gerador trifásico acaba sendo desperdício e existem casos, na utilização de geradores locais, em que chegamos a 80% de desperdício da capacidade do gerador instalado.

Todas as considerações aqui feitas sobre amplificadores monofásicos se aplicam e serão verdadeiras não importando qual a sua classe de operação nem qual a topologia de sua fonte de alimentação, desde que seja monofásica. Veremos adiante o porquê.

O AMPLIFICADOR

A função de um amplificador de potência de áudio é fornecer, a partir de pequenos sinais de áudio colocados em sua entrada, grandes sinais (de tensão e disponibilidade de corrente) em sua saída. Potência, portanto, para movimentar alto-falantes.

Dentro deste amplificador existem basicamente dois estágios distintos, primeiro um amplificador de tensão e depois um amplificador de corrente. Juntos estes dois circuitos disponibilizam em sua saída a desejada tensão com capacidade de corrente.

Estes amplificadores podem ser construídos com válvulas ou semicondutores além de resistores, indutores e capacitores. A colocação em posição premeditada destes componentes criam seus vários estágios necessários ao desempenho resultante descrito acima.

Costumamos dividir em classes o amplificador de corrente descrito: Classe A, Classe B e Classe D, além de suas mesclas como AB, AB variável, G, H e I (ou G infinito).

Esta distinção se refere à maneira como o estágio (amplificador de corrente) resolve o compromisso entre linearidade e eficiência.

Entre a Classe A (a menos eficiente) e a classe D (a mais eficiente), a eficiência varia de 50% a 95%, sabendo que $Ef = \text{Potência fornecida} / \text{Potência consumida}$ e $Ef \% = (\text{Potência fornecida} / \text{Potência consumida}) \times 100$.

Isso tudo, porém, se refere as técnicas construtivas do amplificador onde a eficiência medida é restrita na função de quantos watts de tensão contínua (já convertida) entram no estágio de saída do amplificador em comparação com na quantidade de watts de áudio que estarão disponíveis para os alto falantes.

Caso se necessite de um amplificador Classe A para uma determinada função (atender a um audiófilo fanático, por exemplo), este estará fadado aos seus 50% de eficiência e assim por diante. Em outra situação um consumidor não tão arraigado escolhe um amplificador classe D e poderá ter seus 95% de eficiência.

A questão da fonte trifásica, no entanto, está em um estágio anterior ao amplificador de saída e não depende de qual classe de amplificação se deseja alimentar e sim em promover a máxima eficiência na conexão e conversão para corrente contínua das várias formas de energia elétrica geradas comercialmente (monofásica ou trifásica) disponíveis no mercado.

E apesar das diferentes topologias de fonte de alimentação, como fontes magnéticas, chaveadas, não indutivas etc, influenciam também positivamente ou negativamente no consumo de energia do amplificador e, juntamente com seu estágio de saída, definirão a sua eficiência global, é fato que todas elas até hoje são monofásicas e, portanto, terão todas as perdas e desvantagens já relacionadas neste trabalho em relação as fontes trifásicas de qualquer topologia.

NORMAS

Como existem normas que obrigam o uso de rede trifásica e sabendo que redes trifásicas (para serem eficientes), precisam de cargas balanceadas, ainda mais sabendo que um dos maiores responsáveis pelo consumo em um P.A. é a amplificação, chega-se a conclusão que em essência é de fato indispensável a utilização de amplificadores com alimentação trifásica perfeitamente balanceados e que algumas normas finalmente serão atendidas.

COMPATIBILIDADE

Após a constatação dos benefícios e vantagens da implementação de amplificadores compatíveis com redes trifásicas, nos atemos em tentar identificar suas eventuais desvantagens. E foi no âmbito da prestação de serviços de sonorização que se detectou um possível empecilho para a implementação da tecnologia, levantado pela questão: “E para o prestador de serviços móveis, que hora terá a disposição um gerador ou rede trifásica mas hora terá disponível apenas redes bifásicas ou monofásicas?”.

A pergunta é pertinente pois isso significaria que tal prestador de serviço, em tese, precisaria investir no dobro de amplificadores, sendo um sistema inteiramente composto por amplificadores monofásicos e outro composto por amplificadores trifásicos a fim de atender a todo espectro de eventos e aplicações. E isso poderia colocar por terra todos os benefícios e economias potenciais de se trabalhar com a opção de um sistema trifásico.

Isso nos motivou a, ainda neste trabalho, encarar o desafio de desenvolver um conversor universal mono/trifásico de corrente alternada para corrente contínua integrado a fonte trifásica do amplificador.

Isso resolve a questão, pois torna o amplificador trifásico compatível com qualquer instalação ou gerador, automaticamente.

Ao operar em redes trifásicas, se obtém todos os benefícios da tecnologia com incremento significativo de potência. Ao operar em redes monofásicas ou bifásicas, ele se comporta como qualquer amplificador monofásico, solucionando o problema.

EFICIÊNCIA

Tudo que tange a implementação de amplificadores trifásicos diz respeito ao aumento de eficiência, seja energética, logística ou financeira. E dentre as formas de se conceber uma fonte trifásica existem também níveis distintos de eficiência que pode ser obtidos.

No atual estágio de nosso trabalho, conseguimos conceber uma fonte trifásica compatível com redes monofásicas com eficiência global de conversão superior a 90%. Isso é bastante empolgante pois significa que já se

atingiu portanto praticamente o limite teórico de eficiência possível para a mesma, que seria de 100%.

ALTERNATIVAS

Há uma alternativa para se trabalhar com redes trifásicas utilizando sistemas combinados com três amplificadores monofásicos idênticos sincronizados distribuídos pelas 3 fases.

Entretanto, esta alternativa sempre veio acompanhada de uma série de inconvenientes, principalmente de custo e logística, que acabam por neutralizar ou mesmo inverter as premissas de aumento de lucratividade ou versatilidade do sistema. Isto pois demandaria basicamente o investimento e mobilização sempre do triplo de amplificadores e itens relacionados, como cabos, racks etc, para a realização de um mesmo serviço feito da forma tradicional ou com amps de fonte verdadeiramente trifásica.

Outros poréns da alternativa é que ela torna os amplificadores do conjunto escravos de um só comando (no ligar e desligar e ajuste de volumes), permite sempre um só programa por conjunto de 3 amplificadores (o mesmo conteúdo sonoro) e um só tipo de carga (um só tipo de falante e número igual de falantes por canal).

Isso tudo diminui muito a versatilidade e gama de aplicações possíveis da alternativa. É um sério entrave para o negócio de quem por vezes precisa desmembrar o sistema conforme a necessidade ou conveniência na pulverização de serviços simultâneos, por exemplo.

Estes poréns também servem para justificar a necessidade de um amp com fonte trifásica compatível com as redes monofásicas e bifásicas convencionais conforme proposto neste trabalho e suas vantagens.

EXEMPLOS E COMPARAÇÕES PRÁTICAS

Para traduzir o que foi aqui exposto em números e exemplos práticos, vamos comparar sistemas monofásicos convencionais versus os mesmos sistemas só que utilizando amplificadores com fonte trifásica. Vamos considerar potências em watts de acordo com a norma oficial EIA RS-490 em todos os exemplos. Consideramos também amplificadores monofásicos com eficiência global bastante acima da média, na faixa de 80 a 90%.

Primeiro exemplo – no uso com geradores

Um gerador trifásico alimenta um P.A. composto de 32 drivers alimentados por 2 amplificadores monofásicos de 3.600 watts, 32 falantes de 12” alimentados por 4 amplificadores monofásicos de 5.600 watts e 16 falantes de 18” alimentados por 2 amplificadores monofásicos de 11.000 watts.

Consumo total musical dos 8 amplificadores = 51.600 w.

Para obter a máxima eficiência na geração de energia é preciso oferecer cargas equilibradas entre as 3 fases do gerador.

Só é considerada uma carga equilibrada o mesmo tipo de equipamento reproduzindo o mesmo conteúdo (a mesma via) com o mesmo número de falantes. Cargas desbalanceadas são multiplicadas pelo número de fases do gerador / número de pares de fases com a mesma carga.

Depois de um minucioso estudo para promover o maior casamento possível das cargas, se consegue o resultado disposto na Tabela 1 apresentada na página seguinte:

Tabela 1 – Casamento das cargas				
Fase “RS”				
Tipo dos amplificadores e condição de equilíbrio.	Potência útil.	Carga que o gerador sente.	Carga total por equipamento.	Capacidade total necessária por par de fases.
Monofásicos - 1 em cada fase casados.	5.600	3/3 x 5.600	5.600	
Monofásicos - casados em duas das 3 fases.	3.600	3/2 x 3.600	5.400	
Monofásicos - 1 descasado em 1 fase.	5.600	3/1 x 5.600	16.800	
				27.800
Fase “ST”				
Monofásicos - 1 em cada fase casados.	5.600	3/3 x 5.600	5.600	
Monofásicos - casados em duas das 3 fases.	3.600	3/2 x 3.600	5.400	
Monofásicos - casados em duas das 3 fases.	11.000	3/2 x 11.000	16.500	
				27.500
Fase “TR”				
Monofásicos - 1 em cada fase casados.	5.600	3/3 x 5.600	5.600	
Monofásicos - casados em duas das 3 fases.	11.000	3/2 x 11.000	16.500	
				22.100
Potência utilizada = 51,6 kVA				
Capacidade necessária do gerador = 83,4 kVA (potência da fase de maior consumo multiplicada por 3)				

Como mostra a tabela acima, o uso dos atuais amplificadores monofásicos em um sistema como o do exemplo resulta em um desperdício de 62% da energia gerada, demandando um gerador de 83,4 kVA e um consumo de combustível fóssil e conseqüente liberação de poluentes proporcionais a sua potência.

De outra forma, se neste mesmo sistema fossem utilizados amplificadores idênticos porém com fonte trifásica, seria necessário um gerador de no máximo 52 kVA para o mesmo serviço.

Segundo exemplo – no uso em redes fixas

Em uma instalação elétrica fixa será montado ou ampliado um sistema que superará a faixa de consumo de 25 kVA, o que classificará esta instalação como consumidora de energia trifásica média maior que 25 KVA.

O P.A. desejado terá um amplificador monofásico de 1.200 watts para agudos, dois amplificadores monofásicos de 5.600 watts para médios e um amplificador monofásico de 11.000 watts para os graves e subgraves.

Colocando o amplificador monofásico de 11.000 watts em “R e S” teremos 50A de pico. Com um dos amplificadores monofásicos de 5.600 watts e o amplificador monofásico de 1.200 watts em “S e T” teremos 30A de pico. E com o outro amplificador monofásico de 5.600 watts em “T e R” teremos 25A de pico.

Neste sistema a medição trifásica irá gerar um consumo de 33 KVA, pelo fato das fases “R e S” acusarem uma corrente de 50A. Embora seja um consumo “falso”, esse é o consumo legal que será cobrado do consumidor pela concessionária de energia.

Não há portanto alternativa para escapar desta cobrança, a não ser através da migração do sistema amplificação monofásico para o trifásico.

Imaginando a possibilidade de se utilizar o mesmo número de amplificadores e com as mesmas configurações de potência, apenas com a diferença destes possuírem fontes trifásicas, a medição e cobrança de energia por parte da concessionária passaria a indicar em cada fase 35A de pico, fazendo o consumo tarifado cair de 33kVA para 23,4kVA.

Isso significa finalmente se livrar de um acréscimo de 42% na conta de luz do local.

Segundo exemplo – no uso em trio-elétrico

Nos trios-elétricos de grande porte aparentemente não existem problemas de balanceamento das fases. Com tantos amplificadores (chegamos a ter e é bem comum a presença de 60 amplificadores instalados), é comum encontrarmos nas vias de grave e subgrave cerca de 50 amplificadores.

Em uma conta rápida, concluiríamos que o desbalanceamento não passaria de 8%. E a conta seria sempre válida, caso nosso trio estivesse sempre tocando em local aberto onde são usadas as suas quatro laterais. É só nesta condição que todos amps estariam sendo usados.

Mas não é sempre assim. Existem vários momentos e situações nos serviços prestados por trios-elétricos em que as condições são bastante diferentes ou variáveis. Vejamos uma a uma:

Situação 1: Uma rua ou percurso estreito onde as paredes ou obstáculos sonoros estão próximos. Neste caso as duas

laterais estão trabalhando atenuadas e a frente e o fundo estão sendo mais usados.

Nesta condição, a realidade do balanceamento entre as fases muda. O desbalanceamento sobe para 40%!

Situação 2: Uma rua ou percurso onde só temos parede ou obstáculos sonoros em um dos lados (esquerdo ou direito) . Neste caso uma das laterais esta funcionando, a outra esta atenuada e a frente e o fundo estão sendo mais usados. O desbalanceamento sobe para 50%!

Situação 3: Um trio esta de frente ou de costas para uma parede ou obstáculo sonoro. Neste caso a frente ou o fundo estão atenuados (o que esta de frente para a parede, por exemplo) enquanto o outro esta funcionando e as duas laterais estão sendo mais usadas , o desbalanceamento se mantém a 50%!

Situação 4: Só uma lateral funcionando e a outra fechada. Frente e fundo também fechados. Caso típico de comícios políticos etc, onde o trio toca parado. Esta é a pior condição, pois se precavendo das situações anteriores a distribuição de cargas não encontra uma solução viável e nosso desbalanceamento atinge incríveis 70%!

Isso significa uma capacidade geradora instalada típica de 380kVA onde se perde mais de 260kVA.

Mas se todas estas situações já são suficientemente problemáticas, lembramos da importante questão do equilíbrio de consumo dia / noite, onde durante o dia não temos iluminação cênica e a noite temos. Isso deve ser acrescentado como situação paralela que influencia em todas as situações anteriores.

Um grupo gerador necessário a um trio-elétrico do porte citado acima alimentando amplificadores monofásicos, tem um consumo de 100 litros por hora de show. Este mesmo trio teria dobrada sua autonomia, passando por festas inteiras sem precisar desligar para reabastecer sem paradas a cada 6 horas de carnaval na avenida, com a simples mudança para amplificadores trifásicos.

Hoje os trios sofrem uma grande crise por conta de espaço pois as exigências dos artistas e as comodidades requeridas tomam praticamente todo o grande espaço usado de outras formas ou que era desnecessário nos velhos tempos.

Como vemos, com o uso de amplificação trifásica é possível até triplicar a autonomia do grupo gerador e

dispensar o complicado, enorme e dispendioso sistema de dois geradores em trios elétricos de grande porte. O que também significa diminuir o tamanho dos tanques de combustível, seu consumo, a capacidade de geração e a emissão de poluentes. É solução geral para economia, espaço físico, desempenho, dificuldades técnicas, aumento de lucratividade e ainda ajuda o meio ambiente.

Da mesma forma, com amplificação trifásica, o trio estará em qualquer situação, como as já descritas, aproveitando combustível e capacidade geradora ao máximo e não somente em um caso.

Até então na cultura dos trios-elétricos era comum se brincar que todos eles precisavam ter na equipe um “Magaiver”, que era o sujeito responsável por ficar monitorando e resolvendo na marra e no improviso problemas de gerador em tempo real durante as apresentações de trios elétricos. Amplificadores trifásicos podem, além de tudo, finalmente permitir que o “Magaiver” suba para ver um pouco mais da festa.

CONCLUSÃO

Embora a geração de energia trifásica estivesse desde sempre disponível, não era possível aproveitá-la até então no mundo do áudio e se pagava um alto preço por isso. Essa realidade agora pode começar a mudar em todo o mundo e iniciar uma nova era em nosso mercado.

O impacto econômico disso em curto prazo para determinados profissionais da área, tem potencial para ser o maior já propiciado nos últimos anos por alguma inovação tecnológica.

O impacto para o planeta e a sociedade em termos energéticos e sustentáveis também pode, em escala global e em médio e longo prazo, vir a somar proporções de relevância ainda maior.

E se for calculado tudo que já se desperdiçou até hoje em recursos naturais e financeiros, ou o que se gerou de poluição por conta do uso de fontes monofásicas em redes ou geradores trifásicos na maioria dos casos, teremos a exata dimensão do quão importante, significativa e necessária se mostra uma migração para esta nova fase.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer a todos vocês, profissionais e amantes do áudio, nossos companheiros de trabalho que sempre nos incentivam a prosseguir. Agradecemos também ao terceiro Monteiro, o Samuel, pela colaboração com conteúdo, revisão e formatação dos computscritos.