

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Luis Henrique de Abreu Balbinot

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTOS

Professor Orientador: Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2014

LUIS HENRIQUE DE ABREU BALBINOT

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTOS

Projeto de Diplomação apresentado
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como parte dos requisitos para
Graduação em Engenharia Elétrica

Professor Orientador: Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

Luis Henrique de Abreu Balbinot

ANÁLISE DE SISTEMAS DE ENERGIA ININTERRUPTOS

Este projeto foi julgado adequado, fazendo jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação” do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma pelo Orientador e pela banca Examinadora

Orientador: _____

Prof. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS.

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS.

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre/RS.

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich, UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas/SP.

Prof. MSc. Paulo Roberto Eckert, UCS

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre/RS.

Porto Alegre, junho de 2014

RESUMO

O presente trabalho apresentará detalhadamente os diferentes Sistemas de Energias Ininterruptos denominados UPS, *Uninterruptible Power Systems*, e tem por objetivo apresentar as características de cada um para uma escolha apropriada ao executar um projeto. O estudo foi desenvolvido em razão da necessidade de aplicação da referida tecnologia dentro do Estádio Beira-Rio, na cidade de Porto Alegre, que será uma das sedes dos jogos de futebol da Copa do Mundo de 2014, no Brasil. Para tanto, e com o intuito de selecionar a máquina mais adequada às necessidades da obra de modernização do estádio será feita, primeiramente, uma análise das características de sistemas de energias ininterruptos. Após, serão comparados dois casos diferenciados por seus princípios de funcionamento. A opção final para a execução da obra foi a de duas UPS Dinâmicas, utilizando um sistema rotativo de acúmulo de energia, com 625 kVA.

Palavras-chave: Energia Ininterrupta, UPS, *No-break*, *fly-wheel*.

ABSTRACT

This work will present in detail the different energy systems called UPS, Uninterruptible Power Systems, which aim to present the features of each to an appropriate choice when running a project. The study was developed because of the need to application of the technology within the Beira-Rio Stadium in Porto Alegre, which will be one of the hosts of football matches of the 2014 World Cup in Brazil. To do so and in order to select the most suitable machine for the needs of the work to modernize the stadium will be, first, made a detailed analysis of the species of uninterruptible power systems. Two cases differentiated by their operating principles will be compared. The final option for the execution of the work was the two UPS dynamics, using a rotational system of stored energy, with 625 kVA.

Keywords: Uninterruptible Energy, UPS, No-break, fly-wheel.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FONTE DE ENERGIA ININTERRUPTA - UPS	12
2.1	SISTEMAS ESTÁTICOS	15
2.1.1	UPS <i>OFF-LINE</i>	16
2.1.2	UPS <i>LINE INTERACTIVE</i>	17
2.1.3	UPS <i>ONLINE</i> - DUPLA CONVERSÃO	19
2.2	SISTEMAS DINÂMICOS	21
2.2.1	TECNOLOGIAS DE UPS DINÂMICA.....	22
3	ANÁLISE DOS SISTEMAS APLICADOS	25
3.1	SISTEMA <i>ONLINE</i> 160 kVA	26
3.2	SISTEMA DINÂMICO 625kVA.....	30
4	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE CADA SISTEMA.....	34
4.1	CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS.....	34
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	35
4.3	CUSTOS	36
5	IMPACTOS AMBIENTAIS PRODUZIDOS PELA UPS	38
6	TESTES REALIZADOS COM A UPS DINÂMICA.....	41
6.1	TESTE DE OPERAÇÃO A PLENA CARGA.....	41
6.2	TESTE DE RESPOSTA DO GERADOR.....	42
6.3	ENSAIO FINAL DA UPS.....	44
7	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47
	ANEXO I.....	49
	ANEXO II.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Soluções adotadas para diminuir ou acabar com interrupções de energia. .	14
Figura 2 –UPS <i>off-line</i> , operando pela rede elétrica.....	16
Figura 3 –UPS <i>off-line</i> , operando pelo banco de baterias.	17
Figura 4 –UPS <i>line interactive</i> , operando pela rede elétrica.	18
Figura 5 –UPS <i>line interactive</i> , operando pelo banco de baterias.	19
Figura 6 –UPS <i>online</i> , operando pela rede elétrica.	19
Figura 7 –UPS <i>online</i> , operando pela pelo banco de baterias.	21
Figura 8 – Solução com UPS dinâmica.	22
Figura 9 – Sistema de UPS dinâmica com acoplamento mecânico direto.....	23
Figura 10 – Sistema de UPS dinâmica com acoplamento elétrico.	24
Figura 11 – UPS <i>Online</i> DELTA 160 kVA.....	26
Figura 12 – Eficiência da UPS, conforme carregamento.	27
Figura 13 – Comparação da área utilizada pela UPS DELTA com concorrentes.	27
Figura 14 – Variação da THD de entrada, com o aumento de carga.....	28
Figura 15 – Diagrama de funcionamento UPS Estática.	29
Figura 16 – UPS Dinâmica 625 kVA.	30
Figura 17 – Bloco estrutural da UPS Dinâmica.....	31
Figura 18 – Modo comum de funcionamento UPS Dinâmica.....	32
Figura 19 – Alimentação das cargas por energia cinética.	32
Figura 20 – “Modo Diesel”, gerador alimentando as cargas.	33
Figura 21 – Modelo de Células Fono-Absorventes, instaladas no local.....	36
Figura 22 – Planilha utilizada para levantar os custos de implementação.	37
Figura 23 – Exemplo de construção de uma bateria de chumbo-ácido.	39
Figura 24 – Teste do sistema com 100% da carga.....	42
Figura 25 – Interrupção de energia, sem carga.....	43
Figura 26 – Retorno da concessionária, sem carga.....	43
Figura 27 – Simulação da interrupção com 100% da carga.	44
Figura 28 – Retorno da concessionária com 100% da carga.	45

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CFTV – Circuito Fechado de Televisão

CPD – Centro de Processamento de Dados

DEC – Duração Equivalente de Continuidade

DIC – Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

FEC – Frequência Equivalente de Continuidade

FIC – Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora

FIFA - *Fédération Internationale de Football Association*

GBC – *Green Building Council*

GMG – Grupo Moto Gerador

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

PPCI – Projeto de Prevenção contra Incêndio

QTA – Quadro de Transferência Automática

SEP – Sistema Elétrico de Potência

THD – *Total Harmonic Distortion*

UPS – *Uninterruptible Power System*

UTI – Unidade de Terapia Intensiva

GRANDEZAS FÍSICAS

Sigla	Nome	Grandeza
A	ampére	Corrente Elétrica
dB	Decibel	Intensidade Sonora
Hz	hertz	Frequência
L	Litro	Volume
L/h	Litro por hora	Consumo de combustível
rpm	Rotações por minuto	Velocidade Angular
s	Segundo	Tempo
V	volt	Tensão Elétrica
VA	volt-ampére	Potência Aparente

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica, nestes tempos modernos do século XXI, se torna cada vez mais importante, elementar e indispensável na vida das pessoas, seja em suas casas, locais de trabalho ou lazer, iluminando ambientes, acionando equipamentos pesados em indústrias, aquecendo e refrigerando alimentos, enfim, muitas aplicações são encontradas no dia-a-dia.

Os avanços tecnológicos nos últimos séculos se mostraram de extrema importância para a sociedade. A partir do aumento do poder aquisitivo da população, o crescimento do consumo de energia elétrica é notável. O Brasil superou, no ano de 2007, a marca de 100 mil megawatts (MW) em potência instalada onde 75% de fonte hídrica e 25% de fonte térmica (ANEEL, 2010). Estatisticamente, o consumo de energia elétrica residencial, comercial e industrial aumentou, mesmo levando em consideração o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos atuais com maior eficiência energética.

Idealmente, as concessionárias de energia elétrica deveriam ser capazes de garantir o seu serviço sem interrupções ou sem distúrbios, porém, isto ainda não é possível. O suprimento de energia elétrica pode sofrer perturbações que a desviem significativamente da sua condição ideal. Surtos de tensão, perda momentânea de tensão e oscilações transitórias de tensão são algumas destas perturbações. Essas interrupções são inadmissíveis em algumas aplicações consideradas críticas como, por exemplo, nos sistemas de emergência hospitalar, de informática, industrial e de telecomunicação (LINARD, 2009).

Diante da necessidade de todos os setores que precisam de um fornecimento de energia elétrica contínua e de qualidade, os especialistas em eletrônica de potência propõem algumas soluções para essa problemática, uma delas conhecida internacionalmente como *Uninterruptible Power Supply*, UPS e popularmente, no Brasil, como *No-break* (BRANCO, 2005) e (RYAN e LORENTZ, 1997).

Atualmente, a complexidade no monitoramento de um Sistema Elétrico de Potência, SEP, pode ser comparada ao monitoramento de um paciente internado em uma Unidade de Terapia Intensiva, UTI, onde simultaneamente diversos parâmetros são observados a fim de avaliar o estado de saúde e, caso ocorram alterações que provoquem a instabilidade do paciente, imediatamente são tomadas providências para restabelecer as condições normais. Esta comparação pode ser aplicada a um SEP, levando em conta a forma como a energia

gerada é transmitida e consumida, continuamente, de modo a prover o perfeito funcionamento dos serviços essenciais, conectados a este SEP (GONÇALVES, 2008).

O monitoramento de parâmetros fundamentais faz-se necessário por toda a extensão de um SEP: geração, transmissão e distribuição. Na geração de energia elétrica, em usinas hidrelétricas, como exemplo, parâmetros como velocidade da turbina são monitorados e controlados constantemente. Na transmissão de energia, sendo necessária a ocorrência dos despachos de energia gerada, parâmetros como o fluxo de potência das linhas de transmissão são monitorados. Na distribuição, parâmetros como níveis de tensão e proteção devem ser monitorados.

Com o surgimento de medidores de energia capazes de monitorar parâmetros como energia ativa, reativa, fator de potência, formas de onda de tensão e corrente, transitórios e espectros harmônicos de tensão e corrente, fica mais simples analisar os fenômenos existentes e a interação desses com todas as cargas conectadas tanto em um SEP quanto em uma instalação elétrica de uma simples habitação.

Assim, com o crescente número de pesquisas relacionadas ao desempenho de cargas lineares e não-lineares frente a estes fenômenos, torna-se possível entender o comportamento de uma determinada carga, como uma UPS, quando a mesma sofre um transitório impulsivo ou é alimentada por uma forma de onda de tensão com presença de harmônicos (GONÇALVES, 2008).

A motivação deste trabalho se deu devido ao vasto mercado de UPS existente hoje em dia e um pioneiro estudo comparativo entre dois distintos modelos de UPS, dinâmica e estática, de grande porte, aplicadas em diferentes casos.

Trabalhar dentro da obra do Estádio Beira-Rio, a qual possui um sistema de UPS dinâmica instalado, fez com que surgisse uma curiosidade no estudo dessa máquina e aprender a razão pela qual foi escolhido o sistema dinâmico e não o estático, neste caso.

O estudo das máquinas elétricas é importante para aprimorar cada vez mais a eficiência dos equipamentos a fim de promover um uso consciente da energia elétrica no mundo, promovendo a sustentabilidade.

O objetivo, com a comparação entre os diferentes modelos deste sistema, é promover o uso da UPS mais adequada, a partir de um estudo de viabilidade econômica, energética e ambiental, avaliando também a eficiência da máquina utilizada dentro de sua aplicação.

O trabalho está subdividido em cinco capítulos, sendo descritos a seguir:

O capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o tema proposto, motivação, relevância e objetivos para o desenvolvimento deste trabalho.

No capítulo 2 encontra-se uma revisão bibliográfica sobre a UPS. Os modelos existentes e suas aplicações.

No capítulo 3 será dado enfoque ao projeto apresentado no Estádio Beira Rio, em Porto Alegre, aplicando uma UPS estática, apresentando dados coletados para o estudo de carga apresentado, avaliando sua eficiência, da mesma forma aplicado à uma UPS dinâmica.

No capítulo 4 são apresentados os estudos realizados com os dois modelos de máquinas mencionados, demonstrando no detalhe cada caso, avaliando o correto funcionamento da UPS, tanto estática quanto dinâmica.

No capítulo 5 são apresentadas as necessidades ambientais que a obra do Estádio Beira-Rio deverá apresentar para a obtenção da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), o impacto ambiental causado pelo uso de baterias e a escolha final da UPS utilizada.

No capítulo 6 os relatórios de testes feitos na obra são analisados de forma a observar o correto funcionamento da UPS Dinâmica.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 FONTE DE ENERGIA ININTERRUPTA - UPS

Com a evolução da tecnologia e, principalmente, da indústria eletroeletrônica, os equipamentos eletrônicos estão presentes em todos, ou quase todos os setores da sociedade. Em setores essenciais à sociedade, tais como: telecomunicações, informática, saúde, transporte, financeiro, indústria e energia, há necessidade de que alguns equipamentos operem de modo adequado e ininterrupto, a fim de evitar falhas nos mesmos e possíveis danos aos consumidores (GONÇALVES, 2008).

A energia elétrica utilizada nas instalações elétricas não está livre de interrupções, falhas e distúrbios. Tais fenômenos estão presentes nas instalações elétricas internas e externas como, por exemplo, rede de distribuição de energia de uma concessionária. Portanto todo equipamento eletrônico está susceptível a estes problemas.

A variação de tensão é comum, principalmente em grandes centros como Porto Alegre, por exemplo, uma vez que a carga demandada na rede de distribuição varia no decorrer do dia, devido ao aumento do consumo em horários de pico, gerando uma queda da tensão nominal da rede.

Uma vez conectado a carga à rede de distribuição, a frequência da rede elétrica poderá sofrer com ruídos elétricos chamados de harmônicos de rede. Estes harmônicos são gerados por equipamentos. No ambiente elétrico atual, os harmônicos são gerados por transformadores de corrente alternada, CA, em um sinal contínuo em corrente contínua, CC. No processo de transformação são utilizados os retificadores que durante o processo geram os curtos-circuitos de comutação, que mesmo controlados, são ruídos que acabam distorcendo o sinal fundamental de tensão da fonte (TOSSI, 2010).

Um diferente tipo de distúrbio, menos comum, mas muito prejudicial é o chamado pico de tensão ou descarga elétrica, também conhecido como transiente de tensão. Este distúrbio pode ser gerado por algumas fontes, como manobras de cargas reativas partidas e paradas ou frenagens de grandes motores, descargas atmosféricas diretas na rede elétrica ou na proximidade de linhas de transmissão, por indução (TOSSI, 2010).

A Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, regulamentou indicadores de qualidade no fornecimento de energia elétrica a fim de monitorar a distribuição de energia no

Brasil, cobrando e multando as concessionárias que não estiverem de acordo com os requisitos mínimos necessários.

Os indicadores coletivos, o DEC, Duração Equivalente de Continuidade, registra quantas horas em média por ano o consumidor fica sem energia elétrica e o FEC, Frequência Equivalente de Continuidade, indica quantas vezes em média a luz faltou para os consumidores.

Além dos indicadores coletivos DEC e o FEC, os serviços prestados pelas empresas distribuidoras são avaliados por indicadores individuais, conhecidos como DIC, Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora e FIC, Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, que medem, respectivamente, a duração e a frequência das interrupções do fornecimento de energia em cada unidade consumidora. Esses números são detalhados pelas distribuidoras na fatura mensal de seus consumidores. Estas informações são repassadas pela ANEEL através do PRODIST Módulo 8, procedimentos de distribuição de energia.

Os indicadores DEC e FEC são calculados conforme abaixo (ANEEL, 2010):

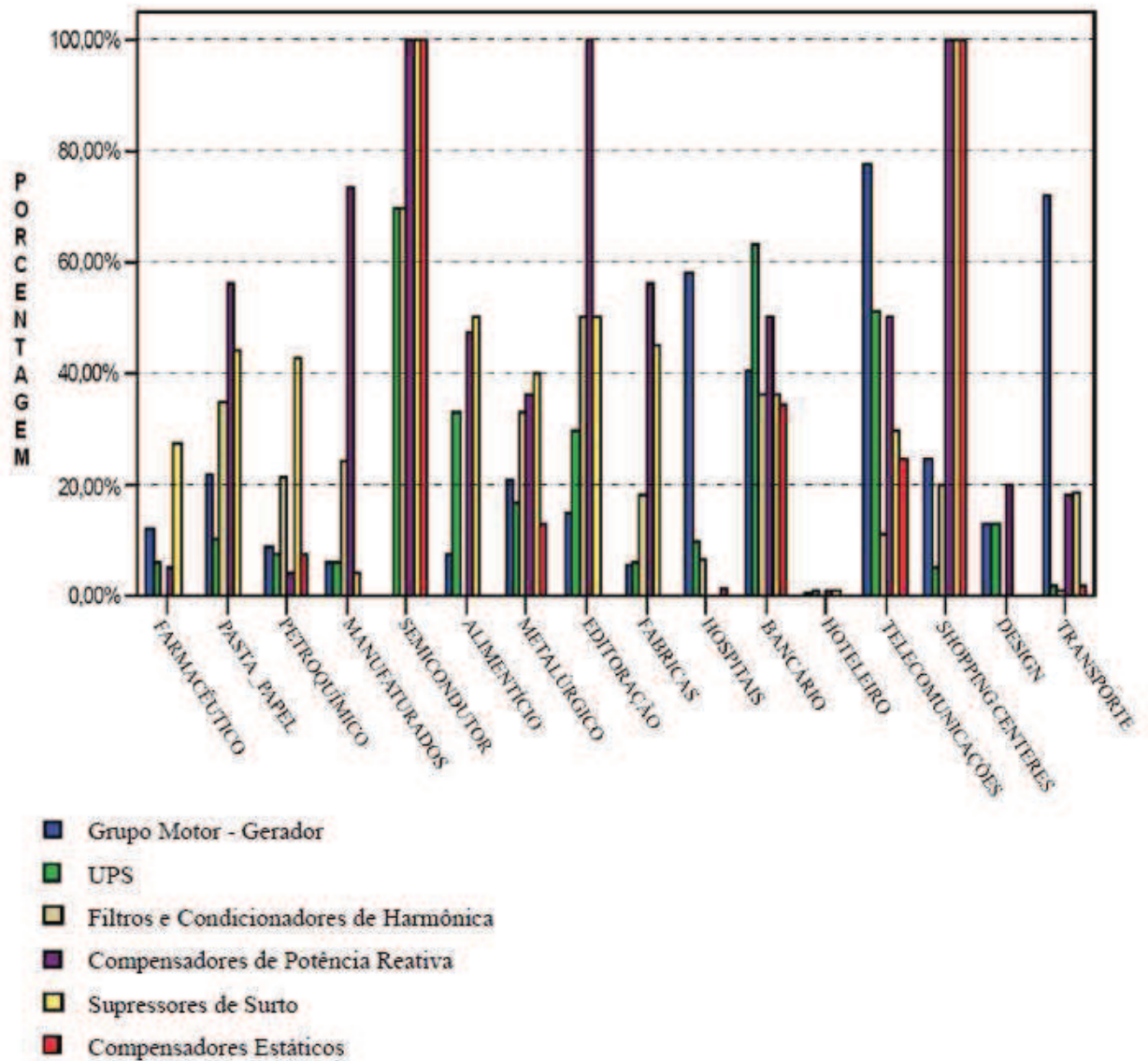
$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc}$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc}$$

Onde i representa o índice de unidades consumidoras atendidas e Cc o número total de unidades consumidoras faturadas.

Pesquisa realizada pelo *European Copper Institute* apresenta algumas soluções adotadas pelos diversos setores da sociedade para eliminar estes problemas, como mostra a figura 1.

Figura 1 – Soluções adotadas para diminuir ou acabar com interrupções de energia.



(Fonte: MANSON, 2007).

Pode-se verificar, pelos dados apresentados, que o segmento de UPS é utilizado pelo ramo da indústria que possui maior sensibilidade a sua produção, como o setor de semicondutores, porém ainda deverá ser desenvolvido sua aplicabilidade em setores mais pesados como o setor de transporte.

2.1 SISTEMAS ESTÁTICOS

A topologia mais encontrada comercialmente, que varia de pequenas cargas como um computador pessoal até grandes centros de telecomunicações, são as chamadas UPS Estáticas. Estes equipamentos estão divididos em três princípios construtivos e de operação conhecidos como UPS *off-line*, UPS *line interactive* e UPS *online dupla conversão*. Serão apresentados de forma genérica os componentes destes tipos de equipamentos.

Inicialmente um bloco retificador, composto de semicondutores, tem a função de converter uma tensão CA da rede elétrica em tensão CC o qual irá servir de fonte para a alimentação das baterias da UPS.

Os acumuladores elétricos são compostos por conjuntos de baterias ligadas em série de modo a atingir o valor de tensão CC desejado. Possuem a função de armazenamento de energia elétrica a ser utilizado no momento de uma falha da rede alimentadora.

Um inversor também é instalado com a função de converter a tensão CC, proveniente dos bancos de bateria, em sinal senoidal com valor nominal de tensão e frequência compatíveis com o equipamento a ser protegido. Composto por semicondutores, transistores de potência de chaveamento rápido, como os IGBT, realizando um chaveamento superior a 60 Hz.

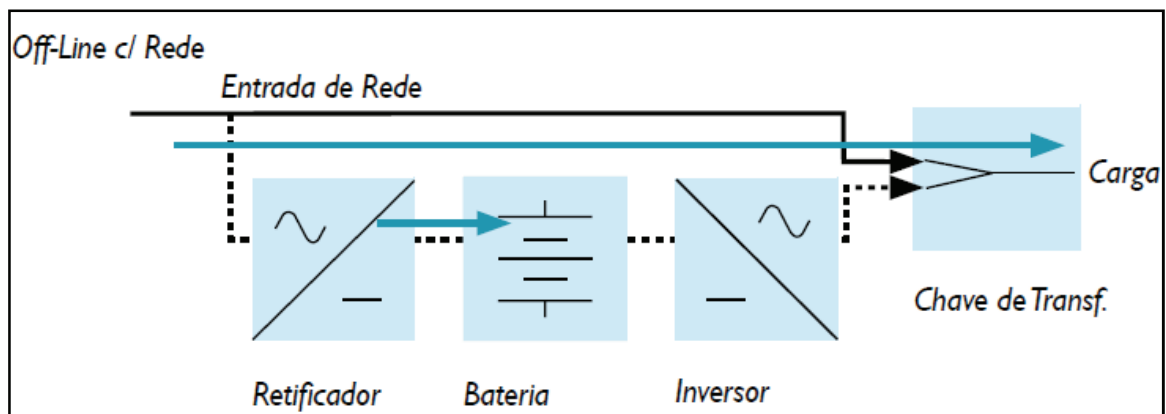
O regulador de tensão, existente nas topologias *off-line* e *line interactive*, possui a função de regular o valor eficaz de tensão da rede elétrica para um valor nominal estabelecido previamente. Da mesma forma, nas topologias *off-line* e *line interactive* é encontrado um conjunto de chaves de transferência que possui a função de realizar o chaveamento entre fontes de rede ou *back up*. Este chaveamento mecânico tem um tempo aproximado de 4 ms a 8 ms.

Na topologia dupla conversão existe uma chave estática *by pass* responsável por realizar a transferência entre a energia suprida à carga pelo inversor para a rede elétrica reserva, sem interrupção, formada por tiristores em antiparalelo.

2.1.1 UPS OFF-LINE

No diagrama de blocos da figura 2, verifica-se que a energia elétrica da rede alimenta os blocos de chave de transferência e também do bloco retificador. A energia elétrica da rede alimenta a carga sem nenhum tratamento, ou seja, sempre que a rede elétrica tem seus parâmetros dentro das condições especificadas pelo fabricante da UPS é esta energia que alimenta a carga (TOSSI, 2010).

Figura 2 –UPS *off-line*, operando pela rede elétrica.



(Fonte: TOSSI, 2010).

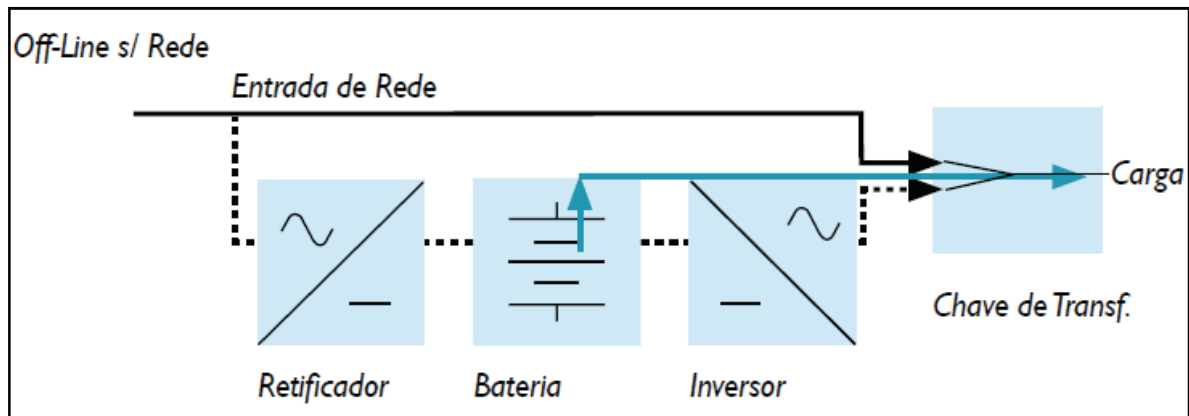
O retificador retifica esta tensão CA e alimenta o banco de baterias para que este esteja sempre com sua capacidade máxima no momento em que for solicitado. Neste tipo de UPS, o retificador possui capacidade bastante limitada e normalmente carrega um banco de baterias com autonomia máxima de 15 minutos a 100% da potência nominal de carga e em dez horas se ela estiver totalmente sem carga.

Quando a tensão sai dos parâmetros pré-especificados, o inversor passa a chavear a energia proveniente das baterias, gerando um sinal que pode ser quadrado, trapezoidal ou senoidal, com um valor eficaz igual à nominal da UPS.

A chave de transferência então comuta do ramo rede para o ramo inversor, com um tempo de transferência entre 4 ms a 8 ms, alimentando a carga com a energia armazenada nas baterias pelo tempo determinado (TOSSI, 2010).

A figura 3 demonstra um diagrama de blocos da UPS *off-line* operando pelas baterias.

Figura 3 –UPS *off-line*, operando pelo banco de baterias.



(Fonte: TOSSI, 2010).

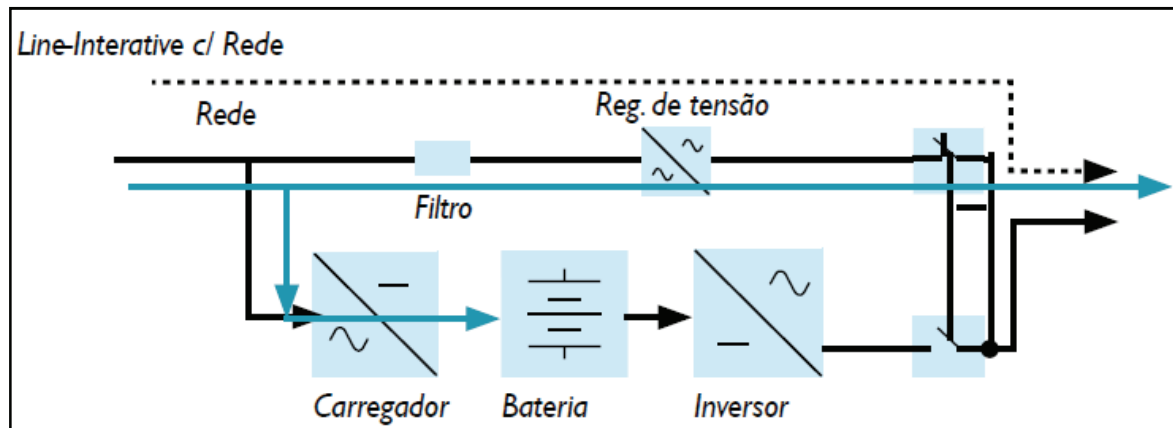
As UPS *off-line* normalmente são encontradas em potências pequenas, com entrada e saídas monofásicas. A maioria dos produtos disponíveis no mercado tem fator de potência de saída menor que 0,7, ou seja, uma UPS de 1 kVA fornece no máximo 700 W de potência útil (TOSSI, 2010) e (GONÇALVES, 2008). Esta topologia é o tipo mais básico disponível no mercado e é a opção mais indicada em diversas aplicações.

2.1.2 UPS LINE INTERACTIVE

A UPS da topologia *line interactive* é uma UPS bem mais elaborada que a *off-line*. Ela apresenta em seu ramo de alimentação via rede um regulador de tensão. Também tem como diferencial o fornecimento de um sinal senoidal puro, operando pelas baterias em caso de interrupção.

O diagrama de blocos da figura 4 mostra a energia da rede elétrica alimentando um filtro e o regulador de tensão, cuja função é corrigir o valor eficaz da tensão da rede elétrica para o valor especificado como nominal em sua saída. Este regulador normalmente tem capacidade de corrigir o valor de entrada em + ou - 10%, diminuindo ou elevando o valor de tensão neste *range*.

Figura 4 –UPS *line interactive*, operando pela rede elétrica.



(Fonte: TOSSI, 2010).

A forma de onda de entrada e de saída é a mesma. O sinal de entrada passa com todos os ruídos para a carga, pois o regulador não tem a capacidade de criar um sinal senoidal novo, mas apenas regular sua tensão eficaz. A rede também alimenta o retificador que apenas alimenta as baterias para mantê-las na carga máxima. As condições de recarga de baterias normalmente são parecidas com as da UPS *off-line*.

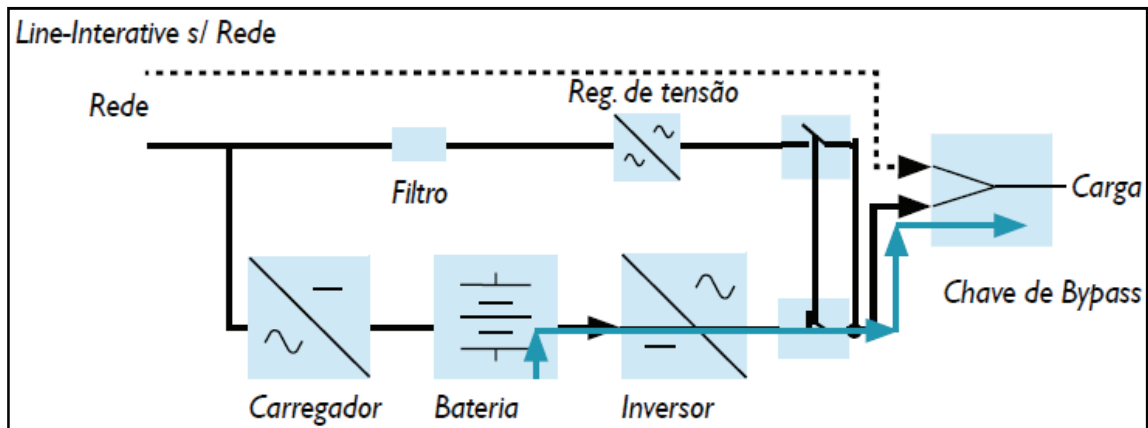
Quando a tensão da rede sai dos parâmetros pré-especificados como aceitáveis, o inversor passa a alimentar a chave de transferência com um sinal senoidal puro, regulado em tensão e frequência com a tensão CC armazenada nas baterias.

A figura 5 mostra o sistema da UPS *line interactive* atuando pelo banco de baterias, atuado pela chave de *by pass*, com uma onda senoidal na saída.

A chave de transferência comuta da condição rede para o inversor em um tempo de 4 ms. O tempo de *back up* é pré-especificado podendo ir facilmente de 1s a 300s (TOSSI, 2010).

A UPS *line interactive* é mais cara que a *off-line* e, normalmente, começa em 1 KVA indo até potências elevadas e com sistemas trifásicos (TOSSI, 2010) e (GONÇALVES, 2008).

Figura 5 –UPS *line interactive*, operando pelo banco de baterias.



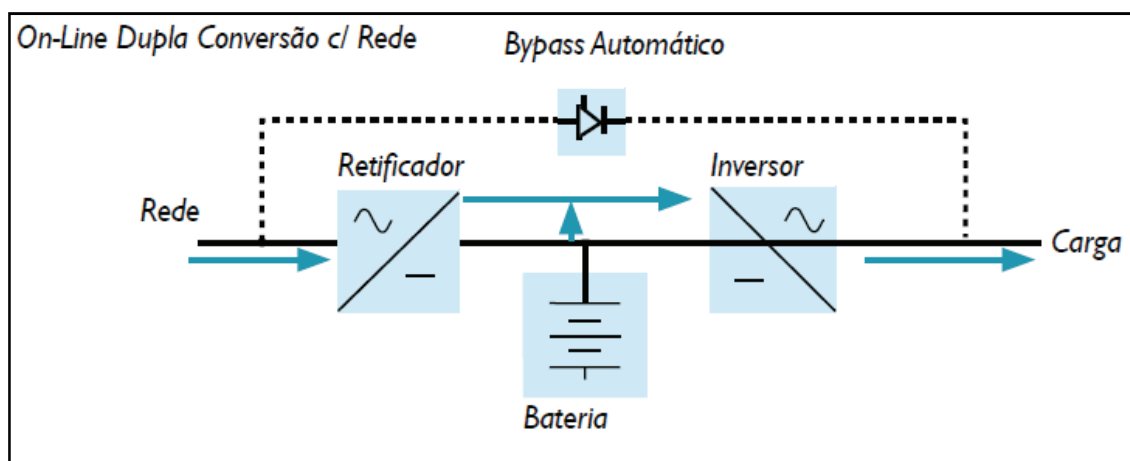
(Fonte: TOSSI, 2010).

2.1.3 UPS *ONLINE* - DUPLA CONVERSÃO

A UPS de dupla conversão tem este nome, pois a energia que é fornecida para a carga sempre passa pela UPS e sempre sofre duas conversões, ou seja, a energia da rede CA é convertida em CC pelo retificador e convertida novamente em CA pelo inversor, desvinculando por completo a energia da carga da energia da rede.

A figura 6 mostra um sistema de UPS *online*, operando pela rede elétrica.

Figura 6 –UPS *online*, operando pela rede elétrica.



(Fonte: TOSSI, 2010).

O sinal de entrada é retificado, passando a alimentar as baterias e a entrada do inversor, chamado de link CC. O inversor utiliza esta tensão CC e a inverte por meio do

chaveamento de seus IGBTs, gerando um sinal senoidal puro, sem ruídos, regulado em tensão e em frequência (BRANCO,2005).

As baterias recebem esta energia e ficam sempre carregadas. O bloco retificador fornece 100% da carga solicitada pelo inversor e também carrega as baterias em 90% de sua capacidade em, no máximo, 10 horas (TOSSI, 2010). O retificador normalmente tem uma capacidade de tolerar variações em valor nominal de tensão de -20% a +15% da tensão nominal de trabalho e de +ou - 10% em frequência. Ou seja, nas UPS dupla conversão, as baterias só são utilizadas em situações extremas ou em blecautes reais.

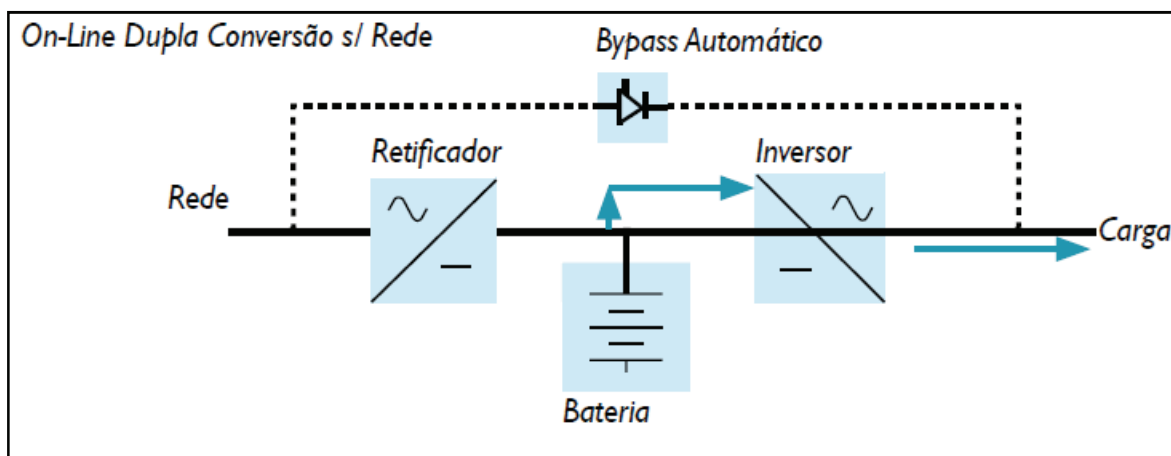
A forma de onda de saída continua idêntica quando existe a rede elétrica presente. Quando a rede elétrica tem seus valores inferiores ou superiores aos permitidos, o retificador se bloqueia e as baterias instantaneamente entram em descarga, mantendo o inversor alimentado e funcionando, ou seja, não existe tempo de transferência.

No momento em que a rede elétrica retorna às condições permitidas, o retificador se religa, com partida em rampa, ou seja, inicia sua condução lentamente chegando às condições nominais em até 10 segundos, evitando picos de partida para redes ou Grupo Moto Geradores, GMG. Geralmente, a UPS dupla conversão ainda dispõe de um ramo chamado de rede reserva de emergência com chave estática de transferência. Este ramo tem a função de permitir que, em caso de uma falha no ramo de dupla conversão, seja no inversor, seja nas baterias ou no retificador, a carga seja transferida a esta rede reserva sem a interrupção do fornecimento de energia.

Para que isso seja possível, o inversor gera o sinal de saída sempre sincronizado ao sinal presente na entrada do ramo reserva. Se este sinal está entre + ou - 10% da tensão nominal ou + ou - 1% da frequência, o inversor buscará sempre o sincronismo. Caso contrário, o inversor gera um sinal senoidal baseado em uma referência própria chamada de *clock* interno (BRANCO, 2005).

As baterias podem permanecer em estado de recarga ou não, mas, em nenhuma circunstância, o inversor poderá funcionar em paralelo com a rede reserva. A figura 7 demonstra o funcionamento deste equipamento sem o sinal da rede elétrica.

Figura 7 –UPS *online*, operando pela pelo banco de baterias.



(Fonte: TOSSI, 2010).

2.2 SISTEMAS DINÂMICOS

O emprego da UPS estática ou dinâmica deve ser uma opção de concepção de projeto e não de produto em si. Um projeto concebido para UPS estática é diferente daquele que venha a ser concebido para UPS dinâmica. Uma UPS estática pode ser simplesmente inserida entre a fonte de energia, normalmente um conjunto rede, gerador e a carga, nas diferentes configurações quanto à confiabilidade e à disponibilidade requeridas. Como a fonte ininterrupta de fato é baseada no banco de baterias, este é, junto ao inversor, o ponto crítico do sistema sujeito a falhas, exigindo permanentes cuidados e monitoramento.

UPSs dinâmicas são parte integrante do sistema rede e gerador, podendo ser conectados em sistemas de baixa ou média tensão e também em diferentes configurações. São encontradas comercialmente na faixa de potência de 400kVA até 2500kVA.

Desde a década de 1960, algumas instalações para computadores exigiam suprimento ininterrupto de energia. Não havendo soluções estáticas de grande porte, várias formas foram usadas, incluindo-se o fornecimento de energia por meio de grupos geradores a Diesel operando permanentemente com a rede da concessionária, mantida em paralelo permanente como backup do sistema.

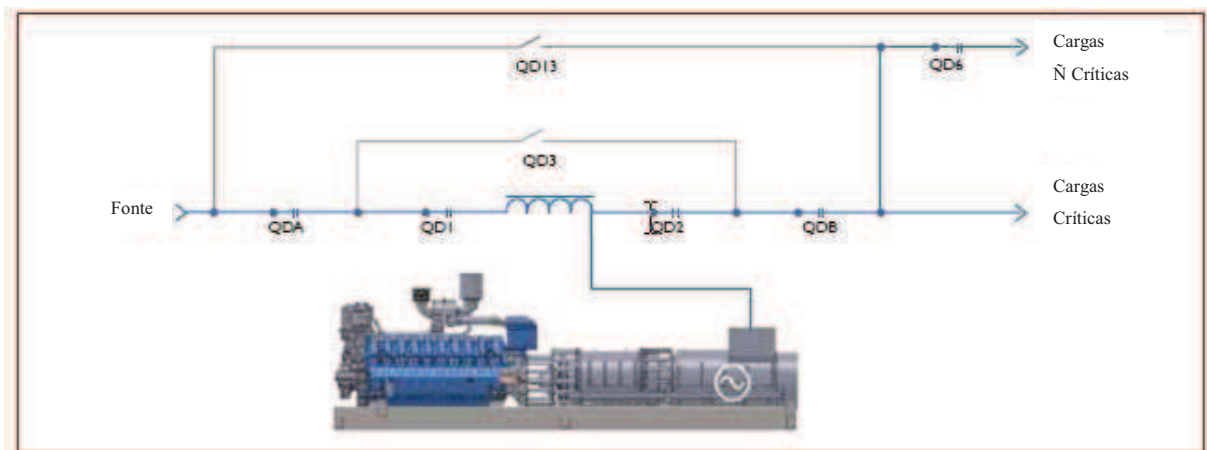
Com um elemento de armazenamento cinético, ou *fly-wheel*, permitiu-se que o motor a diesel pudesse ser mantido desligado e acionado somente na falta da rede. Sem nenhum

elemento eletrônico na parte de potência, sem introduzir nenhuma perturbação na rede, portanto, sem filtros e capacitores, os sistemas de energia ininterrupta são uma solução muito robusta e usada por mais de 50 anos.

2.2.1 TECNOLOGIAS DE UPS DINÂMICA

Nesta configuração, a rede é acoplada em paralelo com o alternador ou conversor rotativo, por meio de um reator que provê a adequada impedância e ajuste do ângulo de fase, neutralizando influências da carga quanto ao fator de potência e demais perturbações na entrada do sistema. A figura 8 ilustra este sistema.

Figura 8 – Solução com UPS dinâmica.



(Fonte: TOSSI, 2010).

O conversor rotativo, na presença de rede, mantém o bloco de inércia em rotação, estando nesta condição desacoplado mecanicamente do motor a diesel em repouso. Variações da rede são absorvidas pelo inversor, que opera como um compensador em paralelo com a rede.

No caso de uma interrupção, e sem a necessidade de qualquer tipo de manobra de transferência, o bloco de inércia mantém o conversor, girando em frequência constante, no mesmo instante em que o motor a diesel é acionado, colocado em rotação adequada e assim acoplado ao conjunto. Esta operação é realizada de diferentes formas em função da tecnologia do fabricante, mas o princípio básico é que o armazenador cinético (ou *fly-wheel*) liga-se ao conversor por um acoplamento magnético ou elétrico, permitindo manter a frequência da

alimentação independente da rotação do *fly-wheel*, decrescente de acordo com o esgotamento da reserva.

Quando for empregado moto gerador convencional, este recebe acessórios especiais de partida, como controles rápidos, sistemas de partida redundantes ou mesmo arranque auxiliar usando o próprio *fly-wheel*.

Se comparado com a solução clássica, rede, grupo moto gerador, tem-se um menor número de componentes com menor exposição às falhas provocadas por chaves de transferência, banco de baterias, transitórios das UPS estáticas. Fatores que serão estudados nos próximos capítulos.

Comercialmente são encontrados três diferentes tipos de tecnologias aplicadas a sistemas dinâmicos de armazenamento de energia:

- Sistema com acoplamento mecânico direto: Nesta configuração, o motor a diesel, o bloco de inércia e o alternador em si são montados sobre uma mesma base e eixo, formando um conjunto muito parecido com um grupo moto gerador, inclusive em termos de condições de projeto e *layout* das salas de máquinas, ilustrado na figura 9.

Figura 9 – Sistema de UPS dinâmica com acoplamento mecânico direto.



(Fonte: HITEC Power Protection).

- Sistema de acoplamento elétrico: Nesta configuração, o conjunto de conversão rotativo, ou como designado pelo fabricante “Power bridge”, é montado remotamente no mesmo gabinete do bloco de inércia. A vantagem está na independência quanto ao grupo gerador, que pode ser produto padrão de mercado. A figura 10 ilustra este tipo de equipamento onde o gabinete contém o bloco de inércia e o conversor, interligados eletricamente ao grupo moto gerador.

Figura 10 – Sistema de UPS dinâmica com acoplamento elétrico.



(Fonte: HITEC Power Protection).

- Sistema com inversor eletrônico: Também utiliza grupo gerador padrão, substituindo o que seria o conjunto de conversão rotativo por inversor de estado sólido. Sistemas com conversores rotativos, como citados anteriormente, são produzidos para alta capacidade, usualmente entre 1 MW a 2,5 MW, os de estado sólidos atendem a capacidade entre 200 kW a 1.000 kW (TOSSI, 2010) e (GONÇALVES, 2008).

3 ANÁLISE DOS SISTEMAS APLICADOS

Para haver uma avaliação do melhor sistema a ser usado na aplicação da UPS deve-se compreender inicialmente todas as necessidades que estarão envolvidas neste processo. Necessidades estas que vão desde o espaço físico a ser utilizado, a infraestrutura que deverá ser montada para a instalação do equipamento, a demanda de energia, o tempo que suporta a carga no sistema, entre outros fatores.

O Estádio Beira-Rio, na cidade de Porto Alegre, será palco de cinco partidas da Copa do Mundo de Futebol 2014. Em razão da importância do evento, o estádio foi objeto de uma grande obra de modernização cujos projetos que envolvem sistemas de energia e outras áreas da engenharia devem estar de acordo com as diretrizes impostas pela FIFA, órgão máximo do futebol no mundo.

Nessas diretrizes estão incluídos os sistemas de energia e todas as suas implicações que objetivam manter o sistema operando corretamente não só durante o espetáculo do futebol, mas, principalmente, sustentando todo o sistema de telecomunicações a ele ligado e que estará operando em tempo real, emitindo informações do estádio para o resto do planeta.

Precisamente, uma das implicações é a necessidade de um sistema ininterrupto de energia que esteja ligado a cargas críticas previamente estabelecidas e minuciosamente dimensionadas. Assim, o projeto elétrico do Estádio Beira-Rio estabeleceu aproximadamente 1,2 MVA de carga crítica, sendo esta distribuída entre os refletores de campo, salas de telecomunicações, sistema de alarme de incêndio e Centro de Controle Operacional.

A FIFA não especifica qual o sistema de UPS deverá ser usado, ficando a critério do projetista e do executor avaliar e decidir qual UPS se adapta melhor às necessidades e executar sua instalação, levando em consideração o estudo efetuado pelo o projeto.

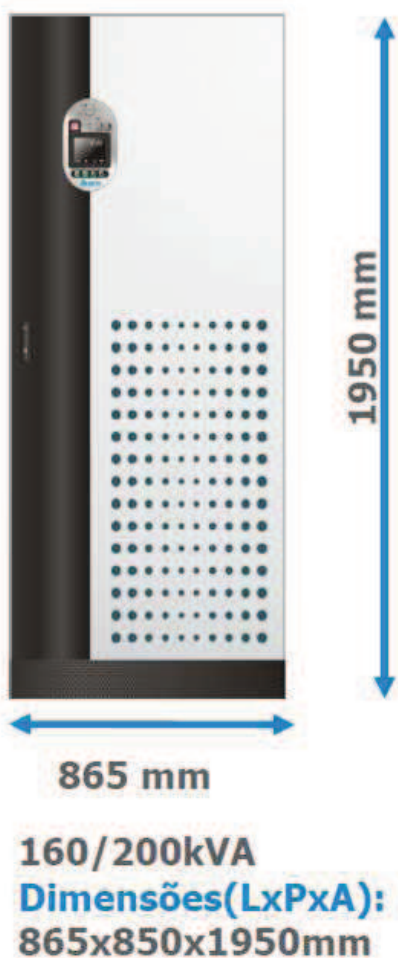
Sistemas já aplicados em outros estádios da Copa do Mundo e também em outros lugares serviram de base para uma avaliação completa por parte do projetista e do executor. Nesse contexto, o presente trabalho ilustrará duas alternativas estudadas, as quais se caracterizam como sistema ininterrupto de energia, diferenciadas por sua topologia: uma UPS estática e outra UPS dinâmica.

3.1 SISTEMA *ONLINE* 160 kVA

O primeiro sistema a ser analisado foi uma UPS *Online* dupla-conversão, sistema habitual, utilizando baterias. Foi solicitado à empresa DELTA Power Solutions, fabricante com sede em Taipei, Taiwan, o fornecimento de material para a análise técnica e comercial de seu sistema.

A solução proposta pelo fabricante seria utilizar dois sistemas em paralelo, com quatro UPS de 160kVA cada, totalizando oito equipamentos e 1,28MVA de carga.

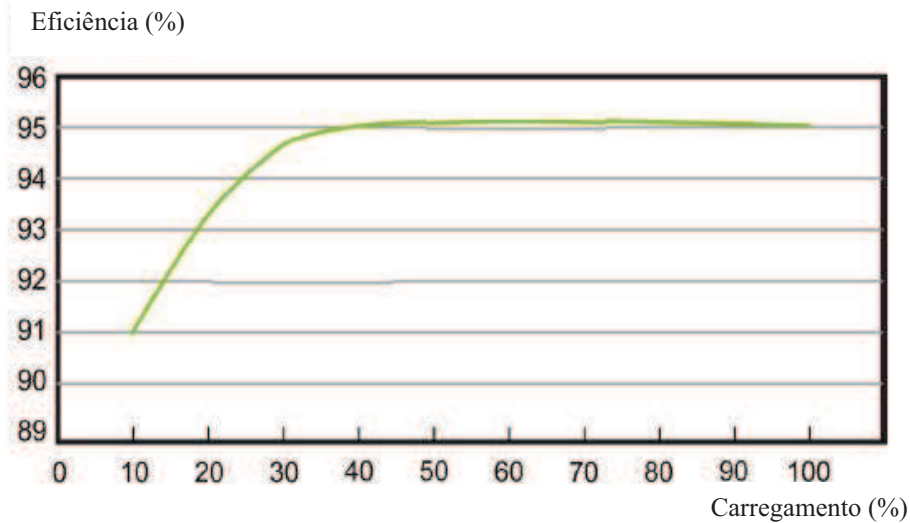
Figura 11 – UPS *Online* DELTA 160 kVA.



(Fonte: DELTA Power Solution).

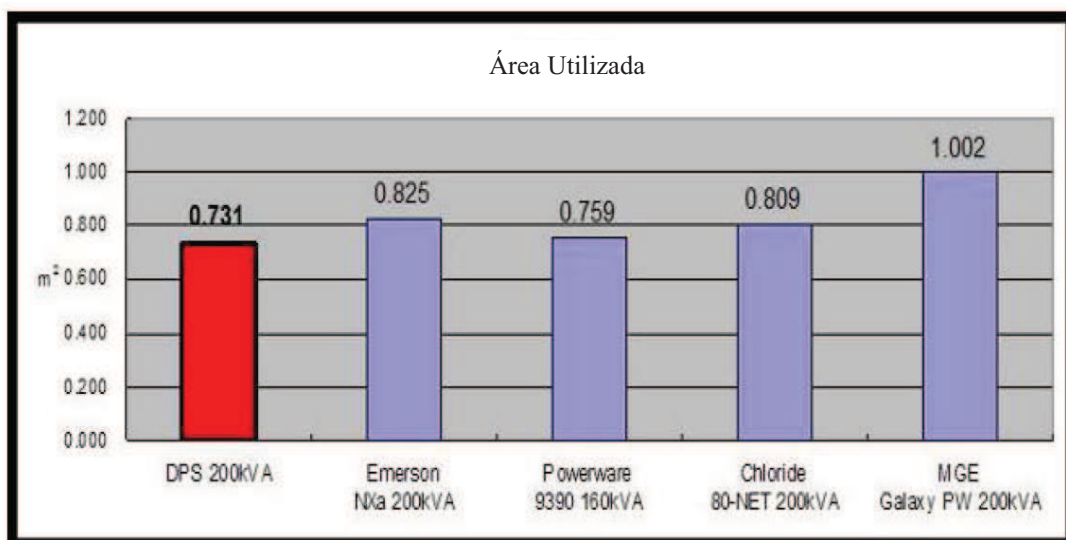
Os dados técnicos deste sistema, conforme catálogo do fabricante, no ANEXO I, serão apresentados a seguir. O rendimento deste equipamento, levando em consideração as perdas de energia pelo sistema de baterias, é de 95% com 100% da carga nominal em funcionamento. A figura 12 detalha o rendimento deste sistema com o acréscimo de carga.

Figura 12 – Eficiência da UPS, conforme carregamento.



Segundo dados do fabricante, cada UPS desta possui 865mm de largura, 850mm de profundidade e 1950mm de altura, muito parecido a um painel elétrico. O peso total de cada equipamento é de 721 kgf. A figura 13 compara a área utilizada por uma UPS DELTA com as demais UPS *Online*, concorrentes no mercado.

Figura 13 – Comparação da área utilizada pela UPS DELTA com concorrentes.



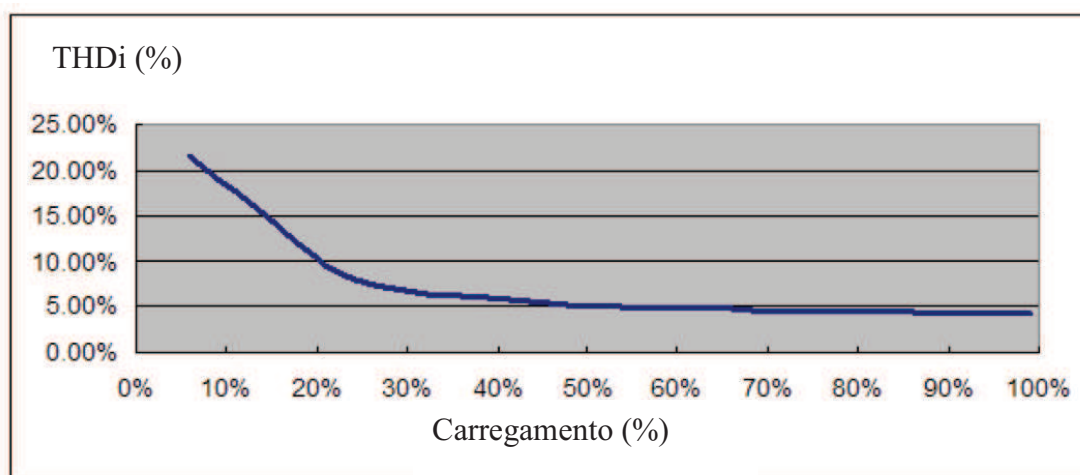
(Fonte: DELTA Power Solution).

Acoplado a este painel está o gabinete de baterias, com 40 baterias 12V/180Ah, em um quadro com 1950 mm de altura, 1600 mm largura e 865 de profundidade, pesando 2300 kgf cada. Lembrando que cada UPS necessita o banco de baterias acoplado, totalizando oito diferentes painéis e gabinetes de baterias.

A tensão de entrada desta UPS é de 380/220Vac, podendo também ser modificada para 400/230 Vac ou 415/240Vac. Este equipamento está calibrado para absorver variações na entrada de energia de -40% até 20% do valor nominal de tensão. A frequência na entrada pode ser 50 ou 60Hz, dependendo da frequência da rede.

Segundo o fabricante, a *Total Harmonic Distorsion*, THD da corrente de entrada, para o sistema a plena carga é menor que 5%, tendo um consumo de energia da rede considerado baixo. A figura 14 ilustra a variação da THD na corrente de entrada com a variação de carga aplicada.

Figura 14 – Variação da THD de entrada, com o aumento de carga.



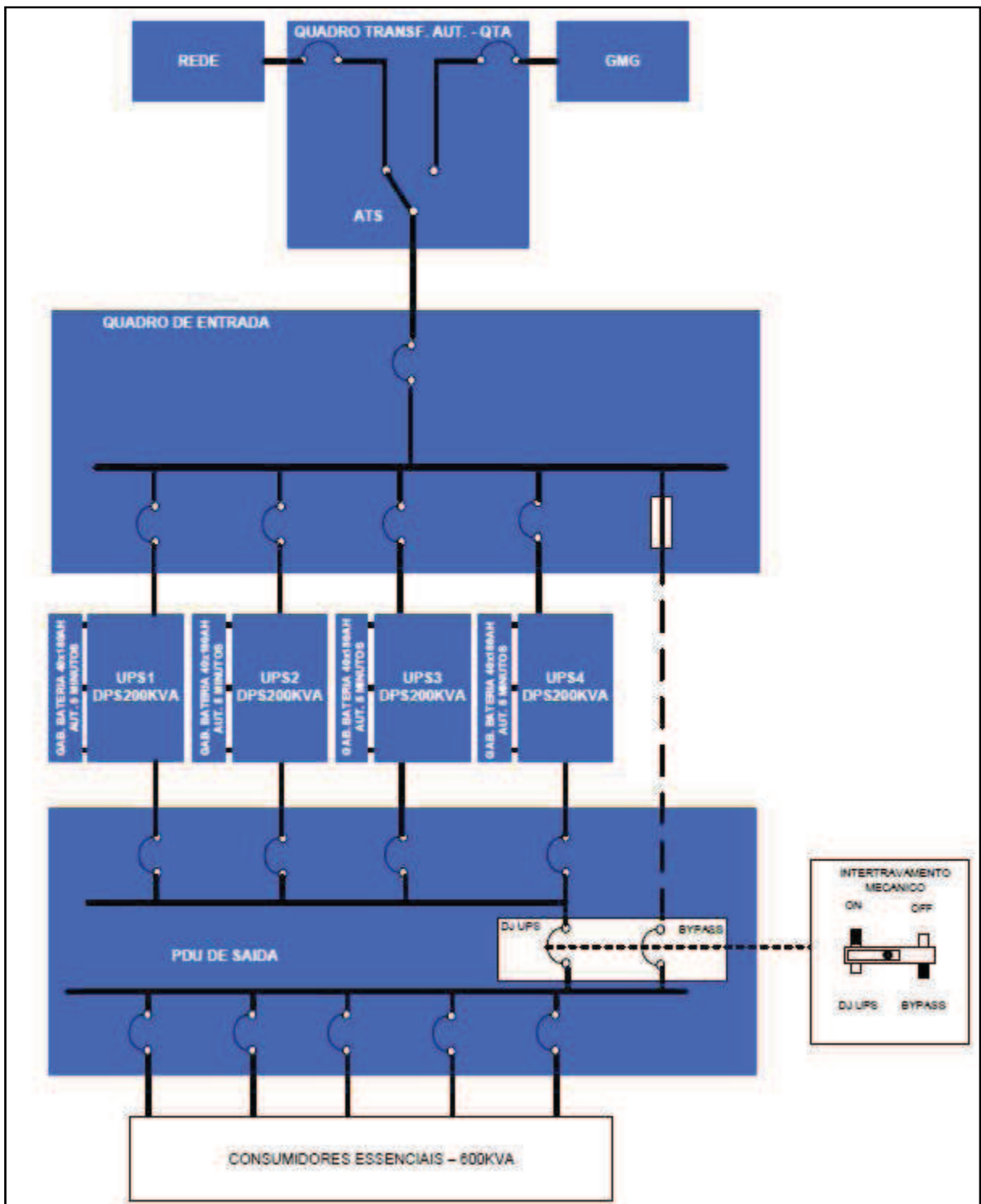
Da mesma forma, a tensão de saída desta UPS é de 380/220Vac, podendo também ser modificada para 400/230 Vac ou 415/240Vac com a THD da tensão de saída menor que 1,5%. A frequência de saída poderá ser operada a 50 ou 60Hz. O sistema poderá operar com uma sobrecarga de até 125% durante dez minutos e uma sobrecarga de até 150% durante 1 minuto.

As baterias possuem uma tensão nominal de 240Vdc e operam em uma faixa de temperatura de 15 a 25°C. Possuem um taxa de ruído audível de 70dB e grau de proteção IP20. Estas UPS podem ser encadeadas em até oito unidades, a fim de se obter uma expansão de potência.

A figura 15 ilustra o funcionamento desta UPS. O sistema com quatro banco de baterias é alimentado diretamente pela rede da concessionária e fornece energia diretamente para as cargas a ele conectadas, chamadas cargas críticas. Em caso de interrupção, um gerador, com potencia de 700kVA, entra em funcionamento, alimentando desta vez a UPS.

Esta transferência é feita por um quadro de transferência automática, QTA, acoplado ao conjunto. As baterias foram dimensionadas para suportar até 300 segundos de interrupção, até o gerador começar a fornecer novamente energia ao sistema ou o retorno da rede da concessionária.

Figura 15 – Diagrama de funcionamento UPS Estática.



3.2 SISTEMA DINÂMICO 625kVA

O outro sistema a ser analisado foi de uma UPS Dinâmica, utilizando a energia cinética da *fly-wheel* ao invés das baterias. A empresa HITEC Power Protection, com sede na Holanda, foi a responsável pela apresentação do produto, para análise técnica e comercial.

A solução proposta pelo fabricante seria utilizar dois sistemas em paralelo, com uma UPS de 625kVA cada, totalizando 1,25MVA de carga.

Figura 16 – UPS Dinâmica 625 kVA.



Os dados técnicos deste sistema, conforme catálogo do fabricante, no ANEXO II, serão apresentados a seguir. O rendimento deste equipamento é de 96% com 100% da carga nominal em funcionamento.

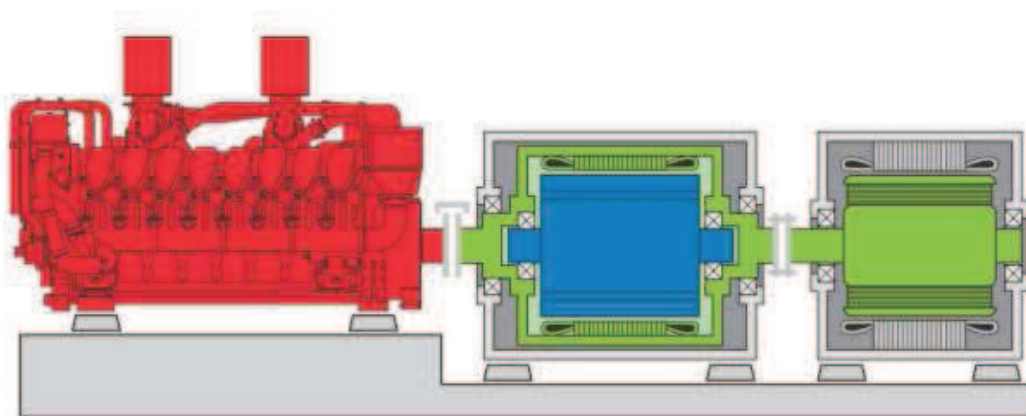
O sistema é composto de um alternador, um acumulador de energia cinética e um gerador, acoplados em um único bloco com 2100 mm de profundidade, 1600 mm de altura e 5900 mm de comprimento. O peso total da UPS é de 8000 kgf. A figura 17 ilustra as divisões da máquina. A esquerda é possível ver o gerador, o acumulador de energia cinética ao centro e o alternador a direita.

Este dispositivo responsável por armazenar a energia provida do movimento mecânico é chamado de *fly-wheel*. Resumidamente, nada mais é que uma roda que gira, excitada por um gerador, transformando energia elétrica em movimento ou energia cinética. Fabricada com materiais pesados como ferro e aço, sujeita a pouca força de atrito, possui uma alta capacidade de acúmulo de energia ao ponto que, em uma interrupção da excitação do rotor, a própria inércia da *fly-wheel* é capaz de suprir a carga conectada a ela, transformando energia mecânica em energia elétrica novamente.

A tensão de entrada desta UPS é de 380/220Vac. Este equipamento está calibrado para absorver variações na entrada de energia de -10% até 10% do valor nominal de tensão. A frequência na entrada pode ser 50 ou 60Hz, dependendo da frequência da rede.

Existem aplicações em que estas UPS operam acima de 24kV, satisfazendo, por exemplo, necessidades industriais que operam nesta faixa de tensão.

Figura 17 – Bloco estrutural da UPS Dinâmica.



(Fonte: HITEC Power Protection).

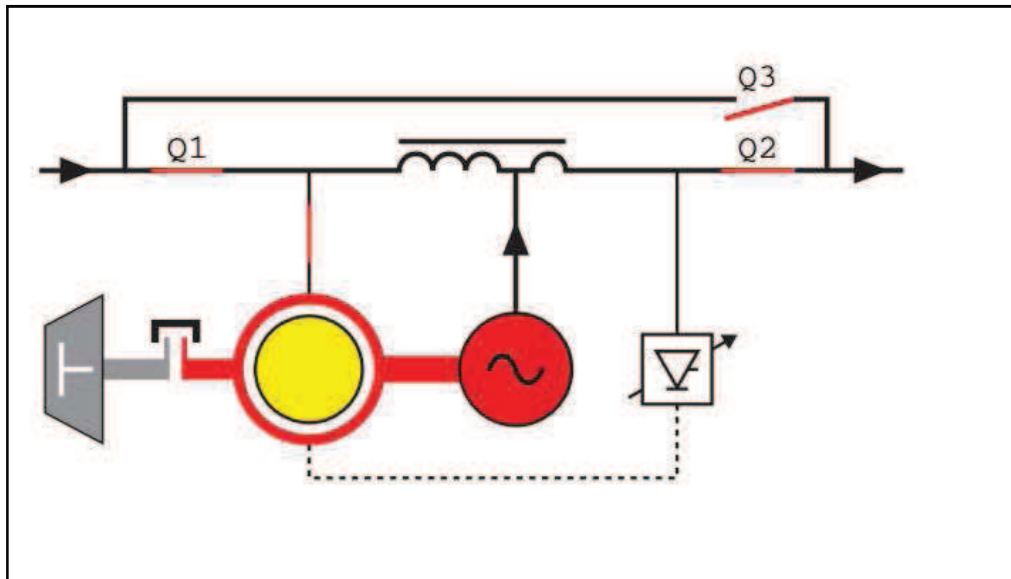
O valor da THD de tensão, na saída da UPS, é menor que 2,5%, a plena carga e a redução das frequências harmônicas é chega a 85%.

O motor diesel acoplado é da marca MTU, de 12 cilindros, modelo 12V 1600 G80S e o alternador é da marca Stamford, modelo HCI 534 F w14. O sistema opera em uma faixa de temperatura ambiente de 5 a 40°C.

O funcionamento da UPS Dinâmica consiste na alimentação pela rede de distribuição de um alternador, excitando o rotor externo da *fly-wheel* a uma velocidade de 1800 rpm. Através de dois pólos do enrolamento trifásico do rotor externo, um rotor interno atinge a velocidade de 3600 rpm, acumulando energia cinética. Independente de quaisquer interrupções que possam surgir, o alternador também funciona como um filtro, impedindo perturbações como harmônicas, vindas da rede.

A figura 18 representa o funcionamento em modo normal, onde as cargas são alimentadas diretamente pela rede (Q1) e a chave de *by-pass* (Q3) está aberta.

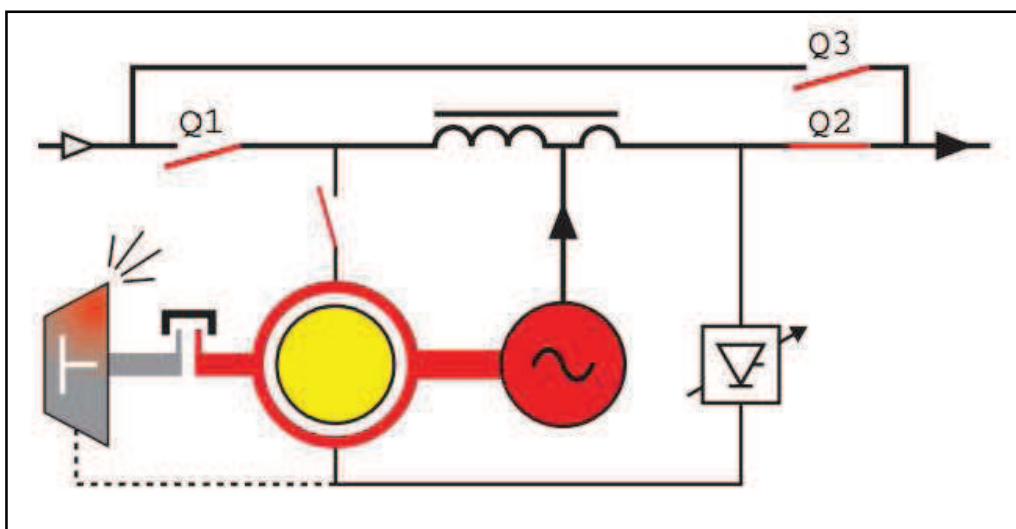
Figura 18 – Modo comum de funcionamento UPS Dinâmica.



(Fonte: HITEC Power Protection).

Em caso de uma interrupção de energia ou desvio no fornecimento pela rede, chave Q1 abre. Os acoplamentos de indução nos enrolamentos são então excitados, permitindo, assim, uma transferência de energia cinética armazenada no rotor interno para o rotor externo. A velocidade do gerador mantém-se constante em 1500/1800rpm. A figura 19 ilustra este procedimento.

Figura 19 – Alimentação das cargas por energia cinética.

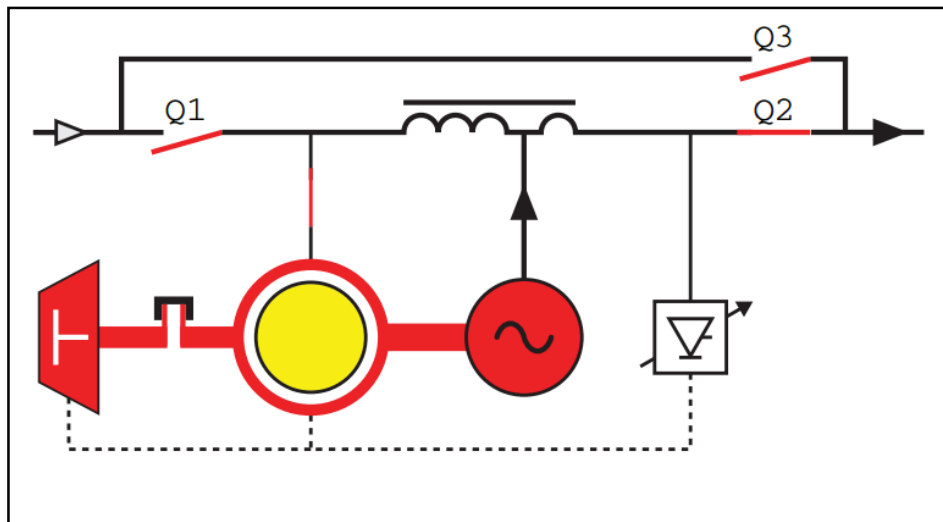


(Fonte: HITEC Power Protection).

Simultaneamente, o motor diesel, acoplado no bloco da UPS, começa a funcionar. Assim que atingir a rotação de 1800rpm este motor começa a conduzir o alternador para novamente excitar o enrolamento da *fly-wheel*, onde estão conectadas as cargas críticas. Dez segundos após a interrupção de energia, estas cargas já estarão sendo alimentadas pelo gerador.

Quando estiver alimentado pelo motor diesel, o enrolamento trifásico do rotor exterior é re-energizado fazendo com que o interior do rotor gire novamente até 3600 rpm. A velocidade do motor diesel é controlada para assegurar uma saída constante da frequência.

Figura 20 – “Modo Diesel”, gerador alimentando as cargas.



(Fonte: HITEC Power Protection).

Depois da energia elétrica, provida da rede, estabilizar, a UPS sincroniza e fecha Q1. O motor diesel diminui sua rotação, desacoplado do sistema. Ao mesmo tempo, o alternador volta a excitar o rotor externo da *fly-wheel* para a rotação de 1800 rpm.

O motor diesel irá continuar funcionando por um tempo, até reduzir sua temperatura e finalmente voltar para o modo de espera.

4 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE CADA SISTEMA

A fim de definir o melhor sistema para a aplicação no Estádio Beira-Rio, a equipe de projetistas e a equipe de execução se reuniu e analisou os tipos de UPS, apresentados anteriormente, quanto a diversos aspectos relevantes à sua aquisição. A necessidade, imposta pela realização dos jogos neste estádio, motivou o grupo a tratar o assunto com a maior responsabilidade, trazendo inovação, não somente para um estádio de futebol, mas no conceito de sistema ininterrupto de energia.

Serão apresentadas, a seguir, as características mais relevantes dos dois sistemas, ilustrando uma comparação decisiva para a escolha da melhor solução adotada na obra de modernização do Estádio Beira-Rio.

4.1 CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS

Primeiramente, é necessário avaliar um sistema ininterrupto de energia pela sua principal característica: uma fonte de energia estável, capaz de suprir a necessidade da carga dimensionada para o mesmo, quando da interrupção de fornecimento pela rede, durante tempo suficiente para o grupo moto gerador partir, acoplar e manter as cargas críticas em funcionamento.

Ambos sistemas satisfazem este fator, pois disponibilizam mecanismos suficientes para suprir a necessidade de alimentação de 1,2 MVA de cargas críticas conectados ao sistema ininterrupto.

O sistema de UPS Dinâmica apresentou uma eficiência, a 100% de carga, de 96% da relação tensão de entrada e saída, considerada excelente no ponto de vista geral da máquina, com um fator de potência de 0,8. Os testes finais e o relatório gerado serão analisados no capítulo 6.

O motor diesel, após acoplar no sistema, possui um consumo de combustível de 134 L/h, a plena carga, portanto com um reservatório de diesel de 1500 L, possui uma autonomia de mais de 11 horas.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Outro detalhe importante, para avaliação do sistema a ser adquirido, são as condições físicas de implantação, ou seja, estrutura civil, climatização do ambiente, dimensões das máquinas, peso, entre outros fatores que possam vir a causar problemas uma vez que o Estádio Beira-Rio passa por uma obra de modernização, apenas uma reforma superficial foi executada, as salas disponibilizadas para a implantação dos sistemas tiveram pouca, ou quase nenhuma alteração quanto à construção do estádio, 45 anos atrás.

Para tanto, a equipe de Engenharia Civil foi convidada a participar e opinar sobre qual sistema teria melhores condições de ser implantado, observando pelo aspecto construtivo de uma obra civil. Para ambos os sistemas de UPS, a sala já deveria ser projetada a fim de dividir o espaço com o grupo moto gerador instalado, o sistema de exaustão do motor diesel e também o sistema de controle, a ele conectado. Inicialmente houve a definição que seriam utilizadas duas salas no interior do estádio, que tivessem também acesso por fora, para manutenção, exaustão do motor diesel e outros serviços.

O sistema de UPS Estática, devido ao conjunto de baterias que juntamente seria instalado, necessitaria de climatização para uma operação dentro da faixa nominal de operação, 15 a 25°C e também a sala fosse a mais limpa possível, com o propósito de reduzir ao máximo a quantidade de resíduos que possam afetar de alguma forma o gabinete de baterias.

Além disso, o arranjo a ser feito para posicionar a UPS também deveria sofrer alterações na construção, pois deveria suportar além do peso de quatro painéis de 720 kgf mais quatro gabinetes de bateria com 2300 kgf cada, dispostos em diferentes pontos da sala. Por fim, mais dois geradores de 700kVA seriam instalados, finalizando com uma área total de 60m².

Para a UPS Dinâmica o método de instalação seria propriamente mais simples, necessitando apenas de 10m² para a acomodação de seu complexo, incluído o alternador, o acumulador de energia e o gerador. Durante a operação, o sistema trabalha em uma faixa de temperatura de 5 a 40°C, sendo desnecessária a climatização interna da sala, tampouco a preocupação com uma rígida limpeza no seu interior.

O que foi solicitado é para que não houvesse nenhum tipo de desnível no piso onde seria locado os 8000 kgf da máquina, pois o acumulador de energia, *fly-wheel*, poderia perder o sincronismo, perdendo também a energia cinética acumulada, caso trabalhasse desnivelado.

A questão do ruído produzido por uma UPS Dinâmica é maior, cerca de 90dB, contra 70dB produzido por uma estática, porém foi instalado um difusor sonoro, chamado de Células Fono-Absorventes, na sala com o objetivo de diminuir o desconforto causado ruído da máquina.

Figura 21 – Modelo de Células Fono-Absorventes, instaladas no local.



Para a UPS Estática também seria necessário um projeto de PPCI mais elaborado, diferentemente do que já havia sido projeto junto com a equipe de engenharia civil.

4.3 CUSTOS

A principal característica que leva a escolha do sistema é, sem dúvida, o custo total para a implantação e operação. Devido ao baixo custo da obra do Estádio Beira-Rio, o sistema escolhido deveria se encaixar no orçamento programado, cerca de R\$ 3 milhões.

Cada detalhe seria importante e poderia aumentar ou diminuir o valor final da implantação. Foram avaliados também a compra dos dois geradores, que seriam acoplados de forma paralela a UPS, além de dois geradores que fazem parte da UPS Estática. O custo dos acessórios, no qual estão incluídos todo o material de controle da UPS, painéis elétricos, bombas de combustível, QTA, foram levantados.

O custo da montagem do sistema, apesar de serem dois meios de instalação completamente diferentes, foi apontado de maneira idêntica para não pesar sobre a

5 IMPACTOS AMBIENTAIS PRODUZIDOS PELA UPS

De nada serve uma análise técnica e econômica para aprovar a viabilidade de implantação de um sistema se não houver também um estudo rigoroso do impacto ambiental por ele causado.

A obra de modernização do Estádio Beira-Rio possui certificação LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*, um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, e possui o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações.

Existem pré-requisitos que fazem parte das orientações descritas na LEED referentes à área de energia e sistemas:

- Comissionamento adequado das instalações elétricas do empreendimento, verificando se os sistemas instalados estão de acordo com os requisitos de projeto. Os benefícios incluem redução do uso de energia, custos operacionais mais baixos, redução da manutenção posterior e aumento da produtividade e do desempenho;

- Desempenho mínimo energético, estabelecendo um nível de eficiência dos sistemas reduzindo impactos ambientais e econômicos associados ao uso excessivo de energia, também é avaliado a busca para desempenhos energéticos acima do requisito mínimo, buscando sempre a máxima eficiência do sistema utilizado.

- Gestão dos sistemas de refrigeração, eliminando a emissão de gás refrigerante para a atmosfera reduzindo a destruição da camada de ozônio;

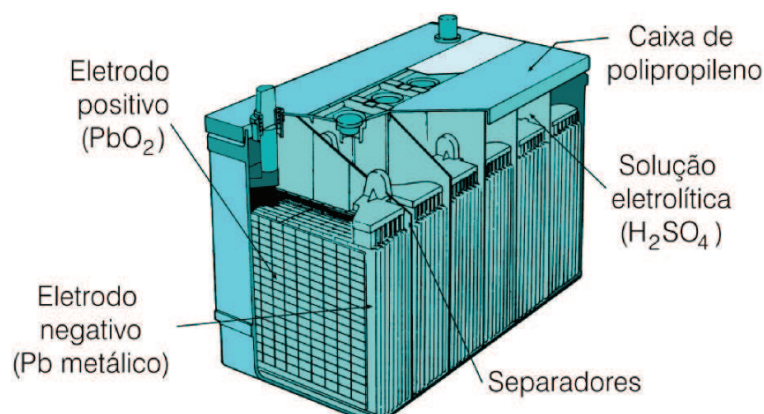
- Utilização de um sistema supervisor capaz de monitorar o consumo de energia, avaliando a eficiência dos sistemas em tempo real, bem como sistemas de refrigeração, reduzindo a emissão de gases. É solicitado que este sistema de controle possa intervir em máquinas, iluminação e ar condicionado, através de um controle de automação, provocando assim um controle de liga/desliga de qualquer parte monitorada.

- Estudo e utilização de energias renováveis reduzindo os impactos ambientais e econômicos causados pela utilização de combustíveis fósseis.

As baterias utilizadas para armazenamento de energia, no sistema de UPS Estática apresentada, são produzidas com células de Chumbo-Ácido, onde o anodo o chumbo (Pb), o catodo óxido de chumbo (PbO_2) e o eletrólito uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Na sua construção o anodo e o catodo são placas retangulares planas, dispostas e interligadas alternadamente, com separadores de material não condutor, imersas em solução de ácido sulfúrico. A figura 23 ilustra esta construção.

Figura 23 – Exemplo de construção de uma bateria de chumbo-ácido.



(Fonte: Sociedade Brasileira de Química).

O chumbo e seus compostos estão associados a disfunções no sistema nervoso humano, problemas ósseos e circulatórios. Devido a sua baixa solubilidade, a absorção se dá por via oral ou respiratória. Crianças são mais suscetíveis à problemas de contaminação por causa da relação de contaminação por peso, como também estarem em fase de desenvolvimento dos sistema neurológico e pelos hábitos de higiene pouco sedimentados. O chumbo se encontra na natureza acumulado em minas como resultado dos processos de diferenciação que ocorreram durante a evolução do planeta.

Devido a bateria do sistema de UPS Estática ser do modelo não selada, requer manutenção periódica, verificando o nível de água, que é produzida pelas reações, pelo menos uma vez ao ano, podendo ter uma vida útil de no máximo 4 anos.

Uma grande maioria das baterias exauridas já é recolhida pelos fabricantes nacionais para recuperar o chumbo nelas contido, uma vez que o Brasil não dispõe de minas deste metal e o seu preço é relativamente alto no mercado internacional. O maior problema está no

método de recuperação usado pelas empresas, já que é, quase sempre, inadequado. O método mais usado ainda é o pirometalúrgico, em vez do eletrodrometalúrgico, o que termina contaminando a atmosfera com óxidos de enxofre e com chumbo particulado.

Em contrapartida, a UPS Dinâmica proporciona o reaproveitamento de energia gerada por movimento mecânico, energia cinética acumulada na *fly-wheel*, portanto energia limpa, sem processos químicos atrelados. Possui uma vida útil de mais de 20 anos, realizando as devidas manutenções preventivas.

Mesmo tendo um custo 16% maior, estando dentro do orçamento previsto para a implantação, a UPS Dinâmica seria fornecida, em sua totalidade, por um único fornecedor, uma vez que o bloco contém o alternador, *fly-wheel*, e o gerador já no sistema estático o fornecimento da UPS e os bancos de baterias seriam de responsabilidade da DELTA, porém seria necessário procurar outro fornecedor para o grupo moto gerador que é acoplado, juntamente com um QTA, à máquina.

Por fim, foi decidido que a máquina rotativa de acumulo de energia, a UPS Dinâmica, como sistema ininterrupto de energia para o Estádio Beira-Rio, pela inovação tecnológica a ser aplicada neste meio, atrelado a diminuição dos impactos ambientais que ela produz. Apenas em Santiago, no Chile, existe uma UPS Dinâmica de mais de 200kVA instalada. Isto comprova que o uso de sistemas a bateria, o qual agride o meio ambiente severamente, não é a única alternativa para a alimentação ininterrupta de cargas críticas.

6 TESTES REALIZADOS COM A UPS DINÂMICA

Após a conclusão da instalação física das duas UPS Dinâmicas, a empresa STEMAC foi contratada para realizar o comissionamento e os testes de funcionamento do sistema, interligando com a rede definitiva do estádio, juntamente com a fabricante da UPS, a empresa HITEC.

Foi contratado um banco de carga, com 500 kVA, para simular a carga crítica do estádio. Por se tratar somente de cargas resistivas, este banco de cargas não traria nenhuma variação no fator de potência da carga, o que não ocorre quando a UPS é conectada ao sistema elétrico do estádio.

Foram 15 dias entre o começo das montagens e a entrega final do sistema operando nas condições ideais. Este capítulo irá analisar o relatório elaborado pela HITEC, apontando as condições de operação submetidas ao sistema e sua resposta.

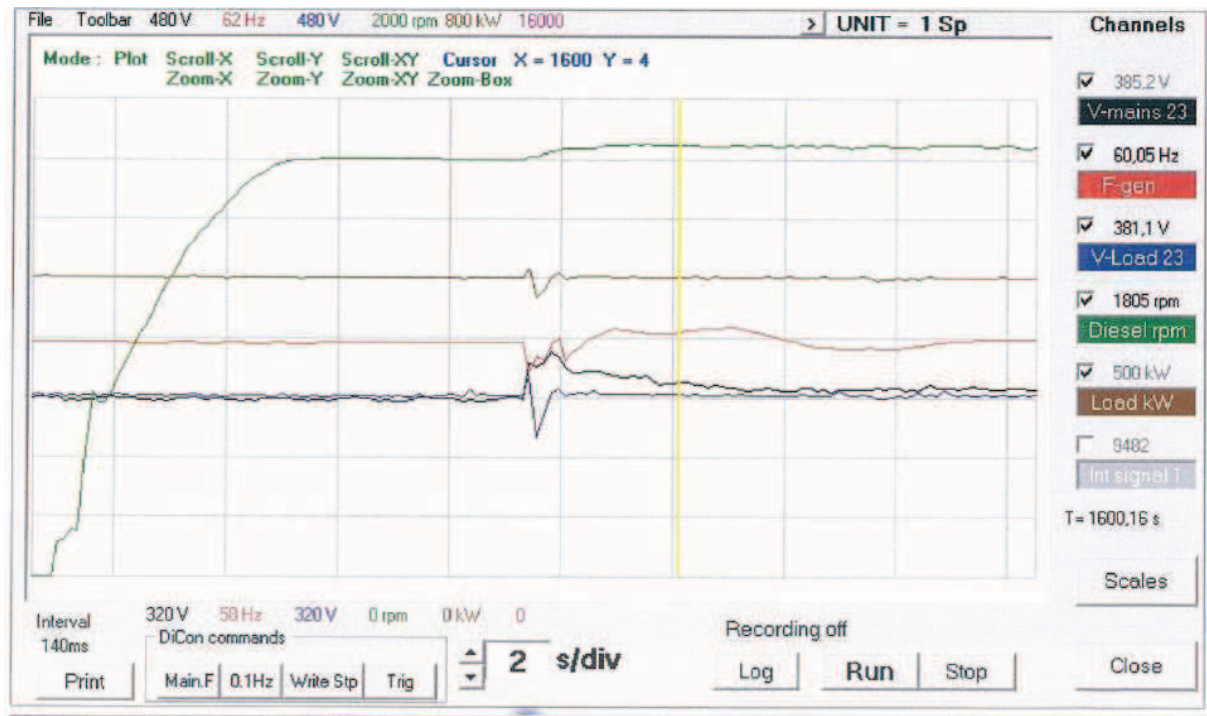
Em todas as figuras apresentadas neste capítulo os valores mensurados pelos canais do osciloscópio utilizado são ilustrados, juntamente com as curvas em diferentes cores, onde o valor “*Load kW*”, em marrom, é o valor do banco de cargas acoplado na UPS, 500kVA, “*Diesel rpm*”, em verde é a rotação do motor diesel acoplado a UPS, “*V-Load 23*”, em azul, é a tensão de linha aplicada ao banco de carga, “*F-gen*”, em vermelho, é a frequência do sinal aplicado ao banco de cargas e “*V-mains 23*”, em preto, é a tensão de linha da concessionária na entrada da rede de distribuição.

6.1 TESTE DE OPERAÇÃO A PLENA CARGA

O primeiro teste foi realizado para verificar o funcionamento do motor a diesel, quando o mesmo identifica a interrupção da concessionária, começa a funcionar e quando atingir 1800 acopla na *fly-wheel* a fim de manter a rotação de 1800 rpm.

Neste caso não houve interrupção da concessionária de fato, porém o sistema foi forçado a operar e acoplar o motor diesel.

Figura 24 – Teste do sistema com 100% da carga.



Pode-se observar na figura 24 que não houve a interrupção de energia, porém o QTA foi manipulado manualmente para que a UPS procurasse o motor diesel como fonte de energia, a fim de não perder a rotação.

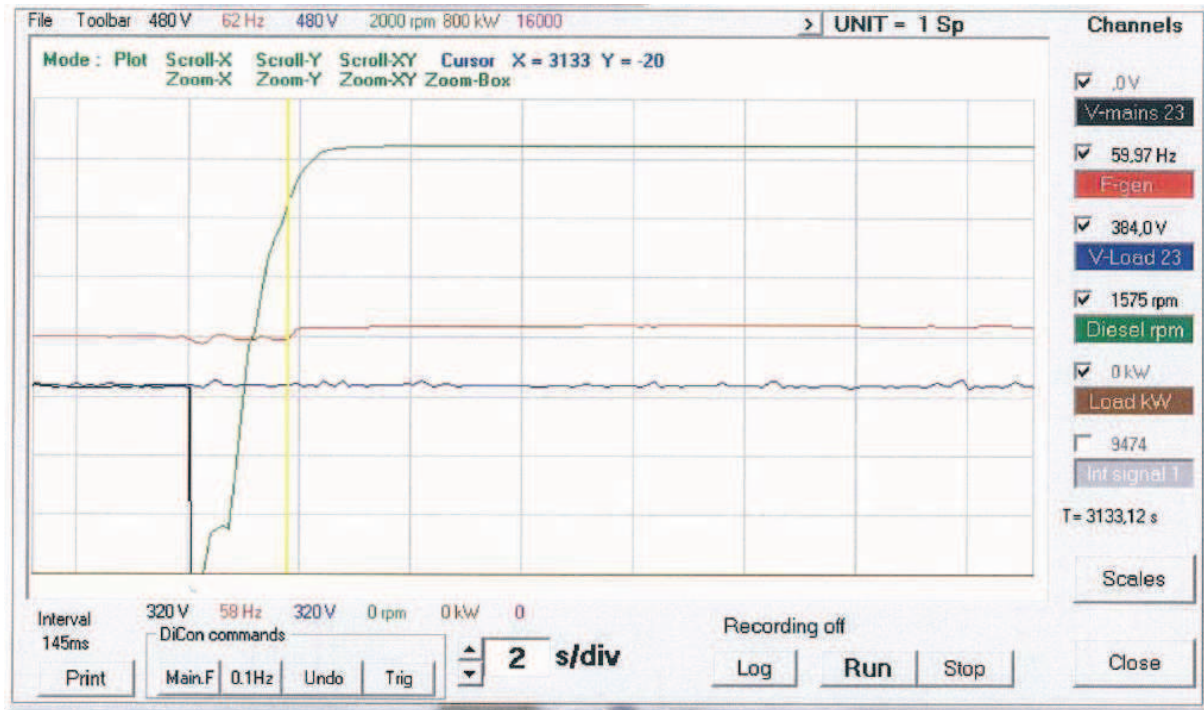
Aproximadamente 9 segundos após o gerador iniciar é que a UPS acopla, mesmo tendo chegado à rotação desejada de 1800 rpm antes, nesse momento há uma pequena variação de tensão e frequência, logo estabilizadas.

Este teste comprova que o sistema está operando regularmente quando abastecido pelo gerador ao invés da rede concessionária.

6.2 TESTE DE RESPOSTA DO GERADOR

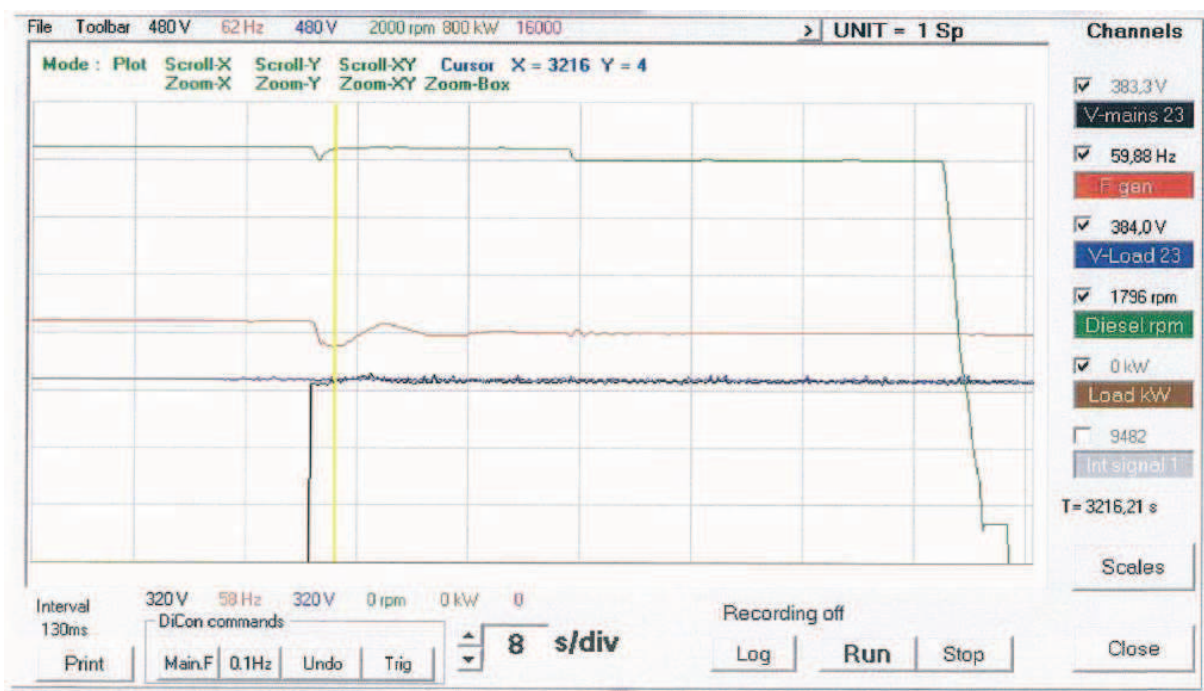
Tornou-se necessário verificar a resposta do gerador quando houvesse uma interrupção de energia e o quadro de transferência QTA estivesse no automático, ou seja, o sistema deveria estar suficientemente sensível a queda e ao retorno de energia pela rede. Estes testes foram realizados sem que o banco de cargas estivesse conectado.

Figura 25 – Interrupção de energia, sem carga.



A figura 25 ilustra o primeiro teste onde a interrupção foi simulada e houve a partida automática do gerador, após aproximadamente 0,25 segundos. Depois de 2 segundos do seu início, o gerador já está na rotação de 1800 rpm.

Figura 26 – Retorno da concessionária, sem carga.



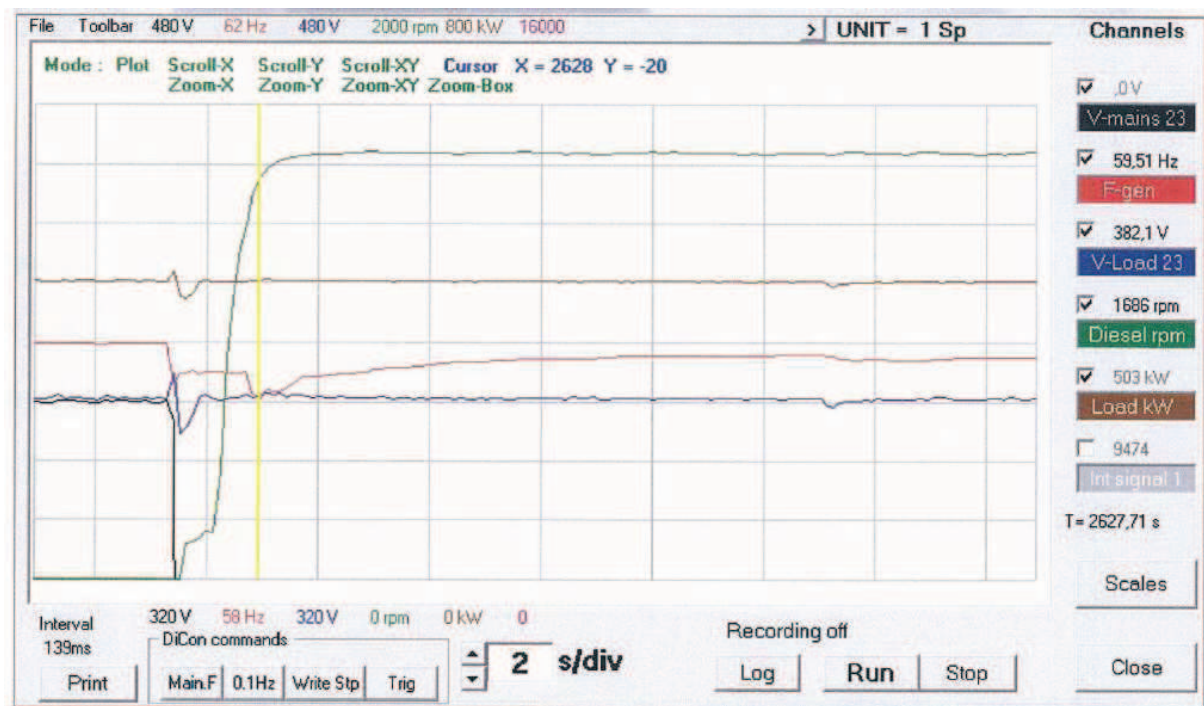
Após o retorno da concessionária o motor diesel desacopla instantaneamente, porém não desliga por duas razões: verificar se o retorno de energia não foi temporário, tendo em seguida uma nova interrupção e também sincronizar a tensão emitida pelo gerador com a da rede de distribuição.

No caso ensaiado o momento marcado no osciloscópio, linha vertical amarela, mostra o exato momento em que a UPS passa a ser alimentada novamente pela concessionária, ocasionando uma pequena variação na frequência. O gerador levou 46 segundos para desligar completamente, comprovando o tempo de *hot stand-by* especificado pelo fabricante.

6.3 ENSAIO FINAL DA UPS

Finalmente os testes finais foram realizados aplicando a carga total do banco de cargas, 500kVA e a simulação da interrupção da rede pela concessionária.

Figura 27 – Simulação da interrupção com 100% da carga.

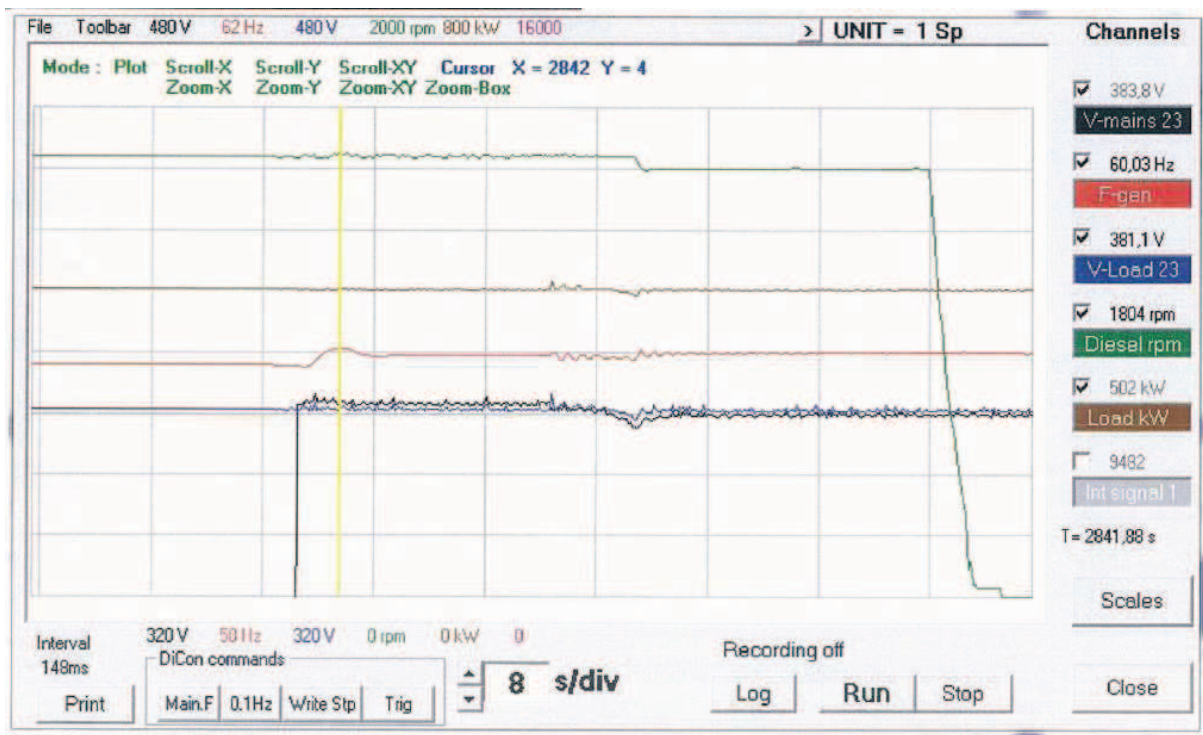


Nesta simulação o início do motor diesel foi mais rápido, após um tempo menor que 0,2 segundos o motor começa a funcionar. Enquanto isso o banco de cargas é alimentado apenas pela energia cinética acumulada na *fly-wheel*. Neste período é possível verificar uma

grande variação na tensão e na frequência aplicada à carga, o que deixa de acontecer quando a *fly-wheel* volta a ser movimentada pelo gerador.

Este período onde a carga é alimentada somente pela energia cinética durou aproximadamente 3 segundos. Segundo a fabricante, esta UPS tem capacidade para manter a carga alimentada somente pelo movimento da *fly-wheel* durante 30 segundos.

Figura 28 – Retorno da concessionária com 100% da carga.



O sistema mostrou um comportamento mais estável quando do retorno da alimentação pela concessionária e novamente demorou 46 segundos para que o motor diesel desligasse.

7 CONCLUSÃO

Um sistema ininterrupto de energia se faz necessário, não somente para preencher um requisito imposto para a Copa do Mundo, mas também assegurar que o sistema de cargas críticas não venha a sofrer impactos por falhas na rede elétrica.

A solução para uma alimentação elétrica estável, livre de falhas e grande redução das imperfeições da rede passa por um sistema de UPS, independente da topologia estudada, estática ou dinâmica. Os fatores que levam a escolha da melhor máquina ficam a critério das necessidades do projeto e da avaliação geral de seus projetistas e executores.

Os detalhes técnicos e econômicos devem ser avaliados pormenorizadamente, uma vez que a ANEEL disponibiliza indicadores de qualidade de energia elétrica, tornando possível a análise de retorno financeiro para implantação de um sistema de alto custo de UPS.

No caso apresentado neste trabalho a máquina escolhida foi a UPS Dinâmica, utilizando o sistema de acúmulo de movimento, energia mecânica, tornando um sistema mais sustentável ao ponto que a utilização de baterias agride o meio ambiente.

Os testes foram importantes para a avaliação global do sistema em operação, verificando também o funcionamento do motor diesel, importante caso haja interrupção prolongada de energia.

É importante, nos dias de hoje, voltar o pensamento teórico adquirido na academia para o avanço em soluções sustentáveis a fim de minimizar os impactos ambientais causado pelas novas tecnologias. Resta agora desenvolver estudos aplicados a estes acumuladores de energia cinética, a fim de desenvolver este conceito, reduzir custos e expandir a aplicabilidade desta UPS.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil** 3ª Edição. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689>. Acesso em: 27 mar. 2014.

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica.**

Disponível em < http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_5.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2014.

C. G. C. Branco, **Sistema Ininterrupto de Energia de Dupla Conversão, Não Isolado, com Tensões de Entrada e Saída Universais**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2005.

CHAPMANN, S. J. - **Electric Machines Fundamentals** – Editora McGrawHill, São Paulo, 2005.

GONÇALVES, F. D. **Resposta de Sistemas Ininterruptos de Energia frente a Fenômenos de Qualidade de Energia**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Brasília, 2008.

FITZGERALD, Arthur Eugene; Kingsley, Charles, Jr.; Umans, Stephen D.; Laschuk, Anatolio - **Máquinas Elétricas** – Editora Bookman, Porto Alegre, 2005.

HALLIDAY e RESNICK, **Fundamentos de Física – Vol 1**, Editora LTC, 7ª Edição, São Paulo, 2007.

http://www.deltapowersolutions.com/media/download/Product_image_UPS_DPS_V1_855823_snapshot.jpg; visitado em 05/05/2014.

http://www.hitec-ups.com/assets/6_Downloads/62_Products/Hitec%20Brochure%20English.pdf; visitado em 07/05/2014.

LINARD, Fabíola Maria Alexandre, **Sistema Ininterrupto de Energia de Dupla Conversão com Integração do Retificador e do Inversor**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2009.

MANSON, J., Targosz, R, **Why EU industry annually loses € 150bi Pan-European Power Quality Survey**, Paris – França, 2007.

RYAN, M, BRUMSICKLE, W, and LORENTZ, R, *Control Topology options for Single-Phase UPS Inverters*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, 1997.

TOSSI, Luis, **Condicionamentos de Energia, Aplicações em Missões Críticas.** artigos publicados na revista O Setor Elétrico, São Paulo – SP, 2010.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, *LEED 2009 for New Construction and Renovations*, Washington – EUA, 2009.

ANEXO I

Descrição comercial da UPS Estática

The power behind competitiveness

Ultron DPS Series

Three Phase 160/200 kVA

Uninterruptible Power Supply

Delta Ultron DPS is double-conversion, IGBT-rectifier 3 phase UPS incorporated with state-of-the-art TLI (Triple Level Inverter) topology. In possession of such advanced technology, the Ultron DPS is a new benchmark of data center backup power solution featuring high efficiency up to 96%.

In addition, Ultron DPS is designed with patented power factor correction (PFC) topology rendering high input power factor (> 0.99) and low iTHD ($< 3\%$), a perfect fit to Energy-Star certified equipment in contemporary data center and other applications.

Reliability is another critical mission of IT managers. Ultron DPS can parallel link to conform to TIA-942 standard for data center and achieves zero downtime. Without additional hardware, Ultron DPS also offers a flexible and convenient way to expand the total output power to fulfill business growth.



Reliability

- Double-conversion and IGBT-rectifier design.
- N+X redundancy or hot-standby configuration.
- Wide input voltage range reduces battery discharging occurrence.
- Advanced battery management optimizes battery performance and lifetime.
- Field programmable sequential start-up 2 to 99 seconds even without paralleling.
- Redundant fan design.

Efficiency

- System efficiency up to 96% saves operating cost.
- High input power factor (> 0.99) and low input harmonic distortion (iTHD $< 3\%$) saves upstream investment.

Flexibility

- Easy parallel expansion for future business growth.
- Multi-language mimic LCD display and LED status indicators.
- Front-panel access for maintenance.
- AC-start and battery-start capabilities.
- Built-in maintenance and static bypass switch.
- Hot-swappable fans for easy replacement.
- Optional model with built-in transformer.



Data Center



Telecom



Industrial



Network



Security



Lab



Medical



Metro



POWER & COOLING SOLUTIONS

Ultra DPS Series

Three Phase 160/200 kVA

Technical Specifications

Model		DPS160	DPS200
Power Rating		160kVA/144kW	200kVA/180kW
Input	Nominal Voltage	380/220, 400/230, 415/240 Vac (3 phase, 4-wire + G)	
	Voltage Range	-40% ~ 20% (242 ~ 477/140 ~ 276 Vac) *	
	Current Harmonic Distortion	≤ 3%	
	Power Factor	> 0.99	
	Frequency	50/60 ± 5 Hz	
Output	Voltage	380/220, 400/230, 415/240 Vac (3 phase, 4-wire + G)	
	Voltage Harmonic Distortion	≤ 1.5% (linear load)	
	Voltage Regulation	± 1% (static)	
	Frequency	50/60 ± 0.05 Hz (with internal oscillator)	
	Overload Capability	≤ 125%: 10 minutes; ≤ 150%: 1 minute	
Display		Mimic LCD supports multi-language and LED indicators	
Interface	Standard	RS232 x 1, SNMP slot x 2, Dry contact output x 6, Dry contact input x 2, Battery cabinet temperature x 4, Battery cabinet status detection x 1, Parallel port x 2, REPO x 1	
	Management Peripherals	SNMP card, Modbus card, Relay I/O control card, EnviroProbe, SNMP hub, Battery cabinet temperature sensor, Battery cabinet status detection cable	
Conformance	Safety & EMC	EN 62040-1; CE; IEC 61000-4; IEC 62040-2	
Efficiency	AC-AC	96% (TÜV certification in progress)	
	ECO Mode	99% (TÜV certification in progress)	
Battery	Nominal Voltage	± 240 Vdc	
	Charger Voltage	± 272 Vdc (adjustable from 254 to 291 Vdc)	
Environment	Operating Temperature	0 ~ 40°C	
	Relative Humidity	95% (non-condensing)	
	Audible Noise	< 70 dBA (at one meter)	
	IP Degree of Protection	IP20	
Other	Parallel Redundancy & Expansion	Yes (up to 8 units)	
Features	Emergency Power Off	Yes (local and remote)	
Physical	Dimensions (WxDxH)	UPS: 850 x 865 x 1950 mm	
		UPS with Transformer: 1400 x 865 x 1950 mm	
	Weight	UPS: 721 kg	
		UPS with Transformer: 1485 kg	

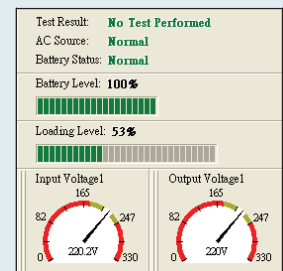
* When input voltage is 242 ~ 324/140 ~ 187 Vac, the sustainable loading is from 70% to 100% of the UPS capacity. All specifications are subject to change without prior notice.



Control and LCD Display Panel



Hot-swappable and Redundant Fan



Power Management Software



2007~ 2008
Forbes Asia's
Fabulous 50



2009 Frost & Sullivan
Green Excellence
Award for Corporate
Leadership



Delta's Manufacturing System
is Certified by ISO 9001 and
ISO 14001 Standards



IECQ Certificate of
Hazardous Substance
Process Management



Delta offers full range UPS solutions from 600 VA to 4000 kVA to fulfill your power security needs.

Please refer to www.deltapowersolutions.com

ANEXO II

Especificações técnicas da UPS Dinâmica

Technical data sheet



Document name	TDS - 2207767
UPS/CPS system type	Single
System voltage	Low voltage
Date	July 31, 2013

System Ratings	
UPS power rating (no break load)	625 kVA
UPS power rating (short break load)	0 kVA
Rated output active power (no break + short break)	500 kWe
Rated voltage	380 Vac
Rated frequency	60 Hz
System efficiency (input / output) ⁴⁾	approx. 96 %
Recharge time induction coupling (based on full load)	approx. 15 minutes
Classification according	ITI (CBEMA) Curve

Input (Utility)	
Power factor at rated operation	1
Current THD (linear load / linear utility)	0 %

Output (Load)	
Rated output voltage	380 Vac
Steady state accuracy	≤ 1 %
Voltage dynamic variation	ITI (CBEMA) Curve
Nominal current no-break	950 A
Nominal current short-break	0 A
Output power factor ¹⁾	0,8 lagging
Output frequency variation	
Steady state variation	≤ 0.5 %
Dynamic variation (max.)	≤ 1 %
Voltage THD (linear load)	≤ 2.5 %
Reduction of harmonics from utility to output (or reverse)	> 85 %
Short circuit capability, subtransient	18 x Inom
Output phases	3-ph & N

Induction Coupling	
Brand	Hitec Power Protection
Type	XQ-XG *

Diesel Engine	
Brand ²⁾	MTU
Type ²⁾	12V 1600 G805
Output	588 kWm
Speed	1800 rpm
Bore	122 mm
Stroke	150 mm
Number of cylinders	12
Piston displacement	21 dm ³
Compression ratio	17.5:1
Injection	common rail
Governor	ADEC
Fuel consumption (100% load)	134 l/hr
Fuel consumption (75% load)	101 l/hr
Fuel consumption (50% load)	71 l/hr
Fuel consumption (25% load)	40 l/hr
Fuel consumption (0% load)	2 l/hr
Combustion air	2907 m ³ /hr
Exhaust flow	7107 m ³ /hr
Exhaust temperature	381 °C
Exhaust back pressure (maximum)	85 mbar
Lub oil content	72 dm ³
Lub oil consumption	0,67 l/hr
Water content engine	65 dm ³
Water outlet temperature (maximum)	95 °C
Water inlet temperature intercooler	N.A. °C
Pump capacity	50 @ 100 kPa m ³ /hr
Pump capacity intercooler	N.A. m ³ /hr

Noise Level	
Normal operation (overall sound power level, approx.)	to be determined
Diesel operation (overall sound power level @ full load, approx.)	to be determined

* Auto trafo 380 Vac -> 480 Vac is necessary

¹⁾ other values on request / ²⁾ or equivalent / ³⁾ other values with possible derating

⁴⁾ with cosφ = 0,8 lagging @ rated output active power

N.A. = Not Applicable

Data provided in our offerings prevail at all time. All data in this document is for information only and is subject to change. No rights can be obtained from the contents of this document, unless our offerings refer to it.

Hitec Power Protection	Global partner to rely on
Headquarters:	
P.O. Box 65	
NL - 7600 AB Almelo	
Tel:	+31 546 - 589 589
Fax:	+31 546 - 589 489
24/7 helpdesks:	
EMEA	+31 546 - 589 567
UK	+44 1926 - 484 535
USA	+1 281 - 24 05 335
Asia	+886 3578 - 74 46
E-mail:	info@hitec-ups.com
Url:	www.hitec-ups.com

Generator	
Brand ²⁾	Stamford
Type ²⁾	HCI 534 F w14
Speed	1800 rpm
Reactances x _d " / x _q "	0,10 / 0,29 p.u.
Time constant T _d "	0,01 s
Insulation class	H
Temperature rise	≤H

Dimensions & Mass	
Power Module	
Length x Width x Height	see 2207767-324
Mass	
Unit Control Panel (UCP)	
Depth x Width x Height	600 x 1000 x 2000 mm
Mass	approx. 330 kg
Reactor Panel (URP)	
Depth x Width x Height (approx.)	to be determined mm
Mass	to be determined kg
Main Power Board (MPB)	
	Dependent on configuration

Ambient Conditions	
Maximum relative humidity (non-condensing)	85 %
Minimum ambient temperature (operation) ³⁾	5 °C
Maximum ambient temperature (operation) ³⁾	40 °C
Installation altitude (max. above sea level) ³⁾	150 m
Seismic zone	4

Heat Rejection	
<i>- at normal operation ⁴⁾</i>	
Unit Reactor Panel (URP)	Approx. 4,1 kW
Unit transformer Panel (UTP)	Approx. 0,0 kW
Generator + IC	Approx. 38 kW
Total at normal operation	42 kW
<i>- at diesel operation ⁴⁾</i>	
Unit Reactor Panel (URP)	Approx. 1,1 kW
Unit transformer Panel (UTP)	Approx. 0,0 kW
Generator + IC	Approx. 41 kW
Diesel engine	Approx. 22 kW
Total at diesel operation	64 kW
Through cooling system	
Primary	max. 242 kW
Secondary	max. 153 kW
Through fuel	max. 5 kW
Electrical radiator power	max. 30 kW

General Data	
Type of bypass	Automatic
Transfer	No Break
Utility matching synchronizer	Yes
Cable entry panels	Top + bottom
Degree of protection (panels / power module)	IP20
Color	
Generator	RAL 7016
Induction coupling	RAL 7016
Diesel engine	Manufacturer standard
Base frame / panels	RAL 7035

Compatibility standards & regulations	
Low-voltage switchgear and controlgear assemblies	IEC 61439-1
Low voltage directive	2006/95/EC
Machine directive	2006/42/EC
Rotary uninterruptible power systems	IEC 88528-11
EMC directive	2004/108/EC
	EN 62040-2
	EN 61000-4
Acoustics -- Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity	ISO 9614-2:1996
-- Part 2: Measurement by scanning	
Ambient conditions	IEC 60721-3-3 class 3K3