

## **SISTEMA DE SUPERVISÃO MICROCONTROLADO PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS *UPS***

**René Pastor TORRICO-BASCOPE (1); Eduardo FAÇANHA DE OLIVEIRA (2); Gean Jacques MAIA DE SOUSA (3); Carlos Gustavo CASTELO BRANCO (4);**

(1) Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica, Grupo de Processamento de Energia e Controle, Campus do Pici, S/N, Bloco: 705, Tel.: 0xx85.3366-9586, e-mail: [rene@dee.ufc.br](mailto:rene@dee.ufc.br)

(2) Universidade Federal do Ceará, e-mail: [edufacanha@yahoo.com.br](mailto:edufacanha@yahoo.com.br);

(3) Universidade Federal do Ceará, e-mail: [geanjacques@hotmail.com](mailto:geanjacques@hotmail.com);

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, e-mail: [gustavo@cefetce.br](mailto:gustavo@cefetce.br)

### **RESUMO**

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de supervisão microcontrolado aplicado a um sistema *UPS* do tipo *on-line*, isolado em alta frequência, com potência de saída de 5kVA. A supervisão é responsável pela leitura e comando de diversos parâmetros do sistema e pela tomada de decisões, realizando funções tais como: ativar ou desativar estágios da *UPS*, e realizar a transferência entre os modos de operação. O sistema de supervisão utiliza um algoritmo eficiente de leitura da tensão *RMS* da rede, faz a leitura da carga no banco de baterias, monitora as proteções do sistema, realiza o sincronismo entre a tensão de saída da *UPS* e a tensão da rede, gera um sinal senoidal de referência para o controle do estágio inversor e ainda provê uma interface entre operador e a máquina (IHM) com a utilização de botões, display e comunicação serial RS232. Este sistema de supervisão tem como maior objetivo garantir a integridade da *UPS* e das cargas sensíveis conectadas quando houver algum distúrbio na rede elétrica, ou uma sobrecarga, além de trazer maior qualidade da tensão entregue a carga e confiabilidade ao equipamento. O trabalho proposto foi projetado, montado e validado através de simulações e testes experimentais.

**Palavras-chave:** Sistema de supervisão, Microcontrolador, *UPS*

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia no setor industrial, surge uma necessidade imprescindível por novos meios de tecnologia que fossem capazes de controlar, monitorar e supervisionar um dado processo em tempo real, visto que a capacidade de trabalho humano não condizia com a realidade vivida pela indústria naquele momento. Daí, surgem os primeiros sistemas de supervisão, capazes de monitorar e tomar decisões pré-programadas de acordo com o comportamento de um determinado dispositivo.

Um sistema de supervisão é um sistema de hardware e software que permite ao operador ter informações em tempo real (online) de um processo. Ele permite o acesso a informações tais como estado operacional do equipamento, valores variáveis de um processo etc. Também possibilita a atuação sobre o sistema, acionando elementos, modificando valores ou até mesmo interrompendo-o.

O propósito maior de um sistema de supervisão é proporcionar ao usuário a capacidade de controlar um dispositivo específico e confirmar o seu desempenho de acordo com a ação tomada (DE ASSIS, 2006).

As tarefas de controle, monitoramento e supervisão de processos dinâmicos constituem uma garantia de qualidade e segurança do sistema e são baseados em cinco principais estágios: fazer a aquisição de dados e parâmetros sobre o processo dinâmico, gerar ações de controle de acordo com os dados e parâmetros adquiridos para satisfazer alguns níveis de qualidade pré-estabelecidos das funções do sistema e garantir a sua segurança, detectar a existência de distúrbios e a conseqüente ação a ser tomada, gerar diagnóstico contendo informações sobre a qualidade e comportamento do processo e gerar ações corretivas de acordo com o diagnóstico, as quais podem envolver configuração de ações de controle do dispositivo ou sugerir certas ações no processo (FIOL-ROIG, 1997).

O presente trabalho consiste no projeto e construção de um sistema de supervisão microcontrolado para aplicações em sistemas ininterruptos de energia. Estes sistemas são conhecidas internacionalmente pelo termo UPS (Uninterruptible Power Supply), popularmente conhecidas no Brasil como No-Break ou fonte ininterrupta de energia. Sistemas UPS provêm energia elétrica com qualidade, ideal para cargas críticas e vitais, protegendo cargas sensíveis contra grande parte dos distúrbios que ocorrem na tensão de fornecimento da concessionária de energia, dentre os quais se destacam: os surtos de tensão que envolvem as situações de subtensão e sobretensão, interrupções de qualquer magnitude na rede elétrica e oscilações transitórias na frequência.

As concessionárias de energia nem sempre são capazes de garantir a entrega de energia elétrica sem interrupções ou sem distúrbios. Diante dessa situação, a eletrônica de potência propõe algumas soluções para essa problemática. A fonte ininterrupta de energia é capaz de prover energia elétrica de forma adequada e com qualidade para uma determinada carga mesmo com os distúrbios e interrupções da tensão de fornecimento da concessionária de energia elétrica. Por isso, atualmente, é grande a demanda por fontes ininterruptas de energia no mundo, tanto em sistemas industriais, de telecomunicações e de informática, quanto em sistemas de emergência hospitalar incluindo equipamentos sensíveis de suporte à vida entre outros (BRANCO, 2005).

## 2. SISTEMAS UPS DO TIPO ON-LINE

Sistemas UPS *on-line* estáticos são os tipos mais utilizados de fontes ininterruptas de energia quando se deseja as características de alta confiabilidade no suprimento de energia (SANTIAGO, 2005).

Estes sistemas minimizam os problemas relacionados com os distúrbios de energia, fornecendo continuamente energia elétrica às cargas a qual estão conectadas, mesmo durante qualquer problema que ocorra com o fornecimento de energia pela rede elétrica. Para a operação durante uma ausência de energia da rede, as UPS's utilizam um banco de baterias que, durante o funcionamento normal, são carregadas pela rede elétrica através de carregadores do próprio sistema. Outros nomes para este tipo de configuração comumente encontrados nos artigos são: *inverter preferred UPS* e *double-conversion UPS* (BEKIAROV, 2002). Esta última denominação é mais conhecida no Brasil como UPS de dupla conversão.

O diagrama de blocos simplificado de operação do sistema UPS é apresentado na Fig. 1. Conforme pode ser observado, o sistema UPS projetado consiste de quatro circuitos de potência, sendo estes: *Chopper* isolado em alta frequência, Conversor *Boost*, Inversor em ponte completa e carregador de baterias.

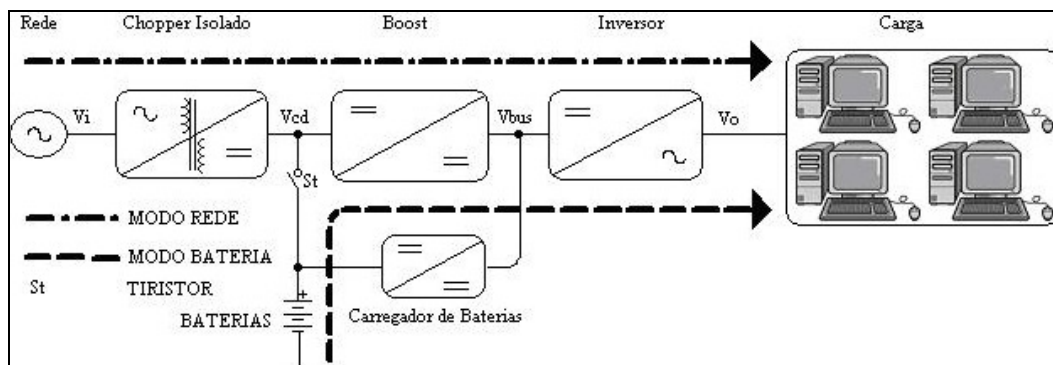


Figura 1 - Diagrama de blocos simplificado do sistema UPS isolado em alta frequência

A operação deste sistema pode ser dividida nos três modos a seguir:

### 2.1. Modo rede

Durante o modo normal de operação, o qual está definido quando não existe falha da rede ou a tensão de alimentação está no mínimo 85% e no máximo 115% do valor nominal especificado, os estágios Chopper, Boost, Inversor e carregador de baterias estão funcionando. De acordo com o nível de tensão da rede, as chaves seletoras 110V/220V do circuito de potência e controle, deverão ser ajustadas para o nível de tensão correto.

### 2.2. Modo bateria

Quando o circuito supervisor detecta a falha na tensão de alimentação, o estágio Chopper é desligado e o tiristor  $St$  é acionado, transferindo a entrada do conversor Boost do estágio Chopper isolado para o banco de baterias. Neste modo de operação, o conversor Boost funciona como um conversor CC/CC, elevando a tensão do banco de baterias para o barramento CC. Nesse instante, o carregador de baterias estará desabilitado. Durante a transição do modo rede para o modo bateria, os capacitores que compõem o  $V_{bus}$  são suficientemente dimensionados para fornecer energia para o inversor, enquanto o banco de baterias não é conectado. Quando a tensão de entrada da rede é restabelecida aos níveis nominais de operação, o circuito de supervisão detecta e inibe o disparo contínuo do tiristor  $St$ , que bloqueia instantaneamente quando a tensão  $V_{cd}$  estiver acima da tensão no banco de baterias.

### 2.3. Modo desligado

No modo desligado, todos os estágios da UPS se encontram desligados, com exceção do circuito de supervisão e da fonte auxiliar. Para que a UPS saia do modo desligado, deve ser comandada manualmente pelo operador.

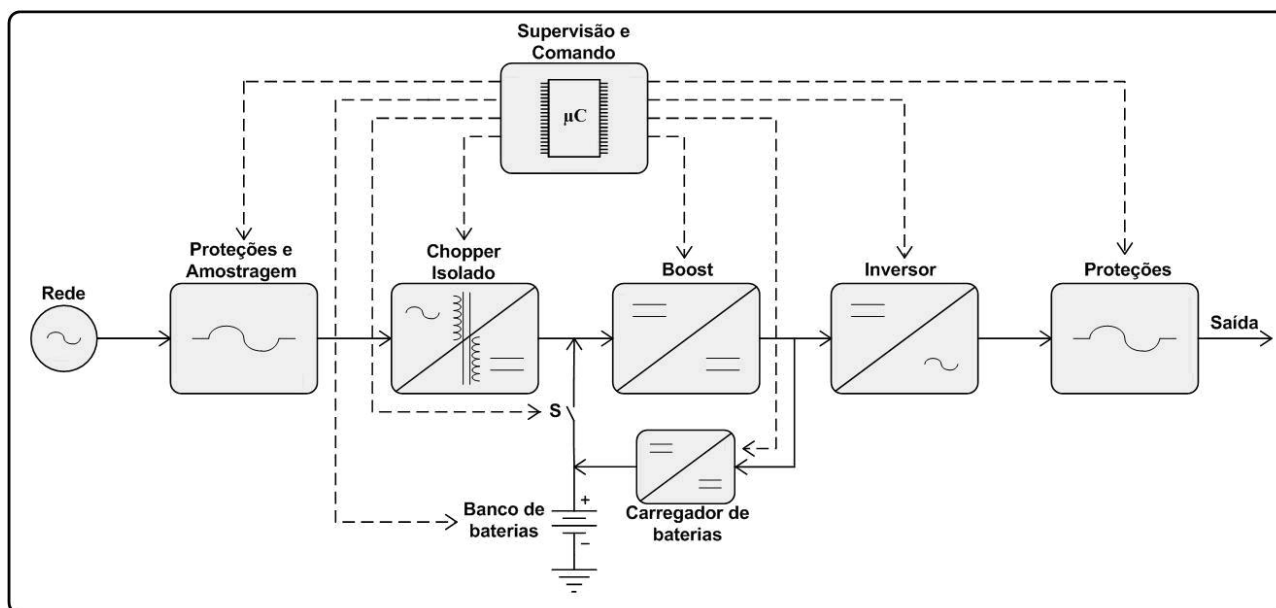
## 3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A supervisão da UPS tem a finalidade de colher alguns parâmetros como tensão de entrada, tensão das baterias, estado da tensão do barramento CC do inversor, etc., para garantir a integridade da UPS e das cargas conectadas quando houver alguma anomalia no sistema ou uma sobrecarga.

No circuito da supervisão está presente um microcontrolador que faz as leituras dos diversos parâmetros descritos acima e toma a decisão de ativar ou desativar os circuitos da UPS. Além do microcontrolador, existem diversos CI's com funções especiais tais como, interface de comunicação, display, dentre outros.

Uma outra finalidade da supervisão é a tomada de decisão, sem a intervenção do operador, de desligar ou ligar determinado circuito, realizar transferência entre os modos de operação (modos rede, bateria e desligado), realizar cálculos e enviar o resultado ao display para serem visualizados pelo operador.

Pode-se ver na Figura 2 o diagrama de blocos da UPS e os respectivos comandos da supervisão.



**Figura 2 - Diagrama de blocos do circuito de supervisão interligado a UPS**

A supervisão é programada para que, dependendo do estado da tensão da rede e da carga no banco de baterias e do estado das proteções, atue comandando os vários estágios da UPS e escolhendo o modo de operação adequado (SANTIAGO, 2005).

Há três modos de operação nesta UPS: modo rede, modo bateria e modo desligado. No modo rede, a tensão de entrada do inversor advém da rede, sendo retificada e processada pelo chopper. No modo bateria, a tensão no barramento CC advém do banco de baterias. Já no modo desligado, não há tensão na saída da UPS, ou seja, o inversor se encontra desligado.

As principais funções da supervisão são determinar o estado da rede elétrica, ligar ou desligar entrada e saída, fazer a leitura da tensão de entrada da rede e da carga do banco de baterias, monitorar tensão do barramento CC, monitorar as proteções do sistema, habilitar ou desabilitar os vários estágios da UPS, determinar modo de operação de acordo com os parâmetros do sistema, realizar a interface com o operador através do envio de dados para o display, gerar senóide de referência para o inversor, realizar o sincronismo da saída com a entrada no modo rede.

#### **4. FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO**

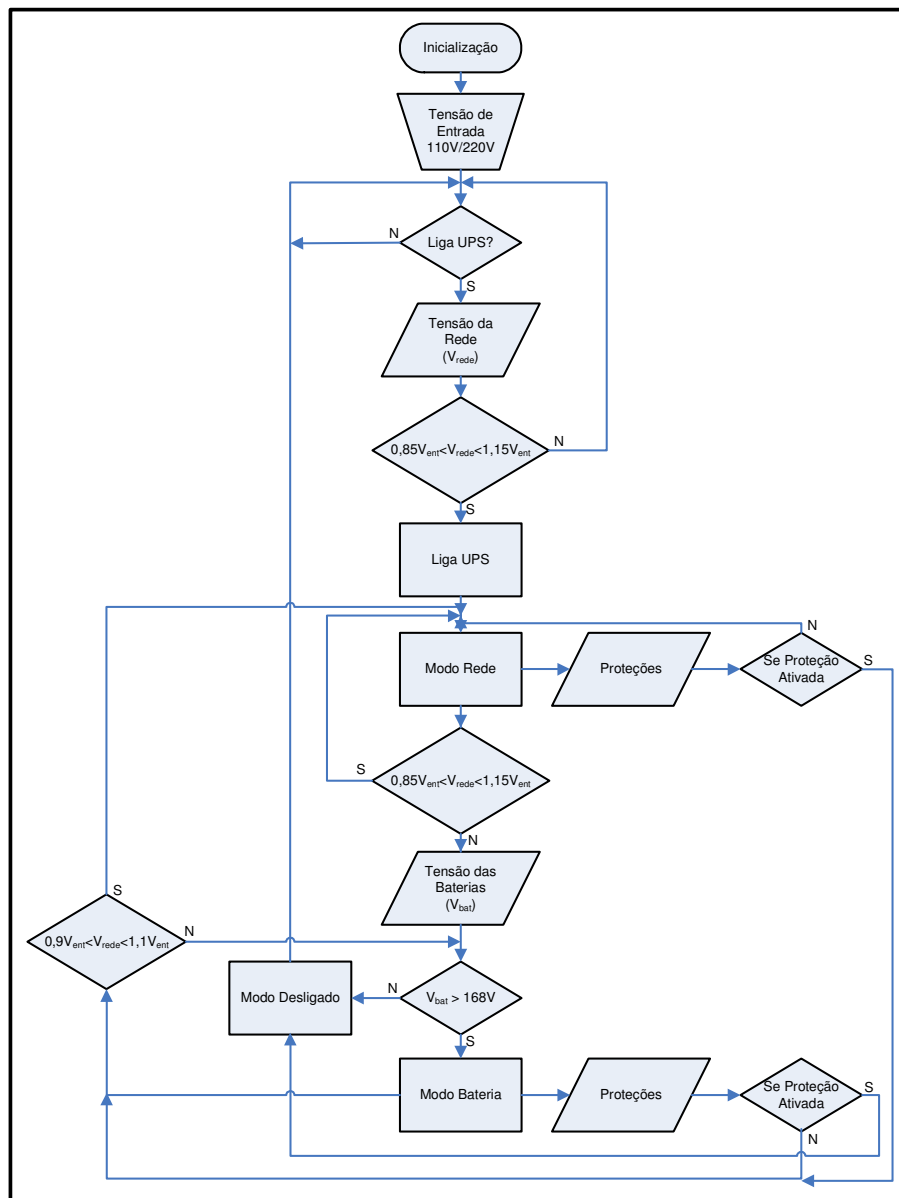
Após a inicialização, estando a UPS em seu funcionamento normal, a mesma deve se encontrar no modo de operação rede. Caso haja uma sobretensão (+15%), subtensão (-15%) ou queda da rede, a UPS verifica a carga no banco de baterias e se esta estiver acima de 168V (16x10,5V), passa a operar no modo bateria.

Para que a UPS volte a operar no modo rede, a tensão deve se manter estável entre  $\pm 10\%$  do valor nominal da rede por cerca de 5s após a detecção da normalidade da rede. Esta histerese é responsável por manter a estabilidade no modo de operação, evitando mudanças bruscas e constantes. Ainda estando no modo bateria e a rede permanecendo fora das condições de operação, a UPS permanecerá ligada somente enquanto a carga nas baterias for maior que o valor mínimo, após isto ela entrará no modo desligado. Se, após a detecção de falha na rede, o banco de baterias estiver abaixo do valor mínimo de operação, a UPS entra direto no modo desligado, permanecendo assim até que o operador a religue.

Tanto no modo rede quanto no modo bateria, há o monitoramento das proteções do sistema. Existem cinco proteções ativas na UPS, são elas: corrente no estágio chopper, corrente no estágio boost, corrente na saída do inversor, tensão mínima no barramento CC, sobretensão no barramento CC.

Das cinco proteções listadas acima, somente a última não é monitorada pelo microcontrolador.

A proteção de tensão mínima no barramento CC é responsável pela habilitação da geração da senóide de referência do inversor.



**Figura 3 - Fluxograma de funcionamento**

A proteção de sobretensão no barramento CC é responsável por manter a tensão no barramento estável no valor especificado (400V). Para que isto aconteça, há um controle sobre a operação do estágio boost.

As proteções de corrente atuam quando a corrente se eleva acima do valor máximo especificado (sobrecorrente) em cada estágio da UPS. Estas proteções são monitoradas durante os valores próximos do pico da senóide, onde há uma maior corrente drenada pela carga. Se qualquer uma das proteções atuar, de forma independente, durante três semiciclos consecutivos da senóide, a UPS entra no modo de operação desligado.

## 5. CIRCUITOS DA SUPERVISÃO

Alguns dos circuitos utilizados para tarefa de supervisão estão sendo explicados abaixo e podem ser vistos na figura 4

### 5.1. Circuito detector de semiciclo

Este circuito tem como finalidade informar ao microcontrolador se a rede encontra-se no semiciclo positivo ou negativo, de modo a poder sincronizar corretamente a tensão senoidal saída com a de entrada. É composto basicamente por um CI comparador cujas entradas são ligadas à saída de um transformador de baixa potência através de um divisor resistivo.

## **5.2. Circuito detector de passagem por zero**

A finalidade desse circuito é gerar um pulso estreito que indicará ao microcontrolador quando começa cada semi-ciclo da tensão senoidal de entrada. Isso é necessário para que se possa sincronizar a tensão de saída da UPS com a tensão de entrada.

A senóide retificada é comparada com uma tensão de 0,7V gerada pela queda de tensão num diodo. Assim, sempre que a tensão instantânea da saída do retificador for menor que 0,7V (cruzamento por zero), a saída do comparador irá à nível zero.

## **5.3. Circuito de amostragem da tensão da rede**

Uma das funções do microcontrolador é realizar a leitura do valor RMS da rede. Este circuito tem a função de realizar a interface entre a rede e a entrada analógica do microcontrolador, ou seja, realiza a adaptação entre os níveis de tensão. É composto por um transformador abaixador de baixa potência e um divisor resistivo.

## **5.4. Circuito de amostragem da tensão da bateria**

Este circuito é composto basicamente por um divisor resistivo e tem como função compatibilizar o nível de tensão presente na bateria para um nível que possa ser aplicado a entrada analógica do microcontrolador.

## **5.5. Conversor D/A R-2R (8 bits)**

Este circuito tem como função gerar um sinal senoidal a partir de uma saída digital do microcontrolador. Foram usados resistores de 1% de modo a obter uma boa linearidade. O sinal de saída é aplicado a um *buffer* que elimina a componente contínua do sinal.

## **5.6. Circuito de IHM**

O sistema possui três botões e um LCD para comunicação com o usuário. O LCD informa o status do sistema, apresentando informações como a tensão de entrada e da bateria e o modo de operação, o status do carregador de baterias e opção de ligar ou desligar a UPS.

## **5.7. Interface serial (RS232)**

Este circuito tem como finalidade adaptar o nível CMOS da saída do microcontrolador ao nível padrão da comunicação RS232.

## **5.8. Circuito de proteção contra sobrecorrente no inversor**

O sistema possui um transformador de corrente em série com a saída da UPS do sistema de modo a ser possível detectar uma sobrecarga na saída da UPS. O circuito é composto por um detector ligado a saída do transformador de corrente e um comparador cuja saída é ligada a um dos pinos de entrada do microcontrolador.

## **5.9. Circuito de proteção contra sobrecorrente no chopper**

O circuito do *chopper* possui um transformador de corrente cuja saída é retificada e comparada com uma tensão de 2,5V. Caso ultrapasse esse nível, a saída do comparador vai para nível baixo. O resistor presente após o retificador foi ajustado de modo a se conseguir a potência nominal sem haver disparo deste circuito.

## **5.10. Microcontrolador PIC18F452**

O microcontrolador é responsável por toda a supervisão do sistema, pela geração da senóide de referência para o inversor, por comandar o acionamento de todos os conversores da UPS e pelo IHM. Para atender a todas essas necessidades foi usado um microcontrolador PIC18F452 da microchip. Além de realizar 10 MIPS, possui a opção de operar com uma frequência 40 MHz (Microchip, 2003).

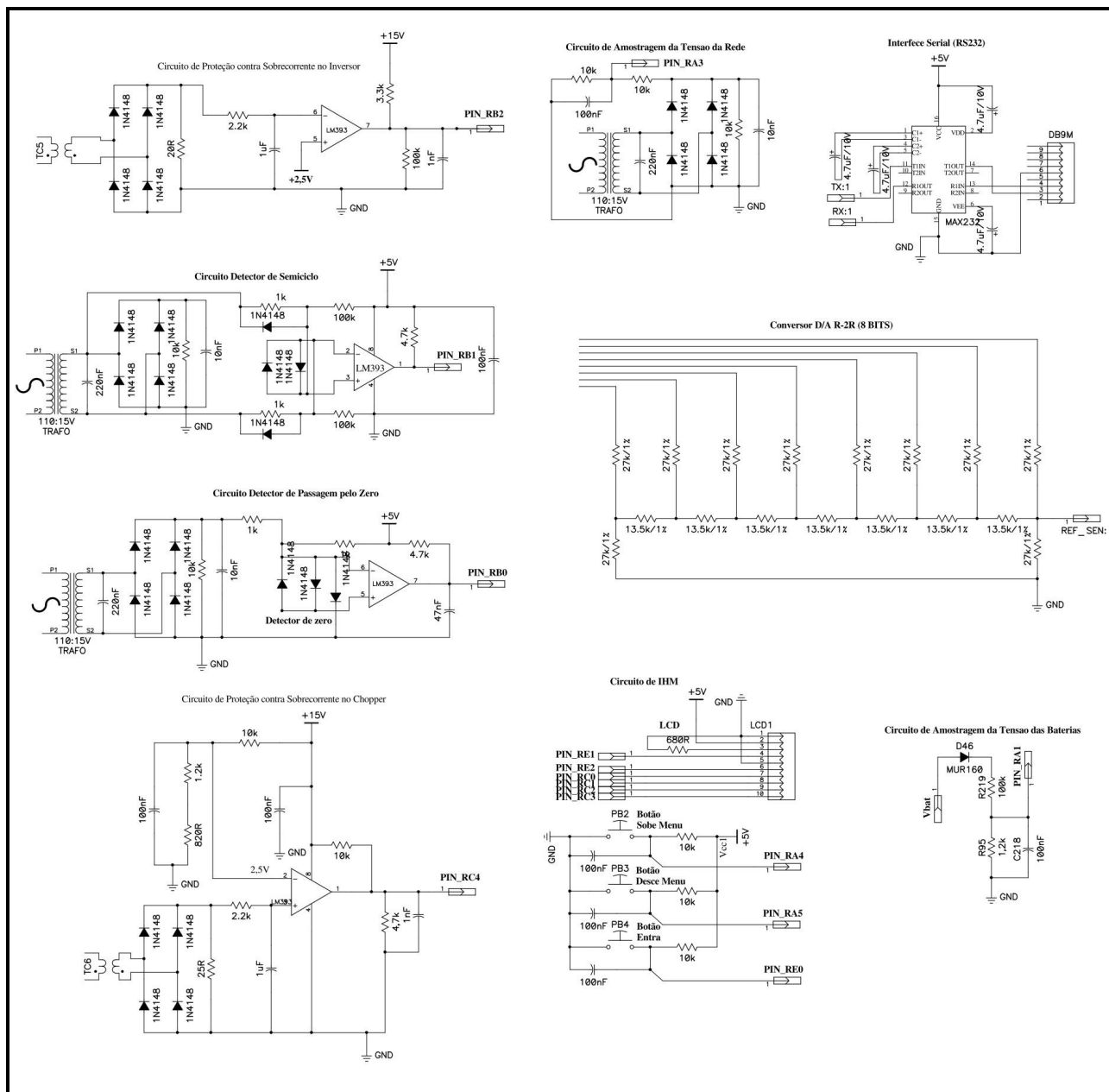


Figura 4 – Esquemáticos dos circuitos da supervisão

## 6. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

As especificações técnicas do sistema UPS isolado em alta frequência são descritas como segue.

Tabela 1 – Especificações do sistema

Potência aparente de saída	5 kVA	Tensão de saída nominal	115 V
Potência ativa de saída	3,5 kW	Variação das tensões de entrada	±15%
Tensões de entrada nominal	110/220 V	Fator de potência de entrada	≈ 1
Distorção harmônica da corrente de entrada	≤ 5%	Tensão nominal do banco de baterias (16 baterias em série)	192 V
Frequência nominal de operação	60 Hz	Tensão do barramento CC	400 V

## 7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

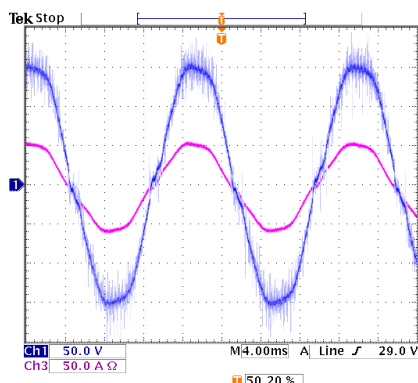
### 7.1. Operação do sistema UPS no modo Rede (Carga Linear)

A obtenção dos resultados experimentais foi realizada para dois níveis de tensão de entrada. Os resultados mostrados na figura 14 - 16 foram obtidas com tensão de entrada igual a 110Vac e os resultados mostrados na figura 17 - 19 foram obtidos para uma tensão de entrada de 220Vac.

As figuras 14 e 17 apresentam o comportamento da tensão e corrente de entrada do sistema UPS, as quais mostram que o sistema está operando com alto fator de potência e baixa distorção harmônica da corrente drenada da rede.

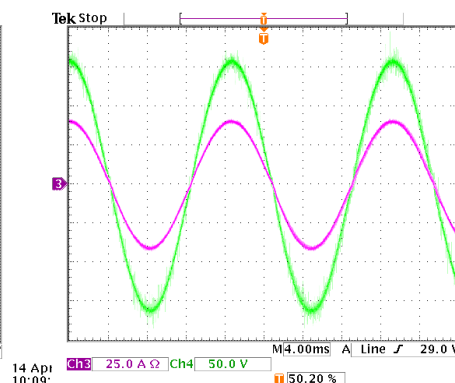
As figuras 15 e 18 mostram a tensão e corrente de saída do sistema UPS. Pode ser observado que a tensão de saída apresenta uma baixa distorção harmônica.

O comportamento do sistema quando ocorre falta da rede é mostrado nas figuras 16 e 19, onde observa-se que a transição do modo rede para o modo bateria não prejudica a operação do sistema, que continua suprimindo a carga sem interrupção. Nesta figura pode ser avaliada de cima para baixo a tensão no barramento CC, a tensão de entrada, a corrente no indutor boost e por fim a tensão de saída. Pode-se observar que o sistema de supervisão detecta rapidamente a falta de rede, acionando o tiristor que liga o banco de baterias ao estágio boost. Neste intervalo, o barramento CC fornece energia para o inversor que alimenta a carga.



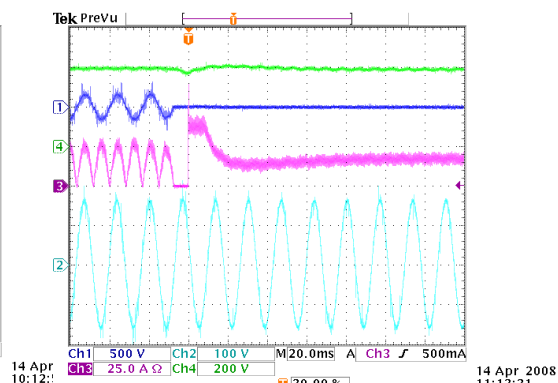
**Figura 5 - Tensão e corrente na entrada.**

(Ch1:50V/div.; Ch3:50A/div.;  
4ms/div.)



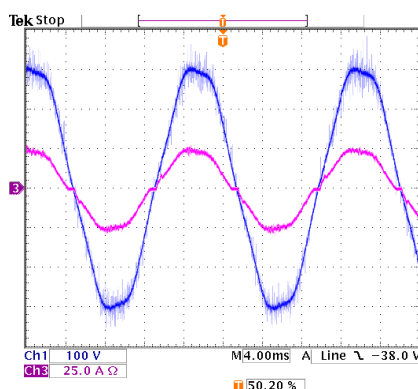
**Figura 6 - Tensão e corrente na saída**

(Ch3:25V/div.; Ch4:50V/div.;  
4ms/div.)

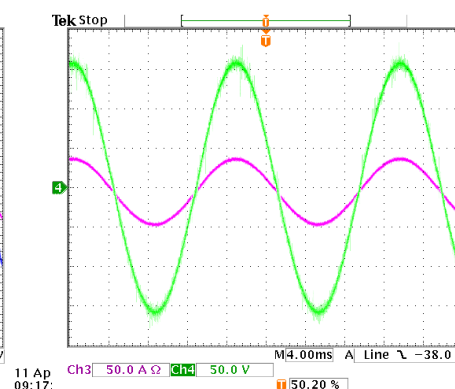


**Figura 7 - Transição do modo rede para o modo bateria.**

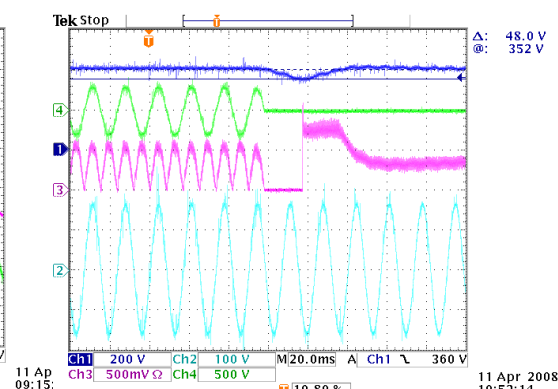
(Ch1:500V/div., Ch2:100V/div.;  
Ch3:25A/div.; Ch4: 200V/div.;  
20ms/div.)



**Figura 8 - Tensão e corrente na entrada. (Ch1:100V/div.;  
Ch3:25A/div.; 4ms/div.)**



**Figura 9 - Tensão e corrente na saída (Ch3:50A/div.;  
Ch4:50V/div.; 4ms/div.)**



**Figura 10 - Transição do modo rede para o modo bateria..**  
(Ch1:500V/div., Ch2:100V/div.;  
Ch3:25A/div, Ch4: 200V/div,  
20ms/div.)



## 7.2. Operação do sistema UPS no modo Rede (Carga Não Linear)

As Fig. 22 e 24 apresentam o comportamento da tensão e corrente de entrada do sistema UPS, para a tensão de alimentação ajustada em 110Vca e 220Vac respectivamente e característica do tipo não linear na saída do sistema UPS. Pode-se verificar que o sistema está operando com alto fator de potência e baixa distorção harmônica da corrente drenada da rede. Vale ressaltar que devido à utilização de IGBT's com capacidade de condução de corrente menor, não foi possível atingir a potência nominal de saída.

As figuras 23 e 25 mostram a tensão e corrente de saída do sistema UPS para 110Vac e 220Vac respectivamente. Pode ser observado que a tensão de saída apresenta uma baixa distorção harmônica. Vale ressaltar que a característica de carga é do tipo não linear com fator de crista acima de 3.

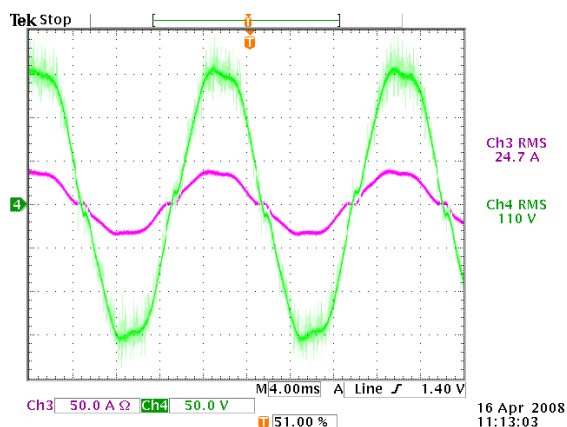


Figura 11 - Tensão e corrente na entrada.  
(Ch4:50V/div.; Ch3:50A/div.; 4ms/div.)

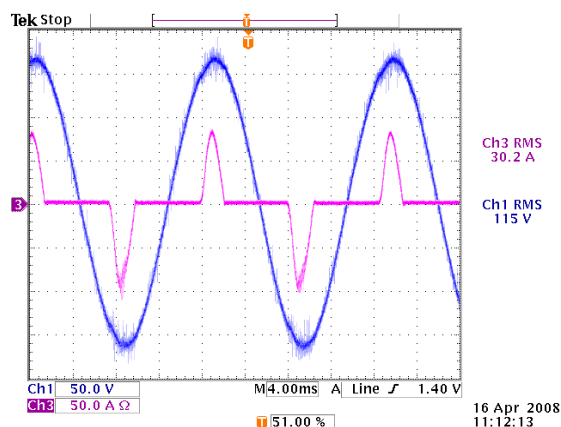


Figura 12 - Tensão e corrente na saída  
(Ch1:50V/div.; Ch3:50A/div.; 4ms/div.)

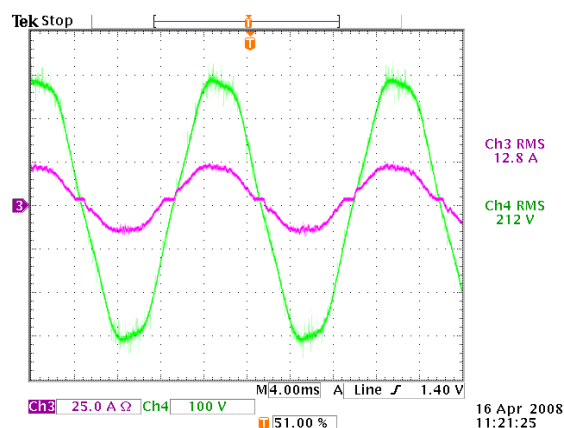


Figura 13 - Tensão e corrente na entrada.  
(Ch4:100V/div.; Ch3:25A/div.; 4ms/div.)

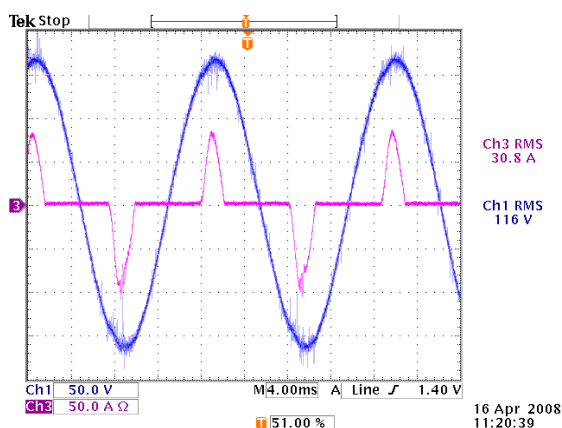
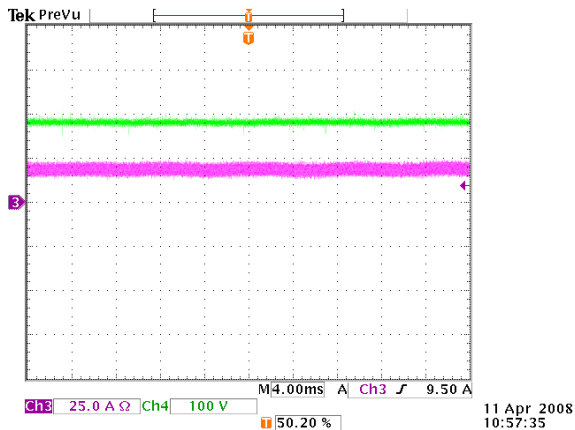


Figura 14 - Tensão e corrente na saída  
(Ch1:50V/div.; Ch3:50A/div.; 4ms/div.)

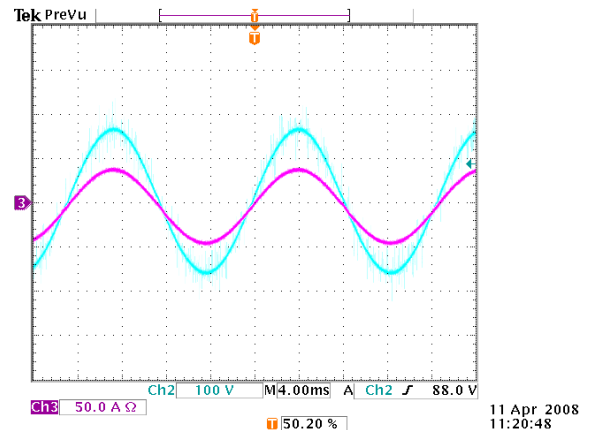
## 7.3. Operação do sistema UPS no modo Bateria (Carga Linear)

A Fig. 20 apresenta o comportamento da tensão e corrente no banco de baterias do sistema UPS, para a operação no modo bateria. Pode-se verificar que a corrente drenada do banco de baterias apresenta o formato contínuo com uma pequena ondulação. Esta característica da corrente drenada aumenta a vida útil do banco de baterias, sendo assim favorável para o sistema UPS como um todo.

A Fig. 21 mostra a tensão e corrente de saída do sistema UPS, a qual pode ser observado que a tensão de saída apresenta uma baixa distorção harmônica.



**Figura 15 - Tensão e corrente no banco de baterias durante a operação da UPS no modo bateria.**  
(Ch3:25A/div.; Ch4: 100V/div.; 4ms/div.)



**Figura 16 - Tensão e corrente na saída (Ch3:50A/div.; Ch1:100V/div.; 4ms/div.)**

## 8. CONCLUSÃO

O circuito de supervisão coleta dados de diversos pontos da UPS, processa esses dados e em seguida toma as decisões. Esse circuito é controlado por um microcontrolador e possui circuitos de amostragens. Em geral, o supervisor tem as seguintes funções: ligar ou desligar entrada e saída, fazer a leitura da tensão de entrada da rede, do banco de baterias e do barramento CC, monitorar as proteções do sistema, habilitar ou desabilitar os vários estágios da UPS, determinar modo de operação de acordo com os parâmetros do sistema, realizar interface com o operador através do envio de dados para um display, gerar senóide de referência para o inversor, realizar o sincronismo da saída com a entrada no modo rede etc.

O supervisor tem bastante importância na UPS, pois ele garante limites de operação para o equipamento. Dessa forma, ele protege as cargas, o equipamento e o operador.

## REFERÊNCIAS

BEKIAROV, S.B. EMADI, A. **Uninterruptible Power Supplies: Classification, Operation, Dynamics, and Control.** In: APEC'2002 - Applied Power Electronics Conference and Exposition Proceedings, Vol. 1, 2002. pp. 597-604.

BRANCO, C.G.C. **Sistema Ininterrupto de Energia de Dupla Conversão, não Isolado, com Tensões de Entrada e Saída Universais.** Fortaleza, 2005 Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

DE ASSIS, Alan Carvalho. **Sistemas Supervisórios para Automação Industrial Usando Software Livre.** <http://linuxabordo.com.br>, 2006.

FIOL-ROIG, Gabriel. FERRER-GILI, Mateo. **Expert System for Supervision of Real Time Control Processes.** In: Systems, Man, and Cybernetics, 1997. 'Computational Cybernetics and Simulation', 1997 IEEE International Conference on, Vol. 2, 1997. pp. 1966-1971.

MICROCHIP, **8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers DataSheet PIC18F452.** <http://www.microchip.com>, DS30569B, 2003.

SANTIAGO, Reuber S. **Desenvolvimento de uma UPS de 10kVA On-line Dupla Conversão.** Fortaleza, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.