

Plataforma Experimental para Controle Robusto de Fontes Ininterruptas de Energia

Autor: Vinicius de Oliveira Martins - Orientador: Jeferson Vieira Flores

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica

viniciusomartins@outlook.com; jeferson.flores@ufrgs.br

Resumo

Os sistemas ininterruptos de energia (UPS, do inglês *Uninterruptible Power Supply*) são sistemas responsáveis pelo fornecimento de energia de qualidade a cargas críticas quando a fonte primária de energia falha. Inicialmente eram compostos por sistemas dinâmicos, onde eram utilizados alternadores, motores de corrente contínua e bancos de baterias, porém com a evolução da eletrônica de potência e de dispositivos semicondutores, passaram a ser estáticos, proporcionando maior rendimento e desempenho. Com a necessidade de fornecer energia confiável, surgem problemas relacionados ao seguimento de referências senoidais, rejeição a perturbações periódicas, minimização de harmônicas e resposta rápida a transitórios de cargas. Assim, controladores para estas finalidades, tipicamente são *PID's*, ressonantes, repetitivos e ressonante-repetitivos. O projeto dos três últimos controladores é feito solucionando um problema de otimização com restrições na forma *LMI* (Linear Matrix Inequality). Dada a solução dos problemas e, por consequência, os parâmetros do controlador, a plataforma é acionada dando início a uma rotina de testes de acordo com as normas IEC62040-3 e a IEEE944 para validar o comportamento do controlador na plataforma.

Introdução

UPS

- São equipamentos projetados para fornecer tensão e corrente controladas para cargas críticas com alta confiabilidade e qualidade.
- Serve como fonte de energia secundária confiável capaz de entrar em ação rapidamente ao identificar falha na alimentação primária da carga.

Desempenho

- As normas IEC62040-3 e IEEE944 ditam o padrão para os ensaios necessários para a especificação da UPS, definindo a tolerância para a Distorção Harmônica Total (THD), a Distorção Harmônica Individual (IHD), os tempos de transitórios de carga e o erro de seguimento de referências.
- Quando é acionada, a UPS deve fornecer tensão senoidal, especificado pela referência, com frequência e amplitude iguais à fonte primária de energia.
- As cargas utilizadas nos ensaios são:
 - Lineares: formada exclusivamente por resistores;
 - Não-lineares: formada por uma ponte retificadora ligada a um circuito RC.

Controle

- *PID*: é muito utilizado na indústria por ter fácil implementação porém os resultados obtidos com ele não são ricos para seguimentos de referências senoidais, visto que é um controlador apropriado para referências constantes.
- Ressonante: proporciona o seguimento com erro nulo a referências condições a vazio e com carga linear, além de curtos intervalos de tempo de recuperação de transitórios de carga. Entretanto mostra-se ineficaz em rejeições de distúrbios de frequências diferentes das fundamentais, resultando em *THD's* consideráveis.
 - Pode-se ainda colocar *n* controladores ressonantes no caminho direto, sintonizados nas primeiras harmônicas ímpares, resultando em melhoras significativas para a *THD*.
- Repetitivo: apresenta erro no seguimento de referências senoidais por deslocar os picos de ressonância quando colocado na malha fechada porém minimiza as harmônicas presentes na saída.
- Repetitivo-Ressonante: é constituído por um repetitivo em paralelo com um ressonante para aliar as vantagens dos dois controladores.

Objetivos

- Aplicar diferentes métodos de controle para que se possa implementar e encontrar as melhores soluções para o problema, maximizando a funcionalidade do sistema.
- Validação experimental para ratificar o comportamento do controlador até então somente simulado.
- Melhoria da instrumentação do sistema a partir do desenvolvimento de novas placas de condicionamento de sinais.
- A documentação padrão dos ensaios é fundamental para que possamos comparar diferentes controladores para a plataforma.

UPS

Topologia

O conversor utilizado foi implementado baseando-se na topologia de UPS online de dupla conversão que resume-se a um conversor CA-CC (retificador) trifásico, um barramento CC e um conversor CC-CA (inversor) em sua saída.

Os blocos da Fig.1 ilustram o funcionamento do sistema.

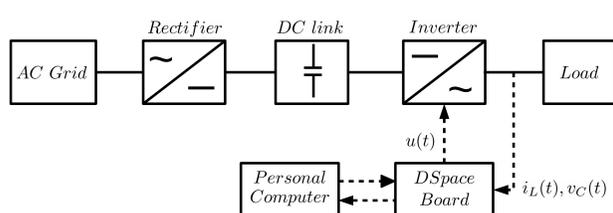


Figura 1: Diagrama de blocos do conversor.

Modelo do inversor

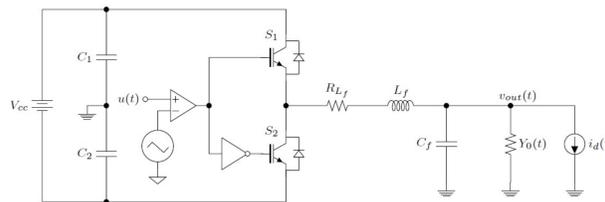


Figura 2: Modelo simplificado do UPS.

A representação do sistema no espaço de estados é dada por:

$$A_p(Y_0(t)) = \begin{bmatrix} -\frac{R_{L_f}}{L_f} & -\frac{1}{L_f} \\ \frac{1}{C_f} & -\frac{Y_0(t)}{L_f} \end{bmatrix} \quad B_p = \begin{bmatrix} \frac{K_{PWM}}{L_f} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{d_p} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{C_f} \end{bmatrix} \quad C = [0 \ 1]$$

A carga no modelo da Fig.2:

- $Y_0(t)$ é a admitância da carga;
- O conteúdo harmônico das cargas não-lineares é contabilizado através da corrente $i_d(t)$.

Bancada experimental

- O inversor de tensão de 3,5 kVA é composto por dois IGBTs na configuração de meia-ponte e um filtro LC associado a sua saída.
- Os IGBTs são chaveados por um sinal PWM, de acordo com o controlador digital, por meio de *drivers* de acionamento.
- A *dSPACE* é uma placa de controle em tempo real que deve fazer a aquisição dos dados de saída e executar o controlador digital (emitindo o sinal de controle para o comparador, $u(t)$ da Fig.2).



Figura 3: Plataforma de testes.

Placa de Condicionamento de Sinal

Tendo em vista a necessidade de conectar à *dSPACE* a tensão de saída da UPS e as diferentes restrições de cada componente da plataforma foi projetado um circuito intermediário que, com baixa distorção, atenda aos requisitos abaixo.

- tensão típica de pico da saída da UPS: $180V_p$,
- tensão máxima de entrada da *dSPACE*: 15V.
- filtro passa baixas de saída.

Projeto

- Duas fontes simétricas de $\pm 15V$ com *grounds* distintos alimentando o amplificador isolador *ISO124P*.
- Um divisor de tensão resistivo que diminui a amplitude do sinal de entrada em 24 vezes.
- Um diodo Zener em paralelo com a entrada para evitar danos ao CI devido a tensões imprevistas.
- Filtro passa-baixas na saída pode ser acionado por um *jumper*.

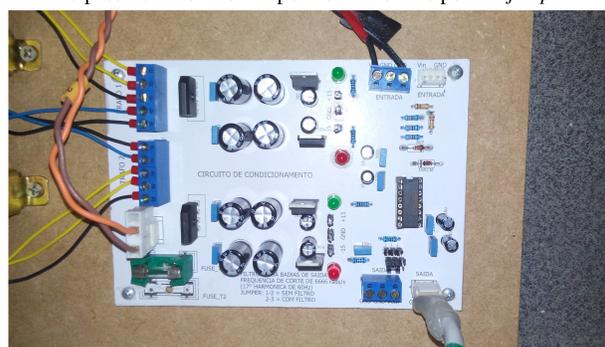


Figura 4: Placa de condicionamento.

Ensaio

Os ensaios são realizados para avaliar o comportamento do sistema quando comparado aos seus critérios de desempenho

- Transitório:
 - Tempo de acomodação;
 - Variação instantânea na saída frente a perturbações.
- Regime permanente:
 - *THD*;
 - Erro de seguimento.
- Resultados de ensaio com carga não-linear:
 - Tensão (em amarelo) e a corrente (em azul) de saída;

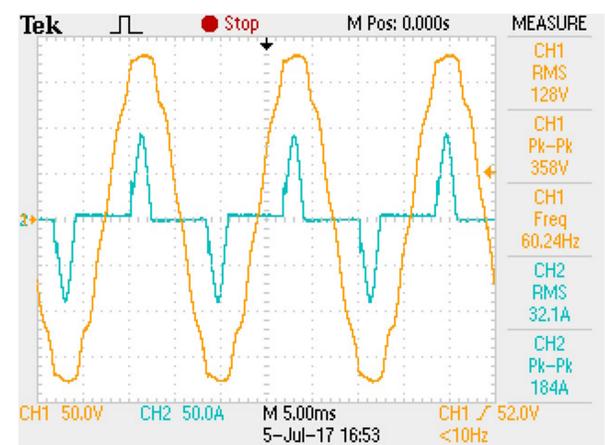


Figura 5: Tensão e corrente de saída.

→ *THD* da tensão de saída.

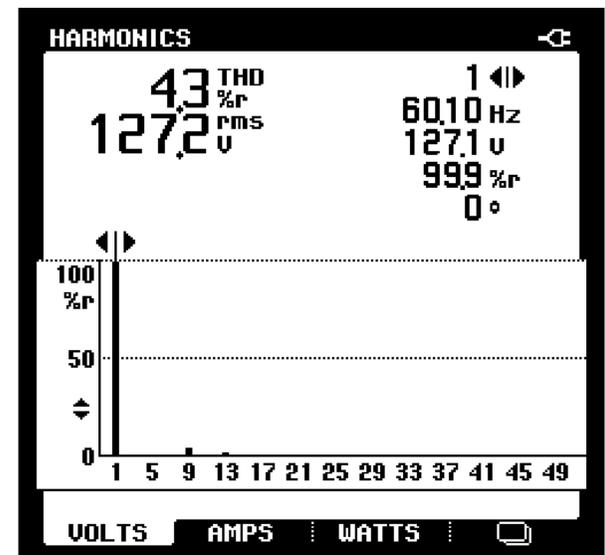


Figura 6: *THD* da tensão de saída.

Documentação

A documentação para os ensaios é sistemática. E os dados são obtidos através dos seguintes meios:

- *dSPACE*:
 - Dados numéricos exportados na forma de planilhas, através da *IHM*, para o computador;
 - Prints dos gráficos dos sinais de saída.
- *Power Analyzer*:
 - Prints da *FT* da saída.

Os dados do ensaio ainda são salvos em um banco de dados, prevendo possíveis comparações com outros trabalhos sobre o mesmo tema.

Conclusões

Para o UPS deve-se implementar um controle robusto, tendo em vista a variação da matriz de saída com a admitância das cargas para a segurança dos usuários.

A construção da placa de condicionamento possibilitou eliminar o mau contato e diminuir o ruído presente nos ensaios, mesmo que desabilitando o filtro de saída.