

Registrador de Perturbações em Subestações de Energia Elétrica

J.A. de França E.L. Mendes R.C.S. Freire G. S. Deep J.S. Rocha Neto
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal da Paraíba - DEE - CCT
e-mail: freire@dee.ufpb.br
Caixa Postal 10004, 58109-970, Campina Grande - PB

RESUMO

Algumas classes de manobras em sistemas elétricos de potência causam surtos. Em decorrência de uma atuação indevida da proteção da linha, estes surtos podem provocar o desligamento das linhas de transmissão. O conhecimento e a medição dos parâmetros desses surtos são importantes na identificação das suas causas. Para este caso, desenvolveu-se um protótipo de um sistema de aquisição de dados que registra as tensões e correntes do sistema elétrico, bem como os estados dos relés de proteção e de manobra no momento dos surtos. Os dados adquiridos são enviados a um microcomputador para armazenamento e estudo através de gráficos.

ABSTRACT

Algumas classes de manobras em sistemas elétricos de potência podem causar surtos. Em decorrência de uma atuação indevida da proteção da linha, estes surtos podem provocar o desligamento das linhas de transmissão. O conhecimento e a medição dos parâmetros desses surtos são importantes na identificação das suas causas. Para este caso, desenvolveu-se um protótipo de um sistema de aquisição de dados que registra as tensões e correntes do sistema elétrico, bem como os estados dos relés de proteção e de manobra no momento dos surtos. Os dados adquiridos são enviados a um microcomputador para armazenamento e estudo através de gráficos.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento dos sistemas elétricos, bem como o aumento de suas interações, torna-os susceptíveis a perturbações, que podem ser provenientes, por exemplo, da queda de uma linha de transmissão, afetando a interligação entre sistemas vizinhos. Além disso, alguns tipos de cargas especiais, durante a sua operação

normal, podem provocar distorção, flutuação, desequilíbrio ou variações de tensão no sistemas ao qual estão ligadas.

Por esta razão, é necessário que o sistema seja projetado para suportar situações transitórias impostas a ele. Tal projeto envolve o dimensionamento dos equipamentos, para que estes possam suportar as perturbações com certa margem de segurança. Além disso, o estudo dessas perturbações é essencial para a adequação do modelo da dinâmica do sistema, e é indispensável em simulações usadas para definição de limites operacionais no sistema [1]. Neste sentido, o conhecimento do sistema, tanto no regime permanente como no transitório, é indispensável.

O conhecimento do sistema em regime permanente não constitui problema, pois as medições podem ser feitas em intervalos de tempo relativamente longos. Entretanto, o mesmo não se pode dizer da caracterização do sistema em regime transitório, que tem sido tema de vários trabalhos científicos, pois a duração destes é pequena, entre 0,7 e 4 s [2].

No caso da caracterização do sistema em regime transitório, ele deve sofrer uma perturbação que pode ser provocada ou espontânea e dados referentes ao comportamento do sistema, anteriores e posteriores a perturbação, devem ser adquiridos e armazenados para análise posterior. Vários trabalhos descrevem perturbações geradas a partir do chaveamentos de reatores e capacitores ou da energização de transformadores [3]. Um exemplo é o sistema proposto por Lee e Osborne [4] para análise de falhas de alta impedância, no qual os testes foram efetuados sob condições controladas.

As perturbações provocadas ou "artificiais", além de levarem à discrepâncias dos dados coletados com os gerados por perturbações resultantes de operações, podem danificar equipamentos dos consumidores. No Brasil, este procedimento ainda é permitido, enquanto que em outros países é proibido sob pena de severas punições. Por esta razão, outros sistemas de

aquisição de dados sensíveis a ocorrência de perturbações, chamados de registradores de perturbações não-provocadas, foram propostos.

Apresenta-se aqui, uma alternativa para a monitorização de subestações de energia elétrica, através do projeto de um oscilógrafo digital baseado em um sistema de aquisição de dados, que coleta informações sobre a tensão e a corrente de fase do sistema, enviando-as até um microcomputador para armazenagem e tratamento. Distribuídos em pontos-chaves do sistema, um conjunto desses oscilógrafos pode fornecer informações importantes à respeito da sua dinâmica.

2 REGISTRO DE PERTURBAÇÕES EM SISTEMAS ELÉTRICOS

A especificação das grandezas a serem monitoradas dependem do sistema, do destino que se dará aos dados coletados e ao intervalo do transitório (pré-falha, falha, pós-falha) que se quer dar mais ênfase na análise. Porém, as grandezas mais importantes são [1]:

- Fluxo de potência ativa e reativa em pontos-chaves do sistema;
- Grandezas usadas na identificação de respostas das cargas principais;
- Grandezas referentes à geração: potência ativa e reativa na geração, tensão de saída, velocidade do rotor, etc;
- Estados de relés especiais e ações de controle usadas para manter a estabilidade, prevenir a propagação da perturbação;
- Frequência e tensão no barramento principal.

A monitorização de todas essas grandezas fornece uma informação completa relacionada à estabilidade das interconexões do sistema, das características dinâmicas dos geradores e cargas, e da resposta transitória de ações de controle. Entretanto, o custo decorrente desta monitorização pode ser bastante alto, por isso um critério pode ser usado para determinar-se as grandezas mais importantes para o estudo do sistema.

A armazenagem dos dados referentes a uma falha deve ter um gatilho automático que seja capaz de disparar para falhas remotas. Ou seja, durante a ocorrência de uma falha em uma determinada região, a própria perturbação deve ser capaz de disparar a gravação dos dados no sistema associado a esta região, assim como, em uma outra região não afetada pela perturbação.

Um critério de gatilho é essencial para a diminuição da quantidade de dados armazenados. Em [5], encontra-se uma lista de dispositivos cujos disparos podem ser usados para gerar o gatilho:

- relés de sobrecorrente instantâneas;
- relés de subtensão instantânea;
- relés de subfrequência;
- relés de sobrefrequência;
- relés de taxa de variação de corrente;
- relés de sobretensão instantânea;
- relés de potência excessiva;
- taxa de variação de potência, frequência, ou diferença de fase entre dois barramentos.

Estes dispositivos são sensíveis a mudanças nas variáveis do sistema e são indicações das perturbações que estão sendo monitoradas.

Outro fator importante refere-se ao gatilho de unidades remotas. A menos que algum arranjo especial seja usado, algumas perturbações podem não afetar o critério de gatilho de unidades remotas. Uma solução para evitar-se este caso é usar um gatilho sensível à variações na potência ou tensão causada pela propagação de oscilações para as partes remotas do sistema [1]. Outra alternativa um pouco mais simples, mas que também pode ser usada, é a utilização de uma unidade central para gerenciar o gatilho solicitado por qualquer uma das unidades remotas. Com o recebimento desta solicitação, o sistema central pode enviar um sinal para as outras unidades remotas, disparando o registro de eventos.

4 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PROPOSTO

Para a monitorização de sistemas elétricos, propõe-se um sistema de alta velocidade para capturar as formas de onda da corrente e tensão de uma fase, durante os períodos de pré-falha, falha e pós-falha, dentro de uma faixa de DC até 2,5 kHz. Além disso, o sistema deve registrar o estado de relés especiais e ações de controle usados para manter a estabilidade do sistema ou prevenir a propagação da perturbação para outras partes deste. Isto é usado principalmente para monitorar a eficiência de dispositivos de proteção ou de controle novos ou experimentais [6].

O sistema de monitoramento foi dividido em dois subsistemas: o primeiro para fazer a aquisição dos dados, que é dividido em três módulos iguais (um para

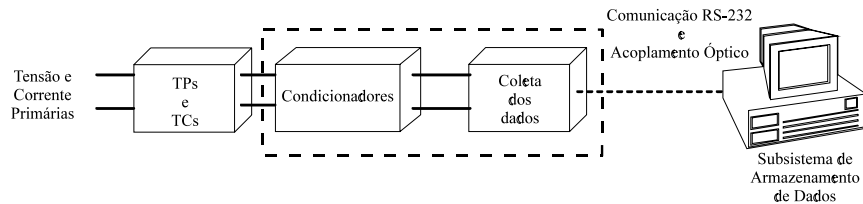


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema para registro de perturbações em sistemas elétricos.

cada fase do sistema), e o segundo para armazenamento dos dados coletados, localizado distante do primeiro e formado basicamente por um computador. Na Figura 1, apresenta-se o diagrama de blocos do sistema proposto.

A vantagem deste tipo de arranjo é a possibilidade de conectar-se todas as unidades de aquisição de dados à uma mesma unidade de coleta. Dessa forma, os dados são facilmente acessíveis ao operador, além disto, facilita-se o gatilho de sistemas remotos pela utilização do arranjo descrito na seção 3, no qual uma unidade central distribui o sinal de gatilho por todas as unidades remotas.

O módulo do subsistema de aquisição de dados tem um canal analógico para monitorar a corrente e outro para monitorar a tensão de uma fase da rede elétrica, além de oito canais digitais para monitorar os estados dos relés especiais de proteção e de controle. As características do sistema foram impostas pelas necessidades das pesquisas desenvolvidas pela CHESF.

As principais características do sistema são listadas a seguir:

- Registrar a forma de onda da tensão e da corrente instantâneas das fases do sistema durante a duração do surto;
- Fornecer informações sobre a tensão e corrente das fases e sobre os estados de chaves, disjuntores, relés, etc, do sistema durante a duração do surto;
- Transmitir os dados coletados a uma unidade central de controle, onde os mesmos serão armazenados em microcomputador para análise posterior;
- Possibilitar uma interpretação adequada dos valores máximos da frequência associada aos surtos, e;
- Classificar a natureza de cada um dos surtos quanto ao tipo de interferência que os provocam.

5 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO E DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Para registrar os surtos de tensão, o sistema realiza continuamente aquisição de todos os canais e armazena

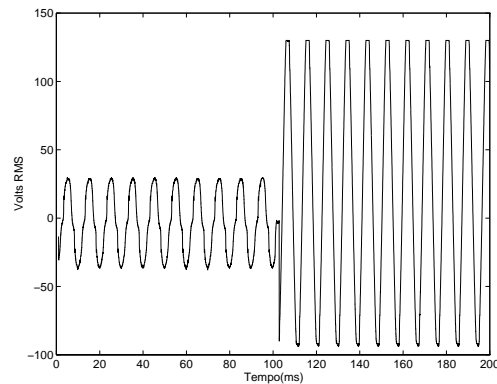


Figura 2: Forma típica de onda da tensão, em uma fase, amostrada pelo sistema de registro de perturbações (primeiros 200 ms).

os dados coletados em uma memória volátil, até que receba um sinal externo avisando a ocorrência de um surto (gatilho). Em seguida, mantendo gravados os dados referentes aos 100 ms imediatamente anteriores ao recebimento do gatilho, o sistema realiza aquisição de dados durante mais 800 ms, ou seja, no final de uma ocorrência, têm-se dados correspondentes a um total de 900 ms de aquisição. Após esta aquisição o sistema envia os dados, através de cabos coaxiais, até um microcomputador, onde os mesmos são armazenados e podem ser analisados.

Na Figura 2 é apresentado os primeiros 200 ms de uma forma de onda típica da tensão, em uma fase do sistema, amostrada pelo registrador de perturbações.

Dos dois subsistemas o mais complexo é o de aquisição dos dados. Ele é formado por condicionadores dos sinais e por um sistema digital baseado no microcontrolador MC68HC11. A aquisição dos dados, temporização dos eventos e envio dos dados para o sistema central de controle, é gerenciada pelo microcontrolador MC68HC11. Os dados são amostrados com o A/D de 8 bits interno ao microcontrolador, e são armazenados em uma memória RAM de 8 k-octetos.

O envio dos dados até o sistema central de controle é feito através de porta de comunicação RS-232, por cabos coaxiais, através de uma das portas de Entrada/Saída do microcontrolador. No sistema central

de controle, a coleta dos dados é feita através da porta de comunicação serial de um microcomputador, no qual existe um programa para receber e armazenar os dados no disco rígido, além de permitir uma análise gráfica dos mesmos.

A seguir são analisadas cada uma das partes que compõem o sistema de aquisição de dados para registro de perturbações.

5.1 Transdutores Utilizados

É esperado que os equipamentos de monitorização de perturbações sejam conectados a estações de TPs (transformadores de potência) e TCs (transformadores de corrente) usadas para medição e isolamento. Para a maioria dos casos, a característica das estações de TPs e TCs são aceitáveis [1].

Por monitorar os valores instantâneos da corrente e tensão de uma fase do sistema, outras grandezas podem ser calculadas [1], [7] e [8]. Por exemplo, a potência pode ser derivada da corrente e da tensão de fase do sistema através da equação 1 (equação transdutora)

$$P = VI. \quad (1)$$

No caso de usar-se "equações transdutoras", os cálculos subsequentes são bastante simplificados se todas as grandezas forem amostradas ao mesmo tempo [1]. Após a conversão A/D, as equações podem ser aplicadas diretamente aos dados amostrados.

Neste trabalho porém, devido as limitações de aritmética em ponto flutuante do 68HC11, os dados primeiro necessitam ser armazenados no sistema central de controle, para só em seguida serem aplicadas as "equações transdutoras". O resultado deste esquema é um sistema mais flexível, com as características dos sinais facilmente adequadas às necessidades do usuário, através de programação.

Para a aquisição de dados, tem-se como referência, no ponto de monitoramento, um sistema trifásico com tensão nominal de $115/\sqrt{3}$ V entre a fase e o terra, e corrente nominal de 5 A. Com a ocorrência de um surto, a tensão pode atingir até 20 % a cima do seu valor nominal, enquanto que a corrente, atinge até vinte vezes seu valor nominal. Entretanto, na grande maioria dos casos, o valor máximo da corrente atinge apenas quatro vezes seu valor nominal. Desse modo, o sistema de aquisição de dados deve ser capaz de adquirir valores para tensão e corrente de até $1,2 \times 115/\sqrt{3}$ V e 4×5 A, respectivamente.

Os sinais analógicos passam por um estágio condicionador, mostrado na Figura 3. Nesta Figura 3, primeiramente as saídas dos transdutores passam divisor resistivo para baixar seu nível de tensão. Em seguida, usa-se um gramepeador de precisão que faz com que eles

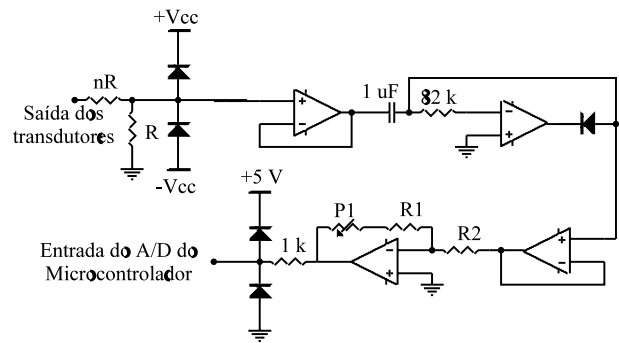


Figura 3: Circuito condicionador para os sinais de tensão e corrente.

tornem-se negativos. Logo após, um estágio com um amplificador inversor é utilizado para tornar os sinais positivos e fazer um ajuste fino em suas amplitudes, colocando-os entre 0 e 5 V. Dessa forma, o sinal de tensão e de corrente ocupam toda a faixa de conversão do A/D do microcontrolador.

5.2 Aquisição e Transferência dos Dados

Como visto na seção 5, as tarefas de aquisição e transferência de dados foram automatizados utilizando-se o microcontrolador MC68HC11. O microcontrolador tem a função de digitalizar os sinais em estudo (canais analógicos e digitais), através de seu A/D de 8 bits, controlar a taxa de amostragem dos canais (através de seu temporizador de 16 bits), e transmitir os dados (através de comunicação RS-232, via cabos coaxiais) até o microcomputador, onde os mesmos são armazenados.

As formas de onda dos sinais de tensão e de corrente são semelhantes, variando em ordem de grandeza, ambas são limitadas em 2,5 kHz. Por isto, para amostrar os surtos, escolheu-se uma taxa de amostragem de 26 kHz.

Para os canais digitais a frequência mínima necessária é de 500 Hz. Contudo, para uma melhor caracterização dos sinais digitais, escolheu-se uma frequência quatro vezes maior, ou seja, 2 kHz.

Para que o microcontrolador atendesse a todas as necessidades da aplicação, foi desenvolvido o sistema digital apresentado na Figura 4. Como apresentado na Figura 4, foi utilizado uma memória EPROM de 8 k-octetos para armazenar o programa que gerencia as funções do microcontrolador, além de 48 k-octetos de memória RAM para armazenamento temporária dos dados amostrados. A quantidade de memória RAM foi dimensionada a partir do intervalo de aquisição de dados (900 ms) e da taxa de amostragem dos canais analógicos e digitais.

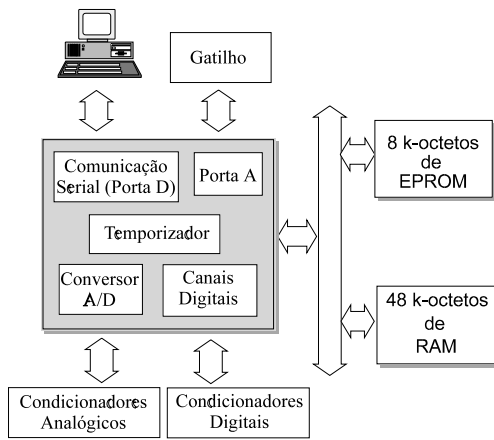


Figura 4: Diagrama de blocos do sistema desenvolvido com microcontrolador MC68HC11 para o sistema de aquisições de dados para registro de perturbações.

Para controlar as funções do microcontrolador, foi desenvolvido um programa em assembler, que encontra-se armazenado em uma memória EPROM no subsistema de aquisição de dados (Figura 4). O fluxo-grama deste programa é apresentado na Figura 5.

Inicialmente o programa configura a porta serial do microcontrolador, bem como o conversor A/D. Em seguida, realiza conversões contínuas dos canais digitais e dos canais analógicos, com a taxa de amostragem discutida anteriormente. Após cada aquisição de dados, o programa verifica a porta "A" do microcontrolador (Figura 4) para saber se ocorreu um surto no sistema elétrico. Se um surto tiver ocorrido, o sistema adquire dados durante mais 800 ms e envia pela porta serial RS-232 (via cabos coaxiais), os dados referentes a 100 ms antes do surto e 800 ms depois do surto, como visto na seção 5. Após enviar os dados, o programa volta a fazer novas conversões até que ocorra outro comando/surto.

5.3 Armazenamento e Análise dos Dados

No sistema de controle central deve existir um microcomputador que é responsável pela coleta e armazenamento dos dados. É necessário que um programa para recepção dos dados seja executado no microcomputador. O fluxograma da sub-rotina para recepção dos dados é apresentado na Figura 6.

O programa, quando executado, verifica continuamente se existe algum dado pronto na porta serial, caso exista, e se este dado for 55H, o programa adquire todos os dados coletados e converte-os, através da informação dos ganhos dos condicionadores previamente armazenada, para as tensões e correntes. Em seguida, os dados são armazenados no disco rígido do compu-

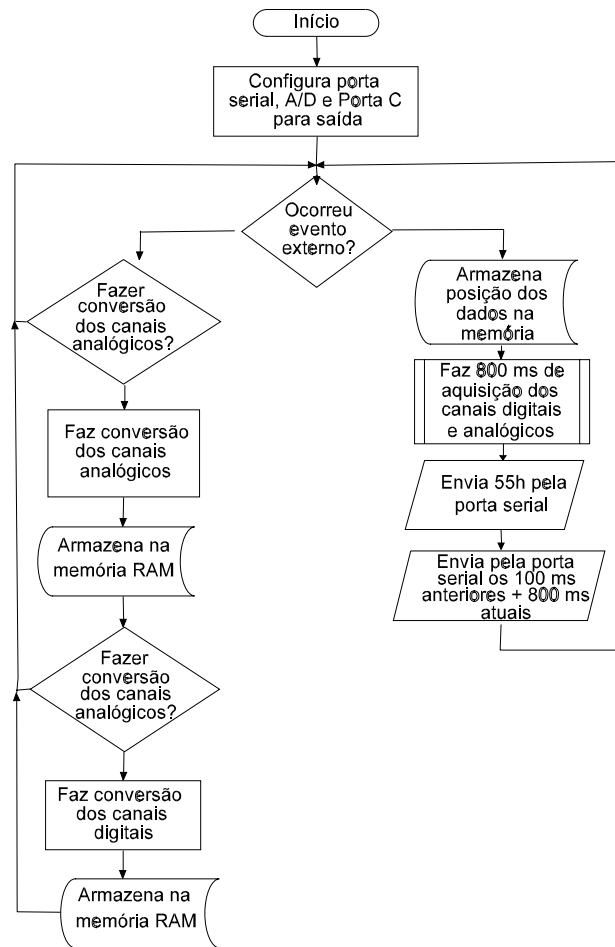


Figura 5: Fluxograma do programa que gerencia as funções do microcontrolador para o sistema de registro de perturbações.

tador. O nome do arquivo é formado pelo próprio programa, e tem a forma apresentada na Figura 7.

O arquivo tem a extensão "DAT" e seu nome tem quatro duplas de algarismos: a primeira dupla informa o ano em que aconteceu o surto, e as seguintes informam o mês, a hora e os minutos, respectivamente, em que ocorreu o surto. Dessa forma, pode-se escolher a data do arquivo para análise apenas pelos nomes dos arquivos. O programa também permite analisar os dados através de vários tipos de curvas. Pode-se escolher visualizar todas as curvas na mesma tela e no mesmo eixo de tempo, pode-se visualizar os canais analógicos individualmente ou em conjunto. E ainda, tem-se acesso a ferramenta para zoom, através da qual também é possível medir-se a frequência dos surtos.

O programa permite obter informações apenas dos valores instantâneos da tensão e corrente de fase, e da frequência do surto. Porém, pode-se inserir no programa "equações transdutoras" para a análise de ou-

tras grandezas de interesse.

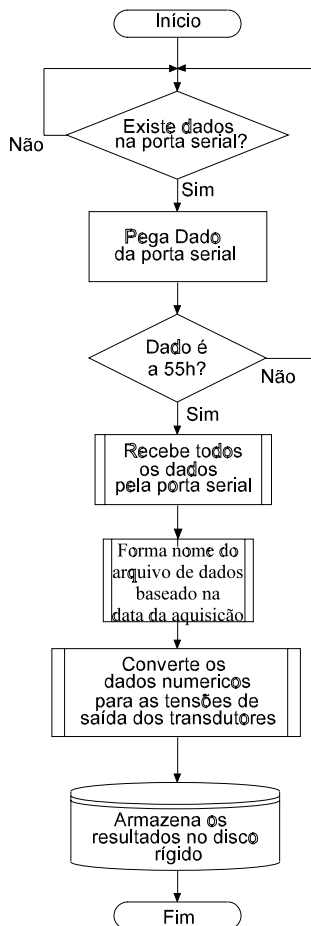


Figura 6: Fluxograma da sub-rotina de coleta de dados, do programa executado no microcomputador, para o sistema de registro de perturbações.

6 CONCLUSÃO

A instalação do sistema proposto em pontos chaves do sistema elétrico pode dar subsídios para conhecer-se a dinâmica deste sistema. Além disso, a estratégia geral de monitoramento e registro de perturbações apresentada neste sistema possibilita um meio adequado para recuperação, coordenação e redução dos dados para análise posterior. Os componentes utilizados no projeto permitem obter-se um sistema de monitoramento versátil e eficiente, a um preço relativamente

Ano	Mês	Horas	Minutos	.DAT
-----	-----	-------	---------	-------------

Figura 7: Formato do nome do arquivo para o registrador de perturbações.

baixo.

A restrição ao monitoramento da corrente e tensão de fase do sistema elétrico, como visto na seção 5.1, não constitui uma limitação, visto que, o entendimento das características gerais do sistema e a natureza do problema de estabilidade podem identificar outras grandezas necessárias; e o uso de "equações transdutoras" pode fornecer informações à respeito destas grandezas, algumas delas de difícil acesso através de transdutores analógicos [1].

Para facilitar o uso de "equações transdutoras", um cartão de aquisição de dados pode ser usado. Este cartão pode ter uma resolução maior que a do conversor A/D do 68HC11, por exemplo, de 12 bits, e, em conjunto com a aritmética de ponto flutuante do PC, facilitaria bastos os cálculos.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPq, a CAPES e a COPELE-UFPB pelo apoio recebido durante o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Kundur, T.M. Athay, J.H. Fish, D.C. Lee, J.V. Mitsche, R.P. Schulz, K. Srinivasan, and C.W. Taylor. Instrumentation for monitoring power system dynamic performance. Technical report, The IEEE Task Force on Instrumentation for Systems Dynamic Performance, fevereiro 1987.
- [2] M.F.S. Farias. Implementação de um algoritmo para modelagem de carga em função da tensão e da frequência. Master's thesis, Universidade Federal da Paraíba, 1988.
- [3] E.A.C. Da Costa. Desenvolvimento de um registrador de perturbações nos sistemas elétricos. Master's thesis, Universidade Federal da Paraíba, 1991.
- [4] R.E. Lee and R.H. Osborn. A microcomputer based data acquisition system for high impedance fault analysis. *IEEE Transaction on Power System*, pages 144–148, outubro 1985.
- [5] IEEE Task Force Report. Application of instrumentation for the evaluation of power system dynamic performance. Technical report, IEEE Task Force Report, julho/agosto 1972.
- [6] P. Bornard. Power system disturbance recording and monitoring on the edf network. *IEEE Transactions on Power Systems*, pages 142–144, fevereiro 1988.

- [7] P.H. Ashmole and U. Di Caprio. Recorders for longer term systems disturbances on the cegb and enel systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, pages 137–141, fevereiro 1988.
- [8] D.E Perry, T.L. Battisto, and C.W. Taylor. Power system dynamic performace monitoring at bpa. *IEEE Transactions on Power Systems*, pages 134–137, fevereiro 1988.