

ELCIO FRANKLIN DE ARRUDA

**ESTIMAÇÃO DE ESTADOS DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS EM
SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS
EVOLUTIVAS**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Engenharia

São Paulo
2008

ELCIO FRANKLIN DE ARRUDA

**ESTIMAÇÃO DE ESTADOS DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS EM
SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO ESTRATÉGIAS
EVOLUTIVAS**

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Energia e
Automação Elétricas

Orientador: Prof. Livre Docente
Nelson Kagan

São Paulo
2008

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 10 de julho de 2008.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Arruda, Elcio Franklin de

Estimação de estados de distorções harmônicas em sistemas elétricos de potência utilizando estratégias evolutivas / E.F. de Arruda. -- ed.rev. -- São Paulo, 2008.

125 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Transmissão de energia elétrica 2.Distribuição de energia elétrica 3.Geração de energia elétrica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

À minha querida Érika.

Tecendo a Manhã

(João Cabral de Melo Neto)

*"Um galo sozinho não tece a manhã:
ele precisará sempre de outros galos.*

*De um que apanhe esse grito que ele
e o lance a outro: de um outro galo
que apanhe o grito que um galo antes
e o lance a outro; e de outros galos
que com muitos outros galos se cruzam
os fios de sol de seus gritos de galo
para que a manhã, desde uma tela tênue,
se vá tecendo, entre todos os galos.*

*E se encorpando em tela, entre todos,
se erguendo tenda, onde entrem todos, no toldo
(a manhã) que plana livre de armação.*

*A manhã, toldo de um tecido tão aéreo
que, tecido, se eleva por si: luz balão".*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que neste país do futebol me incentivaram a jogar.

Aos meus irmãos que sempre me motivaram nos treinos e contribuíram significativamente em minhas atuações.

Ao Tirso Tarrau que me motivou através de sua luta contínua nos campos da vida.

Aos meus professores do ensino primário ao colegial que muito me ensinaram e estão diretamente relacionados à minha formação tática.

Aos professores universitários e pós-universitários que indicaram as melhores jogadas para se conseguir um gol.

Ao Professor Nelson Kagan que foi um técnico paciente nesta partida.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, juíza e estádio desta partida.

À Érika Dib que além de conselheira e massagista tornou-se minha verdadeira empresária.

Ao Aloísio Dib e à Maria Elisa Celestino, componentes da torcida organizada, pelos cutucões e críticas quanto às regras.

Aos meus amigos do time que contribuíram com meu desempenho.

Aos meus amigos torcedores que me apoiaram mesmo em momentos de derrotas.

À torcida adversária.

A Deus por ter criado todo esse jogo.

RESUMO

Esta teste de doutorado tem como objetivo o desenvolvimento de um algoritmo de Estimacão de Estados de Distorces Harmnicas (EEDH) em Sistemas Elétricos de Potência. Embora o custo dos medidores de qualidade de energia tenha diminuído, ainda é inviável a utilizao de medidores para a monitorao de todas as barras de um sistema elétrico real, pois o sistema de monitorao tornar-se-ia demasiadamente oneroso. Sendo assim, torna-se necessária à utilizao de algoritmo capaz de estimar, a partir de um pequeno número de pontos de monitorao, os valores das distores harmônicas em demais pontos do sistema. Para resolver o problema em estudo, propõe-se a utilizao de algoritmo de Estratégias Evolutivas. Tal algoritmo se mostra viável por sua facilidade de implementao e sua velocidade em encontrar uma soluço dentro de um vasto espaço de solues. Neste contexto, uma soluço para o problema de estimacão compreende um indivídulo que pode sofrer mutao e recombinao, sendo este avaliado a cada gerao do algoritmo. A avaliao de cada indivídulo esta relacionada à minimizao do erro quadrático de estimacão de tensões nas barras monitoradas do sistema. Para esta realizao são utilizadas as informaes das distores provenientes de “medidores”, bem como as informaes da rede. O fluxo de carga para a freqncia fundamental é realizado e tomado como referência para ajustes de ângulos das distores harmônicas na ausência de um sistema de sincronizao. O algoritmo proposto foi submetido para analisar inicialmente uma rede elétrica hipotética de 4 barras com o intuito de se verificar a capacidade da metodologia. Em seguida uma rede elétrica de 14 barras foi utilizada para configurar os parâmetros do algoritmo de Estratégia Evolutiva. Esta mesma rede foi submetida à análise da estimacão da Distoro Harmnica Total. Por fim, com o intuito de explorar as limitaes e potencialidades, a metodologia proposta foi aplicada na análise de uma rede de subtransmissão de 50 barras, utilizando modelos por componentes simétricas e por componentes de fase. Os resultados obtidos foram promissores e indicam este ramo de estudos como sendo de grande viabilidade podendo diminuir os custos de um sistema de monitoramento de qualidade de energia elétrica, que se utiliza de EEDH.

Palavras Chave: Qualidade de Energia, Estimacão Harmnica, Algoritmos Evolutivos, Estratégias Evolutivas

ABSTRACT

The aim of the present thesis is to develop a Harmonic Distortion State Estimation algorithm for Power Systems. Although the cost of Power Quality Meters has decreased for a while now, it is still not practicable the use of one meter for each real system bus. This demands a Harmonic Distortion State Estimation (HDSE) algorithm to find the harmonic components in buses with no measurement. An Evolutionary Strategy algorithm is proposed in this work to solve the harmonic estimation problem. This algorithm shows good results due to its easy implementation and its quickness to find a solution for a complex problem, as the HDSE demands. In this context a solution for the estimation problem is based on a population of individuals that suffer mutation and recombination operations, and are evaluated in each generation. The individual evaluation is related to the minimization of the sum of square deviations of voltage estimation in buses with measurement. Harmonic data from meters and network data are taken as the model inputs. A load flow determines the system state for the fundamental frequency that provides the reference for the angle adjustment for harmonics. The proposed algorithm was first submitted to analyze a small four bus electrical network to verify the viability of this methodology. After this, a 14 bus electrical network was used to configure the evolutionary strategy algorithm parameters and to determine the Total Harmonic Distortion estimation. Finally, in order to understand the limitations and capability of the proposed methodology, a 50 bus subtransmission three-phase network was analyzed by models based on symmetrical components and phase components. The obtained results are very promising and indicate a considerable cost reduction in power quality monitoring systems.

Keywords: Power Quality, Harmonic Estimation, Evolutionary Algorithms, Evolutionary Strategies

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelos de cargas: (a) modelo paralelo e (b) modelo série.....	42
Figura 3.1 - Fluxo de informação em um sistema genético	45
Figura 3.2 – Evolução de uma população durante uma geração.	47
Figura 3.3 – Fluxograma representativo do algoritmo de Estratégia Evolutiva.....	55
Figura 3.4 – Função exemplo do algoritmo de EE – ponto máximo da função em destaque..	56
Figura 3.5 – Indivíduos da população inicial representados pelos círculos em cor cinza.	57
Figura 3.6 – Indivíduos filhos em cor cinza claro gerados por mutação a partir dos indivíduos pais em cor cinza escuro.	57
Figura 3.7 – Indivíduos selecionados para a segunda geração.....	58
Figura 3.8 – Indivíduos da segunda geração em cinza escuro, seus filhos gerados por mutação em cinza claro e um indivíduo gerado por recombinação em preto.....	58
Figura 3.9 – Indivíduos selecionados para a terceira geração.	59
Figura 3.10 – Indivíduos da terceira geração em cinza escuro e seus filhos gerados por mutação em cinza claro.	60
Figura 3.11 – Indivíduos da quarta geração em cinza escuro e seus filhos gerados por mutação em cinza claro.	60
Figura 3.12 – Indivíduos da sexta geração em cinza escuro e ponto de máximo global em preto.	60
Figura 5.1 – Representação dos indivíduos (a) na frequência fundamental e (b) e uma ordem harmônica n.....	70
Figura 5.2 – Representação vetorial dos indivíduos para EEDH de uma ordem harmônica n.	70
Figura 5.3 – Representação vetorial dos indivíduos com os parâmetros estratégicos.....	71
Figura 5.4 – Representação de um indivíduo pai e seus filhos gerados por mutação.	72
Figura 5.5 – Operador Recombinação.	73
Figura 5.6 – Ilustração do vetor diferença utilizado na avaliação de um indivíduo.....	74
Figura 5.7 – Método de seleção ($\mu+\lambda$).....	76
Figura 5.8 – Fluxograma esquemático de funcionamento do EEDH proposto.....	79
Figura 5.9 – Representação vetorial dos indivíduos para uma análise trifásica.....	80

Figura 6.1 – Rede elétrica de quatro barras utilizada inicialmente para verificar a aplicabilidade da metodologia proposta.	84
Figura 6.2 – Rede elétrica de 14 barras utilizada para análise.	86
Figura 6.3– Erro médio de estimação em função do número de indivíduos na população inicial.	90
Figura 6.4 – Evolução dos passos de mutação para diferentes valores iniciais	91
Figura 6.5 – Evolução dos passos de mutação em função do parâmetro β	93
Figura 6.6 – Evolução dos passos de mutação em função da forma de recombinação.	95
Figura 6.7 – Evolução dos passos de mutação em função da forma de evolução: $(\mu+\lambda)$ e (μ,λ)	96
Figura 6.8 – Nota média dos melhores indivíduos (eixo das ordenadas) para cada ordem harmônica em função das gerações (eixo das abscissas).....	99
Figura 6.9 – Evolução dos passos de mutação (eixo das ordenadas) para cada ordem harmônica (H) considerada em função das gerações (eixo das abscissas).	100
Figura 6.10 – Rede elétrica de 50 barras utilizada na análise das distorções harmônicas.	103
Figura 6.11 – Onze medidores instalados aleatoriamente na rede – primeiro caso de análise.	106
Figura 6.12 – Erros relativos de estimação por ordem harmônica H e para as três fases – primeiro caso de análise.....	107
Figura 6.13 – Média dos erros relativos de estimação para cinco casos rodados por ordem harmônica H e para as três fases – primeiro caso de análise.	107
Figura 6.14 – Nota média dos melhores indivíduos para cada ordem harmônica em função das gerações - primeiro caso analisado com a rede de 50 barras: 11 medidores instalados aleatoriamente.....	108
Figura 6.15 – Evolução dos passos de mutação cada ordem harmônica considerada em função das gerações - primeiro caso analisado com a rede de 50 barras: 11 medidores instalados aleatoriamente.....	109
Figura 6.16 – Média dos erros relativos de estimação para cinco casos rodados por ordem harmônica H e para as três fases considerando 20 indivíduos por geração – primeiro caso de análise.....	110
Figura 6.17 – Oito medidores instalados aleatoriamente na rede – segundo caso de análise.	111
Figura 6.18 – Média dos erros relativos de estimação para cinco casos rodados por ordem harmônica H – oito medidores instalados aleatoriamente na rede (segundo caso de análise).	111

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

