



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

## **Plataforma para Simulação de Motores com Dispositivos de Partida Baseada na Integração do ATPDraw com o *TOPReDE***

<b>André L. A. de Araújo</b>	<b>Arthur S. de Medeiros</b>	<b>J. Tavares de Oliveira</b>
<b>COSERN</b>	<b>UFRN</b>	<b>UFRN</b>
andre.araujo@cosern.com.br	arthurs@dca.ufrn.br	jtavares@ct.ufrn.br
<b>Andrés O. Salazar</b>	<b>J. Alberto N. de Oliveira</b>	<b>M. Firmino de Medeiros Jr.</b>
<b>UFRN</b>	<b>UFRN</b>	<b>UFRN</b>
andres@dca.ufrn.br	nicolau@ufrnet.br	firmino@dca.ufrn.br

### **Palavras-chave**

Cálculo de afundamento

Partida de motores

ATP

TOPReDE

### **Resumo**

Este artigo tem como foco principal descrever o desenvolvimento da plataforma e apresentar suas funcionalidades.

A plataforma foi criada com o objetivo de detectar e analisar previamente, possíveis afundamentos causados em uma rede de distribuição de energia elétrica mediante a partida de motores. Para isto foi preciso criar um software para atuar como meio de comunicação entre dois outros, o TOPReDE e o ATP, para que as redes de distribuição contidas no banco de dados do TOPReDE pudessem ser manipuladas e analisadas pelo ATP.

Foi incluída no software a possibilidade de inserir, além do motor, seus dispositivos de partida nas redes de distribuição e permitir que o usuário tenha acesso aos efeitos que a partida desses motores provocam na rede, tanto visualmente quanto sob a forma de relatório.

## **1. INTRODUÇÃO**

O transitório que envolve a partida de motores de médio e grande porte ligados no sistema elétrico das concessionárias distribuidoras de energia elétrica tem se situado - principalmente nos casos em que essas cargas estão localizadas em pontos mais remotos dos alimentadores, no conjunto dos principais problemas a serem resolvidos, dados os efeitos que as partidas dessas cargas impõem à qualidade do fornecimento de energia elétrica dos consumidores.

Visando a avaliar os efeitos na qualidade da energia, do transitório causado pela partida de motores, desenvolveu-se uma plataforma de simulação, contendo modelos de motores elétricos de médio e grande porte., bem como de dispositivos usuais de partida.

Para o desenvolvimento dessa plataforma escolheu-se o ambiente de programação Delphi 7, utilizando a linguagem Object Pascal, além da utilização de softwares auxiliares como o

ATP(Alternative Transient Program) – programa que permite a simulação de transitórios eletromagnéticos em redes polifásicas e o PlotXY – ferramenta para visualização gráfica. O software trabalha principalmente com a conversão de componentes existentes no software TOpReDE - *Técnicas de Otimização para Redes de Distribuição de Energia Elétrica* - em outros que fazem parte do ATP. O usuário tem também a possibilidade de conectar à rede de suprimento, dispositivos de medição para que seja possível a visualização das formas de onda, tanto de tensão quanto de corrente, a partir do PlotXY e, a partir dessa forma de onda o usuário é capaz de fazer uma análise dos efeitos causados à rede pela partida de motores, sendo possível a geração de um relatório impresso para uma melhor análise dos dados obtidos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A primeira etapa do trabalho consistiu em desenvolver uma aplicação que pudesse ler um arquivo texto no formato descrito pelo TOpReDE e convertê-lo em um outro arquivo texto num formato que pudesse ser lido pelo ATP. Dessa forma seria possível fazer uma análise do comportamento da rede em cada um de seus nós, a partir de medidores colocados em locais escolhidos pelo usuário. Primeiramente foram escolhidos os componentes do ATP mais adequados para a simulação das redes de distribuição e então foram feitas as conversões dos dados que as caracterizam, apresentados pelo TOpReDE, em dados de entrada para esses componentes. Essas redes são simuladas no ATP sob a forma de linhas e cargas que têm como caracterização suas resistências e reatâncias. As linhas representam os condutores entre cada par de nós presentes na rede. O ATP possui uma ferramenta gráfica chamada ATPDraw, que foi utilizada durante o desenvolvimento do projeto para a visualização e para comparação dos resultados gerados pelo software desenvolvido. Na Figura 1, pode-se observar uma rede de distribuição implementada no ATPDraw.

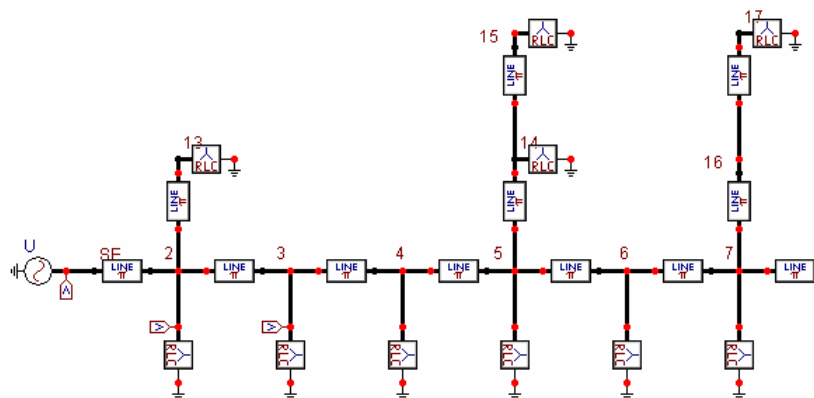


Figura 1 – Representação de uma rede de distribuição no ATPDraw.

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO E MODELO DO MOTOR UTILIZADO

A conclusão do algoritmo de conversão possibilitou a passagem para outro estágio do desenvolvimento da plataforma, permitir ao usuário inserir um motor juntamente com suas chaves de partida na rede. O modelo do motor que é utilizado na simulação pode ser visualizado no ATPDraw como mostra a Figura 2.

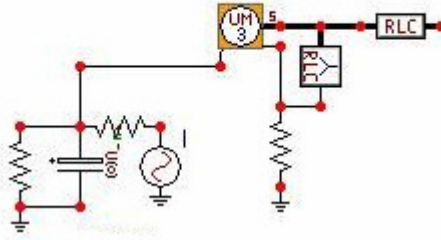


Figura 2 – Representação do motor no ATPDraw

Os parâmetros desse motor são variáveis de entrada do programa e são fornecidos pelo usuário. De acordo com o tipo de motor com o qual ele deseja realizar a simulação, será pedido ao usuário que determine os seguintes parâmetros:

- Tensão de Fase (V)
- Resistência do Estator (ohm)
- Resistência do Rotor (ohm)
- Indutância do Estator (H ou PU)
- Indutância do Rotor (H ou PU)
- Indutância de Magnetização (H ou PU)
- Momento de Inércia (uF)
- Torque Nominal (Nm)
- Número de par de pólos
- Tipo de Ligação (Estrela ou Triângulo)
- Perdas Mecânicas (ohm)

## 2.2. MODELOS DOS DISPOSITIVOS DE PARTIDA DESENVOLVIDOS

É necessário que o usuário forneça além dos parâmetros do motor, os parâmetros de cada um dos dispositivos de partida a serem inseridos juntamente com o motor. Os dispositivos que foram desenvolvidos para esta plataforma foram o Soft-Starter, Partida Estrela-Triângulo e a Chave Compensadora além de ser possível dar a partida de forma direta.

### 2.2.1. SOFT-STARTER

Os parâmetros que devem ser passados ao programa para este dispositivo são os seguintes:

- AlfaI : Ângulo de disparo inicial (graus°)
- Frede : Frequência da rede (Hz)
- Tpart : Tempo de duração da partida (s)
- Tini: Tempo de início da partida (s)

Podemos visualizar seu modelo construído no ATPDraw na Figura 3.

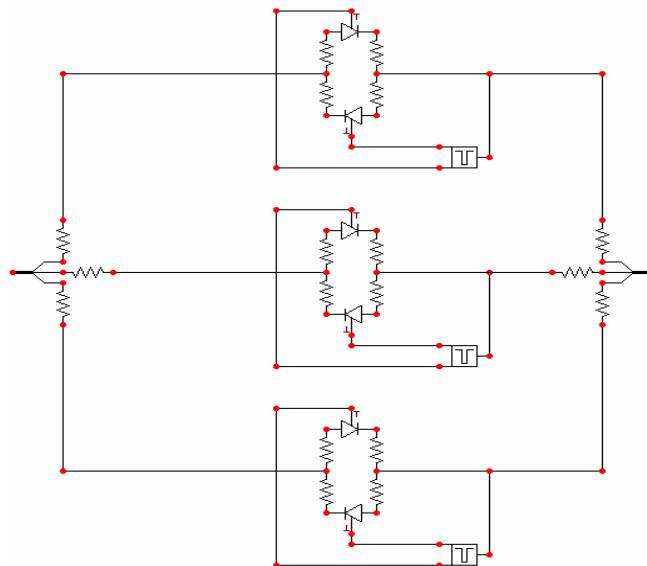


Figura 3 – Representação do Soft-Starter no ATPDraw.

### 2.2.2. CHAVE COMPENSADORA

Os parâmetros que devem ser passados ao programa para este dispositivo são os seguintes:

- TAP50: Quando “1” diminuirá a tensão para 50% da tensão nominal
- TAP65: Quando “1” diminuirá a tensão para 65% da tensão nominal
- TAP80: Quando “1” diminuirá a tensão para 80% da tensão nominal
- Tini: Tempo de início da partida (s)

É possível visualizar na figura 4 a montagem da Chave Compensadora no ATPDraw.

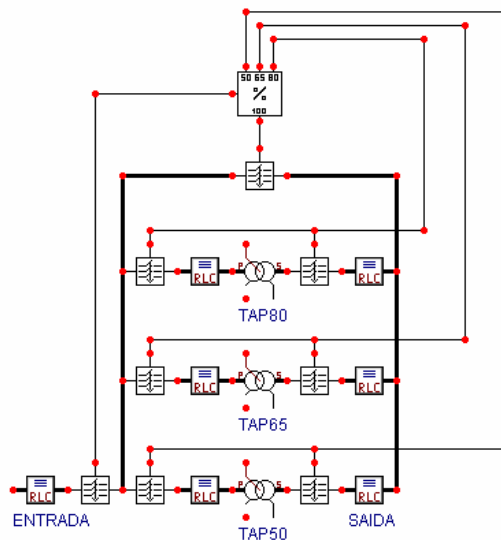


Figura 4 – Representação da Chave Compensadora no ATPDraw.

### 2.2.3. PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Os parâmetros que devem ser passados ao programa para este dispositivo são os seguintes:

- TYD: Tempo de mudança de estrela para triângulo
- Tini: Tempo de início da partida (s)
- Tfim: Tempo de desligamento do dispositivo (s)

Pode-se visualizar a montagem do dispositivo de partida Estrela-Triângulo no ATPDraw como mostra a Figura 5.

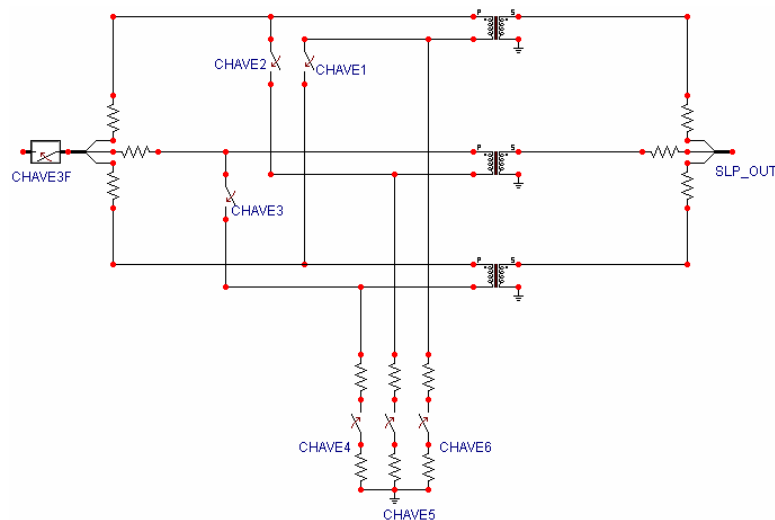


Figura 5 - Representação da Partida Estrela-Triângulo no ATPDraw.

#### 2.2.4. PARTIDA DIRETA

Para a partida direta, devem ser determinados apenas o instante em que o motor começará a atuar na rede e o instante em que ele deverá ser desligado. São os parâmetros  $T_{ini}$  e  $T_{fim}$  respectivamente. Existe ainda outro parâmetro comum a todos os dispositivos de partida, que é o  $T_{max}$ ; este serve para determinar o tempo de simulação da rede, e pode ser especificado de maneira diferente para cada tipo de dispositivo.

#### 2.4. EXECUÇÃO DO SOFTWARE

Primeiramente deve-se escolher um arquivo que contenha a especificação da rede de distribuição no formato “TRS” (TOpReDE), selecionada a opção “Converter para ATP” no menu “Executar” será aberta uma janela onde o usuário deverá entrar com os dados referentes aos parâmetros do motor e de seus dispositivos de partida, além de possibilitar a inserção de medidores de corrente e tensão em qualquer um dos nós da rede. Esta janela pode ser visualizada na Figura 6.

**Dados das chaves**

Soft-Starter		Partida direta		Compensadora		-Y-D	
Dados	Valor	Dados	Valor	Dados	Valor	Dados	Valor
Alfal	135	Tini	0.3	TAP50	0	TyD	0.2
Frede	60	Tfim	10	TAP65	0	Tini	0
Tpart	1	TMax	3	TAP80	1	Tfim	10
Tini	0.5			Tcom	0.9	TMax	10
TMax	10			Tini	0.2		
				TMax	10		

**Dados do Motor**

Nó: 7

Tensão de Linha (V): 220

Perdas Mecânicas (ohm): 10832

Momento de Inércia: 2.8E6

Tipo de Ligação: Y

R Stator (ohm): 0.1062

L Stator (H ou PU): 0.0006

R Rotor (ohm): 0.0764

L Rotor (H ou PU): 0.0006

Torque Nominal (Nm): 82

Ind. Magnetização: 0.0155

Nº de Par de Pólos: 2

**Medidores**

Nó: 10

Tipo de medidor:  Tensão  Corrente

Medidores inseridos nos nós: 10

Figura 6 – Janela de definição dos parâmetros de entrada

Definidos os parâmetros, o programa irá gerar cinco arquivos do tipo “ATP” onde um deles irá representar somente a rede de distribuição e os outros quatro, serão representações da mesma rede, mas cada uma com o motor e um dispositivo de partida diferente inserido. Gerados esses arquivos é executado então o programa ATP (selecionando a opção “ATP” no menu “Executar”) sobre eles, um de cada vez. A Figura 7 mostra a execução do ATP sobre um arquivo .atp.

Arquivo em análise: E:\Arthur\Projeto\entrada3.trn

```

C:\WINDOWS\System32\cmd.exe
E:\Arthur\Projeto>c:
C:\>cd c:\ATP_CBUE\main\
C:\ATP_CBUE\main>IPBIG.EXE DISK E:\Arthur\Projeto\entrada3C.atp * -R
EMTP begins. Send one of following alternatives.
SPY, file_name, DISK, HELP, GO, KEY, STOP, BOTH, DIR:<Loaded from command l
"DISK">
Ok, output goes to disk. Send input data file name:
SPY, file_name, DISK, HELP, GO, KEY, STOP, BOTH, DIR:<Loaded from command l
"E:\Arthur\Projeto\entrada3C.atp">
That was just for next subcase. Remainder has N22 = 2 cards. MAX
90000
Note: Vardim input LISTSIZE.DAT could not be connected. Use maximum si
Send desired disk file name for LUNIT6 [ <CR>, -R l:<Loaded from command
"* -R">

```

Figura 7 – Janela de execução do software ATP

Terminada a execução teremos como saída um arquivo do tipo “PL4”. Este arquivo contém os dados referentes às formas de onda de tensão ou de corrente, de saída nos nós onde o usuário colocou algum tipo de medidor, e servirá como entrada para o programa PlotXY, que também será chamado a partir do programa, selecionando a opção “Análise” no menu “Executar”, onde será possível a visualização dessas formas de onda. A Figura 8 mostra como é a exibição no PlotXY.

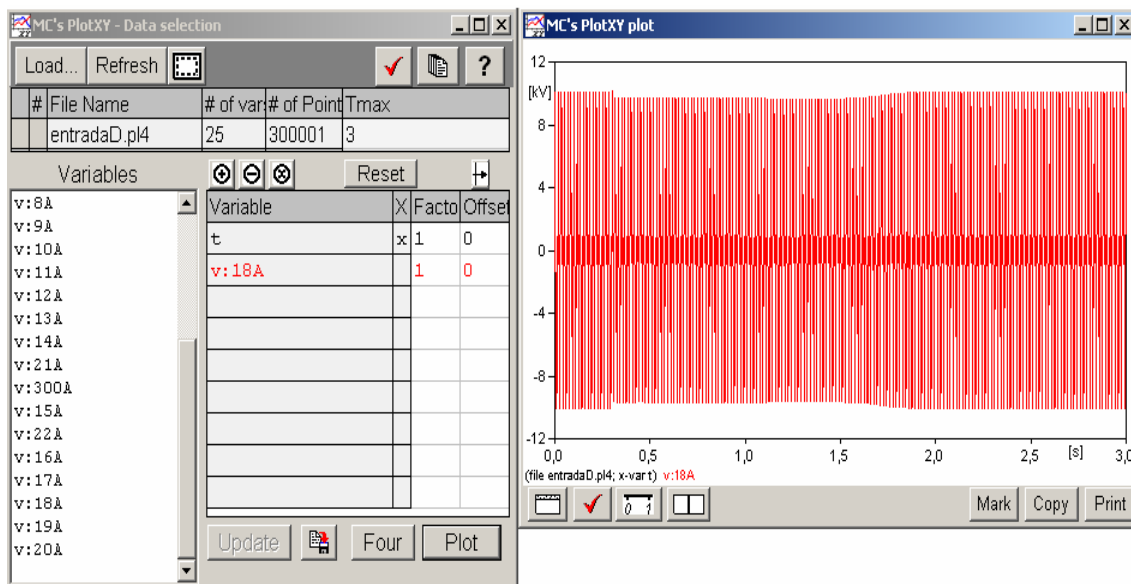


Figura 8 – Visualização da forma de onda de tensão do nó 18.

A partir do PlotXY é possível gerar um outro arquivo, do tipo “ADF”. Este contém a especificação ponto a ponto da onda visualizada no PlotXY. Pode-se gerar este arquivo com até oito formas de onda. Foi desenvolvido então um outro algoritmo capaz de realizar uma análise sobre este arquivo e verificar, independentemente do número de pontos nele contidos, se houve afundamento ou não em qualquer um desses pontos. Este algoritmo faz a leitura do arquivo e realiza seu objetivo, analisando a onda ciclo a ciclo.

Ao entrar com os parâmetros dos dispositivos de partida o usuário define em que momento T o motor irá começar a atuar na rede. Sabendo disso realiza-se uma leitura de um ciclo anterior a este momento para que se possa guardar uma tensão de referência. Essa tensão é obtida, comparando os picos de tensão do semi-ciclo negativo e do semi-ciclo positivo do ciclo completo, sempre pegando o maior dentre os dois. Com a tensão de referência devidamente salva, pode-se então realizar a busca de algum possível afundamento causado pela entrada do motor na rede. Esta busca é feita de forma que o arquivo é lido sempre buscando por ciclos completos a partir do instante T1, e para cada ciclo são comparados os picos de tensão do semi-ciclo positivo e do semi-ciclo negativo, porém como o objetivo é verificar se existe afundamento, guarda-se sempre o menor deles. Calcula-se o valor rms do menor pico deste ciclo e testa-se se ele é menor do que 90% do valor rms do pico de referência. Em caso afirmativo, uma condição de afundamento é caracterizada e começará então uma contagem do número de ciclos de duração daquele afundamento; em caso negativo, o próximo ciclo é testado, e assim por diante. Como o arquivo guarda valores discretos de tensão, é muito pouco provável que ciclos diferentes possuam valores de pico iguais. A solução encontrada para esse problema foi definir níveis, nos quais ciclos com valores de tensão de pico diferentes podem ser caracterizados como iguais. Esses níveis foram definidos da seguinte forma: a partir do momento que é encontrado um ciclo que caracteriza um afundamento, qualquer outro ciclo testado posteriormente que possuir um valor de tensão rms menor que 1,02% ou maior que 98% do valor de tensão rms daquele primeiro ciclo encontrado é considerado um ciclo com valor de pico igual, fazendo parte do mesmo período de

afundamento. O algoritmo irá realizar esses passos enquanto não for encontrado um ciclo cujo valor *rms* da tensão seja igual ao valor *rms* da tensão de referência. Na Figura 9 temos um exemplo de uma onda com uma possível caracterização de afundamento.

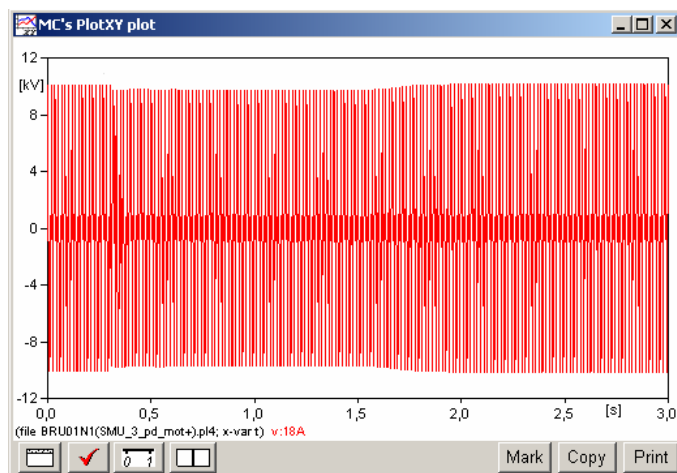


Figura 9 – Forma de onda com provável caracterização de afundamento

Após a execução deste algoritmo os dados de afundamento para cada nó serão armazenados em um banco de dados para que o usuário possa posteriormente gerar um relatório referente àquela análise. Os dados mostrados no relatório são: A identificação da subestação e o alimentador da rede, a potência do motor inserido, os trechos presentes na rede, o tipo de cabo presente naquele trecho, a distancia entre os nós do trecho e para os nós que apresentaram afundamento a variação de tensão máxima de afundamento e o tempo limite de observação para cada dispositivo de partida do motor.

### 3. CONCLUSÕES

Observando os dados obtidos pelos testes simulados pode-se concluir que a ferramenta realizou seu trabalho de forma satisfatória, acusando, quando existem, os distúrbios causados pela partida de motores, que podem eventualmente causar um efeito negativo nas redes de distribuição de energia elétrica.

A união dos programas ATP e TOPReDE foi um ponto muito positivo na elaboração desse projeto, visto que ambos possuem vastas funcionalidades a serem exploradas.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HØIDALEN, Hans K. & PRIKLER, László ATPDraw User's manual Preliminary release nº 1.1 October 2002
- FILHO, J. A. & PEREIRA M. P., "ATPALTERNATIVE TRANSIENTS PROGRAM – Curso Básico Sobre a Utilização do ATP" – CLAUE, Última revisão: nov/1996
- SONNINO, Bruno Desenvolvendo Aplicações com Delphi 6, Makron Books, 2001
- TAVARES, Maria C. D. & CAMPOS, Paulo G. & PRADO, Paulo Guia Resumido do ATP – Alternative Transient Program.