



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ATP

ATPDraw

INTRODUÇÃO

DRAW

IVANDRO ANTONIO BACCA

Cuiabá - MT
2007

SUMÁRIO

1	ESTRUTURA DO ATP.....	5
1.1	INTRODUÇÃO	5
1.2	MODELOS DISPONÍVEIS	5
1.3	RESULTADOS	5
1.4	ENTRADA E SAÍDA DE DADOS	6
1.5	ESCOLHA DO PASSO DE INTEGRAÇÃO	6
1.6	INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	7
1.7	ROTINAS AUXILIARES	8
1.8	FORMATAÇÃO DE DADOS	9
1.9	INFORMAÇÕES ADICIONAIS	9
1.9.1	Arquivo de Inicialização	9
1.9.2	Comandos do tipo "\$-cards"	10
1.10	COMANDOS ESPECIAIS	10
2	ATPDRAW.....	12
2.1	INTRODUÇÃO	12
2.2	ATP SETTINGS	14
2.2.1	ATP settings – Simulation	15
2.2.2	ATP settings – Output	16
2.2.3	ATP settings – Switch/UM	17
2.2.4	ATP settings – Format	18
2.2.5	ATP settings – Record	18
2.2.6	ATP settings – Variables	19
2.3	SIMULAÇÕES NO ATPDRAW	19
2.3.1	Arquivos de Saída do ATPDraw	21
3	FONTES	23
3.1	INTRODUÇÃO	23
3.2	DC TYPE 11	23
3.3	RAMP TYPE 12	24
3.4	SLOPE-RAMP TYPE 13	24
3.5	AC TYPE 14	25
3.6	SURGE TYPE 15	25
3.7	HEIDLER TYPE 15	25
3.8	STANDLER TYPE 15	26
3.9	CIGRÉ TYPE 15	26
3.10	TACS SOURCE	27
3.11	AC 3-PH, TYPE 14	28
3.12	AC E DC UNGROUNDED	28
3.13	EXEMPLO	28
4	CHAVES.....	31
4.1	INTRODUÇÃO	31
4.2	SWITCH TIME CONTROLLED	32
4.3	SWITCH TIME 3-PH	32
4.4	SWITCH VOLTAGE CONTR	32
4.5	DIODE (TYPE 11)	33
4.6	VALVE (TYPE 11)	33
4.7	TRIAC (TYPE 12)	33
4.8	TACS SWITCH (TYPE 13)	33
4.9	MEASURING	33
4.10	STATISTIC SWITCH	34
4.11	SYSTEMATIC SWITCH	34

4.12	EXEMPLO	35
5	TRANSFORMADORES	37
5.1	INTRODUÇÃO	37
5.2	TRANSFORMADORES IDEAIS	37
5.3	TRANSFORMADORES SATURÁVEIS	38
5.3.1	<i>Características dos Transformadores Saturáveis.....</i>	<i>39</i>
5.3.2	<i>Curvas de saturação típicas</i>	<i>42</i>
5.3.3	<i>Comentários e Recomendações Sobre o uso dos Modelos de Transformadores.....</i>	<i>43</i>
5.4	EXEMPLO	44
6	LINHAS DE TRANSMISSÃO	48
6.1	INTRODUÇÃO	48
6.2	PARÂMETROS CONCENTRADOS	49
6.3	PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS SEM VARIAÇÃO COM A FREQUÊNCIA.....	49
6.4	PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS COM VARIAÇÃO COM A FREQUÊNCIA.....	51
6.5	CÁLCULO DE PARÂMETROS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (LCC)	52
6.5.1	<i>Introdução</i>	<i>52</i>
6.5.2	<i>Finalidade e Aplicações</i>	<i>52</i>
6.5.3	<i>Dados Referentes aos Condutores.....</i>	<i>53</i>
6.5.4	<i>Observações Importantes:</i>	<i>57</i>
6.5.5	<i>Instruções Referentes à Frequência</i>	<i>57</i>
6.6	SIMULAÇÕES DE LCC NO ATPDRAW	59
6.7	COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES SOBRE O USO DOS MODELOS DE INHAS ..	63
6.8	EXEMPLO	64
7	ROTINA TACS.....	68
7.1	INTRODUÇÃO	68
7.2	COUPLING TO CIRCUIT	68
7.3	SOURCES.....	69
7.4	TRANSFER FUNCTIONS	69
7.5	DEVICES.....	69
7.6	INITIAL COND	71
7.7	FORTTRAN STATEMENTS.....	71
7.8	FUNÇÕES DETERMINADAS.....	71
7.8.1	<i>Funções numéricas devolvendo para cada argumento de entrada um valor:</i>	<i>71</i>
7.8.2	<i>Funções numéricas de argumento duplo devolvendo um único valor:.....</i>	<i>72</i>
7.8.3	<i>Função numérica sem argumento retornando um valor:</i>	<i>72</i>
7.8.4	<i>Funções lógicas retornando um valor para cada argumento de entrada:</i>	<i>72</i>
7.9	EXEMPLO	73
7.9.1	<i>Caso I – Situação Normal</i>	<i>73</i>
7.9.2	<i>Caso II – Caso com Sobreensão.....</i>	<i>76</i>
8	DATA MODULARIZATION.....	78
8.1	INTRODUÇÃO	78
8.2	FUNÇÃO DOS "/CARDS"	78
8.3	FUNÇÃO "\$INCLUDE"	78
8.4	FUNÇÃO "DATA BASE MODULE"	79
8.5	LISTA COM DECLARAÇÃO DOS ARGUMENTOS.....	79
8.6	DADOS DOS COMPONENTES ("TEMPLATE").....	80
8.7	EXEMPLO	81
9	COMPONENTES DISPONÍVEIS NO ATPDRAW.....	89
9.1	PROBES & 3-PHASES	89
9.2	BRANCH LINEAR.....	92
9.3	BRANCH NONLINEAR	96
9.4	LINE/CABLES	102
9.4.1	<i>Lines/Cables - Lumped.....</i>	<i>102</i>
9.4.2	<i>Lines/Cables - Distributed.....</i>	<i>107</i>
9.4.3	<i>Linha de Transmissão Especificada Pelo Usuário (LCC).....</i>	<i>109</i>

9.5	SWITCHES	109
9.6	SOURCES	115
9.7	TRANSFORMERS	120
9.8	TACS.....	123
9.8.1	<i>TACS - Coupling to Circuit</i>	124
9.8.2	<i>TACS - Sources</i>	125
9.8.3	<i>TACS – Initial Cond.</i>	126
9.8.4	<i>TACS – Transfer Functions</i>	126
9.8.5	<i>TACS – Devices</i>	129
9.8.6	<i>TACS – Fortran Statements - Logic</i>	139
9.8.7	<i>TACS – Fortran</i>	142
9.8.8	<i>TACS – Fortran - Math</i>	142
9.9	USER SPECIFIED	145
9.10	FREQUENCY COMP	146
10	BIBLIOGRAFIA	147

1 ESTRUTURA DO ATP

1.1 INTRODUÇÃO

O programa ATP permite a simulação de transitórios eletromagnéticos em redes polifásicas, com configurações arbitrárias, através de um método que utiliza a matriz de admitância de barras. A formulação matemática é baseada no método das características (método de Bergeron) para elementos com parâmetros distribuídos e na regra de integração trapezoidal para elementos com parâmetros concentrados. Como um programa digital não permite obter uma solução contínua no tempo, são calculados valores em intervalos de tempo discretos. O programa permite a representação de não-linearidades, elementos com parâmetros concentrados, elementos com parâmetros distribuídos, chaves, transformadores, reatores, etc., os quais serão detalhados no decorrer do curso. De uma forma geral, são considerados parâmetros em componentes de fase e em sequência (zero e positiva), dependendo do modelo.

O ATP dispõe de uma crítica para verificação dos dados de entrada e a maioria dos erros banais é facilmente verificada pela leitura e análise da mensagem de erro fornecida pelo programa. O mesmo código ATP contém diversas rotinas auxiliares de suporte e mesmo programas completos, como é o caso do programa de cálculo de parâmetros de linhas e cabos subterrâneos, do programa de análise transitória de sistemas de controle (TACS) e do programa MODELS (general-purpose algorithmic simulation tool).

1.2 MODELOS DISPONÍVEIS

- Elementos Concentrados;
- Elementos RL acoplados;
- PI Equivalentes Polifásicos;
- Transformadores;
- Linhas de Transmissão;
- Elementos não-lineares;
- Chaves;
- Fontes;
- Pára-raios;
- Compensadores estáticos, Válvulas e Relés de Proteção → TACS e MODELS.

1.3 RESULTADOS

A resposta da rede elétrica no domínio do tempo é disponível para as tensões de barras e de ramos, e para correntes de ramos, através de uma tabela de valores ou de gráficos produzidos através do programa Plot XY. Os estudos estatísticos de transitórios

têm os resultados apresentados sob a forma de distribuições, sendo fornecidos os valores médios e desvios padrão e histogramas das grandezas especificadas.

É possível a obtenção da solução em regime permanente, sendo impressos todas as tensões de barras, fluxos de potência e correntes nos ramos da rede em estudo. O programa permite também a obtenção de valores de potência e energia em determinados elementos da rede. Os arquivos de saída do ATP possuem a terminação .LIS para os resultados impressos e a terminação .PL4 para a visualização dos gráficos.

1.4 ENTRADA E SAÍDA DE DADOS

O arquivo de entrada de dados geralmente possui a terminação .DAT (ou .ATP), com exceção dos arquivos gerados pelo programa ATPDraw, que possuem a extensão .ADP.

O ATPDRAW permite a criação dos arquivos de entrada de dados com base no circuito a ser simulado, que é construído graficamente com os modelos existentes no programa. Cada componente gráfico permite a inclusão dos parâmetros correspondentes em janelas próprias que ajustam os dados aos formatos de entrada requeridos pelo ATP, facilitando o trabalho do usuário e reduzindo a chance de erros nos dados dos modelos. Resumidamente tem-se:

⇒ Entrada: arquivo de entrada em formato texto;

⇒ Saída: arquivo .LIS e arquivo .PL4;

O arquivo de dados de entrada tem um formato rigidamente preestabelecido, sendo possível a identificação de erros através da análise do arquivo .LIS.

1.5 ESCOLHA DO PASSO DE INTEGRAÇÃO

A seleção do intervalo de integração é bastante influenciada pelo fenômeno que se está investigando. Simulações envolvendo altas frequências requerem passos de integração muito pequenos, enquanto que fenômenos de baixas frequências podem ser calculados com passos de integração maiores. Por exemplo, nos estudos de transitórios de manobra a faixa do intervalo de integração está entre 25 a 100 ms e nos estudos de Lightning entre 0,01 e 0,1 ms.

O tempo máximo de simulação também depende muito do fenômeno em análise e em algumas situações, dos próprios resultados obtidos durante a realização do estudo. Estudos de Lightning não necessitam mais de 20 ms de simulação e a energização de linhas de transmissão podem ser analisadas com 50 ms de simulação.

1.6 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

O programa ATP é uma ferramenta de grande flexibilidade e de grande importância na realização de estudos de transitórios em sistemas de potência, ou mesmo de estudos em regime permanente onde a topologia da rede ou o problema a ser estudado não permite uma simples representação monofásica, conforme tem sido comprovado nos diversos anos de sua utilização no Brasil e pela sua grande aceitação em termos mundiais. No entanto, a diversidade de opções de modelagem que oferece, e a extensa gama de estudos que permite realizar, fazem com que o usuário seja responsável por uma série de decisões, que vão desde a escolha do passo de integração mais adequado até a análise dos resultados obtidos, tornando a sua missão de difícil execução.

A seleção do intervalo de integração é bastante influenciada pelo fenômeno que se está investigando. Simulação envolvendo altas frequências requer passos de integração muito pequenos, enquanto que fenômenos de baixas frequências podem ser calculados com passos de integração maiores. Por exemplo, nos estudos de transitórios de manobra a faixa do intervalo de integração está entre 25 a 100 μ s e nos estudos de "lightning" entre 0,01 e 0,1 μ s.

O tempo máximo de simulação também depende muito do fenômeno em análise, e em algumas situações dos próprios resultados obtidos durante a realização do estudo. Estudos de "lightning" não necessitam mais de 20 μ s de simulação e energização de linhas de transmissão podem ser analisadas com 50 ms de simulação.

O ATP dispõe de uma crítica para verificação dos dados de entrada e a maioria dos erros banais é facilmente verificada pela leitura e análise da mensagem de erro fornecida pelo programa.

O mesmo código ATP contém diversas rotinas auxiliares de suporte e mesmo programas completos, como é o caso do programa de cálculo de parâmetros de linhas e cabos subterrâneos, do programa de análise transitória de sistemas de controle (TACS) e do programa MODELS (general-purpose algorithmic simulation tool).

A Figura 1.1 apresenta um diagrama de blocos típico para a TACS.

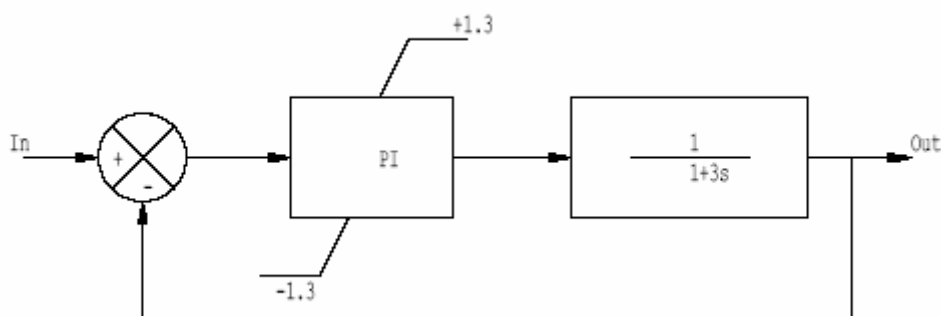


Figura 1.1 - Diagrama de Blocos Típico

A rotina TACS foi desenvolvida para simular interações dinâmicas entre a rede elétrica e os sistemas de controle de um determinado equipamento. Os sistemas de controle podem ser descritos por diagramas de blocos no domínio da frequência com configurações arbitrárias dos elementos disponíveis. É permitida a representação de funções de transferência, somadores, multiplicadores, limitadores estáticos e dinâmicos, funções algébricas e lógicas, fontes de sinal, chaves controladas, funções definidas pelo usuário, detectores de sinais, etc.

A rotina MODELS é uma versão moderna da TACS. Apresenta vantagens na representação de sistemas de controle complexos e se constitui em ferramenta muito poderosa para a simulação de algoritmos de sistemas de controle.

A resposta harmônica de uma rede elétrica pode ser obtida através da utilização de um procedimento automatizado do ATP que executa a variação de frequência da fonte de excitação do sistema para a faixa de frequências especificada pelo usuário. Utilizando-se uma fonte de excitação de corrente igual a 1 (um) ampère, aplicada a barra para a qual se deseja obter a resposta harmônica, é possível se conhecer o valor da tensão nesta barra, o qual é igual em módulo à impedância que se deseja calcular.

1.7 ROTINAS AUXILIARES

Existem no ATP várias rotinas para a obtenção dos parâmetros de determinados componentes no formato requerido pelo ATP. Estas rotinas têm uma estrutura similar à da maioria dos casos, mas as regras particulares de cada uma devem ser respeitadas.

A execução destas rotinas é independente do caso onde os dados serão utilizados para a modelagem dos componentes de rede elétrica. As seguintes rotinas de suporte estão incluídas no mesmo código ATP:

⇒ **XFORMER**

Rotina para a obtenção dos parâmetros R e L, sob a forma matricial, para a representação de transformadores;

⇒ **BCTRAN**

Rotina para a obtenção dos parâmetros R e L, sob a forma matricial, para a representação de transformadores trifásicos;

⇒ **SATURATION**

Rotina para a obtenção da característica de saturação de transformadores sob a forma $\psi \times i$;

⇒ **DATA BASE MODULE**

Rotina para a obtenção de modelos utilizáveis através do comando \$INCLUDE;

⇒ **HYSTERESIS**

Rotina para a obtenção da característica magnética de transformadores considerando-se a histerese do núcleo;

⇒ **LINE CONSTANTS**

Programa para o cálculo dos parâmetros de linhas de transmissão;

⇒ **CABLE CONSTANTS**

Programa para o cálculo dos parâmetros de cabos;

⇒ **SEMLYEN SETUP**

Rotina para o cálculo dos parâmetros de uma linha de transmissão, incluindo a dependência com a frequência;

⇒ **JMARTI SETUP**

Rotina para o cálculo dos parâmetros de uma linha de transmissão, incluindo a dependência com a frequência.

1.8 FORMATAÇÃO DE DADOS

Os dados de entrada para cada modelo, ou rotina auxiliar, podem ser fornecidos através da utilização de campos apropriados (definidos para cada componente e conforme as opções de precisão disponíveis) ou de formato livre (quando existente).

A utilização da opção \$INCLUDE permite que os argumentos sejam definidos pelo usuário, alterando substancialmente o formato dos dados de entrada de cada modelo, uma vez que nem todos os parâmetros de entrada necessitam ser explicitados. Esta opção elimina a necessidade de especificação dos parâmetros que sejam internos ao modelo. Por exemplo, uma vez criada uma biblioteca de modelos para um determinado sistema elétrico não há necessidade de outras informações para a montagem do caso, a não ser as barras de conexão de cada componente (ou mesmo de um grupo de componentes).

1.9 INFORMAÇÕES ADICIONAIS

1.9.1 Arquivo de Inicialização

O programa ATP utiliza um arquivo denominado STARTUP onde estão armazenadas todas as variáveis "default" consideradas nos diversos modelos, funções

e/ou rotinas. A finalidade básica deste arquivo é a padronização de todas as variáveis dependentes do ambiente onde o programa é instalado.

1.9.2 Comandos do tipo "\$-cards"

Há uma série de comandos do tipo "\$-cards" que podem ser utilizados pelo usuário para a execução de determinada função. Apresentamos a seguir alguns exemplos:

⇒ **\$VINTAGEM**

Tem a finalidade de alterar o formato de leitura de um determinado componente, aumentando a precisão dos parâmetros de entrada;

⇒ **\$PUNCH**

Tem a finalidade de descarregar o conteúdo correspondente aos parâmetros necessários à modelagem de um determinado componente num arquivo, a ser posteriormente utilizado na montagem do caso completo;

⇒ **\$INCLUDE**

Tem a finalidade de acoplar ao caso em estudo um determinado modelo, já criado anteriormente;

⇒ **\$UNITS**

Tem a finalidade de alterar as unidades definidas para XOPT e COPT;

⇒ **\$DISABLE e \$ENABLE**

Tem a finalidade de descartar os cartões incluídos entre os dois comandos (passam a ser considerados como cartões de comentários).

1.10 COMANDOS ESPECIAIS

Há mais de 50 comandos especiais que podem ser utilizados num caso de simulação transitória e/ou na execução das rotinas de suporte. A seguir são apresentados alguns exemplos:

⇒ **CABLE CONSTANTS, LINE CONSTANTS**

Tem a finalidade de acionar a execução das rotinas auxiliares para o cálculo dos parâmetros de cabos ou de linhas de transmissão;

⇒ **FREQUENCY SCAN**

Tem a finalidade de acionar a execução da rotina auxiliar que permite a obtenção da impedância da rede em função da frequência;

⇒ **AVERAGE OUTPUT**

Tem a finalidade de alterar os valores de saída, calculando o valor médio entre dois pontos consecutivos;

⇒ **BEGIN PEAK VALUE SEARCH**

Tem a finalidade de calcular o valor máximo das variáveis especificadas, ignorando-se um determinado intervalo inicial;

⇒ **OMIT BASE CASE**

Tem a finalidade de suprimir a simulação preliminar que é realizada nos casos ;

⇒ **START AGAIN**

Tem a finalidade de continuar a simulação de um caso previamente interrompido para ser processado novamente a partir do final da simulação.

2 ATPDraw

2.1 INTRODUÇÃO

O simulador ATPDraw (figura 2.1) é uma interface gráfica na plataforma de MS Windows ao ATP (Alternative Transients Program), que consiste em uma versão do EMPT (Electromagnetic Transients Program) de propriedade da Bonneville Power Administration (BPA).

Desenvolvido por Hans Kr. Hoidalén (Noruega, 1999), o programa ATPDraw permite a construção do arquivo de entrada por conjunto de blocos. Possui mais de 65 componentes padrões e possibilita a criação de novos objetos (MODELS);

Permite a simulação de transitórios eletromagnéticos em redes polifásicas, com configurações arbitrárias, através de um método que utiliza a matriz de admitância de barras. A formulação matemática é baseada no método das características (método de Bergeron) para elementos com parâmetros distribuídos e na regra de integração trapezoidal para elementos com parâmetros concentrados.

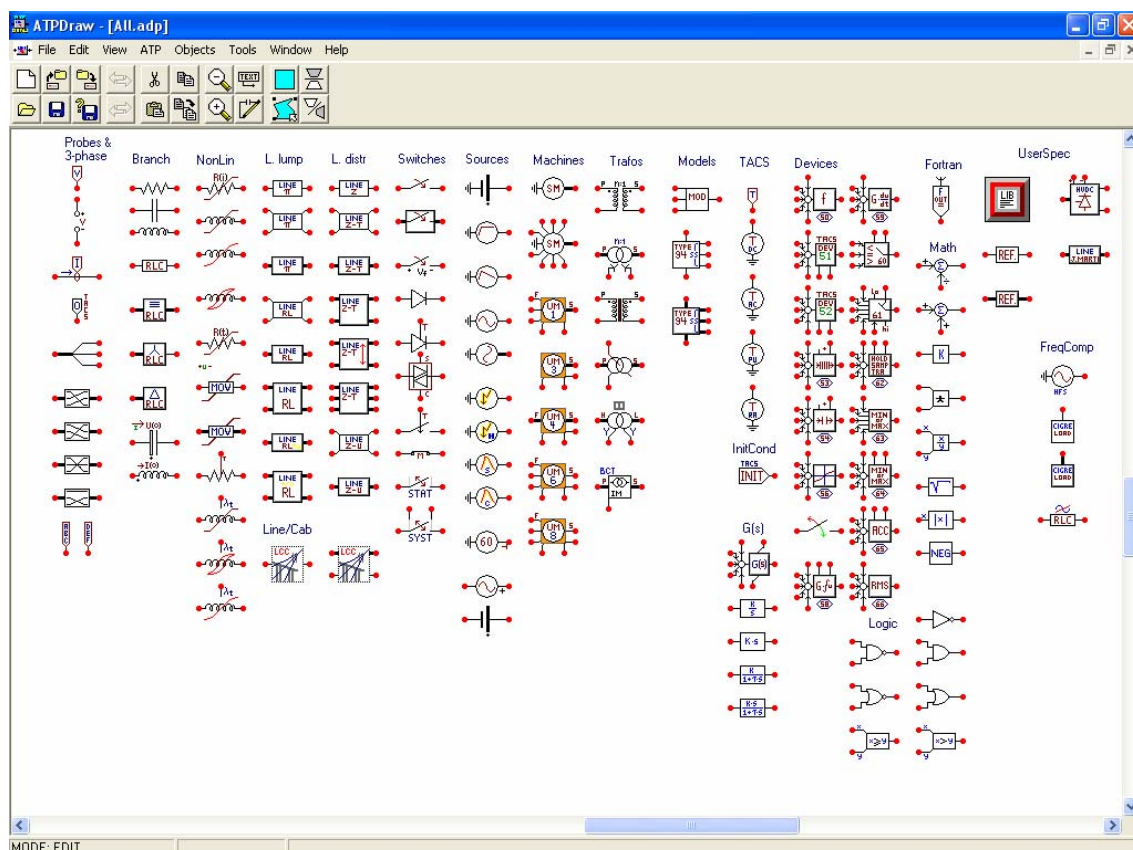
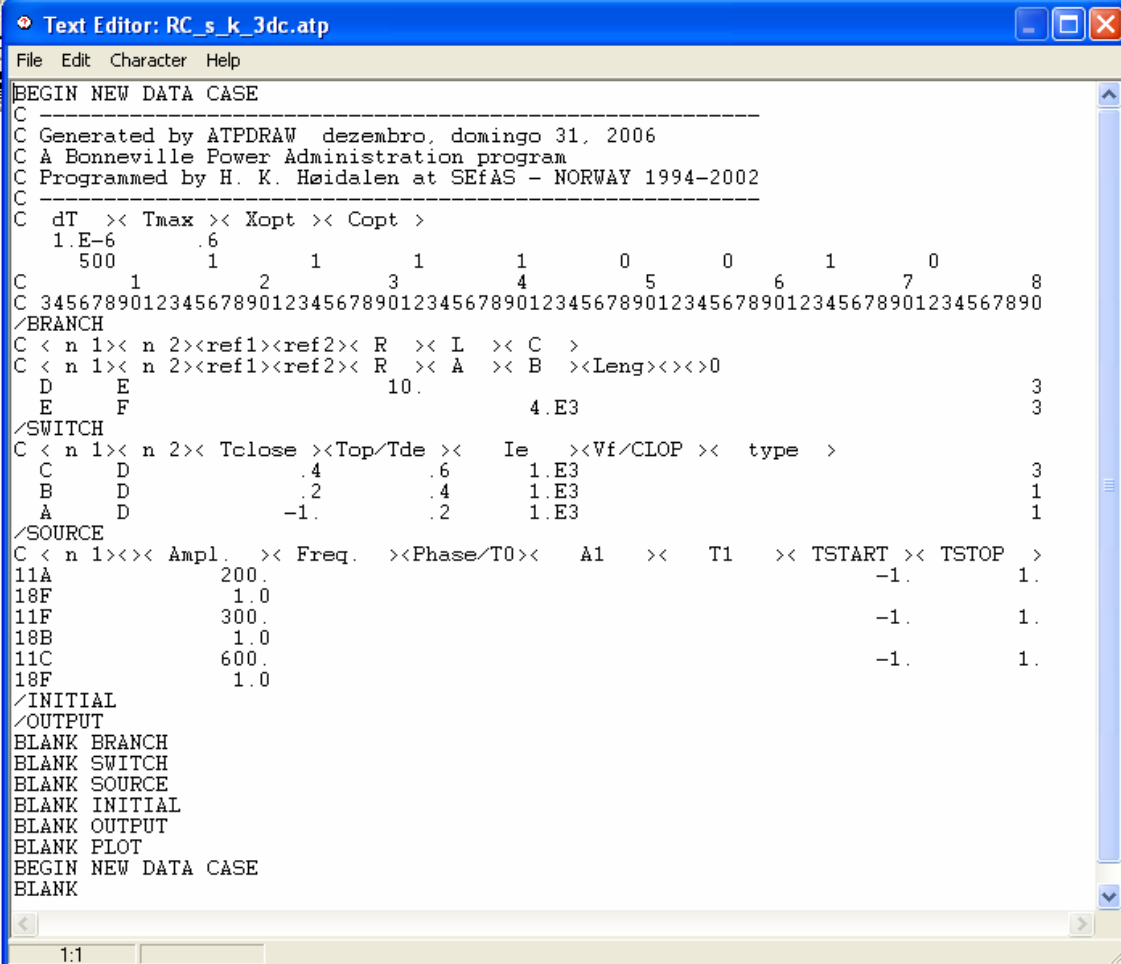


Figura 2.1 - Modelos de elementos de redes elétricas disponíveis no ATPdraw.

O ATPDraw permite a criação dos arquivos de entrada de dados, figura 2.2, com base no circuito a ser simulado, que é construído graficamente com os modelos existentes no programa.

Cada componente gráfico permite a inclusão dos parâmetros correspondentes em janelas próprias que ajustam os dados aos formatos de entrada requeridos pelo ATP.

Como desvantagem do ATPDraw pode ser citada a necessidade de se manter qualquer alteração de circuito sempre dentro do ambiente do programa. Este fato se deve a correspondência que existe entre o arquivo de referência para dados do circuito, que é gráfico, e o arquivo de dados gerados para o EMTP-ATP. Assim sendo, a edição direta do arquivo de dados no formato para EMTP-ATP quebra a correspondência existente aos 2 (dois) arquivos (o gráfico e o de dados formatados), a única forma de manter a correspondência seria sempre realizar as alterações sejam de dados ou de circuito no ATPDraw. Esta desvantagem citada constitui uma das razões pelas quais os usuários experientes costumam não usar o ATPDraw, uma vez que a edição direta dos arquivos é sempre o meio mais rápido de efetuar pequenas alterações nos arquivos do EMTP-ATP. Entretanto, por outro lado, diversas formas criativas de uso do ATPDraw vem reduzindo cada vez mais a resistência que havia por partes destes usuários, disseminando o seu uso por uma gama maior de classes de usuários.



```

Text Editor: RC_s_k_3dc.atp
File Edit Character Help
BEGIN NEW DATA CASE
C
C -----
C Generated by ATPDRAW dezembro, domingo 31, 2006
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2002
C -----
C dT >> Tmax >> Xopt >> Copt >
C 1.E-6 .6
C 500 1 1 1 1 1 0 0 1 0
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
C D E 10. 3
C E F 4.E3 3
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP >< type >
C C D .4 .6 1.E3 3
C B D .2 .4 1.E3 1
C A D -1. .2 1.E3 1
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
C 11A 200. -1. 1.
C 18F 1.0
C 11F 300. -1. 1.
C 18B 1.0
C 11C 600. -1. 1.
C 18F 1.0
/INITIAL
/OUTPUT
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK INITIAL
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK
1:1

```

Figura 2.2 - Arquivo de dados gerado pelo ATPDraw.

2.2 ATP SETTINGS

ATP SETTINGS é o local do ATPDraw onde são configurados os parâmetros das simulações. Esta janela é acessada como mostra a figura 2.3 ou através da tecla de atalho F3. As suas divisões são mostradas na figura 2.4.

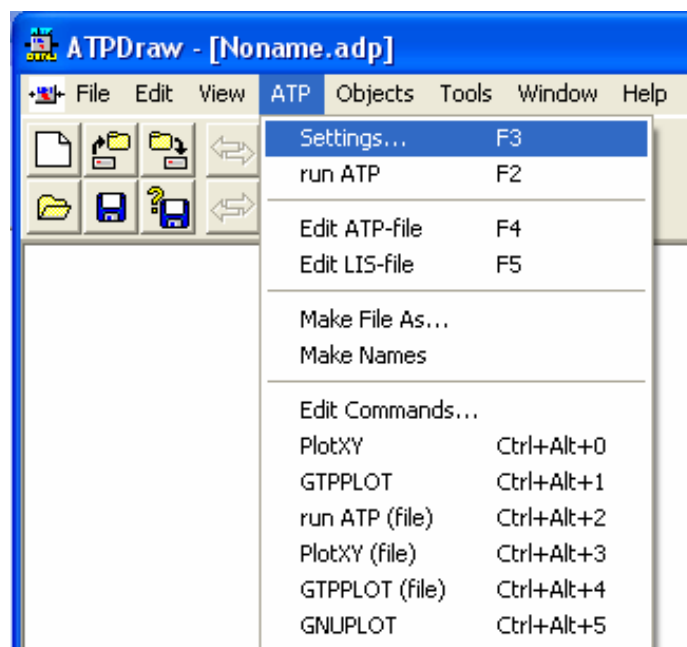


Figura 2.3 – Acesso a janela ATP settings

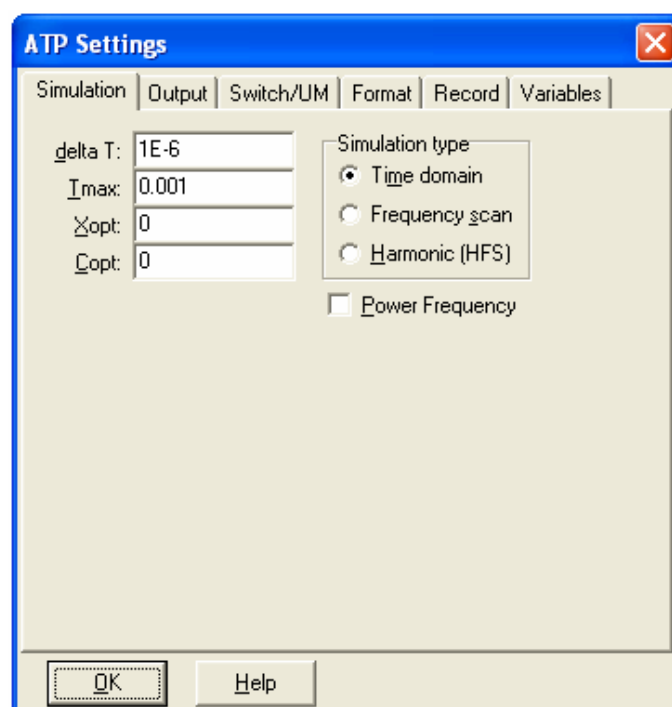


Figura 2.4 – Divisões da janela ATP settings.

Esta caixa de parâmetros apresenta as seguintes divisões: Simulation, Output, Switch/UM, Format, Record e Variables.

2.2.1 ATP settings – Simulation

Os dados seguintes descrevem os possíveis cenários para a simulação no ATPDraw. Sendo:

Opção	Descrição
- <i>delta T</i>	Passo de integração da simulação em segundos, ou seja, a quantidade de pontos analisados durante a simulação;
- <i>Tmax</i>	Tempo de duração da simulação em segundos;
- <i>Xopt</i>	Se $X_{opt} = 0$, então as indutâncias dos componentes devem ser informadas na unidade [mH], caso contrário deve ser informado a reatância indutiva do componente em [Ohm];
- <i>Copt</i>	Se $C_{opt} = 0$, então as capacitâncias informadas devem estar em [uF], caso contrário a reatância capacitiva do componente em [Ohm];
- <i>Freq</i>	Frequência em Hz;

Frequência da fonte

Verificado, este item habilita a frequência do sistema para ser informada. Sendo que esta será a frequência de sistema do ATP. A especificação desta frequência é exigida quando a simulação Harmonic Frequency Scan (análise da reatância do sistema);

Os tipos de simulação são:

- ***Time domain***
- ***Frequency Scan***
- ***Harmonic Frequency Scan***

Se Frequency Scan é selecionada a opção FREQUENCY SCAN do ATP é habilitada. Sendo:

- <i>min</i>	Frequência inicial para a análise da frequency scan;
- <i>max</i>	Frequência final para a frequency scan;
- <i>df</i>	Incremento da frequência. Parte de zero em logarithmic scan;
- <i>NPD</i>	Número de frequências por década em logarithmic scan.

Se Frequency scan ou Harmonic é selecionado, o usuário pode selecionar qual o componente da solução de saída. Estes componentes são:

- | | |
|--|---------------------------------|
| - <i>Magnitude only:</i> | Pedido padrão; |
| - <i>Magnitude & Angle:</i> | Variáveis de saída polar; |
| - <i>Magnitude & Angle & Real/mag:</i> | Os dois polares e retangulares; |
| - <i>Real/mag:</i> | Variáveis de saída retangular. |

2.2.2 ATP settings – Output

Esta janela descreve a escolha de integração disponível no ATP.

Controle de saída

- | | |
|--------------------------|--|
| - <i>Print Freq:</i> | Frequência de saída de LUNIT6 dentro do laço tempo-degrau. Por exemplo, um valor 3 significa que todo passo degrau de terceiro tempo estará impresso. Parâmetro do ATP: IOU;T; |
| - <i>Plot Freq:</i> | Frequência dos pontos salvos para o arquivo de saída PL4. Por exemplo, um valor 2 significa que todo segundo degrau será escrito para o arquivo de saída PL4. Parâmetro do ATP: IPLOT; |
| - <i>Plotted output:</i> | Fazendo ICAT = 1, o ATP produz um arquivo de saída no formato PL4. |
| - <i>MemSave:</i> | Se especificado, a memória do ATP, para uma simulação é apagada no fim desta simulação, sendo que a cada nova simulação os valores de simulação devem ser especificados novamente. |

Impressão

- | | |
|--------------------------------|---|
| <i>Network connectivity:</i> | Se checado, escreve a conexão para o arquivo de saída. |
| <i>Steady-state phasors:</i> | Se checado, escreve a solução do estado constante para o arquivo de saída LUNIT6. |
| <i>Extremal values:</i> | Escreve valores extremos impresso no fim do arquivo de saída LUNIT6, se verificado; |
| <i>Extra printout control:</i> | Frequência de impressão adicional de saída, se checado. |

Detector de erro na simulação

O ATPDraw pode ser automaticamente solicitado para examinar o arquivo .LIS depois de uma simulação e mostrar possíveis problemas. O usuário pode definir 5 diferentes tipos de erro.

2.2.3 ATP settings – Switch/UM

Esta janela descreve os cenários possíveis para interruptores e máquinas universais (UM) disponíveis no ATP.

Estudo de interruptores

- **Statistic study:** Simulações realizadas com interruptores estatísticos. Especifique o número de simulações. Num > 0;
- **Systematic study:** Simulações realizadas com interruptores sistemáticos. Especifique o número de simulações. Num > 0;

O ATPDraw fixa o valor correto de NENERG (número de energização em casos de chaves estatísticas ou sistemáticas).

Opção	Descrição
- ISW	Se 1, impressão de todas as variáveis de tempo fechamento/abertura para LUNIT6. Se 0 (zero), nenhuma impressão;
- ITEST	Atraso aleatório extra, usando DEGMIN, DEGMAX e STATFR em STARTUP. Os possíveis valores são: 0: Atraso aleatório extra para todas as chaves; 1: Sem atraso aleatório; 2: Atraso aleatório extra para todas as chaves fechadas; 3: Atraso aleatório extra para todas as chaves abertas;
- IDIST	Distribuição da probabilidade seleta de interruptor. Um valor de 0 (zero) significa distribuição de Gaussian e um valor de 1 (um) distribuição uniforme;
IMAX	Se 1, impressão do extremo de toda energização pra LUNIT6. Se 0 (zero) significa nenhuma impressão;
- IDICE	Uso de um gerador aleatório padrão. Um valor de 0 (zero) implica em um gerador aleatório dependente do computador e um valor 1 implica em gerador aleatório padrão.
- KSTOUT	Extra impressão (LUNIT6) de saída para cada energização. Saída do laço tempo-degrau e variável extrema (se Extralmal values é checado). Se 0 (zero), impressão extra de saída, se 1 não tal saída.
- NSEED	Simulações repetitivas de Monte Carlo. Os possíveis valores são: 0: Toda simulação no mesmo caso de dados será diferente; 1: Mesmo resultado em cada tempo para o caso de dados é corrido no mesmo computador.

A abordagem sobre máquinas não será realizada nesta apostila.

2.2.4 ATP settings – Format

A página de colocação de formato de arquivo na caixa de diálogos do ATP contém quatro botões para o formato do arquivo de dados de saída e um botão para o autocontrole da passagem de geração.

Opção	Descrição
- <i>High resolution:</i>	Uso de \$Vintage 1 (se possível);
- <i>Sorting by cards:</i>	Arquivos de dados escrito primeiro com cartões BRANCH, seguido por cartões SWITCH e cartões SOURCE.
- <i>Sorting by group number:</i>	O número de grupo dado a cada objeto determina a sequência de cartões. O número de grupo mais baixo vem primeiro;
- <i>Sorting by X – pos:</i>	A maioria esquerda dos objetos é escrita primeira.

2.2.5 ATP settings – Record

A versão 1.2 do ATPDraw sustenta também o registro de variáveis modelo. Esta opção é mostrada na figura 2.5.

Na lista de modelos na caixa abaixo, todos os modelos ativos no circuito estão listados com seus nomes usuais. Quando selecionado um modelo dentro da caixa, esta variável (declarar variável abaixo) está listada na caixa abaixo de variáveis. Quando selecionada a variável seu nome aparece em Alias. Edite este nome e click em adicionar para registro de variáveis. Este nome pode ser mudado se selecionado um item na caixa de registro e escreva o novo nome. A lista de registro é um estoque dentro do arquivo do circuito. Mas não é possível acompanhar o circuito quando usado a área de transferência ou a opção de exportar o grupo. Registros são removidos clicando em remover.

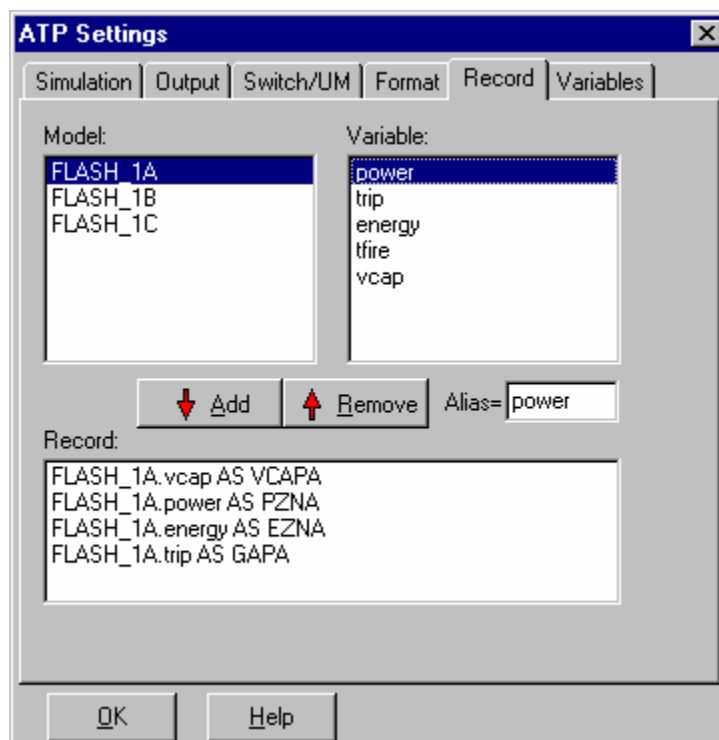


Figura 2.5 – Registro de variáveis modelos.

2.2.6 ATP settings – Variables

As variáveis é uma nova característica no ATPDraw 3.0. O usuário tem permissão para especificar um série de texto de 6 caracteres em vez de um valor de dados na caixa de diálogo de componente. Um valor é então atribuído para esta série de texto debaixo da etiqueta de Variables na caixa de diálogos de colocação do ATP.

A série de texto (variáveis) especificada pelo usuário aparece à esquerda e o usuário agora tem que atribuir valores de dados para variáveis. Isto é feito em formato livre na coluna à direita. Você não tem que pensar sobre o número de caracteres finais no arquivo ATP desde que ATPDraw automaticamente marca os caracteres para a obtenção da máxima resolução. A variável “R” usadas para resistências de alta e baixa resolução assim declarado duas vezes com 5 e 15 marca os caracteres adicionados. Este processo é escondido, porém, o resultado é visto no arquivo final do ATP, debaixo do parâmetro &Parameter.

2.3 SIMULAÇÕES NO ATPDraw

Após as devidas escolhas dos parâmetros ATP Settings pode-se realizar a simulação de um determinado circuito.

Os componentes disponíveis no ATPDraw podem ser acessados clicando com o botão direito do mouse sobre a tela gráfica. Os vários componentes disponíveis estão ilustrados na figura 2.6.

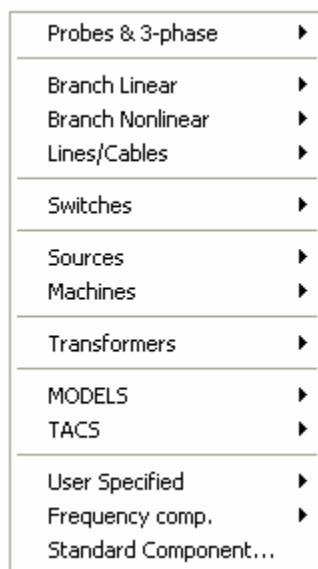


Figura 2.6 – Componentes disponíveis na biblioteca do ATPDraw.

Como exemplo, consideremos o circuito da figura 2.7. Neste circuito temos o chaveamento de um capacitor.

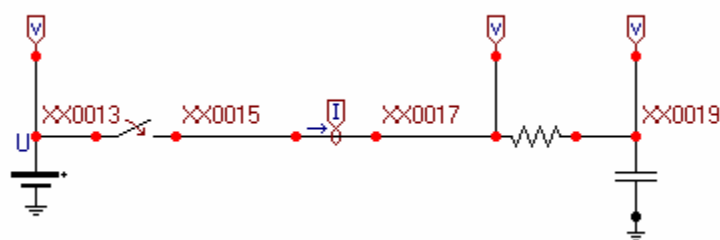


Figura 2.7 – Chaveamento de um capacitor.

Para a simulação desse circuito no ATPDraw, os seguintes passos devem ser realizados:

1. Escolha dos componentes;
2. Definição das grandezas de cada componente;
3. Ligação entre os componentes;
4. Escolha dos parâmetros do ATP Settings;
5. Salvar o circuito;
6. Simular;

Para a simulação do circuito deve-se ir em;

ATP

run ATP

Ou através da tecla de atalho F2.

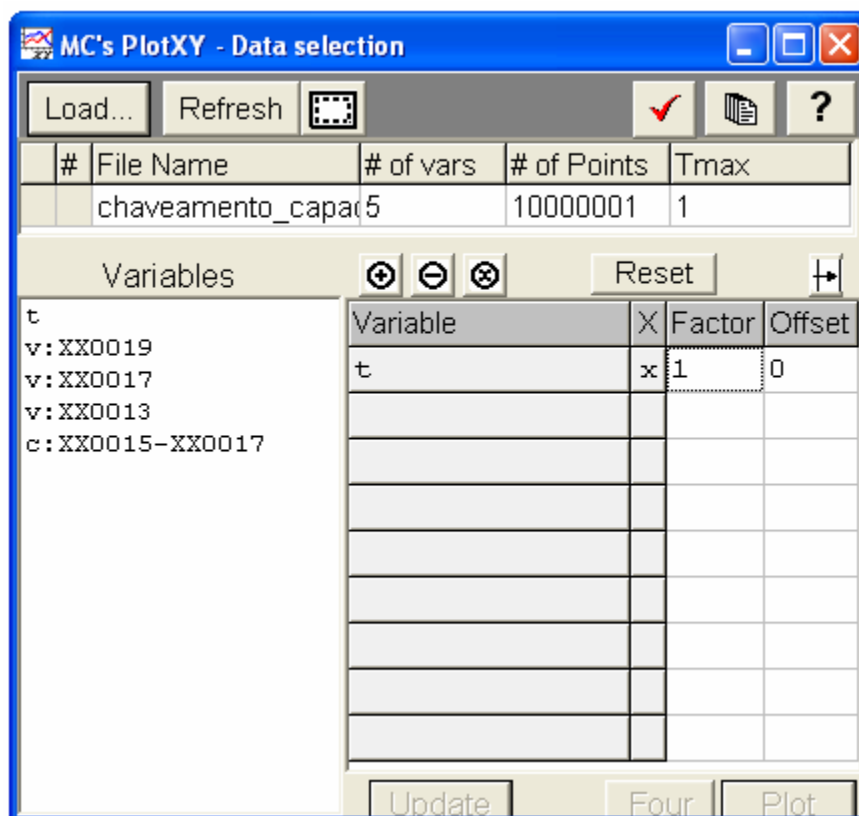


Figura 2.9 – Arquivo de saída no formato .PL4.

3 FONTES

3.1 INTRODUÇÃO

Existem disponíveis no ATP diversos tipos de fontes de excitação, como mostra a figura 3.1, o que permite certa versatilidade no modelamento deste tipo de elemento. As fontes de excitação geralmente têm um terminal aterrado. Portanto, na maioria dos casos, apenas o nome de um dos nós deve ser especificado. Algumas dessas fontes podem ser:

- Fonte Degrau ou CC;
- Fonte rampa com subida linear;
- Fonte rampa com duas inclinações lineares;
- Fonte cossenoidal.

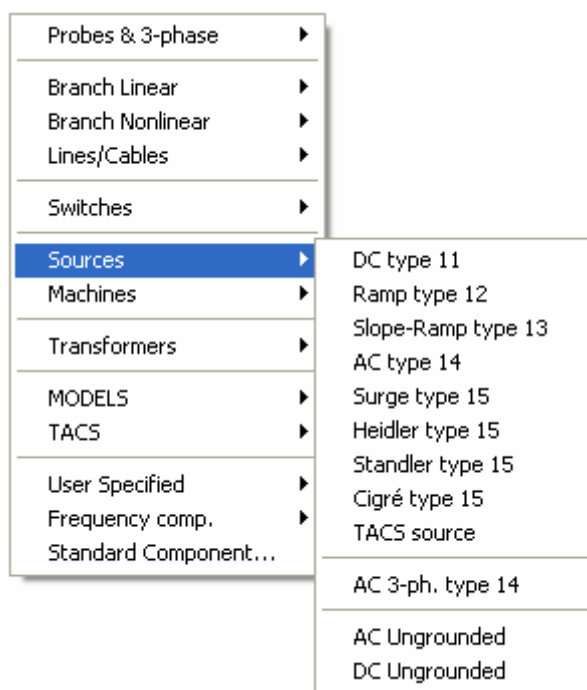


Figura 3.1 – Fontes disponíveis no ATP.

3.2 DC TYPE 11

Fonte degrau ou CC: Este tipo de fonte assume o valor zero até um determinado tempo especificado, e assume um valor constante após esse instante. Este componente pode fornecer um sinal de tensão ou de corrente, sendo 0 ou em branco para tensão e -1 para corrente, na opção U/I.

3.3 RAMP TYPE 12

Fonte rampa com subida linear. Este tipo de fonte provê uma subida do valor zero até um valor de tensão ou corrente limite, como mostra a o gráfico da figura 3.2. Pode fornecer um sinal de tensão ou de corrente.

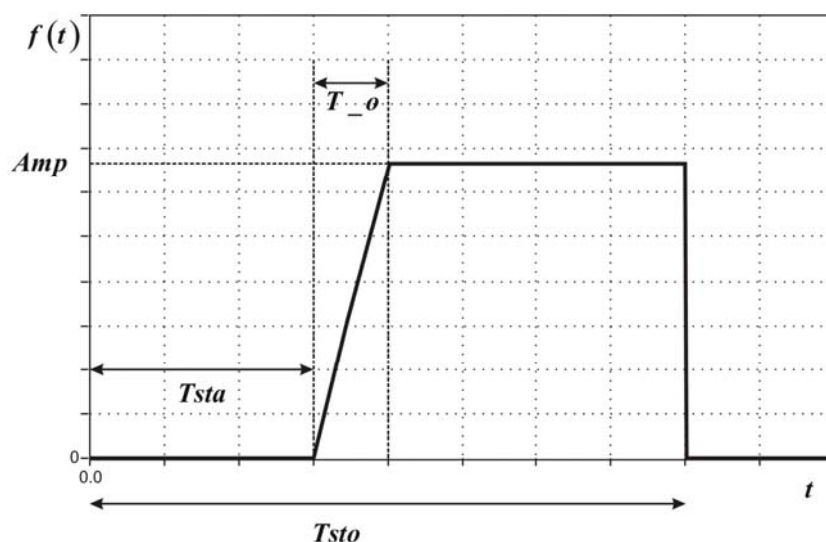


Figura 3.2 – Características de uma fonte do tipo rampa linear.

3.4 SLOPE-RAMP TYPE 13

Fonte tipo rampa com duas inclinações lineares. Este tipo de fonte provê duas diferentes variações lineares. Primeiro há uma variação entre o zero e um valor limite, com a inclinação controlada pela duração do tempo de subida. Em seguida a função muda sua inclinação e atinge outro valor limite. A figura 3.3 mostra o gráfico com o comportamento deste tipo de fonte. Pode fornecer um sinal de tensão ou de corrente.

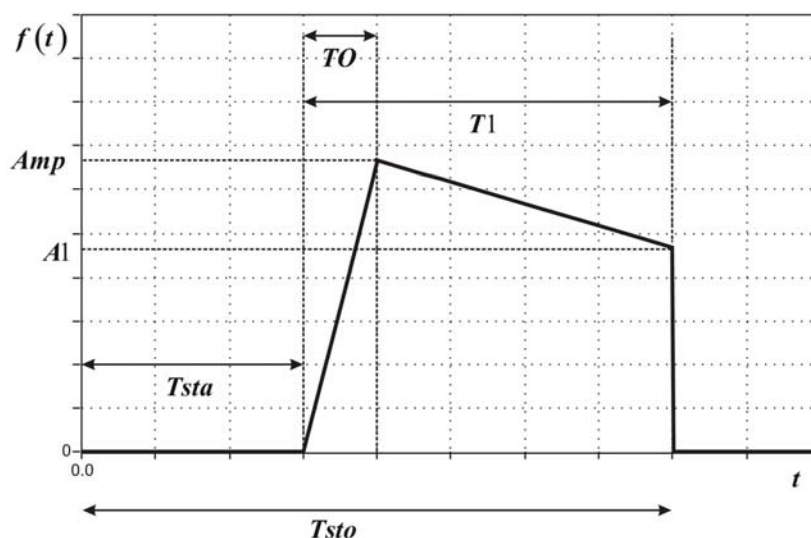


Figura 3.3 - Gráfico do comportamento da fonte tipo rampa com inclinação dupla.

3.5 AC TYPE 14

Fonte cossenoidal. Este tipo de representação simula fonte tipo cossenoidal, com amplitude determinada e ângulo de fase em graus ou segundos, dependendo da opção A1. Pode fornecer um sinal de tensão ou corrente. A forma de onda representada por esta fonte está mostrada na figura 3.4 abaixo.

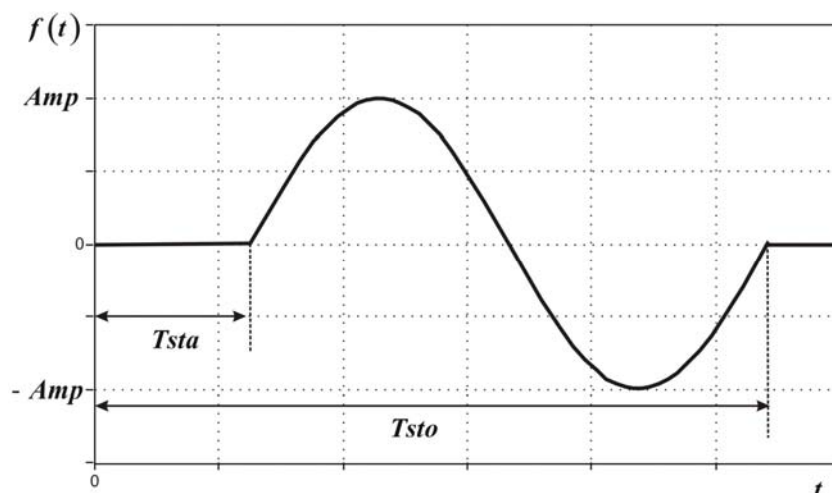


Figura 3.4 - Forma de onda gerada pela fonte cossenoidal.

3.6 SURGE TYPE 15

Fonte de dois exponenciais. Esta fonte corresponde a uma função com as seguintes características:

$$f(t) = Amp \cdot (e^{At} - e^{Bt})$$

Mediante a escolha adequada dos parâmetros A, B e Amp, é possível gerar uma gama muito ampla de funções. Fazendo $A = 0$ e $B = 0$ se obtém um função exponencial simples, que pode ser útil para a simulação de sistemas de primeira ordem com uma constante de tempo. Tanto A e B devem ser negativos, pois, em caso contrario a função cresce sem limites (caso não se finaliza com TSTOP).

3.7 Heidler type 15

Fonte de um exponencial. Este modelo emprega a seguinte função:

$$v(t) = Amp * \frac{(t/T - f)^n}{1 + (t/T - f)^n} * e^{(t/tau)}$$

Onde

τ = constante de tempo da frente: é proporcional a duração do frente (intervalo entre $t = 0$ e o tempo de pico da função);

t = é proporcional a duração da descarga (tempo entre $t = 0$ e o tempo na cauda da onda para o qual o valor tenha caído a 50% de seu valor de pico);

Amp = valor de pico;

n = influência a velocidade de crescimento e o instante da máxima velocidade de crescimento. Quando n aumenta este instante se desloca para o tempo de 50% da amplitude.

Esta fonte apresenta valores mais precisos do que a fonte de dois expoentes.

3.8 STANDLER TYPE 15

A função desse tipo de fonte é;

$$v(t) = Amp * (t / \tau)^n e^{(-t / \tau)}$$

Onde essas constantes possuem o mesmo significado da fonte Heidler.

3.9 CIGRÉ TYPE 15

A frente de uma onda de corrente pode ser expressa por:

$$I = At + Bt^n$$

A suposição básica é que a onda de corrente alcança o instante máximo pendente (90% da amplitude) para um tempo t_n dependente do expoente n . As constantes A e B são:

$$A = \frac{1}{n-1} \left[\left(0,9 \frac{I}{t_n} * n \right) - S_m \right]$$

$$B = \frac{1}{t_n^n (n-1)} \left[(S_m * t_n) - 0,9 * I \right]$$

Onde:

I = amplitude da corrente;

S_m = máximo valor de inclinação;

Os requerimentos fundamentais da cauda da onda de corrente são:

Ter um valor máximo de inclinação em seu início, provendo assim uma transição suave de uma parte para outra;

Alcançar o valor correto de amplitude.

Para descrever a cauda de uma onda de corrente temos:

$$I = I_1 e^{-(t-t_n)/t_1} - I_2 e^{-(t-t_n)/t_2}$$

Onde:

t_1, t_2 : são constantes de tempo;

I_1, I_2 : constantes;

Essas constantes são:

$$t_1 = (t_h - t_n) / \ln(2)$$

$$t_2 = 0,1 * I / S_m$$

$$I_1 = \frac{t_1 * t_2}{t_1 - t_2} \left[S_m + 0,9 \frac{I}{t_2} \right]$$

$$I_2 = \frac{t_1 * t_2}{t_1 - t_2} \left[S_m + 0,9 \frac{I}{t_1} \right]$$

Onde:

t_h : tempo de semi-amplitude.

A figura 3.5 abaixo mostra a forma de onda gerada por essa fonte.

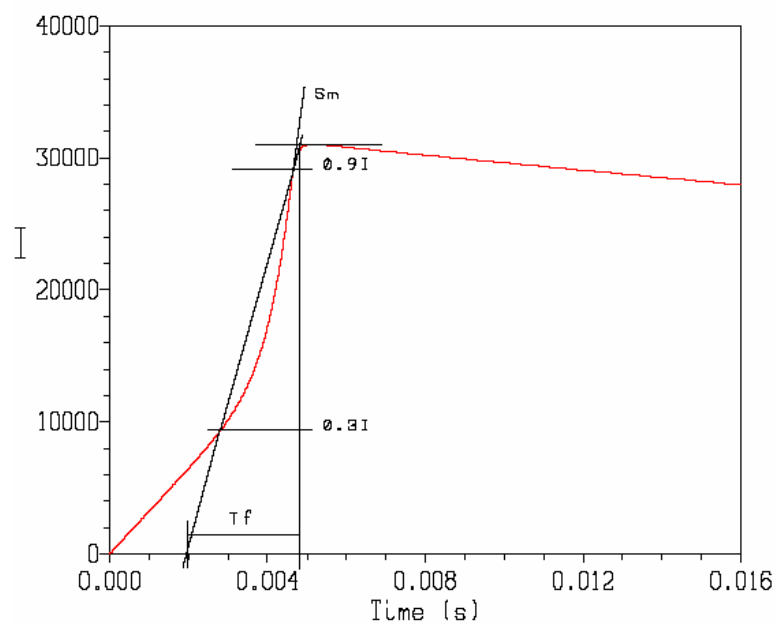


Figura 3.5 – Forma de onda gerada pela fonte Cigré.

3.10 TACS source

É uma fonte que deve ser usada juntamente com os componentes TACS. Pode gerar um sinal de tensão como de corrente.

3.11 AC 3-PH, TYPE 14

Fonte cossenoidal trifásica.

3.12 AC E DC UNGROUNDED

São fontes cossenoidal e continua respectivamente. Diferentemente das fontes acima, estas fontes não possuem um terminal aterrado, sendo preciso conectar, ao circuito, esses dois terminais.

3.13 EXEMPLO

Como exemplo, vamos determinar os parâmetros para a especificação de uma fonte do tipo Dupla Exponencial (impulso atmosférico típico).

A especificação dos parâmetros necessários para a modelagem de uma fonte do tipo dupla exponencial é baseada na seguinte expressão:

$$f(t) = E_1 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

A fonte tipo 15 do ATP (dupla exponencial) requer, portanto, a especificação dos parâmetros E_1 , α e β , para que uma determinada forma de onda conhecida possa ser modelada.

A Figura 3.6, extraída do livro "Traveling Waves on Transmission Systems, L. V. Bewley, Dover" é a base para a determinação dos parâmetros F_1 , α e β indicados acima, para uma onda de magnitude igual a 1000 e forma de onda 3/21 ms.

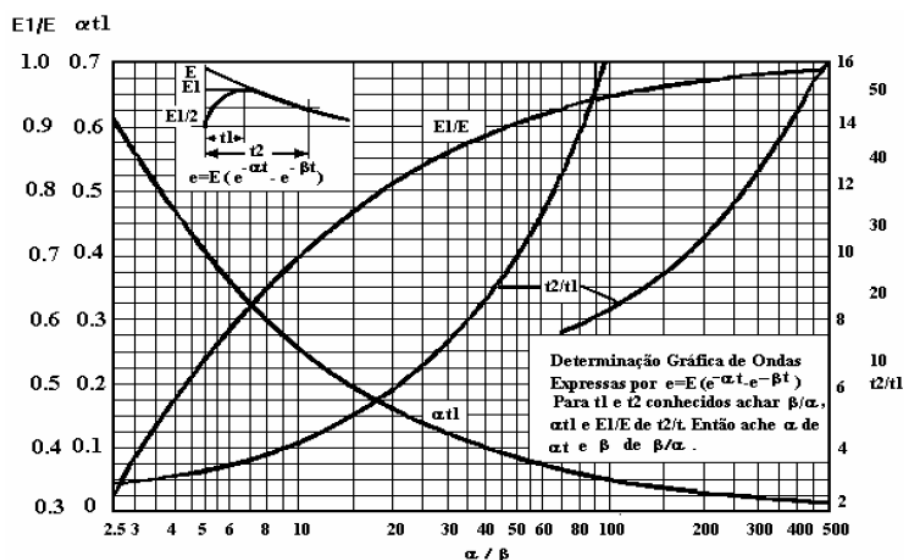


Figura 3.6 - Especificação de uma forma da onda típica para impulso atmosférico.

A Figura 3.7 mostra a forma de onda padronizada (ABNT, IEC, ANSI) para impulso atmosférico.

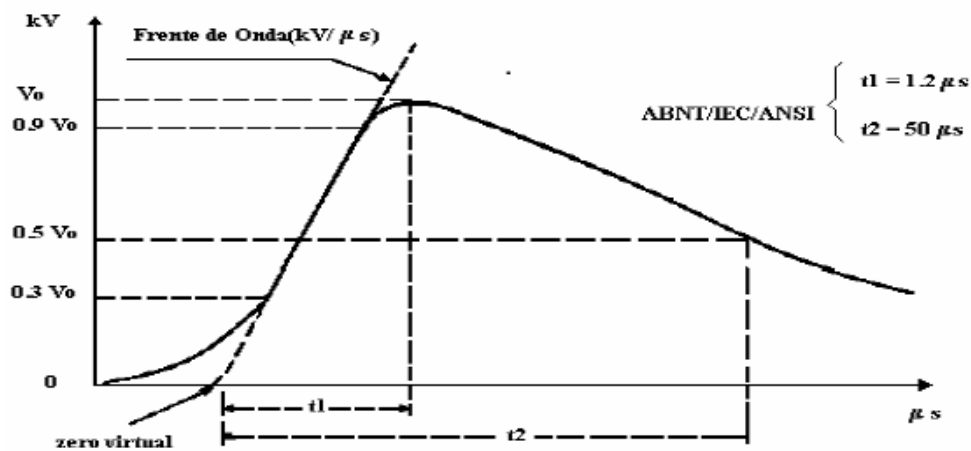


Figura 3.7 - Forma de onda padronizada para impulso atmosférico.

O procedimento, passo a passo, é indicado a seguir.

a) calcular o valor de t_2/t_1 :

$$t_2/t_1 = 6$$

b) ler na curva $\beta \propto t_2/t_1$, o valor de β/α :

$$\text{para } t_2/t_1 = 6 \Rightarrow \beta/\alpha = 22$$

c) ler na **curva** $\alpha t_1 \propto \beta/\alpha$, o valor de αt_1

$$\text{para } \beta/\alpha = 22 \Rightarrow \alpha t_1 = 0,17$$

d) ler na **curva** $E_1/E \propto \beta/\alpha$, o valor de E_1/E

$$\text{para } \beta/\alpha = 22 \Rightarrow E_1/E = 0,82$$

e) Calcular

$$\alpha = \text{valor lido em } C/t_1 = 0,17/4 = 0,0425$$

$$\beta = 28,5 \alpha = 22 \times 0,039 = 0,935$$

$$E = E_1/0,852 = 1000/0,83 = 1204.82$$

Portanto, a função resultante é:

$$f(t) = 1204.82 \left(e^{-0,039t} - e^{-0,935t} \right)$$

Na figura 3.8 temos os valores inseridos na fonte analisada (Surge type 15). A forma de onda gerada está ilustrada na figura 3.9.

Component: SURGE.SUP

Attributes

DATA	VALUE
U/I	0
Amp	1204.82
A	-39000
B	-935000
Tsta	0
Tsto	1

NODE	PHASE	NAME
SU	1	XX0005

Group No: 0 Label: U

Comment:

☐ Hide ☐ Lock

OK Cancel Help

Figura 3.8 – Valor das grandezas da fonte Surge type 15.

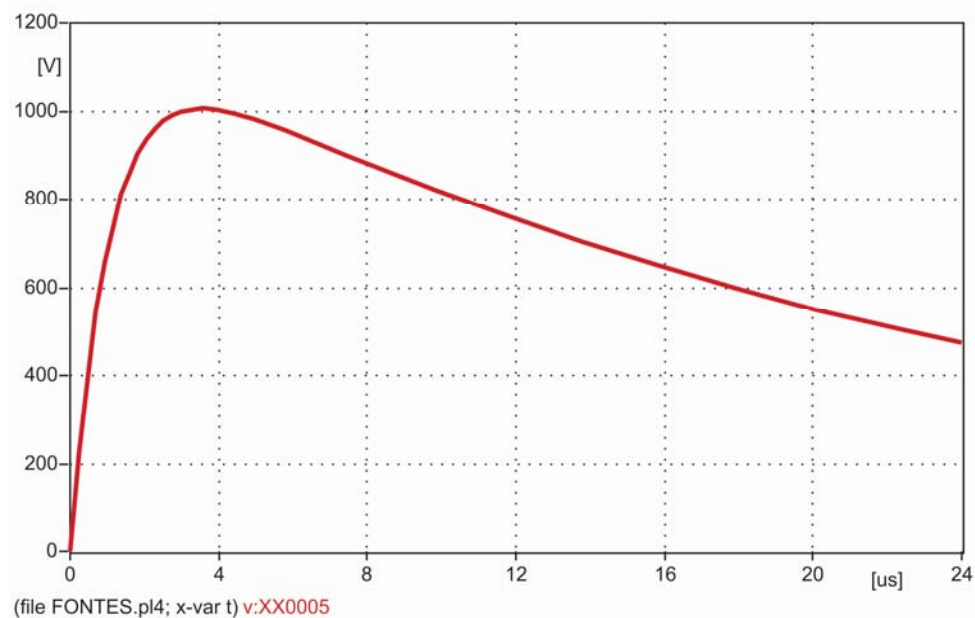


Figura 3.9 – Forma de onda 4/24ms para impulso atmosférico.

4 CHAVES

4.1 INTRODUÇÃO

O programa ATP contém uma variedade muito grande de modelos de chaves. A exemplo do TNA, a sequência de chaveamento é que define o tipo de estudo a ser efetuado, inclusive no que se refere à facilidade de tratamento das informações obtidas do cálculo de transitórios propriamente dito. Podem ser representadas chaves de tempo controlado, chaves estatísticas, chaves sistemáticas, chaves controladas por tensão ou por sinais, bem como chaves de medição.

As chaves de tempo controlado podem efetuar as operações de fechamento e de abertura em tempos especificados pelo usuário. Estas operações são realizadas uma única vez, sendo que a abertura ocorre nos zeros de corrente ou conforme uma determinada margem de corrente. Estas chaves simulam o comportamento de um disjuntor, com exceção do arco elétrico entre contatos, e podem ser dispostas de modo a representar também resistores de pré-inserção na abertura ou no fechamento.

As chaves estatísticas e as sistemáticas são utilizadas para simular o disjuntor considerando-se também a dispersão existente entre os tempos de fechamento de cada contato. As estatísticas têm os tempos de fechamento gerados conforme uma distribuição estatística do tipo normal ou do tipo uniforme, cujos parâmetros (tempo médio e desvio padrão) são definidos pelo usuário. Podem ser utilizadas para os contatos principais e para os contatos auxiliares do disjuntor. As sistemáticas executam a mesma função, porém com tempos de fechamento gerados de acordo com uma determinada lei de formação.

Tanto as chaves estatísticas quanto as chaves sistemáticas são utilizadas para uma única operação de fechamento e existe a possibilidade de uma chave estar relacionada com uma outra chave estatística (os tempos de fechamento são gerados aleatoriamente a partir dos tempos de fechamento de uma outra chave estatística). É possível ainda que a abertura de uma chave seja estatística.

As chaves controladas por tensão têm uma determinada sequência de operação especificada pelo usuário de modo que a chave, estando originalmente aberta, feche após um tempo superior a um determinado tempo, desde que a tensão através da chave seja superior ao valor estabelecido pelo usuário. Após o fechamento é decorrido um intervalo de tempo para a abertura dentro da margem de corrente pré-fixada. Esta sequência permanente efetiva durante a simulação.

As chaves controladas por sinais são aquelas que recebem sinais provenientes da TACS e cuja função principal se refere à simulação de diodos e tiristores.

As chaves de medição são aquelas que se encontram permanentemente fechadas e cuja finalidade é somente a de monitorar corrente e energia ou potência.

Podem ser utilizadas combinações das chaves descritas acima de diversas formas de modo a atender às necessidades do estudo.

Uma das aplicações mais interessantes é a utilização de chaves estatísticas para a determinação de uma distribuição de sobretensões decorrentes de uma determinada manobra numa linha de transmissão, energização ou religamento, sendo usuais distribuições provenientes de 50 ou 100 chaveamentos. Estes números para levantamento de distribuições estatísticas normalmente requerem tempos de processamento bastante elevados. Na figura 4.1 temos a localização das chaves no ATPDraw.

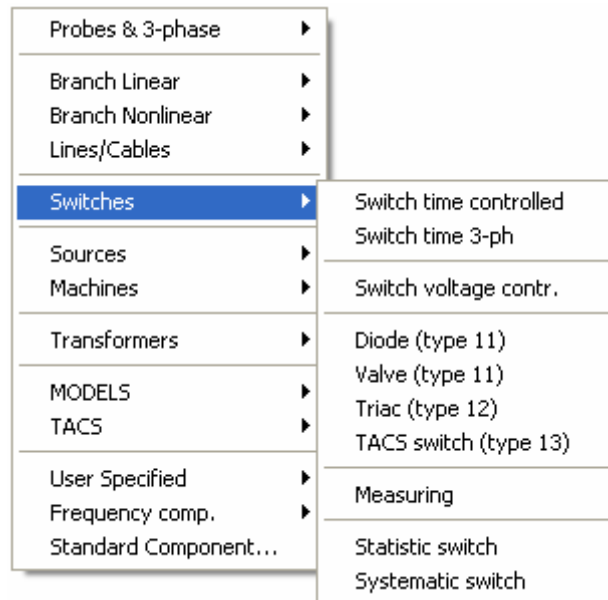


Figura 4.1 – localização das chaves no ATPDraw.

4.2 SWITCH TIME CONTROLLED

Chave controlada por tempo. Seu fechamento e abertura são controlados por tempo e corrente. A chave fecha em $t = T_{close}$ e tenta abrir novamente em $t \geq T_{open}$, sendo que a condição de corrente é observada. Para diferentes valores de I_{mar} (corrente de margem) esta condição extra é diferente, por exemplo, para $I_{mar} = 0$, a chave abre quando sua corrente passa por zero e, para $I_{mar} \neq 0$, a chave abre para $|I| < I_{mar}$.

4.3 SWITCH TIME 3-PH

Possui o mesmo mecanismo de controle da chave controlada por tempo, porém, apresenta a possibilidade da realização de um chaveamento trifásico.

4.4 SWITCH VOLTAGE CONTR.

Chave controlada por tensão. Esta chave está inicialmente aberta. O seu fechamento ocorre em $t > T_{close}$, sempre que a tensão de disrupção (V_{flash}) seja

atingida. Após um intervalo de tempo a chave tenta fechar-se novamente. A abertura da chave ocorrerá sempre que a condição da corrente de margem for atingida. V_{flash} é a tensão que deverá ser excedida para a chave fechar.

4.5 DIODE (TYPE 11)

Diodo. Semicondutor de potência, cuja função é retificar um sinal. O diodo começa a conduzir se a tensão aplicada entre seus terminais seja maior que sua tensão de ignição (V_{ig}).

4.6 VALVE (TYPE 11)

Tiristor. Dispositivo semicondutor de potência, cuja função é o controle do fluxo de potência para a carga. Deve-se especificar o valor da tensão no qual o tiristor começa a conduzir (V_{ig}). Para entrar em condução esse dispositivo necessita da aplicação de um sinal de tensão no terminal de gate. Esse sinal deve ser fornecido por uma fonte tacs.

4.7 TRIAC (TYPE 12)

Triac. Diferentemente do tiristor, o triac é um dispositivo que pode controlar o fluxo de potência da carga nos dois sentidos. Para entrar em condução, semelhante ao tiristor, um sinal de tensão deve ser aplicado no gate, sendo este sinal proveniente de uma fonte tacs.

4.8 TACS SWITCH (TYPE 13)

Chave tacs. Essa chave pode estar, no estado constante, aberta ou fechada. O seu controle é realizado pela aplicação de um sinal proveniente de algum componente tacs. Sendo que um sinal >0 faz com que a chave se feche e, para um sinal ≤ 0 a chave abre.

4.9 MEASURING

Chave de medida. Por definição, uma chave de medida é permanentemente fechada durante todo o tempo de simulação. Ela é usada para o monitoramento de corrente ou potência em locais onde essas quantidades não são disponíveis de alguma outra forma.

4.10 STATISTIC SWITCH

Chave estatística. Nesse tipo de interruptor o tempo de fechamento ou de abertura é aleatoriamente variado. Um estudo de tensões estatísticas envolve uma série de simulações internamente geradas pelo programa, sendo que os valores das tensões obtidas são processados estatisticamente. O número de simulações é dado pelo parâmetro NENERG.

Os casos que realizam tais estudos contêm interruptores cujos tempos de fechamento são aleatoriamente variados. Os interruptores estatísticos estão sempre abertos e fecham uma vez que tenha sido determinado seu tempo de fechamento com as especificações probabilísticas e não voltam a abrir. O tempo de fechamento T_{close} para cada um destes interruptores é aleatoriamente variado com uma distribuição gaussiana (normal), ou uniforme. A escolha entre um tipo de distribuição e outra se efetua pelo meio do parâmetro IDIST. Se IDIST = 0, a distribuição será gaussiana; se IDIST = 1, a distribuição será uniforme.

Se em um mesmo caso se desejam utilizar interruptores de ambos os tipos, deve-se proceder da seguinte forma:

⇒ Indicar IDIST = 0;

⇒ Indicar ITYPE = 0 nos interruptores que se deseja uma distribuição gaussiana;

Adicionalmente a variação do tempo de fechamento dado pela distribuição especificada é possível gerar um atraso de fechamento (determinado também de forma aleatória) se indicado um valor zero para o parâmetro ITEST. Este retardo de tempo, que é igual para todos os interruptores analisados é denominado “ângulo de referência” e segue sempre uma distribuição uniforme dentro da classe determinada pelos parâmetros DEGMIN, DEGMAX e STATFR.

A saída impressa de um estudo de sobretensões estatísticas, este ângulo de referência será impresso para cada energização, nas colunas que normalmente são utilizadas para o número de integração e tempo, marcados como “STEP” e “TIME” em um caso não estatístico. O valor indicado está em graus e, obviamente deverá estar indicado entre DEGMIN e DEGMAX. Se indicado o valor 1 para ITEST, então este ângulo de referência será zero.

4.11 SYSTEMATIC SWITCH

Interruptores sistemáticos. Neste interruptor o tempo de fechamento é regularmente variado. Este interruptor pode ser usado para representarem centenas de manobras trifásicas. Os parâmetros indicados são:

⇒ ISW deve ser igual a 1 se a impressão dos tempos de fechamento é esperada para cada manobra. Isto permitirá posteriormente recorrer a um simples caso para obter os gráficos de um caso maior;

- ⇒ ITEST é normalmente igual a zero, o que permite que o ponto de fechamento varie dentro dos 360° de um círculo;
- ⇒ IDST é normalmente igual a zero, implicando que os tempos de fechamento seguirão uma distribuição normal;

4.12 EXEMPLO

Como exemplo da utilização das chaves no ATPDraw, foi modelado um reator monofásico controlado a tiristor (RCT) ideal como mostra a figura 4.2.

Nesse circuito o controle de fluxo de potência da carga é controlado pelos ângulos de disparo dos tiristores utilizados (Valve (type 11)), sendo utilizado um para cada semi-ciclo da onda de tensão e pela chave Systematic.

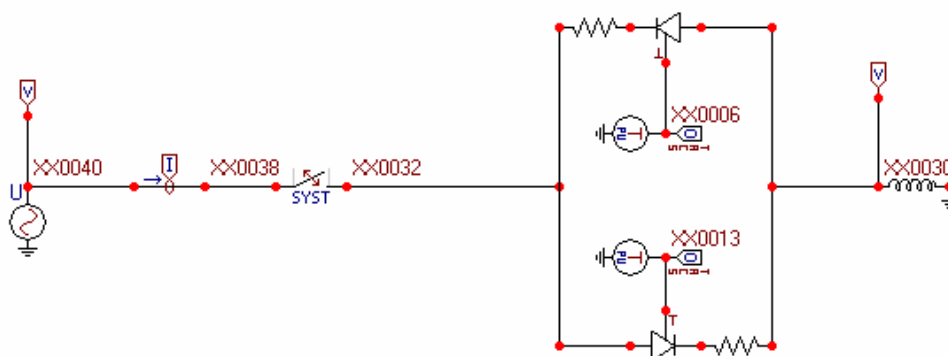
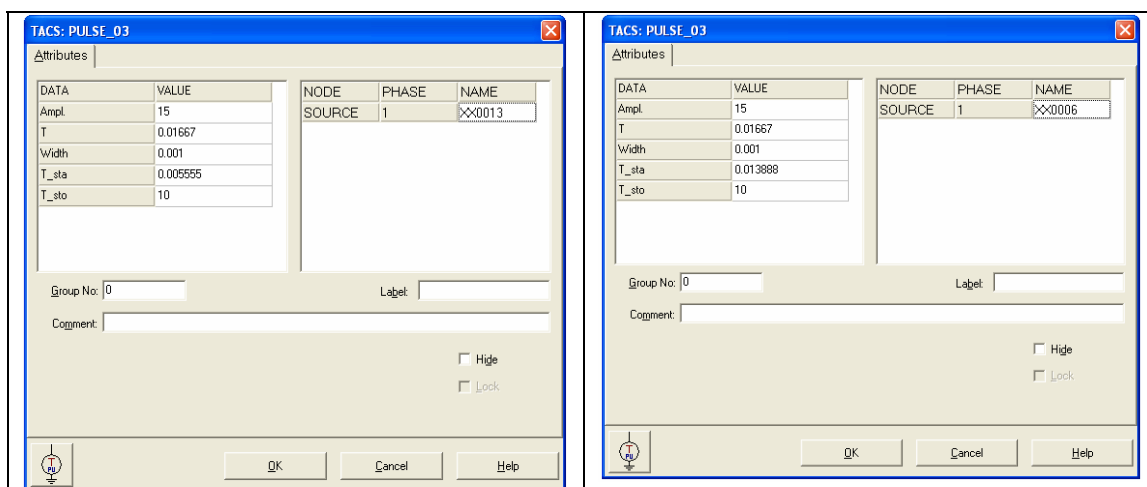


Figura 4.2 – Reator monofásico controlado a tiristor (RCT) ideal.

Duas fontes tacs (Pulse – 23), cujos parâmetros estão ilustrados na figura 4.3, foram utilizadas para fornecer o sinal de gatilho, necessário para a condução dos tiristores. As fontes foram ajustadas de modo a dispararem os tiristores a 120° no semi-ciclo positivo e 300° no semi-ciclo negativo.



(a)

(b)

Figura 4.3 – Parâmetro das fontes Pulse -23 sendo (a) a fonte para o disparo do semi-ciclo positivo e (b) a fonte para o disparo do semi-ciclo negativo.

O outro tipo de chave utilizado, a chave sistemática (Systematic switch), foi programado para fechar o circuito em 0,3223 ms, tempo que corresponde a disparo de um sinal da fonte Pulse – 23 que controla o semi-ciclo positivo. Na figura 4.4, abaixo, temos os parâmetros de escolha dessa chave.

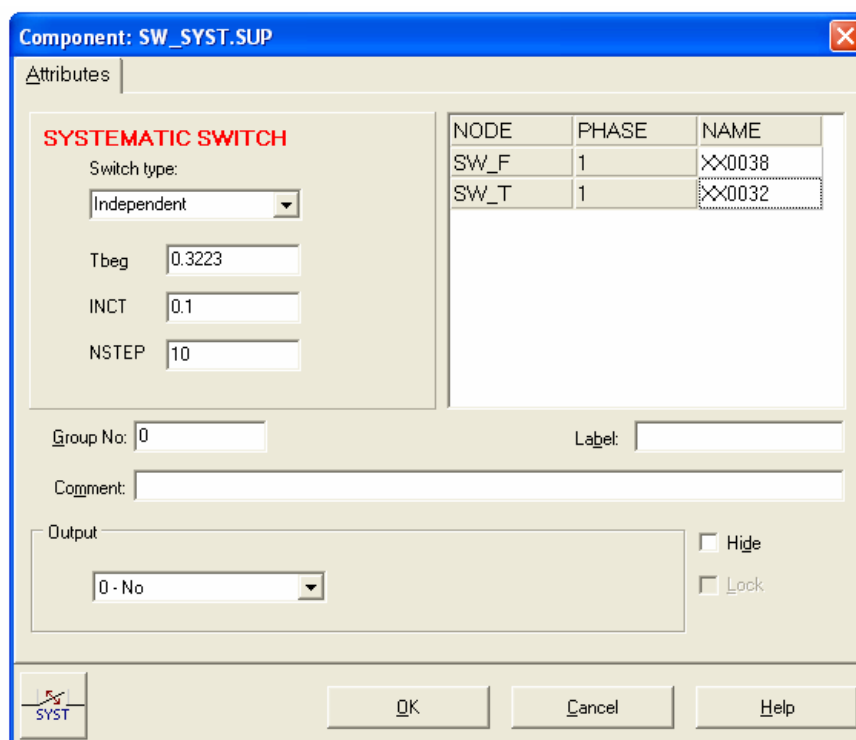


Figura 4.4 – Parâmetros de escolha da chave Sistematic.

Na figura 4.5 temos o sinal de corrente e os sinais de tensão das fontes Pulse - 23. Podemos perceber nessa figura que o sinal estava bloqueado até o valor de 0,3223 ms, pois, este foi o tempo especificado para a chave sistemática fechar.

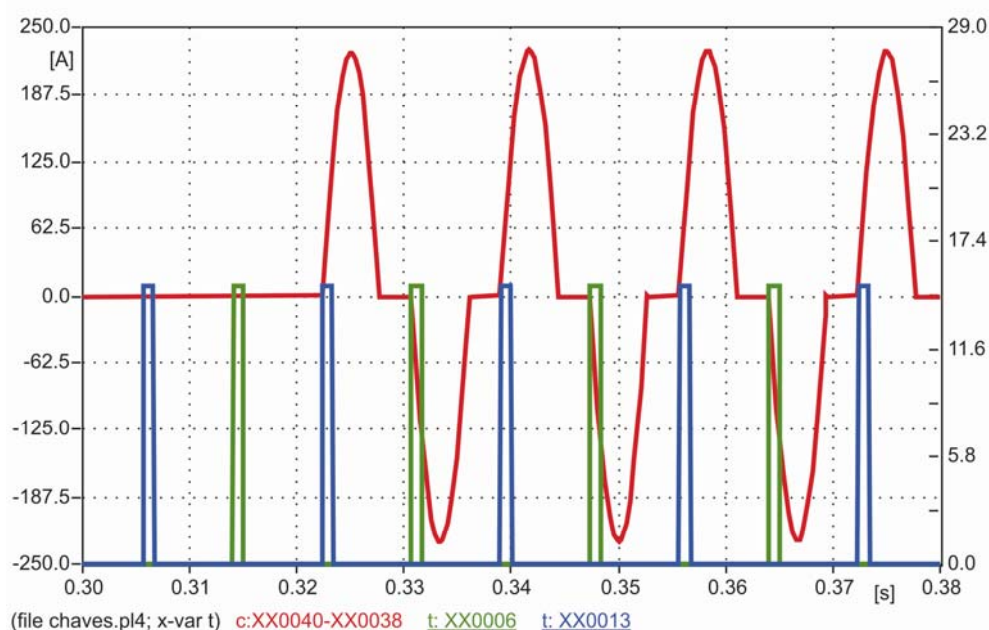


Figura 4.5 – Forma de onda da corrente e das tensões de gatilho dos tiristores.

5 TRANSFORMADORES

5.1 INTRODUÇÃO

A modelagem de transformadores apresenta grande importância devido ao seu alto uso tanto em sistemas de transmissão de energia e nos sistemas de distribuição. Os transformadores, no ATPDraw, podem ser obtidos conforme mostra a figura 5.1.

O programa ATPDraw apresenta vários modelos de transformadores e, é possível em alguns casos (transformadores reais) a inclusão da curva de magnetização do transformador através da rotina SATURATION, sendo que no caso dos transformadores ideais apenas a relação de transformação é necessária. Os modelos disponíveis são para frequências menores que 1kHz.

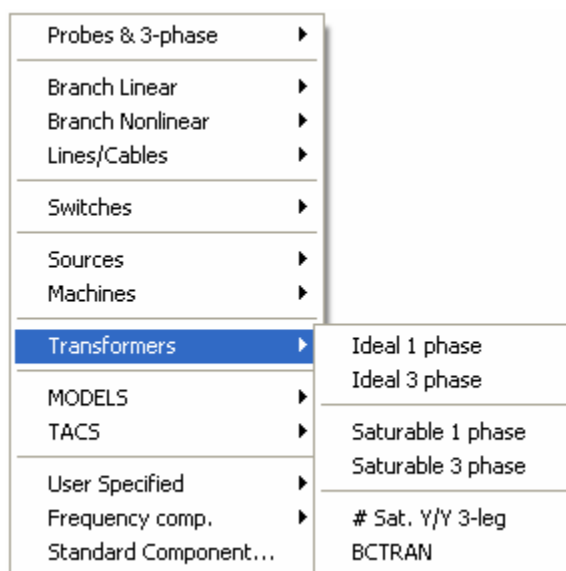


Figura 5.1 - Localização dos transformadores no ATPDraw.

5.2 TRANSFORMADORES IDEAIS

Os transformadores ideais, figura 5.2, apresentam como parametro apenas a relação de transformação entre o lado primário e o lado secundário, isto é, não levam em conta as perdas nos enrolamentos de cobre e no núcleo.

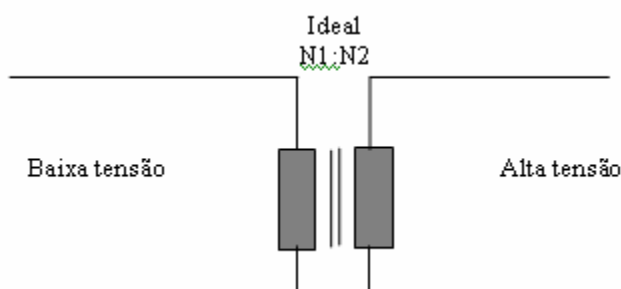


Figura 5.2 – Representação de um transformador monofásico ideal.

5.3 TRANSFORMADORES SATURÁVEIS

Devido a maior complexidade, uma maior abordagem será realizada com relação à representação de transformadores reais.

Este tipo de transformador é mais completo e inclui um modelo para levar em conta às perdas nos enrolamentos de cobre e perdas no material ferromagnético do núcleo.

As perdas no cobre são calculadas levando em conta a resistência, as quais devem ser informadas, dos enrolamentos nos lados de baixa e alta tensão.

Já as perdas no núcleo são analisadas com base na curva de saturação do transformador, sendo que os valores desta curva devem ser informados.

Transformadores monofásicos com vários enrolamentos podem ser representados conforme o circuito equivalente mostrado na Figura 5.3. São representadas as impedâncias de dispersão de cada enrolamento, o ramo magnetizante com saturação e perdas no núcleo e a relação de transformação entre enrolamentos.

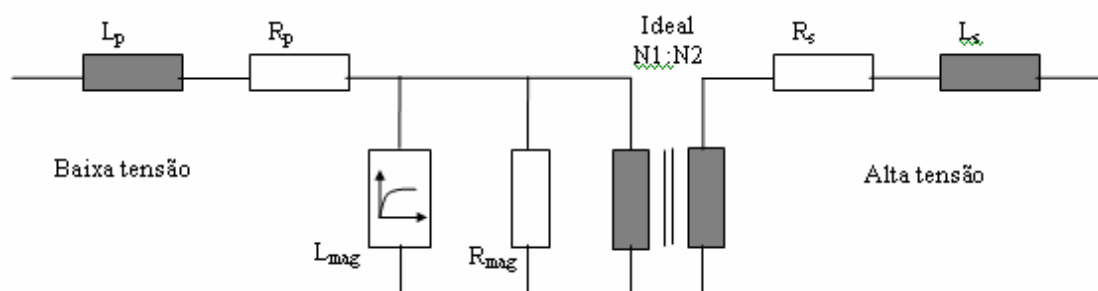


Figura 5.3 - Circuito Equivalente para um transformador saturável.

O ramo magnetizante pode ser ignorado e conectado em qualquer terminal utilizando-se um outro modelo do programa. Este outro modelo pode ser conectado inclusive no mesmo ponto do circuito original e pode ser um indutor não linear ou um indutor não linear com histerese.

A característica de magnetização de transformadores é de modelagem muito difícil e se constitui num dos problemas mais complexos na simulação de transitórios eletromagnéticos, principalmente quando os resultados são fortemente dependentes da geração de harmônicos e envolvendo transitórios de longa duração. Os exemplos mais apropriados para estes tipos de transitórios são os transitórios decorrentes de energização de transformadores, ocorrência e eliminação de defeitos e rejeição de carga.

É importante ressaltar que a própria determinação de curva de histerese de um transformador é bastante complexa, seja por medições ou por cálculos, não havendo nenhuma informação disponível sobre o comportamento transitório desta característica que possa ser utilizada de forma confiável em estudos de transitórios. Estes problemas são de certa forma reduzida na sua importância porque a relação entre o fluxo e a frequência é uma relação inversamente proporcional e, portanto, o efeito da saturação perde a sua importância à medida que a frequência aumenta.

Os transformadores monofásicos podem ser conectados de forma a constituir um transformador trifásico, inclusive respeitando-se as ligações de cada enrolamento.

O programa ATP dispõe ainda de outras possibilidades para modelagem de transformadores. A primeira delas consiste em calcular os parâmetros de sequência positiva e zero incluindo as reatâncias do transformador e do gerador (ou equivalente de sistema) e transformá-los para componentes de fase, os quais seriam modelados por elementos acoplados. Esta representação só é conveniente para as extremidades da rede elétrica. Uma segunda opção seria a representação de um transformador por uma matriz de impedâncias, utilizando-se o acoplamento magnético entre fases para representar a relação de transformação entre enrolamentos. A sub-rotina XFORMER fornece os elementos para esta finalidade, sendo este modelo também de utilização relativamente limitada.

De um modo geral, o modelo mais aconselhável é aquele que foi apresentado inicialmente, devido às facilidades que oferece para a sua utilização e por ser o mais completo.

5.3.1 Características dos Transformadores Saturáveis

Considerando um *transformers saturable 1 phase*, os seus parâmetros são, conforme mostra figura 5.4.

Nome: TRAFO_S - transformador saturable. Fase monofásica.

Cartão: FILIAL

Dados: I_o = Corrente em [A] através do ramo magnetizante (MB) no estado constante.

F_o = Fluxo em [Wb-voltas] no MB no estado constante.

O par I_o , F_o define a indutância no MB no estado constante.

R_{mag} = Resistência de magnetização no ramo magnetizante em [ohm].

R_p = Resistência no enrolamento primário em [ohm].

L_p = Indutância no enrolamento primário em [mH] se $X_{opt.} = 0$

Indutância no enrolamento primário em [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$.

V_{rp} = Tensão [quilovolt] no enrolamento primário.

R_s = Resistência no enrolamento secundário em [ohm].

L_s = Indutância no enrolamento secundário em [mH] se $X_{opt.} = 0$

Indutância no enrolamento secundário dentro [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$. V_{rs} = Tensão [quilovolt] no enrolamento secundário.

RMS = Bandeira característica não-linear.

0: A característica da corrente/fluxo deve ser incorporada.

1: A característica de I_{rms}/U_{rms} deve ser incorporada.

ATPDRAW executa um cálculo de SATURATION.

Nó: P1 = Lado primário. Fase 1

P2 = Lado primário. Fase 2

Estes dados são facilmente calculados a partir de medições no transformador, sendo que para isso devem-se estabelecer os valores de base para o transformador.

Component: TRAFO_S.SUP

Attributes | Characteristic

DATA	VALUE
Io	0
Fo	0
Rmag	100000
Rp	10
Lp	10
Vrp	230
Rs	10
Ls	10

NODE	PHASE	NAME
P1	1	
P2	1	
S1	1	
S2	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output: 0 - No ☐ Hide ☐ Lock

OK Cancel Help

Figura 5.4 – Atributos a serem informados num transformador monofásico saturável.

A análise de um transformador real necessita, para o arquivo principal de dados, a curva de saturação do transformador, que é obtida através da rotina SATURATION. Inicialmente é fornecida uma tabela com dados de tensão e corrente medida no transformador. Esses dados são inseridos em um arquivo de dados especialmente construído para gerar dados de corrente e fluxo, através de uma rotina especial do ATP, chamada de SATURATION, conforme mostra a figura 5.5. Esses dados de corrente e fluxo são então inseridos no arquivo principal de dados, para a modelagem do transformador propriamente dito. A curva de magnetização pode ser expressa em valores de corrente versus fluxo ou por corrente versus tensão.

Component: TRAFO_S.SUP

Attributes | Characteristic

Saturation

I [A]	Fluxlinked [wb-T]
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Add Delete Sort Move

File

\$Include: Browse... ☐ Include characteristic

Save... Copy Paste View

OK Cancel Help

Figura 5.5 – Janela utilizada para a inserção de dados da curva de saturação.

É possível incorporar 9 pontos na característica atual/fluxo. O menu requerido é executado imediatamente após o menu da entrada. Os pontos devem ser incorporados como valores em ordem crescente. O ponto (0.0) não é permitido (adicionado internamente no ATP).

A curva de magnetização (saturação) do transformador deve ser levantada a partir de medições a vazio. A partir dessa curva o ATP calculará automaticamente a indutância de magnetização. Para incluir a curva de magnetização no ATP devem-se estabelecer na janela atributos, o valor RMS, dessa forma pode-se incluir os valores de tensão e corrente da curva, sendo que estes valores devem ser em valores eficazes.

A resistência de magnetização R_{mag} é obtida com a potencia do transformador a vazio e tensão nominal

$$R_{mag} = \frac{V_o^2}{P_o}$$

A resistência do primário e secundário se obtém a partir da impedância de curto-circuito Z_{cc} e potência de curto-circuito P_{cc} .

$$R_T = \frac{P_{cc}}{I_n^2}$$

Suponha para este caso que a resistência do lado de alta seja igual ao lado de baixa tensão, dessa forma a resistência em cada lado será R_T , lembrado que é necessário levar em consideração a relação de transformação dos lados e os valores de base adotados. Após isso se calcula a reatância do transformador X .

$$X = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2}$$

Os valores de I_o e F_o correspondem aos valores iniciais da indutância para o estado estacionário. Estes valores devem ser, inicialmente, para valor de corrente de circuito aberto e para tensão nominal, e fluxo com mesmo valor. Isto dará um valor aproximado, o qual deve se ajustado depois da simulação no ATP. Sendo assim, depois de realizada a primeira simulação com o ATP, deve-se revisar os arquivos *.lis* e *.atp*, onde estão os novos valores de I_o e F_o . Utilize os primeiros valores na coluna TRANSFORMER.

Para verificar a corrente de magnetização indique a medição de corrente na janela atributos, como mostra a figura 5.6.

Component: Trafo_s.sup

Attributes | Characteristic

DATA	VALUE
Io	0.339
Fo	0.76
Rmag	701
Rp	0.0176
Lp	0.119
Vrp	220
Rs	63.5
Ls	430

NODE	PHASE	NAME
P1	1	NP
P2	1	
S1	1	NS
S2	1	

Order: 0 Label:

Comment:

Output: 1 - Current

☐ Hide ☐ Lock

OK Cancel Help

Figura 5.6 – Indicação da medição da corrente de magnetização no ATPDraw.

5.3.2 Curvas de saturação típicas

A representação da saturação dos transformadores é fundamental nos estudos de transitórios eletromagnéticos e deverá ser a mais representativa daquilo que ocorre com o transformador quando sobre-excitado durante transitórios.

Durante os ensaios de rotina feitos em um transformador, é medida a corrente de magnetização que circula no mesmo para uma dada tensão aplicada. Com os valores obtidos de tensão e corrente, em valores eficazes (rms), pode-se traçar a curva de saturação do transformador.

Ocorre que não é possível aplicar tensões superiores a dez por cento (1,1 pu) no transformador durante os ensaios a vazio, sob pena de danificá-lo e, por isso, normalmente no ensaio a vazio são aplicadas tensões de 0,9 pu, a 1,1 pu, obtendo-se apenas três ou cinco pontos da curva de saturação. A curva de saturação obtida com valores de tensão até 1,1 pu não é adequada, pois o algoritmo do ATP extrapola a curva de saturação, a partir do último valor fornecido, como uma reta que passa pelos dois últimos pontos, o que, normalmente, não é correto. Já que durante transitórios ocorrerão valores muito superiores a este o erro poderá ser considerável.

No programa ATP - Alternative Transients Program a determinação das condições de saturação do transformador para tensões acima do último valor de tensão fornecida na curva de saturação é feita considerando o prolongamento da reta passando pelos últimos dois pontos fornecidos para a curva de saturação. Dependendo da inclinação da parte final da curva real de saturação do transformador poderá haver, então, um erro muito grande.

Para a obtenção dos pontos da curva de saturação acima de 1,1 pu de tensão são utilizadas curvas de saturação típicas de transformadores.

A seleção da curva adequada ao transformador real em estudo deverá ser feita comparando-se as relações obtidas com os valores de correntes (ou de reatâncias), obtidas do ensaio em vazio do transformador em questão, com os valores das relações existentes na Tabela 5.1, a seguir.

Tabela 5.1 - Valores numéricos das relações entre correntes e entre reatâncias para tensões de 0,9 pu, 1,0 pu e 1,1 pu

CURVA TÍPICA	$I_{90\%} / I_{100\%}$	$I_{100\%} / I_{110\%}$	$X_{90\%} / X_{100\%}$	$X_{100\%} / X_{110\%}$
1	0,90	0,85	1,00	1,07
2	0,85	0,62	1,06	1,47
3	0,75	0,57	1,23	1,60
4	0,65	0,51	1,43	1,77
5	0,60	0,49	1,50	2,09
6	0,39	0,25	2,33	3,84

Os valores de $I_{90\%}$, $I_{100\%}$ e $I_{110\%}$ (ou $X_{90\%}$, $X_{100\%}$ e $X_{110\%}$) correspondem aos valores de corrente (ou reatância) obtidos para tensões aplicadas de 90%, 100% e 110% da nominal.

A Figura 5.6 abaixo mostra o aspecto das curvas de saturação típicas, para as quais se tem os valores da Tabela 5.1.

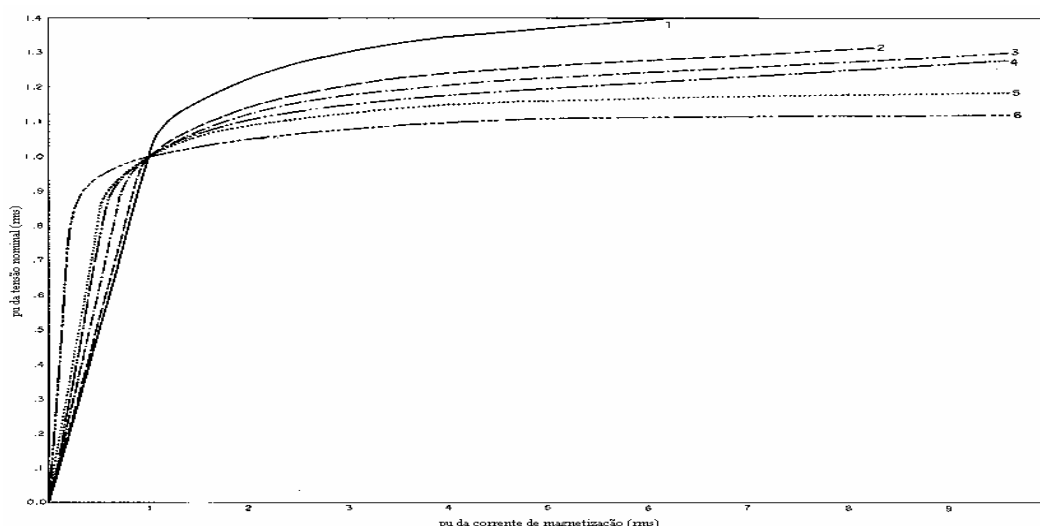


Figura 5.6 – Curvas de saturação típicas

5.3.3 Comentários e Recomendações Sobre o uso dos Modelos de Transformadores

Em geral não se dispõe como dado a curva normal de magnetização. Neste caso uma boa aproximação é considerar o nível de saturação de 1,0 a 1,2 p.u. do fluxo nominal, e uma reatância de saturação entre 2 a 4 vezes a impedância de curto-circuito do

transformador. O fluxo nominal pode ser calculado através da relação $\varphi = (\sqrt{2} * V_{rms}) / \omega$, onde V_{rms} é a tensão nominal eficaz do enrolamento e $\omega = 2 * \pi * f$;

Se a modelagem é de um transformador trifásico com uma de suas bobinas em triângulo e em vazio, o resultado será uma indefinição matemática da tensão desta bobina, a qual está isolada da terra. O programa imprimirá uma mensagem de advertência que existe um “subsistema flutuante” e colocará automaticamente a terra em um ou mais nós mesmo (neste caso, alguns dos nós que formam o triângulo). Existem duas soluções para este problema:

Se não interessam os valores dos parâmetros do lado triângulo, então se pode colocar o terra em um de seus nós. Isto não altera a solução, pois, não circulará corrente por esta conexão;

Se em troca é importante preservar o balanço entre fases do lado triângulo, então se pode agregar capacitâncias parasitas em cada uma das saídas. É importante utilizar valores adequados para a capacitância, dado que a medida que esta se aproxima de zero, mais próxima está de uma singularidade da matriz internamente construída pelo programa, que em caso de ocorrer produzirá um erro que levará na interrupção da simulação.

5.4 EXEMPLO

Como exemplo, vamos simular um transformador com as seguintes características para a análise transitória para frequências menores que 1kHz.

Potencia:	15 kVA;
Relação de transformação:	13.2kV/220 V
Impedância de curto-circuito:	3%
Potência a vazio:	69W
Potência de curto-circuito:	164 W

As medições em circuito aberto realizadas no transformador têm as seguintes características:

Tabela 5.2 – Valores de tensão e corrente da curva de saturação do transformador.

Tensão (p.u)	Corrente (p.u)
0,00000	0,00000
0,70800	0,00384
0,87500	0,00680
0,96000	0,01100
1,00000	0,01600
1,04000	0,03200
1,10000	0,13000

Com os dados anteriores, é possível calcular os valores das indutâncias e resistências do primário e secundário, como também a curva de magnetização. Esses valores, bem como os valores de base escolhido são:

$$V_b = 220 \text{ V}$$

$$S_b = 15000 \text{ VA}$$

$$I_b = 68,18 \text{ A}$$

$$I_0 = 0,339 \text{ A}$$

$$F_0 = 0,76 \text{ Wb-n}$$

$$R_{mag} = 701 \Omega$$

$$L_p = 0,19 \text{ mH}$$

$$V_{rp} = 220 \text{ V}$$

$$R_s = 63,5 \Omega$$

$$L_s = 430 \text{ mH}$$

$$V_{rs} = 13200 \text{ V}$$

A figura 5.7 mostra esses valores inseridos na janela atributos. Com os valores, levantado por medição, da curva de magnetização e com os valores de base escolhidos temos os valores da tensão e corrente eficazes a serem utilizados para o levantamento da curva de magnetização, conforme mostra a figura 5.8.

DATA	VALUE
Io	0.339
Fo	0.76
Rmag	701
Rp	0.0176
Lp	0.119
Vrp	220
Rs	63.5
Ls	430

NODE	PHASE	NAME
P1	1	
P2	1	
S1	1	
S2	1	

Group No: 0 Label:

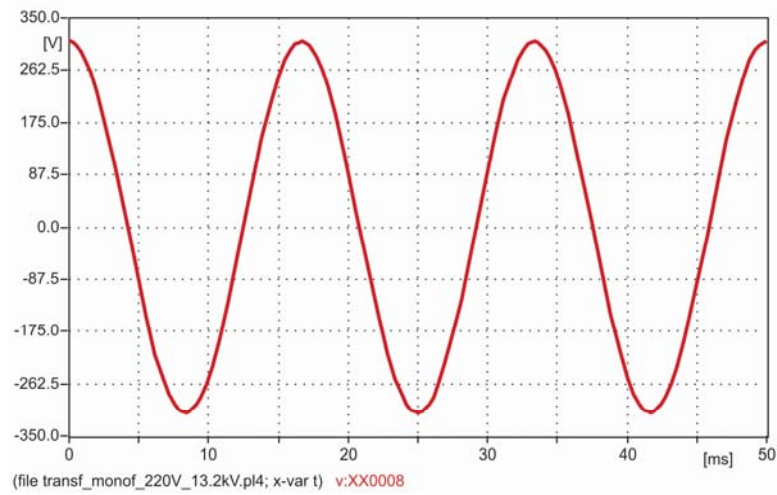
Comment: 220V_13.2kV

Output: 1 - Current

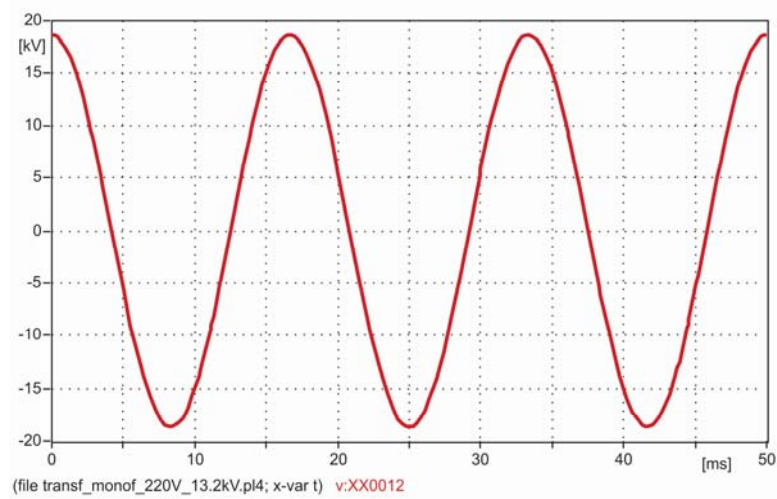
Hide Lock

OK Cancel Help

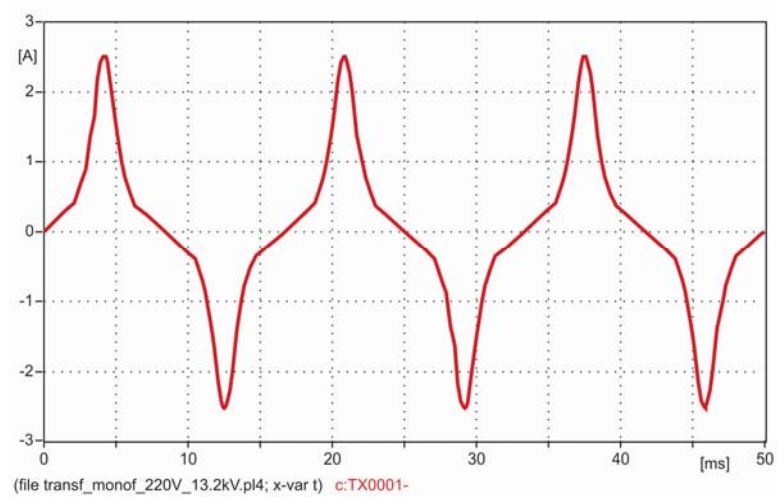
Figura 5.7 – Valores das grandezas do transformador analisado.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.10 – Formas de onda (a) da tensão no primário e (b) no secundário do transformador, e (c) da corrente de magnetização desse transformador.

6 LINHAS DE TRANSMISSÃO

6.1 INTRODUÇÃO

O ATP dispõe de modelos para linhas de transmissão, figura 6.1, cobrindo as seguintes alternativas:

- Modelos concentrados;
- Modelos baseados em parâmetros distribuídos sem variação com a frequência, para linhas de transmissão transpostas ou não-transpostas;
- Modelos baseados em parâmetros distribuídos e variação com a frequência;
- Modelos baseados em cadeias de PI's.

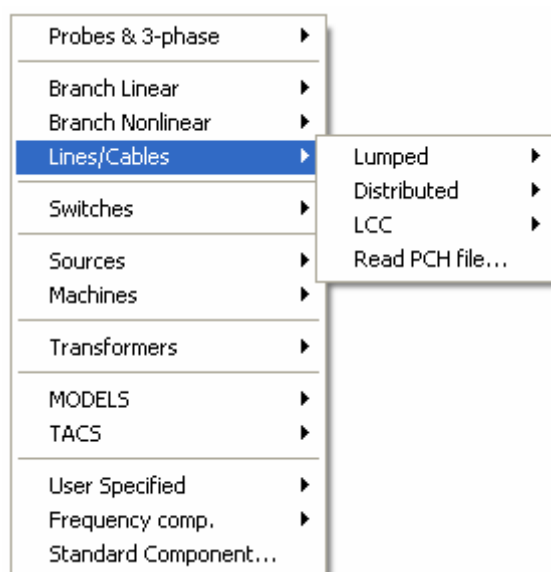


Figura 6.1 – Modelos das linhas de transmissão disponíveis no ATPDraw.

A modelagem de linhas de transmissão geralmente é realizada utilizando-se parâmetros distribuídos, com ou sem variação com a frequência.

A modelagem por cadeias de PI's apresenta resultados similares, desde que o comprimento de cada seção PI seja adequado ao fenômeno transitório em análise mas, na prática, costuma ser utilizada somente nos casos onde é necessário representar o acoplamento entre circuitos paralelos.

A modelagem por parâmetros distribuídos variando com a frequência é a mais completa disponível no ATP, mas também apresenta simplificações porque uma solução rigorosa necessitaria de um modelo generalizado de variação dos parâmetros com a frequência, baseado em matrizes de transformação dependentes da frequência.

No ATP a matriz de transformação é constante e real. Para circuitos perfeitamente transpostos, a matriz de transformação é real e não dependente de frequência, e para circuitos não-transpostos a matriz de transformação é complexa e dependente com a frequência. Entretanto, para uma ampla gama de frequências as matrizes podem ser consideradas praticamente como constantes e reais, o que é realizado no ATP.

6.2 PARÂMETROS CONCENTRADOS

Este modelo de linha de transmissão não apresenta valores satisfatórios para médias e longas distâncias, sendo por isso utilizado para linhas de curta distância. No ATPDraw esse modelo pode ser obtido conforme figura 6.2.

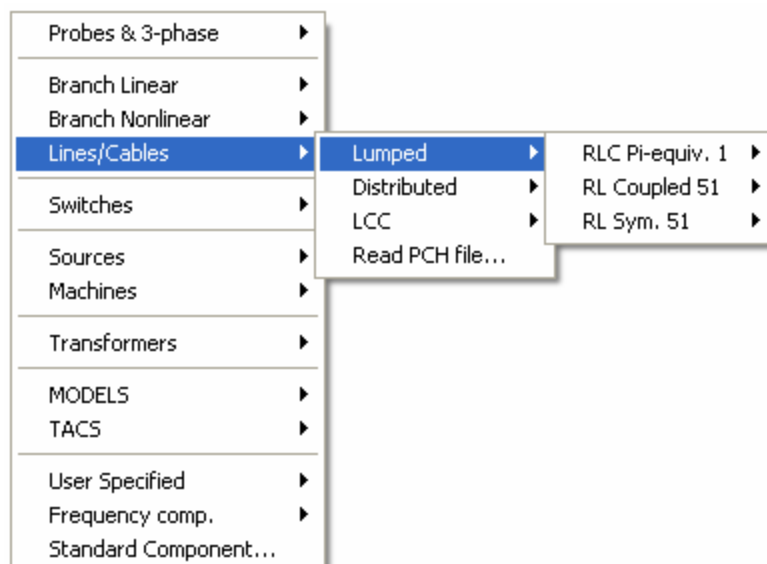


Figura 6.2 – Modelos de linhas concentradas do ATPDraw.

6.3 PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS SEM VARIAÇÃO COM A FREQUÊNCIA

O modelo para parâmetros distribuídos à frequência constante, figura 6.3, pode ser sem distorções ("distortionless") ou com resistências concentradas no meio e nas extremidades da linha de transmissão.

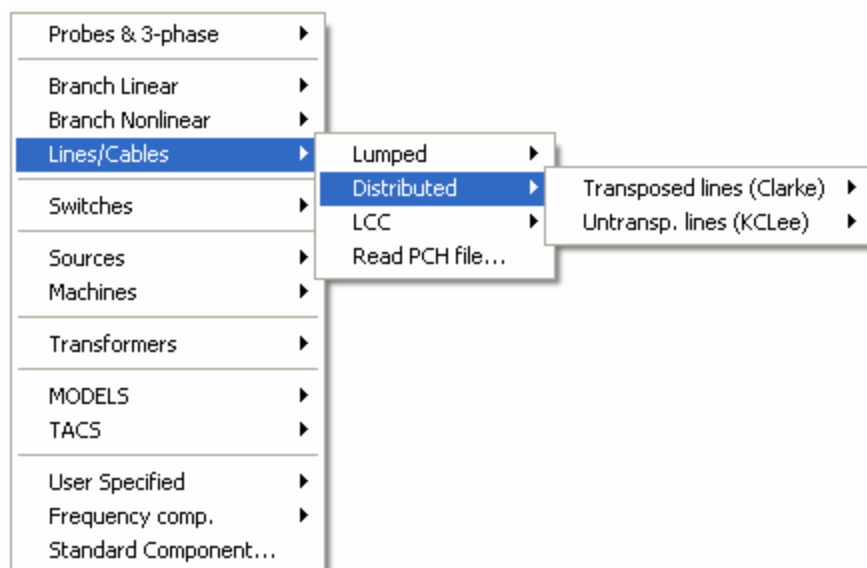


Figura 6.3 – Modelos disponíveis de linhas de transmissão, no ATPDraw, com parâmetros distribuídos a frequência constante.

Uma linha de transmissão é considerada sem distorções se a relação $R/L = G/C$ é válida. Na prática as perdas resistivas são muito maiores que as perdas por dispersão e esta condição não é obtida, a não ser em circuitos de comunicação.

A consideração de resistências concentradas no meio e nas extremidades da linha de transmissão é uma aproximação que não introduz erros consideráveis para os fenômenos transitórios caracterizados como sobretensões de manobra, sendo utilizada de um modo geral sem restrições. Os parâmetros a serem especificados nesse tipo de linha são basicamente os seguintes:

⇒ Resistance (R):

Valor da resistência em ohms por unidade de comprimento, onde $R/1+$ é a resistência de sequência positiva e $R/10$ é resistência de sequência zero.

⇒ A:

Valor dependente da variável ILINE.

Para ILINE = 0 deve ser especificada a indutância (se XOPT = 0) modal em mH por unidade de comprimento ou a reatância modal (se XOPT > 0) em ohms por unidade de comprimento. Para ILINE = 1 ou 2 deve ser especificada a impedância de surto modal em ohms.

⇒ B:

Valor dependente da variável ILINE.

Para ILINE = 0 deve ser especificada a capacitância modal em uF por unidade de comprimento (se COPT = 0) ou a susceptância modal em micromhos por unidade de comprimento (se COPT > 0).

Para ILINE = 1 deve ser especificada a velocidade de propagação modal em unidades de comprimento por segundo e para ILINE = 2 deve ser especificado o tempo de propagação modal em segundos.

⇒ LENGHT:

Comprimento da linha de transmissão, em unidades compatíveis com os parâmetros R , A e B acima. No caso de linhas não-transpostas o comprimento tem que ser especificado como negativo.

⇒ ILINE:

Indicador do tipo de especificação para os parâmetros A e B .

⇒ IPUNCH:

Indicador do tipo de modelagem. Para uma linha de transmissão com resistência concentrada no meio e nas extremidades (caso usual), $IPUNCH = 0$. Para linhas sem distorções $IPUNCH = 1$.

⇒ IPOSE:

Indicador do tipo de transposição. $IPOSE = 0$ para linhas perfeitamente transpostas e $IPOSE = N$ para linhas não transpostas, sendo N o número de "fases".

Para uma linha de transmissão trifásica perfeitamente transposta existe apenas dois modos distintos de propagação, usualmente denominados de seqüência zero e seqüência positiva, uma vez que a seqüência negativa é idêntica a seqüência positiva.

6.4 PARÂMETROS DISTRIBUÍDOS COM VARIAÇÃO COM A FREQUÊNCIA

Os parâmetros de uma linha de transmissão dependem da frequência, como pode ser observado na Figura 6.4, principalmente para a seqüência zero.

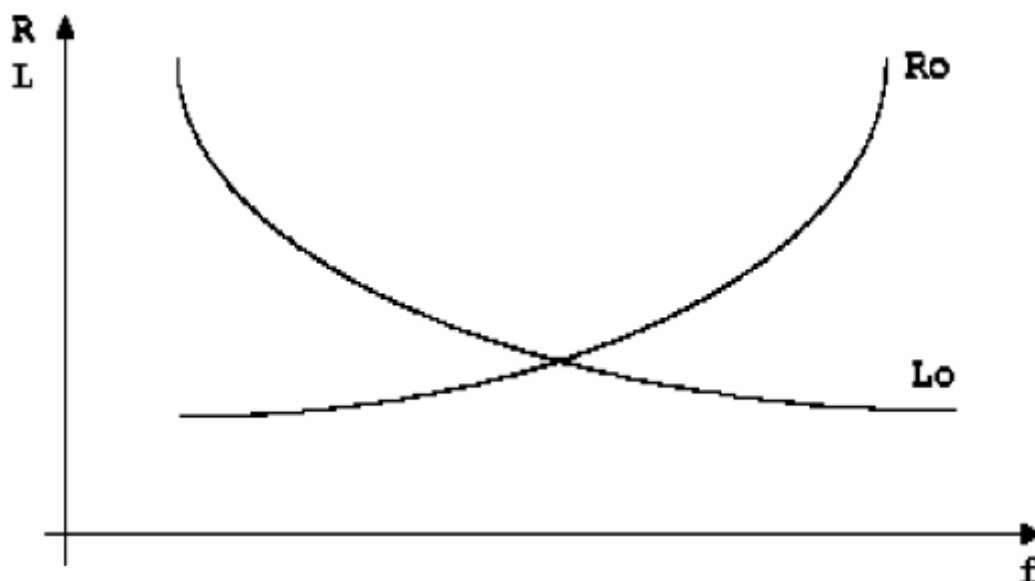


Figura 6.4 - Variação dos Parâmetros de uma Linha de Transmissão com a Frequência.

A modelagem rigorosa de linhas de transmissão deve incluir a variação dos parâmetros com a frequência, de forma a evitar imprecisões nos resultados. Na prática a inclusão desta dependência apresenta uma complexidade de tal ordem que é necessário introduzir simplificações na modelagem para torná-la compatível com os métodos computacionais utilizados no programa.

O programa ATP permite a modelagem de linhas de transmissão com a variação dos parâmetros com a frequência através de duas opções: modelos JMARTI e Semlyem, os quais utilizam técnicas distintas para alcançar o mesmo objetivo.

As informações para utilização do modelo JMARTI e SEMLYEM encontram-se descritas a seguir, através da rotina LCC.

6.5 CÁLCULO DE PARÂMETROS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (LCC)

6.5.1 Introdução

A grande maioria das simulações geralmente envolve linhas de transmissão como um de seus componentes básicos. Por este motivo, frequentemente é necessário obter os parâmetros das linhas de transmissão que fazem parte do sistema a ser estudado.

Na prática, nem sempre se dispõe de um banco de dados atualizado contendo os parâmetros das linhas de transmissão na forma requerida e uma das maneiras mais eficientes é realizar os cálculos antes de se iniciarem as simulações.

O programa ATPDraw, dispõe de uma rotina para o cálculo dos parâmetros de linhas de transmissão, própria para a utilização que se necessita realizar em estudos de transitórios ou de indução em linhas paralelas ou em objetos próximos.

A rotina permite o cálculo dos parâmetros de configurações arbitrárias de cabos de uma ou mais linhas de transmissão na mesma faixa de passagem, além da obtenção de modelos especiais para serem introduzidos a posteriori nas simulações de transitórios.

6.5.2 Finalidade e Aplicações

A rotina de suporte "LINE CONSTANTS" pode ser utilizada nas seguintes circunstâncias:

⇒ "LINE CONSTANTS" isolada:

Esta opção pode ser utilizada para calcular as matrizes de resistências, indutâncias e capacitâncias, em componentes simétricas ou de fase, de qualquer configuração arbitrária de condutores aéreos, para qualquer frequência entre 0.0001Hz e 500 kHz.

- ⇒ "LINE CONSTANTS" incluindo a solicitação de acoplamento mútuo:
Esta opção pode ser utilizada para calcular o acoplamento entre uma linha de transmissão e um circuito de comunicação paralelo.
- ⇒ Cálculo de parâmetros para uma faixa de frequências:
Esta opção pode ser usada para a obtenção das resistências, indutâncias e capacitâncias para uma faixa de frequências pré-estabelecida, com valores espaçados de forma logarítmica.
- ⇒ Solicitação de saída para um π -equivalente:
Esta opção pode ser usada para a obtenção de um π -equivalente nominal (ou equivalente para linha de transmissão curta, válido para simulação de transitórios) ou para um π - equivalente de uma linha de transmissão longa (válido para simular o comportamento de uma linha de transmissão longa em regime permanente somente).
- ⇒ Solicitação de modelo K.C. Lee ou Clarke (Bergeron)
Esta opção pode ser usada para obter um modelo de linha de transmissão (transposta ou não) a parâmetros para uma determinada frequência, adequado para propagação de ondas.
- ⇒ Modelo JMARTI
Esta opção pode ser usada para a obtenção de um modelo de uma linha de transmissão como seus parâmetros variando com a frequência, adequado para estudos de transitórios onde o modelo usual a parâmetros constantes não é adequado. Na prática, esta opção não é exatamente um caso de cálculo de parâmetros de linhas de transmissão, sendo mais especificamente uma outra rotina auxiliar do ATP, mas que utiliza a rotina LINE CONSTANTS internamente.

Será apresentada aqui somente a opção inicial da rotina "LINE CONSTANTS", que é a alternativa que tem por finalidade calcular as matrizes, em componentes simétricas ou de fase, das resistências, indutâncias e capacitâncias de uma configuração arbitrária de cabos aéreos, de uma ou mais linhas de transmissão.

6.5.3 Dados Referentes aos Condutores

Devem constar tantas instruções referentes aos dados dos condutores quantos forem os condutores, ou quantos forem os conjuntos de cabos geminados, dependendo da opção para entrada de dados. Há duas possibilidades:

- Uma instrução para cada condutor, mesmo que sejam geminados.
- Uma instrução para cada conjunto de cabos geminados.

Devem ser indicados os dados físicos referentes à geometria da linha de transmissão (posição geométrica de cada condutor), como também as informações referentes aos próprios condutores (relação T/D, resistência DC, etc...).

Deve ser usada uma instrução de um dos tipos acima indicados para cada condutor físico ou para cada conjunto de cabos geminados, considerando que alguns campos das instruções têm significados diferentes, conforme a opção selecionada para a definição física dos condutores.

Quando a opção utilizada é a que se refere a cada condutor individual, independentemente de pertencerem a um conjunto geminado de configuração regular ou irregular, é necessário tratar cada um com uma instrução individual contendo os dados referentes a cada condutor.

Quando a opção utilizada é a que se refere a um conjunto de cabos geminados que ocupam uma configuração regular (cabos idênticos espaçados uniformemente ao redor de uma circunferência), a alternativa denominada "automatic bundling option" deve ser a utilizada porque facilita a entrada dos dados. Esta opção implica numa quantidade menor de instruções, sendo necessário apenas uma instrução para cada fase da linha de transmissão (sem levar em conta os cabos pára-raios).

Não é necessária uma ordem específica para associar a posição física relativa dos cabos com as fases da linha de transmissão e com a seqüência de entrada dos dados. Os cabos são identificados pela numeração que o usuário atribuir e todos os cabos individuais com o mesmo número serão considerados pertencentes a mesma fase. Geralmente os seguintes campos têm sempre a mesma significação em quase todos os casos de utilização da rotina "LINE CONSTANTS":

- ⇒ SKIN = T/D
- ⇒ RESIS = Resistência CC
- ⇒ IX = 4
- ⇒ REACT = BLANK

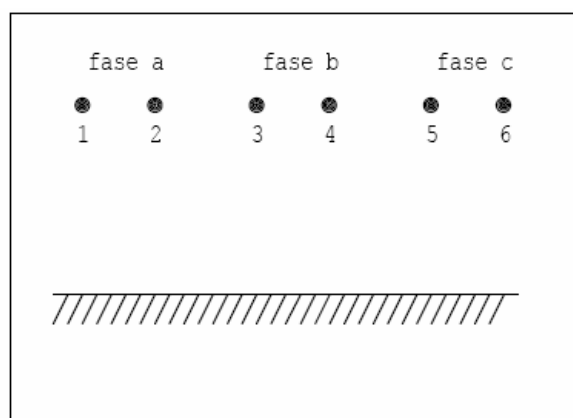
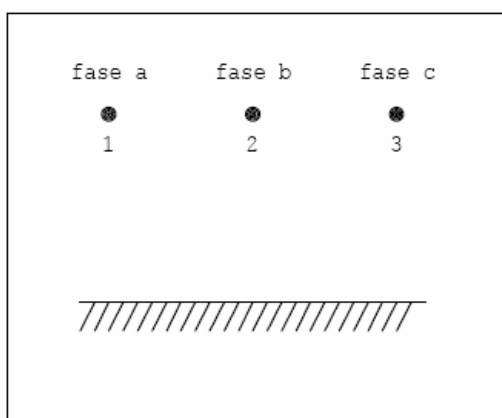
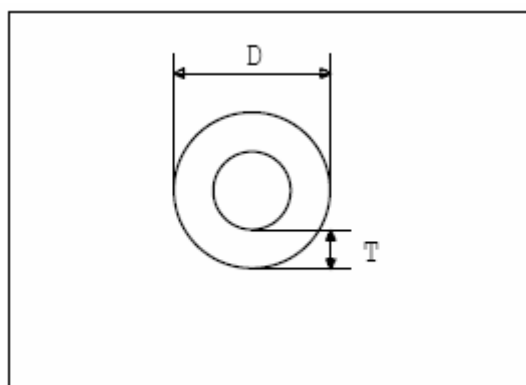


Figura 6.5 – Configuração com 1 cabo/fase Figura XXX – Configuração com 2 cabos/fase

Na Figura 6.5 estão indicados os 6 cabos das 3 fases de uma linha de transmissão (que utiliza 2 cabos geminados por fase). Na opção para condutores

individuais são necessárias 6 (seis) instruções. Os parâmetros têm o seguinte significado:

- ⇒ IP - Número de fase do condutor todos os condutores com o mesmo número de fase serão considerados pertencentes a um conjunto de cabos geminados e substituídos por um único condutor equivalente. A numeração deve ser **1,2,3,...etc..** para as fases e **0** para os cabos pára-raios.
- ⇒ SKIN - "Flag" para identificar a inclusão do efeito skin, associada ao parâmetro RESIS.
- ⇒ RESIS - Resistência do condutor associada ao efeito skin para não incluir o efeito skin, o parâmetro SKIN deve ser igual a **0.0** e o parâmetro RESIS deve ser igual ao valor da resistência CA do condutor em ohm/km(METRIC) ou ohm/mi(ENGLISH). Para incluir o efeito skin, o parâmetro SKIN deve ser igual a relação **T/D** do condutor, sendo **T** a espessura do condutor tubular e **D** o diâmetro externo do condutor, e o parâmetro RESIS deve ser igual ao valor da resistência CC do condutor.



No caso de condutores sólidos a relação **T/D** é igual a **0.5** porque **T** é igual ao raio do condutor.

- ⇒ IX - É um "flag" para a indutância própria do condutor, estando associado ao parâmetro.
- ⇒ REACT - É um parâmetro que depende do "flag" **IX** e que define o tipo de cálculo que será realizado para a obtenção da reatância do condutor. O valor de **REACT** pode assumir as seguintes condições, dependendo do valor de **IX**:
 1. **IX = 0**, deve ser especificado para **REACT** o valor da reatância do condutor (em ohm/km ou ohm/milha) para uma unidade de espaçamento (m ou foot), dependendo da opção escolhida (metric ou english), o qual será válido para a frequência especificada. A indutância interna não é corrigida para o efeito "skin".
 2. **IX = 1**, deve ser especificado para **REACT** o valor da reatância do condutor (em ohm/km ou ohm/milha) para uma unidade de espaçamento (m ou foot), dependendo da opção escolhida (metric ou english), para a

frequência de 60 Hz. Caso uma outra frequência seja especificada pelo usuário, a reatância será corrigida proporcionalmente. A indutância interna não é corrigida para o efeito "skin".

3. $IX = 2$, deve ser especificado para **REACT** o valor do raio médio geométrico do condutor (GMR), em cm ou polegadas, dependendo da opção escolhida para as unidades. A indutância interna não é corrigida para o efeito "skin".
4. $IX = 3$, deve ser especificado para **REACT** o valor da relação **GMR/R**. A indutância interna não é corrigida para o efeito "skin". A relação **GMR/R** é igual a **0.7788** para um condutor sólido.
5. $IX = 4$, **REACT** não deve ser especificado e o campo deve ser deixado em branco. A indutância interna será corrigida para o efeito "skin" e o cálculo da indutância própria será baseado na geometria tubular do condutor. Esta é a opção mais utilizada normalmente.

⇒ **DIAM** - É o diâmetro externo do condutor tubular, em cm ou polegada, dependendo das unidades definidas pelo usuário (metric ou english).

⇒ **HORIZ** - É a distância horizontal, em m ou "foot" (dependendo da opção metric ou english), entre o centro do condutor, ou do conjunto de condutores geminados, e uma referência especificada pelo usuário. A mesma referência deve ser usada para todos os condutores no mesmo caso sendo processado. Geralmente se utiliza o centro da configuração da linha de transmissão como referência para facilitar a entrada de dados (as abscissas dos condutores serão simétricas em relação à referência e um dos cabos terá abscissa zero, com exceção de configurações com mais de uma linha de transmissão).

⇒ **VTOWER** - é a altura vertical do centro do condutor, ou do conjunto de cabos geminados, em m ou "foot" (dependendo da opção metric ou english), medida na torre e a partir do solo.

⇒ **VMID** - é a altura vertical do centro do condutor, ou do conjunto de cabos geminados, em m ou "foot" (dependendo da opção metric ou english), medida no meio do vão e a partir do solo.

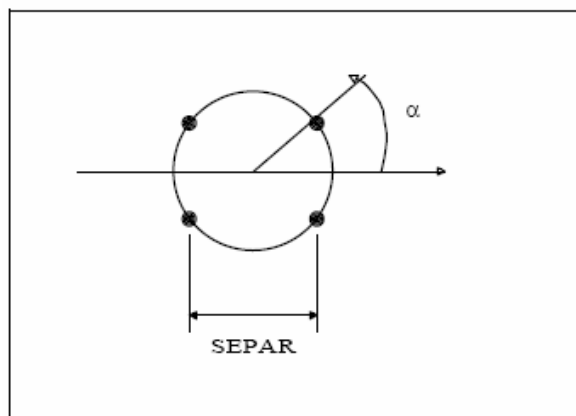
- Nota 1 : Quando os valores de **VTOWER** e **VMID** são especificados, a altura equivalente dos condutores, a ser utilizada nos cálculos dos parâmetros da linha de transmissão, é calculada pela seguinte expressão:

$$V_{eq} = 2/3 \text{ VMID} + 1/3 \text{ VTOWER}$$

- Nota 2 : Quando somente um dos dois dos parâmetros (**VMID** ou **VTOWER**) é especificado, a altura equivalente é considerada igual ao valor do parâmetro especificado. Portanto, quando a altura equivalente dos condutores já é conhecida é necessário especificar somente um dos dois parâmetros **VMID** ou **VTOWER**.

⇒ SEPAR - é a distância de separação, em cm ou polegada, entre os centros de dois condutores adjacentes de um conjunto de condutores geminados.

⇒ ALPHA - é a posição angular do centro de um dos condutores do conjunto de condutores geminados em relação ao eixo horizontal, que é tomado como referência. Os ângulos positivos são definidos no sentido anti-horário.



⇒ NBUND - é o número de condutores que fazem parte de um conjunto de cabos geminados.

6.5.4 Observações Importantes:

- Neste caso, as variáveis **SKIN**, **RESIS**, **IX**, **REACT** e **DIAM** se aplicam a um dos condutores que formam o conjunto de condutores geminados. Todos os outros condutores do conjunto são assumidos com as mesmas características.
- As variáveis **HORIZ**, **VTOWER** e **VMID** se aplicam à posição do centro geométrico do conjunto de condutores com relação ao solo.
- As variáveis **SEPAR**, **ALPHA** e **NBUND** descrevem a geometria do conjunto de cabos geminados.

6.5.5 Instruções Referentes à Frequência

Após as informações sobre os condutores devem seguir as informações sobre a frequência, ou frequências, resistividade do solo, tipo de correção de Carson e modos de impressão das matrizes dos parâmetros da linha de transmissão.

⇒ RHO - é a resistividade em ohm metro do solo homogêneo, conforme a teoria de Carson.

⇒ FREQ - é a frequência em Hz na quais os parâmetros da linha de transmissão serão calculados.

- ⇒ FCAR - é um "flag" usado para controlar a quantidade de termos na fórmula de Carson que corrige a impedância considerando o retorno pelo solo.
- = 0, nenhuma parcela é acrescentada para considerar o retorno pelo solo.
 - = 1 na coluna 28, os cálculos são efetuados com a máxima precisão, considerando todos os termos da fórmula de Carson.
 - = branco, os cálculos são efetuados com a máxima precisão, considerando todos os termos da fórmula de Carson.

Atenção: O programa **ATP** usa verificação de caracteres neste campo. Consequentemente, a interpretação de **0** ou **branco** é diferente, ao contrário do resto do programa, onde **0** e **branco** costumam ter o mesmo significado.

- ⇒ ICPR - é um "flag" para controlar o tipo de impressão para a matriz de capacitâncias da linha de transmissão, associado ao parâmetro **ICAP**.
- ⇒ ICAP - é um "flag" para controlar o tipo de matriz que deverá ser impressa para a matriz de capacitância da linha de transmissão, associado ao parâmetro **ICPR**. Há duas opções básicas para o parâmetro **ICAP**: **0** ou **1**. Dependendo da opção selecionada e do valor de **ICPR** as seguintes matrizes de capacitâncias são impressas:

Para **ICAP** = 0:

ICAP	ICPR	Matriz Impressa
0	100000	inversa de $\omega [C]$
0	010000	inversa de $\omega [C_e]$
0	001000	inversa de $\omega [C_s]$
0	000100	$\omega [C]$
0	000010	$\omega [C_e]$
0	000001	$\omega [C_s]$

Para **ICAP** = 1:

ICAP	ICPR	Matriz Impressa
1	100000	inversa de $[C]$
1	010000	inversa de $[C_e]$
1	001000	inversa de $[C_s]$
1	000100	$[C]$
1	000010	$[C_e]$
1	000001	$[C_s]$

A nomenclatura utilizada nas tabelas tem o seguinte significado:

- $[C]$ significa que a matriz de capacitâncias é para o conjunto completo de cabos da linha de transmissão, sem nenhuma redução, incluindo todos os cabos físicos (fases e pára-raios);

- [Ce] significa que a matriz de capacitâncias é para o conjunto de fases da linha de Transmissão, depois da eliminação dos cabos geminados e dos pára-raios;
- [Cs] significa que a matriz de capacitâncias se encontra em componentes simétricas e para o conjunto de fases da linha de transmissão, depois da eliminação dos cabos geminados e dos pára-raios.

⇒ DIST - este parametro geralmente não tem nenhuma utilidade, uma vez que todos os valores são expressos em unidades de comprimento. Exceção deve ser feita ao caso onde se deseja calcular um π -equivalente porque, neste caso, seria necessário especificar o seu comprimento.

⇒ IZPR - é um parametro para controlar a impressão dos vários tipos das matrizes de impedâncias da linha de transmissão, com a seguinte correspondência:

IZPR	Matriz Impressa
1	[Z]
010000	[Ze]
001000	[Zs]
000100	inversa de [Z]
000010	inversa de [Ze]
000001	inversa de [Zs]

⇒ ISEG - é um "flag" usado para indicar se os cabos pára-raios são contínuos ou segmentados.

1. **ISEG** = 0 - pára-raios contínuos;
2. **ISEG** = 1 - pára-raios segmentados.

6.6 SIMULAÇÕES DE LCC NO ATPDraw

O componente LCC é obtido, na janela do ATPDraw, conforme mostra a figura 6.6. Esta linha pode possuir varias fases. Uma vez escolhido o componente, deve-se entrar com os parâmetros da linha analisada, conforme mostram as figuras 6.7 e 6.8.

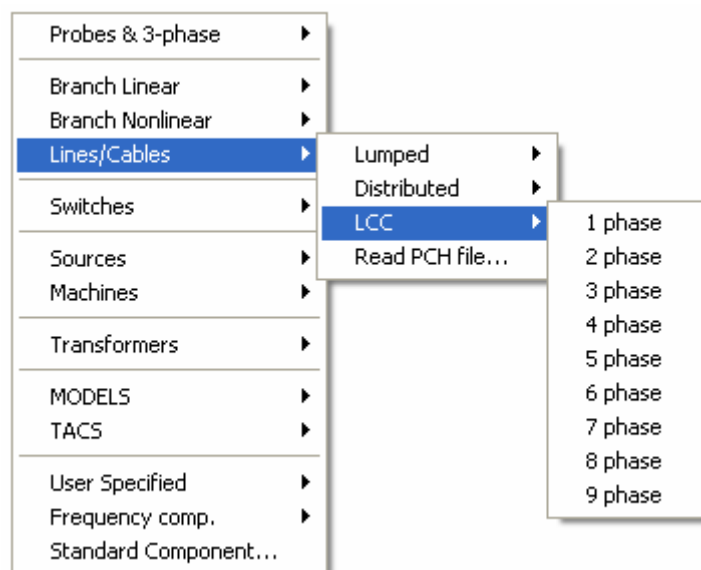


Figura 6.6 – Modelo LCC no ATPDraw.

Os dados referentes ao modelo da linha de transmissão analisada (figura XXX), conforme já explicados acima, são:

- **Transposed:** linha de transmissão é transposta.
- **Auto bundling:** Quando verificado, este habilita o automático empacotando (condutores geminados) característica de LINE CONSTANTS.
- **Seg. ground:** Se botão é ativado então as linhas do solo são assumidos para serem continuas.
- **SKIN effect:** Se o botão é acionado o efeito SKIN assume ($IX = 4$) caso contrario a opção $IX = 0$ é assumida.
- **Real trans. matriz:** Se verificado a matriz de transformação é assumida para ser real. Os vetores da matriz de transformação são girados para o eixo real de forma que sua parte imaginária é assumida para se tornar insignificante. Recomendado para simulações passageiras. Caso contrário uma matriz de transformação complexa cheia será usada. Recomendado para cálculos oficiais fixos.
- **Metric/English:** Comutação entre os sistemas da unidade Métrica e inglesa.

Os dados padrões para todos os modelos são:

- **Rho:** Resistividade do solo em ohmm da Terra homogênea (Teoria do Carson);
- **Freq. init:** A frequência em que os parâmetros da linha serão calculados (Bergeron e PI) ou o ponto de frequência mais baixa (JMarti, Noda e Semlyen);
- **Lenght:** Comprimento da linha de transmissão em (m/km/miles).

Os modelos disponíveis são:

- **Bergeron:** Modelo com parâmetros constantes KCLee ou Clark;
- **PI:** Circuito pi nominal equivalente (linhas pequenas);
- **Jmarti:** Modelo dependente da frequência com a matriz de transformação constante;
- **Noda:** Modelo dependente da frequência;
- **Semlyen:** Modelo dependente da frequência fixada.

Os modelos Jmarti, Noda e Semlyen são encaixados numa frequência especificada com o número de décadas (Décadas) da frequência inicial e um numero de pontos de amostra por década (Points/Dec). Os modelos Jmarti e Semlyen exigem também uma frequência onde a matriz de transformação é calculada (geralmente apresenta um valor elevado da ordem de kHz por se tratar de um regime transitório) e uma frequência oficial fixa para o calculo do estado permanente. O modelo Noda precisa de uma frequência Freq. Veloc. onde a velocidade dos modos naturais de propagação são calculados. Um valor mais alto que a frequência do que a frequência examinada é apropriada.

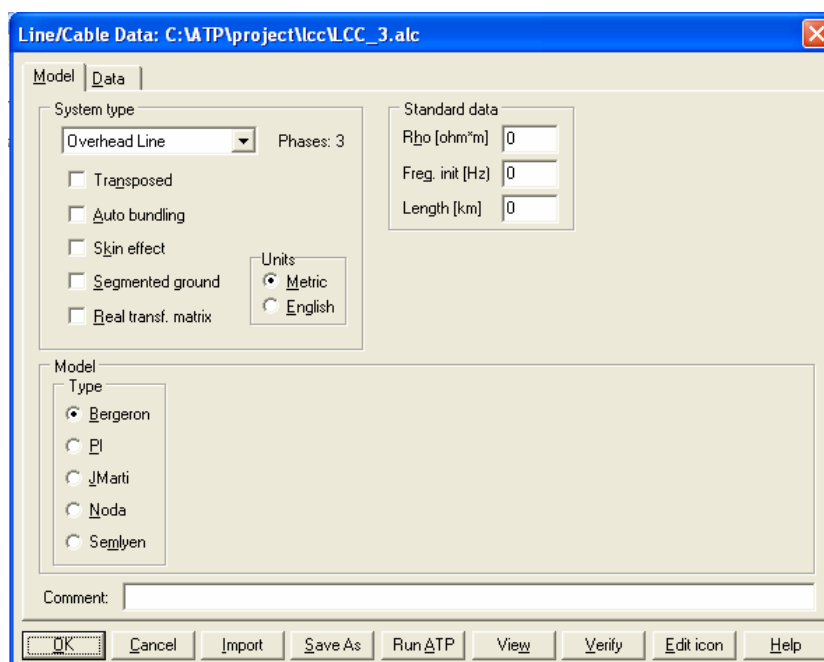


Figura 6.7 – Parâmetros do modelo da linha de transmissão.

Já os dados referentes aos condutores da linha (figura 6.8) são:

- **Phase no.:** Número de fase;
- **RESIS:** Resistência de condutor em DC (com efeito, SKIN) ou em Freq. Init. (nenhum efeito SKIN);

- **REACT:** A reatância independente da frequência para um espaçamento da unidade (meter/foot). Só disponível sem efeito SKIN;
- **Rout:** Raio exterior (cm ou polegada) de um condutor;
- **Rin:** Raio interno de um condutor. Só disponível com efeito SKIN;
- **Horiz:** Distância horizontal (m ou pé) entre o centro do condutor, ou do conjunto de cabos geminados e uma referência especificada pelo usuário;
- **VTower:** Altura vertical da torre (m ou pé);
- **VMid:** Altura vertical do centro do condutor, ou do conjunto de cabos geminados (m ou pé).
A altura $h = 2/3 * VMid + 1/3 * VTower$ é usado nos cálculos.

No caso de cabos geminados é verificado:

- **Separ:** Distância entre condutores adjacentes de um conjunto de cabos geminados (cm ou polegada);
- **Alfa:** Posição angular de um dos condutores conjuntos de cabos geminados em relação ao eixo horizontal, que é tomado como referencia. Os ângulos positivos são definidos no sentido anti-horário;
- **NB:** Número de condutores de um conjunto de cabos geminados.

#	Ph.no.	React [ohm/km AC]	Rout [cm]	Resis [ohm/km AC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0	0

Figura 6.8 – Dados dos condutores da linha de transmissão.

Uma vez especificados esses parâmetros o programa pede para salvar o modelo da linha, com o formato *.ALC*, em:

ATP
Project
Lcc

Se verificado que não há nenhum problema o programa executa o modelo criando o bloco da linha de transmissão.

6.7 COMENTÁRIOS E RECOMENDAÇÕES SOBRE O USO DOS MODELOS DE INHAS

A escolha de um modelo de linha exige um balanço em vários fatores. É difícil estabelecer regras que sejam válidas para cada aplicação.

No entanto, algumas recomendações gerais podem ser feitas:

1. Uma linha pode ser representada com elementos R-L concentrados, no entanto isto é recomendado unicamente para cálculos de estado permanente, ou para representar linhas remotas de um sistema e que não serão manobradas;
O modelo com seções Pi em cascata, não deve ser utilizado para linhas aéreas, dado que o modelo com parâmetros distribuídos simula os mesmos efeitos mais eficientemente;
Os modelos de linhas com parâmetros constantes com a frequência, com linhas transpostas ou não, devem ser utilizados na maioria dos casos, incluindo em estudos estatísticos de sobretensões de manobra;
Os parâmetros constantes de uma linha podem ser calculados e utilizados à frequência dominante do fenômeno analisado, em lugar de usar os valores a 60 Hz. Nestes casos deve se verificar que os parâmetros assim calculados não afetem substancialmente o estado estacionário prévio do estado transitório que se deseja analisar;
Em geral a capacitância da linha se considera constante com a frequência. Os valores de 60 Hz são adequados para estudos de estado estacionário, sobretensões temporárias, ressonância subsíncrona e outros fenômenos de baixa frequência. No entanto, se estes valores são usados em estudos de sobretensões de manobra ou atmosférica, os resultados serão menos precisos;
A relação entre o tempo de viagem da linha e o tempo de integração utilizado para a simulação ($\tau / DELTAT$) deve ter um valor razoável, que depende do sistema em particular, porém, que em geral está compreendido entre 10 e 10000. Valores menores que 1 não são permitidos, e para valores superiores a 10000 resultam em tempos grandes;
2. Se $(\tau / DELTAT) < 1$, então provavelmente se pode usar parâmetros R-L-C concentrados para simular a linha. Se $\tau / DELTAT$ for muito grande, pode não ser necessário representar a linha com parâmetros distribuídos pois provavelmente seja $TMAX < 2\tau$, ou seja, as reflexões do extremo não chegaram antes do fim da simulação, então a linha pode ser representada por uma resistência concentrada de valor igual a impedância característica da linha;

É conveniente (porém não necessário) que a relação $\tau / DELTAT$ seja um número inteiro. Se justifica inclusive ajustar levemente o comprimento da linha para cumprir esta recomendação;

A resistência total da linha deve ser menor que a sua impedância característica, para qualquer modo de propagação;

Os modelos com parâmetros dependentes com a frequência não devem ser utilizados em modelos de cabos subterrâneos;

As linhas aéreas de circuito duplo requerem um cuidado especial se desejar-se utilizar um modelo com parâmetros dependentes da frequência. É preferível utilizar modelos com parâmetros constantes e não transpostos;

Para incorporar em um modelo de linha a dependência com a frequência de seus parâmetros, será necessário conhecer as características geométricas da linha, com também do terreno da linha. No caso de ser necessário utilizar este modelo, se sugere consultar o manual original, tendo em conta as seguintes recomendações:

- Extrema precaução ao considerar a carga conectada com o modelo de linha;
- Primeiro tente utilizar o modelo de Meyer – Dommel, pois, seu tempo de implementação é inferior ao de Marti;
- Se o modelo de Meyer – Dommel resulta em instabilidade, ou se necessita modelar uma linha transposta, utilize o modelo de Marti com uma matriz T_1 real.

6.8 EXEMPLO

Com o objetivo de mostrar um caso prático, considere a configuração indicada na Figura 6.9.

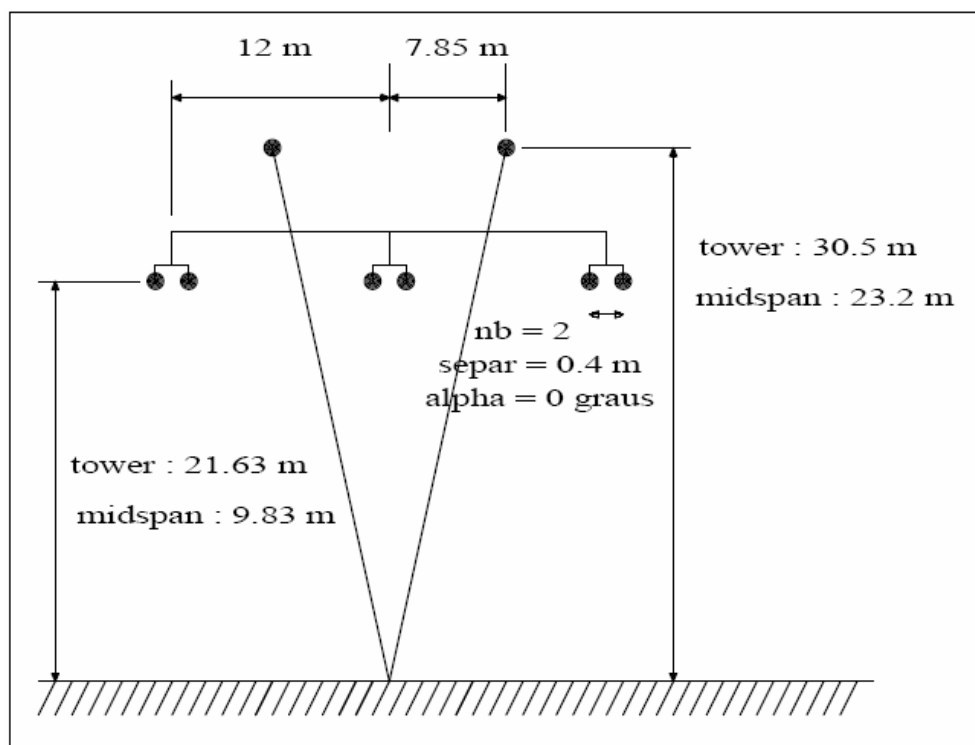


Figura 6.9 - Configuração de uma Linha de Transmissão de 400 kV

Os condutores de fase são cabos tubulares com as seguintes características:

- $T/D = 0.231$;
- Resistência CC = 0.0522 ohms/km;
- Diâmetro externo = 3.18 cm;
- Comprimento = 100 km;

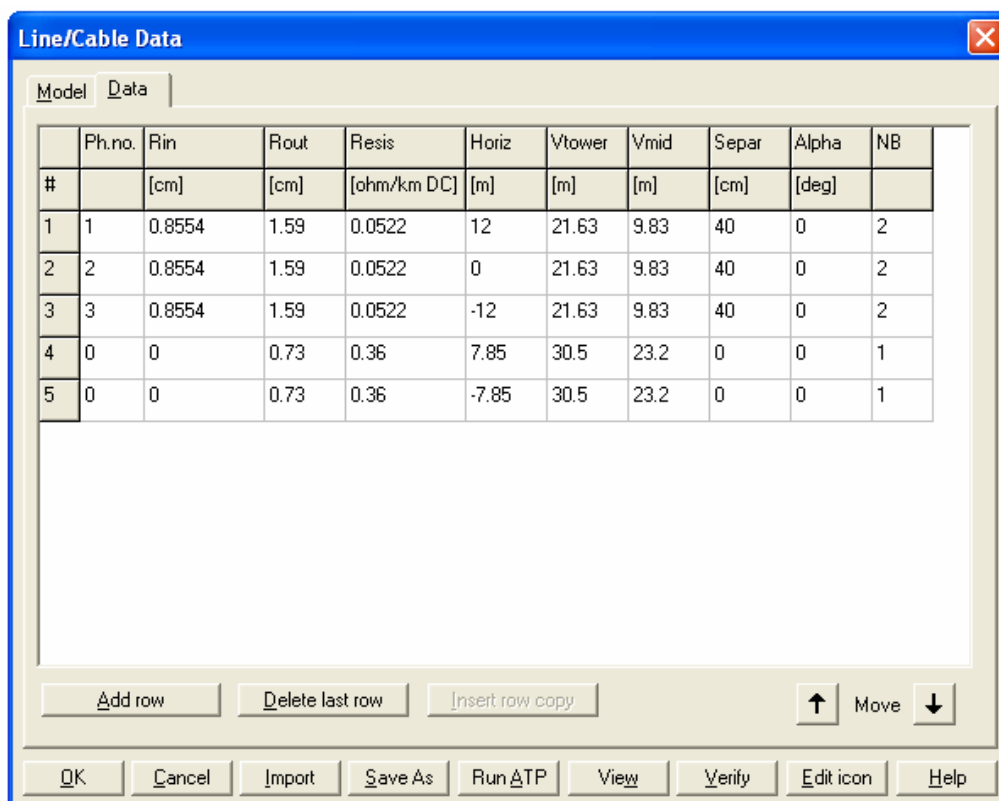
Os cabos para-raios são sólidos com as seguintes características:

- $T/D = 0.5$;
- Resistência CC = 0.36 ohms/km;
- Diâmetro externo = 1.46 cm;

A resistividade do solo é igual a 250.0 ohm.metro e a frequência para cálculo dos parâmetros é 60 Hz.

Com base no modelo da linha de transmissão, vamos obter seus valores de sequência zero e positiva para a resistência, indutância e capacitância. Para isso a simulação será realizada com base no modelo PI, conforme mostra a figura 6.10 e 6.11.

Figura 6.10 – Dados inseridos no ATPDraw com relação ao modelo e tipo de simulação



#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]	Separ [cm]	Alpha [deg]	NB
1	1	0.8554	1.59	0.0522	12	21.63	9.83	40	0	2
2	2	0.8554	1.59	0.0522	0	21.63	9.83	40	0	2
3	3	0.8554	1.59	0.0522	-12	21.63	9.83	40	0	2
4	0	0	0.73	0.36	7.85	30.5	23.2	0	0	1
5	0	0	0.73	0.36	-7.85	30.5	23.2	0	0	1

Figura 6.11 – Dados inseridos no ATPDraw com relação a disposição dos cabos condutores e pára-raios.

Na figura 6.12 temos o resultado da disposição dos cabos condutores, bem como dos cabos pára-raios e da referência adotada, que neste caso foi a fase 2.

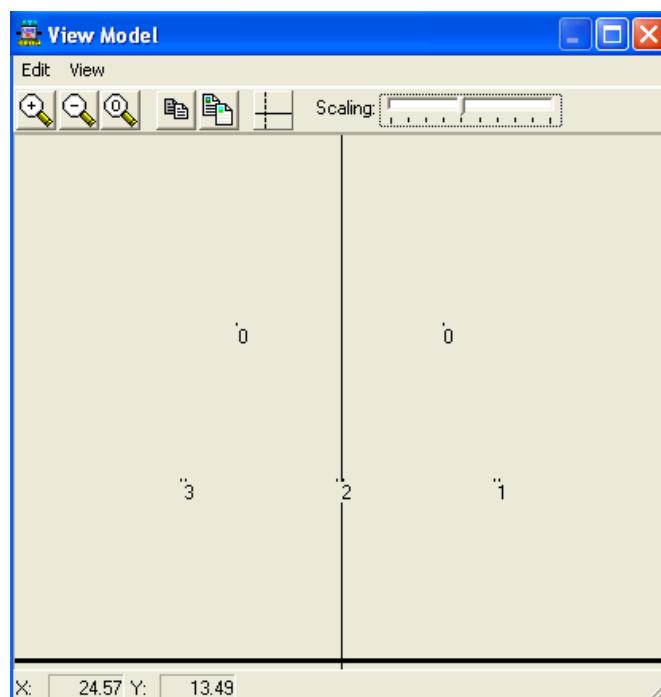


Figura 6.12 – Disposição dos condutores das fases bem como dos cabos pára-raios e da referência adotada.

Após a simulação obtemos os valores desejados, conforme mostra a tabela 6.13. Com base nesses valores é possível modelar a mesma linha através dos outros modelos disponíveis no ATPDraw.

Tabela 6.1 – Valores das grandezas resistência, reatância e susceptância da linha de transmissão analisada.

Sequência	Resistência (Ω/km)	Reatância (Ω/km)	Susceptância (S/km)
Zero	0,209284	0,908006	0,00000308002
Positiva	0,0271415	0,399632	0,00000415187

```

Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
Rows proceed in the sequence (0, 1, 2), (0, 1, 2), etc.; columns proceed in the sequence (0, 2, 1), (0, 2, 1)

0  2.092839E-01
   9.080064E-01

1  -9.902969E-03 -2.874155E-02
   -4.242902E-03  1.747778E-02

2  8.625945E-03  2.724153E-02  2.950698E-02
   -6.454772E-03  3.996323E-01  1.615202E-02

Sequence      Surge impedance      Attenuation      velocity      wavelength      Resistance      Reactance      Susceptance
      magnitude(ohm) angle(degr.)      db/km      km/sec      km      ohm/km      ohm/km      mho/km
Zero :  5.50031E+02 -6.48964E+00  1.66312E-03  2.23966E+05  3.73276E+03  2.09284E-01  9.08006E-01  3.08002E-06
Positive: 3.10607E+02 -1.94981E+00  3.81115E-04  2.92501E+05  4.87501E+03  2.72415E-02  3.99632E-01  4.15187E-06
Request for flushing of punch buffer.      |$PUNCH

A listing of 80-column card images now being flushed from punch buffer follows.
=====
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
=====
C  <++++++> Cards punched by support routine on 24-Dec-06 19:07:57 <++++++>
C  LINE CONSTANTS
C  $ERASE
C  $UNITS, 60., 60.
  
```

Figura 6.13 – Valores obtidos da simulação da linha de transmissão analisada.

7 ROTINA TACS

7.1 INTRODUÇÃO

TACS é um programa de análise transitória de sistemas de controle. A rotina TACS foi desenvolvida para simular interações dinâmicas entre a rede elétrica e os sistemas de controle de um determinado equipamento. Os sistemas de controle podem ser descritos por diagramas de blocos no domínio da frequência com configurações arbitrárias dos elementos disponíveis. É permitida a representação de funções de transferência, somadores, multiplicadores, limitadores estáticos e dinâmicos, funções algébricas e lógicas, fontes de sinal, chaves controladas, funções definidas pelo usuário, detectores de sinais, etc. O menu *TACS* do acesso à maioria dos componentes TACS.

O menu TACS se divide em vários sub-menu como os de fontes, função de transferência, dispositivos, condição inicial e rotina Fortran. A figura 7.1 mostra a caixa de diálogos da TACS.

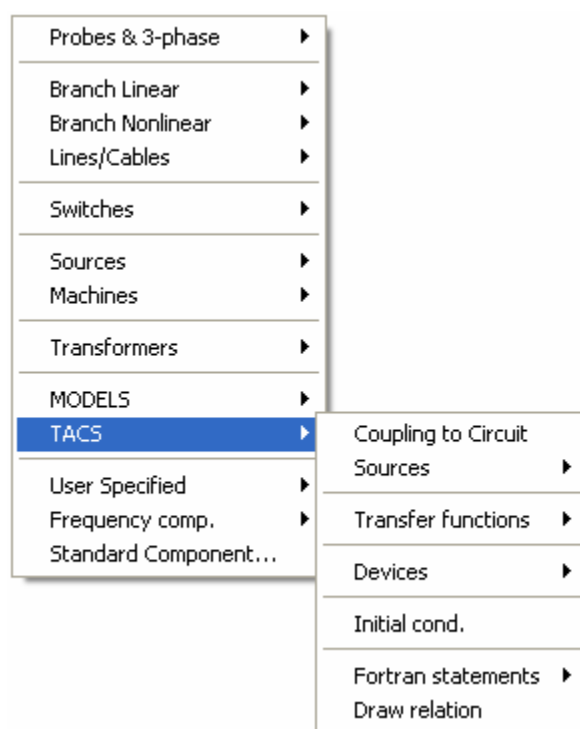


Figura 7.1 – Localização dos componentes da rotina TACS.

7.2 COUPLING TO CIRCUIT

É a partir desse componente que é repassado as informações do circuito de potencia para os componentes tacs. Pode ser um sinal de tensão, corrente, de variáveis internas ou de chaves.

7.3 SOURCES

Este sub-menu apresenta as fontes da rotina tacs. Essas fontes são:

- ⇒ DC – 11: Fornece um sinal contínuo no tempo;
- ⇒ AC – 14: Seu sinal é um sinal cossenoidal;
- ⇒ PULSE – 23: Esta fonte fornece um sinal do tipo trem de pulsos;
- ⇒ RAMP – 24: Este sinal é da forma de uma rampa.

7.4 TRANSFER FUNCTIONS

Nesse sub-menu temos a representação de funções de transferência, a qual podem ser usadas para a modelagem de sistemas lógicos. Seus componentes são:

- ⇒ General: Componente geral da função de transferência, pois abrange todas as características. Nesse componente, um sinal de entrada, pode ser submetido a uma equação de sétima ordem, cujos valores são escolhidos pelo usuário. Apresenta também dois níveis de comparação do sinal de entrada;
- ⇒ Integral: Função simplificada de transferência. Sendo que sua saída é igual a integral do sinal de entrada multiplicado por uma constante;
- ⇒ Derivative: Função de transferência derivativa. O sinal de saída é a derivada do sinal de entrada multiplicado por uma constante;
- ⇒ Low pass: Função simplificada de transferência. É um filtro baixo de passagem da primeira ordem;
- ⇒ High pass: Ao contrario do Low pass esse componente é um filtro alto de passagem da primeira ordem.

7.5 DEVICES

Este sub-grupo apresenta vários dispositivos que podem ser usados nas mais diversas maneiras. Estes dispositivos são:

- ⇒ Freq sensor – 50: É um dispositivo que mede o sinal de frequência, e dentro de uma margem de variação aceitável, informa na sua saída o sinal de frequência medido;

- ⇒ Relay switch – 51: Dispositivo que funciona como um rele, abrindo e fechando uma chave. Sendo que o controle é feito através de dois sinais de entrada e por algumas constantes definidas;
- ⇒ Level switch – 52: Chave nível de gatilho. Basicamente possui a mesma função do componente Relay switch – 51.
- ⇒ Trans delay -53: Componente utilizado para gerar um sinal de atraso na forma de onda da grandeza analisada;
- ⇒ Pulse delay – 54: Com base nos valores de entrada e nos parâmetros estabelecidos, este componente gera um sinal de pulsos cujo tempo de atraso pode ser estabelecido. Pode ser usado tanto em sinal contínuo como alternado;
- ⇒ User def nonlin – 56: A Função deste componente é detectar a passagem por zero de um sinal, isto é, toda vez que o sinal de entrada passar por zero um sinal de saída será gerado;
- ⇒ Multi switch – 57: É um interruptor que pode ser usado tanto para abrir o circuito como para fechá-lo. Proporciona esta operação até 18 vezes;
- ⇒ Cont integer – 58: Integrador simples. Recebe um sinal de entrada, o qual é integrado. Possui um sinal de reset que pode ser a saída do componente quando desejado;
- ⇒ Simple deriv – 59: Derivador simples, sua como o nome diz é derivar um sinal de entrada;
- ⇒ Input IF – 60: Comparador de entradas. Dependendo do nível de sinal nos dois controles três situações de saída podem ocorrer. A saída pode se IN1 se $\text{Sign}_1 < \text{Sign}_2 + \text{Const}$. Pode ser IN2 se $\text{Sign}_1 = \text{Sign}_2 + \text{Const}$. Ou IN3 se $\text{Sign}_1 > \text{Sign}_2 + \text{Const}$. Onde A é o valor de uma constante estabelecida;
- ⇒ Signal Select – 61: Seletor de sinais. Dependendo do valor do sinal de seleção um dos sinais de entrada será o sinal de saída;
- ⇒ Sample track – 62: Amostra trilha. Dependendo dos valores escolhidos nos parâmetros de controle, o sinal de saída pode ser de três maneiras distintas;
- ⇒ Inst min/max – 63: Valor instantâneo mínimo e máximo. Dependendo do valor de escolha o sinal de saída será o mínimo do sinal ou o máximo do sinal de entrada;
- ⇒ Min/max track – 64: Valor mínimo e máximo. Dependendo dos valores de controle, o sinal de saída pode ser o sinal mínimo ou máximo da entrada, ou ainda o sinal de controle definido;
- ⇒ Acc/count – 65: Contador de sinais. Serve para modificar o sinal de entrada através de parâmetros definidos;

- ⇒ Rms meter – 66: Valor eficaz (rms). Este componente calcula o valor eficaz do sinal de entrada e fornece esse valor como sinal de saída.

7.6 INITIAL COND

Este componente fornece o valor inicial de um nó. Sendo então considerado o valor estabelecido como o valor no instante $t = 0s$.

7.7 FORTRAN STATEMENTS

Esse sub-menu se apresenta algumas divisões. Os seus componentes de maneira geral apresentam a linguagem Fortran.

- ⇒ General: Componente geral do Fortran, e utilizado para fornecer um sinal, sendo que o valor desse sinal pode se recebido através do componente coupling to circuit de qualquer parte do circuito analisado. O seu sinal pode apresentar varias formas, sendo que a obtenção desses sinais e através da linguagem Fortran;
- ⇒ Math: Os componentes desse grupo realizam funções matemáticas no circuito tais como: soma subtração, multiplicação, divisão, raiz quadrada, módulo e inversão do sinal;
- ⇒ Logic: São as portas lógicas. Nesse item temos portas lógicas NOT, AND, OR e NAND. Além das relações $>$ ou $>=$.

7.8 FUNÇÕES DETERMINADAS

Uns números de funções numéricas e lógicas são permanentemente definidos. Estes nomes são visíveis na MODEL, e podem ser usadas diretamente com forma declarada nas funções, como no FORTRAN. As seguintes funções são definidas:

7.8.1 Funções numéricas devolvendo para cada argumento de entrada um valor:

– abs	Valor absoluto de cada argumento;
– sqrt	Raiz quadrada de cada argumento;
– exp	Exponencial de cada argumento;
– ln	Logaritmo na base e de cada argumento;
– log10	Logaritmo na base 10 de cada argumento de entrada;
– log2	Logaritmo na base 2 de cada argumento;
– recip	$1/x$ para cada argumento x ;
– factorial	$x!$ para cada argumento x ;
– trunc	Parte inteira de cada argumento;

- fract Parte fracionária de cada argumento;
- round Valor redondo de cada argumento (para o inteiro perto);
- sign = -1 quando $x < 0$, = 0 quando $x = 1$, = +1, quando $x > 0$, para cada argumento x;
- rad Conversão de valores em grau para radianos, para cada argumento;
- deg Conversão de valores em radiano para grau, de cada argumento;
- sin Seno de cada argumento;
- cos Co-seno de cada argumento;
- tan Tangente de cada argumento;
- asin Arc seno de cada argumento;
- aços Arc co-seno de cada argumento;
- atan Arc tangente de cada argumento;
- sinh Seno hiperbólico de cada argumento;
- cosh Co-seno hiperbólico de cada argumento;
- tanh Tangente hiperbólica de cada argumento;
- asinh Arc do seno hiperbólico de cada argumento;
- acosh Arc do co-seno hiperbólico de cada argumento;
- atanh Arc da tangente hiperbólica de cada argumento;
-

7.8.2 Funções numéricas de argumento duplo devolvendo um único valor:

- Atan2(x1,x2) Arc tangente ($x1/x2$) com o quarto quadrante determinado pelo sinal de $x1$ e $x2$;
- binom(n,r) $C(n,r)$ combinação de r elementos no conjunto de $n = n!/(n-r)!r!$;
- permut(n,r) $P(n,r)$ permutação de r elementos no conjunto de $n = n!/(n-r)!$;

7.8.3 Função numérica sem argumento retornando um valor:

- random Número aleatório entre 0 e 1, não use argumento;

7.8.4 Funções lógicas retornando um valor para cada argumento de entrada:

- bool Conversão de valores de cada argumento para valores booleanos:
 valor = 1 quando argumento > 0
 valor = 0 quando argumento <=0

Existem outras relações importantes tais como:

- PLUS1 Fornece um valor 1;
- MINUS1 Fornece um valor -1;
- TIMEX Fornece um sinal crescente inclinado;
- -TIMEX Fornece um sinal decrescente inclinado;
- ZERO Fornece um sinal zero;

7.9 EXEMPLO

Neste caso vamos analisar o princípio de um controle de sobretensão. Na prática um dos mecanismos que realiza esta função pode ser um relé de sobretensão – 59 (overvoltage relay). Este componente ao detectar valores elevados de tensão, com base na sua tensão nominal de serviço, produz um sinal que em aciona um disjuntor, abrindo o circuito. As características nominais de tensão tomadas como referência foram:

- Tensão fase-neutro eficaz = 220V;
- Frequência = 60Hz;
- Sobretensão = 105% da tensão fase-neutro eficaz.

Para uma melhor análise do circuito foram considerados dois casos, o primeiro numa situação normal, isto é, sem sobretensão e, o segundo com uma sobretensão sendo aplicada a carga.

7.9.1 Caso I – Situação Normal

O circuito de potência, no qual foi realizado o estudo de sobretensão, está ilustrado na figura 7.2. Este circuito apresenta duas fontes (SOURCE1 e SOURCE2), duas chaves (SWIT_1 e SWIT_2), um disjuntor (DISJUNT) e uma carga (LOAD). O disjuntor, em condições normais, se encontra fechado. Quando o sinal recebido do sistema de controle (CONTR) estiver em nível alto (1) o disjuntor permanece fechado. Caso o sinal (CONTR) esteja em nível baixo (0) o disjuntor irá abrir, isolando a carga.

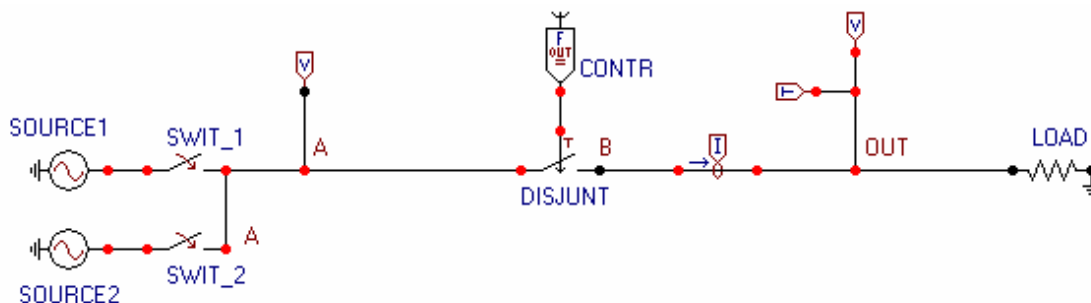


Figura 7.2 – Circuito de potência analisado.

Os valores eficazes das tensões fase-neutro das fontes SOURCE1 e SOURCE2 foram especificados em 220V. A chave SWIT_1 fecha em 0s e abre em 0,5s enquanto

que a chave SWIT_2 fecha em 0,5s e abre em 1s. Na figura 7.3 temos a representação da tensão (medida no nó OUT) no circuito de potência.

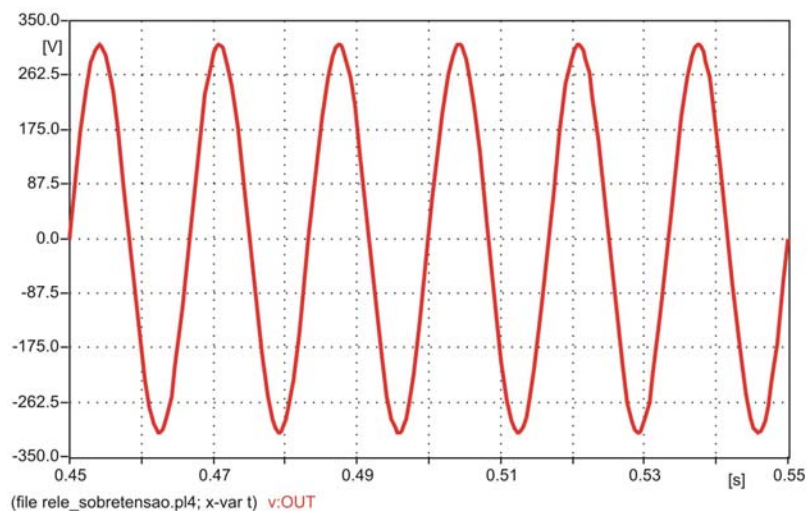


Figura 7.3 – Forma de onda da tensão na carga (OUT).

O circuito de controle está ilustrado na figura 7.4. O seu funcionamento se baseia na comparação entre o valor recebido pelo componente TACS Coupling to Circuit (circuito de potência) localizado no nó OUT, que é fornecido para o componente TACS Fortran OUT (circuito de controle) e uma fonte com as mesmas características nominais (tensão, defasagem e frequência) estabelecidas como parâmetros. Esta comparação é realizada através do componente divisor da TACS Fortran Math.

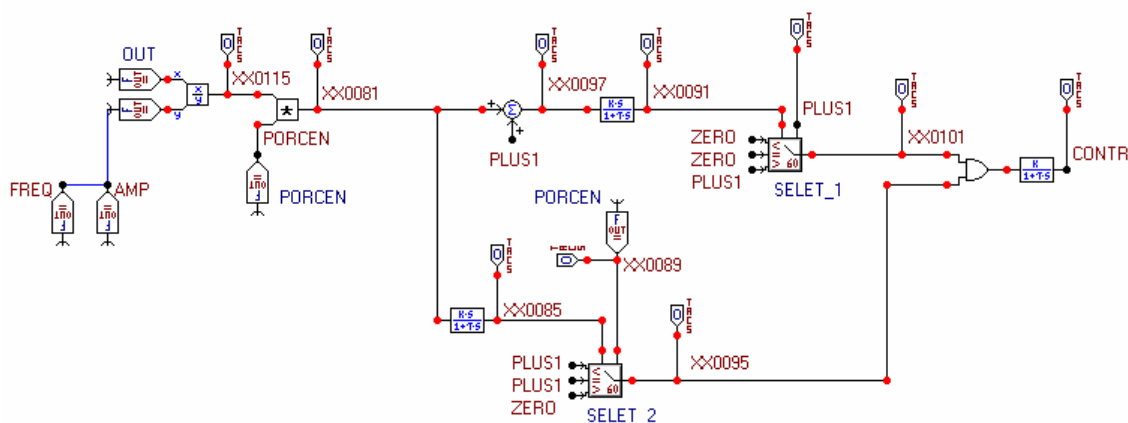


Figura 7.4 – Circuito de controle, representando o relé de sobretensão.

Após a divisão, e aplicado ao sinal o valor de sobretensão desejado, no caso 5% a mais da tensão padrão, através do componente multiplicador da TACS Fortran Math. O valor de sobretensão desejado é especificado no componente denominado PORCEN. Na figura 7.5 temos a representação do sinal após a divisão (XX0115) e após a multiplicação (XX0081).

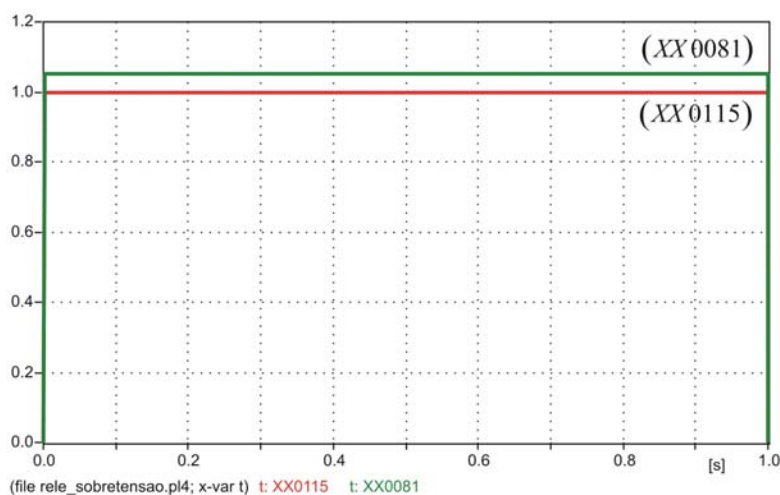


Figura 7.5 – Formas dos sinais após o divisor (XX0115) e após o multiplicador (XX0081).

Após o multiplicador, sinal é aplicado a dois caminhos diferentes. Um deles apresenta o componente somador da TACS Fortran Math, este componente soma o valor 1 (um) ao sinal recebido. Após o somador temos a presença de um filtro passa alta da TACS Transfer Functions. Após o filtro o sinal é aplicado ao seletor de sinais SELET_1 da TACS Device. Neste seletor, a entrada de controle Sign_1 (XX0091) é o valor recebido do filtro. A outra entrada, Sign_2 (PLUS1) recebe o valor 1 (um), como mostra a figura 7.6. Somente se o valor de Sign_1 for maior que 1 (um), ou seja, maior que a entrada Sign_2, teremos um nível alto (1) na saída do seletor de sinais (XX0101). O sinal de saída de SELET_1 é aplicado numa porta lógica E da TACS Fortran Logic.

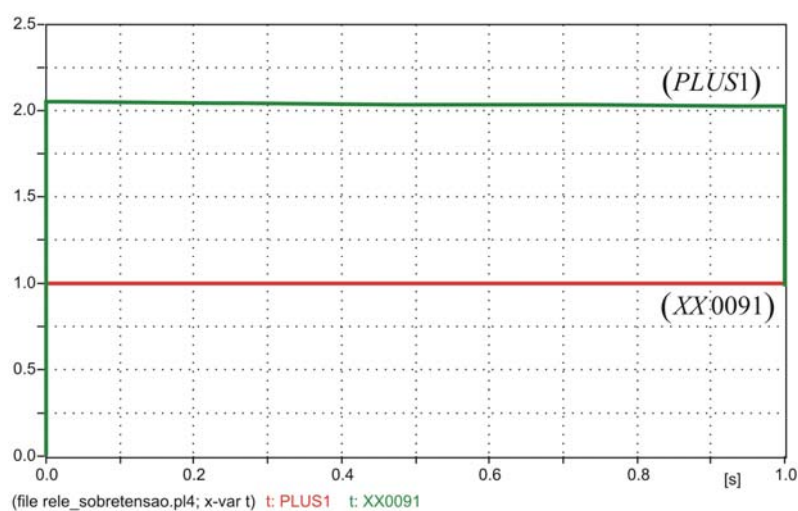


Figura 7.6 – Sinais de controle do seletor de sinais SELET_1.

Esta parte do sistema de controle analisa a interrupção do circuito em caso de sobretensão, sendo que numa situação normal um sinal em nível alto (1) será aplicado a porta lógica E. Numa situação de sobretensão um sinal em nível baixo (0) será aplicado a porta lógica E.

O outro caminho percorrido pelo sinal, após o multiplicador, apresenta também um filtro passa alta e um seletor de sinais SELET_2. Neste seletor de sinais o sinal de controle Sign_1 recebe o sinal do filtro passa alta (XX0085), enquanto que o sinal

Sign_2 recebe o valor da sobretensão estabelecida (PORCEN). Estes sinais estão ilustrados na figura 7.7. Caso a entrada Sign_1 seja maior que a entrada Sign_1 a saída, o que caracteriza uma situação de sobretensão para os parâmetros estabelecidos, a saída do seletor de sinais SELET_2 (XX0095) será em nível baixo (0).

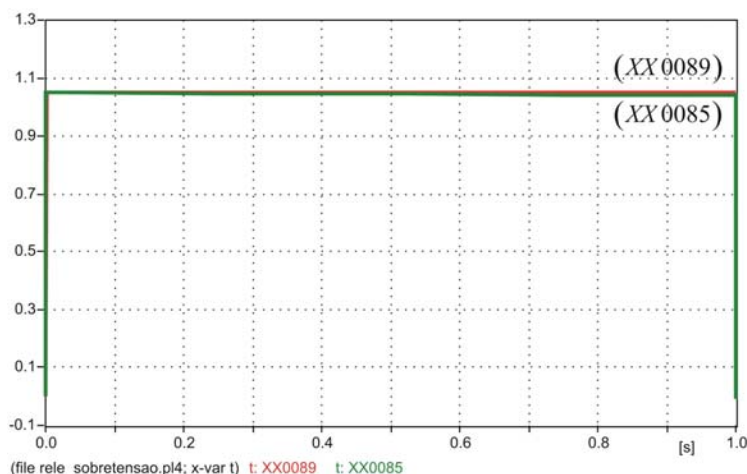


Figura 7.7 – Forma dos sinais de controle de SELET_2.

Após a passagem pelos dois seletores de sinais, o sinal é aplicado numa porta lógica E. Sendo que sua saída será em nível alto (1) se e, somente se, as suas duas entradas (XX0101 e XX0095) estiverem em nível alto (1) mantendo dessa forma, o disjuntor fechado.

7.9.2 Caso II – Caso com Sobretensão

Para exemplificar a aplicação de uma sobretensão a carga, a fonte SOURCE1 permanece com uma tensão eficaz fase-neutro de 220V, porém, a fonte SOURCE2 apresenta um valor de tensão de 231V eficaz fase-neutro, correspondendo ao acréscimo de 5% da tensão de referência. Na figura 7.8 temos a representação dessas tensões medidas no nó A. As chaves SWIT_1 e SWIT-2 continuam com a mesma configuração do caso I.

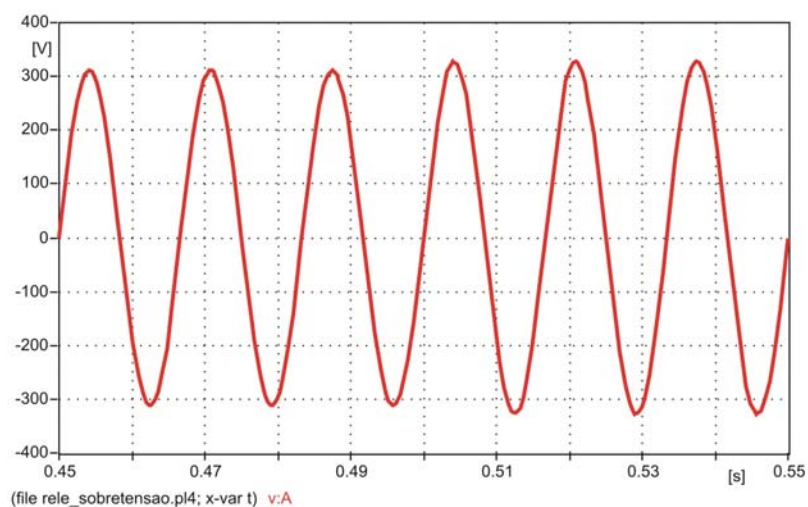


Figura 7.8 – Forma de onda da tensão no nó (A).

Na figura 7.9 temos a forma de onda do sinal nas entradas da porta lógica (XX0101 e XX0095) e do sinal de saída do filtro passa baixa (CONTR).

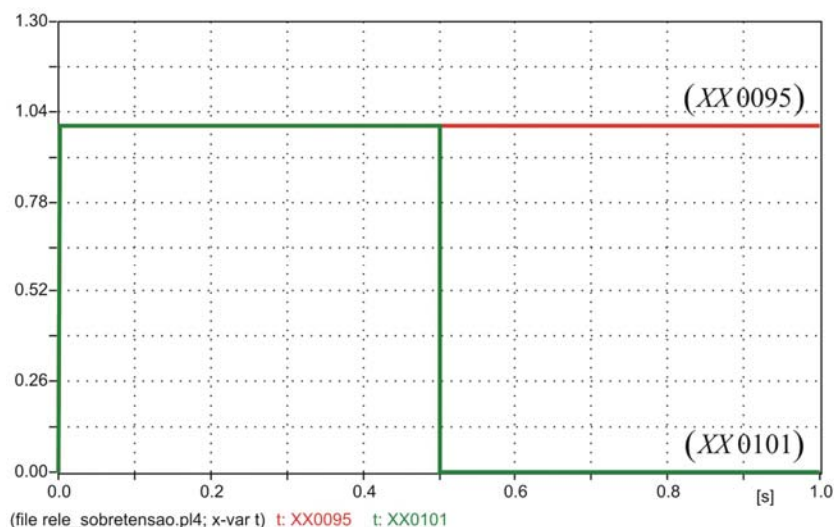


Figura 7.9 – Forma de onda do sinal de entrada da porta lógica E.

Como podemos verificar para valores de tempo superior a 0,5s o sinal de saída do seletor de sinais SELET_1 cai pra o nível baixo (0) fazendo dessa maneira, a partir desse instante, que o disjuntor abra, conforme mostra a figura 7.10, que fornece o sinal de tensão no nó (OUT) da carga LOAD.

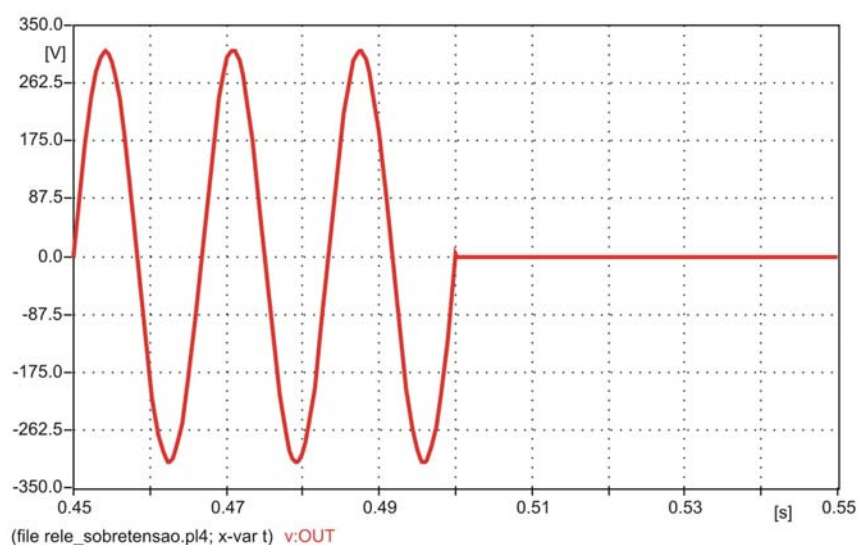


Figura 7.10 – Forma de onda do sinal da tensão na carga para o caso de sobretensão.

Dessa maneira, o circuito de controle pode informar ao disjuntor a presença de um valor de tensão na carga acima do especificado, isto é, uma sobretensão.

8 DATA MODULARIZATION

8.1 INTRODUÇÃO

O ATP apresenta uma facilidade, denominada "DATA MODULARIZATION", que permite a criação de bibliotecas de modelos, expandindo e melhorando o uso do programa em várias aplicações.

Um ou mais componentes do programa podem ser agrupados num único módulo, o qual passaria a ser visto pelo ATP como se fosse um modelo.

Os módulos, uma vez criados, são inseridos no arquivo do caso a ser simulado através do comando "\$INCLUDE". Somente alguns parâmetros são explicitados na criação dos módulos, tais como os nomes das barras de conexão e valores numéricos dos componentes, os quais são especificados pelo usuário como se fossem os argumentos de uma sub-rotina.

O programa de suporte que executa esta função é o "DATA BASE MODULE", onde os formatos originais do programa ATP devem ser rigorosamente obedecidos.

Para melhorar ainda mais o uso desta facilidade deve ser utilizada a função "DATA SORTING BY CLASS", que são instruções do tipo "/CARDS", por exemplo: "/SWITCH", "/BRANCH", etc., onde a ordem original requerida pelo ATP é relaxada, com os componentes podendo aparecer na ordem que o usuário especificar.

8.2 FUNÇÃO DOS "/CARDS"

As instruções do tipo "/BRANCH", "/SWITCH", "/SOURCE", etc. tem a finalidade de relaxar a obrigatoriedade de o usuário fornecer os grupos de instruções nas ordens pré-determinadas pelo programa.

Com este tipo de instrução os dados podem ser inseridos em qualquer ordem na estrutura geral do arquivo de entrada do ATP, sendo, portanto, essencial a sua utilização quando a função "DATA BASE MODULE" é empregada, uma vez que esta última pode conter mais de um tipo de componente.

8.3 FUNÇÃO "\$INCLUDE"

A instrução "\$INCLUDE" é sempre utilizada em associação com a função "DATA BASE MODULE". A sua finalidade é inserir no arquivo de dados o módulo criado pela função "DATA BASE MODULE".

Devem ser especificados o nome do arquivo e os valores dos argumentos, definidos quando da criação do "DATA BASE MODULE".

8.4 FUNÇÃO "DATA BASE MODULE"

A função "DATA BASE MODULE" tem por objetivo criar um módulo, consistindo de um ou mais componentes, que pode ser utilizado, para a montagem do arquivo a ser utilizado na simulação, de forma mais amigável pelo usuário.

Com esta função pode ser criada uma biblioteca de modelos, onde apenas alguns parâmetros precisam ser especificados pelo usuário. Caso os valores numéricos sejam definitivos, somente os nomes das barras precisariam ser especificados como argumentos pelo usuário.

Uma vez criado o módulo, onde há necessidade de se obedecer aos formatos do ATP e às regras de utilização da função "DATA BASE MODULE", a sua utilização é realizada através do comando "\$INCLUDE" de forma muito simples, sem necessidade de se conhecer os formatos do ATP. Podem ser criados módulos monofásicos, trifásicos ou de qualquer outra natureza, como no caso de pontes conversoras, os quais são conectados ao arquivo principal simplesmente através do comando "\$INCLUDE".

8.5 LISTA COM DECLARAÇÃO DOS ARGUMENTOS

A declaração dos argumentos define o tipo de argumento que será utilizado na preparação do módulo. Há dois tipos básicos: o argumento que será externalizado e o argumento interno.

O argumento externo pode se referir a nomes de barras e/ou valores numéricos, sendo necessário definir que argumentos são numéricos de forma explícita.

A declaração dos argumentos referentes aos nomes e valores tem o seguinte formato:

<code>ARG, name 1, name 2,</code>
--

A ordem dos nomes dos argumentos será mantida quando de sua utilização através do comando "\$INCLUDE".

Com o objetivo de evitar problemas de incompatibilidade no tamanho do argumento há símbolos especiais, que podem ser utilizados para completar os seis dígitos reservados para os nomes.

A declaração dos argumentos numéricos deve ser complementada com uma declaração consecutiva própria para esta finalidade.

Os seguintes formatos são aplicáveis:

<p>ARG, name 1, value 1, value 2, ...</p> <p>NUM, value 1, value 2</p>
--

Nas declarações acima deve ser observado que ao argumento "name1" será atribuído o nome de uma barra e que aos argumentos "value 1" e "value 2" serão atribuídos valores numéricos, quando o comando "\$INCLUDE" for especificado.

Da mesma forma que anteriormente já mencionado, a ordem dos argumentos é mantida conforme a declaração ARG. Na declaração NUM a ordem não é importante. O formato dos argumentos numéricos deve ser real com ponto decimal, não sendo permitido utilizar o formato E.

A declaração dos argumentos internos ao módulo é realizada da seguinte forma:

DUM, dummy 1, dummy 2

Os argumentos da declaração DUM não necessitam aparecer nas declarações ARG ou NUM.

Consequentemente não podem ser atribuídos nomes ou valores a estes argumentos, cuja utilização é restrita somente aos nomes e valores internos do módulo. A sequência dos argumentos na declaração DUM é arbitrária.

8.6 DADOS DOS COMPONENTES ("template")

Os dados dos componentes são especificados nos formatos tradicionais do ATP, referentes a cada um dos modelos. A diferença fundamental é que alguns valores numéricos podem ser definidos como argumentos, para serem definidos na declaração "\$INCLUDE", sendo esta a principal vantagem da utilização da função "DATA BASE MODULE".

Todos os dados devem vir precedidos de cartões do tipo "/cards" para permitir a utilização do módulo em qualquer parte do arquivo completo.

É importante observar que todos os argumentos do tipo "nomes" serão ajustados pela esquerda. No caso de um componente trifásico o argumento pode ter somente 5 dígitos, ficando o último para a definição das fases. Os argumentos do tipo "numéricos" são ajustados pela direita, ao contrário dos argumentos do tipo "nomes".

8.7 EXEMPLO

A criação de um componente no ATPDraw a partir de um componente já existente na biblioteca do programa ATPDraw é possível através da rotina TACS. Para a criação desses componentes primeiramente deve-se utilizar o componente original (proveniente da biblioteca do ATPDraw), bem como configurar seus parâmetros, como mostram as figuras 8.1. Outra possibilidade de criação de blocos e, a partir de um circuito, com vários componentes, montado no ATPDraw.

No exemplo que segue, temos a rotina para a criação de um reator monofásico a núcleo saturado (CERNS) a partir de um transformador saturável trifásico. A figura 8.1 mostra a janela de opções desse transformador, bem como os parâmetros utilizados na criação do CERNS.

Component: GENTRAFO.SUP

Attributes | Characteristic

Io= IOXXXX Fo= FOXXXX Rm= RMXXXX ☐ 3-leg core

Primary
Vrp= VRPXXXX Rp= RPXXXX Lp= LPXXXX ☐ RMS

Secondary
Vrs= VRSXXXX Rs= RSXXXX Ls= LSXXXX

Tertiary
Vrt= VRTXXXX Rt= VRTXXXX Lt= LTXXXX ☒ 3-wind.

Group No: 0 Label:

Comment:

Output
0 - No ☐ Hide ☐ Lock

OK Cancel Help

Figura 8.1 – Parâmetros utilizados na criação do CERNS.

Nesta janela, foram especificados os atributos que poderão ser modificados no bloco a ser criado. Na figura 8.2, temos as características escolhidas, dentre elas o fato de ser incluir no novo componente uma curva com os valores de fluxo e corrente apresentados pelo núcleo magnético do CERNS. Esse arquivo incluso possui o formato .LIB e se encontra dentro de Project\USP. São especificados também os nomes dos nós do componente, como mostra a figura 8.3.

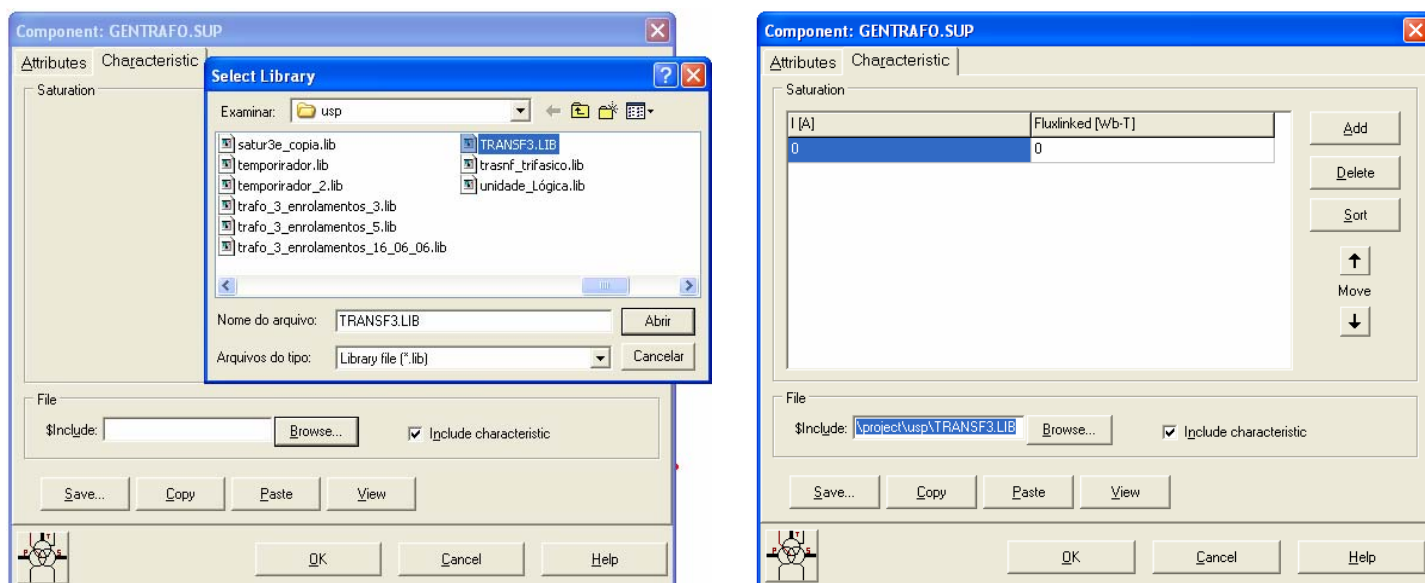


Figura 8.2 – Inclusão de dados no formato .LIB no CERNs.

Após essa inclusão de variáveis, deve-se simular o programa (F2), essa simulação irá gerar um arquivo no formato .ATP, sendo que o mesmo pode ser acessado através da tecla de atalho F4. O arquivo gerado (cartão) está representado na figura 8.5.

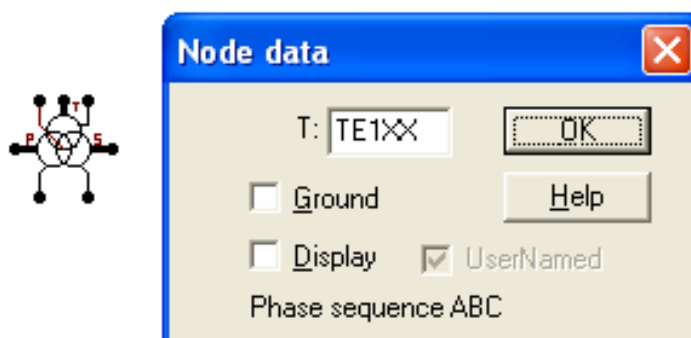


Figura 8.4 – Determinação dos nomes dos nós do componente original.

```

Text Editor: cerns_3.atp
File Edit Character Help
BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW novembro, quarta-feira 29, 2006
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2002
C -----
C dT >> Tmax >> Xopt >> Copt >
C 1.E-6 .001
C 500 1 1 1 1 1 0 0 1 0
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
TRANSFORMER IOXXXXFOXXXXTRANSARMXXXX 0
$INCLUDE, C:\ATP\project\usp\TRANSF3.LIB
1PE1XXAPE2XXX RPXXXXLPXXXXVRPXXX
2SE1XXASE2XXX RSXXXXLSXXXXVRSXXX
3TE1XXATE2XXX VRTXXXXLTXXXXVRTXXX
TRANSFORMER TRANSA TRANSB
1PE1XXBPE2XXX
2SE1XXBSE2XXX
3TE1XXBTE2XXX
TRANSFORMER TRANSA TRANSC
1PE1XXCPE2XXX
2SE1XXCSE2XXX
3TE1XXCTE2XXX
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP >< type >
/SOURCE
C < n 1><><> Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
/INITIAL
/OUTPUT
/REQUEST
$PARAMETER
VRTXXX= 0
VRSXXX= 0
VRPXXX= 0
RSXXXX= 0
RPXXXX= 0
RMXXXX= 0
LTXXXX= 0
LSXXXX= 0
LPXXXX= 0
IOXXXX= 0
FOXXXX= 0
BLANK $PARAMETER
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK INITIAL
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Figura 8.5 - Arquivo gerado no formato .ATP após a simulação do componente original.

De posse desse arquivo seleciona apenas as variáveis necessárias, conforme figura 8.6. Onde:

- ⇒ ARG é toda variável de entrada ou saída do bloco mais as variáveis que precisam ser mudadas de acordo com cada simulação;
- ⇒ NUM é toda variável que precisa ser mudada de acordo com cada simulação;
- ⇒ DUM é toda variável restante de cada nó.

Esse arquivo após estar pronto devera ser salvo e simulado novamente, conforme mostra a figura 8.7.

```

Text Editor: cerns_3.atp
File Edit Character Help

BEGIN NEW DATA CASE --NOSORT--
DATA BASE MODULE
$ERASE
ARG, PE1XXA, PE2XXA, SE1XXA, SE2XXA, TE1XXA, TE2XXA, TRANSA, IOXXXX, FOXXXX, RMXXXX
ARG, RPXXXX, LPXXXX, VRPXXX, RSXXXX, LSXXXX, VRSXXX, RTXXXX, LTXXXX, VRTXXX
NUM, IOXXXX, FOXXXX, RMXXXX, RPXXXX, LPXXXX, VRPXXX, RSXXXX, LSXXXX, VRSXXX
NUM, RTXXXX, LTXXXX, VRTXXX
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
TRANSFORMER IOXXXXFOXXXXTRANSARMXXXX 0
$INCLUDE, C:\ATP\project\usp\TRANSF3.LIB
1PE1XXAPE2XXA RPXXXXLPXXXXVRPXXX
2SE1XXASE2XXA RSXXXXLSXXXXVRSXXX
3TE1XXATE2XXA RTXXXXLTXXXXVRTXXX
BEGIN NEW DATA CASE
C
$PUNCH
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

Figura 8.6 – Arquivo modificado utilizado para a criação de um arquivo que será simulado.

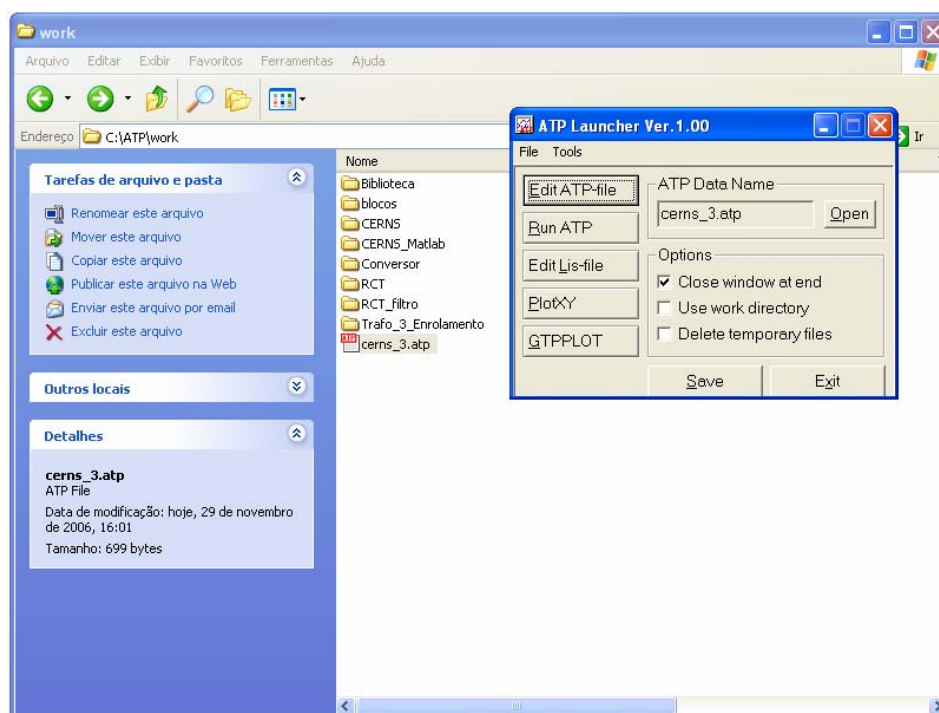


Figura 8.7 – Simulação do novo arquivo.

Após a simulação, vários arquivos serão gerados entre eles um no formato .PCH (figura X8.8). Será esse arquivo .PCH que será incluído dentro de Project\USP conforme figura 8.9

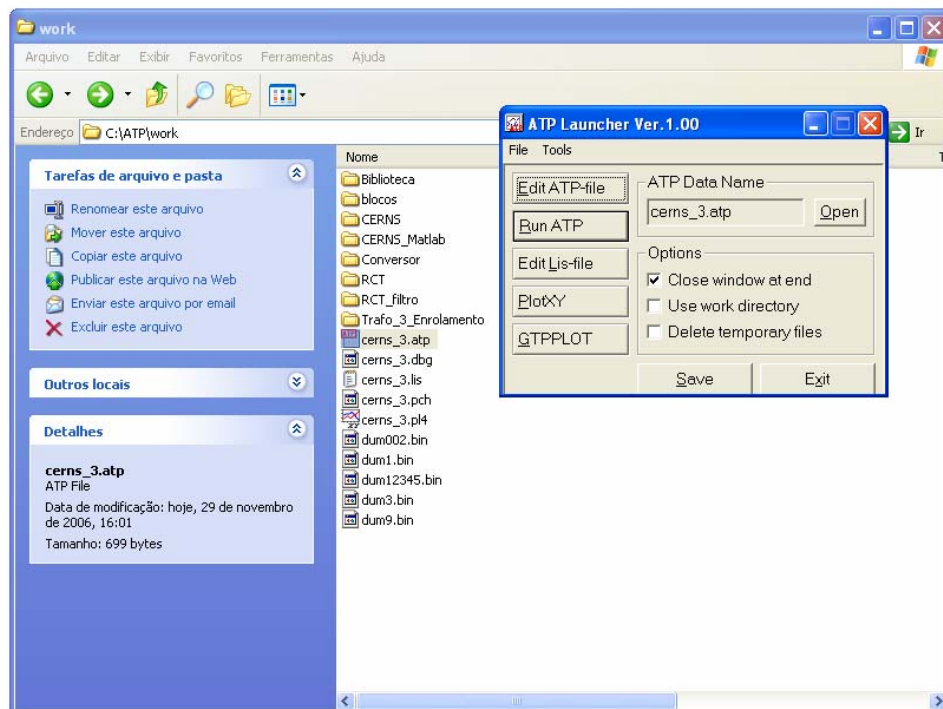


Figura 8.8 – Arquivos gerado pela simulação do CERN5.

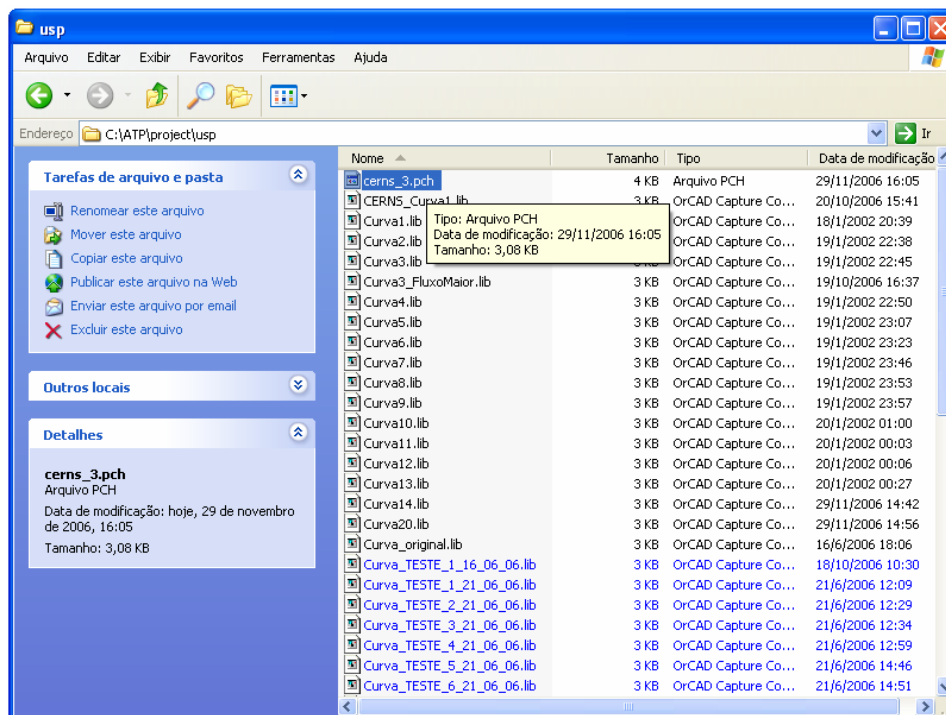


Figura 8.9 – Inclusão do arquivo .PCH em Project\USP.

Esse arquivo incluso .PCH, deve ser modificado para .LIB (figura 8.10), será esse o arquivo que deverá ser incluído no componente a ser criado, o CERN5.

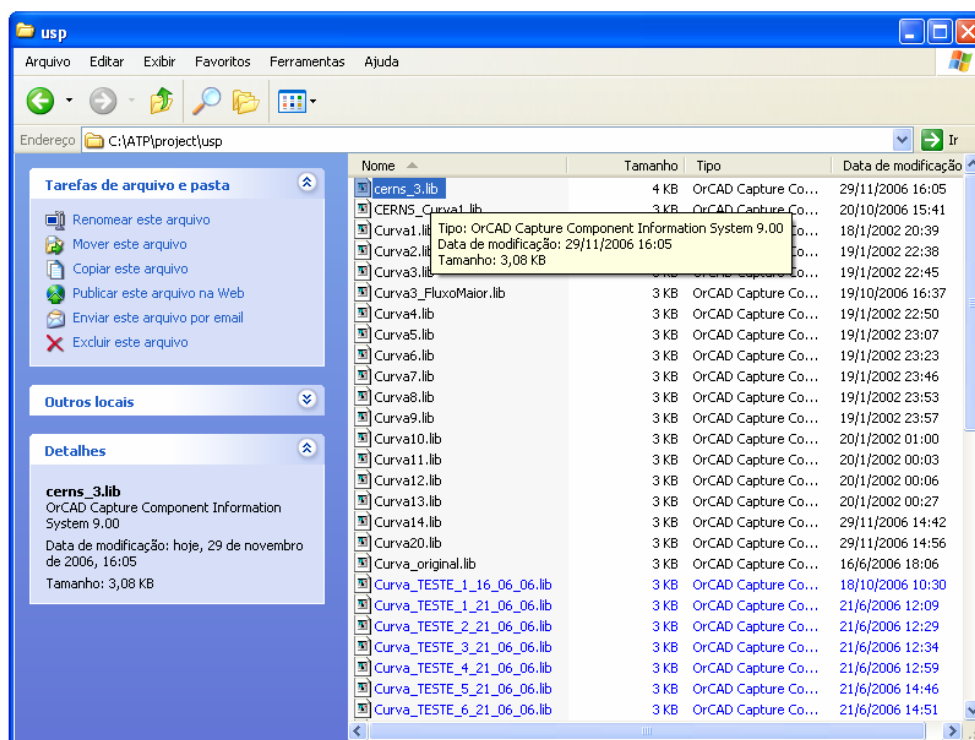


Figura 8.10 – Modificação do arquivo no formato .PCH para .LIB.

Uma vez feito esses processos, deve-se começar a criação do bloco propriamente dito. Para tal deve-se acessar a janela NEW SUP-FILE como mostra a figura 8.11.

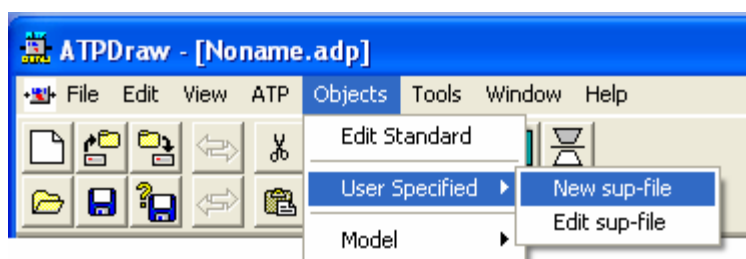


Figura 8.11 – Local de acesso para a criação dos blocos.

A janela de criação dos blocos (figura 8.12) apresenta as seguintes componentes:

- ⇒ DATA são todas as variáveis que precisam ser mudadas de acordo com cada simulação.
- ⇒ Default é um valor inicial para cada variável.
- ⇒ Digitis é o valor de dígitos Máximo que sua variável aceitará.

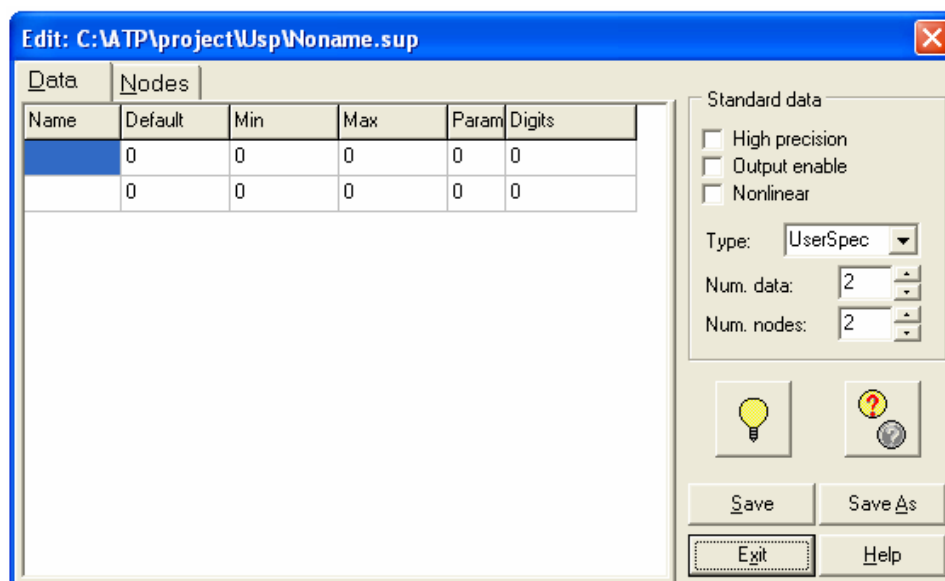


Figura 8.12 – Janela para a criação dos blocos.

Uma observação importante é que a ordem e que foram colocadas a variáveis em ARG deve ser respeitada na colocação dos nomes conforme figura 8.13.

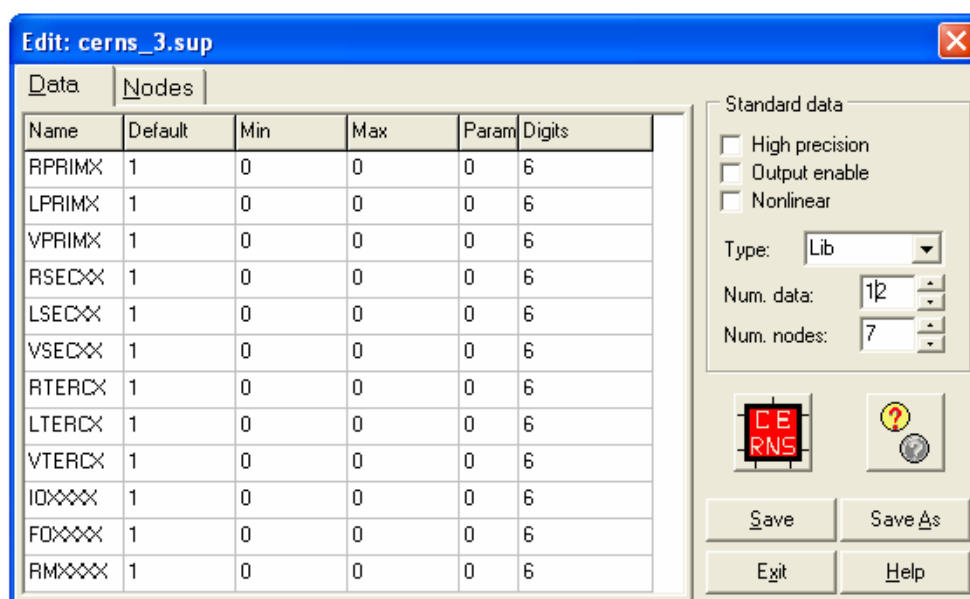


Figura 8.13 – Colocação das variáveis a serem utilizadas no componente.

Com relação aos nós do bloco podem ser escolhidos conforme figura 8.14.

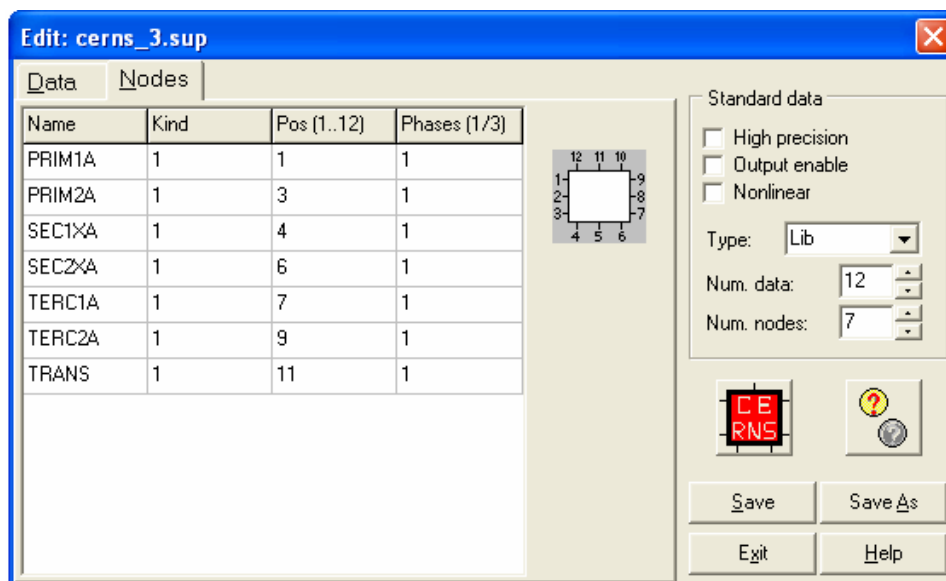


Figura 8.14 – Escolha dos nós do bloco.

Feito esses passos temos a criação de um componente a ser utilizado no ATPDraw.

9 COMPONENTES DISPONÍVEIS NO ATPDraw

Os componentes disponíveis na biblioteca do ATPDraw podem ser obtidos através de um click com o botão direito do mouse, como já explicado. Os principais componentes bem como suas características são:

9.1 PROBES & 3-PHASES

Medidores são componentes utilizados para monitorar tensões nos nós ou entre nós, sinais de correntes entre dois nós e sinais de TACS. Caso a fonte utilizada seja TACS somente o medidor TACS deve ser utilizado.

Outros componentes de sub-menu são os *Transp* que são utilizados para fazer a transposição de linhas trifásicas de várias formas.

São selecionados clicando com o botão direito do mouse sobre a tela do ATPDraw como mostra a figura 9.1. Com base no tipo de escolha, podem fazer medições monofásicas, bifásicas ou trifásicas. Esta escolha é realizada clicando com o botão direito do mouse sobre o componente.

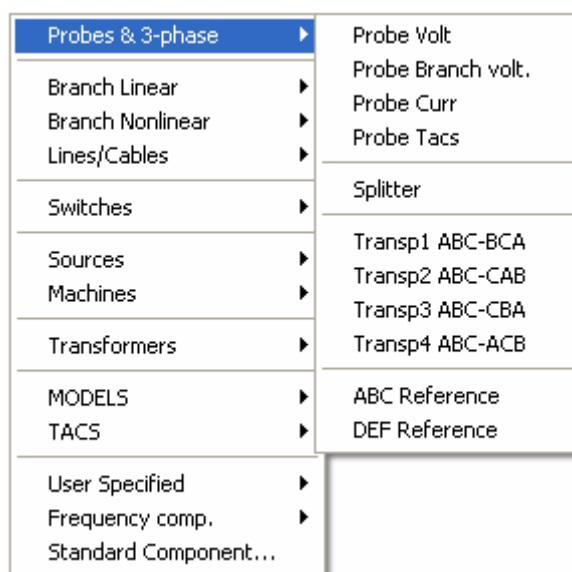


Figura 9.1 – Componentes de medição.

Os componentes de *Probes & 3-Phases* são:

❖ PROBE VOLT



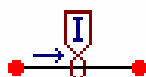
Dispositivo utilizado para fazer a medição da tensão em qualquer ponto do circuito. Pode funcionar como monofásico, bifásico ou trifásico.

❖ PROBE BRANCH VOLT



Dispositivo utilizado para fazer a medição de tensão entre dois pontos quaisquer. Pode funcionar como monofásico, bifásico ou trifásico.

❖ PROBE CURR



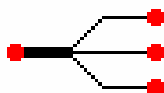
Dispositivo utilizado para fazer a medição de corrente entre dois pontos quaisquer do circuito. Pode funcionar como monofásico, bifásico ou trifásico.

❖ PROBE TACS



Dispositivo que deve ser utilizado para se efetuar a medição quando se estiver utilizando componentes TAC's. Pode funcionar como monofásico, bifásico ou trifásico.

❖ SPLITTER



Um divisor é uma transformação entre um nó de 3 fases e três nós de 1 fase. O objeto é movido, girado, selecionado, suprimido, copiado e exportado como todo o outro componente ou modelo.

NÓ ---- NODEA
 ----|--- NODEB
 ---- NODEC

As letras "A", "B" ou "C" são adicionados ao nome do nó de 3 fases.

❖ TRANSP1 ABC - BCA



Um objeto de transposição a ser conectado somente no meio de 3 nós

IN: Nome de cinco caracteres. "A", "B" e "C" são adicionados. Por exemplo:

NODE1 Resultados em:

NODE1A
NODE1B
NODE1C

OUT: Nome de cinco caracteres. “B”, “C” e “A” são adicionados. Por exemplo:
NODE1 Resultados em:

NODE1B
NODE1C
NODE1A

O objeto é movido, girado, selecionado, suprimido, copiado e exportado como algum outro componente ou modelo.

❖ TRANSP2 ABC - CAB



Um objeto de transposição a ser conectado somente no meio de 3 nós

IN: Nome de cinco caracteres. “A”, “B” e “C” são adicionados. Por exemplo:

NODE1 Resultados em:

NODE1A
NODE1B
NODE1C

OUT: Nome de cinco caracteres. “C”, “A” e “B” são adicionados. Por exemplo:
NODE1 Resultados em:

NODE1C
NODE1A
NODE1B

O objeto é movido, girado, selecionado, suprimido, copiado e exportado como algum outro componente ou modelo.

❖ TRANSP3 ABC - CBA



Um objeto de transposição a ser conectado somente no meio de 3 nós

IN: Nome de cinco caracteres. “A”, “B” e “C” são adicionados. Por exemplo:

NODE1 Resultados em:

NODE1A
NODE1B
NODE1C

OUT: Nome de cinco caracteres. “C”, “B” e “A” são adicionados. Por exemplo:
NODE1 Resultados em:

NODE1C
NODE1B
NODE1A

O objeto é movido, girado, selecionado, suprimido, copiado e exportado como algum outro componente ou modelo.

❖ TRANSP43 ABC - ACB



Um objeto de transposição a ser conectado somente no meio de 3 nós

IN: Nome de cinco caracteres. “A”, “B” e “C” são adicionados. Por exemplo:

NODE1 Resultados em:

NODE1A

NODE1B

NODE1C

OUT: Nome de cinco caracteres. “A”, “C” e “B” são adicionados. Por exemplo:

NODE1 Resultados em:

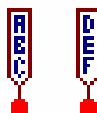
NODE1A

NODE1C

NODE1B

O objeto é movido, girado, selecionado, suprimido, copiado e exportado como algum outro componente ou modelo.

❖ ABC e DEF REFERENCES



Quando unido a um nó de 3 fases no circuito este nó transforma-se o nó “mestre” com ABC da sequência de fase. Os outros nós adaptarão este ajuste

9.2 BRANCH LINEAR

Este sub-menu contém os componentes lineares como resistores, capacitores, indutores e a associação destes componentes.

O componentes lineares são selecionados clicando com o botão direito do mouse sobre a tela do ATPDraw como mostra a figura 9.2.

Os valores dos parâmetros destes componentes são escolhidos clicando com o botão direito do mouse sobre o componente.

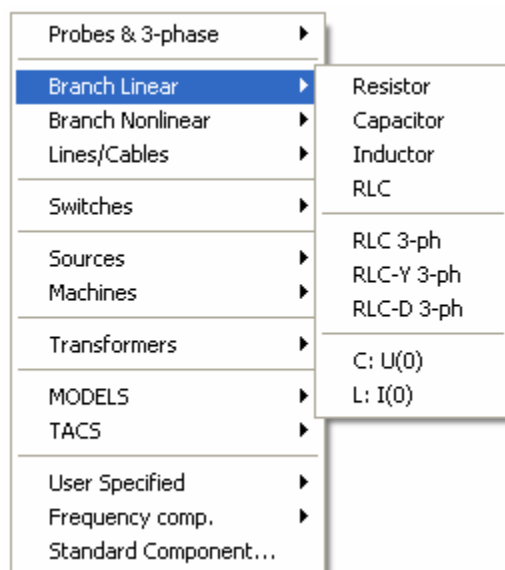


Figura 9.2 – Componentes lineares.

Os componentes de *Branch* são:

❖ RESISTOR



Nome: RESISTOR

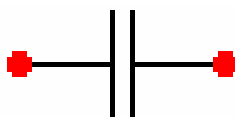
Cartão: FILIAL

Dados: RES = resistência em ohm

Nó: IN = nó de início do resistor

OUT = nó do fim do resistor

❖ CAPACITOR



Nome: CAPACITOR

Cartão: FILIAL

Dados: C = Capacitância em [uF]

Nó: IN = nó de início do capacitor

OUT = nó do fim do capacitor

❖ INDUTOR



Nome: INDUTOR

Cartão: FILIAL

Dados: L = Indutância em [mH]

Nó: IN = nó de início do indutor

OUT = nó do fim do indutor

❖ RLC



Nome: RLC

Cartão: FILIAL

Dados: R = Resistência em [ohm]

L = Indutância em [mH] se $X_{opt} = 0$

C = Capacitância em [uF] se $C_{opt} = 0$

Nó: IN = nó de início do RLC

OUT = nó do fim do RLC

❖ RLC 3 - PH



Nome: Fase de RLC3. Valores independentes nas fases.

Cartão: FILIAL;

Dados: R_1 = Resistência de R_1 na fase 1

L_1 = Indutância de L_1 na fase 1

C_1 = Capacitância de C_1 na fase 1

R_2 = Resistência de R_2 na fase 2

L_2 = Indutância de L_2 na fase 2

C_2 = Capacitância de C_2 na fase 2

R_3 = Resistência de R_3 na fase 3

L_3 = Indutância de L_3 na fase 3

C_3 = Capacitância de C_3 na fase 3

Nó: IN = nó de início do RLC

OUT = nó do fim do RLC

❖ RLC – Y 3-PH



Nome: RLCY3. Circuito RLC trifásico ligado em Y. Valores independentes nas fases.

Cartão: FILIAL

Dados: R1 = Resistência de R_1 na fase 1

L1 = Indutância de L_1 na fase 1

C1 = Capacitância de C_1 na fase 1

R2 = Resistência de R_2 na fase 2

L2 = Indutância de L_2 na fase 2

C2 = Capacitância de C_2 na fase 2

R3 = Resistência de R_3 na fase 3

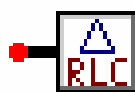
L3 = Indutância de L_3 na fase 3

C3 = Capacitância de C_3 na fase 3

Nó: IN = nó de início do RLC

OUT = nó do fim do RLC

❖ RLC – D 3-PH



Nome: Circuito RLC trifásico ligado em delta. Valores independentes nas fases. Cartão: FILIAL

Dados: R1 = Resistência em [ohm] fase 1

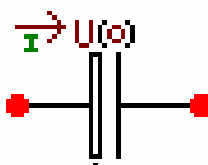
L1 = Indutância de L1 em [mH] fase 1

C1 = Capacitância de C1 em [uF] fase 1

Nó: IN = nó de início do RLC

OUT = nó do fim do RLC

❖ CAP_UO – (C : U (0))



Nome: CAP_U0

Cartão: FILIAL

Dados: C = Capacitância em [uF]

U (0) + = tensão [V] positiva no nó no tempo t = 0.

U (0) - = tensão [V] negativa no nó no tempo t = 0.

Nó: POS = nó positivo do capacitor
 NEG = nó negativo do capacitor

❖ IND_I0 – (L : I(0))



Nome: IND_I0

Cartão: FILIAL

Dados: L = indutância em [mH]

Nó: POS = nó positivo do indutor

NEG = nó negativo do indutor

A corrente inicial vai do nó positivo ao nó negativo.

9.3 BRANCH NONLINEAR

Este sub-menu contém os resistores e indutores não lineares. Cada componente apresenta suas características próprias sendo que a variação pode ser obtida com base nas relações de corrente/tensão, corrente/fluxo ou tempo/resistência. Estas indicações são apresentadas para cada componente dentro do seu arquivo de help. A figura 9.3 mostra o local da caixa de diálogos desses componentes.

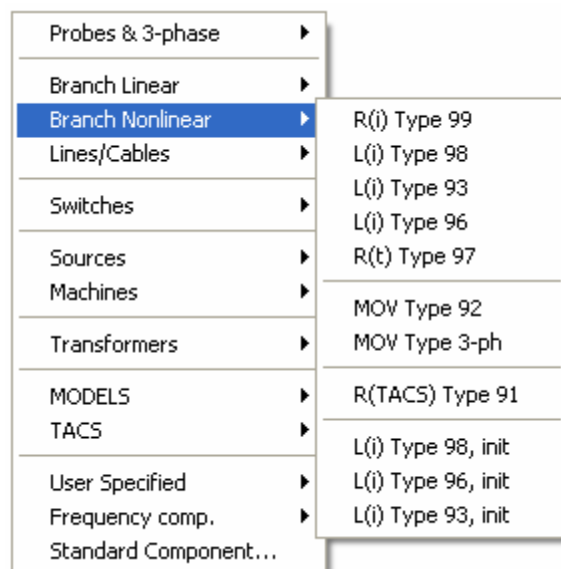


Figura 9.3 – Componentes não lineares.

Os componentes de *NonLin* são:

❖ NLINRES - ($R(i)$ Type 99)

Nome: NLINRES - resistor atual-dependente não-linear.

Cartão: FILIAL

Dados: Vflash = Tensão de Flashover em [V] da abertura conectada série.

Tdelay = O tempo mínimo em [s] para que gap é fechada

Se a corrente da filial se tornar zero após um momento Tdelay, gap abre.

Jump = Começo dos cálculos de início de Jump

VSEAL = >0: Abertura do gap se a tensão da filial cair abaixo desta tensão.

Nó: From = Nó de começo do resistor não-linear.

To = Nó de fim de To do resistor não-linear.

Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/tensão. Característica suposta para ser simétrico sobre a origem. Pular o ponto (0,0).

❖ NLININD - ($L(i)$ Type 98)

Nome: NLININD - indutor atual-dependente não-linear.

Cartão: FILIAL

Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.

FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.

Nó: FROM = Nó de começo do indutor não-linear.

TO = Nó de fim do indutor não-linear.

Pontos: É possível incorporar 17 pontos na característica atual/fluxo. (mas mais de dois não são recomendados). A saturação é suposta para ser simétrica assim que saltar (0, 0) o ponto e especificar somente os pontos positivos.

❖ NLIND93 - ($L(i)$ Type 93)

Nome: NLIND93 - Indutor não-linear verdadeiro.

Cartão: FILIAL

Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.

FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.

- Nó: From = Nó do começo do indutor não-linear.
 To = Nó do fim do indutor não-linear.
- Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/fluxo. Se a curva de saturação for suposta para ser simétrica sobre a origem, começar com ponto (0, 0) e saltar os pontos negativos.

❖ NLIND96 – ($L(i)$ Type 96)



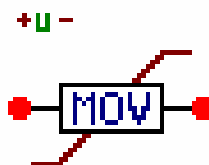
- Nome: NLIND96 - indutor de histerese Pseudo-não-linear.
- Cartão: FILIAL
- Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.
 FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.
 RESID = Fluxo residual em [Wb-voltas]
- Nó: From = Nó do começo do indutor não-linear.
 To = Nó do fim do indutor não-linear.
- Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/fluxo. A histerese é suposta para ser sim. Datilografar somente dentro o laço mais baixo da histerese, começando à esquerda (onde as duas curvas se encontram com no terceiro quadrante). O último ponto deve ser onde as duas curvas se encontram com no primeiro quadrante. Se a curva de saturação for suposta para ser simétrica sobre a origem, começar com ponto (0, 0) e saltar os pontos negativos.

❖ NLINR_T – ($R(t)$ Type 97)



- Nome: NLINR_T - resistor dependente do tempo não-linear.
- Cartão: FILIAL
- Dados: Vflash = Tensão de Flashover em [V] da abertura conectada em série.
 Tdelay = -1: Vflash é ignorado. O resistor conectou por toda a hora.
 >0: O resistor conectou por o tempo acima de Tdelay mínimo [segundo]. (E tensão acima de Vflash).
- Nó: From = Nó do começo do resistor não-linear.
 To = Nó do fim do resistor não-linear.
- Pontos: É possível incorporar 17 pontos na característica do tempo/resistência. Não especificar a resistência zero. Etapa final estendida ao tempo infinito.

❖ ZNO – (MOV Type 92)



Nome: ZNO - resistor corrente-dependente exponencial.

Cartão: FILIAL

Dados: Vref = Tensão da referência em [V] para o único bloco. Usar um valor bem condicionado arbitrário em torno de tensão de corte.

Vflash = Tensão de Flashover em pu de Vref. Usar um número negativo para nenhuma abertura.

Vzero = Tensão inicial em [V]. Opcional.

COL = Fator multiplicativo para COEF. Número de colunas do prendedor.

Única filial dos blocos: COL = 0,1 ou ESPAÇO EM BRANCO.

Duas filiais na paralela: COL = 2.

SER = Número de blocos em série em cada filial. Usou-se escalar Vref.

ErrLim = Tolerância apropriada em pu.

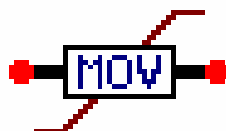
Nó: From = Nó do começo do resistor não-linear.

To = Nó do fim do resistor não-linear.

Pontos: É possível incorporar 15 pontos na característica atual/tensão. Não especifique o ponto (0,0). Menos encaixe do método do quadrado no domínio do registro-registro é executado para caber os pontos característicos à formulação exponencial:

$$i = p \cdot (u/V_{ref})^q$$

❖ ZNO – (MOV Type 3-ph)



Nome: MOV - resistor corrente-dependente exponencial.

Cartão: FILIAL

Dados: Vref = Tensão da referência em [V] para o único bloco. Usar um valor bem condicionado arbitrário em torno de tensão de corte.

Vflash = Tensão de Flashover em pu de Vref. Usar um número negativo para nenhuma abertura.

Vzero = Tensão inicial em [V]. Opcional.

COL = Fator multiplicativo para COEF. Número de colunas do prendedor.

Única filial dos blocos: COL = 0,1 ou ESPAÇO EM BRANCO.

Duas filiais na paralela: COL=2.

SER = Número de blocos em série em cada filial. Usou-se escalar Vref.

ErrLim = Tolerância apropriada em pu.

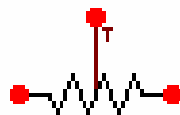
Nó: From = Nó do começo do resistor não-linear. (3-phase)

To = Nó do fim do resistor não-linear. (3-phase)

Pontos: É possível incorporar 12 pontos na característica atual/tensão. Não especifique o ponto (0, 0)!! Menos encaixe do método do quadrado no domínio do registro-registro é executado para caber os pontos característicos à formulação exponencial:

$$i = p \cdot (u/V_{ref})^q$$

❖ TACSRES – (*R(TACS) Type 91*)



Nome: TACSRES - resistor tempo - dependente tacs-controlado.

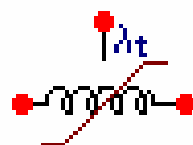
Cartão: FILIAL

Nó: IN = Nó do começo do resistor das tacs.

OUT = Nó do fim do resistor das tacs.

TACS = Nó de TACS. Nome de Tacs - variável.

❖ NLIN98_I – (*L(i) Type 98, init*)



Nome: NLIN98_I - indutor corrente-dependente não-linear.

Com fluxo inicial modelado com uma tensão do impulso.

Cartão: FILIAL

Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.

FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.

FL (0) = fluxo inicial ligado no tempo $t = 0$.

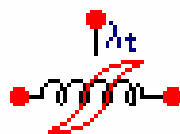
Nó: From = Nó do começo do indutor não-linear.

To = Nó do fim do indutor não-linear.

FL (t) = Saída do integrador de TACS permitido quando o fluxo ligado é verificado. Fluxo ligado [Wb-voltas] em função do tempo.

Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/fluxo. (mas mais de dois não são recomendados). A saturação é suposto para ser simétrico assim que saltar (0, 0) apontar e especificar somente os pontos positivos.

O fluxo inicial é modelado com uma fonte CC com amplitude $FL(0)/dT$ e que é zero por todas as vezes exceto o $t = dT$. A fonte CC é conectada a um nó interno, e a um tipo 18 ideal o transformador é usado para indutâncias infundadas. Fluxo ligado é calculado por um integrador ACS com uma condição inicial $FL(0)$.

❖ NLIN96_I – ($L(i)$ Type 96, *init*)

Nome: NLIN96_I - indutor histerese Pseudo-não-linear.

Com fluxo inicial modelou com uma tensão do impulso.

Cartão: FILIAL

Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.

FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.

RESID = Fluxo residual em [Wb-voltas]

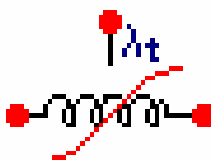
FL (0) = fluxo inicial ligado no tempo $t = 0$.

Nó: From = Nó do começo do indutor não-linear.

To = Nó do fim do indutor não-linear.

Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/fluxo. A histerese é suposta para ser simétrica. Datilografar somente dentro o laço mais baixo da histerese, começando à esquerda (onde as duas curvas se encontram com no terceiro quadrante). O último ponto deve ser onde as duas curvas se encontram com no primeiro quadrante. Se a curva da saturação for suposta para ser simétrica sobre a origem, começar com ponto (0, 0) e saltar os pontos negativos.

O fluxo inicial é modelado com uma fonte CC com amplitude FL (0) /dT e que é zero por todas as vezes exceto o $t = dT$. A fonte CC é conectada a um nó interno, e a um tipo 18 ideal o transformador é usado para indutâncias infundadas. Fluxo ligado é calculado por um integrador TACS com uma condição inicial FL (0).

❖ NLIN93_I – ($L(i)$ Type 93, *init*)

Nome: NLIN93_I - indutor corrente - dependente não-linear.

Com tipo 4 iniciação.

Cartão: FILIAL

Dados: CURR = Corrente em [A] no estado estacionário.

FLUX = Fluxo em [Wb-voltas] no estado constante.

IL (0) = Corrente inicial no tempo $t = 0$.

FL (0) = Fluxo inicial ligado no tempo $t = 0$.

Nó: From = Nó do começo do indutor não-linear.

Dummy = Não usado para o tipo 93.

To = Nó do fim do indutor não-linear.

FL (t) = Saída do integrador de TACS permitido quando Fluxo ligado é verificado. Fluxo ligado [Wb-voltas] em função do tempo.

Pontos: É possível incorporar 16 pontos na característica atual/fluxo. Se a curva da saturação for suposta para ser simétrica sobre a origem, começar com ponto (0, 0) e saltar os pontos negativos.

O fluxo inicial é modelado diretamente sob o tipo INICIAL 4 indicação no arquivo do ATP. Fluxo ligado é calculado por um integrador TACS com uma condição inicial FL (0).

9.4 LINE/CABLES

O menu *lines/cables* possuem vários sub – nemus para diferentes tipos de modelos de linhas. A caixa de diálogo destes componentes está indicada na figura 9.4

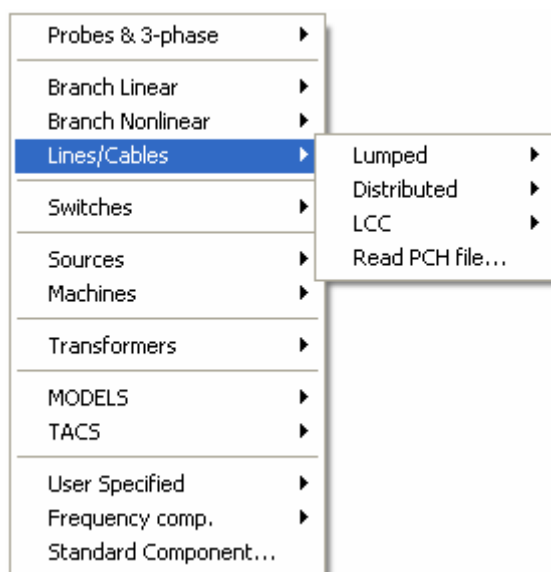


Figura 9.4 – Componentes de linhas e cabos.

Os componentes de *Line/Cables* são:

9.4.1 Lines/Cables - Lumped

❖ LINEPI_1 – (*RLC Pi-equiv. 1+1 phase*)



Nome: LINEPI_1

Cartão: FILIAL

Dados: R = Resistência em [ohm]

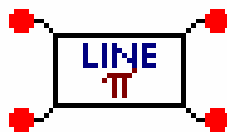
L = Indutância em [mH]

C = Capacitância para a terra em [F]

Nó: From = Nó do começo do RLC

To = Nó do fim do RLC

❖ LINEPI_2 – (RLC Pi-equiv. 1+ 2 phase)
❖



Nome: LINEPI_2 – Pi - equivalente

Cartão: FILIAL

Dados: R11 = Resistência na fase 1

R21 = Resistência entre a fase 1 e a fase 2

R22 = Resistência na fase 2

Resistências em [ohm]

L11 = Indutância na fase 1

L21 = Indutância entre a fase 1 e a fase 2

L22 = Indutância na fase 2

Indutâncias dentro [mH]

C11 = Capacitância entre a fase 1 e a terra (Terra)

C21 = Capacitância entre a fase 1 e a fase 2

C22 = Capacitância entre a fase 2 e a terra (Terra)

Nó: INA = Nó do começo da fase 1

INB = Nó do começo da fase 2

OUTA = Nó do fim da fase 1

OUTB = Nó do fim da fase 2

❖ LINEPI_3 – (RLC Pi-equiv. 1+ 3 phase)



Nome: LINEPI_3

Cartão: FILIAL

Dados: R11 = Resistência na fase 1

R21 = Resistência entre a fase 2 e a fase 1

R22 = Resistência na fase 2

R31 = Resistência entre a fase 3 e a fase 1

R32 = Resistência entre a fase 3 e a fase 2

R33 = Resistência na fase 3

Resistências em [ohm]

L11 = Indutância na fase 1

L21 = Indutância entre a fase 2 e a fase 1

L22 = Indutância na fase 2

L31 = Indutância entre a fase 3 e a fase 1

L32 = Indutância entre a fase 3 e a fase 2

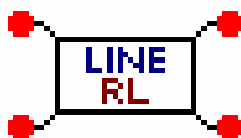
L33 = Indutância na fase 3

Indutâncias em [mH]

C11 = Capacitância entre a fase 1 e a terra
 C21 = Capacitância entre a fase 1 e a fase 2
 C22 = Capacitância entre a fase 2 e a terra
 C31 = Capacitância entre a fase 1 e a fase 3
 C32 = Capacitância entre a fase 3 e a fase 2
 C33 = Capacitância entre a fase 3 e a terra
 Capacitância em [F]

Nó: IN1 = Nó do começo. Letra “A”, “B” ou “C” é adicionada ao nome do nó para o nó 1, 2 e 3.
 OUT1 = Nó do fim. Letra “A”, “B” ou “C” é adicionada ao nome do nó para o nó 1, 2 e 3.

❖ LINERL_2 – (*RL Coupled 51+ 2 phase*)



Nome: LINERL_2 - Elementos mutuamente acoplados de RL

Cartão: FILIAL

Dados: R11 = Resistência na fase 1
 R21 = Resistência entre a fase 1 e a fase 2
 R22 = Resistência na fase 2
 Resistências em [ohm]
 L11 = Indutância na fase 1
 L21 = Indutância entre a fase 1 e a fase 2
 L22 = Indutância na fase 2
 Indutâncias em [mH]

Nó: INA = Nó do começo da fase 1
 INB = Nó do começo da fase 2
 OUTA = Nó do fim da fase 1
 OUTB = Nó do fim da fase 2

❖ LINERL_3 – (*RL Coupled 51..+ 3 phase*)



Nome: LINERL_3 - RL acoplado linha de 3 fases.

Cartão: FILIAL

Dados: R11 = Resistência na fase 1
 R12 = Resistência entre a fase 1 e a fase 2
 R22 = Resistência na fase 2

R13 = Resistência entre a fase 1 e a fase 3
 R23 = Resistência entre a fase 2 e a fase 3
 R33 = Resistência na fase 3
 Resistências em [ohm]

L11 = Indutância na fase 1
 L12 = Indutância entre a fase 1 e a fase 2
 L22 = Indutância na fase 2
 L13 = Indutância entre a fase 1 e a fase 3
 L23 = Indutância entre a fase 2 e a fase 3
 L33 = Indutância na fase 3
 Indutâncias em [mH]

Nó: IN1 = Nó do começo.
 OUT1 = Nó do fim

❖ LINERL_6 – LINHA RL COM SEIS (6) FASES
(RL Coupled 51..+ 6 phase)



Nome: LINERL_6 - 6 fases RL acopladas a linha.
 Resistências Fora-diagonais ignoradas.

Cartão: FILIAL

Dados: R11 = Resistência na fase 1
 R22 = Resistência na fase 2
 R33 = Resistência na fase 3
 R44 = Resistência na fase 4
 R55 = Resistência na fase 5
 R66 = Resistência na fase 6
 Resistências em [ohm]
 L11 = Indutância na fase 1
 L12 = Indutância entre a fase 1 e a fase 2
 L13 = Indutância entre a fase 1 e a fase 3
 L14 = Indutância entre a fase 1 e a fase 4
 L15 = Indutância entre a fase 1 e a fase 5
 L16 = Indutância entre a fase 1 e a fase 6
 L22 = Indutância na fase 2
 L23 = Indutância entre a fase 2 e a fase 3
 L24 = Indutância entre a fase 2 e a fase 4
 L25 = Indutância entre a fase 2 e a fase 5
 L26 = Indutância entre a fase 2 e a fase 6
 L33 = Indutância na fase 3
 L34 = Indutância entre a fase 3 e a fase 4
 L35 = Indutância entre a fase 3 e a fase 5
 L36 = Indutância entre a fase 3 e a fase 6
 L44 = Indutância na fase 4

L45 = Indutância entre a fase 4 e da fase 5
 L46 = Indutância entre a fase 4 e a fase 6
 L55 = Indutância na fase 5
 L56 = Indutância entre a fase 5 e a fase 6
 L66 = Indutância na fase 6

Indutâncias em [mH]

Nó: IN1 = Nó do começo . Fase 3. 51-53
 IN2 = Nó do começo . Fase 3. 54-56
 OUT1 = Nó do fim. Fase 3. 51-53
 OUT2 = Nó do fim. Fase 3. 54-56

❖ LINESY_3 – (RL Sym. 5l+ 3 ph)



Nome: LINESY_3 - RL simétrico acoplado a linha.
 Dados dado no positivo e nas seqüências zero.

Cartão: FILIAL

Dados: Ro = Impedância de sequência zero (parte real)
 Lo = Impedância de sequência zero (parte imaginária)
 R+ = Impedância de sequência positiva (parte real)
 L+ = Impedância de sequência positiva (parte imaginária)
 R0 e R+ em [ohm]
 L0 e L+ em [mH]

Nó: IN1 = Começo do nó 3 phases
 OUT1 = Fim do nó 3 phases.

❖ LINESY_6 – (RL Sym. 5l+ 6 ph)



Nome: LINESY_6 - RL simétrico acoplado a linha.
 Dados dado no positivo e nas seqüências zero.

Cartão: FILIAL

Dados: Ro = Impedância de sequência zero (parte real)
 Lo = Impedância de sequência zero (parte imaginária)
 R+ = Impedância de sequência positiva (parte real)
 L+ = Impedância de sequência positiva (parte imaginária)
 R0 e R+ em [ohm]
 L0 e L+ em [mH]

Nó: IN1 = Nó de começo da Fase 51-53
 OUT1 = Nó do fim da Fase 51-53
 IN2 = Nó do começo da Fase 54-56
 OUT2 = Nó do fim da Fase 54-56

9.4.2 Lines/Cables - Distributed

❖ LINEZT_1



Nome: LINEZT_1 – Parâmetros distribuídos, monofásico.

Cartão: FILIAL

Dados: R/l = Resistência por comprimento em [Ohm / comprimento]

A = ILINE = 0: A = Indutância L' em [mH/comprimento] se Xopt = 0

ILINE = 1: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$

ILINE = 2: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$

B = ILINE = 0: B = Capacitância C' em [uF/comprimento] se Copt = 0

ILNIE = 1: B = Velocidade de propagação em (comprimento/segundo)

$$v = 1/\sqrt{C'/L'}$$

ILINE = 2: B = Tempo de propagação em [segundo]

$$T = \sqrt{L'*C'}*\text{comprimento}$$

l = Comprimento da linha (> 0 para linhas transpostas)

ILINE = Tomam os valores de 0 a 2

Nó: From = Nó inicial da linha

To = Nó final da linha

❖ LINEZT_3



Nome: LINEZT_3 – Parâmetros distribuídos (Clarke) trifásico. Transposta

Cartão: LINEAR

Dados: R/1+ = Resistência por comprimento em [Ohm/comprimento].

Sequência positiva

R/10 = Resistência por comprimento em [Ohm/comprimento].

Sequência zero

A = ILINE = 0: A = Indutância L' em [mH/comprimento] se Xopt = 0

ILINE = 1: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$

ILINE = 2: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$

A+ = Sequência positiva

A0 = Sequência zero

$B = ILINE = 0$: B = Capacitância C' em [uF/comprimento]
 se $Copt = 0$
 $ILNIE = 1$: B = Velocidade de propagação em
 (comprimento/segundo) $v = 1/\sqrt{C'/L'}$
 $ILINE = 2$: B = Tempo de propagação em [segundo]
 $T = \sqrt{L'*C'} * \text{comprimento}$
 $B+$ = Sequência positiva
 $B0$ = Sequência zero
 l = Comprimento da linha (> 0 para linhas transpostas)
 $ILINE$ = Tomam os valores de 0 a 2
 $IPUNCH = 0$: Modelo de resistência concentrada. $G' = 0$
 $= 1$: Modelo distorcido. $G' = R'*C'/L'$
 Nó: $IN1$ = Nó inicial.
 $OUT1$ = Nó final
 Somente a voltagem de saída é confiável.

❖ LINEZU_3



Nome: LINEZU_3 – Parâmetros distribuídos (KCLee) trifásico. Não transposta
 Cartão: LINEAR

Dados: $R/1+$ = Resistência por comprimento em [Ohm/comprimento].
 Sequência positiva
 $R/1-$ = Resistência por comprimento em [Ohm/comprimento].
 Sequência negativa
 $R/10$ = Resistência por comprimento em [Ohm/comprimento].
 Sequência zero
 $A = ILINE = 0$: A = Indutância L' em [mH/comprimento] se $Xopt = 0$
 $ILINE = 1$: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$
 $ILINE = 2$: A = Impedância da onda em [Ohm] $Z = \sqrt{L'/C'}$
 $A+$ = Sequência positiva
 $A-$ = Sequência negativa
 $A0$ = Sequência zero
 $B = ILINE = 0$: B = Capacitância C' em [uF/comprimento]
 se $Copt = 0$
 $ILNIE = 1$: B = Velocidade de propagação em
 (comprimento/segundo) $v = 1/\sqrt{C'/L'}$
 $ILINE = 2$: B = Tempo de propagação em [segundo]
 $T = \sqrt{L'*C'} * \text{comprimento}$
 $B+$ = Sequência positiva
 $B-$ = Sequência negativa
 $B0$ = Sequência zero
 l = Comprimento da linha (> 0 para linhas transpostas)
 $ILINE$ = Tomam os valores de 0 a 2
 $IPUNCH = 0$: Modelo de resistência concentrada. $G' = 0$

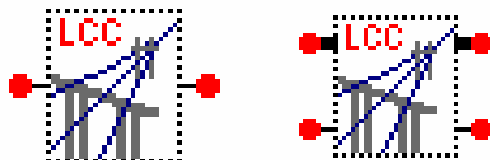
$$= 1: \text{Modelo distorcido. } G' = R' * C' / L'$$

Nó: IN1 = Nó inicial.

OUT1 = Nó final

Somente a voltagem de saída é confiável.

9.4.3 Linha de Transmissão Especificada Pelo Usuário (LCC)



Objeto de especificado pelo usuário - linha aérea Requer um arquivo do módulo da base de dados (LIB) gerado de um arquivo do perfurador das constantes da linha/cabo. Tal arquivo é gerada por ATPDraw abaixo: Objetos + linhas aéreas (DBM).

Dados: Comprimento: Linha comprimento. 6 (seis) caracteres.

Nó: IN1__A: Nó da fase monofásica.

OUT1__A: Nó da fase monofásica.

9.5 SWITCHES

Este menu apresenta as chaves e interruptores utilizados no ATPDraw. Estes componentes podem ser controlados sob várias formas entre elas podemos citar o controle realizado por tempo, tensão ou por correntes, casos dos componentes de eletrônica de potência como tiristores e diodos. A caixa de diálogo deste menu está indicada na figura 9.5.

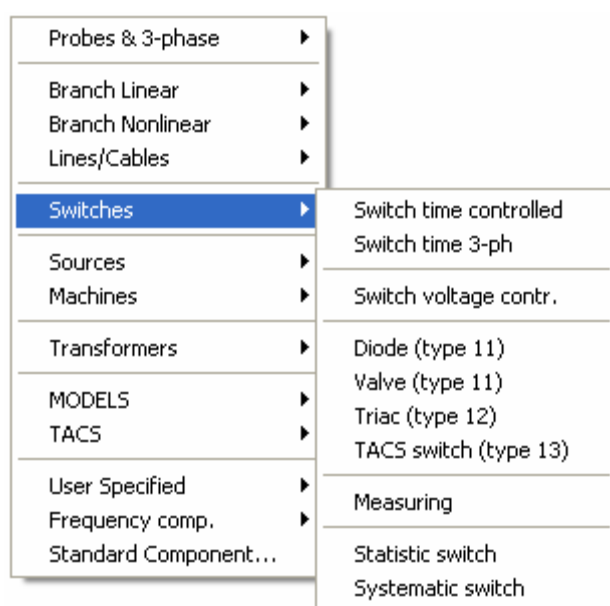


Figura 9.5 – Componentes chaves e interruptores.

Os componentes de *Switches* são:

❖ SWITCHTC – (Switch time Controlled)



Nome: SWITCHTC - interruptor Tempo-controlado.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: T-cl = Tempo de fechamento do interruptor em [segundo].

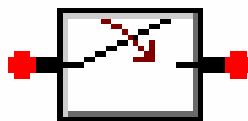
T-op = Tempo da abertura do interruptor em [segundo].

Imar = Corrente marginal limite em [A]. Interruptor abre para o $t > T\text{-op}$ se $|I| < I_{mar}$. Aconselhável usar um Imar não nulo.

Nó: SWF = Nó do começo do interruptor.

SWT = Nó do fim do interruptor.

❖ SWIT_3XT - (*Switch time 3-ph*)



Nome: SWIT_3XT - interruptor tempo-controlado de 3 fases.

Operação independente entre fases.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: T-cl_1 = Tempo de fechamento do interruptor em [segundo], fase 1 (A).

T-op_1 = Tempo da abertura do interruptor em [segundo], fase 1.

T-cl_2 = Tempo de fechamento do interruptor em [segundo], fase 2 (B).

T-op_2 = Tempo da abertura do interruptor em [segundo], fase 2.

T-cl_3 = Tempo de fechamento do interruptor em [segundo], fase 3 (C).

T-op_3 = Tempo da abertura do interruptor em [segundo], fase 3.

Imar = Corrente limite em [A]. Interruptor abre para o $t > T\text{-op}$ se $|I| < I_{mar}$. Aconselhável usar um Imar não nulo.

Nó: IN1 = Nó do começo do interruptor. Nó de 3 fases.

OUT1 = Nó do fim do interruptor. Nó de 3 fases.

❖ SWITCHVC - (*Switch voltage contr.*)

Nome: SWITCHVC -Interruptor controlado por tensão.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: T-cl = Tempo de fechamento do interruptor em [segundo].

T-de = Tempo mínimo em [segundo] que o interruptor deve permanecer fechado. Imar = Corrente limite em [A].

O interruptor abre para $T_{closed} > T_{de}$ se $|I| < I_{mar}$.

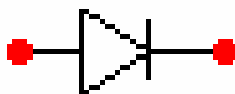
Aconselhável usar um Imar não nulo.

V-fl = Tensão de Flashover em [V].

Interruptor fecha-se para o $t > T_{cl}$ se $|U| > V_{fl}$.

Nó: SWF = Nó do começo do interruptor.

SWT = Nó do fim do interruptor.

❖ DIODO - (*Diode (type 11)*)

Nome: DIODO - diodo. TIPO simples 11 interruptor.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: Vig = Tensão da ignição em [V].

O diodo começa conduzir se tensão através do diodo $U > V_{ig}$.

Ihold = Corrente mínima em [A].

O diodo para de conduzir se a corrente direta do diodo $I < I_{hold}$.

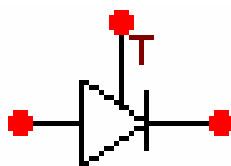
Tdeion = Tempo de ionização em [segundo].

Se a tensão através do diodo $U > V_{ig}$ dentro do tempo Tdeion após uma abertura precedente, o diodo começar conduzir. (possíveis danos).

CLOSED = >0: O diodo fechou-se durante o estado constante.

Nó: ANO = Terminal positivo (+) do diodo.

CAT = Terminal negativo (-) do diodo.

❖ TIRISTOR - (*Valve (type 11)*)

Nome: VÁLVULA - válvula (tiristor).

TIPO Tacs-controlado 11 interruptor.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: Vig = Tensão de ignição em [V].

A válvula começa conduzir se tensão através da válvula $U > Vig$.

Ihold = Corrente mínima em [A]. A válvula para de conduzir se $I < Ihold$, onde I é a corrente direta na válvula.

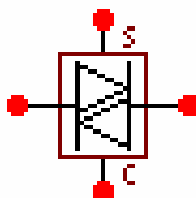
Tdeion = Tempo de ionização em [segundo]. Se tensão através da válvula $U > Vig$ dentro do tempo Tdeion após uma abertura precedente, a válvula começa conduzir. (possíveis danos)

CLOSED = >0: Válvula fechada durante o estado constante.

Nó: ANO = (+) Ânodo da válvula.

CAT = (-) Cátodo da válvula.

GRID = Sinal da gate da TACS. A válvula funciona se o valor de GRID > 0.

❖ TRIAC - (*Triac (type 12)*)

Nome: TRIAC - TRIAC/Sparkgap. TIPO TACS-controlado dobro 12 interruptor.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: Vig = Tensão de ignição em [V].

A válvula começa conduzir se tensão através da válvula $U > Vig$.

Ihold = Corrente mínima em [A].

A válvula para de conduzir se a corrente direta $I < Ihold$.

CLOSED = >0: A válvula fechou-se durante o estado constante.

Nó: SWF = Nó do começo do TRIAC.

SWT = Nó do fim do TRIAC.

SPARK = Sinal controlado da Tacs.

≤ 0 : TRIAC abre se $|i| < Ihold$.

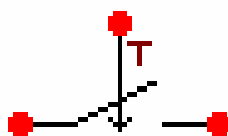
> 0 : O interruptor fecha-se se $\geq Vig$ do $|v|$.

CLAMP = Sinal controlado da Tacs.

= 0: Controlado pela FAÍSCA

< 0 : Comutar abre.

> 0 : O interruptor fecha-se.

❖ TACSSWIT - (*TACS switch (type 13)*)

Nome: TACSSWIT - TIPO TACS-controlado simples 13 interruptor.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: CLOSED =>0: A válvula fechou-se durante o estado constante.

Nó: SWF = Nó do começo do TRIAC.

SWT = Nó do fim do TRIAC.

TACS = Sinal controlado de TACS.

TRIAC abre se $TACS \leq 0$

O interruptor fecha-se se $TACS > 0$

❖ SWMEAS - (*Measuring*)

Nome: SWMEAS - Medindo interruptor.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: OUT = Saída linear

1= corrente.

Nó: SWF = Nó do começo de interruptor.

SWT = Nó do de Fim de interruptor.

❖ SW_STAT - (*Statistic switch*)

Nome: SW_STAT - Interruptor Statistic. Objeto generalizado.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: Manipulação especial.

Distribuição: Selecionar a distribuição uniforme ou gaussiana.

Se IDIST = 1 sob o ATP/Settings/Switch somente uniforme é possível. OPEN/CLOSED : Abrir/próximo. Selecionar se o interruptor fecha ou se abre. Corrente limite disponível para a abertura do interruptor.

T = abertura do interruptor ou tempo de fechamento médio em [segundo.]

Para as chaves escravas isto é o tempo de atraso.

Dev = Desvio padrão em [segundo.]. Para as chaves escravas isto é o desvio de atraso.

IE = o interruptor abre em um momento $T > T_{mean}$ e corrente através do interruptor é menos do que o IE.

Selecionar também o tipo do interruptor:

INDEPENDENT: Dois nós

MESTRE: Dois nós. O “ALVO” perfurou. Somente um é permitido (não testado)

ESCRAVO: Quatro nós. Especificar nomes do nó do interruptor MESTRE.

O ícone e os nós dos objetos adaptam o tipo ajuste do interruptor.

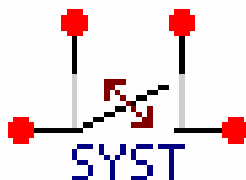
Nó: SW_F = Nó do começo do interruptor.

SW_T = Nó do fim do interruptor.

REF_F = Nó do começo do interruptor MESTRE

REF_T = Nó do fim do interruptor MESTRE

❖ SW_SYST - (*Systematic switch*)



Nome: SW_SYST - Interruptor sistemático. Objeto generalizado.

Cartão: INTERRUPTOR

Dados: Manipulação especial.

Tbeg = Quando ITEST = 1 (ATP|Settings/Switch)

Tmid = Quando ITEST=0 (ATP|Settings/Switch)

Tdelay = Para interruptores escravos.

ITEST=0: T=Tmid.

INCT = tamanho do incremento do tempo dentro [segundo.].

NSTEP = número de incrementos do tempo.

Selecionar também o tipo do interruptor:

INDEPENDENT: Dois nós

MESTRE: Dois nós. O “ALVO” perfurou.

ESCRAVO: Quatro nós. Especificar nomes do nó do interruptor

MESTRE. O ícone e os nós dos objetos adaptam o tipo ajuste do interruptor.

Nó: SW_F = nó do começo do interruptor.

SW_T = nó do fim do interruptor.

REF_F = nó do começo do interruptor MESTRE

REF_T = nó do fim do interruptor MESTRE

9.6 SOURCES

Neste menu estão as fontes utilizadas no ATPDraw. Estas fontes podem ser contínuas ou variantes no tempo. Existem as fontes que servem para simular descargas atmosféricas e fontes que apresentam formas diferentes como as fontes no estilo rampa. A caixa de diálogos destes componentes está representada na figura 9.6.

Quando a simulação requer o uso de componentes TACS a fonte TACS deve ser utilizada. Mesmo com a utilização dessa fonte é necessário que se tenha na tela do ATPDraw um circuito qualquer funcionando que não seja de componentes TACS.

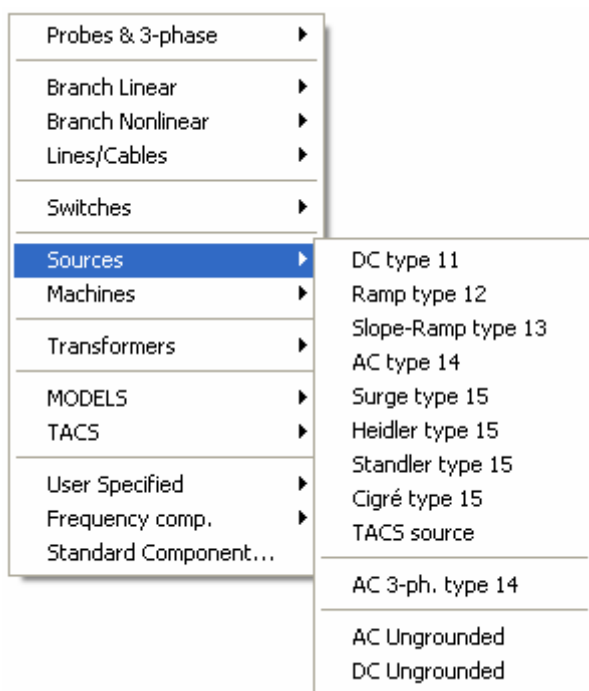
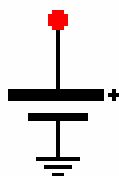


Figura 9.6 – Componentes de fontes.

Os componentes de *Sources* são:

❖ DC1PH – (*DC type 11*)



Nome: DC1PH - Função da etapa - fase monofásica da fonte da C.C.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente

Amp = Amplitude em [A] ou [V] da função.

Tsta = Tempo de início em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo do fim em [segundo]. Valor zero da fonte para $T > T_{sto}$.
 Nó: DC = Positivo nó da fonte. O nó negativo é aterrado.

❖ RAMPA - (*Ramp type 12*)



Nome: RAMPA - rampa entre zero e uma constante.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão

-1: Fonte de corrente.

Amp = Amplitude em [A] ou [V] da função.

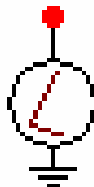
T_o = Duração da ascensão em [segundo].

Tsta = Tempo de início em [segundo]. A amplitude é zero para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo]. A amplitude é zero para $T > T_{sto}$.

Nó: RAMP = Nó positivo da função de rampa. O nó negativo é aterrado.

❖ SLOP_RA (*Slope-Ramp type 13*)



Nome: SLOPE_RA - rampa de 2 inclinações. TIPO 13.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente

Amp = Amplitude em [A] ou [V] da função.

T0 = Duração da ascensão em [segundo].

A1 = Amplitude em [A] ou [V] da função no T1 do tempo.

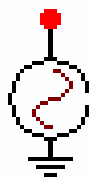
T1 = Valor do tempo em [segundo] que define a segunda inclinação.

Tsta = Tempo de início em [segundo]. A amplitude é zero para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo]. A amplitude é zero para $T > T_{sto}$.

Nó: SR = Nó positivo da função da inclinação-rampa. O nó negativo é aterrado.

❖ AC1PH – (AC type 14)



Nome: AC1PH - Função de estado estacionário (senóide).

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente.

Amp = Amplitude do sinal em [A] ou [V] da função (tensão fase neutro/pico).

f = Frequência em [hertz].

pha = Deslocamento da fase em graus ou segundos dependendo do A1.

A1 = 0: pha nos graus.

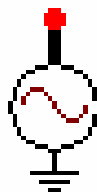
>0: pha nos segundos.

Tsta = Tempo de início em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < Tsta$.

Tsto = Tempo final em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T > Tsto$.

Nó: AC = Nó positivo da função senóide. O nó negativo é aterrado.

❖ AC3PH – (AC 3-ph. type 14)



Nome: AC3PH - Função de estado estacionário (senóide). Trifásica. TIPO 14.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente.

Amp = Amplitude em [A] ou [V] da função.

f = Frequência em [hertz].

pha = Deslocamento de fase em graus ou segundos dependendo do A1.

A1 = 0: pha nos graus.

>0: pha nos segundos.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < Tsta$.

Tsto = Tempo final em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T > Tsto$.

Nó: AC = Nó de 3 fases.

1. nó = fase A, pha do deslocamento de fase.

2. nó = fase B,

deslocamento de fase pha -120 se A1= 0

deslocamento de fase pha-1/(3*f) se A1>0

3. nó = fase C,

deslocamento de fase pha+120 se A1= 0

deslocamento de fase pha+1/(3*f) se o nó A1>0

Nó negativo aterrado.

❖ SURGE – (*Surge type 15*)

Nome: SURGE - função do Surto. Dois exponenciais. TIPO 15.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente.

Amp = Constante dentro [A] ou [V].

Não corresponde exatamente ao valor de pico do surge.

A = Número negativo que especifica a inclinação de queda.

B = Número negativo que especifica a inclinação de subida.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo]. Valor zero da fonte para $T > T_{sto}$.

Nó: SU = Nó positivo da função exponencial do surge. O nó negativo é aterrado.

$$SU = \text{Amp} * (\exp(A*t) - \exp(B*t))$$

❖ HEILDLER (*Heidler type 15*)

Nome: HEIDLER - Função do Surge. Tipo de Heidler. TIPO 15.

Cartão: FONTE

Dados: U/I = 0: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente.

Amp = Número multiplicativo em [A] ou [V] da função.

Não representa o valor de pico do surge.

T_f = Duração dianteira em [segundo].

Intervalo entre $t=0$ à época do pico da função.

tau = Duração do curso em [segundo].

Intervalo entre $t=0$ e o ponto na cauda aonde a amplitude da função caiu a 37% de seu valor de pico.

n = fator que influencia a taxa da ascensão da função.

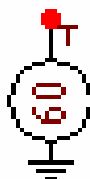
N aumentado aumenta os steepnes máximos.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo]. Valor zero da fonte para $T > T_{sto}$.

Nó: HEI = Nó positivo da função exponencial do surge. O nó negativo é aterrado.

$$= \text{Amp} * (t/T_f)^n / (1 + (t/T_f)^n) * \exp(t/\text{tau})$$

❖ TACSSOUR – (*TACS source*)

Nome: TACSSOUR - Fonte controlada de TACS. TIPO 60.

Cartão: FONTE

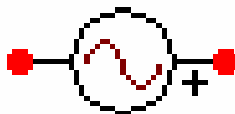
Dados: $U/I = 0$: Fonte de tensão.

-1: Fonte de corrente.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{START}$.

Tsto = Tempo final em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T > T_{STOP}$.

Nó: TACS = Nó positivo da fonte de TACS. Variável de TACS.
O nó negativo é aterrado.

❖ AC1PHUG – (*AC Ungrounded*)

Nome: AC1PHUG - Fonte infundada da tensão AC. TIPO 14+18.

Cartão: FONTE

Dados: Amp = o valor de pico em [V] da função.

f = Frequência em [hertz].

pha = Deslocamento da fase em graus ou segundos dependendo do A1.

A1= 0: pha nos graus.

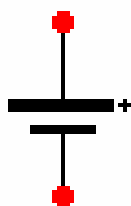
>0: pha nos segundos.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T > T_{sto}$.

Nó: AC + = Nó positivo da função senóide.

AC - = Nó negativo da função senóide.

❖ DC1PHUG – (*DC Ungrounded*)

Nome: DC1PHUG - Fonte infundada da tensão de C.C. TIPO 11+18.

Cartão: FONTE

Dados: Amp = Valor de pico em [V] da função.

Tsta = Tempo inicial em [segundo.]. Valor zero da fonte para $T < T_{sta}$.

Tsto = Tempo final em [segundo.]. Valor da fonte para $T > T_{sto}$.

Nó: DC + = Nó positivo da função.

DC - = Nó negativo da função da etapa.

9.7 TRANSFORMERS

Os transformadores no ATPDraw são obtidos como mostra a figura 9.7. Podem ser ideais ou não, monofásicos ou trifásicos além de apresentarem várias formas de ligação dos seus enrolamentos.

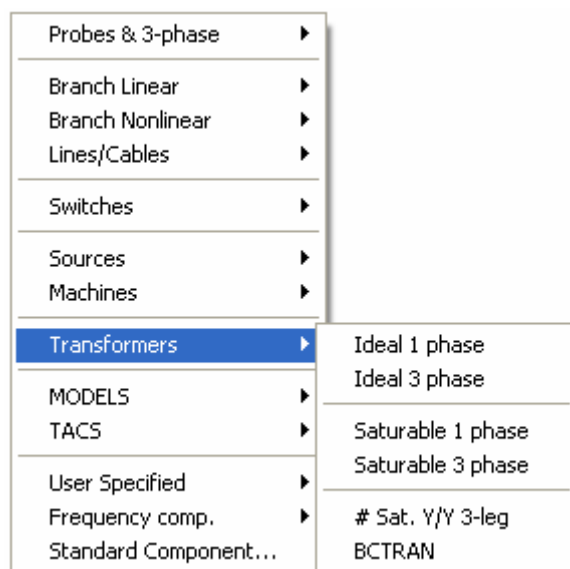
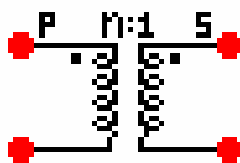


Figura 9.7 – Componentes de transformadores.

Os principais componentes de *Trafos* são:

❖ TRAFO_I – (*Ideal 1 phase*)

Nome: TRAFO_I - Transformador ideal. TIPO 18.

Cartão: FONTE

Dados: n = Relação de transformação.

A tensão primária dividida pela tensão secundária.

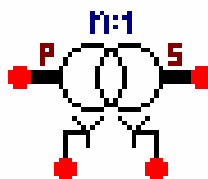
Relação entre enrolamentos secundários e primários.

Nó: P1 = Nó primário da fase 1.

P2 = Nó primário da fase 2.

S1 = Nó secundário da fase 1

S2 = Nó secundário da fase 2.

❖ TRAFO_I3 – (*Ideal 3 phase*)

Nome: TRAFO_I3 - Transformador ideal de 3 fases. TIPO 18.

Cartão: FONTE

Dados: n = Relação do transformador.

A tensão primária dividida pela tensão secundária.

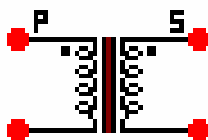
Relação entre enrolamentos secundários e primários.

Nó: P = Nó primário

PN = Nó neutro primário.

S= Nó secundário.

SN = Nó neutro secundário.

❖ TRAFO_S – (*Saturable 1 phase*)

Nome: TRAFO_S - transformador saturable. Fase monofásica.

Cartão: FILIAL

Dados: I_o = Corrente em [A] através do ramo magnetizante (MB) no estado constante.

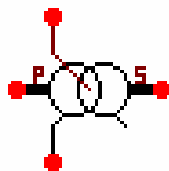
F_o = Fluxo em [Wb-voltas] no MB no estado constante.

O par I_o , F_o define a indutância no MB no estado constante.
 R_{mag} = Resistência de magnetização no ramo magnetizante em [ohm].
 R_p = Resistência no enrolamento primário em [ohm].
 L_p = Indutância no enrolamento primário em [mH] se $X_{opt.} = 0$
 Indutância no enrolamento primário em [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$.
 V_{rp} = Tensão [quilovolt] no enrolamento primário.
 R_s = Resistência no enrolamento secundário em [ohm].
 L_s = Indutância no enrolamento secundário em [mH] se $X_{opt.} = 0$
 Indutância no enrolamento secundário dentro [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$. V_{rs} = Tensão [quilovolt] no enrolamento secundário.
 RMS = Bandeira característica não-linear.
 0: A característica da corrente/fluxo deve ser incorporada.
 1: A característica de I_{rms}/U_{rms} deve ser incorporada.
 ATPDRAW executa um cálculo de SATURATION.

Nó: P1 = Lado primário. Fase 1
 P2 = Lado primário. Fase 2
 S1 = Lado secundário. Fase 1
 S2 = Lado secundário. Fase 2

Pontos: É possível incorporar 10 pontos na característica atual/fluxo. O menu requerido é executado imediatamente após o menu da entrada. Os pontos devem ser incorporados como valores cada vez maiores. O ponto (0.0) não é permitido (adicionado internamente no ATP).

❖ GENTRAFO – (*Saturable3 phase*)



Nome: GENTRAFO - Transformador saturable geral. Trifásico. 2 ou 3 enrolamentos.
 Cartão: FILIAL

Dados: I_o = Corrente [A] através do ramo magnetizante (MB) no estado constante.

F_o = Fluxo [Wb-voltas] no MB no estado constante.

O par I_o , F_o define a indutância no MB no estado constante.

R_m = Resistência no ramo magnetizante em [ohm]. Núcleo de 5 pés ou escudo de 3 pés.

R_0 = Relutância da sequência zero do trajeto de retorno do fluxo para o núcleo - tipo de 3 pés.

R_p = Resistência no enrolamento primário em [ohm].

L_p = Indutância no enrolamento primário em [mH] se $X_{opt.} = 0$

 Indutância no enrolamento preliminar dentro [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$. V_{rp} = Tensão [quilovolt] no enrolamento primário.

R_s = Resistência no enrolamento secundário em [ohm].

L_s = Indutância no enrolamento secundário em [mH] se $X_{opt.} = 0$

 Indutância no enrolamento secundário dentro [ohm] se freq de $X_{opt.} = \text{power}$. V_{rs} = Tensão [quilovolt] no enrolamento secundário.

R_t = Resistência no enrolamento terciário em [ohm].

Lt = Indutância no enrolamento terciário em [mH] se Xopt.=0
 Indutância no enrolamento terciário em [ohm] se freq de Xopt.=power.
 Vrt = Tensão [quilovolt] no enrolamento terciário.
 RMS = Não verificação: A característica da corrente/fluxo deve ser incorporada.
 Verificado: A característica de Irms/Urms deve ser incorporada.
 ATPDRAW executa um cálculo do SATURATION.
 3-leg core (um núcleo de 3 pés) = verificou: o tipo transformador do núcleo de 3
 pés supôs. O TRANSFORMADOR TRÊS PHASE
 Não verificação: o tipo do escudo de 5 pés ou de 3 pés supôs.
 TRANSFORMADOR.

3 wind = Giram sobre o enrolamento terciário.

A saída especificou a saída do ramo de magnetização (power&energy não suportado).

Nó: P = Lado primário. nó de 3 fases.

S = Lado secundário. nó de 3 fases.

PN = Lado preliminar do ponto neutro.

SN = Lado secundário do ponto neutro.

T = Lado terciário. nó de 3 fases.

TN = Lado terciário do ponto neutro.

Sat = Nó interno, conexão do circuito da magnetização com a saturação.

O acoplamento é especificado para cada enrolamento, com três opções:

Y, Delta-conduz e Delta-retarda-se. As letras A, B e C denotam a fase e os números romanos I, II e III denotam o pé do transformador (ver o comentário abaixo).

Pontos: É possível incorporar 9 pontos na característica atual/fluxo. O menu requerido é executado imediatamente após o menu da entrada. Os pontos devem ser incorporados como valores cada vez mais maiores. O ponto (0.0) não é permitido (adicionado internamente no ATP).

Yd1: Y (primário) + Dlag (secundário)

Yd5: Y180 (primário) + Dlead (secundário)

Yd7: Y180 (primário) + Dlag (secundário)

Yd11: Y (primário) + Dlead (secundário)

Yy0: Y (primário) + Y (secundário)

Yy6: Y (primário) + Y180 (secundário)

Dy1: Dlead (primário) + y (secundário)

Dy5: Dlag (primário) + y180 (secundário)

Dy7: Dlead (primário) + y180 (secundário)

Dy11: Dlag (primário) + y (secundário)

Y/zig-zag, trafos de D/zig-zag são fora do espaço no presente.

9.8 TACS

TACS é um programa de análise transitória de sistemas de controle. A rotina TACS foi desenvolvida para simular interações dinâmicas entre a rede elétrica e os sistemas de controle de um determinado equipamento. Os sistemas de controle podem ser descritos por diagramas de blocos no domínio da frequência com configurações arbitrárias dos elementos disponíveis. É permitida a representação de funções de transferência, somadores, multiplicadores, limitadores estáticos e dinâmicos, funções

algébricas e lógicas, fontes de sinal, chaves controladas, funções definidas pelo usuário, detectores de sinais, etc. O menu *TACS* do acesso à maioria dos componentes TACS.

O menu TACS se divide em vários sub-menu como os de fontes, função de transferência, medição, condição inicial, rotina Fortran.

A figura 9.8 mostra a caixa de diálogos da TACS.

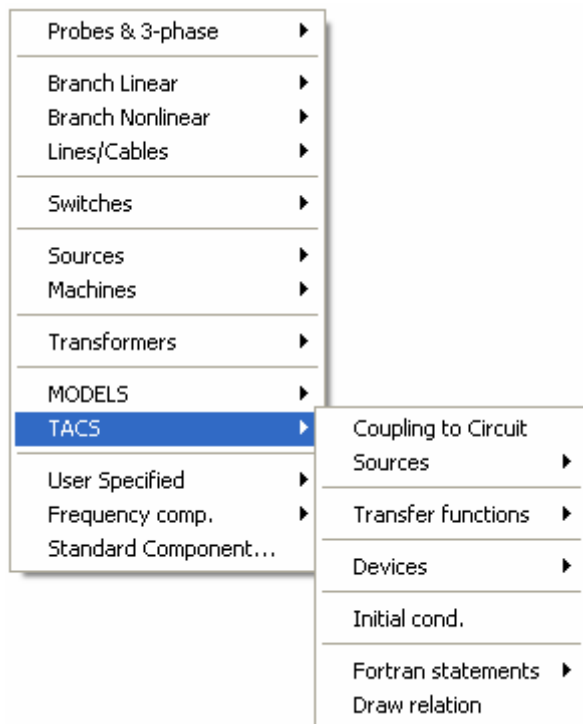


Figura 9.8 – Componentes TACS.

9.8.1 TACS - Coupling to Circuit

❖ EMPT_OUT



Nome: EMTP_OUT, ponta de prova para passar a informação de EMTP a TACS.

Cartão: TACS

Dados: Type = 90: Tensão do nó

91: Comutar a corrente

92: Variáveis internas

93: Comutar o status

O interruptor fechou-se: Probe =1

Interruptor aberto: Probe = 0

T_sta = Tempo inicial da amostragem.

T_sto = Tempo final da amostragem.

Nó: Probe = Sinal passado a TACS.

9.8.2 TACS - Sources

❖ DC_01 – (*DC - 11*)



Nome: DC_01, fonte do sinal da etapa

Cartão: TACS

Dados: Ampl = Amplitude da fonte

T_sta = Tempo inicial da fonte [s]

Nó: SOURCE = Sinal de saída da fonte

❖ DC_02 – (*AC - 14*)



Nome: AC_02, fonte do sinal senoidal.

Cartão: TACS

Dados: Ampl = Amplitude da fonte

Freq = Frequência da fonte [hertz]

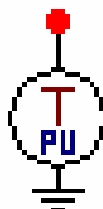
Fi = Ângulo da fonte [grau.].

T_sta = Tempo de começo da fonte [s]

T_sto = Tempo final da fonte [s]

Nó: SOURCE = Sinal de saída da fonte: $= \text{Ampl} * \cos(2 * \pi * \text{freq.} * t + F_i)$.

❖ PULSE_03 – (*Pulse - 23*)



Nome: PULSE_03, fonte do sinal do trem de pulso.

Cartão: TACS

Dados: Ampl = Amplitude da fonte

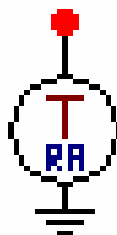
T = Período da duração do trem de pulso

Width = Largura do trem de pulso [s]

T_sta = Começo do trem de pulso [s]

T_sto = Termino do trem de pulso [s]
 Nó: SOURCE = Sinal de saída da fonte

❖ RAMP_04 – (*Ramp - 24*)



Nome: RAMP_04, saw-tooth da fonte do sinal do trem.

Cartão: TACS

Dados: Ampl = Amplitude da fonte

T = Período de duração do trem de pulso [s]

T_sta = Tempo de início da fonte [s]

T_sto = Tempo final da fonte [s]

Nó: SOURCE = Sinal de saída da fonte

9.8.3 TACS – Initial Cond.

❖ INIT_T



Nome: INIT_T - A condição inicial de TACS objeto (tipo 77)

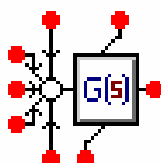
Cartão: TACS

Dados: Init: Valor inicial de I_node

Nó: I_node: Variável de TACS

9.8.4 TACS – Transfer Functions

❖ TRANSF – (*General*)



Nome: TRANSF, função geral G de transferência de TACS.

Cartão: TACS

Dados: Gain = Fator de amplificação

N0 = Numerador de ordem zero
 N1 = Numerador de primeira ordem
 N2 = Numerador de segunda ordem
 N3 = Numerador de terceira ordem
 N4 = Numerador de quarta ordem
 N5 = Numerador de quinta ordem
 N6 = Numerador de sexta ordem
 N7 = Numerador de sétima ordem
 D0 = Denominador de ordem zero
 D1 = Denominador de primeira ordem
 D2 = Denominador de segunda ordem
 D3 = Denominador de terceira ordem
 D4 = Denominador de quarta ordem
 D5 = Denominador de quinta ordem
 D6 = Denominador de sexta ordem
 D7 = Denominador de sétima ordem
 ATPDRAW determina a ordem da função.

Fix_Lo = Limite mais baixo fixo

Fix_Hi = Limite mais elevado fixo

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = Gain*sum

(entradas)*(N0+N1*s+N2*s^2...)/(D0+D1*s+D2*s^2...)

Limitado dinâmico.

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

Name_L = Nome do limite baixo

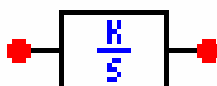
Name_H = Nome do limite elevado

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1 = positivo, 2 = negativo

3 = Desconectou (não necessitado).

❖ INTEGRAL – (*Integral*)



Nome: INTEGRAL, função simplificada de transferência.

Cartão: TACS

Dados: K = Constante de proporcionalidade, nenhuma unidade.

Nó: OUT = A saída é igual à integral da entrada multiplicada por K.

IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

Este componente é uma simplificação da função mais geral de transferência em TRANSF chamado TACS. O jogo do tipo do valor na janela da entrada do nó não é usado.

❖ DERIV – (*Derivative*)

Nome: DERIV, função derivativa simples de transferência.

Cartão: TACS

Dados: K = Constante de proporcionalidade, nenhuma unidade.

Nó: OUT = A saída é igual à derivada da entrada multiplicada por K.

IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

Este componente é uma simplificação da função mais geral de transferência em TRANSF chamado TACS. O jogo do tipo do valor na janela da entrada do nó não é usado.

❖ LO_PASS – (*Low pass*)

Nome: LO_PASS, função simplificada de transferência, filtro baixo da passagem da primeira ordem.

Cartão: TACS

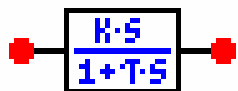
Dados: K = Constante de proporcionalidade, nenhuma unidade.

tau = tempo constante em segundos.

Nó: UT = A saída é igual a k (1+tau*s).

IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

Este componente é uma simplificação da função mais geral de transferência em TRANSF chamado TACS. O jogo do tipo do valor na janela da entrada do nó não é usado.

❖ HI_PASS – (*High pass*)

Nome: HI_PASS, função simplificada de transferência, filtro elevado da passagem da primeira ordem.

Cartão: TACS

Dados: K = Constante de proporcionalidade, nenhuma unidade.

tau = Tempo constante em segundos.

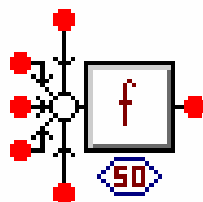
Nó: UT = A saída é igual a K*s/(1+tau*s).

IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

Este componente é uma simplificação da função mais geral de transferência em TRANSF chamado TACS. O jogo do tipo do valor na janela da entrada do nó não é usado.

9.8.5 TACS – Devices

❖ DEVICE50 – *Freq sensor - 50*)



Nome: DEVICE50, sensor da frequência.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Init_F = Frequência inicial (primeiros dois cruzamentos zero).

max_ch = Mudança aceitável máxima em frequência [%]:

Nó: OUT = Frequência medida do sinal de entrada [hertz].

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

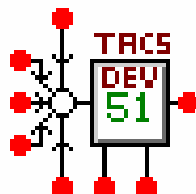
IN5 = Sinal de entrada

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1 = positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE51 – (*Relay switch - 51*)



Nome : DEVICE51, relé operado como chave.

Cartão: TACS

Data : Type = 88: Para dentro

98: Saída.

99: Entrada.

Gain = Amplificação do sinal de entrada

t_hold = Valor fixado de treshold

C 0/1 = 0/2: normalmente aberto, 1: normalmente fechado.

-2: normalmente aberto, mas fechado no estado constante

-1: normalmente fechado, fechado no estado constante.

Nó: OUT = Sinal de saída

Chave é fechada: $OUT = Gain * \sum(inputs)$

Chave é aberta: $OUT = 0$

Mudar no status do interruptor quando:

Normalmente aberto e $|D_sign| \geq T_hold + t_hold$

Normalmente fechado e de $|D_sign| < de T_hold + do t_hold$

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

T_hold = Nome do treshold

D_sign = Sinal dirigido

D_sign = Sinal dirigido

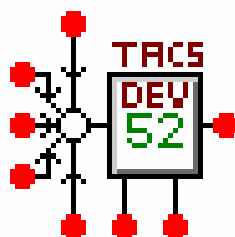
O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída,

1 = positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

DEVICE52 – (*Level switch - 52*)



Nome: DEVICE52, interruptor nível-provocado.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Gain = Amplificação dos sinais de entrada

T_hold = Valor de treshold fixado

C 0/1 = 0/2: normalmente aberto, 1: normalmente fechado.

-2: normalmente aberto, mas fechado no estado constante.

-1: normalmente fechado, mas fechado no estado constante.

Nó: OUT = Sinal de saída

Chave é fechada: $OUT = Gain * \sum(entradas)$

Chave está aberta: $OUT = 0$

Mudar no status do interruptor quando:

Normalmente aberto e $D_sign \geq T_hold + t_hold$

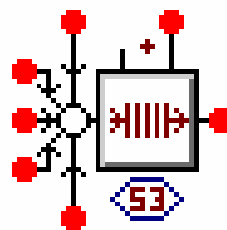
Normalmente fechado e de $D_sign < de T_hold + do t_hold$

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada
 IN3 = Sinal de entrada
 IN4 = Sinal de entrada
 IN5 = Sinal de entrada
 T_hold = Nome do threshold
 D_sign = Sinal dirigido

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.
 0 = saída,
 1 = positivo, negativo 2
 3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE53 – (*Trans delay - 53*)



Nome: DEVICE53, transporte atrasa.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

delay = O valor fixo de atraso [s].

Max_T = O valor total máximo de atrasa [s].

(valor da história da C.C. não suportado)

Nó: OUT = Sinal de saída
 $OUT(t) = \text{sum}(t) \text{ (entradas) } (t - \text{atras} - \text{Atrasa})$
 e $\leq \text{Max_T}$ de delay + Delay.

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

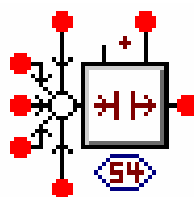
Delay = Nome de atraso do sinal

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída,

1 = positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE54 – (*Pulse delay - 54*)

Nome: DEVICE54, pulso atrasa.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

T_{on} = Se o pulso da entrada começar antes de $t = 0$ então T_{on} especificado < 0 [s].

delay = O valor fixo de atraso [s]

T_{off} = Se o sinal de entrada terminar antes de $t = 0$ especificar então $T_{off} < 0$ [s].

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = sum (t) (entradas) (t-atras-Atrasa)

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

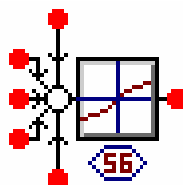
IN5 = Sinal de entrada

Delay = O nome de atraso do sinal

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1 = positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE56 – (*User def nonlin - 56*)

Nome: DEVICE56, ponto de passagem por zero.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Gain = A soma de todas as entradas multiplicada pelo ganho

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = $f(t)$ (soma (entradas))

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

Característica não-linear (x, y) como a entrada e os pontos da saída.

Ambas as polaridades de valores da entrada são permitidas

Interpolação linear entre pontos. Máximo 17 pontos.

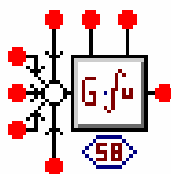
❖ DEVICE57 – (*Multi switch - 57*)



DEVICE57

Múltiplo aberto/interruptor próximo. O interruptor está aberto durante o estado constante. Especificar os tempos para aberto e fechá-los nos segundos. Terminar a lista com o número 9999.

❖ DEVICE58 – (*Cont integ - 58*)



Nome: DEVICE58, integrador simples.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Gain = Fator de amplificação dos sinais de entrada.

Nó: OUT = Sinal de saída

$OUT(s) = Gain/(D0+D1*s) * \text{sum}(\text{inputs})(s)$

s é um variável da transformada de laplace

Se Contr <= 0 então OUT(t) = valor que reseta o sinal

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

Contr. = Nome do sinal de controle

Reset = Nome do sinal de reajuste.

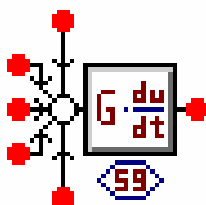
O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

Se Contr <= 0 então OUT(t) = valor que reseta o sinal

❖ DEVICE59 – (*Simple deriv - 59*)



Nome: DEVICE59, derivative simples.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Gain = Fator de amplificação dos sinais de entrada.

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = Gain* (soma (entrada) (t) - soma (entrada (t-descolamento))) /dt.

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

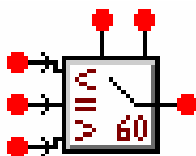
IN5 = Sinal de entrada

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE60 – (*Input IF - 60*)



Nome: DEVICE60, comparador de entradas.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Const = Constante A.

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = IN1 se Sign_1 < Sign_2 + Const.

OUT = IN2 se Sign_1 = Sign_2 + Const.

OUT = IN3 se Sign_1 > Sign_2 + Const.

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

Sign_1 = Sinal de teste 1

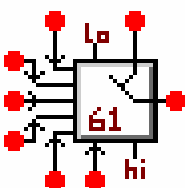
Sign_2 = Sinal de teste 2

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE61 – (*Signal select - 61*)



Nome: DEVICE61, seletor de sinal.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Low = Saída baixa

Hi = Saída alta

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = baixo se seletor < 0.5

OUT = IN1 se seletor = 1 +/- 0.5

OUT = IN2 se seletor = 2 +/- 0.5

OUT = IN3 se seletor = 3 +/- 0.5

OUT = IN4 se seletor = 4 +/- 0.5

OUT = IN5 se seletor = 5 +/- 0.5

OUT = IN6 se seletor = 6 +/- 0.5

OUT = Hi se seletor >= 6.5

IN1 = Sinal de entrada.

IN2 = Sinal de entrada.

IN3 = Sinal de entrada.

IN4 = Sinal de entrada.

IN5 = Sinal de entrada.

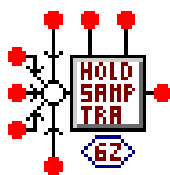
IN6 = Sinal de entrada.

Select = Sinal do seletor

O sinal da entrada 1-5 é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE62 – (*Sample_track* - 62)

Nome: DEVICE62, amostra e trilha.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = soma (entrada) se trilha > 0

OUT = soma (entrada) na amostra do tempo > 0 se <= 0 da trilha.

OUT (t) = OUT (t-descolamento) se a amostra e segue ambos é o <= 0.

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

Track = Sinal de trilha.

A saída seguir a entrada quando trilha > 0.

Sample = Sinal da amostra.

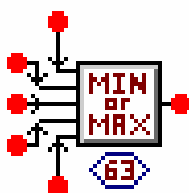
Amostra quando o sinal for de <=0 a >0.

O sinal deve ser restaurado a <=0 antes de um novo sinal de amostragem.

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE63 – (*Inst min/Max* - 63)

Nome: DEVICE63, mínimo instantâneo/máximo.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

B = mínimo/máximo.

B = - 1: OUT = min (entrada)

B = +1: OUT = max (entrada)

Nó: OUT = Sinal de saída

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

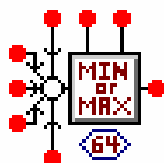
IN5 = Sinal de entrada

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE64 – (*Min/max track - 64*)



Nome: DEVICE64, mínimo/seguir máximo.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

B = mínimo/máximo.

Se a restauração e prender ambos os ≤ 0 então:

B = -1: OUT = min (entradas)

B = +1: OUT = max (entradas)

Reset = Valor da restauração

Nó: OUT = Sinal de saída

Se Reset > 0 então OUT = reset

então

se Hold > 0 então OUT (t) = (t-descolamento)

então

B = -1: OUT = min (entradas)

B = +1: OUT = max (entradas)

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

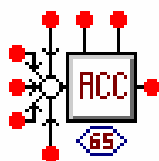
Reset = Sinal de restauração

Hold = Sinal de prensão

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE65 – (*Acc count* – 65)

Nome: DEVICE65, acumulador e contador.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

reset = Valor de restauração.

Nó: OUT = Sinal de saída

Se Reset > 0 então OUT = reset

Então

Se Hold > 0 então $OUT(t) = OUT(t-dt) + \text{soma}(\text{entradas})$

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

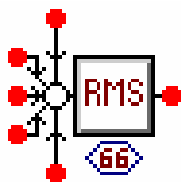
Reset = Sinal de restauração

Hold = Sinal de apreensão

O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

❖ DEVICE65 – (*Rms meter* - 66)

Nome: DEVICE66, valor do rms.

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

99: Entrada

Freq = Frequência [hertz].

O número das pilhas requeridas é $1 + 1$ (Freq. * descolamento).

Nó: OUT = Sinal de saída

OUT = rms (soma ((entradas)))

IN1 = Sinal de entrada

IN2 = Sinal de entrada

IN3 = Sinal de entrada

IN4 = Sinal de entrada

IN5 = Sinal de entrada

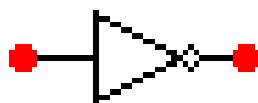
O sinal da entrada é ajustado na janela da entrada do nó.

0 = saída, 1= positivo, negativo 2

3 = desconectado (não necessitado).

9.8.6 TACS – Fortran Statements - Logic

❖ NÃO - (*NOT*)



Nome: NÃO, operador da lógica. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

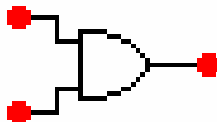
Nó: IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = NÃO em =1 se IN estiver em zero

0 de outra maneira

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ E – (*AND*)



Nome: E, operador lógico. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

Nó: IN_1 = Sinal de entrada

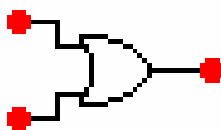
IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1 E IN_2 = 1 se IN_1 e IN_2 forem diferentes de zero

= 0 de outra maneira.

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ OU – (OR)



Nome: OU, operador lógico. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

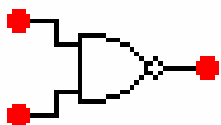
Nó: IN_1 = Sinal de entrada

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1 OU IN_2 = 0 se IN_1 e IN_2 forem iguais a zero.
= 1 de outra maneira.

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ NÃO E – (NAND)



Nome: NAND, operador lógico. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

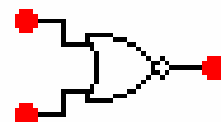
Nó: IN_1 = Sinal de entrada

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1 NAND IN_2. = 1 se IN_1 ou IN_2 forem zero
0 de outra maneira

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ NÃO OU – (NOR)



Nome: NEM, operador lógico. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

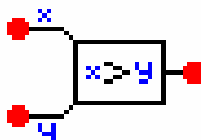
Nó: IN_1 = Sinal de entrada.

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1 NEM IN_2 = 1 se IN_1 e IN_2 forem iguais a zero.
= 0 de outra maneira.

]Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ GT – (>)



Nome: GT, operador da lógica. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

Nó: x = Sinal de entrada

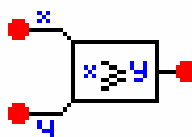
y = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

$x > y = 1$ se $x > y$

0 de outra maneira

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ GE – (>=)



Nome: GE, operador da lógica. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

Nó: x = Sinal de entrada

y = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

$x \geq y = 1$ se $\geq y$

0 de outra maneira

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor do tipo ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

9.8.7 TACS – Fortran

❖ FORTRAN



Nome: FORTRAN1

Cartão: TACS

Dados: Type = 88: Para dentro

98: Saída

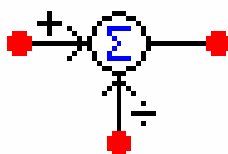
99: Entrada

OUT = a expressão do FORTRAN que começa na coluna 12.

Nó: OUT = Nome da saída do bloco do FORTRAN. Nome escrito na coluna 3-8.

9.8.8 TACS – Fortran - Math

❖ DIFF2 – $(x - y)$



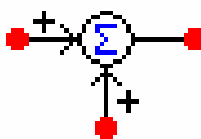
Nome: DIFF2, subtração de dois sinais de entrada. Indicação simplificada do FORTRAN. Cartão: TACS

Nó: IN_POS = Sinal de entrada

IN_NEG = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_POS - IN_NEG

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ SUM2 - $(x + y)$ 

Nome: SUM2, adição. Indicação simplificada do FORTRAN.

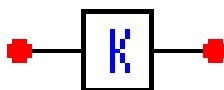
Cartão: TACS

Nó: IN_1 = Sinal de entrada

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1 + IN_2.

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ MULTK - $(x * K)$ 

Nome: MULTK, multiplicação. Indicação simplificada do FORTRAN.

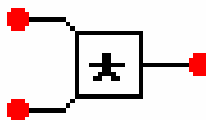
Cartão: TACS

Dados: K = Constante

Nó: IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = K * IN.

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ MULT2 - $(x * y)$ 

Nome: MULT2, multiplicação. Indicação simplificada do FORTRAN.

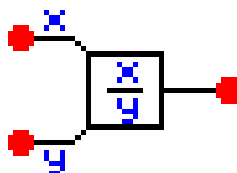
Cartão: TACS

Nó: IN_1 = Sinal de entrada.

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito. OUT = IN_1 * IN_2

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ DIV2 – (x / y)



Nome: DIV2, relação entre dois sinais de entrada. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

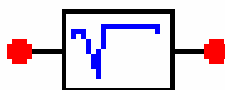
Nó: IN_1 = Sinal de entrada.

IN_2 = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = IN_1/IN_2

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ SQRT – (\sqrt{x})



Nome: SQRT, raiz quadrada. Indicação simplificada do FORTRAN.

Cartão: TACS

Nó: IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = SQRT (IN).

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ ABS – $(|x|)$



Nome: ABS, valor absoluto. Indicação simplificada do FORTRAN.

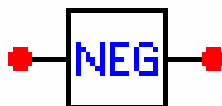
Cartão: TACS

Nó: IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.

OUT = ABS (IN).

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

❖ NEG – $(-x)$



Nome: NEG, trocador de sinal. Indicação simplificada do FORTRAN.

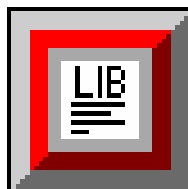
Cartão: TACS

Nó: IN = Sinal de entrada. Recordar a ponta de prova de TACS conectar ao circuito.
OUT = - IN

Este componente é uma simplificação do componente mais geral do Fortran em FORTRAN1 chamado TACS. O valor típico de ajuste na janela da entrada do nó não é usado.

9.9 USER SPECIFIED

❖ LIB, \$INCLUDE



Nome: LIB, \$INCLUDE somente.

Cartão: OBJETOS ESPECIFICADOS USUÁRIO

O objeto tem os parâmetros e os nós zero. Uma única indicação de \$INCLUDE é escrita. O usuário deve manter-se a par de nomes internos do nó na lima incluir.

❖ LIBREF_1



Nome: LIBREF_1, referência monofásica, somente.

Cartão: OBJETOS ESPECIFICADOS USUÁRIO

O objeto tem os parâmetros zero e os dois nós. O objeto não é representado no arquivo de dados do ATP, mas em saques somente como visualizador de conexão. Nós são da fase monofásica.

❖ LIBREF_3



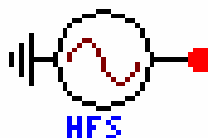
Nome: LIBREF_3, referência trifásica, somente.

Cartão: OBJETOS ESPECIFICADOS USUÁRIO

O objeto tem os parâmetros zero e os dois nós. O objeto não é representado no arquivo de dados do ATP, mas em saques somente como o visualizador de conexão. Os nós são três nós da fase.

9.10 FREQUENCY COMP.

❖ HFS_Sour – (*HFS Source*)



Nome: HFS_Sour - fonte Harmônica da varredura da frequência. TIPO 14.

Cartão: FONTE

Dados: Selecionar diretamente a fonte de corrente ou da tensão com as teclas de rádio.

F/n = A frequência real ou o número harmônico.

F/n é tratado como a frequência real se a frequência de F/n \geq fonte se ajustar em ATP|Settings/Simulation, se não F/n for o múltiplo da mesma frequência da fonte.

Ampl = Amplitude do harmônico de F/n' em [A] ou [V].

Angl = Ângulo do harmônico de F/n' em [grau].

Nó: OUT = Nó positivo da fonte de HFS.

O nó negativo é aterrado.

O uso desta fonte deve ser combinado com a seleção do Harmônico (HFS) sob ATP|Settings/Simulation.

10 BIBLIOGRAFIA

- FILHO, J. A, PERREIRA, M. P. (1994). “ATP Alternative Transients Program”. CLAUE – Comitê Latino Americano de Usuários do EMTP/ATP.
- JUNIOR, E. R. (2006). “Modelagem de um Compensador Estático de Reativo (CER) para Simulação de Transitórios Eletromagnéticos no Programa EMTP/ATP”. UFMT. Brasil.
- DOMMEL, H. W. (19894). “Electro Magnetic Transients Program – Rule Book”, Oregon.
- BERNARDES, A. P. (2006). “Esquema Completo de Proteção Diferencial de Transformadores para Testes em um Relé Digital”. EESC. USP. Brasil.
- BATISTA, D.A. R. (2006). “Análise do Desempenho de Algoritmos para a Localização de Falhas em Linhas de Transmissão”. DEEC. UFPA. Brasil.
- PERREIRA, M. P, LIMA, A. C. S, HEVIA, O. (2000). “Cálculo de Parâmetros de Linhas de Transmissão”. Furnas Centrais Elétricas. RJ. Brasil.
- LUZ, G. S. (2005). “Introdução ao Uso do Programa ATP/EMTP – 1ª Parte”.
- SEGATTO, E. C, SILVA, M. “Noções Básicas para uso do Software ATP (Alternative Transients Program) e Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência”. EESC. USP. Brasil.
- FURST, G. (1998). “Análise Armónico com el ATP – Harmonic Frequency Scan”. Vancouver BC Canadá.
- TAVARES, M. C. D, CAMPOS, P. G, PRADO, P. (2003) “Guia Resumido do ATP – Alternative Transients Program”. FEEC. DSCE. UNICAMP. Brasil.
- HEVIA, O. P. “Fuentes de Armónicas em el ATP”. CAUE. GISEP. Argentina. E-mail: heviaop@ssdfe.com.ar
- HEVIA, O. P. “Fuentes Impulso em el ATP”. CAUE. Argentina. E-mail: heviaop@ssdfe.com.ar
- LASTRA, R. B. “ATP para Inexpertos” IITREE. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- HEVIA, O. P. “Alternative Transients Program – Comprison of Transmission Line Models”. Argentina. E-mail: heviaop@ssdfe.com.ar
- BICHELS, A. “Curvas de Saturação de Transformadores”. COPEL. Brasil. E-mail: bichels@mail.copel.br