

Circuitos Elétricos II – 2º semestre de 2015 - Trabalho

Prof. Antônio Carlos Moreirão de Queiroz

Fazer um programa que analise circuitos no tempo para estudar os métodos implícitos de Adams-Moulton, e que aceite, no mínimo, os elementos:

- Fontes de corrente e de tensão independentes (DC, pulso, senoide).
- capacitores e indutores lineares invariantes no tempo.
- Resistores, possivelmente lineares por partes.
- As quatro fontes controladas, lineares.
- Chaves controladas a tensão.
- Amplificadores operacionais ideais, de 4 terminais.

O programa deve ler um “netlist”, e realizar uma análise transiente não linear, com parâmetros dados por uma linha de comando no “netlist”. O resultado deverá ser uma tabela em arquivo, tendo o tempo como primeira coluna, e todas as tensões nodais e correntes nas fontes de tensão nas outras colunas, plotável com outro programa. A primeira linha da tabela deve listar os nomes de todas as variáveis calculadas, com correntes citadas como “j” seguidas do nome do elemento onde estão. Ex: t 1 2 3 4 5 6 jH1 jF2.

O método de integração numérica a usar é o de Adams-Moulton, com ordem especificada entre 1 e 4. Inicialmente deverá ser feita uma análise usando o método de ordem 1 e um passo muito menor que o normal, para completar a solução em $t = 0$ a partir das condições iniciais sobre indutores e capacitores, e dos valores em $t = 0$ das fontes independentes. A partir daí o método de Adams-Moulton é usado. Valores de variáveis em $t < 0$ requeridos pelo método podem ser consideradas iguais aos valores em $t = 0$.

Os métodos de Adams-Moulton são implícitos, aproximando as funções a integrar como polinômios. Os dois primeiros são idênticos ao “backward” de Euler e o dos trapézios. Os modelos são como os nestes métodos.

$$y(t_0 + \Delta t) = y(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} f(t) dt$$

$$1) \quad y(t_0 + \Delta t) \approx y(t_0) + \Delta t f(t_0 + \Delta t)$$

$$2) \quad y(t_0 + \Delta t) \approx y(t_0) + \Delta t \left(\frac{1}{2} f(t_0) + \frac{1}{2} f(t_0 + \Delta t) \right)$$

$$3) \quad y(t_0 + \Delta t) \approx y(t_0) + \Delta t \left(-\frac{1}{12} f(t_0 - \Delta t) + \frac{8}{12} f(t_0) + \frac{5}{12} f(t_0 + \Delta t) \right)$$

$$4) \quad y(t_0 + \Delta t) \approx y(t_0) + \Delta t \left(\frac{1}{24} f(t_0 - 2\Delta t) - \frac{5}{24} f(t_0 - \Delta t) + \frac{19}{24} f(t_0) + \frac{3}{8} f(t_0 + \Delta t) \right)$$

A análise deverá ser feita usando análise nodal modificada. O programa pode ser baseado no programa exemplo MNA1, que implementa o algoritmo para um circuito resistivo linear:

<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/cursos/mna1.zip>

Formato para o netlist:

O netlist pode ser gerado pelo programa EDFIL, e deve ser compatível com o aceite pelo programa exemplo MNAE. Veja os programas em <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/cursos>

Primeira linha: Título, ignorar (O editor Edfil coloca o número de nós nesta linha).

Linhas seguintes: Descrição do circuito, com um elemento por linha.

Resistor: R<nome> <nó₁> <nó₂> <R>

Resistor não linear: N<nome> <nó₁> <nó₂> <quatro pares de valores $v_i j_i$ >

Chave controlada a tensão: $\$ \langle \text{nome} \rangle \langle \text{no}_+ \rangle \langle \text{no}_- \rangle \langle \text{nó}_{\text{ctrl}+} \rangle \langle \text{nó}_{\text{ctrl}-} \rangle [\langle g_{\text{on}} \rangle \langle g_{\text{off}} \rangle \langle v_{\text{ref}} \rangle]$
 Indutor: $L \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_1 \rangle \langle \text{nó}_2 \rangle \langle \text{Indutância} \rangle [\text{IC} = \langle \text{corrente inicial} \rangle]$
 Capacitor: $C \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_1 \rangle \langle \text{nó}_2 \rangle \langle \text{Capacitância} \rangle [\text{IC} = \langle \text{tensão inicial} \rangle]$
 Fonte de tensão controlada a tensão: $E \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_{v+} \rangle \langle \text{nó}_{v-} \rangle \langle \text{nó}_{v+} \rangle \langle \text{nó}_{v-} \rangle \langle Av \rangle$
 Fonte de corrente controlada a corrente: $F \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_{i+} \rangle \langle \text{nó}_{i-} \rangle \langle \text{nó}_{i+} \rangle \langle \text{nó}_{i-} \rangle \langle Ai \rangle$
 Fonte de corrente controlada a tensão: $G \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_{i+} \rangle \langle \text{nó}_{i-} \rangle \langle \text{nó}_{v+} \rangle \langle \text{nó}_{v-} \rangle \langle Gm \rangle$
 Fonte de tensão controlada a corrente: $H \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_{v+} \rangle \langle \text{nó}_{v-} \rangle \langle \text{nó}_{i+} \rangle \langle \text{nó}_{i-} \rangle \langle Rm \rangle$
 Fonte de corrente: $I \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_+ \rangle \langle \text{nó}_- \rangle \langle \text{Parâmetros} \rangle$
 Fonte de tensão: $V \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_+ \rangle \langle \text{nó}_- \rangle \langle \text{Parâmetros} \rangle$
 Amplificador operacional ideal: $O \langle \text{nome} \rangle \langle \text{nó}_{\text{saída}+} \rangle \langle \text{nó}_{\text{saída}-} \rangle \langle \text{nó}_{\text{entrada}+} \rangle \langle \text{nó}_{\text{entrada}-} \rangle$
 Comentário: $* \langle \text{comentário} \rangle$

Os programas exemplo permitem nomes nos nós. O programa feito pode continuar permitindo usando o mesmo algoritmo, ou admitir apenas números. Neste caso a primeira linha gerada pelo editor EDFIL pode ser usada.

As direções para fontes são de acordo com a ordem dos nós e as direções convencionais associadas, sendo o primeiro nó o positivo. Os parâmetros para as fontes podem ser:

DC $\langle \text{valor} \rangle$
 SIN $\langle \text{nível contínuo} \rangle \langle \text{amplitude} \rangle \langle \text{frequência em Hz} \rangle \langle \text{atraso} \rangle \langle \text{amortecimento} \rangle \langle \text{defasagem em graus} \rangle$
 $\langle \text{número de ciclos} \rangle$
 PULSE $\langle \text{amplitude 1} \rangle \langle \text{amplitude 2} \rangle \langle \text{atraso} \rangle \langle \text{tempo de subida} \rangle \langle \text{tempo de descida} \rangle \langle \text{tempo ligada} \rangle$
 $\langle \text{período} \rangle \langle \text{número de ciclos} \rangle$

A fonte senoidal vale:

$$x(t) = A_0 + Ae^{-\alpha(t-t_a)} \text{sen} \left(2\pi f(t-t_a) + \frac{\pi}{180} \varphi \right)$$

onde A_0 é o nível contínuo, A a amplitude, f a frequência, t_a o atraso, α o amortecimento e φ a defasagem. Antes de $t = t_a$ ou após o número de ciclos, tem o valor inicial ou final respectivamente, de forma a não criar descontinuidades.

A fonte pulsada começa na amplitude 1, e fica aí até o fim do tempo de atraso. Então muda para a amplitude 2 variando linearmente dentro do tempo de subida, fica na amplitude 2 durante o tempo ligada, volta à amplitude 1 dentro do tempo de descida, e repete tudo com o período e o número de ciclos especificados. Termina na amplitude 1. Os tempos de subida e de descida podem ser nulos. O programa pode usar o tempo do passo então.

O resistor não linear “N” é definido por quatro pares de valores $\{v, j\}$, definindo uma curva linear por partes com 3 retas. Um diodo, por exemplo, poderia ser definido como um resistor com os parâmetros: -1000 -1e-6 0 0.6 1e-3 2 20.

A chave é um condutor linear, com valor da condutância dependendo da tensão de controle, valendo g_{on} se $v_{\text{ctrl}} \geq v_{\text{ref}}$ e g_{off} se $v_{\text{ctrl}} < v_{\text{ref}}$. Notar que o valor varia dentro da análise de Newton-Raphson.

O programa deve ler as instruções de como tratar o “netlist” de uma linha de comando no próprio “netlist”, no formato abaixo. Não deve ser necessário fornecer qualquer outro parâmetro ao programa além do arquivo de entrada. Os passos internos permitem aumentar a precisão da análise, com alguns passos entre os valores que vão à tabela de saída. O passo interno usado é então o passo dado dividido pelo número de passos internos.

.TRAN $\langle \text{tempo final} \rangle \langle \text{passo} \rangle \text{ADMO} \langle n \rangle \langle \text{passos internos} \rangle \text{UIC}$ onde $\langle n \rangle$ é a ordem do método de Adams-Moulton a usar. O comando UIC significa “use initial conditions”, pois normalmente programas de análise no tempo fazem uma análise de ponto de operação e acham dela as condições iniciais antes de iniciar a análise.

O programa MNAE pode ser usado para plotar os gráficos de saída e para verificação (na versão atual estão implementados apenas os métodos de ordens 1 e 2, que são o “backward” de Euler (BE) e o dos trapézios (TRAP). O programa deverá ser atualizado em breve).

O método requer o cálculo e armazenamento de tensões e correntes em capacitores e indutores. A análise nodal modificada calcula ambas para indutores mas só as tensões nos capacitores. As correntes neles devem ser calculadas ao fim da análise (É ineficiente tratar capacitores com cálculo de corrente.) Podem ser colocadas na tabela gerada também.

O programa deve contar quantas vezes o ciclo de Newton-Raphson é executado, e se o número passar de um valor razoável, tentar outra aproximação inicial para a solução. Deve contar também quantas vezes faz isto, e se o número passar de um valor razoável, abortar a análise.

O programa deve ser escrito em uma linguagem compilada como C, C++, Pascal, etc. O programa deve rodar em ambiente Windows (32 ou 64 bits). Um arquivo .zip com tudo o que for necessário para o programa, inclusive fontes, arquivo executável, documentação e exemplos não deve ter mais de 3 Mbytes.

Grupos de 3 alunos, no máximo. O programa deverá ser apresentado e demonstrado por todo o grupo, e entregue com um relatório (em arquivo) com comentários e exemplos significativos e originais verificados, até duas semanas antes da segunda prova. O trabalho é complexo, e deve ser iniciado imediatamente.