

F. Sardinha
Eng. Electrotécnico

Transmissão Térmica nos Fenómenos Transitórios ou em Regime Periódico e sua Equivalência com os das Redes Eléctricas

VII - Cálculo Prático de Transmissão Térmica

resumo

O Autor estabelece uma metodologia expedita para calcular transmissões térmicas através do cálculo matricial e da teoria dos quadripolos. Por fim é apresentada uma análise crítica das condições de cálculo tendo em vista a conservação de energia.

VII - Practical Calculations on Thermal Transmission

abstract

The Author describes a practical method to calculate thermal transmissions using matrices and biport theory. The article concludes with a critical analysis on calculation conditions under the point of view of energy conservation.

1. Método prático de cálculo

A apresentação das expressões (76) a servirem para o cálculo térmico duma única malha π duma superfície semi-infinita constituída por uma única camada complicar-se-ia demasiado se não fosse lançada mão à teoria do cálculo matricial, como já se expôs e demonstrou em [1].

Introduzir-se-á agora, por analogia com o termo já anteriormente definido de "impedância térmica operacional", a noção de "admitância térmica indicial", que matematicamente se pode designar pela transformada inversa da admitância térmica operacional:

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(p) = \mathcal{L}^{-1} \frac{1}{Z(p)} \quad (78)$$

Pode-se utilizar esta designação de "admitância térmica

indicial" sob a forma de integral de composição e fundamentado com o anteriormente já exposto em que

$$q(p) = \frac{T(p)}{Z(p)} = Y(p) T(p) \quad (79)$$

e

$$q(p) = \mathcal{L} q(t)$$

onde

$$q(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t y(t - \tau) T(\tau) d\tau$$

ou seja

$$q(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t T(t - \tau) y(\tau) d\tau \quad (80)$$

Para um estudo detalhado do exposto neste parágrafo referente à "Teoria das Transformadas de Carson-Laplace" aconselha-se o leitor a consultar obras especializadas de Cálculo Operacional.

Consideramos agora um modelo térmico compreendendo malhas, o que nos levará a considerar n fluxos térmicos.

Utilizemos as seguintes notações:

a) **Coefficientes de resistência térmica**

- r_{rs} - será a resistência comum aos fluxos q_r e q_s .
- r_{rr} - será a resistência térmica total referente ao fluxo térmico q_r .

b) **Coefficientes de "indutância térmica"**

- L_{rs} - será a indutância térmica comum aos q_r e q_s e compreende as indústrias comuns a dois fluxos.
- L_{rr} - será a indutância térmica total referente ao fluxo q_r .

c) **Coefficientes de "susceptibilidade térmica"**

Designando por "susceptibilidade térmica:

$$S = \frac{1}{C} \tag{81}$$

será:

- S_{rs} - susceptibilidade comum aos fluxos q_r e q_s .
- S_{rr} - susceptibilidade total referente ao fluxo q_r .

Deverá ter-se presente que pelo teorema da reciprocidade se demonstra

$$r_{rs} = r_{sr}$$

$$L_{rs} = L_{sr}$$

$$S_{rs} = S_{sr}$$

Com as notações a), b) e c) a impedância térmica operacional numa malha escrever-se-á

$$Z_{rs} = r_{rs} + L_{rs} p + \frac{S_{rs}}{p} \tag{82}$$

Aplicando agora as n temperaturas consideradas em cada malha bem como os respectivos fluxos obter-se-ão as expressões

$$\begin{cases} Z_{11} q_1 + Z_{12} q_2 + \dots + Z_{1n} q_n = T_1 \\ Z_{21} q_1 + Z_{22} q_2 + \dots + Z_{2n} q_n = T_2 \\ \dots \\ Z_{n1} q_1 + Z_{n2} q_2 + \dots + Z_{nn} q_n = T_n \end{cases} \tag{83}$$

podendo-se decompor a matriz das impencâncias numa matriz das resistências térmicas, outra das indutâncias térmicas e finalmente uma matriz das susceptibilidades.

A matriz coluna das temperaturas

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_n \end{bmatrix}$$

passar-se-á assim a escrever em função da matriz dos fluxos térmicos

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix}$$

da seguinte forma

$$T = Z(p)q \tag{84}$$

onde

$$Z = r + L p + \frac{S}{p} \tag{85}$$

A consideração a matriz inversa de $Z(p)$, denominada matriz térmica da admiancia operacional,

$$Y(p) = Z(p)^{-1} \tag{86}$$

permite definir a expressão

$$q(p) = Y(p) T(p) \tag{87}$$

e finalmente

$$q(t) = \mathcal{L}^{-1} [Y(p) T(p)] \tag{88}$$

O cálculo dos fluxos q_1, q_2, \dots, q_n por intermédio da matriz $q(t)$ implica o conhecimento de $Y(p)$, sendo matriz inversa obtida pelos métodos habituais do cálculo matricial. O cálculo da transformada inversa de cada elemento $Y_{rs}(p) T_r(p)$ permitirá a obtenção da matriz coluna dos fluxos térmicos.

Como nos fenómenos térmicos, e contrariamente ao que se pode considerar nos fenómenos eléctricos, os fluxos não são nulos no instante $t=0$. Introduzir-se-á uma matriz coluna dos fluxos iniciais q'_0 , obtendo-se assim as expressões mais generalizadas:

$$Z(p) q(p) = T(p) + p L q'_0 \tag{89}$$

e, atendendo a (86), ter-se-á

$$q(p) = Y(p) T(p) + p Y(p) L q'_0 \tag{90}$$

O cálculo final é mais trabalhoso, mas a complicação tem somente lugar na explicitação da parcela referente a

$$p Y(p) L q'_0 \tag{91}$$

Acresce ainda no estudo prático dos fenómenos térmicos que nas diversas camadas numa parede heterogénea não se verificam temperaturas nulas no instante $t=0$, pelo que deverá introduzir-se, para uma maior equivalência com a realidade, uma nova matriz coluna das temperaturas parciais verificadas em diversos pontos do modelo térmico:

$$Y(p) T'_0 = \frac{Y(p)}{p} S q'_0 \tag{92}$$

2. Correspondência dos quadripolos com matrizes

Na opinião do autor o mérito dos parágrafos anteriores foi o de se mostrar com uma certa evidência a equivalência dos modelos térmicos a estruturas em malha π e não T e, igualmente, o de se mostrar as diferenças nítidas dos valores obtidos pelos dois processos.

Finalmente, um outro ponto que julgamos ter ficado bem definido e que para surpresa do autor se deduziu e explicitamente se apresentou na figura 1 do Capítulo V (ELECTRICIDADE n.º 299) e na figura 2a do Capítulo VI (ELECTRICIDADE n.º 303) é que no referente aos fenómenos de transmissão térmica em que intervenha somente a temperatura do ar exterior a resistência térmica devida ao coeficiente de convecção externa deverá ser considerada em série com a malha π , enquanto que para os fenómenos de insolação essa mesma resistência é considerada em paralelo com essa malha. Trata-se, portanto, duma dualidade de processos de cálculo, não facultativa e não equivalente a ter sempre em conta para um cálculo realista das cargas térmicas de transmissão em instalações de refrigeração e/ou climatização.

A necessidade exigida pelo editor da revista para uma redução da extensão do estudo obriga-nos assim e sem qualquer demonstração, que julgamos plenamente dispensável, a afirmar que procedendo de acordo com o interesse dos pequenos grupos de projectistas não dotados de meios de cálculo científico poderosos – não apoiados pela Universidade ou pelo Laboratório de Engenharia Civil – por forma a que pela metodologia de cálculo indicada não se sintam na necessidade de fazer apelo à teoria das transformadas directas e inversas de Fourier rápidas, deverão estes recorrer à teoria das matrizes de quadripolos.

O recurso a esta teoria não alterará o rigor do cálculo pretendido, porque há uma equivalência perfeita entre as matrizes (69) relativas a quadripolos com constantes distribuídas e as que se apresentam na figura 1 como representativas de quadripolos de constantes concentradas, conforme já se demonstrou anteriormente das expressões (64) até às (68).

Provada em [1] a possibilidade de representar com perfeito rigor em modelo térmico duma superfície plana constituída por n camadas heterogéneas por um produto de $n + 2$ matrizes, é assim perfeitamente possível, pela adopção desta metodologia, a efectivação de cálculos térmicos com bastante rigor a partir da utilização dos mini-computadores.

3. Conclusões

Neste trabalho descrevem-se os princípios e as analogias fundamentais em que o autor se baseou para apresentar uma teoria de cálculo de cargas térmicas em instalações de climatização e/ou refrigeração em regime variável.

A diferença da potência térmica necessária numa instalação calculada pelos processos expeditos conhecidos (a título de exemplo, o do AICVF - Association des Ingénieurs de

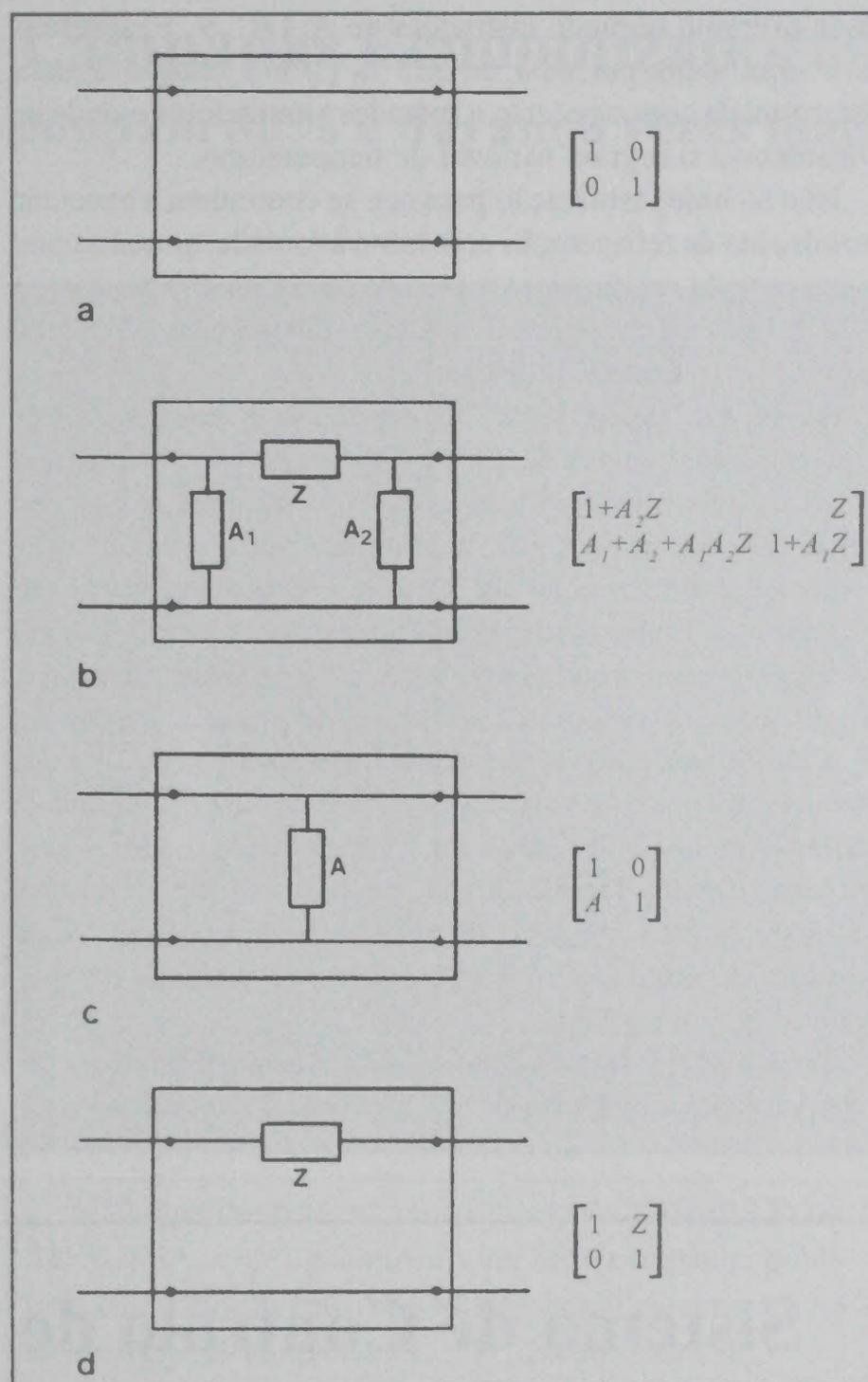


Fig. 1 - Modelos de quadripolos com constantes concentradas e matrizes de transferência.

a) Quadripolo unidade.

b) Quadripolo em π .

c) Quadripolo em derivação.

d) Quadripolo em série.

Chauffage et Ventilation de France) com a obtida através dum cálculo efectuado pelo processo indicado neste trabalho, e cujos valores se aproximam dos que se verificam posteriormente na exploração das instalações, justificam plenamente uma revisão à parte da legislação nacional em vigor (Decreto-Lei 40/90).

Esta opinião, plenamente justificada pelas condições muito rudimentares em que se efectua o cálculo térmico de muitas das instalações, é tanto mais justificada quanto é dado conhecimento público das dificuldades que se oferecem presentemente com os elevados encargos, necessários para o investimento com a expansão dos meios de produção e distribuição de energia eléctrica e pela necessidade de se promoverem medidas de economia de energia.

Num estado de "Modélisation des Systèmes Energétiques - Simulation électronique du regime transitoire et de la régulation thermique des locaux", da autoria de A. Dumez e M. Dumez e publicado por "Technique et Documentation - Lavoisier", a potência frigorífica máxima calculada para um

dado exemplo segundo instruções do A. I. C. V. F. apresentava uma sobre-potência de 325 % (!) em relação àquela determinada com o recurso a métodos simuladores e onde se considerava o regime variável de temperaturas.

Não há hoje justificação para que se continuem a executar instalações de refrigeração com tanto à vontade, as quais após a sua entrada em funcionamento de apresentam a funcionar com folgas superiores a 60% para manterem as condições termo-higrométricas do projecto.

Os termos "conservação" e "economia de energia" estão hoje em moda: ouvem-se de todas as bocas, escrevem-se em todos os relatórios, oficiais ou não. Mas para reduzir os consumos energéticos não basta pronunciar palavras, fazer declarações de intenção ou promover pela distribuição de incentivos a fundo perdido para alteração de instalações de execução recente e que se revelaram esbanjadoras de energia; é preciso agir com novas concepções de processo, arquitectónicas, de selecção de materiais e equipamentos, agir em estudos, processos e cálculos sempre mais e mais precisos, utilizando a disponibilidade e a potencialidade de informática, com a escolha de um bom modelo, uma vez que se constata que aqueles que se ocupam efectivamente com a economia de energia são muito nitidamente menos numerosos do que aqueles que nisso falam.

Temos plena consciência da delicada posição do autor relativamente à proposta de aplicação de novos métodos de

cálculo de "instalações térmicas de edifícios", às críticas à metodologia de cálculo de algumas parcelas de cargas térmicas indicadas no Decreto-Lei 40/90 e aos critérios de concessão de alguns subsídios; por isso mesmo é preferível deixá-la à consideração dos leitores, chamando unicamente a atenção para palavras tão cheias de sentido e de lição construtiva que o Padre António Vieira nos deixou num dos seus sermões do Advento:

"sabei cristãos, sabeis príncipes, sabeis ministros, que se vos há-de pedir estreita conta do que fizestes; mas muito mais estreita do que deixaste de fazer.

Pelo que fizeram se hão-de condenar muitos, pelo que não fizeram, todos ...

Por uma omissão perde-se a maré, por uma maré perde-se a viagem, por uma viagem perde-se a armada, por uma armada perde-se um estado; dai conta a Deus de uma Índia, dai conta a Deus de um Brasil, por uma omissão ..."

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] F. Sardinha, *Analogia entre os fenómenos que ocorrem nas redes eléctricas e na transmissão térmica*, ELECTRICIDADE n.º 182, Dez. 1982.

Sistema de Controlo de Trânsito com Segurança

"O excesso de velocidade e o nevoeiro que cobria toda a região estiveram na origem de um acidente em cadeia na autoestrada, no passado sábado..." Esta é uma informação que se escuta com frequência nos serviços noticiosos sobre condições do trânsito, em especial na Primavera e no Outono.

Notícias deste género deixarão de ser tão frequentes no futuro, quando se falar sobre a autoestrada A9, a norte de Munique. Um novo sistema de controlo de trânsito, desenvolvido pela **Siemens** e instalado entre o triângulo Holledau e a ligação Munique-Norte, estabiliza o fluxo do tráfego e ajusta-o à situação atmosférica.

Este sistema adverte os automobilistas para chuva, nevoeiro ou acidentes, além de pôr em marcha um programa de percursos alternativos.

Tudo se processa da seguinte forma: um conjunto de dispositivos de medição regista as características do trânsito, do clima e do piso. Sensores especiais para nevoeiro e humidade foram instalados na estrada. Daqui, todas as informações confluem para uma central de processamento, onde os dados são memorizados e apresentados esquematicamente em monitores. Um computador determina-o modo mais vantajoso de escoar o trânsito.



Os automobilistas recebem então instruções de orientação por meio de painéis nas placas da autoestrada. Em casos especiais, como por exemplo ocorrência de um acidente ou obras na estrada, há também a possibilidade de introduzir manualmente, num curto intervalo de tempo, um programa de controlo que assume a vez do programa computarizado.

Informações: Siemens, S.A., Divisão Informação e Publicidade, Apartado 300, 2700 Amadora.