

基于 MATLAB 的电力系统潮流计算^{*}

张 宁¹, 江红梅¹, 张 渭²

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 哈密市高级中学计算机室, 新疆 哈密 839000)

[摘 要] 随着计算机语言技术的不断发展和成熟, 基于 MATLAB 的潮流计算研究近年来得到了长足的发展。针对这一现状, 以 P-Q 分解法为例, 分析了 BASIC, FORTRAN 和 MATLAB 高级语言潮流计算的异同, 指出了其优缺点, 并针对潮流计算模型结构的特点, 提出了基于 MATLAB 的潮流算法。

[关键词] 电力系统; 潮流计算; MATLAB

[中图分类号] TM715; TM744

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)12-0124-03

潮流计算是电力系统规划、运行的基本研究方法, 随着现代电力系统大系统、强非线性与多元件特点的日益突出, 其计算量与计算复杂度急剧增加^[1]。在处理潮流计算时, 其计算机软件的速度已无法满足大电网模拟和实时控制的仿真要求^[2], 而高效的潮流问题相关软件的研究已成为大规模电力系统仿真计算的关键^[3,4]。随着计算机技术的不断发展和成熟, 对 MATLAB 潮流计算的研究为快速、详细地解决大电网仿真技术问题开辟了新思路^[5,6]。针对这一现状, 本文以某电力网络为例, 分析了 BASIC、FORTRAN 和 MATLAB 高级语言潮流计算的异同, 并提出了基于 MATLAB 的潮流算法, 以期能为电力系统潮流计算提供参考。

1 潮流计算的数学模型

电力系统潮流计算的基本方程^[7,8]:

$$\sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j = \frac{P_i - jQ_i}{\dot{U}_i^*}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n Z_{ij} I_j = \frac{P_i - jQ_i}{\dot{U}_i^*}, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中, P_i , Q_i 分别为节点 i 向网络注入的有功功率和无功功率; $\dot{U}_j$ 为节点 j 的电压相量; $\dot{U}_i^*$ 为节点 i 的电压共轭相量; I_j 为节点 j 的电流相量; Y_{ij} 为节点导纳矩阵; Z_{ij} 为节点阻抗矩阵。式(1)和式(2)各有 n 个非线性复数方程, 对其作不同的应用和处理, 就形成了不同的潮流计算方法。其中, Newton-Raphson 法^[9,10]收敛性好, 是非线性方程数值求解

的有效方法。该方法把非线性方程线性化, 由于线性方程的系数矩阵结构上是稀疏的非对称矩阵, 结合稀疏矩阵技术可使计算机内存占用量大大减少, 计算速度大大加快; P-Q 分解法^[8]是在 Newton-Raphson 法基础上, 将有功功率 P 和无功功率 Q 分开交替迭代的潮流计算方法, 该方法计算过程简单, 所占计算机内存约为 Newton-Raphson 法的 1/21/4, 计算速度显著加快, 是目前常用的潮流计算方法。由于近代电力系统网络节点数量极大, 节点导纳阵 Y_B 的稀疏度也极高, 稀疏技术的形成是必不可少的。为了减少潮流计算程序中求逆、求积运算所耗费的大量机时, 用三角分解法形成因子表, 解算修正方程已成为现代电力系统潮流计算的主要方法^[8]。

2 高级语言的类型

计算机潮流计算的基本要求是: 计算方法具有一定的可靠性和收敛性^[11,12]; 尽量选用占计算机内存较少的存储方式; 在可靠收敛的前提下, 选用计算速度较快的方法; 人机交互环境便于数据输入、校核和修改, 且具有一定的灵活性。

BASIC 是一种解决数学问题的语言, 由于其取消了编译工作及连接过程, 语言的执行时间相应较慢。BASIC 语句的标识符可为常数和变量, 矩阵也可规定为变量进行计算^[13]。

FORTRAN 是 1957 年发明的用于科学计算的 language, 提供实型、双精度型和复数型等数据结构, 其双精度型数据结构使所求得解保留更多的有效位

* [收稿日期] 2003-11-19

[基金项目] 西北农林科技大学青年教师基金资助项目(5322324)

[作者简介] 张 宁(1970-), 新疆巴里坤人, 讲师, 在读硕士, 主要从事水电站自动化研究。

数,保证更高的精度;复数的引入为复数计算提供了方便^[11]。由于其在数学运算上的广泛性,也曾是潮流计算的一种主要计算机语言,但在矩阵的计算上其程序设计显得较为繁琐。

MATLAB 是集数值计算、符号运算及图形处理等强大功能于一体的科学计算语言^[12]。现已成工程计算中普遍采用的工具。MATLAB 拥有 600 多个工程数学运算函数,可实现潮流计算中的矩阵求积、求逆、稀疏矩阵形成、复数运算以及初等数学运算等^[13]。MATLAB 语言允许用户以数学形式的语言编写程序,其比 BASIC 语言和 FORTRAN 等更为接近书写的数学表达格式,且程序易调试。在计算要求相同的情况下,使用 MATLAB 编程,工作量将会大为减少。

3 基于 MATLAB 的电力系统潮流计算

试用 P-Q 分解法计算电力系统的潮流分布,其步骤为:

(1) 形成系数矩阵 B' , B'' (设该矩阵为 4×4 矩阵)。

$$B' = B'' = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{24} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{41} & a_{42} & \cdots & a_{44} \end{bmatrix}$$

在程序设计上,用 MATLAB 语言编写程序形成的系数矩阵 B 和 B'' ,远比 BASIC, FORTRAN 简单,矩阵输入、输出与数学书写格式相似。即在命令窗口输入:

$$>> B = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{24} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{41} & a_{42} & \cdots & a_{44} \end{bmatrix}$$

再在命令窗口输入 $>> B =$, 则窗口将显示出 B' , B 矩阵。

在 BASIC, FORTRAN 语言编程时,必须进行矩阵说明, BASIC 用 DIM B(4,4) 语句说明矩阵, FORTRAN 用 DOUBLE PRECISION B(1:4,1:4) 语句同时说明矩阵和矩阵精度;在建立矩阵时, BASIC, FORTRAN 语言用 READ 语句和 DATA 语句输入矩阵; FORTRAN 语言用 WRITE 语句输出矩阵,而 BASIC 语言只能用二重循环语句输出二维

矩阵,相当繁琐。在数据精度方面, MATLAB 所有数据以双精度类型进行数据的存储和运算,其数值有效位数可达 1617 位,范围为 $10^{-308} \sim 10^{308}$; FORTRAN 也提供双精度类型,但编程中必须用 DOUBLE 语句说明,而其有效数据仅为 $10^{-38} \sim 10^{38}$ ^[14]。BASIC 不提供双精度类型,其数值只保留 7 位有效位数,有效范围为 $-1.70141E-38 \sim 1.70141E+38$ ^[15]。要达到题目所要求的计算精度,且兼顾矩阵程序设计的难易程度, MATLAB 则成为首选潮流计算的计算机语言。对于大矩阵的潮流计算, MATLAB 提供的 M 文件可将输入矩阵按格式先写入一个文本文件,在编程时,按文本文件名在命令窗调用,大矩阵就被输入到内存中了。 MATLAB 也能直接创建复数矩阵,这两点也是 BASIC, FORTRAN 语言不可比拟的。

(2) 求系数矩阵 B' , B 的逆阵, 计算各节点电压的相位角 $\Delta \delta_i$ 。

相位角 $\Delta \delta_i$ 计算公式为:

$$-(B')^{-1}(\Delta P^{(k)} / U^{(k)}) = (U^{(k)} \Delta \delta_i^{(k)})$$

式中, $\Delta P^{(k)}$, $U^{(k)}$ 为已知量, 相位角 $\Delta \delta_i$ 的计算主要是矩阵的求积运算。

MATLAB 和 BASIC 语言都用命令 inv(B) 或 INV(B) 来实现矩阵的求逆功能, MATLAB 和 BASIC 语言求积运算均与数学书写格式一致,但 BASIC 语言必须对矩阵进行 MAT 说明,而且执行时间相应较长,计算精度较低。FORTRAN 语言虽然在参考资料上提供矩阵求逆、求积程序^[1618],但其按线性代数的矩阵求逆、求积步骤编程^[18],编写的程序至少需用 1 个三重循环语句,所以与 MATLAB 相比,工作量大而效率低。

(3) 计算平衡节点功率和线路功率

平衡节点功率为

$$S_s = \dot{U}_s \sum_{i=1}^n Y_{si}^* \dot{U}_i^* = P_1 + Q_1$$

线路功率为

$$S_{ij} = \dot{U}_i \dot{I}_{ij}^* = P_{ij} + Q_{ij}$$

平衡节点功率和线路功率的计算属复数运算。 MATLAB 和 FORTRAN 语言都提供复数功能语句^[15], MATLAB 以数学上的复数书写格式编写程序,方便而且不容易出错;而 FORTRAN 必须对复数变量进行 CMPLX 语句的复数类型说明^[14],显得较为繁琐。 BASIC 不提供复数功能语句,一般将实数、虚数分开计算,最后用输出语句写在一起,所以一般不用 BASIC 语言编写复数运算程序。

另外, MATLAB 可以提供潮流计算中稀疏矩阵

的建立命令 `spconvert`, 从而将外部数据转化为稀疏矩阵, 而且 MATLAB 函数 `lu` 也可直接实现 LR 三角分解^[19,20], 从而为现代电力系统潮流计算提供了方便。

4 讨 论

通过与 BASIC, FORTRAN 语言的比较, 基于 MATLAB 的电力系统潮流计算使计算机在计算、分析、研究复杂的电力系统潮流分布问题上又前进了

一步。矩阵输入、输出格式简单, 与数学书写格式相似; 以双精度类型进行数据的存储和运算, 数据精确度高; 潮流计算中复杂矩阵的输入问题可通过创建 M 文件来解决; MATLAB 称为矩阵实验室, 其能进行潮流计算中的各种矩阵运算, 包括求逆、求积和矩阵 LR 分解等, 其程序的编写也因 MATLAB 提供了许多功能函数而变得简单易行。另外, MATLAB 稀疏矩阵技术的引入, 使电力系统潮流计算由传统方法转变为优化算法成为可能。

[参考文献]

- [1] 薛 巍, 舒继武, 王心丰, 等. 电力系统并行算法的研究进展[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(9): 1192 - 1195.
- [2] Fernando L A. Computational complexity in power systems[J]. IEEE Trans on PAS, 1976, 95(4): 1028 - 1037.
- [3] 周 济, 罗应立, 张建华, 等. 基于 MATLAB 的次同步谐振的特征根分析[J]. 现代电力, 1999, (4): 67 - 71.
- [4] 王克英, 穆 钢, 韩学山, 等. 使潮流方程直接可解的 PMV 配置方案研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 10(2): 67 - 69.
- [5] 卢天成, 韩 或, 李东风. MATLAB 在鸣禽语图分析中的应用[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2001, 24(4): 56 - 58.
- [6] 宋维君. 基于 MATLAB 的时域分析法实现[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2002, 1(4): 72 - 74.
- [7] 周孝信等. 国电力百科全书·电力系统卷[M]. 第 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2001. 31 - 32.
- [8] 陈 珩. 电力系统稳态分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 139 - 193.
- [9] 邱关源. 电路(下册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 67 - 78.
- [10] 赵晋泉, 侯志俭, 吴际舜. 牛顿最优潮流算法中离散控制量的新处理方法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(3): 32 - 34.
- [11] [英] 劳顿 M A, 塞 M G. 电气工程师技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992. 826 - 827.
- [12] 楼顺天, 陈生潭, 雷虎明. MATLAB5. X 程序设计语言[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001. 57 - 78; 163 - 162.
- [13] 王沫然. MATLAB 6.0 与科学计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001. 1 - 5; 42.
- [14] 谭浩强, 田淑清. FORTRAN 语言——FORTRAN77 结构化程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 58; 98.
- [15] 刘文远, 李兴成, 赵 莉. BASIC 语言与农业实用程序[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1987. 139 - 140.
- [16] 谭浩强, 崔武子, 田淑清. FORTRAN 程序设计(二级)教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 105 - 123.
- [17] 鲍有文, 周海燕, 赵重敏, 等. FORTRAN77 程序设计试题汇编[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 68; 107.
- [18] 刘万春, 朱玉文, 龚圆明. FORTRAN 程序设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003. 102 - 124.
- [19] 同济大学教研室. 线性代数[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 35 - 39; 70 - 71.
- [20] 邓建中, 葛仁杰, 程正兴. 计算方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998. 21 - 31; 201.

Power flow computation of the electric power system based on MATLAB

ZHANG Ning¹, JIANG Hong-mei¹, ZHANG Wei²

(1 College of Water Resource and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Computer Room of High School in Hami, Hami, Xinjiang 839000, China)

Abstract: With the development of the computer languages in recent years, the research of MATLAB power flow algorithms got substantial development. The paper, using $P-Q$ method, analyzed the differences and similarities of BASIC, FORTRAN and MATLAB advanced languages, and pointed out their advantages and weaknesses, based on the characteristics of the model construction in power flow algorithms, bring up the MATLAB power flow algorithms.

Key words: electric power system; power flow computation; MATLAB