

MATLAB

在射频电路设计 中的应用

陈其昌 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

MATLAB 在射频电路设计 中的应用

陈其昌 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书以 MATLAB 2012a 版本中的 RF (射频) 工具箱 2.9 为基础, 以众多的例子说明 RF 工具箱中的 RF 对象模型、对象操作方法和函数在 RF 电路设计中的应用。全书共 10 章, 第 1 章简要介绍 MATLAB 的基础和 RF 工具箱, 并给出说明工作流程的完整示例。第 2 章介绍 RF 工具箱中 RF 数据的计算、存储、提取、可视化和输出方法。其后各章以 RF 工具箱的 RF 电路对象模型为主线, 将函数和对象操作方法融入其中, 以例子说明它们在 RF 电路元件集成、参数计算和仿真方面的应用, 主要内容有二端口网络、传输线、射频滤波器、Smith 圆图、匹配网络、射频放大器设计、混频器、射频分析的图形用户界面等。

本书可作为通信、电子等专业学生的学习用书, 也可供相关技术人员参考使用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

MATLAB 在射频电路设计中的应用 / 陈其昌编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.9
ISBN 978-7-121-21367-0

I. ①M… II. ①陈… III. ①射频电路—电路设计—计算机辅助设计—Matlab 软件 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 207453 号

策划编辑: 陈韦凯

责任编辑: 毕军志

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订: 北京市李史山胶印厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.75 字数: 505.6 千字

印 次: 2013 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着通信技术的迅猛发展，工作频率日益提高，射频和微波电路得到了广泛的应用。射频（RF）电路中的元件以及电路的性能在不同频率上差异很大，给学习和设计 RF 电路带来很大的困难。鉴于这些原因，为了掌握 RF 电路的设计原理和设计方法，借助电路仿真软件成为必需的一种途径。

MATLAB 是一种强大的工程计算和仿真软件，它简洁、智能化，无论初学者还是中、高级用户都可以轻松使用。特别是 MATLAB 有着功能强大的、丰富的函数工具箱，为各学科的学习、仿真提供了极大的方便。在 RF 电路方面，2012 版的软件中，RF 工具箱增加了新的 RF 对象和对象操作方法，诸如，circle 可在 Smith 圆图中画各类的圆，RF 分析对象 OpenIF 可计算多带发射机和接收机的中频（IFs）；此外，最优化函数 fminsearch 可优化电路参数，寻求指标折中；对象方法 writeva 写电路对象数据的 Verilog_A 描述，等等。它们在学习和仿真 RF 电路的设计，以及第三方软件的仿真方面，带来许多便利。

本书从应用着手，除了讲述 RF 工具箱的 RF 电路对象、对象操作方法和函数外，以相当多的例题讲解它们在电路集成、分析和计算的应用。书中例题的解法基于算法的概念，步骤清晰；同时，尽量使用 RF 工具箱的电路对象、对象方法和函数，解法简捷。书中所有例题的仿真、图形生成均采用 MATLAB 软件。

在编写本书的过程中，我得到了许多朋友的关心和帮助，得到许多有益的建议。特别要提及的是电子工业出版社的领导和高级策划编辑陈韦凯先生的大力支持。在本书将要出版之际，对他们表示最热忱的感谢！

由于作者的水平有限，书中可能有不妥和错误之处。在此，敬请各相关的专家和读者予以批评指正，电子邮箱：cqch0313@sina.com。

陈其昌

目 录

第 1 章 MATLAB 基础及 RF 工具箱介绍····· (1)	第 3 章 二端口网络····· (65)
1.1 MATLAB 基础····· (1)	3.1 二端口网络参数····· (65)
1.1.1 MATLAB 概述····· (1)	3.2 散射参数····· (69)
1.1.2 MATLAB 主窗口的交互 界面····· (1)	3.3 网络参数变换函数····· (69)
1.1.3 MATLAB 的基本语法····· (4)	3.4 RF 工具箱网络对象模型····· (82)
1.2 RF 工具箱介绍····· (8)	3.4.1 串联 RLC 网络对象····· (82)
1.2.1 RF 对象····· (9)	3.4.2 并联 RLC 网络对象····· (84)
1.2.2 建模一个 RF 元件····· (13)	3.4.3 级联连接的网络对象····· (86)
1.3 一个完整的示例····· (28)	3.4.4 串联连接的网络对象····· (88)
第 2 章 RF 数据对象····· (34)	3.4.5 并联连接的网络对象····· (90)
2.1 RF 数据····· (34)	3.4.6 混合连接的网络对象····· (92)
2.2 RF 工具箱数据对象模型····· (36)	3.4.7 反混合连接的网络对象····· (93)
2.2.1 rfddata.data····· (36)	3.4.8 正规连接和不正规连接····· (94)
2.2.2 rfddata.ip3····· (38)	3.5 电路元件集成····· (95)
2.2.3 rfddata.network····· (39)	第 4 章 传输线····· (103)
2.2.4 rfddata.nf····· (40)	4.1 传输线概述····· (103)
2.2.5 rfddata.noise····· (41)	4.2 传输线的参数及其相关的函数····· (104)
2.2.6 rfddata.power····· (41)	4.2.1 传输线的参数····· (104)
2.3 RF 数据的计算····· (42)	4.2.2 传输线参数计算的相关 的函数····· (106)
2.3.1 analyze (分析)····· (43)	4.3 RF 工具箱的传输线对象模型····· (110)
2.3.2 calculate (计算)····· (44)	4.3.1 同轴传输线····· (112)
2.4 RF 数据的提取····· (45)	4.3.2 共面波导传输线····· (114)
2.5 RF 数据的可视化····· (48)	4.3.3 延迟线····· (115)
2.5.1 plot····· (48)	4.3.4 微带传输线····· (116)
2.5.2 plotyy····· (49)	4.3.5 平行板传输线····· (117)
2.5.3 polar····· (53)	4.3.6 RLCG 传输线····· (119)
2.5.4 semilogx····· (53)	4.3.7 两线传输线····· (121)
2.5.5 smith····· (54)	4.3.8 普通传输线····· (123)
2.6 RF 数据的输出····· (55)	第 5 章 射频滤波器····· (126)
2.6.1 RF 数据写成行业标准 文件····· (55)	5.1 滤波器及其参数····· (126)
2.6.2 RF 数据写成 Verilog_A 描述····· (57)	5.1.1 滤波器任务····· (126)
	5.1.2 滤波器参数····· (126)
	5.2 相关的函数····· (128)

5.3	简单的滤波器	(130)	8.2	放大器的功率	(221)
5.4	RF 工具箱滤波器对象模型	(136)	8.2.1	放大器的功率计算	(221)
5.4.1	LC 低通 π 形滤波器	(137)	8.2.2	放大器的功率增益	(221)
5.4.2	LC 低通 T 形滤波器	(140)	8.2.3	功率增益计算相关的函数	(222)
5.4.3	LC 带通 π 形滤波器	(142)	8.3	放大器的稳定性判定	(225)
5.4.4	LC 带通 T 形滤波器	(145)	8.3.1	放大器的稳定性	(225)
5.4.5	LC 带阻 π 形滤波器	(148)	8.3.2	稳定性判定相关的函数	(226)
5.4.6	LC 带阻 T 形滤波器	(150)	8.4	增益恒定	(232)
5.4.7	LC 高通 π 形滤波器	(153)	8.4.1	单向化设计	(232)
5.4.8	LC 高通 T 形滤波器	(155)	8.4.2	双共轭匹配设计	(236)
5.5	射频滤波器的分布元件的实现	(156)	8.4.3	功率增益圆	(246)
第 6 章	Smith 圆图	(163)	8.4.4	资用功率增益圆	(251)
6.1	Smith 圆图基础知识	(163)	8.5	噪声系数圆	(254)
6.2	相关的函数	(164)	8.6	等驻波比圆	(265)
6.3	集总参数的分布电路表示法	(167)	8.7	宽带放大器	(269)
6.4	求解电路等效阻抗	(172)	第 9 章	混频器	(278)
第 7 章	匹配网络	(178)	9.1	混频器概述	(278)
7.1	匹配网络的 Smith 圆图方法	(178)	9.2	RF 工具箱混频器电路对象模型	(279)
7.1.1	双元件的匹配网络	(179)	9.3	交调表	(281)
7.1.2	T 形匹配网络和 π 形匹配网络	(183)	9.3.1	数据对象 rfdata.mixerspur	(281)
7.1.3	分立元件和分布参数元件的混合匹配网络	(189)	9.3.2	构建交调表	(282)
7.1.4	单节短截线匹配网络	(192)	9.4	RF 分析对象 OpenIF	(286)
7.1.5	双短截线匹配网络	(194)	第 10 章	射频分析的图形用户界面	(294)
7.2	最优化理论及其函数	(197)	10.1	主窗口	(294)
7.2.1	最优化理论	(197)	10.2	RF Tool 菜单功能介绍	(295)
7.2.2	最优化函数	(198)	10.3	使用 RF Tool 对一个射频网络建模的示例	(296)
7.3	匹配网络的最优化方法	(202)	附录		(304)
7.3.1	优化方案需要考虑的问题	(202)	附录 A	微带线特性阻抗与 w/h 的关系	(304)
7.3.2	L 形匹配网络	(204)	附录 B	低通滤波器衰减曲线与归一化频率的关系	(305)
7.3.3	π 形匹配网络	(208)	附录 C	滤波器归一化元件参数	(307)
7.3.4	T 形匹配网络	(210)	参考文献		(309)
7.3.5	宽带匹配网络	(212)			
第 8 章	射频放大器设计	(219)			
8.1	RF 工具箱放大器电路对象模型	(219)			

第 1 章 MATLAB 基础及 RF 工具箱介绍

本章介绍 MATLAB 及 RF 工具箱的基础知识，内容包括 MATLAB 的交互界面和基本语法以及详细的 RF 工具箱的知识。

1.1 MATLAB 基础

1.1.1 MATLAB 概述

MATLAB 是由美国 Mathworks 公司于 1984 年推出的一套科学计算软件，它长于数值计算，能处理大量的数据，加强了符号计算、文字处理、可视化建模和实时控制能力，使得 MATLAB 产品广泛用于数值分析，数值和符号计算，工程与科学绘图，控制系统设计，建模、仿真、原型开发，图形用户界面设计等领域。

MATLAB 语言具有不同于其他高级语言的特点，它简单易学、有先进的技术界面支持、开放式的体系结构，以及集成了许多领域专家的智慧，使得 MATLAB 语言成为一种非常流行并受广大用户喜爱的科学语言。

在 MATLAB 中有着功能强大、丰富的函数工具箱，这些工具箱大致分成两类：功能型工具箱和领域型工具箱。功能型工具箱提供了对内核的支持，它主要用来扩充 MATLAB 的符号计算功能、图形建模仿真功能、文字处理功能以及硬件实时交互功能，属于 MATLAB 自身系统，可以用于多种学科。领域型工具箱实际上是用 MATLAB 的基本语句编成的各种子程序集，用于解决某一方面的专门问题，或实现某一类的新算法，具有很强的学科研发性，不同的工具箱分别应用于不同学科。随着 MATLAB 的版本不断更新，功能越来越强，工具箱也越来越多。在 MATLAB 2012a 中更新或增加了许多新的工具箱，如 Bioinformatics Toolbox（生物信息科学工具箱）、Filter Design HDL Coder（滤波器设计 HDL 代码生成器）、Fixed-point Toolbox（定点工具箱）、RF Toolbox（射频工具箱）、RF Blockset（射频模块）、Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox（遗传算法和直接搜索工具箱）、Aerospace_Toolbox 等，使得工具箱有 80 多个。

1.1.2 MATLAB 主窗口的交互界面

1. 命令行窗口

命令行窗口如图 1.1 所示。可以在命令行窗口中输入一个单独的 MATLAB 语句，也可以是一段 MATLAB 程序的代码。

【例 1.1】 在命令行窗口中创建线路参量为 $w=6\text{mm}$, $d=1\text{mm}$, $\epsilon_r=2.25$ 的平行板传输线。命令行输入 `h=rfckt.parallelplate('Width',0.006,'EpsilonR',2.25,'LineLength',0.1)`, 则显示结果如图 1.1 所示。

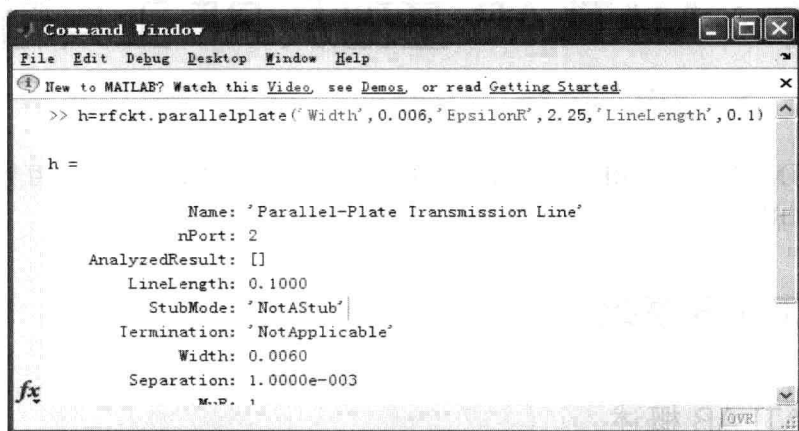


图 1.1 命令行窗口

2. Command History 窗口

Command History 窗口存储了在命令行中输入的命令, 如图 1.2 所示。当需要重新执行该窗口的某一个命令时, 可以选中该命令, 然后双击鼠标左键。当需要重新执行多行命令时, 可以按住【Shift】键, 然后选中要重新执行的命令, 双击鼠标左键即可。

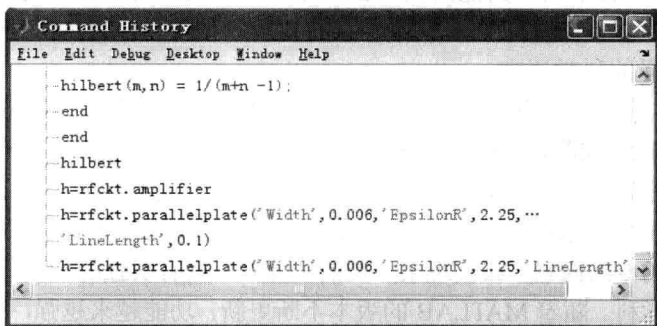


图 1.2 Command History 窗口

3. Current Directory 窗口

Current Directory 窗口如图 1.3 所示。该窗口显示了当前路径的所有文件和文件夹, 双击其中的文件即可运行。如果不改动, 每次启动 MATLAB 时, 默认当前路径为 `C:\Program Files\MATLAB\bin`。

4. 工作空间浏览器

工作空间浏览器 (Workspace Browser) 如图 1.4 所示。它存储了当前命令行窗口中的所有变量, 这些变量保存在内存中, 在 MATLAB 进程结束以前一直是活动的。在命令行输入命令 `clear`, 可以清除当前内存中的所有变量。

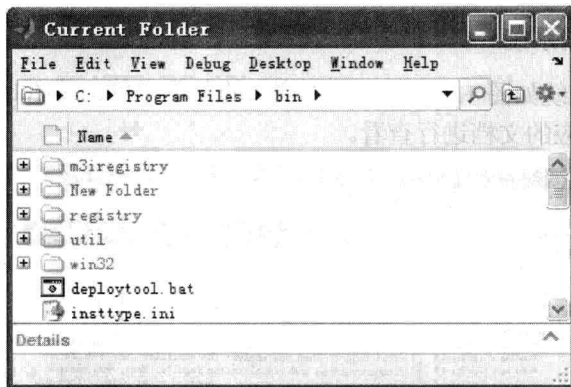


图 1.3 Current Directory 窗口

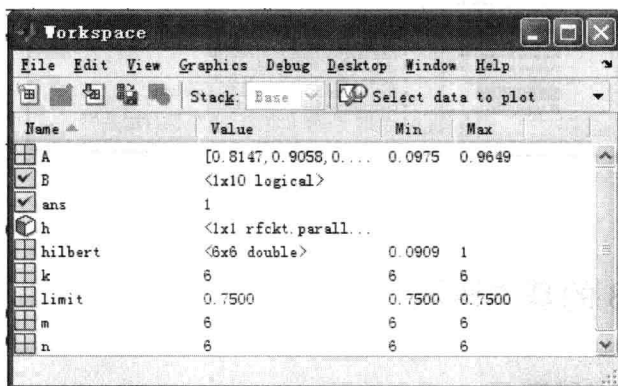


图 1.4 工作空间浏览器 (Workspace Browser)

5. Editor/Debugger 窗口

Editor/Debugger 窗口如图 1.5 所示，它用于 MATLAB 脚本编写和执行。当在 Editor/Debugger 窗口中编写一个 MATLAB 程序后，保存为一个后缀为“.m”的文件，可以从【Debug】菜单中选择【Run】命令，执行该文件。

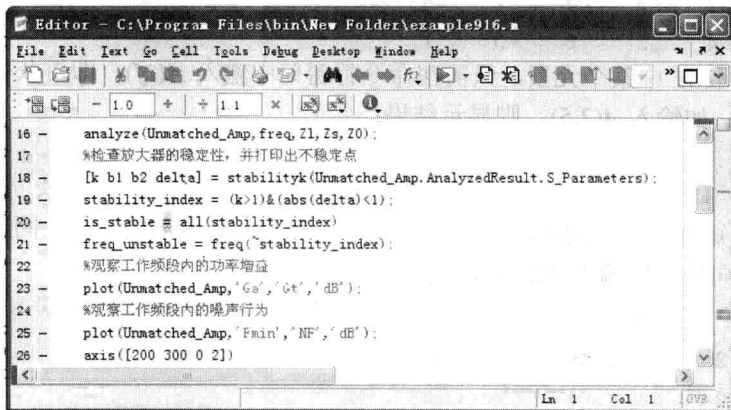


图 1.5 Editor/Debugger 窗口

6. MATLAB 的帮助系统

MATLAB 的帮助系统如图 1.6 所示。在主窗口的菜单中单击【Help】就可以进入帮助系统，并根据需要选择相应的文档进行查看。

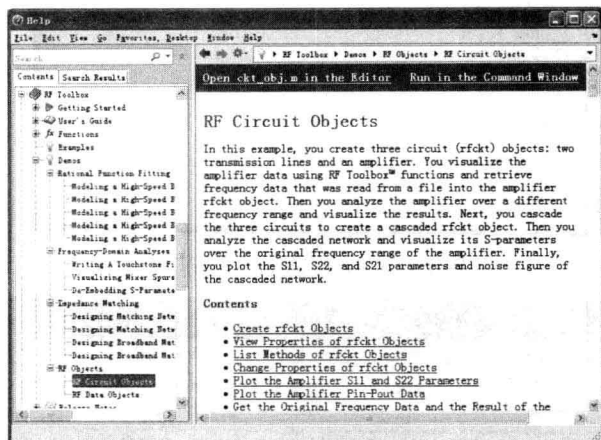


图 1.6 MATLAB 的帮助系统

1.1.3 MATLAB 的基本语法

1. 矩阵及其元素的赋值

赋值是把数值赋予代表常量或变量的标识符。MATLAB 中的变量或常量都代表矩阵，标量应看做 1×1 阶的矩阵。赋值语句的一般格式为：变量=表达式（或数值）。

【例 1.2】 在命令行窗口输入 $A=[1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6;1\ 2\ 3\ 5\ 7\ 8;9\ 4\ 2\ 6\ 5\ 1]$ ，则显示结果为

```
A =
     1     2     3     4     5     6
     1     2     3     5     7     8
     9     4     2     6     5     1
```

如果需要获取 A 中某个元素，只需在命令行窗口中输入 $A(i,j)$ ，即可获得矩阵 A 的第 i 行第 j 列的元素。如输入 $A(2,5)$ ，则显示结果：

```
ans =
     7
```

若需要获取矩阵的某行向量，只须输入 $A(i,:)$ ，其中 i 为所需的行数。同理， $A(:,j)$ 可以获得矩阵的第 j 列向量。如输入 $A(2,:)$ 则显示：

```
ans =
     1     2     3     5     7     8
```

输入 $A(:,5)$ ，则显示：

```
ans =
```

```
5
7
5
```

2. 矩阵的加减乘除法

两矩阵的相加（减）就是它们对应元素的相加减，因此，要求相加（减）的两矩阵的阶数必须相同。如输入 $X=[-1\ 0\ 1]$; $Y=X-1$ ，则显示结果：

```
Y =
    -2    -1     0
```

矩阵乘法是指 $n \times p$ 阶矩阵 A 与 $p \times m$ 阶矩阵 B 的乘积，结果 C 是 $n \times m$ 阶矩阵。其中 p 既是 A 矩阵的列数，也是 B 矩阵的行数，称为两个相乘矩阵的内阶数。两矩阵相乘的必要条件是它们的内阶数相等。例如，输入 $A=[1\ 4;2\ 5;3\ 6]$; $B=[2\ 4\ 0;1\ 3\ 5]$; $A*B$ ，则显示结果：

```
ans =
     6    16    20
     9    23    25
    12    30    30
```

矩阵的除法是 MATLAB 从逆矩阵的概念中引申来的。对方程 $D*X=B$ ，设 X 为未知矩阵，在等式两端同时乘以 $\text{inv}(D)$ ，得到 $X=\text{inv}(D)*B=D \setminus B$ （注： $\text{inv}(D)$ 是矩阵 D 的逆矩阵），因此，把 D 的逆矩阵左乘以 B ，称为“左除”，记作 $D \setminus$ 。左除时的阶数检验条件是：两矩阵的行数必须相等。对于方程 $X*D=B$ ，在等式两端同时乘以 $\text{inv}(D)$ ，得到 $X=B*\text{inv}(D)=B/D$ ，因此，把 D 的逆矩阵右乘以 B ，称为“右除”，记作 $/D$ 。右除时的阶数检验条件是：两矩阵的列数必须相等。例如，输入 $D=[1\ 4\ 7;8\ 5\ 2;3\ 6\ 0]$; $B=[1\ 4;2\ 5;3\ 6]$; $D \setminus B$ ，则显示结果：

```
ans =
   -0.0370         0
    0.5185    1.0000
   -0.1481         0
```

输入 $B=[2\ 4\ 0;1\ 3\ 5]$; $D=[1\ 4\ 7;8\ 5\ 2;3\ 6\ 0]$; B/D ，则显示结果：

```
ans =
     0         0    0.6667
    0.7037    0.0370     0
```

3. 数组的运算

数组通常是一行或一列的矩阵。MATLAB 有三种方法构造数组：

(1) 用两个冒号组成等增量语句，格式为： $t=[\text{初值}:\text{增量}:\text{终值}]$ 。例如，输入 $t=[0:0.5:2]$ ，则显示结果：

```
t =
     0    0.5000    1.0000    1.5000    2.0000
```

(2) 用函数 `linspace`。格式为：`linspace(初值, 增量, 点数)`，在初值和终值之间进行（点数-1）等分。例如，输入 $x=\text{linspace}(0,\text{pi},7)$ ，则显示结果：

```
x =
    0    0.5236    1.0472    1.5708    2.0944    2.6180    3.1416
```

(3) 用函数 `logspace`。格式为：`logspace(初值, 增量, 点数)`。例如，输入 `x=logspace(0,2,5)`，则显示结果：

```
x =
    1.0000    2.1544    4.6416   10.0000   21.5443   46.4159  100.0000
```

元素群运算是矩阵中所有元素按单个元素进行运算。元素群的乘、左除、右除和幂运算符号为：`*`、`\`、`/`和`^`。参与元素群运算的两个矩阵必须是同阶的（对于标量，会自动扩展为同阶的矩阵）。

例如，输入 `A=[1 2 3;2 4 6;3 4 5];B=[4 2 1;5 7 9;4 8 1];C=A.*B` 则显示结果：

```
C =
     4     4     3
    10    28    54
    12    32     5
```

例如，输入 `A=[1 2 3;2 4 6;3 4 5];B=[4 2 1;5 7 9;4 8 1];D=A.\B` 则显示结果：

```
D =
    4.0000    1.0000    0.3333
    2.5000    1.7500    1.5000
    1.3333    2.0000    0.2000
```

例如，输入 `A=[1 2 3;2 4 6;3 4 5];B=[4 2 1;5 7 9;4 8 1];E=A./B` 则显示结果：

```
E =
    0.2500    1.0000    3.0000
    0.4000    0.5714    0.6667
    0.7500    0.5000    5.0000
```

例如，输入 `A=[1 2 3;2 4 6;3 4 5];B=[4 2 1;5 7 9;4 8 1];F=A.^B` 则显示结果：

```
F =
     1         4         3
    32    16384   10077696
    81    65536         5
```

从结果看出，元素群的运算是两个矩阵中的对应元素进行乘、左除、右除和幂运算。

4. 关系运算

关系运算是指两个元素之间数值的比较。表 1.1 给出了关系运算的 6 种可能。

表 1.1 关系运算

<	<=	>	>=	==	~=
小于	小于或等于	大于	大于或等于	等于	不等于

关系运算的结果只有两种可能，即 0 和 1。0 表示“假”，1 表示“真”。例如，输入 `A=(2*3==5)` 则显示：`A=0`，表示关系式 $(2*3=5)$ 不成立。



5. 逻辑运算

逻辑量只能取 0 和 1 两个值。它的基本运算为：与 (&)、或 (|)、非 (~) 和异或 (xor)。当参与运算的两个逻辑量都是矩阵或数组时，要求它们的阶数相同，逻辑操作符对矩阵或数组中相对应的元素进行运算；当参与运算的两个逻辑量一个是矩阵或数组而另一个是标量时，则标量与矩阵或数组中的每一个元素进行运算。例如，输入 $A=[3\ 6\ 0\ 1]$; $B=3$; $\text{xor}(A,B)$ 则显示：

```
ans = 0    0    1    0
```

6. 流程控制语句

1) if 语句

有 3 种形式：

- if (表达式) 语句组, end
- if (表达式 1) 语句组 A, else 语句组 B, end
- if (表达式 1) 语句组 A, elseif (表达式 2) 语句组 B, else 语句组 C, end

【例 1.3】 寻求一个矢量中大于指定值的元素的索引。输入下列命令：

```
A = rand(1,10);
limit = 0.75; %设置一个指定值
B = (A > limit); %B 是一个逻辑值的矢量
if any(B)
    fprintf('值大于 0.75 的索引:');
    disp(find(B))
else
    disp('所有值都大于指定值')
end
```

则显示结果：

```
值大于 0.75 的索引:    2    3    5    8    9    10
```

2) 循环 for 语句

for 语句的结构形式为：

for k=初值:增量:终值 语句组 A, end

即程序把语句组 A 反复执行 N 次，在每次执行时程序中的 k 值在变化中 (k =初值+增量)， $N=1+(\text{终值}-\text{初值})/\text{增量}$ 。

【例 1.4】 使用 for 循环创建一个 Hilbert 矩阵。输入下列命令：

```
k = 6;
Hilbert = zeros(k,k); % 预置一个 6 阶的零矩阵
for m = 1:k
    for n = 1:k
        Hilbert(m,n) = 1/(m+n-1);
```




```
end
```

```
end
```

则显示结果:

Hilbert =

1.0000	0.5000	0.3333	0.2500	0.2000	0.1667
0.5000	0.3333	0.2500	0.2000	0.1667	0.1429
0.3333	0.2500	0.2000	0.1667	0.1429	0.1250
0.2500	0.2000	0.1667	0.1429	0.1250	0.1111
0.2000	0.1667	0.1429	0.1250	0.1111	0.1000
0.1667	0.1429	0.1250	0.1111	0.1000	0.0909

1.2 RF 工具箱介绍

RF 工具箱是一个领域工具箱,它使用函数和 GUI 扩展了 MATLAB 在 RF 元件的网络设计、建模、分析和可视化,可以使用 RF 工具箱软件仿真无线通信、雷达和信号集成项目。

1. 产品的关键特征

- (1) 提供行业标准文件格式来读写(存取)网络参数。
- (2) 通过实践或理论的网络参数和物理属性来定义 RF 滤波器、传输线、放大器和混频器。
- (3) 为射频元件计算网络参数,包括串联、并联、级联、混合连接和反混合配置。
- (4) 使用有理函数拟合方法构建模型。
- (5) 输出有理函数模型到 Simulink 或 Verilog_A。
- (6) 为级联元件计算噪声系数和三阶截止点。
- (7) 实现 S、Y、Z、ABCD、H、G 和 T 网络参数之间的变换。
- (8) 可以以直角坐标、极坐标和 Smith 圆图的方式来显示数据。

2. 工作流程

- (1) 选择 RF 对象来表示 RF 网络的元件。
- (2) 创建选定的对象。
- (3) 定义元件的数据。
- (4) 适当执行网络参数变换。
- (5) 集成元件以形成级联、混合、反混合、串联、并联网路。
- (6) 在频率域分析网络。
- (7) 产生坐标系获得观察网络的行为。
- (8) 计算网络的传输函数。
- (9) 创建描述传输函数的 RF 模型对象。
- (10) 画出网络的时域响应。

(11) 输出一个网络的 Verilog_A 描述。

3. S 参数标记法

RF 工具箱软件使用矩阵标记一个指定的 S 参数。一个 S 参数矩阵的索引对应于它表示数据的网络的端口数。例如，一个参考阻抗为 50Ω 二端口的 S 参数：

```
S11=0.61*exp(j*165/180*pi);
S21=3.72*exp(j*59/180*pi);
S12=0.045*exp(j*42/180*pi);
S22=0.45*(j*-48/180*pi);
s_params=[s11 s12;s21 s22];
```

RF 工具箱函数对 s_params 的操作，假定 s_params(1,1)对应于端口 1 的反射系数；s_params(2,1)对应于端口 1 到端口 2 的传输系数；s_params(1,2)对应于端口 2 到端口 1 的传输系数；s_params(2,2)对应于端口 2 的反射系数。

RF 工具箱软件也支持三维的 S 参数阵列。S 参数阵列的第三维对应于 S 参数数据的不同频率。图 1.7 描述了这个习惯标记法。

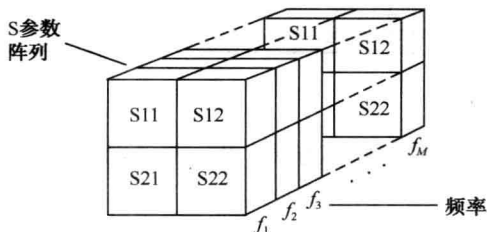


图 1.7 三维 S 参数阵列的标记法

1.2.1 RF 对象

RF 工具箱以 RF 元件和 RF 网络建模为对象，通过对对象的操作达到仿真无线通信、雷达和信号集成项目的目的。RF 对象包括 RF 数据对象、RF 电路对象、RF 模型对象和 RF 分析对象。

1. RF 数据对象

RF 工具箱软件使用数据对象 (rfdata) 存储下列数据：①元件数据，来自于文件或在 MATLAB 工作空间的指定信息；②分析数据，来自一个电路对象的频域仿真。可以对存储在这些数据对象中的数据进行画图表示，以及网络参数变换等。无论如何，数据对象主要用于存储数据，便于其他 RF 对象使用。

1) 数据类型

工具箱使用 RF 数据对象存储一个或多个下述类型的数据：

- 网络参数；



- 点噪声；
- 噪声系数；
- 三阶截止点 (IP3)；
- 基于输入功率的输出功率。

2) 可获得的数据对象

表 1.2 所示为可获得的数据对象以及对它们的描述。

表 1.2 可获得的数据对象以及对它们的描述

构造函数	描述
rfdata.data	包含网络参数数据的数据对象
rfdata.ip3	包含 IP3 信息的数据对象
rfdata.mixerspur	包含来自一个互调表的混频器谐波信息的数据对象
rfdata.network	包含网络参数信息的数据对象
rfdata.nf	包含噪声系数信息的数据对象
rfdata.noise	包含点噪声参数的数据对象
rfdata.power	包含功率和相位信息的数据对象

3) 数据对象的操作方法

在表 1.3 中列出了数据对象的操作方法、每一种方法可执行的数据对象，以及每一种方法的目的。

表 1.3 数据对象的操作方法

操作方法	适合对象的类型	目的
extract	rfdata.data, rfdata.network	从一个电路或数据对象中提取指定的网络参数，并以阵列的形式返回结果
read	rfdata.data	从一个文件中读取 RF 数据并赋值给一个新的或存在的数据对象
write	rfdata.data	把一个数据对象的 RF 数据写成一个文件

2. RF 电路对象

RF 工具箱使用电路对象 (rfckt) 表示下列的元件：①电路元件，如放大器、传输线和梯形滤波器；②RLC 网络元件；③RF 元件的网络。工具箱使用不同的对象表示一个特定类型的元件和网络，在频域中使用这些对象分析元件和网络。

1) 元件和网络

使用网络参数和物理属性定义元件的行为。指定一个特定的 RF 元件：

- (1) 创建一个电路对象表示元件。
- (2) 指定或输入元件数据。

使用指定组成网络的元件来定义网络的行为，这些元件可以是个别的元件（如放大器、传输线等），也可以是其他的网络。指定一个 RF 网络：

- (1) 创建电路对象表示网络元件。
- (2) 创建一个电路对象表示网络（这个对象定义了如何连接网络中的对象，在指定网络中所包含的元件之前，这个网络是空的）。
- (3) 特别地，作为表示网络的对象的属性 Ckts，它是组成网络的元件列表。

2) 可获得的元件和网络

创建一个表示元件的对象，使用描述元件名称的构造函数（如 rfckt.coaxial）；创建一个表示网络的电路对象，使用描述如何连接放在一起的元件的名称的构造函数（如 rfckt.cascade）。

表 1.4 列出了可获得的电路对象构造函数以及对应的表示对象的元件或网络的描述。

表 1.4 电路对象构造函数及其描述

构造函数	描述
rfckt.amplifier	放大器，通过一个数据对象描述
rfckt.cascade	级联网络，由组成该网络的元件和网络的列表来描述
rfckt.coaxial	同轴传输线，由同轴传输线的物理尺寸和电特性描述
rfckt.cpw	共面波导传输线，由共面波导传输线的物理尺寸和电特性描述
rfckt.datafile	普通电路，由一个数据文件描述
rfckt.delay	延迟线，由线损耗和时间延迟描述
rfckt.hybrid	混合连接网络，由组成该网络的元件和网络的列表描述
rfckt.hybridg	反混合连接网络，由组成该网络的元件和网络的列表描述
rfckt.lcbandpasspi	LC 带通 π 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lcbandpasstee	LC 带通 T 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lcbandstoppi	LC 带阻 π 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lcbandstoptee	LC 带阻 T 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lchighpasspi	LC 高通 π 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lchighpasstee	LC 高通 T 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lclowpasspi	LC 低通 π 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.lclowpasstee	LC 低通 T 形网络，由组成 LC 网络的电感值和电容值描述
rfckt.microstrip	微带传输线，由微带线的物理尺寸和电特性描述
rfckt.mixer	混频器，由一个数据对象描述
rfckt.parallel	并联网络，由组成该网络的元件和网络的列表描述
rfckt.parallelplate	平行板传输线，由平行板传输线的物理尺寸和电特性描述
rfckt.passive	无源元件，由网络参数描述
rfckt.rlcgline	RLCG 传输线，由单位长度的电阻、电感、电容、电导值描述
rfckt.series	串联连接网络，由组成该网络的元件和网络的列表描述
rfckt.seriesrlc	串联 RLC 网络，由组成该网络的电阻、电感、电容值描述
rfckt.shuntrlc	并联 RLC 网络，由组成该网络的电阻、电感、电容值描述
rfckt.twowire	两线传输线，由两线传输线的物理尺寸和电特性描述
rfckt.txline	普通传输线，由传输线的物理尺寸和电特性描述