

# 平行带状线间加孔栅的抗耦合干扰技术研究

吴 君, 王鲁豫

(电子科技大学微电子与固体电子学院 成都 610054)

**【摘要】**针对平行带状线间的耦合问题, 比较了平行带状线间不加孔栅和加孔栅的耦合干扰问题, 研究了平行带状线间距不同时加不同孔栅结构的抗耦合干扰情况, 分析了孔径与反射损耗的关系。通过计算与仿真, 得到了一种新型的孔栅结构, 有效地抑制了平行带状线间的耦合干扰。

**关键词** 平行带状线; 孔栅; 耦合干扰; 反射损耗;  $S$ 参数;  $a$ 参数  
**中图分类号** TN015      **文献标识码** A

## Suppressing Coupling Crosstalk Technology of Parallel Striplines by Placing Via Fences

WU Jun, WANG Lu-yu

(School of Microelectronics and Solid-State Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** In this paper, comparison of coupling crosstalk between parallel striplines with and without via fences structure, and different via fences structures when striplines's pacing changing are presented numerically and emulationally. In addition, the relation between via holes diameter and return loss is emonstrated. Finally, a new via fences structure, which significantly reduces coupling crosstalk and improves return loss, is introduced.

**Key words** parallel striplines; via fences; coupling crosstalk; return loss;  $S$  parameter;  $a$  parameter

随着微波集成电路的发展, 复杂度的增加, 为了减小尺寸, 达到高集成度、低成本的目的, 研究人员往往都要考虑减小传输线间距。然而工作频率的提高, 邻近传输线的耦合干扰将大大影响电路的性能。为了减小这种耦合通常采用在平行传输线间加孔栅的方法<sup>[1-5]</sup>, 但研究表明, 当平行带状线间距小于 $\lambda/40$ 时, 孔栅的加入反而使耦合干扰变强。本文提出了一种减小这种耦合干扰的新型孔栅结构, 抑制了间距小于 $\lambda/40$ 时新寄生模式的产生, 并用软件仿真进行了验证。

### 1 平行带状线间的耦合干扰问题

#### 1.1 加孔栅平行带状线 $S$ 参数分析

在许多高密度多层布线封装中, 布线总会遇到相邻很近的平行传输线结构, 这就导致了两条传输线间的电磁耦合干扰。为了减小这种耦合干扰, 通常采用加孔栅的方法。这种孔栅是一排相互靠近的与上下层地均相连的金属化孔, 如图1所示, 它可以有效抑制平行带状线中寄生平板波导模式的传播, 同时减少平行传输线间的耦合干扰。由奇模偶模法分析该电路, 当平行带状线间距大于 $\lambda/40$ 时, 未加孔段为耦合平行带状线, 加孔段为隔离段, 可视为单根传输线, 整个电路则等效为耦合段和隔离段的周期性级连网络, 如图2所示。

耦合段的归一化奇、偶模 $a$ 矩阵 $a_{1e}$ 、 $a_{1o}$ 分别为<sup>[6]</sup>:

$$a_{1e} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & j \frac{Z_{0e}}{Z_0} \sin \theta_1 \\ j \frac{Z_0}{Z_{0e}} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2005-03-01

作者简介: 吴 君(1980-), 女, 硕士生, 主要从事微波无线传输技术方面的研究. 王鲁豫(1953-), 男, 副教授, 主要从事微波集成电路及微波毫米波系统方面的研究.

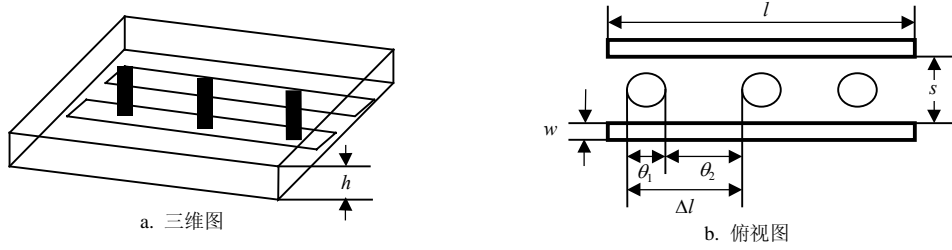


图1 加孔栅平行带状线示意图

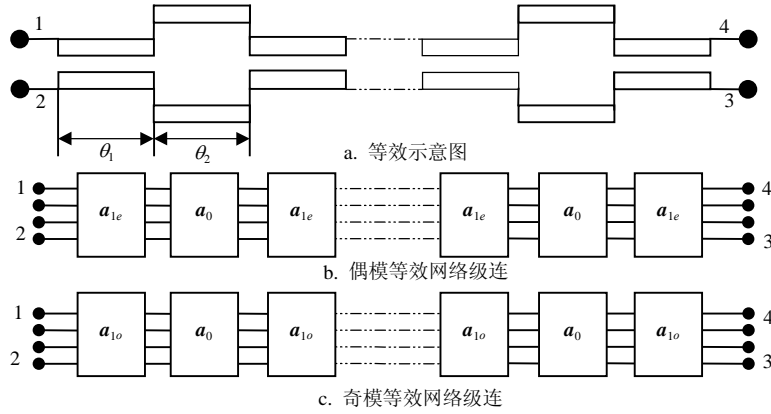


图2 平行带状线间距较远时等效网络

$$a_{1o} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & j \frac{Z_{0o}}{Z_0} \sin \theta_1 \\ j \frac{Z_0}{Z_{0o}} \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $Z_0$  为带状线特性阻抗； $Z_{0e}$ 、 $Z_{0o}$  分别为平行带状线奇、偶模特性阻抗。

隔离段等效为一段电长度为  $\theta_0$  的单根传输线，其归一化  $a$  矩阵  $a_0$  为：

$$a_0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & j \sin \theta_0 \\ j \sin \theta_0 & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

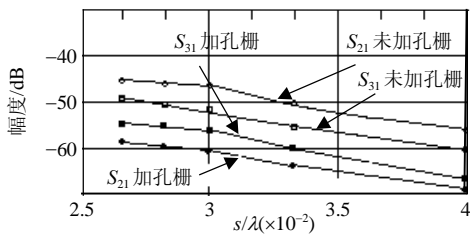


图3 平行带状线不同间距时加孔栅与不加孔栅  $S$  参数对比

式中  $\epsilon_r$  为 4.15； $h$  为 1 mm； $w$  为 0.5 mm； $f$  为 5 GHz 的平行带状线为例；由此等效网络模型计算。图 3 为不同间距时未加孔栅与加孔栅的平行带状线  $S$  参数对比。由图中可以看出，与未加孔栅相比，加孔栅后的平行带状线的  $S_{21}$  降低了 10 dB 以上， $S_{31}$  降低了 4 dB。所以，在基板材料、厚度、带状线线宽、间距、频率等条件不变的情况下，平行带状线间加入孔栅后，耦合干扰减小。

### 1.2 加孔栅平行带状线间距变化时的耦合干扰问题

图 4 为孔密度  $(\Delta l/\lambda)$  不变时， $S$  参数 ( $S_{21}$ 、 $S_{31}$ ) 随线间距  $(s/\lambda)$  变化的曲线。从图中看出：加入孔栅后， $S_{21}$  降低了 10 dB 以上；当线间距大于  $\lambda/40$ ， $S_{31}$  降低了 3 dB 以上，当线间距小于  $\lambda/40$ ， $S_{31}$  反而增加了 3 dB 以上。即在平行带状线间距小于  $\lambda/40$  时，加入孔栅，平行带状线间耦合干扰可能会增强<sup>[4]</sup>。

平行带状线间距小于  $\lambda/40$  时，平行带状线间耦合干扰反而增强是由于此时平行带状线传输产生了一种新的寄生模式，使耦合干扰变强。通孔段平行带状线已不能单纯等效为单根理想传输线，传输线到通孔的边缘寄生电容  $C'$  和通孔本身柱电感  $L'$  已不能忽略，其奇模、偶模  $a$  矩阵改变为：

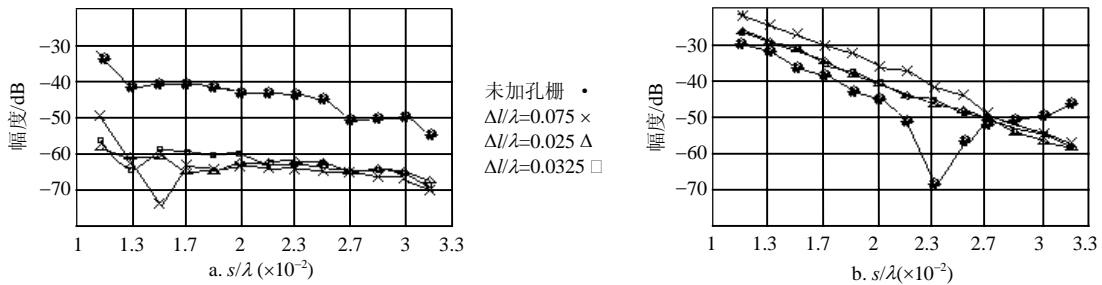


图4  $S_{21}$ 、 $S_{31}$ 、 $s/\lambda$ 关系图 ( $\epsilon_r=4.15$ ,  $h=1$  mm,  $w=0.5$  mm,  $l=15$  mm,  $f=5$  GHz)

$$a_{2e} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega L_0 + j \frac{1}{\omega^3 L' C_0 C'_e - \omega L' - \omega C_0} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$a_{2o} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega L_0 - j \frac{1}{\omega(C_0 + C'_o)} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中  $L_0$ 、 $C_0$  分别为带状线分布电容和分布电感。

当间距小于  $\lambda/40$  时, 以  $\epsilon_r$  为 4.15,  $h$  为 1 mm,  $w$  为 0.5 mm,  $f$  为 5 GHz 的平行带状线模型为例, 计算结果如图 5 所示。由图中可以明显看出, 平行带状线间加孔栅后,  $S_{31}$  增大了 4 dB 左右。所以当平行带状线间距小于  $\lambda/40$  时, 加该孔栅抑制耦合是不可行的。

### 1.3 孔栅结构的改进<sup>[4]</sup>

改进的孔栅结构如图 6 所示, 与前所加孔栅不同的是, 改进的孔栅结构在带状线布线层上、平行带状线间加了一导体带将各通孔连接到一起, 形成导体隔离带。在基板材料、厚度、带状线线宽、间距、长度等条件不变情况下, 加改进孔栅结构与不加孔栅的平行带状线  $S$  参数对比由图 7 所示。从图中看出, 平行带状线间加入改进孔栅结构后, 耦合干扰  $S_{21}$ 、 $S_{31}$  降低了 10 dB 以上。所以, 改进的孔栅结构可以同时有效地减小平行带状线端口 2 和端口 3 的耦合。

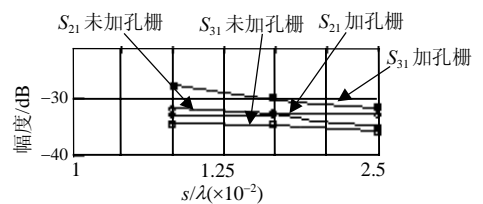


图5 平行带状线加孔栅与未加孔栅  $S$  参数对比(间距小于  $\lambda/40$  时)

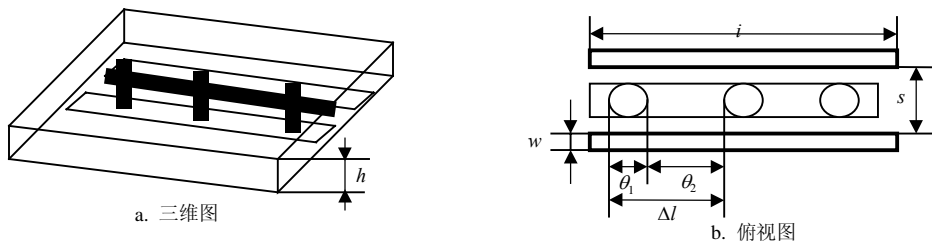


图6 改进孔栅平行带状线示意图

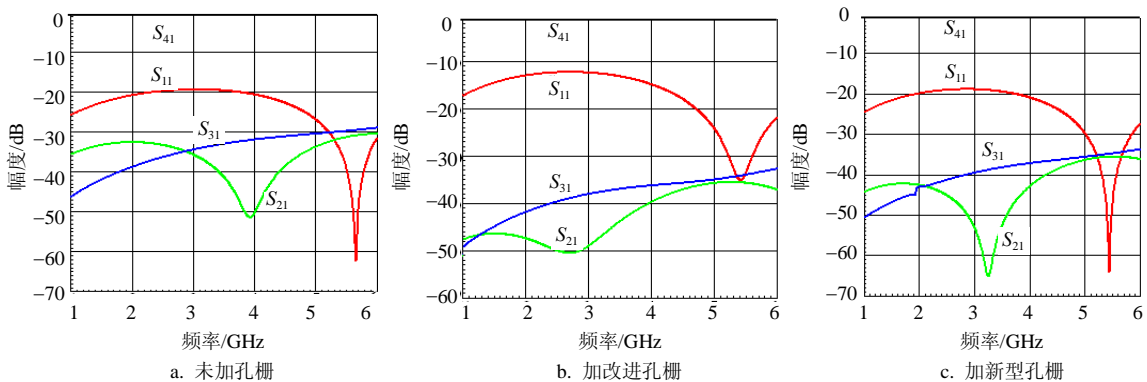


图7 平行带状线间加不同孔栅结构  $S$  参数对比 ( $\epsilon_r=4.15$ ,  $h=1$  mm,  $w=0.5$  mm,  $s=0.8$  mm,  $l=15$  mm)

### 1.4 孔径与反射的关系

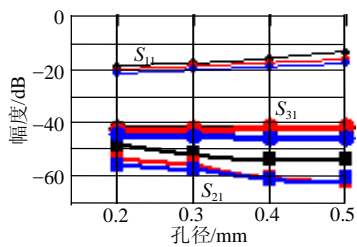


图8 孔径变化S参数

加入改进孔栅后,耦合干扰大大降低,但当孔的边缘距传输线较近时,带状线的特性阻抗将发生变化,使反射损耗增加。为此对孔径与反射系数的关系进行了研究。在频率为5 GHz时,以 $h$ 为1 mm, $w$ 为0.5 mm, $l$ 为15 mm, $\Delta l$ 为6 mm的平行带状线为例,图8为不同间距平行带状线孔径变化时的S参数。易看出:随着孔径的减小,反射系数递减,且耦合干扰小于-40 dB。

## 2 一种新型的孔栅结构

由以上分析可以知道,平行带状线在传输会出现耦合干扰,通常采用加孔栅的方法来抑制这种干扰,但在平行带状线间距小于 $\lambda/40$ 时,耦合干扰加强。为此,采用了一种改进的孔栅结构,改善了这一耦合干扰。同时,由于孔栅与带状线间距过近,对带状线的特性阻抗产生影响,使反射增大。

提出了一种新型的孔栅结构,其结构如图9所示,与改进孔栅结构相比,该孔栅减小了导体隔离带的宽度 $W_1$ ,即增大了导体隔离带与带状线间的距离,又减小了边缘电容对带状线特性阻抗的影响。且为了保证垂直通孔与隔离带的有效连接,在通孔处适当扩展导体带宽度为 $W_2$ 。

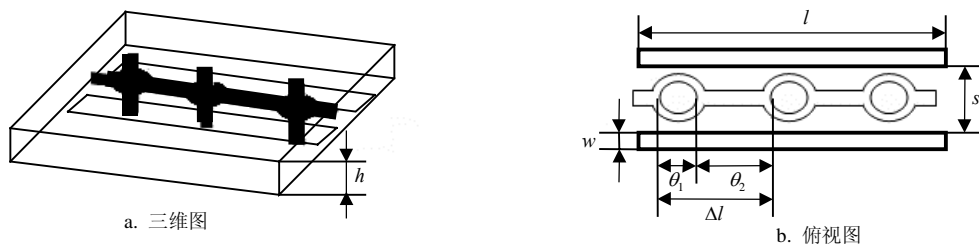


图9 新型结构孔栅示意图

在基板材料、厚度、带状线带宽、间距、长度等不变的情况下,对加入改进孔栅平行带状线和加入新型孔栅结构平行带状线进行了比较,如图7所示。由图中看出 $S_{21}$ 、 $S_{31}$ 均小于-35 dB;对于反射 $S_{11}$ ,在整个频段内,新型孔栅结构比改进孔栅结构改善大于3 dB。所以新型孔栅的加入,在保证耦合隔离度的同时,减小了孔栅对带状线特性阻抗的影响。

## 3 结束语

一般的,为了减小平行带状线间的耦合干扰,采用了加孔栅的方法。但对于平行带状线间距小于 $\lambda/40$ 时,孔栅的加入,反而会使平行带状线耦合增加,为此,采用了一种改进孔栅结构,大大改善了平行带状线间的耦合干扰。本文提出了一种新型的孔栅结构,在大大减小平行带状线间耦合干扰的同时,减小了孔栅对带状线特性阻抗的影响,抑制了反射损耗的增加。

### 参 考 文 献

- [1] Ponchak G, Chen D, Yook J. Characterization of plated via fence for isolation between stripline circuits in LTCC packages[C]. 1998 IEEE ZMS Digest, Baltimore USA, 1998, 1 831-1 834.
- [2] George E, Chun D, Yook J G. The use of metal filled via holes for improving isolation in LTCC RF and wireless multichip packages[J]. IEEE Transactions on Advanced Packing, 2000,23(1): 88-99.
- [3] George E, Yook J G, Linda P B. Experimental verification of the use of metal filled via hole fences for crosstalk control of microstrip lines in LTCC packages[J]. IEEE Transaction on Advanced Packing, 2001, 24(1): 88-89.
- [4] John G, Danid S. A new via fence structure for crosstalk reduction in high density stripline packages[C]. 2001 IEEE MTT-S International, Phoenix AZ, 2001, 1 719-1 722.
- [5] Fengchao X, Kimitoshi M, Yoshio K. The use of via holes for controlling the crosstalk of non-parallel microstrip lines on PCBs[C]. 2002 IEEE International Symposium on , Minneapolis USA, 2002, 633-638.
- [6] 清华大学《微带电路》编写组. 微带电路[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1976.
- [7] 吴万春, 梁昌洪. 微波网络及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.

编辑 刘文珍