

用单平面技术设计 5.8GHz 的双相调制器/混频器*

周霞 颜新 李英

(上海大学通信与信息工程学院, 上海, 200072)

摘要 根据单平面技术将多功能子系统分为基本块和简单电路模型的设计方法, 用于设计单平面的双相调制器/混频器, 主要用于智能交通收费系统的微波非接触式 ID 卡中, 其工作频率为 5.8GHz. 采用电磁场计算与传统传输线及计算机辅助设计相结合的方法分析设计了该子系统的主要部件, 使其具有尺寸小、集成度高、结构紧凑、性能好、成本低、易于加工等优点.

关键词 单片集成电路, 单平面技术, 共面波导(CPW), 双相调制器/混频器.

5.8GHz BIPHASE MODULATOR/MIXER DESIGNED BY UNIPLANAR TECHNOLOGY*

ZHOU Xia YAN Xin LI Ying

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract By considering the high flexibility of uniplanar technology to design complex multifunction subsystems, a design procedure based on a subsystem repartitioned into elementary blocks and very simple electrical modeling was proposed and applied to a uniplanar biphaser (0° or 180°) modulator/mixer, which was intended to be used as a building block in microwave uncontact impact card of Intelligent Transportation System (ITS) at 5.8GHz. Theoretical electromagnetic field calculation methods were combined with conventional transmission-line and computer-aided design calculations to analyze and design the critical parts of the subsystems. The subsystem designed in this paper has the advantages of small size, compact structure, high performance and low cost.

Key words MMIC, uniplanar technology, CPW, biphaser modulator/mixer.

引言

通常用微带线作为主传输线来实现 MMIC, 但微带线需要额外的加工. 为了减少加工, 减小芯片的尺寸, 一种新型的单平面技术已被^[1,2]提出. 这种单平面技术采用抛光磨面的技术, 它与微带线正面集成传输线, 背面为接地面相比简化得多. 近来, 用单平面技术实现的一些多功能子系统已显示出种种优势^[3,4].

对于一个单平面子系统的设计一般较为复杂的方法需要一个全局的电磁场分析. 本文则采用了将该子系统分成一些简单的理想模型. 整个子系统的设计过程分为 3 步:

(1) 将该子系统分成一些基本的块(如 T 形接头、过渡器、滤波器等). 然后对它们分别设计、建模

和测试. 这些基本的块必须与常用的 CAD 软件相兼容. 选择建模时必须考虑到单平面技术的特性: 各元件的小型化和平面连接与集总互连的小型化使得寄生效应显著降低(不连续性的影响减小). 在本文中选取简单的理想模型.

(2) 一些显著的不连续性和具体元件单平面结构的理论和实验特性分析, 如 CPW 串联谐振器等.

(3) 所有子块的优化组合. 最后进行仿真与测试.

本文阐述了用单平面技术实现 5.8GHz 的双相调制器/混频器的基础理论和设计过程. 介绍了该双相调制器/混频器的结构和工作原理. 给出了该子系统的一些关键部件的理论基础和数值计算的结果. 重点论述了该子系统的电路设计与实现. 并以 5.8GHz(该频率在国际上主要用于智能交通收费系

* 信息产业部电子部 14 所天线与微波技术国防科技重点实验室(批准号 2000JS07.7.1Q70606)资助项目

稿件收到日期 2001-10-12, 修改稿收到日期 2002-02-28

* The project supported by the defense Science and Technology major Lab Foundation of Antenna and Microwave Technology, Electronics 14th Research Institute of Ministry of Information Industry (No. 2000JS07.7.1Q70606)

Received 2001-10-12, revised 2002-02-28

统微波非接触式 ID 卡中)为例进行分析与设计.

1 双相调制器/混频器的结构和工作原理

双相调制器/混频器(采用的基片为 $\epsilon_r = 10.2$, 厚度 $h = 635\mu m$ 的 Epsilam 材料)的结构如图 1 所示,从图 1 可见,这种结构的输入/输出接口都是通过 CPW 来实现的.该结构采用 CPW 到槽线的过渡来实现魔 T,两个二极管反相连接在 $\lambda_g/4$ 的槽线环中以完成同相/异相的输出.V 形的 CPW、短路线用于匹配网络,拓宽带宽.中频滤波器用于抑制高频,输出中频.叉指式带通滤波器可得到需要的频带.

其工作原理有两种工作模式:(1)双相($0^\circ \sim 180^\circ$ 调制器),(2)平衡混频器.

2 关键部件的理论分析和数值计算结果

对调制器的关键部件(槽线、共面波导、CPW/SLOTLINE 过渡接头)进行必要的理论分析并给出了数值计算的结果,为电路的实现提供了参考依据.

2.1 槽线

根据 Cohn 的分析,通过曲线拟合结果的方法进行计算.当 $9.7 \leq \epsilon_r \leq 20, 0.2 \leq W/h \leq 1.0, 0.01 \leq h/\lambda_0 \leq (h/\lambda_0)_c$ 时对槽线中的各参数的计算精确度达到 2%^[5].其中 $(h/\lambda_0)_c$ 是在槽线中传输的 TE_{10} 波的截止数.若取 $\epsilon_r = 10.2, h = 635\mu m, f_0 = 5.8GHz, \lambda_0 = 3 \times 10^{14}/f_0$, 得到 $\lambda_s/\lambda_0 \sim h/\lambda_0$ 和 $Z_0 \sim h/\lambda_0$ 的关系如图 2 和图 3 所示.

2.2 CPW

利用准静态 TEM 波参数法^[9]进行 CPW(见图 4)的色散分析,若给出 $g_1/g_2 = 0 \sim 1, W = 53\mu m$ 时,作出 $\epsilon_{eff} \sim g_1/g_2$ 以及 $Z_0 \sim g_1/g_2$ 的关系图(见图 5).

CPW 输入的接头其工作原理与微带线输入类似,即其激励的两个输出臂是同相的.它将引起不需要的奇次模的激发.为此,要在 T 形连接区用导线将 CPW 的两片金属接地面相连^[11].

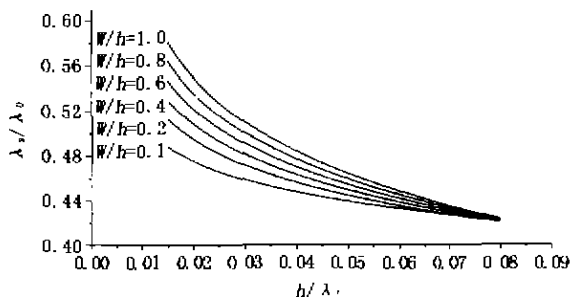


图 2 $\lambda_s/\lambda_0 \sim h/\lambda_0$ 的关系图
Fig. 2 λ_s/λ_0 vs. h/λ_0

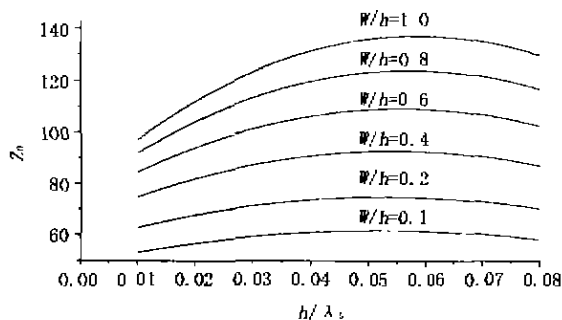


图 3 $Z_0 \sim h/\lambda_0$ 的关系图
Fig. 3 Z_0 vs. h/λ_0

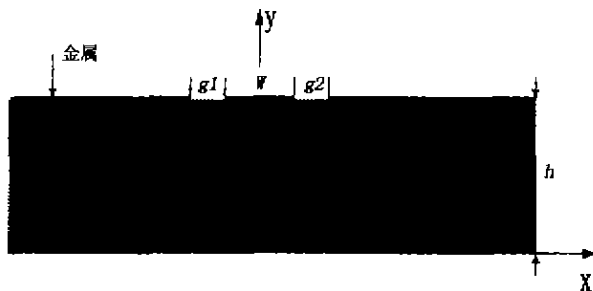


图 4 CPW 的结构
Fig. 4 The structure of CPW

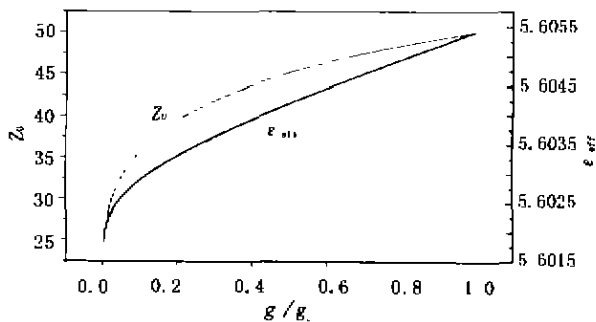


图 5 $\epsilon_{eff} \sim g_1/g_2$ 以及 $Z_0 \sim g_1/g_2$ 的关系图
Fig. 5 ϵ_{eff} vs. g_1/g_2 and Z_0 vs. g_1/g_2

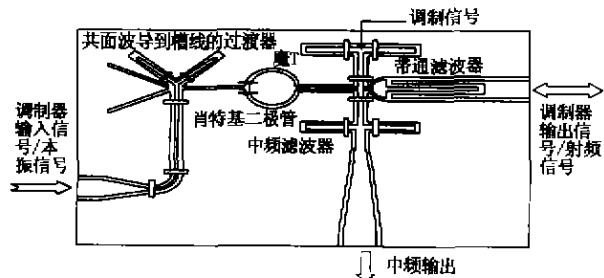


图 1 单平面双相($0^\circ \sim 180^\circ$)调制器/混频器结构
Fig. 1 The uniplanar biphasic ($0^\circ \sim 180^\circ$) modulator/mixer configuration

2.3 CPW—SLOTLINE 过渡接头^[12]

对于混频器工作模式,不同信号(LO、RF 和 IF)间的隔离是通过滤波器实现的,而 LO 和 RF 间的隔离是魔 T 固有的,因此,只在 RF 和 IF 间需要滤波器结构.对于两种工作模式,调制器的输入信号或 LO 信号均是通过 CPW—SLOTLINE 过渡接头注入到魔 T.这种转换的多接点结构提供了一个显著的宽频带.

3 电路的设计与实现

在理论分析和数值计算结果基础上对该调制器/混频器各部件尺寸进行了设计,并以 5.8GHz 为列进行分析与设计.

在电路设计中,为了保持在一较宽带宽内的匹配,所有的接头和传输线都必须有相同的特性阻抗.接头终端(短路、开路)为纯电抗性.在物理电路中,线的阻抗近似为 50Ω,与芯片相匹配.

对于槽线,根据前面的理论,我们可以算出当 $W = 44\mu\text{m}$ 时, $Z_0 = 50\Omega$.对于 CPW,当 $W = 53\mu\text{m}$, $g_1 = g_2 = 25\mu\text{m}$ 时, $Z_0 = 50\Omega$.

多功能子系统分为开路串/并联 CPW 接头,魔 T 和 CPW/SLOTLINE 过渡接头三部分,我们分别对这三部分进行设计.

3.1 开路串/并联 CPW 接头(见图 6、7)

图 6 是用作带通滤波器的开路串联 CPW 接头,图 7 是用作中频滤波器的开路并联 CPW 接头.

3.2 魔 T^[12](见图 8)

采用一个锥形的槽线 T 形结和一个锥形的 CPW 到槽线的分功器,以及用 CPW 实现两个平衡输出端口.考虑到反相的 T 形结,输入槽线的特性

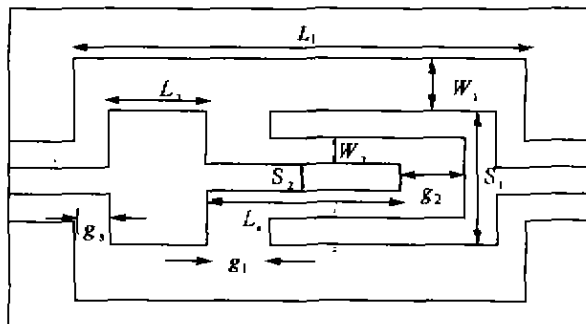


图 6 开路串联 CPW 接头
 $S_1 = 0.15\text{mm}; S_2 = 0.05\text{mm};$
 $W_1 = 0.05\text{mm}; W_2 = 0.025\text{mm}; g_1 = 0.16\text{mm};$
 $g_2 = 0.65\text{mm}; g_3 = 0.08\text{mm}; L_1 = 9.2\text{mm}$
 $L_2 = 1.3\text{mm}; L_3 = 5.57\text{mm}$
Fig 6 Opened-series CPW stub

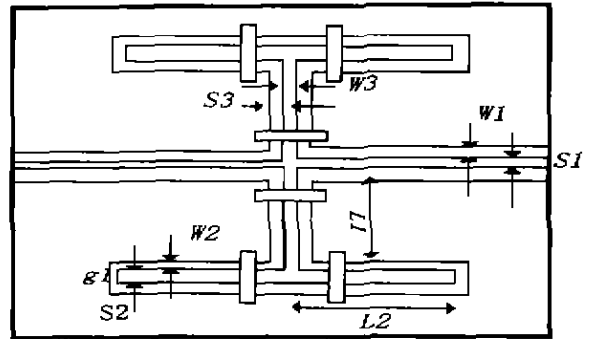


图 7 开路并联 CPW 接头
 $s_1 = 0.053\text{mm}; S_2 = 0.25\text{mm}; S_3 = 0.025\text{mm};$
 $W_1 = W_2 = W_3 = 0.025\text{mm};$
 $g_1 = 0.15\text{mm}; L_1 = L_2 = 5.40\text{mm}$
Fig. 7 Opened-shunt CPW stub

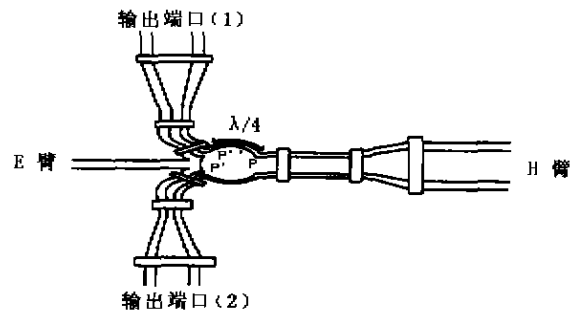


图 8 魔 T
Fig. 8 Magic T

阻抗为 $2Z_s$,连接在槽线环上 P' 参考面上.该槽线环的特性阻抗为 Z_s ,周长为 $\lambda_s/2$.两个平衡输出端定位在 P 参考面即实际的短路面(电壁)处.为了确保 (1)(2) 输出端口反相, P 面离两个输出端的距离均为 $\lambda_s/4$.对于同相输出,输入 CPW 的特性阻抗为 $Z_s/2$,和槽线环上 P 参考面相连.这种激励实际开路面(磁壁)在槽线环上 P' 处,确保信号在 (1)(2) 输出端同相.无论那种激励, P' 面和 P 面的电特性给 E 臂和 H 臂提供了相互隔离.为了展宽带宽,锥形槽线的长度和 P', P'' 间的距离应最小化.因此电路设计时 CPW 和槽线都以最小的尺寸合成.主要原因是尺寸的最小化可以大大减少不连续性的影响. CPW 实现的输出端相当于电极,其中导体要做的很宽,据经验我们取 $150\mu\text{m}$.

3.3 CPW—SLOTLINE 过渡接头^[13]

CPW—SLOTLINE 过渡接头要求所有的接头和传输线都有相同的特性阻抗,使其在一很宽频带

内都有很好的匹配.但工作频带主要受限于 CPW 和槽线色散特性的差异.而传输损耗随频率变化取决于接头中 CPW 和槽线的长度.我们选择一个双 $\lambda_g/4$ (λ_g 为波导波长) V 形 CPW 接头和一个双 $\lambda_g/4$ (λ_g 为波导波长) V 形槽线接头组合而成, (如图 9 所示).

考虑一个 $\lambda_g/4$ 的过渡接头,在主传输线有两个串联导纳(等效于两个短路的槽线接头)和两个并联的串联阻抗(等效于两个开路的 CPW 接头).其传输系数表达式为

$$S_{21} = \frac{2}{(2 - X_1) - jX_2} \quad (1)$$

式(1)中 $X_1 = X_{scpw} \setminus Y_{sslot} \cot^2(\frac{\pi f}{2f_0})/4$, $X_2 = (Z_{scpw} - Y_{sslot}) \cot \tan(\frac{\pi f}{2f_0})/2$. Z_{scpw} 为 CPW 接头的归一化等效特性阻抗, Y_{sslot} 为槽线接头的归一化等效特性导纳, f_0 是工作中心频率.

我们希望 S_{21} 在很宽的频带内不变,即在低频 ($f \ll f_0$) 和 f 接近 $2f_0$ 处 $|S_{21}|$ 趋近于 0 且当 $f = f_0$ 时, $|S_{21}| \approx 1$. 要满足以上条件,必须使参量 X_1 , X_2 可忽略,即 Z_{scpw} , Y_{sslot} 趋近于 0. 在技术加工允许范围内选择最高的 Z_{sslot} 和最低的 Z_{scpw} . 在实际的电路设计过程中,对于 $f_0 = 5.8\text{GHz}$ 的接头,我们取:

$$Z_{cslot} = Z_{ocpw} = 50\Omega, Z_{slot} = 80\Omega, Z_{scpw} = 40\Omega.$$

图 10 为 S_{21} 频响图,由图 10 可见,在很宽的频率范围内, S_{21} 的模趋近于 0, 这表明该接头具有较宽的带宽.

上述理论分析和数值计算的结果可知,我们可由各臂的阻抗求得臂宽和波导波长,再由波导波长求得各臂的臂长:

当 $Z_{ocpw} = 50\Omega$ 时, $g_1 = g_2 = 25\mu\text{m}$, $\tau = 53\mu\text{m}$, $\lambda_g = 2.1848 \times 10^4 \mu\text{m}$,

当 $Z_{scpw} = 50\Omega$ 时, $g_1 = g_2 = 25\mu\text{m}$, $\tau = 118\mu\text{m}$, $\lambda_g = 2.1828 \times 10^4 \mu\text{m}$,

当 $Z_{cslot} = 50\Omega$ 时, $\tau' = 44\mu\text{m}$, $\lambda_g = 2.4777 \times 10^4 \mu\text{m}$.

当 $Z_{slot} = 80\Omega$ 时, $\tau' = 44\mu\text{m}$, $\lambda_g = 2.8517 \times 10^4 \mu\text{m}$.

从理论上说,CPW 终端实现真正的开路/短路时, L_1, L_2 应取为 $\lambda_g/4$. 然而,在实际电路中我们应当对终端效应进行 10% ~ 20% 的经验修正

4 实验结果与讨论

(1) 图(11)是 E 臂与 H 臂之间的隔离度,从图中可见,实验结果与仿真结果一致,隔离度大于 20dB.

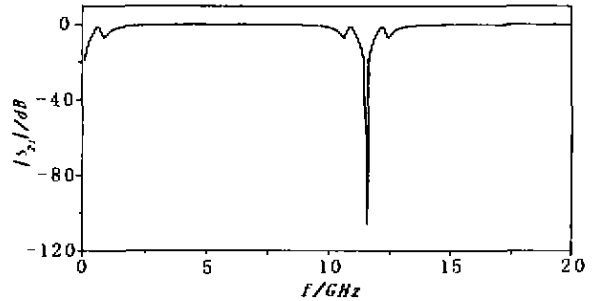


图 10 S_{21} 频响图

Fig. 10 Frequency dependence of S_{21}

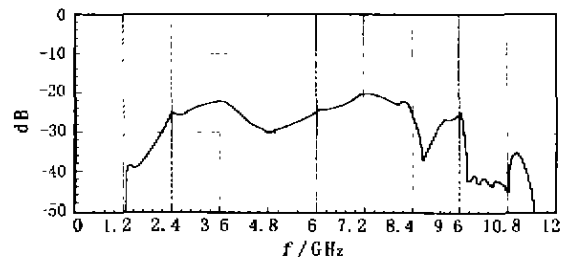


图 11 E 臂与 H 臂隔离度

Fig. 11 Isolation between E and H arms

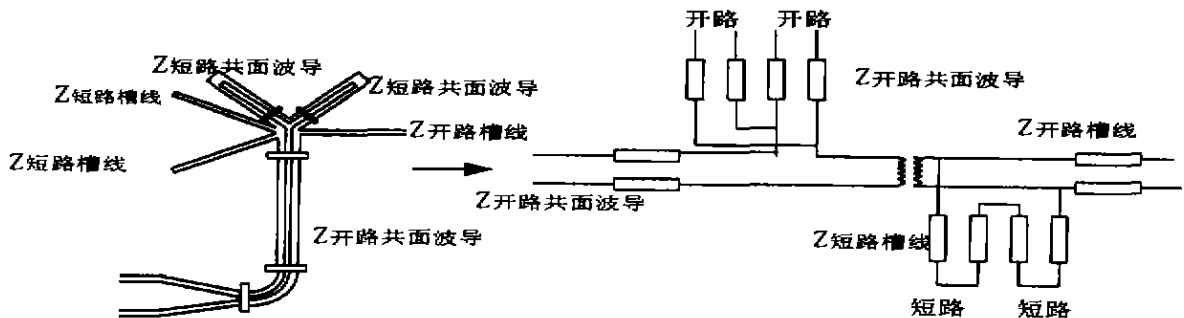


图 9 多接头 CPW/槽线转换接头的结构及其等效电路图
Fig. 9 Multistub CPW/slot transition and its equivalent circuit

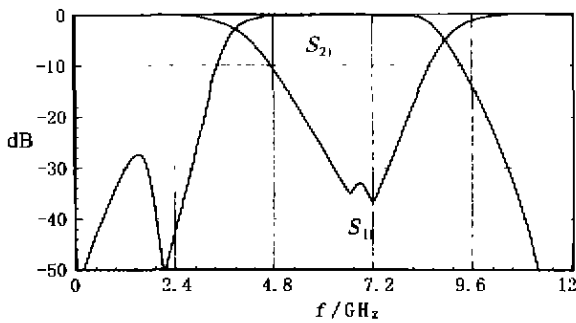


图 12 插入损耗与回程损耗
Fig. 12 Insertion loss and return loss

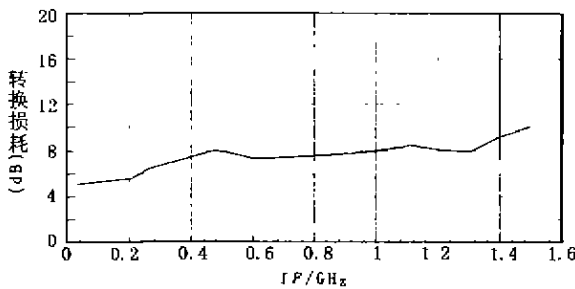


图 13 混频器特性
Fig. 13 Mixer performance

(2) 图 12 是调制器的回程损耗与传输损耗频率变化的关系图,二极管采用的是梁式引线肖特基二极管(APX37),从图中可见,在该段频率范围内,传输损耗小于 3dB,回程损耗小于 -10dB.

(3) 对于混频器模式,图 13 是转换损耗的卷积与中频的关系图,当中频从 0.06~1.5GHz 变化时,它从 5.4dB 到 10dB 变化.该混频器有着较好的端口—端口间的隔离.对于最小的转换损耗 5.4dB,射频/中频隔离度为 22dB 本振/射频隔离度为 43dB,本振/中频的隔离度为 25dB.

5 结语

单平面技术的应用为实现微波、毫米波集成电路带来了新的思路.它能提供高性能的元器件和子系统.本文成功地完成了 5.8GHz 双相调制器/混频器的结构和尺寸的设计.该种 5.8GHz 双相调制器/混频器主要用于智能交通收费系统微波非接触 ID 卡中,能大大简化和降低 ID 卡的成本.它不仅具有

频带宽、可靠性高的优点,而且使得收发信道简化,进一步实现收发机的小型化.由于本课题尚在研究过程中,实验结果和数据有待进一步完善.

REFERENCES

- [1] Tamas V. Korolkiewica E, Alaister S. A 5.8GHz microwave link for automatic debiting applications. *Microwave Journal*, 1995, 80—84
- [2] Pucel R. A. *Monolithic Microwave Integrated Circuits*. New York: IEEE Press, 1985, 553—558
- [3] Hirota T, Tarusawa Y, Ogawa H. Uniplanar MMIC hybrids—a proposed new MMIC structure. *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, 1987, MTT—35, 576—581
- [4] Ogawa H, Minagawa A. Uniplanar MIC balanced multiplier—a proposed new structure for MIC's. *IEEE Trans Microwave Theory Tech.*, 1987, MTT—35, 1363—1368
- [5] Katehi L. P. Novel transmission lines for the submillimeter-wave region. *IEEE Proc.*, 1992, 80(11):1771—1787
- [6] Houdart M. Coplanar lines; application to broadband microwave integrated circuits. *Proceedings of the 7th European Microwave Conference*, 1976, 49—53
- [7] Cohn S. B. Slotline on a dielectric substrate. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1968, MTT—17, 768—778
- [8] Cohn S. B. Slotline characteristic. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* 1969, MTT—17, 1091—1096
- [9] Gorur A, Karpuz C, Alkan M., Quasi-static TEM characteristic of overlaid supported asymmetric coplanar waveguides. *Int. J. Microwave and Millimeter-Wave Computer-aided Eng.*, 1996, 6297—303
- [10] Hilber W. From approximations to exact relations for characteristic impedances. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1969, MTT—17, 259—265
- [11] Dib N, Katehi L. P, PoncHak G. E., et al. Theoretical and experimental characterization of coplanar waveguide discontinuities for filter applications. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1991, MTT—139, 873—882
- [12] Grammer W, Ynggesson K. S. Coplanar waveguide transitions to slotline: design and microprobe characterization. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1993, MTT—41, 1653—1658
- [13] Hettak K, Coupez J. P, Sheta A., et al. Practical design of uniplanar broadband subsystems-application to a wide-band hybrid magic tee. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1994, MTT—S symp. Dig., 43:915—918
- [14] Hettak K, Coupez J. P, Le Tand, et al. Improved CPW to slotline transitions. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 1996, MTT—S symp. Dig., 47:1831—1834