

K_a 频段平面集成窄带混频器

谢晋雄 薛良金 林为干

(电子科技大学应用物理研究所, 四川, 成都, 610054)

用国产梁式引线混频二极管, 设计了平面集成混频器. 经测试, 在 31~37GHz 频率范围内混频器的变频损耗为 8.6 ± 1.4 dB, 本振-射频隔离度大于 19 dB.

关键词: 混频器, 集成鳍线, 梁式引线混频管, 微波平面集成电路, 毫米波.

1 引言

用梁式引线二极管制作的平面集成混频器具有体积小, 生产重复性好, 防振动和抗高加速度冲击等优点. 目前应用梁式引线器件制作的平面集成混频器的工作频率已高达 140 GHz. 混频二极管是混频器的核心部件, 它直接关系到混频效益的高低和混频器的工作带宽.

本文用南京电子器件研究所新研制的梁式引线混频二极管, 设计了 K_a 频段平面集成平衡混频器. 在国产介电常数为 2.22, 厚度为 0.254 mm 的仿 RT-Duroid 5880 材料上制作电路.

2 悬置带线和低通滤波器

悬置带线是构成平面集成混频器电路的基本传输线之一, 其结构如图 1 所示. 对于低

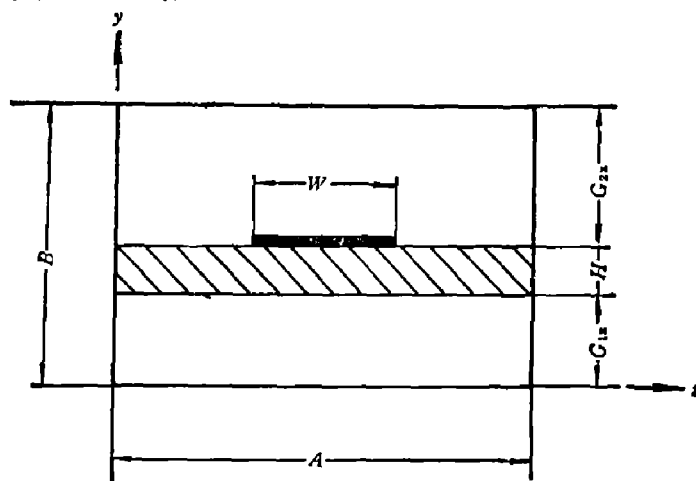


图 1 悬置带线

Fig. 1 The suspended stripline

介电常数介质, 波导模的主模一般是 LSM_{11} 模, 其截止频率为

$$f_c = \frac{C_0}{2A} \sqrt{1 - \frac{H}{B} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \right)}. \quad (1)$$

为了抑制波导模传播而仅让准 TEM 模沿带线传播, 波导内尺寸的设计必须使波导主模的截止频率高于最高工作频率. 对于 K_u 频段, 选择 $A \times B = 3.04 \times 1.27 \text{ mm}^2$, 使用国产仿 RT-Duroid 5880 ($H = 0.254 \text{ mm}$, $\epsilon_r = 2.22$) 材料, LSM_{11} 模的截止频率为 46 GHz. 则在 K_u 频段 (26~40 GHz), 该带线的传播模为准 TEM 模.

悬置带线的位函数 $\phi(x, y)$ 与导带上的电荷密度 $\rho(x, y)$ 应满足泊松方程

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \phi(x, y) = -\frac{1}{\epsilon} \rho(x, y); \quad (2)$$

式(2)中位函数 $\phi(x, y)$ 可由格林函数表示为

$$\phi(x, y) = \int_{\text{导带表面}} G(x, y/x_0, y_0) \rho(x_0, y_0) dx_0 dy_0; \quad (3)$$

式(3)中 $\rho(x_0, y_0)$ 为导带上的电荷分布. 由式(2)、(3)可以求出格林函数 $G(x, y/x_0, y_0)$. 根据 TEM 传输线理论, 单位长度上线容抗的表达式为

$$C = \frac{\left[\iint \rho(x, y) dx dy \right]^2}{\iint \rho(x, y) \cdot G(x, y/x_0, y_0) \cdot \rho(x_0, y_0) dx_0 dy_0 dx dy}; \quad (4)$$

式(4)是电容 C 关于电荷密度 $\rho(x, y)$ 的变分表示. 当导带无限薄时, 电荷密度 $\rho(x, y)$ 可表示为

$$\rho(x, y) = f(x) \cdot \delta(y - G_{1x} - H), \quad (5)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{W} \left(1 + k_1 \left| \frac{2}{W} \left(x - \frac{A}{2} \right) \right|^s \right); \\ 0, & \left(\frac{A-W}{2} \right) \leq x \leq \left(\frac{A+W}{2} \right), \\ \text{其它}; \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中 k_1 是确定 $f(x)$ 形状的系数. 根据里兹法(Ritz), 式(4)应满足

$$\frac{\partial C(\rho(x, y))}{\partial k_1} = 0; \quad (7)$$

将 k_1 和格林函数 $G(x, y/x_0, y_0)$ 代入式(4), 经推导可得到单位长度的线容抗 C 为

$$C = \frac{2\epsilon_0 Q^2}{A \sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 g_{1n}}; \quad (8)$$

式(8)中

$$V_n = \frac{1}{W} (V_{1n} + V_{2n}); \quad Q = 1 + 0.25 K,$$

$$K = - \frac{\sum_{n=1}^{\infty} (4V_{2n} - V_{1n}) V_{1n} g_{1n}}{\sum_{n=1}^{\infty} (4V_{2n} - V_{1n}) V_{2n} g_{1n}}; \quad V_{1n} = \frac{4}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi W}{2A}\right),$$

$$V_{2n} = \frac{2W}{A} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cdot \left\{ \frac{\sin\left(\frac{n\pi}{2A}W\right)}{\left(\frac{n\pi W}{2A}\right)} + \frac{3}{\left(\frac{n\pi W}{2A}\right)^2} \right.$$

$$\cdot \left[\cos\left(\frac{n\pi W}{2A}\right) - \frac{2 \cdot \sin\left(\frac{n\pi W}{2A}\right)}{\left(\frac{n\pi W}{2A}\right)} + \frac{\sin^2\left(\frac{n\pi W}{4A}\right)}{\left(\frac{n\pi W}{4A}\right)^2} \right] \Bigg\},$$

$$g_{1n} = \frac{A\eta_n}{n\pi\Delta_n} \cdot \sin h\left(\frac{n\pi H}{A}\right),$$

$$\Delta_n = \varepsilon_r \cdot \xi_n \cdot \sin h\left(\frac{n\pi G_{2a}}{A}\right) + \eta_n \cdot \cos h\left(\frac{n\pi G_{2a}}{A}\right),$$

$$\xi_n = \cos h\left(\frac{n\pi G_{1a}}{A}\right) \cdot \cos h\left(\frac{n\pi H}{A}\right) + \varepsilon_r \cdot \sin h\left(\frac{n\pi G_{2a}}{A}\right) \cdot \sin h\left(\frac{n\pi H}{A}\right),$$

$$\eta_n = \cos h\left(\frac{n\pi G_{1a}}{A}\right) \cdot \sin h\left(\frac{n\pi H}{A}\right) + \varepsilon_r \cdot \sin h\left(\frac{n\pi G_{1a}}{A}\right) \cdot \cos h\left(\frac{n\pi H}{A}\right).$$

在准 TEM 模的情况下, 悬置带线的特性阻抗 Z_0 和波导波长 λ_g 定义为

$$Z_0 = 1 / [C_0 \cdot (C_1 \cdot C)^{0.5}]; \tag{9}$$

$$\lambda_g = (C_1 / C)^{0.5} \cdot \lambda_0; \tag{10}$$

式(9)、(10)中, C_0 是真空中光速; C 是悬置带线导带的电容; C_1 是在无介质层时 ($\varepsilon_r = 1$) 悬置带线的导带电容; λ_0 是真空中波长。

在混频器电路中, 低通滤波器是用于隔离本振和射频功率而输出中频信号。目前, 在平面电路设计中使用最为普遍的是高低阻抗线低通滤波器, 其选用节数一般为奇数。但在混频器电路中, 滤波器的高低阻抗值可能有变化, 而且节数不一定为奇数, 有时还要考虑各电路的连接问题。因此, 我们用级联理论来设计低通滤波器。一个由多节特性阻抗高低不同的传输线构成的级联网络的总 $[A]$ 参数为

$$[A] = \prod_{i=1}^N [A_i], \tag{11}$$

$$[A_i] = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & jZ_{0i} \sin \theta_i \\ j\frac{1}{Z_{0i}} \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{bmatrix}. \tag{12}$$

将级联网络总的 $[A]$ 参数转换成 S 参数, 可求出该低通滤波器的传输特性, 即插入损耗。对

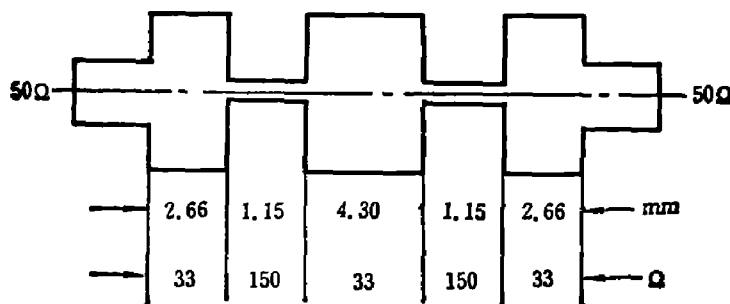


图 2 悬置带线级联电路

Fig. 2 Cascade circuit for the suspended stripline

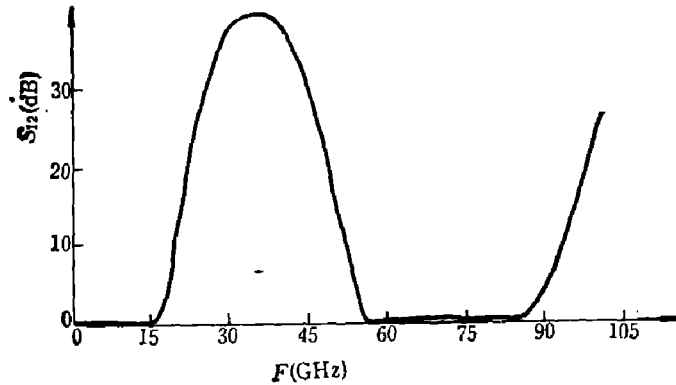


图3 级联电路的低通特性

Fig. 3 Low-pass characteristics of cascade circuit

于图2的高低阻抗线级联网络, 我们求出它的频率特性理论值如图3所示. 由图3可见, 该电路的第一通带为0~15GHz, 第二通带约为55~85GHz, 因此它可用作 K_u 频段混频器电路的低通滤波器.

3 平面集成混频器

平面集成混频器的电路如图4所示. 在此电路中由鳍线, 共面线构成的 180° 混合结提供了平衡混频器的电路基础. 两个混频管置于电路结时要使它们对射频(RF)信号呈现串联关系, 而对本振(LO)信号呈现并联关系. 因此, 两个二极管需反向并联焊接在平衡结上. 从对称鳍线端口馈入的RF信号在两个二极管上产生同相波, 由于近似的末端开路效应, RF信号在两个二极管处电压呈最大值, 两个二极管的位置应该尽量靠近鳍线槽口. 从非对称鳍线端口馈入的本振信号, 经共面线传输到两个二极管处, 在两二极管上产生反相波. 这种相位关系也提供了RF与LO之间的隔离. 混频产生的中频信号由低通滤波器输出. 滤波器的输出阻抗为 50Ω , 并端接标准SMA接头.

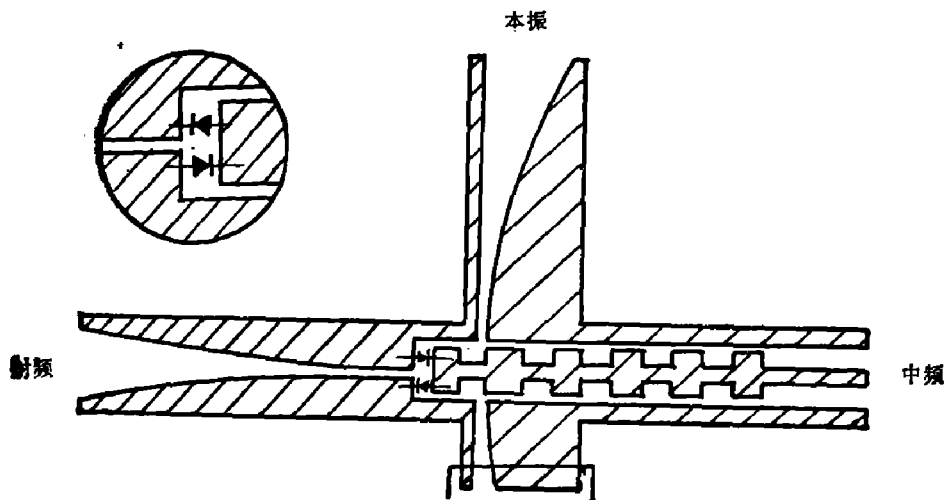


图4 平面集成混频器

Fig. 4 Integrated planar mixer

为了实现波导高阻抗(400~500 Ω)与二极管对低阻抗(100~150 Ω)之间的匹配,我们选择了余弦平方渐变过渡。对称鳍线槽口宽度为^[1,2]

$$W(z) = B - (B - W) \cdot \sin^2\left(\frac{\pi z}{2L}\right); \quad (13)$$

式(13)中, $B=3.56$ mm 为波导窄边尺寸(K_0 频段 WR-28), $W=0.1$ mm 为最小槽宽, $L=14$ mm 为过渡段长度, z 为过渡段从左起的坐标位置。为了快速与准确地计算,我们用鳍线经验公式^[3,4]建立了计算单面和双面对极鳍线过渡段的 Fortran 77 计算机程序。利用该程序可以计算出过渡段的损耗和频率特性。经数值计算,我们发现此过渡段具有极好的插入损耗特性和宽带特性。

对图 4 的混频结构制作电路,并使用南京电子器件研究所新研制的梁式引线混频管制作混频器。将本振定于 34 GHz,射频频从 30 GHz 扫到 38 GHz,混频器的性能如图 5 所示。可以看到:在 31~37 GHz 的频率范围内,混频器的变频损耗为 8.6 ± 1.4 dB,最小值为 7.2 dB,本振射频隔离度大于 19 dB。

致谢:作者对应用物理研究所有关同志的帮助和西南电子技术研究所在测试中给予的帮助表示感谢。

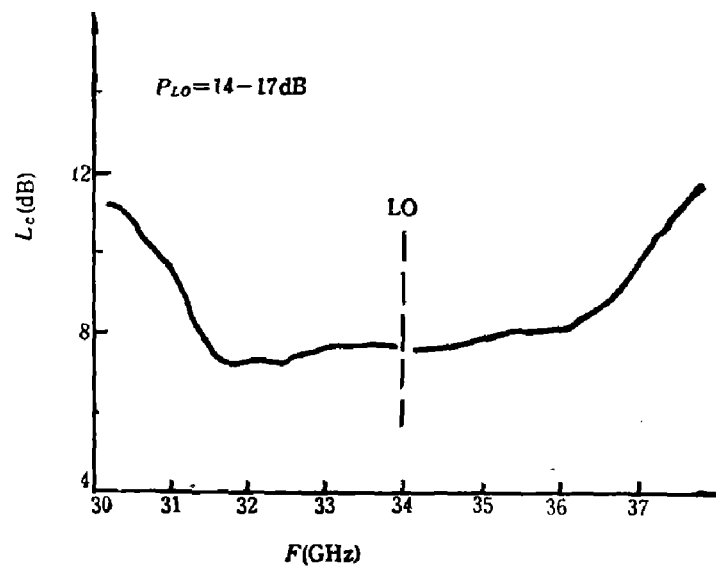


图 5 混频器的性能

Fig. 5 The performance of the mixer

参 考 文 献

- 1 谢晋雄,系统工程与电子技术,1990;(2):49~54
- 2 谢晋雄,系统工程与电子技术,1990;(10):20~24
- 3 薛良金,王秉中,电子学报,1985;(1):9~18
- 4 Aroind K, Sharm A et al. *IEEE trans on* 1983; MTT-31 (4): 350~356

K_a BAND INTEGRATED PLANAR MIXER

Xie Jingxiong, Xue Liangjin and Lin Weigan

*(Institute of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of
China, Chengdu, Sichuan 610054, China)*

An integrated planar mixer is designed on the basis of domestic-made beam lead diodes. In the frequency band 31~37GHz the conversion loss is 8.6 ± 1.4 dB and the RF/LO isolation is greater than 19dB.

Key words: mixers, integrated finlines, beam lead diodes, microwave integrated planar circuits, millimeter waves.