

# 一种性能优良的和频上变频器

邓绍范 邱景辉

(哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 150006)

**摘要** 本文介绍一种结构新颖、性能优良的 8mm 波段和频上变频器。变频器的变频损耗为 2.9dB; 1dB 压缩点输出功率 1.34mW; 和频信号小于 1mW 范围内, 变频器具有极好的线性; 和频信号比杂散组合频率谱线强 30dB 以上; 各端口隔离度均大于 40dB。

**关键词** 上变频器; 双脊波导; 变容管

## 1. 前言

毫米波在通讯、目标探测、信号仿真等系统中的应用已逐渐成为现实。但目前的技术水平直接实现对毫米波信号的幅度、相位的快速控制是有困难的。本文介绍的就是能将微波信号线性地变换为毫米波信号的电路——一种和频上变频器。

对和频上变频器的技术要求是<sup>[1]</sup>, 输出信号频率为 35.2GHz; 3dB 带宽不小于 500 MHz; 输出信号线性区最大功率不小于 100  $\mu$ W; 输入信号频率可在 8.5~10GHz 范围内选择。

上述技术要求表明, 变频器跨越 X, K, Ka 三个频段工作, 且要求上变频器在完成 X 波段信号变换为 Ka 波段信号时, 具有良好的线性变换特性。

## 2. 电路结构和特点

电路由 8mm 标准双脊波导、横杆和一对特性一致的砷化镓参放变容管组成。电路结构示意图如图 1 所示。图 1(a) 为 8mm 双脊波导部分沿宽边中心线剖面图; 其一端加短路器做为泵浦回路调谐用; 另一端由脊波导过渡到与 K 波段泵浦源相接; 两只变容管  $D_1, D_2$  同方向串接于脊波导中央位置。图 1(b) 为沿  $D_1$  和  $D_2$  轴线横断面剖面图, X 波段输入信号通过同轴线经脊波导窄壁中横杆馈至变容管  $D_1, D_2$  中间, Ka 波段和频信

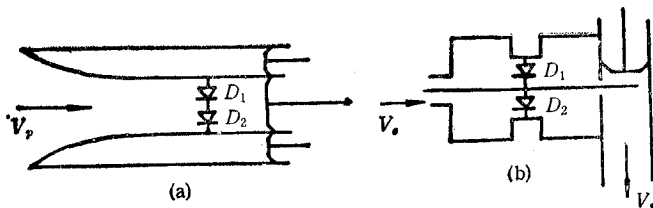


图 1 电路结构示意图

号则由变容管  $D_1, D_2$  中间通过横杆经脊波导另一侧窄壁馈至 8mm 标准波导腔, 同轴线上的调配螺钉与和频波导腔短路器都作为输入、输出回路调配用。

由上述结构可见,此电路有如下几个特点:

(1) 双脊波导做电路主体,其优点有二:一是它具有大于倍频程的超宽带特性(15.2~40GHz),单模工作频带跨越了 K, Ka 两个频段<sup>[2]</sup>;二是双脊波导特性阻抗低,从 22~40GHz 在 200Ω 以下,而 Ka 标准矩形波导从 26.5~40GHz 特性阻抗为 440~620Ω<sup>[3]</sup>。这一特点使它便于与低阻抗的变容管相匹配,省去了与频率有关的阻抗变换元件。

(2) 横杆结构使得电路结构十分简单。一方面因为横杆与泵浦电场垂直,且联接在变容管  $D_1, D_2$  中间,横杆上不感应泵浦电流,如图 2 所示;另一方面,输入、输出电路是分别经脊波导两侧窄壁的横杆与脊波导耦合的,而窄壁处泵浦电场为零,因之泵浦电路与输入、输出电路之间有很高的隔离度。与一般变频电路相比,省去了与频率有关的滤波隔离元件。

(3) 电路设计为信号反相型双管平衡上变频器。只要电路对称, $D_1, D_2$  特性一致,理论上输入信号的偶次谐波及输入信号偶次谐波的组合频率,在和频输出端口被抵消。合理地选择输入信号频率( $f_s$ ),可抵消和频( $f_u$ )附近的寄生干扰频率,例如选择  $f_s = 9.5\text{GHz}$ ,若  $f_u = 35.2\text{GHz}$ ,则泵频  $f_p = 25.7\text{GHz}$ ,和频附近的寄生干扰频率,如  $2f_p - 2f_s = 32.4\text{GHz}$ ;  $4f_s = 38\text{GHz}$ ;  $3f_p - 4f_s = 39.1\text{GHz}$ ;  $6f_s - f_p = 31.3\text{GHz}$  等均不存在,提高了输出信号的频谱纯度。

(4) 电路有 4 个机械调谐机构<sup>[4]</sup>,可以较方便地调到最佳工作状态。具体调谐如下:(a) 两只变容管是固定在两只 M4 螺杆上接到电路上的。通过对 M4 螺杆位置的微动可调整两只变容管在双脊波导间的相对位置,这种调整可改善两管特性的微小差异及电路对称性的微小差异所造成的电路特性的不平衡,提高了电路的性能。(b) 双脊波导短路器位置调整,起到调谐泵浦回路的作用。(c) 和频端口短路器位置调节及信号端口同轴调配螺钉可分别调谐和频回路及信号回路。

(5) 使用低耗参放变容管做成平衡式上变频器,具有变频损耗小,不存在泵浦噪声引入的和频噪声以及电路绝对稳定等优点。

### 3. 测试

电路的测试是在航空航天部第二研究院计量研究所和哈尔滨工业大学微波实验室进行的。测试所用主要仪器有频率综合器 HP8672A (信号源),专门研制的 26GHz 固态锁相源(泵浦源)和 35GHz 固态锁相源,日本产标准移相器 PS-104,日本产标准衰减器 At-106,α 公司的 8mm 混频器 A9635A,西德 R/S 公司产双通道矢量分析仪 ZPV[3] (相位计),精密测试接收机 13611,噪声系数仪,噪声源等。信号源频稳为  $10^{-8}/12\text{h}$ ,测试幅度精度为 0.1dB,相位准确度为  $0.5^\circ$ <sup>[4]</sup>。

变频器所搭接的测试系统有幅相特性测试系统、动态范围测试系统及噪声测试系统等<sup>[1,4]</sup>。其中较复杂的是幅相特性测试系统,其简化的方框图如图 3 所示。当改变信号通道中标准移相器或标准衰减器时,从相位计上可直接读到上变频器的输出信号的相位或幅度值。测试结果虽然是在中频上得到的,但根据变频保相原理<sup>[4]</sup>,它是直接表示上变频

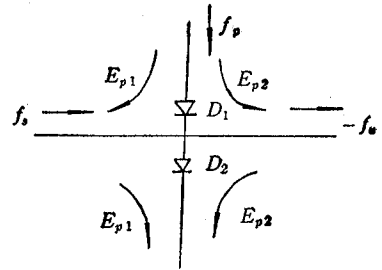


图2 泵浦源电场  $E_{p1}, E_{p2}$  在横杆上反相

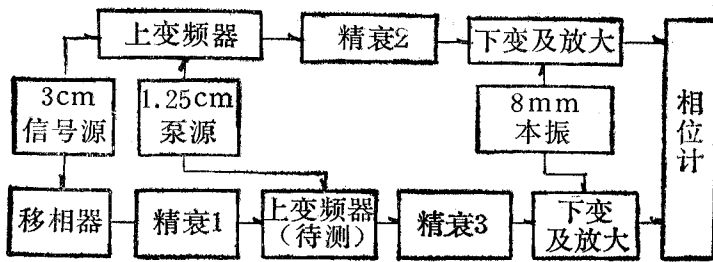


图3 上变频器幅相特性测试系统方框图

器的输出信号相位和幅度特性的。测试结果如下:

(1) 最佳泵浦激励功率 60mW 左右;

(2) 1dB 压缩点输出功率为 1.34mW; 1mW 范围内有极好的线性; 变频损耗 2.9dB。测试数据列于表 1。

表1 泵浦功率  $P_p = 60\text{mW}$ ,  $f_u = 35.2\text{GHz}$ ,  $f_s = 9.5\text{GHz}$ 

信号功率 $P_s(\mu\text{W})$	3300	3000	2500	2000	1500	1000	500	250	120	60
和频功率 $P_u(\mu\text{W})$	1340	1300	1150	1010	765	510	255	127	61	30
变频损耗 $L_m(\text{dB})$	3.91	3.63	3.37	2.96	2.92	2.93	2.93	2.94	2.94	3.00

(3) 幅相特性 (在线性工作区, 即  $P_u < 1\text{mW}$  时): 输入信号相位变化  $180^\circ$ , 每变化  $10^\circ$ , 对输出信号相位测一数据, 输出信号相位对应改变在  $10^\circ \pm 1^\circ$  内<sup>[4]</sup>; 输入信号幅度在 0—33dBm 范围内改变时, 输出信号实测幅度变化在  $\pm 1\text{dBm}$  内, 相位变化在  $\pm 1^\circ$  内。

(4) 上变频器 3dB 相对带宽实测为 6.5%;

(5) 在微波频谱分析仪上测得输出信号谱线宽度为 2kHz, 和频信号相对于杂散组合频率的谱线幅度高 30dBm 以上;

(6) 各端口隔离度实测大于 40dB, 镜象抑制大于 40dB;

(7) 信号端口的电压驻波比为 2.06; 泵浦口的为 2.09。

#### 4. 结论

本文介绍的和频上变频器具有良好的电气性能, 在线性工作区具有良好的幅度、相位保真特性, 变频损耗小、输出信号谱纯度高, 且电路型式新颖, 结构简单, 调谐方便, 是一种有推广应用前景的电路。

#### 参 考 文 献

- [1] 邓绍范等, 八毫米波段和频上变频器研究报告, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨, 1987年。
- [2] Shizuo Mizushima et al., *IEEE Trans. on MTT*, **MTT-25**(1977)12, 1131—1134.
- [3] L.T. Yuan, *IEEE Trans. on MTT*, **MTT-25**(1977)12, 1048—1054.
- [4] 徐德忠等, 八毫米波段和频上变频器测试报告, 航空航天部第二研究院计量研究所, 北京, 1987年。

## HIGH-PERFORMANCE SUM-FREQUENCY UPCONVERTER

Deng Shaofan Qiu Jinghui

*(Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)*

**Abstract** A new 8 mm high-performance sum-frequency upconverter is described. Its conversion loss is 2.9 dB; its output power is 1.34mW at 1 dB compression point. As the power of sum-frequency signal below 1mW, the upconverter shows a very good linearity. Sum-frequency signal is 30 dB higher than stray spectrum. The isolation of each port is over 40 dB.

**Key words** Upconverter; Double-ridge waveguide; Varactor diode