

新型准光学瓦级功率合成器*

张富鑫 张瑞兵 林崇文 张玲人 于秀云

(电子科技大学高能所,成都 610054)

摘要 本文介绍一种新型短焦距开放腔功率合成器的实验结构和实验结果。由4只标称功率为155mW,160mW,160mW和165mW的Gunn二极管,采用串联型接法进行的合成实验,在X波段获得了开机输出功率大于1W,稳定输出功率为850mW。

关键词 功率合成器;短焦距;准光学谐振腔;Gunn二极管;串联型接法

1. 引言

从微波到光波,准光学技术是一条有效的发展途径。近几年,准光学固态多管功率合成器,在俄罗斯、乌克兰、美国、日本等国家以及国内的一些单位都做了一定的研究工作,取得了可喜进展。但性能有待提高,器件的小型化问题和扩展波段的问题都尚待解决。为此,本工作突破一般长焦距准光学腔的限制,在X波段采用短焦距准光腔^[1],并由带4只Gunn二极管的谐振光栅,安置在腔内,以绕射辐射方式对腔场进行激励。获得了预想的瓦级功率输出,达到了预期的实验研究目的。下面给出简要介绍。

2. 原理和结构

图1是本文设计的准光学固态多管功率合成器(固态Orottron)的总体结构示意图。它包括:1.输出波导,2.球面镜,3.外壳内表面周期结构,4.外壳,5.谐振光栅,6.平面镜,7.底座,8.Gunn二极管,9.输出耦合孔。它同传统功率合成器在结构上的差别,就在于这里采用了新型准光学部件:短焦距开放腔和谐振光栅源阵。

短焦距开放腔是一种小型开放腔,可按下式确定尺寸:

$$\left. \begin{aligned} (R/\lambda) &\approx 1.5 \sim 4 \\ (a/\lambda) &\approx 1.5 \sim 2.5 \\ N_0 = (a^2/L\lambda) &\approx 1.4 \sim 3.5 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 a 为开放腔口面的半径, R 为反射镜的曲率半径, L 为镜间距离, N_0 是非涅耳数, λ 是工作波长。理论与实验均已证明,这种开放腔可具有足够高的 Q 值和更稀的模谱^[2]。

1992.02.02收到,1992.10.22定稿。

* 电子科学研究院预研基金资助项目。

张富鑫 男,1938年生,副研究员,现从事电子物理与器件的研究工作。

张瑞兵 男,1969年生,硕士研究生,现从事电子物理与器件的研究工作。

林崇文 男,1935年生,研究员,现从事电子物理与器件的研究工作。

张玲人 女,1942年生,工程师,现从事电子物理与器件的研究工作。

于秀云 女,1962年生,工程师,现从事电子物理与器件的研究工作。

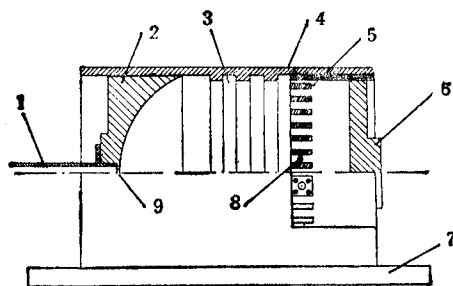


图1 合成器总体结构示意图

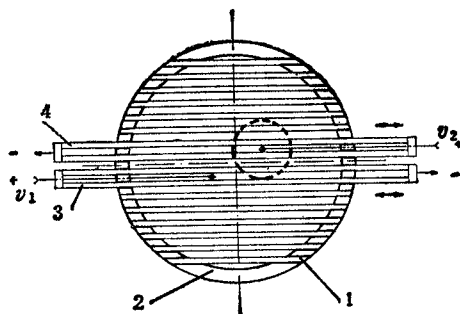


图2 谐振光栅源阵结构示意图

图中 v_1 、 v_2 应为 V_1 和 V_2

本文根据(1)式,在X波段,计算得图1中短焦距球面镜2的一组尺寸为: $2a = 120\text{mm}$, $R = 90\text{mm}$ 。

图2是谐振光栅和两对Gunn二极管及其偏置电源线组成的谐振光栅源阵示意图。它包括:1.光栅条,2.光栅盘,3,4.两对光栅,十两对Gunn管。

谐振光栅是一种对场具有最大通透性的绕射光栅。在下列条件下,H-激化波(电矢量垂直于栅条)可无反射地透过光栅。这时,光栅对系统中的场扰动最小,几乎不影响系统的Q值和谐振频率。

$$\left. \begin{aligned} h &= m(\lambda/2), \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \\ p &= 0.38\lambda \\ d &\approx 0.5P \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 h 为光栅条的高, p 为光栅结构周期, d 为相邻光栅条间空隙的宽度。

本文根据(2)式,在X波段,计算得图1中谐振光栅5的基本尺寸为: $h = 15\text{mm}$, $p = 11\text{mm}$, $d = 5.5\text{mm}$ 。串联的2对Gunn二极管分别安置在图2中的两对光栅条3和4中。偏置电源线用通过穿心电容的细导线接到二极管的正极。

输出波导1与开放腔的耦合是通过球面镜上尺寸为 23×4 的矩形膜孔实现的。在总体结构上谐振光栅盘可绕腔的纵轴转动和平行移动微调,以便在安装调试中达到开放腔与负载,有源谐振光栅与开放腔的最佳耦合。平面镜6可沿纵轴移动以改变合成器输出信号的频率,其变化规律服从(3)式:

$$f_{mnq} = \frac{c}{2L} \left[q + \frac{(m+n+1)}{2\pi} \arccos \left(1 - \frac{2L}{R} \right) \right], \quad \begin{aligned} m, n &= 0, 1, 2, \dots \\ q &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (3)$$

式中 c 是光速, m, n 为横向模式序数, q 为纵向模式序数。

此外,在外壳内表面的周期结构上涂微波衰减材料,用以吸收因绕射而逸出开放腔的高频功率,改善频谱特性。

3. 实验结果和分析

我们利用4只2EY8D型Gunn二极管进行了功率合成实验。每只二极管的标称功率分别为155mW,160mW,160mW,165mW。合成实验已观测到开机功率输出大于1W,稳定输出功率为850mW,振荡频率为8.223GHz,开机半小时后的3.5h内测得的输出功率衰减量为0.02dBm/h,1个振荡区的有效机械调谐带宽为1.5%,偏压调谐斜率很小。实验

结果具有良好的重复性。图 3 是测得的四管功率合成器的功率特性和频率特性。由此可见,合成器的输出功率电平随偏压连续变化,而频率则变化很小,表明这种带光栅的开放腔,既是谐振系统,又是稳频系统。

为了保证合成器中多只 Gunn 二极管能产生有效振荡,在挑选二极管时,必须选取电物理参量十分接近的管子。另外,为了使多只二极管振荡同步,必须将它们安置在谐振腔中驻波场波幅等相位面上;为了对腔场有效激励,二极管还必须位于开放腔场的场斑中部,因为腔场是按高斯束分布。球-平面开放腔中距离平面镜 z 处的场斑半径 $w(z)$ 可由(4)式确定

$$w^2(z) = \frac{\lambda}{\pi} \frac{L(R-L) + z^2}{[L(R-L)]^{1/2}} \quad (4)$$

为了保证多管功率合成效率高和偏置电路结构简单,我们在这里将二极管在谐振光栅上串联布阵(高频串联)。偏置电压由同一电源并联供给。

实验统调测试中,合成器的最大输出功率出现在开放腔镜间距离约等于球面反射镜曲率半径的 $1/2$ 处,这时的开放腔为准半共焦腔。多管功率的合成效率 $\eta \geq 100\%$ 。改变反射镜之间的距离 L ,观测到了一系列的振荡区,其间相隔约半个波长,表征一系列纵向模 TEM_{00q} 振荡。

4. 结语

本文提出并设计的短焦距准光学谐振腔加谐振光栅和多只 Gunn 二极管串联布阵,已被实验证明是一种比较好的实用结构。较之于传统结构,具有好的特性。宜在长毫米波和厘米波段的固态多管功率合成器中广泛应用。而在短毫米波和亚毫米波,按本文观点,宜采用长焦距准光腔加集成化谐振光栅源阵结构。

参 考 文 献

- 【1】 林崇文,张富鑫译校,毫米波亚毫米波准光学器件与系统,电子科技大学出版社,成都,1991年,第48—56页。
 【2】 J.C. Wiltse, J.W. Mink, *Microwave Journal*, 35(1992)2,144—156.

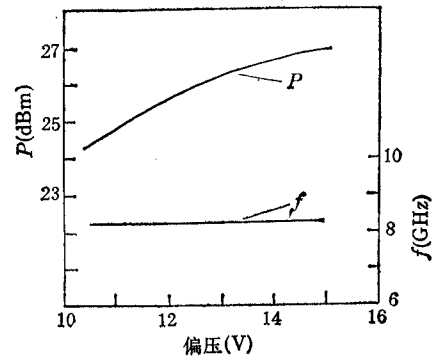


图 3 功率,频率-电压曲线

A NEW QUASI-OPTICAL WATT-LEVEL SOLID-STATE POWER COMBINER

Zhang Fuxin Zhang Ruibing Lin Chongwen Zhang Lingren Yu Xiuyun

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract Experimental structure and results of a new type of solid-state power combiner with short focal length open cavity are presented in this paper. In X wave-band, the experiments use four Gunn diodes, with every two in series with electric field, whose rated CW power are 155 mW, 160 mW, 160 mW and 165 mW, respectively. The obtained experimental results show that the opening machine CW output power is over 1 W, stable CW output power is about 850 mW.

Key words Solid-state power combiner; Short focal length; Quasi-optical resonator; Gunn diode; Series connection