

文章编号: 1001-2486(2002)04-0065-04

利用行波管放大器产生微波波段拍波实验*

方进勇, 李平, 乔登江

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要:介绍了一种先利用初级源进行小功率合成产生微波波段拍波, 然后再用单只行波管放大器进行功率放大产生较高功率微波波段拍波脉冲的方法, 目的在于为高功率微波效应研究提供方便、实用的拍波效应源。实验结果显示: 利用单只行波管放大器可以在微波波段产生拍频为 1MHz~几百 MHz 的拍波, 并可以调节两个频率分量在总输出中的功率比例, 实验获取的拍波脉冲输出功率为 2kW, 脉冲重复频率为 10kHz。实践证明, 这种方法可以满足部分高功率微波拍波效应研究的需要, 有一定的推广应用价值。

关键词:拍波; 高功率微波

中图分类号: TN015 文献标识码: A

The Production of Beat Wave Using L-band Travelling-Wave Tube Amplifier

FANG Jin yong, LI Ping, QIAO Deng jiang

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: We present in this paper the production of beat wave using a single L-band travelling-wave tube (TWT) amplifier. The beat wave was first generated in a primary source using power synthesis method, then injected into a TWT amplifier to obtain relatively high power output. This approach is initiated to provide practical beat wave radiant source for high power microwave (HPM) effect research. Experimental results demonstrate that for 1~2GHz carrier frequency, it is quite practical to produce beat frequency ranges from 1MHz to 900MHz at 10kHz repetitive rate using one TWT amplifier. The output parameters of the beat wave are readily adjustable in terms of varying the feeding frequency components' power levels. The production of beat wave using single TWT amplifier takes advantages over some conventional methods since the beat wave can be formed in low power, low cost microwave sources. This method has been successfully used in certain electrical system HPM vulnerability effect experiments.

Key words: beat wave; high power microwave

高功率微波效应的主要内容是探讨各类电子系统在不同微波脉冲作用下的干扰损伤阈值。对于电子系统效应, 一般是利用 kW 级或 MW 级微波源配置合适天线进行效应实验。当前, 作用于效应物的微波脉冲一般只有一个主频率, 但根据电子设备的特点, 结合效应机理分析有人提出: 用两个或多个不同频率的微波脉冲同时作用于电子系统可能会使系统干扰、损伤阈值降低。其主要原因是两个或多个脉冲由于主频率不同将产生差拍, 通过系统非线性作用有可能检波出差拍频率, 如果差拍频率与系统工作频率(如计算机主频率)相接近, 则作用效果可能会大大提高。当前, 在高功率微波拍波效应实验中, 国外报导的产生拍波方法为用两套独立的微波源同时向空间辐射, 国内有人尝试用两个独立的微波源在输出端进行功率合成, 然后再用同一天线进行辐射。这两种方法的本质是一样的, 即是将放大后的两个或多个功率为 kW 级或 MW 级的微波脉冲在空间或波导内进行合成产生拍波。这种方法存在一些不足: 首先在技术上, 两套或多套独立运行的微波源同步输出将存在一定困难; 其次, 合成拍波的脉冲宽度及脉冲重复频率调节也较为麻烦; 第三, 大功率合成也是一个比较棘手的问题; 另外, 两套独立的微波源将有可能增加研究成本。为了克服以上方法的不足, 根据行波管的特点, 本文介绍了一种利用初级源功率合成再放大的方法产生输出功率为 kW 量级的微波波段拍波, 获得了良好的实验结果, 实验中产生的拍波已经较好地应用到部分高功率微波效应实验研究中^[3~8]。

* 收稿日期: 2002-03-01
基金项目: 国家 863 高技术资助项目 (863-410-741)
作者简介: 方进勇 (1971-), 男, 博士生。

1 技术原理及实验方法

1.1 拍波基本概念简述^[1,2]

如果空间有两个或两个以上的电磁波同时传播，在空间某一点，任意时刻的电磁波振幅将是各个电磁波振幅的矢量和，但每一个电磁波都独立地保持自己原有的特性（频率、波长、极化方向）。设空间同方向传播的两个电磁波频率分别为 f_1 和 f_2 ，则在空间合成时，合振幅将加强或减弱各 $(f_2 - f_1)$ 次，这样两个同方向传播的电磁波在空间合成时，由于周期的差别而造成合振幅时而加强，时而减弱的现象称为拍。合振幅在单位时间内加强或减弱的次数称为拍频，空间合成后的电磁波则称为拍波。设拍频为 f ，则： $f = f_2 - f_1$ 。

下面给出一个简单情况，即两个振幅相等而频率相差不大的正弦波叠加后的情况：

$$E_1(z, t) = E \cos(\omega t - \beta z)$$

$$E_2(z, t) = E \cos[(\omega + \delta\omega)t - (\beta + \delta\beta)z]$$

$$\delta\omega \ll \omega \quad \delta\beta \ll \beta$$

则合成后：

$$E(z, t) = E_1(z, t) + E_2(z, t)$$

$$\approx E_m(z, t) \cos(\omega t - \beta z)$$

$$E_m(z, t) = 2E \cos\left(\frac{\delta\omega}{2}t - \frac{\delta\beta}{2}z\right)$$

可以看到，合成后的信号振幅变化包含了两个原始信号的频差信息。在微波波段，可以利用检波器进行检测，利用示波器可以清楚地看到信号包络变化的详细过程。图 1 给出了两个振幅相等而频率稍有不同的同方向电磁波电场振幅合成情况。

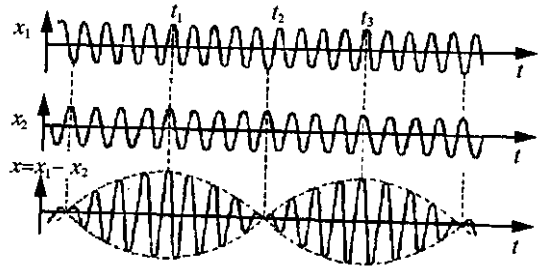


图 1 拍波合成示意图

Fig.1 The production of beat wave

1.2 实验方法简介

如图 2 所示，两个输出功率为 mW 级的微波信号源在行波管输入端前利用功率合成器进行功率合成，合成后的拍波经行波管放大后再利用天线辐射出去。可以通过改变两个初级信号源的频率来改变差频，通过调节两个信号源的输出功率来改变拍波信号中两个频率分量的比例，通过调节同步信号发生器的触发信号频率来改变输出拍波脉冲的重复频率。

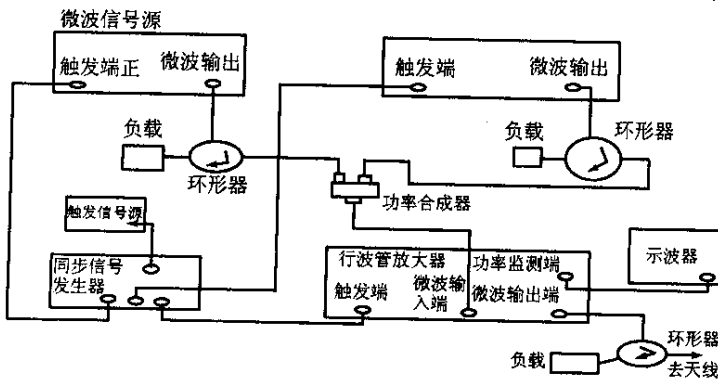


图 2 实验装置示意图

Fig.2 Schematic of experiment systems

利用以上方法，只需要一只行波管即可产生适用于部分 HPM 效应实验的微波波段拍波。需要进一步说明的是，我们的实验目的是产生重复频率可以变化的拍波脉冲，以模拟实际的 HPM 拍波效应，脉冲重复频率的变化范围受触发信号源、初级微波源及行波管放大器的参数限制，如果在达到一定程度后继续增大，在实际操作中 will 存在一定困难。

2 实验结果

利用工作频率为 1~2GHz 的行波管放大器，采用初级源功率合成的方法产生了 L 波段拍波，拍波最大输出功率达到 2kW，拍波的拍频范围由 5~800MHz 可调，如图 3 所示：

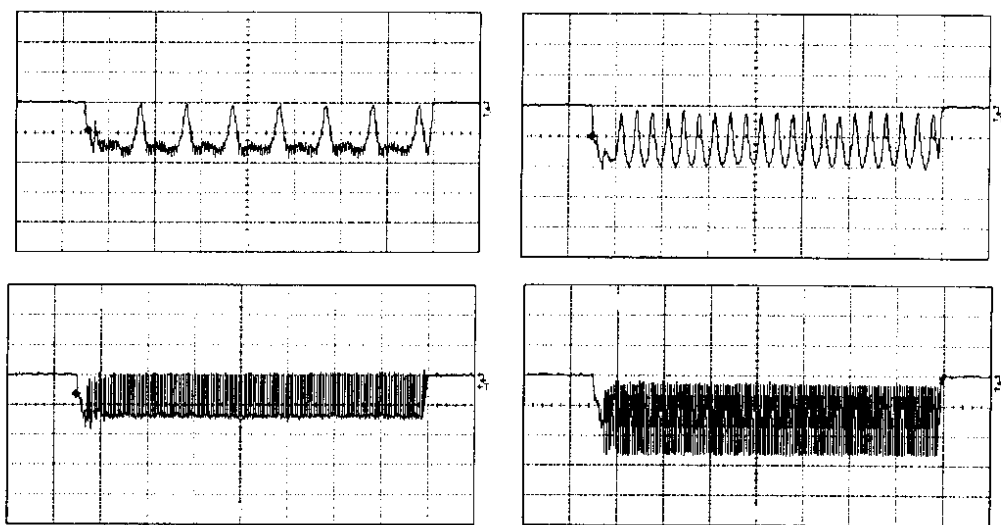


图 3 L 波段拍频分别为 5MHz, 15MHz, 100MHz, 800MHz 拍波检波波形

Fig.3 L Band beat wave with beat frequency 5MHz, 15MHz, 100MHz, 800MHz

可以通过调节两个初级信号源功率来改变拍波中两个频率分量的比例，图 4 为拍频 200MHz、两个频率所占功率分量比例约为 2:1 和 3:1 的拍波信号包络。

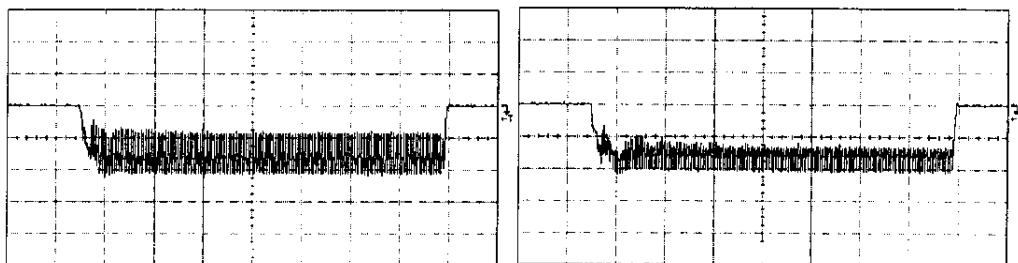


图 4 L 波段拍频 200MHz, 两个频率所占功率分量约 2:1 和 3:1 拍波信号包络

Fig.4 L Band beat wave with beat frequency 200MHz, the power proportion is 2:1 and 3:1

通过调节同步触发信号源的工作频率，可以输出的拍波脉冲重复频率在 1Hz~10kHz 之间可调，图 5 是测到的拍频为 800MHz，脉冲重复频率为 10kHz 的拍波波形；通过调节初级源输出脉冲宽度可以改变拍波脉冲，图 6 为拍波脉冲脉宽为 500ns 波形。

3 结束语

在高功率微波拍波效应实验中，介绍了一种利用单只行波管放大器获取微波波段拍波的方法，其

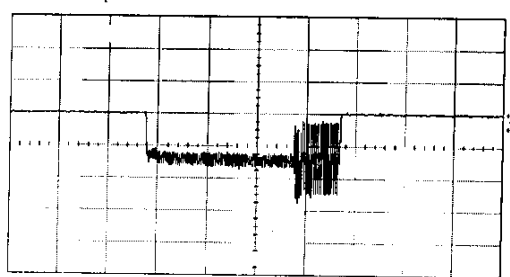
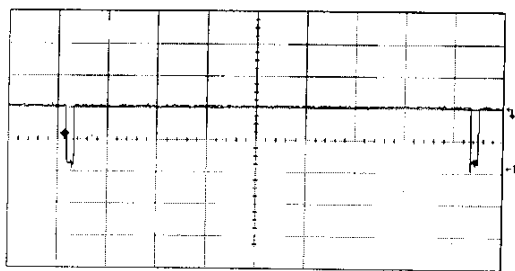


图5 拍频为 800MHz, 脉冲重复频率为 10kHz 的拍波波形

图6 脉冲宽度为 500ns 的拍波脉冲检波波形

Fig.5 L Band beat wave with 10kHz repetitive frequency

Fig.6 L Band beat wave with 500ns pulse width

实质是利用行波管的宽带特点, 先利用小功率源进行拍波合成, 然后再注入放大。由实验结果看, 获取的拍波拍频变化范围较大, 脉冲重复频率灵活可调, 不同频率分量在拍波中占有的功率比例可以调整。利用这种方法产生的输出功率为 kW 量级微波波段拍波, 基本满足了部分 HPM 拍波效应的需要, 当前已在部分效应实验中得到应用, 并获取了一些有价值的效应数据。

参考文献:

- [1] 程守洙, 江之永. 普通物理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [2] 沈致远. 微波技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [3] 方进勇, 刘国治, 李平等. 高功率微波脉宽效应实验研究 [J]. 强激光与粒子束, 1999, 11 (5): 639 - 642.
- [4] 李平, 刘国治, 黄文华. 半导体器件 HPM 损伤脉宽效应机理分析 [J]. 强激光与粒子束, 1999, 11 (5): 639 - 642.
- [5] 杜武林, 高频电路原理分析 [M]. 西安电子科技大学出版社, 1994.
- [6] James Benford, John Sweegle. High power microwave [M]. Boston: Artech House INC Press, 1992.
- [7] High Power Microwave Source and Facility Development [R]. DNA - TR - 89 - 31 - VI, 1989.
- [8] Richardson R E, Puglielli V G, Amadori R A. Microwave interference effect in bipolar transistors [J]. IEEE trans. on compatibility, 1975, 17 (4): 216 - 219.

