

# 利用速调管放大器产生高功率微波拍波实验研究\*

方进勇 宁 辉 张世龙 乔登江

(西北核技术研究所, 西安 710024)

(2002 年 4 月 6 日收到, 2002 年 7 月 10 日收到修改稿)

在高功率微波 (HPM) 拍波效应实验中, 采用了一种利用单只速调管放大器获取 HPM 拍波的方法, 实验结果为: 输出 HPM 拍波主频率位于 S 波段, 拍频范围 10—120MHz 可调, 拍波脉冲峰值功率可达 1MW, 脉冲重复频率最高可 达 500Hz, 实验获取的拍波已成功应用到各类电子系统的 HPM 拍波易损性效应实验中。

关键词: 拍波, 高功率微波 (HPM)

PACC: 5270G

## 1. 引 言

在高功率微波 (HPM) 技术中, 探讨各类源参量变化对电子系统易损性影响始终是一个研究重点。普通的高功率微波效应源一般单频工作, 即输出的微波脉冲中只包含一个主频率, 由于各类电子设备一般都工作于较低频段, 故作用效果不甚理想。基于 HPM 效应机理分析, 有人提出如果用两个或多个主频率不同的微波脉冲同时作用于电子设备, 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, 则将大大提高 HPM 对电子系统的干扰损伤效果。在空间同时存在的两个或多个工作主频率不同的高功率微波脉冲即形成高功率微波拍波。在 HPM 拍波效应实验中, 当前国内外报道的产生 HPM 拍波的方法为: 利用两套独立运行的 HPM 源产生 HPM 用两幅天线同时向某一空间辐射, 或在输出端用功率合成装置进行大功率合成后再用同一天线辐射。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, 根据速调管具有一定带宽的特点, 本文提出了利用初级源功率合成再放大的方法产生 HPM 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计算机等多种电子设备的高功率微

波效应实验研究中<sup>[1-6]</sup>。

## 2. 技术原理与实验方法

### 2.1. 拍波基本概念简述<sup>[7-9]</sup>

如果空间有两个或两个以上的电磁波同时传播, 则将会形成拍波。拍波的频率为两个电磁波频率之差。下面结合一个简单情况, 即两个振幅相等而频率相差不大的正弦波合成情况介绍一下拍波合成的基本过程。

$$\begin{aligned} E_1(z, t) &= E \cos(\omega t - \beta z), \\ E_2(z, t) &= E \cos[(\omega + \delta\omega)t - (\beta + \delta\beta)z], \\ \delta\omega &\ll \omega, \delta\beta \ll \beta. \end{aligned}$$

则合成后

$$\begin{aligned} E(z, t) &= E_1(z, t) + E_2(z, t) \\ &\approx E_m(z, t) \cos(\omega t - \beta z), \\ E_m(z, t) &= 2E \cos\left(\frac{\delta\omega}{2}t - \frac{\delta\beta}{2}z\right). \end{aligned}$$

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波, 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。

### 2.2. 实验方法

如图 2 所示: 两个输出功率分别为毫瓦级微波信号源同时输出频率不同的连续微波, 利用功率合成器合成产生毫瓦级拍波, 然后利用固态放大器将

\* 国家高技术研究发展计划资助的课题。

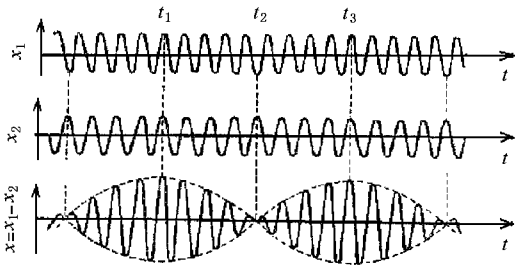


图 1 拍波合成示意图

其放大到几十瓦左右的脉冲拍波,再注入速调管系统进行二次功率放大,最后获得了兆瓦级微波脉冲,脉冲宽度及重复频率由速调管放大器系统决定.固定一个初级信号源频率与速调管工作主频率一致,微量改变另一信号源频率,即可获得不同拍频的 HPM 拍波,拍频变化范围一般在速调管带宽之内.通过调节初级信号源的输出功率可以改变拍波脉冲中两个频率分量所占功率比例,通过改变固态放大器及速调管放大器系统的触发信号频率可以改变 HPM 拍波脉冲的重复频率.利用以上方法,只需要一套速调管放大器系统和两个毫瓦级微波信号源即可产生 HPM 拍波.

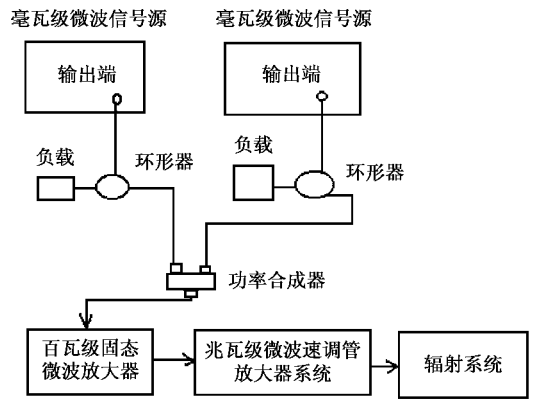


图 2 利用初级源功率合成法产生 HPM 拍波实验框图

### 3. 实验结果

利用工作主频率为 2.85GHz,带宽为 5%的速调管放大器,采用初级源功率合成的方法产生了 S 波段 HPM 拍波,拍波最大输出功率达 1MW,脉冲宽度由几百 ns—2μs 可调,拍波重复频率最高可达 500Hz,拍波拍频范围由 20—120MHz 可变,如图 3 所示.

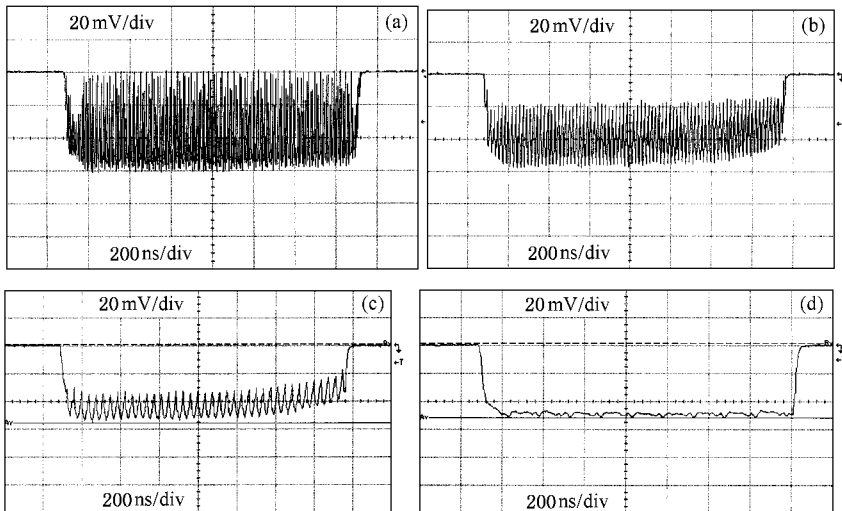


图 3 拍频为 100(a),50(b),20MHz(c)拍波脉冲及主频率为 2.95GHz(d)的微波脉冲检波波形

由实验结果可知,拍波的拍频可以在一定范围内变化,拍波中两个频率成分的功率比例也可以进行调节.另外,通过改变二级固态放大器的输出脉冲宽度,HPM 拍波的脉冲宽度也可以在较大范围内调节.与原有方法相比,这种方法的最大优点是大大简化了输出脉冲同步要求,而且基本没有大功率合成

的技术障碍.但这种方法在一定条件下也有一定的局限性,单套速调管系统的最大拍波输出功率是两套具有相同能力的速调管系统在原有方式下最大合成拍波功率的二分之一,但如果从效率不变的观点看,这种结果也是必然的.如果以牺牲 HPM 拍波功率为代价,利用本文所介绍的方法获取的 HPM 拍波

拍频范围变化可以更大,一般认为达到 200—300MHz 是有可能的。

## 4. 结 语

在 HPM 拍波效应研究中,本文介绍了利用单套速调管放大器产生 HPM 拍波的一种方法,其实质是利用速调管具有一定带宽的特性,用初级源进行功

率合成获取微波波段小功率拍波,然后进行放大产生功率为兆瓦级 HPM 拍波。本文只对两个不同频率的微波合成拍波进行了实验,从理论分析可知,只要初级源频率在速调管带宽范围之内,多个频率进行差拍也是完全可行的。实验中获取的 HPM 拍波已成功应用于计算机等电子系统 HPM 效应研究中,并已获得了部分极有价值的效应数据。

- [ 1 ] Du W L 1994 *The Principle Analysis of High Frequency Circuit*( Xi ' an :Xi ' an Xidian University Press )( in Chinese ) pp156—157 [ 杜武林 1994 高频电路原理分析(西安:西安电子科技大学出版社)第 156 至 157 页 ]
- [ 2 ] Fang J Y , Liu G Z , Li P *et al* 1999 *High Power Laser and Particle Beams* **11** 639 ( in Chinese ) [ 方进勇、刘国治、李 平等 1999 强激光与粒子束 **11** 639 ]
- [ 3 ] Li P , Liu G Z , Huang W H *et al* 2000 *High Power Laser and Particle Beams* **13** 353 ( in Chinese ) [ 李 平、刘国治、黄文华等 1999 强激光与粒子束 **13** 353 ]
- [ 4 ] Benford J and Sweegle J 1992 *High Power Microwave* ( Boston :Artech House INC Press )

- [ 5 ] Richardson R E *et al* 1975 *IEEE Trans Compatibility* **17**( 4 ) 216
- [ 6 ] Wang P S *et al* 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 485 ( in Chinese ) [ 王平山等 1998 物理学报 **47** 485 ]
- [ 7 ] Cheng S Z and Jiang Z Y 1991 *Physics* ( Beijing : National Defense Industry Press )( in Chinese ) pp174—200 [ 程守洙、江之永 1991 普通物理(北京:国防工业出版社)第 174 至 200 页 ]
- [ 8 ] Shen Z Y , 1984 *Microwave Technology* ( Beijing : National Defense Industry Press )( in Chinese ) pp20—21 [ 沈致远 1984 微波技术(北京:国防工业出版社)第 20 至 21 页 ]
- [ 9 ] Yu W *et al* 1993 *Acta Phys. Sin.* **42** 431 ( in Chinese ) [ 余 玮等 1993 物理学报 **42** 431 ]

## Production of beat waves using S-band klystron amplifier<sup>\*</sup>

Fang Jin-Yong Ning Hui Zhang Shi-Long Qiao Deng-Jiang

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

( Received 6 April 2002 ; revised manuscript received 10 July 2002 )

### Abstract

A method of producing beat waves by a single klystron amplifier is introduced in this paper. The experimental results have been obtained that the main frequency of the beat wave is in S-band , the beat frequency ranges from 10 to 120MHz , the peak power of the pulsed beat wave is 1MW , and the maximal repetitive frequency is 500pps. This method has been successfully used in certain electrical system high-power microwave vulnerability effect experiments.

**Keywords** : beat wave , high power microwave

**PACC** : 5270G

<sup>\*</sup> Project supported by the National High Technology Development Program of China.