

## W 波段宽带电调信号源

樊 勇\* 吴正德 张 力

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

**【摘要】** 依据电调基频、提取谐波的构想,建立了串联型宽带变容管电调谐波振荡器的电路模型。在 3 mm 频段上完成了电路设计,获得了 15% 的相对电调带宽,带内最小功率 5 mW,最大功率超过 17 mW;输出功率大于 5 mW 的电调带宽达到 13 GHz。以宽带电调谐波振荡器为核心,完成了 3 mm 电调信号源的系统设计,该信号源工作带宽 10 GHz,频率显示误差小于 100 MHz,频率稳定度  $(2 \sim 9) \times 10^{-4} / \text{h}$ ,可以连续波和方波两种方式工作。

**关键词** 毫米波; 耿氏二极管; 电调; 谐波振荡器; 信号源

中图分类号 TN75

全固态电调谐微波毫米波源分为两类,即 YIG 调谐和变容管调谐。YIG 调谐振荡源电调谐频带宽,调谐线性好,输出电平高,在微波频段,已成为扫频信号源和频综的核心部件。当频率高于 40 GHz 时,YIG 材料已难以满足要求,虽然一种新型钇钽铁氧体材料已进入毫米波频段,但目前最高工作频率还未达到 75 GHz<sup>[1]</sup>。相比之下,变容管电调谐方式受工作频率制约小,是开发研究短波长毫米波全固态宽带电调源的重要途径。

80 年代初,国外出现了有关宽带电调谐 Gunn 振荡器的报道,开始是在 26.5~40 GHz 的 8 mm 频段,后来逐步向高频段延伸。1985 年,英国学者 Jonh Ondria<sup>[2]</sup>公布了 3 mm 波段宽带变容管电调谐 GaAs Gunn 谐波振荡源的实验结果,采用超突变结变容二极管,在 94 GHz 附近获得 9.4 GHz 的电调带宽,相对电调带宽 10%,带内输出功率最小 0.2 mW,最大 2 mW。1988 年,L. D. Cohen<sup>[3]</sup>等人研制出 W 波段变容管调谐的 Gunn 振荡器,采用了 InP Gunn 二极管,在从 88~110 GHz 的频率范围上,调谐带宽为 10 GHz ( $> 5 \text{ mW}$ ),典型输出功率为 10 mW,二极管振荡在二次谐波模式。1989 年,L. D. Cohen<sup>[4]</sup>完成了毫米波超宽带 VCO 的研究,由于电路采用了集中参数元件,二极管工作在二次谐波模式,这就大大地提高了振荡器调谐能力,振荡器从 46~66 GHz 连续可调,调谐范围达到 20 GHz,带内最大输出功率为 +6 dBm。

本文依据电调基频、提取谐波的构想,建立了宽带变容管电调谐波振荡器的电路模型,完成了电路结构设计,根据国内现有器件的实际情况,采用 6 mm 频段 GaAs 优质变容管和 6 mm GaAs Gunn 二极管,在 3 mm 频带内实现了宽带电调,单只振荡器的典型电调相对带宽达 15%,带内最小功率 5 mW,最大功率 17 mW,输出功率大于 5 mW 的电调带宽大于 13 GHz。并以 3 mm 宽带变容管电调谐波振荡器为核心,我们还完成了 3 mm 电调信号源的系统设计,该信号源频率显示误差小于 100 MHz,频率稳定度为  $(2 \sim 9) \times 10^{-4} / \text{h}$ ,能以连续波和方波两种方式工作。

① 1996 年 5 月 30 日收稿,1996 年 9 月 5 日修改定稿

\* 男 33 岁 硕士 讲师

## 1 振荡器方案

1970年, D. Cawsey<sup>[5]</sup>等人从理论上完成了对固态微波振荡器宽带调谐特性的创造性研究,分析了调谐元件与负载两种耦合方式下的调谐特性。在给定的工作参数(包括 Gunn振荡源和典型变容管参数)条件下,计算了串联调谐和并联调谐两种方式的 $\text{最大电调带宽}$ 。计算结果表明,与变容管恒流耦合的串联调谐电路性能优良,可获得的最大调谐带宽是并联调谐电路的几倍。D. Cawsey等人的成果已在很多场合应用,并取得成功。因此,为了在 3 mm 频段上实现宽带电调谐,应在电路中采用变容管串联调谐的工作方式。

通过对谐波振荡器的非线性分析表明,利用 Gunn器件的谐波提取工作模式有很多好处。在谐波振荡器中,基频回路较之于谐波回路对工作频率的调谐能力高出几十倍<sup>[6]</sup>,利用变容管电调基频是拓宽调谐带宽的最好途径。同时,由于变容管是对基频电调谐,实际工作频率比振荡器输出频率低一倍,因此变容管寄生参数的恶化作用减少,器件受到的频率限制减弱。

在谐波提取工作模式的电调振荡器中,基频回路几乎是电抗加载,变容管的串联电阻是基频回路的唯一负载。这时,基频振荡向外提供的功率就是耦合到变容管上的功率,两者之比为 1,根据文献<sup>[5]</sup>的理论,此时将获得最大电调带宽。

谐波振荡器是通过 Gunn器件产生基频和谐波相互作用,实现能量从基频向谐波的转换,谐波振荡频率的变化主要由基频控制,因此在第二次谐波输出端口上,谐波振荡器表现出极高的抗负载牵引能力,外部负载  $Q$  值高达数千量级<sup>[7]</sup>。这样,当宽带电调谐波振荡器接入系统时,不必再插入宽带隔离器。

综上所述,我们建立了串联型宽带变容管电调谐波振荡器的等效电路,如图 1所示。图中, Gunn器件用描述函数表示,变容管串联在基频回路中,回路中的有耗负载是变容管串联电阻  $R_s$ 。谐波回路用宽带高变换比的阻抗变换器和外部负载构成,从而实现了电调基频、提取谐波的构想。

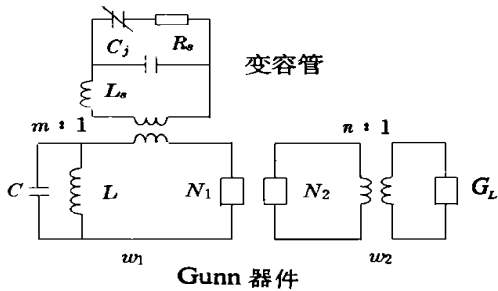


图 1 串联型宽带变容管电调谐波振荡器原理模型等效电路

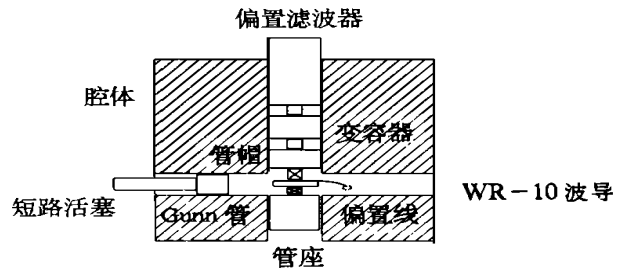


图 2 宽带变容管电调谐波振荡器结构

## 2 振荡器电路设计

根据等效电路模型,串联型宽带变容管电调谐波振荡器采用如图 2所示的结构。图中,3 mm 谐波能量通过标准矩形波导 WR-10输出,偏置滤波器提供直流通路和射频短路。变容管和 Gunn管成直线安装,通过帽盘达到恒流耦合,从而实现变容管的串联调谐。由于输出波导对基频截止,基频能量就集中在 Gunn管和变容管附近的局部区域,这样,基频回路中的有耗负载只有变容管串联电阻  $R_s$ 。帽盘的结构尺寸很大程度上决定了整个振荡器性能。一方面,通过它调节 Gunn管与变容管的耦合;另一方面,它是一个宽带高变换比的阻抗变换器,完成 Gunn管低阻抗到矩形波导高阻

抗的阻抗变换,实现谐波能量的最有效输出,同时,还通过帽盘给 Gunn管和变容管提供偏置。由于谐波频率的变化主要由基频振荡控制,通过改变变容管偏压,调谐基波频率,最终实现谐波频率的电调谐。

在宽带电调谐波振荡器中,偏置滤波器(见图 3)的设计十分重要,它不仅要有覆盖从基频到谐波足够的阻带范围,而且还要求滤波器在阻带内反射系数的幅值为 1,相位恒为  $180^\circ$ ,构成理想短路,才能保证电调谐的连续性。因此,我们对偏置滤波器进行了优化设计,优化结果如图 4 所示。

偏置滤波器的优化结果已应用到我们研制的 3 mm 宽带机械调谐振荡器中,在 75~ 110 GHz 的整个 W 波段无任何奇异点和跳频点出现,证明了良好的短路特性。

文献 [8] 的计算表明,在标准 3 mm 矩形波导中,不同圆盘和不同高度的径向线阻抗变换器能够将波导阻抗变换到在 Gunn 器件处实部为  $0.5 \sim 17 \Omega$ ,虚部为  $-12 \sim 24 \Omega$  的范围,具有很高的变换比。这样,利用不同尺寸的圆盘,通过高度调节,就能够在希望的谐波频率范围内,使谐波回路满足最佳工作条件,谐波输出功率最大。

### 3 振荡器实验结果

依据前面对电路结构的分析和优化结果,我们设计的振荡器已在 75~ 110 GHz 的整个 3 mm 频段内观察到电调谐现象,图 5 给出了 3 只振荡器的典型实验结果,图 5 a 输出功率大于 5 mW 的电调带宽约 13.1 GHz,相对带宽达 15.8%,带内最大功率大于 17 mW;图 5 b 在 91.3~ 102.5 GHz 的电调带宽内输出功率大于 5 mW;图 5 c 覆盖了 102.35~ 112.5 GHz 的频率范围,带内最小输出功率 6 mW,功率平坦度小于 3 dB

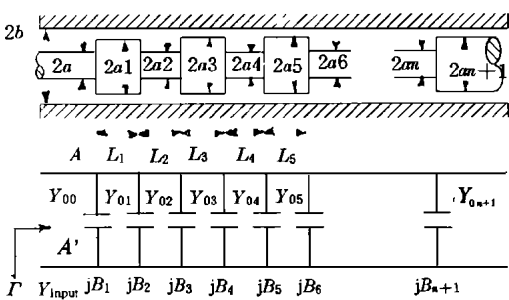


图 3 偏置滤波器及等效电路

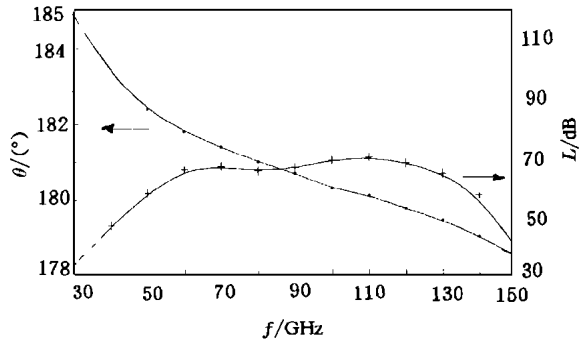
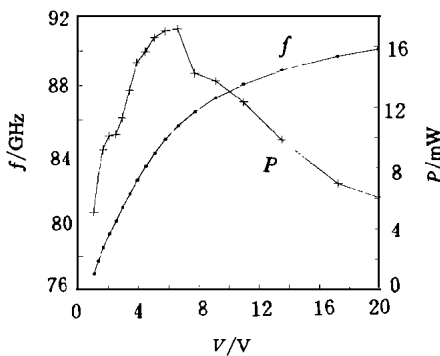
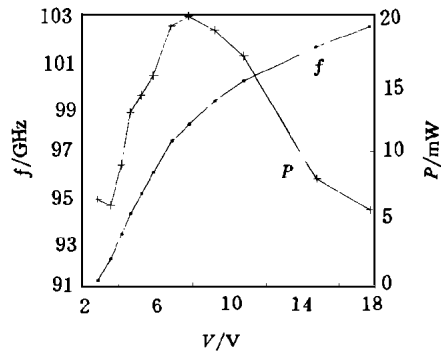


图 4 宽带四节同轴偏置滤波器优化结果



(a)

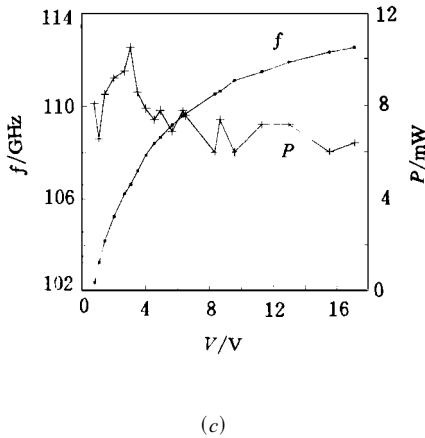


(b)

图 5 3 mm 宽带变容管电调谐振荡器频率功率特性

## 4 信号源系统设计

以 3 mm 宽带变容管电调谐波振荡器为核心,根据电调振荡器电压—频率调谐特性,我们还开展了 3 mm 电调信号源的研制工作。信号源系统如图 6 所示。



续图 5 3 mm 宽带变容管电调谐波振荡器  
频率功率特性

3 mm 电调源中,高稳定驱动电源为 Gunn 二极管提供偏压,它具有良好的电压稳定性和较小的电压纹波。电调源中,变容管偏压用干电池供电,以减小电源调制,并通过分档开关,利用电位器连续可调。上述两项技术措施保证了 3 mm 电调信号源的工作稳定性和比较理想的信号质量。同时设计了以 8 031 单片机 (CPU), AD574 模数变换器和 LED 显示器等组成的控制显示电路。当信号源开机时,先预热 20 min,通过 CPU 控制时间,并由 LED 显示出来。预热时间一到,开始采集变容管直流偏压,同时根据预先存储在 EPROM 中的偏压—频率对应关系曲线,由 LED 在仪器面板上,实时地显示出振荡器输出的信号频率值。信号源工作频率带宽 10 GHz,频率显示精度误差小于 100 MHz,频率稳定度  $(2 \sim 9) \times 10^{-4} \text{h}$ 。

此外,我们还专门研制了与信号源配套的 3 mm PIN 管外调制单元如图 7 所示。调制单元采用宽带固定衰减器与 PIN 管鳍线开关串接组成,固定衰减器用于减小 PIN 管开关工作时不同状态对信号源的工作频率牵引,通过控制流经 PIN 开关的工作偏流来获得适当的方波调制度。这样,信号源就能分别以连续波方式和 1 kHz 方波调制工作方式工作。

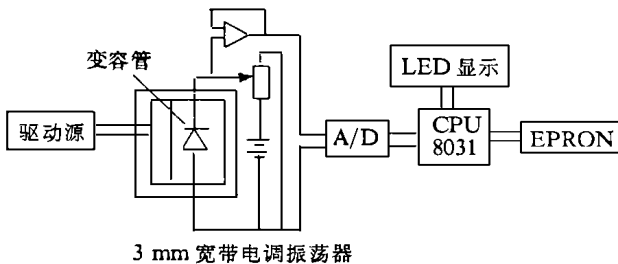


图 6 3 mm 电调信号源原理框图

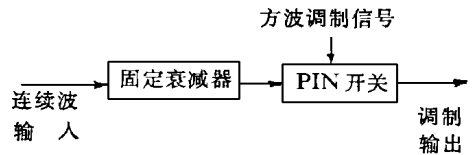


图 7 外调制单元原理框图

## 5 结束语

串联型变容管电调谐波振荡器是实现短波长毫米波宽带电调源的有效途径。由于实现了电调基频提取谐波的构想,这种电路不仅降低了电调源的成本,同时还获得了优良的电气性能,这种电调源将在电子战系统得到广泛应用。信号源作为替代进口仪器,在一定程度上缓解了国内 3 mm 扫频仪的不足,也为全固态 3 mm 扫频信号源和频综的实现奠定了良好的基础。

## 参 考 文 献

- 1 Nicholson D B. Hexagonal ferrite for millimeter-wave application. Hewlett Packard Journal, 1990, 41 (5): 59- 61
- 2 Ondria J. Wideband electronically tunable GaAs Gunn VCO's at W-band (75-110 GHz). IEEE SPIE Symp Digest, Hyatt Regency, crystal City, Arlington, Virginia, 1985: 3- 7
- 3 Cohen L, D Sard E. W-band varactor-tuned oscillator with 10 GHz bandwidth. Microwave Journal, 1988, 31(10): 137
- 4 Cohen L D, Sard E. Millimeter-wave lumped-element Gunn VCO's with ultrawideband (20 GHz) tuning. IEEE 1989 MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1989, 3: 1 289
- 5 Cawsey D. Ride-range tuning of solid-state microwave oscillators. IEEE Journal of solidstate Circuits, 1970: 82
- 6 吴正德. 一种新型的谐波振荡器的电路模型, 电子学报, 1985, (4): 36
- 7 Barth H. A wideband backshort-tunable second harmonic W-band Gunn oscillator. IEEE MTT-S 1985, Microwave Symp Proc, 1985, 334- 337
- 8 Wu Zhengde. Theoretical study on the radial line transformer in a rectangular waveguide. Electronics Letters, 1984, 20(6): 256- 258

## Wideband Voltage-tuned Signal Generators at W-Band

Fan Yong      Wu Zhengde      Zhang Li

(Inst. of Applied Physics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** On the basis of the principle of "electronically tuning fundamental frequency and extracting second harmonic", this paper proposes a circuit model for wideband series varactor-tuned harmonic oscillators. At W-band electronic tuned bandwidth of 15% is achieved within which the minimum power is 5 mW and the maximum over 17 mW. Electronic tuned bandwidth of 13 GHz over 5 mW is obtained. Applying these oscillators, this paper develops electronically tuning signal generators at W-band. Operating bandwidth of signal generators is 10 GHz, frequency error less than 100 MHz, frequency stability  $(2-9) \times 10^{-4}$  /h. Signal generators can work at continuous wave and square modulated states.

**Key words** millimeter-wave; Gunn diodes; voltage-tuning; harmonic oscillators; signal generators

编辑 徐培红

° 简 讯 °

本刊 1995 年度进入中国科学引文数据库排名上升, 据中国科学引文数据库最新公布的消息, 该库对 1996 年全国的来源期刊进行了大量的调研、统计与分析后, 编制出 1995 年度“被引频次最高的中国科技期刊 500 名排行榜”, 《电子科技大学学报》在 1995 年度被引频为 65 篇次, 比 1994 年度的 48 篇次增加了 17 篇次, 排名由 274 位上升到 229 位, 提高了 45 位。

° 下 宣 °