

文章编号: 2095-4980(2016)05-0749-04

宽带毫米波功率模块驱动技术

周太富

(中国西南电子技术研究所, 四川 成都 610036)

摘 要: 设计了一个毫米波频段的宽带功率均衡器与固态功率驱动模块。通过对用于驱动模块的功率均衡器进行改进, 提出了一种新型的微带阶梯阻抗谐振线的功率均衡器结构, 这种结构频带宽, 驻波好, 结构紧凑。为了验证其性能, 加工实物并进行测试, 测试结果表明, 均衡器在 32 GHz~40 GHz 宽带频段, 其最小插入损耗小于 3.3 dB, 回波损耗优于 13 dB, 均衡量 9 dB。固态功率驱动模块采用 2 级放大器, 且均衡器后置, 布局合理。测试结果表明, 在 32 GHz~40 GHz, 功率均衡精确度优于 2 dB, 输出功率更为准确, 实现了固态驱动模块的小型化设计。

关键词: 功率均衡; 阶梯阻抗谐振线; 固态驱动放大

中图分类号: TN811⁺.7

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201605.0749

Broadband millimeter wave power module driven technology

ZHOU Taifu

(Southwest Research Institute of Electronics Technology, Chengdu Sichuan 610036, China)

Abstract: A broadband power equalizer with a Solid State power driving Amplifier(SSA) module is designed. Through improving power equalizer used in SSA, a power equalizer structure of novel microstrip Stepped Impedance Resonance(SIR) lines is depicted, with wide frequency band, good standing wave and compact structure. In order to verify its performance, an equalizer is fabricated and tested. The measured results show that in 32 GHz~40 GHz, the minimum insertion loss is below 3.3 dB, return loss better than 13 dB, the value of equalization is 9 dB. SSA module adopts two-stage amplifier and an equalizer is put behind. The test results show that in 32 GHz~40 GHz, the accuracy of power equalization is better than 2 dB, and the output power is relatively accurate, which has realized the compact design of the SSA.

Key words: power equalization; Stepped Impedance Resonance lines; Solid State power Driven amplifier

随着微电子技术和通信技术的发展, 雷达技术对军事电子现代化发挥着越来越重要的作用。一方面, 雷达的性能在很大程度上受制于噪声系数、脉冲功率、平均功率、带宽等。另一方面, 现代雷达系统所使用的功率源对效率、外形尺寸大小、总体重量和最高最低工作温度等方面的要求也越来越高。显然, 通过单一的微波固态器件或电真空器件无法达到这一要求^[1]。在这种情况下, 被誉为“超级器件”的微波功率模块(Microwave Power Module, MPM)和毫米波功率模块(Millimeter wave Power Module, MMPM)应运而生, 它有效地结合了二者的优点。首先, 它为后级的宽带小型化行波管提供较高的增益和较高的驱动功率; 其次, 宽带小型化行波管本身的幅频响应特性不平坦, 驱动模块还为其提供功率均衡功能^[2]。目前国内外尚无毫米波固态驱动模块的公开报道。

1 驱动模块及均衡器相关概念

通常情况下输入行波管的驱动功率较高, 需要将信号源的输出功率进行放大并驱动行波管使其正常工作。将固态放大器和功率均衡器集成在一起, 并放在行波管(Traveling-Wave Tube, TWT)的前端, 在提供足够的驱动功率的同时又具有频率选择均衡的作用, 这就是固态功率驱动模块。其主要由固态功率放大器和幅度均衡器构

成, 均衡器在整个模块中起着至关重要的作用^[3], 是固态驱动模块的关键技术, 也是本文研究的主要内容。

功率均衡器的设计目标取决于固态放大器的增益曲线和饱和输出功率, 以及行波管饱和和工作时的增益曲线和需要的输入功率。图 1 所示为一个典型的功率模块系统框图。

图 1 中行波管放大器(TWT)作为输出功率器件, 用固态功率放大模块(SSA)为行波管提供驱动功率。模块将调制器和高电压电源都集成在一起。其中调制器进行脉冲调制, 高压电源对整个模块供电。它具有效率高、带宽宽、噪声低、增益高、体积小等特性, 很好地兼顾了电真空功率器件与固态功率器件的优点^[4]。

均衡器的主要指标有工作频段、最小插损、均衡量和驻波等。均衡量是指在工作频段内, 最大插损和最小插损之差。均衡量是根据特定行波管的波动确定的目标衰减曲线。由于行波管或固态放大器的驻波一般较差, 在工作频带内, 要保证均衡器的驻波尽量小, 以利于系统稳定工作^[5]。均衡器可以采用波导、同轴及微带等结构。由于微带电路具有尺寸小、质量轻、易于与固态放大器集成等优点, 微带均衡器得到广泛应用^[6]。在本文中, 使用了微带幅度均衡器设计了毫米波宽带 MPM 驱动模块, 工作频率为 32 GHz~40 GHz。

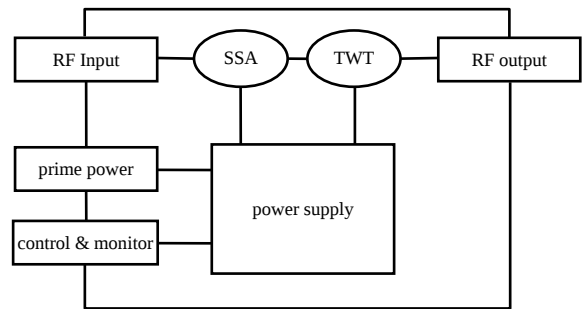


Fig.1 Schematic diagram of MPM
图 1 MPM 原理框图

2 基本原理

典型的小型化行波管的频率增益特性曲线一般都呈类抛物线形, 增益波动如图 2 所示。为了驱动其输出功率饱和, 则对应的固态驱动模块的输出功率特性要与行波管的增益特性相反。

一个简单的接地谐振回路如图 3(a)所示, 由电容、电感、电阻构成。其传输曲线^[7]为: $S_{21}(\omega) = \frac{2(1 - \omega^2 LC + j\omega RC)}{2(1 - \omega^2 LC + j\omega RC) + j\omega Z_0 C}$ 。响应波形如图 3(b)所示。由上式

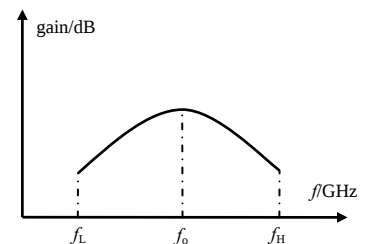


Fig.2 Gain response of TWT
图 2 行波管增益特性

可知该结构的频率响应可以通过改变 R, L, C 的值来调节。加载电阻的微带二分之一波长终端短路阶梯阻抗线等效为一个谐振电路, 可以容易地实现上述的响应曲线。改变微带线的长度可以改变其谐振频率, 通过改变阶梯阻抗微带线的线宽的比值, 可以调节带宽。改变电阻值可以调整谐振回路的 Q 值, 从而调整它的最大衰减。

理论上, 如果将一系列的谐振枝节放在一起, 恰当地选择响应频率和电路 Q 值, 就能得到任意想要的均衡曲线^[8]。

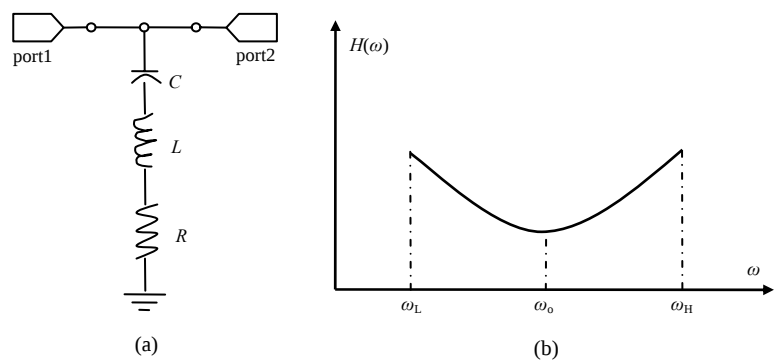


Fig.3 Resonant circuit model and its frequency response
图 3 谐振电路模型和频率响应特性

3 均衡器及功率驱动模块的设计

本文宽带和紧凑的功率均衡器由 3 个微带谐振枝节构成, 电长度为四分之一终端开路微带枝节。由于贴片电阻的寄生参量不可忽略, 会导致测试结果和仿真结果出现较大差异, 本文设计选用了陶瓷基片, 并用制作在上面的薄膜电阻来替代贴片电阻。图 4 表示了均衡器的仿真模型。建模工具采用高频电磁仿真软件 HFSS。

陶瓷基片材料为三氧化二铝, 介电常数 9.8, 厚度 0.254 mm。采用对称结构以减化设计。通过优化, 最后仿真结果如图 5 所示。

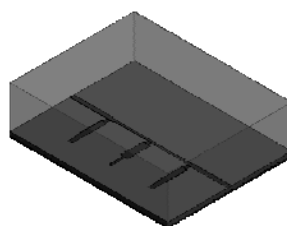


Fig.4 Simulation model
图 4 仿真模型

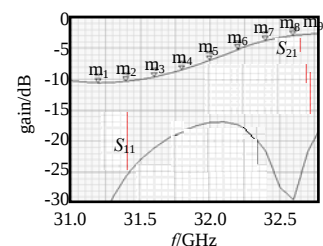


Fig.5 Simulation results
图 5 仿真结果

为验证其性能,加工实物并进行测试,如图 6 所示。测试仪器采用安捷伦矢量网络分析仪。可以看出,均衡曲线和仿真曲线吻合很好。在 32 GHz 处插入损耗约为 12 dB, 34 GHz 处插入损耗为 11.15 dB, 40 GHz 处插入损耗约为 3.25 dB, 均衡量约为 9 dB。在 27 GHz~40 GHz 的宽频带内, 输入与输出回波损耗优于 13 dB, 频带内均衡曲线平滑。

采用此结构均衡器设计一个 32 GHz~40 GHz 的毫米波固态功率模块。功率模块在设计上首先选择好功率放大器芯片, 测试其性能指标, 而后结合行波管需要的功率曲线, 设计相应的功率均衡器。

本文设计的功率模块布局上采用 2 级放大器且均衡器后置, 第一级驱动放大器采用 AMMC-5040, 后级功率放大器采用 TGA4516, 将均衡器放在末级功放后面, 先对功放输出功率进行测试, 再结合需要的小型化行波管的驱动功率得出均衡器的设计目标。这样的好处是能够使得驱动模块的输出功率尽可能准确。通过上述设计好的功率均衡器, 最后得到的驱动模块如图 7 所示, 模块的输出功率见表 1。将结果与设计目标进行了对比, 如图 8 所示。从图中可以看出, 输出功率精确度较高, 与设计目标吻合良好, 功率均衡精确度约为 2 dB。

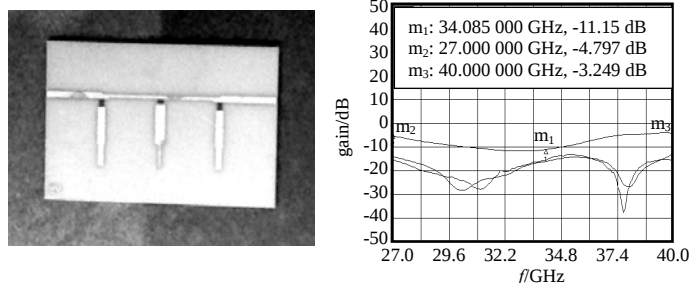


Fig.6 Prototype equalizer and measured results

图 6 实物和测试结果

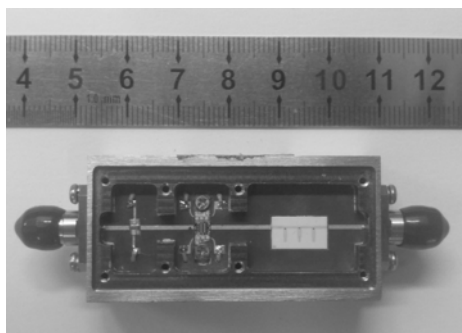


Fig.7 Solid state driven amplifier

图 7 固态功率驱动模块

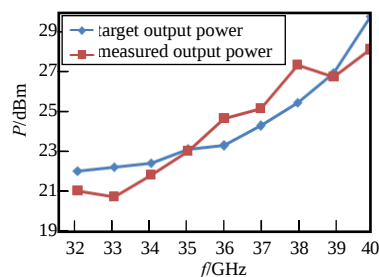


Fig.8 Comparison between target and measured power results

图 8 测试与目标功率结果对比

表 1 功率测试结果

Table1 Measured power

f/GHz	32	33	34	35	36	37	38	39	40
power/dBm	21.1	20.8	21.9	23.1	24.8	25.3	27.5	26.9	28.3

4 结论

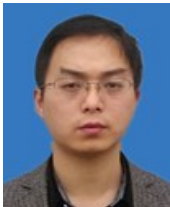
本文基于薄膜工艺的微带电路研究了毫米波功率均衡器与固态功率驱动模块, 加工了实物, 通过测试对仿真结果进行了验证。相比于传统的功率均衡器, 本文将微带阶梯阻抗谐振线的结构运用在毫米波均衡器的设计中, 实现宽的均衡曲线带宽, 驻波小, 且均衡曲线平滑, 均衡精确度高; 采用了薄膜电阻, 仿真和测试结果更精确。本文的驱动模块体积小, 质量轻, 采用均衡器后置的布局, 结构合理, 模块输出功率更为准确。从测试结果来看, 与设计目标吻合良好, 验证了结构的可行性。本文的研究成果将为微波毫米波功率模块的适用性和小型化提供参考。

参考文献:

- [1] BAY H, FERRARI V, GOOL L V. Wide-base line stereo matching with line segments[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego:[s.n.], 2005:329-336.
- [2] THACKER N A, RIOCREUX P A, YATES R B. Assessing the completeness properties of pairwise geometric histograms[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(5):423-429.
- [3] 傅丹, 王超, 徐一丹, 等. 一种直线段匹配的新方法[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(1):115-120. (FU Dan, WANG Chao, XU Yidan, et al. A new algorithm of matching of line segments[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2008, 30(1):115-120.)

- [4] WOO D M, PARK D C. Stereo line matching based on the combination of geometric and intensity data[C]// IEEE 24th International Symposium on Computer and Information Sciences. North Cyprus:IEEE, 2009:581–585.
- [5] WANG Z H, LIU H M, WU F C. HLD: a robust descriptor for line matching[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(5):941–953.
- [6] 王鲲鹏, 尚洋, 于起峰. 影像匹配定位中的直线倾角直方图不变矩法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(3):389–393. (WANG Kunpeng, SHANG Yang, YU Qifeng. An image matching approach based on the invariant moment of slope angle histogram[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(3):389–393.)
- [7] 聂烜, 赵荣椿, 康宝生. 基于边缘几何特征的图像精确匹配方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(12):1668–1675. (NIE Xuan, ZHAO Rongchun, KANG Baosheng. A precise image registration method by utilizing the geometric feature of edges[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(12):1668–1675.)
- [8] 吕文涛, 吕高焕. SIFT 算法在雷达图像匹配中的应用[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010, 8(4):388–392. (LV Wentao, LV Gaohuan. Application of scale invariant feature transform to SAR image matching[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010, 8(4):388–392.)

作者简介:



周太富(1987–), 男, 成都市人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为微波毫米波电路与系统、有源相控阵收发组件.email:taifuzhou@163.com.

(上接第 748 页)

- [6] WOODS A J, WENAAS E P. Scaling laws for SGEMP[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 1978, 23(6):1903–1908.
- [7] PRESTON E F, STRINGER T A. A general solution for space-charge limiting in one dimension[J]. Journal of Applied Physics, 2005, 98(10):103305-1–103305-6.
- [8] MIHAILETCHI V D, WILDERMAN J, BLOM P W M. Space-charge limited photocurrent[J]. Physical Review Letters, 2005, 94(12):126602-1–126602-4.

作者简介:



郭景海(1986–), 男, 河南省周口市人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为电磁脉冲效应及试验测量.email:gjhai@mail.ustc.edu.cn.

吴 伟(1976–), 男, 吉林省柳河县人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为高空核电磁脉冲.

李进玺(1978–), 男, 甘肃省天水市人, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为电磁脉冲数值模拟.

赵 墨(1986–), 男, 吉林省通化市人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为系统电磁脉冲与剂量率综合效应.

刘逸飞(1985–), 男, 河北省保定市人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为混响室电磁脉冲.

马 良(1981–), 男, 河南省卫辉市人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为系统电磁脉冲效应.

程引会(1967–), 男, 西安市人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为高空核电磁脉冲效应与环境标准.