

米波段全固态宽带大功率放大器*

刘祁雄 朱 明

安 宁

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073) (国营918厂 株洲 411200)

摘 要 本文介绍了一种高性能的米波段全固态宽带大功率放大器,讨论了设计中的有关理论和实际问题。该放大器在80MHz至210MHz的频率范围内功率增益大于50dB,功率波动小于1dB,输出连续波功率100W,效率达40%~50%。本放大器可用于通信、导航、雷达、电子对抗等设备中作功率发射用。

关键词 米波段,连续波功率放大器,宽带阻抗匹配网络

分类号 TN722.75

虽然功率放大技术和功率合成技术已日趋成熟,但是全固态宽带大功率放大器仍是人们研究的热点之一。这是因为晶体管功率放大器具有频带宽、效率高、稳定可靠、供电简单、体积小,重量轻等优点。它在很多领域内已经或正在取代电真空器件放大器,广泛地用于雷达通信、遥控遥测、移动电台、电子对抗等各类设备中,尤其是固态功率放大器用于航空航天设备中更具有重要意义。然而,在国内还很少见到关于宽带大功率放大器的研制和生产报道。

本文介绍了已研制成功的米波段宽带大功率晶体管放大器。该放大器结构简单:仅由三级单管功率放大器匹配级联而成,可在80MHz至210MHz的频率范围内工作,其输出连续波功率100W,功率波动小于1dB,功率增益达50dB,效率高达(40~50)%,重量轻,且性能稳定可靠,并已成功地用于某机载电子对抗系统。

1 宽带大功率放大器电路设计理论

宽带晶体管功率放大器的设计,应着重考虑在给定的带宽内保证大的输出功率和高的效率。米波段晶体管大功率放大器多数工作在丙类状态,处于非线性工作区域。这给电路的分析和设计带来了许多困难。

1.1 宽带阻抗匹配网络的设计

设计宽带射频晶体管功率放大器的主要问题不仅仅是获得有效的器件,而是在所希望的宽频带范围内使这些器件与激励信号和负载匹配。这种匹配是困难的,因为射频晶体管的大信号输入输出等效网络为电抗性而不是纯电阻,作为一种近似的分析,晶体管

* 1993年2月24日收稿

的输入和输出等效电路见图 1 和图 2。

设计功率放大器的输出网络，通常先按下式计算出晶体管的负载电阻 R_L ：

$$R_L = \frac{(V_{cc} - V_{ce(sat)})^2}{2P_o} \quad (1)$$

式中， V_{cc} 为集电极电压；

$V_{ce(sat)}$ 为射极饱和压降；

P_o 为输出功率。

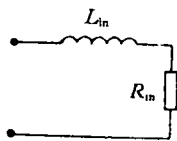


图 1 晶体管输入等效电路

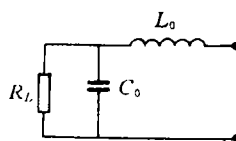


图 2 晶体管输出等效电路

然后，设计出一电抗网络，调谐掉 L_o 和 C_o ，并将 R_L 变换到端接负载（通常是 50Ω ）。为了实现宽带匹配，应允许有一定的失谐。调试中，还应结合输出功率、带宽、效率等因素反复调整和对理论设计进行必要的修正。

输入匹配网络的设计是获得宽带大功率的关键。其性能的好坏将影响到功率增益和增益的平坦度。这是由于功率晶体管的输入阻抗很低，即使不大的引线电感也能使输入 Q 值增加 10 倍以上。见式 (2)：

$$Q_m = \frac{\omega \cdot L_{in}}{R_m} \quad (2)$$

而带宽

$$B = \frac{f_o}{Q} \quad (3)$$

由式 (3) 知， Q 的增加将使带宽降低。这就严重限制了工作频带，特别是工作在丙类的放大器，不良的输入匹配将使晶体管难以驱动，宽频带工作更难以实现。

由于工作在高频段的晶体管其增益随频率的升高而降低，因此要实现宽频带工作，必须补偿这一变化。这就要求所设计的匹配网络，既要实现输入阻抗的匹配，又要对晶体管的增益进行补偿。一般简单的匹配网络难以满足要求。一个有效的方法就是采用宽带传输线变压器和低通切比雪夫变阻滤波器，其具体设计计算可用计算机辅助设计完成。

作为输入输出匹配网络设计的一个例子，图 3

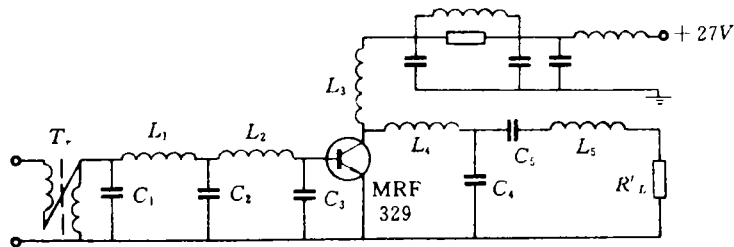


图 3 MRF329 单级功率放大器电路原理

给出了由 MRF329 构成的功率放大器，其中的输入输出匹配电路是按 $V_{cc} = 27V$ ，输出功率 P_o 为 $100W$ ，工作频带为 $80MHz \sim 135MHz$ 设计的。

由图可见，输入匹配网络由一个 4 : 1 的宽带传输线变压器和由 $C_1, C_2, C_3, L_1, L_2, L_3$ 构成的五节切比雪夫滤波器构成。输出匹配网络由 L_3, L_4, L_5 和 C_4, C_5 构成， L_3 既兼作集电极馈电线圈，同时又可抵消 C_o 的影响。 L_4, L_5, C_4, C_5 进行阻抗变换。

在放大器级联工作时，两级之间设计一个 LC 级间匹配网络，其作用是使得末前级放大器输出和末级放大器输入端之间反射足够小，并使得末前级功率放大器能够输出足够的激励功率推动末级功率放大器。

1.2 功率放大器的稳定性设计

不稳定性定义为，在放大器输出负载上出现了不希望的频率成分，这种频率成分与输入频率不是谐波关系。丙类功率放大器是潜在不稳定的，文献 [8] 讨论了引起不稳定的晶体管各种物理效应。在电路设计上，各阻抗匹配网络采用低通滤波器结构，有利于滤除电路产生的谐波成分，对于有可能产生低频谐振的电感，都要尽可能减小电感值，或串联、并联电阻以降低 Q 值。合理的增益分配，采取良好的电磁屏蔽措施，线路排布上大面积射频接地，也是提高稳定性的有效方法。为防止信号通过馈电端在各级之间串扰，各级放大器的馈电均采用多级 LC 滤波器去耦，电源经穿心电容馈至集电极，去耦电容采用多种不同容量的电容并联而成，才能对不同频段的杂波都能有效旁路。

1.3 功率放大器的散热设计

丙类功率放大器理论上效率 η 可达 70%，实际电路考虑带宽、增益和输出功率，效率 η 仅为 50% 左右。若输出功率为 100W，则有 100W 左右的功率消耗在功率管上，由此而引起的温升超过极限工作温度时，就会损坏晶体管。表示功率晶体管散热能力的参数为热阻

$$R_T = (T_2 - T_1) / P_c$$

其中 T_2 ：热源温度； T_1 ：环境温度； P_c ：晶体管工作时集电极耗散功率。

热阻由三部分组成： $R_T = R_{T1} + R_{TC} + R_{TO}$

其中， R_{T1} 为内热阻； R_{TC} 为晶体管底座至外散热器之间接触热阻； R_{TO} 为散热器至周围介质间的外热阻；减少这三方面的热阻，就是散热设计的目的。通常 R_{T1} 是固定的，在管座与散热器之间涂复有机硅脂，可降低接触热阻 R_{TC} 。还可采用温度继电器控制的轴流风机冷却散热器以降低 R_{TO} 。

2 100W 连续波功率放大器方案介绍

100W 连续波功率放大器，在 80MHz 至 210MHz 的频率范围内分成 A 、 B 两段， A 段为 80MHz 到 135MHz， B 段为 135MHz 到 210MHz，功率增益达 50dB。随着器件制造水平的发展，目前在米波段使用单管功率放大器已经能在宽频带内获得百瓦级的连续波功率。因此，我们选用了三级单管功率放大器级联构成系统的方案（见图 4），其中第一级选用宽带混合模块 MHW590，第二级和第三级分别选用 MRF314 和 MRF329 射频晶体管，各级管子的输入输出匹配电路的设计均按第二部分叙述的设计过程进行设计。

整个放大器的增益指标主要是由功率量较小的前置放大器和激励级完成，而对于功率量较大的末级，增益不能过高，这样有利于提高系统的稳定性。表 1 给出了各级功率放大器的增益和输出功率。

为了平衡工作频带内的总增益和输出功率，还利用末级输出端的微带线耦合出部分能量，经检波放大去控制前置放大，以实现自动功率增益控制（APC）。

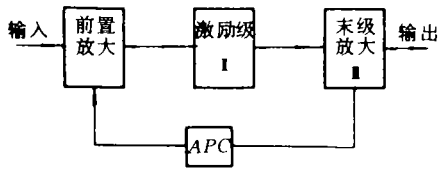


图 4 100W 功率放大器框图

表 1 增益分配与管型

级	管型	输入功率	输出功率	增益
第一级	MHW590	1~2mW	1~1.5W	30db
第二级	MRF314	1~1.5W	12~20W	12db
第三级	MRF329	12~20W	90~110W	8db

3 测试结果

按上述原理和方案设计制作的功率放大器，经检测后，在 80MHz~210MHz 的频率范围内给出如下结果：

- 常温下输出功率 100W，功率波动 0.9dB；
- 低温 -55℃，输出功率 100W，功率波动 1dB；
- 高温 +60℃，输出功率 100W，功率波动 0.8dB；

常温下电源负拉偏 10%，输出功率 90W，功率波动 0.7dB，电源正拉偏 10%，输出功率 120W，功率波动 0.9dB。

冲击、振动、潮湿试验，与常温下结果同。

图 5 示出了输出功率和效率测试曲线。

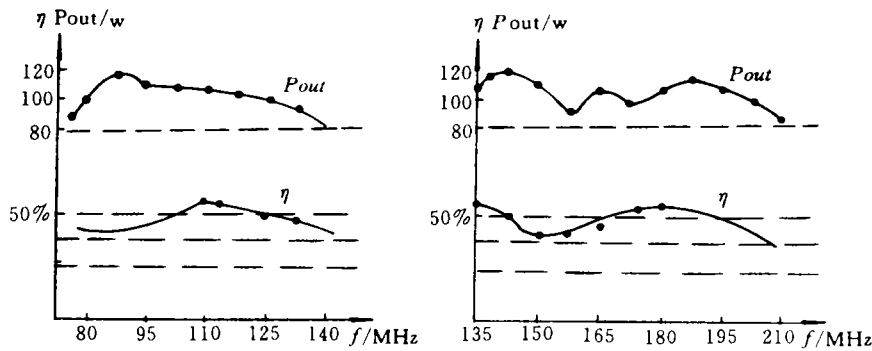


图 5 常温下测试结果曲线

4 结 语

我国米波段 100W 连续波功率放大器尚未见过报导。我们研制的米波段宽带大功率放大器已经过鉴定并投入小批量生产，并成功地用于某新一代电子系统，其高低温性能及电源拉偏性能变化不大，经冲击振动热湿试验后性能稳定可靠。与数字频率合成器及天线连接性能良好。

衷心感谢谭志恒教授和国营 918 厂胡四章高工的指导和帮助。

参 考 文 献

- 1 16 AND 25 Watt Broad Band Power Amplifiers Using Rca- 2N5918. 2N5919 and 7A7706 UHF/Microwave Power Transistor. RCA Solidstate Data Book
- 2 Impedance matching Networks Applied to RF Power Transistors. Motorola Data Book
- 3 RF Device Data Q4/90, DL110 Motorola INC.
- 4 W. P 奥赖利. 发射机功率放大器设计. 国营 918 厂
- 5 袁考康等. 微带功率晶体管放大器. 北京: 人民邮电出版社, 1982
- 6 清华大学编写组. 微带电路, 北京: 人民邮电出版社, 1977
- 7 江俊昭、藤江明雄著 [日]. 高频大功率晶体管, 北京: 国防工业出版社, 1976
- 8 晶体管功率放大器的稳定性问题. 国营 918 厂汇编

High Power Metre Wave Band Solid State Broad Band Amplifier

Liu Qixiong Zhu Ming

(Deparemaent of Electronic Technologe, NUDT, Changsha, 410073)

An Ning

(Zhong Nan Radio Factory, Zhuzhou, 411200)

Abstract

In this paper, a high-power Meter band solid broad band High power amplifier with good performance is presented. The problems of theory and practice in design are discussed. In the frequency range of 80 MHz—210MHz, the amplifier gain is more than 50dB. The power output of continuous wave is 100 Watt. The power fluctuation is less than 1 dB. The amplifier can be used as power emission unit in communication, navigation, radar and ECM equipments.

Key words Meter Wave Band, successive wave power-Amplifier, broad band impedance match network