

高效率射频功率放大器的相关探讨

甄建勇

中华通信系统有限责任公司河北分公司 河北 石家庄 050000

摘要: 射频功率放大器作为无线通信领域的重要部件, 相关技术经过多年的发展已经较为成熟, 在现代多个行业与领域中具有广泛的应用。为了满足无线通信系统对于该部件的需求, 当前射频功率放大器正在向高功率、小体积以及低能耗方向发展, 对于无线通信领域的发展具有重要意义, 所以需要加强对相关内容的研究, 促进无线通信技术发展。因此, 本文将针对提高射频功率放大器工作效率, 进行深入地研究与分析, 并结合实践经验总结一些措施, 以期能够对相关领域有所帮助。

关键词: 射频功率放大器; 高效率; 无线通信; 信息技术; 优化措施

在现代信息技术快速发展的背景下, 我国近些年来通信产业发展规模不断加大, 无线通信系统与技术得以全面发展。射频功率放大器在雷达、导航以及遥感等领域中具有重要的应用, 且随着相关技术的不断发展, 逐渐在民用领域开始应用, 比如4G通信网络、蓝牙以及局域网等。但是不论专业还是民用领域, 通信系统对于射频功率放大器的需求都在不断提高, 要求该部件需要具有较高的效率, 同时具有较低的能耗, 所以需要加强对核心技术的升级与创新。

1 射频功率放大器简要概述

射频功率放大器是无线通信系统收发设备的核心部件, 其工作状态能够直接影响系统的通信干扰效果。为了实现射频信号的发送, 首先需要对基带信号进行调制与上变频, 但是经过调制后的信号强度会大幅度降低, 如果直接进行发射, 在传输过程中信号会不断衰减, 从而无法接收, 所以需要采用射频功率放大器将经过调制后的射频信号强度进行增强, 使其达到可以被接收的幅度, 之后再通过发射机将信号传输出去, 这就是射频功率放大器的基本作用^[1]。通常情况下, 按照输入信号与输出信号的差异, 射频功率放大器可以分为A—F类与特殊的AB类。

在射频功率放大器设计时, 需要充分考虑到该设备的输出功率、线性度、效率、功耗、尺寸以及散热等方面的指标, 为此需要充分掌握射频功率放大器的基本技术指标。从射频功放的角度来看, 其本质是将直流能量转变为交流能量, 从而确保发射链路能够正常运行, 所以首先保证系统内部与前级链路以及后级发射天线之间具有良好的匹配性, 之后确保内部具有良好的阻抗匹配性。与此同时, 科学的射频功放需要能够将直流电源提供的能量全部转化为交流能量, 且射频功放自身不产生

损耗, 这就是射频功放的效率指标, 理想状态下的效率为100%, 且需要保证输出信号与输入信号之间具有线性关系变化, 也就是射频功放的线性度指标^[2]。

传统射频功率放大器通常运行在线性放大工作模式中, 主要技术指标为线性度, 从而导致效率无法突破性提升。在现代电子科技技术快速发展的背景下, 无线通信系统对于高效率射频功率放大器的需求不断增加, 所以需要加强高效率射频功率放大器的研究。

2 高效率射频功率放大器的设计

为了提升射频功率放大器运行综合效率, 本文选择E类功率放大器作为研究对象。E类射频功率放大器为开关类功放类型, 主要在微波射频频段中应用, 运行在非线性区域。因此, 在具体应用过程中, 实际效果与预期其目标之间存在较大区别, 主要是因为电路的参数、功率晶体管等因素引起。为了能够提升射频功率放大器效率, 本文提出如下设计方案:

2.1 晶体管选择设计

通常情况下, 选择功率晶体管过程中, 需要考虑到所选功率晶体管的频率需要超过设计频率的三倍以上, 主要是因为晶体管具有漏极输出电容, 该电容数值会随着额定功率的提高而降低, E类功放需要的漏极并联电容数值较低, 结合相关经验选择设计频率三倍以上能够符合需求。在本次设计中, 射频功率晶体管选择GaAs, 该晶体管具有较高的崩溃电压、高饱和电子速率, 可以用在更高的射频微波频段中, 且GaAs材料制成的晶体管噪声系数较低。在对E类射频功率放大器进行设计时, 必须保证晶体管自身具有良好的开关性能、较高的漏极击穿电压以及较低的输出电容, 所以需要结合实际情况选择, 采用GaAs晶体管能够使得该放大器运行在更高的频率中; 在设计时, 需要考虑到晶体管的漏极

耐压特性，在常规运行环境下，晶体管漏极电压能够得到到3.5倍以上，为此在晶体管设计时需要充分考虑到耐压性能^[3]。

2.2 输入与输出的匹配网络设计

匹配网络本质上就是阻抗变化，即将设计的阻抗数值变化到更优的阻抗数值。匹配设计需要考虑到两项主要内容，首先是确保传输线路与负载之间匹配，主要是降低线路产生的反射损耗，其次是信源与负载之间的共轭匹配，主要目标是确保输出功率最大化，科学的匹配关系能够直接影响系统传输效率与运行稳定性。下图为阻抗匹配网络简要示意图。

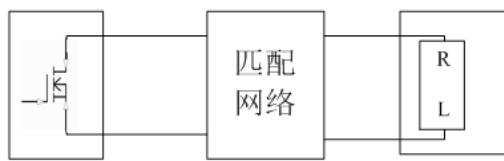


图1：阻抗匹配网络简要示意图

为了确保负载和功放电路之间具有良好的匹配关系，在对匹配网络进行设计时，需要将负载阻抗利用匹配网络转化到功放电路的输出阻抗，实现全部匹配，之后再对电路进行优化，确保负载阻抗处于最大输出功率状态，且阻抗匹配网络需要具有一定的滤波作用，在允许基波信号通过的基础上，能够将剩余其他谐波进行滤除，同时匹配网络加入的构件需要尽量减少，从而对结构进行优化，确保能耗降低最低水平。结合上文分析，本次匹配网络设计为L型，该匹配网络主要包括两个电抗性元件，包括八中不同组合方式，X1与X2元件连接成为L型，X1与X2为电容性元件或电感性元件^[4]。该匹配网络的结构较为简单，容易实现。下图为L型匹配网络的简要示意图。

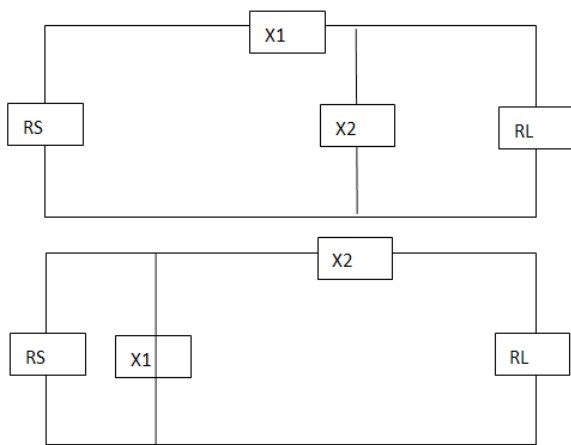


图2：L型匹配网络简要示意图

2.3 电路与仿真设计

结合现有的功放管，本次设计采用MRF166C型号的功放管，依据此功放管Datasheet的性能参数与水需求，设计频率为141MHz，设计负载为18Ω，采用并联电容结构的E类工作模式并射频电路仿真软件进行处理。结合相关仿真分析可以看出，实际功率晶体管无法达到最为理想的开关功能，开关电压与开关电流存在时域波形重叠，也就是同时不为零的时间内存在，在开关带能源与开关电流都为非零的状态时就会出现管耗问题，也就是部分直流能量在晶体管中消耗，实际效率难以达到100%，为此需要尽量减少开关电压和开关电流的重叠程度，才能够促进效率提升。在处于较高频段的状态时，需要充分考虑到功率晶体管的寄生参数，寄生输出电容与晶体管能够应用的最大频率具有直接关系，一般情况下频率高则寄生输出的电容越低，因此为了确保设计方案满足实际需求，本次设计中选择频率超过设计频率三倍以上晶体管，从而能够确保寄生输出电容低于设计需要的并联电容数值，不需要额外增加电容^[5]。

在设计过程中，加入并联电阻后，141MHz区域的稳定系数约为1.15，超过规定的数值1，说明运行较为稳定，能够满足设计需求；在加入负反馈之后，稳定系数为1.12，超过规定的数值1，说明运行较为稳定，能够满足设计需求。

3 高效率射频功率放大器的实际调试分析

在采用上述方案对E类射频功率放大器设计后，为了验证其运行效果，需要进行实际调试，射频功率放大器的一般调试流程为：静态工作点调试→中功率调试→大功率调试。

3.1 141MHzE的实际测试

在该射频功率放大器的实物进行调试时，需要确保测试平台共地，并在测试前对仪器进行校准，主要测试系统运行稳定性。依据测试规定连接电路，测试采用直流28V电源进行供电，限流设定为2A，选择了七个不同的测试点，按照不同输入测试功率对应的输出数值，实际测试结果为：（1）输出13dBm，输出19.3W，电流为0.97A，漏极效率为71.1%，PAE为67.4%。（2）输出11dBm，输出18.7W，电流为0.951A，漏极效率为70.2%，PAE为67.4%。（3）输出8dBm，输出15.2W，电流为0.54A，漏极效率为64.2%，PAE为60.1%。（4）输出5dBm，输出8.8W，电流为0.623A，漏极效率为50.8%，PAE为45.1%。

3.2 谐波参量测试

谐波参量测试中，主要测试二次谐波与三次谐波，在测试过程中，采用直流28V电源进行供电，限流设定

为2A, 主要测试主频点、二次谐波与三次谐波, 主要测试结果包括: (1) 输出13dBm, 主频点为11.16dBm, 二次谐波为-1.6dBm, 三次谐波为-42.5dBm。(2) 输出11dBm, 主频点为11dBm, 二次谐波为-1.82dBm, 三次谐波为-42.16dBm

3.3 数值分析

结合相关测试结果来看, 采用本文设计的方案, 射频功率放大器在125MHz、128MHz以及130MHz测试点的输出功率与漏极效率都超出141MHz频点的测试结果, 其主要原因为: (1) 漏极效率能够在一定程度上随着输出功率发生变化, 输出功率越高, 漏极效率越高。(2) 理论仿真结算结果与实际测试结果存在一定差异, 主要是由于频点漂移。

综合上述测试结果可以明确, 漏极效率都能够达到70%以上, 从而使得功放管的自身功率损耗全面降低, 在射频功率放大器具体应用期间, 散热问题则能够得以良好的解决, 从而使得射频功率放大器运行效率提高, 实际应用价值提高, 在功放体积降低方面也取得一定创新, 为射频功率放大器的高效率、小体积、轻量化以及集成化发展提供了全新思路。本文所设计的E类高效率射频功率放大器, 在实践应用中具有良好的效果, 能够有效提升射频功率放大器运行效率, 且功耗有所降低, 测

试结果能够满足高效率射频功率放大器的实际需求, 证明该设计方案具有良好的可实施性。

结束语

综上所述, 本文简要阐述了射频功率放大器的基本内涵, 并提出了一种高功率射频功率放大器设计方案, 对设计内容进行详细分析, 实践测试证明该设计方案具有良好的应用效果, 能够有效提升射频功率放大器效率, 希望可以对相关领域起到一定的借鉴与帮助作用, 不断提升射频功率放大器应用效果, 同时推动无线通信领域技术创新, 促进我国通信工程建设质量提升。

参考文献

- [1]李劲. 短波射频功率放大器末级设计原理分析探讨[J]. 电子测试, 2021(11):2-2.
- [2]尹希雷, 李军, 代法亮, 等. 一种高效率逆F类Doherty射频功率放大器[J]. 移动通信, 2020, 044(005):91-96.
- [3]王楠. 无线通信技术发展下探讨射频功率放大器线性化技术的应用[J]. 数字技术与应用, 2020, 38(006):3-3.
- [4]赵弘毅, 张丹, 封维忠, 等. 一种应用于2.2GHz的射频功率放大器设计[J]. 计算技术与自动化, 2021, 12(003):2-2.
- [5]陈锦. DX600中波发射机射频功率放大器的原理与故障修复[J]. 电子世界, 2021, 36(007):3-3.