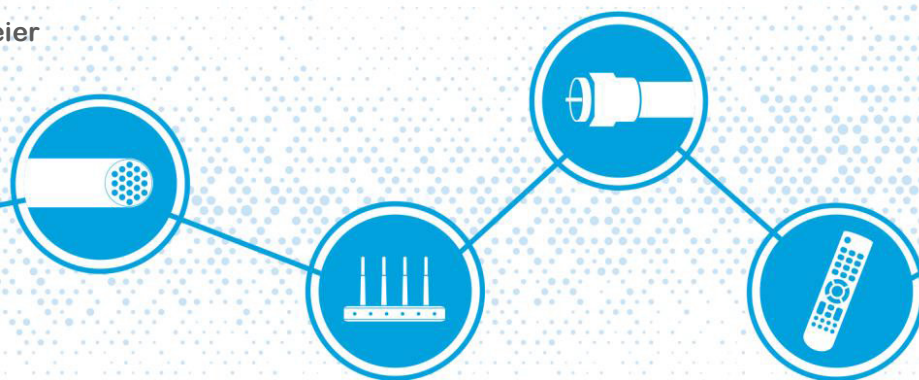


如何通过提高效率来提高 有线电视放大器的下行带宽和 上行容量

作者：Rainer Hillermeier



由于标准和法规不断快速变化，保持在有线电视市场的地位可能是一项挑战。全球混合光纤同轴 (HFC) 网络正升级至带有中分或高分的 DOCSIS® 3.1 (有线电视数据服务接口规范)，以提高上行和下行流量的数据传输速度和容量。同时，提倡开发和优化组件的下一代 DOCSIS 4.0 规范将于近期发布，以继续为未来的部署做好准备。尽管 DOCSIS 4.0 产品还需要几年时间才能实现量产，但组件的开发和优化以及网络定义早在几年前就已经开始了。

DOCSIS 3.1 将行业频率从 1 GHz、870 MHz，甚至可能只有 750 MHz 提高至 1.2 GHz，而 DOCSIS 4.0 则将频率提高至 1.8 GHz。为了满足日益增长的更高上游数据速率需求，发展必不可少。

如今，在家办公的人比以往任何时候都多。虽然这无疑凸显了宽带网络中对上行通信的需求，但远程工作并不是上行需求的唯一主要驱动因素。我们正处于交互式娱乐新浪潮的风口浪尖，在这期间，观众不再被动，而是积极的参与者。试想一下体育运动将如何改变：观众不仅可以通过聊天，还可以通过直播视频与朋友互动。此外，观众还可以在比赛期间进行实时的“小额押注”。除了对获胜方进行押注，玩家还能够在比赛过程中对各种动态因素进行下注，比如：下一次得分的是谁。

这只是一个需要更大上行容量的应用，另外还有一般的交互式娱乐、游戏、智能家居应用等。为了让客户满意，供应商需要提供更多带宽。

扩展带宽

在美国，HFC 网络通常会为上行流量分配 5 MHz 到 42 MHz。随着用户继续提高可用带宽的负荷，上行数据速率成为网络性能的限制因素。简单地说，根本没有足够的上行容量来支持每个用户的更多数据。

为满足更高的上行带宽需求，多系统运营商 (MSO) 开始考虑将上行增加到中分（带宽从 5 MHz 增加至 85 MHz）或高分（带宽从 5 MHz 至 204 MHz）。DOCSIS 4.0 规范提供了 300 MHz、396 MHz、492 MHz 甚至 684 MHz 的分频（图 1）。然而，增加上行带宽可能意味着减少下行带宽以及删减内容或服务。为避免在增加上行带宽的同时减少下行带宽，MSO 将充分利用 DOCSIS 3.1 或 DOCSIS 4.0 规范。当升级上行带宽时，它们会将下行带宽推至更高频率。MSO 可利用 DOCSIS 3.1 将频率扩展至 1.2 GHz，而 DOCSIS 4.0 则利用两个选项：全双工 (FDX) 频谱，在该频谱范围内，上行和下行共享相同的频率范围（高达 684 MHz）（图 2），或扩展频谱 DOCSIS (ESD)，在该频谱范围内，最高频率扩展至 1.8 GHz。

图 1. DOCSIS 4.0 ESD 频谱以及上行 (US) 和下行 (DS) 之间的分频。

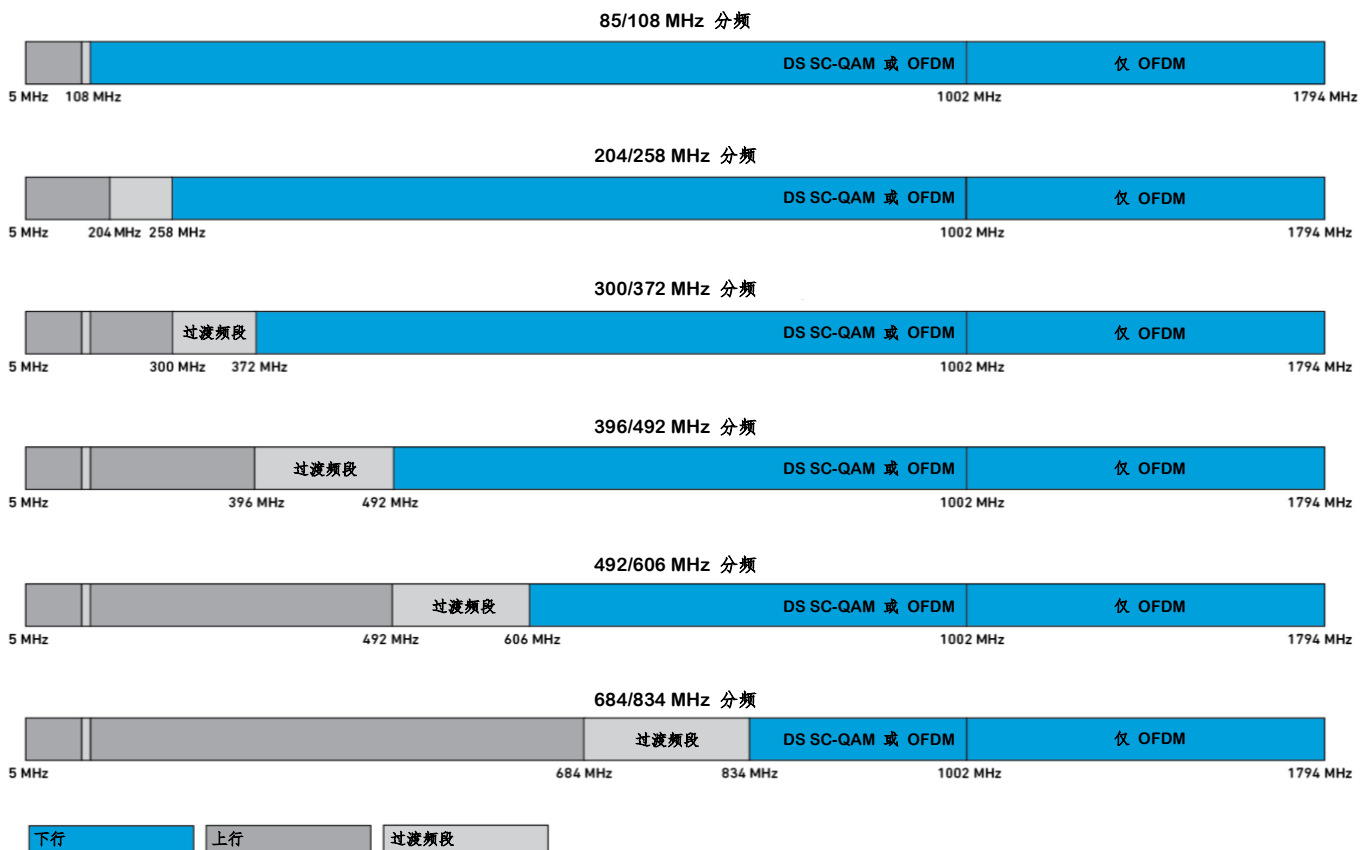
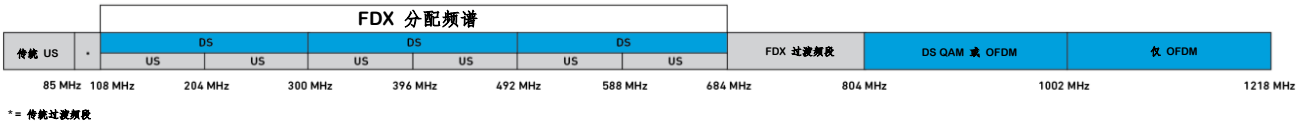


图 2. 面向上行 (US) 和下行 (DS) 的 DOCSIS 4.0 FDX 频谱。

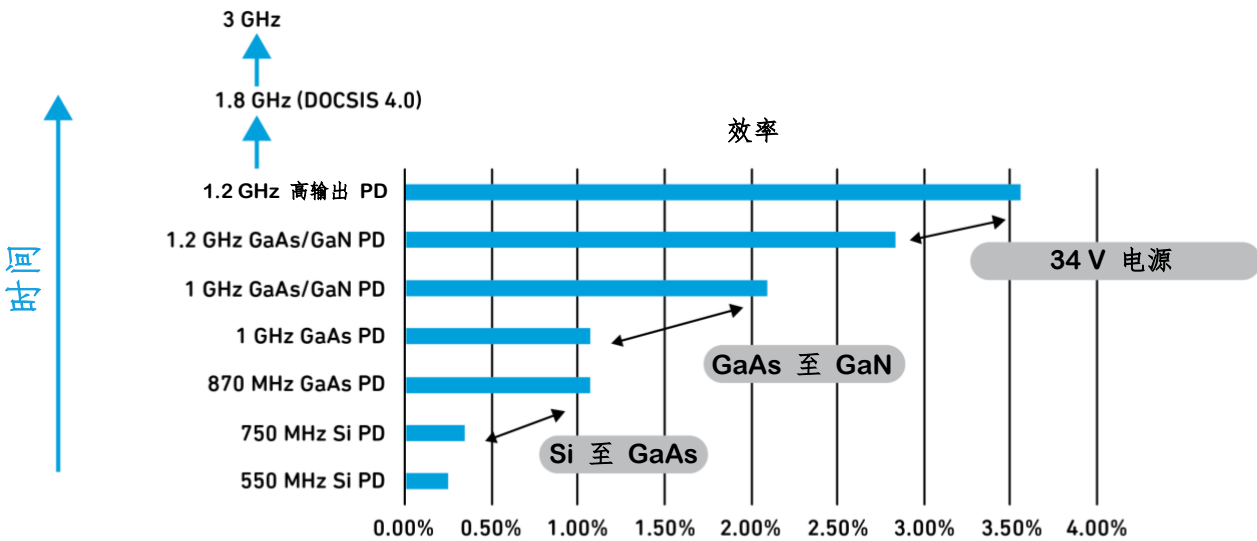


© 2021 Qorvo US, Inc.

迁移至 DOCSIS 3.1 时，MSO 最好考虑一下应如何以及何时过渡至 DOCSIS 4.0。此外，远程工作已经超越了现有基础设施的极限，而且这种需求很可能在未来几年内继续增长。

业内一致认为实现更高带宽和数据速率需要进行网络升级。为了实现这一点，需要一个全新的无源和有源产品组合。有源设备意味着系统需要更高线性输出功率的放大器，以保持 HFC 网络中的传统频率水平（最高 1 GHz），还能传输额外信道（最高 1.2 GHz，甚至可达 1.8 GHz）（图 3）。总之，为增加带宽以及提高数据速率，有线电视放大器需要更高线性输出功率。

图 3. 在创造满足 DOCSIS 标准要求且具有更高效率和性能的功率放大器方面，GaN 是一项关键技术。



© 2021 Qorvo US, Inc.

为什么要求线性度？

HFC 网络旨在将数据从头端传输至下行的用户电缆调制解调器，然后将数据返回至上行的头端。数据通过经过调制的单载波信道传输，并在采用 DOCSIS 3.1 时，通过加载在可用带宽频谱中的正交频分复用 (OFDM) 信道传输。HFC 装置中的放大器将放大信号，以补偿线缆损耗。线缆末端的信号质量必须足够好，以便在没有误差的情况下解调信号。

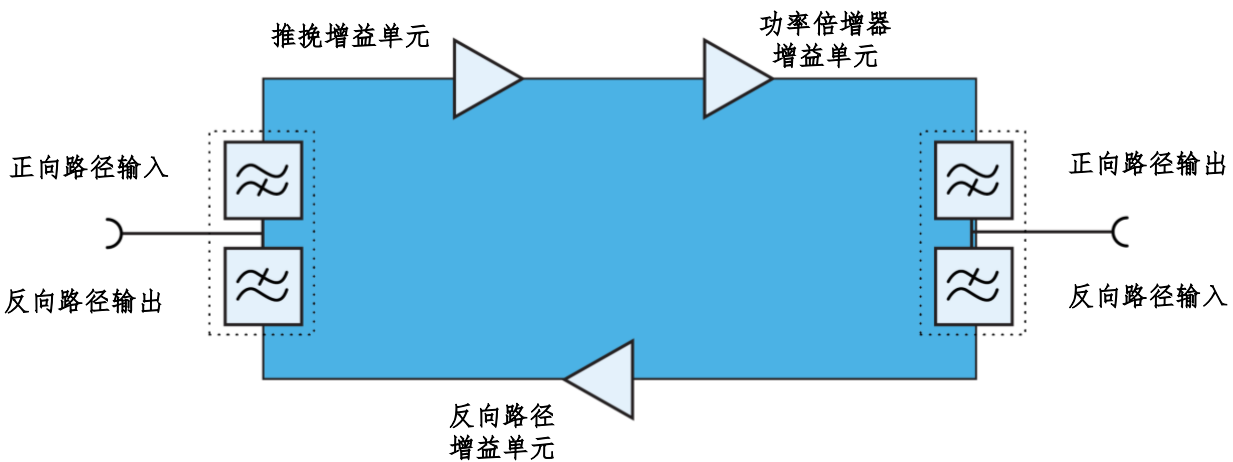
有源器件（如增益单元）的非线性度会降低信号质量。过去，这种失真在观看模拟电视频道时是比较明显的。一个频道会受到其他电视频道的干扰，并因此扭曲失真。如今，数字信道会出现误码或者根本无法解调信号的情况。对于 OFDM 信道来说，这可能意味着需要选择更低的调制速率，从而以更低的数据速率传输信号。换言之，增益单元或放大器的线性度越好，信号质量就越好，网络中可实现的数据速率就越高。

增益单元或放大器的线性度取决于各种因素，包括半导体技术、电路设计、功耗和热设计。增加带宽越来越宽的信道时，需考虑并优化所有这些因素，以满足数据速率要求。

GaN 优势

线性度和效率是 HFC 放大器设计的主要考虑因素（图 4）。通过提高效率，放大器能够以相同的 DC 功耗实现更高的线性输出功率。这样一来，设计人员就可以实现更宽的带宽和更高的数据速率，延长放大器之间的距离以满足更长远的需求，并最大限度地提高可靠性。下行性能，尤其是与 HFC 放大器或节点的线性输出功率相关的性能，取决于输出级增益单元或所谓的功率倍增器的性能。因此，详细了解这些组件是有意义的。

图 4. 有线电视放大器的简化框图。



增益单元的初始演进步骤之一是从硅(Si)过渡至砷化镓(GaAs)半导体。GaAs 具有更高的电子迁移率，因此可以实现更高的频率和更宽的带宽。此外，基于 FET 的 GaAs 晶体管可以直接安装在散热器上，因此与需要隔离层的硅双极晶体管相比，具有更出色的热结构。最后，由于其平方律特性： $I_D = I_{dss} \times (1 - V_{gs}/V_p)^2$ ，基于 FET 的 GaAs 具有更低的三阶失真性能。

下一个主要的技术飞跃就是氮化镓 (GaN)。在创造满足 DOCSIS 3.1 和 DOCSIS 4.0 标准要求且具有更高效率和性能功率放大器方面，GaN 是一项关键技术。与相同功率的其他技术相比，GaN 还具有更高的可靠性和更长的运行寿命。

图 5. 基于 FET 的 GaAs 技术改变了增益单元架构。利用 GaN 技术的可用性，通过使用基于 GaN 的元件更换 FET3 和 FET4，可对该现有架构进行改进。

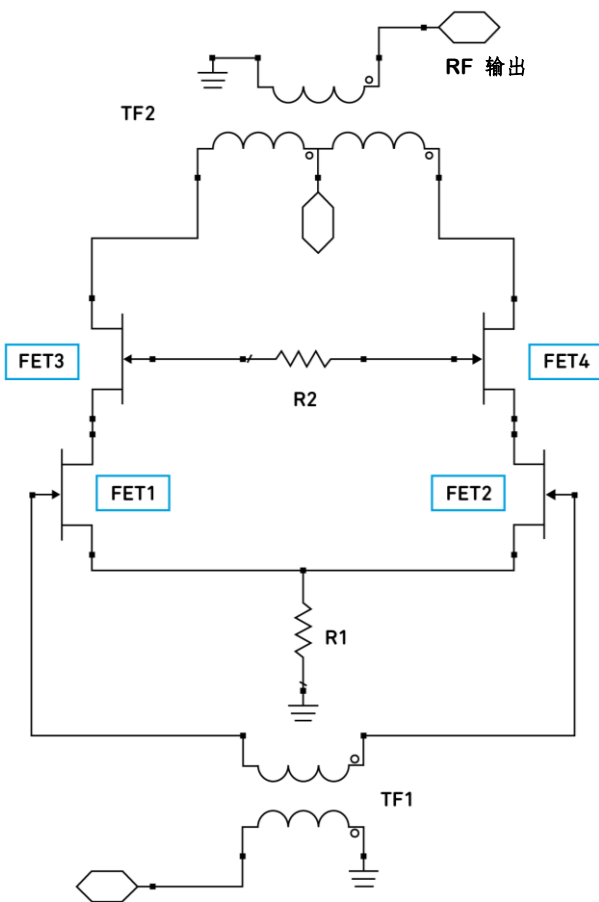


图 5 为有线电视增益单元的简化原理图。它在推挽配置（平衡设计）中采用了两个共源共栅，以消除二阶失真并实现多倍频带宽。在可用于此类拓扑结构时，基于 FET 的 GaAs 技术改变了整个行业，且其现在仍可用于目前先进的有线电视增益单元放大器。利用 GaN 技术的可用性，通过使用基于 GaN 的元件更换 FET3 和 FET4，可对该现有架构进行改进。在保持架构不变的情况下，利用 GaN 固有的技术特性，可显著提高系统的性能。

GaN 技术将继续发展。GaAs 和 GaN 技术是 Qorvo 内部开发和制造的两项核心技术。这使得 Qorvo PA 设计人员能够利用不断优化的 GaAs 基和 GaN 基半导体的最新发展，以应对和超越 DOCSIS 3.1 和 DOCSIS 4.0 所要求的更宽带宽和更高线性输出的严峻挑战。

如图 6 所示，GaN 基增益单元可为 Si 和 GaAs 提供出色性能。Si 增益单元在特定配置下支持较高的频率，但并不提供高电压耐用性或高电流密度。就 GaAs 而言，它可以在高频率下运行，却不能提供高电压耐用性或所需的高电流密度。

然而，GaN 可以在高频率下运行，并提供高电压耐用性、高电流密度以及足够的热导率和功率处理能力。GaN 可通过其更高功率密度来实现这一点，与功率密度只有 1W/mm 的 GaAs 相比，GaN 的功率密度高达 10W/mm。GaN 的几何尺寸更小，从而可以降低器件电容，同时实现更宽带宽，并可降低损耗，从而实现更高的增益和效率。

图 6. 有线电视增益单元中不同材料技术的特性。GaN-on-SiC 半导体的参数高亮显示为蓝色。

特性	Si	GaAs	SiC	GaN	优势
能隙 [eV]	1.11	1.43	3.2	3.4	高电压, 耐用性
电荷密度 ($1 \times 10^{13}/\text{cm}^2$)	0.3	0.3	0.4	1	高电流密度, 功率处理
热导率 (W/cmK)	1.5	0.5	3.3	1.5	
迁移率 (cm^2/Vs)	1300	6000	600	1500	高频率



© 2021 Qorvo US, Inc.

制造 GaN 半导体的基板材料有许多。Qorvo 采用碳化硅基氮化镓 (GaN-on-SiC) 基板，因为这项技术可实现出色的热导率，并具有较高可靠性，平均故障时间 (MTTF) 约为 1×10^6 。这种可靠性源自于更高的功率密度和在更高信道温度条件下运行的能力。这意味着，基于 GaN-on-SiC 的增益单元可以输出更多功率而不会导致器件温度升高。在热导率方面，GaAs 的性能最差（约为 0.5 W/cm-K ），Si 次之（仅约为 1.5 W/cm-K ）。相比之下，GaN-on-SiC 的热导率明显更高（约为 3.3 W/cm-K ）。

总之，利用 GaN 技术的优势，MSO 可以在提高线性输出功率的同时保持现有放大器的间距。这反过来又可将升级成本降至最低，并实现深入光纤解决方案，因此 MSO 可以在减少或消除放大器的同时，将光纤移至离客户更近的地方，以提供更优质的服务。这种方法可提高至家庭的潜在数据速率，同时降低功耗和维护成本。总之，这些特性使 GaN 技术成为 HFC 放大器设计中作为输出级的有线电视增益单元的理想之选。

生产制造和测试

Qorvo 是有线电视增益单元市场领域的领先企业，在推动创新以满足 HFC 市场需求方面一直处于领先地位。Qorvo 率先推出采用 GaN-on-SiC 的有线电视增益单元。这很快就成了高性能的理想技术。迄今为止，Qorvo 的 GaN 设备出货量超过 2000 万台。

Qorvo 提供面向 DOCSIS 3.0、DOCSIS 3.1 和 DOCSIS 4.0 的全套 RF 解决方案组合。凭借其丰富的经验和专业技术知识，Qorvo 可提供加速设计、制造和测试过程方面的支持。

适用于 DOCSIS 3.1 和 FDX DOCSIS 4.0 网络大功率深度光纤应用的最新旗舰产品为 **QPA3260 功率倍增器混合器件**，线性输出功率最高可达 1.2 GHz。对于 DOCSIS 4.0, **QPA3315 功率倍增器混合器件** 相当于需要支持 1.8 GHz 的应用。QPA3260 和 QPA3315 均可提供 23 dB 增益以及领先的线性度。如本文所述，线性度和仔细的热设计对于实现效率最大化至关重要。因此，热设计和相关的组装和封装技术对可靠性和耐用性具有直接的影响，尤其是在制造、测试和现场运行期间。



Qorvo 还提供先进的专用制造工艺，可及时实现 HFC 设备制造商所需的大规模生产。为确保热设计合理，Qorvo 在自动化装配线中采用了先进的组装和封装技术、焊接和环氧树脂连接功能。自动化是每年生产数百万件的关键，同时可满足有线电视市场的质量和可靠性要求。通过自动化，Qorvo 可对组件进行自动激光微调和调整，以保证尽可能减少部件之间可能存在的变化，同时确保可靠性和可再现性性能。

Qorvo 清楚，有线电视系统的测试取决于产品。开发一种测试方法可能是一项复杂、全面且耗时的任务，因为必须定义、指定和实现测试站，以提供正确的测试类型。

为了进一步保证稳定质量和可靠性，Qorvo 在其整个有线电视增益单元生产过程中进行了小信号和失真测试。此外，测试还包括采用传统模拟负载的多载波（复合）失真测试，或采用单载波 QAM 或 OFDM 信道的先进数字负载失真测试。这样一来，设备制造商就可以依赖于这样一个事实，即增益单元组件已经过适当表征和测试。

Qorvo 为 HFC 设备制造商服务了超过 25 年，并与客户合作制定符合其特定需求的测试标准。Qorvo 还帮助 HFC 设备制造商解读 DOCSIS 和应用要求，以创建可确保性能、可靠性和耐用性的测试站。

DOCSIS 3.1 和 DOCSIS 4.0 可增加带宽，提高上行容量，从而帮助 MSO 满足客户不断变化的需求。利用基于 GaN 的增益单元，有线电视设备制造商可满怀信心地提供可靠的系统，并提高整体耐用性和线性输出功率，从而实现更好的数据传输。

[了解更多](#)有关 Qorvo 如何交付稳定质量和可靠性的信息。

关于作者



Rainer Hillermeier

Qorvo 德国分部设计和运营总经理

Rainer 负责管理 Qorvo 位于德国纽伦堡的设计和制造基地。他在设计大功率有线电视增益单元方面拥有 20 多年的丰富经验。在他的指导下，我们开发并发布了首款 1 GHz、1.2 GHz 以及现在的 1.8 GHz 增益单元。他还率先在混合光纤同轴基础设施产品中采用了 GaN 半导体技术。