



摘要

计算密集型器件（如处理器、FPGA 和 ACAP）用于执行空间边缘计算应用所需的大量计算。这类应用的范围广泛，从人工智能(AI)、自动制导、电信，到地球观测的图像/视频处理。设计带有这种 IC 的电路板的挑战之一是实现合适的电源架构：

- 需要多个电压轨为这些复杂的器件的不同功能模块供电
- 在上电时，电压轨需要按正确的顺序上电
- 由于涉及薄制程节点，需要低电压和高电流的电源
- 由于空间环境的限制，必须最大限度地提高效率，以降低整体系统功耗，并缓解散热的压力

Teledyne e2v 提供宇航级数字器件，包括处理器、存储器和处理模块，以支持空间边缘计算。[QLS1046-Space](#) 是一款重型计算处理模块，包含一个四核 ARM® Cortex®-A72 处理器和一个 4GB 或 8GB 的 DDR4 存储器。德州仪器(TI)提供一系列的宇航级电源 IC，可满足在空间辐射环境中为 Teledyne e2v 的数字产品供电的需求。

本白皮书讨论了这种设计，并提出了一种采用 TI 的器件为 QLS1046-Space 供电的电源方案。本文以 QLS1046-Space 参考设计工具(QLS1046-xGB-RDK)的电源架构为例，首先简单介绍 Teledyne e2v 的 QLS1046-Space 模块，然后讨论电源的尺寸和器件的选择，最后给出具体实现。

TELEDYNE E2V QLS1046-SPACE 简介

QLS1046-Space 是一款宇航级耐辐射的重型处理模块。它具有 44x26mm 的小尺寸，集成了一个宇航级处理器和一个宇航级 DDR4 存储器。处理器是四核 ARM® Cortex®-A72 (LS1046)，主频高达 1.8GHz，具有 30 000 DMIPS / 56 GFLOPs 的计算能力。L1 和 L2 缓存是带 ECC 保护的，可保证在辐射环境下的可靠性。它集成了数据包处理加速以及包含 1/10Gb 以太网和 PCIe® Gen3 的高速外设，可实现高数据率。DDR4 存储器有 4GB 或 8GB 的容量，与处理器相连，提供高达 2.1GT/s (130Gbps)的速率。



图 1 : Qomino QLS1046-Space



该模块可提供 NASA 1 级(基于 NASA EEE-INST-002 - Section M4 - PEMs)和 ECSS 1 级(ECSS-Q-ST-60-13C)。在辐射性能方面，它的 SEL LET 阈值高于 62.5 MeV.cm²/mg，可以承受 100 krad(Si)的 TID。SEU 和 SEFI 的详细截面信息可在专门的辐射报告中找到。

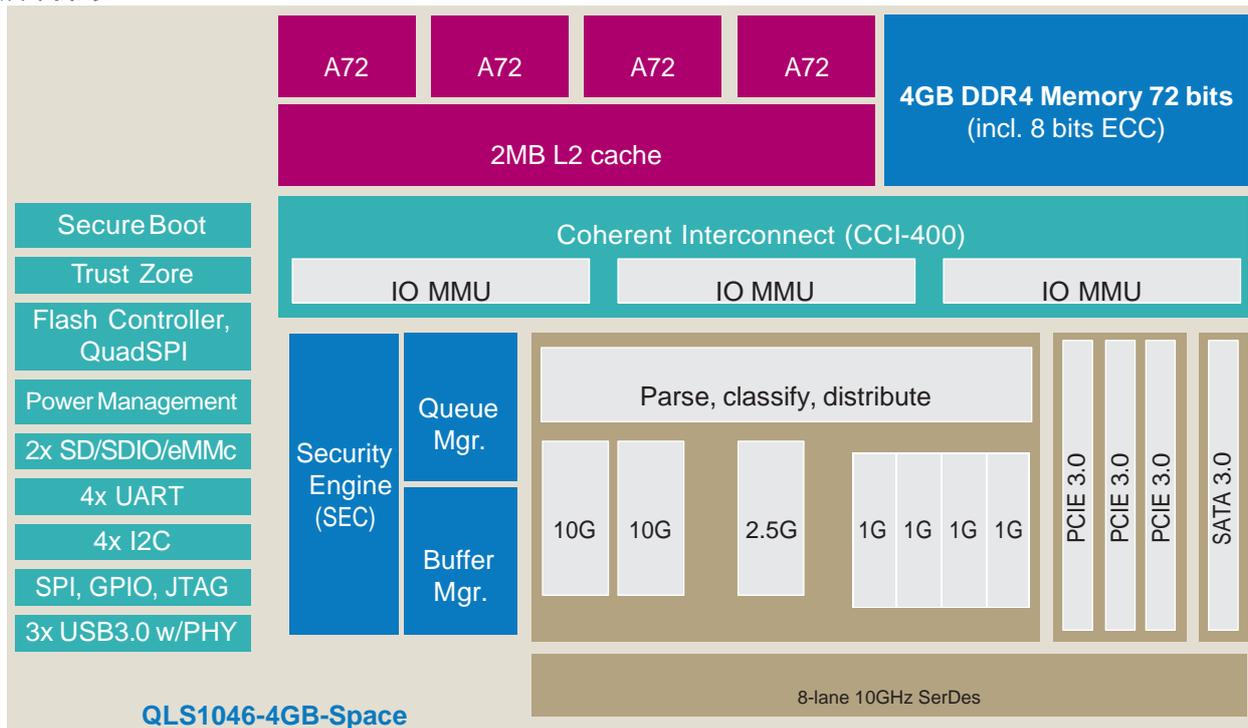


图2: QLS1046-Space 框图

QLS1046-Space 可以满足各种需要高计算能力的空间应用。它可以用于嵌入人工智能的太空系统，因为它可以运行深度学习人工智能算法，例如在太空中进行图像处理。它既具有在边缘对信息进行预处理的所有技术优势，又减少了发送到地面时的下行带宽。QLS1046-Space 对于希望减少开发时间、风险、系统尺寸和物料清单的项目团队来说是特别重要的。该模块面向终端应用，如自主着陆、对接、发射、通信卫星、科学任务、早期预警、地球观测卫星等。

电源尺寸

在选择电源器件之前，需要根据电路板设计和使用案例估计每个电源的最大总功率。QLS1046 模块通常用于空间计算板，这种计算板包含其他的 IC，如存储器、外部接口和与 QLS1046 配合使用的逻辑器件。整个电路板的电源通常是共用的，因此每个电源的功耗是 QLS1046 的功耗和相同电压的其他器件的功耗之和。对于电路板的其他器件，其功耗在各自的数据手册中提供。对于 QLS1046，其功耗为处理器和 DDR4 的功耗之和：

- 处理器所需的不同供电的功耗在产品的数据手册中提供。对于具有最高功耗的 1V 核心电压，有专门的文档解释如何根据具体应用估计功耗(可根据要求提供)。
- DDR4 的功耗很大程度上取决于使用情况。功率计算表用于提供估算值(也可根据要求提供)。



在本白皮书中，给出的功耗估算对应于 QLS1046 空间参考设计(QLS1046-xGB-RDK)。由于参考设计可用于各种应用，因此功率是在所有外设、器件(包括 QLS1046-Space)和接口在最高性能和最高温度下同时工作的最坏情况下估算的。表 1 总结了单独 QLS1046 和整个板卡的最大总功耗评估：

电压	稳压器宽容度	隔离	QLS1046 电 流 (A)	QLS1046 功耗 (W)	电路板总 电流(A)	电路板总功 耗(W)
12		No			2.1	25.2
5		No			3.3	16.5
3.3	±165 mV	No	0.051	0.17	4.3	14.19
2.5	±120 mV	No	0.2	0.5	1.4	3.5
1.8	±90 mV	No	0.344	0.62	1	1.8
1.35	±67 mV	No	0.907	1.22	1.2	1.62
1.2	±60 mV	No	2.634	3.16	4	4.8
1	±30 mV	No	20.582	20.58	32.5	32.5
0.6	±6 mV	No	0.23	0.14	0.23	0.14
总计				26.39		100.57

表1: 功耗预算评估

值得注意的是，这个参考设计提供了多个外部接口和外设，包括多达 6 个以太网 1/10Gbps 接口、PCIe 接口等。对于实际的宇航应用，用户需要使用相同的工具重新计算功率预算。在实际应用中，由于接口的数量可能更少，并且 QLS1046 不一定需要在最大温度和最高性能下工作，因此预估的电路板的总功耗要低得多。

架构和器件选择

根据详细的电源要求，我们可以定义一般的电源架构，并为每个电源选择电源 ICS。在参考设计中，5V 直流电源是电路板的主要输入电源，这意味着电源转换器使用它来构建所需的低压轨。如果卫星总线只提供 28V，可以使用中间降压 DC-DC 转换器将电压从 28V 降低到 5V。5V 也直接用于 USB 连接器(用于地面开发)。12V 电源仅用于板卡上连接的 PCIe 设备。

电源应能够在 5V 输入电压下工作，并具有使能和 power good 信号，以便将它们连接起来，以实现 QLS1046 要求的正确上电顺序。除了这些要求，效率是选择宇航级电源的主要考虑因素，因为在宇航环境中功耗和散热是巨大的挑战。基于这些标准，我们选择了以下德州仪器的 IC 来实现参考设计中的电源方案：

- TPS7H4003-SEP, 开关, 输出电流高达 18A, 并具有并联配置的能力, 以提供更大的输出电流
- TPS7H4010-SEP, 开关, 输出电流高达 6A
- TPS7H1111-SEP, LDO, 输出电流高达 1.5A
- TPS7H3302-SEP, DDR4 终端稳压器



这些器件采用塑料封装，易于操作和安装。它们的 TID 为 20 krad(Si)，SEL 免疫为 43 MeV.cm²/mg。对于需要更高质量等级和辐射性能的应用，TI 还可提供陶瓷平板封装版本，其 TID 为 100krad (Si)，SEL 免疫为 75 MeV.cm²/mg。

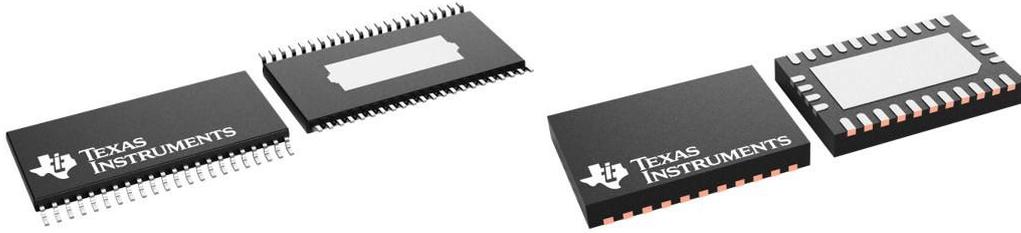


图 3: TPS7H4003-SEP (左)和TPS7H4010-SEP (右)。感谢德州仪器提供配图。

如上所述，QLS1046-Space 需要特定的上电顺序。因此，需要使用转换器的使能和 power good 信号。图 4 说明了参考设计板的完整电源方案，以及稳压器连接以实现适当顺序的方式。选择 TPS7H4010-SEP (6A)提供 2.5V / 1.4A，并使用它与 LDO 一起提供 1.8V / 1A 和 1.35V / 1.2A，以减少压差，这比直接从 5V 降压的整体效率更高。

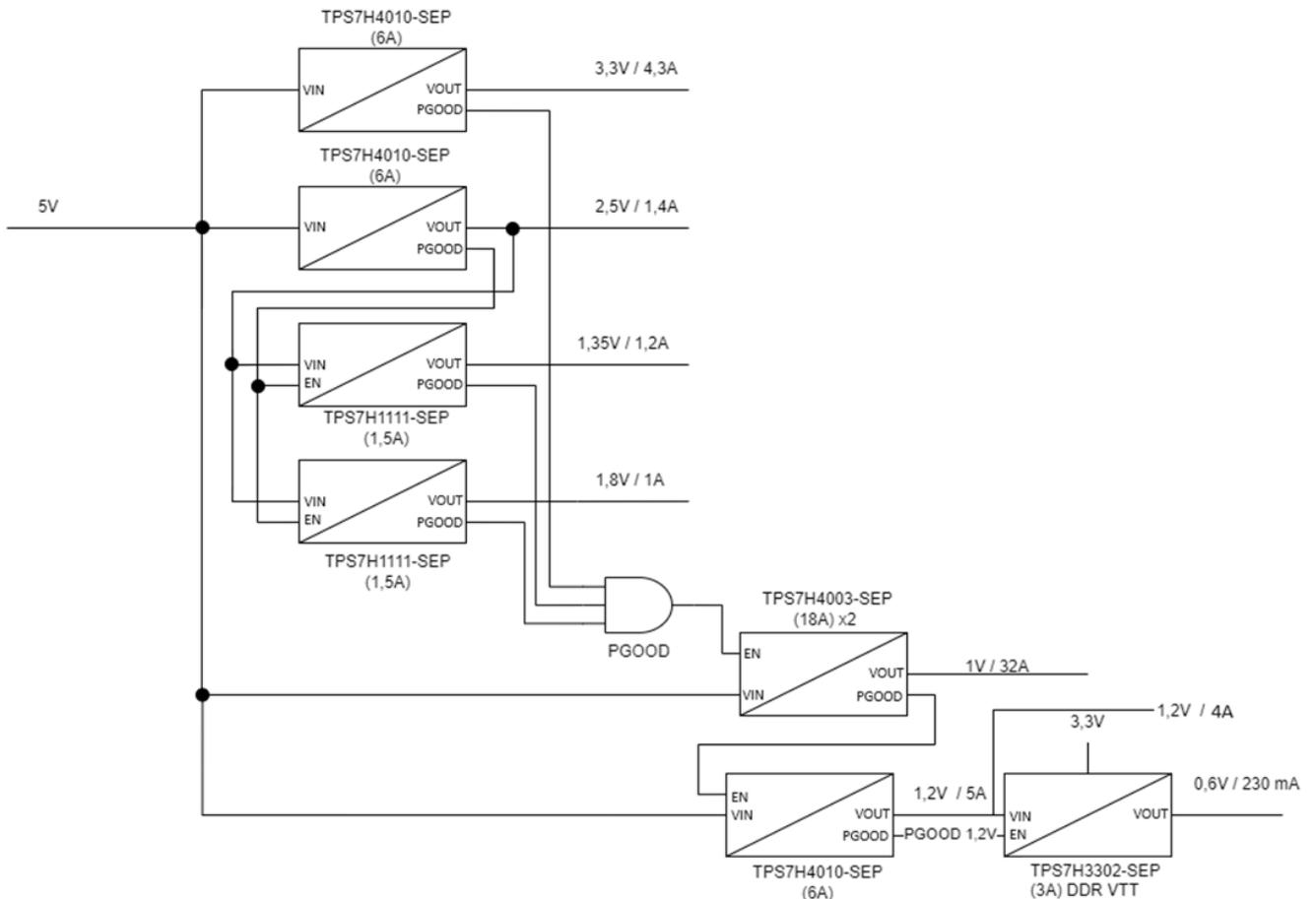


图 4: 完整的电源方案



具体实现

当确定了完整的供电方案后，可以进一步实现每个电源。原理图可根据德州仪器的应用信息绘制。该实现考虑了 QLS1046 和电路板的具体要求，包括稳压器精度、纹波和输出电流。另外，开关转换器的效率也是设计考虑的因素之一。当原理图确定后，可以在仿真中验证电源转换器的性能。

图 5 是 1V 电源的原理图，它实现了并行配置，能够为处理器提供所需的大电流。该电源的另一个特点是，它使用直接连接到硅裸片的 Vsense 反馈，以在负载侧进行测量。由于电流非常高，需要严格调节，转换器调节施加在裸片上(而不是在其输出端)的电压。这允许补偿电源输出和硅片之间线路的寄生电阻产生的压差。差分测量采用耐辐射放大器实现，进一步提高了精度。

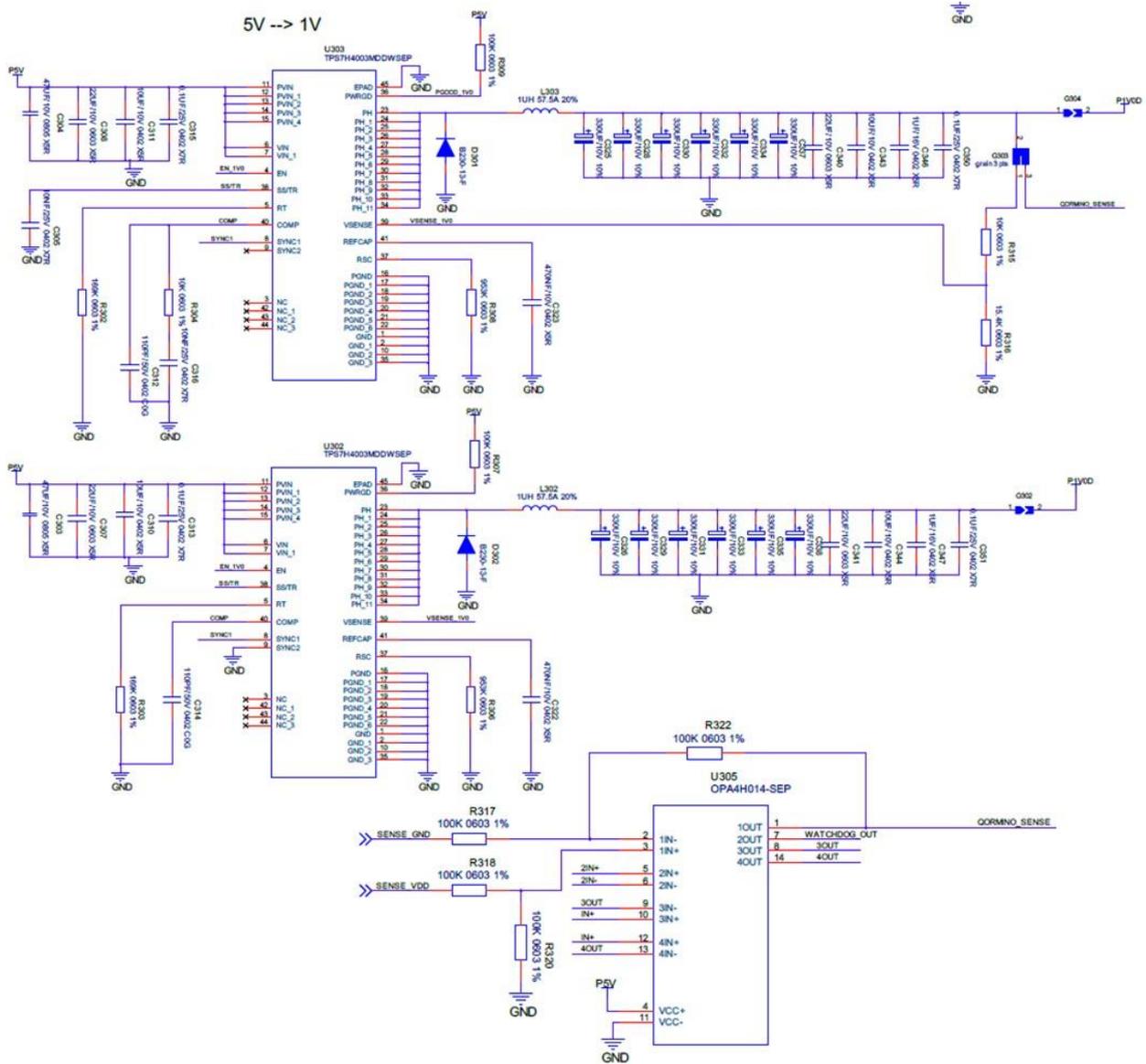


图 5: 使用并行配置的 1V 核心电压的原理图



第二个例子是使用 LDO 实现 1.8V 的电源，如图 6 所示：

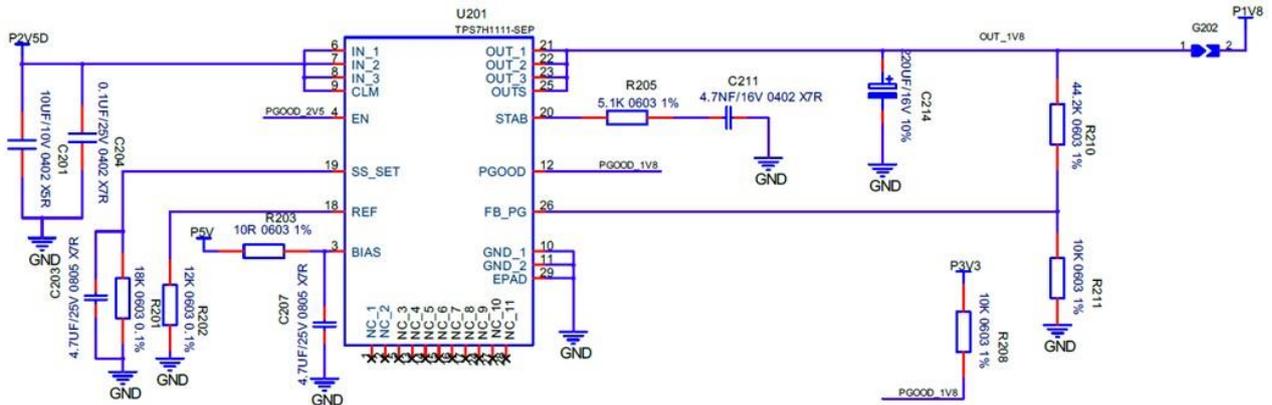


图 6: 使用 LDO 的 1.8V 电源的原理图

QLS1046 中的 DDR4 内存具有特定的电源要求。有关 DDR4 内存电源实现的详细信息，请参阅[此处](#)提供的白皮书。

设计的最后阶段是 PCB 布局，需考虑 TI 和 EMC 方面的应用指南。

结论

本白皮书介绍了为宇航级板卡实现 QLS1046-Space 的完整电源方案的步骤。本文以 QLS1046 空间参考设计套件(QLS1046-xGB-RDK)为例，阐述了如何在实践中实现这一方案，并为设计人员提供了使用 TI 电源 IC 的完整宇航级方案。包括电源在内的 QLS1046-xGB-RDK 的详细设计文件可从 Teledyne e2v 获得。如前所述，电源方案需要根据板卡的要求进行调整，特别是在输出电流能力方面。

该供电方案也适用于使用 LS1046-Space 的板卡。对于 LX2160，可以应用相同的策略，并且需要对电源进行加强，特别是需要更多电流的核心电源。



更多信息，请联系：

Thomas Porchez

应用支持

数据处理解决方案

thomas.porchez@teledyne.com



更多信息，请联系：

Thomas Guillemain

市场和业务发展

数据处理解决方案

thomas.guillemain@teledyne.com

