



## 摘要



空间边缘计算应用，例如图像/视频处理、人工智能（AI）、电信等，都依赖处理器、FPGA 和 ACAP 等计算密集型器件来执行繁重的计算。这些器件的片上存储非常有限，通常需要外部高速、高密度 DDR4 存储器以支持计算密集型的应用场景。

Teledyne e2v 是一家能够提供耐辐射宇航级 DDR4 (DDR4TxxG72) 的制造商。起初，Teledyne e2v 可提供 4GB 的容量，随后扩展了其产品系列，提高容量至 8GB，以满足空间应用不断增长的计算和存储需求。

DDR4 存储器有特定的电源要求，特别是需要一个终端电压 (VTT) 稳压器，用于控制地址控制命令 (ACC) 总线的终端电阻上的电压。考虑到 DDR4 总线传输的频率很高（超过 1GHz），我们需要在大带宽内精确调节该电压。另外，存储器还需要其他的稳压器为器件的逻辑部分供电。德州仪器 (TI) 可提供一系列的宇航级电源 IC，满足在太空辐射环境中为 Teledyne e2v DDR4 存储器供电的需求。

本白皮书首先将简单介绍 Teledyne e2v DDR4 存储器和相关的德州仪器终端电压稳压器，然后提出并描述 DDR4 和电源的实现。

## TELEDYNE E2V DDR4 DDR4TxxG72



图 1: Teledyne e2v 的耐辐射 4GB DDR4 存储器 DDR4T04G72

Teledyne e2v 的 [DDR4TxxG72](#) DDR4 存储器是宇航级处理器件（如处理器和 FPGA 等）的理想配套器件。这款 4/8GB 的耐辐射 DDR4 存储器多芯片封装 (MCP) 是一种面向宇航嵌入式系统和应用的超高密度存储器解决方案。

这款宇航级 DDR4 存储器性能强大，占用的电路板空间却很小，这对于空间有限和高度密集的卫星设计有很大的价值。它可与带 DDR4 控制器的处理器和 FPGA 一起使用，也可与宇航级 LS1046 四核处理器 ([QLS1046-4GB](#)) 一起集成在 Teledyne e2v 宇航级 Qormino® 通用计算平台上。



### DDR4TxxG72 的关键特点:

- 4GB 和 8GB 容量
- 72 bit 总线宽度- (典型作为 64 bit 数据+ 8 bit ECC 使用, 支持单位错误纠正和双位错误检测)
- 高达 2.4GT/s (150Gbps)数据速率
- 有机封装 15mm x 20mm x 1.92mm
- 温度范围[-40; +105]°C 或[-55; +125]°C

### 辐射性能和质量等级:

- 高达 NASA Level 1 (基于 NASA EEE-INST-002 – Section M4 – PEMs)
- 高达 ECSS Class 1 (ECSS-Q-ST-60-13C)
- SEL LET 阈值 > 60.88 MeV.cm<sup>2</sup>/mg
- SEU/SEFI 数据 > 60.88 MeV.cm<sup>2</sup>/mg
- TID 能力 100 krad(Si)

## 德州仪器 DDR4 专用电源

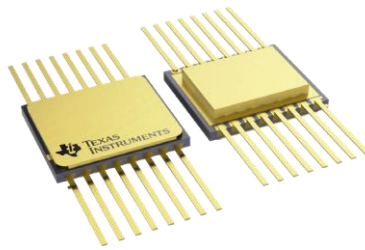


图 2: TPS7H3301-SP 电压终端 (VTT) 稳压器

德州仪器有一系列用于宇航的电源 IC，其中 [TPS7H3301-SP](#) (图 2) 是一款防辐射的 QML-V ±3 A 的拉电流/灌电流 DDR 终端稳压器，带有内置的 VREF。这是一个可减少占用面积的线性解决方案，无需使用任何的电感或补偿，只需少量的被动器件即可工作 (图 3)。这款 VTT 稳压器符合 JEDEC 的 DDR4 规范，性能卓越，可与 Teledyne e2v 的 DDR4 配合使用。

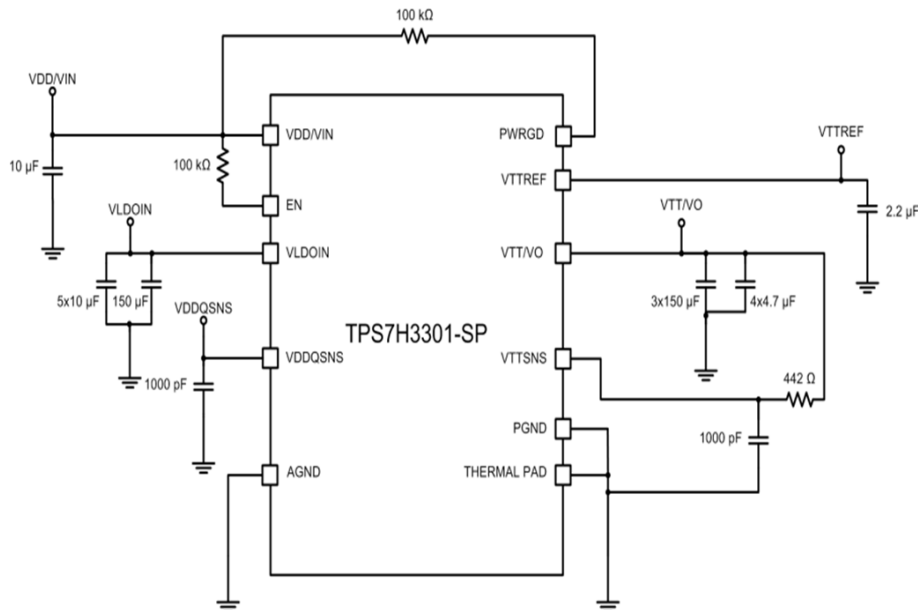


图 3: 典型的 TPS7H3301-SP 实现



### TPS7H3301-SP 的关键特点:

- 辐射: HDR 和 LDR TID 100-krad(Si), SET/SEFI 指标和 SEL/SEB/SEGR 免疫高达 70 MeV.cm<sup>2</sup>/mg
- 控制输入电压: 2.5 V 和 3.3 V
- VLDO 输入低至 0.8 V
- Power Good 和使能
- 10 mA 缓冲 VTTREF
- 带有压降补偿功能的拉/灌 VTT 电压输出
- 增强散热的 16 脚 CDFP, 9.9 x 11.3 mm
- [-55 ; +125]°C 温度范围

此外还有一款耐辐射版本的 [TPS7H3302-SEP](#), 和 TPS7H3301-SP 功能类似, 塑料封装, 具有较低的质量等级和辐射性能, 适用于要求较低的宇航应用。

除了终端电压, Teledyne e2v DDR4 存储器还需要一些其他的供电。这也可以使用德州仪器的 IC 实现, 请参考下一节的电源实现部分的描述。

## DDR4 的电源实现

Teledyne e2v 的 DDR4 存储器需要三个不同的电源电压 (VTT, VDD, VPP) 和一个参考电压 (VREFCA)。这些电源的典型要求如下:

- VDD 是 DDR4 的逻辑部分的主要电源, 为 1.2V。在电流要求方面, 预计一片 DDR4 需要 1-2A, 取决于密度和用量 (Teledyne e2v 可提供功率估算表用来评估功耗)。另外, DDR4 控制器通常还需要 1.2V 的电源, 也会消耗一些电流。在设计电源时必须考虑这一点。
- VPP 是 DDR4 的辅助电源, 电压为 2.5V, 直流电流预计在 100mA 或者更低。可以考虑使用开关或线性转换器。
- VTT 是 Teledyne e2v DDR4 存储器内部连接到集成的终端电阻的终端电压, 通常为 VDD/2, 即 0.6V。在最坏的情况下, 瞬态电流的要求在 ±1A 以下, 电源必须具备灌/拉的能力。为了避免 DDR4 在读写时发生错误, 必须对其精确调节。稳压器的带宽也很重要, 因为扰动通常在 DDR4 的时钟频率上发生, 这个频率高达 GHz。基于上述的原因, 线性稳压是首选。
- VREFCA 是 ACC 信号的关键参考电压, 一般是 VDD/2, 即 0.6V。它必须非常稳定和准确, 这意味着不建议将其直接连接到 VTT, 因为当 ACC 信号切换时, VTT 可能会波动。

根据上述的电源需求, 我们提出了一种采用 TI 器件的防辐射电源方案, 如图 4 所示。通过器件的 power-good 脚和使能脚实现电源的上电顺序, 确保 VDD(1.2V) 在 VPP(2.5V) 之后上升。

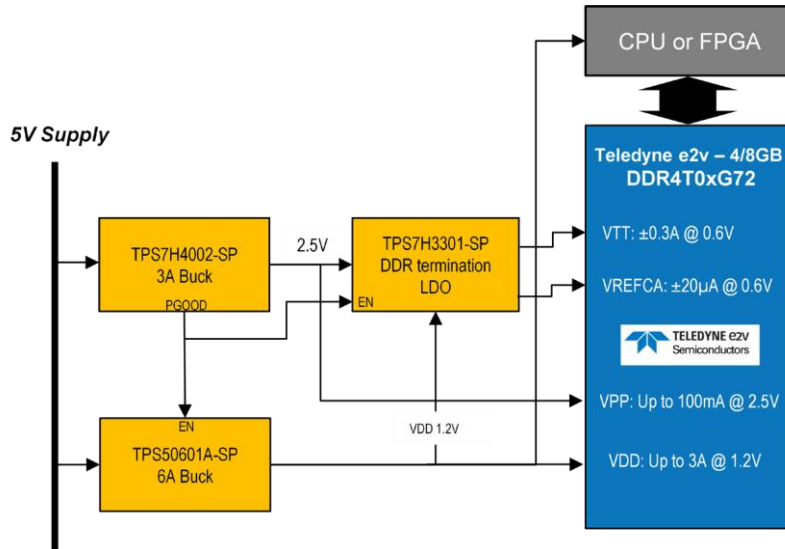


图4: 基于 TI 的面相 Teledyne e2v DDR4 的防辐射电源方案

这个电源方案从一个主 5V 电源生成不同的电源。对于 VDD，我们使用 TPS50601-SP 降压转换器，提供 6A 的输出电流能力，可满足 DDR4 存储器和 DDR4 控制器（处理器、FPGA 等）的电流需求。TPS7H4002-SP 降压转换器产生 2.5V 的 VPP。TPS7H3301-SP 调节 VTT，并带有专门的输出，提供 VREFCA 参考，避免使用额外的器件。对于质量或辐射要求较低的应用，可以考虑使用耐辐射的电源 IC 实现相同的方案。在这种情况下，TPS7H4010-SEP 可替换 TPS7H4002-SP/TPS50601-SP，TPS7H3302-SEP 可替换 TPS7H3301-SP。

图 5 估算了防辐射和耐辐射方案所需的 PCB 的面积。这个例子使用 AMD/XILINX VERSAL，对于其他的器件，电源和 DDR4 的面积也是相同的。可以看出，耐辐射的方案显著减少了所需的面积。

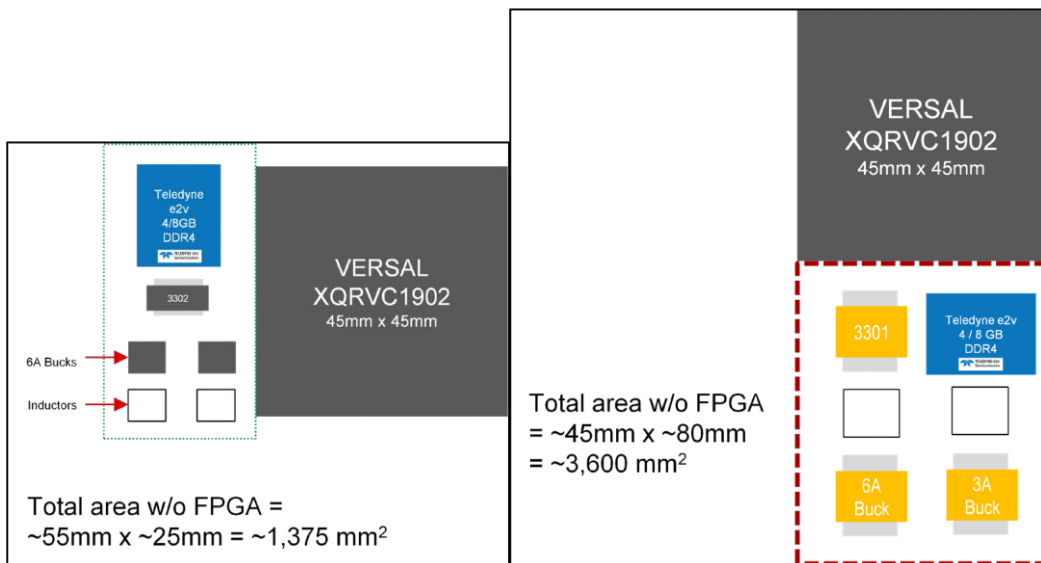


图5: 电路板面积估算：耐辐射器件（左）和防辐射器件（右）



## 结论

本白皮书提出了一种使用 TI 的电源 IC 为 Teledyne e2v DDR4 存储器供电的完整的宇航级解决方案。通过使用 DDR4TxG72/TPS7H3301-SP，空间系统可使用小型化配置，节省关键的电路板面积，并实现高功率密度和经过验证的防辐射能力和可靠性。这个由经过辐射验证的 TI 和 Teledyne e2v 的器件组成的方案，已被用于 QLS1046-Space 参考设计工具和 Alpha Data 的 Versal Core 开发工具 ADK-VA600 上。

更多信息，请访问下面的链接：

- [ti.com/space](https://ti.com/space)
- [Space Radiation Tolerant 4GB/8GB DDR4](#)



更多信息，请联系：

**Thomas Guillemain**,  
市场和商务发展，  
数据处理解决方案

[thomas.guillemain@teledyne.com](mailto:thomas.guillemain@teledyne.com)



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](mailto:thomas.porchez@teledyne.com)

