

能源效率

进行全面调节，达到节能目的

作者：Arman Naghavi，副总裁兼模拟与电源事业部总经理，IDT

每年，世界各地安装800多万台服务器。估计服务器系统的年度总能消耗大约会超过600亿千瓦。当数据中心的设施管理人员考虑他们机构的发展需求和成本时，在决定最为有效以及最具成本效益系统的过程中，服务器的能耗将是一个需要考虑的关键因素。

信息技术（IT）数据中心电力消耗的显著增长为企业开发具有能源效率的产品方面创造了极好的机会。数据中心的电力消耗每年正在以16%的速度增长。在云计算、社交网络、多媒体以及公用计算服务需求日益增长的驱动下，政府和商业机构每年将投入大约80亿美元（美国），用于数据中心的供电和数据中心的冷却。服务器系统以及数据中心的冷却

消耗了其中的大部分电力。

这些服务器的传统电源结构正在达到其能源效率的技术极限。某些提高能源效率的方法需要对整个数据中心的电源基础设施进行重新设计、改造，以降低电能的消耗。这种解决方案并不可行，因为数据中心的建筑物和基础设施的重新设计、改造可轻易地花费掉数千万美元。

IDT 等公司则通过专注于服务器

系统的总功效来解决这一问题，无需大规模改造数据中心基础设施或建筑物。这就是 IDT 的高效服务器电源架构，即 CoolIRAC（IRAC 是一个谐振交流的缩写）。该技术可以使数据中心极大地降低了服务器的功耗。

服务器总能源效率的测量是从交流电的输入开始，穿过服务器机架，一直到主板上的处理器。一般的服务器平台结构具有总量为 80% 的功率转换效率并通常会使用高成本的元器件。这意味着，大约 20% 消耗的电能作为废热而简单地损失掉了。IDT 的 CoolIRAC 技术可提高功率转换的效率超过 90%。由此，降低了无用功率的损失并减少了相应冷却的要求。由于 CoolIRAC 技术利用现有的数据中心电力基础设施，因此可非常容易地将其改型安装在现有的数据中心的中心，而无须进行费用不菲的建筑物改造工作。

数据中心电力的使用正在成为设施管理人员日益关注的焦点。这些管理人员力求提高数据处理能力并同时

表 1

电源结构	效率/阶段				
	PSU	背板	中间总线转换器	POL	总计
12V 直流电	92.0%	97.0%	不适用	89.0%	79.4%
带有单独 POL 的 48V 直流电	93.0%	99.0%	不适用	87.0%	80.1%
带有中间总线转换器的 48V 直流电	93.0%	99.0%	97.0%	89.0%	79.5%

表 2

电源结构	损失%/阶段				
	PSU	背板	中间总线转换器	POL	总计
12V 直流电	38.9%	13.4%	n/a	47.7%	100.0%
带有单独 POL 的 48V 直流电	35.2%	4.7%	n/a	60.1%	100.0%
带有中间总线转换器的 48V 直流电	34.1%	4.5%	13.5%	47.9%	100.0%

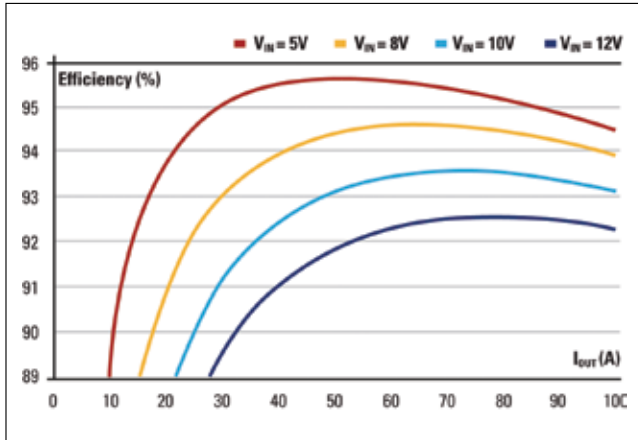


图 1: 在不同的输入电压下, POL 反向转换器的功效。

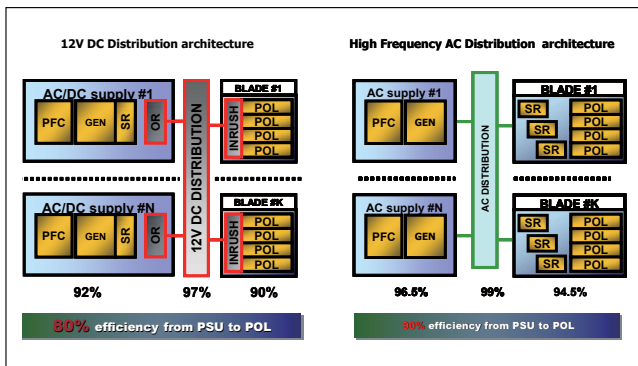


图 2: 传统的 12V 直流电配电结构与新建议的高频交流电配电结构。

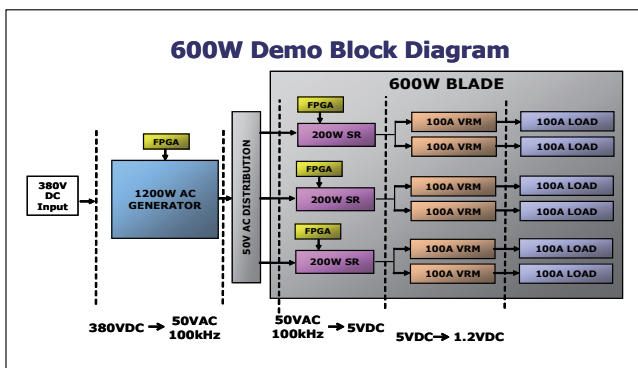


图 3: 600W “效率验证” 演示框图。

降低成本, 以及最大程度地减少碳排放, 打造“绿色”数据中心。拥有多个处理器和最小的停机时间的机架式服务器的能源消耗通常占据了数据中心 70% 以上的能耗。例如, 一个配备有 50,000 台服务器的大型数据中心可消耗掉超过 12 兆瓦的电能。通过使用 IDT 的 CoolRAC 技术提高服务器的功效, 可成功地直接节省超过 1 兆瓦的电能。

以 0.10 美元 / 千瓦电费的保守估计, 在直接节省电力费用方面, 它这相当于每年可节省 80 万美元以上。此外, IDT 的 CoolRAC 技术为扩大数据中心的计算能力提供了便利。

IDT 的 CoolRAC 解决方案采用标准的输入电源 (3 相、220/480V 交流) 和 高频交流电 (HF AC) 配电。以下讨论了这一技术的优点及其面临的挑战, 并阐述了电源配电效率的改善以及与现有技术比较的详细情况。本文以样机演示的方式给出了试验结果并概述了这一技术在研发过程中的各个步骤。

高频交流电配电的 CoolRAC 技术概念

为了使整个系统的功效在最大程度上产生效果, 第一个步骤是要解决的点负载 (POL) 转换器的功效问题。在今天的服务器电源结构中, 反向转换器已被证明是最为简单、最为有效、最具经济效益的 POL 转换器布局技术。然而, 现代数字式集成电路 (IC) 负载需要 POL 转换器提供输出电压接近 1V 的直流电。其结果是, 一台 12V 直流电输入电压反向转换器具有较高的转化率, 因此这样转换器不可能实现 1V 直流电输出的高效率。表 1 和表 2 通过对在特定阶段不同数据中心电源结构能源效率和功率损失的比较, 说明了提高 POL 功效的重要性。

为了降低转换率并由此增加 POL 的功效, 必须降低 POL 输入总线的电压。除了从 12V 至 5V 降低各步骤中输入总线电压以外, 图 1 说明在没有发生其它变化的情况下, POL 功效有了极大的提高。

通过采用具有低电压等级的硅芯片开关可进一步提高转换器的功效。在类似的成本费用下, 使用较低等级的装置甚至可提供高于表 1 中给出的功效。这是因为每个硅芯片面积的价格较低或换言之, 每个硅芯片面积的漏极-源极电阻 (R_{dson}) 较小。同样, 根据不同的应用需求, 在高功效不是问题的关键所在, 但与 12V 输入总线比较, 仍然需要显著地提高效率的情况下, 客户可以选择节省硅芯片的成本。

鉴于降低如 CPU、GPU、ASIC 和存储器等现代数字式集成电路的输入电源电压的行业发展趋势, 降低高效 POL 转换器的 POL 输入电压已经势在必行。对于今天的各种工业应用情况来讲, 5V 直流电 POL 输入总线电压似乎是用于服务器系统的最佳选择。这种低输入电压大大降低了电压的转换率, 提高了电源的功率。此外, 在现今的市场上, 很容易买到 5V 额定功率的元器件。图 1 中给出的 5V 直流电至 1.2V 直流电背板转换器 96% 的峰值效率已经过采用 30V 额定值硅芯片开关予以了证明并可通过使用 12V 额定装置得到了进一步的提高。

然而，向 POL 提供较低电压的输入电源增加了配电介质的损失，使得 5V 直流电配电系统在大多数情况下不切实际。需要对包括昂贵的连接器、背板印刷电路板和汇流条在内进行先进的背板布局，以对高端服务器系统的传统 12V 直流电配电结构实现适度的 2% 功率损耗。改变配电电压至 5V，功率损耗将增加 5 倍以上。

IDT 的 CoolIRAC 技术以最为有效的能源方式向 POL 提供低电压的电力，解决了最大化 POL 转换器（规定低电压配电）的效率与最小化电源配电系统（规定高电压配电）中的损失之间在基本原理方面存在的冲突问题。

图 2 给出了最为流行的 12V 直流电配电结构与 IDT 的 CoolIRAC 解决方案之间的比较情况。本文给出了向 K 计算装置提供电力，具有 N 个前端电源装置 (PSU) 的冗余系统。

显然，以上两种配电结构具有相同数量的电能转换阶段。通过简单地从前端 PSU 向叶片主板移动同步整流器 (SR)，可合理地使用高配电电压（例如 50V 峰值 - 峰值）。由此，最大限度地减少了配电介质的损失。由变压器匝数比定义的交流电配电电压值具有很大的伸缩性并可为具有不同电能水平的服务器系统提供最佳、且可以升级的解决方案。

显然，与传统的直流电配电系统比较，冗余的高频交流电配电结构给设计者带来了更多的挑战；例如，发电机的同步和电流的部分需要具有诸如电源冗余可进行热交换的特性。这就是为什么市场没有广泛接受高频交流电配电概念的主要原因。有些服务器的销售商发布了有关在服务器平台上进行高频交流电配电的消息，但是在服务器平台上还没有采用冗余结构。

多年来，专家们早已了解了高频交流电配电布局结构的优点。但是，由于在控制多个并联交流电发电机和对同步整流器实施高效、可靠的控制算法方面存在的挑战，高频交流电配电布局的实施尚不具备可行性。然而，由于近来如 IDT 在模拟数字转换和数字控制技术方面取得的进展，使得这样的布局结构正在对市场产生着吸引力。

根据交流电和直流电电流之间在基本原理上的差异，与直流电配电比较，除了有效功弥散的元器件以外，高频交流电配电的其它优点展现出了使用无效功元器件进行调整的可能性。通过在所描述的 CoolIRAC 结构中使用谐振布局结构产生了在不需要使用 OR-ing 和涌入电流控制电路的情况下，存在着提供热态插拔和冗余容量的可能性。

当然，所有这些优点仅在开发出新的数字和模拟算法并在新的控制集成电路中执行这些算法，使得这种新型的交流电配电结构可行并符合成本效益之后，方可实现。

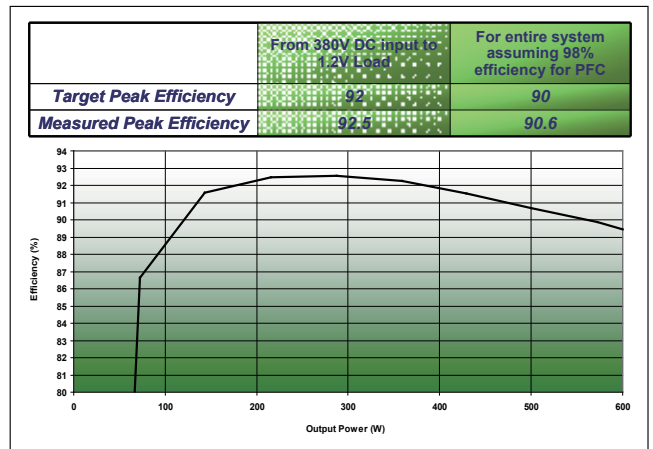


图 4：验证的高频交流电配电系统功效。

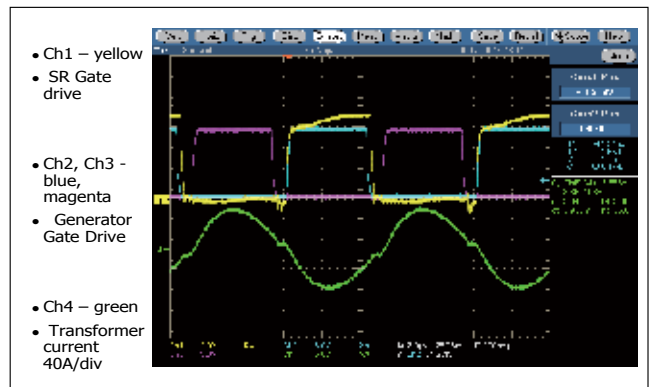


图 5：满负荷下高频交流电的波形。

效率演示试验结果的验证

为了验证高频交流电配电布局结构具有可行性并在功效方面有所提高，IDT 建成并成功地评估了由一台 1200W 交流发电机、三台 200W SR 和六台 100W POL 构成的实验测试装置。图 3 和图 4 分别给出了测试装置框图和所论证的功效结果。

出于对功效研究验证的考虑，我们从 380V 直流电输入至 1.2V 直流电 POL 输出测量了功率因子校正 (PFC) 的效率。我们采用附着在每一个单元上的现场可编程门阵列 (FPGA) 派生卡执行数字算法，控制一台 1200W 交流发电机和若干台 200W SR (如图 3 中 FPGA 所示)。今后，IDT 公司开发的专有集成电路将取代每一个控制卡。针对性的系统总功效目标设定为峰值的 90% (如上图 2 中的计算所示)。我们假设 PFC 为 98% 的功效，计算出其余的系统功效目标净空值从 380V 直流电 PFC 输出至 1.2V 直流电 POL 输出电压为 92%。

测量到的峰值功效为 92.5%；它超出了预期值 0.5%

并由此得出通过使用 IDT 的技术，可以成功地实现 90.5% 整个高频交流电配电系统峰值功效的结论。与传统的 12V 直流电配电比较，IDT 的 CoolRAC 结构可以提高效率超过 10%（参见表 3）。

高频交流电源配电和计算信号之间的电磁干扰不是本研究的科目。但是，因为所建议的能源迁移结构的共振特性，观察到的电流和电压波形显示出其边缘非常平滑。如图 5 所示，对于一个范围宽泛的负载来讲，交流电总线电流的波形为正弦波，且没有包含对计算信号产生干扰的频谱。当然，在以系统水平进行信号完整性的研究期间，应对可能的电磁干扰问题进行进一步的研究。

目前开发的状况

根据功效演示验证显示的结果，IDT 正在进行着下一个阶段：一个 3 千瓦 × N 个冗余高频交流电电源配电服务器机架的开发工作。以下给出了目标性的参数：

- 交流电源装置（PSU）-PFC+ 发电机
- 输入：480V 交流 -3 相 4 线制输入
- 输出：3000W-100kHz 的 50V 交流
- 功率因子校正：0.99PF（最小）
- 功效：满负载下，97.5% 功效
- 平行：可以 N+1 冗余的运行方式进行操作
- 共用：至少 10%
- 形状因素：长度：15-18 英寸，宽度：4.0 英寸，高度：2.0 英寸
- 冷却方式：强制性风冷
- 同步整流器（SR）：

- 输入：50V 交流
- 输出：3 个选项：100W、5V 直流；200W、5V 直流；300W、5V 直流
- 功效：98% 功效
- 冷却方式：强制性风冷

本项验证将完成以下任务：

- 同步共振整流器（SR）的控制
通常使用的自驱动 SR 控制方案无法得到最佳功效。其中，有两个问题需要解决：对交流电输入电压门驱动同步性以及防止电能从输出电容器迁移至交流电总线。
- 交流发电机的同步性

为了可以并联连接多台交流电发电机，要求发电机的时钟最好在不增加信号线的情况下，具有精确的同步性。

- 交流发电机电流的共用

发电机的准方形波输出信号不匹配可能会导致产生极大的均衡电流。由此，可能出现潜在的功耗损失或失败的情况。需要使用有效和耐用的控制系统。

- 带有快速瞬态响应和最小化波纹的 PFC 阶段控制器

传统的双回路 PFC 控制器在馈电速度和功率因子之间存在着基本原理上的冲突。由于 CoolRAC 方法具有一个未经调整的第二阶段，传统的控制器不能提供最佳性能。需要采用一个具有不会产生功率因子退化的快速负载瞬态响应控制方案。

结论

为了满足计算能力不断增长的需求，对数据中心电力的要求正在与日俱增。因为服务器是数据中心电能消

耗的最大部分，所以提高服务器的功效对节省电力、减少冷却需求和降低成本将产生重大的影响。

IDT 的 CoolRAC 中间总线结构为服务器的电源提供了一种解决方案。该解决方案在无需大规模重新设计、改造数据中心的情况下，可极大地提高功效并减少产生的废热，由此节省了电能。这一解决方案在使用目前可以采购得到的电源电路元器件的同时，从电源至 1.2V 直流电负载，成功地达到了 90% 整个系统的功效。如用于 POL 转换器 1.2V 额定值 MOSFET，硅芯片装置的进一步改善将使得功效产生更大的改善，甚至达到整个系统功效的更高水平。

IDT 的新型配电布局结构可以一个极具成本效益的方式得到实现。在商业化的数量方面，其实现的成本会低于传统的直流电配电结构。该解决方案在简化整个服务器机架电源配电的同时，将维持、甚至会减少元器件的使用量。系统的制造成本以及系统的成本与性能比均将会得到极大地提高。此外，在机架之外，无须发生额外的费用：无须改造或调整设施的布局、电源系统或数据中心的 HVAC 资源。

这种配电结构同时有利于其今后进行进一步的提高。由于控制机理的关键要素是采用先进的硅集成电路予以实现，该配电布局结构为数据中心充分利用硅芯片加工成本和性能不断取得的进展，进行全面的调节，达到节省电能的目的，创造了机会。对于采用传统的直流电配电结构的数据中心来讲，该方案在电源管理的优点来之不易。

www.idt.com

表 3

电源结构	效率/阶段				
	供电箱	背板	IBC	POL	总计
12V 直流电传统的配电	92.0%	97.0%	不适用	89.0%	79.4%
CoolRAC100KHz50Vp/p 高频交流电配电	96.7%	99.0%	98.5%	96.0%	90.5%