

开关电源中的电流模式控制

Greg Hupp, 电流感应产品



大多数开关电源采用闭环反馈电路,以便在各种瞬态和负载条件下提供稳定的电源。反馈方法选项分为两大类,即电压模式控制(VMC)和电流模式控制(CMC)。这两种方法各有优点和缺点,我们可以根据它们的优缺点来确定适合终端设备应用的选择。

控制方法

电压模式控制将经调节的输出电压值用作反馈信号。该方法可为控制路径提供简单直接的反馈架构。不过,该方法具有多个需要注意的缺点。最大的缺点是输出电压调节需要感应输出电压的变化并通过整个反馈信号和滤波器进行传播,然后才能对输出进行相应的补偿。对于需要高水平调制的系统而言,这可能会产生慢得无法接受的响应。电源的反馈补偿需要较高级别的分析,以解决输出低通滤波器导致的两个极点。此外,还必须对反馈补偿值进行调节,因为不同的输入电压会影响总体环路增益。

电流模式控制可通过将电感器电流波形用于进行控制来解决电压模式控制的上述不足。该信号包含在输出电压反馈环路中,作为辅助的快速响应控制环路。额外增加的反馈环路很有可能会增加电路/反馈的复杂性,因此需要将这些优点作为设计要求的一部分进行评估。

通过将电感器电流用作反馈控制的一部分:

1. 与仅将输出电压用于反馈控制相比,增加的电流反馈环路响应更快。此外,利用电感器电流信息,可以将电路设计为提供逐脉冲限流功能,以允许针对限流需求进行快速检测和控制。
2. 电源看起来类似于电压控制型电流源。这允许进行模块化电源设计,以支持在并行配置中的多个电源之间进行负载共享。
3. 可以将控制环路中的电感器影响降至最低,因为电流反馈环路能够有效地降低对单极补偿的要求。

尽管电流模式控制可解决 VMC 的某些缺点,但它也会带来可能影响电路性能的挑战。增加电流反馈环路会增加控制/反馈电路和电路分析的复杂性。选择电流模式控制时,其他需要考虑的因素还包括整个占空比范围内的稳定性和对噪声信号的敏感性。CMC 可以进一步划分为多个不同类型的控制方案:峰值、谷值、仿真、滞环和平均 CMC。以下内容讨论了电路设计中两种最常用的方法——峰值和平均电流模式控制。

峰值电流模式控制

峰值电流模式控制(PCMC)直接将电流波形用作 PWM 生成比较器中的斜坡波形,而不是像 VMC 那样使用外部生成的锯齿(或三角)信号。电感器电流或高侧晶体管电流波形的上升斜坡部分用于在现有电压控制环路之外提供快速响应控制环路。如图 1 中所示,将电流信号与电压误差放大器的输出进行比较,以便为电源生成 PWM 控制信号。

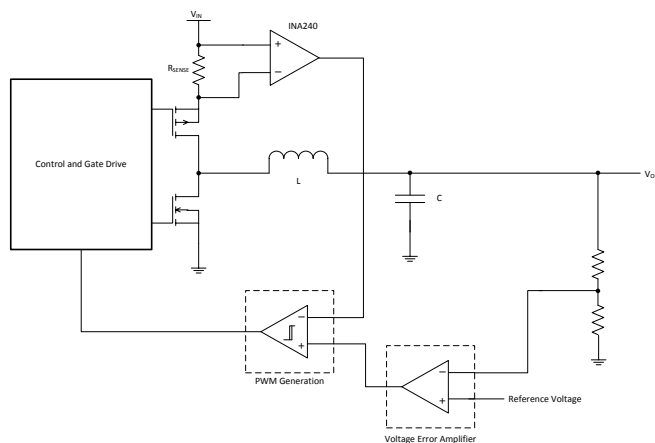


图 1. PCMC 电路方框图

开关电源可在输入和输出电源轨之间提供高级别的效率。为了维持转换器的高效率,理想情况下用于测量电感器电流的感应电阻器应尽可能小,以降低由于测量产生的功率损耗。该小值电阻器可导致小振幅反馈信号。由于电感器电流波形直接用作比较器输入信号,因此 PCMC 容易受噪声和电压瞬态的影响,这是众所周知的。使用 INA240 等具有高共模抑制比(CMRR)的电流感应放大器可提供与脉宽调制(PWM)信号和系统相关联的瞬态抑制功能。INA240 的增益灵活性允许对电感器电流波形进行放大,以便为比较提供更大的信号,而无需额外的增益或牺牲性能。此外,低偏移和低增益误差可减少设计变化和温度变化。为了利用 PCMC,电感器电流需要高共模电压测量。INA240 共模范围允许宽电源输入和输出电压范围。

需要注意的是，PCMC 通常会添加斜坡补偿以解决占空比大于 50% 的情况下的稳定性问题。系统会先为电感器电流添加斜坡补偿，然后才将其用作比较器的输入信号。

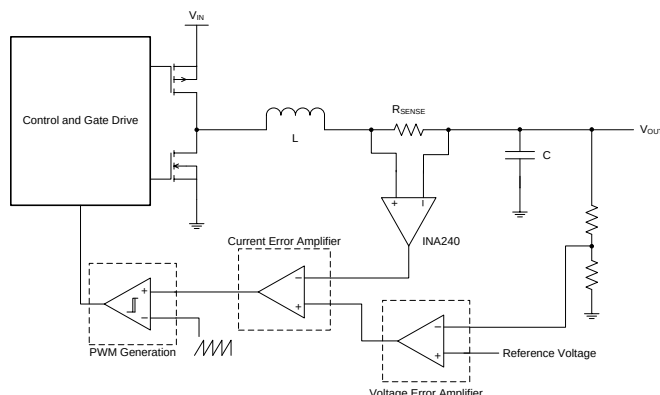


图 2. ACMC 电路方框图

平均电流模式控制

平均电流模式控制 (ACMC) 会先利用电感器电流波形和附加的增益和集成级，然后再将信号与外部提供的斜坡波形进行比较（与 VMC 类似）。这可以实现更高的防噪性能并且无需斜坡补偿。图 2 显示了降压转换器的 ACMC 运行方框图。

通过使用 INA240 的高 CMRR 来额外降低瞬态，可将 PCMC 方法的噪声敏感性性能提高到可接受的水平。为了进行电感器电流测量，则需要 INA240 的高共模范围，而且这使得能够在宽范围输出电压中使用电流放大器。INA240 高精度和低漂移规格可在不同的温度和组件上提供一致的测量。

INA240 可以提供相应的性能和功能，从而实现维持良好的控制信号完整性所需的测量精度。INA240 采用室温下 25 μ V 的最大输入偏移电压和 0.20% 的最大增益误差规格。温度稳定性对维持系统性能而言很重要，INA240 提供 250nV/ $^{\circ}$ C 的输入偏移电压漂移和 2.5ppm/ $^{\circ}$ C 的放大器增益漂移。INA240 具有增强型 PWM 抑制功能，以提高大共模瞬态和宽共模输入范围条件下的性能，从而针对电源输出电压实现最大的设计变化。

备选器件建议

根据系统要求，我们还可提供具有所需性能和功能的备选器件。LMP8601 系列的性能水平要低于 INA240（用于内联传感应用）。INA282 允许针对高共模电压进行电流测量，这使其成为不具有 PWM 信号的高电压直流应用的理想之选。LMP8481 是用于不要求放大器的输入电压范围包含接地的高共模电压应用的双向电流感应放大器。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能平衡
INA282	低功耗，高增益选项，高电源电压	无增强型 PWM 抑制功能，漂移规格更高
LMP8601	宽共模输入范围，小型封装	无增强型 PWM 抑制功能，共模输入范围更低，增益选项更低
LMP8481	宽共模输入范围，低功耗	无增强型 PWM 抑制功能，增益选项更低，共模范围不包含接地

表 2. 相关技术手册

SBOA165	《适用于三相系统的低漂移低侧电流测量》
SBOA174	《H 桥中的电流感应》
SBOA176	《开关电源电流测量》

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法理授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](#)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司