
使用独立于内核的外设实现降压转换器设计和反馈控制器

主题

- 介绍如何使用独立于内核的外设实现降压转换器的 PWM 反馈控制器
- 简单降压转换器的硬件设计指南
- 降压转换器的元件值计算
- 误差放大器的元件值计算
- 可从 [Atmel START](#) 获取代码示例

简介

作者: Viktor Aase, Microchip Technology Inc.

与典型线性稳压器相比,开关电源具有更高的直流/直流转换效率,但往往由于相关成本和复杂度较高而受到忽视。专用控制器 IC 通常仅采用预先确定的电压范围和开关参数,这意味着不同用例中必须使用不同的设计。使用 AVR[®] DB 系列单片机中独立于内核的外设实现开关控制器有助于构建高度灵活的系统,而且只需在物料清单中增加若干无源元件,因此可以减少高成本 IC 的数量。

本应用笔记介绍了如何使用 AVR DB 系列器件中独立于内核的外设来实现降压转换器的反馈开关控制器。经过初始设置后,独立于内核的外设将独立于 CPU 工作,从而允许单片机并行执行任何其他任务。

2. 使用独立于内核的外设实现闭环电压控制概述了反馈控制器,并介绍了如何使用独立于内核的外设实现反馈控制器。**3. 元件选型——降压转换器**给出了降压转换器的一般设计。**4. 设置输出电压**介绍了如何设置降压转换器的输出电压,**5. 元件选型——误差放大器**详述了 PWM 生成原理和误差放大器补偿网络设计。最后,**6. 结果**提供了在示例实现中测得的一些特性值。

本应用笔记并未详细介绍效率、电流和电压随时间的变化或者布局注意事项等信息。用户可搭配使用其他应用笔记(链接如下)来了解更多详细信息,从而更加深入地理解本应用笔记中涵盖的主题。

- [AN968——简单同步降压稳压器](#)
- [CIP混合电源入门工具包用户指南](#)

CIP 混合电源入门工具包提供的原理图可用作布局或元件选型的参考。

目录

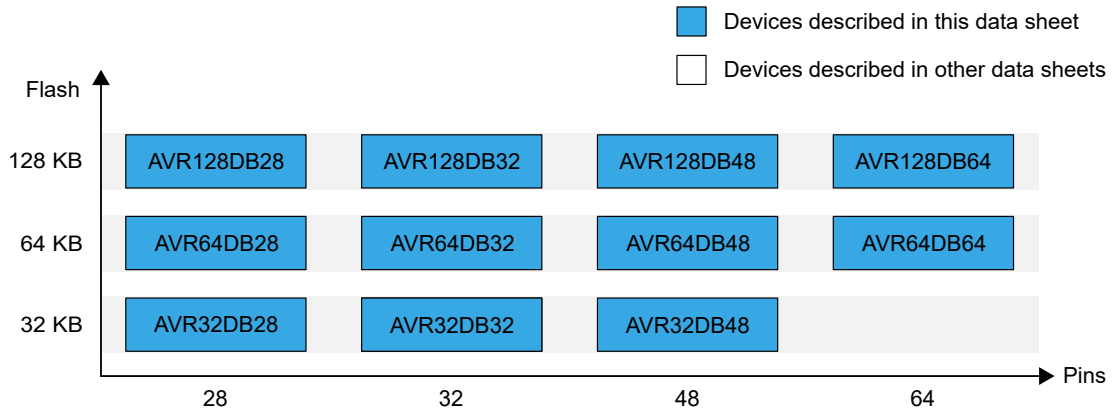
主题.....	1
简介.....	1
1. 相关器件.....	3
2. 使用独立于内核的外设实现闭环电压控制.....	4
2.1. 外设配置.....	5
3. 元件选型——降压转换器.....	6
3.1. 电感和输入/输出电容.....	6
3.2. 整流器和开关.....	7
4. 设置输出电压.....	9
5. 元件选型——误差放大器.....	10
5.1. 极点的重要性.....	10
5.2. PWM 生成.....	11
5.3. 元件选型.....	11
6. 结果.....	13
6.1. 输出电压特性.....	13
6.2. 最大值.....	14
7. 版本历史.....	15
Microchip 网站.....	16
产品变更通知服务.....	16
客户支持.....	16
Microchip 器件代码保护功能.....	16
法律声明.....	16
商标.....	17
质量管理体系.....	17
全球销售及服务网点.....	18

1. 相关器件

本章列出了本文档的相关器件。下图给出了不同系列的器件之间的关系，并注明了不同的引脚数与存储器大小：

- 从下到上迁移无需修改代码，因为这些器件的引脚彼此兼容，后者可提供相同甚至更多的功能
- 水平向左移植会减少引脚数，进而减少可用的功能
- 具有不同闪存大小的器件通常也具有不同的 SRAM 和 EEPROM

图 1-1. AVR® DB 系列概览



2. 使用独立于内核的外设实现闭环电压控制

降压转换器采用周期性开关的方式对输入电压 V_{in} 进行降压，具体实现方式为使用 PWM 信号控制功率 MOSFET。该信号的占空比决定稳压器的输出电压，但由于降压转换器的输出电压会自然地随负载电流的变化而变化，因此 PWM 信号需要通过某种反馈稳压开关控制器对此进行补偿。

图 2-1 给出了此类控制器的基本布局。其实现方式是使用误差放大器、模拟比较器和斜坡信号根据输出反馈来调整降压转换器上开关的占空比。通过引入 AVR® DB 系列单片机的运放外设，只需使用独立于内核的外设和一些外部电阻与电容，即可实现该控制系统。将该系统的稳压功能与单片机相结合之后，便无需使用专用控制器 IC，从而可降低系统的成本与复杂度。此外，该控制器还能够通过软件调整输出电压，可作为数字可调电源和微调功能的实用解决方案来补偿外部元件容差。

图 2-1. 使用 3 型误差放大器实现闭环电压控制

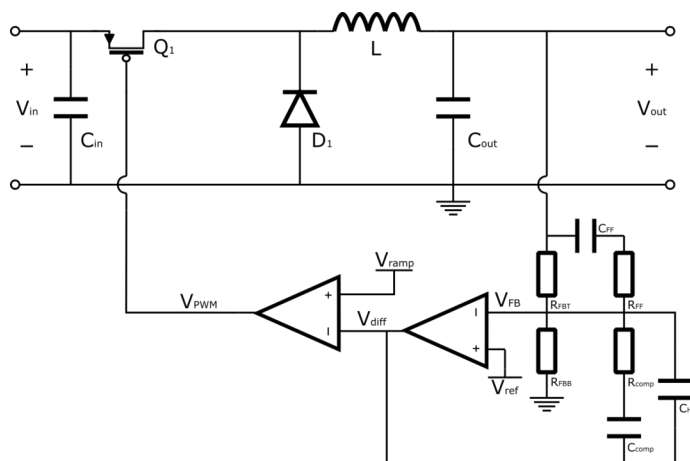


图 2-2 给出了使用 AVR DB 实现该控制器时的内外部连接。外配置代码可通过 Atmel START 获取。要通过误差放大器和简单 RC 滤波器（用于对定时器的方波输出进行整形，以使用生成 PWM 时所需的斜坡电压）正确进行放大和相位补偿，需要使用图 2-3 所示的附加元件。

图 2-2. 使用独立于内核的外设实现闭环电压控制

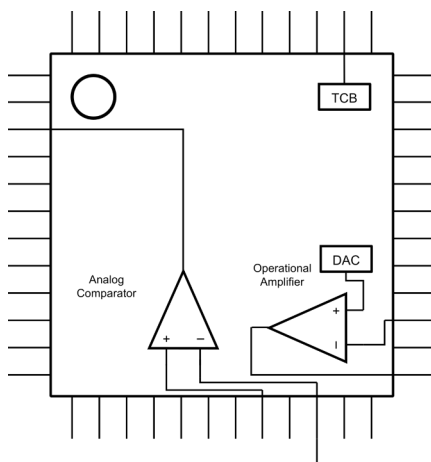
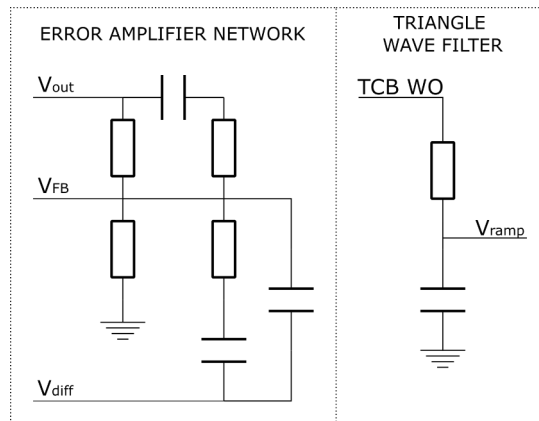


图 2-3. 误差放大器补偿网络和斜坡发生器



2.1 外设配置

下面介绍了配置外设时的一些重要注意事项。有关完整设置，请参见 Atmel START 上的代码示例。

所有外设均设为在待机休眠模式下运行，这样可让单片机进入最节能的休眠模式，同时仍能够调节降压转换器。

2.1.1 运放和 DAC

运放配置为独立的通用运算放大器。由于降压转换器中进行正常反馈稳压所需的误差放大器配置针对本用例，因此没有对应的内部功能。要实现外部反馈网络，应将运放的反相输入配置为引脚输入，并且需要使能输出。同相输入在内部连接到 DAC 输出。

稳压过程是活跃的，这意味着需要将外设配置为“始终使能”模式。

DAC 用于设置误差放大器的参考电压。设置该电压值时应确保在运放的两个方向上均提供合理余量，第一次建议将其设置为接近单片机电源电压的一半。

2.1.2 模拟比较器

模拟比较器（Analog Comparator, AC）配置为比较外部输入电压。由于 AC 负责生成用于控制开关晶体管的 PWM 信号，因此输出连接到一个引脚。比较器必须快速作出响应。最终，由于功率配置文件设置通过比较器控制电流，因此经过权衡之后应选择响应时间最短、功耗最高的功率配置文件设置。

2.1.3 B 型定时器/计数器

选择 B 型定时器/计数器（Timer Counter B, TCB）外设而非 A 型定时器/计数器（Timer Counter A, TCA）的原因在于前者的功耗更低。该外配置为 8 位 PWM 模式、50% 占空比，其输出信号通过 RC 滤波器滤波的方式整形为三角波，以便提供给比较器用于生成 PWM 信号。该外设生成的波形的频率将用于设置控制器的开关频率 f_{sw} 。

3. 元件选型——降压转换器

选择降压转换器中的元件（如图 3-1 所示）时，必须基于系统其余部分的需求来确定正确的规格。由于开关模式稳压本质上无法生成持续稳定的输出电压，因此输出电压和电流预计会有一些变化。表 3-1 列出了计算电路中的元件值时必须指定的参数。设计人员根据系统的需求确定上述变化可接受的限值以及工作电压和额定功率。

图 3-1. 降压转换器

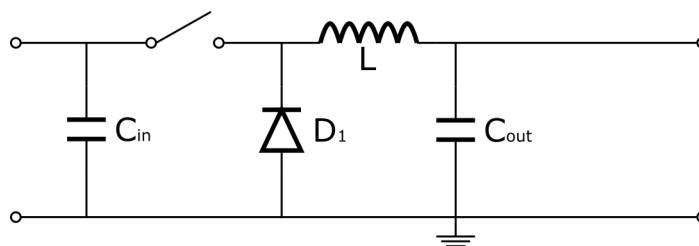


表 3-1. 电源参数

输入电压	V_{in}
输出电压	V_{out}
最大功率	P_{max}
输出电压纹波	ΔV_{out}
电感电流纹波	ΔI
开关频率	f_{sw}

3.1 电感和输入/输出电容

首要选择的元件是电感 L ，它与输出电容 C_{out} 配合使用，用于对输出电压进行滤波，从而将其稳定在目标输出电压附近。该元件的主要注意事项是限制稳压器中的电流纹波，因此电感值基于指定电感电流纹波 ΔI ：

$$L = \frac{V_{in} - V_{out}}{\Delta I} \cdot \frac{D}{f_{sw}}$$

其中 $D = V_{out}/V_{in}$ 为开关的占空比。在需要输入电压范围的情况下，应根据最高额定电压确定电感的规格，因为该电压下的纹波电流最大。

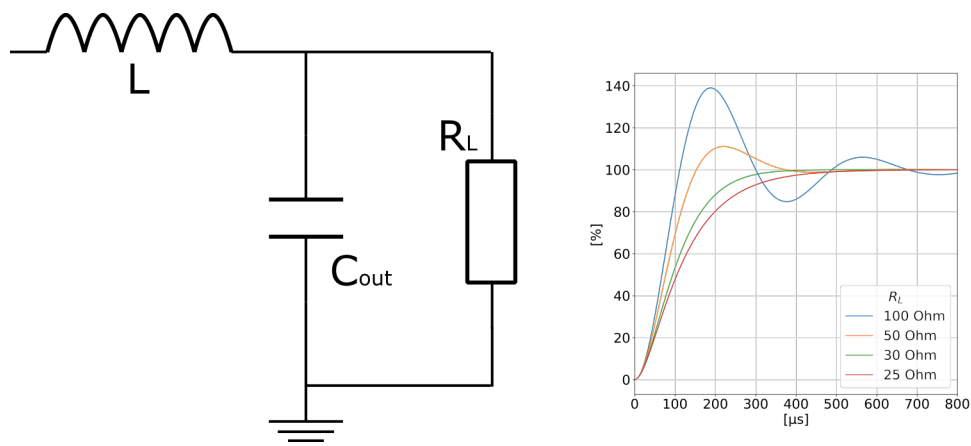
接下来选择 C_{out} ，它与电感 L 一起构成完整的输出滤波器。电容中的电荷将抵消输出电压纹波，因此电容值基于最大输出电压纹波 ΔV_{out} 确定。最小电容值可利用下面的公式计算：

$$C_{out} = \frac{\Delta I \cdot D / f_{sw}}{\Delta V_{out}}$$

添加一个输入电容来进一步稳压。该电容值同样可以采用输出电容的公式进行计算，但对于大多数应用而言，10 μF 陶瓷电容即可满足需求。

上述计算中使用的占空比并未考虑负载电阻 R_L 的变化，这些变化会影响输出滤波器的阶跃响应（如图 3-2 所示）。通过在最大占空比的基础上增加 10-20% 的裕度，可以确保元件在整个工作范围内均符合规范。

图 3-2. RLC 滤波器的阶跃响应



注：选择元件时，除了基于计算得出的值和所需特性来确定规格之外，还必须考虑元件是否能够应付电路中的最大电流和电压。

3.2 整流器和开关

选择整流二极管和开关晶体管时，应确保其行为尽可能接近理想开关行为。选择开关晶体管时，应考虑以下几点：

开关晶体管

- 低品质因数
- 低导通电阻
- 高开关速度
- 可应对电压尖峰的 V_{DS} 额定值
- 可使用控制器的逻辑电平进行开关

如果降压转换器的输入电压高于单片机的逻辑电平，则需要附加电路来实现稳定开关。下面两个图给出了此类开关电路的两个解决方案，无论选择哪种方案都能够始终满足使用开关控制器的逻辑电平操作开关晶体管的要求。N 沟道 MOSFET 的导通电阻通常低于 P 沟道 MOSFET，这意味着图 3-4 的效率高于图 3-3，但代价是支持电路的复杂度会有所增加。

图 3-3. 采用 PMOS 开关的降压转换器

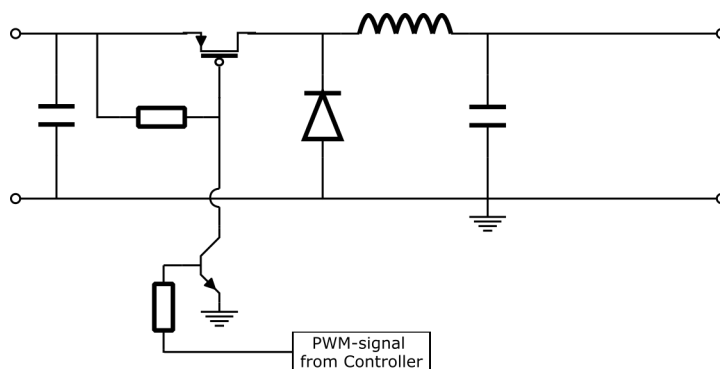
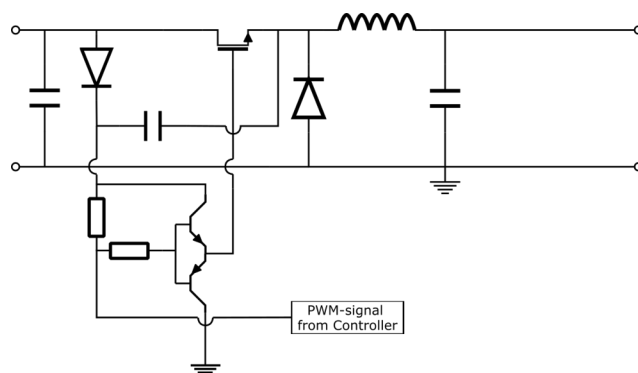


图 3-4. 采用自举 NMOS 开关的降压转换器



选择二极管时应尽可能确保正向电压最低，因为二极管的功耗与正向电压和驱动电流成正例，这也意味着稳压器提供的电流越高，二极管的功耗越大。通常，最好选择正向电压较低且额定功率足够大的肖特基二极管。

对于需要降低整流电路损耗的应用，可采用同步解决方案，具体通过将二极管替换为 MOSFET 来实现。由于开关晶体管和整流 MOSFET 始终不能同时导通，因此必须添加附加逻辑来引入死区控制。不过，本应用笔记仅介绍采用简单二极管的最基本解决方案。

4. 设置输出电压

图 4-1. 恒定输出降压转换器网络

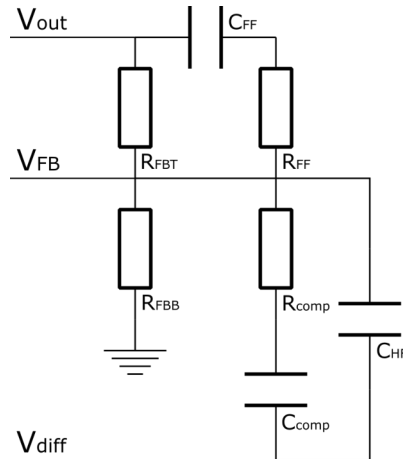


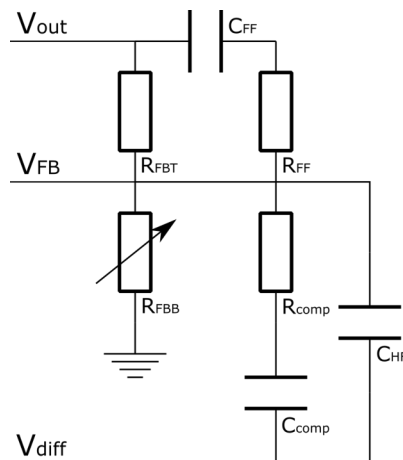
图 4-1 给出了所需的完整反馈网络。由于电容会阻隔直流电压，因此将通过反馈电阻 R_{FBT} 和 R_{FBB} 衰减降压转换器输出电压 V_{out} 来设置反馈电压 V_{FB} 。鉴于此，可以设置降压转换器的 V_{out} 。通过这种分压网络得到的反馈电压 V_{FB} 将等于 V_{out} 达到所需值时的内部参考电压 V_{ref} 。因此，电阻与参考电压之间的关系如下：

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \frac{R_{FBT} + R_{FBB}}{R_{FBB}}$$

$$\Rightarrow R_{FBT} = R_{FBB} \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right)$$

该反馈控制器使用内部 DAC 作为参考电压，这意味着可通过软件调节输出电压。但是，调节幅度不能很大，因为如果接近电源电压，放大器可能表现出意外特性。

图 4-2. 采用可变电阻的可变输出降压转换器网络



对于使用可调输出稳压器的应用，应将底部电阻 R_{FBB} 替换为可变电阻（如电位器），如图 4-2 所示。这一点很重要，因为顶部电阻 R_{FBT} 是误差放大器中相位补偿网络的一部分，而 R_{FBB} 不影响系统的极点。

注： 这些电阻的典型值处于 20-200 k Ω 范围内。高于这一范围的值会影响运放的稳定性，而低于这一范围的值将消耗多余的电流，导致效率降低。

5. 元件选型——误差放大器

5.1 极点的重要性

误差放大器的作用是针对输出电压相对于参考电压的偏差输出一个相关的信号。但要将这一原理用于开关控制器，还需补偿输出滤波器中的相位效应。这样能够确保开关反应与降压转换器滤波器的输入电压（而非输出电压 V_{out} ）同相。设计该补偿网络时，第一步是通过以下公式确定输出滤波器生成的极点和零点以及带宽：

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

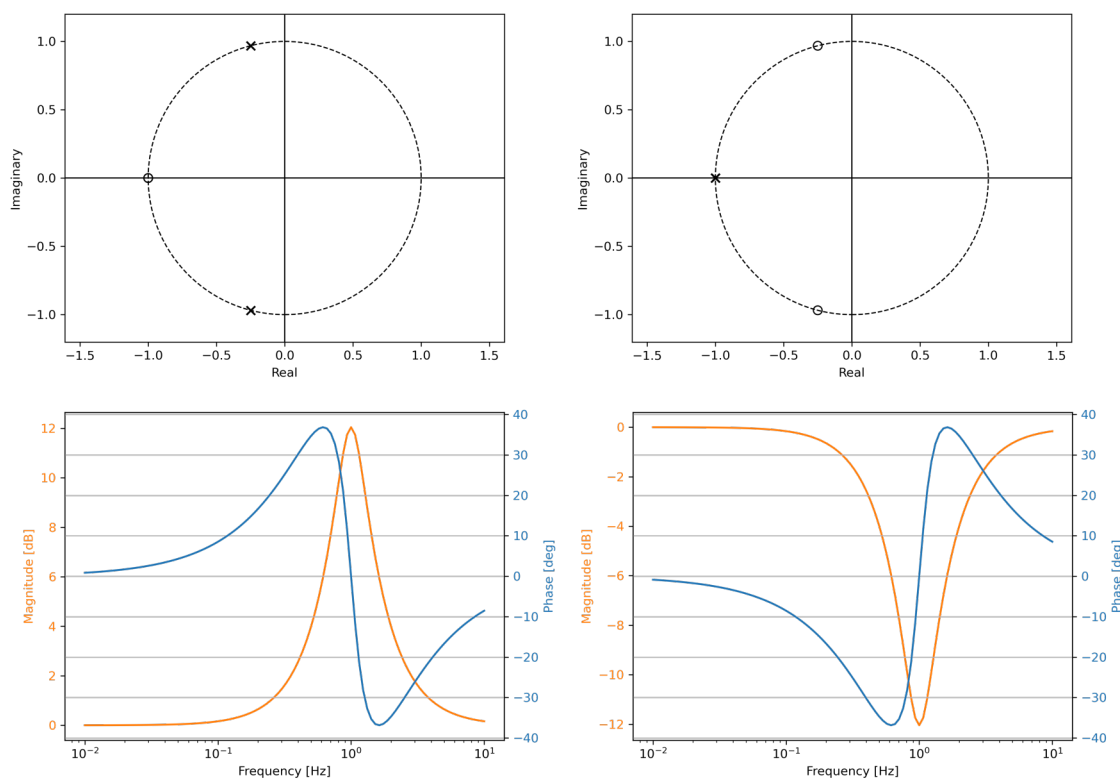
$$\omega_z = \frac{1}{R_{ESR} \cdot C_{out}}$$

$$\omega_c = 2\pi \cdot \frac{f_{SW}}{10}$$

其中， ω_0 是 LC 输出滤波器生成的极点。 ω_z 由 C_{out} 得出，其中 R_{ESR} 是电容的等效串联电阻。带宽 ω_c 由开关频率 f_{SW} 得出。

输出滤波器的极点和零点效应将通过以下方式抵消：将放大器零点设置为等于输出滤波器极点，将放大器极点设置为等于输出滤波器零点。图 5-1 给出了两个互补系统的极点-零点图和波特图，用于说明该系统不同部分的效应。降压转换器输出滤波器的互补极点和零点通过反馈网络（图 2-3）中的电阻和电容添加到系统。

图 5-1. 互补极点-零点系统的极点-零点图和波特图

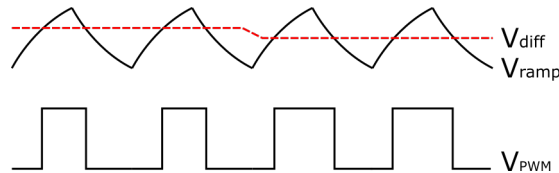


5.2 PWM 生成

PWM 信号通过误差放大器生成，电压斜坡通过 TCB 的滤波波形输出生成。如图 5-2 所示，运放输出上的误差电压 V_{diff} 设置的占空比与电压斜坡 V_{ramp} 有关。这意味着，要实现良好稳压，必须根据 TCB 波形生成器和滤波器所生成的斜坡信号的幅值来设置放大因数。考虑到 ω_c 和 ω_0 的效应，可根据以下公式设置放大因数 A_{VM} ：

$$A_{VM} = \frac{\omega_c}{\omega_0 \cdot V_{in}} \cdot V_{ramp}$$

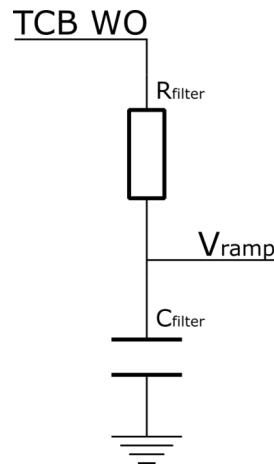
图 5-2. PWM 生成



斜坡信号 V_{ramp} 是通过使用 RC 滤波器对定时器的方波输出进行滤波而生成的。信号的幅值基于控制器中运放的精度和响应速度确定，即运放特性越优异，幅值就越低，系统也就越高效。鉴于此，可利用为 RC 电路（如图 5-3 所示）中的电容充电时所采用的公式来设置三角波滤波器的元件，具体如下：

$$C_{filter} = - \frac{1}{f_{sw} \cdot R_{filter} \cdot \ln \left(1 - \frac{V_{ramp}}{V_{CC}} \right)}$$

图 5-3. 三角波滤波器



其中， V_{CC} 为单片机的电源电压。开关频率 f_{sw} 设置为 TCB 中的频率（如 2.1.3. B 型定时器/计数器所述）。

5.3 元件选型

已知极点、零点和适当的放大因数后，便可计算补偿网络中的其余元件。

增益通过 R_{comp} 和 R_{FBT} 之比设置。由于之前设置了 R_{FBT} 和 A_{VM} ，因此将二者相乘即可计算出 R_{comp} ：

$$R_{comp} = A_{VM} \cdot R_{FBT}$$

放大器的第一个零点使用 C_{comp} 和 R_{comp} 设置，而另一个零点通过 C_{FF} 和 R_{FBT} 设置。这两个零点将落在输出滤波器极点上，从而得到以下电容值：

$$C_{comp} = \frac{1}{\omega_0 \cdot R_{comp}}$$

$$C_{FF} = \frac{1}{\omega_0 \cdot R_{FBT}}$$

放大器的第一个极点通过 C_{HF} 和 R_{comp} 组合设置，第二个极点通过 R_{FF} 和 C_{FF} 组合设置。通过将 C_{HF} 和 R_{comp} 得出的极点设置为等于开关频率 f_{SW} 的一半并将 C_{FF} 和 R_{FF} 得出的极点设置为等于输出电容及其串联电阻生成的零点，可得出以下 C_{HF} 和 R_{FF} 的公式：

$$C_{HF} = \frac{1}{2\pi \cdot f_{SW}/2 \cdot R_{comp}}$$

$$R_{FF} = \frac{1}{\omega_Z \cdot C_{FF}}$$

注： 计算得到的值通常超出元件标准值范围。在这种情况下，可以选择最接近的标准值。如果标准值与计算得到的元件值偏差较大，则会导致开关响应较慢，因为输入信号和稳压信号异相。系统通常仍将处理稳压，但预计效率较低且输出纹波较高。

6. 结果

本应用笔记提供的测试结果仅用于衡量此类系统的功能。布局、开关频率和元件精度等因素都将影响最终结果。在测试中，我们有意未遵循布局注意事项，而且未优化元件精度，以便为经验不足的设计人员提供一个更好的起点，这意味着可以通过优化设计来降低损耗和提高稳定性，从而实现更优异的性能。

表 6-1. 电源规范

输入电压	V_{in}	5-24V
输出电压	V_{out}	5V
最大功率	P_{max}	5W
输出电压纹波	ΔV_{out}	50 mV
电感纹波电流	ΔI	215 mA
开关频率	f_{sw}	100 kHz

表 6-2. 元件

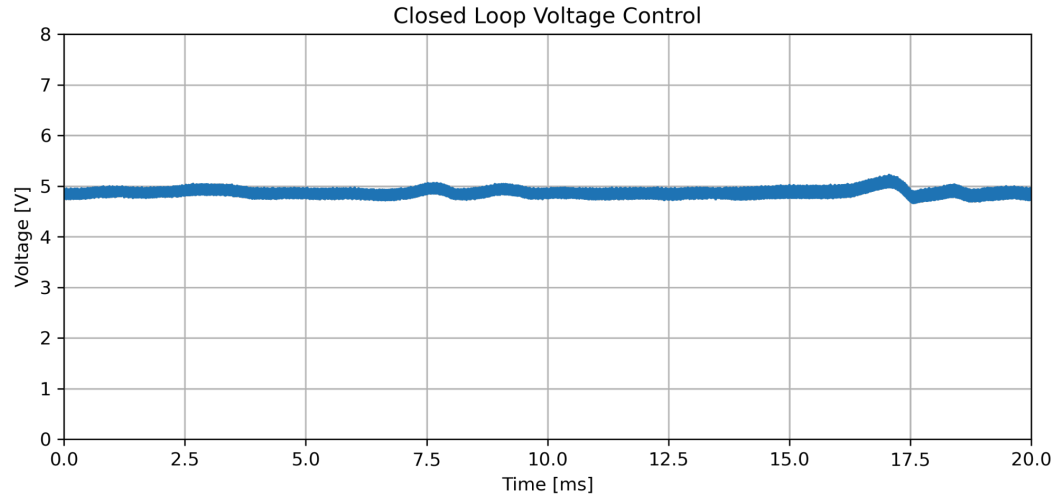
	理想值	使用值
L	220 μ H	220 μ H
C_{out}	10 μ F	10 μ F
R_{FBT}	3.31 k Ω	3.3 k Ω
R_{FBB}	1 k Ω	1 k Ω
R_{comp}	84.9 Ω	85 Ω
C_{comp}	552.6 nF	600 nF
R_{FF}	105.8 Ω	100 Ω
C_{FF}	14.2 nF	15 nF
C_{HF}	37.5 nF	40 nF

自举 ILB88721 N 沟道 MOSFET 与 1N4007 整流二极管搭配用于开关操作，二者的额定功率均高于 P_{max} 。

6.1 输出电压特性

当输入电压处于 5.5V 至 24V 范围内且驱动负载功耗为 3W 时，输出电压保持稳定。尽管图 6-1 中出现了一些较大的纹波，但大多数噪声为高频开关噪声，可使用去耦电容或其他简单的滤波方法消除。平均输出电压略低于 5V 目标电压，但如果需要更高精度，可通过使用 R_{FBB} 或调节运放 DAC 参考电压来进行调整。

图 6-1. 输出电压——使用 AVR128DB 电压控制反馈稳压的降压转换器



6.2 最大值

如 6.1. 输出电压特性所述，经测试，电源的最大输入电压为 24V 且输出保持稳定。理论上的最大输入电压由目标输出电压和 PWM 信号的最小占空比确定。

电源测试结果还包括输入电压为 12V 时的最大输出功率为 5W。在该负载下时，输出电压保持稳定。在不太理想的系统中，晶体管将出现很大的开关损耗，这意味着良好的散热性能十分重要。这些损耗将降低电路的效率。为了获得更优异的性能，应选择导通电阻较低且开关反应迅速的开关拓扑。

7. 版本历史

文档版本	日期	备注
A	2020 年 11 月	文档初始版本

Microchip 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 和 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 为 Microchip Technology Inc. 在其他国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在其他国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2024, Microchip Technology Incorporated, 中国印制。版权所有。

ISBN: 978-1-6683-3875-9

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040	印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 槟榔屿 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-72400 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 若那那市 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-72884388 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			