

电力电子技术在电源设计中的应用： 线性电压调节器

邓隐北, 孙永德 编译

中科 863 生态技术开发集团有限公司

1 简单的线性调压器

藉助于简单的线性调压器以提供稳定的电压源, 对这一问题的最明显解决方法进行探讨。这可以按照分立 (discrete) 技术 (即采用分立元件构成的方式) 解决, 也可由专用的集成电路 (IC) 调压器, 或这二者的结合来解决。在最近的每项应用中, 电源输出的调节均很重要。按照不同的要求可通过各种方式实现, 但最基本的就是图 1 所示的由硅稳压管 (齐纳二极管, Zener diode) 分流的调压器。遗憾的是, 这一简单的配置将受到若干限制, 且一般只适合于小电流 (100mA, 或更小) 的应用中。实际上, 这一形式的电路可望达到约 10% 的调节。若附加一个小于 20Ω 的输出电阻, 则效果更好。

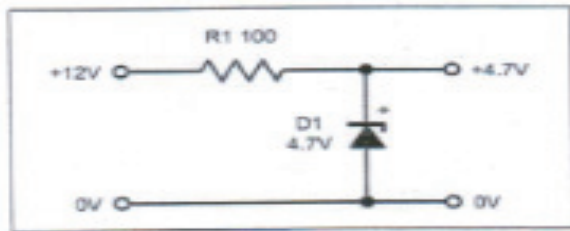


图 1 简单的由硅稳压管分流的调压器

图 1 中 4.7V 的稳压管与输出是并联 (分流) 的, 这样, 二极管电流和负载电流之和将流过 100Ω 的串联电阻 (R1), 负载调节曲线示于图 2。这就意味着电路的最大负载电流 (在调节开始下落的这一点) 约 70mA。在这一点, 输出电压已下降约 4.5V (注意到空载输出电压正好是低于 5V)。

利用这一关系并从图 2 所示的结果, 我们就可确定负载的调节或输出的电阻值, 这些量值分别为 9.1% 和 6.4Ω , 这对于某些应用是足够的。简单稳压管分流的调压器的限制 (局限性) 可归纳以下几点; (1) 该电路仅适用于小输

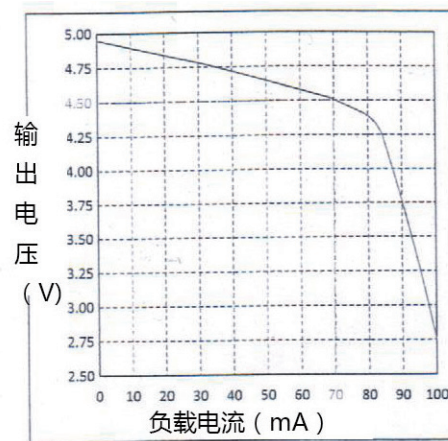


图 2 图 1 所示由稳压管分流调压器的负载调节曲线

出电流 (典型为小于 100mA); (2) 效率不高 (相当的功率消耗在稳压管和串联电阻上, 甚至在空载时); (3) 输出电阻相对较大 (对很多应用中, 均希望输出电阻很小, 通常 $\leq 1\Omega$); (4) 调节性能相对不佳 (包括线路和负载, 但如附加少量元件, 能容易改进)。

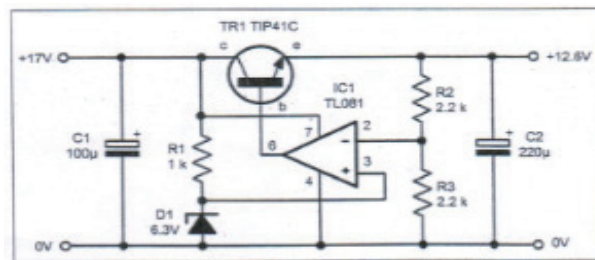


图 3 简单的线性调压器

图 3 所示是稍为复杂的线性调压器。这是基于使用了一个作为误差放大器 (IC1) 的运算放大器和一个串联的晶体三极管 (TR1), 其作用宛如一电流放大器, 有时候称为“串通三极管” (series pass transistor)。注意到 IC1

必须能提供足够的电流,以便当它须依次给负载供给最大电流时能驱动 TR1 的基极。在大的集电极电流下,TR1 的电流增益可望更低,这样就能限制电路的特性,有必要用实例说明这一点的重要性。我们假定,需要输送 1A 的负载电流,而运算放大器的最大输出只能输送 200mA。作为典型,在数十 mA 集电极电流到 1A 集电极电流情况下,TR1 的电流增益将从 80 下降到 50 以下。这样,我们则需要至少 50 (1000/20) 的电流增益,故 TR1 的选用必须谨慎。换句话说,为提供大得多的电流增益值,必须使用达灵顿 (Darlington) 三极管或 MOSFET (金属氧化物半导体场效应管) 器件。

我们早已发现图 3 中的参照 (基准) 电压,是由简单的稳压管分流调节器 (R1 和 D1) 引出的。D1 两端显示参照电压 (合理的定值为 6.3V),并馈送到比较器非反相 (non-inverting) 的输入端。输出电压则施加于由 R2 和 R3 组成的电位分配器上。注意,在此例中,R2 和 R3 的电阻值这样选定,应使得比较器的反向输入时产生 50% 的输出电压。

运算放大器 (IC1) 将分配的输出电压与齐纳管的参照电压进行了比较。如果输出电压大于参照电压,则 IC1 的输出下降,较小的电流将施加于 TR1 的基极,从而,在 IC1 的发射极的输出电压下降。相反,如果分配的输出电压降低到参照电压以下,则 IC1 的输出将上升,较大的电流会施加于 TR1 的基极,因此,在 IC1 发射极的输出电压则增加。故针对负载需求的变化,该电路能自动进行补偿,保持输出电压稳定在、或非常接近于 2 倍的参照电压。

通过简单的改变 R2 和 R3 的比率,输出电压就能容易改变。换言之,采用一个可变的电位器,就能提供连续可调的输出电压控制。

2 三端电压调节器

值得高兴的是,没有必要依靠像图 3 所示那样的设计电路,因为利用广范围的三端调节器,就已非常简练的解决问题。这种集成电路的器件,使用极其简单,无论在稳定形式还是可变动方案中都适用。

最普及的稳定调节器系列采用了 TO220 的塑料包装,并加 78 前缀的系列 (对正的输入、输出电压) 或加 79 前缀系列 (对负的输入、输出电压)。这些器件在电压范围 (5V、9V、12V、15V、18V 和 24V) 均可适用,且它们的定额通常均为 1A 的最大负载电流。这些器件内部布置均基于上述的图 3 电路,但还要附加发热与安全的运行区 (SOA) 保护。注意稳定的电压标准是内部的,且不能改变。对于 78 系列调节器的一些基本配置如图 4 所示。

在图 4 (a) 中,调节器的公共连接线,在输入端和输出端均接到 0V。重要的是注意到:最坏情况下未调节的 DC 输入电压,通常至少比正常调节的输出电压高 2.5V。换句话说,输入和输出电压之间的差在有效调节时必须高 2.5V,但如果需要,低压降输出 (LDO) 的稳定电压调节器也是可利用的。未观察到最小阈值电压的代价将是调节不佳,有时,会与不期望的残余电源交流声一起,叠加到假定的调节器输出上。另一重要的设计考虑是,未调节的输入电压不应太高,否则,调节器的损耗可能会过大。因

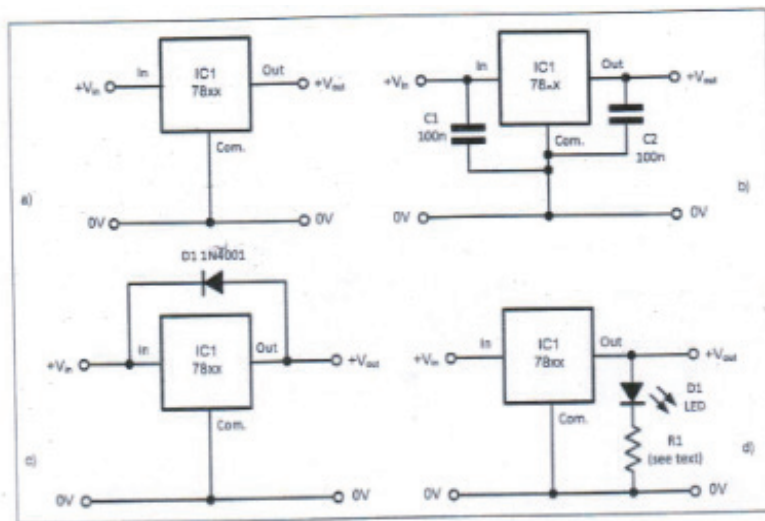


图 4 三端稳定电压调节器

表 1

输出电压	IC1	输入电压			图 6 中 C1 和 C4 的电压定额	图 4 (d) 中的 R1
		最大	最小	典型		
5V	7805	20V	7.5V	9V	25V	330Ω
9V	7809	25V	12V	13V	25V	680Ω
12V	7812	30V	15V	17V	35V	1.2KΩ
15V	7815	30V	18V	20V	35V	1.5KΩ
-5V	7905	-20V	-7.5V	-9V	25V	330Ω
-9V	7909	-25V	-12V	-13V	25V	680Ω
-12V	7912	-30V	-15V	-17V	35V	1.2KΩ
-15V	7915	-30V	-18V	-20V	35V	1.5KΩ

此对于一些最普通的稳定电压调节器型式, 建议输入的电压范围引用表 1 的数据。

3 电路的改变

在图 4 (b), 已附加了两个低值的电容器 (C1 和 C2), 以防护其不稳定和振荡。注意, 这些元件的连接必须紧密靠近调节器的端子, 两个元件都总要配合好的。

在图 4 (c) 中, 调压器的输入和输出端之间已经加上一反向的二极管。当调压器万一输出电压超过输入电压时, 这个二极管将提供保护作用。如果输入电压拆除, 输出仍然接到电压源 (例如蓄电池), 这一情况就可能出现。

在图 4 (d) 中表示, 如何加上简单的二极管显示器, 以发出信号显示输出电压的存在。图中 R1 的电阻值可从表 1 中选取。

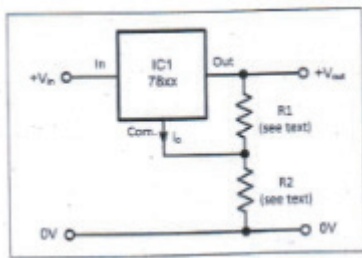


图 5 带输出电压调节的稳定电压调节器

如果需要的话, 稳定电压调节器的输出电压可整定为高于额定电压的数值。这就有可能设计调压器, 使其具有任何想要的电压值, 例如 7.5V、11V 或 13.8V。图 5 说明这如何来实现, 两个固定电阻 (R1 和 R2) 组成一电位分配器。如调压器有一固定的定额 V_{xx} , 在图 5 的输出电压将由下面关系式给出:

$$V_{out} = V_{xx} \left[\left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_o \right) \times R2 \right]$$

公共电流 (I_o) 随器件的不同而改变, 但通常约为 4.3mA。假定我们需要 -7.5V、1A 的可调电源。如果对 R1 选用一通常能买到的 1KΩ 电阻值, 则能由下式计算出所需要的电阻值 R2:

$$R2 = \frac{(V_{out} - V_{xx})}{\left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_o \right)} = \frac{7.5}{\left(\frac{5}{1000} + 0.0045 \right)} = \frac{2.5}{0.0093} = 269\Omega$$

该值最接近于优先选用的数值 (270Ω), 故选取 R2=270Ω。如要求调节 (或公共电流有别于期望值), R2 可由一预先整定的可变电阻所取代。此时, 500Ω 的电阻值即可完全胜任。

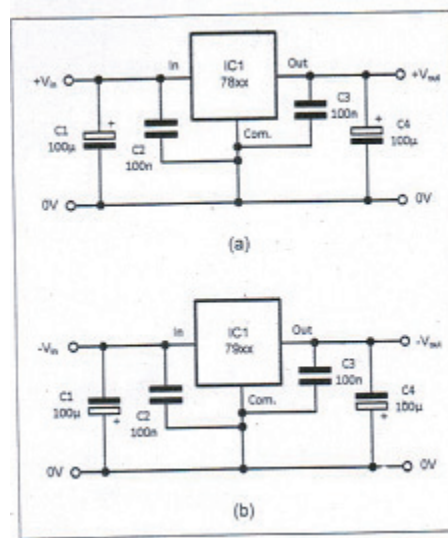


图 6 可比较的、正的和负的三端稳定电压调节器

稳定电压调节器, 一般适用于正的或负的输入电压和输出电压。图 6 所示为可比较的、正的和负的三端电压调节器电路。已经加上两个附加的电容器 (C1 和 C4), 旨在降低噪音。它们应按照工作电压近似定额, 且因它们是电解电容器, 要注意其连接的极性 (参见表 1 所推荐的电容值)。

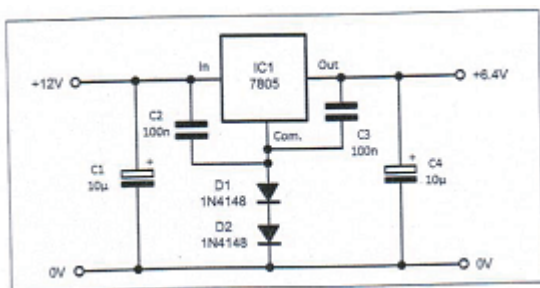


图 7 利用二极管增加 5V 稳定电压调节器的输出

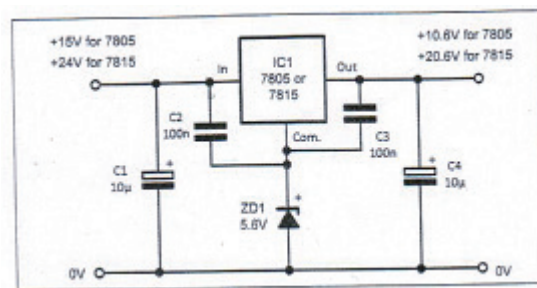


图 10 利用单个 5.6V 齐纳管增加 5V/15V 稳定电压调节器的输出

图 7 表示增加稳定调压器输出 (增加 $0.7V \times 2$) 的另一个最简单的方法。在此配置下, 两个正向导通的硅二极管与调节器的公共接点串联。该调节器的输出电压有效的升高 ($0.7V \times 2$) 后则变成 $(5+1.4V) = 6.4V$ 。这一小的技巧可用于先前遇见过的所有电路, 例如图 8 所示标准的 12V 稳定三端调压器, 能予以改进, 增加正好两个二极管达到的 13.4V 输出。

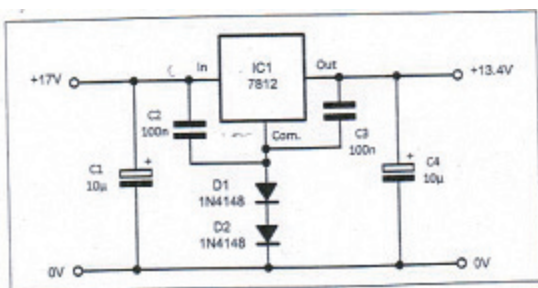


图 8 利用 12V 稳定电压调节器的 13.4V 可调电源

对于更高的输出电压, 可用一单个的齐纳二极管取代几个硅二极管, 这样更加方便, 如图 9 所示。这一电路表示, 5V 稳定电压调节器能用 2.7V 齐纳二极管提供 7.7V 的输出。图 10 所示的电路配置表示, 当 5.6V 齐纳二极管分别用于 7805 和 7815 调压器时, 是怎样得到 10.6V 和 20.6V 输出的。

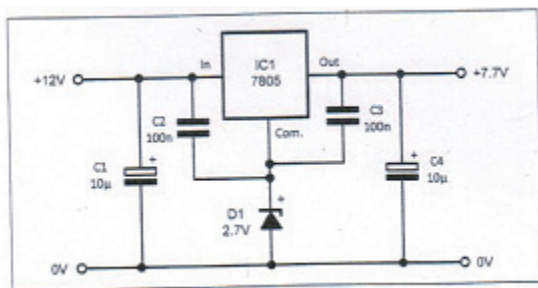


图 9 利用单个 2.7V 的齐纳二极管增加 5V 稳定电压调节器的输出

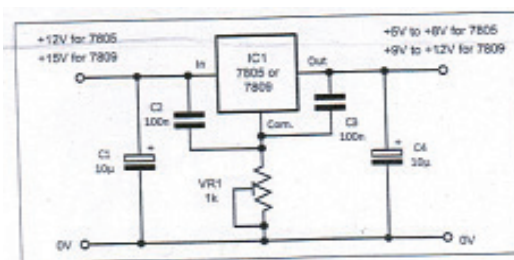


图 11 稳定电压调节器的可调输出

可利用相同的“顶起”(jacking-up) 技术提供可变化的输出, 如图 11 所示, 藉插入预先整定的可变电阻到调节器的公共连线上。这一方便电路将提供 7805 器件的 5V 到 8V, 或 7809 器件的 9V 到 12V。

4 增加输出电流

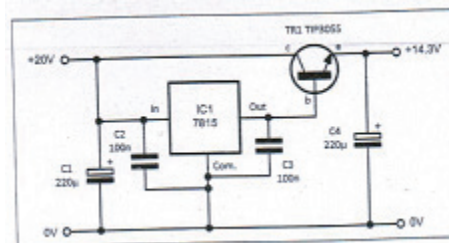


图 12 电流提升的三端稳定电压调节器, 能供给负载达 5A 左右的电流

当需要大于 1A 的电流时, 藉助于一附加的串通三极管, 稳定电压调节器可以增加电流, 如图 12 所示。这一装置的输出将比该调节器的输出近似小 0.7V。这样, 在此情况下输出近似 14.3V。还要注意, 通过其本身应用的调节器芯片所拥有的过流保护和热保护, 该输出均不具备。

在某些应用中, 这或许不重要, 但在其它方面, 这却

是至关重要的。注意到，输出电压的 0.7V 下降，可通过调压器公共连线上插入硅二极管，如图 13 所示，能容易克服和补偿。

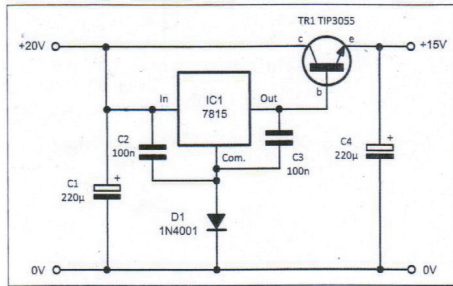


图 13 增加二极管以补偿图 12 电路中的输出电压降

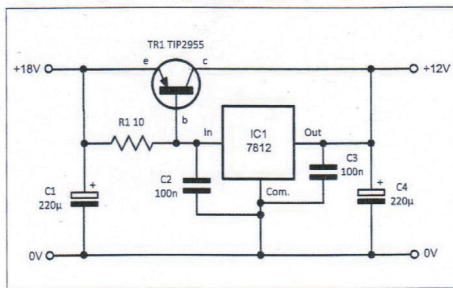


图 14 改进的电流提升三端稳定电压调节器

图 14 所示为更好增加电流的三端电压调节器。该电路利用了 PNP 器件而不是前两个电路所用的 NPN 器件。注意到，在调压器公共连线上勿须再附加二极管。为保护 TR1 和限制输出电流至一安全值，可增加一辅助三极管如图 15 所示。在这一配置中，负载电流利用 R1 来检测（传感），传感的电压加到 TR2 上，当负载电流超过约 4.5A 时，TR2 导通。如 I_{lim} 为要求的电流限制，则要求的 R1 值按 $I_{lim}=0.7/R_1$ 求得。

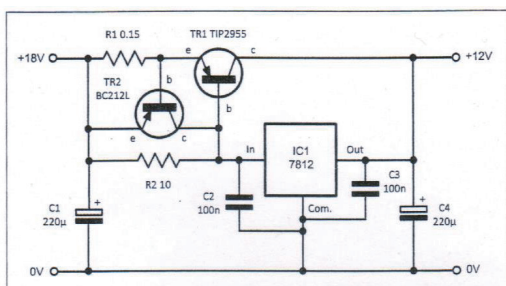


图 15 增加一辅助三极管以提供电流的限制

5 实用的设计：1A 稳定电压调节器模块

这是一个能提供 1A 负载电流的低成本稳定电压调节器。根据所用的调压器芯片不同，该模块可内装（嵌入）成 5V、9V、12V 和 15V 各种变型。1A 稳定电压调节器的模块电路如图 16 所示。这遵循了较早引入的设计理念，并包含了 LED 的功率显示器。应参照表 1 列出的值，选择 LED 串联电阻 R_1 的正确数值。

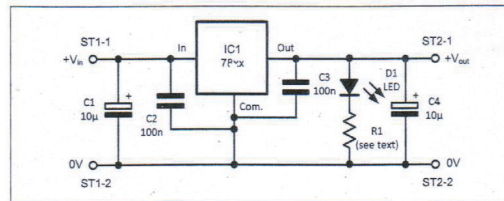


图 16 1A 稳定电压调节器的模块电路

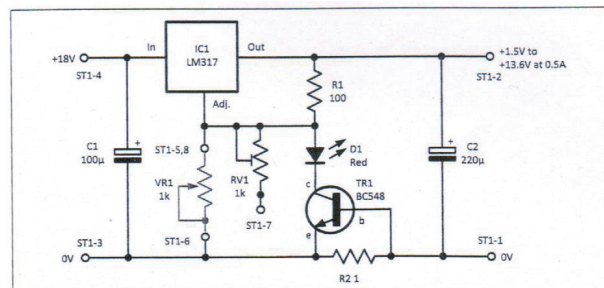


图 17 利用二极管增加 5V 稳定电压调节器的输出

6 实用的设计：简单的可变调节的 DC 电源

这能使提供的输出为预先调定的（pre-set），或是在 1.5V 到 13.5V 范围、电流小于 0.6A 连续形成变量的电路。这能作为有效的实验台电源的基础，结合过载保护以限制输出电流。

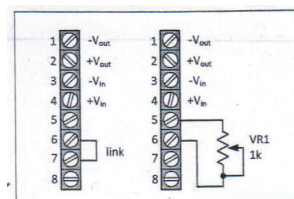


图 18 左图是在预整定式下到 ST1 的连接；
右图为连续可变的电压调节

下转 156 页