

线性稳压器 IC 系列

线性稳压器的基础

线性稳压器又称为三端子稳压器或降压器等，由于电路简单而容易使用，历来是许多设计者耳熟能详的电源。过去也有由分立器件构成的应用，随着 IC 化的发展，产品变得简单方便且小型化，被使用在各种不同电源的应用中。近年来高效率成为电子设备的必须要求，对于大功率的设备来说，开关电源逐渐成为主流选择，但是简单又省空间且低噪声的线性稳压器则是在任何地方都用得到的电源。

此应用笔记将概略的介绍线性稳压器。

线性稳压器的工作原理

线性稳压器基本上由输入、输出、GND 引脚所构成，可变输出的产品则在此增加反馈输出电压的反馈 (feed back) 引脚 (参考图 1)。

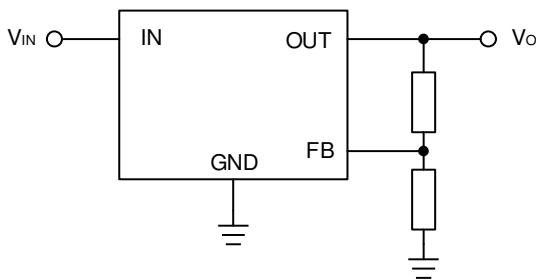


图 1 线性稳压器的基本构成

线性稳压器内部电路概述如图 2 所示。基本上由误差放大器 (误差检测用运算放大器)、基准电压源、输出晶体管所构成。图 2 中的输出晶体管为 Pch MOSFET，也可使用 Nch 的 MOSFET、双极的 PNP、NPN 晶体管。

线性稳压器是纯模拟器件。是使用运算放大器基本控制电路之一的反馈 (feed back) 环路。即使随着输入或负载变动输出电压开始变动，误差放大器也会连续比较来自稳压器输出电压的反馈电压和基准电压，调整功率晶体管使差分为零，保持输出电压恒定。这就是反馈环路控制稳定化 (调节)。

具体而言，如上所述，误差放大器同名端的电压总是与 V_{REF} 相同，因此流过 R₂ 的电流是恒定的。流过 R₁ 和 R₂ 的电流可以通过 (V_{REF} / R₂) 求出，根据欧姆定律，V_O 为该电流 × (R₁ + R₂)。公式如下：

$$V_O = \frac{V_{REF}}{R_2} \times (R_1 + R_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times V_{REF} [V] \quad (1)$$

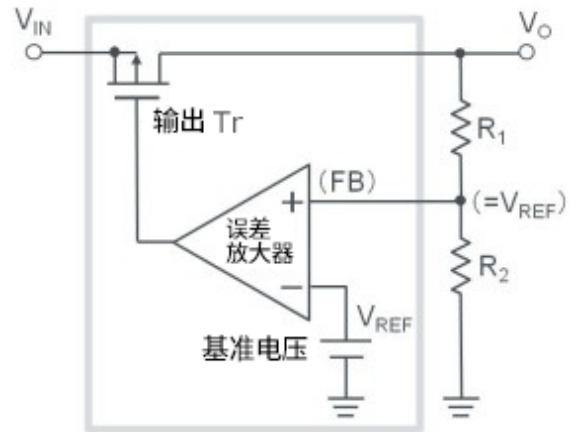


图 2 内部电路概述

线性稳压器的分类

系列稳压器、三端子稳压器、降压器、LDO。想必这些听过的名称全都是指线性稳压器。除了这些名称，根据其功能或方式可以分成几类。



图 3 线性稳压器的体系

首先，大致分类的话可以分为正电压用和负电压用，但是负电压用的种类并不多。其下可分为固定输出型和可变输出型。固定型是以标准型号的 78xx (正)、79xx (负) 类型为代表的有输入、输出、GND 3 个端子。IC 内置了设定电压用的电阻，反馈引脚无须外露。可变型如图 1 例所示，如果为 GND 基准型，反馈引脚会外露变成 4 个端子。可变型中还有无 GND 引脚的浮地类型如 317 (正)、337 (负) 等，这些是 3 端子的。

固定输出和可变输出其下又可分为标准型和 LDO 型。LDO 是 Low-dropout 的简称，相对于标准型 3V 左右的压差电压(可保证稳定工作的最低输入输出电压差)，改良后的 LDO 将这一值控制在 1V 以下，在 3.3V 电源 IC 问世时开始普及。在 12V 转换成 5V 时期，即使压差电压为标准型的 3V 左右也没有什么问题，但是如果需要 3.3V 电源的话，这样的压差无法从 5V 产生 3.3V，于是就诞生了 LDO。

上述的线性稳压器都是内置输出晶体管类型的，此外也有为了处理大电流而将输出晶体管外置的线性稳压器控制器 IC。

其他还可以按照制造工艺特征来分类。一般来说，双极工艺的线性稳压器大多耐压高达 35V 或 50V，但消耗电流多为几 mA。CMOS 工艺型最近 20V 这样的高耐压产品也已经商品化了，但大多数产品还是将输入电压设定在 5V 的，但 CMOS 工艺的线性稳压器消耗电流非常小，只有几十 μA 。

罗姆采用兼具双极型工艺和 CMOS 工艺特点的 Bi-CMOS 工艺，推出了输入耐压可达 50V 但消耗电流只有几 μA 的 LDO 产品。

品名 制造工艺
 BAxxxx: Bipolar
 BUxxxx: CMOS
 BDxxxx: Bi-CMOS

图 4 ROHM 品名和制造工艺

封装方面，对于线性稳压器散热很重要，故多使用热阻低的封装。插件型以附散热片的 TO-220 封装，贴片型以散热焊盘外露于封装背面的类型为主。



图 5 封装

线性稳压器的电路构成和特征

线性稳压器的电路构成基本上是图 6 所示的反馈环路电路，不过芯片的压差电压会因输出晶体管种类不同而有所不同。

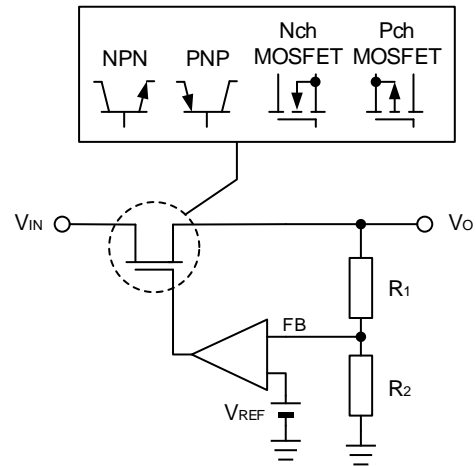


图 6 基本电路和输出晶体管

压差电压不同大体上是标准型和 LDO 型的区别，而 LDO 型又可以分为三类。虽然使用双极型 NPN 晶体管的 LDO 品种不太多，但这种类型的 LDO 可以处理大电流，甚至可达 10A 规格的，但压差电压则需要 1V~2V，在 LDO 中为高压类。双极 PNP 晶体管的 LDO 目前是双极型 LDO 的主流，最初很难克服启动时的浪涌电流和电流容量问题，不过已逐渐改善。输出晶体管使用 MOSFET 的产品可支持更低的输出电压、以支持电池驱动应用产品的低功耗需求 (图 7)。

控制晶体管	压差电压
NPN 标准型	3V 左右
NPN LDO	1V~2V
PNP LDO	$\leq 0.5V$
MOSFET LDO	$\leq 0.5V$

图 7 输出晶体管和压差电压

优点和缺点

线性稳压器的最大优点在于使用简单。输入和输出只需各接 1 个电容器就可以工作，实质上或许可以说不需要设计。整体来说，比起电路设计，散热设计可能更麻烦。另外，因为没有开关电源那样的开关噪声，纹波抑制特性和自身电压噪音小，所以在如 AV、通讯、医疗、测量应用等必须消除噪声的应用上较受欢迎。

虽说不需要设计，但也有需要注意的地方。最近，以大容量低 ESR 为特点的陶瓷电容器和以低阻抗为特点的电解电容器被商品化。如果将这些部品用于没有标注“输出时可以使用陶瓷电容器”的 IC 上，会有相当大的概率发生异常振荡。上一代开发的 IC，因为在开发时世界上还没有低 ESR 电容器，所以是按照以往输出端连接的是高 ESR 电容器的状态下设计了误差放大器的相位补偿状态。这里连接低 ESR 的电容器的话会发生相位延迟，放大器会振荡。最近设计的 IC 是考虑了低 ESR 输出电容器而设计的，所以可以使用多种电容器。

缺点在于输入输出的电压差大则损耗就大，损耗几乎完全变为热能，某些条件下发热会非常大。如果使用功率达到数瓦以上的等级，就要常常面对发热的问题。由于温度上升不允许超过 IC 芯片结温的最大额定值，因此，经常不能使用到 IC 的最大输出电流。此外，线性稳压器只能降压，这在负电压使用的情况也是一样的，不过负电压经常被混淆，在此加以说明。负电压用线性稳压器，例如输入为-5V 时，无法输出更低的电压如-12V，因为电位从-5V 降至-12V，看起来是降压，电压却是从-5V 增加到-12V，向负方向升压。因此，可以做到的是以输入-12V 达到输出-5V 的动作（图 8）。

有点	缺点
- 设计简单	- 如果输入输出压差大则效率不佳
- 部品数少	- 低效率=发热大
- 节省空间（不使用散热片的情况）	- 为了散热可能需要增大实装面积
- 噪声小	- 只能降压
- 便宜	

图 8 优点和缺点

效率和热计算

现在说明线性稳压器的效率和热计算。如前述，这是使用线性稳压器所必须探讨的事项。

线性稳压器的效率

效率的定义是转换后的输出功率对输入功率的比率，通常以百分比表示。这在开关稳压器中也是一样的。式 (2) (3) 是效率 η 的计算公式。输入电流 I_{IN} 中包含的 I_C 是 IC 自身的消耗电流。但是，这个值很小，负载电流大的时候可以忽视。在这种情况下，可以认为输入和输出的电流相同，因此只需像式 (4) 那样简单地将输出电压除以输入电压即可计算。

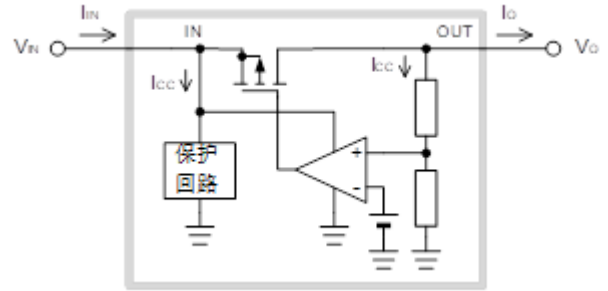


图 9 电流路径

$$\eta = \frac{P_O}{P_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$= \frac{V_O \times I_O}{V_{IN} \times I_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

$$\text{但、} I_{IN} = I_O + I_{CC}$$

$$\cong \frac{V_O}{V_{IN}} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

$$\text{但、} I_{CC} \ll I_O$$

例如，可以计算出从 5V 到 3.3V 的转换效率为 66%。近年来，开关稳压器的转换效率多在 80%~90% 以上，因此不得不说 66% 的效率非常低。

在这里，可以试着将输入电压从 5V 变更为 3.8V 看看。那么这个条件下的效率是 86.8%。也就是说，即使是线性稳压器，输入和输出的电压压差小的话效率也会变高，可以获得相当于开关稳压器的高效率。看图 10 便一目了然，如果 V_{IN} 接近压差电压 $V_{DROPOUT}$ 的话，功率损耗会减少，效率会变高。

如果是这样的条件，则 LDO 的贡献度就变得非常高。这种条件下，由于输入输出压差为 0.5V，线性稳压器的选择为 LDO，而且是压差电压为 0.5V 以下的 LDO。标准型线性稳压器无法对应这种条件，如果一定要使用标准型的话，输入电压必须在 6.3V 以上（压差电压设为 3V），无法对应最初的 5V 输入条件。此外，效率也下降到 52%。相反，从 12V 到 5V 的应用，不管是 LDO 或是标准型线性稳压器，效率和损耗都不会改变。

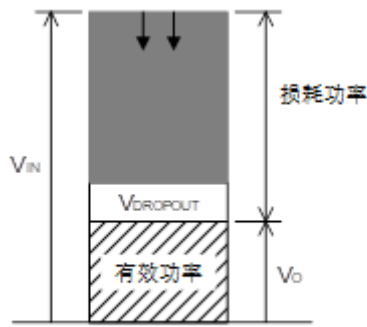


图 10 输入输出电压和损耗功率的关系

线性稳压器的效率依赖输入输出电压差。对于可以将输入输出电压差降到多小，虽然与压差电压有关系，但是与效率并没有直接关系，这一点可以从计算公式中并没有压差电压这一项看出。

线性稳压器的热计算

热计算需要功率损耗、封装的热特性参数、以及芯片表面温度等信息。功率损耗与效率计算的计算方法相同，纯粹为输入输出电压差和输入电流相乘的值（式（6））。热特性参数在规格书中应该有记载，如果没有需要询问制造商。只要能将温差电偶牢固地固定在封装上面的中心点，就可以精确测量芯片表面温度。

基本上使用从结（芯片）到封装上面中心点的热特性参数 ψ_{JT} ，根据 IC 的不同，有时也会提供结（芯片）到周围（环境）热阻 θ_{JA} （图 11）。

想法如下，如式（5），根据损耗功率和热特性参数求出 IC 芯片的发热，再加上芯片表面温度，求出芯片的温度。确认计算出的 T_j （结温度）是否超过 T_{jmax} （芯片结温的最大额定值）。如果超过 T_{jmax} ，须变更任一使用条件，这就是说并不是所有的

IC 都能按照规格使用，而是受输入电压、输出电压、输出电流、周围温度的限制。

$$T_j = P \times \psi_{JT} + T_T \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (6)$$

P : 损耗功率 [W]

ψ_{JT} : 热特性参数

T_T : 芯片表面温度 [°C]

此外、还可以使用热阻 θ_{JA} 简单计算芯片温度。此时需要周围环境温度的数据，环境温度可以从设备的额定使用条件等假设，例如可以设想工作在 70°C 的温度。条件严格的情况下也有实际测量的情况。

想法如下，如式（7），根据损耗功率和热特性参数求出 IC 芯片的发热，再加上周围环境温度，求出芯片的温度。

$$T_j = P \times \theta_{JA} + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (7)$$

$$P = (V_{IN} - V_O) \times I_{IN} \quad [W] \quad (8)$$

P : 损耗功率 [W]

θ_{JA} : 热阻

T_A : 周围环境温度 [°C]

一般来说，超过了额定值，但能变更输入电压或输出电压的例子很少。作为应对措施，可能会减小负载电流（输出电流）。在这种情况下，接受功率供给的设备须尽量选择消耗电流少的。其他可能的方法还有降低周围环境温度。例如，从自然对流的空冷变更为使用风扇冷却，如果已经有风扇的话可以提高冷却能力、重新评估对流等。另外，在线性稳压器上安装散热片可以降低热阻、减少发热，但是散热片的成本和尺寸是很大的探讨事项。还有将线性稳压器级联使用，或者在 IC 的输入端接电阻分散发热的方法。而且，从提升电源效率减少发热的观点来看，还可以考虑使用开关稳压器。

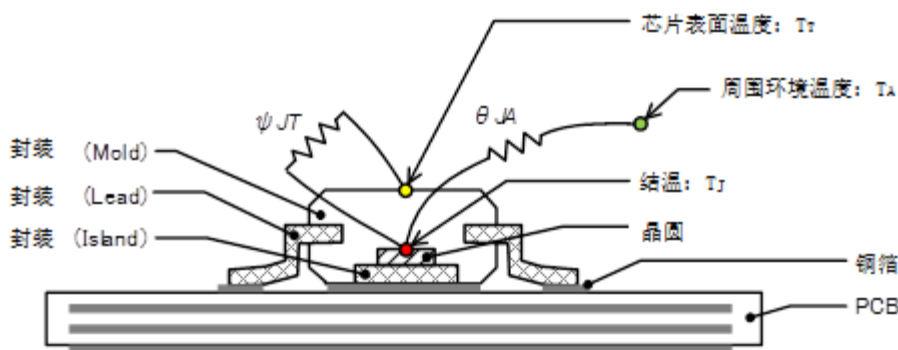


图 11 热特性参数 ψ_{JT} 和热阻 θ_{JA} 的定义

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>