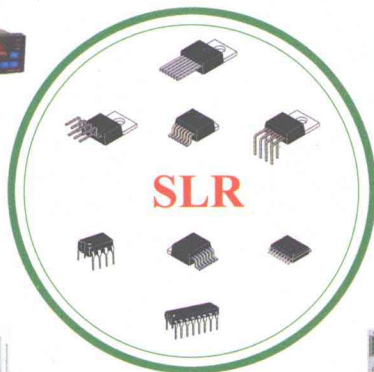


新型稳压电源精品丛书 2

X I N X I N G W E N Y A D I A N Y U A N

J I N P I N C O N G S H U

标准线性稳压器 应用技巧



沙占友 王彦朋 著
马洪涛 周万珍



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

新型稳压电源精品丛书 2

标准线性稳压器 应用技巧

沙占友 王彦朋 著
马洪涛 周万珍



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

标准线性稳压器亦称 NPN 型线性稳压器,它属于传统的稳压器,具有稳压性能好、输出纹波电压小、电路简单、成本低廉等优点,目前仍被大量使用。本书全面深入系统地阐述了标准线性稳压器的工作原理、应用技巧、设计方法、设计实例及注意事项,并给出了线性稳压器典型应用电路 50 例,具有很高的实用价值。本书为“新型稳压电源精品丛书”的第 2 部,该丛书还包括《开关稳压器应用技巧》和《低压差线性稳压器应用技巧》。

本书题材新颖,内容丰富,图文并茂,具有科学性、先进性及很高的实用价值,可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

标准线性稳压器应用技巧/沙占友等著. —北京:中国电力出版社,2009

(新型稳压电源精品丛书)

ISBN 978-7-5083-8123-7

I. 标… II. 沙… III. 线性集成电路—稳压器
IV. TM44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 182275 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 8.125 印张 224 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

.....|前言|.....

线性稳压器 (Linear Voltage Regulator, 简称 Linear Regulator) 因其内部调整管工作在线性工作区而得名。标准线性稳压器 (Standard Linear Regulator, 简称 SLR) 亦称 NPN 型线性稳压器, 它属于传统的串联调整式稳压器。尽管 NPN 型调整管的压降较大, 功耗高, 稳压电源的效率较低, 但由于其稳压性能好、输出纹波电压小、电路简单、成本低廉, 因此目前仍被大量使用。

标准集成线性稳压器自 20 世纪 70 年代初问世以来, 极大地简化了线性电源的设计与应用, 它能以最简方式接入电路, 并具有较完善的过电流、过电压及过热保护功能。目前, 标准线性稳压器仍为世界通用系列, 是用途最广、销量最大的线性稳压器。近年来, 许多新型标准集成线性稳压器相继问世, 又进一步拓宽了其应用领域。

为了推广标准线性稳压器的应用技术, 现将我们近年来在教学与科研工作中积累的经验加以系统总结, 并参考国内外厂家提供的最新资料后撰写成此书, 以飨广大读者。本书为“新型稳压电源精品丛书”的第 2 部, 该丛书还包括《开关稳压器应用技巧》和《低压差线性稳压器应用技巧》。

本书主要有以下特点:

第一, 在深入剖析标准线性稳压器工作原理的基础上, 重点阐述其应用技巧、扩展应用及使用注意事项。可满足专业技术人员需要。

第二, 本书不仅介绍了线性稳压器的电路设计方法、设计要点和设计实例, 还给出 50 个应用电路实例, 可帮助读者解决在设计线性稳压电源中遇到的一些技术难题。

第三, 题材新颖, 内容丰富, 具有科学性、先进性及很高的实用价值, 可供各类电子技术人员、高校师生和电子爱好者阅读。

第四, 叙述由浅入深, 循序渐进, 深入浅出, 图文并茂。

沙占友撰写了第一章、第三章和第四章。周万珍撰写了第二章。

马洪涛撰写了第五章，王彦朋撰写了第六章。

在本书撰写过程中还得到李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、魏跃平、张文清、宋怀文、陈庆华、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉等同志的帮助，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，欢迎广大读者指正。

作 者

目 录

前言

第一章 线性稳压器概述	1
第一节 线性稳压器的主要特点及产品分类	1
一、线性稳压器的主要特点	1
二、标准集成线性稳压器的产品分类	3
第二节 线性稳压器的发展趋势	5
第三节 线性稳压器的选择方法	8
一、标准线性稳压器类型的选择	8
二、集成线性稳压器的选择	10
第四节 线性稳压器的主要技术参数	12
第五节 标准集成线性稳压器的使用注意事项	15
第二章 线性稳压器的基本结构原理	18
第一节 线性稳压器的基本结构	18
一、基准电压源	18
二、误差放大器与 NPN 型调整管	21
第二节 线性稳压器的基本原理及特点	23
一、线性稳压器的基本原理	23
二、集成线性稳压器的特点	25
第三节 集成线性稳压器内部保护电路的工作原理	26
一、过电流保护电路	26
二、调整管安全工作区保护电路	28
三、过热保护电路	30
第四节 线性稳压器外部保护电路的工作原理	35

一、反向偏压保护电路	35
二、输出端反极性电压保护电路	36
三、瞬态过电压保护电路	36
第三章 标准线性稳压器的的工作原理与应用技巧	38
第一节 三端固定式线性稳压器的的工作原理	38
一、三端固定式集成线性稳压器的产品分类	38
二、7800 系列三端固定式线性稳压器的的工作原理	39
三、7900 系列三端固定式线性稳压器的的工作原理	42
第二节 三端固定式线性稳压器的应用技巧	43
第三节 三端可调式线性稳压器的的工作原理	51
一、三端可调式集成线性稳压器的产品分类	51
二、三端可调式线性稳压器的的工作原理	52
三、三端可调式线性稳压器的结构特点	53
第四节 三端可调式线性稳压器的应用技巧	54
第五节 大电流输出式线性稳压器的应用技巧	62
一、大电流输出式线性稳压器的产品分类	62
二、3A 和 5A 大电流输出式线性稳压器的应用技巧	64
三、7A 大电流输出式线性稳压器的应用技巧	69
四、10A 大电流输出式线性稳压器的应用技巧	70
第六节 多路输出式线性稳压器的原理与应用	74
一、具有复位功能的三路固定输出式线性稳压器	74
二、具有复位和禁用功能的三路固定/可调输出式线性 稳压器	76
第七节 高压输入式可调线性稳压器的原理与应用	80
一、高压输入式可调线性稳压器的产品分类	80
二、高压输入式可调线性稳压器的的工作原理与应用技巧	81
第八节 交、直流高压输入式可调线性稳压器的原理与应用	86
一、HIP5600 的工作原理及典型应用	86
二、HIP5600 的设计要点	90
第九节 HIP5600 的应用技巧	95

一、具有浪涌电压保护功能的 AC/DC 变换器	95
二、开关电源的启动电路	98
三、其他应用电路	98
第十节 小功率单片 AC/DC 线性电源变换器的原理与应用	100
一、MAX610 系列产品的分类及性能特点	100
二、MAX610 系列产品的工作原理与典型应用	101
三、MAX610 系列产品的检测方法	106
四、MAX610 系列产品的应用技巧	107
第十一节 可编程精密并联线性稳压器的原理与应用	115
一、TL431 型可编程精密并联线性稳压器	115
二、NCP100 型低压可编程精密并联线性稳压器	121
第四章 线性稳压器设计指南	123
第一节 线性稳压器的设计要点	123
第二节 线性稳压器的装配技术	125
一、线性稳压器的装配要点	125
二、散热器的表面处理	127
第三节 线性稳压器输入电路的设计	127
一、输入整流滤波电路的设计曲线	128
二、输入整流滤波电路的设计步骤	131
三、输入整流滤波电路的设计实例	133
第四节 线性稳压器扩流电路的设计	134
一、外部调整管的电路结构	134
二、对外部调整管的技术要求及限流保护电路	135
三、调整管的并联使用方法	139
第五节 线性稳压器的设计实例	140
第六节 可编程线性稳压器的电路设计	144
一、数字电位器的基本工作原理	144
二、可编程线性稳压器的电路设计	145
第七节 三端可调式线性稳压器的测试电路	148
一、可调式线性稳压器的测试电路	148

二、测试注意事项	151
第八节 线性稳压器的散热器设计	153
一、HIP5600 型高压可调线性稳压器的散热器设计	153
二、7809 型线性稳压器的散热器设计	157
三、铜箔散热器设计	158
第九节 线性稳压器的常见故障分析	160
第五章 线性稳压器的扩展应用	161
第一节 提高线性稳压器输入、输出电压的方法	161
一、提高固定式线性稳压器输入、输出电压的方法	161
二、提高可调式线性稳压器输入、输出电压的方法	164
第二节 线性稳压器扩流电路的设计	166
一、扩展固定式线性稳压器输出电流的方法	166
二、扩展可调式线性稳压器输出电流的方法	170
第三节 线性稳压器的并联使用方法	171
一、三端固定式线性稳压器的并联使用方法	171
二、三端可调式线性稳压器的并联使用方法	172
第四节 能从零伏起调的线性稳压器	176
第五节 跟踪式线性稳压器的应用技巧	177
第六节 由线性稳压器构成的恒流源	181
第七节 由 LED/LCD 条图构成的输出电压指示计	183
一、由 LED 条图构成的电压指示计	183
二、由 LCD 条图构成的电压指示计	194
第六章 线性稳压器应用电路 50 例	202
应用电路一 提高线性稳压器输入电压之一	202
应用电路二 提高线性稳压器输入电压之二	203
应用电路三 提高线性稳压器的输入、输出电压	203
应用电路四 具有过载指示功能的 5V、5A 大电流线性 稳压器	204

应用电路五	恒压/恒流式大电流线性稳压器	205
应用电路六	大电流负压可调式线性稳压器之一	205
应用电路七	大电流负压可调式线性稳压器之二	206
应用电路八	扩展多端线性稳压器输出电流之一	207
应用电路九	扩展多端线性稳压器输出电流之二	208
应用电路十	补偿大电流输出式线性稳压器引线 电阻压降的变化	209
应用电路十一	利用多端线性稳压器获得低压、大电流输出的 电路之一	210
应用电路十二	利用多端线性稳压器获得低压、 大电流输出的电路之二	210
应用电路十三	可关断的固定式线性稳压器	211
应用电路十四	可关断的可调式线性稳压器之一	212
应用电路十五	可关断的可调式线性稳压器之二	213
应用电路十六	带输出短路保护的固定式线性稳压器	214
应用电路十七	带输出短路保护的高压线性稳压器	214
应用电路十八	可调整限流值的线性稳压器	215
应用电路十九	可调整限流值及输出电压的 实验室用稳压电源	216
应用电路二十	$\pm 5\text{V}$ 双路固定式线性稳压器	217
应用电路二十一	$\pm 15\text{V}$ 双路固定式线性稳压器	218
应用电路二十二	$\pm 10\text{V}$ 跟踪式线性稳压器	218
应用电路二十三	$\pm 15\text{V}$ 跟踪式线性稳压器之一	220
应用电路二十四	$\pm 15\text{V}$ 跟踪式线性稳压器之二	221
应用电路二十五	$\pm 15\text{V}$ 跟踪式线性稳压器之三	221
应用电路二十六	宽范围跟踪式线性稳压器	222
应用电路二十七	$\pm 5\sim\pm 18\text{V}$ 跟踪式可调线性稳压器	223
应用电路二十八	$\pm 1.25\sim\pm 20\text{V}$ 可调式实验室用 稳压电源	225
应用电路二十九	$+7\sim 23.7\text{V}$ 可调式精密线性稳压器	226
应用电路三十	利用 MC1723C 获得负压输出	226

应用电路三十一	三端可调式线性稳压器的软启动电路	227
应用电路三十二	多端线性稳压器的软启动电路	228
应用电路三十三	带远程检测功能的多端线性稳压器	228
应用电路三十四	高压固定式线性稳压器	229
应用电路三十五	高压可调式线性稳压器	230
应用电路三十六	48V 电动车恒流充电器	230
应用电路三十七	由两片 LM317 构成的交流电压限幅器	231
应用电路三十八	由 MC1723C 构成的自激式开关稳压器 ..	232
应用电路三十九	由 LM338 构成的交流功率放大器	232
应用电路四十	程控线性稳压电源	233
应用电路四十一	单片正、负压可调式线性稳压器应用 电路之一	235
应用电路四十二	单片正、负压可调式线性稳压器应用 电路之二	236
应用电路四十三	可编程精密正压线性稳压器的编程电路 ..	237
应用电路四十四	可编程精密正压线性稳压器的典型 应用电路	238
应用电路四十五	正压可编程精密线性稳压器的扩流电路 ..	239
应用电路四十六	可编程精密负压线性稳压器的扩流电路 ..	239
应用电路四十七	四端正压可调式线性稳压器的扩流电路 ..	240
应用电路四十八	带短路保护的四端正压可调式线性稳压器 扩流电路	242
应用电路四十九	带短路保护的四端负压可调式线性 稳压器扩流电路	243
应用电路五十	带使能、复位及看门狗功能的线性稳压器 ..	243
参考文献		246

线性稳压器概述

传统的集成线性稳压器亦称标准线性稳压器 (Standard Linear Regulator, SLR), 受当时技术和工艺条件的限制, 它们均采用输入—输出压差较高的 NPN 型晶体管作为调整管, 导致其功耗较大, 电源效率较低。鉴于这类“经典型”产品目前还被大量生产和广泛应用, 在市场上仍占有较大份额, 因此本章首先介绍其发展概况、基本原理、主要特点和保护电路, 然后阐述标准线性稳压器的选择方法及产品分类。

第一节 线性稳压器的主要特点及产品分类

一、线性稳压器的主要特点

稳压器是使输出电压保持稳定的供电装置。根据调整管的工作状态, 直流稳压电源可分成两类: 线性稳压电源和开关稳压电源。此外, 还有一种使用稳压管的小功率直流稳压电源。

线性稳压器 (Linear Voltage Regulator, 简称 Linear Regulator), 是较早使用的一种直流稳压电源, 因其调整管工作在线性工作区而得名。换言之, 调整管的压降是连续可变的, 它工作在线性状态, 并且调整管的压降就等于输入电压与输出电压的差值。与之相反, 开关稳压器中的调整管 (一般称作开关管) 则工作在开、关 (即通、断) 状态下, 显然不属于线性电源。

线性稳压器的特点是稳压性能好、输出纹波电压小、工作时产生的噪声低、响应速度快、电路简单、成本低廉。标准线性稳压器主要缺点是调整管的压降大, 功耗高, 容易发热, 稳压电源的效率低, 一般仅为 35%~45%。因此, 线性稳压器特别适用于系统对电源效率

要求不高,但要求低纹波、低噪声的供电装置,例如射频电路、高品质的音频及视频放大电路、模/数(A/D)转换器及数/模(D/A)转换器等领域。

集成化的标准线性稳压器与开关稳压器的比较,详见表1-1-1。

表 1-1-1 集成化的标准线性稳压器与开关稳压器的比较

稳 压 器 类 型	标准线性稳压器	开 关 稳 压 器
内部功率管的结构	双极型 NPN 达林顿调整管	双极型或 MOSFET 功率开关管
控制特性	采用电流控制型	一般采用脉宽调制 (PWM) 型
电源噪声及输出纹波	电源噪声及输出纹波很低,特别适用于对噪声敏感的电子设备	输出噪声及纹波电压高,不适合用作射频装置(如手机)的电源
电磁干扰 (EMI)	基本不产生电磁干扰	容易产生电磁干扰
稳压性能	稳压性能好	稳压性能较好
电压调整率	电压调整率 S_V 可达 0.02%	电压调整率一般为 0.5%~2%
负载调整率	负载调整率 S_I 可达 0.1%	负载调整率一般为 1%~5%
瞬态响应速度	对负载变化的瞬态响应速度快	对负载变化的瞬态响应速度较慢
电源效率	由于调整管可等效于一只可调电阻,电流流过时会发热,因此工作在线性状态下的调整管所产生的热量,导致电源效率不高。标准线性稳压器的输入—输出电压差大于 2V,且静态工作电流较大,电源效率一般仅为 40%左右	由于内部器件工作在高频开关状态,因此它本身消耗的能量很低,电源效率可比普通线性稳压电源提高近一倍,一般为 70%~90%
对电网的适应能力	对电网的适应能力较差,一般允许电网波动范围是 $220V \pm 10\%$	对电网的适应能力强,许多 AC/DC 变换器允许电网波动范围是 85~265V

续表

稳压器类型	标准线性稳压器	开关稳压器
保护电路	一般具有过电流保护、调整管安全工作区保护和过热保护电路	一般具有过电流、保护过热保护电路，有的还增加了过电压保护、欠电压保护、通/断控制、软启动、输出状态自检（POK）等电路，使保护功能更加完善
体积	需要安装尺寸较大的散热器，体积较大	安装密度高，体积小

二、标准集成线性稳压器的产品分类

从电路原理上划分，线性稳压器可分成串联调整式、并联调整式两种类型，它们的等效电路分别如图 1-1-1 (a)、(b) 所示。图中的 R 代表调整管的等效电阻， R_L 为负载电阻。串联调整式的内部调整管与负载相串联，能输出较大的电流，且输出电流与输入电流基本相等，适合构成线性稳压器。并联调整式的调整管与负载相并联，输出电压稳定度很高，但输出电流很小，一般只作基准电压源使用。

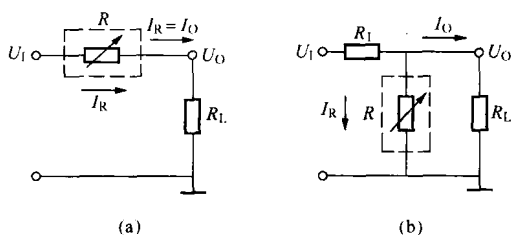


图 1-1-1 线性稳压器的等效电路

(a) 串联调整式；(b) 并联调整式

目前国内外生产的集成线性稳压器多达数千种，产品主要包括两种：固定输出式（含三端固定式、多端固定式、低压差固定式），可调输出式（含三端可调式、多端可调式、低压差可调式）。按照输出电压的特点来划分，又有正压输出，负压输出，跟踪式正、负压输出

共 3 种形式。

1. 三端固定式集成线性稳压器

美国仙童 (Fairchild) 半导体公司于 20 世纪 70 年代初首先推出 $\mu\text{A}7800$ 系列和 $\mu\text{A}7900$ 系列三端固定式集成线性稳压器。它的问世是电源集成电路的一大革命。它极大地简化了电源的设计与应用,能以最简方式(类似于三极管)接入电路,并具有较完善的过电流、过电压、过热保护功能。目前,7800 系列和 7900 系列已成为世界通用系列,也是用途最广、销量最大的集成线性稳压器。其优点是使用方便,不需作任何调整,外围电路简单,工作安全可靠,适合制作通用型、标称输出的稳压电源。其缺点是输出电压不能调整,不能直接输出非标称值电压,电压稳定度还不够高。

2. 三端可调式集成线性稳压器

这是 20 世纪 70 年代末至 80 年代初发展起来的、由美国国家半导体公司 (NSC) 首创的第二代三端集成线性稳压器。它既保留了三端固定式线性稳压器结构简单之优点,又克服了电压不可调整的缺点,并且在电压稳定度上比前者提高了一个数量级。适合制作实验室电源及多种供电方式的直流稳压电源。它也可以设计成固定式输出,以代替三端固定式线性稳压器,进一步改善稳压性能。

3. 多端集成线性稳压器

这类线性稳压器以早期产品居多,亦有固定式、可调式之分。

4. 跟踪式正、负压对称输出集成线性稳压器

其特点是当正电压输出因某种原因而发生变化时,负电压输出能自动跟踪并产生相应的变化,使二者的绝对值仍相等。跟踪特性对于采用双电源供电的精密运算放大器尤为重要,可防止运算放大器因正、负电源电压不对称而产生零漂。典型产品为 MC1568。

5. 其他集成线性稳压器

主要有低压差线性稳压器、高压线性稳压器、大电流输出式线性稳压器、专用线性稳压器、多路输出式及复合式线性稳压器。复合式线性稳压器内含线性稳压器和开关稳压器,兼有线性稳压器稳压性能好、开关稳压器电源效率高的优点。

第二节 线性稳压器的的发展趋势

为适应电子技术的迅速发展,传统的集成线性稳压器也在不断更新。近年来,线性稳压器在与开关电源的竞争中。各类新产品以优异的性能相继问世,使古老的线性稳压器又重新焕发青春,并展现了良好的应用前景。下面仅从6个方面阐述线性稳压器的发展趋势。

1. 线性稳压电源的模块化

众所周知,采用集成工艺是无法将大容量的电容器和电感器、整流桥、电位器等集成到芯片内部的。因此,自行研制线性稳压电源时不仅要选用芯片,还必须设计IC与外围电路之间的引线,最后还要设计印制电路。这就给用户带来诸多不便。若选用电子模块,上述许多问题可迎刃而解。

电子模块(Electronic Block)亦称微电子功能组件,简称模块。它是采用微电子技术,把集成电路与微型电子元器件(如片状电阻、超小型电解电容器)组装成一体,用来完成某一特定功能的商品化部件。其结构特点是将全部元器件密集安装在印制板上,因此有人称之为“二次集成”。模块的外形大致分两种:一种是全密封式,不可拆卸;另一种为敞开式,用户需自己配外壳。

由电子模块构成的整机与传统的集成化整机相比,具有以下显著特点:①能大大简化电路设计,缩短新产品的研制周期;②工艺先进,能提高整机合格率与可靠性,一次上机合格率可达100%;③能减小体积与质量;④便于安装与维修;⑤采用全密封式模块还可防止伪造,维护厂家的权益。

电子模块这一产品形式最初由美国英特西尔(Intersil)公司于20世纪70年代推出。目前国内外许多半导体厂家竞相开发电源模块的系列化产品,其中包括普通线性稳压电源模块、精密线性稳压电源模块、智能线性稳压电源模块及专用线性稳压电源模块。随着表面安装器件(SMD)与表面安装技术(SMT)的发展,电子模块的体积将进一步缩小,性能指标则显著提高。

2. 低压差线性稳压器的推广

随着现代科技的进步,便携式电子产品正朝着高效节能、短小轻薄的发展方向。传统的集成线性稳压器的输入—输出压差较高,这就大大限制了它在低压供电领域中的应用。尽管开关稳压器的电源效率高,但其开关噪声大、输出纹波电压高,且容易产生电磁干扰,也难以满足高端射频收发装置(如手机)及视频装置(如DVD)的需要。

近年来问世的低压差线性稳压器,是集成线性稳压器的后起之秀,它一经问世便显示出强大的生命力,并以其低功耗、高效率、低噪声、高抗扰、体积小、重量轻等显著优点,深受人们的青睐。低压差线性稳压器简称LDO (Low Dropout Regulator),其输入—输出压差 U_I-U_O (即调整管的压降)远低于NPN型线性稳压器,因此能显著降低功耗,大大提高稳压电源的效率。

低压差线性稳压器有3种类型:由低饱和压降的PNP型晶体管作内部调整管的PNP型低压差线性稳压器(LDO);由PNP型驱动管和NPN型调整管构成的准低压差稳压器(Quasi Low Dropout Regulator,简称QLDO);由导通电阻非常低的功率场效应晶体管构成的超低压差线性稳压器(Very Low Dropout Linear Regulator,简称VLDO)。它们均属于高效率集成线性稳压器,特别适合采用电池供电的便携式电子产品,例如笔记本电脑、手机、MP3播放器、数码相机、数码摄录像机、数字视频光盘(DVD)、可视电话、全球定位系统(GPS)、机顶盒(STB)、便携式仪表、汽车电子设备等领域。

传统的串联调整式线性集成稳压器(例如7800系列三端稳压器),要求输入—输出压差不得低于2V,否则稳压器不能正常工作,这就大大限制了它在低压供电领域的应用。例如要将+5V电源变换成+3.3V电源时,输入—输出压差仅为1.7V,显然不能满足上述条件。

PNP型低压差线性稳压器采用PNP型功率管作调整管。其输入—输出压差的变化范围是100~700mV,满载时输入—输出压差的典型值小于500mV。准低压差集成稳压器的输入—输出压差介于NPN型线性稳压器和PNP型LDO二者之间,约为0.9~1.5V,典