

新型稳压电源精品丛书 3

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

低压差线性稳压器 应用技巧

沙占友 郭立炜 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

新型稳压电源精品丛书 3

低压差线性稳压器 应用技巧

沙占友 郭立炜 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 简 介

为实现低压差线性稳压器的优化设计,不仅需要掌握各种低压差线性稳压器的的工作原理、典型应用及扩展应用技术、外围关键元器件的选择、散热器及保护电路的设计,还需要积累丰富的实践经验。本书全面系统地阐述了低压差线性稳压器的的工作原理、典型应用、设计要点、设计方法、应用技巧及使用注意事项,并给出低压差线性稳压器应用电路 50 例及低压差线性稳压器设计与仿真软件的应用实例。这是国内第一部专门介绍低压差线性稳压器应用的专著。本书为“新型稳压电源精品丛书”之一,该丛书还包括《标准线性稳压器应用技巧》和《开关稳压器应用技巧》。

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

低压差线性稳压器应用技巧/沙占友,郭立炜著. —北京:
中国电力出版社, 2008

(新型稳压电源精品丛书)

ISBN 978-7-5083-7695-0

I. 低… II. ①沙…②郭… III. 压差—稳压器 IV. TM44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 104622 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 10.25 印张 284 千字

印数 0001---4000 册 定价 22.00 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|.....

随着现代科技的进步,便携式电子产品正朝着高效节能、短小轻薄的方向发展。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(EMI),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 and NPN型调整管构成的准低压差稳压器(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(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。

鉴于目前低压差线性稳压器正在国内外广泛应用,为了推广其应用技术,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”之一,该丛书还包括《标准线性稳压器应用技巧》和《开关稳压器应用技巧》。

本书是国内第一部专门介绍低压差、超低压差线性稳压器应用技巧的著作,主要有以下特点:

第一,在深入分析低压差、超低压差线性稳压器工作原理的基础上,重点阐述其典型应用、应用技巧、扩展应用及使用注意事项。可满足专业技术人员和初学者的不同需要。

第二，详细介绍低压差线性稳压器的电路设计要点、设计方法、散热器设计方法及设计实例，还精选了 50 个低压差线性稳压器的应用电路实例，最后深入阐述了低压差线性稳压器设计与仿真软件的应用实例，可帮助读者解决在设计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、先进性和很高的实用价值，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，图文并茂。

沙占友教授撰写了第一章、第四章、第五章、第七章和第八章。郭立炜教授撰写了第二章、第三章、第六章和第九章。

本书在撰写工作中得到了李学芝、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、李志清和郑国辉同志的帮助，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

2008 年 11 月

目 录

前言

第一章 低压差线性稳压器简介	1
第一节 低压差线性稳压器名词解释	1
第二节 低压差线性稳压器的主要特点及应用领域	7
一、低压差线性稳压器的主要特点	7
二、低压差线性稳压器与其他稳压器的性能比较	9
三、低压差线性稳压器的应用领域	11
第三节 低压差线性稳压器的基本原理	11
一、线性稳压器的基本类型	11
二、PNP 型低压差线性稳压器的基本原理	13
三、准低压差线性稳压器 (QLDO) 的基本原理	14
四、超低压差线性稳压器 (VLDO) 的基本原理	15
第四节 低压差线性稳压器的发展趋势	16
一、广泛采用新技术, 不断开发新产品	16
二、不断提高技术性能	17
三、进一步拓宽 LDO 的应用领域	19
第五节 低压差线性稳压器的产品分类	20
一、低压差线性稳压器的主要类型	20
二、低压差线性稳压器典型产品的分类	22
第六节 低压差线性稳压器的基本用法	23
第七节 选择低压差线性稳压器的方法	24
第八节 低压差线性稳压器使用注意事项	25
第二章 低压差线性稳压器应用技巧	28

第一节 准低压差线性稳压器应用技巧	28
一、准低压差线性稳压器的工作原理	28
二、准低压差线性稳压器的应用技巧	31
第二节 低压差线性稳压器应用技巧	36
一、低压差线性稳压器的工作原理	36
二、低压差线性稳压器的应用技巧	39
第三节 高压输入式低压差线性稳压器应用技巧	44
一、高压输入式 LDO 的工作原理	45
二、高压输入式 LDO 的应用技巧	47
第四节 大电流输出式低压差线性稳压器应用技巧	50
一、大电流输出式低压差线性稳压器的工作原理	50
二、大电流输出式低压差线性稳压器的应用技巧	54
第五节 双路输出式低压差线性稳压器应用技巧	56
一、双路输出式 LDO 的工作原理	56
二、双路输出式 LDO 的应用技巧	57
第六节 低压差线性稳压控制器应用技巧	59
一、低压差线性稳压控制器的工作原理	59
二、低压差线性稳压控制器的应用技巧	61
第七节 低压差线性稳压器的常见故障分析	64
一、低压差线性稳压器常见故障一览表	64
二、低压差线性稳压器常见故障分析	65
第三章 超低压差线性稳压器应用技巧	72
第一节 超低压差线性稳压器应用技巧	72
一、超低压差线性稳压器的工作原理	72
二、超低压差线性稳压器的应用技巧	76
三、计算超低压差稳压器功耗的方法	77
第二节 多功能式超低压差线性稳压器应用技巧	79
一、多功能式超低压差线性稳压器的工作原理	79
二、多功能式超低压差线性稳压器的应用技巧	85
第三节 高压输入式超低压差线性稳压器应用技巧	88

一、高压输入式超低压差线性稳压器的的工作原理	88
二、高压输入式超低压差线性稳压器的应用技巧	89
第四节 大电流输出式超低压差线性稳压器应用技巧	93
一、大电流输出式超低压差线性稳压器的的工作原理	93
二、大电流输出式超低压差线性稳压器的应用技巧	96
第五节 多路输出式超低压差线性稳压器应用技巧	99
一、多路输出式超低压差线性稳压器的的工作原理	99
二、多路输出式超低压差线性稳压器的应用技巧	104
第六节 超低压差线性稳压控制器应用技巧	106
一、超低压差线性稳压控制器的工作原理	106
二、超低压差线性稳压控制器的应用技巧	110

第四章 特种低压差线性稳压器应用技巧

第一节 一次性可编程超低压差线性稳压器	113
一、一次性可编程超低压差线性稳压器的的工作原理	113
二、一次性可编程超低压差线性稳压器的应用技巧	116
第二节 带串行接口的超低压差线性稳压器	117
一、带串行接口的超低压差线性稳压器工作原理	117
二、带串行接口的超低压差线性稳压器应用技巧	123
第三节 具有峰值电流输出能力的低压差线性稳压器	125
一、具有峰值输出能力的低压差线性稳压器工作原理	125
二、具有峰值输出能力的低压差线性稳压器应用技巧	127
第四节 具有排序与跟踪功能的低压差线性稳压器	130
一、具有排序与跟踪功能的低压差线性稳压器的 工作原理	130
二、具有排序与跟踪功能的低压差线性稳压器应用技巧	132
第五节 供 USB 系统使用的低压差线性稳压器	140
一、供 USB 系统使用的低压差线性稳压器工作原理	140
二、供 USB 系统使用的低压差线性稳压器应用技巧	141
第六节 供微处理器电源系统使用的低压差线性稳压器	144
一、供微处理器电源系统使用的低压差线性稳压器	

工作原理	144
二、供微处理器电源系统使用的低压差线性稳压器	
应用技巧	147
第七节 复合式低压差和超低压差线性稳压器	149
一、复合式低压差和超低压差线性稳压器的的工作原理	150
二、复合式低压差和超低压差线性稳压器的应用技巧	155
第八节 供可编程锂离子电池充电器使用的低压差线性稳压器	157
一、可编程锂离子电池充电器的工作原理	157
二、可编程锂离子电池充电器的应用技巧	159
第五章 低压差线性稳压器设计指南	162
第一节 低压差线性稳压器的设计要点	162
一、低压差线性稳压器电路设计要点	162
二、低压差线性稳压器封装形式的选择	165
三、低压差线性稳压器的布局与装配技术	165
第二节 低压差线性稳压器关键外围元器件的选择	169
一、输入电容器、输出电容器及旁路电容器的选择	169
二、外部功率 MOSFET 的选择	171
第三节 提高低压差线性稳压器输出电压精度的方法	172
一、影响 LDO 输出电压精度的主要因素	172
二、提高 LDO 输出电压精度的方法	175
第四节 降低浪涌电流及改善瞬态响应的方法	180
一、减小 LDO 浪涌电流的方法	180
二、改善 LDO 瞬态响应的方法	184
三、LDO 瞬态响应的测试方法	185
第五节 外部电流检测电阻的设计方法	187
一、利用漆包线制作电流检测电阻	187
二、利用 PCB 上的铜导线制作电流检测电阻	188
三、电流检测电阻的设计方法	190
第六节 可编程低压差线性稳压器的电路设计	192

一、数字电位器的基本工作原理	192
二、可编程低压差线性稳压器的电路设计	196
第六章 低压差线性稳压器的扩展应用	202
第一节 扩展低压差线性稳压器负载电流的方法	202
一、利用晶体管扩展负载电流的方法	202
二、利用场效应晶体管扩展负载电流的方法	205
第二节 提高低压差线性稳压器输入电压的方法	209
第三节 低压差线性稳压器的并联使用方法	210
第四节 能从零伏起调的低压差线性稳压器应用电路	212
一、可调式低压差线性稳压器的典型应用电路	212
二、能实现低压差线性稳压器从零伏起调的两种方法	213
第五节 用低压差线性稳压器构成恒流源的方法	215
一、由低压差线性稳压器构成的简易恒流源	215
二、由超低压差线性稳压控制器构成的恒流源	216
第七章 低压差线性稳压器的散热器设计	219
第一节 散热器的基本工作原理	219
第二节 平板式散热器的设计	221
一、平板式散热器的设计方法	221
二、印制板式散热器的设计方法	225
第三节 成品散热器的热参数计算	228
一、成品散热器的热参数	228
二、成品散热器的热参数计算	230
第四节 低压差线性稳压器的散热器设计实例	231
一、低压差线性稳压器的散热器设计实例	231
二、大电流输出式 LDO 的散热器设计方案	235
第五节 多片 LDO 并联使用散热器的设计实例	236
第八章 低压差线性稳压器应用电路 50 例	239

应用电路 1	由通用元器件构成输出电压低于 1V 的 低压差线性稳压器	239
应用电路 2	利用跳线器获得不同规格电源电压的方法	243
应用电路 3	双路输出式低压差线性稳压器之一	244
应用电路 4	双路输出式低压差线性稳压器之二	245
应用电路 5	双路输出式低压差线性稳压器之三	246
应用电路 6	双路输出式低压差线性稳压器之四	246
应用电路 7	双路输出式低压差线性稳压器之五	247
应用电路 8	双路输出式低压差线性稳压器之六	247
应用电路 9	三路输出式超低压差稳压器	248
应用电路 10	四路输出式低压差线性稳压器	249
应用电路 11	手机背光源驱动器及数码相机电源	250
应用电路 12	可编程低噪声超低压差线性稳压器	251
应用电路 13	低噪声可调式超低压差线性稳压器	253
应用电路 14	带电压跟踪器的超低压差线性稳压器	253
应用电路 15	具有过电压保护控制器的低压差线性稳压器	254
应用电路 16	NCP102 型低压差线性稳压控制器	255
应用电路 17	带短路保护的扩流式超低压差线性稳压器	256
应用电路 18	可实现超低压差线性稳压器延迟启动的电路	257
应用电路 19	用并联电容器法降低等效串联电阻 ESR	258
应用电路 20	慢启动低压差线性稳压器	259
应用电路 21	简易数控低压差线性稳压器	259
应用电路 22	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的 应用之一	260
应用电路 23	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的 应用之二	261
应用电路 24	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的 应用之三	262
应用电路 25	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的 应用之四	263
应用电路 26	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的	

	应用之五	263
应用电路 27	低压差线性稳压器在微处理器电源系统中的 应用之六	264
应用电路 28	由低压差线性稳压器构成的锂离子电池 充电器	266
应用电路 29	带输出禁止端的低压差线性稳压器	266
应用电路 30	数码相机或摄像机的闪烁指示灯电路	267
应用电路 31	4~20mA 电流环开路检测器电路	268
应用电路 32	能实现对微处理器电压跟踪的低压差 线性稳压器	269
应用电路 33	+3.3V/5V 输出电压可选择的低压 差线性稳压器	269
应用电路 34	低压差线性稳压器保护二极管的接法	270
应用电路 35	减小低压差线性稳压器引线电阻影响的 方法	271
应用电路 36	可分别用正电压、负电压控制通断的低压差线 性稳压器	272
应用电路 37	专供 USB 外围设备使用的超低压差 线性稳压器	272
应用电路 38	带使能和软启动功能的快速响应超低压 差线性稳压器	273
应用电路 39	大电流低压差线性稳压器应用电路之一	274
应用电路 40	大电流低压差线性稳压器应用电路之二	275
应用电路 41	大电流低压差线性稳压器应用电路之三	276
应用电路 42	大电流低压差线性稳压器应用电路之四	277
应用电路 43	大电流低压差线性稳压器应用电路之五	278
应用电路 44	具有外部关断保护功能的+5V 低压 差稳压器	278
应用电路 45	利用扩流方法大幅度提高 LDO 的输出能力 ...	279
应用电路 46	能使 LDO 进入休眠模式的电路	280
应用电路 47	减小多个低压差线性稳压器互相干扰的	

方法	281
应用电路 48 在休眠模式下可自动降低输出电压的低压差 线性稳压器	282
应用电路 49 由低压差线性稳压器构成的精密恒流源	283
应用电路 50 由低压差线性稳压器构成的 PCI 网卡电源	283
第九章 低压差线性稳压器设计与仿真软件的应用	285
第一节 LDO-It 设计软件简介	285
一、LDO-It 设计软件的工具栏	285
二、LDO-It 设计软件的使用方法	287
第二节 低压差线性稳压器设计实例	293
第三节 SwitcherCAD III 仿真软件简介	297
一、SwitcherCAD III 的主菜单和工具栏	297
二、SwitcherCAD III 仿真软件的主要功能	299
第四节 低压差线性稳压器仿真实例	301
一、利用 SwCAD III 对 LDO 进行仿真的实例	301
二、利用 PSpice 对 LDO 进行仿真的实例	306
三、两种仿真软件比较	312
参考文献	313

低压差线性稳压器简介

本章首先介绍集成化的低压差线性稳压器名词解释、主要特点及应用领域,然后重点阐述低压差线性稳压器的基本原理和发展趋势,最后分别介绍其产品分类、基本用法、选择方法和使用注意事项。

第一节 低压差线性稳压器名词解释

线性稳压器 (Linear Voltage Regulator, 简称 Linear Regulator): 线性稳压器因其内部调整管工作在线性工作区而得名。线性稳压器的输出电流与输入电流基本相等。其优点是稳压性能好,输出纹波电压小,电路简单,成本低廉。主要缺点是调整管的压降较大,功耗高,稳压电源的效率低,一般仅为 35%~45%。

从电路原理上划分,线性稳压器分串联调整式、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 1-1-1

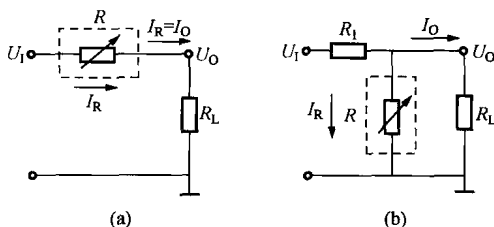


图 1-1-1 两种线性稳压器的等效电路

(a) 串联调整式; (b) 并联调整式

中, R 代表调整管的等效电阻, R_L 为负载电阻, R_1 为限流电阻。 U_1 为输入电压, I_R 为调整管电流。 U_O 、 I_O 分别为输出电压和输出电

流。并联调整式稳压器的输出电压稳定度很高，但输出电流很小，一般只做基准电压源使用。

标准 NPN 型线性稳压器 (Standard NPN Linear Regulator)：即普通线性稳压器，因其调整管采用 NPN 型达林顿管而得名，亦称 NPN 型线性稳压器 (NPN Linear Regulator)。

开关式稳压器 (Switching Voltage Regulator, 简称 Switching Regulator)：开关稳压器内部的开/关控制器及功率开关管工作在高频开关状态，本身消耗的能量很低，电源效率可达 80%~90%，比普通线性稳压电源提高近一倍。开关电源集成电路主要包括以下 4 种：脉冲宽度调制 (简称脉宽调制, PWM) 器、脉冲频率调制 (简称脉频调制, PFM) 器、开关稳压器、单片开关电源。

低压差线性稳压器 (Low Dropout Voltage Linear Regulator, 或 Low Dropout Regulator, 简称 LDO 或 LDO 稳压器)：LDO 有两种含义，一种是专指 PNP 型低压差线性稳压器，另一种为 PNP 型低压差线性稳压器、准低压差线性稳压器和超低压差线性稳压器的统称。

PNP 型低压差线性稳压器 (PNP LDO)：PNP 型低压差线性稳压器亦称双极型 (指内部存在电荷极性相反的两种载流子——电子与空穴) 低压差线性稳压器，它是在 20 世纪 80 年代问世的，它采用低饱和压降的 PNP 型晶体管作为内部调整管，故称之为 PNP 型低压差线性稳压器或 PNP 型 LDO。其输入—输出压差约为 500mV。电源效率明显高于 NPN 型线性稳压器。

准低压差线性稳压器 (Quasi Low Dropout Linear Regulator, 简称 QLDO)：准低压差线性稳压器是在 20 世纪末问世的，其输入—输出压差介于 NPN 型线性稳压器和 LDO 稳压器之间，约为 1.2V。

超低压差线性稳压器 (Very Low Dropout Linear Regulator, 简称 VLDO)：超低压差线性稳压器是 21 世纪初在 LDO 的基础上发展起来的新型线性集成稳压器。它采用导通电阻非常低的 P 沟道功率场效应管 (PMOS FET) 或 N 沟道功率场效应管 (NMOS FET) 来代替 PNP 型功率管作为调整管，其输入—输出压差可低至 45~150mV。

可编程超低压差线性稳压器 (Programmable VLDO)：由微处理

器控制的可编程超低压差线性稳压器是奥地利微电子有限公司 (Austria microsystems) 研制成功的, 典型产品为 AS135 型单片可编程 4 路输出 CMOS 超低压差线性稳压器。用户能以 100mV 为步长, 在 1.8~3.3V 的范围内分别设置每路输出电压值, 最大输出电流均为 200mA。

压差 (Dropout Voltage, 简称 Dropout): 线性稳压器的压差表示输入与输出之间的电压差值 $\Delta U = U_I - U_O$, 压差示意图如图 1-1-2 (a) 所示。当输入电压下降到一定程度时输出电压将不再维持恒定。NPN 型线性稳压器的输入—输出之间的最小压差约为 2V。若低于此值, NPN 型线性稳压器就无法正常工作。而低压差和超低压差线性稳压器的输入—输出压差仅为几百毫伏至几十毫伏。

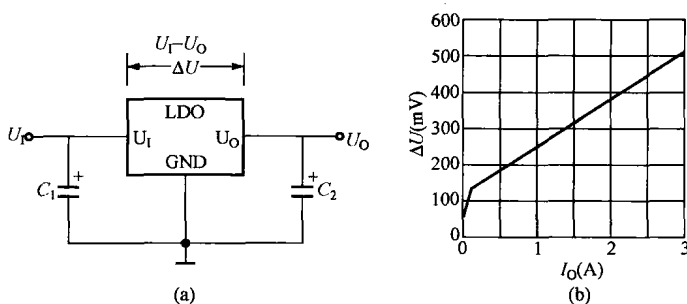


图 1-1-2 线性稳压器的压差

(a) 压差示意图; (b) LDO 典型产品的 $\Delta U-I_O$ 特性曲线

需要指出, LDO 的压差并非固定值, 而是随输出电流 (I_O) 的增大而增大, 并且与输出电压、工作温度等因素有关。

电压调整率 (Voltage Regulation 或 Line Regulation): 电压调整率 (S_V) 亦称线性调整率, 一般用百分数表示, 但也有的用 mV 来表示。它表示当输入电压在规定范围内变化时, 输出电压的变化率。测量电压调整率的方法是给 LDO 加上额定负载, 首先测出在标称输入电压时的输出电压值 U_O , 然后连续调节输入电压, 使之从规定的最小值一直变化到最大值, 记下输出电压与标称值的最大偏差 ΔU_O (可取绝对值), 最后代入下式计算电压调整率

$$S_V = \frac{\Delta U_O}{U_O} \times 100\% \quad (1-1-1)$$

负载调整率 (Load Regulation): 负载调整率 (S_I) 亦称电流调整率, 一般用百分数表示, 但也可用 mV 表示。它是衡量 LDO 在负载电流发生变化时, 输出电压保持恒定的一种能力。测量负载调整率的方法是将输入电压调至标称值, 分别测出 LDO 在满载与空载时的输出电压值 U_1 、 U_2 , 再代入下式计算负载调整率

$$S_I = \frac{U_2 - U_1}{U_O} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

输出电压精度 (Output Voltage Accuracy): 输出电压的精度亦称准确度, 它主要受 LDO 的电压调整率、负载调整率、内部基准电压的温度漂移量 (简称温漂)、误差放大器的温漂、取样电阻的精度及温度系数的影响。由于基准电压和误差放大器对温度的变化比较敏感, 因此温度对 LDO 输出电压的影响最大, 其次是取样电阻的精度。电压调整率、负载调整率和增益误差对精度的影响只有 1%~3%。

静态电流 (Quiescent Current): 静态电流 I_Q 是指 LDO 内部流向地的总电流, 如图 1-1-3 所示。LDO 的静态电流等于输入电流 I_I 与输出电流 I_O 的差值, 它也等于空载时的芯片电流。静态电流包括

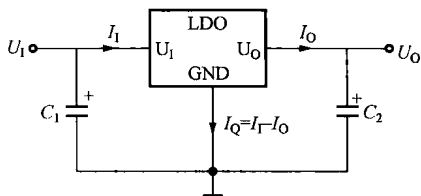


图 1-1-3 LDO 的静态电流

基准电压源、取样电阻和误差放大器所消耗的电流、调整管的偏置电流等。需要注意的是静态电流不是一个固定值。它受 LDO 的内部结构、环境温度变化等因素的影响。由双极型晶体管构成的

的调整管属于电流控制器件, 其静态电流随负载电流的增大而成比例地增加; 另外在非调整区域, 受发射极和基极寄生电流的影响, 静态电流也会增加。MOS 管属于电压控制器件, 其静态电流几乎不随负载而变化, 近似为一恒定值。减小静态电流有助于提高 LDO 的效率。为减小静态电流, 推荐采用以 MOS 管作为调整管的 VLDO。

待机电流: 待机电流是指 LDO 被关断时所消耗的电流。此时