

## 第 10 章 单片开关电源外围电路中关键元器件的选择

在研制开关电源时,不仅要设计好电路,还必须能正确选择元器件。单片开关电源的元器件大致可分成四大类。第一类为单片开关电源集成电路,这是其核心器件,选择方法详见 8.5 节。第二类是通用元器件,包括电阻、电容、整流桥或硅整流管、稳压管。第三类是特种半导体器件,主要有 TL431 型可调式精密并联稳压器、电磁干扰滤波器、瞬态电压抑制器(TVS)、超快恢复二极管(SRD)、肖特基二极管(SBD)、光耦合器(简称光耦)、熔断电阻器、自恢复保险丝(亦称聚合物开关)、负温度系数热敏电阻器(NTC)。第四类为磁性材料,如高频变压器使用的铁氧体磁芯、绕制高频变压器用的电磁线(包括漆包线、三重绝缘线)、输出电路中的滤波电感(磁珠)。

本章从应用的角度出发,全面系统地介绍单片开关电源外围电路中的关键元器件,内容包括各种元器件的产品分类,主要参数,基本原理,选择方法,典型应用及使用注意事项。

### 10.1 TL431 型可调式精密并联稳压器

TL431 是由美国德州仪器公司(TI)和摩托罗拉公司(Motorola)生产的 2.50~36V 可调精密并联稳压器。它属于一种具有电流输出能力的可调基准电压源。其性能优良,价格低廉,可广泛用于单片精密开关电源或精密线性稳压电源中。此外,TL431 还能构成电压比较器、电源电压监视器、延时电路、精密恒流源等。目前在单片精密开关电源中,普遍用它来构成外部误差放大器,再与光耦合器组成隔离式反馈电路。

TL431 的同类产品还有低压可调式精密并联稳压器 TLV431A,后者能输出 1.24~6V 的基准电压。

#### 10.1.1 TL431 的性能特点

(1) TL431 系列产品包括 TL431C、TL431AC、TL431I、TL431AI、TL431M、TL431Y,共 6 种型号。它们的内部电路完全相同,仅个别技术指标略有差异。例如,TL431C 和 TL431AC 的工作温度范围是 0~70℃,而 TL431I 为 -40~85℃,TL431M 为 -55~125℃。

(2) 它属于三端可调式器件,利用两只外部电阻可设定 2.50~36V 范围内的任何基准电压值。TL431 的电压温度系数  $\alpha_T = 30 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

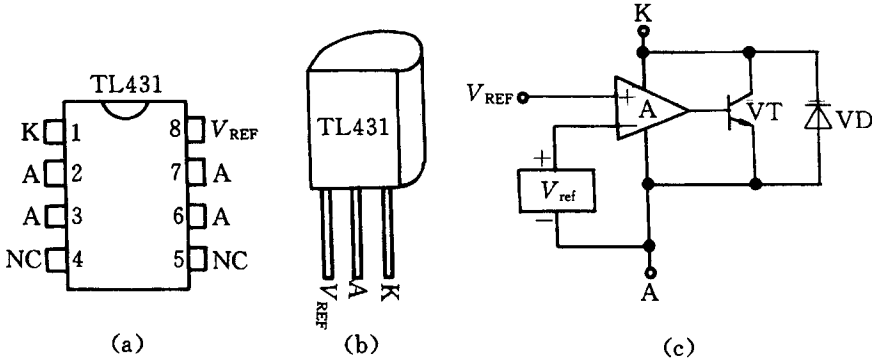
(3) 动态阻抗低,典型值为 0.2Ω。

(4) 输出噪声低。

(5) 阴极工作电压  $V_{KA}$  的允许范围是 2.50~36V,极限值为 37V。阴极工作电流  $I_{KA} = 1 \sim 100\text{mA}$ ,极限值为 150mA。其额定功率值与器件的封装形式和环境温度有关。以采用双列直插式塑料封装的 TL431CP 为例,当环境温度  $T_A = 25^\circ\text{C}$  时,其额定功率为 1W;  $T_A > 25^\circ\text{C}$  时则按 8.0mW/℃ 的规律递减。

## 10.1.2 TL431 的工作原理

TL431 大多采用 DIP-8 或 TO-92 封装形式,管脚排列分别如图 10.1.1(a)、(b)所示。图中, A(ANODE)为阳极,使用时需接地。K(CATHODE)<sup>①</sup>为阴极,需经限流电阻后接正电源。 $V_{REF}$ 是输出电压的设定端,外接电阻分压器。NC 为空脚。TL431 的等效电路见(c)图,主要包括 4 部分:①误差放大器 A,其同相输入端接从电阻分压器上得到的取样电压,反相输入端则接内部 2.50V 基准电压  $V_{ref}$ ,并且设计的  $V_{REF}=V_{ref}$ , $V_{REF}$ 端常态下应为 2.50V,因此亦称基准端;②内部 2.50V(准确值为 2.495V)基准电压源  $V_{ref}$ ;③NPN 型晶体管 VT,它在电路中起到调节负载电流的作用;④保护二极管 VD,可防止因 K-A 间电源极性接反了而损坏芯片。

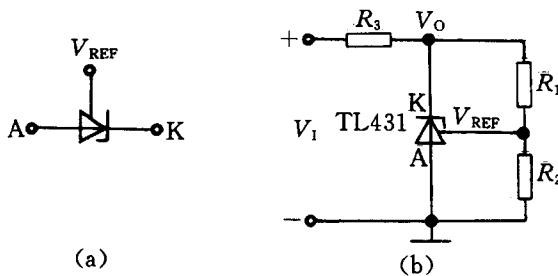


(a) DIP-8 封装; (b) TO-92 封装; (c) 等效电路

图 10.1.1 TL431 的管脚排列及等效电路

TL431 的电路符号和基本接线如图 10.1.2 所示。它相当于一只可调式齐纳稳压管,输出电压由外部精密电阻  $R_1$  和  $R_2$  来设定,有公式

$$V_O = V_{KA} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{REF} \quad (10.1.1)$$



(a) 电路符号; (b) 基本接线

图 10.1.2 TL431 的符号与基本接线

$R_3$  是  $I_{KA}$  的限流电阻。选取  $R_3$  值的原则是,当输入电压为  $V_1$  时必须保证  $I_{KA}$  在 1~100mA 范围内,以便 TL431 能正常工作。

TL431 的稳压原理可分析如下:当由于某种原因致使  $V_O \uparrow$  时,取样电压  $V_{REF}$  也随之升高,使  $V_{REF} > V_{ref}$ ,误差放大器输出电压升高,致使 VT 的输出电压降低,即  $V_O \downarrow$ 。反之, $V_O \downarrow \rightarrow$

<sup>①</sup> 国内习惯上用 K 表示阴极。

$V_{REF} \downarrow \rightarrow V_{REF} < V_{ref} \rightarrow$  误差放大器输出电压降低  $\rightarrow$  VT 的输出电压升高  $\rightarrow V_O \uparrow$ 。最终使  $V_O$  趋于稳定, 达到了稳压目的, 此时  $V_{REF} = V_{ref}$ 。在阐述单片精密开关电源电路时, 本书用  $V_K$  表示 TL431 的输出电压, 以免同开关电源输出电压 ( $V_O$ ) 相混淆。

下面介绍 TL431 的两个重要参数。

### 1. 基准电压的平均温度系数 $\alpha_T$

$\alpha_T$  的定义式如下:

$$\alpha_T = \frac{\Delta V_{REF}}{V_{REF} \cdot \Delta T_A} \quad (10.1.2)$$

式中,  $\Delta V_{REF}$  代表基准电压在允许温度范围内的变化量,  $\Delta T_A$  表示器件在自然通风条件下的允许环境温度变化范围。举例说明, TL431C 在 25°C 时  $V_{REF}$  (即  $V_{ref}$ , 下同) 的典型值为 2.495V, 而在 30°C 时为 2.496V (最大值), 0°C 时变成 2.492V (最小值), 在  $\Delta T_A = 70^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$  的范围内

$$\alpha_T = \frac{2.496 - 2.492}{2.495 \times 70} = 23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

略低于典型值 ( $30 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ )。

### 2. 动态阻抗 Z

TL431 的动态阻抗依下式而定:

$$Z = \frac{\Delta V_{KA}}{\Delta I_{KA}} \quad (10.1.3)$$

其典型值仅为  $0.2\Omega$ , 最大一般也不超过  $0.5\Omega$ 。当  $\Delta V_{KA} = 5\text{mV}$ 、 $\Delta I_{KA} = 20\text{mA}$  时, 由式 (10.1.3) 不难算出  $Z = 0.25\Omega$ 。当  $V_{REF}$  端外接电阻分压器后, 电路的动态阻抗就变成

$$Z' = \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot \frac{\Delta V_{KA}}{\Delta I_{KA}} \quad (10.1.4)$$

显然,  $Z' > Z$ 。特别, 当  $R_1 = R_2$  时,  $Z' = 2Z \approx 0.4\Omega$ 。

## 10.1.3 TL431 的应用技巧

TL431 在单片开关电源中的典型应用详见第二章和第六章。下面再介绍几种特殊应用。

### 1. 三端固定式稳压器实现可调输出的电路

将 7800 系列三端固定式集成稳压器配上 TL431, 即可实现可调电压输出, 电路如图 10.1.3 所示。现将 TL431 接在 7805 型三端稳压器的公共端 (GND) 与地之间, 通过调节  $R_1$  来改变输出电压值, 此时仍用式 (10.1.1) 计算  $V_O$  值。需要说明两点: 第一, 因 7805 的静态工作电流  $I_d$  为几至十几毫安, 并且是从 GND 端输出, 恰好可为 TL431 提供合适的阴极电流  $I_{KA}$ , 故  $V_1$  与 TL431 的阴极之间无须再接限流电阻; 第二, TL431 能提升 7805 的 GND 端电位, 使  $V_{GND} = V_{KA}$ , 因此该稳压器的最低输出电压  $V_{Omin} = V_{REF} + 5\text{V} = 7.5\text{V}$ 。最高输入电压  $V_{Imax} = 37.5\text{V}$ , 7805 的最高输入电压为 35V, 其余 2.5V 压降由 TL431 承担。

### 2. 5V、1.5A 精密稳压器

TL431 亦可配 LM317 型三端可调式集成稳压器, 构成如图 10.1.4 所示的 5V、1.5A 固定输出式精密稳压器。TL431 接在 LM317 的调整端 (ADJ) 与地之间。  $R_1$  和  $R_2$  均采用误差为  $\pm 0.1\%$  的精密金属膜电阻。鉴于 LM317 本身的静态工作电流  $I_d = I_{ADJ} = 50\mu\text{A} \ll 1\text{mA}$ , 无法给 TL431 提供正常的阴极电流, 因此在电路中需增加  $R_3$ 。输出端的稳定电压  $V_O$  经过  $R_3$  向

TL431 供给的阴极电流  $I_{KA}$  应大于 1mA, 才能保证芯片正常工作。当  $R_3 = 240\Omega$  时,  $I_{KA} \approx 10\text{mA}$ 。

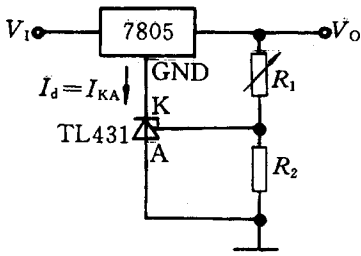


图 10.1.3 三端固定式稳压器实现可调输出的电路

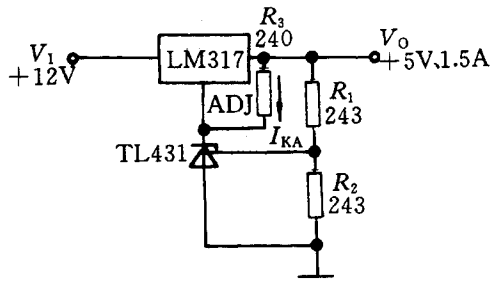


图 10.1.4 5V、1.5A 精密稳压器的电路

### 3. 大电流并联稳压器

前面介绍的均为 TL431 在串联式线性稳压器中的应用。若将 TL431 配以 PNP 型功率管, 还可构成大电流并联式稳压器, 电路如图 10.1.5 所示。调整  $R_1$  就能改变  $V_O$  值。

### 4. 简易 5V 精密稳压器

由 TL431 和 NPN 型功率管构成 5V 串联式精密稳压器电路, 如图 10.1.6 所示。

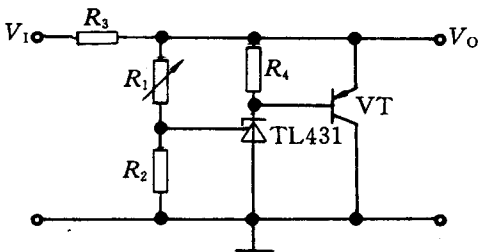


图 10.1.5 大电流并联稳压器电路

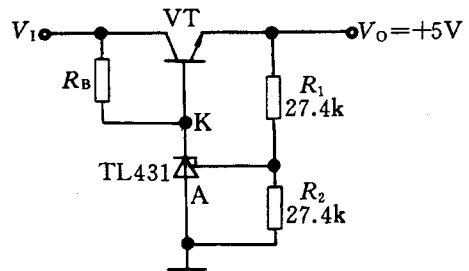


图 10.1.6 简易 5V 精密稳压器电路

### 5. 电压监视器

由两片 TL431 ( $IC_1$ 、 $IC_2$ ) 所构成的电压监视器电路如图 10.1.7 所示。现利用发光二极管 LED 作为电源电压正常状态的指示灯。电压上限 ( $V_H$ ) 和电压下限 ( $V_L$ ) 分别由下式确定:

$$V_H = \left( 1 + \frac{R_{1A}}{R_{2A}} \right) \cdot V_{REF} \quad (10.1.5)$$

$$V_L = \left( 1 + \frac{R_{1B}}{R_{2B}} \right) \cdot V_{REF} \quad (10.1.6)$$

$R_3$  为 LED 的限流电阻。 $R_4$  的阻值应使  $IC_2$  的阴极电流大于 1mA。 $IC_1$  和  $IC_2$  可等效于两只并联式开关。仅当电源电压正常, 即  $V_H > V_i > V_L$  时, LED 发光, 表示被监视电压  $V_i$  符合规定。一旦  $V_i > V_H$ , 出现过压时,  $IC_1$  就导通,  $V_{K1} \downarrow$ , 使得  $IC_2$  截止,  $V_{K2} \uparrow$ , LED 就因负极接高电位而停止发光。倘若  $V_i < V_L$ , 发生欠压故障,  $IC_1$  和  $IC_2$  就同时截止, 仍使 LED 熄灭。

### 6. TL431 的其他应用

由 TL431 构成的延时指示器电路如图 10.1.8 所示。该电路的延迟时间由下式确定:

$$t = R_1 C \ln \left( \frac{E}{E - V_{REF}} \right) \quad (10.1.7)$$

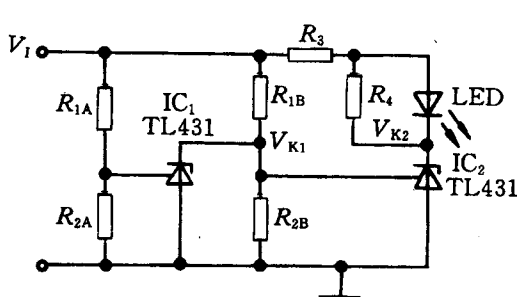


图 10.1.7 电压监视器电路

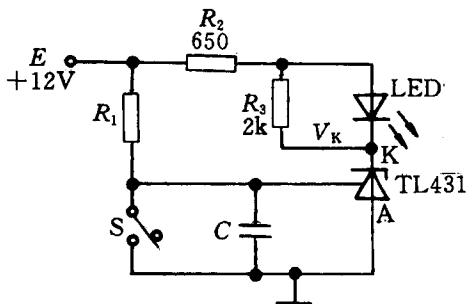


图 10.1.8 延时指示器电路

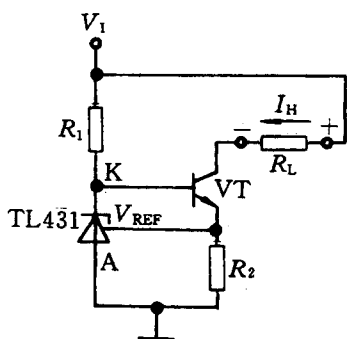


图 10.1.9 精密恒流源电路

$R_1$  为定时电阻,  $C$  是定时电容。当开关  $S$  断开时, 电源  $E$  就经过  $R_1$  对  $C$  进行充电, 但此时  $V_C < 2.50V$ , 故  $V_K$  呈高电位, 使 LED 不发光。随着  $V_C$  不断升高, 一旦达到  $2.50V$ ,  $V_K$  就变成低电位, 令 LED 发光。因此, LED 的熄灭时间就代表电路的延迟时间。例如, 当  $E = 12V$ 、 $R_1 = 1M\Omega$ 、 $C = 0.1\mu F$ , 代入式 (10.1.7) 计算出  $t = 23ms$ 。若将  $S$  闭合, 电容  $C$  就迅速放电, 并为下次延时做好准备。

TL431 还能构成精密恒流源, 电路如图 10.1.9 所示,  $R_L$  是负载, 恒定电流由下式确定:

$$I_H = \frac{V_{REF}}{R_2} \quad (10.1.8)$$

#### 10.1.4 TL431 的检测方法

利用万用表可以检测 TL431 的质量好坏。因为它等效于可调稳压二极管, 因此在 K-A 之间应呈现出单向导电性。选择 500 型万用表的  $R \times 1k$  挡实测 5 只 TL431C 各管脚之间的电阻值, 测量数据见表 10.1, 可供参考。

表 10.1 TL431C 各管脚之间的电阻值

| 黑表笔位置     | 红表笔位置     | 正常电阻值(kΩ) | 说明     |
|-----------|-----------|-----------|--------|
| K         | A         | $\infty$  | 呈单向导电性 |
| A         | K         | 5~5.1     |        |
| $V_{REF}$ | K         | 7.5~7.6   |        |
| K         | $V_{REF}$ | $\infty$  |        |
| $V_{REF}$ | A         | 26~29     |        |
| A         | $V_{REF}$ | 34~36     |        |