

集成开关稳压电源设计

姚富安

摘要 本文介绍了单片开关集成稳压器TL497的工作原理及特点,给出了利用TL497设计各种直流开关稳压电源的具体方法。

关键词 开关电源 脉冲频率调制(PFM) 储能电感 续流二极管

随着大规模集成电路制作技术的发展,电子仪器及设备正向着小型化、轻量化方向发展。作为电子仪器及设备的直流稳压电源也正面临着一场革命,体积小、重量轻、高效节能的开关电源将逐渐代替传统的线性稳压电源。尤其在计算机、广播通信、航空航天、遥测遥感等应用科学领域中,开关电源有着线性电源无可比拟的优点。目前各种开关电源专用集成控制芯片及单片集成开关稳压器已被广泛应用,本文主要讨论美国德州仪器公司生产的单片开关稳压器TL497的工作原理和使用方法。TL497使用非常简单,只需外加少量的外围元件,便可构成性能非常完善的开关稳压电源。

1 单片开关集成稳压器TL497的工作原理

TL497的内部结构如图1虚线内框图所示。主要包括1.2V高精度基准电源、脉冲产生器、高增益误差放大器、过流保护电路、功率开关调整管及续流二极管D等元件。

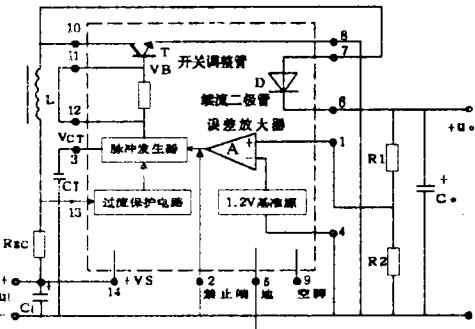


图1

图1中脉冲发生器的功能与单稳态触发器的基本功能相似。当误差放大器的同相端电位高于其反相端电位时,脉冲发生器不工作,且无脉冲输出,功率开关调整管T处于截止状态;一旦同相端电位低于反相端电位,脉冲发生器开始工作,且输出一驱动开关调整管的矩形波信号,其频率的大小取决于外接定时电容C_T的容量,输出矩形波高电平时间等于C_T的充电时间t_c,输出矩形波低电平时间等于C_T的放电时间t_d。定时电容C_T的放电时间等于六分之一充电时间。脉冲发生器输出矩形波频率(即开关频率)、输出矩形波高电平时间t_{on}=t_c与外接定时电容C_T的关系如表1所示。

C _T (PF)	50	100	150	200	250	350	400	500	750	1000	1500	2000
t _{on} =t _c (US)	5.5	11	15	19	22	28	32	44	56	80	120	180
f(KHZ)	143	77	57	50	40	28.6	25	20	13	10	6.6	5

另外,脉冲发生器还将受过流保护电路的影响。图1中电阻R_{SC}用于检测输入回路电流大小,电流正常时,过流保护电路对脉冲发生器无任何影响;当电流过大时,R_{SC}两端压降增大,当R_{SC}两端电压等于0.6V时,过流保护电路将使流过外接定时电容C_T的电流骤然增大,使C_T的充电时间t_c变短,即功率开关调整管的导通时间变短,限制了输出功率的

大小。另外,TL497还有一禁止端,当在此端施加一高电平时,脉冲发生器无开关脉冲输出,利用该端可实现慢启动功能。

综上所述,由TL497组成图1所示的“升压”式开关电源在启动、稳定及过流情况的工作过程可用图2所示的波形来描述。在电源刚开始工作时,由于输出电压还没有达到设定的稳压值V_{ON},经采

样网络 R_1 、 R_2 取样使误差放大器的同相端电位低

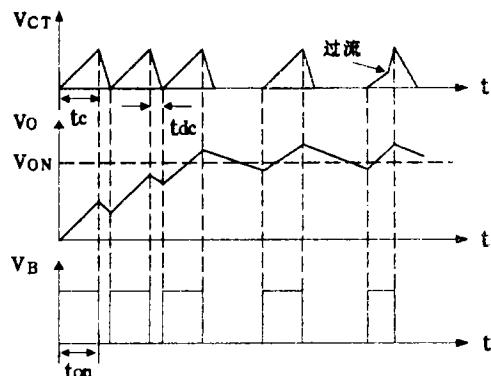


图 2

表2: TL497的极限参数

项目	输入电压	输出电压	误差放大器输入电压	禁 止 端输入电压	续流二极管反偏电压	开关管最大电流	续流二极管电流	功耗
数值	15V	35V	5V	5V	35V	750mA	750mA	1000mW

表3: TL497的工作特性

项目 \ 电源类型	降压式	升压式	反相式
输出电压 U_i	U_{imax}	12V	12V
	U_{imin}	4.5V	4.5V
输出电压 U_o	U_{omax}	U_{i-1}	-30V
	U_{omin}	1.2V	U_{i+2}
输出电流 I_o	I_{omax}	0.5A	0.5A
	I_{omin}	—	—

3 集成开关稳压电源设计原则

由于TL497把开关调整管及续流二极管均制作在芯片内部,故利用TL497可以非常方便地设计出“降压式”、“升压式”和“反相式”小功率开关稳压电源。其设计方法及原则如下。

3.1 确定定时电容 C_T

定时电容 C_T 决定着开关电源的工作频率。若 C_T 选的太小,开关电源的体积会变小,但会造成开关电源的稳定性变差和效率下降;若 C_T 过大,则开关电源的体积、重量增加。故一般取 $f=50\text{KHZ}$ 左右。从表1知, $C_T \approx 200\text{PF}$, $t_{on} = 19\mu\text{s}$ 。

3.2 确定储能电感

于反相端的基准电位,故开关调整管T工作在最大开关频率下。大约经过(3~4)个周期后,输出电压达到设定的稳压值 V_{on} ,这时开关调整管的工作频率将取决于负载的变化。若负载电流 I_o 增大,输出电压从峰值下降到设定的值所需的时间变短,开关调整管处于截止的时间变短;反之开关调整管截止时间变长,而开关管导通时间在 C_T 一定时是不变的。显然,TL497是以脉冲频率调制方式工作的。

2 TL497主要参数

利用TL497组成开关电源时,首先要了解TL497的参数和特性。表2所示的是TL497的极限参数。表3所示的是TL497组成各种结构形式的开关电源时的工作特性。

储能电感在开关电源中有着重要的地位。若储能电感量过大,会使开关电感的体积、重量增加,动态性能指标变差,若储能电感过小,则流过储能电感的电流会出现断续现象,将造成开关电源的输出电阻变大,调整率变差及纹波电压增大。故一般要求开关电源在额定负载下,流过储能电感的电流处于临界状态。即对于“降压式”开关电源,流过储能电感的电流峰值 I_{LP} 等于两倍的额定负载电流 I_o 。

$$I_{LP} = 2I_o = 2 \times 0.5 = 1(\text{A})$$

而对于“升压式”和“反相式”开关电源,流过储能电感的电流峰值 I_{LP} 等于开关调整管的额定电流。

$$I_{LP} = I_{CM} = 0.5(\text{A})$$

故储能电感的计算公式为:

$$L = \frac{U_i - U_o}{I_{LP}} \cdot t_{on} = \frac{U_i - U_o}{2I_o} \cdot t_{on} \quad (\text{降压式})$$

$$L = \frac{U_i}{I_{LP}} \cdot t_{on} \quad (\text{升压式和反相式})$$

3.3 确定储能电感释放能量时间 t_e

储能电感释放能量所需的时间等于流过储能电感中的电流从最大值下降到零所需要的时间。视开关电源结构不同而不同,即:

$$t_e = \frac{I_{LP}}{U_o} \cdot L = \frac{2I_o}{U_o} \cdot L \quad (\text{降压式})$$

$$t_e = \frac{I_{LP}}{U_o - U_i} \cdot L \quad (\text{升压式})$$

$$t_e = \frac{I_{LP}}{U_o} \cdot L \quad (\text{反相式})$$

3.4 确定输出滤波电容器C_o

输出滤波电容C_o的大小主要根据纹波电压ΔV_{pp}的大小进行计算。其计算公式为：

$$C_o > \frac{U_o \cdot t_e}{8L \cdot f_o \cdot \Delta V_{pp}} \quad (\text{降压式})$$

$$C_o > \frac{1}{\Delta V_{pp}} \left(\frac{U_o - U_i}{2L} \cdot \left(\frac{U_i}{f_o \cdot t_e} \right)^2 - I_o \cdot \frac{U_i}{f_o \cdot U_o} \right) \quad (\text{升压式})$$

$$C_o > \frac{U_o}{2L \cdot \Delta V_{pp}} \cdot t_e^2 \cdot (1 - f_o \cdot t_e) \quad (\text{反相式})$$

其中： $f_o = \frac{1}{t_m + t_e}$

3.5 确定采样电阻R₁、R₂及过流检测电阻R_{SC}

在图1所示电路输出电压的基本关系式为：

$$U_o = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 1.2 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \text{ (V)}$$

为了保证开关电源得到最佳的工作性能，R₁、R₂的选择原则是：

$$R_1 = (U_o - 1.2) \text{ K}\Omega \quad R_2 = 1.2 \text{ K}\Omega$$

过流检测电阻R_{SC}为：

$$R_{SC} = \frac{0.6}{I_{max}} \text{ (\Omega)}$$

另外为了防止开关电源自激振荡，一般需在TL497的1脚对地接入5000PF的补偿电容。

4 设计实例

根据上述设计原则及步骤，由TL497组成的基本工作方式的小功率开关电源如图3所示，其基本参数已给出。具体设计步骤不再重复。

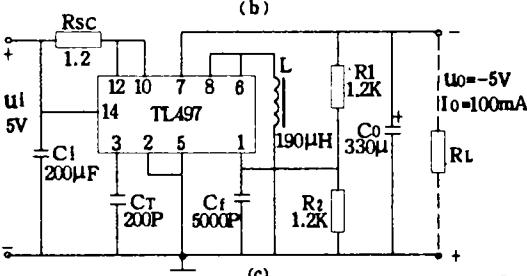
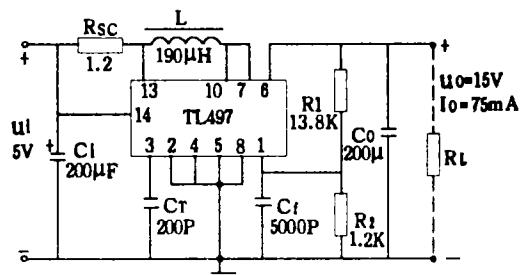
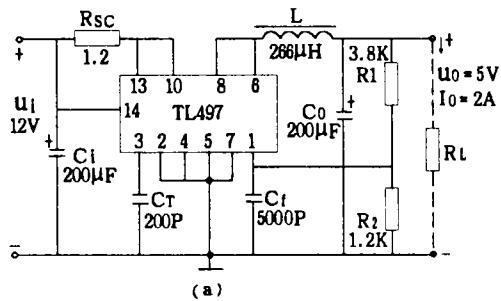


图3

参考文献

- 1 Linear/Switch Mode Voltage Regulator Handbook, TEXAS INSTRUMENTS
- 2 叶治东等著，《开关稳压电源》，高等教育出版社，1989
（上接33页）

脉宽调制逆变器的输出波形如图4。

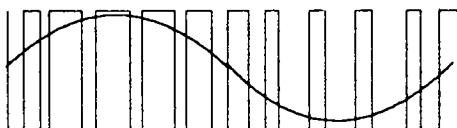


图4 脉宽调制电压波形

图中虚线表示输出波形中的基波分量。由图4可以看出，采用脉宽调制，可增加基波分量，减少谐波分量。因此，便于经过滤波得到正弦波输出电压。

2 GTO与SCR逆变器电性能比较

2.1 由于GTO逆变器省去了SCR必须用的换向装置，逆变器的体积减小，重量减轻，而且还大大减小了电噪音。2.2 由于GTO比SCR工作频率高，所以GTO逆变器工作频率可以很高。

2.3 在GTO应用中，为了限制重加dv/dt，必须加缓冲器，并且在高频工作时，缓冲器器件的损耗较大；在低频工作时，逆变器的损耗主要有GTO管压降决定，此时，缓冲器损耗较小。但是，在SCR逆变器中，除缓冲器损耗外，换向电路损耗也比较大，总起来讲，GTO逆变器要比SCR逆变器效率要高。

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…



详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>