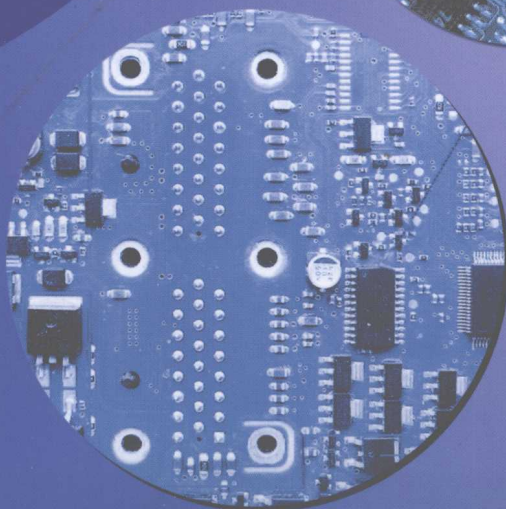
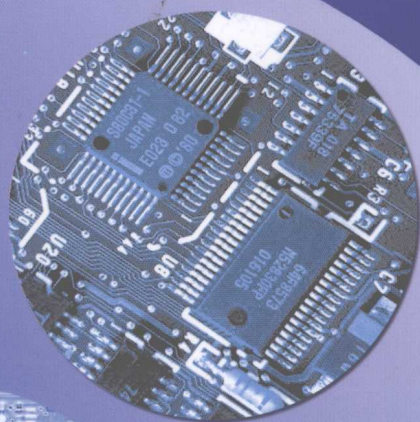


电力电子变流装置 典型应用实例

冯玉生 李宏 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

TM46/8

2008

电力电子变流装置典型应用实例

主编 冯玉生 李 宏

参编 王永林 肖俊明 张 颖 冯翔宇 李伟锋

机械工业出版社

本书介绍了电力电子技术方面的基本知识,选材基本覆盖了电力电子技术的常规应用领域。内容包括稳压电源、相控电源、电解电源、电镀电源、脉冲电源、充电电源、高频开关电源、高压开关电源、变频电源、正弦波逆变电源、节能灯电子镇流器、装饰照明、粉尘治理、高压脱硫、空气净化、火灾探测与报警、变频空调、微波炉具、手机充电器、防盗报警器、电子灭鼠器及杀虫机等电力电子变流装置的典型电路及应用实例。本书取材新颖,内容以通俗性和实用性为主,重点突出,通俗易懂,实用性较强。可供从事电力电子设备设计、制造企业的设计人员、技术人员及现场调试人员、电力电子设备使用单位从事设备运行管理、维护人员、操作及装配人员以及高等院校、中等专业学校和各种职业培训学校相近专业的师生作为参考,也可供电力电子技术爱好者及中学生作为科普读物阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子变流装置典型应用实例/冯玉生,李宏主编. —北京:机械工业出版社, 2008.3

ISBN 978-7-111-23011-3

I. 电… II. ①冯…②李… III. 变流器 IV. TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 193492 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:于苏华 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:王奕文 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·417 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-23011-3

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

电力电子技术是电工技术的重要分支，是当代世界各发达国家竞争的一个高技术领域。采用电力电子技术可以实现广泛的节能，保护资源、减少资源的浪费，实现生存环境及电网的绿色化，所以电力电子技术将变得越来越重要，越来越受到人们和各国政府的重视，越来越与人们的日常生活密不可分。电力电子技术的组成可分为三大部分，即电力半导体器件，对电能的三大要素（频率、电压、电流）进行量值与类型的变换，以及对交流电相数进行变换的电力电子变流技术（Power Conversion）及控制技术。这三者中电力半导体器件是基础，控制技术是手段，而实现电力电子变换（又称功率变换）是目的。

虽然电力电子技术的专业术语对于许多非电力电子专业的人来说有点陌生，但电力电子变换在人类的日常生活中可以说无处不在，无时不用。从1955年人类第一只电力整流二极管由美国通用电气公司（General Electric Company）发明，标志着电力电子技术的诞生至今，经过几十年的发展，人类已经拥有40多种电力半导体器件可以选用，各种电力电子变换技术的应用已经深入到工业、农业、交通运输、国防和社会生活的各个方面，其典型的应用领域包括电化学、直流牵引、直传动、交流传动、电机励磁、电火花加工、电镀、电冶、电磁合闸、充电、中频及高频感应加热、交流及直流不间断电源、开关电源、稳压电源、电子开关、高压静电除尘、直流输电、无功补偿、环境保护、家用电器、储能电站、感应电能传输、空间探测、遥测遥感、航空器控制、交通运输、火灾预防、医疗卫生、防盗报警、污水处理等诸多方面。

利用电力电子技术可以提高用电效率和功率因数，实现最佳用电，应用电力电子技术，可以解决潮汐发电、风力发电、太阳能发电、储能电站、空间电站中的关键技术，应用电力电子技术可以实现机车、汽车的电动化。应用电力电子技术生产的高压静电除尘、污水处理、高压脱硫、空气净化类电力电子设备及装置的批量应用，将极大地改善我国城乡环境质量。还应看到，应用电力电子技术可以进行火灾预防，易燃气体的预警和检测，对防止火灾及爆炸的发生都具有极为重要的作用和意义。因此可以说，电力电子技术已当之无愧地成为国民经济的重要支撑技术之一。

为了多方位展现电力电子技术日新月异的应用领域，更为了让人们关注身边的电力电子技术的应用情况，熟悉常用电力电子变流装置的工作原理与基本性能，鉴于国内还没有一本较全面和详实的这类书籍，我们编写了本书，以期对科研单位、工矿企业、交通运输行业中从事电力电子技术应用研究、设计或使用及维护的技术人员，生产管理人员，大、中专院校的师生以及电力电子技术爱好者有所裨益。

IV

本书由中原工学院冯玉生副教授与西安石油大学李宏教授共同主编，中原工学院肖俊明副教授编写第1章，王永林讲师编写第2章，李伟锋副教授编写第3章，河南工业大学张颖讲师编写第4章，河南轻工业学校冯翔宇讲师编写第6章，冯玉生副教授编写第5章。裴素萍、赵宇峰等参与了本书的有关工作，冯翔宇还参与了书中大量的文稿整理和绘图工作。并由李宏教授定稿。

由于电力电子技术发展很快，应用领域众多，新的应用技术不断涌现，而编写收集的资料相对有限，限于学识与选题重心也许偏颇，加之编写时间甚为仓促，书中难免有不少错误与纰漏之处，恳请本书的读者及电力电子技术行业的专家斧正，并提出宝贵的意见。希望阅读本书的专家、学者及同仁们不吝赐教。

本书在编写过程中，参考和直接引用了参考文献中所列作者的研究和试验成果及资料，这些典型实例丰富多彩，展示了电力电子技术的广泛应用与发展前景。没有这些重要的资料和文献，本书将难以完成，参考文献的作者对本书的出版做出了重要的贡献。本书在出版过程中得到中原工学院自动化系及西安石油大学自动化系的大力支持和帮助，在此一并致谢！

编 者

目 录

前言

第 1 章 基于工频的交流-直流变换

器	1
1.1 概述	1
1.1.1 交流-直流变换技术	1
1.1.2 电源半导体器件的动向	2
1.2 稳压电源	3
1.2.1 带放大器的串联反馈式稳压 电路	3
1.2.2 0~30V/1A 稳压稳流型直流 电源电路	3
1.2.3 金星牌彩色电视机的直流稳 压电路	3
1.2.4 集成稳压器	4
1.2.5 集成稳压器构成的实用电路	5
1.2.6 相控稳压电源实例	7
1.3 电解电源	13
1.3.1 交直流叠加在金电解中的应 用	13
1.3.2 精密脉冲电解磨削的电源	15
1.4 电镀电源	17
1.4.1 电镀电源的发展简况	17
1.4.2 脉冲电镀电源应用实例	17
1.4.3 电加工用脉冲电源	23
1.4.4 电火花线切割机用脉冲电源	24
1.4.5 超声波电火花同步复合加工 用脉冲电源	25
1.4.6 电火花加工用高频脉冲电源	26
1.5 冶金用直流电源	28
1.5.1 大功率直流电源的数字控制	28
1.5.2 晶闸管中频感应加热电源中 整流电路的数字控制	31
1.6 充电电源	32
1.6.1 大功率浮充电用直流屏电源 简介	32
1.6.2 大功率快速充电控制电路	37
1.6.3 全自动步升型快速恒流充电	

电源	38
----------	----

1.7 直流脉宽调速电源	41
--------------------	----

参考文献	44
------------	----

第 2 章 基于高频逆变的直流电源

2.1 开关电源技术概况	45
2.1.1 开关电源的技术特点	45
2.1.2 开关电源的若干技术问题	47
2.2 直流开关电源	49
2.2.1 直流-直流变换器电路的常见 结构	49
2.2.2 开关电源的基本电路	51
2.2.3 开关电源的应用举例	61
2.3 PWM 调速电源	66
2.3.1 三相大功率 SPWM 整流电源	66
2.3.2 IGBT 在电动机 PWM 控制系 统中的应用	69
2.3.3 IBM-PC 微型计算机开关电源 的实用电路	71
2.4 高频开关电源	74
2.4.1 新型实用的高频开关电源	74
2.4.2 电力系统用高频开关电源	76
2.4.3 以 IPM 为开关器件的 110V 高频开关电源在电力机车 上的应用	78
2.4.4 WKC 高频开关电源直流充 电机	80
2.5 高压开关电源	82
2.5.1 全桥大功率高压开关电源	82
2.5.2 全数字化高频高压充电电源	85
参考文献	87

第 3 章 变频电源

3.1 概述	88
3.1.1 逆变技术的发展	88
3.1.2 简单实用的 12~230V 逆变 电源	89
3.1.3 采用 MOSFET 开关管的稳压 逆变电源	90

3.1.4 可给蓄电池充电的 100 ~ 200W 逆变电源	92	4.3.1 应用 IR2130 和 IGBT 制作 的 1kW 高压汞灯镇流器	144
3.1.5 用 PWM 放大器实现 400Hz 电 源	93	4.3.2 主开关器件为 IGBT 的电子 镇流器	145
3.1.6 加热封口机用高频开关电源	95	4.3.3 高可靠节能灯电子镇流器 电路	146
3.2 交流调速电源	97	4.3.4 可调光双管荧光灯电子镇流 器电路	147
3.2.1 变频调速技术简介	97	4.3.5 40W 电子节能镇流器电路	148
3.2.2 变频调速的应用领域	100	4.3.6 IR2155 集成电路在电子镇流 器中的应用	150
3.2.3 基于 DSP 的全数字化变频调 速系统	100	4.4 装饰照明	151
3.2.4 大功率交流变频调速技术发 展的现状与趋势	102	4.4.1 彩灯控制器电路	151
3.2.5 龙门铣床的交流变频调速驱 动	104	4.4.2 霓虹灯与节日彩灯控制器电路	153
3.2.6 变频调速在船舶电力推进系 统中的应用	106	4.4.3 梦幻彩灯控制器电路	157
3.2.7 交-直-交变频调速在鞍钢重 轨矫直机上的应用	108	4.4.4 循环闪光彩灯控制器电路	158
3.2.8 交流调速在宝钢大型板坯连 铸生产线上的应用	110	4.4.5 可编程彩灯控制器电路	160
3.3 正弦波逆变电源	111	4.4.6 多功能灯光控制器电路	162
3.3.1 通用型 IGBT 变频电源	111	4.4.7 具有 16 种功能集成电路控制 的彩灯实用电路	163
3.3.2 新型正弦波逆变电源	113	4.4.8 用 BH9201 控制的彩灯电路	164
3.3.3 实用小功率中频电源	114	4.4.9 变色吊灯控制电路	164
3.4 不间断电源 UPS	117	4.4.10 追逐式循环彩灯控制器电路	165
3.4.1 UPS 使用目的与类型	117	4.4.11 巧用 LM386 制作双色彩灯 控制器电路	166
3.4.2 UPS 系统设计	118	4.4.12 新型转动广告灯箱电路	166
3.4.3 UPS 应用技术	120	4.4.13 应用 MS51C61 和晶闸管制 作的彩灯控制电路	168
3.4.4 UPS 的应用实例	123	4.4.14 用 SE9518 制作的装饰彩灯 控制电路	168
3.5 高频电源	124	4.4.15 舞台频闪灯控制器电路	169
3.5.1 IGBT 在石油感应加热电源 中的应用	124	4.4.16 霓虹灯循环发光控制器电路	170
3.5.2 新型超声波电源	125	4.4.17 一款实用的灯光控制器电路	171
3.5.3 高频逆变技术在高压真空电 源中的应用	128	4.4.18 一种新型的霓虹灯电源电路	172
参考文献	129	参考文献	174
第 4 章 照明电源电路	131	第 5 章 环境保护中的电力电子变流 装置	175
4.1 概述	131	5.1 概述	175
4.2 照明与节能	131	5.2 粉尘治理	175
4.2.1 自动灯控制电路	131	5.2.1 一种新型静电除尘器及其控制 系统	175
4.2.2 微波传感自动灯控制电路	139	5.2.2 直接耦合式脉冲静电除尘电源	178
4.2.3 节电节能控制器电路	141	5.2.3 用于静电除尘的新型高压直流	
4.3 电子镇流器	144		

电源	181	6.4.1 柯利 KLXG-E1 型消毒柜	232
5.2.4 用于排烟除尘的多功能高压静电电源	183	6.4.2 应用单片机 AT89C2051 控制的消毒柜	233
5.2.5 高频逆变型高压静电除尘电源	185	6.5 热水器	235
5.2.6 用于静电除尘器的斩波型交流调压电源	188	6.5.1 银河牌燃气热水器电路	235
5.2.7 IGBT 脉冲电源系统	191	6.5.2 吉宝 DPL-35FA 型电热水瓶电路	236
5.3 高压脱硫—脉冲电晕脱硫脱硝	194	6.5.3 名钻牌电热水器电路	237
5.4 空气净化器及臭氧发生器	196	6.5.4 乐能 DPL700 型电泵式电热水器电路	238
5.4.1 智能空气净化器的控制电路	196	6.6 充电器	238
5.4.2 臭氧发生器	200	6.6.1 采用晶闸管作为主开关元件制作的多功能蓄电池充电器	238
5.4.3 负氧离子发生器	201	6.6.2 非同步式大容量蓄电池充电器	239
5.5 火灾探测与报警	202	6.6.3 充电电流可自动调整的小容量蓄电池充电器	240
5.5.1 火灾探测技术的发展及其应用	202	6.6.4 手机充电器	241
5.5.2 火灾报警器	203	6.7 防盗、防火报警器	243
5.5.3 火灾报警装置用开关电源	208	6.7.1 防盗报警器	243
5.5.4 玻璃破碎报警器	210	6.7.2 汽车报警器	246
5.5.5 光控闪烁式路障指示灯	210	6.7.3 家用报警器	248
5.6 绿色电源技术	211	6.8 杀虫机	250
参考文献	212	6.8.1 电子防虫与驱虫电路	250
第 6 章 家用电力电子变流装置	214	6.8.2 蚊蝇克星——电子纱门电路	252
6.1 概述	214	6.8.3 电子灭蟑器	254
6.2 变频空调器	214	6.8.4 电子灭鼠器	255
6.2.1 变频空调器简介	214	6.9 其他家用电力电子变流装置电路	258
6.2.2 变频空调器的技术特点和优点	215	6.9.1 电子看门狗电路	258
6.2.3 交流变频空调器电路组成	215	6.9.2 家用恒温控制器	259
6.2.4 变频压缩机	216	6.9.3 快乐牌 VW-100G 型吸尘器	260
6.2.5 变频空调器控制电路实例	217	6.9.4 半导体制冷器件在饮水机中的应用电路	261
6.3 微波炉具	227	参考文献	262
6.3.1 松下 NN-K653 型微波炉	227		
6.3.2 飞跃 WP-600 型微波炉	228		
6.3.3 上菱 WP-650A 型微波炉	231		
6.4 消毒柜	232		

第 1 章 基于工频的交流-直流变换器

1.1 概述

1.1.1 交流-直流变换技术

将交流电变换成直流电通常采用具有单向导电性的二极管、晶闸管等电力半导体器件，构成整流电路，再经过滤波，稳压等环节，为电子设备提供高质量的直流电源，从电路结构上分类，整流电路有单相整流、三相整流、多相整流电路，可控整流与不可控整流；半波整流、全波整流电路和桥式整流电路等几种分类方法。

整流电路输出的是脉动直流电压，既包含直流成分，同时又有交流成分，其中的脉动程度一般用纹波系数来衡量，即纹波系数等于输出电压的交流部分有效值与输出电压直流成分的比值。对于直流电源来说纹波越小越好，为了得到较平滑的直流电压就必须进行滤波。

在整流输出端接入滤波电容来减少电压的脉动效果较好，但电容大到一定程度时滤波效果就不太明显，也不经济。比较经济实用的办法是 RC 滤波电路如图 1-1 所示。它是在滤波电容 C_1 和负载电阻 R_L 之间串联电阻 R 再并联电容 C_2 ，提高滤波效果。经计算可知，接入 R 与 C_2 之后，将能够使输出端的纹波系数比 C_1 端的减少了 $\omega C_2 R'$ 倍。其中， ω 为整流输出脉动电压的基波角频率， R' 为电阻 R 与 R_L 的并联值。

电容滤波电路的输出内阻较大，当 R_L 变化时，端电压也会随之变化；另外，接通电源时，整流二极管开始导通时冲击电流较大，对寿命会有影响。为此，可以利用电感线圈对直流的电阻小、对交流的阻抗大的特点来实现电感滤波。图 1-2 给出几种常用的电感滤波电路的原理图，单个电感滤波电路效果不是很好，通常采用 LC 滤波电路，它由电感 L 及电容 C 组成，电感的作用

是限制交流电流成分，电容的作用是减小电压的脉动，尤其是在电流变化较大的情况下，滤波效果较好，因此，在大功率电子设备中多采用这种滤波电路。当输出电流给定时，为保证电感有好的滤波特性，所选用的电感 L 应大于 $R_L / (3\omega)$ ，对交流电源为 50Hz 的全波整流电路

$$L \geq R_L / 942 \quad (1-1)$$

滤波电路滤除直流中的脉动成分，仍不能满足电子设备对直流电源的要求，在负载有较大的变化时，整流滤波输出的电压将随之发生变化。当电源的交流电压变化时，输出的直流电压也要跟着变化，这对电子设备的工作造成不良影响。电源设备供电质量的好坏是保证电子设备运行良好的重要条件，直流稳压技术可以提高电压稳定度，不论在哪种情况下都能保证输出稳定的直流电压。

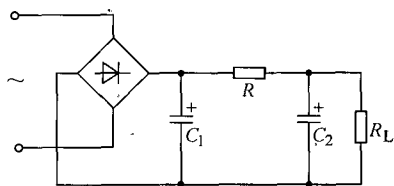


图 1-1 RC 滤波电路

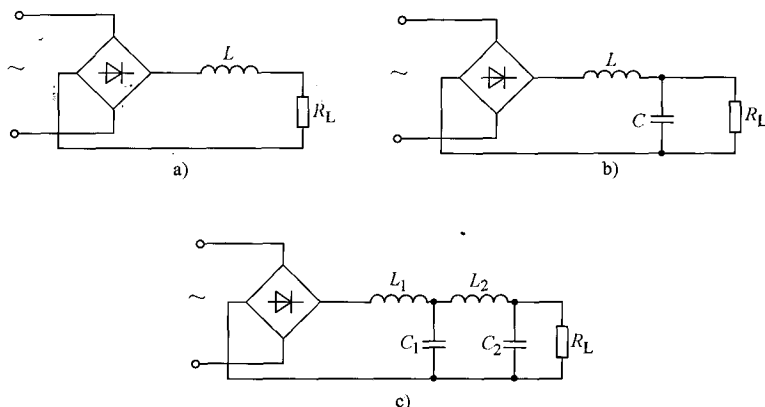


图 1-2 电感滤波电路

- a) 单电感滤波电路 b) 电感与电容构成 Γ 型滤波电路
c) 电感与电容构成两级 Γ 型滤波电路

1.1.2 电源半导体器件的动向

很多电子设备的电源电路使用了半导体器件。笔记本电脑、移动电话、数码相机、便携式视听等的电池驱动产品日益增加，相对于各种电池的电源半导体器件也正积极开发，频频出现亮点。其中，电源电路半导体的增长率至今依然高于电源、电动机控制、电源控制等整类半导体的增长率。

电源用分立器件包括双极型晶体管开关、FET（场效应晶体管）、整流二极管等。双极型晶体管从开关型晶体管到绝缘栅双极晶体管都正向高速度、低损耗发展。FET 从结型 FET 到电力 MOSFET、STT（静电感应晶体管）则正努力走向高速化和高性能化。开关电源和 DC/DC 变换器多使用 N 沟道的电力 MOSFET，若将几万个这样的 FET 并列组合使用，即可耐高压，目前正开发 6000V 级的耐高压产品。

当前，便携电子产品用低压电力 MOSFET 很受注目，它们采用 SOP（小外型封装）或 TSOP（薄型小外型封装）。最近，比 TSOP 封装体积更小一半的新型封装，如 VSON、MCPH 和 CMEPAK 等也纷纷登场。

开关电源用整流二极管将交流变为直流，有 FRD（快速恢复二极管）和 SBD（肖特基势垒二极管）两种类型。随着电子设备的低压化，低导通压降、低阻抗的电力 MOSFET 使用增多，正逐步取代整流二极管。

电源 IC（集成模块）包括电源控制器、DC/DC 变换器、稳压器、电池后备电源、运算放大器、锂离子电池保护器等。

稳压器是在电源电压变化时，使电子设备各模块仍能保持稳定的电压。由于笔记本电脑向低压发展而需要大电流电源，为减小输出/输入电压差，低压降稳压器需求随之增加。

电池后备电源 IC 在电源瞬间切断时，保护和监视系统内数据，电流读出放大器监视电池的充电和放电，复原 IC 用于监视电源，防止系统过度动作，运算放大器用于增幅。

迄今为止，电源用半导体器件常用双极型产品，但随着电子设备的小型化、扁平化、低电压化，尤其是节省电能的特点，使 CMOS 工艺器件应用日益增多。

1.2 稳压电源

直流稳压电源主要由电源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路组成。晶体管稳压电路根据调整管与负载的连接方式分为串联型和并联型，应用较多的是串联型电路。

1.2.1 带放大器的串联反馈式稳压电路

图 1-3 是带辅助电源供电的稳压电源电路，采用桥式整流，电容滤波，由 VT_3 、 VT_4 和 VT_5 组成复合调整管。根据稳定性和工作温度的要求，加入了带辅助电源供电的差动放大电路。

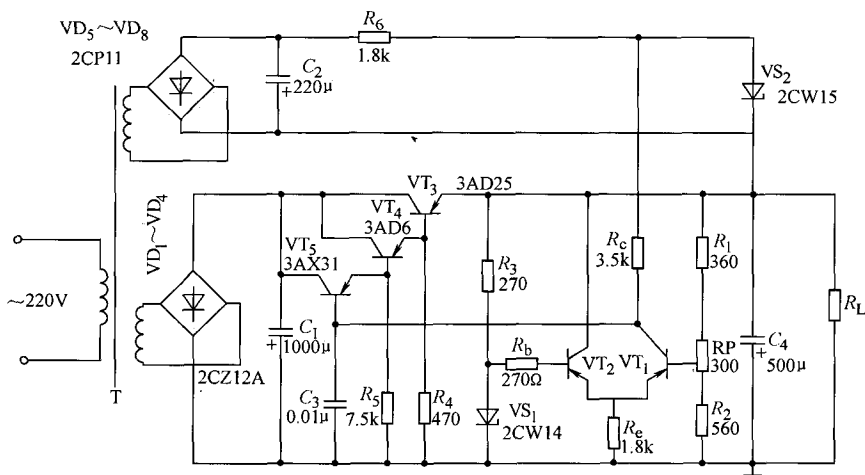


图 1-3 带辅助电源供电的稳压电源电路

1.2.2 0 ~ 30V/1A 稳压稳流型直流电源电路

图 1-4 是 0 ~ 30V/1A 稳压稳流型直流电源，调节电位器 RP_1 可使输出电压在 0 ~ 30V 之间连续调节。为了减少大功率晶体管 VT_1 与 VT_2 的损耗，用继电器 K 对输入电压进行自动切换，当输出电压低于 15V 时，交流输入电压切换到 18V；输出电压高于 15V 时，交流输入电压切换到 32V。 RP_2 为稳流调节电位器，可使输出电流在 0.1 ~ 1A 范围连续可调。 VL_1 （绿色发光二极管）为稳压电源输出指示灯， VL_2 （红色发光二极管）为过电流指示灯。 S_2 为表头的电压与电流指示开关，图中位置为指示电压值。

1.2.3 金星牌彩色电视机的直流稳压电路

图 1-5 是金星牌彩色电视机的直流稳压电路， VT_1 和 VT_2 组成 PNP 型复合调整管。作为复合管，这里的接法有特殊之处，不影响复合管的管型， VT_2 的发射极不是直接接到 VT_1 的集电极，而是接到一个辅助电源上，这主要是为了解决 VT_1 的耐压问题。因一般 PNP 型管的 BU_{CE0} （晶体管基极 b 开路时，集电极 c 和发射极 e 之间的击穿电压）值较低。用两只（ VS_1 、 VS_2 ）2DW7C 稳压管串接得到 12V 基准电压（每个稳压管的稳定电压为 6V）。放大

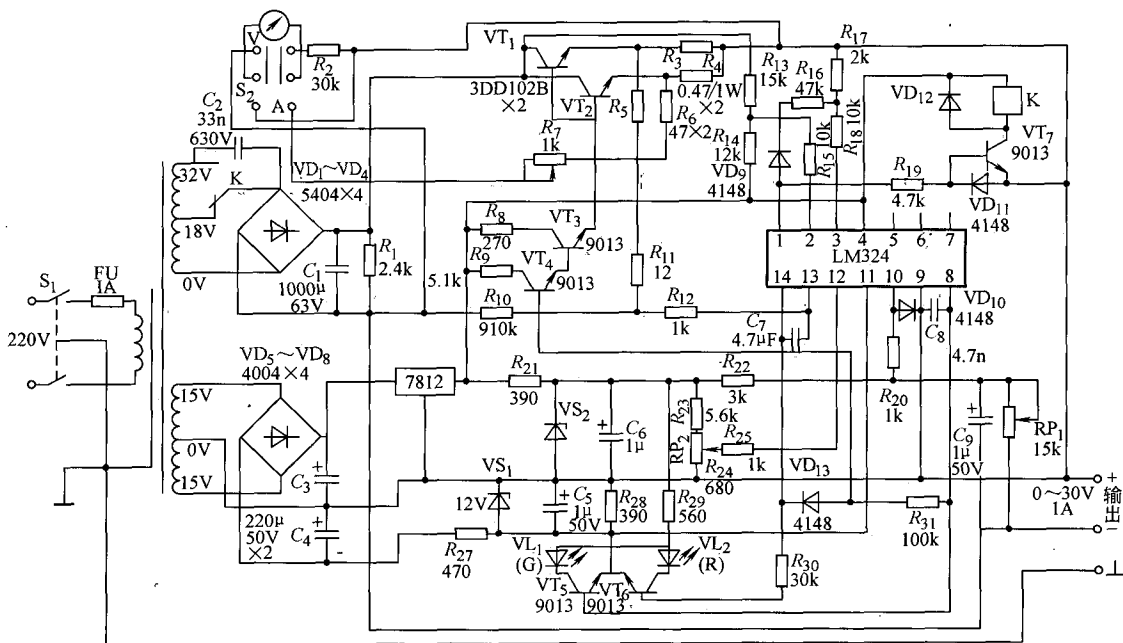


图 1-4 0~30V/1A 稳压稳流型直流电源电路

管 VT_3 的发射极和基极间并联一只二极管 VD_6 是为了防止发射极承受反向击穿电压。并联在 VT_2 集射结之间的电阻 R_1 为启动电阻。

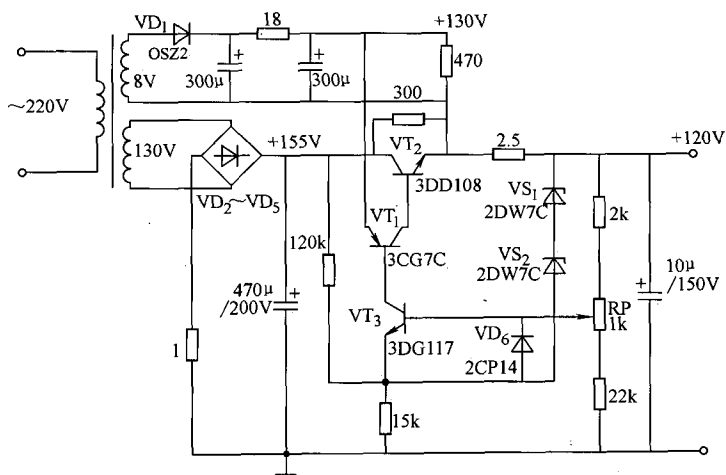


图 1-5 金星牌彩色电视机的直流稳压电路

1.2.4 集成稳压器

以前电子设备中的稳压器电源大都由分立元件构成，增加了电子设备的体积、重量和成本。现已研制开发了各种集成稳压器，使电源电路的设计变得很容易，特别对于小功率电源更是简单方便。

集成稳压器具有很多特征，总体来说可以分为两大类，线性稳压器和开关稳压器。大部

分集成稳压器都具有输出电压稳定的功能，集成稳压器本身不能产生功率，只是将输入功率传送给负载，通过控制该功率的大小使输出电压保持不变。

线性稳压器，它是连续控制由输入传递给负载的功率；开关稳压器，它采用断续的开关方式。一般来说，线性稳压器的功耗较大，变换效率只有 40% 左右，不适合于大功率电源。极小功率电源采用线性稳压电源较好。对于线性稳压器，原理上是降低输入电压而控制功率。所以，也叫降压式集成稳压器。集成稳压器的输入必是直流，既可以是交流电经过整流、平滑滤波后的直流，也可以是电池供电的直流。

开关稳压器的工作频率一般为 20 ~ 50kHz，对电压进行开关控制，不仅工作于降压方式，有时还可以工作于升压方式及反转方式。输入、输出之间用变压器隔离，因为工作频率高，所以变压器体积很小，这是开关稳压器的一大优点。由于不需要大功率工频变压器，可构成轻、薄型稳压电源，机内的模块电源大都是这种类型。此外，输入、输出之间无高频变压器隔离的开关稳压器应用斩波工作方式。

线性集成稳压器有三种形式：一般式、低压降式、CMOS 式。一般式的线性集成稳压器有三端固定式集成稳压器，如 78XX/79XX 系列；三端可调式集成稳压器有 LM317/LM337 系列；多端集成稳压器有 μ A723 以及 W723、FG723、LM723、MC1723、CA723 等。低压降式的线性集成稳压器有 LM2950 系列、MAX667 系列、MIC29750 系列、S812/802 系列、XC62AP 系列等。

1.2.5 集成稳压器构成的实用电路

1. 低功耗可调稳压电路

图 1-6 是 30V/5A 低功耗可调稳压电路。电路的关键是采用运算放大器做电压检测，实时根据输出电压 U_o 的数值变化，由继电器 $K_1 \sim K_3$ 切换到变压器二次侧相应抽头电压。

图中 LM338K 为三端可调集成稳压器，通过改变电位器 $RP_{21} \sim RP_{41}$ 的阻值调节输出电压 U_o 的大小。继电器 $K_1 \sim K_3$ 受运放 $A_2 \sim A_4$ 的控制，根据 U_o 的变化进行工作。现以 A_2 为例说明其工作过程：继电器 K_1 的 K_{1-1} 两个活动触点分别接变压器的二次侧，固定触点接整流电路输入端，通过电阻 R_{23} 为运放的反相输入端提供参考电压 u_a ，电阻 R_{21} 和 RP_{21} 为运放的同相输入端提供取样电压 u_i 。设输出电压为 U_{o1} 时继电器 K_1 动作，切换到输入电压的高挡位。若 $U_o > U_{o1}$ ，则 $u_i < u_a$ ， A_2 输出高电平，晶体管 VT_{21} 饱和导通，继电器 K_1 动作，稳压器输入电压一直保持在此挡位；当 $U_o < U_{o1}$ ，则 $u_i < u_a$ ， A_2 输出低电平， VT_{21} 截止，继电器 K_1 复位，使输入电压切换到低挡位，实现了稳压器输入电压的自动转换，降低了稳压器输入输出间的压差。运放选用 LM324，电源模块 7805 为运放和继电器提供工作电压。

2. 功放用伺服电源电路

图 1-7 为功放用伺服电源电路。电路中，输入端电容 C_1 、 C_2 和 L_1 组成交流滤波器，用于净化输入的交流电源。整流二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 上并联的 $C_3 \sim C_6$ 无感电容，用于提升整流管的开关速度，同时又可有效地降低整流二极管的开关噪声。功率晶体管 VT_1 和 VT_2 用于扩展输出电流。 C_{27} 、 R_5 和 C_{28} 、 R_6 为两个微分电路。 R_7 、 R_8 和 R_9 、 R_{10} 组成取样电路，取出的误差信号经过微分运算后再反馈回去。而微分调节电路对系统误差具有超前校正的特性，能够补偿系统在截止频率附近的相位滞后，提高系统的动态性能。因此，加入微分调节电路的系统具有较好的频率特性和动态性能。当微分电路工作不稳定时，使电源电路工作不

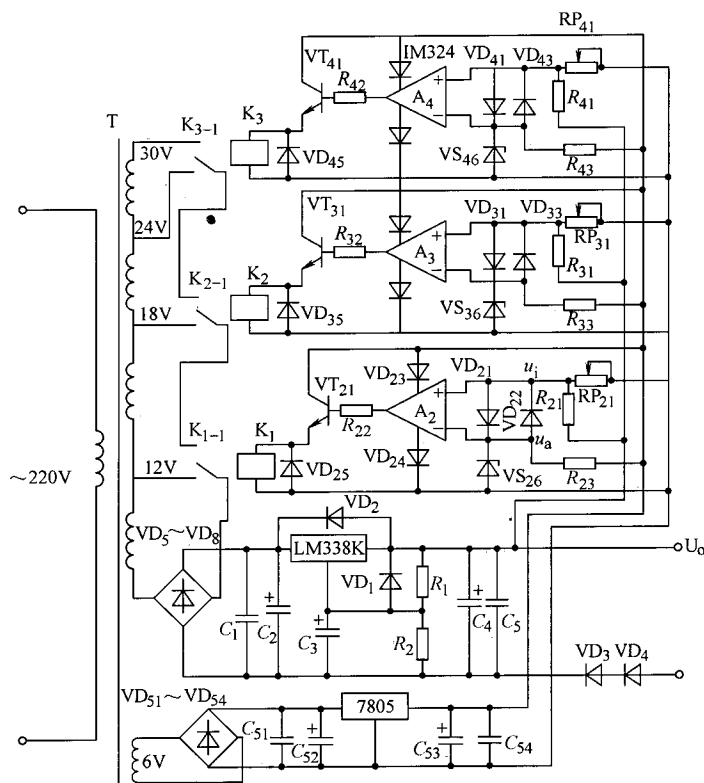


图 1-6 30V/5A 低功耗可调稳压电路

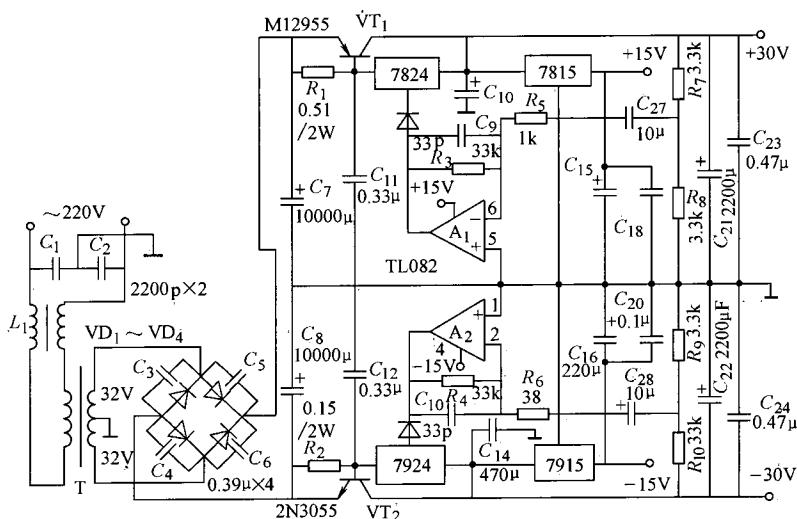


图 1-7 功放用伺服电源电路

正常，这时应适当调整相位补偿元件 C_9 、 R_5 和 C_{10} 、 R_6 的值。

3. 跟踪式稳压电源

图 1-8 是采用 LM317 和 LM337 构成的跟踪式稳压电源电路图，输出 $0 \sim \pm 15V/1.5A$ 。

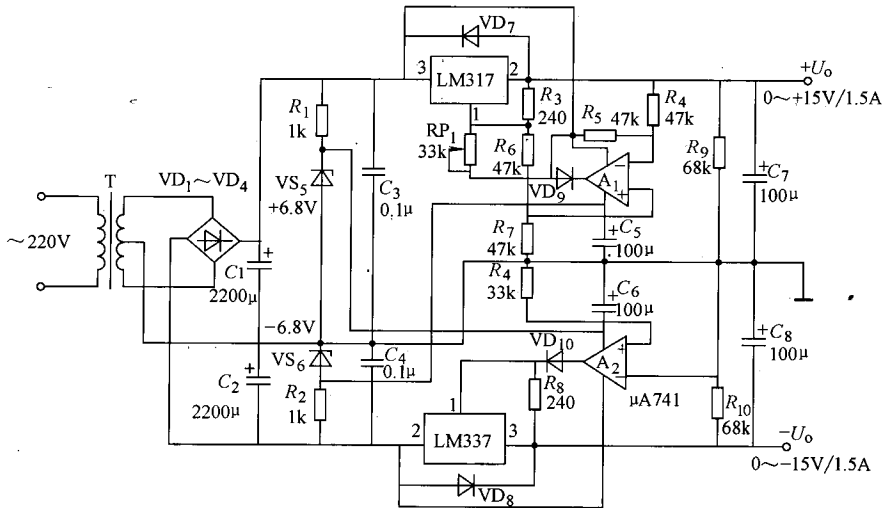


图 1-8 采用 LM317 和 LM337 构成跟踪式稳压电源电路

正输出电压由 LM317 及相关电路等组成, 电位器 RP 用于调整输出电压, RP 的原接地端现接在运放 A_1 的输出端, 这样使输出电压从零可调。负输出电压由 LM337 及相关电路等组成, LM337 的调节端接在运放 A_2 的输出端, 使负输出电压跟踪正输出电压。VD₇ 和 VD₈ 用于防止外接负载加大有电容放电, 致使 LM317 和 LM337 输出端损坏, 因 LM317 和 LM337 的调节端均不允许流入反相电流, VD₉ 和 VD₁₀ 用于防止因某种原因使得 A_1 输出正饱和及 A_2 输出负饱和而将 LM317 和 LM337 调节端击穿。

1.2.6 相控稳压电源实例

1. 晶闸管稳压电源电路

图 1-9 是简单的晶闸管稳压电源电路。电路中, 晶闸管 VT 为主控元件, L_1 是使用矩磁特性的可饱和电感, VT 与 C_1 构成摩根电路。稳压管 VS₂ 提供基准电压, 晶体管 VT₁ 和 VT₂ 构成误差放大器。晶体管 VT₃ 由发射极电阻 RP₁ 的负反馈作用构成恒流源, 对电容 C_4 进行

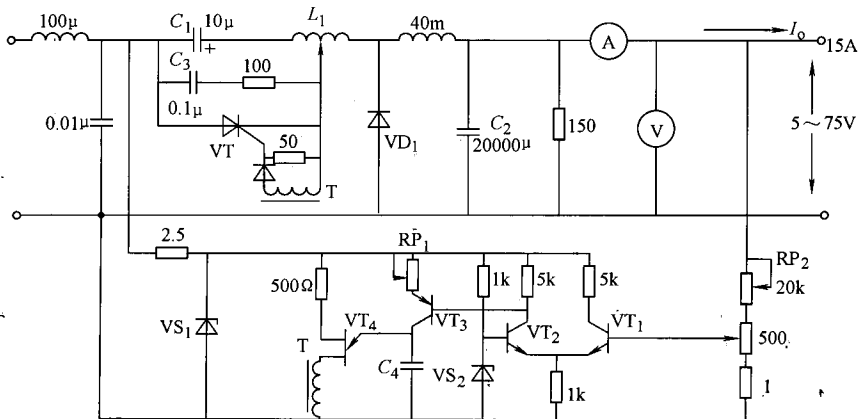


图 1-9 简单的晶闸管稳压电源电路

恒流充电。

当 VT_3 的集电极电位，即电容 C_4 两端电压达到单结晶体管 VT_4 的峰点电压时， VT_4 导通，这时，变压器 T 产生触发晶闸管 VT 的脉冲。 VT 被触发导通，由于励磁电流使 L_1 的铁心的磁通逐渐增加，电容 C_1 按图示极性充电。一旦 L_1 的铁心饱和，由于电容 C_1 的充电电压使晶闸管 VT 反偏，从而关断晶闸管。此后， C_1 继续通过 L_1 及负载以图示相反的极性充电。这样，在摩根电路中，晶闸管的导通时间是由 L_1 的铁心的磁特性及负载决定，而触发的定时，即频率随误差放大器的输出而变化，使输出电压保持稳定。

2. 12 ~ 30V/20A 的稳压电源

图 1-10 是采用晶闸管构成的输出 12 ~ 30V/20A 可调的稳压电源。这是一个自动调压系统，它由晶闸管整流电路、触发电路及反馈控制电路等组成。主回路采用单相桥式半控整流电路，晶闸管 VT_1 和 VT_2 及二极管 VD_1 和 VD_2 分别构成单相桥式半控整流电路中的一个整流臂， VT_1 和 VT_2 的阴极不接在一起。这种接法的优点是整流二极管 VD_1 和 VD_2 串联，兼有续流作用，即可为滤波电感及负载中的感性成分构成通路，以释放电磁能量，避免产生过高反电压。

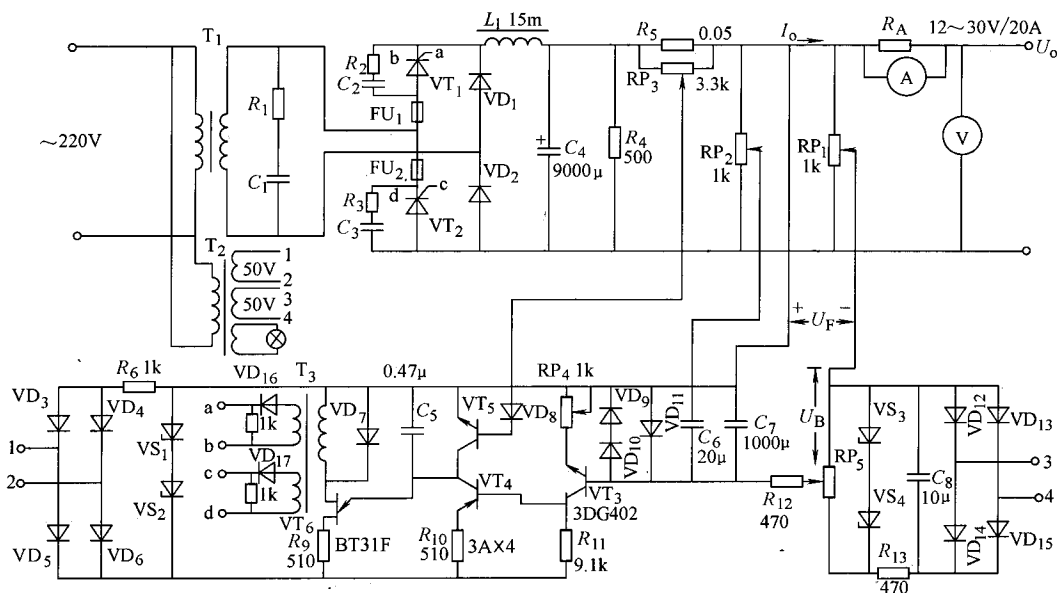


图 1-10 采用晶闸管构成输出 12 ~ 30V/20A 的稳压电源

R_1 和 C_1 、 R_2 和 C_2 、 R_3 和 C_3 是过电压吸收保护电路； FU_1 、 FU_2 是串联在晶闸管支路中的快速熔断器，作为晶闸管的过电流保护环节； T_1 是整流变压器； L_1 和 C_4 组成滤波器；电阻 R_4 为固定假负载，当输出空载时由其导通一定的电流，其数值大于晶闸管的维持电流，使其处于工作状态。

触发电路是由单结晶体管 VT_6 、晶体管 VT_4 、 VT_5 组成的具有放大环节的触发电路。二极管 VD_9 、 VD_{10} 作为晶体管 VT_3 基极回路的正向保护， VD_{11} 为反向保护，这样就使晶体管的输入信号限制在 $+1.4 \sim -0.7V$ 之间，以保护放大管。脉冲变压器 T_3 二次侧所接二极管 VD_{16} 和 VD_{17} （使输出至晶闸管门极的触发信号为正脉冲，以确保被加到触发晶闸管阴极的触发脉冲为正脉冲）。

变压器 T_2 、整流桥 $VD_3 \sim VD_6$ 、电阻 R_6 、稳压管 VS_1 、 VS_2 构成同步电路, 提供梯形同步电压。整流桥 $VD_{12} \sim VD_{15}$ 、滤波电容 C_8 、稳压电路 R_{13} 、 VS_3 、 VS_4 、电位器 RP_5 提供给定电压 U_B , 由 RP_5 调节整流输出电压 U_o 的大小。 R_{12} 与 C_7 组成积分电路, 保证在开机时输出电压稳定, 并兼有滤除干扰信号的作用。

电压 U_F 与 U_B 以相反极性串联接到 VT_3 的基射电路, 作为其输入电压。它是电压串联负反馈, 即当 I_o 增加使 U_o 降低时, 能通过 VT_3 、 VT_4 、 VT_6 将加到 VT_1 、 VT_2 门极的触发脉冲前移, 使导通角增大, U_o 回升, RP_2 与 C_6 组成微分负反馈, 抑制振荡, 使系统有较好的动态特性。 RP_3 、 R_5 、 VT_5 组成过电流保护电路。

3. 晶闸管预调稳压电源

图 1-11 是采用晶闸管作为预调电源的稳压电路。其中图 1-11a 是电路原理框图, 通过改变晶闸管 V_1 和 V_2 的导通角, 控制晶体管 VT_1 、 VT_2 的管压降等于稳压二极管 VS 的稳定电压 U_z , 这样, 输出电压在较大范围内调节时可减小 VT_1 、 VT_2 的功耗。实际电路如图 1-11b 所示, 图 1-11c 是其线性稳压电路。 A_1 等组成稳压电路, 调节 RP_2 使输出电压在 $0 \sim 27V$ 之间可调; A_2 组成稳流电路, 调节 RP_3 使输出电流在 $0 \sim 2.7A$ 之间可调。 $NE555$ 等组成晶闸管的触发电路。

4. 三相半控桥稳压电源

三相半控桥稳压电源广泛应用在通信局站的直流供电系统中, 主要由主电路、控制电路组成。控制电路则由移相脉冲发生器、自动调整电路、手动调整电路及开机延时等部分组成。主电路采用三相半控桥整流电路, 它是传送电能的途径, 其中电力变压器将三相 $380V$ 交流电降低至整流器所需的交流电压值。由可控整流电路将交流变为脉动直流, 经滤波器平滑滤波, 使电压脉动减小至规定值以下。

当整流器工作于自动稳压或自动稳流方式时, 移相脉冲发生器的触发脉冲的相位受自动调整电路的控制, 自动调整电路随时检测整流器的输出电压 (在自动稳压时) 或输出电流 (在自动稳流时) 与标准源作比较, 将其偏差送到误差放大器进行放大后去控制移相脉冲发生器, 从而改变触发脉冲的相位, 将输出电压或电流调整到稳定值。

图 1-12 是主电路采用三相半控桥整流电路的晶闸管稳压实用电路, 这里主要介绍触发电路、稳压稳流电路以及保护电路。

(1) 晶闸管触发电路的工作原理 以 A 相晶闸管触发电路为例进行分析。B、C 相晶闸管的触发电路与之相同 (图中用虚线框表示)。同步变压器 T_1 从被触发的晶闸管所在相取得一次电压, 其二次电压 U_a 的峰值为 $12V$ 。由 R_1 、 R_2 、 C_1 构成的移相电路将同步电压 U_a 移相 30° 后形成 U_b 加到过零比较器 A_1 的反相输入端, A_1 输出与 U_b 反相的方波 U_c , 其限幅电平为 $\pm 12V$ 。 U_c 经反相积分器积分后形成线性度良好的三角波 U_d , 其峰值约为 $\pm 5V$ 。 U_d 加在电子检测器 A_3 的反相输入端, A_3 的同相输入端加的是输入控制电压 U_k 。利用电位器 RP_1 调节 U_k 的大小, 即可改变 A_3 输出负脉冲 U_e 下降沿的相位, 也即改变触发脉冲的相位, 从而改变整流器的输出电压。 U_e 经 R_8 和 VD_1 构成的限幅电路限幅, 输出振幅为 $0 \sim \pm 12V$ 的脉冲电压 U_f 。 U_f 由微分电路 C_5 和 R_9 微分, 形成正负相间的微分脉冲 U_h 。二极管 VD_2 只允许 (正电源下跳到零的脉冲) 负脉冲加到 $NE555$ 的 2 端。 $NE555$ 及外围电路构成单稳态触发器, 在负脉冲的作用下, 3 端输出一定宽度的脉冲电压 U_i , U_i 的脉冲宽度由 R_{10} 和 C_6 的时间常数决定。 U_i 经晶体管 VT_1 和脉冲变压器 T_2 构成的脉冲放大器放大后, 在 T_2 二次侧输