

- ISBN 978-7-111-23011-3
- 策划编辑：于苏华 / 封面设计：王奕文

编辑热线：(010)88379728

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
 联系电话：(010)68326294 网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
 (010)68993821 E-mail: crsp@cmpbook.com
 购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

上架指导：工业技术 / 电气工程

ISBN 978-7-111-23011-3



9 787111 230113 >

定价：28.00元

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、技术工人及现场调试人员、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:子苏华 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、直流传动、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

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</

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	1			

电源	181	6.4.1 柯利 K1XC-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	22		

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

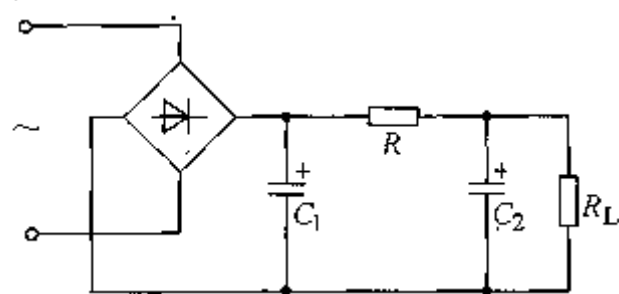


图 1-1 RC 滤波电路

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

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

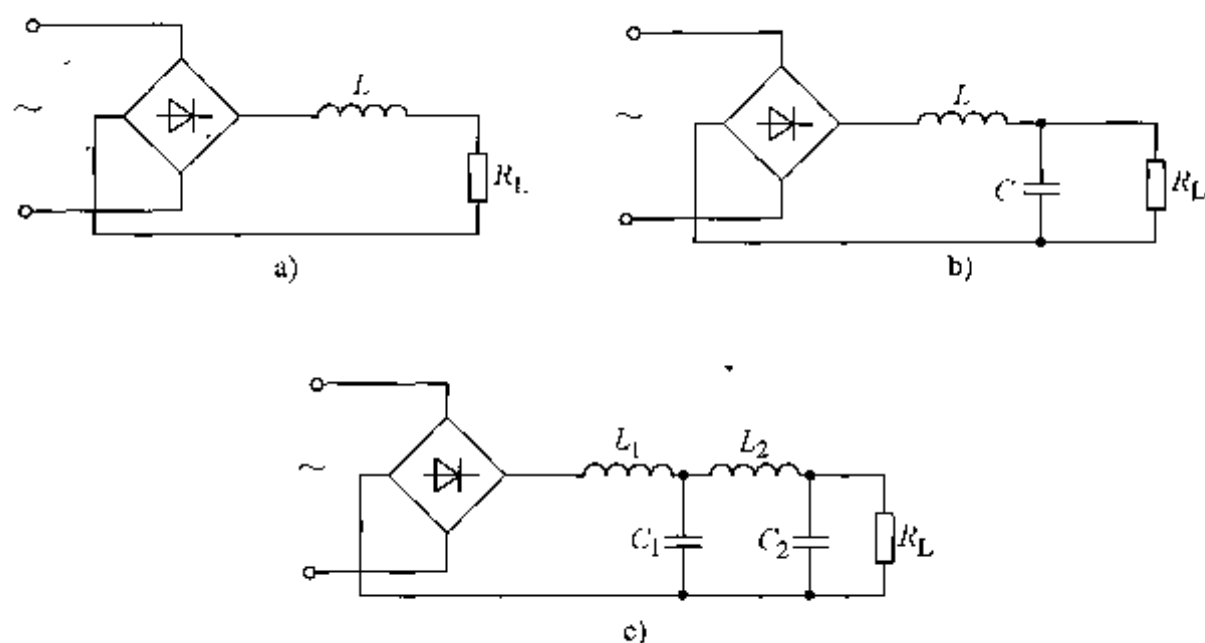


图 1-2 电感滤波电路

- 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。

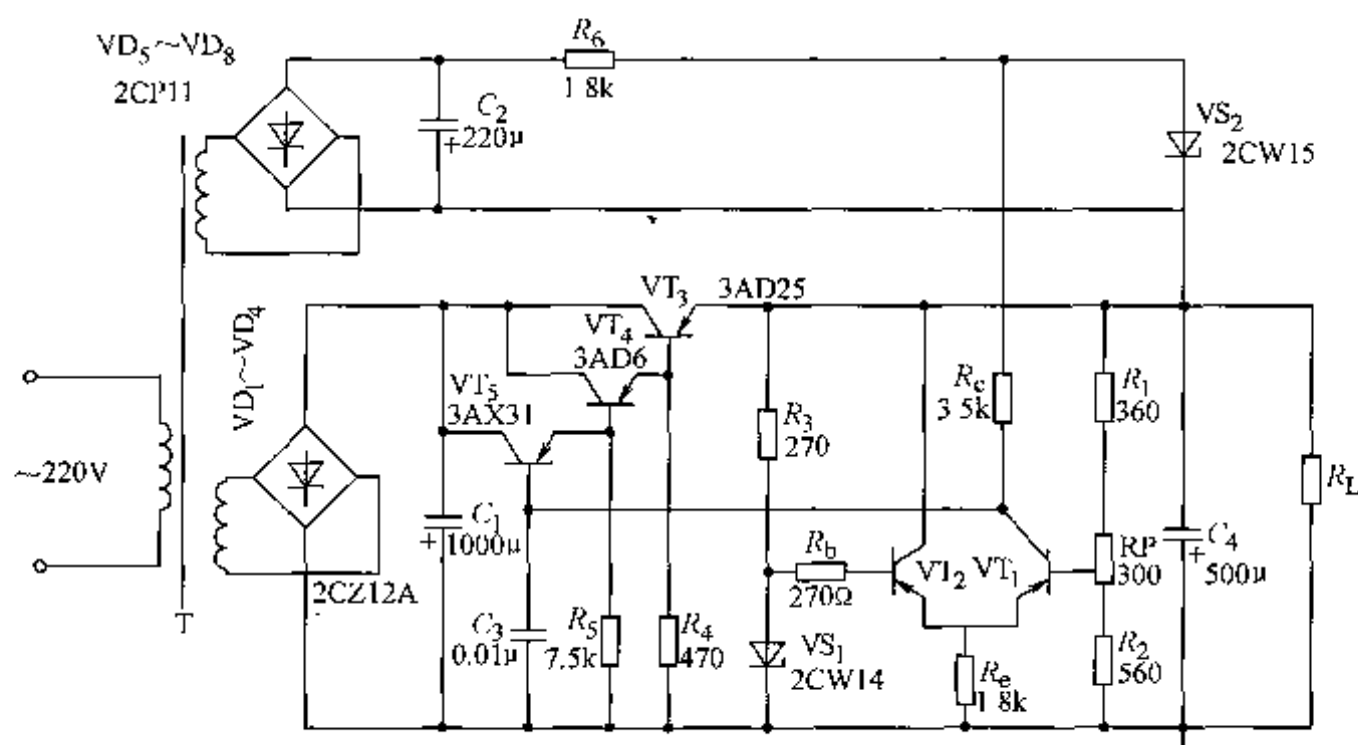
迄今为止，电源用半导体器件常用双极型产品，但随着电子设备的小型化、扁平化、低电压化，

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。



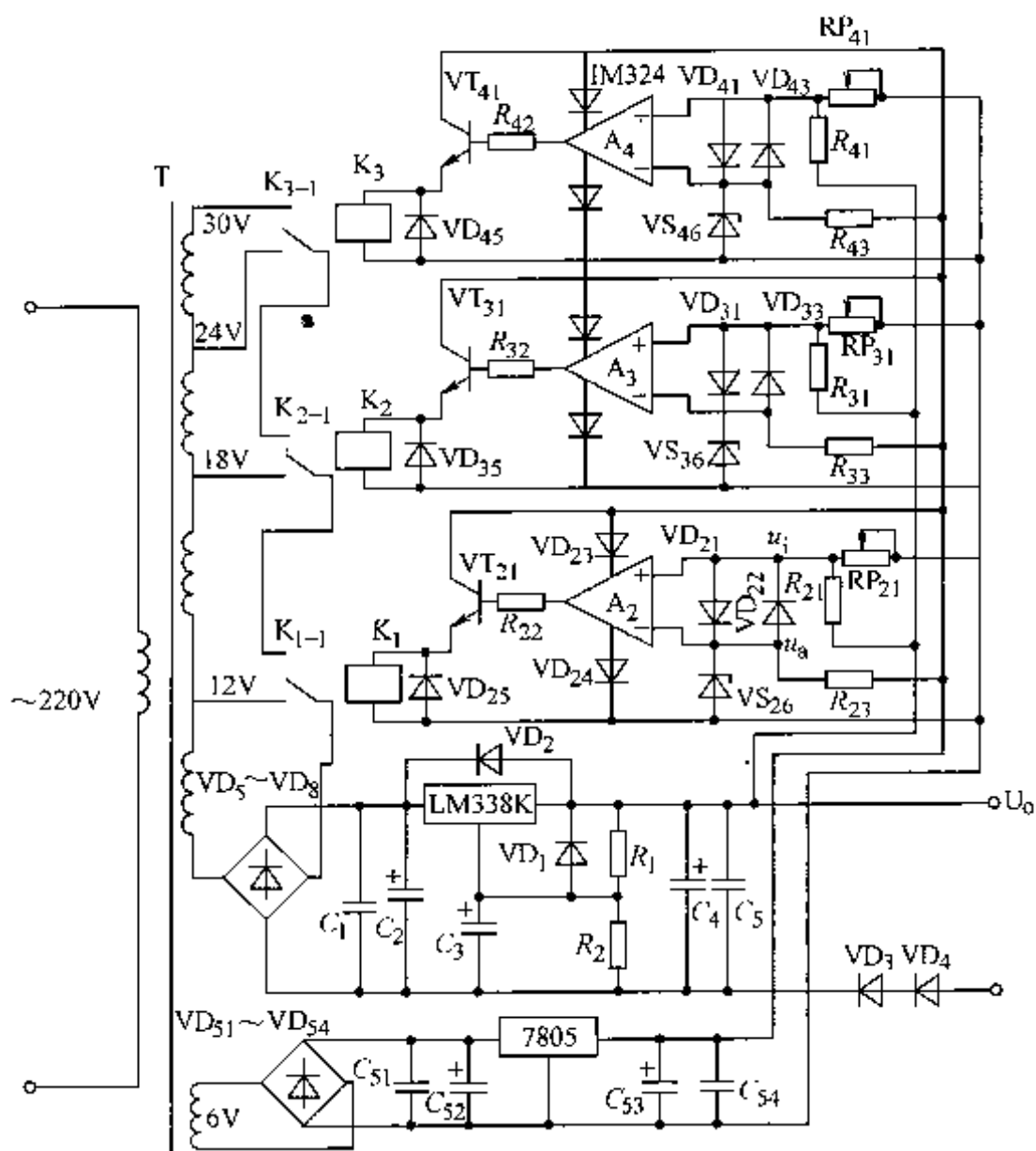


图 1-6 30V/5A 低功耗可调稳压电路

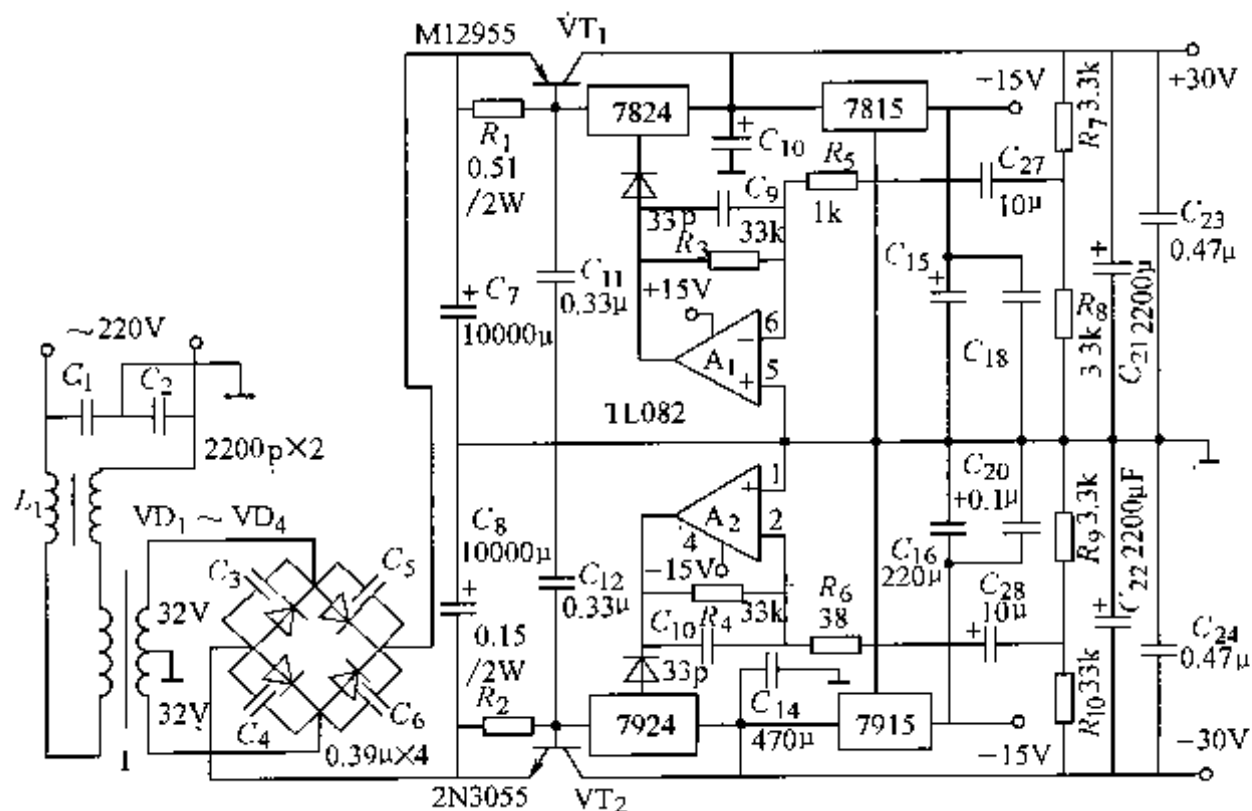


图 1-7 功放用伺服电源电路

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 $0 \sim \pm 15V/1.5A$ 。

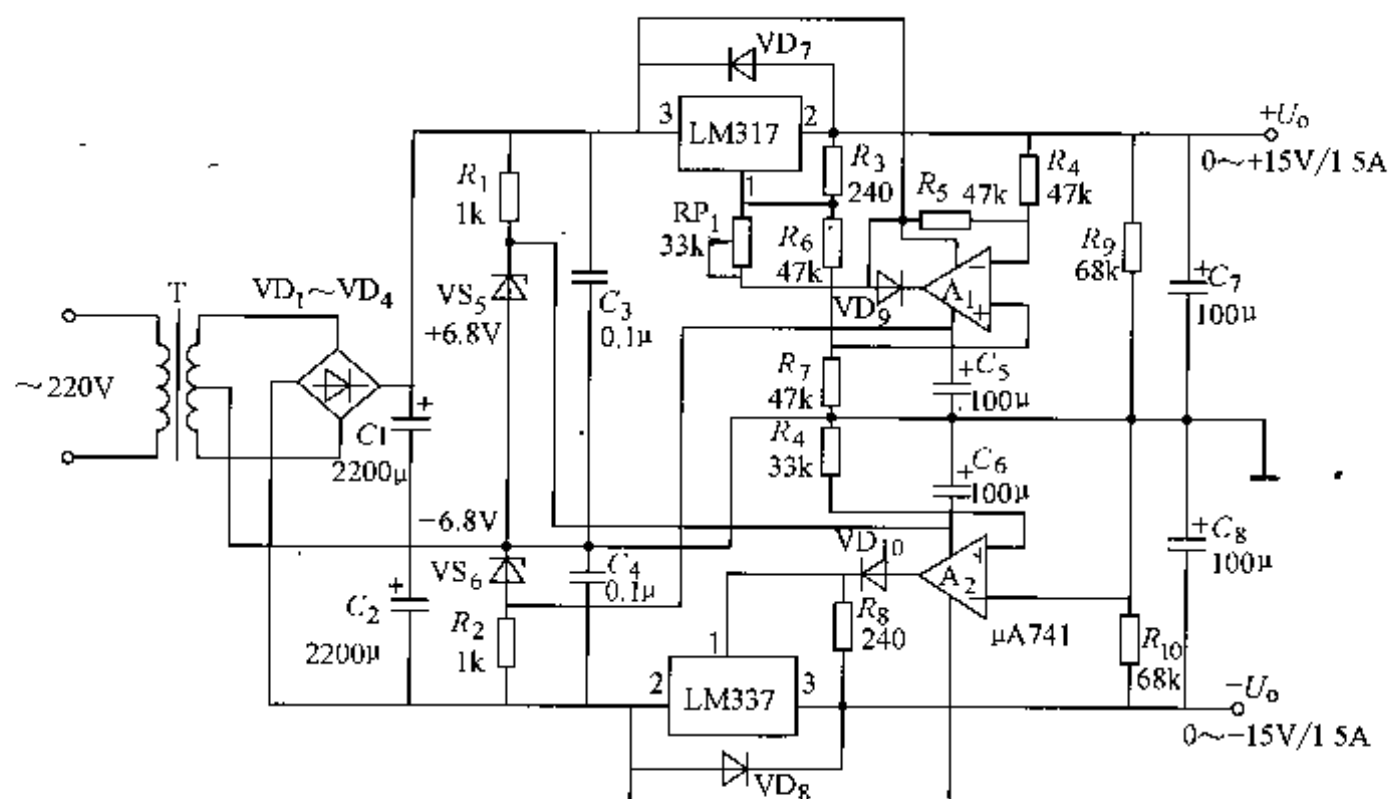


图 1-8 采用 LM317 和 LM337 构成跟踪式稳压电源电路

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 A₁ 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 A₂ 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 A₁ 输出正饱和及 A₂ 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

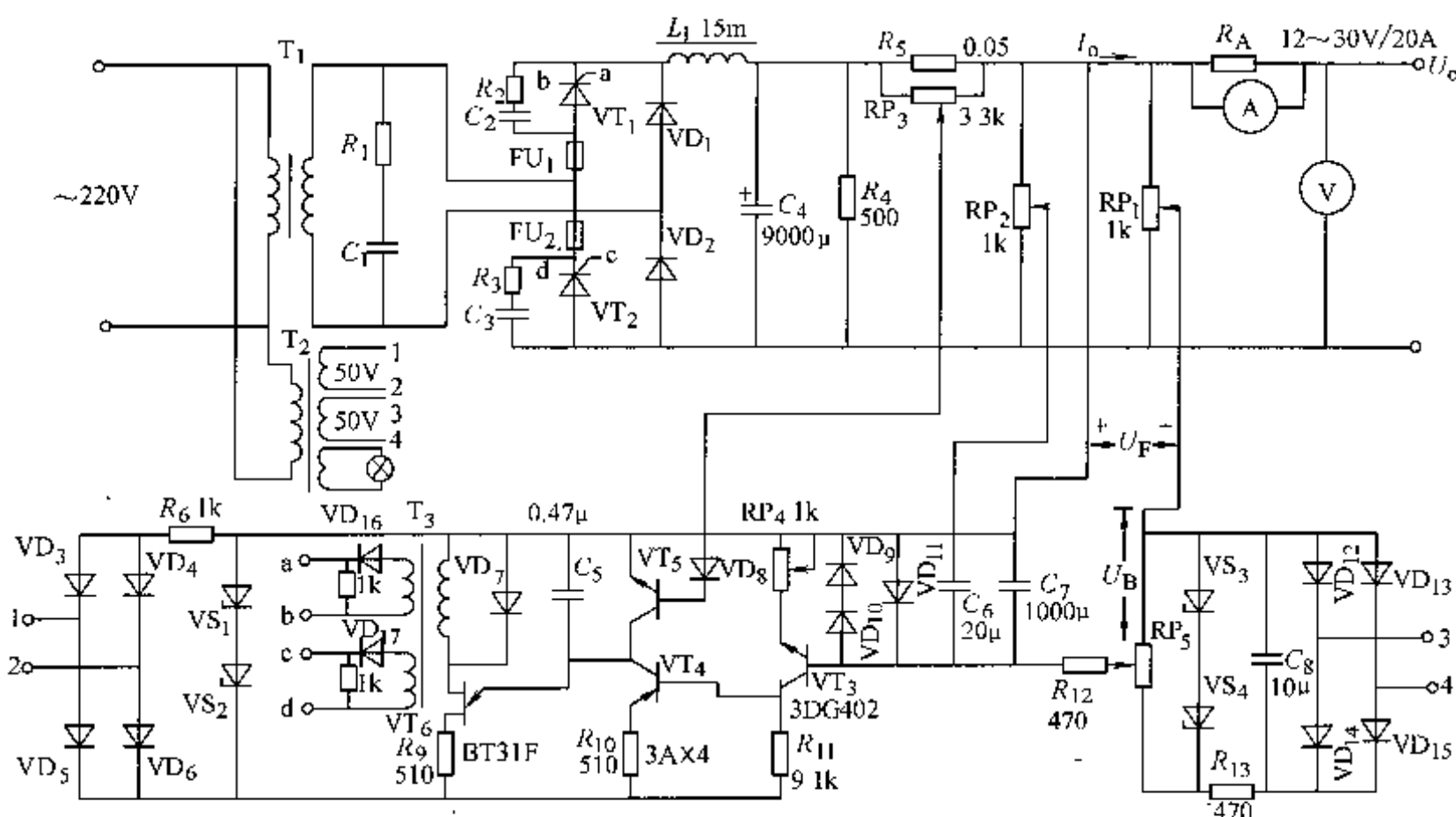
图

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。



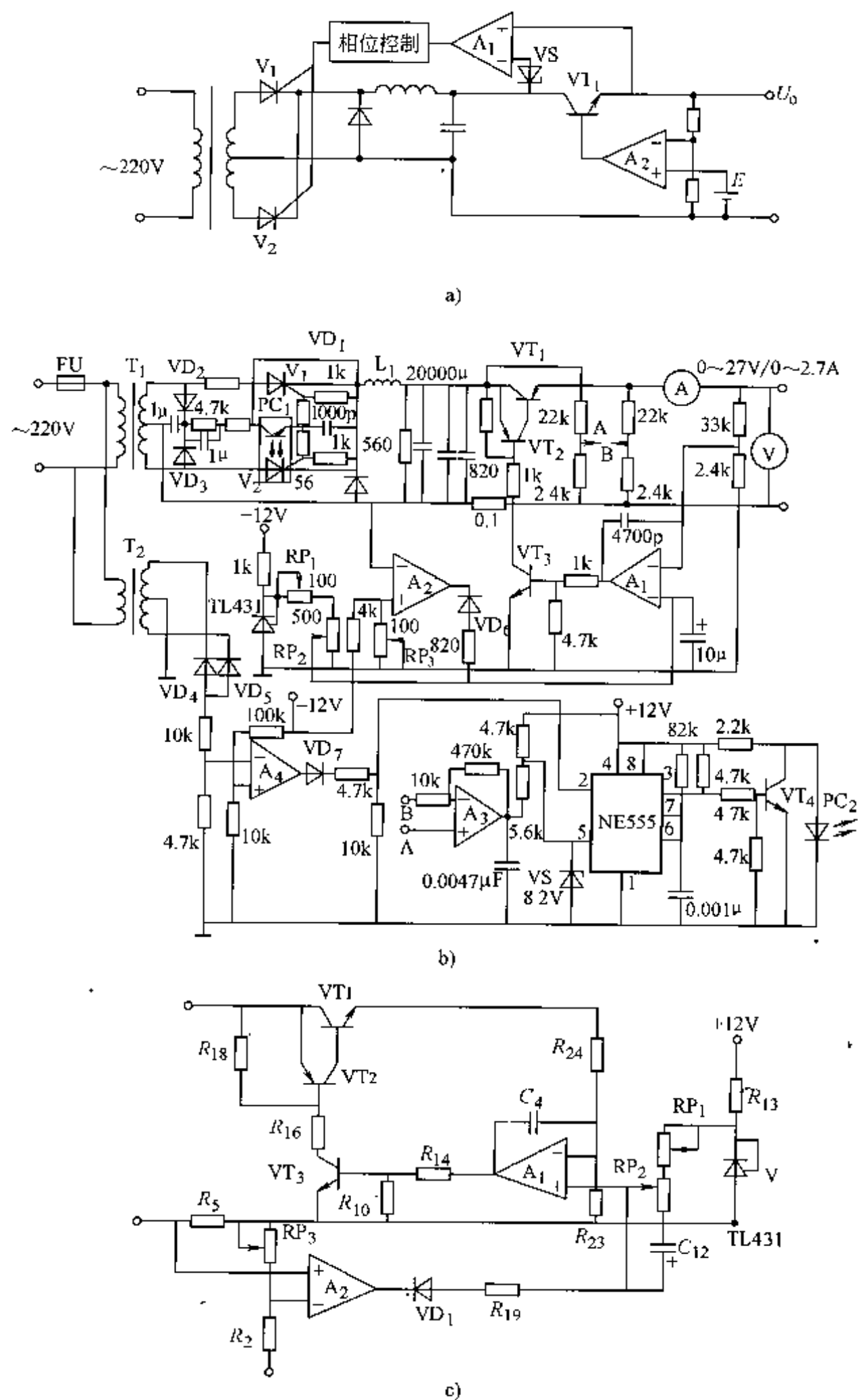


图 1-11 采用晶闸管作为预测电源的稳压电路

a) 电路框图 b) 实际电路 c) 线性稳压电路

出足够大的幅度和功率的触发脉冲 U_g ，去触发相应的晶闸管，触发电路的波形如图 1-13 所示。

(2) 自动稳压/稳流电路的工作原理 A_4 等构成双端输入求和电路。 RP_1 是输出电压的整定电位器，其动臂通过 RP_3 接到 A_4 的反相输入端。当 RP_1 从下向上滑动时， A_4 的输出从

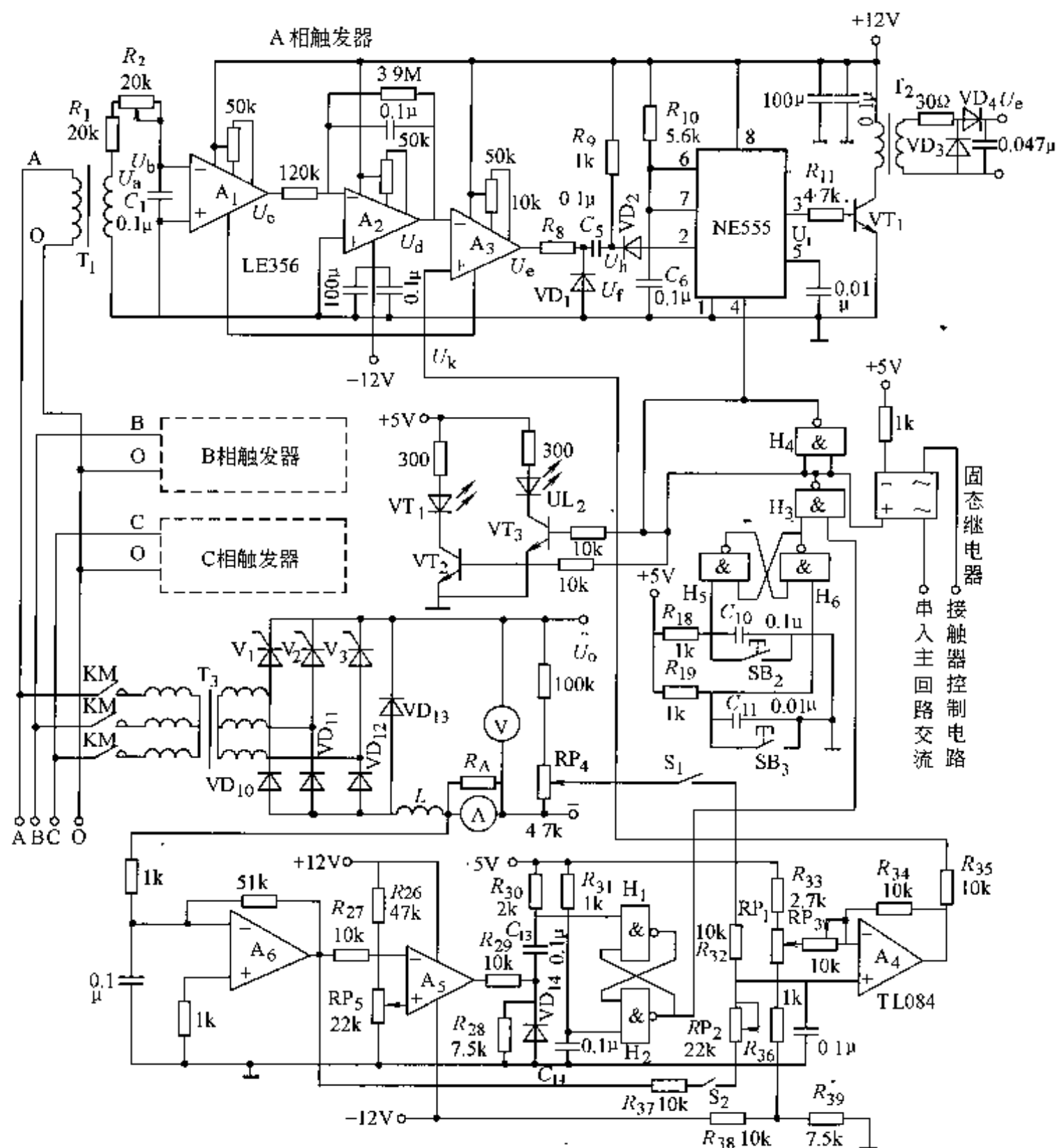


图 1-12 主电路为三相半控桥整流电路的晶闸管稳压实用电路

约 $+5\text{V}$ 变为 -5V ，并作为控制电压 U_k 加到 A_3 的同相输入端。晶闸管的导通角从 0 平滑地变至 180° （见图 1-1

