



国家级职业教育培训规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

全国中等职业技术学校电工模块教材

变频调速技术

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

前 言

为了更好地适应全国中等职业技术学校电工类专业的教学要求，劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的教师 and 行业专家编写了这套电工模块教材。

这次教材编写工作坚持了以下几个原则：

第一，根据电工类专业毕业生所从事职业的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，对教材内容的深度、难度作了较大程度的调整，坚持以能力为本位教学理念，强调基本技能的培养。

第二，吸收和借鉴各地中等职业技术学校教学改革的成功经验，以模块化教学的方式实现理论知识与技能训练相结合，以任务驱动法的编写方式导入教学内容，使教材内容更加符合学生的认知规律，易于激发学生的学习兴趣。

第三，根据科学技术发展，合理更新教材内容，尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，力求使教材具有较鲜明的时代特征。

第四，努力贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求使教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识和技能要求。同时，在教材编写过程中，严格贯彻了国家有关技术标准的要求。

第五，教材编写模式上力求突出模块化特点，每个模块都有其明确的教学目的，并针对各自教学目的的要求展开相关知识的介绍及技能训练，且给出了每个模块的任务评分表，以供教学参考。同时，还针对每个模块设置了相应的巩固与提高练习，以便学生切实掌握相关知识与技能。

第六，在内容的承载方式上，力求图文并茂，尽可能使用图片或表格形式将各个知识点生动的展示出来，从而提高了教材的可读性和亲和力。

本套教材主要包括《模拟电子电路》《脉冲与数字电路》《气液传动》《电动机》《变压器》《电气控制线路安装与维修》《变流技术及应用》《变频调速技术》《直流调速技术》《PLC 操作技能（松下系列）》《PLC 操作技能（西门子系列）》《电工基本技能训练》《钳工基本技能训练》《焊工基本技能训练》《工厂配电装置的安装与维修》《常用机床电气设备维修》《生产自动线结构与调试》《数控机床电气设备维修（2007 年出版）》《电工 EDA（2007 年出版）》等，可供中等职业技术学校电工类专业使用，也可作为职工培训教材。

本次教材的编写得到了天津、上海、江苏、广东、山东、河南、辽宁、湖南等省、市劳动和社会保障厅（局），以及天津工程师范学院、上海工程技术大学高等职业技术学院等学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《变频调速技术》的主要内容有：变频电路、西门子 MMV 变频器的使用、三菱 FR - A540 变频器的使用等。

本书由刘建华主编，张静之参加编写；宋峰青审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2006 年 2 月

目 录

第一单元 变频电路	(1)
课题一 无源逆变电路安装与调试.....	(1)
课题二 交一直一交变频电路安装与调试.....	(6)
课题三 SPWM 变频电路简介	(9)
第二单元 西门子 MMV 变频器的使用	(19)
课题一 变频器的接线、基本操作与基本参数设置运行.....	(19)
课题二 开关量控制与模拟量控制西门子 MMV 变频器接线与运行调试	(27)
课题三 多段频率控制西门子 MMV 变频器接线与运行调试	(33)
第三单元 三菱 FR - A540 变频器的使用	(39)
课题一 变频器的接线、基本操作与基本参数设置运行.....	(39)
课题二 外部操作三菱 FR - A540 变频器接线与运行调试	(46)
课题三 多段频率控制三菱 FR - A540 变频器接线与运行调试	(50)
附录 1 西门子 MMV 变频器参数表	(54)
附录 2 西门子 MMV 变频器的故障码与报警码	(60)
附录 3 三菱 FR - A540 变频器参数表	(62)
附录 4 三菱 FR - A540 变频器保护功能表	(68)

第一单元

变频电路

学习目的

1. 能分析无源逆变电路的基本原理，能完成无源逆变电路的安装与调试。
2. 能分析交—直—交变频电路的基本结构，能完成交—直—交变频电路的安装与调试。
3. 能分析 SPWM 变频电路原理，能使用常用触发芯片，能完成 SPWM 变频电路的安装与调试。

课题一 无源逆变电路安装与调试

教学目的

掌握无源逆变电路的概念及分类，能对无源逆变电路进行分析，能完成无源逆变电路的安装与调试。

任务分析及引入

无源逆变的使用非常广泛，最典型的的就是 UPS（不间断电源）。UPS 的作用是在交流输入电源断电或发生其他异常情况时，还能够继续向负载供电，并保证供电的质量，使负载正常工作不受影响。常见的 UPS 为后备式 UPS，目前，企业中广泛使用它来保证计算机、工控机等设备在供电线路发生故障时仍能正常使用，确保数据信息不会因突然断电而丢失。后备式 UPS 内部结构框图如图 1—1 所示。

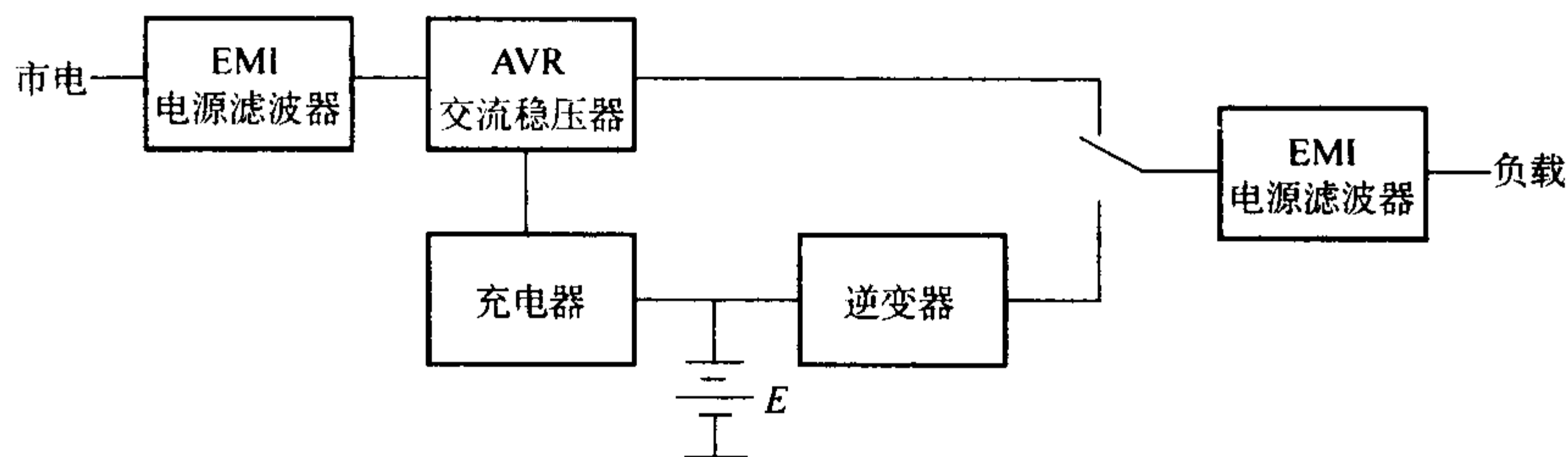


图 1—1 后备式 UPS 内部结构框图

在框图中，接入电源滤波器和交流稳压器的作用是为了改善交流电源质量，而充电器的作用是在交流电源正常时对蓄电池进行充电，一旦交流电源发生故障，则通过逆变器将蓄电池中存储的直流电源能量转换成交流电继续对负载供电。由此可知，整个 UPS 中最重要的部分便是逆变器。它是将直流电转换成交流电供给负载使用的装置，通常称为无源逆变器。

相关知识

通过变流技术课程的学习，我们知道将直流电转换成交流电称为逆变，若将此逆变所得的交流电送回电网，则称为有源逆变；若将此逆变所得的交流电直接送给负载使用，则称为无源逆变。

一、无源逆变电路的简单工作原理

图 1—2 所示为单相并联逆变器主电路， E 为直流电源， L 为换向电感， C 为换向电容。当触发脉冲触发 $VT1$ 、 $VT2$ 交替通断时，可通过逆变变压器在负载中得到感应出的交流电。此时，逆变出的交流电的频率与 $VT1$ 、 $VT2$ 交替通断的频率有关。由于 $VT1$ 与 $VT2$ 都是晶闸管，因此，必须在电路中附加换流环节，多采用换流电容作为储能元件。换流时，电容电压对晶闸管产生反向脉冲，迫使管子可靠关断，即采用强迫换流方式关断。

如图 1—3 所示，当晶闸管 $VT1$ 导通时，直流电压 E 加在变压器 Oa 段绕组上，在二次绕组上感应出电压，并流过负载电流。与此同时，由于自耦变压器作用， Ob 段绕组上也产生电压 E ，电容 C 被充电到 $2E$ ，右正左负。

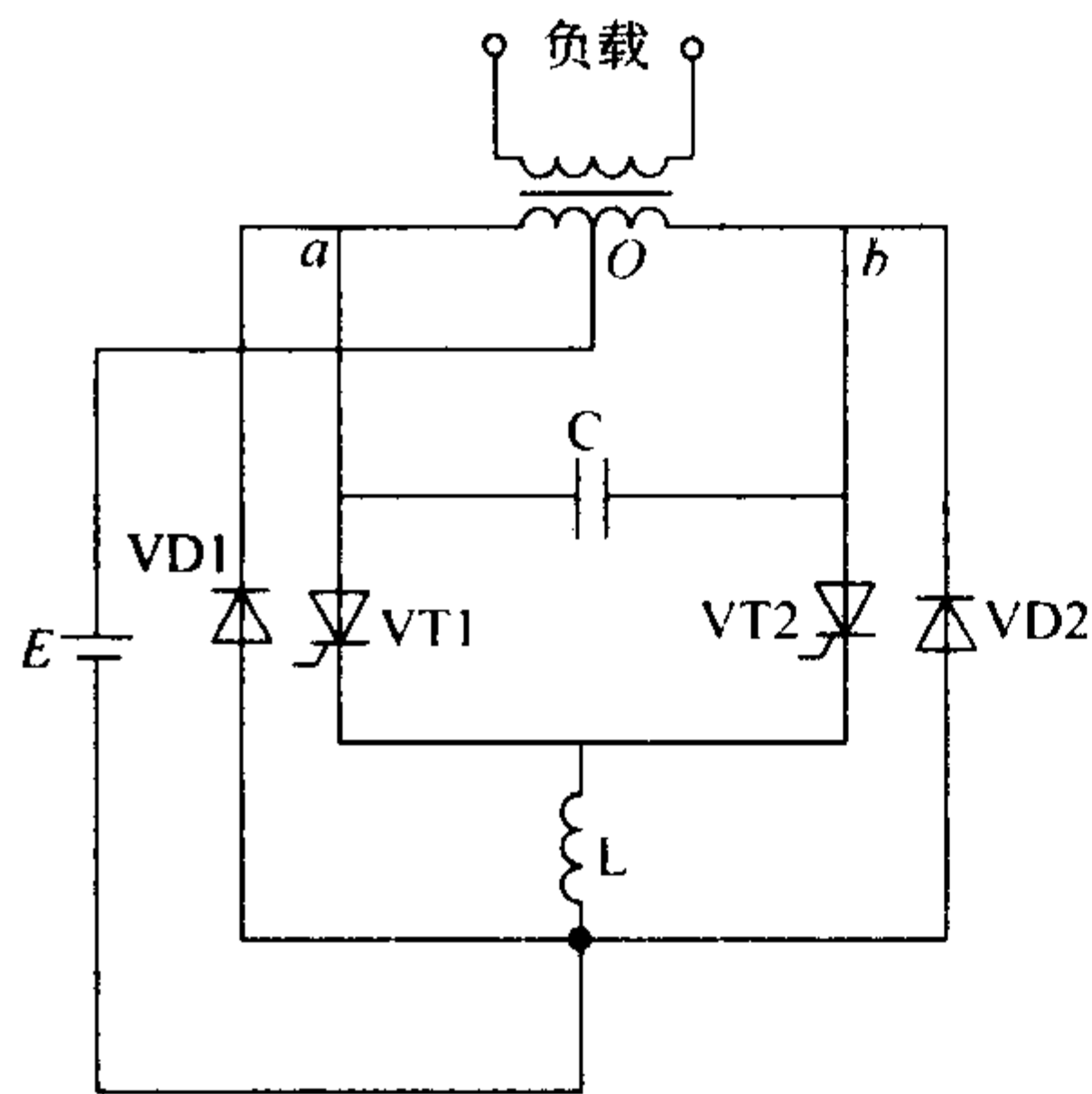


图 1—2 单相并联逆变器主电路

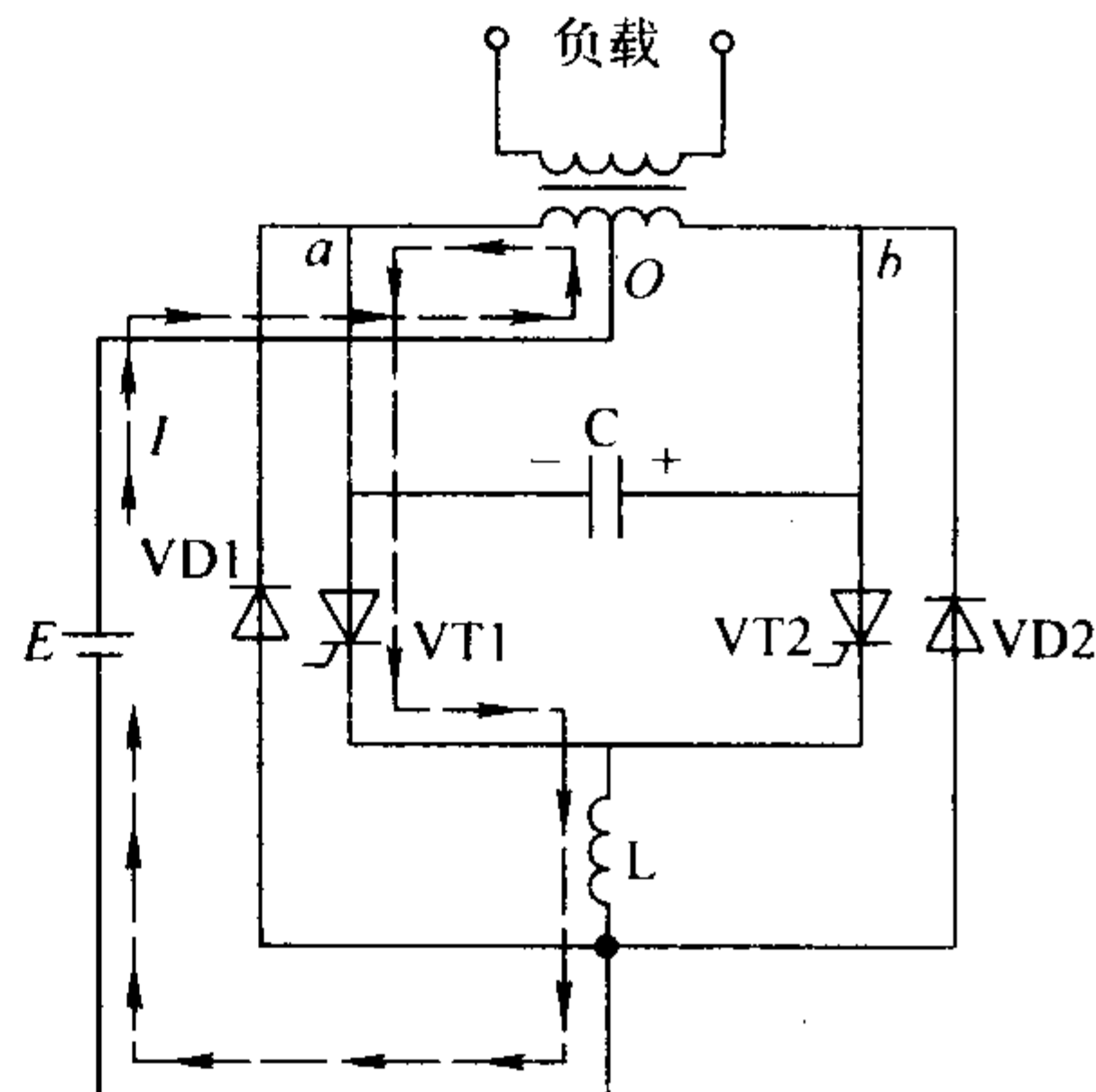


图 1—3 晶闸管 $VT1$ 导通时的电流情况

如图 1—4 所示，当晶闸管 $VT2$ 导通时， $VT1$ 由于 C 的反压而关断。 C 的电荷经 $E—O—a—C—VT2—L$ 回路放电。当电流增大时， L 上的电压上端为正，下端为负；当电流减小时变为上端为正，下端为正。下端为正时，由于 $VD2$ 导通，因而 $L—VD2—VT2$ 回路产生环流，把 L 上的能量消耗掉。如果负载的能量没有释放完，则负载回路滞后的电流继续流过，在一次绕组将感生出 b 端为负的电压，因而 $VD2$ 导通，在 $VD2—b—O—E$ 回路产生反馈电流，将负载的能量反馈给电源。

当电容 C 放电完毕后，此时由于晶闸管 $VT2$ 导通，直流电压 E 加在变压器 Ob 上，在二次绕组上感应出反方向的电压，并流过负载电流。与此同时，由于自耦变压器作用， Oa 上也产生电压 E ，电容 C 被反向充电到 $2E$ ，左正右负，如图 1—5 所示。

在此过程中，负载上便得到了交流电。只需改变 $VT1$ 与 $VT2$ 的触发脉冲，就可得到所需的交流电。

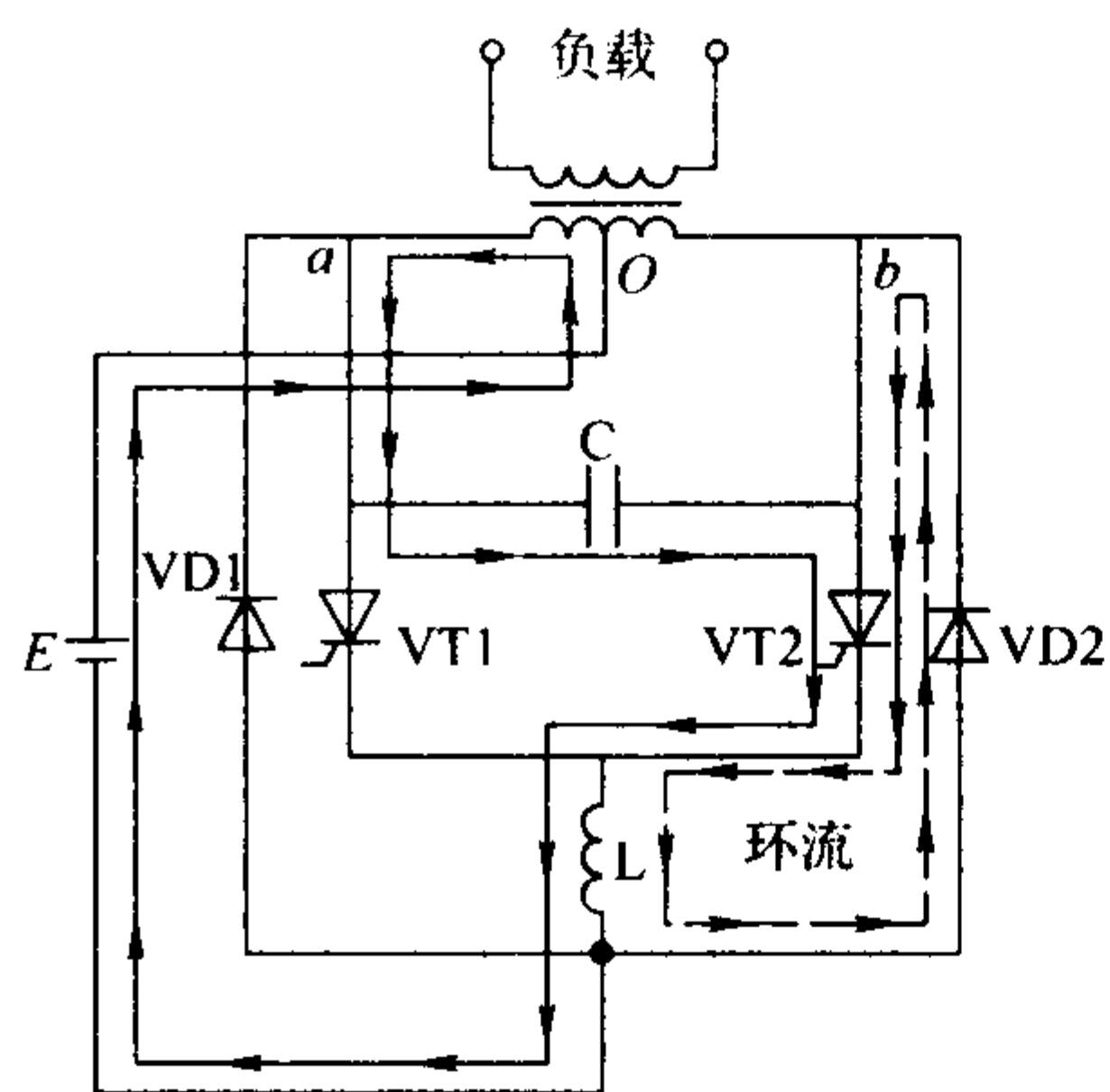


图 1—4 晶闸管 VT₂ 导通关断 VT₁ 时电流情况

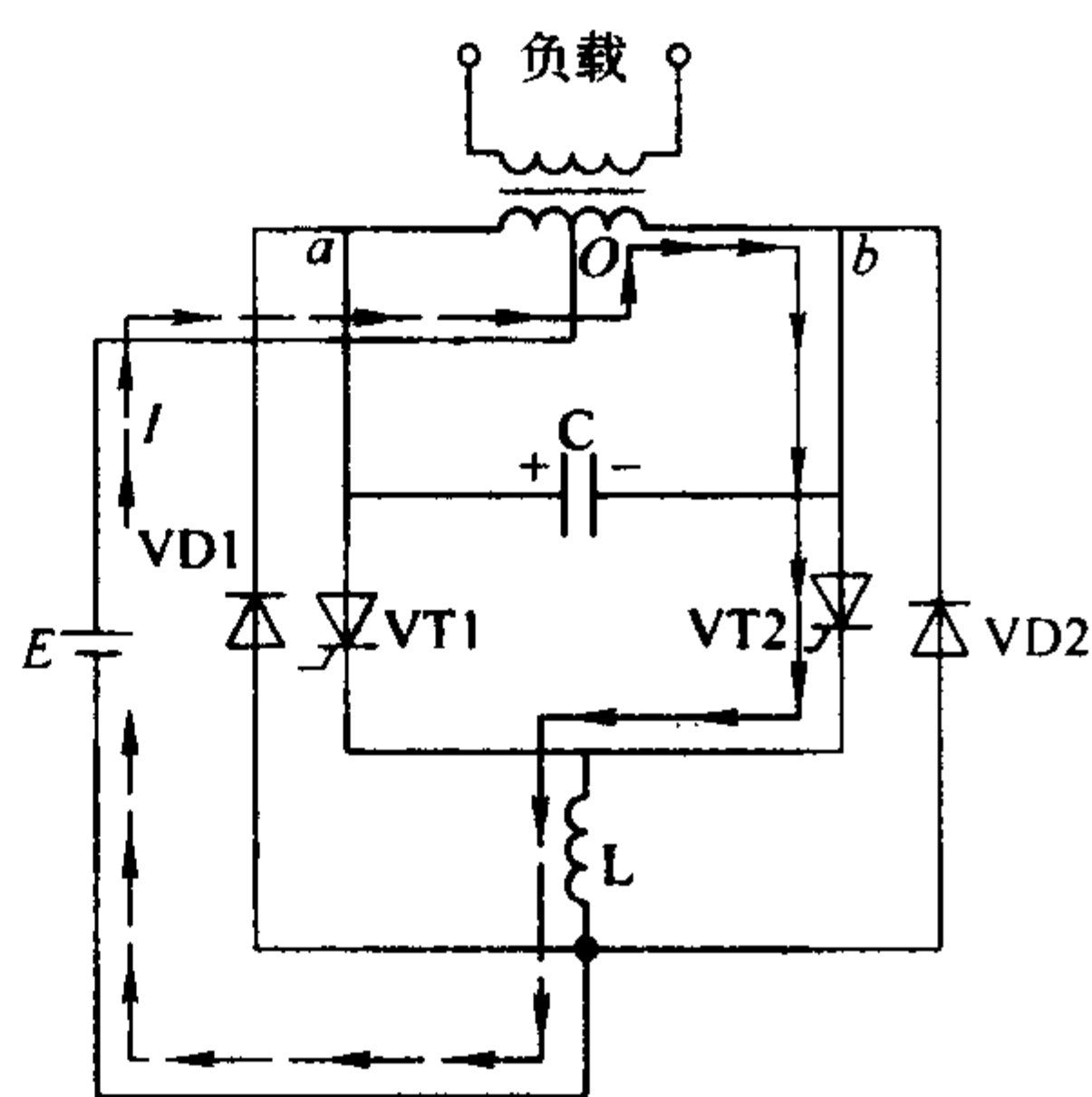


图 1—5 晶闸管 VT₂ 导通时的电流情况

反馈二极管 VD₁、VD₂ 在此电路中作用：

(1) 无功功率的处理由反馈二极管进行，L、C 能确保晶闸管的关断时间即可，因此，容量可以设计得比较小。

(2) 如果 a 点或 b 点的电位降到零以下则 VD₁ 或 VD₂ 导通，所以 Oa 段绕组上或 Ob 段绕组上的电压保持为 E，即确保负载电压幅值也不变，输出电压波形为方波。

L 所储存的能量，在 L—VD₂—VT₂ 或 L—VD₁—VT₁ 回路中被 L 的电阻及二极管、晶闸管的正向电阻消耗掉，因而带来了使元件温度升高的缺点。

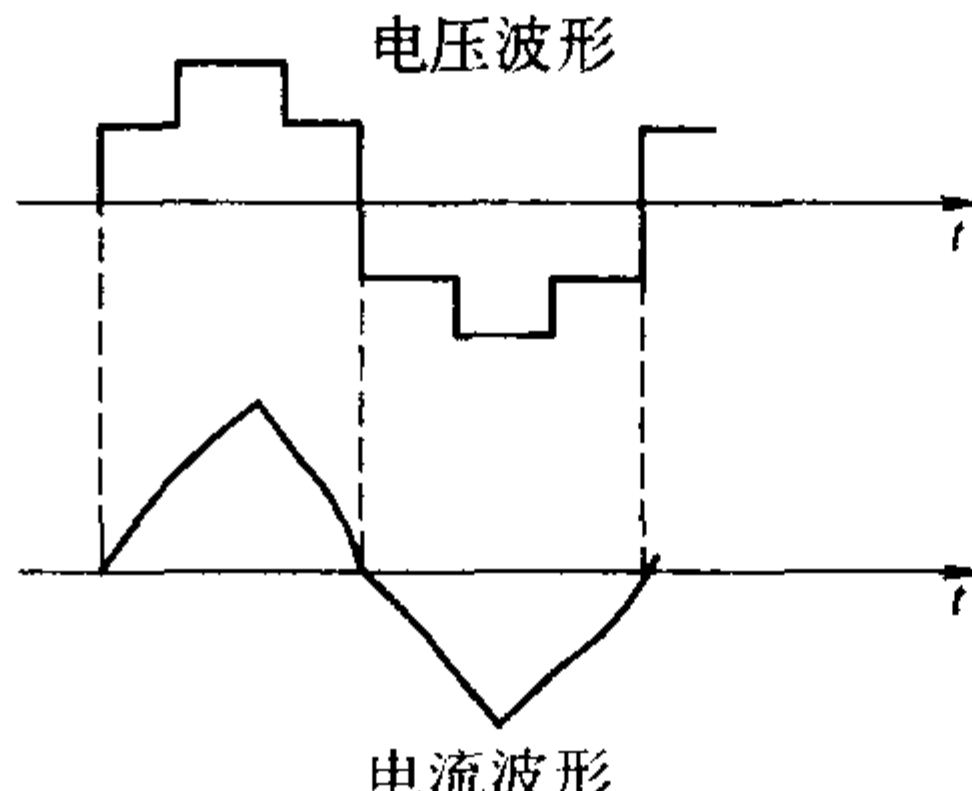
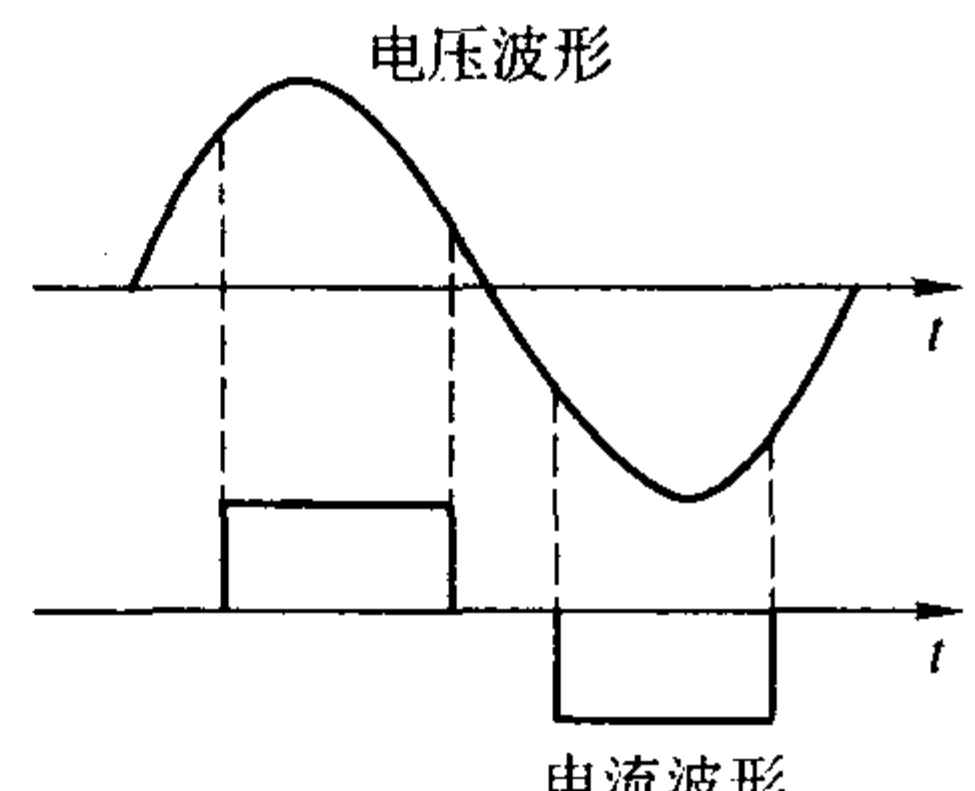
二、电压型逆变器与电流型逆变器

对于强迫换流的逆变器，根据其最靠近逆变桥的直流滤波方式可分为电压型逆变器和电流型逆变器两种，见表 1—1。

表 1—1

电压型逆变器和电流型逆变器

逆变器	电压型逆变器	电流型逆变器
定义	电压型逆变器通常在直流侧采用大电容进行滤波，逆变器的直流电源阻抗小，直流电压基本无脉动，类似于恒压源，因此称为电压型逆变器	电流型逆变器通常在直流侧采用大电感进行滤波，逆变器的直流电源为高阻抗，直流电流基本无脉动，类似于恒流源，因此称为电流型逆变器
电路		
特点	<p>① 由于直流电压源具有恒压作用，因此，交流侧电压波形为矩形，而输出电流波形接近于正弦形</p> <p>② 当交流侧为电感性负载时，需要提供无功功率，直流侧电容起缓冲无功能量的作用。为了给交流侧向直流侧反馈的能量提供通路，各臂都需并联反馈二极管</p>	<p>① 逆变电路中的开关器件主要起改变直流电流通路的作用，输出电流比较平直，为交变矩形波，而输出电压波形接近于正弦形</p> <p>② 直流侧电感起缓冲无功能量的作用，由于电流不能反向，因此，开关器件不必反并联二极管</p>

逆变器	电压型逆变器	电流型逆变器
电压、电流波形	 <p>电压波形</p> <p>电流波形</p>	 <p>电压波形</p> <p>电流波形</p>
备注	由电压、电流波形图可知，无论哪种无源逆变装置，其输出的电压、电流波形并不全是正弦形，但这类输出电压、电流在带动负载时可正常使用	

技能训练

无源逆变电路安装与调试

一、主电路

- 按图 1—6 在铆钉板上布置元件。
- 按图 1—6 所示电路进行焊接，并完成主电路的安装。

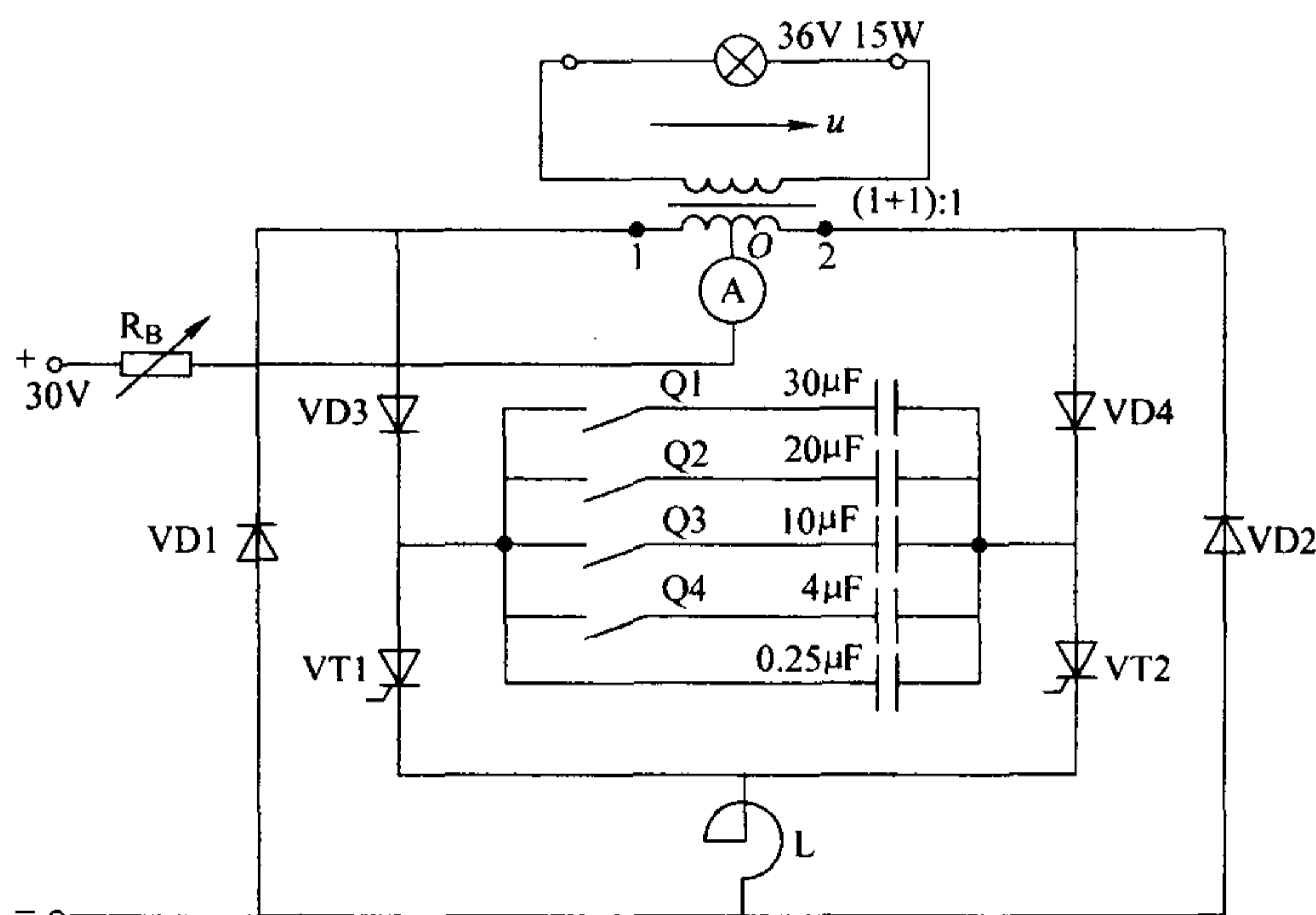


图 1—6 主电路

二、触发电路

图 1—7 为触发电路，其中由 BT31 单结晶体管自激振荡电路产生一系列的尖脉冲信号，改变可调电位器 RP 可调整输出电压的频率。三极管 V1、V2 配合电阻、电容构成双稳态电路，输出相位相差 180° 的两组方波电压信号。正脉冲送到 V1、V2 的发射极，利用集电极与基极耦合电容存储电荷的作用使原来截止的管子导通，原来导通的管子截止，轮换翻转，这种触发方式称为发射极触发。发射极触发具有电路触发灵敏度较低、抗干扰能力强的特点。

图中 V3、V4 起脉冲放大作用，确保主电路晶闸管被可靠触发。

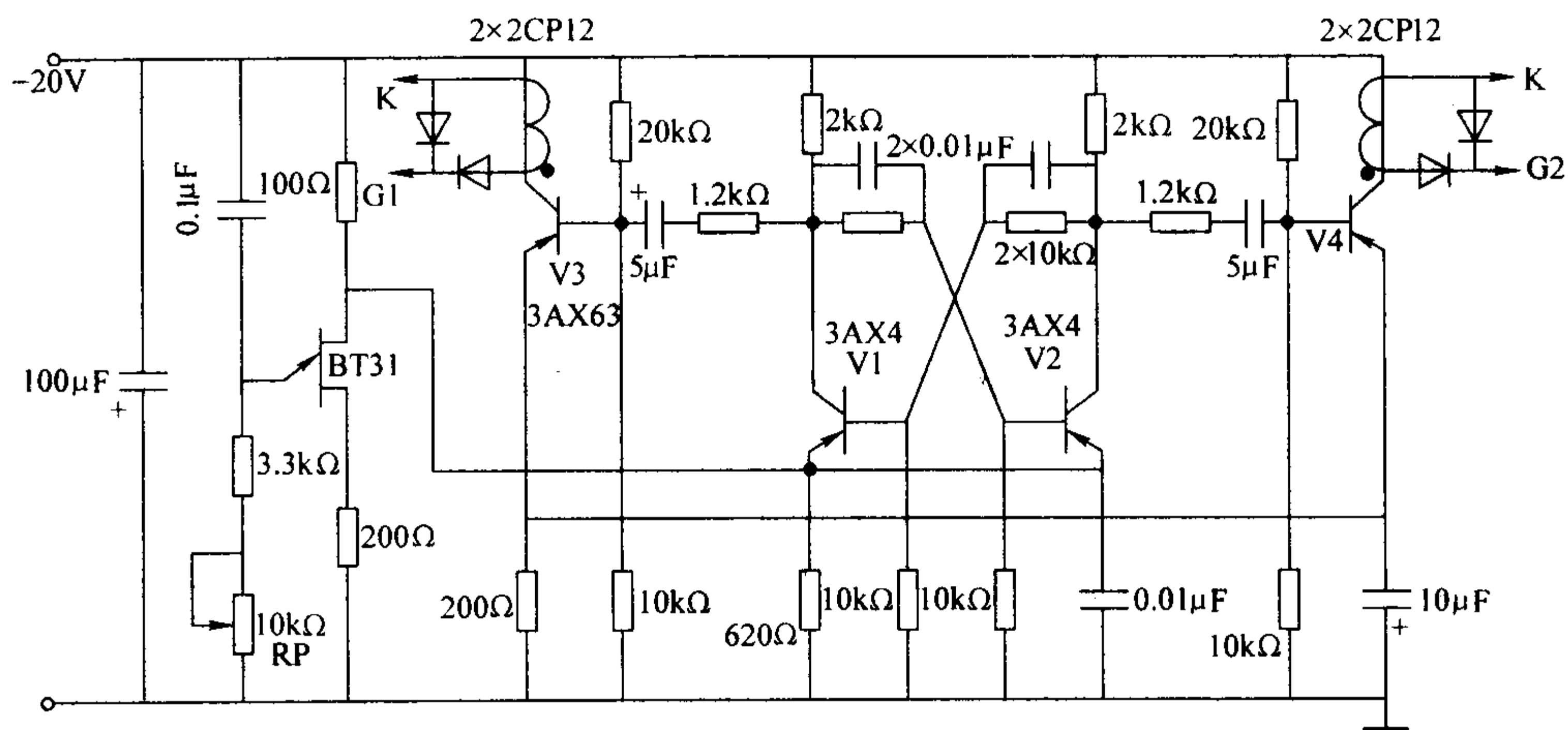


图 1—7 触发电路

1. 按图 1—7 在铆钉板上布置元件。
2. 按图 1—7 所示电路进行焊接，完成触发电路的安装。
3. 将触发电路通电，用示波器观测单结晶体管输出的尖脉冲。
4. 用示波器观测 V3、V4 管集电极输出放大后的脉冲信号。
5. 将触发电路与主电路连接，经教师检查无误后通电。
6. 分别合上开关 Q1 ~ Q4，并调整电位器 RP，观察实验现象。

技能评分表

项目	技术要求	配分	评分细则	评分记录
元件检测及安装	1. 按要求检测元件	15分	检测方法错，每次扣5分	
	2. 元件安装		元件安装位置错，每件扣5分	
电路通电调试	1. 示波器使用	40分	示波器使用不正确，扣5~10分	
	2. 触发电路的调试		调试顺序错，扣5~10分	
	3. 触发电路各点波形观测		观察点波形不对，每个扣5分	
	4. 主电路的调试与观察		实验现象不正常，扣5~10分	
原理叙述	1. 无源逆变电路的简单工作原理	30分	叙述不正确，扣2~6分	
	2. 电压型逆变器的简单工作原理		叙述不正确，扣2~6分	
	3. 电流型逆变器的简单工作原理		叙述不正确，扣2~6分	
	4. 主电路的工作原理		叙述不正确，扣2~6分	
	5. 触发电路的工作原理		叙述不正确，扣2~6分	
安全文明生产	1. 工具、仪表完好无损	15分	如有损坏，酌情扣5~10分	
	2. 安全生产文明操作		如有违反安全操作者，酌情扣5~15分；对发生事故者扣50分	
工时	定额时间为 90 min			
备注				

巩固与提高

一、判断题

1. 将直流电转换成交流电称为逆变。 ()
2. 将逆变所得的交流电送回电网, 称为无源逆变。 ()
3. 电压型逆变器通常在直流侧采用大电容进行滤波。 ()
4. 电压型逆变器的交流侧为电感性负载时, 为了给交流侧向直流侧反馈的能量提供通路, 各臂都需并联反馈二极管。 ()

二、选择题

1. 电流型逆变器通常在直流侧采用 () 滤波。
A. 大电感 B. 电容 C. 电阻 D. 电阻和电容
2. 电流型逆变器输出电流波形为 (), 而输出电压波形为 ()。
A. 正弦波形 B. 交变矩形波形 C. 锯齿波形 D. 脉冲波形

三、简答题

1. 什么叫无源逆变?
2. 简述单相并联逆变器主电路中反馈二极管 VD1、VD2 在电路中的作用。
3. 电压型逆变器的主要特点有哪些?
4. 电流型逆变器的主要特点有哪些?

课题二 交一直一交变频电路安装与调试

教学目的

掌握交流调速的三种方案, 理解交一直一交变频电路与无源逆变电路的关系, 能完成无源逆变电路的安装与调试。

任务分析及引入

在生产过程中, 我们经常需要对电动机进行调速。对于交流电动机, 其转速公式为:

$$n = \frac{60f_1}{p} (1 - s)$$

式中 p —— 定子绕组磁极对数;
 s —— 转差率;
 f_1 —— 电源频率。

由此可见, 交流电动机的调速方案有三种:

1. 改变定子绕组磁极对数 p

如双速电动机, 调速为有级调速, 速度只能低于同步转速, 效率较高。

2. 改变转差率 s

如调压调速、电磁调速异步电动机等，可实现无级调速，但转速只能低于同步转速，效率较低。

3. 改变电源频率 f_1

即变频调速，可实现无级调速，转速可低于同步转速，也可高于同步转速，效率高。变频调速是当今异步电动机调速的主要发展趋势和应用形式。

相关知识

实现变频的最常见电路为交—直—交变频电路。所谓交—直—交变频电路就是将 50 Hz 的交流电先转换成直流电，再通过无源逆变电路，将直流电转换成频率可调的交流电，如图 1—8 所示。即：

整流电路 + 无源逆变电路 = 交—直—交变频电路

在电子技术和变流技术中我们已学习过整流电路，如图 1—9 所示，直流电源 E 可用电子技术中学习过的单相或三相整流电路来替代。

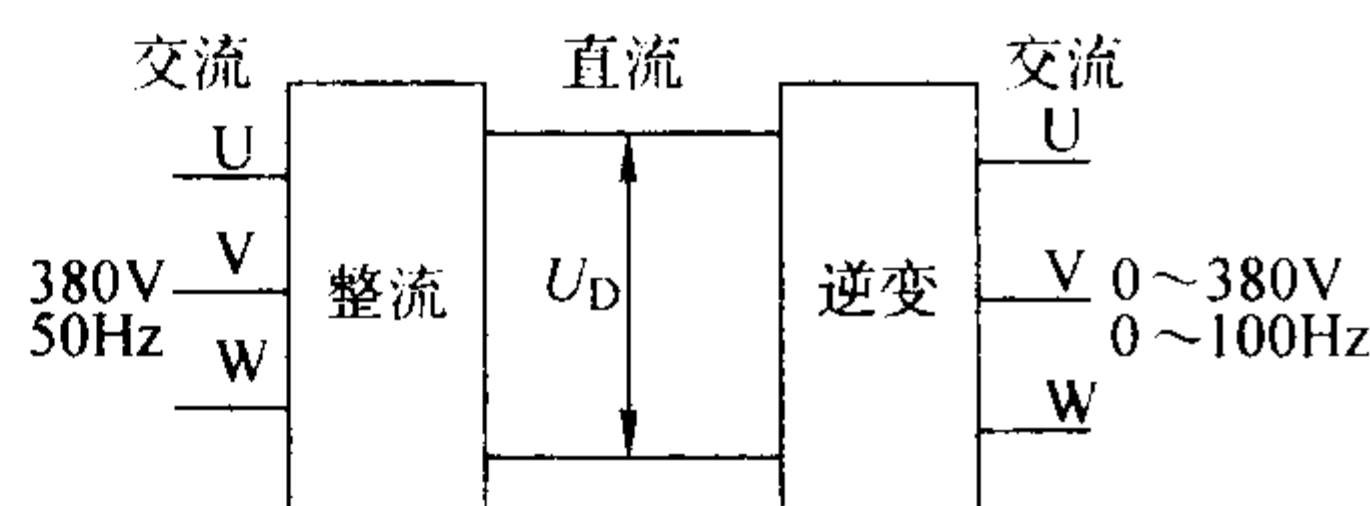


图 1—8 常见的交—直—交变频电路

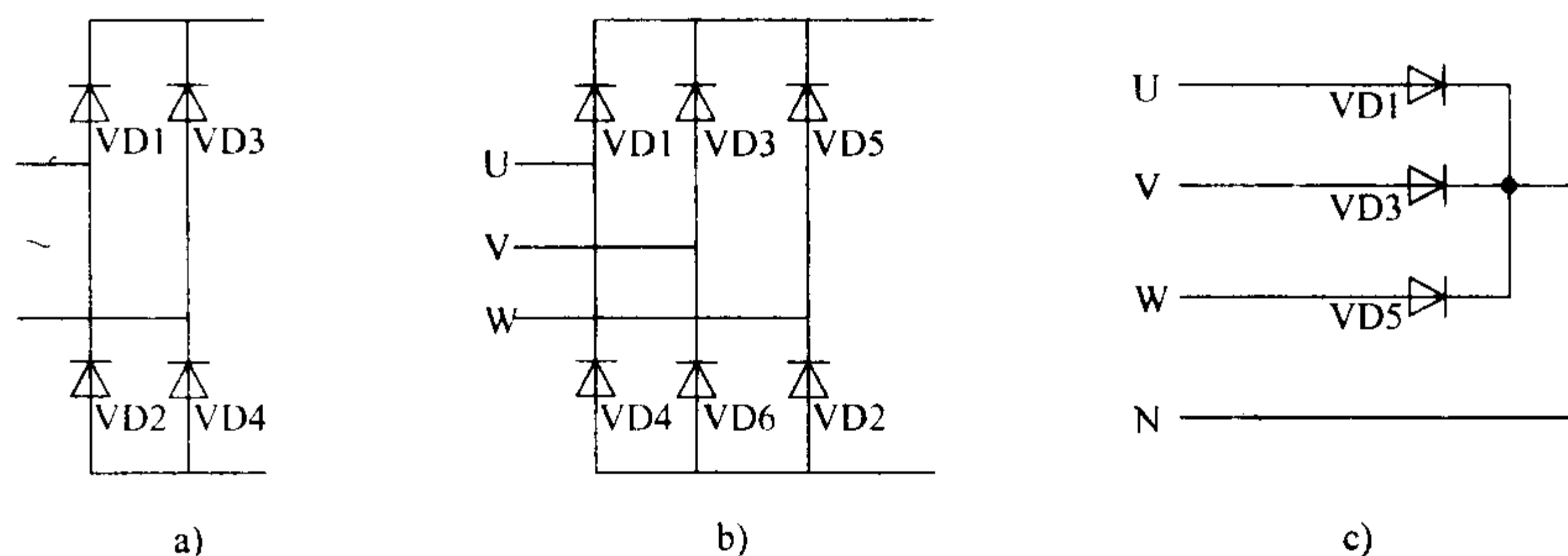


图 1—9 常见整流电路

a) 单相桥式整流电路 b) 三相桥式整流电路 c) 三相半波整流电路

我们可将图 1—2 中的直流电压 E 用整流电路的电源来替代，即可构成交—直—交变频电路。

技能训练

交—直—交变频电路安装与调试

一、主电路

1. 按图 1—10 在铆钉板上布置元件。
2. 按图 1—10 所示电路进行焊接，并完成主电路的安装。
3. 经教师检查无误后通电，在 100 μ F 电解电容器两端用万用表测量有无直流输出，正常时直流电压应约为 29 V。

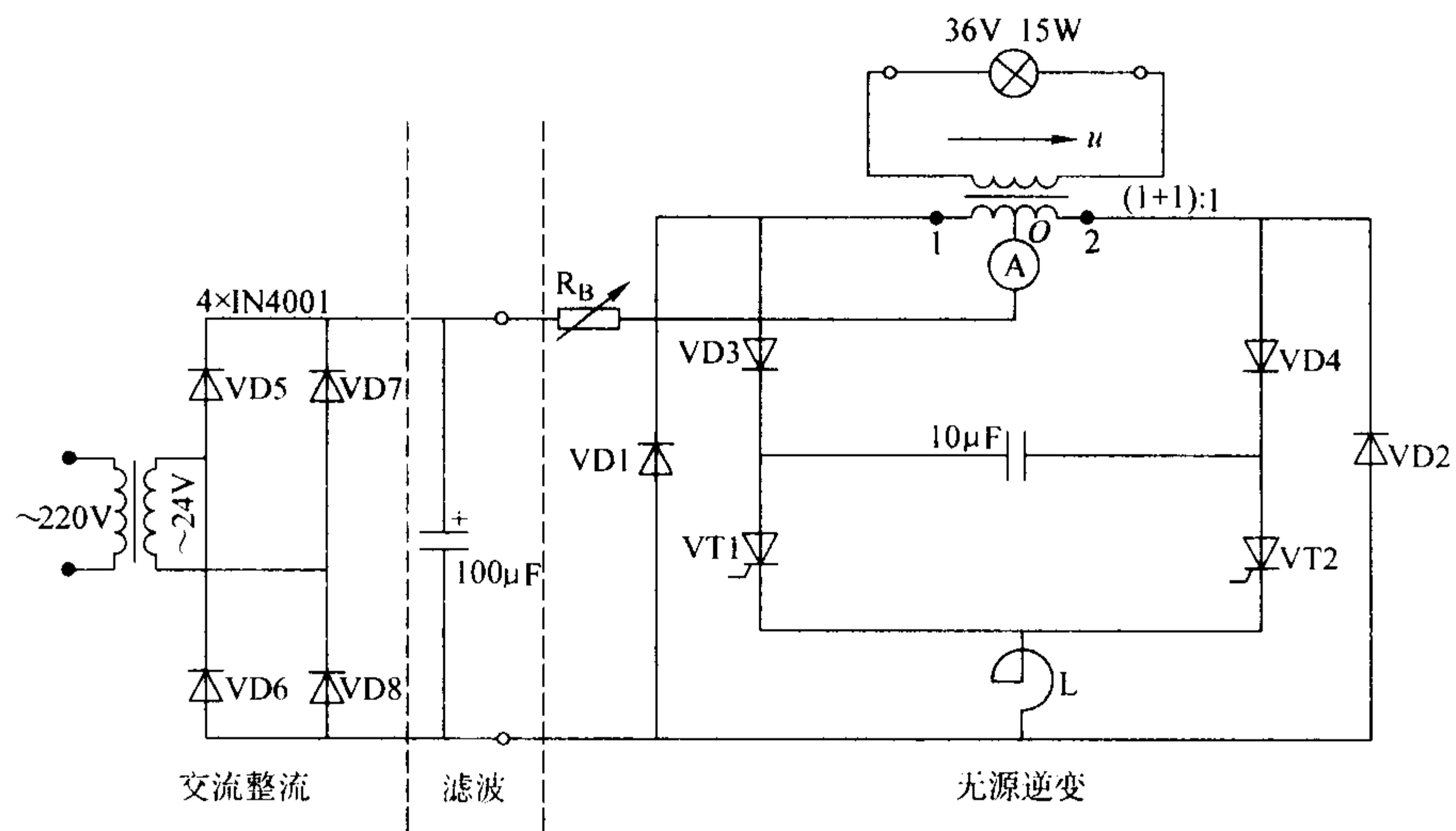


图 1—10 主电路

二、触发电路

1. 按图 1—7 在铆钉板上布置元件。
2. 按图 1—7 所示电路进行焊接，完成触发电路的安装。
3. 将触发电路通电，用示波器观测单结晶体管输出的尖脉冲。
4. 用示波器观测 V3、V4 管放大后的脉冲信号。
5. 将触发电路与主电路连接，经教师检查无误后通电。
6. 调整电位器 RP，观察实验现象。

技能评分表

项目	技术要求	配分	评分细则	评分记录
元件检测 及安装	1. 按要求检测元件	15分	检测方法错，每次扣5分	
	2. 元件安装		元件安装位置错，每件扣5分	
电路通电 调试	1. 示波器使用	40分	示波器使用不正确，扣5~10分	
	2. 主电路的调试与观察		实验现象不正常，扣5~10分	
	3. 触发电路的调试		调试步骤不规范，扣5~10分	
	4. 触发电路各点波形观测		观察点波形不对，每个扣5分	
原理 叙述	1. 频率与交流电动机转速的关系	30分	叙述不正确，扣2~7分	
	2. 交-直-交变频电路的构成原理		叙述不正确，扣2~7分	
	3. 主电路的工作原理		叙述不正确，扣2~8分	
	4. 触发电路的工作原理		叙述不正确，扣2~8分	
安全文明 生产	1. 工具、仪表完好无损	15分	如有损坏，酌情扣5~10分	
	2. 安全生产文明操作		如有违反安全操作者，酌情扣5~15分； 对发生事故者扣50分	
工时	定额时间为90 min			
备注				

巩固与提高

一、判断题

1. 所谓交—直—交变频电路就是将 50 Hz 的交流电先转换成直流电, 再通过无源逆变电路, 将直流电转换成频率可调的交流电。 ()
2. 采用改变交流电动机定子绕组磁极对数的方法可实现无级调速。 ()
3. 改变转差率 s 调速, 转速可以高于同步转速, 但效率较低。 ()
4. 变频调速可实现无级调速, 转速可低于同步转速, 也可高于同步转速。 ()

二、简答题

1. 交流电动机的调速方案有哪几种?
2. 常见的整流电路有哪几种? 试画出它们的原理图。

课题三 SPWM 变频电路简介

教学目的

理解调压变频的原因, PWM 的概念, IGBT 的概念及其驱动电路的使用, 能分析 SPWM 主电路及控制电路, 能完成 SPWM 变频电路的安装与调试。

任务分析及引入

前面所提出的变频电路形式在异步电动机恒转矩的变频调速系统中是无法直接使用的。因为, 异步电动机的定子绕组感应电动势公式为:

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 \omega_1 k_1 \Phi_m$$

当异步电动机制造完成后, $4.44 \omega_1 k_1$ 为常数, 若供电电压 U_1 不变, 则频率 f_1 上升时, 气隙磁通 Φ_m 将减小, 这将造成电动机输出转矩下降; 频率 f_1 下降时, 气隙磁通 Φ_m 将增大, 这将造成磁路饱和, 励磁电流增大, 电动机过热。可见, 为了保证气隙磁通 Φ_m 不变, 就必须在调整频率的同时对电压也进行相应的调整。

具体实现调压和调频的方法有很多种, 但从变频器的输出电压和频率的控制方法来分, 一般可分为 PAM 和 PWM 两种。

PAM 型变频是一种改变电压源的电压 (或电流源) 幅值进行输出控制的方式。它在逆变器部分控制输出频率, 在整流器部分控制输出的电压 (或电流)。

PWM (脉宽调制) 型变频靠改变脉冲宽度来控制输出电压, 通过改变调制周期来控制其输出频率, 所以, 脉冲调制方法对 PWM 型变频电路的性能具有根本性的影响。

相关知识

一、PWM 控制的基本原理

在采样控制理论中有一个重要的结论: 冲量 (即指窄脉冲的面积) 相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上, 其效果 (输出响应波形) 基本相同。

如图 1—11 所示，图 1—11a 为矩形脉冲，图 1—11b 为三角形脉冲，图 1—11c 为正弦半波脉冲。若它们的面积（即冲量）相等，则把它们分别加在具有惯性的环节上，其效果基本相同，脉冲越窄，输出的差异越小。

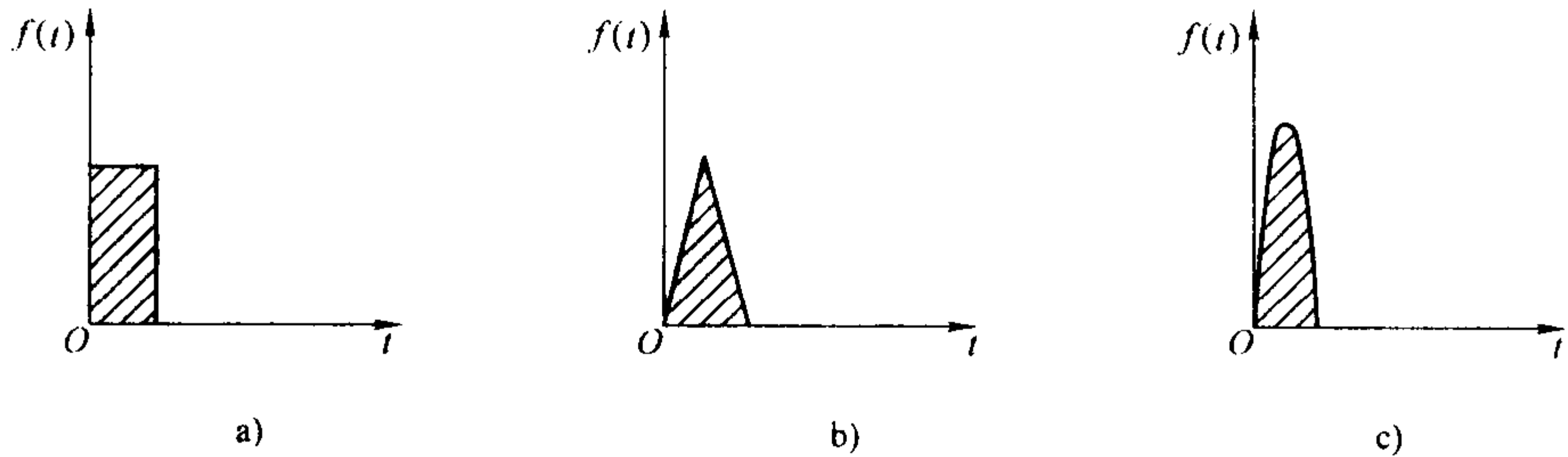


图 1—11 脉冲波形

a) 矩形脉冲 b) 三角形脉冲 c) 正弦半波脉冲

把图 1—12a 所示的正弦半波波形分成若干等份，就可以把正弦半波看成若干个相连的脉冲所组成的波形。这些宽度相等，但幅值不等的脉冲用数量相等的等幅而不等宽的矩形脉冲序列代替，使矩形脉冲的面积之和与相对应的正弦等分部分的面积（冲量）相等，就可得到图 1—12b 所示的脉冲序列，这就是 PWM 波形。由上述冲量相等、效果相同的原理可知，该 PWM 波形和正弦半波是等效的。

同理，对于正弦波的负半周，也可用同样的方法得到 PWM 脉冲序列。像这样的等效于正弦波的 PWM 脉冲波形，也称为 SPWM（正弦波脉宽调制）。

在实际应用当中，为了获得 PWM 波多采用调制的方法，即把所希望频率的正弦波波形作为调制信号，把接受调制的信号作为载波，通过对载波的调制得到所希望的 PWM 波形。一般采用等腰三角波作为载波 U_C ，在它和调制的正弦波的交点时刻（ U_R ）控制电路中开关器件的通断，就可以得到宽度正比于正弦波信号幅值的脉冲，所得到的就是 SPWM 波形，如图 1—13 所示。

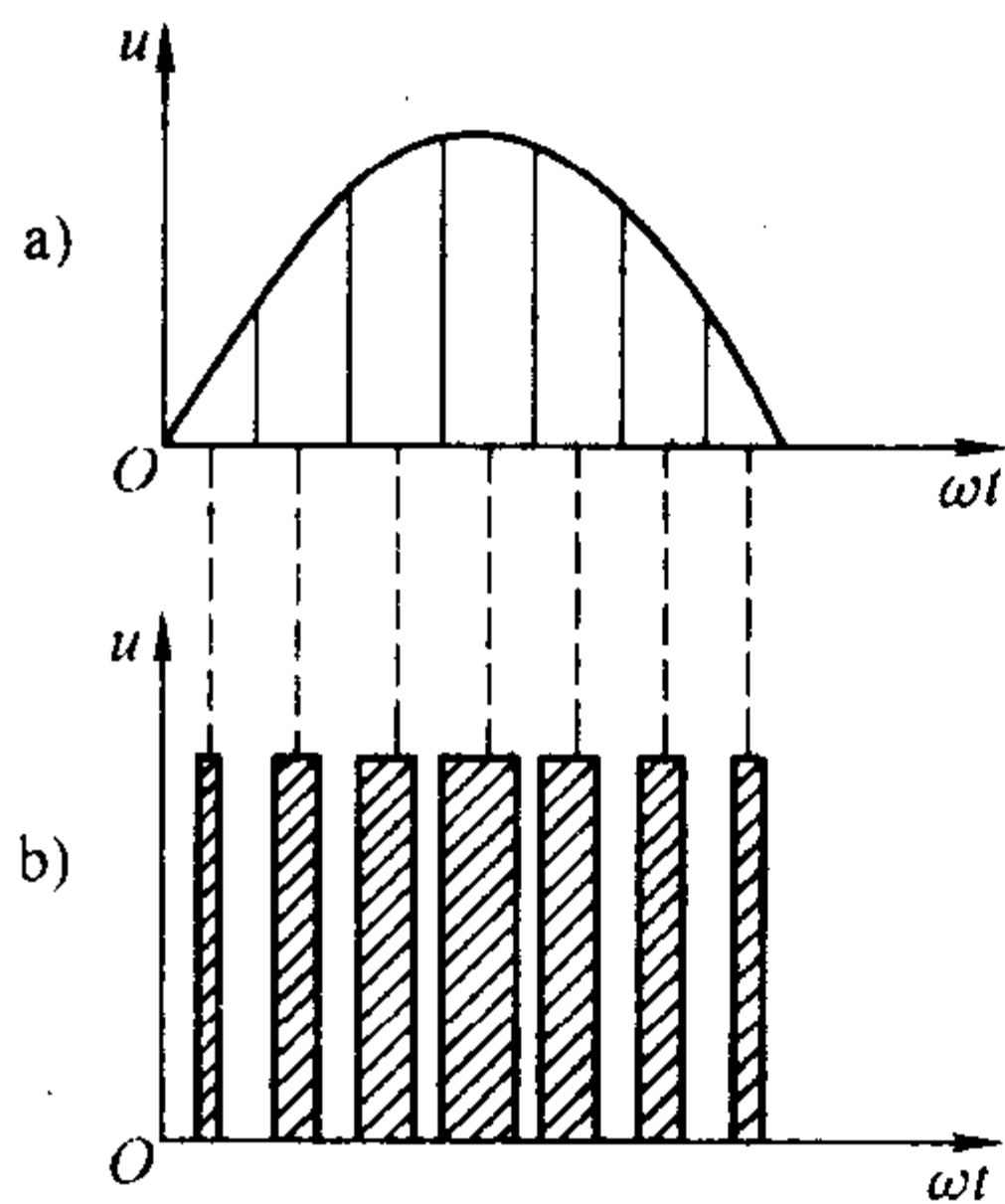


图 1—12 半波等效

a) 正弦半波波形 b) PWM 波形

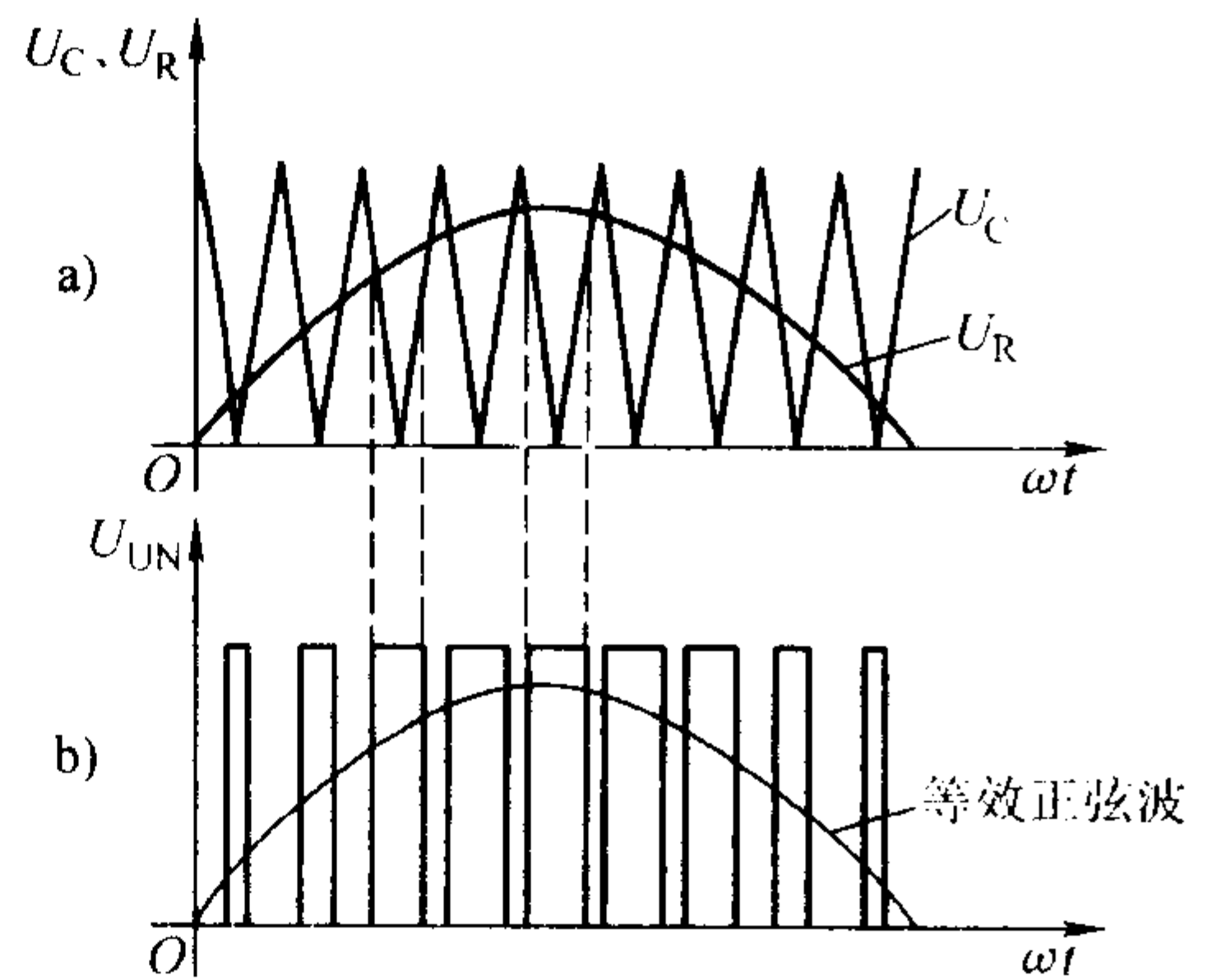


图 1—13 SPWM 调制

常见的 SPWM 控制方式有两种：正半周用正向窄脉冲，负半周用负向窄脉冲的方式称为单极型 SPWM 控制方式，如图 1—14 所示；正向脉冲与负向脉冲交替发出的方式称为双极型 SPWM 控制方式，如图 1—15 所示。在使用中，单极型 SPWM 调制的载波（三角波）必须加倒向控制信号，而双极型 SPWM 调制则不需要加倒向控制信号。

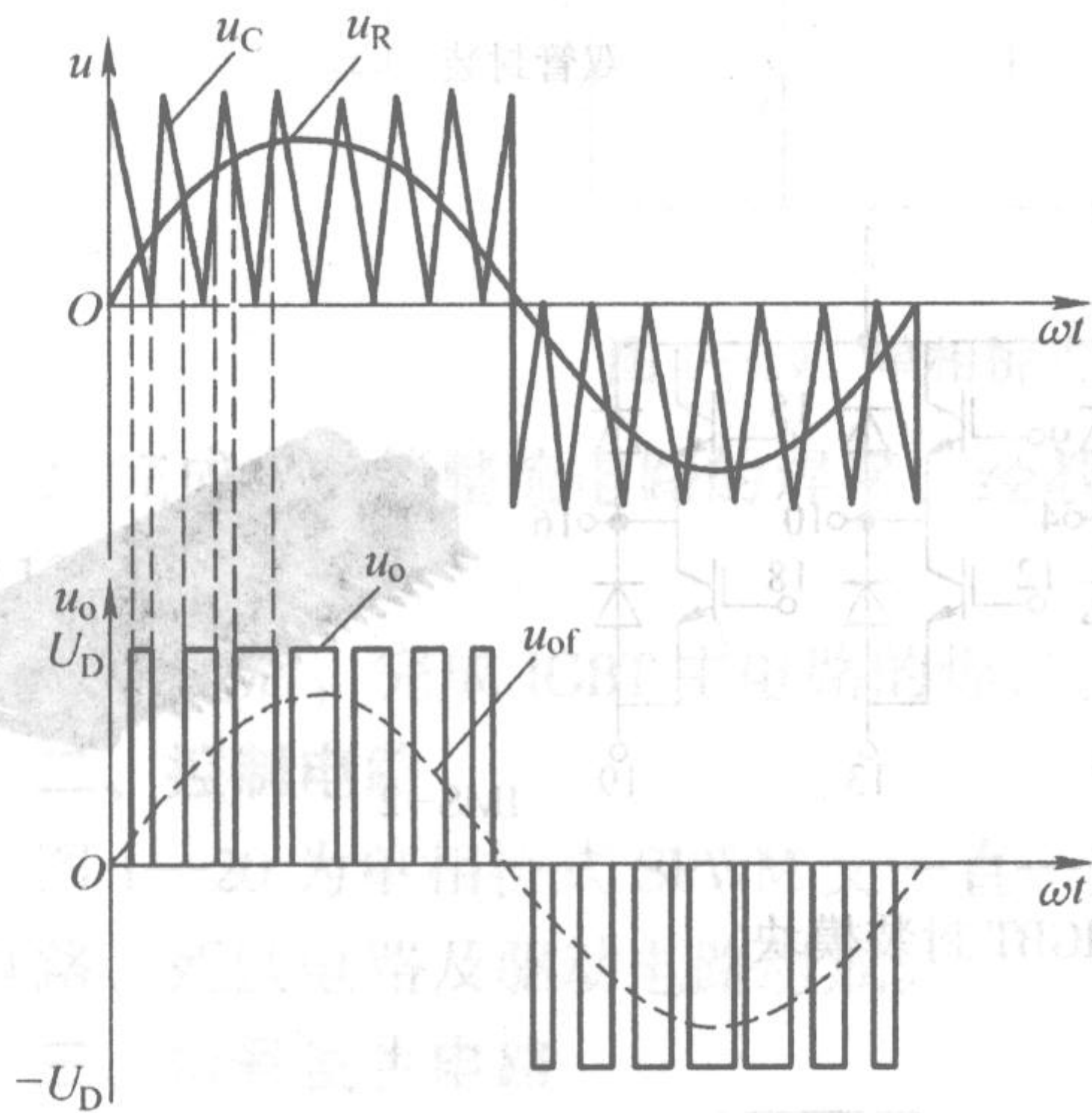


图 1—14 单极型 SPWM 控制方式

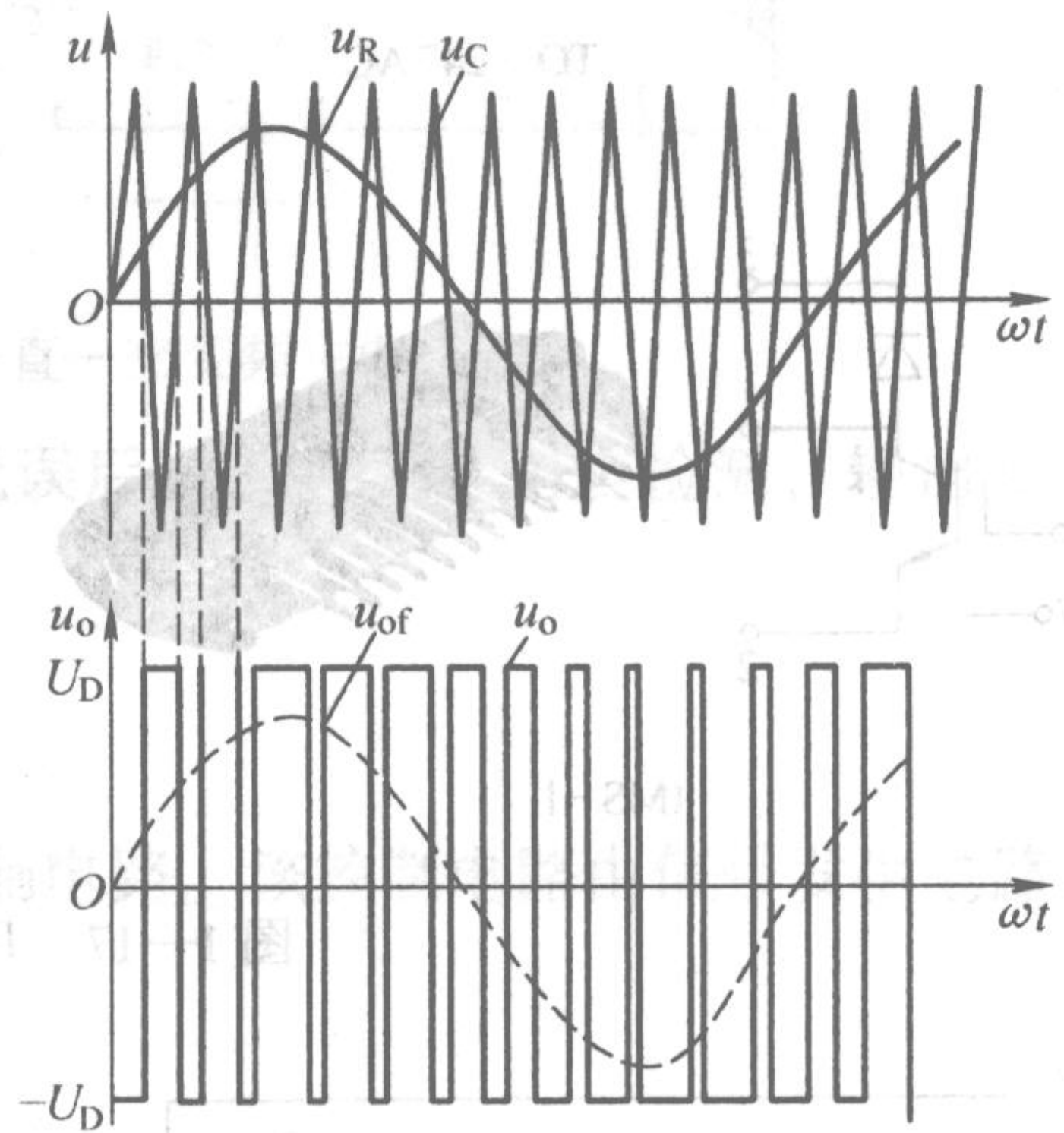


图 1—15 双极型 SPWM 控制方式

二、绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 及其驱动电路

绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 是一种全控型电力电子器件，其图形符号与实物如图 1—16 所示，其中 G 为栅极、C 为集电极、E 为发射极。当栅极加高电平时，集电极与发射极之间导通。



图 1—16 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 符号及实物图

图 1—17 给出了几种常见的 IGBT 封装模块。

为使 IGBT 可靠工作，很多厂家设计了专用集成混合驱动芯片，三菱公司生产的 M57918L 就是其中最常见的一种。其输入电流信号幅值为 16 mA，输出的最大正向电流幅值为 +2 A，反向电流幅值为 -3 A，对应的输出正驱动电压为 +15 V，负驱动电压为 -10 V。其驱动原理和接线图如图 1—18 所示。

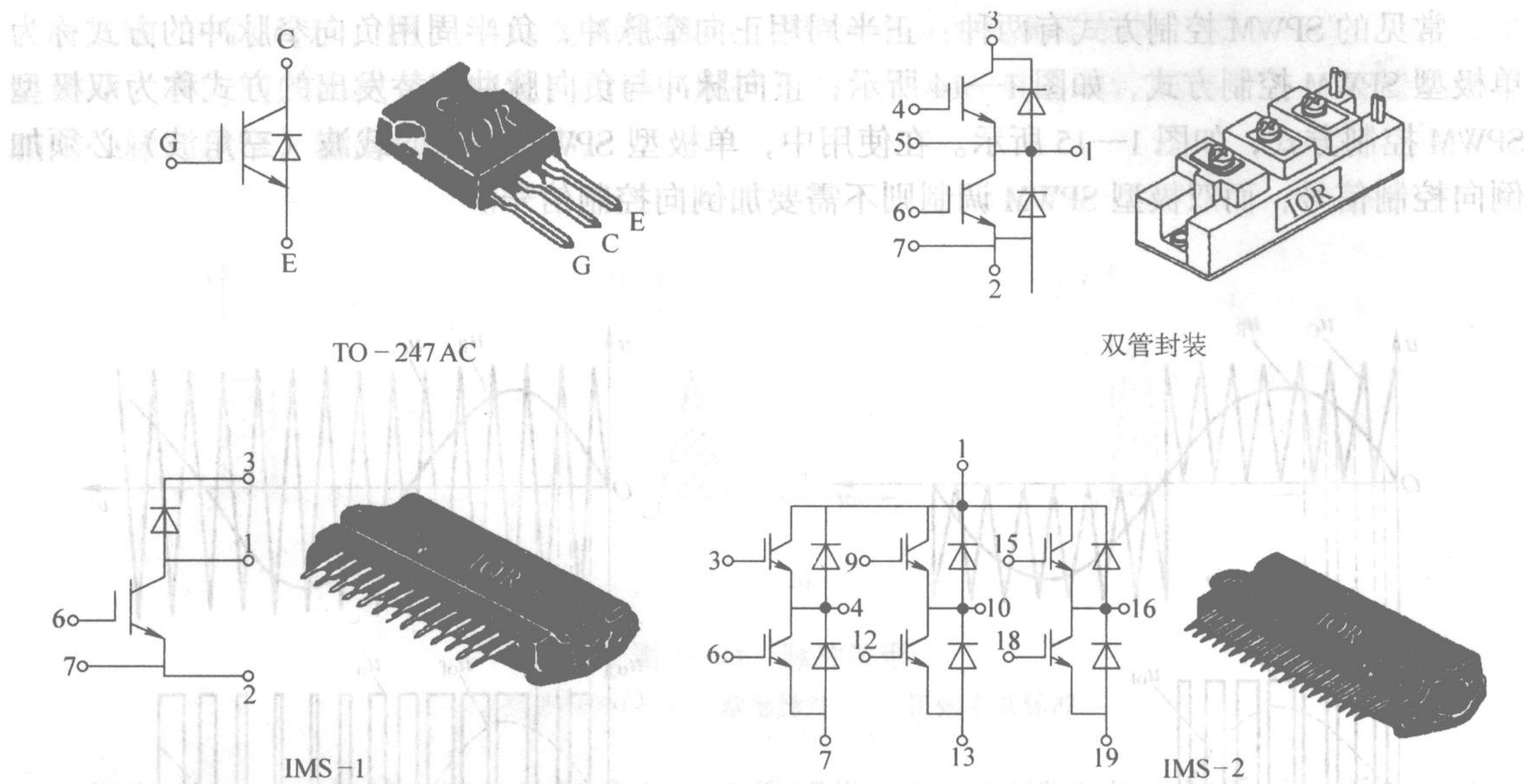


图 1—17 几种常见的 IGBT 封装模块

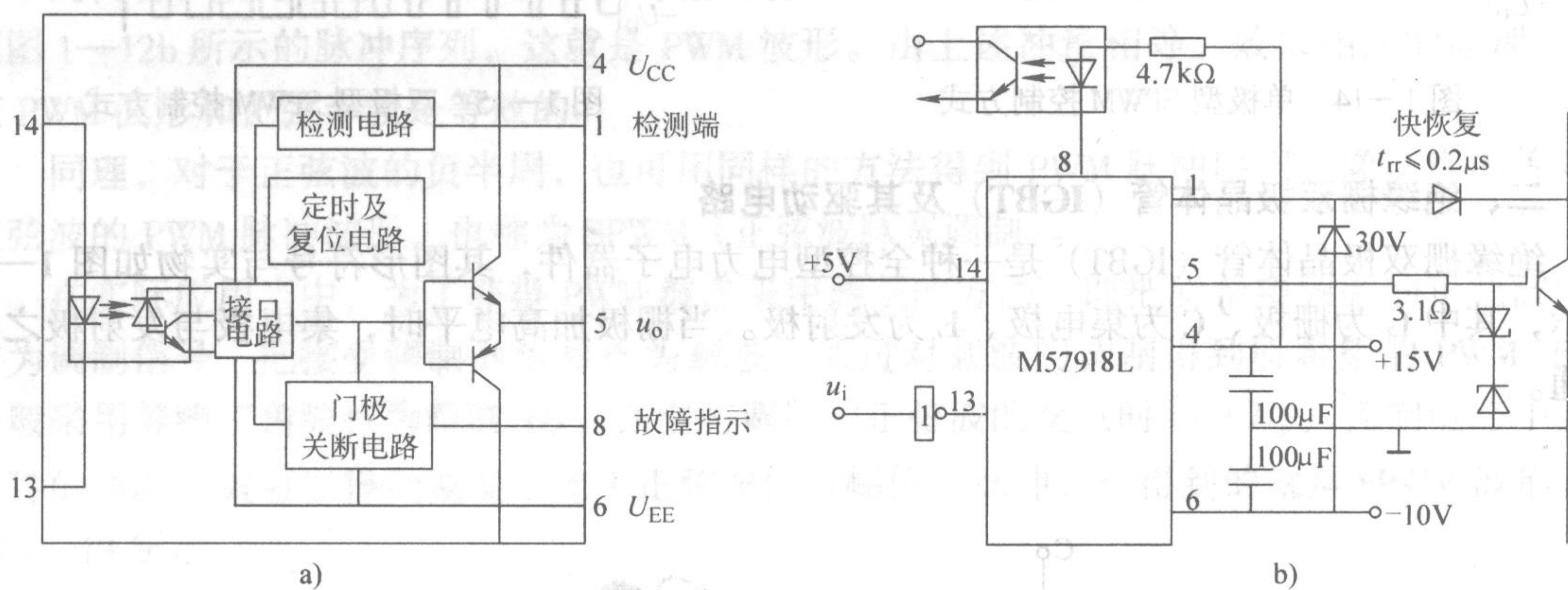


图 1—18 M57918L 集成芯片

a) 原理图 b) 接线图

技能训练

SPWM 交—直—交变频电路安装与调试

一、主电路

图 1—19 为单相桥式 SPWM 交—直—交变频主电路，输入 90 V 交流电，经二极管单相桥式整流变为脉动直流电，再经 LC 滤波得到较稳定的直流电，该直流电经 IGBT 进行 SPWM 变换得到所需频率的可调交流电。

1. 按图在铆钉板上布置元件。

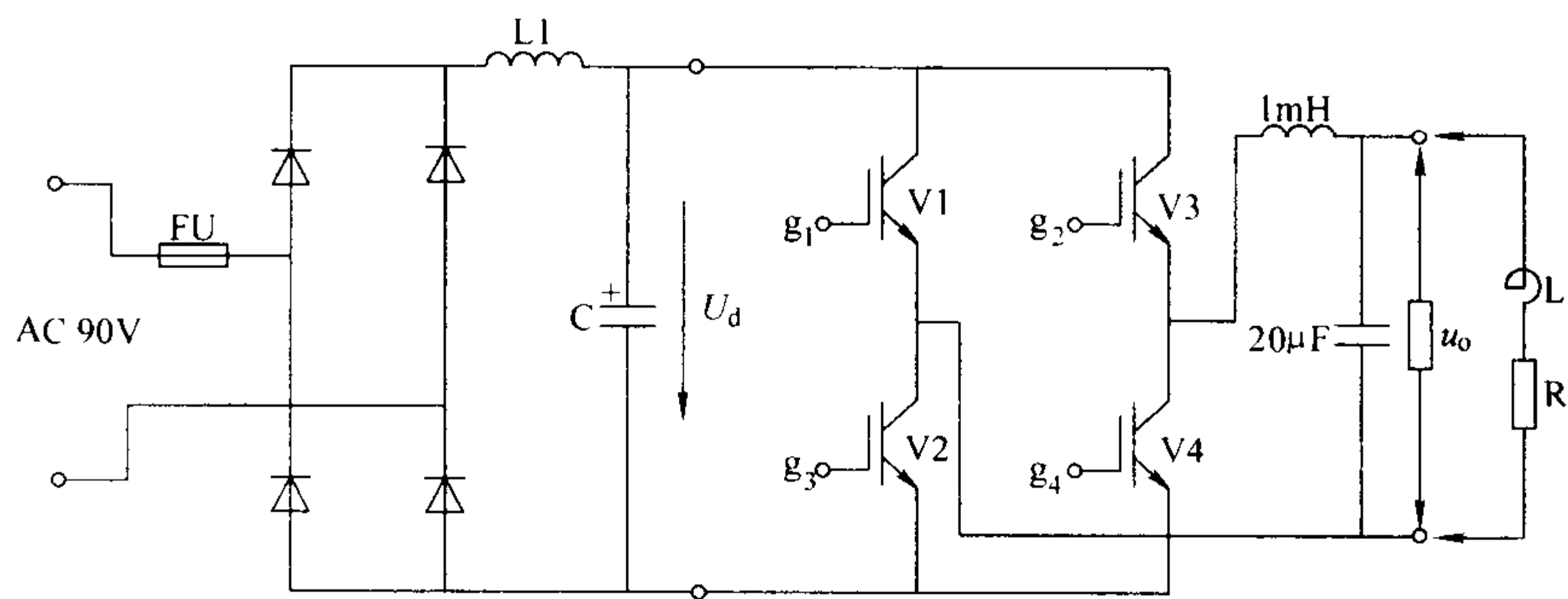


图 1—19 单相桥式 SPWM 交—直—交变频主电路

2. 完成二极管整流电路的焊接，经教师检查无误后通电，用万用表检测，输出直流应在 110 V 左右。

3. 停电后，完成 IGBT 主电路的焊接。

二、控制电路

图 1—20 为单相桥式 SPWM 交—直—交变频控制电路。该控制电路由信号发生电路、比较电路、死区电路及驱动电路组成。

三、信号发生电路

信号发生电路由两片 ICL8038 分别产生载波（三角波）和调制波（正弦波）。ICL8038 为单片集成函数发生器，内部框图如图 1—21 所示。2# 引脚产生正弦波，3# 引脚产生三角波，8# 引脚为压控输入，控制输出频率。ICL8038 组成的电路各部分作用如图 1—22 所示。

1. 在铆钉板上布置元件，按图焊接。
2. 焊接完成后，经教师检查无误后通电。
3. 用示波器分别观测 ICL8038 输出的三角波和正弦波。
4. 用示波器分别观测运放 LM318 输出的载波（三角波）和调制波（正弦波）。

四、比较电路

图 1—23 为运放 LM311 组成比较电路，将载波（三角波）与调制波（正弦波）比较，形成 PWM 信号，经 74HC04 非门电路倒向，输出给死区电路。

1. 在铆钉板上布置元件，按图焊接。
2. 焊接完成后，经教师检查无误后通电。
3. 用示波器分别观测输入的三角波和正弦波。
4. 用示波器分别观测运放 LM311 输出的载波，以及非门电路输出的 PWM+ 和 PWM- 信号。

五、死区电路

图 1—20 中的 CD4528 为双稳态多谐振荡器，用以建立死区脉冲，防止同一桥臂的两片 IGBT 同时导通造成短路。CD4528 的管脚及功能框图如图 1—24 所示。

其脉冲宽度由 R_{X1} 、 C_{X1} 、 R_{X2} 、 C_{X2} 决定，当 $\overline{R_{reset1}}$ 、 $\overline{R_{reset2}}$ 为高电平， B_1 、 B_2 为高电平， A_1 、 A_2 有脉冲上升沿时， $\overline{Q_1}$ 、 $\overline{Q_2}$ 输出负脉冲。其输出信号控制 74HC08 与门电路的开关，用以控制 PWM 信号能否送入驱动电路。停止信号 STOP 为高电平时，可将 PWM 信号送入驱动电路，如图 1—25 所示。

1. 在铆钉板上布置元件，按图焊接。