

2015 届

分 类 号：TM464
单位代码：10452

临沂大学

毕 业 论 文 （ 设 计 ）

基于 TL494 小功率逆变器设计

姓 名	王日健
学 号	201309920312
年 级	2013
专 业	电气工程及其自动化
系 （ 院 ）	汽车学院
指导教师	谢印忠

2015 年 4 月 1 日

摘 要

随着科学技术的进步，逆变技术得到了快速发展，逆变器是一种应用功率型的半导体器件，能够把直流电能转变成交流电能的一种变流设备，用于交流负载使用。因此，逆变技术在开发和运用的领域中有着十分重要的地位。

本设计思路是针对车载逆变器，系统地阐述了车载逆变器技术的产生背景，发展现状、设计过程及广泛应用。该逆变器的核心控制电路采用了芯片 TL494CN，并且在电路中使用了高频变压器，极大地减少了该逆变器的成本及体积，逐步提高了逆变器的性能。整个逆变电路将输入的 12V 的直流电通过两次变频转变成 220V/50Hz 的交流电后输出，并且具有输入 / 输出过压保护，以及过热保护等功能。

关键词：车载逆变器； 高频变压器； TL494CN

Abstract

With the progress of science and technology, inverter technology has been rapid development. Inverter is a kind of application of power semiconductor devices, which can transform into a DC power converter equipment AC power for AC load use. Therefore, the inverter technology has a very important position in the field of development and application.

This design is based on car inverter, systematically expounds the background of vehicle-mounted inverter technology, the current situation of the development, the design process and a wide range of applications. The core of the inverter control circuit adopted TL494CN chip, and the high frequency transformer is used in the circuit, greatly reduces the cost and volume of the inverter and gradually improve the performance of the inverter. The inverter circuit of the input 12 V DC by twice frequency conversion into 220 V / 50 Hz alternating current output, with the input/output overvoltage protection, and overheating protection function.

Keywords: Vehicle-mounted inverter; High-frequency transformer; TL494CN

目 录

1 绪论	1...
1.1 引言	1..
1.2 逆变技术的现状及发展趋势	1.
1.3 逆变技术的分类	2.
1.4 逆变技术的应用领域	3.
2 逆变器有关内容的研究现状	4.
2.1 逆变器主电路的基本形式	4.
2.2 逆变电源的选择	4.
2.3 逆变器功率开关器件	5.
3 车载逆变电源工作原理	7.
3.1 简述车载逆变器	7..
3.2 TL494 引脚功能及工作原理	7.
3.2.1 TL494 芯片简介	7.
3.2.2 TL494 芯片各引脚功能	8.
3.2.3 TL494 工作原理	9.
3.3 逆变电路设计	11
3.3.1 逆变电路部分	11
3.3.2 保护电路部分	15
4 电路图绘制和调试	17
4.1 PROTEL99简介	17
4.2 电路图绘制	18
4.3 PCB 图绘制	18
4.4 电路调试	19
结 论	20.
参 考 文 献	21.
附 录	22
谢 辞	25.

1 绪论

1.1 引言

逆变器是把直流电能（电池、蓄电池）转变成交流电能（一般为 220V,50Hz 正弦波）的电气装置，它由逆变桥、控制逻辑和滤波电路组成。简单地说，逆变器就是一种将低压（12V 或 24V 或 48V）直流电转变为 220 伏交流电的电子设备。因为我们通常是将 220 伏交流电整流变成直流电来使用，而逆变器的作用与此相反，因此而得名。我们处在一个“移动”的时代，移动办公，移动通讯，移动休闲和娱乐。在移动的状态中，人们不但需要由电池或电瓶供给的低压直流电，同时更需要我们在日常生活中不可缺少的 220 伏交流电，逆变器就可以满足我们的这种需求。

近年来，电力电子技术^[1]发展迅猛，逆变器广泛应用于日常生活，车载系统，电子通信等领域。现代社会中，随着私家车的逐渐增加，在户外需要使用的电子设备也越来越多，例如车用音响、车用冰箱、笔记本电脑、手机充电器以及各种电源适配器。在发达国家几乎每辆车都具备车载逆变电源。而在国内配备这种转换器的车辆还很少，另外每年汽车销售量日益增加，因而车载逆变器在国内将会有非常大的市场前景。

1.2 逆变技术的现状及发展趋势

逆变器是指整流器的逆向变换器，其作用是通过半导体功率开关器件的开通和关断作用，把直流电能变换成交流电能的一种电力电子变换器。逆变器的应用将越来越重要。21 世纪是能源开发、资源利用与环境保护互相协调发展的世纪，能源的优化利用与清洁能源的开发，是能源资源与环境可持续发展战略的重要组成部分。

具有世界三大能源之称的石油、煤和天然气等化石燃料将逐渐被耗尽，氢能源与再生能源将逐渐取代化石燃料而成为人类使用的主体能源，这种能源的变迁将迫使发电方式产生一次大变革，使用氢能源与再生能源的高效低污染燃料电池发电方式，将成为主体发电方式。因此，逆变技术在新能源的开发和利用领域有着至关重要的地位。

逆变器发展趋势可以概括以下几个方面。

（1）高频化。逆变电源的体积和重量主要是由储能元件决定，因此逆变电源的小型化实质上就是尽可能减小其中储能元件的体积。所以当我们把频率从工频 50Hz 提高到 20KHz，用电设备的体积重量大体下降至工频设计的 5~10%，其主要材料可以节约 90% 甚至更高，还可以节电 30% 以上。由于功率电子器件工作频率上限的逐步提高，逆变电源的体积、重量也将会越来越小。在一定范围内，开关频率的提高，不仅能有效地减小电容、电感及变压器的尺寸，而且还能够抑制干扰，改善系统的动态性能。因此，高频化是逆变电源的主要发展方向。

(2) 低噪声。逆变器的缺点之一是噪声大。单纯地追求高频化，噪声也会随之增大。采用部分谐振转换回路技术，在原理上既可以提高频率又可以降低噪声。所以，尽可能地降低噪声影响是逆变电源的又一发展方向。

(3) 模块化。模块化有两方面的含义，包括功率器件的模块化和电源单元的模块化。常见的器件模块，含有一单元、两单元甚至六单元直至七单元。随着电源技术的发展，开关器件的驱动保护电路也集成到功率模块中去，构成了智能化功率模块，不但缩小了整机的体积，而且也方便了整机的设计制造。

(4) 数字化。现在数字式信号，数字电路越来越重要，数字信号处理技术也日趋完善，显示出越来越多的优点，如便于计算机处理控制、避免模拟信号的畸变失真、提高系统抗干扰能力等，同时也为电源的并联技术发展提供了方便。

(5) 高可靠性。可靠性是所有电力电子装置的生命线。我们知道，在一个系统中，元件数量越少，可靠性越高。所以，在设计电源时，尽可能使用较少的元件，提高系统的集成度。这样就解决了电路复杂、可靠性差的问题，同时也简化了电路，使系统的可靠性得到了提高。

(6) 绿色化。随着各种政策法规的出台，对无污染电源的呼声越来越高。为了使电源系统绿色化，电源应加装高效滤波器，还应在电网输入端应用功率因数校正技术和软开关技术。节电也是绿色电源一个很重要的因素，因为发电是造成环境污染的重要原因，而节电就意味着发电容量的节约。

1.3 逆变技术的分类

逆变技术^[2]的分类方式很多，主要分类方式如下。

(1) 按逆变器输出交流的频率分为：工频（50~60Hz）逆变、中频（400Hz 到几十 kHz）逆变和高频（几十 kHz 到几 MHz）逆变。

(2) 按逆变器输出交流能量的去向分为：无源逆变和有源逆变。

(3) 按逆变器输出电压的波形分为：正弦波逆变和非正弦波逆变。

(4) 按逆变器输出交流的相数分为：单相逆变、三相逆变和多相逆变。

(5) 按逆变器的直流电源的性质分为：电压源逆变和电流源逆变。

(6) 按逆变器的电路结构分为：单端式逆变、推挽式逆变、半桥式逆变和全桥式逆变。

(7) 按逆变器的功率开关管分为：大功率晶体管（GTR）逆变、晶闸管（SCR）逆变、可关断晶闸管（GTO）逆变、功率场效应晶体管（MOSFET）逆变和绝缘栅双极晶体管（IGBT）逆变。

(8) 按逆变器的控制方式分为：脉宽调制（PWM）逆变、脉频调制（PFM）逆变和数字逆变。

1.4 逆变技术的应用领域

现代逆变技术^[3]是一门实用技术，随着电力电子技术的飞速发展和各行各业对电气设备控制性能要求的提高，逆变技术在许多领域应用越来越广泛。

(1) 交流电动机变频调速

运用逆变技术将普通交流电网电压变换成电压和频率均可调的交流电，对交流电动机进行无极调速。变频调速技术在许多场合有广泛的应用，如风机、水泵、机床、轧机、电梯、传动、空调等的控制。

(2) 电动机制动再生能量回馈

交流电动机和直流电动机在制动过程中都会处于发电状态而使直流母线电压泵升。采用有源逆变系统将能量回馈至交流电网而代替传统的电阻能耗制动，既节约了电能，又提高了安全性能。

(3) 不间断电源系统

在许多领域中被广泛应用的计算机、通信设备、检测设备等都需要采用不间断电源。UPS 主要由蓄电池和逆变器组成。逆变器具有能量双向传输功能。在电网正常供电时，逆变器处于整流状态，给蓄电池充电；在电网断电的情况下，逆变器处于逆变状态，将蓄电池中的直流电逆变成交流电供给用电设备。

(4) 产生和利用磁场

高频和中频加热炉、电磁灶等设备利用逆变技术产生交流电，进而产生交变磁场，金属在交变磁场中产生涡流而发热，从而达到加热的目的。

磁悬浮列车是利用高尖技术产生一种磁场，使列车车轮和铁轨不完全接触，减小摩擦，提高牵引效率。其中就利用了逆变技术。

(5) 通信开关电源

通信电源包括一次电源和二次电源。一次电源由带逆变器的开关电源替代传统整流式电源，而二次电源一般都是逆变式开关电源。

(6) 变频电源

我国采用的是 50Hz 的交流电。我国在生产出口外销的家电电器、电动机等产品时，在调试、检测、老化过程中需要大量的 60Hz 的交流电源。采用逆变技术就可以设计出这种电源。

除了以上列举的领域之外，还有航空逆变器、舰船逆变器、电力控制、交直流配电控制、机器人、工业控制机、影视设备、充电装置、武器系统等等，另外还有许多应用领域我们尚不太清楚。

2 逆变器有关内容的研究现状

2.1 逆变器主电路的基本形式

常用逆变器主电路的基本形式有三种分类方法：按相数分类，可分为单相逆变电路和三相逆变电路；按直流侧电源性质的不同分类，可分为电压源逆变电路（Voltage Source Type Inverter——VSTI）和电流源逆变电路（Current Source Type Inverter——CSTI）；按电路拓扑结构，可以分为单端正激（Single-ended forward）、单端反激（Single-ended flyback）、升压（Boost）式、降压（Buck）式、推挽（Pull-push）式、半桥（Half-bridge）式、全桥（Full-bridge）式等。

理想的逆变器，从直流变换到交流时功率为恒值而没有脉动，直流电压波形和电流波形中也不会产生波动。而在实际的逆变电路中，因为逆变器的脉动数值有限，因而逆变功率是脉动的。当逆变器的逆变功率的脉动波形由直流电流来体现时，称之为电压源型逆变器，直流电源是恒压源。电压源型逆变器直流侧有较大的滤波电容。当逆变器的逆变功率的脉动波形由直流电压来体现时，称之为电流源型逆变器，直流电源是恒流源。电流源型逆变器直流侧接有较大的滤波电感。

此外，控制逆变器输出量（电流或电压）有两种方法，一种是脉冲幅度调制 PAM，其特点是保持脉冲宽度不变而改变脉冲幅值；另一种是脉冲宽度调制 PWM，其特点是保持脉冲幅值不变而改变脉冲宽度。

逆变器按主电路形式分类如图 2-1 所示：

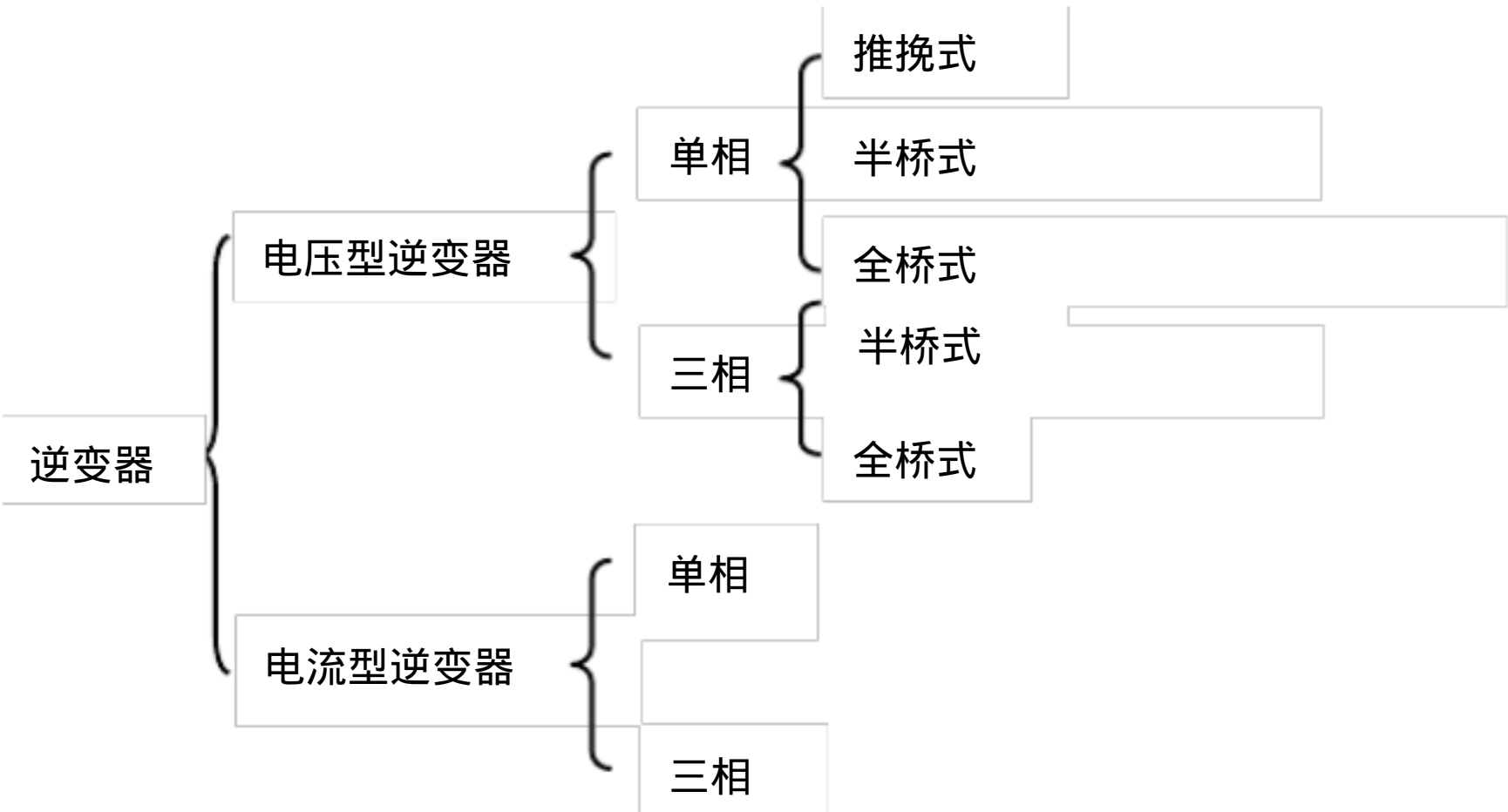


图 2-1 逆变器分类示意图

2.2 逆变电源的选择

逆变电源的构成除了包括逆变电路和控制电路外，还要有输入、输出电路、辅助电路和保护电路。小容量逆变电源因为输出容量小，电压和电流不大，因此开关器件多选用电

力 MOSFET。而大容量正弦波输出的逆变电源因其电压电流一般都比较大大，因此多采用 IGBT 作为它的开关器件。在 PWM 逆变器中，软开关技术的研究目的是要实现脉宽调制软开关技术，就是将软开关技术引进到 PWM 逆变器中，使它既能保持原来的优点，又能实现软开关工作。逆变电源的选择需要注意以下几点：

(1) 额定输出电压：在规定的输入直流电压允许的波动范围内，它表示逆变器应能输出的额定电压值。对输出额定电压值的稳定准确度一般有如下规定：在稳态运行时，电压波动范围应有一个限定，例如其偏差不超过额定值的 $\pm 3\%$ 或 $\pm 5\%$ 。在负载突变或有其他干扰因素影响的动态情况下，其输出电压偏差不应超过额定值的 $\pm 8\%$ 或 $\pm 10\%$ 。

(2) 输出电压的波形失真度：当逆变器输出电压为正弦度时，应规定允许的最大波形失真度(或谐波含量)。通常以输出电压的总波形失真度表示，其值不应超过 5% (单相输出允许 10%)。

(3) 额定输出电流：表示在规定的负载功率因数范围内逆变器的额定输出电流。有些逆变器产品给出的是额定输出容量，其单位以 VA 或 KVA 表示。逆变器的额定容量是当输出功率因数为 1(即纯阻性负载)时，额定输出电压为额定输出电流的乘积。

(4) 额定输出效率：逆变器的效率是在规定的工作条件下，其输出功率对输入功率之比，以%表示。逆变器在额定输出容量下的效率为满负荷效率，在 10% 额定输出容量的效率为低负荷效率。

(5) 保护：过电压保护：对于没电压稳定措施的逆变器，应有输出过电压防护措施，以使负载免受输出过电压的损害。

过电流保护：逆变器的过电流保护，应能保证在负载发生短路或电流超过允许值时及时动作，使其免受浪涌电流的损伤。

(6) 噪声：电力电子设备中的变压器、滤波电感、电磁开关及风扇等部件均会产生噪声。逆变器正常运行时，其噪声应不超过 80dB ，小型逆变器的噪声应不超过 65dB 。

2.3 逆变器功率开关器件

下面介绍当前主要功率开关器件的特性及其应用情况。

(1) 晶闸管：这是最早应用的一种功率开关器件，其特点是功率最大，应用最广。普通型 SCR 的电压高达 6000V ，电流达数千安培，自身正向压降约为 1.5V ，开通仅需要在控制级上加一个小触发脉冲即可，但关断时必须用电感、电容和辅助开关器件组成的强迫换向电路。其工作频率不大于 400Hz 。由于其工作频率低，关断电路复杂，效率低，功耗大，因此在 PWM 调制中产生的正弦波不够完善，并且噪声大。目前，逆变器中已经基本不再用 SCR 作为功率开关器件，SCR 主要用做 UPS 的静态开关。

(2) 功率场效应管 (MOSFET)：功率 MOSFET 是一种全控型三端开关器件。其特点是开关速度快，安全工作区宽，热稳定性好，线性控制能力强，采用电压控制，易于实

现数控，因此常常作为开关器件实现电量的逆转换。MOSFET 的缺点是输入阻抗高，抗静电干扰能力差，承载能力和工作电压比较低，多用于电压为 500V 以下的低功率高频开关逆变器。由于受功率的限制，因此它只适用于小功率逆变器。

(3) BJT (功率 GTR) 晶体管：BJT 直到 1985 年实现达林顿模块后才达到 300A、1000V 和增益 100 的水平。大功率晶体管开关时间为 1.5 μ s 降为 1.5V。若采用多重达林顿晶体管提高增益，则开关时间增长，自身电压降会增大。由于其开通状态必须饱和，因此电流增益很低，往往要求驱动电路输出很大的电流，是功率消耗增大，在 20 世纪 80 年代中期，它曾用于中小功率逆变器中，现在已经基本不使用了。

(4) 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)：IGBT 是一种新发展起来的复合型功率开关器件，它既有单极型电压驱动的 MOSFET 的优点，又结合了双极型开关器件 BJT 耐高压，电流大的优点。其开关速度显然比功率 MOSFET 低，但远高于 BJT，又因为它是电压控制器件，故控制电路简单、稳定性好。IGBT 的最高电压为 1200V，最大电流为 1000A，工作频率高达 1000kHz。它具有电压控制和开关时间 (约为 300ns) 极短的优点。其正向压降约为 3V。

在现代的 UPS 中 IGBT 普遍被用作逆变器或整流器开关器件。它是全控型开关器件，通过数控技术控制 IGBT 的通断，能有效地将输入电压与输入电流保持同步，是功率因数等于 1，从而减小了 UPS 整流器对市电电源的干扰。IGBT 的内部结构、等效电路及电气符号如图 2-2 所示：

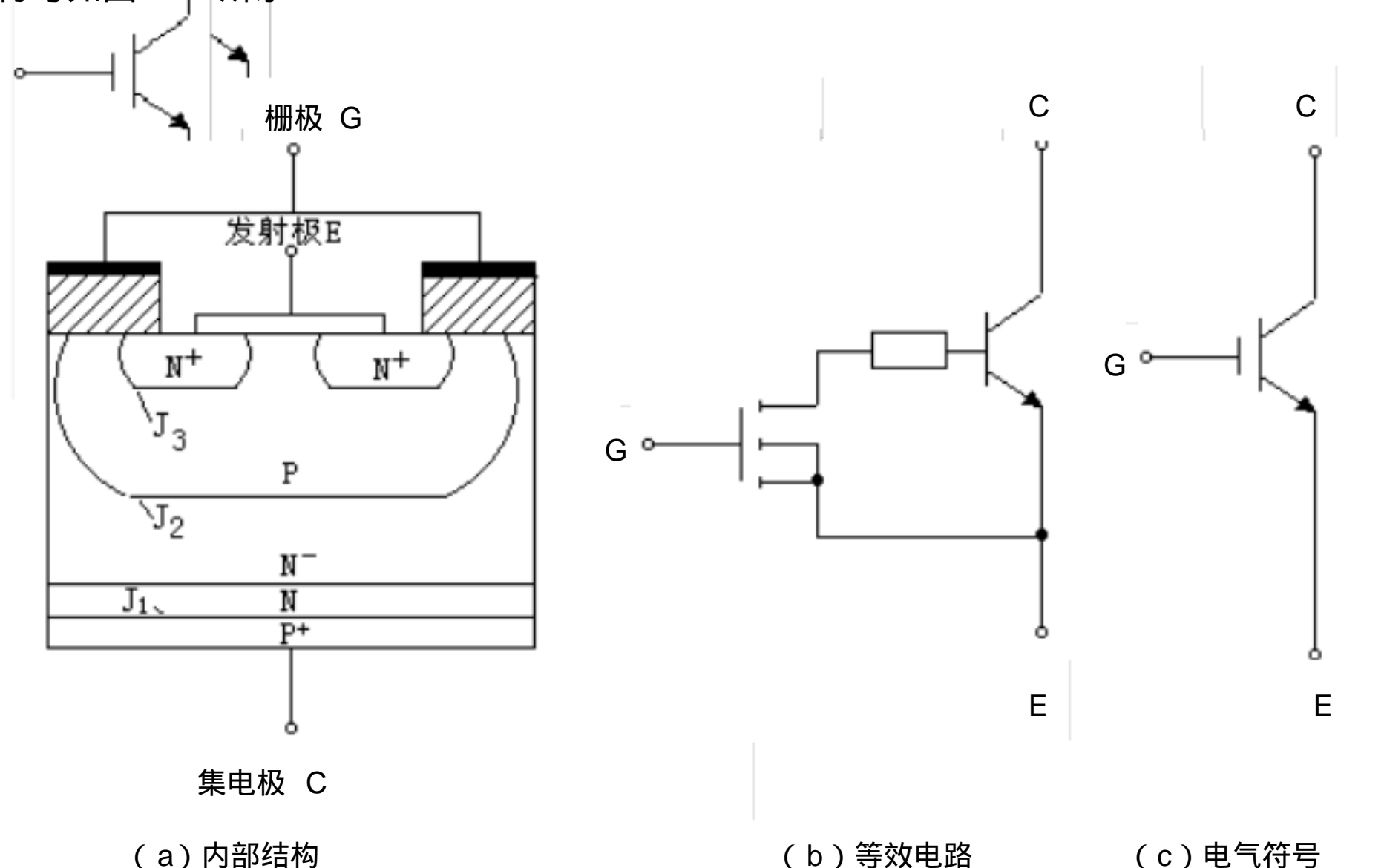


图 2-2 IGBT 的内部结构、等效电路及电气符号

3 车载逆变电源工作原理

3.1 简述车载逆变器

车载逆变器（电源转换器、Power Inverter）是一种能够将 12V 直流电转变成 220V 交流电，供一般家用电器使用，是一种比较便捷的车用电源转换器。在国外车载电源逆变器非常受欢迎。由于汽车的普及率上升，外出工作或旅游即可用逆变器连接蓄电池带动电器及各种设备工作。随着中国加入 WTO 后，中国市场私家车越来越多，因此，车载逆变器电源作为一种电能转换器，会给我们的生活带来很多的便利，是一种常备的车用汽车电子设备。车载逆变器通过点烟器可以输出 20W、40W、80W、120W 直到 150W 功率规格的电能。把家用电器连接到电源转换器的输出端，就能在汽车内使用各种电器设备就像在家里使用一样方便。

目前市场上销售量最大、最常见的车载逆变器的输出功率为 70W ~ 150W，逆变器电路中主要采用 TL494 或 KA7500 芯片为核心的 PWM 脉宽调制电路^[4]。

3.2 TL494 引脚功能及工作原理

3.2.1 TL494 芯片简介

TL494^[5]芯片于 80 年代初由德州仪器（Texas Instruments）公司设计并推出，推出后立刻得到市场的广泛好评，尤其是在 PC 机的 ATX 半桥电源上。直至今日，仍有相当比例的 PC 机电源基于 TL494 芯片。多年来，作为最廉价的双端 PWM 芯片，TL494 在双端拓扑，如推挽和半桥中应用极多。由于其较低的工作频率以及单端的输出端口特性，它常配合功率双极性晶体管（BJT）使用，如用于配合功率 MOSFET 则需外加电路。TL494 已成为一种工业标准芯片，由很多家集成电路厂商生产。它也被命名为其他型号，如飞兆（Fairchild，又称仙童）公司将它的 TL494 兼容芯片命名为 KA7500。

TL494 是一种频率恒定的脉宽调制电路，它包含了开关电源控制所需的全部功能，广泛应用于单端正激的双管式、半桥式、全桥式开关电源。TL494 有 SO-16 和 PDIP-16 两种封装形式，以满足不同场合的要求。其主要特性如下：

- （1）集成了全部的脉宽调制电路。
- （2）片内置线性锯齿波振荡器，外置振荡元件仅两个（一个电阻和一个电容）。
- （3）内置误差放大器。
- （4）内置 5V 参考基准电压源。
- （5）可调整死区时间。
- （6）内置功率晶体管可提供 500mA 的驱动能力。
- （7）有推或拉两种输出方式。

3.2.2 TL494 芯片各引脚功能

TL494 芯片管脚如图 3-1 所示：

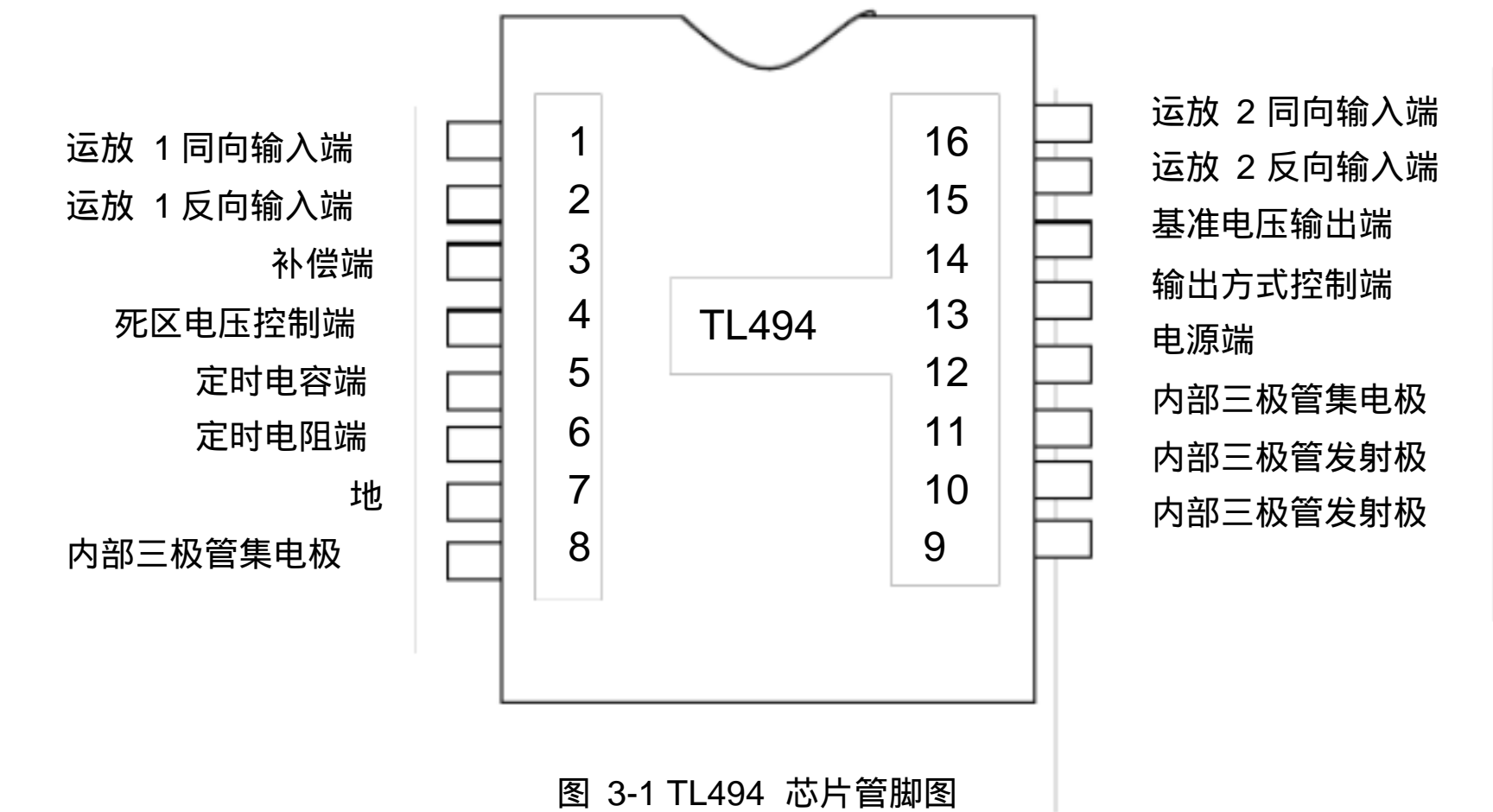


图 3-1 TL494 芯片管脚图

TL494 为双列直插式结构，其中 1、2、15、16 引脚分别为内部两个运算放大器的输入端，3 引脚为补偿端，4 引脚为死区电压控制端，5、6 引脚外接振荡定时元件，7 引脚为地，8、9、10、11 引脚分别为内部一个启动管的集电极和发射极，12 引脚为供电端，13 引脚为输出方式控制端，接低电平时内部两个三极管同时导通和截止，接高电平时内部两个三极管轮流导通和截止，14 引脚为基准电压输出端，输出 5V 基准电压，可输出 10mA 的驱动电流。

TL494 内部结构图如图 3-2 所示：

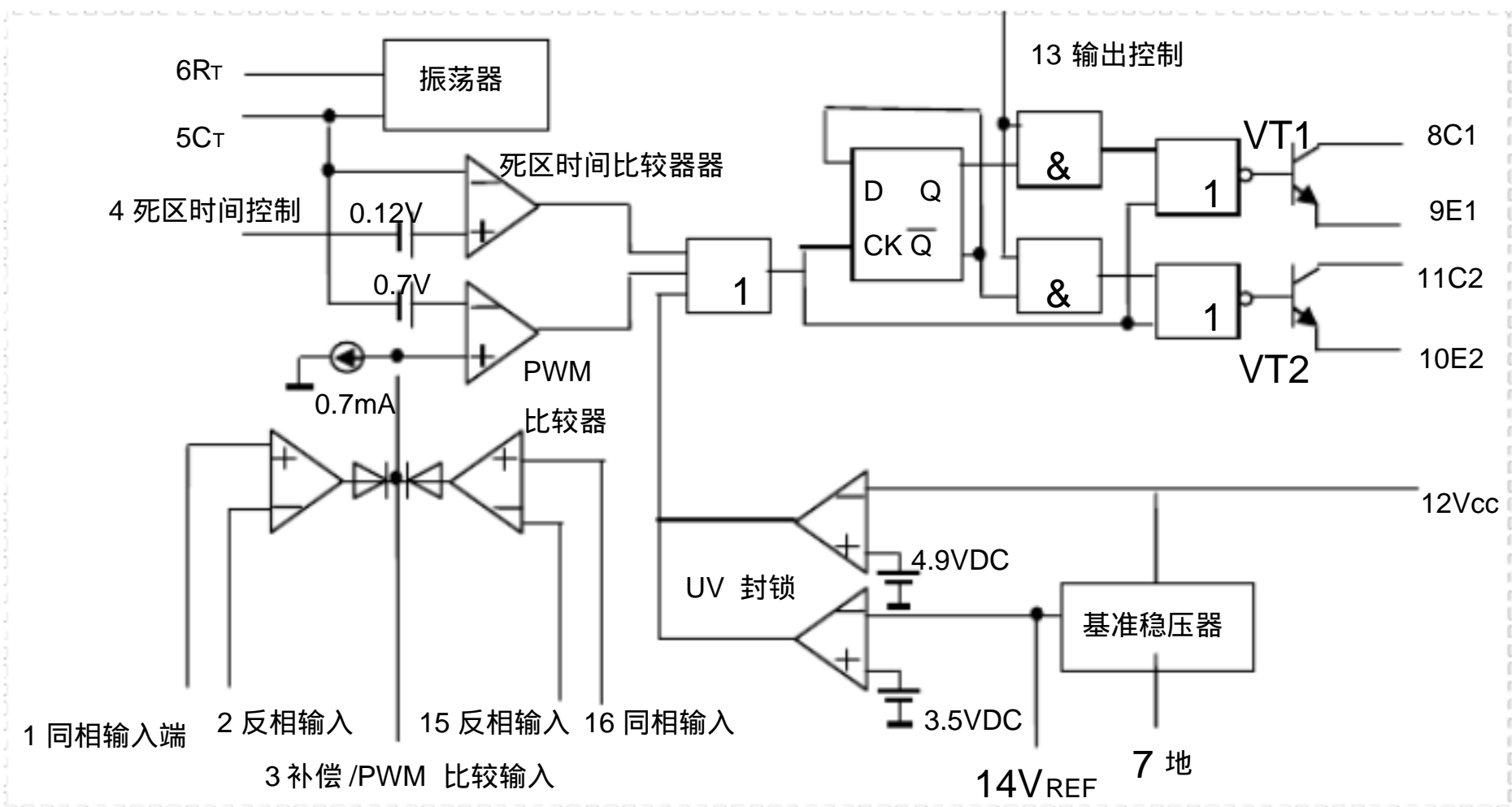


图3-2 TL494 芯片内部结构

第(1)脚为第一组误差放大器的同相输入端。

第(2)脚为第一组误差放大器的反相输入端。从第(14)脚输出的5V基准电压经R14、R20分压得到约4V的电压，与第(1)脚电压进行比较。由于输入+5V电压升高时第(1)脚取样，电压成比例升高，当此电压超过4V时，误差放大器输出高电平，通过IC内部比较器控制输出，脉宽减小，以使5V电压下降，达到稳压的目的。

第(3)脚为第一误差放大器输出的引出端。外接C19、C20、C21、R11组成的频率校正网路，以防止放大器发生自激。

第(4)脚为死区控制端。当IC工作在推挽状态时，其两组输出脉冲使两只推挽开关管依次导通和关断。为了避免开关管的滞事效应造成瞬间导通而击穿开关管，在脉冲的序列之间留有一定的空隙，称为死区。改变第(4)脚的电压，可改变死区时间。当第(4)脚电压大于5V基准电压时，输出脉冲关断。在0~5V，死区时间成比例增大。

第(5)脚为内部振荡电路，外接定时电容C18。

第(6)脚为外接定时电阻R9。此RC的值决定TL494输出脉冲的重复频率，其值为 $f_{\text{KHz}}=1.2/R \cdot C$ (UF)。按图中数据，此电源的工作频率为30KHz。

第(7)脚为共地端，也是供电的负极端。

第(8)(11)脚为两路输出放大管的集电极。

第(9)(10)脚为内部驱动放大管的发射极，接地。

第(12)脚为供电端，其允许输入电压可达8~40V，因此无需外部稳压器。

第(13)脚为工作状态设定端。当第(13)脚为5V基准电压时，两路输出脉冲相差180度，每路输出量200mA的驱动电流，用于驱动推挽或半桥、桥式电路。当第(13)脚接地时，两路输出脉冲为同相位，为8~40V时，第(14)脚均输出 $5 \pm 0.25\text{V}$ 的稳定基准电压。

第(14)脚为内部基准电压源。在IC供电组误差放大器的反向输入端，在该电源中作为过流保护取样输入。

3.2.3 TL494 工作原理

TL494芯片的内部电路由锯齿波振荡器^[6]、两个误差比较器、5V直流基准电源、死区时间比较器、欠压封锁电路、脉宽调制比较器以及输出电路等组成。

(1) 锯齿波振荡器

TL494内置了线性锯齿波振荡器，产生0.3~3V的锯齿波。振荡频率可通过外部的一个电阻 R_T 和一个电容 C_T 进行调节，这两个元件接在对应端与地之间。取值范围： $R_T: 5 \sim 100$ ， $C_T: 0.001 \sim 0.1\mu\text{F}$ 。振荡频率： $f=1/R_TC_T$ 。形成的信号为锯齿波。最大频率可以达到500kHz。

(2) 5V 直流基准电源

TL494内置了基于带隙原理的基准电源， 这个 5V 直流基准电源用于提供芯片需要的偏置电流。如 13脚接高电平时，及误差放大器等可以使用它。基准电源精度为 5%，电流能力10mA，温度范围 0 ~ 70度。TL494极限参数如表 3-1所示：

表3-1 TL494 的极限参数

TL494的极限参数			
名称	代号	极限值	单位
工作电压	V _{CC}	42	V
集电极输出电压	V _{C1} V _{C2}	42	V
集电极输出电流	I _{C1} I _{C2}	500	mA
放大器输入电压范围	V _{ir}	-0.3V ~ -0.5V	V
功耗	P _d	100	mW
热阻	R _{bja}	80	℃
工作结温	T _j	125	℃
额定环境温度	T _a	40	℃

(3) 死区时间比较器

死区时间由 Dead Time Control引脚4设置，它通过一个比较器对脉冲触发器实行干扰，限制最大占空比。这一部分用于通过 0-4V直流电压来调整占空比。当4脚预加电压抬高时，与振荡锯齿波比较的结果，将使得 D触发器 CK端保持高电平的时间加宽。该电平同时经过反相，使输出晶体管基极为低，锁死输出。 4脚电位越高，死区时间越宽，占空比越小。由于预加了 0.12V直流。所以，限制了死区时间最小不能小于 4%，即单管工作时最大占空比96%，推挽输出时最大占空比为 48%。死区时间比较器单独作用时的相关波形如图 3-3所示：

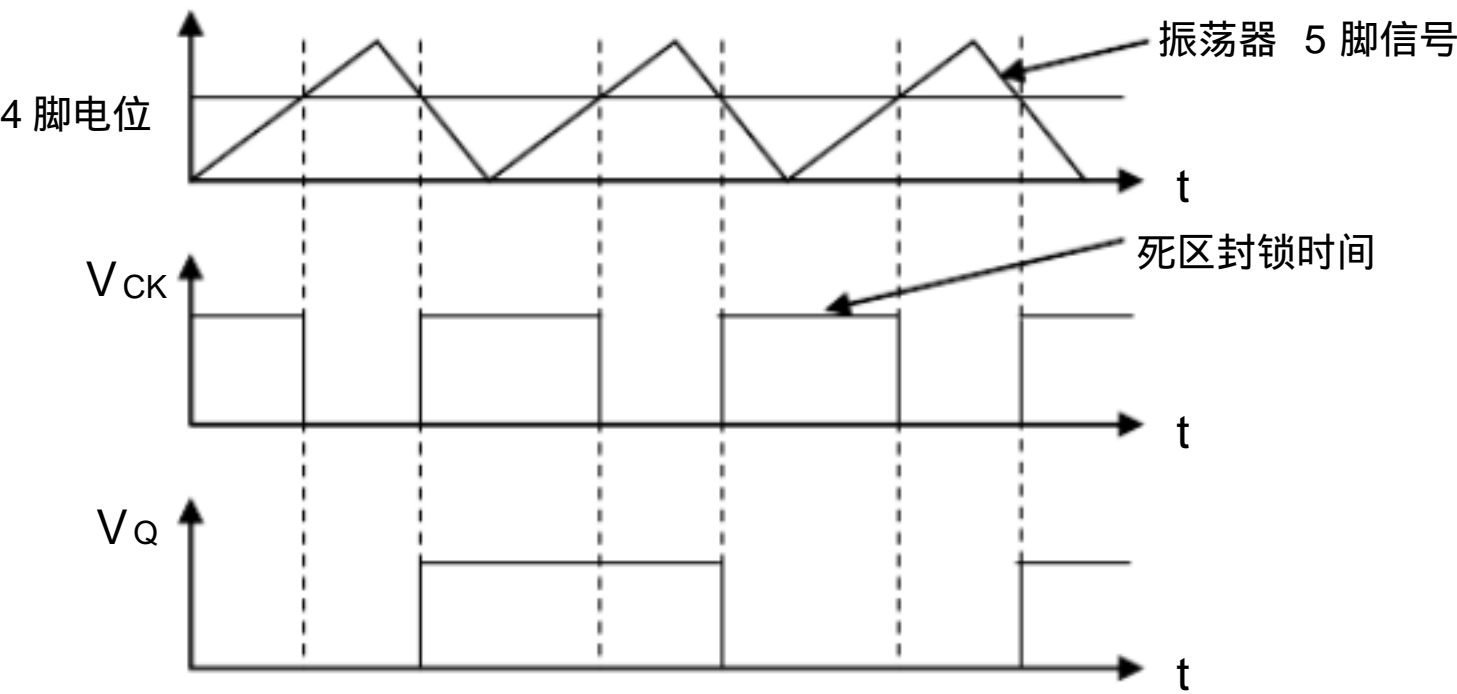


图3-3 引脚 4输出波形

(4) PWM比较器^[7]及其调节过程

由两个误差放大器输出及 3脚 (PWM 比较输入) 控制。当 3端电压加到 3.5VDC 时, 基本可以使占空比达到 0, 作用和 4脚类似。但此引脚真正的作用是外接 RC 网络, 用做误差放大器的相位补偿。

常规情况下, 在误差放大器输出升高时, 增加死区时间, 缩小占空比; 反之, 占空比增加。作用过程和 4脚的死区控制相同, 从而实现反馈的 PWM 调节。0.7VDC 的电压提高了锯齿波, 使得 PWM 调节后的死区时间相对变窄。

如果把 3脚比做 4脚, 则 PWM 比较器的作用波形和图 3-3 类似。然而, 该比较器的占空比调节, 要在死区时间比较器的限制范围内起作用。单管工作方式时, V_{CK} 直接控制输出, 输出开关频率与振荡器相同。当 13脚电位为高时, 封锁被取消, 触发器的 Q、 \bar{Q} 端, 分别控制两个输出晶体管轮流导通, 频率是单管方式的一半。

(5) 误差放大器

两个误差放大器用于电源电压反馈和过流保护。这两个放大器以或的关系, 同时接到 PWM 比较器同相输入端。反馈信号比较后的输出, 送 PWM 比较器, 以和锯齿波比较, 进行 PWM 调节。

由于放大器是开环的, 增益达到 95dB。加之输出点 3 被引出, 使用时, 设计者可以根据需要灵活使用。

(6) UC 封锁电路

用于欠压封锁, 当 V_{CC} 低于 4.9VDC, 或者内部电源低于 3.5VDC 时, CK 端被钳制为高电平, 从而使输出封锁, 达到保护作用。

(7) 输出电路

输出电路有两个输出晶体管, 单管电流 500mA。其工作状态由 13脚 (输出控制) 来决定。

当 13脚接低电平时, 通过与门封锁了 D 触发器翻转信号输出, 此时两个晶体管状态由 PWM 比较器及死区时间比较器直接控制, 二者完全同步, 用于控制单管开关电源。当然, 此时两个输出也允许并联使用, 以获得较大的驱动电流。当 13脚接高电平时, D 触发器起作用, 两个晶体管轮流导通, 用于驱动推挽或桥式变换器。

3.3 逆变电路设计

3.3.1 逆变电路部分

本设计思路是先将 12V 的直流电逆变为 220V/50Hz 的交流电 (DC/AC), 然后利用桥式整流和电容的充电快放电慢的特性整流出 220V 的直流电 (AC/DC), 最后再逆变为 220V/50Hz 交流电, 由 XAC 插座输出到负载上。电路图如图 3-4 所示。下面将把整个电

路原理图按三个主要逆变部分详细说明。

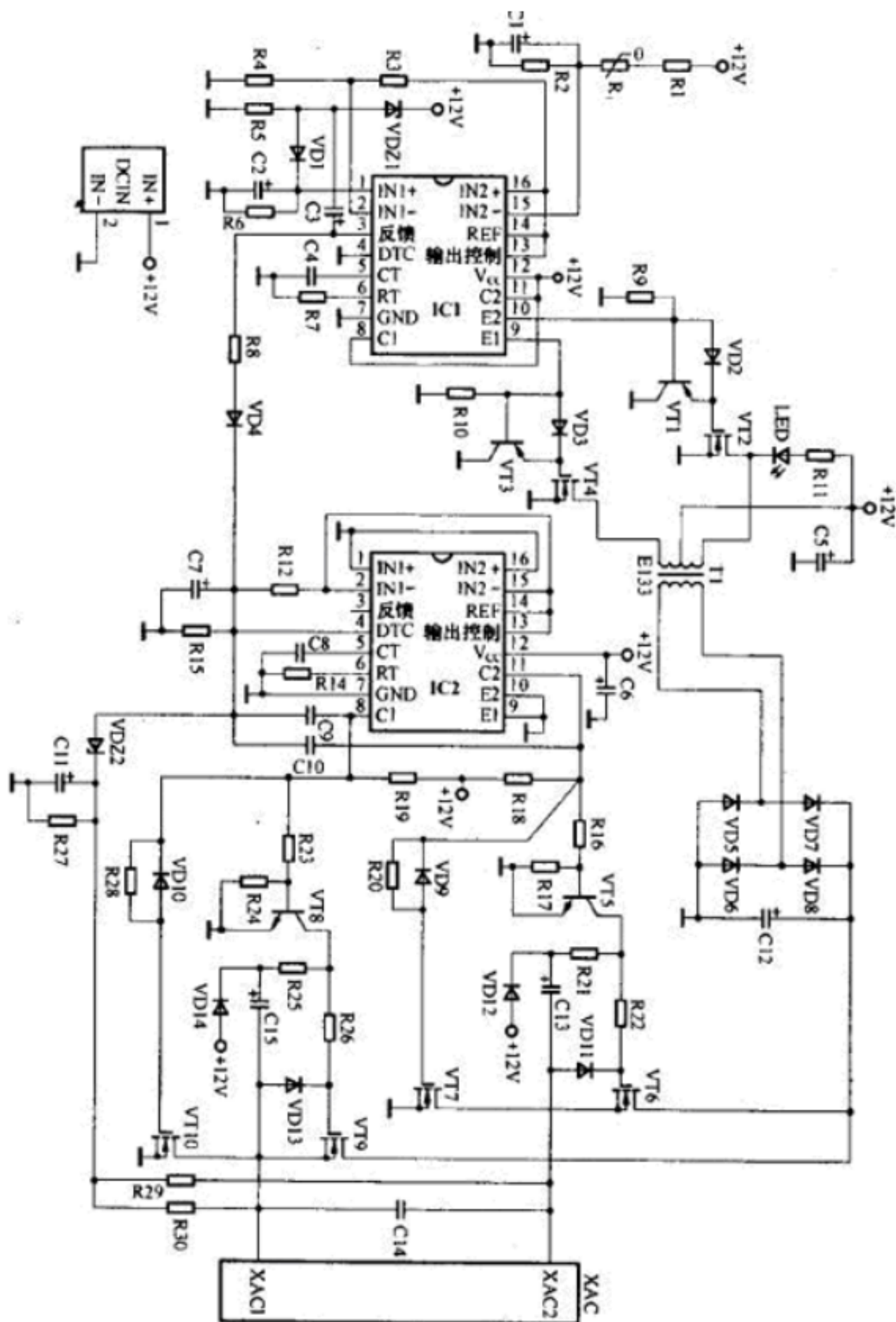


图 3-4 逆变电路原理图

(1) DC/AC 逆变电源部分

DC/AC 逆变电源电路如图 3-5 所示：

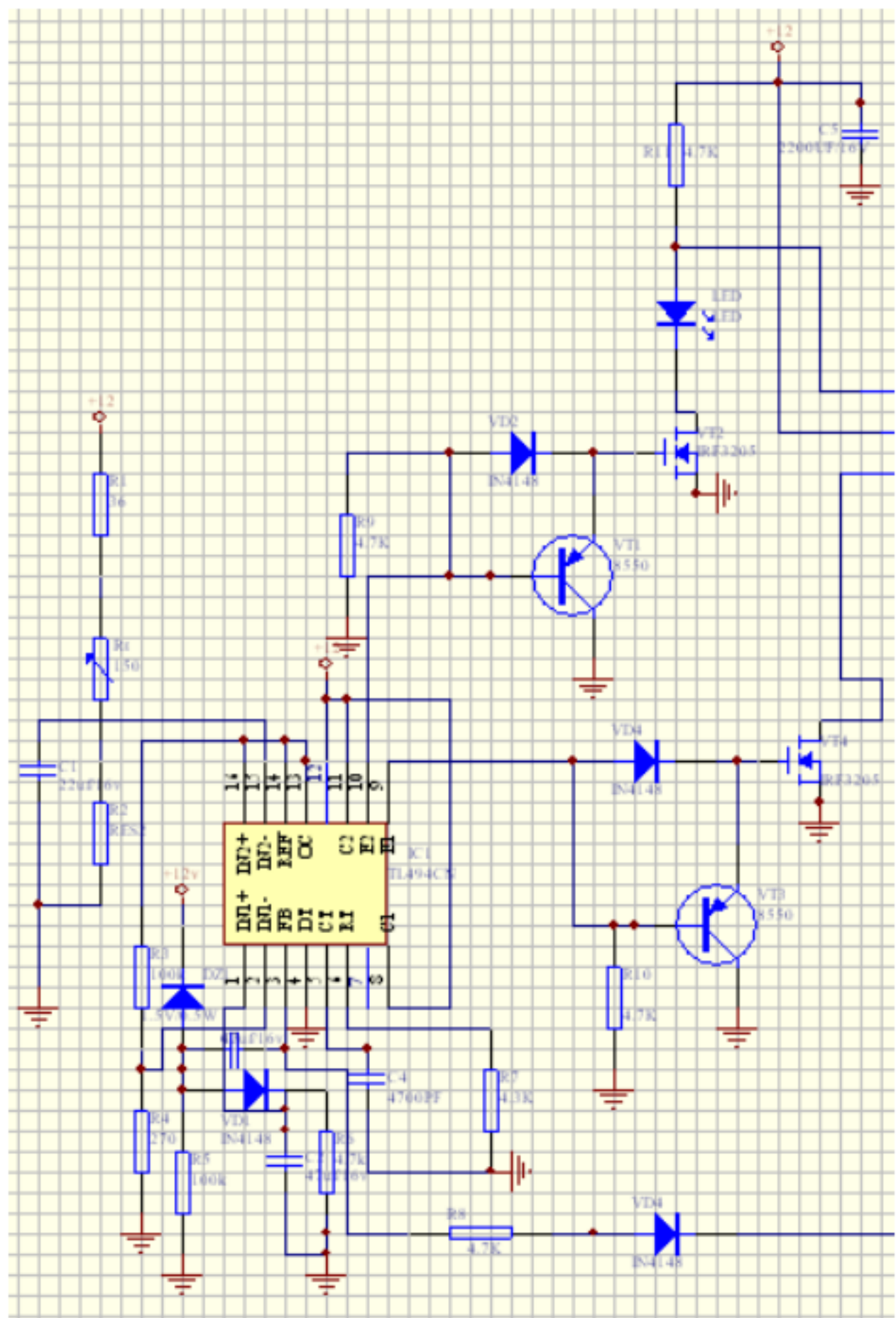


图 3-5 DC/AC 部分电路图

12V 直流电到 220V/50KHz 交流电部分由图 3-5 中 TL494CN 芯片 IC₁ 控制晶体三极管 VT₁、VT₃ 和场效应管 VT₂、VT₄ 和变压器共同完成。IC₁ 的 5 脚外接电容 C₄ 和 6 脚外接电阻 R₇ 为脉宽调制器的定时元件，脉宽调制频率为 $F=1.1/(0.0047 \times 4 \times 3) \text{KHz}=50 \text{KHz}$ ，即 IC₁ 控制 VT₁、VT₂、VT₃、VT₄ 工作在 50KHz 的频率。IC₁ 正向输入时，IC₁ 内置三极管 VT₁ 工作在放大状态，VT₂ 工作在截止状态，此时 IC₁ 的 9 脚外围晶体二极管 VD₃ 导通，因此场效应管 VT₂ 栅极电压达到一定值，VT₂ 为饱和导通状态；当 IC₁ 内置三极管 VT₁ 工作在截止状态时，IC₁ 的 9 脚外围晶体二极管 VD₃ 截止，VT₃ 基极为低电平，所以 VT₃ 为饱和导通状态，VT₃ 为饱和导通状态时，VT₄ 因栅极无正偏压而处于截止状态，此时直流电经变压器初级线圈上半部分通过 VT₂ 接地，经过变压器放大形成上半周期电流。当 IC₁ 反向输入时，同理 IC₁ 控制场效应管 VT₂ 截止、VT₄ 饱和导通，此时直流电经变压

器初级线圈下半部分通过 VT4 接地，经过变压器放大形成下半周期电流。因此，经变压器初级线圈的电流相当于 12V/50KHz 的交流电，变压器次级输出为 220V/50KHz 交流电。先将 12V 直流电逆变为 12V/50KHz 交流电的目的有两个：一、可以将变压器做的很小很轻；二、人耳能听见的最高频率为 20KHz，小于 20KHz 人耳将会听见吱吱的声音。

(2) AC/DC 逆变电源部分

AC/DC 逆变电路如图 3-6 所示：

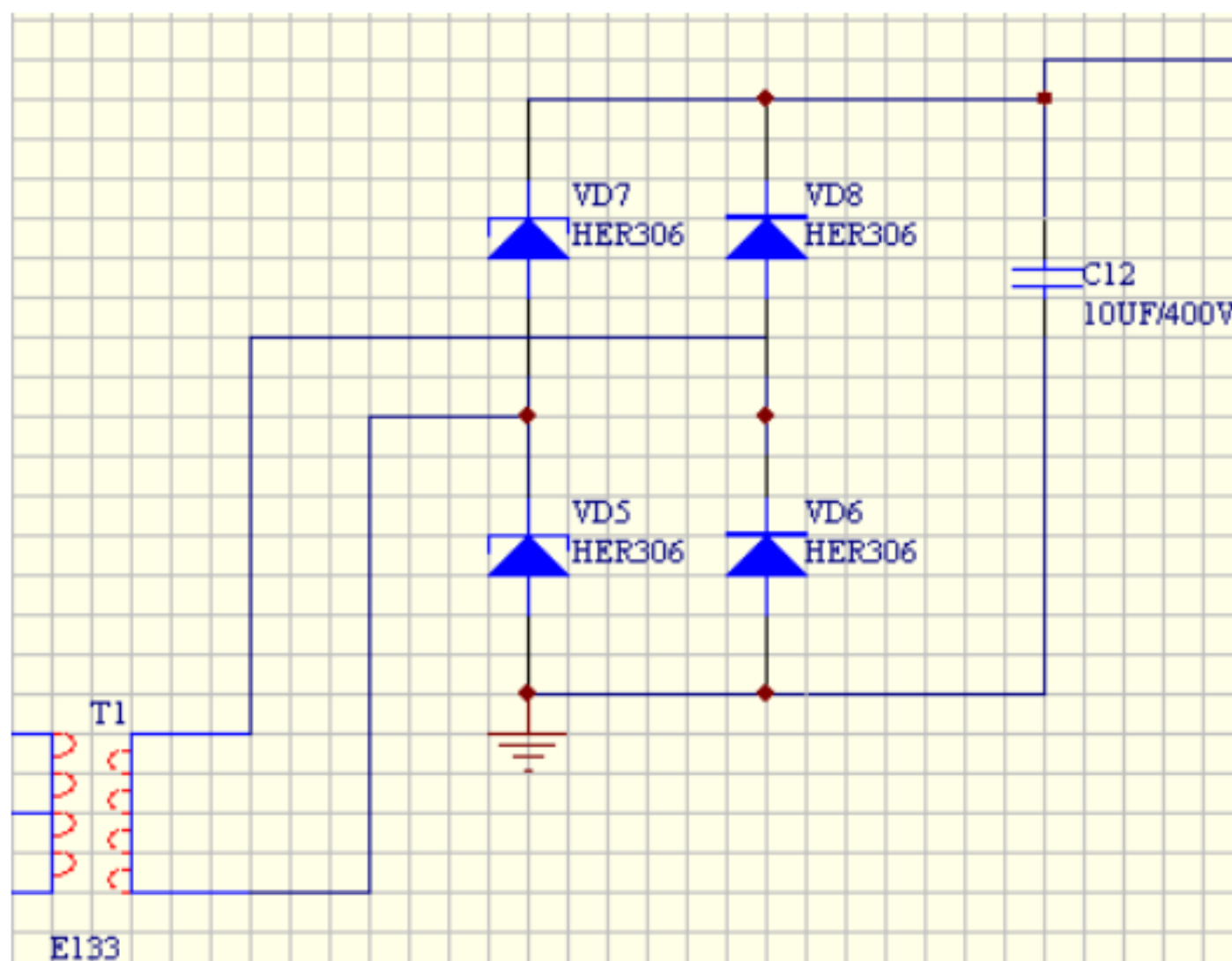


图 3-6 AC/DC 部分电路图

为了满足大功率场效应管^[8]VT6、VT9 能正常工作，再将 220V/50KHz 交流电用桥式整流法逆变为 220V 直流电，图 3-6 将完成这部分功能。此部分功能由 VD5、VD6、VD7、VD8，C12 共同组成桥式整流，利用电容充电快放电慢的特性整流出 220V 直流电。桥式整流的工作原理是，四个整流二极管组成一个电桥，变压器次级线圈和 C12 接到电桥的两个对角线位置。当 T1 输出为正半周期时，二极管 VD8 和 VD5 导通，VD6 和 VD7 截止，电流沿 VD5 经 VD8 指向电容 C12；当 T1 输出为负半周期时，VD8 和 VD5 截止，VD6 和 VD7 导通状态，电流沿 VD6 经 VD7 流向 C12，由于 T1 输出的 2 个半周期中经过电容 C12 的电流方向相同，实现了全波整流，再利用电容的充电快放电慢的特性，成功将电流整流为直流 (220V 直流电)。

(3) DC/AC 逆变部分

DC/AC 逆变电路如图 3-7 所示：

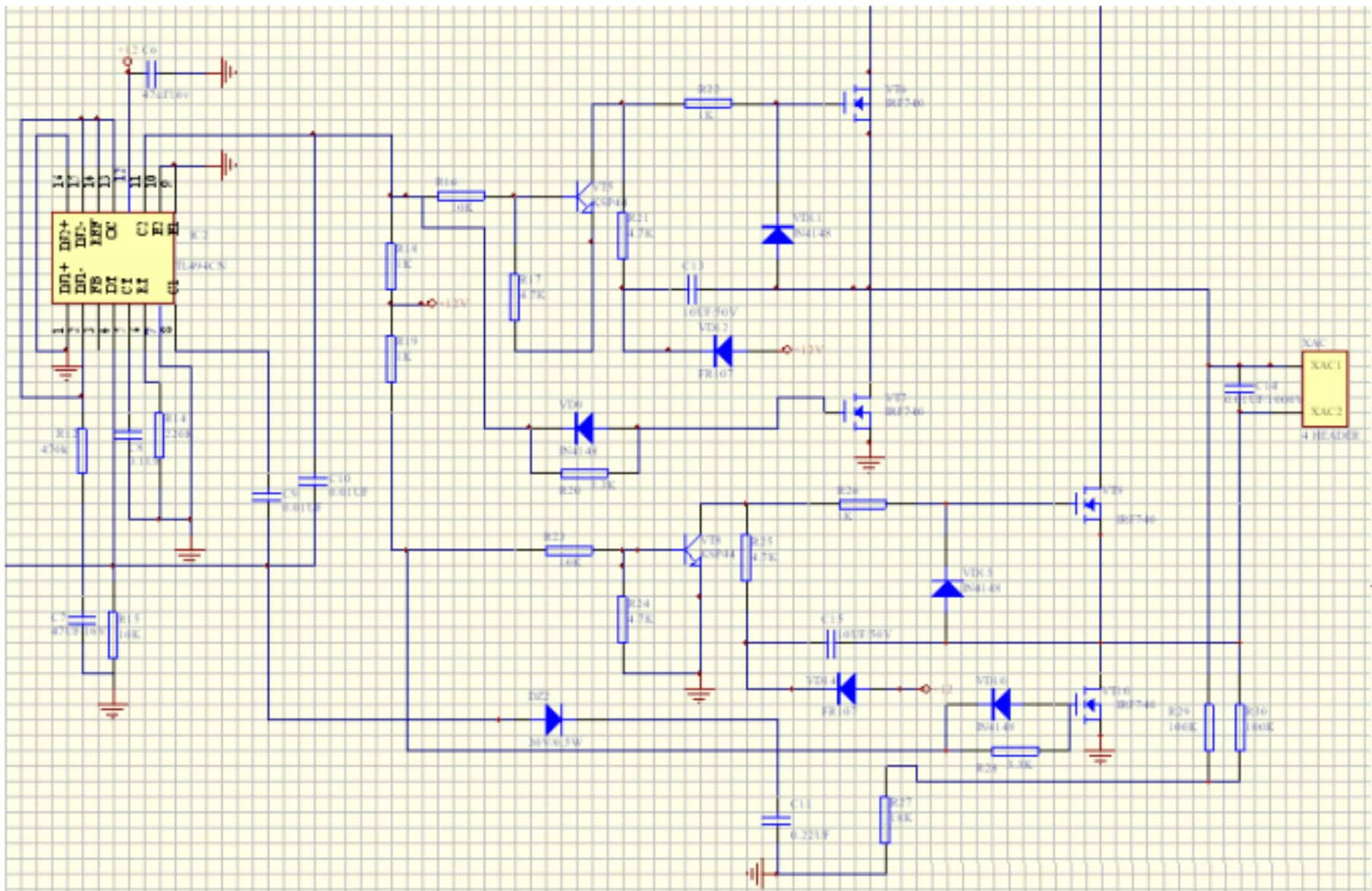


图 3-7 DC/AC 部分电路图

最后由 TL494CN 芯片的 5 脚外接点容 C8 和 6 脚外接电阻 R14 决定脉宽频率为 $F=1.1/(0.1\ 220)\text{KHz}=50\text{Hz}$ ，控制 VT5、VT8、VT6、VT9 工作在 50Hz 的频率下，将 220V 直流电逆变为 220V/50Hz 的交流电，图 3-7 将完成这部分功能。TL494 正向时，Ic2 控制 VT5 为饱和导通状态，VT8 为截止状态，由于 VT5 为饱和导通状态，则 VT6 为饱和导通状态。由于 VT8 处于截止状态，VT9 因栅极无正偏压而处于截止状态，同时 VT7 因栅极无正偏压而处于截止状态，VT10 为饱和导通状态。此时 220V 直流电经 VT6 沿 XAC 插座到负载再经 VT10 接地，形成正半周期电流；反向时，Ic2 控制 VT5 为截止状态，VT8 为饱和导通状态，由于 VT5 为截止状态，则 VT6 因栅极无正偏压而处于截止状态，由于 VT8 为饱和导通状态，VT9 处于饱和导通状态，同时 VT10 处于饱和导通状态，VT7 因栅极无正偏压而处于截止状态。此时 220V 直流电经 VT9 沿 XAC 插座到负载再经 VT7 接地，形成负半周期电流；这样接可将 220V 直流电成功转变为 220V/50Hz 交流电输出供负载使用。

3.3.2 保护电路部分

图 3-4 中 IC1、IC2 采用两只 TL494CN 芯片构成了该逆变电源的核心控制电路。TL494CN 是专用的双端式开关塑封结构，工作温度范围为 0~70℃，极限工作电源电压为 7~40V，最高工作频率为 300KHz。

TL494CN 芯片内置 5V 基准源，稳压精度为 $5V \pm 5\%$ ，负载能力为 10mA，通过其 14

脚输出供外部电路使用。 TL494CN 芯片还内置 2 只 NPN 功率输出管，可提供 500mA 的驱动能力。 TL494CN 内部电路如图 3-2 所示。

图 3-4 电路中 I_{C1} 的 15 脚外围电路 $R1$ 、 $C1$ 组成上电软启动电路^[9]，上电时电容 $C1$ 两端的电压由 0V 逐步升高，当 $C1$ 端电压达到 5V 以上时，允许 I_{C1} 内部的脉宽调制电路开始工作。当电源断电后， $C1$ 通过电阻 $R2$ 放电，保证下次上电时软启动电路能正常工作。

I_{C1} 的 15 脚外围电路的 $R1$ 、 $R2$ 、 R_t 组成的过热保护电路， R_t 为正温度系数热敏电阻，常温阻值可在 150~300 欧姆范围内任选，适当选大些可提高过热保护电路启动的敏感度。

I_{C1} 的 15 脚的对地电压值 U 是一个比较重要的参数，图 3-4 电路中 $U = V_{CC} \times R2 / (R1 + R2 + R_t)$ V，常温下的计算值为 $U = 6.2V$ 。结合图 3-2、图 3-4 可知，正常工作情况下要求 I_{C1} 的 15 脚的电压应略高于 16 脚电压（芯片的 14 脚相连为 5V），常温下 6.2V 大小正好满足要求，并略留有一定的余量。

当电路工作异常的时候，MOS 功率管^[10] $VT2$ 或 $VT4$ 的温度大幅提高，热敏电阻 R_t 的阻值超过 4K 欧姆时， I_{C1} 内部比较器 1 的输出将由低电平翻转为高电平， I_{C1} 的 3 脚也随即转为高电平状态，致使芯片内部的 PWM 比较器、或门、或非门输出均发生翻转， I_{C1} 内置功率管输出三极管 $VT1$ 和三极管 $VT2$ 均转为截止状态。当 I_{C1} 内的两只功率输出管截止时，图 3-4 电路中的 $VT1$ 、 $VT3$ 将因基极为低电平而饱和导通， $VT1$ 、 $VT3$ 导通后，功率管 $VT2$ 和 $VT4$ 因栅极无正偏压而处于截止状态，逆变电源电路停止工作。

I_{C1} 的 1 脚外围电路的 $DZ1$ 、 $R5$ 、 $VD1$ 、 $C2$ 、 $R6$ 构成 12V 输入电源过压保护电路。稳压管 $DZ1$ 的稳压值决定了保护电路的启动门限电压值， $VD1$ 、 $C2$ 、 $R6$ 还组成保护状态维持电路，只要发生瞬间的输入电压过压现象，保护电路就会启动并维持一段时间，以确保后级功率输出管的安全。考虑到汽车行驶过程中电瓶电压的正常变化幅度大小，通常将稳压管 $DZ1$ 的稳压值选为 15V 或者 16V 较为合适。

I_{C1} 的 3 脚外围电路的 $C3$ 、 $R5$ 构成上电软启动时间维持以及电路保护状态维持的关键性电路。实际上不管是电路软启动的控制还是保护电路的启动控制，其最终结果均反映在 I 的 3 脚的电平状态上。当电路上电或保护电路启动时， I_{C1} 的 3 脚为高电平，对电容 $C3$ 沿 $R5$ 支路进行充电。当致使保护电路启动的诱因消失后， $C3$ 通过 $R5$ 支路进行放电，因放电所需时间较长，故电路的保护状态仍得以维持一段时间。

当 I_{C1} 的 3 脚为高电平时，将沿 $R8$ 、 $VD4$ 支路对电容 $C7$ 进行充电，同时将电容 $C7$ 两端的电压提供给 I_{C2} 的 4 脚，使 I_{C2} 的 4 脚保持为高电平状态。从图 3-2 的芯片内部电路可知，当 4 脚为高电平时，将抬高芯片内死区时间比较器同相输入端的电位，使该比较器输出保持为恒定高电平，经或门、或非门后使内置的三极管 $VT1$ 和三极管 $VT2$ 均截止。

当 IC₂ 内置三极管 VT1 和三极管 VT2 截止时，图 3-4 电路中的 VT5 和 VT8 处于饱和导通状态，VT5、VT8 导通后，后级的 MOS 管 VT6 和 VT9 将因栅极无正偏压而都处于截止状态，逆变电源电路停止工作。

IC₁ 的 5 脚外接电容 C4 和 6 脚外接电阻 R7 为脉宽调制器的定时元件，所决定的脉宽调制频率为： $F=1.1/(0.0047 \times R7) \text{kHz}=50\text{kHz}$ 。即电路的三极管 VT1、VT2、VT3、VT4、变压器 T1 的工作频率均为 50kHz 左右，因此 T1 应选用 EL33 型的高频铁氧体磁芯变压器，变压器 T1 的作用是将 12V 脉冲升压为 220V 的脉冲，其初级匝数为 40，次级匝数为 380。

IC₂ 的 5 脚外接电容 C8 和 6 脚外接的电阻 R14 为脉宽调制器的定时元件，所决定的脉宽调制频率为： $F=1.1/(C8 \times R14)=1.1/(0.1 \times 220) \text{kHz}=50\text{Hz}$ 。

R29、R30、R27、C11、DZ2、组成 XAC 插座 220V 输出端的过压保护电路^[11]，当输出电压过高时将导致稳压管 DZ2 击穿，使 IC₂ 的 4 脚的对地电压上升，芯片 IC₂ 内的保护电路动作，切断输出。

4 电路图绘制和调试

随着电子工业技术的迅速发展，新型器件特别是集成电路的大量涌现，电路板设计变得日益复杂和精密，手工设计难以适应新形势发展的要求。计算机的普及和应用很好地解决了这个问题。人们可以利用 CAD^[12]（计算机辅助设计）软件进行辅助设计。这些软件有一些共同的特征：它们都能够协助人们完成电子设备线路的设计工作，比较完善的电子线路 CAD 软件至少具有自动布线功能，更完善的还应有自动布局、逻辑检测、逻辑模拟等功能。PROTEL 就是这类软件中的杰出代表。

4.1 PROTEL99简介

Protel99 是 Protel 公司近 10 年致力于 Windows 平台开发的最新结晶，能实现从电学概念设计到物理产生数据，以及这之间的所有分析、验证和设计数据管理。因而今天的 Protel 最新产品已不是单纯的 PCB（印制电路板）设计工具，而是一个系统工具，覆盖了以 PCB 为核心的整个物理设计。

Protel99 的 PCB 设计组件具有强大的设计自动化功能、编辑功能以及完善的库元件管理等。它能提供交互式的全局编辑，对象属性的修改操作同原理图一样。PCB 设计组件的设计自动化是借助于自动布线组件实现的，同时他还具备在线式的设计检查功能（DRC），以修正违反设计规则的错误。它同时也具备了完善的库元件管理功能，用户可以方便地创建一个新的 PCB 元件。通过网络还可以共享更多用户库。

在 Protel99 中，实现自动布线的组件是 Route 5.0，它主要为 PCB 设计组件实现设计的自动化功能而服务。该方法基于人工智能，可以对 PCB 版面进行优化。

4.2 电路图绘制

先新建一个 DATABASE。然后在 Documents 中建立 sch 文件。就可以在原理图文件中绘制原理图了。

首先要在 Libraries 中添加 lib 文件。常用的 lib 在 目录下的 Miscellaneous Devices.ddb 文件和 Protel DOS Schematic Libraries.ddb 文件中都有了。电阻的 Filte 是 RES1, 电解电容的 Filte 是 CAPACITOR, 瓷片电容的 Filte 是 CAP, IC1, IC2 的 Filte 是 DIP—16, 可变电阻的 Filte 是 POT1, SW1 的 Filte 是 SW DIP-4, 稳压二级管的 Filte 是 DIODE VARACTOR, 三级管的 Filte 是 NPN, 发光二极管的 Filte 是 LED, 变压器的 Filte 是 T1, MOS 管的 Filte 是 NPN, 其他没的就需要在 DATABASE 中新建 lib 文件。

把器件挪到图纸上, 双击它, 可以修改它的属性。在 Desianation 中写入器件的名称, 在 Part 中写入器件的数值, 在 Footprint 中写入器件的封装。只要把这些元件放在合适的位置, 再按照设计的电路图把器件用线连起来就可以了。最后只要加以修改, 使得图纸变得美观。

4.3 PCB 图绘制

在该 DATABASE 中新建 PCB 文件。在 Design 栏中的 Options 选项中的 Layers 页中, 选中 TopLayer 和 BottomLayer, 在 Silkscreen 中选择 TopOverlay 和 BottomOverlay, 在 Other 中选择 Keepout 和 Multilayer。其中 Keepout 和 Mech 层规定了 PCB 板的电气界限和物理界限。

Protel99 提供了众多的工作层, 我们需要对它们有一定的了解。如 Signal Layer (信号层)、Internal Plane (内部电源 / 接地层)、Mechanical Layer (机械层)、Drill Layer (转孔层)、Solder Mark (阴焊层)、Paste Mark (防锡膏层)、Silkscreen (丝印层)、Others (其他层)。

其中 Signal Layer (信号层) 由 16 个子层组成, 包括 TopLayer (顶层)、BottomLayer (底层)、Mid1 (中间层 1)、Mid2 (中间层 2)、Mid3 (中间层 3)、..、Mid14 (中间层 14)。信号层中的顶层和底层主要用于放置元件和信号的走线, 中间层主要用放置信号的走线。

Mechanical Layer (机械层) 也有四个。分别为 Mech1、Mech2、Mech3、Mech4。他们主要用于放置有关制作和装配的信息。

和绘制原理图一样, 要在 Browse PCB 的边框中选择 Libraries, 增加 Library\Pcb\Generic 目录下的 Advpcb.ddb 文件和 Miscellaneous.ddb 文件。常用的封装在这里都有了。

电解电容的 Footprints 是 E5-10, 瓷片电容的 Footprints 是 E5-10, 电阻的 Footprints 是 0805, D2 LED 的 Footprints 是 RAD 0.2, 三极管的 Footprints 是 E5-10, 可变电阻 Rt 还有

CK4 的封装是自己由 BNC 的基础上修改的。SW DIP-4 的 Footprints 是绘制在 Topoverlay 层上的。

绘制的方法也和原理图一样，把器件拖到 PCB 图上后，双击。可以在 Component 对话框中 Designator 中对器件命名。可以自己手动布线，也可以在原理图中生成网络表，再由网络表产生 PCB 图。确定了物理和电气界限后就可以自动布线了。

在原理图中的 Reports 中的 Bill of Material，选择 Sheet Footprint、Description 就可以生成网络表。然后在 PCB 的界面下选 Design 的 Load Nets，便可以载入网络表了。再使用 Auto Route 工具就可以自动布线了，生成 PCB 图如图 4-1 所示：

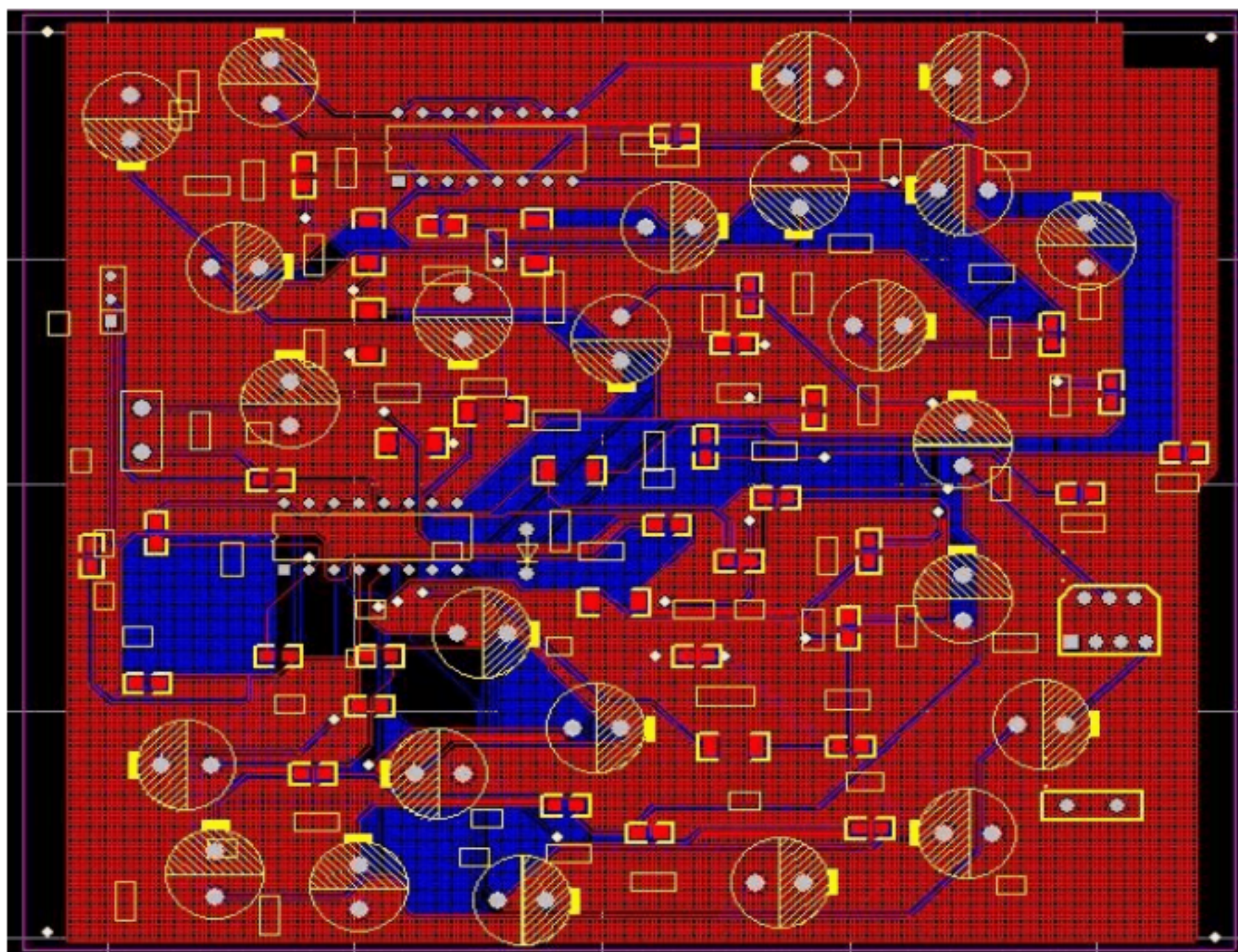


图 4-1 PCB 图

4.4 电路调试

该逆变电源在接通 12V 直流电源后，LED 指示灯亮，说明电路工作正常。由于该电路设有上电软启动功能，在接通电源后要等 7S 左右才有 220V 直流电输出，若发生输入电流过大，输出电压过大或者电路工作环境过热的情况均会使 LED 指示灯变暗，说明逆变电路停止工作。若在接通电源后要等 10S 左右指示灯还没用点亮，说明逆变电路有问题或者 LED 灯极性安装反了。

结 论

逆变电源^[13]应用广泛，但是电路复杂，价格比较昂贵，为此设计一款逆变电源。该电源主要应用开关电源电路技术的有关知识，涉及模拟集成电路、电源集成电路、直流稳压电路、开关稳压电路^[14]等原理，充分运用芯片 TL494 的固定频率脉冲宽度调制电路和场效应管的开关速度快、无二次击穿、热稳定性好的优点与三极管一起构成的组合设计电路。

该逆变电源在工作时的持续输出功率为 150W，并且具有输入过压保护、输出过压保护以及过热保护等功能。主要组成部分为：输入过压保护电路、输出过压保护电路、过热保护电路、DC/AC 变换电路、振荡电路。该电源的制造成本较低廉，可以将输出功率做到 200W 以上，因此该逆变电源几乎可以替代目前市场上所售的各种逆变器或者逆变电源产品，其应用前景十分广阔。该逆变电源可将电瓶的 12V 直流电转换为 220V/50Hz 的交流电，供数码相机、CD 机、笔记本电脑、小型录像机、电动剃须刀、手机等便携式产品使用。因此具有相当强的通用性。

参 考 文 献

- [1] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术 [M]. 机械工业出版社 .2009.
- [2] 曲学基. 逆变技术基础与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007-1:1-10.
- [3] 李爱文, 张承慧. 现代逆变技术及其应用. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 袁佑新, 李波, 辛华强. 基于 PWM 控制器 KA7500 的逆变电源设计 [J]. 通信电源技术. 2006-3, 第 23 卷第 2 期: 13-15.
- [5] 王亚君. TL494 及其在半桥变换开关电源中的应用 [J]. 现代电子技术 .2004 ,(6):94-95.
- [6] 童诗白. 模拟电子技术基础 (第二版). 高等教育出版社, 1988.
- [7] 陈国呈. PWM 逆变技术及应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [8] 叶家金. 现在电力电子器件 - 大功率晶体管的原理与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
- [9] 李演明, 来新泉, 贾新章, 代国定. 一种 DC/DC 开关电源的新颖软启动电路设计 [J]. 电子器件 .2008 年 02 期.
- [10] 陈星弼. 功率 MOSFET 与高压集成电路. 南京: 东南大学出版社, 1990:168.
- [11] 韦卫红, 邵翠辉. 电力系统过电压的产生原因分析及限制策略 [J]. 民营科技 .2011 年第 12 期.
- [12] 杨雨松, 刘娜编著. AutoCAD 2006 中文版实用教程. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [13] 孙进, 侯振义, 卢家林. 逆变电源技术及其发展概况 [J]. 电源世界, 2006(08).
- [14] 王水平, 田庆安. 开关稳压电源 [M]. 西安电子科技大学出版社 .1997-3:2-12.

附 录

附录 1：元器件参数表

元器件符号	类型	元器件符号	类型	元器件符号	类型
C1	22 μ F/16V	VD13	IN4148	R12	470K
C2	47 μ F/16V	VD14	FR107	R14	220K
C3	47 μ F/16V	DZ1	15V/0.5W	R15 R16	10K
C4	4700PF	DZ2	3.V/0.5W	R17	407K
C5	2200μ F/16V	Ic1 Ic2	TL494CN	R18 R19	1K
C6	47 μ F/16V	LED	绿色	R20	3.3K
C7	47 μ F/16V	VT1 VT3	8550	R21	4.7K
C8	0.1μ F	VT2 VT4	IRF3205	R22	1K
C9	0.01 μ F	VT6 VT7	IRF740	R23	10K
C10	0.01 μ F	VT5 VT8	KSP44	R24 R25	4.7K
C11	0.22 μ F	VT9 VT10	IRF740	R26	1K
C12	10 μ F/400V	R1	36K	R27	18K
C13	10 μ F/50V	R2	39K	R28	3.3K
C14	0.01 μ F/1000V	R3	100K	R29 R30	100K
C15	10 μ F/50V	R4	270	RT	150
VD1-VD4	IN4148	R5	100K	T1	EI33
VD5-VD8	HER306	R6	4.7K	XAC	弹片插孔
VD9-VD11	IN4148	R7	4.3K		
VD12	FR107	R8-R11	4.7K		

附录 2：封装库清单表

类型	元器件符号	封装
0.01UF	C10	E5-10
0.1UF	C8	E5-10
0.01UF	C9	E5-10
0.01UF/1000V	C14	E5-10
0.22UF	C11	E5-10
1.5V/0.5W	DZ1	1808
1K	R26	805
1K	R19	805
1K	R18	805
1K	R22	805
2N2904	PTC	PTC
3.3K	R28	805
3.3K	R20	805

续表

4.3K	R7	805
4.7K	R10	805
4.7K	R17	805
4.7K	R21	805
4.7K	R8	805
4.7K	R11	805
4.7K	R25	805
4.7K	R24	805
4.7K	R9	805
4.7k	R6	805
4 HEADER	XAC	SIP2
10K	R15	805
10K	R23	805
10K	R16	805
10UF/50V	C13	E5-10
10UF/50V	C15	E5-10
10UF/400V	C12	E5-10
18K	R27	805
22uf/16v	C1	E5-10
30V/0.5W	DZ2	D-4148
36	R1	805
47UF/16V	C7	E5-10
47uf/16v	C3	E5-10
47uf/16v	C6	E5-10
47uf/16v	C2	E5-10
100K	R30	805
100K	R29	805
100k	R5	805
100k	R3	805
150	Rt	SIP3
220K	R14	805
270	R4	805
470k	R12	805
2200UF/16V	C5	E5-10
4700PF	C4	E5-10
8550	VT3	E5-10
8550	VT1	E5-10
E133	T1	PTC
FR107	VD12	D-4148
FR107	VD14	D-4148
HER306	VD7	1808

续表

HER306	VD5	1808
HER306	VD6	1808
HER306	VD8	1808
IN4148	VD10	1808
IN4148	VD4	1808
IN4148	VD2	1808
IN4148	VD13	D-4148
IN4148	VD9	D-4148
IN4148	VD11	D-4148
IN4148	VD1	D-4148
IRF740	VT9	E5-10
IRF740	VT10	E5-10
IRF740	VT6	E5-10
IRF740	VT7	E5-10
IRF3205	VT2	E5-10
IRF3205	VT4	E5-10
KSP44	VT5	E5-10
KSP44	VT8	E5-10
LED	LED	D-4148
RES2	R2	805
TL494CN	IC2	DIP16
TL494CN	IC1	DIP16

谢 辞

经过一个多月来的资料搜集、分析、整理、论文修改、确定，到设计论述的撰写，再到现在完成了所有毕业设计项目。这个漫长的过程当然是辛苦的，不过，从个人角度来说，这个更是我大学期间一次对自己专业能力的总结和升华。毕业设计论文完结，这也意味着我在临沂大学学习和生活的生涯即将结束。在这里，我要感谢老师的精心培养和教导，同学们的支持和鼓励。

首先，我要特别感谢我的导师谢印忠老师，在毕业设计的过程中，谢老师给了我许许多多的帮助和关怀。谢老师不仅有着丰富的电路设计经验，而且平易近人，在谢老师的悉心指导下，我不仅学到了很多的专业知识，也在为人处事等方面收获颇多。

同时，我还要感谢给我授课的各位老师，正是由于他们的传道、授业、解惑，让我学到了专业知识，并从他们身上学到了如何求知治学、如何为人处事。我也要感谢我的母校临沂大学，是她给我提供了良好的学习和生活环境，让我的大学生活丰富多姿，为我的人生留下精彩的一笔。