

第一章 绪论

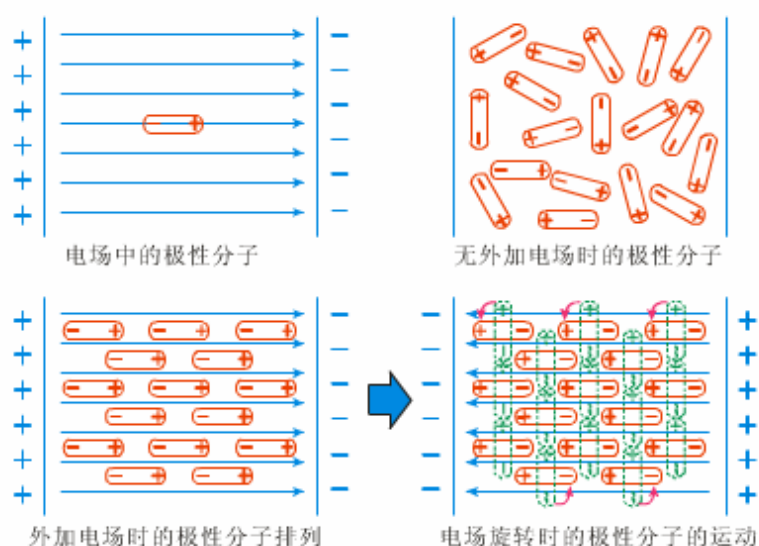
1.1 微波炉发展概述

微波炉是一种完全不同于传统加热方式的烹饪工具，自第一台微波炉诞生至今已有 60 多年的历史，现已非常的普及，它的发展给人们带来了诸多的方便。

1.1.1 微波炉的发明

1945 年美国雷声公司技术员珀西·斯宾塞 (Dr. Percy Spencer) 观察到微波能使周围的物体发热。一次，当他走过微波发射器时，身体有热感，发现装在口袋内的糖果被微波溶化。此后，他试验证实了微波能使物体发热的实事，雷声公司受斯宾塞实验的启发，1947 年推出了第一台家用微波炉。1965 年，乔治·福斯特对微波炉进行大胆改造，与斯宾塞一起设计了一种耐用和价格低廉的微波炉。1967 年，微波炉新闻发布会兼展销会在芝加哥举行，获得巨大成功。从此，微波炉逐渐走入了千家万户。微波炉成为改变人类生活的一项重大发明。

1.1.2 微波的热效应



微波能量被介质材料吸收而转化为热能的现象，表现为微波能量在材料中的总损耗。在微波场的作用下，电介质的极性分子从原来杂乱无章的热运动改变为按电场方向取向的规则运动，而热运动以及分子间相互作用力的干扰和阻碍则起着类似于内摩擦的作用，将吸收的电场能量转化为热能，使电介质的温度随之升高。电场能量的损耗以介质损耗角正切 $\tan \delta$ 或介电常数的虚部 ϵ'' 作定量表示。 $\tan \delta$ 越大，微波热效应越显著。带有松弛离子的电介质和有漏导损耗的介质也会消耗微波电磁场能量而发热。微波场在磁介质中的损耗有介电损耗和磁损耗。介电损耗仍用介质的损耗角正切表示，它与材料的电阻率有关，电阻率越大，介电损耗越小。磁损耗又称阻尼损耗，它与导磁率的虚部 μ'' 成正比。微波电磁场的功率过大，将会使磁介质的温度过高；若热平衡系统受到破坏，则会导致材料饱和磁化强度下降，甚至变为顺磁材料。

1.1.3 微波炉加热原理

家用微波炉微波频率为 2450MHz 的高频电磁波，当微波照射在理想导电金属表面上将被全反射。照射在介质表面则有一小部分被反射，而大部分能穿透到介质内部，并在内部逐渐被介质吸收而转变为热能，其穿透深度主要决定于介质的介电常数和电磁波的频率。在微波频率下对一般物体其穿透深度可达几厘米。微波炉腔体由金属制成，微波烹饪器皿由绝缘的玻璃、陶瓷、塑料等制成，一般食物中都含有大量的水等极性分子。这样微波炉内的微波传到腔体就反射回来，并可穿过盛食物的器皿直接进入食物中，食物中的水分子剧烈振动，产生大量的热能，导致食物温度迅速升高。因用微波炉烹饪，热量可直接在食物内部产生，相比其它炉灶对食物的加热速度快 4 到 10 倍，热效率高达 80% 以上，并且很少有油烟产生。微波炉由于烹饪时间短，能很好的保持食物中的维生素和天然风味。

1.1.4 微波炉的发展

微波炉因其突出的烹饪效果，早已被人们广泛的接受，成为现代城市生活中不可缺少的烹饪工具。据统计，现全球每年微波炉的市场大约为 6000 万台，如此大的市场促进了微波炉生产厂的竞争。为满足市场的要求不断的增强微波炉的功能，并尽可能的控制原料成本。随着人们生活水平的提

高，也对产品的性能提出了更高的要求。现在的微波炉已经可以做到煎、煮、烤、烘、焖、炖、蒸、烩等多种烹饪方式，做出各种营养美味的食物。不断开发出新功能的微波炉，如烧烤微波炉、光波微波炉、紫光微波炉、蒸汽微波炉及各种功能组合的微波炉。设计更趋人性化，触控式按键，遥控功能，大屏幕显示，语音提示，网络化等新技术不断应用于新微波炉的开发设计。

1.2 变频微波炉

随着人们对环保节能意识及对产品品质要求的不断提高，随着变频技术的发展，变频微波炉在特定的历史时期必然出现于世人面前。它是微波炉和变频两种技术的完美结合。给微波炉的发展增强了新的活力。

1.2.1 变频技术的发展

通过改变交流电频率的方式实现交流电控制的技术就叫变频技术。

变频技术是应交流电机无级调速的需要而诞生的。20世纪60年代后半期开始，电力电子器件从SCR(晶闸管)、GTO(门极可关断晶闸管)、BJT(双极型功率晶体管)、MOSFET(金属氧化物场效应管)、SIT(静电感应晶体管)、SITH(静电感应晶闸管)、MGT(MOS控制晶体管)、MCT(MOS控制晶闸管)发展到今天的IGBT(绝缘栅双极型晶体管)、HVIGBT(耐高压绝缘栅双极型晶闸管)，器件的更新促使电力变换技术的不断发展。20世纪70年代开始，脉宽调制变压变频(PWM—VVVF)调速研究引起了人们的高度重视。20世纪80年代，作为变频技术核心的PWM模式优化问题吸引着人们的浓厚兴趣，并得出诸多优化模式，其中以鞍形波PWM模式效果最佳。20世纪80年代后半期开始，美、日、德、英等发达国家的VVVF变频器已投入市场并广泛应用。紧接着矢量控制方法提出。1985年，德国鲁尔大学的DePenbrock教授首次提出了直接转矩控制变频技术。VVVF变频、矢量控制变频、直接转矩控制变频都是交—直—交变频中的一种。其共同缺点是输入功率因数低，谐波电流大，直流回路需要大的储能电容，再生能量又不能反馈回电网，即不能进行四象限运行。为此，矩阵式交—交变频应运而生。由于矩阵式交—交变频省去了中间直流环节，从而省去了体积大、价格贵的电解电容。它能实现功率因数为1，输入电流为正弦且能四象限运行，系统的功率密

度大。该技术目前虽尚未成熟，但仍吸引着众多的学者深入研究。

变频技术与家用电器 20 世纪 70 年代，家用电器开始逐步变频化，出现了电磁烹饪器、变频照明器具、变频空调器、变频微波炉、变频电冰箱、IH(感应加热)饭煲、变频洗衣机等。20 世纪 90 年代后半期，家用电器则依托变频技术，主要瞄准高功能和省电。比如，要求具有高速高出力、控制性能好、小型轻量、大容量、高舒适感、长寿命、安全可靠、静音、省电等优点。变频技术正在给形形色色的家电带来新的革命，并将给用户带来更大的福音。今后变频技术还将随着电力电子器件、新型电力变换拓扑电路、滤波及屏蔽技术的进步而发展。

1.2.2 变频技术在微波炉上的应用

2000 年，上海松下微波炉有限公司 9 月份上市最新技术变频微波炉。开始了变频技术在微波炉上的应用。变频微波炉代表了世界微波炉发展的方向，**变频微波炉利用高频电能给磁控管必要的升压驱动**，电源结构小，

炉内空间更宽敞，新式微波炉使微波发射输出功率得到了自由调节，使食物加热更为均匀，并根据不同食品选择最佳加热方式，烹饪的食物口感更好、营养保存更多，与传统的微波炉相比，变频微波炉具有机身轻，噪音低，用电省的特点。

1.3 本文内容的安排

本文由七个章节组成。

第一章：绪论，简单介绍微波炉的原理及发展，变频技术的发展。

第二章：介绍微波炉的整体实现方案及各部分的功能。

第三章：介绍结构设计。

第四章：介绍各部分电子硬件设计。

第五章：介绍系统软件的实现，各控制程序功能的实现。

第六章：对整机功能测试做分析和评估。

第七章：总结设计及评价。

第二章 变频微波炉的系统设计

2.1 系统实现目标 and 设计原则

2.1.1 实现目标

纵观微波炉 60 多年的发展历程，它一直朝着方便易用、节能环保、智能化，人性化的目标前进。为了这个共同目标，在设计此变频烧烤型微波炉时，确定以下设计目标。

1、 电气规格：

- 使用电源：230V 50Hz
- 微波最大输入功率：1450W
- 微波最大输出功率：900W

- 微波频率：2450MHz
- 烧烤功率：1300W
- 转盘马达：4W 4r/min
- 灯泡：40W
- 风扇马达：18W

2、 功能：

- 采用变频技术，微波效率不小于 60%。
- 可设定六档微波功率，适合各种食物的加热。
- 采用旋转编码器和轻触按键组合设定参数，方便用户设定。
- 适时的柔和提示音，提醒用户工作状态，听起来不会觉得刺耳。
- LCD 显示，待机功耗小于 3W，更加节能。
- 键盘锁定功能，防止儿童误启动微波炉，使用更加安全放心。

- 自动菜单功能，软件内设的多种菜单，用户只要选择所要的菜单



启动微波炉，微波炉将自动为客户做出最佳效果的食物。

2.1.2 设计原则

对于所有的电器产品，使用者都会有几个基本的要求，这也是在设计时必需遵循的原则。

1、稳定性原则：设计的微波炉可以在正常电网的干扰下完全正常运行，符合国际标准的 EMC 检测。

2、安全性原则：在用户正常或非正常使用时不可以有危险产生，对用户造成伤害。

3、易用性原则：使用户可很方便的操作使用而不用反复的看使用说明。

4、高效性原则：尽量提高工作效率，节约能源，加快调理速度。

2.2 系统总体方案

2.2.1 系统的总体方块图



根据预先设定的设计目标对微波炉系统进行规划，具体的系统方块图如图 2-1。

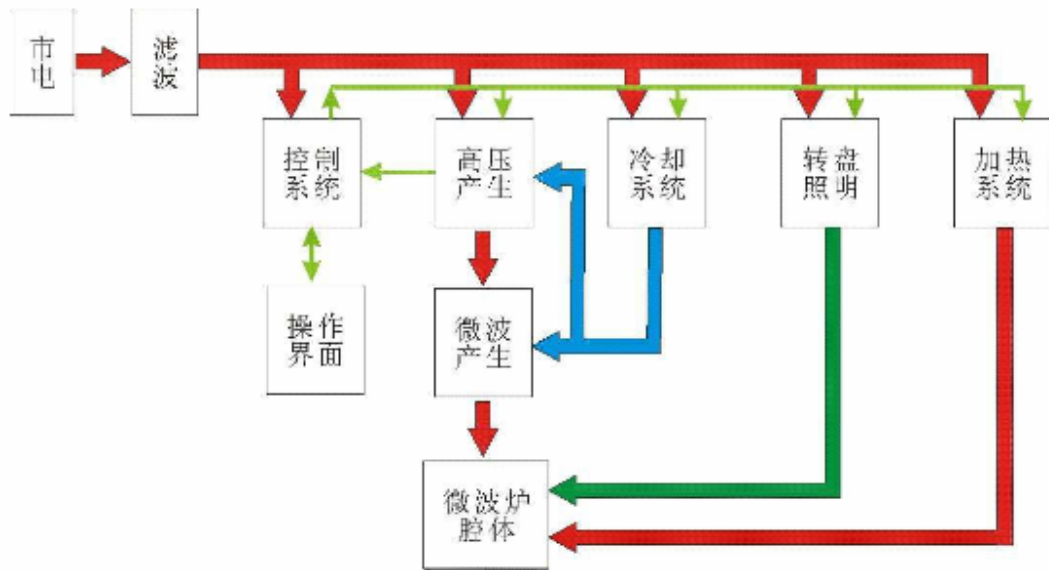


图 2-1 系统方块图

变频烧烤型微波炉由以下几个模块组成。

1、滤波基板：

市电经过微波炉电源线后首先进入微波炉的滤波基板。滤波板滤除电网上的干扰信号，以免对微波炉内部系统造成影响，同时也抑制微波炉产生的干扰传入电网。电源滤波完成后供给控制系统、高压产生系统、冷却系统、转盘马达和照明灯、加热系统提供电能。

2、控制系统：

控制系统是整个系统的核心，它根据用户通过操作界面的设定，对整个微波炉系统的工作进行控制，包括高压产生系统、冷却系统、转盘马达和照明灯、加热系统等。

3、高压产生模块：

高压产生模块在控制系统的控制下，产生特定的高压电压和电流信号给微波产生模块。高压产生模块的工作状态会反馈给控制系统，以便出现异

常时控制系统可切断高压产生模块的电源。

4、微波产生模块：

微波产生模块是微波炉的最关键部分，它产生的微波经波导管传入微波炉腔体内，对微波炉内的食物进行加热。

5、冷却系统：

因在微波炉工作过程中，高压产生模块和微波产生模块会产生大量的热，冷却系统在控制系统的控制下对高压产生模块和微波产生模块进行散热。

6、转盘及照明：

当食物加热时，转盘带动食物旋转，使食物受热更均匀。在微波炉工作和炉门打开时，照明灯亮起，以便使用者可以看清食物的状况。

7、加热系统：

如果要做烧烤的调理，控制系统控制加热系统工作。

8、微波炉腔体：

微波炉腔体为容纳食物，及微波能转为食物热能的场所。

2.2.2 系统设计规划

系统设计计划分为结构设计，硬件设计，软件设计三部分。

1、结构设计

结构设计包括微波炉各部件的位置摆放，散热时风道的设计，及微波炉门、腔体、导波管等关键部件的尺寸设计等。

2、硬件系统设计

硬件设计包括各部件电气规格的选用，各部件间的电气连接关系，MCU 选用，电子电路的设计，PCB 设计等。

3、软件系统设计

软件设计包括程序规划，各部件驱动程序的设计，程序流程设计，代码编写等。

第四章 系统硬件设计

此微波炉硬件系统由三块 PCB 板和相关的电气部件组成，图 4-1 为整个微波炉的总电气连接图。三块基板包括：控制基板，转换器基板，滤波基板。本章将对各基板电路进行详细的介绍。

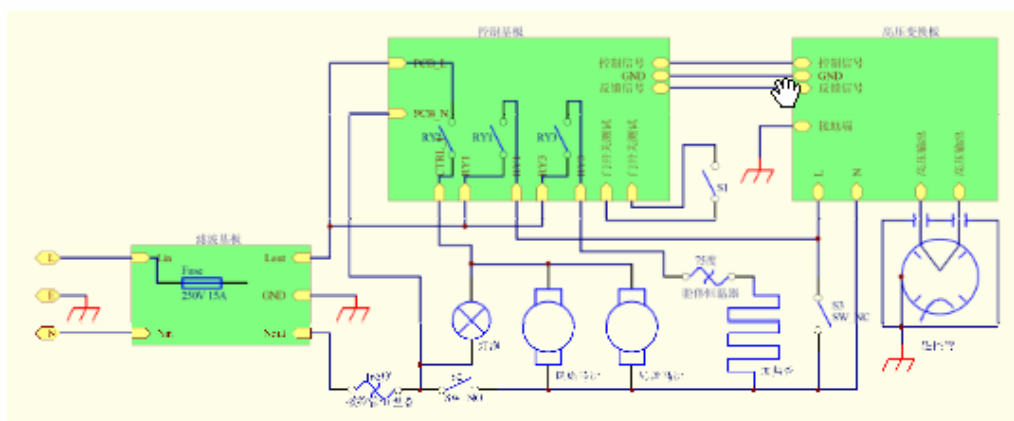


图 4-1 总电气连接图

如图 4-1 中，电网电源 L、N 线经过三插电源线分别连接到微波炉滤波基板的 Lin 和 Nin 的连接端子上。电源线的地线接微波炉的机壳上。滤波板在 L 的进线端接一 250V15A 的电流保险丝。电源经过滤波后 N 线接装在磁控管上的 165℃ 恒温器上，此恒温器主要作用是保护磁控管，如果有异常当磁控管温度高出 165℃ 时恒温器即断开，保证磁控管的温度不会太高。过恒温器后 N 线接到控制基板、灯泡及第 1 连锁开关上。控制基板上电源由该接线和 L 线提供。第 1 连锁开关 S2 为主回路开关，当微波炉炉门打开后 S2 断开，连接在其后的风扇马达、转盘马达、加热器和高压变换基板电源将全部被切断。灯泡接于 S2 前是为了当炉门打开后可控制灯泡点亮以看清微波炉腔体内食物。控制基板上的三个继电器触点的一端连接到滤波基板上的 L 线。继电器 RY2 的另一端接灯泡、风扇和转盘马达，控制照明、冷却和食物在炉腔内的转动。继电器 RY1 另一端接到高压变换板上，控制高压变换板的电源，为避免微波炉在长期使用后微动开关座产生变形或磨损等问题所导致的微波炉门打开后 S2 可能没断开，微波可能不停止输出，

在高压变换板电源两端并联常闭的微动开关 S3 即监控开关，如果微波炉打开时门 S2 及 RY1 都未断开，S3 将把电源短路，使滤波板上的电流保险丝熔断。继电器 RY3 另一端接 75℃ 的恒温器再接到电热管，用于控制加热管的加热。75℃ 恒温器置于微波炉炉腔上，保证烧烤时腔体内温度不会过高。第 2 联锁开关 S1 为常开的微动开关，用于 MCU 微波炉炉门状态的检测，同时作为继电器 RY1，RY3 的电源控制，门开时切断继电器的电源，使微波和烧烤加热器件不工作。控制基板到高压变换板通过三根线进行通讯，分别为 GND 线，信号控制线和信号反馈线。控制线用于发送控制微波的启动和功率调节。反馈线用于反应高压变换器是否工作正常，及工作状态。高压产生器的高压输出端接到磁控管上，由磁控管产生 2450MHz 的电磁波再传到微波炉腔体内。

4.1 控制板电路

控制板是系统的核心控制部件，由它完成人机交互和对微波功率，烧烤加热，照明，风扇，转盘等各种功能的控制。图 4-2 为控制板 MCU 的 IO 与外围功能模块的拓扑图。

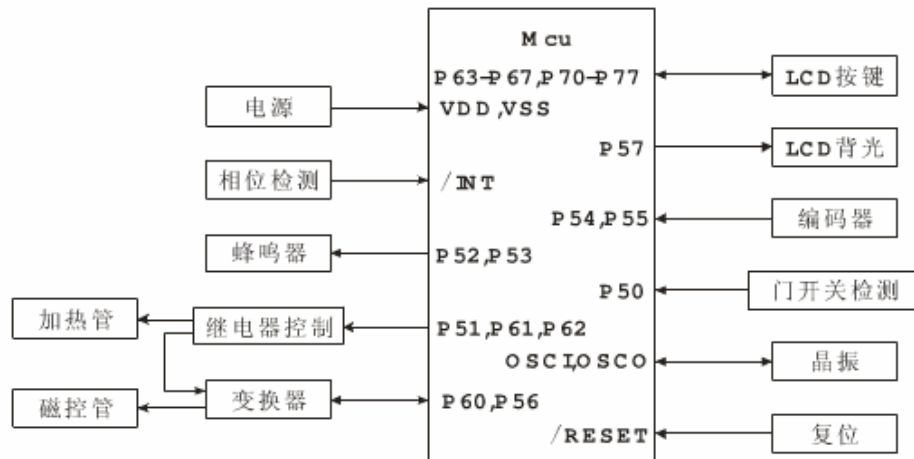


图 4-2 系统拓扑图

4.1.1 控制板电源电路

控制板的电源以变压器降压电路提供。首先对控制板的耗电量进行计

- 22 -

第四章 系统硬件设计

算，控制板的耗电器件主要有继电器，显示器及 MCU 本身耗电等。具体控制板负载电流分配如表 4-1：

表 4-1 控制板负载电流分配表

负载器件	数量	电流 (mA)	总电流 (mA)
继电器 302	2	44	88
继电器 8351	1	37.5	37.5
LCD 显示器	1	16	16
MCU	1	10	10
其它	-	20	20
总计	-	-	171.5

由表 4-1 确定变压器输出参数 10VAC200mA。输出参数的电压值选 10V，是为了当继电器都不动作时，C1 两端的电压在没有稳压措施的情况下不会太高。三个继电器都动作时电压不会低于继电器要求的吸合电压下限 75% 的额定电压 9V。

电源电路如图 4-3，变压器初极接滤波板的 L、N 输出线。次极接用四个 1N4004 整流二极管组成的桥式整流电路，C1 电解电容进行滤波，提供给继电器，作为继电器的驱动电源。另 R2、ZD3、Q10 组成的稳压电路提供 MCU 4.3V 左右的直流电。R1 用于当 4.3V 电流比较大时与 Q10 分担功耗，以免 Q10 发热过高。C3 电解电容用于低频滤波，C4 瓷片电容用于高频滤波。

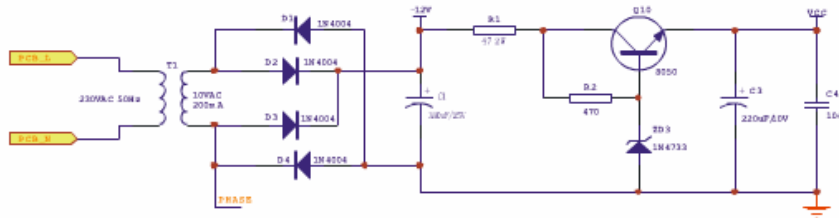


图 4-3 控制板电源电路

4.1.2 显示及按键电路

4.1.2.1 LCD 显示器与 LED 和 VFD 显示器的比较

一般的小型家电，显示器主要采用有 LED、LCD、VFD 等。LED 和 VFD 本身可发光为主动型显示，而 LCD 本身不发光为被动型显示，一般 LCD 需加背光进行照明。LED 驱动电压 1.5~3.0VDC，工作温度 -30~80℃，响应速度约为 10 μs，显示颜色有红、橙、黄、绿、蓝、白等。VFD 驱动电压 12~24V 直流或脉冲，工作温度 -55~70℃，响应速度 10 μs，显示颜色有红、蓝、绿等，显示亮度高，显示光谱宽，可用滤色片改变显示色调，需要双电源驱动。VFD 厚度相对 LCD 及 LED 较厚。LED 及 LCD 寿命相对于 VFD 长。本机采用 LCD 加背光显示方式。

表 4-2 三种类型显示器性能比较

类型	发光类型	驱动电压	响应速度	功耗	使用寿命	成本
LCD	被动	低	较慢	极小	很长	低

LED	主动	很低	很快	小	很长	低
VFD	主动	低	很快	小	一般	较高

4.1.2.2 液晶显示的驱动方式：

液晶的显示是由于在显示像素上施加了电场的缘故，而这个电场则由显示像素前后两电极上的电位信号合成产生，在显示像素上建立直流电场是非常容易的事，但直流电场将导致液晶材料的化学反应和电极老化，从而迅速降低液晶显示器的寿命，因此必须建立交流驱动电场，并且要求这个交流电场中的直流分量越小越好，通常要求直流分量小于 50mV。在实际应用中，我们采用了数字电路驱动，通过交变的脉冲电压信号建立必要的交流驱动电场，从而能在最大可能的情况下降低驱动电场的直流成分。

显示像素上交流电场的强弱用交流电压的有效值表示，当有效值大于液晶的阈值电压时，像素呈显示态；当有效值小于阈值电压时，像素不产生电

光效应；当有效值在阈值电压附近时，液晶将呈现较弱的电光效应，此时将会影响液晶显示器件的对比度。

液晶显示的驱动就是用来调整施加在液晶显示器件电极上的电位信号

的相位、峰值、频率等，建立驱动电场，以实现液晶显示器件的显示效果。液晶显示的驱动方式有许多种，常用的驱动方法有：静态驱动法、动态驱动法、双频率驱动法等。

4.1.2.3 LCD 的动态驱动法：

为节省庞大的硬件驱动电路，一般采用动态驱动法，具体是循环地给行电极施加选择脉冲，同时所有要显示数据的列电极给出相应的选择或非选择的驱动脉冲，从而实现某行所要显示像素的显示功能，这种行扫描是逐

行顺序进行的，循环周期很短，使得液晶显示屏上呈现出稳定的图像。在一帧中每一行的选择时间是均等的。假设一帧的扫描行数为 N ，扫描时间为 1 ，那么一行所占有的选择时间为一帧时间的 $1/N$ 。在液晶显示的驱动方法中把这个值，即一帧行扫描数的倒数称为液晶显示驱动的占空比系数。在动态驱动方式下，液晶显示器件上某一位置上的显示像素的显示机理是由行选择电压与列选择电压合成实现的。即要使某一位置如 (i, j) 点显示，就需要在第 i 列和第 j 行上同时施加选择电压，以使该点电场强度达到最大（如图 4-4 中 seg1 和 com2 的交叉点）。

采用这种驱动方式时，除 (i, j) 点外第 i 列和第 j 行上的其余各点也都承受了一部份电压（如图 4-4: seg1 所在列和 com2 所在行），把这些点称为半选择点，若半选择点上的有效值大于阈值电压时，在屏上将出现不应有的显示，使对比度下降，这种现象叫“交叉效应”。

在动态驱动方法中解决“交叉效应”的方法是平均电压法，即把半选择点和非选择点的电压平均化，适度提高非选择点电压来抵消半选择点上的一部分电压，使得半选择点上电压下降，提高显示的对比度。

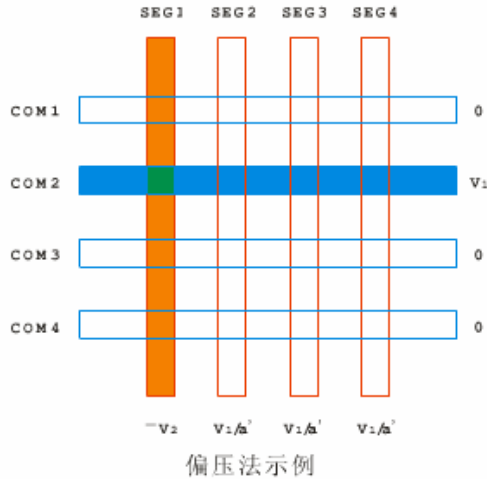
如图 4-4 中，选择点为 $(SEG1, COM2)$ [以下简写为下标值 $(1, 2)$] 位置。现在在第 2 行 $(COM2)$ 上施加 $V1$ 电压，其余各行电压均为 $0V$ ，在第 1 列 $(SEG1)$ 上施加 $-V2$ 电压，其余各列均为非选择电压 $V1/a'$ ，各点电位差值：

选择点： $(1, 2): V1+V2$

半选择点： $(1, 1), (1, 3), (1, 4): V2$

$(2, 2), (3, 2), (4, 2): V1-V1/a'$

非选择点： $-V1/a'$



为了保证选择点的显示效果，使得 V_1+V_2 保持在显示需的电压值 $VLCD$ ，同时为了提高显示的对比度，令 V_2 的绝对值等于非选择点电压 $-V_1/a'$ 的绝对值，于是有：

$$V_1+V_2=VLCD \quad |V_2|=|-V_1/a'|$$

解得：

$$V_1=VLCD \cdot a' / (a' + 1) \quad V_2=VLCD / (a' + 1)$$

令 $a' + 1 = a$ ，得：

$$V_1=VLCD (a-1) / a \quad V_2=VLCD/a \quad (a>1)$$

于是图中各点电压值为

选择点：(1, 2)：VLCD

半选择点：(1, 1), (1, 3), (1, 4)：VLCD/a

(2, 2), (3, 2), (4, 2)：VLCD (a-2) / a

非选择点：-VLCD/a

行半选择点和非选择点上的电压均为显示电压 $VLCD$ 的 $1/a$ 倍，我们把 $1/a$ 称为偏压系数，此方法称为 $1/a$ 偏压的平均电压法，简称为 $1/a$ 偏压法。

在这种方法中，半选择点上电压 $\text{MAX}(\text{VLCD}(a-2)/a, \text{VLCD}/a)$ 将成为调整显示对比度的尺度。动态驱动法中加入了偏压法使其更加完善。

4.1.2.4 LCD 与按键复用

为节约成本 MCU 的 I/O 驱动 LCD 电路和按键电路进行复用。为使 MCU 驱动程序和硬件电路的设计比较简单，LCD 采用 TN 型，1/2 偏压比，LCD 驱动电压同 MCU 电压为 5V 左右，占空比 1/4。电路如图 4-5。LCD 的每个 com 口分别接 56K 上拉和下拉电阻再直接连到 MCU 的 I/O 口上。Seg 段也直接接 MCU 的 I/O 口，另驱动 Seg 的 I/O 再接按键检测电路。按键电路从 I/O

口出来接一 47K 上拉电阻，再串一 3.9K 保护电阻接到一端连着地的按键上。

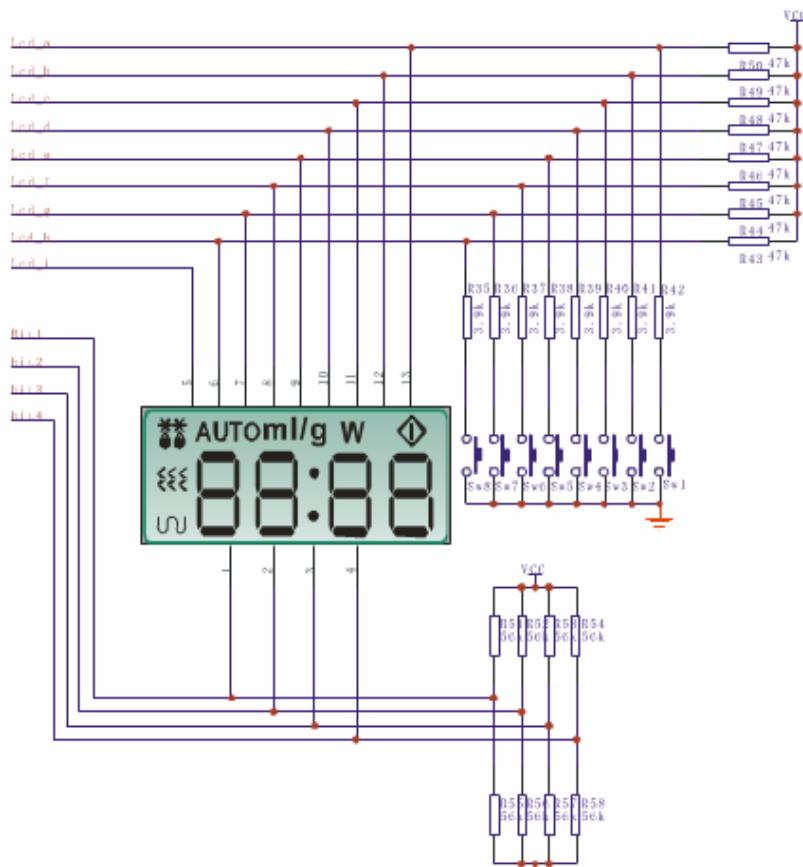


图 4-5 按键与 LCD 复用电路图

当 LCD 显示某一个位的数据时相应位的 I/O 口转为输出,其它口转为输入。假设要显示 bit1 位,接 bit1 的 I/O 口输出高电平,段码的 I/O 口需要显示的输出低电平(如 lcd_b 波形第一段),不显示的输出高电平(如 lcd_a 波形第一段)。接 bit2,bit3,bit4 的 MCU 口设为高阻态,电平分别由接到 VCC 和地的两个 56K 电阻分压值确定,即电压为 $VCC/2$ 。这样 LCD 与 bit1 连接,段码输出为低电平的段两端电压为 VCC(如 bit1-lcd_b 波形第一段),可以显示。LCD 与 bit1 连接,段码输出高电平的段两端电压为 0(如 bit1-lcd_a 波形第一段),不会显示。LCD 与 bit2、bit3、bit4 相连的段两端电压为 $VCC/2$ (类似 bit1-lcd_b 波形第二到第四段)或 $-VCC/2$ (类似 bit1-lcd_a 波形第二到第四段),不显示。同样的方式显示与 bit2、bit3、bit4 相连段码。另因 LCD 需要用交流的信号来驱动,当 bit1、bit2、bit3、bit4 依次输出高电平一轮后(第一到第四段)另一轮的扫描输出低电平(第五到第八段),要显示的数据段输出高电平,驱动波形如图 4-6。

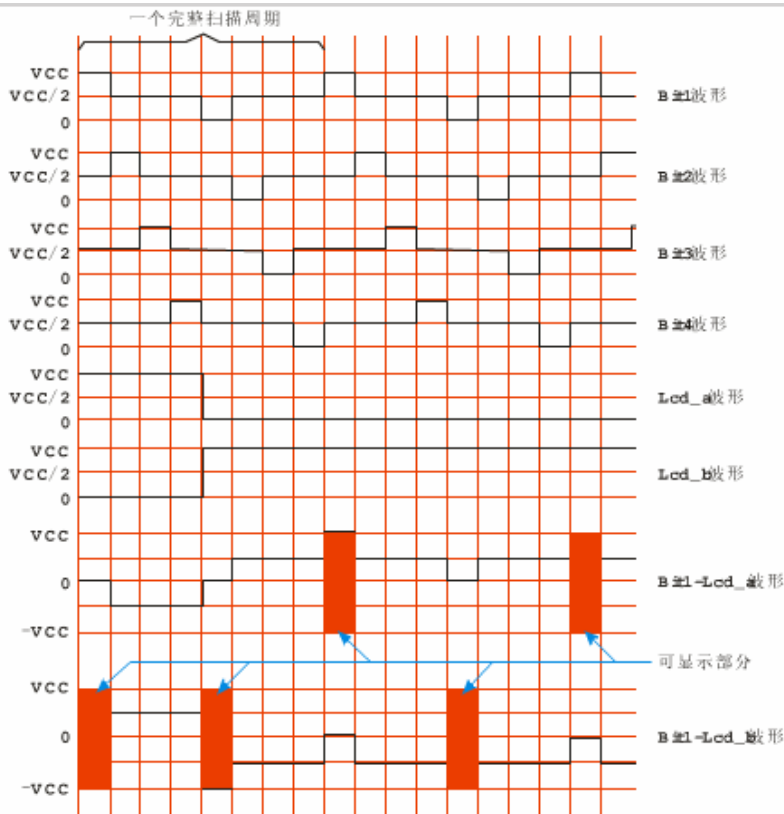


图 4-6 LCD 驱动波形图

按键与显示复用 I/O 口，当显示的各个阶段进行转换时，中间插入一小段时间作为按键的检测处理。具体的操作是先将连接按键的各 I/O 口转为输入，与 LCD 各 COM 端相连的 I/O 口，即 bit1, bit2, bit3, bit4 连接的 I/O

第四章 系统硬件设计

转为输入，电平为 $VCC/2$ ，这样如果有按键按下时 LCD 的全部段码也都不显示，就不会影响 LCD 的显示。稍微延时十几个微秒时间，待电平稳定后读入按键口的数据。接着在下一时间段的显示驱动时再将接 LCD 段的 I/O 口设为输出，并输出相应的高低电平。接 com 端的 I/O 也根据驱动周期设定输入或输出，并设定相应的高电平或低电平。

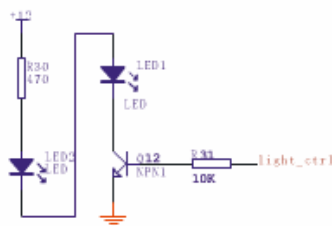


图 4-7 LCD 背光电路

LCD 背光电路如图 4-7。对于白色或蓝色等 LED 端电压比较高，超过三伏，两个 LED 串联的电压超过 5V，无法以 VCC 电源电压驱动。因此背光电源直接从 12V 处引过来，背光的两 LED 串联以减小对电源电流的消耗。背光电路由一 NPN 三极管驱动，由 MCU 进行控制。

4.1.3 继电器控制电路

微波炉内带强电的各电子部件都靠继电器来控制。因继电器线圈为电感性的负载，当继电器关断时会有持续的电流存在，在继电器两端并一个开关二极管以将此电流释放，避免产生反电动势冲击控制继电器的三极管。

控制加热管和高压变换器电源的两个主要继电器都进行了多重的安全保护措施。两个继电器的电源通过安装在微动开关座上的微动开关再连到 12V 电源上，这样当门打开的同时也切断了两个继电器的电源。两个继电器用的是双路驱动。一路由 MCU 的 I/O 直接通过电阻、三极管驱动，另一路由 MCU 对 C11 发出或不发出脉冲进行主控制（如图 4-8 左侧部分）。只有有脉冲发出时三极管 Q7 才可导通，这时 Q8、Q9 对两个主要继电器的控制才能有效。Q8、Q9 的发射极通过 D8 连到 Q7 三极管上，D8 对三极管 Q8、Q9 同样起保护作用，如果没有 D8，RELAY2 关断时感应电流将会对两个三极管造成冲击。

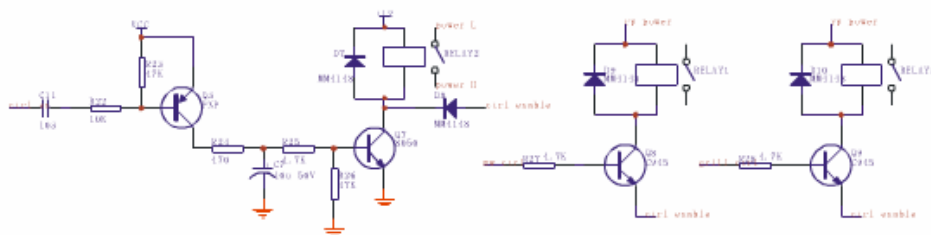


图 4-8 继电器电路

脉冲驱动电路说明，如图 4-8 左侧电路为脉冲驱动电路。C11 左端接 I/O 口，当要控制 Q7 三极管导通时，I/O 口发出 2kHz 的方波信号（同蜂鸣器的频率，以节省软件资源）。当 I/O 口电平由低变高时 C11（因电容两端电压不会突变，C11 右侧电压将高于电源电压）电容上的电通过 R22 和 R23 电阻释放到电源上，此时 Q5 截止。当 I/O 口电平由高变低时，Q5 的 eb 节和 R22 串联对 C11 充电，即 Q5 可导通，这样 VCC 可通过 R24 对 C7 电解电容进行充电，连续的方波可使 C7 连续的充电。当 C7 电压足够高时 R25 电阻流过的电流足可以使 Q7 饱和导通。图 4-9 为三个点在 C11 左侧有 2kHz 方波信号输出时的波形。

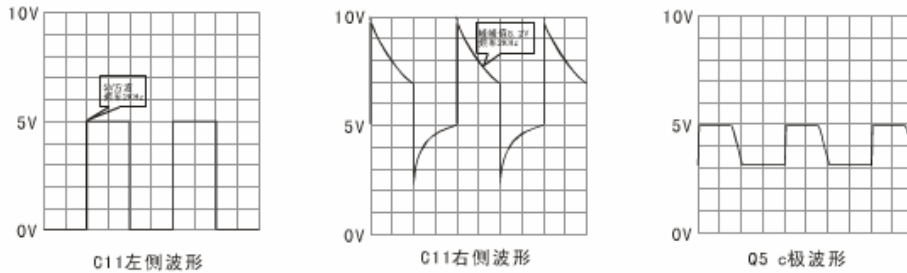


图 4-9 脉冲驱动继电器相关波形图

为使产品更加可靠，在驱动脉冲不输出时，MCU 的驱动输出口输出高电平而不输出低电平，因如果 C11 电容产生异常，有漏电或短路也不会使继电器失控。

继电器相位控制，在家用电器中大功率负载的开关通断将对电网产生很大的干扰。特别是对 EMC 的 FLICKER（电压闪烁和波动）有很大的影响。

为符合 FLICKER 标准 EN61000-3-3 继电器的吸合释放根据电源相位进行控制。对于控制烧烤（电阻性负载）的继电器在电源的过零点附近控制继电器触点的吸合或断开。对于控制高压变换板电源的继电器，因变换板是先整流后 LC 滤波，表现为容性的负载，为避免电容突然接入电网造成干扰，同样也必须控制变换板的继电器在电网电源的过零点附近吸合。

4.1.4 蜂鸣器驱动电路

微波炉在按键设定过程和工作过程中，通过声音提示微波炉的工作状态，声音由蜂鸣器产生。

因为蜂鸣器声响要求发出柔和音的效果，蜂鸣器的驱动相对于正常的驱动方式复杂。驱动电路如图 4-10，由 MCU 的 I/O 口按蜂鸣器的额定频率发出 2kHz 的方波，通过电阻 R16 和 NPN 三极管 Q5 驱动蜂鸣器。由电阻 R10、R11、R12、R13、NPN 三极管 Q4、PNP 三极管 Q2、和电解电容 C2 组成的电路给蜂鸣器提供电源。当蜂鸣器要发出响声时，由 MCU 的 buzdr1 引脚发出 2kHz 的方波，驱动蜂鸣器，再由 MCU 的 buz_en 引脚发出短暂的脉冲电平（100ms 的高电平），当 buz_en 引脚为高电平时，+12V 可对 C2 电容进行充电同时对蜂鸣器提供电源，当 buz_en 为低电平时，蜂鸣器的电源不再由

+12V 提供，而是由 C2 储存的电量提供，这样蜂鸣器的电源在就会随着 C2 放电时电压的下降而衰减下去。这样就可产生比较柔和的音效。蜂鸣器响时 C2 电容和 Q5 的 c 极电压波形如图 4-11 所示。

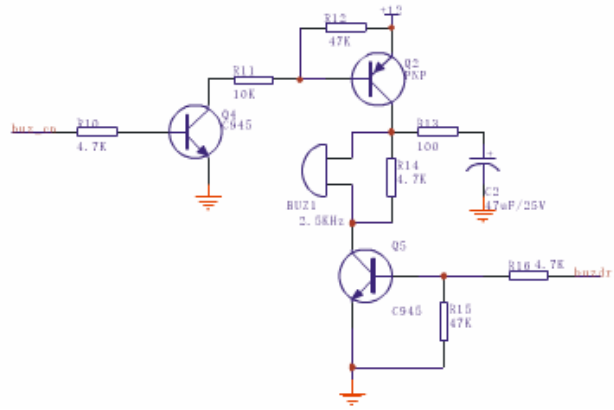
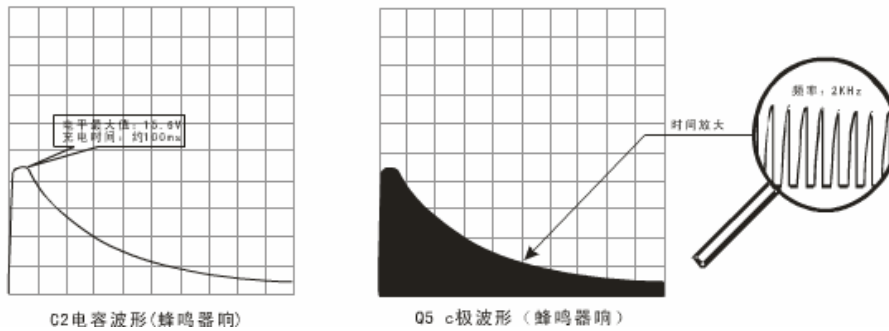


图 4-10 蜂鸣器驱动电路



一种变频烧烤型微波炉的设计



C2 电容波形 (蜂鸣器响)

Q5 c极波形 (蜂鸣器响)

4.1.5 门开关检测电路

微波炉上的三个连锁开关，其中之一（图 4-1 中 S1）是为基板单独联接的，微波炉门打开时断开，关上时接通。开关的两端一端接+12V，一端接到继电器的线圈上。当开门时继电器的电源就会被强制切断，同时门开关电路中给 MCU 的信号由原来关时的低电平变为门开时的高电平。MCU 检测到开门信号时，如果正在运行就做暂停处理，控制高压变换板的继电器驱动口输出低电平（关继电器），关断高压变换板电源，控制烧烤加热管的继电器驱动口输出低电平并开照明灯。如果原来没有运行就只做开照明灯的处理。如果检测到关门信号，就做关照明灯的处理。

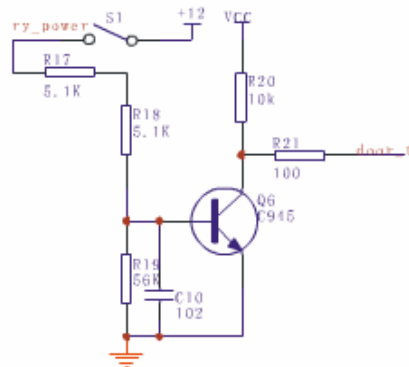


图 4-12 门开关检测电路

4.1.6 电源相位检测电路

加入电源相位检测电路，是为了给控制继电器触点在电源过零附近吸合或断开提供相位参考。检测电路从变压器二次侧的一个引脚接入，过电阻 R5、R6 再由稳压管 ZD2 进行限制电压，由 C8 电容滤波，再由 R7 电阻连到 MCU 的外部中断口，以下降沿中断检测电源的相位。

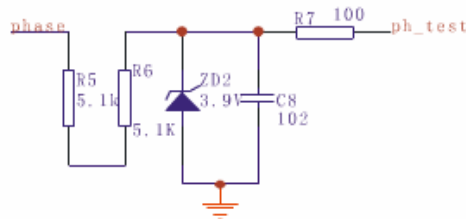


图 4-13 电源相位检测电路

4.1.7 编码器电路

旋转编码器在微波炉使用中用于做时间或档位的选择。对于按键数量比较少的机种，使用旋转编码器设定比较方便，不用反复的按按键。

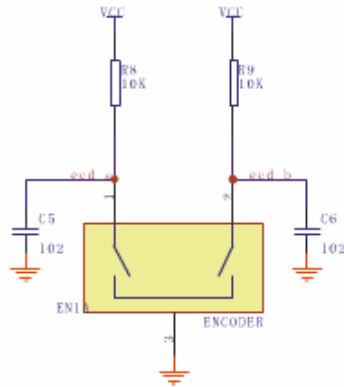
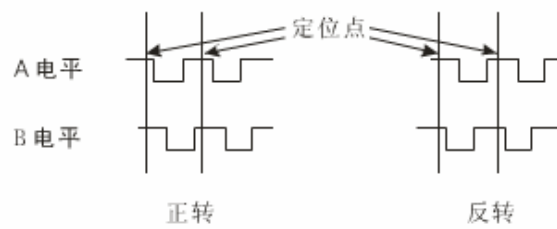


图 4-14 编码器电路图

编码器有 A、B、C 三个电极，每个电极各连接着一个金属弹片，A、B 电极都做成有一定间距的开槽。C 极不做开槽处理。每个电极为三分之一的圆环，三个刚好组成一个圆环的形状。三个电极上再扣上一个金属圆环，此圆环有三个向下的凸点，用于接触三个电极。机构上做了定位措施，使

编码器不转时可以定位在固定的定位点上(一般一圈有 12 或 24 个定位点)。在格点位置，上金属圆环的凸点刚好落在 A、B 两个电极的开槽位置上，与两个电极都不接通。当转动上金属环一格时，可使 C 电极与 A、B 两个电极先后接通，再先后断开。当顺时针转是 A 电极比 B 电极先接触，且 A 电极比 B 电极先断开。逆时针转时正好相反。按图 4-14 联接的电路，转动时输

出波形如图 4-15 所示。



编码器转动时的信号输出波形

图 4-15 编码器输出波形

编码器工作时相当于是两个开关做先后开合动作，因此编码器电路可设计如图 4-14，在 A 电极和 B 电极各接一个上拉电阻，C 电极接地。当 A、B 电极不和 C 电极接通时由上拉电阻拉成高电平。当 A、B 电极和 C 电极接通时输出低电平。为防止在转动编码器时内部的金属弹片弹跳引起信号异常

在 A、B 两个极上分别加一个 102 瓷片电容做滤波。MCU 根据检测到两个电极的脉冲数和两个电极脉冲的先后来判断编码器转了多少格，是顺时针转还是逆时针转。

4.1.8 MCU 及其它相关电路

MCU 为整台微波炉的控制核心，综合考虑控制板的功能需求，控制基板的 MCU 选用成本低廉，资源及性能符合要求的台湾义隆 EM78P447NBWM 芯片。

EM78P447NBWM 芯片介绍：

EM78P447 是采用低功耗高速 CMOS 工艺设计开发的 8 位单片机。其内部有 4K×13 位一次性编程 ROM (OTP-ROM)。它还提供一个保护位避免用户存在 OTP 的程序被读取。7 个选择位可以满足用户的需要。具有 OTP-ROM 特点的 EM78P447 能够为用户提供开发和校验程序的便利，而且用户可以使用 EMC WRITER 轻松开发程序。

1、 EM78P447 功能特点：

工作电压范围：2.5V ~ 5.5V。

工作温度范围：-40℃ ~ 85℃。

工作频率范围（基于 2 个 clocks）：

晶振模式：DC ~ 20MHz (5V), DC ~ 8MHz (3V), DC ~ 4MHz (2.5V)。

ERC 模式：DC ~ 4MHz (5V), DC ~ 4MHz (3V), DC ~ 4MHz (2.5V)。

低功耗：

5V/4MHz 工作条件下电流小于 2.2mA。

3V/32KHz 工作条件下电流典型值为 35 μ A。

睡眠模式下电流典型值为 2 μ A。

4K13 位片内 ROM。

三个保护位保护程序不被读出。

一个配置寄存器满足用户要求。

148*8 位片内寄存器（SRAM 通用寄存器）。

3 个双向 I/O 端口。

5 级硬件堆栈。

8 位实时定时器/计数器（TCC），其信号源和触发沿可由软件设定，可设置溢出中断。

每个指令周期为 2 个时钟周期。

省电模式（SLEEP 模式）。

2 个中断源。

TCC 溢出中断。



外部中断。

可编程自由运行看门狗定时器（WDT）。

10 个引脚可编程设置为上位。

2 个引脚可编程设置为漏极开路。

2 个引脚可编程设置为 R-OPTION。

封装形式：

28 引脚 DIP 600mil:EM78P447NAP

28 引脚 SOP(SOIC) 300mil:EM78P447NAM

28 引脚 SSOP 209mil:EM78P447NAS

- 35 -

一种变频烧烤型微波炉的设计

32 引脚 DIP 300mil:EM78P447NBP

32 引脚 SOP 450mil:EM78P447NBWM

99.9%指令单指令周期。

系统区分 HXT 和 LXT 的频率点在 400KHz 左右。

2、 EM78P447NBWM 引脚描述

表 4-3 EM78P447NBWM 引脚描述

符号	脚位	类型	功能
VDD	4	-	电源
OSCI	29	I	XTAL 型：晶振或外部时钟输入端 RC 型：RC 振荡器输入端
OSCO	28	I/O	XTAL 型：晶振输出或外部时钟输入端 RC 型：指令时钟输出端 外部时钟信号输入
TCC	3	I	实时定时计数器（斯密特触发）输入引脚，不用时必须与 VDD 或 VSS 连接
/RESET	30	I	斯密特触发器输入端，若该引脚保持低电平，其控制器也将保持在复位状态
P50~P57	8-11, 2-1, 32-31	I/O	P50~P57 是双向 I/O 引脚
P60~P67	12-19	I/O	P60~P67 是双向 I/O 引脚，都可由软件设为上拉
P70~P77	20-27	I/O	P70~P77 是双向 I/O 引脚 P74~P75 可由软件设为上拉 P76、P77 可由软件设为漏极开路 P70、P71 也可定义为 R-OPTION 引脚
/INT	7	I	下降沿触发的外部中断引脚
VSS	6	-	地
NC	5	-	未接

3、 EM78P447 引脚分配

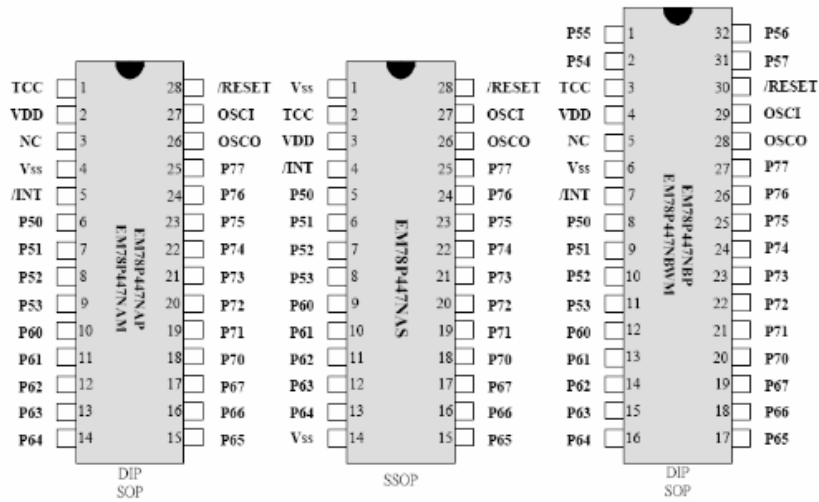


Fig. 1 Pin Assignment

图 4-16

4、 EM78P447 内部功能模块图

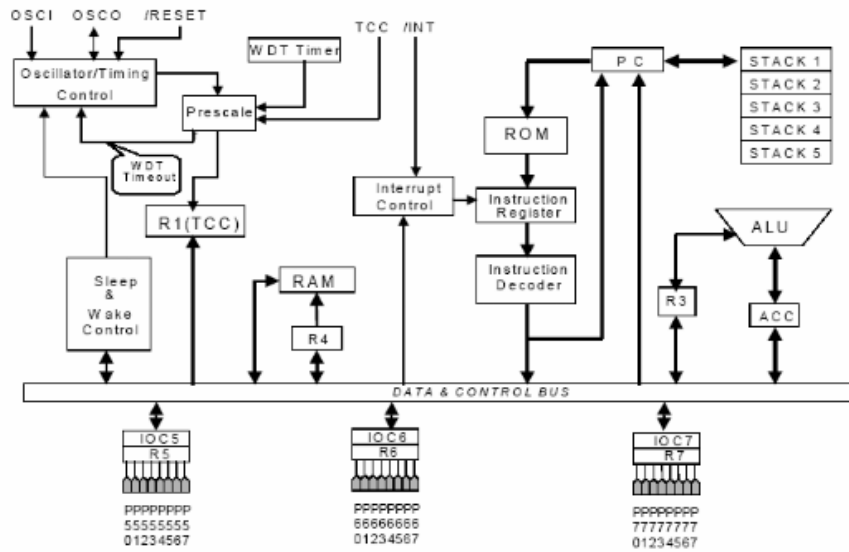


图 4-17 内部功能模块图

5、EM78P447NBWM 引脚分配

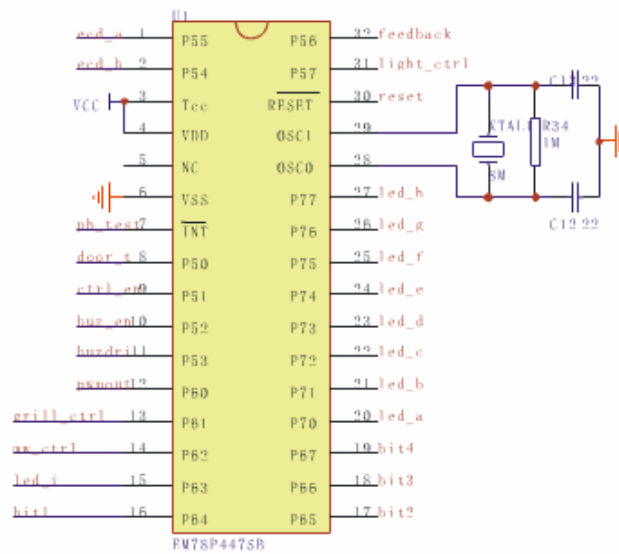


图 4-18 引脚分配

P54、P55 为编码器信号检测引脚，做输入口。

/INT 为电网相位检测口，外部中断口。

P50 做门开关检测口，做输入口。

P51 继电器总控制口（脉冲驱动） 做输出口。

P52 蜂鸣器电源控制口，做输出口。

P53 蜂鸣器驱动口，做输出口。

P60 高压变换器功率控制口，做输出口。

P61 烧烤加热控制口，做输出口。

P62 变换器电源控制口，做输出口。

P63、P70-P77 做 LCD 段码的驱动口，P70-P77 共用按键检测口，

当作为 LCD 段码驱动时，作为输出口，作为按键检测口时，做输入口。 P64-P67 做 LCD 公共端驱动口，选中的公共端做输出口，非选择的公共端做输入口。

/RESET 接复位电路。

P57 做 LCD 背光控制口，做输出口。

P56 做变换器反馈信号检测口，做输入口。

6、晶振电路

晶振采用石英晶体振荡器，频率 8M，根据晶振规格配用 22P 电容，组成振荡回路做 MCU 的时钟源。

7、高压变换器信号控制电路

为避免高压变换器的高压大电流对控制基板产生干扰，高压变换器与控制基板间的信号用光耦进行隔离。控制信号由 I/O 口产生加一串联限流电阻到光耦的输入端。反馈信号在光耦的输出端接一上拉电阻，当反馈的电平为低时光耦的光电三极管截止，由上拉使 I/O 口为确定的高电平。当反馈信号为高电平时光耦的光电三极管导通，I/O 口电平被拉为低电平。

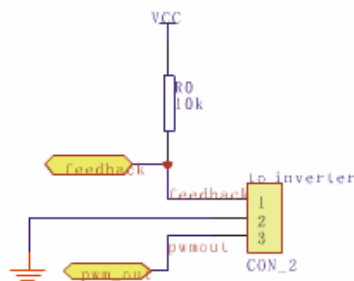


图 4-19

8、复位电路

复位电路是影响单片机系统运行稳定性的主要因素之一。复位电路的基本功能是系统上电时提供复位信号，直至系统电源稳定后，撤销复位信号。

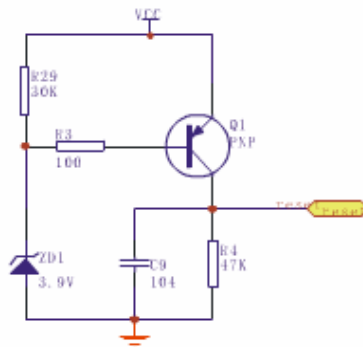


图 4-20

MCU 的工作电压有一定的范围，EM78P447NBWM 的工作电压在 2.5-5.5V 之间。如果 MCU 工作在下限电压时，很容易受到干扰，如果电源再有波动，MCU 的工作将很不稳定。产品在上电或掉电的过程中都会经过从 0 到 Vcc 的电压上升过程和从 Vcc 到 0V 的电压跌落过程，在这两个过程中都会使 MCU 在特定的时刻处在工作与不工作的临界电压状态，此时 MCU 非常的不稳定，如果做快速的插拔电测试，MCU 更容易跑乱掉。为了使 MCU 不会在这个点的电压附近工作，在 RESET 脚接复位电路（如图 4-20）。复位电路中稳压管用 3.9V，当 Vcc 小于 4.3V 左右时稳压管上的电压小于稳压管的额定稳压值，流过的电流将很小，PNP 三极管 Q1 进入放大工作状态，如果 VCC 电压更低，Q1 将进入截止状态，RESET 脚将由高电平转成低电平，这样可使 MCU 在比较高的电压下才开始工作，保证 MCU 可可靠运行。

4.2 转换器电路

转换器基板用于代替传统微波炉的高压变压器，给磁控管提供阴极的负高压及阴极灯丝能量。控制微波能量的输出大小。包括电压检测电路、电流检测电路、IGBT 驱动电路、高压侧电路等。

4.2.1 转换器电源电路

变换器有两部份的电源如图 4-21。一部分为高压电源，由桥堆 Bd1 整流，电感 L1 和电容 C101 滤波后产生。根据电感与额定电流关系确定电感 L1 的感量，变换器输入功率 $P_{in}=1450W$ ，输入电流 $I_{in}=1450W/230V=6.3A$ 。L1 感量选用 0.5mH。滤波电路的谐振频率需明显低于变换器的工作频率 20K—45KHz，电容 C101 选用 4uF 容值。LC 谐振频率 $f=1/2\pi\sqrt{LC}=3.56KHz$ 。

表 4-4 电感量范围与额定电流的关系

额定电流 I/A	电感量 L/mH
1	8~23
3	2~4
6	0.4~0.8
10	0.2~0.3
12	0.1~0.15
15	0.0~0.08

桥堆 Bd1 选用，电流必需大于 6.3A，大于 6.3A 的桥堆有 8A，10A 等更高的电流值，为留出适当的余量电流规格确定用 10A。反向峰值耐压选用 1KV，以防止变换器产生的冲击电压损坏桥堆。外型用扁平的以利于增加与散热片的接触面，提高散热效率。最后选定 RECTRON 公司，型号 RS1007M 的桥堆。桥堆外型尺寸如图 4-21。相关的规格参数如表 4-5 所示。

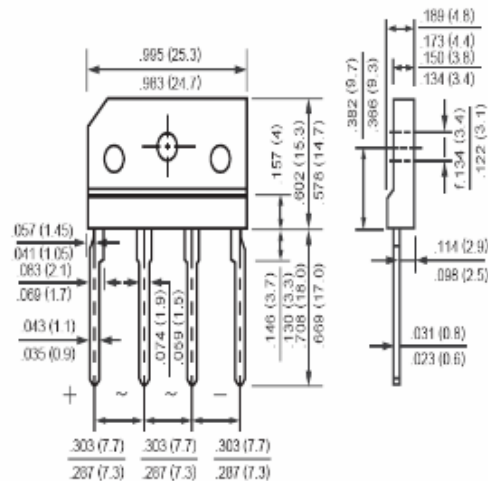


表 4-5 RS1007M 参数

MAXIMUM RATINGS (At TA = 25°C unless otherwise noted)

RATINGS	SYMBOL	RS1001M	RS1002M	RS1003M	RS1004M	RS1005M	RS1006M	RS1007M	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	VRRM	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Bridge Input Voltage	VRMS	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	VDC	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Output Current at Tc = 100°C with heatsink	IO	10							Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	IFSM	200							Amps
Operating and Storage Temperature Range	TJ, TSTG	-55 to + 150							°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (At TA = 25°C unless otherwise noted)

CHARACTERISTICS	SYMBOL	RS1001M	RS1002M	RS1003M	RS1004M	RS1005M	RS1006M	RS1007M	UNITS
Maximum Forward Voltage Drop per element at 5.0A DC	VF	1.1							Volts
Maximum Reverse Current at Rated	IR	10							µAmps
DC Blocking Voltage per element									mAmps
		0.2							

另一部分为变压器低压部分电源，由整流二极管 D101、D102 和桥堆 Bd1 内部的两个二极管组成全桥整流，电阻 R103、R104、R105 限流，ZD101、ZD102 稳压，EC101 和 C202 滤波，产生 15V 的直流电。

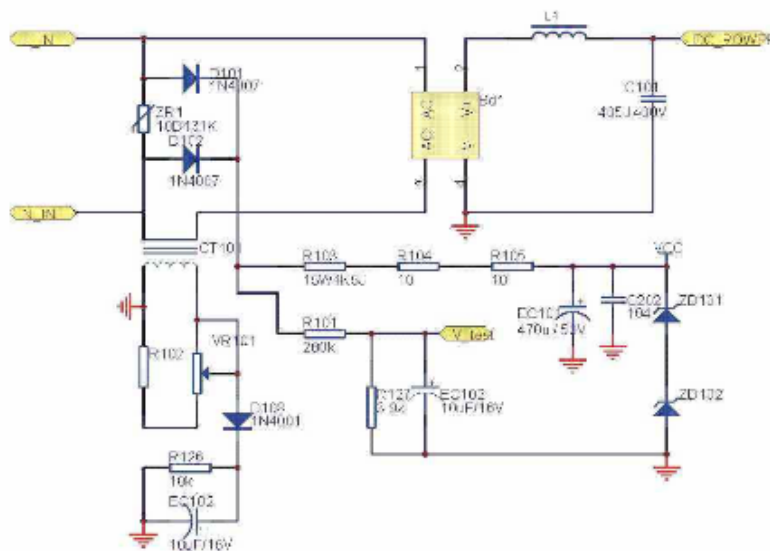


图 4-22 变压器电源及检测电路

4.2.2 转换器电流检测电路

转换器电流检测用于检测工作时电流是否正常以便关闭 IGBT 的控制信号，避免危险产生。如图 4-22，在变换器板的桥堆前端串入一电流传感器 CT101 提取电流信号，电阻 R102 和电位器 VR101 调整电流传感器输出信号幅度，经二极管 D108 整流和 EC102 滤波后送检测。

4.2.3 转换器电压检测电路

转换器电压检测可以在电网电压出现波动时对微波炉的功率进行补偿。如图 4-22 直接从整流二极管 D101 和 D102 负极接电阻 R101、R127 分压后由电容 EC102 滤波后就可以产生反应电网电压的信号。

4.2.4 高频变压器初级电路及 IGBT 驱动电路

因转换器振荡时的电流大，电压频率高，因此用 IGBT 作为开关器件。

4.2.4.1 IGBT

IGBT（绝缘栅双极晶体管）它是一种即有功率 MOSFET 的高速交换功能，又有双极型晶体管的高电压、大电流处理能力的半导体器件，其理想的等效电路如图 4-23。是作为应用在高频大功率开关电路的首选器件。

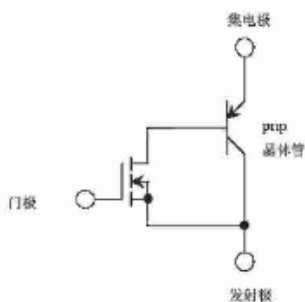


图 4-23 IGBT 的理想等效电路

IGBT 和功率 MOSFET 一样，通过电压信号可以控制开通和判断的动作。但是由于通过在漏极上追加 P+层，在导通状态下从 P+层向 n 基极注入空穴，从而引发传导性能的转变，因此它与功率 MOSFET 相比，可以得到极低的通态电阻。

IGBT 型号选用 FAIRCHILD 公司的 FGL60N100BNTD，其基本参数如表 4-6。

表 4-6 FGL60N100BNTD 参数表

Absolute Maximum Ratings <small>T_C = 25°C unless otherwise noted</small>				
Symbol	Description	FGL60N100BNTD	Units	
V _{CEs}	Collector-Emitter Voltage	1000	V	
V _{GES}	Gate-Emitter Voltage	± 25	V	
I _C	Collector Current	@ T _C = 25°C	60	A
	Collector Current	@ T _C = 100°C	42	A
I _{CM(1)}	Pulsed Collector Current		120	A
I _F	Diode Continuous Forward Current	@ T _C = 100°C	15	A
P _D	Maximum Power Dissipation	@ T _C = 25°C	180	W
	Maximum Power Dissipation	@ T _C = 100°C	72	W
T _J	Operating Junction Temperature		-55 to +150	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range		-55 to +150	°C
T _L	Maximum Lead Temp. for soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds		300	°C

FGL60N100BNTD 在不同门极驱动电压 V_{GE} 下，导通时的集电极电流 I_C 和集电极发射极间电压 V_{CE} 的特性曲线如图 4-24 所示。由图中可以看出，当 V_{CE} 小于 8V 时如果导通电流有大电流产生时，V_{CE} 会有不小的值，而这种电流在电感负载开关频率高时将会频繁的发生，这样在 IGBT 上会产生很大的热量，长时间工作在这种状态下会导制 IGBT 产生热击穿。因此门极驱动电压选择 V_{GE}=15V。

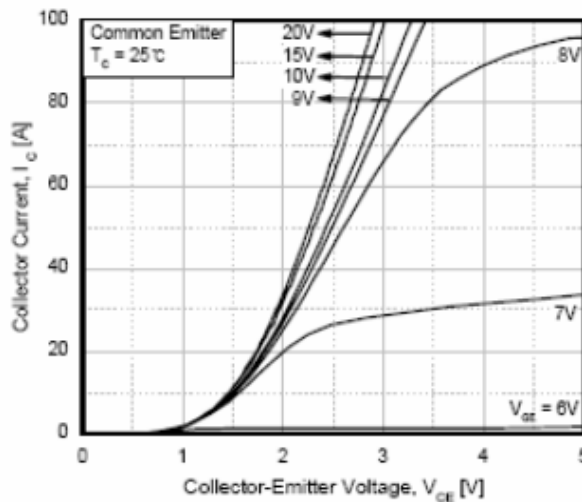


图 4-24 不同 V_{GE} 下的 V-I 特性曲线图

表 4-7 IGBT 的相关特性参数

Electrical Characteristics of IGBT <small>T_C = 25°C unless otherwise noted</small>						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Off Characteristics						
BV _{CEs}	Collector Emitter Breakdown Voltage	V _{GE} = 0V, I _C = 1mA	1000	--	--	V
I _{CEs}	Collector Cut-Off Current	V _{CE} = 1000V, V _{GE} = 0V	--	--	1.0	mA
I _{GES}	G-E Leakage Current	V _{GE} = ± 25, V _{CE} = 0V	--	--	± 500	nA
On Characteristics						
V _{GE(th)}	G-E Threshold Voltage	I _C = 60mA, V _{CE} = V _{GE}	4.0	5.0	7.0	V
V _{CE(sat)}	Collector to Emitter Saturation Voltage	I _C = 10A, V _{GE} = 15V	--	1.5	1.8	V
		I _C = 60A, V _{GE} = 15V	--	2.5	2.9	V

Dynamic Characteristics

C_{ies}	Input Capacitance	$V_{CE}=10V, V_{GE}=0V,$ $f=1MHz$	--	6000	--	pF
C_{oes}	Output Capacitance		--	260	--	pF
C_{res}	Reverse Transfer Capacitance		--	200	--	pF

Switching Characteristics

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	$V_{CC}=600V, I_C=60A,$ $R_G=51\Omega, V_{GE}=15V,$ Resistive Load, $T_C=25^\circ C$	--	140	--	ns
t_r	Rise Time		--	320	--	ns
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time		--	630	--	ns
t_f	Fall Time		--	130	250	ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{CE}=600V, I_C=60A,$ $V_{GE}=15V, T_C=25^\circ C$	--	275	350	nC
Q_{ge}	Gate-Emitter Charge		--	45	--	nC
Q_{gc}	Gate-Collector Charge		--	95	--	nC

Electrical Characteristics of DIODE $T_C=25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{FM}	Diode Forward Voltage	$I_F=15A$	--	1.2	1.7	V
		$I_F=60A$	--	1.8	2.1	V
t_{rr}	Diode Reverse Recovery Time	$I_F=60A, di/dt=20A/\mu s$	--	1.2	1.5	us
I_R	Instantaneous Reverse Current	$V_{RRM}=1000V$	--	0.05	2	uA

FGL60N100BNTD 的特性参数如表 4-7，其中的动态特性和开关特性参数对于驱动电路的设计至关重要。因极间的电容特性，IGBT 的导通和关断会有一个过程。在这个过程中 IGBT 的导通压降比较高，是 IGBT 发热的主要根源。因此在驱动电路的设计中，要尽量的缩短导通和关断过程的时间。

高频变压器初级电路及 IGBT 驱动电路如图 4-25 所示。初级与电容 C102 和 C103 组成 LC 振荡电路，当 IGBT Q105 导通时电流从整流滤波后的直流电源正端经过高频变压器初级线圈和 Q105 流到电源负端。当 Q105 截止时因高频变压器初级线圈电感的作用，将会维持电流，C102 和 C103 对电感的感应电流进行吸收，此时 C102 两端产生压差经 R112 可使 IGBT Q104 导通，ZD103，ZD105 稳压管用于保护 Q104，使其驱动电压在 15V 左右。当电流由 Q105 截止时的最大值减到零时，因电容 C102，C103 储存电量释放，变压器产生反向电流，此时电流可在 Q104、C102，变压器初级线圈组成的回路上顺时针流动。这样变压器就产生了交变的高频电流。

IGBT Q105 驱动电路，采用晶体三极管组成互补推挽式电路，为电流提供正向和反向通路，以实现 IGBT 门极驱动电压的快速正、反偏变换。当 IGBT 控制信号由高电平变为低电平时，Q101 截止，Q102 导通，Q103 截止，VCC 通过 R118 给 IGBT 提供驱动信号。反之，控制信号高电平时，Q101 导通，Q102 截止，Q103 导通，IGBT 的 G 极通过 R118 电平被拉低，关断 IGBT。

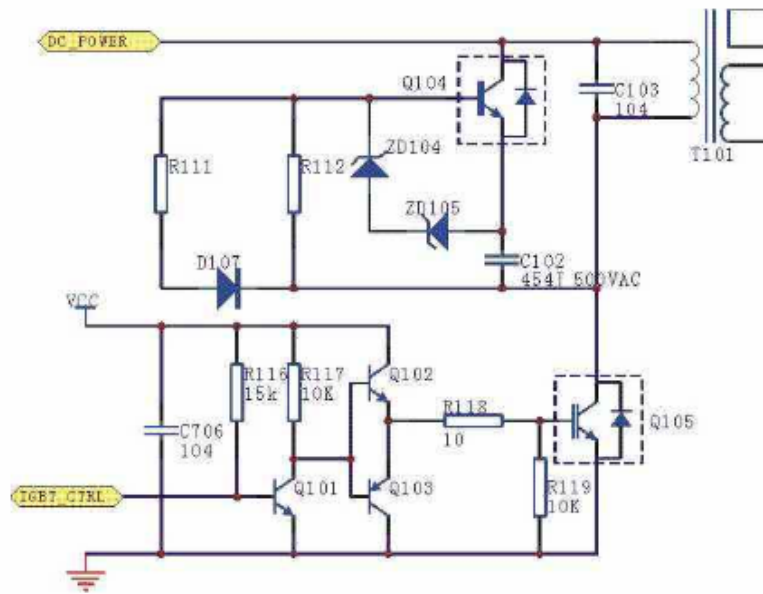


图 4-25 高频变压器初级电路及 IGBT 驱动电路

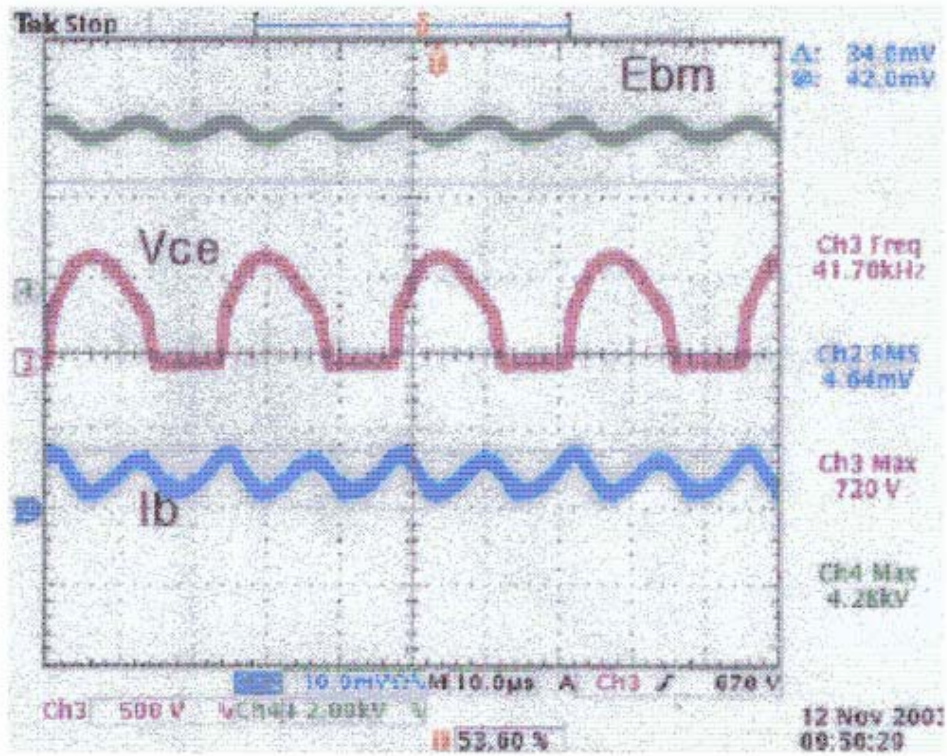


图 4-26 IGBT ce 电压，阳极电压，阳极电流波形图

图 4-26 中 V_{ce} 为 IGBT 的 C 极相对于 E 极的电压波形。当 IGBT 导通时 V_{ce} 电压接近零伏。IGBT 关断时，因高压变压器初极线圈的作用，对 C 极会有较高的冲击电压，如图中， V_{ce} 最大峰值电压为 720V。 E_{bm} 为阳极电压，此电压值是相对于阴极的相对值，实际阳极是与通过 PE 线与大地相连的，阴极为负高压。 I_b 为阳极电流波形，是通过串接在阳极上的 $50\ \Omega$ 电阻检测出来的。

4.3 高压电路

高频变压器初级的高频交变电流信号，在次级的两个绕组形成给磁控管提供能量的高压电场及阴极灯丝能量。电路如图 4-27，高压绕组产生的交变高压经高压二极管 D105、D106 和高压电容 C104、C105 整流倍压后给磁控管提供阴极负高压，灯丝绕组直接给磁控管阴极的灯丝提供能量，使灯丝发热产生电子激发。

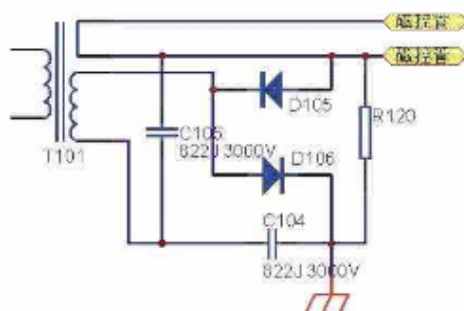


图 4-27 高压电路

4.4 滤波电路

为使产品工作稳定可靠，并符合 EMC 的要求，此产品采用如图 4-28 的滤波板电路图，F1 为电流保险丝做短路或其它电路异常保护，VAR 压敏电阻吸收因雷击或其它原因产生的高压差模噪声信号。C1 电容吸收差模噪声信号。电阻 R1 用于拔插头时对电容残余电量的释放。共轭电感 L1 用于抑制共模噪声信号。电容 C2，C3 用于吸收共模噪声信号。

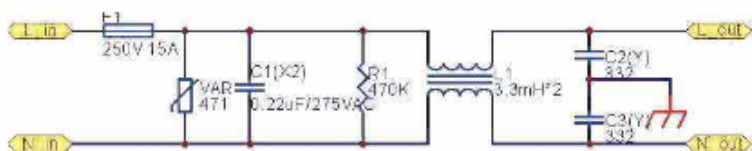


图 4-28 滤波电路