

## 第4章 TFT-LCD 显示器原理与电路解析

### 4.1 TFT-LCD 显示器原理

TFT-LCD ( Thin Film Tube-Liquid Crystal Display , 薄膜晶体管-液晶显示器 ) 最初作为笔记本电脑、文字处理器的显示装置发展起来 , 现已扩展应用于计算机、游戏机、弹子机、摄像机、车载电视等 , 从小型的到大型的机器 , 在各个领域都得到广泛应用。

#### 4.1.1 液晶概述

液晶同固态晶体一样 , 具有特异的光学各向异性。而且这种光学各向异性伴随分子排列结构的不同将呈现不同的光学形态。分子取向一旦发生变化 , 这些光学特性将随之变化 , 于是在液晶中传输的光就受到调制。由此可见 , 变更分子的排列状态即可实现光调制。利用外加电场即可改变液晶分子的取向 , 产生调制。这种由电场产生的光调制现象叫作液晶的“电光效应”, 它是液晶显示的基础。液晶不但具有固态晶体的光学特性 , 还具有液态的流动特性。它的物理特性包括 : 黏性、弹性和极化性。黏性和弹性 , 使其对于方向不同的作用力具有不同的效果 , 可产生自然偏转现象 ; 极化性使液晶在受到外加电场作用时 , 很容易产生感应偶极性 , 形成光电效应。

液晶显示器根据它的成像原理不同分为 TN-LCD ( Twist Nematic , 扭曲向列 ) 液晶显示器、STN-LCD ( Super Twist Nematic , 超扭曲向列 ) 液晶显示器、DSTN-LCD ( Double Super

Twist Nematic，双层超扭曲向列）液晶显示器和 TFT-LCD 液晶显示器。目前，计算机所使用的液晶显示器多使用 TFT-LCD 薄膜晶体管型。

### 4.1.2 液晶显示器显像原理

液晶显示器的显像原理，是将液晶置于两片导电玻璃之间，靠两个电极间电场的驱动，引起液晶分子扭曲向列的电场效应，以控制光源透射或遮蔽功能，在电源开关之间产生明暗而将图像显示出来。

TFT-LCD 显示器的核心是液晶屏，其结构是在两块玻璃基板中间充斥着运动的液晶分子。信号电压直接控制薄膜晶体管的开关状态，再利用晶体管控制液晶分子，来实现图像的显示。LCD 屏的结构如同“三明治”，即在两片玻璃基板内夹着彩色滤光片、偏光板、配向膜等材料，灌入液晶材料，最后封装成一个液晶盒。LCD 屏的结构如图 4-1 所示。

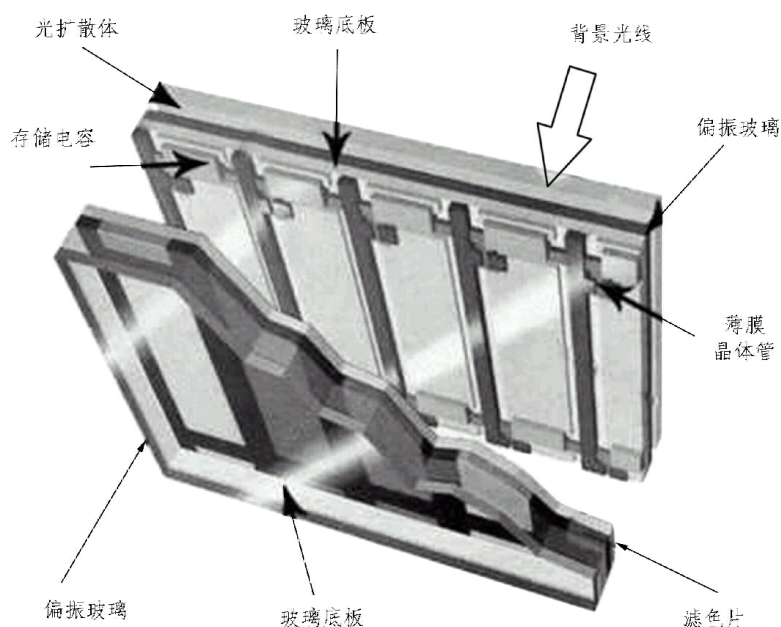


图 4-1 LCD 屏的结构

如果给液晶显示器的 LCD 面板中加上彩色滤光片，则可显示彩色影像。在彩色 LCD 面板中，每一个像素都是由 3 个液晶单元格构成，其中每一个单元格前面都分别有红色、绿色或蓝色的过滤片。光线经过过滤片处理后照射到每个像素中不同色彩的液晶单元格上，利用三基色原理组合出不同的色彩。彩色液晶显示器面板结构如图 4-2 所示。

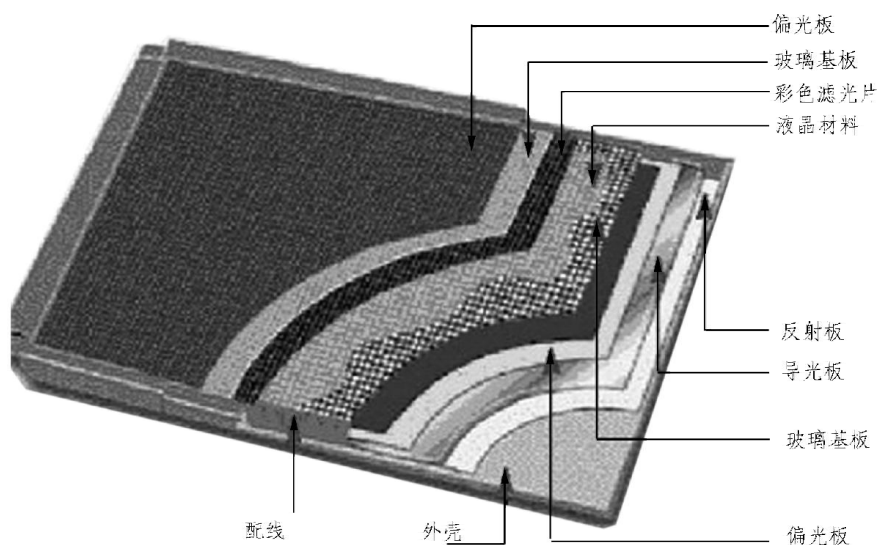


图 4-2 彩色液晶显示器面板结构

因液晶屏本身没有发光功能，这就需要在液晶屏后加一个照明系统，该背光照明系统能使光线均匀照射在液晶表面。现在发光部件的主流为被称作冷阴极管的荧光灯管。其发光原理与室内照明用的热阴管类似，但不需像热阴管那样先预热灯丝，它在较低温状态就能点亮，因此叫冷阴极管。但要驱动这种冷阴极管需要能输出 1 000 ~ 1 500 V 交流电压的特殊电源。逆变器单元就是驱动这种冷阴极管用的小型电源，是液晶显示装置中最重要的功能部件之一。

### 4.1.3 液晶面板的结构及工作原理

液晶面板由上下两块玻璃基板组成，中间由液晶材料均匀间隔隔开。因为液晶材料本身并不发光，所以必须依靠两边的背光灯管作为光源，而在液晶显示屏背面上的导光板让光线往液晶方向前进，并通过反光膜和散射板将光线均匀地分布到各个区域去，给液晶材料一个均匀明亮的光源。在玻璃基板与液晶材料之间安装行、列电极，并在行与列的交叉点上，通过控制电压来达到液晶的旋光状态。LCD 是由两个互相垂直的极化滤光器构成，中间充满了扭曲的液晶材料，光线穿出第一个滤光器后会使得液晶扭转  $90^\circ$ ，最后从第二个过滤器中穿出。另外，在液晶材料的周围设置控制电路和驱动电路，在电路的控制下使行、列电极产生电场，并在不同的电场作用下，液晶分子会作规则的  $90^\circ$  旋转排列，这样，在电源接通与断开的转换过程中产生明暗的差别，依此原理控制每个像素的明暗变化，便可构成所需显示的图像。

液晶面板的结构如图 4-3 所示。

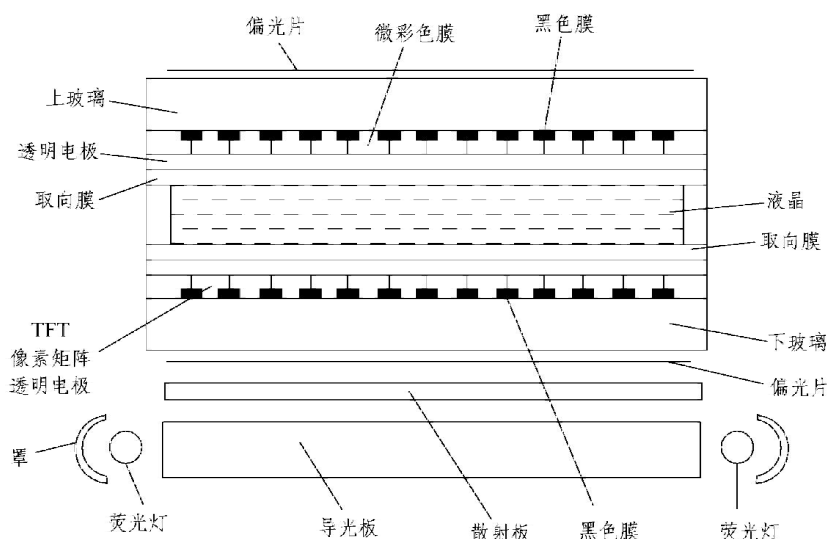


图 4-3 液晶面板的结构

## 4.2 液晶屏驱动电路

液晶屏驱动电路由图像处理器、时序转换电路、行驱动电路、列驱动电路、直流电压转换电路等组成。液晶屏驱动电路组成框图如图 4-4 所示。

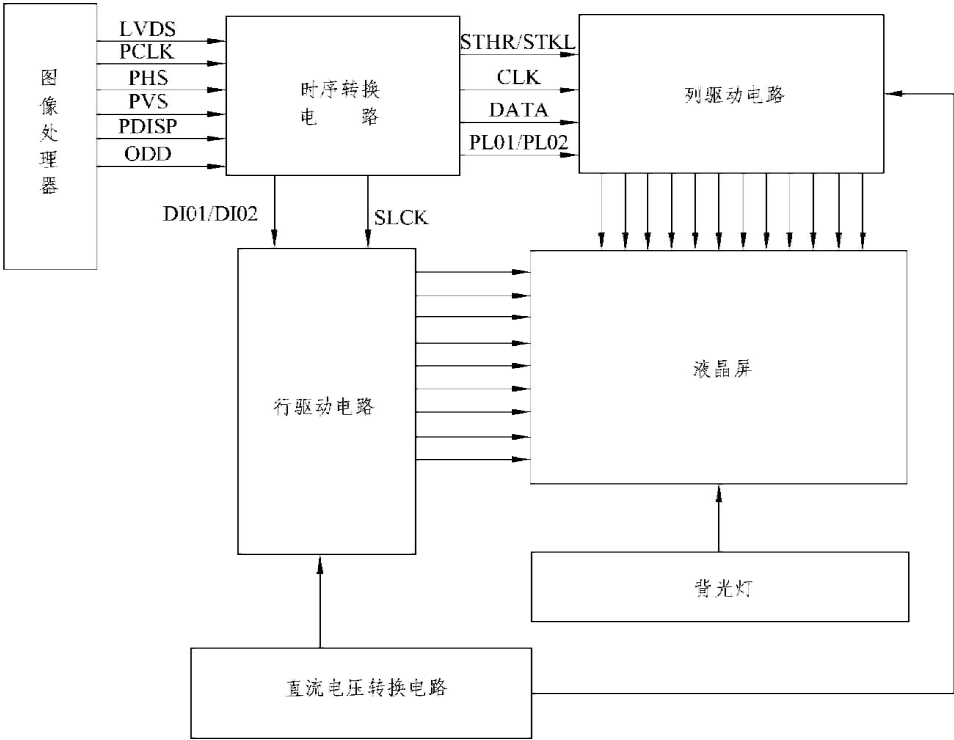


图 4-4 液晶屏驱动电路组成框图

4.2.1 驱动电路的工作原理

计算机主机通过显卡输出的数据，经 VGA 或 DIV 接口传送到液晶显示器内部的驱动板电路，主控电路中的微处理器向图像处理芯片发出指令，图像处理器中的时序转换电路接收行、场同步信号，与时钟信号共同产生列同步信号和行同步信号及移位脉冲 CP。同时，主机显卡输出的视频 R、G、B 图像信号通过输入引脚送入图像处理芯片进行处理。时序转换电路产生的列同步信号 C 使内部的行计数器和像素计数器清零，并将列同步信号传送给列驱动电路，通知列驱动电路新的一场图像信号到来了，同时从第 0 行开始对像素矩阵刷

新；这时地址发生器给存储器提供第 1 行数据的地址，控制外部存储器将第 1 行的显示信号经数据缓冲器送到数据输出引脚。行同步信号 HSYNC 对像素计数器清零，并从 0 开始计数，像素计数器在移位脉冲的控制下，按位依次将数据缓冲器中的显示器信号移到驱动器中。

在液晶面板显示图像的过程中，像素计数器不断进行累加计数，自动和列数寄存器内的数值进行比较，像素计数器达到最大列数后，再发出一个行同步信号 HSYNC，使行计数器自动加 1，像素计数器清零后发出锁存信号 LP，锁存信号 LP 可以锁存驱动电路的第 1 行数据，并通知驱动电路把液晶面板的第 1 行显示出来，还原成图像。当第 2 个行同步信号 HSYNC 到来时，从存储器中取出第 2 行的显示信息，并传送第 2 行数据显示图像，依次进行，逐行显示，当行计数器中的值和参数寄存器中的值相等时，行计数器清零，发出场扫描信号，开始显示新的一场图像。周而复始，完成连续画面的显示。

## 4.2.2 行、列驱动电路

### 1. 行驱动电路

行驱动电路是在行位移控制信号和行位移时钟信号等信号控制下，使行驱动电路产生从上到下逐步扫描的驱动信号，把行驱动脉冲逐个加到行电极上，并顺时针旋转，由上到下逐行驱动行电极。时序脉冲加到哪个电极，这个电极所在的行就会同时显示该行所有的像素信息，并把列驱动电路传送过来的像素信号逐行排列，这样行驱动电路从上往下扫描工作一个周期就可以显示一场图像，其工作原理和 CRT 显示器的场扫描相似。

### 2. 列驱动电路

列驱动电路的作用是对时序转换电路传送过来的位移起始控制信号 STHR/STHL、位移时钟信号 CLK、极性控制信号和数据信号进行处理、存储、极性变换、D/A 转换、灰度形成处理。最后形成一行一行的模拟像素信号去驱动液晶屏，并在同步脉冲信号的控制下一行一行地加到液晶屏列电极线上。

行、列矩阵像素图如图 4-5 所示。

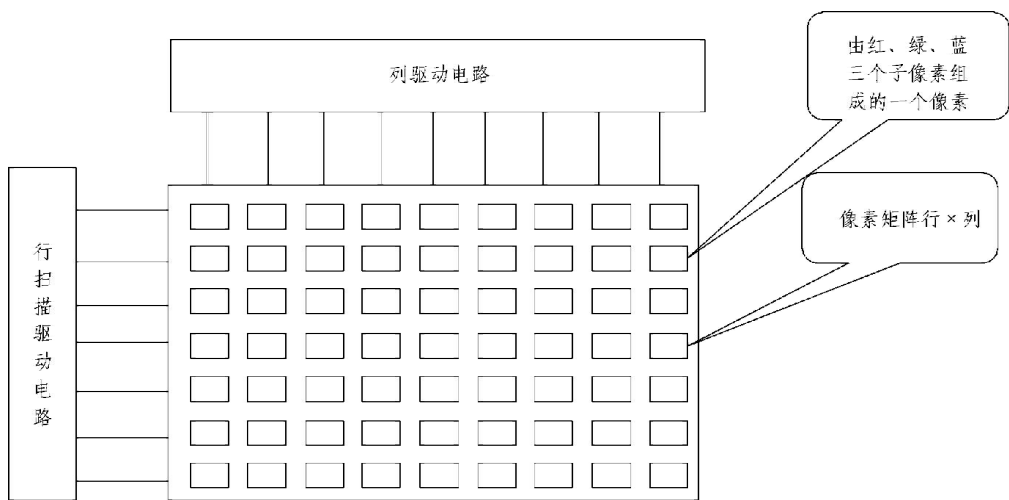


图 4-5 行、列矩阵像素图

### 4.2.3 直流电压转换电路

直流电压转换电路的作用是将直流输入电压转换成液晶面板所需的各种直流电压。该部分电路的作用是产生 9~15 V 的列驱动器的工作电压、20~32 V 和 -15~-5 V 的行驱动器的工作电压以及时序转换芯片所需的 3.3 V、2.5 V 和 1.2 V 等电压。

## 4.3 液晶显示器的电路组成与工作原理

### 4.3.1 液晶显示器的电路组成

液晶显示器电路由主板、液晶屏 ( Panel )、冷阴极荧光管、高压逆变器、电源板、按键板等组成。液晶显示器电路板实物图如图 4-6 所示。左边面积大的电路板电路组成主要包括开关电源、高压逆变器等电路；右边面积相对较小但集成度较高的一般称为主板，主要包括微处理器 ( Micro Control Unit , MCU )、图像数字处理器、存储器等电路。另外还有按键板、液晶屏等电路。

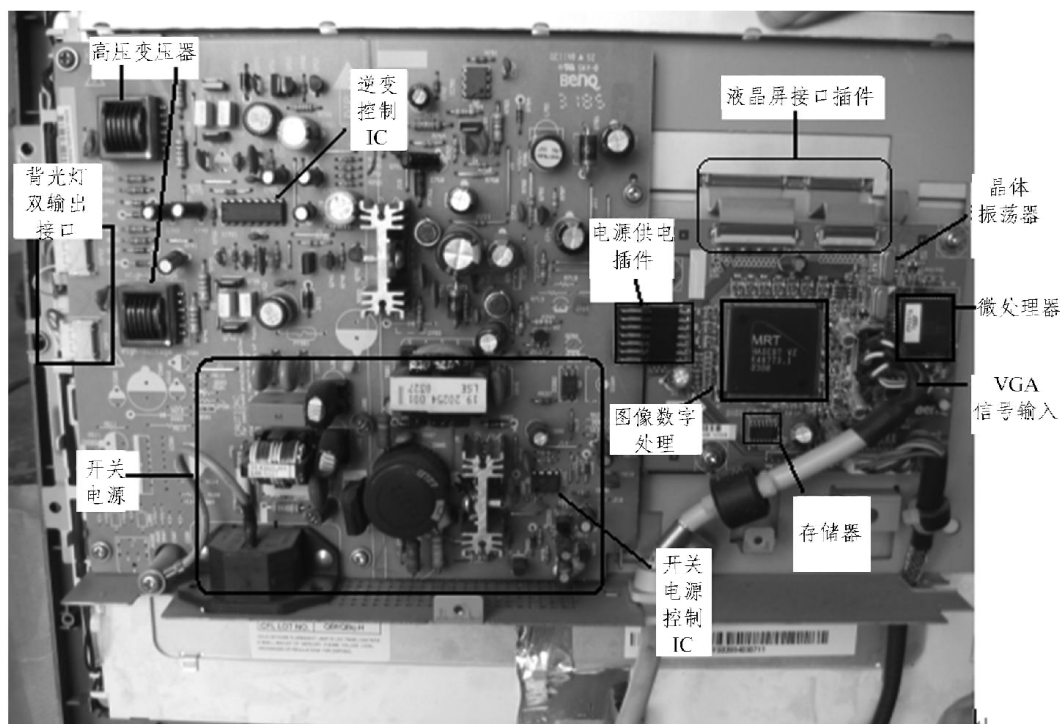


图 4-6 液晶显示器电路板实物图

### 4.3.2 TFT-LCD 显示器的电路原理

TFT-LCD 显示器的电路原理框图如图 4-7 所示。

下面分别介绍液晶显示器各功能单元电路。

#### 1. Panel 与冷阴极荧光管



Panel ( 液晶板 ) 与冷阴极荧光灯组成液晶显示板组件。该部分为液晶显示用模块，是液晶显示器的核心部件，主要由液晶板和驱动电路组成。Panel 部分是整个液晶显示器的核心部分，它是一种将液晶显示器件、连接件、集成电路、PCB ( Printed Circuit Board，印制电路板 )、背光源、结构件装配在一起的一体化组件。

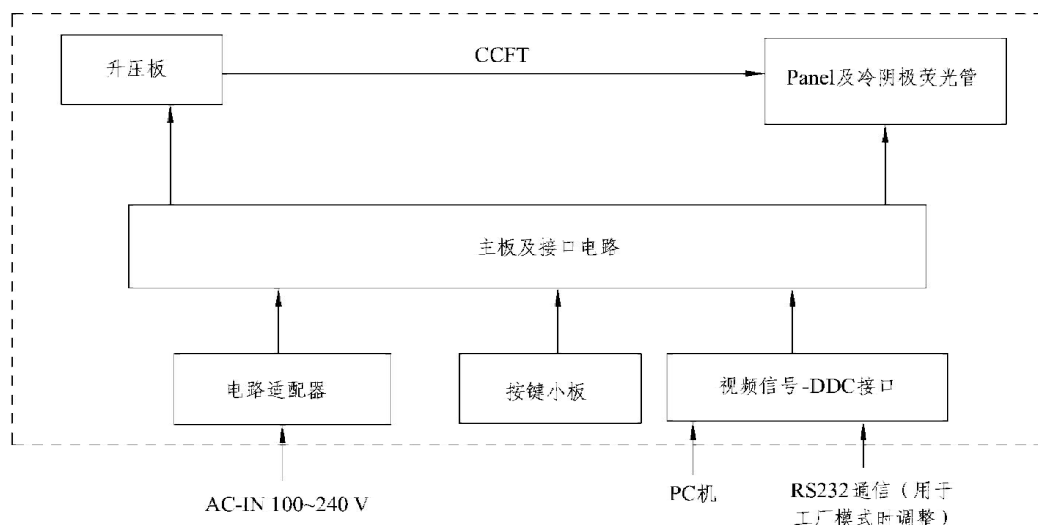


图 4-7 TFT-LCD 显示器的电路原理框图

## 2 . 电源电路

液晶彩显中的电源采用的是开关电源。目前，液晶彩显的开关电源主要有两种安装方式：一种是采用外部电源适配器 ( Adapter )，这样输入显示器的电压就是电源适配器输出的直流电压；另一种是内置方式，在该方式下，显示器输入交流 220 V 电压，输出几种直流低压。液晶彩显的电源电路分为开关电源和直流-直流变换器两部分。其中，开关电源用于将交流 220 V 转换成 12 V 直流电源 ( 有些机型为 14 V、18 V、24 V 或 28 V )；直流-直流变换器用于将开关电源产生的直流电压 ( 如 12 V ) 转换成 5 V、3.3 V、2.5 V 等电压，以便供给微控制器、图像数字处理器液晶面板等电路使用。

开关电源具有体积小、重量轻、变换效率高等优点，因此被广泛应用于电子产品中，特别是 PWM 型单片开关电源中。PWM 型开关电源的特点是固定开关频率，通过改变脉冲宽度来调节占空比。其基本工作原理是：交流 220 V 输入电压经过整流滤波电路变成直流电压，再由开关功率管斩波和高频变压器降压，得到高频矩形波电压，经整流滤波后获得所需要的直流输出电压。脉宽调制器是开关电源的核心，它能产生频率固定而脉冲宽度可调的驱动信号，控制开关功率管的通断状态，来调节输出电压的高低，达到稳压的目的。

### 3 . 高压逆变电路

高压逆变电路又称高压板或升压板，用于将主板或电源适配器输出的直流电压转变为液晶显示屏需要的高频、高压交流电，点亮液晶显示屏的背光灯。背光源采用发光二极管 LED 的液晶显示器没有高压逆变电路。

### 4 . Scaler 和时钟发生器

Scaler 和时钟发生器安装在信号处理板上（主板）。Scaler 一般称为图像缩放处理器，通常由一块大规模集成电路组成，它是液晶显示器的核心电路，功能包括 A/D 转换电路（用于将 VGA 或 DVI 接口输出的模拟 R、G、B 信号转换为数字 R、G、B 信号）、缩放过滤器、面板数据消抖、灰度调整、R、G、B 偏置等。

### 5 . 微控制器电路

微控制器电路主要包括微控制器、存储器等，是整机的指挥中心，都安装在主板上。其中，MCU 用来接收显示器的按键信息（如亮度调节、位置调节等）和显示器本身的状态控制信息（如有无输入信号、上电自检、节能模式转换等），然后再对相关的电路进行控制，以完成指定

的操作功能。存储器用于存储液晶彩显的设备数据和运行中需要的数据，主要包括设备制造商、产品型号、分辨率设置、最大行频率、场刷新率、亮度、对比度及各种几何失真参数等。

## 6. 按键电路板

按键电路板的作用相当于控制开关，当按下开关时，微处理器可识别不同的按键信号，然后去控制相关电路工作。

## 4.4 液晶的背光灯

液晶显示器件是被动型显示器件，它本身不会发光，靠调制外界光实现显示功能。目前液晶显示的采光技术分为自然光采光技术和外光源设置技术。液晶彩显按背光源分类，主要有冷阴极荧光灯 CCFL 背光源液晶彩显和发光二极管 LED 背光源液晶彩显两类。

### 4.4.1 TFT-LCD 液晶显示器

TFT-LCD 液晶显示器中普遍采用 CCFL ( Cold Cathode Fluorescent Lamps，冷阴极荧光灯 ) 为背光源，其内部结构如图 4-8 所示。这是一种依靠冷阴极气体放电激发荧光粉发光的光源。常见形状有：I 形、L 形、U 形、W 形。其物理特性：内部密封惰性气体和水银的气体放电管，当两端加上电压时，因发生电离而发出可见光。

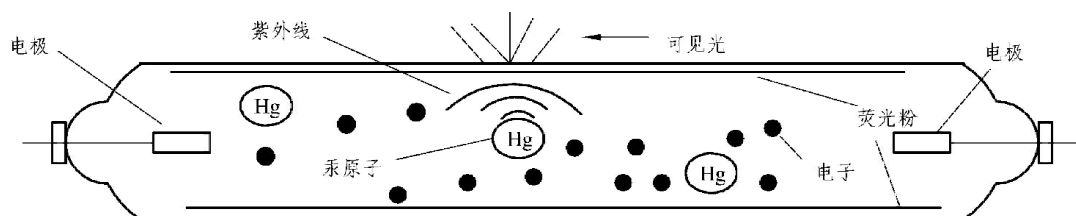


图 4-8 冷阴极荧光灯内部结构

掺有少量水银的稀薄气体在高电压下会产生电离，被电离的气体产生二次电子发射，轰击水银蒸气，使水银蒸气被激发而发射出紫外线，紫外线激发涂布于管壁的荧光粉层，使其发光。冷阴极荧光灯大都做成管型，所以是管型线光源，用作液晶显示背光源时，必须将其变为面光源。要实现线光源到面光源的转变，需要在液晶显示模块后加背光板，这样可以使光源均匀的通过滤色膜产生 R、G、B 三基色，通过液晶材料的光调制就可以实现彩色显示效果。

冷阴极灯管的优点是管径细、体积小、寿命长（平均 20 000 小时以上）、工作电流小（4~10 mA）、结构简单、亮度高、发光均匀。

#### 4.4.2 LED 液晶显示器

目前，液晶显示器普遍采用发光二极管 LED 作为背光源。LED 作为背光源的优势在于低电压、轻、无汞、长寿命（一般在 10 万小时以上）等，而且其光源光谱比以荧光粉为发光材料产生的光纯正。其单位耗电量能获得的辉度较高，其反应速度也比 CCFL 快 3 倍，能够赋予液晶面板高的附加值。

### 4.5 电源逆变器电路

电源逆变器（Inverter）电路的功能即是把直流电源电压变成能驱动 CCFL 灯管的频率约为 40~80 kHz 的交流电。

#### 4.5.1 逆变器的功能

逆变器的功能是产生交流高压驱动 CCFL 灯管发光。由于液晶显示非自体发光器件，需要靠背光源产生可视的图像，TFT-LCD 冷阴极荧光灯 (CCFL) 需要采用交流波形驱动，为了最大化其效率 (光输出与输入电功率之比)，需要用接近正弦的波形驱动灯管。电源逆变器示意图如图 4-9 所示。

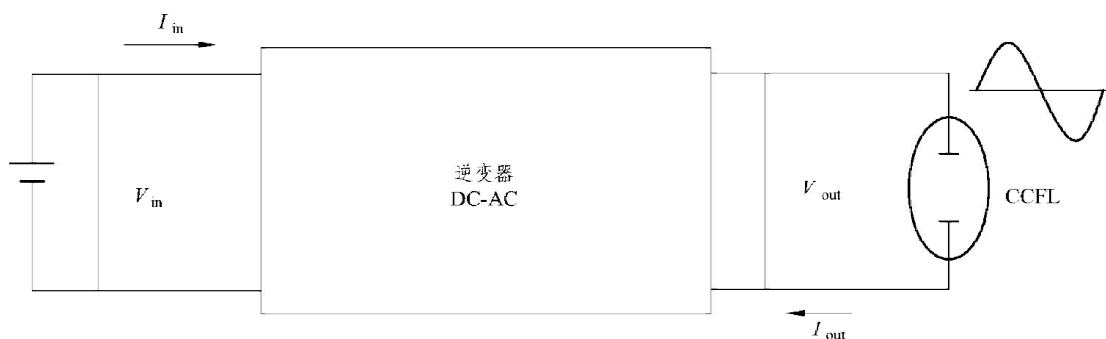


图 4-9 电源逆变器示意图

#### 4.5.2 高压逆变器电路组成及原理

高压逆变电路主要有两种安装形式：一种是专设一块电路板，这块板一般称为高压板；第二种是高压逆变电路和开关电源电路安装在一起，称为电源板。

液晶显示器的背光灯需要很高的交流电压才能点亮发光，但是电源电路或外置的电源适配器提供的直流电压只有十几伏，因此需要一个电压变换电路来把电源提供的直流低压转换成适合背光灯正常工作所需要的交流高压 (600 V 以上)，这个电路就是高压逆变电路。逆变电路的方框图如图 4-10 所示。

电源逆变器主要电路组成如图 4-11 所示。