

Development of Solar LED Display Screen and Research on The Driving Mode Based on PWM

Major: Power Electronics

Name: Paco Huang

Supervisor: Prof. Shi Binning

Abstract

As the developing of the information society, LED display screen is used more and more widely as a new information broadcasting media. It is mainly used to release information in the places such as industrial control area, banking house and stock exchange, traffic system, sports arena, hospital, etc. It could even be used in the public plaza for multi-media information broadcasting. While the energy crisis and the environment polluted problem are getting worse and worse, the solar power, as a green energy, is going to lead the trend of exploring a new energy source.

This paper integrates the photovoltaic application system and technology of the LED display screen to develop an efficient, economic and simple Solar Power LED Display Screen based on cell phone short message system (GSM) which is used to realize the data-transmission and display control of the system.

Differing from the ordinary LED display screen, the power of the screen developed in this paper is solely provide by solar power. Because the price of the solar cell is very high, we charge the battery using maximum power point tracking (MPPT), and develop a LED drive circuit which would save the electricity and would not lower the brightness of the screen. By this way, we enhance the efficiency of the electricity generating and lower the wastage of the LED screen. The system also contains a battery which could save the extra energy in the daytime. The energy of this part could be used at night. We introduce an adjustable Pulse-Width Modulation technology in the LED screen power supply system to control the brightness of the LED system by adjusting the duty-cycle of the pulse.

We use Atmega16 as our control unit; it is a high-performance, low-power AVR

8-bit microcontroller together with advanced RISC architecture presented by ATMEL Corporation. We also introduce several displaying ways, like left-shift, right-shift, up-shift and sudden-appear.

The study of this paper is the application of the photovoltaic in a new way, and the system introduced by this paper also has a bright marketing future.

Keywords: LED display screen; PWM; photovoltaic; MPPT; Atmega16

第 1 章 绪论

1. 1 课题研究的目的和意义

随着能源消费的增长、化石能源即将消耗殆尽,日益恶化的生态环境和人类环保意识的提高,世界各国都在积极寻找一种可持续发展且无污染的新能源。而在人口众多的我国化石资源的严重短缺是我们面临的一大困境,而这种现象随着经济的快速发展日趋恶劣。太阳能是 21 世纪最重要的能源之一,它做为一种高效的无污染的新能源,一种未来常规能源的替代品,尤其受到人类的重视。2008 年北京奥运会提出“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”理念,这种绿色的概念也必然随着社会的发展延续下去。有关专家认为,如果说二十世纪是石油世纪,二十一世纪就将是太阳能世纪。

LED (light emitting diode) 电子显示屏是随着计算机及相关的微电子、光电子技术的迅猛发展而形成的一种电子广告媒体,已经渗透到工业、农业、交通、金融及信息广告等各个行业,用于显示字符、图像等信息。太阳能 LED 显示屏不仅环保,而且可以用于高速公路、码头、风景游览区等没有或不便于铺设公共电网的场所,当然也不便于使用有线通信方式来对其进行管理或信息更新。利用手机短信对电子显示屏控制将可以大大降低人力、物力、财力成本,还提高了工作效率,同时这也是现代化信息社会高速发展的一个代表。在能源,特别是电能特别紧缺的社会环境中,如果能充分利用天然的绿色能源——太阳能,将可以大大促进祖国的社会主义现代化建设的步伐。可以肯定的预见,太阳能 LED 显示屏一定会有广阔的发展前景和 market 价值。

1.2 太阳能技术的运用概况

能源是人类文化及其它活动的动力来源。纵观世界的发展历史,人类不断从自然界探求各种适合生存和发展的能源,能源的利用深度和广度也说明了人类文明的进步步伐。从原始社会开始,化石能源逐步成为人类可以利用的能源的来源,这种情况一直持续到发达的现代化社会。但是,随着社会对能源的需求的急剧增加,化石能源很快就会枯竭。因此,世界的能源专家强烈呼吁:煤炭、石油等宝贵的化石资源应当有效的使其持续有序的利用起来,而不是在我们这一代的人手中仅仅作作为能源消耗殆尽。能源危机迫在眉睫,根据对石油储量的综合估算,可支配的传统能源的极限大约在 1180~1510 亿吨,以 1995 年世界石油的年开采量 33.2 亿吨计算,若不能用新能源补充之,那么石油储量大约在 2040 年左右宣告枯竭;天然气储备估计在 131800~152900 兆立方米,年开采量维持在 2300 兆立方米,如此下去将在 60 年最后的时间内枯竭;煤的储量约为 5600 亿吨,1995 年煤炭的开采量为 33 亿吨,可以供应 169 年;铀的年开采量目前为每年 6 万吨,根据 1993 年世界能源委员会的估计可维持到 21 世纪 30 年代中期;核聚变到 2050 年还没有实现的希望。传统能源与原料链条的中断,必然导致世界经济危机和冲突的加剧,最终将对现代的市场经济造成致命的打击。事实上,近些年所爆发的中东海湾地区的战争无不和能源的争夺有紧密的关系。总之,能源危机随时都会爆发,它的爆发绝对是爆炸性的^[8]!

21 世纪是世界能源结构发生巨大变革的世纪。由于传统能源(如煤、石油、天然气等)的供给已出现严重短缺局面,人类开始将目光转向可再生能源的开采。大规模的开发利用可再生洁净能源来代替资源有限、污染环境严重的石化能源已经是人类赖以生存的必须要走的路^[9]。

太阳能作为一种新型绿色能源,是世界上最具有发展前途的能源之一。它具有独特的优势,其开发利用必将成为 21 世纪后期的主导能源^[10]。由于它不受地理条件的限制,也不需大量铺设电力设备,因而成为缺电或者边远无电地区及岛屿地带赖以解决供电问题的重要手段,对于促进贫困地区的人民生活质量的提高,为经济生态环境协调发展和社会稳定发展有重要的意义。太阳能具有以下特

点:

- 1) 数量巨大: 每年到达地球表面的太阳辐射能为 $5.57 \times 10^{18} \text{MJ}$, 相当于 190 万亿吨标准煤, 约为目前全世界一次能源消费总量的 1.56×10^4 倍;
- 2) 时间长久: 取之不尽, 用之不竭, 太阳能可被利用的时间约为 100 亿年;
- 3) 便于利用: 掘取非常方便, 不需要开采运输;
- 4) 清洁能源: 不会污染环境;

太阳能的开发利用的方式主要是: 光热利用、光伏利用、光化学利用等形式。光热利用是将太阳能转换为热能储存起来, 其中太阳能热水器是这个技术利用的最成功的领域, 此外还有太阳能灶、太阳能温室、太阳能干燥系统等, 也都取得了非常骄人的效果。但是目前和可以设想的很长一段时期内电毕竟是人类使用最广泛的用能形式, 以太阳能电池技术为核心的太阳能光伏利用成为太阳能开发利用中最重要领域, 那么利用太阳能发电, 主要具有什么特点呢? 主要有以下几方面:

- 1) 结构简单, 体积小而且轻。能独立供电的太阳能电池组件和方阵结构都比较简单, 输出 45~50W 的晶体硅太阳能电池组件, 体积约为 $450\text{mm} \times 985\text{mm} \times 45\text{mm}$, 质量为 7kg, 其制造工艺仍在提高。
- 2) 容易安装运输, 建设周期短。只要将太阳能电池按照一定的角度有序搭建起来, 装上控制器, 便可以马上建立起一个有效的小型发电站。而且维护、拆建等都非常方便, 比如遇到暴风, 或者清除太阳能电池表面的杂质灰尘, 又或者检查蓄电池是否正常工作的时候。
- 3) 清洁、安全、无噪声。光伏发电本身不向外排放废物, 没有噪声污染。
- 4) 可靠性高, 寿命长, 并且应用范围广。我国三分之二以上地区年日照数都大于 2000 小时, 太阳能理论上储量高达 17000 亿吨标准煤/年。尤其是西藏西部地区, 年太阳最高辐射量居世界第二, 仅仅低于撒哈拉大沙漠, 具有利用太阳能资源的良好条件^[11]。

1.3 LED 的主要技术及显示屏的发展现状

1. 3. 1 LED 产业的现状

LED (Light Emitting Diode, 发光二极管) 是一种由 III-IV 族化合物, 如 GaAs (砷化镓)、GaP (磷化镓)、GaAsP (磷砷化镓) 等物质制成的发光器件, 其核心是 PN 结, 当半导体晶体内部受激电子从高能级回复到低能级时, 便发射出光子, 这就是我们所看见的发光现象^[1]。它具有体积小、价格低, 重量轻、电压低、电流小、亮度高, 发光响应速度快, 驱动电路简单等优点。发光二极管采用环氧树脂等材料密封, 结构牢固, 使用寿命长达 10 万小时, 要比荧光灯长 10 倍, 比白炽灯长 100 倍。在环境保护方面, 用发光二极管替代荧光灯, 避免了荧光灯管破裂溢出汞的二次污染^{[2][3]}。

根据中国光学光电子行业协会光电器件分会的初步统计, 我国 LED 产量年增长率为 25%, 其中超高亮度 LED 约 50 亿只, 增长率达到 50%。LED 已经应用于汽车刹车灯、尾灯、室内灯。在室外还可以使用于户外大型看板、交通信号灯、建筑物户外造景灯等, 且未来在技术将在价格下降趋势的驱动下取得突破。

LED 产业最诱人的前景也许还不是目前看到的应用。目前国际上普遍的看法是, 光电子技术是二十一世纪的尖端科技。如果将二十一世纪具有代表意义的主导产业排序, 第一是光电子产业, 第二是信息通信产业, 第三是健康和福利产业。科学界预测, 到 2010 年, 以光电子信息技术为主导的信息产业将形成 50000 亿美元的产业规模; 2010 年至 2015 年, 光电子产业可能会取代传统电子产业, 成为 21 世纪最大的产业, 并成为衡量一个国家经济发展和综合国力的重要标志^{[4][5]}。

1. 3. 2 LED 显示屏的介绍^[6]

发光二极管是六十年代末发展起来的一种半导体显示器件, 七十年代, 随着半导体材料合成技术、单晶体制造技术和 P-N 结形成技术的研究发展, 发光二

极管在发光颜色、亮度等性能得以提高并迅速进入批量化和实用化。进入八十年代后，LED 在发光波长范围和性能方面大大提高，并开始形成平板显示产品即 LED 显示屏。

我国在 LED 领域的研究开发工作成绩斐然。国内 LED 显示屏发展主要经历了三个阶段：①1990 年以前 LED 显示屏的成长形成时期。②1990—1995 年，这一阶段是 LED 显示屏迅速发展的时期。③1995 年以来，LED 显示屏应用领域更加广阔，近年在全彩色 LED、灰度视频控制技术、集群无线控制、多级群控技术等方面均有国内先进，达到国际水平的技术和产品出现。我国 LED 显示屏产业在规模发展的同时，产品技术推陈出新，一直保持比较先进的水平。

LED 显示屏作为新一代的信息传播媒体，已经成为了现代化信息城市建设的标志之一^[7]。现代信息化社会的发展过程中最具有意义的是，大屏幕显示已经从展示公共信息等商业应用开始向消费多媒体领域的应用渗透。随着网络技术日新月异的发展，数字化多媒体内容将在信息世界中占据主流，新型的大屏幕显示设备将代替传统电视墙成为人们享受信息和多媒体内容的途径。

LED 显示技术已经日趋成熟，功能也越来越完善，屏体的文字显示格式灵活、内容丰富，主要应用在工业控制、银行证券公司的利率显示、交通广告、体育、医疗等，甚至大型广场的多媒体信息发布。随着社会的发展，其应用领域将会越来越广，显示屏主要分为以下几种：

按色彩：单色屏（红或绿）、双色屏（红和绿）、全彩屏（红、绿、蓝）；

按环境：室内屏、室外屏；

按是否联机：联机屏、脱机屏；

1. 4 LED 显示屏存在的问题

随着 LED 显示技术的制造水平不断提高，LED 显示屏运用也越来越广，显示效果也越来越好，大面积、全天候、高亮度和超高亮度显示屏的技术也越来越成熟。LED 显示技术在未来的发展道路上，新技术将不断采用，制造成本不断降低，生产分工不断细化，但也同时暴露出很多缺陷，总体上说技术还没真正成熟，还

有很多方面值得更深入的研究和改进。

LED 显示屏朝着多彩色、高灰度等先进技术的发展，显示效果也越来越好。这些普通由市电供电的 LED 显示屏的一个特点是无需考虑电源功耗问题，尽管可以满足大多数场合的需求，但同时也存在电能损耗过大的缺陷，主要表现为：

(1) LED 屏的亮度越高，色彩越丰富，在 LED 显示屏体消耗的能量就越大。现在世界处于能源短缺期，我国也大力提倡节能省耗，以牺牲能量来换取显示效果并不是一个良策。

(2) LED 驱动电路所采用的大量驱动管，其管压降普遍都比较大，所以在有电流通过的时候有相当一部分的电是损耗在晶体管上，甚至在没有电流通过的时候也会损耗小部分的电能。

(3) LED 显示屏均采用阵列式布局、动态扫描显示方式，皆通过电阻均流，往往电阻上的压降大于 LED 压降，也即电阻上消耗的电能超过 LED 的功耗。

普通 LED 屏的电源是来自于常规市电，而 LED 比其他显示装置光效高小得多，所以通常不需考虑降低功耗的问题。而本课题采用的是太阳能，一方面太阳能电池的价格非常昂贵，太阳能电池输出的电流还需要经过变流驱动才能正常使用，提高转换效率是太阳能 LED 显示屏电源系统必须解决的问题；另外由于太阳能只有在白天阳光充足的时候可以提供能源，而 LED 显示屏是白天晚上都需要正常工作的，所以在太阳能 LED 屏系统中还需加上蓄电池，把白天多余的能量存储起来，供晚上使用，而蓄电池的价格也是比较昂贵的。显然，普通 LED 显示屏的驱动方式不适合用于本系统。

太阳能 LED 显示屏除了由太阳能电池供电外，与常规 LED 显示屏相比在对 LED 的驱动技术上必须有革新，以减小电阻、功率管等附加元件的损耗。

1.5 本课题的主要任务和拟解决的问题

本课题需解决的问题有：

(1) 合理选择适合在室外显示的高亮度 LED 点阵模块，并根据系统设计要
求，依据电子电路知识设计 LED 信息屏的行、列驱动电路，并确定驱动电路中的

元件配置和参数。

(2) 设计一种高效、简单、实用的太阳电池最大功率跟踪方法 (MPPT) 进行充电控制, 并具有蓄电池过压、欠压、过流保护, 以及温度补偿等功能。

(3) 设计 LED 驱动电源, 满足系统低电压、大电流的电源需求。

(4) 探索一种新型的 LED 阵列驱动方式, 低电压、没有或减小均流电阻, 以降低功耗; 可根据环境亮度自动调整发光强度, 进一步降低功耗。

(5) 选择合理的单片机控制芯片, 并利用软件控制的方式, 对显示屏文字显示方式进行多样化的设计。

论文作者主要任务简介:

查阅了大量的资料, 参与了系统的总体设计, 重点围绕太阳能最大功率跟踪 (MPPT) 算法、低压大电流电源技术、LED 发光特性以及 LED 信息屏驱动方式展开比较、分析、研究和开发, 并探讨了如何利用脉冲电源输出高幅值窄脉冲 (PWM) 驱动方式以降低功耗和控制 LED 屏亮度。论文对系统电源、LED 信息屏驱动电路的硬件设计, 还有系统软件的实现都做了详细叙述, 最后制作完成电路系统, 调试成功试验样机。

第 2 章 太阳能 LED 显示屏的总体方案

2. 1 系统的总体设计分析

2. 1. 1 系统功能需求

本课题设计的 LED 信息屏是运用于室外的，完全由太阳电池供电的 LED 点阵显示系统。主要的功能包括以下几个方面：

（1）太阳电池供电、蓄电池

太阳电池最大功率跟踪（MPPT），跟踪电路检测太阳电池电压、电流；蓄电池具有过充、过放保护，温度补偿等功能。

（2）电源系统

蓄电池直流通过 DC/DC 转换电路，分别输出系统电源和脉冲控制电源：系统电源供给到 LED 信息屏上的主控单元，芯片，驱动管等；脉冲电源输出到 LED 阵列，根据不同的日照强度（通过检测太阳电池电压判断）改变脉冲电源的脉宽调节信息屏的亮度，节省能耗。

（2）无日照连续工作时间

选择合适的蓄电池类型及容量，按每天工作 16 个小时的标准，可以支持连续四天阴雨天仍能正常工作。

（3）存储信息量、显示方式

存储一定量的显示信息（主要以中国简体汉字为主），可以任意选择显示顺序；显示方式的方式有上移、左移、右移、突现等。

（5）LED 信息屏驱动电路

驱动电路分为行驱动和列驱动：列驱动负责数据移位与数据锁存，行驱动输出高电平点亮相应的行，行驱动须有足够的电流驱动能力，其大小根据屏点数设

计。

(6) 其它功能

显示屏带有日历芯片，可以设定年、月、日、时、分、秒，断电仍能运行；远程手机短信设置命令与传送数据。

2. 1. 2 系统的设计架构

由以上的功能需求分析，提出太阳能 LED 信息屏的系统框架如下图所示：

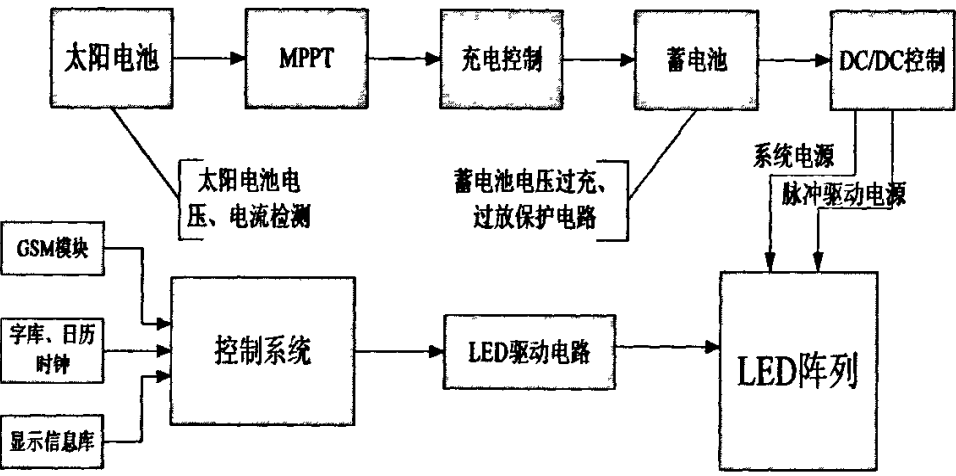


图 2-1 无线 LED 框架图示

此完整系统主要又分为主控模块、电源模块、显示模块、无线通信模块四大块。本论文主要就电源部分和 LED 驱动电路及 LED 阵列显示部分的功能进行分析和实现。

(1) 太阳电池、蓄电池

太阳电池是利用光伏效应将太阳辐射的光能转换成电能的装置。太阳电池作为一种直流电源有其自身的特殊性质，为了更好的应用太阳电池，了解太阳电池的种种特性是必须的。另外根据系统对能量消耗的计算，选择合适容量的蓄电池，蓄电池应具有过充、欠压保护，温度补偿等功能。

(2) MPPT 充电控制

对太阳电池输出电压、电流检测，分析并寻找一种太阳电池最大功率点跟踪

(MPPT) 方法, 提高太阳能电池输出能量的利用效率;

(3) LED 模块功率计算

每块模块 (2×4 阵列、可显示 2 个汉字) 每行同时点亮的 LED 数最大为 32, 每颗 LED 以 20mA 计算, 那么最大的工作电流为: $20\text{mA} \times 32 = 640\text{mA}$ 、最大功率为 $0.64 \times 2\text{V} = 1.28\text{W}$; 但实际运用中, 一行全亮的几率非常低, 实际功率要小于这个值。本系统需 8 个模块, 一共可显示 $2 \times 8 = 16$ 个汉字。

(4) 字库模块

选用了集通公司的 GT20L 芯片, 用户只要知道汉字的内码, 就可以通过计算公式计算出汉字在芯片中的地址, 从而从该地址连续读出点阵信息。其它模块还有日历时钟芯片, 显示缓冲存储。

(5) 主控单片机

采用 Atmel 公司的 Atmega16, 它是一种采用精简指令集的高速 8 位单片机, 其特点是性能强、功耗低, 而且集合了强大的非易失性可擦除存储器, 此单片机自带的存储器足够容纳需要显示的点阵信息, 这样就不必添加外部存储器。

2. 2 太阳能电池及最大功率跟踪方法

2. 2. 1 太阳能电池工作原理^{[13][14]}

太阳能电池表面有一层金属薄膜似的半导体薄片, 当太阳光照射时, 薄片的另一侧和金属薄膜之间将产生一定的电压, 这一现象称为光伏效应。太阳能电池正是一种利用光伏效应直接将光能转化为电能的装置。对于半导体 P-N 结, 光伏效应更明显, 因此, 太阳能电池都是由半导体构成的。下面以硅半导体为例, 对太阳能电池的工作原理加以说明。当 N 型硅和 P 型硅结合时, N 型区的电子扩散到 P 型区, P 型区的空穴扩散到 N 型区, 此时, N 型带正电, P 型带负电, 在硅半导体内部产生电场。当太阳光照在半导体 P-N 结上时, 形成新的空穴—电子对, 在 P-N 结电场的作用下, 空穴由 N 型区流向 P 型区, 电子由 P 型区流向 N 型区,

当接通电路后就形成电流。这就是光电效应太阳电池的工作原理，如图 2—2 所示：

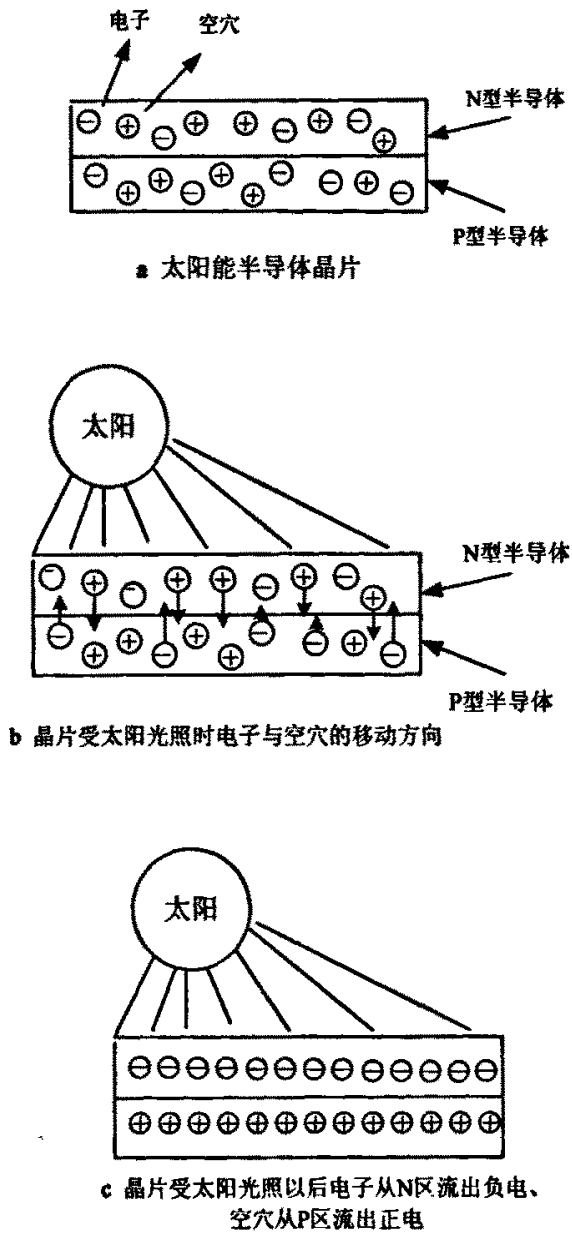


图 2—2 太阳电池工作原理

依据太阳电池的工作原理，只要按照一定的规律把太阳电池单元进行串、并联，就可以获得任意功率的太阳电池组件，满足不同场合不同的需求。

又根据太阳电池工作原理可以知道，由光照产生的电流与 P—N 结反向电流

方向相同。所以理想状态下 P-N 结的太阳电池 I-V 特性如下式 (2-1) 所示:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right] \quad (2-1)$$

其中, I_0 为反向饱和电流, I 为 PN 结的电流, V 为外加电压, q 是电子电荷 ($1.6 \times 10^{-19} C$), K 是波尔兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} J/K$); T 是绝对温度 (K)。而实际上当太阳电池受到阳光的时候, P-N 结特性曲线会转移, 其特性曲线如图 2-3 所示, 在下一节中将详细介绍特性曲线。

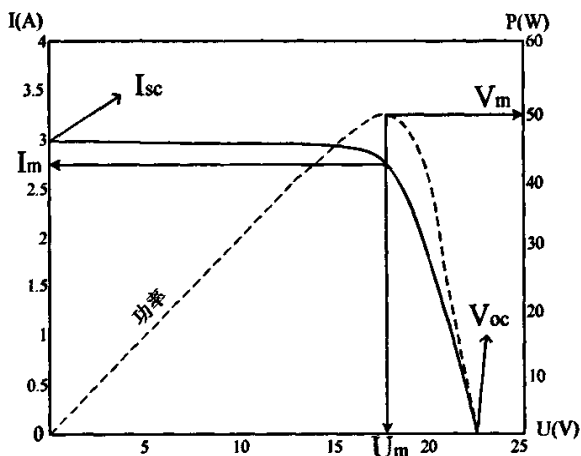


图 2-3 太阳电池 I/V 特性曲线

光伏阵列的 I-V 特性随着日照的强度 S 和电池温度 T 的变化而变化, 等效电路如图 2-4 所示, 由于器件的瞬间响应时间和大多数的光伏系统的时间常数比较微不足道, 因此结电容 C_j 在光伏阵列的理论分析中可以忽略不计。参考等效电路图的电流、电压方向, 太阳电池的 I-V 方程:

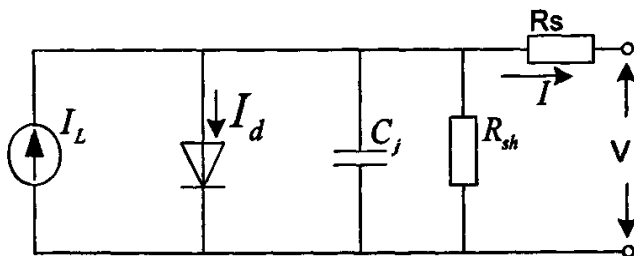


图 2-4 太阳能电池等效电路图

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V - IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2-2)$$

其中:

I_L ——光电流, A;

I_0 ——反向饱和电流, A;

q ——电子电荷 ($1.6 \times 10^{-19} C$);

K ——波耳兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} J/K$);

T ——绝对温度, K;

A ——二极管因子;

R_s ——串联电阻, Ω ;

R_{sh} ——并联电阻, Ω ;

2. 2. 2 太阳能阵列的特性曲线

太阳电池的 I-V 特性是指在某一确定的日照强度和温度下, 太阳电池的输出电压和输出电流之间的关系, 如图 2-5 所示。I-V 特性曲线表明: 太阳电池既非恒压源, 也非恒流源, 是一种非线性直流电源。输出电流在大部分工作电压范围内相对恒定, 最终在一个足够高的电压之后, 电流迅速下降至零。曲线中的每一点都唯一对应太阳电池在该一工作电压下的输出功率, P_m 表示对应于该日照强度和环境温度下的太阳电池所能输出的最大功率, U_m 和 I_m 则表示太阳电池输出最大功率时所对应的工作点电压和电流。也就是说, 在一定的温度和日照强度下, 太阳电池具有唯一的最大功率点, 当太阳电池工作在该点时, 能输出当前温度和日照条件下的最大功率。在最大功率点左侧, 太阳电池的输出功率随着工作点电压的增加而增大; 在最大功率点右侧, 太阳电池的输出功率随着工作点电压

的增加而减小。

其中光伏阵列的 $I-V$ 特性曲线 (图 2-3) 包含了几个重要参数:

- (1) 短路电流 (I_{sc}): 为给定日照强度和温度下的最大输出电流
- (2) 开路电压 (V_{oc}): 在给定日照强度和温度下的最大输出电压
- (3) 最大功率点电流 (I_m): 在给定日照强度和温度下的最大功率点电流
- (4) 最大功率点电压 (V_m): 在给定日照强度和温度下的最大功率点电压
- (5) 最大功率点功率 (P_m): 在给定日照强度和温度下阵列可能输出的最大功率, 其中 $P_m = I_m \times V_m$

图 2-5a 和图 2-5b 为太阳电池分别在温度和日照强度变化的情况下 $P-V$ 特性曲线, 从图中可以看出, 太阳电池的输出功率受日照强度、电池温度等因素的影响。当电池温度增加时, 太阳电池的开路电压下降, 短路电流略有增加, 最大输出功率减小; 当日照强度增加时, 太阳电池的开路电压变化不大, 短路电流则显著增加, 最大输出功率增加。

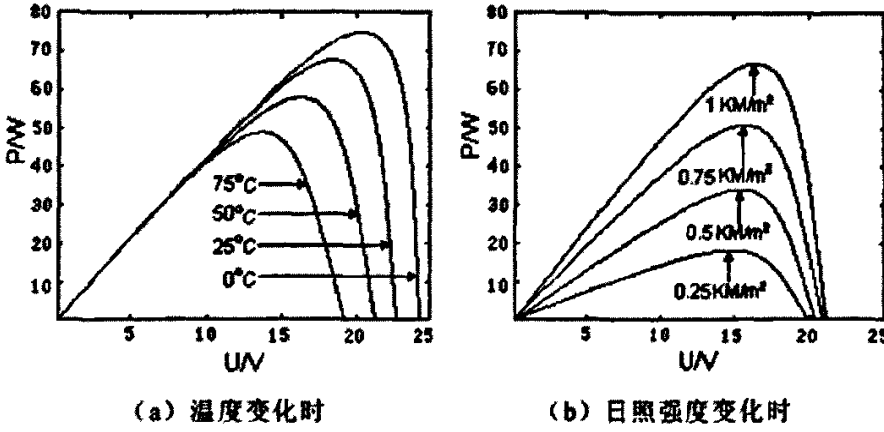


图 2-5 太阳电池 $P-V$ 特性曲线

2. 2. 3 太阳电池最大功率点跟踪原理及算法

在太阳能光伏发电系统中, 若要提高整个系统的效率必须要提高太阳电池的

输出功率的转换效率。然而，由 2.2.1 节与 2.2.2 节的分析可以知道，太阳电池的 I-V 特性具有非线性，并且它随着外界环境（温度、日照强度）的变化而变化。但是，在某一特定的温度或日照强度总存在着一个最大功率点，因此，太阳电池最大功率点跟踪的研究就是使系统总能工作在太阳电池输出功率最大点或其附近。

下图 2-6 是太阳能电池对应不同日照情况的 I-V 及负载特性曲线。从图中可以看出，由于负载特性曲线 L 与太阳电池伏安特性曲线的交点 a, b, c, d, e 所对应的工作点，并未落在太阳电池所能提供的最大功率点 a', b', c', d', e' 处，这就不能充分利用在当前条件下太阳电池所能提供的最大功率。因此，必须在太阳电池和负载之间加入阻抗变换器，使得变换后的工作点正好和太阳电池的最大功率点重合，使太阳电池以最大功率输出，这就是太阳电池最大功率点跟踪的原理^[5]。

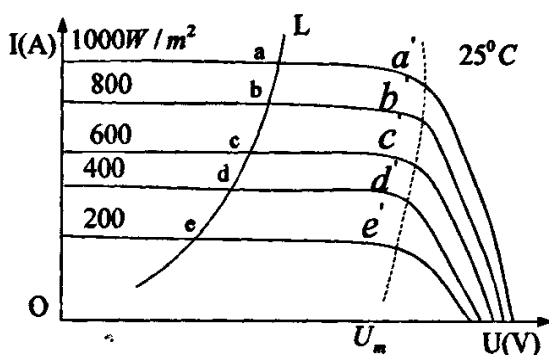


图 2-6 不同日照太阳电池 I-V 特性曲线

人们最早对最大功率点跟踪（MPPT）的研究是将多个太阳电池按照不同的并联和串联方式组合起来，在特定的外界环境和负载的情况下，通过改变太阳电池的排列方式，可以达到较大功率（接近最大功率点）的输出。随后出现两种基本的 MPPT 研究方法：扰动观察法（Perturbation and observation; P&O）和电导增量法（Incremental Conductance Algorithm; Inc），其中，扰动观察法的结构简单、被测参数少，而电导增量法在外界环境发生迅速变化时，其动态性能和跟踪特性方面比扰动观察法好。

随着数字处理器的产生，MPPT 控制变得更方便、快捷。最常见的几种 MPPT 控制方法有：定电压跟踪法（CVT）、扰动观察法（perturbation and observation,

P&O)、增量电导法 (incremental conductance)、三点权位比较法等^{[16][17][18][19][20]}, 下面分别作介绍:

(1) 定电压跟踪法 (Constant Voltage Tracking, CVT)

通过分析不同日照强度下太阳电池的输出功率可以知道, 当日照强度较高时, 最大功率点几乎分布在一条垂直线的两侧, 因此, 可以将太阳电池的最大功率输出点看作是针对于某一个恒定电压输出, 我们只需要将太阳电池的输出电压钳位于此恒定电压 V_m 即可。

CVT 控制方式的优点是控制简单、可靠性高、稳定性好、容易实现等。缺点是这种跟踪方式忽略了温度对太阳电池开路电压的影响, 所以控制精度差 (环境温度升高 1°C 时, 太阳电池的开路电压下降 $0.3\%\sim 0.45\%$)。

(2) 扰动观测法 (P&O)

扰动观察法是目前实现 MPPT 常用的方法, 也是本系统采用的跟踪方法, 它通过不断扰动太阳能光伏系统的工作点电压来寻找最大功率点的方向。其原理是通过对太阳电池电压、电流的检测, 得到太阳电池的输出功率, 再将此功率与前一时刻的记忆功率比较, 从而确定电压的变化方向。如果当前输出功率与前一时刻的记忆功率之差 $\Delta P > 0$, 那么就可以确定参考电压变化方向是正确的, 继续按原来的方向变化; 如果 $\Delta P < 0$, 那么参考电压变化方向错误, 需要朝相反的方向变化。图 2-7 是扰动观察法示意图, 如果参考电压增加时, 输出功率随之增加, 则工作点位于最大功率点 P_{\max} 左侧, 需要增大参考电压; 如果输出功率减小, 则说明工作点位于最大功率点的右侧, 需要减小参考电压。如果参考电压减小时, 输出功率随之减小, 说明工作点位于 P_{\max} 的左侧, 需要增大参考电压; 若输出功率随之增大, 说明工作点位于 P_{\max} 的右侧, 需要减小参考电压。

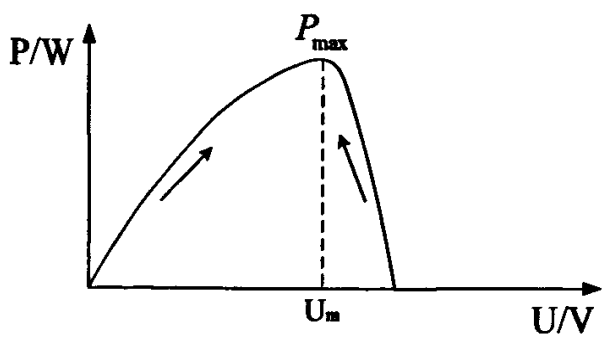


图 2-7 扰动观察法示意图

扰动观测法最大功率点跟踪流程图如图 2-8 所示

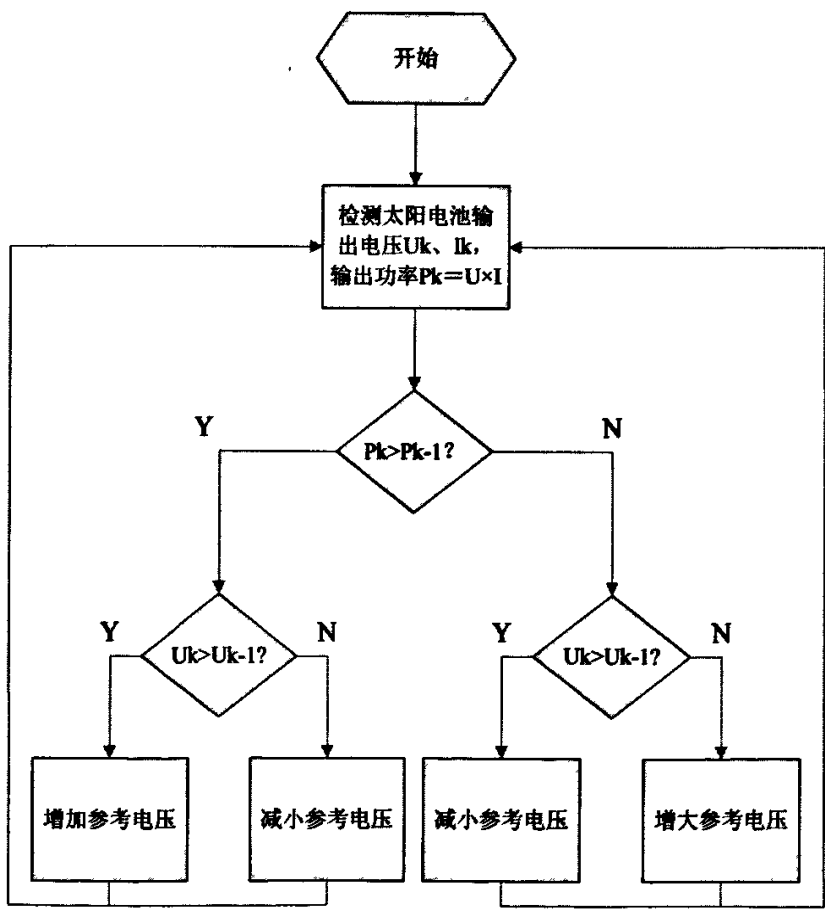


图 2-8 扰动观测法最大功率点跟踪流程图

其中， U_k 、 I_k 、 P_k 分别是当前检测的太阳能电池电压、电流、功率； P_{k-1} 、 U_{k-1} 为

前一时刻记忆输出功率、电压。扰动法是一个不断调整参考电压的过程，太阳能电池的工作点只能在最大功率点附近振荡，无法稳定在最大功率点上，同时，当日照强度快速变动的时候，可能会出现错误的判断结果。

(3) 增量电导法 (Incremental Conductance Algorithm, ICA)

增量电导法是根据太阳能电池 $P-V$ 曲线为一条一阶连续可导的单峰曲线的特点，利用一阶导数求极值的方法，即对 $P=UI$ 求导，有：

$$dP = IdU + UdI \quad (2-3)$$

从而有：

$$\frac{dP}{dU} = I + U \frac{dI}{dU} \quad (2-4)$$

假设 $\frac{dP}{dU} = 0$ ，可得

$$\frac{dI}{dU} = -\frac{I}{U} \quad (2-5)$$

上式就是到达太阳能电池最大功率点所需要满足的条件。这种方法是通过比较输出电导的变化量和瞬间电导值的大小来决定参考电压变化的方向，下面就几种情况加以分析：

- 1、假设当前的太阳能电池的工作点位于最大功率点的左侧时，此时有 $\frac{dP}{dU} > 0$ ，即 $\frac{dI}{dU} > -\frac{I}{U}$ ，说明参考电压应向着增大的方向变化。
- 2、同理，假设当前的太阳能电池的工作点位于最大功率点的右侧时，此时有 $\frac{dP}{dU} < 0$ ，即 $\frac{dI}{dU} < -\frac{I}{U}$ ，说明参考电压应向着减小的方向变化。
- 3、假设当前太阳能电池的工作点位于最大功率点处(附近)，此时将有 $\frac{dP}{dU} = 0$ ，此时参考电压将保持不变，也即太阳能电池已工作在最大功率点上。

理论上这种方法比扰动观察法好，因为它在下一时刻的变化方向完全取决于在该时刻的电导的变化率和瞬时电导值的大小关系，而与前一时刻的工作点电压以及功率的大小无关，因而能够适应日照强度地快速变化，其控制精度较高，但是由于其中 ΔI 和 ΔU 的量值很小，这样就要求传感器的精度要求很高，实现起来相对比较困难。

(4) 三点权位比较法

在扰动观察法基本设计思想中是两点比较,即目前的工作点与上一个工作点比较,判断功率的变化从而决定工作电压的移动方向,除了造成比较多的扰动损失之外,还可能发生扰动法中提到的“误判”。因此,针对太阳日照量并不会快速变化的特点,多余的扰动可能带来较多的损失。这里提出的三点权位比较法,可在日照量快速变化时随着快速移动工作点(可能只是干扰或者判读错误),而是在日照量比较稳定时候再跟踪到最大功率点,以较少扰动损失。原理如下所述:

考虑太阳电池 P-V 特性曲线,在曲线顶点附近任意取三点不同位置,所得到的结果可分为图 2-9 所列五种情况。设定一个比较符号的运算变量 Tag, C 点与 B 点比较,若比 B 点为大或相等, $Tag=1$; 若比 B 点小, $Tag=-1$; 而 A 点与 B 点相比时情况略有不同,当 A 点比 B 点大或相等时, $Tag=-1$; A 点比 B 点小时, $Tag=1$ 。当三点比较完之后, $Tag=2$, 工作电压扰动量 D 值应往右边移动; 而 $Tag=-2$, D 值应往左边移动; 当 $Tag=0$ 即表示到达顶点, D 值将不改变。

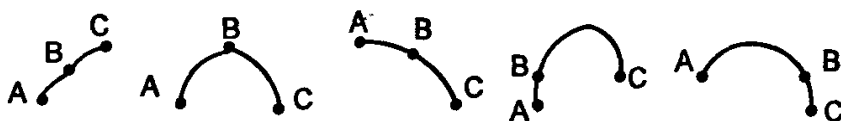


图 2-9 最大功率点附近可能出现的状况

在 A, B 和 C 三点功率的检测上,先读取 B 点功率为立足点,增加一 ΔD 读取 C 点功率,再减少两倍 ΔD 读取功率值当作 A 点。连续检测三点功率值后再比较大小计算权位值,由权位值来判定立足点应往 C 点移动、A 点移动或不移动。但当太阳日照强度正在变化时,扰动 D 值我们所得到的 A, B, C 二点的位置与 Tag 值和图 2-9 有所不同;如图 2-10 所示:

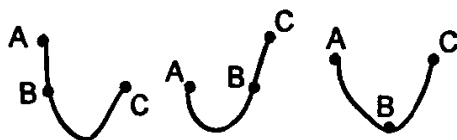


图 2-10 三点权位比较法中其它情况

由上图 2-10 可知,三种排列方式在日照强度快速变化时候可能出现,但 Tag 值都为零,也就是说工作点并不会变化。

(5) 间歇扫描法 (Intermission Scanning)

间歇扫描法实现 MPPT 的原理是让系统定时地工作在一段电压范围内(通常是 0.5~0.9 倍的开路电压),记录下不同工作电压对应的输出功率,经过计算、比较,从而确定这个范围内的最大功率点。这个方法不需要不停地搜索,只要定时地重复这一过程即可,但它不能及时有效地跟踪最大功率点,对单片机的计算能力要求较高。

2. 3 蓄电池的特性及选型

2. 3. 1 蓄电池的容量

蓄电池的容量就是蓄电池的蓄电能力。当蓄电池以恒定的电流放电时,它的容量(单位 Ah)等于放电电流(A)与其持续时间(h)的乘积: $Q = It$ 。

蓄电池容量分为理论容量、实际容量和额定容量:理论容量是根据活性物质的质量按法拉第定律计算而得到的最高值;实际容量是指蓄电池在一定条件下能输出的电量,它低于理论容量;额定容量(C)一般指的是在常温(20~25°C)时,充满其容量,搁置 24 小时之后,以 10(20)小时放电率或 0.1C(0.05C)电流数值的电流放电至终止电压(1.75~1.8V)所输出的容量^{[47][48]}。

蓄电池的放电速度会影响到电池的端电压以及放电时间。放电率是指将蓄电池的额定容量在一定时间内输出所需的电流值,如额定容量为 500Ah 的蓄电池以 5 小时的放电率放电,那么放电时间为 $200/5=40A$,也就是 5 小时放电率的电流为 40A,这时候放电率就用 C_5 表示。

其中充电时候的端电压为: $U = E + \Delta\phi_+ + \Delta\phi_- + IR$

放电时的端电压为: $U = E - \Delta\phi_+ + \Delta\phi_- - IR$ (2-6)

式中 U : 蓄电池端电压 (V);

$\Delta\phi_+$: 正极板超电势 (V);

$\Delta\phi_-$: 负极板超电势 (V);

I: 充、放电电流 (A);

R: 蓄电池内阻 (Ω)。

2. 3. 2 蓄电池的选用

本系统中的储能装置蓄电池将太阳电池输出的电能存储起来, 以供 LED 信息屏系统使用。能与太阳电池配套使用的蓄电池种类很多, 目前广泛采用的是普通铅酸蓄电池、免维护铅酸蓄电池、碱性镍镉蓄电池和锂电池等。铅酸蓄电池价格便宜、高低温性能良好 (可在 $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的条件下工作)。碱性镍镉蓄电池虽然有较好的低温、过充、过放性能, 但是由于其价格高, 仅用于较为特殊的场合。锂电池性能也比较好的, 而且体积小, 但是价格更加昂贵。从性能和节约成本两个因素考虑, 本系统中选用免维护铅酸蓄电池。

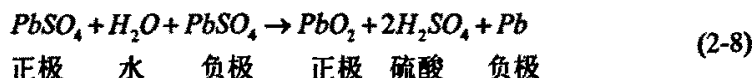
铅酸蓄电池的应用非常广泛, 如机车牵引、铁路客车用、内燃机用、电动车用、矿灯用、航标用等等。

铅酸电池未接负载时, 正负极都与电解液形成双电层: 正极板具有正电位, 负极板具有负电位, 正负极间的电位差就是蓄电池的电动势。电解液的比重决定了蓄电池的电动势, 一般可根据下述经验公式计算:

$$E = 0.85 + d(15^{\circ}\text{C}) \quad (2-7)$$

其中, $d(15^{\circ}\text{C})$ 表示在 15°C 时, 极板活性物质为空中电解液的比重, 0.85 是铅酸蓄电池的电动势常数。

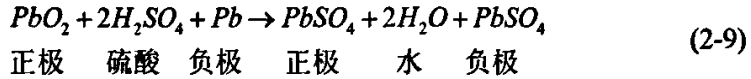
蓄电池充电过程的化学反应为:



从上式可以看出, 充电过程是正极上的硫酸铅 PbSO_4 逐渐变成二氧化铅 PbO_2 , 负极上的硫酸铅逐渐变成海绵状 Pb , 同时, 电解液中的硫酸分子逐渐增

加，水分子逐渐减少，因此电解液的比重逐渐增加，蓄电池的端电压逐渐增加。

蓄电池放电过程的化学反应为：



从上式可以看出，在蓄电池放电过程中，正负极板上的活性物质 PbO_2 和 Pb 都不断转变成硫酸铅 PbSO_4 ，由于硫酸铅的导电性能比较差，所以放电后，蓄电池内阻增加。此外，由于在放电过程中电解液的硫酸逐渐变成水，所以电解液的比重逐渐下降。这样，也使蓄电池的内阻增加，电动势降低^{[21][22]}。

2. 3. 3 铅酸蓄电池的充放电特性

在使用铅酸蓄电池的过程中，最关心的时它的充放电曲线和额定容量，首先先看一下铅酸蓄电池的充放电曲线^{[23][24]}，如图 2—11 所示：

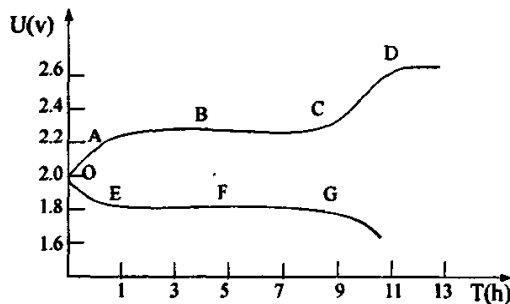


图 2—11 铅酸蓄电池的充放电曲线

从图可以看出，在充电的初期 OA，由于硫酸铅转换为二氧化铅和绒状铅，并有硫酸生成，因而活性物质表面硫酸浓度迅速增大，电池端电压急剧上升。当达到 A 点时，由于扩散作用，活性物质表面及硫酸浓度不再急剧上升，电池端电压上升比较缓慢（ABC 段）。随着充电的进行，逐渐接近电化学反应的终点（C 点）。当极板上所存硫酸铅不多，通过硫酸铅的融解提供电化学反应和还原所需要 Pb^{2+} 极度缺乏时，反应的极化增加，在正极上的副反应，即析氧过程大约在

输入电量 70%时优先发生，反应方程为 $2H_2O + 4e = 4H^+ + O_2$ ，充电曲线上端电压明显增加。当充入电量达 90%以后，负极上的副反应，即析氢过程发生，这时电池的端电压接近满度，两极上有大量的气体析出，进行水的电解过程，端电压又达到一个新的稳定值，正常情况下该恒定值约为 2.6V。

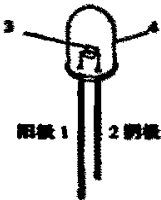
放电之前，硫酸浓度和极板外主体溶液浓度相同，电池的开路电压与此浓度相对应。放电一开始，活性物质表面的硫酸被消耗，硫酸浓度立即下降，而硫酸主体溶液向电极表面的扩散是缓慢的，不能立即补偿消耗的硫酸，所以活性物质表面的硫酸浓度继续下降，而决定电极电动势大小的是活性物质表面处的硫酸浓度，结果导致电池端电压明显下降（OE 段）。活性物质表面的硫酸浓度进一步下降，促进了硫酸向电极表面的扩散，于是活性物质表面和微孔内的硫酸大部分可由扩散的硫酸予以补充，所以活性物质表面的硫酸浓度此时变化缓慢，电池端电压比较稳定（EFG 段），放电 G 点时，基本上电压可以稳定在 1.8V。

2. 4 LED 点阵模块的显示方法

2. 4. 1 发光二极管的发光原理^{[25][26]}

LED 器件的种类繁多，早期 LED 产品是单个发光灯，随着技术的发展，LED 显示屏出现了，成为了大众传媒中重要的工具。

LED 发光灯的结构如右图所示，他由阳极引脚 1、阴极引脚 2、芯片 3 和环氧树脂封装外壳 4 组成。其核心部分是具有复合发光功能的 PN 结。环氧树脂封装外壳不但有保护芯片的作用，还有透光聚光的能力，增强了显示。



纯净半导体的能级图如图 2-12 所示，在温度为绝对零度时满带中的电子没有 ΔE_g 足够的能量越过禁带进入导带，所以呈现绝缘状态，随着温度的升高，一般在室温下就有一部分的电子具有越过禁带的能量，到达导带，同时留下一个空

位形成空穴，从而呈现弱导电性。

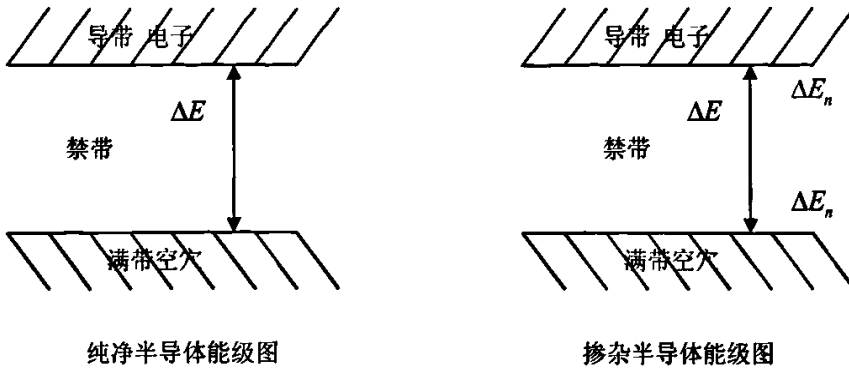


图 2—12 纯净半导体的能级图

半导体材料中掺杂以后，施主杂质的能级接近导带，受主杂质的能级接近满带。施主杂质中的电子极易进入导带，受主杂质极易从满带中获取电子使满带中形成空穴。当在 PN 结上施加正向电压时，电子自 N 型半导体进入 P 型半导体，而空穴自 P 型半导体进入 N 型半导体，从而形成了少数载流子的注入。随着少数载流子的复合，其能量也从高能级返回至低能级，所释放出来的能量可以转化为各种形式，最常见的是以热量的形式释放，而有一部分半导体材料在注入少数载流子复合时，会以光的形式释放能量，这就是半导体发光现象，利用这个现象制成的器件就称为发光二极管(LED)。

半导体发光可以进一步区分为两种类型，一种是电子直接从导带跃迁至满带与空穴复合发光。另一种是在杂质能级 E_n 与空穴复合而发光，称为间接发光。

LED 器件采用间接发光半导体材料制成。

半导体发光的光波波长满足以下：

$$\lambda = \frac{1.23981}{E_n} (nm) \quad (2-10)$$

其中 E_n 为禁带宽度，单位为电子伏特(eV)，因为可见光光波长对应的半导体禁带宽在 1.77eV 以上，所以用于 LED 器件的半导体材料的禁带宽度应当在 1.77eV 以上，此外，选择不同的半导体材料，有不同的禁带宽度，这就可以制成发出不同的颜色光线的 LED 器件。

2. 4. 2 LED 的重要特性参数分析^{[27][28]}

(1) 在辐射度学上, LED 辐射通量 Φ_E 用来衡量发光二极管在单位时间内发射的总电磁功率, 单位是 W。LED 光源发射的辐射通量中能引起人眼视觉的部分称为 Φ_V , 单位是流明, 它是 LED 光源向整个空间在单位时间内发射的能引起人眼视觉的辐射通量。考虑到人眼对不同波长可见光的光感觉的差异性, 国际照明委员会 (CIE) 对人眼对不同波长单色光的灵敏度作了总结, 在明视觉条件 (亮度为 $3\text{cd}/\text{m}^2$ 以上) 下, 归结出人眼标准光度观测者光谱光效率函数 $V(\lambda)$, 它在 555nm 上有最大值, 此时 1W 辐射通量等于 683lm ; $V'(\lambda)$ 为在暗视觉条件 (亮度为 $0.001\text{cd}/\text{m}^2$ 以下) 下的光谱光视效率, 明、暗视觉下的光谱光效率函数如图 2-13 所示:

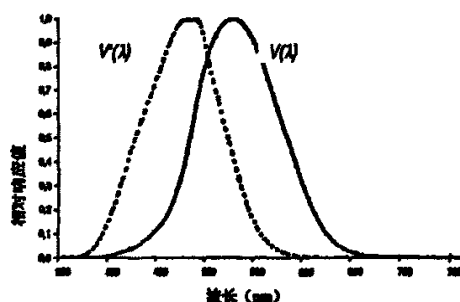


图 2-13 明视觉和暗视觉下的光谱光效率函数

明视觉条件下, 辐射量向光通量的转化表达式可以表示为:

$$\Phi_V = 683 \int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (2-11)$$

暗视觉条件下, 辐射量向光通量的转化表达式可以表示为:

$$\Phi_V = 1700 \int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda) V'(\lambda) d\lambda \quad (2-12)$$

(2) 发光强度定义为光源在指定方向上的一个很小的立体角元 $d\Omega$ 内所包含的光通量 $d\Phi_V$ 值, 光源在此指定方向上的发光强度表示为:

$$I_V = \frac{d\Phi_V}{d\Omega} \quad (2-13)$$

其中发光强度 I_v 的单位是坎德拉 (candela)，符号为 cd。点光源发光强度示意图如图 2-14：

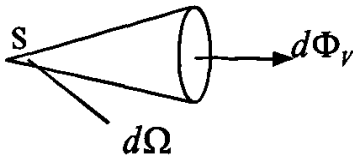


图 2-14 点光源发光强度

(3)LED 相对光谱能量分布曲线的重要参数用峰值波长 λ_p 和光谱半波宽 $\Delta\lambda$ 这两个参数表示。无论什么材料制成的 LED，都有一个相对光辐射最强处，与之相对应有一个波长，此波长为峰值波长，它由半导体材料的带隙宽度或发光中心的能级位置决定。光谱半波宽 $\Delta\lambda$ 定义为相对光谱能量分布曲线上，两个半极大值强度处对应的波长差，如图 2-15 所示，它标志着光谱纯度，同时也可以用来衡量半导体材料中对发光有贡献的能量状态离散度，LED 的发光光谱的半宽度一般为 30-100nm，光谱宽度小意味着单色性好，发光颜色鲜明，清晰可见^[29]。

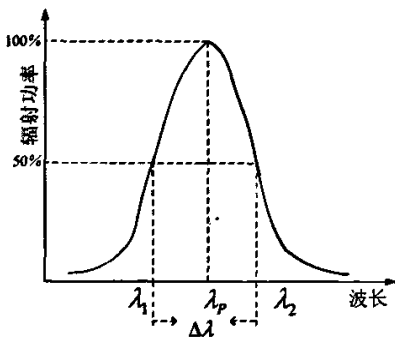


图 2-15 光谱半波宽 $\Delta\lambda$

人眼的视觉特征是各种显示设备设计时需要认真考虑的一个重要因素，LED 显示屏也一样，视觉在很大程度上取决于人的主观感受，每个人的生理心里状况也不同，感受也就不同。亮度对比灵敏度说明了人眼对亮度差的区分能力和背景亮度的关系密切。在本系统中，利用脉冲电源输出脉冲电压驱动 LED 信息屏，在白天，屏的亮度比较高，在晚上亮度比较低，这样不仅仅适合人眼的对比灵敏度，还可以高效利用能源。

2. 4. 3 LED 发光强度与电流的关系

LED 器件在极限工作电流范围内发光强度是随正向电流的增加而增加的，但是不同半导体材料制成的 LED 器件，其发光强度于正向电流的变化关系有所不同。从总体上看，发光强度 I_v 都是随着正向电流 I_f 的增加而增加的。

不同的 I_v 与 I_f 的关系曲线描述了为达到所需要的发光强度，LED 应该用多大的电流来驱动^[25]。LED 发光强度与正向电流的关系图如图 2—16 所示：

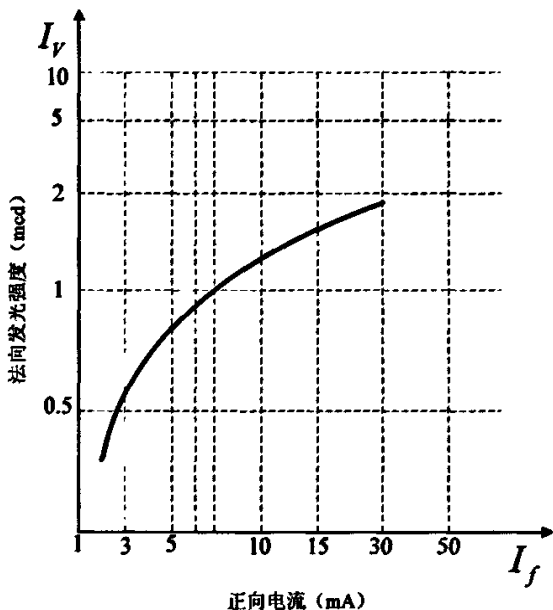


图 2—16 发光强度与正向电流的关系

此曲线以红色发光 LED 为例，当正向电流高于差不多 40mA 的时候，红色 LED 的发光强度几乎不发生变化了。也就是说，只要控制红色 LED 阵列的正向电流达到一定的值，其发光强度就趋向饱和了。

另外值得一提的是，发光强度还和 LED 阵列的环境温度成反比，控制 LED 阵列在较低的工作电流中工作，既可以达到理想的发光强度，又不会因为消耗过多的能量使得系统温度过高。

2. 4. 4 LED 屏的驱动方式

从 LED 器件的发光机理可以知道, 当向 LED 器件施加正向电压时, 流过器件的正向电流使其发光。因此 LED 的驱动实际上就是要使它的 PN 结处于正偏置。如果要控制它的发光亮度, 还要解决正向电流的调节问题。驱动方法有直流驱动、电压控制、脉冲驱动和扫描驱动等, 本论文用的是脉冲驱动和扫描驱动的结合。

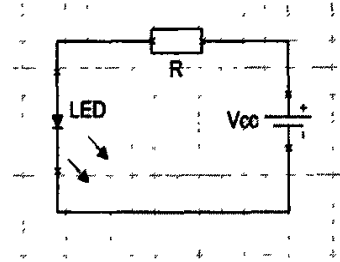
(1) 直流驱动

直流驱动是最简单的方式, 由负载和发光二极管串联后直接连接到电源上, 连接时 LED 的阴极接电源的负方向, 阳极则和电源的阳极相连接。LED 的工作点是由电源电压、负载和 LED 器件的伏安特性决定的, 这种驱动方式一般只适用于 LED 器件比较少、发光强度恒定的情况。直流驱动方式下, 多个 LED 器件可以相互并联或串联。在串联情况下, 有:

$$I_f = (V_{cc} - n \cdot V_f) / R \quad (2-14)$$

其中 I_f 是 LED 的工作电流, n 为串联的 LED 器件数量。在并联情况下, 我们有:

$$I_f = (V_{cc} - V_f) / R \quad (2-15)$$



在并联连接时候, 各个 LED 器件要有自己的限流电阻, 因为如果用公共的限流电阻就会使各个 LED 器件的正向电压相同, 而器件的分散性将造成在相同的正向电压下其正向电流并不相同, 导致发光强度的不同。

(2) 电压控制

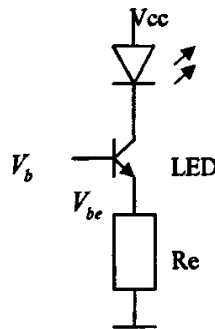
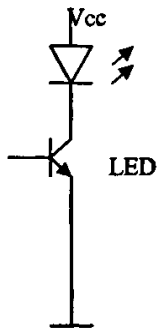


图 2-17 使用晶体管恒流驱动 LED 器件

同样的电源电压和同样的限流电阻条件下,不同的 LED 器件的正向电流并不一定相同,引起的发光强度有差异。而晶体管的输出特性具有恒流性质,可以用来驱动 LED。

可以将晶体管与 LED 器件串联在一起,如图 2-17 所示,如果直接用晶体管基极电流控制其集电极电流的话,由于晶体管放大倍数的分散性,同样的基极电流,会产生不同的集电极电流,因此采用在发射极中串联限流电阻 R_e , 有集电极电流:

$$I_c \approx I_e = (V_b - V_{be}) / R_e \quad (2-16)$$

其中, V_b 为外加基极电压, V_{be} 为基极-发射极电压。由于晶体管 V_{be} 的分散性比放大倍数 β 的分散性要小,所以各 LED 器件的正向电流在其 V_b 与 R_e 相同的情况下,基本上可以保证是一致性。

(3) 脉冲驱动

脉冲驱动方式是利用人眼的视觉惰行,采用重复向 LED 器件通断供电的方式使之点亮的。采用这种驱动方式通常会出现两个问题:脉冲电流幅值的确定和重复频率的选择。首先,要想获得与直流驱动方式相当的发光强度的话,脉冲驱动电流的平均值 I_a 就应该与直流驱动的电流值相同。打个比方:峰值电流 100mA, 占空比为 25% 的脉冲去驱动 LED 与用 25mA 的直流去驱动,将获得同样的发光亮度。如下图所示,平均电流是瞬间电流 i 的时间积分对于矩形波来说,有

$$I_a = (1/t) \int_0^t i dt \quad (2-17)$$

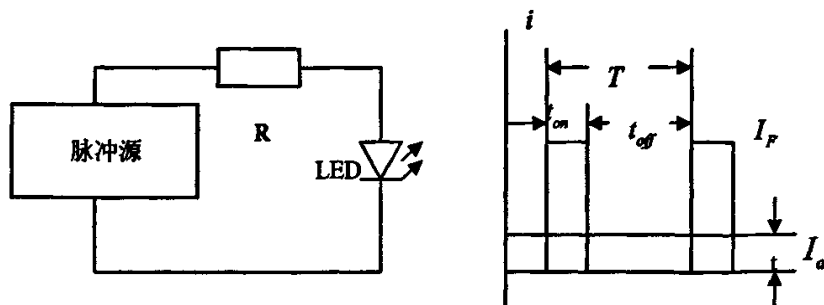


图 2-18 LED 的脉冲电流驱动

$$I_a = I_F(t_{on}/T) \quad (2-18)$$

其中, t_{on}/T 是占空比, 为了使脉冲驱动方式下的平均电流 I_a 与直流驱动电流相同, 就需要使它的脉冲电流幅值满足:

$$I_F = (T/t_{on})I_a = (T/t_{on})I_o \quad (2-19)$$

可见脉冲驱动时, 脉冲电流的幅值应该是比直流驱动电路的电流幅值大 T/t_{on} 倍。

另外要注意驱动器件的工作频率问题。当频率超过一定程度的时候, 器件将无法正常工作, 因为它无法正常导通和关断。LED 器件的工作频率是 10~几百 MHz 范围内。

脉冲驱动的应用主要有两方面: 扫描驱动和占空比控制。扫描驱动的主要目的是节约驱动器, 简化电路; 占空比控制的目的是调节器件的发光亮度, 多用于图像的灰度控制。

我们都知道, 数字电路提供脉冲源是非常方便的。普通的 TTL 电路, 只能在输出低电平在 8~20mA 范围内驱动器件, 输出高电平时约在 200~400uA 范围, 难以直接驱动 LED 器件。

实际运用中 LED 需要的驱动电流一般在 20mA 以上, 集成电路的输出能力明显不足。这时可以外加晶体管进行驱动, 外加晶体管与 LED 器件的连接可以分为两种方式, 如图 2-19 所示: (b) 方式下当集成电路输出高电平时流向 R 的电流通过 LED 返回电源, 输出低电平时流过 R 的电流通过集成电路返回电源, 但是缺点是 R 中始终有电流流过, 增加了耗电量。(a) 方式下, 只有当集成电路输出低电平时 LED 导通, 输出高电平时 LED 截至, R 中也没有电流, 因此一般选用的是 (a) 方式驱动 LED 器件。

由于选用 PNP 和 NPN 的不同, 还有采用集电极输出与发射极输出的不同, 串联驱动的具体电路又可以分成四种情况: 1、NPN 晶体管集电极输出; 2、NPN 晶体管发射极输出; 3、PNP 晶体管集电极输出; 4、PNP 晶体管发射极输出。如图 2-20 所示:

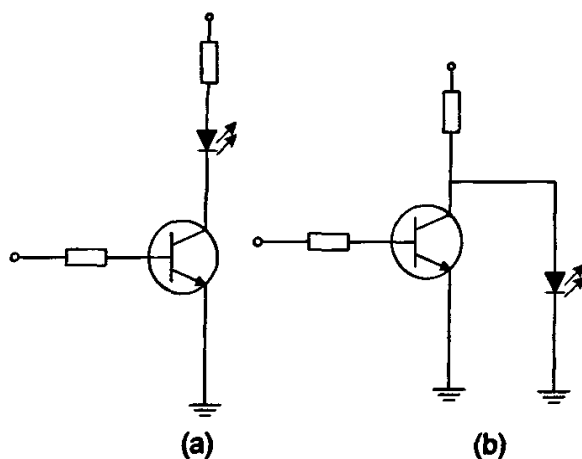


图 2-19 集成电路晶体管驱动方式

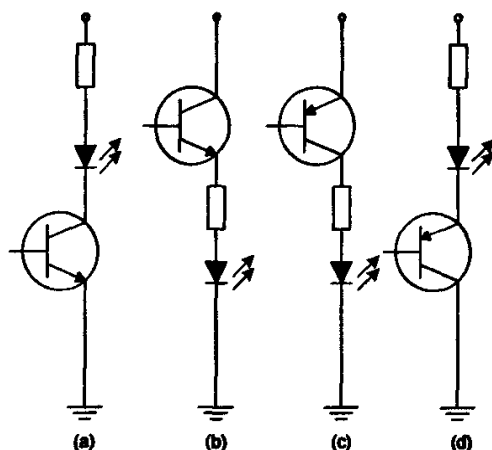


图 2-20 集成晶体管串联驱动方式

(a)、(b) 是输入高电平控制 LED 导通，(c)、(d) 是输入低电平控制 LED 导通，考虑到集成电路输出高电平时驱动能力比较弱，因此采用 (c)、(d) 的 PNP 晶体管，集成电路输出低电平控制 LED 导通比较合适。

其中，(c) 为集电极输出，输出电流的大小受放大倍数的影响，不容易一致，电路 (d) 的发射级输出可以比较稳定控制 led 的工作电流，因此一般会采用 (d)。

(4) 扫描驱动

扫描驱动通过数字逻辑电路，使若干 LED 器件轮流导通，达到节省控制驱动电路的目的。其驱动电路简单示意图如下：

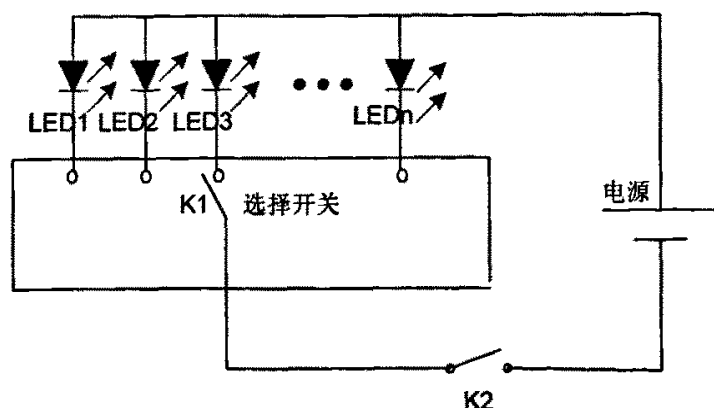


图 2-21 扫描驱动示意图

假设数字电路在切换时候没有延时，那么每个 LED 的导通时间 t_{on} 是相等的，则占空比 $t_{on}/T = 1/n$ 。此时的驱动电流幅值 I_f 应该等于直流驱动电流 I_o 的 n 倍，才能达到与相同的直流电流驱动一样的视觉效果。不过前提条件是 I_f 要小于该器件最大允许电流。所以， n 的取值就非常关键，既要达到一定的亮度，又不能让电流超过幅值。一般 n 值取 8 或者 16（点阵屏是由若干个 8×8 的点阵模块组合而成，最小取值 8）， n 值越小，占空比 t_{on}/T 取值就越大，这个时候显示屏所能获得的电流平均值最大，由 LED 器件电流大小与发光强度的关系可知道，驱动电流越大，LED 亮度越大^[25]。

2. 4. 5 LED 模块的简单控制方式

LED 显示模块根据驱动方式不同，可以分为共用阴极和共用阳极两种，见图 2-22。如果 LED 显示模块为共阴方式驱动，则模块中的一行发光管在显示时阴极都接低电平，此时若在某个发光管阳极上输入一个高电平，则发光管导通发光；若在某个发光管阳极上输入一个低电平，则发光管不导通，这样通过在一行发光管阳极上的输入电平就能控制该行 LED 的亮与灭。共阳驱动与共阴驱动相反，模块中的一行发光管在显示时阳极都接高电平，若阴极输入低电平则发光管导通发

光，输入高电平在发光管不导通。实际应用中，共阴驱动和共阳驱动都被广泛的使用。

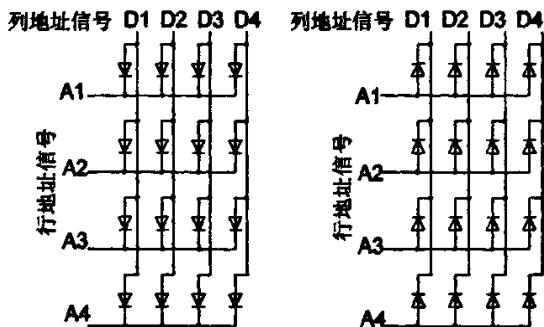


图 2-22 LED 显示模块共阴、共阳示意图

在日常生活中，到处都可以看到简单的 LED 信息显示屏。LED 信息显示屏的普通功能也比较简单，所以这样的显示屏面积一般不大，行数多为 32 行、48 行或 64 行，列数多为 128 列或 256 列等；另外屏的颜色也比较单一，常用的有红色的单色屏和红绿双基色屏。这类简单 LED 信息显示屏的亮度高，宣传效果醒目、明了，而且这种设备使用寿命长，维护方便，在各个领域中的应用相当广泛。

本系统中采用的控制系统是单片机、数据缓冲区、外设和驱动电路组合起来的控制方式。其中单片机主要与 GSM 通信模块通讯（接收手机短信传送过来的数据信息），另外还负责扫描过程中的数据移位、锁存的脉冲控制等；缓冲区则存储待要显示的信息，这和接受部分是同时进行的，可以同时进行，提高了效率。采用这种方式控制的优点是点阵可以做得比较大规模，扫描频率高，画面稳定等。大致框图如图 2-23 所示：

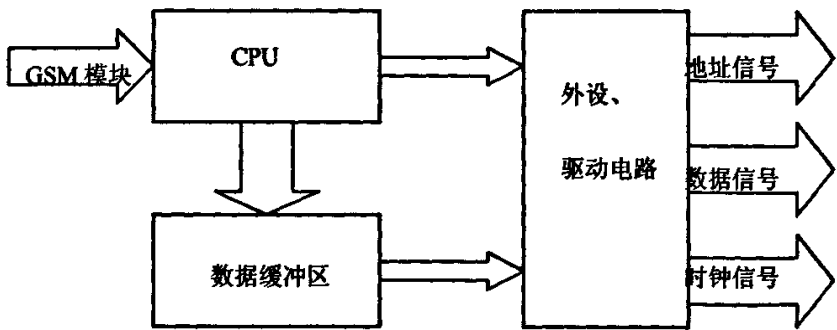


图 2-23 系统显示控制简易框图

LED 信息显示屏的控制系统，也有采用双 CPU 方式控制，也就是使用两个单片机控制。其中一个单片机作为主 CPU，负责与上位机通讯，接收上位机发出的

图形并将图形存储在外部存储器内，还负责扫描过程中显示图形的数据组织；另一个 CPU 只负责读取缓冲区的数据并进行显示屏的扫描，显示屏图像的显示也不会受到通讯的干扰。但是采用单片机进行显示屏的扫描控制，由于单片机的硬件资源有限，所以能控制的 LED 信息屏的点阵数不能任意多，虽然只能控制面积相对小的显示屏，但对于一般大小的 LED 信息屏应用已是绰绰有余。双 CPU 显示控制器所需要的器件资源比较多，控制器的成本比较高，如果 LED 点阵模块数量很多，造成的成本的增加就是不争的事实。

只使用一个单片机作为 CPU 也能实现 LED 信息显示屏的控制，这时 CPU 既要负责与上位机通讯，接收上位机发出的数据信息存储在数据存储器内，还要负责在扫描过程中显示的数据组织，并进行显示屏的扫描控制。这种控制器通过单片机内部程序控制显示屏的扫描，所以就称作单 CPU 软扫描控制方式。单 CPU 软扫描控制方式的优点就是成本比较低，性价比高，但其使用也受到限制，它能驱动的点阵数一般都比较小，不超过 64 行×512 列，因为如果驱动的点阵数太大，单片机传送点阵信息的速度将会相对减慢，如果处理一行数据的速度低于 1/25 秒，文字或图像就无法正常显示。软扫描控制的另一个问题是，控制器在控制显示屏显示的同时，如果接收到上位机发送过来的数据信息过大，由于单片机处理速度有限，图形或文字就可能出现抖动。

2. 5 PWM 脉冲输出控制方法

2. 5. 1 PWM 控制基本原理^{[30][31]}

控制理论中有一个重要结论：冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其效果基本相同。冲量指窄脉冲的面积。效果基本相同，是指环节的输出响应波形基本相同。低频段非常接近，仅在高频段略有差异。图 2—24 就是冲量相等的一系列窄脉冲：

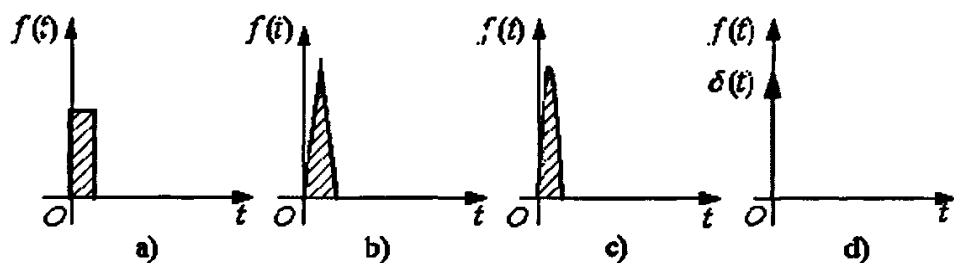


图 2-24 冲量相同而形状不同的各种窄脉冲

分别将如图 2-24 所示的电压窄脉冲加在一阶惯性环节 (R-L 电路) 上, 如图 2-25a 所示。其输出电流 $i(t)$ 对不同窄脉冲时的响应波形如图 2-25b 所示。从波形可以看出, 在 $i(t)$ 的上升段, $i(t)$ 的形状也略有不同, 但其下降段则几乎完全相同。脉冲越窄, 各 $i(t)$ 响应波形的差异也越小。如果周期性地施加上述脉冲, 则响应 $i(t)$ 也是周期性的。用傅里叶级数分解后将可看出, 各 $i(t)$ 在低频段的特性将非常接近, 仅在高频段有所不同, 这就是面积等效原理。

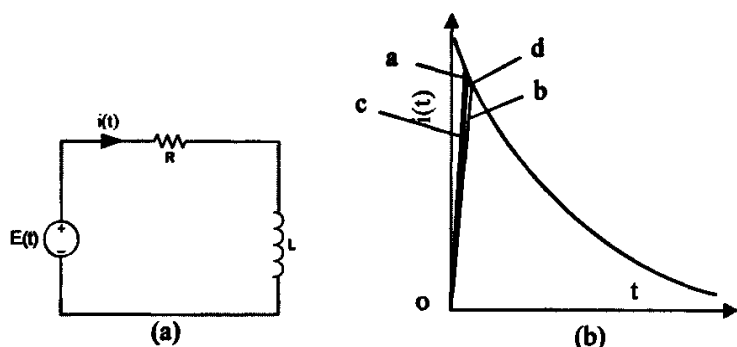


图 2-25 冲量相同的各种窄脉冲的响应波形

2. 5. 2 DC-DC 转换器主电路及工作原理

DC-DC 转换器的主要特点是功率管工作在开关状态。DC-DC 转换器利用电感元件和电容元件的能量存储特性, 随着功率管不停地导通和关断, 具有较大电压波动的直流电源能量断续地经过开关管, 暂时以磁场能的形式存储在电感器中, 然后经电容滤波得到连续的能量传送到负载, 得到变换后的电压脉动较小的直流电能, 实现 DC-DC 变换。

将功率开关元件和储能元件采用不同的配置或不同的连接方式, 可以得到各

种输出电压与输入电压间的关系。DC-DC 转换器的拓扑结构指能用于转换、控制和调节输出电压的功率开关元件和储能元件的不同配置。正是多种拓扑结构的存在使 DC-DC 转换器具有灵活的正负极性和升、降压方式。Buck（降压型）、Boost（升压型）、Inverting（极性反转型）和 Cuk 型是四种基本的 DC-DC 转换器拓扑结构，其中本论文主要研究降压型变换器^{[32][33]}。

降压型 DC-DC 转换器将输入电压变换成 $0 < V_o < V_{in}$ 的稳定输出电压。其主电路如图 2-26 所示， V_{in} 为输入电源，通常为电池或电池组， M_p 是主开关管， M_n 是同步整流管，它们的开启和关闭受来自控制电路的脉冲信号控制。基本的工作原理如下：主开关管 M_p 和整流管 M_n 的栅极由调制器控制，以一定的频率 f_s 和占空比 D 交替导通，这样，将在主开关管 M_p 和整流管 M_n 的公共端 V_x ，产生占空比为 D ，周期为 $T_s = 1/f_s$ 的方波，稳态下典型的 $V_x(t)$ 的波形如图 2-27 所示。第二级组成低通滤波器（ L_x 和 C_L ）只通过期望的直流量，而交流量则大大降低。理想情况下，输出电压的值由输入电压和占空比给定^[34]。

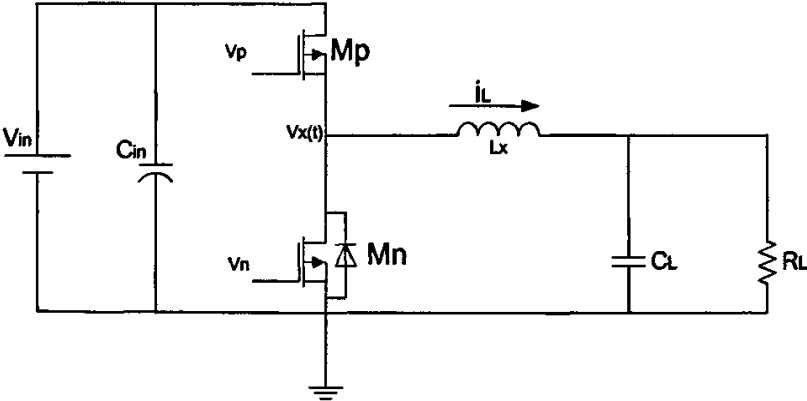


图 2-26 降压 DC-DC 转换器

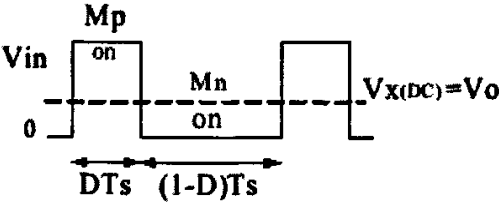


图 2-27 降压电路 $V_x(t)$ 的波形

由图可得到:

$$V_x(DC) = \frac{V_m \cdot DT_s}{T_s} = V_m \cdot D \quad (2-20)$$

即 $V_o = V_m \cdot D \quad (2-21)$

其中 D 为占空比且有 $D \leq 1$ 。这就是降压结构输出电压和输入电压之间的关系。

2. 5. 3 电源同步整流控制方式

太阳能电池经过最大功率跟踪控制后的输出电压由阵列的大小、日照强度、环境温度等因素影响,而本系统中的显示屏供电电压是 3.3 伏,而系统需求的供电电流比较大,所以系统需要一个能够低电压、大电流的稳压电源。随着电子电路技术的发展,低压、大电流技术得到不断的发展。但与此同时,功耗问题就出现了,早期的 DC-DC 转换器采用的是整流二极管,这样的开关电源效率最高不过 76%,后来整流二极管改成肖特基二极管,开关电路用 MOSFET,效率虽然有所提高,但也只能达到 80%,再一个是由于肖特基二极管的管压降高达 0.5V,所以功耗也相当大。

同步整流(Synchronous Rectify, 缩写为 SR)技术就是为了降低低电压大电流功率变换器的整流损耗、提高整流效率的同步整流技术而引出的。同步整流技术的基本思路是采用功率 MOSFET 作为整流器件取代普通二极管或者肖特基二极管进行整流。功率 MOSFET 的特点是:导通电阻低、开关时间短、输入阻抗高。目前用于同步整流的功率 MOSFET 最低导通电阻为 3-4.5m 欧姆,所以如果输出电流为 5A,功率管的正向压降也仅仅为 0.02V 左右,如果输出电流高达 50A,那么正向压降仅仅为 0.2V 左右。普通二极管和肖特基二极管,在承受正向电压时导通,在承受反向电压时自然截止,但是功率 MOSFET 必须控制导通和关断。

图 2-28 是典型的同步整流降压电路, V_1 、 V_2 是带体二极管的同步整流管, U_i 是变压器原边电压, U_o 是副边电压。当 U_o 由负变正的时候, MOS 管 V_2 导通, V_1 关断, 当副边电压由正变负的时候, V_2 关断, V_1 导通, 通过控制两只 MOSFET

的导通和关断实现对电路的整流。

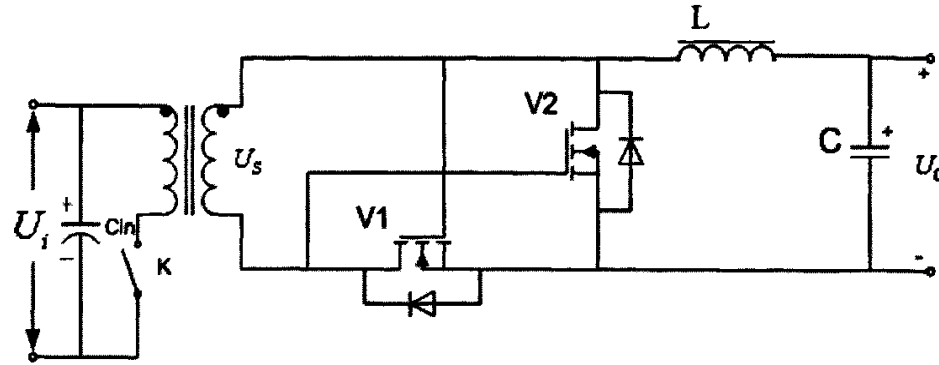


图 2-28 典型同步整流电路

需要注意的是，同步整流对驱动信号是有一定的要求的。第一、在驱动电压大于 10V 以后，MOSFET 的导通电阻基本不变，另外 MOSFET 管栅源极有一层很薄的极易被击穿的氧化层，要求驱动电压不能超过 20V；驱动损耗与驱动电压的平方成正比，这是因为功率 MOSFET 实施 SR 的驱动损耗为： $P_{GDR} = C_{ISS} U_G^2 f_s$ （其中 C_{ISS} 是 MOSFET 的输入电容， U_G 是驱动电压， f_s 为开关频率）^[44]，为保证驱动损耗不致过大，要求驱动电压不宜过高。第二、由于 MOSFET 管有双向导通的特性，因此可能会出现开关管和整流管同时导通的状态，这个时候输入电压到低之间形成回路，损耗很大。为了避免这种情况，在开关管和整流管之间插入一段两管都不导通的“死区时间”，死区时间的如果过长，两管都会导通，引起功率损耗；如果死区时间过短，开关管整流管之间的 V_x （如图 2-26）还没放电完全，会通过开关管和整流管充放电，同样也回引起损耗。因此，死区时间需要控制的很精确^[34]。

同步整流管的驱动方式一般可分为两种^{[45][46]}：

（1）外加控制驱动电路：

通过附加的逻辑控制和驱动电路，产生驱动信号，此驱动信号是随着主变压器副边电压作相应变化的驱动信号，驱动 SR 管。驱动信号的电压幅值恒定，不随副边电压幅值变化，驱动波形好。但是，这个方法的驱动电路相对复杂，所以要实现起来并不容易。

(2) 自驱动同步整流:

此方法一般是从主变压器的绕组上直接获取电压驱动信号来驱动 SR 管。这种驱动方式,虽然驱动波形质量不够外加驱动电路理想,但实现起来也比外加驱动电路容易。

2. 5. 4 PWM 型 DC-DC 变换器

PWM 控制被广泛运用于开关电源的反馈控制中。这项技术对传统的相控及二极管整流器进行了全面改进。其关键性的改进在于用全控型功率开关取代了半控型功率开关管或二极管。

PWM 控制就是周期 T 固定不变,根据输入信号大小,改变脉冲的占空比,即改变加在负载上的平均电压值,称为脉宽调制^{[35][36][37]}。

以电压模式 PWM 控制为例,典型的电压控制模式 PWM 降压 DC-DC 转换器系统示于图 2-29。控制回路包括由 R_1 和 R_2 组成的电阻分压器、误差放大器、PWM 比较器(又称 PWM 调制器)、功率管 M 驱动等。图中 V_{ref} 是基准电压,振荡器提供锯齿波输入信号 V_{ramp} , 它的频率等于开关频率 f_s , 在各个开关周期 T_s 期间 V_{ramp} 从 0V 开始线性上升至最大值 V_{pp} 。

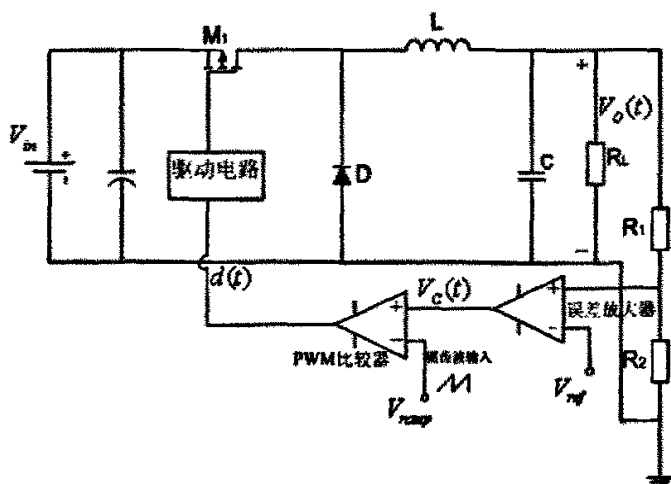
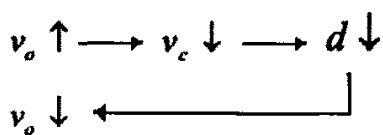


图 2-29 电压模式 PWM DC-DC 的原理图

电压模式 PWM 控制采用电压反馈, 具体工作原理分析如下: 误差放大器对 V_{ref} 与负载电压分量 $v_o \cdot (R_2 / (R_1 + R_2))$ 之间的差值进行比较、放大, 得到误差信号 V_{err} , 再由 PWM 比较器对 V_{err} 和 V_{ramp} 进行比较, 得到脉冲信号并经过驱动电路加到功率管的栅极。

控制过程分析: V_{ramp} 信号为零的时刻对应着每个开关周期的开始, 此时有 V_{ramp} 小于 V_{err} , 比较器输出高电平, 功率管导通, 能量由电池流向电感元件; 随着 V_{ramp} 升高到与 V_{err} 相等的时候, 比较器翻转后送出低电平, 功率管关断, 二极管导通, 能量由电感 L 流向电容及负载, 电容 C 对负载放电。

假设输出电压 V_o 比设定值偏高, 则有以下负反馈过程:



在这个过程中, 系统通过调节占空比 D 来维持输出电压 V_o 的稳定。

第3章 LED点阵系统的设计

3.1 主单片机的选型

3.1.1 Atmega16 的选用

单片机是系统硬件设计的核心,不仅如此,它也直接决定着软件设计中的开发语言、开发工具的选择,进而影响到开发的难易性、开发周期。单片机已有30多年的发展历史了,目前已有上百家厂商生产几千种型号的单片机。对单片机选型的依据一般是:CPU的处理速度、可用的片内外设的数量、功耗、价格、开发工具等。本次设计采用的是美国ATMEL公司的ATmega16单片机。

Atmega16是属ATMEL公司的产品,ATMEL公司是世界上著名的高性能、低功耗、非易失性可擦除存储器和数字集成电路半导体制造公司。ATMEL公司最引以为傲的是它的电可擦除(EEPROM)技术,闪速存储器(Flash)技术和高质量、高可靠性的生产技术。在CMOS器件生产领域中,ATMEL的先进设计水平、优秀的生产工艺及封装技术,一直处于世界领先地位。这些技术用于单片机生产,使得单片机也具有优秀的质量。1997年,ATMEL公司挪威设计中心出于市场需要考虑,充分发挥其Flash技术优势,推出增强型内置Flash的精简指令集(Reduced Instruction Set CPU,简称RISC)高速8位单片机,并命名为AVR。其中A与V分别是两位充满工作激情与灵感的挪威年轻研发者姓名的第一个字母,R代表该芯片为RISC架构^[38]。

AVR单片机系列齐全,包含许多种类:Automotive AVR、CAN AVR、LCD AVR、Lighting AVR、megaAVR、Smart Battery AVR、tinyAVR、USB AVR等,可以应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通讯设备、家用电器等

各个领域,适用用户对各种不同场合的要求^[39]。

ATMEL 在设计 AVR 系列单片机时集合了 PIC 及 8051 单片机的优点,并作了重大改进,有如下优点:

(1) AVR 单片机吸收了 DSP 双总线的特点,运用 Harvard 体系结构(具有预取指令功能),这使得大多数指令可以在一个处理器时钟周期内完成。如果使用 MIPS (Millions of Instructions Per Second, 每秒所执行的百万条指令数)来衡量计算速度,一个 8MHz 时钟频率的 AVR 处理器的数据吞吐率可达 8MIPS,相当于 32MHz 的 PIC 处理器(内部对输入时钟进行 4 分频),相当于 96MHz 的标准 8051(内部对输入时钟进行 12 分频)。可以说,它是 8 位单片机中第一种真正的 RISC 单片机。

(2) 程序存储器由可擦写 1000 次以上的 FLASH 构成,并具有较大容量可擦写 100000 次以上的 EEPROM,便于多次更改程序而不必浪费单片机或电路板。

(3) AVR 程序的写入可以使用万用编程器,也支持 ISP(In System Programming, 在线编程)功能。也就是说可以直接在电路板上进行程序的烧写,方便程序的升级。

(4) 工业级产品。具有(吸入电流)10~20mA 或 40mA(单一输出)大电流,可直接驱动 LED 或继电器;具有看门狗定时器(WDT),防止程序跑飞,提高产品的抗干扰能力。

(5) 并行 I/O 的输入输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相似外,也可设定类似 8051 系列内部上拉电阻作输入端的功能,以满足各种应用特性所需,AVR 是真正的 I/O 口,能正确反映 I/O 口的输入/输出的真实情况。

(6) 像 8051 一样,不同中断向量的入口地址不同,可快速响应,而不会像 PIC 一样,所有的中断都在同一向量地址,需要以程序判别后才可响应。

(7) AVR 单片机有内置的 POR(上电复位)和 BOD(电源电压检测),只要在复位端接一个上拉电阻就可以了,不必使用外部复位 IC。

(8) 计数器/定时器:有 8 位和 16 位,可作比较器、计数器外部中断和 PWM 用于控制输出。

(9) 进入门槛低。对于经济条件有限又想学习单片机的初学者来讲,这是

一个绝佳的学习机会。我们可以自己动手做 ISP 下载线(最简单的并行下载线仅需 4 个电阻),利用 FLASH 程序存储器可多次擦写的特点,再加上 ATMEL 提供的汇编和仿真软件,这样就可以代替昂贵的硬件仿真器来开发 AVR 单片机了。

(10) 低功耗。AVR 单片机采用低功率、非挥发的 CMOS 工艺制造,并且具有 6 种睡眠模式,结合 AVR RISC 核心结构的发展,能在对功耗要求很低的情况下提供令人惊讶的功能。

ATmega16 是基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。RISC 是相对于 CISC(复杂指令集计算机)而言的。RISC 并非只是简单地去减少指令,而是通过使计算机的结构更加简单合理而提高运算速度的。RISC 优先选取使用频率最高的简单指令,避免复杂指令;并固定指令长度,减少指令格式和寻址方式的种类,从而缩短指令周期,提高运算速度。由于 ATmega16 单片机采用 RISC 的这种结构,使它可以具备 1MIPS/MHz(百万条指令每秒/兆赫兹)的高速处理能力,可以缓减系统在功耗和处理速度之间的矛盾。

AVR 内核具有 32 个通用工作寄存器。所有的寄存器都直接与算术逻辑单元(ALU)相连接,使得一条指令可以在一个时钟周期内同时访问两个独立的寄存器。这种结构大大提高了代码效率,并且具有比普通 CISC 微控制器最高至 10 倍的数据吞吐率。

ATmega16 有如下特点: 16k 字节的可在线编程 FLASH(具有同时读写的能力,即 RWW), 512 字节 EEPROM, 1k 字节 SRAM, 32 个通用 I/O 口线, 32 个通用工作寄存器, 用于边界扫描的 JTAG 接口, 支持片内调试与编程, 三个具有比较模式的灵活的定时器/计数器(T/C), 片内/外中断, 可编程串行 USART(通用同步/异步收发器), 有起始条件检测器的通用串行接口, 8 路 10 位具有可选差分输入级可编程增益(TQFP 封装)的 ADC, 具有片内振荡器的可编程看门狗定时器, 一个 SPI 串行端口, 以及六个可以通过软件进行选择的省电模式。工作于空闲模式时 CPU 停止工作, 而 USART、两线接口、A/D 转换器、SRAM, T/C, SPI 端口以及中断系统继续工作; 掉电模式时晶体振荡器停止振荡, 所有功能除了中断和硬件复位之外都停止工作; 在省电模式下, 异步定时器继续运行, 允许用户保持一个时间基准, 而其余功能模块处于休眠状态; ADC 噪声抑止模式时终止 CPU 和处理异步定时器与 ADC 以外所有 I/O 模块的工作, 以降低 ADC 转换时的开关

噪声；Standby 模式下只有晶体或谐振振荡器运行，其余功能模块处于休眠状态，使得器件只消耗极少的电流，同时具有快速启动能力；扩展 Standby 模式下则允许振荡器和异步定时器继续工作。

ATmega16 具有一整套的编程与系统开发工具，包括：C 语言编译器、宏汇编、程序调试器/软件仿真器及评估板。

ATmega16 是目前 Mega 系列中最流行的型号之一，它有三种封装，本课题中采用 PDIP 的封装形式，如图 3—1 所示：

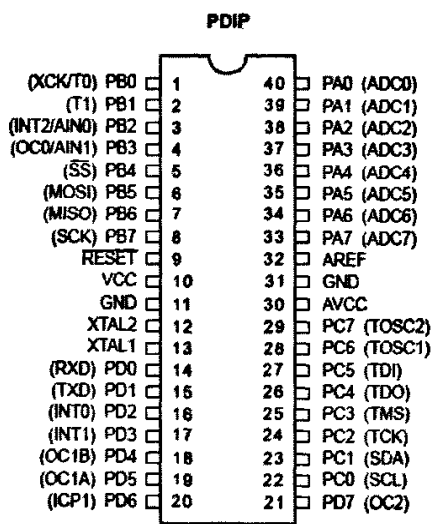


图 3—1 Atmega16 PDIP 引脚图

3. 1. 2 单片机的开发环境 ICC AVR^[40]

AVR 系列的单片机编程既可以用 C 语言，也可以采用汇编语言。由于用汇编语言编写的程序可读性和移植性都相对 C 语言有劣势，因此系统的调试工作会也相对比较困难，产品的开发周期比较长。而用 C 语言编写的代码更加简洁，代码量因此也会相对减少很多，另外调试、维护以及移植都比汇编容易多了。

目前应用于 AVR 系列单片机的 C 编译器主要有 ICCAVR、IAR、CodeVision AVR、GCC AVR 等。

ICCAVR 是 ImageCraft 公司的一种符合 ANSI 标准的 C 语言开发 AVR 微控

制器程序工具，界面如图 3-2 所示：



图 3-2 ICCAVR 程序界面

ICC AVR 具有以下一些特点：

(1) ICC AVR 是一个综合了编辑器和工程管理器的集成环境(IDE)，其可在 Windows 操作系统下运行。

(2) 源文件全部被组织到工程之中，文件的编辑和工程的构筑也在 IDE 的环境下完成。编译错误在状态窗口中显示，用鼠标单击编译器时，光标会自动跳转到编辑窗口中引起错误的那一行。这个工程管理器还能直接产生 INTEL HEX 格式的烧写文件和符合 AVR Studio 的调试文件(COFF 格式)

(3) ICC AVR 是一个 32 位的程序，支持长文件名，支持“//”和“/*...*/”两种注释方法。

(4) ICC AVR 提供了全部的库源代码及一些简单的应用实例供初学者参考。用户能够根据库源代码对 ICC AVR 提供的库函数进行剪裁和扩充。

由于 ICC AVR 的 C 编译器功能适合，使用简单方便，具有良好的技术支持且有很多功能模块可以调用，因此本文主要采用 ICC AVR 的 C 编译器来开发 AVR 单片机系统的应用程序。其他编译器也各有自己的特点，但这里就不一一详细说明了。

3. 2 电源电路设计

3. 2. 1 系统直流稳压电源设计

蓄电池的输出电压须再经过调整,得到系统需要的稳定电压值。电路的拓扑结如图 2-28 所示,其中开关 K1 用 PWM 控制器代替,PWM 控制器选用 DPA426,它将高频功率 MOS 管, PWM 控制电路,故障保护及其他控制电路集成在一个 CMOS 单片上,大大简化了外围电路的设计。同时,优化了功率 MOS 管的驱动电路,减少了功率 MOS 管开关损耗。

DPA426 有以下特点:

- ①内部集成电流检测电路;
- ②自动重启及输出过载和开环保护;
- ③高达 75 %占空比的电压模式控制;
- ④输入欠压/ 过压保护;
- ⑤内部软启动;
- ⑥空载脉冲跳动;
- ⑦内部集成过热保护。

在输出整流电路中,当续流二极管(即 V1, V2 的反并二极管)受正向电压导通时,应及时驱动 V1, V2 导通,以减小压降和损耗。但为了避免 V1 与 V2 同时导通,造成短路事故,必须有“死区”时间,这时仍靠二极管 D 导通。V1, V2 的开关瞬时要与续流二极管的通断瞬时密切配合,因此对开关速度要求很高,从成本综合考虑,选用 IRL3102。

该电路可稳定实现 3.3V/15A 的输出,完全满足系统需求。

3. 2. 2 LED 信息屏的脉冲电源驱动

脉冲电源的电压或电流波形为脉冲状,按照脉冲电源的输出分类,有高频、低频、高压、低压等,按照脉冲波形分,有矩形波、三角波、梯形波、锯齿波等。从本质上讲,脉冲电源实际上是一种通断的直流电源,他的基本工作原理是:首先经过慢储能,使初级能源具有足够的能量,然后向中间储能和脉冲成形系统放电(或流入能量),能量经过存储、压缩、形成脉冲或转化等复杂过程之后,形成脉冲电源。

目前国内外使用的普通 LED 信息屏的驱动电路中使用了大量的功率驱动管,限流电阻。下面分析一下限流电阻在单位时间内消耗的功率:

本文的 LED 屏体供电电源是 3.3V,LED 在正常发光状态下管压降约为 2V,正向导通电流 20mA,那么限流电阻上的压降 $U_R = 3.3 - 2 = 1.2(V)$,每个 LED 模块有 32 个点阵(4 块 8×8 点阵块),消耗功率 $P_R = U_R \cdot I_R = 1.2 \times 0.02 \times 32 = 0.768(W)$,如果每天按 16 个小时工作时间计算,一个 LED 模块一天消耗的能量 $W = 0.768 \times 16 \times 3600 \approx 44237(J)$,而一个完整的 LED 信息屏系统是由若干个 LED 模块组合而成的。如此大量的能量耗费在电阻上,非常可惜,因此如何减少无功消耗就成为了本论文重点考虑的问题之一。

由第 2 章的分析我们知道,LED 器件的发光强度基本上成正比于通过 LED 器件的电流的,这意味着,脉冲电流的平均电流与直流电流相同的条件下,LED 器件的发光亮度是一样的。另外,用高幅值的脉冲电流来驱动 LED 器件,然后通过调节脉冲的占空比从而获得较合适的平均电流,这样是可以降低功耗的。原因是因为当 LED 工作在脉冲状态时,人眼觉察到的 LED 亮度值是介于峰值亮度与平均亮度值之间的。因此,脉冲电流驱动 LED 可比直接恒流驱动的 LED 更亮,换句话说,获得同样的发光亮度,脉冲电流驱动方式比直流电流驱动方式需要的平均电流值更小。

其次,对于 LED 器件,如果采用脉冲电路驱动,其控制部分如果用脉宽调制方式,与恒流控制方式相比,控制部分的控制效率有比较大的提升,另外还可以去掉限流电阻或者大幅度减小其值。因此,从节能的角度出发,采用脉冲电源驱

动方式无疑更好。

与此同时，这样的控制方式也有不足之处，如果占空比较小，导致峰值电流较大，甚至超过 LED 的额定最大电流，将会对 LED 器件的寿命造成影响。

假设系统每屏扫描时间为 T ，如图 3—3 (a) 所示，由第 2 章讨论可知，LED 屏每行点亮的时间为时间 T 的 $1/8$ ，即 $1/8T$ 。本系统采用脉冲驱动 LED 信息屏，有两种方式可以实现，现在分别做介绍如下：

(1) 调节输出脉冲电压的脉宽：在这种方式下，在 $1/8T$ 的时间内，LED 驱动由恒流驱动变成频率为 f 的脉冲信号驱动。在 $1/8T$ 的时候内，将有 $1/8T \cdot f$ 个脉冲加到 LED 信息屏导通的那一行上。驱动脉冲频率，调节脉冲信号的占空比，就可以改变此信号作用在负载上的平均电流，从而改变信息屏的亮度。通过单片机的 I/O 口输出固定频率的开关脉冲，加载在 MOS 管的稳压电源就输出频率为 f 的脉冲电源。改变每个脉冲周期的开关时间占空比，就可以改变此脉冲电源作用于负载上的平均电压，从而改变显示屏的亮度。此脉冲频率由单片机控制，较容易实现。示意图如图 3—3 (b) 所示：

(2) 图 3—3 (c) 实际上是在 (b) 的基础上把固定频率、固定开关占空比的脉冲电源，在选通的 $1/8T$ 时间内通过开关的关断，把 LED 信息屏每行的导通时间变成 $1/8T \cdot D$ ($0 < D < 1$)，因此导通时间缩短，亮度必然也会随之降低，这样，就可以通过控制开关开通时间 D 的大小来控制屏的亮度。

方法 (2) 是在方法 (1) 的基础上多加了一级控制，要在 $1/8T$ 的行选通时间内控制导通时间。因为 $1/8T$ 很小，需要很精确的控制，因此电路实现起来相对更加困难和复杂。因此，本系统采用图 3—3 (b) 的方式实现脉冲控制亮度，其示意图如图 3—3 所示：

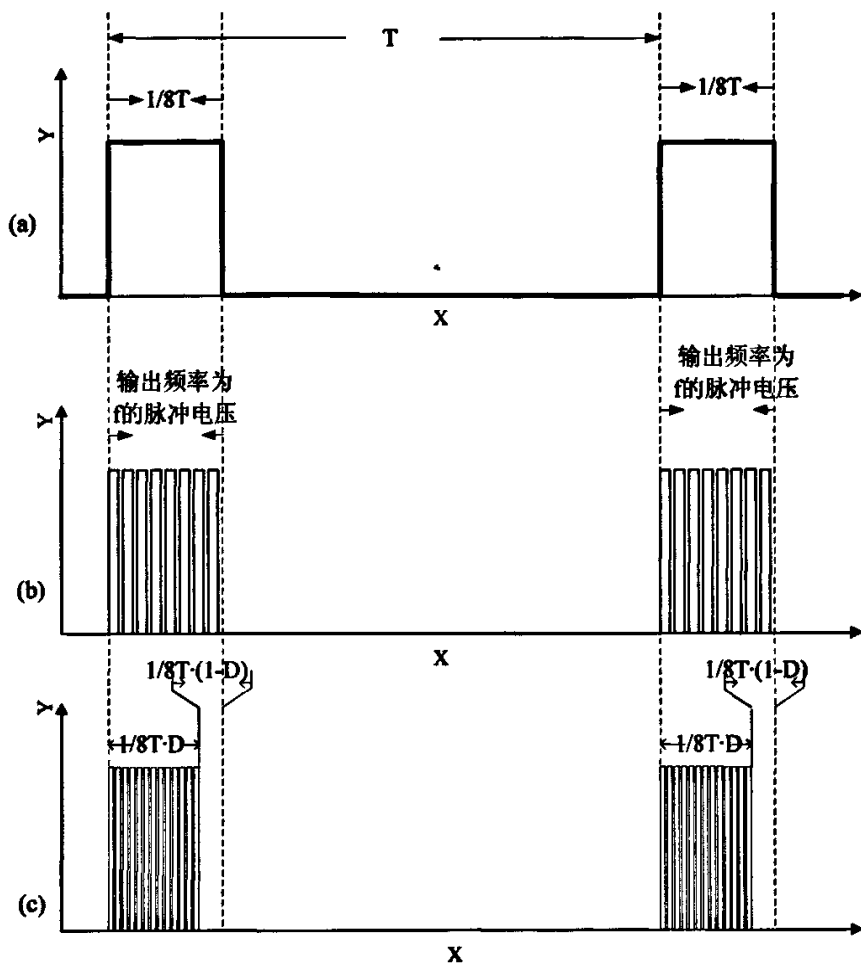


图 3—3 PWM 脉冲控制 LED 信息屏亮度示意图

本系统是户外屏，白天需要的亮度较高，黑夜的亮度稍低，利用单片机控制 PWM 信号发生器的输出脉冲占空比，此信号经过驱动放大，控制 MOSFET 的开关，直流电源经过 MOSFET 后输出脉冲电流，控制信息屏的亮度，其控制原理框图如下所示：

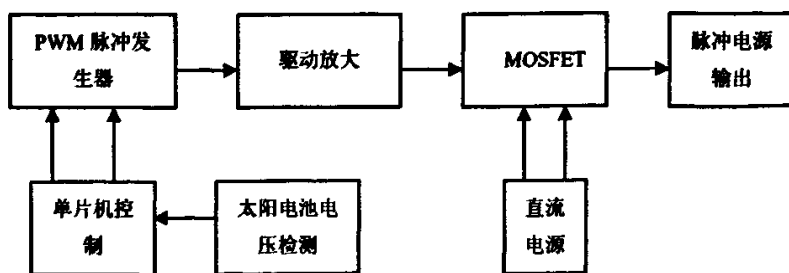


图 3—4 脉冲电源输出框图

设计的原理图如图 3-5 所示：

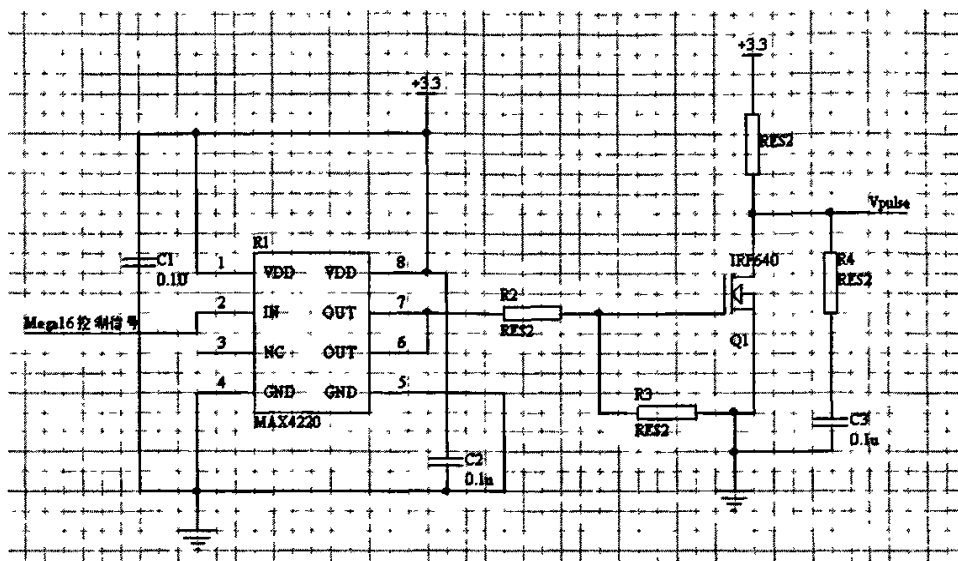


图 3-5 MOSFET 驱动脉冲输出电路图

脉冲电源的最高输出频率达到 1MHz，选用开关频率高，关断迅速的 MOSFET 是比较理想的选择。本脉冲电源的设计最大输出电压幅值是 30V，最大输出电流设计值是 5A，国际整流器公司的 IRF640N 能达到设计要求。其具体的技术指标为：

栅源极最大驱动电压：20V

漏源极击穿电压：200V

导通电阻：0.15 欧

最大漏极电流：18A

由于功率 MOSFET 的栅极电容比较大，导通之前先对该电容充电，当电容电压超过开启电压时 MOSFET 导通。因此，栅极驱动器的负载能力必须足够大，以保证在系统要求的时间内完成对等效栅极电容的充电。MOSFET 栅极驱动电平的上升时间和下降时间必须尽可能缩短，驱动脉冲的传播延时也该尽可能短，才能保证 MOSFET 有相等的导通延迟和截至延迟。在本系统中，从 Atmega16 输出的控制信号转换成 MOSFET 的驱动信号，中间须经过继承驱动器的驱动使之驱动能力增强。MAXIM 公司的 MAX4420 满足设计需求，其技术指标：

供电范围：3V~18V

输出电流峰值：6A

传播延迟时间: 40ns

上升与下降时间: 25ns

另外, 由于 MOSFET 在关断的时候会产生很大的开关应力, 很容易导致开关管的损坏, 原因是布线的不合理增加了导电的寄生电感和分布电容, 在开关管关断时能量突然释放使开关管电压应力居高不下。为了抑制 MOSFET 的开关应力, 在其两端并联 RC 缓冲器, 通过耗散过电压的能量, 得到了较好的输出效果。RC 缓冲电路的 R 选 10 欧, C3 取值 0.1 μ F。

3. 3 太阳电池及蓄电池容量设计

3. 3. 1 蓄电池保护电路设计

蓄电池有额定容量, 充满后如果继续充电, 就会损坏蓄电池; 同时, 蓄电池在放电时只能允许一定的放电深度。然而由于受到天气的影响, 它的充电电压和充电电流都不是恒定值, 而是个间断过程。如果不能合理地控制充放电过程, 很有可能造成蓄电池的过放或过充, 减少蓄电池的使用寿命。

(1) 过充保护电路

本系统的蓄电池是 6V, 过充是指蓄电池充电电压超过某一水平, 此时蓄电池无法使产生的氧气充分再化合。6V 蓄电池的过充电压大约在 7.2 伏, 设置电池的过充警告点为 7.2V, 当蓄电池的电压超过此数时, PWM 脉冲停止输出, 切断充电回路, 保护蓄电池。

(2) 过放保护电路

系统的电池电压变动范围大约在 5.4~7.2V, 过放电压警告点设置为 5.4V, 当电压低过警告点时, 过放保护电路起作用, 继电器的触头切断负载, 蓄电池停止放电, 从而防止过放现象的发生。过放保护电路如图 3-6 所示:

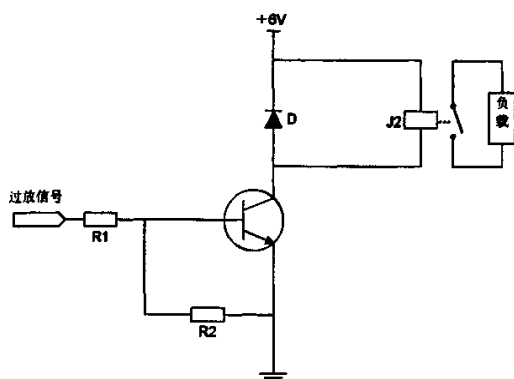


图 3-6 过放保护电路

3. 3. 2 太阳能电池、蓄电池的容量设计

由第 2 章第一节的分析知道，每块模块（2×4 阵列）每行同时点亮的 LED 数最大为 32，每颗 LED 以 20mA 计算，那么最大的工作电流为：20mA×32=640mA、LED 点阵最大功率为 0.64×2V=1.28W；但实际运用中，一行全亮的几率非常低，实际功率要小于估计值。系统的驱动电压是 3.3V，考虑到驱动电路的部分功耗，系统的功耗大约为：P=U×I=3.3×0.64=2.11W。

4×16 显示屏需要 8 块模板，最大电流 5A 左右，最大功率则在 17W 左右。那么以连续四个阴雨天，每天工作 16 个小时算，而蓄电池的容量由以下公式可得到：

$$B_c = A \times Q_L \times N_L \times T_0 / C_c$$

$$= 1.2 \times ((5 \times 16)) \times 4 \times 1.1 / 0.7 = 603 (\text{安时}) \quad (3-1)$$

其中：

A：安全系数，取 1.1-1.4 之间

Q_L ：负载的日平均耗电量，为工作电流（5A）乘以日工作小时（16h）数

N_L ：连续阴雨天数

T_0 ：温度修正系数，在常温下一般选择 1.1，在 0 度以下一般选择 1.2

C_c : 蓄电池的放电深度, 一般电池取 0.7

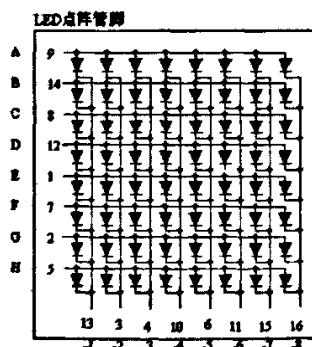
因此本系统可以选用 6V, 650Ah 的蓄电池。

假设太阳电池须在 5 天之内把蓄电池充满, 每天按 6 个小时有效充电时间算。注意到充电的同时, LED 信息屏也在消耗, 那么 5 天消耗的能量为: $5A \times (5 \times 16) = 400Ah$, 也就是说, 太阳电池须向系统提供约 $650 + 400 = 1050Ah$ 的能量。它除以有效充电时间, 再乘以充电电压 (略高于额定电压, 以 6.5V 计), 就是太阳电池的输出功率: $P = (1050/5 \times 6) \times 6.5 \approx 228 (W)$ 。

3. 4 LED 屏驱动模块的研制

3. 4. 1 LED 屏的行列驱动原理

本系统所采用的是 8×8 的点阵组合成的 LED 点阵列, 一块 LED 模块的示意图如右图所示。一块由 M 行 N 列组成的 $M \times N$ 显示屏, 扫描驱动电路一般采用多行 (在 1/16 扫描方式下, 就是 16 行) 的同名列共用一套列驱动器。行驱动器一行的共同公用线连接到电源的一端, 列驱动器一系列的列线则连接到电源的另外一端。当行驱动选中第 i 行, 列



驱动器选中第 j 行时, 对应的 LED 器件根据列驱动器的数据要求进行显示。控制电路负责有序的选通各行, 选通行的同时, 各列的列数据要准备好, 所以一旦选通了一行, 这行上的 LED 发光器件就可以根据列数据进行显示。点阵 LED 控制框图如图 3-7 所示:

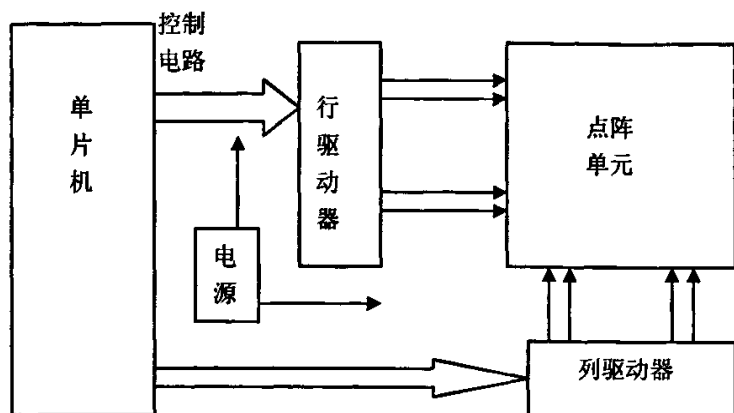


图 3-7 点阵 LED 控制框图

采用扫描方式进行显示时候，每行都对应有一个驱动器，各行的同名列也共用一个列驱动器。3-8 译码器输出行选通信号，从第一行开始，按照顺序依次对各行进行扫描（把该行与电源的一端接通）。与此同时，根据从列锁存器的数据，确定相应的列驱动器是否将该列接通。接通的时候，就在该行该列点亮对应的 LED 点，没有接通的列对应的 LED 熄灭。当一行的扫描持续时间结束后，下一行又以同样的方法进行显示。每行都完成扫描之后算一个扫描周期，之后又从第一行开始扫描动作，扫描过程中，只要一个扫描周期的时间比人眼 1/25 秒的暂留时间短，就不容易感觉闪烁现象。

待显示的数据通常存储在单片机的存储器中，按 8bit 一个字节的顺序排放。显示时要把一行中各列的数据都传送到相应列的驱动器上去，这就存在一个列数据传输方式问题。从控制电路到列驱动器的数据传输可以采用并行或者串行的传输方式，一般采用串行传输方式，因为当显示器件数目比较多时候，采用并行传输方式会大大增加列驱动器的线路数量，这样既浪费了资源，又造成控制和设计的困难。

采用串行传输的时候，控制电路只需要一根信号线，就可以将列数据一位一位传往列驱动器，大大节省了硬件。但是，由于串行传输的过程很长，数据要经过并行—串行—并行的多次变换。首先，单片机读出单片机中 8bit 的数据之后通过并串变化，按顺序一位一位的输出到列驱动器。与此同时，列驱动器中每一列都把当前数据传向下一列，并从前一列接受新的数据，一直到全部数据传送完毕

为止。只有当一行的各列数据都已经传到预计的位置之后，这一行的各列才并行的显示。这样，对于一行的显示过程就可以分解成列数据准备和列数据显示两个部分。对于并行传输方式来说，列数据准备时间（一次列数据打入时间）非常短，一个行扫描周期剩下的时间全部可以用来进行行显示。因此，在时间安排上完全不存在困难。但是，对于本系统中采用的串行传输方式，列数据准备时间可能相当长，在行扫描周期确定的情况下，留给行显示的时间非常有限，这样就大大影响了 LED 阵列的亮度。

为了解决上述问题，提出了采用重叠处理的方法。在准备一行各列数据的同时，准备下一行的列数据。为了达到重叠处理的目的，列数据的显示必须具有锁存功能。

所以，对于列的驱动电路来说，必须具有实现串入并出的功能，另外还有并行锁存的功能。这样，本行准备好的数据打入并行锁存器进行显示时候，串并移位寄存器就可以准备下一行的列数据，不会影响本行的正常显示。74HC594 或者 74HC595 就是这样一个能满足要求的集成 IC，它具有一个 8bit 串入并出的移位寄存器，一个 8bit 数据输出锁存器，而且移位寄存器和输出锁存器的控制是各自独立进行的。下图是 LED 点阵块与 595 简易连接示意图：

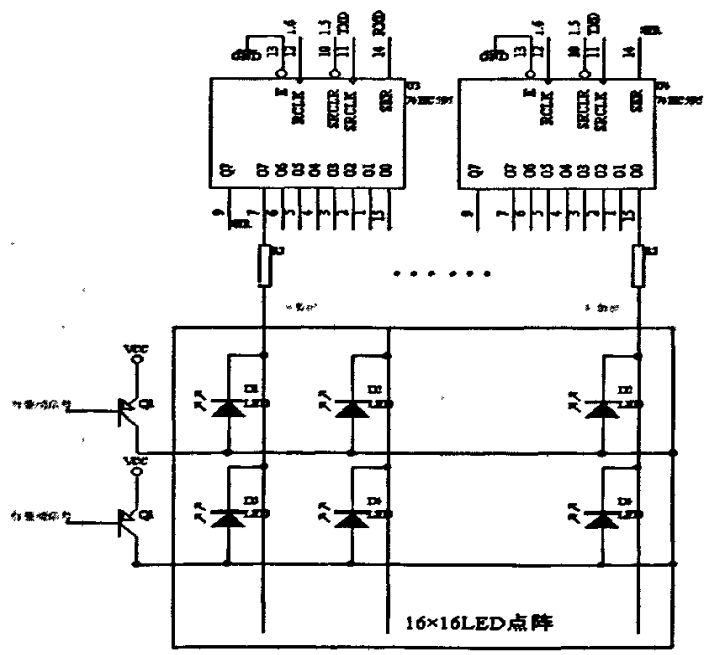


图 3—8 LED 点阵连接简易示意图

本课题所用的是 Texas Instrument（德州仪器）的 SN74HC594N（D 是其中一个型号，DIP 封装），其引脚定义以如图 3—9 所示^[41]：

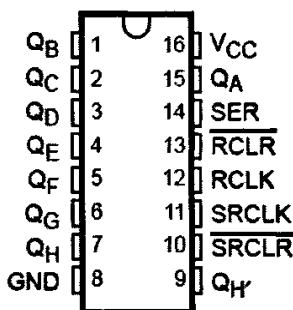


图 3—9 SN74HC594D 引脚定义

其中， Q_A 到 Q_H 是八个串行的移位寄存器，每个移位寄存器都和一个对应的输出锁存器相连接； Q_H' 是串行数据输出端，用于下一级芯片的级联；

\overline{RCLR} , \overline{SRCLR} 是重启动脚，也叫做独立时钟清零端，正常运作时是低电平有效； $SRCLK$ 是移位寄存器脉冲时钟信号输入端； $RCLK$ 是数据锁存器输出信号输入端； SER 是串行数据输入端，通常直接与单片机的输入信号端相连接。

74HC594 的逻辑图示如图 3—10 所示，当数据移位寄存器脉冲 $SRCLK$ 在上升沿时，8 位移位寄存器发生移位， SER 中的下一个数据打入移位寄存器的最低位，移位后的数据出现在移位寄存器的输出端，同时也锁存寄存器的输入端，数据所存寄存器脉冲 $RCLK$ 在移位寄存器八位数据都准备后发出，在此上升沿数据打入锁存寄存器，也就是数据输出端，由于移位寄存器的脉冲和数据所存寄存器的脉冲是相对独立的，所以两者可以同时进行互相不干扰，那样就是上文所说的“重叠处理”。留意到 Q_H' 是在移位寄存器端输出，所以它适合用来做级联，

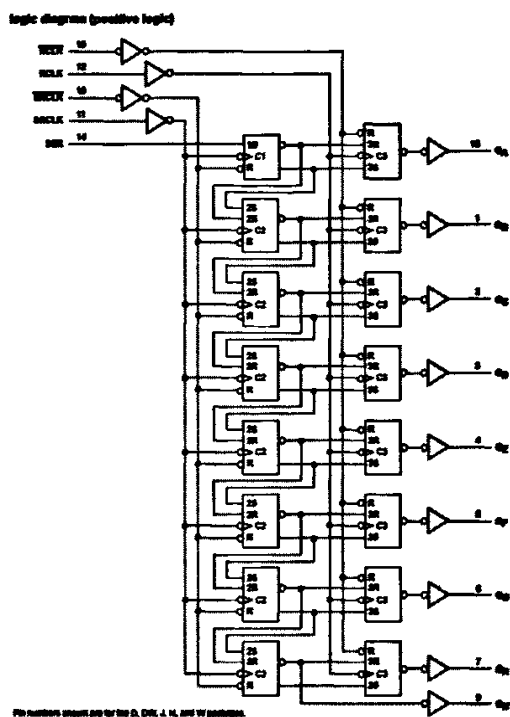


图 3-10 74HC594 逻辑图

它是与移位寄存器同步的数据输出。通过时序图，我们可以更加清晰的了解到芯片的逻辑运行过程，如下图 3-11 所示：

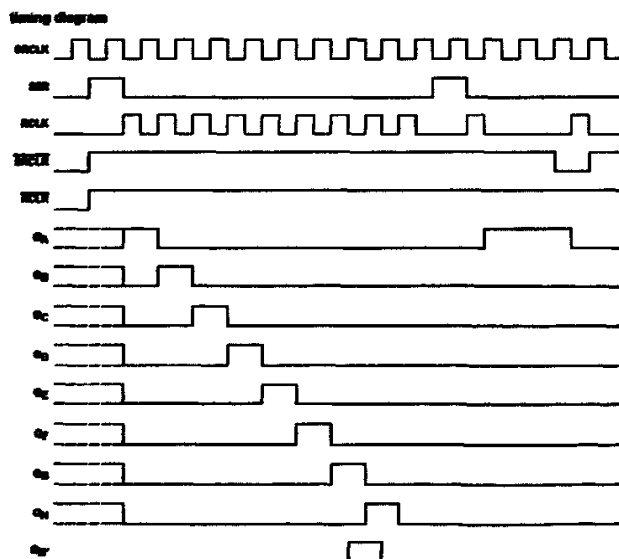


图 3-11 74HC594 时序图示

由于本系统采用的是逐行扫描法，利用人眼视觉停留作用，不断的扫描各行，

只要扫描的频率高于 1/25 秒，人眼看到的图像就是连续的。为了进一步提高频率，确保图像的稳定性，本课题中的显示屏采用了 1/8 的扫描电路。因此，当一行的列数据都准备好之后，通过三八译码器 74HC138 选通相应的行，就可以将锁存器的数据显示出来。

另外，由于每个中文汉字需要 16×16 的点阵来显示，所以对于 16 行的显示系统，需要把其分成两部分，上下两个部分分别 8 行。其中，两部分的列数据寄存器是相互独立的，而上下两行的同名行是共同控制。假设上半部分的行号为 1~8，下半部分的行号为 1'~8'，1 和 1' 是同名行，每行 8 个汉字一共 128 个点，当上半部分的 128 列数据准备好之后，其锁存器输出口先不输出脉冲，而是等下半部分的同名行的 128 列数据都准备好之后，再一起对两部分发脉冲，使数据输出到锁存器，并发出该行的选通信号。由此看出，上下两部分的移位脉冲信号是独立的，而两个同名行共用一个行选通信号，连接到 3/8 译码器。上下部分的列信号控制方法如图 3-12，行选通信号控制方式如图 3-13 所示：

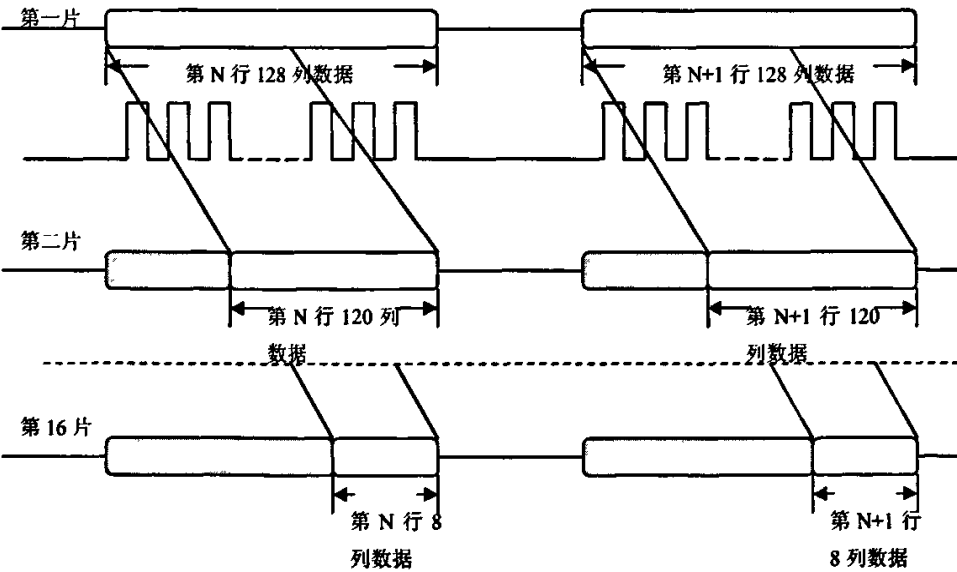


图 3-12 16 片列驱动器寄存器移位示意图

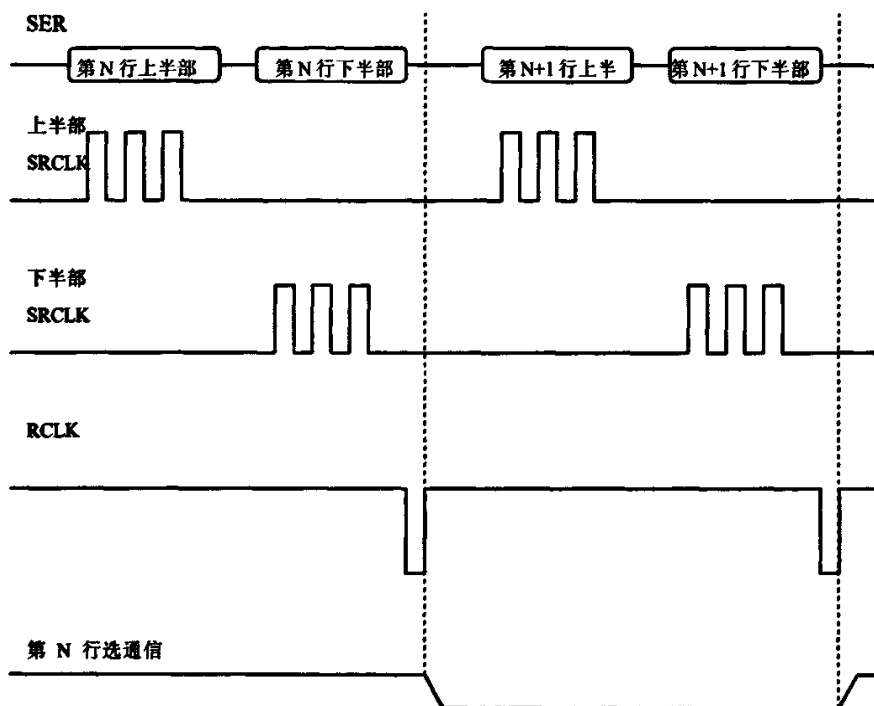


图 3-13 16 行上下部分行选通控制

因为 3/8 译码器的电流驱动能力非常有限，无法直接驱动每行 128 个点阵，所以在点阵行信号线和 74HC138 之间需要加上驱动电路。在本系统中对于驱动电路的要求主要有两点，一方面要提供足够大的电流用以驱动 LED 点阵；另外一方面还要尽可能节省能源，特别是要节省非发光状态下点阵电阻等发热器件的无功损耗。此驱动电路也是本文的一个重要的研究点，在节 3.5.3 中将详细介绍。实际的上下部分 Protel 图示如下：

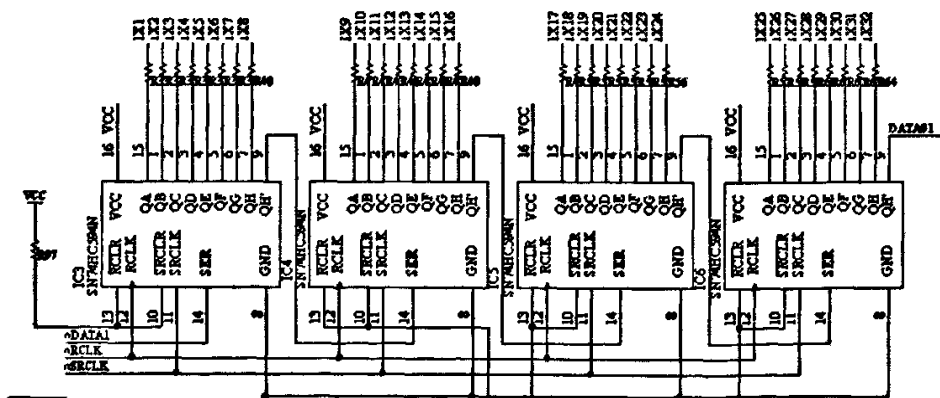


图 3-14 LED 屏列驱动上半部

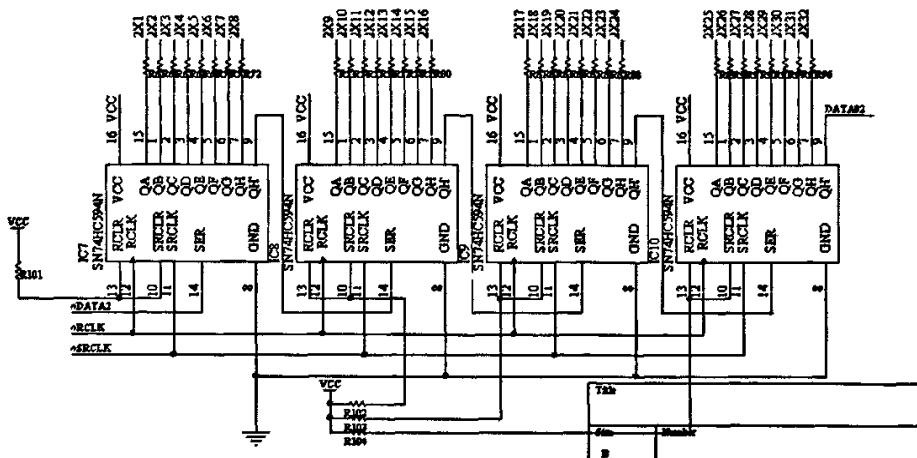


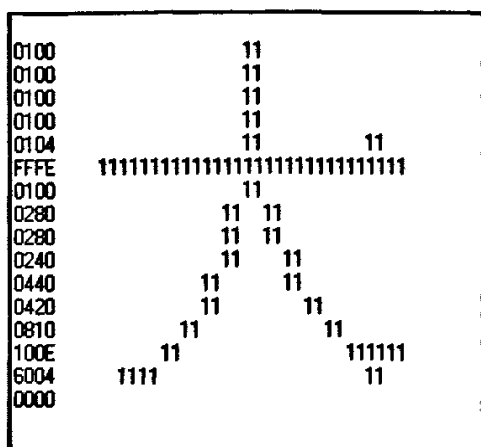
图 3-15 LED 屏列驱动下半部

由于上下半部分的移位脉冲信号是分开的，所以在数据传输时单片机无法同时进行显示，这个时候就需要 138 发出一个关闭点阵屏的信号，这也叫去抖动。

3. 4. 2 点阵字模的获取方式^{[42][43]}

在 LED 系统中采用的汉字显示方式与 PC 机相比大大的不一样。在操作系统中，一般使用的是 GB 汉字编码，或者 Unicode 编码。在中国，国家标准局在 1980 年颁布了《通用汉字字符集及其交换标准码》是中国及海外使用简体中文强制使用的唯一中文编码，所以也称为标准编码。但是随着国际间的交流越来越密切，国家于是又相应出台了其它的一些针对文字处理的新标准，但是由于新的编码体系与现有的多数操作系统和外部设备都不兼容，所以它仍然有一个实现的过程。

Unicode 码也叫万国码、统一码，它是一种在计算机上使用的字符编码。它为每种语言中每个字符都设定了统一唯一的对应二进制编码，以满足跨语言、跨平台进行文本转换、处理的要求。最新的版本是 Unicode 4.1.0，在 2005 年推出的。而在本系统中，每个汉字占用大小为 16×16 的点阵块，它是由四块 8×8 的小点阵块拼成。每个汉字的点阵数据需要占据内存 32 字节，下面的“大”字可以更加形象看出一个 16×16 点阵汉字的二进制组成。



每个点用一个二进制位表示，亮的地方为 1，暗的地方用零表示，点阵排列的格式为横置横排，字节的高位表示左边的点，地位表示右边的点。一个字需要 32 个字节表示。这些点的二进制信息在存储空间中是连续的。这些待显示的字符码通过单片机传送到列驱动，逐行送到显示屏，利用人

眼的延迟就可以看到一个完整的静态 LED 字了。细心留意可以发现，最后一行中实际上多时不亮的，所以最后一行的代码可以统一为 0，因此实际上有效的码大小为 15×16。根据实际需要，本项目选用了集通数码公司的 GT20L16V1 字符芯片，它是一款支持 Unicode3.0 字符集的 15×16 点阵字库芯片。我们只要知道汉字的内码，就可以通过一定的计算方法得到该汉字在芯片中的位置，然后就可以从该地址连续读出点阵信息。

此芯片中汉字点阵字库的地址分配为：0000 0000H~000D 6B7FH；Ucode 表示汉字内码；MSB 表示汉字内码 Ucode 的高 8bits；LSB 表示汉字内码 Ucode 的低 8bits。Address 表示汉字点阵在芯片中的字节地址。其计算方法如下：

```
if(Ucode >= 0x3400 && Ucode <= 0x4DB5) //UNICODE3.0扩展汉字区6582个汉字
    Address =(unicode-0x3400)*32;
else if(Ucode >= 0x4E00 && Ucode <= 0x9FA5) //UNICODE3.0字符区20902个汉字
    Address =(unicode-0x4E00+6582)*32;
```

3. 4. 3 本系统中 LED 屏的驱动电路

由于从单片机送到显示屏的时钟脉冲、数据、行选等信号强度不够，不足以驱动点阵列，所以在显示阵列和 3/8 行选信号之间必须加上驱动。本课题采用的是德州仪器（Texas Instruments）的 SN74HC244，这个驱动芯片是具有三态的用于加强地址驱动、时钟驱动、总线收发信号的作用的，它具有两个 4-bit 缓冲/

驱动。它连续输出电流可以达到 35mA，而 LED 的驱动电流一般是 20mA 左右，完全可以满足要求。

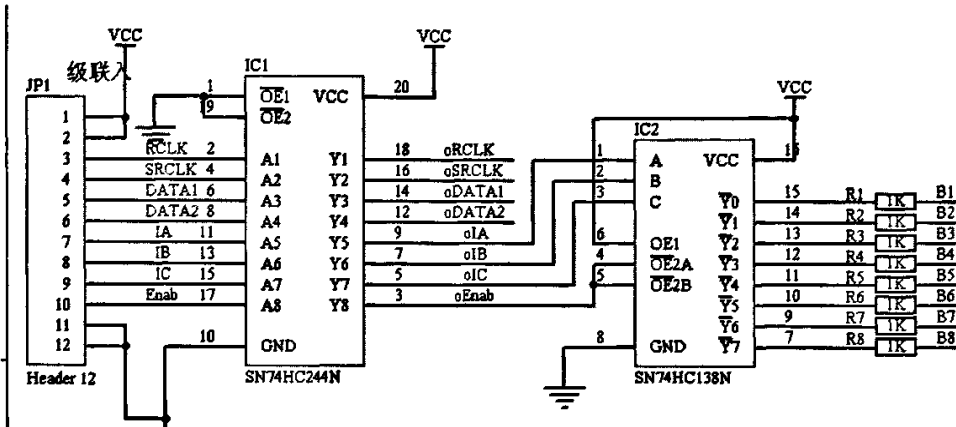


图 3-16 信号驱动电路

对于本系统来说，以 4 块 8×8 模块为一个驱动组合，所以一行最多可能有 64 个 LED 点同时亮，按照每个点 20mA 算，那么同时亮需要的驱动电流就要：

$$20 \times 0.64 = 1.28(A) \quad (3-2)$$

如果不考虑损耗问题，一般会使用达林顿。达林顿管又称为复合管，它是由两个三极管适当的连接在一起，组成新的等效三极管，等效三极管的放大倍数是两者的乘积。达林顿电路一般有四种接法：NPN+NPN，PNP+PNP，NPN+PNP,PNP+NPN。但是，通常达林顿管的管压降太大，在导通状态下由于管压降造成的能量损耗也比较大，一般状况下，如果 V_{cc} 有 5V，那么达林顿管的管压降就达到 1.5V 以上，这个损耗对于太阳能 LED 信息屏来说是难以接受的。

综合以上分析，本文提出建立高效的行驱动电流，由两个 PNP 管组成。如

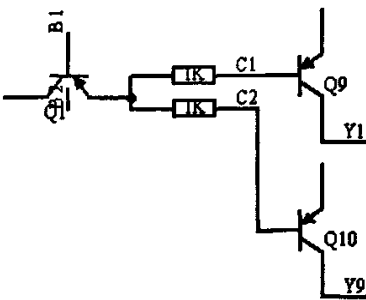


图 3-17 LED 屏行驱动电路

图 3-17 所示，其中 B1 是来自与 HC138 的行选信号，Y1 对应于上半部分的第

一行，上半部分从 Y1~Y8，所以 Y9 对应的就是下半部的同名行，也就是下半部分的第一行，前面已经分析过，当上下部分的同名行数据全部准备好的时候，两个部分是同时打通行选信号，然后把数据送到点阵阵列上。本电路驱动电路中衔接点阵的管子选用 PNP 管 5401，它的驱动电路高达 3A，一方面完全可以达到需求；另外还大大减少了由于管压降造成的无功损耗。图中 Q1~Q8 这八个首级驱动三极管的发射级都还需另外加上拉电阻，再与 VCC 连接，而 Q9、Q10 二级驱动的发射极则与驱动电源供应的 3.3V 电压连接，提供系统正常运行所需要的电源。

这样，当 3/8 译码器送来的信号 B1 高电平时，三极管关闭；当 3/8 译码器送来的信号 B1 为地电平时，三极管导通，导通状态下，当列驱动把要显示的信号打入阵列，就可以让阵列的 LED 管发光，达到显示效果。经过实际测试，此方法是可靠的。

第 4 章 系统的软件实现

4. 1 软件设计的架构

软件是控制系统中的灵魂,本系统的完整框架大致可以分为太阳能电池充电控制、GSM 通信、显示控制三部分,主要用 C 语言实现。框架如下所示:

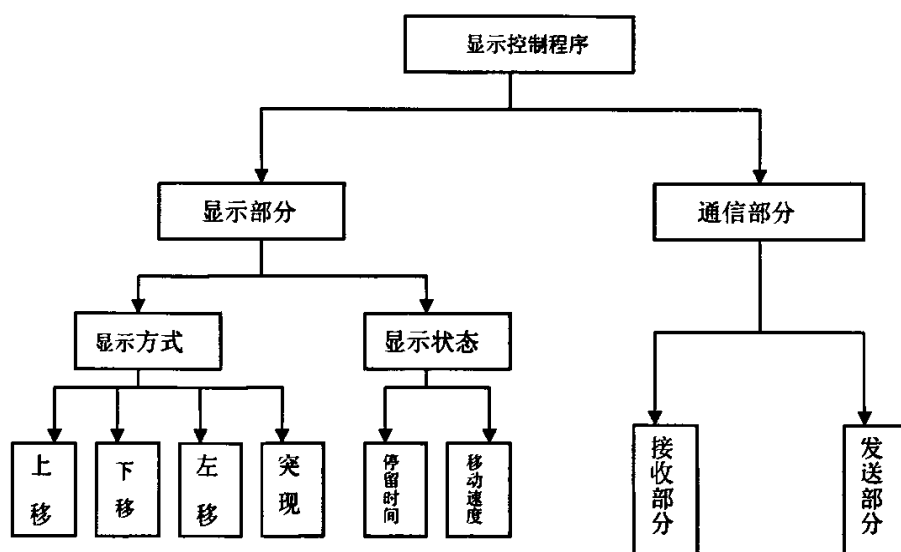


图 4-1 系统的软件框架示意图

本文的软件结构主要由以下几个部分组成:

(1) 太阳能电池最大功率点跟踪程序设计: 由单片机根据具体的硬件电路设定的 MPPT 跟踪方式判断比较, 算出最大功率点, 提高太阳能利用率。

(2) 显示屏的文字显示方式控制程序方法: 包含有上移, 下移, 左移或者右移等多种显示方式, 具有一定的娱乐性和观赏性。

(3) 显示屏的显示状态控制: 通过单片机控制包括字幕停留时间, 移动速度等, 还可以控制屏幕的扫描频率。

4. 2 软件的具体实现

4. 2. 1 太阳能电池控制子程序

本系统的太阳能最大功率跟踪采用的扰动观察法，加以 PWM 脉冲输出调节，程序流程图如下：

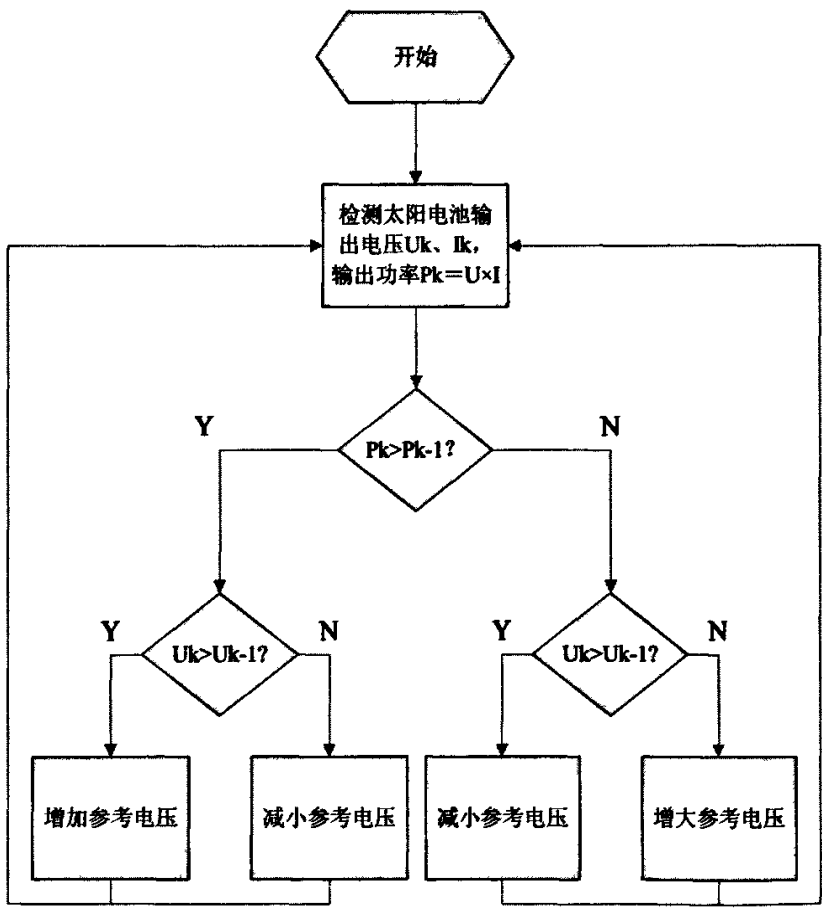


图 4—2 MPPT 最大功率跟踪控制流程图

4. 2. 2 显示系统主程序

主程序流程图如图 4-3 所示，主程序在启动以后先做端口、时钟等初始化工作，然后判断接受上位机（手机短信）的标志位，接受到信息之后分别置相应的数据缓冲区或控制命令。当系统收到上位机信息的时候，产生一个中断，此中断将负责判断是否有效消息，提取有效信息，置主程序执行命令等，如图 4-4 所示。

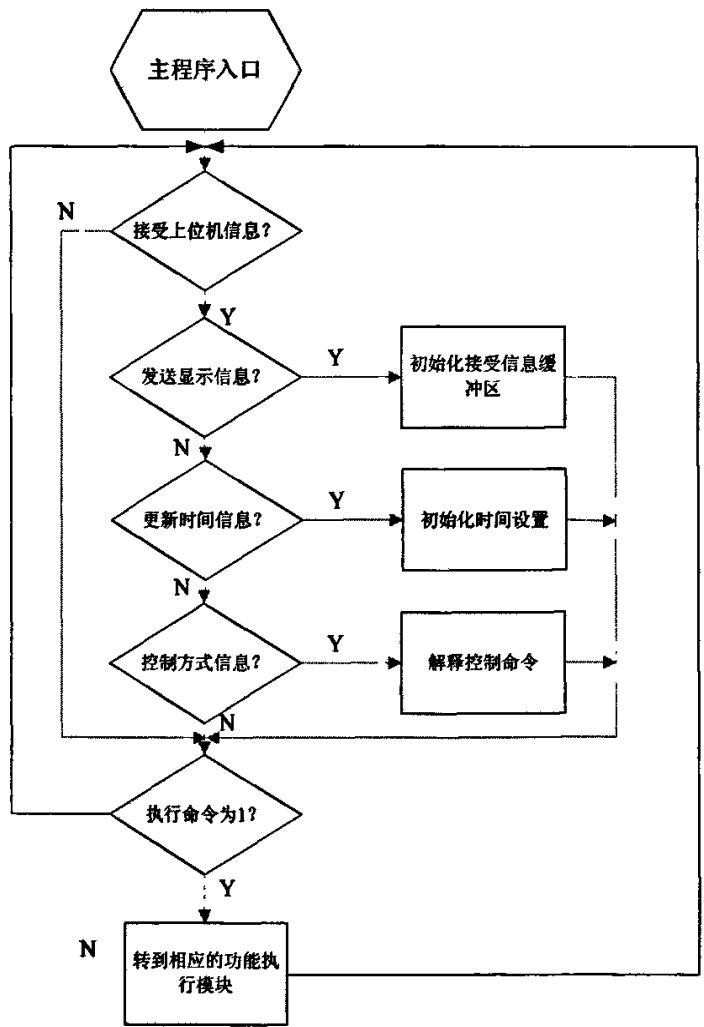


图 4-3 主程序流程图

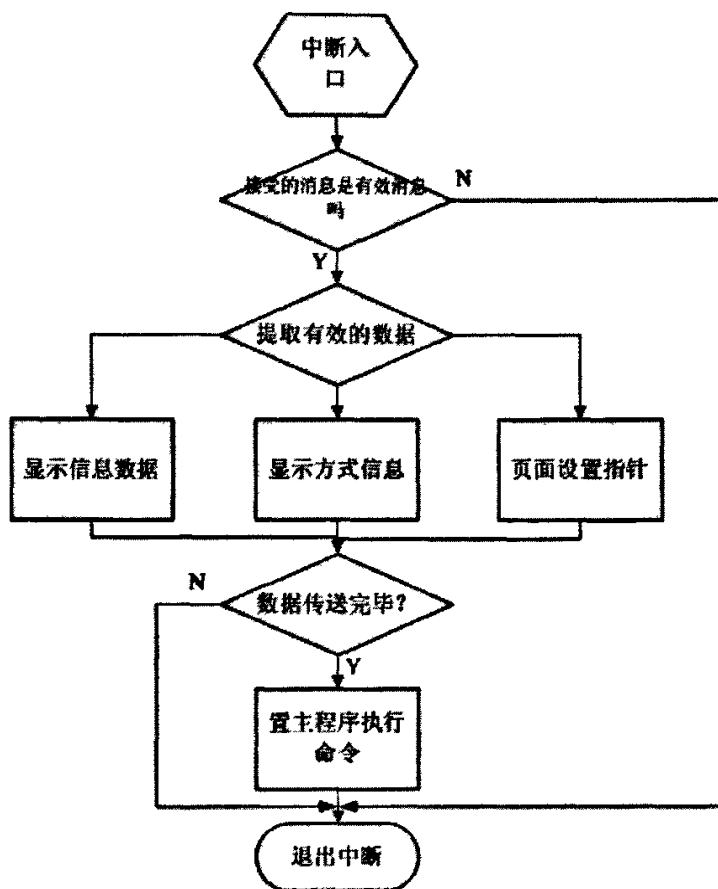


图 4-4 中断程序流程图

4. 2. 3 显示屏的显示控制子程序

前面已做过介绍，本系统所采用单片机是 ATmega16，它是一款 8 位的高性能、低功耗、采用先进的 RISC 结构的单片机，具有 16K 的 Flash，大容量的 Flash 可以存储足够的程序，不需要额外添加存储芯片。Flash 可擦除 10000 次以上，并支持在线擦写，功能强大。单片机接收到字符芯片的待显示点阵信息后，输出显示和控制命令到 LED 屏。

本课题设计的太阳能 LED 信息屏可以实现静态显示、动态移位显示、突现显示三种方式。显示数据前，单片机根据显示方式控制字，确定待显示方式。扫

描定时时间由中断控制，本课题每行扫描时间为 0.5ms，16 行一共需要扫描 8ms，这也就是扫描一屏的时间，每秒钟能扫描 125 屏。根据人眼延时特性，每秒钟扫描超过 25 屏，人眼就不觉得闪烁。所以这个扫描频率是可以保证画面无闪烁感。

下面以左移为例介绍一下动态显示（左移、右移等）的控制方法：

显示屏的显示内容每隔一定的时间（这里的时间要控制好，以人眼看起来顺畅为准）循环左移 1 列，动态移位显示效果是由一幅幅不同内容的屏幕画面组成的，因此，软件设计上，只要按一定的时间间隔改变显示缓冲区的内容，使显示缓冲区的点阵数据左移一列，就可以实现动态显示的效果，由于显示缓冲区的所有显示点阵数据左移 1 列需要一定时间，不可能在两次定时中断间隔内实现这一处理过程。因此，本课题采取两个显示缓冲区，一个用于保存当前屏幕显示的数据，另一个用于对当前数据做左移一列处理，到达左移时间间隔后，切换当前显示缓冲区到已左移一列的缓冲区，然后对另外一个缓冲区的数据执行左移一列处理，在左移之前，把当前显示缓冲区的内容复制到要进行左移的缓冲区，这样就保证了数据的一致。

两个缓冲区的处理是相互独立的，只要保证定时中断有足够的时间刷新显示屏的显示，就保证了图像的连续性。

采用动态移位显示方式，显示缓冲区的大小一般比显示屏能同时显示的字符数要多半个字，也就是多 8 列。随着显示缓冲区的增大，移位处理时间也相应增加了，这个时候单片机的处理速度就会对显示容量造成限制。

另外，显示页面的设置由单片机的定时中断来完成，当定时中断产生后，先判断是否需要重载显示指针，然后读取显示数据，送出数据进行扫描显示。

信息屏显示控制流程图如下：

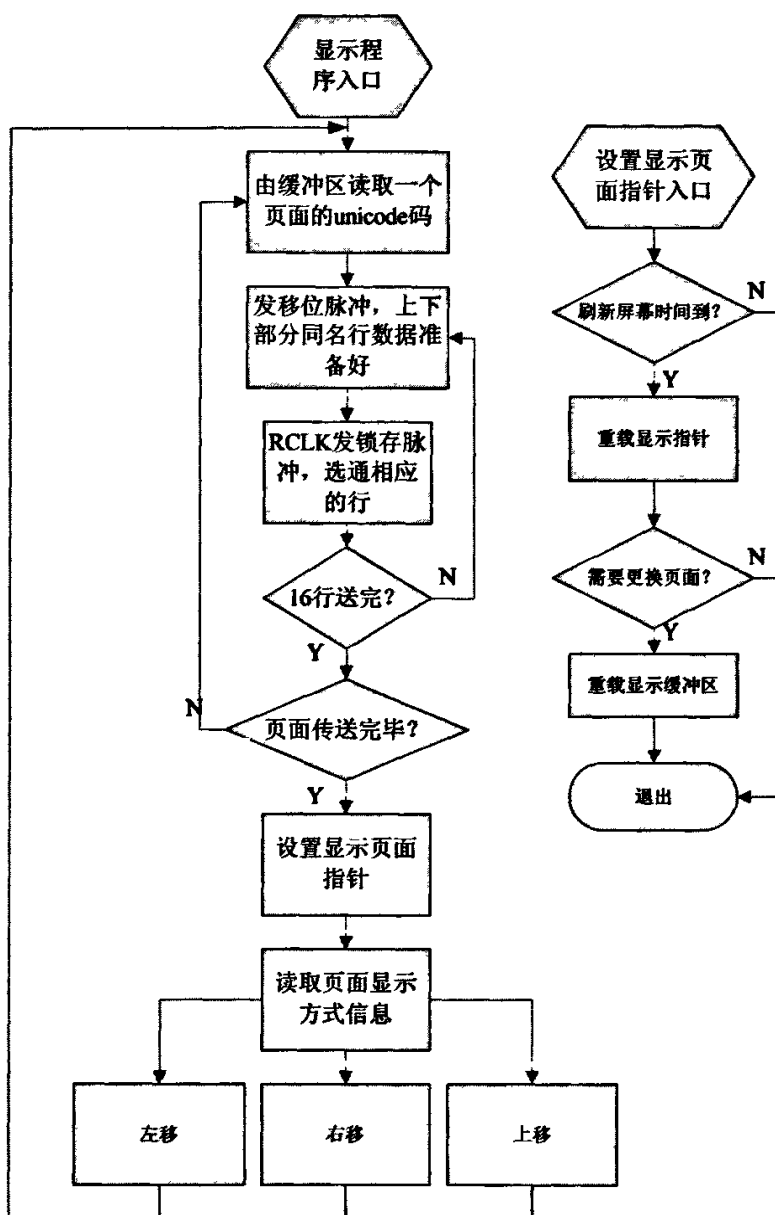


图 4-6 信息屏显示控制流程图

第 5 章 总结与展望

5.1 全文总结

光电产业的迅速发展，带动了 LED 信息屏技术的飞速发展，LED 信息屏也成为非常具有市场前景的热门产品。太阳能作为一种新型的绿色可再生能源，是世界上最具有发展前途的能源之一。本课题研制了太阳能 LED 信息屏，完成的工作有以下几个方面：

- (1) 分析了几种 LED 驱动方式的优劣，提出选用动态扫描显示方式。
- (2) 阐述了普通 LED 驱动方式损耗能量过大的缺陷，设计新的 LED 信息屏驱动方法。
- (3) 设计一种高效、简单、实用的太阳电池最大功率跟踪方法（MPPT）进行充电控制，并具有蓄电池过压、欠压、过流保护，以及温度补偿等功能。
- (4) 设计直流稳压电源，满足了系统低电压、大电流的电源需求。
- (5) 软件控制实现信息屏的动态移动显示，显示方式有上移、左移、右移、突现等方式。

5.2 未来工作展望

本文从节能省耗入手对太阳能 LED 信息屏进行研制，基本能按照设计思路完成系统。但也发现了不少问题，今后仍需进一步展开工作：

- (1) 太阳能 LED 信息屏由太阳能电池独立供电，因此在设计中还需要进一步降低损耗和提高显示亮度。
- (2) 脉冲电源亮度控制技术尚不成熟，需进一步完善。

参考文献

- [1] 鲍超.发光二极管测试技术和标[J].物理学和高新技术, 2005, 5: 319-324
- [2] 王晓明, 郭伟玲, 高国等. LED 新一代照明光源[J].现代显示, 2005, 7:15-19
- [3] 金尚忠, 王东辉. 发光二极管光谱参数测试方法的研究[J].光电子.激光, 2002, 8:825-827
- [4] 毛兴武. LED 的发展与应用[J].电子元器件应用, 2005,10:77-79;
- [5] 方志烈.发光二极管材料与器件的历史、现状和展望[J].物理学和高新技术, 2003,5:295~301
- [6] LED 显示屏发展状况及趋势《世界产品与技术》2000 年第 2 期
- [7] 刘曙光.全彩 LED 电子显示屏的可靠性设计, 国际光电与显示, 2002
- [8] 程明. 新能源与分布式电源系统(上). 电力需求侧管理. 2003. S (3) 44-46
- [9] 朱亚杰, 李锦堂. 太阳能与可再生能源[J]. 太阳能, 1995, 4: 2-6
- [10] 高峰, 孙成权, 刘全根. 太阳能开发利用的现状与发展趋势[J]. 世界科技研究与发展, 2001, 23(4), 35-39.
- [11] 国资源综合利用协会可再生能源专业委员会, 中国新能源和可再生能源技术与产品, 2001
- [12] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M], 化学工业出版社. 2005 年 6 月
- [13] C. H. Cai, D. Du, Z. Y Liu and H. Zhang, "Artificial neural network in estimation of battery state-of-charge (SOC) with non-conventional input variables selected by correlational analysis", presented in Machine Learning and Cybernetics, 2002
- [14] Chenming Hu, Richard M. White, "Solar Cells", McGraw-Hill Inc, 1983: 3-10, 54-58
- [15] 赵富鑫, 魏彦章. 太阳电池及其应用, 国防工业出版社, 1985: 83-84, 207-213
- [16] 余世杰, 何慧若, 曹仁贤. 光伏水泵系统中 CVT 及 MPPT 的控制比较[J]. 太阳能学报, 1998,(04)
- [17] C. H. Cai, D. Du, Z. Y. Liu and H. Zhang, "Modeling and identification of

- Ni-MH battery using dynamic neural network", Proceedings of the First International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Beijing, China, November 2002
- [18] C.R. Sullivan, and M. J. Powers, "A High-Efficiency Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays in A Solar-Powered Pace Vehicle", IEEE PESC'93, Record, 1993: 574-580.
- [19] E.Koutroulis and K.Kalaitzakis. Novel battery charging regulation system for photovoltaic applications, IEE Proc—Electro. Power Appl. Vol. 151, No. 2, March 2004: 191-197
- [20] Hiroshi Isoda, Gunji Kimura, Mitsuo Shioya, Masato H. Ohsato. Battery Charging Characteristics in Small Scaled Photovoltaic System Using Resonant DC-DC Converter with Electric Isolation, IECON '90., 1990:1118-1123
- [21] F.Krim, Design and implementation of a novel microcontroller-based battery charge controller for maximum-power operation of stand-alone photovoltaic power systems CAN.J.ELECT.COMPUT.ENG, VOL.27,N0.2, April 2002: 55-59
- [22] S. Grewal and D. A. Grant, "A novel technique for modeling the state of charge of lithium ion batteries using artificial neural networks", presented at Telecommunications Energy Conference, INTELEC 2001.
- [23] Shane Duryea, Syed Islam, William Lawrance. A Battery Management System for Stand-Alone Photovoltaic Energy Systems, IEEE Industry Applications Magazine, May/June 2001:67-72
- [24] 朱松然.铅蓄电池实用手册[M].北京:机械工业出版社, 2002
- [25] 褚昌晨.LED 显示屏系统原理及工程技术. 成都: 电子科技大学出版社, 2000.
- [26] 应根裕, 胡文波, 邱勇等. 平板显示技术. 北京:人民邮电出版社.
- [27] CIE. The International Commission on Illumination. Measurement of LEDs[S] publication CIE 127.2, 2003
- [28] 胡家升. 光学工程导论[M]. 大连:大连理工大学出版社. 2005, 8
- [29] 巩宪锋, 李忠富. 质心原理在光纤光栅传感波长解调中的应用[J] 北京科技

大学学报, 2004

- [30] 祁玉生, 邵世祥. 现代移动通信系统. 人民邮电出版社, 1999, 56-78
- [31] 张崇巍, 张兴. PWM 整流器及其控制. 北京: 机械工业出版社, 2003. 15-18
- [32] Jiangping, Xu, "The Effects of Control techniques on the Transient Response Switching DC-DC Converter", IEEE PEDS'99, July 1999, HongKong
- [33] 阮新波, 严仰光. 脉宽调制 DC/DC 全桥变换器的软开关技术, 北京: 科学出版社, 1999. 20-21
- [34] Anthony John Stratakos. High-Efficiency Low-Voltage DC-DC Conversion for Portable Applications[D]:[PHD Dissertation] . University of California, Berkeley
- [35] Alou P, Cobos J A, Uceda J, et al. Design of a Low Voltage DC/DC Converter for Telecom Application with a New Scheme for Self-Driven Synchronous Rectification[A]. IEEE APEC'99[C]. 1999: 866-872
- [36] Dupraz J P, Luescher R, Montillet G F. A hybrid drive merging a servo-controlled motor and a spring mechanism. Power Delivery, IEEE Transactions on 2006, 21(2):640~645
- [37] http://www.microst.it/Tutorial/eng/dc_dc_eng_4.html
- [38] ATMEL Corporation. AVR 8-Bit RISC Devices. <http://www.atmel.com/>, 2006
- [39] 耿德根, 宋建国, 马潮等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用(修订版). 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
- [40] <http://www.imagecraft.com/>
- [41] Datasheet SN74HC594, Texas Instrument, SCLS040F-December 1982-Revised October 2003
- [42] 赵志诚, 陈志梅, 孙志毅. 汉字拼音首字母识别及在信息系统中的应用[J]. 太原重型机械学院学报, 2002, (2) ..
- [43] 中国计算机报 林宁 关于 GB18030 汉字编码标准集 GT20L16V1 标准点阵汉字字库芯片用户手册
- [44] 杨恒, 李龙文. 交叉级联正激式同步整流拓扑的实现. 电子技术. 2004, 第 1 期.
- [45] J. A. Cobos, O. Garcia, J. Sebastian, J. Uceda, F. Aldana, Optimized Synchronous Rectification Stage for low output voltage DC/DC conversion,

PESC, 1994

[46] Jovanovic M M ,Zhang C T ,and Lee F C. Evaluation of Synchronous Rectification Efficiency Improvement Limits in Forward Converters[J]. IEEE Trans. on IA , 1995 , 42(4): 387~395.

[47]湖南邮电管理局.蓄电池的使用和维护.人民邮电出版社.1975

[48] Battery Guide for Small Stand Alone PV Systems. IEA PVPS Task III 991223

附录1 C语言源代码

```
/*
*****
一共需要7个IO口, 3个HC138的片选, 2个data口, 数据输出, 一个RCLK(数据锁存脉冲), 一个SRCLK(数据移位脉冲), 138的三个片选信号接在PORTB口低三位PB0, PB1, PB2;
*****/

#include <iom16v.h>      //单片机官方公布的头文件, 包括了对IO寄存器的定义
#include <macros.h>      //包含了很多有用的宏和定义
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
#define row_len 4
#define dis_num 3
#define HC138_on 0xBF
#define HC138_off 0x40
uchar p;
uchar q; //定义移动速度
uchar BUFF1[6];
uchar BUFF2[6];
uint wordmove;
uchar moveflag;
uchar inc;
uchar choice; //移动高低

/******汉字点阵******/
uchar hanzi[] =          //点阵汉字信息
{
//括号内为点阵信息, 一个汉字分成两部分。根据硬件电路, 此数组的二维数为字数的两倍
};

uchar sw[8]={0x00,0x01,0x02,0x03,0x04,0x05,0x06,0x07}; //定义数组为行选择信号, 一共8行

/******端口定义******/
void Set_SRCLK(uchar i)  //移位脉冲
{
    if(i==1) PORTD|=0x08;
    else PORTD&=0xF7;
}

void Set_RCLK(uchar i)   //锁存脉冲
{
    if(i==1) PORTD|=0x04;
    else PORTD&=0xFB;
```

```

}

void Set_DATA1(uchar i)    //DATA1、DATA2 都是设定移位数据的 0 或 1 的
{
    if(i==0) PORTD|=0x10;
    else PORTD&=0xEF;
}

void Set_DATA2(uchar i)    //i 为向后选择字节计数器
{
    if(i==0) PORTD|=0x20;
    else PORTD&=0xDF;
}

//*****端口初始化*****//
void Port_init(void)
{
    PORTA = 0xFF;
    DDRA = 0xFF;
    PORTB = 0xFF;
    DDRB = 0xFF;
    PORTC = 0xFF;
    DDRC = 0xFF;
    PORTD = 0xFF;
    DDRD = 0xFF;
}

//*****数据准备*****//
void Load_Ldata(void)    //调整数据
{
    uchar s;
    for(s=0;s<=(dis_num-1);s++)    //其中 i 为向后选择字节计数器
    {
        BUFF1[2*s]=hanzi[p+32*s+wordmove];
        BUFF1[2*s+1]=hanzi[p+32*s+1+wordmove];

        BUFF2[2*s]=hanzi[p+32*s+16+wordmove]; //把第一个字模的字节放入 BUFF0
        中, 第二个字的字模的第一个字节放到 BUFF2 中
        BUFF2[2*s+1]=hanzi[p+32*s+17+wordmove]; //第一个字模的第二个字节放入
        BUFF1 中, 第二个字模的第三个字节放入 BUFF3 中
    }
}

void Load_Rdata(void)

```

```

{
uchar s;
    for(s=0;s<=(dis_num-1);s++)
    {
        BUFF1[2*s]=hanzi[p+wordmove+32*(2-s)];
        BUFF1[2*s+1]=hanzi[p+wordmove+32*(2-s)+1];
        BUFF2[2*s]=hanzi[p+wordmove+32*(2-s)+16];
        BUFF2[2*s+1]=hanzi[p+wordmove+32*(2-s)+17];
    }
}

void Load_Updata(void)                //准备往上移动的显示点阵数据
{
uchar s;
    for(s=0;s<=1;s++)
    {
        if(moveflag<8){
            if(p<(8-moveflag)*2){
                BUFF1[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)];
                BUFF1[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+1];
                BUFF2[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+16];
                BUFF2[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+17];
            }else {
                BUFF1[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)];
                BUFF1[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+1];
                BUFF2[2*s]=hanzi[2*(moveflag+p/2-8)+wordmove+32*(s+1)+64];
                BUFF2[2*s+1]=hanzi[2*(moveflag+p/2-8)+wordmove+32*(s+1)+65];
            }
        }else {
            if(p<(16-moveflag)*2) {
                BUFF1[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)];
                BUFF1[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+1];
                BUFF2[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+80];
                BUFF2[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+81];
            }else {
                BUFF1[2*s]=hanzi[2*(moveflag+p/2-16)+wordmove+32*(s+1)+64];
                BUFF1[2*s+1]=hanzi[2*(moveflag+p/2-16)+wordmove+32*(s+1)+65];
                BUFF2[2*s]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+80];
                BUFF2[2*s+1]=hanzi[p+moveflag*2+wordmove+32*(s+1)+81];
            }
        }
    }
}

//////////数据传输（左移）//////////

```

```

void Out_LeftDisp(void)
{
    uchar i;
    uchar s;
    uchar disbyte1;
    uchar disbyte2;
    uchar temp_moveflag;
    if(moveflag<8) {
        inc=0;
        temp_moveflag=moveflag;
    }else {
        inc=1;
        temp_moveflag=moveflag-8;
    }
    for(s=0+inc;s<row_len+inc;s++)    //左移算法
    {
        disbyte1=(BUFF1[s]<<temp_moveflag)|(BUFF1[s+1]>>(8-temp_moveflag));
        disbyte2=(BUFF2[s]<<temp_moveflag)|(BUFF2[s+1]>>(8-temp_moveflag));
        for (i=0;i<8;i++)    //移位寄存器送八位数据
        {
            if (disbyte1&0x01) {Set_DATA1(1);
            }else {Set_DATA1(0);
            }
            if (disbyte2&0x01) {Set_DATA2(1);
            }else {Set_DATA2(0);
            }
            Set_SRCLK(0);    ////拉低移位时钟
            Set_SRCLK(1);
            disbyte1>>=1;    ////拉高移位时钟
            disbyte2>>=1;
        }
    }
}

//////////右移函数//////////
void Out_RightDisp(void)
{
    uchar i;
    uchar s;
    uchar disbyte1;
    uchar disbyte2;
    uchar temp_moveflag;
    if(moveflag<8) {
        inc=0;
        temp_moveflag=moveflag;
    }

```



```

}else {
    inc=1;
    temp_moveflag=moveflag-8;
}
for(s=2-inc;s<2+row_len-inc;s++)    //右移算法
{
    disbyte1=(BUFF1[s]>>temp_moveflag)|(BUFF1[s-1]<<(8-temp_moveflag));
    disbyte2=(BUFF2[s]>>temp_moveflag)|(BUFF2[s-1]<<(8-temp_moveflag));
    for (i=0;i<8;i++)    //移位寄存器送八位数据
    {
        if (disbyte1&0x01) {Set_DATA1(1);
        }else {Set_DATA1(0);
        }
        if (disbyte2&0x01) {Set_DATA2(1);
        }else {Set_DATA2(0);
        }
        Set_SRCLK(0);    ////拉低移位时钟
        Set_SRCLK(1);
        disbyte1>>=1;    ////拉高移位时钟
        disbyte2>>=1;
    }
}
}
//////////上移函数//////////

```

```

void Out_UpDisp(void)
{
    uchar i;
    uchar s;
    uchar disbyte1;
    uchar disbyte2;
    for(s=0;s<row_len;s++)
    {
        disbyte1=BUFF1[s];
        disbyte2=BUFF2[s];
        for (i=0;i<8;i++)    //移位寄存器送八位数据
        {
            if (disbyte1&0x01) {Set_DATA1(1);
            }else {Set_DATA1(0);
            }
            if (disbyte2&0x01) {Set_DATA2(1);
            }else {Set_DATA2(0);
            }
        }
        Set_SRCLK(0);    ////拉低移位脉冲
    }
}

```

```

    Set_SRCLK(1);
    disbyte1>>=1; ///提高移位脉冲
    disbyte2>>=1;
}
}
}
//////////延时函数//////////
/*****us delay*****/
void delay(int time)
{
    int i;
    for(i=0;i<time;i++);
}

/*****中断初始化*****/
//call this routine to initialize all peripherals
/*void init_devices(void)
{
    //stop errant interrupts until set up
    CLI(); //disable all interrupts
    Init_IO();

    MCUCR = 0x00;
    GICR = 0x00;
    TIMSK = 0x00; //timer interrupt sources
    SEI(); //re-enable interrupts
    //all peripherals are now initialized
} */

/*****/

void main(void)
{
    Port_init();
    PORTC&=0xBF;           //去除抖动, 关闭显示
    moveflag=0;
    wordmove=0;
    choice=3;
    while(1)
    {
        for(;moveflag<16;moveflag++)
        {
            for(q=0;q<=120;q++)    //设定定时, 控制字幕的移动速度, q 越大速度越慢

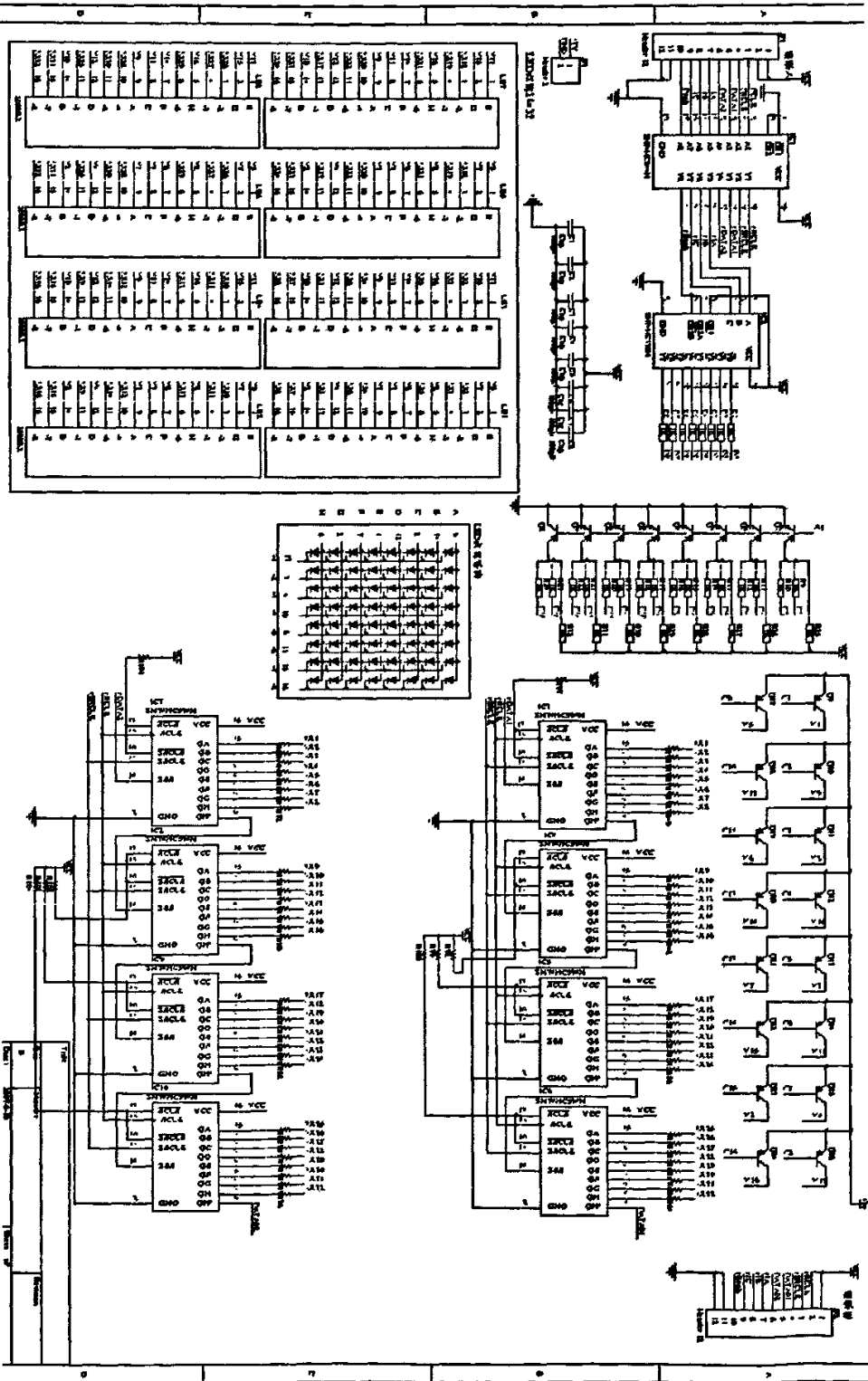
```

```

{
    for(p=0;p<=14;p+=2)
    {
        switch(choice){           //根据不同的选择，不同的显示方式
            case 1:
                Load_Rdata();      //调用数据存储缓存函数
                Out_RightDisp();    //调用右移函数
                break;
            case 2:
                Load_Ldata();
                Out_LeftDisp();     //调用左移函数
                break;
            case 3:
                Load_Updata();
                Out_UpDisp();       //调用上移函数
                break;
            default:
                break;
        }
        Set_RCLK(0);              //数据锁存器输出脉冲
        Set_RCLK(1);
        PORTB=sw[p/2];            //选通行选信号
    }
}
moveflag=0;
wordmove=wordmove+32;
if(wordmove>=576)               //判断缓冲区是否已经显示完毕
wordmove=0;
}
}

```

附录 2 系统的电路设计图



致谢

本论文的选题、课题的研究及论文撰写工作是在我的导师史斌宁教授的悉心指导下完成的。首先要感谢史老师在我攻读硕士学位的过程中，对我在学习、工作、思想、生活诸多方面的关怀和指导。史老师在学术上颇有建树，治学严谨，在科研中有着敏锐的洞察力和强烈的创新精神。对我在工作中的严格要求，认真指导，都将激励着我在往后的工作中继续努力，在此谨向他致以最衷心的感谢。

我还要感谢我们电力电子研究所的沈玉樑老师和傅诚老师对我课题的指导，两位老师丰富的实践经验和刻苦钻研精神让我受益匪浅。

另外还要感谢余世杰老师、何慧若老师、杜晓荣老师、周毅人老师、陈鸣老师、郑寿森老师、祁新梅老师、付青老师、蔡庆龄老师、王飞老师、赵彦老师！课题论文的顺利完成与你们的悉心指导和热情帮助是分不开的。

同时还要感谢在课题设计中给予我帮助的匡湫、侯建国、陈健、谢磊、张华林、刁向红、程华、黄勃、匡澍、王茹晖、胡焱等同学。和他们朝夕相处的岁月，永远是我最美好的回忆！

最后感谢我的父母和亲人，感谢他们在我多年来的求学之路上给予的无私关爱和奉献，使我有一个幸福温暖的家，使我能够安心学习。

黄 珀

2007 年 6 月

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：黄珀

日期：2007年6月