

合格的电子工程师需要掌握的知识和技能

掌握了一下的硬件和软件知识，基本上就可以成为一个合格的电子工程师：

第一部分：硬件知识

一、 数字信号

- 1、 TTL 和带缓冲的 TTL 信号
- 2、 RS232 和定义
- 3、 RS485/422（平衡信号）
- 4、 干接点信号

二、 模拟信号视频

- 1、 非平衡信号
- 2、 平衡信号

三、 芯片

- 1、 封装
- 2、 7407
- 3、 7404
- 4、 7400
- 5、 74LS573
- 6、 ULN2003
- 7、 74LS244
- 8、 74LS240
- 9、 74LS245
- 10、 74LS138/238
- 11、 CPLD(EPM7128)
- 12、 1161
- 13、 max691
- 14、 max485/75176
- 15、 mc1489
- 16、 mc1488
- 17、 ICL232/max232
- 18、 89C51

四、 分立器件

- 1、 封装
- 2、 电阻：功耗和容值
- 3、 电容
  - 1) 独石电容
  - 2) 瓷片电容
  - 3) 电解电容
- 4、 电感

- 5、 电源转换模块
- 6、 接线端子
- 7、 LED 发光管
- 8、 8 字（共阳和共阴）
- 9、 三极管 2N5551

#### 10、 蜂鸣器

### 五、 单片机最小系统

- 1、 单片机
- 2、 看门狗和上电复位电路
- 3、 晶振和瓷片电容

### 六、 串行接口芯片

- 1、 eeprom
- 2、 串行 I/O 接口芯片
- 3、 串行 AD、 DA
- 4、 串行 LED 驱动、 max7129

### 七、 电源设计

- 1、 开关电源：器件的选择
- 2、 线性电源：
  - 1) 变压器
  - 2) 桥
  - 3) 电解电容
- 3、 电源的保护
  - 1) 桥的保护
  - 2) 单二极管保护

### 八、 维修

- 1、 电源
- 2、 看门狗
- 3、 信号

### 九、 设计思路

- 1、 电源：电压和电流
- 2、 接口：串口、开关量输入、开关量输出
- 3、 开关量信号输出调理
  - 1) TTL—>继电器
  - 2) TTL—>继电器（反向逻辑）
  - 3) TTL—>固态继电器
  - 4) TTL—>LED（8 字）
  - 5) 继电器—>继电器
  - 6) 继电器—>固态继电器

#### 4、 开关量信号输入调理

1) 干接点—>光耦

2) TTL—>光耦

#### 5、 CPU 处理能力的考虑

#### 6、 成为产品的考虑:

1) 电路板外形: 大小尺寸、异形、连接器、空间体积

2) 电路板模块化设计

3) 成本分析

4) 器件的冗余度

1. 电阻的功耗

2. 电容的耐压值等

5) 机箱

6) 电源的选择

7) 模块化设计

8) 成本核算

1. 如何计算电路板的成本?

2. 如何降低成本? 选用功能满足价格便宜的器件

#### 十、 思考题

1、 如何检测和指示 RS422 信号

2、 如何检测和指示 RS232 信号

3、 设计一个 4 位 8 字的显示板

1) 电源: DC12

2) 接口: RS232

3) 4 位 3"8 字 (连在一起)

4) 亮度检测

5) 二级调光

4、 设计一个 33 位 1"8 字的显示板

1) 电源: DC5V

2) 接口: RS232

3) 3 排 11 位 8 字, 分 4 个、3 个、4 个 3 组, 带行与行之间带间隔

4) 单片机最小系统

5) 译码逻辑

6) 显示驱动和驱动器件

5、 设计一个 PCL725 和 MOXA C168P 的接口板

1) 电源: DC5V

2) 接口: PCL725/MOXA 8 个 RS232

1. PCL725, 直立 DB37, 孔

2. MOXA C168P, DB62 弯

3) 开关量输出信号调理：6 个固态继电器和 8 个继电器，可以被任何一路信号控制和驱动，接口：固态继电器 5.08 直立，继电器 3.81 直立

4) 开关量输入调理：干接点闭合为 1 或 0 可选，接口：3.81 直立

5) RS232 调理：

1. LED 指示

2. 前 4 路 RS232 全信号，后 4 路只需要 TX、RX、0

3. 无需光电隔离

4. 接口形式：DB9（针）直立

第二部分：软件知识

一、 汇编语言

二、 C51

该部分可以从市场上买到的 N 种开发板上学到，至于第一部分，需要人来带吧。为什么要掌握这些知识？

实际上，电子工程师就是将一堆器件搭在一起，注入思想（程序），完成原来的这

些器件分离时无法完成的功能，做成一个成品。所需要的技能越高、功能越复杂、成本越低、市场上对相应的东东的需求越大，就越成功。这就是电子工程师的自身

的价值。从成本到产品售出，之间的差价就是企业的追求。作为企业的老板，是在

市场上去寻找这样的应用；对电子工程师而言，是将老板提出的需求或者应用按照

一定的构思原则（成本最低、可靠性最高、电路板最小、功能最强大等）在最短的

时间内完成。最短的时间，跟电子工程师的熟练程度、工作效率和工作时间直接有

关。这就是电子工程师的价值。

将电子产品抽象成一个硬件的模型，大约有以下组成：

1) 输入

2) 处理核心

3) 输出

输入基本上有以下的可能：

1) 键盘

2) 串行接口（RS232/485/can bus/以太网/USB）

3) 开关量（TTL，电流环路，干接点）

4) 模拟量（4~20ma、0~10ma、0~5V（平衡和非平衡信号））

输出基本上有以下组成：

1) 串行接口（RS232/485/can bus/以太网/USB）

- 2) 开关量（TTL、电流环路、干接点、功率驱动）
- 3) 模拟量（4~20ma, 0~10ma, 0~5V（平衡和非平衡信号））
- 4) LED 显示：发光管、八字
- 5) 液晶显示器
- 6) 蜂鸣器

处理核心主要有：

- 1) 8 位单片机，主要就是 51 系列
- 2) 32 位 arm 单片机，主要有 atmel 和三星系列

51 系列单片机现在看来，只能做一些简单的应用，说白了，这个芯片也就是做单一

的一件事情，做多了，不如使用 arm 来做；还可以在 arm 上加一个操作系统，程序既

可靠又容易编写。

最近三星的 arm 受到追捧，价格便宜，以太网和 USB 的接口也有，周立功的开发系统

也便宜，作为学习 ARM 的产品来说，应该是最好的；作为工业级的控制，是不是合

适，在网友中有不同的看法和争议。本公司使用 atmel ARM91 系列开发的 1 个室外使

用的产品，在北京室外使用，没有任何的通风和加热的措施，从去年的 5 月份到现

在，运行情况良好。已经有成功应用的案例。

但对于初学者来说，应该从 51 着手，一方面，51 还是入门级的芯片，作为初学者练

手还是比较好的，可以将以上的概念走一遍；很多特殊的单片机也是在 51 的核

的基础上增加了一些 I/O 和 A/D、D/A；也为今后学习更高一级的单片机和 ARM 打下基础。

再说了，哪个老板会将 ARM 级别的开发放在连 51 也没有学过的新手手中？

在 51 上面去做复杂的并行扩展是没有必要的，比如，扩展 I/O 口和 A/D、D/A 等等，

可以直接买带有 A/D、D/A 的单片机；或者直接使用 ARM，它的 I/O 口线口多。可以使

用 I2C 接口的芯片，扩展 I/O 口和 A/D、D/A，以及 SPI 接口扩展 LED 显示，例如：

MAX7219 等芯片。

市面上一些比较古老的书籍中还有一些并行扩展的例子，如：RAM、EPROM、A/D、

D/A 等，我觉得已经没有必要去看了，知道历史上有这些一回事就行了；

这知识，是所有产品都具备的要素。所以要学，再具体应用。

说一个小的故事：野人献曝。

从前，有一个农民，冬天干了活后，休息晒太阳。好舒服呀。

他想，这么舒服的享受，我要献给国王，让他也能得到享受。

于是他兴冲冲地到了王宫，将他的宝贵经验献给了国王。

我现在就象这个农民，把自己认为很宝贵的经验献给大家。希望大家多提宝贵意见

；拍板砖也可以，骂我也无所谓，呵呵，随便。

第一课：51 单片机最小系统

实际上，51 单片机核心外围电路是很简单的，一个单片机+一个看门狗+一个晶振

+2 个磁片电容；

1. 单片机：atmel 的 89C51 系列、winbond 的 78E52 系列，还有 philips 的系列，都差

不多；现在有一些有 ISP（在线下载的），就更好用了；

2. 看门狗：种类很多，我常用的有 max691/ca1161 和 DS1832 等，具体看个人习惯、

芯片工作电压、封装等。Max 系列和 DS 系列，还有 IMP 公司的，种类很多，一般只需

要有最基本的功能就可以了；原来我使用 max691，但是 max691 比较贵，因为它有电

池切换功能，后来新设计电路板，就都采用 ca1161 了。

很早以前的电路设计中，现在可能还有人使用，使用一个电阻和一个电容达成的上

电复位电路；但是，这样的复位电路一个是不可靠，为什么不可靠，网络上能找得

到专门论述复位电路的文章；更重要的是，51 系列的单片机比较容易受到干扰；没

有看门狗电路是不行的，当程序跑飞时，回不来了，死在那里。

常规的做法是买一个专门的看门狗电路，完成复位电路和看门狗电路的功能。

这些芯片的资料很容易在网络上找到，通常使用百度搜索就可以了；看见有 PDF 的

字样，就点击下载；使用网际快车 flashget 下载也是最好的；

这些资料通常是 pdf 格式的文件，所以，还需要一个 pdf 的阅读器。

百度网址：<http://www.baidu.com/>

网际快车下载网址：<http://www.skycn.com/soft/879.html>

PDF 阅读器下载网址：<http://www.chinapdf.com/download.htm>

实际上，有了百度和其它的搜索引擎，很方便下载到这些芯片的资料，比光盘还方便，不需要去到处找。

单片机和单片机抗干扰能力是不一样的。如果你的产品是工作在干扰比较大的环境

，可以试试选用不同品牌的单片机；原来我在一个光电所，做 YAG 激光治疗机的控制部分，脉冲激光机的电源放电的时候，能量是很大的，在采取了所有能够想到的

光电隔离等措施之后，还是不行；后来，选用了 intel 的 8031，就可以了。小声的

说：当时的 philips 的单片机抗干扰性能是最差的，可能跟 Philips 主要是用在民用

领域有关。现在不知道怎么样了，有人知道的话告诉我。

单片机的输入输出线是最容易引进干扰的地方；在严重干扰的情况下，需要将所

有的口线光电隔离。

3. 晶振：一般选用 11.0592M，因为可以准确地得到 9600 波特率和 19200 波特率；也

可以使用 36.864M，这个频率是 1.8432M 的 20 倍，看别人的电路板上用过，我还没有

用到。这 2 种晶振很容易买到，价钱跟 12M 的一样。书上说，12M 的晶振也能得到

9600 的波特率，但是，实际用的时候，会每隔一段时间就出错一次，好像累积误差

一样，比较奇怪。

即使你的单片机系统不使用 RS232 接口，也可以做一个 Rs232，留着做测试，或者预

留等等，没有坏处。除非你的单片机系统的口线不够用了。

4. 磁片电容：22pf~30pf，可以在有些书上找到什么晶振频率对应什么容量的磁

片电容，但是，我都是随便拿来使用，反正在 11.0592M 下，都没有问题；如果你用

到了更高的频率，最好还是找找资料看看。

参见以下电路图：

如果你的单片机系统没有工作，检查步骤如下：

1. 查看门狗的复位输出，可能的话在电路板上加一个 LED，下拉，这样看起来就更

方便；要是看门狗复位信号有，往下；

2. 查单片机，看看管脚有没有问题；一般编程器能够将程序写入，说明单片机是

好的；最好手头上准备一个验证过的单片机，内部有一个简单的程序，比如，在某

个口线上输出 1 个 1 秒占空比的方波等，可以使用万用表测量。

加一句：设计产品时，要在关键的地方：电源、串口、看门狗的输出和输入、I/O

口等加不同颜色的 LED 指示，便于调试；作为批量大的产品，可以去掉部分 LED，一

方面是降低成本、一方面是流程保密；

3. 再查磁片电容，有些瓷片电容质量不行，干脆换了；顺便说一下，换器件最好

使用吸锡带，将焊盘内的锡吸干净，再将器件拔出，这样不会损伤焊盘内的过孔；再将新的瓷片电容焊接上去的时候，用万用表量量是好的再焊；

4. 最后只有换晶振了；切记要买好的晶振，有些品牌质量比较好。

5. 以上按照以上步骤检测时，将无关的外围芯片去掉；因为有一些是外围器件的

故障导致单片机最小系统没有工作。

第二课 基本的芯片和分立器件

2.1 简述

2.2 74 系列

2.3 CD4000 系列

2.4 光耦与光电管

2.5 三极管

2.6 电容电阻

2.7 固态继电器

2.8 继电器

2.9 变压器和三端稳压器

2.10 开关电源芯片

2.11 封装知识、芯片批号等

2.12 接插件

2.13 器件选购的知识

第三课 数字量的输入输出

第四课 单片机的通讯接口

第五课 单片机系统设计的硬件构思

第六课 单片机程序的框架（汇编版本）

第七课 模拟量的输入输出



.....

各位多提宝贵意见。

保证实用。如果程序里面有一些例程，也是已经经过测试可以拿来就用的；实际上

是我早年的一些产品的程序的一部分；不好意思，都是汇编的。

写的时间只有周末会多一些，可以保证做到一周一课；尽量能够提前，但是这要看

看工作忙不忙了。

坊间有一些参考书，准备今天上午到北京中发市场转了一圈，我记得以下参考书目

较好：

1. 周航慈：《单片机程序设计》
2. 徐涵芳：《MCS-51 单片机结构与设计》
3. 何立民：《.....》

有了这些就基本够用了；其它的很多都是资料的翻译；如果英文不好，可以看看；英文好的话，可以不必了，省电费买开发系统和编程器、开发板什么的，需要什么

资料直接下载 PDF 文件好了。

要想成为电子工程师，需要宽带，在家里安装包月的 **adsl** 或者长宽，绝对值得。

实际上，网络上什么都有了，就是一个网络数据库，要好好利用。

网上自有黄金屋，网上自有颜如玉.....

## 第二课 基本的芯片和分立器件

### 2.1 简述

有必要对以下系列的芯片和分立器件进行介绍。

除了单片机作为控制器的核心外，作为一个产品，由很多东西构成；所以，在讲系

统之前，先将这些零零碎碎的东西一并交待。就好像一栋房子，有各种各样的构件

组成，下面的这些东东就像砖瓦一样，没有不行。

### 2.2 74 系列芯片

74 系列的芯片的下载地址：

<http://www.dainau.com/TTLDATASHEET.htm>

[http://www.100y.com.tw/asp/class36\\_40.htm](http://www.100y.com.tw/asp/class36_40.htm)

<http://www.mcu51.com/download/digitpdf/74xx/default.htm>

74 系列的芯片是古老的一族，大部分的芯片现在均已不用了，但是，实际上，在目

前的系统中，还能看到一些芯片，有些芯片现在还在系统中使用，例如：

### 1、 7404 – 6 个反相门

下载地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=125533>

将输入的 TTL 逻辑反相，如：0->1，1->0

### 2、 7407 – 6 个集电极开路门

下载地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=125518>

由于集电极开路门可以外接高电压，可以最高到 DC30V，电流最大到 39mA，通常我

用它驱动 8 字数码管和继电器等大电流的负载；开路门内部结构是达林顿管的，输

出的逻辑是正确的；

与其类似的芯片是 7406，只不过是反相开路门。

### 3、 74LS573 与 74LS373 – 8 数据锁存器

74LS373 下载地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=129171>

74LS573 下载地址：

<http://www.yddz.net/yddzsourse/pdf/74hc573.pdf>

引入几个概念：

#### 1. 真值表

参见 74LS373 的 PDF 的第 2 页：

Dn LE OE On

H H L H

L H L L

X L L Qo

X X H Z

这个就是真值表，表示这个芯片在输入和其它的情况下的输出情况。

每个芯片的数据手册（datasheet）中都有真值表。

布尔逻辑比较简单，在此不赘述；

#### 2. 高阻态

就是输出既不是高电平，也不是低电平，而是高阻抗的状态；在这种状态下，可以

多个芯片并联输出；但是，这些芯片中只能有一个处于非高阻态状态，否则会将芯

片烧毁；

高阻态的概念在 RS232 和 RS422 通讯中还可以用到。

#### 3. 数据锁存

当输入的数据消失时，在芯片的输出端，数据仍然保持；  
这个概念在并行数据扩展中经常使用到。

#### 4. 数据缓冲

加强驱动能力。74LS244/74LS245/74LS373/74LS573 都具备数据缓冲的能力。

OE: output\_enable, 输出使能；

LE: latch\_enable, 数据锁存使能，latch 是锁存的意思；

Dn: 第 n 路输入数据；

On: 第 n 路输出数据；

再看这个真值表，意思如下：

第四行：当 OE=1 是，无论 Dn、LE 为何，输出端为高阻态；

第三行：当 OE=0、LE=0 时，输出端保持不变；

第二行第一行：当 OE=0、LE=1 时，输出端数据等于输入端数据；

结合下面的波形图，在实际应用的时候是这样做的：

- a. OE=0；
- b. 先将数据从单片机的口线上输出到 Dn；
- c. 再将 LE 从 0->1->0
- d. 这时，你所需要输出的数据就锁存在 On 上了，输入的数据在变化也影响不到输出的数据了；实际上，单片机现在在忙着干别的事情，串行通信、扫描键盘.....单片机的资源有限啊。

在单片机按照 RAM 方式进行并行数据的扩展时，使用 movx @dptr, A 这条指令时，这

些时序是由单片机来实现的。

后面的表格中还有需要时间的参数，你不需要去管它，因为这些参数都是几十 ns 级

别的，对于单片机在 12M 下的每个指令周期最小是 1us 的情况下，完全可以实现；如

果是你自己来实现这个逻辑，类似的指令如下：

```
mov P0,A ;将数据输出到并行数据端口
```

```
clr LE
```

```
setb LE
```

```
clr LE ;上面三条指令完成 LE 的波形从 0->1->0 的变化
```

74ls573 跟 74LS373 逻辑上完全一样，只不过是管脚定义不一样，数据输入和输出端

各在一侧，PCB 容易走线；所以大家都喜欢使用这个芯片。

#### 4、 74LS244 – 数据缓冲器

下载地址：

<http://www.mcu51.com/download/digitpdf/74xx/74F244.pdf>

数据输出能力比较强，输出电流可以到 40mA 以上；

4 个缓冲器分成 2 组，具有高阻态控制端口

#### 5、 74LS245 – 总线缓冲器

<http://www.mcu51.com/download/digitpdf/74xx/74F245.pdf>

双向数据接口，通常在 ISA 板卡上可以看到；

早期的 51 系统中，为了扩展 RAM、eprom、A/D、D/A、I/O 等经常可以看到这个片子

；

为了增强驱动能力，有时是为了隔离输入和输出，主要是布线方便，象 74LS573 一

样，输入、输出在一侧，经常用到这个片子

#### 6、 74LS138 – 三—八译码器

<http://www.mcu51.com/download/digitpdf/74xx/74F138.pdf>

在早期的 51 系统的扩展中，作为地址选通的片子，可以经常看到。

另外一个类似的芯片是 74LS154，是 4-16 译码器，现在更是少见了。

有兴趣的可以研究一下何立民的经典著作中的有关章节。

知道有这么一个芯片就可以了。

### 2.3 CD4000 系列

CD4000 系列的芯片，除了跟 74 系列的电气特性有所区别外，例如：

1) 电压范围宽，应该可以工作在 3V~15V，输入阻抗高，驱动能力差外，跟 74 系列

的功能基本没有区别；

2) 输入时，1/2 工作电压以下为 0，1/2 工作电压以上为 1；

3) 输出时，1=工作电压；0=0V

4) 驱动能力奇差，在设计时最多只能带 1 个 TTL 负载；

5) 如果加上拉电阻的话，至少要 100K 电阻；

6) 唯一现在使用的可能就是计数器，CD4060 的计数器可以到 14 级二进制串行计数/

分频器，这个 74 系列的做不到这么高；

下载地址：

[http://www.100y.com.tw/asp/class36\\_40.htm](http://www.100y.com.tw/asp/class36_40.htm)

[http://www.100y.com.tw/pdf\\_file/CD4060.PDF](http://www.100y.com.tw/pdf_file/CD4060.PDF)

### 2.4 ULN2003/ULN2008

它的内部结构也是达林顿的，专门用来驱动继电器的芯片，甚至在芯片内部做了

—

个消线圈反电动势的二极管。ULN2003 的输出端允许通过 IC 电流 200mA，饱和压降

VCE 约 1V 左右，耐压 BVCEO 约为 36V。用户输出口的外接负载可根据以上参数估算

。采用集电极开路输出，输出电流大，故可以直接驱动继电器或固体继电器(SSR)

等外接控制器件，也可直接驱动低压灯泡。

经常在工控的板卡中见到这个芯片。

有个完全一样的型号：MC1413，不过现在好像不怎么见到这个型号了，但是管脚与

2003 完全兼容。

ULN2003 可以驱动 7 个继电器；ULN2008 驱动 8 个继电器。

ULN2003 下载地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=148212>

ULN2008 下载地址：

没有找到。奇怪啊。

## 2.5 光耦

光耦是做什么用的？光耦是用来隔离输入输出的，主要是隔离输入的信号。

在各种应用中，往往有一些远距离的开关量信号需要传送到控制器，如果直接将这

些信号接到单片机的 I/O 上，有以下的问题：

- 1) 信号不匹配，输入的信号可能是交流信号、高压信号、按键等干接点信号；
  - 2) 比较长的连接线路容易引进干扰、雷击、感应电等，不经过隔离不可靠
- 所以，需要光耦进行隔离，接入单片机系统。

常见的光耦有：

- 1) TLP521-1/ TLP521-2/ TLP521-4，分别是 1 个光耦、2 个光耦和 4 个光耦，HP 公司

和\*\*\*的东芝公司生产。

下载地址：

[http://www.100y.com.tw/pdf\\_file/TLP521-1-2,4.PDF](http://www.100y.com.tw/pdf_file/TLP521-1-2,4.PDF)

发光管的工作电流要在 10mA 时，具有较高的转换速率；

在 5V 工作时，上拉电阻不小于 5K，一般是 10K；太小容易损坏光耦；

- 2) 4N25/4N35，motorola 公司生产

下载地址：

[http://www.100y.com.tw/pdf\\_file/4N25-8,35-7,H11A1-5.PDF](http://www.100y.com.tw/pdf_file/4N25-8,35-7,H11A1-5.PDF)

隔离电压高达 5000V；

- 3) 6N136，HP 公司生产

下载地址:

[http://www.100y.com.tw/pdf\\_file/6N135-6.PDF](http://www.100y.com.tw/pdf_file/6N135-6.PDF)

要想打开 6N136, 需要比较大的电流, 大概在 15~20mA 左右, 才能发挥高速传输数据

的作用。

如果对速率要求不高, 其实 TLP521-1 也可以用, 实际传输速率可以到 19200 波特率

。

选择光耦看使用场合, tlp521-1 是最常用的, 也便宜, 大概 0.7~1 元;

要求隔离电压高的, 选用 4N25/4N35, 大概在 3 元左右;

要求在通讯中高速传输数据的, 选用 6N136, 大概在 4 元左右。

光耦应用的原理框图如下所示:

1. 输入干接点隔离
2. 输入 TTL 电平隔离
3. 输入交流信号隔离
4. 输出 RS232 信号隔离
5. 输出 RS422 信号隔离

光耦除了隔离数字量外, 还可以用来隔离模拟量。将在今后的章节中描述。

2.6 三极管

2.7 光电管

2.8 电容

2.9 电阻

2.10 固态继电器

2.11 继电器

2.12 变压器与整流桥

2.13 三端稳压器

2.14 开关电源芯片

2.15 封装知识、芯片批号等

2.16 接插件

2.17 器件选购的知识

2.6 三极管

2.6.1 三极管的 4 种工作状态

1) 饱和导通状态

饱和导通=0

## 2) 截止状态

饱和导通=1

## 3) 线性放大状态

作为低频放大器时使用，具体的可参见有关电子线路的书籍；

## 4) 非线性工作状态

在无线电通信系统中，作为混频器等使用。具体的可参见有关电子线路的书籍；

愚记得南京工学院也就是现在的东南大学在 80 年代初期有一套《电子线路》5 本，

是电子专业的书籍，比较难懂；现在，即使是在电子专业的学生中，也应该降低了

对三极管的哪些复杂的参数的要求了吧；在实际使用时，即使是模拟电路、非线性

电路，也都是集成电路了，谁还使用三极管自己做呢？如果万一需要，现学也来得

及。这套书很强的。编写人在那个年代肯定都是牛人。

学三极管这些参数很繁琐的，要是现在的非电子类的大学生或者大专生们还学这些

玩意，我只能说是学校在误人子弟了。

好多学校都在扩招，很多学生念了 4 年下来，学了一堆过时的理论，跟实际的东西

一点没有接轨，不知道 7407 是干什么用得，不知道三极管的几个状态；我只能无话

可说。

所以，念了 4 年下来，跟企业的需求还有一段距离，还需要从头来过；聪明的学生

赶紧抓住机会去学习，去实习，这样，还可以赶紧补上实际应用的这一课。

言归正传。

参见下图：

当单片机的口线输出电平为 1 时，三极管的 be 结导通，ce 结导通，输出的电压值为

0V；

当单片机的口线输出电平为 0 时，三极管的 be 结不导通，ce 结截止，输出的电压值

为 5V；

在这种数字电路的应用中，相当于三极管是一个反相开路门。

计算是否导通，公式如下：

$I = B \text{（放大倍数，希腊字母的贝塔）} \times I_{be}$

当  $I_{CE} < I_{CE(sat)}$

相差越大，饱和程度越深， $V_{CE}$  越小，三极管的输出内阻越小；

这个概念要用到光电管中。

设计使用时大概算算，心里有个数；在电路板上试试，行的通，那就是它了。可以

测量  $V_{CE}$  值，至少要小于 0.1V 就可以了。

常用的 PNP 三极管是 2N5551，驱动 40mA 的 LED（电压在 24V）、蜂鸣器等均没有问题

。

### 2.6.2 三极管的具体应用

实际上，已经有象 7407、ULN2003 可以取代三极管在数字电路中的作用；但是，有

时是受到 PCB 面积的制约，有时是为了降低成本，有时是因为布局方便，在 1~2 个输

出点时，还是可以使用三极管来做驱动的。

例如：驱动一个蜂鸣器；往往系统中的蜂鸣器跟其它驱动设备，继电器等，距离较

远；这时，没有必要使用一片 7407，或者 ULN2003 来驱动；驱动接口如下：

Re:从 51 初学者到电子工程师（转帖）

## 2.7 光电管

我这里所谓的光电管有 2 种：

1) 反射型光电管

2) 对射型光电管

这 2 种产品在市场上又可分为调理好的和没有调理好的；

这 2 种光电管在电子产品世界和电子技术应用杂志上都有大量的广告。随便找一本

都有。

我所说的调理好的指的是内部已经加了限流电阻和输出的放大驱动电路了。它的特

点是只有 3 根线，电源 2 根，输出信号一根，TTL 电平的；但是，有时受到某种限制

，需要使用没有调理好的，怎么办呢？

参见下图：光电管原理框图



这种没有调理好的光电管在使用时，需要做一块小的电路板，在发光管加限流电阻

，在光电三极管的集电极加上拉电阻到 5V，如下图所示：光电管工作框图 1。

但是，在使用中我发现，输出的信号不稳定，尤其是在使用比较长的电缆传输到单

片机的时候；究其原因，我认为是由于反射或者对射的红外光落在光电三极管的靶

面上，光强未能导致光电三极管深度饱和，使得输出的内阻偏大，环境的噪声和电

缆的干扰信号容易在线路上叠加的缘故；

为了可靠工作，仿照达林顿管的结构，在光电三极管的输出端加一个限流电阻接到

NPN 的 B 结，当无光的时候，2N5551 饱和导通，输出电压为 0V；实际测量小于 0.1V；

当有光，甚至是弱光时，2N5551 截至，输出电压为 5V。将 3K 电阻换成更大或更小的

电阻，可以调整光电三极管的输出的灵敏度。

具体工作过程可以自行分析，做个实验。

## 2.8 电容

### 2.8.1 电容的主要种类

电容有以下几大类：

- 1) 电解电容
- 2) 独石电容
- 3) 磁片电容
- 4) 胆（左金右旦）电解电容
- 5) 涤纶电容等

电容的指标是：耐压值和电容容量。例如：220u/50V，就是说，这个电解电容耐压

值为 50V，容量为 220u。

电容的容量跟电容的介质有关。

顾名思义：

电解电容为电解质作为介质的，铝作为电极；

独石电容是使用石头作为介质的；

磁片电容是磁片作为介质的；

胆（左金右旦）电解电容使用电解质作为介质，但是，电极采用胆（左金右旦）金

属。

涤纶电容采用涤纶作为介质。

有兴趣的网友可以拆一个电容看看。

## 2.8.2 电容的使用场合

### 1. 电源稳压和滤波

电解电容主要是用来稳压和低频交流滤波的；高频滤波是使用磁片电容和独石电容

。

当电解电容作为稳压时，接在整流桥和三端稳压器的输出端，起到稳定电压的作用

。其工作机理相当于一个水库，从上游来的带有波浪的水到了水库，就变的平滑了

。

但是，铝电解电容的电解质随着时间的推移会干涸，所以在设计时需要留有余量，保证系统正常工作到它的寿命。

有些远端供电的直流电源，接到电路板的输入端时，需要在电路板的电源输入端加

一个大的电解电容，通常可以是 **220u/25V**，这样，这块电路板需要供电时，不是直

接从电源处取，而是从电容中取电，可以得到稳定的电流供给；

但是，电解电容只能滤除低频的波动；对于直流电源中的高频波动，可以加一个 **0.1u** 或 **0.01u** 的独石电容或者磁片电容。

很多教科书都指出，在每一个芯片的电源和地两端接一个 **0.1u** 或 **0.01u** 的独石电容

或者瓷片电容，解决芯片的供电过程中，由于电路板的走线电感产生的电源开关噪声尖峰。这种作用下的电容叫去耦电容。这是电路板的常规的设计；

### 2. 定时参数

对于象 **555** 这样需要外接电容产生稳定的脉冲的器件，涤纶电容是首选。可以想象

，涤纶一层又一层缠绕，受到温度变化引起的涤纶的面积的变化相对值要远远小

于独石电容的介质石头受到温度变化而引起的变化值。

### 3. 产生其它电压

有些需要从单一电压产生其它的电压的芯片，如：**max232**，需要外接电容才能实现

。

参见 max232 技术资料。

外接 01.u 的胆电容。

### 2.8.3 电容的封装

电容有直插和表面贴的不同封装。

电解电容表面贴封装的通常耐压值不超出 25V，电容值不超出 100u。再大，就只好

使用直插的了。其它的电容，磁片和独石都有表面贴封装的。

## 2.9 电阻和电位器

### 2.9.1 电阻的种类

#### 2.9.1.1 普通电阻

电阻种类按照工艺可以分为碳膜电阻和金属膜电阻；

按照功率可以分为小功率电阻和大功率电阻，大功率电阻通常是金属电阻，实际上

应该是在金属外面加一个金属（铝材料）散热器，所以可以有 10W 以上的功率；在

电子配套市场上专门卖电阻的市场上可以很容易地看到。

金属电阻通常是作为负载，或者作为小设备的室外加热器，如，在 CCTV 的一些解码

器箱和全天候防护罩中可以看到。

电阻在电路中起到限流、分压等作用。通常 1/8W 电阻已经完全可以满足使用。但是

，在作为 7 段 LED 中，要考虑到 LED 的压降和供电电压之差，再考虑 LED 的最大电流，

通常是 20mA（超高亮度的 LED），如果是 2×6（2 排 6 个串联），则电流是 40mA。

不同厂家选用不同材料的，压降有所不同。所以，需要加上电试一下，但是，不要

让 Led 的电流超出 20mA（单只 LED），这时加大电流亮度也不会增加，但是 LED 的寿

命会下降，限流电阻的大小就是压降除以电流。电阻的功率随之可以算出。

这个使用初中的知识就够用了。

#### 2.9.1.2 电位器

电位器就是可调电阻。在初中学物理时，中学老师拿一个很大的圆筒状的东东，上

面有一个滑杆，跟这个东西很类似。

它的阻值在  $1 \sim n$  之间变化。

$N=102$ 、 $502$ 、 $103$ .....

$102=10 \times 10$  的 2 次方，也就是 1000 欧姆，1K

同理， $502=5K$ 。

这种表示的方法跟电容是一样的。

电容  $104=10 \times 10$  的 4 次方 pf，电容的基本单位是 pf， $1u=1000000pf$ ，所以，

$104=100000pf=0.1u$ ；

电位器又分单圈和多圈电位器。

单圈的电位器通常为灰白色，面上有一个十字可调的旋纽，出厂前放在一个固定的

位置上，不在 2 头；

多圈电位器通常为蓝色，调节的旋纽为一字，一字小改锥可调；

多圈电位器又分成顶调和侧调 2 种，主要是电路板调试起来方便。

有些是仪器仪表设备，通常是模拟电路，有一些不确定的因素，需要调节才能达到

最理想的效果；有些是设备本身就需要输出一个可变的东东，如电压和电流，也需要

一个电位器。

#### 2.9.1.3 排电阻

是 sip n 的封装，比较常用的就是阻值 502 和 103 的 9 脚的电阻排；象 sip9 就是 8 个电

阻封装在一起，8 个电阻有一端连在一起，就是公共端，在排电阻上用一个小白点

表示。排电阻通常为黑色，也有黄色；51 系统的 P0 需要一个排电阻上拉，否则，作

为输入的时候，不能正常读入数据；作为输出的时候，接 7407 是可以的，不需要上

拉电阻；但是，接其它的芯片，还是不行。有兴趣可以看看 51 的 P0 的结构；没有兴

趣，依葫芦画瓢，照做没错。

#### 2.9.1.4 光敏电阻

当照在光敏电阻上的光强变化时，电阻值也在变化。显然这是半导体材料的特性。

使用光敏电阻可以检测光强的变化。

思考题 1:

有一个 LED 显示设备，要求，当光强变化的时候，LED 的亮度随着光强变化；光线越

强，LED 越亮；反之亦然。怎么使用单片机实现此项功能？可以是多级调光，如 8 级

调光；也可以做成无级调光。

### 2.9.2 电阻的封装

电阻的封装有表面贴和轴向的封装。

轴向封装有：axial0.4、axial0.6、axial0.8 等等；axial 在英语中就是轴的意思；

表面贴电阻的封装最常用的就是 0805；当然还有更大的；但是更大的电阻我想就不

是很常用了。

电位器的封装在 protel 的书种可以很方便地找到。但是如果直接使用，可能会有

些偏差。老树早期就犯过这种错误，导致电位器旁边的器件安装费劲。

搞硬件和软件是有所不同的，搞硬件的人，一定要精确。

在硬件上的一个小的错误，都会造成这块板的推倒重来；因为产品是不能有飞线的

；而这个小小的错误相当于软件上的一条语句，在软件调试阶段悄悄改掉，可以神

不知鬼不觉；在 PCB 上，特别恶心。而且谁都知道-老板最知道。

什么是精确呢？

1. 对你所要实现的工作的目标理解准确；
2. 对你的电路图要清楚每一个器件在其中所起的作用；如果不明白，可以找一个

专家问问，得到确认；如果不清楚，可以先试试；

3. 对每一个器件的封装要严格把握，该是什么形状、外形一定要完全一致；还有

考虑到空间是不是对其它的板卡器件有影响；对边缘连接器件与电路板的边缘之间

的距离、ISA 和 PCI 的边缘连接件与挡板之间的关系要完全把握才能去做电路板；否

则只是浪费金钱和时间；

对边缘器件与边缘之间的距离要是不能有把握的话，可以找 3 个人，每个人都计算

一遍，取个平均值，基本上就差不多了。

4. 对单片机的资源能不能作成这件事情一定要有把握，CPU 运算速度和字长、内

存够不够大、程序存储器够不够大，需要仔细的规划；

5. 原理图经过专家认可无误后，画出来的 PCB 需要做网络检查，做到与原理图完全一致；

## 2.10 继电器、固态继电器

### 2.10.1 继电器

继电器，就是利用继电器的线包在加电后产生的磁力，将 2 个电极吸合在一起；初

中还是高中的物理有它的原理。有兴趣可以打开一支看看，很好玩的。

继电器有：

- 1) 公共端：COM
- 2) 常开：normal open, NO
- 3) 常闭：normal close, NC

继电器主要指标：

工作电压：

工作电压有直流和交流的 2 种；

在 PCB 上，通常是直流的；交流的继电器通常是 AC24V 的居多，当然，还有 AC220V 的

。交流的继电器国产的比进口的，比如，idec, OMRON, fujitsu 便宜很多，当然，

质量也差一些。

可以在百度上专门搜索一下继电器，上面有一些厂家产品的介绍。

常用的小功率的继电器是 national 的居多，OMRON 也有，便宜一些，一盒 50 只。

常用的电压有：

DC5V/DC9V/DC12V/DC24V 等；

根据触点数量，可以分为：

单刀单掷/SPST

单刀双掷/SPDT

双刀双掷/DPDT

四刀双掷等/?

还要根据触点容量来分。

一般的都是 DC30V/1A 或者 DC30V/2A, AC110V/0.2A, 再大，就不能使用继电器了，

因为在触点切换，电流通过的瞬间，会产生拉弧，烧毁触点，使得切换不可靠；这

是，可以使用固态继电器。

实际上，在 PCB 上的继电器的任务就是给出一个干接点信号，作为控制信号使用，

传递的是一个信号，而不是能量。或者控制一个大功率的开关等，让大功率的开关

去控制功率的传递；但是，后者也不如固态继电器来得方便。

继电器的封装通常是 DIP16 或者以上；也有更小的继电器，但是，价钱跟 DIP16 的差

不多。

注意：DIP16 的继电器只有 8 个管脚；所以设计封装时，不要图省事直接使用 DIP16

，这样容易在焊接的时候焊反了，导致出错。要专门设计继电器的封装，该有几个

脚就使用几个脚。

## 2.10.2 固态继电器

固态继电器，说白了，就是使用发光管触发的过零触发的可控硅。

可以说，跟光耦很相似，也是 4 个管脚，只是区别在：

4) 直接使用直流电压控制；可以认为内部已经有了一个限流电阻；

5) 接收光信号的一端是过零触发的可控硅；

可以说是一个电子开关，无触点的继电器。

因为无触点，所以可以通过大电流而不产生拉弧，工作寿命与开关次数无关。

触点作为信号使用的继电器的时间的工作寿命是 100 万次到 300 万次，可以查看技术

手册；

固态继电器可以认为是无限次的，所以在电流和频繁开关的场合，使用固态继电器。

器。

固态继电器触点通过的信号通常是交流电压，但是也有直流电压的。

固态继电器可以通过 AC220V 或者 AC380V 以下的交流电；它的 2 个指标：

1) 工作电压，通常为 DC5V 和 DC12V，也有 DC24V 的；

2) 工作电流：AC220V/1A/2A/4A 不等。

国产的固态继电器质量不错，跟进口的没有区别，就是封装的质量太差，一批买回

来，个个都不一样，焊在电路板上东倒西歪，不美观；至于小功率的国产的继电器

市场上比较少见，有也不敢使。

进口的固态继电器有美国的和\*\*\*的，4A 以上的比较贵，\*\*\*的 OMRON 的固态继电器



器 2A 的才卖 8 元，侃侃价估计还能便宜，体积小，封装绝对的准确，可以很整齐地

在电路板上排列，不占地方；

## 2.12 线性电源：变压器、整流桥与三端稳压器

什么是线性电源？为什么叫线性？老树查了网络上的资料，也没有答案，只好等待

高明教我。

PCB 上需要供电，就需要电源。电源分 2 种，一种是线性电源，象 7805，就是线性电

源；

一种是开关电源，是将 AC220V 直接整流滤波成高压，推动功率管工作在 100K hz 以上

，再整流滤波成低压。

开关电源的工作原理可以通过百度查到。

线型电源需要工频变压器，将 AC220V 变换成低压，经过全桥的整流，和大电容的滤

波，成为脉动的直流，再经过三端稳压器，输出直流电压。

输出端还需要大的电解电容滤波。注意这时要选用足够大的电容容量和耐压值的电

解电容。耐压值不够，你就等着听响吧。电容容量不够，整流输出的电压和输出的

电压的压差不够，输出电压会有纹波，单片机系统工作不正常。

通常电路板上需要的是 DC5V，一般来说，现在的电路板，一片 7805，再加散热片也

基本够用了。功率越大，散热片也越大。

变压器有多种规格：

1、普通 E 型矽钢片绕制的变压器，现在最大量的是广西普宁雄英出的变压器，通

过了长城认证，质量是不错的，最大的好处是便宜，现货量大；通常的规格是单 9V

、12V，双 9V、12V 等；可能这个地方出矽钢片，有这样的矿藏。

2、环型变压器，象个椭圆型；

3、最近好像圆形的变压器也多起来了，后 2 种变压器应该是漏磁小、发热少、效

率高，大功率的整流时使用，当然单位瓦数也贵啊，按照 1 元/W 计算预算应该差不

多了。

这 2 种变压器都需要定制，可以定制各种规格的。



4、焊在电路板上的变压器，比较有名的是兵字品牌。在《电子技术应用》和《电子产品世界》上常年做广告。秦皇岛也有一家，好像叫耀华。

怎么计算变压器需要多大的功率？

首先，计算功耗。比如：Dc5V/0.25A，也就是 1.25W 的功耗。

7805 效率 50%，变压器效率 50%，就是说，需要 6W 的变压器。

Dc5V/0.25A 的输入压差大概在 3V，6V 的变压器整流出来的电压是大约  $6 \times 1.4 = 8.4V$

，也差不多了。所有选用 AC6V/6W 的变压器。再到市场上找一个差不多的变压器用

上就行了。

注意：电流越大，压差越大；在电路工作的时候，可以拿示波器看看电源的波形是

不是平稳。

78 系列的芯片做的比较多而好的是美国国家半导体公司（national semiconductor

）的 LM780X 和摩托罗拉公司 MC780X 等 2 大系列。

78 系列是高压差的稳压芯片，现在有低压差的稳压芯片，其机理参见沙占友老师的

书籍。有 LM2930、LM2937、LM2940C、LM2990 等 4 个系列。

如果需要更大的电源供给，或者使用开关电源，或者去买成品的线性电源，象辽宁

朝阳 4NIC 的电源，质量不错，价格也不错。

附：在网络上找到的一篇文章：

开关电源和线性电源的区别

线性电源的调整管工作在放大状态，因而发热量大，效率低（35%左右），需要

加体积庞大的散热片，而且还需要同样也是大体积的工频变压器，当要制作多组电

压输出时变压器会更庞大。开关电源的调整管工作在饱和和截至状态，因而发热量

小，效率高（75%以上）而且省掉了大体积的变压器。但开关电源输出的直流上面

会叠加较大的纹波（50mV at 5V output typical），在输出端并接稳压二极管可

以改善，另外由于开关管工作是会产生很大的尖峰脉冲干扰，也需要在电路中串连

磁珠加以改善。相对而言线性电源就没有以上缺陷，它的纹波可以做的很小（5 mV

以下)。对于电源效率和安装体积有要求的地方用开关电源为佳,对于电磁干扰和电源纯净性有要求的地方(例如电容漏电检测)多选用线性电源。另外当电路中需作隔离的时候现在多数用 DC—DC 来做对隔离部分供电(DC-DC 从其工作原理上来说就是开关电源)。还有,开关电源中用到的高频变压器可能绕制起来比较麻烦。

## 2.14 开关电源芯片

相对于线性稳压器来说,开关电源在计算机主板上、工控机主板和各种各样的电路上起着电压变换的作用。例如:将低电压,比如:电池转换成稳定的 3.3V 或者 5V

,或者将高电压转化成 DC5V、DC3.3V,或者将 DC5V 转换成 3.3V 和 1.8V,例如,ARM

的电路板就需要这样的芯片,3.3V 给 ARM 供电,1.8V 给 arm 的 core 供电。以上

由于采用了开关电路,电源芯片的工作频率高,发热小,效率高。同样的,还是芯片的巨头,MAXIM、LINEAR 和 TI 等公司在电源转换芯片上是最为卓

越,无论从产品的种类,还是质量都是上佳的;经常看电子产品世界和电子技术应用的网友一定对 maxim 的电源芯片印象巨深。五

花八门的电源芯片,让你无法选择到底选用那种是自己的所需要的。在 maxim 的产品树中,对电源是这样分类的:

Power Supplies and Battery Management

Switchmode DC-DC Power Supplies 408

Isolated Power Supplies 22

Low-Dropout Linear Regulators 75

White LED Drivers 13

Low-Side MOSFET Drivers 14

High-Side MOSFET Drivers 6

ORing MOSFET Controllers 2

Battery Chargers 36

Battery Protectors, Selectors and Monitors 17

Regulator + Reset Circuits 4

Current Sense Amplifiers 22

LCD/ECB/CCFL Display Bias Supply 87

ALSO SEE: Hot-Swap and Power Switching

ALSO SEE: Voltage References

我们经常使用到的是 Switchmode DC-DC Power Supplies，这里有分成 n 种。

老树

比较熟悉的是 step-down 电源芯片，也就是所谓的从高电压下降到低的电压的芯片

；从低到高，当然是 step-up 电源芯片。

象 philips 的电动剃须刀，里面肯定有电源管理芯片，当电池电压下降，但是，电

池又有电的时候，能够输出恒定的电压，榨干电池内的最后一点电能，能够舒适地

使用一段很长的时间。

比如，你的电路板上只有 DC24V 电压，但是，还需要 Dc5V/2A 的电源，这么高的压降

，使用线性稳压器显然不合适，如果使用 DC/DC 模块，成本太高，体积也比较大，

所以，得选用一款芯片完成这个功能。

按照 maxim 给出的复杂的选择，根据你的要求，多选择几项，maxim 会给出一个清单

，在清单中去选择你最适合你的需求的芯片。

老树原来使用过的完成此项功能的芯片是：MAX724、LT1076；这 2 款芯片需要 1 个

50uH 的电感才能输出 Dc5V 电源；但是，这种开关电源芯片有个好处，就是输入只要

在它的允许的范围内波动，或者负载在变化，输出 DC5V 电源十分稳定。

电源的范围从 Dc10V~DC40V，max724 均能输出 5A 的 DC5V 电源。

Maxim724 下载连接地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=153160>

LT1076 下载链接地址：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=157742>

在 ARM 上使用的电源芯片是 TI 公司的 TPS767D318。

下载链接：

<http://www.hqew.com/document/detail.asp?pdid=122122>

在沙老师的书中，也介绍了几款电源转换芯片，可供参考。

如果是作为隔离电压产生，例如：5V 转换成隔离的 5V，用在光耦、通讯等电路中，

去自己做隔离电路就有点划不来，不如去买现成的 DC/DC 模块。这点国产的模块做

的不错，象老树常用的 Dc12V/DC5V500mA 的模块，大约 30 元，质量还是不错的。

## 2.15 器件选购、芯片批号、封装知识等

在市场上买芯片，千万注意不要买到旧片、拆机片；旧片、拆机片有些凑合能用，有些干脆不行；即使现在能用，寿命肯定有限；

旧的就是旧的，肯定瞒不过有心人；主要是从芯片的管脚的崭新程度、芯片印刷的

质量等仔细观察。

旧的芯片往往管脚参差不齐、搪锡发乌、包装的管子不够新；而且往往是芯片的表

面发白，那是因为被打磨过了，然后重新丝网印刷上厂家名称、批号等；

所以最好是买激光打标的器件，激光打标的产品肯定是新货，或者没有使用过的货

；而且买的时候需要注意，器件的批号最好是最近当年的或者是最近几个星期的产

品；总而言之，别花冤枉钱，还影响产品的质量。

同样的产品，不同厂家的质量也不一样。我比较喜欢的是美国 TI、摩托罗拉 MC、MAXIM、LINEAR 的产品；假的也少；

例如，max7219 芯片上有一下标志：

MAXIM

MAX7219CNG

0323PY

MAXIM 就是芯片的厂家；

MAX7219CNG 是厂家的型号，CNG 跟封装和 7219 这个系列产品的细微的差别有关；

03 是指 2003 年；23 是指该年的第 23 周；一年是 52 周，所以这个数字不会超出 52；

激光打标是在芯片上形成一个暗色的与芯片表面有一个明显对比的标志；中关村的

大恒公司就有激光打标机的业务；但是未必是在芯片上打标；

有时，激光打标会产生类似暗黄色的标志，这跟激光器功率和芯片封装材料有关从初学者到电子工程师 第三课 合格电子工程师是怎样炼成的？

不好意思，第二课没有写完，又开一课--老树当过老师，有毁人不倦的习惯，再者

，这个问题想了很久了，也基本想通了。

在网络上很多初学者在问：怎样成为一个合格的电子工程师？

这个问题有很多答案。老树谈谈自己的看法。

## 第一步 入门-51 核心和基本电路

中国人有 10 亿啊，每年有多少大学生毕业呢？我不知道。但是我看到有一张照片，

招聘会上熙熙攘攘，人来人往，十分震撼。从来没有一个时刻让我感觉到中国的人

力资源是如此的丰富。但是，从现在的大学毕业出来的学生学到了什么东西呢？

一

些理论，跟实际脱钩的理论。有没有用呢？有点用。但是，在企业中，需要的是实

际干点事情出来，实际解决问题。所以说，很多企业不想要大学本科出来的大学生

，说动手，没有动手能力，不知道电阻电容长得什么样子，能够做什么？但是又自

视甚高，对工资的期望值比较高。等到能够干点事情了，又拍拍屁股跑了。所以企

业现在喜欢使用大专中专甚至是职业学校培训出来的小孩，至少这些孩子们知道自

己的份量，能够实实在在地做事。要知道，他们很多人的天赋并不差，有些人甚至

可以说聪明，只是因为很多人是家庭条件不好，打小就是苦孩子，没有条件接受良

好的教育。一旦给机会，他们都比较珍惜。

现在的大学，误人子弟甚多。扩招是没有错，但是，实验室扩了吗？教室扩了吗？教师扩了吗？至少实验室是没有扩。老树认得的一个研究生说，只有到了一个阶段

，才能到实验室作实验。很多导师就是把学生当奴隶一样干活，要是在干活中能够

学到东西那就算是运气好的；运气不好的，直接就是导师的廉价的劳力了，学不到

东西，活倒干了不少。

但是，既然学生要拿文凭，要应付考试，没有办法，那怎么自救？

如果励志要成为一名出色的电子工程师，老树可以谈谈自己的看法。

做一个电子工程师，先从 51 学起，这是得到公认的。不需老树饶舌。

首先，去买一个开发板，越便宜的越好，在上面可以练练 keil C。最好再买一个仿

真器，这样调试的效率 high。当然这个不便宜，但是我觉得可以志同道合的哥几个合

买。反正 1 天 24 小时，每人 8 个小时轮流上，有个几个月，C51 语言也就差不多了。

其次，看看老树的文章，看看需要学点什么基本的东西。北京的大学生有福啊，没

事到中发去转转，认认老树的文章上说得哪些电阻、电容、三极管、芯片、接插件

什么的，看看自己的电脑上的主板、网卡、声卡、显卡是怎么画的，找找感觉，这

些板卡都是高手的杰作啊。

构思一个小的产品，按照老树文章上的思考题，找本 protel99se 的书，从每个菜单

练起，循序渐进，从单片机最小系统->输入->LED->RS232/RS422/RS485->固态继电

器、继电器等原理图画起，边画边学，一点一点做，做好了，最好找个高手看看，找出毛病在哪里，再反复改进。在这样的模拟实战中找到感觉。

推荐老虎工作室的 protel 99 系列 4 本，写的还是循序渐进的，当然不便宜；咬咬牙

，可以合买一套，轮着看。

顺便说一句我对市场上的开发板的看法，这些开发板当然都不错，但是，只能学到

语言，不能教你画原理图和 PCB，实际做的时候，还是需要高手带一带是最快的。

我就是个朋友教我的，也就半天的功夫，就会了。当时还是 DOS 下的 protel 3.16

版本。

以战养战。找个公司、企业，帮他们做个小产品，既能得到公司的高手的指点，又

能赚到一笔费用，岂不甚佳？这时，你的开发板、仿真器的费用就出来了。从原理

图->PCB->C51，单片机也入门了。

第二步：登堂入室-掌握系统的电路知识

这时，需要对电子技术的所有东东进行全面的了解，主要是看看杂志、BBS、网站

上的技术文章、何立民先生主持编著的《单片机应用技术大全》系列，将单片机和

它的配套的电路，输入输出、通讯等等做一个全面的了解。目标是为什么？系统的

技术储备。知道什么问题可以使用什么方法解决，可能在什么地方找到解决的方法

，这对你以后走上工作岗位，解决实际问题是非常有好处的。如果你真能这么做，那么，你今后肯定比单位中的老同志还要棒。

老树在国营研究所的时候，曾经有一段时间无所事事，就是在那一两年的时间内将

研究所的技术杂志看了一遍，尤其是《电子技术应用》。打下了一个良好的基础。

这时，争取机会，学习高手们的硬件设计。一个比较快的办法就是到工控机的厂家

那里，看看工控机的板卡和调理板是怎样设计的，都使用了哪些东西。记得老树第

一次看到国外的一个器件，到处去问，也不知道是什么东东。后来在四通工控那里

看到了，原来是固态继电器。这时，脑子里关于固态继电器的知识都冒出来了。再

一看，配套市场大把的。

什么东西就是这样，你要是不知道它是干什么的，你天天看见，也熟视无睹。

有心人就是这样，在什么样的情况下，都能慢慢积蓄知识和力量。毕竟一个产品，不是只会单片机就可以了，还是需要很多的外围电路，按照何老师的分类，前向、后向、人机、互相通道等，才能做成一件产品的。

这个时候，抓住任何机会，去参与一个大型产品开发，在其中做一件事情，你可以

学到沟通、协作、界面等产品开发的一些要素。

第三步：勤奋至卓越

中国人多啊，每个人都是智商 100，谁比谁傻啊。凭什么你比别人强？你能有好的

工作、好的收入，你能香车宝马，醇酒美人？老树认为，没有别的办法，就是靠勤

奋。

勤奋学习-这个道理大家知道，知识就是金钱啊；

勤奋工作-想比别人多赚钱，在智商相同的情况下，就是靠多付出时间干活，再提

高工作效率。别人 5×8 小时工作，你是 7×16 小时，再提高工作效率一倍，你不久

赚了比别人多 5 倍的钱吗？老树公司有 2 个员工，原来在老家种苹果，没有赚到钱，

到老树的公司中干活，计件，活忙的时候，早晨 8:00 起来，晚上 12:00 收工，年

底也赚了一笔钱回家，高高兴兴，老树也开心，原来一屋子人干的活，现在 2 个人

干了，公司管理省事了，员工也赚到了钱。

开发也是一样。当然，这个需要你的公司有这个机制，多劳多得的机制。但是，要

是现在没有，你要不要这样干呢？

我认为，需要。一方面，干别人的活，练自己的技术，长自己的本事。另一方面，多干活，才能快速增长本事，技术才能跃变、突破，登堂入室，再得心应手、出神

入化。至少，熟练工种是没有问题的吧。

就象一壶水，老是小火，烧了半天，也是温吞水；可是大火一上，一会就开了，就

是这个意思。

你看《射雕英雄传》中的郭靖，没有别的本事，就是傻练，有一天开窍了，如有神

助。技术这个东西就是这样，突破了门槛，就是坦途。需要勤奋勤奋再勤奋。有一

天这个日子来了，你就苦尽甘来了。

勤奋还有另外一个含意，就是天道酬勤。其实是每个人看见勤奋的人，都会给他机

会的，觉得帮助这样的人，高兴；把事情放在他的手里，也放心。

还有一个含意是触类旁通。知识需要很多的参照物，去比较、联想、萃取、升华。

换句话，你可能付出的是其他人的  $n$  倍的努力，可是你得到的是  $n$  倍以上的回报，你

的知识已经不是简单的累加了，已经质变了。

如果你在这个单位，勤奋了，也出成果了，就是没有得到公平的待遇，也没有关系

。换一个环境就是了，总有人会欣赏你的。再说了，付出总有回报。

有些人习惯怨天尤人，没有好的老爸老妈，没有好的老师，没有好的同伴，没有好

的环境，没有好的老板。这些人需要去看看周立功的文章，看看周老师怎样一步步

成长的。

第四步：沟通、协作

原来还有，现在越来越少，做一个小的产品，就可以生活无忧。



第五步：对某个行业深入理解

每个人生存在这个世界上，大都需要有一门独到的技术；更何况你是这个论坛的读者；

有的人天生千娇百媚，有的人天生金嗓子，有的人有个好的老爸老妈；这些都不足

为恃，更何况没有这些天赋呢？

当你掌握了单片机、ARM、CPLD/FPGA 等高端的技术，应该说，养身立命是没有问题

了，可以解决人生的基本问题了；但是，还想更上一步，就需要对某个行业进入深

入的理解和挖掘。

我认识的靠技术过上宝马豪宅生活的工程师，并不是在技术上一开始就有什么过人

之处，也不是说他的产品一开始就会比别人好很多，而是都是特别有韧性的人，都

在捕捉某个行业的机会，在某个行业内精耕细作，坚持不懈，别人都干其它的去

了，只有他还在这个行业中慢慢来，过上 5 年或者更多的时间，慢慢得到业内人士的

认可，产品不断改进，慢慢打开了销路，最后站住脚，机会来了，一下发达了。我

的一个朋友，就是这样修炼成了正果。

有个笑话，说：刚刚离开的行业，发展最快。说得就是这个道理。

中国大啊，市场大啊，只要认真耕耘，就会有收获。

所以，在目前的中国，技术人员还是有机会的，再过 10 年，可能就一点机会都没有

了。

需要去从事多个行业吗？就个体而言，不需要。那个行业都有金子。

就公司而言，需要吗？那要看你的公司有没有这方面的人才；还需要看有没有这个

方面的机制。否则，盲目的进行多个行业的扩展，没有必要。需要做的是至少在

某个行业做到前三名。

你看，原来的 LOTUS 的 notes，卖给了 IBM，原来只卖出去 300 万份，到了 IBM，就卖

到了 1000 万份（大概吧）。产品就是这样，占领市场的同时，利润就有了，规模效益就有了。一个公司的产品不需要太多，但是要卖的多，才是正路。想想看，同样是产值 100 万，一个产品和 10 个产品的差别那就大了，研发、服务、维修，差的多呢。

象吉列，就是那么个小刀片，作成这么大的企业，多么舒服。

象 GE，每个行业都是业内的翘楚，那是资本主义社会 200 年的技术积累。在中国，需要做的是每一个小的公司都是某个产品最突出的。从小的产品做起，做到国内最好、亚洲最好、世界最好。就行了。中国就强大了。

到那个时候，才有可能出现象 GE 这样的大公司。才有形成这样的大公司的技术基础

Trackback: <http://tb.blog.csdn.net/TrackBack.aspx?PostId=521360>

硬件项目设计心得

## 1 充分了解各方的设计需求，确定合适的解决方案

启动一个硬件开发项目，原始的推动力会来自于很多方面，比如市场的需要，基于整个系统架构的需要，应用软件部门的功能实现需要，提高系统某方面能力的需要等等，所以作为一个硬件系统的设计者，要主动的去了解各个方面的需求，并且综合起来，提出最合适的硬件解决方案。比如 A 项目的原始推动力来自于公司内部的一个高层软件小组，他们在实际当中发现原有的处理器板 IP 转发能力不能满足要求，从而对于系统的配置和使用都会造成很大的不便，所以他们提出了对新硬件的需求。根据这个目标，硬件方案中就针对性的选用了两个高性能网络处理器，然后还需要深入的和软件设计者交流，以确定内存大小，内部结构，对外接口和调试接口的数量及类型等等细节，比如软件人员喜欢将控制信令通路和数据通路完全分开来，这样在确定内部数据走向的时候要慎重考虑。项目开始之初是需要召开很多的讨论会议的，应该尽量邀请所有相关部门来参与，好处有三个，第一可以充分了解大家的需要，以免在系统设计上遗漏重要的功能，第二是可以让各个部门了解这个项目的情况，提早做好时间和人员上协作的准备，第三是从感情方面讲，在设计之初各个部门就参与了进来，这个项

目就变成了大家共同的一个心血结晶，会得到大家的呵护和良好合作，对完成工作是很有帮助的。

## 2 原理图设计中要注意的问题

原理图设计中要有“拿来主义”，现在的芯片厂家一般都可以提供参考设计的原理图，所以要尽量借助这些资源，在充分理解参考设计的基础上，做一些自己的发挥。当主要的芯片选定以后，最关键的外围设计包括了电源，时钟和芯片间的互连。

电源是保证硬件系统正常工作的基础，设计中要详细的分析：系统能够提供的电源输入；单板需要产生的电源输出；各个电源需要提供的电流大小；电源电路效率；各个电源能够允许的波动范围；整个电源系统需要的上电顺序等等。比如 A 项目中的网络处理器需要 1.25V 作为核心电压，要求精度在  $\pm 5\%$  -  $-3\%$  之间，电流需要 12A 左右，根据这些要求，设计中采用 5V 的电源输入，利用 Linear 的开关电源控制器和 IR 的 MOSFET 搭建了合适的电源供应电路，精度要求决定了输出电容的 ESR 选择，并且为防止电流过大造成的电压跌落，加入了远端反馈的功能。

时钟电路的实现要考虑到目标电路的抖动等要求，A 项目中用到了 GE 的 PHY 器件，刚开始的时候使用一个内部带锁相环的零延时时钟分配芯片提供 100MHz 时钟，结果 GE 链路上出现了丢包，后来换成简单的时钟 Buffer 器件就解决了丢包问题，分析起来就是内部的锁相环引入了抖动。

芯片之间的互连要保证数据的无误传输，在这方面，高速的差分信号线具有速率高，好布线，信号完整性好等特点，A 项目中的多芯片间互连均采用了高速差分信号线，在调试和测试中没有出现问题。

## 3 PCB 设计中要注意的问题

PCB 设计中要做到目的明确，对于重要的信号线要非常严格的要求布线的长度和处理地环路，而对于低速和不重要的信号线就可以放在稍低的布线优先级上。重要的部分包括：电源的分割；内存的时钟线，控制线和数据线的长度要求；高速差分线的布线等等。

A 项目中使用内存芯片实现了 1G 大小的 DDR memory，针对这个部分的布线是非常关键的，要考虑到控制线和地址线的拓扑分布，数据线和时钟线的长度差别控制等方面，在实现的过程中，根据芯片的数据手册和实际的工作频率可以得出具体布线规则要求，比如同一组内的数据线长度相差不能超过多少个 mil，每个通路之间的长度相差不能超过多少个 mil 等等。

当这些要求确定后就可以明确要求 PCB 设计人员来实现了，如果设计中所有的重要布线要求都明确了，可以转换成整体的布线约束，利用 CAD 中的自动布线工具软件来实现 PCB 设计，这也是在高速 PCB 设计中的一个发展趋势。

#### 4 检查和调试

当准备调试一块板的时候，一定要先认真的做好目视检查，检查在焊接的过程中是否有可见的短路和管脚搭锡等故障，检查是否有元器件型号放置错误，第一脚放置错误，漏装配等问题，然后用万用表测量各个电源到地的电阻，以检查是否有短路，这个好习惯可以避免贸然上电后损坏单板。调试的过程中要有平和的心态，遇见问题是非常正常的，要做的就是多做比较和分析，逐步的排除可能的原因，要坚信“凡事都是有办法解决的”和“问题出现一定有它的原因”，这样最后一定能调试成功。

#### 5 一些总结的话

现在从技术的角度来说，每个设计最终都可以做出来，但是一个项目的成功与否，不仅仅取决于技术上的实现，还与完成的时间，产品的质量，团队的配合密切相关，所以良好的团队协作，透明坦诚的项目沟通，精细周密的研发安排，充裕的物料和人员安排，这样才能保证一个项目的成功。

一个好的硬件工程师实际上就是一个项目经理，他/她需要从外界交流获取对自己设计的需求，然后汇总，分析成具体的硬件实现。还要跟众多的芯片和方案供应商联系，从中挑选出合适的方案，当原理图完成后，他/她要组织同事来进行配合评审和检查，还要和 CAD 工程师一起工作来完成 PCB 的设计。与此同时，还要准备好 BOM 清单，开始采购和准备物料，联系加工厂完成板的贴装。在调试的过程中他/她要组织好软件工程师来一起攻关调试，配合测试工程师一起解决测试中发现的问题，等到产品推出到现场，如果出现问题，还需要做到及时的支持。所以做一个硬件设计人员要锻炼出良好的沟通能力，面对压力的调节能力，同一时间处理多个事务的协调和决断能力和良好平和的心态等等。

还有细心和认真，因为硬件设计上的一个小疏忽往往就会造成非常大的经济损失，比如以前碰到一块板在 PCB 设计完备出制造文件的时候误操作造成了电源层和地层连在了一起，PCB 板制造完毕后又没有检查直接上生产线贴装，到测试的时候才发现短路问题，但是元器件已经都焊接到板上了，结果造成了几十万的损失。所以细心和认真的检查，负责任的测试，不

懈的学习和积累，才能使得一个硬件设计人员持续不断的进步，而后术业有所小成。

相关文章：

如何设计一个合适的电源

对于现在一个电子系统来说，电源部分的设计也越来越重要，我想通过和大家探讨一些自己关于电源设计的心得，来个抛砖引玉，让我们在电源设计方面能够都有所深入和长进。

**Q1:** 如何来评估一个系统的电源需求

**Answer:** 对于一个实际的电子系统，要认真的分析它的电源需求。不仅仅是关心输入电压，输出电压和电流，还要仔细考虑总的功耗，电源实现的效率，电源部分对负载变化的瞬态响应能力，关键器件对电源波动的容忍范围以及相应的允许的电源纹波，还有散热问题等等。功耗和效率是密切相关的，效率高了，在负载功耗相同的情况下总功耗就少，对于整个系统的功率预算就非常有利了，对比 LDO 和开关电源，开关电源的效率要高一些。同时，评估效率不仅仅是看在满负载的时候电源电路的效率，还要关注轻负载的时候效率水平。

至于负载瞬态响应能力，对于一些高性能的 CPU 应用就会有严格的要求，因为当 CPU 突然开始运行繁重的任务时，需要的启动电流是很大的，如果电源电路响应速度不够，造成瞬间电压下降过多过低，造成 CPU 运行出错。

一般来说，要求的电源实际值多为标称值的 $\pm 5\%$ ，所以可以据此计算出允许的电源纹波，当然要预留余量的。

散热问题对于那些大电流电源和 LDO 来说比较重要，通过计算也是可以评估是否合适的。

**Q2:** 如何选择合适的电源实现电路

**Answer:** 根据分析系统需求得出的具体技术指标，可以来选择合适的电源实现电路了。一般对于弱电部分，包括了 LDO(线性电源转换器)，开关电源电容降压转换器和开关电源电感电容转换器。相比之下，LDO 设计最易实现，输出纹波小，但缺点是效率有可能不高，发热量大，可提供的电流相较开关电源不大等等。而开关电源电路设计灵活，效率高，但纹波大，实现比较复杂，调试比较烦琐等等。

**Q3:** 如何为开关电源电路选择合适的元器件和参数

**Answer:** 很多的未使用过开关电源设计的工程师会对它产生一定的畏惧心理，比如担心开关电源的干扰问题，PCB

layout 问题，元器件的参数和类型选择问题等。其实只要了解了，使用一个开关电源设计还是非常方便的。

一个开关电源一般包含有开关电源控制器和输出两部分，有些控制器会将 MOSFET 集成到芯片中去，这样使用就更简单了，也简化了 PCB 设计，但是设计的灵活性就减少了一些。

开关控制器基本上就是一个闭环的反馈控制系统，所以一般都会会有一个反馈输出电压的采样电路以及反馈环的控制电路。因此这部分的设计在于保证精确的采样电路，还有来控制反馈深度，因为如果反馈环响应过慢的话，对瞬态响应能力是会有很多影响的。

而输出部分设计包含了输出电容，输出电感以及 MOSFET 等等，这些的选择基本上就是要满足一个性能和成本的平衡，比如高的开关频率就可以使用小的电感值(意味着小的封装和便宜的成本)，但是高的开关频率会增加干扰和对 MOSFET 的开关损耗，从而效率降低。使用低的开关频率带来的结果则是相反的。

对于输出电容的 ESR 和 MOSFET 的  $R_{ds\_on}$  参数选择也是非常关键的，小的 ESR 可以减小输出纹波，但是电容成本会增加，好的电容会贵嘛。开关电源控制器驱动能力也要注意，过多的 MOSFET 是不能被良好驱动的。

一般来说，开关电源控制器的供应商会提供具体的计算公式和使用方案供工程师借鉴的。

**Q4:** 如何调试开关电源电路

**Answer:** 有一些经验可以共享给大家

1: 电源电路的输出输出通过低阻值大功率电阻接到板内，这样在不焊电阻的情况下可以先做到电源电路的先调试，避开后面电路的影响。

2: 一般来说开关控制器是闭环系统，如果输出恶化的情况超过了闭环可以控制的范围，开关电源就会工作不正常，所以这种情况就需要认真检查反馈和采样电路。特别是如果采用了大 ESR 值的输出电容，会产生很多的电源纹波，这也会影响开关电源的工作的。

接地技术的讨论

**Q1:** 为什么要接地?

**Answer:** 接地技术的引入最初是为了防止电力或电子等设备遭雷击而采取的保护性措施，目的是把雷电产生的雷击电流通过避雷针引入到大地，从而起到保护建筑物的作用。同时，接地也是保护人身安全的一种有效手段，当某种原因引起的相线（如电线绝缘不良，线路老化等）和设备外壳碰触时，设备的外壳就会有

危险电压产生，由此生成的故障电流就会流经 PE 线到大地，从而起到保护作用。随着电子通信和其它数字领域的发展，在接地系统中只考虑防雷和安全已远远不能满足要求了。比如在通信系统中，大量设备之间信号的互连要求各设备都要有一个基准‘地’作为信号的参考地。而且随着电子设备的复杂化，信号频率越来越高，因此，在接地设计中，信号之间的互扰等电磁兼容问题必须给予特别关注，否则，接地不当就会严重影响系统运行的可靠性和稳定性。最近，高速信号的信号回流技术中也引入了“地”的概念。

#### Q2: 接地的定义

**Answer:** 在现代接地概念中、对于线路工程师来说，该术语的含义通常是‘线路电压的参考点’；对于系统设计师来说，它常常是机柜或机架；对电气工程师来说，它是绿色安全地线或接到大地的意思。一个比较通用的定义是“接地是电流返回其源的低阻抗通道”。注意要求是“低阻抗”和“通路”。

#### Q3: 常见的接地符号

**Answer:** PE,PGND,FG—保护地或机壳; BGND 或 DC-RETURN—直流—48V(+24V)电源（电池）回流; GND—工作地; DGND—数字地; AGND—模拟地; LGND—防雷保护地

#### Q4: 合适的接地方式

**Answer:** 接地有多种方式，有单点接地，多点接地以及混合类型的接地。而单点接地又分为串联单点接地和并联单点接地。一般来说，单点接地用于简单电路，不同功能模块之间接地区分，以及低频（ $f < 1\text{MHz}$ ）电子线路。当设计高频（ $f > 10\text{MHz}$ ）电路时就要采用多点接地了或者多层板（完整的地平面层）。

#### Q5: 信号回流和跨分割的介绍

**Answer:** 对于一个电子信号来说，它需要寻找一条最低阻抗的电流回流到地的途径，所以如何处理这个信号回流就变得非常的关键。

第一，根据公式可以知道，辐射强度是和回路面积成正比的，就是说回流需要走的路径越长，形成的环越大，它对外辐射的干扰也越大，所以，PCB 布板的时候要尽可能减小电源回路和信号回路面积。

第二，对于一个高速信号来说，提供有好的信号回流可以保证它的信号质量，这是因为 PCB 上传输线的特性阻抗一般是以地层（或电源层）为参考来计算的，如果高速线附近有连续的地平面，这样这条线的阻抗就能保持连续，如果有段线附近没有了地参考，这样阻抗就会发生变化，不连续的阻抗从而会影响到信号的完

整性。所以，布线的时候要把高速线分配到靠近地平面的层，或者高速线旁边并行走一两条地线，起到屏蔽和就近提供回流的功能。

第三，为什么说布线的时候尽量不要跨电源分割，这也是因为信号跨越了不同电源层后，它的回流途径就会很长了，容易受到干扰。当然，不是严格要求不能跨越电源分割，对于低速的信号是可以的，因为产生的干扰相比信号可以不予关心。对于高速信号就要认真检查，尽量不要跨越，可以通过调整电源部分的走线。（这是针对多层板多个电源供应情况说的）

**Q6：**为什么要将模拟地和数字地分开，如何分开？

**Answer：**模拟信号和数字信号都要回流到地，因为数字信号变化速度快，从而在数字地上引起的噪声就会很大，而模拟信号是需要一个干净的地参考工作的。如果模拟地和数字地混在一起，噪声就会影响到模拟信号。

一般来说，模拟地和数字地要分开处理，然后通过细的走线连在一起，或者单点接在一起。总的思想是尽量阻隔数字地上的噪声窜到模拟地上。当然这也不是非常严格的要求模拟地和数字地必须分开，如果模拟部分附近的数字地还是很干净的话可以合在一起。

**Q7：**单板上的信号如何接地？

**Answer：**对于一般器件来说，就近接地是最好的，采用了拥有完整地平面的多层板设计后，对于一般信号的接地就非常容易了，基本原则是保证走线的连续性，减少过孔数量；靠近地平面或者电源平面，等等。

**Q8：**单板的接口器件如何接地？

**Answer：**有些单板会有对外的输入输出接口，比如串口连接器，网口 RJ45 连接器等等，如果对它们的接地设计得不好也会影响到正常工作，例如网口互连有误码，丢包等，并且会成为对外的电磁干扰源，把板内的噪声向外发送。一般来说会单独分割出一块独立的接口地，与信号地的连接采用细的走线连接，可以串上 0 欧姆或者小阻值的电阻。细的走线可以用来阻隔信号地上噪音过到接口地上来。同样的，对接口地和接口电源的滤波也要认真考虑。

**Q9：**带屏蔽层的电缆线的屏蔽层如何接地？

**Answer：**屏蔽电缆的屏蔽层都要接到单板的接口地上而不是信号地上，这是因为信号地上有各种的噪声，如果屏蔽层接到了信号地上，噪声电压会驱动共模电流沿屏蔽层向外干扰，所以设计不好



的电缆线一般都是电磁干扰的最大噪声输出源。当然前提是接口地也要非常的干净。