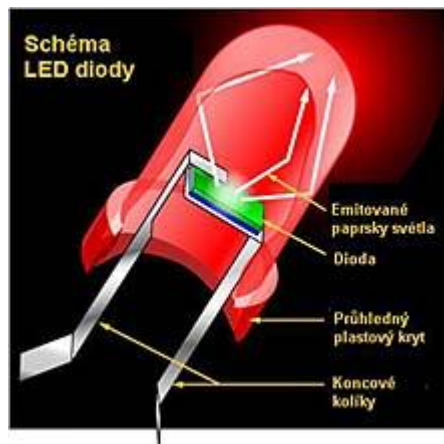


## LED 基本理论知识

### 一、 半导体发光二极管工作原理、特性及应用



#### (一) LED 发光原理

发光二极管是由III-IV族化合物，如 GaAs（砷化镓）、GaP（磷化镓）、GaAsP（磷砷化镓）等半导体制成的，其核心是 PN 结。因此它具有一般 P-N 结的 I-N 特性，即正向导通，反向截止、击穿特性。此外，在一定条件下，它还具有发光特性。在正向电压下，电子由 N 区注入 P 区，空穴由 P 区注入 N 区。进入对方区域的少数载流子（少子）一部分与多数载流子（多子）复合而发光，如图 1 所示。

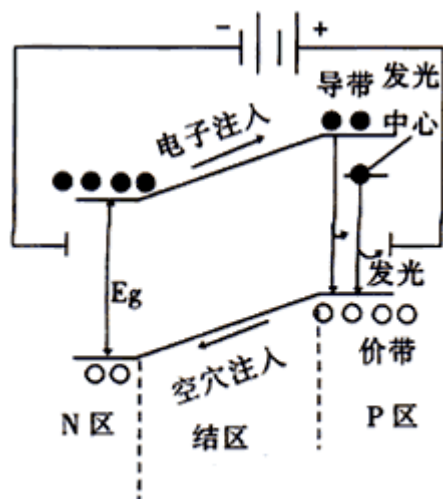


图 1

假设发光是在 P 区中发生的，那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光，或者先被发光中心捕获后，再与空穴复合发光。除了这种发光复合外，还有些电子被非发光中心（这个中心介于导带、价带中间附近）捕获，而后再与空穴复合，每次释放的能量不大，不能形成可见光。发光的

复合量相对于非发光复合量的比例越大，光量子效率越高。由于复合是在少子扩散区内发光的，所以光仅在靠近 PN 结面数  $\mu\text{m}$  以内产生。

理论和实践证明，光的峰值波长  $\lambda$  与发光区域的半导体材料禁带宽度  $E_g$  有关，即

$$\lambda \approx 1240/E_g \text{ (nm)}$$

式中  $E_g$  的单位为电子伏特 (eV)。若能产生可见光 (波长在 380nm 紫光~780nm 红光)，半导体材料的  $E_g$  应在 3.26~1.63eV 之间。比红光波长长的光为红外光。现在已有红外、红、黄、绿及蓝光发光二极管，但其中蓝光二极管成本、价格很高，使用不普遍。

## (二) LED 的特性

### 1. 极限参数的意义

(1) 允许功耗  $P_m$ : 允许加于 LED 两端正向直流电压与流过它的电流之积的最大值。超过此值，LED 发热、损坏。

(2) 最大正向直流电流  $I_{Fm}$ : 允许加的最大的正向直流电流。超过此值可损坏二极管。

(3) 最大反向电压  $V_{Rm}$ : 所允许加的最大反向电压。超过此值，发光二极管可能被击穿损坏。

(4) 工作环境  $T_{opm}$ : 发光二极管可正常工作的环境温度范围。低于或高于此温度范围，发光二极管将不能正常工作，效率大大降低。

### 2. 电参数的意义

(1) 光谱分布和峰值波长: 某一个发光二极管所发之光并非单一波长，其波长大体按图 2 所示。

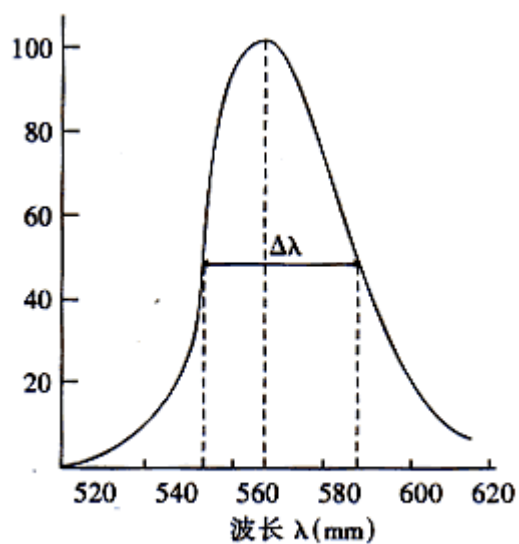


图 2

图 2

由图可见，该发光管所发之光中某一波长  $\lambda_0$  的光强最大，该波长为峰值波长。

(2) 发光强度 IV：发光二极管的发光强度通常是指法线（对圆柱形发光管是指其轴线）方向上的发光强度。若在该方向上辐射强度为  $(1/683) \text{ W/sr}$  时，则发光 1 坎德拉（符号为 cd）。由于一般 LED 的发光二强度小，所以发光强度常用坎德拉(mcd)作单位。

(3) 光谱半宽度  $\Delta \lambda$ ：它表示发光管的光谱纯度.是指图 3 中  $1/2$  峰值光强所对应两波长之间隔。

(4) 半值角  $\theta_{1/2}$  和视角：  $\theta_{1/2}$  是指发光强度值为轴向强度值一半的方向与发光轴向（法向）的夹角。

半值角的 2 倍为视角（或称半功率角）。

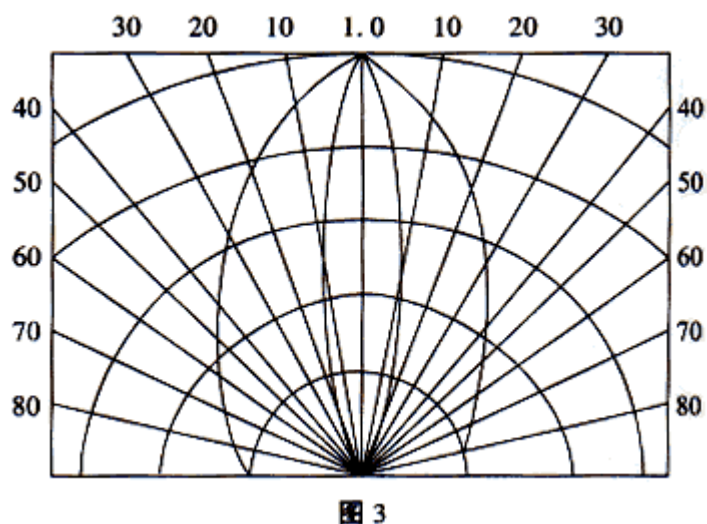


图 3

图 3 给出的二只不同型号发光二极管发光强度角分布的情况。中垂线（法线）AO 的坐标为相对发光强度（即发光强度与最大发光强度的之比）。显然，法线方向上的相对发光强度为 1，离开法线方向的角度越大，相对发光强度越小。由此图可以得到半值角或视角值。

（5）正向工作电流  $I_F$ ：它是指发光二极管正常发光时的正向电流值。在实际使用中应根据需要选择  $I_F$  在  $0.6 \cdot I_{Fm}$  以下。

（6）正向工作电压  $V_F$ ：参数表中给出的工作电压是在给定的正向电流下得到的。一般是在  $I_F=20\text{mA}$  时测得的。发光二极管正向工作电压  $V_F$  在  $1.4\sim 3\text{V}$ 。在外界温度升高时， $V_F$  将下降。

（7）V-I 特性：发光二极管的电压与电流的关系可用图 4 表示。

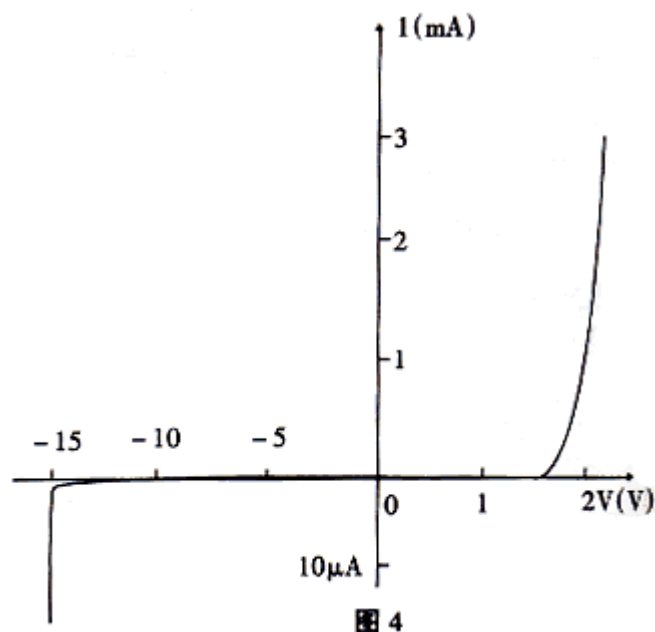


图 4

在正向电压正小于某一值（叫阈值）时，电流极小，不发光。当电压超过某一值后，正向电流随电压迅速增加，发光。由  $V-I$  曲线可以得出发光管的正向电压，反向电流及反向电压等参数。正向的发光管反向漏电流  $I_R < 10 \mu A$  以下。

### （三）LED 的分类

#### 1. 按发光管发光颜色分

按发光管发光颜色分，可分成红色、橙色、绿色（又细分黄绿、标准绿和纯绿）、蓝光等。另外，有的发光二极管中包含二种或三种颜色的芯片。

根据发光二极管出光处掺或不掺散射剂、有色还是无色，上述各种颜色的发光二极管还可分成有色透明、无色透明、有色散射和无色散射四种类型。散射型发光二极管和达于做指示灯用。

#### 2. 按发光管出光面特征分

按发光管出光面特征分圆灯、方灯、矩形、面发光管、侧向管、表面安装用微型管等。圆形灯按直径分为  $\phi 2mm$ 、 $\phi 4.4mm$ 、 $\phi 5mm$ 、 $\phi 8mm$ 、 $\phi 10mm$  及  $\phi 20mm$  等。国外通常把  $\phi 3mm$  的发光二极管记作 T-1；把  $\phi 5mm$  的记作 T-1(3/4)；把  $\phi 4.4mm$  的记作 T-1(1/4)。

由半值角大小可以估计圆形发光强度角分布情况。从发光强度角分布图来分有三类：

（1）高指向性。一般为尖头环氧封装，或是带金属反射腔封装，且不加散射剂。半值角为  $5^\circ \sim 20^\circ$  或更小，具有很高的指向性，可作局部照明光源用，或与光检出器联用以组成自动检测系统。

(2) 标准型。通常作指示灯用，其半值角为  $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

(3) 散射型。这是视角较大的指示灯，半值角为  $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$  或更大，散射剂的量较大。

### 3. 按发光二极管的结构分

按发光二极管的结构分有全环氧包封、金属底座环氧封装、陶瓷底座环氧封装及玻璃封装等结构。

### 4. 按发光强度和工作电流分

按发光强度和工作电流分有普通亮度的 LED (发光强度  $< 10\text{mcd}$ )；超高亮度的 LED (发光强度  $> 100\text{mcd}$ )；把发光强度在  $10 \sim 100\text{mcd}$  间的叫高亮度发光二极管。

一般 LED 的工作电流在十几 mA 至几十 mA，而低电流 LED 的工作电流在 2mA 以下 (亮度与普通发光管相同)。

除上述分类方法外，还有按芯片材料分类及按功能分类的方法。

## (四) LED 的应用

由于发光二极管的颜色、尺寸、形状、发光强度及透明情况等不同，所以使用发光二极管时应根据实际需要进行恰当选择。

由于发光二极管具有最大正向电流  $I_{Fm}$ 、最大反向电压  $V_{Rm}$  的限制，使用时，应保证不超过此值。为安全起见，实际电流  $I_F$  应在  $0.6I_{Fm}$  以下；应让可能出现的反向电压  $V_R < 0.6V_{Rm}$ 。

LED 被广泛用于种电子仪器和电子设备中，可作为电源指示灯、电平指示或微光源之用。红外发光管常被用于电视机、录像机等遥控器中。

(1) 利用高亮度或超高亮度发光二极管制作微型手电的电路如图 5 所示。图中电阻 R 限流电阻，其值应保证电源电压最高时应使 LED 的电流小于最大允许电流  $I_{Fm}$ 。

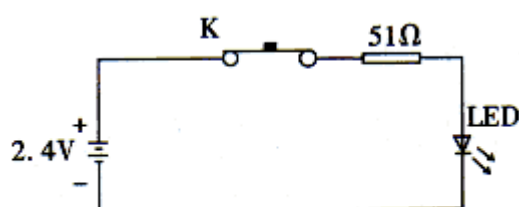


图 5

图 5

(2) 图 6(a)、(b)、(c) 分别为直流电源、整流电源及交流电源指示电路。

图(a)中的电阻  $\approx (E - V_F) / I_F$ ;

图(b)中的  $R \approx (1.4V_i - V_F) / I_F$ ;

图(c)中的  $R \approx V_i / I_F$

式中,  $V_i$ ——交流电压有效值。

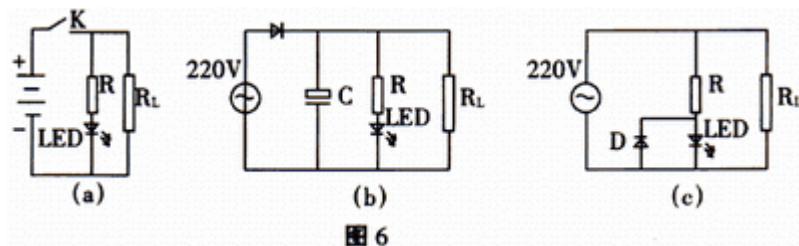


图 6

图 6

(3) 单 LED 电平指示电路。在放大器、振荡器或脉冲数字电路的输出端, 可用 LED 表示输出信号是否正常, 如图 7 所示。R 为限流电阻。只有当输出电压大于 LED 的阈值电压时, LED 才可能发光。

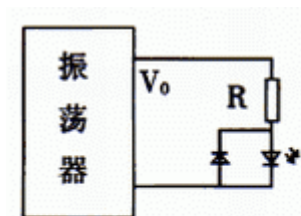


图 7

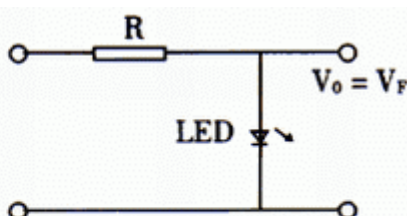


图 8

图 7、8

(4) 单 LED 可充作低压稳压管用。由于 LED 正向导通后, 电流随电压变化非常快, 具有普通稳压管稳压特性。发光二极管的稳定电压在 1.4~3V 间, 应根据需要进行选择  $V_F$ , 如图 8 所示。

(5) 电平表。目前, 在音响设备中大量使用 LED 电平表。它是利用多只发光管指示输出信号电平的, 即发光的 LED 数目不同, 则表示输出电平的变化。图 9 是由 5 只发光二极管构成的电平表。当输入信号电平很低时, 全不发光。输入信号电平增大时, 首先 LED1 亮, 再增大 LED2 亮……。

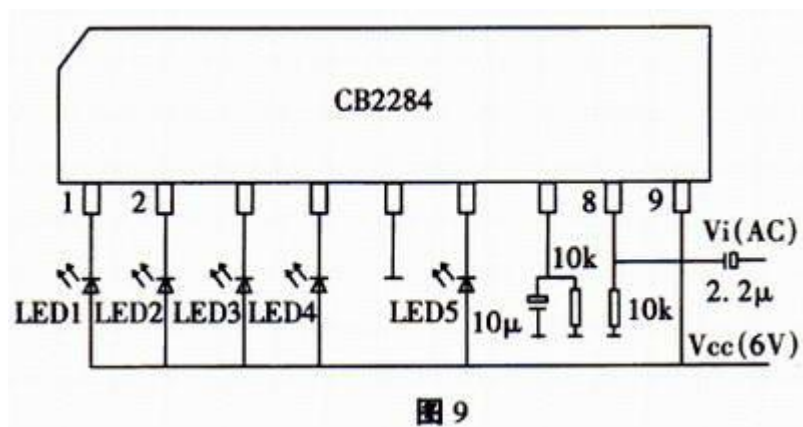


图 9

## （五）发光二极管的检测

### 1. 普通发光二极管的检测

（1）用万用表检测。利用具有  $\times 10k\Omega$  挡的指针式万用表可以大致判断发光二极管的好坏。正常时，二极管正向电阻阻值为几十至  $200k\Omega$ ，反向电阻的值为  $\infty$ 。如果正向电阻值为 0 或为  $\infty$ ，反向电阻值很小或为 0，则易损坏。这种检测方法，不能实地看到发光管的发光情况，因为  $\times 10k\Omega$  挡不能向 LED 提供较大正向电流。

如果有两块指针万用表（最好同型号）可以较好地检查发光二极管的发光情况。用一根导线将其中一块万用表的“+”接线柱与另一块表的“-”接线柱连接。余下的“-”笔接被测发光管的正极（P 区），余下的“+”笔接被测发光管的负极（N 区）。两块万用表均置  $\times 10\Omega$  挡。正常情况下，接通后就能正常发光。若亮度很低，甚至不发光，可将两块万用表均拨至  $\times 1\Omega$  若，若仍很暗，甚至不发光，则说明该发光二极管性能不良或损坏。应注意，不能一开始测量就将两块万用表置于  $\times 1\Omega$ ，以免电流过大，损坏发光二极管。

（2）外接电源测量。用 3V 稳压源或两节串联的干电池及万用表（指针式或数字式皆可）可以较准确测量发光二极管的光、电特性。为此可按图 10 所示连接电路即可。如果测得 VF 在 1.4~3V 之间，且发光亮度正常，可以说明发光正常。如果测得  $VF=0$  或  $VF\approx 3V$ ，且不发光，说明发光管已坏。



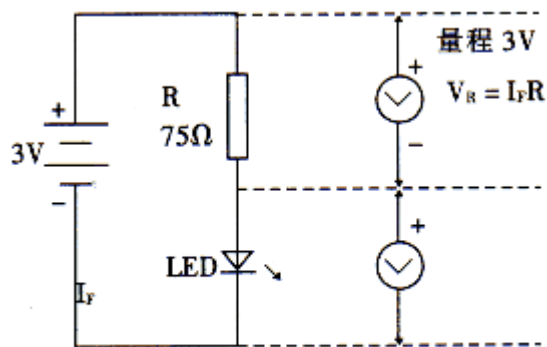


图 10

图 10

## 2. 红外发光二极管的检测

由于红外发光二极管，它发射  $1\sim 3\mu\text{m}$  的红外光，人眼看不到。通常单只红外发光二极管发射功率只有数  $\text{mW}$ ，不同型号的红外 LED 发光强度角分布也不相同。红外 LED 的正向压降一般为  $1.3\sim 2.5\text{V}$ 。正是由于其发射的红外光人眼看不见，所以利用上述可见光 LED 的检测法只能判定其 PN 结正、反向电学特性是否正常，而无法判定其发光情况正常否。为此，最好准备一只光敏器件（如 2CR、2DR 型硅光电池）作接收器。用万用表测光电池两端电压的变化情况。来判断红外 LED 加上适当正向电流后是否发射红外光。其测量电路如图 11 所示。

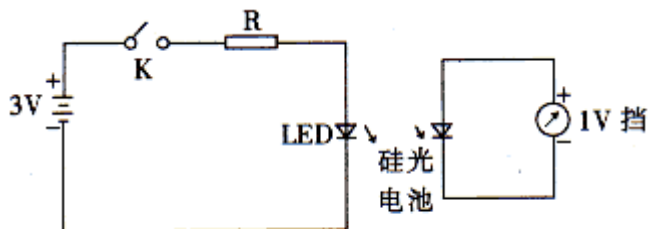


图 11

图 11

## 二、LED 显示器结构及分类

通过发光二极管芯片的适当连接（包括串联和并联）和适当的光学结构。可构成发光显示器的发光段或发光点。由这些发光段或发光点可以组成数码管、符号管、米字管、矩阵管、电平显示器管等等。通常把数码管、符号管、米字管共称笔画显示器，而把笔画显示器和矩阵管统称为字符显示器。

### （一）LED 显示器结构

基本的半导体数码管是由七个条状发光二极管芯片按图 12 排列而成的。可实现  $0\sim 9$  的显示。其具体结构有“反射罩式”、“条形七段式”及“单片集成式多位数字式”等。

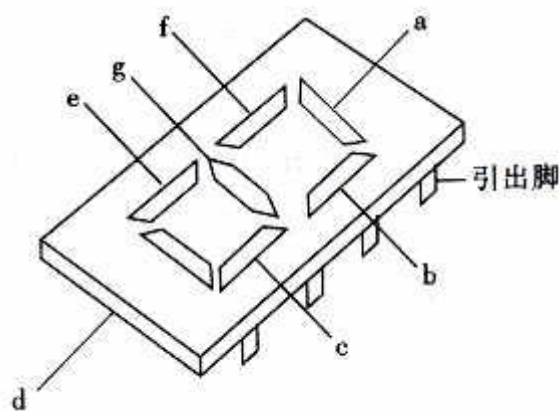


图 12

图 12

(1) 反射罩式数码管一般用白色塑料做成带反射腔的七段式外壳，将单个 LED 贴在与反射罩的七个反射腔互相对位的印刷电路板上，每个反射腔底部的中心位置就是 LED 芯片。在装反射罩前，用压焊方法在芯片和印刷电路板上相应金属条之间连好  $\phi 30 \mu m$  的硅铝丝或金属引线，在反射罩内滴入环氧树脂，再把带有芯片的印刷电路板与反射罩对位粘合，然后固化。

反射罩式数码管的封装方式有空封和实封两种。实封方式采用散射剂和染料的环氧树脂，较多地用于一位或双位器件。空封方式是在上方盖上滤波片和匀光膜，为提高器件的可靠性，必须在芯片和底板上涂以透明绝缘胶，这还可以提高光效率。这种方式一般用于四位以上的数字显示（或符号显示）。

(2) 条形七段式数码管属于混合封装形式。它是把做好管芯的磷化镓或磷化铟圆片，划成内含一只或数只 LED 发光条，然后把同样的七条粘在日字形“可伐”框上，用压焊工艺连好内引线，再用环氧树脂包封起来。

(3) 单片集成式多位数字显示器是在发光材料基片上（大圆片），利用集成电路工艺制作出大量七段数字显示图形，通过划片把合格芯片选出，对位贴在印刷电路板上，用压焊工艺引出引线，再在上面盖上“鱼眼透镜”外壳。它们适用于小型数字仪表中。

(4) 符号管、米字管的制作方式与数码管类似。

(5) 矩阵管（发光二极管点阵）也可采用类似于单片集成式多位数字显示器工艺方法制作。

## (二) LED 显示器分类

(1) 按字高分：笔画显示器字高最小有 1mm（单片集成式多位数码管字高一般在 2~3mm）。其他类型笔画显示器最高可达 12.7mm（0.5 英寸）甚至达数百 mm。

(2) 按颜色分有红、橙、黄、绿等数种。

(3) 按结构分，有反射罩式、单条七段式及单片集成式。

(4) 从各发光段电极连接方式分有共阳极和共阴极两种。

所谓共阳方式是指笔画显示器各段发光管的阳极（即 P 区）是公共的，而阴极互相隔离。所谓共阴方式是笔画显示器各段发光管的阴极（即 N 区）是公共的，而阳极是互相隔离的。如图 13 所示。

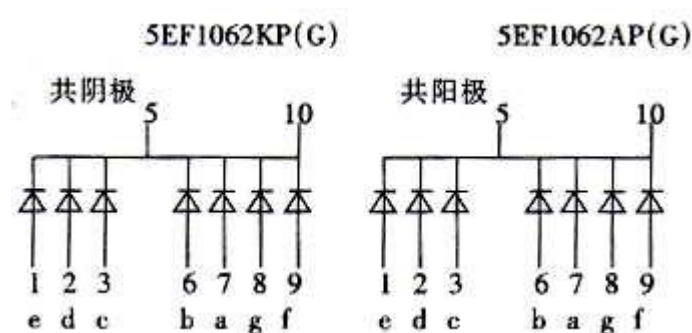


图 13

### (三) LED 显示器的参数

由于 LED 显示器是以 LED 为基础的，所以它的光、电特性及极限参数意义大部分与发光二极管的相同。但由于 LED 显示器内含多个发光二极管，所以需有如下特殊参数：

#### 1. 发光强度比

由于数码管各段在同样的驱动电压时，各段正向电流不相同，所以各段发光强度不同。所有段的发光强度值中最大值与最小值之比为发光强度比。比值可以在 1.5~2.3 间，最大不能超过 2.5。

#### 2. 脉冲正向电流

若笔画显示器每段典型正向直流工作电流为  $I_F$ ，则在脉冲下，正向电流可以远大于  $I_F$ 。脉冲占空比越小，脉冲正向电流可以越大。

### (四) LED 显示器的应用指南

#### 1. 七段数码显示器

(1) 如果数码字航局为共阳极形式，那么它的驱动级应为集电极开路 (OC) 结构，如图 14 (a) 所示。

如果数码管为共阴极形式，它的驱动级应为射极输出或源极输出电路，如图 14(b)所示。

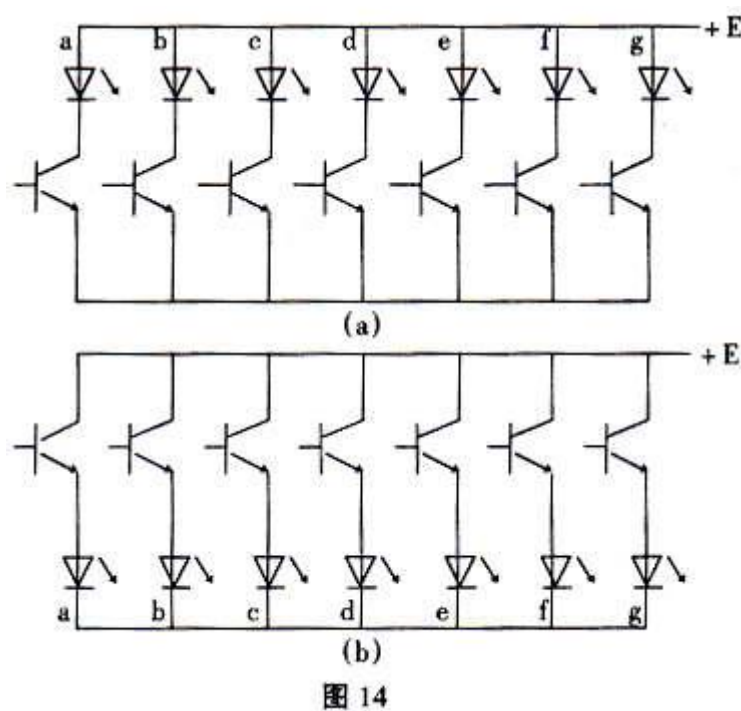


图 14

例如国产 TTL 集成电路 CT1049、CT4049 为集电极开路形式七段字形译码驱动电路；而 CMOS 集成电路 CC4511 为源极输出七段锁存、译码驱动电路。

(2) 控制数码管驱动级的控制电路（也称驱动电路）有静态式和动态式两类。

① 静态驱动：静态驱动也称直流驱动。静态驱动是指每个数码管各用一个笔画译码器（如 BCD 码二-十进制译码器）译码驱动。图 15 是一位数码管的静态驱动之例。图集成电路 TC5002BP 内含有射极输出驱动级，所以采用共阴极数码管。A、B、C、D 端为 BCD 码（二-十进制的 8421 码）输入端，BL 为数码管熄灭及显示状态控制端，R 为外接电阻。

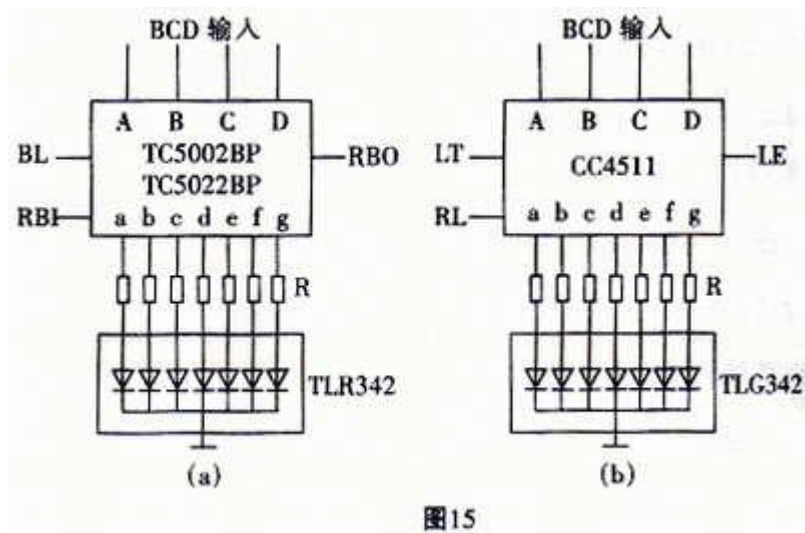


图 15

图 16 为 N 位数字静态驱动显示电路。

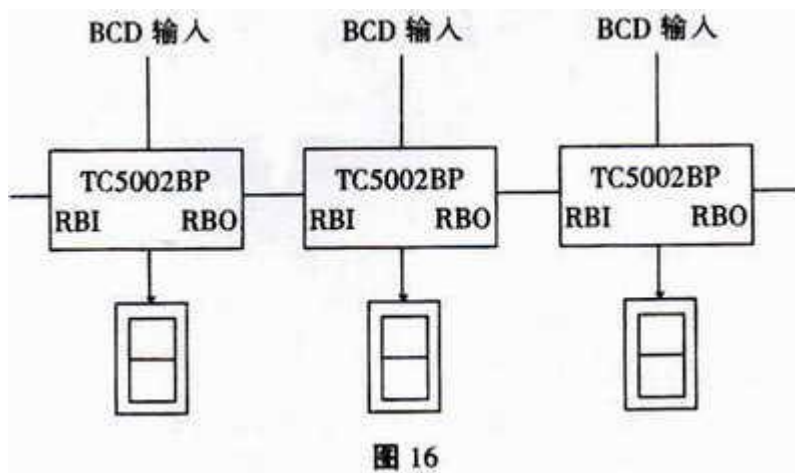


图 16

② 动态驱动：动态驱动是将所有数码管使用一个专门的译码驱动器，使各位数码管逐个轮流受控显示，这就是动态驱动。由于扫描速度极快。显示效果与静态驱动相同。图 17 是一种四位数字动态驱动（脉搏冲驱动）方法的线路。图中只用了一个译码驱动电路 TC5002BP。

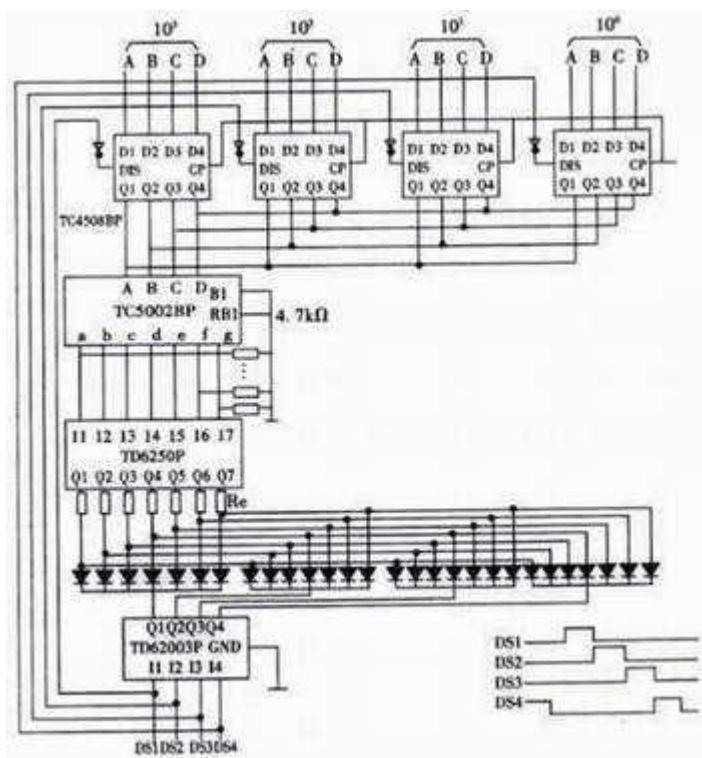


图 17

TC4508BP 内含两个锁存器，每个锁存器可锁存四位二进 BCD 码，对应于四位十进制数的四组 BCD 码分别输入到四个锁存器，四个锁存器，四组 BCD 码由四个锁存器分时轮流输出进入译码器，译码后进入数码管驱动级集成电路 TD6250P（输入端 I1~I7 与输出端 Q1~Q7 一一对应）。Q1~Q7 分别加到四个数码管的 a~g 七个阳极上。数字驱动电路 TD62003P 是由达林顿构成的阵列电路，Q1~Q4 中哪一端接地，由输入端 I1~I4 的四师长“使能”信号 DS1~DS4 控制。由于四个锁存器的轮流输出也是受“使能”信号 DS1~DS4 控制。所以四个数码管轮流通电显示。由于轮流显示频率较高，故显示的数字不呈闪烁现象。

## 2. 米字管、符号管显示器

米字管和符号管的结构原理相机，所以其驱动方式也基本相同，只是译码电路的译码过程与七段译码器不同。

米字管可以显示包括英文字母在内的多种符号。符号管主要是用来显示+、-或±号等。

## 3. LED 点阵式显示器

LED 点阵式显示器与由单个发光二极管连成的显示器相比，具有焊点少、连线少，所有亮点在同平面、亮度均匀、外形美观等优点。

点阵管根据其内部 LED 尺寸的大小、数量的多少及发光强度、颜色等可分为多种规格。图 18 所示是具有代表性的 P2057A 和 P2157A 两种  $\phi 5$  高亮度橙红色  $5 \times 7$  点阵组件。采用双列直插 14 脚封装，两种显示器的差别是 LED 极性不同，如图 18 所示。

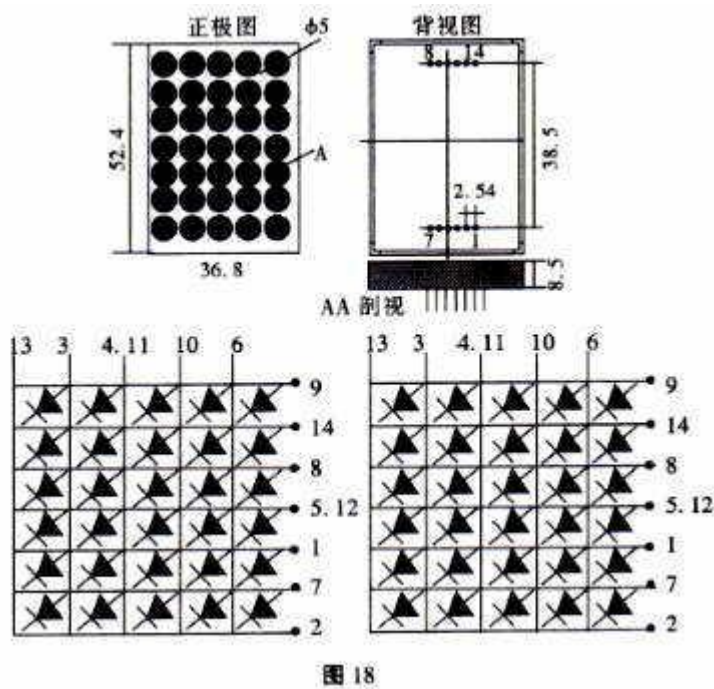


图 18

该显示器用扫描驱动方式，选择较大峰值电流和窄脉冲作驱动源，每个 LED 的平均电流不应超过 20mA。

LED 点阵管可以代替数码管、符号管和米字管。不仅可以显示数字，也可显示所有西文字母和符号。如果将多块组合，可以构成大屏幕显示屏，用于汉字、图形、图表等等的显示。被广泛用于机场、车站、码头、银行及许多公共场所的指示、说明、广告等场合。

图 19 是一个 LED 点阵显示器驱动电路之例。



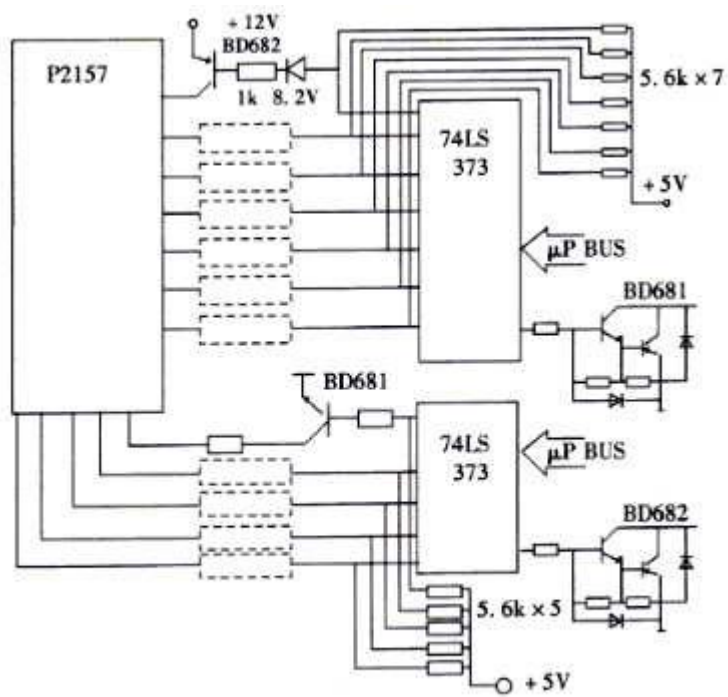


图 19

图 19