

## 超高分辨率 CRT 显示器关键技术研究\*

余理富 胡亚华 陈晓滨 李京增

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

**摘要** 首先从CRT显示器的分辨率展开讨论,然后就2048×2048单色超高分辨率显示器的行扫描电路、动态聚焦电路、300MHZ视频放大器等关键技术进行了详细地分析,最后对彩色显示的特殊要求做了简要地说明。

**关键词** 超高分辨率,行扫描,动态聚焦,视频放大器

**分类号** TN949.17

## A Study of the Critical Technologies of the Ultra-high Resolution CRT Display

Yu Lihu

(Department of Eleceronic Technology, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** In this paper, the resolution of the CRT Display is discussed. Then, the critical technologies of horizontal scanning circuit, dynamic focus, 300MHZ video amplifier of 2048×2048, ultra-high resolution monochrome display are analyzed in detail. The special requirements of the colour display are described simply in the end.

**Key words** ultra-high resolution, horizontal scan, dynamic focus, video amplifier

### 1 显示分辨率

在现代CRT显示系统中,分辨率是评价显示设备的重要指标,通常以水平方向的点数乘垂直方向的光栅行数来表示。例如低分辨率有320×200、640×350;流行的VAG有640×480、800×600,属中分辨率;高分辨率图形系统达1280×1024、1600×1280。本文讨论的是2048×2048CRT显示技术,称之为超高分辨率显示系统。

分辨率不仅与设备固有的客观因素(如光点尺寸、视频带宽)有关,而且与人眼视觉等主观因素有关。对于客观因素而言,表现为显示字符或矢量边界的清晰程度。这与

\* 1995年9月26日收稿

照相机构相似,可用调制传输函数(MTF)来描述.MTF 说明在计算机存储器中理想的图像与显示在屏幕上的实际图像之间的变化.显然,MTF 与设备固有的单位距离内显示的线数(称为线频率或空间频率,记为  $f_L$ )有关,因而 MTF 提供了一种度量显示的像素图案的清晰程度的方法.MTF 的计算较为复杂,参考文献[1]给出了一种计算方法,文献[2]给出了两个测试 MTF 的例子.

对于人眼视觉用对比灵敏度函数(CSF)表示,其解析表达式为

$$CSF(f_R) = \gamma \exp(\delta f_R) \quad (1)$$

式中  $f_R$  ——人眼视网膜上的线频率(线/度);

$\gamma, \delta$  ——常数,实验表明  $\gamma = 7.65463 \times 10^{-4}$ ,  $\delta = 0.166404(\text{度})^{-1}$ .

显示屏幕的线频率  $f_L$  和视网膜线频率  $f_R$  的转换关系如下式:

$$f_L = f_R \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{1}{L} \quad (2)$$

式中,  $L$  为观察距离.

将 MTF 和 CSF 的测试和计算值进行归一化处理并绘制成曲线. MTF 和 CSF 以及坐标轴所包围的面积记为 MTFA,它包含了主观和客观两方面对系统分辨率的影响所得到的评估值. MTFA 可按式计算:

$$MTFA = \int_0^{f_{L0}} [MTF(f_L) - CSF(f_L)] df_L \quad (3)$$

取光点尺寸分别为 0.31、0.28、0.21、0.15mm,对角线尺寸为 51cm,在 2000 线单色光栅扫描、60Hz 帧频、视频带宽从 0~300MHz 等条件下进行计算.结果表明:2000 线超高分辨率显示要获得最大 MTFA,应取光点尺寸  $S = 0.15\text{mm}$ ,视觉带宽  $\Delta f_B = 300\text{MHz}$ .

对于彩色显示,光点尺寸受荫罩节距的限制,只有加大屏幕尺寸从而增加满屏显示像素数,才能提高分辨率.

## 2 偏转扫描电路

光栅扫描显示中分水平(行)和垂直(帧/场)两种扫描电路.其中的垂直扫描频率,基本上不随分辨率的变化而变化,在几十赫范围,与普通显示器和电视场扫描电路相同,本文从略.超高分辨率显示中,关键技术在于水平扫描电路,以下重点进行讨论.

### 2.1 扫描定时关系

图 1 表示水平、垂直定时关系.本系统采用标准 11.059MHz 晶振 32 倍频,取得 353.8944MHz 作为像素时钟.取行正程 2048 像素,逆程 896 像素,可求得  $T_{HS} = 5.787\mu\text{s}$ ,  $T_{Hr} = 2.532\mu\text{s}$ ,  $T_H = 8.319\mu\text{s}$ ,故确定行频为  $f_H = 120.208\text{KHz}$ .取帧正程 2048 行,逆程 42 行,可求得  $T_{VS} = 17.037\text{ms}$ ,  $T_{Vr} = 0.349\text{ms}$ ,  $T_V = 17.386\text{ms}$ ,确定帧频为 57.515Hz.

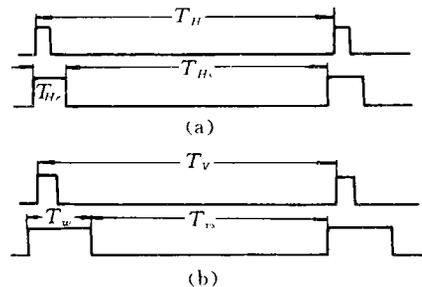


图 1 扫描定时

(a) 水平定时, (b) 垂直定时

## 2.2 行驱动与行输出

普通行驱动为变压器耦合的脉冲放大器，为行输出管提供足够的驱动电流。行输出管为高反压大功率高速开关三极管，并接入阻尼二极管、逆程电容和偏转线圈组成行输出级。其电源供电采用行输出变压器，在整个扫描期间随时补充电路损耗的能量。行输出级的功耗包括：偏转线圈铜阻功耗，输出管、阻尼管饱和导通功耗，截止时反向漏流产生的功耗，由截止到饱和、由饱和到截止过程中的开关损耗。其中最主要的是行输出管由饱和到截止时的功耗，因此时行管电流为最大，退出饱和需一定的延迟时间，而此时电路进入逆程又会产生逆程高压脉冲，故这一时刻的功耗将很大。行管电流下降规律呈线性和平方律两种，导出其平均功耗分别为：

$$P_1 = \frac{\pi^2 L_y I_{cp}^2}{24 T_r^2} T_f \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{\pi^2 L_y I_{cp}^2}{36 T_r^2} T_f \quad (5)$$

式中  $L_y$  ——偏转线圈电感量 ( $\mu\text{H}$ )； $T_f$  ——行输出管关断时间 ( $\mu\text{s}$ )； $T_r$  ——行扫描逆程时间 ( $\mu\text{s}$ )； $I_{cp}$  ——行输出管电流峰值 (A)。

实际功耗介于  $P_1$  和  $P_2$  之间。取  $L_y = 66\mu\text{H}$ ，普通行管  $T_f = 1\mu\text{s}$ ，上述定时关系  $T_r = 2.53\mu\text{s}$ ， $I_{cp} = 5\text{A}$ 。求得平均功耗在  $70\text{W} - 110\text{W}$  之间，约为 VGA 显示器行管功耗之 4 倍。而瞬时功耗将远大于此值，将达到数百瓦乃至千瓦以上。

由上分析可知，减小功耗应选用  $T_f$  小的管子，在 2000 线显示下， $T_f \leq 10\text{ns}$ 。如采用三极管对激励级也有较高的要求，应在过驱动下工作以保证行管迅速关断或导通。如采用多管并联的措施，则对驱动电路和均流都有严格的要求。

为了满足 2000 线显示行扫描电路的要求，设计了新型输出级和行驱动电路如图 2 所示。该电路有如下几个特点：

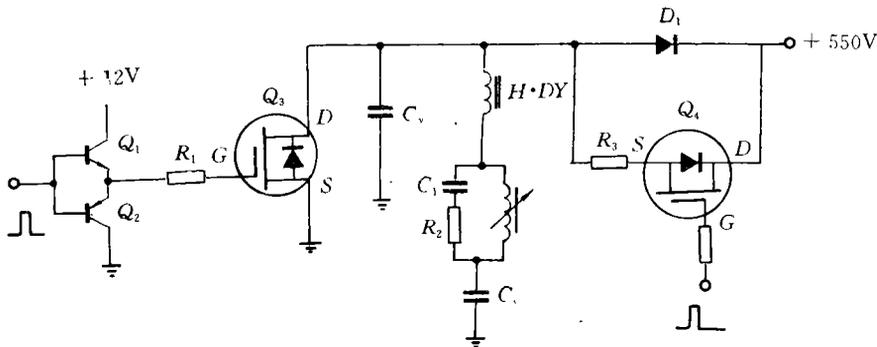


图 2 两千线行驱动和行输出级电路

(1) 采用场效应(FET)晶体管作行输出管，降低了对行激励级的功率要求，且 FET 行管易于实现多管并联。

(2) 行驱动不用变压器耦合，而采用互补射随器直接驱动，克服 FET 管输入电容的影响，使 FET 行管高速开通或截止。

(3) 供电电路不用行输出变压器，高压单独产生。在行逆程期间直接供给+550V 电压，并限制逆程高压脉冲幅度，超过+550V 时  $D_1$  导通，电流流向电源，使耐压 800V 的 FET 管可用。

(4)  $R_3$  限制供电电流，采样  $R_3$  上的电压值以控制  $Q_4$  的关断时间，从而保护  $Q_3$  不致因过大电流损坏。

(5) 调节  $Q_4$  的导通时间，或调节+550V 供电电压可实现行幅调节。

### 2.3 行同步锁相

一般显示器行自动频率控制(AFC) 电路以外同步 H. SYNC 为基准，将行逆程脉冲(取自行输出变压器)返回与 H. SYNC 比较，产生 VCO 的控制电压，从而实现同步。此处无行输出变压器，因此直接从 VCO 输出返回与外同步比较产生控制 VCO 的电压。根据锁相原理，相位锁定时输出频率与基准频率相位上差+90°，故需引入一个 90° 移相电路。锁相环采用通用的 MC14046 锁相环集成电路，使设计大为简化，如图 3 所示。图中  $C_v$  为振荡槽路电容器， $R_1$ 、 $R_2$  为槽路电阻，调节电阻或电容之值可改变振荡频率。 $C_1$ 、 $C_2$  和  $R_3$  为平滑滤波器，将鉴相器输出之误差电压平滑以控制 VCO。

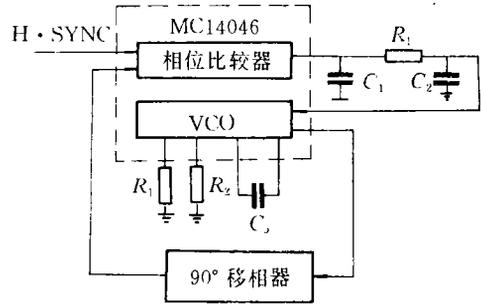


图 3 行同步锁相电路

行扫描的其它电路，如行消隐、行中心等控制电路与普通显示器类同，可在低压逻辑电路部分实现，本文从略。

### 3 动态聚焦电路

由前述知，光点尺寸是影响分辨率的极其重要的因素。由于 CRT 屏幕曲率中心与偏转中心不同，故随着偏转扫描电子束偏离屏中心的距离增加，电子透镜的焦距也增加。因而，需要加入不同的聚焦电压，使电子束在屏中央区域和边缘区域都有良好的聚焦。这就是动态聚焦。

根据 CRT 屏幕、偏转中心、聚焦中心的几何关系，可导出屏幕上任何一点  $(x, y)$  所需的聚焦电压表达式如下：

$$V_f = V_{f0} + K(V_x^2 + V_y^2) \quad (6)$$

式中， $V_{f0}$ ——屏中心处聚焦电压； $V_x$ 、 $V_y$ ——分别为水平、垂直方向偏转距离为  $x$ 、 $y$  时所需的外加聚焦电压； $K$ ——比例系数。

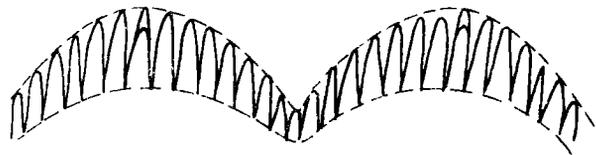


图 4 动态聚焦电压波形

根据上式可知，动态聚焦电压应为行频抛物波和场频抛物波的迭加。同时，随着偏转距离增加，焦距拉长，聚焦电压值应减小一些，使之与中心位置时相比略有散焦，从而焦点正好落在边缘区域的屏幕上。这样，抛物波应是向下的形状，如图 4 所示。

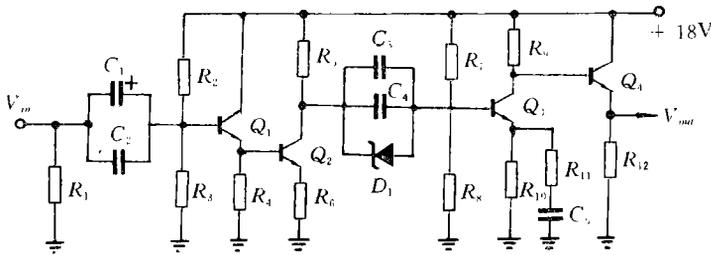
将行、场扫描锯齿电压取出进行积分，可得行、场抛物波，然后将场频抛物波调制于行频抛物波上，即可得到图 4 所示的动态聚焦电压波形。本设计  $V_{a0}=1.4\text{KV}$ ，动态聚焦峰值电压约  $800\text{V}$ 。

#### 4 300MHz 宽带视频放大器

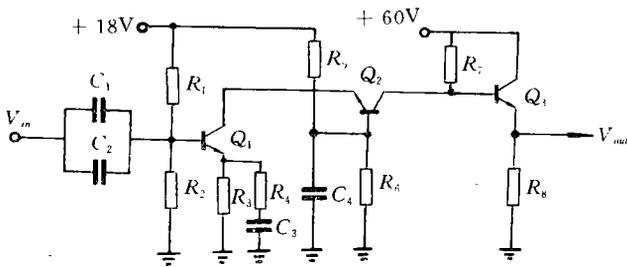
视频带宽是影响显示分辨率的又一重要指标。由第 1 节分析知：在频带高端 MTFA 曲线趋于平坦，追求过高的带宽已没有实际意义，在此区域内光点尺寸成为决定的因素。因此，本文确定系统视频带宽为  $300\text{MHz}$ 。

视频放大器的负载是 CRT 的阴极或栅极，为容性负载，并要求电压幅值达  $20\sim 40V_{pp}$ 。因此使用的电源电压较高，通常采用三极管分立元件放大电路。

根据三极管共射、共集、共基三种组态的分析，共集放大器频率特性最好，但电压放大系数近似为 1；共基放大器有较好的频率特性，同时也有较高的电压放大增益；而共射放大器电压放大系数最大，但频率特性在三者中较差。为了解决带宽—增益之间的矛盾，实际电路往往采用多组态级联的多级放大形式，如图 5 所示。图 5 (a) 预视放由两级共射放大器组成，每级放大倍数为 3；图 5 (b) 为一级共射共基放大器，约有 5 倍放大量；整个电路增益约 45 倍。当输入信号为  $0.7V_{pp}$  时，输入可达  $31.5V_{pp}$ ，满足显像管的驱动电压幅值要求。



(a) 两级预视放电路



(b) 末级视放电路

图 5 视频放大器

为满足频带要求采取了以下措施：(1)各级放大器之间有共集电路隔离，利用其输出阻抗低以减小密勒电容的影响；(2)因有隔离措施每级有独立的负反馈电路和高频补偿网络以扩展频带；(3)前级低压部分选用  $f_c \geq 6.5\text{GHz}$  的晶体管，尽可能提高其频率特性，而

末级要求较高的电压幅度,其耐压和截止频率要求都很高,只找到  $f_c \geq 1\text{GHz}$ ,  $V_{ceo} \geq 100\text{V}$  的晶体管。按以上电路进行印制板设计和安装、调试,测试结果达到了带宽不小于  $300\text{MHz}$  的指标。

## 5 结束语

经理论分析和实验研究,采用飞利浦  $54\text{cm}$  超高分辨率单色 CRT,以帧频为  $57.5\text{Hz}$ ,行频为  $120\text{KHz}$ ,设计调试成功  $2048 \times 2048$  的超高分辨率单色显示器。对于彩色显示来说,以上关键技术均可采用,只是视放电路应为 R、G、B 三路,同时适当增加行扫描电路功率,并辅以彩色显像管要求的自动消磁、黑白平衡、色纯聚校正等电路即可实现。

超高分辨率显示系统可应用于空中交通管制、高级指挥控制系统、印刷排版、医学图像、遥测遥感图像的显示与处理等领域。

## 参 考 文 献

- 1 Infante C. On The Resolution of Raster-Scanned CRT Displays. Proceedings of the SID, 1985, 26 (1)
- 2 MPR Statens Matoch Provrad. Testing Visual Display Units, -test methods, MPR-P, 1987:2
- 3 Infante C. A Fast Switching Video Amplifier for CRT Displays. SID 78 Digest
- 4 余理富,孙茂印,陈楚材. 计算机图形显示原理(硬件). 国防科技大学出版社, 1991

(责任编辑 潘 生)