

# 声光光源色度可调性的研究

蔡海涛 陈祯培 钟永碧  
(四川大学物理系, 成都 610064)

**提要:** 本文报道了一种色度坐标可在整个 CIE 1931 色度图范围内任意变化的新型光源, 并对其工作原理、实现色度可调的电路结构及其应用作了介绍。

**关键词:** 声光可调滤光器, 色度

## Research on chromaticity adjustability of acousto-optic light source

Cai Haitao, Chen Zhenpei, Zhong Yongbi  
(Physics Department, Sichuan University, Chengdu)

**Abstract:** In this paper, we report a new type of light source, its chromaticity coordinates can be changed arbitrarily on CIE 1931 chromaticity diagram, its operating principles and circuit structures are given.

**Key words:** acousto-optic tunable filter (AOTF), chromaticity

### 一、工作原理

本文所报道的光源是声光技术、声光可调滤光器<sup>[1]</sup>的又一应用。它主要由声光可调滤光器(AOTF)以及 AOTF 的驱动电路构成。本文所使用的 AOTF 属于非共线型结构, 其调谐范围在可见光区域。它是由 TeO<sub>2</sub> 晶体、换能器及吸声体等构成, 图 1 是其结构简图。当一高频电信号施加到换能器上时, AOTF 可使一束准直入射的复色光衍射输出两束正交的偏振单色光(本文只用其中一束)。该衍射光的中心波长  $\lambda$  与高频电信号  $f_a$  有如下关系<sup>[2]</sup>:

$$\lambda = \frac{\Delta n_o(\lambda) \cdot V(\alpha)}{f_a} \cdot \frac{\sin^2 \theta_i}{\sin(\theta_i - \alpha)} \quad (1)$$

该衍射光的衍射效率  $\eta$  与高频电信号的电功率  $P_a$  的关系为<sup>[2]</sup>

$$\eta = \frac{\pi}{\lambda} \left( \frac{LM_a P_a}{2H} \right)^{1/2} \left( \frac{V(0)}{V(\alpha)} \right)^{3/2} \cdot \frac{\cos(\theta_s - \alpha) \cdot \cos \theta_i}{\cos(\theta_s - \theta_i)} \quad (2)$$

以上两式中除了  $f_a$  和  $P_a$  以外, 其它各参数均为 AOTF 的性能参数, AOTF 一旦选定, 这些参数便固定下来。由此可见, 通过调节高频电信号  $f_a$  及其功率  $P_a$  的大小, 就可实现调节衍射光的波长和其光强的大小。

由于 AOTF 具有快速光谱扫描能力, 若在 AOTF 的调谐范围内以一定的扫描周期对 AOTF

施加三种不同的高频电信号，则 AOTF 也以同样的扫描周期输出相应的三种不同的单色光。

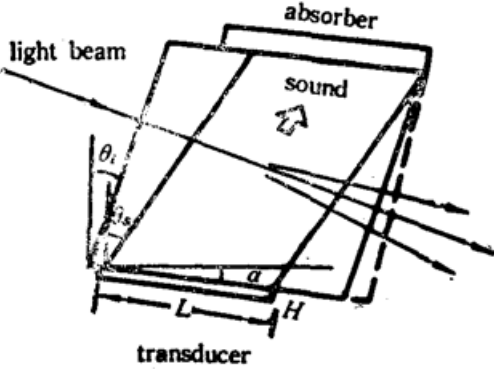


Fig. 1 Schematic of a TeO<sub>2</sub> noncollinear AOTF

若扫描周期小于某一定值时，这三种单色光就被混合成为一种混合光。由色度学中的颜色混合原理可知，若此三单色光的颜色为红绿蓝三基色，则其混合光的颜色几乎可以是 CIE 1931 色度图上的任意一种。三基色的比例不同，则其混合光颜色的色度值就不相同。

为此，笔者专门设计了一种能产生三个高频电信号的 AOTF 驱动电路，三个高频电信号的输出功率分别连续可调，三衍射光的中心波长分别连续可调，扫描周期也连续可调。这样，利用扫描输出的三单色光的混合光作为光源，分别通过调节其各自的波长和光强，就能实现光源的色度可调。

### 二、实现色度可调的电路分析

在 AOTF 驱动电路的设计中，笔者是用高频振荡器作为 AOTF 的高频激励信号源，图 2 是该驱动电路的结构框图。

#### 1. 三输出光的扫描周期连续可调

调节三输出光的扫描周期(即驱动电路产生的三高频电信号的扫描周期)，实际上是调节由脉冲发生器产生的矩形脉冲的周期  $T'$ 。图 2 中的脉冲发生器和脉冲分频器的实际等效电路如图 3 所示。图 3(a)的脉冲发生器产生的矩形脉冲的周期  $T'$  与电位器  $R_1$ (即图 2 中的  $R_1$ ) 有如下关系<sup>[3]</sup>：

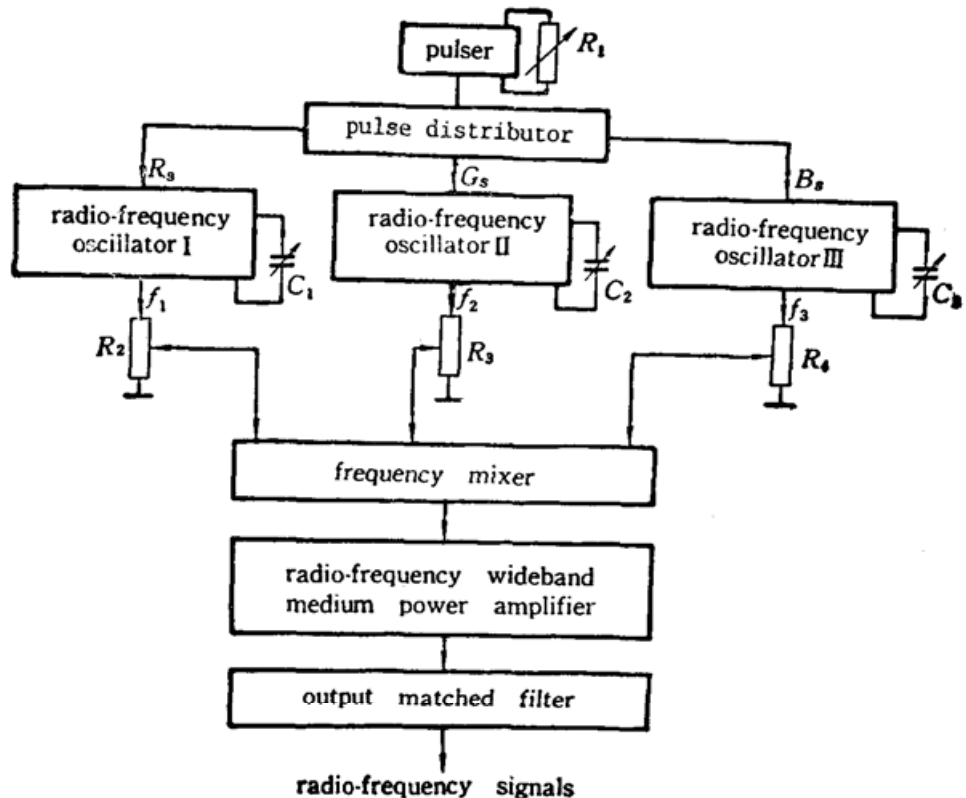


Fig. 2 The circuit block diagram of the driving power supply

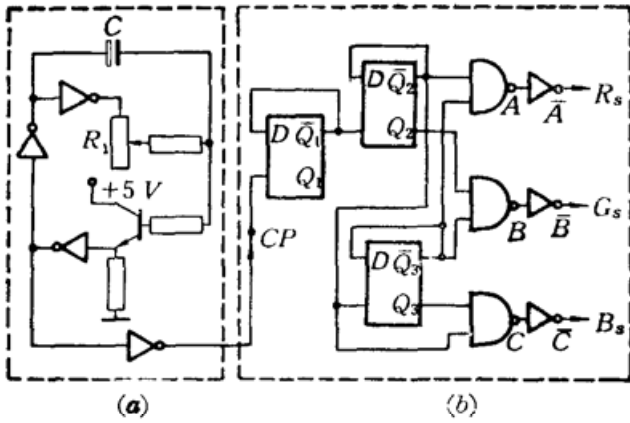


Fig. 3

- (a) The equivalent circuit of the pulser;
- (b) The equivalent circuit of the pulse frequency divider

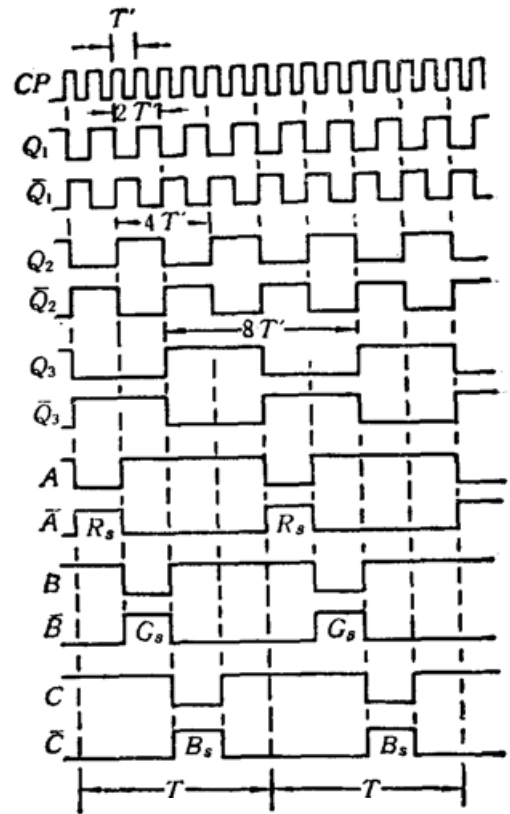


Fig. 4 The timing sequence diagram of the pulser and the pulse frequency divider

$$T' = KR_1C \tag{3}$$

因此通过调节  $R_1$  就可调节  $T'$ 。该可调周期的矩形脉冲信号经图 3(b) 中的脉冲分频器分频后可产生三组程序脉冲信号  $R_s$ 、 $G_s$  和  $B_s$ ，以此去控制三个高频振荡器。图 4 为脉冲发生器和脉冲分频器的工作波形时序图。由该时序图可见，分频器产生的三组程序脉冲信号  $R_s$ 、 $G_s$  和  $B_s$ ，其扫描周期  $T$  与脉冲发生器产生的矩形脉冲周期  $T'$  有如下关系：

$$T = 8T' = 8KR_1C \tag{4}$$

由此可见，通过连续调节电位器  $R_1$  便可连续调节其扫描周期  $T$ 。笔者选择了参数后，其扫描周期  $T$  的调节范围为 20 ms~1 s。

### 2. 三输出光的波长分别连续可调

由(1)式可知，调节衍射光的波长是通过调节高频振荡器所产生的高频信号的频率来实现的。图 2 中的三个高频振荡器的电路结构完全一样，它们都是在改进型电容三点式的基础上加以适当变化而成，其实际等效电路如图 5 虚框内所示。其振荡频率可表示为<sup>[4]</sup>：

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}} \tag{5}$$

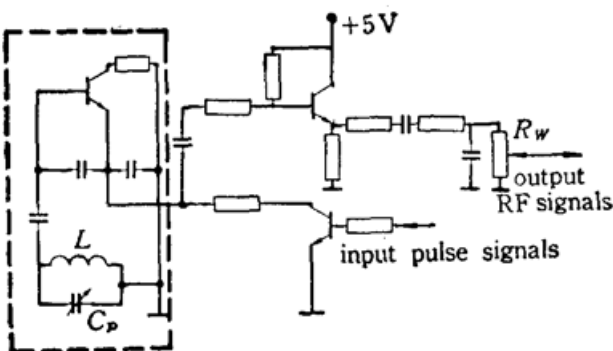


Fig. 5 The equivalent circuit of the radio-frequency oscillator

由此可见，只要改变微调电容  $C_p$  (即图 2 中的  $C_1$ 、 $C_2$  或  $C_3$ )，就可改变其高频振荡器的振荡频率  $f$  (即图 2 中的  $f_1$ 、 $f_2$  或  $f_3$ )，从而实现衍射光的波长可调。

该驱动电路中三个高频振荡器所产生振荡频率的调节范围均为 43 MHz~100 MHz。

### 3. 三输出光的光强分别连续可调

调节衍射光的光强实际上是调节它们的衍射效率  $\eta$ 。由(2)式可知, 这可由调节中功率放大器输出的电功率来实现。而中功率放大器输出功率取决于输入高频电信号的幅度。故在如图 5 所示的各高频振荡器的输出电路中各增加一个电位器  $R_w$  (即图 2 中的  $R_2$ 、 $R_3$  和  $R_4$ ) 来调节其输入信号幅度的大小, 这样就可调节输出电功率的大小, 以实现三衍射光的光强可调。

## 三、色度变化范围

由于该色度可调光源只扫描输出三种具有一定谱线宽度的准单色光, (其谱线宽度与输入到 AOTF 的白光的准直度有关, 准直度愈高, 则其谱线宽度愈窄<sup>[5]</sup>, 其色度点愈接近 CIE 1931 色度图的光谱轨迹), 故该光源的相对光谱功率分布是由三条具有一定谱线宽度的谱线构成。由于三输出光的光强可分别调节, 故三输出光的光强比不同, 即其三条谱线的相对高度不相同。实验中我们测出了数百种不同光强比的相对光谱功率分布, 并利用计算机算出了该光源数百种不同的色度值。图 6 为 CIE 1931 色度图, 其中的  $R$ 、 $G$  和  $B$  三点为衍射光的波长分别为 630 nm、540 nm 和 444 nm 时的色度点, 其色度值分别为 (0.705, 0.295), (0.272, 0.717) 和 (0.162, 0.013)。由色度学理论和我们算出的实验结果均表明, 该光源的色度变化范围位于由  $R$ 、 $G$  和  $B$  三点所组成的三角形之内。若想要得到此三角形区域内某一点色度值的光, 则只需调节三输出光各自的输出光强, 使其比值为某一合适值便可。图 6 中三角形  $RGB$  内的 8 个点为笔者所测出具有不同光强比的色度点的一部分, 它们的色度值列于表 1。

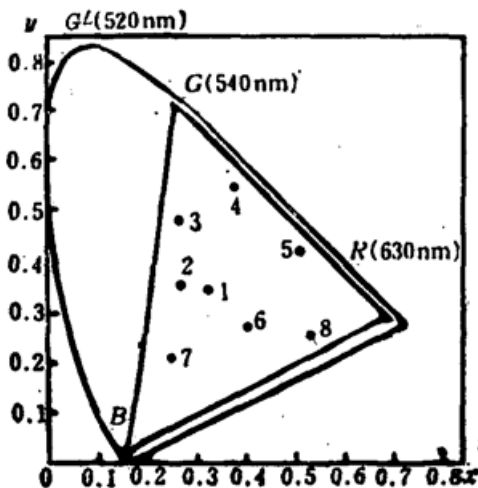


Fig. 6 The CIE 1931 chromaticity diagram in which the chromaticity changing range of this light source is within triangle  $RGB$

Table 1 The eight different chromaticity values we obtained

	$x$	$y$
No. 1	0.331	0.332
No. 2	0.272	0.352
No. 3	0.274	0.482
No. 4	0.382	0.556
No. 5	0.508	0.423
No. 6	0.411	0.271
No. 7	0.234	0.228
No. 8	0.521	0.259

由于该光源输出三衍射光的波长可分别调节, 即可分别调节三衍射光在 CIE 1931 色度图上各自的色度点  $R$ 、 $G$ 、 $B$  的位置, 这样就可使上述三角形的面积可大可小, 从而导致该光源的色度变化范围也可调节。例如将绿光的输出波长由 540 nm 调至 520 nm, 则绿光的色度点由  $G$  点移至  $G'$  点(见图 6), 其三角形的面积变大, 原三角形  $RGB$  以外的某些色度点被调至新的三角形  $RG'B$  的区域以内, 扩大了其色度调节的范围。

综上所述,该光源对于 CIE 1931 色度图上任意一点的色度值都能通过调节三输出光的波长和其光强比得到,从而实现了该声光光源在整个 CIE 1931 色度图范围内可调。

该光源可广泛应用于彩色图像处理、颜色信号识别和测量等领域。实验中,笔者曾将该光源用于黑白图像假彩色化的解码工作,取得了满意的结果。

最后,笔者对四川压电与声光技术研究所驱动电路的制作上给予的支持表示谢意,也感谢成都师专的陈亚平同志在成文过程中给予的帮助。

### 参 考 文 献

- 1 I. C. Chang, *Opt. Eng.*, **16**(5), 455(1977)
- 2 T. Yano and A. Watanable, *Appl. Opt.*, **15**(9), 2250(1976)
- 3 清华大学电子学教研组,数字电子技术基础,上册,人民教育出版社,北京,1981,322~325
- 4 清华大学通信教研组,高频电路,上册,人民邮电出版社,北京,1979,488~490
- 5 何桂鸣 *et al.*, 压电与声光, **5**, 15(1984)