

# 基于光泵磁共振实验信号的放大电路设计

孙健 物理学 08300190020

**Abstract:** Optical pumping is an important technique in the research of atom and the observation of the phenomena of it is a meaningful part of Physics teaching experiments as well. This paper introduces an amplifying circuit designed to process original photoelectric signal of the optical pumping. In virtue of the signal simulation, this circuit is believed to be suitable for the original signal mentioned above, and by means of it, further observation of this signal can be realized and lead us to the real signal of optical pumping.

**关键词:** 近代物理实验；光抽运；异常光电信号；放大电路；滤波；差分放大

## 0 引言

光抽运技术是 A. Kastler 等人在上世纪 50 年代所提出的, A. Kastler 本人因此获得了 1966 年诺贝尔物理学奖<sup>[1]</sup>。几十年来, 光抽运技术在激光、惰性气体超极化、电子频率标准和精测弱磁场方面有重要的应用, 尤其是在碱金属原子激发态精细与超精细能级结构的研究中起了巨大的推动作用<sup>[2]</sup>。光泵磁共振实验是近代物理实验教学中一个比较重要并且有意义的实验, 通过该实验可以对原子物理学有更深刻的认识。我实验中心使用的是北京大华无线电仪器厂生产的 DH807 型光磁共振实验仪 (下称 DH807), 在实验中发现, 光抽运信号难以被全盘解释。本文试图介绍一种合适该型号仪器光电信号输出的放大电路, 可以为进一步研究光抽运信号的现象打下基础。

## 1 实验原理

有人提出, DH807 输出的光电信号有异常是因为所施加的扫场信号不是严格方波所致<sup>[3]</sup>。

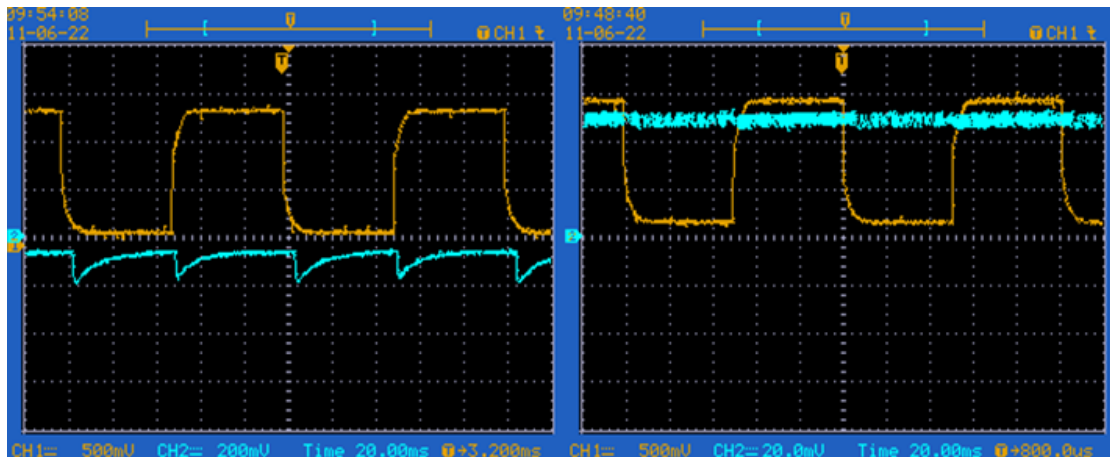


图 1

而我们认为抽运信号的异常可能是因为实验仪器接收端输出的不是真实的光信号,而是经过放大变形的信号;其电路如附图所示<sup>[4]</sup>,因为有电容隔直,观察到的信号的上升段是个积分信号,下降段是 RC 放电,影响学生对实验内容的理解。基于这个考虑,有必要设计一种适合光抽运信号的放大电路,对该信号进行放大。

首先需要对原光抽运现象所对应的光电信号进行测量,得到结果如图 1 所示。其中,

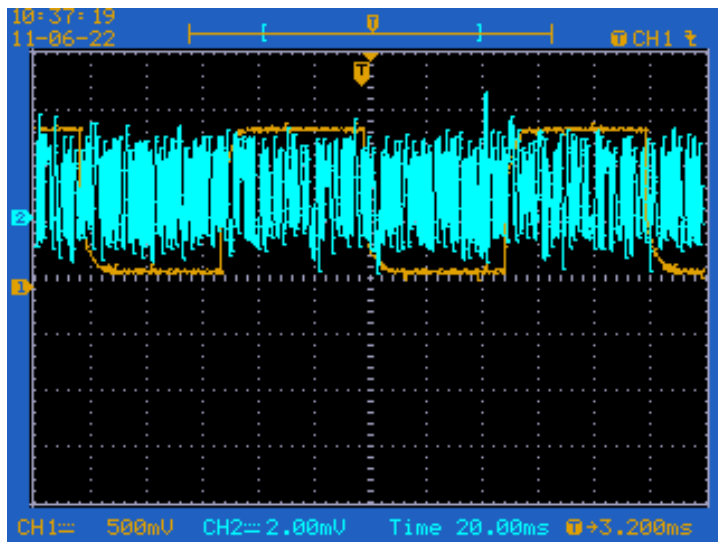


图 2

黄色方波信号为扫场信号,蓝色信号为输出信号,左图是经原配电路处理所得的光电信号,右图是未经处理直接输出的光电信号,两者所处实验条件相同。如图可见,光电信号的直流部分约有 50mV,频率大约在 10Hz 量级,而噪声频率较高,幅度约有 5mV,信号幅度应更

小;用示波器将信号调大观察,如图 2 所示,噪声影响严重,基本看不到抽运信号。由此可见,光抽运信号的直流部分远大于交流部分,而我们真正关心的是信号的交流部分,所以所设计的电路应该有以下功能:(1)能够对约 50mV 的直流信号进行隔直;(2)能够对幅度小于 5mV 的交流信号进行放大,并滤去大小约 5mV 的噪声信号。

## 2 实验设计

对于直流信号的隔直,一般可以采取串联适当电容的放大来实现,但会引起信号的形变,因此这里我们采用参考点可调的差分放大来对原光电信号进行隔直放大。而滤去噪声信号

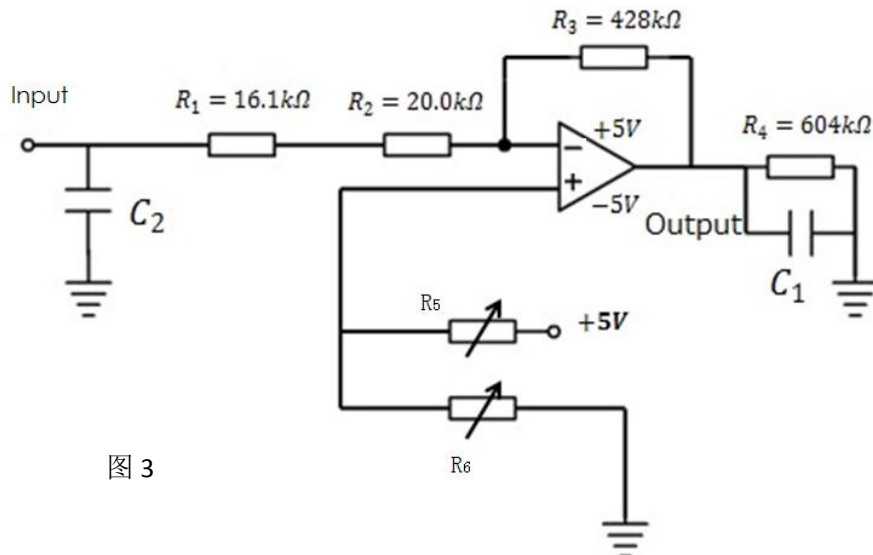


图 3

则通过无源低通滤波电路来进行<sup>[5]</sup>。经设计和调试后,具体线路图如图 3 所示,其中使用的运算放大器的型号是

LF353N，电源两端分别输入+5V和-5V的直流信号。当信号输入进来之后，先用 C2 和 R1 组成的低通滤波电路进行降噪，然后进行反向放大，输出的信号再经过 C1 和 R4 组成的低通滤波电路进行又一次滤波。放大器的接地部分置有如图所示的两个变阻器，并在 R5 一端置有+5V的电位，则可以通过调节 R5 和 R6 的阻值来调整零点，起到隔直的效果。图中的 C1 和 C2 都是可调电容箱，可以调节他们来改变滤波效果。

为了对光泵磁共振的光电信号进行模拟，可以先使用信号发生器产生直流偏置约50mV、交流部分约5mV并且频率在10Hz量级的方波信号，调节 R5、R6、C1 及 C2 进行放大；为了模拟光电池所转换的光电信号，可以使用 LED 等作低频闪烁作为光源，观察并对其信号进行放大。

### 3 实验过程与现象

(1) 经测量，此放大电路最大输出电压约为4.5V。用信号发生器产生约20Hz、直流偏置约200mV、交流成分大小约为40mV的方波信号，经放大、滤波、隔直后输出信号如图4所示，其中上方为输入信号，下方为输出信号，效果较好，方波基本无变形。

(2) 再用信号发生器产生直流偏置约50mV、交流部分约5mV并且频率在10Hz量级的方波信号，放大后效果如图5所示，其中上方为输入信号，下方为放大后信号，降噪效果尚可，放大后的信号相较方波无太明显变形，噪声幅度明显小于方波信号。有约50Hz的类似正弦信号噪声，估计使用电磁屏蔽措施可消除。

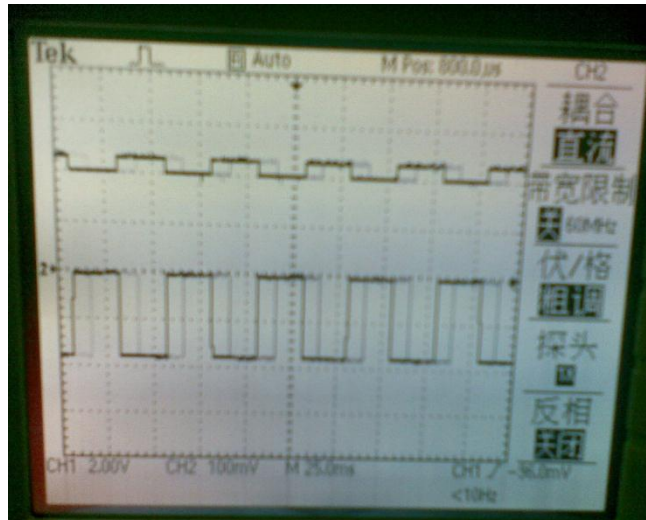


图 4

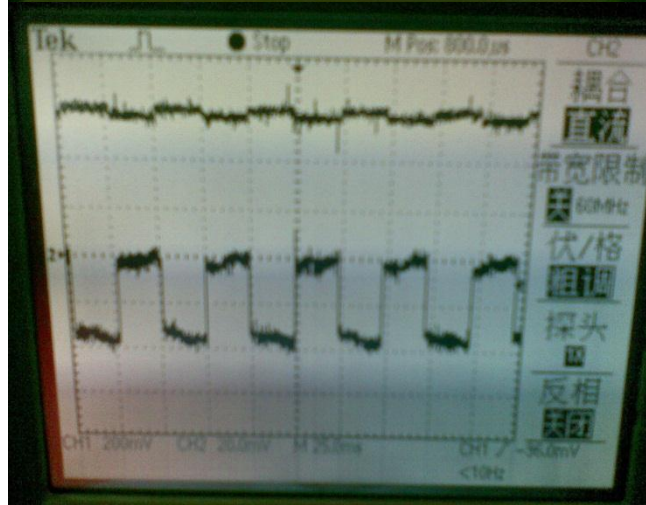
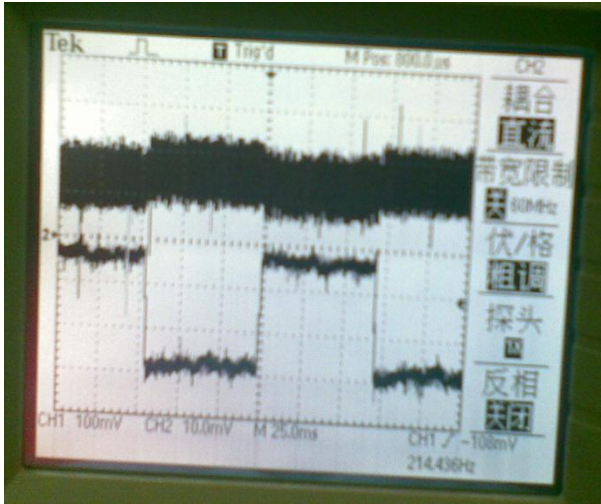


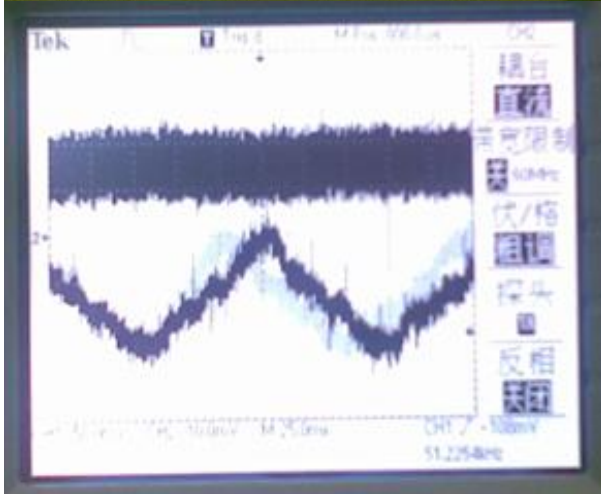
图 5

图 6



(3) 用 LED 小灯泡作为光源进行光电信号放大。用信号发生器作为小灯电源，输出方波信号，将直流偏置调制最大，并且适当调节方波幅度，使小灯闪烁较不明显，输入所设计的电路，所得输出信号如图 6 所示，其中上方为经光电池所输入的光电信号，下方为放大后输出信号，观察可以发现，输入的光电信号直流部分略大于 10mV，交流部分

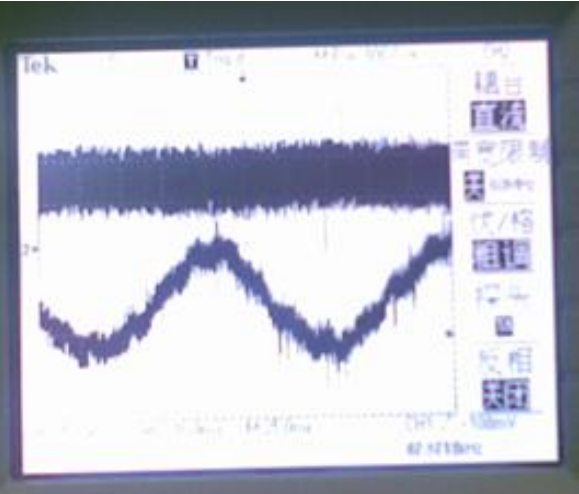
图 7



信号幅度约为 4mV，噪声幅度约有 10mV，所得输出信号情况较好，噪声幅度明显小于方波信号，方波信号基本无变形。

(4)再分别对 LED 灯泡输入有直流偏置的方波、三角波信号，放大效果分别如图 7 及图 8 所示，其中上方为经光电池所输入的光电信号，下方为放大后输出信号，噪声幅度明显小于方波信号，输出信号基本无变形。

图 8



#### 4 实验结论及展望

通过以上的设计和实验，可以认为，我们提出的电路可以对噪声在 10mV 以下、信号幅度（指方波、三角波、正弦波的峰-峰值）大于 5mV，并且有小于 5V 直流成分的光电信号（理论上可以达到，但实际情况中的光电信号直流成分应小于 100mV）进行放大和降噪，对其交流成分进行有效观察。

根据该电路，可以在 DH807 上开展进一步的实验，即用此电路对抽运信号进行放大。前述实验表明，该电路能够对图 2 中所示的光电信号进行有效放大。再进一步实验中，可以 (1)确定 C1 和 C2 的具体取值；(2)增加电磁屏蔽措施，例如将电路板置于接地金属盒中；(3)

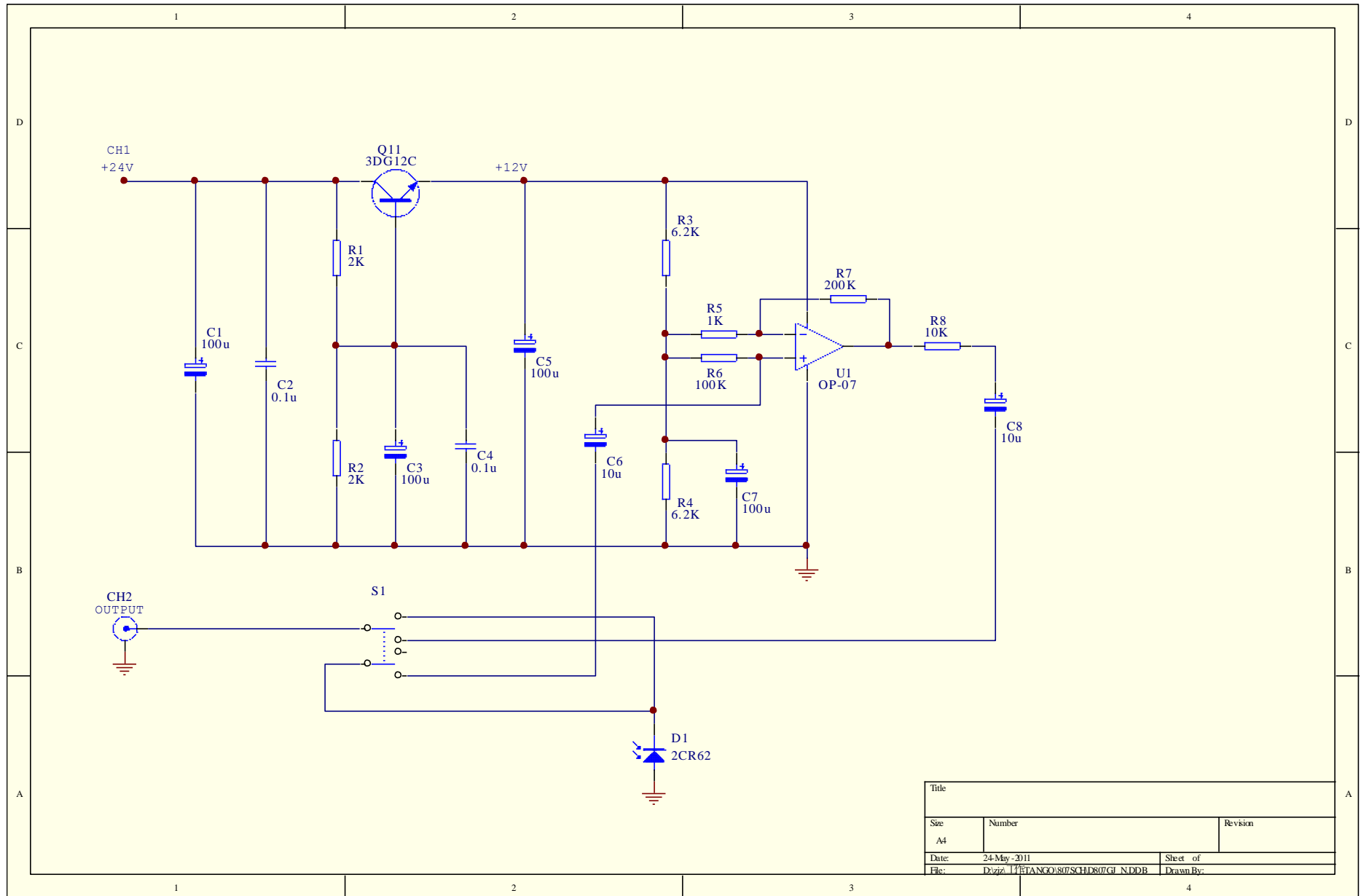
将电路全部焊制成板装盒使用，并最终观察到真实的抽运信号。

## 5 致谢

感谢乐永康及实验中心其他老师们的教导和帮助以及北京大华无线电仪器厂提供资料。同时感谢荆心怡同学在实验中的合作与协助。

## 参考文献:

- [1]近代物理实验补充讲义. 复旦大学物理教学实验中心, 2011.
- [2]周健, 俞熹等. 光磁共振实验中壁弛豫过程与外磁场的关系[J]. 大学物理, 2009, 28(6).
- [3]周健, 俞熹等. 光磁共振实验中异常光抽运信号的深入探讨[J]. 物理实验, 2009, 29(4).
- [4]大华无线电仪器厂. DH807 型光磁共振实验装置技术说明书[Z], 2006.
- [5]童诗白. 模拟电子技术基础(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.



附图：DH807 光电信号接收端电路图