

doi: 10.7690/bgzd.2013.07.024

某型高炮随动系统集成电路放大器

唐恭富, 姚春

(中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对某型高炮数字化改造需求, 设计一种高炮随动系统的集成电路放大器。该放大器通过信号调制、相敏整流、并联校正网络等关键电路设计, 响应带宽、稳定精度、平均无故障工作时间等性能指标大大提高, 解决了我国某现役高炮电子管放大器维修难、稳定性差的技术难题。

关键词: 集成电路放大器; 信号调制; 相敏整流; 并联校正网络

中图分类号: TJ35 **文献标志码:** A

Amplifier IC of Certain Type Antiaircraft Gun Servo System

Tang Gongfu, Yao Chun

(Department of Military Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: According to the demand of certain type artillery digital improvement, designed a kind of amplifier IC of antiaircraft gun servo system. Through key designs of the signal modulation, phase sensitive rectifier, parallel correction proofread network, the amplifier response bandwidth, stable accuracy, mean time to failure and other performance are greatly improved. It solves the technical problems of China certain type antiaircraft artillery tube amplifier difficult repairing and low stability.

Key words: amplifier IC; signal modulation; phase sensitive rectifier; parallel connection proofread network

0 引言

某型高炮随动系统是 20 世纪 50 年代设计制造的。由于原随动系统中的控制部件——放大器是采用落后的电子管器件设计的, 难以保证放大器中配置的分立元件, 稳定性可靠性差。为解决该高炮作战火力执行与信息化战争需求不相适应的问题^[1], 提高该高炮武器系统的射击密集度和射击准确度, 以及提高操瞄自动化程度和火炮快速反应能力, 部队急需对高炮随动系统进行数字化、信息化改造, 以使该高炮发挥更大的军事经济效益。

基于此, 笔者提出一种某型高炮随动系统的信息化改造方法, 对随动系统的放大器进行重新设计。设计后的随动系统控制精度高, 稳定性、可靠性好, 不需要预热, 反应速度快, 极大地提高了战术指标。

1 集成电路放大器方案设计

集成电路放大器采用运算放大器及 CMOS 三极管, 输入输出接口与电子管放大器的输入输出接口相同, 保证了某高炮随动系统总体技术体系结构、技术性能指标和电磁兼容性均不发生变化。同时, 还要使火炮的操作性能、操作要求与规程不变, 以保证新旧放大器能互换使用。如图 1 所示, 集成电路放大器由自动输入级、并联校正网络、稳定校正放大电路、硅二极管转换器、中间级、电源、功耗

匹配和输出级等组成^[2]。

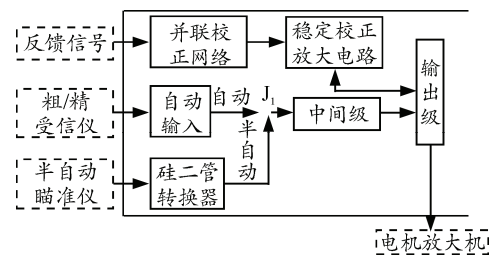


图 1 集成电路放大器组成框图

1) 自动输入。

自动输入完成在自动瞄准时把受信仪的精确、概略信号电压加以综合和放大。由信号阻抗匹配、概略和精确信号综合、信号放大 3 部分组成。当火炮失调角大于 75 密位时, 由概略信号进入放大器, 控制火炮转动, 当火炮失调角小于 75 密位时, 自动引入精确信号控制, 由精确信号控制火炮转动。

2) 中间级。

该级是一个相敏整流器, 它的输入信号是一个 50 Hz 的调幅波, 其幅值的大小和正负随失调角的大小与方向而变化, 输出信号是一个直流信号, 其大小和正负随失调角的大小与方向变化。在火炮的自动工作方式时, 相敏整流放大级的输入信号来自受信仪, 在半自动工作方式时, 来自半自动瞄准仪经调制后的输出信号。

收稿日期: 2013-01-18; 修回日期: 2013-02-22

作者简介: 唐恭富(1963—), 男, 四川人, 工程师, 从事自动控制及电路开发研究。

3) 输出级。

完成差分放大和功率放大。它由稳定及抑制零漂电路、功率驱动电路、负反馈网络和平平衡调节组成。功率放大采用推挽功率放大方式，驱动管选用 MOS 管。

4) 稳定校正级。

稳定校正电路性能的好坏将直接影响整个随动系统性能的好坏，是随动系统放大器中最关键的一级。在保证随动系统稳定性能的条件下，适当提高随动系统的精度与快速性。稳定校正电路采用加速度与速度微分负反馈技术，提高了火炮随动系统的品质。

5) 硅二极管转换器。

采用硅二极管构成全波调制电路，完成对半自动瞄准仪输出信号的调制，调制成 50 Hz 的交流信号，通过全自动/半自动切换继电器触点接入中间级电路。

2 集成电路放大器电路设计

2.1 接口电路的设计

接口电路的设计难点在于，由于半导体器集成电路输入输出接口电压低，一般在 ±15 V 之间，而放大器的精确粗略输入信号电压在 0~80VAC 之间，必须进行电压匹配设计^[3]。如图 2，放大器由集成运算放大器 U1、电阻 R₁、R₂、R₃、R₄、R₅、R₆、R₇、R₈、二极管 D1、D2、D3、D4 构成限幅电路，把信号限幅在 -2.8~+2.8V 之间^[4]。

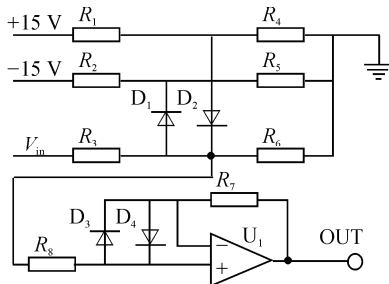


图 2 接口电路原理

2.2 硅二极管转换电路设计

硅二极管转换电路把半自动瞄准时的直流信号电压调制成 50 Hz 交流信号电压，传输系数为 -0.62。如图 3，硅二极管转换电路由 4 个硅二极管 A、B、C、D，电阻 R₁、R₂、R₃，电容 C₁ 和电源变压器 B1 的绕组 (11~12~13) 等组成。硅二极管极性调制器的工作原理简述如下：

1) 无输入信号时。

在放大器中，变压器 B 的输出绕组供给硅二极管 2.64 V 交流电压，2 号为输出绕组的中间抽头，

每半个绕组为 1.32 V。

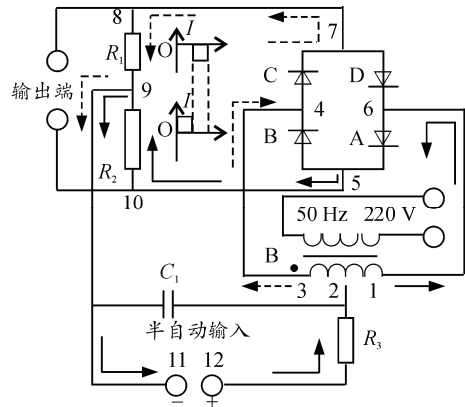


图 3 硅二极管极性调制电路原理

无半自动信号时，设在交流电正半周，绕组的 1 为正，3 为负。由于硅二极管的单向导电性，这时交流电通过硅二极管 A、B。硅二极管的电阻值相同，交流电在硅二极管 A 和硅二极管 B 上的电压降相同；因此，这 2 个硅二极管中点 2 处的电位与绕组中心抽头 2 处的电位相等，电阻 R₂ 上无交流电。

在交流电负半周，绕组的 3 为正、1 号为负，交流电流过硅二极管 C 和硅二极管 D。同样道理，电阻 R₁ 上也没有交流电。

由此可见，不论在交流电正半周，还是负半周，交流电交替流过硅二极管 A、B 和硅二极管 C、D，在电阻 R₂ 和 R₃ 上始终没有交流电流过，因此无信号时，硅二极管调制电路无输出。

2) 有半自动信号时。

在半自动直流信号电压低于 1.32 V 时，假设半自动直流信号电压的极性如图 3。假设在交流电正半周，绕组 1 为正，3 为负。于是，交流电由正端 1，经硅二极管 A、B，回到负端 3。

半自动直流信号电流从正端，经由电路传导回到负端。其传导过程：直流信号从正端，经由电阻 R₃，到达变压器绕组中心抽头 2 处，信号电路便分成 2 支，其中一支电路是 2、3、4、7、8、9、11，在这支电路中，因为半边绕组 2、3 上的电压与直流信号电流的方向相反，但由于直流信号过小，二极管 C 仍然保持截止，使信号电流不能通过。在另一支电路 2、1、6、5、10、9、11 中，由于半边绕组 2、1 上的电压与信号电流方向相同，二极管 A 更加导通，因此电路畅通，如图 3 上实线箭头所示的传导方向。即在图 3 所示的极性的情况下，在交流电的正半周中，直流信号只通过 R₂，此时 10 点电位高于 8 点的电位。

在交流电负半周时，绕组 3 点为正，交流电流

过硅二极管 C、D，回到绕组的负端 1。

直流信号电流由 12 号经过电阻 R_3 ，绕组 2、3，硅二极管 C，电阻 R_1 ，由 9 回到负端 11 号，如图 3 虚线箭头所示的传导方向。这时，8 点电位高于 10 点电位。由此可见，由于硅二极管的单向导电性和变压器输出绕组交流电压瞬时极性变化，使半自动直流信号电流交替的通过电阻 R_2 、电阻 R_1 ，因此 8、10 两点间电位差的极性随同交流电压瞬时极性变化。也就是说，半自动直流信号经硅二极管转换器的转换，变成了交流信号，其频率与调制频率相同。

综上所述，在半自动瞄准时，硅二极管转换器中的电阻 R_1 和 R_2 上始终没有交流电，只有半自动直流信号电流。由于这个特点，所以硅二极管转换器输出的电压将随着半自动信号电压的增大而增大。但是，硅二极管转换器输出电压的增大是有限度的。一旦半自动信号电压超过 1.32 V，硅二极管转换器输出的电压始终在 1.5 V。

2.3 相敏整流电路设计

相敏整流电路的输入信号是一个 50 Hz 的调幅波，其幅值的大小与正负随失调角的大小与方向(超前、落后)而变化。相敏整流电路的输入信号来自受信仪或硅二极管转换电路的输出。相敏整流电路的输出信号是一个直流信号，其大小与正负随失调角的大小与方向变化。相敏整流电路的框图如图 4 所示，其性能好坏将直接影响整个随动系统的性能，是集成电路放大器中的最关键一级。相敏整流电路的交流放大倍数为 2.5 倍左右，用低温漂、高速集成运算放大器及模拟开关构成^[5]。其技术要求为：

- 1) 不产生零点漂移现象，抗环境温度变化、电源电压变化；
- 2) 在输入信号很大范围内，均有好的灵敏度；
- 3) 响应频带宽，惯性小；
- 4) 输出直流电压的交流成分小。

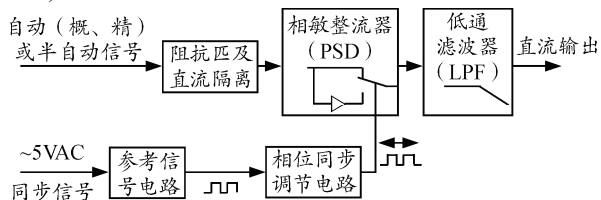


图 4 相敏整流电路框图

2.4 并联校正网络及稳定校正放大电路设计

并联校正网络及稳定放大电路用来制止火炮振荡，使随动系统工作稳定。并联校正网络由电容 C_1 、 C_2 、 R_1 、 R_2 组成，电路如图 5 所示。加速度加在电阻 R_1 上，速度加在电容 C_1 上，在火炮转速和加速

度发生变化时，这 2 个电压也随着变化，使电容 C_1 充电或放电，引起放大器的输出电压产生相应的变化，以抑制火炮的振荡，调整电位计 R_1 、 R_2 可以改变稳定电压的大小。 C_2 为虑掉测速发电机因换向产生的高次谐波。

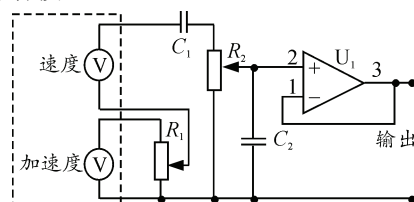


图 5 并联校正网络原理

稳定放大电路如图 6，由电阻、模拟开关、运算放大器、稳压二极管组成，完成稳定电压的非线性放大，即当位置误差大时，减小速度与加速度负反馈，提高火炮的启动速度，缩短启动时间；当速度与加速度负反馈的幅度过大时，采取了限幅措施改善火炮的协调性能，确保和提高系统的动态特性、精度和稳定性^[6]。

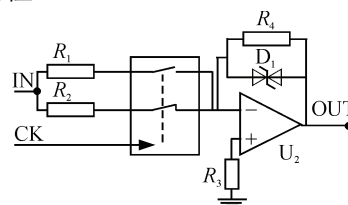


图 6 稳定放大电路原理

2.5 输出级电路设计

输出级完成中间级输出信号和稳定放大电路输出信号进行综合并信号功率放大，输出给放大电机的控制绕组。它由信号综合放大电路、静态工作点设置电路、差动功率直流放大电路组成，信号综合采用运算放大器完成，差动功率直流放大采用功率 CMOS 管完成，其原理框图如图 7 所示。

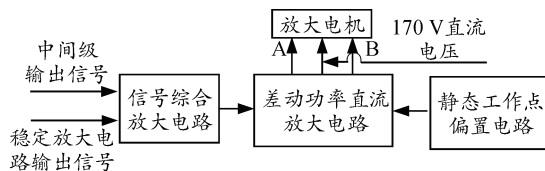


图 7 输出级电路设计原理

其工作过程为：

当失调角为零时，相敏整流放大级(中间级)无输出，功率驱动电路输出端 A、B 之间无电位差，即功率放大级无输出。

当失调角不为零时，A、B 之间有电位差，电位差的大小及方向随失调角的大小与方向而变化，使功率放大级输出的直流电压的大小与极性也作相应的变化。