

doi: 10.7690/bgzd.2025.12.014

一种具有高线性度的隔离放大器

罗志豪¹, 李广伟², 胡俊¹, 唐浩然¹

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司无人机事业部, 四川 绵阳 621000;

2. 陆军装备部驻重庆地区军事代表局驻广元地区军事代表室, 四川 广元 628017)

摘要: 针对电子仪器将自信号源信号施加到电子信号处理电路时需保持信号源和信号处理之间完全电隔离问题, 设计一种变压器耦合隔离放大器。在隔离放大器中, 输入信号施加到变压器的输入绕组。隔离变压器的次级绕组通过高增益的差分输入端连接, 在运算放大器周围提供负反馈, 变压器次级绕组连接到放大器的负输入端, 根据运放的虚短原理, 运算放大器的负端输入的电压驱动到非常小的值。来自运算放大器的负反馈会在变压器次级中产生电流, 基本能抵消在初级中流动电流产生的磁通量, 从而减少了变压器的 BH 曲线中的非线性的影响。测试数据结果表明, 该变压器耦合隔离放大器具备较高的线性度。

关键词: 磁通量; BH 曲线; 隔离放大器

中图分类号: TP73 **文献标志码:** A

A Isolation Amplifier with High Linearity

Luo Zhihao¹, Li Guangwei², Hu Jun¹, Tang Haoran¹

(1. Department of UAV Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation,

Mianyang 621000, China; 2. PLA Presentation Office in Guangyuan District, PLA Representation Bureau of

Army Equipment Department in Chongqing, Guangyuan 628017, China)

Abstract: Aiming at the problem that electronic instruments need to maintain complete electrical isolation between the signal source and the signal processing when applying self-signal source signals to the electronic signal processing circuit, a transformer-coupled isolation amplifier is designed. In an isolated amplifier, the input signal is applied to the input winding of the transformer. The secondary winding of the isolation transformer is connected through a high-gain differential input terminal, providing negative feedback around the operational amplifier. The secondary winding of the transformer is connected to the negative input terminal of the amplifier. According to the virtual short principle of the operational amplifier, the voltage input at the negative terminal of the operational amplifier is driven to a very small value. The negative feedback from the operational amplifier generates current in the secondary of the transformer, which can basically counteract the magnetic flux produced by the current flowing in the primary, thereby reducing the influence of nonlinearity in the BH curve of the transformer. Test data results show that this transformer-coupled isolation amplifier has a high degree of linearity.

Keywords: magnetic flux; BH curve; isolation amplifier

0 引言

在目前提供电子仪器中, 经常需要将来自信号源(例如传感器或变送器)的信号施加到电子信号处理电路, 同时保持信号源和信号处理之间完全电隔离。

当前, 构造这种隔离放大器的方法多种多样, 包括变压器耦合、输入和输出电路之间的光电耦合^[1]。变压器耦合隔离放大器的问题是放大器中的非线性, 这是由于输入信号电平的变化带来的变压器磁芯的部分饱和。在设计这种变压器耦合放大器时, 通常必须在信号电平增加时由变压器的非线性 BH 曲线引起的有限动态范围和非线性之间进行权衡。

基于此, 笔者设计一种变压器耦合的隔离放大

器, 可以在比较宽的动态范围内接收信号, 同时保持非常高的线性度。

1 工作原理

在隔离放大器中, 输入信号施加到变压器的输入绕组。隔离放大器的信号源提供低频信号, 并且可以使用斩波器或调制器电路将低频信号转换为变压器可以传输的高频信号。隔离变压器的次级绕组通过差分输入的解调器电路连接到运算放大器。变压器次级绕组连接到放大器的负输入端, 由于运放的正输入端和地短接, 根据运放的虚短原理^[2], 变压器的次级绕组连接到了虚拟地, 运算放大器的负反馈作用, 将运算放大器的负端输入的电压驱动到非常小的值。为了保持变压器次级上的电压等于零,

收稿日期: 2024-10-06; 修回日期: 2024-11-12

第一作者: 罗志豪(1993—), 男, 江西人。

来自运算放大器的负反馈会在变压器次级中产生电流，基本抵消了在初级中流动的电流产生的磁通。无论输入信号的值如何，由于通过变压器磁芯的磁通保持在 0 或较小的值，变压器的 BH 曲线中的非线性对来自隔离放大器的输出信号几乎没有影响。

2 详细设计说明

2.1 图示说明

隔离放大器的原理如图 1 所示。

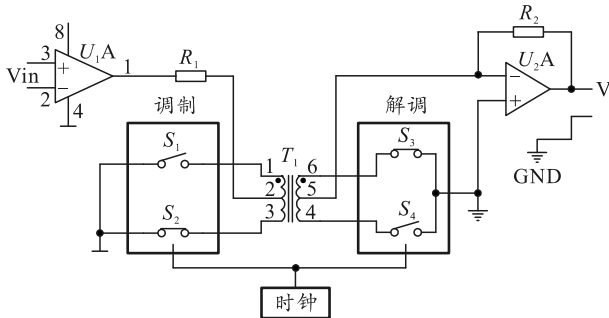


图 1 隔离放大器

从图 1 可见，隔离放大器由产生调制斩波的时钟单元、信号调制单元和信号解调单元 3 部分组成。

震荡电路分别提供调制单元所需的斩波调制斩波信号和解调单元所需的同步解调信号。

2.2 调制单元电路

调制器的任务是将直流信号变换成交流信号^[3]，实现调制必须具有开关作用的元件—电子开关，该变换器的调制通过场效应晶体管 S_1 、 S_2 来实现。调制的工作原理是：时钟施加到调制器的信号，开关 S_1 、 S_2 交替地打开和关闭，使得经 U_1 放大后施加在变压器 T_1 的初级绕组中心抽头信号，通过初级绕组 1、3 端交替地往返到地，完成输入信号的斩波调制。调制后的信号，是以输入信号为包络的方波信号，信号频率为时钟单元电路方波频率。以这种方式，施加到运放 U_1 的直流或低频信号以较高的频率被调制，使变压器 T_1 的初级绕组耦合到次级绕组。

2.3 解调单元电路

输入的直流信号经过调制和交流放大以后，再

变成与输入信号的幅度和极性相对应的直流信号，完成这项任务的装置称为解调。对解调器的要求是输出直流电压的极性能反映输入交流信号的相位，输出—输入关系的线性度好、效率高、反应快、输出的脉动成分小等特点。

类似的，经变压器初级耦合到次级的调制信号^[4]，经受控于时钟的开关 S_3 、 S_4 交替开关，将变压器次级绕组 4、6 端交替往返到地，完成信号的解调。解调器同步地解调来自变压器的交流调制输出信号，并恢复其输入信号的直流电平，然后，该信号施加到输出运放 U_2 。

2.4 输出放大单元电路

运放 U_2 的正相输入连接到地，运放 U_2 的输出经由电阻 R_2 反馈到其倒相输入。根据运放的虚短虚断原理，运放 U_2 的反相输入是虚拟接地。运放 U_2 的输出将产生电流流过电阻 R_2 ，抵消在运放 U_2 的差分输入上存在的电压，使其趋于 0^[5]。由于施加到运放 U_2 的输入端的信号来自变压器 T_1 的次级绕组的解调输出，因此负反馈产生的电流趋于抵消次级绕组中存在的信号。伴随着上述情况的发生，通过耦合初级和次级绕组的变压器 T_1 磁芯的磁通量也趋于 0。即负反馈导致电流流过变压器的次级绕组，将导致产生与初级绕组产生相等但相反的磁通量。最终结果是通过变压器 T_1 的磁芯的磁通量减小到 0 或非常低的水平，变压器的磁芯饱和引起的变压器 T_1 的传递函数的非线性也得到减小。在实际操作中，变压器 T_1 的磁芯中的磁通量永远不会被完全抵消，但是，的确可以通过运放 U_2 设置方式而降低部分的值。运放 U_2 是一个非常高的增益放大器，并且实际值变压器铁心中的磁通量很低，可以忽略不计。

3 实测数据

基于这种变压器耦合隔离放大器所具有的高线性度，笔者采用规格为 DC 50 V/DC 0~5 V/+12 V 的放大器做实验。实验结果见表 1，被测量为常量（标称值）。

表 1 线性度测试结果

V

放大倍数	#1		#2		#3		#4		#5		#6	
	实测值	改变值	实测值	改变值	实测值	改变值	实测值	改变值	实测值	改变值	实测值	改变值
0	0	0	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0	0.001	0.001
10	0.501	0.001	0.499	0.001	0.499	0.001	0.502	0.002	0.499	0.001	0.500	0
50	2.498	0.002	2.500	0	2.498	0.002	2.501	0.001	2.499	0.001	2.501	0.001
80	3.998	0.002	4.001	0.001	3.999	0.001	4.001	0.001	4.000	0	4.001	0.001
100	5.000	-	5.000	-	5.000	-	5.000	-	5.000	-	5.000	-
120	5.998	0.002	6.001	0.001	5.998	0.002	5.999	0.001	5.998	0.002	5.999	0.001