

# 无信号源的自激式激磁电源的设计

李为民, 马 骏, 王丽娜

(华中光电技术研究所, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 阐述了无信号源的、采用维恩电桥振荡器直接实现功率输出的激磁电源的设计思想和工作原理, 以及核心器件 OPA548 的性能参数、电路稳幅稳频措施和实际应用中的注意事项。介绍了通过反相叠加和 LC 串联谐振提高电压幅值的电源工作方式, 使电路在  $\pm 15V$  供电时能够提供稳定的  $36V/400Hz$  正弦波电压。

**关键词:** 维恩电桥振荡器; 无信号源; OPA548; LC 串联谐振

## Design of Self-oscillation Excitatory Power Supply without Signal Source

LI Wei-min, MA Jun, WANG Li-na

(Huazhong Institute of Electro-optics, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** The design idea and working principium of the excitatory power supply based on WIEN bridge oscillator without signal source are expatiated on. In addition, the performance parameter of OPA548, the method of the amplitude and frequency stabilization and some notes about practical applications are offerod. It is introduced a power supply, which can provide steady  $36V/400Hz$  sine wave voltage with  $\pm 15V$  input power supply by inverter-amplifier and LC series resonance circuit.

**Keywords:** WIEN bridge oscillator; without signal source; OPA548; LC series resonance

中图分类号: TN86 文献标识码: A 文章编号: 0219-2713(2005)11-0034-03

## 0 引言

激磁电源是自整角机、旋转变压器、感应同步器、感应移相器等微特电机的必备供电电源, 也是分解器数字转换器 (RDC) 模块的主要电源之一, 在惯导、雷达、自动跟踪等自动化设备中应用广泛。传统的激磁电源的设计, 都是采用先设计正弦信号源, 再经过衰减或放大, 然后进行功率放大的模式。这种设计方式由于电路工作环节多, 导致电路复杂、效率低、成本高, 温度稳定性不好, 可靠性下降。高电压、大电流、小体积的功率运算放大器的出现, 为简化激磁电源设计, 提高设计质量提供了可行性。采用功率运放直接组成维恩电桥振荡电路, 通过自激振荡产生驱动功率足够的正弦波。采用这种方式设计的激磁电源, 不仅结构简单、成本低, 并且失真度小, 具有稳频、稳幅功能和良好的低温漂性能。

## 1 直接振荡式激磁电源电路组成及工作原理

图 1 是自激式激磁电源原理框图, 根据实际供电电压的情况和负载的具体要求, 可提供相同频率的 3 种不同幅值的正弦波输出。基于功率运放的维恩电桥振荡器产生基本的正弦波输出; 经过功率运放反相后, 从其输出端和反相输入端可得到幅值叠加为基本正弦波幅值 2 倍的频率相同的正弦波输出; 对于感性负载, 可通过串联谐振电容, 利用 LC 串联谐振原理得到更高幅值的输出。

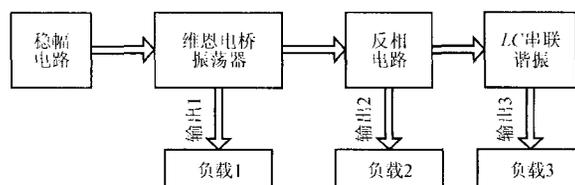


图 1 激磁电源原理框图

收稿日期: 2005-07-04

### 1.1 核心器件的选用

构成维恩电桥的功率运算放大器作为激磁电源的核心器件,要求能适应较宽的电源电压范围,并能输出较大电流,具备良好的低温漂特性。综合考虑性能、体积参数,选用了 BB 公司的高电压大电流功率运放 OPA548(TO-220-7 封装),可单、双电源供电,双电源供电范围为  $\pm 4 \sim \pm 30\text{V}$ ,连续工作输出电流 3A(峰值 5A),在环境温度  $-40^\circ \sim +85^\circ$  范围内输入电压温度漂移为  $\pm 30\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,并具备输出使能控制、热关断保护、电流限制可调等功能。

### 1.2 振荡器稳幅稳频工作原理

维恩电桥振荡器及其反相驱动电路如图 2 所示。振荡频率由  $R_1, R_4, C_1, C_3$  决定,基本不受功率运算放大器本身和电源的影响。应选用 1/1000 精度的金属膜电阻和高性能的聚酯电容以保证频率稳定。自激振荡器工作原理:运算放大器并非理想器件,一旦电路上电,运算放大器会产生输出噪声,通过反馈网络  $R_4, C_3$  反馈至运放的同相输入端,成为输入信号。由于正反馈作用,形成正弦振荡,并且振幅逐渐增大,直至接近电源电压,输出振幅达到饱和,通过调节可变电阻  $R_3$  改变运放增益,使输出正弦波幅值达到所要求的范围。

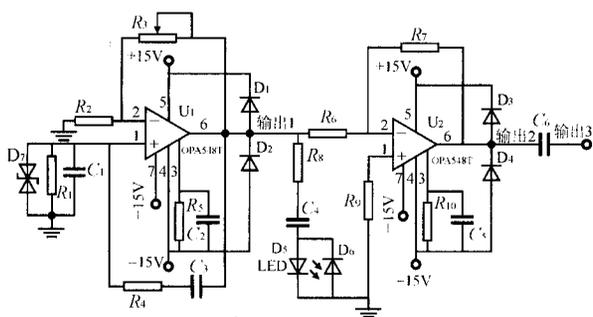


图 2 维恩电桥振荡器及反相驱动电路

振荡频率  $f = 1 / (2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_4 C_3})$ 。

由巴克豪森判据可知  $AB = 1$  是振荡的临界条件。其中

$$A = \frac{R_3 + R_2}{R_2} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)} \quad (2)$$

令  $R_3 = R_1 = R, C_3 = C_1 = C$  那么,  $f =$

$$\frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC}, \text{代入式(2)有 } \beta = \frac{1}{3}。$$

因此,维恩电桥自激振荡要满足增益  $A > 3$  的要求。

OPA548 有限流控制端,将该端通过限流电阻接到负电源端可以设置电流大小。限流电阻  $R_L$  为

$$R_L = \left( \frac{15\,000 \times 4.75}{I} - 13\,750 \right) \Omega \quad (3)$$

式中:  $I$  为 OPA548 所限制的由  $R_L$  决定的输出电流 ( $0 < I < 5\text{A}$ ),电路限流时,最大只能输出被限制的电流参数  $I$ 。

该振荡电路采用双向稳压二极管稳幅方式,如图 2 所示,  $D_7$  为双向稳压二极管,型号为 2CW234,在运放反馈输入端接入以稳定振幅。 $D_7$  是稳定正弦波幅度的关键器件,其自身的温度稳定性一定要好,应选用工业级以上的低温漂产品。经实际检测,其中频率波动  $\leq \pm 1\text{Hz}$ ,电压波动  $\leq \pm 1\%$ ,波形失真度  $\leq 1\%$ 。为了便于观察电路是否起振,设计了 LED 振荡指示电路。电路振荡时,正弦波信号通过电阻  $R_8$ 、电容  $C_4$  驱动发光二极管  $D_5$  发光。 $C_4$  起隔直作用,保证电路未起振时  $D_5$  为熄灭状态。

### 1.3 反相输出及 LC 串联谐振

功率正弦波振荡器输出电压的幅值,与振荡器供电电压密切相关。通常自动控制系统使用的激磁电源有效值为 36V 或 26V,若要产生有效值为 36V 的激磁电源,则正弦波的峰-峰值为  $2\sqrt{2} \times 36 = 101.8\text{V}$ ,使用单级运放则至少需要  $\pm 51\text{V}$  的电源输入范围。

如果使用  $\pm 30\text{V}$  双电源供电,由 OPA548 构成的振荡器最高可以提供有效值为 21V 的激磁电源,经过反相叠加后,可以提供有效值为 26V 或 36V 的激磁电压,这时可以采用 LC 串联谐振的方式使电压有效值升到 36V,等效电路如图 3 所示。

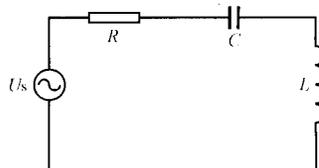


图 3 串联谐振电路

图3中  $L$  是旋转变压器的电感,  $C$  是串联电容,  $R$  是电路的总电阻, 即  $R = R_L + R_C$  ( $R_L$  和  $R_C$  分别为电感元件和电容元件的电阻);  $U_s$  为激磁电源, 相当于图2中输出1与输出2之间输出的激磁电源,  $\omega$  为电源角频率。电路输入阻抗  $Z$  为

$$Z = |Z| e^{j\varphi} = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j\arctan \frac{X}{R}} \quad (4)$$

式中:  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ ;

$\varphi$  为  $Z$  的辐角

$$\varphi = \arctan \frac{X}{R} = \arctan \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (5)$$

由式(5)可知, 当  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$  时, 即有  $\varphi = 0$ , 电路发生完全谐振。此时

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

电感两端电压放大倍数即电路的品质因数  $Q$

$$Q = \frac{\omega L}{R_L} \quad (\text{电容元件的电阻忽略不计})$$

完全谐振时, 电感两端电压有可能超过额定电压, 可调节  $R_3$  使输出电压有效值为 36V。

#### 1.4 电路保护措施

理想状态下,  $LC$  串联谐振电路完全谐振时电感和电容两端电压大小相等, 相位相反, 互相抵消。但实际元件并不能使电路达到完全谐振状态, 那么功率运放输出端的电压有可能在正弦峰值时超出电源电压, 损坏功率运放。通过两个钳位二极管对低内阻的电源放电, 以防止意外的峰值电压造成损坏。二极管采用超快恢复二极管, 其连续电流应大于功率运放峰值电流, 反向耐压值应至少为电源电压的两倍, 电路设计中选用的是 HER604 (6A/300V)。

## 2 应注意的问题

图2中  $R_2$  与  $R_3$  的参数特别是温度系数要一致, 否则, 在高温和低温时, 有可能出现振荡器不起振, 或者振荡波形失真的现象。电路调整完毕,  $R_3$  的调整值最好换成相同阻值的固定金属膜电阻, 以减小阻值漂移引起激磁电源参数变化的可能性。稳压二极管对激磁电源电路的输出电压的稳定性影响较大, 需要选择温漂小的双向稳压二极管, 最好选用带温度补偿的稳压二极管。这样即使电源电路长期连续工作, 其输出的正弦波频率

及电压参数以及波形失真度仍能满足使用要求, 保证应用激磁电源的系统的精度。

## 3 结语

无信号源的自激式激磁电源的设计, 突破了传统的激磁电源的设计理念, 减少了设计环节, 简化了电源结构, 降低了电路成本, 提高了可靠性。经实际应用, 能够长期稳定地工作, 输出电压的频率和幅值稳定精度高。特别是功率运放反相驱动和  $LC$  串联谐振原理的应用, 使一套振荡器电路可以同时输出3种不同幅值的正弦波电压, 能够满足不同的使用需求。体积小, 功能全, 适应性强, 应用广泛。

#### 参考文献

- [1] 虞厚柏. 激磁电源初探[J]. 舰船光学, 1991, (1).
- [2] 童诗白. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [3] OPA548 使用说明[Z]. BB 公司产品资料.

#### 作者简介

李为民(1965-), 男, 硕士, 现为华中光电技术研究所高级工程师, 长期从事光电设备自动控制系统的研究工作。曾获国防科工委国防科技奖三等奖一次; 部级二等奖一次、三等奖二次; 发表论文多篇。

## 飞利浦发布硅基 BiCMOS 技术

皇家飞利浦电子公司日前发布 QUBiC4X, 此为高性能 BiCMOS 处理技术(双极互补金属氧化物半导体, Bipolar CMOS)中已经获得巨大成功 QUBiC4 系列产品中的最新成员。这一基于硅锗碳(SiGe: C)技术的新工艺令双极晶体管的  $f_T$  指标超过了 130GHz, 非常适合于 10~30GHz 范围之间的微波应用, 例如卫星电视接收器和汽车碰撞探测雷达。而其超低的噪音指标使这一新工艺非常适用于灵敏的 RF 接收器, 例如高性能手机为提高在线消费者的用户体验所需的 RF 接受器。

在增益率和噪音指标方面, QUBiC4X 的双极晶体管可以同砷化镓性能相媲美, 同时使用这一工艺还可以实现 CMOS 逻辑单元, CMOS RF 电路系统以及高性能高质量的无源器件之间的整合。不仅为利用硅基技术在费用和批量生产方面优势的微波应用带来了基于消费导向的新产品, QUBiC4X 还使得目前包含独立的硅元器件和砷化镓器件的混合解决方案能被集成度更高的解决方案所替代。