

差动变压器用相敏检波电路设计

摘 要

差动变压器在小位移量的测量中有着诸多优点，近年来差动变压器发展迅速，具有准确度高、线性度好、结构简单、灵敏度高、使用寿命长和环境适应性强等优点，并且它的应用十分广泛，可以说是多元化和多功能化。其前景可观，具有很大的实用价值和市场潜力，符合当前的发展趋势，具有一定实用价值。

文章介绍并分析了相敏检波电路以及基于此种电路的差动变压器的工作原理，差动变压器输出电压可以随衔铁的移动做相应变化，从而得到理想的输出电压，其输出的电压幅值的变化反映位移的大小，电压的正负反映位置移动的方向。然后就电路中各点的电压进行了详细地测量和计算，通过测量电压的变化得出位移变化的大小和方向。

关键词：差动变压器；相敏检波；电路设计；位移

Design of Differential Transformer Based on Phase -sensitive

Detection Circuit

ABSTRACT

In recent years,differential transformers have developed rapidly,with the advantages of high accuracy,good linearity,simple structure,high sensitivity,long service life and strong adaptability to the environment.It is characterized by the fact that the differential transformers have many advantages in the measurement of small displacement.The application is very broad,it can be said to be diversified and multi-functional.Its prospects are considerable,with great practical value and market potential,with a certain practical value.

This paper introduces and analyzes the principle of phase sensitive detection circuit and differential transformer based on this kind of circuit.The output voltage of differential transformer can be changed with the movement of armature to get the ideal output voltage,the output voltage amplitude.The change reflects the magnitude of the displacement,and the positive and negative voltage reflects the direction of the movement of the position.And then the voltage at each point in the circuit for a detailed measurement and calculation,by measuring the voltage changes in the displacement of the size and direction.

Key words:differential transformer;phase sensitive detection;circuit design;displacement

目 录

1	绪论	1
1.1	差动变压器的研究背景	1
1.2	差动变压器的发展	1
1.3	课题主要研究内容	1
1.4	课题的研究意义	1
1.5	非技术因素	2
2	差动变压器用相敏检波的相关理论	3
2.1	差动变压器结构及分类	3
2.2	差动变压器的工作原理	3
2.3	差动整流电路	3
2.4	相敏检波电路	4
2.5	电压跟随器	5
2.6	滤波电路	5
3	设计方案	7
3.1	电路设计流程图	7
3.2	仿真设计方案	7
3.3	实物设计	16
4	课题总结与展望	20
4.1	课题总结	20
4.2	课题展望	20

参考文献..... 21

致谢.....	22
---------	----

1 绪论

1.1 差动变压器的研究背景

近年来差动变压器以其操作简单、线性度较好、容易实现对多种电气参数的测量等优点迅速发展起来。研究出精度高，性能优良的差动变压器，可以起到节能减排，减少副产品排放的作用，对推动行业发展、科技创新、转变经济增长方式，提升产业结构将会有重大的益处¹。因此为适应未来差动变压高精度化发展的要求，尽快研究出可对多种电气参数进行测量的高精度差动变压器已经成为一个非常现实和迫切的要求。

1.2 差动变压器的发展

差动变压器可以通过衔铁的移动控制电压的变化，也可通过观察测量电压的线性变化关系间接得到位移的运动规律。随着科学技术的发展，由差动变压器衍生出来的各种辅助工具被广泛的应用于各类控制器的随动系统，例如差动变压器式传感器。目前差动变压器向着精度越来越高，可靠性越来越强，量程逐渐变大的趋势发展。

1.3 课题主要研究内容

本课题基于差动变压器与相敏检波电路相关知识，利用Multisim 软件设计并仿真电路，实现差动变压器的综合性能，验证了差动变压器衔铁位移与输出电压的相关性。

论文首先简述了差动变压器的研究背景，差动变压器和相敏检波的相关理论；然后设计出实现差动变压器功能的几种方案；检测各个方案参数和波形；最后找出实现此功能的最优方案。

1.4 课题的研究意义

差动变压器广泛应用于我们日常生活中的各种器材中，包括利用差动变压器位移与输出电压的关系制成的位移传感器，用来测量比较微小的距离。利用二者之间的线性关系，以电压反观被测量，从而达到高效灵敏省时省力的效果，符合时代发展的步伐和潮流。利用差动变压器原理研究生产的其他高精度产品，不仅可以辅助设计者进行高效的设计工作，提高现阶段的工作效率，还可以降低生产成本。因此应重视差动变压器的应用和发展，推进差动变压器的进步，有利于推动科学技术的发展、增强我国的综合实力、实现科技强国。

1.5 非技术因素

改革开放三十多年来，随着我国经济的发展，不顾及资源浪费、环境破坏等不利因素的影响的粗放型经济发展模式已经跟不上如今高速发展的现代化建设步伐。集约型环保型经济发展道路越来越受到广大企业的青睐，这种经济发展道路不但实现了节能减排目标，而且还在最低的成本上创造最大利润，以最小的代价，促进经济增长。经济发展方向由依靠物质资源消耗向依靠科技进步和技术创新方向转变。企业研究生产精度高，操作简单的产品，比如高精度的差动变压器。能够在应用中不产生或尽量少产生原材料浪费的同时产生最大经济效益。

在设计仿真电路时经常会遇到很多障碍，小到仿真元件的寻找，大到电路模型的设计搭建，都要戒骄戒躁、耐心细致的解决问题。这次简单的毕业设计，使得我对我们四年大学所学得知识融会贯通，加深了对知识的理解和运用。另外这次设计还让我学到了许多课本以外的知识，包括自己独立思考，独立规划毕业设计的进程，与老师同学探讨交流设计中的难点，相互学习，这些都让我在以后的工作中更加充满自信。在设计过程中，同学之间相互合作交流，可以提高学习热情，培养专业兴趣，有利于广大电子爱好者的共同进步。科技可以方便人们的生活，提高生活质量，人们会有更愉悦的心情去学习与工作，因此有助于社会的良好发展，为建设和谐社会做出微薄的贡献。

2 差动变压器用相敏检波的相关理论

2.1 差动变压器结构及分类

差动变压器由初级线圈、次级线圈、线圈框架和衔铁组成²。初级线圈可作为差动变压器激励用，等同于一般变压器的原边；次级线圈由结构尺寸和参数相同的两个线圈反向相接组成，等同于变压器的副边。差动变压器主要用来测量诸多非电量因素，例如位移、压力、振动等，广泛应用于用于电子技术和非电量检测中。气隙型、截面型和螺管型是常见的三种类型。

2.2 差动变压器的工作原理

差动变压器工作原理与一般变压器基本相同，不同点是：一般变压器是闭合磁路，而差动变压器是开磁路；一般变压器原、副边间的互感是常数，即有确定的磁路尺寸，但是差动变压器原边和副边之间的互感随衔铁移动做相应变化。差动变压器正是工作在这种互感变化的基础上的。

2.3 差动整流电路

整流电路的作用是将交流电能变为直流电能供给直流用电设备^{8]}。整流电路主要是由多个二极管相互连接而成。二极管作为一种电子元件，有两个电极，它的特点是只允许电流从单一方向流过，常常被用来进行整流。大部分二极管具有电流方向特性，常常称之为

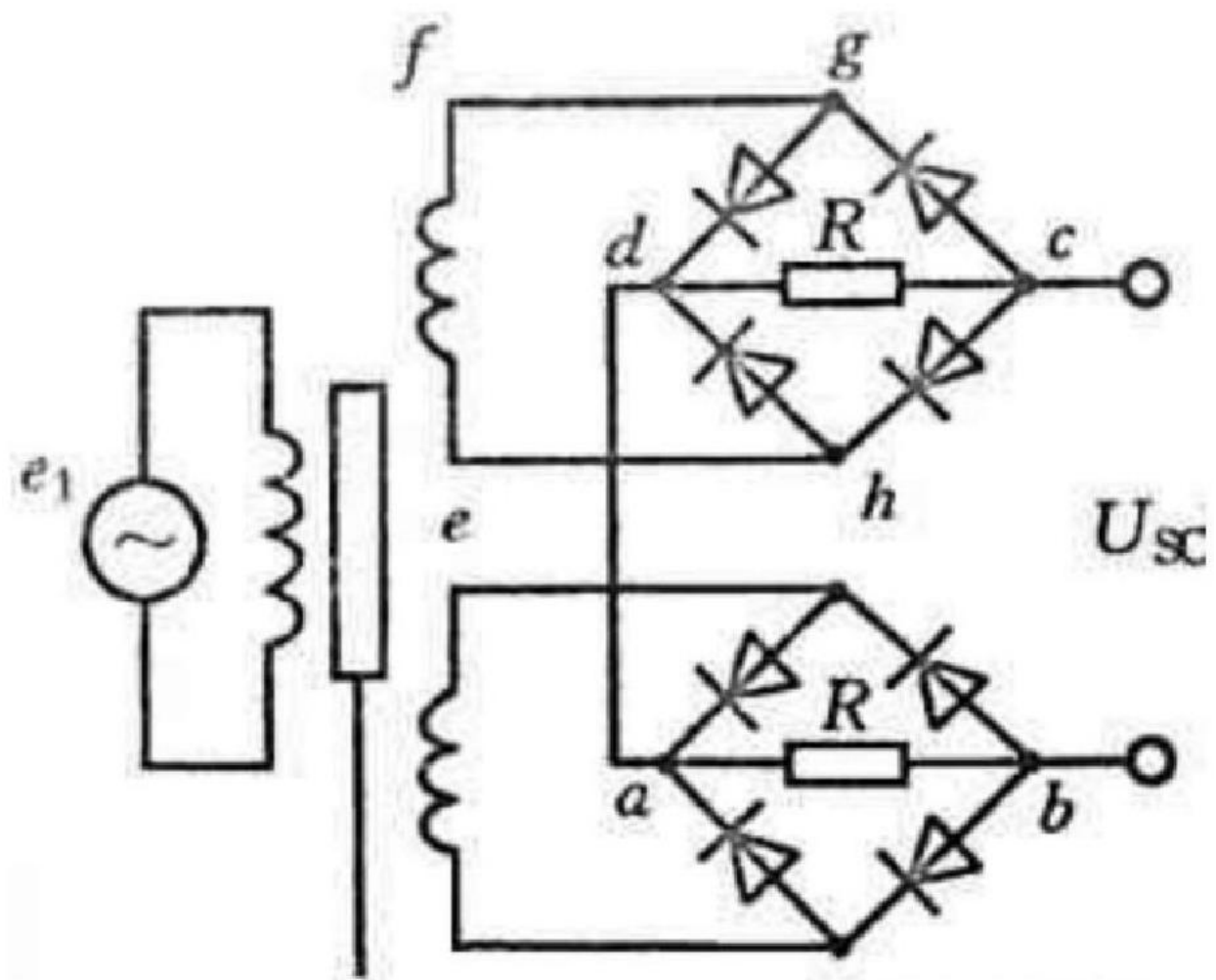


图2-1全波整流电路图

“整流”功能。图2-1所示为实际的全波相敏检波电路，是根据半导体二极管单向导通原理进行解调的。

差动变压器的一个次级线圈的输出瞬时电压极性，在 f 点为正， e 点为负，则电流路径为 $fgdche$ 。反之， f 点为负， e 点为正，则电流路径是 $ehdccgf$ 。可见，无论次级线圈的输出瞬时电压极性如何，通过电阻 R 的电流总是从 d 到 c 。同理可分析另一个次级线圈的输出情况。输出电压为 $U_{sc} = e_{ab} + e_a$ 。

差动整流电路的目的是使输出的电压既能反应衔铁偏离中心点的位移大小，也能反应衔铁的位置变化。衔铁在零位时，输出电压 U_{sc} 是 0，衔铁从零位上移输出电压 U_{sc} 为负且绝对值变大，衔铁从零位下移输出电压 U_{sc} 为正且绝对值变大，以此实现电压与位移的线性关系。

2.4 相敏检波电路

相敏检波电路就是我们经常说的检波整流电路，干扰性能强，可以鉴别调制信号相位，同时也具有选频能力，可检测被测物体的大小及方向的变化。相敏检波电路实质为平衡调幅波的同步解调电路，常用作差动变压器的主干电路。相敏检波电路通过调制信号相位和选频对调幅信号进行半波整流或者全波整流。同时对于不同载波频率的信号检波电路都以同样方式对它们整流来达到恢复调制信号鉴别信号的能力。采用相敏检波电路可以使所在电路抗干扰能力以及判别信号相位和频率的能力大大增强，性能得到提高。

如图2-2 所示这种电路容易做到输出平衡，而且便于阻抗匹配。图中调制电压 e_c 和 e_r 同频，经过移相器使 e_c 和 e_r 保持同相或反相，且满足 $e_c > e_r$ 。调节电位器 R 可调平衡，图中电阻 $R_1 = R_2 = R_0$ ，电容 $C_1 = C_2 = C_0$ ，输出电压为 U_{cp} 。

当在中间位置时， $e_r = 0$ ，只有 e_c 起作用，设此时 e_c 为正半周，即 A 为“+”， B 为“-”， D_1 、 D_2 导通， D_3 、 D_4 截止，流过 R_1 、 R_2 上的电流分别为 i_1 、 i_2 ，其电压降 U_{cg} 及 U_{pg} 大小相等方向相反，故输出电压 U_{cp} 。当 e_c 为负半周时， A 为“-”， B 为“+”， D_3 、 D_4 导通， D_1 、 D_2 截止，流过 R_1 、 R_2 上的电流分别为 i_3 、 i_4 ，其电压降 U_{gc} 与 U_p 大小相等方向相反，故输出电压 $U_{cp} = 0$ 。

若铁芯上移， $e_r \neq 0$ ，设 e_c 和 e_r 同相位，由于 $e_c > e_r$ ，故 e_c 正半周时 D_1 、 D_2 仍导通， D_3 、 D_4 截止，但 D_1 回路内总电势为 $e_r + \frac{1}{2}e_c$ ，而 D_2 回路内总电势为 $e_r - \frac{1}{2}e_c$ ，故回路电流 $i_1 > i_2$ ，电压

$U_{cp}=R_0(i_1-i_2)>0$ 。 当 e , 负半周时, D_3 、 D_4 导通, D_1 、 D_2 截止, 此时 D_3 回路内总电势

为 $e_r - \frac{1}{2}e$, D_4 总电势为 $e_r + \frac{1}{2}e$, 所以回路电流 $i_4>i_3$, 故输出电压 $U_{cp}=R_0 (i_4-i_3)>0$,

因此铁芯上移时输出电压 $U_{cp}>0$ 。当衔铁下移时, e 和 e_r 相位相反。同理可得 $U_{cp}<0$ 。

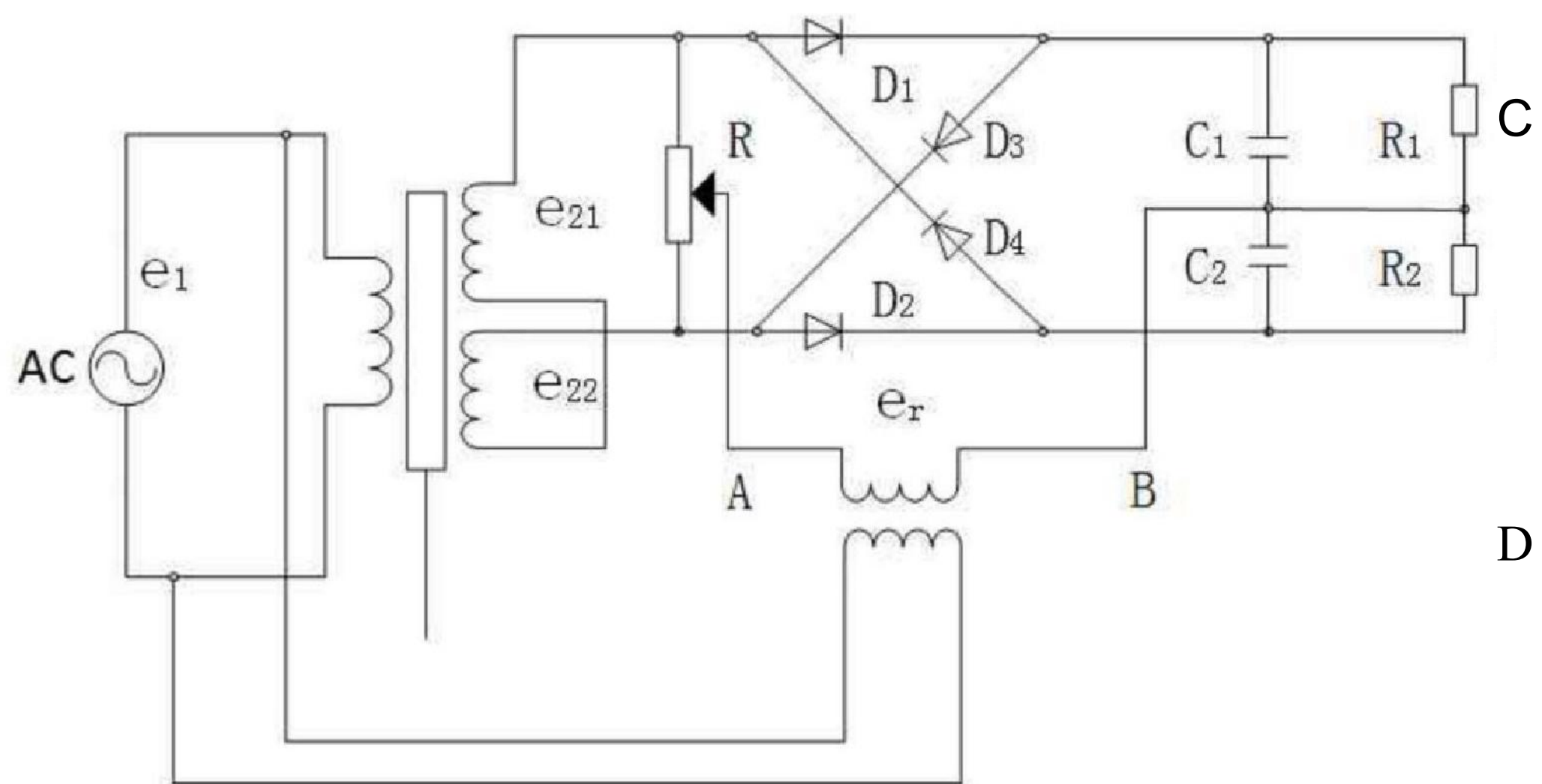


图2-2 二极管相敏检波电路

2.5 电压跟随器

电压跟随器的显著特点是输入阻抗高，而输出阻抗低。一般来说，输入阻抗最高可以达到几兆欧姆，而输出阻抗低，通常只有几欧姆，甚至更低。电压跟随器，简单点说就是其输出端电压与输入端电压接近相等，从电压跟随器输出的电压无限接近或等于接入前的电压值。在简单电路中，电压跟随器可以考虑作为缓冲隔离使用。因为如果后级的输入阻抗比较小，前级输出阻抗较大，那么信号就会有相当的部分损耗在前级的输出电阻中。在这个时候，就需要电压跟随器进行缓冲，起到承上启下的作用。电压跟随器还可以提高输入阻抗，可以大幅度减小输入电容的大小，为应用高品质的电容提供证。

电压跟随器的输入阻抗高、输出阻抗低特点，可以极端一点去理解，当输入阻抗很高时，就相当于对前级电路开路；当输出阻抗很低时，对后级电路就相当于一个恒压源，即输出电压不受后级电路阻抗影响。一个对前级电路相当于开路，输出电压又不受后级阻抗影响的电路当然具备隔离作用，使前、后级电路之间互不影响^[6]。

2.6 滤波电路

常用的滤波电路有有源滤波和无源滤波。有源滤波电路的组成和设计比较复杂，它的通带放大倍数及截止频率不会随负载变化，因此常用于信号处理要求高的场合。有源滤波电路一般由RC 网络和集成运放组成，因而必须在合适的直流电源供电的情况下才能使用，同时还可以进行放大，但是有源滤波电路不适用于高电压大电流的场合？。

在本设计中，电路对输入输出阻抗没有特别要求，故而选用低通滤波器即可。图2-3为最简单的一阶无源低通滤波器，由一只电阻，一只电容组成，结构简单，抗干扰性强，有较好低频性能。但此无源低通滤波器的缺点是负载能力差，当外电路有负载时，信号将会被衰减；负载开路即外电路无负载时，信号将会无衰减的输出。首先设截止频率为 ω_c ，频率低于的信号称之为低频信号，高于 ω_c 的信号称为高频信号，高频信号通过低通滤波器后被过虑衰减的滤波电路称为低通滤波电路，相反为高通滤波电路。低通滤波电路可以作为直流电源整流后的滤波电路，以便得到平滑的直流电压⁹。当频率不同时，或者滤波过程不一样时，滤波的幅度也会不一样，滤波电路常用于滤去整流输出电压中的纹波。

关于识别滤波器的方法：若信号频率趋于零时有确定的电压放大倍数¹⁰，且信号频率趋于无穷大时电压放大倍数趋于零，即低频时波形不会失真，高频时信号越接近零，则为低通滤波器；反之，若信号频率趋于无穷大时有确定的电压放大倍数，且信号频率趋于零时电压放大倍数趋于零，即频率越低，放大倍数越不明显，频率越高，波形越明显，则为高通滤波器¹。在本设计中，电路对输入输出阻抗没有特别要求，故而选用低通滤波器即可。

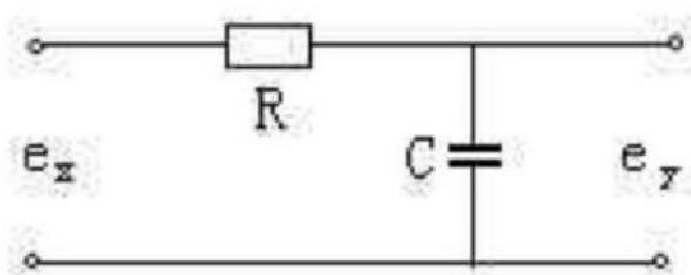


图2-3 低通滤波器

根据电路可知传递函数为

$$H(s) = \frac{e_y(s)}{e_x(s)} = \frac{1}{\tau s + 1}$$

其中 $\tau = RC$ 为时间常数，通过傅里叶变换可得到频率响应函数为

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

幅频特性函数为

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

低通滤波器的截止频率为

(2-1)

(2-2)

(2-3)

(2-4)

3 设计方案

3.1 电路设计流程图

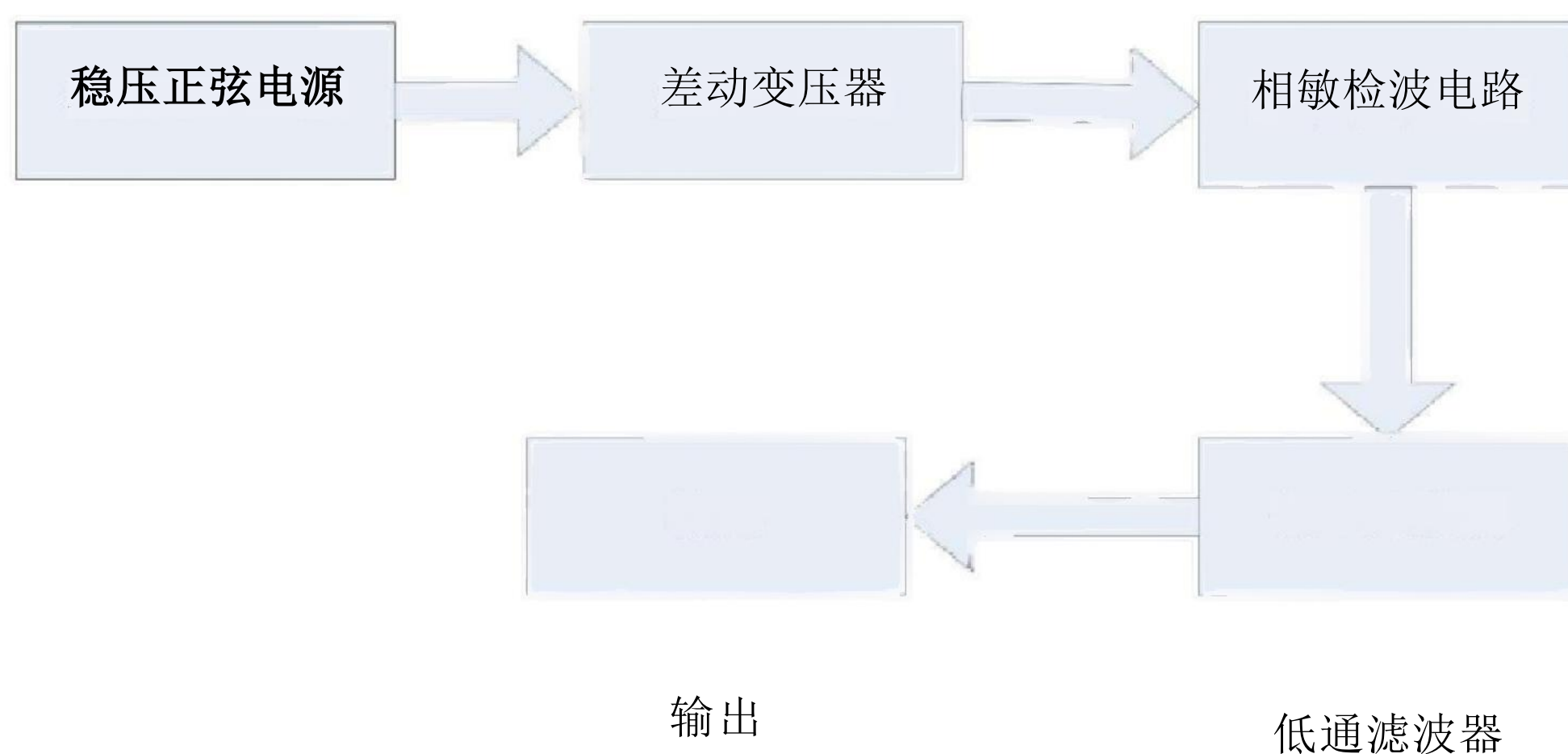


图3-1 设计流程图

3.2 仿真设计方案

在仿真实现时设计了两种方案，两种方案在仿真电路测量时，都能将被测位移量转换成线圈间的互感变化并通过电压反映出来。方案一利用相敏检波原理设计差动变压器，所需元件少，但移相器不容易实现，且电路中需要大电压，使实验安全存在隐患。实验二采用差动整流相敏检波原理设计差动变压器，结构简单，在实验室条件下容易实现且不存在安全问题。

方案一：用相敏检波原理设计出的差动变压器原理如图3-2所示，设差动输出电源电压为 V_0 ，图中调制电压 V_3 和 V_0 同频，经过移相器使 V_3 和 V_0 保持同相或反相，且满足 $V_3 > V_0$ 。

调节电位器 R_2 可调平衡，图中电阻 $R_3=R_4$ ， 电 容 $C_1=C_2$ ， 输出电压为 U_c 。当衔铁在中间位置时，差动电源输出为零，只有 V_3 起作用，设此时 V_3 为正半周， D_1 、 D_2 导通， D_3 、 D_4 截止，流过 R_3 、 R_4 上的电流分别为 i_1 、 i_2 ， R_3 、 R_4 两端电压 U_3 及 U_4 大小相等方向相反，故输出 电压 U_c 。当 V_3 为负半周时， D_3 、 D_4 导通， D_1 、 D_2 截止，流过 R_3 、 R_4 上的电流分别为 i_3 、 i_4 ，其电压降 U_3 与 U_4 大小相等方向相反，故输出电压 $U_c=0$ 。当衔铁上移时，差动电源输出 不为零，设 V_3 和 V_0 同相位，由于 $V_3>V_0$ ， 故 V_3 正半周时 D_1 、 D_2 仍导通， D_3 、 D_4 截止，但 D_1 回

路内总电势为 $V_3 + \frac{1}{2}V_0$ ，而 D_2 回路内总电势为 $V_3 - \frac{1}{2}V_0$ ，故回路电流 $i_1>i_2$ ， 电压

$U_c=R_1(i_1-i_2)>0$ 或 $U_c=R_2(i_1-i_2)>0$ 。 当 V_3 负半周时， D_3 、 D_4 导通， D_1 、 D_2 截止，

此时 D_3 回路内总电势为 $V_3 - \frac{1}{2}V_0$ ， D_4 总电势为 $V_3 + \frac{1}{2}V_0$ ，所以回路电流 $i_4>i_3$ ， 故输出电压

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/926153225024010114>