

高频接近开关检测原理与设计*

李锐¹, 赵来定²

(1.南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003;

2.南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 研究了电感式接近开关工作电路的原理, 其电路可分为振荡电路、检波电路和输出电路三部分, 对这三部分电路分别进行了研究以及详细说明。

关键词: 高频; 接近开关; 电感式; 振荡器; 检波

中图分类号: TM564.7

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)23-0022-03

Principle and design of high frequency proximity switch

Li Rui¹, Zhao Laiding²

(1.College of Electronic Science & Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2.College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper researches the operating circuit's principle of the inductive proximity switch. Inductive proximity switch is composed of oscillator, switch circuit and magnified output circuit, which are deeply studied in this paper.

Key words: high frequency; proximity switch; inductive; oscillator; oscillator detect circuit

接近开关在 1958 年诞生于 Pepperl 和 Fuchs 拥有的曼海姆实验室中。起初它是为了解决特定客户化工产业中易燃易爆电流电路安全检测而构想出的方案, 后来它渐渐成为被世界认可的非接触开关中的工业标准。接近开关是自动化行业中最古老的电子器件之一, 它被持续不断的发明创新, 以便满足不断变化的工业需求。在早些时候, 电感接近开关的应用仅限于化工行业, 因为该行业中由于低电流带来的机械接触损耗以及缺少清洗接触导致的化学腐蚀的问题非常严重^[1]。

10 年后, 第二代接近开关诞生, 该接近开关是简化了的应用器件^[2]。用户可以自行改变有效传感面, 并且放大器的不同电压范围能够通过数值插入来自由替换。该接近开关的设计持续成为销量最好的一种, 但是这种科技的发展使得接近开关还有更广阔的发展^[3]。

最常见的接近开关类似于双头螺栓, 它被安装在任何机械上。坚固的黄铜或不锈钢封装能够使电子传感器不受所有类型的环境影响^[4]。

1 系统组成

电感式接近开关, 又称涡流接近开关, 是一种利用

涡流感知物体的传感器, 它由高频振荡电路、放大电路、检波电路及输出电路组成(如图 1 所示)。振荡器是由绕在磁芯上的线圈构成的 LC 振荡电路。振荡器通过传感器的感应面, 在其前方产生一个高频交变的电磁场, 当外界的金属物体接近这一磁场, 并达到感应区时, 在金属物体内部产生涡流效应, 这个涡流反作用于接近开关, 从而导致 LC 振荡电路振荡减弱或停止振荡, 这一振荡变化被后置电路放大处理并转换为一个确定开关输出信号, 从而达到非接触式检测目标之目的。这种开关所能检测的物体必须是导电性能良好的金属物体。



图 1 电感接近开关原理框图

2 检测原理

电感式传感器实质上就是一个带铁心的线圈, 它基于机械量变化会引起线圈回路磁阻变化, 从而导致电感量变化这一物理现象。

通过金属导体的磁通发生变化时, 就会在导体中产生感应电流, 这种电流的流线在金属体内自行闭合, 通

* 基金项目: 江苏省高校自然科学基金(10KJD51005, 10KJD51006)

常就称它为电涡流。电涡流的产生必然要消耗一部分磁场能量,从而使产生磁场的线圈阻抗发生变化,成为电涡流效应。涡流检测是涡流效应的一项重要应用,其原理图基本如图2所示。原理可以描述如下:如果有一块电导率为 σ 、磁导率为 μ 、厚度为 t 、温度为 T 的金属板,离金属板 X 处有一个半径为 r 的线圈,当线圈中通以正弦交变电流时,线圈的周围就产生了正弦交变磁场 H_1 。此时,置于此磁场中的金属板中将产生感应电动势,从而形成电涡流。涡流的大小、相位及流动形式受到金属板导电性能等的影响,而涡流的反作用磁场又使线圈的阻抗 Z 发生变化。

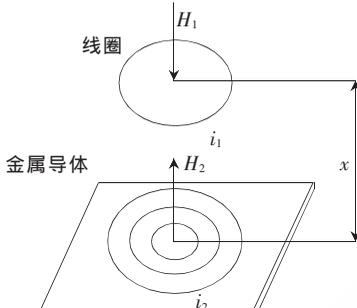


图2 电涡流作用原理图

显然,线圈阻抗的变化既与涡流效应有关,又与静磁学效应有关。也就是说,与金属导体的电导率、磁导率、几何形状、线圈的几何参数、激励电流频率以及线圈到金属导体的距离等参数有关^[5]。假定金属导体是均匀的,其性能是线性和各向同性的,则线圈-金属导体系统的物理性能通常可由磁导率 μ 、电导率 σ 、尺寸因子 r 、 t 、激励电流 I 和频率 ω 等参数来描述,线圈的阻抗可用如下函数表示:

$$Z=F(\mu, \sigma, r, x, t, I, \omega) \quad (1)$$

当气隙长度保持不变,而铁心与衔铁之间相对覆盖面积,即磁通截面因被测量的变化而改变时,这种类型的电感式传感器称为变面积型电感式传感器^[6],结构型式如图3所示,其中,1为线圈;2为铁心;3为衔铁。

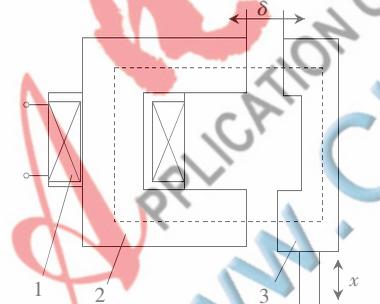


图3 变面积型电感式传感器结构示意图

(1) 输出特性

如图3所示,气隙长度为 $g=2\delta$,初始磁通截面即铁心截面为 $A=ab$, a 为铁心截面长, b 为截面宽。 X 为衔铁的位移量。此时,变面积型电感式传感器输出特性公式为:

$$L=\frac{\mu_0 N^2}{g+\frac{1}{\mu_s}}(a-x) \quad (2)$$

(2) 灵敏度

对式(2)求导,得灵敏度为:

$$\frac{dL}{dx}=-\frac{\mu_0 N^2 b}{g+\frac{1}{\mu_s}} \quad (3)$$

可见,灵敏度为一常数。

3 振荡电路

电感的变化是通过振荡电路来进行检测的,LC振荡器可用于接近开关的振荡电路。

3.1 改进型电容三端式振荡器

为了减小器件的不稳定极间电容 C_{be} 、 C_{bc} 、 C_{ce} 对振荡频率的影响,以提高频率稳定度,采用了电容三端式振荡器的变形电路,即克拉泼(Clapp)振荡器和希勒(Seiler)振荡器^[7]。

与电容三端式电路比较,在图4所示的克拉泼振荡器中,增加了一个和电感串接的电容 C_5 。虽然 C_5 越小,振荡器的频率稳定度越高,但是 C_5 太小将不能满足振幅起振条件而停止振荡。因此,为了保证振荡器的起振, C_5 应有一个最小的允许值。

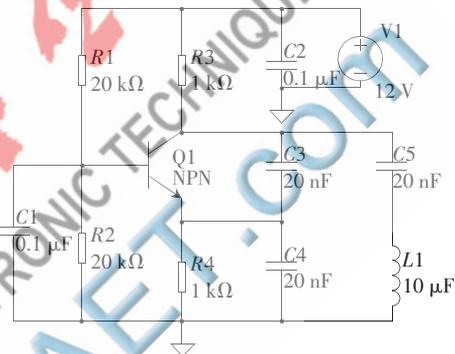


图4 克拉泼振荡电路

克拉泼振荡电路中,振荡回路由 L_1 、 C_3 和 C_4 构成,具有选频作用。由图5可见,波形较好,几乎无失真。周期 $T=1.6\mu\text{s}$,频率 $f=6.25\times 10^5\text{Hz}$,幅值最大为 10.8V ,最小为 3.2V ,振幅为 3.8V ,有效值为 2.69V 。

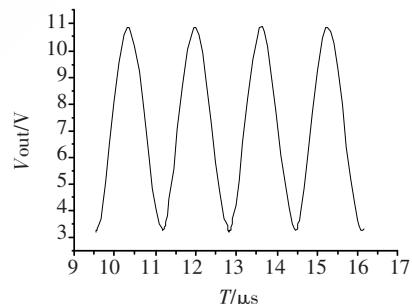


图5 克拉泼振荡电路波形图

若采用调节 C_5 来改变振荡频率,不仅 R_c 的变化会很大,并且在波段高端(此时 C_5 最小)会因 R_e 太小而停振。为了克服这一缺点,可以采用希勒振荡电路,如图6所示。与克拉泼电路相比,希勒电路在回路电感两端并接了一个可变电容 C_4 。希勒电路不仅在波段内的振幅比较平稳,还避免了高频端可能出现的停振现象。因此希勒电路很适合于工作在工作频率较高的场合。

在图6所示的希勒振荡电路中,振荡回路由 L_1 、 C_3 和 C_4 构成,具有选频作用。由图7可见,波形较好,几

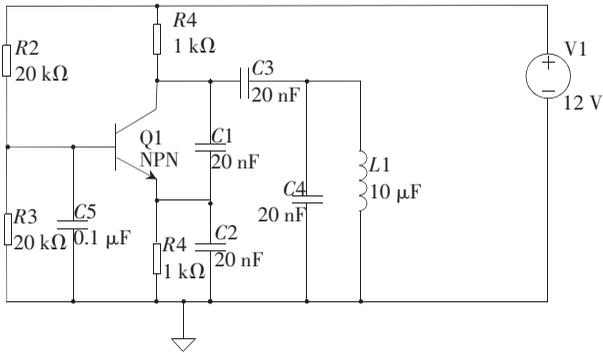


图6 希勒振荡电路

乎无失真。周期 $T=3.3\ \mu\text{s}$ ，频率 $f=3.03\times 10^5\ \text{Hz}$ ，幅值最大为 $10.6\ \text{V}$ ，最小为 $3.3\ \text{V}$ ，振幅为 $3.65\ \text{V}$ ，有效值为 $2.58\ \text{V}$ 。

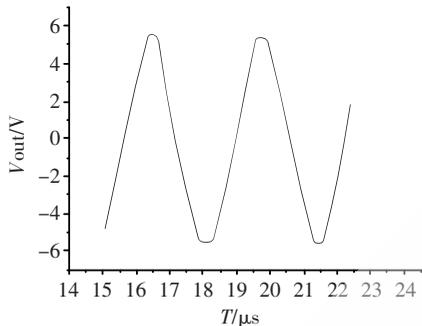


图7 希勒振荡电路波形图

4 检波电路

检波电路如图8所示，其需实现如下功能：当金属物体还未接近电感器时，振荡电路正常振荡，输出端输出高电平；当金属物体接近感应头时，振荡电路停振，输出端输出低电平^[8]。检波作用及原理简述如下：C4是耦合电容，把振荡器上的振荡信号送往Q2。Q2、Q3和R3、R4、R5组成施密特电路，此电路主要有3个作用：(1)信号放大；(2)检波；(3)信号整形，把直流脉冲信号变为方波信号，并送往下一级。C5是滤波电容。Q4和R7、R8、R9及D2、D3是简单的开关电路，其中D2是发光二极管，作信号指示用，R7是分流电阻，防止信号过强把指示灯D2烧坏，R8是降压电阻，防止信号过强把末级Q4烧坏，R6是保护电阻，D3是保护二极管，防止反向电压击穿Q4^[9]。

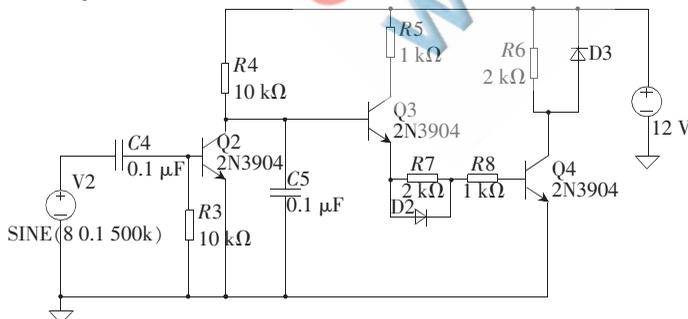


图8 检波电路

检波原理：

(1) 当金属物体还没有接近感应头时，振荡器开始

振荡，振荡信号通过C4送到Q2，Q2导通，Q3截止，Q4处于截止状态，输出端（即Q4集电极）持续输出 $12\ \text{V}$ 高电平，如图9所示。

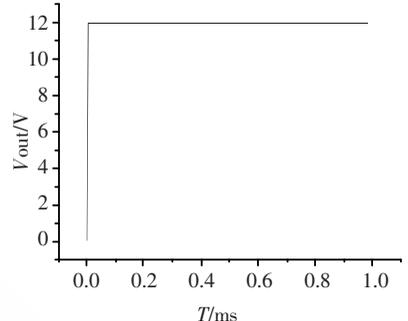


图9 输出端(Q4集电极)持续输出高电平

(2) 当金属物体接近感应头时，振荡器中的磁力线被接近的金属物破坏，由振荡变为不振荡（即停振），C4没有信号送到Q2，Q2由导通变截止，Q3由截止变为导通，Q4跟着导通，集电极持续输出 $13.5\ \text{mV}$ 低电平^[10]。输出端由常开状态变为常闭状态，如图10所示。

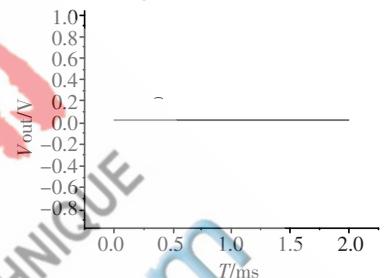


图10 输出端(Q4集电极)持续输出低电平

综上所述，高频接近开关可分为电感式接近开关与电容式接近开关两种。本文着重研究了电感式接近开关的工作原理。电感接近开关由振荡电路、检波电路以及输出电路三部分组成。在对这三部分进行研究的基础上，得出以下结论：

(1) 振荡电路宜选择改进型电容三端式振荡电路，即希勒振荡电路，因为希勒电路在回路电感两端并接了一个可变电容器，它使得希勒电路不仅在波段内的振幅比较平稳，还避免了高频端可能出现的停振现象。因此，希勒电路很适合于工作在工作频率较高的场合。

(2) 检波电路宜设计成由施密特触发电路构成的检波电路，因为施密特电路能较好地实现信号放大、检波及信号整形的作用。

(3) 输出电路宜选择推挽式输出电路，因为它结合了线驱动与集电极开路输出电路的特性。

参考文献

- [1] ADOLPHS P. Fifty years old: the proximity switch[J]. Control Engineering Europe, 2008(11): 34-36.
- [2] 邓重一. 接近开关原理及其应用[J]. 自动化博览, 2003, 20(5): 31-34.
- [3] 钱金川, 朱守敏. 接近开关在自动化控制中的应用[J]. 江苏电器, 2006(5): 30-35.
- [4] FERICEAN S. New noncontacting inductive analog proximity and inductive linear displacement sensors for industrial automation[J]. IEEE Sensors Journal, 2007(11): 1538-1545.
- [5] 李君. 涡流检测技术在化工设备检测中的应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [6] 李科杰. 新编传感器技术手册[M]. 北京: 国防工业出版社

- 社, 2002.
- [7] 顾宝良. 通信电子线路 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2002.
- [8] 周晴, 李文旭. 接近开关的原理及应用[J]. 电子元器件应用, 2007, 9(6): 18-20.
- [9] 吴良孟. 改进型电感式接近开关的设计及应用[J]. 长三角, 2009, 3(7): 147-148.
- [10] 陈众起. 高频振荡型接近开关[J]. 电工技术, 2004(8):

89-90.

(收稿日期: 2012-07-09)

作者简介:

李锐, 男, 1977 年生, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 微电子器件和数字电路。

赵来定, 男, 1971 年生, 副教授, 主要研究方向: 卫星通信、测量与控制等。

