

# 双频率、双调谐电路原理及其应用

朱仁龙

(华东师范大学 物理系, 上海 200062)

**摘要:** 简要解释双频率、双调谐电路的工作原理, 重点分析它的中和和隔离作用, 除了作为金属探测电路以外, 希望它能有更广泛地应用.

**关键词:** 双频率; 双调谐; 中和; 隔离; 金属探测器

**中图分类号:** O453   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-5137(2003)03-0038-04

双频率、双调谐电路是一个很基本的专用单元电路, 了解它的工作原理和特殊作用对正确设计和合理应用这一电路是十分重要的. 作者在简述其工作原理的基础上, 重点分析它的中和与隔离作用, 希望能够有更广泛地应用.

## 1 双频率、双调谐电路的工作原理

如图(1)所示, 双频率、双调谐电路主要由3部分组成, 即(1)低频振荡电路; (2)高频振荡电路; (3)传感器.

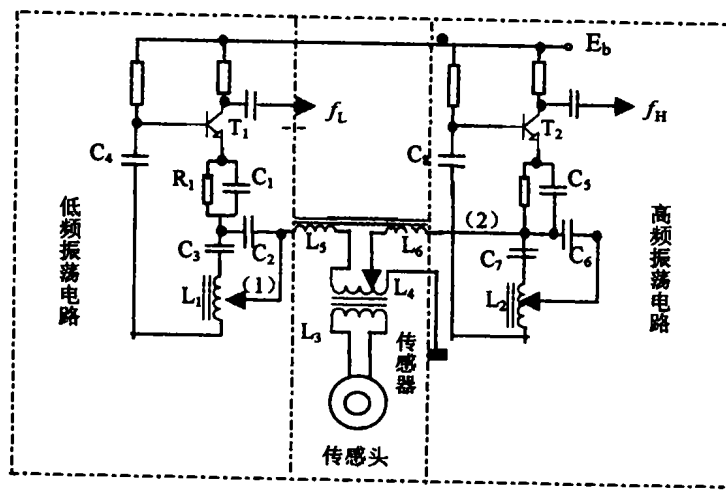


图1 双频率、双调谐电路图

收稿日期: 2002-07-02

作者简介: 朱仁龙(1949-), 男, 华东师范大学物理系讲师.

低频振荡电路是  $T_1$  管及其附属电路组成的低频振荡器, 振荡频率是  $f_L$ . 其中包括两个调谐回路, 即由  $C_3$  和  $L_1$  构成的串联谐振回路及由  $C_2$  和  $L_5, L_4$  构成的并联谐振回路. 串联谐振回路的谐振频率比并联谐振回路的谐振频率高, 因为串联谐振回路主要是振荡器的反馈回路, 所以振荡器的工作频率  $f_L$  介于两个频率之间并靠近串联谐振回路的谐振频率. 同理,  $T_2$  管及其附属电路组成高频振荡器, 其中两个调谐回路是由  $C_7$  和  $L_2$  构成的串联谐振回路及由  $C_6$  和  $L_6, L_4$  构成的并联谐振回路. 串联谐振回路主要是振荡器的反馈回路, 振荡器的工作频率  $f_H$  也是靠近串联谐振回路的谐振频率. 传感器包括传感头和线圈  $L_3$ , 传感头根据需要选取, 但要求它必须把被探测的物理量与  $L_3$  的电感量密切联系起来. 正常情况下, 低频振荡器和高频振荡器分别有稳定输出  $V_L$  和  $V_H$ . 一旦传感头接触到被探测异物或物理量, 则引起  $L_3$  的电感量变化, 同时使两个双调谐回路参数都要改变, 从而使低频振荡器和高频振荡器输出量有相应反应, 并产生两个信号  $v_L$  和  $v_H$ . 把这两个信号经放大、检波等必要地处理后, 就能够反映被探测的异物或被探测的某一物理量.

## 2 双频率、双调谐电路的中和作用

中和作用的关键是双调谐回路. 如图(2)所示, 并联谐振回路在谐振频率  $f_p$  点阻抗最大, 其值称为并联谐振回路的特征阻抗. 串联谐振回路在谐振频率  $f_s$  点阻抗最小, 其值称为串联谐振回路的特征阻抗. 工作频率偏离并联谐振回路的

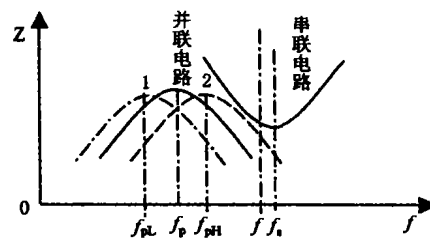


图2 双调谐回路

谐振频率  $f_p$  后, 并联谐振回路的回路阻抗迅速减小, 频率高于  $f_p$  时并联回路呈容性, 频率低于  $f_p$  时并联回路呈感性. 工作频率偏离串联谐振回路的谐振频率  $f_s$  后, 串联谐振回路的回路阻抗迅速增加, 频率高于  $f_s$  时串联回路呈感性, 频率低于  $f_s$  时串联回路呈容性<sup>[1]</sup>.

静态工作即无探测目标时, 晶体管  $T_1$  有正常偏置, 即有电流激励并联谐振回路, 并联谐振回路的信号再激励串联谐振回路. 串联谐振回路中  $L_3$  上部分电压再正反馈到  $T_1$  管的基极, 使晶体管  $T_1$  及其附属电路起振. 因为频率为串联谐振回路的谐振频率  $f_s$  时正反馈电压最强, 也就是说在频率为  $f_s$  时最容易起振. 但是频率  $f_s$  太偏离并联谐振回路的谐振频率  $f_p$  了, 这时并联谐振回路的回路阻抗很低, 使并联谐振回路上的电压迅速减小, 进一步又降低了对串联谐振回路的激励电压, 同时也减少了对  $T_1$  管的正反馈电压, 使振荡电路停振, 不能正常工作. 当频率为并联谐振回路的谐振频率  $f_p$  时, 并联谐振回路自然产生很强的谐振, 可是频率  $f_p$  偏离串联谐振回路的谐振频率  $f_s$  太多, 串联谐振回路中  $L_3$  上的电压又太小, 正反馈电压也很小, 无法使晶体管  $T_1$  及其附属电路起振. 所以只有频率  $f$  在并联谐振回路的谐振频率  $f_p$  和串联谐振回路的谐振频率  $f_s$  之间时, 振荡电路才能稳定地工作. 因为串联谐振回路在振荡器中是正反馈的主要部件, 所以一般把振荡器的稳定工作频率  $f$  都调在  $f_p$  和  $f_s$  之间, 但靠近串联谐振回路的谐振频率  $f_s$ .

中和作用是指探测线圈在某些特殊环境中仍然能够正常工作, 它能够防止环境干扰把环境影响有效地中和. 例如, 一般的金属探测器在有铁磁性矿物环境中探测其它金属异物时, 铁磁性矿物环境会使探测器有信号幅度的变化, 从而产生虚警. 若使用双频率、双调谐电路作为金属探测器基本电路时, 由于铁磁性矿物环境会使传感头的电感量增加, 从而影响到  $L_3, L_4$  和双调谐回路. 并联回路中电感量增加使其回路  $Q$  值增加, 从而增加对串联回路的激励, 同时使振荡器输出增加. 但是, 一旦并联回路中电感量增加, 它的并联谐振频率将要降低, 也就是说使并联谐振频率更远离原来振荡器的振荡频率, 结果又使并联回路阻抗降低, 减少了对串联回路的激励, 同时使振荡器输出减少. 总之, 铁磁性矿物环境使并联回路  $Q$  值增加量会被并联回路阻抗减少量中和, 结果使振荡器输出稳定. 只要电路设计恰当, 这种中和作用对低频和高频振荡电路的作用是等效的.

### 3 双频率、双调谐电路的隔离作用

双频率、双调谐电路中低频振荡和低频振荡信号都同时加到线圈 $L_4$ ,  $L_5$ 和 $L_6$ 上,也就是说低频振荡电路和低频振荡电路之间有着密切联系. 为了防止低、高频振荡电路互相影响,我们必须分析它的隔离作用. 为清楚起见,把这一部分电路单独画出来,如图3(a),(b)所示. 零位隔离的核心是线圈 $L_4$ ,线圈 $L_5$ 和线圈 $L_6$ . 参见图3(a),低频振荡器 $T_1$ 管工作时,低频信号经接线(1)加到线圈 $L_5$ , $L_4$ 上,因为线圈 $L_4$ 和线圈 $L_5$ 的电感量相等,所以低频信号在线圈 $L_5$ 和线圈 $L_4$ 上激励的电压也相等,即 $V_{AB} = V_{BO}$ . 制作中,线圈 $L_5$ 和线圈 $L_6$ 缠绕在同一个绕线管上,线圈 $L_6$ 匝数的选择是使它上面建立的电压与线圈 $L_4$ 中0~20匝部分的电压相等. 这样,由于低频信号在线圈 $L_4$ 的0~20匝部分上建立的电压将等于线圈 $L_6$ 上建立的电压,即 $V_{CD} = V_{CO}$ . 0点始终接地,即为零电位. 或者说,连线(2)与地之间也保持零电压,即低频振荡器对高频振荡器没有任何影响. 反过来,参见图3(b),高频振荡器 $T_2$ 管工作时,高频信号经接线(2)加到线圈 $L_6$ , $L_4$ 上,因为线圈 $L_4$ 和线圈 $L_5$ 的电感量相等,所以高频信号在线圈 $L_5$ 和线圈 $L_4$ 上激励的电压也相等,但是极性相反,即 $V_{BO} = V_{BA}$ . 或者说,连线(1)与地之间保持零电压,即高频振荡器对低频振荡器没有任何影响. 高、低频率振荡器工作中相互没有影响,这就实现了两者之间的隔离. 因为接地线始终保持0电位,所以我们又称它为零位隔离作用.

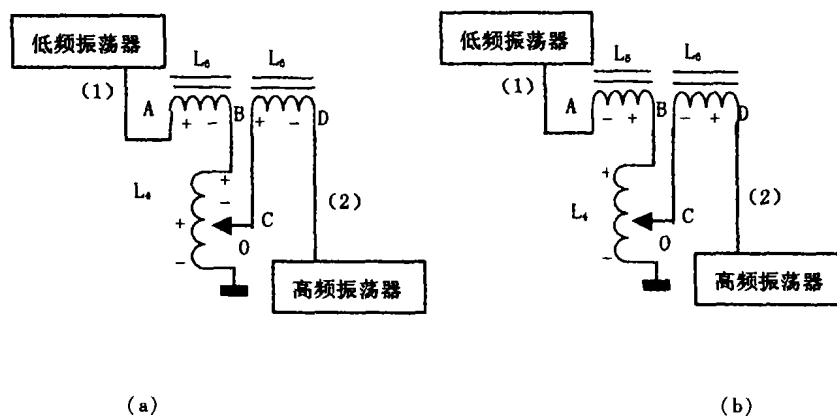


图3 电路的隔离作用

### 4 双频率、双调谐电路的应用

双频率、双调谐电路确是一个很实用的单元电路,根据它的工作原理和基本特点,我们可以设计和研制很多应用设备.

双频率、双调谐电路最典型的应用是作为金属探测器的基本电路. 如图4所示,当探测器靠近金属目标后,金属目标会影响探测线圈的电感量,进而影响两组谐振回路,使其回路阻抗发生变化,改变振荡器的输出信号. 把这两个振荡器输出信号的变化量放大检波后即可作为报警指示. 事实上,如果单从探测金属目标的角度出发,仅用双调谐电路就可以达到探测目的,不必使用双频率、双调谐电路. 单用双调谐电路设计的是“双调谐式金属探测器”<sup>[2]</sup>,使用双频率、双调谐电路设计的是“双频率金属探测器”<sup>[3]</sup>. “双频率金属探测器”是在“双调谐式金属探测器”基础上研制出来的. 因为铁磁性金属目标和非铁磁性金属目标对探测线圈的影响不同,在调谐回路中的反应结果也不一样. 如果我们把电路设计恰当,让两个振荡器受到的影响和反应不同,例如,对铁磁性金属目标来说,高频振荡器的反应更大,而对非铁磁性金属目标来说,低频振荡器的反应更大. 由此,从报警器的报警信号非但能够探测到有金属

目标,同时还可以决定目标是铁磁性或非铁磁性金属.若预先把某些特殊目标或有价值目标的测试结果存入数据库,再把探测数据与标准目标数据比较,则探测范围可以扩大,准确率也能提高.

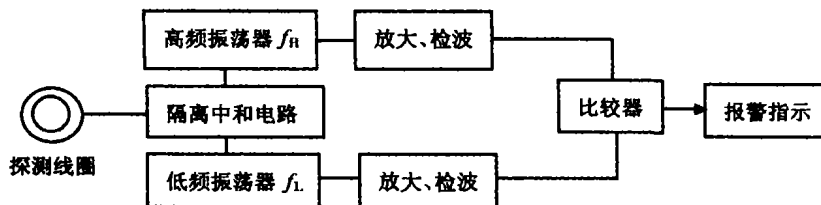


图4 金属探测器的基本电路

如果选择适当的传感器,它的信号参数可以反映温度、压力、湿度等有关物理量<sup>[4,5]</sup>的变化,并且要求这些信号参数是感性或容性的,即温度、压力、湿度等物理量的变化能够引起相应电感量或电容量的改变.利用这种传感器可以很容易设计相应的温度、压力、湿度等物理量的探测和测试设备.若传感器是感性参数,可以直接模拟图4,把报警指示改成相应物理量的指示装置;若传感器是容性参数,可以把它设置在振荡槽路中,用振荡频率的变化反映出来,最后再设计恰当的物理量指示装置.

双频率、双调谐电路还可以用为自动控制和自动监测设备中的反馈单元,只要被控制和被监测物理量的变化能够产生报警信号,我们就把这个报警信号取出来反馈到必要的位置,调整或改变被控制和被监测物理量,以实现自动控制和自动监测目的.

## 参考文献:

- [1] 复旦大学物理系. 半导体线路(放大、振荡、电源部分)[M]. 上海人民出版社,1972.
- [2] RANDOLPH Jr. Selective Metal Detector Circuit Having Dual Tuned Resonant Circuits[J]. United States Patent,1976, 3: 961,238.
- [3] RANDOLPH Jr. Dual Frequency Metal Detector System[J]. United States Patent, 1976(3): 986, 104.
- [4] 张福学. 传感器敏感元器件实用指南[M]. 北京:电子工业出版社,1993.
- [5] 郭亨礼,林友德. 传感器实用电路[M]. 上海:上海科技出版社,1992.

## Dual-frequency, Dual-tuned-resonant Circuit and its Neutralization and Isolation Function

ZHU Ren-long

(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The operating principle of the dual-frequency and dual-tuned-resonant circuit is explained. Especially, the neutralization and isolation functions of this circuit are analyzed in detail. Besides the application of the metal detector, we can find other applications with this unit circuit certainly.

**Key words:** dual-frequency; dual-tuned-resonant; neutralization; isolation