

文章编号: 1001-2486(2003)02-0090-05

## 磁浮列车感应无线通信技术\*

李晓龙, 龙志强, 王海涛, 刘曙生

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南长沙 410073)

**摘要:** 感应无线通信是一种新型的通信方式, 它既有别于有线通信, 又不同于无线通信, 在轨道交通和军事领域有着广泛的应用前景。重点探讨了感应无线通信的基本原理和电磁感应通信的特点, 分析了电磁感应通信中的调制和解调的方法, 同时给出了系统的具体实现电路。在上述分析的基础上, 结合我国磁浮列车的发展情况, 提出了适合现阶段的磁浮列车通信的方案, 并介绍了相关试验结果。

**关键词:** 磁浮列车; 感应无线; 调制; 解调; 通信

**中图分类号:** TN92      **文献标识码:** A

## Research on the Induction Radio Technology of Maglev Train

LI Xiaolong, LONG Zhiqiang, WANG Haitao, LIU Shusheng

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Induction radio, different not only from the wire communication, but also from the wireless communication, will be widely used as a new communication mode in the field of the rail traffic and the military affairs in the future. The basal principle of the induction radio and the characteristics of the induction communication are emphasized. The ways of modulation and demodulation are analyzed. The circuit of the system is also provided. Based on the above analyses, and taking the current status of maglev in our country into account, solutions of communication at current stage is provided and the test results are put forward.

**Key words:** maglev train; induction radio; modulation; demodulation; communication

磁浮列车具有噪音小、安全舒适、无污染等优点, 日益受到人们的关注和青睐, 是一种极具应用前景的绿色环保型交通工具, 但同时也带来了一些新问题。传统列车可依靠车轮和导轨组成的回路来完成车辆和地面站之间的数据传输, 而磁浮列车在运行时与轨道无接触, 不存在这个回路。因此必须研究一种新型的适合磁浮列车的通信方式。

可用于磁浮列车数据通信的方式有以下几种。无线电通信方式: 在列车沿线架设无线电站, 通过无线电波完成数据收发, 其优点是技术成熟, 但当线路较长, 尤其是穿越山区和隧道时, 为了消除盲区就要架设很多无线电站, 使设备复杂、成本高并且难以维护。电力载波通信方式: 磁浮列车的电力是通过列车上的电刷从轨道旁的电力线上供给的, 因而可以将信号调制到供电线路中传输, 此方式成本低, 便于维护, 但由于磁浮列车供电电压较高(直流 500~900V), 而且在列车上的牵引逆变器在电源上产生较大的高频干扰, 使信号不可靠。感应无线通信方式: 感应无线技术是 20 世纪 80 年代初以日本为主发展起来的, 主要针对工业生产上的大型移动机车的自动化而研制的, 具有很高的可靠性。日本 FULUKAWA 公司、安川公司, 三菱公司, 美国 AB 公司对于焦车的自动化技术均采用无线感应技术, 国内仅有少数单位开展该技术的研究与开发。无线感应技术 80 年代主要用于钢铁行业, 90 年代主要用于焦化行业的自动化仓库的装载车及其它特种车辆。在通信系统中采用无线感应方式, 具有铺设及维护简单, 使用寿命长, 成本低, 对地形及天气适应性强等优点, 是一种较理想的磁浮列车通信方式<sup>[1,2]</sup>。

\* 收稿日期: 2002-10-18

作者简介: 李晓龙(1979—), 男, 硕士生。

### 1 感应无线通信系统的构成

如图 1 所示,感应无线通信系统由五大部分组成:收发线圈,车载通信盒,地面感应通信线,地面通信盒,中央通信控制设备。

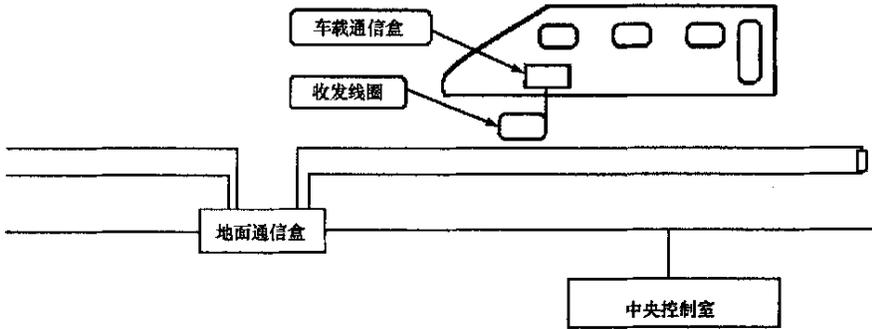


图 1 感应无线通信系统示意图

Fig. 1 Sketch map of induction system

系统在轨道上铺设两根并行感应线,列车底部安装有一个感应线圈,通过电磁感应完成感应线和线圈之间的数据传输。轨道沿线每隔一定距离设有一个通信盒,完成信号的调制解调以及发射和接收处理。通信盒之间,通信盒和中央控制室之间用 CAN 总线连接,中央控制室负责信号的处理和协调。列车上也有一套类似通信盒的装置,和列车的上位机使用 CAN 总线通信。感应无线方式传输损耗小,覆盖线路长,有适中的信道带宽,架设方便,易于维护,成本低,是一种可靠、经济的通信方式。

### 2 互感的分析

系统通过电磁感应完成数据的无线收发,主要分析感应线的电磁耦合问题。设传输线上的电流为  $I$ , 求取列车感应线圈上的感应电压。

列车感应线圈和传输线的几何关系如图 2 所示。

传输线间距为  $d$ , 线圈和传输线的垂直距离为  $h$ 。车载线圈长为  $a$ , 宽为  $b$ , 且  $b = d$ 。计算单根导线在线圈中产生的磁通, 如图 2, 电流  $I$  产生的磁力线在半径  $r_1, r_2$  间和线圈交链, 可以认为传输线无限长, 电流  $I$  在距导线  $r$  处产生的

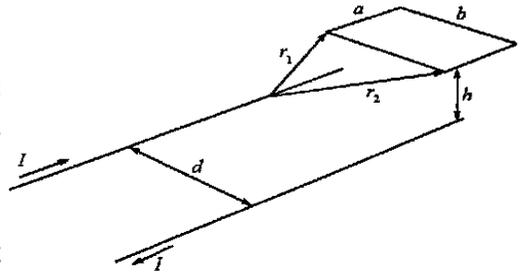


图 2 列车感应线圈和传输线的几何关系

Fig. 2 Geom etrical relation between loop and rail cable

磁感应强度  $B$  为  $\frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ ; 单根导线和线圈交链的磁通为:  $f = \frac{\mu_0 I a h}{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{\mu_0 I a h}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right];$

同样由对称性可知, 另一根导线和线圈交链的磁通  $f$  与此相等, 设线圈共有  $N$  匝, 则有总磁通为:

$\phi = 2N f = N \frac{\mu_0 I a h}{\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right];$  互感为:  $M = \frac{\phi}{I} = N \frac{\mu_0 a h}{\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right];$  感应电压为:  $V = M \frac{dI}{dt}$

传输线是长线, 要考虑电流的衰减。因为传输线上的电流幅值是从信号源到终端电阻按指数衰减的, 所以最不利情况是列车线圈处于传输线末端时和传输线的耦合, 即应按终端电阻处的电流幅值来考虑<sup>[4]</sup>。

从上行和下行传输的计算可以得出, 采用感应无线传输, 线路简单、覆盖长、所需驱动功率小, 是一种比较理想的信号通信方式。

### 3 调制解调方式选择

微机和单片机等数字芯片所传输的都是 0、1 数字信号, 在传输时主要是以电平的高低来区分数字

0 和数字 1。在无线感应通信系统中需要将数字信号调制到一个较高的频率,这样信号才能有效地发射出去并被接收线圈接收到。

若以数字基带信号去控制正弦载波的振幅、频率和相位的离散取值,可实现所谓振幅键控(或幅移键控)(ASK:Amplitude Shift Keying),频率键控(或频移键控)(FSK:Frequency Shift Keying)和相位键控(或相移键控)(PSK:Phase Shift Keying)三种调制方法<sup>[3]</sup>。

考虑磁浮列车的实际应用背景,列车在运行时有一定的高低起伏,对接收信号的幅值有较大影响,因而不适合使用 ASK 方式。PSK 实现电路比较复杂。FSK 实现简单,同时可以克服幅值大小变化的影响以及外界电磁干扰。所以综合以上几点,本系统使用了 FSK 调制解调方式,调制解调电路如图 3 所示,解调采用了非相干解调法。

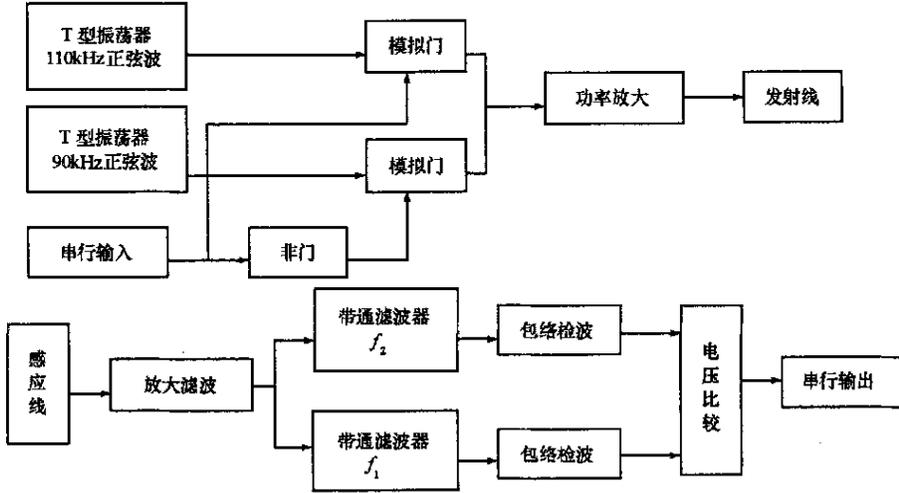


图 3 调制解调电路示意图

Fig.3 Circuit of modulation and demodulation

### 4 总体电路构成

感应无线通信系统中的通信盒(车载与地面基本一致)是整个系统的关键部分,本文主要介绍通信盒内部的电路构成。

如图 4,感应无线通信系统可分为三个子系统:感应无线收发部分,完成感应信号的收发;通信控制部分,以单片机为核心,完成控制和信号转发;总线传输部分,完成通信盒与上位机以及通信盒之间的通信。

#### 4.1 感应无线收发电路

感应无线收发电路主要由调制和解调两部分组成,完成信号的合成、发射以及接收、处理等。

##### 4.1.1 调制与激磁电路

激磁电路可以采用不同的方法来实现,一般说来,LC 谐波振荡器的 Q(品质因数)较高,得到的波形较好,振荡频率也较为稳定,但 LC 振荡电路在选件上不如 RC 振荡电路方便;RC 振荡电路选件方便,调节简便,但产生的波形不如 LC 振荡电路,因为其 Q 值相对低些。利用晶振和集成芯片,也可以产生效果不错的正弦波。

激磁波形的频率应该较为稳定,不稳定的频率使得解调电路无法有效解调。双 T 型 RC 振荡电路实现及调试简便,产生的正弦波较为稳定,选取合适的元件,能够产生所需频率的正弦波。

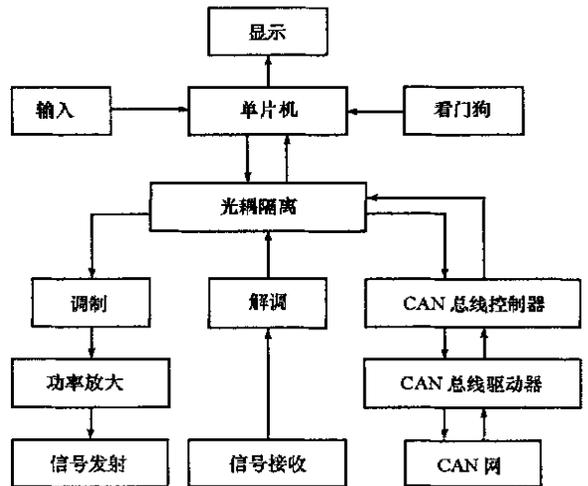


图 4 电路总体结构

Fig.4 Structure of circuit

双T型RC振荡电路主要缺点是它的Q值固定为4,不能调节,从而得到的波形质量不是最好,但能够满足本系统的使用要求。

使用4模拟门MAX313合成FSK信号。合成的FSK信号是小功率信号,要通过功放将信号放大并发射出去。为了满足较大功率发射的需要,选用达林顿功率三极管较为适宜。此系统选用了TIP142和TIP147对管(TIP142是NPN型,TIP147是PNP型)组成推挽式功放。为了克服交越失真,外接了两个可调电阻,通过调节阻值适当抬升B极电压,抵消由于B极导通电压引起的交越失真,保持信号不失真地发射出去。

#### 4.1.2 解调电路

感应到的信号电压值很小,先要将信号放大,以便后续电路处理。而信号中的杂波分量较大,简单的接收电路不加区别地把所有信号都接收了,不能满足要求。信号中只有110kHz和90kHz的信号是有效的,初级使用变压器耦合电路,对于信号发射有与感应线阻抗匹配的作用,接收端采用LC谐振电路,按频率选择,主要接收规定频率的信号,使信号的信噪比大大提高,以备后续电路的进一步处理,见图5。

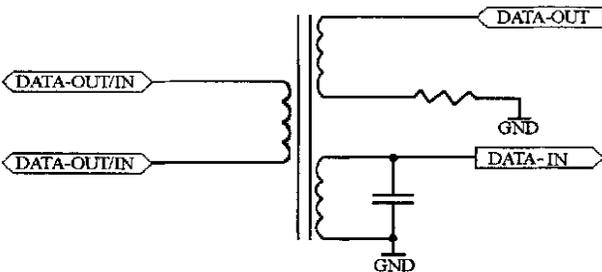


图5 变压器耦合

Fig.5 Transformer coupling

$$LC \text{ 并联谐振电路的电纳 } B = \frac{1}{\omega L} - \omega C, \text{ 阻抗 } Z \approx \frac{j\omega L}{\omega^2 LC - 1}$$

当  $\omega C = \frac{1}{\omega L}$  时,电路的电纳等于零(电路电压、电流同相),且电纳最小,电路产生电压谐振,谐振频率为:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

LC谐振电路对不需要的信号有较强的抑制能力,谐振电路的Q值越大,电路的选择性越好。通过调节可调电容C使90kHz和110kHz信号的幅值近似相等,即使谐振点稳定在100kHz,接收效果最好。

信号的解调使用了非相干的解调法。其中主要是带通滤波器的设计,因为两种频率相差较小(20kHz),要有效地区分,就要求带通滤波器的Q值较高。高Q值的带通滤波器有多种实现方法,其中RC实现较为简单,选件灵活,调节简单。三运放组成的带通滤波器其Q可达几十,滤波效果较好。经带通滤波器处理后的信号在幅值上已经区分开来,再通过包络检波,滤除信号中的快变部分,慢变部分相比较再经过整形即可得出数字信号。

#### 4.2 通信控制电路

通信控制部分的核心器件是单片机,负责信号的收发转换、检错、与上位机通信等。

信号的收发都是在同一个收发线上完成的,发射时是大电压、大电流,接收到的却是小信号、低电压。系统工作在半双工状态下,必须保护好接收部分的电路。此系统使用MAX313作为双工切换器,在发射时关断输入部分的电路,保护接收电路。

#### 4.3 CAN总线传输电路

无线感应系统在接收到数据后要及时与上位机进行通信,将数据上传给上位机;上位机也要将数据和指令及时地发送给感应系统,完成信号的传递与系统的协调控制。系统与上位机的通信使用了现场总线的一种,即CAN总线。CAN总线信号传输介质为双绞线,通信速率最高可达1Mbps/40m,直接传输距离最远可达10km/5Kbps,具有较强的抗干扰能力<sup>[5]</sup>。

无线感应系统大体可分为三个子系统:感应收发系统、CAN总线系统、通信控制系统。其中前两个系统与外界的长线直接相连,无论是CAN网的通信线还是感应线都有可能将外界的强电或干扰引入

系统,为了保证系统安全可靠,必须从电气上把三个系统完全隔离。通过 DC/DC 高频电源转换模块分别给三个子系统供电,系统间通过增加光耦,可以在保证电气隔离的情况下传递信号。这样,三个子系统之间在电气上完全隔离,保证了系统的安全。

## 5 列车车载实验

在 204m 磁浮列车线上进行了车载试验。

系统参数: FSK 调制频率: 110kHz、90kHz; 接收线圈: 10 匝、长 10cm、宽 15cm; 传输线: 长 100m, 间距 10cm; 发射电流: 0.5A。

测试情况:

条件: 列车开动下试验; 线圈与感应线相距 10~ 15cm; 传输速率 2400 比特率。

结论: 可以完成双向通信, 误码率低于  $10^{-4}$ 。

## 6 结束语

为了在长线、动态、强电磁干扰的条件下系统可靠工作,可改变感应回线的形状,即由单回路改为双 8 字回路,如图 6。实验证明,传输线和线圈对外界的干扰均可抵消,而两者之间传输的信号并没有因此而减弱。

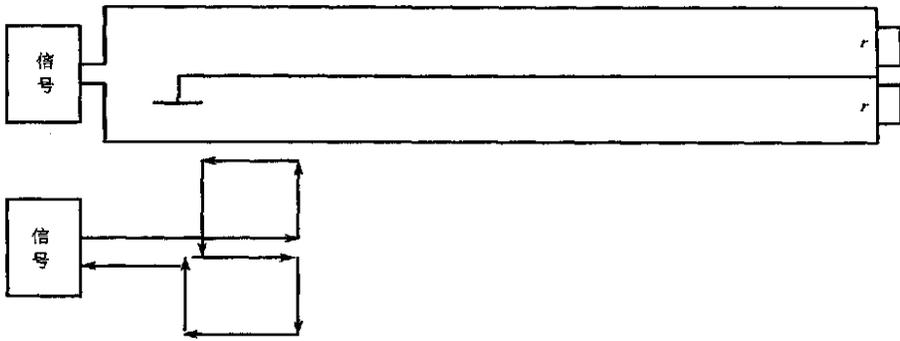


图 6 感应回线示意图

Fig. 6 Induction loop

磁浮列车具有强电磁环境、高速度、无接触等特点,同时列车线路蜿蜒曲折,感应无线通信可以说是一种较为理想的通信方式。我国在这方面的研究才刚起步,有许多技术问题还没有解决,随着磁浮列车技术的进一步发展,感应无线技术必将更加完善,保证磁浮列车安全运行。同时,这一技术的应用将更加广泛。

## 参考文献:

- [1] 吴汶麒. 国外铁路信号新技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.
- [2] 吴汶麒. 城市轨道交通信号与通信系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- [3] 胡见堂, 谭博文, 余德泉. 固态高频电路 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [4] 杨建勇, 连级三. 磁悬浮列车定位测速及数据传输方法研究 [J]. 铁道学报, 23(1), 2001.
- [5] 陈杨, 刘曙生, 龙志强. 基于 CAN 总线的数据通信系统研究 [J]. 测控技术, 19(10), 2000.