

# WDD 型伪随机多功能电法发送机研制

白宜诚, 左桓, 崔燕丽

(中南大学 信息物理工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:** 根据伪随机多频激电法的原理及对观测系统的技术要求, 设计了 WDD 型伪随机多功能电法发送机的智能化控制方案, 即以 MCS-51 单片机作为主控单元, 编制了可产生多种电流的控制程序, 以绝缘栅双极性晶体管 (IGBT) 作为大功率输出器件, 输出最高电压为 800 V, 最大电流为 40 A, 功率可达 6 kW。试验结果表明仪器性能稳定、安全可靠。

**关键词:** 伪随机多频激电法 单片机 电法发送机 自动控制

**中图分类号:** P632.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2004)06-0536-04

以  $2^n$  步进伪随机信号作为激励场源的伪随机电磁法是由中国工程院院士、中南大学何继善教授率先提出的。根据伪随机多频激电法的原理及对观测系统的技术要求, 设计了 WDD 型伪随机多功能电法发送机的智能化控制方案。该仪器可作为时间域激发极化法, 频率域激发极化法, 双频道激电法及伪随机三频、五频、七频、九频激电法和谱激电法及可控源音频大地电磁法的激励场源发送机。该发送机已在甘肃、山西及云南等地科研项目中应用, 试验结果表明仪器性能稳定、安全可靠。

## 1 $2^n$ 步进伪随机信号的特点及原理

伪随机电磁法的实质是将含有三、五、七……等多个奇数主频率的复合波同时向大地发送, 接收机同时接收经大地介质传导的复合波中主频率电流响应。伪随机波形既具有某种随机波形特征, 又能事先设定, 并能重复产生和复制。由图 1 可见它在图示的时间内是无规则的, 但它可以重复出现并可人为控制。该波形是由振幅相等但时间间隔不同的正向及负向矩形波系列组成。伪随机信号有多种, 其

中相邻 2 个主基频的频比为  $2^n$  的伪随机信号称  $2^n$  步进伪随机信号。理论计算与分析表明  $2^n$  伪随机信号具有以下特点<sup>①</sup>。

(1) 波形所含各主频率均按  $2^n$  步进, 既按 2、4、8……步进。因而各主频率在对数坐标上呈均匀分布的, 这在地球物理勘察中是非常有用的。

(2) 波形中所含的每个主频率的振幅值基本相等。以伪随机五频波为例, 如果伪随机波形的电流振幅值  $A = 1$ , 则 5 个主基频的振幅值分别为:  $A_{f_1} = 0.6173$ ,  $A_{f_2} = 0.5882$ ,  $A_{f_3} = 0.5443$ ,  $A_{f_4} = 0.4475$ ,  $A_{f_5} = 0.4775$ 。由于各主基频的振幅值相差不大, 在同一个数量级之内, 因而接收机所接收到的经大地介质传导的各主基频信号是在同等精度下进行测量。

(3) 每组  $2^n$  进制伪随机波所含的主基频数可以预先设置, 如三、五、九……频波, 因而方便、灵活。

(4) 各主基频的起始相位相同, 以便用于以测量多种频率的相位值为基本参数的相位激电法、谱激电 (SIP) 及可控源音频大地电磁法 (CSAMT)。

## 2 仪器总体设计

我国地域辽阔, 各地区的地电场条件各不相同, 电法勘探需解决的地质问题也不一样。为了适应多种电法勘探方法的需求, 所研制 WDD 型伪随机多功能电法发送机具有以下特点和功能。

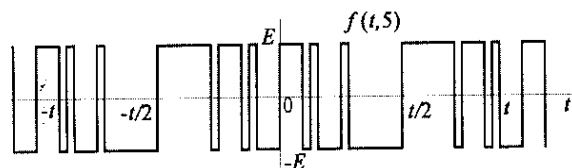


图 1 伪随机五频波波形

① 何继善, 白宜诚, 浦慧如, 等. 伪随机多功能电磁法及多功能仪器研制报告. 中南大学地球物理勘查新技术研究所, 1999.

收稿日期 2003-11-30

基金项目: 国家自然科学基金 (2001BA609A-5)

(1) 多功能 ①可发送主频率从  $2^{-6} \sim 2^{-9}$  Hz 的三频、五频、七频和九频伪随机复合电流,用于多频激电的幅频率测量及 SIP 的振幅、相位测量 ②可发送高频为  $2^{-2} \sim 2^4$  Hz 及低频为  $2^{-2}/13 \sim 2^4/13$  Hz 的多组双频复合电流作为双频道激电 (DFIP) 激励场源 ③可发送时间域激电 (TIP), 供电节拍为  $2 \sim 1\,024$  s 的正向供电、负向供电及正向供电—断电—负向供电相间的供电波形 ④可发送频率为  $2^{-5} \sim 2^{13}$  Hz 的正负双向方波,用于变频法、激电、交流电阻率法、可控源音频大地电磁法 ⑤仪器设有外控波形输入功能,可将外部控制输入波形进行功率放大。例如配上美国 Zonge 公司生产的 GDP-16 电磁法数据采集系统发送机的控制器即可作为 GDP-16 的发送机进行工作。WDD 型发送机的功能如表 1 所示。

表 1 WDD 型伪随机大功率发送机功能

| 频道号 | 波形    | 频率(时间)范围                                                   |
|-----|-------|------------------------------------------------------------|
| 0   | 时域激电  | $2 \sim 1\,024$ s                                          |
| 1   | 正-负方波 | $2^{-5} \sim 2^4$ Hz                                       |
| 2   | 双频激电  | $2^{-1}/13 \sim 2^5/13$ Hz(低频)<br>$2^{-1} \sim 2^5$ Hz(高频) |
| 3   | 三频波   | $2^{-6} \sim 2^7$ Hz                                       |
| 4   | 正-负方波 | $2^4 \sim 2^{13}$ Hz                                       |
| 5   | 五频波   | $2^{-6} \sim 2^9$ Hz                                       |
| 6   | 外控波   | 最高为 $2^{13}$ Hz                                            |
| 7   | 七频波   | $2^{-7} \sim 2^9$ Hz                                       |
| 8   | 空     | 待开发                                                        |
| 9   | 九频波   | $2^{-8} \sim 2^9$ Hz                                       |

(2) 宽频带多频组。频率域激电法是观测不同频率的电流经大地传导后的地下岩(矿)石对不同频率的电流的响应,目前观测的参数主要是振幅变化和相位的变化。不同的矿石由于成分、含量、结构以及构造等多种因素的影响,其幅频特性、相位特性亦不相同。石墨、碳质地层的相位极值频率范围在低频段约为  $2^{-13} \sim 2^{-10}$  Hz;而黄铁矿矿石的极值频率范围在高频段约为  $2^1 \sim 2^4$  Hz,两者相差甚大。在激电普查及详查中为了了解激电异常源的属性,减少地质工作失误,进行相位激电法及谱激电工作评价异常工作<sup>[3]</sup>。仪器在发送三、五、七频伪随机波形电流时,设计了多频组形成宽频测量。如七频波设置了 6 个频点,最低频率为  $2^{-7} = 0.007\,812\,5$  Hz;最高频率为  $2^9 = 512$  Hz。

(3) 方便灵活。在激电法中可用双频激电的某一频点如  $4/13$ 、 $4$  Hz 或三频激电中某一频点 ( $0.25$ 、 $1$ 、 $4$  Hz) 进行面积性普查找矿工作。在详查中可用伪随机多频如七频或九频波中 2 个频点就可以完成  $2^{-7} \sim 2^7$  Hz 的谱激电工作,可利用振幅谱、相位谱进

行评价异常源属性。亦可用于室内岩矿石标本的振幅谱、相位谱特征测定等基础研究工作。当用于 CSAMT 测量中,用九频波中 1 个频点一次供电发送相邻两种频率比为 2 的 9 种频率电流,二次发送就可以发送  $2^{-7} \sim 2^9$  Hz 频率的 17 种频率的电流,工作极为方便。

(4) 安全可靠。仪器设有过流、过压、输出短路保护装置,并具有自检功能。保证了仪器工作安全正常运行。

(5) 自动化控制。仪器采用低功耗 CMOS 单片机 (80C32) 控制系统。CMOS 单片机与工控机相比,虽然有运算速度慢、存储量小、界面差等不足之处,但其性能价格比十分优越,并具有低功耗优点<sup>[1]</sup>。因而可使用高能小体积电池作为机内电源,使仪器做到体积小、重量轻。便于野外应用,特别适用于山区工作。

(6) 仪器采用  $4 \times 4$  键盘输入、汉化菜单式操作提示、大屏幕点阵式液晶显示,可将发送机的工作频率、输出电压、电流及时间实时显示。

(7) 设有 RS232 标准接口,可将时间序列电流值传到外部计算机做进一步处理。

(8) 当用发电机及其整流设备作为外接高压电源时,在发送机停止向大地供电期间,在程序控制下,发送机将通过大功率电子开关向外接负载供电,起到平衡发电机转速的作用,达到稳定输出电流的目的。

3 发送机基本工作原理及硬件结构

发送机由 80C32 单片机系统,波形合成、IGBT 驱动电路、供电主回路(逆变器)、过流保护、电流采样、读数、时钟电路、欠压保护、频率选择、相位同步、音响提示及机内电源等部分组成(图 2)。

(1) 单片机系统。由 MCS-51 系列的 80C32 单片机外接 12M 晶振、程序存储器 (27C512)、地址锁存器 (74HC373) 双向驱动器 (74HC254),复位电路组成,可产生多种频率方波,并实现欠压过流检测和报警、开机正常声音提示等功能。

(2) 波形合成及驱动电路。波形合成电路由 74HC04 与非门、74HC21 四门输入与门及相应电阻、电容组成。根据设置参数,单片机可产生以下 3 种波形,即频率或时间不等相序不同的脉冲矩形波、过流保护信号、供电同步信号。上述 3 种信号合成后,经驱动模块控制逆变器功率开关元件 GIBT,完成波形的变换。

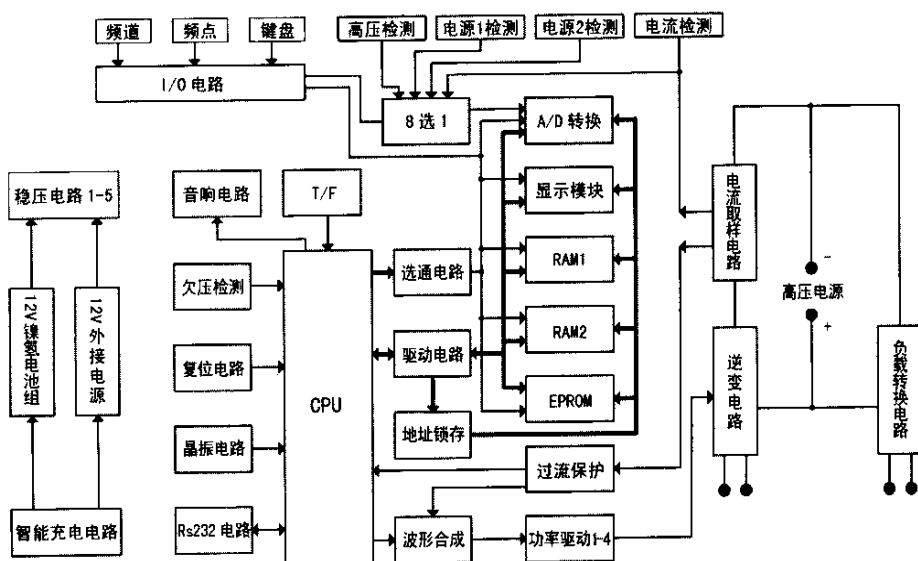


图2 WDD型伪随机多功能电法仪发送机工作原理

(3) 供电主回路由4个功率开关元件IGBT组成逆变桥,由带有保护功能的驱动模块驱动,输出电流范围 $0.1\text{ mA} \sim 40\text{ A}$ 。

(4) 过流保护电路由采样电阻、防干扰电容、钳位二极管及快速可控硅组成。当电流大于1.2倍本量程电流值时,过流保护可控硅动作。该信号一方面封锁波形合成电路及驱动电路,关断逆变电路IGBT元件,另一方面其下跳沿使80C32产生中断,使其停止产生供电方波,并蜂鸣报警。

(5) 电流采样读数电路由电流采样、保持电路、积分式A/D转换电路、显示电路组成,可方便读数。

(6) 时钟电路按年、月、日、时、分、秒时间序列将电流值记录,并存储到RAM中。该值可事后查询及通过RS232口回放。

(7) 光电同步电路。在单片机的控制下,该电路在波形的每个周期起始时刻(上跳沿或下跳沿)输出脉冲同频信号,经快速光耦进行电性隔离后,输送到接收机作为绝对相位测量的同步信号。

(8) 欠压检测电路由时基电路及相应电阻、电容组成。当机内电压低于 $9.5\text{ V}$ 时,时基电路输出发生跳变。80C32单片机检测到跳变沿则驱动报警电路工作。

(9) 频率选择电路由10选1开关及80C32的I/O口组成,完成 $0 \sim 9$ 共10个频道选择及 $0 \sim 9$ 共10个频点中的波形选择。

(10) 机内工作电源由 $12\text{ V}$ 镉氢电池组、DC-DC变换器组成,产生 $6\text{ 组} \pm 5\text{ V}$ 稳压电源供机内使用。仪器设有外接 $12\text{ V (DC)}$ 电源接口,亦可用外部电源供机内使用。

## 4 软件编程

仪器的运行监控程序直接由MCS-51汇编语言编制而成,此程序为模块化结构,自顶向下编制,以利于修改和功能增加。系统下挂6个主模块,分别为系统测试、参数输入、校验输出、供电过程控制、回放和传送及帮助。每个模块根据需要设置多级子菜单、分别对应不同内容的子功能模块,每个子功能模块对应各自的子程序。仪器采用汉化菜单、英文提示,整机工作均由软件控制。

(1) 系统测试。开机后,工作前对仪器各部分进行自检、检测CPU、EPROM、RAM、 $T_0$ 、 $T_1$ 及内部工作电源、电压并显示检测结果。

(2) 参数输入。供电前键入频道数,显示输出波形 键入频点数,显示波形的频率(供电时间)范围 键入当时时间值及电流采样时间间隔。

(3) 供电过程控制。对供电过程中供电波形、频率(时间)、供电电压、输出电流值及时间进行控制和显示,并按时间顺序记录电流值。

(4) 数据查询。可根据检索号(年、月、日、时、分、秒)的范围显示存储在机内的电流值。

(5) 数据通讯。可将存储在机内的电流值及时间通过RS232串口传到外部通用微机。

## 5 高压大功率逆变器

高压大功率逆变器是发送机功率输出的关键部分,而逆变元件又是关键元件。本发送机采用电力电子器件双极型绝缘栅晶体管(IGBT)作为逆变元件。该器件具有输入阻抗高、速度快、驱动电路简

单、通态电阻小、耐压高、承受电流大且技术成熟的特点<sup>[2]</sup>。选择的器件所承受的最高电压为 1 200 V，承受的最大电流为 60 A。为了保证仪器安全运行，设计中留有余地。本发送机最高输出电压 800 V、最大输出电流 40 A，输出功率采用高压小电流或低压大电流的输出方案，达到输出功率 6 kW 的技术要求。为了限制在关断感性负载产生的浪涌电压对 IGBT 的损坏，线路上设计了阻容缓冲电路吸收其浪涌电压，保护 IGBT 在安全区工作。

6 结语

WDD 型伪随机多功能电法大功率发送机能发送多种 2<sup>n</sup> 系列伪随机波形电流。可作为伪随机多频(三、五、七、九频)激电提供激励场源。也可作为 FIP、SIP、DFIP、TIP 及 CSAM 法场源发送机，作到一机多用。大功率发送有利于提高观测系统的信噪

比。该发送机已在我校承担的甘肃白银矿区外围的石青铜铜多金属矿、山西中条山铜矿及云南中甸“三江”中北段普朗斑岩型铜矿的科研工作中应用。实践证明该仪器性能稳定、工作可靠。与发送机相配套的多功能接收机已研制成功。

参考文献：

[1] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计[M]. 北京：航空航  
天大学出版社,1992.  
[2] 李宏. 电力电子设备用器件与集成电路应用指南[M]. 北京：  
机械工业出版社,2001.  
[3] 白宜诚,崔燕丽,浦慧如. SQ 型双频道激电仪的研制[J]. 物探  
与化探,2002(6) 457-460.  
[4] 陈儒军,罗维炳,何继善,等. 高精度多频电法数据采集系统  
[J]. 物探与化探,2003(5) 375-378.

THE WDD TYPE PSEUDO-RANDOM MULTI-FUNCTION TRANSMITTER  
FOR THE ELECTRICAL METHOD

BAI Yi-cheng, YANG Xue-shun, CUI Yan-li

(School of Info-physical and Geomatic Engineering, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract** : According to the theory of Pseudo-Random Multi-Frequency Induced Polarization method and the technological requirements for the observation system, the authors have designed an intelligent controlling project used in WDD Pseudo-Random Multi-Function Electrical Transmitter. In this project, MCS-51 is used as the main control unit that can produce several kinds of current and IGBT is employed as the high power output unit which can generate maximum voltage 800 v, maximum current 40 A, and maximum power 6 kW. Having used in geological research work in Gansu, Shanxi and Yunnan provinces, the transmitter proves to be stable, secure and reliable.

**Key words** : Pseudo-Random Multi-Frequency IP method ;monolithic processor ;electric transmitter ;automatic control

**作者简介** 白宜诚(1944 - ),男,辽宁沈阳市人,中南大学教授,1970 年毕业于长春地质学院物探系,长期从事电磁法及其观测系统教学与科研工作。已发表学术论文 20 余篇。