

# 继电保护信号在音频复用通道中的可靠传输

许昌继电器研究所 郑学生

## 摘 要

远方保护 (Teleprotection) 是目前电力系统继电保护实现全线速动, 快速切除故障线路的一种主要保护方式。而如何克服电力系统中的各种干扰, 尤其是系统中开关设备的切换 (断路器, 隔离开关操作), 短路故障及雷击发生时产生的脉冲型噪声干扰, 保证远方通信通道在最不利条件下具有较高的安全性和可靠性, 应是远方保护中首先考虑的问题。本文将从脉冲型噪声的产生及抑制原理, 信号的功率分配, 保护信号复用时的频谱安排几方面论述如何通过音频复用通道实现继电保护信号的可靠传输。

## 一 概 述

远方保护是快速切除线路故障的最有效的措施, 是超高压输电线路继电保护必不可少的一种保护方式。远方保护系统要求在噪声干扰存在期间, 保护信号传输通道具有高度的安全性 (防止误操作) 和高度的可依赖性 (执行必要的命令)。目前用于传送继电保护信号的通信通道有:

- 音频传输电缆通道
- 微波通道
- 电力线载波通道 (PLC)
- 光纤波导

以上这些传输通道中, 就构成远方保护系统来说, 电力线载波通道是最经济的, 对于面积较大, 拥有长距离输电线路的国家尤为如此。同时它也具有比较高的可靠性, 可以认为 PLC 通道与电力系统本身具有相同的可靠性。但是, 在使用 PLC 通道传送高用保护信号时, 必须考虑由于电力系统操作时特有的干扰因素。

用电力线作为高频保护通道时, 可由专用收发信机传送, 也可以由电力线复用载波机以同时复用 (频分) 或交替复用 (时分) 方式传输。目前, 国内基本上采用专用收发信机传送保护信号。采用专用机不仅要占用单独频带, 而且由于技术上及生产工艺上的限制, 目前的专用收发信机的技术性能, 可靠性及抗干扰性难以适应电力系统高压、超高压线路继电保护发展的需要和满足电力系统通信部门的有关技术要求。

采用音频复用方式传送保护信号, 不但可以节省设备和频带, 提高了通道的可靠性和抗干扰性, 同时也是最经济的。这是因为保护动作的次数有限, 保护信号不需经常传送, 且每次传送保护命令信号的时间极短 (通常小于 100ms), 不会引起电话通信中

断。这种方式在国外，特别是在西欧国家得到了广泛的应用，并已有了几十年的运行经验。比较典型的产品有：西门子公司生产的ESB500型电力线载波机，SWT400F、500F音频传输机，BBC公司生产的ETI型电力载波机，NSD41，NSD41音频传输机。许昌继电器厂、所引进西门子公司ESB500型，SWT400F两种产品的生产制造技术，并已组织生产。

## 二 电力载波通道中的干扰

远方保护通道应谨慎选择。由于信号沿输电线路以光速传播，在100公里长线路上的延时为0.35ms。因而，线路中的传输时间可以忽略不计（对相差动保护、电流差动保护则要考虑补偿）。而线路上的各种干扰则必须认真对待，否则会引起保护装置的拒动或误动。输电线路上的主要干扰是电晕放电噪声和电力系统开关设备操作，线路故障及雷击引起的干扰脉冲。

### 1. 电晕放电噪声

电晕放电噪声是线路带电部分电晕放电的结果。它主要起源于正半周最大值期间许多独立局部放电。电晕放电噪声与白色噪声很相似。在三相系统中，白色噪声主要受三次工频信号的调制。在35~500kHz的整个载频传输频段内，它的幅度几乎相等。电晕放电电平的大小与天气及导线表面的清洁度有关。干燥天气与阴雨天气时的电晕电平相差约15~20dB<sup>[6]</sup>。附带有润滑油及灰尘的新架设导线与清洁导线在大雨天气具有相同量级的电晕电平。表1给出了不同电压等级的输电线路电晕电平的典型值<sup>[3,6]</sup>。

表1 电晕电平典型值（带宽4kHz）

电压等级 (kV)	电 晕 电 平 (dB)	
	正常天气	恶劣天气
60~110	-40	-25
150	-35	-20
220	-30	-15
380	-25	-10
500	-20~-25	-5~-10
750	-15~-20	0~-5

### 2. 脉冲型噪声

对于高频保护来说，电晕噪声的影响并不严重。考虑到传输保护信号在较短的时间内所要求的可靠性，比电晕放电电压高得多的短暂脉冲干扰在这里是非常重要的。表2给出了输电线路常见脉冲型噪声的主要特征。

表2 典型脉冲干扰的主要特征(带宽4kHz) [3.1]

	电平 (dBm) *	持续时间 (ms)	脉冲密度 (脉冲个数/秒)
隔离开关操作	+33	500~1500	600
断路器操作	+28	5~20	1000~2000
线路故障:			
开始	+28	5~10	1000~2000
正弧	-9	100	100~300
雷电引起火花 放电	+33	~1000	<40

\*在结合滤波器馈线处测得

火花放电和开关设备操作以及线路故障引起的突变电压是主要干扰。这些突变的脉冲干扰的上升时间为微秒级，它的频谱分布极宽，完全覆盖了整个载波频段。尽管结合设备中(耦合电容器，气体放电管，匹配变压器)已经对这些突变电压进行了抑制，可是，在带通接收滤波器后，4 kHz带内最大峰值仍可达32dBm (rms) [2]。远远高于高频保护收发信机的接收电平。必须采取有效措施来抑制这些脉冲干扰，否则，收信机将会受强干扰信号影响而输出错误命令，产生严重后果：

——由于噪声影响，会使命令信号延时太长，达到不能接受的地步。

——对于不同原理构成的保护，可能会引起保护的拒动或误动(主要受干扰脉冲持续时间长短因素的影响)。

——对于设有远方起信的收发信机，会出现繁发信问题，假若这期间线路发生故障，很可能引起保护装置不正确动作。

东北500kV，西北330kV线路保护高频收发信机受脉冲干扰信号影响而频繁启动发信就是因为收发信机不具备抗脉冲型噪声信号干扰所致[7, 8]。在连续频繁发信的不正常情况发生时，持续动作1小时的情况累计可达二十多次，最严重时发信不返回约持续几分钟[7]。由于引起频繁启动发信的脉冲干扰的持续时间较长(参见表2)，靠增加远方启信延时来躲干扰，延时短了(如2~5ms)，难以躲过干扰，太长了(如大于10ms)

表3

	断 路 器	隔 离 开 关
脉冲型噪声	+26dBm	+31dBm
信号/噪声比	+20dB	+20dB
接收电平	+46dBm	+51dBm
线路衰减	20dB	20dB
发信机输出电平	+66dBm 4 kW	+71dBm 12.6kW

则最终导致远方启信失去作用，而不能从根本上消除干扰信号的影响。

由于脉冲干扰信号的电平很高，若靠提高接收电平来抑制干扰，则要求发信机功率放大器提供极大的功率，见表3。显而易见，这是不可能的。

此外，由于技术上和经济上的原因，各国都对电力线载波设备的输出功率进行了限制，通常规定输出功率不大于100W（50dBm、p<sub>cep</sub>）[6]。

根据信号检测原理，接收电平的选择主要取决于传输通道上的杂音电平以及所要求的信/噪比。因而，对不同电压等级的传输通道，设定不同的接收电平是比较合理的。

### 三 远方保护音频传输机的原理

继电保护远方通信通道的可靠性，不但取决于元器件的质量、装置的平均无故障时间，调试工艺，还与装置的抗干扰设计原理密切相关，一些干扰信号可以通过电磁屏蔽和合理的布线有效地抑制，而一些干扰（如PLC通道上的脉冲型噪声）同有用信号混在一起，具有差模干扰信号性质，则需从电路设计原理上考虑。本文将着重从脉冲型噪声抑制技术和多个信号的功率分配两方面论述：如何提高通道的抗干扰性，保证继电保护信号的可靠传输。

#### 1. 脉冲型噪声的抑制原理

众所周知：滤波器在降低噪声脉冲幅度的同时，也增加了它的持续时间，这与滤波器的带宽有直接关系。借助于窄带滤波器可以减小噪声电压的幅度，但滤波器所引起的延时也是一个受限制的因素。带宽的限制对以调幅和调频形式发送的信号，其延时将达到远方保护不能接受的地步。这方面，高频相差保护比其它方式的高频保护有更严格的要求。

采用所谓的LAMB噪声抑制原理——宽带限幅加窄带滤波，在传输调频和键控移频信号情况下，可有效地抑制脉冲型噪声的干扰。

假定：

B（Hz）——限幅器前宽带滤波器的带宽。

N（脉冲个数/秒）——噪声的脉冲密度。

b（Hz）——限幅器后窄带滤波器的带宽，其中B>N，

则强脉冲干扰存在时，最坏情况下的信/噪比为：

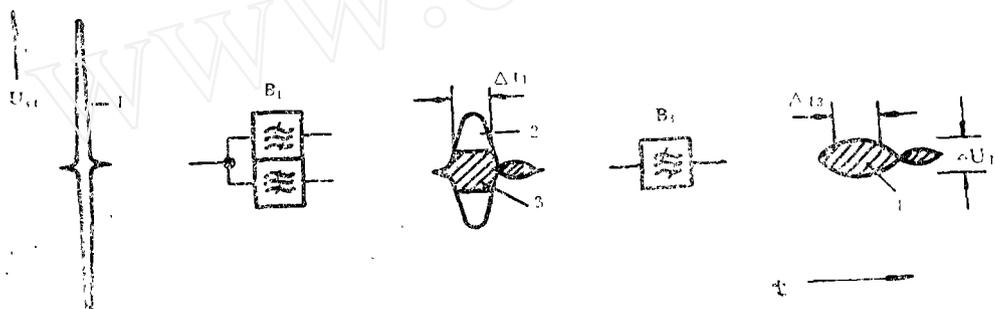
$$S/N = \frac{B-N}{\sqrt{N \cdot b}}$$

通过适当的设计，在输入端幅度为有用信号10倍的脉冲型噪声，经过抑制后，在输出端其幅度仅为有用信号的0.1倍[2]。但是，限幅器后窄带滤波器的带宽应限制在满足信号延时要求允许范围之内。图1示出了不同带宽的滤波器对噪声抑制的效果。

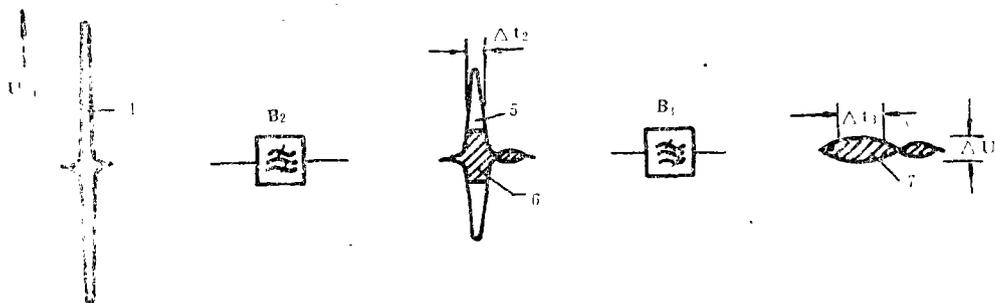
在近代超高压输电线路继电保护中，由于保护采用双重化和多重化以及远方控制信号的增加，要求高频通道提供较大的传输容量，例如，在一条输电线路可能要求传送高频方向，高频距离，远方跳闸和远方切机等命令信号。按传统习惯，传送这么多命令

信号, 要使用多套收发信机, 占用多个高频通道, 不但通道频率安排困难, 设备成本高, 而且由于使用多套设备, 使得可靠性降低。如何利用较少的通道, 传送较多的命令信号, 已引起了人们的广泛关注。

若要传送  $n$  个独立的命令信号, 就要传送  $m = 2^n$  个频率信号, 其中包括一个监视信号。对于两个独立的命令, 可采用移频方式实现。对于三个或三个以上的命令, 由于需要较多的频率信号, 目前不太容易实现。为此可采用优先权编码方式, 用  $m$  个频率信号传送  $m$  个独立的命令信号, 从而保证重要命令信号的快速传送。由于优先权编码方式, 涉及问题较多, 在此不再论述。本文仅论述两个独立命令信号传送时的功率分配问题。



a. 早期产品 (带宽  $B_1$ )



b.  $F_0$  装置 (带宽  $B_2 = 2B_1$ )

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1. 未经限制的脉冲型噪声                  | 5. 宽带限制后的噪声 (脉宽 $\Delta t_2 = \frac{1}{2} \Delta t_1$ ) |
| 2. 宽带限制后的噪声 (脉宽 $\Delta t_1$ ) | 6. 限幅后的噪声   |
| 3. 限幅后的噪声                      | 7. 解调后的噪声 (脉冲电压 $\Delta u_2 = \frac{1}{2} \Delta u_1$ ) |
| 4. 解调后的噪声 (脉冲电压 $\Delta u_1$ ) | Ust 脉冲电压  |

图 1. 带宽对脉冲型噪声的影响

## 2. 功率分配

抑制噪声所需要的较宽的频带允许传送更多的信号。可以利用一台发信设备传送几个独立的高频保护信号。为有效地利用发信机的输出功率和噪声抑制原理，在同一时间内仅传送其中一个命令信号的频率。

如果要传送A、B两个独立的命令信号，则要传送 $f_A$ 、 $f_B$ 、 $f_{A+B}$ 三个频率信号和 $f_G$ 监视信号。在无命令信号传输期间，传送 $f_G$ ，用以监视通道。保护命令A到来时，传输 $f_A$ 频率信号，保护命令B到来时，传送 $f_B$ 频率信号，当A、B两个命令同时操作时，传送 $f_{A+B}$ 频率信号。而现有的装置，例如，采用双失谐鉴频原理构成的FSK式音频传输机

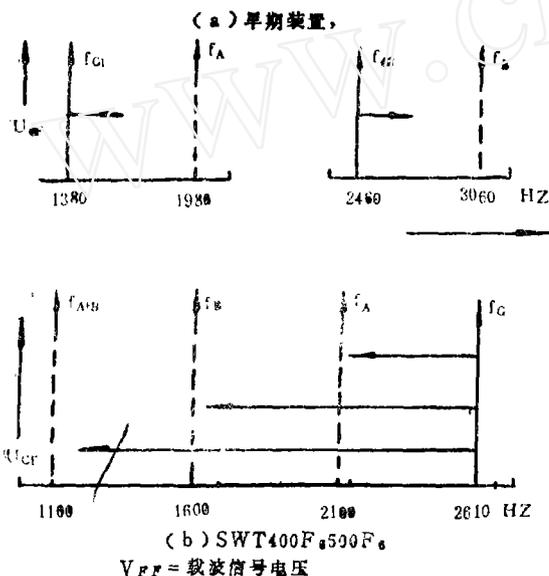


图2 信号频率及功率分配

及国内广为使用的on/off式专用收发信机，要传送两个独立的命令信号需要两套装置。对于用两套音频传输机构成的保护，发信机输出功率要被两个信号均分，见图2。这意味着：若发信机的峰值包络功率相同则“四出一”方式比一般的FSK式多6dB的发信功率和4dB的脉冲抑制（参见图1），最终可使S/N比改善10dB。而相对于不采用噪声抑制技术的on/off方式高频保护专用机，其S/N比的改善远大于10dB。大大地提高了装置的抗干扰性。

## 四 应 用

这种采用新原理设计的音频传输机可快速可靠地传送两个或多个独立的控制命令信号，用于电力系统的线路保护，元件保护或石油管道的阀门控制。

按保护构成方式，音频传输机可分为：用于高频方向，高频距离和直接远方跳闸，传输命令信号的音频传输机；传送50周工频方波信号构成双半周比相的相差动音频传输机，以及传电流信号构成各相电流差动保护的音频传输机。

使用这些装置可通过地下电缆，HT塔架空电缆直接传送音频保护信号。传输通道不受线路故障和气候条件影响，抗干扰性强，可靠性高，很适应短线路保护，实现全线速动。

对于有微波通道的两个变电站，音频传输机能非常方便地与微波终端配接，通过微波通道传送继电保护信号，构成微波保护，实现远方保护通道的双重化。

通过电力线复用载波机传送保护信号，实现与语言、远动信号的复用则是音频传输机广为应用的一个领域。这时必须配接复用电力线载波机（如ESB500，ETI型，ZJ—5型复用机），见图3所示。

复用方式有同时复用（频分）和交替（时分）复用两种形式。

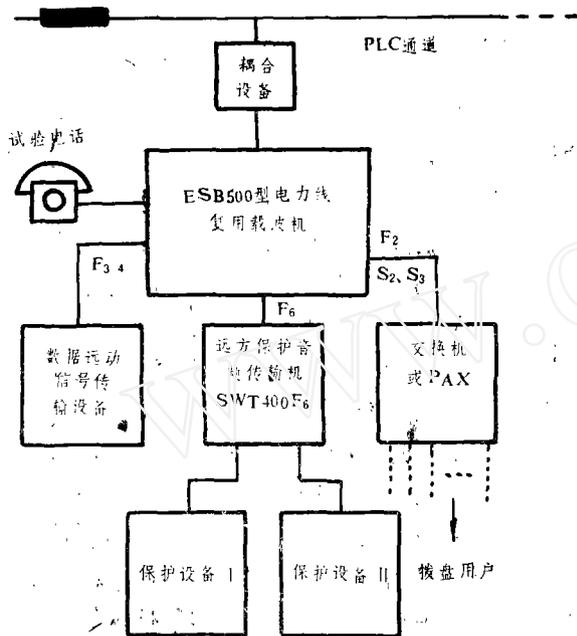


图3 保护复用构成框图

在通过PLC通道传送允许信号时，由于要通过故障线路传送保护信号，其耦合方式应优先考虑相—相耦合方式，因为这种耦合方式无终端衰耗，所以线路衰耗较小，以保证保护信号可靠地通过故障点到达对端，不使保护拒动。

此外，完善的信号监视电路，进一步保证了远方通道的安全性和可靠性。监视信号 $f_0$ 不但能对通道连续视监，同时也可作为闭锁信号，闭锁命令信号出口回路，以防止受离散信号干扰影响而产生误操作。当监视信号 $f_0$ 消失，而又检测不到任何命令信号时，收信监视电路立即以触点或电位形式给出通道中断告警信号。该信号可作为允许保护中的解锁信号，构成允许式加解除闭锁式保护，防止由于线路故障可能造成通道中断，造成保护拒动。为了区分线路故障和装置本身故障造成的通道中断，防止装置故障时，同时又发生区外故障，可能造成保护误动，应使得通道告警信号作解锁信号使用时，仅在00ms内起作用。

综上所述，这种远方保护信号传输系统，由于采用了脉冲噪声抑制技术和合理的信号功率分配方式，可通过一个4 kHz通道传送两个或多个独立的命令信号，方便地与过流检测、方向判别式超范围阻抗元件配合构成不同类型的保护，可靠性高，抗干扰性强。在目前电力线载波频率越来越紧张的情况下，这种方式有着广泛的发展应用前景。

### 参考文献

1. «VF Transmission Terminals With  $F_0$  Modulation SWT400 $F_0$ » Siemens.AG. Documentation File.

(下转38页)

对于时分复用，语言和数据的附加传输有效地提高了通道的利用率，当电力系统处于正常运行状态时，传送语言和远动信号、载波机的导频信号作为音频传输机的监视信号，用以连续监视整个传输通道以保证高频保护信号的可靠传输。当传送保护信号时，立即中断语言信号，全功率传输高频保护信号。

对于两路电力线载波机进行同时复用时，话音信号和数字信号由通道I传送，高频保护信号由通道II传送。这种传送方式具有较短的时间延时( $<10\text{ms}$ )。由于发送功率被分配，使得通道储备余量减少，不利于长距离传输。但对于传送高频保护信号时，不允许重要远动信号中断的情况，应考虑采用这种复用方式。

## 五 小 结

1. 线路侧的同期电压源应首先借助本线路为运动、通讯或系统继电保护配备的耦合电容器供电、尽量避免为提供同期电压专设电压互感器或耦合电容器,以利提高经济效益。

当上述耦合电容器的相别能在全厂(所)取得统一时,应优先采用“同相制”同期系统接线方式;少数场合亦有在全厂(所)不能取得统一相别时,“混相制”也是可行的,在需要时可以采用。

2. 当采用混相制方案、线路侧同期电压源为YDR型设备时,则待并侧宜用转角变压器供电(不宜用电压互感器开口三角形线圈中抽试验芯的办法),其接线灵活、安全。并能适用于单相式和三相式同期系统。

3. 待ZY—2型电压抽取装置产品鉴定后,线路侧的同期电压源设备宜推荐用OY型耦合电容器及ZY—2型电压抽取装置代替YDR型电容式电压互感器,不但简单,而且经济。

4. OY和YDR在同一工程中可以混用于公用的同期系统,且不必规定相别。

### 参考文献

1. 发电厂和变电所二次接线 华北电力学院 1980.2
2. 二次线设计技术总结(同期部分) 华东电力设计院 1982.6
3. 火电厂、变电所同步系统调查总结 湖北省电力设计院 1977.8
4. 电力工程设计手册 华东电力设计院 1973 西北电力设计院 1973

.....

(上接22)

1. «Measure To Avoid Misinterpretation of Teleprotection signals in spite of Noise and Disturbance in Power Line Carrier»——Erwin Schumm Siemens AG.
2. «Protection Signal Transmission Over Power Line»——Erich Aisleben and Erwin Schumm. «Elektrotechnische Zeitschrift»
3. «高压输电线路高频保护»葛耀中 水利电力出版社 1987
4. «Recommended Standards for Performance and Testing of Teleprotection Equipment»  
——IEC Technical committee NO.57 TC41
5. «The Guide on Power Line Carrier» CIGRE
6. «500kV线路保护收发信机频繁发信浅析» 赵玉华《电力自动化设备》 87.2
7. «330kV继电保护载波通道的一些问题» 王希武《中国电机工程学会继电保护学术论文》86