

# 电力线载波复用保护信号初探

姜利民 电力部中南电力设计院(430071)

**【摘要】** 讨论了高频保护通信的一种方式：“电力线载波音频复用保护”。在电网载波频率日益紧张的今天，复用通道的要求越来越强烈，利用电力线载波传输继电保护信号，不论现在还是将来都是一种经济可靠的传输方式，而载波音频复用保护信号属于通信专业与保护专业的“边缘科学”，需要二个专业的人员共同研究探索。

**【关键词】** 电力线载波 音频复用保护 远方保护

## 引言

随着我国现代化建设的不断深入，电力工业在飞速发展，电网的规模日益扩大，电力调度、远动自动化、继电保护的信息量在不断增加，电力系统特有的通信方式——电力线载波通信以其高度的可靠性和经济性，作为电力系统的基本通信方式之一，在我国得到了相应的发展。截止 1996 年，全国电力系统 110kV 及以上线路电力线载波电路达 65 万话路公里。电力线载波通信网已相当庞大，随之而来的是频率资源日益紧张，频率分配十分困难。在某些电网中，甚至出现由于载波频率的饱和而制约了电力线载波的使用和发展。

为了缓和频率紧张的问题，各通信部门已千方百计地研究出一些方法，如在一些大型电厂、变电所采用频率隔离装置，用来增加线路之间的跨越衰减，有利于载波频率的分区管理和重复使用，但这需增加线路阻波器、耦合电容器、调谐装置等。增加了工程投资和厂所的电气布置场地。因此只在一些重要的大型厂、所不得已时才采用。

我们知道，电力线载波通信使用的频带为 40~500kHz，带宽为 460kHz，如以 4kHz 作为通信的基本带宽(1B)，则只能安排 115 个基本带宽，而一个收、发双工的电力线载波通信需占用 2B，因此，整个载波通信频率只能安排 57 个双工载波通道，这是电力线载波的最基本的频率分配特点。

造成载波频率紧张的原因除了载波频率资源有限，及载波设备本身收/发、发/发、收/收等频率间隔的限制外，还与如何科学合理地使用及分配频率有关。载波通信设备随着科学技术的发展已经能够做到收发频率紧邻，线路频率可调，使用已越来越方便灵活。

电力线载波通信已由过去单一传送话音信号，发展成为可提供电话、远动、继电保护、安全自动装置及计算机信息等多种业务。继电保护及安全自动装置由于必须具备可靠性、选择性、灵敏性与速动性的要求，相应的对传送继电保护信号的通道亦提出很高的要求。

在我国大多数 220kV 线路保护中，高频保护一般为专用收发信机，A、B、C 三相中至少有一相作为高频保护专用相，由于高频保护需要专用频率及相序，这也不同程度地加剧了载波频率的紧张。另外，随着电网的发展，220kV 及 500kV 线路多采用 1 个半断路器的接线方式，而这种方式系统保护对通道的数量要求亦增加。所有这些因素都使得载波通信的频率越来越紧张。

因此，考虑将高频保护信号复用于电力线载波机，将对缓解载波频率拥挤具有较大的意

义。当然线路保护信号亦可复用在微波及光纤通信电路中,这方面国内已有较成功的设计及运行经验,特别是电力系统数字微波及光纤电路中采用 64kb/s 数字口传输保护命令信号将是今后较多采用的一种方式,但是数字微波电路的衰落所引起的误码率对继电保护的影响目前国内尚在研究中,光纤通信的传输质量非常优异,是传输继电保护信号的最理想通道。只是光纤通信的费用较高,且一般超过 100 公里需考虑再生中继站。而电力线载波无中继可传输几百公里,国外有在 900 多公里线路上开设载波通道的报道。因此利用电力线载波传输继电保护信号,不论是现在还是将来都是一种经济可靠的传输方式。从这点来看,研究载波音频复用保护信号还是颇有意义的。

载波通信音频复用保护信号的主要设备是远方保护信号设备。

## 1 线路保护工作方式

根据继电保护的不同原理,远方保护可分为允许式、闭锁式及直接跳闸方式。电力系统远方保护是指借助通信电路实现继电保护信息的远距离传输,以使电网两个或多个不同电气点的继电器能协同动作。根据通信电路的不同可分为微波保护、光纤保护、电力线载波保护、导引线保护等,其中尤以电力线载波保护的应用最广泛。

讨论远方保护,首先需对保护方式有一基本了解。

(1) 允许式——是利用对侧送来的表示正方向整定范围内故障的信息。当收到对侧信息而且本侧的判别元件动作时,就判断为区内故障,发出跳闸命令。在内部故障时,如果收不到对侧的信息,保护将拒动。

(2) 闭锁式——是利用对侧送来表示正方向整定范围以外故障的信息,当收到此信息时,就判断为无故障或区外故障,而断开本侧保护的出口跳闸回路,当收不到对侧信息且本侧的判别元件动作时,就判断为区内故障,发出跳闸命令。

(3) 直接跳闸式——为一侧的内部故障判别元件动作,就向对侧发出跳闸信息,对侧收到此信息后,直接发出跳闸命令。

## 2 保护信号设备的性能要求

保护信号设备为在需要进行通信联系的保护系统中,将保护装置发出的信号变换成适合于通信传输形式的信号及进行反变换的设备。

图 1 为使用通信电路的保护系统。

复用型电力线载波机的保护信号设备,就是将保护系统的命令信息变换成(0~4kHz)频率范围的音频信号,与语音及远动信号复用在电力线上传输,保护信号设备一般放在载波设备机柜内,作为复用载波机的分盘或组件。

需要说明的是,复用型电力线载波机传输的是窄带命令式远方保护系统信号,即传输保护信号时单方向占用频带不超过 4kHz 的远方保护系统。

保护信号设备的系统性能,主要有传输时间、安全性和可信赖性三项。这三项指标既有区别又有一定的联系。

(1) 保护信号的动作及传输时间

总动作时间——远方保护系统从发信机输入状态改变起至收信机输出状态相应改变止所经历的时间,包括信号在通信电路中的传输时间及由噪声引起的附加时延等。远方保护系统的总动作时间记为  $T$ ,这是保护系统故障切除时间  $T_c$  的一部分。

标称传输时间——从保护信号设备发信机输入状态改变起至收信机输出状态相应改变止所经历的时间, 以  $T_0$  表示, 它不包括信号在通信电路中的传输时间, 并在无噪声情况下测量。

最大实际传输时间——在有噪声干扰情况下, 从保护信号设备发信机输入状态改变起至收信机输出状态相应改变止所经历的时间的最大允许值。以  $T_{ac}$  表示, 它不包括信号在通信电路中的传输时间。

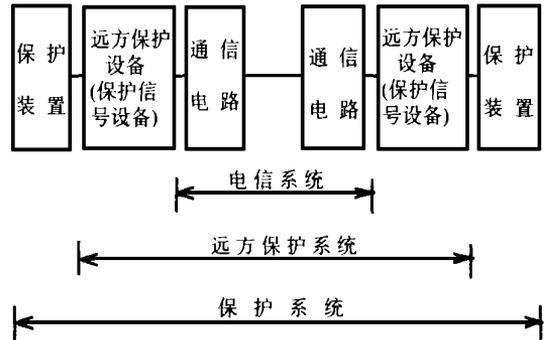


图 1 使用通信电路的保护系统图

保护系统各项时间的典型值如图 2 所示

(2) 安全性及可信赖性

安全性系指远方保护系统在发信端未发命

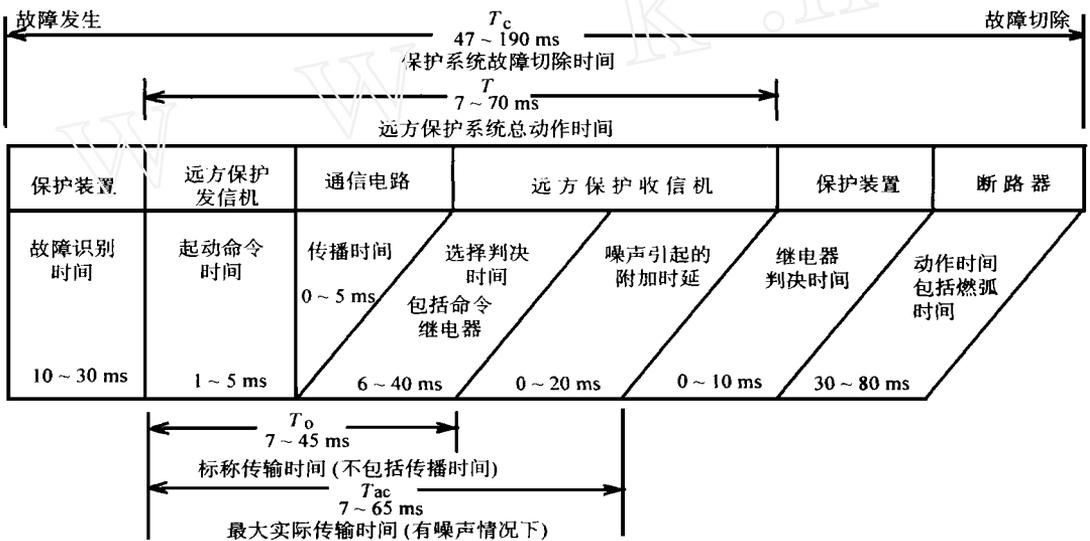


图 2 保护系统各项时间的典型值

令的情况下, 收信端抗御干扰和噪声, 不产生虚假命令的能力。若以  $P_{uc}$  表示出现虚假命令的概率, 则安全性为  $1 - P_{uc}$ 。

可信赖性系指远方保护系统在发信端发出命令的情况下, 收信端抗御干扰和噪声, 不丢失命令的能力。若以  $P_{mc}$  表示丢失命令的概率, 则可信赖性为  $1 - P_{mc}$ 。

各种方式的远方保护系统性能参数如表 1 所示

表 1 各种远方保护系统性能参数建议值

系统性能	保护方式		
	闭锁式	允许式	直接跳闸式
最大实际传输时间	7 ~ 20ms	8 ~ 40ms	30 ~ 60ms
可依赖性 $P_{mc}$	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-2} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
安全性 $P_{uc}$	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	$10^{-3} \sim 10^{-4}$	$10^{-5} \sim 10^{-6}$

注: 满足最大实际传输时间  $T_{ac}$  要求时

噪声脉冲宽度  $T_B = 200\text{ms}$  时

### 3 复用保护在实际应用中的考虑

复用保护的电力线载波机有同时复用(频分)和交替复用(时分)两种形式。

所谓同时复用是指话音信号和保护信号没有时间上的先后顺序,它们在音频带宽(4kHz)内分占不同的频带。一般地,话音信号安排在 0.3~ 2.0kHz,远动、保护、异频及铃流信号安排在 2.0~ 4.0kHz 内。这种方式由于各信号分段占用频带,电力线载波机的发送功率将在各个信号之间分配,这样不利于线路故障时保护设备动作的可靠性,因此这种方式较少用于复用线路保护。一般只用于复用电报、远动信号。

交替复用是指保护信号的部分或全部频率落在话音频带内,在正常情况下,传送语音及远动信号,当需发送保护信号时,切断语音或远动及异频信号,提升功率用来传输保护信号,这种方式在目前的电网中较多采用。

载波信号在输电线路上传输时,通常采用相—相耦合或相—地耦合方式。采用各种耦合方式,信号都是以各模量的不同组合方式耦合到线路上,信号传输时,模 3 由于损耗大,通常可以忽略,模 1 损耗最小,希望尽量用这种方式传输。模 2 损耗比模 1 大,由于相移不同,模 1 模 2 可能发生抵消现象,因此线路总损耗往往不是线性的,在某些频率点上甚至呈现衰减峰。

长距离的超高压线路,例如 100km 以上,须进行换位,换位改变了各种模量的分配关系。换位对信号传输影响,主要决定于线路参数、线路长度、耦合方式、频率、换位的形式和次数等。

换位将引起附加损耗,这种损耗的频率特性可能较平坦,也可能出现急剧变化,即出现损耗极点情况。

另外电晕噪声也是在设计电力线载波电路(包括高频保护通道)时必须充分考虑的因素。

IEC 对高压线耦合点处均方根噪声功率电平典型值为:在不同系统电压 4kHz 带宽的均方根噪声电平典型值为小于 220kV 系统,噪声功率电平为 -35~-25dBm,大于等于 220kV 系统噪声功率电平为 -20~-10dBm,而我国的电力线载波通信设计技术规定中对于各电压等级的输电线路带宽为 4kHz 的噪声功率电平的设计建议值为:

110kV	- 40dBm
220kV	- 23dBm
330kV	- 23dBm
500kV	- 12dBm (暂定)

此外,电力系统的脉冲噪声对继电保护信号的影响亦是较重要的因素。脉冲噪声是由隔离开关和断路器的投入和切断,故障电弧的起燃与熄灭,以及大气放电等产生的,每个脉冲一般只持续几微秒,所以噪声频谱很宽,分布于整个电力载波频率范围内。但脉冲的幅值一般较高,脉冲间隔、脉冲宽度、脉冲过程的总持续时间各不相同。

在 500kV 系统,线路保护装置为双重化,即配置两套完全独立的全线速动主保护装置,二套主保护要求分别利用独立的信号传送设备。

我国第一条 500kV 线路双—凤线及双—姚线上,采用了引进挪威 EB 公司的 ZAP—01 型电力线载波复用保护通道,1982 年起投入运行。ZAP—01 型电力线载波机采用 0.3~ 2.0kHz 传送话音信号,2.1~ 3.18kHz 传送 600Bd 的信号,可用为快速主保护或 600Bd 的远动信号,3.24~ 3.72kHz 为传送 200Bd 的信号,可用于开关失灵保护及直接跳闸信号,或作为传送

200Bd 的远动信号。因此 ZAP—01 型属于通信保护远动等信号同时复用方式。

目前我国的 500kV 系统载波通信使用复用型载波机,二套主保护分别使用各自的载波设备,保护方式为允许式,通道为相—相耦合。一般大多采用交替复用方式。常用的有 ABB 公司的 ETI 载波机及 NSD41, NSD61 音频保护信号设备, ETL 载波机和 NSD50 保护信号设备,以及西门子的 ESB—500 载波机和 SW T400F<sub>6</sub> 及 SW T500F<sub>6</sub> 保护信号设备,以及西门子最新的 ESB2000 载波机及 SW T2000F<sub>6</sub> 设备。在我国华东地区电网,八十年代亦曾使用过 GE 公司的 CA01D 载波机及 NS40A 保护信号设备,这些设备在电网使用中大部分比较安全可靠,在我国有比较成功的运行维护经验。

我国的 220kV 线路保护过去基本上使用专用高频收发信机,闭锁保护方式,通道为相地耦合,研究在 220kV 系统中采用复用型载波机,则是一项具有实际意义的工作。

我国扬州电讯仪器厂、许昌继电器厂均引进了西门子公司公司的 ESB—500 载波机生产技术,扬州厂还引进了 SW T400—F<sub>6</sub> 的生产技术,许继则参照西门子的 SW T500—F<sub>6</sub> 技术研制出 YPC500F<sub>6</sub> 保护信号设备,此外,电力部自动化研究院、南京有线电厂亦相继研制出各种保护信号设备。

直接将复用型载波机及保护信号设备运用到 220kV 的保护中,还是需要积极稳妥的,特别是在 220kV 的高频闭锁保护中,一般为单频工作制,而复用方式则为双频制,因此需将按单频制设计的保护装置改为双频工作制。另外在按我国四统一高压线路继电保护装置设计的高频闭锁保护中采用了远方起发信回路,为高频闭锁保护装置在区外故障时的安全性提供了可靠保证。但在复用载波机的保护电路中,却无远方起信回路。区外故障时保护要求所发的保护闭锁信号长达 10s 左右。而这么长的发信时间对大多数复用载波机是较难接受的。它将使已建立的话音电路中断。

此外,复用型载波机平时总有导频信号存在,这相当于高频保护的长发信工作状态,可以取消保护装置内的手动起信回路通道检测功能。

而采用允许式保护,则复用载波机的保护信号设备与保护相连接就比较简单,因此,我们认为今后在 220kV 系统中应尽量采用允许式保护方式,这样的好处有,第一复用保护方式的统一,现有的 500kV 系统大多采用允许式保护方式,这样将使得 500kV 及 220kV 系统在保护方式上趋于一致,第二国产的许多保护装置本身具备允许式和闭锁式二种方式,因此采用允许式不需对保护装置进行更改。第三允许式保护在电力线载波中交替复用传输在我国 500kV 系统及国外的各电压等级系统中早已普遍使用。

同时建议在 220kV 系统中电力线载波复用保护时采用相相耦合方式,相相耦合方式对可靠传输信号是较好的。过去在 220kV 专用保护收发信机中,闭锁式保护采用相地耦合方式,这是因为当发生区内故障时,通道信号传输异常,而闭锁保护亦能可靠动作。

复用保护信号方式将是今后的必由之路,这同时给通信人员带来更大的责任和要求,运行维护更需认真负责。不可否认,电力线载波音频复用保护信号在以往的运行中也出现过一些问题,如湖北省 500kV 电网引进的远方保护复用设备在 1982 年至 1992 年的十年中,设备的运行可靠率达 99.9% 以上,但也出现过 10 次误动,其中收信误动 5 次,发信误动 5 次。主要原因是外部干扰和运行环境不适合。

同时我们也应看到,采用复用保护信号的载波通信的传输质量并不一定比采用高频保护专用收发信机的差。如在天津电网的某条 220kV 线路上,继电保护采用两套主保护,其中一套为高频专用收发信机(扬州电讯仪器厂生产的 YBX—1K),另一套复用在 ESB—500 载波机

上。由于 YBX—1K 高频收发信机的抗干扰能力差,曾造成保护系统误动作。而复用在 ESB—500 载波机上保护却安然无恙。

在 500kV 和 220kV 电力系统中,各线路主保护或直跳信号为二套独立装置,在通信方式可能的情况下,宜将一套主保护及一套直跳信号放在复用载波机上在输电线路上传输,另一套主保护及直跳信号可考虑在微波或光纤通道上传输。若电厂至变电站及变电站至变电站之间无微波和光纤通道,在 220kV 系统中,可考虑另一套主保护及直跳信号采用专用相序及专用收发信机方式。这样对现运行的通信及保护人员均比较容易接受。

在远方保护信号复用载波机中,因复用机仍然是通信机而不是保护专用机,且户外结合加工设备也属通信装置,因此存在着通信与继电保护专业之间的协调与分工。一般地,以从载波机引至主控室继电保护装置的控制电缆开始由继电保护人员负责,从其保护接口分盘开始由通信专业负责。

另一方面,必须在远方保护信号接口设备上装设有跳闸计数器,为保护动作情况分析提供依据,为分清保护与通信的责任创造条件,同时也为进一步考察保护信号接口设备的安全性,可信性等有个检查的标准,也便于比较各个保护信号接口设备的性能优劣,为在今后工程中选择成熟可靠的保护接口设备提供条件。

在以往工程中也曾出现过跳闸计数器计数不准确的情况,这在今后的工作中应引起注意。

目前,数字式电力线载波机在国际上正形成一个研究开发的热点,ABB、西门子等各大公司均在研制,而挪威 NERA 公司已向世界各国推销其商用化的数字载波机产品,并已在国内外一些工程中应用。国内电力部自动化研究院及大专院校也在进行这方面的工作,预计数字化载波机由于在相同的频带内比传统的模拟载波机具有更多的话路数(如 NERA 公司的载波在收发 8kHz 频带内可传 3 个话路,而过去的载波机只有 1 路),通话质量与数字移动通信的语音质量相当。便于与各种数字电路及数据通道相连接等一系列优点,今后有可能会得到较好的发展和应用,在较长的一个时期内,预计数字载波与模拟载波将会并存发展,互有所长,互为补充。

从挪威 NERA 数字载波机复用远方保护信号的技术性能来看,与模拟载波机的方法基本相同,采用移频控制方式,因此无论今后是采用数字载波还是模拟载波机,从传送远方保护信号设备来看,其技术要求及实现方法上均是相似的。

## 4 结语

电力线载波通信音频复用保护信号(特别是交替复用),这是现在及今后必须要积极稳妥地采用和推广的,也是今后发展的必然。特别是在电网载波频率日益紧张的今天,复用通道的要求也就越来越强烈。而载波音频复用远方保护信号属于通信专业与保护专业的“边缘科学”,因此这就需要二个专业的人员携手努力,共同研究探索。

本文只是就远方保护复用设备的有关几个问题进行粗略的说明。希望有更多的单位及同仁开展这方面的工作,探索出一条真正适合于我国电力系统运行要求的复用保护的方法。为电网的安全经济可靠稳定运行提供保证,为我国的电力系统通信事业的发展作出贡献。

# RELAY

Vol. 25 No. 5

Oct 1997

## CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)

### THEORETICAL STUDY AND APPLICATION

**Research on the Expert System of Setting Calculation for Zero- Sequence Current Protection of HV network** ..... **Chen Yonglin et al(1)**

Applying expert system theory and intelligent program designing method and combining conventional setting calculation of zero- sequence current protection, an expert system of setting calculation for zero- sequence current protection has been developed. The system better realizes the effective combination of value calculation and logic inference and is easy for realization of the expert system's behaviour. By practical calculation, its result can satisfy the requirement.

**Keywords:** Setting calculation of protective relay Expert system

**Parallel Multiloop Transmission Lines Produce Circulating Current and its Compensation** ..... **Wei Gang, Zhang Yichen (6)**

This paper discusses when parallel multiloop transmission lines may result in induced voltage and circulating current. The EMTP program is used to compute model system. The method for compensation of circulating current is discussed and the method is effective for distortionless operation of protective relays.

**Keywords:** Multiloop transmission line Parallel Circulating current Compensation

**Discussion on the Problems Existing in Phase- Comparison Pilot Relay** ..... **Yang Chuenming et al(11)**

After analyzing the problems of analog phase- comparison pilot relays that run in our power system, this paper discusses some difficulties when realizing digital phase- comparison relay according to the approach of realizing analog phase- comparison relay. In the same time, the paper analyzes the existing problems of power line carrier and provides the corresponding resolving method. Some foundation viewpoints for the design of new type digital phase- comparison relay are presented.

**Keywords:** Phase- comparison pilot relay Microprocessor- based protective device Power line carrier communication system

**A New Approach of Evaluating Phasor Mode** ..... **Zhou Dam in (15)**

A new approach of evaluating phasor mode is presented in this paper. Contrasting with other methods, the approach is of higher approaching accuracy, and in four subdivisions its maximum error is less than  $7.87510^{-3}\%$ . Thus it is of higher practical value in microprocessor- based protective and control devices.

**Keywords:** Evaluating phasor mode Approach

**A Kind of Approach for Judging Metal- Fault** ..... **Cui Jingan Wang Anding (18)**

A kind of approach for judging metal- fault is presented basing on the practical case that majority of locating algorithms from single- end can evaluate accurate fault distance at metal fault or short- circuit with less transient resistance. The approach is tested using EMTP and its result proves the approach is correct.

**Key words:** Fault HV transmission line Short- circuit

### NEW TECHNIQUE AND SCHEME

**Initial Discussion on Transmitting Protection Signal on Power- Line Carrier in Multi- Purpose Mode** ..... **Jiang Lin in (21)**

A kind of HF protection communication- "transmitting audio protection signal on PLC in multi- purpose mode" is discussed in this paper. Because of increasing shortage of carrier frequency on power network, demand on using channel in multi- purpose mode is increasing strongly. Using PLC to transmit protection signal is an economic and reliable transmission mode, no matter now or in the future. Transmitting audio protection signal on PLC in multi- purpose mode belongs in 'edge science' between communication field and protection field and needs engineers of the two fields to make research together.

**Keywords:** PLC Teleprotection Simultaneous multi- purpose Alternative multi- purpose

**The New Microprocessor- Based Overload Protection Scheme of Motor through Accumulated Stator Current** ..... **Xu Lei, Xu Xianrong (27)**