

三菱FM微波电流差动继电器的应用

华能公司福州电厂 林锦玉 福建省电力试验研究所 蔡石山

摘要

本文叙述福州电厂220kV线路上采用的三菱FDFA 2型全静态FM微波电流差动保护装置的基本工作原理、抗干扰措施、保护装置的维护以及带开关模拟试验的结果。

福州电厂220kV出线全部采用三菱公司产品FDFA2、FDFB4型全静态FM微波电流差动保护作为第一主保护，于一九八九年一月投入运行。这是一种具有比率差动特性的分相保护方式。由于比较的是线路两端的电流矢量，所以从原理上说受负荷电流的影响。因此，即使故障点电阻很大，或在多端系统中内部故障时负荷电流流出比例高达50%，也能可靠地起保护作用。

三菱FM微波电流差动保护有以下主要特点：

1. 抗干扰措施比较完善

它采用监视包括传输系统及其两端的MOD、DEM在内的综合不合理的方式来防止继电器误动作。再辅以收讯电平监视、FM噪声监视等手段，使抗噪声干扰和通道瞬断的措施完善化。

2. 对畸变波、浪涌及CT饱和的适应能力强。

该保护设计中仔细分析了传输音频频带对保护动作速度和传送电流瞬时值精度的影响，同时采用标量和制动方式，使得保护装置对于系统故障时各种过渡现象都能高速度、高精度地检测出来，而在外部故障、CT饱和时仍能可靠不误动。

3. 有微接地检测功能

本保护装有零相电流差动继电器，能高灵敏地检测出微接地故障，而不受潮流影响。

4. 维护、检查和调试方便

它可以和V/F试验器结合，只在线路一端进行操作就可以进行试验。

一 工作原理

三菱FM微波电流差动继电器是把被保护线路两端的电流瞬时值连续地调制成与 之

成比例的音频信号，通过微波通道传送到对端，在对端将电流矢量综合起来，根据基尔霍夫第一定律判断是内部还是外部故障的一种保护装置。

如图1，两端系统。A端的电流(i_a 、 i_b 、 i_c 为每相电流)经调频后送到B端。B端把从A端送来的FM电流信号解调，和本端电流信号一起送到动作判定部分进行规定的

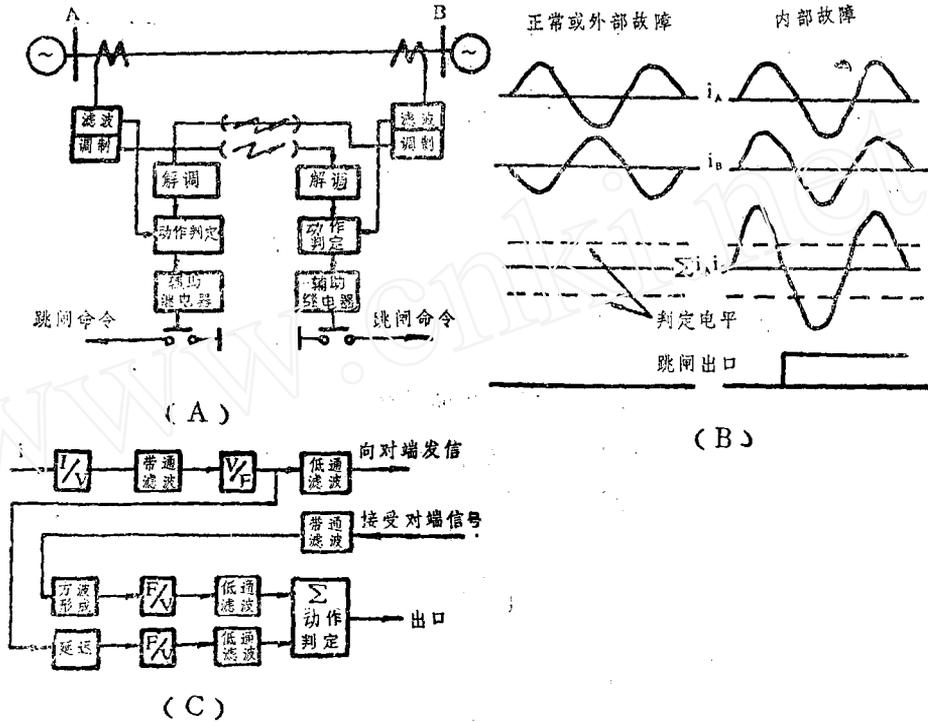


图1 FM微波电流差动保护工作原理示意图

运算，如果差动输出比一定大小的K值(整定值)大的时候，则判定为内部故障。

为了进行差动运算，要将各端电流的瞬时值(大小和相位)先在I—V变换器中变为电压，经过带通滤波器(为了有效地使用动态范围要尽量滤去系统中的直流分量；与此同时，也要滤去高频分量，以减小系统电流中高次谐波分量引起的误差。)之后，这个电压的变化量 ΔV ，由V—F变换器变为频率的变化量 ΔF 。(见图2)

ΔF 一方面经低通滤波器滤去高次谐波，再经微波通道送往对端；另一方面经传输延时补偿后，由F—V电路解调，重新还原为电压信号，与对端来的经解调后的电压信号一起(先经各自的低通滤波器)送到动作判定回路。

在系统发生故障或潮流倒送时，越是能如实地反映电流波形的急剧变化，就越能实现高精度的差动保护。因此，就必须传送较高次频率的信号，才能如实地模拟实际系统的电流变化。但是，为了使误差压到一定值以下，又必须限制传送频带。因此，信号频率有一个上限值和下限值。传送信号频带宽度决定了调频幅度，而从装置上则决定了分

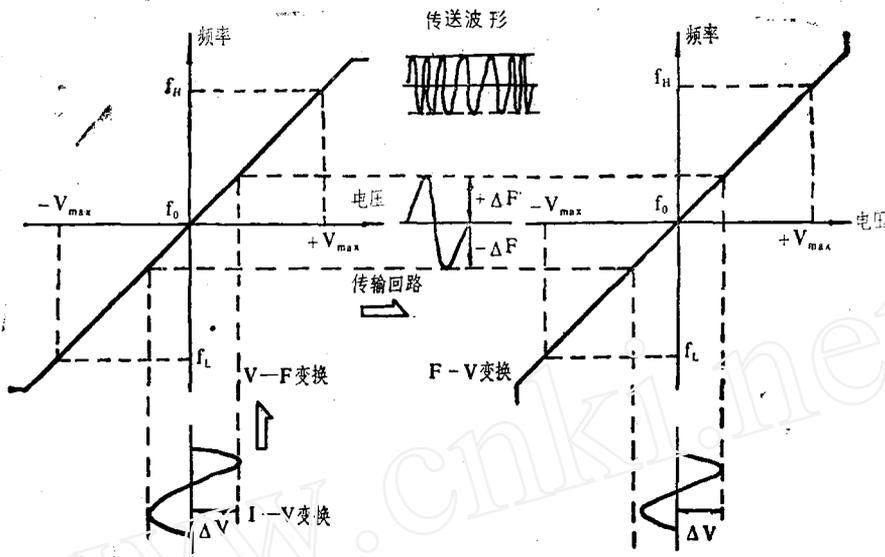


图2 调频原理

辨率（相当于最小电流的频率分配）。本装置中心频率 $f_0 = 1900\text{Hz}$ ，上限频率 $f_H = 2900\text{Hz}$ ，下限频率 $f_L = 900\text{Hz}$ ，带宽 $1900 \pm 1000\text{Hz}$ 。

本装置采用比率差动方式，用标量和制动。在内部故障时，使其制动量为零，以获得强大的动作量。而在外部故障时，能产生强大的制动量，用来对付大电流区域的CT饱和，使保护装置在区外故障时不误动。其动作方程式是：

$$\underbrace{|\Sigma i|}_{\text{动作量}} - \underbrace{k_1 \left\{ \Sigma |i| - \eta |\Sigma i| \right\}^+}_{\text{制动量1}} - \underbrace{\left\{ \Sigma |i| \mu k_1 \right\}^+}_{\text{制动量2}} - \underbrace{k_e |i_e|}_{\text{制动量3}} > \underbrace{k}_{\text{整定值}}$$

式中：当 $\{G\} \geq 0$ 时， $\{G\}^+ = G$ ；

当 $\{G\} < 0$ 时， $\{G\}^+ = 0$ ；

$|\Sigma i| = |i_A + i_B|$ 各端电流矢量和的绝对值，表示由差动分量获得的动作量。

$k_1 \left\{ \Sigma |i| - \eta |\Sigma i| \right\}^+$ 制动量1。表示相位比较标量的制动项。在内部故障时为零，在外部故障时起很强的制动作用。

$\left\{ \Sigma |i| - \mu k_1 \right\}^+$ 制动量2。这是在流出电流超过一定值时，不让差动继电器动作的制动项。

$k_e |i_e|$ 制动量3。 $(i_e = 3i_0 - 3i'_0)$ 表示由 $3i_0 - 3i'_0$ 运算回路中引出的与杂音误差量成比例的制动项，为了使得差动继电器在传输通道中发生干扰时不会误动作。

k_1, k_e, η, μ ：制动系数。 $k_1 = 1.25$ ； $\eta = 3$ ； $\mu = 13$ ； $k_e = 1.2$ 。

动作判定回路原理方块图如图 3 所示。

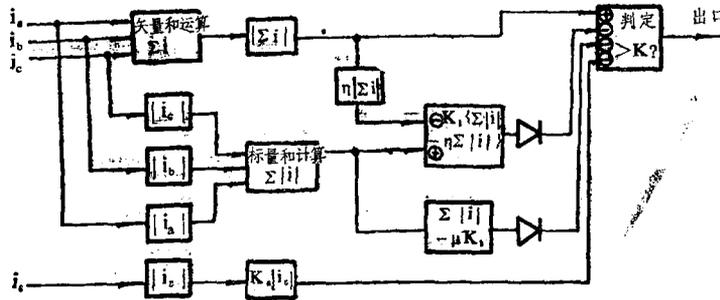


图 3 动作判定回路原理方块图

根据动作判别式，我们可以画出比率特性曲线图 4。由曲线可知，即使流出电流达到 50% 也能有效地进行保护。图 4 中数字为质量管理点的数据。比率特性曲线反演，就得到了相位特性曲线图 5。相位特性曲线不过 0 点，目的是为躲开空载充电电流，防止在最小灵敏度 (0.5A) 时，由于充电电流、CT 误差等原因产生差动电流而使保护误动作。

为了对付图 6 所示的死区故障，A 侧开关将由 A 侧母差保护跳开，然后，根据这个跳闸信号起动 FM 微波电流差动保护装置内的一个辅助继电器 X。X 的触点将 A 侧 I—V 变换器经带通滤波器后的输出信号短接到零伏，使 A 侧发信信号置于 0 A，从而使 B 端 FM 差动继电器靠它的注入电流 (故障电流 I_f) 动作跳闸。

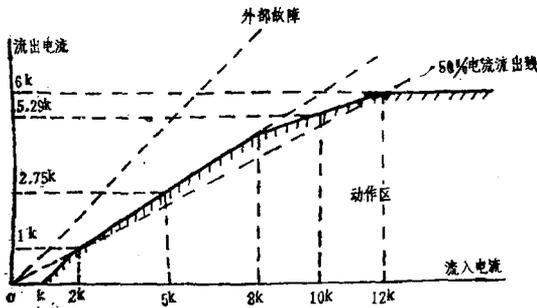


图 4 比率特性曲线

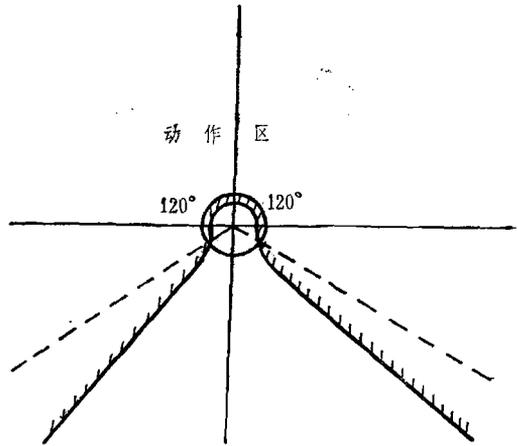


图 5 相位特性曲线

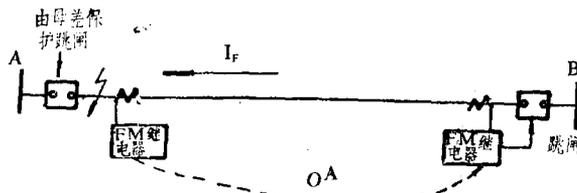


图 6 发讯 0 A 的工作原理

二 信号传输通道异常的检测和闭锁措施

FM微波电流差动保护采用调频原理，虽然从理论上说是抗噪声干扰能力很强的一种保护。但是，它的发信波形是将电流瞬时值进行调频之后得到的，然后相互传输进行差动运算。所以，通信装置和微波回路等等传输通道的异常，将使FM解调波形发生紊乱。如果不加以处理就这么获得差动分量，有可能造成FM差动继电器的误动作。因此，在传输回路发生外部干扰时，高速度地检测出干扰，使继电器制动或闭锁是十分必要的。

传输通道的外部干扰来源于微波回路中信号的衰减或者无线电发射接收机控制电源的急剧变化，以及切换到备用电源造成的波形紊乱，沿着连接继电器屏和发信装置的电缆侵入的雷击过电压波和设备开关时的浪涌等。由此产生的外部干扰，对继电器动作判定产生很坏的影响。其主要现象有三：

一是频率变化。由于微波通道中信号衰减和无线电收发信机控制电源的剧烈变化所引起的外部干扰，将使F—V变换器由于频率变化而输出噪声电压。如果这个电压数值过大，将使继电器误动。图7所示。

二是信号瞬断。信号瞬断现象是使FM信号一部分为零，即FM发信波形出现一定时间的“间断”，从而使FM信号周期加长。从解调回路看可能误认为FM信号是低周波的，相应的在解调回路中将产生 ΔI 的误差分量。图8所示。

三是S/N信噪比降低。信噪比降低将影响收讯电平。对FM信号电平“S”来说，噪声电平“N”很大的话，将否定解调波形而产生误差电流 ΔI 。

本装置对于FM信号错误的对策之一是另设有别于传输各相电流信号通道的、专为检出噪声的副载波通道监视各相副载波信号。（各相监视方式）。对策之二是采用零相监视检查方式。表1表示传输回路的监视方式和概略原理。

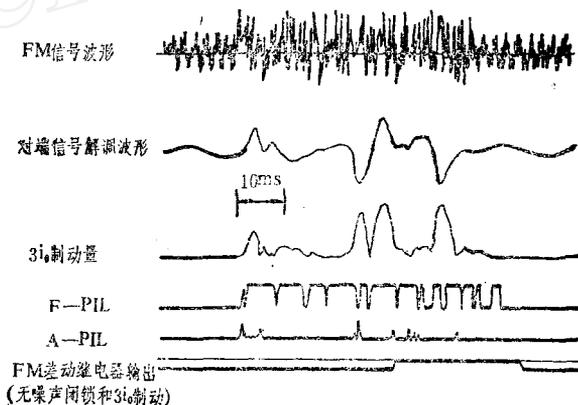


图7 白噪声侵入的录波图 (S/N = -10db)

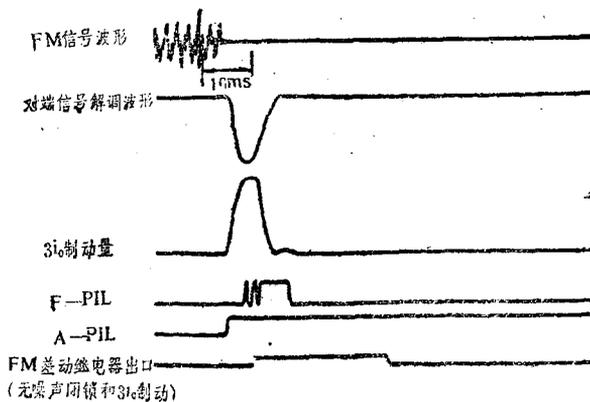
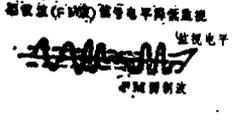
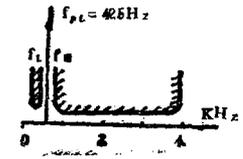
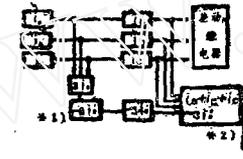


图8 信号传输回路瞬断录波图

表 1

监视方式	原 理	噪声对策	整 定 值	根 据
各相监视	收信电平 监视 	噪声闭锁方式 (检出噪声时 对差动继电器 进行闭锁)	降低10bd	监视由衰减等引 起的FM波的瞬 断及回路断线
	FM噪声 监视 		$f_L = 0 \sim 1Z$ $f_N = 455\text{Hz}$ ($\pm 30\text{Hz}$)	监视由于FM波 形紊乱产生的噪 声
零相检查 监视	$3i_0$ 制动 	噪声制动方式 (噪声侵入 时, 差动继电器 附加一个模 拟的制动量)	$K_e i_e $ 但, $i_e = i_a + i_b + i_c - 3i_0$	包括V—F变换 传输回路, F—V 变换等回路在内 的宽范围监视

*1) 发讯 $-3i_0$, 是因为各相同极性的噪声侵入时, $i_e=0$ 之故。

*2) 该制动方式的理由是为了用和噪声量成正比的制动量控制比率特性, 防止闭锁过头。

1. 各相监视方式

它是通过监视各相通道的音频频带内的副载波信号 f_{PL} , 在噪声干扰通道瞬断时副载波信号振幅变化和频率变化发生紊乱, 将其检测出来使各相“或”输出来闭锁FM微波电流差动继电器的输出。这对于因微波通道过电压或信号衰减等原因引起的信号瞬断的闭锁极为有效。

为此首先监视音频频带内的副载波收讯电平(A—PIL)。当微波回路中断使收讯电平下降到F—V解调电平的极限值以下, 等价于FM信号的频率降低, 从而在解调波形中产生误差分量。为了检测出这种情况, 先把FM信号变换成矩形波, 当这个矩形波宽度超过一定的时间宽度($> \frac{1}{900}$ 秒), 则判定为收讯电平降低。(图9、图10)

同时, 为了检测出收信号中的高频($>2900\text{Hz}$)干扰, 本装置中设置接收波形畸变监视器, 它包括一个高通滤波器(HPF)和一个电平检测器(LD)。

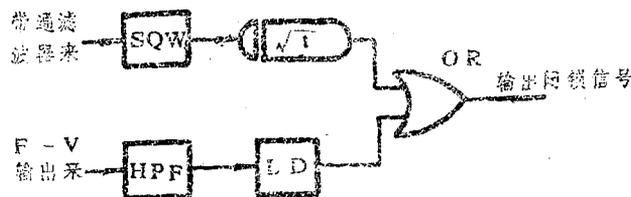


图 9 APIL原理方块图

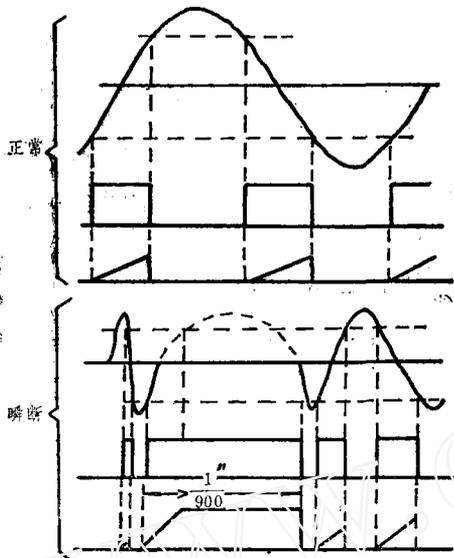


图10 FM信号接收电平降低的检测

高通滤波器 (HPF) 滤除标称频率的正常信号, 同时选出噪声分量, 如果噪声电平大于阈值电平, 那末, 检测器动作起闭锁信号。

其次, 为了监视噪声, 在每一相的 FM 音频信号频带中加入一个固定的 425Hz 的导频信号。当零部件不良或噪声侵入时, 导频信号被噪声调制产生频偏。在收音机接收到这个导频信号的频率变化超出 ± 30 Hz 时, 就作为干扰信号检测出来; 而当导频信号从传送频带中消失或衰减超出某一值, 则作为通道瞬断检测出来。

检测器动作发出的闭锁信号将起一个辅助继电器, 延时 3" 后切断跳闸出口继电器的正电源, 从而闭锁整套保护。

2. 零相检查方式

这是该装置为监视具有冗余性而设的。它是将各相的 I—V 变换器的输出合成之后, 再和相当于零序电流的成分合成起来, 用各相原理相同的 V—F 变换器在第 4 通道传送。(即 $3i_0, -3i_0'$ 由独立的第 4 个通道传送) 在收音侧经 F—V 变换之后, 再和分别送来的各相电流的 F—V 输出合成 (如图 11), 如果经计算 $i_\varepsilon = i_a + i_b + i_c - 3i_0'$ 成立 (正常 $i_\varepsilon = 0$, 在产生噪声、瞬断、变换器发生异常时, 这个合成输出便不再为零, 而以综合误差出现。) 在差动继电器中, 将这个 i_ε 综合误差部分 k_ε 倍之, 作为制动量加进去, 用与噪声成正比的这个制动量来控制动作判定运算, 从而使监视范围扩大到包括 V—F 变换器到低通滤波器的广大空间。(如图 12)

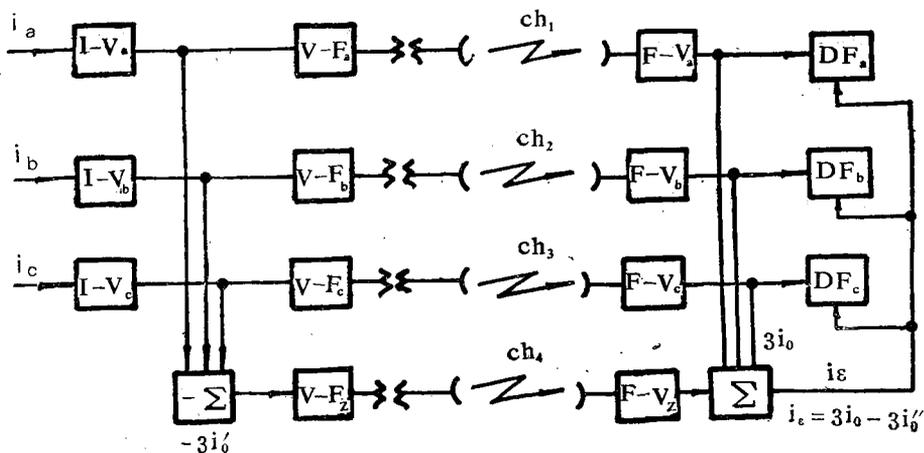


图 11



图12 监视范围

三 继电器带开关模拟动作试验

三菱FM微波电流差动继电器采用动作时间仅2ms的舌簧继电器作为出口，厂家说明该装置动作速度不超过30ms。其动作快慢与流入的故障电流有关。

我们在福州电厂——红山变电所II回线上进行模拟动作试验。FM微波电流差动继电器整定值为2.0A，带实际的G、I、S六氟化硫开关。模拟故障电流为5A，没有流出电流。录波结果（录波图见图13）表明FM微波电流差动继电器动作时间为38ms，G、I、S固有跳闸时间为17ms，整个故障切除时间为55ms，满足了福建省网对该保护快速性的要求。

四 FM微波电流差动保护装置的维护

FM微波电流差动保护装置使用相当多的集成电路等电子元件，而且与继电保护人员比较生疏的微波装置（通过P、S、E接口屏）结合在一起，使维护工作增加了难度。

保护装置工作正常与否，可以通过各种信号及面板上的LED指示灯来判断。要单端进行试验时，必须有能模拟对端条件的V—F试验器。这是一种把电压变换为频率F的装置，能自由地改变频率（包括音频和导频信号）和电平。

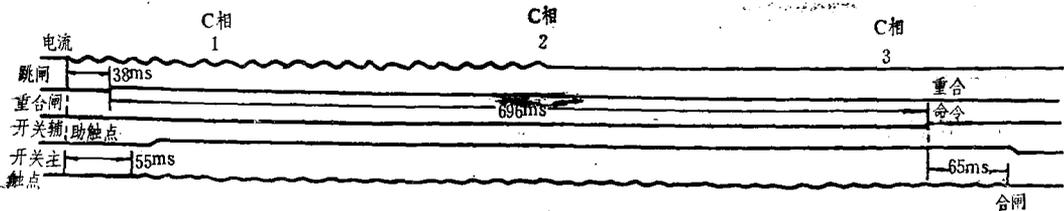


图13

由于微波电流差动保护继电器要把音频信号传送到对端，所以正常监视传输电平极为重要。通常，FM微波电流差动继电器一般的、也是它特有的检查项目和方法如表2所示。

当继电器动作特性发生变化时，就必须用VF试验器来检查。检查的主要项目有4个：

- (1) 动作定值和动作速度；

表 2

№	检查项目	允许值	检查试验方法
1	FM 音频信号 中心频率	$1900 \pm 30\text{Hz}$	用数字式频率计在 M12 模块 CJ ₂ 上测量。
2	副载波 中心频率	$425 \pm 7\text{Hz}$	用数字式频率计在 M14 模块 CJ ₂ 上测量。
3	发信电平	$-1 \pm 2\text{db}$	用电平表在 TX 插座上测量。
4	收信电平	$+5 \pm 0.3\text{db}$	用电平表在 RX 插座上测量。
5	收讯电平 降低检测	比正常收讯电平 $+ (5\text{db})$ 小 10db $\pm 2\text{db}$ 范围内	把 VF 试验器接到 RX 插座， 调整 V—F 试验器上的衰耗器 数值，直到屏面上“NOISE DET”灯亮。
6	FM 噪声检测 灵敏度	$\pm 30 \pm 3\text{HZ}$	同上法接入 VF 试验器，并将 VF 试验器切换到“导频信号” 加大通入 VF 试验器的电流， 直到“NOISE DET”灯亮。 换算得出频率值

(2) 比率差动特性和相位特性；

(3) 收信电平和 FM 噪声监视；

(4) 零相监视和 3i₀ 制动特性。

根据检查出的问题，参照故障诊断程序进行处理。

参考文献

1. FM Current Differential Carrier Relay System. 三菱电机
2. FM 电流差动继电器装置的概要和维护 《电气现场技术》1986. 3
3. 保护继电器技术开发现状和今后的课题 《电气现场技术》1982. 10
4. 三菱 FM 电流差动载波继电器装置 三菱电机