

输电线路各相电流差动微波保护

西安交通大学 葛耀中 段立诚 朱声石
许昌继电器研究所 陈爱敏 胡翠荣
甘肃电力局 徐存生 冉秀杰

概 述

随着电力系统的飞跃发展,在电力系统中超高压重负荷远距离输电线路,同杆架设双回线路及环网将日益增多,由于电力线载波通信及保护原理上的限制,目前广泛采用的电流相位差动高频保护及方向高频保护(包括距离高频保护)都遇到程度不同的困难[1],在我国,短线的保护也存在问题,因此研究新型线路保护是有迫切的现实意义的。

由于通道的拥挤和不敷分配,电力线载波通讯已经难以适应现代化电力系统的要求,国外电力系统中已大量采用微波通信。在我国,使用微波通讯的电力系统也逐渐增多,微波通信在电力系统中的应用为实现快速动作,灵敏可靠的新型保护提供了有利的条件。

在使用微波通信的条件下,由于微波通信可以提供较多的信道和较宽的频带,并且与输电线路没有直接的联系,因此可以利用微波通信构成各种类型的线路保护,特别是那些由于电力线载波技术条件的限制而难以实现的保护。此外,分析比较结果表明,在综合利用微波通信设备的条件下,从经济指标上看,微波保护也同样是合理的[2]。至于在中短线路上采用专用的少通道的微波和特高频通信设备构成线路保护在技术经济方面看都将更为合理。

各相电流差动微波保护是分别按相比较被保护线路各端电流向量的保护,采用分相的方式可以充分发挥微波多路通信的特点,提高保护的性能和兼有选相作用,而电流差动保护原理的优越性能(简单,可靠,灵敏,快速)更非其它原理所能比拟。为了实现电流差动原理,要求准确地传送各端各相的电流波形。目前我国电力系统中广泛采用的2GH2/60—120CH型微波通信中继设备系按频分制原理构成[3]。根据继电保护高度可靠性的要求,在本保护中采用抗干扰能力强的调频方式,将工频电流变为音频调频信号与载波机相连,这时每相占用一个话路,三相共用三个话路,此外,增设零序电流差动以进一步提高装置的可靠性,整套装置共占用4个话路。

目前在美国,加拿大、日本等国研制成多种微波保护,已在电力系统中大量采用,并积累了成功的经验[1, 4, 5, 6, 7],我国在微波保护方面与国外差距甚大,赶超国

外微波保护的先进水平是我们的迫切的任务。

基 本 原 理

各相电流差动微波保护是根据比较被保护线路各端电流向量的原理构成。它与发电机、母线和短线路上采用的纵联差动保护的原理是完全一样的。但是由于被保护线路两端的距离较远，不能用辅助导线直接联系，而必须借助于通信手段，利用微波通信的电流差动保护简称为电流差动微波保护。

为了保证保护装置的正确动作，输电线路电流差动保护的動作条件可表示为

$$|\sum \dot{I}_i| - K |F(\dot{I}_i)| \geq I_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： $\sum \dot{I}_i$ ——线路各端电流的向量和（规定各端电流的正方向为由母线指向被保护线路）

$F(\dot{I}_i)$ ——各端电流的函数， K ——制动系数， I_0 ——定值。

(1)式左端第一项称为动作量，第二项为制动量，在外部故障时制动量大于动作量，保护可靠不动；在内部故障时动作量大于制动量，满足(1)式的条件，保护可靠动作，制动量可由不同方法构成[1]。

保 护 的 构 成

各相电流差动微波保护的单相原理示意图如图1所示，它由电流—电压变换器(I—V)，电压—频率变换器(V—F)，频率—电压变换器(F—V)，延迟补偿回路，动作判定回路，起动元件等主要环节组成。

1、电流—电压变换器(I—V)

电流—电压变换器的作用是隔离，抗干扰和把电流互感器的二次电流变为符合电压—频率变换器(V—F)要求的电压。

电流变换成电压可采用电流互感器或电抗互感器。为了减小直流分量的影响，采用电抗互感器较为有利。超高压电力系统的参数计算表明，直流分量的时间常数可达100~500毫秒，采用带气隙的电抗互感器可以对直流分量起到明显的抑制作用。

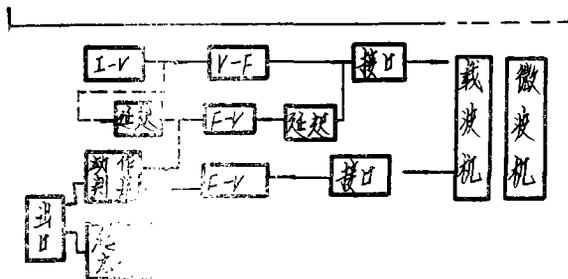


图 1

假定短路电流中含有 100% 的直流分量和 n 次谐波分量，表示为

$$I = I_{m1} e^{-\frac{t}{T}} - I_{m1} \cos \omega t - I_{mn} \cos \omega t \dots\dots\dots (2)$$

式中：T—直流分量的时间常数；

ω —工频角速度

则电抗互感器的二次电压与一次电流的关系为

$$U_2 = M \frac{dI}{dt} = X_M I_{m1} \left(-\frac{1}{\omega T} e^{-\frac{t}{T}} + \sin \omega t + \frac{n I_{m1}}{I_{m1}} \sin n \omega t \right) \dots\dots\dots (3)$$

由(3)式可见，原来为工频分量100%的直流分量经过电抗互感器的微分传变后，直流分量变为工频分量的 $\frac{1}{\omega T}$ ，即时间常数T越大，直流分量的比值越小。例如当T=0.05秒时，传变后的直流分量为原值6.37%，而当T=0.5秒时，只为原值的0.637%。由此可见电抗互感器的抑制直流分量的明显效果。

另一方面，从(3)式还可看出，传变后的谐波分量与谐波次数成正比增长。电抗互感器对高次谐波有明显的放大作用，因此，当一次电流中有谐波分量时，输出电压的波形将显著变坏，为了保证电流差动保护的正确动作，在电抗互感器后应有滤波措施，滤去高次谐波。

采用电抗互感器还可减轻饱和剩磁的影响。对于电流互感器，这种影响在外部永久性故障切除又重合时表现得最为严重，此外也出现在多端线路外部故障条件下。

电流—电压变换电路如图2所示。

2、电压—频率变换器(V—F)。

电压—频率变换器的作用是将由I—V变换器得到的工频电压对音频载波进行调制变为频率调制信号，用正弦工频电压对音频载波进行频率调频的情况为图3所示，这个过程又称为压控振荡。由V—F输出的频率调制信号通过接口与载波机连接，再经微波通信系统传送至线路对端。

为了准确地进行电压—频率变换，并减少两端变换产生的误差，对V—F变换的线性度提出了一定的要求，在规定的短路电流范围内(线段AB)，V—F变换应该保证线性，其特性如图3.d所示。与最大的短路电流对应的电压 ΔV 所产生的频偏 Δf 应限制在一个话路的频带范围内(0.3—3.4KHz)。实际上，考虑话路本身的频率传输特性， Δf 还应选择的更小一些。

根据贝塞尔函数分析，调频波需用频带宽度B可由下式估计

$$B = 2 (\Delta f + f_m) \dots\dots\dots (4)$$

式中： Δf —频偏； f_m —调制信号的频率

在(4)式中，当 $f_m = 50\text{Hz}$ ， $\Delta f = 1000\text{Hz}$ 时，所需频宽 $B = 2100\text{Hz}$ ，当 $f_m = 50\text{Hz}$ ， $\Delta f = 600\text{Hz}$ ， $B = 1300\text{Hz}$ ，均可满足话路要求，但 Δf 较大时抗干扰能力较强。中心频

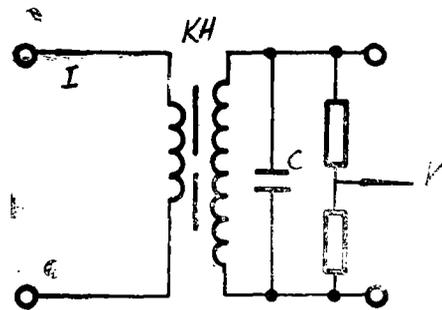


图 2

率可选在1900 Hz左右。频偏所对应的电压 ΔV 的大小应根据采用的V—F变换器的要求决定。

应该指出，V—F变换器的关键性技术指标是频率随控制电压变化的线性度和频率变化的动态范围。用于线路保护的V—F变换器具有动态范围大的特点，最大短路电流有时可达最小短路电流的20倍以上，故对应的频偏也较大，因此一般使用的晶振压控振荡器和LC压控振荡器均不能满足要求，故选用RC型压控振荡器，这种压控振荡器可由晶体管或集成运算放大器构成，其原理图为图4所示，图4 a为集成运算放大器压控振荡电路，由运算放大器 A_1 等元件构成积分环节，由 A_2 等元件构成比较环节，当输入控制电压 V_k 加入后，在输出 V_{sc1} ，可得三角波输出， V_{sc2} 得到矩形波输出，输出频率随 V_k 幅大小成线性变化。图4 b为晶体管式，它实质上是一个由 V_k 控制的RC多谐振荡器，输出 V_{sc} 为矩形波。实验结果表明，上述两种压控振荡器均能满足要求。

由于V—F变换器的线性变换范围是根据最大短路中的周期分量考虑的。如果调制电压 V 中存在很大的直流分量，在外部故障时，线路两端的直流分量的极性相反，一端偏出高于 $f_0 + \Delta f$ 范围，另一端则低于 $f_0 - \Delta f$ ，因此由于变换特性的影响，将产生较大误差，所以要求在调制电压 V 中消除直流分量，在I—V中采用电抗互感器能满足这一要求。

3、频率—电压变换器(F—V)

频率—电压变换器的作用与V—F的作用相反，它将调频波解调，把其中的工频电压波形还原。为了实现无畸变的变换，

F—V变换器在工频调制电压的规定范围内应是线性的(见图3 d)，调频信号的解调方法很多，考虑到这里所用的调制信号的频率(50 Hz)远低于音频载波频率，故可采用简单的时间平均的方法进行F—V变换，其过程为图5所示：

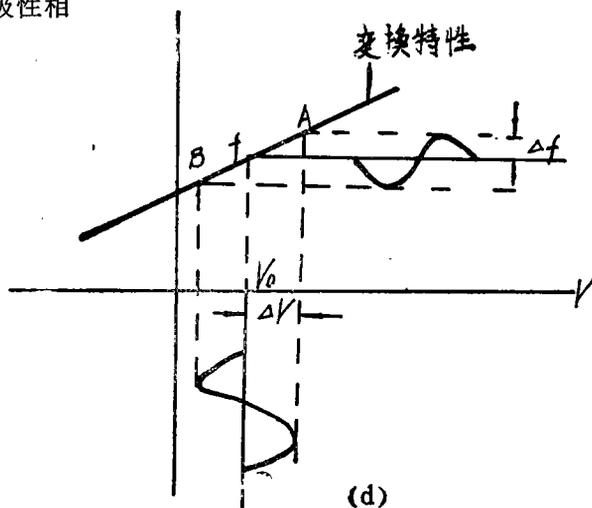
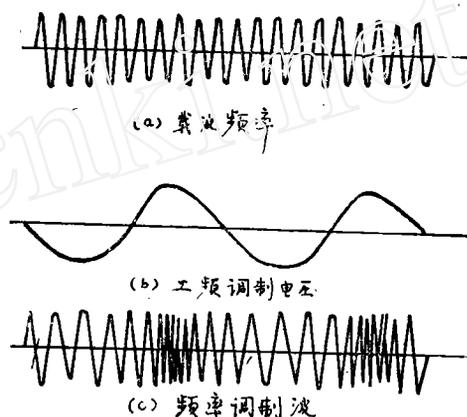


图 3

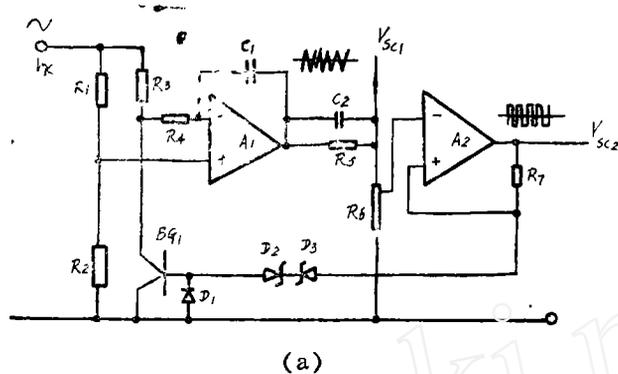


图 4 (a)

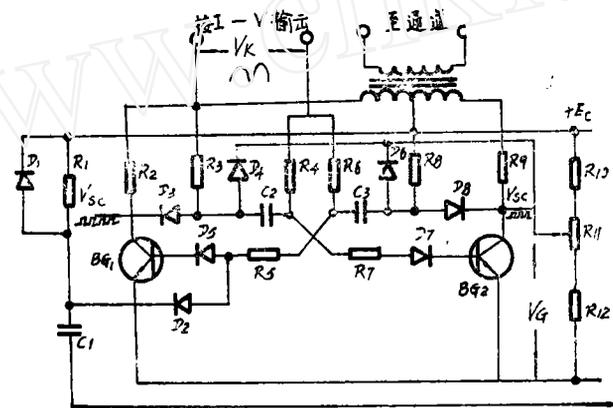


图 4 (b)

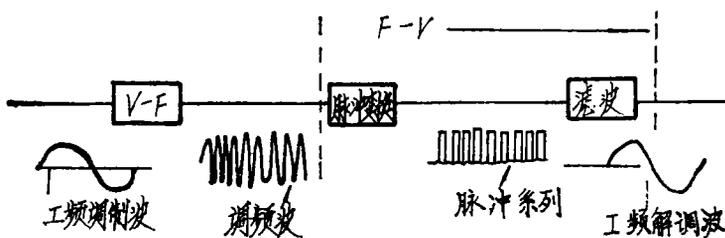


图 5

由图 5 可见，调频波进入脉冲变换回路后输出固定宽度和幅值的脉冲系列，然后对脉冲系列进行低通滤波以得到直流项，直流输出比例于输入的频率，即可解调出工频电压。

F—V 变换器也可用晶体管或集成运算放大器构成，用晶体管电路较为简单可靠，图 6 中示出 F—V 中脉冲变换的两种原理电路，图 6 a 为放电式，图 6 b 为充电式，图 6 c 为输入和输出波形。为了保证正确变换，输出脉冲 V_{sc} 的宽度应小于输入脉冲的最小

宽度，此外为了改善在外部故障条件下的瞬态响应，减小误差，采用对输入脉冲进行全波变换更为有力，为图6c中 V_{sc3} 波形所示。

4、延迟补偿回路

延迟补偿回路的作用是补偿由于通信传输引起的延迟，延迟补偿时间应根据所使用的通信系统的实测延迟数据决定。传输的延迟决定于载波分路机及微波信号在空间的传播时间，前者是固定值，后者则随微波传送距离而异，可按每300公里一毫秒计算。

为了补偿通信传输引起的延迟，延迟补偿回路应接至本端图1，延迟补偿回路可用脉冲数字延迟或模拟量延迟方法构成。无论使用那种方法，都应保证波形不畸变的延迟特别是在暂态条件下，延迟回路输入 U_{sr} 和输出 U_{sc} 的相对关系为图7所示。

延迟后的脉冲系列经过F—V变换还原出工频波形，此波形较V—F变换前的输入波形迟后所需时间。当采用模拟延迟时，可直接接在本端I—V交换后，（如图1中虚线所示）或本端F—V变换后。

脉冲数字延迟方法可用脉冲电路构

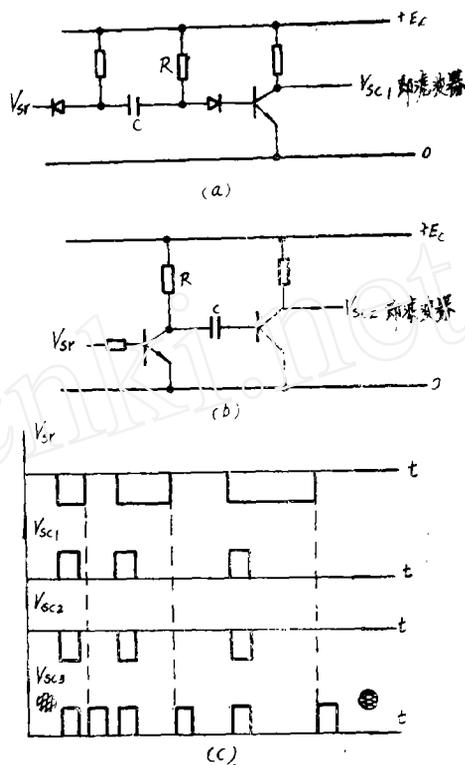
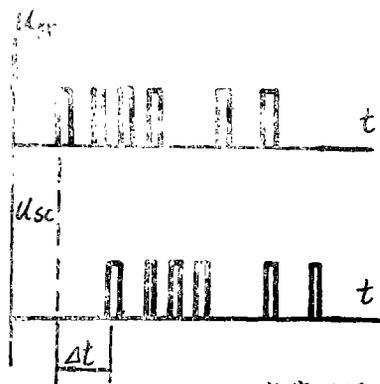
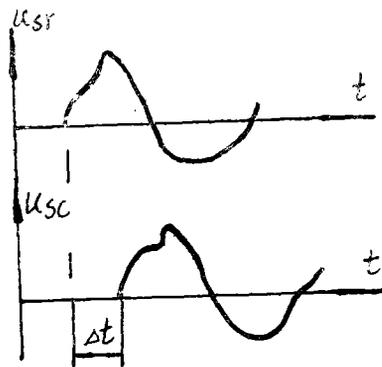


图6



a 数字延迟



b 模拟延迟

图7

成，由于受调频波中最高频率的限制，单节延时不能作的过长，故需用多节构成，其原理图为图8a所示，图8b给出了延迟过程波形。

模拟延迟方法可用集成运算放大器构成的全通网络实现〔8, 9〕。全通网络的二阶相移函数表示为

$$T(S) = \frac{S^2 - \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \quad \dots\dots(5)$$

其相移特性为

$$T(\omega) = \frac{\frac{2Q}{\omega_0} (1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2})}{\frac{\omega^2}{\omega_0^2} + Q^2 (1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2})^2} \quad \dots\dots(6)$$

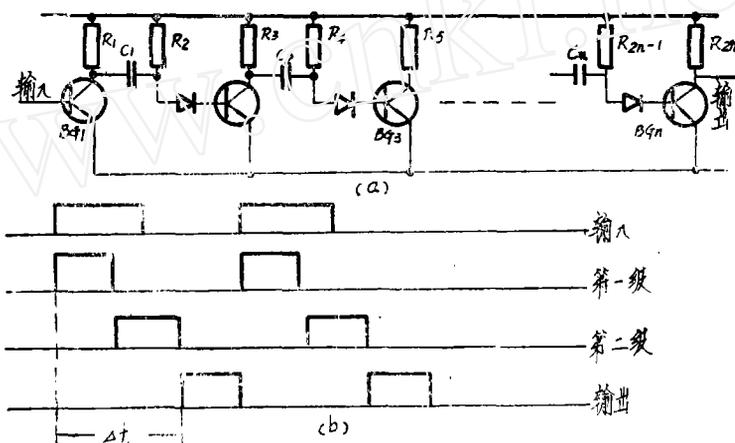


图 8

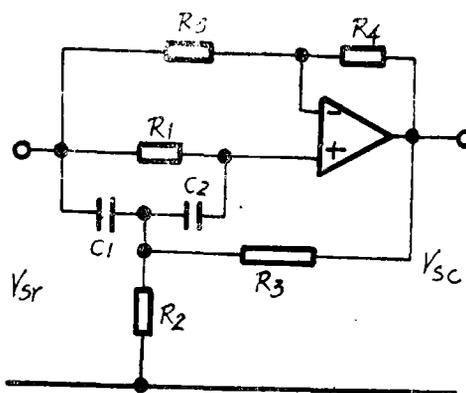


图 9

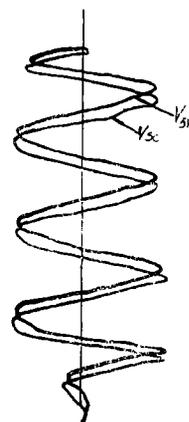


图 10

全通网络有很多类型，这里采用的电路如图 9 所示，图 10 给出了全通网络的输入和输出波形（2 毫秒延迟录波）。

5. 动作判定回路

动作判定回路是电流差动保护的核心部分，它的作用是区别线路内、外部故障。判定回路对保护的可靠性，灵敏度，动作速度等指标都有一定影响，因此，正确选择动作判据是非常重要的。

为了保证在外部故障时可靠地防止误动，同时在内部故障时又可获得较高的灵敏度，应该采用在外部故障时制动作用大和在内部故障时没有制动或制动作用小的动作判定回路(10)，这里所用动作判据为

$$|\sum I_i| - K_1 \{ |\sum I_i| - K_2 |\sum I_i| - I_d \}^+ \geq I_0 \quad \dots\dots (7)$$

式中： $\sum I_i$ —线路各端电流向量和；

$\sum |I_i|$ —线路各端电流绝对值和

I_d —常数；

K_1, K_2 —系数；

I_0 —一定值

$\{ \quad \}^+$ —当 $\{ \quad \}$ 内之值小于或等于零时， $\{ \quad \}^+ = 0$ ，当 $\{ \quad \}$ 内之值大于零时，原值输出，

按判据式(7)，对于两端线路，可构成框图(图11)，图中均以电压表示。用集成运算放大器实现的原理电路为图12所示，实验结果表明，式(7)所表达的电流比例差动特性为一折线，为图13 a所示。适当选定 K_1, K_2, I_d, I_0 值可以得到不同的折线，图13a所示为一平行于50%电流比例线，其动作区为有阴影部分；式(7)的动作特性为图13b所示，它能保证内部故障(包括50%电流流出， $q = 0.5$)时灵敏可靠地动作。

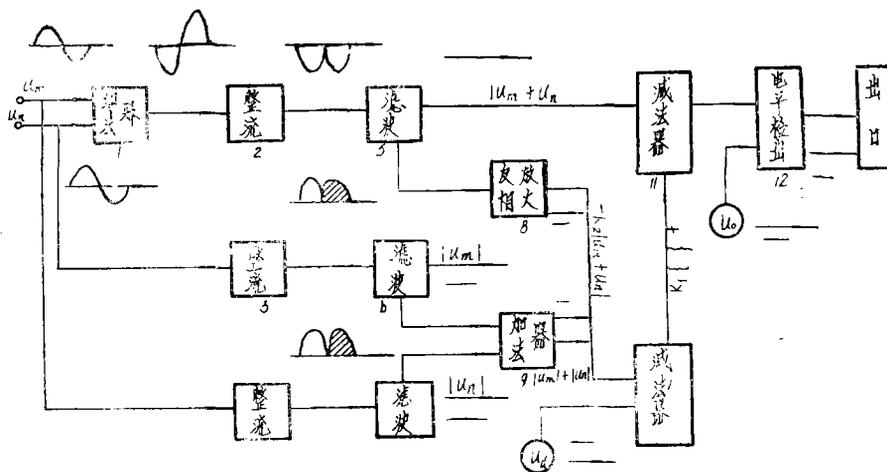


图 11

6. 起动元件

在电流差动微波保护中，起动元件仍然是必要的，它的主要作用是提高保护装置的可靠性，防止线路正常运行条件下误动作。对起动元件的主要要求是：在线路发生内部

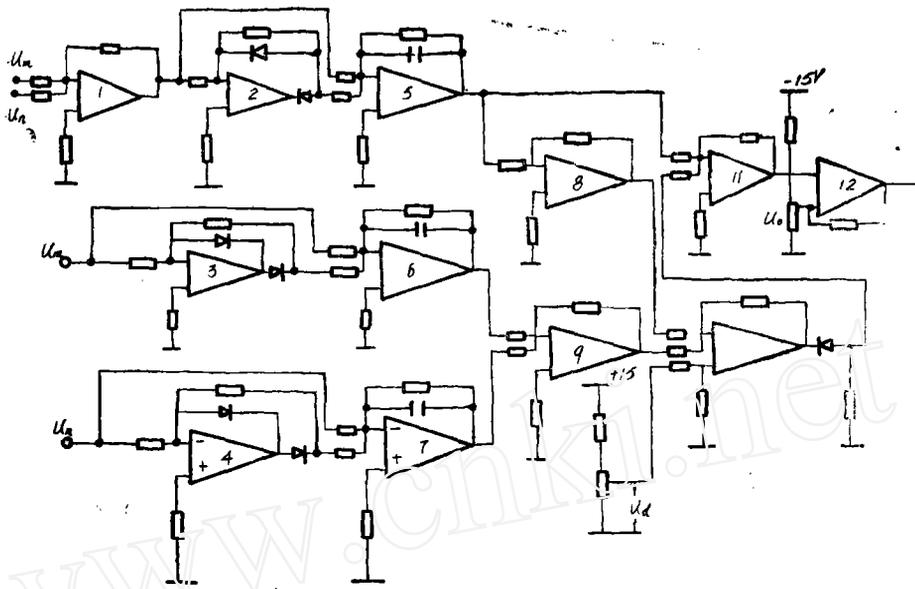
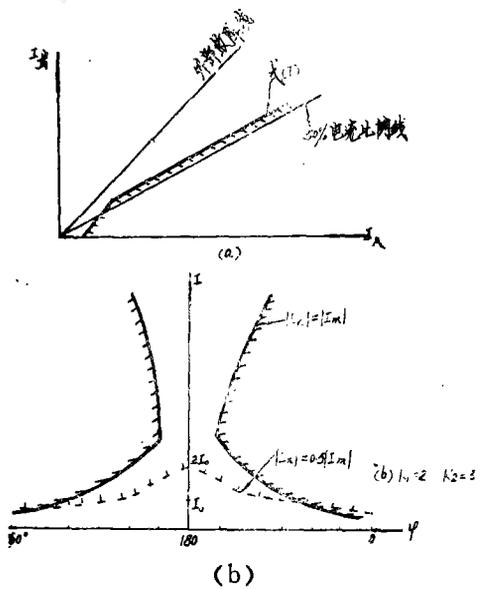


图 12



- (a) —— 电流比例差动特性
- (b) —— 动作特性

图 13

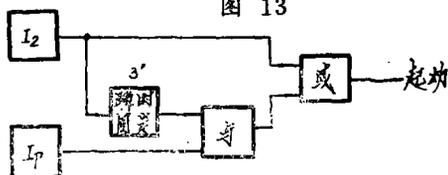


图 14

故障时应灵敏动作，正常条件下应不动作，为了最大限度的发挥起动元件的作用，起动元件应控制装置的出口回路。

由于起动元件在正常条件下不动作，因此它可以防止保护装置中某些部分故障时引起整套装置误动，同时正常情况下出现干扰也不会引起保护误动。

起动元件所反应的电气量应根据上述观点选择。我国长期运行经验说明电流回路断线事故已非常罕见，对于中短线路采用负序电流 I_2 和相电流 I_1 组成如图14所示的逻辑电路可以满足正常不起动，线路空载合闸时不动作，并保证在内部故障时有足够的灵敏度。由于起动元件不用电压回路，故简单可靠，对长距离输电线路则应考虑更为完善的起动元件。

7. 接口部分

电流差动保护部分通过接口部分与载波机相连。与国产2GHZ/60—120型微波设备配套使用的载波机是ZW60/120 终端

设备及Z P60/120 12路分路机〔11〕，根据继电保护调频波的发送和接收的要求，不必使用音频端盘（其中包括差接电路及收发铃系统），而由通路调制架的通路盘的 四线转接点接入，这样接入的好处是去掉不必要的设备，可以提高可靠性，同时使收支路分离，完全消除收发之间的相互干扰，不接入差接电路还可减少不必要的衰耗。

根据载波机的设计要求，当不接衰耗器时，音频线发的电平为 -1.5N ，阻抗 600Ω （对应电压为 0.173V ），音频器线收的电平为 $+0.5\text{N}$ ，阻抗 600Ω （对应电压为 1.28V ），当衰耗器接入时，音频器线发的电平为 -1.1N （ 0.257V ），音频器线收的电平为 $+0.1\text{N}$ （ 0.858V ）。

为了符合保护部分与载波机的设计要求，接口部分是必要的。由图1可见，由V-F变换器输出的调频波通过发信接口进入载波机。现场实验表明，发信接口可以只用变压器，它起隔离和匹配作用，这时由V-F变换器送出的三角波或矩形波的调频波可直接通过接口（变压器）送入通道，并能成功解调出来原有的工频调制信号，为了减小三角波式矩形波产生谐波干扰，可以利用三角波—正弦波变换电路将三角波变为正弦波送入通道。

由载波机输出的音调频波经收信接口送入F-V变换器，接口部分的输出应满足F-V的要求，为此，在收信接口部分中包括有变压器及放大限幅电路。

8. 抗干扰措施

由于电流差动保护原理是建立在比较两端电流波形的基础上，因此对于干扰产生的影响要给予特别的重视。

在保护本身的设计中已考虑到尽量提高其抗干扰性能，起动无件就是一个有效而简单的抗干扰措施，它可以保证在线路正常运行时，不致因为干扰引起误动，而在外部故障时，由于采用了加大制动的动作判别回路，由干扰引起误动的可能性也大为减少。

国外对干扰的来源及其检出方式作了大量的研究〔7〕，取得良好的结果，抗干扰措施可归纳如下：

抗干扰措施	{	各相监视检测方式	{	电平检出方式	{	带内
		专用通道监视检测方式		相邻周期比较方式		带外
		综合监视检测方式				

以上各种抗干扰措施各有特点，综合监视检测方式不仅可以检出干扰，并且还可把整套装置大部分（从一端的V-F变换到另一端的F-V变换）经常处于监视之下，对提高保护的可靠性有利，但它和专用通道监视检测方式都有一个共同的缺点，就是要求有专用的通道，比较复杂，并且在干扰检出后要闭锁整套保护（不是只闭锁受干扰相），这是我们不希望的。采用各相监视检测方式时，分别按相检测干扰，当任何一相有干扰检出后，只闭锁受干扰的一相保护，其它各相保护仍能照常运行。研究实验表明，在各相监视检测方式中，相邻周期比较方式较为简单，同时检出单发性干扰的效果较好。相邻周期比较检出单发性干扰的原理为图15所示。图15 a所示调频波的频率根据调制的工频电压变化，一般情况下， $t_2 \neq t_1$ ，当有单发性干扰时 $t'_2 < t_2$ ，故 $t_1 - t'_2 > t_1 - t_2$ 。

相邻周期比较动作，立即闭锁保护，固定时间解除闭锁。其原理电路为图16所示，图中 V_{sr} 为由收信接口中的放大限幅输出的矩形脉冲序列，由 BG_1 、 BG_2 组成前半波记忆回路，由 D_1 、 D_2 组成门电路对 A 点及 V_{sr} 波形进行相邻半周比较，当有干扰时， BG_3

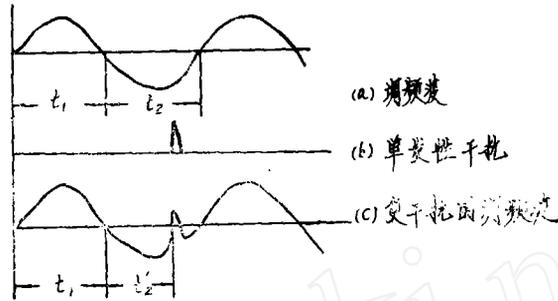


图 15

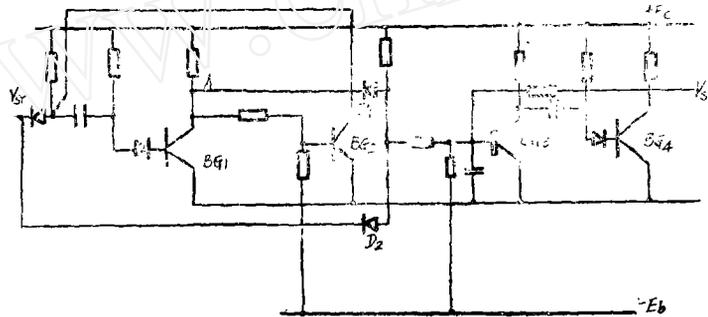


图 16

短时导通，由 BG_4 输出一固定时间的闭锁脉冲。

通道中断也可以看成为一种特殊性质的干扰，如不及时检出，在外部发生故障时，保护将误动作。衰落现象会引起通信中断，它可用讯号电平降低的方法检出。当采用国产 2GHz/60—120 型微波通信设备时，由于有由变频讯号和噪音电平进行控制的波道倒换单元，利用它可以检出严重的空间衰落并闭锁保护。引起通道中断的第二个原因是微波机设备故障切换，其自动切换时间约为 3 毫秒，因为它与外部故障同时发生的几率是很小的，可以不予考虑，通道中断的第三个原因是由载波机中的个别通路载频偏移等故障引起，因此，在装置中采用各相通道中断检出按相闭锁保护是必要的，通道中断的检出也极为简单。

9. 自动监视与检测

理论分析和实践证明，自动监视和检测是提高保护可靠性的有效措施之一，考虑到各相电流差动微波保护的通道和保护部分已有长期监视，根据电流差动保护的特点，采用简单可靠的手动检测方式。

为了在检测过程中最小限度地影响保护的工作，装置的检测只在各端分相局部进行，在任何一相的一端进行检测时，只退出本端的检测相，本端其它相和其它端的各相

保护均能正常工作。

最后应该指出，由于在装置中除有各相电流差动外还有零序电流差动，因此可以在检测过程中，可以不影响保护的快速动作。

保护的方框图

各相电流差动微波保护的方框图为17、18所示。图17表示出保护总体设计思想，图18单独表示出保护的跳三相回路。

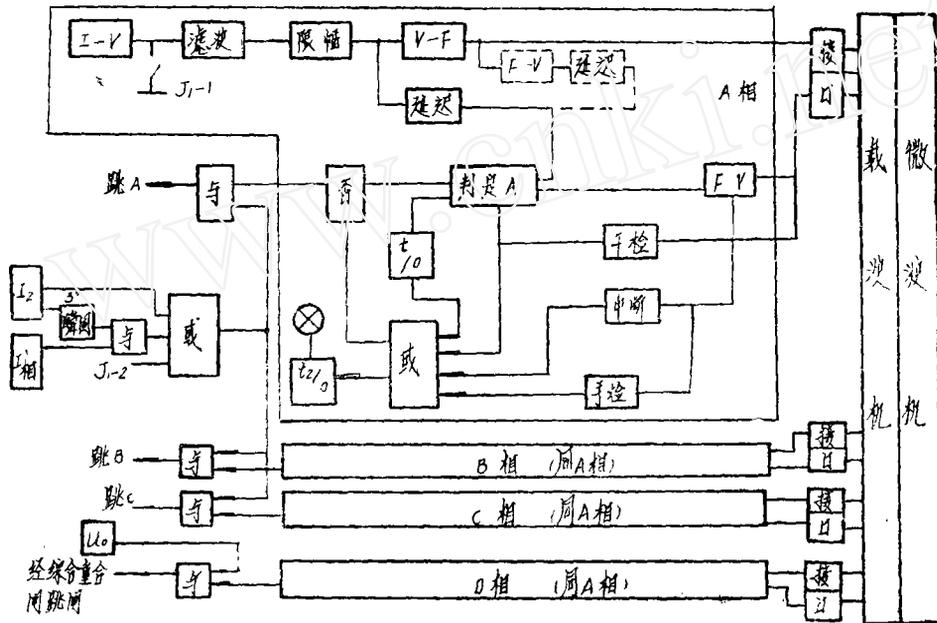


图 17

对方框图的设计作以下几点说明：

一、单相及三相跳闸回路

各相电流差动有很好的选相能力，在单相接地短路时，只跳开故障相。零序电流差动无选相能力，但在经电弧电阻接地短路时有较高的灵敏度，为了保证只跳开故障相，零序电流差动部分经综合重合闸跳闸。在两相接地短路时，单相跳闸回路可保证只跳开故障的两相，而三相跳闸回路则跳开三相。对于同杆架设双回线路，考虑跨线故障只应跳开各回线的故障相时，则可不用三相跳闸回路，以保证正常供电。由上述分析可知，当采用A，B，C，O四相各相差动时，对所有接地短路均有双重保护作用。对任何相间（两相或三相）短路也可只跳开故障相（不用三相跳闸回路）或三相跳闸。

二、干扰检出和通道中断检出

当任一相干扰检出或通道中断动作时，只闭锁一相，其他相照常工作，如此时发生内部单相接地故障，如恰好为被闭锁相，则零序差动通过综合重合闸断开故障相，如为

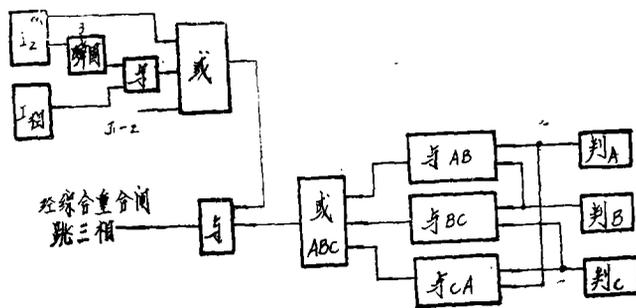


图 18

其他各相故障，则以有双重保护，为发生相间短路，三相短路时能跳开三相，两相短路时，有2/3的机会只能跳开一相。

三、手动检测按相进行，不影响被检测相对端和其它三相保护的動作。此时只将被检测相本端的保护闭锁，如此时发生内部故障，动作情况同二。

四、起动元件的考虑

对于高压中短线路对于A、B、C各相差动起动元件采用 I_2 和 I_0 （一相电流）。这种起动元件简单可靠，灵敏度也能满足要求，并能躲过空载合闸时电容电流的影响。也可采用其它类型的起动元件。

对于零序电流差动，起动元件用 U_0 的主要原因是，防止在外部发生相间短路时由于在零序回路中出现较大的不平衡电流引起误动作。

五、死区的保护措施

在高压输电线路往往单独装电流互感器，这样线路上就出现一段不保护区（死区），如图19所示，图18中的 J_{1-1} ， J_{1-2} 受母线差动保护出口继电器控制， J_{1-1} ， J_{1-2} 动作后使电流差动微波保护动作，跳开故障线路。

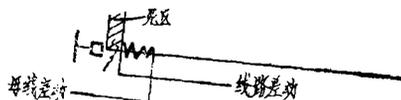


图 19

结 论

一、各相电流差动微波保护具有优越的動作性能指标，它有适应性广的特点。它为我国目前在保护装置方面存在困难的短线路，分支线路和同杆架设双回线路提供了一种新的保护方式。同时这种保护方式也可适用于500KV以上的超高压输电线路。

二、A、B、C、O四相各相电流差动给提高保护的可靠性带来很大好处，在使用微波通信的情况下，使用四个话路并无困难。

三、在各相电流差动微波保护中较大量地使用了集成运算放大器，集成运算放大器在继电保护中的应用可以使保护的特性得到满意的结果。

四、本保护通过相应的接口也可与特高频通信结合使用。

五、本保护具有如本文图13所示的特性，定值 I_0 在2—6安之间可调，在 $2I_0$ 条件下，动作时间小于1个周波。

参 考 文 献

- (1) 输配线继电保护系统 冈村正巳 太田宏次著
- (2) 利用微波通信继电保护 葛跃中, 西安交大科技参考资料, 一九七九年、三月
- (3) 2GHZ/60—120CH微波中继通信设备 邮电部503厂, 西安交大无线电技术教研室
- (4) Use Microwave Radio for Protective Relaying, IEEE Committee Report, IEEE Vol PAS—29 May/June 1970
- (5) Applied Protective Relaying Westinghouse Electric Cooperation Relay—Instrument Division, 1976
- (6) Protective Relaying System for 500 KU transmission Line Hobta and others, International conference on Development in power system protection, 1975
- (7) FM电流差动载波继电器
 - ①北川稔.他, 东芝评论V.34NO.4
 - ②老贺正明.他, 三菱电机技报 昭和52.9年月
- (8) Principles of Active Network synthesis, and, design Gobind Daryauani, 1976
- (9) 有源滤波器的设计 (日) 柳泽健 金光磐著
- (10) 电流差动保护动作判据的分析和研究 葛跃中, 西安交大科学技术报告, 1979.1
- (11) 2GHz微波用载波电话设备说明书 邮电524厂。

(上接第76页)

六、结 束 语

1、材料的晶粒大小与夹杂分布状态影响硅钢片的导磁性能。晶粒粗, 夹杂少, 或团状的硅钢片其导磁性能优于晶粒细, 夹杂分散度大的硅钢片。

2、消除应力退火的最佳工艺参数为:

加热温度: 750~800°C

保温时间: 透烧为准。

冷却速度: 冷轧钢片每小时50°C

热轧钢片每小时50~100°C

3、单片涂复绝缘漆之导磁体, 其漆层厚度可采用0.01~0.02mm(单面), 厚的漆层降低导磁性能, 而过薄的漆层防锈及绝缘性能差。

4、硅钢片导磁体退火后的摔、碰, 组装及钢片的不平度皆使导磁体性能变坏。