

# 7SL32/c距离保护振荡闭锁的原理及分析

许昌继电器研究所 李保恩

**前言** 7SL32/c距离保护是根据中国电网的特点及运行情况,在西门子原7SL32距离保护的基础上,由中国专家与西门子公司补充设计而成。振荡闭锁为补充设计其中之一,它较好地解决了原装置振荡闭锁原理上存在的不足,将原来的单相式改为两相式判别振荡,并增加了振荡周期短的闭锁回路。本文就7SL32/c距离保护振荡闭锁原理做一介绍,并就其应用于实际系统进行分析。

**关键词:** 振荡闭锁 距离保护

## 1 振荡闭锁的原理

7SL32/c采用大框套小框的方式,以装置测量到的阻抗通过两框的时间差作为判别振荡与否的判据。其大框即所谓的振荡闭锁判别元件OQB,小框为起动距离保护的阻抗元件OQ,两个框采用同样原理的带偏移特性的四边形阻抗元件,使两者配合的一致性更合理,更可靠。

当系统振荡时,保护安装处看到的阻抗变化一定是大框继电器OQB先动作,小框继电器OQ后动作,当两者动作时间的差 $\Delta t$ 大于某一预定时间 $\Delta t$ 时,保护装置即判断为系统振荡,将保护闭锁。当被保护线路内发生短路时,OQB和OQ两个阻抗元件同时动作,保护装置即认为线路故障,开放保护。

7SL32/c距离保护振荡闭锁原理如图1所示,图1(a)为原理方框图,图1(b)为原理阻抗示意图。

对于用大框套小框继电器两者动作时间差来判别是否振荡这种原理的保护,存在着在振荡周期太短时,振荡闭锁将失去作用的缺陷,目前欧美大部分公司的距离保护均采用这种原理。因为在振荡时,当大小框继电器定值一定的情况下,振荡周期长时,阻抗变化较慢,即经过大小框动作时间差 $\Delta t$ 就较大,而振荡周期短时,大小框动作时间差 $\Delta t$ 就较小,当 $\Delta t$ 小于预定的整定时间时,振荡闭锁就失去作用,保护将认为是故障而误动作。这种闭锁原理保护对欧美那些电网联系紧密,系统容量充足的国家是适用的;而对我国来说,电网联系较弱,系统容量不足,从运行中系统振荡所统计的数据看,系统振荡的最短周期达0.09s,甚至更短,所以,国外距离保护存在的这些缺陷在中国电网运行是很不利的。

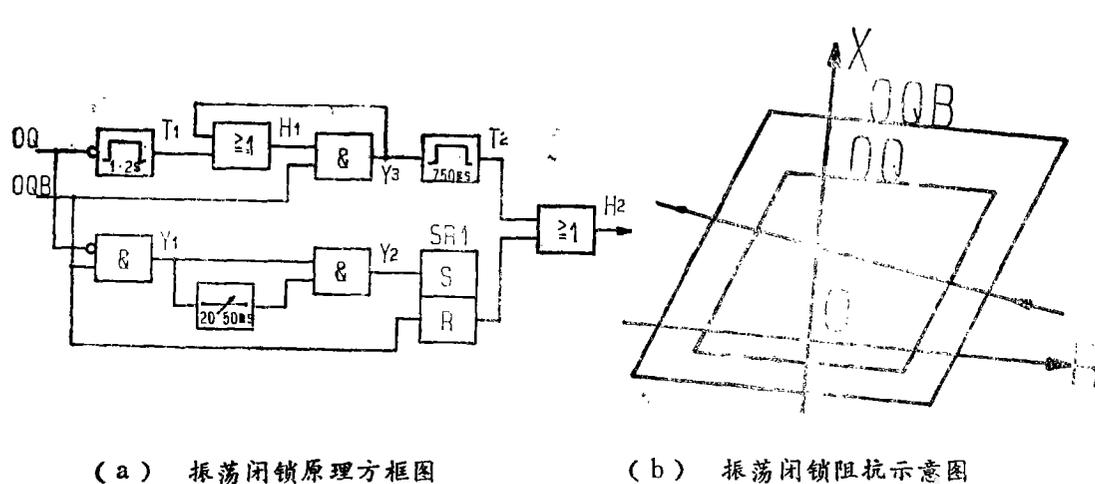


图 1

为此，本装置另外补充设计一闭锁回路，即所谓的快振荡闭锁回路。当小框继电器返回，即起动一单稳时间，发出1.2s的固定方波，而在此时间内大框继电器OQB又动作，此闭锁回路就起作用，闭锁距离保护，只有当大框继电器OQB返回，闭锁才能被解除。当大框继电器动作时，闭锁带750ms的延时。若振荡时又发生区内故障，大小框继电器均动作，振荡闭锁将延时750ms解除。

从以上对这两个回路的分析可以发现，快振荡闭锁回路对振荡周期愈短的振荡其作用效果愈佳。而对于判别大小框继电器动作时间差回路即所谓的慢振荡闭锁回路，振荡周期愈长，此回路作用效果愈好，两者起到了互为补充的作用。

如图 1 (a) 所示，振荡闭锁动作原理是这样的，这里我们以OQB代表大框继电器，OQ代表保护的起动元件即小框继电器。对于慢振荡闭锁回路：振荡时，OQB先动作，此时OQ没动，起动Y<sub>1</sub>，Y<sub>1</sub>起动T<sub>3</sub>，同时至Y<sub>2</sub>，当T<sub>3</sub>到（即Δt延时），Y<sub>2</sub>动作，起动S、R触发器自保持，发出闭锁信号，若Δt不到时OQ动作，OQ将Y<sub>1</sub>否掉，不能发出闭锁信号。对于快振荡闭锁回路：OQ返回起动，起动单稳T<sub>1</sub>保持1.2s，在此1.2s内若OQB动作，Y<sub>3</sub>动作并保持，同时起动T<sub>2</sub>保持750ms。以上两个回路只有在振荡闭锁元件OQB返回，保护才被解除闭锁。由于各个时间回路均靠脉冲突变触发，所以，振荡时又故障不会永久闭锁，仅闭锁750ms。

## 2 Δt动作时间差的确定

我们知道，所谓振荡，就是线路两侧电势 $\dot{E}_M$ 与 $\dot{E}_N$ 间相位角差不断变化。在确定大小框继电器动作时间差时，我们采用如下方法：按系统各元件正序阻抗分配的 $E_M$ 、M、N及 $E_N$ 各点的位置不变，振荡时变化的是表示两侧电势绝对值 $\overline{OE}_M$ 和 $\overline{OE}_N$ 以及 $LE_MOE_N$ 。作出振荡时阻抗变化轨迹的向量图后，就可根据阻抗轨迹穿越大小框继电器期间两侧电势角差 $\Delta\delta$ 的变化值，从而确定阻抗穿过大小框继电器的时间差。

如图 2 所示，设M端为送功端，N端为受功端，继电器分别装于M、N，振荡时均采用各元件的正序阻抗来计算。

正常运行时, 线路的负荷电流为:

$$\dot{i} = \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{Z_M + Z_L + Z_N}$$

$\dot{E}_M$ 、 $\dot{E}_N$ 分别为M、N侧电源电势;

$Z_M$ 、 $Z_N$ 、 $Z_L$ 分别为M、N侧电源、线路的



图2 计算用系统图

正序阻抗; M点电压  $\dot{U}_M = \dot{E}_M - \dot{i} Z_M$  振荡

时, 假设两侧电源电势绝对值相等, 即  $|\dot{E}_M| = |\dot{E}_N|$ 。令  $Z_x = Z_M + Z_L + Z_N$  为系统的正序阻抗之和。

那么, 从M点看到的阻抗, 即继电器的测量阻抗为:

$$Z = \frac{\dot{U}_M}{\dot{i}} = \frac{\dot{E}_M - \dot{i} Z_M}{\dot{i}} = \frac{\dot{E}_M}{\dot{i}} - Z_M = \frac{\dot{E}_M}{\dot{E}_M - \dot{E}_N} Z_x - Z_M$$

$$\text{令 } \dot{E}_M / \dot{E}_N = e^{j\delta}$$

$$\text{则 } Z = \frac{1}{1 - e^{-j\delta}} Z_x - Z_M = \left( \frac{1}{2} Z_x - Z_M \right) - j \frac{1}{2} Z_x \text{ctg} \frac{\delta}{2}$$

对于500kV线路, 线路阻抗角接近于 $90^\circ$ , 在分析振荡时阻抗变化轨迹时, 假设线路阻抗角和系统阻抗角均为 $90^\circ$ , 这为我们分析振荡时测量阻抗的轨迹带来了方便。从上面推导

出的式子, 在假定的条件下可以认出,  $j \frac{1}{2} Z_x \text{ctg} \frac{\delta}{2}$  随着两侧电势角 $\delta$ 的变化总与  $\frac{1}{2} Z_x - Z_M$

垂直, 为此, 只要我们找出向量  $\frac{1}{2} Z_x - Z_M$ , 即可作出振荡时测量阻抗的变化轨迹。

由于7SL32/c要投入华北系统沙岭子—昌平500kV超高压输电线路运行, 在出厂前我们针对沙—昌线为模型, 较详细地对保护进行了动模试验, 现在就以这次试验的模型参数为基础, 结合保护的整定值, 分析 $\Delta t$ 的选择方法。

$$\text{定值: } \text{OQ } X = 57 \quad R/X = 0.8 \quad \overline{X}/X = 0.4$$

$X$ ——继电器阻抗整定值, 对应于电压超前电流 $90^\circ$ ;

$R/X$ —— $0^\circ$  方向对应于 $X$ 的整定值;  $\overline{X}/X$ —— $270^\circ$  方向对应于 $X$ 的整定值;

$$\text{OQB } X = 71 \quad R/X = 0.8 \quad \overline{X}/X = 0.4$$

$X$ 、 $R/X$ 、 $\overline{X}/X$ 意义同上。

OQB与OQ定值的关系是根据西门子公司推荐的比例关系——OQB是OQ定值的1.2~1.25倍确定的。

依据上面推导出的M侧的测量阻抗的公式及各元件参数, 将振荡时测量阻抗及OQB、OQ的特性作在同一图中, 如图3所示。

从图3可以看出, 对于M侧继电器、振荡时测量阻抗的轨迹为从1→2, 当阻抗轨迹进入OQ及OQB, 两侧电势角 $\delta$ 变化了 $10^\circ$ , 而当阻抗轨迹离开大小框时,  $\delta$ 变化了 $11.5^\circ$ 。

参考图2, 对于N侧, 继电器看到的阻抗振荡变化的轨迹可以推出:

$$\text{由于 } \dot{U}_N = \dot{E}_N + \dot{i} Z_N$$

$$\dot{i} = \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{Z_M + Z_L + Z_N}$$

最后推出N侧看到的阻抗振荡轨迹

$$Z = \left( \frac{1}{2} Z_E - Z_N \right) + j \frac{1}{2} Z_E \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2}$$

对于我们此次动模模型  $Z_M \approx Z_N$ ，所以，从上式可以看出，从N侧看到的振荡中心的变化与从M侧看到的基本一样，所不同的是从N侧看到的阻抗振荡变化轨迹从图3上看是2→1，即M侧与N侧看到的测量阻抗变化方向恰好相反。

据此，我们根据图3可以确定在不同  $\Delta t$  定值下，慢振荡回路所能闭锁的最小振荡周期。

7SL32/c距离保护振荡闭锁回路  $\Delta t$  整定可以从20ms到50ms整定，级差10ms。

根据  $\Delta t$  计算所满足的最短振荡周期按下式计算：

$$T_{p, \min} = \frac{360}{\Delta \delta} \times \Delta t \quad T_{p, \min} \text{——最短振荡周期；}$$

表1为对应于  $\Delta t$ ，两侧闭锁的最短振荡周期。

表 1

$\Delta t$ (ms)	$T_{p, \min}$ M侧进(N侧出) (S)	$T_{p, \min}$ M侧出(N侧进) (S)
20	0.72	0.626
30	1.08	0.939
40	1.44	1.25
50	1.8	1.565

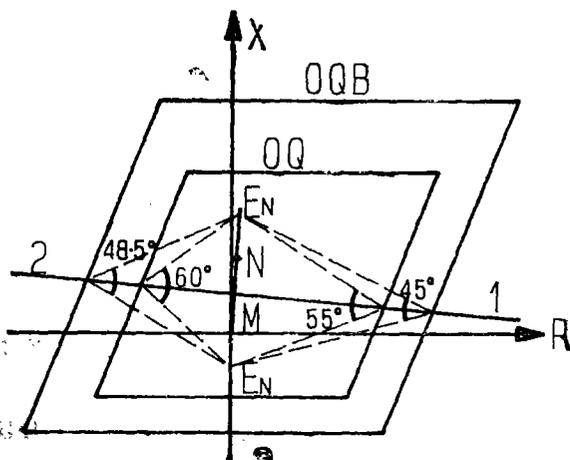


图3 振荡时测量阻抗穿越四边形向量图

从以上计算结果看，在满足大小框整定值下， $\Delta t_{\min}$  愈小愈好。

从系统振荡所统计的数据看，系统振荡的最短周期达0.9s甚至更短。

从表1可以看出，慢振荡闭锁回路是无法满足如此短振荡周期要求的。在不改变大小框继电器定值的条件下，要使慢振荡回路起作用，只有缩短  $\Delta t$  的整定值。假设振荡进入和离开大小框  $\Delta \delta$  的角度均为  $12^\circ$ ，那么，在振荡周期为0.09s时， $\Delta t$  选3ms。

但是， $\Delta t$  在这一定值下，对于被保护线路区内故障时，对保护的动作是不利的，故障时闭锁回路可能误启动，造成保护拒动。

当然，我们从  $T_{p, \min} = \frac{360}{\Delta \delta} \times \Delta t$  式还可以看出，在  $\Delta t = 20\text{ms}$ ，改变  $\Delta \delta$  也可满足在0.09s

振荡周期的闭锁,即可以改变大小框继电器的定值,使 $\Delta = 880^\circ$ ,在这一定值下,大小框继电器定值相差是非常大的,同样会造成区内故障保护拒动。

所以,从上面分析可以看出,慢振荡回路是无法满足各种振荡周期下闭锁保护的要求的,只有使快振荡闭锁回路与慢振荡闭锁回路的协同工作,才能满足不同振荡周期的要求。

### 3 $\Delta t$ 的选择

$\Delta t$ 整定值的选择,首先要考虑到快振荡回路所能作用的最长振荡周期,然后再考虑慢振荡闭锁回路所能闭锁的最短振荡周期。从上面的分析我们知道,快振荡闭锁回路能起作用的最长振荡周期为1.2s,而从表1对动模试验中整定值及模型参数确定的 $T_{P.,m.i.}$ 可以看出,在 $\Delta t$ 选择40ms时, $T_{P.,m.i.} = 1.25s$ ,这一定值下,使快、慢振荡闭锁回路所闭锁的振荡周期有一断口,所以是不能选择的。而当 $\Delta t$ 选择20ms或30ms时, $T_{P.,m.i.}$ 均小于1.08s,即在这一模型及保护定值下,选择 $\Delta t$ 为20ms或30ms是较合适的,能够使两个回路在所能闭锁的振荡周期上有个最佳的配合,也不致在故障时造成保护拒动。当然,对于不同的线路,需通过上面方法,作出向量图,计算相应所选择的 $\Delta t$ 。

### 4 振荡闭锁方式的选择

7SL32/c振荡闭锁有以下方式供选择:闭锁I段,闭锁II段,同时闭锁I、II段,同时闭锁I、II、III段。根据国内运行的习惯,通常选择同时闭锁I、II段的方式。

### 5 与国内“四统一”保护振荡闭锁原理的比较

国内“四统一”距离保护振荡闭锁的原理为:对由于某种原因引起的静稳定破坏造成的振荡,只要相电流元件 $I_\phi$ 及三个第III段阻抗元件 $Z_{IAB}$ 、 $Z_{IBC}$ 、 $Z_{ICA}$ 之一动作,动作信号就会起动装置的振荡闭锁回路,闭锁距离保护,直到振荡平息,振荡不平息,闭锁不解除。对由于故障切除引起的动稳定破坏造成的振荡,在电流起动元件LQ动作,经200ms延时,起动振荡闭锁回路,闭锁距离保护。无论系统故障消失或振荡平息,二者都将起动保护的整组复归回路。

从“四统一”距离保护的原理看,无论是由于静稳定破坏引起的振荡还是由于动稳定破坏引起的振荡。若在振荡过程中被保护线路内又发生故障,就距离保护本身来说,保护本身是无法解除振荡闭锁而动作跳闸的,只有靠其它保护或与重合闸配合快速复归距离保护,或由靠长延时躲振荡的第III段去跳闸(采用闭锁I、II段方式)。而7SL32/c距离保护则可以当振荡中又伴随故障延时750ms解除振荡闭锁开放保护,而不附加其它条件,无疑,这是本保护振荡闭锁回路的一大特色。需要指出的是,750ms的延时主要考虑到慢振荡回路所能作用的最短振荡周期,此时间不宜太长也不宜太短,太长了影响振荡时再故障保护的动作速度,太短了又不利于快振荡闭锁回路起作用。

从7SL32/c距离保护振荡闭锁回路可以看出,当保护动作返回后的1.2秒内,重合到故障上,振荡闭锁信号仍存在,这时将延时动作;为此,同“四统一”距离保护一样,(下转25页)

表2

数据窗 ? -? ms	I( $\omega t$ )		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
2.0—20.0	23.89252	19.91091	19.94853
5.0—25.0	21.52645	20.49817	20.15372
10.0—30.0	17.70530	20.06405	20.03220
15.0—35.0	19.28543	19.69799	19.90681
20.0—40.0	21.41893	19.96474	19.98075

其构成的傅氏算法是比较理想的。数字滤波器的运算量少，是可用于实际微机保护中去的。

## 5 结论

本文提出的数字滤波器，有效地滤除了衰减的直流分量，改进后的傅氏算法克服了受衰减直流分量影响的缺点，精度提高了，能用于实际的微机保护。此数字滤波器计算量少，它还可以适用别的形式傅氏算法。

### 参考文献

- [1] 杨奇迹. 微型机继电保护基础. 水利电力出版社, 1988.
- [2] 张志竞等. 傅里叶算法和微分方程算法的改进. 《电力系统自动化》, 1983, 5.
- [3] 贾贵玺等. 关于推广的傅氏算法滤除衰减直流分量方法的探讨. 全国高校电力专业学术年会论文, 1990.
- [4] 连秉中. 傅立叶算法的直流误差补偿. 中国电机工程学会第四次继电保护和自动装置学术会议论文集, 1986.

（上接49页）

7 SL32/c也设置了重合闸后加速回路。

## 6 动模试验的结果

在这次动模试验中，我们选择 $\Delta t = 30\text{ms}$ ，模拟静稳定破坏引起振荡，区外故障切除造成动稳定破坏振荡，非全相振荡，以及振荡中伴随区内故障，上述各种类型的振荡，保护均能可靠闭锁，对振荡中伴随故障，保护也可按预定的延时跳闸，达到了预定的设计目的。

## 7 结论

7.1 7SL32/c距离保护振荡闭锁回路与原西门子7SL32型距离保护相比，解决了在振荡周期较短时不能闭锁的缺陷，使其构成原理更适合中国电网的结构和运行特点。

7.2 与目前“四统一”距离保护相比，在振荡中又伴随故障，“四统一”保护要延时躲过可能最长的振荡周期由第Ⅲ段跳闸（采用闭锁Ⅰ、Ⅱ段方式），而7SL32/c只需延时750ms动作，其动作速度较“四统一”保护要快。