

阻抗继电器的超越与对策

南京自动化研究所 陈国建

电力规划设计总院 宋晓坤

一 引言

因各种原因,在线路发生短路故障时,会使继电器感受的阻抗值比实际线路短路阻抗值要小,即所谓超越。因此,虽然距离继电器的第 I 段在运行中即使整定为线路全长的 80~85%,但如超越范围过大,仍有可能造成非选择性动作,这是不允许的。引起超越的原因绝大部分已为我们所认识,但有个别原因,尚未被引起重视,多年来国内外继电保护是在研制开发新型阻抗继电器的过程中,为减小阻抗继电器的超越,做了大量的工作,从整体设计原则,元件回路构思,到具体电路的形成,都有不少独到之处,本文着重讨论超越的种类、原因及对策,供同仁们借鉴。

二 超越的种类及原因

超越有稳态超越和暂态超越,引起这两种超越的原因有本质的不同,采取的对策也不同。文中笔者提出的某些观点与看法仅供参考。

1. 稳态超越的原因

引起稳态超越的原因,一种是继电器测量阻抗时,各中间环节误差所引起,如线路 PT、CT 变比误差,以及继电器本身测量误差等。如线路短路阻抗为 10.8 欧,阻抗继电器整定值整定在 10 欧,但因各测量环节的误差,导致阻抗元件此时正好动作,则超越为 $\frac{10.8-10}{10} = 8\%$ 。当然这些误差也可能引起继电器测量范围的缩短,但此并无大的危害,本文仅讨论超越。

引起稳态超越的另一原因,是由于阻抗继电器本身测量原理所致。在某些故障条件下,引入某些阻抗继电器的交流量将导致测量感受阻抗与实际线路短路阻抗不等,如相阻抗继电器在双侧电源经过渡电阻短路时,即或是单侧电源两相经过渡电阻短路时,超前相阻抗继电器也会引起超越。

这里仅分析两相经过渡电阻接地短路时,超前相阻抗继电器超越的原因,如图 1 所示。以单侧电源为例, B、C 两相阻抗继电器的测量阻抗分别为:

$$Z_B = Z_L + \frac{I_B}{I_B + KI_B} R_\phi + \frac{I_B}{I_B + KI_B} R_\psi \quad (2-1)$$

$$Z_C = Z_L + \frac{I_C}{I_C + KI_C} R_\phi + \frac{I_C}{I_C + KI_C} R_\psi \quad (2-2)$$

由此知, Z_B 中 R_2 引起的附加分量为感性, R_2 引起的附加分量为容性, 而 Z_C 中 R_2 与 R_1 的附加分量则反之。一般 R_2 数值比 R_1 大的多, 故 R_1 可忽略, 因此在超前相中引起的附加分量为容性、滞后相为感性。此时 R_2 大小变化时轨迹为圆弧一部分, 如图 2 所示。圆弧大小与系统阻抗 Z_S 、线路阻抗及 K 值等有关。

分析可知, 在某种情况下, 超前相阻抗继电器的测量阻抗将可能进入动作区而超越。

2. 暂态超越的原因

当输电线路发生短路, 将会出现暂态分量。特别是超高压线路, 因电压等级的升高, 输送距离的增长, 线路 X/R 比值的增大 (其线路阻抗角可达 85° 以上), 分布电容的增加, 并联电抗器的接入, 都使短路过程中非周期分量和高频分量大为增加, 衰减时间增长。线路串补电容的应用还导致低频分量的产生, 带有并联电抗器的线路, 在线路全电压下断开三相, 线路上电压将会产生自由振荡, 衰减到零的时间可达数十秒。这些暂态分量便是导致阻抗继电器产生暂态超越或误动的原因。

需着重指出的是, 以往一般仅对短路初瞬态分量引起了注意, 并为此做了不少工作。但对故障切除瞬态过程的超越, 并未引起重视。这里着重指出的目的, 是希望今后能对此引起足够重视。

以往未引起重视的原因如下, 如图 3 所示。以往距离 I 段在线路发生故障后只开放 100ms (毫秒), 它仅从切换继电器动作时间、II 段工作及振荡闭锁配合制定的。当相邻线路 I 段范围内发生故障, 2 处断路器切除故障时间为:

$$t_{OG} = t_{BD2} + t_{DT2} \quad (2-3)$$

式中 t_{BD2} 为 2 处保护动作跳闸时间, 以往一般为 30 毫秒左右, t_{DT2} 为 2 处断路器跳

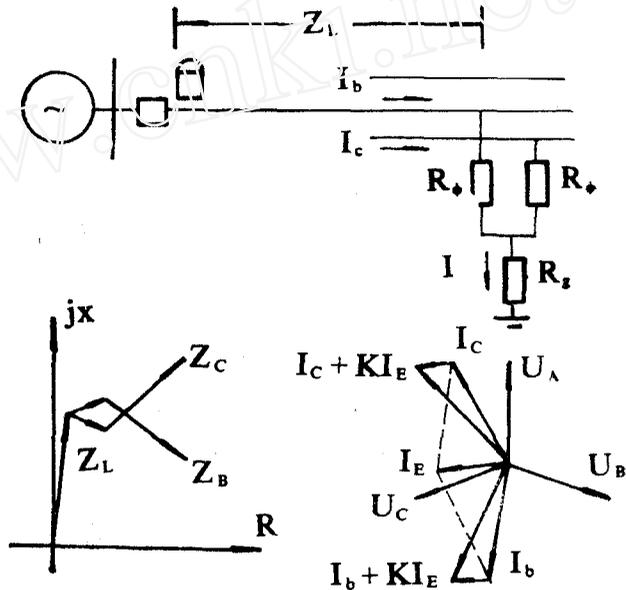


图 1 两相短路过渡电阻对测量阻抗的影响

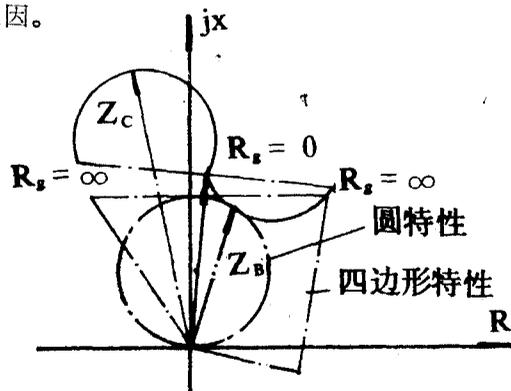


图 2 两相经过渡电阻短路测量轨迹

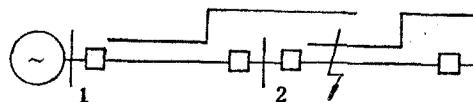


图 3 故障切除对阻抗继电器的影响

间时间，以往一般为60毫秒左右。如此，1处阻抗继电器I段即或因2处切除暂态超越误动，但因：

$$t_{OG} + t_{BD1} > 100 \text{ 毫秒} \quad (2-4)$$

故1处阻抗继电器I段即使有超越，也被I段开放时间所掩盖，不会发生非选择性跳闸，虽在制定I段开放时间时未考虑这一影响，但终因在实际运行中没有遇到麻烦，故此影响长期以来一直未引起人们重视。随着超高压输电线路的出现，输送距离与容量的增大，系统稳定要求故障切除时间越来越快，现一般 t_{DB} 为20毫秒左右（甚或最快可达10毫秒左右），断路器跳闸时间 t_{DT} 可做到40毫秒左右，此时 $t_{OG} + t_{BD1} < 100$ 毫秒，加上超高压线路暂态分量更大，这一问题也就显露出来。在对研制的500千伏超高压线路保护动模试验中已经发现，并相应采取了对策。实际上，引进的一些国外保护有的已提出了这一问题，并采取了措施。这是值得我们重视的一个问题、在研制新保护时，以及制定类似四统一典型原理接线时，都应于注意和考虑。

顺便指出的是在线路故障断开时，因并联电抗器的接入，将与分布电容产生较长时间的自由振荡，这一过程，有时也会引起一些阻抗继电器的误动。如1989年8月15日葛洲坝大江12号变事故后，葛凤线在区外故障切除时，瑞典ASEA公司的RAZFE距离保护，先因功率倒相而误跳两侧A相，随之，两侧电抗器和线路分布电容在A相上产生一个频率约为42周的幅值近额定值的自由振荡电压，并随时间逐渐向滞后方向旋转，因其中相间距离元件为多相补偿原理，故当 U_A 旋转到 U_B 与 U_C 之间时，则距离元件动作。因不属超越，本文不详述，仅说明这种暂态过程也有着不可忽视的影响。

由上看出，当线路故障、故障切除及接有并联电抗器的线路故障切除之后等暂态过程，都是引起阻抗继电器发生超越或误动的原因。

三 对 策

引起稳态超越与暂态超越的原因，有其本质的不同，对策也不一样。

1. 稳态超越的对策

对误差引起的超越，主要应设法尽量减小各中间测量环节的误差，并加以限制与规定，如CT有10%误差曲线等。同时整定时应考虑这些误差而加入可靠系数。

对原理上造成的超越只能从原理上寻求对策，如两相经过渡电阻接地短路，超前相超越的问题，对策有二。

采用滞后相闭锁超前相的方法

因超越仅可能是超前相，故在两相接地短路时，只要设法先将超前相测量元件闭锁，仅保留滞后相测量元件即可得以解决，具体框图如图4所示。

如A、B两相经过渡电阻短路，此时A、B两相起动元件动作，但C相起

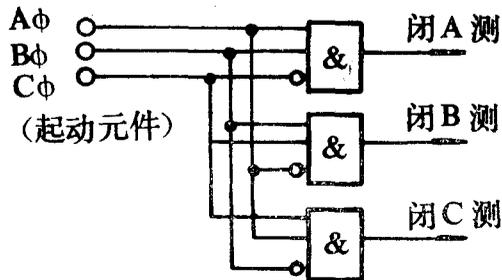


图4 防止超前相超越框图

动元件不会动作，则闭锁A相测量元件，余类推。

采用此法，超前相超越问题大有改善，但在重负荷时，线路发生故障，因测量元件与起动元件存有动作竞赛问题，故闭锁有时会失效。另在两相接地短路时，会因闭锁造成只有等滞后相动作跳闸起动元件返回后，另二相才能跳闸，最终切除故障。

采用附加零序电抗元件的方法

加入零序电抗元件的目的，是使阻抗继电器能适应过渡电阻的变化，从而解决超越。

$$\text{取参考电压 } U_r = I_0 e^{180^\circ} \quad (3-1)$$

$$\text{补偿电压 } u_c = (I_{pA} + K_S I_C) Z_x - u_x \quad (3-2)$$

$$\text{动作方程 } 90^\circ \gg \text{Arg} \frac{u_c}{U_r} \gg -90^\circ \quad (3-3)$$

考虑故障点F两侧的零序阻抗角不等在被保护线路末端接地短路时流经阻抗继电器的零序电流 I_0 将超前故障点 I_E 一定角度，计及附加特性角误差。如总偏差角取 10° 则将 I_0 旋转 80° ，此时如 $K_B^{(1.1)}$ 短路，则超前相 Z_B 不会超越，阴影部分为动作区。

然很易看出如 I_0 超前 I_E 小于 10° 时，则保护区要缩短，这些需综合考虑，以获取最佳效果。

2. 暂态超越的对策

采用阻止暂态分量进入或针对保护影响的特点，从电路上设法解决。需再次指出应同时考虑短路开始瞬间和切除瞬间的暂态影响，对策如下。

(1) 装设滤波器

这是阻止暂态直流分量和高频分量的有效措施，但应考虑对保护时延特性及系统故

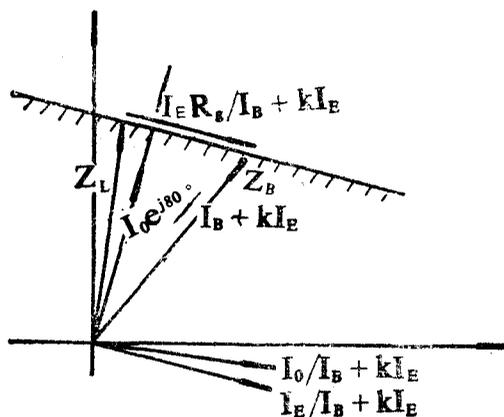


图5 附加零序电抗后特性

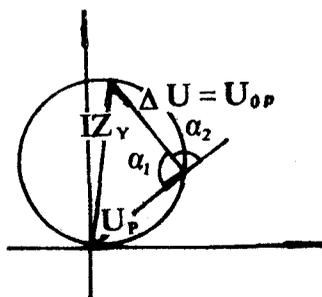


图6 内外角示意图

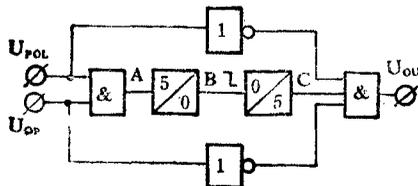


图7 内外角比相逻辑框图

障频率变化后的影响，当然对快速保护频率变化的影响并不明显，滤波器的设计采用很有讲究，可以设法做到既能防止超越又能保证在保护近处短路时不增加保护动作的时间。

(2) 采用内外角比相

无论是圆特性或四边形特性阻抗元件，均可采用比相回路而获得，但以往仅采用只比较外角或内角的方法构成，如图6所示。 α_1 与 α_2 分别为内外角，如采用内外角比相条件同时满足的方法，将有效的防止暂态直流分量，逻辑框图如图7所示。

在此，以两种情况讨论比相回路工作状态，并均以正半波为例。a) 最大灵敏角， 90° 以后短路，波形图如图8所示。这里0/5为由“1”态到“0”起动，b) 为末端短路，波形图如图9所示。

可见，如仅半波比相，a) 的情况是第一次5毫秒能够比上，则动作时间为5毫秒，如第一次不行则要附加10毫秒。同样b) 的情况也是如此，只是因在末端，工作回路与极化回路的方波相差近 90° 、输出波形为一脉冲，在有直流分量时， U_{OP} 的正半波加长，这时将无输出，故有效的防止了直流分量影响造成的超越。

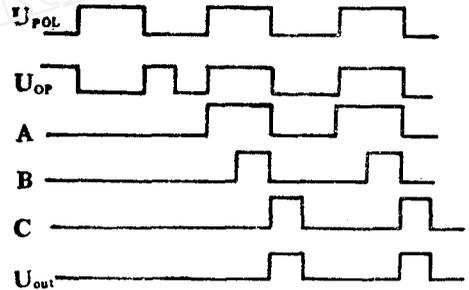


图8 最大灵敏角 90° 后短路波形图

需指出的是上述内外角比相均是在半个周波内完成，动作速度仍然很快。如果采用正、负半波与门输出，动作速度虽然受到一定影响，但暂态超越将更小，实践证明这些方法是行之有效的。试验数据如表1所示。

表1 不同比相方式超越范围

比相方式	超越范围
仅内角或外角	8~9%
半波内外角	3.5%
正负半波(与门)内外角	1.7%

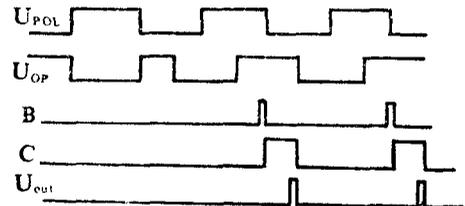


图9 末端短路波形图

当采用正、负半波内外角比相与门输出时，只要加装一些辅助电路，便能达到既可大大减小暂态超越、又可做到仅在靠近保护末端短路时才会附加延时动作的最佳要求，这里不赘述。

(3) 采用比相时间可变特性

以往比相时间都是固定不变的，这里则利用比相时间的变化，自动地将短路初瞬间

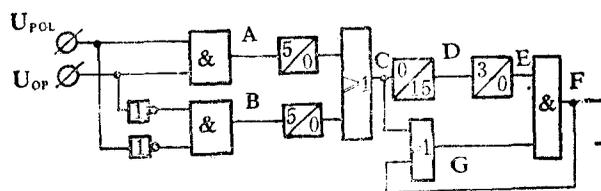


图10 可变特性逻辑框图

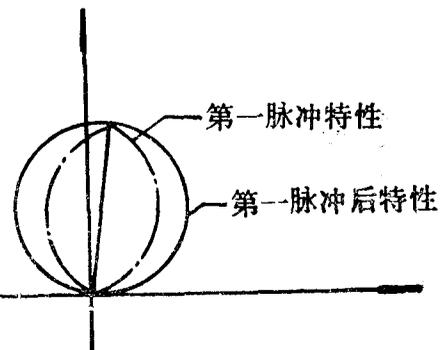


图11 可变阻抗特性

的阻抗元件特性压短，如圆特性阻抗元件，在短路初瞬第一脉冲时压缩为透镜形，以达到防止超越。逻辑框图如图10所示，阻抗特性如图11所示。

框图对应于正、负半波或门输出的情况，波形图如图12所示。a) 对应于灵敏角下， 0° 以后不是保护末端短路的情况，b) 对应于保护末端短路的情况。可见末端短路因延时动作，从而躲开了暂态影响引起的超越。在改进瑞士BBC公司LZ—96距离保护中采用了这个方法，实践证明是行之有效的。如采用正、负半波与门输出，效果将更好，但延时较长，然也有好的解决办法。

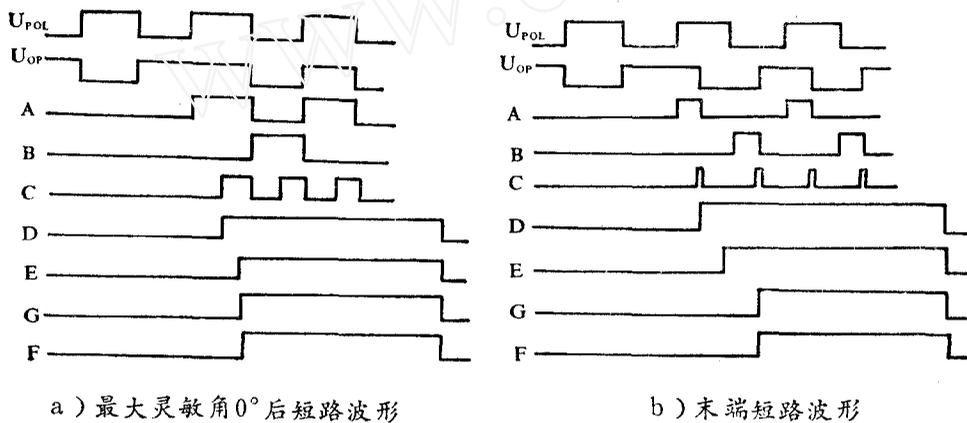


图12 可变特性波形图

防止短路瞬间暂态过程引起阻抗元件超越，还有一些对策，不在一一述及，仅举此几例。

(4) 短路切除引起超越的对策

最简单的办法是缩短I段开放时间，但这不是一个好的方法，因为要保证保护可靠动作，时间不能压缩的太短。

现介绍一种采用脉冲检查回路的对策，逻辑框图如图13所示。

脉冲检查实际上是由充放电回路构成，此处，充电时间常数 $\tau = 34$ 毫秒，放电时间，

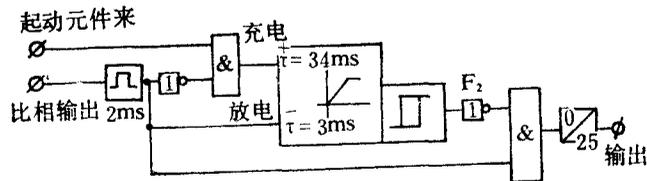


图13 脉冲检查逻辑框图

常数 $\tau = 3$ 毫秒。如故障发生在区内I段，因动作很快，脉冲检查回路来不及充电，由比相输出的信号直接经 Y_2 及展宽回路输出跳闸。如区外故障，起动元件动作后，经34毫秒，脉冲检查回路动作，经 F_2 将 Y_2 否去，此时要 F_2 去除闭锁信号，比相输出至少有三次才行，从而有效防止了区外故障切除时暂态造成的超越。当然前述的许多方法，对这种暂态超越也有一定的抑制作用，但即或这样，采取专门的措施仍有必要，国外一些

一种恒定灵敏度的方向行波保护

山东工业大学 潘贞存 王广延

摘要 本文简单介绍了行波判别式方向行波保护的基本工作原理,通过分析,指出了这种保护存在的问题,在此基础上,提出了一种新的保护方案,解决了原保护方案中的问题,并使保护得到简化。

一 引言

1978年, M. Chamia M. T. Yee等人提出了利用故障引入的行波量来实现继电保护的新方法^[1, 2], 为继电保护的研究开辟了新的广阔的领域, 因为这种方法具有一系列的优点, 可以解决一些常规保护难以解决的问题, 因而受到了许多国家的继电保护工作者的普遍关注, 并进行了大量的研究工作, 取得了许多可喜的成绩。继M. Chamia, M. T. Yee的极性比较式方向行波保护之后, 日本的T. Takagi提出了基于行波原理的纵差保护——行波差动保护^[3], 加拿大的H. W. Dommet提出了利用行波判别式方向行波保护^[4], 英国的A. T. Johns提出了通过判断正向波和反向波出现的顺序来判断故障方向的顺序比较式方向行波保护^[5], 瑞士的M. Vitins提出了判别故障行波轨迹

保护便是如此。

四 结束语

实际对于不同的元件可根据引起超越的原因, 元件构成的特点, 从而从原理特性上或电路上采取对策加以防止。本文仅对阻抗元件的超越进行了初步的归纳与分析, 并介绍了某些对策, 因水平及篇幅所限, 错误与不全之处在所难免, 望读者鉴谅。

参考文献

- [1] 华中电管局调度局继电保护科. 1989. 8. 15 葛洲坝大江12号变事故保护动作分析及改进. 1989. 10.
- [2] 陈国建、宋璇坤 国内外超高压线路保护装置及在国内系统中配置、运行概况. 1988. 9.
- [3] T SL32, High-Speed Distance Protection Siemens Co.