

# 双侧电源线路的前后加速式重合闸

湖南大学邵阳分校 胡延龄

**摘 要** 本文提出了双侧电源网络实现重合闸前加速保护动作,重合闸后也加速保护动作的研究方案。该方案新颖独特,实现容易,在35~110kV双侧电源网络中有一定的实用价值。

**关键词** 前后加速式重合闸 双侧电源

## 1 工作原理

对双侧电源网络而言,继电保护与重合闸的配合如何实现重合闸前加速保护动作,重合闸后也能加速保护动作的所谓“前后加速式”重合方式,这是本文所要研究探讨的问题。现以图1所示的网络接线为例说明其工作原理。线路 $L_{AB}$ 、 $L_{BC}$ 、 $L_{CD}$ 的前后加速式重合闸(用“ZCH”表示)的配置如图1所示。各条线路配置了主保护和后备保护。主保护按线路末端有足够的灵敏度进行整定,能全线速动,因而不包含常规阶段式保护中的II段保护。当线路 $L_{BC}$ d点发生短路故障时,假设整个网络只有保护2、5动作,则重合闸前第一次将由保护2、5的主保护以“前加速”方式瞬时跳闸,不管故障发生在线路的始端还是末端,重合闸前切除故障都是快速的。由于两侧保护对故障的瞬时切除,缩短了重合闸整定时间 $t_{ZCH}$ ,两侧断路器2DL、5DL得以快速重合。如d点是瞬时性故障,则2DL、5DL重合成功。如d点为永久性故障,重合闸后第二次则由保护2、5以“后加速”方式使2DL、5DL再次瞬时跳闸,加速切除永久性故障,并不再重合。当线路 $L_{BC}$ d点故障,出现保护1(或4)、2、5均以“前加速”方式瞬时跳闸的情况时,则保护1(或4)的动作是无选择性的。故障点在线路 $L_{BC}$ 、线路 $L_{AB}$ 、(或 $L_{CD}$ )是非故障的、健全的,这种情况下应为先恢复健全线路的供电。通过采用非故障线路断路器先重合,故障线路断路器后重合的有序相继重合方式,使1DL先重合,继而2DL重合。1DL重合于非故障线路,其重合无疑是成功的,因而可靠恢复对相邻B母线的正常供电。2DL相继重合后,如d点是瞬时性故障,则重合成功,恢复对整个网络的正常供电。如d点属永久性故障,则保护1通过跳闸闭锁回路实现可靠闭锁,不再使1DL跳闸,d点故障将由保护2、5以“后加速”方式快速

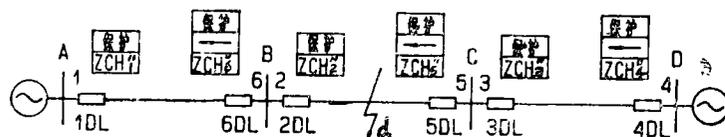


图1 双侧电源网络保护及前后加速式重合闸的配置

切除,使得非故障线路断路器的重合成功与故障线路的故障性质无关。由于采用了前后加速式重合闸,即使出现保护的无选择性动作,恢复非故障线路的正常供电是快速可靠的。

## 2 实现方法

双侧电源网络前后加速式重合闸的逻辑电路如图 2 所示。现以保护 2 为例,介绍其实现方法。

### 2.1 正常运行时前后加速式重合闸的工作状态

当电网处于正常运行状态时,电流、电压、正常,主保护不起动,“或”门  $H_1$  无输出,断路器常开辅助触点  $2 DL_1$  闭合,时间元件 3 起动并有输出,但加速继电器  $2 JSJ$  不起动,时间元件 2 无输出,“与”门  $2 Y_1$  无输出,即跳闸闭锁电路对主保护处在“开放”状态,过电压元件  $2 U$  大于起动,但断路器常闭辅助触点  $2 DL_2$  是打开的,时间元件 4 不起动,“与”门  $2 Y_2$  无输出,由于低电压元件  $2 U$  小于无输出,“与”门  $2 Y_3$  无输出,  $2 Y_4$  亦无输出,快速重合闸回路处在“开放”状态,“检无压”(连接片  $LP$  置于“1”位置)、检同期(连接片  $LP$  置于“2”位置)、重合闸回路处在“闭锁”状态。即正常运行时跳闸回路和重合闸回路均处于准备动作状态。

### 2.2 保护完全有选择性动作时前后加速式重合闸的实现。

线路  $L_{bc}$  d 点发生短路故障时,整个网络假设只有本线路保护 2、5 起动跳闸,称之为保护完全有选择性动作。对保护 2 而言,故障即使发生在本线路的末端,其主保护亦能可靠起动,通过“否”门  $2 F_1$ 、“或”门  $H_1$  瞬时跳闸。同理,对侧保护 5 亦瞬时跳闸,实现所谓“前加速”。 $2 DL$  跳闸后, B 母线电压正常,电压元件  $2 U$  大于有输出,常闭辅助触点  $2 DL_2$  闭合,时间元件 4 起动,经  $t_4 = t_{zch}$  时限后,“与”门  $2 Y_2$  有输出。因电压元件  $2 U$  小于无输出,“与”门  $2 Y_3$  不可能有输出,重合闸信号得以通过“否”门  $2 F_2$ 、经“或”门  $H_2$  实现  $2 DL$  的快速重合,同时排除了检无压、检同期重合的可能。这里实际上采用了检查母线有电压的重合方式。同样,对侧断路器  $5 DL$  经  $t_{zch}$  时限后亦重合。如 d 点属瞬时性故障,则重合成功,保护恢复正常工作状态。如 d 点是永久性故障,保护 2 的主保护将再次起动。与此同时,尽管其加速继电器  $2 JSJ$  已有输出,  $2 DL_1$  已闭合,但需经  $t_1$  时限后,“与”门  $2 Y_1$  方能有输出。正是由于  $t_1$  时限的设置,使得  $2 Y_1$  的输出滞后于主保护的输出,由“否”门  $2 F_1$ 、 $2 F_2$  构成的时序电路,出现了  $2 F_1$  的输出先于  $2 F_2$  的情况,保护 2 的主保护经“或”门  $H_1$  得以瞬时跳闸,即实现所谓瞬时而加速。另外,为防患跳闸误闭锁,还设置了经  $t_1 = 0.5s$  的延时加速。同理,对侧保护 5 也将以瞬时而加速方式切除 d 点永久性故障。d 点故障时,由于两侧保护均以“前加速”方式瞬时跳闸,与单纯采用“后加速”方式相比,可以不考虑两侧保护以不同时限切除故障的影响,因而  $t_{zch}$  至少可以缩短一个阶梯时限,即  $t_{zch}$  可以整定在  $0.6s$  左右,故称为快速重合闸。由于采用了前后加速方式,不仅加速了故障的切除,而且也加快了电网恢复正常供电的时间。

### 2.3 保护无选择性动作时的“加速”与“闭锁”

在某种运行方式下,线路  $L_{bc}$  d 点故障时,除保护 2、5 以“前加速”方式动作跳闸外,还可能出现保护 1、或保护 4、或保护 1、4 以“前加速”方式无选择性动作跳闸的情况。先以保护 1 无选择性动作跳闸的情况进行分析。 $1 DL$ 、 $2 DL$ 、 $5 DL$  瞬时跳闸后, B

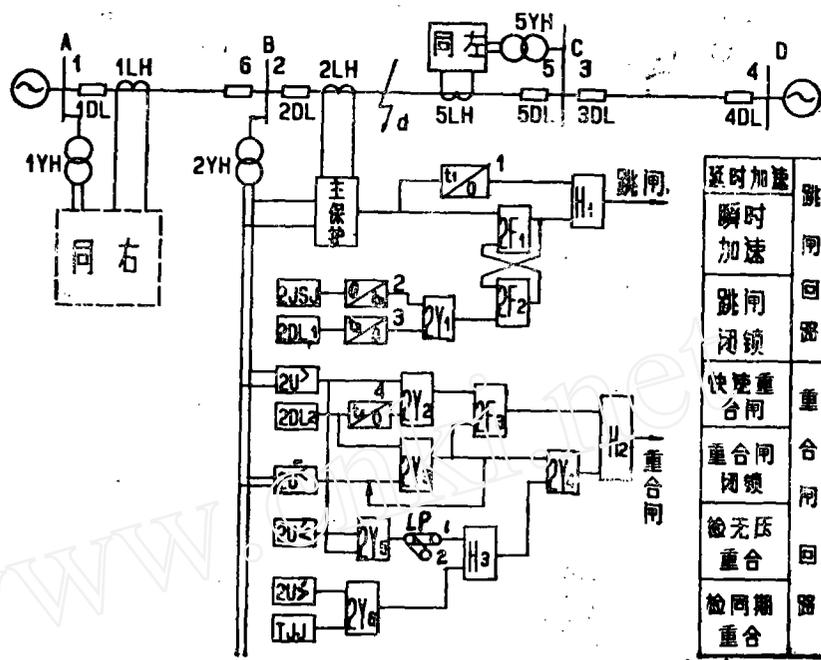


图2 前后加速式重合闸逻辑电路

母线失压，线路 $L_{bc}$ 失压，保护2电压元件 $2U$ 大于不起动，反应线路侧有电压的电压元件 $2U'$ 大于亦不起动，“与”门 $2Y_2$ 、 $2Y_3$ 、 $2Y_4$ 无输出。相反，低电压元件 $2U$ 小于有输出，“与”门 $2Y_3$ 有输出并自保持，即保护2重合闸回路被“闭锁”， $2DL$ 不重合。对保护1而言， $1DL$ 跳闸后，A母线电压正常，保护1的重合闸装置检查A母线有电压而使 $1DL$ 重合。因线路 $L_{ab}$ 是健全的，故 $1DL$ 的重合是成功的。与此同时，保护1的加速继电器 $1JSJ$ 起动，断路器辅助触点 $1DL_1$ 闭合，起动时间元件3，经一个很短的时限 $t_3$ ，“与”门 $1Y_1$ 有输出，“否”门 $1F_2$ 有输出。因保护1的主保护不会起动， $1F_1$ 无输出，使得在 $2DL$ 重合之前实现对非故障线路保护1的跳闸闭锁。另一方面，几乎在 $1DL$ 重合的同时， $5DL$ 亦重合。待到 $1DL$ 重合，恢复对B母线的正常供电时，过电压元件 $2U$ 大于起动，时间元件4已由 $2DL_2$ 起动，“与”门 $2Y_2$ 虽有输出，但快速重合闸的出口，即“否”门 $2F_3$ 已被“闭锁”。因为待到断路器 $2DL$ 重合时，其重合闸时间实际已大于 $t_{zcb}$ 。这时两侧电源电势可能失步较大，不符合快速重合闸条件，故将其闭锁是必要的。假设保护2置于“检无压”（对侧保护5置于“检同期”），其重合闸装置的重合方式却与故障性质有关。如 $5DL$ 重合于d点瞬时性故障，则保护2线路侧电压正常，检查线路无电压的低电压元件 $2U'$ 小于释放，过电压元件 $2U'$ 大于起动。前者排除了“检无压”重合的可能，后者为“检同期”重合创造了条件。一旦达到“同期”条件时，“与”门 $2Y_4$ 有输出，经“或”门 $H_3$ ，“与”门 $2Y_4$ 、“或”门 $H_2$ 实现检同期重合，并且重合成功。如 $5DL$ 重合于d点永久性故障，保护5将再次跳闸，保护2线路侧失压，又因B母线电压正常，故电压元件 $2U$ 大于、 $2U'$ 小于有输出，“与”门 $2Y_3$ 有输出，重合闸信号经连接片 $LP$ ，“或”门 $H_3$ 、“与”门 $2Y_4$ 及“或”门 $H_2$ 实现“检无压”重合。因为重合于d点永久性故障，主保护起动，如同以上的分析，时序电路 $2F_1$ 的输出将先于 $2F_2$ 的输出，保护经“或”门 $H_1$ 实现瞬

时后加速, 或经 $t_1$ 、“或”门 $H_1$ 实现延时后加速。为可靠恢复非故障线路的供电, 有效纠正保护的无选择性动作, 设置了跳闸闭锁电路, 主保护被闭锁的时间长短由JSJ的记忆时限 $t_2$ 确定, 闭锁主保护的快慢由 $t_3$ 确定。

同理, 可分析保护4, 或保护1、4无选择性动作时, 各保护的前后加速式情况和重合闸方式。现将d点故障时, 保护不同动作情况的重合闸方式列于附表1。

### 3 对保护动作情况的分析

从附表1可见, 保护的動作情况、故障性质影响重合闸方式。对附表1的第一种情况, 保护属于完全有选择性动作, 相应的重合闸方式为快速重合闸。这种重合闸方式是可取的。这是基于, 其一、在快速保护和高速断路器已成为可能, 电网电气联系日趋密切的情况下, 从故障开始到重新合闸的时间便能控制在0.6s左右。在这个较短的时间内, 系统两侧电源电势角摆开不会太大, 可以不必考虑同期问题, 快速直接重合极可能获得成功, 有利于系统稳定。其二, 能快速切除永久性故障。对于第二、第三种情况, 凡是无选择性越级动作的保护采用快速重合方式, 又通过重合闸装置迅速纠正了保护的无选择性动作, 恢复健全线路的正常供电。故障线路的一侧, 采用快速重合方式, 另一侧检同期重合。但暴露第二种情况的不足之处, 即当d点是永久性故障, 对侧保护以“后加速”方式跳闸后, 由于“检无压”的投入, 本侧保护还将重合一次, 这是没有必要的。对于第4种情况, 越级动作的保护以快速重合方式恢复对故障线路母线的供电。对故障线路而言, 一侧检无压重合, 另一侧检同期重合, 这符合通常双侧电源线路检无压、检同期的重合闸方式。但是对非故障线路而言, 保护无选择性动作范围大, 这是所不希望的。如果线路主保护的起动参数均按躲相邻线路的中点进行整定, 按本线路末端短路条件进行校验, 并以阻抗与零序元件改善保护的构成, 则当线路 $L_{bc}$ d点故障时便可避免出现第四种情况。在这个前提下, 从附表1看出, 可以取消“检无压”重合方式, 即可将图2中的连接片断开, 即将LP置于“2”位置。取消检无压重合方式, 不仅简化了保护的接线, 而且还可避免第二种情况中保护2(ZCH<sub>2</sub>)对永久性故障的不必要的重合。两侧保护均投入检同期时, 保护动作情况及重合方式列于附表2。由保

附表 1

| LP位置                 | 类别 | 保护动作情况 |        | 重合方式  |                               |                               | 备注   |
|----------------------|----|--------|--------|---|-------------------------------|-------------------------------|--|
|                      |    | 越级动作   | 有选择性动作 | 快速重合闸   | 检无压重合闸                        | 检同期重合闸                        |  |
| 保护2<br>LP位置<br>“1”位置 | 1  |        | 2.5    | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |                               |                               |  |
|                      | 2  | 1      | 2.5    | ZCH <sub>1</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |                               | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> | 永久性故障时ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> 检无压重合  |
|                      | 3  | 4      | 2.5    | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>4</sub> <sup>#</sup> |                               | ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |  |
|                      | 4  | 1,4    | 2.5    | ZCH <sub>1</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>4</sub> <sup>#</sup> | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> | ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |  |
| 保护2<br>LP位置<br>“2”位置 | 1  |        | 2.5    | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |                               |                               |  |
|                      | 2  | 4      | 2.5    | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>4</sub> <sup>#</sup> |                               | ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> | 永久性故障时检ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> 检无压重合 |
|                      | 3  | 1      | 2.5    | ZCH <sub>1</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> |                               | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> |  |
|                      | 4  | 1,4    | 2.5    | ZCH <sub>1</sub> <sup>#</sup> ZCH <sub>4</sub> <sup>#</sup> | ZCH <sub>5</sub> <sup>#</sup> | ZCH <sub>2</sub> <sup>#</sup> |  |

护的整定原则及附表 2 的分析可知,当故障发生在线路的中部时,出现第一种情况的几率大;当故障发生在线路的始端或末端时,很可能是第二或第三种情况。从总的故障几率看,后者的几率大于前者,即发生故障时多数情况下,故障线路的ZCH"仍然是检同期重合,这符合常规的作法和人们的习惯心理。

附表 2

| 类别 | 保护动作情况 |        | 重合方式                                  |                    | 备注 |
|----|--------|--------|---------------------------------------|--------------------|----|
|    | 越级动作   | 有选择性动作 | 快速重合                                  | 检同期重合              |    |
| 1  |        | 2,5    | ZCH <sub>2</sub> " ZCH <sub>5</sub> " |                    |    |
| 2  | 1      | 2,5    | ZCH <sub>1</sub> " ZCH <sub>5</sub> " | ZCH <sub>5</sub> " |    |
| 3  | 4      | 2,5    | ZCH <sub>2</sub> " ZCH <sub>4</sub> " | ZCH <sub>5</sub> " |    |

## 4 结论

4.1 前后加速式重合闸集“前加速”与“后加速”为一体,扬其长,剔其短。该重合闸方式的采用,对提高重合闸成功率,加速切除永久性故障,维持系统稳定有现实意义。

4.2 前后加速式重合闸的采用,不仅简化了保护的构成与整定计算,而且在继电保护领域中也引起某些观念的改变。如重合闸与继电保护的配合方式从单一的“前加速”或“后加速”到二者兼容;双侧电源网络中从严密的选择性要求到允许保护无选择性动作,从阶段式保护中主保护(非全线速动)概念的含糊到与高频保护(全线速动)中主保护概念的确切、统一,以致取消“阶段式保护”的可能;双侧电源网络中从一侧“检无压”另一侧“检同期”的概念到一侧“快重重合”另一侧“检同期”,以致取消“检无压重合方式”;从复杂保护具备“全线速动”功能到简单保护亦具备“全线速动”功能;主保护的整定计算从严密遵循保护之间的配合关系到可以不考虑这种配合关系等等。

4.3 在具备快速保护、高速断路器以及电网电气联系较密切的情况下,前后加速式重合闸在一般的35~110kV双侧电源网络中有广泛的应用前景。

4.4 由于保护的无选择性动作造成非故障线路的短暂供电中断,同时增加了断路器的动作次数,增大了断路器的维护工作量。

## 参考文献

- 胡延龄. 单侧电源线路的前后加速式重合闸. 电力技术, 1991. 1.