

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101951016 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 05

(21) 申请号 201010159021. X

(22) 申请日 2010. 04. 22

(73) 专利权人 广东电网公司

地址 510600 广东省广州市越秀区东风东路
757 号

专利权人 广东电网公司电力科学研究院

(72) 发明人 段新辉 刘兵 高新华 秦应力

谢善益 刘玮 赵永发 梁晓兵

姚斌 葛亮 屠黎明 张志强

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理

有限公司 44224

代理人 王茹 曾旻辉

(51) Int. Cl.

H02J 9/06 (2006. 01)

G05B 13/04 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101286653 A, 2008. 10. 15,

CN 101673965 A, 2010. 03. 17,

US 2002/0027508 A1, 2002. 03. 07,

US 2004/0262997 A1, 2004. 12. 30,

审查员 沈杰

权利要求书4页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法

(57) 摘要

一种基于广域信息、备用电源自动投入自适应建模、备用电源过载优化控制策略预决策、各自投模型优化和控制的方法,包括:各自投自适应建模,建立故障跳闸电源集合至各自投模式集合的多值映射;备用电源过载优化控制策略预决策;各自投模型优化;区域故障判别;控制策略在线匹配和控制跟踪。本发明是区域电网运行方式下建模,自动生成广域的充放电条件、启动条件和各自投逻辑,适应运行方式变化,适应广域各自投;基于预决策方法,优化过载切负荷控制策略和优化各自投模型;区域故障判别,对复电源故障跳闸协调各自投模型动作,避免非计划合环;在线匹配搜索控制策略,考虑小电源,和稳控系统、保护装置配合,保证备用电源投入后系统安全稳定运行。

基于元件间关联属性的各自投自适应建模

优化切负荷控制策略

各自投模型优化

区域故障判别

各自投控制策略在线匹配和控制跟踪

1. 一种基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,包括步骤:

建立故障跳闸电源集合 PS_f 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射,所述建立多值映射的过程包括:对于故障跳闸电源集合 PS_f 中的任一故障跳闸的工作电源,基于元件间关联属性,搜索该故障跳闸的工作电源对应的失电区域,并映射生成对应的各自投模式集合,各自投模式包括故障跳闸工作电源、失电区域、备用电源、可操作的开关,以及自动生成的广域的充电条件、放电条件、启动条件和各自投逻辑;

根据故障跳闸的工作电源对应的各自投模型进行各自投的动作逻辑操作和控制,所述动作逻辑操作和控制的过程包括:

搜索与所述故障跳闸工作电源信息对应的失电区域信息,确定各自投模型;

判断是否满足所述放电条件,若不满足,判断与所述失电区域相关联的工作电源是否无流,若无流,启动各自投系统,跳开所有工作电源开关,并在预设的工作电源跳开确认延时时间内监测工作电源开关是否断开,若断开,执行切负荷控制策略,闭合备用电源开关。

2. 根据权利要求 1 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述建立故障跳闸电源集合 PS_f 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射的过程在发生工作电源故障跳闸之前进行。

3. 根据权利要求 2 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在建立多值映射之后、进行各自投的动作逻辑操作和控制之前,还包括步骤:

执行区域故障判别措施,所述区域故障判别措施包括:根据工作电源故障跳闸后实时监测到的工作电源的运行状态和失电母线匹配备各自投模型,在发生复电源故障跳闸时,协调各自投模型动作时序。

4. 根据权利要求 1 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于:

所述建立故障跳闸电源集合 PS_f 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射的过程在发生工作电源故障跳闸之后、进行各自投的动作逻辑操作和控制之前进行。

5. 根据权利要求 1 至 4 任意一项所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在建立故障跳闸电源集合 PS_f 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射之后,各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还包括步骤:

执行备用电源过载控制策略预决策,所述备用电源过载控制策略预决策具体包括:对故障跳闸工作电源、该故障跳闸工作电源对应的备用电源线进行潮流计算扫描,判断备用电源线是否过载,若过载,在执行优化切负荷控制策略之后建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型,若不过载,建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型。

6. 根据权利要求 5 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在执行所述备用电源过载控制策略预决策之后、各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还包括步骤:

对各自投模型执行优化操作,以满足失电区域和备用电源关联度大、切负荷量小、操作开关数量小的需求。

7. 根据权利要求 1 或 2 或 3 或 4 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动备

自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动备自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

8. 根据权利要求5所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动备自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动备自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

9. 根据权利要求6所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动备自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动备自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

10. 根据权利要求1至4任意一项所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS实时数据、WAMS实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述EMS实时数据、WAMS实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

11. 根据权利要求7所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方

法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS实时数据、WAMS实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述EMS实时数据、WAMS实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

12. 根据权利要求8所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS实时数据、WAMS实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述EMS实时数据、WAMS实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

13. 根据权利要求9所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS实时数据、WAMS实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述EMS实时数据、WAMS实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

14. 根据权利要求1或4所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,该方法适用于工作电源故障跳闸后“实时决策”,所述实时决策是在工作电源故障跳闸之后,对故障后的电网进行网络分析、搜索,确定对应的失电区域、备用电源、可操作的开关,进而建立各自投模型。

15. 根据权利要求14所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在建立故障跳闸电源集合 PS_f 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射之后,各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还包括步骤:

执行备用电源过载控制策略预决策,所述备用电源过载控制策略预决策具体包括:对故障跳闸工作电源、该故障跳闸工作电源对应的备用电源线进行潮流计算扫描,判断备用电源线是否过载,若过载,在执行优化切负荷控制策略之后建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型,若不过载,建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型。

16. 根据权利要求15所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在执行所述备用电源过载控制策略预决策之后、各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还包括步骤:

对各自投模型执行优化操作,以满足失电区域和备用电源关联度大、切负荷量小、操作开关数量小的需求。

17. 根据权利要求14所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动各自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动各自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

18. 根据权利要求 15 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动备用自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动备用自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

19. 根据权利要求 16 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动备用自投系统之前,还包括步骤:

判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动备用自投系统的步骤;

和/或

在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:

判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网;若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

20. 根据权利要求 14 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS 实时数据、WAMS 实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述 EMS 实时数据、WAMS 实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

21. 根据权利要求 15 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS 实时数据、WAMS 实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述 EMS 实时数据、WAMS 实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

22. 根据权利要求 16 所述的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,其特征在于,所述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS 实时数据、WAMS 实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述 EMS 实时数据、WAMS 实时数据或者安全稳定控制系统实时数据的衍生数据。

基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统领域,特别涉及一种基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法。

背景技术

[0002] 随着社会经济的发展,电网规模日益庞大,电网结构也越来越复杂,用户对供电的质量和可靠性的要求也越来越高。为了满足电网的经济、安全运行的需求,电网接线一般都采取闭环设计、开环运行的模式,一些 220kV 环网解环运行、220kV 母线分列,使得短路电流得到控制,解决了局部电网正常运行情况下的线路过载问题和 N-1 故障下的部分线路严重过载问题,提高了输电能力,但同时也产生了一些母线甚至变电站由单侧电源供电的情况,降低了供电的可靠性。由此,备用电源自动投入装置(通常也简称为备自投装置或者备自投)作为提高供电可靠性的手段得到了广泛应用。

[0003] 目前常规的备自投装置的应用,是基于就地的信息,通过人工预先设定输入“操作序列表”,并按照该预定的“操作序列表”来实现备用电源的自动投入,这种应用方式,由于是由人工输入操作序列表,在电网系统的网络结构或者相关数据发生变化的情况下,如果需要对备自投的自动投入方式或者切换控制策略进行更改,需要人为去更改操作序列表,这种方式,不仅需要耗费人力物力资源,还需要耗费大量的时间来将操作序列表修改至于变化后的电网系统相对应,无法适应运行方式的变化,无法解决复杂的远方备自投,无法实现不同备自投模式的优化,也无法实现与安全稳定控制装置、保护装置的配合,没有细化考虑小电源对备自投策略的影响,无法优化备用电源投入后的过载切符合控制策略,甚至,备自投动作后可能导致事故扩大,酿成大面积的停电事故。

发明内容

[0004] 针对上述现有技术中存在的问题,为了适应智能电网对“自愈”性能的要求,本发明的目的在于提供一种基于广域信息的备用电源自动投入控制方法,其可以有效提高备自投模型对区域电网运行方式变化的自适应性,实现广域负荷恢复供电,保证备用电源自投成功后电网安全稳定运行。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 一种基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,包括步骤:

[0007] 建立故障跳闸电源集合 PS_F 至备自投模式集合 ABT_M 的多值映射,所述建立多值映射的过程包括:对于故障跳闸电源集合 PS_F 中的任一故障跳闸工作电源,基于元件间关联属性,搜索该故障跳闸工作电源对应的失电区域,并映射生成对应的备自投模式集合,备自投模式包括故障跳闸工作电源、失电区域、备用电源、可操作的开关,以及自动生成的广域的充电条件、放电条件、启动条件和备自投逻辑;

[0008] 根据故障跳闸工作电源对应的备自投模型进行备自投的动作逻辑操作和控制,所述动作逻辑操作和控制的过程包括:

[0009] 搜索与所述故障跳闸工作电源信息对应的失电区域信息,确定各自投模型;

[0010] 判断是否满足所述放电条件,若不满足,判断与所述失电区域相关联的工作电源是否无流,若无流,启动各自投系统,跳开所有工作电源开关,并在预设的工作电源跳开确认延时时间内监测工作电源开关是否断开,若断开,执行切负荷控制策略,闭合备用电源开关。

[0011] 其中,上述所述建立故障跳闸电源集合 PS_F 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射的过程可以在发生工作电源故障跳闸之前进行,也可以在发生工作故障跳闸之后进行。

[0012] 作为一种优化方式,在建立多值映射之后、进行各自投的动作逻辑操作和控制之前,还可以执行区域故障判别措施,所述区域故障判别措施包括:根据工作电源故障跳闸后监测到的工作电源的运行状态和失电母线匹配备自投模型,在发生复电源故障跳闸时,协调各自投模型动作时序。

[0013] 作为一种优化方式,在建立故障跳闸电源集合 PS_F 至各自投模式集合 ABT_M 的多值映射之后、各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还执行备用电源过载控制策略预决策,所述备用电源过载控制策略预决策具体包括:对故障跳闸工作电源、该故障跳闸工作电源对应的备用电源线进行潮流计算扫描,判断备用电源线是否过载,若过载,在执行优化切负荷控制策略之后建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型和优化控制策略,若不过载,建立对应于该故障跳闸工作电源的各自投模型。

[0014] 作为另一种优化方式,在执行备用电源过载控制策略预决策之后、各自投的动作逻辑操作和控制步骤之前,还对各自投模型执行优化操作,以满足失电区域和备用电源关联度大、切负荷量小、操作开关数量小的需求。

[0015] 作为一种优化方式,在判断得出与所述失电区域相关联的工作电源无流之后、启动各自投系统之前,还判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,进入所述启动各自投系统的步骤。

[0016] 作为另一种优化方式,在监测得出在工作电源跳开确认延时时间内工作电源开关断开之后、执行切负荷控制策略之前,还执行计及小电源影响的控制策略,所述控制策略包括:判断失电母线是否有电压,若无电压,进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤;若有电压,判断是否需要执行解列小电源控制策略,若不需要解列,进行检同期并网,若需要解列,在解列小电源后进入所述执行切负荷控制策略、闭合备用电源开关的步骤。

[0017] 其中,上述广域信息包括下述数据中的任意一种或者任意组合:EMS 实时数据、WAMS 实时数据、安全稳定控制系统实时数据,基于上述三种数据的衍生数据(如状态估计数据、网络拓扑模型等)。

[0018] 本发明方法是基于元件间关联属性的搜索方法各自投建模,强调区域电网运行方式下建模,自动生成广域的充电条件、放电条件、启动条件和各自投逻辑,无需针对单个变电站人工建模,适应于运行方式的变化,适应广域各自投;基于预决策方法,优化过载切负荷控制策略和优化各自投模型,各自投动作之前,实施切负荷控制,保证备用电源侧的设备安全,避免了事故扩大;区域故障判别,对“复电源故障跳闸”(定义为多个工作电源“相继”故障跳闸),协调各自投模型动作,避免“非计划合环”运行;在线匹配搜索控制策略,考虑小电源的影响,和稳控系统、保护装置的配合,保证了备用电源投入后系统安全稳定运行。

附图说明

[0019] 图 1 是本发明的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法的基本原理示意图；

[0020] 图 2 是本发明方法在预决策方式下的备自投逻辑示意图；

[0021] 图 3 是预决策的综合逻辑示意图；

[0022] 图 4 是本发明方法在实时决策方式下的备自投逻辑示意图。

具体实施方式

[0023] 本发明方案的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制方法,是为了适应智能电网对“自愈”性能的要求,所开发的一种基于广域信息的、备用电源自动投入自适应建模、备用电源过载优化控制策略预决策、备自投模型优化和控制的方法。这里的广域信息,包括但不限于下述这些数据中的任意一种或者其任意组合:EMS(电网能量管理系统)的实时数据和拓扑模型,WAMS(Wide Area Measurement System,广域测量系统)的实时数据,安全稳定控制系统的实时数据,以及分别基于上述这些数据的衍生数据(例如状态估计数据、网络拓扑模型等等)。

[0024] 本发明方法可以有效地提高备自投模型对区域电网运行方式变化的自适应性,实现广域负荷恢复供电;通过预决策、优化备用电源过载切负荷控制策略和优化备自投模型,保证备投动作后备用电源侧的设备安全,实现经济控制;区域故障判别,对“复电源故障跳闸”,协调备自投模型动作,避免“非计划合环”运行;考虑小电源的影响,实现和安全稳定控制装置、保护装置的配合,保证备用电源自投成功后电网安全稳定运行。

[0025] 图 1 是本发明方法的基本原理示意图,如图所示,本发明方法主要包括有:

[0026] 备自投自适应建模:建立{故障跳闸电源}集合 PS_F 至{备自投模式}集合 ABT_M 的多值映射,对于故障跳闸的工作电源 L_{dy} ,映射生成对应的备自投模式集合 $F(L_{dy})$,其中,备自投模式包括故障跳闸的工作电源、失电区域、备用电源、可操作的开关,以及自动生成广域的充电条件、放电条件、启动条件和备自投逻辑;

[0027] 备用电源过载优化控制策略预决策:对故障跳闸的工作电源 L_{dy} 和对应的备用电源(或称备自投模式集合 $F(L_{dy})$)进行潮流计算扫描,计算潮流转移方向、转移量,判断备用电源是否过载,若备用电源过载,基于负荷灵敏度分析方法,优化切负荷控制策略;

[0028] 备自投模型优化:对备自投模式集合 $F(L_{dy})$ 优化,以满足工作电源和备用电源关联度大、切负荷量小、操作开关数量小的需求;

[0029] 区域故障判别:在区域电网内,检测工作电源故障跳闸和失电区域,并和生成的备自投模型相互校验,对“复电源故障跳闸”,协调备自投模型动作,避免“非计划合环”运行;

[0030] 控制策略在线匹配和控制跟踪:根据故障跳闸的工作电源和失电区域,“在线匹配”搜索控制策略,考虑小电源的影响,和稳控系统、保护装置的配合,实现备用电源自动投入和优化控制。

[0031] 由此可见,本发明方法提出了备用电源自动投入“映射”建模的思想,自适应区域电网运行方式的变化,实现广域负荷恢复供电;通过预决策,优化备用电源过载切负荷控制策略和优化备自投模式,保证备投动作后备用电源侧的设备安全,实现经济控制;区域故障

判别,对“复电源故障跳闸”,协调自备投模型动作,避免“非计划合环”运行;考虑小电源的影响,实现和安全稳定控制装置、保护装置控制策略的配合,保证备用电源自投成功后电网安全稳定运行。对提高电网自愈性、实现经济控制和保障电网安全稳定运行具有积极意义。

[0032] 以下对本发明的基于广域信息的备用电源自动投入自适应建模和控制的具体实施过程进行详细阐述。

[0033] 首先,自备投自适应建模的过程

[0034] 任何一种独立恢复供电的方式,连同可操作的开关,定义为一种自备投模式。因此,故障电源、失电区域(失电母线)、备用电源、操作开关、充电条件、放电条件、启动条件和自备投逻辑构成了自备投模式的基本要素。

[0035] 基于元件间关联属性,建立适应运行方式变化的自备投模型,即是建立“故障跳闸电源集合” PS_F 至“自备投模式集合” ABT_M 的多值映射:

[0036] 需要说明的是,充电条件、放电条件、启动条件原本是就地自备投中的概念,是需要事先制定的。也有资料将此概念移植到远方自备投,但是需要人工建立每个变电站自备投模型,需要人工干预,无法适应运行方式的变化。而在本发明中,是在区域电网运行方式下建模,对任何故障跳闸的工作电源,是基于元件间的关联属性,建立“故障跳闸电源集合” PS_F 至“自备投模式集合” ABT_M 的映射关系的自备投模型,是自动生成广域的充电条件、放电条件、启动条件和自备投逻辑,无需针对单个变电站人工建模,适应运行方式的变化,适应广域自备投。目前尚未有类同的方法出现。

[0037] 其中,在进行自备投的自适应建模时,可以有两种实现方式,其中一种实现方式,是在尚未发生工作电源跳闸故障时进行,搜索匹配得到相应的自备投模型后,进行相应地自备投逻辑操作和控制即可,在此将这种方式称之为预决策方式。自适应建模的另一种实现方式,是在发生了工作电源跳闸故障之后,实时进行自适应建模的建模过程,然后再进行相应的自备投逻辑操作和控制,在此将这种方式称之为实时决策方式。由于自适应建模的过程需要花费一定的时间,因此,在通常情况下,为了提高自备投操作的效率,可以采用第一种预决策方式。这两种方式下的自适应建模过程基本相同,但也有个别不同的地方,以下针对这两种不同方式下的自适应建模的过程分别进行说明。

[0038] 其一:预决策方式下的自备投自适应建模

[0039] 在预决策方式下, PS_F 是事前设定的故障跳闸电源的集合。对任意工作电源 $L_{dy} \in PS_F$,根据元件间关联属性从工作电源 L_{dy} 开始搜索,确定和 L_{dy} 关联的失电区域(或关联的失电母线) M_{dy} 。若失电母线 M_{dy} 和 PS_F 中两个及以上的工作电源关联,自动将其它工作电源进行标注,并把和失电母线 M_{dy} 关联的所有工作电源“复电源故障跳闸”(定义为多个工作电源“相继”故障跳闸)作为自备投系统的启动条件。

[0040] 从失电母线 M_{dy} 开始搜索,至备用电源 L_{bydy} (标注检修的电源除外)的任何一种连通方式即可独立恢复供电,连同可操作的开关,构成了一种自备投模式。一个故障跳闸的工作电源可能对应多个自备投模式。备用电源过载优化控制策略和自备投模式优化在后面进行详细介绍。

[0041] 其中,在该预决策方式下所建立的自备投模式中:

[0042] 可操作的开关包括有:和失电母线 M_{dy} 相关联的工作电源开关、备用电源开关、和失电母线 M_{dy} 关联的小电源开关;

[0043] 充电条件包括有：正常状态下工作电源有流、工作电源开关合位、母线 M_{dy} 有压、备用电源有压、备用电源开关分位。

[0044] 启动条件为：和母线 M_{dy} 关联的所有工作电源无流（即“复电源故障跳闸”）。

[0045] 放电条件包括但不限于下述条件的任意一个或者组合：

[0046] (1) 工作电源 L_{dy} 、对应的备用电源 L_{bydy} 无压；

[0047] (2) 相应充电条件中备用电源开关合位；

[0048] (3) 相应充电条件中备用电源开关检修，其中，变位触发更新备自投建模未完成时，检测到备用电源开关检修状态立即放电；

[0049] (4) 外部强制信号闭锁，包括手动闭锁、稳控装置动作闭锁、母线 M_{dy} 母差保护动作或开关失灵保护动作闭锁等；

[0050] (5) 动作过程中无流工作电源开关拒动；

[0051] (6) 动作过程中备用电源开关拒动；

[0052] (7) 动作过程中母线 M_{dy} 关联的小电源开关拒动。

[0053] 备自投逻辑的控制方式可如图 2 所示，具体包括有：

[0054] 步骤 S101：系统进行充电条件的自检，进入步骤 S102；

[0055] 步骤 S102：判断系统是否发生了工作电源跳闸故障，若是，则进入步骤 S103，若没有，说明系统当前的运行状态正常，无需执行备自投操作，进入步骤 S109，结束操作；

[0056] 步骤 S103：搜索与故障跳闸工作电源对应的失电母线，根据工作电源故障跳闸后的实际检测量匹配备自投模型，这里的实际检测量可以包括监测到的工作电源跳闸故障和失电母线等信息，进入步骤 S104；

[0057] 步骤 S104：判断是否满足放电条件，若满足，则说明系统不满足备自投条件，放电后进入步骤 S109，若不满足，则进入步骤 S105；

[0058] 步骤 S105：判断和失电母线相关联的工作电源是否无流，若是，则进入步骤 S106，若否，则说明还有工作电源为该“失电母线”提供电力供应，无需进行备自投操作，进入步骤 S109；

[0059] 步骤 S106：启动备自投系统，跳开所有工作电源开关，进入步骤 S107；

[0060] 步骤 S107：判断在预设工作电源跳开确认延时时间段内，工作电源的开关是否断开，若是，进入步骤 S108，若否，则说明备自投不成功，进入步骤 S109，结束备自投过程；

[0061] 步骤 S108：执行切负荷控制策略，闭合备用电源开关，进入步骤 S109；

[0062] 步骤 S109：判定备自投操作结束。

[0063] 其二：实时决策方式下的备自投自适应建模

[0064] 在实时决策方式下， PS_F 是广义的故障跳闸电源的集合。当任一工作电源 $L_{dy} \in PS_F$ 故障跳闸后，根据故障跳闸后电网中元件间实时的关联属性从故障跳闸的工作电源 L_{dy} 开始搜索，确定和 L_{dy} 关联的失电区域（即失电母线） M_{dy} 。若两个及以上工作电源“复电源故障跳闸”对应相同的失电区域（失电母线） M_{dy} ，自动将其它工作电源进行标注，并把这些工作电源“复电源故障跳闸”作为备自投系统的启动条件。

[0065] 以下方法和预决策方式下的备自投自适应建模类同。根据故障跳闸后电网中元件间实时的关联属性从失电母线 M_{dy} 开始搜索，至备用电源 L_{bydy} （标注检修的电源除外）的任何一种连通方式即可独立恢复供电，连同可操作的开关，构成一种备自投模式。一个故障跳

闸的工作电源可能对应多个备自投模式。

[0066] 在这种实时决策方式下：

[0067] 可操作的开关包括有：和失电母线 M_{dy} 相关联的工作电源开关、备用电源开关、和失电母线 M_{dy} 关联的小电源开关，备用电源过载优化控制策略和备自投模式优化在后面进行详细介绍；

[0068] 充电条件和预决策方式下有所不同，其只要正常状态下电网运行正常，比如所有工作电源有压、母线有压等，有有效的备用电源（备用电源有压、备用电源开关分位）；

[0069] 启动条件包括有：工作电源无流（故障跳闸后无流）。

[0070] 放电条件包括但不限于下述条件的任意一个和任意组合：

[0071] (1) 和工作电源 L_{dy} 对应的备用电源 L_{bydy} 无压；

[0072] (2) 相应充电条件中备用电源开关合位；

[0073] (3) 相应充电条件中备用电源开关检修；

[0074] (4) 外部强制信号闭锁，包括手动闭锁、稳控装置 / 系统动作闭锁、失电母线 M_{dy} 母差保护动作或开关失灵保护动作闭锁等；

[0075] (5) 动作过程中无流工作电源开关拒动；

[0076] (6) 动作过程中备用电源开关拒动；

[0077] (7) 动作过程中母线 M_{dy} 关联的小电源开关拒动。

[0078] 一个故障跳闸的工作电源可能对应多个满足条件的备自投模式，备自投模式的优化在后面进行详细描述。

[0079] “复电源故障跳闸”的工作电源可能对应一个满足条件的备自投模式。对与共同失电母线 M_{dy} 相关联的工作电源进行标注，“备自投模式优化”选取唯一一个备自投模式作为备自投模型，避免“复电源故障跳闸”后备自投动作造成的“非计划合环”运行。

[0080] 对多个备自投模式的恢复供电的区域部分重叠的情况，通过“备自投供电恢复延时”协调备自投模型动作，一旦重叠区域恢复供电，对其余备自投模式放电，避免“非计划合环”运行。

[0081] 实时决策方式下的广域备自投动作逻辑如图 4 所示，其具体包括步骤：

[0082] 步骤 S201：首先，系统是处于正常的运行状态，进入步骤 S202；

[0083] 步骤 S202：判断系统是否发生了工作电源跳闸故障，若是，则进入步骤 S203，若没有，则说明系统当前的运行状态正常，无需执行备自投操作，进入步骤 S209；

[0084] 步骤 S203：搜索与故障跳闸工作电源对应的失电母线，并确定可能的备自投模式，进入步骤 S2031；

[0085] 步骤 S2031：对故障跳闸的工作电源和步骤 S203 所有可能的备自投模式进行扫描潮流计算。判断备用电源是否过载，若过载，进入步骤 S2032，若不过载，进入步骤 S2033；

[0086] 步骤 2032：优化切负荷控制策略，之后进入步骤 S2033；

[0087] 步骤 2033：建立备自投模型，进入步骤 S2034；

[0088] 步骤 2034：判断所有可能的备自投模式进行扫描潮流计算是否结束，若结束，进入步骤 S2035，若否，进入步骤 S2031；

[0089] 步骤 S2035：优化步骤 S2033 建立的备自投模型，确定与故障跳闸工作电源对应的优化的备自投模型，进入步骤 S204；

[0090] 步骤 S204 :判断是否满足放电条件,若满足,则说明系统不满足备自投条件,放电后进入步骤 S209,若不满足,则进入步骤 S205 ;

[0091] 步骤 S205 :判断和失电母线相关联的工作电源是否无流,若是,则进入步骤 S206,若否,则说明还有工作电源为该“失电母线”提供电力供应,无需进行备自投操作,进入步骤 S209 ;

[0092] 步骤 S206 :启动备自投系统,跳开所有工作电源开关,进入步骤 S207 ;

[0093] 步骤 S207 :判断在预设工作电源跳开确认延时时间段内,工作电源的开关是否断开,若是,进入步骤 S208,若否,则说明备自投不成功,进入步骤 S209,结束备自投过程 ;

[0094] 步骤 S208 :执行切负荷控制策略,闭合备用电源开关,进入步骤 S209 ;

[0095] 步骤 S209 :判定备自投操作结束。

[0096] 备用电源过载优化控制策略预决策

[0097] 在上述建立了故障跳闸电源集合至备自投模式集合的多值映射之后,由于一个故障跳闸电源对应着至少一个备自投模式,如果备自投模式中的备用电源过载,将影响备用电源侧设备安全,甚至影响系统稳定运行,因此,基于这种考虑因素,还需要具有备用电源的过载判别功能。

[0098] 具体实现方式可以是 :通过对故障跳闸的工作电源 L_{dy} 和对应的所有备用电源 L_{bydy} (或称备自投模型集合 $F(L_{dy})$) 进行潮流计算扫描,计算潮流转移方向、转移量,以此判断备用电源是否过载,如果过载,则执行优化切负荷控制策略,可以是基于负荷灵敏度分析方法来执行优化切符合控制策略。

[0099] 潮流计算、判断备用电源是否过载的方法、负荷灵敏度分析可以是采用现有技术中已有的方式,在本发明方案中加以引用。

[0100] 具体计算时,可以采用近似计算方法。一般来说,节点电压在额定电压附近,支路两端相角差很小,线路电阻比电抗小得多,因此,采用直流潮流的近似计算,支路的有功潮流 :

$$[0101] \quad P_{ij} = (\theta_i - \theta_j) / x_{ij}$$

$$[0102] \quad P_i^{SP} = \sum_{j \neq i} (\theta_i - \theta_j) / x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$[0103] \quad P^{SP} = B_0 \theta$$

[0104] 其中 : x_{ij} 表示支路 (i, j) 的电抗, P_{ij} 表示支路 (i, j) 的有功潮流, θ_i 表示节点 i 的电压相角, P_i^{SP} 表示节点 i 给定的注入有功功率, P^{SP} 为 P_i^{SP} 构成的列向量, B_0 为电纳阵。

[0105] 单支路 i 开断时,支路 k 潮流分布为 :

$$[0106] \quad \tilde{\theta} = (B_0 - M_i x_i^{-1} M_i^T)^{-1} P$$

$$[0107] \quad P_k^i = P_k + \Delta P_k$$

$$[0108] \quad \Delta P_k = D_{k-i} P_i, \quad D_{k-i} = \frac{X_{k-i} / x_k}{1 - X_{i-i} / x_i}$$

[0109] 其中 : $X_{k-i} = M_k^T X M_i$, M_i 为节点 - 支路关联矢量, X 为 B_0 的逆。

[0110] 单支路 i 投入时,支路 k 潮流分布类似处理。

[0111] 根据 $P_k^i = P_k + \Delta P_k$ 的计算量,判断备用电源 L_{bydy} 是否过载。若备用电源 L_{bydy} 过载,基于负荷灵敏度分析方法,优化切负荷控制策略。假定支路 k 为备用电源线路,支路 k 关于

负荷 i 的灵敏度 G_{k-i} , 负荷 i 减载量 ΔP_i , 备用电源线路 k 的功率变化量 $\Delta P_k^i = G_{k-i} \Delta P_i$ 。

[0112] 从而优化切负荷控制指标可以表示为：

$$[0113] \quad \min \sum_i C_i \Delta P_i$$

$$[0114] \quad s.t. \sum_{i \in D} G_{k-i} \Delta P_i + P_k < \overline{P}_k$$

[0115] 其中 D 为可切负荷的集合, C_i 为切负荷 ΔP_i 的代价系数, \overline{P}_k 为支路 k 额定传输功率。

[0116] 上述备用电源过载优化控制策略预决策具体应用在预决策方式中时,是在对设定的故障电源集扫描、确定了相应的失电区域和各自投模式之后进行,具体可对应于图 3 中的步骤 S1002 至步骤 S1005 的过程;而上述备用电源过载优化控制策略预决策具体应用在实时决策方式中时,则是如步骤 S2031 至步骤 S2034 之间所执行的过程,在此不再进行重复说明。

[0117] 各自投模式优化

[0118] 各自投模型是定义为 { 故障跳闸电源 } 集合 PS_F 至 { 各自投模式 } 集合 ABT_M 的多值映射,任何一个故障跳闸工作电源,可能对应多个满足条件的各自投模式,因此,无论是在预决策方式下,还是实时决策方式下,需要对故障跳闸工作电源 L_{dy} 所对应的各自投模式进行优化,选取唯一一个各自投模式作为各自投模型,避免各自投动作造成的“非计划合环”运行。

[0119] 可以通过定义指标函数 $G\{ \}$, 优化搜索,满足工作电源和备用电源关联度大、切负荷量小、操作开关数量小的需求。具体是:备用电源和失电母线关联度大的各自投模式优先;若关联度相同(比如和失电母线关联对等的备用电源),则选择切负荷量小的各自投模式优先;若切负荷量相同,则选择操作开关数量小的各自投模式。

[0120] 据此,指标函数可以用下述通式表示:

$$[0121] \quad \max G\{ \text{关联度, 切负荷量, 操作开关数量} \}$$

[0122] 上述各自投自适应建模的过程、备用电源过载优化控制策略预决策、各自投模型优化共同构成了一个完整的预决策过程,共同组成了完整、综合、且性能最优的预决策逻辑,该最优的预决策的具体流程可如图 3 所示,其具体包括有步骤:

[0123] 步骤 S1001:分别对设定的故障电源集中的各故障电源进行扫描,确定相应的失电区域和可能的各自投模式,各自投模式中有相应的备用电源线的信息,进入步骤 S1002;

[0124] 步骤 S1002:对故障电源线、该故障电源线对应的备用电源线进行潮流计算扫描,进入步骤 S1003;

[0125] 步骤 S1003:判断备用电源线是否过载,若过载,则进入步骤 S1004,若未过载,则进入步骤 S1005;

[0126] 步骤 S1004:优化切负荷控制策略,进入步骤 S1005;

[0127] 步骤 S1005:建立对应于该故障电源线的各自投模型,进入步骤 S1006;

[0128] 步骤 S1006:判断所有的各自投模式是否都已扫描结束,若否,则返回步骤 S1002,对下一个各自投模式进行扫描、优化等操作,若是,则进入步骤 S1007;

[0129] 步骤 S1007:对各自投模式集合执行优化操作,即优化各自投模型,进入步骤

S1008 ;

[0130] 步骤 S1008 :判断故障电源集中的各故障电源是否均已扫描结束,若是,则进入步骤 S1009,若否,则返回步骤 S1001,针对下一条故障电源线进行扫描;

[0131] 步骤 S1009 :结束预决策过程。

[0132] 在预决策过程结束后,在实际的备自投的动作逻辑操作和控制,还可以进行区域故障判别、控制策略在线匹配和控制跟踪的过程。

[0133] 区域故障判别

[0134] 和就地备自投不同的是,广域备自投在控制的区域范围内考虑工作电源故障。在预决策方式下,是通过网络分析的方法建模,即映射建模。在实际工作电源发生故障后,电网的相关状态发生了变化,因此,备自投控制系统还可以实时检测区域内故障跳闸后工作电源的运行状态,例如故障跳闸的工作电源和对应的失电区域,并和上述映射建模时得到的预建模相互校验,增强备自投控制系统的可靠性,即执行上述步骤 S103 中的“根据工作电源故障跳闸后的实际检测量匹配备自投模型”的步骤。

[0135] 本发明方法还可以设置有“备自投动作整组动作复归时间” T_{return} (可以整定),用来界定“复电源故障跳闸”。在时间 T_{return} 内相继发生多个工作电源故障跳闸,称为“复电源故障跳闸”。

[0136] 在上述“备自投自适应建模”中已经指出:对具有共同失电区域母线 M_{dy} 的故障跳闸的工作电源进行标注,“备自投模式优化”选取唯一一个备自投模式作为备自投模型,避免“复电源故障跳闸”后备自投动作造成的“非计划合环”。在这里,应当要区分工作电源故障跳闸、稳控系统切负荷、母线故障甩负荷,对于稳控系统切负荷、母线故障甩负荷这两种情况,应立即闭锁广域备自投控制逻辑。

[0137] 控制策略在线匹配和控制跟踪

[0138] 本发明方案还可以根据故障跳闸的工作电源和失电区域,“在线匹配”搜索控制策略,考虑小电源的影响,和安全稳定控制装置、保护装置控制策略配合,实现备用电源自动投入和优化控制。

[0139] 其一 :和保护配合

[0140] 工作电源故障跳闸后,通过广域备自投启动延时整定躲过线路开关重合闸时间(包括慢速重合闸的场合),时间应保留一定的裕度。重合不成功时,再启动备自投。

[0141] 即在工作电源故障跳闸后,还依据保护装置的策略先执行重合闸的操作,如果在预设启动延时时间段内重合闸不成功,再启动备自投开关,以实现与保护机制的相配合,提高备自投系统的可靠性,即在步骤 S105(或者 S205)与步骤 S106(或者 S206)之间,还可以包括步骤:

[0142] 步骤 S1056(或者 S2056):判断在预设启动延时时间段内重合闸操作是否成功,若不成功,则进入步骤 S106(或者 S206),启动备自投系统,若成功,则说明电力系统已恢复至正常运行,可结束当前操作,无需执行备自投的操作。

[0143] 如果在母线故障引起失电的情况下,应闭锁备自投,避免将备用电源自动投入到故障母线,对母线及其相连设备(如电压互感器)再次冲击,导致设备损坏,事故扩大。对部分 110kV 站母线段未配置母线保护装置的情况,借助开关状态,辅助电气量变化以及延时判断母线故障。通过“放电条件”中母线 M_{dy} 母差保护动作闭锁实现。

[0144] 其二:和安全稳定控制装置 / 系统配合

[0145] 采集安全稳定控制装置动作信号,辅助电气量变化,修改备自投的控制策略,实现备自投动作的选择性。由于安全稳定控制装置是保证电网稳定,必须确保控制措施的有效性,因此安全稳定控制装置动作后必须闭锁备自投“投入被切负荷(对备自投,是工作电源)”。通过“放电条件”中稳控装置 / 系统动作闭锁实现。

[0146] 其三:小电源的影响

[0147] 通常情况下,母线无压是备自投的动作条件之一,对于不带有小电源接入的系统,在母线无压的情况下,说明该母线对应的区域已经没有电力供应,为了维护电力的正常供应,应当能够执行备自投的操作。而对于有小电源接入的系统,由于有小电源为母线提供较小的电力供应,会使得母线无压的判据失效,从而导致备自投装置拒动。如果在小水电退出过程中,小水电的出口开关没有跳开,此时备自投的备用电源线路可能会对系统造成较大的冲击。此外,由于小电源的存在,备用电源投入可能会产生“小电源和大电网非同期合闸”的冲击。

[0148] 因此,在上网小电源和就地负荷基本平衡的情况下,当发生工作电源故障跳闸时,频率维持在正常范围内(例如 49.7 ~ 50.5Hz)、母线电压维持在可接受的范围(比如 75% 以上)时,表明孤网子系统能够稳定运行,此时应闭锁备自投系统,之后可以由手动使孤网子系统并网。

[0149] 而在上网小电源不能满足就地负荷需求的情况下,当发生工作电源线路故障跳闸时,将会引起局部电网的频率、电压下降,对于不同的运行方式,过渡时间会有一些的差异,一般来说,过渡时间较长。如果母线电压维持在可接受的低压值和失压定值之间,比如 30% ~ 75% 之间,应快速、可靠地解列小电源(即跳开小电源接入电网的开关)为备自投动作创造条件。

[0150] 由上可见,在有小电源接入的情况下,同时还应当考虑小电源对备自投操作所造成的影响,因此,在上述步骤 S107(或者 S207)至步骤 S108(或者 S208)之间,还可以包括下述步骤 S1071(或者 S2072)至 S1074(或者 S2074)的步骤:

[0151] 在步骤 S107(或者 S207)中的判断结果为在预设工作电源跳开确认延时时间段内、工作电源开关断开时,进入步骤 S1071(或者 S2071);

[0152] 步骤 S1071(或者 S2071):判断失电母线是否有电压,若有电压,则进入步骤 S1072(或者 S2072),若无电压,则说明没有小电源的供电影响,进入步骤 S108(或者 S208);

[0153] 步骤 S1072(或者 S2072):判断是否需要小电源解列控制,若需要,则进入步骤 S1073(或者 S2073),若不需要,则进入步骤 S1074(或者 S2074),这里的判断是否需要小电源解列控制的方式可以采用现有技术中已有的方式,在此不予赘述;

[0154] 步骤 S1073(或者 S2073):执行解列小电源的操作,然后进入步骤 S108(或者 S208);

[0155] 步骤 S1074(或者 S2074):执行检同期并列的操作,进入步骤 S109(或者 S209),结束操作。

[0156] 其四:控制跟踪

[0157] 在执行备自投操作和控制后,还可以对备自投操作和控制的执行结果进行控制跟

踪,若备自投操作执行不成功,进行强制切换,势必会对电网系统造成不利影响,即在上述步骤 S108(或者 S208)与步骤 S109(或者 S209)之间,还可以包括步骤:

[0158] 步骤 S1081(或者 S2081):判断在预设备自投开关合闸等待延时时间内备自投开关是否合上,若是,进入步骤 S1083(或者 S2083),若否,则进入步骤 S1082(或者 S2082);

[0159] 步骤 S1082(或者 S2082):判定备自投操作不成功,进入步骤 S109(或者 S209),结束操作;

[0160] 步骤 S1083(或者 S2083):判定备自投操作成功,进入步骤 S109(或者 S209),结束操作。

[0161] 以上所述的本发明实施方式,并不构成对本发明保护范围的限定。任何在本发明的精神和原则之内所作的修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的权利要求保护范围之内。

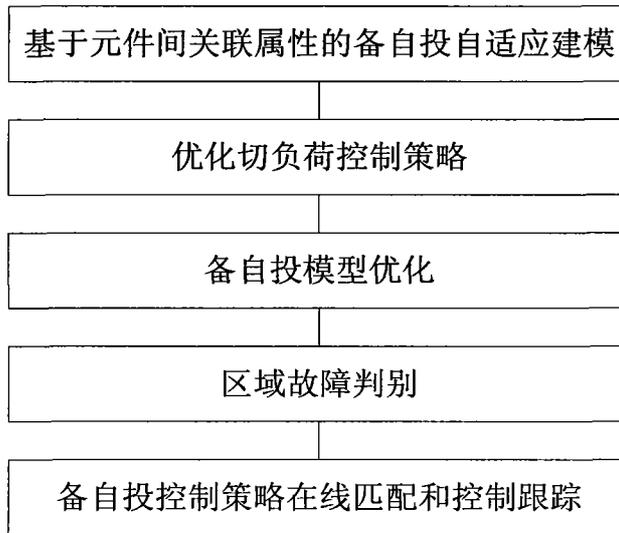


图 1

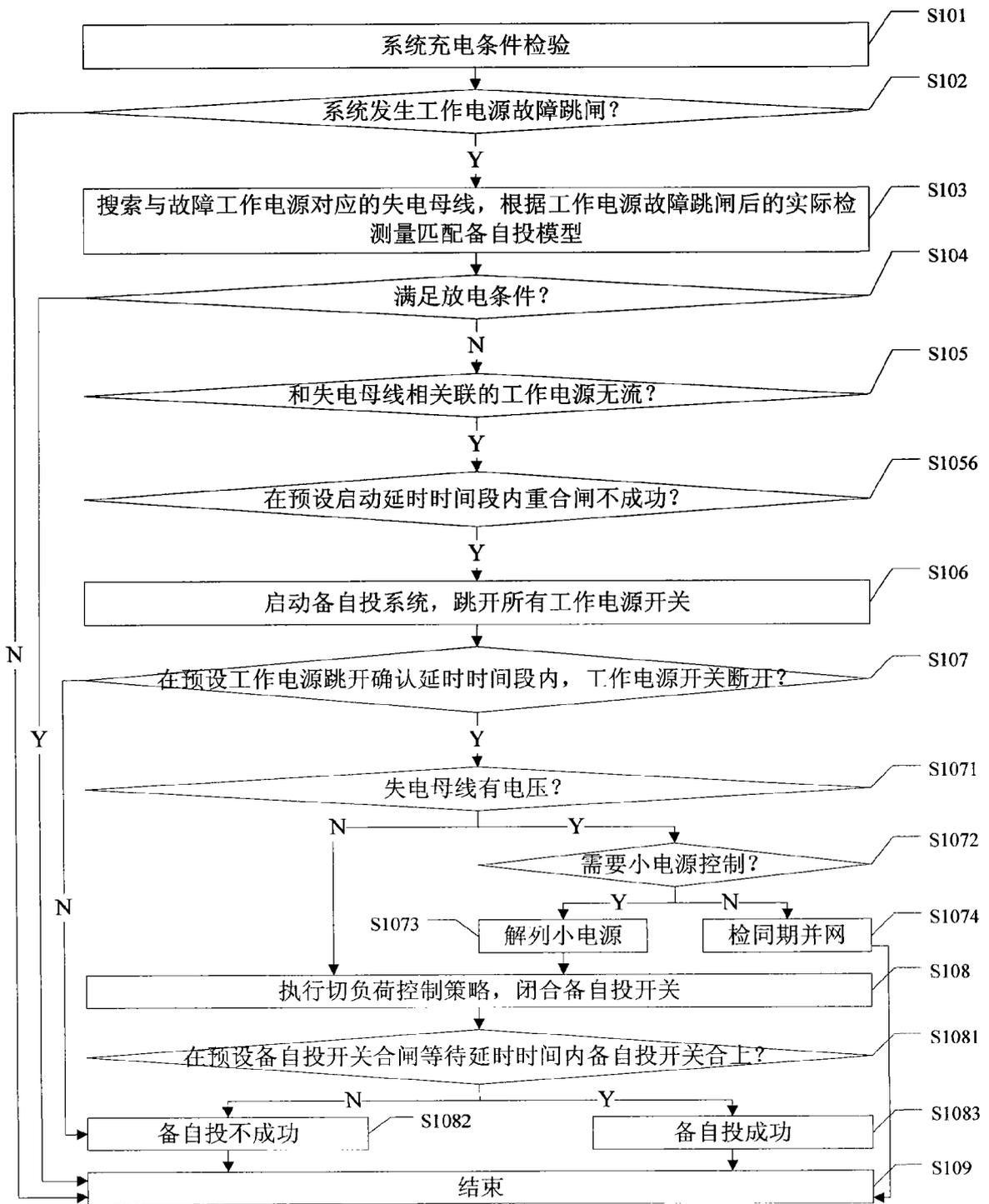


图 2

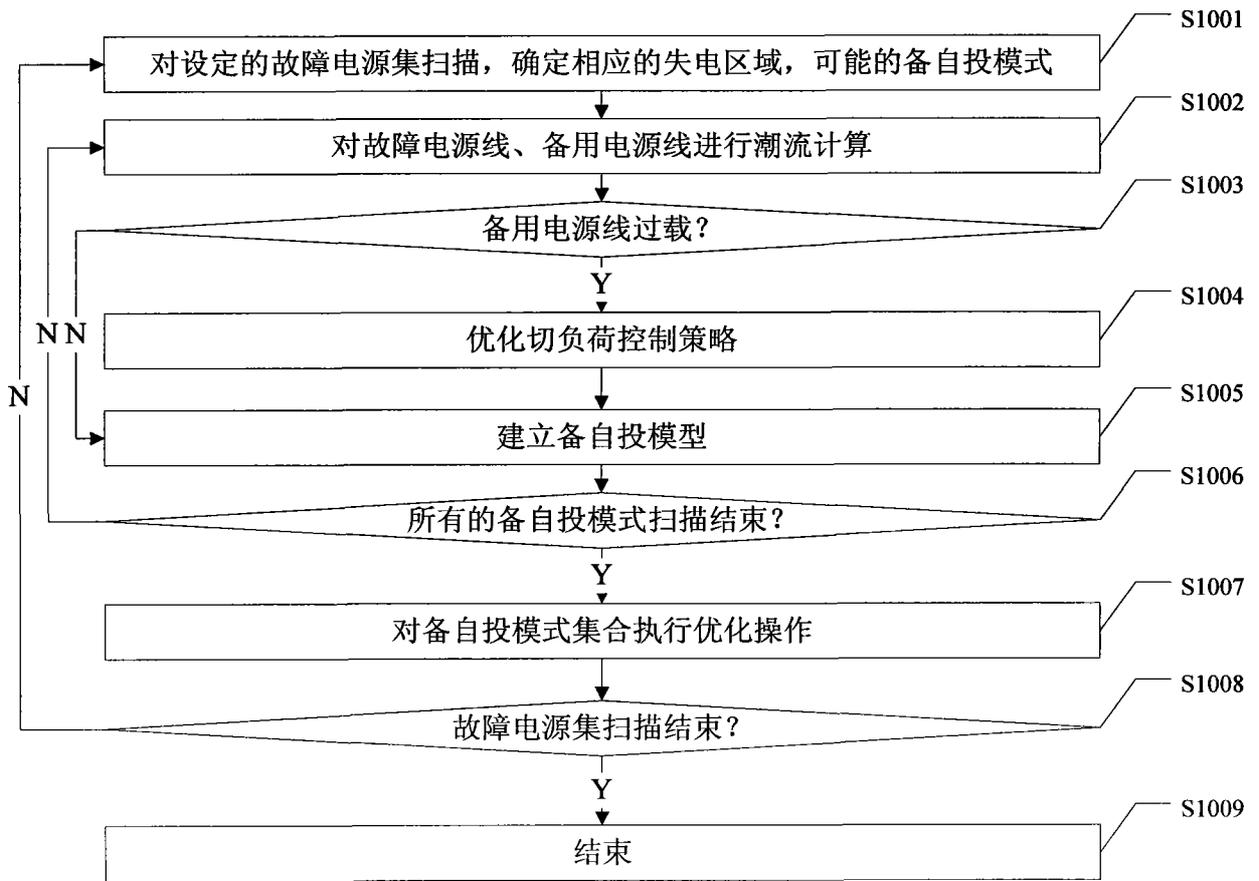


图 3

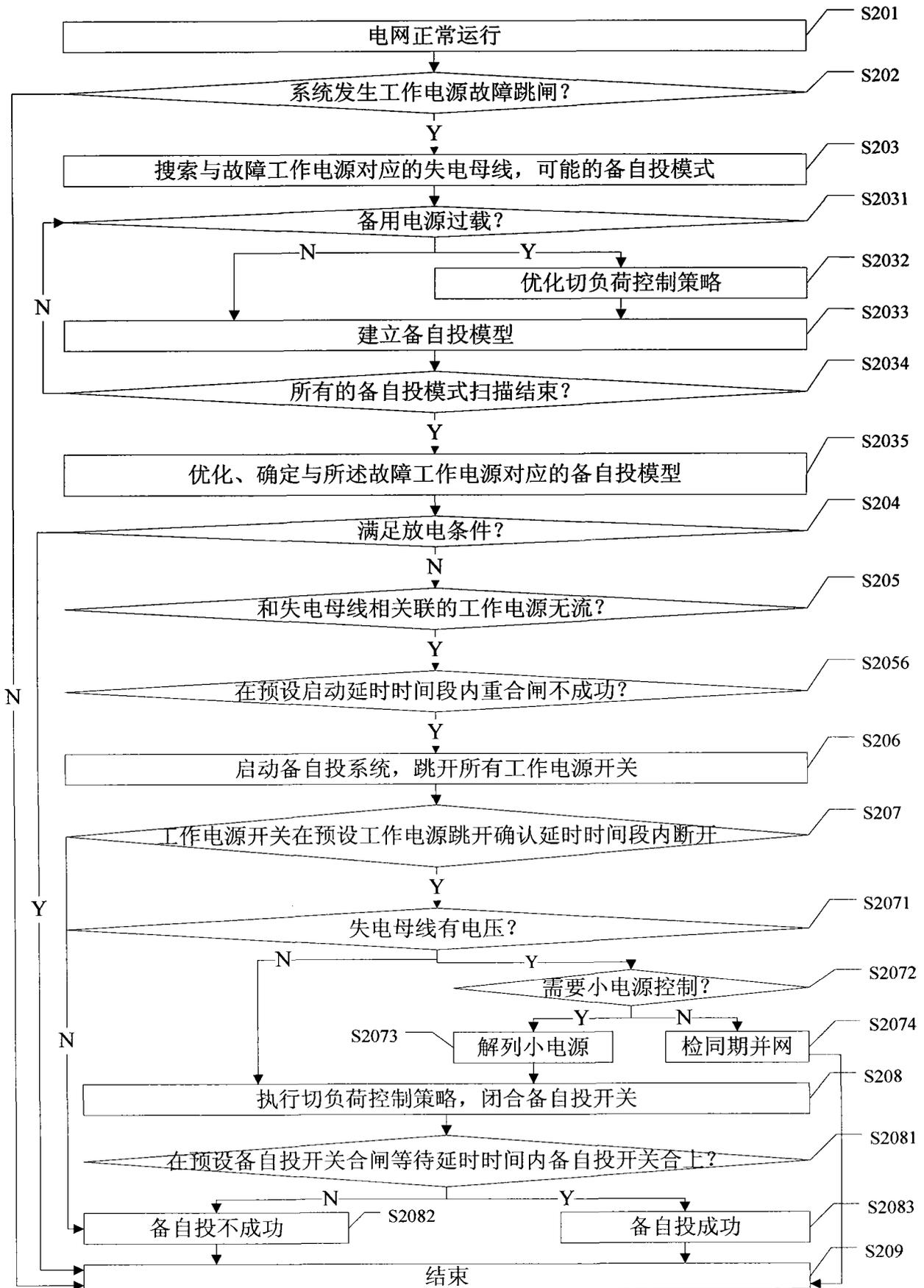


图 4