

适用于变电站母线多分段接线的备自投控制方法

程韧俐¹, 张臻哲², 何晓峰¹, 张哲², 汪伟¹, 张安龙¹, 热合曼·玉山²

(1. 深圳供电局有限公司, 广东 深圳 518001; 2. 华中科技大学 强电磁工程与新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对传统固定模式备自投在母线多分段复杂接线方式下适应能力差、易导致失负荷等问题,从通用性角度,提出了一种综合利用多间隔信息的备自投控制方法。该方法根据单段母线失电、多段母线失电以及多重备自投等不同情况的特点,通过在线计算各备用电源的负荷裕度、失电母线的负载功率以及备用电源所带母线段数量,自动优选备用电源,可有效防止备用电源过载失负荷,提高备自投后电网供电可靠性。结合工程实例,通过PSCAD仿真验证了所提方法的有效性。

关键词:配电网; 母线多分段接线; 备自投; 控制策略; 通用性

中图分类号: TM 762.1

文献标志码: A

DOI: 10.16081/j.epae.202104014

0 引言

配电网 10 kV 母线多作为终端电源端,直接为各类用户供电,一般采用单母线分段结构和开环运行方式。当某段母线因进线电源故障失电时,可通过备自投装置进行电源切换,以快速恢复用户供电。随着城市建设的快速发展,供电需求不断增长。对于供电密集区,为了提高供电可靠性,10 kV 母线的分段数也随之增加,并通过分段断路器形成母线多分段环形互联的接线形式。这种复杂的接线方式给以单母线两分段为基础的传统备自投带来了许多新的问题和挑战^[1]。若备自投控制设计不当,可能导致备自投失效、备用电源过载等系列问题,严重影响电网运行安全和供电可靠性。

目前,针对母线多分段接线的备自投方案开展了多方面的研究工作。文献[2-7]根据变电站具体接线与不同运行方式,针对可能出现的母线失电情况,提出了不同的备自投设计方案。但这些方案的通用性不足,在母线分段较多时,备自投方案繁杂,不便于运维。为了提高备自投的适应性,降低设备成本,基于多间隔站域信息的备自投研究近年来受到了广泛关注。文献[8]重点针对备自投建模方法开展研究,通过对复杂备自投模型的分解,简化备自投建模,提高其自适应能力。文献[9]通过在线辨识变电站运行方式,在线调整备自投方式,以改善备自投性能。文献[10]提出了通过突变量方向识别故障范围的方案,以提高备自投动作可靠性。但目前针对站域备自投的研究仍主要针对基本设计方法,对于复杂接线方式下备自投控制策略的研究不足,难

以满足母线多分段环形接线备自投的应用需求。

本文根据母线多分段环形接线的结构特点,分析了备自投面临的主要问题。在此基础上,从通用性角度,提出了一种综合利用多间隔信息的备自投优化控制方法,通过数字仿真验证了所提方法的有效性。

1 母线多分段接线备自投特点与设计原则

1.1 备自投特点分析

图1为某变电站母线多分段环形接线实例。图中, T_1 — T_4 为 1—4 号主变,其中 T_2 为低压侧分支型变压器; 10 kV 母线被分为 5 段 M_1 — M_5 , 低压侧分支型变压器供电的 2 段母线 M_2 与 M_3 之间无分段断路器,其余母线之间通过分段断路器连接。

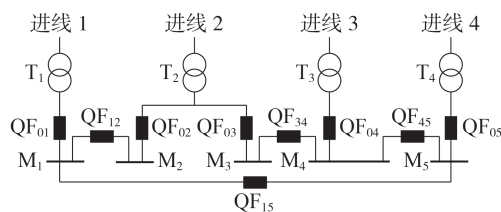


图1 某变电站 10 kV 母线五分段环形接线图

Fig.1 Five sections ring wiring diagram of 10 kV buses in a transformer substation

与典型的单母线两分段结构不同,采用母线多分段环形结构后,母线失电故障情形多样,备自投控制更为复杂,具有以下突出特点。

(1) 备用电源不唯一。当某段母线失压,其备用电源存在 2 种选择,以 M_1 失电为例,可通过分段断路器 QF_{15} 备自投至 M_5 或通过分段断路器 QF_{12} 备自投至 M_2 。在选择备用电源时,需要综合考虑备用电源负荷裕度等因素,合理选择备用电源,这将导致备自投控制复杂化。

(2) 存在多母线段同时失电的可能。由于多分

收稿日期: 2020-07-14; 修回日期: 2021-02-20

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目 (090000KK52190077)

Project supported by the Science and Technology Project of China Southern Power Grid Co., Ltd. (090000KK52190077)

段母线和进线较多,在某些系统运行方式和故障情况下,存在多条进线同时跳闸,引起多段母线同时失电的可能。因此,需要解决多段母线同时失电时,不同备自投之间的协调配合问题,以提高复电率。

(3)存在多重备自投可能。由于母线分段数较多,存在备自投运行期间,又发生新的母线段失电,进而形成多重备自投的情况。在备自投设计中,需考虑这一特殊情况的影响,以提高供电可靠性。

综上所述,母线多分段环形接线结构复杂,备自投方式多样,传统备自投控制方法难以满足实际应用要求。因此,需要根据母线多分段结构和运行特点,从通用性角度,研究制定适用于母线多分段环形接线的备自投设计原则,提出与之相适应的备自投控制方法,以更好地发挥备自投作用。

1.2 母线多分段接线备自投基本设计原则

对于母线多分段接线备自投,其核心特点是备用电源存在2种选择方式,因此,在进行备自投方案设计时,需要解决的关键问题是合理选择备用电源。为了提高备自投后的复电率和供电可靠性,除了不允许失电母线两侧分段开关同时投入备用电源以避免形成电磁环网外,备自投方案设计还应遵循以下基本原则。

(1)尽量避免备用电源过载:应根据失电母线负载情况以及备用电源负荷裕度,合理选择备用电源,以避免备用电源过载,提高复电率。

(2)尽量避免多段母线备自投于同一备用电源:当发生多段母线同时失电,或需要多重备自投时,应尽量避免由同一电源为多段母线备用供电,以防止备用电源过载,特别是备用电源故障引发大面积停电事故。

(3)当备用容量不足时,应采用合理的负荷联切策略,尽量保证重要负荷的连续供电,降低负荷损失率。

下文将根据上述基本设计原则,从通用性角度研究适用于母线多分段接线的备自投优化控制方法。

2 母线多分段接线的备自投控制方法

母线多分段接线失电故障情况复杂,为了提高不同失电情况下备自投的性能,一种合理的方式是利用通信技术在线获取各进出线负荷信息和各断路器状态信息,通过综合分析形成备自投优化控制策略。进行备自投控制策略设计时,可根据失电母线段情况,分为单段母线失电备自投和多段母线失电备自投2种基本形式。其中,多段母线失电备自投包括多段母线同时失电以及多重备自投2种情况。

2.1 单段母线失电备自投控制方法

单段母线失电情况下,不涉及备用电源为多段

母线备用供电问题,因此,备自投控制除需防止失电母线同时向两侧带电母线备自投形成电磁环网外,其重点是根据失电母线段所带负荷容量以及备用电源的负荷裕度,合理选择备用电源,避免过载联切负荷,以提高复电率。

2.1.1 备用电源负荷裕度计算

假设失电母线段为 M_i ,其相邻两侧母线段分别为 M_{i+1} 和 M_{i-1} 。备用电源负荷裕度为备用电源容量减去已承担的负荷,以 M_{i+1} 为例,其负荷裕度 ΔS_{i+1} 为:

$$\Delta S_{i+1} = S_{i+1} - L_{i+1} \quad (1)$$

其中, S_{i+1} 为 M_{i+1} 进线容量,可事先整定; L_{i+1} 为 M_{i+1} 已承担的负荷功率, L_{i+1} 根据进线电流和母线段电压实时计算得到。

2.1.2 备用电源选择逻辑

若失电母线两侧均有备用电源,可将计算得到的备用电源负荷裕度 ΔS_{i+1} 和 ΔS_{i-1} 分别与失电母线段失电前的负荷功率 L_i 进行比较:若只有一侧母线段的负荷裕度大于 L_i ,则该段为备用电源段;若两者均大于 L_i ,可优选负荷裕度较大的母线段作为备用电源。对于低压侧分支型变压器所接的母线段,如图1中的母线 M_2 和 M_3 ,2段母线只有一侧拥有备用电源,故当 M_2 或 M_3 失电时,若备用电源容量满足需求,可直接备自投。

若经过上述计算判断,备用电源容量均不满足要求,对于低压侧分支型变压器所接母线段,可优先考虑通过负荷均分^[11],增加备用电源负荷裕度,尽量避免联切负荷。以图1中 M_1 失电为例,若备用电源 M_4 和 M_2 的负荷裕度均不满足要求,可启动负荷均分判据:

(1) $\Delta S_4 \geq L_3$,即 M_4 的负荷裕度大于 M_3 所带负荷;

(2) $\Delta S_2 + L_3 \geq L_1$,即 M_3 的负荷由 M_4 转供后, M_2 的负荷裕度大于 M_1 所带负荷。

当同时满足判据(1)、(2)时,则在 M_1 备自投前,首先进行负荷均分,将 M_3 负荷转供至 M_4 ,以提高 M_2 的负荷裕度。负荷均分后,再进行备自投,可防止备用电源 T_2 过载造成连切负荷。负荷均分和备自投动作过程如下:跳开 QF_{03} ,确认 QF_{03} 处于分位后,合上 QF_{34} ,确认 QF_{34} 合上后,再合上 QF_{12} ,实现 M_1 备自投。

若无法通过负荷均分防止备用电源过载,或不具备负荷均分条件而备用电源过载时,需通过联切负荷保证备用电源运行安全^[12]。对于母线多分段备自投,可利用各进出线电气量信息和开关量状态信息,按照负荷重要程度,动态调整被切线路^[13],优先切除重要程度低的负荷,并尽量降低被切负荷容量。动态过负荷联切根据负荷切除的时机可分为2种基本模式^[14]:①在备自投前切除部分负荷,即预切负

荷;②备自投后根据过载情况,切除相应负荷。预切负荷存在的主要问题是可能导致负荷切除量过多,降低复电率。例如一些电动机在失电后有自动退出机制,预切负荷无法事先获知负荷退出信息,造成负荷切除过量。备自投后联切负荷能有效减少联切负荷量,但可能导致备用电源设备过载,影响其运行安全。

为了保证备用电源运行安全的前提下,尽量降低被切负荷量,一种过负荷联切的改进方案是根据过负荷程度,采取不同联切策略,具体如下。

(1)根据式(2)计算过负荷率 η 。

$$\eta = (L - \Delta S) / S_N \quad (2)$$

其中, L 为失电母线失电前的功率; ΔS 为备用电源负荷裕度; S_N 为备用电源额定容量。

(2)若 $\eta \leq \eta_{\text{set}}$,采用备自投后联切负荷方式。其中, η_{set} 为备用电源在备自投时间段内允许的过载率,可事先整定。计及备自投动作后,负荷联切需要一定时间,并考虑一定裕度, η_{set} 可按备用电源,如变压器在0.5~1 s内的过载能力进行整定。

(3)若 $\eta > \eta_{\text{set}}$,可综合采用预切负荷和备自投后联切负荷方式,其中预切负荷量 ΔL 可由式(3)确定。

$$\Delta L = (L - \Delta S) - \eta_{\text{set}} S_N \quad (3)$$

预切负荷后,进行备自投。若备用电源仍过载,则根据实际过载量,进行二次切负荷。采用上述改进方法,可在保证备用电源运行安全的前提下,降低被切负荷量,提高复电率。

综上所述,仍以 M_i 失电为例,单段母线失电备自投控制逻辑框图如图2所示。

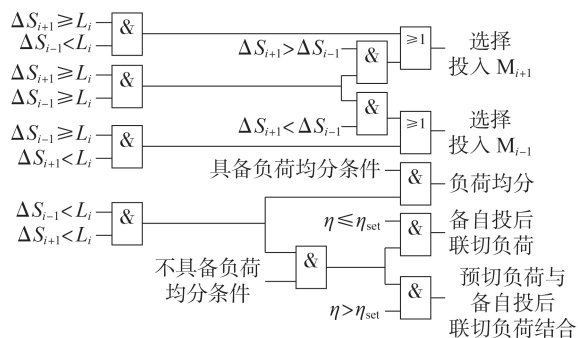


图2 单段母线失电备自投控制逻辑

Fig.2 Judgment logic of automatic bus changeover when single bus losing power

2.2 多段母线失电备自投控制方法

多段母线失电备自投包括多段母线同时失电备自投以及备自投运行期间新增母线失电的多重备自投2种基本情况。根据失电母线与备用电源数目之间的关联关系,母线失电主要存在单侧具有备用电源、两侧具有备用电源和两侧均无备用电源这3种基本形式。多段母线失电典型情况如图3所示:当

相邻两段母线同时失电时,失电母线只有一侧存在备用电源,见图3(a);当非相邻母线同时失电时,失电母线两侧具有备用电源,见图3(b);两侧均无备用电源的情况较为特殊,图3(c)给出了一典型示例,当某进线电源作为备用电源给相邻2段母线供电时,若进线电源故障,将导致进线电源所接的失电母线两侧均无备用电源。

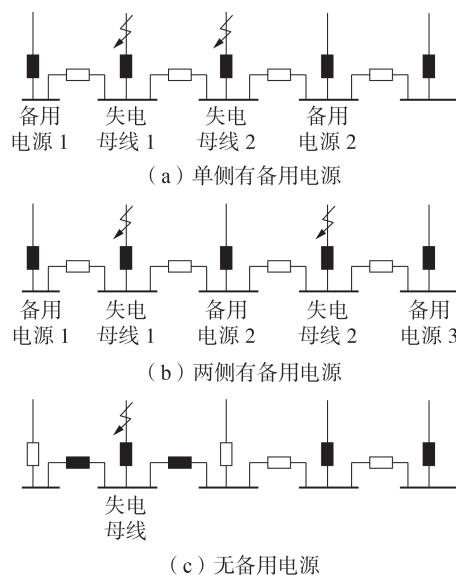


图3 多段母线失电典型情况

Fig.3 Typical situations when multiple buses losing power

相较于单段母线失电,多段母线失电除需考虑合理选择备用电源,防止其过载外,还应尽量避免出现1个备用电源同时为多段失电母线供电的情况,以提高备自投后电网供电的可靠性。

在多段母线失电的3种基本形式中,两侧均无备用电源的失电母线在相邻两侧母线备自投方案确定后,会转化为单侧具有备用电源或双侧具有备用电源的情形。因此,以下重点针对单侧具有备用电源和双侧具有备用电源这2种情况给出备自投控制方法。

2.2.1 单侧备用电源备自投方法

失电母线只有一侧具有备用电源时,其备自投选择相对简单,同时,其备自投后可为无备用电源的失电母线的供电恢复提供有力条件,因此,可优先确定其备自投方案。与单段母线失电情况类似,首先,需要计算备用电源负荷裕度,对于备用电源不满足负荷裕度需求的失电母线,考虑通过负荷均分或联切负荷等方式恢复供电。

(1)负荷裕度计算。

与单段母线失电不同,多段母线失电时,备用电源可能存在已为其他母线备供的情况,因此,需要根据开关状态判断备用电源实际所带负荷总量,进而

确定负荷裕度。

假设 M_i 失电,备用电源为其相邻母线 M_{i+1} ,备用电源工作状态有2种情况,如图4所示。

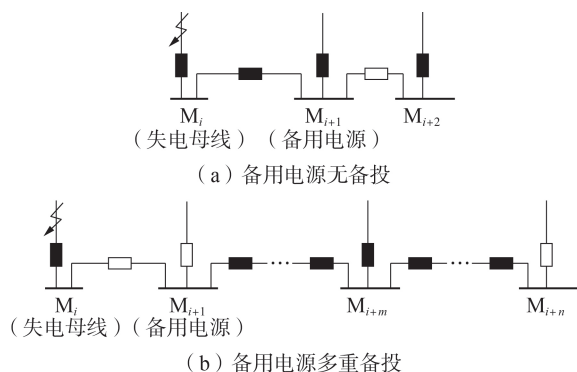


图4 备用电源状态示意图

Fig.4 Schematic diagram of states of standby power source

a. 备用电源不为其他母线备自投供电时,开关状态的基本特征为: M_{i+1} 进线断路器闭合, M_{i+1} 与 M_{i+2} 分段断路器断开。此时,备用电源仅给失电母线 M_i 备自投供电,负荷裕度计算公式如式(1)所示。

b. 备用电源为多段母线备自投供电时,开关状态为 M_{i+1} 至 M_{i+n} 之间的分段断路器闭合,且仅 M_{i+m} 进线断路器闭合,此时 M_{i+1} 至 M_{i+n} 的各段母线均由 M_{i+m} 供电,则负荷裕度计算公式如式(4)所示。

$$\Delta S_{i+1} = S_{i+m} - \sum_{k=i+1}^{i+n} L_k \quad (4)$$

其中, S_{i+m} 为 M_{i+m} 的进线容量; L_k 为 M_k 承担的负荷; $m \in [1, n]$; $k \in [i+1, i+n]$ 。

(2)备自投控制逻辑设计。

确定备用电源负荷裕度后,失电母线存在2类情况:第一类,备用电源负荷裕度大于等于失电母线负荷,失电母线可直接备自投,无需联切负荷;第二类,备用电源负荷裕度小于失电母线负荷,若直接启动备自投,将引起备用电源过载。在进行备自投逻辑设计时,优先确定第一类失电母线的备用电源方案,在此基础上,重新判断失电母线状态和负荷裕度,确定第二类失电母线备用电源方案,以尽量避免备用电源过载导致联切负荷。

a. 第一类失电母线备自投逻辑。

当只有一段该类失电母线时,可直接备自投。若存在多段失电母线时,由于前段母线确定备用电源后,将改变其他失电母线备用电源状态,如单侧备用电源可能转变为两侧备用电源等,同时也可能引起相关备用电源负荷裕度发生变化。因此,在确定备自投逻辑时,需采用逐段分步设计方式。首先根据失电母线的负荷大小,优先确定负荷较大的失电母线的备用电源。一旦确定备用电源,更新剩余失

电母线的备用电源状态,重新计算负荷裕度,然后确定下段失电母线的备自投方案。若剩余失电母线因其他母线备自投后,转变为两侧均具有备用电源状态,则自动按两侧具有备用电源的失电母线备自投逻辑确定备自投方案,具体见2.2.2节。若仍保持单侧具有备用电源的状态,则继续按照负荷大小依次确定失电母线备用电源。

b. 第二类失电母线备自投逻辑。

第一类失电母线备用电源确定后,可根据更新后的备用电源状态和负荷裕度,确定第二类失电母线备自投方案。若由于第一类失电母线备自投,第二类失电母线转变为两侧具有备用电源的情况,可按2.2.2节所述方法进行处理。若失电母线仍为单侧具有备用电源状态,可按2.1节中的负荷均分或联切负荷等方式恢复供电。

综上所述,以 M_i 失电、单侧备用电源为 M_{i+1} 为例,备自投控制逻辑框图如图5所示。

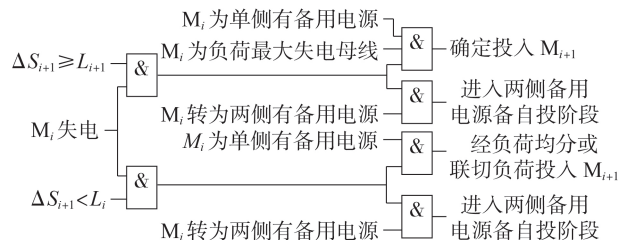


图5 单侧备自自动作的判断逻辑

Fig.5 Judgment logic of automatic bus changeover of one side

当所有单侧备用电源失电母线的备自投方案确定后,可根据更新后的备用电源状态和负荷裕度,进行两侧具有备用电源的失电母线备自投方案制定。

2.2.2 两侧备用电源备自投方法

当失电母线两侧均有备用电源时,原则上可根据负荷裕度和是否存在多重备自投来选择备用电源。但需要注意的是,当各段失电母线均按上述原则确定备用电源时,可能存在2段失电母线同时选择同一备用电源(简称为备用电源竞投)的情况,进而导致备用电源过载或双重备自投等问题。为了解决这些问题,在制定备自投控制逻辑时,可采用初选和复选的分阶段设计的实施方法。

(1)备用电源初选。不考虑是否存在备用电源竞投,各失电母线按以下基本原则独立确定初选备用电源:

a. 选择负荷裕度大于失电母线负荷的备用电源,避免备用电源过载;

b. 两侧备自投负荷裕度均大于失电母线负荷,选择供电母线段数较少的备用电源,避免备用电源为多段失电母线供电的情况;

c. 两侧备用电源负荷裕度均大于失电母线负荷

且供电母线段数相同,选择负荷裕度较大的备用电源;

d. 若两侧备用电源负荷裕度均不满足要求,在复选阶段进行统一处理。

以失电母线 M_i 为例,备用电源初选判断逻辑如图6所示。图中, B_i 为母线 M_i 满足负荷裕度需求的备用电源数; N_{i+1} 与 N_{i-1} 分别为备用电源 M_{i+1} 与备用电源 M_{i-1} 供电母线段数。

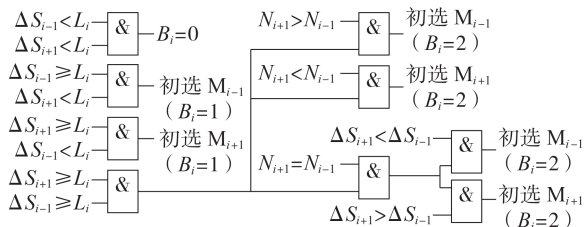


图6 备用电源初选的判断逻辑

Fig.6 Judgment logic of original selection of standby power sources

(2)备用电源复选。首先判断是否存在“备用电源竞投”。其基本特征是:两失电母线 M_i 、 M_j 初选同一备用电源,且所对应的满足负荷裕度需求的备用电源数 B_i 和 B_j 均大于0。对于存在竞投的失电母线,采用以下复选方法确定最终备用电源。

a. 若 $B_i = B_j = 2$,按备自投后备用电源所带母线段数量最少的原则,确定最终备自投母线,尽量避免同一备用电源为多段失电母线供电;一段母线确定最终备用电源后,重新计算备用电源状态,再按照满足负荷裕度需求优先,以及备用电源所带母线段数量最少的原则确定最终备用电源。

b. 若 $B_i = 2$ 、 $B_j = 1$,对于 $B_j = 1$ 的失电母线段 M_j ,其初选备用电源即为其最终备用电源;对于 $B_i = 2$ 的失电母线 M_i ,重新计算备用电源状态后,按照满足负荷容量优先以及备用电源所带母线段数量最少的原则确定最终备用电源。对于 $B_i = 1$ 、 $B_j = 2$ 的情况,采用类似方法处理。

c. 若 $B_i = 1$ 、 $B_j = 1$,当竞投备用电源负荷裕度大于2段失电母线负荷总和时,则竞投电源为2段失电母线的最终备用电源。若竞投备用电源负荷裕度小于2段失电母线负荷总和,则竞投电源作为负荷较大的失电母线,如 M_i 的最终备用电源,并将另一段母线 M_j 的 B_j 值置为0,其备自投方案按 $B_j = 0$ 的情况统一处理。

以失电母线 M_i 与 M_{i+2} 的初选备用电源均为 M_{i+1} 为例,其备用电源复选处理逻辑图见附录中图A1。对于不存在竞投的失电母线,直接投入初选备用电源。

当上述失电母线备用电源确定后,更新备自投后的各开关状态和备用电源负荷裕度,并判断是否

存在负荷裕度不满足要求($B_k = 0$)的失电母线。若存在,可按2.1节中的负荷均分或联切负荷等方式恢复供电。

3 仿真分析

以图1所示的某变电站为例,在PSCAD中构建了相关仿真模型,对本文备自投控制方法的有效性进行仿真验证,并与传统方法进行对比分析。变电站变压器容量均为 $50 \text{ MV} \cdot \text{A}$,正常运行时各母线负荷情况见表1,传统备自投方案见表2。

表1 变电站母线负荷情况

母线	负荷 / (MV·A)	负荷裕度 / (MV·A)	母线	负荷 / (MV·A)	负荷裕度 / (MV·A)
M_1	20	30	M_4	21	29
M_2	10	28	M_5	19	31
M_3	12	28			

表2 传统备自投方案

Table 2 Conventional automatic bus changeover scheme

失电母线	主方案	备用方案
M_1	M_2 有压,备自投至 M_2	M_2 失压, M_3 有压,备自投至 M_3
M_2	M_1 有压,备自投至 M_1	—
M_3	M_4 有压,备自投至 M_4	—
M_4	M_5 有压,备自投至 M_5	M_5 失压, M_3 有压,备自投至 M_3
M_5	M_4 有压,备自投至 M_4	M_4 失压, M_1 有压,备自投至 M_1

在仿真计算中模拟单段母线失电、多段母线失电、多重备自投等不同情况,以验证本文备自投控制方法的正确性。表3为不同的单段母线失电时的仿真计算结果。

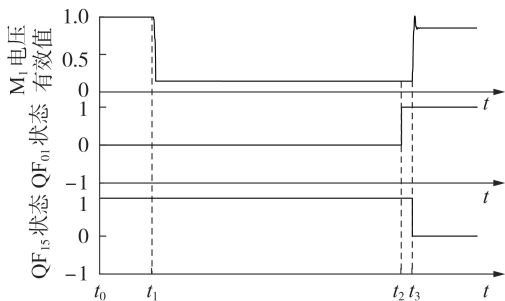
表3 单段母线失电备自投仿真结果

Table 3 Simulative results of automatic bus changeover when single bus losing power

失电 母线	备用电源		负荷裕度 / (MV·A)	
	传统方案	本文方案	传统方案	本文方案
M_1	M_2	M_3	8	11
M_2	M_1	M_1	20	20
M_3	M_4	M_4	17	17
M_4	M_5	M_5	10	10
M_5	M_4	M_1	10	11

从表3中可以看出,本文备自投方案可根据各母线段的实际负荷情况,合理选用负荷裕度较大的备用电源,与选择固定备用电源的传统方案相比,本文方法可以使备自投后备用电源的负荷裕度更大,有利于提高备自投后的供电可靠性。

图7以进线1发生故障、 M_1 失电为例,给出了进线故障和备自投过程中相关母线电压和相关断路器的状态。图中,电压有效值为标么值;断路器状态为

图7 进线1故障时, M_1 电压有效值与相关断路器的状态Fig.7 RMS value of voltage of M_1 and states of relating breakers when fault occurs on Line 1

0、1时分别表示断路器闭合、断开。

电网发生故障造成进线2、4退出运行, M_2 、 M_3 与 M_5 同时失电时的仿真计算结果如表4所示。由表可见,采用选择固定备用电源的传统方案时, M_2 失电后将备自投至 M_1 , M_3 和 M_5 失电后将备自投至 M_4 ,从而引起 T_3 过载,需联切负荷;采用本文方案后,经备用电源的初选与复选, M_2 与 M_5 备自投至 M_1 , M_3 备自投至 M_4 ,不会造成备用电源因过载而失负荷。

表4 多段母线同时失电备自投仿真结果

Table 4 Simulative results of automatic bus changeover schemes when multiple buses losing power

失电 母线	备用电源		负荷裕度/(MV·A)	
	传统方案	本文方案	传统方案	本文方案
M_2	M_1	M_1	20	1
M_3	M_4	M_4	-2(需联切负荷)	17
M_5	M_4	M_1		1

设置 QF_{03} 检修, M_3 由 M_4 备自投供电期间,进线4发生故障导致 M_5 失电模拟多重备自投情况,具体的仿真结果如表5所示。由表可见,采用选择固定备用电源的传统方案时, M_5 失电后,将备自投至 M_4 ,造成 M_4 同时为3段母线供电,影响备自投后的供电可靠性,此外,也会引起3号主变过载,需要联切负荷。而本文的备自投控制方法,可根据当前负荷裕度情况,将失电母线 M_5 备自投于 M_1 ,不会造成备用电源因过载而失负荷,同时,仍保持各备用电源只为1段失电母线供电,有助于提高电网供电可靠性。

表5 多重备自投仿真结果

Table 5 Simulative results of multiple automatic bus changeover

失电 母线	备用电源		负荷裕度/(MV·A)	
	传统方案	本文方案	传统方案	本文方案
M_5	M_4	M_1	-2(需联切负荷)	11

4 结论

本文根据变电站母线多分段接线方式的特点,从通用性角度,提出了综合利用多间隔信息的备自投控制方案。该方案根据各备用电源的负荷裕度、

失电母线的负载情况以及备用电源所带母线段数量,自动优选备用电源,可有效解决传统固定模式备自投存在的应对复杂失电情况能力差,易导致备用电源过载失负荷以及同时挂接多段失电母线影响供电可靠性等问题。仿真结果表明,本文的备自投控制方法具有良好的适应性,在不同失电故障情况下,均可实现失电母线与备用电源间的合理匹配,有效降低失负荷风险,提高供电可靠性。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 黄常抒,胡云花. 备自投装置接线中的问题及应对措施[J]. 电力自动化设备,2009,29(4):147-149.
HUANG Changshu, HU Yunhua. Wiring errors of automatic bus changeover and countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 147-149.
- [2] 赵宇阳. 大岗山水电站10 kV厂用电系统备自投动作逻辑[J]. 水力发电,2015,41(7):81-84.
ZHAO Yuyang. Spare power automatic switching action logic of 10 kV auxiliary power system in Dagangshan Hydropower Station[J]. Water Power, 2015, 41(7): 81-84.
- [3] 李由,姚坤,何国珍. 安谷水电站10 kV厂用电备自投系统的设计[J]. 四川水力发电,2018,37(1):75-78.
- [4] 张璇,薄士杰,许江. 济青高铁潍坊北10 kV配电所备自投方案设计[J]. 山东工业技术,2018(6):144,165.
- [5] 季杰,蔡显岗,张竞. 锦屏一级电站10 kV备自投应用方案研究及改进[J]. 人民长江,2017,48(2):20-23.
JI Jie, CAI Xiangang, ZHANG Jing. Study on application scheme of 10 kV backup automatic switch in Jinping I Hydropower Station and improvement[J]. Yangtze River, 2017, 48(2): 20-23.
- [6] 陈琼. 数字式备自投装置在水电厂的应用[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):124-127.
CHEN Qiong. Application of digital automatic bus transfer equipment in hydraulic power plant[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(2): 124-127.
- [7] 刘丽芳,殷丽. 水电站10 kV母线段备自投设计[J]. 电力自动化设备,2008,28(2):116-119.
LIU Lifang, YIN Li. Automatic 10 kV bus changeover in hydropower station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(2): 116-119.
- [8] 秦贵锋,王明,张进. 智能变电站自适应备自投应用[J]. 电力自动化设备,2012,32(6):111-115.
QIN Guifeng, WANG Ming, ZHANG Jin. Application of adaptive automatic switchover devices in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 111-115.
- [9] 梁鑫钰,李伟,张哲,等. 基于站域信息的备自投研究[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(20):50-56.
LIANG Xinyu, LI Wei, ZHANG Zhe, et al. Automatic bus transfer based on substation area information[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 50-56.
- [10] 颜俊,安小波,张立平,等. 基于突变方向的方向备自投故障范围识别方案[J]. 电力自动化设备,2017,37(9):185-192.
YAN Jun, AN Xiaobo, ZHANG Liping, et al. Fault range identification scheme based on fault component direction for areal automatic switchover system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(9): 185-192.
- [11] 王莉,马瑞萍,吴进宝,等. 低压侧分支型变压器备自投逻辑实施方案[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(23):121-124.
WANG Li, MA Ruiping, WU Jinbao, et al. Automatic switch-in

- scheme for low side branches type transformer[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(23): 121-124.
- [12] 范寿忠. 备自投过负荷联切功能的实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 139-140.
FAN Shouzhong. Application of overload cutting of automatic standby power switch devices[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 139-140.
- [13] 梁鑫钰. 站域控制系统构建模式及控制策略研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
LIANG Xinyu. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of engineering[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2017.
- [14] 李德胜. 330 kV 变电站备用电源自动投入控制策略研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
LI Desheng. Research on control strategies of reserve power source automatic device in 330 kV substation[D]. Nanjing:

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.

作者简介:



程韧俐

程韧俐(1972—),女,湖南长沙人,高级工程师,研究方向为电力系统安全稳定分析与控制以及运行方式管理(**E-mail**: chengrenli@sz.csg.cn);

张臻哲(1996—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统保护与控制(**E-mail**: zzz960526@163.com);

张哲(1962—),男,湖北武汉人,教授,博士,主要研究方向为电力系统继电保护、电力设备监录技术、电力电子技术以及超导电力新技术(**E-mail**: zz_mail2002@163.com)。

(编辑 任思思)

Control method of automatic bus changeover for transformer substations with multi-sectionalized bus wiring

CHENG Renli¹, ZHANG Zhenzhe², HE Xiaofeng¹, ZHANG Zhe², WANG Wei¹,
ZHANG Anlong¹, REHEMAN Yushan²

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd., Shenzhen 518001, China;

2. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at the problem that the conventional automatic bus changeover has poor adaptability in transformer substations with multi-sectionalized bus wiring and easily leads to load loss, and other problems, a control method of automatic bus changeover using multi-bay information is proposed from the aspect of universality. According to the characteristics of various fault conditions including single-bus losing power, multiple-bus losing power and multiple automatic bus changeover, by online calculating the load margin of standby power sources, load power of the buses that lose power and the number of buses supplied by standby power source, the proper standby power source is automatically selected, which can effectively avoid power losing caused by overload and improve power supply reliability of the network after automatic bus changeover. The correctness of the proposed method is verified by digital simulation in PSCAD combining with the engineering example.

Key words: distribution network; multi-sectionalized bus wiring; automatic bus changeover; control strategy; universality

附录

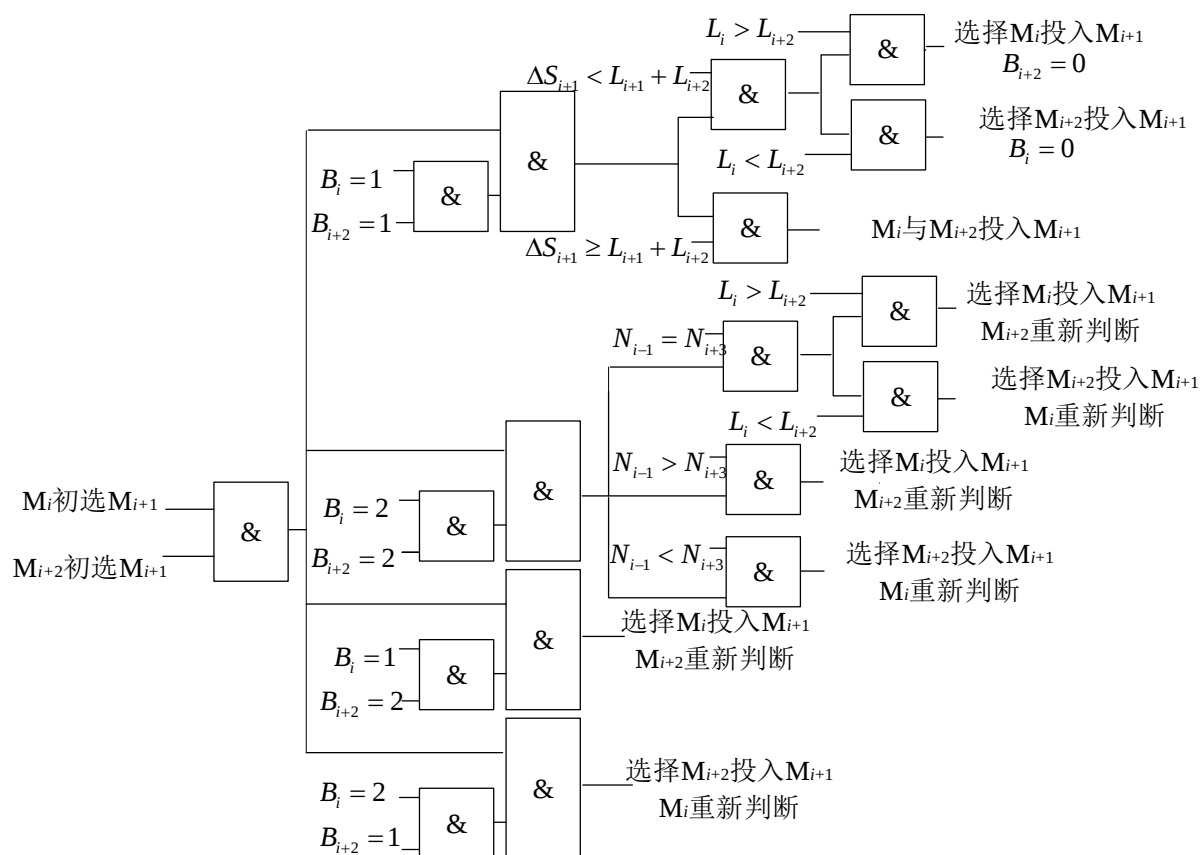


图 A1 备用电源复选的判断逻辑

Fig.A1 Judgment logic of secondary selection of standby power sources