

地区电网备自投在线投退控制策略(一) 备自投投退组合在线动态选择新方法

刘若溪¹, 张建华¹, 苏玲¹, 王国栋²

(1. 华北电力大学 电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京 102206;

2. 河南省电力试验研究院, 河南 郑州 450000)

摘要: 电网中某一停电事故可能导致多个备自投动作, 制定备自投的投退控制策略时要充分考虑多个备自投之间的组合以及上下级配合问题。针对此问题, 提出了 2 个全新矩阵模型, 通过分析各备自投装置在电网中的位置建立了备自投实时分级矩阵模型, 区分其上下级关系; 通过分析故障原件位置与备自投装置动作特性建立了备自投实时关联矩阵模型, 给出预想故障与应动作备自投装置之间的初步对应关系。在上述 2 个矩阵的基础上通过矩阵乘法设计了一种新的用以在线分析备自投投退组合的实时算法。算例分析表明所提算法可以准确得出不同故障下系统所应动作的备自投组合, 并且还能有效处理发生多重故障情况时的备自投装置投退组合问题。

关键词: 地区电网; 备自投; 实时分级矩阵; 实时关联矩阵; 控制策略; 在线

中图分类号: TM 762.1; TM 732

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0001-05

0 引言

与省级电网不同, 我国地区电网多数为闭环设计, 开环运行, 其下游呈辐射状结构, 为提高供电可靠性, 往往装设备用电源自动投入装置 BATS (Bus-bar Automatic Transfer Switch)。当电网发生故障导致母线停电时, 满足动作条件的 BATS 动作, 合上备用电源给停电母线供电, 从而提高供电可靠性^[1-8]。

当电网发生故障后, 可能有多条母线停运, 如果 BATS 之间不考虑动作的配合, 就可能引发多个 BATS 动作, 事实上, 并非所有这些 BATS 动作都是必要的。动作的设备越多, 出现进一步故障的可能性就越大, 因此要合理设计 BATS 的动作配合方案, 尽量减少不必要的 BATS 动作。文献[9]提出了按母线电压等级设计 BATS 动作时限来实现上下级 BATS 的配合, 减少不必要的 BATS 动作。但由于地区电网中大量使用 T 接线方式, 此方法并不能严格区分 BATS 上下级之间的配合关系。

鉴于上述问题, 本文首次提出了 2 个全新矩阵模型: 备自投实时分级矩阵模型和备自投实时关联矩阵模型。并在此基础上设计了一种新的用以在线分析备自投投退组合的实时算法, 算例分析表明基于上述方法所设计的在线备自投投退组合实时算法不仅可以准确得出不同故障下系统所应动作的备自投组合, 而且还能有效处理发生多重故障情况时的

备自投装置投退组合问题, 符合电网的实际情况, 具有一定的实用性。

1 典型 BATS 接线模型和实时分级矩阵模型

1.1 典型 BATS 接线模型

在介绍本文所提算法之前, 有必要对 BATS 的几种典型接线模型进行说明^[10-11]。

1.1.1 10 kV 母联 BATS

图 1(a) 中 BATS 为 10 kV 母联备自投, 母线 A、B 通过 BATS 互为备用。如果母线 A 失电, BATS 动作, 母线 A 所带负荷就会转移到备用电源侧母线 B 上, 从而不会导致系统失负荷。

1.1.2 110 kV 母联 BATS

110 kV 母联 BATS 可安装在 220 kV 和 110 kV 变电站上, 其动作原理与 10 kV 母联 BATS 相似, 不同的是它们关联的母线电压等级不同。图 1(b) BATS 为 110 kV 变电站的母联 BATS。图 1(c) 为 220 kV 变电站的 110 kV 母联 BATS。

1.1.3 线路 BATS

图 1(d) BATS 是线路 BATS^[12], 其中 C 线通过 BATS 作为 A 线、B 线的备用线路。假设 A 线断开, BATS 动作, 原来 A 线所带负荷通过 C 线从 B 线获得电源。

1.1.4 T 接线方式与 BATS 的组合

在地区电网中, 大量使用了 T 接线方式^[13], 其末端安装的大量 10 kV 母联 BATS 提高了供电可靠性。图 1(e) 所示的接线方式下, A 线所带母线 A₁、D₁ 与 B 线所带的 B₁、C₁ 通过 BATS₁ 和 BATS₂ 分别互为

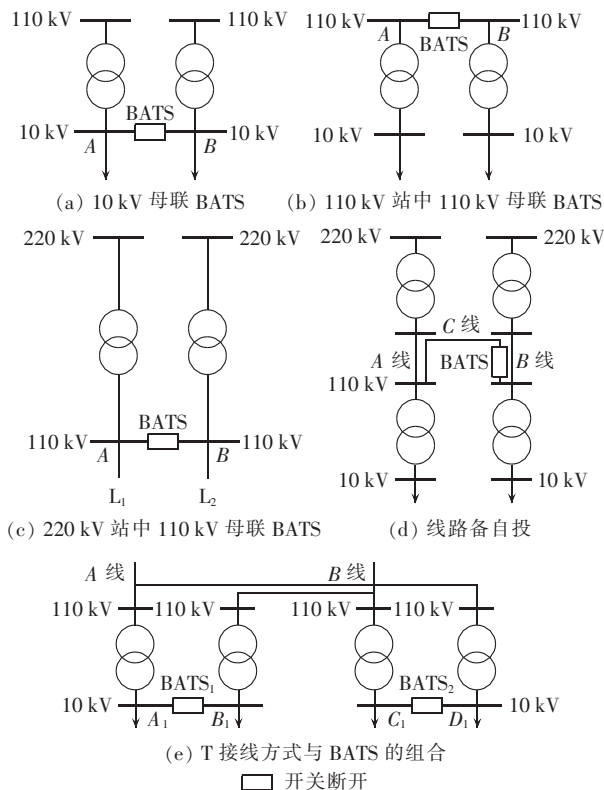


图 1 典型 BATS 模型

Fig.1 Typical BATS model

备用。

系统中更加复杂的 BATS 逻辑可由这 4 种基本类型组合而成。

1.2 实时分级矩阵模型

对于某一确定故障,可能有多个 BATS 由于母线失电满足动作条件,但在实际系统中,如果上一级的 BATS 动作能够恢复所有失电母线的供电,则下一级的 BATS 就不必动作。文献[9]通过按停电母线的电压等级为 BATS 设置动作时限来实现上下级 BATS 的配合,减少不必要的 BATS 动作,但由于地区电网中大量使用 T 接线方式,按照母线电压等级设置的 BATS 动作时限并不能严格区分 BATS 上下级之间的配合关系。如图 2 所示系统中,当 110 kV 出线 A 线(图 2 中实粗线所示)断开时,110 kV 母线 1 和 10 kV 母线 2、3 失电,BATS₁、BATS₂、BATS₃ 都满足动作条件,如果按照母线电压等级设置的动作时限,则 BATS₁ 立即动作,而 BATS₂、BATS₃ 后动作或者不动作。但实际上 BATS₁ 是 BATS₂ 的上级备自投,它动作能恢复母线 1、2 的供电,却不能恢复母线 3 的

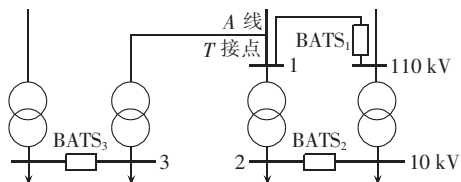


图 2 上下级备自投的关联关系

Fig.2 Rating relationship between BATSs at different levels

供电,因此在 A 线断开时,BATS₃ 与 BATS₁ 都应该动作或者具有相同的动作时限。

在辐射型的地区电网中,上下级关系的 BATS 反映了备用元件(母线)之间一种上下关联的拓扑关系。在电气方面,下级母线必须通过它关联的上级母线获得电源(此处母线也包括 T 接点)。

考虑到上述地区电网的特点,本文首次提出 BATS 实时分级矩阵模型。其具体定义如下,假设某一运行方式下地区电网中包括 n 个 BATS,共有 $2^n - 1$ 种组合。其中每一种组合都是 $G = \{BATS_1, BATS_2, BATS_3, \dots, BATS_n\}$ 的子集。对于 G 的任意含有 k 个元素的非空子集 G_M ,定义如下 $k \times k$ 阶对角阵 M :

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & M_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & M_{kk} \end{bmatrix}$$

其中,对角线元素 $M_{ii}(i \in [1, k])$ 表示子集 G_M 中的第 i 个 BATS 在子集 G_M 中的等级状况,下面介绍具体的取值方法。

找出与第 i 个 BATS 直接相连的所有母线,沿着这些母线上所有当前传输功率不为 0 的线路(具有备自投功能的线路,一律认为其当前传输功率不为 0)向电源侧查找,当没有发现其上级 BATS 时, $M_{ii} = 10000$;仅出现其上级 BATS 1 次时, $M_{ii} = 1000$;出现 2 次时, $M_{ii} = 100$;出现 3 次时, $M_{ii} = 10$;出现 4 次时, $M_{ii} = 1$ 。

实时分级矩阵中的元素取值与电网的运行方式有关,在有的方式下某个 BATS 可能没有与其关联的上下级 BATS,但在另外的运行方式下,它就有可能和其他 BATS 相关联,因此矩阵中的元素取值是随电网运行方式而变化的。由后文分析可知,这一策略的应用可有效区分不同 BATS 的上下级关系。

2 在线分析 BATS 投退组合的实时算法

在线分析 BATS 投退组合的实时算法的基础是 BATS 实时关联矩阵,BATS 实时关联矩阵是本文提出的一种全新的表示 BATS 和可能故障元件之间关系的矩阵模型。基于该模型所设计的算法,可以在计算量很小的情况下得到任意确定故障所对应的应动作 BATS 组合。不仅如此,关联矩阵本身也是动态更新的,实时跟踪电网运行方式的变化和 BATS 的闭锁情况,使得基于它的算法更适于在线应用。

2.1 BATS 实时关联矩阵的建立

假设地区电网中包括 n 个 BATS,且该电网预想事故集中包含 p 个元素(线路或变压器),当预想事故集中某一确定性故障(如线路断线)发生时,可能使某个或多个 BATS 达到动作条件,也可能所有 BATS 都达不到动作条件。根据此关系构建一个 p 行 n 列的 BATS 与可能故障元件之间关系的矩阵 R 如下:

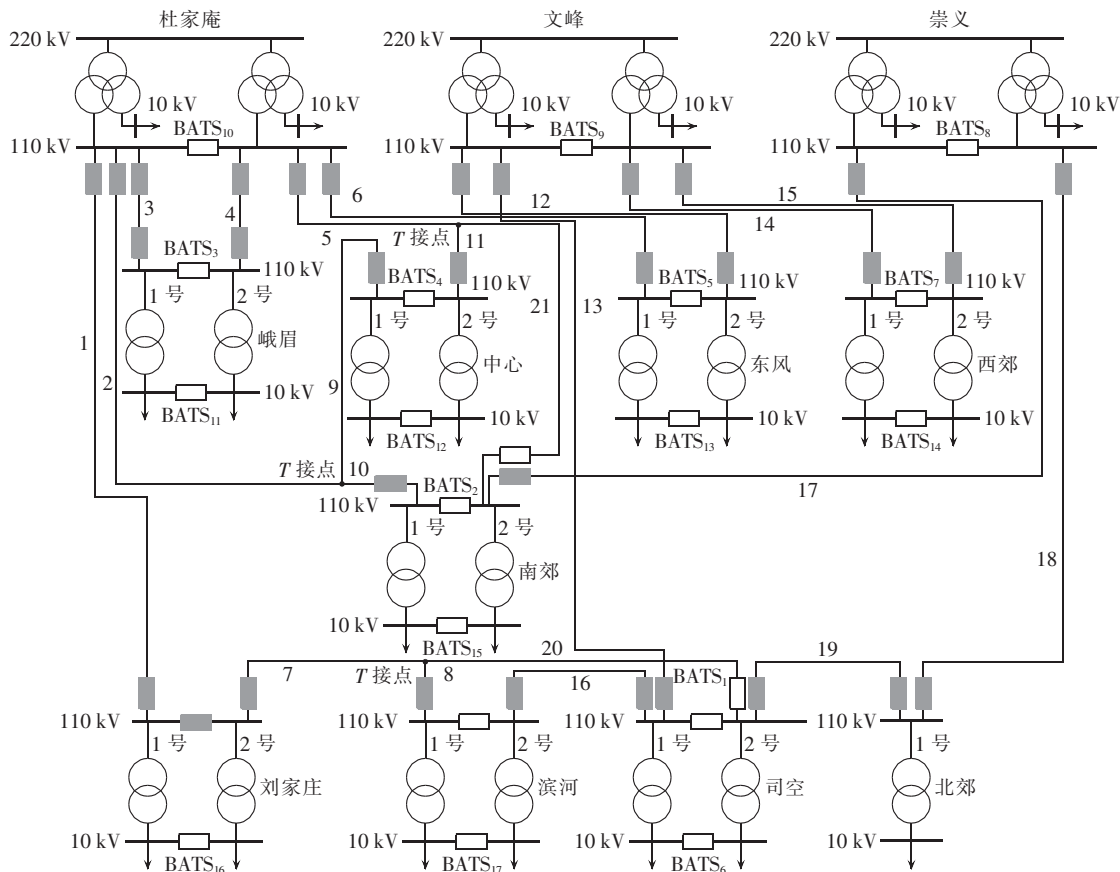


图 4 仿真系统图

Fig.4 Simulative system

顺序相同,从上到下先排列线路再排列变压器。17 列代表系统中所安装的所有 17 个 BATS。例如第 5 行代表线路 5,元素 $R_{5,4}=R_{5,12}=1$ 则说明当线路 5 故障后退出运行,将使 BATS₄ 和 BATS₁₂ 达到动作条件。

建立 BATS 实时分级矩阵 M 如下,详细内容如表 2 所示。

$$M = \text{diag} \{ 100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 100 \ 1 \ 100 \ 10000 \ 10000 \ 10000 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 10 \ 1 \}$$

表 2 建立实时分级矩阵 M 的详细过程Tab.2 Establishment of real-time rating matrix M

备自投	所对应的上级备自投
BATS ₁	BATS ₈ , BATS ₁₀
BATS ₂	BATS ₈ , BATS ₁₀
BATS ₃	BATS ₁₀ (2 次)
BATS ₄	BATS ₁₀ (2 次)
BATS ₅	BATS ₉ , BATS ₁₀
BATS ₆	BATS ₁ , BATS ₈ , BATS ₉ , BATS ₁₀
BATS ₇	BATS ₉ (2 次)
BATS ₈	无
BATS ₉	无
BATS ₁₀	无
BATS ₁₁	BATS ₃ (2 次), BATS ₁₀ (2 次)
BATS ₁₂	BATS ₄ (2 次), BATS ₁₀ (2 次)
BATS ₁₃	BATS ₅ (2 次), BATS ₉ , BATS ₁₀
BATS ₁₄	BATS ₇ (2 次), BATS ₉ (2 次)
BATS ₁₅	BATS ₂ (2 次), BATS ₈ , BATS ₁₀
BATS ₁₆	BATS ₁ , BATS ₈ , BATS ₁₀
BATS ₁₇	BATS ₁ , BATS ₈ , BATS ₉ , BATS ₁₀

案例 1:依次将向量 A 中的元素置为 1,其他剩余元素为 0,以此来模拟预想故障集中单一故障情况,利用每次得到的 A 代入公式 $S=ARM$,从而确定不同故障所对应的应动作 BATS,详细结果见表 3。

表 3 单一故障情况下 BATS 组合详细结果

Tab.3 BATS combinations for single failure

故障元件	应动作的 BATS 组合	故障元件	应动作的 BATS 组合
线路 1	BATS ₁	线路 16	BATS ₁₇
线路 2	BATS ₂ , BATS ₄	线路 17	BATS ₂
线路 3	BATS ₃	线路 18	BATS ₁
线路 4	BATS ₃	线路 19	BATS ₁
线路 5	BATS ₄	线路 20	无
线路 6	BATS ₅	线路 21	无
线路 7	BATS ₁	峨眉 1 号变	BATS ₁₁
线路 8	BATS ₁₇	中心 2 号变	BATS ₁₂
线路 9	BATS ₄	东风 1 号变	BATS ₁₃
线路 10	BATS ₂	西郊 2 号变	BATS ₁₄
线路 11	BATS ₄	南郊 1 号变	BATS ₁₅
线路 12	BATS ₅	刘家庄 1 号变	BATS ₁₆
线路 13	BATS ₆ , BATS ₁₇	滨河 1 号变	BATS ₁₇
线路 14	BATS ₇	司空 2 号变	BATS ₆
线路 15	BATS ₇	北郊 1 号变	无 (失负荷)

案例 2:对于电网中的故障,不能仅仅考虑单一故障的情况,还要考虑多重故障的情形。表 4 为随机抽取部分线路和变压器组成多重故障集合。应用本文所提算法确定其对应 BATS 的投退组合,详细结果如表 5 所示。

表 4 随机多重故障列表
Tab.4 List of random multiple failures

故障名称	故障元件
多重故障 1	线路 1、线路 2
多重故障 2	线路 8、线路 13
多重故障 3	线路 3、线路 5、线路 7
多重故障 4	线路 11、线路 13、东风 1 号变
多重故障 5	刘家庄 1 号变、滨河 1 号变
多重故障 6	线路 12、西郊 2 号变、司空 2 号变
多重故障 7	线路 4、线路 5、线路 6
多重故障 8	线路 10、线路 11
多重故障 9	峨眉 1 号变、南郊 1 号变、线路 17
多重故障 10	线路 7、滨河 1 号变

表 5 详细结果列表
Tab.5 BATS combinations for multiple failures

故障名称	应动作的 BATS 组合
多重故障 1	BATS ₁ 、BATS ₂ 、BATS ₄
多重故障 2	BATS ₆ 、BATS ₁₇
多重故障 3	BATS ₁ 、BATS ₃ 、BATS ₄
多重故障 4	BATS ₄ 、BATS ₆ 、BATS ₁₃ 、BATS ₁₇
多重故障 5	BATS ₁₆ 、BATS ₁₇
多重故障 6	BATS ₅ 、BATS ₆ 、BATS ₁₄
多重故障 7	BATS ₃ 、BATS ₄ 、BATS ₅
多重故障 8	BATS ₂ 、BATS ₄
多重故障 9	BATS ₂ 、BATS ₁₁ 、BATS ₁₅
多重故障 10	BATS ₁ 、BATS ₁₇

4 结语

为了解决备自投在线投退组合这一复杂问题,本文首次提出了 2 个全新矩阵模型:备自投实时分级矩阵模型和备自投实时关联矩阵模型。并在此基础上设计了一种新的用以在线分析备自投投退组合的实时算法,算例分析表明基于上述方法所设计的在线备自投投退组合实时算法不仅可以准确得出不同故障下系统所应动作的备自投组合,而且还能有效处理多重故障情况时的备自投装置选择问题,符合电网的实际情况,具有一定的实用性。

参考文献:

[1] 黄梅. 电力系统自动装置[M]. 北京:中国电力出版社,2000:3-5.
[2] 管霖,冯焱,刘莎,等. 大规模配电网可靠性指标的近似估测算法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(10):92-98.
GUAN Lin,FENG Yao,LIU Sha,et al. Approximate evaluation algorithm for reliability indices of cosmically distribution system[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(10):92-98.
[3] 唐梅芳,刘忠勇,潘泳瑜,等. 220 kV 备用电源自动投入装置应用[J]. 电力自动化设备,2006,26(11):114-116.
TANG Meifang,LIU Zhongyong,PAN Yongyu,et al. Principle and application of 220 kV automatic bus transfer equipment[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(11):114-116.
[4] 张国平,陈晖,吕庭钦,等. 倒送电运行方式中备自投动作分析及技术措施[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(8):93-95.
ZHANG Guoping,CHEN Hui,LÜ Tingqin,et al. Analysis and technical measures of reserved auto-switch-on device action in inverse power transmission operation[J]. Power System Protection and Control,2009,37(8):93-95.

[5] 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.
[6] 陈生银,宋会平,王燕,等. 220 kV 主变压器备自投的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(7):91-94.
CHEN Shengyin,SONG Huiping,WANG Yan,et al. Study and application on automatic bus transfer equipment of 220 kV transformer[J]. Power System Protection and Control,2009,37(7):91-94.
[7] 王攀峰,魏燕,刘立功,等. 一种面向对象的备自投装置设计方案的研究[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(18):109-111.
WANG Panfeng,WEI Yan,LIU Ligong,et al. Research on object oriented scheme of auto-switch-on device[J]. Power System Protection and Control,2009,37(18):109-111.
[8] 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.
[9] 陈勇,姚玉斌,夏翔,等. 考虑备自投的地区电网静态安全分析设计与应用[J]. 电力系统自动化,2004,28(19):84-87.
CHEN Yong,YAO Yubin,XIA Xiang,et al. Design and application bats for static security analysis considering district power system[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(19):84-87.
[10] 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):116-118.
LIU Lifang,YIN Li. Automatic 10 kV bus changeover in hydro-power station[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(2):116-118.
[11] 唐海军,杨承卫,姚翔,等. 电网备用电源自动投入的实践与思考[J]. 电力自动化设备,2005,25(8):99-101.
TANG Haijun,YANG Chengwei,YAO Xiang,et al. Practice and thought of automatic bus transfer in power network[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(8):99-101.
[12] 王润琴,赵树运. 关于 110 kV 电网“一线两站”备用电源自投回路的改进[J]. 电网技术,2000,24(9):73-74.
WANG Runqin,ZHAO Shuyun. Improvement of automatic closing circuit of one emergency source for two substations in 110 kV power network[J]. Power System Technology,2000,24(9):73-74.
[13] 刘柏私,谢开贵,张红云,等. 高压配电网典型接线方式的可靠性分析[J]. 电网技术,2005,29(14):46-47.
LIU Bosi,XIE Kaigui,ZHANG Hongyun,et al. Reliability analysis of connection modes in HV distribution network[J]. Power System Technology,2005,29(14):46-47.

(编辑:李育燕)

作者简介:

刘若溪(1982-),男,内蒙古兴安盟人,博士研究生,研究方向为电力系统分析与控制、电力系统安全和可靠性分析(E-mail:Liuruoxi0121123@163.com);
张建华(1952-),男,北京人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统安全和可靠性分析、电力应急管理。

Online control strategy of busbar automatic transfer switch for regional power grids(1):online dynamic selection of switching combination

LIU Ruoxi¹,ZHANG Jianhua¹,SU Ling¹,WANG Guodong²

(1. Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education,North China Electric Power University,Beijing 102206,China;

2. Henan Electric Power Research Institute,Zhengzhou 450000,China)

Abstract: As one failure may cause the action of several BATs (Busbar Automatic Transfer Switches) in a power grid, their combination and the coordination between levels should be fully considered in the control strategy of BATs. Two matrix models are proposed: the BATs real-time rating matrix model, established by analyzing the position of every BATs in the power grid to distinguish their rating relationship, and the BATs real-time incidence matrix model, established by analyzing the position of failure and the operating characteristics of BATs to describe the preliminary relationship between the preconceive fault and the BATs to be operated. By the multiplication of these two matrixes, a real-time algorithm for analyzing the online BATs combination is designed. Case study shows that, it gives accurately the BATs combination to be operated for a particular failure, as well as the multiple failures.

Key words: regional power grid; busbar automatic transfer; real-time rating matrix; real-time incidence matrix; control strategy; online