

# 区域型稳定控制系统的策略表在线刷新机制的研究

龚 瑛, 刘启胜

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 从离线对策表与准实时策略表相结合的刷新、查询机制论述稳定控制系统实现的若干技术问题。提出了通过运行方式坐标实现在线策略表的动态循环刷新机制,在系统正常运行时,根据系统的实时信息,通过外查询方式实现动态地选择策略表库匹配运行状态的策略表;在发生故障时通过内查询使得查询关键词仅限于“故障类型”。这种方法减少了因运行方式不断变化而产生策略表失配的可能性,同时使得运行方式匹配情况下的匹配精度动态提高。通过静态模拟试验检测了机制的可行性,结果表明,动态循环刷新机制能够满足系统运行调节,较目前的通过人工手动刷新策略表体现了更高的精确度和灵活性。

**关键词:** 离线对策表; 准实时策略表; 刷新; 查询; 运行方式坐标

**中图分类号:** TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)18-0040-05

## 0 引言

目前,稳定控制系统的确切分类在国内外暂没有定论,普遍依照控制决策与信息采集装置的地理关系将其划分为集中控制式和分散控制式两大类<sup>[1]</sup>。整个稳定控制系统的发展趋势是由简单的小区域就地控制系统向大型的大区域集中控制系统过渡的。从控制系统的控制过程来看,控制装置主要包含 3 大部分: 信息采集系统; 信息传输系统; 决策开出措施系统。在决策开出措施系统中,由于其控制方法的不同,又衍生出了两种不同的实现方式。按其控制措施形成的方式,决策系统可以分为实时控制方式和非实时控制方式。

实时控制方式依据系统的实时信息,对系统进行实时甚至超实时分析,确定系统当前或者模拟出系统未来几十秒的状态变化情况,开出稳定措施。这种控制方式对通讯和计算机软硬件水平要求都很高,现有的技术水平还很难实现。

非实时控制方式是已经普遍应用于工程实际的方式,通过离线或者是准实时策略表制定预想事故集下的稳定对策,当系统检测到故障发生时查询对策表,并开出稳定控制措施。离线对策表的应用比较普遍,几年来,随着准实时策略表生成技术的不断成熟,出现了离线与准实时策略表相互结合的稳定控制方案。例如二滩的方案<sup>[2]</sup>。然而在具体的实现过程中,可能会出现的问题是: 基于全网信息的准实时策略表如何对基于局部信息和少量远方信息的离线对策表实现刷新。形成机理不相同的两种策略表很可能在结构上有明显的差异。 离线对

策表与准实时对策表同时出现匹配策略时如何决策,形成机理不相同的两种策略表应该制定什么样的统一准则来实现策略的优劣比较。 存在于内存中的对策表库过于庞大,对系统资源是一种过度的浪费,如何精简,使得既能够满足故障时最大限度的策略表查询量,又能够最大限度的减少对策表在内存中的占用量。 准实时策略表计算出后的 5 min 时间内,若出现运行方式的较大改变,可能会使失配的情况更加严重。 策略表在计算机中的实现形式如何? 可能是固化在源码中的一系列线形表结构,也可能是从外部存储器中读取的数据存入内存中的变量。两种方案各有优劣表现。刷新都存在许多值得考虑的问题。如何实现最佳的联合控制? 给我们留下了许多问题。 选择系统工况变化时触发策略表刷新的时机并与策略表刷新周期相配合,使得策略表的刷新满足时间及精度要求而又不会过于频繁。

基于以上的诸多问题,本文所提出的策略表存放思路可以归纳为以下几点: 将不需要经常修改的离线对策表以头文件形式存储于内存中,以保证最低的策略查找要求。 将通过远程通讯传来的准实时策略表先存放在外存中,在内存中建立索引链表,按照系统当前的运行方式查找出与当前运行方式最为接近的若干数据表,系统正常运行时,随着系统运行方式的变化而动态调整索引链表中的数据,检测到故障时仅在索引链表范围内查询准实时策略表。 通过控制中心传来的运行方式坐标确定系统当前运行方式,并以此为依据判断离线对策与准实时对策的优劣。作为连接准实时策略表与离

线对策表之间的桥梁,运行方式坐标的制定与离线对策表和准实时策略表的制定相关联,因此可以随两种策略表精度的不断提高而修正。利用运行方式坐标分档作为准实时策略表的启动计算条件,来缓解难题。

## 1 准实时策略表与离线对策表的对比分析

### 1.1 准实时策略表的生成

在线准实时方式生成策略表所依据的工况是当时的实际运行工况。

这种方式生成的控制策略表只有实际的结构参数和潮流参数,故障时,对措施查询的关键词可仅局限于故障类型,表的规模和计算工作量大大减少,计算结果也更接近实际(只有故障是假定的)。由于在事故前计算,计算时间比较容易满足运行工况,而无需考虑其它几千种可能的运行工况,但这种改进是有代价的,即要求在线生成控制策略表的算法速度较快,通常要求在 5~10 min 内完成对所有预想事故的稳定分析及生成对应控制策略<sup>[3]</sup>。为了在 5~10 min 内对策略表进行刷新,需要对预想事故集进行快速筛选。为了同时满足计算的快速性和可靠性,目前通常是运用时域仿真法和直接法相结合的混合分析方法,即直接法用于快速筛选,时域仿真法用于详细的仿真计算。策略表在 5~10 min 内刷新,是基于系统运行参数在一段时间内不会发生太大的变化,因而可以应用前一次形成的策略表于当前的工况。反过来说,每当系统运行工况发生较大的变化时,都应当重新生成策略表,更为严重的情况是当系统运行工况发生较大变化而新的对策表尚未生成时,如果发生故障,系统会失灵或者发生严重失配的情况。对筛选后的预想事故,要进行较为详细的仿真计算,对仿真计算程序的精度和准确性要求较高。

准实时计算的启动问题,可分为以下 3 个步骤来说明<sup>[4]</sup>。

1) 在线检测运行状况,获取实时运行数据,实时数据由下位机采集或由 EMS(能量管理系统)提供。

2) 启动条件判断,即将实时数据与静态数据库中的启动条件相结合以决定是否满足启动条件,若满足则启动在线计算程序生成相应运行状况下的对策;若不满足启动条件,则不启动计算程序,并循环检测系统运行状况。这里用 AORB 变量的值来区分网络的拓扑结构改变、运行方式改变两种情况。

3) 启动条件满足后便写交换文件。交换文件主要包含运行方式的信息和具体的拓扑结构或故障信息。

在步骤 2 中,启动计算的依据实际上就是系统当前运行方式的表征值,所计算出的策略表只适应这一运行方式,因此在准实时策略表下传到区域子站中时,这一运行方式的表征必须能被区域子站识别,以便对离线对策表相应措施的刷新。本文中利用统一的运行方式坐标来实现这种不同策略表生成机制之间的信息对比与传递,详细见第 3 节。

### 1.2 离线对策表的生成

离线策略表是在大量的离线稳定分析计算所得结果的基础上,经过整理归纳,结合装置的实际能力综合产生的。由于稳定控制措施是离线计算获得的,实施控制时只需搜索匹配策略表,不存在对暂态稳定分析快速性的要求,而且充分利用运行人员的经验,归纳、总结到策略表中,技术成熟,因此对一个确定的电网,在预想的运行工况和故障条件下,能准确地确定稳定控制措施。由于是离线计算,这种方式形成的策略表有明显的缺点:策略表维数高,数据量大,计算和修改工作量大,当系统稍微复杂时,系统的运行接线方式、潮流方式和可能的故障方式的组合将达到一个很大的数值。电力系统是一个复杂的非线性系统,在形成策略表时又不可能过于详细,因此在实际使用时只能按照近似匹配的原则查询策略表,当系统运行工况与离线预想工况相差较大时,容易造成匹配误差大,甚至发生失配现象。稳定判别和确定控制量时只能按偏严重的潮流方式进行,“就大不就小”,使结果偏于保守,且影响系统的经济运行。在工程中,“离线计算、在线匹配”的思想得到了广泛应用,即暂态稳定控制装置(或系统)按预先给定的控制策略表实施控制。控制策略表是在预想的各种工况和故障条件下,运用离线稳定分析方法确定系统应该采取的暂态稳定控制措施,并将这些措施归纳、整理而成。电力系统发生故障时,由稳定控制装置根据故障前运行工况、实际故障信息以及策略表,通过近似匹配查出相应的控制措施并付诸实施。

## 2 运行方式坐标的确定

运行方式坐标,即在对策表中用来确定电力系统运行状态并作为查询对策依据的一个数列。数列中每个元素是根据运行经验和理论计算所得到的若干个对电力系统状态影响最为敏感的变量(特征

量),这些变量可以是连续型变量(负荷,线路功率),也可以是离散型变量(拓扑结构,开机台数),且取值范围已经固定。坐标分档,即对运行方式坐标中的变量取值按照其在取值范围内的不同区间对电力系统运行状态影响的不同程度而采取的一种近似划分。设运行方式坐标共有  $n$  种,变量为  $N_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $N$  为该变量的分档数,即在所有可行的运行方式范围之内,每个坐标的划分档次共有  $N_i$  种情况,系统所有可能运行方式共可划分为  $\prod_{i=1}^n N_i = k$  种,对任意的  $N_i$  增加一级精度,都需要重新考虑  $\frac{\prod_{i=1}^n N_i}{N_j}$  种运行方式下的措施。准实时对策表的坐标的个数应当大于或等于离线策略表坐标个数,而其坐标的可行值范围的分档应当更加的精细。

控制中心与区域子站必须首先确定吻合的运行方式坐标。一方面,对于区域子站来说,在正常运行时,准实时策略表必须被区域子站所能识别,以便能够寻找到相应的离线对策并进行刷新工作;在区域子站检测到故障发生时,区域子站必须能够根据控制中心传来的全网运行方式坐标来判断全网的运行方式,进而利用该坐标查询相应的准实时策略或离线策略。由于各个区域子站的具体情况不同,开出对策所参考的主要坐标也不同,各个区域子站之间的坐标允许有差异,但其与控制中心之间的坐标必须保持吻合。另一方面,对于控制中心来说,运行方式坐标是准实时策略表计算程序启动的依据,这套运行方式应具有最为完备的坐标格式,其所确定的运行方式分档也是最为精细的,否则,如果启动计算程序的坐标大于或完全等于区域子站的运行方式坐标,当准实时策略表传到区域子站时,子站无法从逻辑上判断是否按其离线对策表进行更新。

### 3 刷新机制

#### 3.1 计算机查询机制简介

计算机技术中定义的查找就是在按某种数据形式存储的数据集合中,找出满足制定条件的结点。如果找到了,则称为查找成功,否则查找失败。按查找数据在内存或在外存的分类,可以分为内存查找和外存查找;按查找的目的分类,可以分为静态查找和动态查找。其中,动态查找是为确定结点的插入位置或为了删除找到的结点,称为动态查找。动态查找对数据和数据顺序进行修改。查找的方式主要有顺序查找,分块查找,链式查找和散列表查找。本

文论述的稳定控制系统使用了顺序查找和链式查找。

**顺序查找:**顺序查找指的是结点集合按照线形表组织,采用顺序存储方式,结点只含关键字,并且是整数。常用的顺序存储线形表的查找方法有 4 种,分别是无序顺序存储线形表的顺序查找,有序顺序存储线形表的顺序查找,有序顺序存储线形表的二分法查找,以及有序顺序存储线形表的插值查找。

**链式查找:**链式存储线形表上的查找只能从链表的首结点开始顺序查找。设链表结点除整数关键字外,另外只含有一个后继结点指针。

#### 3.2 策略表更新、查询机制

策略表的更新有两种方式:

1)始终使用存放于内存或外存中的同一策略表,当某一运行方式坐标下出现需要更新的策略时,将原有措施抛弃或更改对应区间,然后装入新的措施。这样的更新方法容易理解,但实现起来比较困难。潜在的危险是故障发生时,中断处理程序直接进入策略表查询,此时如果正在进行数据更新,很可能查询到的是一个脏数据,或者是更新之前的措施,或者是更新之后的措施,如果查询的是更新之前的措施,则策略表更新的意义没有实现;同时这种更新方式改变了原有对策表的坐标结构,可能增加坐标,而新增加的坐标如果依赖于其他区域子站的信息,当区域子站与控制中心失去联系而无法得到全网信息时,区域子站无法实现运行方式的匹配查询。

2)将“更新”概念化,利用选择查询的机制实现。即对于操作人员来说程序满足更新策略表的需求,而对于操作人员不需要了解的内部程序,则仍然保持原有的两套对策表(离线对策表,准实时对策表),这样,在程序黑盒之外,运行人员和系统所感受到的策略是不断刷新的策略。在故障开出时,首先直接查询准实时策略表,若准实时策略表没有匹配策略,则转而查询离线对策表。这种方式实现了离线对策表作为后备策略表的目的,避免了查询脏数据的可能,却增加了查询时间,尤其是当准实时策略表没有匹配策略时,查询时间实际上已经浪费许多,有可能超出控制措施开出的允许时间。

两种方式各有优劣,然而策略表的暂态稳定控制要求在故障发生后 120 ~ 140 ms 内给出稳定控制措施并满足可靠性要求<sup>[3]</sup>。

在程序中建立链表,链表中的信息包含一个下一结点的指针地址,另一个运行方式坐标,最后一个是对应该运行方式下的各个故障之策略。结点定义

为:

```
typedef struct node{
    int key[N];
    struct node * next;
    struct MEASURE measureB; }NODE
```

故障时查询措施属于静态查询方式,正常时更换索引链表的信息属于动态查询方式。在系统正常时间,链表按照结点的关键字(运行方式坐标与当前运行方式坐标的均方差)递增的顺序链接,并且随当前运行方式坐标的变化而改变链表排序,查询方式属于动态查询方式。

系统运行的大部分时间属于正常运行状态,链表的主要工作是根据系统不断改变的运行方式,改变链表的内容和结点顺序。当系统发生故障时,按照系统当前运行方式,查询该链表内的策略,如果有匹配运行方式坐标下的准实时策略表,则查找成功,进而在 struct MEASURE 中查询相应故障类型的策略并开出执行。若没有复合条件的策略表,或者相应策略表中没有预测到这种故障形式,则转而查询离线对策表,实现保守型的稳定控制。其具体实现过程的程序框图如图 1 所示。

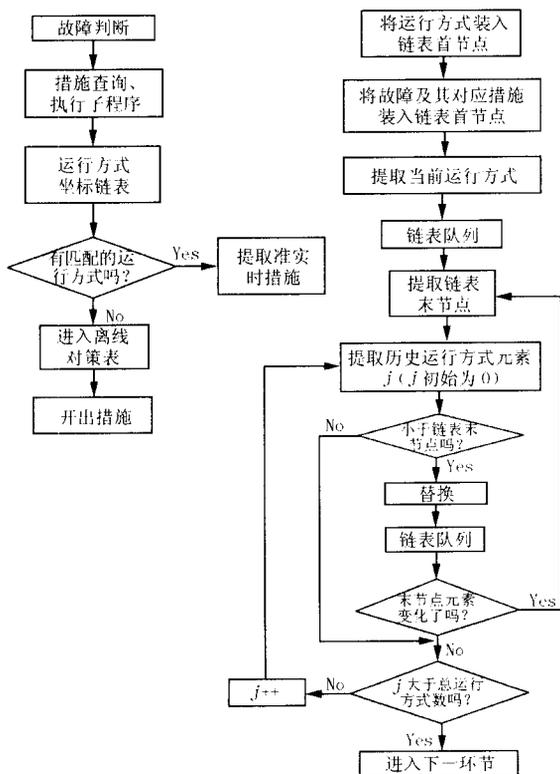


图 1 程序框图

Fig 1 Block diagram of program

试验表明,该方法能够满足系统运行条件,达到

了较好的效果,最大限度的减少了故障时的策略表查询范围,从而缩短了查询时间,减少了系统的故障反应时间。

#### 4 总结与展望

本文所提出的离线对策表与准实时对策表的联合决策系统可以在利用新技术优点的同时,保证系统的原有的稳控水平。同时有利于在目前情况下,既可以积累准实时策略表经验,又能保证系统的稳定运行。同时黑盒方法使得程序易于更新换代,代码编写容易实现。

然而,通过我们的研究,稳控系统仍然有一些需要探讨的问题,例如复故障问题和稳控系统运行中期的策略表更换问题。以下分别做将要的讨论。

##### 4.1 复合故障空缺

复合故障不应简单的归结于离线对策表或者是准实时对策表的缺陷。离线对策表没有考虑这种故障情况,准实时对策表根据系统当前运行方式 5 min 的滞后性计算的也是单一故障。因此,复合故障问题的解决应该由离线对策表的制定或者是实时控制中利用功角来解决。在今后的工作中,可以专门设置特殊故障策略表。特殊故障指单一故障以外的复合故障或不可预测的故障,此时从保证主干系统稳定入手考虑,无论故障形态如何,当潮流超过定值,任一元件故障跳闸,稳控装置均能动作,切除部分机组和部分负荷,尽可能避免发生系统稳定破坏事故。

##### 4.2 策略表的循环淘汰

由于准实时对策表与离线对策表的不同生成方式,各自都有对方无法替代的优势。准实时策略表计算更新速度快,在一定程度上能够适应系统不断变化的运行方式,并较之于离线对策表而制定出更加吻合实时运行工况的策略,但现阶段的实际应用中,在计算模型和方法上还是采取了一些简化或缩短计算时间的措施,以适应在线信息收集和可能的计算速度。对筛选后的预想事故,要进行较为详细的仿真计算,对仿真计算程序的精度和准确性要求较高。而对于离线对策表来说,在计算模型和方法上相对较大的选择空间,如果新制定出的离线对策表在精度上超过了装入系统运行的准实时对策,则应当清空控制系统中的准实时对策表,并调节控制中心准实时策略表计算程序的启动条件,使其达到较新离线对策表更加详尽的计算精度然而此种调节又牵涉到计算程序本身的精度问题。这些问题,都有待今后的深入研究。

## 参考文献:

- [1] 孙光辉. 区域稳定控制中若干技术问题 [J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (3): 4-7.  
SUN Guang-hui Techniques in Regional Stability Control [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (3): 4-7.
- [2] 庞晓艳, 陈苑文, 梁汉泉, 等. 二滩电站安全稳定控制系统策略表的设计与实现 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (18): 37-40.  
PANG Xiao-yan, CHEN Yuan-wen, LIANG Han-quan, et al Design and Realization of the Scheme List for Ertan Power Station Security and Stability Control System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (18): 37-40.
- [3] 周良松, 夏成军, 彭波, 等. 电力系统暂态稳定控制策略表的应用研究 [J]. 电网技术, 2000, 24 (1): 13-15.  
ZHOU Liang-song, XIA Cheng-jun, PENG Bo, et al Study on Application of List of Control Schemes in Power System Transient Stability Control [J]. Power System Technology, 2000, 24 (1): 13-15.
- [4] 李大虎, 汤必强, 陈允平, 等. 电力系统在线准实时稳定控制系统及其实现 [J]. 电力科学与工程, 2003, 8 (1): 18-22.  
LIDA-hu, TANG Bi-qiang, CHNE Yun-ping, et al On-line Quasi-real-time Stability Control System and Its Application [J]. Electric Power Science and Engineering, 2003, 8 (1): 18-22.

收稿日期: 2005-01-12; 修回日期: 2005-03-18

## 作者简介:

龚 瑛 (1981 - ), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: gongying8106@eyou.com  
刘启胜 (1962 - ), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 多年从事电力系统稳定控制与电力电子方面的教学和研究。

## Study on on-line refresh mechanism of scheme list in regional stability control system

GONG Ying, LU Qi-sheng

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** This paper discusses some technical problems about implementation of stability control system, based on refresh and polling mechanism of the combination of off-line strategy table and on-line scheme list. It presents that dynamic loop refresh mechanism of on-line scheme list is implemented through coordinates of operation mode. During the normal operation of the system, scheme list matching with the operation mode in scheme list base is dynamic selected through external polling according to real-time information of system. During the malfunction, polling keyword is only "fault type" through internal polling. This method reduces the possibility of scheme list mismatch by reason of continuous change of operation mode, and also dynamically increases the match accuracy if operation mode is matched. The feasibility of this mechanism is checked through static simulation experiment. Result indicates that dynamic loop refresh mechanism can satisfy operation adjustment of system, and it is more accurate and more flexible in comparison with refresh scheme lists through manual work now.

**Key words:** off-line strategy table; on-line scheme list; refresh; polling; coordinates of operation mode

(上接第 39 页 continued from page 39)

**Abstract:** Reactive power and voltage control is a necessary manner to ensure the power system operation in security and economy. The better effects can be achieved by the coordinated control combined with the centralized control manner in central station with the decentralized control manner in unit station, the complexity of centralized control manner and the localization of decentralized control manner are conquered with the linearized optimal models. The effects at a real network are proved better than traditional method in optimal banks.

**Key words:** reactive power compensation; coordinated control; network losses

祝广大读者节日快乐!