

EEAC 在东北电网开放式 EMS 环境中的在线应用

罗玉孙 许剑冰 薛禹胜

(电力自动化研究院 210003 南京)

摘 要 EEAC 算法是目前国际上唯一能满足在线实时要求,具有定量性、快速性的电力系统暂态稳定分析方法。EEAC 在线软件包在东北电网中经过 5 年在线运行,获得了用户的信任和认可,也从用户的反馈中积累了丰富的经验,从算法到工程实施都得到了不断改进。文中介绍了其在 CC2000 开放式 EMS 环境中的在线实时环境、数据流,以及为调度人员使用方便而在程序运行模式、人机界面等方面进行的工程考虑,并给出了计算精度、误差分布、计算速度等统计结果和实际工况单相重合闸操作的整定计算实例。

关键词 电力系统 暂态稳定 EEAC EMS 在线

分类号 TM 712 TM 734

0 引言

EEAC 算法是目前国际上唯一能满足在线实时要求,具有定量分析能力的电力系统暂态稳定快速分析方法^[1~3]。它能快速定量地给出受扰轨迹的稳定裕度及失稳模式,系统的临界切除时间、极限出力、传输极限和对应的参数稳定裕度,对预防控制起到不可取代的作用。自 1992 年 EEAC 软件在东北电网 EMS 中首次实施以来,经历了在 VAX785 上的 HABITAT 环境中的第 1 期应用^[4~6],在 DEC 工作站上的 PANDA 环境中的第 2 期应用,以及在 DEC 服务器上的 CC2000 环境中的第 3 期应用,充分显示了其在线暂态稳定性分析的能力。

本文着重介绍了 EEAC 软件在线实施时的软、硬件环境,EEAC 核心软件同在线实时数据库间的数据界面、数据流和为调度人员使用方便而进行的程序运行模式、人机界面上的工程考虑,最后对 EEAC 在线软件的部分计算结果进行了校验。

1 EEAC 在线实时环境

1.1 东北电网 EMS 开放环境

CC2000 系统是由东北电力集团公司和电力科学研究院合作,采用面向对象技术在 DEC UNIX 上开发成功的开放式 EMS/DMS 支持平台。自 1996 年开始,东北电网的 EMS 就逐步用 CC2000 来替代原来的 HABITAT 环境,目前所有的应用程序和调度员培训仿真器均在其上开发、运行。

EEAC 在线实时环境如图 1 所示。从底层向上

依次为:硬件,UNIX 操作系统,X-Windows 和 Motif,CC2000,SCADA 系统,状态估计和实时网络分析(RTNET),应用软件(包括 EEAC 在线软件)。所有在线软件均在 CC2000 的支持下,通过网络数据库 PSBOB 来交换数据、共享系统的实时数据资源和系统单线图资源。该数据库对所有的应用具有相同的结构,但允许有不同的实体。

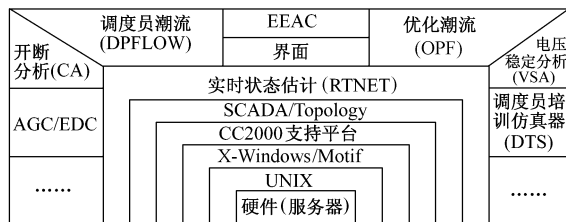


图 1 EEAC 软件在线实时环境
Fig. 1 Real-time environment of EEAC

EEAC 软件已走向国际市场,为了保证源码的一致性,由 FORTRAN 语言编写的核心程序在所有的离线、在线以及与国际商品软件的集成应用中都相同。由于工程启动时 CC2000 的数据库访问不支持 FORTRAN,因此在 EEAC 外部包装了一层界面,用来与 CC2000 进行数据交换。本次在线实施的主要工作就是 EEAC 核心软件同 CC2000 平台之间的数据交换界面以及在线软件人机界面的工程化。

1.2 C++ 和 FORTRAN 的混合编程

混合编程的目的通常有两种:①为了调用由另一种语言所编写的现有程序,而改写后者并不可行;②充分利用各种编译器的特长。很多商用软件都出于后一种目的,而这里采用 C++ 和 FORTRAN 混合编程的原因则是前者。用不同的语言编写源码,并

用各自的编译器编译,在目标代码级达到一致性,再通过链接,构成可执行程序。

混合编程通过约定通知编译器对接口函数和需共享的变量进行相应的处理,如果两种语言的编译器遵循同样的约定进行处理,就可以产生相同格式的可以互为利用的目标码。本项目将所有 C++ 接口函数用大写字母命名,并加上适当的描述符;对公共变量、类型也全部用大写名称,以达到命名约定的一致性;将接口函数的所有参数采用赋地址传递;在 C++ 中通过定义与 FORTRAN 公用区同名、具有相同域的大写名称的外部结构变量,以便直接使用 FORTRAN 公用区中的变量。

1.3 数据流程

RTNET 将 SCADA 的生数据处理成能进行潮流计算的熟数据,送给所有的应用软件(见图 2)。EEAC 在线软件的数据来源就是 RTNET 的实时网络数据库(PSBOB)和调度员潮流的 PSBOB。

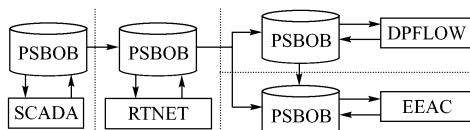


图 2 EEAC 在线软件的实时数据流程
Fig. 2 Real-time data flow for EEAC

2 EEAC 的工程考虑

在线应用软件的使用对象是调度员,而使用环境往往又很紧急,因此其操作使用的方便性、输出结果的直观易懂、故障场景与实际使用习惯的一致性,是决定该软件实用性的关键。为此,EEAC 在线软件仔细地考虑了工程需要。

2.1 程序运行模式

在线软件包括实时模式和研究模式。实时模式下,定时映射实时数据,对相对固定的故障集进行扫描分析,给出故障严重程度的排序表和注入空间中的稳定域;研究模式则可以由调度员潮流将取自 RTNET 的实时场景和故障场景进行调整后,再由 EEAC 进行深入的研究分析。

2.2 故障设置

调度员应能在需要的时候分析特定的故障,评价不同的控制方案,或者了解系统暂态安全水平的总体情况。所以 EEAC 具有故障逐个设置方式、故障表方式和自动扫描方式 3 种故障设置的计算方式。而故障的逐个设置,既可以在系统单线图上进行,亦可以在列表菜单上进行。在单线图选定故障元件后,将自动显示故障元件的类型及元件名。

在单线图上设置故障非常直观和方便,首先弹出的的是一个简单的设置菜单,它只需运行人员设定各个事件的发生时间(有缺省值),然后点击各个事件的故障类型(例如短路、跳线/清除短路、重合、不成功再跳线等),此时,跳线和重合均在两端同时进行。也可方便地切换到另一菜单进行较复杂的设置(例如详细的故障序列,包括线路两端不同时动作等)。对各分段母线上的故障,可以选择仅跳该段母线上的支路,或跳全部母线上的支路。设置好的故障可方便地加入指定的故障表。

2.3 单个故障计算结果

在逐个设置故障状态下,EEAC 计算完成后,将自动弹出计算结果画面,根据计算目的不同分别显示不同的结果。单个故障的计算结果将自动列表保存,以便将来整理。

2.4 曲线输出

对传统的曲线输出方式进行了革新:

a. 具有整体性。首先在同一画面上同时给出所有机组的摇摆曲线,使系统稳定情况和全局动态的分群情况一目了然,不需要用户在积分前或积分后指定。这样就可以避免由于对系统了解不充分,未能将关键的曲线输出而得出错误的结论。图 3 中 $\delta-t$ 曲线即为全系统所有机组的摇摆曲线。从图中很快就能得出系统稳定情况及分群情况的概貌。

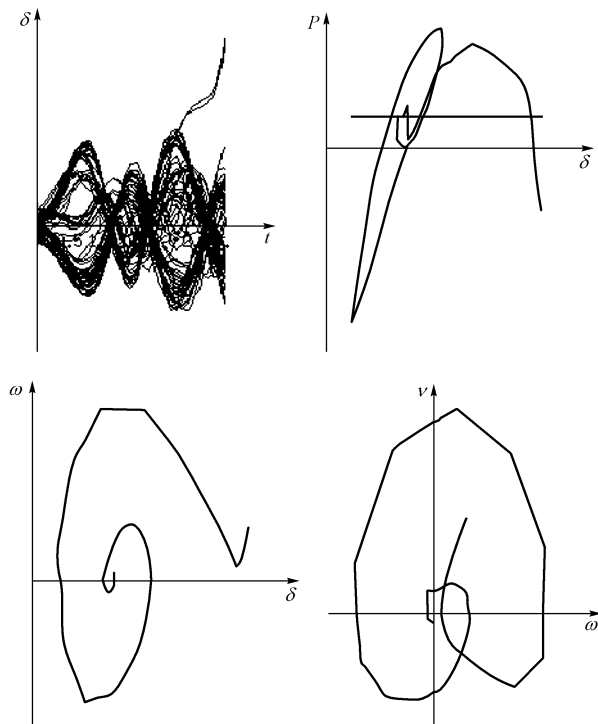


图 3 稳定分析的整体概况
Fig. 3 The entire view of the system stability

- b. 曲线的剪裁。可以方便地用鼠标删去任何无代表性的曲线,从而只留下感兴趣的部分。
- c. 按机组名查找曲线。用机组名局部匹配的方式可以方便地将对象机组的曲线变色并自动标注。
- d. 查询某曲线对应的机组名。用鼠标选定曲线,就在该曲线上自动编号,并显示该机组名。

2.5 注入空间的稳定域

系统在各算例下的临界群发电量极限构成了一个向量,它的维数可能等于或略大于发电机总数。这一向量在注入空间中确定了一个暂态稳定域,它使运行人员能够快速辨识暂态安全水平,并作出预防控制决策。图 4 用棒图表示了这样一个稳定域,对于每一个临界群,用其额定功率的百分数为尺度,表示出两根棒图。下面的黄色棒表示用 EEAC 计算得到的暂态稳定极限;上层的蓝色棒表示机群的实际出力,当它比黄棒长时,会自动变红告警,以表示潜在的危險;两棒长度之差表示了预防控制措施的迫切性。这使得复杂的 TSA 任务变得像监视节点电压一样简单。棒的左边显示机组属性及其初始出力、极限出力值。

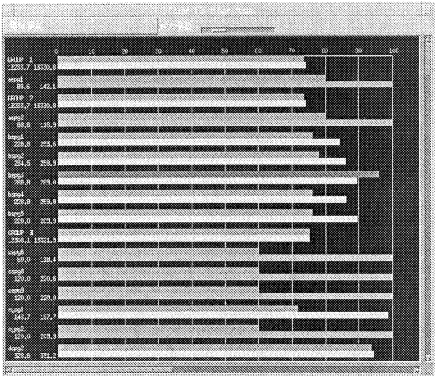


图 4 出力空间的稳定域

表 1 EEAC 与 PSASP 计算结果的比较
Table 1 Accuracy assessment of EEAC with PSASP

故障地点 ¹⁾	CCT/s		误差/(%)
	EEAC	PSASP	
富热厂 1 母	0.120	0.130	-7.7
让湖路北母	0.153	0.147	4.1
伊敏 1 号机	0.128	0.134	-4.5
新华厂北母	0.148	0.147	0.7
红旗变东母	0.154	0.147	4.7
冯屯变 2 母	0.137	0.145	-5.5
通辽厂北母	0.130	0.132	-1.5
火炬变北母	0.146	0.155	-5.8
佳南变北母	0.142	0.155	-8.4
浑江变北母	0.171	0.185	-7.6
清河广东母	0.176	0.190	-7.4
丰合线	0.000	0.000	0.0
合南线	0.000	0.000	0.0
哈大线	0.030	0.035	-14.0 ²⁾
电岭线	0.097	0.112	-2.6
电右线	0.120	0.130	-7.7
南木线	0.120	0.127	-5.8
锋让甲乙线	0.158	0.146	8.2
木达乙线	0.122	0.126	-3.2
齐让甲乙线	0.157	0.147	6.8
电通甲乙线	0.130	0.132	-1.5
南钢线	0.195	0.215	-9.3
四巨甲乙线	0.199	0.220	-9.5
双西甲乙线	0.198	0.215	-7.9
和南甲乙线	0.207	0.205	1.0
董王线	0.220	0.235	-6.4

注:1)母线故障指母线瞬时短路;线路故障指线路出口短路,两端跳开以切除短路故障。
2)由于 CCT 绝对值非常小,此点虽然相对误差较大,但绝对误差却很小。

重合成功,系统才能稳定,大大出乎有关人员的预料。装置整定人员再用 PSASP 进行核算,证实在该工况下,若 0.37 s 两端同时重合成功,系统确实会失去稳定。因此立即停用了这套单相重合闸装置,避免了潜在的危險。这个例子生动地说明了在线暂态稳定分析的重要性。

3.3 计算误差分布

任意取两个运行方式,采用 EEAC 自动扫查功能,对全网所有母线和线路故障计算 CCT 的误差分布如表 2 所示。

表 2 CCT 计算误差的算例数分布
Table 2 The error distribution of EEAC calculation

运行工况	故障类型	CCT 误差/(%)										
		<-10	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	>8
			~	~	~	~	~	~	~	~	~	
1998-12-24	母线	0	1	0	197	11	2	46	38	42	2	0
	线路	0	0	0	192	5	10	21	45	52	3	0
1998-12-26	母线	0	0	0	181	11	4	67	44	51	0	0
	线路	0	0	0	189	11	8	32	37	37	0	0

3 结果校核

为了校验在线程序的计算精度,用电力科学研究院的综合稳定程序(PSASP)对相同的故障和相同的模型计算的标准结果进行比较。

3.1 三相短路的临界切除时间(CCT)

三相短路的临界切除时间(CCT)见表 1。

3.2 单相重合闸操作

用户曾在实际工况的试验中遇到线路伊-冯线的伊敏侧单相接地故障,0.1 s 两端单相跳开并清除故障的算例。原来计算的工况普遍认为稳定性没有问题,因此现场整定的单相重合闸时间为 0.8 s。但是 EEAC 计算结果是两端必须在 0.37 s 之内同时

3.4 计算速度

在 DEC 工作站上对在线软件进行了计算速度统计(采用 E_q' 恒定、静特性负荷模型,系统为 435 母线、93 机、628 个支路元件),具体情况如表 3。

表 3 计算时间统计
Table 3 The CPU time needed by EEAC

故障类型	计算目的	故障总数	CPU 时间/s	平均时间/s
全网线路三相 短路三相跳线 扫描	CCT	342	414.5	1.211
全网母线三相 短路扫描	CCT	350	349.6	0.998
全网母线三相 短路扫描	发电 极限出力	350	1049.7	2.999
全网母线三相 短路扫描	稳定裕度	350	215.8	0.616

参 考 文 献

1 Xue Y. Extend Equal Area Criterion; Foundation and

Applications; [Invited Paper]. In: 4th Symposium of Specialists in Electric Operational and Expansion Planning. Brazil; 1994
2 薛禹胜. 非自治非线性多刚体系统运动稳定性的定量分析. 电力系统自动化, 1998, 22(1)~1998, 22(12); 1999, 23(1)~1999, 23(14)
3 薛禹胜. EEAC 和 FASTEST. 电力系统自动化, 1998, 22(9)
4 Xue Y, Luo Y, Xue F, et al. On-Line Transient Stability Assessment in Operation——DEEAC in Northeast China Power System. In: IEEE TENCON'93. Beijing; 1993. 72~76
5 薛禹胜, 罗玉孙, 薛峰, 等. EEAC 在东北电网 EMS 中的在线实施. 见: 中国电机工程学会电力系统自动化学术年会论文集. 张家界; 1992
6 罗玉孙, 戴永荣, 朱昆, 等. 在线暂态稳定定量分析软件的包装. 电力系统自动化, 1996, 20(12)

罗玉孙, 男, 1964 年生, 博士, 高级工程师, 从事电力系统暂态稳定分析及在线应用、EMS 人机界面的研究。

THE ON-LINE APPLICATION OF EEAC IN THE OPEN ENVIRONMENT
OF EMS IN NORTHEAST CHINA POWER SYSTEM

Luo Yusun, Xu Jianbin, Xue Yusheng

(Nanjing Automation Research Institute, 210003, Nanjing, China)

Abstract EEAC method, has high-speed and quantitative characteristics, is the unique transient stability analysis method which can meet the requirement of on-line real-time application in the EMS in the world for power system. EEAC on-line software package has won users' trust and approval and is being improved continually from algorithm to engineering practice by the accumulation of experience from users' feedback, since it has been put into on-line operation in Northeast China Power System for five years. The on-line real-time environment and data flow of EEAC method in the CC2000 open environment of EMS are introduced. Some engineering considerations, such as the program operation model and man-machine interface, are presented to give the dispatchers convenience. The statistical results of calculation precision, error distribution, calculation speed and so on are given. A real case about the adjustment calculation of single earth fault and re-close operation is also given.

Keywords power systems transient stability EEAC EMS on-line