

DOI: 10.7667/PSPC151168

# 考虑动态负荷改进 PSS/E BKDY 模块的短路 电流衰减计算

曹 炜<sup>1</sup>, 闫宇星<sup>1</sup>, 戈晴天<sup>2</sup>, 李万信<sup>3</sup>

(1. 上海电力学院电气工程学院, 上海 200090; 2. 国网上海市电力公司检修公司, 上海 200063;  
3. 国网聊城供电公司, 山东 聊城 252000)

**摘要:** 随着用电需求的增长和电网网架的日益增强, 有必要考虑动态负荷对短路电流的贡献, 以便更符合实际地评估断路器的开断能力、动稳定等。利用 PSS/E 的 IPLAN 语言编程, 调用 PSS/E API 子程序和 PSS/E API 批命令进行一系列计算, 灵活设置 PSS/E 数据卡片, 改进了 PSS/E BKDY 模块使其可以考虑动态负荷进行短路电流计算。分别用上述改进模块和 PSS/E 暂态稳定模块, 考虑动态负荷对我国某大都市电网进行了短路电流周期分量衰减计算, 两者的计算结果非常接近。表明改进模块可以考虑动态负荷用来计算短路电流周期分量。

**关键词:** 短路电流; 周期分量; 动态负荷; 电动机; PSS/E BKDY; IPLAN

## Improvement of PSS/E BKDY module for short-circuit current decay calculation with dynamic load

CAO Wei<sup>1</sup>, YAN Yuxing<sup>1</sup>, GE Jingtian<sup>2</sup>, LI Wanxin<sup>3</sup>

(1. School of Electric Power Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;  
2. Inspection & Maintenance Company, SMEPC, Shanghai 200063, China;  
3. State Grid Liaocheng Power Supply Company, Liaocheng 252000, China)

**Abstract:** With the growth of electricity demand and the enhancement of power grid network, it may be necessary to consider the contribution of the dynamic load to the short-circuit current for the more realistic assessment of the circuit breaker breaking capacity and dynamic stability. The PSS/E BKDY module is improved by applying the IPLAN language embedded in PSS/E to call PSS/E API routines and PSS/E API batch commands so as to set PSS/E data cards automatically according to user defined rules and calculations. The short-circuit current of a metropolitan power system is calculated with both the improved PSS/E BKDY module and PSS/E transient stability module and the results from those two module are very close. Therefore the improved PSS/E BKDY module is verified to be able to calculate the short-circuit current decay with dynamic load considered.

This work is supported by National High-tech R & D Program of China (No. 2011AA05A106).

**Key words:** short-circuit current; periodic component; dynamic load; electric motor; PSS/E BKDY; IPLAN

## 0 引言

随着我国电力需求的快速增长, 西电东送、全国联网战略的实施, 我国电网的规模日益扩大、能源优化配置的能力显著提升, 保障了我国经济社会的快速发展。然而由于电网互联程度的提高, 部分地区计算的短路电流水平超标问题已日益突出<sup>[1-2]</sup>, 有必要考虑负荷中的动态部分(可等效为电动机)对

短路电流的贡献<sup>[3-4]</sup>, 以更符合实际地评估断路器的开断能力裕度, 但目前已有的电力系统分析软件缺乏这方面的计算工具。

目前, 国内电力企业采用的常规短路电流计算以稳态潮流或经典假设为基础, 计算短路瞬间短路电流的周期分量, 只需电网结构数据、潮流数据和发电机次暂态电抗, 计算较为便捷<sup>[5]</sup>。但是, 常规短路电流计算在基于潮流计算时将负荷等效为静态模型, 不基于潮流计算时忽略负荷, 都不考虑负荷的动态特性<sup>[6]</sup>。因此, 常规短路电流计算结果有可能比实际情况偏小从而埋下隐患。

**基金项目:** 国家 863 项目(2011AA05A106); 上海绿色能源并网工程技术研究中心(13DZ2251900)

电网企业常用的商业电力系统仿真软件计算短路电流时, PSASP 忽略负荷的影响<sup>[7]</sup>; BPA 程序可以考虑含有感应电动机的综合负荷, 但是只能计算周期分量初始有效值。上述仿真软件的暂态稳定计算功能通过求解整个系统的微分方程, 能够计算周期分量的衰减, 然而数据准备繁琐、计算量偏大, 一般不用于短路电流的工程计算。

也有电网企业和研究部门使用 PSS/E 电力系统仿真软件, 和其他仿真软件不同的是, 它除了可以进行常规潮流、稳定、短路电流计算外, 还提供了短路电流衰减的计算方法, 即 BKDY 模块。但是 PSS/E BKDY 模块只能将同步发电机或异步发电机考虑到短路电流衰减的计算中, 而对应动态负荷的异步电动机, 却不能参与计算<sup>[5]</sup>。综上所述, 现有的 PSS/E BKDY 功能可以计算因同步发电机、异步发电机磁链衰减引起的短路电流衰减, 但不能计算因电动机磁链衰减引起的短路电流衰减。

本文从电机可逆原理出发, 首先尝试用 PSS/E BKDY 模块, 通过其他辅助工具的相应计算及人工交互式干预 PSS/E 数据界面平台, 重新设置 PSS/E 数据卡片, 使 PSS/E BKDY 模块可以计算考虑负荷动态特性的短路电流衰减; 然后应用嵌入在 PSS/E 中的语言 IPLAN 设计程序, 使上述人机交互式计算过程自动化, 得到改进的 PSS/E BKDY 模块; 最后应用改进后的 PSS/E BKDY 模块对一实际电力系统进行考虑负荷动态特性的短路电流衰减计算, 并将计算结果与 PSS/E 机电暂态仿真结果进行对比, 验证了改进 PSS/E BKDY 模块的有效性。

## 1 PSS/E BKDY 计算模块功能简介及局限

PSS/E BKDY 模块认为发电机转子磁链在短路瞬间守恒, 但随着时间的推移, 磁链中的次暂态、暂态分量将衰减, 由此造成了短路电流周期分量的衰减。

PSS/E BKDY 模块与 PSS/E 潮流计算模块共用相同的人机数据交互平台, 同时还需要从 PSS/E 暂态数据文件中导出数据形成该模块特有的称为 Breaker Duty Data File (扩展名 BKD) 的文件, 存放同步发电机、异步发电机  $d$ 、 $q$  轴的稳态、暂态、次暂态等相关参数, 计算时将 BKD 文件导入到 PSS/E 动态内存中。

由于 PSS/E BKDY 模块与其潮流计算模块共用数据平台, 所以基础数据的输入要遵循潮流计算模块的规定。在 PSS/E BKDY 潮流计算功能中, 只有可能作为电源节点的平衡节点和 PV 节点, 才能考虑连接发电机, 这样的节点功率以注入为正; 负荷

节点一般设为 PQ 节点, 功率以流出节点为正, 且尽管在 PSS/E 暂态稳定数据文件中可能已经输入了动态负荷参数, 但因为是 PQ 节点, 其对应的电动机参数不能导出到 PSS/E BKDY 模块使用的 BKD 文件中, 这样暂态稳定数据文件中的电动机参数在 PSS/E BKDY 模块中将失效。因此, 如果不做数据方面的特别处理, 原 PSS/E BKDY 模块不能用来计算动态负荷所带来的短路电流及其衰减。

## 2 BKDY 模块改进方法及动态负荷的处理

根据前述对原 PSS/E BKDY 模块功能及其局限的了解, 得出改进 PSS/E BKDY 功能的关键是, 将需要考虑动态负荷的节点从原来的 PQ 节点设置, 改为 PV 节点设置, 动态负荷初始功率取负的注入功率, 即将动态负荷伪装成为一个吸收功率的异步发电机存在于 PSS/E 潮流与 BKDY 模块共用的数据平台上, 这样既能保持原有的潮流方案不变又能使 PSS/E BKDY 从 PSS/E 暂态稳定数据文件中成功抽取数据, 形成 BKD 文件, 用于后续计算。此外, 由于稳态时动态负荷所需的无功功率是由电动机有功负载和负载率共同决定的, 所以改进方法另一个要解决的重点问题是决定动态负荷部分的初始有功功率和无功功率。

因此, BKDY 改进模块要依次提供以下功能:

- (1) 提供人机界面, 以便明确需要考虑动态负荷的节点、该节点动态负荷比例及其负载率;
- (2) 根据动态负荷比例, 计算节点动态负荷部分对应的有功功率;
- (3) 根据动态负荷对应的有功功率、负载率和电动机稳态等值电路, 计算电动机对应的稳态无功功率;
- (4) 从总负荷中扣除动态负荷对应的有功、无功, 得静态负荷对应的有功、无功;
- (5) 根据以上计算结果, 改写 PSS/E 潮流与 BKDY 模块共用的数据平台上的基础数据, 包括将有动态负荷的节点从原来的 PQ 节点修改为 PV 节点, 写明该节点的动、静态负荷的有功、无功;
- (6) 在暂态稳定数据卡片中选择适当的异步机卡片类型, 填写动态负荷模型数据, 然后从暂态稳定数据文件中导出 BKD 文件;
- (7) 调用原 PSS/E BKDY 模块计算短路电流周期分量。

以上各步均用 PSS/E 内置语言 IPLAN 完成程序编写, 本文称为 BKDY 改进模块。

运行 BKDY 改进模块时, 应已完成潮流计算, 而且稳定计算的数据文件也已准备好, 虽然不需要

填入所有稳定计算所需的数据, 但要填入电源和动态负荷的次暂态电抗、暂态电抗、稳态电抗、次暂态时间常数、暂态时间常数等参数。

以下择要介绍完成上述功能的具体做法。

## 2.1 动态负荷节点类型转换

PSS/E 的短路电流计算和潮流计算集成在一个数据界面中, 其中对应 PQ 节点在暂态稳定数据中的电动机模型参数不能够导出到 BKD 文件, 只有平衡节点和 PV 节点建立的电机(包括发电机和电动机)模型参数才能从暂态稳定数据文件中导出到 BKD 文件, 所以为了在潮流计算后能导入电动机动态参数以便进行电动机反馈短路电流的衰减计算, 需要将考虑动态负荷的节点设置为 PV 节点, 且将作为动态负荷的那部分负荷设置为名义上的电源, 填入 PSS/E 的电机卡(Machines)。但因为该节点实际没有无功调节能力, 实际为 PQ 节点的特性, 所以可以同时将该节点的无功上下限设为同一值 ( $Q_{\max}=Q_{\min}$ ), 即根据感应电机的 T 形稳态等值电路和有功负荷所计算出的数值, 这样 PSS/E 在潮流计算时因为  $Q_{\text{gen}}=Q_{\max}=Q_{\min}$ , 该节点将自动转换为 PQ 节点, 从而保持数据修改后的潮流与原潮流一致。

需特别注意, 由于 PSS/E 软件在编程时对发电机卡采用发电机惯例设置正方向, 因此对于名义上的发电机, 实际上的电动机, 相应有功、无功数值应为负值。

## 2.2 动态和静态负荷无功分配

假定某母线的负荷功率是  $P_L+jQ_L$ , 欲将该负荷分出一部分作为动态负荷, 如图 1 所示。对于有功部分, 直接按照静态与动态负荷的比例分为  $P_0$ (静态负荷)和  $P_d$ (动态负荷),  $P_0+P_d=P_L$ ; 而对于无功部分, 先根据母线电压  $V$ , 动态有功负荷  $P_d$  以及感应电动机的 T 形稳态等值电路参数确定动态负荷需要的无功  $Q_d$ , 然后总的无功负荷  $Q_L$  减去动态负荷需要的无功  $Q_d$  后剩余部分即为静态负荷的无功  $Q_0$ , 即  $Q_0=Q_L-Q_d$ , 这样考虑动态负荷后的系统潮流与原潮流一致<sup>[8]</sup>。

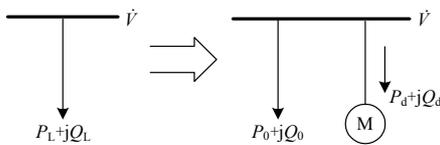


图 1 负荷分配示意图

Fig. 1 Schematic of load distribution

## 2.3 动态负荷无功需求计算

根据感应电动机原理, 动态负荷所需的无功功率与其对应的有功功率、负载率和电动机稳态等值电路有关, 以单鼠笼感应电动机模型为例<sup>[9]</sup>, 其 T

形等值电路如图 2 所示。

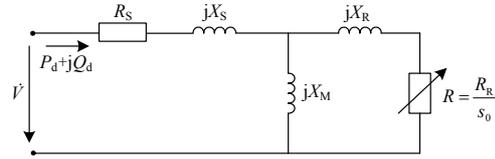


图 2 感应电动机 T 形等值电路

Fig. 2 Equivalent T circuit of the induction motor

图 2 中:  $R_S$  为定子电阻,  $X_S$  为定子电抗,  $X_M$  为励磁电抗,  $R_R$  为转子电阻,  $X_R$  为转子电抗,  $S_0$  为转差率。

本文采用图 2 模型进行计算分析。如果已知负荷节点的端电压  $V$ , 分配给动态负荷的有功功率  $P_d$ , 以及感应电动机 T 形等值电路的相关参数  $R_S$ ,  $X_S$ ,  $X_M$ ,  $R_R$ ,  $X_R$ , 则感应电动机需要的无功功率  $Q_d$  的计算过程如式(1)至式(5)所示<sup>[8]</sup>。

$$Q_d = \frac{(V^2)(X_{SM}R^2 + X_P X_{RM})}{A'R^2 + B'R + C'} \quad (1)$$

式中:

$$\begin{cases} X_{RM} = X_R + X_M \\ X_{SM} = X_S + X_M \\ X_P = X_S X_R + X_S X_M + X_M X_R \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} A' = R_S^2 + X_{SM}^2 \\ B' = 2R_S X_M^2 \\ C' = X_P^2 + R_S^2 X_{RM}^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$R = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (4)$$

$$\begin{cases} A = A' \frac{P_d}{V^2} - R_S \\ B = B' \frac{P_d}{V^2} - X_M^2 \\ C = C' \frac{P_d}{V^2} - R_S X_{RM}^2 \end{cases} \quad (5)$$

上述计算得到的无功  $Q_d$  即为感应电动机(动态负荷)实际需要的无功。由于 PSS/E 的电机卡采用发电机惯例设置正方向, 所以填入电机卡时应取  $P_d$ 、 $Q_d$  的相反数, 即  $P_{\text{gen}}=-P_d$ ,  $Q_{\text{gen}}=Q_{\max}=Q_{\min}=-Q_d$ 。

## 3 PV 节点对应电机类型选择

上节叙述了把考虑动态负荷的节点由 PQ 节点修改设置为 PV 节点, 然而 PSS/E 中 PV 节点对应的电机类型数量较多, 且所需数据参数也和电动机稳态等值电路中的参数有所区别。下面分析 PV 节点对应的电机类型, 选出可以和 PQ 节点对应电动

机的参数进行转换的电机。

在 PSS/E 机电暂态模块中,与稳态潮流界面负荷卡(Loads)对应的感应电动机负荷模型有三种: CIM5, CIMW 和 CIM6, 统称为 CIM 系列模型。CIM 系列模型要求输入的参数主要包括: 定子电阻、定子漏抗、转子电阻、转子漏抗、励磁电抗, 即 T 形稳态等值电路的相关参数。由于 CIM 系列模型的参数与 BKD 文件的数据结构设置不一致, 所以 CIM 系列模型的参数无法保存到 BKD 文件中, 也就无法导入 BKDY 模块进行短路电流衰减计算。因此为了在短路瞬间以次暂态电路的形式分析动态负荷的反馈电流, 需将作为动态负荷的那部分负荷设置为名义上的电源, 填入 PSS/E 的电机卡, 从而将其对应的动态仿真卡中的电机参数导入到 BKD 文件。而在 PSS/E 机电暂态模块中, 与稳态潮流界面电机卡对应的发电机模型(Generator Models)有 17 种标准模型(Standard Models)<sup>[10]</sup>。其中感应电机模型 CIMTR1~CIMTR4(统称为 CIMTR 系列模型<sup>[11-13]</sup>)的参数都可以导出到 BKD 文件中。CIMTR 系列模型要求输入的参数主要包括: 稳态电抗  $X$ 、暂态电抗  $X'$ 、次暂态电抗  $X''$  及暂态时间常数  $T'_0$ 、次暂态时间常数  $T''_0$ 。

对于单鼠笼感应电动机模型, 可以用式(6)将 CIM 系列参数转换为 CIMTR 系列参数, 以便导入 BKDY 模块, 使电动机参与短路电流的衰减计算。

$$\begin{cases} X = X_s + X_m, & X_1 = X_s \\ X' = X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_m} + \frac{1}{X_r}}, & T'_0 = \frac{X_m + X_r}{\omega_0 R_r} \end{cases} \quad (6)$$

### 4 改进 BKDY 模块方法的实现

#### 4.1 总体思想

采用第 2 部分介绍的方法, 可以进行考虑动态负荷的短路电流衰减计算。但是实际电力系统中负荷节点众多, 如果按照上述方法逐个节点计算、修改, 不仅工作量大, 而且计算过程复杂, 很容易出错, 因此上述计算方法在实际电力系统的计算应用中遇到很大瓶颈。

PSS/E 提供了用户自定义功能, 给出了二次开发语言 IPLAN。通过 IPLAN 的循环控制、选择控制等语句, 可遍历系统中需要考虑动态负荷的节点; 通过赋值、算术运算等语句, 可完成电动机参数换算、无功需求计算, 实现各计算步骤的自动化。

但是 IPLAN 本身并不具备获得 PSS/E 内存数据的功能, 为了获得相关元件的数据, 需要调用 PSS/E API(Application Program Interface)的标准子程序

(Subroutines)实现<sup>[14-15]</sup>; 同时 IPLAN 也不具备修改 PSS/E 界面数据的功能, 为了自动修改相关数据和添加相关模型, 可通过调用 API 的批命令(Batch Command)实现。

因为通过批命令修改数据需要运行响应文件(Response File)实现, 所以 IPLAN 运行时需将修改的数据连同生成的批命令输出到指定的响应文件, 然后运行该文件完成数据批量自动修改。同时, 为了使程序具有通用性, 需要提供可由用户自行确定欲考虑负荷动态特性的区域、动态负荷的比例等相关参数的平台界面。

上述工作各部分的关系如图 3 所示。

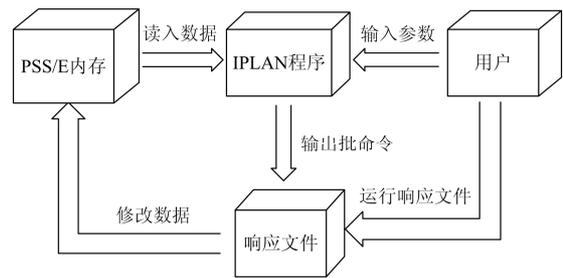


图 3 总体示意图

Fig. 3 Overall schematic

#### 4.2 程序设计

为了实现动态负荷计算方法的自动化, 需要程序遍历系统中的母线和负荷, 分配动态和静态负荷, 具体过程如下<sup>[16-20]</sup>:

(1) 提供由用户输入数据的平台界面, 输入数据包括: 欲考虑负荷动态特性的区域编号(Area Number)、动态负荷的比例、电动机的负载率及 T 形等值电路的稳态参数。

(2) 将电动机 T 形等值电路的稳态参数换算成次暂态等值电路的相关动态参数, 换算过程如式(6)所述。

(3) 通过循环语句和条件控制语句, 调用 API 标准子程序 INIBUS 和 NXTBUS 遍历系统中的母线。

(4) 对于系统中的所有母线, 调用 API 标准子程序 BUSINT 读取母线卡(Buses)的区域编号, 判断是否为步骤(1)指定的需要考虑负荷动态特性的区域内的母线。

(5) 对于指定区域内的某一母线, 调用 API 标准子程序 INILOD 和 NXTLOD 判断该母线上是否存在负荷, 若存在负荷, 则调用 API 标准子程序 LODDT2 读取 PSS/E 负荷卡(Loads)的有功和无功数据, 同时调用 API 标准子程序 BUSDAT 读取对应母

线卡的电压数据。

(6) 根据读取的数据计算动态和静态负荷的分配,有功部分按照步骤(1)确定的比例进行分配,无功部分按照电动机的实际无功需求进行分配,电动机无功需求的计算过程如式(1)至式(5)所述。

(7) 将计算完毕的数据连同修改数据的 API 批命令分类输出到三个响应文件中,分别用来修改负荷节点类型,添加电动机和修改静态负荷数据;添加电动机的动态模型及其参数;修改单鼠笼电动机模型的  $T_0'$  和  $X''$  两项参数(改为任意非零值),以便导入 BKDY 模块进行衰减计算。

## 5 算例分析

本文以某年某都市电网为研究对象,应用改进后的 PSS/E BKDY 模块对其典型 500 kV 和 220 kV 母线进行考虑负荷动态特性的短路电流(周期分量)衰减计算,并与原使用综合静态负荷模型的相应计算结果及考虑动态负荷的 PSS/E 机电暂态仿真结果进行比较,验证前述方法的有效性。

### 5.1 算例电网简介

该电网包含有 4 000 多条母线、3 300 多条线路、3 000 多台变压器、800 多台发电机、1 300 多个等效负荷。在仿真计算中其对负荷长期采用 40%恒阻抗+60%恒功率的综合静态模型<sup>[6]</sup>。为了考虑负荷的动态特性,本文将该电网负荷模型的恒功率部分替换为感应电动机模型,即采用 40%恒阻抗+60%感应电动机的综合动态模型;外网采用动态等值模型,即等值为发电机加负荷的模型。感应电动机的参数来源于文献[21]。

### 5.2 计算结果分析

分别应用 PSS/E 机电暂态仿真和改进后的 PSS/E BKDY 模块对该电网某些 500 kV 和 220 kV 母线进行考虑负荷动态特性的三相短路电流周期分量起始值(初始状态基于潮流)及周期分量衰减的计算,并和原先综合静态负荷模型的结果进行对比,限于篇幅,部分计算结果见表 1 及图 4—图 6。

由表 1:改进 PSS/E BKDY 模块考虑负荷动态特性后,短路电流的起始值与机电暂态仿真的相应计算值具有较好的吻合度,相差在 0.04%以内;且与原先综合静态负荷模型的结果相比有比较明显的增大,在 15%以上,且其他短路点的计算结果也如此。

电气设备动稳定校验中所用的短路冲击电流与此项指标关联较大,考虑动态负荷后短路冲击电流会增大。

表 1 短路电流周期分量起始值计算对比

Table 1 Comparison of the initial periodic component of short circuit current

电压等级	短路母线	动态负荷			BKDY (改进前)/kA	增大率(%)
		BKDY (改进后)/kA	机电暂态/kA	相差率(%)		
500 kV	NanQ	50.12	50.13	-0.02	42.24	15.72
	YangG	62.33	62.35	-0.03	45.72	26.65
	HuangD	51.34	51.36	-0.04	43.14	15.97
	GuL	63.74	63.75	-0.02	51.75	18.81
	WaiEC	63.52	63.53	-0.02	52.13	17.93
	NanQ	61.75	61.76	-0.02	45.29	26.66
220 kV	GuL	59.61	59.62	-0.02	45.88	23.03
	HuangD	47.21	47.24	-0.06	37.52	20.53
	YangG	63.34	63.35	-0.016	45.94	27.47
	MingH	49.15	49.17	-0.04	39.75	19.13

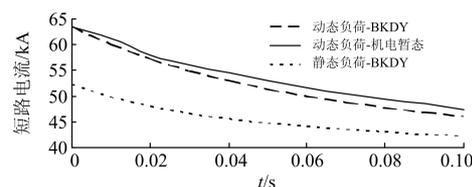


图 4 500 kV WaiEC 母线三相短路电流周期分量衰减  
Fig. 4 Decay of periodic component of the 500 kV WaiEC bus's three-phase short circuit current

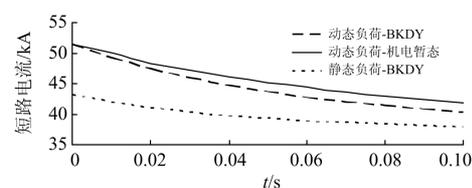


图 5 500 kV HuangD 母线三相短路电流周期分量衰减  
Fig. 5 Decay of periodic component of the 500 kV HuangD bus's three-phase short circuit current

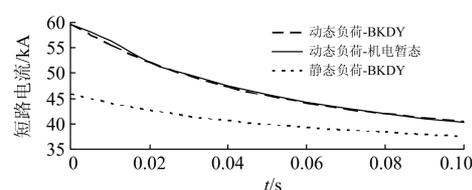


图 6 GuL 220 kV 母线三相短路电流周期分量衰减  
Fig. 6 Decay of periodic component of the 220 kV GuL bus's three-phase short circuit current

由图 4—图 6 所示的短路电流周期分量衰减计算来看,考虑负荷动态特性的改进 PSS/E BKDY 模

块与机电暂态仿真的计算结果在不同时刻都具有较好的吻合度,在研究的时间范围 0~0.1 s 内,相差率在 4%以内;在短路后 0.04 s,即快速断路器动作区内,考虑动态负荷计算所得的短路电流已衰减到未考虑动态负荷计算所得短路电流周期分量初始值左右,所以用现行 IEC 标准或我国国家标准<sup>[22-23]</sup>计算所得的短路电流周期分量基本上已是考虑动态负荷后断路器开断时刻的短路电流周期分量,即若按我国现行标准计算所得的短路电流周期分量校核断路器开断能力,并不存在过于保守的现象,而且考虑到目前电网中由于电阻成分越来越小而导致的直流量衰减越来越慢等因素,按现有标准计算所得校验断路器开断能力还过于乐观,电网企业对此应该有所警惕<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

PSS/E BKDY 模块可以计算电力系统短路电流的衰减,但衰减计算未考虑动态负荷。本文利用 PSS/E 的用户自定义功能,应用 PSS/E IPLAN 语言设计程序,调用 PSS/E API 子程序和 PSS/E API 批命令,通过灵活设置 PSS/E 数据卡片,改进了 PSS/E BKDY 模块,使考虑负荷动态特性的短路电流计算可以用改进后的 PSS/E BKDY 模块进行。

本文介绍的修改 PSS/E 界面数据的方法及应用相关外部操作干预 PSS/E 内部运算的作法,对拓展 PSS/E 的其他功能也有参考价值。

随着我国电网的发展,系统短路电流超标现象可能会日益突出,应尽快修订短路电流计算标准,得到相对保守的短路电流计算结果,保证电网的安全运行。

## 参考文献

- [1] 韩戈, 韩柳, 吴琳. 各种限制电网短路电流措施的应用与发展[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 141-144.  
HAN Ge, HAN Liu, WU Lin. Application and development of methods on limiting power grid's short-circuit current[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 141-144.
- [2] 李勇, 姚文峰, 杨柳, 等. 南方电网主网架热稳定和短路电流超标问题分析[J]. 南方电网技术, 2013, 7(2): 21-25.  
LI Yong, YAO Wenfeng, YANG Liu, et al. Analysis on the problems of thermal stability and standard-exceed short circuit current in the CSG main grid[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(2): 21-25.
- [3] 李勇, 于芮枝, 王英英, 等. 负荷对短路电流的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 40-45.  
LI Yong, YU Ruiji, WANG Yingying, et al. Research on the influence of load on short circuit current[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 40-45.
- [4] 王达达, 张少泉, 陈晓云, 等. 感应发电机接入配网的三相短路电流峰值评估[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(18): 25-31.  
WANG Dada, ZHANG Shaoquan, CHEN Xiaoyun, et al. Evaluation of current peak of three-phase short circuit for induction generator integrated into distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 25-31.
- [5] 曹炜, 戈晴天, 丁志刚, 等. 基于 PSS/E 考虑动态负荷的短路电流计算方法[J]. 上海电力学院学报, 2011, 27(5): 455-458.  
CAO Wei, GE Jingtian, DING Zhigang, et al. The circuit current calculation method considered dynamic load based on PSS/E[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2011, 27(5): 455-458.
- [6] 曹炜, 王伟, 刘蓓, 等. 受端电网负荷动特性与三相短路电流相关性分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(5): 61-65.  
CAO Wei, WANG Wei, LIU Bei, et al. The analysis about the correlation between end grid load dynamic characteristics and phase short-circuit current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(5): 61-65.
- [7] 刘楠, 唐晓骏, 马世英, 等. 负荷模型对电力系统短路电流计算的影响[J]. 电网技术, 2011, 35(8): 144-149.  
LIU Nan, TANG Xiaojun, MA Shiyong, et al. Effect of load models on the short-circuit current calculation of the power system[J]. Power System Technology, 2011, 35(8): 144-149.
- [8] 鞠平, 马大强. 电力系统负荷建模[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [9] 中国电力科学研究院. 近期东北—华北—华中同步互联系统仿真计算中电动机参数选取的建议[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2005.
- [10] 祝瑞金. PSS/E 通用发电机模型的应用研究[J]. 华东电力, 2004, 32(3): 4-7.  
ZHU Ruijin. Research on the application of universal generator model of PSS/E[J]. East China Electric Power, 2004, 32(3): 4-7.
- [11] 李佳, 刘天琪, 李兴源, 等. 感应电动机模型和机械转矩参数对暂态电压稳定评估的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(12): 19-24.  
LI Jia, LIU Tianqi, LI Xingyuan, et al. Influence on assessment of transient voltage stability by induction motor model and mechanical torque parameters[J]. Power System

- Protection and Control, 2014, 42(12): 19-24.
- [12] Siemens PTI. Dynamic simulation activity descriptions [CP/CD]. Program Operation Manual, 2007.
- [13] Siemens PTI. Load modeling[CP/CD]. Program Application Guide, 2007.
- [14] 王勇, 李峰, 潘玲玲, 等. 基于 PSS/E 潮流 API 接口的动态过程仿真系统[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 136-141.  
WANG Yong, LI Feng, PAN Lingling, et al. Dynamic process simulation system based on power flow API of PSS/E[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 136-141.
- [15] 张东辉, 金小明, 周保荣, 等. PSS/E 的自定义建模及其仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 82-87.  
ZHANG Donghui, JIN Xiaoming, ZHOU Baorong, et al. User-defined modeling in PSS/E and its applicability in simulations[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 82-87.
- [16] Siemens PTI. Language reference[CP/CD]. IPLAN Program Manual, 2007.
- [17] Siemens PTI. Language definitions[CP/CD]. IPLAN Program Manual, 2007.
- [18] Siemens PTI. Single element data retrieval[CP/CD]. PSS/E Application Program Interface, 2007.
- [19] Siemens PTI. Power flow data changing[CP/CD]. PSS/E Application Program Interface, 2007.
- [20] Siemens PTI. Dynamics simulation[CP/CD]. PSS/E Application Program Interface, 2007.
- [21] 曹路, 励刚, 武寒. 马达负荷模型对华东电网暂态稳定性的影响分析[J]. 电网技术, 2007, 31(5): 6-10.  
CAO Lu, LI Gang, WU Han. Impact of induction motor model on transient stability of East China Power Grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(5): 6-10.
- [22] IEC 60909 (2001) short circuit currents in three-phase AC systems[S]. 2001.
- [23] GB/T 15544—1995 三相交流系统短路电流计算[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.  
GB/T 15544—1995 short-circuit current calculation in three-phase AC systems[S]. Beijing: Standards Press of China, 1996.

收稿日期: 2015-07-08; 修回日期: 2016-03-10

作者简介:

曹 炜(1963-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: cw-jenny@163.com

闫宇星(1987-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: yyx614@163.com

戈晴天(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事架空输电线路运行维护研究。

(编辑 周金梅)