

面向对象 Petri 网的输电网线路保护仿真

孙 光¹, 刘俊祎², 李超群¹, 陈俊琰¹

(1. 上海电力设计院有限公司, 上海 200025; 2. 国网江苏省电力公司检修分公司, 江苏 苏州 215131)

摘要: 在单装置 Petri 网(PN)模型的基础上,提出了一种面向对象的输电网线路保护 Petri 网模型。该模型考虑了继电保护装置、断路器装置、重合闸装置间的配合关系,并利用面向对象技术降低了单个 PN 仿真单元的复杂性。为仿真多个保护装置间的配合关系,构建了时间决策单元和故障计算单元。时间决策单元可处理不同保护间的时间配合关系,故障计算单元通过与仿真单元的消息传递模拟保护动作过程。对某输电网线路保护进行仿真,结果验证了模型的有效性。

关键词: 继电保护; 线路保护; Petri 网; 面向对象技术; 时间决策; 故障计算; 输电; 模型

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.03.025

0 引言

离线整定的保护定值,在系统某些特殊运行方式下,可能会出现选择性或灵敏度不满足要求的情形,需要有效的仿真手段来模拟故障后保护的動作行为。因此,作为调度员培训仿真系统(DTS)建设和定值在线校核系统研发的一部分,研究继电保护仿真模块的建模方法,对评估全网定值性能、校验保护动作逻辑具有重要的实际意义^[1-3]。

Petri 网(PN)具有直观清晰的图形化表示方法和形式化的数学定义,已被广泛用于保护仿真的研究中^[4-9]。文献[4]提出了利用 PN 分析保护系统性能的思想。文献[5]建立了超高压线路保护的 PN 模型,并对该模型的动态性能进行评估;文献[6-7]在建模时引入时间 PN 的概念,更好地展示了继电保护装置动作逻辑的时序过程;文献[8-9]分别提出了带混杂特性的有色时间 PN 和柔性仿真技术与混杂 PN 相结合的继电保护仿真建模方法。现有研究丰富了基于 PN 的继电保护仿真方法,但仍有下述问题需要解决。

a. 保护装置与重合闸装置、断路器装置间的配合关系较为复杂。若通过传统 PN 模型进行建模,则导致模型变得复杂。

b. 现有 PN 模型多专注于描述单个继电保护装置的动态性能,未体现不同保护装置之间的配合关系。简单的 PN 模型作为无输入/无输出的封闭系统,难以描述保护之间的相互影响行为。

c. 保护定值仿真系统中,存在着大量不同原理、不同类型的保护,对模型的可扩展性有一定要求。

本文针对保护仿真特点,提出了基于面向对象 Petri 网(OOPN)的仿真建模方法。首先,利用面向对象的封装性,将系统划分为多个保护仿真单元(每个

保护仿真单元由断路器、断路器上配置的继电保护及重合闸构成);其次,采用时间决策单元和故障计算单元来处理保护装置之间的时间关系和相互配合关系;最后,通过对一输电网络的线路保护进行仿真,表明了模型的有效性。

1 基于 OOPN 的继电保护仿真模型

OOPN 模型定义为一个四元组:

$$S = \langle P_u, T_d, F_c, R \rangle \quad (1)$$

其中, $P_u = \{P_{u1}, P_{u2}, \dots, P_{un}\}$ 为保护仿真单元的有限集合, $n > 0$ 为保护仿真单元的个数, P_{ui} 为第 i 个保护仿真单元的 PN 模型; T_d 为时间决策单元,负责处理仿真过程中的时间配合关系并推动仿真进程的前进; F_c 为故障计算单元,负责进行系统的故障计算并传递计算结果; $R = \{R_{ij}, i, j \in N\}$ 为对象间的消息传递, R_{ij} 表示对象 i 和对象 j 间的消息传递关系。

保护仿真单元的 PN 模型为一个十一元组:

$$P_{ui} = \langle I_M, O_M, P, T, P_{re}, P_{ost}, C, M_0, E, S_T, p^* \rangle \quad (2)$$

其中, I_M 、 O_M 分别为保护仿真单元 PN 的输入、输出库所集合,实现仿真单元与外界的信息交互; P 为对象内部库所的集合; T 为对象内部变迁的集合; P_{re} 与 P_{ost} 为与触发颜色相关的函数,建立了变迁颜色与库所颜色间的对应关系;颜色和色彩指的是对 PN 中的每类 Token 进行赋值,用来区分同一系统中的不同个体^[13]; C 为与变迁和库所关联的色彩集合; M_0 为保护仿真单元的初始标识; $E = [e_1, e_2, \dots, e_n]^T$ 为受控变迁对应的外部事件向量,用于描述仿真时用户预设的保护拒动行为以及断路器的拒动、误动行为,如果事件 i 为真,则 e_i 为 1,反之为 0; $S_T = [s_{t1}, s_{t2}, \dots, s_{tn}]^T$ 为约束变迁的约束条件集合,用于描述保护的动作判据,约束变迁对输入信息进行计算处理,如果约束条件 s_{ti} 满足条件,则变迁可激发; p^* 为一个指针类,用于控制对象之间的信息传递及各 P_{ui} 的同

步推进,其是一个三元组 $\langle t_next, bConnTd, bNeedFc \rangle$,其中 t_next 记录 P_u 的后续将要触发的变迁集,当 t_next 为TRUE时,对象内部没有变迁可激发,此时本 P_u 处于暂时“稳定”状态, $bConnTd$ 置为TRUE;本 P_u 可接收来自时间决策单元 T_d 的消息,当本 P_u 接收到 T_d 传来的消息后, $bConnTd$ 重置为FALSE; $bNeedFc$ 表示本 P_u 是否发生了引起系统拓扑变更的事件,如果发生则 $bNeedFc$ 为TRUE,当本 P_u 接收到外界传来的消息后, $bNeedFc$ 重置为FALSE。

时间决策单元中定义一个时序控制器 T_c 来负责处理时序逻辑关系, T_c 为一个三元组, $T_c=\langle cltTs, cltEvents, TGlobal \rangle$ 。其中, $cltTs$ 为动态时间序列,保存从各 P_u 和 F_c 接收到的时序逻辑信息; $cltEvents$ 为时间序列中时间节点的事件集; $TGlobal$ 为当前仿真时间。

图1为一个简单电力网络,各段线路配置有三段式接地距离保护和四段零序电流保护(零序I、II段保护未投入运行)。其中, $P_{uA}—P_{uF}$ 为保护仿真单元。

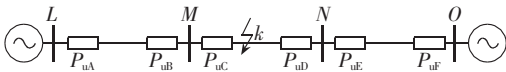


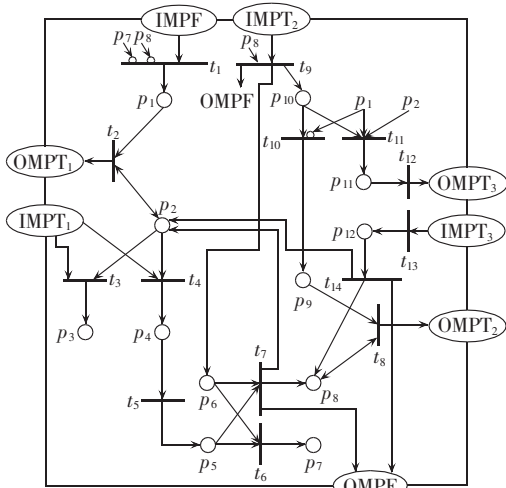
图1 简单输电网络

Fig.1 Simple power transmission network

1.1 保护仿真单元 P_u 的构造

$P_{uA}—P_{uF}$ 的PN结构相同,单个的保护仿真单元模型如图2所示,其库所和变迁^[10]的描述分别见表1、2。

下面对保护仿真单元的性能进行分析:假设该仿真单元中只有1套保护装置,且断路器处于合位状态(重合闸投入),此时仿真单元的初始标识 $M_0=[I_2, I_6, I_9]$ (在表示标识向量 M_0 时,数值为0的元素均省略,数值的下标表示元素所对应的库所)。故障



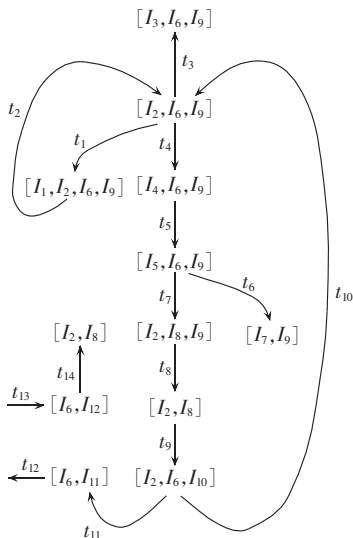


图 3 保护仿真单元的可达图
Fig.3 Reachability graph of protection simulation unit

表 3 保护仿真单元的激发序列
Table 3 Excitation sequence of protection simulation unit

激发序列	标识	描述
$\{t_1, t_2\}$	$[I_2, I_6, I_9]$	保护启动后返回
$\{t_1, t_2, t_4, t_5, t_7, t_8, t_9, t_{10}\}$	$[I_2, I_6, I_9]$	保护动作, 开关跳开后, 故障消失, 重合成功
$\{t_1, t_2, t_3\}$	$[I_3, I_6, I_9]$	保护拒动
$\{t_1, t_2, t_4, t_5, t_6\}$	$[I_7, I_9]$	开关拒动
$\{t_1, t_2, t_4, t_5, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{12}, t_{13}, t_{14}\}$	$[I_2, I_8]$	保护动作, 开关跳开, 重合失败, 后加速跳开

注: 对于激发序列 $\{t_1, t_2, t_4, t_5, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{12}, t_{13}, t_{14}\}$, 其中变迁 t_{12} 和 t_{13} 表示与时间决策单元的交互, 变迁 t_{12} 激发后, 一定能收到时间决策单元的返回信息, 激发变迁 t_{13} 。

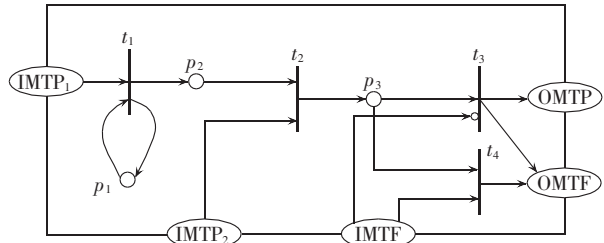


图 4 时间决策单元的 PN 模型
Fig.4 PN model of time decision-making unit

彩表示为<当前仿真时间, 保护仿真单元的颜色, <启动保护的颜色 1, 启动保护的颜色 2, ...>>; 库所 p_1 表示时间决策单元储存的保护启动信息, 用复合色表示为<保护仿真单元的颜色, <<启动保护的颜色 1, 保护应动作时间>, <启动保护的颜色 2, 保护应动作时间>, ...>>; 库所 p_2 表示更新后的保护启动信息; 库所 $IMTP_2$ 表示从保护仿真单元接收到的重合闸启动和后加速保护启动信息; 库所 p_3 表示更新后的所有与时间相关的事件(包括保护、重合闸及故障)信息; 库所 $IMTF$ 表示从保护仿真单元接收到的

拓扑变更信息; 库所 $OMTP$ 表示向保护仿真单元发送的动作信息; 库所 $OMTF$ 表示向故障计算单元发送故障计算请求。

时间决策单元 T_d 接收保护的启动信息后, 通过变迁 t_1 来实现对保护的启动信息的更新, 所有的信息存储在 $cltTs$ 和 $cltEvents$ 中, 其更新规则如下:

- a. 如果 $IMTP_1$ 中不含某保护的启动信息, p_1 含有该保护的启动信息, 则该保护处于返回状态, 库所 p_2 中删除该保护的应动作信息;
- b. 如果 $IMTP_1$ 中含有某保护的启动信息, p_1 中不含有该保护的启动信息, 则该保护启动, 库所 p_2 中新增保护的应动作信息, 其应动作时间为当前仿真时间+动作时延;
- c. 如果 $IMTP_1$ 中含有某保护的启动信息, p_1 中也含有该保护的启动信息, 则该保护处于时延等待状态, 库所 p_2 中有保护的应动作信息, 其应动作时间保持与 p_1 中记录的一致。

变迁 t_2 的作用是将重合闸启动信息、后加速保护启动信息与库所 p_2 中信息进行综合, 更新 $cltTs$ 及 $cltEvents$ 。此时如果 $IMTF$ 中有 Token, 则变迁 t_4 激发, 进行故障计算, 所有保护重新进行动作判断; 如果 $IMTF$ 中无 Token, 则变迁 t_3 激发, t_3 的作用是选择出离当前仿真时间 $TGlobal$ 最近的时间节点, 触发其对应的事件, 并发送消息至各保护仿真单元或故障计算单元, 同时推进 $TGlobal$ 至对应时间节点。

1.3 故障计算单元 F_c 的构造

故障计算单元 F_c 的 PN 模型如图 5 所示。其中, $IMFT$ 为从时间决策单元接收到的故障计算请求; 变迁 t_1 为特殊的计算变迁, 负责进行故障计算, 向 p_1 中输出故障计算结果, 故障计算结果经变迁 t_2 发送给各个保护仿真单元。

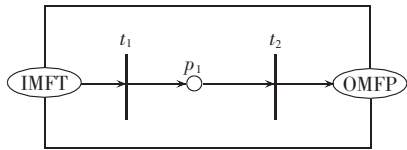


图 5 故障计算单元的 PN 模型
Fig.5 PN model of fault calculation unit

1.4 保护仿真系统 OOPN 模型的信息传递

保护仿真系统 OOPN 模型中各对象间的消息传递关系如图 6 所示。当所有保护仿真单元 p^* 的 $bConnTd$ 为 TRUE 时, 时间决策单元通过门变迁 g_{PT-1} 、 g_{PT-2} 接收所有保护仿真单元的保护及重合闸的启动信息, T_d 进行决策后通过门变迁 g_w 将结果返回给各保护仿真单元, 保护仿真单元中相应的保护或重合闸动作。保护仿真单元中断路器状态的改变引起系统拓扑的变更, 此时 p^* 的 $bNeedFc$ 为 TRUE, 通过门变迁 g_{PT-3} 通知 T_d , 则 T_d 的 $IMTF$ 中含有 Token,

其变迁 t_4 可激发,产生故障计算信号,并通过门变迁 g_{TF} 通知故障计算单元 F_c 。 F_c 执行故障计算后将故障计算结果通过门变迁 g_{TP} 发送给各保护仿真单元并重新进行保护判断。当各保护仿真单元无拓扑变更信息时,此时 T_d 中 IMTF 中无 Token,其变迁 t_3 可激

发,可推进仿真时钟至下一个时间节点,并将保护动作信息通过门变迁 g_{TP} 发送给各保护仿真单元。当各保护仿真单元均达到稳定状态,且 T_d 中仿真时钟走至最后一个时间节点时,仿真结束,输出完整计算结果。具体过程如图 6 所示。

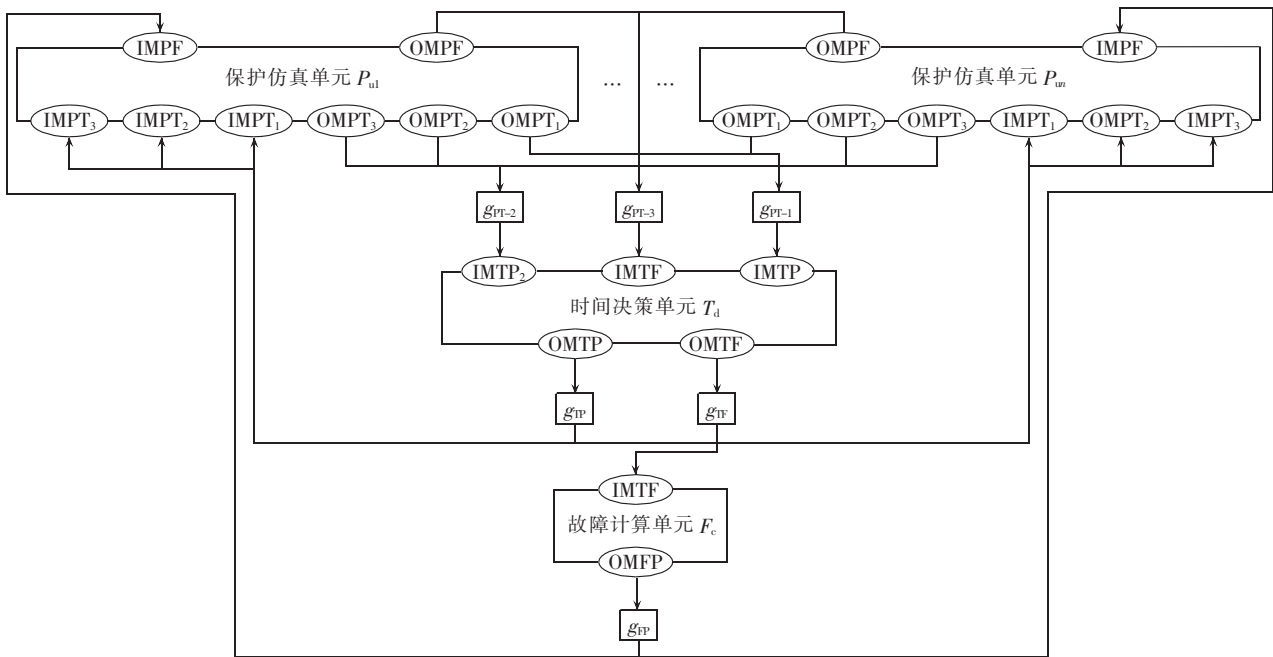


图 6 保护仿真 OOPN 模型对象间的消息传递

Fig.6 Message transfer among objects of OOPN model for protection simulation

2 算例仿真

简单电网结构图如图 1 所示。用 $\langle A_1 \rangle$ 、 $\langle A_2 \rangle$ 、 $\langle A_3 \rangle$ 分别表示接地距离保护 I、II、III 段, $\langle A_4 \rangle$ 、 $\langle A_5 \rangle$ 、 $\langle A_6 \rangle$ 、 $\langle A_7 \rangle$ 分别表示零序电流保护的 I、II、III、IV 段。以保护仿真单元 P_{uA} 为例,其初始标识 $M_0 = [(I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_6, I_9]$; 其中, $(I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle)$ 表示库所 p_2 中含有颜色为 $\langle A_1 \rangle$ 、 $\langle A_2 \rangle$ 、 $\langle A_3 \rangle$ 、 $\langle A_6 \rangle$ 及 $\langle A_7 \rangle$ 的 Token。假设 0 s 时 k 点发生单相接地故障,1 s 后故障消失,预设 P_{uc} 处的断路器会拒动,其仿真过程如下。

仿真初始化阶段,首先初始化 T_d 中的 cltTs 和 cltEvents,在 cltTs 中插入 0 s 和 1 s 的时间节点,其对应的 cltEvents 分别为故障出现事件及故障消失事件, TGlobal 置为 0 s; 每个 P_u 的 p^* 中, bConnTd 和 bNeedFc 置为 FALSE, t_next 置为 NULL; 初始化外部事件向量 E ; 初始化各种保护的行动判据,即约束集 S_r 。

0 s 时,激活 T_d 中 cltTs 的 0 s 时间节点的故障发生事件,通知 F_c 进行故障计算,将故障结果发送至各保护仿真单元。进行动作判断后,各保护仿真单元标识如表 4 所示。

然后各保护仿真单元将保护启动信息发送至

表 4 各保护仿真单元标识

Table 4 Marks of protection simulation units

P_u	M	描述
P_{uA}	$[(I_1, \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), (I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_6, I_9]$	距离 II、III 段启动, 电流 III、IV 段启动
P_{uc}	$[(I_1, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), (I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_6, I_9]$	距离 I、II、III 段启动, 电流 III、IV 段启动
P_{ud}	$[(I_1, \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), (I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_6, I_9]$	距离 II、III 段启动, 电流 III、IV 段启动
P_{uf}	$[(I_1, \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), (I_2, \langle A_1 \rangle + \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_6, I_9]$	距离 III 段启动, 电流 III、IV 段启动

T_d, T_d 更新 cltTs 及 cltEvents,并查找下一个时间节点为 0 s (P_{uc} 的距离 I 段动作),发送动作消息至 P_{uc} 。 P_{uc} 收到消息后其标识如表 5 所示。

表 5 P_{uc} 标识

Table 5 Mark of P_{uc}

P_u	M	描述
P_{uc}	$[(I_2, \langle A_2 \rangle + \langle A_3 \rangle + \langle A_6 \rangle + \langle A_7 \rangle), I_7, I_9]$	距离 I 段动作, 断路器拒动

此时系统拓扑无变更,各保护仿真单元处于暂时稳定状态, T_d 查找 cltTs 对应的下一个时间节点为 0.5 s (P_{uc}, P_{ud} 距离 II 段动作),发送动作消息至 P_{uc}, P_{ud} ,同时推进 TGlobal 至 0.5 s。由于 P_{uc} 中断路器拒动,

因此只考虑 P_{ud} ,其标识如表 6 所示。

表 6 P_{ud} 标识
Table 6 Mark of P_{ud}

P_{ui}	M	描述
P_{ud}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_8]$	距离Ⅱ段动作后返回,断路器动作,重合闸启动

此时由于系统拓扑结构变更,因此在更新 $cltTs$ 及 $cltEvents$ 后重新进行故障计算,然后各保护重新进行动作判断,各保护仿真单元的标识如表 7 所示。

表 7 各保护仿真单元标识
Table 7 Marks of protection simulation units

P_{ui}	M	描述
P_{uA}	$[(I_1,<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_6,I_9]$	距离Ⅱ、Ⅲ段启动,电流Ⅲ、Ⅳ段启动
P_{uc}	$[(I_2,<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_7,I_9]$	断路器拒动
P_{ud}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_8]$	等待重合信号
P_{uf}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_6,I_9]$	保护感受不到故障

各保护仿真单元向 T_d 发送保护启动信息后, T_d 更新 $cltTs$ 及 $cltEvents$,然后推进仿真时钟至 0.8 s (P_{uA} 距离Ⅱ段动作),向各保护仿真单元发送消息,同时推进 TGlobal 至 0.8 s。 P_{uA} 标识如表 8 所示。

表 8 P_{uA} 标识
Table 8 Mark of P_{uA}

P_{ui}	M	描述
P_{uA}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_8]$	距离Ⅱ段动作后返回,断路器动作,重合闸启动

P_{uA} 的断路器跳开再次导致拓扑变化,重新进行故障计算,此时各保护均不再满足动作判据(各保护仿真单元处于“稳态”), T_d 查找 $cltTs$ 对应的下一个时间节点为 1 s(故障消失),通知 F_c 重新进行故障计算,此后无保护满足动作判据。

T_d 查找 $cltTs$ 对应的下一个时间节点为 1.5 s (P_{ud} 重合闸动作),发送动作消息至 P_{ud} ,同时推进 TGlobal 至 1.5 s。 P_{ud} 标识如表 9 所示。

表 9 P_{ud} 标识
Table 9 Mark of P_{ud}

P_{ui}	M	描述
P_{ud}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_6+I_9]$	重合成功,断路器闭合

断路器重新闭合导致拓扑变化,重新进行故障计算,此时各保护均不再满足动作判据, T_d 查找 $cltTs$ 对应的下一个时间节点为 1.8 s(P_{uA} 重合闸动作),发送动作消息至 P_{uA} ,同时推进 TGlobal 至 1.8 s。 P_{uA} 标识如表 10 所示。

此后各保护均不再满足动作判据, T_d 中 $cltTs$ 已无下一个时间节点,至此整个仿真过程结束。整个保护的动作过程为: $<0\text{ s},\text{故障发生}>\rightarrow<0\text{ s},P_{uc}\text{ 距离Ⅰ段动作,断路器拒动}>\rightarrow<0.5\text{ s},P_{ud}\text{ 距离Ⅱ段动作,}$

表 10 P_{uA} 标识
Table 10 Mark of P_{uA}

P_{ui}	M	描述
P_{uA}	$[(I_2,<A_1>+<A_2>+<A_3>+<A_6>+<A_7>),I_6,I_9]$	重合成功,断路器闭合

断路器跳开> $>\rightarrow<0.8\text{ s},P_{uA}\text{ 距离Ⅱ段动作,断路器跳开}>\rightarrow<1\text{ s},\text{故障消失}>\rightarrow<1.5\text{ s},P_{ud}\text{ 重合闸动作,断路器闭合}>\rightarrow<1.8\text{ s},P_{uA}\text{ 重合闸动作,断路器闭合}>$ 。

从算例仿真可以看出:在给定的系统结构和运行方式下,对一设定的初始故障,本文所提模型可以有效地完成模拟保护的動作行为以及保护间的配合过程。

实际系统中,调度员可通过设置故障和运行方式来模拟保护行为。模拟结果可以直观地用于校验保护定值的选择性和灵敏度是否满足要求,从而可以进行事故预想和评估离线整定的定值性能。基于 OOPN 模型的保护仿真模型易于软件实现,可用于调度员仿真培训中和定值在线校核的系统中保护仿真模块的研发。

3 结论

本文在传统单装置 PN 仿真模型的基础上,针对输电网的线路保护,提出了 OOPN 的建模方法。方法具有以下特点:

- a. 将断路器及其上装设的保护、重合闸封装为一个保护仿真单元,大幅降低了整体模型的复杂程度;
- b. 利用时间决策单元和保护仿真单元的消息传递来模拟保护的延时动作过程,并统一处理各种事件的时间配合关系,使得整个系统结构更清晰;
- c. 利用对象间的消息传递关系来模拟各种保护之间的相互配合关系,解决了传统 PN 难以描述保护之间的相互影响行为的缺点;
- d. 模型具有一定的可扩展性,对于新原理的线路保护,只需要给出其动作判据,就可以很方便地加入保护仿真单元中。

参考文献:

[1] 刘强,蔡泽洋,詹少伟,等. 基于实际装置的距离保护动态仿真研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(11):8-11,41.
LIU Qiang,CAI Zexiang,ZHAN Shaowei,et al. Dynamic simulation of distance protection based on real equipment[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(11):8-11,41.
[2] 邹贵彬,高厚磊,江世芳. 微机距离保护仿真系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备,2007,27(9):88-90.
ZOU Guibin,GAO Houlei,JIANG Shifang. Design and implementation of simulation system for microcomputer-based distance protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007,27(9):88-90.
[3] 王为国,代伟,万磊,等. DTS 中继电保护和自动装置仿真方

- 法的分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(5): 58-60.
- WANG Weiguo, DAI Wei, WAN Lei, et al. Study on the simulation methods of protection relay and security automatic equipment in Dispatcher Training Simulator(DTS)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5): 58-60.
- [4] JENKINS L, KHINCHA H P. Deterministic and stochastic Petri net models of protection schemes[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1992, 7(1): 84-90.
- [5] WANG Fangming, TANG Jianxin. Modeling of a transmission line protection relaying scheme using Petri nets[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(3): 1055-1063.
- [6] 朱林, 蔡泽祥, 刘为雄. Petri 网描述的继电保护动作逻辑时序建模[J]. 继电器, 2005, 20(33): 14-18, 23.
- ZHU Lin, CAI Zexiang, LIU Weixiong. Model on the logic working procedure of relay schemes based on timed Petri net[J]. Relay, 2005, 20(33): 14-18, 23.
- [7] 王磊, 万秋兰. 扩展时间 Petri 网在仿真保护及自动装置动作逻辑中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 71-74, 83.
- WANG Lei, WAN Qiulan. Extended time Petri net applied in action logic simulation of protection and automation equipment in DTS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 71-74, 83.
- [8] 杜新伟, 刘涤尘, 袁荣湘, 等. 基于高级 Petri 网的继电保护建模方案研究[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(2): 23-28.
- DU Xinwei, LIU Dichen, YUAN Rongxiang, et al. Relay protection modeling based on high-level Petri net[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(2): 23-28.
- [9] 杜新伟, 刘涤尘, 袁荣湘, 等. 虚拟继电保护柔性建模仿真系统的研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(17): 55-60.
- DU Xinwei, LIU Dichen, YUAN Rongxiang, et al. Virtual protection flexible modeling and simulation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(17): 55-60.
- [10] 徐岩, 张锐, 霍福广. 应用模糊 Petri 网的继电保护行为评判[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(7): 76-81.
- XU Yan, ZHANG Rui, HUO Fuguang. Evaluating behavior of protections via fuzzy Petri net[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2014, 26(7): 76-81.
- [11] 杨永生. 基于面向对象技术的微机保护仿真[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(7): 46-48.
- YANG Yongsheng. Simulation of microcomputer relay based on object-oriented technology[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(7): 46-48.
- [12] ZHU J, JOSSMAN P. Application of design patterns for object-oriented modeling of power system[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1999, 14(2): 532-537.
- [13] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.

作者简介:



孙 光

孙 光(1990—), 男, 安徽寿县人, 硕士, 通信作者, 主要研究方向为电力系统二次回路设计、智能变电站继电保护装置状态评估(E-mail: sung@sepd.com.cn);

刘俊伟(1990—), 男, 河南驻马店人, 硕士, 从事输电线路运行检修工作(E-mail: liujy_sz@163.com)。

Line protection simulation based on object-oriented Petri net for power transmission network

SUN Guang¹, LIU Junyi², LI Chaoqun¹, CHEN Junyan¹

(1. Shanghai Electrical Power Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200025, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Suzhou 215131, China)

Abstract: Based on the single PN(Petri Net) model, an object-oriented line protection PN model is proposed for power transmission network, which considers the cooperation among relay protection, circuit breaker and reclosing device, and applies the object-oriented technology to simplify the PN simulation unit. The time decision-making unit and the fault calculation unit are established to simulate the cooperation among protections. The former handles the time cooperation among protections and the latter transfers the message to the simulation unit to simulate the operating process of protection. The simulative results for the line protections of a power transmission network demonstrate the effectiveness of the proposed model.

Key words: relay protection; line protection; Petri net; object-oriented technology; time decision-making; fault calculation; electric power transmission; models