



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114091237 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 09

(21) 申请号 202111222715.8

G06F 119/02 (2020.01)

(22) 申请日 2021.10.20

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 104850750 A, 2015.08.19

申请公布号 CN 114091237 A

CN 109358583 A, 2019.02.19

(43) 申请公布日 2022.02.25

审查员 陈伟彬

(73) 专利权人 中核核电运行管理有限公司

地址 314300 浙江省嘉兴市海盐县秦三厂  
25号楼

(72) 发明人 黄艇博 祁军 尚宪和 任诚

韩雨 于渭清 吴剑

(74) 专利代理机构 核工业专利中心 11007

专利代理师 陈早璟

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G21D 3/00 (2006.01)

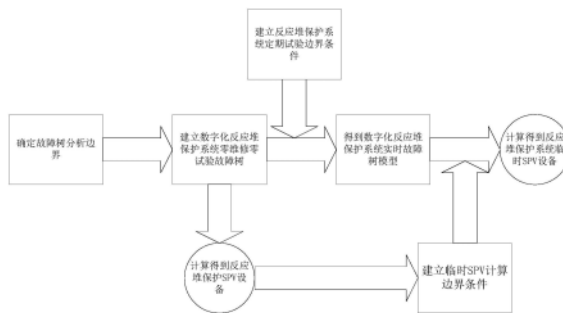
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法

(57) 摘要

本发明属于核电领域,具体涉及一种核电厂数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法。数字化反应堆保护系统各个卡件之间的关联性很强且有较复杂的逻辑,通过FMEA分析的方法很难全面分析卡件故障对整个系统的影响。本方法与传统SPV识别方法形成互补,为核电厂提供一种快速可靠的数字化反应堆保护系统临时SPV设备识别方法。本方法主要包括建立以零维修零试验反应堆保护系统故障树模型,得到的一阶割集相关设备即为SPV设备;根据反应堆保护系统定期试验规程,建立相应试验的边界条件;建立临时的边界条件,与零维修零试验的故障树模型得到的一阶割集进行对比,新增一阶割集对应的设备即为当前状态下系统的临时SPV。



1. 一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法,其特征在于:

步骤一:确定数字化反应堆保护系统误动作故障树分析边界;

步骤二:建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的零维修零试验故障树模型;

具体包括:画出故障树分析范围内的系统简图;建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型;

步骤三:建立反应堆保护系统定期试验对应故障树边界条件;

步骤四:步骤二和步骤三共同确立数字化反应堆保护系统实时故障树模型;

具体包括:将第三步设定的边界条件嵌入到第二步的零维修零试验故障树模型中,根据电厂实时正在进行的试验,选择相应的边界条件,得到数字化反应堆保护系统实时故障树模型;

步骤五:计算步骤二故障树模型得到的一阶割集基本事件对应设备,确定SPV设备;

具体包括:计算第二步得到的故障树的顶事件,计算时设置一阶截断,得到 $N$  ( $N \geq 1$ ) 个一阶割集, $N$ 个一阶割集基本事件对应的设备即为数字化反应堆保护系统的SPV设备;

步骤六:建立数字化反应堆保护系统临时SPV计算的边界条件;

具体包括:将步骤五中计算得到的一阶割集中的基本事件全部设为FALSE,即在计算临时SPV时认为这些基本事件不会发生,在该边界条件下计算故障树顶事件,将没有一阶割集;

步骤七:步骤五和步骤六共同计算得到当前系统配置下的临时SPV设备;

具体包括:根据系统当前的进行的试验工作选定相应的边界条件,同时选定临时SPV计算边界条件,计算故障树顶事件得到的一阶割集对应的设备即为当前系统配置下的临时SPV设备。

2. 根据权利要求1所述的一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法,其特征在于:所述的步骤一:确定数字化反应堆保护系统误动作故障树分析边界,具体包括:典型数字化反应堆保护系统外边界包括作为执行机构的停堆断路器、数字化反应堆保护系统计算机、信号处理机柜以及就地变送器;内边界为各个机柜内的功能卡件。

3. 根据权利要求1所述的一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法,其特征在于:所述的步骤三:建立反应堆保护系统定期试验对应故障树边界条件,具体包括:根据试验规程,确定配置状态,设定边界条件。

## 一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于核电领域,具体涉及一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法。

### 背景技术

[0002] 随着国内电力市场体系改革的推进,对于核电厂在电力市场中的竞争力提出了更高的要求。因此提高核电厂系统设备可靠性水平,减少机组非计划停机停堆成为各个电厂的重要内容。作为设备可靠性管理体系的一个重要内容就是设备分级,而在设备分级管理中重要度最高的是SPV(关键敏感)设备,而识别SPV设备的方法目前主要采用FMEA(失效模式与影响分析)及运行经验。但随着国内新建核电厂广泛采用数字化的反应堆保护系统,由于数字化反应堆保护系统各个卡件之间的关联性很强且有较复杂的逻辑,通过FMEA分析的方法很难全面分析卡件故障对整个系统的影响,因此本发明通过故障树的方法建立卡件故障模式与反应堆保护系统误动作之间的逻辑关系,解决FMEA分析方法的不足。

### 发明内容

[0003] 1.目的:

[0004] 为核电厂数字化反应堆保护系统SPV设备(关键敏感设备)识别提供一种新的方法,与传统SPV识别方法形成互补;为核电厂提供一种快速可靠的数字化反应堆保护系统临时SPV设备识别方法。

[0005] 2.技术方案:

[0006] 一种数字化反应堆保护系统关键敏感设备识别方法,具体包括:步骤一:确定数字化反应堆保护系统误动作故障树分析边界;步骤二:建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型;步骤三:建立反应堆保护系统定期试验对应故障树边界条件;步骤四:步骤二和步骤三共同确立数字化反应堆保护系统实时故障树模型;步骤五:计算步骤二故障树模型得到的一阶割集基本事件对应设备,确定SPV设备;步骤六:建立数字化反应堆保护系统临时SPV计算的边界条件;步骤七:步骤五和步骤六共同计算得到当前系统配置下的临时SPV设备。

[0007] 所述的步骤一:确定数字化反应堆保护系统误动作故障树分析边界,具体包括:典型数字化反应堆保护系统外边界包括作为执行机构的停堆断路器、数字化反应堆保护系统计算机、信号处理机柜以及就地变送器;内边界为各个机柜内的功能卡件。

[0008] 所述的步骤二:建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型,具体包括:画出故障树分析范围内的系统简图;建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型。

[0009] 所述的步骤三:建立反应堆保护系统定期试验对应故障树边界条件,具体包括:根据试验规程,确定配置状态,设定边界条件。

[0010] 所述的步骤四:步骤二和步骤三共同确立数字化反应堆保护系统实时故障树模

型,具体包括:将第三步设定的边界条件嵌入到第二步的零维修零试验故障树模型中,根据电厂实时正在进行的试验,选择相应的边界条件,得到数字化反应堆保护系统实时故障树模型。

[0011] 所述的步骤五:计算步骤二故障树模型得到的一阶割集基本事件对应设备,确定SPV设备,具体包括:计算第二步得到的故障树的顶事件,计算时设置一阶截断,得到N ( $N \geq 1$ ) 个一阶割集,N个一阶割集基本事件对应的设备即为数字化反应堆保护系统的SPV设备。

[0012] 所述的步骤六:建立数字化反应堆保护系统临时SPV计算的边界条件,具体包括:将步骤五中计算得到的一阶割集中的基本事件全部设为FALSE,即在计算临时SPV时认为这些基本不会发生,在该边界条件下计算故障树顶事件,将没有一阶割集。

[0013] 所述的步骤七:步骤五和步骤六共同计算得到当前系统配置下的临时SPV设备,具体包括:根据系统当前的进行的试验工作选定相应的边界条件,同时选定临时SPV计算边界条件,计算故障树顶事件得到的一阶割集对应的设备即为当前系统配置下的临时SPV设备。

[0014] 3.效果:

[0015] 通过故障树建立反应堆保护系统中各个卡件或设备的故障模式与引起停堆断路器跳闸导致控制棒失电之间的逻辑关系,通过对故障树进行割集计算,得到的一阶割集对应的设备即为SPV设备。

[0016] 反应堆保护系统由于缺陷、维修、试验等引起的配置状态是千变万化的,如果采用FMEA方法识别临时SPV设备,那就需要对每种系统配置状态下进行一次全面的分析,但由于系统配置状态的多样性,是无法穷举的;而采用故障树模型的分析方法,只需分析导致系统配置状态改变的设备的失效模式,而它对引起停堆断路器跳闸导致控制棒失电的影响可通过故障树中已建立的逻辑关系进行传递,无需重新分析,这样就能大大缩短临时SPV设备识别的时间。

#### 附图说明

[0017] 图1一种核电厂数字化反应堆关键敏感设备识别流程图;

[0018] 图2核电厂停堆断路器典型连接方式。

#### 具体实施方式

[0019] 本发明主要包括如下步骤:

[0020] 建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的零维修零试验反应堆保护系统故障树模型;

[0021] 根据反应堆保护系统定期试验规程,建立相应试验的边界条件;

[0022] 针对反应堆保护系统缺陷或缺陷维修导致的系统配置状态改变,建立临时的边界条件;

[0023] 计算零维修零试验故障树模型得到的一阶割集相关设备即为SPV设备;

[0024] 根据反应堆保护系统当前进行试验以及存在的缺陷或针对缺陷进行的维修,选择相应的边界条件建立边界条件集,计算该边界条件下的故障树,得到新的一阶割集,与零维修零试验的故障树模型得到的一阶割集进行对比,新增一阶割集对应的设备即为当前状态下系统的临时SPV。

[0025] 下面结合具体案例和附图进行说明:

[0026] 第一步首先需要确定数字化反应堆保护系统误动作故障树分析边界:以典型数字化反应堆保护系统为例,其外边界应包括作为执行机构的停堆断路器、数字化反应堆保护系统计算机、信号处理机柜以及就地变送器;内边界为各个机柜内的功能卡件。

[0027] 第二步建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型,具体过程过程如下:

[0028] 1、画出故障树分析范围内的系统简图,以典型数字化反应堆保护系统为例,其包括:作为执行机构的停堆断路器,共八个,分成四个通道,每个通道两个断路器,通过特殊的连接方式实现通道四取二停堆逻辑,如图二所示;仪控部分包括就地变送器、模拟信号调节模件SAA1、铂电阻信号转换模件STT1、标准信号扩展模件SNV1、过压保护模件SOB1、开关量信号调节模件SBC1、模拟信号输入模件SAI1、开关量输入模件SDI1、CPU模件SVE2、通讯模件SL22、光电转换模件SLM2、开关量输出模件SDO1、继电器模件SRB1,每个通道的逻辑计算部分有两个独立的子组;四个通道之间通过光纤进行通讯,只在对应子组内进行信号传输;每个通道都会进行停堆信号的2/4逻辑或2/3逻辑(跟就地变送器通道数有关)。

[0029] 2、建立以停堆断路器跳闸导致控制棒失电为顶事件的故障树模型,停堆信号以主泵转速低(子组a,现场变送器为3个通道)和主泵跳闸(子组b,现场触点为4个通道)为例。

[0030] 第三步,计算第二步得到的故障树的顶事件,计算时设置一阶截断,得到若干一阶割集,这些一阶割集基本事件对应的设备即为数字化反应堆保护系统的SPV设备。

[0031] 第四步,建立数字化反应堆保护系统临时SPV计算的边界条件,将第三步计算得到的一阶割集中的基本事件全部设为FALSE,即在计算临时SPV时认为这些基本不会发生,在该边界条件下计算故障树顶事件,将没有一阶割集。

[0032] 第五步,建立反应堆保护系统定期试验对应故障树边界条件,以便在这些定期试验期间进行快速的系统状态配置。以下以反应堆保护系统试验时的统配置作为示例,建立相应的边界条件:

[0033] 1、根据试验规程,反应堆保护系统试验是通过工程师站,逐个发单个停堆断路器跳闸的信号,验证停堆断路器动作情况,所以这个试验要分为八个配置状态,分别为八个停堆断路器跳闸的状态;

[0034] 2、当进行1#停堆断路器跳闸试验时,对应故障树中1-YFTB-A1-SVE2-A-Q1停堆保护系统A1通道多样性a处理器模件输出Q1跳闸信号和1-YFTB-A1-SVE2-B-Q1停堆保护系统A1通道多样性b处理器模件输出Q1跳闸信号这两个门为真,所以设定其边界条件为:

[0035] 1-YFTB-A1-SVE2-A-Q1 TRUE

[0036] 1-YFTB-A1-SVE2-B-Q1 TRUE

[0037] 同理,当进行2#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:

[0038] 1-YFTB-A1-SVE2-A-Q2 TRUE

[0039] 1-YFTB-A1-SVE2-B-Q2 TRUE

[0040] 当进行3#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:

[0041] 1-YFTB-A2-SVE2-A-Q3 TRUE

[0042] 1-YFTB-A2-SVE2-B-Q3 TRUE

[0043] 当进行4#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:

- [0044] 1-YFTB-A2-SVE2-A-Q4 TRUE
- [0045] 1-YFTB-A2-SVE2-B-Q4 TRUE
- [0046] 当进行5#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:
- [0047] 1-YFTB-B1-SVE2-A-Q5 TRUE
- [0048] 1-YFTB-B1-SVE2-B-Q5 TRUE
- [0049] 当进行6#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:
- [0050] 1-YFTB-B1-SVE2-A-Q6 TRUE
- [0051] 1-YFTB-B1-SVE2-B-Q6 TRUE
- [0052] 当进行7#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:
- [0053] 1-YFTB-B2-SVE2-A-Q7 TRUE
- [0054] 1-YFTB-B2-SVE2-B-Q7 TRUE
- [0055] 当进行8#停堆断路器跳闸试验时,设定其边界条件为:
- [0056] 1-YFTB-B2-SVE2-A-Q8 TRUE
- [0057] 1-YFTB-B2-SVE2-B-Q8 TRUE
- [0058] 第六步,计算当前系统配置下的临时SPV设备。根据系统当前的进行的试验工作选定相应的边界条件,同时选定临时SPV计算边界条件,计算故障树顶事件得到的一阶割集对应的设备即为当前系统配置下的临时SPV设备。

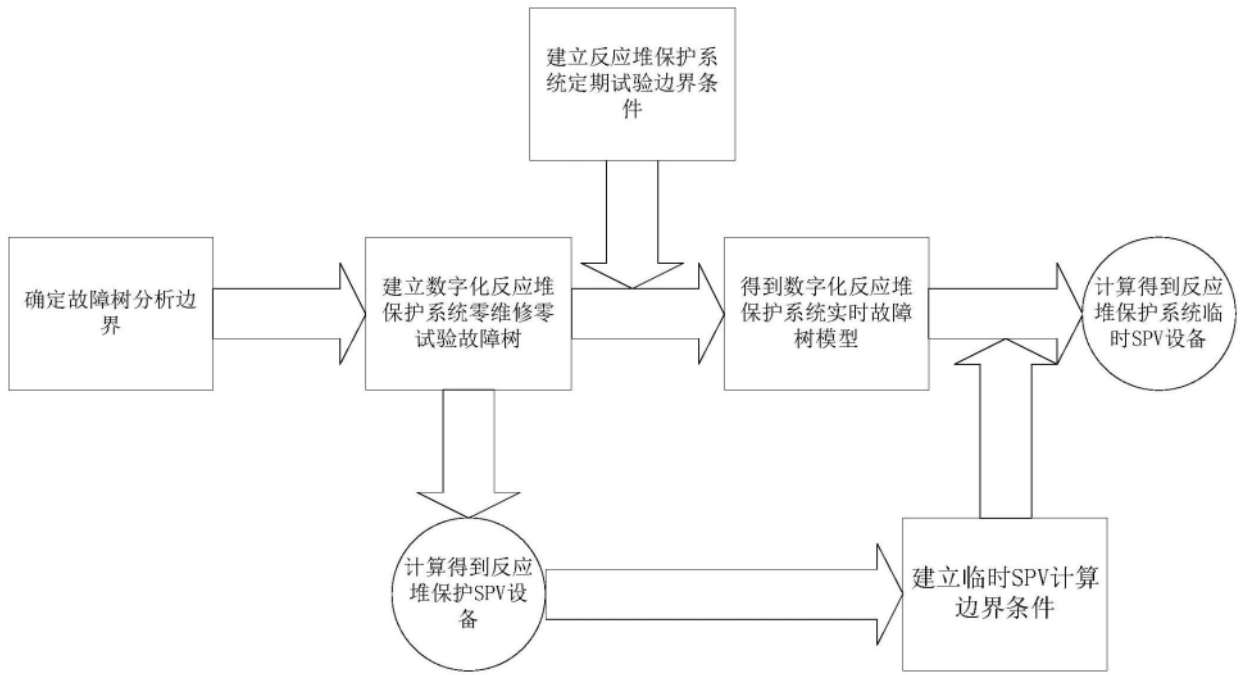


图1

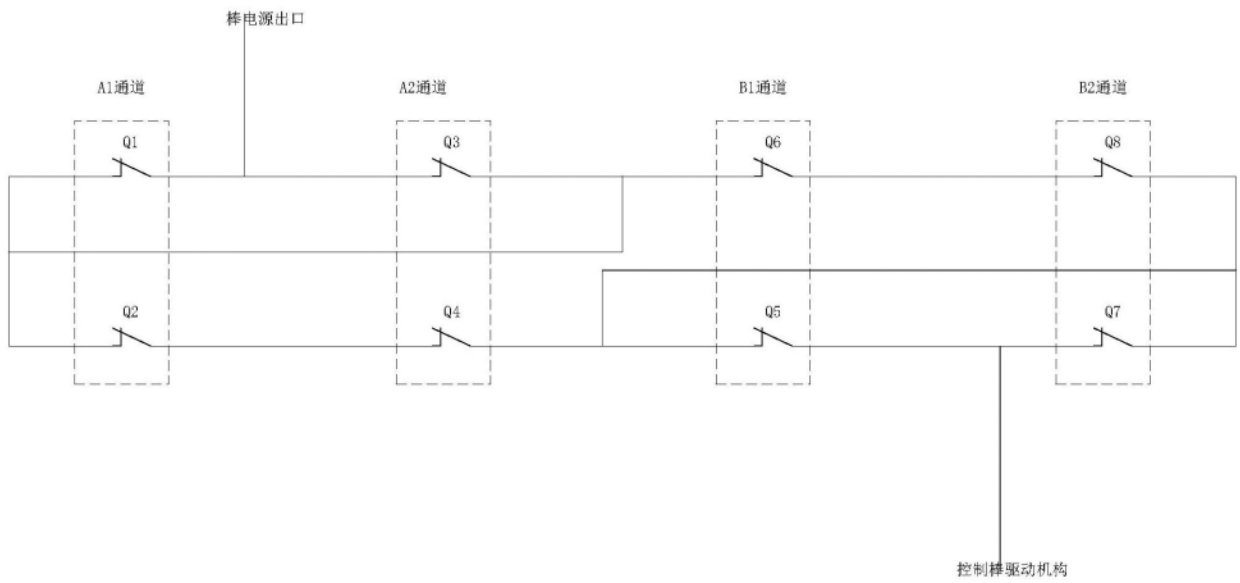


图2