



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105719062 A

(43)申请公布日 2016.06.29

(21)申请号 201610028535.9

(22)申请日 2016.01.15

(71)申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

申请人 国网河南省电力公司经济技术研究院

(72)发明人 王建学 田春箐 周锟 王圆圆
周玉龙 赵天辉

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 安彦彦

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法

(57)摘要

一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法,首先从电力系统规划部门获得系统基本技术数据、系统运行约束条件数据、元件可靠性数据;然后计算系统的基础潮流分布情况;根据N-1情况的切负荷量和系统N-1故障状态发生的概率,以及N-2情况的切负荷量和系统N-2故障状态发生的近似概率,计算各发电机或输电设备对系统功率不足期望值EPNS的风险参与因子;对风险参与因子进行排序,若某元件的风险参与因子越大则该元件在电网中越薄弱,属于电网的薄弱环节。本发明由于考虑了两重故障和概率信息,计算结果更为精确,更具有参考价值;本发明可以在保证系统概率指标一定精确度的同时,大大减少计算资源消耗,缩短计算时间。

1. 一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤1:从电力系统规划部门获得系统基本技术数据、系统运行约束条件数据、元件可靠性数据;

系统基本技术数据包括节点数据、传输线数据、变压器数据、负荷数据以及发电机数据;

系统运行约束条件包括各发电机组出力上下限值、无功源无功出力上下限值、节点电压上下限值以及支路潮流上下限值;

元件可靠性数据包括元件*i*的强迫停运率FOR_{*i*};

步骤2:计算系统的基础潮流分布情况;

步骤3:考虑N-1情况:在步骤2中基础潮流分布情况基础上逐个无故障断开发电机、线路、变压器中单一元件后进行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的功率越限情况;如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则采用最优潮流模型进行切负荷,记录切负荷量,并计算系统N-1故障状态发生的概率;

步骤4:考虑N-2情况:在步骤2中潮流分布情况基础上逐次无故障断开发电机、线路、变压器中任意两个元件之后再行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的功率越限情况;如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则采用最优潮流模型进行切负荷,记录切负荷量,并计算系统N-2故障状态发生的近似概率;

步骤5:根据步骤3得到的切负荷量和系统N-1故障状态发生的概率,以及步骤4得到的切负荷量和系统N-2故障状态发生的近似概率,采用概率加权的方式计算考虑两重故障时的系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS;

步骤6:根据步骤5的系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS,计算各发电机或输电设备对系统功率不足期望值EPNS的贡献情况,即风险参与因子;

步骤7:对整个系统各发电机和输电设备的风险参与因子进行排序,若某元件的风险参与因子越大则该元件在电网中越薄弱,属于电网的薄弱环节。

2. 如权利要求1所述的一种电网风险及薄弱环节评估方法,其特征在于:所述步骤3中系统N-1故障状态发生的概率 $P_{k,N-1}$ 由公式(1)获得:

$$P_{k,N-1} = \text{FOR}_i \prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j) \quad (1)$$

上式中,*i*是发生故障的元件,*j*是未发生故障的元件,FOR_{*i*}是元件*i*的强迫停运率, $\prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j)$ 为元件*i*以外所有元件不发生故障的概率之积。

3. 如权利要求1所述的一种电网风险及薄弱环节评估方法,其特征在于:所述步骤4中系统N-2故障状态发生的近似概率 $P_{k,N-2}$ 由公式(2)获得:

$$P_{k,N-2} = \text{FOR}_m \times \text{FOR}_n \quad (2)$$

上式中,FOR_{*n*}和FOR_{*m*}分别是故障元件*n*和*m*的强迫停运率。

4. 如权利要求1所述的一种电网风险及薄弱环节评估方法,其特征在于:所述步骤5中系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS由公式(3)和公式(4)获得:

$$\text{LOLP} = 1 - \prod_{k \in I} (1 - P_k) \quad (3)$$

$$\text{EPNS} = \sum_{k \in I} P_k W_{\text{cut},k} \quad (4)$$

上面两个式子中,*I*是步骤3和步骤4中得到的所有会导致系统切负荷的N-1和N-2故障

状态的集合; P_k 是系统故障状态 k 发生的概率; $W_{cut,k}$ 是系统处于故障状态 k 时通过最优潮流调整过后的切负荷量。

5.如权利要求1所述的一种电网风险及薄弱环节评估方法,其特征在于:所述步骤6中各发电机或输电设备的风险参与因子由公式(5)获得:

$$R_{Loss,i} = (\sum_{k \in A} W_{cut,k} P_k) / EPNS \quad (5)$$

上式中, $R_{Loss,i}$ 是输电设备 i 的风险参与因子, A 是所有在输电设备 i 故障的同时系统发生失负荷的故障状态。

一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法

技术领域

[0001] 本发明属于电网规划技术领域,涉及一种考虑概率性和两重故障的电网风险及薄弱环节评估方法。

背景技术

[0002] 电力系统规划阶段,评估电网安全性最典型的方法即为N-1静态安全分析。该准则要求在电力系统中任意断开一个元件后,系统仍能保持安全运行,即N-1准则。这类方法目前被广泛应用到电力系统的规划、设计、运行等环节。然而,多次发生的严重停电事故促使人们意识到电力工业多年采用的N-1准则,已不足以保持电力系统合理的风险水平。

[0003] N-1准则评估方法存在两个主要问题:1)没有对网络中元件进行概率建模,只能提供故障引起的后果,却无法提供该故障事件的概率信息,随着电网规划所面临的不确定性因素越来越多,在解决不确定性的问题方面难以获得较好的效果。2)再者,N-1准则是单一元件故障准则,在当前复杂的网络系统中,系统的发生严重事故往往是多重故障造成的,这种情形N-1准则无法考虑。

[0004] 为了解决传统N-1准则的上述两个问题,出现了基于风险理论的电力系统风险评估方法。与以往方法相比,风险评估能将事故发生的概率与产生后果(如经济损失等)的严重程度相结合,对系统的风险性和效益进行统筹考虑,将系统的经济安全指标进行量化。然而,为了获得准确的系统指标,就必须要进行大量的蒙特卡洛抽样,这导致了计算资源消耗大,计算耗时长的问题。尤其是应用在实际电力系统中,计算时间往往需要几十个小时,大大限制了其应用。

发明内容

[0005] 为克服现有技术中的问题,本发明的目的在于提供一种计算结果较为准确,节省计算时间并能给出电网风险水平和薄弱环节,为规划人员提供参考的电力系统评估方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用如下的技术方案:

[0007] 一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:从电力系统规划部门获得系统基本技术数据、系统运行约束条件数据、元件可靠性数据;

[0009] 系统基本技术数据包括节点数据、传输线数据、变压器数据、负荷数据以及发电机数据;

[0010] 系统运行约束条件包括各发电机组出力上下限值、无功源无功出力上下限值、节点电压上下限值以及支路潮流上下限值;

[0011] 元件可靠性数据包括元件i的强迫停运率 FOR_i ;

[0012] 步骤2:计算系统的基础潮流分布情况;

[0013] 步骤3:考虑N-1情况:在步骤2中基础潮流分布情况基础上逐个无故障断开发电机、线路、变压器中单一元件后进行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的

功率越限情况;如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则采用最优潮流模型进行切负荷,记录切负荷量,并计算系统N-1故障状态发生的概率;

[0014] 步骤4:考虑N-2情况:在步骤2中潮流分布情况基础上逐次无故障断开发电机、线路、变压器中任意两个元件之后再继续进行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的功率越限情况;如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则采用最优潮流模型进行切负荷,记录切负荷量,并计算系统N-2故障状态发生的近似概率;

[0015] 步骤5:根据步骤3得到的切负荷量和系统N-1故障状态发生的概率,以及步骤4得到的切负荷量和系统N-2故障状态发生的近似概率,采用概率加权的方式计算考虑两重故障时的系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS;

[0016] 步骤6:根据步骤5的系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS,计算各发电机或输电设备对系统功率不足期望值EPNS的贡献情况,即风险参与因子;

[0017] 步骤7:对整个系统各发电机和输电设备的风险参与因子进行排序,若某元件的风险参与因子越大则该元件在电网中越薄弱,属于电网的薄弱环节。

[0018] 所述步骤3中系统N-1故障状态发生的概率 $P_{k,N-1}$ 由公式(1)获得:

$$[0019] \quad P_{k,N-1} = \text{FOR}_i \prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j) \quad (1)$$

[0020] 上式中,i是发生故障的元件,j是未发生故障的元件, FOR_i 是元件i的强迫停运率, $\prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j)$ 为元件i以外所有元件不发生故障的概率之积。

[0021] 所述步骤4中系统N-2故障状态发生的近似概率 $P_{k,N-2}$ 由公式(2)获得:

$$[0022] \quad P_{k,N-2} = \text{FOR}_m \times \text{FOR}_n \quad (2)$$

[0023] 上式中, FOR_n 和 FOR_m 分别是故障元件n和m的强迫停运率。

[0024] 所述步骤5中系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS由公式(3)和公式(4)获得:

$$[0025] \quad \text{LOLP} = 1 - \prod_{k \in I} (1 - P_k) \quad (3)$$

$$[0026] \quad \text{EPNS} = \sum_{k \in I} P_k W_{\text{cut},k} \quad (4)$$

[0027] 上面两个式子中,I是步骤3和步骤4中得到的所有会导致系统切负荷的N-1和N-2故障状态的集合; P_k 是系统故障状态k发生的概率; $W_{\text{cut},k}$ 是系统处于故障状态k时通过最优潮流调整过后的切负荷量。

[0028] 所述步骤6中各发电机或输电设备的风险参与因子由公式(5)获得:

$$[0029] \quad R_{\text{Loss},i} = (\sum_{k \in A} W_{\text{cut},k} P_k) / \text{EPNS} \quad (5)$$

[0030] 上式中, $R_{\text{Loss},i}$ 是输电设备i的风险参与因子,A是所有在输电设备i故障的同时系统发生失负荷的故障状态。

[0031] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0032] 1)在评估系统概率性指标上,本发明同时具有计算结果精确,计算耗时短的优点。对比传统的N-1准则,本发明中提出的方法由于只需考虑两重故障,大大减少了需要进行评估的系统状态数,减少了计算资源消耗,缩短了计算时间;并且由于电网中发生两重以上故障的概率非常小,本发明所提方法依然可以计算出具有较高准确性的概率指标。

[0033] 2)在寻找电力系统薄弱环节上,本发明基于概率N-2评估,给出了风险参与因子指标,弥补了传统风险评估主要围绕节点负荷来开展,而没有直接表征电网网架重要性的指标缺陷。并根据风险参与因子指标,可以较好地掌握电网中可能会因为故障而产生严重后果

果的电网网架薄弱环节。

[0034] 目前电力部门对电网的风险和薄弱环节的评估主要是基于确定性的N-1准则,本发明提出了一套全新的完整的电网可靠性和薄弱环节评估方法,对比基于蒙特卡洛模拟的电力系统可靠性评估,本发明可以在保证系统概率指标一定精确度的同时,大大减少计算资源消耗,缩短计算时间。该方法可以成为传统确定性准则的重要补充,在我国电力系统规划领域中具有较大的应用价值,克服了现有技术中N-1准则不能反映概率信息,计算结果不准确以及电力系统可靠性评估计算时间过长的问题。

附图说明

[0035] 图1为本发明所述电网风险及薄弱环节评估的计算流程示意图。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明作进一步说明,但本发明的内容不仅仅局限于此。

[0037] 本发明中元件包括发电机、变压器以及输电线路。

[0038] 应用本发明所提方法时,需要首先从电网规划部门获取相关数据。从电网规划部门获取的系统基本技术数据、系统运行约束条件数据、元件可靠性数据;

[0039] 系统基本技术数据包括节点数据、传输线数据、变压器数据、负荷数据以及发电机数据;

[0040] 系统运行约束条件数据包括各发电机组出力上下限值、无功源无功出力上下限值、节点电压上下限值以及支路潮流上下限值。

[0041] 除了以上用于潮流计算的基本数据外,还需要获取元件可靠性数据:

[0042] 元件可靠性数据包括元件(发电机、变压器以及输电线路)*i*的强迫停运率FOR_{*i*}。

[0043] 参见图1,从电网规划部门获取上述信息后,按以下步骤依次对电网进行考虑概率性和两重故障的风险及薄弱环节评估。

[0044] 步骤1,从电力系统规划部门获得规划的电力系统基本技术数据。

[0045] 步骤2,计算系统的基础潮流分布情况。

[0046] 步骤3,考虑所有N-1故障状态,即在步骤2基础潮流计算的基础上逐个无故障断开发电机、线路、变压器等单一元件后进行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的功率越限情况等结果。如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则利用以系统切负荷量最小为目标函数,考虑电网运行约束条件的最优潮流模型,判断系统是否需要切除负荷,若需要切负荷,则记录此时的切负荷量,并计算当前系统N-1故障状态发生的概率。记当前开断的元件为*i*,则当前系统N-1故障状态发生的概率P_{*k,N-1*}如公式(1)所示。

[0047]
$$P_{k,N-1} = \text{FOR}_i \prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j) \quad (1)$$

[0048] 上式中, $\prod_{N-1} (1 - \text{FOR}_j)$ 为元件*i*以外所有元件不发生故障的概率之积。

[0049] 需要说明的是,当前实际运行电网绝大多数都满足N-1准则,即可以跳过本步骤;但新规划的电网不一定能满足N-1准则,仍然需要该步骤。

[0050] 步骤4,考虑所有N-2故障状态,即在步骤2中潮流计算的基础上逐次无故障断开发电机、线路、变压器中任意两个元件之后再行潮流计算,检查电网网架结构变化前后线路和变压器的功率越限情况等结果。如果产生了功率越限或者潮流不收敛的情况,则利用以

系统切负荷量最小为目标函数,考虑电网运行约束条件的最优潮流模型,判断系统是否需要切除负荷,若需要切除负荷则记录此时的切负荷量,并计算当前系统N-2故障状态发生的近似概率。记当前开断的元件为m和n,则当前系统N-2故障状态发生的近似概率 $P_{k,N-2}$ 如公式(2)所示。

$$[0051] \quad P_{k,N-2} = FOR_m \times FOR_n \quad (2)$$

[0052] 上式中, FOR_m 和 FOR_n 分别是元件m和元件n的强迫停运率。

[0053] 步骤5,根据步骤3中得到的切负荷量和当前系统N-1故障状态发生的概率,采用概率加权的方式计算考虑两重故障时的系统指标电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS。其表达式如公式(3)和公式(4)所示。

$$[0054] \quad LOLP = 1 - \prod_{k \in I} (1 - P_k) \quad (3)$$

$$[0055] \quad EPNS = \sum_{k \in I} P_k W_{cut,k} \quad (4)$$

[0056] 上面两个式子中,I是步骤3和步骤4中得到的所有会导致系统切负荷的N-1和N-2故障状态的集合; P_k 是系统故障状态k发生的概率; $W_{cut,k}$ 是系统处于故障状态k时通过最优潮流调整过后的切负荷量。

[0057] 步骤6,为了体现不同输电设备对系统功率不足期望值EPNS的贡献情况,找出电网的薄弱环节,根据步骤5的系统电力不足概率LOLP和功率不足期望值EPNS,计算各发电机或输电设备(输电设备包括线路、变压器)对系统功率不足期望值EPNS的贡献情况,即风险参与因子,如公式(5)所示。

$$[0058] \quad R_{Loss,i} = (\sum_{k \in A} W_{cut,k} P_k) / EPNS \quad (5)$$

[0059] 上式中, $R_{Loss,i}$ 是输电设备i的风险参与因子,A是所有在输电设备i故障的同时系统发生失负荷的故障状态。

[0060] 步骤7:对整个系统各发电机和输电设备的风险参与因子进行排序,如果某元件的风险参与因子较大,说明它发生故障的影响较为严重,属于电网中的薄弱环节。

[0061] 本发明提出了一种考虑两重故障概率特性的电网风险及薄弱环节评估方法,并能给出在考虑两重故障情况下的电网可靠性指标和薄弱环节供规划人员参考。本发明所提的电网评估方法具有两个功能:1、评估系统的风险指标,2、找出电网网架的薄弱环节。

[0062] 第一,本发明通过评估所有两重故障状态,并计算其发生的概率,以加权的方式得到系统的风险指标;第二,本发明提出风险参与因子的概念,通过计算不同元件对EPNS的贡献情况找出电网中的薄弱环节。对比传统的N-1准则,本发明由于考虑了两重故障和概率信息,计算结果更为精确,更具有参考价值;对比基于蒙特卡洛模拟的电力系统可靠性评估,本发明可以在保证系统概率指标一定精确度的同时,大大减少计算资源消耗,缩短计算时间。综上,本发明在当今我国的电力系统规划中具有较好的应用前景,可以作为电网规划方案的有效评估方法。

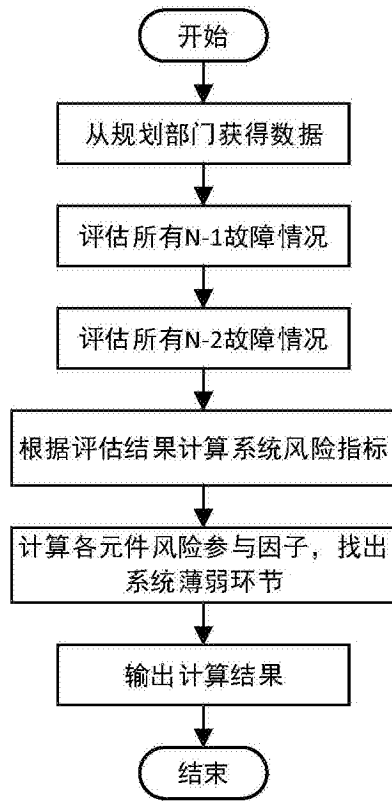


图1