

基于网络等值的直流配用电系统可靠性评估方法研究

张军六¹, 王金浩², 常潇², 赵军², 郭宇刚³

(1. 国网山西省电力公司, 山西 太原 030021; 2. 国网山西省电力公司电力科学研究院, 山西 太原 030001; 3. 太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:当前普遍采用的直流负荷供电方案有2种:交流配用电系统的直流化和新建直流配用电系统。针对2种供电方案,文中提出基于网络等值的直流配用电系统可靠性评估方法,与传统故障模式后果分析(FMEA)法相比,该方法避免配用电系统故障状态重复、繁琐的枚举过程,在提升可靠性评估效率的同时,最大限度地确保可靠性评估结果的准确性。基于IEEE-RBTS测试系统的算例研究结果表明,直流配用电系统的可靠性远高于交流系统的直流化改造。因此,面对快速增长的直流负荷,建议新建直流配用电系统为直流负荷供电。

关键词:直流配用电系统;网络等值;配用电系统可靠性评估;辐射型配用电系统;新能源

中图分类号:TM76

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)05-0107-06

0 引言

随着电力电子技术快速发展以及大量分布式电源、直流负荷接入配电网,直流配用电系统相较于交流配电网在技术和经济方面更有优势^[1-2]。就直流配用电系统大规模应用而言,应根据不同形式配用电系统的可靠性确定直流负荷的供电方案。

配用电系统可靠性是指系统持续为电力用户供电的能力,主要评估用户用电量变化或电力设备故障时,发电量满足用电量的期望能力。由文献[1]可知,配用电系统主要包括变压器、传输线路、开关以及用户设备,与发输电系统相比,配用电系统具有网络结构复杂、元件繁多等特点。据不完全统计,80%的用户停电事件由配用电系统设备故障引起。因此,配网设备的高故障率是导致配用电系统可靠性低的主要原因。文献[3-8]根据负荷容量评估设备故障情况下的电力供给能力,文献[9-10]忽视了配用电系统中负荷类型的多样化可能导致的配用电系统结构变化对可靠性的影响。传统配用电系统可靠性评估仅计及直流负荷容量,将数量有限的功率变换器归结为负荷侧,忽视了高故障率功率变换器对配用电系统可靠性的影响。因此,有必要根据多负荷类型的配网结构,评估直流负荷大规模接入的配用电系统可靠性。现阶段直流负荷的供电方案有2种:交流配用电系统的直流化和新建直流配用电系统。定量评估2种方案的可靠性,可为示范工程的建设提供指导意见。

目前,传统配用电系统可靠性评估方法为故障

模式后果分析(failure mode effect analysis, FMEA)法^[11-12]。由于复杂分支馈线的直流配用电系统故障模式过多,直接使用FMEA法严重降低了可靠性评估效率。因此,文中提出基于网络等值的直流配用电系统可靠性评估方法,避免故障状态重复枚举的过程。通过配用电系统分解、负荷点可靠性指标评估以及配用电系统可靠性评估等,在确保可靠性评估精度的情况下,提高了可靠性评估效率。

1 直流配用电系统可靠性等效基本概念

辐射性配用电系统如图1所示,包括变压器、传输线路、熔断器和分段开关。其中,红色部分为配用电系统的主馈线,包括分段开关和线路;紫色部分为配用电系统的分支馈线,包括熔断器和变压器。如果通过交流配网改造为直流负荷供电,通常在负荷点处接入AC/DC变流器。

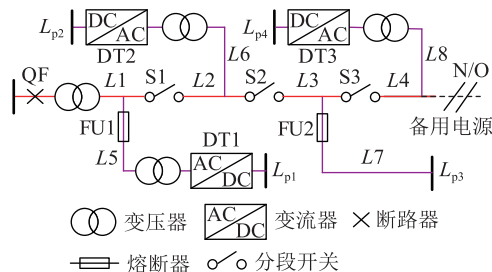


图1 辐射性配用电系统

Fig.1 Radiation distribution network

在确定配用电系统网架结构的基础上,分别对配用电系统的主馈线和分支馈线进行等效,如图2所示。将断路器和变压器等效为元件 S_i ($i=1, 2, \dots, n_1$);将分支馈线之间的主线路与分段开关等效为元件 M_k ($k=1, 2, \dots, n_2$);将分支馈线的熔断器、

变压器、变流器以及馈线线路等效为元件 L_m ($m=1, 2, \dots, n_3$), L_m 是否计及变流器取决于直流负荷的供电方式。

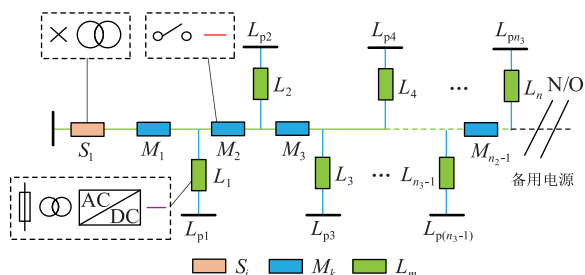


图2 配电网等效

Fig.2 Equivalent distribution network

配用电系统可靠性根据各负荷节点的停电情况评估配用电系统可靠性指标。虽然不同可靠性指标反映的物理意义各不相同,但均与各负荷节点的2个基本要素,即停电时间和停电次数有关。将配电网根据各元件故障率等值后,评估各负荷节点的停电时间和停电次数成为直流配用电系统可靠性评估的关键。以负荷节点 L_{p1} 为例,首先研究等效元件 S_i, M_k, L_m 故障情况下负荷点 L_{p1} 是否停电,确定负荷点的停电次数;其次根据配电网网络拓扑,分析等效元件故障时可能存在的故障恢复方式以及不同方式的故障恢复时间。由于文中尚不考虑经济性对故障恢复方式可行性的影响,因此选择故障持续时间最短的恢复方式,确定负荷节点的停电时间。

2 辐射性直流配用电系统等效方法

配用电系统的可靠性评估包括2个层次,首先评估负荷点的可靠性指标,其次根据负荷点可靠性指标评估配用电系统的可靠性。

2.1 基于网络等值模型的负荷点可靠性指标评估方法

直流配用电系统负荷点可靠性指标包括故障停运率 λ , 年平均停电时间 U 及故障平均停电持续时间 γ 。

针对负荷点 j , 等效元件 S_i, M_k, L_m 故障都可能导致负荷点 j 停电。可靠性评估用来定量分析造成节点 j 停电的可能事件对可靠性指标的贡献程度。因此,负荷点 j 的故障率 λ_j 为:

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_{S_i,j} + \sum_{k=1}^{n_2} \lambda_{M_k,j} + \sum_{m=1}^{n_3} \lambda_{L_m,j} = \sum_{i=1}^{n_1} (\lambda_{T,i,j} + \lambda_{B,i,j}) + \sum_{k=1}^{n_2} (\lambda_{D,k,j} + \lambda_{Z,k,j}) + \sum_{m=1}^{n_3} (\lambda_{F,m,j} + \lambda_{Y,m,j} + \lambda_{C,m,j} + \lambda_{K,m,j}) \quad (1)$$

式中: $\lambda_{S_i,j}$ 为第 i 个等效元件 S_i 故障时负荷点 j 的故障率,包括主馈线上变压器故障率 $\lambda_{T,i,j}$ 和断路器故障率 $\lambda_{B,i,j}$; $\lambda_{M_k,j}$ 为第 k 个等效元件 M_k 故障时负荷点 j 的故障率,包括主馈线上分段开关故障率 $\lambda_{D,k,j}$ 和线路故障率 $\lambda_{Z,k,j}$; $\lambda_{L_m,j}$ 为第 m 个等效元件 L_m 故障时负荷点 j 的故障率,包括分支馈线上熔断器故障率 $\lambda_{F,m,j}$ 、变压器故障率 $\lambda_{Y,m,j}$ 、变流器故障率 $\lambda_{C,m,j}$ 和线路故障率 $\lambda_{K,m,j}$ 。

针对负荷节点 j , 年平均停电时间 U_j 与等效元件的故障次数、故障平均修复时间及保护装置安装位置有关。

图1中,分支馈线 $L7$ 和 $L6$ 故障对负荷点 L_{p1} 的停电影响不同,分支馈线 $L7$ 安装了保护装置,故障出现在 $L7$ 时,线路 $L7$ 与主馈线断开,负荷点 L_{p1} 不停电。相反,故障出现在 $L6$ 时,故障导致负荷点 L_{p1} 停电。因此,需要引入相关参数表征保护装置对负荷点 j 的停电影响。

$$U_j = \sum_{i=1}^{n_1} (\lambda_{S_i,j} \gamma_{S_i,j}) + \sum_{k=1}^{n_2} (\lambda_{M_k,j} \gamma_{M_k,j}) + \sum_{m=1}^{n_3} (\lambda_{L_m,j} \gamma_{L_m,j} p_j) \quad (2)$$

式中: $\gamma_{S_i,j}$ 为第 i 个等效元件 S_i 故障的修复时间; $\gamma_{M_k,j}$ 为第 k 个等效元件 M_k 故障的修复时间; $\gamma_{L_m,j}$ 为第 m 个等效元件 L_m 故障的修复时间; p_j 表征保护装置的运行/故障状态, $p_j \in [0, 1]$ 。

负荷点 j 的故障平均停电持续时间 γ_j 为:

$$\gamma_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \quad (3)$$

2.2 等效元件故障修复时间判定方法

由上述分析可知,负荷点的可靠性指标与故障停运率和故障持续时间有关。其中,相关设备和线路的故障停运率源于设备厂家或配用电系统运行的统计规律,由于设备和线路故障与其制造、设计的成熟度以及工作环境直接相关,几乎不随配用电系统网络结构的变化而变化,文中拟定等效元件的故障停运率与配用电系统的网架结构无关。但配用电系统的故障持续时间与备用电源的数量和可靠性有关,文中主要针对无备用电源的情况进行分析。

配用电系统由主电源供电且无备用电源时,等效元件可能存在的故障模式如图3所示。分别根据等效元件 S_i, M_k, L_m 故障时直流配用电系统可能存在的修复方式确定修复时间。

(1) 等效元件 S_i 故障的修复时间。由图3可知,由于没有备用电源,等效元件 S_i 故障阻断了功率

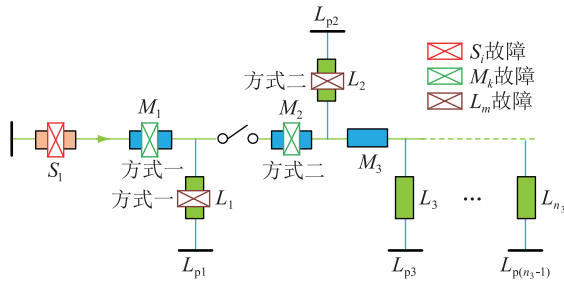


图3 无备用电源的网络等效

Fig.3 Network equivalent without alternative supply 的传输路径,只有在 S_i 修复后才能恢复负荷点的供电。由于元件 S_i 的故障包括多种形式,因此 $\gamma_{S_i,j}$ 为分段函数。

$$\begin{cases} \gamma_{S_i,j} = \max\{t_{BY}, t_{DL}\} & \text{变压器和断路器故障} \\ \gamma_{S_i,j} = t_{BY} & \text{变压器故障} \\ \gamma_{S_i,j} = t_{DL} & \text{断路器故障} \end{cases} \quad (4)$$

式中: t_{BY} , t_{DL} 分别为变压器和断路器故障的修复时间。

(2) 等效元件 M_k 故障的修复时间。由图3可知,元件 M_k 的故障方式有2种。

方式一:元件 M_k 故障致使电功率无法传递到负荷点,负荷点的停电时间为元件 M_k 的修复时间。由于元件 M_k 包括分段开关和线路,根据不同的故障情况, $\gamma_{M_k,j}$ 为:

$$\begin{cases} \gamma_{M_k,j} = \max\{t_{FD}, t_{XL}\} & \text{分段开关和线路故障} \\ \gamma_{M_k,j} = t_{FD} & \text{分段开关故障} \\ \gamma_{M_k,j} = t_{XL} & \text{线路故障} \end{cases} \quad (5)$$

式中: t_{FD} , t_{XL} 分别为分段开关和线路故障的修复时间。

方式二:在故障事件发生时,分段开关迅速隔离故障点。负荷停电时间为分段开关的操作时间,故 $\gamma_{M_k,j}$ 为:

$$\gamma_{M_k,j} = t_s \quad (6)$$

式中: t_s 为分段开关的操作时间。

(3) 等效元件 L_m 故障的修复时间。由图3可知,元件 L_m 的故障方式有2种。

方式一:元件 L_m 故障导致电功率无法传递到负荷点,负荷点停电时间为元件 L_m 的修复时间。由于元件 L_m 包含熔断器、变压器、变流器和线路,不同元件的故障组合方式决定 L_m 的故障修复时间。

$$\begin{cases} \gamma_{M_k,j} = \max\{t_1, t_2, \dots, t_{n_3}\} & \text{若干器件同时故障} \\ \gamma_{M_k,j} = t_{DL} & \text{独立器件故障} \end{cases} \quad (7)$$

方式二:由于故障元件 L_m 连接在分段开关之后,故障事件发生时,分段开关迅速隔离故障点,负荷停电时间为分段开关的操作时间 t_s ,同式(6)。

3 直流配用电系统可靠性评估指标及流程

第2章在直流配用电系统网络等值的基础上,评估了负荷点的可靠性。为评估直流配用电系统的可靠性,需要在负荷点可靠性指标的基础上确定直流配用电系统的可靠性指标^[13]。由于研究对象相同,直接采用交流配用电系统的可靠性评估指标研究直流配用电系统。直流配用电系统的可靠性评估流程如图4所示。

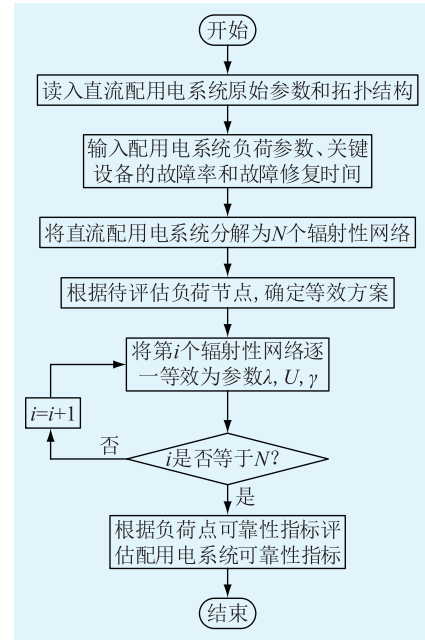


图4 可靠性评估流程

Fig.4 Reliability assessment flow

3.1 直流配用电系统平均停电率 S_{AIFI}

配用电系统用户每年平均的停电次数 S_{AIFI} 为:

$$S_{AIFI} = \frac{\text{用户停电总次数}}{\text{用户总数}} = \frac{\sum \lambda_i Y_i}{\sum Y_i} \quad (8)$$

式中: Y_i 为负荷点 i 的用户数。

3.2 用户平均停电时间 C_{AIDI}

配用电系统中用户每年的停电持续时间 C_{AIDI} 为:

$$C_{AIDI} = \frac{\text{用户停电时间总和}}{\text{用户停电总次数}} = \frac{\sum U_i Y_i}{\sum \lambda_i Y_i} \quad (9)$$

3.3 直流配用电系统平均停电时间 S_{AIDI}

配用电系统中每个用户平均每年的停电持续时间 S_{AIDI} 为:

$$S_{AIDI} = \frac{\text{用户停电时间总和}}{\text{用户总数}} = \frac{\sum U_i Y_i}{\sum Y_i} \quad (10)$$

3.4 平均供电可用率 A_{SAI}

配用电系统平均每年用户不停电的总时长占总供电时长的百分比 A_{SAI} 为:

$$A_{SAI} = \frac{\text{用户不停电总时间}}{\text{供电总时间}} = \frac{8\,760 \sum Y_i - \sum U_i Y_i}{8\,760 \sum Y_i} \quad (11)$$

4 算例分析

算例采用 IEEE RBTS BUS6 测试系统^[14], 见图 5。系统包括 30 条线路、23 个负荷点、23 个熔断器、23 个配电变压器、4 个断路器及 1 个分段开关。设断路器可靠动作概率为 80%; 熔断器为 100% 的可靠熔断; 直流电缆故障率为 0.04 次/(a·km); 每段直流电缆的修复时间为 4 h; 中压断路器故障率为 0.328 2次/a, 修复时间取 10 h; 直流变压器故障率为 0.380 8 次/a, 修复时间为 16 h^[15]; 分段开关的操作时间为 20 min。线路、负荷参数分别如表 1、表 2 所示。

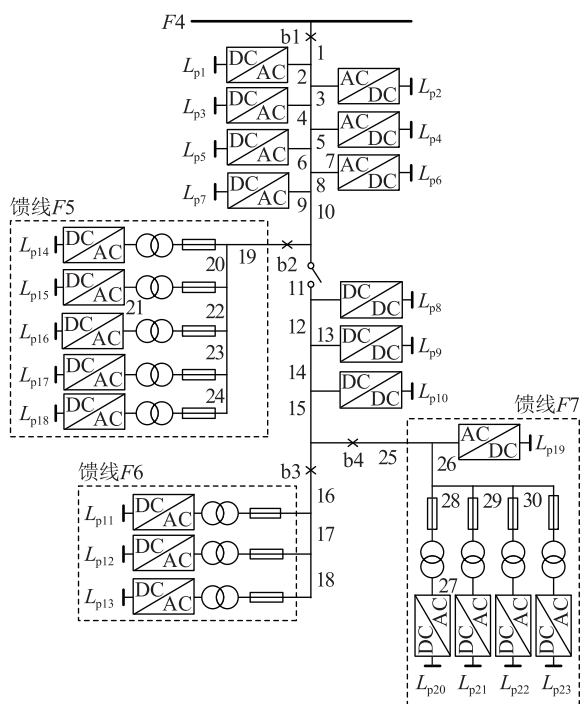


图 5 RBTS 测试系统配网结构
Fig.5 Distribution system of RBTS

现阶段直流负荷的供电普遍采用 2 种方式。方式一: 交流配用电系统的直流化改造; 方式二: 新建直流配用电系统。方式一的配用电系统拓扑结构如图 5 所示, 即在传统交流配用电系统的末端增加 AC/DC 功率变换器, 将交流整流为直流为负荷供电。方式一的可靠性评估需要交流设备的相关参数, 其中交流变压器、断路器和线路等参数见文献

表 1 线路参数

Table 1 Feeder parameters

线路序号	长度/km
7,13	0.60
27	0.75
9,21	0.80
4,10	0.90
3,5,8,15,20,28	1.60
2,6,18,23,26	2.50
1,12,16,22,25,30	2.80
11,17,19,24,29	3.20
14	3.50

表 2 负荷参数

Table 2 Load parameters

负荷点序号	用户类型	负荷点用户数
2	居民	126
1,6	居民	147
5	居民	132
8,11,14,19	居民	79
10,12,16,22	居民	76
15,20	农业	1
3,13,17	农业	1
4,18	农业	1
7,23	农业	1
9,21	农业	1

[16]。方式二的配用电系统拓扑结构在图 5 的基础上去掉 AC/DC 功率变换装置。算例定量分析了 2 种方式相关可靠性指标。

4.1 直流配用电系统可靠性参数等效分析

图 5 中, 评估负荷点 $L_{p1}—L_{p10}$ 的可靠性指标时, 需要将馈线 F5—F7 向上等效。评估负荷点 $L_{p11}—L_{p23}$ 的可靠性指标时, 需要将配用电系统向下等效。等效结果分别如表 3、表 4 所示。

表 3 向上等效

Table 3 Upward equipment

直流负荷 供电方式	子馈 线	可靠性参数		
		$\lambda/(次 \cdot a^{-1})$	$U/(h \cdot a^{-1})$	$\gamma/(h \cdot 次^{-1})$
方式一	F5	0.133 3	0.333 3	0.044 4
	F6	0.085 5	0.333 3	0.028 5
	F7	0.129 5	0.333 3	0.043 2
方式二	F5	0.172 1	0.333 3	0.057 4
	F6	0.133 6	0.333 3	0.044 5
	F7	0.168 8	0.333 3	0.056 3

4.2 直流配用电系统可靠性指标分析

2 种直流负荷供电方式的可靠性评估结果如表 5 所示。可知, 若将交流配用电系统增加变流装置后为直流负荷供电, 系统的可靠性远低于新建直流配用电系统的可靠性。当直流负荷供电由方式二转

表4 向下等效

Table 4 Downward equipment

直流负荷 供电方式	子馈 线	可靠性参数		
		$\lambda/(\text{次} \cdot \text{a}^{-1})$	$U/(\text{h} \cdot \text{a}^{-1})$	$\gamma/(\text{h} \cdot \text{次}^{-1})$
方式一	F5	1.491 8	3.144 6	2.107 9
	F6	1.539 8	5.195 6	3.374 2
	F7	1.495 8	5.181 1	3.463 7
方式二	F5	1.650 6	5.834 8	3.534 9
	F6	1.689 1	7.475 7	4.425 8
	F7	1.653 8	7.463 9	4.513 2

变为方式一时,可靠性指标 S_{AIFI} 由 2.459 1 次增加到 4.561 8 次,增长率为 85.51%; C_{AIDI} 由 5.996 8 h 增加到 6.870 4 h,增长率为 14.58%; S_{AIDI} 由 14.746 8 h 增加到 31.341 1 h,增长率为 112.53%。由于交流系统的直流化改造,需增加故障率较高的直流装置,导致配用电系统可靠性降低。故随着直流负荷规模扩大,建议直接新建直流配用电系统。

表5 可靠性评估结果

Table 5 Reliability assessment results

直流负荷 供电方式	可靠性指标			
	$S_{\text{AIFI}}/\text{次}$	C_{AIDI}/h	S_{AIDI}/h	A_{SAI}
方式一	4.561 8	6.870 4	31.341 1	0.996 4
方式二	2.459 1	5.996 8	14.746 8	0.998 3

5 结论

文中提出了基于网络等值的直流配用电系统可靠性评估方法,与 FMEA 法相比,避免了配用电系统故障状态重复、繁琐的枚举过程,在提升可靠性评估效率的同时,最大限度确保了评估结果的准确性。利用网络等值法对现阶段普遍采用的直流负荷供电方式进行可靠性评估,得出相关结论为:

(1) 与交流配用电系统直流化改造相比,直流负荷直接接入直流配用电系统,取消了 AC/DC 功率变换环节,故新建直流配用电系统的可靠性较高;

(2) 网络等值法适用于复杂多馈线直流配用电系统的可靠性评估,以牺牲微弱的评估准确性为代价,极大地提高了评估效率。

本文得到国网山西省电力公司科技项目(52053017000K)资助,谨此致谢!

参考文献:

[1] 熊雄,季宇,李蕊,等. 直流配用电系统关键技术及应用示范综述[J]. 中国电机工程学报,2018,38(23):6802-6813.
XIONG Xiong,JI Yu,LI Rui,et al. An overview of key technology and demonstration application of DC distribution and consumption system[J]. Proceedings of the CSEE,2018,38(23):

6802-6813.

- [2] YONG Li,LI He,FANG Liu,et al. Flexible voltage control strategy considering distributed energy storages for DC distribution network[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2019,10(1):163-172.
- [3] 史清芳,徐习东,赵宇明. 电力电子设备对直流配电网可靠性影响[J]. 电网技术,2016,40(3):725-732.
SHI Qingfang,XU Xidong,ZHAO Yuming. Effects of power electronic devices on DC distribution reliability[J]. Power System Technology,2016,40(3):725-732.
- [4] 曾嘉思. 柔性直流配电网可靠性评价方法研究[D]. 杭州:浙江大学,2015.
ZENG Jiasi. Research on reliability evaluation method of flexible DC distribution network [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2015.
- [5] 郑博文,杨隽,杨承辰,等. 基于风险性指标的主动配电网理论可靠性评估[J]. 供用电,2019,36(5):53-58.
ZHENG Bowen,YANG Jun,YANG Chengchen,et al. Theoretically reliability evaluation of active distribution network based on risk index [J]. Distribution & Utilization,2019,36(5):53-58.
- [6] 江道灼,张弛,郑欢,等. 一种限流式混合直流断路器方案[J]. 电力系统自动化,2014,38(4):65-71.
JIANG Daozhuo,ZHANG Chi,ZHENG Huan,et al. A scheme for current-limiting hybrid DC circuit breaker[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(4):65-71.
- [7] 李斌,何佳伟,冯亚东,等. 多端柔性直流电网保护关键技术[J]. 电力系统自动化,2016,40(21):2-12.
LI Bin,HE Jiawei,FENG Yadong,et al. Key techniques for protection of multi-terminal flexible DC grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(21):2-12.
- [8] 王秀丽,罗沙,谢绍宇,等. 基于最小割集的含环网配电网可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(9):52-58.
WANG Xiuli,LUO Sha,XIE Shaoyu,et al. Reliability evaluation of distribution systems with meshed network based on the minimum-cut set[J]. Power System Protection and Control,2011,39(9):52-58.
- [9] 曾嘉思,徐习东,赵宇明. 交直流配电网可靠性对比[J]. 电网技术,2014,38(9):2582-2589.
ZENG Jiasi,XU Xidong,ZHAO Yuming. Reliability comparison of AC and DC distribution network[J]. Power System Technology,2014,38(9):2582-2589.
- [10] 史清芳. 柔性直流配电网可靠性若干问题[D]. 杭州:浙江大学,2016.
SHI Qingfang. Some reliability problems of flexible DC distribution system [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2016.
- [11] 彭建春,何禹清,周卓敏,等. 基于可靠性指标逆流传递和顺流归并的配电网可靠性评估[J]. 中国电机工程学报,2010,30(1):40-46.
PENG Jianchun,HE Yuqing,ZHOU Zhuomin,et al. Distribution system reliability evaluation based on up-stream delivering and down-stream merging of reliability indices [J]. Proceed-

ings of the CSEE, 2010, 30(1):40-46.

[12] 刘苑红, 王卓, 苏剑. 基于支持向量机的配电网设施可靠性参数预测方法[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(6): 36-42.

LIU Yuanhong, WANG Zhuo, SU Jian. optimization and prediction method based on SVM for equipment reliability parameters of power distribution networks[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(6): 36-42.

[13] 丁磊, 潘贞存, 王宾. 分散电源并网对供电可靠性的影响分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(20): 89-93.

DING Lei, PAN Zhencun, WANG Bin. Impact on reliability of distribution networks with dispersed generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(20): 89-93.

[14] BILLINTON R, JONNAVITHULA S. A test system for teaching overall power system reliability assessment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(4): 1670-1676.

[15] 赵伟芳. 含分布式电源的直流配电网可靠性评估[D]. 重庆: 重庆大学, 2017.

ZHAO Weifang. Reliability evaluation of DC distribution network with distributed power supply[D]. Chongqing: Chongqing University, 2017.

[16] 郭永基. 电力系统可靠性分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

GUO Yongji. Power system reliability analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

作者简介:



张军六

张军六(1970), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统分析控制、交直流配电和新能源并网相关工作(E-mail: zhangjunliu@sx.sgcc.com.cn);

王金浩(1975), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 从事电力系统分析、交直流配电、电能质量相关工作;

常潇(1987), 男, 博士, 高级工程师, 从事电能质量分析、新能源并网相关工作。

Reliability evaluation of DC distribution system based on reliability network equivalent

ZHANG Junliu¹, WANG Jinhao², CHANG Xiao², ZHAO Jun², GUO Yugang³

(1. State Grid Shanxi Electric Power Company, Taiyuan 030021, China;

2. State Grid Shanxi Electric Power Company Research Institute, Taiyuan 030001, China;

3. School of Electrical and Power Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: With the increasing demand of DC load, the topology of distribution system needs to be reconstructed in order to improve the reliability of distribution system. Two main ways to construct DC distribution system in the present situation include upgrading AC distribution system and constructing DC distribution system. Aiming at above two main ways, novel method based on reliability equivalent network is proposed. Compared with traditional failure mode effect analysis (FMEA) method, the proposed approach not only greatly reduces the calculation burden, but also ensures the accuracy of reliability evaluation results. The case study is carried out based on IEEE-RBTS test system. The availability of the proposed method is authenticated from the aspects of accuracy and efficiency through three steps, including decomposing DC distribution system, load-point reliability evaluation and distribution system reliability evaluation. The reliability evaluation results based on above two ways show that the construction of DC distribution system has higher reliability performance compared with upgrading AC distribution system. Therefore, facing the rapid growth of DC load, the construction of DC distribution system is recommended to satisfy the DC load demand.

Keywords: DC distribution system; reliability network equivalent; distribution system reliability evaluation; radial distribution systems; new energy

(编辑 吴楠)