

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2020.02.017

小水电位置及机组检修对网损分摊的影响

刘家军, 孙 强, 杨晓倩, 段建东

(西安理工大学 电气工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对小水电加入配电网后网损分摊更加复杂的问题, 本文研究了含小水电群的配电网中机组检修及发电机在系统中的位置对网损分摊结果的影响。首先采用支路耗散功率转归分量法分别分析不同机组检修时系统的网损情况, 从而制定一个以系统网损最小为目标的机组检修和发电优先级; 然后对于发电机在系统中的不同位置对网损分摊结果的影响, 将在同一母线并网的小水电等效成一个小水电群, 在等效的过程中计及发电机在系统中的相对位置; 最后采用含小水电群的陇南地区电网对本文所考虑的因素进行实例验证, 并且与潮流计算和平均网损分摊法进行对比来验证本文所采用方法的精确性。

关键词: 小水电群; 配电网; 网损分摊; 小水电位置; 机组检修

中图分类号: TM731

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2020)02-0257-06

Influence of small hydropower location and unit maintenance on power loss allocation

LIU Jiajun, SUN Qiang, YANG Xiaoqian, DUAN Jiandong

(School of Electrical Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In view of the more complicated problem of network loss allocation after small hydropower is added to the distribution network, this paper studies the influence of unit maintenance and generator position in the distribution network containing small hydropower groups on the network loss allocation. First, the branch circuit dissipated power regression component method is employed to analyze the network loss of the system during the maintenance of different units, thus formulating a unit maintenance and power generation priority that aims at the minimum system network loss. Then, for the effect of different positions of generators in the system on the distribution of network loss, the small hydropower connected to the same busbar is equivalent to a small hydropower group, with the relative position of the generator in the system taken into account in the equivalent process. Finally, the Longnan Power Grid with small hydropower groups is used to verify the factors involved, with a comparison of the power flow calculation and the average network loss allocation method made to verify the accuracy of the method used in this paper.

Key words: small hydropower groups; distribution network; network loss allocation; small hydropower station; unit maintenance

在国家大力倡导清洁能源和严格执行保护环境政策的背景下, 小水电作为清洁能源得到了快速发展^[1], 但同时小水电加入配电网后所引起的网损分摊问题越来越引起供用电双方的重视, 小水电加入配电网后对网损的分摊提出了更高的要求。目前最常用的网损分摊法是平均网损分摊法, 但是该方法

将网损按统一的网损系数在全网范围内分摊, 没有考虑发电机及用户在系统中的位置对网损分摊结果的影响^[2]。文献[3]提出基于谱质心迁移的线损优化分摊方法, 来解决工业环境与模拟环境下线损优化分摊问题。文献[4]提出考虑 DG 对配电网损贡献率的网损分摊方法, 该方法考虑了并网容量、并网

收稿日期: 2020-06-08; 网络出版日期: 2020-06-29

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20200629.1507.002.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51877174)

第一作者: 刘家军, 男, 博士, 教授, 研究方向为智能电网。E-mail: liujiajun-88@163.com

通信作者: 孙强, 男, 博士, 研究方向为智能电网。E-mail: 178199500@qq.com

控制方式、并网运行方式、并网电压等级、功率因数等指标对网损分摊的影响。文献[5]提出基于典型场景划分的多时段网损分摊算法,该方法基于潮流跟踪算法,选取关键线损线路和强相关电厂两项指标,以解决多时段连续运行中的网损分摊问题。文献[6]所采用的边际网损系数法是使用最为广泛的网损分摊方法,该方法可以为电网的运行提供经济信号,但易受平衡节点的影响。

以上关于网损分摊的方法均没有考虑发电机在系统中的相对位置及机组检修问题对网损分摊的影响。但是小水电加入配电网后,由于小水电的地域分布较广,小水电距离并网母线的距离不同时,网损分摊结果是不同的;并且含小水电群的配电网存在机组检修问题,当不同的机组检修时,网损分摊结果也是不同的,因此本文研究了小水电加入配电网后机组检修及小水电在系统中的位置对网损分摊的影响。最后将本文所得出的网损分摊结果与平均网损分摊法及潮流计算进行对比,对比结果表明本文所采用方法的分摊结果与实际潮流更加接近,因此分摊结果也更加精确。

1 支路耗散功率转归理论

1.1 耗散功率的定义

根据 Poynting 定理,任意点的能流密 S (Poynting 向量)在非静电系统中等于该点的电场强度向量 E 叉乘以磁场强度向量 H ,即 $S = E \times H$ 。 S 的方向为 E 和 H 的叉乘方向^[7-8]。下面分别分析平行双输电线电网导线内部和导线附近空间的电磁能流密度的空间分布情况。

1.1.1 导线内部的能流密度

导线内部的能流密度示意图见图 1。

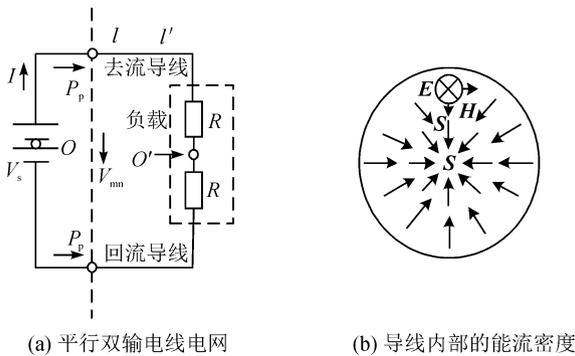


图 1 平行双输电线电网和导线内部的能流密度
Fig.1 Energy flow density in parallel double transmission line grid and conductors

在图 1(a)中, V_s 为一个直流电压源, $2R$ 是一个阻性负载, 2 条平行导线同型号且有损。对于图 1

(a)中的导线 l' 而言,导体内部电场强度为 $E = \rho\delta$ 。导体内部只有沿着轴向方向的电场强度,即 $E_d = \rho\delta$, 径向方向电场强度为零;由于磁场力与电流有关,因此导线内部的磁场方向遵循电流的方向,沿轴向方向的电流使得内部磁场方向沿同心圆的切线方向。因此导线内部的能流密度的径向方向指向导线轴心,大小为 $S_d = E_d H = \rho\delta H$, 指向负载的轴向分量为 $E_p \times H = 0$, 通过上面的分析可得,导线内部的能量由导线发热损失了^[9-10]。

1.1.2 导线附近空间的能流密度

图 1(a)中去流导线 l' 与电源正极相连,因此其表面呈正电荷分布,其电位高于附近空间。正电荷周围电场是向外发散的,见图 2,导线是有损导线,电场强度的方向向导线轴心倾斜。已知导线中电流的方向,可得磁场的方向沿以导线轴心为同心圆的切线方向,因此由电场强度与磁场强度所决定的能流密度的方向是偏向于导线轴心的并指向负载^[11]。

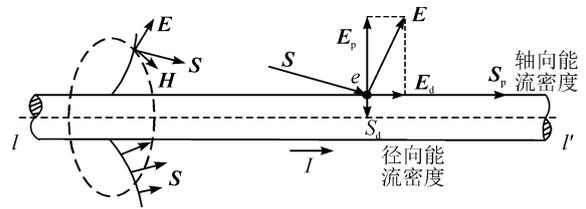


图 2 导线附近的电磁场与能流密度
Fig.2 Electromagnetic field and energy flow density near conductor

1.2 导线内外耗散功率的特点

图 1(a)中的导线段 l' , 其半径为 c 、长度为 b 、电流为 I 、电阻率为 ρ , 下面分析其耗散功率的求解过程。

均匀导线表面某点的电场强度 $E_d = \rho I / \pi c^2$, 磁场强度 $H = I / 2\pi c$ 。根据能流密度的定义可得导线表面各处的径向能流密度为 $S_d = E_d \times H = \rho I^2 / (2\pi^2 c^3)$, 线段 l' 的表面积为 $2\pi cb$, $dxdy$ 表示导线表面的一个元面积, 则导线段 l' 的耗散功率为^[12-13]:

$$P_d = \iint S_d dxdy = \rho I^2 / (2\pi^2 c^3) \cdot 2\pi cb = I^2 \rho b / (\pi c^2) = I^2 R_{mm'} = V_{mm'}^2 / R_{mm'} \quad (1)$$

式中: $R_{mm'} = \rho b / (\pi c^2)$ 是该导线段的电阻, $V_{mm'}$ 是该导线两端间的电压。

2 机组检修对网损分摊的影响

在系统的运行过程中,机组检修是不可避免的。

当不同的机组检修时,系统的总网损和各发电机及用户分摊的网损是不同的,因此有必要分析不同机组检修时系统的网损情况,从而制定合理的发电计划。当检修的机组不同时,会改变系统中原有的潮流流向,距离负荷中心越近的机组检修对系统潮流的影响越大,位于负荷边缘的机组对系统潮流的影响最小^[14-15]。

假设系统中小水电机组总数为 n , 当第 k 个小水电机组参与发电时,将该小水电机组的出力等效成节点注入电流:

$$I_k = \frac{P_{G,k} - jQ_{G,k}}{\dot{U}_k} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: I_k 是节点 k 小水电机组的等效节点注入电流, $P_{G,k}$ 、 $Q_{G,k}$ 分别为节点 k 小水电机组的有功和无功出力, \dot{U}_k 是节点 k 电压的共轭值; j 是虚数单位。

2.1 所有机组都参与发电

当系统中所有机组都参与发电时,所有电源在支路 l 产生的电流叠加为:

$$I_l = \sum_{k=1}^n \alpha_{lk} I_k \quad (3)$$

$$\alpha_{lk} = (Z_{ik} - Z_{jk}) / Z_l \quad (4)$$

式中: α_{lk} 是由系统结构和参数决定的一个复数,决定了支路 l 和电源 k 的连接关系。

当系统中所有机组都参与发电时,此时系统中的总损耗为:

$$L = \sum_{l=1}^b r_l I_l^2 \quad (5)$$

式中: r_l 是支路 l 的电阻。

2.2 系统中存在机组检修

当系统中有机组检修时,假设第 i 个机组检修,则此时系统中各支路的损耗和系统总网损分别为:

$$I_l = \sum_{k=1}^n \alpha_{lk} I_k \quad (k \neq i) \quad (6)$$

$$L = \sum_{l=1}^b r_l I_l^2 \quad (7)$$

当 i 取不同值时,代表不同的机组检修,由于不同的机组检修对系统潮流的影响是不同的,因此系统总网损和发电方及负荷分摊的网损也不同。为了使系统在更加经济的条件下运行,有必要分析不同机组检修时系统的网损情况。

2.3 对机组检修问题的仿真分析

将含小水电群的陇南地区电网等效成如图3所示的结构,其中节点1、2、3、8、14为小水电群节点,其他为负荷节点,在Matlab仿真平台采用支路耗散功率转归理论分别分析不同机组检修时系统的网损

情况,以便制定出一个使得系统运行更加经济的发电优先级,仿真分析结果见表1。

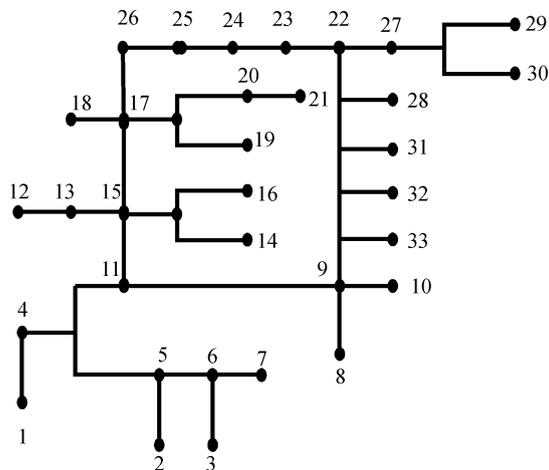


图3 陇南地区电网等效节点图

Fig. 3 Equivalent node diagram of Longnan power grid

表1 机组检修情况对网损分摊的影响

Tab. 1 Influence of unit maintenance on network loss allocation

机组检修情况	系统网损总量/MW
所有机组都发电(无机组检修)	428.35
1号机组检修	437.08
2号机组检修	467.38
3号机组检修	465.24
8号机组检修	486.15
14号机组检修	497.53

分析表1可知,当所有机组都运行时,系统的网损最小,14号小水电群位于负荷中心,其检修时对系统的网损影响最大;8号小水电群出力较大,作为系统中的主力机组,因此其对网损的影响也较大;2、3号小水电群距离负荷中心较远,因此其检修对系统的影响也较小;而1号小水电群距离负荷中心最远,因此其检修对网损影响也最小。根据上面的分析,可以得出当存在机组检修时,系统中机组参与发电的优先级见图4。

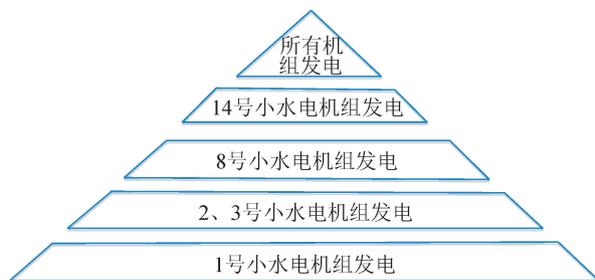


图4 各机组参与发电优先级示意图

Fig. 4 Schematic diagram of priority of units participating in power generation

3 小水电所处位置对网损分摊的影响

由于小水电在系统中是根据流域情况分布的,将各分散的小水电等效成小水电群的过程中,各小水电距离并网母线的距离是不同的,距离并网母线较远的小水电由于在线路上的损耗较大,因此有必要考虑小水电在系统中的位置对网损分摊的影响^[15]。

本文在对小水电进行等效的过程中,考虑小水电距离并网母线的距离和并网导线的型号,用小水电的实际发电量减去在线路上的损耗得到小水电的实际上网电量,下面以图5所示的简单系统为例说明。假设某小水电群中共有三个小水电站,分别为A、B、C小水电,系统中的母线L为小水电的并网母线,各小水电与并网母线的相对位置关系见图5。设小水电A距离母线L的距离为 l_1 ,小水电B距离母线L的距离为 l_2 ,小水电C距离并网母线L的距离为 l_3 。

在图5中,假设小水电A发出的电量为 P_A ,在已知小水电A距离母线L的距离及导线型号的基础上,根据潮流计算可得出小水电A在并网母线上的损耗 $P_{loss,A}$,因此小水电A在并网母线L处的实际上网电量为:

$$P_A' = P_A - P_{loss,A} \quad (8)$$

表2 各小水电等效后的上网电量

Tab.2 Net electricity quantity after equivalent of small hydropower stations

小水电群编号	并入母线名称	小水电名称	小水电实际出力/MW	小水电距离并网母线的线损/MW	小水电上网电量/MW
1号小水电群	石坊变	安昌河电站	8.64	0.014	8.626
		民兴电站	0.72	0.000 44	0.719 56
		水沟坪电站	0.81	0.22×10^{-4}	0.809 978
		石鸡坝电站	14.4	0.026	14.374
		柳园电站	25.2	0.049 8	25.150 2
2号小水电群	玉垒变	横丹电站	22.5	0.004 6	22.495 4
		金口坝电站	25.2	0.118 5	25.081 5
		汉坪嘴电站	64.8	0.0416	64.758 4
3号小水电群	早阳变	碧口电站	311.94	1.256	310.684
		麒麟寺电站	99.9	0.324 3	99.575 7
		天池电站	6.885	0.03	6.855
4号小水电群	临江变	李家坝电站	1.701	0.29×10^{-4}	1.700 971
		王家坝电站	1.701	0.001 4	1.699 6
		苗家坝电站	216	2.442	213.558
		橙子沟电站	99.9	0.418	99.482
		大园坝电站	32.4	0.03	32.37
		椒园坝电站	22.5	0.007 9	22.492 1
		汉王电站	21.6	0.002 4	21.597 6
5号小水电群	武都变	锦屏电站	16.2	0.023 1	16.176 9
		黄鹿坝电厂	17.82	0.001 9	17.818 1
		石门电站	11.34	0.012	11.328
		木耳坝电站	5.4	0.008	5.392
		白鹤桥电厂	9.9	0.057 8	9.842 2

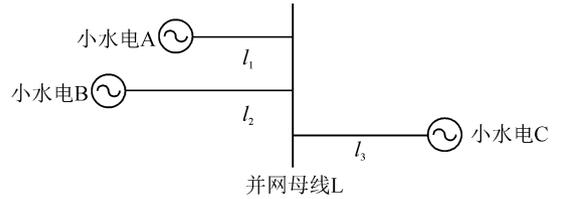


图5 简单系统中各小水电与并网母线的相对位置关系
Fig.5 Relative positional relationship between small hydropower stations and grid-connected buses in a simple system

同理,假设小水电B发出的电量为 P_B ,小水电在上网的过程中在线路上的损耗为 $P_{loss,B}$,小水电C发出的电量为 P_C ,小水电在上网的过程中在线路上的损耗为 $P_{loss,C}$,因此小水电B和小水电C的实际上网电量分别为:

$$P_B' = P_B - P_{loss,B} \quad (9)$$

$$P_C' = P_C - P_{loss,C} \quad (10)$$

则该小水电群的总上网电量为:

$$P = P_A' + P_B' + P_C' \quad (11)$$

采用该方法处理小水电在系统中的位置问题时,同一小水电群内的各小水电是平等的,因此在后面的分析中可避免位置因素对网损分摊结果的影响。

采用上述等效模型对含小水电群的陇南地区电网进行分析,通过计算可得各小水电等效后的上网电量见表2。

4 实例验证

网损分摊问题从本质上来讲是一个非线性问题,任何非线性问题的解都不是唯一的,因此没有一种网损分摊方法是绝对正确的,任何一种网损分摊方法都是尽可能地为市场提供经济信号,使分摊原则更加的公平、透明。平均网损分摊法是目前主流的网损分摊方法,应用较为广泛,但其在含小水电的配电网网损分摊中具有一定的局限性;而潮流计算是目前最权威的网损分析方法,虽然潮流计算在各节点的网损分摊方面具有局限性,但是可以得出系统的总网损和各条支路的损耗,因此本文将支路耗散功率转归分量法与平均网损分摊法及潮流计算进行对比来体现本文所用方法的优越性和准确性。

鉴于网损分摊对反向潮流问题、交叉问题、交易加入的次序等问题的研究已较为成熟,本文在考虑上述问题的基础上提出了针对含小水电群的配电网网损分摊方法,即基于支路耗散功率转归分量法,考虑机组检修及小水电在系统中的位置对网损分摊的影响。根据陇南电网的电源和负荷情况,采用 Matlab 进行仿真分析,并且将分摊结果与平均网损分摊法及潮流计算结果进行对比,来验证机组检修及小水电在系统中的位置对网损分摊影响的必要性,本文的整体流程图见图 6,仿真结果对比见表 3。

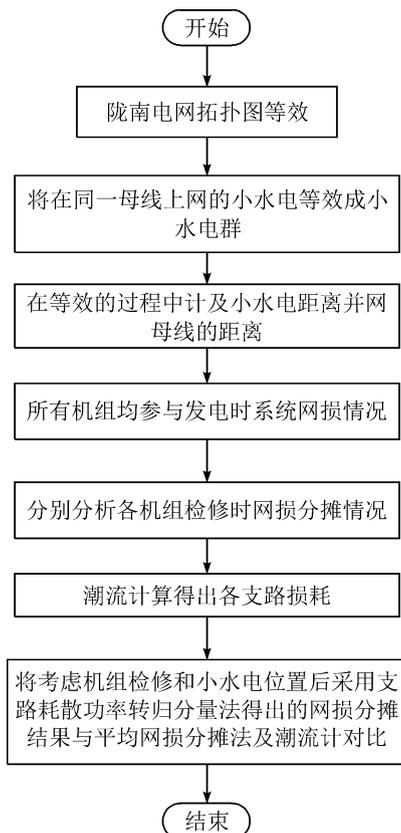


图 6 计算流程图

Fig. 6 Calculation flow chart

表 3 支路耗散功率转归分量法与平均网损分摊法及潮流计算的对比

Tab. 3 Comparison of branch dissipation power conversion component method, average network loss allocation method and power flow calculation

支路号	平均网损分摊法/MW	支路耗散功率转归分量法/MW	潮流计算所得支路损耗/MW
1	15.57	40.86	42.34
2	7.49	3.69	3.85
3	29.95	68.67	67.52
4	2.56	2.15	2.34
5	5.19	62.03	61.52
6	1.63	1.61	1.73
7	21.32	93.6	95.2
8	137.03	40.67	41.31
9	2.67	13.68	13.76
10	35.51	13.4	12.8
11	1.99	12.14	12.3
12	2.84	22.32	21.54
13	24.40	6.89	6.92
14	25.45	24.79	25.21
15	2.70	3.33	3.51
16	21.22	16.88	16.92
17	2.06	3.46	3.53
18	3.45	4.47	4.61
19	2.66	3.9	3.75
20	2.15	3.53	3.42
21	26.58	47.16	48.31
22	1.88	54.11	52.9
23	1.81	48.8	46.4
24	2.67	7.51	8.23
25	21.22	6.32	5.46
26	5.63	7.71	6.59
27	2.54	83.89	80.54
28	2.06	43.22	42.39
29	3.29	45.51	46.5
30	3.53	50.43	49.74
31	4.04	51.31	40.32
32	3.82	50.72	48.69

由表 3 可得,对于两水变-丁字口变、武都变-两水变、成县变-同谷变、成县变-康县变、成县变-成祁变、成县变-成冶变、徽县变-宝徽变负荷较重的线路

潮流,其所对应的支路分别为支路14、支路13、支路30、支路22、支路31、支路32、支路29,由于其线路潮流较重,因此其线路损耗也较大,所对应的交易所引起的网损分摊量也较大。观察表3可得,平均网损分摊法由于其误差较大,因此由该方法得出的网损分摊结果与本文所采用方法及潮流计算相比相差较大,而在误差允许范围内,潮流计算结果与本文所采用方法计算结果较为接近,因此本文所采用的支路耗散功率转归分量法有一定的准确性。

5 结论

本文针对小水电加入配电网的特殊性,即小水电在系统中的位置和小水电机组的检修问题,通过对含小水电群的陇南地区电网采用支路耗散功率转归分量法进行网损分摊,并且将分摊结果与平均网损分摊法及潮流计算进行对比,对比结果表明本文所采用方法更加地科学、合理、公平,更能满足含小水电群的配电网网损分摊的要求,与实际潮流更加贴近,分摊结果更易于被各发电方和用户所接受。

参考文献:

[1] COBAN H H, VARFOLOMEJEVA R, SAUHATS A. Small hydropower plants operations optimization in the market conditions[C]//2014 IEEE 2nd Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), Vilnius, 2014: 1-5.

[2] 谢晓骞,艾欣,杨帅. 输电系统网损分摊策略研究综述[J]. 湖南电力,2008,28(5):59-62.
XIE Xiaoqian, AI Xin, YANG Shuai. Survey for loss allocation strategy in power transmission system[J]. Hunan Electric Power, 2008, 28(5): 59-62.

[3] 王恩,曹敏,张瑞曦,等. 基于谱质心迁移的线损优化分摊方法研究[J]. 智慧电力,2019,47(5):114-120.
WANG En, CAO Min, ZHANG Ruixi, et al. A new spectral centroid transfer strategy for line loss optimization allocation [J]. Smart Power, 2019, 47(5): 114-120.

[4] 黄湘,欧阳森,马少华. 考虑 DG 对配电网损贡献率的网损分摊方法[J]. 电测与仪表,2019,56(18):16-24.
HUANG Xiang, OUYANG Sen, MA Shaohua. Line loss allocation method considering the contribution rate of the distributed generation to distribution network [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(18): 16-24.

[5] 王运,祁鑫,杨慧彪,等. 基于典型场景划分的多时段网损分摊算法[J]. 计算技术与自动化,2020,39(1): 97-100.
WANG Yun, QI Xin, YANG Huibiao, et al. Multi-

period network loss allocation algorithm based on typical scene partition[J]. Computing Technology and Automation, 2020, 39(1): 97-100.

- [6] 姚李孝,薛美娟,赵东森. 基于边际网损系数法的发电权交易网损分析[J]. 西安理工大学学报,2013,29(4): 460-463.
YAO Lixiao, XUE Meijuan, ZHAO Dongsen. Generation rights trade loss analysis based on marginal loss coefficient method[J] Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(4): 460-463.
- [7] 彭建春. 电网中流通功率和耗散功率及其分量的定义与分析[J]. 电网技术,2010,34(3):65-71.
PENG Jianchun. Definition and analysis of passing-power and dissipation-power and their components in electric networks[J]. Power Grid Technology, 2010, 34(3): 65-71.
- [8] 曲桂颖. 基于耗散功率转归分量的电网损耗分摊方法[D]. 长沙:湖南大学,2010.
QU Guiying. Power grid loss allocation method based on dissipative power transfer component[D]. Changsha: Hunan University, 2010.
- [9] PENG J C, JIANG H, XU G, et al. Independent marginal losses with application to locational marginal price calculation[J]. IET Generation Transmission & Distribution, 2009, 3(7): 679-689.
- [10] 杨帮宇,彭建春,江辉. 基于支路耗散功率转归分量的最优潮流模型与算法[J]. 电网技术,2009,33(14):47-51,83.
YANG Bangyu, PENG Jianchun, JIANG Hui. A novel model and algorithm for optimal power flow using imputation component of dissipation power in branches [J]. Power Grid Technology, 2009, 33(14): 47-51, 83.
- [11] 郝晓弘,方婉竹. 基于 Shapley 公理的耗散功率转归分量的网损分摊方法研究[J]. 机电工程,2015,32(7): 976-981.
HAO Xiaohong, FANG Wanzhu. Method of grid loss allocation using imputation components of dissipation power based on the Shapley axiom[J]. Journal of Mechanical and Electrical Engineering, 2015, 32(7): 976-981.
- [12] 彭建春,李春晖,祁学红,等. 基于快速独立成分分析和支持向量回归的混合馈线线损估算[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(3):51-55.
PENG Jianchun, LI Chunhui, QI Xuehong, et al. Loss estimation of power distribution systems based on fast independent component analysis and support vector regression[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(3): 51-55.

- Technology, 2018, 42(2): 621-627.
- [3] 徐文佳,赵伟,黄洪涛,等. 计及间谐波的电能计量方法[J]. 电网技术,2016,40(2):656-662.
XU Wenjia, ZHAO Wei, HUANG Hongtao, et al. A method for electrical energy measurement in consideration of inter-harmonics[J]. Power System Technology, 2016, 40(2): 656-662.
- [4] PAN Jiuping, TEKLU Y, RAHMAN S, et al. Review of usage-based transmission cost allocation methods under open access[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1218-1224.
- [5] BIALEK J. Topological generation and load distribution factors for supplement charge allocation in transmission open access[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1997, 12(3): 1185-1193.
- [6] 李元诚,邱日轩,曾婧. 基于核主成分分析的智能电网盲在线虚假数据注入攻击的研究[J]. 电网技术,2018,42(7):2270-2278.
LI Yuancheng, QIU Rixuan, ZENG Jing. Research on blind online false data injection attack using kernel principal component analysis in smart grid[J]. Power System Technology, 2018, 42(7): 2270-2278.
- [7] RUBINO A, CUOMO M. A regulatory assessment of the Electricity Merchant Transmission Investment in EU[J]. Energy Policy, 2015, 85: 464-474.
- [8] 刘明华,南海鹏,余向阳. 基于非线性主元分析的水轮机调节系统传感器故障诊断[J]. 西安理工大学学报,2012,28(2):204-209.
LIU Minghua, NAN Haipeng, YU Xiangyang. Fault diagnosis for sensors of hydro turbine regulation system based on nonlinear component analysis[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012,28(2):204-209.
- [9] 田立亭,程林,郭剑波,等. 基于能值分析的多能互补综合能源系统价值评估方法[J]. 电网技术,2019,43(8):2925-2933.
TIAN Liting, CHENG Lin, GUO Jianbo, et al. Multi-energy system valuation method based on emergy analysis[J]. Power System Technology, 2019, 43(8): 2925-2933.
- [10] 褚大华. 电子式电能表[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

(责任编辑 王绪迪)

(上接第262页)

- [13] 黄泽荣,彭建春,肖文娟,等. 基于耗散功率转归分量的网损微增率新算法[J]. 电力系统及其自动化学报,2010,22(1):31-36.
HUANG Zerong, PENG Jianchun, XIAO Wenxian, et al. Incremental transmission loss algorithm based on the imputation of an impedance-branch dissipation power[J]. Proceedings of The Chinese Society Of Universities, 2010, 22(1): 31-36.
- [14] 林弋莎,鲁宗相,乔颖,等. 中长期合同竞价市场下自主确定检修计划对系统运行影响的探讨[J]. 全球能源互联网,2020,3(3):272-279.
LIN Yisha, LU Zongxiang, QIAO Ying, et al. Self-determined unit maintenance scheduling and its influence on system operation in medium- to long-term contract bidding market[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(3): 272-279.
- [15] 刘明顺,马覃峰,林成,等. 考虑互动负荷的发输电一体化检修计划优化模型与方法[J]. 智慧电力,2018,46(9):19-25.
LIU Mingshun, MA Tanfeng, LIN Cheng, et al. Model and method of integrated generation and transmission maintenance schedule considering interactive load[J]. Smart Power, 2018, 46(9): 19-25.

(责任编辑 王绪迪)