

采用源流路径电气剖分信息的 DSSC 成本分摊研究

张任桢¹, 张 锋²

(1. 湖北大学商学院, 湖北 武汉 430000; 2. 国网新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 分布式静止补偿器(DSSC)是一种新型的解决线路阻塞的分布式柔性交流输电(D-FACTS)设备。为研究DSSC参与阻塞调度后的成本费用分摊问题,提出了一种基于电气剖分方法的DSSC成本分摊策略。利用电气剖分信息量确定引起线路阻塞的电源和负荷并定量计算相应源荷的阻塞责任因子,并依据阻塞责任大小将DSSC的成本费用分摊到各电源和负荷上。最后基于IEEE 39节点系统进行仿真验证,算例结果表明本文所提方法能通过电源和负荷参与成本分摊合理地回收DSSC的成本费用。

关键词: 分布式静止串联补偿器;电气剖分;费用分摊

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)02-0116-05

0 引言

近年来,随着用电负荷增大及高比例的新能源发电接入,部分输电线路出现阻塞现象^[1-4],部分地区潮流越限严重,从而减小了电力系统稳定裕度,增大了运行风险。目前消除输电线路阻塞主要通过以下两大途径:(1)通过优化调整输电网络中运行参数及潮流控制器参数的技术方法;(2)在满足供电平衡、安全约束条件下,通过调整电力市场交易者输电计划的经济性方法。在第一类方法里可以通过灵活调整网络拓扑结构,变压器分接头以及柔性交流输电(flexible AC transmission system, FACTS)与分布式柔性交流输电(distribution-flexible AC transmission system, D-FACTS)设备的运行参数达到合理控制潮流,消除线路阻塞的目的。第二类方法主要有隐形拍卖法、比例分摊法及优先序列法等。此外文献[5]提出了一种激励用户主动相应的阻塞管理方法,文献[6]研究了电动汽车和可中断负荷参与的配电网阻塞管理模型。

FACTS及D-FACTS设备的应用作为一种阻塞调控及电网稳定控制的有效手段^[7-10],主要通过快速调整输电线路的等效阻抗、节点电压幅值和相角实现消除和缓解阻塞的目的,从而提高了电网潮流控制能力及输电能力。近年来,尤其是D-FACTS设备的发展,设备造价进一步降低,使得该阻塞调控手段相比新建输电线路具有更明显的经济优势。而分布式静止串联补偿器(distributed static series compensator, DSSC)作为一种新型的D-FACTS设备^[11-13],在线路潮流精细化控制上存在一定技术优势,但目前对该设备的研究相对较少,因此有必要

研究含有DSSC设备的阻塞调度数学模型,并建立合理的成本回收机制,回收DSSC参与阻塞调度的费用,以此促进DSSC在电力系统中的广泛应用。

本文基于DSSC的运行原理,首次构建DSSC参与阻塞调度的数学模型并从“谁引起、谁支付”的原则出发,利用电气剖分方法求取引起线路阻塞的各电源和负荷的责任因子,通过按责任因子大小将参与阻塞调控的DSSC设备费用分摊到各责任方。

1 基于DSSC的阻塞管理

1.1 DSSC运行原理及数学模型

DSSC拓扑结构如图1所示,主要由单相逆变器、单相变压器以及控制单元组成,目前在改善输电网络潮流分布方面得到一定的应用。通过在输电线路中串入一定数量的小容量单相逆变器实现对线路等效阻抗的控制,最终达到对线路传输功率控制的目的。由于其单个设备容量小,可直接耦合于输电线路上的特点,投资费用较小,安装位置灵活,在消除线路阻塞现象方面具有明显的优势。

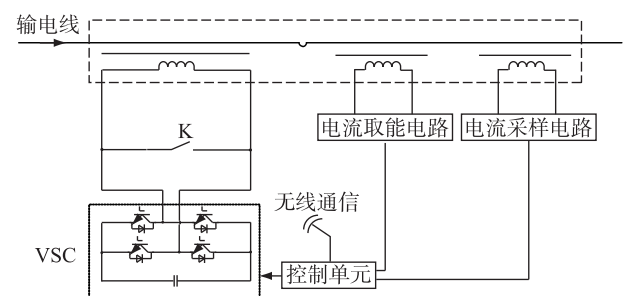


图1 DSSC拓扑图

Fig.1 Topological diagram of DSSC

DSSC参与阻塞调度时,通过单相逆变器向线路注入与线路电流相位垂直的无功电压源,通过调节无功电压源的幅值及相位(超前或滞后线路电

流)实现对线路动态的容性或感性补偿。目前,国内外普遍采用等效注入功率计算含 FACTS 及 D-FACTS 装置的潮流,本文 DSSC 也采用等效注入功率法,根据其运行原理推导后得其接入线路首末端等效注入功率为:

$$\begin{cases} P_{Di} = U_i U_D [(B_{ij} + b_c/2) \sin(\delta_D - \theta_i) - G_{ij} \cos(\delta_D - \theta_i)] \\ Q_{Di} = U_i U_D [G_{ij} \sin(\delta_D - \theta_i) + (B_{ij} + b_c/2) \cos(\delta_D - \theta_i)] \\ P_{Dj} = U_j U_D [G_{ij} \cos(\delta_D - \theta_j) - B_{ij} \sin(\delta_D - \theta_j)] \\ Q_{Dj} = -U_j U_D [B_{ij} \cos(\delta_D - \theta_j) + G_{ij} \sin(\delta_D - \theta_j)] \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{Di} , Q_{Di} , P_{Dj} 和 Q_{Dj} 分别为支路首末端 i 与 j 节点 DSSC 等效注入有功功率和无功功率; U_i 和 θ_i 为 i 节点的电压幅值和相角; G_{ij} 和 B_{ij} 分别为 DSSC 所接入支路的电导和电纳; b_c 为接入 DSSC 支路两端的对地导纳; U_D 和 δ_D 为 DSSC 的电压幅值和相角。

由电路基本原理可得 DSSC 发出的功率为:

$$P_{DSSC} + jQ_{DSSC} = \dot{U}_D [(\dot{U}_D + \dot{U}_i - \dot{U}_j)(G_{ij} + jB_{ij}) + (\dot{U}_D + \dot{U}_i) * j b_c/2] * \quad (2)$$

其中由注入电压源垂直线路电流的关系可得 DSSC 输出有功功率恒为 0。

1.2 含 DSSC 的阻塞调度模型

阻塞调度通常以购电费用最小化为目的^[14],通过促进低价发电机组优先上网,并确立相应运行约束条件以保证电力系统的经济与安全运行^[9]。本文研究的计及 DSSC 阻塞调度模型也以购电费用最小化为目标,调度模型为:

$$\begin{cases} \min \sum_{P_{Gi} \in S_G} C_i(P_{Gi}) \\ s.t. P_{Gi} - P_{Li} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0, i \in S_B \\ Q_{Gi} - Q_{Li} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0, i \in S_B \\ P_{Gi} + P_{Di} - P_{Li} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0, i \in S_K \\ Q_{Gi} + Q_{Di} - Q_{Li} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0, i \in S_K \\ |Q_{DSSC}| \leq \bar{Q}_D \\ P_{DSSC} = 0 \\ P_{Gi.min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi.max}, i \in S_G \\ Q_{Gi.min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi.max}, i \in S_G \\ U_{i.min} \leq U_i \leq U_{i.max}, i \in S_B, S_K \\ S_{L.min} \leq S_l \leq S_{L.max}, l \in S_L \end{cases} \quad (3)$$

式中: n 为系统节点总数; S_G 为发电节点集合; S_B 为不含 DSSC 的节点集合; S_K 为含 DSSC 的节点集合; S_L 为所有支路集合; P_{Gi} , Q_{Gi} 分别为节点 i 发电机发出的有功功率和无功功率; C_i 为发电机 P_{Gi} 的费用函数; P_{Li} 和 Q_{Li} 分别为节点 i 负荷有功功率和无功功率; $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$; S_l 为支路 l 上传输的功率; Q_{DSSC} 为 DSSC 的输出功率; $P_{Gi.max}$ 和 $P_{Gi.min}$ 分别为 P_{Gi} 对应的上下限; $Q_{Gi.max}$ 和 $Q_{Gi.min}$ 分别为 Q_{Gi} 对应的上下限; $U_{i.max}$ 和 $U_{i.min}$ 分别为 U_i 对应的上下限; $S_{L.max}$ 和 $S_{L.min}$ 分别为 S_l 对应的上下限; Q_D 为 DSSC 的安装容量。

1.3 DSSC 投资费用

FACTS 设备的投资费用在实际应用中包含了设备的制造、安装以及运行维护费用,通常其安装容量与投资费用成一定的关系。但对于 DSSC 而言,由于每个 DSSC 容量较小,通常设计容量为 10 kvar,其参与阻塞调度时通过改变接入线路中 DSSC 的数量进行潮流控制。因此 DSSC 的单位成本费用与传统的集中式 FACTS 设备的投资费用表达形式不同,其单位成本与 DSSC 安装容量 Q_D 无关,仅与单个 DSSC 设备的造价有关。其中, Q_D 单位为 Mvar。根据文献[15]可知,单个容量为 10 kvar 的 DSSC 成本费用远低于 1000 美元,本次研究设其成本费用 $C_{DSSC} = 100$ 美元/kvar。

考虑到线路并不总是处于过载运行情况,系统阻塞不是时刻都会发生,但不出现阻塞现象时,只要有线路安装 DSSC,依然会涉及到 DSSC 的装设费用。故综合考虑 DSSC 设备的平均寿命,折旧率及平均利用率等因素后,DSSC 成本函数可表示为:

$$R_{DSSC}^{hour} = \frac{C_{DSSC} \times Q_D \times 1000 \times \frac{r \times (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}}{8760\eta} \quad (4)$$

本文设 DSSC 设备的平均寿命 $n=5$,折旧率 $r=10\%$,平均利用率 $\eta=40\%$ 。

2 基于电气剖分信息的阻塞费用分摊

2.1 电气剖分原理

阻塞分析的重点在于确定引起线路阻塞现象的电源和负荷,即阻塞责任方。本文基于电气剖分方法确定相应的电源和负荷并根据一定原则确定各自引起阻塞的责任大小及相应的费用分摊量。

电力网络中可将各种电源看作向网络注入特定物理量的电气“源”,各种负荷则可视作从电力网络吸收特定物理量的电气“流”,而网络中的“源”与“流”的流动路径严格遵循电路基本原理及规律。电气剖分方法^[16]则是一种有效确定各电源和负荷

及其所隐含的非电气源流在电力网络中流动子路径的方法。

本文研究仅考虑电气源流的传输与分配问题,假设 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ 为电力网络中的电源, $Y_j (j=1, 2, \dots, m)$ 为网络中的负荷。利用电气剖分方法则可以计算各电源通过何种剖分子路径向各负荷提供多少的物理量以及各负荷通过何种剖分子路径向各电源汲取多少的物理量。图 2 为电力网络源流路径的电气剖分示意图,当系统发生阻塞时,将电力网络源的所有送电路径或电力网络流的所有受电路径进行电气剖分,从而获得 1.2 节阻塞调度模型中各发电电源和负荷实际使用电力网络的剖分子路径。

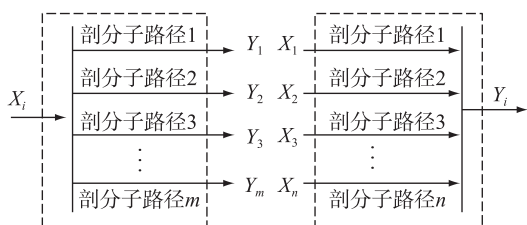


图 2 电力网络源流路径电气剖分

Fig.2 Electrical dissection of electric power network

2.2 阻塞责任因子

以图 3 所示的简单输电线路为例,假设该线路出现阻塞现象,线路送端功率为 S_s ,受端功率为 S_R 。

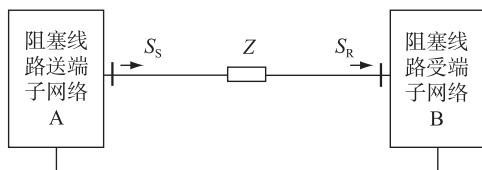


图 3 阻塞线路示意图

Fig.3 Congested transmission line of power system

利用电气剖分方法求取该阻塞线路传输功率与电力网络中各电源与负荷之间的电气关系,可得以下 2 个集合:(1)引起线路阻塞的电源集合;(2)引起线路阻塞的负荷集合。

设引起阻塞的电源集合内有 N_G 个电源。利用电气剖分方法可求第 i 个参与费用分摊对象流经阻塞线路功率及阻抗等参数,故而可得第 i 个电源对线路阻塞所需承担的份额为:

$$\omega_{Gi} = \frac{S_{Gis}}{S_s} = \frac{S_{GIR}}{S_R} = \frac{S_{Gis} - S_{GIR}}{S_s - S_R} = \frac{Z}{Z_{Gi}} = \frac{B_{CGi}}{B_C} \quad (5)$$

同理,在由 N_L 个负荷参与费用分摊的负荷集合中,第 j 个负荷对线路阻塞所需承担的份额为:

$$\omega_{Lj} = \frac{S_{Ljs}}{S_s} = \frac{S_{LjR}}{S_R} = \frac{S_{Ljs} - S_{LjR}}{S_s - S_R} = \frac{Z}{Z_{Lj}} = \frac{B_{CLj}}{B_C} \quad (6)$$

式(5)和式(6)中各参数的定义及求取见文献

[17,18]。

以上为各电源和负荷阻塞责任因子的求取,而原始网络经电气剖分后可得严格等效为子网络集合,因此可得各电源和负荷的阻塞责任因子满足以下关系:

$$\sum_{i=1}^{N_G} \omega_{Gi} = \sum_{j=1}^{N_L} \omega_{Lj} = 1 \quad (7)$$

DSSC 安装的作用主要是为了消除线路的阻塞线路,故 DSSC 设备的安装费用由引起阻塞的电源和负荷分摊是合理的。

假设电源权重因子为 α ,由式(3)计算 DSSC 装置成本 R_{DSSC}^{hour} 后,可得电源集合内第 i 个电源所需分摊的费用为:

$$R_{Gi} = R_{DSSC}^{hour} \omega_{Gi} \alpha \quad (8)$$

同理,负荷权重因子为 $1 - \alpha$,可得负荷集合内第 j 个负荷所需分摊的费用为:

$$R_{Lj} = R_{DSSC}^{hour} \omega_{Lj} (1 - \alpha) \quad (9)$$

3 算例分析

为验证本文所提阻塞调度模型及成本分摊策略的有效性,对 IEEE 39 节点系统进行了分析计算。如图 4 所示,该系统共包括 10 台发电机,46 条支路,19 个负荷,分为 3 个区域。区域 1 与区域 2 之间存在 4 条联络线,区域 1 通过这 4 条联络线向区域 2 送电。设 4 条联络线的有功功率传输极限均为 5.0 p.u.,系统基准容量为 100 MV · A。

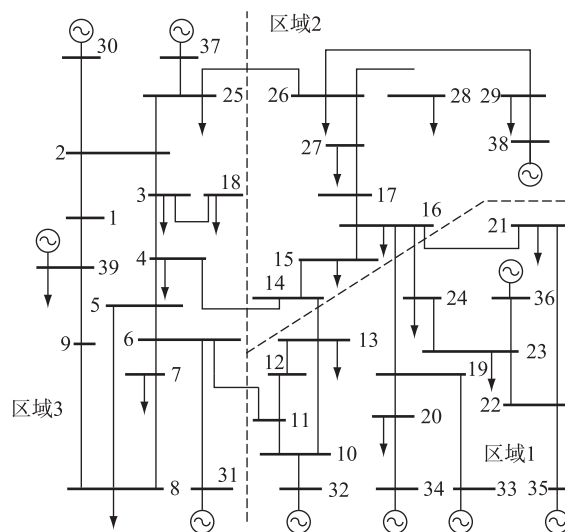


图 4 IEEE 39 节点系统

Fig.4 IEEE 39-bus system

本次研究仅考虑区域 1 向区域 2 送电方式下 21-16、24-16、19-16 以及 13-14 线路 4 条联络线的阻塞问题,故在阻塞调度优化时不加入这 4 条联络线的传输功率约束。在系统中未安装 DSSC 时,

优化后 4 条联络线传输功率如表 1 所示。

表 1 未安装 DSSC 时 4 条联络线传输功率

Table 1 Transmission power flow of four lines without DSSC

首端节点	末端节点	首端传输功率/p.u.	末端传输功率/p.u.
21	16	3.322+ j0.003	-3.314+ j0.125
24	16	0.450- j0.535	-0.450+ j0.467
19	16	5.037+ j1.306	-4.997- j1.142
13	14	2.757+ j0.123	-2.750- j0.221

显然此时线路 19-16 超过有功功率传输极限,而其余联络线还存在一定传输裕度。为了消除线路 19-16 阻塞的现象,考虑在线路 6-10 上安装 DSSC 设备,每相线路安装 DSSC 数量为 100 个,三相线路总安装容量为 3 Mvar,根据优化模型重新进行机组和 DSSC 输出功率的优化可得 4 条联络线传输功率如表 2 所示,此时 DSSC 输出感性无功 2.95 Mvar。

表 2 线路 19-16 安装 DSSC 时 4 条联络线传输功率

Table 2 Transmission power flow of four lines with DSSC

首端节点	末端节点	首端传输功率/p.u.	末端传输功率/p.u.
21	16	3.335+ j0.002	-3.327- j0.121
24	16	0.457- j0.537	-0.456+ j0.469
19	16	4.983+ j1.305	-4.973- j1.146
13	14	2.816+ j0.116	-2.809- j0.211

由式(4)可以得到此时 DSSC 的成本费用 R_{DSSC}^{hour} 为 22.584 美元/h。本文研究考虑发电侧与负荷侧共同承担 DSSC 参与阻塞调度的成本费用,其中发电侧承担比例为 α ,负荷侧承担比例为 $1-\alpha$ 。因此根据式(8)和式(9)可以得到各发电机和各负荷的责任因子和 DSSC 成本分摊的费用,如表 3 和表 4 所示。

表 3 各发电机阻塞责任因子及分摊费用

Table 3 Congestion factors and cost-sharing of generations

节点	发电机	$S_{19-16}/p.u.$	阻塞责任因子	分摊费用/(美元·h ⁻¹)		
				$\alpha=0$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.8$
30	G1	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	G2	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
32	G3	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	G4	5.035+ j1.138	1.000	0.000	11.292	18.067
34	G5	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
35	G6	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
36	G7	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
37	G8	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
38	G9	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	G10	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
总和		5.035+ j1.138	1.000	0.000	11.292	18.067

由表 3 可知,仅发电机 G4 需要承担线路 19-16 阻塞时产生的 DSSC 成本分摊费用,其原因在于送电区域 1 中仅由发电机 G4 和 G5 经线路 19-16 向区域 2 送电,通过调度优化后发电机 G5 的有功输出功率为 5.080 p.u.,而与该发电机直接相连的有功负荷 L9 大小为 6.280 p.u.,因此发电机 G5 的输出功率经负荷 L9 消耗后不再有多余功率向区域 2 输送,故发电机 G5 不需要承担联络线 19-16 的阻塞费用。由表 4 可知,与线路 19-16 末端临近的受端地区负荷需要承担 DSSC 成本分摊费用,且所有负荷阻塞责任因子之和恒为 1,表明采用电气剖分方法进行 DSSC 成本费用分摊的合理性和有效性。

表 4 各负荷阻塞责任因子及分摊费用

Table 4 Congestion factors and cost-sharing of loads

节点	负荷	$S_{19-16}/p.u.$	阻塞责任因子	分摊费用/(美元·h ⁻¹)		
				$\alpha=0$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.8$
3	L1	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	L2	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	L3	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	L4	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	L5	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	L6	1.810+ j0.409	0.359	8.117	4.058	1.622
16	L7	1.894+ j0.428	0.376	8.494	4.247	1.698
18	L8	0.763+ j0.173	0.152	3.422	1.711	0.687
20	L9	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	L10	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	L11	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	L12	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	L13	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	L14	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	L15	0.569+ j0.128	0.113	2.552	1.276	0.510
28	L16	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	L17	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	L18	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39	L19	0.000+ j0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
总和		5.036+ j1.138	1.000	22.584	11.292	4.517

4 结语

本文提出了利用电气剖分方法的参与阻塞调控 DSSC 成本费用的方法。基于该方法可有效确定网络中引起线路阻塞的电源和负荷,并定量地计算相关源荷在阻塞线路上流量的功率及相应的阻塞责任份额。算例分析结果表明,基于电气剖分能正确地评估各电源和负荷的阻塞责任因子,并通过电源和负荷参与成本分摊合理地回收 DSSC 的设备费用。

参考文献:

- [1] 张永平,焦连伟,陈寿孙,等. 电力市场阻塞管理综述[J]. 电网技术,2003,27(8):1-9.
ZHANG Yongping, JIAO Lianwei, CHEN Shousun, et al. A survey of transmission congestion management in electricity markets[J]. Power System Technology, 2003, 27(8):1-9.
- [2] 徐伟,鲍颜红,周海锋,等. 基于阻塞分析的输电线路动态增容[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(6):15-22.
XU Wei, BAO Yanhong, ZHOU Haifeng, et al. Transmission line dynamic capacity-increase based on congestion analysis[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6):15-22.
- [3] 汪洲飞. 计及低碳排放的电力系统输电阻塞问题的研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.
WANG Zhoufei. The research of transmission congestion with low carbon emissions in power system[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [4] 陈永华,唐冠军,宋晓芳,等. 考虑风电特性的送出线路过载控制方法[J]. 电力系统自动化,2015,39(13):75-80.
CHEN Yonghua, Tang Guanjun, SONG Xiaofang, et al. Overload control method of transmission lines considering wind power characteristics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(13):75-80.
- [5] 贾曦,钟海旺,夏清,等. 基于奖励券机制的输电阻塞管理方法[J]. 电网技术,2013,37(5):1291-1297.
JIA Xi, ZHONG Haiwang, XIA Qing, et al. Transmission congestion management method based on coupon incentive mechanism[J]. Power System Technology, 2013, 37(5):1291-1297.
- [6] 刘伟佳,吴秋伟,文福拴,等. 电动汽车和可控负荷参与配电系统阻塞管理的市场机制[J]. 电力系统自动化,2014,38(24):26-33.
LIU Weijia, WU Qiuwei, WEN Fushuan, et al. A market mechanism for participation of electric vehicles and dispatchable loads in distribution system congestion management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(24):26-33.
- [7] 吴英俊,汤奕,李扬. 基于电气剖分方法的TCSC成本费用分摊[J]. 电工技术学报,2010,25(1):137-143.
WU Yingjun, TANG Yi, LI Yang. A proposal for investment recovery of TCSC device based on electrical dissecting method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(1):137-143.
- [8] 汤新光. 用FACTS技术提高电力系统静态负荷裕度能力[J]. 江苏电机工程,2006,25(5):38-41.
TANG Xinguang. Improvement of the power system static load margin using FACTS technology[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(5):38-41.
- [9] 周前,方万良. 基于TCSC技术和粒子群优化算法的电力系统阻塞疏导方法[J]. 电网技术,2008,32(8):47-52.
ZHOU Qian, FANG Wanliang. Studies on congestion management of power systems based on TCSC and PSO[J]. Power System Technology, 2008, 32(8):47-52.
- [10] 李再华,郑超,赵刚,等. 分布式串联电抗器原理及其应用分析[J]. 智能电网,2014,2(11):21-26.
LI Zaihua, ZHENG Chao, ZHAO Gang, et al. Theory and application of distributed series reactance[J]. Smart Grid, 2014, 2(11):21-26.
- [11] DIVAN D, JOHAL H. Distributed FACTS-a new concept for realizing grid power flow control[C]//Power Electronics Specialists Conference. Recife, Brazil: IEEE, 2005: 8-14.
- [12] JOHAL H, DIVAN D. Design considerations for series-connected distributed FACTS converters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2007, 43(6):1609-1618.
- [13] 戴朝波,王宇红,彭俱,等. 分布式灵活交流输电技术[J]. 智能电网,2014,2(11):1-8.
DAI Chaobo, WANG Yuhong, PENG Yun, et al. Distributed FACTS[J]. Smart Grid, 2014, 2(11):1-8.
- [14] 黄峻岭,付蓉,魏萍. 计及电力市场阻塞成本约束的输电网规划[J]. 江苏电机工程,2006,25(3):33-36.
HUANG Junling, FU Rong, WEI Ping. Transmission planning in consideration of congestion cost of market environment[J]. Jiangsu Electrical Engineering 2006, 25(3):33-36.
- [15] Divan D, Brumsickle W, Schneider R, et al. A distributed static series compensator system for realizing active power flow control on existing power lines[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(1):642-649.
- [16] 许圣龙,于继来. 基于电气剖分信息的电力网络复合源流状态计算[J]. 电网技术,2013,37(2):425-430.
XU Shenglong, YU Jilai. Composite flow state computation of power network based on electrical dissection information[J]. Power System Technology, 2013, 37(2):425-430.
- [17] 汤奕. 电力网络源流路径电气剖分方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
TANG Yi. Electrical dissecting method of paths between sources and flows in power network[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [18] 汤奕,于继来,周苏荃. 电力网络源流路径电气剖分算法[J]. 电力系统自动化,2006,30(22):28-33.
TANG Yi, YU Jilai, ZHOU Suquan. Electrical dissection algorithm of electric power network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(22):28-33.

作者简介:



张任桢齐

张任桢齐(1994—),女,新疆乌鲁木齐人,本科在读;

张锋(1978—),男,新疆乌鲁木齐人,高级工程师,从事电力系统运行研究工作。

(下转第132页)

- [18] 金鑫锋. 变电站备用投动作条件分析及改进[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.

JIN Xinfeng. Analysis and improvement of the backup power switchover unit's starting in the substation. Beijing: North China Electric Power University, 2015.

作者简介:



王 辉

王 辉(1986—),男,江苏阜宁人,工程师,从事电网调度运行工作;

王传能(1987—),男,江苏响水人,工程师,从事电网调度运行工作;

张永丰(1974—),男,江苏盐城人,高级工程师,从事电网调度运行工作。

Analysis of 110 kV Automatic Bus Transfer Equipment Action

WANG Hui, WANG Chuanneng, ZHANG Yongfeng

(State Grid Yancheng Power Supply Company, Yancheng 224005, China)

Abstract: This paper introduces the mode and tripping condition of 110 kV automatic bus transfer equipment in detail, and puts emphasis on analysis of automatic bus transfer equipment in charging/discharging condition and action process. It also elaborates the cause of malfunctions of automatic bus transfer equipment and the serious consequences of the improper action to power grid and equipment, with putting forward the corresponding solutions and measures, and provides a reference for dispatching operators to deal with similar situations in future work.

Key words: automatic bus transfer equipment; malfunctions; overcurrent blocking

(编辑 徐林菊)

(上接第 103 页)

Research on $2N+1$ Level Modulation Method of Modular Multilevel Converter

TAN Fenglei

(State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: A $2N+1$ level modulation method of modular multilevel converter (MMC) is studied in this paper. The $N+1$ level modulation is analyzed. The realization principle of $2N+1$ level modulation method is deduced on the basis of fully understanding the working principle of MMC, and the specific implementation process is given according to the situation of odd and even. Simulation results show that comparing with the $N+1$ level modulation mode, $2N+1$ level modulation mode can achieve $2N+1$ level output with more waveform levels and low harmonic content, but the cost is the increase of bridge arm circulation and inductance drop. The feasibility and validity of the $2N+1$ level modulation method are verified.

Key words: modular multilevel converter; $N+1$ level; $2N+1$ level; simulation

(编辑 刘晓燕)

(上接第 120 页)

Research on DSSC Cost Allocation Using Electrical Dissecting Informing in Paths between Sources and Flows in Power Grid

ZHANG Renanqi¹, ZHANG Feng²

(1. School of Business, Hubei University, Wuhan 430000, China;

2. State Grid Xinjiang Electric Power Company, Urumqi 830000, China)

Abstract: As a new type of D-FACTS equipment, DSSC can be utilized to eliminate the transmission network congestion. In order to study the cost allocation of DSSC after installed, a cost allocation method based on electrical dissection method is proposed. Responsibility factors of generators and loads are determined quantitatively by the results of electrical dissection, and the cost of the DSSC is distributed to each generator and load according to the congestion responsibility factor respectively. Finally, the simulation results based on the IEEE 39-bus system show that the proposed method can recover the DSSC equipment cost from the generator and load effectively and fairly.

Key words: distributed static series compensator; electrical dissection; cost allocation

(编辑 刘晓燕)