



(12)发明专利申请



(10)申请公布号 CN 106451518 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(21)申请号 201610893959.1

H02J 3/00(2006.01)

(22)申请日 2016.10.13

(71)申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

申请人 国网北京经济技术研究院

国网山东省电力公司经济技术研究院

(72)发明人 李隽 王菲 韩丰 李晖 刘建琴

蒋维勇 戚庆茹 王峤 左鹏

杨林 朱毅

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐宁 孙楠

(51)Int.Cl.

H02J 3/36(2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法及系统

(57)摘要

本发明涉及一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法及系统,它包括以下步骤:1)对预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案进行可靠性分析;2)根据主接线备选方案中各相关设备的造价水平及数量,对主接线备选方案的进行经济性分析;3)根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式,对主接线备选方案进行灵活性分析;4)根据各个换流站主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案;5)根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。本发明能综合各方面因素选择最佳的主接线方案,并且能适应未来柔性直流电网的快速建设和发展。

1. 一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于,它包括以下步骤:

1) 根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线备选方案进行可靠性分析;

2) 根据主接线备选方案中各相关设备的造价水平及数量,计算主接线备选方案的工程初投资和年费用,得到主接线备选方案的经济性;

3) 根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式,对主接线备选方案进行灵活性分析;

4) 根据各个换流站直流场电气主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案;

5) 根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。

2. 如权利要求1所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:所述步骤1)中,所述各个换流站直流场电气主接线的备选方案是根据各个换流站的功能和柔性直流电网规划设置的。

3. 如权利要求2所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:所述各个换流站直流场电气主接线的备选方案包括单母线接线、双母线接线、角形接线和3/2接线。

4. 如权利要求1所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:所述步骤1)中,对主接线备选方案进行可靠性分析的具体步骤如下:

根据主接线备选方案的结构进行故障关联分析,获得各设备元件的共模停运时间;

根据主接线备选方案中各相关设备的可靠性参数,得到主接线备选方案的基础分析结果;

对主接线备选方案中预先选定的设备进行敏感性分析,根据选定设备的敏感性参数,得到主接线备选方案的敏感性分析结果;

根据主接线备选方案的基础分析结果和敏感性分析结果,得到主接线备选方案的可靠性。

5. 如权利要求4所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:所述各设备的可靠性参数包括故障率、平均修复时间、检修率和检修时间;所述基础分析结果包括系统停电故障率、平均停电持续时间、可用率、停电概率、停电平均时间、停电频率、损失电能和年运行费用。

6. 如权利要求1所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:所述步骤3)中,主接线备选方案的灵活性由运行灵活性、检修灵活性和扩建灵活性构成。

7. 如权利要求6所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:根据主接线备选方案在调度运行中,投入和切除发电机以及负荷的灵活度,确定主接线备选方案的运行灵活性。

8. 如权利要求6所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:根据对主接线备选方案的停运断路器、母线和继电保护设备进行安全检修时,造成对电网运行和供电的影响,确定主接线备选方案的检修灵活性。

9. 如权利要求6所述的一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于:

根据主接线备选方案后期扩建的工作量以及对系统供电的影响,确定主接线备选方案的扩建灵活性。

10.一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的系统,其特征在于:它包括存储模块、可靠性分析模块、经济性模块、灵活性分析模块和主接线方案模块;所述存储模块用于存储预先设置的各个换流站直流场电气主接线的备选方案;所述可靠性分析模块用于根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线的备选方案进行可靠性分析,所述经济性模块用于根据主接线备选方案中各设备的造价水平及数量得到主接线备选方案的经济性,所述灵活性分析模块用于根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式对主接线备选方案进行灵活性分析;所述主接线方案模块用于根据各个换流站主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案,并根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。

一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种在电网领域中确定直流场电气主接线的方法及系统,特别是关于一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法及系统。

背景技术

[0002] 柔性直流输电采用的是电压源换流器,一般使用全控电力电子器件,可对有功功率和无功功率进行独立快速控制。基于全控型器件(IGBT)和高频调制技术两大基本特征,柔性直流在具有常规直流优点的基础上,还具有无功补偿和换相失败问题、有功和无功功率独立控制、潮流反转方便快捷、运行方式变换灵活等技术优势。目前,国内外已投产的柔性直流工程基本是两端链式或多端放射式等相对简单的拓扑结构,并非严格意义上的直流电网,具备典型网形拓扑结构的柔性直流电网,目前尚无工程实践。

[0003] 根据直流故障清除方式的不同,柔性直流电网存在半桥换流阀配合直流断路器(半桥方案)和全桥换流阀配合快速机械开关(全桥方案)两种方案。其中,全桥方案在故障清除过程中需要闭锁全部的换流站,对交、直流电网运行造成冲击;与之相比,半桥方案在清除直流故障时,可不闭锁或仅闭锁少数几个换流站,对电网运行造成的影响很小,能够更好地适应未来复杂直流电网运行控制的要求,是未来直流电网的发展方向。直流断路器已在电力系统中得到应用,但存在电压等级和分断能力不高等问题,适用于 $\pm 500\text{kV}$ 电压等级的直流断路器尚处于研制阶段。

[0004] 直流场是换流站的重要组成部分之一。国内外已投产的柔性直流输电工程的直流场电气主接线设计相对简单,且基本未开展过直流场主接线型式选择的相关研究,通常采用简单接线或单母线接线;主要原因是直流场内设备和出线回数均较少,且由于没有高压直流断路器,直流系统运行相对简单。随着全球能源互联网的发展和构建,柔性直流电网的规模将日益庞大、电网结构日益复杂,换流站的出线数及元件数量将不断提高,柔性直流电网及换流站的运行方式将愈加复杂。因此,有必要对柔性直流电网直流场电气主接线选型开展专门设计和研究。

发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法及系统,其能综合各方面因素选择最佳的主接线方案,并且能适应未来柔性直流电网的快速建设和发展。

[0006] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的方法,其特征在于,它包括以下步骤:1)根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线备选方案进行可靠性分析;2)根据主接线备选方案中各相关设备的造价水平及数量,计算主接线备选方案的工程初投资和年费用,得到主接线备选方案的经济性;3)根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式,对主接线备选方案进行灵活性分析;4)根据各个换流站

直流场电气主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案;5)根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。

[0007] 优选地,所述步骤1)中,所述各个换流站直流场电气主接线的备选方案是根据各个换流站的功能和柔性直流电网规划设置的。

[0008] 优选地,所述各个换流站直流场电气主接线的备选方案包括单母线接线、双母线接线、角形接线和3/2接线。

[0009] 优选地,所述步骤1)中,对主接线备选方案进行可靠性分析的具体步骤如下:根据主接线备选方案的结构进行故障关联分析,获得各设备元件的共模停运时间;根据主接线备选方案中各相关设备的可靠性参数,得到主接线备选方案的基础分析结果;对主接线备选方案中预先选定的设备进行敏感性分析,根据选定设备的敏感性参数,得到主接线备选方案的敏感性分析结果;根据主接线备选方案的基础分析结果和敏感性分析结果,得到主接线备选方案的可靠性。

[0010] 优选地,所述各设备的可靠性参数包括故障率、平均修复时间、检修率和检修时间;所述基础分析结果包括系统停电故障率、平均停电持续时间、可用率、停电概率、停电平均时间、停电频率、损失电能和年运行费用。

[0011] 优选地,所述步骤3)中,主接线备选方案的灵活性由运行灵活性、检修灵活性和扩建灵活性构成。

[0012] 优选地,根据主接线备选方案在调度运行中,投入和切除发电机以及负荷的灵活度,确定主接线备选方案的运行灵活性。

[0013] 优选地,根据对主接线备选方案的停运断路器、母线和继电保护设备进行安全检修时,造成对电网运行和供电的影响,确定主接线备选方案的检修灵活性。

[0014] 优选地,根据主接线备选方案后期扩建的工作量以及对系统供电的影响,确定主接线备选方案的扩建灵活性。

[0015] 一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的系统,其特征在于,它包括存储模块、可靠性分析模块、经济性模块、灵活性分析模块和主接线方案模块;所述存储模块用于存储预先设置的各个换流站直流场电气主接线的备选方案;所述可靠性分析模块用于根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线的备选方案进行可靠性分析,所述经济性模块用于根据主接线备选方案中各设备的造价水平及数量得到主接线备选方案的经济性,所述灵活性分析模块用于根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式对主接线备选方案进行灵活性分析;所述主接线方案模块用于根据各个换流站主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案,并根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。

[0016] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:1、本发明从主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性进行评价,实现对换流站直流场电气主接线方案的综合评估,并且能够评估不同主接线结构以及各类新型设备等因素的影响,适应未来柔性直流电网的快速建设和发展。2、本发明从主接线备选方案的灵活性进行评估,使得推荐的电气主接线设计方案具备更好的协调性和适应性。3、本发明从主接线备选方案的经济性进行评估,能够满

足工程投产年及远景年在运行、检修等方面的技术要求。

附图说明

- [0017] 图1是本实施例张北柔性直流电网的拓扑结构单线示意图；
- [0018] 图2是本实施例张北站直流场电气单母接线方案示意图；
- [0019] 图3是本实施例张北站直流场电气双母线接线方案示意图；
- [0020] 图4是本实施例张北站直流场电气角形线接线方案示意图；
- [0021] 图5是本实施例张北站直流场电气3/2接线方案示意图。

具体实施方式

- [0022] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。
- [0023] 本发明提供一种确定柔性直流电网直流场电气主接线方法,其具体步骤如下:
 - [0024] 1) 根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线备选方案进行可靠性分析;
 - [0025] 2) 根据主接线备选方案中各设备的造价水平及数量,计算主接线备选方案的工程初投资和年费用,得到主接线备选方案的经济性;
 - [0026] 3) 根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式,对主接线备选方案进行灵活性分析;
 - [0027] 4) 根据各个换流站主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案;
 - [0028] 5) 根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。
- [0029] 上述步骤1)中,各个换流站直流场电气主接线的备选方案是根据各个换流站的功能和柔性直流电网规划设置的。
- [0030] 上述步骤1)中,对主接线备选方案的可靠性分析的具体步骤如下:
 - [0031] (1.1) 根据主接线备选方案的结构,进行故障关联分析,获得各设备元件的共模停运时间;
 - [0032] (1.2) 根据主接线备选方案中各设备的故障率、平均修复时间、检修率、检修时间等可靠性参数,得到主接线备选方案的系统停电故障率、平均停电持续时间、可用率、停电概率、停电平均时间、停电频率、损失电能、年运行费用等基础分析结果;
 - [0033] (1.3) 对主接线备选方案中预先选定的设备进行敏感性分析,根据预先选定设备的敏感性参数,得到主接线备选方案的敏感性分析结果;
 - [0034] (1.4) 根据主接线备选方案的基础分析结果和敏感性分析结果,得到主接线备选方案的可靠性。
- [0035] 上述步骤3)中,对主接线备选方案的灵活性分析的具体步骤如下:
 - [0036] (3.1) 主接线备选方案的灵活性由运行灵活性、检修灵活性和扩建灵活性构成;
 - [0037] (3.2) 根据主接线备选方案在调度运行中,投入和切除发电机、负荷的灵活度,确定主接线备选方案的运行灵活性;
 - [0038] (3.3) 根据对主接线备选方案的停运断路器、母线和继电保护设备进行安全检修

时,造成对电网运行和供电的影响,确定主接线备选方案的检修灵活性;

[0039] (3.4) 根据主接线备选方案后期扩建的工作量以及对系统供电的影响,确定主接线备选方案的扩建灵活性;

[0040] (3.5) 根据主接线备选方案的运行灵活性、检修灵活性和扩建灵活性,得到主接线备选方案的灵活性。

[0041] 基于上述方法,本发明还提供一种确定柔性直流电网直流场电气主接线的系统,其包括存储模块、可靠性分析模块、经济性模块、灵活性分析模块和主接线方案模块。

[0042] 存储模块用于存储预先设置的各个换流站直流场电气主接线的备选方案;

[0043] 可靠性分析模块用于根据预先设置的各个换流站直流场电气主接线备选方案中主接线拓扑结构以及相关设备的预设参数,对主接线的备选方案进行可靠性分析,经济性模块用于根据主接线备选方案中各设备的造价水平及数量得到主接线备选方案的经济性,灵活性分析模块用于根据主接线备选方案的结构特点、配电装置布置、继电保护和控制方式对主接线备选方案进行灵活性分析。

[0044] 主接线方案模块用于根据各个换流站主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定各个换流站直流场电气主接线的方案,并根据各个换流站直流场电气主接线的方案,得到柔性直流电网直流场电气主接线的方案。

[0045] 实施例,以张北柔性直流电网中的张北站为例,张北站直流场电气主接线方案的选择方法的具体步骤如下:

[0046] 1) 如图1所示,张北柔性直流电网共包括4个换流站,分别为张北站、康保站、丰宁站和北京站;其中,张北站和康保站为送端新能源汇集站,丰宁站为储能调节站,北京站为受端站。张北站直流系统采用双极接线结构,额定容量3000MW,每一极出线规模2回,至康保站和北京站各1回;张北柔性直流电网电压等级为 $\pm 500\text{kV}$,预先设置单母线接线、双母线接线、角形接线和3/2接线4个主接线备选方案,分别如图2~图5所示;

[0047] 2) 主接线备选方案的共模停运时间如表1所示:

[0048] 表1共模停运时间

[0049]

设备名称	共模停运时间 (h)
直流母线	5
隔离开关	14
共模隔离开关	0.4
共模断路器	0.5

[0050] 主接线备选方案的故障率、平均修复时间、检修率、检修时间、设备造价等指标,如表2所示;

[0051] 表2设备可靠性参数

[0052]

设备名称	故障率 (次/公里年) (次/台年)	平均修 复时间 (小时/次)	检修率 (次/公里年) (次/台年)	检修时间(小 时/次)
直流母线	0.00155	4.18410	0.16028	41.69248
隔离开关	0.00087	14.18646	0.13676	53.78386
直流断路器	0.0061	23.96153	0.27945	49.01882

[0053] 根据共模停运时间和设备可靠性参数,得到主接线备选方案的停电故障率、平均停电持续时间、可用率、停电概率、停电平均时间、停电频率、损失电能和运行费用等基础分析结果,如表3所示;其中,计算中的电价为0.5元/千瓦时;

[0054] 表3张北换流站电气各主接线的基础分析结果

[0055]

指标	单母线接线	双母线接线	角形接线	3/2 接线
停电故障率(次/年)	0.02333	0.02333	0.02613	0.04491
平均停电持续时间 (小时/次)	7.892	7.62	4.545	2.1
可用率	99.9979	99.9979	99.9986	99.9989
停电概率	2.1E-5	2.03E-5	1.36E-5	1.08E-5
停电平均时间 (小时/年)	0.1841	0.1778	0.1188	0.0944
停电频率(次/年)	0.0233	0.0233	0.0261	0.0449
损失电能(万千瓦时)	55.24	54.46	35.63	28.33
运行费用(万元)	27.62	27.23	17.82	14.17

[0056] 鉴于500kV直流断路器为新研发设备,尚无相关运行统计数据,需要对直流断路器的故障率开展敏感性分析,对直流断路器故障率提高1个数量级,例如故障率由0.0061次/台年提高至0.061次/台年;得到主接线备选方案的敏感性分析结果,如表4所示;

[0057] 表4张北换流站电气各主接线敏感性分析结果

[0058]

指标	单母线接线	双母线接线	角形接线	3/2 接线
停电故障率(次/年)	0.188	0.188	0.1908	0.3194
平均停电持续时间 (小时/次)	8.267	8.2	1.054	0.7254
可用率	99.9823	99.982	99.9977	99.9974
停电概率	1.77 E-4	1.767 E-4	2.3E-5	2.64E-5
停电平均时间 (小时/年)	1.5545	1.548	0.2011	0.2317
停电频率(次/年)	0.188	0.188	0.19	0.3194
损失电能(万千瓦时)	466.35	465.57	60.33	69.50
运行费用(万元)	233.17	232.78	30.16	34.75

[0059] 根据主接线备选方案的基础分析结果和敏感性分析结果得到主接线备选方案的可靠性结果:3/2接线>角形接线>双母线接线>单母线接线;其中,直流断路器故障率波动不会影响主接线备选方案的可靠性排序。

[0060] 3) 对主接线备选方案进行初投资成本计算,如表5所示,得到单母线接线、角形接线初投资水平最低,3/2接线初投资最高;其中,由于500kV直流断路器造价昂贵,约为1.5亿元/台,在电气主接线初投资计算时主要为断路器的投资成本;

[0061] 表5主接线初投资成本

[0062]

主接线方案	换流站		张北柔直电网	
	断路器(台)	投资(亿元)	断路器(台)	投资(亿元)
单母线接线	6	9	24	36
双母线接线	8	12	32	48
角形接线	6	9	24	36
3/2 接线	10	15	40	60

[0063] 主接线备选方案年费用的计算结果如表6所示,单母线接线和双母线接线的可靠性评估结果相对接近;单母线接线和角形接线的工程初投资基本相同,因此,针对单母线接线和3/2接线开展年费用计算和比较,其中,工程经济使用年限按30年、收益率按8%;

[0064] 表6张北柔性直流电网年费用

[0065]

项目	工程初投资(亿元)	年费用(元/千瓦)	
		断路器故障率取 0.0061 次/台年	断路器故障率取 0.061 次/台年
单母线接线	161.18	611.12	611.80
3/2 接线	185.18	698.13	698.20
差值	-24	-87.01	-84.6

[0066] 根据工程初投资成本和年费用,得到单母线接线方案的经济性较优。

[0067] 4) 对主接线备选方案开展灵活性评价,如表7所示,根据运行灵活性、检修灵活性和扩建灵活性的综合比较,得到双母线、3/2接线方案灵活性最好,单母线接线方案次之,角形接线方案相对较差。

[0068] 表7张北换流站电气主接线灵活性分析

[0069]

方案	运行灵活性	检修灵活性	扩建灵活性
单母线接线	较低	较高	较好
双母线接线	较高	较高	较好

[0070]

角形接线	相对较好	相对较好	较差
3/2 接线	较高	较高	适中

[0071] 5) 根据主接线备选方案的可靠性、经济性和灵活性,确定张北站直流场电气主接线为单母线接线方案。

[0072] 上述各实施例仅用于说明本发明,各部件的结构、尺寸、设置位置及形状都是可以有所变化的,在本发明技术方案的基础上,凡根据本发明原理对个别部件进行的改进和等同变换,均不应排除在本发明的保护范围之外。

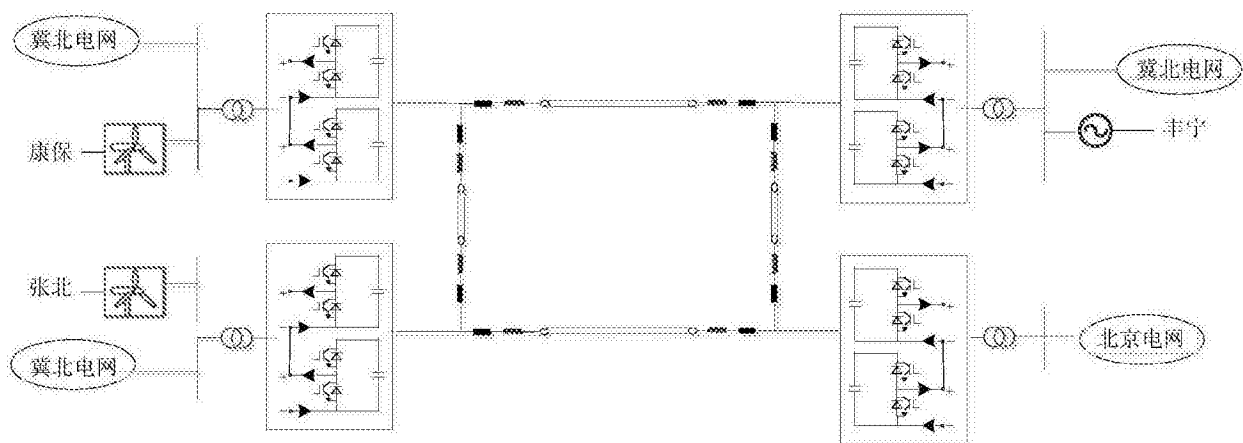


图1

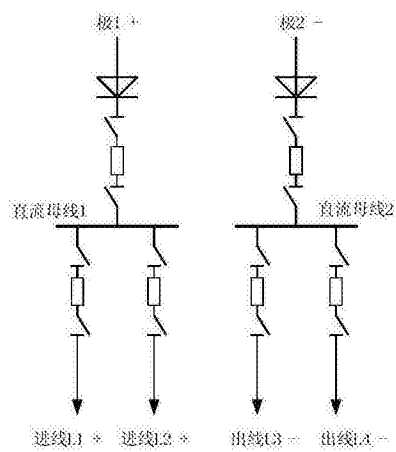


图2

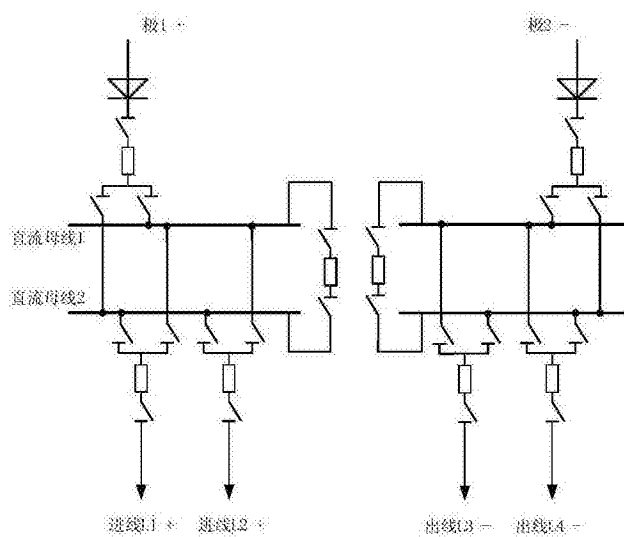


图3

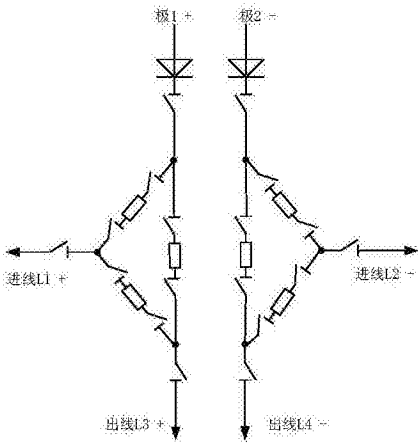


图4

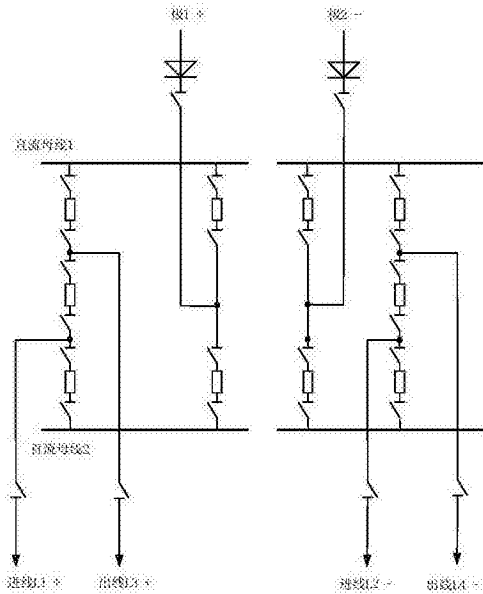


图5