



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109378788 B

(45) 授权公告日 2020.12.04

(21) 申请号 201811325978.X

(22) 申请日 2018.11.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109378788 A

(43) 申请公布日 2019.02.22

(73) 专利权人 国网湖南省电力有限公司
地址 410004 湖南省长沙市天心区新韶东路398号
专利权人 国网湖南省电力有限公司防灾减灾中心
国家电网有限公司

(72) 发明人 陆佳政 黄清军 李波 谭艳军
朱思国 朱远 毛新果

(74) 专利代理机构 长沙永星专利商标事务所
(普通合伙) 43001

代理人 周咏 米中业

(51) Int.Cl.
H02G 7/16 (2006.01)
H02M 7/04 (2006.01)

审查员 田媛媛

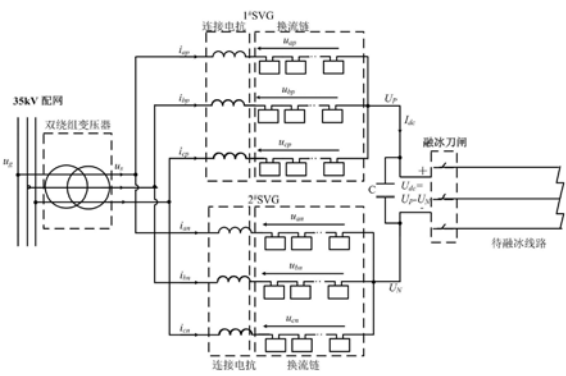
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

SVG型直流融冰装置

(57) 摘要

本发明公开了一种SVG型直流融冰系统,包括变压器、两组滤波电抗、两组链式换流链、输出融冰刀闸、高频电容;其中每个换流链与滤波电抗构成星接SVG,两个SVG交流侧并联后连接到变压器副边,其中性点分别引出作为直流正负极,再经融冰刀闸连接到线路,正负极间并联高频电容;变压器副边的相电压等于输出直流融冰电压的一半,变压器容量等于融冰功率。本发明可在输出融冰需求一定时使变流器容量最小,从而提高融冰装置经济性。



1. 一种SVG型直流融冰装置,其特征在于包括变压器和两组整流电路;变压器的原边连接电网并取电;变压器的副边同时连接两组整流电路的输入端,两组整流电路的输出端为融冰装置的输出端输出直流融冰电能并连接待融冰的线路;

整流电路为三相全桥式换流链;三相全桥式换流链的输入端串接滤波电抗并构成星型连接的SVG;两个星型连接的SVG的中性点各自引出作为SVG型直流融冰装置的输出端输出直流融冰电能;

变压器的设计参数为:变压器的原边电压为应用时变压器原边所连接的电网的电压;变压器的副边电压的相电压有效值为所述SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压的0.5倍;变压器的额定容量为所述SVG型直流融冰装置的额定输出融冰功率;具体按照要求进行设计:

变压器的原边电压:应用时变压器原边所连接的电网的电压;

变压器的副边电压: $U_{SN} = \sqrt{3} * 0.5U_{dc} = 0.866U_{dc}$,式中 U_{SN} 为变压器的副边电压, U_{dc} 为SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压;

变压器的额定容量: $S_{transformer} = 3I_m U_m = P_{dc} / \cos \varphi$,式中 $S_{transformer}$ 为变压器的额定容量, I_m 为交流输入侧相电流的有效值, U_m 为交流输入侧相电压的有效值, P_{dc} 为输出直流融冰功率, $\cos \varphi$ 为交流侧预期功率因数。

2. 根据权利要求1所述的SVG型直流融冰装置,其特征在于还包括两组滤波电抗;滤波电抗串接在整流电路的输入端,用于滤波变压器输出的取电信号的高频纹波信号。

3. 根据权利要求1所述的SVG型直流融冰装置,其特征在于所述的SVG型直流融冰装置还包括滤波电容;滤波电容并接在两组整流电路的输出端之间,用于滤除两组整流电路的输出端之间的高频纹波信号。

4. 根据权利要求1所述的SVG型直流融冰装置,其特征在于所述的SVG型直流融冰装置还包括融冰开关;融冰开关串接在SVG型直流融冰装置的输出端,用于开启或者断开装置输出的直流融冰电能。

SVG型直流融冰装置

技术领域

[0001] 本发明属于电气工程中的输电线路除冰技术领域,具体涉及到一种直流融冰装置。

背景技术

[0002] 随着经济技术的发展,电能已经成为了人们生产和生活中必不可少的二次能源,给人们的生产和生活带来了无尽的便利。正因如此,电力系统的稳定可靠运行就成为了电力系统的最重要的任务之一。

[0003] 气象灾害,特别是冰雪灾害,是影响输电线路稳定可靠运行的重要原因之一。输电线路覆冰后易引起断线倒杆,严重威胁到电网的安全运行和供电可靠性。为此,国内外开发了多种型号的直流融冰装置,为电网抗灾提供了技术手段。根据结构原理,现有的直流融冰装置主要可分为三类:

[0004] 第一类是基于二极管的不控整流型直流融冰装置,如2009年5月20日公开的中国发明专利CN200810031940.1等。此类装置结构简单、造价较低;但输出电压不能连续调节而可控性较差,为使同一台融冰装置能满足多条不同长度、线径输电线路的融冰需求,需配置具有档位数量较多且深度调压的融冰变压器;而且该类融冰装置仅具有融冰功能而难以扩展,装置利用率较低。

[0005] 第二类是基于晶闸管的相控整流型直流融冰装置,如2008年12月3日公开的中国发明专利CN200810047959.5等。此类装置输出融冰电压连续可调,且可兼具有直流融冰和无功补偿两种功能,装置利用率较高;但晶闸管相控整流并网谐波大,需配套多组大容量的滤波电容电抗器组才能满足并网谐波要求,整体占地面积大、造价高。

[0006] 第三种是利用IGBT等可关断器件的全控整流型直流融冰装置,如2012年10月17日公开的中国发明专利CN201210211925.1等。此类装置可兼具有直流融冰、无功补偿、有源滤波等多种功能,并网谐波小且融冰电压连续可调,技术指标好;但其变流器额定电压电流需按照最大融冰电流和最大工作电压来选取,导致变流器容量大不低于融冰容量,由于IGBT等全控型开关器件单位容量的造价远高于二极管或晶闸管,使得此类融冰装置的整体造价高,难以推广应用。

[0007] 除此以外,《兼具无功补偿与有源滤波功能的新型融冰装置》(高电压技术,2016年第7期)和中国发明专利201510138254.4提出了将STATCOM与三相不控整流器并联连接到融冰变压器的结构,利用三相不控整流器+融冰变压器实现融冰,并复用融冰变压器作为STATCOM的滤波电抗,从而使装置整体具有融冰、无功补偿和有源滤波功能,且STATCOM容量与融冰容量可独立优化配置。但其STATCOM变流器与三相不控整流器相互独立而不能同时工作,即STATCOM部件不能参与直流融冰。这一方面使得三相不控整流器的容量需按照最大融冰容量配置,且因融冰输出电压不连续而需融冰变设置多个档位来适应不同线路的融冰需求;另一方面,该装置在融冰期间无法提供动态无功补偿和有源滤波功能,即其融冰功能和无功补偿功能只能分时投入而不能同时兼得。

[0008] 文献《新型模块化多电平直流融冰装置》(论文发表于《电力系统自动化》2013年第16期)提出了一种利用SVG(Static Var Generator,静止无功发生器)进行融冰的方案,通过调控两台星接链式SVG的中性点电压来实现直流融冰,其融冰和无功补偿可同时运行,技术性能优异。该方式不需要变压器就能实现输出电压从零到远高于交流侧电压的大范围连续可调,因此其被认定不配置变压器,并作为该方案固有的一个主要优点。但是据分析计算,该其所需的换流链容量常常远超过融冰输出功率。对于常见的500kV变电站用直流融冰装置,其容量可达融冰输出容量的4-6倍。比如对于额定输出直流电压10kV、额定输出直流电流5000A、额定输出融冰功率50MW的融冰需求,其所SVG换流链容量至少需要225MVA,约为融冰功率的4.5倍。导致变流器容量大、造价高、经济性差而难以推广应用。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种成本低廉且可靠性高的SVG型直流融冰装置。

[0010] 本发明提供的这种SVG型直流融冰装置,包括变压器和两组整流电路;变压器的原边连接电网;变压器的副边同时连接两组整流电路的输入端,两组整流电路的输出端为融冰装置的输出端输出直流融冰电能并连接待融冰的线路。

[0011] 所述的SVG型直流融冰装置还包括两组滤波电抗;滤波电抗串接在整流电路的输入端,用于滤波换流链输出电压中的高频纹波信号。

[0012] 所述的SVG型直流融冰装置还包括滤波电容;滤波电容并接在两组整流电路的输出端之间,用于滤除两组整流电路的输出端之间的高频纹波信号。

[0013] 所述的SVG型直流融冰装置还包括融冰开关;融冰开关串接在SVG型直流融冰装置的输出端,用于开启或者断开SVG型直流融冰装置输出的直流融冰回路。

[0014] 所述的整流电路为三相全桥式换流链;三相全桥式换流链的输入端(交流侧)串接滤波电抗并构成星型连接的SVG;两个星型连接的SVG的中性点各自引出作为SVG型直流融冰装置的输出端输出直流融冰电压电流。

[0015] 所述的变压器的设计参数为:变压器的原边电压为应用时变压器原边所连接的电网的电压;变压器的副边电压的相电压有效值为所述SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压的0.5倍;变压器的额定容量为所述SVG型直流融冰装置的额定输出融冰功率。

[0016] 所述的变压器的设计参数,具体为按照如下要求进行设计:

[0017] 变压器的原边电压:应用时变压器原边所连接的电网电压

[0018] 变压器的副边电压: $U_{SN} = \sqrt{3} * 0.5U_{dc} = 0.866U_{dc}$, 式中 U_{SN} 为变压器的副边电压, U_{dc} 为SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压;

[0019] 变压器的额定容量: $S_{transformer} = P_{dc} / \cos \varphi$, 式中 $S_{transformer}$ 为变压器的额定容量, P_{dc} 为输出直流融冰功率, $\cos \varphi$ 为交流侧预期功率因数(一般取 $\cos \varphi=1$)。

[0020] 本发明提供的这种SVG型直流融冰装置,其整流电路(三相全桥式换流链)的容量最小,能够有效的减少融冰装置的造价和体积,明显提高了融冰装置的经济性;而且本发明的可靠性较高。

附图说明

[0021] 图1为本发明的融冰装置的电路示意图。

[0022] 图2为本发明的融冰装置与交流侧电压的关系示意图。

具体实施方式

[0023] 如图1所示为本发明的融冰装置的电路示意图：本发明提供的这种SVG型直流融冰装置，包括融冰开关、滤波电容、两组滤波电抗（每组滤波电抗均包含三个电抗器）、变压器和两组整流电路；变压器的原边连接电网并取电；变压器的副边输出取电信号并同时连接两组滤波电抗，滤波电抗的输出端连接整流电路的输入端，整流电路的输出端之间并接滤波电容，同时两组整流电路的输出端连接融冰开关后，作为SVG型直流融冰装置的输出端并输出融冰电能信号；

[0024] 滤波电抗用于滤波变压器输出的取电信号的高频纹波信号；滤波电容用于滤除两组整流电路的输出端之间的高频纹波信号；融冰开关用于开启或者断开SVG型直流融冰装置输出的直流融冰电能。

[0025] 在具体实施时，整流电路优选为三相全桥式换流链；三相全桥式换流链的输入端（交流侧）串接滤波电抗并构成星型连接的SVG；两个星型连接的SVG的中性点各自引出作为SVG型直流融冰装置的输出端输出直流融冰电能。

[0026] 变压器的设计参数为：变压器的原边电压为应用时变压器原边所连接的电网的电压；变压器的副边电压的相电压有效值为所述SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压的0.5倍；变压器的额定容量为所述SVG型直流融冰装置的额定输出融冰功率，具体的，变压器可以按照如下要求进行设计：

[0027] 变压器的原边电压：应用时变压器原边所连接的电网的电压

[0028] 变压器的副边电压： $U_{SN} = \sqrt{3} * 0.5U_{dc} = 0.866U_{dc}$ ，式中 U_{SN} 为变压器的副边电压， U_{dc} 为SVG型直流融冰装置额定输出直流融冰电压；

[0029] 变压器的额定容量： $S_{transformer} = P_{dc} / \cos \varphi$ ，式中 $S_{transformer}$ 为变压器的额定容量， P_{dc} 为输出直流融冰功率， $\cos \varphi$ 为交流侧预期功率因数（一般取 $\cos \varphi=1$ ）。

[0030] 本发明的基本原理为：在基于MMC结构的直流融冰系统中，虽然其结构上等效于类似于一对SVG的组合，但其变流器内部特征却与SVG存在显著差异。此时，桥臂电压电流中同时流过与直流输出电压电流相关的直流分量和与交流输入电压相关的交流分量，由于换流链容量正比于桥臂电压峰值与电流峰值的乘积，如果交流侧电压不合适，会导致换流链容量较大。而通过在电网与换流链交流侧插入特殊设计的变压器，可使换流链交流侧输入电压不再直接受限于电网电压而是可以自由选配，此时可使桥臂交直流两侧电压电流匹配，其结果是在输出给定融冰参数的前提下，换流链桥臂电压和电流的乘积最小。

[0031] 本发明装置的具体设计过程如下：

[0032] 一般情况下，SVG型直流融冰装置中每个桥臂的电压电流都是对称的，而且滤波电感上压降也可忽略不计。此时，A相桥臂电压电流可表示为：

[0033] $u_{ap} = u_{sa} - U_P = \sqrt{2}U_m \sin(\omega t) - 0.5U_{dc}$

$$[0034] \quad u_{an} = u_{sa} - U_N = \sqrt{2}U_m \sin(\omega t) + 0.5U_{dc}$$

$$[0035] \quad i_{ap} = \frac{i_{sa}}{2} + \frac{I_{dc}}{3} = \frac{\sqrt{2}}{2}I_m \sin(\omega t + \varphi) + \frac{I_{dc}}{3}$$

$$[0036] \quad i_{an} = \frac{i_{sa}}{2} - \frac{I_{dc}}{3} = \frac{\sqrt{2}}{2}I_m \sin(\omega t + \varphi) + \frac{I_{dc}}{3}$$

[0037] 式中 u_{ap} 和 u_{an} 分别表示上桥臂和下桥臂的A相输出电压, U_m 和 I_m 分别表示装置交流输入侧相电压和相电流的有效值, U_{dc} 和 I_{dc} 表示直流输出电压和电流;

[0038] 同理,还可表示出B相和C相电压电流;从上述的四个算式可以看到,每个桥臂电压电流都同时包含交流和直流分量,且每个桥臂电压或电流峰值都相同,可表示为:

$$[0039] \quad \begin{cases} I_{arm_peak} = \frac{\sqrt{2}}{2}I_m + \frac{1}{3}I_{dc} \\ U_{arm_peak} = \sqrt{2}U_m + 0.5U_{dc} \end{cases}$$

[0040] 式中 I_{arm_peak} 和 U_{arm_peak} 分别表示桥臂输出电压、电流的峰值;

[0041] 每个桥臂输出电压或电流的有效值可表示为:

$$[0042] \quad \begin{cases} I_{arm_RMS} = \sqrt{\frac{1}{2}I_m^2 + \frac{1}{9}I_{dc}^2} \\ U_{arm_RMS} = \sqrt{2U_m^2 + \frac{1}{4}U_{dc}^2} \end{cases}$$

[0043] 式中 I_{arm_RMS} 和 U_{arm_RMS} 分别表示桥臂输出电压、电流的有效值;

[0044] 与常规SVG相比,MMC型直流融冰装置的变流器具有以下不同特征:

[0045] (1) 桥臂电压或电流中都同时包含有直流和交流分量,而SVG中一般仅有交流分量。

[0046] (2) 桥臂电压或电流都明显超过其交流输入电压。

[0047] (3) 桥臂电压或电流的峰值不再是其有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。

[0048] 因此,虽然MMC型直流融冰装置在结构上与SVG类似,但其变流器的特征却与常规SVG存在显著差异。

[0049] 稳态运行时,桥臂在一个周期内吸收的有功功率为零,因此得到如下关系:

$$[0050] \quad P_{dc} = U_{dc}I_{dc} = 3I_m U_m \cos \varphi$$

[0051] 考虑到MMC类装置的主要电气参数是其桥臂电压和电流,两者决定了子模块的规格和数量。因此MMC类装置的变流器容量可以统一定义为:

$$[0052] \quad S_{con} = \sum_1^n \frac{U_{pi} I_{pi}}{2} = 3U_{arm_peak} * I_{arm_peak}$$

[0053] 式中 S_{con} 表示变流器容量, n 表示桥臂数量, U_{pi} 和 I_{pi} 分别表示第*i*个桥臂的输出电

压和电流；

[0054] 通过上述的算式，将MMC型直流融冰装置的变流器容量表示为：

$$[0055] \quad S_{con} = (1 + \frac{\sqrt{2} U_{dc}}{4 U_m} + \sqrt{2} \frac{U_m}{U_{dc}}) \frac{P_{dc}}{\cos \varphi} + \frac{1}{2} P_{dc}$$

[0056] 根据上式，可以计算MMC型直流融冰装置的变流器容量与其交流输入电压的关系，结果如图2所示。可见变流器容量与交流输入电压密切相关，当且仅当 $U_m = \frac{U_{dc}}{2}$ 时，变流器容量达到其最小值，最小值为：

$$[0057] \quad S_{c_min} = (1.5 + \sqrt{2}) P_{dc}$$

[0058] 而当采用本发明所用参数后，变压器副边电压应该设置为：

$$[0059] \quad U_{SN} = \sqrt{3} * 0.5 U_{dc} = 0.866 U_{dc}$$

[0060] 另外，变压器容量等于整套装置的交流侧输入总功率：

$$[0061] \quad S_{transformer} = 3 I_m U_m = P_{dc} / \cos \varphi$$

[0062] 根据上式可知，变压器容量约等于融冰功率，而不是变流器容量。由于变压器成本一般仅为同容量MMC变流器的1/3-1/2，所以虽然本发明所提结构中会带来一些变压器成本，但由于其节省了更多的变流器造价，从整体上仍可显著降低SVG型直流融冰装置的整体成本。

[0063] 以下以一个实施例说明本发明的优点：

[0064] 设定融冰装置是针对某500kV输电线路，线型4×LGJ-400、线路长度50km。根据融冰理论可知，其所需的直流融冰输出电压电流分别为4.0kA、5.8kV，对应直流融冰功率23.2MW。此时图1中并网变压器的额定参数设计为：常规双绕组结构，变压器额定电压为35kV/5kV（线电压），额定容量为23.2MVA。

[0065] 此时其对应上下两个SVG三相桥臂中每个桥臂的输出电压峰值都为7.0kV、桥臂输出电流峰值为3.2kA、变流器容量为67.6WVA。

[0066] 而如果SVG变流器直接并网而不接入变压器，则SVG每个桥臂的输出电压都为31.45kV、桥臂输出电流峰值为1.6kA、变流器容量为151WVA。可见采用本发明所提装置结构后，变流器容量减小为原来的45%，从而可以大幅降低变流器造价。

[0067] 表1直流融冰系统参数对照表

[0068]

参数	符号	参数值	
		传统无变压器方案	本发明方案
额定直流输出电压	U_{dc}	5.8kV	5.8kV
额定直流输出电流	I_{dc}	4000A	4.0kA
额定直流融冰功率	P_{dc}	23.2MW	23.2MW
交流侧电压	U_{sN}	35kV	5.0kV
交流侧电流	I_{sN}	0.38A	2.7kA
桥臂电压峰值	U_p	31.45kV	7.0kV
桥臂电流峰值	I_p	1.6kA	3.2kA
变流器容量	S_{con}	151WVA	67.6WVA
变压器	-	None	23MVA-35/5kV

[0069] 可见优化后,变流器容量从151MVA减小到68MVA,减大幅度为84MVA。相当于用一个23MVA的常规变压器替代了一个84MVA的SVG变流器,也就意味着大幅降低了装置的整体造价。根据对近十年SVG市场价格调研可知,SVG的单价一般为10万/Mvar左右,1台68MVA的SVG造价约为680万元,而一台23MVA的变压器造价仅为120万。采用本发明所提SVG型直流融冰系统后,可以节省560万元,装置整体造价大幅降低。同时由于变流器容量大幅降低,换流阀及其冷却系统的占地也可以大幅降低、从而减小融冰工程总造价。

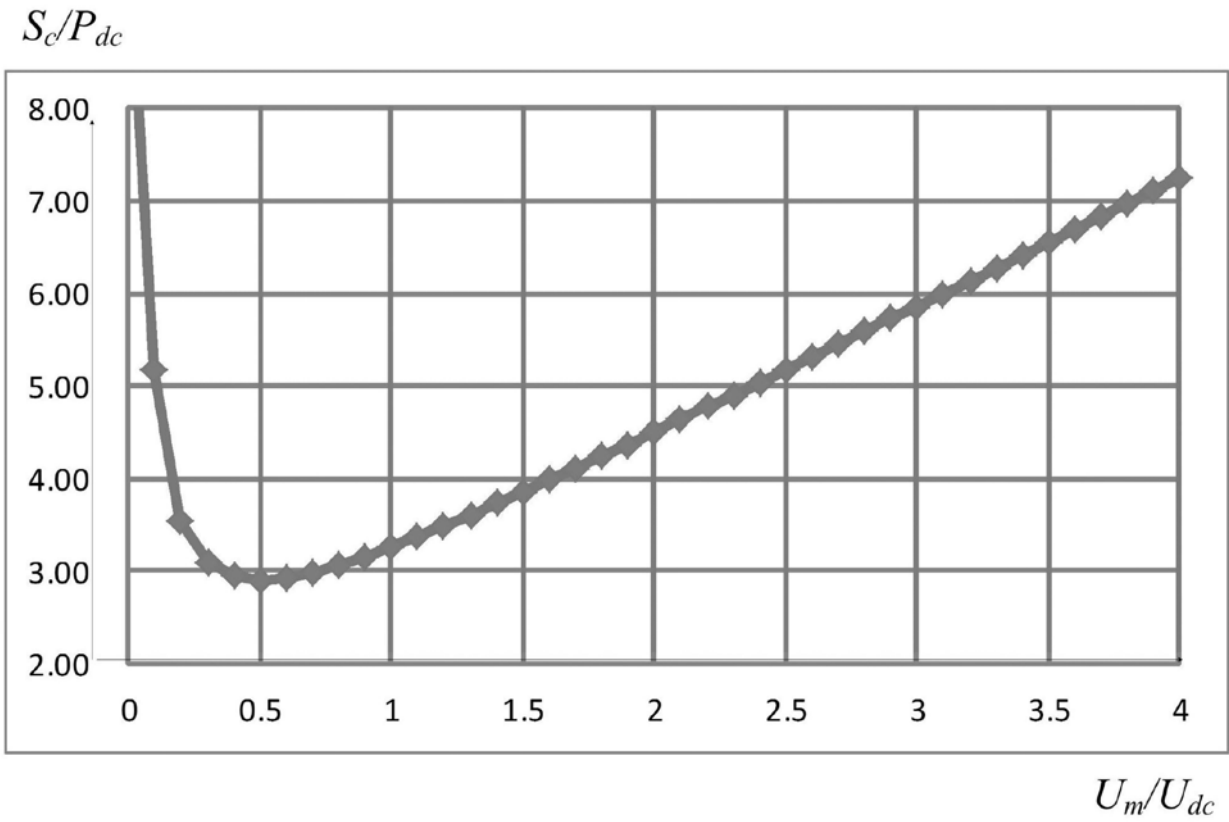


图2