

UPFC 串联变压器启动试验保护配置方法

李 鹏¹, 王玉婷², 孔祥平¹, 林金娇¹

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211032)

摘要: 针对统一潮流控制器(UPFC)串联变压器特殊的启动调试方法和充电路径,提出了一种临时保护配置方案。结合串联变压器充电方式提出在并联变压器阀侧开关设置临时过流保护的方案,该保护采用两段式配置,并基于串联变压器等值回路给出了故障电流计算和保护整定方法。进一步提出了 UPFC 串联变压器充电保护功能:利用 UPFC 保护实现串、并联变压器阀侧连接引线差动保护;提出了 UPFC 保护联跳功能,实现串联变压器内部弱故障时对串联变压器的有效隔离和快速切除电源。对串联变压器带电区域故障进行电磁暂态仿真,结果表明所提方法满足带电区域故障时保护灵敏度和速动性,具有现场可实施性。

关键词: 统一潮流控制器; 串联变压器; 启动试验; 充电保护

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.01.032

0 引言

统一潮流控制器 UPFC(Unified Power Flow Controller)是目前最先进的灵活交流输电技术,由并联侧换流器及串联侧换流器组成,其通过控制串联注入线路的电压矢量来调节线路潮流,实现电网潮流分布的灵活控制^[1-3]。

UPFC 工程系统启动调试是工程建设的最后一道工序,在启动调试阶段,需要完成 UPFC 相关主设备充电及控制保护系统功能带电检验,其中串联变压器及其相关设备的启动调试是关键环节之一。考虑到 UPFC 串联变压器接线形式及接入系统方式的特殊性,传统的变压器(并联接入电网)充电启动调试方法不再适用^[4]。由于串联变压器启动调试方法和充电路径的特殊性,需要在其启动调试期间配置完备可靠的继电保护方案,以保证在启动试验过程中带电区域发生故障时,有可靠快速的保护来切断电源,防止事故影响扩大,保证设备和人员的安全。

本文针对串联变压器阀侧和网侧启动试验方法的特殊性,提出了一种适应 UPFC 串联变压器启动的继电保护配置方法,并给出了保护整定和配合方案。该方法已应用于国内首套 UPFC 工程的系统调试,对于保证系统调试顺利、有效开展及工程顺利投运有重要的意义。

1 UPFC 系统结构

UPFC 综合了静止同步补偿器和静止同步串联补偿器的作用,且功能更强大。UPFC 核心设备中有 2 个电压源换流器,其中一个电压源换流器通过并联变压器接入电网并联运行,另外一个电压源换流器通过串联变压器接入电网串联运行。UPFC 通过控制串

接入线路的电压幅值及相位实现电网潮流控制,整体结构及主要设备如图 1 所示,图中,TBS 为晶闸管旁路开关。

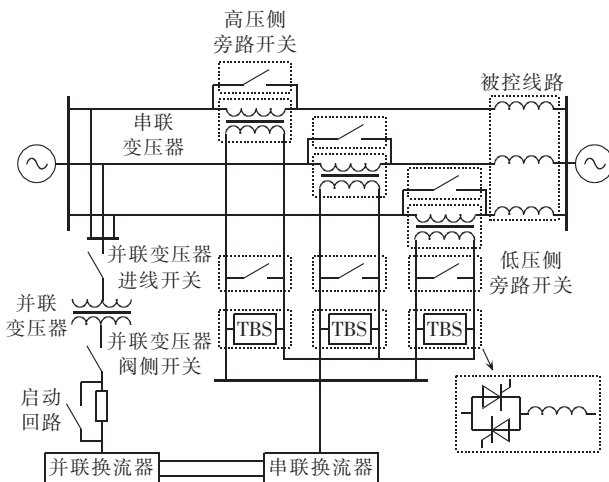


图 1 UPFC 系统整体结构

Fig.1 Overall structure of UPFC system

UPFC 串联变压器高压侧绕组采用Ⅲ型接线方式,绕组首末端串接入线路中,低压侧一般采用星型接线方式,与换流阀相连接。由于 UPFC 系统串联变压器接线方式的特殊性,传统的变压器启动调试方法不再适用,主要体现在:

a. 串联变压器低压侧连接换流阀,无法从低压侧直接对串联变压器进行充电投切;

b. 串联变压器高压侧绕组直接串接入线路中,且在高压侧和低压侧配置旁路开关,根据其接入方式和运行要求,低压侧空载时串联变压器不能在高、低压侧均开路的情况下串接入系统,否则可能产生过电压和过激磁而危及主设备,故无法从高压侧对串联变压器进行充电投切。

由于系统串联变压器接线方式及接入系统的特

殊性,传统的变压器(并联接入电网)充电启动调试方法不再适用。

2 UPFC 串联变压器充电方案

为了有效开展 UPFC 串联变压器启动调试试验,全面验证设备性能,分别针对串联变压器阀侧和网侧进行充电。

2.1 串联变压器阀侧充电方式

串联变压器阀侧充电时,通过开关场刀闸将串联变压器阀侧连接至并联变压器阀侧,以图 2 所示系统接线为例,合 DS_{11} 和 DS_{22} ,通过开关 QF_3 进行串联变压器阀侧充电。

串联变压器阀侧充电方式主要包括以下 2 种:

a. 串联变压器高压侧隔离状态充电(带电区域见图 2 中加粗区域),串联变压器网侧连接刀闸 DS₁、DS₂ 分位,接地刀闸 ES₁、ES₂ 分位;

b. 高压侧带线路母线侧电压互感器充电(带电区域见图3中加粗区域),串联变压器网侧联接刀闸 DS₁ 合位、DS₂ 分位,接地刀闸 ES₁ 分位、ES₂ 合位。

2.2 串联变压器网侧充电方式

串联变压器网侧充电及线路合环(简称为充电方式3)示意图如图4所示。进行串联变压器网侧充电试验时,通过线路开关对串联变压器进行充电,利用线路合环运行功率进行串联变压器保护相关测量回路带负荷校验,带电区域如图4中的加粗区域所示。

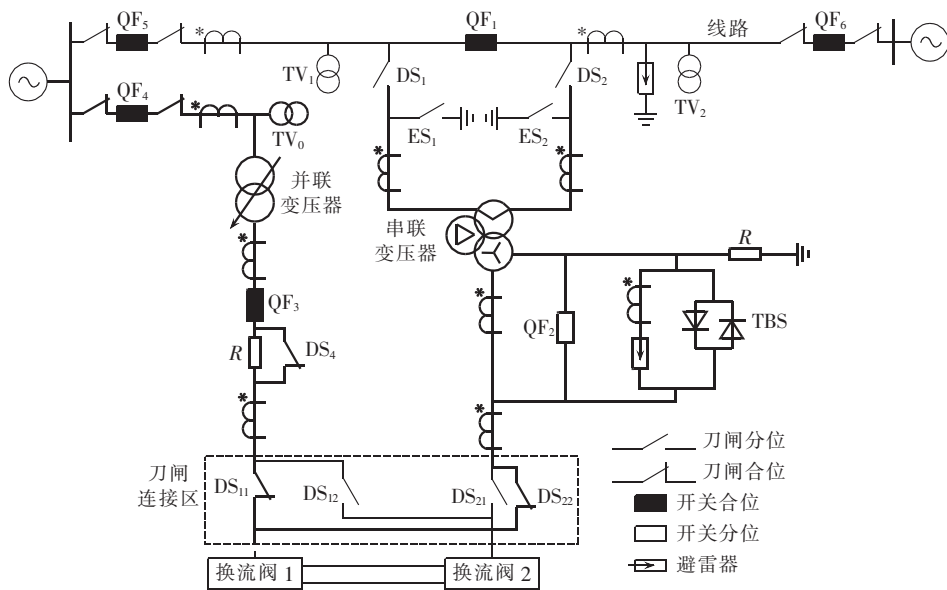


图 2 充电方式 1 示意图

Fig.2 Schematic diagram of charging mode 1

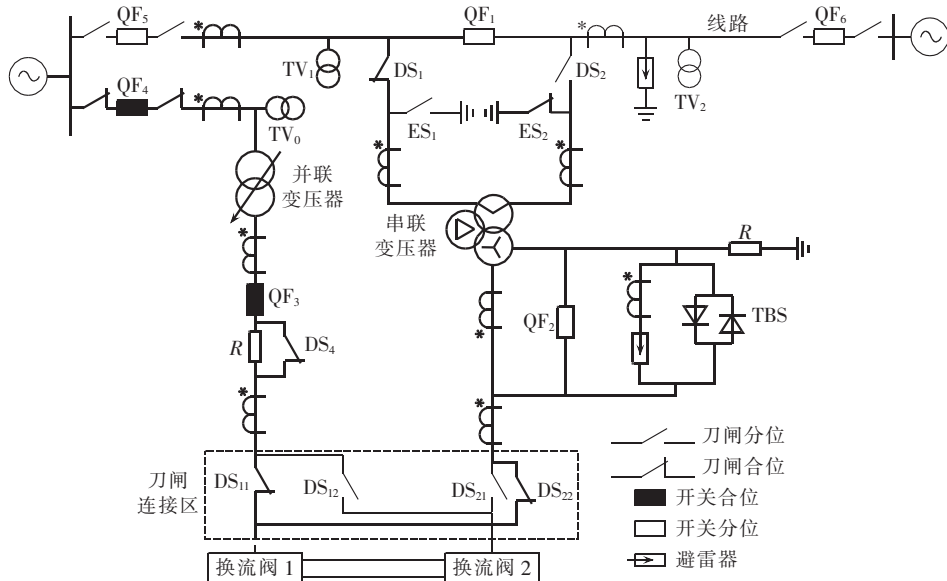


图 3 充电方式 2 示意图

Fig.3 Schematic diagram of charging mode 2

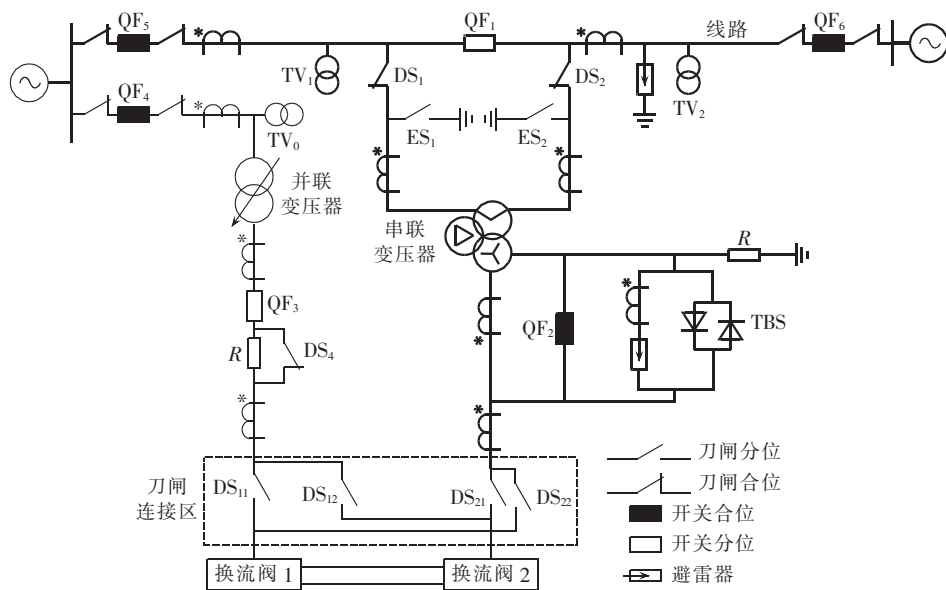


图 4 充电方式 3 示意图

Fig.4 Schematic diagram of charging mode 3

3 串联变压器启动调试保护配置要求

UPFC 工程系统调试期间,所有带电区域需要配置可靠的保护,在发生故障时快速切断电源、隔离设备。在进行串联变压器充电试验前,针对图 2—4 所示的带电区域,需设计临时保护配置及配合方案。UPFC 串联变压器启动时对保护配置的基本要求如下:UPFC 并联变压器保护已按调度下达的定值进行正确整定并投入;UPFC 串联变压器保护已按调度下达的定值进行正确整定并投入;UPFC 控制保护系统已按调度下达的定值进行正确整定并投入。

并联变压器及串联变压器的主保护为差动保护,在差动回路相关电流互感器进行带负荷校验前,对设备充电时需另外配置临时保护作为后备保护。

进行串联变压器网侧充电试验时要求线路保护正常运行。串联变压器网侧绕组属于线路保护范围内,其发生故障时线路保护应快速动作并跳开线路开关,切断电源。串联变压器网侧充电试验中,串联变压器漏抗串联接入线路,需要考虑该漏抗对线路距离保护的影响。

4 串联变压器阀侧充电临时过流保护

4.1 串联变压器阀侧充电临时过流保护配置

串联变压器阀侧充电时,在并联变压器阀侧开关 QF_3 上加装不带方向的过流保护,作为串联变压器阀侧充电的临时过流保护,该保护动作时跳开 QF_3 。考虑保护范围末端(带电区域最远处)发生故障时保护可靠动作,及并联变压器阀侧引线故障时保护能快速切除故障,临时过流保护的整定应满足以下条件。

a. 由串联变压器阀侧充电方式可知,图 3 所示

的串联变压器网侧带线路母线侧电压互感器充电方式下带电区域最大,故临时过流保护进行整定时要保证保护范围能覆盖到图 3 所示的带电区域,在该区域内发生金属性故障时,保护应有足够的灵敏度。

b. 临时过流保护定值设置应能躲过串联变压器低压侧充电时的励磁涌流,应结合串联变压器充电励磁涌流计算结果进行进行整定。

c. 临时过流保护设置 2 段过流保护:I 段为启动段,主要针对充电时并联变压器与串联变压器阀侧连接引线区的故障;II 段为延时段,保证保护范围能覆盖到图 3 所示的带电区域,并通过定值和延时而躲避串联变压器阀侧充电时的励磁涌流。

4.2 串联变压器阀侧充电临时过流保护整定

根据图 2 和图 3 所示的带电区域,临时过流保护整定时考虑带电区域最远处发生故障时保护可靠动作,即图 5 中网侧发生末端故障,相应的故障回路如图 6 所示,折算至并联变压器阀侧的故障点各序等值回路如图 7 所示,其中, X_s 为并联侧系统等值阻抗(单位为 Ω); X_{sh} 为并联变压器漏抗(单位为 Ω); X_{seHM} 为串联变压器网侧-阀侧漏抗(单位为 Ω); X_{seHL} 为串联变压器网侧-阀侧漏抗(单位为 Ω)。

由于 UPFC 系统运行及换流器工作的需要,串联变压器及并联变压器阀侧中性点一般经高阻接地,发生故障时,图 5 中阀侧零序电流分量很小,可以忽略,故 QF_3 上加装的临时过流保护测得的电流 I_p ($I_p = I_{u1}$) 由故障点电流 I_f 的正序分量 $I_{f(1)}$ 和负序分量 $I_{f(2)}$ 构成^[5-6]。

基于图 5 和并联侧母线短路容量,对各种故障下的故障电流进行计算。其中,发生连接引线故障时临时过流保护测得的最小故障电流为 $I_{p,y}$,网侧末端

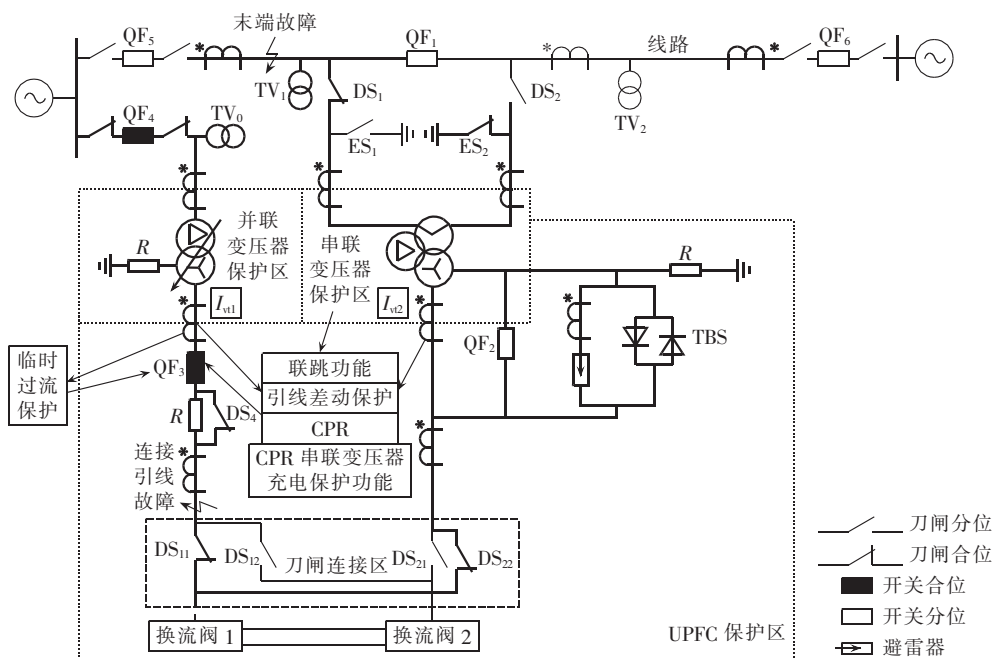


图 5 串联变压器阀侧充电时发生故障情况下的故障回路及充电保护功能配置

Fig.5 Circuit of fault during series transformer valve-side charging and corresponding charging protection configuration

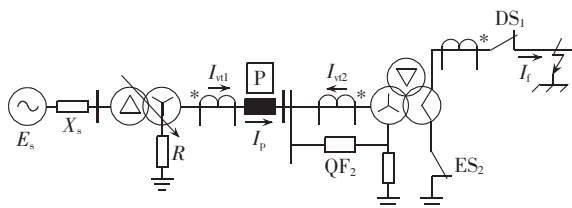


图 6 带电区域末端故障时等值回路

Fig.6 Equivalent circuit for fault at end of charged region

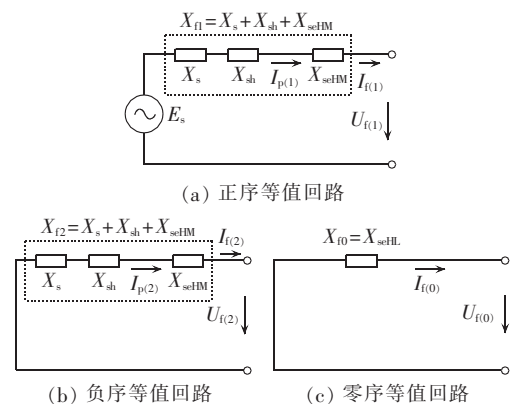


图 7 折算至并联变压器阀侧的各序故障等值回路

Fig.7 Equivalent circuit in each sequence converted to series transformer system side

发生故障时临时过流保护测得的最小故障电流为 $I_{p.g}$ 。根据故障电流计算结果,本文针对临时过流保护整定给出以下建议^[7-8]。

a. 过流 I 段主要用于快速清除并联变压器与串联变压器阀侧连接引线区的故障,其整定公式为:

$$I_{set_1} = I_{p.g} / K_k$$
$$t_{1} = 0$$

其中, K_k 为可靠系数,可取为 1.5; t_{1} 为过流 I 段延时。

b. 过流 II 段应保证保护范围能覆盖到图 5 所示的串联变压器阀侧,并通过整定值和延时来躲避串联变压器低压侧充电时的励磁涌流,其整定公式为:

$$I_{set_2} = I_{p.g} / K_k$$
$$t_{2} = 0.6 s$$

其中, t_{2} 为过流 II 段延时。

5 UPFC 保护的串联变压器充电保护功能

为提高串联变压器阀侧充电时保护配置的完整性,本文在临时过流保护的基础上,增加 UPFC 保护串联变压器充电保护功能,包括串联变压器充电连接引线差动保护和 UPFC 保护联跳功能。

5.1 串联变压器充电连接引线差动保护

在 UPFC 控制保护系统中,保护功能采用分区配置的原则,为串联变压器和并联变压器分别配置变压器保护^[9-12]。串联变压器阀侧和并联变压器阀侧之间的区域(见图 5)属于 UPFC 换流器保护 CPR (Converter PRotection) 保护范围,并联变压器及串联变压器阀侧电流 I_{v1} 、 I_{v2} 均接入 CPR 中,且 CPR 中有合旁路开关 QF₁、QF₂ 和跳 QF₃ 的出口回路。

为了保证在串联变压器阀侧充电情况下,保护能在连接引线区发生故障时快速、可靠地跳开 QF₃,在 CPR 中增加串联变压器充电连接引线差动保护。串联变压器充电连接引线差动保护利用 I_{v1} 和 I_{v2} 构成差动保护,动作后直接跳 QF₃。在串联变压器阀侧充电完成后,串联变压器充电连接引线差动保护由软压板控制退出。需要注意的是,该保护为差动原

理保护,需在一次通流试验时验证该差动回路,保证电流互感器极性及接线正确。

5.2 UPFC 保护联跳功能

串联变压器内部匝间短路等轻微故障并没有明显的电气量特征,导致临时过流保护无法动作,此时就需要串联变压器本身的非电气量或电气量保护来进行故障识别。根据图 2 和图 3 所示的串联变压器充电时的带电区域可知:当串联变压器内部发生轻微故障时,临时过流保护不动作,此时串联变压器非电气量保护动作(串联变压器电气量保护也可能动作),合旁路开关 QF_1 和 QF_2 , QF_2 合上后旁路串联变压器阀侧,实现串联变压器与电源的隔离,但此时相当于并联变压器阀侧引线发生三相短路(如图 8 所示),所以加装于 QF_3 的临时过流保护将快速段动作跳开 QF_3 以切除电源。该情况下,尽管可切除电源、隔离故障,但并联变压器遭受了阀侧三相短路的冲击,且由于并联侧母线电压降低,可能对其供电用户造成较大影响。

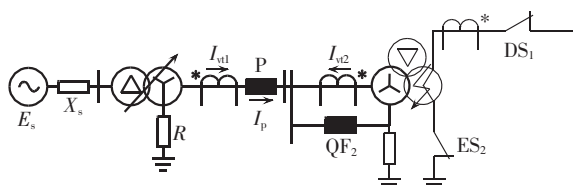


图 8 QF_2 合上后导致并联变压器阀侧引线三相短路
Fig.8 Three-phase short circuit of connecting lead at shunt transformer valve-side caused by QF_2 closure

为了降低串联变压器内部轻微故障时串联变压器保护动作旁路导致并联变压器阀侧引线三相短路的影响,在串联变压器阀侧充电试验中增加串联变压器保护动作联跳 QF_3 的功能,该功能有以下 2 种实现方式。

a. 在串联变压器保护与 QF_3 操作箱之间增加临时电缆接线,将串联变压器保护动作跳闸备用接点连接至 QF_3 跳闸回路,实现串联变压器保护动作跳 QF_3 的功能。这种实现方式需要增加的临时接线较多,包括串联变压器电量保护 A/B 及非电量保护至 QF_3 操作箱的临时接线,且并联变压器作为运行设备安装和拆除临时接线有一定风险,需要做好安全隔离措施。

b. 由于串联变压器保护动作后会发送跳闸信号至 UPFC CPR 进行换流器闭锁等操作,且 CPR 中同时具有跳 QF_3 的出口回路。利用该特点,在 CPR 中增加联跳保护功能,该功能由功能软压板控制投退,投入后,CPR 接收到串联变压器保护的跳闸信号后联跳 QF_3 ,不触发 TBS。由于通信延时,串联变压器保护合 QF_2 命令将先于 CPR 接收到的跳 QF_3 命令, QF_2 合闸后并联变压器阀侧仍将出现三相短路,但持续时间已经大幅缩短(一般小于 10 ms)。考虑到

串联变压器的重要性的和高造价,其发生故障时 QF_3 应快速合闸实现串联变压器隔离。

工程应用中建议选择方案 **b**,即在 CPR 中增加联跳保护功能来实现串联变压器保护动作联跳并联变压器阀侧开关 QF_3 。串联变压器阀侧充电时临时过流保护和 CPR 充电保护功能配置见图 5。

6 仿真计算

结合我国第 1 套 UPFC 工程——220 kV 南京西环网 UPFC 工程系统调试,采用实际电网及设备参数对串联变压充电过程进行仿真计算,验证本文保护配置方法的合理性。

6.1 系统参数

220 kV 南京西环网 UPFC 工程中,直流额定电压为 ± 20 kV,换流器交流额定电压为 20.8 kV,并联侧换流器经并联变压器接入 35 kV 母线,串联侧换流器经串联变压器接入 220 kV 线路,单回 UPFC 接线示意如图 9 所示^[13-14]。串、并联变压器的相关参数如表 1 所示,35 kV 母线短路容量如表 2 所示。

6.2 临时过流保护整定

针对图 9 所示的串联变压器阀侧充电时网侧末端及连接引线区故障,对各种故障下的故障电流进行计算,结果如表 3 和表 4 所示(故障电流均为折算至串联变压器 20.8 kV 侧的一次值)。表 3 和表 4 同时给出了 QF_3 上加装的临时过流保护的整定建议。最终确定的整定值如表 5 所示。

6.3 仿真计算

按照图 5 进行串联变压器阀侧充电临时保护配置,其中 QF_3 上加装的临时过流保护按表 5 进行整定。针对串联变压器阀侧充电时带电区域内不同位置、不同类型的故障进行仿真,验证保护配置方案的有效性。

6.3.1 故障仿真

在表 2 所示的小方式下,串联变压器阀侧充电时发生网侧末端 A 相接地故障,故障持续约 658 ms, QF_3 上加装的临时过流保护 II 段动作,A 相故障电流如图 10 所示(图中均为基波有效值,下同)。由图 10 可见,串联变压器网侧 A 相故障电流(等于故障点电流 I_f)为 3.32 kA,保护安装处的 A 相故障电流 I_{v1} 为 2.82 kA,且与串联变压器阀侧套管电流 I_{v2} 方向相同,连接引线差动保护差流为 0,所以不动作。

在表 2 所示的小方式下,串联变压器阀侧充电时发生系统末端三相接地故障, QF_3 上加装的临时过流保护 I 段动作,故障持续约 63 ms,故障电流波形如图 11 所示。由图 11 可见,保护安装处故障电流 $I_{v1}=3.61$ kA,且与串联变压器阀侧电流 I_{v2} 同方向。

在表 2 所示的小方式下,串联变压器阀侧充电时

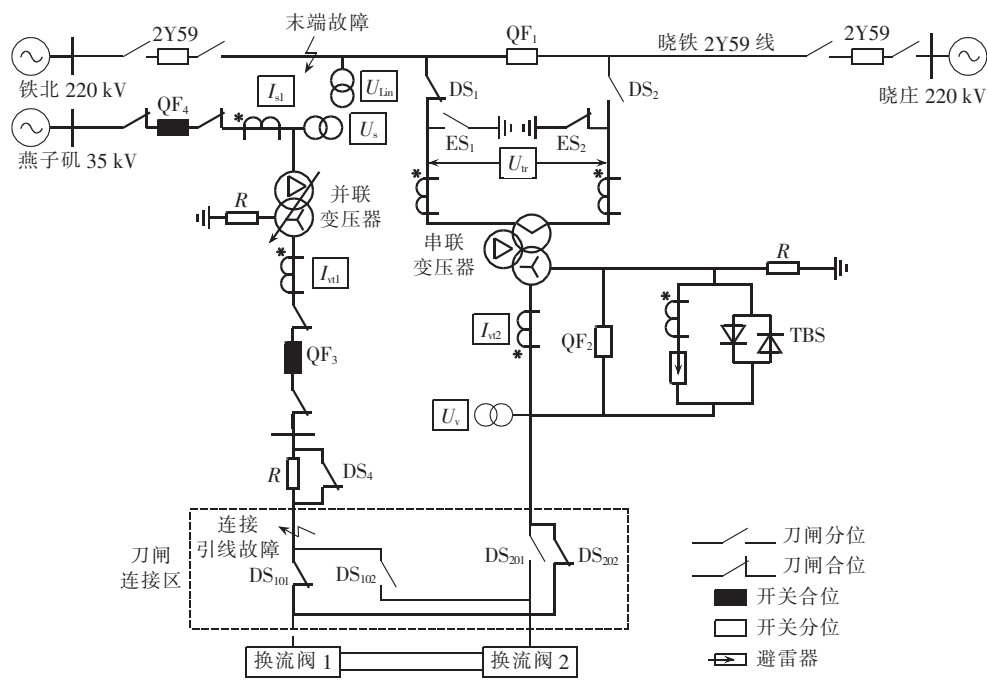


图 9 南京西环网工程单回线 UPFC 接线示意图

Fig.9 Wiring connection of single-line UPFC in Nanjing Western Grid

发生连接引线三相故障, QF₃上加装的临时过流保护 I 段动作、连接引线差动保护动作,故障持续约

表 1 UPFC 系统变压器参数

Table 1 Parameters of UPFC system transformers			
变压器	接地方式	参数	参数值
串联变压器	Y 侧中性点经 500 Ω 电阻接地	接线形式	Ⅲ/Yn/Δ11
		额定容量	70 MV·A/70 MV·A/25 MV·A
		变比	26.5 kV/20.8 kV/10 kV
		漏抗	0.2 p.u./0.3 p.u./0.075 p.u.
并联变压器	Y 侧中性点经 500 Ω 电阻接地	接线形式	Δ/Yn1
		额定容量	60 MV·A
		变比	(35±2×2.5%) kV/20.8 kV
		漏抗	0.1 p.u.

表 2 35 kV 母线短路容量(S₀=100 MV·A, U_b=35 kV)

Table 2 Short circuit capacity of 35 kV bus (S ₀ =100 MV·A, U _b =35 kV)			
运行方式	短路容量(阻抗)	运行方式	短路容量(阻抗)
大方式	0.151	小方式	0.3117

表 3 带电区域末端故障时的故障电流

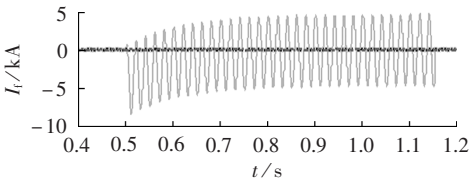
Table 3 Fault currents under fault at end of charged region			
运行方式	故障类型	故障电流/kA	
		故障点处	保护安装处
大方式	三相短路	4.6003	4.6003
	相间短路	3.9840	3.9840
	相间接地	4.8988	4.0957
	单相接地	5.0920	3.3947
小方式	三相短路	3.6328	3.6328
	相间短路	3.1461	3.1461
	相间接地	4.0612	3.2605
	单相接地	4.2556	2.8371
整定建议		$I_{\text{set},1}=I_{\text{p},1}/K_k=2.84/1.5=1.89\text{ (kA)}$ $t_1=0$	

表 4 连接引线故障时的故障电流

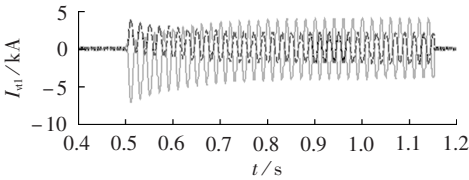
Table 4 Fault currents under connecting lead fault			
运行方式	故障类型	故障电流/kA	
		故障点处	保护安装处
大方式	三相短路	8.7378	8.7378
	相间短路	7.5672	7.5672
	相间接地	7.5672	7.5672
	单相接地	0	0
小方式	三相短路	5.8025	5.8025
	相间短路	5.0251	5.0251
	相间接地	5.0251	5.0251
	单相接地	0	0
整定建议		$I_{\text{set},2}=I_{\text{p},2}/K_k=5.025/1.5=3.35\text{ (kA)}$ $t_2=0.6\text{ s}$	

表 5 串联变压器阀侧充电临时过流保护整定

Table 5 Settings of series transformer valve-side charging protection		
过流保护	电流整定值/kA	延时/s
I 段	3.3	0
II 段	1.8	0.6



(a) 串联变压器网侧电流



(b) 并联变压器阀侧电流

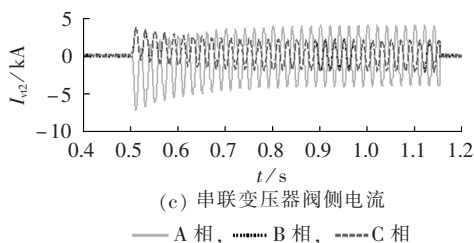


图 10 小运行方式下发生网侧末端 A 相接地故障时的电流波形

Fig.10 Currents under phase-A grounding fault at end of grid side and light load mode

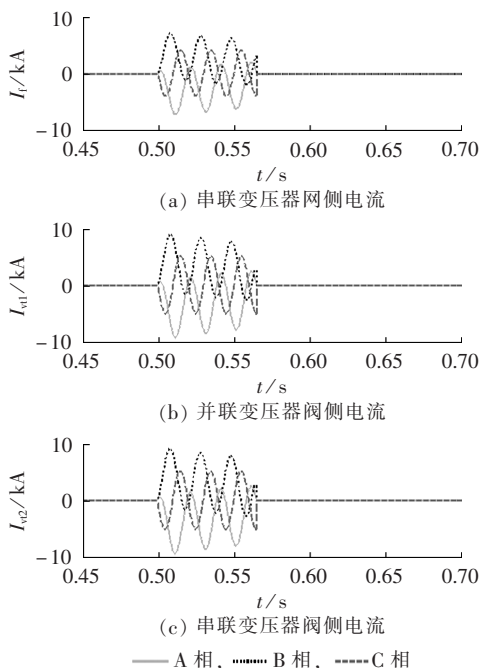


图 11 小运行方式下发生网侧末端三相接地故障时的电流波形

Fig.11 Currents under three-phase grounding fault at end of grid side and light load mode

59 ms,故障电流波形如图 12 所示。由图 12 可见,发生故障时保护安装处的故障电流 $I_{v1}=5.76$ kA,且串联变压器阀侧电流 I_{v2} 为 0,连接引线差动保护动作。

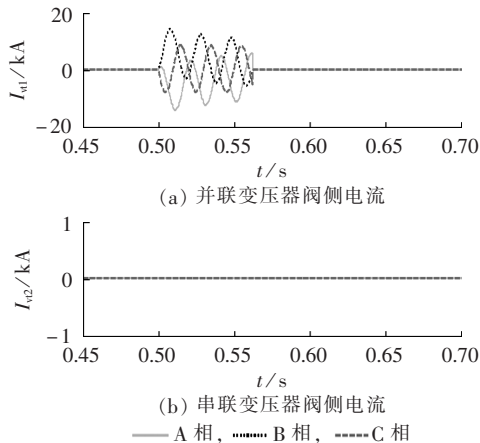


图 12 小运行方式下连接引线发生三相接地故障时的电流波形

Fig.12 Currents under three-phase grounding fault at connecting lead and light load mode

6.3.2 串联变压器故障情况下 UPFC 保护联跳功能仿真

在表 2 所示的小方式下,模拟串联变压器内部发生网侧 A 相绕组对地故障(弱故障)的情况。发生故障时, QF_3 上加装的临时过流保护安装处电流为 0.628 kA,不满足动作条件,串联变压器后备保护动作,合上网侧旁路开关 QF_1 、阀侧旁路开关 QF_2 。 QF_2 合上后引起并联变压器阀侧三相短路故障,故障电流约为 5.78 kA, QF_3 临时过流保护 I 段动作、连接引线差动保护动作跳开 QF_3 ,期间并联变压器承受三相短路电流的时间为 64 ms,如图 13 所示;若采用 UPFC 保护联跳功能,串联变压器保护动作时,通过 UPFC 保护联跳 QF_3 ,则并联变压器承受三相短路电流的时间减少至 11 ms,如图 14 所示。

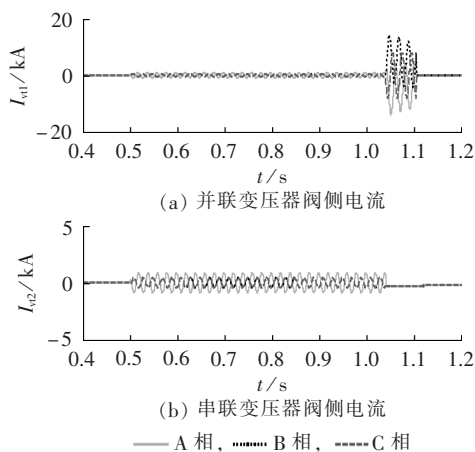


图 13 串联变压器故障未采用保护联跳功能时的电流波形

Fig.13 Currents under series transformer fault without inter-tripping function

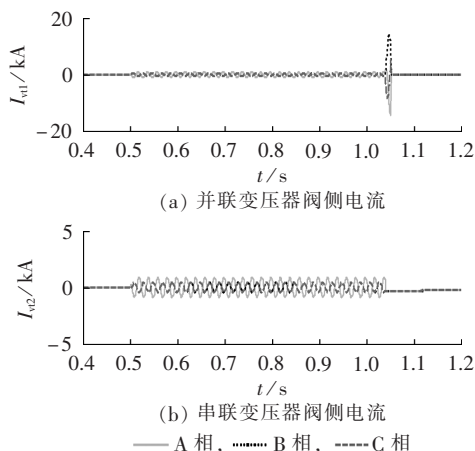


图 14 串联变压器故障采用保护联跳功能时的电流波形

Fig.14 Currents under series transformer fault with inter-tripping function

7 结语

针对 UPFC 串联变压器特殊的启动调试方法和充电路径,本文提出了一种调试期间临时保护配置

方法。给出了串联变压器启动时保护配置要求,提出并联变压器阀侧开关配置 2 段式临时过流保护的方案,并给出了基于串联变压器等值回路的故障电流计算和保护整定方法;进一步地,本文提出了 UPFC 保护的串联变压器充电功能,利用 UPFC 保护实现串并联变压器阀侧连接引线差动保护,并针对串联变压器内部弱故障情形,设计了 UPFC 保护联跳功能,实现故障情况下串联变压器的有效隔离和电源快速切除。仿真结果表明本文方法满足带电区域发生故障时保护的灵敏度和速动性,其已应用于国内首套 UPFC 工程的系统调试,对于保证工程顺利投运有重要的意义。

参考文献:

- [1] 国网江苏省电力公司. 统一潮流控制器技术及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2015:14-27.
- [2] 赵成勇. 柔性直流输电建模和仿真技术[M]. 北京:中国电力出版社,2014:5-12.
- [3] 陈峰,江道灼,周洋. 基于故障电流控制的新型 UPFC-FCL 设计[J]. 电力自动化设备,2015,35(12):145-150.
CHEN Feng,JIANG Daozhuo,ZHOU Yang. Design of UPFC-FCL based on fault current control[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(12):145-150.
- [4] 李鹏,马勇. 220 kV 南京西环网统一潮流控制器(UPFC)示范工程系统调试方案[R]. 南京:江苏省电力公司电力科学研究院,2015.
- [5] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2007:93-118.
- [6] 江苏省电力公司. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2006:57-119.
- [7] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2010:178-208.
- [8] 崔家佩,孟庆炎. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:中国电力出版社,2006:548-589.
- [9] 林金娇,李鹏,孔祥平,等. 南京西环网 UPFC 保护系统及配合策略[J]. 江苏电机工程,2015,36(6):56-60.

- LIN Jinjiao,LI Peng,KONG Xiangping,et al. The UPFC protection system configuration and action strategy in Nanjing Western Power Grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2015,36(6):56-60.
- [10] 鲁江,秦健,潘磊,等. 南京 UPFC 工程控制保护系统架构与配置研究[J]. 江苏电机工程,2015,36(6):1-5.
LU Jiang,QIN Jian,PAN Lei,et al. Study on architecture and configuration for control and protection system of Nanjing UPFC Project[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2015,36(6):1-5.
- [11] 姜崇学,戴阳,王莹,等. 统一潮流控制器保护功能配置研究[J]. 江苏电机工程,2015,36(6):6-9.
JIANG Chongxue,DAI Yang,WANG Ying,et al. Research on protection function deployment for UPFC device[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2015,36(6):6-9.
- [12] LI Peng,WANG Yuting,KONG Xiangping,et al. Performance analysis of MMC-UPFC in Nanjing Western Grid[C]//2016 International High Voltage Direct Current Conference (HVDC 2016). Shanghai,China:[s.n.],2016:489-494.
- [13] LI Peng,WANG Yuting,LIN Jinjiao,et al. Application of MMC-UPFC and its performance analysis in Nanjing Western Grid[C]//2016 IEEE Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference(APPEEC 2016),2016. Xi'an,China:IEEE,2016:880-884.
- [14] 蔡晖,祁万春,黄俊辉,等. 统一潮流控制器在南京西环网的应用[J]. 电力建设,2015,36(8):73-78.
CAI Hui,QI Wanchun,HUANG Junhui,et al. Application of UPFC in Nanjing Western Power System[J]. Electric Power Construction,2015,36(8):73-78.

作者简介:



李 鹏

李 鹏(1982—),男,陕西周至人,高级工程师,博士,通信作者,主要研究方向为电力系统继电保护、高压直流输电及柔性输电技术等(E-mail:roclarry@163.com);

王玉婷(1983—),女,河南驻马店人,工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护、电力系统数字仿真及柔性直流输电技术;

孔祥平(1988—),男,江西上饶人,工程师,博士,主要研究方向为电力系统继电保护、直流输电及柔性输电技术等。

Protection configuration method for start-up testing of UPFC series transformer

LI Peng¹,WANG Yuting²,KONG Xiangping¹,LIN Jinjiao¹

(1. Jiangsu Electric Power Company Research Institute,Nanjing 211103,China;

2. Nanjing SAC Automation Co.,Ltd.,Nanjing 211032,China)

Abstract: Aiming at the special start-up testing method and charging path of UPFC(Unified Power Flow Controller) series transformer,a temporary protection configuration method is proposed. According to the charging mode of UPFC series transformer,it is proposed to set the two-stage temporary overcurrent protection in the valve-side breaker of the shunt transformer,and the fault current calculation and protection setting methods are proposed based on the equivalent circuit of UPFC series transformer. Furthermore,the charging protection function of a kind of series transformer charging protection function is proposed:the differential protection of valve-side connecting lead between the shunt and series transformer is realized with UPFC relay protection, and the inter-tripping protection function is proposed to effectively isolate the series transformer and quickly trip the power source under the weak fault inside series transformer. The electromagnetic transient simulation of charged region fault in UPFC series transformer is carried out,the results of which indicate that the proposed method can satisfy the requirements of protection for sensitivity and speed,so it can be implemented in the field.

Key words: unified power flow controller; series transformer; start-up testing; charging protection