

# 区域电网电缆—架空线混合线路故障区间判别方法及实现

李园园, 沈军, 朱晓彤, 王耀, 刘革新  
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:**针对电缆—架空线混合线路故障区间定位困难的问题,文中提出了一种面向区域电网的电缆—架空线混合线路故障区间判别方法,该方法主要基于柔性光学电流互感器(TA)和智能变电站技术。具体介绍了区域电网故障区间判别整体方案、装置实现、检修和异常处理机制。实际运行经验表明,该方案在区域电网内发生故障后可快速准确识别出故障区间,实现故障的快速定位和检修,加快故障后系统恢复供电。

**关键词:**电缆—架空线混合线路;区域电网;故障区间;故障区间识别;柔性光学TA

**中图分类号:**TM755

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2014)02-0064-05

受城市空间和规划的限制,电缆—架空线混合线路在大中城市中的应用越来越广泛。由于架空线故障以瞬时性故障居多,一般需要启动重合闸,而发生在电缆的故障,则往往是永久性故障,如电缆绝缘破损、电缆中接头故障等,再次重合会对电缆产生较大的损伤,对系统也会造成二次故障冲击,因此一般要求闭锁重合闸。当电缆—架空线混合线路发生故障时,必须先由检修人员找出故障点,查明故障点是位于架空线还是电缆段,只有找到故障点,确定为架空线故障时,才能下达手合故障线路命令,这对检修人员提出了很高要求,同时要耗费大量的人力与物力。

目前对于电缆—架空线混合线路的研究主要集中在保护方面的研究,对快速定位故障区间的研究则比较少<sup>[1-3]</sup>。文献[4]提出了一种适用于架空线—电缆混合线路的新型电抗继电器,该方法可以在线区分电缆故障和架空线故障,但该方法必须基于差动保护原理和通道,对无通道保护而言并不适用。文献[5]提出了一种超高压架空线—电缆混合线路故障测寻方法,但该方法为基于录波器数据的离线计算,且计算方法复杂,不能满足在线判断的要求。另外,由于受限于传统电磁式电流互感器(TA)安装体积及造价等原因,现有的识别架空线—电缆混合线路故障区间的方法,大都是利用现有的保护测量回路,在现有的保护装置中进行功能修改,增加相关判据和定值实现。这些方法在短线或多级混联线路应用时难以整定,误差很大。同时由于这些方法是集成在线路保护装置中,一方面增加了保护装置的复杂性,另一方面故障定位信息分散,不利于运行和检修人员的集中分析。

光学TA具有绝缘结构简单、体积小、重量轻,转变特性好,安装简单等特点,在电力系统变电站,特别是智能化变电站中取得了越来越广泛的应用。其中,柔性光学TA的出现则使得光学互感器的安装和维

护更加方便,可任意弯曲的光缆可适应于任意形状的导体,特别适合于变电站改造、安装空间狭小、不停电安装检修等应用场合<sup>[6]</sup>。基于光学互感器技术,以及智能变电站技术<sup>[7-10]</sup>的发展,本文提出了一种面向区域电网的识别电缆—架空线混合线路故障区间的新方法。

## 1 系统整体方案架构

一个包含4个变电站的小型区域电网如图1所示。中心变电站(在110 kV系统中,一般为主供电源变电站)与其他变电3个站之间分别有线路1、线路2、线路3三条输电线路相连,其中线路1为两段式架空线—电缆混合线路,线路2为三段式架空线—电缆混合线路(架空—电缆—架空线路),线路3全线均为架空线。传统的方法是在中心变电站和站1、站2、站3分别配置6台保护装置,由各保护装置采集安装点故障信息,完成故障点的判断。

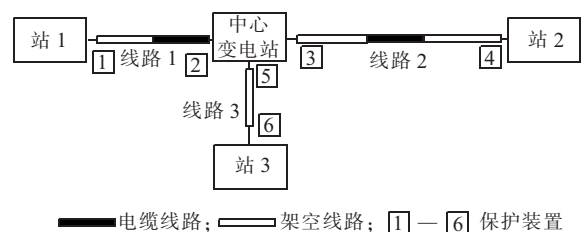


图1 传统判别方案示意图

有别于传统以单一线路为对象的方法,本文提出的方法是以整个区域电网为检测对象,区域电网内包含多个变电站,以及变电站间的多条架空线—电缆混合线路。本方案在区域电网中选定一个变电站作为中心变电站(无特别要求,在110 kV系统中,一般为主供电源变电站),仅在中心变电站内配置一台集中式的故障区间判别装置(与保护装置独立的单独装置),由该装置将区域电网内所有输电线路的电气量信息进行集中汇总处理,实时完成区域电网中任一段线路发生故障时的故障区间定位。

本方案数据采集系统是基于光学互感器,特别是柔

性光学互感器技术。本方案根据区域电网的网络拓扑,在图1所示的区域电网中各线路的两端以及电缆—架空线交接处(如图2中“○”所示)分别安装光学互感器(特别是柔性光学互感器)和就地数据采集装置(合并单元)。为方便叙述,将所述互感器安装点定义为测量点,两相邻测量点之间的输电线路定义为一个故障区间。光学互感器负责一次电流的采集,数据采集装置完成数据的采集和转换后,通过光纤将数据送给中心变电站的集中式故障区间判别装置。本方案整体示意图如图2所示。

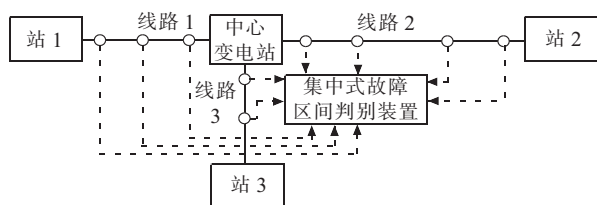


图2 故障区间判别方案示意图

由于各个测量点的合并单元均为就地安装,其与中心变电站的距离大多都超过2 km,多模光纤的数据传输可靠性无法得到保证,故本方案采用单模光纤将采样数据送到中心变电站的集中式故障区间判别装置。通道连接方式如图3所示,可选择专用光纤或复用通道。

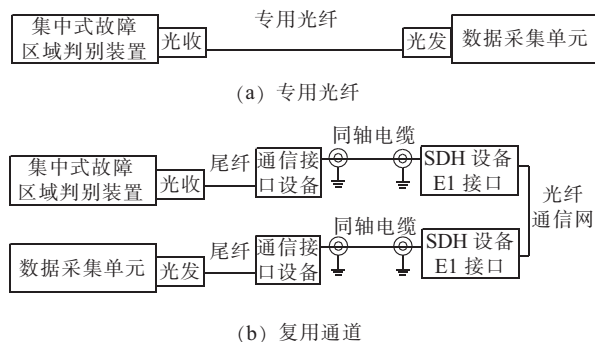


图3 通道连接方式

中心变电站的故障区间判别装置采用集中式设计,即仅由1台装置完成整个区域电网所有线路的故障区间定位。故障区间判别装置接收区域电网内所有测量点的数据,进行综合分析处理,并在故障后识别出故障区间,实现故障的快速定位和检修,加快故障后系统恢复供电的能力。

## 2 故障区间判别方法

基于上述的系统平台架构,集中式故障区间判别装置可以实时获取区域电网内各个测量点的故障电流采样值。由于本方案在电缆—架空线交接处都安装了柔性光学互感器,故通过分析各测量点的故障电流特征,就可以很方便地判别出故障发生的区间。

对于单电源供电线路,当发生区内故障时,故障区间电源侧相间电流主要表现为较大的故障电流,而负荷侧由于无电源提供短路电流,其相间电流主要是少量分流的正序和负序故障电流,以及负荷电流的叠加,电源侧和负荷侧两者相间电流的数量级别差异明显。根据上述故障电流特征,在故障区间判别装置中对每个测量点设置一个可整定的电流定值,在区域电网内发生故障后,故障区间判别装置按线路依次扫描各测量点故障相间电流,若满足一侧相间电流大于整定的电流定值,而另一侧相间电流小于整定的电流定值,则判断为该区间内发生故障。

对于双电源或多电源供电线路,采用电流差动原理实现故障区间的判断。故障区间判别装置按线路依次计算各故障区间的两侧相电流和,若该值大于整定值,则判断为该区间内发生故障。由于差动方案涉及两侧数据同步等技术,则在本文中不做详细叙述。

## 3 集中式故障区域判别装置

上述方案中,设在中心变电站的集中式故障区间判别装置是为本方案专门研发的新装置,该装置接收所有测量点的故障数据,完成整个区域电网的故障区间判别逻辑。为了兼容不同规模的区域电网,以及不同的架空线—电缆混合段数,集中式故障区间判别装置硬件采用即插式标准插件,软件采用模块化设计。这种设计方法可实现按照区域电网的输电线路出线数实例化插件和故障判断模块,按照每条输电线路的测量点数实例化数据接收和处理模块,线路出线数和测量点数均可采用参数整定实现,从而可灵活适用于各种不同网络拓扑的区域电网。如图4所示,故障区间判别装置整体结构由电源插件,判别CPU插件(可扩展),人机接口插件,光耦插件组成,可根据区域电网的规模和网络拓扑灵活扩展插件。判别CPU插件通过光口接收各测量点来的数据,并进行处理,在系统发生故障时,依次扫描2个相邻测量点的数据,完成故障区间的判断。光耦插件主要实现对时、打印、投检修态、信号复归等开入命令的采集。人机接口插件完成显示、录波、打印、报文等人机通信功能。

判别CPU插件根据区域电网的线路条数进行扩展,每个CPU插件的光口数根据各条混合线路上的测量点数进行配置。考虑到一般情况下系统中最多是三段线路混合,本方案中以4光口插件作为标准配置。仍以图1所示的区域电网为例,说明装置的实际配置实现过程。如图5所示,首先根据线路条数实例化3个标准CPU插件,分别实现线路1至线路3的故障区间判别;然后根据每条线路的测量点数分别在线路1至线路3插件中实例化3,4,2个数数据接收和处理模块。

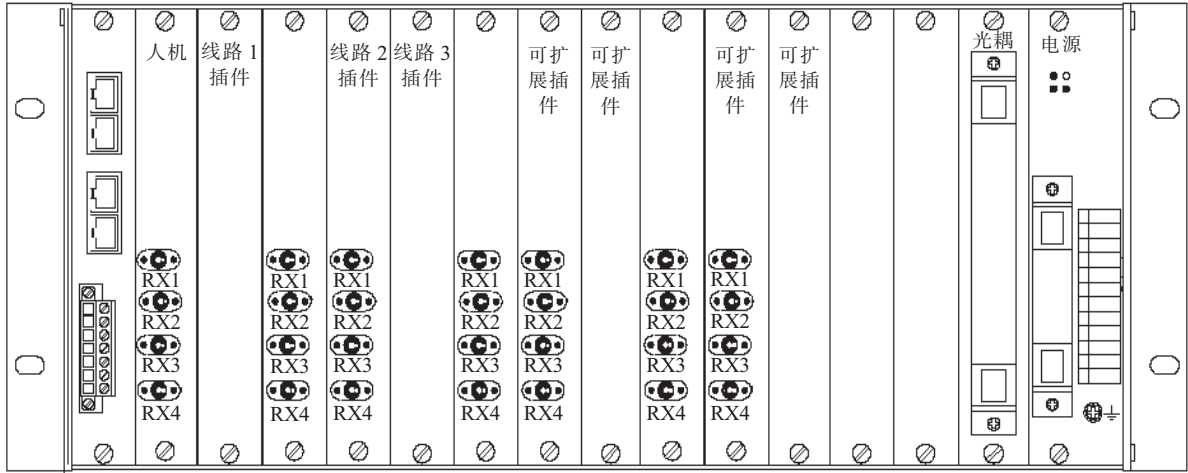


图 4 故障区间判别装置的典型配置图

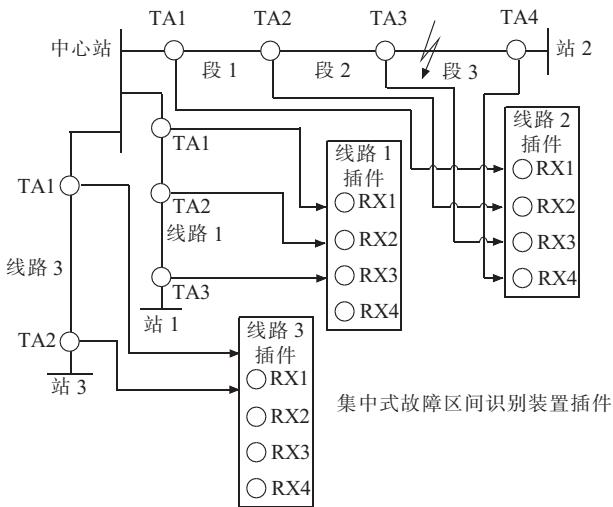


图 5 故障区间判别装置实际系统配置图

对于单电源供电线路,当发生区内故障时,如图5中线路2发生区内故障,在线路2的TA1,TA2,TA3测量点均流过较大的故障电流,其相间电流均大于整定的电流定值,而TA4测量点位于故障点的负荷侧,其相间电流小于整定的电流定值,则判断为线路2的TA3,TA4测量点间的段3发生故障。

对于双电源或多电源供电线路,当发生区内故障时,如图5中线路2发生区内故障,线路2的段1和段2流过的电流均为穿越电流,其两侧TA的分相电流和均为0,而段3的两侧TA分相电流相加,其和很大,故判断为线路2的TA3,TA4测点间的段3发生故障。

#### 4 现场检修及异常情况处理机制

由于本方案是面向区域电网,采用集中式装置实现,系统中任一次设备检修或故障,或装置的某一测量点数据故障将可能导致这个方案失效,故必须考虑灵活的系统检修及异常情况处理机制,将局部因素对整体方案的影响降到最小。

#### 4.1 现场检修机制

集中式故障区间判别装置对每个数据接口均独立设置SV接收软压板,若SV接收软压板置退出位置,则装置自动退出与该TA有关的所有采样、自检、逻辑功能,其他均不受影响。

现场任一线路的检修不影响区域电网其他线路逻辑判断的正常运行。如图5线路1检修需退出运行时,将线路1的CPU插件上RX1~RX3对应的SV接收软压板均置退出状态即可,线路2和线路3的CPU插件可继续运行。线路上任一TA或光学互感器的检修不影响整条线路的运行。如图6所示线路2上的TA2检修,仅需将线路2的CPU插件上TA2对应的RX2的SV接收软压板置退出状态,则RX2对应的所有采样、自检、逻辑均退出。装置自动按照实际有效的TA1,TA3,TA4测量点重新进行故障区间划分,将TA1~TA3视为段1,TA3~TA4视为段2。在图6所示处发生短路故障,装置报“线路2段2故障”。

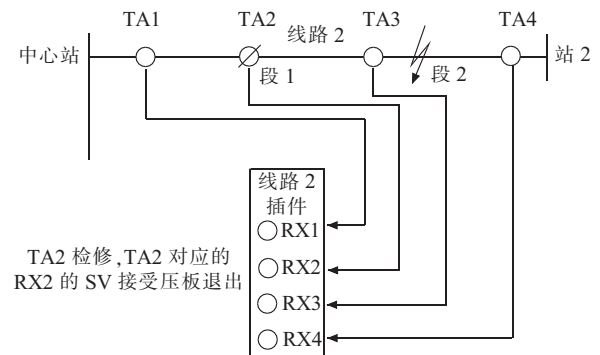


图 6 TA2检修

#### 4.2 装置异常处理机制

安装于中心变电站中的集中式故障区间判别装置任一CPU插件的故障不影响其他CPU插件的正常运行。如线路1的CPU插件故障,仅自动退出线路1的判断功能,线路2和线路3的功能不受影响。集中式故

障区间判别装置任一光纤接收口故障不影响整条线路的运行。如图7所示,线路2的CPU插件上的RX2接收故障,若暂时无法更换插件,仅需将该插件上RX2对应的SV接收软压板置退出状态,则RX2对应的所有采样、自检、逻辑均退出。装置自动将TA1~TA3视为段1,TA3~TA4视为段2。在图7所示处发生短路故障,装置报“线路2段2故障”,即处理结果类似于TA2检修。

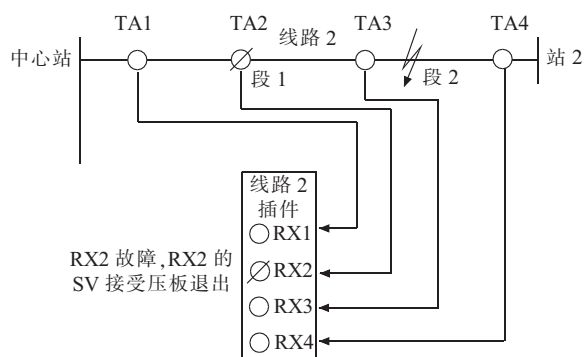


图7 RX2故障

如图8所示,线路1的CPU插件,其光纤接收口有冗余的情况,若该插件上的RX3接收故障,若暂时无法更换插件,可将TA3的采样光纤接入RX4,同时将RX3对应的SV软压板置退出状态,将RX4对应的SV接收软压板置投入状态,则RX3对应的所有采样、自检、逻辑均退出,RX4逻辑投入。装置自动将RX2~RX4对应于TA2~TA3,装置仍将TA1~TA2视为段1,TA2~TA3视为段2不变。

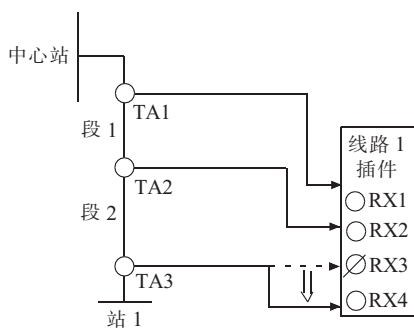


图8 RX3故障

## 5 柔性光学TA及现场应用方案

光学TA是一种新型的光学计量技术,是基于法拉第(Faraday)磁光效应测量一次电流的互感器。光学TA采用光纤作为Faraday传感材料,一次端无需供电,抗电磁干扰能力强,且不存在磁饱和及铁磁谐振等问题;采用反射式光纤Sagnac干涉技术实现对光信号的测量<sup>[7]</sup>,精度高;通过光纤互易结构,使外界的温度、压力等影响能互相抵消,降低了互感器受环境温度、振动等干扰因素的影响,提高了互感器的精度和稳定性。

柔性光学TA是一种特殊安装形式的光学互感器,与普通光学TA的区别是:柔性光学互感器的一次传感部分仅仅为一根带反射镜的光纤,该传感光纤采用了特殊的工艺处理后制成非铠装传感光缆,传感光缆没有固定的形状,可以灵活地盘绕在绝缘电缆外围形成光纤传感环。柔性光学的TA各主要器件如图9所示。

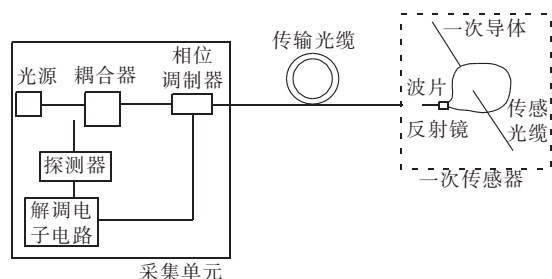


图9 柔性光学TA结构图

柔性光学TA现场安装时只需将传感光缆灵活缠绕在一次导体周围即可,安装方式灵活,其传感光缆能适应任意尺寸的导体,可以现场绕制和熔接,安装和维护方便,尤其适用于变电站的改造或系统新增测量点等工程中。柔性光学互感器传感光缆可缠绕在绝缘电缆的外围,处于低压侧,安装过程中对绝缘电缆没有损伤,因此在安装过程中无需停电,可达到不停电加装TA的目的。典型的柔性光学互感器的带电安装方式如图10所示,图中传感光缆可在绝缘电缆带电情况下进行缠绕。



图10 柔性光学互感器典型传感缆安装方式

## 6 结束语

本方案已经在试点工程获得实施,依据本方案研发的故障区间判别装置、柔性光学互感器、数据采集单元也已经投入运行。工程投运以来,经历了多次故障的考验,运行情况表明,区域电网内故障时,故障区域判别装置能够实时给出正确的故障区段指示,区域电网外的故障,装置不会误判别。

(1) 实现故障的实时定位,架空线瞬时故障可快速恢复供电;减轻了故障寻线工作量,加快了永久故障检修和系统恢复供电的速度。

(2) 将整个区域电网的故障定位功能集中在中心变电站的1台装置中,实现了故障信息的集中获取和同步分析,装置占用屏柜少,投资省,经济实用。

(3) 柔性光学互感器体积小,重量轻,抗电磁干扰能力强,可灵活适应于各种现场条件,实现不停电安装和检修,现场施工简单。

(4) 检修机制简单,异常情况处理智能化,使用及维护工作量小。

本方案对于架空线—电缆混合线路较多的城市电网来说,具有较大的推广使用价值。

#### 参考文献:

- [1] 江少成,岳亚丽,潘震宇,等. 架空线—电力电缆混合线路特性及保护配置探讨[J]. 四川电力技术,2009,32(6):42-44.
- [2] 许晓慈. 架空—电缆混合线路的自适应保护方案[J]. 华东电力,2005,33(9):58-60.
- [3] 范春菊,宋蓓华,郁惟镛. 电缆—架空混合线路相间距离保护方案研究[J]. 供用电,2006,23(5):33-36.
- [4] 沈 军,李超群,朱晓彤,等. 高压电缆—架空线混合线路重合闸新判据[J]. 电力系统自动化,2012,36(13):97-100.
- [5] 吴承恩,郇能灵,郁惟镛. 超高压电缆—架空线混合线路故障

测寻方法[J]. 供用电电力系统自动化,2005,29(10):26-29.

- [6] 王晓菁. 光学电流互感器的研究方向与现状[J]. 电力科学与工程,2008,24(2):34-36.
- [7] 吴 罡,李 琳,李 翔. 110 kV 智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程,2011,30(2):31-35.
- [8] 张沛超,高 翔. 智能变电站[J]. 电气技术,2010(8):4-10.
- [9] 金 逸,刘 伟,查显光,等. 智能变电站状态监测技术及应用[J]. 江苏电机工程,2012,31(2):12-15.
- [10] 许小兵,董丽金,袁 栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程,2013,32(5):55-58.

#### 作者简介:

- 李园园(1974),女,河南济源人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 沈 军(1975),男,江苏南通人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 朱晓彤(1976),男,江苏常州人,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统;
- 王 耀(1980),男,安徽合肥人,工程师,研究方向为一次设备;
- 刘革明(1980),男,湖北武汉人,工程师,研究方向为电力系统继电保护及控制系统。

## Faulty Zone Discrimination Method and Realization for Cable-overhead Mixed Lines in Regional Power Grid

LI Yuanyuan, SHEN Jun, ZHU Xiaotong, WANG Yao, LIU Geming  
(NARI-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** This paper proposes a new method to discriminate the faulty zone for cable-overhead mixed lines in regional power grid based on Flexible Optical Current Transducer (FOCT) and smart substation technology. The overall scheme of the new method, as well as the device realization, maintenance and error handling are discussed in details. The practical application of the method indicates that it is effective to discriminate the faulty zone in regional power grid.

**Key words:** cable-overhead mixed line; regional power grid; faulty zone; faulty zone discrimination; flexible optical current transducer (FOCT)

(上接第63页)

#### 参考文献:

- [1] 杨志新,杨世海. 基于串联补偿的间谐波抑制技术研究[J]. 江苏电机工程,2013,32(2):38-42.
- [2] 赵殿甲. 可控硅电路[M]. 北京:冶金工业出版社.1986:2-79.

#### 作者简介:

- 胡建农(1958),男,安徽芜湖人,高级工程师,从事高压电气设备能源设备技术管理工作。

## Analysis of SVC Single-Phase SCR Breakdown

HU Jiannong

(Energy&Environment Department of Shanghai Meishan Iron&Stell Co.Ltd., Nanjing 210039, China)

**Abstract:** Static Var Compensation (SVC) device has been widely used in iron and steel enterprises. For enterprises' safe production, it is critical to keep SVC operated in a state. In this paper, the anti-jamming performance of two kinds of typical trigger device in the environment of electrical equipment discharge is analyzed, and the reason of causing SVC single-phase SCR breakdown is obtained. Based on the study, we suggest general industrial users to pay attention to the impact of electrical equipment discharge on trigger device.

**Key words:** concentrated pulse trigger; single valve trigger pulse; flash-over phenomenon; thyristor