

[光伏发电]

光伏企业晃电现象分析与解决措施

文/国网江苏省电力有限公司丰县供电分公司 李 滨

中国矿业大学电气与动力工程学院 鹿文蓬 李松亮 卜智龙 陈鸣慧

光伏的生产往往涉及非常复杂的工艺流程，在该生产过程中离不开大量电气设备的参与，其中不乏一些对电压变压十分敏感的设备。通过对现有设备敏感程度进行分析，提出了不同的措施来解决系统因晃电产生的停机问题。

一般电压暂降、瞬时供电中断等现象统称为“晃电”（又称电压骤降、电压凹陷或电压跌落），石化、钢铁、制药、机床、纺织、光纤、供电、精密仪器、芯片、军工、机械和煤炭等企业往往对电能质量有较高的要求。电压暂降会导致一些交流接触器动作，低压电动机转速骤然下降甚至停机，控制器（DCS、PLC等）、电力电子设备以及一些特殊设备为了自我保护停机，从而无法保证生产质量，甚至会引起生产过程的被迫停止，对企业造成大量的经济损失，情节恶劣时，人们的生命健康也将无法得到保证，一些企业还会造成环境污染事故发生。

在工业化时代的今天，大量不可再生能源的利用导致能源出现危机。随着人们环保意识的提升以及国家能源转型战略的提出，光伏行业等新能源公司进入了高速的发展时期。但是，大部分光伏企业的配电网复杂，一些企业的供电线路与民用供电相互连接，而光伏电池的生产需要大量设备共同参与才能完成，因此电力系统发生晃电的问题越来越频繁。晃电发生时，大量敏感性设备在低压保护的作用下便会停机，而工作人员对现场情况检查完重新启动，将设备再次投入运行将会花费数小时。因此提高敏感性设备的抗晃电能力，对保证生产的持续性与企业经济的发展有着重要影响。

晃电发生原因

目前，引发配电线路电压暂降的原因一般有冲击性负荷起动、电力系统邻线出现短路故障及变压器投运等。但是，由于人为误操作或者雷击等自然现象导致的电力系统邻线短路故障是引发电压暂降最重要的因素。

由邻线短路故障引起的暂降如图1所示。

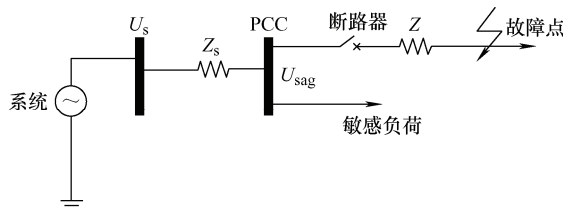


图1 由邻线短路故障引起的暂降

当输电线路的某个位置出现短路故障后，保护装置总是要经过一段时间才能将故障线路切除，在短路发生的这段时间，由于短路电流较大，与其相邻线路下的负荷会经历一次电压暂降。当继电保护装置动作，故障线路从电网中被成功切除后，相邻线路的电压立刻恢复正常，因此，这种情况下电压暂降的时间与继电保护装置的动作时间密切相关。目前大多数的继电保护装置都采取电流保护，从故障发生到保护装置动作一般需要0.2 s。即使是采用无延时的保护，数字控制器处理的速度也需要花费3~6个周波，当负荷对电压暂降非常敏感

时,也会引起严重的后果。

企业现状

某光伏企业在生产高效单晶硅太阳能电池片时,其工艺流程主要包括制绒清洗、扩散、刻蚀、镀膜和丝网印刷烧结,具体工艺流程如下。

- 1) 进料。原料硅片由硅片进料间进入制绒清洗区。
- 2) 制绒清洗。硅片送入制绒区,并且在清洗制绒机里进行单晶碱性制绒和酸碱化学表面清洗。
- 3) 扩散。制绒清洗后的硅片由传递柜送入超净区,在 LP 扩散炉生成 PN 结。
- 4) 湿法刻蚀。将扩散后的硅片放置在专用的湿法刻蚀机上进行酸碱刻蚀,去除四周 PN 结与磷硅玻璃。
- 5) 退火。刻蚀后的硅片送入退火炉再进行退火处理,从而达到纯化硅片的目的。
- 6) 背面钝化。退火后硅片由传递柜送入镀膜区,在背钝化镀膜设备进行背面钝化处理。
- 7) 正面镀膜。背面钝化后的硅片送入正镀膜设备再进行正面镀氮化硅膜。
- 8) 丝网印刷烧结。当镀膜结束以后,硅片由门洞进入丝网印刷烧结间。在丝网印刷设备上先进行正背面丝网印刷并烘干,然后进行烧结,最后测试分选。
- 9) 包装。测试分选后的电池片在包装区域进行包装。
- 10) 出料。完成包装后的单晶硅太阳能电池片由成品出料间转送到仓库储存。

以上生产过程中往往需要隔膜泵、真空泵、风机、变频器和继电器等对电压十分敏感的设备参与。

该光伏企业是由 4 回 10 kV 市电供电,自 2017 年以来,企业进行了电压波动影响台账的统计,给出了电压波动发生的时间、原因、影响产量数量、设备损坏及台账等,但由于没有电压暂降或者相应电能质量的电压及电流波形统计数据,一方面无法区分是由何种的电压问题造成设备损坏,何种电压造成停产;另一方面无法判断电压暂降来源于网侧还是厂侧,因此在不清楚厂区的电压暂降环境下,电压暂降治理也无从谈起。

为了实时监测厂区电压暂降的工况及波形数据,分析电压暂降来源,明确电压暂降治理方案,因此 2020

年在低压侧共安装四台电压暂降监测装置来监测四路暂降情况,项目所安装的检测仪状态如图 2 所示,其运行界面如图 3 所示。

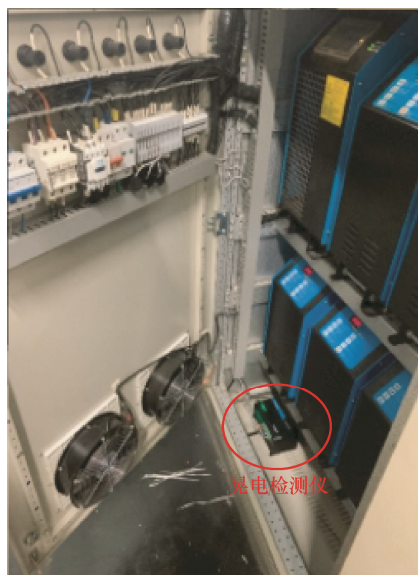


图 2 晃电检测仪安装状况



图 3 电压暂降检测仪运行界面

通过电压暂降检测仪所记录的波形以及统计的暂态事件,结合 2020 年 1~6 月企业所统计的信息,可以对该光伏企业的电压暂降环境有一个初步的了解。

企业治理方案

根据对该光伏企业的现场情况以及对敏感设备情况的总结,综合考虑项目实际情况并采用分散式重点治理方案。

1. 线圈类设备解决方案

接触器或者继电器等敏感环节设备主要由电磁式交流接触器控制其接通和分断,目前电磁式交流接触器已经应用在大量电气设备上,通过它可以开通或断开配电路或

容量较大的控制电路。在厂用交流电网发生电压暂降时，若当前的电压低于规定值，则接触器的主触头释放，导致所带负载停机，造成巨大的经济损失。因此，为了解决电压暂降对线圈带来的影响，需要安装接触器低电压穿越保护装置，即线圈类负载电压暂降保护器。

线圈类负载电压暂降保护器的基本原理为：交流电经滤波整流后，经过电压采样，控制器检测交流输入的过零点，发出 PWM 信号，经过驱动电路放大后，作用在功率开关管上，控制他们的导通与关断；根据设定接触器线圈保持电流的大小，当控制器检测到交流电压不低于 25% 的额定电压时，通过数字 PI 来计算 PWM 占空比，保证流过线圈的电流恒定足以维持线圈吸合而不停放，其原理图与工作示意图分别如图 4、图 5 所示。

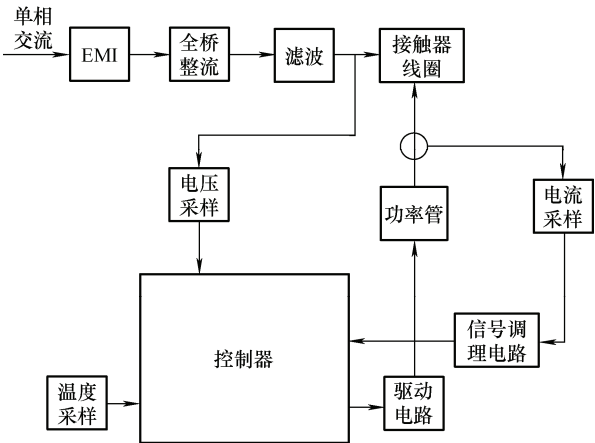


图 4 线圈类负载电压暂降解决方案原理图

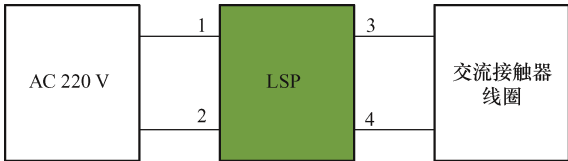


图 5 线圈类负载电压暂降保护器外围接线示意图

2. 串联型治理方案

采用电压暂降串联型解决方案，串联型电压暂降保护器串联于负载交流进线前端，电压暂降发生时，串联型电压暂降保护器将储能单元电压进行逆变，提供完美的正弦输出，将负载交流进线电压维持在正常工作允许的范围之内，从而确保交流负载能正常运行。

当电网电压水平正常时，市电均通过静态开关提供给负载，另外市电通过充电器给储能单元充电。在电压跌落时，切换至储能单元放电模式，通过 Boost 升压电路对储能进行升压，再经过逆变回路输出满足要求的三相电，给负载供电。由市电到储能单元切换时间快达 2 ms，可保证负载不间断运行。

串联型治理设备主要由充电器、储能模块、Boost 升压电路、静态开关和逆变器组成，其工作原理如图 6 所示。

3. 并联型治理方案

主要解决敏感环节为变频器、ASD 和伺服等含整流逆变环节的电力电子类负载的电压暂降问题。电网电压跌落到低于变频器等设备的欠电压保护值会立即跳闸保护停止输出。

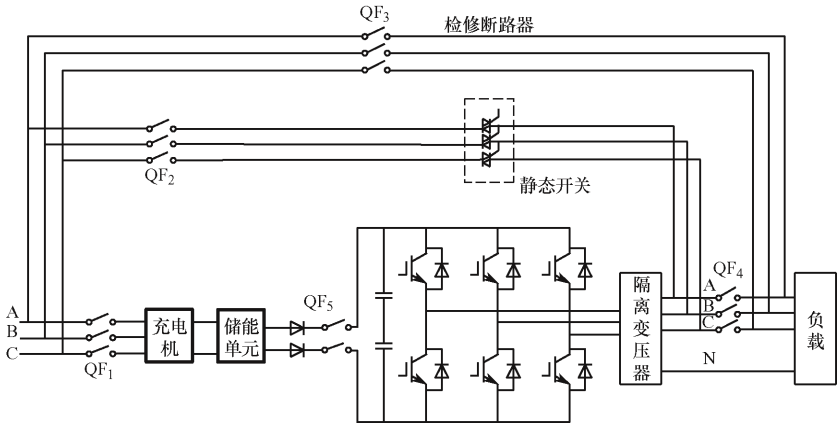


图 6 串联型治理设备工作原理图

变频器为交直交工作原理，可以实现交、直流冗余供电方式，可以在变频器等电力电子负载的直流母线上

并联一路直流来提高变频器供电可靠性。
并联型解决方案采用储能和直流变换技术，电网电

压跌落时,利用储能单元提供负载所需的能量。具体来说,利用电力电子变换单元将储能单元直流电压进行升压稳压,供给变频器直流母线,使之维持在工作电压范围之内,从而确保在电压跌落时变频器能正常运行。并联型治理设备方案原理如图7所示。

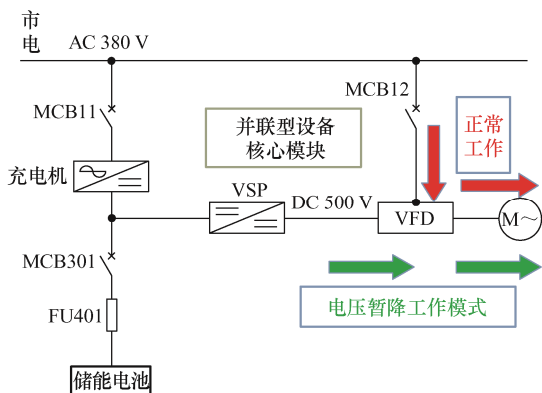


图7 并联型治理设备方案原理图

4. 并联直流+变频解决方案

为了解决风机、水泵、真空泵和纯水系统的电压暂降问题,采用并联直流+变频解决方案(直流并联系统+变频调速传动系统)。为了减少电动机起动带来的过电流问题,同时为了改善电动机运行时的稳定性,节约能源,采用电力电子变频器的变频调速目前已经成为大量电动机调速的最佳选择。

电网电压跌落时,变频器低于变频器欠电压保护值会立即跳闸保护并停止输出。变频器为交直交工作原理,可以实现交、直流冗余供电方式,可以在变频器直流母线上并联一路直流来提高空调变频器供电可靠性。直流并联系统采用储能和直流变换技术,电网电压跌落时,利用储能单元提供负载所需的能量,从而确保在电压跌落时变频器能正常运行。

作为一种价格较高的电力电子设备,过电压、欠电压保护是变频器不可缺少的功能。当系统检测到输入电压不在安全值之内时,控制电路将输出关断信号,该信号作用在功率开关器件上后,逆变器停止工作,电动机进入自由制动状态。逆变器器件为IGBT时,在失电压或停电现象发生后,一般允许变频器继续短暂运行 t_d ,若失电压或停电时间 $t < t_d$,变频器将平稳过度运行;若失电压或停电时间 $t > t_d$,变频器进入保护从而停止工作。通常 t_d 的范围在15~25ms,但大部分电压暂降的持续时间都大于 t_d 。结合变频器的原理和工作方式,并联直流系统会对变频器直流母线电压跟踪,当变频器直流母线电压低于设定值时,开关瞬间导通,变频器迅速从电网供电切换至并联直流系统供电,从而确保变频器可以不受影响持续工作。并联直流+变频治理方案原理如图8所示。

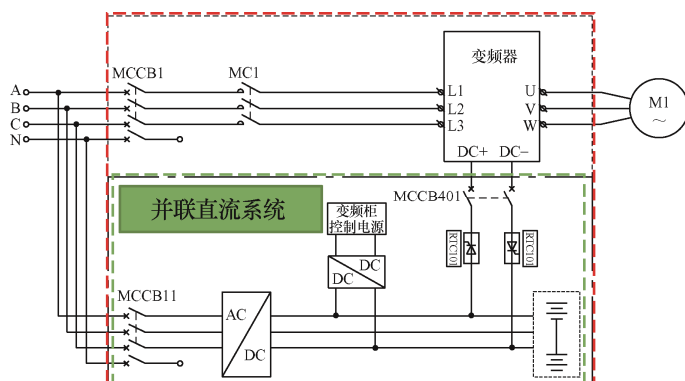


图8 并联直流+变频治理方案原理图

结束语

电压暂降晃电等情况,其危害常常涉及石化、制药、纺织、新能源和新材料等多种行业。近年来生产控制设备越来越多采用电力电子技术,其对电能质量的敏感性更高。电压暂降、谐波等电能质量的恶化给用户带来巨

大的经济损失,甚至造成安全环保事故的发生。

通过上述方案的实施,有效防止了电压波动对生产带来的影响,该光伏企业近半年来再也没有因为晃电发生停电、停机事故。本文所提出的方案安全可靠,同样适合其他新能源、石油化工等大型企业改进利用。EA

(收稿日期:2021.01.26)