

新型电压控制装置的开发

邓隐北, 黄仁珠, 李光周, 刘海明

江西森阳科技股份有限公司

1 前言

光伏发电设备大量接入高压配电系统时, 一直担心电压升高、电压变动等对系统造成的影响。对于原来的电压控制装置(分级式调压器, SVR), 存在光伏发疯迅速的功率变动不能跟踪的问题。而考虑采用可连续控制、响应性又快的自动式 SVC(静态无功补偿器)等作用解决对策的话, 在使用装置费用高、设备数量多的高压配电系统的场合下, 则保持电压稳定的成本太高。因此, 作为高速控制性能与低成本两方面可以兼备的电压控制装置, 对比 SVR 能高速控制, 对比自励式 SVC 等在运行效率及成本方面均有利的新型电压控制(以下称混合式电压调节器, HVR), 对此已进行开发。这次, 还试制了 6KV 级的实际验证装置, 通过对模拟配电系统中的电压调节效果和系统故障时的相应操作试验, 已能确认本装置的可行性和有效性, 下面对有关方面予以介绍。

2 HVR 的概要

2.1 主电路结构

HVR 的主电路结构如图 1 所示。本装置由励磁变压器、控制变压器、晶闸管(闸流晶体管)式分接抽头切换电路、逆变电路等构成。接于高压配电线路的励磁变压器, 其二

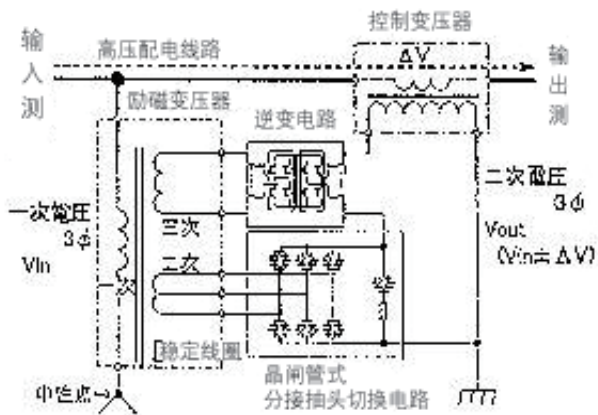


图1. 主电路结构 (1相)

次线圈上连接着晶闸管式分接抽头切换电路, 三次线圈上连接着逆变电路。晶闸管式分接(插)头切换电路进行电压的粗调节; 逆变电路则进行电压的微调节, 且对这两个电路的输出串联连接, 然后施加到控制变压器上, 以便对高压配电线路的电压进行调节。

2.2 电压控制方式

(1) 控制的方框图

本装置的控制框图如图 2 所示。为对二次相电压调正到设定值, 本装置将分接头切换电路的前馈(feed forward)控制与逆变电路的反馈(feed back)控制组合在一起。这一控制是对每相设置的控制电路个别进行的, 它还可以改善不平衡电压。

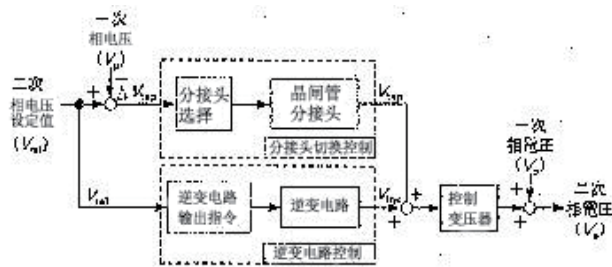


图2 控制方框图

(2) 分接头切换与逆变电路的控制方框图

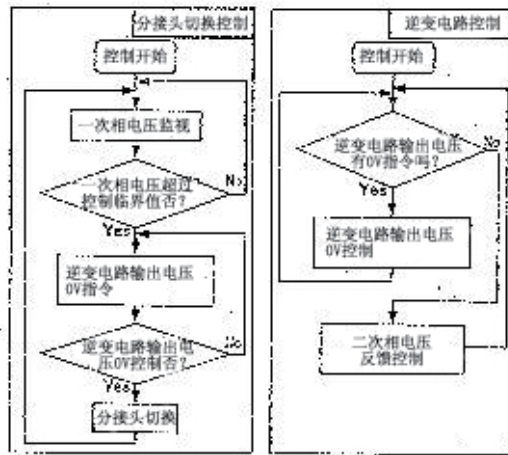


图3 控制流程图

分接头切换与逆变电路的控制图示于图3。对于分接头控制,是监视一次相电压,再通过分接头的切换将二次相电压调整到设定值附近;而逆变电路的控制,是将二次相电压调整到设定值这样的进行输出电压的控制。进行分接头切换时,要对逆变电路进行输出电压的0V(零电压)控制,分接头切换完成后,解除零电压控制,再断开二次相电压的逆变电路控制,这一控制是各相独立进行的。这就要求分接头控制与逆变电路控制必须协调一致。

(3) 分接头 (tap) 切换控制

分接头切换控制,将1个分接头部分的补偿电压 V_{ltap} (相电压换算) 与设定值之差电压 ΔV_{tap} 进行比较,再根据分接头位置选择表(表1)来选择分接头。

表1: 分接头位置选择表

ΔV_{tap} 的大小	T_{tap}	备注
$\Delta V_{tap} < -\frac{5}{2} V_{ltap}$	1	降压3级
$-\frac{3}{2} V_{ltap} \leq \Delta V_{tap} < -\frac{1}{2} V_{ltap}$	2	降压2级
$-\frac{1}{2} V_{ltap} \leq \Delta V_{tap} < \frac{1}{2} V_{ltap}$	3	降压1级
$\frac{1}{2} V_{ltap} \leq \Delta V_{tap} < \frac{3}{2} V_{ltap}$	4	不调压接通
$\frac{3}{2} V_{ltap} \leq \Delta V_{tap} < \frac{5}{2} V_{ltap}$	5	升压1级
$\frac{5}{2} V_{ltap} \leq \Delta V_{tap}$	6	升压2级
	7	升压3级

(i) 由晶闸管式分接头切换的1个分接头部分的补偿电压计算

$$V_{ltap} = K_p \times K_s \times V_p \quad (1)$$

K_p : 励磁变压器的匝数比(1个分接头部分)

K_s : 控制变压器的匝数比

V_p : 一次相电压的现在值

(ii) $\Delta V_{tap} = V_{ref} - V_p \quad (2)$

V_{ref} : 二次相电压设定值

(iii) 分接头位置的选择

利用按(2)式求得的 ΔV_{tap} , 根据表1以选择分接头。

(4) 逆变电路控制

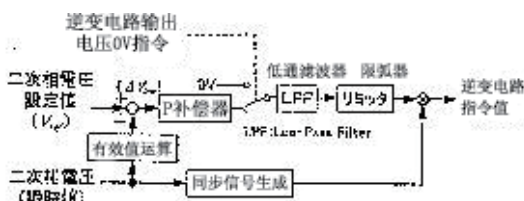


图4 逆变电路控制框图

逆变电路控制的方框图示于图4。逆变电路正常是对二次电压进行反馈控制。逆变电路进行的是相应于二次相电压与设定值之差电压 ΔV_{inv} 的P(比例)控制,其操作旨在消除 ΔV_{inv} 。

2.3 特点

(1) 高速电压调节

使晶闸管式分接头切换电路与采用了高速半导体IGBT(绝缘栅双极晶体管)的逆变电路组合一起,因此可实现高速的电压调节。

(2) 低成本

由逆变电路导致的电压调正范围限定于1个分接头部分,因而抑制了逆变电路的容量,对比自励式SVC实现了低成本化。而且,逆变电路闸流晶体管的冷却采用了热管(heat pipe)方式,可达到无风扇化,免维护化。

(3) 电压不平衡的对策

分接头切换电路与逆变电路均为各相设置,可个别的进行调压,故配电系统的三相不平衡电压能够应对,予以改善。

(4) 高效率

比SVR虽稍微差些,但比自励式SVC则实现了高效率。

3 实际验证装置的开发

3.1 实际验证装置的规格

本装置的规格如表2所列。电压调整范围(ΔV)中,分接头可调整的电压 $\pm 225V$,每一分接头的电压为 $75V$,由7个分接头(升压3级、不调压接通、降压3级)组成的结构。此外,逆变电路的电压调节范围为 $37.5V$,是对分接头之间的电压的一种补充。

表2: 实际验证装置的规格参数

项目	额定值	备注
额定线路容量	3,000 kVA	
控制容量	124 kVA	分接头 : 106 kVA 逆变电路 : 18 kVA
额定一次电压	6,600 V	
额定二次电压	6,600 V	可校正三相不平衡电压
电压调节范围(ΔV)	$\pm 262.5 V$	分接头 : $\pm 225 V$ 逆变电路 : $\pm 37.5 V$
额定二次电流	262 A	
結線	星形	
短路强度	6,550 A 2秒	额定电流的25倍

3.2 实际验证装置的外观

本装置的外观示于图 5。变压器部分的主要作用是
与高压配电路的连接。设置在控制箱上部的热管里面，安
装有逆变电路、闸流晶体管，下部安装着控制装置。

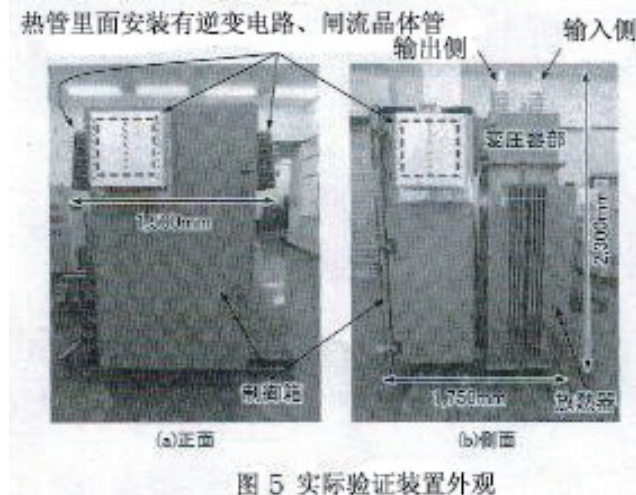


图 5 实际验证装置外观

4 试验结果

4.1 实际验证装置的规格

将实际验证装置安装于模拟配电系统设备上，已进行
了试验。试验的场景示于图 6。

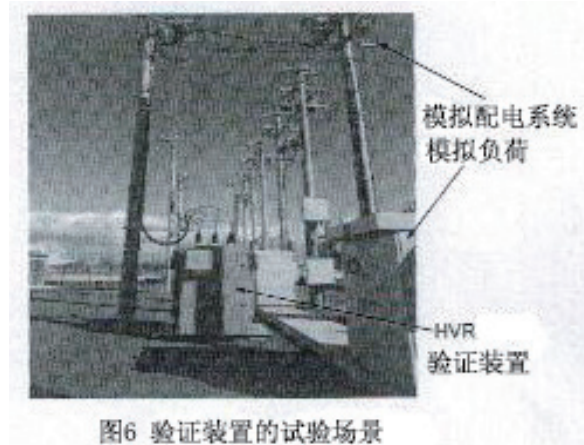


图6 验证装置的试验场景

试验时，改变输入电压之际，对负荷变化时的各项电
压进行测定。对二次电压是否调整到设定电压（6600V）
予以确认。

图 7 为输入电压变化时的试验结果。该试验中，将
输入电压三相一起降低，对 HVR 的调压效果进行了确认。
一旦输入电压降低，通过对正常二次电压进行监视的逆
变电电路，则开始调整电压。即使逆变电路的电压调整
达到上限也未达到二次电压的设定值，则由分接头切换
来进行电

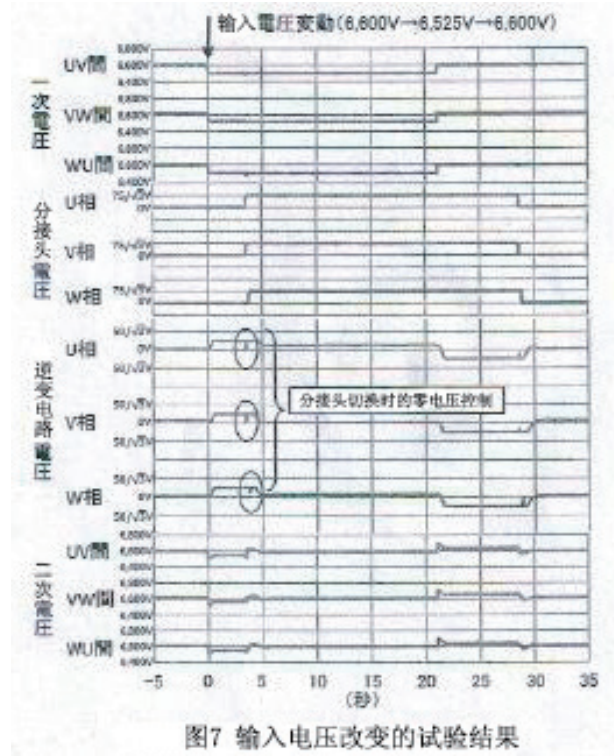


图7 输入电压改变的试验结果

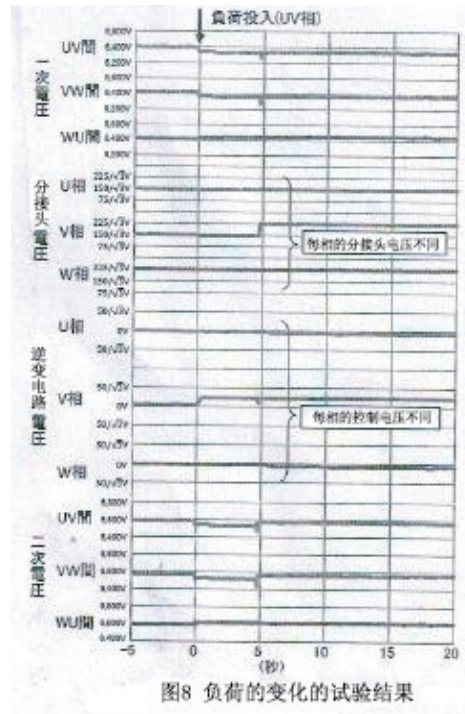


图8 负荷的变化的试验结果

压调整。结合这一分接头切换的时延调节（timing），进行
逆变电路的零电压控制。分接头切换后，由逆变电路的
调压才是可能的，每相均进行控制，使二次电压接近于
额定电压，这点已能确认。

其次，输入电压一旦回复到变动前的电压（上升），由

逆变电路开始调整电压。即使逆变电路达到调压的下限也未达到二次电压的设定值，则由分接头切换进行电压调整。分接头切换后，逆变电路进行电压调整，由此，对每相均控制，使二次电压接近额定电压，这点也已确认。

图 8 为负荷变化的试验结果。在该试验中，将负荷投入 UV 相，由于负荷的变动产生不平衡电压。相对于这一不平衡状态的电压，HVR 由分接头切换和逆变电路对每相的电压进行调节，并将二次电压调到接近设定电压值，这点同样也已经确认。

此外，相应于不平衡电压的变动，电压调节效果的测定结果列示于表 3。实际验证装置产生的一次电压不平衡最大为 3.45%，而二次电压的不平衡得到改善为 1.38%。根据这一结果，HVR 能改善不平衡电压这方面已经确认。

表 3 不平衡电压调整结果

试验 No	测定点	线电压 (V)			不平衡率 (%)
		U-V 間	V-W 間	W-U 間	
1	一次	6,473	6,653	6,870	3.45
	二次	6,518	6,608	6,675	1.38
2	一次	6,555	6,683	6,863	2.67
	二次	6,533	6,593	6,638	0.92
3	一次	6,330	6,368	6,450	1.11
	二次	6,563	6,563	6,615	0.53

4.2 短路试验

配电系统上发生短路故障时，HVR 要求能耐受正常进行保护操作的短路电流。短路电流增大的倍数为控制变压器中匝数比的倍数，在分接头切换电路的晶闸管与逆变电路的 IGBT 中均流过过大的电流。

半导体的晶闸管与 IGBT，因其短路的耐受量比机械接点的要低，短路电流的检测和保护操作，都必须在短时间内进行。

短路电流的试验电流，按照 JEC-2200 “变压器” 的标准，应为额定电流的 25 倍，2 秒钟的时间。

从这一试验结果在试验电流的通电中，未曾看到电压和电流的急剧变化。而且实际验证装置没有损坏，其后的电压调节已正常操作。按照这一结果，可以确认：保护操作正常，且能耐受短路电流。

5 结束语

可跟踪光伏发电快速功率变动的高速且连续的电压控制，以及作为能校正三相不平衡电压的设备，在设定 HVR 基本规格的同时，也确定了其控制方式。

按照其基本规格，制作了实际验证装置，并将其设置在模拟配电系统的设备上，在近似于实际配电网的状态下，发生电压变动和电压不平衡等，确认了其电压调节效果良好，预计可适用于实际的配电系统中。

今后，明确 HVR 的最佳逆变电路容量与设置场所，在实际的配电系统中通过滤波器试验，确认其长期可靠性的基础上，目标旨在实用化。

原文出处：加纳稔久，苻川谦治，新型电压控制装置的开发，(日)《电气评论》2016 .NO10, P54-P57

上接 147 页

通用款 BsT-7 损耗测试系统：

由德国的 LMG610(功能与 CH2335A 相同)、德国的 DrHubert 功放、国产的 Rigol 信号发生器，配合安博磁的德国 BsT 测试主机和测试软件，以及电脑和数据库组成。

5 总结

本文针对软磁材料在高激励条件下的测量系统进行了介绍，对损耗测试处理过程中的问题和解决办法进行了叙

述，并提出了系统的解决方案。

- 示波器法是测量软磁材料高激励条件下的最好选择
- BsT-2 是测量低导磁率大磁芯首选仪器
- BsT-Pro 提供直流偏置条件下的功耗数值，同时揭示饱和特性

BsT-X 系列 BH 测试设备能够提供自动、简易、开放的测量系统，具有最好的性价比以及升级换代的机会；满足当今功率电子运用的需求。