具有三相电压平衡功能的晶闸管式自动电压调节器的开发

邓隐北，陈阳阳，普金星　编译

河南科诚节能环保检测技术有限公司

1　前言

按照可再生能源的充分有效利用和节能的观点，在配电系统中正在推进光伏发电的引入以及热泵（heatpump）式供热设备的安装。有关这些设备，多数是大容量的且单相连接，随着它的普及推广，在一部分高压配电线上出现三相不平衡增大等问题愈益凸出（图 1）。

作为解决三相不平衡的对策，迄今，正实施着；柱上变压器连接相位的变更和高压线的交叉等廉价而有效的改进工程。

但是，光伏发电和热泵式供暖机器等设备，在昼夜间其发电负荷的高峰时间段是各自不同的，特别是光伏发电，因气候的变化电压在短时间内会产生波动，采用原来的电压管理方法是难于解决此类现象的。

日本“四国”电力公司，作为光伏发电电压波动的对策，从平成 26 年（2015 年）以来一直引用了响应性优越的晶体闸流管（thyristor）式适应电力逆潮流的电压调节器（以下，通称逆潮适应 TVR）。

这次，为协调上述问题，在“爱知”电机公司的协助下，在逆潮适应 TVR 上，附加了有电压不平衡功能的新型 TVR（以下，通称适应电压不平衡 TVR）对此进行了开发，其大概情况介绍如下。

2　适应电压不平衡的 TVR 特点

2.1　外观及主要规格

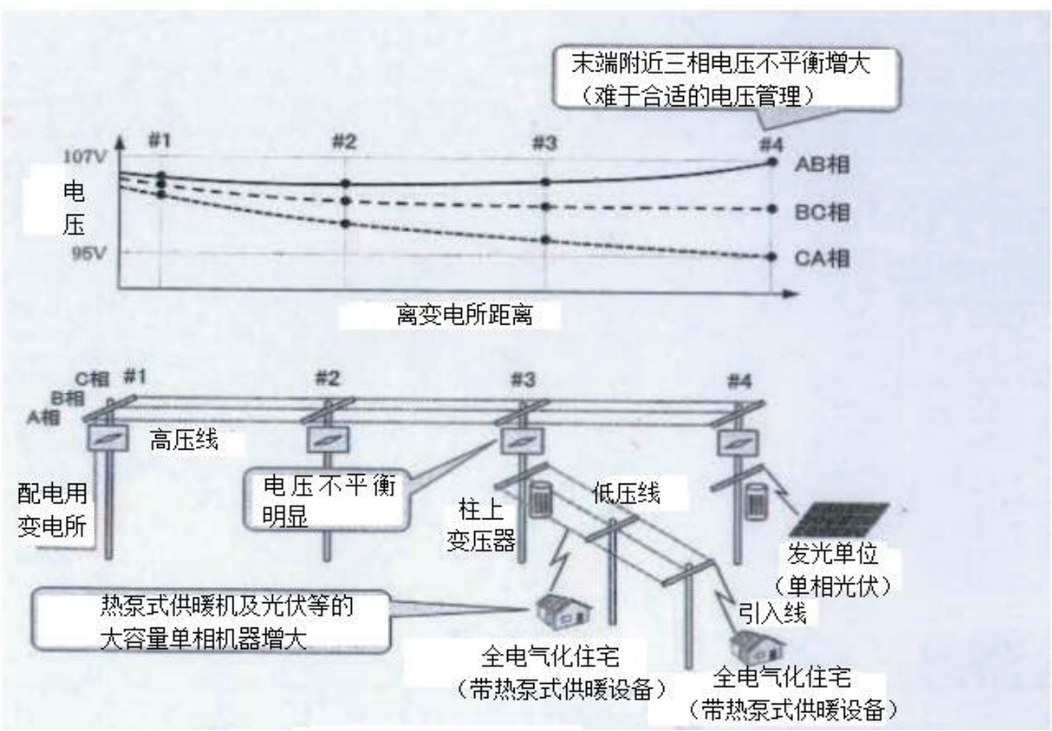


图 1　易产生电压不平衡的系统

图 2　开发的适应电压不平衡 TVR 安装案例

这次开发的适应电压不平衡 TVR，是在现有逆潮适应 TVR 的分接头（tap）控制方法上加以改进的，故外观和重量等基本规格几乎相同，借助制作的 2 台调节变压器，力图实现紧凑化与轻量化（图 2、图 3、表 1）。

2.2　电压控制方法的改进点

逆潮适应的 TVR，是由插入高压配电线线间的电压调节变压器（以下，称调节变压器）和串联插入线路的串联变压器组成，调节变压器的低压回路与串联变压器的低压回路，采用由晶闸管式分接头切换器连结成的间接切换方式，调节变压器为 V 形结线，串联变压器为 Y 形结线（图 4）。

至此，对 2 台调节变压器的分接头是进行成批（一次）控制的，故每个相位的电压调节不能协调，但这次的开发产品中，调节变压器上分别设置了电压计测用的 VT（电压互感器），能独立的对分接头进行切换控制，在规格变更的同时，对 2 台调节变压器部的分接头信息在控制盘上能显示这点也做了改进（图 5、图 6）。

具体的电压控制实例如图 7 所示。此时，调节变压器的连接相：AB 相与 BC 相其目标电压设定为 6600V，通过对 AB 相与 BC 相的升压分别控制在 +300V 和 +200V，CA 相也得到了 +250V 的升压效果，综合三相的不平衡也予以改善（图 7）。

此外，借助对变压器分接头的单独控制，将担心零相电压（以下，表示为 V_0）的扩大，而本 TVR 采用的 V-Y 结线中，由 V 结线控制升压的幅度，如施加到 Y 结线变压器的升压部分，因 Y 结线侧的中性点形成重心位置，故 V_0 不会扩大，也不存在变电所接地保护继电器不操作等问题，这点已经确认。

3　在配电系统上的应用例子

3.1　试验系统

关于这次开发的产品，适用于实际产生三相电压不平衡的配电系统中，为了验证其改善的效果，进行了现场试验。

该配电系统如图 8 所示，当负荷与光伏发电不平衡的连接时，一昼夜之间该系统电压最大的相位是不同的。

关于机器的设置场所，该系统原有的 SVR 因已经安装，故将适应电压不平衡的 TVR 取代它，以此予以协调。

此外，关于连接的相位，以电压不平衡最大时间段内的最高电压相为 CA 相，而以其最低电压相为 AB 相，据此，可望将最佳改善效果的 CA、AB 各个相作为调节变压器的连接相（图 8）。

3.2　试验方法

在平成 28 年（2017 年）2 月 24 日，将适应电压不

表 1：适应电压不平衡的 TVR 规格

型式	户外用油浸自冷式
相数	3 相
线路容量	3000KVA
额定线路电压	6600V
额定调节电压	±300V
分接头（抽头）点数	7 点，抽头幅度 100V
配电线短路电流	2.0KA 以下
结线	串联变压器：Y 接线 调节变压器：V 接线
总重量	2300kg
尺寸	（纵向）1565mm （横向）1420mm （高度）2085mm

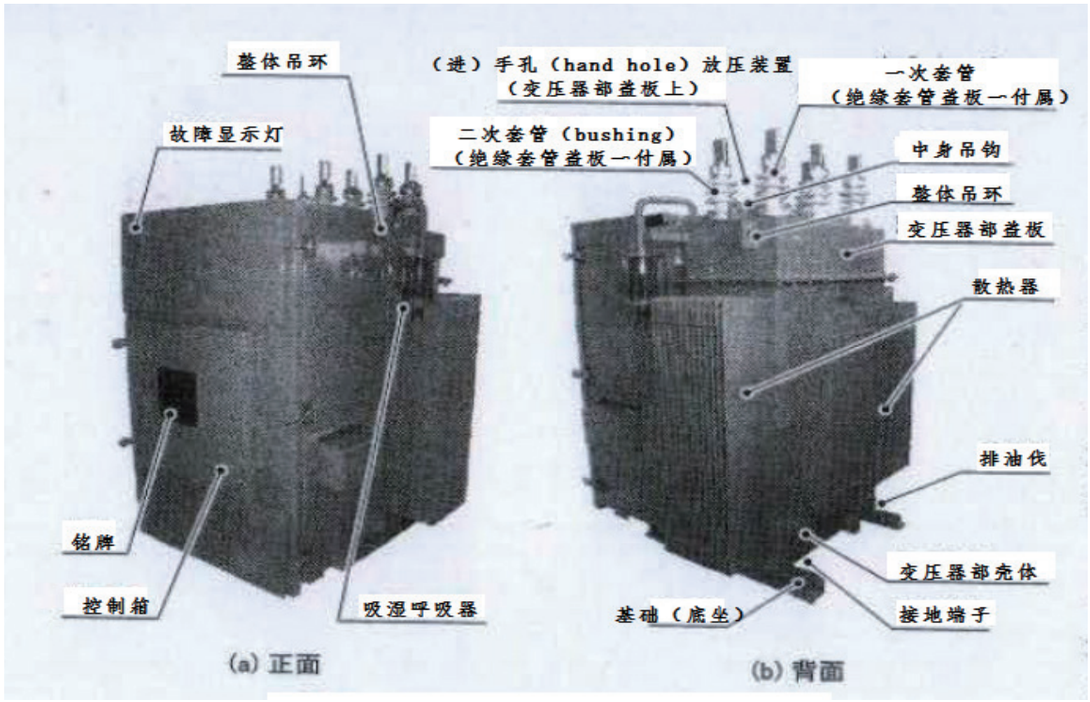


图 3 适应电压不平衡的 TVR 外观

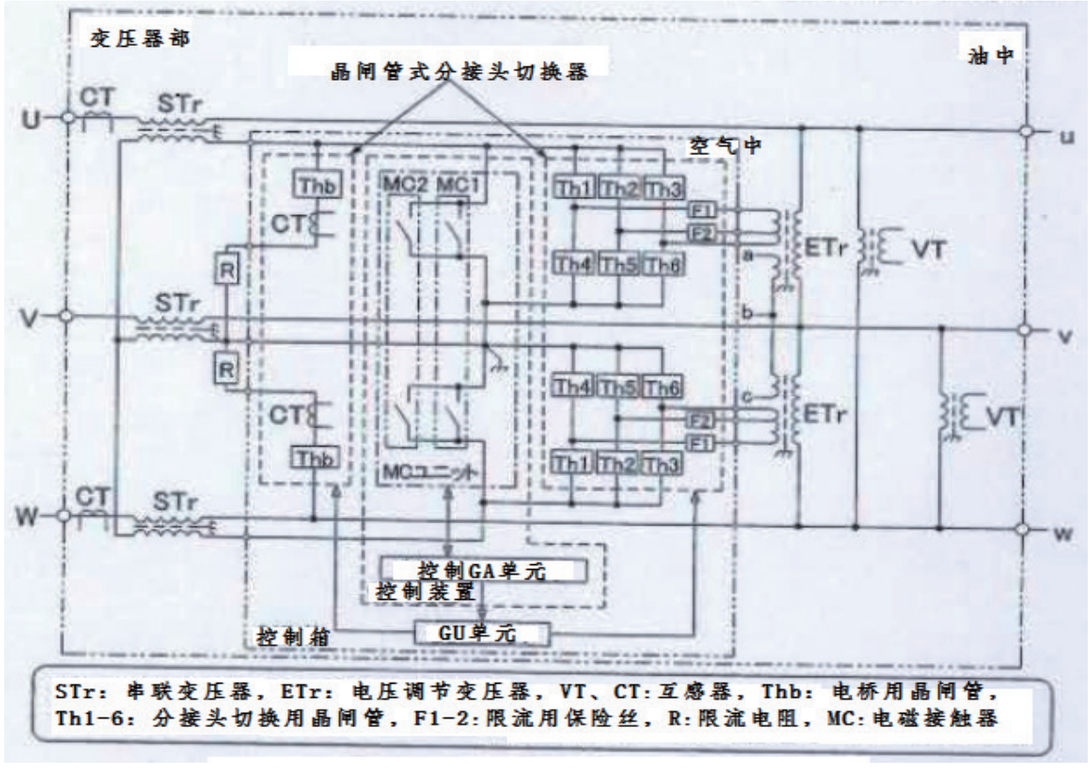


图 4 适应电压不平衡 TVR 的主回路结构

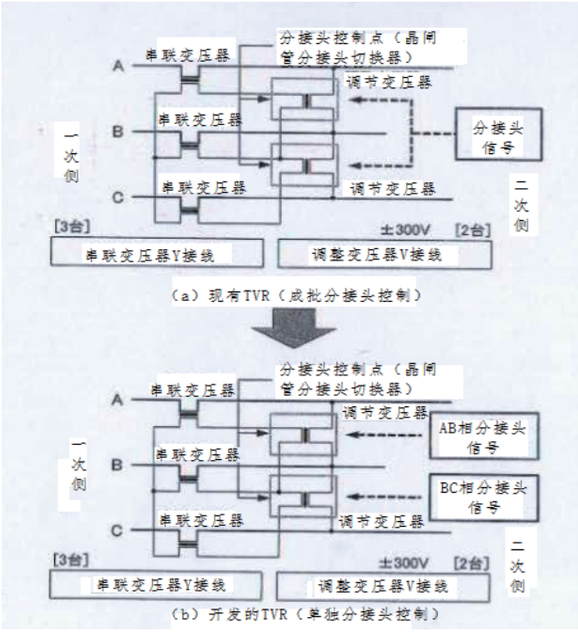


图 5　TVR 的改进点

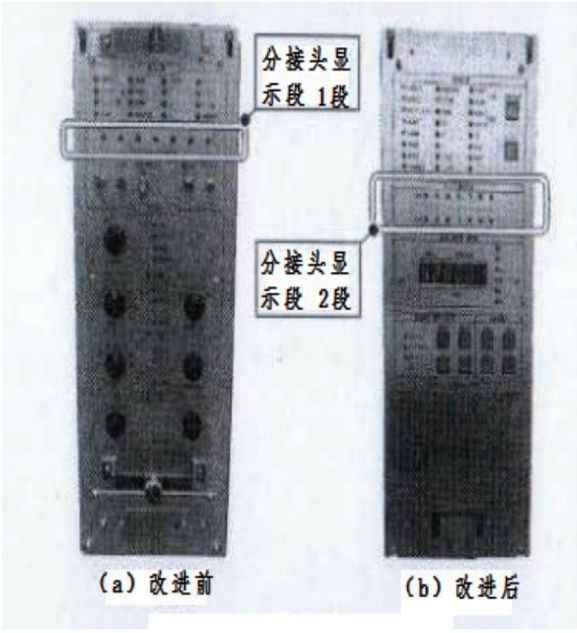
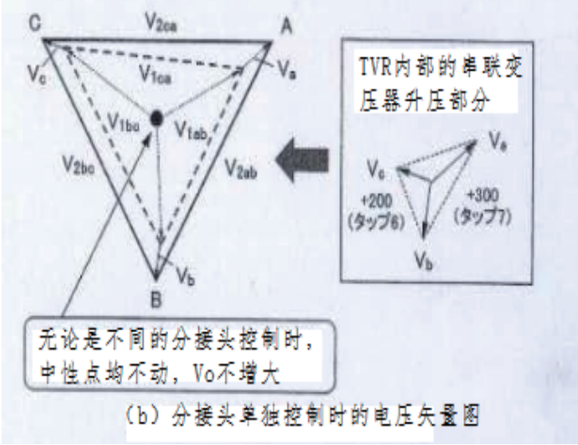


图 6　TVR 控制部的面板

相别	TVR一次侧		升压侧		TVR二次侧
Vab	6,300V	+	+300V(タップ7)	=	6,600V
Vbc	6,400V		+200V(タップ6)		6,600V
Vca	6,350V		—		6,600V

注）目标电压：6600V，%R=0，%X=0的场合下

（a）适应电压不平衡TVR的控制逻辑特点



（b）分接头单独控制时的电压矢量图

图 7　具体的控制例子

现场试验系统的负荷，光伏不平衡状况

	TVR一次侧 (kVA)		TVR二次侧 (kVA)	
	负荷	PV	负荷	PV
AB相	630	207	1,735	850
BC相	296	139	1,170	665
CA相	352	89	1,528	951

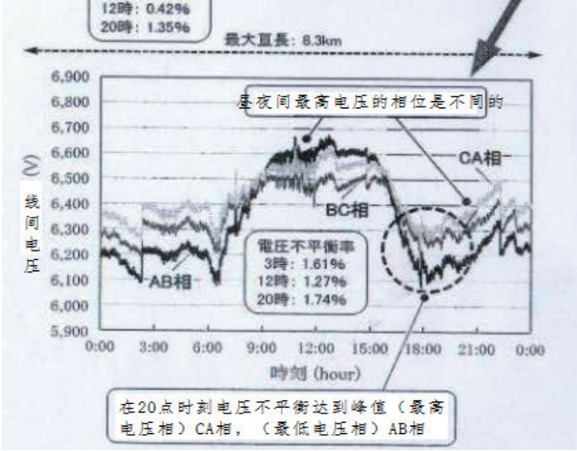


图 8　现场试验系统的配电系统末端电压

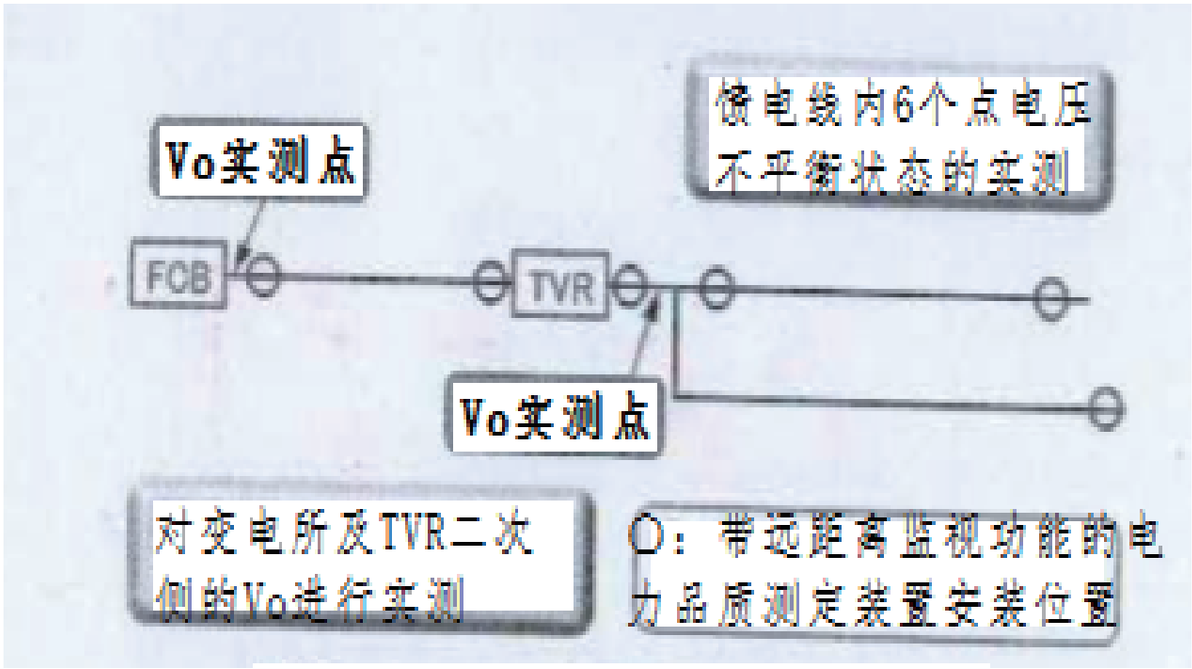


图 9　现场试验系统的实测位置

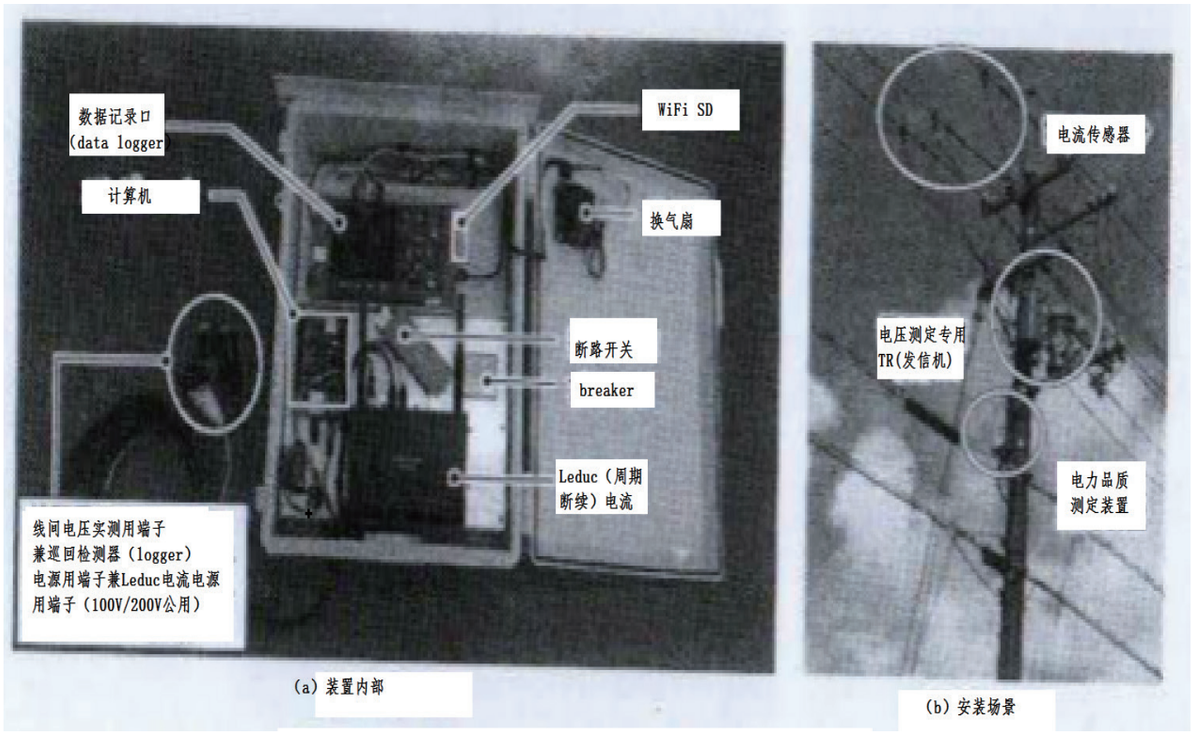


图 10　带远距离监视功能的电力品质测定装置

平衡的 TVR 取代原已安装的 SVR，开始了现场试验。

为了确认实际的电压不平衡改进效果以及 V_0 的状况，在现场试验期间（平成 28 年 2 月 24 日 -6 月 28 日），对该系统的 6 个地点的远距离监视，安装了可测定电力品质的装置，并进行了测定（图 9、图 10）。

3.3 试验结果

（1）电压不平衡改进效果的评价

自从适应电压不平衡的 TVR 引入后，通过单独的进行分接头控制，在深夜、白天或者其他任何时间段内进行电压调节，可使得各相的电压接近目标电压，配电线末端的电压不平衡率能降低到 1% 以下，这点已经确认（图 11）。

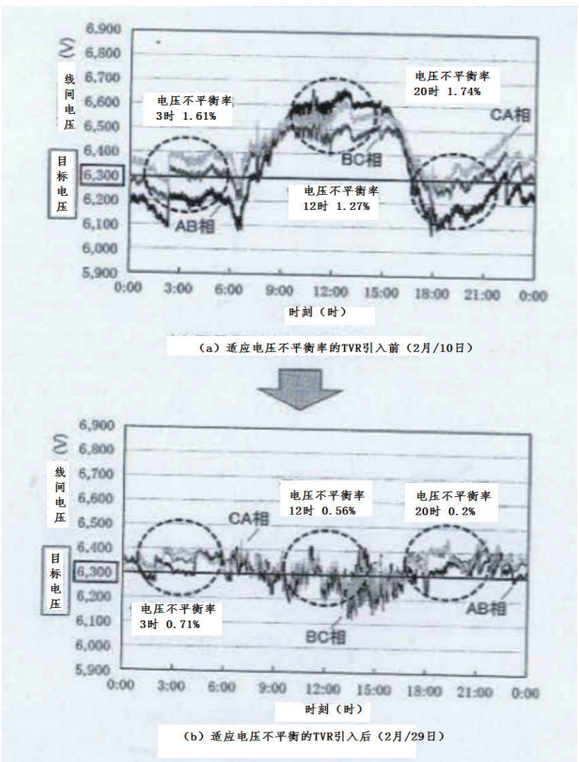


图 11 电压不平衡的改进效果

（2）分接头个别控制时 V_0 的确认

在变电所及适应电压不平衡 TVR 的二次侧，实施分接头单独控制时测定了 V_0 的结果，几乎是没有变化也已确认（表 2）。

表 2：分接头单独控制时的零相电压（V_0）

CA 分接头	AB 分接头	TVR 一次侧 V_0 值（变电所）	TVR 二次侧 V_0 值（靠近 TVR）
4	4	96V	92V
4	5	98V	90V
4	6	96V	91V
3	6	96V	88V

4 结束语

将这次开发的适应电压不平衡型 TVR 应用于实际的配电系统中，已经确认能够大幅度改善三相电压的不平衡。

今后，光伏发电和大容量单相设备的引入，正与现实同步、蓬勃发展，关于配电系统的电压管理，预计会愈益复杂、困难化。

本公司充分有效利用这次开发的新型设备，借助原已引入新型自动化系统的运用效果，力求确保不断引入新能源电力的品质。

原文出处：山口纯司，奥村贵博，三相电压不平衡对应機能付サイリスタ式自动电压调整器の开发，《电气评论》2017 No.5 P67-70