

# 晶闸管有载分接开关

吴 畏

(ABB 广州分公司, 广东 广州 510075)

## Thyristor On-load Tap Changer

WU Wei

(ABB Guangzhou Branch, Guangzhou, 510075, China)

**摘要:** 介绍了一种晶闸管有载分接开关的运行原理、结构组成及其控制保护, 展望了该种分接开关的发展前景。

**关键词:** 有载分接开关; 静态电子; 晶闸管

**中图分类号:** TM403.4 **文献标识码:** B

**Abstract:** The principle, construction and control/protection system of thyristor on-load tap changer are introduced, and its future of development is viewed.

**Key words:** on-load tap changer; static electronic; thyristor

### 1 前言

ABB 公司生产的 UED 型晶闸管有载分接开关, 其前期产品 UEC 型于 1986 年在挪威 Neslandsvatn 投运至今。UED 型分接开关可提供全部工业电压, 50 MVA 以下临界负荷的各类用户, 除了电源中断和低于 50% 的深度电压下降外, 能保持馈电系统的电压稳定。

### 2 UED 型晶闸管有载分接开关运行原理

由图 1 可知, 带有分级调压绕组的变压器与 UED 型有载分接开关共同构成一个动态电压调整器 DVR(Dynamic Voltage Regulator)。

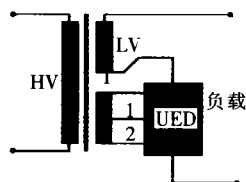


图 1 DVR 单线示意图

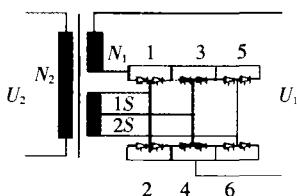


图 2 电路 B

UED 型分接开关通常由 6 对单向晶闸管组成反并联连接的桥式电路(电路 B), 见图 2。分接开关在少于 1 个周波的时间内通过不同晶闸管的点燃, 完成从一个分接位置到任一位置的转换, 每一次转换均是在电流过零点时执行。表 1 列出了 7 级调压

的 UED 在不同分接位置时晶闸管的点燃情况。

表 1 不同分接位置时晶闸管的点燃情况

分接位置	工作晶闸管	分接位置	工作晶闸管
+3	1 和 6	-1	2 和 3
+2	3 和 6	-2	4 和 5
+1	1 和 4	-3	2 和 5
0	3 和 4		

UED 型分接开关也可由 8 对双向晶闸管组成另一种电路(电路 A), 见图 3。

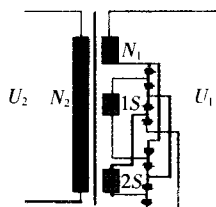


图 3 电路 A, 一次侧调压时

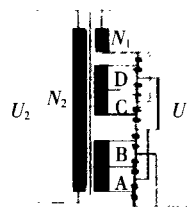


图 4 电路 BE

根据实际需要, 调压可在变压器一次侧, 亦可在二次侧。表 2 是表示输出相电压  $U_2$  与输入相电压  $U_1$  在不同分接位置时的计算公式;  $N$  为非调压绕组数量;  $S$  为每级调压数量。

表 2 输出相电压  $U_2$  与输入相电压  $U_1$  在不同分接位置时的计算公式

一次侧调压	二次侧调压
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 + 3S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 - 3S) / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 + 2S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 - 2S) / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 + 1S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 - 1S) / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / N_1$	$U_2 = U_1 \cdot N_2 / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 - 1S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 + 1S) / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 - 2S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 + 2S) / N_1$
$U_2 = U_1 \cdot N_2 / (N_1 - 3S)$	$U_2 = U_1 \cdot (N_2 + 3S) / N_1$

由图 4 可按照晶闸管导通的不同排列组合, 组成 9~49 级的分接位置。

分接开关最大允许级电压和最大额定通过电流受晶闸管参数限制, 此外 DVR 调压范围也取决于使用的电路。

图 5 是输入电压下降至 65%, 装否 UED 的实测输出波形图。

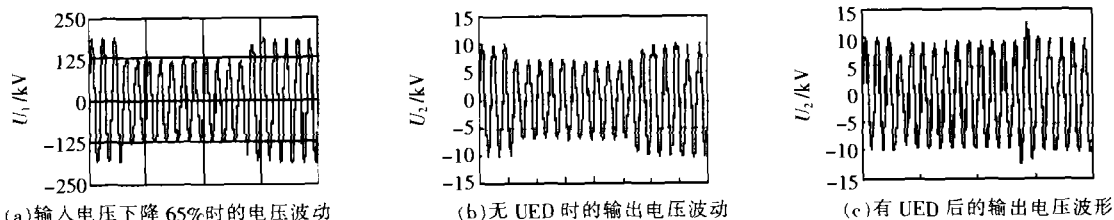


图5 当输入电压下降65%时,有无UED的输出电压波形比较( $f=16\frac{2}{3}$  Hz)

### 3 UED型晶闸管有载分接开关控制保护

#### 3.1 晶闸管的控制保护

在晶闸管模块中,每对晶闸管均并联有阻容吸收电路,用以控制瞬变电压的幅度和波形,并使晶闸管电压分配均匀,同时设有相匹配的熔断器和避雷器来保护晶闸管模块。

晶闸管控制单元TCU(Thyristor Control Unit)会将红外线灯光信号转换成脉冲信号点燃晶闸管。TCU由吸收电路提供电源,不需要附加电源。红外线光由光纤传输,允许光照长度50m以内。

为保护TCU不受外部干扰,它被密封在铝盒子里,并由晶闸管散热器冷却。TCU与晶闸管门级之间的连接采用刚性同轴电缆。

#### 3.2 分接开关的控制保护

包括监察功能在内的控制与保护,由1台工业型标准个人计算机执行,具有自动监控功能的DVR系统始终运行在既定模式。DVR通过测定变压器一次侧或二次侧的电压和电流来控制。

依据晶闸管阀的测量,以每一半周的峰值确定调节器所需的位置,准确地控制晶闸管桥,确保少于一个周波的响应时间内,保持负载侧的电压稳定。

系统按故障严重程度不同,相应发出1,2,3级警报信号,并分别做出继续运行、人工停止和强制退出3种选择。

系统具有过电压和过电流保护功能,当超过保护范围,DVR强制退出运行,当电压低于设定值,调节器被锁定在中间位置。

当晶闸管出现故障信号,系统会终止调节器,令DVR跳闸,并自动闭合UED旁路开关(调压比率1:1)。当状态恢复,旁路自动打开,继续普通操作。

晶闸管冷却水系统的水面、水流和水温均有记录,并按预先设定数据发出警报和跳闸指令。

晶闸管阀控是系统控制和晶闸管控制单元之间的相互关系。

DVR能就地和远方控制,无论何处控制分接位置,测量及警报均能显示,可以就地人工改变分接位置,也可远距离设定。

### 4 UED型晶闸管有载分接开关结构组成

UED单相分接开关的内部结构见图6。采用

空气绝缘和去离子水冷却,基本由晶闸管和冷却水系统两个独立间隔组成。装有晶闸管的间隔较大,后盖有法兰,可与变压器油箱连接,前盖为检修孔。

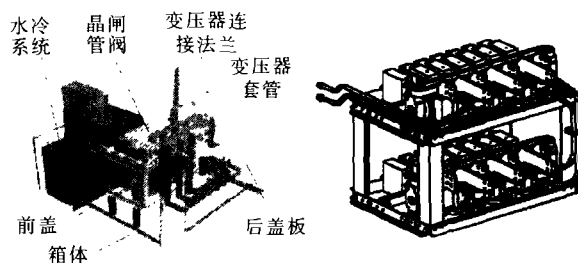


图6 UED单相分接开关的内部结构

晶闸管阀由相同的晶闸管模块组合,整个阀座立在分接开关箱底的4个绝缘子上。单个晶闸管模块中还包含晶闸管电子电路、散热器和阻容吸收电路。图7显示的是两套晶闸管模块的垂直组合,每套晶闸管模块由两块增强型玻璃纤维,用盘形弹簧夹装在一起。各晶闸管模块之间由绝缘纤维成型件绝缘。晶闸管模块经大电流母线由变压器套管出线。

冷却系统的间隔较小,包括循环水泵,空气热交换器,管路和监察设备,见图8。晶闸管的损耗发热以低导电性的去离子水作为冷却介质来消散,去离子水是用水在含有树脂的去离子器中做排除系统离子处理得到的。受热的水又在空气交换器中冷却,从而形成单回路密封冷却水循环系统。

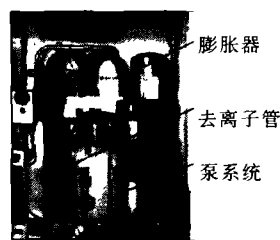


图8 冷却系统

UED型三相分接开关的内部结构见图9。UED型三相分接开关装在变压器上的位置见图10。

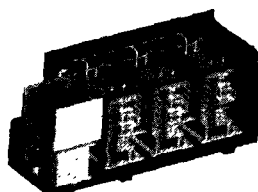


图9 UED型三相分接开关的内部结构

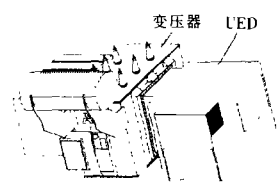


图10 UED型三相分接开关装在变压器上的位置

### 5 UED型晶闸管有载分接开关相关问题

晶闸管分接开关尚无单独标准。(下转第52页)

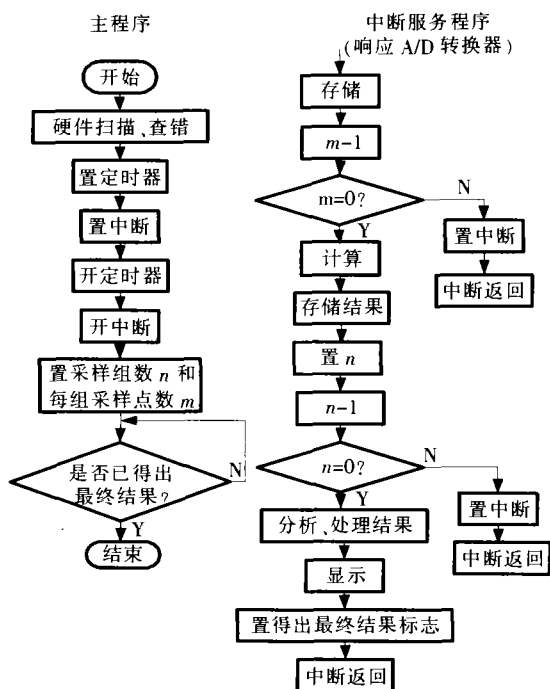


图5 单片机程序流程图

## 5 结语

经过理论推导得出了一种快速测量电力变压器绕组直流电阻的新方法,进行了初步的试验,并设计出了基于智能仪器的实现方法。这种新方法具有以

(上接第 49 页)

型式和例行试验按照相应的 ANSI 和 IEC 的适应标准执行。需要说明的是,该型开关工作是晶闸管电流过零时切换,没有电弧产生,故开关机械与电气寿命一致,寿命长短不取决于操作次数,而取决于维护和运行条件,如频繁过负荷等。设计寿命为 30 年以上。

三相分接开关是每相单独分开并互相独立操作,故系统除保持每相电压的稳定外,亦能补偿各相之间的不平衡。

分接开关的晶闸管使用时均系全导通(控制角  $\alpha=0^\circ$ ),所以几乎没有谐波,故没有附加的过滤要求。

电子分接开关无接触损耗,故损耗值较低,其值大小与额定值和采用的电路有关,一般在额定负载功率的 0.05%~0.5% 之间。

UED 型分接开关正常运行温度范围是户外型:  $-40\sim 50^\circ\text{C}$ 。控制系统必须安装在靠近 DVR 的空调控制室内,气温  $10\sim 30^\circ\text{C}$ 。

DVR 在订货与系统设计前,必须先确定如下要点:①临界负荷保护相对应的故障型式(单相接地、相对相或三相故障)及故障位置;②电压升降变动的持续时间和大小;③变压器连接;④临界负荷的功率因素和大小;⑤重要负荷单独供电的可能性;⑥临界负荷的电压校正要求(仅相对相或相对地电压的

下的特点:

- (1) 动态测量,从而可以实现快速测量;
- (2) 不需要大容量电源,降低成本、减小体积;
- (3) 不需要减小时间常数,提高了测量准确度;
- (4) 采用了以单片机为核心的智能仪器系统,具有一定的数据分析、处理能力,从而提高了测量准确度;
- (5) 采用智能仪器系统,简单、可靠,测量过程自动完成,不需要人工干预;
- (6) 易于扩展,方便实现其他功能,如人机对话、与计算机通讯及通过对程序的简单修改实现其他的功能等。

## 参考文献:

- [1] 郑景清. 变压器应用与维修[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1993.
- [2] 魏春华. 变压器试验[M]. 北京:机械工业出版社, 1999.
- [3] 钟洪璧. 电力变压器检修与试验手册[M]. 北京:中国电力出版社, 2000.
- [4] 李满坤, 周理兵. 大型电力变压器直流电阻测试的方法及特点[J]. 变压器, 2000, 37(7): 35-39.
- [5] 邱关源. 电路[M]. 北京:高等教育出版社, 1999.
- [6] 何利民. MCS-51 系列单片机应用系统设计: 系统配置与接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990.

作者简介:关振志(1946-),男,河南襄城人,教授,博士生导师,从事高电压技术专业的教学和科研工作。电话:027-67802673。

百分比及响应时间)。

## 6 结语

晶闸管有载分接开关实际还存在许多问题和难点,如价格昂贵(远高于主变成本的 15%)、体积庞大(近乎主变尺寸)及电控系统的敏感干扰等,尚无法马上与现有产品竞争,但其具有无油、无电弧、无运动部件、低损耗、长寿命、少维护、结构简单及明显的静态性能等优势<sup>[1,2]</sup>。随着大功率晶闸管制造水平的提高(用于三峡 HVDC 的 3 500 A/7 200 V 晶闸管国内已批量供货),光电光纤、电控技术,尤其是数字化控制技术的日臻完善,密封型变压器和干式套管的推广使用,晶闸管分接开关的缺陷和问题会逐渐减少和消除,综合优势会逐步显现。

## 参考文献:

- [1] 张德明. 有载分接开关国内现状及发展动向[J]. 变压器, 2000, 37(1): 36-39.
- [2] 胡志松, 姚磊. 有载分接开关实用手册[M]. 北京:中国电力出版社, 2002.

作者简介:吴畏(1974-),男,从事有载分接开关的销售和技术服务。