

# Discussion on Arcless On-Load Automatic Capacity Regulating Distribution Transformer

Zailin Piao, Dongdong Wang, Yu Zheng

College of Information and Electric Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang, China

Email: wdd0822@163.com

**Abstract:** With regard to the defects exist in the mechanical switches, it is necessary to develop a new technology of the on-load automatic capacity regulating distributing transformer, this is dissertated. The feasibility of arcless on-load automatic capacity regulating transformer is discussed, and the technology scheme of arcless on-load automatic capacity regulating, the design of the control system is puted forward. The author gives his opinions on the problems relevent to the practical development of arcless on-load automatic capacity regulating and proposes some suggestions on them. All of these provide solution to the capacity regulating seasonly in country grid.

**Keywords:** on-load capacity regulating; distribution transformer; discussion; Energy saving

## 配电变压器无弧有载自动调容技术探讨

朴在林, 王冬冬, 郑 钰

沈阳农业大学信息与电气工程学院, 沈阳, 中国, 110866

Email: wdd0822@163.com

**摘 要:** 针对目前机械式调容开关存在的问题, 论述了实现农村配电变压器的无弧有载自动调容技术必要性, 探讨了配电变压器无弧有载自动调容的可行性, 给出了无弧有载自动调容的技术方案和控制系统的设计。对实现无弧有载自动调容的有关问题, 阐述了作者的见解, 并提出了建议。为农村电网实施有效的季节调容以实现降损节能提供了解决办法。

**关键词:** 有载调容; 配电变压器; 讨论; 降损节能

### 1 引言

在我国农村电网负荷具有季节性变化大、用电集中的特点。在农忙用电集中季节, 变压器过载运行现象严重, 有时甚至出现 200%过负载运行现象; 而在用电淡季, 变压器负荷率较低, 常出现“大马拉小车”现象, 空载损耗相对增加, 造成大量不必要的电力资源浪费<sup>[1-4]</sup>。虽然我国大部分地区使用了无载调容变压器, 但是由于需要人工停电调节, 使用很不方便。并且多数电工不能掌握正确的使用方法, 调容功能在使用中并没有得到充分利用, 容易因调节不及时造成烧毁变压器事故。现有的有载调容变压器采用机械式调容开关, 其结构复杂, 切换时产生电弧, 故障率高, 调节速度缓慢等缺点。随着电力电子技术的发展, 其可靠性逐渐提高, 成本也在大幅下降。使采用微处理器直接控制电力电子开关实现容量切换成为可能。快速无弧化的电力电子调容技术取代传统的机械式调容技术, 是该领域的发展趋势。

### 2 有载调容变压器的调容节能原理

现有的有载调容变压器有大小两个容量等级, 并且可以根据负荷的变化调整在不同的容量下运行。主要采取通过调容开关改变绕组联结方式来实现容量的调节, 其方法有串并联调容, D-Y 调容。D-Y 变换调容配电变压器绕组联结如图 1, 在大容量时, 三相高压绕组三角形连接(D), 小容量时星形连接(Y)。每相低压绕组由三部分组成: 一是 27%匝数的线段(III段), 另外的 73%匝数的线段由两根导线并绕而成两组(I、II段), 每组导线的截面约为 I 段导线截面的一半(为了减少增加的铁损)。大容量时 I、II 段并联后再与 III 段串联, 小容量时三段全部串联。若由大容量调为小容量, 低压绕组匝数增加(匝数为 173%), 同时高压绕组处于 Y 接法而每相电压降低, 由于其匝数增加与电压降低的倍数相当, 可保证电压比不变<sup>[3-4]</sup>。这样, 大容量调为小容量时, 高压侧 D-Y 联结, 低压侧并-

串联，联结组别则为 Dyn11-Yyn0。

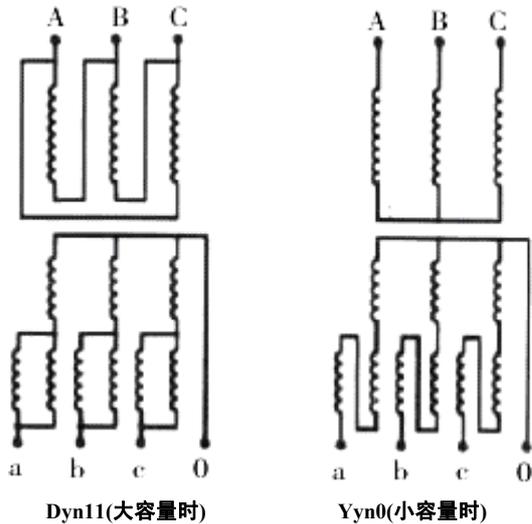


Figure 1 Structure of on-load capacity regulating  
图 1 调容变压器的结构原理

当大容量调为小容量时，由于低压匝数的增加，铁心磁通密度大幅度降低，而使硅钢片单位损耗变小，空载损耗和空载电流也就降低了，达到了降损节能的目的。为了保持调容配电变压器在大小容量时有相同的电抗电压，小容量一般为大容量的三分之一左右<sup>[4]</sup>。

### 3 无弧有载自动调容配电变压器的调容方案及控制系统的设计

#### 3.1 无弧有载自动调容系统总体方案

有载自动调容变压器系统的总体结构如图 2，主要有自动控制部分、有载调容变压器和调容开关三部分组成。自动控制部分采集变压器低压侧的电压、电流判断当前负荷的大小，根据容量整定值及相关约束条件，满足设定条件则对有载调容开关发出信号，由有载调容开关根据控制指令完成变压器内部高低压线圈的星、角变换和串并联转换，在不停电的状态下完成对变压器容量的调节。

有载调容开关是变压器实现有载调容的核心部分，有载调容变压器的技术难点也在于有载调容开关及其准确可靠的控制逻辑。有有载调容变压器的调容原理可知，在进行容量变换时，高压侧进行星角变换会产生电弧。这就需要调容开关具有灭弧能力，同时其使用寿命也面临考验。目前的无励磁机械式手动调容开关技术已较为成熟，而机械和电子复合式无

励磁自动调容开关还处于设计阶段，由于这种调容开关仍然有机械部分，且调节速度较慢，控制部分也更为复杂，所以其经济性和可靠性还有待考察。

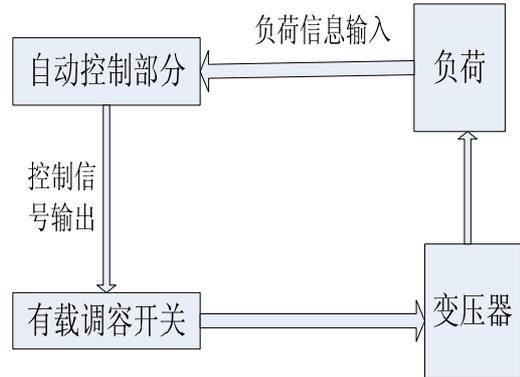


Figure 2 Structure of the arcless on-load capacity regulating  
图 2 无弧有载调容系统的总体结构

#### 3.2 自动控制系统

控制系统是整个有载调容变压器的核心部分，它决定着整个有载调容装置的性能好坏、调容质量的高低。自动控制系统原理结构如图 3 所示，主要包括电压、电流模拟量采集与信号处理部分，单片机及外围

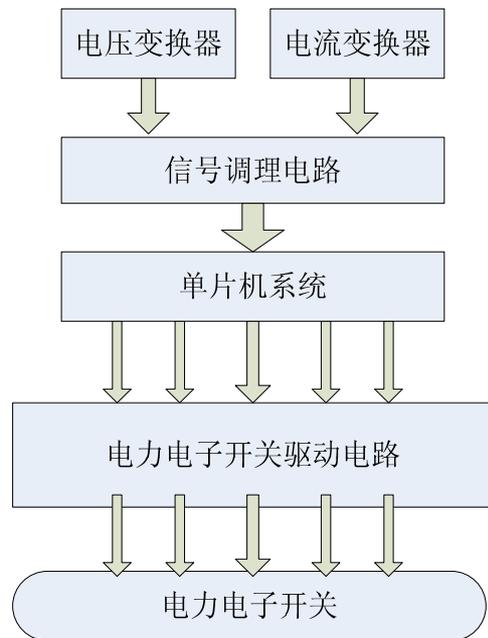


Figure 3 Structure of the control system  
图 3 自动控制系统结构图

借口，电力电子开关驱动电路，电力电子开关的保护

电路及电源电路等无励磁调容开关只能使用在允许瞬时断电，对供电质量要求不高的地方。而随着社会的发展和进步，人们对供电质量的要求越来越高，无弧有载自动调容迫在眉睫<sup>[5-7]</sup>。

## 4 无弧有载调容开关布置方案及可行性分析

### 4.1 无弧有载调容开关的布置方案

对于 D-Y 调容变压器，高压侧需要两组开关实现星三角变换，每组三个，共六个。低压侧需要进行串并联变换的开关，实现并联每相需要两个共六个，实现串联每相一个共三个。所以低压侧共需要九个开关。具体布置方法如图 4 所示

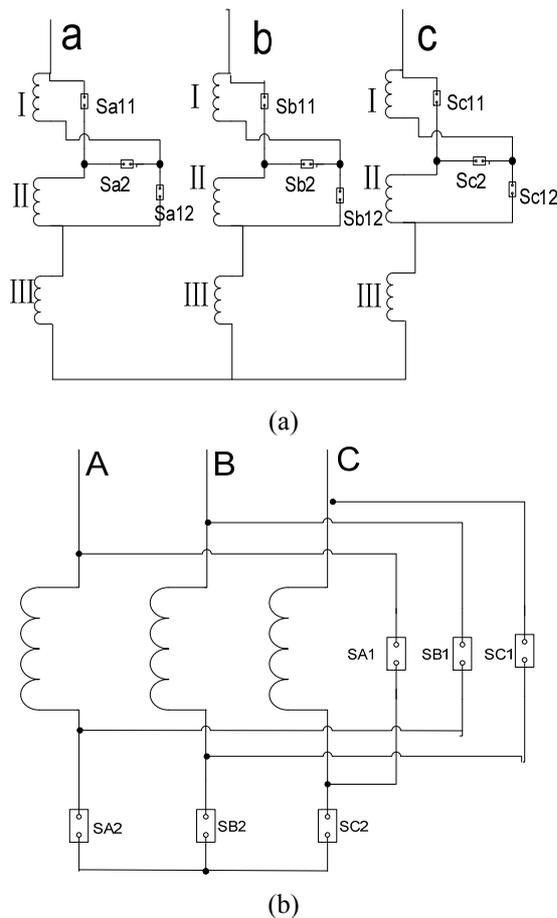


Figure 4 The arrangement of the switches of regulating capacity  
(a) 低压侧开关布置 (b) 高压侧开关布置  
图 4 高低压侧调容开关的布置

低压侧的开关布置 Sa11 Sa12, Sb11 Sb12, Sc11 Sc12 同时闭合实现并联; Sa2, Sb2, Sc2 同时闭合

实现各相的串联。高压侧开关布置 SA2, SB2, SC2 同时闭合实现星形连接; SA1, SB1, SC1 同时闭合实现三角形连接。(SA1, SB1, SC1)和(Sa11 Sa12, Sb11 Sb12, Sc11 Sc12)同时闭合，高压侧为三角形，低压侧为并联，变压器运行在大容量; (SA2, SB2, SC2)和(Sa2, Sb2, Sc2)同时闭合时高压侧为星形连接，低压侧为串联运行，变压器运行在小容量下。

### 4.2 无弧有载自动调容的可行性分析

农村配电变压器多为小容量变压器，现有的 10kV/0.4kV, SZ11-T 型有载调容变压器主要容量范围如表 1 所示。我们以 SZ11-T 型有载调容变压器大容量为 500kVA 变小容量 160kVA 为例，对无弧有载自动调容的可行性进行计算分析。

Table1 the capacity of on-load capacity regulating transformer SZ11-T

表 1 SZ11-T 型有载调容变压器容量

10/0.4kV, SZ11-T 型有载调容变压器						
大容量 kVA	160	200	250	315	400	500
小容量 kVA	50	63	80	100	125	160

(1)大容量 (500kVA) 时，高压侧三角形连接，SA1, SB1, SC1 均承受线电压 (10kV)，额定电流为  $I_N=28.87A$  则流过高压侧开关中的电流为  $I=28.87A$

低压侧星形接线且有两个绕组并联，Sa11 与 Sa12, Sb11 与 Sb12, Sc11 与 Sc12 承受相电压 0.22kV 每个开关只承受  $U=0.22kV*0.73=0.16kV$ ，额定电流为： $I_N=721.7A$ ，则流过开关电流为相电流  $I=416.7A$

由于二次侧在大容量时开关所在绕组为并联运行，所以流过每只开关处电流约 208.4A。

(2)小容量时(160kVA)，高压侧为星形连接，SA2, SB2, SC2 只承受相电压，此时容量为 160kVA,  $I_N=9.2A$ ；低压侧为串联方式运行，Sa2 Sb2 Sc2 所承受的电压依然为  $U=0.22kV*0.73=0.16kV$ ，额定电流为  $I_N=230.9A$ ，则流过开关相电流  $I=133.4A$ 。此时低压侧绕组串联，所以流过开关处电流为 133.4A。

由以上分析可知所有开关中承受的最大电压为高压侧线电压 (10kV)，最大电流为大容量时低压侧开关中流过的电流 (208.4A)。目前大功率电力电子器件的额定电压高达万伏，额定电流也已上千安，所以合理组合的大功率电力电子调容开关替代复杂多故障的机械式有载调容开关是可行的。电力电子开关具有

良好的开断和控制特性，但必须为运行中可能出现的涌流留有三分之一或更多的裕度，以防过载烧毁；电力电子器件串联分压满足电压容量的技术已经非常成熟，满足 10kV 电压容量的串联技术已在许多领域得到广泛运用<sup>[8-10]</sup>。

### 4.3 实现无弧有载调容可能遇到的技术难题

无弧有载自动调容的实现对于农村电网的季节性调容具有重要意义。开发无弧有载调容开关还要考虑许多实际问题，如机械结构的确定、性能价格比、市场前景的调查与估算等。可能遇到的技术难题有：（1）晶闸管参数的选择与计算、有效冷却问题；（2）晶闸管串联满足电压容量时触发回路的设计，包括触发时刻和同步触发问题；（3）晶闸管损坏的显示与告警电路的设计；（4）高压侧晶闸管切换瞬间的短路引起的过电流问题等。

## 5 结论

该研究针对目前机械式有载调容变压器存在的问题，论述了无弧有载自动调容的必要性。通过对调容原理的分析，给出了无弧有载开关的布置方案，对有载自动调容的原理及控制系统的构成进行了分析，探讨了应用电力电子器件实现无弧有载自动调容的可行性。电力电子型无触点有载自动调容配电变压器是实现现代化生产的必然要求，适合应用于农业生产、生活用电的配电系统，具有重大的现实意义，将会是未来农村配电网降损节能重要力量。

## References (参考文献)

- [1] Wang Jinli, Application and Integrated Economic Analysis of On-load Capacity Regulating Transformer[J], *High Voltage Apparatus*, 2009, 45(3), P32-35 (Ch).
- [2] Yao Zhisong, Yao Lei, New distribution transformer structures, principles and applications[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [3] Chen Yuguo, Ma Xiaokun, Cui Jianjiang, S11 Capacity Regulating Transformer[J], *Rural Electrification*, 2003, (7), P5-6 (Ch).
- [4] Chen Yuguo, Principle and Performance Analysis of the Capacity Regulating Transformer [J], *Transformer*, 1998, 35(1), P24-25 (Ch).
- [5] Huang Junjie, Li Xiaoming, Design of automatic system for power electronics OLTC[J], *Electric Power Automation Equipment*, 2003, 23(7), P54-57 (Ch).
- [6] WU Wei, Thyristor On-load Tap Changer[J], *High Voltage Apparatus*, 2004, 40(1), P48-49,52 (Ch).
- [7] Zhaogang, Shiwei, Study On Arcless On-Load Tap Changer[J], *High Voltage Engineering*, 2004, 30(4), P49-51 (Ch).
- [8] HARLOW J H, SWITCH F A, An arcless approach to step voltage regulation[J], *IEEE Trans on Power Apparatus Systems*, 1982, 101(7), P2096-2102.
- [9] Li Minzu, Li Qinwei, Wu Xiaonan, Xiong Jie, A Study About Device with Capacitor Var Compensation of Thyristor Series Voltage-regulating[J], *Proceeding of the EPSA*, 2000, 12(5), P45-50 (Ch).
- [10] Yang Jie, Insulation technology of trigger system of 29kV high voltage thyristor valve and over-voltage protection method of thyristor [J], *Electric Drive For Locomotive*, 2000, (2), P23-26 (Ch).