

# 节能型变压器节能运行方式的探讨

单晓红, 曾令通, 王亚忠

(广西电力职业技术学院, 广西 南宁 530007)

**摘要:** 用列表分析法, 对 SH<sub>11</sub>、S<sub>11</sub>、S<sub>9</sub> 三种节能变压器的损耗参数、在节能运行方式下的效率和最佳负荷率及不同运行方式下的效率和损耗进行了分析比较, 得出了节能型变压器经济运行区和“大马拉小车”的判据, 并对新建配变的选型提出了建议, 本文分析的结果对节能变压器真正实现经济运行有参考价值。

**关键词:** 节能型变压器; 节能运行方式; 经济运行区; 判据; 大马拉小车; 效率

## Discussion on the energy-saving mode of the transformer

SHAN Xiao-hong, ZENG Ling-tong, WANG Ya-zhong

(Guangxi Electric Power Institute of Vocational and Technical Training, Nanning 530007, China)

**Abstract:** Using the table-list analysis method, this paper compares and analyses the loss parameters, efficiency and optimum load rate under the most energy-saving operation mode and the efficiency and loss under economic operation mode of the SH<sub>11</sub>, S<sub>11</sub>, S<sub>9</sub> three energy-saving type transformer, gets the conception of economic operation interval and the criterion of the “Big horse pulls a small carriage”, and gives out the suggestion of transformer type-choosing for a newly built distribution station. The analysis result of this paper has reference value for the energy-saving type transformer really realizing economic operation.

**Key words:** energy-saving type transformer; energy-saving operation mode; economic operation interval; criterion; big horse pulls a small carriage; efficiency

中图分类号: TM731 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)08-0104-03

## 0 引言

我国在 1980 年推出 S<sub>7</sub> 系列节能型变压器, 用于替代高耗能的 SJ、SJL、SL、SL<sub>1</sub> 系列变压器, 1997 年开始全面推广 S<sub>9</sub> 系列产品, 用于取代 S<sub>7</sub> 系列老产品, 取得了显著的节能效果。目前我国推广的节能型变压器是 SH<sub>11</sub> 和 S<sub>11</sub> 系列产品, 用于取代 S<sub>9</sub> 系列型变压器。

本文用列表分析的方法, 对 SH<sub>11</sub>、S<sub>11</sub>、S<sub>9</sub> 三种系列产品的损耗参数、节能运行方式下的效率和负荷率及这三种节能变压器的损耗和效率随负荷率变化的趋势进行了比较分析, 得到节能型变压器经济运行区的范围, 对节能型变压器的实际经济运行有一定借鉴参考价值。

## 1 本文使用的公式

### 1.1 节能型变压器的总损耗

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot \beta^2 \quad (1)$$

式中:  $\beta$  为负荷率,  $\Delta P_0$  为变压器空载试验损耗,

$\Delta P_k$  为变压器短路试验损耗。

### 1.2 变压器的效率

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos \varphi}{\beta S_N \cos \varphi + \Delta P_0 + \beta^2 \cdot \Delta P_k} \quad (2)$$

### 1.3 变压器的最大效率

$$\eta_{\max} = \frac{S_N \cos \varphi}{S_N \cos \varphi + 2\sqrt{\Delta P_0 \Delta P_k}} \quad (3)$$

### 1.4 变压器的最佳负荷率

$$\beta_m = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_k}} \quad (4)$$

## 2 SH<sub>11</sub>、S<sub>11</sub>、S<sub>9</sub> 三种节能型变压器耗能参数的比较

如表 1 所示, 为三种系列产品容量从 30 kVA 到 1 600 kVA 的空载试验损耗和短路试验损耗, 由表 1

可知:

(1) 这三种变压器, 不论哪一种型号, 其 $\Delta P_0$ 和 $\Delta R_k$ 均随 $S_N$ 的增大而增大。

(2) 同一容量下, 三种产品的 $\Delta R_k$ 相同, 但 $\Delta P_0$ 相差很大。例如 $S_N = 400$  kVA 时, 它们的 $\Delta R_k$ 均为 4.3 kW, 而 $SH_{11}$ 的 $\Delta P_0$ 仅为 $S_9$ 的 25%, 为 $S_{11}$ 的 35%。

表 1 节能型变压器损耗参数

Tab.1 Loss parameters of the energy-saving type transformer

S /kVA	$\Delta P_0$ /kW			$\Delta R_k$ /kW		
	$S_9$	$S_{11}$	$SH_{11}$	$S_9$	$S_{11}$	$SH_{11}$
30	0.13	0.09	0.033	0.6	0.6	0.6
50	0.17	0.13	0.043	0.87	0.87	0.87
63	0.20	0.15	0.05	1.04	1.04	1.04
80	0.25	0.175	0.06	1.25	1.25	1.25
100	0.29	0.20	0.075	1.5	1.5	1.5
125	0.34	0.235	0.085	1.8	1.8	1.8
160	0.40	0.27	0.10	2.2	2.2	2.2
200	0.48	0.325	0.12	2.6	2.6	2.6
250	0.56	0.395	0.14	3.05	3.05	3.05
315	0.67	0.475	0.17	3.65	3.65	3.65
400	0.80	0.565	0.20	4.3	4.3	4.3
500	0.96	0.675	0.24	5.1	5.1	5.15
630	1.20	0.805	0.32	6.2	6.2	6.2
800	1.40	0.98	0.38	7.5	7.5	7.5
1000	1.70	1.155	0.45	10.3	10.3	10.3
1250	1.95	1.365	0.53	12	12	12
1600	2.40	1.65	0.63	14.5	14.5	14.5

### 3 节能型变压器最节能运行方式

按公式 (3) 和 (4), 参照表 1, 可计算出 $SH_{11}$ 、 $S_{11}$ 、 $S_9$ 三种产品在最节能运行方式下的效率和负荷系数, 如表 2 所示。

由表 2 可知:

(1)  $SH_{11}$ 系列变压器是目前最优秀的节能型变压器, 除 30 kVA 变压器外, 其它容量变压器 ( $S_N > 30$  kVA) 的最大效率均达 99% 以上。 $S_{11}$ 型变压器是比较优秀的变压器, 当 $S_N > 100$  kVA 时, 其最大效率也达 99% 以上。 $S_9$ 系列变压器是这三种变压器中最差的一种, 只有 $S_N > 400$  kVA 时, 其最大效率才达 99% 以上。

(2) 同一容量下 (例如 $S_N = 400$  kVA),  $SH_{11}$ 变压器的最大效率最大,  $S_9$ 变压器的最大效率最小。(即 99.4% > 99.14% > 98.98%)。

(3) 同一容量下,  $SH_{11}$ 系列变压器的最佳负荷率最小为 21%,  $S_9$ 系列变压器的最佳负荷率最高为 43%。

表 2  $SH_{11}$ 、 $S_{11}$ 、 $S_9$ 型变压器在最节能运行下的效率和负荷率

Tab.2 Efficiency and load rate of  $SH_{11}$ ,  $S_{11}$ ,  $S_9$  type transformer under the most energy-saving operation mode

S /kVA	$\eta$ (%)			$\beta$ (%)		
	$SH_{11}$	$S_{11}$	$S_9$	$SH_{11}$	$S_{11}$	$S_9$
30	98.97	98.31	97.97	23.5	38.7	46.5
50	99.15	98.53	98.32	22.2	38.7	44.2
63	99.2	98.63	98.42	21.9	37.98	43.85
80	99.25	98.72	98.47	21.91	37.42	44.72
100	99.26	98.8	95.57	22.36	36.51	43.97
125	99.31	99.25	98.63	21.73	36.13	43.46
160	99.35	98.94	98.71	21.32	35.03	42.64
200	99.38	98.99	98.77	21.48	35.35	42.97
250	99.42	99.03	98.85	21.42	35.99	42.85
315	99.45	99.08	98.91	21.58	36.07	42.84
400	99.49	99.14	98.98	21.57	36.25	43.13
500	99.51	99.18	99.03	21.59	36.38	43.39
630	99.51	99.19	99.05	22.72	36.03	43.99
800	99.53	99.25	99.11	22.51	36.15	43.2
1000	99.52	99.24	99.08	20.9	33.49	40.63
1250	99.55	99.29	99.12	21.02	33.73	40.31
1600	99.58	99.33	99.19	20.84	33.73	40.68

### 4 节能型变压器节能运行方式

以 $S_N = 400$  kVA 的变压器为例, 按式 (2) 和式 (1) 计算出变压器不同负荷率时的效率和损耗 (取  $\cos \varphi = 0.9$ ), 计算结果如表 3 所示。

表 3 同一容量的节能型变压器在不同负荷率时的损耗和效率

Tab.3 The efficiency and loss under different load ratio for the same capacity of energy-saving type transformer

$\beta$	$\Delta P$ /kW			$\eta$ (%)		
	$SH_{11}$	$S_{11}$	$S_9$	$SH_{11}$	$S_{11}$	$S_9$
0	0.2	0.565	0.8	0	0	0
0.05	0.211	0.576	0.811	98.83	96.80	95.49
0.1	0.243	0.608	0.843	99.325	98.31	97.66
0.2	0.372	0.737	0.972	99.483	98.98	98.65
0.3	0.587	0.952	1.187	99.456	99.12	98.9
0.4	0.888	1.253	1.488	99.383	99.13	98.97
0.5	1.275	1.64	1.875	99.292	99.09	98.96
0.6	1.748	2.113	2.348	99.191	99.02	98.90
0.7	2.307	2.672	2.907	99.08	98.94	98.85
0.8	2.952	3.317	3.552	98.97	98.85	98.77
0.9	3.683	4.048	4.283	98.86	98.75	98.68
1.0	4.50	4.865	5.10	98.75	98.65	98.58
1.1	5.403	5.768	6.003	98.64	98.54	98.48
1.2	6.392	6.57	6.992	98.83	98.43	98.38

由表 3 可以看出:

(1) 这三种变压器的损耗均随负荷率的增大而增大, 而且差值巨大, 以 $SH_{11}$ 系型为例,  $\beta = 10\%$ 时,

$\Delta P=0.2$  kW,  $\beta=110\%$ 时,  $\Delta P=5.403$  kW, 后者是前者的 22 倍。

(2) 这三种型号的变压器中, SH<sub>11</sub>型变压器的损耗最小, 效率最高。如果规定变压器的经济运行区为其效率达 99%以上, 则 SH<sub>11</sub>型变压器的经济运行区最宽, 为  $\beta=6\% \sim 70\%$ , S<sub>11</sub>型变压器的经济运行区则次之, 为  $\beta=30\% \sim 60\%$ , S<sub>9</sub>型变压器按  $\eta \geq 99\%$  要求经济运行区为零。从这点来看, SH<sub>11</sub>型变压器最优秀, 应成为新建配电所配变的首选型号。建议新建的配电所不要再选 S<sub>9</sub>型变压器。对于正在运行的 S<sub>9</sub>型变压器, 退而求其次, 可规定其经济运行区  $\eta \geq 98.9\%$ , 则其经济运行区为  $\beta=30\% \sim 60\%$ 。

(3) 关于“大马拉小车”和“小马拉大车”的判据

规定了经济运行区后, 以此区间两端的数据作为“大马拉小车”的判据即可。例如 SH<sub>11</sub>型变压器, 当  $\beta < 6\%$  时属大马拉小车, 当  $\beta > 70\%$  时属小马拉大车。从表 3 还可以看出一个有趣的现象, 就是对于节能型变压器 SH<sub>11</sub>和 S<sub>11</sub>来讲, 它们实际运行中使损耗增大的主要区域是“小马拉大车”区域, 也就是说, 变压器满负荷运行或过负荷运行时, 其效率均达不到 99%。这一点值得我们注意, 在新变压器选容时不应按满载或过载来选择, 应留有容量裕度, 这样才能真正保证变压器在经济运行区内运行。

## 5 结束语

综上所述, 可以得出以下结论:

(上接第 103 页 continued from page 103)  
干扰, 在刀闸辅助触点变位时, 交流回路断弧引起的干扰串入了直流系统, 加上福州变 28A 开关的动电压较低, 从而导致了本次的开关跳闸事故。

事后, 我们对相关设备进行普查, 发现采用同类刀闸辅助触点的设备还有 ALSTOM 的 SPV、SP02T 等, 我们在采取措施将直流回路与交流回路进行有效隔离的同时, 也通知设计单位在今后的工程设计中注意这个问题。目前福建省在所有刀闸辅助触点使用上都严格按分区原则进行设计, 即直流回路和交流回路分成两个区, 两个区之间相隔至少 5 个以上空触点。

## 4 结语

1) 施耐德 DOH-500 型、ALSTOM 的 SPV、SP02T 等刀闸设备的辅助触点由于采用开放式限位开关的模式, 在本身设计上存在重大的安全隐患。在变电

(1) SH<sub>11</sub>、S<sub>11</sub>、S<sub>9</sub> 三种系列的节能变压器中, SH<sub>11</sub> 系列变压器是目前最优秀的变压器, 其损耗最小, 运行效率最高。

(2) 若规定  $\eta \geq 99\%$  为节能型变压器的经济运行区, 则 SH<sub>11</sub>型变压器的经济运行区最宽, 为  $\beta=6\% \sim 70\%$ 。

(3) 经济运行区两端的数据, 可以作为“大马拉小车”和“小马拉大车”的判据, 对实际运行的节能型变压器, 使它们损耗增大的区域主要是满负荷和过负荷运行区。

(4) 建议新建的配变应首选 SH<sub>11</sub>型变压器, 其次为 S<sub>11</sub>型, 不要再选 S<sub>9</sub>型变压器。

## 参考文献

[1] 万千云, 赵智勇, 万英. 电力系统运行技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.  
WAN Qian-yun, ZHAO Zhi-yong, WAN Ying. Operating Technical of Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.

[2] 黄静. 电力系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.  
HUANG Jing. Electric Power Systems[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2008-05-12; 修回日期: 2008-07-08

### 作者简介:

单晓红 (1961-), 女, 本科, 实验师, 主要从事电力职业技术实验、实训教学和电气测量数据分析的研究;  
曾令通 (1972-), 男, 本科, 讲师, 主要从事电力职业技术教学和电力系统经济运行分析和研究;  
王亚忠 (1959-), 男, 研究生, 副教授, 主要从事电力职业技术教育和电力系统研究。E-mail:wangyz1959@126.com

所电气设计上必须注意交流回路与直流回路在刀闸辅助触点选取上的有效隔离, 否则将造成交流干扰串入直流系统导致跳闸的事故。

2) 提高跳闸出口继电器的动作电压可以有效防止交流干扰串入直流系统造成的跳闸事故。国网继电保护反措要求“在二次回路中作用于跳闸的继电器其动作电压应超过额定电压的 55%”, 这项反措不光能有效防止直流接地造成的开关跳闸, 同时也能有效防止这种交流干扰造成的误跳闸, 在继电保护专业管理中应严格遵循。

收稿日期: 2008-09-25; 修回日期: 2008-10-18

### 作者简介:

郑宁敏 (1976-), 男, 学士, 工程师, 长期从事电力系统继电保护管理工作; E-mail: zhengnm@sina.com  
林 匹 (1967-), 男, 硕士, 高级工程师, 长期从事电力系统调度及变电运行管理工作。