

文章编号:1006-7329(2000)03-0035-04

# 变压器容量选择和最佳负荷范围探讨

3  
35-38

冯芳碧, 王正勇

(重庆建筑高等专科学校, 重庆 400030)

TM401.1

**摘要:**深入地分析了变压器效率特性的特点,提出了一种既能保证变压器容量的利用率,又能保证在一定负荷范围内高效运行的变压器容量选择方法。文中以SL<sub>7</sub>系列变压器为例,确定出了400~1600kVA容量等级的最佳负荷范围,以供参考。

**关键词:**变压器容量; 负荷率; 功率因数; 效率

**中图分类号:**TM401+.1

**文献标识码:**A

根据实际负荷情况,合理选择变压器安装容量,是人们长期以来一直关心的问题。变压器容量选择所要考虑的因素是多方面的:1)它应能满足实际负荷的需要,保证 $S_N > S_{30}$ (视在计算负荷);2)应能适应负荷的变化,实际运行过程中的负荷是随时间等因素变化的,为避免变压器过载运行,容量应留一定的裕量;3)由变压器的效率特性可知,发生最高效率时的负荷率通常很低,变压器容量不能被充分利用,而满载时的变压器能力虽被完全发挥,但效率并不是最高,二者相互矛盾。单纯地追求运行效率而大大降低利用率,大马拉小车显然不可取,而且负荷会变化,变压器不可能总是在最高效率运行。因此,必须同时兼顾这两个方面,使之在实际运行过程中,既能适应负荷在一定范围内的变化,又能保证变压器的运行效率和容量利用率,这就是合理选择变压器容量的关键所在。

## 1 变压器效率特性分析

### 1.1 一般讨论

变压器作为电力系统中的交流电能传递装置,在实际运行中必然伴随一定的能量损耗,绝大部分送给负载。它是一种静止的电磁装置,没有机械运动部分,也就没有象旋转电机那样的机械损耗,主要为铁心中的功率损耗和绕组电阻的功率损耗,亦称空载损耗(或固定损耗)和负载损耗(或可变损耗、额定短路损耗),空载损耗仅与外施电压有关,不随负载变化,负载损耗随负载而变化。变压器的效率表示为输出的有功功率与输入的有功功率之比,二者之差正是变压器的损耗,我们熟知的效率公式为:

$$\eta = \frac{\beta S_N \cos\varphi_2}{\beta S_N \cos\varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{KN}} \quad (1)$$

从式中可以看出,变压器的效率与负荷率 $\beta$ 及功率因数 $\cos\varphi_2$ 相关, $S_N$ 、 $P_0$ 、 $P_{KN}$ 分别为变压器的容量、空载损耗、额定短路损耗。以 $\cos\varphi_2$ 为参变量(即设 $\cos\varphi_2$ 为常数)时绘出的 $\eta=f(\beta)$ 曲线如图1所示。

令 $\beta=1$ 时,满载效率

$$\eta_N = \frac{S_N \cos\varphi_2}{S_N \cos\varphi_2 + P_0 + P_{KN}} \quad (2)$$

令 $d\eta/d\beta=0$ 时,得 $P_0 = \beta^2 P_{KN}$ ,即

\* 收稿日期:1999-09-01

作者简介:冯芳碧(1957-),女,重庆人,讲师,主要从事建筑供配电研究。

$$\beta = \beta_m = \sqrt{P_0/P_{KN}} \tag{3}$$

这时的效率达最大值

$$\eta_{max} = \frac{\beta_m S_N \cos\varphi_2}{\beta_m S_N \cos\varphi_2 + 2P_0} \tag{4}$$

显然,  $\beta_m < \beta < 1$  时, 有  $\eta_N < \eta < \eta_{max}$ , 但是这个范围太大。在峰值附近效率较高, 但变压器的利用率太低, 而  $\beta$  接近 1 时, 裕量不足, 效率也并不高。因此, 应在  $\beta_m \sim 1$  之间再确定一个  $\beta$  的实用范围, 就可做到二者兼顾。

应当注意到: 变压器的效率还与负荷功率因数  $\cos\varphi_2$  有关的问题, 由公式(1)可以看出, 当  $\beta$  一定时,  $\eta$  随  $\cos\varphi_2$  的增大或减小将发生相应的变化, 因而当  $\cos\varphi_2$  变化时, 效率特性曲线将作上下移动, 得到一族形状相似的特性曲线。

### 1.2 特殊分析

从效率特性分析可知, 虽然发生最高效率时的负荷率与功率因数无关, 但随  $\cos\varphi_2$  变化的最高效率也并不是固定的, 如  $\cos\varphi_2$  增大,  $\eta_{max}$  还会增大。当然, 前已述及, 使变压器在此负荷率运行总是不可取的。那么, 究竟该如何来确定具有真正意义的  $\beta$  范围呢? 我们应该注意到以下几个事实:

- 1) 变压器生产厂家的效率特性试验通常是以  $\cos\varphi_2 = 0.8$  进行的;
- 2) 在实际运行中的变压器, 低压侧功率因数按供电部门规定, 必须补偿到 0.92 以上, 且不得过补偿, 即  $0.92 < \cos\varphi_2 < 1$ ;
- 3) 新建或改建工程的变配电通常都采用了自动补偿方式, 总可以保证 2) 中的规定, 但静止电容器组总是按组投入的, 并不能保证  $\cos\varphi_2$  为定值, 且非连续变化。

于是, 我们就可以以厂家的试验特性为基准曲线, 确定出的  $\eta_{max}$  为依据, 再以实际运行中的  $\cos\varphi_2 = 0.92$  及  $\cos\varphi_2 = 1$  为界限来确定变压器的最佳负荷范围。

将  $\cos\varphi_2 = 0.8, 0.92, 1$  时的效率特性曲线绘出, 如图 2 所示。

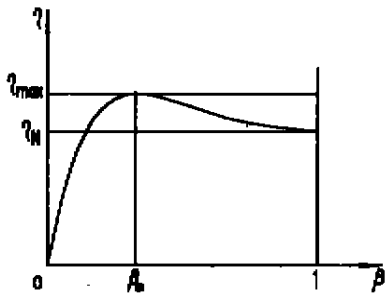


图1 变压器效率特性曲线

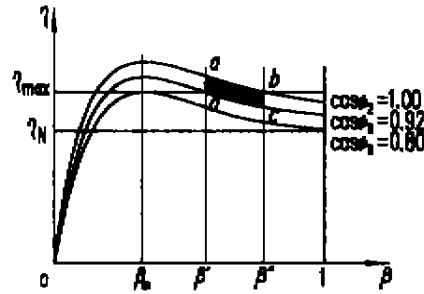


图2  $\cos\varphi = 0.80, 0.92, 1.00$  效率特性及  $\beta_m < 0.5$  时  $abcd$  界定的区域

由  $\cos\varphi_2 = 0.8$  时的特性曲线可以确定出最高效率

$$\eta_{max} = \frac{0.8\beta_m S_N}{0.8\beta_m S_N + 2P_0} \tag{5}$$

满载效率

$$\eta_N = \frac{0.8S_N}{0.8S_N + P_0 + P_{KN}} \tag{6}$$

若保证最高效率为定值, 则在  $\cos\varphi_2 = 0.92$  时的负荷率为  $\beta'$ , 则可由

$$\eta_{max} = \frac{0.92\beta' S_N}{0.92\beta' S_N + P_0 + \beta'^2 P_{KN}} \tag{7}$$

将(5)式代入, 并注意到  $P_0 = \beta_m^2 P_{KN}$ , 得到有关  $\beta'$  的一元二次方程

$$\beta'^2 - 2.3\beta_m\beta' + \beta_m^2 = 0 \tag{8}$$

解上式得

$$\beta' = 1.72(\text{或 } 0.58)\beta_m \quad (9)$$

同理,保证  $\eta = \eta_{\max}$ ,  $\cos\varphi_2 = 1$  时的负荷率为  $\beta''$ , 得到方程

$$\beta''^2 - 2.5\beta_m\beta'' + \beta_m^2 = 0 \quad (10)$$

$$\beta'' = 2(\text{或 } 0.5)\beta_m \quad (11)$$

以上结果中,  $\beta' = 0.58\beta_m$  及  $\beta'' = 0.5\beta_m$  不在考虑的范围, 故舍去。所以, 最佳负荷率范围

$$1.72\beta_m \leq \beta^* \leq 2\beta_m \quad (12)$$

从图中所界定的区域  $abcd$  还可以看出:

以  $\beta^* = 2\beta_m$ , 且  $\cos\varphi_2 = 0.92$  时的效率(如图 2 中的  $c$  点)最低, 但仍有  $\eta_{\min}^* > \eta_N$

$$\eta_{\min}^* = \frac{0.92\beta^*S_N}{0.92\beta^*S_N + P_0 + \beta'^2P_{kN}} \quad (13)$$

以  $\beta^* = 1.72\beta_m$ , 且  $\cos\varphi_2 = 1$  时的效率(如图 2 中的  $a$  点)为最高

$$\eta_{\max}^* = \frac{\beta^*S_N}{\beta^*S_N + P_0 + \beta'^2P_{kN}} \quad (14)$$

因此, 当实际负荷在  $\beta' \sim \beta''$  范围内变化时, 变压器总是处于  $\eta_{\min}^* \sim \eta_{\max}^*$  之间的高效运行状态。

## 2 实际应用

在变配电工程设计中, 总是以有关计算所得的视在计算负荷  $S_{30}$  为依据来选择变压器的安装容量, 如果选择适当, 使  $S_{30}$  落在  $\beta' \sim \beta''$  范围, 且允许在实际运行时能有一定的变化幅度(不越界), 就总能保证变压器的运行效率。

在实际应用中的做法是: 根据各种系列各容量等级的变压器所给出的特性参数, 如容量  $S_N$ 、空载损耗  $P_0$ 、额定负载损耗  $P_{kN}$ , 按式(5)、(3)、(6)求出变压器基准特性( $\cos\varphi_2 = 0.8$ )的最高效率  $\eta_{\max}$ 、临界负荷率  $\beta_m$ 、满载效率  $\eta_N$ ; 再由式(9)、(11)、(13)、(14)求得  $\beta'$ 、 $\beta''$ 、 $\eta_{\min}^*$ 、 $\eta_{\max}^*$ ; 为使用方便, 并按  $\beta' \sim \beta''$  求出各容量等级的最佳负荷范围  $S^* = S' \sim S''$ , 列表以备参考使用。

以 10 kV 级 SL<sub>7</sub> 系列 400~1600 kVA 容量等级的变压器为例, 有关原始数据<sup>[1]</sup>及计算结果列于表 1。

表 1 SL<sub>7</sub> 型变压器有关数据及计算结果

原始数据			$\cos\varphi_2 = 0.8$ 计算结果			$\cos\varphi_2 = 0.92 \sim 1$ 计算结果		
$S_N$ (kVA)	$nP_0$ (kW)	$P_{kN}$ (kW)	$\eta_{\max}$ (%)	$\beta_m$	$\eta_N$ (%)	$\beta' = \beta'' \sim \beta''$	$\eta_{\min}^* \sim \eta_{\max}^*$	$S' \sim S''$ (kVA)
400	0.92	5.8	98.6	0.398	97.9	0.685~0.796	98.5~98.7	274~318
500	1.08	6.9	98.7	0.396	98.0	0.681~0.792	98.5~98.8	341~396
630	1.3	8.1	98.7	0.401	98.2	0.690~0.802	98.6~98.8	435~505
800	1.54	9.9	98.8	0.394	98.2	0.678~0.788	98.7~98.9	542~630
1000	1.8	11.6	98.9	0.394	98.4	0.678~0.788	98.8~99.0	678~788
1250	2.2	13.8	98.9	0.399	98.4	0.686~0.798	98.8~99.0	858~998
1600	2.65	16.5	99.0	0.401	98.5	0.690~0.802	98.9~99.1	1104~1283

从统计的观点看, 以上结果表明, 10 kV 级 SL<sub>7</sub> 系列 400~1600 kVA 变压器的最佳负荷率约在 67%~80%, 在最佳负荷率范围内运行均较高效率, 且有较大的容量利用率。因此, 给出这样的范围, 就给变压器容量的选择提供了很大的便利, 一般情况下都可以直接按表的  $S' \sim S''$  栏选择到合适的容量。

但应注意到, 各容量规格之间的  $S^*$  范围是不连续的, 变压器容量也是按标准等级生产的, 其间都有空白, 如果实际视在计算负荷  $S_{30}$  落在  $S^*$  空白处, 则应从实际工程的综合情况作出选择。例如,

$S_{30}=420\text{ kVA}$ , 介于  $500\text{ kVA}$ 、 $630\text{ kVA}$  的  $S^*$  范围之间, 如果负荷比较稳定, 且不考虑发展需要, 可选  $500\text{ kVA}$  的变压器,  $\beta=0.84$ , 按  $\cos\varphi_2=0.92$  时的效率最低也为  $98.5\%$ , 即使负荷再有增加, 效率亦不低于  $\eta_N$ ; 若需考虑发展而留较多余量时, 应选  $630\text{ kVA}$  变压器,  $\beta=67\%$ , 效率接近于  $\eta_{\max}$  (这时的负荷率较低, 向  $\beta_m$  靠近), 只是变压器的容量利用率暂时较低。另外, 也可能出现  $\eta^*$  范围重叠现象, 考虑方式亦与上相同。

### 3 结 语

变压器容量选择及最佳负荷范围是电力工程的一个重要方面, 变压器的有效利用和节能关系重大, 因为在电力系统中的变压器安装容量约为发电容量的  $3\sim 5$  倍, 变压器的投资和总体能量消耗是相当可观的, 如果解决好这方面的问题, 其节资和节能的效果也是可观的。因此, 变压器的安装容量和运行效率一直为人们所关注, 有关这方面的资料一般也只谈到某种变压器的最佳负荷率为多少, 大约按多少的负荷率范围来选择变压器的容量。实际上仅知道一个最佳负荷率是无实际意义的, 最佳负荷范围也只是一个含糊的概念, 究竟该如何确定一台变压器的最佳负荷范围和容量, 本文就所注意到的几个基本事实为依据, 提出了对此问题切实可行的一种新方法, 以期能得到实际应用。

### 参考文献:

- [1] 机械电子工业部第一设计研究院编. 建筑工程常用材料设备大全(建筑电气设备)(M). 北京: 中国建筑工业出版社, 1992

## A Study of Capacity Selecting and the Optimum Load Range of Transformer

*FENG Fang-bi, WANG Zheng-yong*

(Chongqing Architectural College, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** This paper analyzes the transformer efficiency characteristics, taking  $10\text{ kV}$  grad SL7 series transformer for example and gives the optimum load range of the capacity grad  $400\text{--}1600\text{ kVA}$ . It introduces to the reader a transformer capacity selecting method with great efficiency in operation in certain load range while allowing the best use of transformer capacity.

**Keywords:** transformer capacity; load rate; power factor; efficiency; optimum load range