

干式变压器有功及无功功率损耗的简化计算

张文宁 (中国轻工业南宁设计工程有限公司 530031)

摘 要 由于干式变压器具有节能的特点,故旧的变压器有功及无功功率损耗简化计算式已不再适用。文章通过数学运算,得出新的干式变压器损耗简化计算式。

关键词 干式变压器 有功损耗 无功损耗 简化计算

干式变压器以其高效、节能、环保等许多优点,已在民用建筑中被广泛采用。但是,笔者发现,在许多工程方案设计的电力负荷计算中,有的设计人员在进行干式变压器的有功及无功功率损耗计算时,仍旧沿用旧的简化算式(即 $\Delta P = 0.02 S_{js}$; $\Delta Q = 0.1 S_{js}$)进行计算,经过笔者反复比较,发现由此简化算式计算出的结果远比运用正式的计算公式计算出的结果要大(结果参见表 1)。这也充分体现了干式变压器的节能特点,换句话说,若仍沿用旧的简化算式来计算干式变压器的损耗,则干式变压器的节能特点在设计中无从体现。另外,当需要通过电力负荷计算来得到变压器高压侧的 P_{js} 、 Q_{js} 、 S_{js} 及 $\cos \varphi$ 等数据时,由于变损的计算偏差,将导致上述高压侧各数据的不准确。因此,在实际的工程计算中,笔者认为应该按照变压器损耗的正式计算公式来进行计算。但是,由于变损计算涉及变压器的参数较多,计算相对繁琐,故笔者根据干式变压器的参数,重新对变损公式进行简化,以达到既方便计算,又使计算结果接近实际值的目的。

表 1 运用正式公式与简化算式
计算变损结果比较

		$\beta = 0.5$	$\beta = 0.6$	$\beta = 0.7$	$\beta = 0.8$	$\beta = 0.9$	$\beta = 1$
ΔP (kW)	正式公式	3.45	4.29	5.27	6.41	7.71	9.15
	简化算式	10	12	14	16	18	20
ΔQ (kvar)	正式公式	25.00	31.60	39.40	48.40	58.60	70.00
	简化算式	50	60	70	80	90	100

注:以 SCB9-1000/10 型干式变压器为例,其中 $S_e = 1000 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $P_0 = 1.55 \text{ kW}$, $P_k = 7.6 \text{ kW}$, $I_0 \% = 1$, $U_k \% = 6$, β 为负载系数。

首先,我们先回顾一下变压器有功及无功功率损耗的计算公式:

$$\Delta P = P_0 + P_k \left(\frac{S_{js}}{S_e} \right)^2 \quad (1)$$

干式变压器有功及无功功率损耗的简化计算——张文宁

$$\Delta Q = Q_0 + Q_k \left(\frac{S_{js}}{S_e} \right)^2 \quad (2)$$

式中: S_{js} ——变压器计算负荷, $\text{kV} \cdot \text{A}$;
 S_e ——变压器额定容量, $\text{kV} \cdot \text{A}$;
 P_0 ——变压器空载有功损耗, kW ;
 P_k ——变压器短路有功损耗, kW ;
 Q_0 ——变压器空载无功损耗, kvar , $Q_0 = \frac{I_0 \% S_e}{100}$;
 $I_0 \%$ ——变压器空载电流占额定电流的百分数;
 Q_k ——变压器短路无功损耗, kvar , $Q_k = \frac{U_k \% S_e}{100}$;
 $U_k \%$ ——变压器阻抗电压占额定电压的百分数。

P_0 、 P_k 、 $I_0 \%$ 、 $U_k \%$ 均可由变压器产品样本中查得。

由(1)、(2)两式可以看出, ΔP 、 ΔQ 的数值除了与变压器自身的特性有关外,还与负载系数 β 有关, $\beta = \frac{S_{js}}{S_e}$, 且 $0 \leq \beta \leq 1$ 。因此,可以得到如下的两条曲线,见图 1、图 2。

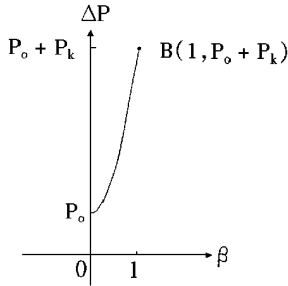


图 1 ΔP 与 β 的函数曲线图

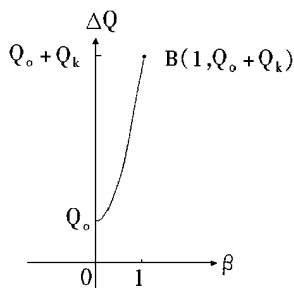


图2 ΔQ 与 β 的函数曲线图

可以看出, ΔP 、 ΔQ 与 β 之间是非线性的二次函数关系。

简化计算就是将(1)、(2)两式用一次函数来近似替代,也就是将上图中的曲线分别用一条穿过原点的直线来近似替代。以下,先推出有功损耗 ΔP 的简化算式。

取原点 $O(0,0)$ 及 $B(1, P_o + P_k)$ 两点,用直线将两点连接,如图3所示。

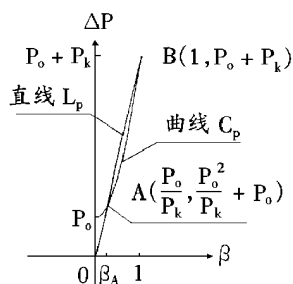


图3 用直线 L_P 近似替代曲线 C_P

将直线 L_P 用一次函数来表示,即为:

$$\Delta P = (P_o + P_k) \beta \quad (3)$$

可以看到,直线 L_P 与曲线 C_P 在其交点 A、B 之间,均非常接近,且当 β 值相同时,直线 L_P 所对应的 ΔP 值均大于曲线 C_P 所对应的 ΔP 值,从而可以完全避免因简化计算偏差,而导致的电容补偿

数量过小。而在 $0 \sim \beta_A$ 之间,直线 L_P 所对应的 ΔP 值小于曲线 C_P 所对应的 ΔP 值,而这并不影响在实际工程中的运用。因为通过数学运算可以把 A 点的坐标确定下来,发现 $0 \sim \beta_A$ 之间的 β 值在实际工程中一般不被选用。

将(1)、(3)两式联立,解方程:

$$P_o + P_k \beta^2 = (P_o + P_k) \beta$$

得:

$$\beta_A = \frac{P_o}{P_k}, \beta_B = 1$$

即 A 点的横坐标为 $\frac{P_o}{P_k}$ 。根据《电机学》^[1] 中的论证,当 $\beta = (\frac{P_o}{P_k})^{\frac{1}{2}}$ 时,变压器的效率最大,而由于 $0 < \frac{P_o}{P_k} < 1$,故 $(\frac{P_o}{P_k})^{\frac{1}{2}} > (\frac{P_o}{P_k})$ 。因此,可以断定变压器效率最大时的负载系数 β 必定在 β_A 与 β_B 之间,通常该 β 值约为 $0.5 \sim 0.6$ 。在实际工程运用中,考虑到节省一次投资,往往 β 取值大于该最佳效率 β 值。因此,在 β 轴上 $0 \sim \beta_A$ 之间的部分一般不被选用。

将(3)式转换成 ΔP 与 S_{js} 的函数关系,把 $\beta = \frac{S_{js}}{S_e}$ 代入,得;

$$\Delta P = \frac{P_o + P_k}{S_e} \cdot S_{js} \quad (4)$$

或:

$$\Delta P = K_P \cdot S_{js} \quad (K_P = \frac{P_o + P_k}{S_e}) \quad (5)$$

以某厂生产的 SC9 型干式变压器参数代入,求得各容量变压器的 K_P 值,见表2。

表2 各容量干式变压器的 K_P 值

$S_e(\text{kV} \cdot \text{A})$	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
$P_o(\text{kW})$	0.56	0.65	0.82	0.90	1.10	1.20	1.35	1.55	2.00	2.30	2.70
$P_k(\text{kW})$	2.24	2.41	3.10	3.60	4.30	5.40	6.60	7.60	9.10	11.00	13.30
K_P	0.014	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.010	0.009	0.009	0.008	0.008

由表2,可以发现, K_P 值在 $0.008 \sim 0.014$ 范围内变动,且 S_e 越大, K_P 就越小。

将表2中 $S_e = 1000 \text{kV} \cdot \text{A}$ 时的 K_P 值代入(5)式,重新计算其在不同 β 值下的 ΔP ,并与表1中两种计算结果相比较,见表3。

由表3可以得出以下两个结论:①用新简化算式计算出的结果比正式公式计算出的结果略大,但其相对旧的简化算式而言更接近真实结果。②当负载系数 β 越大,就越接近实际值。基于以上两点,有功功率损耗 ΔP 的新简化算式在工程设计中是可

行的。

表3 运用正式公式与新、旧简化算式
计算变损结果比较

		$\beta = 0.5$	$\beta = 0.6$	$\beta = 0.7$	$\beta = 0.8$	$\beta = 0.9$	$\beta = 1$
ΔP (kW)	正式公式	3.45	4.29	5.27	6.41	7.71	9.15
	新简化算式	4.58	5.49	6.41	7.32	8.24	9.15
	旧简化算式	10	12	14	16	18	20
ΔQ (kvar)	正式公式	25.00	31.60	39.40	48.40	58.60	70.00
	新简化算式	35	42	49	56	63	70
	旧简化算式	50	60	70	80	90	100

同理,可以推出无功功率损耗 ΔQ 的新简化算式。如图4所示。

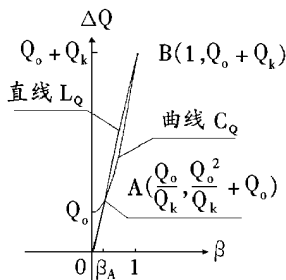


图4 用直线 L_Q 近似替代曲线 C_Q

将直线 L_Q 用 β 与 ΔQ 的一次函数来表示,有:

$$\Delta Q = (Q_o + Q_k)\beta \quad (6)$$

同理,直线 L_Q 与曲线 C_Q 的交点 A 的横座标为

$\frac{Q_o}{Q_k}$, 即 $\frac{I_o\%}{U_k\%}$, 由变压器样本可以得出, 其值通常在 0.2 ~ 0.4 之间, 小于变压器效率最大时的负载系数 β 值, 故 0 ~ β_A 之间的 β 值在实际工程中一般不被选用。

$$\text{把 } Q_o = \frac{I_o\% S_e}{100}, Q_k = \frac{U_k\% S_e}{100},$$

$$\beta = \frac{S_\beta}{S_e} \text{ 代入(6)式, 得:}$$

$$\Delta Q = \frac{I_o\% + U_k\%}{100} \cdot S_\beta, \quad (7)$$

或:

$$\Delta Q = K_Q \cdot S_\beta \quad (K_Q = \frac{I_o\% + U_k\%}{100}) \quad (8)$$

以某厂生产的 SC9 型干式变压器参数代入, 求得各容量变压器的 K_Q 值, 见表4。

表4 各容量干式变压器的 K_Q 值

S_e (kV·A)	200	250	315	400	500	630(a)	630(b)	800	1000	1250	1600	2000
$U_k\%$	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
$I_o\%$	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1	1	1	0.8
K_Q	0.056	0.056	0.054	0.054	0.054	0.052	0.072	0.072	0.07	0.07	0.07	0.068

注: SCB9-630 干式变压器有 a、b 两种规格, 由设计人员选定。

由表4, 可以发现, 当 $S_e \leq 630(a)$ kV·A 时, K_Q 值在 0.052 ~ 0.056 范围内变动, 当 $S_e \geq 630(b)$ kV·A 时, K_Q 值在 0.068 ~ 0.072 范围内变动。

将表4中 $S_e = 1000$ kV·A 时的 K_Q 值代入(8)式, 重新计算其在不同 β 值下的 ΔQ , 并与表1中两种计算结果相比较, 见表3。

由表3可以得出与验算 ΔP 时所得到的两个结论。综上所述, 并根据工程设计的实际情况, 笔者建议取 $K_P = 0.01$, $K_Q = 0.05$ (当 $S_e \leq 630(a)$ kV·A 时); $K_Q = 0.07$ (当 $S_e \geq 630(b)$ kV·A 时), 故干式变压器有功及无功功率损耗简化计算式为:

$$\Delta P = 0.01 S_\beta \text{ kW} \quad (9)$$

$$\Delta Q = 0.05 S_\beta \text{ kvar (当 } S_e \leq 630(a) \text{ kV·A 时)} \quad (10)$$

$$\Delta Q = 0.07 S_\beta \text{ kvar (当 } S_e \geq 630(b) \text{ kV·A 时)} \quad (11)$$

干式变压器有功及无功功率损耗的简化计算——张文宁

有了(9)、(10)、(11)式, 在计算干式变压器的有功及无功功率损耗时, 就会比较方便, 而且也比较准确, 从而确保电力负荷计算相关结果的准确性。

笔者通过数学分析运算对于干式变压器的有功及无功功率损耗计算式进行了简化处理, 其目的在于使设计人员更好更快地进行电力负荷计算, 但是更重要的意义在于起到抛砖引玉的作用, 希望广大电气工程设计人员在进行电力负荷计算时, 能充分意识到变压器的损耗以及干式变压器的节能特点对电网运行所起的影响。

参 考 文 献

- 1 周鹗, 徐德淦, 濮开贵. 电机学(修订版). 北京: 水利电力出版社, 1988: 44 ~ 46
- 2 航空工业部第四规划设计研究院等编. 工厂配电设计手册. 北京: 水利电力出版社, 1983: 19