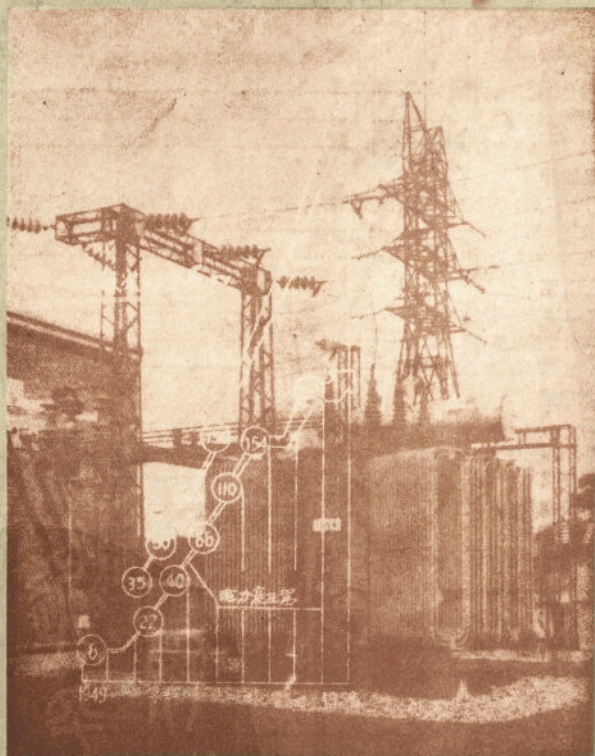


技術報導



沈阳变压器厂“技术报导”編委会編

1959

1~2

技術報 導 (双月刊)

(内部刊物、注意保存)

1959年8月19日第1—2期

目 录

专题論文

电力变压器长期过负荷的問題.....	1
分裂电抗器的理論与設計.....	5
改进風扇提高散热效率的試驗情况介紹.....	10

产品設計

对捷克列宁工厂 220 千伏級电阻式有載分接开关的研究和公式的推导及电阻值的計算.....	13
鋁綫电力变压器綜述.....	16
特高压变压器空載电流的計算.....	22

新 工 艺

大型变压器真空干燥的新工艺.....	25
变压器硅鋼片塗漆处理的几点經驗.....	25
測量变压器綫卷絕緣湿度的新方法.....	31

技术綜述

环氧树脂.....	36
高压设备的气体絕緣.....	40
鋁在电工中的应用.....	48
苏联电力变压器制造的情况.....	51

新产品介紹

H60型电机車用整流变压器.....	57
新型小体积高压开关柜.....	60
用單相电源进行中小型三相变压器空載及短路試驗的几种方法.....	61
600 仟伏工頻試驗变压器試制成介紹.....	50

消息报导

苏联举行了变压器制造发展問題的会談.....	64
美国降低变压器和电器試驗电压标准.....	66

譯文連載

变压器第一册.....	71
-------------	----

編者：沈阳变压器厂“技术报导”編輯委员会

出版：沈阳变压器厂

印刷：沈阳市第二印刷厂

发行：变压器研究室技术报导組

地址：沈阳市鉄西区保工街北二路二段八号

电力变压器長期过負荷的問題

— 龔 新 民 —

随着工农业大躍進的需要，电力供应出现了非常緊張的情况。各地正在赶修許多发电厂，架設許多新綫路，但是即使如此，仍不能滿足目前緊迫的电力需要。因此如何提高現有設備的出力，爭取送出更多的电力，这是一个具有重大政治經濟意义的任务。提高現有設備的出力包括使鍋爐，汽机，发电机等超名牌使用，將輸电綫路升压，增大油开关的断路容量，以及使变压器过負荷运行。总之要使整个系統过負荷。过負荷的数量不是3%—5%，而是要过負荷30%—50%，而且要長期过負荷。

变压器的过負荷使用，一般將产生下列几方面的影响：（1）增加阻抗，（2）增加損耗，（3）影响容許短期过負荷的时间，（这里指的是時間很短，倍数很大的过負荷）。（4）加速絕緣老化，縮短变压器寿命，甚至造成燒毀事故。以目前的情况来看，水电部要求变压器全部过負荷运行，为了达到多送电的目的而过負荷运行，已經完全不考慮阻抗，損耗等問題，甚至縮短变压器寿命也在所不惜。因为要是目前能多送出一些电力，那么这些电力生产出来的价值，將远比变压器迅速折旧的損失来得大。他們只希望变压器不立刻燒毀，至于其寿命由20年縮短到3—5年，甚至5年后立即报废也值得。5年后我們的发电設備，將为現有設備的数十倍。問題是縮短变压器寿命运行，又能允許过負荷多少呢？可否采取人工降溫的办法来增加过負荷的数目呢？这些問題已在电力工业系統中进行了广泛的研究，并得出了显著的效果。

下面拟对这种長期过負荷的問題加以探討。

（一）变压器的溫升标准

根据苏联国家标准的規定：一般A級絕緣油浸式变压器，使用在外圍最大溫度为+35°C的地方，其年平均溫度不大于5°C。变压器上层油对空气的最大溫升为60°C，綫圈对空气的平均溫升为70°C，鉄心表面对空气的溫升为75°C。也就是說当天气最热时，綫圈平均溫度可到105°C，油面最高溫度可到95°C。而經驗証明：綫圈上某些最热的地方，其溫度比平均溫度还要高15°C左右，那么綫圈的最高溫度可到120°C，油面最高溫度可到95°C。

應該特別指出：苏联国家标准这样規定并不是說綫圈一直可以在120°C下工作，因为一般來說，絕緣紙在105°C时即急剧老化，油在85°C以上也將显著劣化。絕緣紙最热点的溫度如維持在95°C，可用20年，溫度在120°C时，仅能用2，3年，苏联国家标准規定綫圈最高溫度120°C，这在一年中只有極短的时间范围内能达到，因为天气不是老为+35°C的，相反的一年中很長一段时间内气温很低，甚至低到0°C以下，苏联国家标准規定的綫圈溫升70°C，是指不管外圍气温多少，綫圈永远只高出气温70°C。标准中并没有規定綫圈經常允許最高溫度为多少，这样当气温較低时，綫圈的溫度就会低于95°C，气温的自然变化就能互相起补偿作用，苏联认为按照他們的气温变化情况綫圈能維持20年的寿命。

（二）正常的設計数据和裕度

我厂产品过去均按ГОСТ—401—41設計，即外圍最大气温为+35°C，綫圈对空气的平均溫升为70°C，最高油面对空气的溫升为60°C。1958年开始进行的新系列产品設計，考虑到我国大气条件，最高气温可到+40°C，綫圈对空气的平均溫升訂为65°C，而最高油面对空气溫升为55°C，但这些新系列产品还只是在小批試制阶段，并未大量生产。

按苏联标准設計的产品，其油对空气平均溫升与上层最高油溫升的关系为：

上层最高油溫升 = 1.2 (油对空气的平均溫升) + 散热中心校正。

所謂散熱中心校正就是變壓器發熱中心和散熱中心不一致所必須加的一個校正值，它與油箱高度有關，一般中小型變壓器此校正值取 $5 \sim 6^\circ\text{C}$ ，大型變壓器取 $8 \sim 10^\circ\text{C}$ 。

如果以大型變壓器為例，當最高油面溫升為 60°C

$$60^\circ\text{C} = 1.2 (\text{油對空氣的平均溫升}) + (8 \sim 10)^\circ\text{C}$$

$$\therefore \text{油對空氣的平均溫升} = \frac{60 - (8 \sim 10)}{1.2} = 40 \sim 42^\circ\text{C}$$

$$\text{線圈對油的平均溫升} = (\text{線圈對空氣的平均溫升}) - (\text{油對空氣的平均溫升}) = 70 - (40 \sim 42) = 30 \sim 28^\circ\text{C}$$

這些都是我們設計的基本數據，但是設計一台變壓器要滿足的指標很多，阻抗，溫升，損耗，短路應力等等均有一定標準，而使用的材料也有一定的標準，例如銅線有一定的標準截面，散熱器有一定的標準尺寸，再加上一些結構上的限制，例如絕緣距離的要求等等，往往不能把每一台變壓器算到各方面都恰到好處。即以溫升數值為例，內線柱和外線柱之間，同一線圈上正常線段和加強線段（即加包段絕緣的線段）之間，溫升均可略有差別，一般允許彼此間相差 5°C ，而計算中的線圈對油平均溫升可能比上面說的（ $30 \sim 28^\circ\text{C}$ ）略低 $1 \sim 2^\circ\text{C}$ ，油對空氣的溫升，有時或者由於絕緣距離的限制，油箱無法縮小，或者在根據總耗來計算散熱器時，多用一個又稍多，少用一個又太少，不得不多用一個，結果油對空氣的溫升又可能略低，但一般來說這種設計中的出入不會太大，上下不過 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ ，至於設計數值與實際結果，根據我們的試驗，仍是相符的。

照我們設計的一般情況來分析，以前出廠 TM 型 5600 伏安以下的產品，在東北地區一般來說過負荷 $10 \sim 15\%$ 使用，沒有什麼太大問題，但是這只是一般情況，每一台變壓器的具體情況，應在使用時根據測量溫度決定。致於大型變壓器，則要按每一台的具體情況來考慮，不能一概而論。

(三) 根據線圈的溫度來確定容許過負荷的數值

絕緣老化的 8 度規則，雖然不能說完全正確，有人說不是 8 度，而是 $10 \sim 12^\circ\text{C}$ ，但是許多人實驗的結果，證明 8 度規則仍然是相當可靠的。蘇聯莫斯科變壓器廠曾用一台 TM-50/6 來進行過壽命試驗，把他接在一個額定容量 132% 的恒定負荷下，線圈最熱點溫度達 $143 \sim 147^\circ\text{C}$ ，結果此變壓器運行了三個月，絕緣已完全老化，七個月後變壓器未經任何機械震動，而自然由於匝間短路而燒毀。所以用 8 度規則折算一下，要希望變壓器能用 5 年，而 5 年內註其帶最大負荷，只要保持不致馬上燒毀，那麼我們可以註變壓器線圈最熱點維持在 110°C 左右，而其平均溫度在 95°C ，這樣長期工作下去，同時為了使變壓器油不致急劇老化，應維持上層油溫不超過 85°C 。那麼

$$85 = 1.2 (\text{油對空氣的平均溫升}) + (8 \sim 10) + \text{周圍氣溫。}$$

$$95 = (\text{油對空氣的平均溫升}) + (\text{線圈對油的平均溫升}) + \text{周圍氣溫。}$$

周圍氣溫是變化的，夏季氣溫高，變壓器過負荷只能少些，而冬季氣溫低，過負荷可以多些。控制過負荷多少，最可靠的辦法是控制線圈溫度，只要能用測量的方法，控制線圈的平均溫度永遠不大於 95°C ，那麼變壓器最熱點的絕緣是可以渡過 5 年的。

但是要在運行過程中經常測量線圈溫度，這也是困難的，除非在線圈上裝上熱偶溫度計，而這種設備，一般變壓器並不供給，運行人員最易觀測的只有上層油溫，因此我們應該想出辦法來近似的由油面溫度來控制過負荷。

$$\text{一般來說，線圈的溫升與負荷的 } n \text{ 次方成比例即 } \tau = \tau_H \left(\frac{I}{I_H} \right)^n。$$

其中 I_H —— 額定電流

τ_H —— 在額定電流下線圈對油的平均溫升

I —— 任何負荷電流

τ —— 在負荷為 I 時之線圈對油的平均溫升。

我們的設計中採用

油浸自冷式 $n=1.2$

油浸風冷式 $n=1.4$

假定設計時繞圈對油的平均溫升取 28°C ，而周圍氣溫為 20°C ，那麼按上面的公式計算，在不同的負荷下繞圈對油的平均溫升可以求出來，並進而可以求出必須控制的油對空氣的平均溫升和上層油溫。結果如下表，並根據這種關係作出兩簇曲線。

周圍氣溫為 20°C 時不同過負荷下容許油面的溫度（散熱中心校正取 9°C ）

過負荷 倍數R	油 浸 自 冷 式				油 浸 風 冷 式			
	$R^{1.2}$	繞圈對油平 均溫升 $^{\circ}\text{C}$	油對空氣的 容許平均溫 升 $^{\circ}\text{C}$	容許油面溫 度 $^{\circ}\text{C}$	$R^{1.4}$	繞圈對油平 均溫升 $^{\circ}\text{C}$	油對空氣容許 平均溫升 $^{\circ}\text{C}$	容許油面溫 度 $^{\circ}\text{C}$
1	1	28	47	85.5	1	28	47	85.5
1.1	1.121	31.4	43.6	81.3	1.143	32	43	80.6
1.2	1.245	34.8	40.2	77.3	1.292	36.2	38.8	75.6
1.3	1.37	38.4	36.6	73	1.444	40.5	34.5	70.4
1.4	1.497	41.9	33.1	68.7	1.602	44.8	30.2	65.2
1.5	1.626	45.5	39.5	64.4	1.764	49.5	25.5	59.6
1.6	1.759	49.2	25.8	60	1.93	54	21	54.2
1.7	1.89	53	22	55.4	2.1	58.9	16.1	48.3

由兩簇曲線看來可以說明：（1）當周圍氣溫較低，如在 (-20°C) 時，變壓器要過負荷11.8%油面溫度才能到 85°C ，而當周圍氣溫升到 $+30^{\circ}\text{C}$ 時，即使帶額定負荷，亦需設法將油面溫度降到 83.5°C ，（注意此處為長期過負荷的運行方法）。（2）如果希望變壓器多過載一些，那就要採取措施把油面溫度多下降一些，而在某一過載%下，當氣溫為多少度時，應設法把油面溫度降到多少度，這可由曲線查出來。

應當特別指出的是：上式中 n 的數值不同的人有不同的說法，有的人認為 $n=1.72$ ，也有的人認為當 $R=0.9\sim 1.25$ 時， $n\approx 1.3\sim 1.4$ 當 $R=1.4\sim 2$ 時； $n\approx 1.7\sim 1.8$ ，我們認為如果過負荷的範圍在30%以下，上面所列的曲線仍是比較可靠的，如果過負荷太大，最熱點的溫度比平均溫度可能高出 15°C ，那時 R 值可比曲線中稍微取得低一些，或者另用 $n=1.72$ 去換算一次。另外上面曲線中未考慮到負荷自然波動的情況，也就是說：由於某些時間的過負荷倍數較低，而可能使另一些時間過負荷再多一些未加考慮。

（四）採取各種措施降低油溫

根據前面說的可以用加強冷卻的辦法，來降低油溫，從而使繞圈周圍冷卻介質的溫度降低，把繞圈上更多的熱量帶出來，油溫降得越低，容許的過負荷也越大，至於用什麼辦法來降低油溫那是可以不加限制的。目前各地已經在試用的冷卻方法有下列幾種：

1. 吹風 這種方法使用比較普遍，也比較簡單，只要將自冷變壓器加上風扇就行了。自冷變壓器加風扇後能提高容量，有的廠規定可提高20%，也有的廠規定可提高30%，能提高多少這要看吹風設備的具體情況決定，他與風扇的風量，風速，風的溫度，風扇的放法均有關係，各廠規定的數值都是根據他們標準的吹風結構來決定的。拿風扇安裝的位置來說，有的裝在散熱器下面，有的裝在散熱器上半部，也有裝在其下半部的，而裝在哪裡最有效，這又與散熱器的結構有關，不能一概而論。更不好硬性規定吹風就可過負荷多少。本廠所用的彎管散熱器，每只裝有大連電機廠出品的0.15KW風扇兩台，風扇裝在散熱器內部靠下面1/3高度的地方，這種標準結構的吹風裝置，比不吹風提高容量20%左右。應該特別指出的是：我們的风冷式變壓器均規定當負荷不超過額定容量的2/3時，可以不吹風，這樣規定並不等於可以反過來說：自冷變壓器加風扇就可提高容量1/3，因為實際上當負荷降到80%時，風扇即可不開，（此時繞圈溫升與吹風而帶滿載相同）。規定負荷降到67%才停風扇，這是比較安全的規定。

2. 淋水 往变压器上淋水, 据说可以使油温降低 10°C , (负荷不变)。相应地就等于可以把负荷提高。但是淋水时要特别注意不要淋到箱盖上, 而要淋到油管或散热器上, 如果直接往箱盖上淋水, 将会破坏油箱中油循环的系

统, 造成局部过热, 同时这样一来在油箱盖上测的油温, 已不再是最高油温了。

3. 喷雾 雾能随风飘扬, 喷雾还能使变压器周围气温降低, 因此冷却效率比淋水要高, 用水量也少, 据说喷雾可使油温降低 20°C , 因而变压器也可过负荷更多些。根据水电部试验的结果: 喷雾开始后头一个小时, 油温无显著下降, 一小时以后油温才能降下来, 所以喷雾应在负荷高峰到来一小时以前开始。

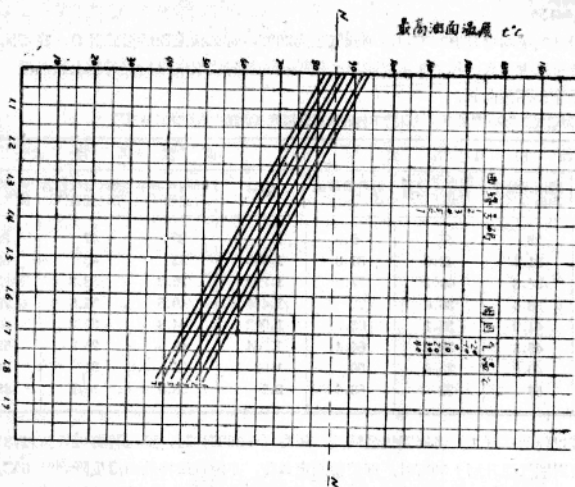
4. 浸水 这是最近北京北大电机厂试验成功的, 据说可以提高变压器出力 75% , 不过浸水需要水池和活水, 这是比较困难的。

变压器散热是一个极为复杂的问题, 关于散热的计算也大部分是从经验得来的, 而绝缘纸的寿命也不是能够由人工完全掌握的, 上面所说的一些问题, 只不过提供一种考虑问题的方法, 每台变压器具体可过负荷多少, 仍应在实际运行中去摸索决定, 简单的搬用这种算法, 仍是不可靠的。

59年1月20日

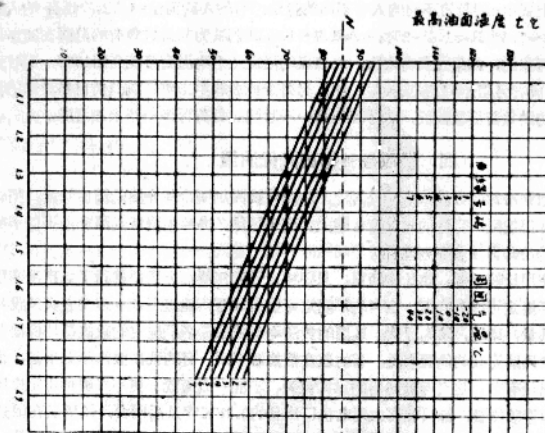
图一: 油浸风冷式变压器过负荷倍数与最高油面温度的关系

过负荷倍数



图二: 油浸自冷式变压器过负荷倍数与最高油面温度的关系

过负荷倍数



UDC 621.316.935.001

分裂电抗器的理论与设计

— 王宗茂 —

为了限制一个线路内的短路电流，我们常常需要把一个电抗器串联到线路当中去。但是这样一个电抗器常常会有一个很高的电抗值，把它用到不同的电路系统时，就会在负荷运转的正常情况下引起一个过高的电压降，可能使得电路系统不稳定。在这种情况下，应用分裂电抗器较为有利。

分裂电抗器由单相电抗器组成，它的绕组是在中间抽出分接头的。参看图1。

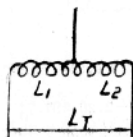


图 1

两个串联起来的线卷的全部电感为：

$$L_T = L_1 + L_2 + 2M_{12} = L_1 + L_2 + 2f_c \sqrt{L_1 L_2}$$

$$\sqrt{L_1 L_2}$$

如 $L_1 = L_2 = L$ 则在分裂电抗器内就得出

$$L_T = 2L(1 + f_c) \quad (1)$$

在正常的情况下，电抗器和电路系统连接如图

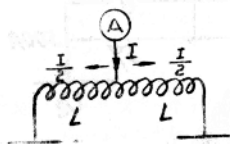


图 2

个恒等的电感的并联总和，即：

$$L_T = L_P = \frac{2L}{4} (1 - f_c) = \frac{L}{2} (1 - f_c)$$

跨越每一个分支两端的电压降为：

$$V = I L_P \omega = I \cdot \frac{L}{2} (1 - f_c) \cdot 2\pi f \quad \text{伏}$$

这里 $0.4 < f_c < 0.5$

让我们现在研究一下分裂电抗器用到A.B.和C的不同供电线路系统时较为复杂的情况：如图3

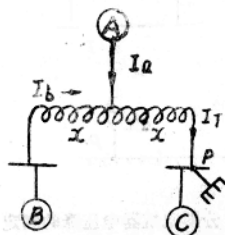


图 3

所示假定一个故障发生在P点，此时可忽略不计系统C的存在。

令 x_a = 电路系统A的电抗
 x_b = 电路系统B的电抗

电路系统中从A到P的电压降为：

$$V_{A-P} = I_a x_a + I_T x + I_b x_{fc}$$

但 $I_T = I_a + I_b$, $I_b = I_T - I_a$

$$\therefore V_{A-P} = I_a (x_a - x_{fc}) + I_T (x + x_{fc}) \quad (2)$$

$$V_{B-P} = I_b x_b + I_b x + I_b x_{fc} + I_T x + I_T x_{fc} = I_b (x_b + x + x_{fc}) + I_T (x + x_{fc}) \quad (3)$$

在方程式(2)及(3)中 $I_T (x + x_{fc})$ 是一个共同的项。因路线A及B是平行的，所以 V_{A-P} 必定等于 V_{B-P} 。合并方程式(2)及(3)得出：

$$I_a (x_a - x_{fc}) = I_b (x_b + x + x_{fc}) \quad (4)$$

方程式(4)代表了一个等值电路如图4所示。

若把线路系统C考虑进去，便得等值电路如图5所示，其电压完全相等，即：

$$V_{C-P} = V_{B-P} = V_{A-P}$$

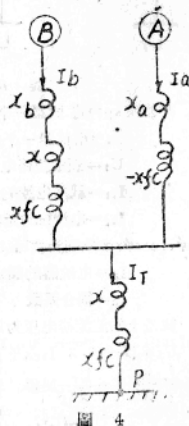


图 4

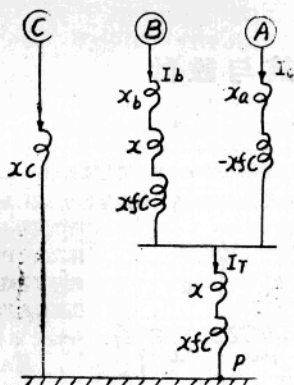


圖 5

在正常情况下，分裂电抗器电压降的测定

在均衡负载的情况下假定电抗器连接如图6所示。

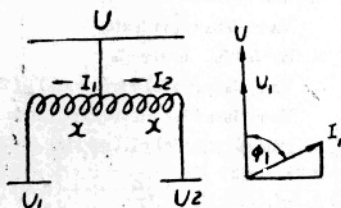


圖 6

并假定 \$x_p\$ = 电抗器一个分支的电抗百分数

\$x\$ = 电抗器一个分支的电抗 \$\Omega\$

\$U_1\$ = 额定线路电压 伏

\$I_{1r}\$ = 线路电流的无功分量 \$I_1\$ —— 安

\$I_{2r}\$ = 电流 \$I_2\$ 的无功分量 安

\$\cos \phi_1, \cos \phi_2\$ = 分别为线路1及线路2的功率因数

\$I_p\$ = 电抗器的额定电流 安

\$f_c\$ = 耦合系数

线路1的汇流排电压为:

$$U_1 = U - \sqrt{3} I_{1r} x + \sqrt{3} I_{2r} x f_c, \text{ 但 } x$$

$$= \frac{x_p}{100} \times \frac{U_r}{\sqrt{3} I_p} \text{ 使得}$$

$$U_1 = U - \frac{x_p U_r I_{1r}}{100 I_p} + \frac{x_p U_r I_{2r} f_c}{100 I_p}$$

$$= U - \frac{U_r}{100} x_p \left(\frac{I_{1r} - I_{2r} f_c}{I_p} \right)$$

$$\therefore \frac{U_1}{U_r} \cdot 100 = \frac{U}{U_r} \cdot 100 - \frac{x_p}{I_p} (I_{1r} \sin \phi_1 - I_{2r} \sin \phi_2 f_c) \quad (5)$$

$$\text{同样 } \frac{U_2}{U_r} \cdot 100 = \frac{U}{U_r} \cdot 100 - \frac{x_p}{I_p} (I_{2r} \sin \phi_2 - I_{1r} \sin \phi_1 f_c) \quad (6)$$

例: \$U = 10000 \text{ V}\$.

令电抗器的额定容量为 \$f_n k 10-500-15, f_c = 0.5\$

$$\text{每一分支的电抗百分数为 } x_p = \frac{x_r}{2(1+f_c)} = \frac{15}{2 \times 1.5} = 5\%$$

$$I_p = 500 \text{ A } \cos \phi_1 = \cos \phi_2 = 0.4, \sin \phi_1 = \sin \phi_2 = 0.9165$$

$$I_1 = I_2 = 500 \text{ A}$$

应用方程式(5)即得

$$\frac{U_1}{10000} \times 100 = 100 - \frac{5}{500} (500 \times 0.9165 - 500 \times 0.9165 \times 0.5) = 100 - 2.20 = 97.71$$

$$\therefore U_1 = 9771 \text{ V} \text{ 即电压降为线电压的 } 2.29\%$$

让我们把它和每部分都需用一个串联电抗器时的情况相比较,如图7所示。假定每个电抗器有5%的电抗,其电压及电容量和分裂电抗器相同,每一个电抗器的电抗欧姆值为

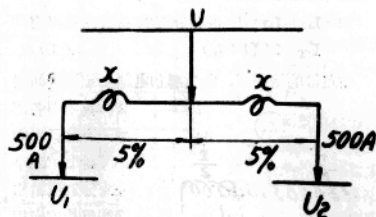


圖 7

$$x = \frac{5}{100} \times \frac{10000}{\sqrt{3} \times 500} = 0.576 \Omega$$

$$\text{电压降/相} = 500 \times 0.576 = 288 \text{ V}$$

$$\text{换算为线电压} = \sqrt{3} \times 288 = 498 \text{ V}$$

因此电压降的百分数

$$\epsilon = \frac{498 \sin \phi}{10000} \times 100 = \frac{498 \times 0.9165}{10000} \times 100 = 4.56$$

两个电压降百分数间之差为

$$\frac{4.56-2.29}{4.56} \times 100 = \text{串联电抗器的} 49.8\%$$

$$\text{或 } \frac{4.56}{2.29} \approx 2$$

这样就很明显，分裂电抗器在线路系统具有分路时产生的电压降很小，因此在投资方面有相当大的节约。

在短路情况下，分裂电抗器电压降的测定（参看图）

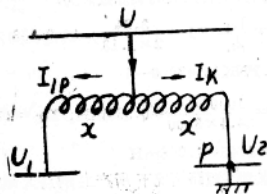


图 8

让我们假定短路发生在汇流排 U_2 上的 P 点，比 I_{IP} 大很多的短路电流 I_K ，将从汇流排 U 流到短路点，这时电流 I_K ，通过电抗器的一个分支引起磁通增加由于互感作用引起电压 U_1 的升高，其方程式为：

$$U = \sqrt{3} I_K x - \sqrt{3} I_{IP} x f_c, \quad (7)$$

f_c = 耦合系数

$$U_1 = U - \sqrt{3} I_{IP} x + \sqrt{3} I_K x f_c \quad (8)$$

把 U 代入方程式 (8)

$$U_1 = \sqrt{3} I_K x (1 + f_c) - \sqrt{3} I_{IP} x (1 + f_c) = \sqrt{3} x (1 + f_c) (I_K - I_{IP}), \text{ 但 } x = \frac{x_P}{100}$$

$$\frac{U_r}{\sqrt{3} I_P},$$

其中 x_P = 电抗器一个分支的电抗百分数

U_r = 额定线电压 伏

I_P = 电抗器额定电流 安

以 x 之值代入方程式 (9)

$$U_1 = \sqrt{3} \times \frac{x_P}{100} \times \frac{U_r}{\sqrt{3}} (1 + f_c) \left(\frac{I_K}{I_P} - \frac{I_{IP}}{I_P} \right)$$

$$\frac{U_1}{U_r} \times 100 = x_P (1 + f_c) \left(\frac{I_K}{I_P} - \frac{I_{IP}}{I_P} \right) \quad (10)$$

$$\text{比例 } \frac{I_K}{I_P} \approx 9 \div 10$$

在汇流排 U_1 上的电压由于互感而增加，同时

无效电流 I_{IP} 跟着异步发电机电流与电压之间的关系曲线而减少，可以下列方程式表示之：

$$I_{IP} = I_{IPK} [1 - 3.09 \frac{U_1}{U_r} + 2.92 \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2],$$

$$I_{IPK} = I_{IK} \sin \phi_{IK}.$$

将上式代入方程式 (10) 即得：

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{U_r} \times 100 = x_P (1 + f_c) \left[\frac{I_K}{I_P} - \frac{I_{IPK}}{I_P} \left(1 - 3.09 \frac{U_1}{U_r} + 2.92 \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 \right) \right] \\ \frac{U_1}{U_r} [100 - 3.09 \times x_P (1 + f_c) \frac{I_{IPK} \sin \phi_{IK}}{I_P}] \\ + 2.92 x_P (1 + f_c) \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 \frac{I_{IK} \sin \phi_{IK}}{I_P} \\ - x_P (1 + f_c) \left(\frac{I_K}{I_P} - \frac{I_{IK} \sin \phi_{IK}}{I_P} \right) = 0 \quad (11) \end{aligned}$$

例：假定 $x_P = 10\%$, $f_c = 0.5$, $\cos \phi_{IK} = 0.8$

$$\frac{I_K}{I_P} = 10 \text{ 求方程式 (11) 之值}$$

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{U_r} [100 - 3.09 \times 10 \times 1.5 \times \frac{I_{IK}}{I_P} \times 0.6] \\ + 26.3 \frac{I_{IK}}{I_P} \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 - 15 (10 - 0.6 \frac{I_{IK}}{I_P}) \\ = 0 \quad (12) \end{aligned}$$

当 $\frac{I_{IK}}{I_P} = 1$ 时，方程式 (12) 即变为：

$$\begin{aligned} 72.2 \frac{U_1}{U_r} + 26.3 \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 - 141 = 0 \\ \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 + 2.745 \frac{U_1}{U_r} - 5.36 = 0 \\ \frac{U_1}{U_r} = -\frac{2.75}{2} \pm \sqrt{\frac{2.75^2}{4} + 4 \times 5.36} = 1.32 \end{aligned}$$

当 $\frac{I_{IK}}{I_P} = 0.5$ 时，方程式 (12) 即变为：

$$\begin{aligned} 86.1 \frac{U_1}{U_r} + 13.15 \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 - 145.5 = 0 \\ \left(\frac{U_1}{U_r} \right)^2 + 6.54 \frac{U_1}{U_r} - 11.06 = 0 \\ \frac{U_1}{U_r} = -\frac{6.54}{2} \pm \sqrt{\frac{6.54^2}{4} + 4 \times 11.06} = 1.39 \end{aligned}$$

当 $\frac{I_{IK}}{I_P} = 0$ 时，即 I_{IP} 变得如此之小，因此 I_{IK} 可

当作从母线 U 流东的全部电流，在此时，母线电势 U_1 在短路后 0.3 到 1.5 秒内达到最高值 方程式 (12) 变为：

$$100 \frac{U_1}{U_r} = 150; \quad \frac{U_1}{U_r} = 1.5$$

从方程式(11)中, 我們可更进一步地推論出:

当 $\frac{I_K}{I_P}$ 增加时, $\frac{U_1}{U_r}$ 即升高。意思就是說, 分

裂电抗器一个分支的电势增加——在另一分支发生短路时——同时每分支电抗百分数减少。

举例: $\frac{I_K}{I_P} = 20$, 方程式 (11) 即变为

$$\frac{U_1}{U_r} [100 \times 3.09 \times 10 \times 1.5 \frac{I_K}{I_P} \times 0.6] + 26.3 (\frac{U_1}{U_r})^2 - 15 (20 - 0.6 \frac{I_K}{I_P}) = 0$$

当 $\frac{I_K}{I_P} = 0$ 时, 我們便得出 $\frac{U_1}{U_r} = 3$

FNK 10-1000-6 及 FNK 10-3000-6 的设计实例

1. 电感計算

A. FNK10-1000-6

在串联电抗器內, 众所周知

$$\text{电感 } L = \frac{V_L \times \epsilon}{54.41} \text{ mH} \quad (13)$$

其中 V_L = 綫电压一伏 ϵ = 电抗百分数

I = 額定滿載电流 安

$$\text{在本例中: } L = \frac{10000 \times 6}{54.4 \times 1000} = 1.104 \text{ mH}$$

此即为分裂电抗器每分支的电感, 如图 9 所示, 从方程式(1)得到

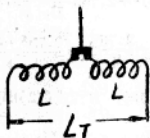


图 9

$$L_T = 2L (1 + fc) = 2 \times 1.104 \times 1.45 = 3.2 \text{ mH},$$

假定 $fc = 0.45$ 設計时选用16段 8 层

$$h' = 15 \times 45 = 675,$$

$$b' = 7 \times 35 = 245,$$

$$\mu = 2 \times 920 = 1840$$

$$\frac{D}{\mu} = \frac{1160}{1840} = 0.63 \quad \lambda' = 7.29$$

$$L_T = 62^2 \times 115 \times 7.29 \times 10^{-6} = 3.24 \text{ mH}$$

其进出綫端間的位移角度为 0, 因此 $n \approx 61.5$

參看圖 9 假如这一电抗器在中间抽出分接头时, 即得

$$b' = 245, h' = 7 \times 45 = 315, \mu = 2 \times 560 = 1120,$$

$$\frac{D}{\mu} = \frac{1160}{1120} = 1.035$$

$$\lambda' = 10.3 \sqrt{1.035} = 10.47$$

$$\therefore L = 50.52 \times 115 \times 10.47 \times 10^{-6} = 1.13 \text{ mH}$$

因此其耦合系数的实际数值为:

$$fc = \frac{L_T}{2L} - 1 = \frac{3.24}{2 \times 1.13} - 1 = 0.433$$

B. FNK10-3000-6

$$L = \frac{10000 \times 6}{54.4 \times 3000} = 0.368 \text{ mH}, L_T = 2 \times 0.368$$

$$\times 1.45 = 1.068 \text{ mH}$$

考虑到在短路情况下所产生的巨大的分裂力, 同时考虑到使电抗器并联电綫不超过两根, 应用两个并联的分裂电抗器就可得到較好的結果。

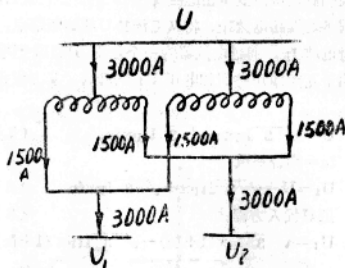


图 10

对于每台并联电抗器其电感值必須为:

$$L = 2 \times 0.368 = 0.736 \text{ mH}$$

$$L_T = 0.736 \times 2 \times 1.45 = 2.136 \text{ mH}$$

設計中取16段, 7 层,

$$h' = 15 \times 50 = 750 \quad b' = 6 \times 45 = 270$$

$$\mu = 2 \times 1020 = 2040$$

$$\frac{D}{\mu} = \frac{1160}{2040} = 0.57, \lambda' = 6.76$$

$$L_T = 1.02 \times 52^2 \times 115 \times 6.76 \times 10^{-6} = 2.185$$

mH

$$\text{对于 } L, b' = 270, h' = 7 \times 50 = 350$$

$$\mu = 2 \times 620 = 1240$$

$$\frac{D}{\mu} = \frac{1160}{1240} = 0.935,$$

$$\lambda' = 10.3[0.935]^{0.75} = 9.8$$

$$L = 25.5 \times 116 \times 9.8 \times 10^{-8} = 0.74 \text{ mH}$$

2. 在正常平衡负载时, 分裂电抗器的电压降计算。

由方程式(5)得出

$$\frac{U_1}{U_r} \times 100 = \frac{U}{U_r} \times \frac{X_r}{I_p} (I_1 \sin \phi_1 - I_2 \sin \phi_2) \quad (\text{fc})$$

$$\text{FNK} 10-1000-6$$

$$\frac{U_1}{U_r} \times 100 = 100 - \frac{6}{1000} (1000 - 450)$$

假定纯电抗 $\cos \phi = 0$, $\sin \phi = 1$

$$\therefore \frac{U_1}{U_r} = 1 - 0.033 = 0.97$$

电压降为3.3%

$$\text{FNK} 10-3000-6$$

$$\frac{U_1}{U_r} \times 100 = 100 - \frac{6}{3000} (3000 - 3000 \times 0.45)$$

$$\therefore \frac{U_1}{U_r} = 1 - 0.027 = 0.973$$

电压降为2.7%

3. 当母线 U_2 在 P 点短路时, 母线 U_1 的电压增加计算, 图11。

利用方程式(11)得出

$$\begin{aligned} \frac{U_1}{U_r} [100 - 3.09 X_p (1 + \text{fc}) \frac{I_{1K} \sin \phi_{1K}}{I_p}] \\ + 2.92 X_p (1 + \text{fc}) (\frac{U_1}{U_r}) \frac{I_{1K} \sin \phi_{1K}}{I_p} \end{aligned}$$

(上接21页)

从上面几种设计原则来看, 第三种设计原则则比较最合适, 可以得到较好的经济指标, 同时可以建设10—1800千伏安变压器以铝线变压器作为发展方向。

在设计铝线变压器时应该注意到, 必须保证线卷中要有必须的机械强度, 但在1800千伏安及以下的变压器中, 计算应力比实际允许应力要小, 故采用铝线时机械强度一般是可以满足要求的。

如容量较大时应注意垫块间的跨度, 因为铝线的直径虽增加了, 截面模数亦相应地有所增加, 但是由于铝的机械强度较差, 故铝线线卷中垫块间跨度应比铜线线卷中垫块间跨度为小, 在铝线变压器

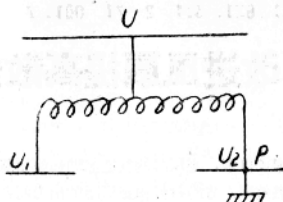


图 11

$$-x_p(1 + \text{fc}) (\frac{I_{1K}}{I_p} - \frac{I_1 \sin \phi_{1K}}{I_p}) = 0$$

$$\text{FNK} 10-1000-6$$

$$I_{1K} = \frac{100}{6} \times 1000 = 16666.6 \text{ A}$$

$$\frac{I_{1K}}{I_p} = \frac{16666.6}{1000} = 16.67$$

假定当 $\frac{I_{1K}}{I_p} = 0$ 时电压增到最大, 同时应用上

式使得

$$\frac{U_1}{U_r} \times 100 = 6 \times 1.45 \times 16.67 = 145, x_p = 6$$

在短路的情况下, 母线 U_1 的电压变为

$$1.45 \times 10000 = 14500 \text{ 伏}$$

$$\text{FNK} 10-3000-6$$

因为 x_p , fc 及 $\frac{I_{1K}}{I_p}$ 都和 $\text{FNK} 10-1000-6$ 相

同, 所以母线 U_1 的电压同样也是14500伏

这些计算的意义使我们得悉: 当另一个母线 U_2 发生0.5到3秒的短路时(根据一般继电器的整定数据), 连接到另一个母线 U_1 的负荷会不会因为电压的突升而受到严重的影响。

中增加垫块数量是没有问题的, 因为铝线变压器的线卷表面热负荷较低。

当铝线变压器中有铝—铜联接时, 一定要有防潮保护, 否则很难作到能经受电化学腐蚀的永久性的接头, 同时铝在一般应力下有冷变形的现象, 如铝的联接用螺丝, 当温度有变化时, 螺丝连接的接触压力有减少的可能, 为了防止这种影响在螺丝上可以加弹簧垫圈。

总之, 1800千伏安以下的电力变压器, 不论是干式的或油浸式的, 都宜以铝线来制造线卷, 到目前为止, 制造铝线变压器亦是一个成功的经验了。

改进風扇提高散热效率的試驗情况介紹

——产 品 組——

大跃进以来,变压器的制造部門和使用單位,均感到原材料和电力不足,因而迫切希望对如何提高散热器散热效率,节约材料和变压器的出力問題得到答案。在这种情况下,我們根据苏联扎布罗什变压器厂和上海电机厂的經驗,在党委和支部的领导下,将现有吹风散热器之风机轮叶作了改进。并通过对 10000 千伏安变压器的溫升試驗,証明这一措施有显著效果。下面将試驗研究及其結果介紹如下:

为了探索吹风机的性能,我們对改进前后的吹风机轮叶作了試驗測定。

一、風扇改进前后的性能:

1. 改进前原有風扇的形狀(圖一)及技术根据:

- (1) 吹风机的風扇直径:
 $\phi=368\text{mm}$
- (2) 風扇輪叶数: $n=4$ 片
- (3) 輪叶角度: $\theta=25^\circ$
- (4) 风量: Q 受設各限制未測;
- (5) 风压: h 受設各限制未測;
- (6) 电动机消耗的功率 $P=90$ 瓦;
- (7) 电动机轉差率: $S=0.666\%$;

2. 改进后吹风机的形狀(圖二)及技术数据:

(1) 吹风机的風扇直径:

$$\phi=400\text{mm};$$

(2) 風扇輪叶数: $n=4$ 片;

(3) 輪叶角度: $\theta=30^\circ$;

(4) 风量: $Q=4100\text{M}^3/\text{hr}$;

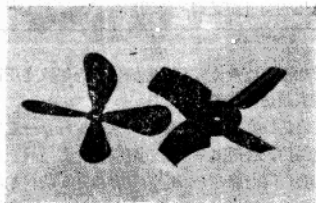
(5) 风压: $h=9.2$ 公厘水柱;

(6) 电动机消耗的功率: $P=150$ 瓦;

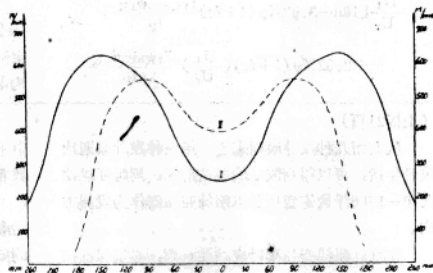
(7) 电动机轉差率: $S=1.5\%$;

3. 新旧風扇的比較:

由于旧風扇风量受設各限制未加測定。故风量的确定与对比是借新旧風扇的风速曲綫(圖三)近似計算的。計算的方法是:用測面积仅分別測量曲綫所包圍的面积除以風柱直径,得平均风速。然后



圖一和二



圖三

乘以風柱面积得出风量 Q 。根据測量与計算結果是:

(1) 新風扇

① 測出的面积: $S_1=204$ 个單位面积;

② 風柱直径: $D_1=440$ 个單位長度;

M/min;

$$\textcircled{3} \text{ 平均风速: } V_{cp} = \frac{204}{440} \times 1000 = 464$$

$$\textcircled{4} \text{ 風柱面积: } A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 44 \cdot 10^{-2}$$

$$=15.2 \times 10^{-2} \text{ M}^2;$$

$$(5) \text{ 风量: } Q_1 = V_{1cp} \cdot A_1 = 464 \times 15.2 \times 10^{-2} \times 60 = 4230 \text{ M}^3/\text{hr};$$

(2) 旧风扇:

① 测出的面积: $S_2 = 156$ 个单位面积;

② 风柱直径: $D_2 = 340$ 个单位长度;

$$(3) \text{ 平均风速: } V_{2cp} = \frac{156}{340} \times 1000 = 458 \text{ M}/$$

min;

$$(4) \text{ 风柱面积: } A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 = \frac{\pi}{4} \times 3.4^2 \times$$

$$10^{-2} \times 9.06 \times 10^{-2} \text{ M}^2$$

$$(5) \text{ 风量: } Q_2 = A_2 V_{2cp} = 458 \times 9.06 \times 10^{-2} = 2500 \text{ M}^3/\text{hr};$$

(3) 新旧风扇风量之比:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{4230}{2500} = 1.692;$$

即新风扇比旧风扇之风量提高约70%左右。

二、温升试验:

从上述计算与对比中,肯定新风扇比旧风扇的风量提高了很多。为了验证散热器在使用新风扇时,是否散热效率也有很大的提高。我们采用新旧风扇时10000千伏安变压器作了温升试验。

1. 试验品的技术数据:

(1) 产品型号: SFSL-10000 KVA 110/38.5/6.6KV

(2) 温升试验前进行了铜损及铁损的测量。测量的结果是:

a) 铜损: 100000瓦;

b) 铁损: 56300瓦;

总损耗: $100000 + 56300 = 156.3$ 仟瓦; (BH-CH);

(3) 额定电流:

BH-52.5a;

CH-150a;

HH-584a;

(4) 额定容量:

BH-CH: 10000KVA;

BH-HH: 10000KVA;

CH-HH: 6678KVA;

(5) 实测阻抗电压:

BH-CH 10.76%;

BH-HH 16.56%;

CH-HH 5.83%;

2. 温升试验结果:

温升试验是根据国家标准(苏联)短路法进行的。使高压线圈(BH)短路,低压线圈(HH)开路,中压线圈(CH)加电压。试验时慢慢调节电压使变压器的损耗等于156.3仟瓦为止。试验到油面温升稳定后,记录各数据。随后降低电压,使线圈内的电流等于铜损100000瓦的额定电流。经2小时后,油面及线圈的温升即可稳定。于是测量线圈的热电阻。并按下式求出线圈对冷却介质的平均温升。

$$\theta_{0.6M} = \frac{R_2}{R_1} (234.5 + t_1) - (234.5 + t'_1) +$$

$$\frac{\theta_M - \theta'_M}{1.3}$$

式中 R_1 ——线圈的冷电阻;

R_2 ——线圈的热电阻;

t_1 ——试验开始前测定电阻 R_1 时之温度;

t'_1 ——测定热电阻 R_2 时空气温度;

θ_M ——加总损耗试验时最后油面温度;

θ'_M ——降低到铜损(额定电流)后切负荷时的油面温度;

以上述方法对变压器进行了4次不同情况的试验。现将试验及计算结果记于下表:

试验内容	应加电流(安)		试验结果(°C)			
	额定值	总损耗	油温	室温	油温升	线圈平均温升
旧风扇吹风试验	150	185	58	7	51	60
新风扇吹风试验	150	187	54	10.5	44.5	52.5
新风扇吹风关掉二只散热器	150	187	65	6	59	65.5
新风扇吹风提高10%负荷	166	203	60	8	52	62

三、初步分析:

1. 采用新风扇, 散热器的只数不变。线圈平均温升降低约 15% 左右; 油面温升降低约 12% 左右。因此可以肯定由于风量的增加, 油的对流加快散热的效率提高了;

2. 采用新风扇, 减少二只散热器(约 30%), 线圈平均温升提高约 10% 左右; 油面温升提高约 15% 左右, 这说明散热面积减少的量偏高了一些。

3. 采用新风扇, 散热器的只数不变, 将变压器提高 10% 的负荷。线圈平均温升提高约 2% (对旧有风扇吹风冷却而言)。这个提高的量不多因此可以估计到采用新的风扇将变压器在过负荷 10% 的情况下使用, 温升的问题是不太严重的。

4. 采用新的风扇, 散热效率提高了。油面温升与线圈平均温升都同时降低了。因此要在设计上提供可靠数据, 便于计算, 需要进一步探讨其线圈表面单位热负荷与线圈温升的关系曲线以及油箱与散热器表面单位热负荷与温升的关系曲线。

四、几点初步的意见:

1. 试验证明了采用新的风扇后, 散热效率提

(上接 61 页)

由于汇流排装在柜内上下静触头间, 开关柜可以同时满足电缆进出式和架空进出式的两种要求。

成套配电装置的外形布置, 可参阅图 2。

新旧型产品技术经济指标比较表

比较项目	新型产品	旧型产品
体积(立方米)	0.98(0.78)	4.50
安装面积(平方米)	0.70(0.56)	1.44
产品重量(公斤)	500	860
钢材用量(公斤)	100	300
零件数量(件)	110	250
产品成本(元)	4000	4400
工时定额(小时)	45	90
试验标准	符合国家标准	符合国家标准

附注: 括弧内的数字系指新设计产品。

高了。但因试验仅是一种比较性质(仅仅对一台 10000 KVA 变压器作了研究), 故不能对设计计算提供可靠数据。但通过这一试验可以作出如下的估计。

(1) 现有吹风散热器的变压器产品, 采用新的风扇, 减少散热面积约 15% 是有可能的。

(2) 现有吹风散热器的变压器产品, 采用新的风扇, 而散热器的数量不减少, 提高出力 10%, 大致可以保证变压器有同样的使用寿命。

由于试验未能广泛进行, 上述意见只能提供参考。

2. 采用新的风扇, 虽然提高了散热效率, 但散热器的数目不宜减少过多。同时减少了散热器之后, 仍应考虑其布置的均匀与合理。比较好的措施是减少每只散热器的散热面, 而不减少只数。当然在较大的容量的变压器, 能减少只数又不影响布置的均匀与合理, 那就更好。

由于受时间及设备的限制, 没有进行更多的试验。因此不可能对变压器产品的散热问题作出全面的分析和提出肯定的意见。而只能将我们的改进向大家作一介绍。

三、技术经济指标

由于新型产品的结构布置, 充分的考虑到电器设备和成套配电装置间的有机配合, 从而在产品性能上, 材料用量上和安装面积上, 与旧型 GG-1 产品相比较, 都是具有优越的技术经济指标。

四、结束语

我厂现正进行该产品的系列设计, 包括新系列塑料仅用互感器在内, 力求早日投产, 以便迅速取得经济效益。

考虑到电力系统一次结线简化的可能性, 除上述介绍的一种新产品外, 另外发展一种具有单个隔离开关固定式成套配电装置也是很有意义的, 可以认为, 这种简单的固定式开关柜也将具有同样优越的技术经济指标。

VDC 621. 3. 066. 028

对捷克列宁工厂220千伏级电阻式有载分接开关的研究和公式的推导及电阻值的计算

朱英浩

捷克220千伏线路是固定接地的，为了简化线卷出头的排列，故将有载分接开关设备接在线路端，有载分接开关采用对地电压220千伏级，额定电流采用400安，采用50周500千伏1分钟的工频试验电压，1/50微秒峰值1050千伏冲击试验电压。

此单相有载分接开关是用在单相有载调压变压器中，由于是单相，所以调换开关占地不大，在此种情况下，于设计时可不考虑相与相的绝缘，在选择开关和调换开关间的电压为分接电压，因此可将调换开关装在选择开关的上部，整个开关用电木筒作为对地的绝缘。

选择开关装在器身旁边并浸在在变压器油中，调换开关放在电木筒中，电木筒中亦有油，此电木筒中的油与变压器中的油密封的，调换开关部分外面的油，由管子和储油柜相连，中间还连气体继电器，如调换开关在运转中发生气体时，则气体通过继电器而使气体继电器触头动作。

从一个分接位置调到另一位置时的逐步过程可用图(一)来表示，在一次调变过程中，共发生三次电弧，即图(一)的(3)(5)(7)。

调变过程中之向量图(即旗图，因其状如旗就称为旗图)，可见图(二)设功率因数角是 φ 。

图(三)表示按分接开关实际位置情况，图(三)中(1)(2)……是和图(一)相当的。

为了降低总的断弧容量，故增加了电阻的级数，在110千伏电压级时，一般采用二级，现在则采用四级，这样当调换开关从一主触头到另一个主触头时，经过四级电阻，可使电弧发生在三个地点。

有载开关中所用的电阻器，是装在调换开关之下，其理由是：

1. 选择开关和调换开关，一定有轴的连接，并要防止漏油，故在这里的联接处有空位置可装电阻器

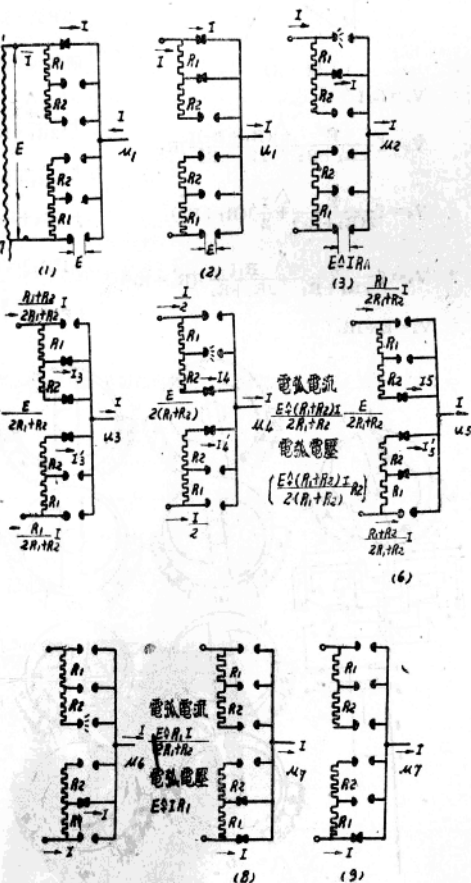


图 (一)

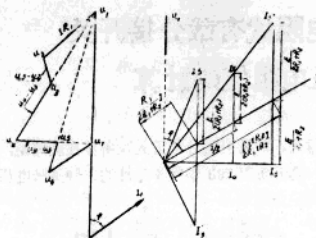


圖 (二)

$$V_2 = R_1 I$$

$$V_3 = \left[\frac{E}{2R_1 + R_2} + \frac{\hat{E}(R_1 + R_2)I}{2R_1 + R_2} \right] R_1$$

$$V_4 = \left[\frac{E}{2(R_1 + R_2)} + \frac{I}{2} \right] (R_1 + R_2)$$

$$V_5 = \left[\frac{E}{2R_1 + R_2} + \frac{R_1 I}{2R_1 + R_2} \right] (R_1 + R_2)$$

$$V_6 = E + IR_1$$

2. 下面的油温低, 故电阻器可位于較好的工作地点

3. 下面的油质差, 这样調換开关就可以位于油质較好的地方了。

这种电阻式有載分接开关所用电阻值的确定方法

确定这个电阻值, 是以当額定負荷时, 在調換开关中所发生的电弧能量最小为基础!

設P为电弧能量

$$\begin{aligned} \text{則 } P &= IR_1 I + \left[\frac{E + (R_1 + R_2)I}{2R_1 + R_2} \right] \left[\frac{E + (R_1 + R_2)I}{2(R_1 + R_2)} \right] R_2 \\ &+ \left[\frac{E + R_1 I}{2R_1 + R_2} \right] (E + IR_1) = I^2 R \\ &+ \frac{R_2}{2(R_1 + R_2)(2R_1 + R_2)} (E^2 + 2IE(R_1 + R_2)\cos\varphi \\ &+ (R_1 + R_2)^2 I^2) + \frac{1}{2R_1 + R_2} [E^2 + 2R_1 E I \cos\varphi \\ &+ I^2 R_1] = \left[\frac{R_2}{2(R_1 + R_2)(2R_1 + R_2)} + \frac{1}{2R_1 + R_2} \right] E^2 \\ &+ E I \cos\varphi + I^2 \left[\frac{R_2(R_1 + R_2)}{2(2R_1 + R_2)} + R_1 + \frac{R_1^2}{2R_1 + R_2} \right] \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{再設 } R_1 + R_2 &= y \\ R_1 &= x \end{aligned} \right\}$$

$$\therefore P = E^2 \left(\frac{2}{x+y} - \frac{1}{2y} \right)$$

$$+ E I \cos\varphi + I^2 \left(x - \frac{y}{2} + \frac{x^2 + y^2}{x+y} \right)$$

$$\frac{dp}{dx} = 2I^2 - \frac{2E^2}{(x+y)^2} - \frac{2yI^2}{x+y}$$

$$+ \frac{2 \times y I^2}{(x+y)^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{dp}{dy} = \frac{1}{2} I^2 - \frac{2E^2}{(x+y)^2}$$

$$+ \frac{E^2}{2y^2} - \frac{2xI^2}{x+y} + \frac{2xyI^2}{(x+y)^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{今 } \frac{dp}{dx} = 0 \quad \frac{dp}{dy} = 0 \quad \text{自 (1)}$$

$$y = \frac{(E/I)^2 - x^2}{2x} \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{自 (2)} I^2 y^2 (x^2 + 2xy) + I^2 y^4 + (x^2 + 2xy) E^2 - 3y^2 E^2$$

$$- 4x^2 y^2 I^2 = 0 \dots \dots \dots (4)$$

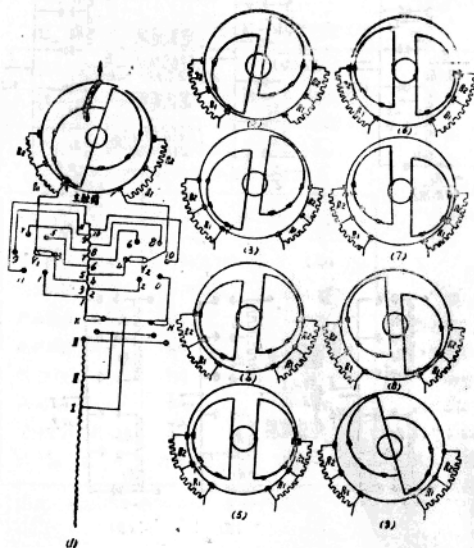


圖 (三)

代入③后得 $y^4 - 2(2x^2 + \frac{E^2}{I^2})y^2 + \frac{E^4}{I^4} = 0$

$$y^2 = (2x^2 + \frac{E^2}{I^2}) \pm 2 \times \sqrt{x^2 + \frac{E^2}{I^2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$(3)^2 = (5) \quad \frac{E^4}{I^4} - 6 \frac{E^2}{I^2} x^2 - 7x^4 = \pm 8x^3 \sqrt{x^2 + \frac{E^2}{I^2}}$$

$$15x^8 - 20 \frac{E^2}{I^2} x^6 - 22 \frac{E^4}{I^4} x^4 + 12 \frac{E^6}{I^6} x^2 - \frac{E^8}{I^8} = 0$$

$$(3x^2 - \frac{E^2}{I^2})(x^2 + \frac{E^2}{I^2})(5x^4 - 10 \frac{E^2}{I^2} x^2 + \frac{E^4}{I^4}) = 0$$

$$x = \sqrt{1 - \sqrt{0.8}} \frac{E}{I} = 0.324 \frac{E}{I} \quad y = 1.376 \frac{E}{I}$$

$$\therefore R_1 = 0.324 \frac{E}{I} \quad R_2 = 1.052 \frac{E}{I}$$

最小电弧容量 = $(1.624 + \cos\varphi)EI$

其中 E 为分接头间电压, 伏

I 为额定电流安

根据上列电阻值可计算电阻丝的截面与长度, 设截面为 S 平方公厘长度为 l 公厘, 调换一个分接位置所需的时间为 t , 通过分接开关的短路电流为 I_k 安

电阻系数为 ρ 欧姆平方公厘/公尺

比重为 r 克/立方公厘

应根据短路电流的数值来确定电阻丝的粗细及长短, 当短路电流为 I_k 时则在电阻丝上发生的热量为

$$Q = I_k^2 R t \times 0.238 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

当电阻丝允许的温升为 T 时 (“ T ” 一般最高可到 500°C 左右)

$$(I_k r) 0.1 T = Q \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{同时 } \frac{l}{s} \cdot \rho \cdot 10^{-4} = R \dots\dots\dots (3)$$

根据 (2) 及 (3) 可求出 l, s 之值因 I_k, R, t, T, r 都是已知数

例如: $R = 10 \Omega$ 额定电流为 145 安 $I_k = \frac{145}{\text{阻抗压降}} = 1300$ 安

$$T = 400^\circ\text{C} \quad t = 0.04 \text{ 秒}$$

在列宁工厂采用牌号 ANTOXYD 的电阻丝 (含 Ni38.5% Cr21% 其余为 Fe)

$\rho = 1.04$ 欧姆, 平方公厘/公尺 $r = 8.08$ 克/立方公厘

$$Q = 1300^2 \times 10 \times 0.04 \times 0.238 \times 10^{-3} = 162 \text{ 大卡}$$

$$\text{重量} = \frac{Q}{0.1 T} = \frac{162}{0.1 \times 400} = 4.2 \text{ 公升}$$

$$R = \rho \times 10^{-4} \frac{l}{s} \text{ 即 } 10 = 1.04 \times 10^{-4} \times \frac{l}{s} \dots\dots\dots (4)$$

$$42 = l \times s \times 8.08 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5)$$

由 (4) (5) 求出 $s = 7.35$ 平方公厘

$$L = 7060 \text{ 公分}$$

采用 $\phi 3$ 的电阻丝长 71 公尺