

大型发电机变压器过激磁保护

许昌继电器研究所 何光华

前 言

大型发电机, 变压器过激磁保护为一新型保护。现代大型发电机, 特别是大型变压器额定工作磁密相当接近饱和磁密。因而在各种工况运行下极易发生过激磁故障, 此种故障给变压器本身带来不同程度的危害。目前已被人们所重视。

根据 U/f 比值大小反应工作磁密 B 变化的原理, 研制出高精度的 BCC-3 型大型发电机、变压器过激磁保护。此种保护根据其特点及要求采用了先进的电路, 作到频率变化范围 $f: 5 \sim 75\text{HZ}$, 电压 $U: 10 \sim 150$ 伏, 返回系数大于 0.95, 并具有两段不同定值, 两段时间分别作用于信号及跳闸。保护还可兼作过电压保护。

一 原理概述

大型变压器正常工作磁密 $B = 17000 \sim 18000$ 高斯, 而饱和磁密 $B_s = 19000 \sim 20000$ 高斯, 二者相当接近, 裕度很小, 因而在各种运行工况下, 由下列原因, 经常发生过激磁, 如:

1. 双轴发电机低频下并列或发电机起动过程中, 当 f 很低时, 误加励磁使 $U = U_0$ 。
2. 在各种故障下的甩负荷或切机等情况时 U 与 f 变化速度不一造成过激磁。
3. 并列前的操作过失, 使励磁过大。
4. 各种情况下的过电压 (如铁磁谐振, 分接头联接错误等) 也将造成过激磁。

过激磁将使铁芯不同程度饱和, 饱和的结果使铁损增加, 铁芯温度上升, 同时使漏磁场增强, 使铁芯附近的绕组导线, 油箱壁及其它金属构件产生涡流损耗, 使之发热, 引起高温、严重时将引起绝缘损坏和局部变形。

此外, 当过激磁十分严重时, 使铁芯深度饱和、励磁电流有效值将达到额定负荷电流水平, 此时励磁电流波形畸变, 并含有大量高次谐波成分, 与正弦波热效应相比, 铁芯和其它金属构件涡流损耗的热效应更强, 发热更为严重。众所周知, 其涡流损耗与频率的平方成正比。

与系统相接的联络处, 由于系统 f 、 U 变动较小, 因而遭受过激磁可能性较小, 即使发生过激磁时程度也较轻。但可能会出现过激磁倍数不高, 但时间持续较长的情况, 它

也会使绝缘劣化、降低绝缘寿命，同样应引起注意，目前国内外已不乏这样的事例。

总之，尽管过激磁故障并不是每次都造成明显的破坏，但它可能酿成隐患。对于大型变压器由于其工作磁密相当接近饱和磁密，极易发生过激磁故障。目前，国外统计每年大约有20%的15万千伏安以上的升压变压器遭受过激磁危害，因此装设过激磁保护，特别是对于大型发电机、变压器来说，愈显重要，已引起普遍注意。

众所周知，变压器感应电压表达式为：

$$U = 4.44f \cdot w \cdot B \cdot S \cdot 10^{-8}$$

式中： f —频率， B —磁通密度， S —磁通所通过截面积， w —绕组匝数。

令常数 $K = 10^8 / 4.44 \cdot w \cdot S$ 。

则变压器工作磁密表达式为：

$$B = K \frac{U}{f}$$

从式中可看出工作磁密 B 与比值 U/f 的大小成正比，当 U 增加或降低时都将使工作磁密 B 增加。

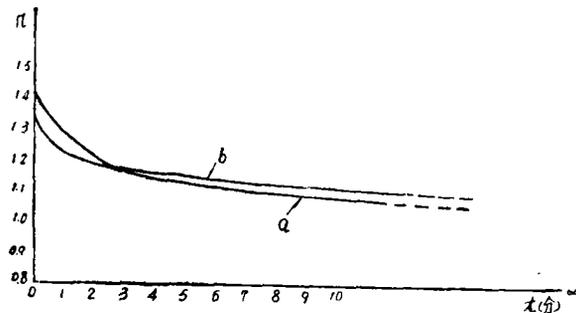
过激磁倍数 n 的表达式为：

$$n = B/B_n \quad \text{式中 } B_n \text{—额定工作磁密, } B \text{—实际工作磁密。}$$

$$\text{又可得: } n = \frac{U}{U_n} \cdot \frac{f_n}{f} = \frac{U/U_n}{f/f_n} = \frac{U^*}{f^*}$$

即过激磁倍数等于电压标么值和频率标么值之比。

通常可用过激磁倍数 n 表示过激磁故障的严重程度，图一给出了大型变压器在不同的过激磁倍数下所允许持续时间的二组特性曲线。图中曲线 a 、 b 分别为德国和美国标



图一 变压器的过激磁倍数曲线

准。从图中可以看出当过激磁越严重时，其允许运行时间越短。如曲线 a 所示，若过激磁倍数为1.35，则允许时间为20秒左右，反之若过激磁越轻时其允许时间越长。同样使用 $B = K \frac{U}{f}$ 判据，各个国家在运行中如何整定各有差异，主要根据其发电机，变压器的工作磁通密度，铁芯饱和磁密而各自确定。有些国家（包括我国）规定在额定频率下，变压器允许的持续过电压不超过额定电压的105%。有的国家则同时规定了电压和频率的限额。如法国规定当电压波动 $\pm 5\%$ ，频率波动 $\pm 2.5\%$ ， B 值允许超过7.5%，对于

40MV A以上的发电机变压器规定空载电压1.3倍时，允许运行时间为30秒。

对于大型发电机来说，其允许过激磁倍数曲线比变压器稍高，裕度较大，但其危害是相同的，这里不再赘述：

二 BGC—3型过激磁保护

1. 保护的判据及参数设计：

由上述分析可知利用判据 $\frac{U}{f}$ 比值大小反应过激磁倍数的高低是切实可行的。保护的测量电路如图二所示，由RC分压器来得到 $\frac{U}{f}$ 比值的变化，另一种方案也可由LR分压器同样可得到 $\frac{U}{f}$ 比值变化。

设PT变比为N，变压器BY变比为ng、U为PT一次电压值，则电容C上的电压 u_c 为：

$$u_c = \frac{U}{N \cdot ng \cdot \sqrt{(2\pi fRC)^2 + 1}}$$

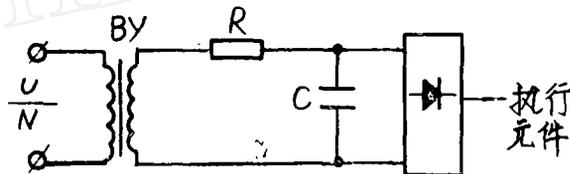
在设计RC参数时可令

$$(2\pi fRC)^2 \gg 1$$

$$\text{则 } u_c = \frac{U}{N \cdot ng \cdot 2\pi fRC}$$

$$\text{令常数 } K_1 = \frac{1}{N \cdot ng \cdot 2\pi RC}$$

$$\text{则 } u_c = K_1 \frac{U}{f}$$

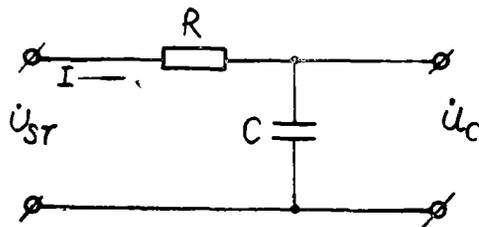


图二 保护测量回路

问题的关键是设计一个高精度的RC分压电路。此电路要求在5~75HZ这样一个较宽的频率变化范围内，I约为一常数。这样尽管f变化引起 X_c 的变化，但随其U、f的变化对 u_c 来说是一线性关系，那么 u_c 的误差不管当U、f如何变化时其误差可以限制得很小，保护的精度相应地则很高。

下面通过求RC电路的传递函数和幅频特性可选择适当参数。如图三所示，设其输入电压为 U_{sr} ，输出电压为 u_c ，那么传递函数为：

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{\dot{U}_{\text{输出}}}{\dot{U}_{\text{输入}}} = \frac{\dot{u}_c}{\dot{U}_{sr}} \\ &= \frac{1}{j\omega C} \\ &= \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} \\ &= \frac{1}{1 + j\omega RC} \end{aligned}$$



图三 RC电路

令 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ 为截止角频率, ω 为角频率。

$$\therefore W(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$

$\therefore RC$ 电路的幅频特性为:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad \text{当 } \omega \gg \omega_0 \text{ 时}$$

则 $A(\omega) = \frac{\omega_0}{\omega}$

那么对数幅频特性:

$$L(\omega) = 20 \log A(\omega)$$

$$L(\omega) = 20 \log \frac{\omega_0}{\omega} = 20 \log \omega_0 - 20 \log \omega$$

令常数项 $a = 20 \log \omega_0$ 。取横轴 $x = \log \omega$, 纵轴 $y = L$

则上式可表达为: $y = a - 20x$

由上式可知: 当 x 每增加 1 时, y 就下降 20 分贝, 要保证下降斜率与其成对数关系即下降成为线性关系, 必要条件在于 $\omega \gg \omega_0$ 。

选取 $u_c = 1.5$ 伏, 则 $C = 4 \mu f, R = 51 k\Omega$ 可求出 $\omega_0 = \frac{1}{RC} \omega_0 = 5$, 那么当 $f = 5 Hz$ 时, $\omega = 2\pi f = 31.415$, 因而能保证一定的线性度。

从下表实测保护的動作值及误差数据, 可看出上述设计参数可满足高精度要求。(保护整定值 $n = 1$)。

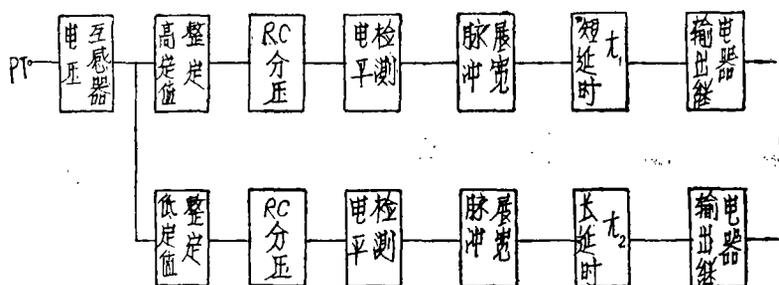
$f (Hz)$	8	10	20	30	40	50	60	70	75
V_1 (动作值)	16.7	20.6	40.5	61	82	97	117	136	144
V_2 (返回值)	16.2	20	40	60	81	95	116	134	142
u_c	1.51	1.52	1.51	1.51	1.51	1.54	1.56	1.56	1.56
$\Delta u_c \%$	2%	1.3%	2%	2%	2%	0	1.3%	1.3%	1.3%
误差 (%)	4%	3%	1.3%	1.6%	2.5%	3%	2.5%	2.8%	4%

2. 保护的构成:

保护的原理方框图如图四所示。它具有二个定值整定, 两段不同的时限构成阶梯形整定曲线, 以便达到发电机或变压器过激磁倍数曲线要求。保护采用插孔式整定, 精度高, 使用灵活、准确方便。

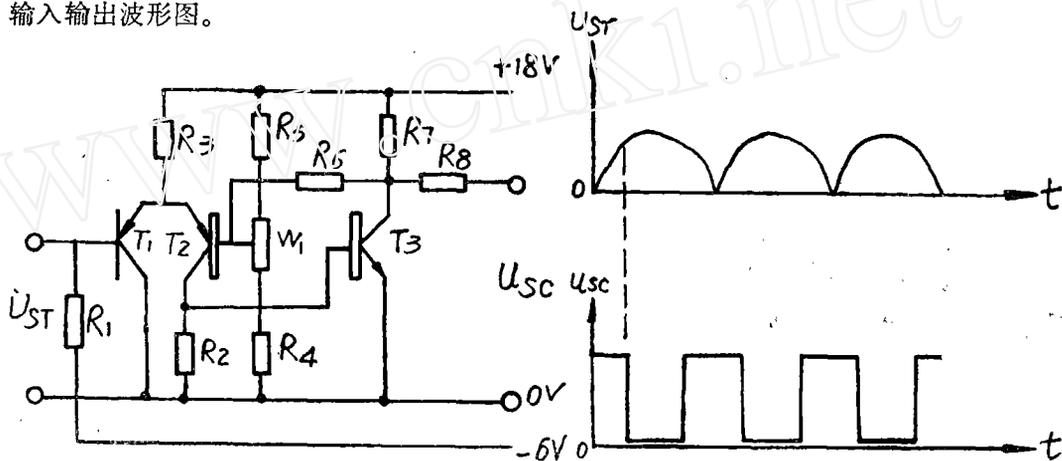
保护还具有防止元件损坏而误动的闭锁电路, 另外还具有防止元件损坏而拒动的检

测电路（与保护自动巡检装置配合）。



图四 BGC-3型过激磁保护原理方框图

此外，保护采用了高精度的电平检测电路，如图五所示，本电路采用了一种 差 分 式，互补式触发器。它的特点是输入阻抗极高，这对于当 $f = 5\text{ Hz}$ 时， X_c 呈现较大阻抗 而相匹配，不致影响保护精度。另外，当 f 在 $5 \sim 75\text{ Hz}$ 范围内变化时，只要输入电平 达到一定瞬时值时，触发器即翻转，因而保护的精度可作得很高。图六为此种电平检测器 输入输出波形图。



图五 电平检测器

图六 输入输出波形图

除上述特点外，此电路还考虑了温度补偿措施，且具有动作速度快，可靠性高，继 电特性好等特点。保护还具有脉冲展宽电路，放电延时电路及抗干扰等措施。保护具有 动作显示灯及元件损坏灯光显示以及出口及信号电路，不一一赘述。

3. 保护主要技术指标：

- (1) 额定电压 100 V ，额定频率 50 Hz ；
- (2) 整定范围： $m_1 = 1 \sim 1.3$ ； $n_2 = 1.3 \sim 1.5$ ；
- (3) 动作延时范围： $t_1 = 5 \sim 100\text{ 秒}$ $t_2 = 0.5 \sim 5\text{ 秒}$
- (4) 频率范围， $5 \sim 75\text{ Hz}$
- (5) 电压范围， $10 \sim 150\text{ V}$
- (6) 在上述范围内动作值 $n = \frac{V}{f}$ 误差小于 $\pm 5\%$
- (7) 返回系数大于 0.95 。