

反时限过激磁保护

许昌继电器研究所 左肇新 李子明

前言

过激磁保护目前在大型发电机和变压器上得到了普遍地应用。其保护整定方式多为两段定时限，即为第一段过激倍数较低时延时发信号；第二段过激倍数较高时短延时跳闸。但这种整定方式与主设备的过激磁倍数曲线不能很好的配合。本文介绍一种新型的集成电路反时限过激磁保护，该保护以定时限报警，并依公式： $t = k / (M - 1)^2$ 构成反时限跳闸特性曲线，是目前较为理想的主设备过激磁保护。

概述

现代大型发电机和变压器的额定工作磁密大约在17000到18000高斯，而其饱和磁密却在19000到20000高斯，两者相差很小。对于发电机、变压器其电压的表示形式为：

$$U = 4.44fWBS \times 10^{-8} \quad \text{其中：} W \text{ 为线匝匝数 } S \text{ 为铁芯截面积}$$

$$\text{因此：} B = U / 4.44fWS \times 10^{-8}$$

$$\text{令 } K = \frac{10^8}{4.44WS}$$

$$\text{则 } B = K \frac{U}{f}$$

由此可见其工作磁密与电压成正比而与频率成反比，电压的升高或频率的降低都将使工作磁密增加；工作磁密增加导致励磁电流增加，特别是铁芯饱和之后励磁电流急剧增大造成过激磁。

过激磁使铁芯饱和，铁损增加，引起铁芯温度上升；铁芯的饱和还会使漏磁场增加，这将使靠近铁芯的绕组导线及其它金属构件因漏磁场而产生涡流损耗，使这些部件发热引起高温，严重时造成局部变形和损伤周围的绝缘介质。另外由于励磁电流中含有许多高次谐波所以发热更为严重。

过激磁引起的绝缘损坏有个积累过程尽管不是每一次过激磁都会造成十分明显的损坏，但过激磁的反复出现会导致绝缘劣化，最终使设备损坏。

过激磁倍数为电压标么值与频率标么值之比；据此六十年代美国和德国就提出了变压器的过激励磁倍数曲线如图1所示。

从曲线上可以看出过励倍数与时间的关系，且变压器在过励倍数较小可以长期稳定运行；这就是本文要提到的反时限过激磁数的起动作。

在同一过激倍数下允许的持续时间，与额定磁密，饱和磁密的大小及磁化曲线的形状有密切的关系。额定磁密越接近饱和磁密曲线的饱和段斜率越小，则在同一过激倍数

下允许持续的时间越短。因此作为过激磁保护其动作特性应与主设备的过激磁曲线相吻合。

本文所介绍的过激磁保护之动作特性曲线如图 2 所示。

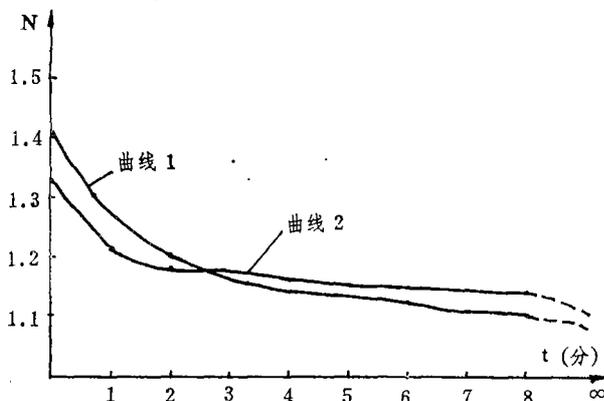


图 1

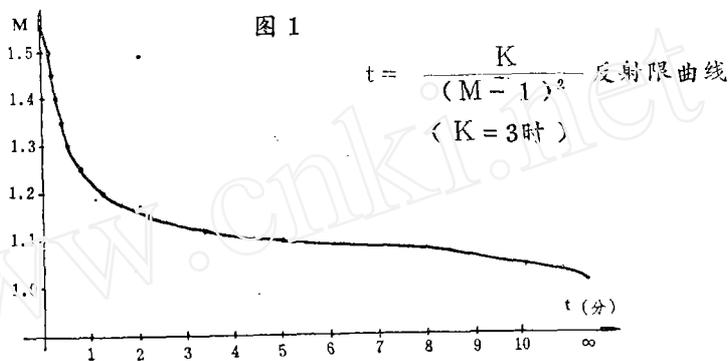


图 2

图中横座标为保护动作时间，纵座标为实际过激磁值与整定值之比；K为不同的时间整定。

反时限特性曲线为：
$$t = \frac{K}{(M-1)^2}$$

过激磁保护采用全周波积分法能准确反映过激磁倍数，采用数字式延时精确可靠，且调整灵活能与各种过激磁能力的发电机、变压器相配合。

原 理

反时限过激磁保护采用集成电路器构成。主要分为： V/f 测量回路，反时限延时回路和起动报警回路。见图 3 所示。

用有源器件——运算放大器构成过激磁 V/f 测量是用一有源积分器来实现的。运算放大器能精确地实现积分运算，“虚地”现象保证了电容器的充电电流正比于输入电压，也保证了电容器两端电压在数值上等于输入电压。

对于图 4 的积分运算：

$$i_f = -i_F \quad (1)$$

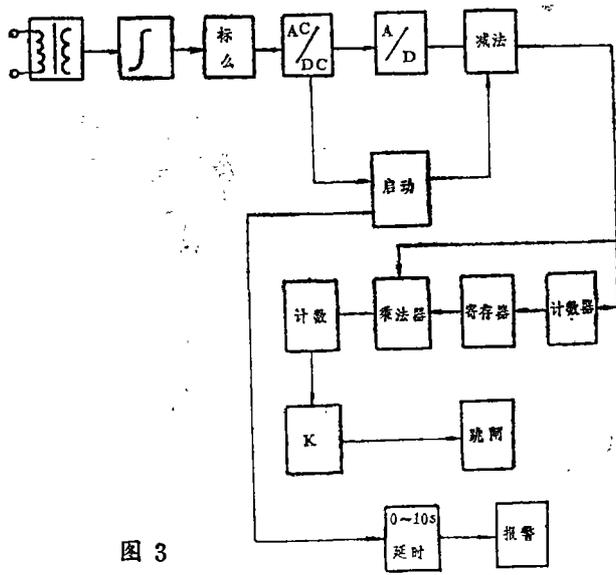


图 3

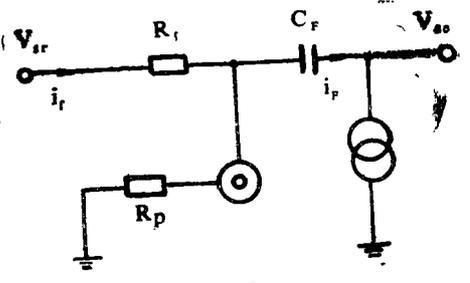


图 4

而 $i_f = \frac{V_{sr}}{R_f}$ (2)

$i_f = C_F \frac{dU_{s\varepsilon}}{dt}$ (3)

将 (2), (3) 式代入 (1) 式:

$$\frac{V_{sr}}{R_f} = -C_F \frac{dU_{s\varepsilon}}{dt}$$

$$\text{从而: } U_{s\varepsilon} = -\frac{1}{R_f C_F} \int U_{sr} dt$$

在电力系统中由于输入量为正弦交流电压量:

$$U_{sr} = U_m \sin \omega t$$

因此, $U_{s\varepsilon} = -\frac{1}{R_f C_F} \int U_m \sin \omega t dt$

$$= \frac{U_m}{R_f C_F \omega} \cos \omega t$$

而 $\omega = 2\pi f$

$$U_{s\varepsilon} = \frac{U_m}{2\pi f R_f C_F} \cos \omega t$$

$$\left| U_{s\varepsilon} \right| = \left| \frac{U_m}{2\pi f R_f C_F} \right| = A \frac{U_m}{f} \quad \text{其中: } A = \frac{1}{2\pi R_f C_F}$$

从而实现过激磁的测量。U_m是电压幅值。f是系统电压的频率。

运算放大器积分运算常具有单极点的频率特性; 其反馈系数:

$$F(j\omega) = \frac{j\omega \tau_F}{1 + j\omega \tau_F} \quad C\tau_F = R_f C_F$$

而其传递函数 $k_o(j\omega) = \frac{k_o}{1 + j\omega_o \tau_F}$

$$K'_F(j\omega) = \frac{\dot{U}_{s,e}}{U_{s,r}} = K_F(j\omega) \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{k_o(j\omega) F(j\omega)}} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{因此: } K'_F(j\omega) &= -\frac{K_o}{1 - \omega^2 \tau_F \tau_o + j\omega[\tau_o + (1 + K_o) \tau_F]} \\ &= -\frac{K_o}{(1 + j\omega k_o \tau_F)(1 + j\omega \frac{\tau_o}{K_o})} \end{aligned}$$

由上式和幅频特性,(如图 5 所示)。可以看出实际的积分运算放大器有两个实数极点与理想的积分器有一定的差别。

实际积分器与理想积分器的幅频特性差别主要表现在高频段和低频段。

在低频段时 由于 $\omega \tau_o / k_o \ll 1$

$$\text{因此 } K_o(F) \approx -\frac{K_o}{1 + j\omega K_o \tau_F}$$

这时积分器就象一个一阶惯性环节,它的直流增益为 K_o , 时间常数为 $K_o \tau_F$; 形成这种差别的主要原因是运算放大器的直流开环增益 K_o 不等于无穷大, 从而导致低频段上幅频特性变得平坦。

而在高频段上由于:

$$\omega K_o \tau_F \gg 1 \quad \text{因此 } K'_F(F) \approx -\frac{1}{j\omega \tau_F (1 + j\omega \frac{\tau_o}{K_o})}$$

与理想状态相比, 它多了一个惯性环节, 形成这种差别的主要原因是运算放大器增益带宽不是无穷大, 到使在高频段上的幅频特性不是按: $-20\text{dB}/+$ 倍频程衰减 而是按: $-40\text{dB}/+$ 倍频程衰减形成了一定的差别。因此为了使实际状态与理想状态之间差别尽量减小, 要适当选择运算放大器开环增益 K_o 和积分放大器的时间常数 τ_F ; 通过实验证明在选定运算放大器开环增益 K_o 的基础上选定 τ_F 使其在过激磁保护的范围内是能够满足要求的。

反时限过激磁保护由于在时限上与过去的定时限保护不同, 标么值的换算也与过去有所区别。

$$\text{反时限动作特性为: } t = \frac{K}{(M-1)^2}$$

$M = (\frac{V}{I}) / (\frac{V}{I})$ 起动即实际的过励倍数与反时限的过激起动倍数之比; 二者相等时, 其量值大小即为标么值为 1。

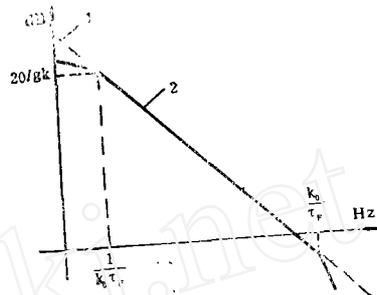


图 5

M值的得到是通过比例运算放大器来实现的。如图 6 所示。

运算放大器当正相输入端接地，反相端呈现“虚地”状态，因此：

$$V_o = - \frac{R_f}{R_1} V_i$$

R_f 为满足 BCD 码的电阻网络的并联值，其值

大小为： $R_f = \frac{R}{D}$ D 为对应的过励起动倍数

$$V_o = - \frac{R}{R_1 D} V_i$$

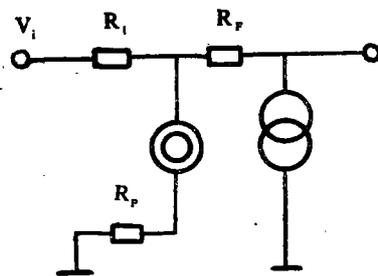


图 6

R 、 R_1 对保护来说为常数因此改变 D 值就可实现 D 值的整定，M 的变换。

反时限的实现是通过数字式延时来实现的从测量回路来的模拟量经过一个压控振荡器将其转换成数字式脉冲信号，在标么值为 1 时，振荡器输出频率为 f_0 ，输入到一计数器；该计数器受频率为 f_1 的时钟控制；每个时钟周期的开始将计数器清零一次，计数器的输出端输入到一与门回路，其数值上正好等于一个时钟周期内标么值为 1 时的脉冲数。正常时由于小于标么值与门输出为低电平，通过计数器的脉冲信号没有输出，只有当过激磁时输入频率使计数器在一时钟周期内计数到标么值为 1 的频率数时，与门输出高电平使计数器自锁，同时剩余脉冲信号进入延时回路。

在通过计数器后的输出频率为：

$$f_2 = (f - f_0) / f_1 = - \frac{f_0}{f_1} \left[\frac{f}{f_0} - 1 \right]$$

数字平方器是由计数器、暂存器和比例乘法器构成的，先由计数器接收输入脉冲，并将计数器的内容存入暂存器，计数器和暂存器受一个时钟控制，每过一个时钟周期，暂存器的内容更迭一次，以保持与输入信号相一致，暂存器的内容作为，比例乘法器的系数，与其输入频率相乘以实现乘法运算。

其输出结果：

$$f_2 = \frac{f_1^2}{K_1}$$

K_1 ：平方器传输系数。

在反时限特性中 K 值是整定时间的倍数，由三级十进制计数器组成，计数器接成串接形式用以满足不同的 K 值的整定要求。计数器输出端串接二极管，由二极管组成一与门，选通二极管就对 K 值进行整定。与门的输出馈送致计数的锁定回路，正常时计数器处于清零状态，与门输出低电平，一但出现过激磁时起动回路起动，计数器开始工作，计数器未到整定值 K 时回路处于延时状态，当计满 K 值时与门输出高电平使计数器自锁，同时用与非门输出的高电平信号经放大后驱动出口继电器实现反时限动作特性。

$$t = \frac{K}{f_2}$$

高压直流输电换流站控制设备简介

许昌继电器研究所 陈尚志

前 言

直流输电技术是一门较年轻的技术，在国外近十几年才开始有了较大的发展。超高压直流输电技术以瑞典的ASEA公司和瑞士的BBC公司（以上两公司已合并为ABB公司）美国的GE公司，西德的SIEMENS公司及苏联发展较快，先后在美国，加拿大、巴西，北欧及非洲的一些国家投入使用。随着我国电力事业的不断发展，直流输电技术的应用在我国也势在必行。本文仅以瑞士BBC公司的换流站控制设备为主要内容进行介绍。它们主要包括：

1. P13/42可编程分层分布式控制系统。
2. PRAUT80.13故障报警系统。
3. INDACTIC65事故记录和分析系统。
4. INDACTIC42事件顺序记录系统。

一 P13/42可编程分层分布式控制系统

P13为Local Bus系统，P42为Intra plant Bus系统。

PROCONTROL P是一种可编程处理控制和监视系统，可进行二进制控制，模拟量控制，监视以及进行人一机通讯等。主要特点是：

反时限过激磁保护与以前的定时限保护有很大区别，变压器、发电机能长期耐受过励倍数的大小决定了起动值的高低， K_f 值的大小决定了保护的動作快、慢。

反时限过激磁保护既充分地利用了设备的耐受度又保证了设备的安全可靠运行。保护的特性曲线能与各种过激磁能力的设备相配合，更好地满足了电力发展的需求。

参考文献：

1. 《大型机组继电保护理论基础》 王维俭、侯炳蘊著。
2. 《超高压变压器的过励磁保护》《继电器》1988年第6期
3. 《RATUB继电器》 ASEA公司
4. "INFLUENCE OF DESIGE AND OPERATING ON EXCITATION OF GENERATOR STEP-UP TRANSFORMERS" IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPAPATUS AND SYSTEMS, VO1, PA S1985, NO. 8, PP901~909 AUGUST 1966.