

超高压变压器的过励磁保护

安徽送变电工程公司 黄怀铸

前 言

随着我国500kV电网的逐步形成，大批的超高压大容量变压器相继投入使用，这些变压器（包括进口和国产的）的设计余量日趋减小，运行中对电网电压波动比较敏感。而我国由于500kV系统联系薄弱，超高压长距离输电线较多，电网较易引起波动，出现不正常的电压升高，频率降低的运行工况。此时变压器铁芯将饱和或严重饱和，励磁电流成数倍增长，损耗成数十倍增长。由于过励磁运行，使漏磁场增强，引起变压器中非薄片结构金属部件产生很大的涡流损耗，使这些部件发热，引起局部高温，可能损坏周围的绝缘介质而导致变压器事故。〔1〕

过励磁保护的任務就是在出现这种运行工况时，以变压器允许的短时限将变压器从电网切除。本文概述了国内外过励磁保护的情况，重点对ASEA公司的RATUB型反时限过励磁继电器的原理和使用作一介绍。

电网引起过励磁的起因〔2〕〔3〕

1. 在发电机起动或停止过程中，当转速偏低而电压为额定值时，由于低频率引起过励磁（对发电机—变压器组方式）；
2. 发电机负载丢失时，如不能及时减磁将产生过电压；在发电机—变压器组方式运行时，即使发电机能维持电压为先前值，由于变压器此时已为空载，也会使之过电压；
3. 超高压长距离输电线突然丢失负荷时，会出现过电压；
4. 事故时随着切除故障点连同补偿设备（高抗器或低抗器）一起被切除而造成充电功率过剩导致过电压；或由于补偿设备本身故障被断开而引起过电压；
5. 如负载丢失发生在变电站内，而一次电压又太高，通常的调压手段（静补，O—L—T—C，低抗自投，断开补偿电容器组等）不足以控制住电压的升高；
6. 事故解列造成的分割区中，电压被维持在原先数值而频率大幅度降低引起过励磁；
7. 解合环考虑不周或操作不当，可能引起局部地区出现过电压或低频率运行；
8. 某些可能发生的铁磁谐振或L—C谐振引起过电压；
9. 调节设备失灵——电网越来越多地装有电压自动调节系统，当其程序控制失控或误动时，也可能引起过电压。

过励磁保护概况

长期以来电网对“过电压运行”（这里的“过电压”与短暂的“脉冲过电压”不同，仅指时间较长的“工频稳态过电压”）比较重视，采取许多补偿或调节措施加以控制，其着眼点主要考虑电网设备的绝缘安全及保证供电质量。而对变压器本身并未过多的引起重视。因为过去所设计的产品在铁芯尺寸，散热条件方面余量较大。而今国内外设计的超高压大型变压器，为了降低成本，减轻重量，越来越使其参数接近临界值，留给运行的裕度很小。设计采取的磁通密度已达到17500高斯，甚至有达18000高斯者，已接近饱和密度，而油箱尺寸却越来越小，散热条件相对变差。这些产品对过电压及低频率运行十分敏感，因为二者均可导致铁芯严重饱和，漏磁场增强，损耗陡增，局部过热而损坏[2]。故应有一种保护措施，使之在严重过励磁时及时地从电网断开，这就是近几年才采用的过励磁保护。

国外在60年代即有人对过励磁引起变压器的损耗增大，局部发热等进行过研究分析[1]。70年代研制了定时限过励磁保护继电器，并投入使用（如ASEA公司的RATUA型，Siemens公司的7RG31或7RG36型等），80年代初，由于集成电路的迅速发展提供了手段，又出现了反时限过励磁继电器[2]。

我国最早建设的500kV平武工程（81年投产），就是采用了ASEA公司的RATUA型定时限过励磁继电器[4]，84年初投产的500kV东北系统采用了南京自动化设备厂研制的JGC—11A型晶体管定时限过励磁保护[3]。86年投产的东北系统、海城变和东风变500kV工程中，还采用了许继厂研制的LGC—1型两段定时限过励磁保护。

变压器对于过励磁工况的忍受度，亦即其允许的时间与过励磁的倍数为非线性关系，故采用定时限保护往往难以配合[4]。进口的500kV变压器，制造厂均提供过励磁能力曲线，或规定了三档过励磁为一定倍数时的允许运行时间。为了保护特性能与这些主变的过励磁能力曲线相匹配，华东电网500kV西线及东线工程中均设计了具有反时限特性的过励磁保护。

RATUB原理简介

兹以已投运的500kV繁昌变电站所采用的ASEA公司RATUB反时限过励磁继电器为例，作一简要介绍。

RATUB具有二个基本测量回路和时间回路（见图1、图2）

1. V/Hz测量：有两个分开的，独立可调的V/Hz电平检测器，分别作报警、跳闸之用，整定值均可在1.5~3 V/Hz范围内均匀调整。

2. 时间整定：有两套独立的时间回路

a) 固定延时——它由报警电平检测器起动作，用以告警或起动作校正控制作用，整定值为二档：0.1秒或3.5秒，可任选。

b) 可变延时——该延时与过励磁水平的平方成反比，它由跳闸电平检测器起动作，

其动作方程为：

$$t = 0.8 + \frac{0.18 \times k}{(M - 1)^2} \text{ (秒)}$$

其中：M = 起动倍数（即加于继电器的V/Hz值除以V/Hz整定值）

K = 整定时间倍数（k值在大约1.45倍起动值下，于1~63秒之间可调）

起动值越低，保护越灵敏，K值愈小，保护动作愈快。通过合理选取M和K可使继电器特性调整到大体上与保护变压器过励磁能力曲线相匹配。

逻辑回路原理（见图2）：

包含电压和频率的测量值V/Hz可列成下式：

$$V/Hz = \text{伏特/周波/秒} = (\text{伏特} \cdot \text{秒}) / \text{周波} \text{ (其中伏特以有效值表示)}$$

又因变压器磁通正比于半周的平均电压，因此，希望励磁电平检测器能反映：

$$V_{\text{平均}} \times \frac{1}{2f}$$

其中V_{平均}为以有效值表示的“伏特一秒”的平均值，则 $V_{\text{平均}} \times \frac{1}{2f}$ 即为电压在每个半周波的面积，该值亦即代表了在任一时刻的V/Hz值。

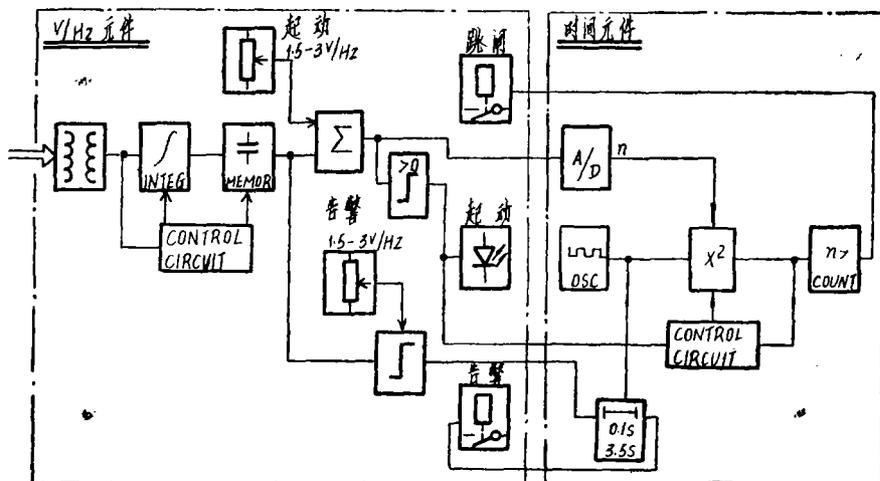


图1、测量元件框图

图2 a，示出取样回路。在正半波时，运放以通常的积分方式进行积分并同时 将输出送到存贮器；而当负半波时，控制器（它与被测量同步）短接反馈积分电容器，使之复归。这样，积分器仅在正半周工作，而存贮器电压就紧随V/Hz信号而变，每周波更新一次。

图2 b，示出报警回路。存贮器电压加至报警电平检测器，报警电平是由一带刻度的电阻器来整定，它控制运放的截止信号。报警延时由一计数器产生，该计数器受报警电平检测器控制，并接受内部振荡器输入频率进行计数，以确定延时时间。它由一双位置开关来整定。

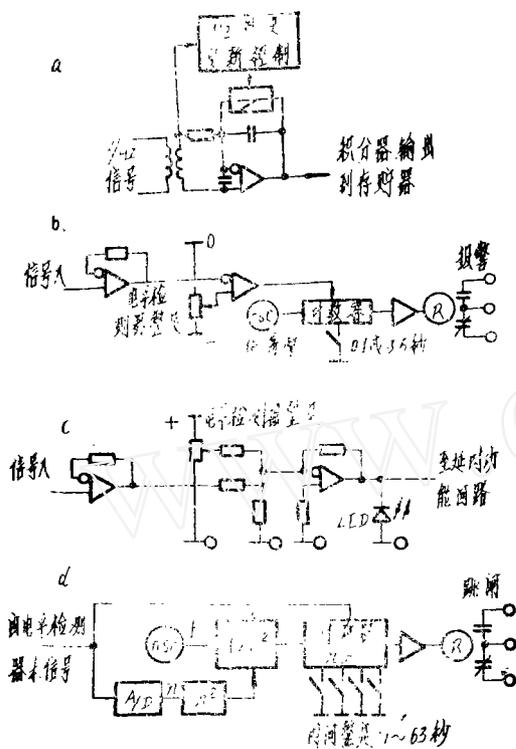


图 2、逻辑回路原理图

后送入计数器中计算。计数器可整定得在达到选定的周波数之后给出一个“输出”去跳闸。该项整定可由 6 个双位置开关进行。上面公式中的 0.8 秒的最小延时，为计数回路的固有延时。

RATUB 的应用举例

保护对象：为联邦德国 TU 变压器厂生产的单相自耦变压器，电压为：500/√3/230 ± 9 × 1.33%/√3/15.75kV 容量为：167/176/66.7MVA。（500kV 繁昌变电站 1* 之主变）。

产品说明书提供过励磁能力为：

- 空载：10%—连续运行；20%—30分；30%—3分；
- 满载：5%—连续运行；10%—20分；40%—5秒。

整定：考虑到变压器可能运行在接近满载工况，应以满载过励磁能力作为选取继电器参数的依据；同时，必须满足连续运行的一点和最大允许过励磁的一点。经计算和系统调试的考验，最后选定可连续运行的过励

图 2 c，示出延时跳闸电子检测器。它与报警电平检测器不同（报警电平检测器仅仅需输出一个“动”或“不动”的基本信号），它需要输出一个正比于输入信号电平 V/Hz 的“输出量”。它的门槛电压为一固定值，由一带刻度电阻器来整定，加于检测器上的电压，是由与 V/Hz 成比例的输入信号电压减去控制（门槛）电压组成。该门槛电压决定了 V/Hz 启动电平，当信号电压克服门槛电压后检测器有输出，使 LED 发光，表示元件“启动”，继电器正在计时。

图 2 d，示出数字式延时跳闸元件回路。当该电平检测器有信号输出时，便接通了计数器和 A/D 转换器，模拟信号在 A/D 中变成二进制数，用于决定延时。为了得到反时限特性，这个二进制数首先被自乘（平方），然后再乘以内部振荡器频率 f，这样所得的输出信号的频率便正比于这个二进制数。最终得到的输出信号 (n²f) 的每一个周波，

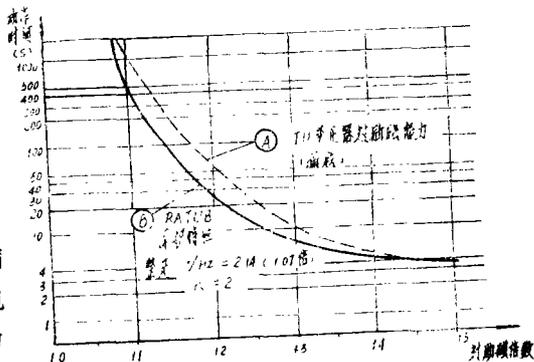


图 3 RATUB 保护特性与 TU 变压器过励磁能力曲线

磁倍数为1.07,当P.T.变比为 500kV/100V时,启动值 $V/Hz = 107V/50 = 2.14V/Hz$ 。
并选定 $K = 2$ 。按动作公式计算后列表如下:

K	过励磁倍数	M	t	相当于一次电压(50V)
2	1.07	1	∞	535kV
2	1.08	1.0093	69.5分	540kV
2	1.09	1.019	16.5分	545kV
2	1.10	1.028	7.6分	550kV
2	1.20	1.120	2.6分	600kV
2	1.30	1.215	8.6秒	650kV
2	1.40	1.308	4.6秒	700kV
2	1.50	1.402	3.03秒	750kV

将表中数值作成曲线,并把制造厂提供的过励磁能力也作成曲线(点数太少,不很准确),可看出二者不能完全吻合,因为RATUB特性是按美国变压器过励磁标准设计的。^[2]其后果是,当过励磁发生在1.4倍以下时,继电器会过早地动作,把变压器切除。

为了及早提醒运行注意,报警电平整定得略小,过励磁倍数选为1.05,即 $105V/50 = 2.1V/Hz$,报警延时选为3.5秒。

过励磁保护使用中的问题

1. 接入电压问题:

(1) 继电器应接于500kV P.T.上,一般不要接在220kV P.T.上,因主变220kV侧往往带有OLTC调压,母线电压并不能代表主变的真实励磁电平^[4];

(2) 继电器应接于变压器500kV专用P.T.上,如无专用P.T.可接于母线或线路P.T.上,但应注意到在线路开关跳开后由于线路电容和高压电抗器电感产生长时间低频振荡造成继电器误动问题及在切空母线时,由于CVT暂态过程而使继电器误动问题^[5]。

2. 保护特性与变压器过励磁能力配合问题:

为了达到保证变压器自身安全又不过早切除变压器的目的,希望继电器特性曲线能与所保护变压器的过励磁能力相匹配,但遗憾的是目前还作不到。例如已投运的华东电网三台主变,都是采用RATUB继电器,但与三台主变的过励磁能力均不能很好配合。TU主变上文已述及,下面列出另二台主变的有关参数。

日立单相自耦变压器(安装于500kV瓶窑变电站),厂家提供过励磁能力为:

空载: 5%—连续; 10%—连续; 20%—30分; 40%—1分;

满载: 5%—连续; 10%—20分; 20%—3分; 40%—5秒。

以此与图3中继电器特性曲线相对照,可见20%过励磁时二者相差2.5分钟,差距比TU主变还大。

沈阳变压器厂产品(安装于洛河500kV升压站),制造厂未提供过励磁能力的数字。但从国标可查出:GB1094.1—85之6.3条:

6.3条:工频电压升高时的运行持续时间(对于110~550kV变压器)应符合表3:

10%—20分;25%—20秒;(40%—5秒);50%—1秒。

(其中40%一项为6.2条内容)

可见与RATUB特性也不配合。

3. 如何发挥过励磁保护作用的问题:

由于保护特性不甚匹配,又加之是新装置,尚无运行经验,目前暂都投入信号运行,这对主变的运行安全是一种潜在的威胁。作者认为应该使保护起到应有的作用,必须尽早投入跳闸。但为可靠起见,可将定值再提高一些,例如过励磁起动倍数提高到1.08($K=2$)或将K值提高到3(1.07倍, $K=3$),使其动作时间加长一些,这比投信号运行,当发生过励磁时靠运行人员手动切除要快不知多少倍,而因对变压器要安全得多。

4. 希望尽快研制国产的有优良性能,有更宽广调整范围的新型反时限过励磁继电器。

参考文献:

1. "INFLUENCE OF DESIGN AND OPERATING ON EXCITATION OF GENERATOR STEP-UP TRANSFORMERS" IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL, PAS-85, NO. 8, PP901~909 AUQUST 1966.
2. "AN OVEREXCITATION RELAY WITH INVERSE TIME CHARACTERISTICS" PRESENTED TO THE PROTECTIVE RELAYING COMMITTEE ELECTRIC COUNCIL OF NEW ENGLAND, HY-ANNIS, MASSACHUSETTS, APRIL 28~29, 1983,
3. "变压器保护原理说明书—JGC—114过励磁继电器说明" 南京自动化设备厂, 1985年7月
4. 平武500kV输变电工程系统调试总结第二篇(下) 1982年12月
5. "JBZ型500kV变压器保护试运行总结" 辽阳,锦州电业局,85年10月