

一种油浸式变压器故障时能自保持运行的方法研究

刘金超,段洪民,武乐涛,刘立刚,徐超

(石家庄科林电气设备有限公司,河北 石家庄 050000)

摘要:针对油浸式变压器由于故障产生的泄压和爆燃现象,提出一种变压器发生故障时能自保持运行的逻辑;并根据该逻辑设计一种油路设备的方案。上述逻辑和方案共同构建了一种油浸式变压器故障时能自保持运行的方法。该方法的应用能够缩减由于变压器故障导致的停电时间,达到及时恢复供电的目的。同时减轻了变压器产生泄压或者爆燃事故时,对周围人身、财产安全和环境的影响。为智能变压器的设计者提供了一个新思路。

关键词:油浸式变压器;自保持运行;逻辑;油路;故障泄压

中图分类号:TM41 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed21946

A Method Study of Oil-immersed Transformer Can Self-maintained Running When Faults Occurred

LIU Jinchao, DUAN Hongmin, WU Letao, LIU Ligang, XU Chao

(Shijiazhuang Kelin Electrical Equipment Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon of pressure relief and deflagration caused by the faults of oil-immersed transformer, a logic was proposed that the transformer can keep self-maintained running when faults occurred, and according to the logic, a scheme of oil circuit equipment was designed. The above logic and the scheme together constructed a method of self-maintaining operation of oil-immersed transformer. The application of the method could reduce the power outage time caused by transformer failure to achieve the purpose of timely restoration of power supply. At the same time, it alleviated the influence on the surrounding personal and property safety and environment when the transformer produces pressure relief or deignition accident. The method provides a new idea for the designers of intelligent transformer.

Key words: oil-immersed transformer; self-maintained running; logic; oil circuit; pressure relief of failure

油浸式变压器是电网中十分重要的电气设备,在高低压输配电的过程中起到传递、转换电能的作用。对于电力设备而言,故障的出现不可避免。而变压器的故障往往较严重地影响电网运行的可靠性和稳定性。

目前,智能电网建设成为世界电网发展的趋势和方向。在此背景下,研究者不断研究变压器发生故障的原因^[1-2],为了降低变压器故障率,智能变压器和变压器在线监测、故障诊断技术得到重视,已有研究通过对变压器的溶解气体、局放、绕组热点等关键参数进行监测和诊断^[3],实现故障预判,改善变压器故障对电网运行的影响程度。

油浸式变压器发生故障时,往往产生内压力,并通过压力释放阀释放压力,其恢复供电时间长,且极易产生绝缘油喷溅现象,对人身、财产安全和环境造成不良影响。本文提出一种变压器油循环的控制策略和结构方案,用以解决上述问题。

1 故障和影响

油浸式变压器的故障基本可以归纳为电路故障、磁路故障和油路故障,这些故障的反映特征可能是热故障或电故障,甚至两者兼具。

本文旨在解决变压器泄压和爆燃情况的危害,故而针对变压器内部压力、油温、油位三个主要指标。这三项也是油浸式变压器发生故障后

最明显的故障指征。

关于变压器内部压力情况,西安交通大学电力设备电气绝缘实验室已做过仿真研究:通过建立变压器故障压力数学模型,用有限元法仿真得到了油箱内部压力分布云图及各个位置压强变化情况。通过分析不同故障对变压器油箱内部压力的影响,揭示了变压器电气故障与油箱内压强变化特征之间的关系^[4];也有相关文献对变压器内部温度场和流场情况进行了详细的分析^[5]。这些为变压器的设计提供了一定的参考和方向。

传统油浸式变压器常利用压力释放阀泄油、泄压,作为变压器的一种安全措施。根据泄压阀的特性,当变压器油箱内部压力不大于预定值时,变压器油箱处于封闭状态;当变压器出现故障,油箱内部压力大于预定值时,压力释放阀打开。变压器实施这种泄压方式,不仅对附近的人身、财产安全造成威胁,还存在泄压后变压器绝缘油溢出、难以清理的现象,对周围环境造成污染;此方式虽然能够防止外部空气或水分进入变压器油箱内部,但由于绝缘油的缺失,在变压器可恢复性故障排除后,变压器不能及时投入使用,也造成了供电恢复不及时的问题。在文献[6]中虽然提到了新的泄压阀结构形式,但并不能真正解决绝缘油喷溅问题。

2 自保持方法

根据上文的阐述,希望找到一种解决问题的方法。在变压器产生压力、温度和油位故障现象时,通过判断故障现象的程度,变压器能在轻度故障时自维护、自保持运行,在严重故障时迅速断电并对绝缘油进行收集,同时将故障情况遥信至后台,知会维护人员检修。以下为详细思路和设计情况。

2.1 自保持方法的工作原理

油浸式变压器以绝缘油作为主要绝缘方式,并通过油的循环和散热带走负荷产生的热量,油的品质和是否缺失直接影响变压器本身的稳定情况。因此考虑以油位作为第一判断标准。

正常运行中若变压器油位忽然低于预设安全值,极有可能是本体油箱产生不可预知的机械损坏,此时立即切断上口电源,快速收集绝缘油到回收油箱,极大程度减小损失情况。而油位正常的情况下,温升值和内部压力值同时作为判断

依据,对变压器是否能正常运行做出判断,并根据实际超限情况选择保护策略。当超限情况不严重时,通过自动控制程序将变压器本体的绝缘油慢速泄出,同时通过回收油箱的预储油向本体同速返油。此过程中对泄出的油进行强制冷却,从而达到一种动态平衡,维持变压器运行情况。一旦超限严重,立即切断上口电源,快速收集绝缘油到回收油箱。

系统执行快速泄油回收的指令后,为变压器设置一次恢复供电的机会:设置一定的平衡等待时间,若达到恢复要求,返油回本体油箱。过程中监测返油情况,直至恢复供电。如果过程中未达到恢复要求,则重新收集绝缘油,等待人员检修。

上述过程中,每一次判断和执行都要报送至后台,并发出相应的运行、维护、警告、检修等重要提示信息。其工作原理如图1所示。

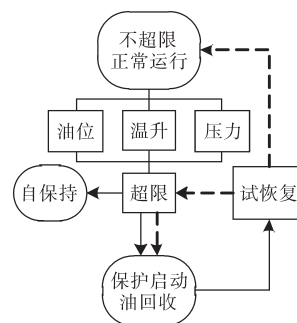


图1 工作原理

Fig.1 Principle of operation

2.2 自保持运行逻辑详述

首先,确定一个预设的油位值用以判断变压器内部油位情况,该油位值需要由设计者根据不同变压器的具体情况而给出,我们称其为油位警戒值,将其定义为 H_{cs} 。同样的,对于平行的第二衡量标准温度和内部压力,需要对应的警戒值 T_{cs} 和 F_{cs} 。为了更为准确地描述变压器运行工况,将温度衡量标准更改为温升值,警戒值代号不变,则新的 T_{cs} 值为变压器预设油温警戒值与运行环境温度 T_b 的差值。

综合三项衡量标准,得到图2所示的运行逻辑。

2.2.1 常态运行

变压器上电投入使用后,对油位、内部压力和温度进行实时监测,第一衡量标准油位值 H_1 高于 H_{cs} ,同时内部油压值 F_1 低于 F_{cs} ,且温升值 T_1 低于 T_{cs} ,即 $H_1 > H_{cs}, F_1 < F_{cs}, T_1 < T_{cs}$ 时,判定变压器运行正常,维持变压器运行状态。

至泄油完成,遥信至后台,发出维修告警信号;

2)在低速回油过程中,若变压器油箱内部的液面上升速率值 $v_1 < r_1 \cdot v_{cs1}$ 或高速回油过程中 $v_2 < r_2 \cdot v_{cs2}$,则判定变压器油箱存在泄漏现象,停止回油的同时,对变压器油箱实行高速泄油,直至泄油完成,遥信发出维修告警信号。

2.3 设备方案

根据2.2节中的逻辑描述,不仅需要一套自动化控制装置,还需要一套可以承受一定压力的油路系统作为执行设备。并且需要一定数量的传感器和一套提前储有适量绝缘油的高强度油箱作为回收油箱。

对于自动化控制装置,其主要组成部分为CPU、数据采集、信息收发、控制输出和信息提示等几大模块,而控制逻辑的程序编写应该是程序工作者易于完成的,此处不再赘述。与控制逻辑紧密配合的泄压油路和返回油路原理如图3所示。

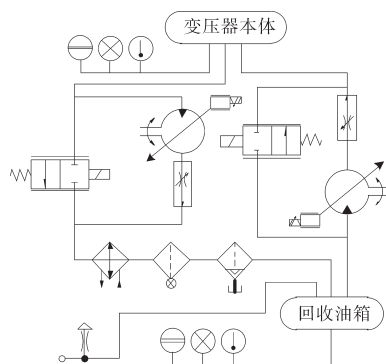


图3 油路原理

Fig.3 Principle of oil circuit

如果想达到2.2节中所述的控制过程,泄压油路中需要设有单向变量油泵、调速阀门以及与它们构成并联的电磁控制单向阀,并联的两个部分分别承担了高速和低速泄油、泄压的工作任务。当变压器由于内部故障引起油路动作时,油温和内部压力会产生变化,此时在上述的油路后面串联加入冷却器、过滤器和分水排水器(如有需要,还可以加入其它设备),再连接到提前储有适量绝缘油的油箱中。这样既保证了回收油箱中绝缘油的冷却状态,又极大程度保证了回收油的油品质量。相对应的,在返回油路上只需设有单向变量油泵、调速阀门及与它们构成并联的电磁控制单向阀即可。

另外,变压器本体及回收油箱上,装有带数据传输功能的油位检测仪、压力检测仪和温度检测仪(数量和布置点根据变压器内部结构和器身

温升关键点决定);设备外部还配有环境温度检测仪。为了防止更极端的压力故障产生,系统中还应该增设可以调节的放气装置,本例将其设置在回收油箱上。

3 仿真验证

下面结合实际设计情况对本文所述方法进行仿真验证。按照前文所述,将仿真过程分为3个部分:保护策略、恢复策略1和恢复策略2。其中,保护策略中包含了常态运行、自保持运行、保护等3种逻辑;2个恢复策略共同组成变压器恢复运行策略。

仿真过程中所涉及的时间常数并不是真正意义上的时间先后关系,而是为了方便对不同采集数据所得到的实际输出情况进行对比,令分析结果更为清晰。表1先行给出了输出代号所对应的控制命令。

表1 输出代号和控制命令

Tab.1 Output code and control command

输出代号	控制命令
Out 1	维持正常运行;不动作
Out 2	自保持,打开泄油、返油阀,形成循环
Out 3	保护启动;切断电源,打开泄油泵
Out 4	Out 3+打开系统泄压、放气功能
Out 5	发出警告;系统停运
Out 6	试恢复运行;低速返油
Out 7	保护启动;打开泄油泵,停运警告
Out 8	试恢复运行;合闸供电,再故障停运告警

3.1 保护策略

自动控制装置根据所采集的实际信号,进行比对、判断,做出策略输出。仿真如图4所示。

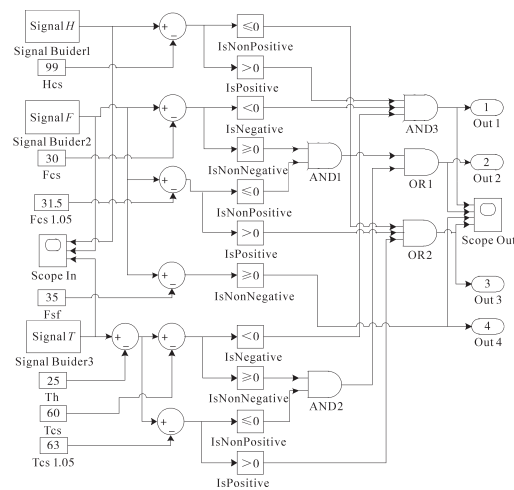


图4 保护策略

Fig.4 Protection strategy

根据实际设计,将油位进行100等分,运行警戒值99;根据配电领域常用的变压器压力附件和相关标准要求的温升情况,预设压力警戒值30 kPa,系统上限压力和释放压力值35 kPa,温升警戒值60 K。并设环境温度维持于25℃。表2给出了预设的采集数据情况和通过策略后的理论输出情况。

表2 采集数据值和理论输出

Tab.2 Data collected and theoretical output

时间段/s	H	F/kPa	$T/^\circ\text{C}$	理论输出
0—1	99.5	25	80	Out 1
1—2	99.5	25	80	Out 1
2—3	99.5	31	80	Out 2
3—4	99.5	33	80	Out 3
4—5	99.5	35.5	80	Out 3/4
5—6	99.5	25	80	Out 1
6—7	99.5	25	86	Out 2
7—8	99.5	25	89	Out 3
8—9	99.5	25	80	Out 1
9—10	97.0	25	80	Out 3

图5为按照表2输入采集数据所得到的仿真输出情况。其中图5a~图5d分别对应Out 1~Out 4的输出情况。

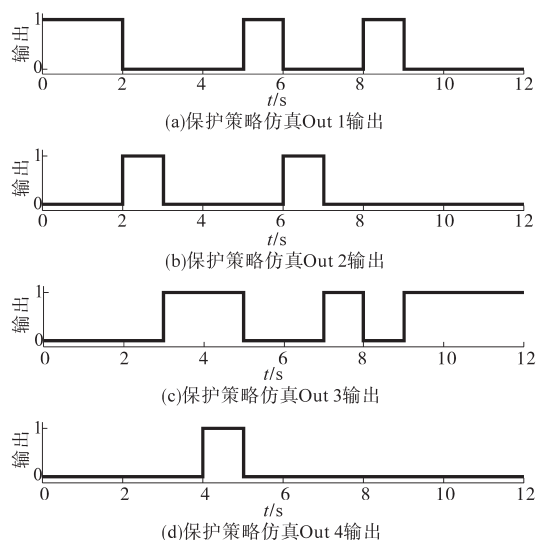


图5 保护策略输出

Fig.5 The output of protection strategy

3.2 恢复策略

在恢复策略中,策略1和策略2分别涉及到了低速返油和高速返油的执行策略,根据上文提到的返油计算公式,为了简化分析过程,令有效截面积 S 的值为 1 m^2 ,校准系数 r_1 和 r_2 取值为1,结合实际情况,低速返油和高速返油的预设速率分别为 2 L/min , 50 L/min 。仿真如图6和图7所示。

表3和表4给出了预设的采集数据情况和通过策略后的理论输出情况。图8为按照表3和表

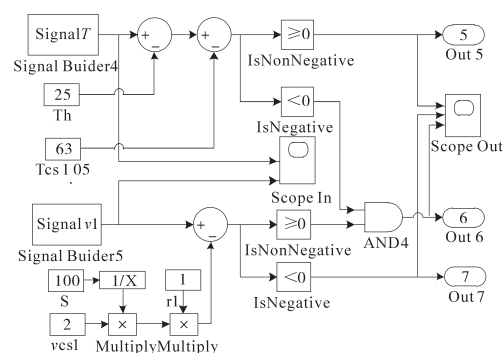


图6 恢复策略1

Fig.6 Recovery strategy 1

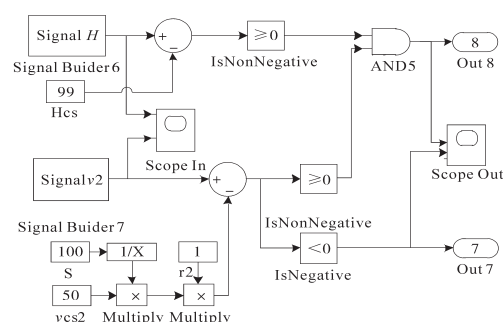


图7 恢复策略2

Fig.7 Recovery strategy 2

4输入采集数据后所得到的仿真输出情况。其中图8a~图8c分别对应策略1中Out 5~Out 7的输出情况;图8d和图8e分别对应策略2中Out 7和Out 8的输出情况。

表3 恢复策略1采集数据值和理论输出

Tab.3 Data collected and theoretical output on recovery stragy 1

时间段/s	$T/^\circ\text{C}$	$v_1/(\text{dm}\cdot\text{min}^{-1})$	理论输出
0—2	95	—	Out 5
2—3	90	—	Out 5
3—7	80	0.021	Out 6
7—10	80	0.019	Out 7

表4 恢复策略2采集数据值和理论输出

Tab.4 Data collected and theoretical output on recovery stragy 2

时间段/s	H	$v_2/(\text{dm}\cdot\text{min}^{-1})$	理论输出
0—3	< 95	0.51	—
3—4	< 95	0.48	Out 7
4—5	< 99	0.051	—
5—10	99	—	Out 8

3.3 验证结论

上文结合实际设计 and 应用情况,对本方法进行进行了赋值和仿真。根据分析的输出情况,排除干扰项,所得结果与各项理论输出情况均匹配。从而验证了本方法的可行性。

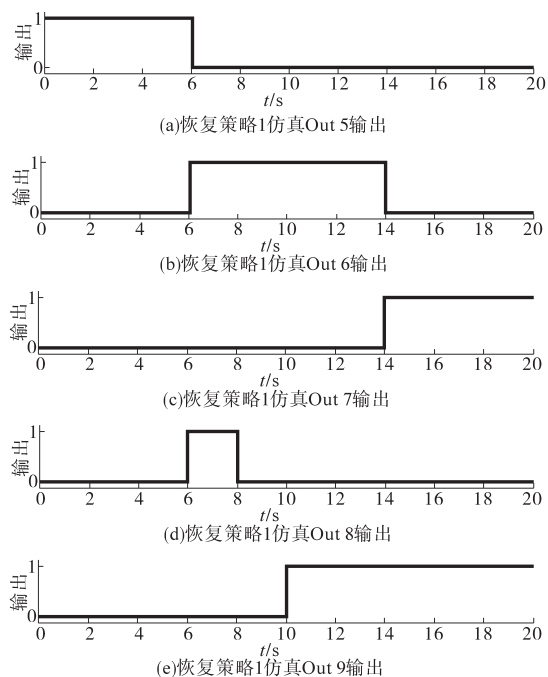


图8 恢复策略输出

Fig.8 The output of recovery strategy

4 结论

本文提出了一种油浸式变压器故障时能自保持运行的方法,并设计了方法的自保持运行逻辑和油路设备方案。结合实际设计和应用,对其赋值并进行了仿真验证,结果证明该方法可行。

方法的应用可以令油浸式变压器在超限状态下适当维持运行,缩减了由于变压器故障导致的停电时间,达到及时恢复供电的目的。它的应用能够提升电网的安全性和可靠性,并避免了变压器产生泄压或者爆燃事故时,对周围人身、财产安全和环境的影响。

本方法的提出为今后智能变压器的发展方向提供了一个新的分支,为变压器的设计者也提

供了一种新的参考思路。如何合理应用本方法并保证实际产品的经济性是今后的工作中仍需解决的问题。

参考文献

- [1] 杨淑英,赵凯. 基于FTA法的变压器故障分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(3):96-99.
Yang Shuying, Zhao Kai. Transformer faults analysis based on FTA[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(3):96-99.
- [2] 张育华. 500 kV变电所35 kV变压器故障分析与诊断[J]. 变压器,2018,55(3):58-61.
Zhang Yuhua. Analysis and diagnosis of 35 kV transformer faults in 500 kV substation[J]. Transformer, 2018, 55(3):58-61.
- [3] 许金红. 智能变压器在线监测及诊断技术的应用研究[D]. 保定:华北电力大学,2014.
Xu Jinhong. Application research on on-line monitoring and diagnosis technology of intelligent transformer[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2014.
- [4] 闫晨光,张保会,郝治国,等. 电力变压器油箱内部故障压力特征建模及仿真[J]. 中国电机工程学报,2014,34(1):179-185.
Yan Chenguang, Zhang Baohui, Hao Zhiguo, et al. Modeling and simulation of pressure characteristics of power transformer tanks' internal faults[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1):179-185.
- [5] 谢裕清. 油浸式电力变压器流场及温度场耦合有限元方法研究[D]. 保定:华北电力大学,2017.
Xie Yuqing. Study on flow field and temperature field coupling finite element methods in oil-immersed power transformer[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2017.
- [6] 陈文华,陈欢欢. 一种变压器泄压阀:中国, CN208169617U [P]. 2018-11-30.
Chen Wenhua, Chen Huanhuan. A transformer pressure relief valve: China, CN208169617U [P]. 2018-11-30.

收稿日期:2020-05-23

修改稿日期:2020-12-12