

# 基于改进的220 kV旁代变压器开关运行保护

张海宁<sup>1\*</sup>, 刘树伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网冀北电力有限公司承德供电公司, 河北 承德

<sup>2</sup>河北民族师范学院, 物理与电子工程学院, 河北 承德

收稿日期: 2023年11月21日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2023年12月29日

## 摘要

针对变压器220 kV侧旁代保护方案普遍采用外部电流互感器进行二次电流切换, 进行旁代操作时需要停用变压器保护, 过程中如发生短路故障, 将没办法实现保护快速切除短路故障。因此, 采用不停用变压器保护的改进220 kV侧旁代方案, 对实现变压器差动保护和后备保护电流计算、各侧开关的跳闸方案等进行分析。提出采用技术成熟的内桥接线变压器保护装置来实现旁代方案, 在MATLAB/Simulink仿真平台搭建仿真模型, 仿真结果实现了220 kV旁代运行操作过程中变压器差动保护和后备保护的全覆盖, 确保旁代运行操作过程中发生短路故障时能够快速切除故障, 保证了电网安全可靠运行。

## 关键词

不停用变压器保护, 旁代运行, 差动保护, 内桥接线

# Improved 220 kV Bypass Transformer Switch Operation Protection

Haining Zhang<sup>1\*</sup>, Shuwei Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chengde Power Supply Company, State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Chengde Hebei

<sup>2</sup>School of Physics and Electronic Engineering, Hebei Normal University for Nationalities, Chengde Hebei

Received: Nov. 21<sup>st</sup>, 2023; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

For the 220 kV side bypass protection scheme of transformers, external current transformers are

\*通讯作者。

文章引用: 张海宁, 刘树伟. 基于改进的220 kV旁代变压器开关运行保护[J]. 电气工程, 2023, 11(4): 176-188.

DOI: 10.12677/jee.2023.114020

commonly used for secondary current switching. During the bypass operation, the transformer protection needs to be disabled. If a short circuit fault occurs during the process, it will not be possible to quickly remove the short circuit fault. Therefore, an improved 220 kV side protection scheme without stopping the transformer protection is adopted to analyze the implementation of transformer differential protection and backup protection current calculation, as well as the tripping scheme of switches on each side. A mature internal bridge transformer protection device is proposed to implement the bypass scheme. The simulation model is built on the MATLAB/Simulink simulation platform. The simulation results achieve full coverage of differential protection and backup protection of the transformer during the operation of the 220 kV bypass operation. This ensures that short circuit faults can be quickly removed during the operation of the bypass, ensuring the safe and reliable operation of the power grid.

## Keywords

Do Not Disable Transformer Protection, Bypass Operation, Differential Protection, Internal Bridge Wiring

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

目前在双母线带旁路接线的 220 kV 变电站的变压器主保护有差动保护和瓦斯保护, 差动保护由变压器高低压侧的电流差组成, 可以保护变压器内部故障和引出线出口故障, 瓦斯保护是一种主要保护变压器内部故障的一种非电量保护, 220 kV 旁路开关 2 TA 变压器差动保护回路二次电流回路通过切换外部电流回路的方式接入[1] [2] [3] [4] [5]。通过切换变压器差动保护回路和跳闸回路实现旁路开关代替变压器 220 kV 侧旁代, 再进行这两开关的合解环操作, 最后再重新启用变压器差动保护[6] [7] [8] [9]。在操作过程中变压器差动保护由于停用无法快速切除变压器内部故障或其引出线上发生的故障, 如果由延时的临近设备的近后备保护或远后备保护切除故障, 这将会影响电网安全稳定运行, 并且违反了电力安全运行规则: 不允许无保护的任何电气设备运行[10] [11] [12]。为此, 本文提出了一种 220 kV 变电站双母线接线的旁路开关代替变压器开关运行, 操作过程中不停用变压器保护的继电保护技术方案, 方案简单实用。

## 2. 220 kV 变压器保护旁代方案

图 1 为 220 kV 变电站双母线带旁路接线的一次主接线图。

变压器差动保护回路通过 1 TA 和 2 TA 二次电流回路在外部切换电流回路方式接入(图 2)。

变压器差动保护回路正常运行时只接入变压器 1 TA 二次电流回路, 变压器差动保护回路断开 2 TA 二次电流回路。当变压器 220 kV 侧旁代运行时需要将变压器差动保护回路先停用(因为在实际操作过程中发生 TA 二次电流的短接错误, 即短接在变压器保护侧, 造成变压器差动保护误动, 主管部门要求进行操作时停用差动保护), 退出变压器保护跳变压器 220 kV 侧开关的跳闸回路, 同时再将变压器差动保护的 220 kV 侧 1 TA 二次电流回路短接, 然后再将旁路开关 2 TA 二次电流回路接入至变压器差动保护回路, 实现由跳 220 kV 旁路开关替换原来跳变压器 220 kV 侧开关, 再进行合解环操作这两开关, 最后

重新启用变压器差动保护。

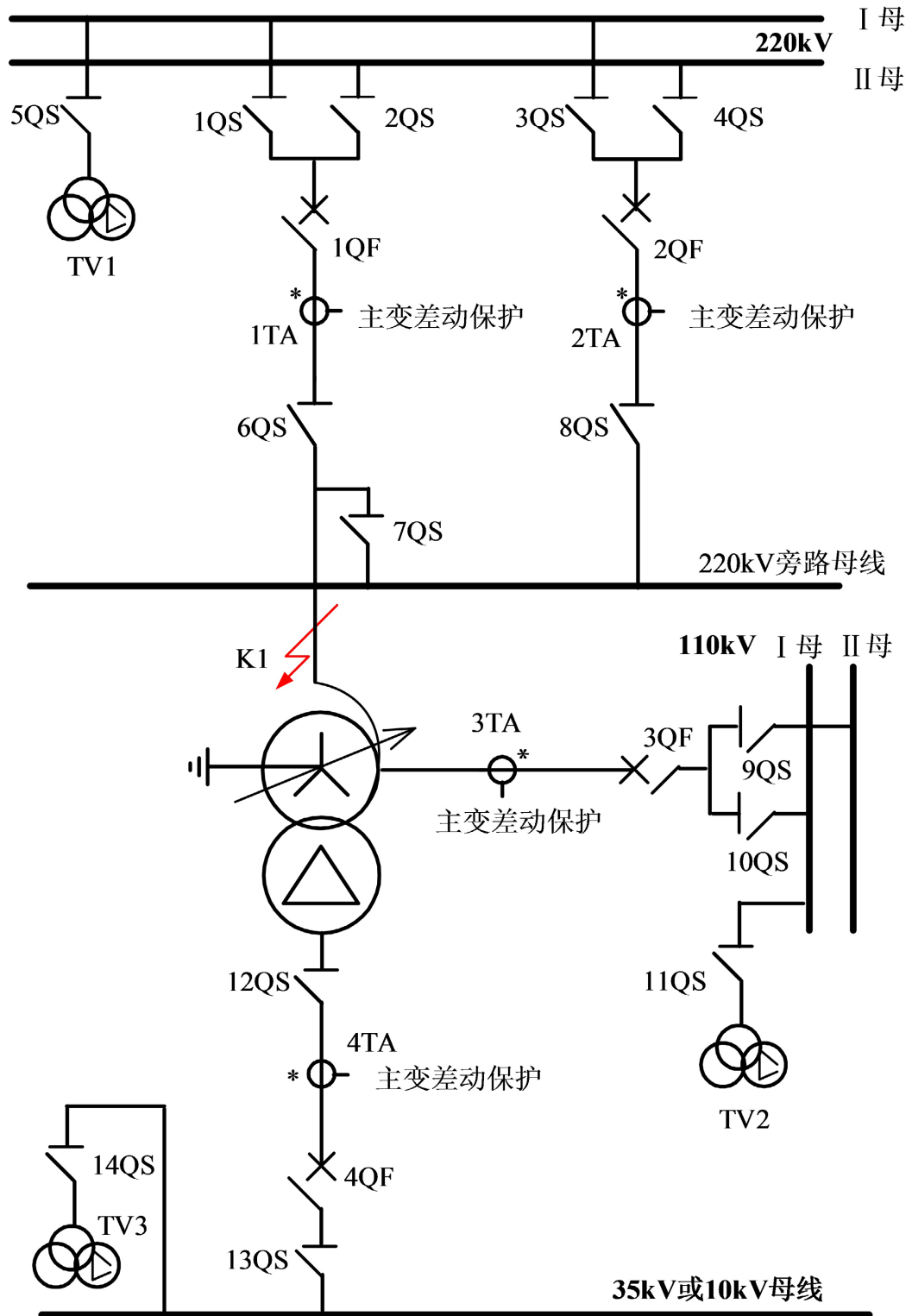


Figure 1. Primary main wiring diagram with double busbar and bypass connection  
图 1. 双母线带旁路接线的一次主接线图

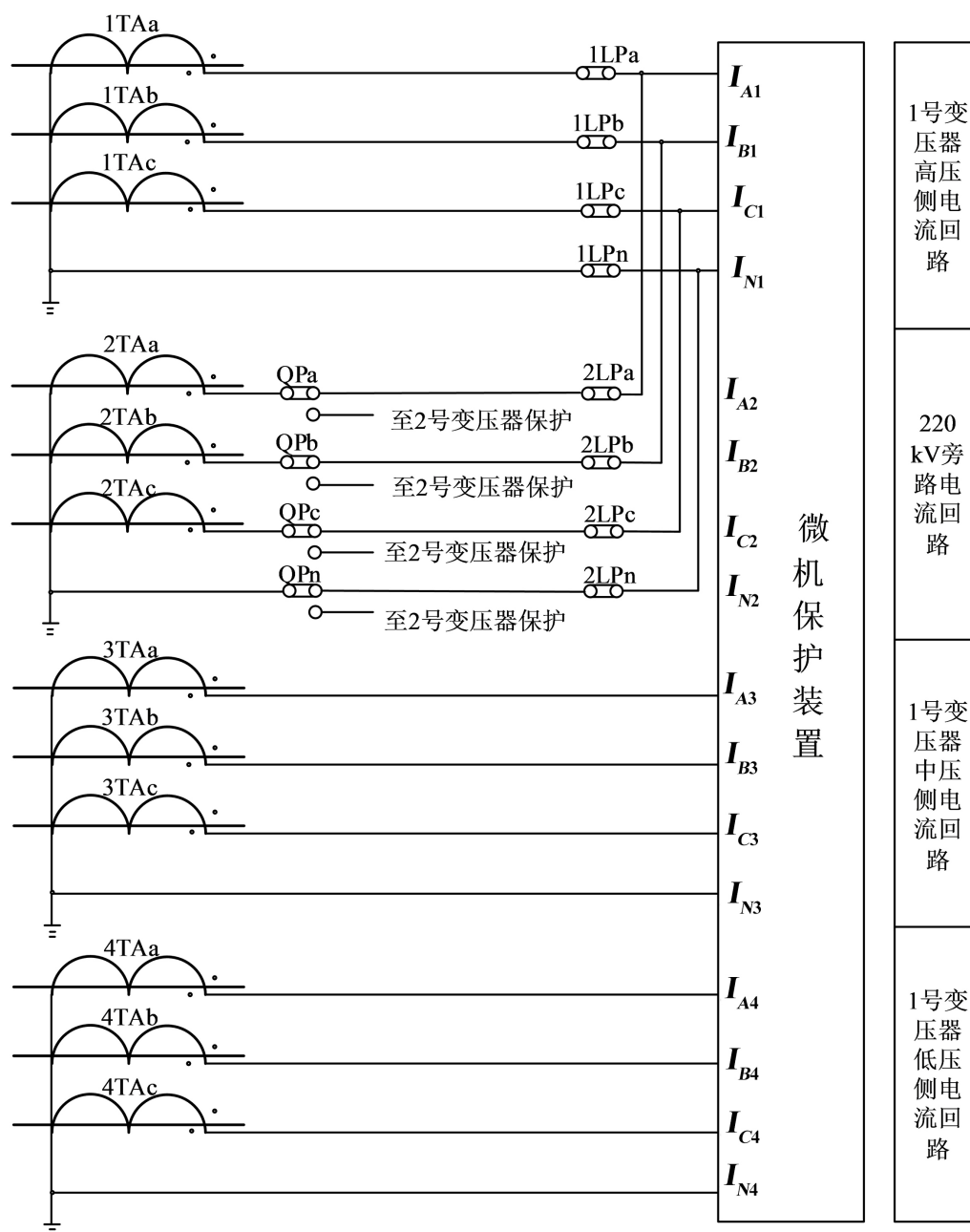


Figure 2. Expansion diagram of the current 220 kV transformer protection bypass scheme  
图 2. 现运行的 220 kV 变压器保护旁代方案展开图

### 3. 改进 220 kV 变压器保护旁代方案

#### 3.1. 变压器各侧 TA 二次电流接入变压器保护方案

##### 3.1.1. 变压器差动保护二次电流回路配置方案

根据变压器的高压侧、中压侧、低压侧二次电流接入  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、 $I_N$  电流回路，220 kV 变压器保护旁代方案即变压器保护的二次电流回路比原来多配置 1 组电流回路给间隔 TA 使用，使变压器差动保护由原来的“3 组电流回路”进一步形成“4 组电流回路”变压器差动保护。

### 3.1.2. 变压器 TA 二次电流接入变压器保护方案

变压器按母线侧为正极性, 各侧电流互感器二次绕组接成 Y 形, 相电流 TAa、TAb、TAc 接入  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $I_N$  的电流回路(图 3)。

#### 1) 1 QF 开关间隔 TA 二次电流接入方案

变压器高压侧的 1 QF 开关间隔二次电流 1 TAa、1 TAb、1 TAc 接成 Y 形, 串联压板 1 LPa、1 LPb、1 LPc、1 LPn, 再接入  $I_{A1}$ 、 $I_{B1}$ 、 $I_{C1}$ 、 $I_{N1}$  电流回路。

退出变压器 220 kV 侧电流回路保护, 需将压板 1 LPa、1 LPb、1 LPc、1 LPn 断开并短接接地。

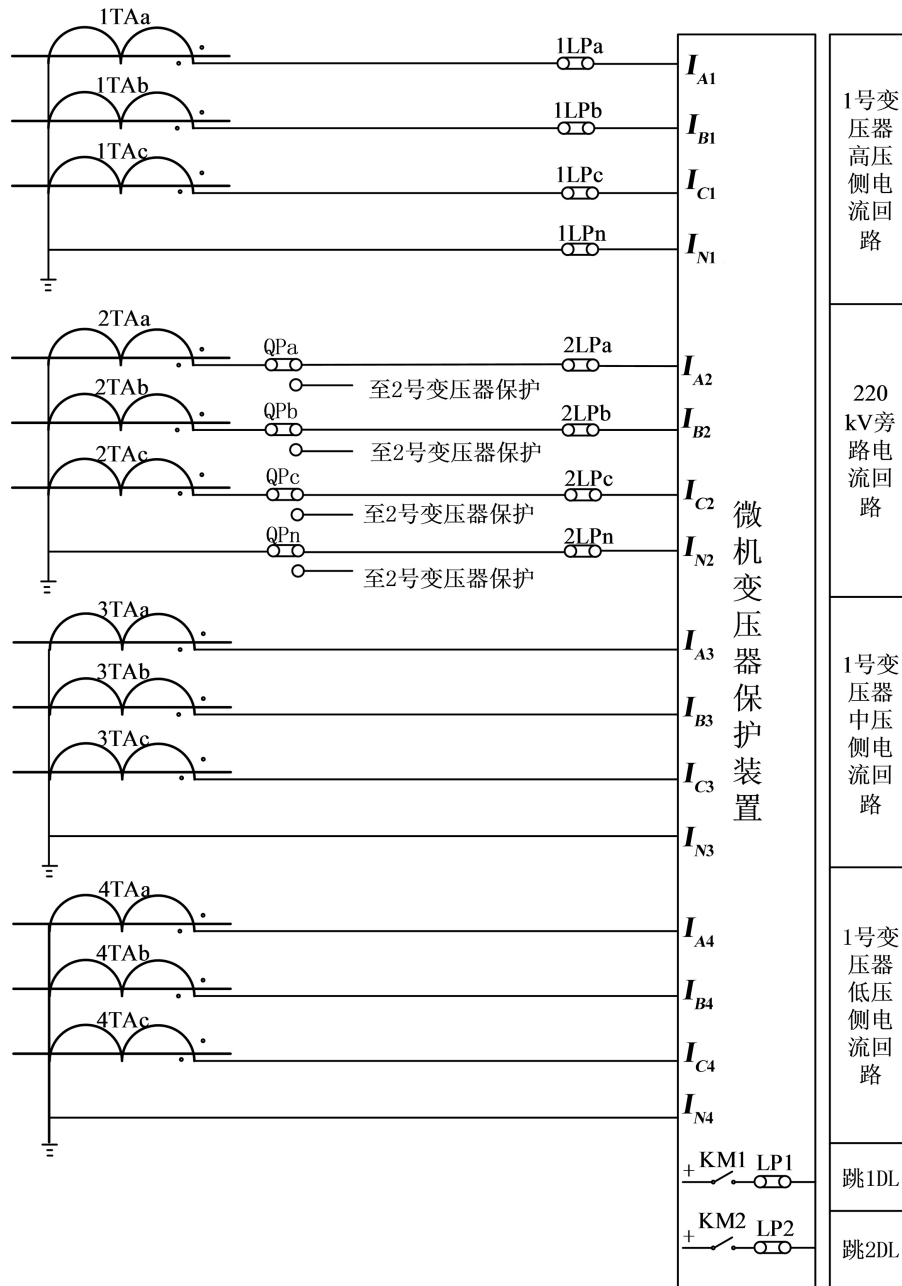


Figure 3. Expanded diagram of improved 220 kV transformer protection bypass scheme  
图 3. 改进的 220 kV 变压器保护旁代方案展开图

### 2) 旁路开关间隔 TA 二次电流的接入方案

变压器二次电流接成 Y 形, 串接压板 QPa、QPb、QPc、QPn 和压板 2 LPa、2 LPb、2 LPc、2 LPn, 然后接入  $I_{A2}$ 、 $I_{B2}$ 、 $I_{C2}$ 、 $I_{N2}$  电流回路。

1 号变压器和 2 号变压器保护电流回路切换可以通过切换压板 QPa、QPb、QPc、QPn 实现。断开压板 QPa、QPb、QPc、QPn 并短接接地。

退出变压器 220 kV 旁路保护的电流回路; 断开压板 2 LPa、2 LPb、2 LPc、2 LPn 并短接接地。

### 3) 110 kV 侧 TA 二次电流的接入方案

变压器 110 kV 侧 3 TAA、3 TAb、3 TAc 二次绕组接成 Y 形, 然后接入  $I_{A3}$ 、 $I_{B3}$ 、 $I_{C3}$ 、 $I_{N3}$  电流回路。

### 4) 变压器低压侧 TA 二次电流的接入方案

变压器 35 kV 侧 4 TAA、4 TAb、4 TAc 二次绕组接成 Y 形, 然后接入  $I_{A4}$ 、 $I_{B4}$ 、 $I_{C4}$ 、 $I_{N4}$  电流回路。

## 3.2. 变压器差动保护差流计算

按原来的电流回路计算变压器差动保护各侧电流, 采用旁路间隔时, 需要增加一组电流回路计算电流差流, 计算公式为:

$$\begin{cases} I_{da} = I_{dA1} + k_1 I_{dA2} + k_2 I_{dA3} + k_3 I_{dA4} \\ I_{db} = I_{dB1} + k_1 I_{dB2} + k_2 I_{dB3} + k_3 I_{dB4} \\ I_{dc} = I_{dC1} + k_1 I_{dC2} + k_2 I_{dC3} + k_3 I_{dC4} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中  $I_{dA}$ 、 $I_{dB}$ 、 $I_{dC}$  为变压器电流互感器的二次电流,  $k_1$  是旁路间隔电流的系数,  $k_2$  是 110 kV 侧电流的系数,  $k_3$  是 35 kV 侧电流的系数。电流互感器的二次电流移相后接入变压器差动保护的 220 kV 侧, 旁路间隔侧, 110 kV 侧, 35 kV 侧的 a、b、c 相电流。若 1 TA 与 2 TA 的变比一样, 则  $k_1$  为 1。

$I_{h1}$ 、 $I_{h2}$ 、 $I_m$ 、 $I_L$  分别为旁路间隔折算后的二次电流、中、低压侧折算后的二次电流;  $U_{e1}$ 、 $U_{e2}$ 、 $U_{e3}$  分别为变压器高、中、低压侧额定电压;  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、分别为 1 TA、2 TA、3 TA、4 TA 的变比; 若变压器各侧的 TA 二次绕组接成 Y 型, 则有:

$$\begin{cases} I_{h1} = \frac{\sqrt{3}S_e}{\sqrt{3}U_{e1}n_1} = \frac{S_e}{U_{e1}n_1} \\ I_{h2} = \frac{\sqrt{3}S_e}{\sqrt{3}U_{e1}n_2} = \frac{S_e}{U_{e1}n_2} \\ I_m = \frac{S_e}{U_{e2}n_3} \\ I_L = \frac{\sqrt{3}S_e}{\sqrt{3}U_{e3}n_4} = \frac{S_e}{U_{e3}n_4} \end{cases} \quad (2)$$

若变压器 35 kV 侧或 10 kV 侧 TA 二次绕组接成  $\Delta$ , 则式(2)中其他电流不变,  $I_L$  为:

$$I_L = \frac{S_e}{\sqrt{3}U_{e3}n_4} \quad (3)$$

则  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  的计算为:

$$\begin{cases} k_1 = I_{h1}/I_{h2} \\ k_2 = I_{h1}/I_m \\ k_3 = I_{h1}/I_L \end{cases} \quad (4)$$

### 3.3. 变压器 220 kV 后备保护电流计算原理方案

变压器的 1 TA 二次电流和 2 TA 二次电流组成了后备保护电流的计算, 各相电流  $I_{A1}$ 、 $I_{B1}$ 、 $I_{C1}$ 、 $3I_{01}$  与各相电流  $I_{A2}$ 、 $I_{B2}$ 、 $I_{C2}$ 、 $3I_{02}$  进行“求和”计算, 得到变压器后备保护相电流和 3 倍零序电流, 计算式为:

$$\begin{cases} I_{\text{da, hb}} = I_{A1} + k_4 I_{A2} \\ I_{\text{db, hb}} = I_{B1} + k_4 I_{B2} \\ I_{\text{dc, hb}} = I_{C1} + k_4 I_{C2} \\ 3I_{\text{0d, hb}} = 3I_{01} + k_4 3I_{02} \end{cases} \quad (5)$$

$3I_{01}$ 、 $3I_{02}$  计算式为:

$$\begin{cases} 3I_{01} = I_{A1} + I_{B1} + I_{C1} \\ 3I_{02} = I_{A2} + I_{B2} + I_{C2} \\ k_4 = n_2/n_1 \end{cases} \quad (6)$$

$k_4$  为旁路间隔后备保护电流平衡系数,  $n_1$ 、 $n_2$  分别为 2 TA 的变比、1 TA 的变比, 若  $n_1$  与  $n_2$  的变比一样, 则  $k_4$  为 1。

### 3.4. 变压器保护跳闸出口回路

2 路直流电源回路分别用于跳开关 1 QF 和跳开关 2 QF。

1) 变压器 1 QF 跳闸出口回路

当接入 LP1 时为投入变压器 1 QF 跳闸出口回路, 当打开 LP1 时为退出变压器 1 QF 跳闸出口回路。

2) 220 kV 旁路开关 2 QF 跳闸出口回路

当接入 LP2 时为投入旁路开关 2 QF, 当打开 LP2 时为退出旁路开关 2 QF 跳闸出口回路。

## 4. 改进旁代方案的工程运用

改进旁代方案的工程运用采用内桥接线的 220 kV 变压器保护来实施 220 kV 变压器保护 220 kV 侧的旁代方案。内桥接线的 220 kV 变压器保护 220 kV 侧为 2 个接入支路, 分别为接入变压器 220 kV 侧开关 TA 电流和内桥开关 TA 电流。用旁路开关代替内桥开关, 变压器旁路间隔 TA 差动保护要增加 1 组电流回。

同时, 由 1 TA 二次电流和 2 TA 二次电流进行“求和”计算可以得到内桥接线的 220 kV 侧后备保护参与后备保护电流计算的电流。

另外, 内桥接线变压器保护 220 kV 侧分别接入变压器 220 kV 侧开关和 220 kV 旁路开关的跳闸回路。

所以内桥接线的 220 kV 变压器保护能够满足上述第 2 节要求。当 220 kV 旁路开关用作其他用途时, 可将旁路开关 TA 二次电流断开短接接地退出变压器保护, 跳闸压板断开退出运行; 当 220 kV 旁路开关代替变压器 220 kV 侧开关时, 可将旁路开关 TA 二次电流接入变压器保护, 同时跳闸压板接入并运行。这样可以做到在 220 kV 变压器保护旁代操作时, 变压器保护始终为投入运行状态, 变压器 220 kV 侧发生短路故障时能够快速切除, 保证了 220 kV 电网的安全可靠运行。

## 5. 改进旁代方案的运行操作

### 5.1. 旁路开关代替 1 号变压器开关运行的操作

#### 5.1.1. 运行方式

变压器各侧的断路器 1 QF、2 QF、3 QF、4 QF 均处于运行状态, 旁路母线带电运行, 220 kV 旁路

隔离开关断开状态(图 3)。

变压器保护跳闸为: 压板 1 LP 投入实现变压器 220 kV 侧开关 1 QF 的跳闸; 压板 2 LP 打开实现变压器 220 kV 旁路开关 2 QF 的退出。

### 5.1.2. 操作过程

- 1) 将旁路开关由运行改为热备用;
- 2) 投入压板 QPa、QPb、QPc、QPn 和压板 2 LPa、2 LPb、2 LPc、2 LPn, 可以实现 1 号变压器保护电流回路旁路间隔 TA 二次回路接入;
- 3) 将变压器保护跳旁路开关 2 QF 的跳闸压板 2 LP 投入;
- 4) 将备用的旁路隔离开关改为运行;
- 5) 将旁路开关由热备用改为运行(合环);
- 6) 拉开 1 号变压器 220 kV 开关(解环);
- 7) 将 1 号变压器 220 kV 开关 1 QF 由热备用转为冷备用;
- 8) 将变压器 1 QF 开关间隔压板 1 LPa、1 LPb、1 LPc、1 LPn 断开并在 TA 侧短接接地;
- 9) 退出 1 LP 压板实现 1 号变压器 220 kV 开关 1 QF 跳闸。

## 5.2. 1 号变压器 1 QF 开关恢复正常运行的操作

### 5.2.1. 运行方式

变压器开关 2 QF、3 QF、4 QF 运行, 220 kV 旁路母线带电, 旁路隔离开关运行, 开关 1 QF 冷备用(图 3)。

变压器保护跳闸为: 接入 2 LP 压板实现 2 QF 跳闸; 断开 1 LP 压板实现 1 QF 跳闸。

断开压板 1 LPa、1 LPb、1 LPc、1 LPn, 在 TA 侧短接接地, 即退出 1 号变压器保护电流回路。

接入压板 QPa、QPb、QPc、QPn 和压板 2 LPa、2 LPb、2 LPc、2 LPn, 可实现旁路间隔保护电流回路接入变压器。

### 5.2.2 操作过程

- 1) 将变压器 220 kV 侧电流压板 1 LPa、1 LPb、1 LPc、1 LPn 由短接接地并断开退出, 接入变压器 220 kV 侧的电流回路;
- 2) 将变压器保护跳变压器 220 kV 侧开关 1 QF 的跳闸压板 1 LP 投入;
- 3) 将 1 号变压器 220 kV 开关 1 QF 由冷备用转为运行(合环);
- 4) 将 220 kV 旁路开关 2 QF 由运行转为热备用(解环);
- 5) 将运行的旁路隔离开关改为备用;
- 6) 断开压板 QPa、QPb、QPc、QPn 和压板 2 LPa、2 LPb、2 LPc、2 LPn, 并在 2 TA 侧短接接地, 1 号变压器保护电流回路将退出运行;
- 7) 将变压器保护跳 220 kV 旁路开关 1 QF 的跳闸压板 2 LP 退出运行;
- 8) 将 220 kV 旁路开关由热备用转为运行。

## 5.3. 仿真运行效果分析

在上述两个切除变压器发生的短路故障操作过程中, 均没有停用变压器差动保护和后备保护, 从而保证了 220 kV 电网的安全可靠运行, 在 MATLAB/simulink 搭建改进旁代方案的模型仿真如图 4 所示, 电源电压采用 35 kV, 变压器的电压变比是 35/110/220 kV, 系统仿真采用离散算法, 仿真时间为 0.5 s。



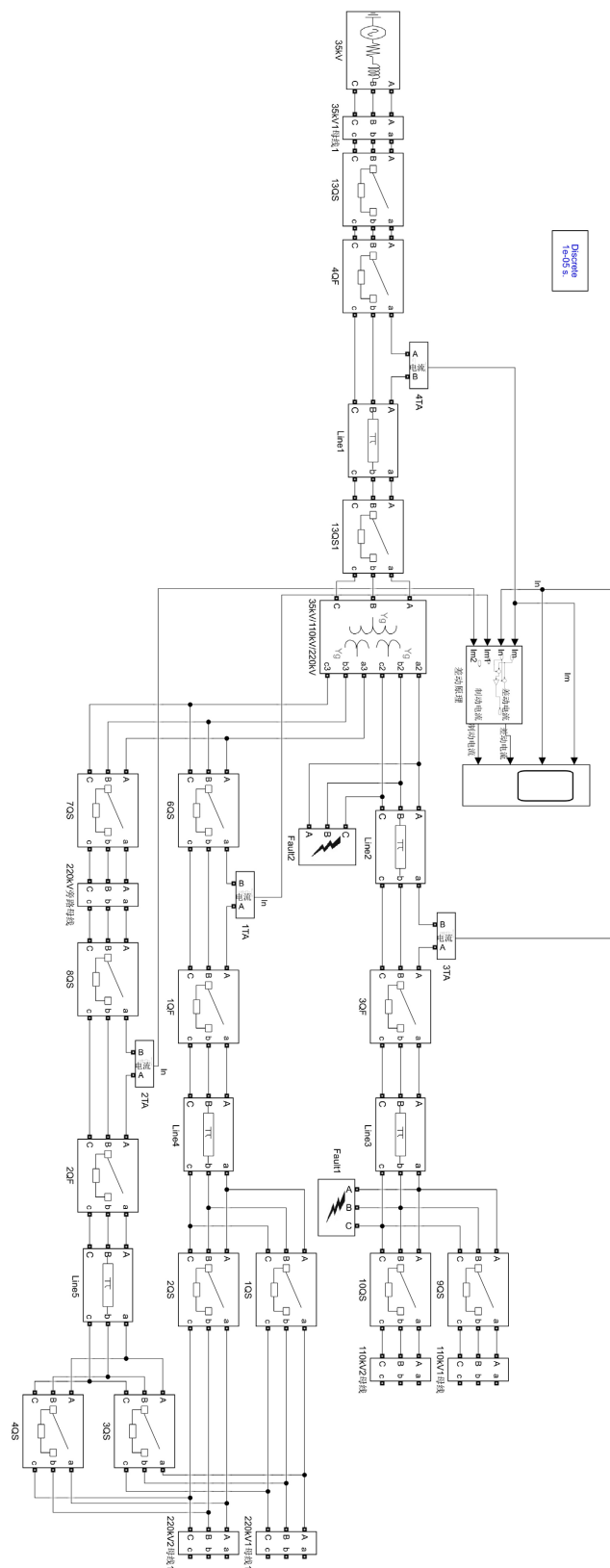
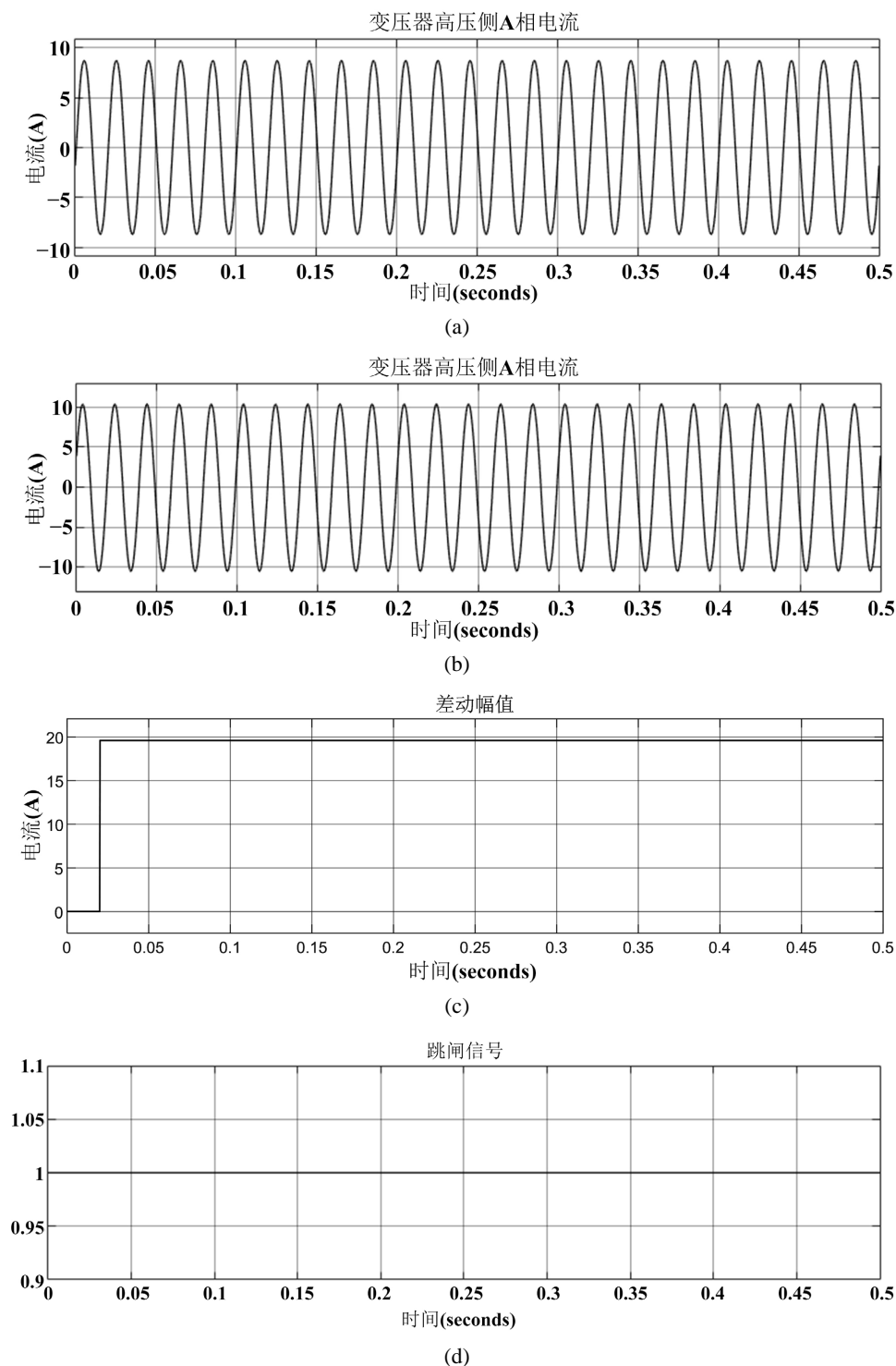


Figure 4. Model simulation for improving bypass schemes  
 图 4. 改进旁代方案的模型仿真

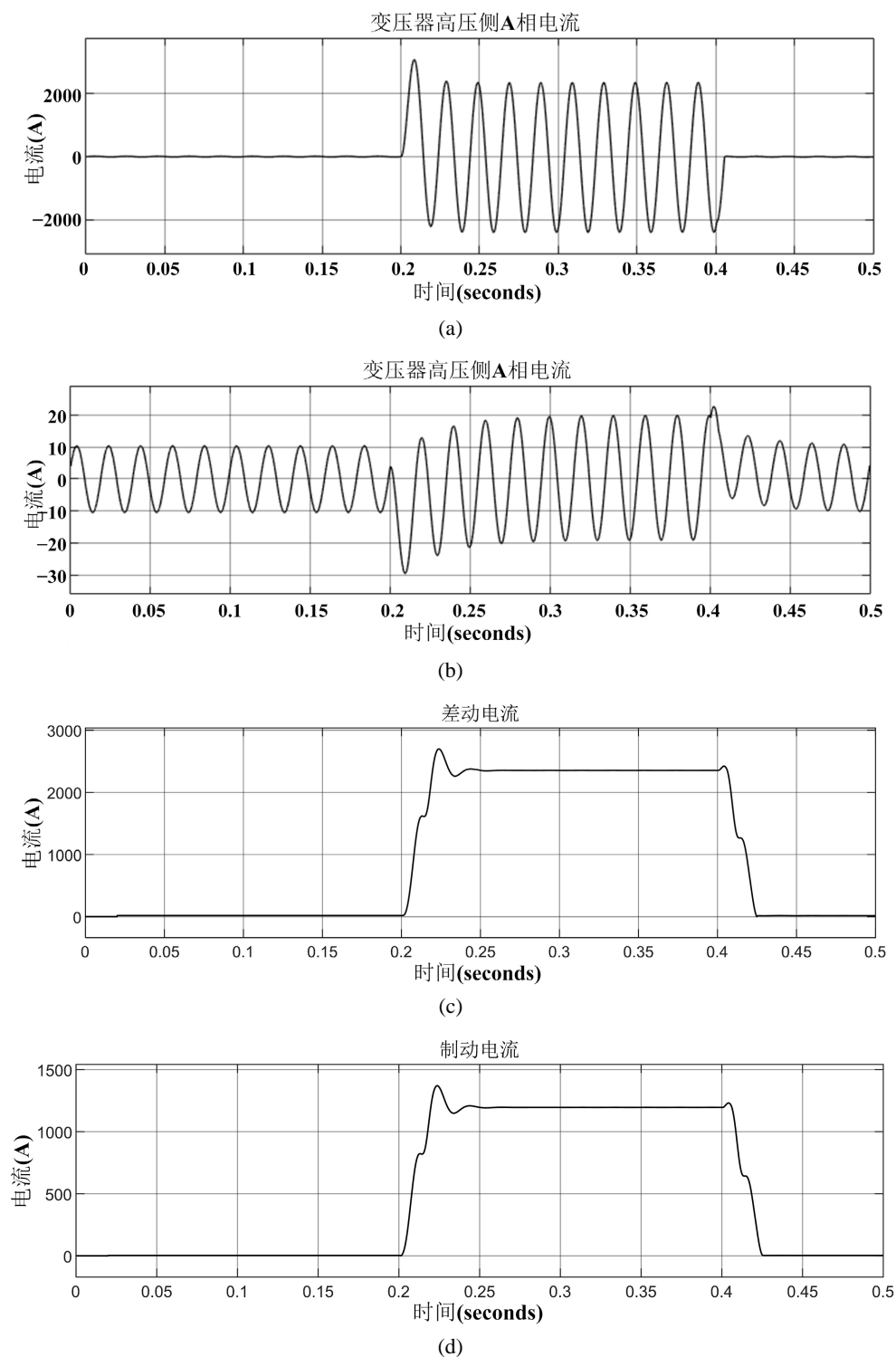
变压器发生短路故障时间为 0.2 s~0.4 s, 仿真波形分析如下。

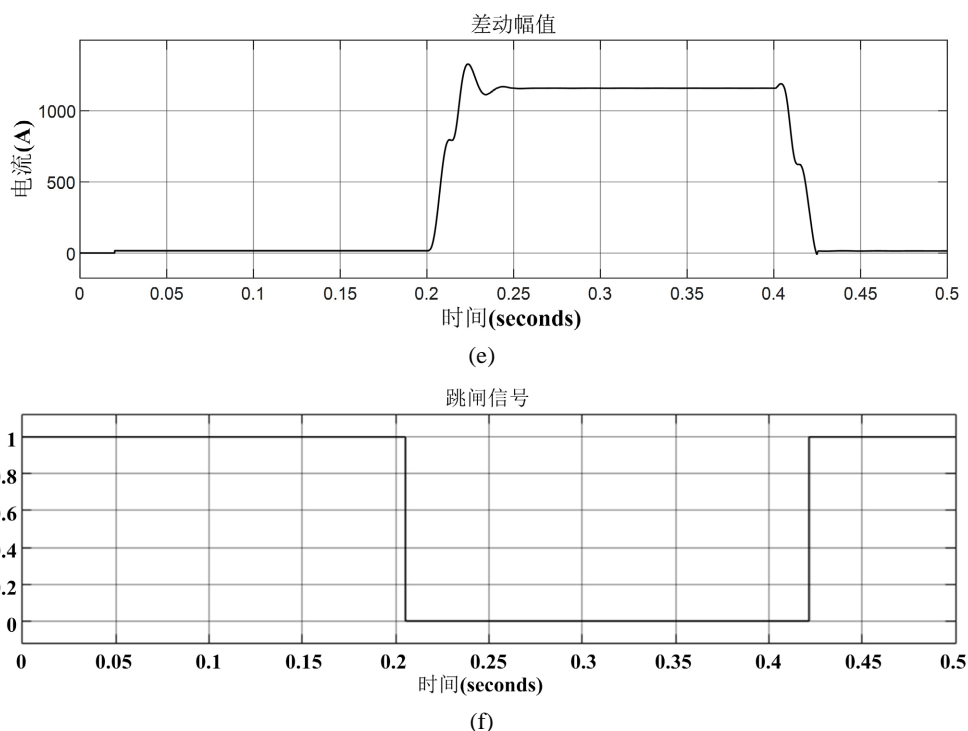


**Figure 5.** (a) Current waveform of 220 kV high-voltage side phase A without fault; (b) Current waveform of phase A on the low voltage side of 35 kV without any faults; (c) Differential current amplitude without fault; (d) Trip signal without failure

**图 5.** (a) 未发生故障的 220 kV 高压侧 A 相电流波形; (b) 未发生故障的 35 kV 低压侧 A 相电流波形; (c) 未发生故障的差动电流幅值; (d) 未发生故障的跳闸信号

图 5(a)~(d)分别是变压器未发生故障时的 220 kV 高压侧 A 相二次电流波形, 未发生故障的 35 kV 低压侧 A 相二次电流波形, 未发生故障的差动电流幅值, 未发生故障的跳闸信号, 由这个 4 幅波形图可知变压器正常运行时高低压侧的电压和电流幅值不一样, 通过配置互感器变比实现二次电流都为 10 A (保护一般采用 1 A 或 5 A), 差动幅值为 20 A, 跳闸信号为 1。





**Figure 6.** (a) 220 kV high-voltage side A-phase current waveform with short-circuit fault; (b) Current waveform of phase A on the low voltage side of 35 kV with short-circuit fault; (c) Differential current amplitude in case of short-circuit fault; (d) Braking current amplitude in case of short circuit fault; (e) Differential and braking current amplitude difference in case of short-circuit fault; (f) Trip signal for short circuit fault

**图 6.** (a) 发生短路故障的 220 kV 高压侧 A 相电流波形; (b) 发生短路故障的 35 kV 低压侧 A 相电流波形; (c) 发生短路故障的差动电流幅值; (d) 发生短路故障的制动电流幅值; (e) 发生短路故障的差动与制动电流幅值差; (f) 发生短路故障的跳闸信号

图 6(a)~(f)分别是变压器发生短路故障时的 220 kV 高压侧 A 相二次电流波形,发生短路故障的 35 kV 低压侧 A 相二次电流波形,发生短路故障的差动电流幅值,发生短路故障的制动电流幅值,发生短路故障的差动与制动电流幅值差,发生短路故障的跳闸信号,由这个 6 幅波形图可知变压器在 0.2 s~0.4 s 发生短路时高低压侧的二次电流都会增大,差动电流幅值超过 2500 A,制动电流幅值不到 1500 A,差动电流与制动电流幅值差超过 1000 A 大于阈值 200 A,变压器两侧断路器的差动保护信号在 0.2 s~0.4 s 由 1 变为 0 实现跳闸。

## 6. 结语

本文采用不停用变压器保护的改进 220 kV 侧旁代方案,对实现变压器差动保护和后备保护电流计算、各侧开关的跳闸方案等进行分析。提出采用技术成熟的内桥接线变压器保护装置来实现旁代方案,在 MATLAB/simulink 仿真平台搭建仿真模型,仿真结果实现了 220 kV 旁代运行操作过程中变压器差动保护和后备保护的全覆盖,确保旁代运行操作过程中发生短路故障时能够快速切除故障,保证了电网安全可靠运行。

## 参考文献

- [1] 吴锡波. 变压器 10 kV 侧后备保护动作事故分析[J]. 大众用电, 2023, 38(9): 49-50.
- [2] 林宇飞. 浅谈电厂继电保护二次回路改造设计[J]. 机电信息, 2023(18): 67-71.

- [3] 王利波, 左晨, 吴雪峰, 黄晓峰, 陈昊. 一种变压器跳闸矩阵校验装置的研制与应用[J]. 设备管理与维修, 2023(17): 33-35.
- [4] 王会增, 王乐, 齐肖彬. 一起区外故障引起 220 kV 主变压器差动保护动作的分析[J]. 山西电力, 2023(4): 36-38.
- [5] 赵壮壮. 电力系统继电保护技术的运用与维护[J]. 光源与照明, 2023(8): 156-158.
- [6] 杨华. 110 kV 变压器差动保护装置检验方法研究[J]. 电工技术, 2023(16): 154-156+159.
- [7] 刘圆方, 国金明, 陆晓彬, 胡林, 郑荣锋, 吴拓剑, 袁瑞宜. 一起 110 kV 电流互感器跳闸事故原因分析[J]. 四川电力技术, 2023, 46(4): 91-94.
- [8] 郑玉平, 郝治国, 薛众鑫, 郝建, 潘书燕, 龚心怡. 大型电力变压器安全运行与主动保护技术探索[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(20): 1-12.
- [9] 顾清, 黄强. 110 kV 变电站主变差动保护动作跳闸事件的分析[J]. 自动化应用, 2023, 64(19): 161-163+169.
- [10] 吴锡波. 变压器 10 kV 侧后备保护动作事故分析[J]. 大众用电, 2023, 38(9): 49-50.
- [11] 郭程, 阎长春, 武洪涛. 变压器励磁涌流对相邻发电机的影响与防范措施[J]. 变压器, 2023, 60(9): 28-30.
- [12] 林宇飞. 浅谈电厂继电保护二次回路改造设计[J]. 机电信息, 2023(18): 67-71.