

**POSIBILITĂȚI DE VERIFICARE
A PROTECȚIILOR
DIFERENȚIALE
LONGITUDINALE ALE
TRANSFORMATOARELOR
UTILIZÂND TRUSA DE CURENT
CU DOI CURENȚI
INDEPENDENȚI**

G. Hazi, *Universitatea "Vasile
Alecsandri" din Bacău, România*
A. Hazi, *Universitatea "Vasile
Alecsandri" din Bacău, România*

**POSSIBILITIES FOR TESTING
THE DIFFERENTIAL
PROTECTION OF THE
TRANSFORMERS USING THE
CURRENT KIT WITH TWO
INDEPENDENT CURRENTS**

G. Hazi, *"Vasile
Alecsandri" University of Bacău,
România*
A. Hazi, *"Vasile
Alecsandri" University of Bacău,
România*

REZUMAT: Lucrarea prezintă variante de verificare a protecțiilor diferențiale longitudinale ale transformatoarelor în situația în care se dispune numai de o trusă de curent cu 3 curenți reglabili. Problema este dificilă în cazul transformatoarelor cu grupa de conexiuni $Y\Delta$.

Metoda se bazează pe faptul că protecțiile digitale prelucrează matricial curenții pe fază rezultând curenții primari și secundari care se compară. Utilizând matricea de prelucrare dată de producători, se pot găsi condiții de conectare cu 2 curenți astfel încât să se asigure curenți prelucrați primari și secundari egali. Acest lucru se obține prin trecerea unui curent pe 2 sau trei faze în sensuri diferite.

CUVINTE CHEIE: protecție diferențială transformator, curenți independenți

1. INTRODUCERE

Verificarea funcționării corecte a protecțiilor diferențiale longitudinale a transformatoarelor reprezintă o obligativitate pentru unitățile gestionare. Această verificare este necesară pentru a evita funcționarea neselectivă a acestor protecții de bază. Pentru verificare sunt necesare truse cu 6 curenți reglabili independenți pentru a genera cei 6 curenți defazați în funcție de grupa de conexiuni. Dacă nu se dispune de o asemenea trusă și se dispune de o trusă cu 3 curenți

ABSTRACT: This paper presents options for testing the longitudinal differential protection of transformers if we only have a current kit with 3 adjustable currents. The problem is difficult for transformers with group connections $Y\Delta$. The method is based on the fact that digital protections have a matrix processing of the phase currents resulting in primary and secondary currents which are compared.

Using matrix processing given by producers, we can identify connection conditions with two currents so as to ensure equal primary and secondary processed currents. This is achieved by passing a current in two or three phases in different directions.

KEY WORDS: differential protection of transformers, independent current

1. INTRODUCTION

Testing correct operation of transformer longitudinal differential protection is an obligation for management units. This test is necessary to avoid non-selective operation of these basic protections. Testing requires kits with 6 independently adjustable currents to generate the 6 phase displaced currents according to the group of connections. If you do not have such a kit and, instead, have a kit with three independently adjustable currents or two single-phase identical kits the

reglabili independent sau de 2 truse monofazate, identice, verificarea este mai dificilă. Protecțiile digitale moderne nu compară direct curenții din primar și secundar întrucât aceștia sunt defazați, în funcție de grupa de conexiuni. Pentru grupa de conexiuni YnYn, verificarea se poate face ușor, întrucât curenții primari și secundari nu sunt defazați. Pentru grupele de conexiuni YnD5 și YnD11, uzuale la noi în țară pentru transformatoarele 110/MT, trebuie ținut cont de prelucrările efectuate de releul digital.

Relele digitale realizează prelucrări ale curenților de fază (separat pentru primar și secundar) cu relații de forma:

$$[\underline{I}_p] = k \cdot [M] \cdot [\underline{I}] \quad (1)$$

unde

$$[\underline{I}_p] = \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA} \\ \underline{I}_{pB} \\ \underline{I}_{pC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

reprezintă curenții rezultați din prelucrare pe cele 3 faze, curenți care vor fi comparați pentru a verifica condițiile de funcționare a protecțiilor diferențiale longitudinale.

k – o constantă de proporționalitate
[M] – o matrice scalară de dimensiune 3x3 care asigură prelucrarea în funcție de grupa de conexiuni a transformatorului

$$[\underline{I}] = \begin{bmatrix} \underline{I}_A \\ \underline{I}_B \\ \underline{I}_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

reprezintă matricea coloană a curenților de intrare (din secundarele transformatoarelor de curent).

În lucrarea de față vom analiza soluții de verificare a protecțiilor digitale pentru transformatoare 110/MT, cu aceste grupe de conexiuni.

verification is difficult. Modern digital protections don't directly compare the primary and secondary currents as they are in phase displacement, depending on the group of connections. For group YnYn connections, testing can be done easily, since the primary and secondary currents are not in phase displacement. For YnD11 YnD5 connection groups, common in our country for 110/MT transformers, the processing performed by the digital relay should be considered.

Digital relays perform processing of phase currents (separately for primary and secondary) corresponding to the following relations:

$$[\underline{I}_p] = k \cdot [M] \cdot [\underline{I}] \quad (1)$$

Where

$$[\underline{I}_p] = \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA} \\ \underline{I}_{pB} \\ \underline{I}_{pC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

are currents which result from the processing of the 3 phases; these currents will be compared to verify the operational conditions of the longitudinal differential protection.

k – a proportionality constant
[M] – a 3x3 scalar matrix that ensures processing according to the connections group of the transformer.

$$[\underline{I}] = \begin{bmatrix} \underline{I}_A \\ \underline{I}_B \\ \underline{I}_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

is the column matrix of the input current (the current transformer secondaries).

In this paper we analyze the solutions for testing the digital protections of the 110/MV transformers, using these connection groups.

2. VERIFICAREA PROTECȚIILOR DIFERENȚIALE LONGITUDINALE PENTRU TRANSFORMATOARE CU GRUPA DE CONEXIUNI YD5

2. TESTING OF THE LONGITUDINAL DIFFERENTIAL PROTECTION FOR TRANSFORMERS WITH YD5 CONNECTION GROUP

2.1. Relee digitale SIEMENS

2.1. SIEMENS digital relays

În acest caz relația (1) este particularizată astfel, [1]:

In this case relation (1) is custom so, [1]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

pentru primar (conexiunea Yn) și

for primary (connection Yn) and

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

pentru secundar (conexiunea D).

for secondary (connection D).

Dacă considerăm curenții egali cu 1A, defazați corespunzător grupei de conexiuni:

If we consider currents equal to 1A, and in phase displacement according to the connection group:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j0} \\ e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j\frac{5\pi}{6}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j0} \\ e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j\frac{5\pi}{6}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{3}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j\frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \dots (6)$$

prin aplicarea relațiilor (4) și (5) se obține:

by applying the relations (4) and (5) we obtain:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

adică curenții comparați sunt identici și protecția diferențială nu are condiții de funcționare.

Pentru verificarea cu doi curenți trebuie să găsim soluții astfel încât prin aplicarea relațiilor (4) și (5) să obținem curenți prelucrați identici. În acest caz o soluție a problemei este:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j0} \\ -e^{j0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Prin aplicarea relațiilor (4) și (5) rezultă:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Din (8) rezultă că pentru verificarea protecției cu 2 curenți este necesar un curent care este conectat pe borna de intrare pe faza A, pe borna de ieșire la faza B din primar (cele două înfășurări se înseriază), iar în secundar se conectează pe borna de ieșire a fazei A, un curent mărit cu $\sqrt{3}$.

2.2. Relee digitale ABB

În acest caz relația (1) este particularizată astfel, [2]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

pentru primar (conexiunea Yn) și

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -\frac{1}{2} - j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} + j \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

ie currents which are compared are identical and the differential protection does not work.

To test with two currents, we must find solutions so that by applying the relations (4) and (5) we get identical processed currents. In this case a solution to the problem is:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j0} \\ -e^{j0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad ..(8)$$

By applying relations (4) and (5) we get:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad(9)$$

From relation (8) results that to verify the protection with 2 currents, we need a current which is connected to the input terminal at phase A, to the output terminal at phase B of the primary (both windings are in series) and in the secondary we need to connect current increased with $\sqrt{3}$ to the output terminal of phase A.

2.2. ABB digital relays

In this case relation (1) is custom so, [2]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad ... (10)$$

for primary (connection Yn) and

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

pentru secundar (conexiunea D).

Dacă luăm curenții de intrare în rețea, potrivit relației (6), vom obține curenții prelucrați identici:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \\ j \\ \frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \\ j \\ \frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

curenții comparați sunt identici și protecția diferențială nu are condiții de funcționare.

Pentru verificarea cu doi curenți, o soluție a problemei este:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Prin aplicarea relațiilor (10) și (11) rezultă:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Din (13) rezultă că pentru verificarea protecției cu 2 curenți este necesar un curent care este conectat pe borna de intrare aferentă primarului pe faza B, mărit cu $\sqrt{3}$, iar în secundar se conectează pe borna de intrare a fazei A și pe borna de ieșire a fazei B (cele două înfășurări se înseriază).

for secondary (connection D).

If we take the relay input currents, according to relationship (6), we obtain identical processed currents:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \\ j \\ \frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \\ j \\ \frac{\sqrt{3}}{2} - j \cdot \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (12)$$

the compared currents are identical and the differential protection has no working conditions.

To test with two currents, a solution to the problem is:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

By applying relations (10) and (11) we get:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots (14)$$

From relation (13) results that to verify protection with 2 current, we need a current which is connected to the input terminal at phase B, increased with $\sqrt{3}$, and in the secondary we need to connect that current to the input terminal at phase A and to the output terminal at phase B (both windings are in series).

3. VERIFICAREA PROTECȚIILOR DIFERENȚIALE LONGITUDINALE PENTRU TRANSFORMATOARE CU GRUPA DE CONEXIUNI YD11

3.1. Relee digitale SIEMENS

În acest caz relația (1) este particularizată astfel [1]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

pentru primar (conexiunea Yn) și

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (16)$$

pentru secundar (conexiunea D).

Dacă considerăm curenții egali cu 1A, defazați corespunzător grupei de conexiuni:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j \cdot 0} \\ e^{-j \frac{2\pi}{3}} \\ e^{-j \frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j \frac{11\pi}{6}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{3}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j \frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

prin aplicarea relațiilor (15) și (16) se obțin valorile, identice pentru primar și secundar, date de (7).

Pentru verificarea cu doi curenți, o soluție a problemei este:

3. TESTING OF THE LONGITUDINAL DIFFERENTIAL PROTECTION FOR TRANSFORMERS WITH YD11 CONNECTION GROUP

3.1. SIEMENS digital relays

In this case relation (1) is custom so, [1]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

for primary (connection Yn) and

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad \dots(16)$$

for secondary (connection D).

If we consider currents equal to 1A, the in phase displacement corresponding to the connection group is:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j \cdot 0} \\ e^{-j \frac{2\pi}{3}} \\ e^{-j \frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j \frac{11\pi}{6}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j \frac{2\pi}{3}} \\ \underline{I}_{A2} \cdot e^{-j \frac{4\pi}{3}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

by applying the relations (15) and (16) we obtained identical values for the primary and secondary, given by relation (7).

To test with two currents, a solution to the problem is:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j \cdot 0} \\ -e^{j \cdot 0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(18)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j0} \\ -e^{j0} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Prin aplicarea relațiilor (15) și (16) se obțin curenții prelucrați identici, dați de (9).

Din (18) rezultă că pentru verificarea protecției cu 2 curenți este necesar un curent care este conectat pe borna de intrare pe faza A, pe borna de ieșire la faza B din primar (cele două înfășurări se înseriază), iar în secundar se conectează pe borna de ieșire a fazei A, un curent mărit cu $\sqrt{3}$.

3.2. Relee digitale ABB

În acest caz relația (1) este particularizată astfel, [2]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad (19)$$

pentru primar (conexiunea Yn) și

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad (20)$$

pentru secundar (conexiunea D).

Dacă luăm curenții de intrare în releu, potrivit relației (17), vom obține curenții prelucrați identici dați de relația (12).

Pentru verificarea cu doi curenți, o soluție a problemei este:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Prin aplicarea relațiilor (19) și (20) rezultă valorile identice ale curenților prelucrați dați de (14).

By applying relations (15) and (16) are obtained processed identical currents, given by (9).

From relation (18) results that to verify the protection with 2 currents, we need a current which is connected to the input terminal at phase A, to the output terminal at phase B of the primary (both windings are in series) and, in the secondary, we need connect a current increased with $\sqrt{3}$ to the output terminal of phase A.

3.2. ABB digital relays

In this case relation (1) is custom so, [2]:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA1} \\ \underline{I}_{pB1} \\ \underline{I}_{pC1} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} \quad \dots(19)$$

for primary (connection Yn) and

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{pA2} \\ \underline{I}_{pB2} \\ \underline{I}_{pC2} \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} \quad \dots(20)$$

for secondary (connection D).

If we take the relay input currents, according to relation (17), we get identical processed currents given by equation (12).

To test with two currents, a solution to the problem is:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{A1} \\ \underline{I}_{B1} \\ \underline{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{3} \\ 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \underline{I}_{A2} \\ \underline{I}_{B2} \\ \underline{I}_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots(21)$$

By applying the relations (19) and (20) we get identical processed currents given by equation (14).

From relation (21) results that to verify a protection with 2 currents, it is necessary to connected a current to the input terminal at phase B, increased with $\sqrt{3}$, and, in the

Din (21) rezultă că pentru verificarea protecției cu 2 curenți este necesar un curent care este conectat pe borna de intrare pe faza B, mărit cu $\sqrt{3}$, iar în secundar se conectează pe borna de ieșire a fazei A și pe borna de intrare a fazei B (cele două înfășurări secundare se înscriază).

4. CONCLUZII

Din analiza prezentată mai sus rezultă următoarele:

- Verificarea protecțiilor diferențiale longitudinale necesită truse de curent complexe, cu 6 curenți reglabili independent (ca modul și fază).
- Verificarea protecțiilor diferențiale longitudinale se poate face și cu o trusă cu 2 curenți independenți dacă se cunosc matricele de prelucrare realizate de releul digital.
- Cei doi curenți necesari sunt în fază însă diferiți ca modul cu $\sqrt{3}$.
- Soluțiile găsite pentru verificarea cu doi curenți impun înscrierea intrărilor de curent (primare sau secundare, după caz) ale releului digital.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Siemens AG, Numerical Differential Protection Relay, for Transformers, Generators, Motors and Branch Point, 7UT51, Instruction Manual, 2006.
- [2] ABB, Differential Protection with REF 542plus Feeder Terminal, Application and Setting Guide, 1MRS 756281, 2007.

secondary, to connect a current to the output terminal at phase A and to the input terminal at phase B (both windings are in series).

4. CONCLUSIONS

The above analysis leads to the following conclusions:

- Testing the longitudinal differential protections require complex current kits, with six independently adjustable currents (as module and phase).
- Testing the longitudinal differential protections can be done with a kit with two independent currents if we know the processing matrices performed by the digital relay.
- The two needed currents are in phase but their value differ by $\sqrt{3}$.
- The solutions found to test with two currents require a series connection for the current inputs (primary or secondary, as appropriate) of the digital relay.

REFERENCES

- [1] Siemens AG, Numerical Differential Protection Relay, for Transformers, Generators, Motors and Branch Point, 7UT51, Instruction Manual, 2006.
- [2] ABB, Differential Protection with REF 542plus Feeder Terminal, Application and Setting Guide, 1MRS 756281, 2007.