

Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń



Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

EAZ

Badanie zabezpieczeń transformatora WN/SN

1. Wprowadzenie

Transformatorem energetycznym nazywa się transformator przeznaczony do przetwarzania energii elektrycznej o określonym napięciu na energię elektryczną o innym lub takim samym napięciu. Transformatory są elementami o małej awaryjności, która wzrasta wraz z poziomem napięcia znamionowego górnej strony transformatora. Według statystyki IEEE, procentowy rozkład rodzajów uszkodzeń w transformatorach jest następujący:

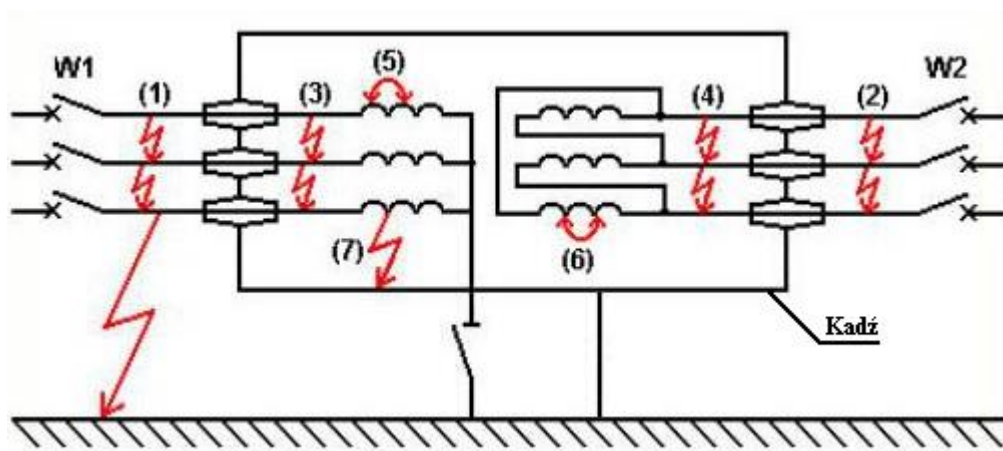
- 51% - uszkodzenia uzwojeń,
- 19% - uszkodzenia przełączników zaczeów,
- 9% - uszkodzenia izolatorów przepustowych,
- 6% - uszkodzenia przewodów wyjściowych,
- 2% - uszkodzenia rdzeni,
- 13% - inne uszkodzenia (kadź, obieg oleju itd.).

Skutki tych zwarć są szczególnie niebezpieczne z następujących powodów:

- zwarcie w kadzi musi być wyłączone po 0,6-1 s, w przeciwnym wypadku można się spodziewać wybuchu, rozsądzenia kadzi i wypływu oleju. Jest to równoznaczne z całkowitym zniszczeniem transformatora oraz stwarza zagrożenie dla ludzi i pomieszczeń w jego sąsiedztwie,
- zwarcia wewnętrzne powodują uszkodzenia, które można usunąć niejednokrotnie tylko przez demontaż urządzenia i przetransportowanie do zakładów naprawczych, co wiąże się z dużymi kosztami.
- zwarcia w transformatorze sprężelowym lub blokowym i jego wyłączenie jest groźne dla pracy systemu elektroenergetycznego.

Wyróżniamy następujące zakłócenia w pracy transformatorów:

Zwarcia. Na rysunku 1.1 pokazano symbolicznie rodzaje zwarć jakie mogą wystąpić na obszarze ograniczonym wyłącznikami po górnej i dolnej stronie transformatora. Można je podzielić, na zwarcia w polach (1,2) oraz zwarcia wewnątrz kadzi (3-7). Te pierwsze są mniej groźne dla samego obiektu, ale bardzo groźne dla stabilności systemu. Stopień zagrożenia zależy od tego, czy są to zwarcia trójfazowe, czy dwu lub jednofazowe. Zwarcia wewnątrz kadzi mogą być zvarciami na wyprowadzeniach uzwojeń (3, 4), zvarciami zwojowymi (5, 6) oraz zvarciami między uzwojeniem a kadzią (7).



Rys. 1.1 Rodzaje zwarć w transformatorze

Udary prądu magnesującego. Poważnym utrudnieniem w odpowiednim nastawieniu zabezpieczeń jest duża wartość amplitudy udarowego prądu magnesującego. Może ona osiągać 10-krotność wartości prądu znamionowego transformatora, powodując zbędne

zadziałanie zabezpieczeń. Odstrojenie się wymaga wykorzystania indywidualnej cechy udaru prądowego. Jest nią zawartość drugiej harmonicznej. Względna jej wartość w odniesieniu do harmonicznej podstawowej przekracza 20%. Natomiast w prądzie zwarcia wewnętrznego druga harmoniczna nie występuje.

Wzrost strumienia. Negatywny wpływ na prawidłową pracę zabezpieczeń ma również wzrost strumienia w rdzeniu transformatora. Jest to spowodowane zwiększeniem indukcji na skutek wzrostu napięcia lub obniżenia częstotliwości. Nastąpi wtedy nasycenie rdzenia zwłaszcza w tych częściach, gdzie występuje zwężenie przekroju. Podczas nasycenia większa część strumienia zamyka się przez powietrze. Jest to szczególnie groźne w otoczeniu śrub mocujących, przez które w normalnych warunkach przepływa mała część strumienia. Po nasyceniu sytuacja ulega zmianie, gdyż większy strumień przechodzący przez stalowe lite śruby powoduje powstawanie znacznych prądów wirowych i nagrzewanie się tych fragmentów konstrukcji. Zwiększenie indukcji rdzenia o 20% skutkuje wzrostem prądu magnesowania transformatora (10-krotny wzrost wartości skutecznej prądu) oraz zwiększeniem zawartości wyższych harmonicznych nieparzystych w przebiegu prądu magnesowania jego wartości skutecznej. Wartość piątej harmonicznej najbardziej typowej dla tego zjawiska utrzymuje się na poziomie 30-50% jego pierwszej harmonicznej. Ta właściwość wykorzystywana jest w celu odstrojenia zabezpieczeń.

Przegrzanie. Przyczyną wzrostu temperatury wewnątrz kadzi jest energia wydzielana na rezystancji uzwojeń. Powstające ciepło jest oddawane izolacji stałej i olejowi, który przez system naturalnego, a nawet częściej wymuszonego obiegu oleju powoduje efekt chłodzenia. Wzrost temperatury uzwojeń może być wywołany przeciążeniem prądowym lub zmniejszeniem intensywności chłodzenia, np.: na skutek całkowitego lub częściowego wyłączenia pomp wymuszających obieg oleju.

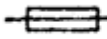
Wymagania stawiane zabezpieczeniom transformatorów:

- wyłączenie z minimalnym opóźnieniem przy zwarciach międzyfazowych i doziemnych wewnątrz kadzi, nie dopuszczając do jej wybuchu,
- wyłączenie z minimalnym opóźnieniem przy zwarciach zwojowych, co ogranicza stopień uszkodzeń,
- wyłączenie z minimalnym opóźnieniem przy zwarciach wielkoprądowych w polach transformatora (pomiędzy wyłącznikiem a kadzią),
- niedopuszczenie do długotrwałego nadmiernego wzrostu strumienia w rdzeniu,
- niedopuszczenie do długotrwałego nadmiernego wzrostu temperatury uzwojeń,
- niedopuszczenie do występowania prądów zwarć zewnętrznych, które mogłyby spowodować przekroczenie granic wytrzymałości cieplnej i dynamicznej,
- niedopuszczenie do zbędnego wyłączenia transformatora przy znacznych obciążeniach, załączaniu oraz zwarciach zewnętrznych,
- zapewnienie rezerwowania w przypadku zawodnego działania zabezpieczeń lub wyłączników,
- sygnalizowanie stanów zagrożenia, wynikające z osłabienia izolacji lub lokalnego przegrzania uzwojeń.

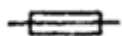
2. Zabezpieczenia transformatora

W zależności od ważności ruchowej i warunków eksploatacyjnych stosuje się następujące zestawy zabezpieczeń transformatorów i autotransformatorów.

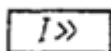
Tabela 2.1 Wymagane zabezpieczenia transformatorów energetycznych

Rodzaj zakłócenia	Moc, MVA		
	do 1,6	1,6-5	>5
Zwarcie wewnętrzne	 lub $I \gg$		$\Delta I \%$
Zwarcie zewnętrzne	$\begin{matrix} t \\ I > \end{matrix}$ lub $\begin{matrix} t \\ I > \\ U < \end{matrix}$		$\begin{matrix} t(Z) \\ Z < \end{matrix}$
Zwarcie doziemne			$\begin{matrix} t \\ I_0 > \end{matrix}$ lub $\begin{matrix} t \\ U_0 > \end{matrix}$
Przeciążenia ruchowe		$\begin{matrix} t \\ I > \end{matrix}$	$\begin{matrix} t(I) \\ I > \end{matrix}$
Obniżenie poziomu oleju, uszkodzenie wewnętrzne	Q		$\begin{matrix} Q \\ V \end{matrix}$
Nadmierny wzrost temperatury		$1^\circ C$	$1^\circ C$ $\begin{matrix} \vartheta_I \\ \vartheta_{II} \end{matrix}$

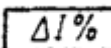
Opis:



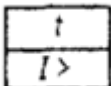
– bezpiecznik



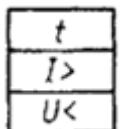
– zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne



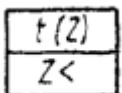
– zabezpieczenie różnicowe



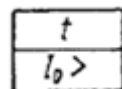
– zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne



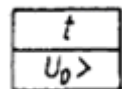
– zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne z blokadą napięciową



– zabezpieczenie odległościowe (podimpedancyjne) z członem zwłocznym zależnym od impedancji



– zabezpieczenie nadprądowe na prąd zerowy z członem zwłocznym



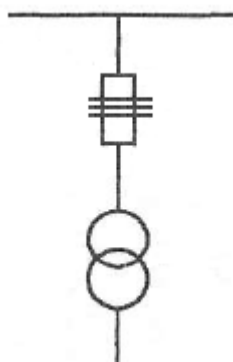
– zabezpieczenie nadnapięciowe na napięcie zerowe z członem zwłocznym

$t(I)$ $I >$	– zabezpieczenie nadprądowe z członem zwłocznym zależnym od prądu
Q	– zabezpieczenie gazowe
Q V	– zabezpieczenie gazowo-przepływowe
$^{\circ}C$	– termometr ze wskaźnikiem temperatury maksymalnej.
ϑ_I ϑ_{II}	– zabezpieczenie termometryczne stopnia I i II

2.1 Zabezpieczenia od zwarć wewnętrznych

Zwarcia wewnątrz kadzi transformator są szczególnie niebezpieczne ze względu na przepływ dużych prądów. Prądy są źródłem dużych sił dynamicznych, a łuk elektryczny powoduje gwałtowne odgazowanie gazu.

Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne. Najprostszym rozwiązaniem jest bezpiecznik.



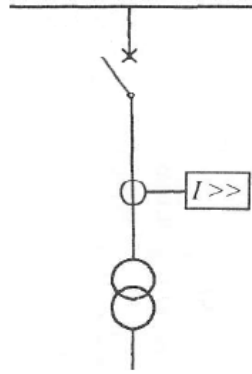
Rys 2.1 Zabezpieczenie transformatora za pomocą bezpiecznika

Prąd wkładki oblicza się to w następujący sposób:

$$I_b = k I_{nTr}$$

gdzie: I_b – prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej, I_n – prąd znamionowy transformatora, k – współczynnik (1,5-3), zależny od prądu znamionowego transformatora.

Innym rozwiązaniem są przekaźniki nadprądowe bezzwłoczne przedstawione na rys. 2.2



Rys. 2.2 Zabezpieczenie transformatora za pomocą przekaźnika nadprądowego bezzwłocznego

Prąd rozruchowy zabezpieczenia wyznacza się z następującego wzoru:

$$I_r \geq \frac{k_b k_s I''_{z \max}}{\mathcal{G}_i}$$

gdzie: $I''_{z \max}$ – maksymalna wartość prądu zwarcia trójfazowego po stronie DN, odniesiony do strony GN transformatora, k_b – współczynnik bezpieczeństwa, uwzględniający udar prądu magnesującego (2-4), k_s – współczynnik bezpieczeństwa (1,3-1,5), k_s – współczynnik schematu (1), \mathcal{G}_i – przekładnia przekładników prądowych.

Współczynnik czułości:

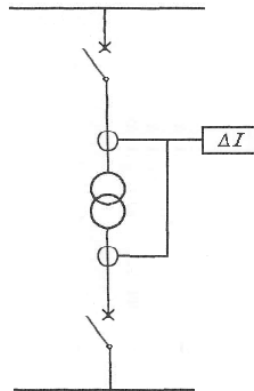
$$k_c = \frac{I_{z \min}}{I_r \mathcal{G}_i} > 2$$

$I_{z \min}$ – prąd zwarcia dwufazowego po stronie GN transformatora, I_r – prąd rozruchowy zabezpieczenia.

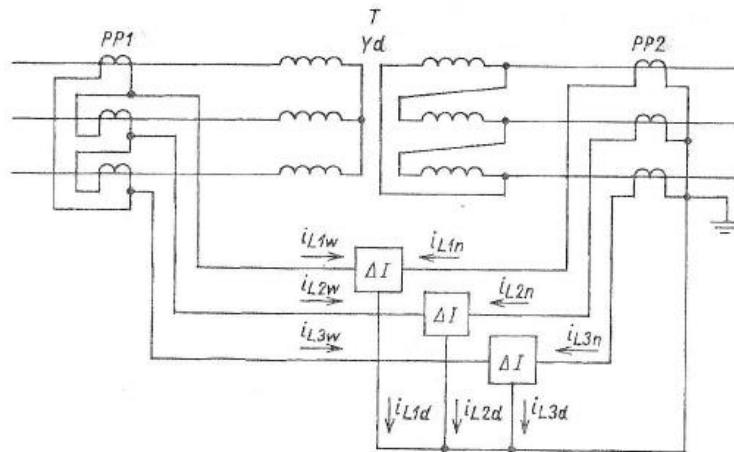
Zabezpieczenie jest zasilane z przekładników prądowych zainstalowanych po każdej stronie zasilania transformatora lub tylko po stronie większej mocy. W przypadku przekroczenia nastawionych wartości następuje podanie impulsu na obustronne wyłączenie transformatora. Zasięg zabezpieczenia jest ograniczony i nie obejmuje części uzwojenia transformatora po stronie dolnego napięcia.

Zabezpieczenie różnicowe. Jest podstawowym zabezpieczeniem dla wszystkich jednostek o mocy powyżej 5 MVA. Jego podstawową zaletą jest to, że przy odpowiedniej czułości reaguje na wszystkie zwarcia w obszarze ograniczonym miejscem zainstalowania przekładników prądowych po obydwu stronach. Mówimy tu nie tylko o zwarciach międzyfazowych czy doziemnych, ale także o zwarciach zwojowych. W strefie chronionej zabezpieczeniem oprócz transformatora znajdują się następujące elementy: odgromniki strony GN, ŚN i DN transformatora; iskierniki; przekładniki napięciowe; most szynowy lub kablowy; izolatory przepustowe i wsporczce oraz odłączniki transformatorowe. Zadziałanie powoduje wyłączenie wszystkich wyłączników łączących transformator z siecią zasilającą i odbiorczą. Stosunkowo prosta zasada działania zabezpieczenia polega na porównaniu prądów wpływających do chronionego obiektu z prądami wypływającymi. Zadziałanie następuje wówczas, gdy w układzie zabezpieczeń pojawi się prąd różnicowy rys.2.4. W czasie normalnej pracy spełniony jest warunek: $-i_{L1w} \approx i_{L1n}$, $-i_{L2w} \approx i_{L2n}$, $-i_{L3w} \approx i_{L3n}$. Dzięki temu prądy różnicowe i_{L1d} , i_{L2d} , i_{L3d} są bliskie zera – brak zadziałania zabezpieczenia. W przypadku zwarcia następuje zmiana kierunku przepływu prądu od przekładników. Prądy różnicowe są różne od zera i następuje pobudzenie urządzenia. Jednak wykonanie

poprawnie działającego zabezpieczenia napotyka poważne trudności. Wynikają one z własności samego transformatora jak i przekładników prądowych.



Rys. 2.3. Schemat ideowy zabezpieczenia różnicowego transformatora

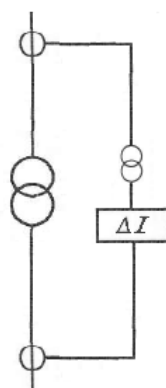


Rys. 2.4. Zasada działania zabezpieczenia różnicowego transformatora

Trudności w realizacji zabezpieczenia są spowodowane:

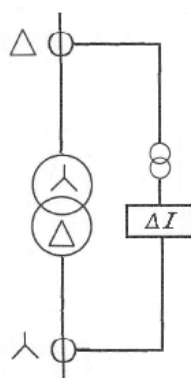
- uchybem (niedokładnością) przekładników prądowych. Znacznie obciążonych po stronie wtórnej lub posiadających małą liczbę przetężeńiową, które transformując duże wartości prądów zwarcia nie zachowują znamionowej przekładni,
- występowaniem różnej przekładni transformatora podczas regulacji napięcia w stanie beznapięciowym lub pod obciążeniem.

Jeżeli różnica prądów po stronie wtórnej przekładników, przy obciążeniu znamionowym, jest większa niż 5% to należy zastosować przekładniki pomocnicze wyrównawcze (lub autotransformatory) pokazane na rys. 2.5.



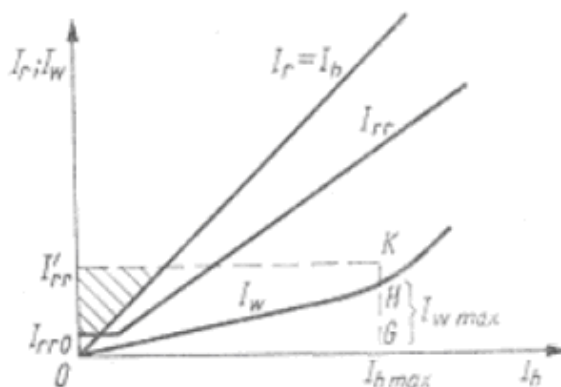
Rys. 2.5 Zabezpieczenie różnicowe transformatora z przekładnikami pomocniczymi wyrównawczymi

Następnym problemem są przesunięcia fazowe prądów strony pierwotnej względem prądów strony wtórnej transformatora w przypadku grup połączeń Dy czy Yd, następstwem, czego jest przesunięcie prądów stron wtórnych przekładników prądowych. Rozwiązaniem tego problemu jest łączenie przekładników prądowych w odpowiednie grupy (rys. 2.6). Przy połączeniu transformatora Yd po stronie gwiazdy urządzenia należy łączyć przekładniki w trójkąt, a po stronie trójkąta w gwiazdę.



Rys. 2.6 Łączenie przekładników prądowych w grupy w zależności od grupy połączeń transformatora

Zabezpieczenie różnicowe stabilizowane obejmuje 100% wszystkich uzwojeń transformatora wraz z doprowadzeniem do przekładników prądowych. Stabilizacja ma na celu uzyskanie możliwie dużej jego czułości przy jednoczesnej niewrażliwości na prąd wyrównawczy, płynący w gałęzi różnicowej zabezpieczenia (między punktami a i b na rys. 2.7).



Rys. 2.7 Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia różnicowego;

I_h - prąd hamujący, I_r - prąd różnicowy, I_w - prąd wyrównawczy,
 I_{rr} - prąd rozruchowy, I_{rr0} - prąd rozruchowy początkowy,
 I'_{rr} - prąd rozruchowy zab. różnicowego niestabilizowanego (odcinek GK),
 I_{wmax} - maksymalny prąd wyrównawczy (odcinek GH)

Charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia (krzywa I_{rr} na rys. 2.7) powinna się znajdować pomiędzy krzywymi I_r i I_w , jednak możliwie blisko krzywej I_r , aby zapobiec przecinaniu się krzywej I_{rr} i I_w . Jak widać stabilizacja umożliwia czulsze nastawienie zabezpieczenia ($I_{rr0} < I'_{rr}$).

Prąd rozruchowy zabezpieczenia różnicowego transformatora powinien spełniać warunek:

$$I_r \leq 0,5 I_{nTr}$$

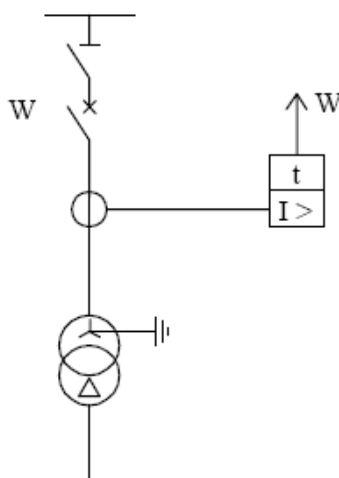
gdzie: I_r – pierwotny prąd rozruchowy zabezpieczenia, I_{nTr} – znamionowy prąd zabezpieczanego transformatora.

Po wyłączeniu transformatora przez zabezpieczenie różnicowe nie można ponownie załączyć go pod napięcie bez wyjaśnienia i usunięcia przyczyny wyłączenia lub wykonania pomiarów stwierdzających sprawność techniczną transformatora i układu zabezpieczeń.

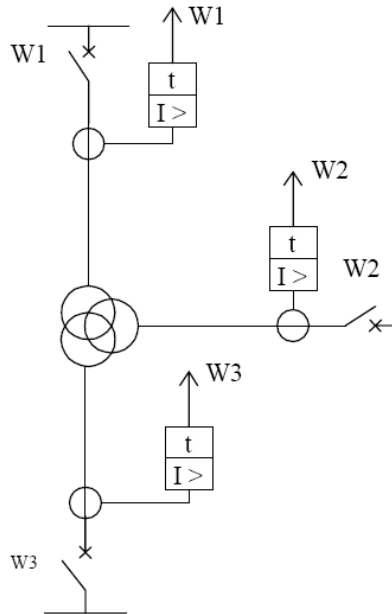
2.2 Zabezpieczenia od zwarć zewnętrznych

Zabezpieczenia od zwarć zewnętrznych stanowią rezerwę dla zabezpieczeń podstawowych jak i elementów zasilanych ze stacji, do której przyłączony jest transformator. Ich zadaniem jest wyłączenie transformatora w przypadku braku eliminacji tych zwarć przez zabezpieczenia podstawowe elementów, w których te zwarcia wystąpiły (szyny zbiorcze, pola odpływowe, itp.). Działają zawsze z opóźnieniem. Zabezpieczenia te działają na otwarcie wyłączników po obu stronach transformatora.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne. Zasilane jest z przekładników prądowych zainstalowanych od strony źródła zasilającego lub, w przypadku zasilania dwustronnego, od strony charakteryzującej się większą mocą zwarciovą. Transformatory dwuuzwojeniowe wyposaża się w jedno zabezpieczenie rys. 2.8, natomiast trójuzwojeniowe w trzy niezależne zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne po stronie każdego z trzech uzwojeń rys. 2.9.



Rys. 2.8 Schemat zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego



Rys. 2.9 Schemat zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego

Opóźnienie działania jest tak dobrane, aby zachować selektywność nie tylko względem zabezpieczeń innych urządzeń zasilanych ze stacji, ale także selektywność otwierania wyłączników poszczególnych stron transformatora $t_1 > t_2 > t_3$. Wyłączona zostaje tylko ta strona, która zasilą bezpośrednio punkt zwarcia. Stosuje się również blokadę kierunkową współpracującą z członem czasowym. W takim przypadku zadziałanie zabezpieczenia zależne jest od kierunku przepływu mocy zwarciowej.

Prąd rozruchowy dobiera się zgodnie ze wzorem:

$$I_r \geq \frac{k_b k_r k_s I_{\max}}{k_p \mathcal{G}_i}$$

przy czym: I_{\max} – prąd największego obciążenia transformatora, \mathcal{G}_i – przekładnia przekładników prądowych, k_b – wsp. bezpieczeństwa (1,2) k_r – wsp. rozruchu silników (2-6), k_s – wsp. schematu (1), k_p – wsp. powrotu (0,85).

Czułość zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego:

$$k_c \geq \frac{I_{z\min}}{I_r \mathcal{G}_i} \geq 1,5$$

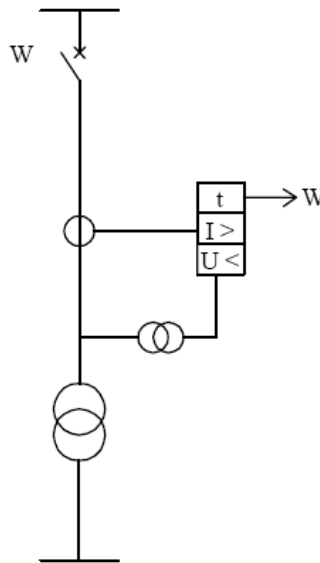
gdzie: $I_{z\min}$ – najmniejsza wartość prądu zwarciowego, dla zwarcia metalicznego w chronionej strefie, I_r – nastawa zabezpieczenia, \mathcal{G}_i – przekładnia przekładników prądowych, k_c – wsp. czułości, nie powinien być mniejszy od 1,5 dla zabezpieczenia podstawowego i 1,2 dla zabezpieczenia rezerwowego.

Opóźnienie działania zabezpieczenia:

$$t = t_{\max} + \Delta t$$

gdzie: t_{\max} – maksymalne opóźnienie działania zabezpieczeń w zasilanych polach po stronie dolnego napięcia transformatora, Δt – stopień koordynacji czasowej zabezpieczeń przyjęty dla danej sieci SN (0,25-0,5)s.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne z blokadą napięciową. Blokada napięciowa znacznie zwiększa czułość zabezpieczenia. Wykorzystuje się tu fakt, że przy zwarciaach następują znacznie głębsze spadki napięcia niż przy obciążeniach. Pobudzenie się przekaźnika nadprądowego i podnapięciowego powoduje zadziałanie zabezpieczenia (rys. 2.10).



Rys. 2.10 Schemat zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne z blokadą napięciową

Napięcie rozruchowe przekaźników podnapięciowych musi spełniać następującą zależność:

$$\frac{k_c U_z}{\mathcal{G}_u} \leq U_r \leq \frac{U_{\min}}{k_b k_p \mathcal{G}_u}$$

przy czym: U_z – największa wartość napięcia na pętli zwarcia pomiędzy punktem zainstalowania zab., a końcem odcinka o największej impedancji, U_{\min} – minimalne napięcie robocze zasilające transformator (0,90-0,95 U_n), \mathcal{G}_u – przekładnia przekładników napięciowych, k_c – wsp. czułości (1,3-1,4), k_b - wsp. bezpieczeństwa (1,1), k_p – wsp. powrotu przekaźnika podnapięciowego (1,2).

Prąd rozruchowy I_r przekaźnika nadprądowego:

$$I_r \geq \frac{k_b k_s}{k_p \mathcal{G}_i} I_{nTr}$$

gdzie: I_{nTr} – prąd znamionowy zabezpieczanego transformatora, \mathcal{G}_i - przekładnia przekładników prądowych, k_b – wsp. bezpieczeństwa (1,1), k_s – wsp. schematu (1), k_p – wsp. powrotu przekaźnika nadprądowego (0,85).

Zainstalowanie zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego z blokadą napięciową dla dwóch identycznych transformatorów pracujących równolegle pozwala na dwukrotne zwiększenie czułości tych zabezpieczeń.

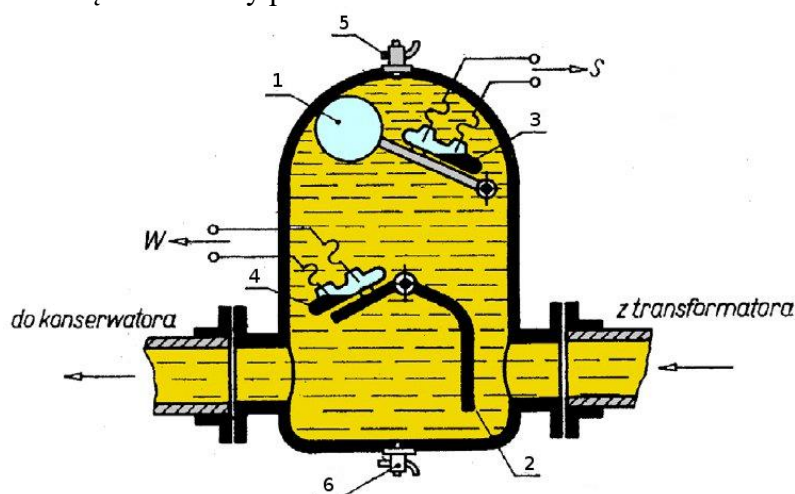
2.3 Zabezpieczenia od uszkodzeń wewnątrz kadzi i od obniżenia poziomu oleju

Zabezpieczenie gazowo - przepływowe zwane również przekaźnikiem Buchholza reaguje na zwarcia wewnątrz kadzi oraz inne uszkodzenia mechaniczne powodujące obniżenie się poziomu oleju. Według krajowych przepisów zabezpieczenie to należy stosować we wszystkich jednostkach o mocy powyżej 1MVA. Reaguje ono na wydzielanie się gazów

na skutek rozkładu termicznego izolacji stałej oraz obniżenie się poziomu oleju na wskutek wycieków z kadzi. Wielkościami pomiarowymi są:

- objętość gazowa produktów rozkładu materiałów izolacyjnych,
- ciśnienie mieszanki olejowo-gazowej wewnątrz kadzi transformatora,
- prędkość przepływu oleju z kadzi do konserwatora, zależna od ciśnienia w kadzi.

Przełącznik gazowo – przepływowy jest wykonany w postaci niewielkiego zamkniętego naczynia z dwoma przeciwległe położonymi otworami, wbudowanego w przewód rurowy, prowadzący z kadzi transformatora od konserwatora (rys. 2.11). Wewnątrz naczynia znajdują się dwa człony przełącznika: sygnalizacyjny i wyłączeniowy. Zadaniem członu sygnalizacyjnego (pierwszy stopień) jest sygnalizowanie obniżenia się poziomu oleju wewnątrz obudowy przełącznika. Zadaniem członu wyłączeniowego (drugi stopień) jest spowodowanie wyłączenia transformatora w przypadku przepływu oleju z kadzi do konserwatora z określoną prędkością i ewentualnie także w przypadku określonego (znacznego) obniżenia się poziomu oleju wewnątrz obudowy przełącznika.



Rys. 2.11 Schemat przełącznika gazowo – przepływowego: 1 – pływak, 2 – płytkę przepływową, 3 – łącznik rtęciowy, 4 – łącznik rtęciowy, 5 – kurek do odpowietrzania przełącznika i pobierania próbek gazu, 6- kurek spustowy do opróżniania przełącznika z oleju.

Wyladowania ślizgowe powodują, pod wpływem lokalnego, znacznego wzrostu temperatury izolacji uzwojenia oraz oleju transformatorowego, wydzielanie się pęcherzyków gazowych. Pęcherzyki te wędrując ku górze dostają się do przełącznika gazowo - przepływowego, zbierają się w jego górnej części i powodują opadnięcie poziomu oleju w tym przełączniku. Gdy w przełączniku nagromadzi się ok. 250 cm³ gazu, opuszczający się stopniowo górny pływak spowoduje zamknięcie zestyku obwodu sygnałowego. Pobiera się z niego gaz do oceny jego składu, pomocnej w oszacowaniu rodzaju uszkodzenia. Już barwa gazu może wstępnie sugerować rodzaj uszkodzenia:

- gaz biało-szary, niepalny – uszkodzenie izolacji uzwojeń,
- gaz żółty – uszkodzenie drewnianych części mocujących,
- gaz szary lub ciemnoszary, palny – rozkład oleju.

Wadą przełącznika gazowo-przepływowego jest stosunkowo częste błędne działanie, zwłaszcza drugiego stopnia. Jest on jednak powszechnie stosowany, gdyż szybko i bezbłędnie reaguje na obniżenie się poziomu oleju w kadzi i sygnalizuje zwarcia wewnętrzne. Transformator bez konserwatora z poduszką azotową wyposaża się w przełącznik manometryczny (ciśnieniowy) dwustopniowy, który działa na sygnał i wyłączenie.

2.4 Zabezpieczenia od przeciążeń ruchowych

Przeciążenia ruchowe transformatora powodują nadmierne nagrzewanie jego uzwojeń oraz przyspieszenie procesu starzenia się izolacji. W tym czasie izolacja staje się coraz bardziej krucha, a tym samym podatna na uszkodzenia wskutek działania sił dynamicznych prądu i przepięć. Prądy odpowiadające przeciążeniom ruchowym nie przekraczają kilkakrotnej wartości prądu znamionowego.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne niezależne jest najprostszym zabezpieczeniem. Reaguje jedynie na zmianę wartości prądu obciążenia transformatora, nie uwzględniając rzeczywistych zmian temperatury uzwojeń i oleju. Instalowane jest po jednej stronie (tylko w jednej fazie ze wzg. na symetryczny charakter przeciążenia) – transformator dwuuzwojeniowy, albo po każdej stronie dla transformatora trójuzwojeniowego.

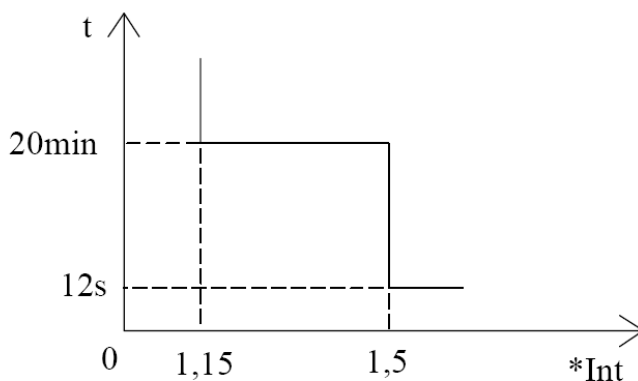
Prąd rozruchowy zabezpieczenia od przeciążeń ruchowych:

$$I_r \geq \frac{k_b I_{nT}}{k_p \mathcal{G}_i}$$

gdzie: I_{nT} – prąd znamionowy transformatora, \mathcal{G}_i – przekładnia przekładników prądowych, k_b – współczynnik bezpieczeństwa (1,05), k_p – współczynnik powrotu przekaźnika nadprądowego (0,85-0,9)

Nastawiana zwłoka czasowa wynosi od 6 s do 12 s, a czasem nawet do 20 s. Zabezpieczenie to działa na sygnał.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne zależne umożliwia wykorzystanie przeciążalności transformatora przy jednoczesnym zachowaniu ciągłości ruchu i braku zbędnej sygnalizacji przeciążenia charakterystyczne dla zabezpieczenia nadprądowego niezależnego zwłocznego. Najprostszym przykładem takiego zabezpieczenia jest układ składający się z dwóch przekaźników czasowych o różnych nastawieniach prądu rozruchowego i opóźnienie czasu ich działania w sposób przedstawiony na rys. 2.12.



Rys. 2.12 Charakterystyka zabezpieczenia od przeciążeń nadprądowego zwłocznego zależnego

Przekaźnik nadprądowy z niższym nastawieniem prądu rozruchowego (około 115% prądu znamionowego transformatora) działa z długim czasem wynoszącym 20 min. Natomiast przekaźnik nadprądowy z wyższym nastawieniem prądu rozruchowego (około 150% prądu znamionowego transformatora) działa z czasem 12s. Zabezpieczenie to nie reaguje na wzrost temperatury oleju spowodowany innymi przyczynami poza przeciążeniem prądowym jak: zakłócenie w obiegu czynników chłodzących, wzrost strat w żelazie, nadmierne nagrzewanie kadzi transformatora spowodowane silnym nasłonecznieniem itp.

Zabezpieczenie oparte na modelu cieplnym. Jest to najlepsze rozwiązanie techniczne zabezpieczenia od przeciążeń ruchowych transformatora. Stosowane jest w celu odtworzenia temperatury najgorętszego punktu w uzwojeniach. Zabezpieczenie instalowane jest dla transformatorów powyżej 100 MVA i dostarczane wraz z nim przez wytwórcę. Charakterystyka nagrzewania modelu odpowiada charakterystyce nagrzewania transformatora, temperatura modelu odwzorowuje temperaturę w uzwojeniach w stanach ustalonych oraz przejściowych. Wbudowany w model termometr rezystancyjny ma dwa stopnie – pierwszy (105°C) działa na sygnał, drugi (110 °C) – sygnał i załączenie układu chłodzenia. Zaletą modelu cieplnego jest jego stosunkowo prosta konstrukcja oraz przydatność do zabezpieczania transformatora od przeciążeń spowodowanych zakłóceniami w obiegu czynników chłodzących (olej, powietrze) lub wzrostem strat w rdzeniu transformatora.

2.5 Zabezpieczenia od nadmiernego wzrostu temperatury

Zabezpieczeniem od nadmiernego wzrostu temperatury stosowane jest do ochrony od przeciążeń. Jest prostszą i tańszą metodą, choć mniej dokładną w porównaniu z modelem cieplnym. Występuje w postaci różnego rodzaju termometrów, które są instalowane w gniazdach termometrycznych w pokrywie transformatora. W przypadku transformatorów olejowych ocenę stanu przeciążenia dokonuje się przez pomiar temperatury górnej warstwy oleju. W normalnych warunkach temperatura uzwojeń jest o 10-20°C wyższa niż temperatura oleju. Dla małych jednostek stosujemy jednostopniowe termotery stykowe, natomiast dla transformatorów o mocach większych niż 5 MVA dwustopniowe. Pierwszy stopień nastawia się zazwyczaj na 85°C, drugi zaś na 95°C. Oba stopnie działają na sygnalizację. W transformatorach z wymuszonym chłodzeniem stosuje się zestaw dwóch termometrów stykowych dwustopniowych. Jeden do sygnalizacji przekroczenia dopuszczalnej temperatury, drugi do współpracy z układem chłodzenia.

Tabela 2.2 Zestawy termometrów zależne od mocy transformatora

Moc transformatora, MVA	Zestawy termometrów
0,315<	wskazujący
0,315-1	wskazujący ze wskaźnikiem maksymalnej temperatury
1-10	wskazujący kontaktowy jednostykowy ze zdalną sygnalizacją maksymalnej temperatury uzwojenia lub oleju transformatora
10-16	wskazujący kontaktowy dwustykowy ze zdalną sygnalizacją przekroczenia dopuszczalnej temperatury
>16	zestaw dwóch termometrów wskazujących z układem chłodzenia transformatora i zdalną sygnalizacją przekroczenia dopuszczalnych temperatur

Zestawy termometrów dla transformatorów o mocach >16 MVA:

- 55°C – uruchomienie pierwszej grupy wentylatorów,
- 65°C – sygnalizacja zadziałania pierwszego stopnia zabezpieczenia termicznego ,
- 75°C – uruchomienie drugiej grupy wentylatorów,
- 85°C – sygnalizacja lub sygnalizacja i wyłączenie przez drugi stopień zabezpieczenia termometrycznego.

Szczególnym rodzajem zabezpieczenia termometrycznego jest wskaźnik maksymalnej temperatury typu „Bewag”. Mocowany jest w częściowo napełnionej olejem kieszenie

znajdującej się na pokrywie transformatora. Głównym elementem tego wskaźnika jest wyzwalacz termobimetalowy o zakresie nastawczym od 60°C do 140°C. Wyzwalacz ten działa, gdy temperatura w górnej warstwie oleju w kadzi osiągnie wartość nastawioną (zazwyczaj od 95°C do 105°C).

2.6. Wymagania stawiane zabezpieczeniom transformatorów

Zabezpieczeniom transformatorów można postawić następujące wymagania:

- wyłączanie z minimalnym opóźnieniem przy zwarcjach międzyfazowych i doziemnych wewnątrz kadzi, co zapewnia utrzymanie stabilności systemu oraz ogranicza stopień uszkodzeń, przede wszystkim nie dopuszczając do wybuchu kadzi;
- wyłączanie z minimalnym opóźnieniem przy zwarcjach zwojowych, co ogranicza stopień uszkodzeń i nie dopuszcza do wybuchu kadzi;
- wyłączenie z minimalnym opóźnieniem przy zwarcjach wielkoprądowych w polach transformatora (pomiędzy wyłącznikami a kadzią);
- niedopuszczenie do długotrwałego nadmiernego wzrostu temperatury uzwojeń, co mogłoby grozić zmniejszeniem trwałości użytkowej izolacji (można to uzyskać przez pomiar temperatury górnych warstw oleju oraz oszacowanie temperatury najgorętszego miejsca w uzwojeniach);
- niedopuszczenie do długotrwałego nadmiernego wzrostu strumienia w rdzeniu, co może grozić lokalnym przegrzaniem rdzenia i jego elementów konstrukcyjnych;
- niedopuszczenie do występowania prądów zwarć zewnętrznych, które mogłyby spowodować przekroczenie granic wytrzymałości cieplnej i dynamicznej, dopuszczalnych ze względu na warunki cieplne i ograniczenia mechaniczne;
- zapewnienie rezerwowania w przypadku zawodnego działania zabezpieczeń lub wyłączników;
- zapewnienie możliwości sprawdzenia zabezpieczeń bez konieczności wyłączania transformatora;
- sygnalizowanie stanów zagrożenia, wynikających z osłabienia izolacji lub lokalnego przegrzania uzwojeń;
- niedopuszczenie do przedwczesnego wyłączania transformatora przy znacznych obciążeniach oraz zwarcjach zewnętrznych.

W związku z tym, podstawowym zabezpieczeniem zwarciovym stawia się ostre wymagania dotyczące czułości (reagowania już przy zwarciu pojedynczego zwoju) oraz minimalnego opóźnienia w działaniu, nieprzekraczającego czasu rzędu dziesiątych części sekundy.

3. Charakterystyka zabezpieczeń Typu SMAZ ZT-10 i ZT-20

3.1. Zabezpieczenie ZT - 10

Zespół zabezpieczeń transformatora ZT - 10 jest przeznaczony do zabezpieczeń strony średniego napięcia transformatorów rozdzielczych 110 kV / SN o mocy do 63 MV·A. Jest on wykonany w technice półprzewodnikowej w oparciu o podzespoły SMAZ (system modułowy automatyki zabezpieczeniowej). Zespół przystosowany jest do współpracy z układami telemechaniki w zakresie sygnalizacji i zdalnego sterowania wyłącznika. W skład ZT - 10 wchodzi następujące zabezpieczenia i układy automatyki:

- a) zabezpieczenia:
 - zabezpieczenie zwarciove, nadprądowo - czasowe trójfazowe - działa na wyłączenie wyłącznika;
 - zabezpieczenie przeciążeniowe nadprądowo - czasowe trójfazowe - działające na sygnalizację;
- b) układy automatyki
 - układ blokady sygnału w wypadku wyłączenia transformatora przez telemechanikę lub sterownikiem;
 - układ stanu zbrojenia wyłącznika;
 - blokada wyłącznika przed „pompowaniem” (ciągłe załączanie i wyłączanie wyłącznika na skutek awarii układu sterowania);
 - układ przyspieszający zadziałanie zabezpieczeń w przypadku załączenia transformatora na zwarcie sterownikiem lub przez telemechanikę;
 - zestyki wyłączenia BKR (bateria kondensatorów);
 - układ do zabezpieczenia szyn zbiorczych;
 - układ testowania i kontroli.

Konstrukcyjnie w skład zespołu ZT - 10 wchodzi następujące elementy:

- blok wejściowy BWT -101 / pole nr 1 /;
- komponent IT_x - zabezpieczenie przeciążeniowe / pole nr 4 /;
- komponent IT_x - zabezpieczenie zwarciove / pole nr 5 /;
- komponent sygnalizacji S x 6 / pole nr 6 /;
- na komponencie znajduje się sześć diod, których świecenie oznacza :
 - ⊗ $I>>$ - pobudzenie zabezpieczenia zwarciovego;
 - ⊗ $>> T$ - zadziałanie zabezpieczenia zwarciovego;
 - ⊗ $I>T$ - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego;
 - ⊗ RN - rozbrojenie napędu wyłącznika;
 - ⊗ Z_{sz} - zadziałanie zabezpieczenia szyn zbiorczych;
 - ⊗ U_p - sygnalizacja ostrzegawcza.

Pozostałe elementy to:

- blok wyjściowy BYT - 101 / pole nr 11 /,
znajduje się tu jedna dioda, której świecenie oznacza uszkodzenie zasilacza;
- zasilacz BZ - 15 / pole nr 14 /;
- komponent testowania i pomiarów kontrolnych / pole nr 18 /;
- blok automatyki BAT / pole nr 7 /;
- komponent czasowy T_x / pole nr 10 /.

Sposób nastawiania wartości rozruchowych

- dokonuje się przez wciśnięcie i przekręcenie o 90° przycisku nastawnika. Wartość nastawiona równa jest sumie wartości wciśniętych przycisków oraz wartości początkowej podanej nad nastawnikiem.

3.2. Zabezpieczenie ZT - 20

Zespół zabezpieczeń transformatora ZT - 20 przeznaczony jest do zabezpieczeń strony WN transformatorów mocy dwu- i trójzwojennych w stacjach uproszczonych. Stanowi on kompletne wyposażenie pola transformatora po stronie 110 kV w zakresie wymaganych zabezpieczeń i automatyki dla układu rozdzielni H1 i H3. Wykonany jest w technice półprzewodnikowej i wymaga pomocniczego napięcia stałego. Przystosowany jest on również do współpracy z innymi układami telemechaniki, telesygnalizacją i telesterowaniem.

W skład zespołu wchodzi następujące zabezpieczenia i układy:

a) zabezpieczenia

- zabezpieczenie różnicowe wzdłużne - działa na otwarcie wyłącznika strony SN, blokowanie SZR (samoczynne załączenie rezerwy) 110 kV, otwarcie wyłączników linii i poprzeczki oraz pobudzenie automatyki PZW (ponowne załączenie wyłącznika) /dla układu H3/, otwarcie wyłącznika poprzeczki, pobudzenie automatyki SPZ (samoczynne ponowne załączenie) 110 kV oraz zamknięcie zwieracza /dla układu pracy H1/, pobudzenie układu rezerwy zdalnej, pobudzenie sygnalizacji wewnętrznej, pobudzenie zbiorczej sygnalizacji działania zabezpieczeń, pobudzenie sygnalizacji lokalnej.

Blok wejściowy zabezpieczenia różnicowego zawiera przekładniki pośredniczące, które dostarczają odpowiednich napięć do układu pomiarowego. Przekładniki gałęzi podłużnej dostarczają napięcia hamującego, jeden przekładnik gałęzi poprzecznej dostarcza napięcia rozruchowego, a drugi zasila układy filtrów 2-giej i 5-tej harmonicznej. Napięcia rozruchowe i hamujące po odpowiedniej obróbce podawane są na I stopień układu pomiarowego o progu rozruchowym zależnym od nastawienia nastawnika. Gdy sygnał wejściowy jest wyższy od progu rozruchowego zostaje podany na drugi stopień układu pomiarowego. Jeśli czas trwania tego sygnału będzie dłuższy od czasu rozruchowego układu pomiarowego II stopnia zostaje pobudzony człon wykonawczy, powodujący podanie sygnału na wyłączenie ze zwłoką około 15 ms. Zabezpieczenie jest odstrajane od udarów prądu magnesowania występujących w momencie załączenia transformatora przy pomocy napięcia z filtru 2 harmonicznej, która blokuje działanie zabezpieczenia. W przypadku przewzbudzenia transformatora przy nagłym wzroście napięcia, występująca w prądzie różnicowym 5 - ta harmoniczna wykorzystywana jest do blokowania zabezpieczenia. Ponadto w skład zabezpieczenia wchodzi układy blokujące jego działanie przy zaniku napięcia pomocniczego, przy załączaniu napięć zasilających oraz układ realizujący histerezę działania.

b) układy automatyki

- układ do współpracy z zabezpieczeniami przepływowymi transformatora i przełącznika zaczepów - zawiera człon wykonawczy tych zabezpieczeń, które powodują : otwarcie wyłącznika SN, blokowanie SZR 110 kV, pobudzenie układu rezerwy zdalnej, otwarcie wyłączników poprzeczki i linii oraz pobudzenie automatyki PZW / dla układu pracy H 3 /, otwarcie wyłącznika poprzeczki, zamknięcie zwiernika i pobudzenie SPZ / dla układu pracy H1 /, pobudzenie sygnalizacji wewnętrznej, pobudzenie zbiorczej telesygnalizacji zadziałania zabezpieczeń, pobudzenie sygnalizacji lokalnej;
- układ do współpracy z zabezpieczeniami gazowymi transformatora zawiera człon wykonawczy tych zabezpieczeń i działa na: pobudzenie sygnalizacji wewnętrznej, pobudzenie sygnalizacji lokalnej, pobudzenie sygnalizacji akustycznej i pobudzenie telesygnalizacji;
- układ do współpracy z zabezpieczeniami temperaturowymi transformatora zawiera człon wykonawczy tych zabezpieczeń i działa na: pobudzenie sygnalizacji wewnętrznej;

- nej, pobudzenie sygnalizacji lokalnej, pobudzenie sygnalizacji akustycznej, pobudzenie telesygnalizacji. Człon zabezpieczenia temperaturowego II^o powoduje otwarcie wyłącznika SN oraz przerwanie pobudzenia sygnalizacji akustycznej;
- układ pobudzenia rezerwy zdalnej w przypadku nie otwarcia wyłączników poprzeczki i linii najbliższych zabezpieczonemu transformatorowi wysyła impulsy na: otwarcie wyłączników w polach liniowych w sąsiednich stacjach, /dla układu H1/, otwarcie wyłącznika na drugim końcu własnej linii oraz wyłączenie w polu linii sąsiednich transformatora /dla układu H3/;
 - układ otwierania odłącznika szybkiego realizuje otwarcie odłącznika szybkiego /dla układu H1/ w przerwie beznapięciowej po zamknięciu zwiernika i zaniku prądu płynącego przez zwiernik;
 - układ automatyki PZW umożliwia ponowne zamknięcie wyłączników poprzeczki i linii / dla układu H3/ po otwarciu odłącznika szybkiego transformatora;
 - układ sygnalizacji wewnętrznej;
 - układ testowania;
 - układ do współpracy z sygnalizacją lokalną, telesygnalizacją i sygnalizacją akustyczną.

Nastawień możemy dokonywać analogicznie jak przy zabezpieczeniu ZT – 10 omówionym w poprzednim rozdziale na następujących komponentach :

- | | |
|--|-------------------------|
| – zabezpieczenie nadmiarowo prądowe czasowe | - komponent ITx pole 37 |
| – zabezpieczenie przeciążeniowe | - komponent ITx pole 38 |
| – człon prądowy zwiernika | - komponent Ix pole 39 |
| – zabezpieczenie różnicowe | - komponent Wx pole 42 |
| – automatyka PZW czas, po którym wysyłany jest impuls / dolna połowa / | - komponent Tx pole 5 |
| – rezerwa zdalna - czas, po którym wysyłany jest impuls / dolna połowa / | - komponent Tx pole |

Zespół zabezpieczeniowy ZT -20 jest wykonany w systemie SMAZ w skład którego wchodzi następujące części składowe:

- blok wejściowy dla zabezpieczeń nadprądowych BWT - 202 / pole 25 /;
- blok wejściowy /3 x / dla zabezpieczenia różnicowego BWT- 201 / pole 28,31,34 /;
- komponent pomiarowy zabezpieczenia różnicowego Mx / pole 40 /;
- komponent filtrów aktywnych zabezpieczenia różnicowego Fax / pole 41/;
- komponent wykonawczy dla zabezpieczenia różnicowego Wx / pole 42 /;
- komponent nadmiarowo czasowy zwarcia ITx ($I >> T$) / pole 37 /;
- komponent nadmiarowo czasowy przeciążeniowy ITx ($I > T$) / pole 38 /;
- komponent prądów zwieracza Ix / pole 39 /;
- komponent sygnalizacji wewnętrznej S x 8 / pole 44 /
na tym komponencie znajduje się 8 diod luminescencyjnych, których świecenie oznacza :

- ⊗ II BT - zadziałanie zabezpieczenia przepływowego transformatora
- ⊗ BTZ - zadziałanie zabezpieczenia przepływowego przełącznika zaczepów
- ⊗ $I > T$ - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego
- ⊗ I BT - zadziałanie zabezpieczenia gazowego transformatora
- ⊗ I TK - zadziałanie pierwszego stopnia zabezpieczenia temperaturowego
- ⊗ II TK -zadziałanie drugiego stopnia zabezpieczenia temperaturowego
- ⊗ PZW - zadziałanie automatyki PZW
- ⊗ I_z - zadziałanie członu prądowego zwieracza
- komponenty sygnalizacji wewnętrznej Sx 5 / pole 45 /

na tym komponencie znajduje się pięć diod luminescencyjnych, których świecenie oznacza:

- ⊗ ΔI - zadziałanie zabezpieczenia różnicowego
- ⊗ $I >>$ - pobudzenie zabezpieczenia nadmiarowo prądowego zwarciovego
- ⊗ $I >> T$ - zadziałanie zabezpieczenia nadmiarowo prądowego zwarciovego
- ⊗ $\sim 380V$ - zanik napięcia
- ⊗ U_p - sygnalizacja ostrzegawcza
 - komponenty dwuczaskowe Tx / pole 4, 5, 43 /
 - dla współpracy z zabezpieczeniami wewnętrznymi transformatora i przełącznika zaczepów;
 - dla automatyki PZW;
 - dla otwierania odłącznika szybkiego i rezerwy zdalnej;
 - komponent licznika PZW LxT - 201 / pole 6 /;
 - blok automatyki BAT - 201 / pole 1 /;
 - blok automatyki BAT - 202 / pole 8 /;
 - blok wyjściowy BYT - 201 / pole 11 /;
 - blok wyjściowy BYT - 202 / pole 14 /;
 - bloki zasilające BZ - 15 / pole 17, 21 /;
 - na tych blokach znajdują się diody luminescencyjne, których świecenie oznacza spalanie bezpiecznika bądź uszkodzenie zasilacza
 - komponent testu dla zabezpieczeń nadprądowych / pole 46 /.

3.3. Przekaznik gazowo - przepływowy Buchholza

Na wykonanym stanowisku laboratoryjnym został zainstalowany przekaznik gazowo przepływowy kadzi - popularnie nazwany od imienia konstruktora przekaznikiem Buchholza. Przekaznik ten do celów poznawczych i dydaktycznych został odpowiednio przygotowany. Dokonano wycięcia pewnych fragmentów obudowy, z czego powstał przekrój, który pozwala obejrzeć i poznać wnętrze samego przekaznika przy zachowaniu wszystkich jego elementów w stanie funkcjonalnym i umożliwiającym zasymulowanie jego działania. Ponieważ wywołanie odpowiednich przepływów oleju jak również wydzielanie się gazów powodujące zadziałanie przekaznika w laboratorium jest niemożliwe, wykonano dźwignkę, której ręczne przesunięcie symuluje zwiększony przepływ oleju -poruszając płytkę wraz z dolnym pływakiem. Efektem tego będzie wyłączenie odpowiednich wyłączników na modelu stanowiska. Wydzielanie się gazów i działanie górnego pływaka dokonuje się poprzez ręczne jego poruszanie. Wynikiem tego działania jest pojawienie się sygnalizacji na stanowisku. Możliwe jest również zasymulowanie działania za pomocą przycisku testującego na samym przekazniku. Przekaznik Buchholza po zasymulowaniu działania zamyka swoje styki podając impuls do zabezpieczenia ZT - 20, które steruje modelami wyłączników. Tak wykorzystany i dostosowany przekaznik pozwala na zapoznanie się z jego działaniem od strony praktycznej, oraz powiązania wiadomości wyniesionych z wykładów.

3.4. Zabezpieczenie temperaturowe I i II stopnia

W modelu stworzono również możliwość funkcjonalnego sprawdzenia zabezpieczenia temperaturowego. W rzeczywistości w zabezpieczeniu temperaturowym po przekroczeniu pewnych ustalonych wartości temperatur termometry zamykają swoje styki powodując tym samym pobudzenie odpowiednich zabezpieczeń działających na sygnalizację bądź na wyłączenie. Tak jak przy zabezpieczeniu gazowo - przepływowym i w tym przypadku kłopotliwe byłoby instalowanie termometrów i podgrzewanie ich do określonych temperatur. W stanowisko wmontowano dwa wyłączniki, które symulują zamykanie styków przez termometry. Jeden symuluje I stopień zabezpieczenia termometrycznego powodując za-

działanie sygnalizacji na stanowisku, drugi wyłącznik symuluje II stopień zabezpieczenia termometrycznego podając impuls do zabezpieczenia ZT - 20 sterującego wyłącznikami. Zanik impulsów następuje po wyłączeniu wyłącznika.

Uwaga

1) Przekładniki

W czasie ćwiczenia należy zwrócić szczególną uwagę aby obwody wtórne przekładników prądowych były stale dołączone do zabezpieczeń bądź zwarte (dopuszczalne jest nie zwierranie strony wtórnej przekładników prądowych w przypadku gdy transformator badawczy nie jest zasilany).

2) Transformator

Na modelu stanowiska istnieje możliwość realizacji dwóch grup połączeń transformatora $Yy0, Yd11$. Zasilanie uzwojeń pierwotnych (A, B, C), oraz odejściowych (a, b, c) jest wykonane na stałe, należy wykonać tylko połączenia wewnętrzne odpowiedniej grupy połączeń na schemacie znajdującym się na stanowisku. Przy połączeniu uzwojenia w gwiazdę należy połączyć punkt wspólny poszczególnych uzwojeń z zaciskiem „N” odpowiednio dla uzwojenia pierwotnego i wtórnego.

3) Wyłączniki

Załączenie wyłączników odbywa się po podaniu napięcia na 220V DC i załączeniu sterownika zgodnie z oznaczeniem. Sygnalizowane jest to świeceniem modelu wyłącznika (kolor zielony - wyłącznik załączony, kolor czerwony - wyłącznik wyłączony). Jeśli położenie sterownika jest niezgodne z położeniem wyłącznika (np. wyłącznik załączony a sterownik na wyłącz) nastąpi zaświecenie się sterownika. Wyłączanie wyłączników realizowane jest poprzez zabezpieczenia ZT - 10 i ZT - 20 po wystąpieniu zakłócenia lub testowaniu zabezpieczenia, o ile wyłączniki na stanowisku (test i praca dla zabezpieczeń) znajdują się w pozycji praca. Możliwe jest również ręczne wyłączanie wyłączników przy użyciu sterownika.

5) Zakłócenie

Zakłócenia w postaci zwarc realizowane są przy prądzie ograniczonym przez rezystancje. W szufladzie stołu znajdują się odpowiednie rezystory, które są załączane stycznikami. Na zewnątrz szuflady wyprowadzone są 4 zaciski laboratoryjne i 4 przyciski załączające styczniki. Dwa „mniejsze” zaciski przeznaczone są do połączenia przewodów, którymi realizuje się zwarcia po stronie pierwotnej czyli (WN transformatora), dwa „większe” dla realizacji zwarc po stronie wtórnej czyli (SN transformatora). Załączenie następuje przy jednoczesnym wciśnięciu obydwu przycisków sterujących położonych w jednej linii z zaciskami.

4. Przebieg ćwiczenia

4.1. Sprawdzenie działania zabezpieczeń dla transformatora o grupie połączeń Yy0

Zwarcia

Po zmontowaniu układu według schematu i dołączeniu zasilania na bocznej ścianie stanowiska należy na pulpicie załączyć 220 V DC oraz 380 V AC. Wyłączniki na stanowisku ustawić w pozycji załącz za pomocą sterowników (w przypadku, kiedy wyłącznik nie daje się załączyć w polu 37 ustawić max wartość prądu, załączyć wyłącznik, a następnie powrócić do poprzedniej nastawy). Przyciski zabezpieczeń „test” i „praca” obydwu zabezpieczeń ustawić w pozycji praca. Dla odpowiednich nastaw na komponentach zabezpieczeń ZT - 20 i ZT - 10 podanych przez prowadzącego w układzie wykonać po kilka zwarc w oznaczonych miejscach odpowiednio dla strony WN i SN. Po każdorazowym zwarcu w miejscach wskazanych na Rys.4.1. należy wykasować sygnalizację na stanowisku i zabezpieczeniach przyciskami „kasowanie”. Wyniki zamieścić w tablicy 4.1, a wnioski przedstawić w sprawozdaniu.

Przeciążenia

Po połączeniu układu jak poprzednio wyłączniki na stanowisku ustawić w pozycji „załącz” za pomocą sterowników (w przypadku, kiedy wyłącznik nie daje się załączyć w polu 37 ustawić max wartość prądu, załączyć wyłącznik, a następnie powrócić do poprzedniej nastawy). Przyciski zabezpieczeń „test” i „praca” obydwu zabezpieczeń ustawić w pozycji praca. Za pomocą trójfazowego autotransformatora symulującego wzrost obciążenia stopniowo zwiększać jego wartość obserwując sygnalizację poszczególnych zespołów zabezpieczeniowych notując wartości prądów płynących w gałęziach zabezpieczenia różnicowego. Wyniki zanotować w tablicy 4.1.

Tablica 4.1. Wyniki pomiarów

Miejsce zwarcia wg schematu: Rys. 4.1.	Pobudzenie na ZT - 10	Pobudzenie na ZT - 20	Zadziałanie sy- gnalizacji na sta- nowisku	Reakcja wy- łączników
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
Przeciążenie				

Przykładowe opisy pobudzeń:

ΔI - zadziałanie zabezpieczenia różnicowego;

$I >>$ - pobudzenie zabezpieczenia nadmiarowo prądowego zwarciovego;

$I >> T$ - zadziałanie zabezpieczenia nadmiarowo prądowego zwarciovego;

II BT - zadziałanie zabezpieczenia przepływowego transformatora;

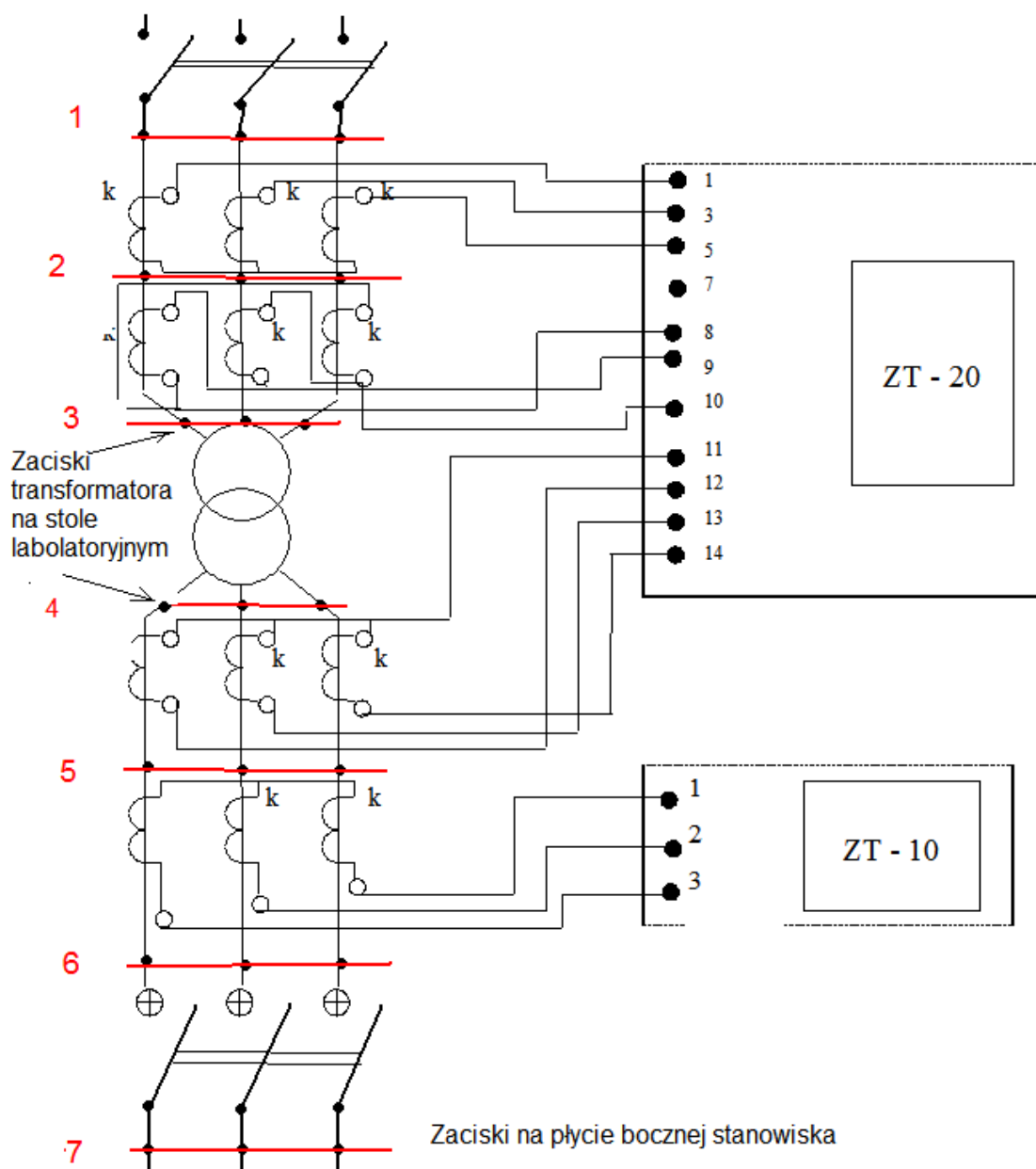
BTZ - zadziałanie zabezpieczenia przepływowego przełącznika zaczepów;

$I > T$ - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego;

I BT - zadziałanie zabezpieczenia gazowego transformatora;

I TK - zadziałanie pierwszego stopnia zabezpieczenia temperaturowego;

II TK -zadziałanie drugiego stopnia zabezpieczenia temperaturowego.



Rys. 4.1. Miejsca zwarć na tablicy synoptycznej stanowiska

4.2. Sprawdzenie funkcjonalności działania poszczególnych zabezpieczeń

Korzystając z zabezpieczeń znajdujących się na stanowisku należy wymusić ich zadziałanie i obserwować jaki ma to wpływ na wyłączniki i sygnalizację na stanowisku i samych zabezpieczeniach. Wyłączniki „test” oraz „praca” obydwu zabezpieczeń ustawiamy w pozycji praca. Po każdorazowym wymuszeniu zadziałania poszczególnych zabezpieczeń wykasować sygnały przyciskami „Kas” na zabezpieczeniu ZT - 10 i ZT - 20 oraz przyciskiem „kasowanie” na stanowisku a wyłączniki ustawić na załącz przy użyciu sterowników. Obserwacje notujemy w tablicy 4.2.

Tablica 4.2. Wyniki pomiarów i badań

Lp.	Wymuszenie zadziałania zabezpieczenia	Sygnalizacja na stanowisku	Sygnalizacja na		Reakcja wyłączników
			ZT - 10	ZT - 20	
1	I ^o stopień temperaturowy (wyłącznik na stanowisku)				
2	II ^o stopień temperaturowy (wyłącznik na stanowisku)				
3	przełącznik Buchholza górny pływak (należy poruszyć nim)				
4	przełącznik Buchholza dolny pływak (należy poruszyć nim)				
5	przełącznik Buchholza (przycisnąć przycisk testujący na przełączniku)				
6	ZT - 10 (przycisnąć przycisk test na zabezpieczeniu)				
7	ZT - 20 (przycisnąć przycisk test na zabezpieczeniu)				

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonego ćwiczenia należy napisać wnioski dotyczące poprawności i skuteczności działania zabezpieczeń transformatora.