

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I AUTOMATYKI

INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

AUTOREFERAT ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Diagnostyka podobciążeniowego
przełącznika zaczepów
oparta o analizę dynamicznego
procesu przełączania

mgr inż. Zbigniew SZYMAŃSKI

Promotor: prof. dr hab. inż. Franciszek MOSIŃSKI

Łódź, 2017

AUTOREFERAT

DIAGNOSTYKA PODOBCIĄŻENIOWEGO PRZEŁĄCZNIKA ZACZEPÓW
OPARTA O ANALIZĘ DYNAMICZNEGO PROCESU PRZEŁĄCZANIA

SPIS TREŚCI

SPIS TREŚCI.....	0
1. WSTĘP.....	1
2. CEL I TEZA PRACY.....	2
2.1. Cel pracy.....	3
2.2. Teza.....	3
3. BUDOWA PODOBCIĄŻENIOWYCH PRZEŁĄCZNIKÓW ZACZEPÓW.....	3
3.1. Informacje ogólne	3
3.2. Układy regulacji.....	4
3.3. Kolejność łączeń w rozwiązaniu wybierak / przełącznik mocy	5
4. POMIARY PODOBCIĄŻENIOWYCH PRZEŁĄCZNIKÓW ZACZEPÓW	6
4.1. Pomiarów czasów własnych przełącznika mocy (PPZ).....	7
4.2. Sprawdzenie klatki wybierakowej podobciążeniowego przełącznika zacze- pów.....	8
5. ROZSZERZENIE ZAKRESU DIAGNOSTYCZNEGO PPZ O ANALIZĘ DYNAMICZNEGO PROCESU PRZEŁĄCZANIA.....	10
6. OMÓWIENIE METODY DIAGNOSTYKI OPARTEJ O ANALIZĘ DYNAMICZNEGO PROCESU PRZEŁĄCZANIA.....	13
6.1. Wprowadzenie do metody pomiarowej.....	13
6.2. Wyniki pomiarów czasów własnych przełącznika z wadami	15
6.2.1. Modelowanie matematyczne defektów w przełączniku zacze- pów	18
7. OMÓWIENIE TYPOWYCH USZKODZEŃ PPZ W EKSPLOATACJI	19
8. WNIOSKI KOŃCOWE.....	19

1. WSTĘP

Obecnie produkowane transformatory dużej i średniej mocy są wyposażone w podobciążeniowe przełączniki zaczeów (PPZ) różnych typów i zakresie regulacji zależnym od lokalnych wymagań. Przełączniki zaczeów pod obciążeniem są jednym z bardziej zawodnych elementów transformatora. W warunkach krajowych w eksploatacji znajduje się duża ilość przełączników starego typu a największą grupę stanowią przełączniki typu PO produkowane przez wiele lat przez krajową fabrykę transformatorów ELTA. Awarie przełączników tego typu stanowią około 40% wszystkich awarii transformatorów dużej i średniej mocy. Tak wysoka awaryjność PPZ była przyczyną, dla której przed laty opracowano i wdrożono do praktyki eksploatacyjnej zestaw działań prowadzących do okresowej kontroli stanu technicznego przełącznika. Działania te, w postaci sformalizowanych procedur ujętych w Ramowej Instrukcji Eksploatacji Transformatorów (IET) [3], obejmują zarówno przeglądy PPZ, jak i towarzyszące im zazwyczaj pomiary kontrolne – obydwie realizowane na wyłączonym transformatorze z eksploatacji. Przeglądy przełączników zaczeów wykonuje się w okresach zalecanych przez producenta lub IET. Przeglądowi podlegają podstawowe elementy PPZ, tzn. klatka wybierakowa, zmieniacz, przełącznik mocy i układ napędowy. Wyłączenie transformatora zapewnia bezpośredni wgląd do komory przełącznika mocy. Natomiast przegląd klatki wybierakowej wymaga nie tylko wyłączenia jednostki, ale również upuszczenia oleju z kadzi i wejścia do jej wnętrza, stąd kontrolę klatki wybierakowej i zmieniacza wykonuje się sporadycznie. Rzadko przeprowadza się również sprawdzenie napędu i elementów mechanicznych. Pomiary kontrolne (okresowe, pomontażowe) PPZ obejmują pomiar czasów własnych (czasy wejścia i zejścia styków na poszczególnych fazach) przełącznika mocy i klatki wybierakowej oraz sprawdzenie rezystancji rezystorów stopniowych. Do pomiaru czasów własnych, który umożliwia sprawdzenie stanu sprężyn, styków oraz sprawdzenie występowania luzów w elementach mechanicznych przełącznika zaczeów, wykorzystuje się oryginalną metodę oscylografowania/skanowania przebiegów prądowych przy zasilaniu układu pomiarowego przyłączonego do PPZ prądem stałym [3]. Metoda znalazła uznanie również za granicą [16,22]. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie skomputeryzowanych systemów monitoringu i diagnostyki transformatorów, pracujących równolegle z transformatorem w czasie rzeczywistym („on – line”) [5, 9, 20], których jedną z głównych zalet jest możliwość ciągłego diagnozowania stanu technicznego transformatora bez wyłączania go z eksploatacji. Taką możliwość diagnostyki zapewnia układ do pomiaru mocy na wale silnika napędu PPZ. Alternatywnym rozwiązaniem jest monitorowanie stanu PPZ w trybie on-line. Najczęściej wielkościami podlegającymi analizie [5] jest prąd obciążenia przed i po przełączeniu, temperatura w głowicy przełącznika mocy oraz przebieg czasowy mocy pobieranej przez silnik napędu PPZ.

2. CEL I TEZA PRACY

Podobciążeniowe przełączniki zaczepów stosowane są w większości transformatorów energetycznych. Potrzeba utrzymania napięcia na określonym poziomie wymaga ciągłego dostosowania jego wielkości do wymagań sieciowych. Większość jest wyposażona w tradycyjne przełączniki zaczepów w których przekazanie przewodzenia prądu na kolejny zacsep odbywa się za pośrednictwem przełącznika mocy wykorzystującego patent Jansena. Przełączenie przełącznika zaczepów na kolejny zacsep wymaga wcześniejszego wyboru zacsepów przez styk ruchomy klatki wybierakowej. W czasie przestawiania styku ruchomego klatki wybierakowej na kolejny zacsep prąd nie jest przerywany przez te styki. Przenoszenie prądu z zacsepów na zacsep wykonywane jest przez przełącznik mocy. Najczęściej używanym się elementem w przełączniku mocy są styki i sprężyny. Powierzchnie styków ruchomych i nieruchomych ulegają zużyciu głównie na skutek działania łuku elektrycznego powstającego w czasie cyklu przełączenia. Styki w klatce wybierakowej zużywają się w głównej mierze na skutek tarcia dwóch powierzchni. Oprócz zużycia styków na skutek tarcia i wypalenia od łuku elektrycznego następuje pogarszanie się docisku styków spowodowanego zmęczeniem materiału sprężyn dociskowych. Liczne usterki spowodowane zużyciem wymagają wykonywania badań w celu wcześniejszego wykrycia nieprawidłowości w działaniu. W tym celu opracowano metody diagnostyczne:

- pomiar czasów własnych przełącznika mocy;
- pomiar ciągłości działania klatki wybierakowej;
- pomiar mocy pobieranej przez napęd.

Pomiar czasów własnych przełącznika mocy oraz ciągłości klatki wybierakowej wykonuje się wykorzystując dostępne na pokrywie izolatory przepustowe. Pomiar taki jest możliwy dzięki wykorzystaniu zjawisk występujących w transformatorze przy zasilaniu uzwojeń prądem stałym. Na podstawie wykonanych pomiarów opracowano kryteria czasowe dla różnych typów przełączników występujących w krajowej energetyce. Istotnym elementem jest nie tylko wykrycie defektu ale określenie stopnia pogarszania się parametrów pracy do których należą wypalenie styków od łuku elektrycznego i pogorszenie się siły docisku styków spowodowanego zmęczeniem materiału sprężyn. Prowadzone od ponad trzydziestu lat pomiary przełączników zacsepów pozwalają na skorzystanie wyników badań do określenia wielkości zmian w przebiegach czasowych w czasie eksploatacji. Pomiar mocy pobieranej przez napęd pozwala na wykrycie zwiększonych oporów w napędzie, przekładniach oraz stykach przełącznika. Wprowadzona do diagnostyki metoda on line pomiaru mocy pobieranej przez napęd pozwala na bieżącą kontrolę pracy przełącznika. Kontrola jakości pracy polega na porównaniu otrzymanego w czasie przełączenia przebiegu mocy z wykresem wzorcowym wprowadzony do pamięci sterownika na nowej jednostce. Ocenę pracy styków przełącznika mocy wykonuje się również w oparciu o analizę chromatograficzną gazów rozpuszczonych w oleju pobranym z głowicy podobciążeniowego przełącznika zacsepów.

2.1. Cel pracy

Celem pracy jest rozszerzenie diagnostyki przełączników o analizę dynamicznego procesu przełączania wielkości zmian prądu spowodowanego pogarszającymi się powierzchniami stykami.

2.2. Teza

Diagnostyka przełącznika zaczepów jest trudna a żadna z dotychczasowych metod nie jest do końca wiarygodna. Istnieje konieczność rozszerzenia dotychczas stosowanych metod diagnostycznych o nową metodę opartą o analizę dynamicznego procesu przełączania.

3. BUDOWA PODOBCIĄŻENIOWYCH PRZEŁĄCZNIKÓW ZACZEPÓW

3.1. Informacje ogólne

Przełącznik zaczepów składa się z trzech podstawowych elementów:

- napęd,
- przełącznik mocy,
- klatka wybierakowa.

Podobciążeniowe przełączniki zaczepów można podzielić ze względu na wykonanie na:

- przełączniki z wydzieloną komorą przełącznika mocy
- przełączniki typu wybierakowego.

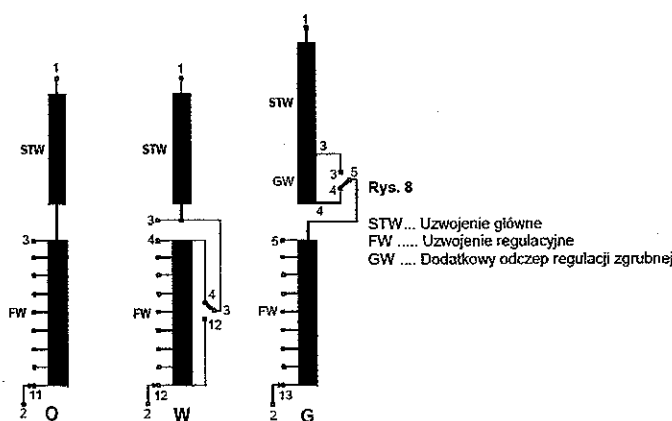
Zasadnicza różnica pomiędzy przełącznikami z wydzieloną komorą a typu wybierakowego polega na tym, że przełącznik z wydzieloną komorą posiada niezależną komorę w której znajduje się przełącznik mocy. Klatka wybierakowa natomiast jest dołączona za pośrednictwem przekładni do głowicy. Klatka wybierakowa ze stykami stałymi i ruchomymi ma bezpośredni kontakt z olejem transformatora. W przełączniku typu wybierakowego elementy przełącznika mocy i klatki wybierakowej są umieszczone w jednej tulei a olej który się w niej znajduje jest całkowicie odseparowany od oleju transformatorowego.

3.2. Układy regulacji

Zmiana przekładni danego transformatora może odbywać się po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora przez dołączenie lub odłączenie zwojów. Rozróżniamy trzy schematy połączeń (rysunek 3.1):

- **O** - Regulacja liniowa,
- **W** - Regulacja przez przebiegunowanie uzwojenia regulacyjnego za pomocą dobudowanego zmieniaacza. Rozwiązanie nosi nazwę regulacji odwracalnej,
- **G** - Regulacja z dodatkowym stopniem regulacji zgrubnej łączonego za pomocą zmieniaacza. Rozwiązanie nosi nazwę regulacja zgrubna i dokładna.

Wymienione sposoby regulacji przedstawione są w sposób poglądowy na załączonych poniżej schematach regulacji. Zaciski oznaczone jako 1 oznaczają zacisk liniowy uzwojenia regulowanego natomiast zacisk numer 3 oznacza koniec uzwojenia regulowanego i jest miejscem przyłączenia do uzwojenia regulacyjnego. Zaciski oznaczone numerami wyższymi od 3 oznaczają kolejne odczepy regulacyjne uzwojenia regulacji drobnej. Zacisk punktu neutralnego oznaczono numerem 2.



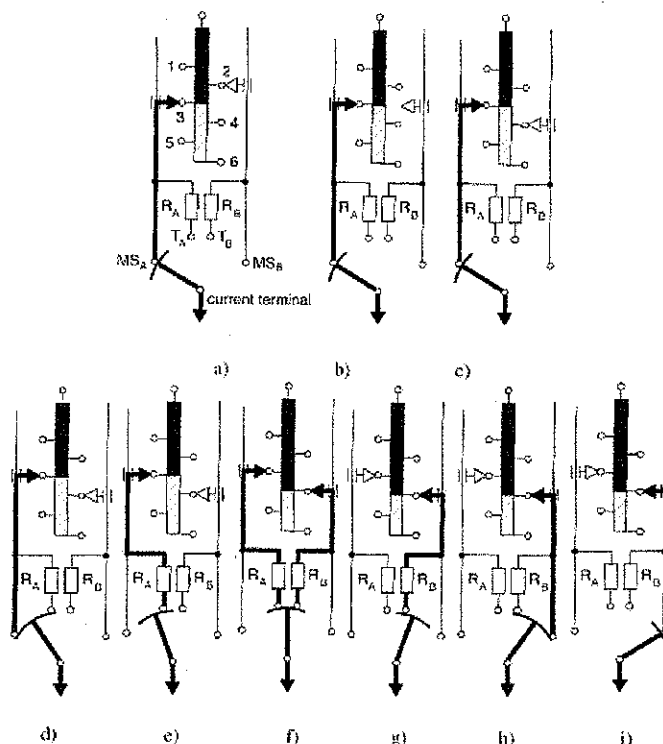
Rysunek 3.1. Układy regulacji podobciążeniowych przetłączników zaczepów.

Dla transformatorów z małym zakresem regulacji do maks. 20 % stosuje się zwykle regulację liniową (O). Stosując przetłącznik zmieniający (W), można uzwojenie regulacji dokładnej FW dodawać lub odejmować do/od uzwojenia głównego STW. W ten sposób podwaja się zakres regulacji, przy stałej ilości odczepów regulacji dokładnych. Jest to bardzo chętnie stosowany układ regulacji jednak jego wadą są znaczne straty obciążeniowe w transformatorze na pozycji minus. Prąd wynikający z mocy transformatora i napięcia na pozycji minus przepływając przez uzwojenie regulacyjne powoduje znaczne podniesienie strat obciążeniowych wynikających z przepływu tego prądu przez uzwojenie regulacyjne. Również w przypadku dodatkowego odczepu zgrubnego (GW) następuje dodanie lub odjęcie tego uzwojenia zgrubnego poprzez zmieniaacz, co pozwala podwoić

zakres regulacji (G). Stosując więc uzwojenie regulacji zgrubnej i dokładnej można zrealizować bardzo dużą liczbę odczepów, które są potrzebne np. dla transformatorów piecowych i elektrolizy. Wyłączenie znacznej liczby zwojów uzwojenia regulacji zgrubnej i dokładnej powoduje znaczne zmniejszenie strat obciążeniowych transformatora. Coraz więcej rozwiązań transformatorów mocy ma stosowane uzwojenie z regulacją zgrubną i dokładną w celu ograniczenia rozmiaru układu chłodzenia transformatora mocy. Przełączniki zacze- pów są wykorzystywane do zamontowania w transformatorach i autotransformatorach. Istnieje możliwość instalacji w punkcie gwiazdowym i na potencjale w zacisku liniowym.

3.3. Kolejność łączy w rozwiązaniu wybierak / przełącznik mocy

Dla zobrazowania współdziałania klatki wybierakowej i przełącznika mocy poniżej zamieszczono rysunek w którym na trzech rysunkach podano położenie styków klatki wybierakowej i przełącznika mocy. Grubą linią zaznaczono główne tory prądowe. Na rysunku 3.2a) prąd płynie poprzez styk stały nr 3 do styku ruchomego i przełącznika mocy styk MSa natomiast styk ruchomy na wieńcu styków nieparzystych ustawiony jest na pozycji nr 2. W pierwszym etapie pracy następuje przemieszczenie się styku ruchomego na styk 4 rysunek 3.2c) Po zakończeniu tej fazy ruchu prąd w dalszym ciągu przewodzony jest przez styk 3 ale klatka wybierakowa przygotowana jest do przejścia prądu przewodzenia przez styk nr 4 może to nastąpić z chwilą zadziałania przełącznika mocy. Kolejnym etapem pracy przełącznika jest zadziałanie przełącznika mocy i przeniesienie prądu przewodzenia ze styku 3 na styk 4. Sytuacja taka jest przedstawiona na rysunku 3.2i.)

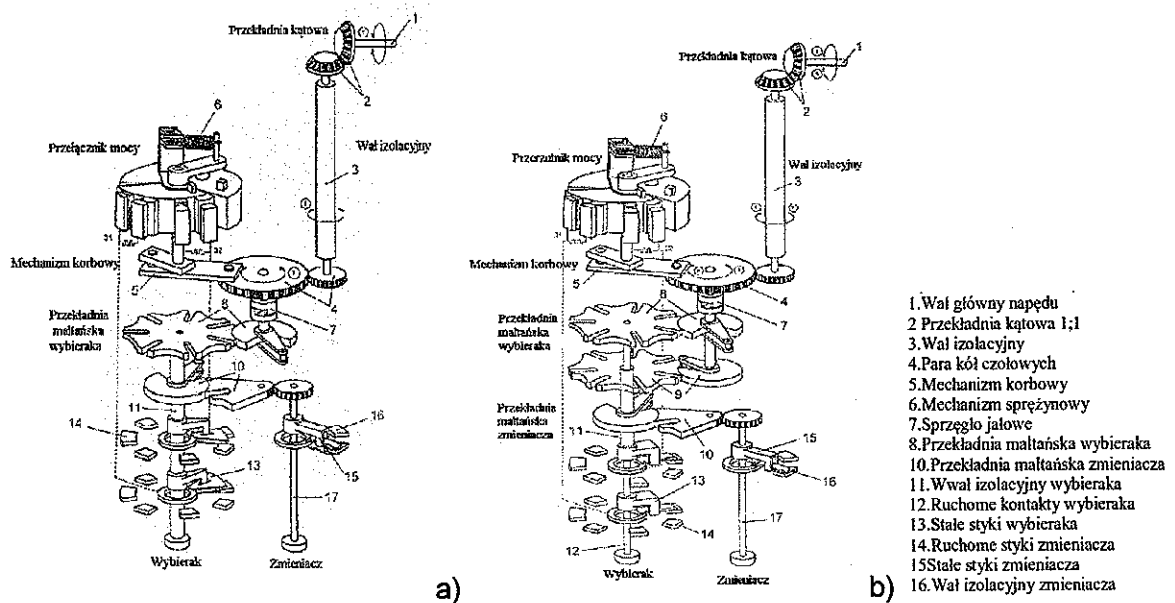


Rysunek 3.2. Etapy pracy styków klatki wybierakowej i przełącznika mocy.

Przełącznik mocy jest zaprojektowany jako system styków stałych i ruchomych gdzie:

- $M_{A,B}$ styk główny przełącznika mocy bez dodatkowej impedancji między uzwojeniem transformatora a stykiem,
- $MS_{A,B}$ styk pomocniczy bez wstawionej dodatkowej impedancji między uzwojeniem a stykiem. Styk wykonany jest ze stopu miedzi z wolframem,
- T_A i T_B styk połączony szeregowo z impedancją.

Zadaniem napędu jest wykonanie zmiany zaczepu poprzez przestawienie klatki wybierakowej na odpowiednią pozycję oraz zazbrojenie mechanizmu sprężynowego w przełączniku mocy. Klatka wybierakowa i zmieniacz mają za zadanie zapewnić przewodzenia prądu natomiast przełącznik mocy dokonuje przeniesienia prądu z zaczepu na zaczep. Przełącznik mocy jest trójfazowym szybkim przełącznikiem z mechanizmem sprężynowym i dobudowanymi rezystorami stopniowymi. Współdziałanie elementów klatki wybierakowej i przełącznika mocy dla mechaniki w technice jedno i dwuwalowej przedstawiono na rysunku 3.3.



Rysunek 3.3. Schemat powiązań elementów podobciążeniowego przełącznika zaczepów
a) mechanika jednowalowa, b) mechanika dwuwalowa).

4. POMIARY PODOBCIĄŻENIOWYCH PRZEŁĄCZNIKÓW ZACZEPÓW

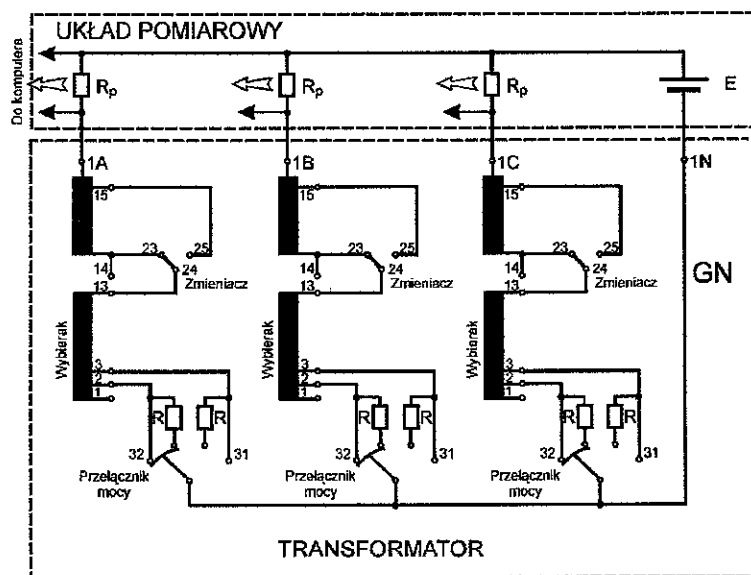
Pomiary eksploatacyjne podobciążeniowych przełączników zaczepów (PPZ) wykonuje się w celu sprawdzenia stanu technicznego przełącznika mocy i klatki wybierakowej. Ma to miejsce w następujących przypadkach:

- po przeglądzie wewnętrznym transformatora,
- po montażu transformatora na stanowisku,

- c) po awarii transformatora,
- d) w ramach badań przełącznika wadliwie działającego,
- e) po remoncie PPZ, przed montażem.

4.1. Pomiary czasów własnych przełącznika mocy (PPZ)

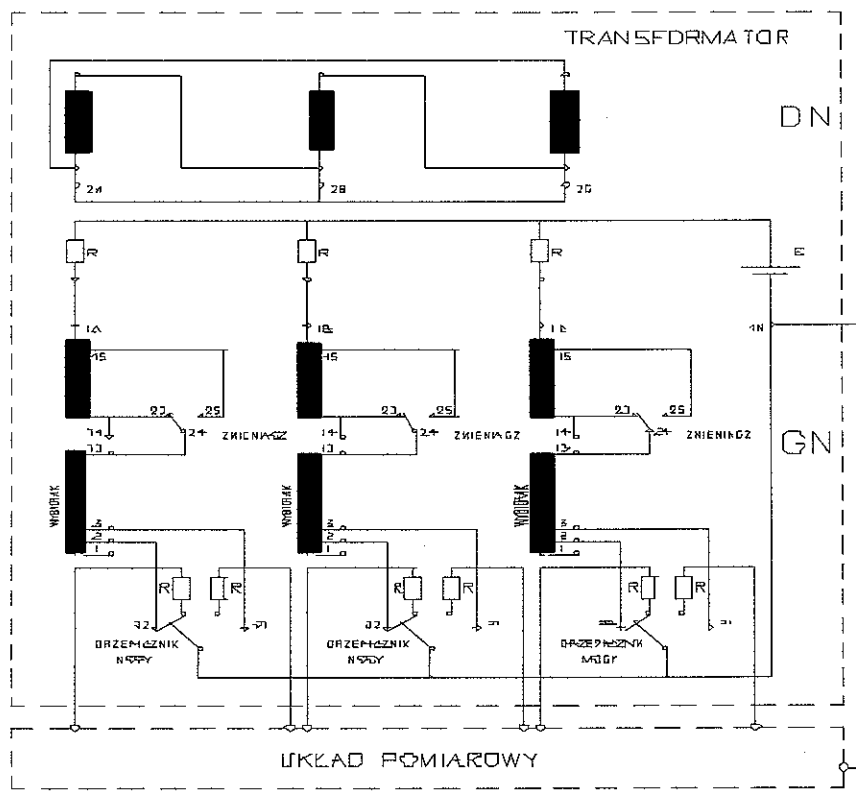
Pomiar czasów własnych wykonuje się podłączając układ pomiarowy do izolatorów przepustowych transformatora. Pomiar wykonuje się na uzwojeniu do którego podłączono podobciążeniowy przełącznik zacze­pów. Pozostałe uzwojenia w czasie pomiaru winny być zwarte. Oznacza to, że pomiar przełącznika mocy nie wymaga demontażu przełącznika zacze­pów. Schemat układu do pomiaru czasów własnych PPZ przedstawiono na rysunku 4.1. Analiza zarejestrowanego przebiegu pozwala na kontrolę jednoczesności działania styków głównych przełącznika mocy i jego czasu działania, jak również na wykrycie szeregu niesprawności PPZ, takich jak zmiany czasu przełączania, zużycie sprężyn styków, zużycie styków, niewłaściwe ustawienie styków, przerwy lub zwarcia w rezystorach ograniczających prąd, czy też występowanie luzów w elementach mechanicznych przełącznika zacze­pów.



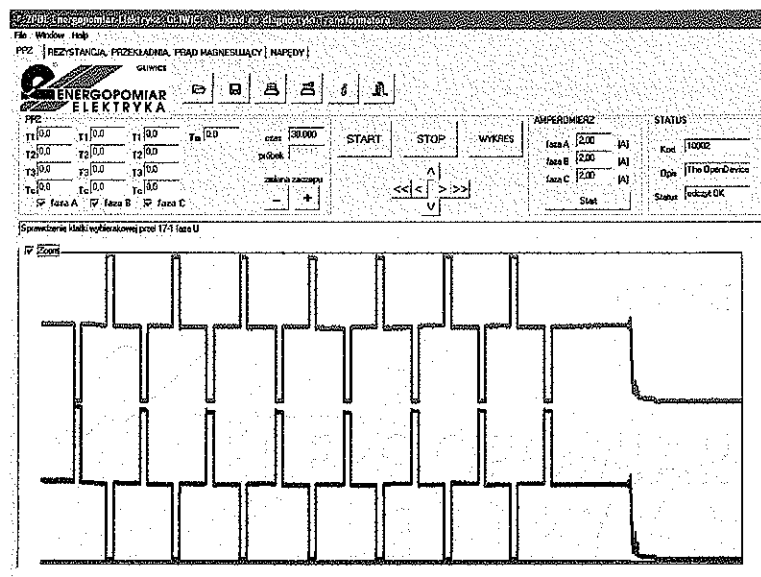
Rysunek 4.1. Układ do pomiaru czasów własnych przełącznika mocy.

Układ pomiarowy zasila się napięciem stałym o wartości (10÷30)V. W większości przypadków, wystarczającym do prawidłowego wykonania pomiarów jest wymuszenie w każdej fazie przepływu prądu o wartości około 1,5 A. W czasie przełączania przełącznikiem zacze­pów rejestruje się przebiegi prądowe na rezystorach. Na rysunku 4.2 przedstawiono oscylogram czasów własnych PPZ z zaznaczonymi czasami własnymi na poszczególnych fazach.

regulacji klatki wybierakowej bądź przesunięciu styku na wale ruchomym. Występowanie przesunięcia styku ruchomego może prowadzić do wystąpienia przerwy w klatce wybierakowej w czasie pracy transformatora. Schemat do pomiaru czasów własnych klatki wybierakowej przedstawiono na rysunku 4.5. Pomiar wykonywany na podstawie schematu przedstawionego na rysunku 4.5 wymaga demontażu przełącznika mocy i podpięcia przewodów pod styki współpracujące z klatką wybierakową. Pozwala jednak na sprawdzenie współpracy wieńców styków parzystych i nieparzystych klatki wybierakowej oraz wykrycie ewentualnych luzów i nieprawidłowości. Oscylogramy z pomiarów klatki wybierakowej przedstawiono na rysunku 4.6



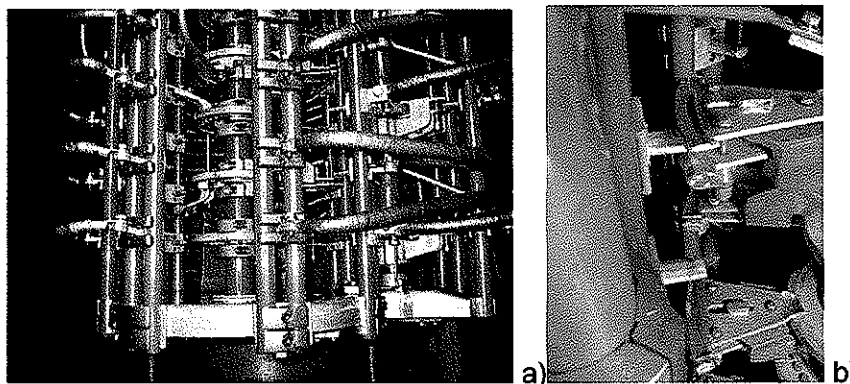
Rysunek 4.5. Układ do sprawdzenia klatki wybierakowej podobciążeniowego przełącznika zaczepów.



Rysunek 4.6. Oscylogram sprawdzenia styków klatki wybierakowej.

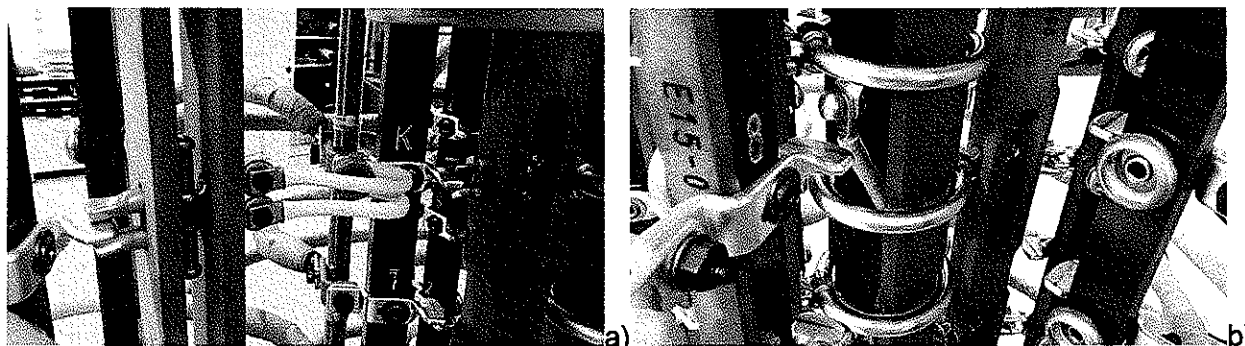
5. ROZSZERZENIE ZAKRESU DIAGNOSTYCZNEGO PPZ O ANALIZĘ DYNAMICZNEGO PROCESU PRZEŁĄCZANIA

Zmiana przekładni danego transformatora może odbywać się po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora przez dołączenie lub odłączenie zwojów. Rozróżnia się rozwiązania z mechaniką jedno- i dwuwalową. W mechanice jednowalowej styki ruchome klatki wybierakowej umieszczone są na jednym wale znajdującym się w środku klatki wybierakowej. W mechanice dwuwalowej styki parzyste i nieparzyste napędzane są odrębnymi wałami. Wybór mechaniki narzuca właściwe dobranie konstrukcji styków ruchomych klatki wybierakowej i krzyża maltańskiego. Na rysunku 5.1 przedstawiono szczegóły konstrukcyjne klatki wybierakowej przełącznika „Elta” typu PO 400 o konstrukcji jednowalowej.



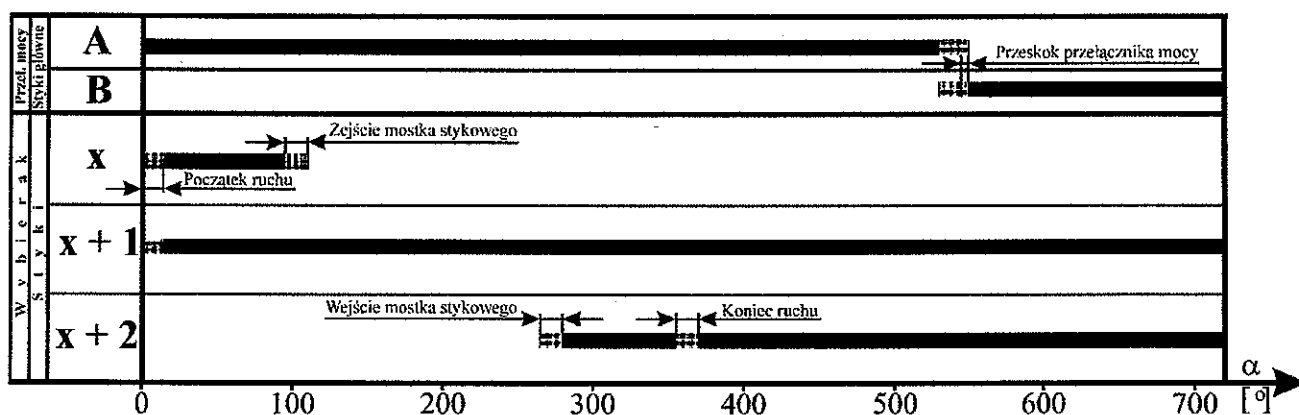
Rysunek 5.1. Przełącznik zaczepów typu PO 400 o konstrukcji jednowalowej: a) widok przełącznika zaczepów ze zmieniaczem, b) widok styków ruchomych klatki wybierakowej.

Rysunek 5.2 przedstawia szczegóły konstrukcyjne klatki wybierakowej przełącznika MR Reinhausen typu M o konstrukcji dwuwałowej.



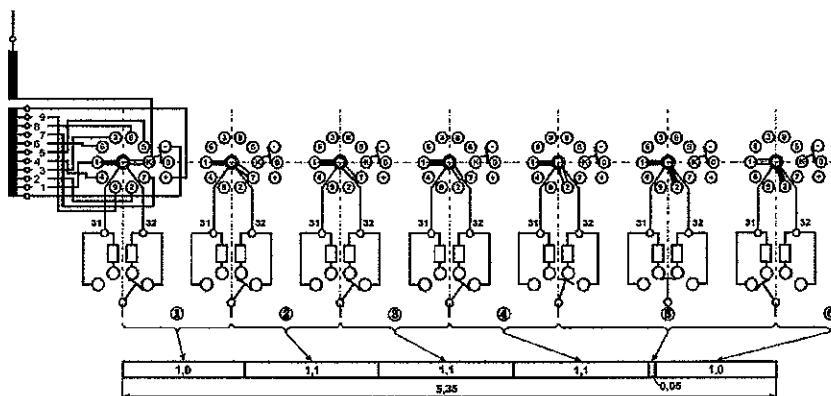
Rysunek 5.2. Widok styku ruchomego klatki wybierakowej przełącznika typu M o konstrukcji dwuwałowej: a) widok zmieniacza; b) widok dwóch pierścieni ślizgowych i dwóch wałów ruchomych.

Przełącznik zacze­pów składa się z dwóch zasadniczych elementów: klatki wybierakowej i przełącznika mocy. Elementy te są ze sobą powiązane układem wałków i przekładni. Zmiana zacze­pu odbywa się w dwóch etapach. W pierwszym etapie następuje przestawienie zacze­pu w klatce wybierakowej, w drugim natomiast następuje przełączenie zacze­pu na następną pozycję przez przełącznik mocy. Z uwagi na występowanie dwóch znacząco różniących się rozwiązań które wymagają odrębnego omówienia w dalszej części pracy ograniczono się jedynie do wykonania pomiarów i badań na przełączniku typu PO który występuje najliczniej w energetyce krajowej. Przełączniki typu PO były produkowane na licencji firmy ELIN w latach 70 ubiegłego stulecia i były powszechnie montowane do 2000 roku. Oznacza to możliwość występowania uszkodzeń związanych ze zużyciem mechanicznym i oraz zużyciem elementów stykowych na skutek działania łuku elektrycznego. Dotychczas prowadzono badania mające na celu wykrycie uszkodzeń elementów przełącznika mocy, klatki wybierakowej, zmieniacza oraz napędu. Celowe więc okazuje się opracowanie metody która pozwala na analizie pracy przełącznika zacze­pów obejmujących zarówno elementy przełącznika mocy jak również klatki wybierakowej i zmieniacza. Celowe okazało się również nie tylko stwierdzenie występowania usterki ale określenie miejsca występowania. W celu ustalenia miejsca uszkodzenia konieczna jest znajomość współdziałania poszczególnych elementów przełącznika zacze­pów szczegółowego opisanie etapów pracy przełącznika zacze­pów. Etapy pracy wybranego do dalszej analizy przełącznika typu PO przedstawiono na rysunku 5.3.



Rysunek 5.3. Fazy ruchu podobciążeniowego przelącznika zaczepów typu PO 250 z klatką w wykonaniu jednowałowym.

Dla wykazania występowania różnic w działaniu przelączników wykonanych w technice dwuwałowej na rysunku 5.4 przedstawiono fazy ruchu takiego przelącznika z oznaczeniem czasów działania dla poszczególnych faz ruchu.



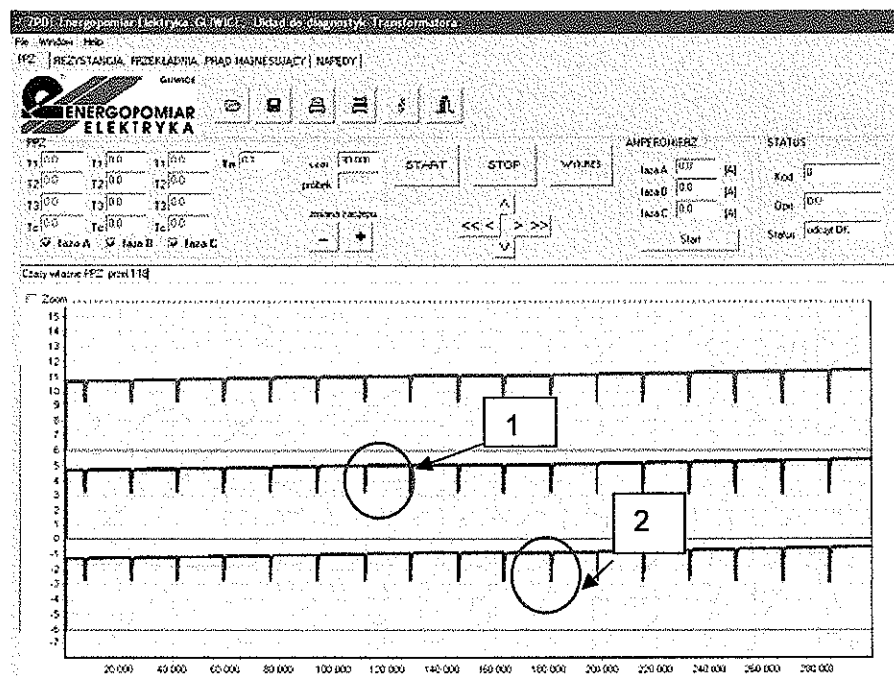
Rysunek 5.4. Fazy ruchu styku ruchomego klatki wybierakowej i przelącznika mocy przy przejściu styku ruchomego klatki wybierakowej z pozycji 1 na 2 w konstrukcji dwuwałowej.

Występowanie istotnych różnic uzasadnia konieczność odrębnego rozpatrywania różnych rozwiązań i konstrukcji przelączników zaczepów.

6. OMÓWIENIE METODY DIAGNOSTYKI OPARTEJ O ANALIZĘ DYNAMICZNEGO PROCESU PRZEŁĄCZANIA

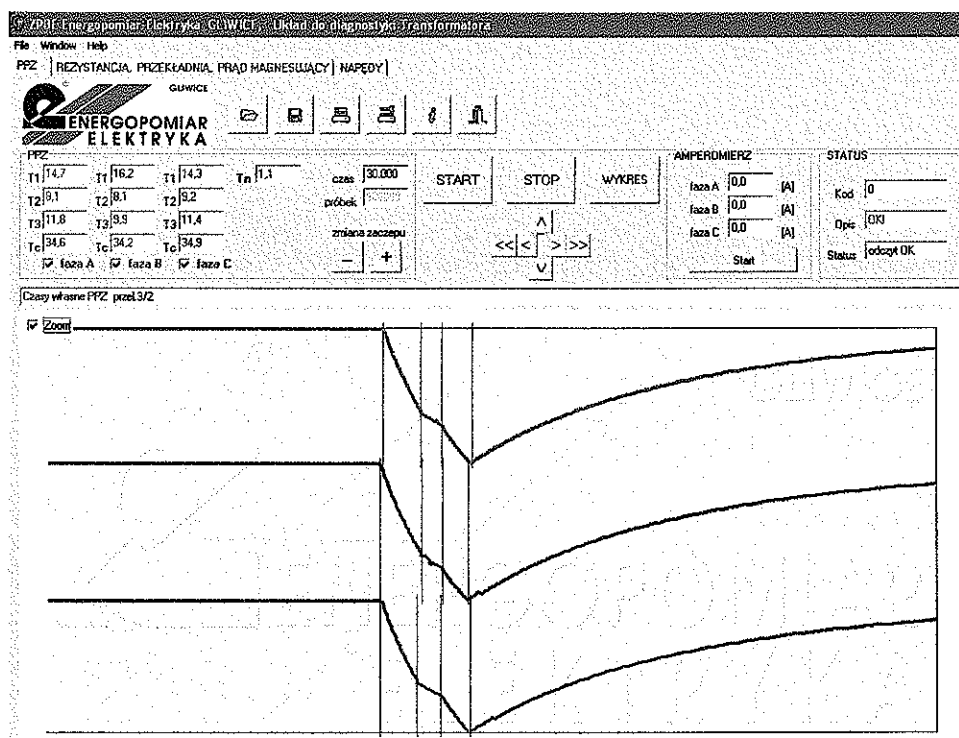
6.1. Wprowadzenie do metody pomiarowej

Pomiary przełącznika zacze­pów wykorzystujące zmiany prądu w czasie cyklu przełączania w powiązaniu ze znajomością etapów pracy przełącznika zacze­pów zostały szczegółowo omówione w dalszej części pracy. W czasie przełączania przełącznikiem zacze­pów rejestruje się przebiegi zmian prądu w poszczególnych etapach ruchu. Rejestracje prądu przeprowadza się w całym zakresie regulacji przełącznika zacze­pów. Wykres cyklu pracy przy przełączaniu z zacze­pu 1 do 18 przedstawiono na rysunku 6.1. Na wykresie widoczne są cykliczne krótkotrwałe spadki prądu oznaczone numerem 1 oraz znacznie dłuższe w czasie cyklu przełączania oznaczone numerem 2. Część wykresu oznaczona numerem 1 jest działaniem przełącznika mocy część wykresu oznaczona numerem 2 oznacza etap pracy w którym występuje działanie kłatki wybierakowej i zmiennicza. Jak można zauważyć czas działania przełącznika konieczny do wykonania przełączenia z pozycji 1 do pozycji 18 wynosi kilkadziesiąt sekund. Czas działania przełącznika mocy oznaczony na rysunku numerem 1 jest bardzo krótki i widoczny jest na wykresie jako pojedyncze piki. W celu określenia wielkości zmian w poszczególnych etapach pracy przełącznika mocy konieczne jest powiększenie tego obszaru.



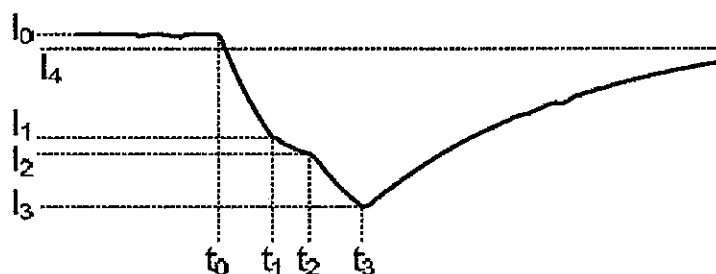
Rysunek 6.1. Przebieg zmian prądu w czasie cyklu przełączania PPZ (przełączenie z zacze­pu 1 do 18).

Na rysunku 6.2 przedstawiono przebieg czasów własnych przełącznika mocy po powiększeniu omawianego obszaru.



Rysunek 6.2. Wykres czasów własnych przełącznika mocy typu PO.

W celu przeprowadzenia analizy pracy przełącznika mocy opisano poszczególne etapy na wykresie przedstawionym na rysunku 6.3.

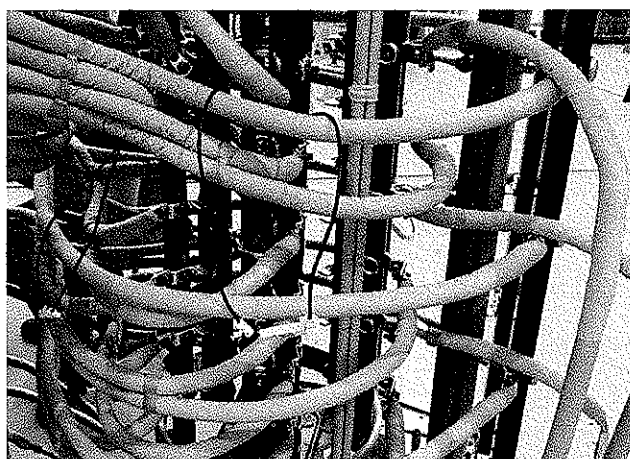


Rysunek 6.3. Oznaczenie prądów i czasów na wykresie cyklu przełączania.

W pracy opisano zmiany wielkości prądu w poszczególnych etapach ruchu przełącznika mocy wykorzystując zmodyfikowane do potrzeb analizy wzory podane w [6].

6.2. Wyniki pomiarów czasów własnych przełącznika z wadami

Zjawiska występujące w czasie przełączania zostały wykorzystane do opracowania metody, służącej do rozszerzonej oceny stanu PPZ i uzyskania informacji o prawidłowości działania styków, zarówno przełącznika mocy, jak i klatki wybierakowej. W tym celu zorganizowano specjalne stanowisko pomiarowe, gdzie badano wpływ na przebiegi prądowe dodatkowej rezystancji czynnej (symulującej zużyte elementy przełącznika mocy) wstawionej w szereg: ze stykami klatki wybierakowej oraz ze stykiem zmieniacza. Przeprowadzono pomiary dla kilkunastu układów połączeń. Badania przeprowadzono na części aktywnej transformatora o mocy 25 MVA z zamontowanym przełącznikiem typu VM III.



Rysunek 6.4. Widok klatki wybierakowej z zamontowanymi dodatkowymi rezystorami połączonych szeregowo ze stykami klatki wybierakowej.

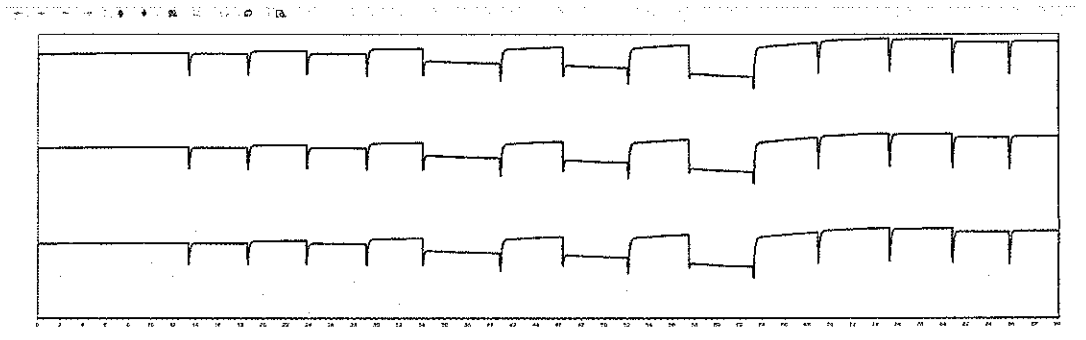
Dodatkowo sprawdzono również wpływ sposobu połączenia drugiego uzwojenia (nie wyposażonego w przełącznik PPZ) na charakter przebiegów. Na rysunku 6.5 przedstawiono przebiegi prądowe w czasie sprawdzenia ciągłości prądowej w klatce wybierakowej, przy rozwartej stronie DN transformatora i wstawionych rezystorach na fazie A strony GN na stykach parzystych o numerach 2, 4, 6, 8, 10.

Uwaga:

Na niżej zamieszczonych wykresach analizowano zmianę amplitudy prądu w czasie.

Pomiar wykonywano w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 4.1.

Pozycja wybieraka: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

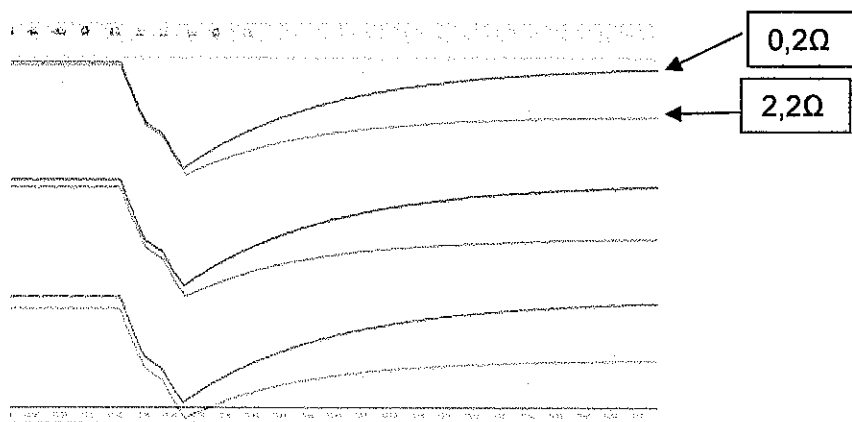


Rysunek 6.5. Wykres cyklu przełączania klatki wybierakowej w zakresie od 1 do 14 zaczepek z dołączonymi rezystorami do styków parzystych na fazie A GN zaczepek nr 2-0,2Ω, nr 4-0,5Ω, nr 6-2,2Ω, nr 8-3Ω, nr 10-5Ω i rozwartej stronie wtórnej transformatora.

Na wykresie badania ciągłości działania klatki wybierakowej widoczne są zmiany w amplitudzie prądu. Wielkość zmian uzależniona jest od wielkości dołączonego w szereg ze stykiem klatki wybierakowej rezystora. Analiza wykresów wykazała widoczny wpływ wartości rezystora wstawionego w szereg ze stykiem klatki wybierakowej na zmianę amplitudy prądu i stałych czasu przebiegów prądowych, związanych ze zmianą rezystancji w obwodzie. Przy wejściu na styk z rezystorem następuje widoczne zmniejszenie wartości prądu. Przełączenie przełącznika ze styku z rezystorem na styk bez rezystora skutkuje wzrostem wielkości prądu. Zjawisko to jest widoczne dla wszystkich faz. Zmiana charakteru przebiegu następuje po zwarcie strony DN transformatora. W takim przypadku zmiany w wielkości prądu występują jedynie na fazie z zamontowanymi rezystorami. Przeprowadzone badania wykazują potrzebę wprowadzenia dodatkowych kryteriów do oceny stanu technicznego przełączników. Oprócz kryteriów czasowych konieczne jest wprowadzenie:

- oznaczenia amplitudy prądu,
- stałej czasu przebiegu,
- podania warunków przeprowadzenia próby.

Wybrany przykład porównania wyników pomiarów czasów własnych przełącznika z wstawionymi różnymi wartościami rezystancji przedstawiono na rysunku 6.6.

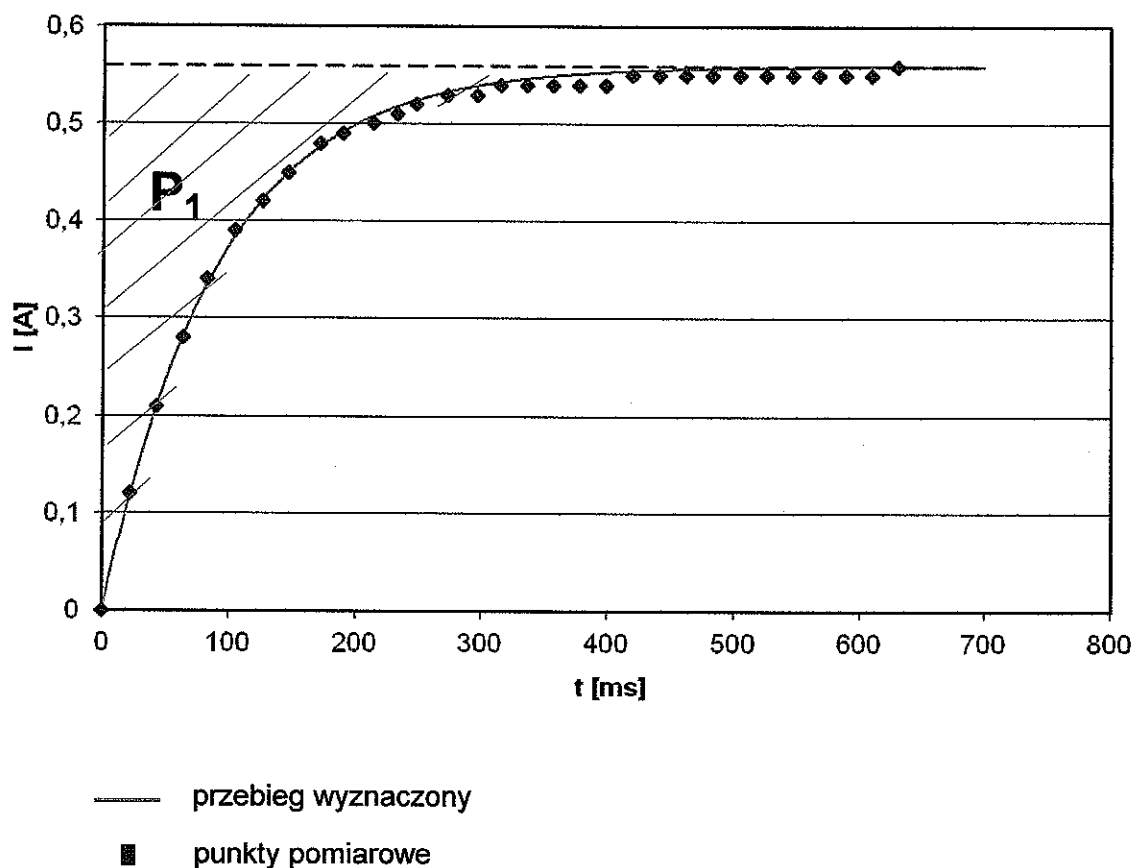


Rysunek 6.6. Porównanie przebiegów cyklu przełączania z dodatkowo dołączonymi rezystorami do styków kłatki wybierakowej o wartości 0,2 i 2,2Ω.

Uzyskane przebiegi czasowe prądu wymagają wyjaśnienia zjawisk występujących w transformatorze w czasie włączenia napięcia stałego na badane zaciski. W tym celu zarejestrowano zmiany prądu w chwili włączenia. Analiza oscylogramów wykazała, że prąd w obwodzie zmienia się wykładniczo. Na wykresie zaobserwowano, że w przebiegu prądu można wyróżnić dwie stałe czasowe T_1 i T_2 . Pierwsza z nich występuje w krótkim okresie czasu najczęściej kilkudziesięciu ms druga znacznie dłuższa o czasie trwania wynoszącym kilkanaście sekund. W pracy wyznaczono zarówno stałą T_1 i T_2 W celu wyznaczenia stałej czasu wykreślono przebieg zmian prądu uzyskane z wartości odczytanych z wykresu prądu włączenia. Na podstawie punktów pomiarowych wyznaczono krzywą opisującą prąd włączenia. Wynik odwzorowania przedstawiono na rysunku 6.7.

Krzywa opisująca punkty pomiarowej jest funkcją wykładniczą opisaną wzorem (1)

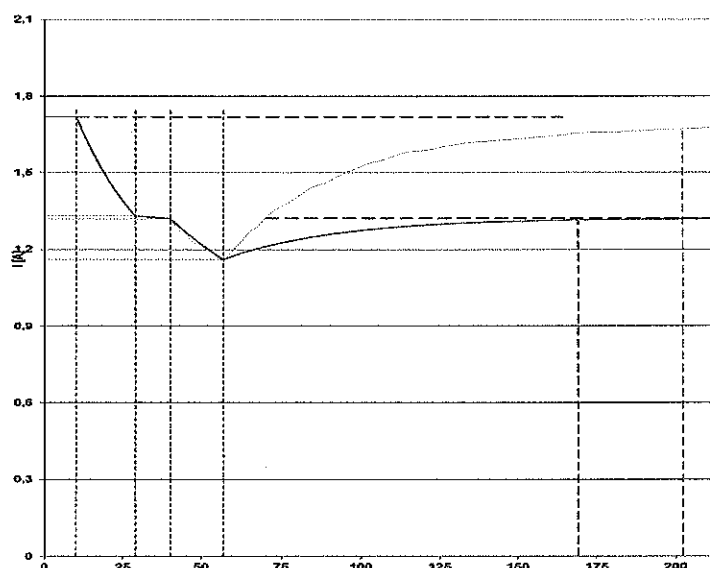
$$I(t) = I_{ust} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (1)$$



Rysunek 6.7. Oscylogram wzrostu prądu stałego w fazie A uzwojenia GN.

6.2.1. Modelowanie matematyczne defektów w przełączniku zaczepów

Uzyskanie dopasowania przebiegu teoretycznego uzyskanego przez wstawienie elementów schematu zastępczego do wzorów matematycznych pozwala również na uzyskanie teoretycznych przebiegów jakie wystąpią w przypadku pogorszenia się rezystancji styku. W trakcie prowadzonych badań na stanowisku pomiarowym wstawiono dodatkowe rezystory w szereg ze stykiem klatki wybierakowej uzyskując widoczne różnice w przebiegach czasowych. Na wykresie 6.8 zamodelowano wzrost rezystancji styku przy przełączeniu przełącznika zaczepów na zaczep ze zwiększoną rezystancją. Jak można zauważyć nastąpiło widoczne zmniejszenie amplitudy prądu. Uzyskany wykres jest podobny do uzyskanego w trakcie badań.



Rysunek 6.8. Oscylogram czasów własnych: a) wykres rzeczywisty oznaczony kolorem niebieskim
 b) wykres uzyskany z obliczeń po wstawieniu dodatkowej rezystancji odwzorowującej uszkodzenie styku klatki wybierakowej.

7. OMÓWIENIE TYPOWYCH USZKODZEŃ PPZ W EKSPLOATACJI

Zasadniczo przyczyny uszkodzeń PPZ w eksploatacji, to z jednej strony błędy konstrukcyjne, materiałowe, wykonawcze, z drugiej zaś niewłaściwe warunki eksploatacji (liczba przełączeń, przeciążenia, przepięcia, okres eksploatacji itp. Przyjmuje się, że największy wpływ na obniżenie niezawodności PPZ w eksploatacji ma duża liczba przełączeń, w wyniku której występuje nadmierne zużycie styków i elementów mechanicznych, degradacja oleju spowodowana częstym gaszeniem łuku elektrycznego. W czasie przeglądu stwierdza się nadmierne wypalenia na stykach stałych i ruchomych przełącznika mocy oraz wypalenia i przegrzania na stykach klatki wybierakowej. Przykładowe zdjęcia i opis typowych usterek stwierdzanych w eksploatacji umieszczono w pracy.

8. WNIOSKI KOŃCOWE

Dotychczas wykonywane pomiary czasów własnych oraz ciągłości klatki wybierakowej wykorzystywano głównie do określenia wielkości czasów własnych oraz oceny ciągłości przewodzenia prądu w czasie cyklu przełączania. W zaleceniach opracowanych dla potrzeb Energetyki a zamieszczonych w Ramowej Instrukcji Eksploatacji transformatorów określono dopuszczalne wielkości czasów dla poszczególnych etapów cyklu przełączania oraz niejednoczesność działania. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki pomiarów na podobciążeniowych przełącznikach zaczepów z zamontowanymi dodatkowo rezystorami modelującymi pogorszenie się styku na klatce wybierakowej podobciążeniowego przełącznika

zaczepów. Wykorzystując wykonane obliczenia wielkości rezystancji czynnej schematu zastępczego jak również analizę prądu włączenia pozwalającą na wyznaczenie stałej czasu a w dalszej kolejności indukcji własnej i wzajemnej wykonano model matematyczny wstawiając do wzorów uzyskane wyniki pomiarów i obliczeń co pozwoliło na teoretyczne wyznaczenie przebiegu zmian prądu w czasie cyklu przełączania. W końcowym etapie pracy zaprezentowano uzyskane z obliczeń kształty przebiegu prądu w czasie pomiarów własnych po wstawieniu dodatkowej rezystancji na styku klatki wybierakowej. Uzyskany wynik jest zbliżony z wynikami badań na transformatorze. Celem wykonanej pracy było rozszerzenie diagnostyki przełączników o analizę dynamicznego procesu przełączania wielkości zmian prądu spowodowanego pogarszającymi się powierzchniami stykami. Zaprezentowane wyniki pomiarów i obliczeń potwierdziły możliwość rozszerzenia dotychczasowej diagnostyki pomiarowej o analizę dynamicznego procesu przełączania. Możliwość określenia wielkości zmian amplitudy prądu i stałej czasu w powiązaniu ze znajomością budowy i zasady działania pozwolą na śledzenie pogarszania się parametrów pracy podobciążeniowych przełączników zaczepów. Zaproponowano również wykonywanie porównań otrzymanego w czasie bieżących pomiarów wykresu z przebiegiem wzorcowym. W przypadku pojawienia się różnic w wykresach można wykorzystać dwie metody określenia miejsca wzrostu rezystancji. Pierwszą z nich jest metoda pomiarowa polegająca na wstawieniu dodatkowej rezystancji w szereg ze stykiem klatki wybierakowej lub przełącznikiem mocy która spowoduje wystąpienie podobnej zmiany w przebiegu czasowym. Drugą metodą jest zamodelowanie defektu przy wykorzystaniu wzorów opisujących cykl przełączania przełącznika zaczepów. W pracy zaproponowano również wykorzystanie analizy gazu pobranego z komory przełącznika mocy do śledzenia dynamiki przyrostu gazów DGA z oleju pobranego z głowicy przełącznika mocy. Zwiększona dynamika wzrostu gazów w powiązaniu z pomierzoną wielkością zmian prądu pozwolą na sformułowanie wniosków dotyczących stanu technicznego przełącznika i jego przydatności do dalszej eksploatacji. Rozszerzenie zakresu pomiarów podobciążeniowych przełączników zaczepów o analizę dynamicznego procesu przełączania pozwoli na diagnozowanie dynamiki pogarszania się jakości styku. Zaprezentowaną w pracy metodą pomiaru może stosowana do wszystkich typów podobciążeniowych przełączników zaczepów. Wymaga to jednak zapoznania się specyfiką ich pracy. Brak znajomości budowy i zasady działania pozwoli jedynie na stwierdzenie występujących różnic w porównaniu do wykresu wzorcowego nie pozwoli jednak na precyzyjne określenie miejsca występowania nieprawidłowości i podania zaleceń do wykonania naprawy.