

Problematyka badań eksploatacyjnych wyłączników mocy zainstalowanych w rozdzielnicach wysokiego napięcia z izolacją SF6 (GIS) – studium przypadku

Tomasz Bednarczyk ¹, Tomasz Owczarek ²
OMICRON Energy Solutions Polska, Stoen Operator

Notes

Bazując na wynikach pomiarów z rzeczywistego obiektu przedstawiono i omówiono możliwe do napotkania wyzwania techniczne podczas badań wyłączników zainstalowanych w rozdzielnicach GIS. Zaprezentowano metody przeprowadzenia prób przy wyłączniku jedno- i dwu-stronnie uziemionym. Ostatecznie na bazie przykładów wskazano wpływ przeprowadzonych pomiarów wyłącznika na późniejszą poprawność działania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej.

Słowa kluczowe: GIS, wyłącznik, pomiary, elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, przekładniki prądowe.

Content

1	Wprowadzenie	3
2	Skrócony opis badanej rozdzielniczy GIS	3
3	Opis wyłącznika mocy	4
4	Pomiary	5
4.1	Mechanizm napędowy	6
4.1.1	Opis metody CSM do pomiaru charakterystycznych czasów wyłącznika	6
4.1.2	Wyniki pomiarów charakterystycznych czasów wyłącznika i parametrów wyzwalaczy	7
4.1.3	Silnik zbrojenia napędu	9
4.2	Rezystancja toru głównego.....	10
4.3	Rezystancja dynamiczna	11
4.4	Wpływ prób prądem stałym na pracę przekładników prądowych	14
5	Podsumowanie	16
6	Literatura	17

1 Wprowadzenie

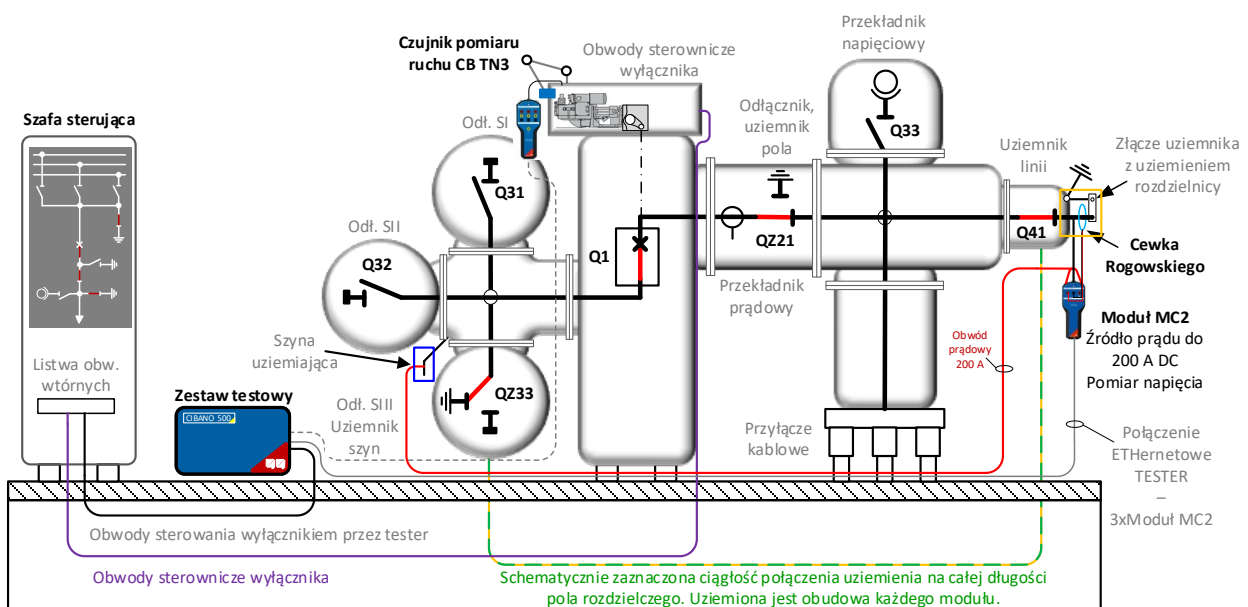
Coraz częstszym wyborem rozwiązań technicznych dla nowo budowanych stacji elektroenergetycznych wysokiego napięcia jest zastosowanie rozdzielnic typu GIS. Niewątpliwie jedną z najważniejszych przyczyn jest ograniczenie zapotrzebowania miejsca zestawiając obszar powierzchni zajęty przez stację o tym samym układzie połączeń H5 w rozwiązaniu „tradycyjnym” napowietrznym, względem rozwiązania GIS. Każde alternatywne rozwiązanie technologiczne w porównaniu do powszechnie rozpoznanych i stosowanych powoduje powstanie nowych wyzwań. Jednym z nich jest kwestia badań urządzeń elektrycznych zainstalowanych wewnątrz szczelnie zamkniętej obudowy rozdzielnicy GIS. Skutkuje to ograniczonym dostępem do samych urządzeń, co jest tożsame z dostępem do punktów pomiarowych. W trakcie badań odbiorczych (FAT i SAT) rozdzielnicy możliwe jest dokonanie pomiarów poszczególnych urządzeń z osobną, ponieważ nie są one jeszcze ze sobą połączone. Po kompletnym połączeniu wszystkich modułów i oddaniu rozdzielnicy do eksploatacji, wykonanie badań okresowych może w pewnych sytuacjach okazać się problematyczne. Autorzy podjęli temat dotyczący problematyki badań eksploatacyjnych wyłączników mocy zamkniętych w obudowie rozdzielnicy GIS. W pierwszej kolejności przedstawiono ogólną charakterystykę obiektu badań, kolejno zaś zaprezentowano wyniki przeprowadzonych pomiarów wraz z ich dyskusją.

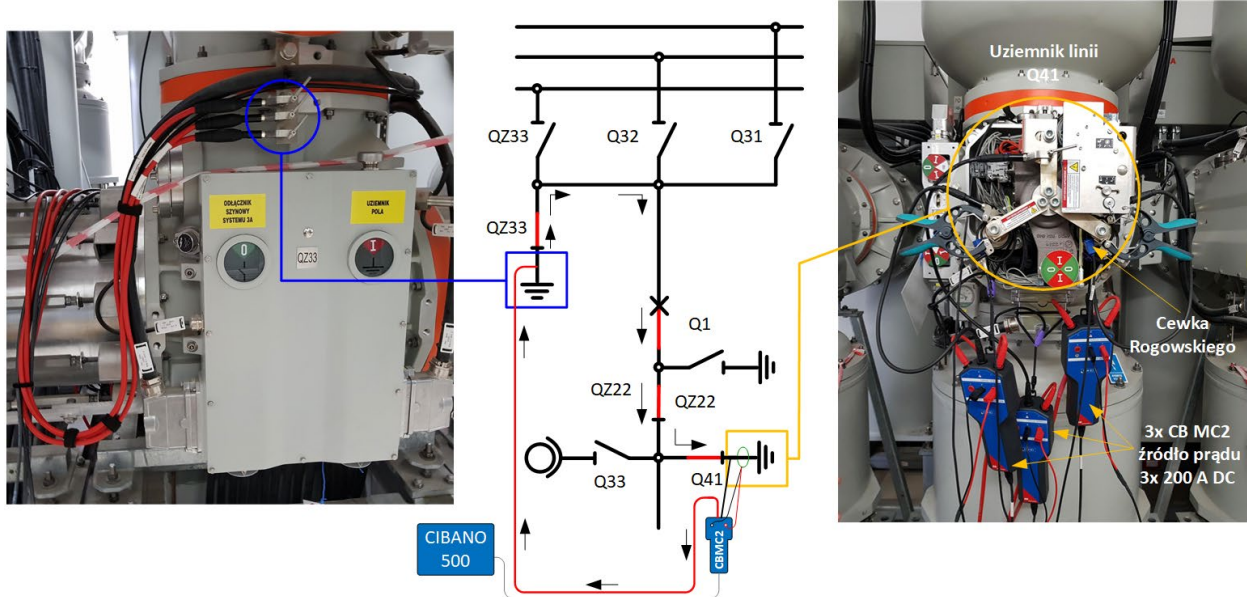
2 Skrócony opis badanej rozdzielnicy GIS

Rozdzielnica GIS typu ELK-04 (Rys.1) jest zaprojektowana do pracy w sieci o napięciu znamionowym nieprzekraczającym 123 kV oraz prądzie roboczym 2 500 A. Pojedyncze pole badanej rozdzielnicy zawiera trójsystemowy układ szyn zbiorczych, w którego skład wchodzi następujące elementy łączeniowe i pomiarowe:

- > dwa odłączniki szynowe Q31, Q32 plus jeden zintegrowany odłącznik szynowy-uziemiak,
- > wyłącznik mocy Q1,
- > odłącznik liniowy – uziemiak pola QZ21,
- > odłącznik przekładników napięciowych Q33,
- > uziemiak linii tzw. „szybki” Q41.
- > przekładniki prądowe T1 wykonane w formie toroidalnej, nakładanej na szynoprzewód oraz przekładniki napięciowe T5 podłączone na odpyływie pola.

Na rysunku 1 zaznaczono również podłączenie zestawu testowego CIBANO 500 do pomiarów wyłącznika. Szczegóły podłączenia zostaną wyjaśnione w dalszym etapie.





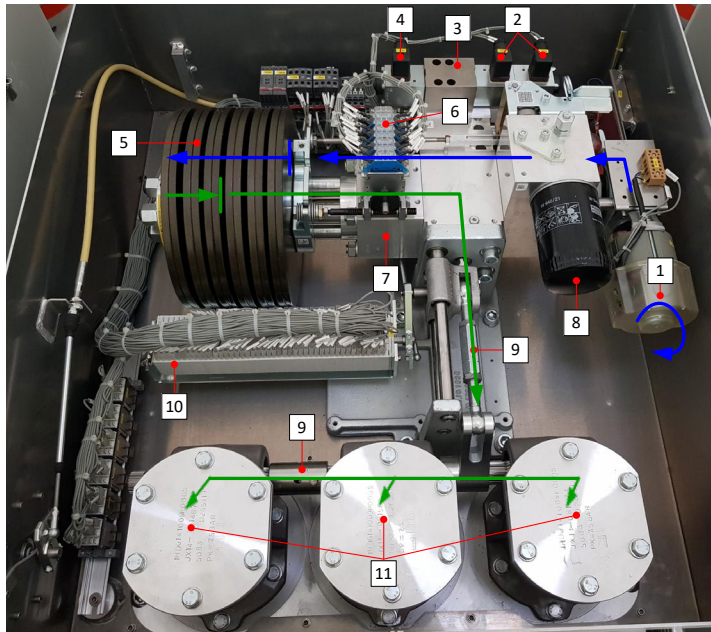
Rys. 1 Widok ogólny komponentów pola rozdzielnic GIS typu ELK-04 wraz z podłączeniem testera.

3 Opis wyłącznika mocy

Konstrukcja elementów głównych wyłącznika ELK-04 klasyfikowana jest, jako typ samoprężny, samowydmuchowy, z jedną komorą przerywacza dla każdego bieguna osobno, a zastosowany układ gaszenia łuku elektrycznego wewnątrz komory przerywacza określany jest, jako „auto-puffer” [1].

Źródłem energii potrzebnym do zmiany pozycji wyłącznika ZAMKNIĘTY / OTWARTY jest sprężynowy zasobnik energii mechanicznej typu HMB. Zasobnik wykonany jest z sprężyn talerzowych, a całą pracę mechanizmu w przybliżeniu można opisać w sposób następujący: silnik elektryczny (Rys.2 – 1) zasila wysokociśnieniową pompę hydrauliczną, która poprzez tłok zasobnikowy prasuje (ściska) talerze sprężynowe (Rys.2 – 5), gromadząc w ten sposób zapasy energii potrzebnej do wykonania określonej ilości cykli łączeniowych. Wymagany nacisk sprężyn ustalany jest poprzez położenie wyłącznika krańcowego (Rys.2 – 6), który to przerywa obwód zasilania silnika zbrojenia.

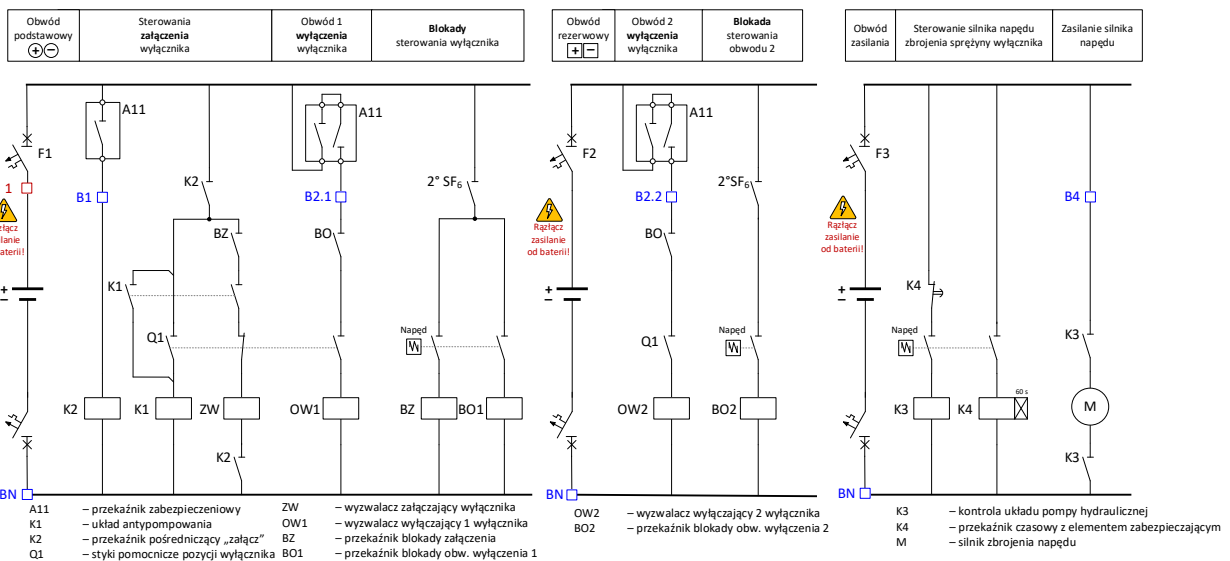
W skład zasobnika energii mechanicznej wchodzi (Rys.2): zazbrajania, zasobnikowy z zespołem sprężyn talerzowych, roboczy z tłokiem i wbudowanym tłumikiem położenia końcowego, monitoringu ze sprężynowym łącznikiem krańcowym, sterowania z zaworami pilotującymi otwierania i zamykania. Obwody sterownicze wyłącznika (Rys.4) oprócz elementów głównych tj.: cewki wyłączające (OW1, OW2), cewką załącz (ZW) oraz silnik zbrojenia napędu (M) zawiera szereg dodatkowych przekaźników pomocniczych i blokujących. Zgodnie z projektem obwodów wtórnych sterowania wyłącznikiem wydzielone zostały trzy niezależne obwody zasilania napięciem stałym DC o wartości 220 V: obwód podstawowy, rezerwowy oraz zasilanie silnika. Na schemacie (Rys.3) zaznaczono miejsca podłączenia obwodów sterowania wyłącznikiem od testera. Jako źródło sterowania wybrano obwód podstawowy.



← Magazyningowanie energii (ściskanie sprężyny)
 → Proces uwalniania energii

- 1 - silnik boczniowo-szeregowy
- 2 - wyzwalacze wyłączające, OW1, OW2
- 3 - zawór zwrotny (moduł sterowania)
- 4 - wyzwalacz załączający ZW
- 5 - zespół talerzy sprężynowych
- 6 - przełącznik krańcowy zasilania napędu
- 7 - urządzenie zasobnikowe
- 8 - zbiornik niskiego ciśnienia
- 9 - cięgno zmiany pozycji wyłącznika
- 10 - przełącznik krańcowy pozycji styków wyłącznika
- 11 - sprężynowe połączenie nieruchomego styku głównego
- 12 - izolowany wał napędowy (pod pokrywą)

Rys. 2 Widok ogólny mechanizmu napędowego HMB oraz elementów sterujących wyłącznika.



Rys. 3 Obwody sterownicze wyłącznika wraz z zaznaczonymi miejscami podłączenia testera (kolor czerwony i niebieski)

Z punktu widzenia pomiarów wyłącznika oraz całościowej oceny stanu technicznego ważne jest, aby osobą wykonującą badanie zaznajomiła się z zarówno z schematem wewnętrznych obwodów sterowania samego wyłącznika, ale i również jego połączenia z obwodami wtórnymi stacji. W ten sposób możliwe jest skontrolowanie dotrzymania wymaganych parametrów technicznych wyłącznika, ale i co równie ważne jego współpracy z obwodami stacji. Wątek ten zostanie opisany w szczegółach na przykładzie otrzymanych wyników pomiarów.

4 Pomiary

Największym wyzwaniem przy pomiarach wyłączników zainstalowanych w rozdzielnicach GIS jest możliwość (lub jej brak) rozłączenia jednej strony wyłącznika od uziemienia. W ślad za tym idzie wybór odpowiedniej metody pomiarowej oraz zakres możliwych do wykonania badań.

W analizowanym typie rozdzielnic ELK-04 jest dostęp do rozłączenia uziemienia jednej strony pola (Rys.1 – Szyna przy Q41). Skorzystano z tej funkcjonalności i przeprowadzono badania wariantowe (wyłącznik

uziemiony jedno- i dwu-stronnie). Celem dodatkowych prób jest porównanie wyników pomiarów dla różnych metod diagnostycznych. Zakres wykonanych prób zestawiono w tabeli 1. Dane do oceny stanu technicznego badanego wyłącznika zaczerpnięto z [2].

		Wyłącznik uziemiony	
Pomiar		Jednostronnie	Dwustronnie
Rezystancja	statyczna toru głównego	+	-
	dynamiczna	+	+
Silnik	Czas zbrojenia	+	
	Profil obciążenia	+	
Ruch styku głównego			
Wyzwalacz załączający, wyłączający	Czas własny	+	
	Minimalne napięcie przyciągania	+	
	Profil obciążenia	+	

Tabela 1 Zakres wykonanych pomiarów

4.1 Mechanizm napędowy

4.1.1 Opis metody CSM do pomiaru charakterystycznych czasów wyłącznika

Zazwyczaj algorytmy pomiarowe zaimplementowane w zestawach testowych, identyfikują pozycję styków głównych wyłącznika, jako zamknięty lub otwarty poprzez porównanie zmierzonych wartości rezystancji przejścia z wartościami progowymi.

Pomiar charakterystycznych czasów dla tej metody jest stosowany z powodzeniem w przypadku wyłączników jednostronnie i dwustronnie uziemionych. W tym drugim przypadku pod warunkiem, że wartość rezystancji przejścia styku głównego R_{Wyt} jest dużo mniejsza od rezystancji przejścia przez uziemienie R_{Uz} :

$$R_{Wyt} \ll R_{Uz}$$

W takiej sytuacji (2) przyjmując $R_{Uz} = 10 \text{ m}\Omega$, $R_{Wyt} = 0,1 \text{ m}\Omega$, oraz ustawioną wartość progową $R_{prog} = 5 \text{ m}\Omega$:
Wyłącznik zamknięty

$$R = \frac{R_{Wyt} \cdot R_{Uz}}{R_{Wyt} + R_{Uz}} = \frac{10 \cdot 0,1}{10 + 0,1} = 0,1 \text{ m}\Omega$$

$$R_{prog} > R \rightarrow 5 > 0,1 \text{ m}\Omega \rightarrow \text{PRAWDA}$$

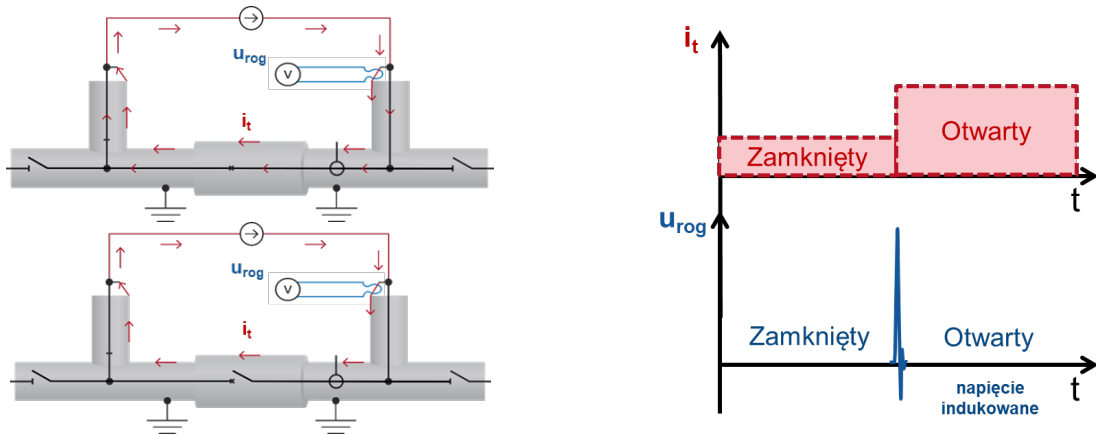
Wyłącznik otwarty

$$R = R_{Uz} = 10 \text{ m}\Omega$$

$$R_{prog} > R \rightarrow 5 > 10 \text{ m}\Omega \rightarrow \text{FAŁSZ}$$

Dla wyłączników dwustronnie uziemionych zainstalowanych w rozdzielnicach typu GIS warunek (2) jest w praktycznie niemożliwy do osiągnięcia z uwagi na porównywalną wartość rezystancji uziemienia R_{Uz} z wartością R_{Wyt} (zakres set $\mu\Omega$). W konsekwencji skutkuje to brakiem możliwości zastosowania algorytmu (2) do pomiaru czasów charakterystycznych w rozdzielnicach typu GIS. Z tego też powodu opracowano metodę CSM (ang. Current Sensor Measurement), która identyfikuje pozycję styków głównych wyłącznika (zamknięty/otwarty) mierząc wartość napięcia na zaciskach wtórnych cewki Rogowskiego.

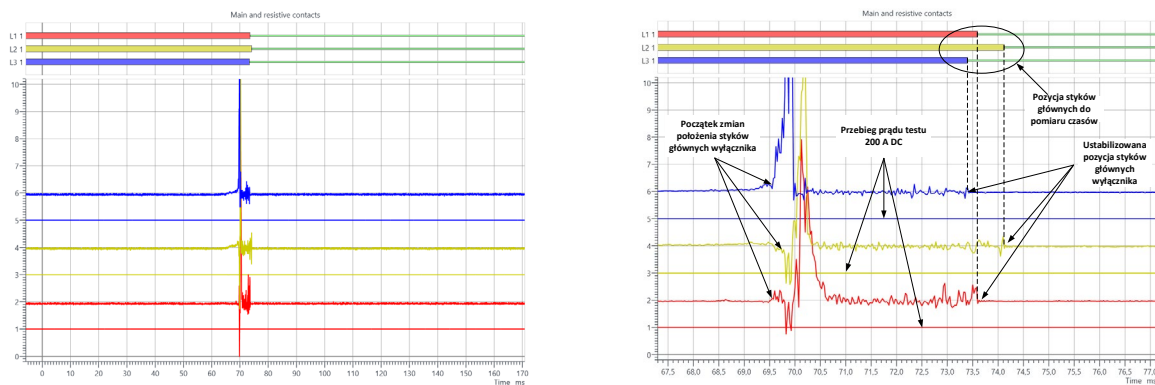
W dużym uproszczeniu wystarczającym dla potrzeb zrozumienia zasady CSM: dla sygnału prądu przemiennego $i(t)$ przepływającego przez obwód pierwotny cewki Rogowskiego wartość napięcia indukowanego $u_{rog}(t)$ w sprzężonym magnetycznie M obwodzie wtórnym jest proporcjonalna do pochodnej natężenia tego prądu. W przypadku wymuszenia przez obwód pierwotny cewki Rogowskiego prądu stałego $i(t) = 100 \text{ A dc}$, wartość napięcia indukowanego $u_{rog}(t)$ będzie równa 0 mV . Jednakże, w momencie zmiany pozycji wyłącznika zamknięty – otwarty, otwarty – zamknięty będzie dochodziło do zmiany rozptywu prądów (Rys.4), co z powodzeniem może być wykorzystane do identyfikowania zmiany pozycji wyłącznika, znając jego pozycję wyjściową.



Rys. 1 Ilustracja zasady działania metody CSM

W praktycznej realizacji wykorzystania metody CSM montowane są trzy cewki Rogowskiego (każda z osobna na fazę) w miejscu połączenia uziemnika do wspólnego uziemienia. Dla analizowanego przypadku jest to uziemnik Q41 (Rys.1).

Przykład wyników rejestracji pomiaru charakterystycznych czasów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 2 Przykład pomiaru charakterystycznych czasów wyłącznika przy cyklu otwierania
a) widok ogólny, b) widok szczegółowy.

Wartości binarne pozycji wyłącznika, przy wymuszeniu prądu testu 200 A dc wynikają z pomiaru napięć indukowanych na uzwojeniu wtórnym cewek Rogowskiego, tzn. dla wyjściowej pozycji styków głównych, jako zamknięte, identyfikacja otwarcia każdej kolumny z osobna jest tożsama z ustabilizowaniem się wartości wtórnej napięcia cewki Rogowskiego również ~ 0 mV.

4.1.2 Wyniki pomiarów charakterystycznych czasów wyłącznika i parametrów wyzwalaczy

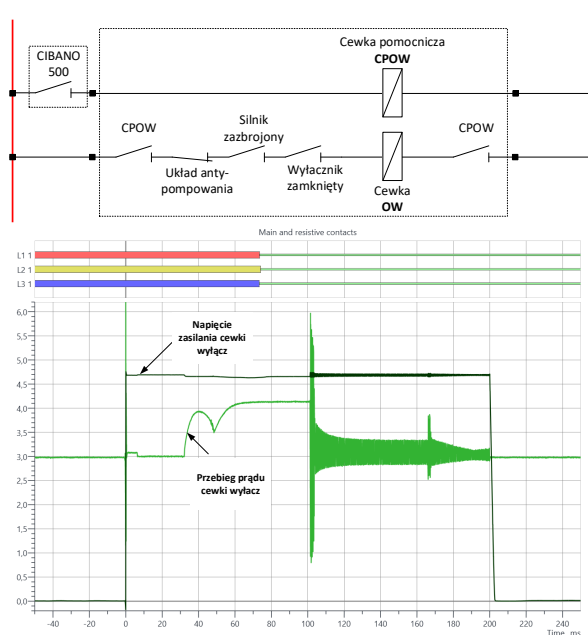
Przystępując do testów mających na celu ocenę działania wyzwalaczy sterujących (cewka załącz, wyłącz) w zakresie pomiaru charakterystycznych czasów wyłącznika tj.: przy załączaniu, wyłączaniu, dla cyklu zamknij – otwórz, niejednocześnie przy zamykaniu i otwieraniu, podłączono zestaw testowych zgodnie z projektem obwodów wtórnych pola.

Zgodnie z zaleceniami producenta chcąc porównywać wartości zmierzonych czasów z dopuszczalnymi należy zasilać wyzwalacze sterujące wartością napięcia odpowiadającą jej parametrom znamionowym oraz kontrolować właściwy stan zbrojenia sprężyn mechanizmu napędowego. Podczas pomiarów spełniono powyższe wymagania.

Otrzymane wyniki pomiarów dla cyklu wyłączenia wskazały wydłużony czas działania tj.: 74,12 ms przy dopuszczalnej górnej granicy 35 ms (przekroczenie o 111%). Analizując przebieg wartości chwilowych prądu wyzwalacza wyłączającego OW (Rys.6a) stwierdzono nieprawidłową jego pracę. Moment podania napięcia zasilającego wyzwalacza nie jest tożsamy z momentem rozpoczęcia pobierania prądu, co wyjaśniać może wydłużony czas działania. Przeprowadzono dodatkową analizę obwodów wewnętrznych wyłącznika oraz ich powiązania

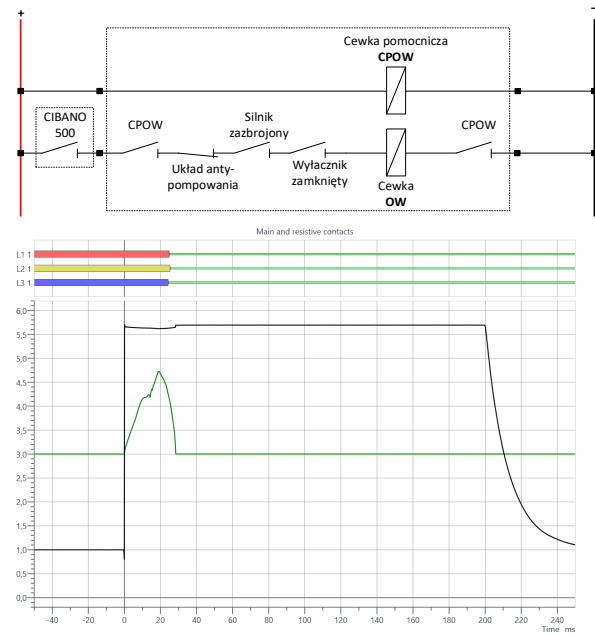
z obwodami sterującymi pola. Stwierdzono błędne podłączenie sygnału sterującego na cewkę OW, ponieważ sygnał ten był podłączony do przekaźnika pomocniczego CPOW dopiero, którego pobudzenie skutkowało podaniem napięcia na wyzwalacz sterujący OW. Zmieniając podłączenie tj.: ciągłe pobudzenie przekaźnika CPOW (Rys.6b), a impulsowanie bezpośrednio na cewkę OW spowodowało jego prawidłową pracę oraz uzyskanie wymaganych czasów działania tj.: 25,41 ms. Stosując takie podejście możliwa jest weryfikacja nie tylko samych wyzwalaczy sterujących wyłącznika, ale również kontrola ich podłączenia do obwodów sterujących pola, a więc de facto sprawdzenie fragmentu projektu obwodów wtórnych.

Podłączenie zgodnie ze projektem obwodów wtórnych pola



Czas wyłącz = 74,12 ms

Zmienione podłączenie obwodów sterujących (stałe pobudzenie cewki CPOW)



Czas wyłącz = 25,41 ms

Rys. 3 Wyniki pomiarów rejestracji czasu własnego wyłącz oraz prądu pobieranego przez wyzwalacz wyłączający przy różnym podłączeniu obwodów sterowniczych.

Należy podkreślić jak ważny jest to aspekt. W przypadku powstania zwarcia na obiekcie, który jest zasilany przez wyłącznik, czas jego całkowitego otwarcia odgrywa ogromną rolę w kwestii ograniczenia skutków niszczących tj.: cieplnych i mechanicznych wywołanych przepływem prądu zwarciovego. Ogólnie ujmując im krótszy czas przepływu prądu zwarciovego tym większa szansa na ograniczenie zniszczeń. W zakresie oddziaływania prądu zwarciovego dodatkowy czas otwarcia wyłącznika ($74,12 - 25,41 = 48,71$ ms) może być katastrofalny w skutkach.

Omówiony przypadek wskazuje potrzebę, aby osoby zajmujące się diagnostyką wyłączników mocy „spojrzały” trochę szerzej, aniżeli jedynie na obwodzie badanego wyłącznika. Stosując właściwe podłączenie obwodów pola z obwodami wewnętrznymi wyłącznika stwierdzono prawidłowe działanie wyzwalaczy w zakresie wykonanych prób (Tabela 2).

	Opis	Dopuszczalna tolerancja	Wartość zmierzona
Prąd @220 V	Rozruchowy	Brak danych	2,31 A
	Ciągły	Brak danych	1,56 A
Czas własny przy sekwencji @220 V	Zamknij	43 ÷ 59 ms	50,55 ms
	Otwórz	26 ÷ 35 ms	26,82 ms
	Zamknij – Otwórz	26 ÷ 35 ms	33,15 ms
Niejednoczesność przy	Zamykaniu	≤3 ms	0,35 ms
	Otwieraniu	≤3 ms	0,70 ms

Przeprowadzono dodatkowe badania mające na celu porównanie wyników czasów charakterystycznych otrzymanych przy zastosowaniu różnych metod tj.: metoda CSM oraz na podstawie pomiaru rezystancji. Otrzymane wyniki (Tabela 3) są ze sobą zbieżne, a różnice wyników mogą być przyczyną niepowtarzalności wyników pomiarów.

Metoda CSM (wyłącznik uziemiony dwustronnie)				Pomiar rezystancji (wyłącznik uziemiony jednostronnie)			
Operating times				Operating times			
		Opening time	Opening sync.			Opening time	Opening sync.
	Breaker	26,55 ms	0,78 ms		Breaker	25,40 ms	1,05 ms
+	A	26,55 ms	ms	+	A	24,90 ms	ms
+	B	26,27 ms	ms	+	B	25,40 ms	ms
+	C	25,77 ms	ms	+	C	24,35 ms	ms

Tabela 2 Wyniki pomiarów charakterystycznych czasów uzyskanych dwoma różnymi metodami

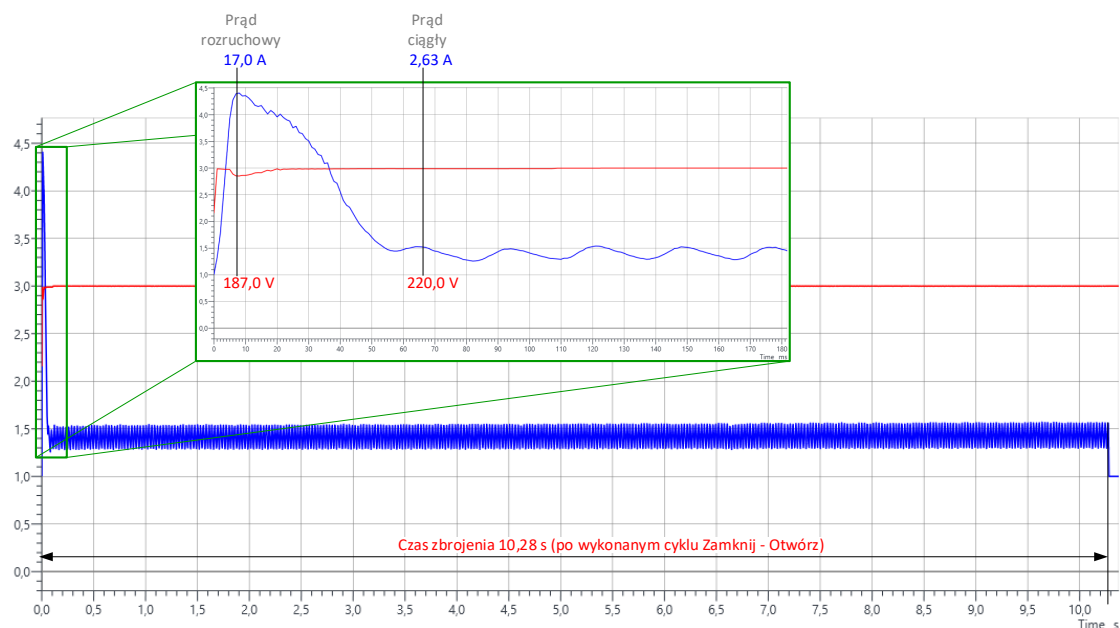
4.1.3 Silnik zbrojenia napędu

Ocenę stanu technicznego mechanizmu napędowego przeprowadzono wykorzystując wyniki pomiarów parametrów pracy silnika szeregowo bocznikowego w zestawieniu z wartościami dopuszczalnymi przez producenta (Tabela 4).

	Opis	Wartość znamionowa	Dopuszczalna tolerancja	Wartość zmierzona
Prąd @220 V	Rozruchowy	600 W	x	x
	Ciągły	20 A	17 ÷ 22 A	17,0 A
Czas własny przy sekwencji @220 V	Zamknij – Otwórz	3 A	2,55 ÷ 3,30 A	2,63 A
	Otwórz – Zamknij	11 s	9,35 ÷ 12,65 s	10,28 s
	– Otwórz			

Tabela 4 Dane znamionowe parametrów mechanizmu napędowego wraz z wynikami pomiarów.

Analizie poddano również rejestrację przebiegu czasowego prądu silnika tj. prąd udarowy i ciągły podczas procesu ściskania talerzy sprężynowych napędu. Graficzną reprezentację zarejestrowanych wyników przedstawiono na oscylografie (Rys.7).

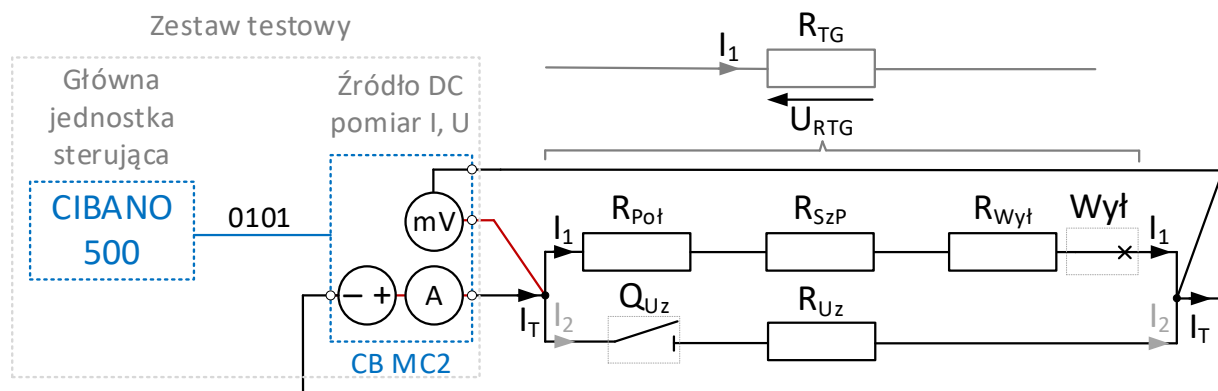


Rys. 4 Przykład zarejestrowanego profilu obciążenia silnika zbrojenia napędu

Na podstawie otrzymanych wyników (Tabela 4) oraz analizie profilu prądu (Rys.7) stwierdza się, brak przekroczenia wartości dopuszczalnych, tym samym ocena pracy mechanizmu napędowego w zakresie wykonanych pomiarów jest pozytywna.

4.2 Rezystancja toru głównego

Pomiarem, który jest najbardziej problematyczny w kontekście możliwości dokonania właściwej oceny otrzymanych wyników jest pomiar rezystancji styków głównych wyłącznika $R_{wył}$. Opinia ta motywowana jest fizycznym brakiem bezpośredniego dostępu do styków przyłączeniowych wyłącznika. Tym samym skutkuje to niemożnością wyznaczenia rezystancji samego styku głównego, a w konsekwencji jego bezpośredniej oceny. Możliwe jest dokonanie pośredniej oceny kondycji styków wyłącznika dokonując pomiaru wypadkowej rezystancji całego toru głównego. Przez pojęcie, którego należy rozumieć wszystkie elementy wchodzące w obwód pomiarowy, a którego obszar ograniczony jest dostępem do podłączenia zestawu testowego. W analizowanym przypadku rozdzielnic ELK-04 elementy wchodzące w skład mierzonej rezystancji „toru głównego” R_{TG} wchodzi (Rys.8): zastępcza rezystancja połączeń pomiędzy modułami pola $R_{poł}$, zastępcza rezystancja szynoprzewodów R_{SzP} , rezystancja styków głównych wyłącznika.



Rys. 8 Uproszczonego schematu zastępczego obwodu pomiarowego rezystancji toru głównego

W alternatywnym przypadku tj.: braku sposobności odłączenia jednej strony pola od uziemienia dodatkowym utrudnieniem byłoby uwzględnienie równolegle połączonej rezystancji uziemienia R_{Uz} (zamknięty odłącznik Q_{Uz}) oraz rozpyły prądu testu I_T na dwa składniki, którego część I_1 „płynie” przez rezystancje R_{TG} , a część I_2 przez uziemienie.

W celu określenia rezystancji R_{TG} należałoby wykonać dwuetapowy pomiar rezystancji przy wyłączniku: (1) zamkniętym $R_{Wył_z}$, (2) otwartym $R_{Wył_o}$. Następnie obliczeniowo wyznaczyć rezystancję R_{TG} , jako:

$$R_{TG} = \frac{1}{(R_{Wył_z}^{-1} - R_{Wył_o}^{-1})}$$

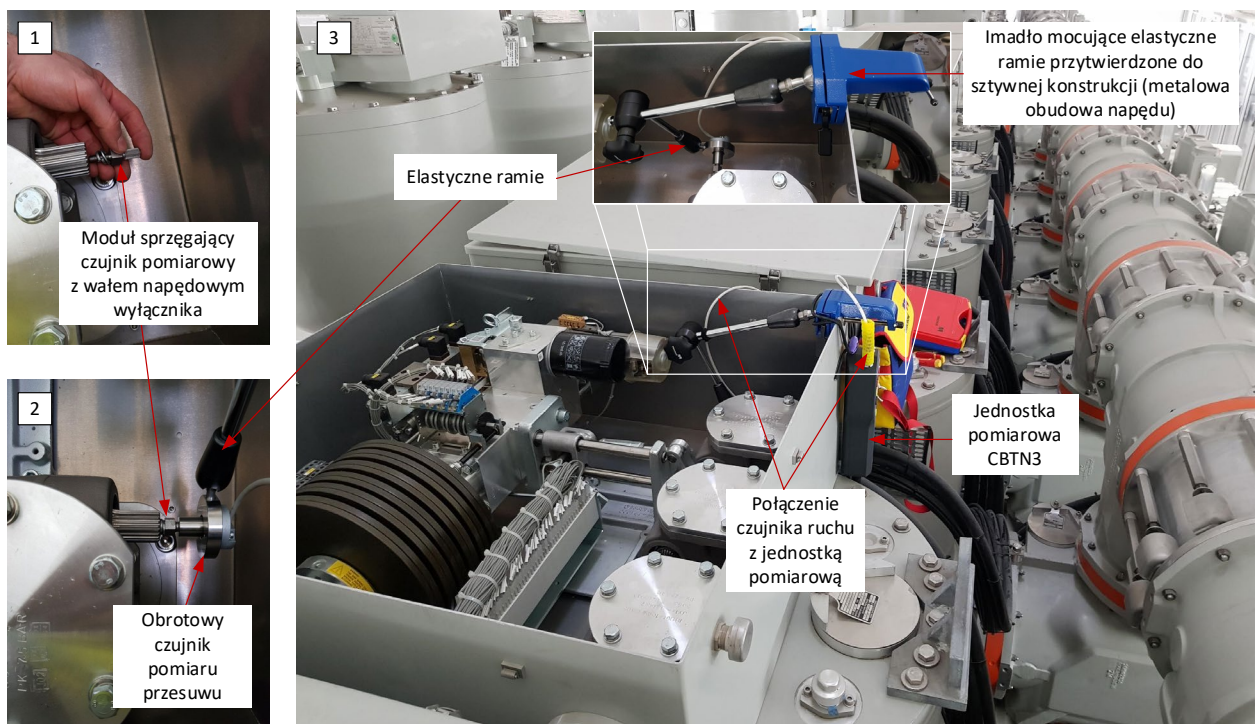
Zakładając dostęp do wyników badań odbiorczych przy tym samym układzie pomiarowym, który jest stosowany również przy pomiarach okresowych zmiana wartości wyznaczonej rezystancji toru głównego może wskazywać na (Rys.8):

- > pogorszenie (np. poluzowaniem) któregośkolwiek z połączeń między elementami pola
- > tj.: szynoprzewód – łącznik, szynoprzewód – szynoprzewód,
- > pogorszeniem „jakości” połączenia odłącznika QZ22 lub uziemnika QZ33, Q41,
- > pogorszeniem „jakości” połączenia po styku głównego wyłącznika Q1.

Wspomniane dowodzi poparcia przedstawionej tezy autorów jakoby bezpośrednia ocena stanu technicznego styku głównego wyłącznika jest niemożliwa.

4.3 Rezystancja dynamiczna

W celu dokonania oceny stanu technicznego styku opalnego najczęściej stosowaną metodą jest pomiar tzw. rezystancji dynamicznej. Oznacza to, że mając możliwość wymuszenia przepływu prądu przez styki główne wyłącznika przy jednostronnym uziemieniu w sposób ciągły rejestrowana jest wartość wymuszonego prądu oraz mierzonej na „torze głównym” straty napięcia. Ostatecznie rezystancja dynamiczna jest wynikiem ilorazu zarejestrowanych wartości napięcia i prądu podczas całego cyklu łączeniowego załączania lub wyłączania. Jako uzupełnienie pomiaru dodatkowo rejestrowany jest przebieg ruchu styku. Dzięki połączeniu obu wyników możliwe jest uzyskanie większej ilości istotnych informacji na temat kondycji zarówno całości mechanizmu napędowego oraz styku opalnego. Na rysunku 9 przedstawiono szczegółowo sposób podłączenia czujnika do pomiaru ruchu (drogi) styku.



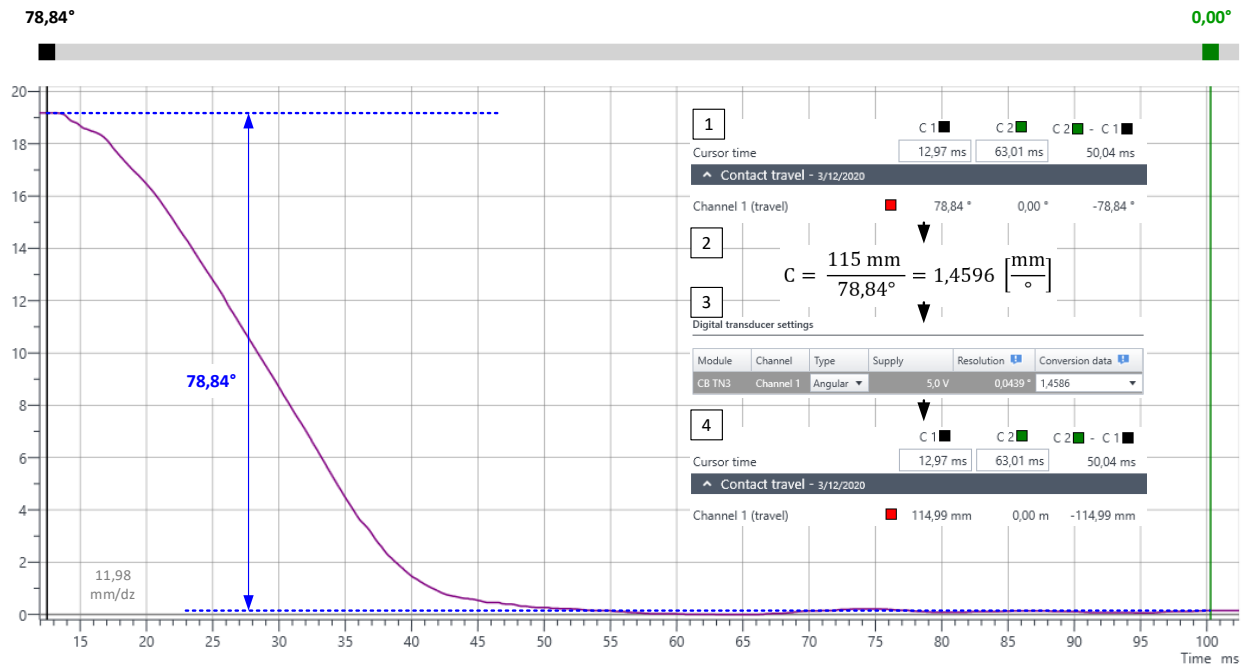
Rys. 5 Widok połączenie elementów składowych do pomiaru ruchu styku głównego

Do oceny ruchu styku głównego brana jest pod uwagę wartość przebytej drogi określonej w jednostce odległości (mili metr). Zważywszy, że czujnik obrotowy dokonuje pomiaru wartości kątowej L_{obr} w stopniach, należy dokonać konwersji otrzymanych danych pomiarowych uwzględniając wartość całkowitej drogi L_n podanej przez producenta (115 mm) [2]:

$$C = \frac{L_n}{L_{obr}} \left[\frac{mm}{^\circ} \right] \quad (1)$$

Dla zmierzonej wartości obrotowej całkowitej drogi wartość współczynnika C wynosi (Rys.10):

$$C = \frac{115 \text{ mm}}{78,84^\circ} = 1,4596 \left[\frac{mm}{^\circ} \right]$$

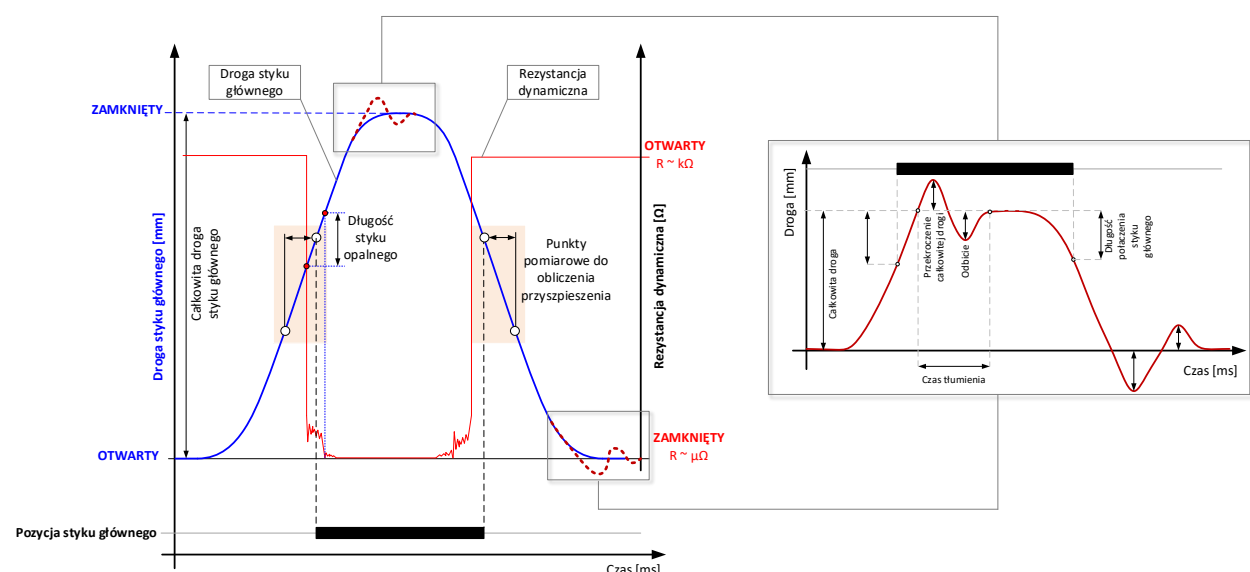


Rys. 6 Przykład pomiarowego wyznaczania współczynnika konwersji dla czujnika ruchu

Dysponując rejestracją ciągłą drogi przebytej przez styki wyłącznika w jednostce odległości możliwe jest przeprowadzenie dogłębnej analizy otrzymanych wyników pomiarów oraz ich oceny. Istotne informacje diagnostyczne, możliwe do odczytania z wykresu (Rys.11):

- > całkowita droga, jaką wykonują styki główne, której miarą jest różnica pomiędzy skrajnymi pozycjami np. otwarty – zamknięty. Jest to również informacja o długości przerwy izolacyjnej pomiędzy biegunami wyłącznika.
- > Prędkość, z jaką porusza się styk wyłącznika.
- > Właściwości elementów mechanicznych wyłącznika odpowiedzialnych za tłumienie, które można analizować poprzez pomiar odległość, o jaką została przekroczona całkowita droga, długość i czas odbić.

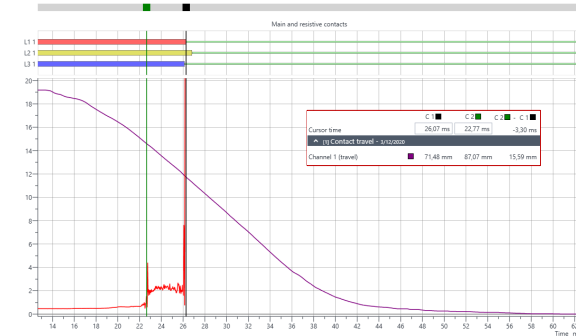
Uzupełniając pomiar ruchu (drogi) o pomiar rezystancji dynamicznej możliwe jest wyznaczenie długości styku opalnego (łuku elektrycznego).



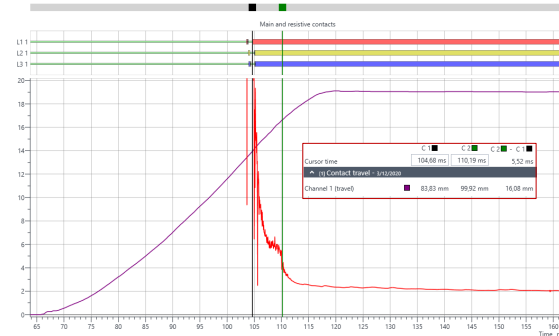
Rys. 7 Przykład charakterystycznych do analizy zmierzonej wartości ruchu styków wyłącznika

Skorelowane ze sobą wyniki pomiarów ruchu oraz rezystancji dynamicznej (Rys.12) dla cyklu wyłączania (Rys.12a) oraz załączania (Rys.12b) pozwoliły na określenie wcześniej omówionych parametrów, których wyniki zestawiono poniżej zarejestrowanych grafów przebiegów. Z powodu braku danych wartości dopuszczalnych przez producenta wybrane wartości zmierzone odniesiono do danych zawartych w raporcie pomiarowych z laboratorium KEMA [3]. Na ich podstawie stwierdza się, że w zakresie przeprowadzonych prób wyłącznik nadaje się do dalszej eksploatacji.

a) cykl otwierania



b) cykl załączania

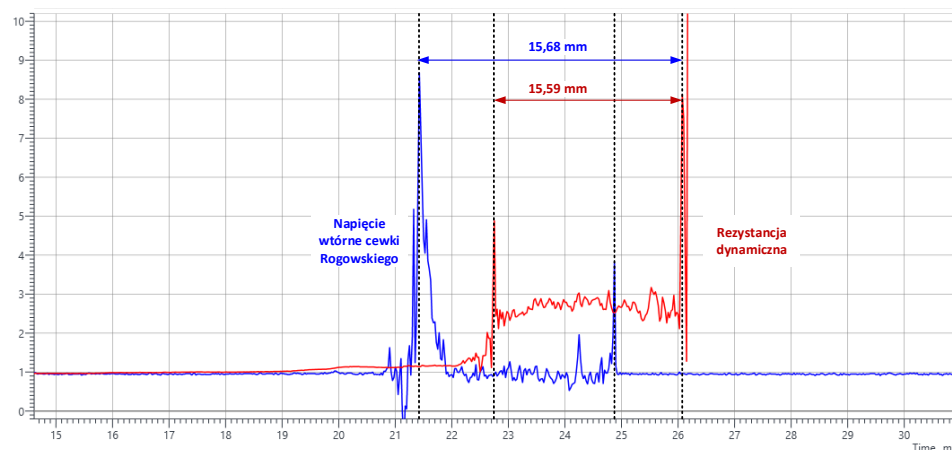


	Opis	Wartość znamionowa	Dopuszczalna tolerancja
Droga	Całkowita	115,0 mm	114,8 mm
	Przekroczenie	0,77 mm	0,38 mm
	Odbicie	0,51 mm	0,06 mm
Prędkość		5,20 m/s	3,21 m/s
Długość połączenia styku	Głównego	37,91 mm	39,05 mm
	Opalnego + łuk elektryczny	15,59 mm	16,08 mm

Rys. 8 Wyniki rejestracji i pomiarów ruchu oraz rezystancji dynamicznej

Dysponując danymi pomiaru długości styku opalnego (Rys.12) przeprowadzono dodatkowe próby celem poszukiwania alternatywnej metody do sprawdzenia kondycji styków opalonych przy założeniu braku możliwości odłączenia uzziemienia od jednej ze stron wyłącznika.

W tym celu porównano wyniki pomiarów (Rys.12) z pomiarem długości trwania napięcia indukowanego w uzwojeniu wtórnym cewki Rogowskiego wykorzystując wcześniej omówioną metodę CSM. Otrzymane wyniki porównań (Rys.13) dowodzą możliwość oszacowania długości styku opalnego z zadowalającą dokładnością: 15,59 mm przy pomiarze rezystancji dynamicznej przy 15,68 mm z pomiarów przy użyciu metody CSM.



Rys. 9 Porównanie określenia długości styku opalnego dla dwóch różnych metod pomiarowych.

4.4 Wpływ prób prądem stałym na pracę przekładników prądowych

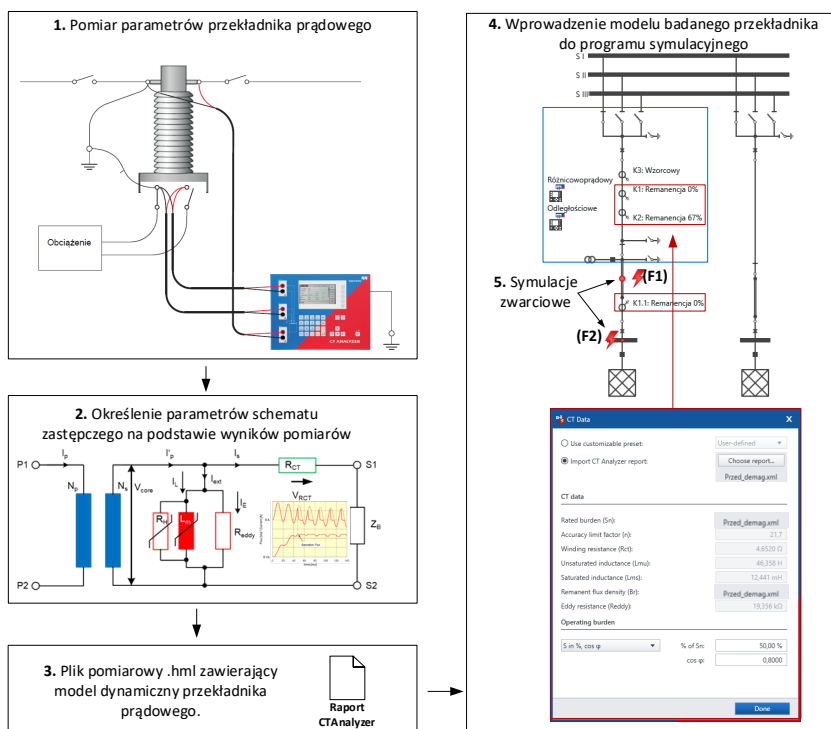
Podczas badań wyłącznika zabudowanego wewnątrz rozdzielnicy GIS, wielokrotnie, jako źródło wymuszenia sygnału pomiarowego stosuje się sygnał prądu stałego dc. Wartość amplitudy prądu testu mieści się w zakresie od 100 do 200 A (najczęściej). Należy mieć to na uwadze wiedząc, że w obwodzie pomiarowym znajdują się przekładniki prądowe (Rys.1) oraz jaki to będzie miało wpływ na ich prawidłową pracę w zakresie transformacji prądów roboczych i zwarciovych (szczególnie).

W celu zilustrowania wspomnianego problemu wykonano pomiary uzupełniające (Rys.14) mające na celu sprawdzenie potencjalnych przyczyn pozostawienia rdzeni przekładników prądowych w stanie namagnesowania po wykonanych próbach prądem stałym. Zakres analiz zawężono wyłącznie do rdzenia przekładnika, który zasila układy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ).

Wykonano pomiary wybranych parametrów przekładnika: rezystancja uzwojenia, charakterystyka magnesowania, remanent szczątkowy, obciążenie robocze wykorzystując urządzenie CTAnalyzer (Rys.14-1). Na podstawie zebranych danych pomiarowych algorytm programu urządzenia opracował model matematycznego badanego przekładnika (Rys.14-2), który następnie został wykorzystany w komputerowych badaniach symulacyjnych.

W programie symulacyjnym RelaySimTest opracowano fragment sieci (Rys.14-4) odwzorowując badane pole rozdzielcze wraz z jego najważniejszymi elementami tj.: łączniki, przekaźnik zabezpieczeniowy, przekładnik prądowy z wykorzystaniem wyników pomiarów dla opcji rdzenia przekładnika prądowego bez uwzględnienia rozmagnesowania rdzenia - „rdzeń namagnesowany” oraz z fizycznym uwzględnieniem rozmagnesowania rdzenia „rdzeń rozmagnesowany”. Zamodelowane dwa przekładniki pozwolą na bezpośrednie wskazanie wpływu rozmagnesowania rdzenia na pracę urządzeń do niego przyłączonych.

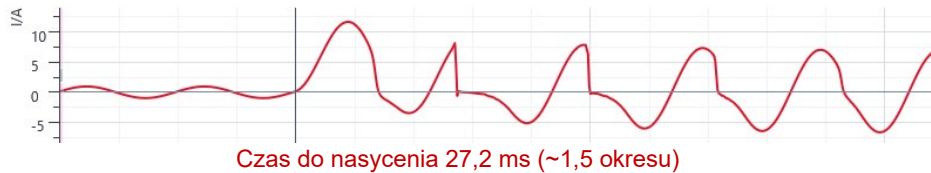
Dysponując kompletem danych przeprowadzono symulacje zwarciovie (Rys.14-5) różniąc dwa miejsca zwarcia. Jako jeden z możliwych scenariuszy zwarciovych zamodelowano zwarcie 1-fazowe (L1-E) na odpywie badanego pola tj. linia przesyłowa 110 kV. Zarejestrowane przebiegi wartości chwilowych prądów w chwili poprzedzającej oraz równej momentowi powstania zwarcia przedstawiono na rysunku 15.



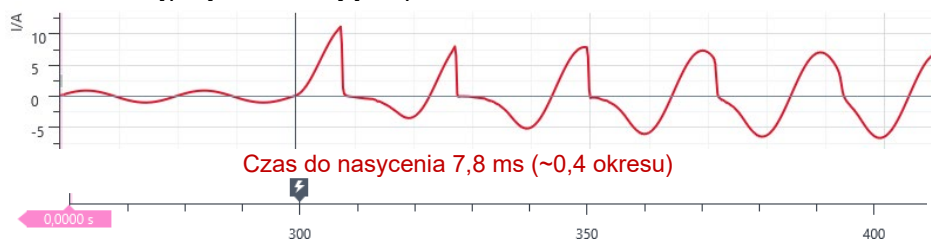
Rys. 10 Wizualizacja procesu pomiaru parametrów przekładnika prądowego oraz późniejszego ich wykorzystania.

Wskutek przepływu prądu stałego w obwodzie pierwotnym przekładnika jego obwód magnetyczny (rdzeń) zostaje namagnesowany. Konsekwencją, czego jest zmiana (obniżenie się) punktów charakterystyki magnesowania, co prowadzi do wcześniejszego nasycenia rdzenia przekładnika. W rezultacie prowadzi to do niewłaściwej transformacji, zniekształcając przebieg prądu wtórnego znacznie wcześniej (Rys.15b) w porównaniu z rdzeniem, w którym nie występuje wstępny remanent (Rys.15a). Różnica czasu nasycenia się rdzenia w analizowanym przypadku wynosi 19,4 ms, co w obszarze EAZ znacząco może wydłużyć proces podejmowania decyzji o wyłączeniu uszkodzonego obiektu.

a) Rdzeń bez wstępnej remanencji

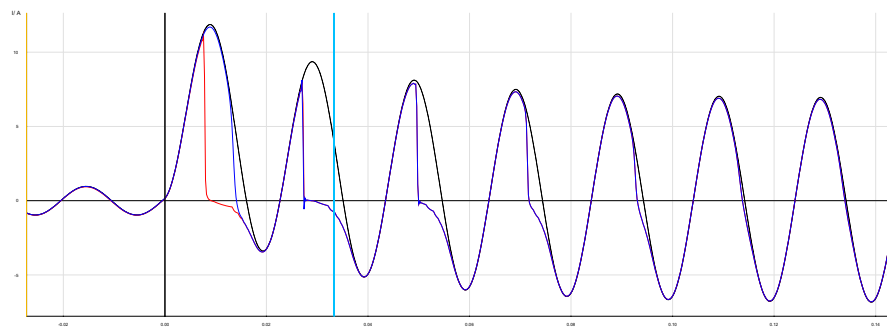


b) Rdzeń z wstępną remanencją na poziomie 67%



Rys. 11 Przebiegi wartości chwilowej prądu zwartej fazy L1-E dla zwarcia w miejscu F1 (Rys.16).

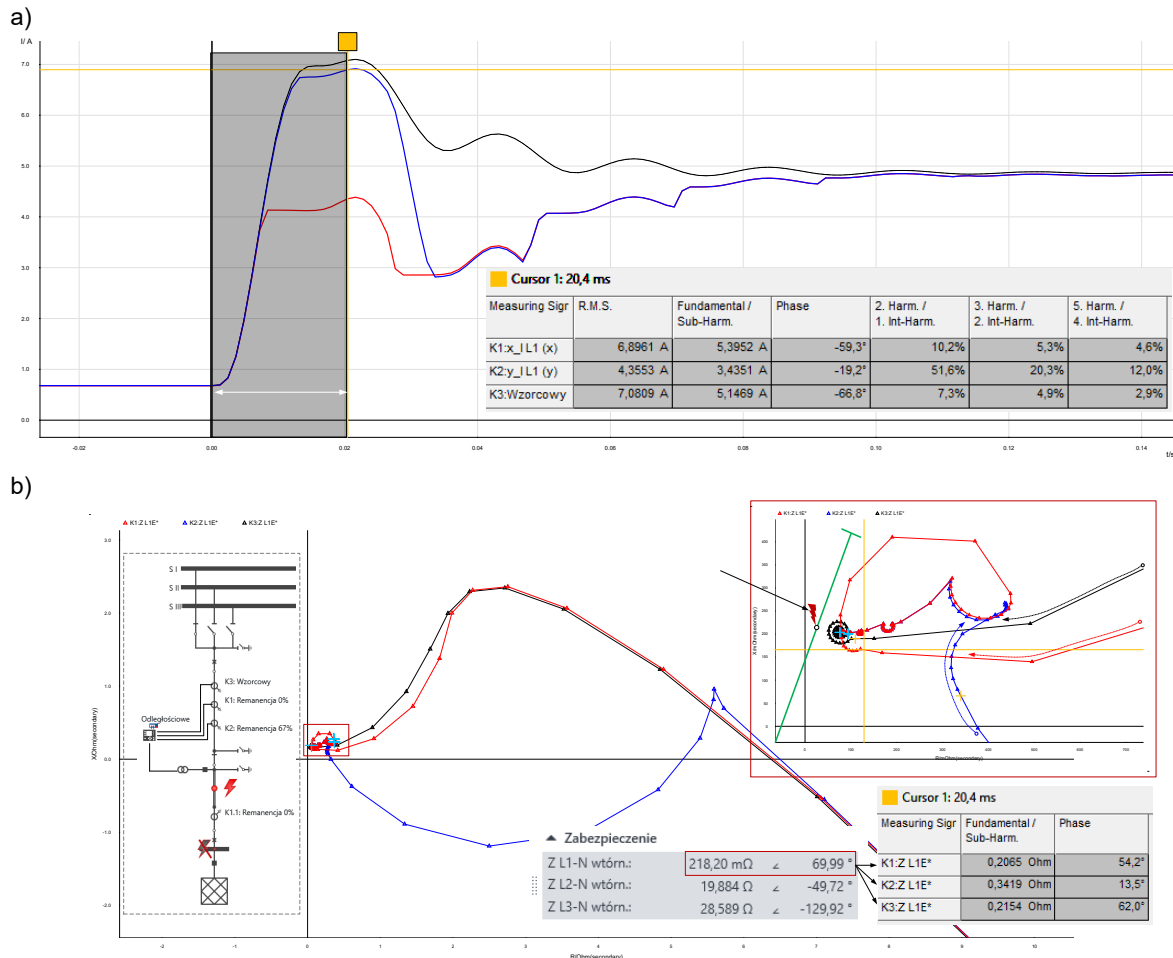
W uzupełnieniu do przedstawionych wyników na rysunku 16 przedstawiono nałożone na siebie 3 przebiegi prądu wtórnego analizowanego przekładnika. Linia przerywana zaznaczono wartość prądu wtórnego „wzorcowego” modelując idealny transformator tzn. taki, który przetwarza prąd pierwotny na wartość wtórną uwzględniając wyłącznie przekładnie zwojową, całkowicie natomiast pominięto gałąź poprzeczną schematu zastępczego (brak efektu nasycenia rdzenia). Linia czerwona jest to przebieg prądu wtórnego dla rdzenia przekładnika z wstępną remanencją 67%, linia niebieska bez wstępnej remanencji.



Rys. 12 Zbiorcze zestawienie przebiegów prądu wtórnego w przypadku sygnału wzorcowego (linia przerywana), rdzeń z wstępną remanencją 67% (czerwona) oraz brak wstępnej remanencji (niebieska).

Odnosząc się bezpośrednio do występowania początkowej remanencji w obwodzie przekładnika prądowego przedstawiono wpływ na działanie trzech wybranych kryteriów zabezpieczeniowych tj. funkcji: nadprądowej (Rys.17a) – zwarcie F1, odległościowej (Rys.17b) – zwarcie F1.

Dla funkcji nadprądowej w chwili $t=20,4$ ms porównując wartości prądu dla przekładnika z remanencją 67% względem 0% dochodzi do obniżenia wartości skutecznej prądu o około 47%. W przypadku funkcji odległościowej analogicznie jak dla przykładu funkcji nadprądowej dochodzi do zafalszowania w dół wyznaczonej impedancji zwarcia o 39%.



Rys. 13 Wyniki symulacji komputerowych wpływu braku rozmagnesowania rdzenia przekładnika prądowego na działanie automatyki EAZ dla funkcji a) nadprądowej, b) odległościowej.

Przedstawione rozważania wpływu pozostawienia namagnesowanych rdzeni przekładników prądowych dowodzą jak ważne, aby po zakończonych pomiarach wyłączników w rozdzielnicach GIS przeprowadzić procedurę rozmagnesowania. Tester wykorzystany do badań posiada taką funkcjonalność generując od strony pierwotnej przekładników sygnał o zmiennej w czasie amplitudzie i polaryzacji sygnału.

5 Podsumowanie

Spośród całego zakresu przeprowadzonych badań najistotniejsze spostrzeżenia dotyczą kwestii:

- > miejsca, w które podłączane jest urządzenie testujące. Wyniki przeprowadzonych prób (pkt.4.1.2) wykazały, że należy podłączać aparaturę testującą zgodnie z projektem obwodów wtórnych pola, w którym zainstalowany jest wyłącznik. Podejście takie daje możliwość zweryfikowania zarówno czasów własnych wyłącznika, których ocena podlega na porównaniu z wartościami dopuszczalnymi przez producenta, jak i prawidłowości podłączenia obwodów sterujących układów EAZ do wyłącznika.
- > Istoty wpływu braku wykonania dodatkowych czynności po skończeniu pomiarów wyłącznika. Chodzi tutaj o wpływ braku rozmagnesowania rdzeni przekładników prądowych, a których potencjalne skutki mogą mieć znaczący wpływ na poprawność działania układów EAZ (pkt.4.4).
- > W przypadku braku możliwości rozłączenia uziemienia od jednej strony wyłącznika wykazano możliwości przeprowadzenia pomiarów charakterystycznych czasów z wykorzystaniem metody CSM (pkt.4.1.1) dla wyłącznika (pola) dwustronnie uziemionego.
- > Wykorzystując pomiary ruchu styku wykazano możliwość wyznaczenia długości połączenia styku opalnego na podstawie pomiaru indukowanego napięcia wtórnego cewki Rogowskiego (Rys.13) w sytuacji dwustronnie uziemionego wyłącznika.

6 Literatura

1. Broszura produktu nr: ABB_1HDX580101pl_ELK-04.
2. Dokumentacja Techniczno-Ruchowa rozdzielnic GIS typ. EXK-0 nr 1HDG918103Epl.
3. A.Gul: Próby laboratoryjne potwierdzające wysokie bezpieczeństwo eksploatacji oraz niezawodność GIS 110 kV typu ELK-04 , w Stacjach Energetycznych z dużymi prądami zwarciovymi. Czerwiec 2016.

OMICRON is an international company serving the electrical power industry with innovative testing and diagnostic solutions. The application of OMICRON products allows users to assess the condition of the primary and secondary equipment on their systems with complete confidence. Services offered in the area of consulting, commissioning, testing, diagnosis and training make the product range complete.

Customers in more than 140 countries rely on the company's ability to supply leading edge technology of excellent quality. Service centers on all continents provide a broad base of knowledge and extraordinary customer support. All of this together with our strong network of sales partners is what has made our company a market leader in the electrical power industry.

For more information, additional literature, and detailed contact information of our worldwide offices please visit our website.

www.omicronenergy.com