

Układy kontroli cewek sterujących w wyłącznikach średniego napięcia

W artykule przedstawiono metodykę pomiarową wczesnego ostrzeżenia o zagrożeniu niewykonania operacji łączeniowych wyłącznika wskutek uszkodzeniu cewki sterującej. Podano ponadto rozwiązania techniczne układów pomiarowych ciągłości obwodów tych cewek oraz przedstawiono układy diagnostyczne, które znalazły zastosowanie w powszechnie stosowanej elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej EAZ.

WSTĘP

System elektroenergetyczny jest zbiorem obiektów i urządzeń służących do wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej. Aby energia elektryczna trafiła do odbiorcy, musi być przesłana liniami przesyłowymi – napowietrznymi lub kablowymi. Występuje cały system przetwarzania energii, polegający na podwyższeniu napięcia do przesyłu, jak i powtórny jego obniżeniu do wykorzystania przez odbiorcę. Jak wiadomo, sieci elektroenergetyczne mają rozgałęzienia w formie drzewa i nie można się obyć bez odłączania niektórych jej odcinków, co wynika ze stanu ich pracy lub też sytuacji awaryjnych. W przemyśle zwykle występują sieci średniego i niskiego napięcia. Do odłączania niektórych odgałęzień lub elementów sieci SN stosuje się wyłączniki SN z możliwością wyłączenia prądu w próżni lub w atmosferze ochronnej SF₆. Wyłączniki takie są załączane i wyłączane za pomocą cewek sterujących. Cewki te podczas przeprowadzenia operacji łączeniowych pobierają dosyć dużo mocy, zwykle około 200-300 W. Energia wydzielona podczas procesu łączeniowego zależy od czasu pobudzenia cewki, który zwykle nie przekracza 100 ms. W sytuacjach awaryjnych lub po dłuższym czasie eksploatacji cewki te mogą ulegać uszkodzeniu. W wyłącznikach zwykle stosuje się jedną cewkę załączającą i 2 lub 3 cewki wyłączające. Zwielokrotnianie ilości cewek wyłączających zwiększa prawdopodobieństwo wyłączenia wyłącznika SN nawet w sytuacjach awaryjnych, ale nie gwarantuje wyłączenia. Aby znać

stan aktualny cewek sterujących wyłącznika, należy stosować stałą diagnozę ich stanu.

URZĄDZENIA Z RODZINY ELEKTROENERGETYCZNEJ AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ EAZ TYPU MUPASZ Z WBUDOWANĄ DIAGNOSTYKĄ CIĄGŁOŚCI CEWEK STERUJĄCYCH

Urządzenia EAZ typu MUPASZ zostały opracowane i wdrożone do produkcji w Instytucie Tele- i Radiotechnicznym. Przeznaczone są do pracy w charakterze wielofunkcyjnych sterowników polowych w sieciach SN z uziemionym lub izolowanym punktem neutralnym oraz w sieciach kompensowanych.

Wybrane przykładowe funkcje omawianych urządzeń, ich przeznaczenie oraz zastosowanie przedstawione zostały w tabeli 1.

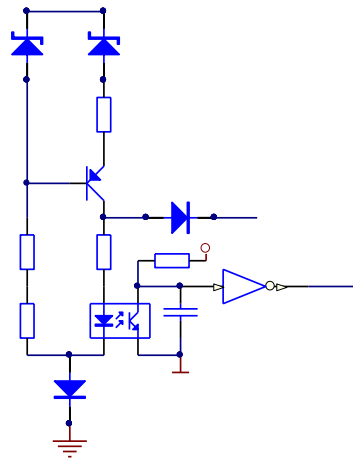
UKŁADY DO KONTROLI STANU CEWEK STERUJĄCYCH STOSOWANYCH W WYŁĄCZNIKACH SN

Ze względu na moc wydzielaną w cewkach sterujących wyłącznika, ulegają one częstym uszkodzeniom, co przekłada się na zawodność pracy całego systemu elektroenergetycznego. Niemalże od czasu skonstruowania wyłącznika elektroenergetycznego ze sterowaniem cewkami elektromagnetycznymi, zdano

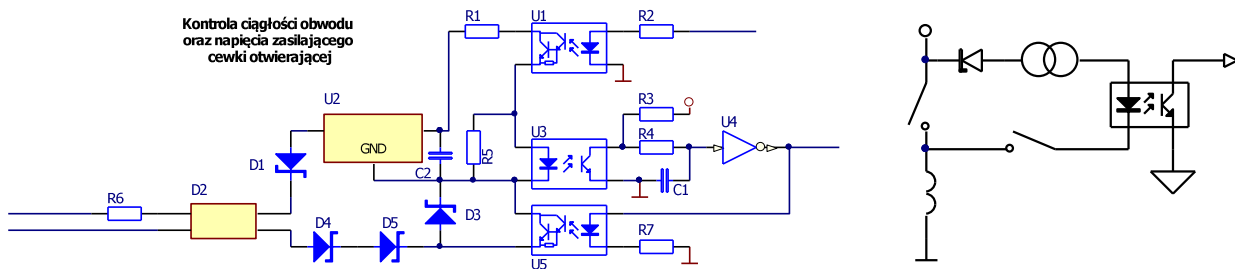
Tabela 1

Charakterystyka urządzeń EAZ typu MUPASZ

Funkcje urządzeń EAZ typu MUPASZ	Przeznaczenie urządzeń	Zastosowanie
Integrują w sobie funkcje: <ul style="list-style-type: none"> - pomiarów - zabezpieczeń - automatyk - rejestratora zdarzeń - rejestratora zakłóceń - analizatora jakości energii (MUPASZ 710) - współpracy z systemem nadrzędnym - samokontroli 	Przeznaczone są do pracy w polach: <ul style="list-style-type: none"> - zasilających - odpływowych - łącznika szyn - pomiarowych 	Przystosowane są do ochrony: <ul style="list-style-type: none"> - linii kablowych i napowietrznych - generatorów synchronicznych - transformatorów - silników - baterii kondensatorów



Rys. 1. Przykładowy schemat rozwiązania układu kontroli cewek wyłącznika zastosowany w urządzeniach MUPASZ 2021



Rys. 2. Schemat rozwiązania układu kontroli cewek wyłącznika, wraz z układem zastępczym zastosowany w MUPASZ 7.U1

sobie sprawę z ważności kontroli ich ciągłości na niezawodność działania wyłącznika. Dla wyłączników SN układy kontroli cewek wyłącznika są montowane wewnątrz urządzeń EAZ. Są to przeważnie źródła prądowe, z których prąd wpływa w obwód cewki sterującej i wywołuje spadek napięcia, który poprzez układ bariery optoizolacyjnej trafia do układu pomiarowego. Kontrolę podlegają zarówno cewka zamykająca, jak i jedna lub dwie cewki otwierające. Przykładowe schematy tych rozwiązań przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy schemat źródła prądowego o prądzie 1 mA z barierą transpotorową stosowany urządzeniu MUPASZ 2021.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy schemat źródła prądowego o prądzie 1 mA z barierą transpotorową i możliwością wyłączenia kontroli cewek stosowany urządzeniu MUPASZ 7.U. Przedstawiony układ dzięki wbudowanej histerezie napięciowej realizuje również funkcję pomiaru prawnego zakresu napięcia dla badanych cewek sterujących. Przedstawiono również uproszczony schemat zastępczy omawianego układu.

Układy te mimo wielu zalet mają podstawową wadę, tj. nie chcą współpracować z cewkami ze sterowaniem elektronicznym, coraz powszechniej stosowanych w wyłącznikach SN średniego napięcia.

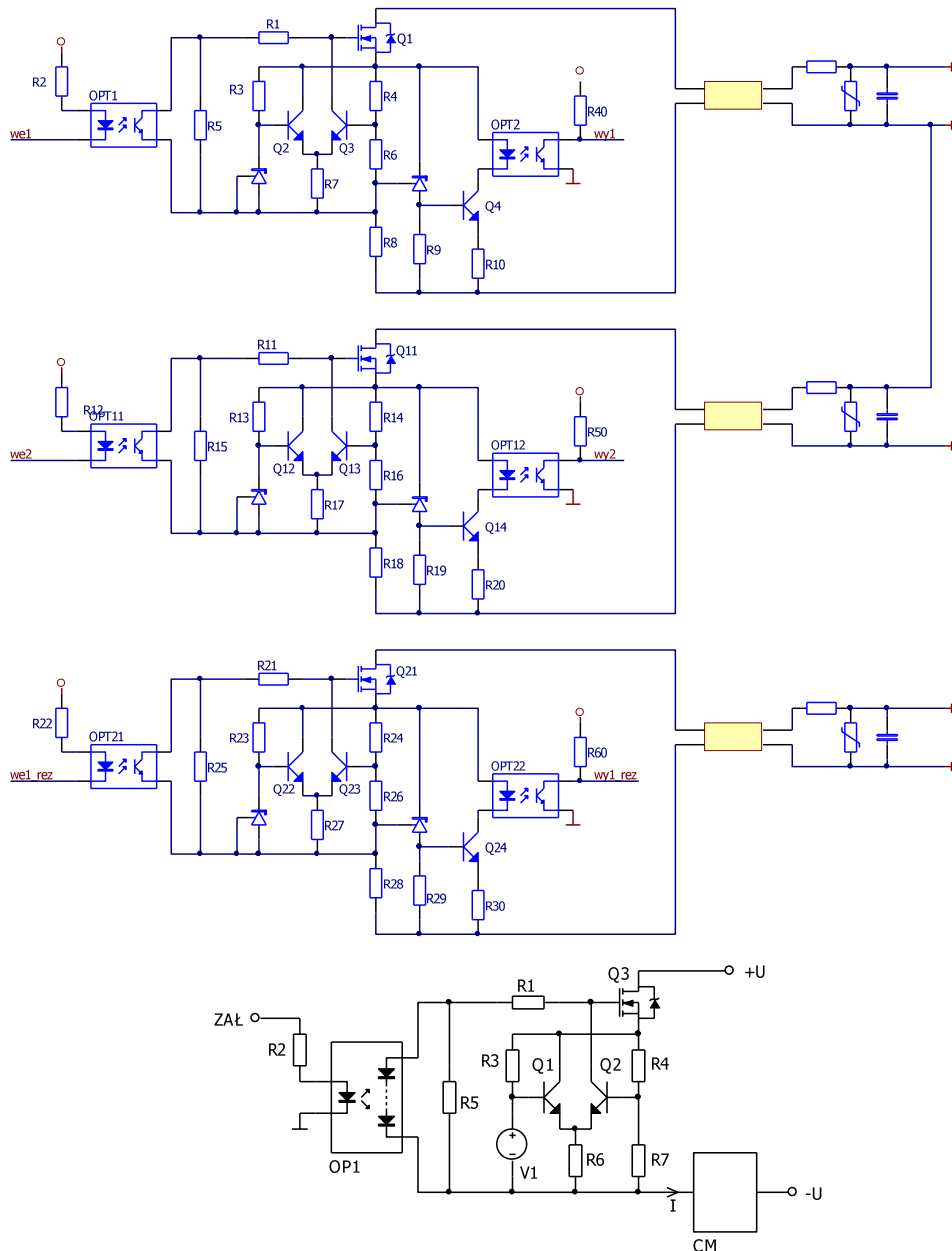
POTRZEBA MODERNIZACJI DOTYCHCZASOWYCH ROZWIĄZAŃ UKŁADÓW KONTROLI CEWEK WYŁĄCZNIKA

Przyczyną modernizacji układu kontroli cewek wyłącznika ze stosowanego dotychczas jest wprowadzenie na rynek cewek ze sterowaniem elektronicznym, gdzie oprócz cewki, w obwód włączony jest układ elektroniczny sterujący, któremu przed badaniem należy podać napięcie zasilające.

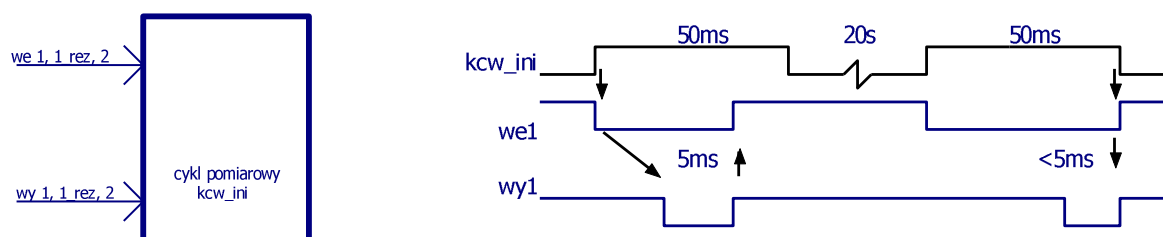
Cewki ze sterowaniem elektronicznym, ze względu na swoje zalety, w szybkim tempie zajmują miejsce przeznaczone dla cewek klasycznych. Zdecydowanie podnoszą trwałość układów sterowania wyłącznikiem,

upraszczają schematy przyłączeniowe urządzeń sterująco-zabezpieczających, poprzez eliminację styków pomocniczych. Przykładem takiego rozwiązania są cewki ze sterowaniem elektronicznym stosowane w wyłączniku VD4.

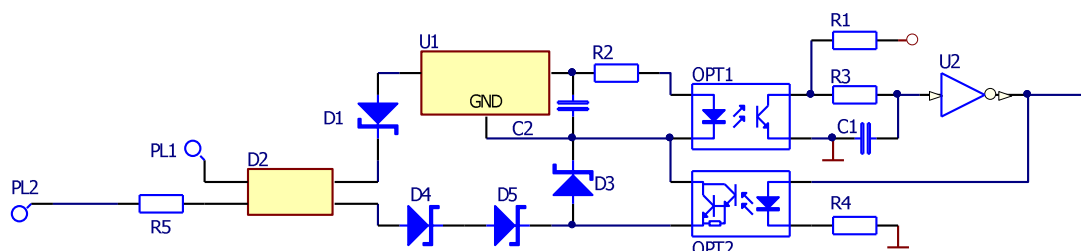
Nowe rozwiązanie układu elektronicznego do kontroli cewek wyłącznika przedstawiono na rysunku 3. Umożliwia on kontrolę 3 cewek wyłącznika – zamykającej, otwierającej 1 i rezerwowej otwierającej 2, oraz układ do kontroli napięcia podawanego na cewki zamykającą i otwierającą 1 (rysunek 3). Cewka otwierająca 2 jest zwykle zasilana z innego bezpiecznika. Układ ten składa się ze źródła prądowego o prądzie 80 mA na tranzystorze MOS (Q1) i sterowanego parą różnicową (Q2, Q3).



Rys. 3. Schemat rozwiązania układu kontroli cewek wyłącznika sterowanych elektronicznie cewek, wraz z układem zastępczym zastosowany w urządzeniach UAD 10.1 e-Diagnostyka



Rys. 4. Układ procesorowy wraz z przebiegami czasowymi w określonych punktach schematu zastosowany w urządzeniach UAD 10.1 e-Diagnostyka



Rys. 5. Układ do kontroli napięcia pomocniczego zasilającego cewki wyłącznika

Układ załączany jest transoptorem fotowoltaicznym (OPT1), a wynik badania płynącego prądu przekazywany jest za pomocą transoptora (OPT2) na wejście procesora. Pozostałe dwa układy wykonawcze są powtórzeniem omawianego układu. Na rysunku 3 przedstawiono układ kontroli napięcia wyłącznika. Przedstawiono również uproszczony model omawianego układu.

Na rysunku 4 przedstawiono układ procesorowy wraz z przebiegami czasowymi w określonych punktach schematu, tj.: *kcw_ini* – cykl wewnętrzny wykonywania pomiaru, *we1* – sterowanie transoptora fotowoltaicznego (OPT1), *wy1* – wynik pomiaru prądu płynącego w obwodzie cewki, *kcw1* – wynik badania cewki zamykającej. W układzie zastosowano procesor PIC 16f505 firmy Microchip. Cykl pomiarowy trwa 50 ms na jedną cewkę i jest powtarzany co 20 s. Po włączeniu badania sygnał o awarii jest podawany natychmiast po pierwszym badaniu, natomiast podczas pracy, sygnał o awarii podawany jest po trzech kolejnych badaniach. Ma to wyeliminować błędne wyniki badań w sytuacji, gdy badanie stanu cewki przypadnie podczas sterowania wyłącznikiem.

POMIAR NAPIĘCIA ZASILAJĄCEGO CEWKI STERUJĄCE

Układ do pomiaru napięcia zasilającego stanowi zmodernizowany układ wejścia dwustanowego, z odpowiednio dobraną histerezą. Układ ten zapewnia izolację transoptorową z resztą układu po-

miarowego. Wadą tego rozwiązania jest potrzeba dobierania zakresu pomiarowego w zależności od wartości i rodzaju napięcia zasilającego cewki wyłącznika. Schemat układu do kontroli napięcia pomocniczego zasilającego cewki wyłącznika przedstawiono na rysunku 5.

WYNIKI BADANIA FUNKCJONALNEGO OMAWIANEGO UKŁADU

Badaniu poddano układ kontroli cewek wyłącznika przy zasilaniu z napięcia zasilającego stałego i przemiennego przy pracy z cewkami MO/MC 220-250 V AC/DC i MO/MC 110-127 VAC /110-132 VDC. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2.

Badaniu poddano układ kontroli cewek wyłącznika na obciążenie rezystancyjne, przy prądzie podawanym z układu kontroli ciągłości 80 mA. Poszukiwano maksymalnej dopuszczalnej rezystancji progowej przy zadanym napięciu zasilania. Wyniki badań układu z obciążeniem na rezystancję przedstawiono w tabeli 3.

Przeprowadzono również badania układu kontroli cewek wyłącznika przy współpracy z klasycznymi cewkami zamykającymi i otwierającymi wyłącznika VD4 produkcji ABB. Wynik badania był pozytywny. Zmierzona rezystancja cewek wyłącznika była w zakresie 50–200 Ω .

Przeprowadzono pomiary temperatury układu kamerą termowizyjną „Testo 880”, i temperatura w stanach ustalonych przy napięciu 250 V na żadnym z elementów należących do układu nie przekraczała 30°C.

Tabela 2

**Wyniki badań układu z cewkami ze sterowaniem elektronicznym
MO/MC 220-250 V AC/DC i MO/MC 110-127 VAC/110-132 VDC**

Cewka	Napięcie	Wynik badania	Uwagi
MO/MC 220-250 V AC/DC	AC 250 V	pozytywny	
	AC 220 V	pozytywny	
	AC 180 V	negatywny	Napięcie graniczne dla cewki dla napięcia AC
	DC 250 V	pozytywny	
	DC 220 V	pozytywny	
	DC 180 V	negatywny	Napięcie graniczne dla cewki dla napięcia DC
MO/MC 110-127 VAC /110-132 VDC	AC 127 V	pozytywny	
	AC 110 V	pozytywny	
	AC 78 V	negatywny	Napięcie graniczne dla cewki dla napięcia AC
	DC 132 V	pozytywny	
	DC 110 V	pozytywny	
	DC 72 V	negatywny	Napięcie graniczne dla cewki dla napięcia AC

Tabela 3

Wyniki badań maksymalnej rezystancji obciążenia

Napięcie wejściowe	Rezystancja graniczna cewki w wykonaniu klasycznym
AC 250 V	< 3.6 kΩ
DC 250 V	< 3.6 kΩ
AC 230V	< 3.3 kΩ
DC 220V	< 3.2 kΩ
AC 230V - 20% (184 V)	< 2.7 kΩ
DC 220V - 20% (176 V)	< 2.3 kΩ
DC 127 V	< 1.8 kΩ
AC 127 V	< 1.7 kΩ
DC 100 V	< 1.4 kΩ
AC 100 V	< 1.3 kΩ
AC 100 V - 20%	< 1.1 kΩ
DC 100 V - 20% (80 V)	< 1.1 kΩ

PODSUMOWANIE

- Diagnostyka wyłącznika SN pod względem kontroli ciągłości cewek wyłącznika jest niezbędna dla zachowania bezpieczeństwa wyłączenia kontrolowanego odcinka sieci energetycznej.
- Należy monitorować na bieżąco stan aktualny cewek sterujących wyłącznikiem poprzez stałą diagnostykę ich stanu.
- Cewki ze sterowaniem elektronicznym wymagają dostarczenia zdecydowanie większej wartości prądu przez urządzenie kontrolujące ich pracę dla zasilania wbudowanych układów elektronicznych.

- Wyłączniki z zainstalowanymi cewkami ze sterowaniem elektronicznym wykazują mniejszą tolerancję na spadek napięcia zasilającego, dlatego kontrola napięcia zasilającego cewki jest niezbędna.
- Przedstawiony układ źródła prądowego na przykładzie urządzenia MUPASZ spełnia zakładane wymagania dotyczące kontroli cewek wyłącznika ze sterowaniem elektronicznym.
- Układ kontroli cewek wyłącznika w przedstawionej wersji może być również zastosowany dla cewek klasycznych, gdy ich oporności nie przekraczają przedstawionych w tabeli 1 wartości, które są zależne od napięcia zasilania.

- Sygnały wypracowywane przez układ kontroli ciągłości cewek sterujących wyłącznika są zbierane w urządzeniu UAD 10.1 e-Diagnostyka i mogą być dalej przekazywane do analizy poprzez inteligentną sieć teleinformatyczną do e-diagnozowania energetycznych sieci rozdzielczych.
- Omawiane układy uzyskały ochronę patentową, bądź też zostały zgłoszone do tej ochrony.

Prace prezentowane w tym artykule są częścią projektu rozwojowego współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Funduszy Strukturalnych Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, numer projektu WND-POIG.01.03.01-14-141/08.

Recenzent: dr inż. Grzegorz Wiśniewski

CONTROL COILS MONITORING SYSTEMS IN MEDIUM-VOLTAGE BREAKERS

The article features a measurement method for early warning about the danger of failing connecting operations of a breaker due to the damage of a control coil. Additionally, the authors presented technological solutions of systems for measuring circuits continuity of these coils along with diagnostic systems which found application in commonly used automatic control for electrical power engineering.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАТУШЕК УПРАВЛЕНИЯ В ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

В докладе представлена методика измерения раннего извещения о опасности невыполнения операций подключения выключателя в результате повреждения катушки управления. Кроме этого указаны технические решения систем измерения непрерывности цепей данных катушек и представлены диагностические системы, которые нашли применение в используемой электроэнергетической защитной автоматике EAZ.