



III Konferencja EAZ | PTPiREE | Wisła | 13-14 marca 2024 r.

Rozwiązania LRW w stacjach z dławikami WN

Mateusz Szablicki | PSE Innowacje sp. z o.o. | Politechnika Śląska

Jarosław Gandzel | PSE S.A.

www.pse-innowacje.pl

| Spis treści

01 | Wprowadzenie

Geneza i plan pracy badawczo-rozwojowej

02 | Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW

Wymagania PSE S.A. dla LRW | *Casy study* wtórnych zapłonów

03 | Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Przegląd dostępnych rozwiązań | Konceptje rozwiązania | Rozwiązanie rekomendowane | Rozwiązanie alternatywne

04 | Podsumowanie

Story | Najważniejsze osiągnięcia

01

| Wprowadzenie

Geneza i plan pracy badawczo-rozwojowej

Wprowadzenie Geneza i plan pracy badawczo-rozwojowej



Awaria w polu dławika 400 kV
Eksplzja operatywnie wyłączanego wyłącznika w polu dławika 400 kV wskutek długotrwałego łukowego przepływu prądu przez otwarty wyłącznik w następstwie wtórnych zapłonów.

Wnioski poawaryjne
Standardowe rozwiązanie LRW nie gwarantuje rezerwowania wyłączników dławikowych w takich sytuacjach (zakłócenie *nie-zwarciove*, poza zestawem zadziałań LRW).
Potrzeba wdrożenia **dedykowanego rozwiązania LRW dla pól dławika WN.**

Zlecenie pracy BiR
Uzgodnienie zakresu i formuły realizacji pracy BiR.
Motywacja: **mitygacja ryzyka** powtórzenia zdarzenia.

Bieżąca aplikacja wniosków z Pracy w działaniach operacyjnych PSE S.A.

Praca BiR | Opracowanie i weryfikacja nowego algorytmu działania układu LRW w stacjach elektroenergetycznych z zainstalowanym dławikiem WN

ETAP I | Discovery + koncepcje

ZAKRES: *Discovery* (przeгляд wymagań i doświadczeń innych OSP, przeгляд rozwiązań producentów) + zdefiniowanie koncepcji nowego rozwiązania LRW dla pól dławikowych + wstępna ocena koncepcji + wybór koncepcji do badań symulacyjnych.

ETAP II | Badania symulacje + selekcja

ZAKRES: Opracowanie modeli EMT koncepcji nowego rozwiązania LRW + badania symulacyjne koncepcji + opracowanie *matrycy wdrożeniowej* koncepcji + ocena potencjału aplikacji w stacjach PSE S.A. + wskazanie rozwiązania LRW rekomendowanego do wdrożenia.

ETAP III | Badania w LZ + rekomendacje

ZAKRES: Zbudowanie stanowiska laboratoryjnego w Laboratorium Zabezpieczeń PSE + testy laboratoryjne + zdefiniowanie rekomendacji aplikacyjnych nowego rozwiązania LRW.

Operacjonalizacja wyników Pracy

Rekomendacje eksploatacyjne.
Rekomendacje standaryzacyjne.
Rekomendacje projektowe.

02


| Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW

Wymagania PSE S.A. dla LRW | *Casy study* wtórnych zapłonów

Charakterystyka standardowego rozwiązania LRW Wymagania PSE dla LRW

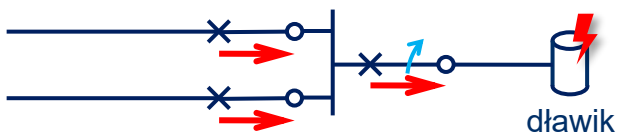


 ŹRÓDŁO WYMAGAŃ DLA LRW | Standardowe Specyfikacje Techniczne: *Urządzenia elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i układy z nią współpracujące, stosowane na stacjach WN i NN. PSE-ST.EAZ.NN.WN/2021.*

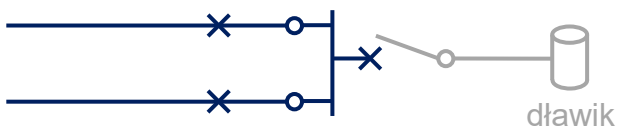
 **DEFINICJA LRW** | LRW (funkcja 50BF) jest układem umożliwiającym **przerwanie prądu zwarciego** w przypadku, gdy zawiódł wyłącznik, który powinien wyłączyć element sieci, w którym **wystąpiło zwarcie**.

 OCZEKIWANE ZACHOWANIE LRW | Scenariusz **wyłączenia** wyłącznika podstawowego podczas zwarcia w dławiku.

1 Zwarcie → zadziałanie EAZ → sygnał **wyłącz** wyłącznika dławikowego

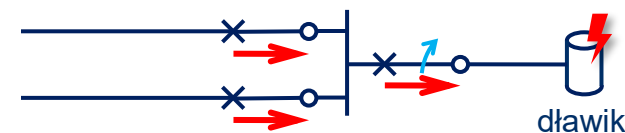


2 **Skuteczne** wyłączenie wyłącznika dławikowego (podstawowego)

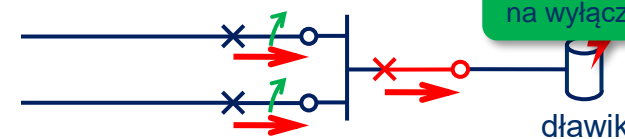


OCZEKIWANE ZACHOWANIE LRW | Scenariusz **braku wyłączenia** wyłącznika podstawowego podczas zwarcia w dławiku.

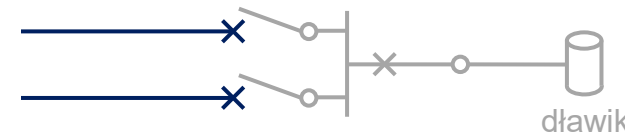
1 Zwarcie → zadziałanie EAZ → sygnał **wyłącz** wyłącznika dławikowego



2 **Nieskuteczne** wyłączenie wył. dław. **ZADZIAŁANIE LRW** | Impulsowanie na wyłącz wyłączników rezerw.



3 **Skuteczne** wyłączenie wyłączników rezerwowych



Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW Wymagania PSE dla LRW

OPIS FUNKCJONALNY LRW | LRW pobudza się po zadziałaniu funkcji eliminacyjnych **EAZ** w polu, w którym wystąpiło zwarcie (**sygnały BFI**). Zadziałanie LRW nastąpi, jeśli kryteria decyzyjne LRW (kryterium prądowe **50BF**, kryterium wyłącznikowe **k_wył**) zidentyfikują brak skutecznego przerwania przepływu prądu przez wyłącznik podstawowy. Wówczas – po odliczeniu nastawionego opóźnienia czasowego t_1 – LRW wyśle sygnał *retrip* (powtórny sygnał na wyłączenie wyłącznika podstawowego) oraz – po odliczeniu nastawionego czasu t_2 – sygnał na wyłączenie wyłączników rezerwowych.



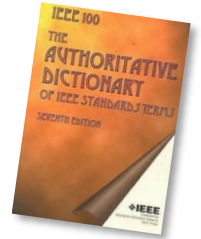
STANDARDOWA NASTAWA LRW | W LRW zainstalowanych w stacjach PSE S.A. najczęściej stosuje się **wysoką nastawę** kryterium prądowego **50BF** **przekraczającą prąd znamionowy przekładnika prądowego** ← takie podejście gwarantuje wystarczającą czułość detekcji przepływu prądu zwarciovego (zgodnie z wytycznymi) i jednocześnie wyklucza ryzyko nadmierowego zadziałania LRW.

POPRAWNOŚĆ DZIAŁANIA LRW | Dotychczasowa praktyka eksploatacyjna wskazuje, że LRW zapewnia **poprawną realizację rezerwowania wyłączników podstawowych** we wszystkich wymaganych sytuacjach związanych z niewyłączeniem tego wyłącznika **po zadziałaniu zabezpieczeń w następstwie zakłóceń zwarciovych**. Umożliwia to minimalizację ryzyka uszkodzenia chronionego obiektu KSE i ogranicza nadmiarową propagację skutków takich zakłóceń na otoczenie sieciowe obiektu.

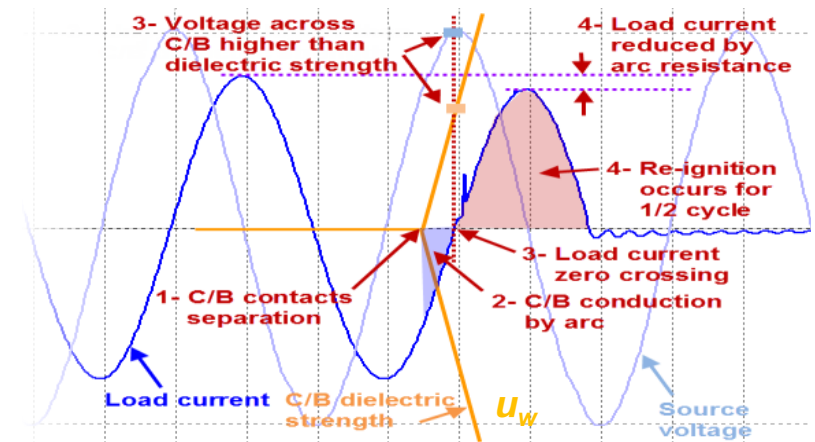
Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW *Case study* wtórnych zapłonów

⚡ WTÓRNE ZAPŁONY W WYŁĄCZNIKU DŁAWIKOWYM | Przerwanie przepływu prądu dławika (uogólniając, prądu indukcyjnego) traktuje się jako **trudną operację łączeniową**, której mogą towarzyszyć m.in. wtórne zapłony.

📄 DEFINICJA WTÓRNYCH ZAPŁONÓW (ang. *reignition*) | *Wtórny zapłon* jest definiowany jako **wznowienie przepływu prądu między stykami wyłącznika** podczas operacji jego wyłączania po **wcześniejszym przerwaniu** tego przepływu.



Wtórne zapłony mogą występować nawet podczas **operatywnego wyłączania wyłącznika** dławikowego, a mechanizm ich powstawania jest powiązany z *naturalnym przejściem sinusoidy wartości chwilowej prądu przez zero*. Podczas wyłączania wyłącznika dławikowego, w chwili *naturalnego* przerwania przepływu prądu, gdy wartość chwilowa prądu przyjmuje wartości bliskie zero, wartość chwilowa napięcia sieciowego jest bliska maksymalnej, tym samym wartość napięcia powrotnego u_p na rozchodzących się stykach tego wyłącznika skokowo zwiększa się do wartości bliskiej amplitudzie napięcia sieciowego (lub wyższej, jeśli podczas wyłączania występują przepięcia). **Zapłon wtórnego łuku nastąpi, jeśli krzywa u_p przetnie krzywą u_w** wytrzymałości izolacyjnej przerwy w wyłączniku powstałej między rozłączonymi stykami wyłącznika. Wtórny zapłon powoduje przepływ prądu przez wyłączony wyłącznik do ponownego przejścia wartości chwilowej prądu przez zero.



Wtórny zapłon podczas wyłączania wyłącznika

- 1- Otwarcie styków wyłącznika.
- 2- Łuk pierwotny w wyłączniku.
- 3- Przejście sinusoidy prądu przez zero i *naturalne* zgaszenie łuku w wyłączniku → skokowa zmiana $u_p \rightarrow u_p$ przekracza aktualną wytrzymałość $u_w \rightarrow$ następuje wtórny zapłon w wyłączniku.
- 4- Przepływ prądu przez wyłączony wyłącznik.

Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW *Case study* wtórnych zapłonów

SKUTKI WTÓRNYCH ZAPŁONÓW DLA WYŁĄCZNIKA | Wtórne zapłony implikują **trudne warunki pracy wyłączników dławikowych**. Powodują ponowny przepływ prądu przez wyłącznik, mimo otwarcia jego zestyków. Wpływa to na pogorszenie parametrów eksploatacyjnych tego wyłącznika, m.in. przyspiesza degradację dysz, lub nawet – w skrajnej sytuacji przebicia dysz – powoduje jego trwałe uszkodzenie, w tym występowanie ryzyka eksplozji.

Zgodnie ze *standardowym* podejściem eksploatacyjnym, zaistnienie wtórnych zapłonów w wyłączniku wymusza podjęcie działań, których zakres zależy od liczby wtórnych zapłonów i *standardowych* wymagań producentów wyłączników:

- jednokrotny wtórny zapłon | kontakt z producentem wyłącznika celem pozyskania opinii odnośnie możliwości dalszej eksploatacji
→ zwykle informacja zwrotna o **możliwej dalszej eksploatacji**;
- dwukrotny wtórny zapłon | kontakt z producentem wyłącznika celem pozyskania opinii odnośnie możliwości dalszej eksploatacji
→ zwykle informacja o **konieczności przeglądu wyłącznika** lub **konieczności wymiany wyłącznika**;
- przebicie dyszy | zwykle informacja o **konieczności wymiany wyłącznika**.



SKUTKI WTÓRNYCH ZAPŁONÓW DLA SIECI | Wtórne zapłony implikują powstanie **ryzyk aparaturowych i obiektowych dla otoczenia sieciowego** wyłącznika, ponieważ wtórne zapłony mogą wywoływać m.in. przepięcia w otoczeniu sieciowym wyłącznika (oddziałując m.in. na pogorszenie własności izolacji), a ewentualna eksplozja wyłącznika w następstwie wtórnych zapłonów może doprowadzić do uszkodzenia aparatów i obiektów.

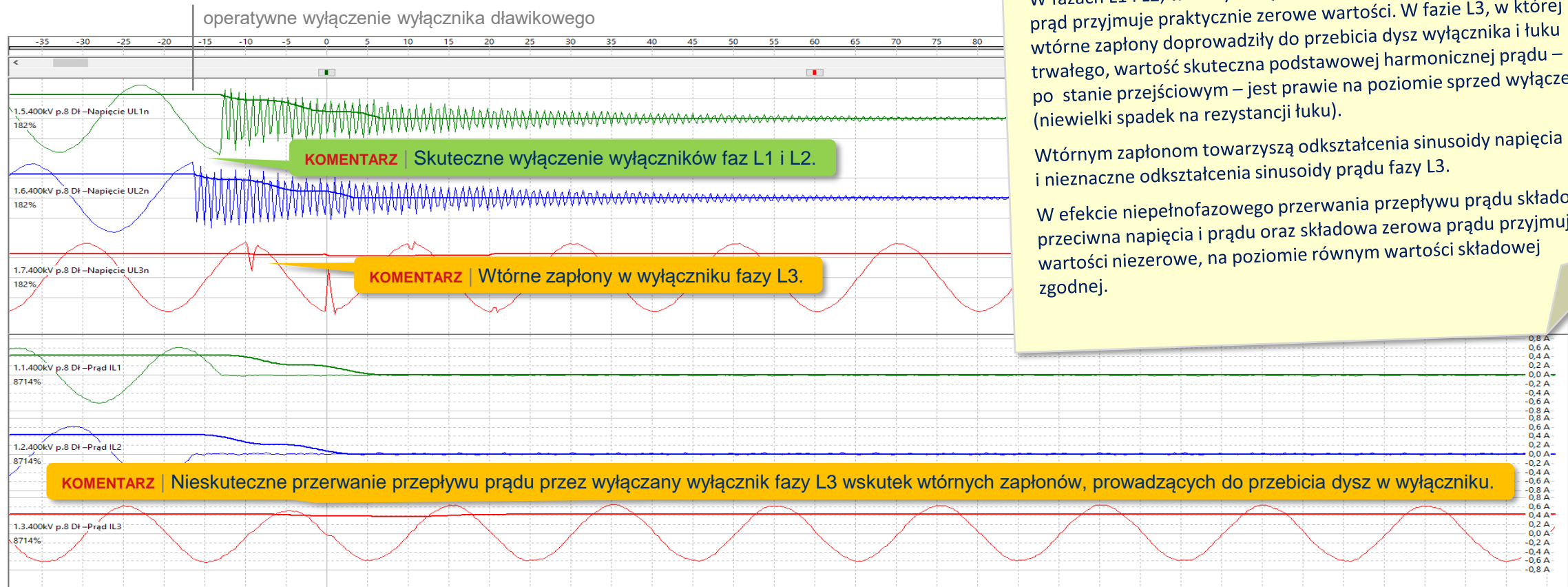


WNIOSEK | Propagacja skutków zjawisk towarzyszących wtórnym zapłonom w operatywnie wyłączanych wyłącznikach stanowi silną przesłankę do poszukiwania rozwiązań rezerwowania wyłączników dławikowych w sytuacji zaistnienia w nich wtórnych zapłonów.

Charakterystyka standardowego rozwiązania LRW Case



STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA WARUNKÓW PODCZAS AWARII W POLU DŁAWIKA 400 kV



Wyłączenie wyłączników w fazach L1 i L2 nastąpiło w chwilach odpowiadających zerowej wartości chwilowej prądów w tych fazach.

Wtórne zapłony w wyłączniku fazy L3 pojawiają się w szczytach pierwszych półokresów sinusoidy napięcia.

W fazach L1 i L2, w których wyłączenie wyłączników było skuteczne, prąd przyjmuje praktycznie zerowe wartości. W fazie L3, w której wtórne zapłony doprowadziły do przebicia dysz wyłącznika i łuku trwałego, wartość skuteczna podstawowej harmonicznej prądu – po stanie przejściowym – jest prawie na poziomie sprzed wyłączenia (niewielki spadek na rezystancji łuku).

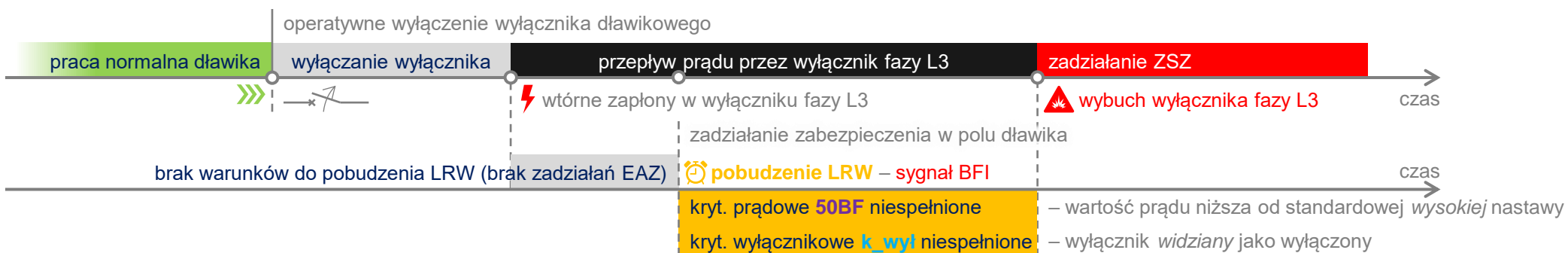
Wtórny zapłonom towarzyszą odkształcenia sinusoidy napięcia i nieznaczne odkształcenia sinusoidy prądu fazy L3.

W efekcie niepełnofazowego przerywania przepływu prądu składowa przeciwna napięcia i prądu oraz składowa zerowa prądu przyjmują wartości niezerowe, na poziomie równym wartości składowej zgodnej.

Przebieg czasowy wartości chwilowej i skutecznej (**pogrubione przebiegi**) podstawowej harmonicznej napięć fazowych i prądów w polu dławika 400 kV podczas operatywnego wyłączenia dławika

Charakterystyka *standardowego* rozwiązania LRW *Case study* wtórnych zapłonów

- ✗ ANALIZA ZACHOWANIA LRW PODCZAS AWARII W POLU DŁAWIKA 400 kV | LRW zachowała się poprawnie dla przyjętej praktyki eksploatacyjnej nastawiania LRW – wtórne zapłony stanowią **niestandardowe zakłócenie**, wykraczająca poza zwarcia, dla których konfiguruje się LRW. Wznowiony przepływ prądu zwykle nie przekracza prądu znamionowego dławika (czyli nie przekracza *standardowej wysokiej* nastawy LRW) ← **kryterium prądowe niespełnione**, a wyłącznik jest „widziany” jako otwarty ← **kryterium wyłącznikowe niespełnione**. Niemniej wielokrotne wtórne zapłony mogą doprowadzić do przebicia dyszy tego wyłącznika i trwałej utraty jego zdolności do przerywania przepływu prądu, wskutek czego prąd nadal płynie przez wyłącznik mimo jego wyłączenia. Wówczas **uzasadnione byłoby zadziałanie LRW i wyłączenie wyłączników rezerwowych, mimo że jest to działanie operatywne**.



Ilustracja przebiegu czasowego działania dotychczasowego rozwiązania LRW w polu dławika 400 kV

- ✗ **NIESTANDARDOWE ZAKŁÓCENIE WYMAGAJĄCE REZERWOWANIA | Wielokrotne wtórne zapłony podczas operatywnego wyłączenia wyłącznika dławika** ← zdarzenie w polu dławika 400kV, które doprowadziło do eksplozji wyłącznika.

03

| Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Przegląd dostępnych rozwiązań | Konceptcje rozwiązania | Rozwiązanie rekomendowane | Rozwiązanie alternatywne

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Przegląd dostępnych rozwiązań



CEL WYSZUKIWANIA | Przegląd wymagań innych operatorów sieci przesyłowej dla LRW dedykowanych dla stacji z dławikiem.

OSP	Informacje o LRW dla dławika	Informacje o LRW
 Austria Power Grid AG (Austria)	NIE	NIE
 Elia System Operator SA (Belgia)	NIE	NIE
 Electricity System Operator (Bulgaria)	NIE	TAK
 Swissgrid (Szwajcaria)	NIE	NIE
 CEPS (Czechy)	NIE	NIE
 TRANSNET BW (Niemcy)	NIE	NIE
 TENNET (Niemcy)	NIE	NIE
 AMPRION (Niemcy)	NIE	NIE
 50hertz (Niemcy)	NIE	NIE
 ENERGINET (Dania)	NIE	NIE
 REN (Portugalia)	NIE	NIE
 EirGrid (Irlandia)	NIE	TAK
 Statnett (Norwegia)	NIE	TAK
 National Grid (Wielka Brytania)	NIE	TAK

KOMENTARZ | Wymagania **zbieżne** ze stosowanymi w PSE.

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Przegląd dostępnych rozwiązań



CEL WYSZUKIWANIA | Przegląd rynku w zakresie dostępności i sposobu realizacji LRW dedykowanych dla stacji z dławikiem.



Dialogi techniczne (✉ kontakt mailowy + 👤 rozmowy z dedykowanym zespołem + 📁 dokumentacja).

Rekomendacja | Sugestia rozwiązania problemu przez zastosowanie zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłączniku.



Dialogi techniczne (✉ kontakt mailowy + 👤 rozmowy z dedykowanym zespołem + 📁 dokumentacja).

Rekomendacja | Sugestia rozwiązania problemu przez zastosowanie zabezpieczenia od martwej strefy w polu.



Dialogi techniczne (✉ kontakt mailowy + ✉ wymiana mailowa z dedykowanym inżynierem + 📁 dokumentacja).

Rekomendacja | Sugestia rozwiązania problemu przez zastosowanie zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłączniku.



Dialogi techniczne (✉ kontakt mailowy + ✉ wymiana mailowa z dedykowanym zespołem + 📁 dokumentacja).

Rekomendacja | Sugestia rozwiązania problemu przez zastosowanie zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłączniku.



Dialogi techniczne (✉ kontakt mailowy + ✉ wymiana mailowa + 👥 wizyta studialna).

Rekomendacja | Sugestia rozwiązania problemu przez zastosowanie niskiej nastawy kryterium prądowego dla wariantu OR LRW.

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania



KONCEPCJE ZDEFINIOWANIE W PRACY

- KONCEPCJA 1 | *niska* nastawa kryterium prądowego LRW
- KONCEPCJA 2 | KONCEPCJA 1 + zdezaktywowanie kryterium wyłącznikowego dla wyłączeń operacyjnych
- KONCEPCJA 3 | KONCEPCJA 1 + KONCEPCJA 2 + dodatkowe pobudzenie LRW dla wyłączeń operacyjnych
- KONCEPCJA 4 | *niska* nastawa kryterium prądowego LRW
- KONCEPCJA 5 | KONCEPCJA 4 + dodatkowe pobudzenie LRW dla wyłączeń operacyjnych
- KONCEPCJA 6 | KONCEPCJA 4 + pobudzenie LRW przez *niestandardowe* zabezpieczenia
- KONCEPCJA 7 | implementacja w LRW funkcji detekcji wtórnych zapłonów + dodatkowe pobudzenie LRW dla wyłączeń operacyjnych;
- KONCEPCJA 8 | dedykowane zabezpieczenie do detekcji wtórnych zapłonów.
- KONCEPCJA 9 | KONCEPCJA 1 + połączenie zmodyfikowanych KONCEPCJI 2 i 6c

WARIANTY



- a*** – rozszerzenie zestawu sygnałów pobudzających LRW o sygnał zadziałania II stopnia zabezpieczenia ziemnozwarciowego zerowoprądowego w polu dławika (3I0 II)
- b** – rozszerzenie zestawu sygnałów pobudzających LRW o sygnał zadziałania I stopnia zabezpieczenia od asymetrii w polu dławika (I2 I)
- c** – rozszerzenie zestawu sygnałów pobudzających LRW o sygnał zadziałania zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłączniku (50RS)

variant AND LRW
variant OR LRW
> LRW

* Zestaw pobudzeń LRW zgodny ze standardem PSE-ST.OW.NN.WN/2021 obowiązującym od sierpnia 2021 r.

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania Wyniki wstępnej oceny eksperckiej

Kryteria oceny	Koncepcja nowego rozwiązania LRW							
	1	2	3	4	5	6	7	8
 Zgodność z dotychczasową ideą LRW	znaczna	znaczna	średnia	znaczna	średnia	znaczna	niewielka	nie dotyczy
 Zakres zmian w urządzeniu LRW	nie dotyczy	średni	średni	nie dotyczy	średni	niewielki	duży	nie dotyczy
Rekomendacja Producentów	brak	brak	brak	tak	brak	tak	tak	tak
 Zakres zmian w obwodach wtórnych <i>ocena szacunkowa</i>	nie dotyczy	średni	duży	nie dotyczy	średni	duży	średni	duży
Zakres zmiany praktyki nastawiania LRW	niewielki	niewielki	średni	niewielka	średni	średni	duży	nie dotyczy
 Skuteczność LRW podczas wtórnych zapł. <i>ocena ekspercka</i>	zerowa	niewielka	wysoka	niewielka	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka
Wiarygodność decyzji LRW <i>ocena ekspercka</i>	nie dotyczy	średnia	niewielka	średnia	niewielka	wysoka	średnia	wysoka
Rekomendacja analiz szczegółowych koncepcji	NIE	NIE	NIE	TAK	NIE	TAK	NIE	TAK

 Perspektywa standardów/definicji

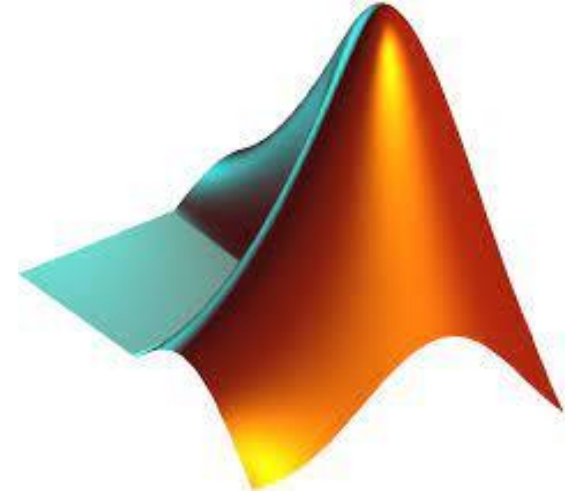
 Perspektywa rynkowa

 Perspektywa aplikacyjna

 Perspektywa operacyjna

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Koncepcje rozwiązania Ocena symulacyjna

- Modele stanowiące „cyfrowego bliźniaka” cyfrowych układów EAZ.
- Dokładne odwzorowanie toru przetwarzania sygnałów, algorytmów wyznaczania wielkości kryterialnych i algorytmów decyzyjnych EAZ.
- Modele realizowane w programie MATLAB, z wykorzystaniem funkcji przeznaczonych do modelowania i symulacji układów ciągłych i dyskretnych.
- Użycie funkcji programu MATLAB umożliwiających wykonanie analiz EMT stanów przejściowych.
- Przygotowanie modeli do wczytywania sygnałów rzeczywistych przebiegów (zapisanych w plikach COMTRADE) zarejestrowanych w stacjach PSE S.A. podczas operatywnych łączy wyłączników dławikowych, w tym zdarzeń z wtórnymi zapłonami, na potrzeby weryfikacji poprawności działania rozpatrywanych koncepcji nowego rozwiązania LRW (EAZ).

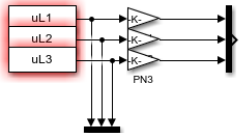


Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania Ocena symulacyjna

REJESTRACJA

Zarejestrowane wartości chwilowe napięć fazowych po stronie pierwotnej w polu dławika w SE



REJESTRACJA

Zarejestrowane wartości chwilowe prądów po stronie pierwotnej w polu dławika w SE



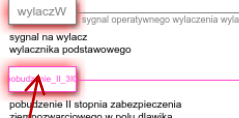
REJESTRACJA

Zarejestrowane położenia zestyków pomocniczych wyłącznika w polu dławika w SE



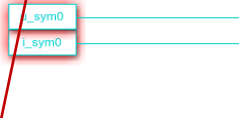
REJESTRACJA

Zarejestrowany sygnał operatywnego wyłączenia wyłącznika w polu dławika w SE



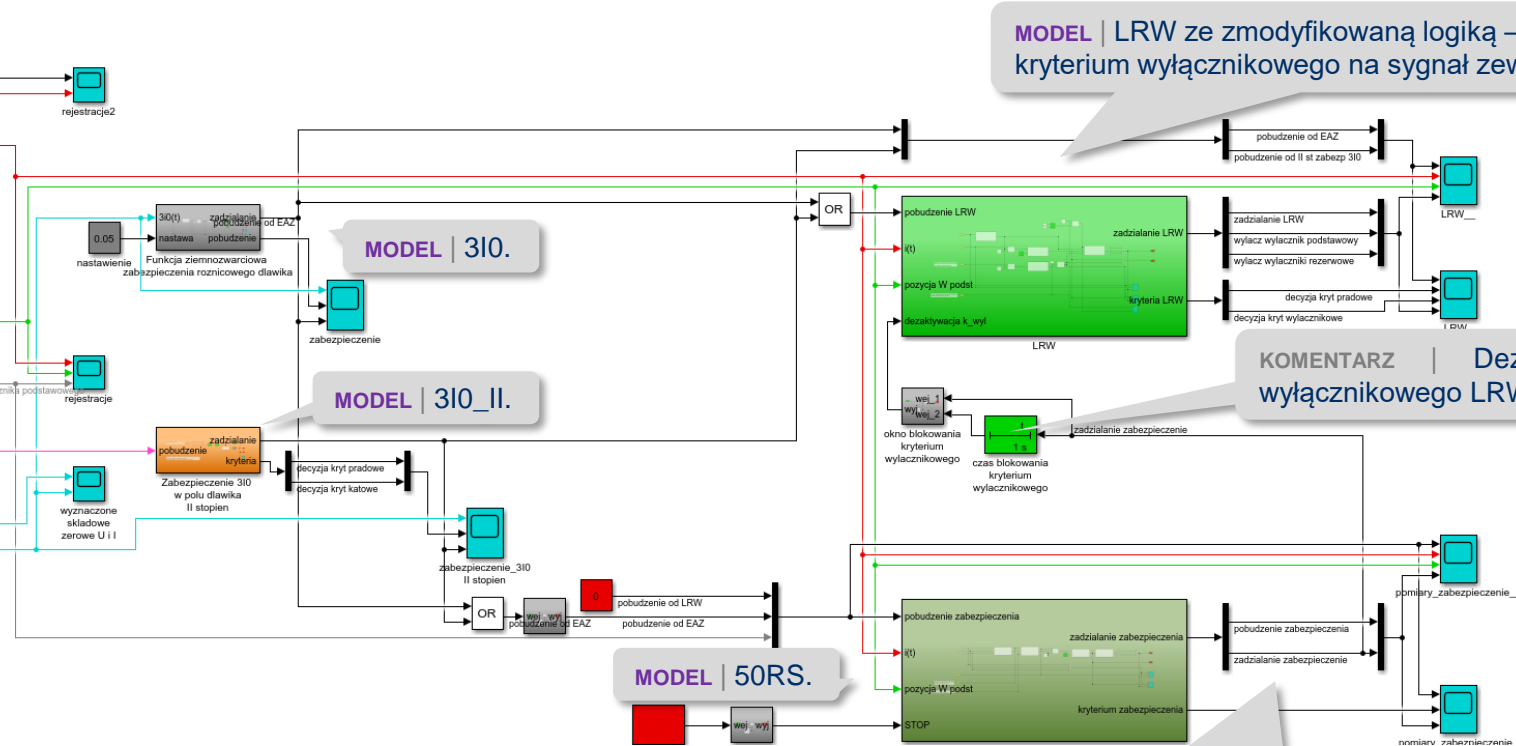
SYMULACJE

Wyznaczone symulacyjnie wartości chwilowe napięć i prądów zerowych po stronie wtórnej



SYMULACJE

Wyznaczony sygnał pobudzeni modelu II stopnia zabezpieczenia ziemnozwarciowego zerowoprądowego kierunkowego



MODEL | LRW ze zmodyfikowaną logiką – dezaktywacja kryterium wyłącznikowego na sygnał zewnętrzny.

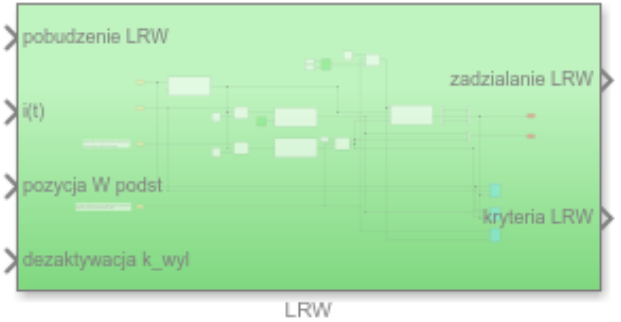
KOMENTARZ | Dezaktywacja kryterium wyłącznikowego LRW na nastawiany czas.

KOMENTARZ | Zabezpieczenie 50RS nie impulsuje na wyłączniki – tylko dezaktywuje kryterium wyłącznikowe LRW.

Model symulacyjny koncepcji 9 nowego rozwiązania LRW

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

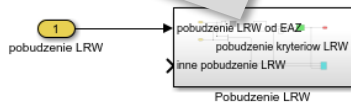
Koncepcje rozwiązania



Wyznaczone symulacyjnie lub zarejestrowane sygnały zadziałania EAZ pobudzających LRW

SYMULACJE | **REJESTRACJA**

MODEL | Blok funkcyjny przetwarzania sygnałów pobudzenia LRW.



REJESTRACJA

Wartości chwilowe prądów po stronie wtórnej w polu dławika w SE

2

REJESTRACJA

Zarejestrowane położenia zestyków pomocniczych wyłącznika w polu dławika w SE

3

SYMULACJE

Wyznaczony symulacyjnie sygnał zadziałania zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłączniku dławikowym w SE czasowo dezaktywujący kryterium wyłącznikowe LRW w polu dławika w SE

4

MODEL | Blok funkcyjny kryterium prądowego LRW.



MODEL | Blok funkcyjny realizacji dezaktywacji kryterium wyłącznikowego LRW.

MODEL | Blok funkcyjny wyboru wariantu LRW.

Wyznaczone sygnały decyzyjne modelu LRW (zadziałanie LRW, sygnał na ponowne wyłączenie wyłącznika podstawowego, sygnał na wyłączenie wyłączników rezerwowych)

SYMULACJA

SYMULACJE

Wyznaczone sygnały decyzyjne częściowych modelu LRW

MODEL | Bloki funkcyjne uruchamiania kryteriów decyzyjnych LRW (po pobudzeniu LRW).

MODEL | Blok funkcyjny kryterium wyłącznikowego LRW.

MODEL | Blok funkcyjny dezaktywacji sygnału decyzyjnego kryterium wyłącznikowego LRW.

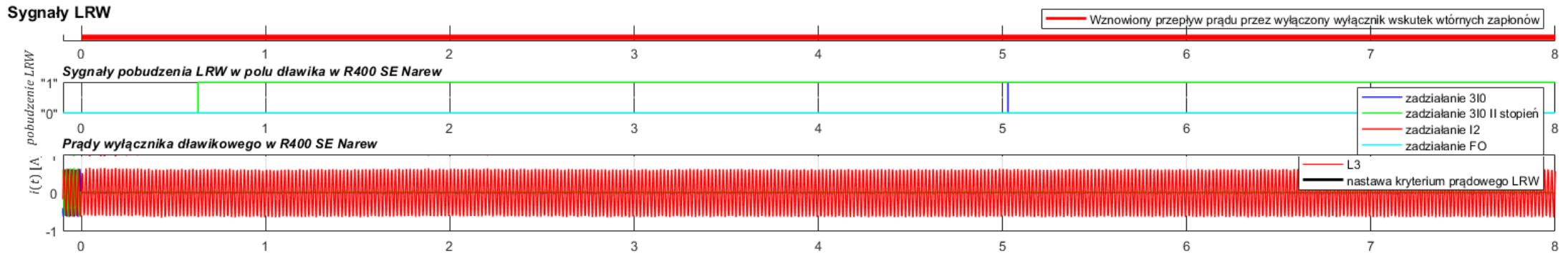
Model symulacyjny LRW (główny tor przetwarzania sygnałów) (dla koncepcji 9)

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania Ocena symulacyjna



STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA WARUNKÓW WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS AWARII W POLU DŁAWIKA 400 kV



OCENA | błędne działanie

KOMENTARZ | Brak zadziałania LRW

Ilustracja przebiegu czasowego działania **starego rozwiązania LRW**

OCENA | poprawne działanie

KOMENTARZ | Zadziałanie LRW

Ilustracja przebiegu czasowego działania **rekomendowanego nowego rozwiązania LRW**

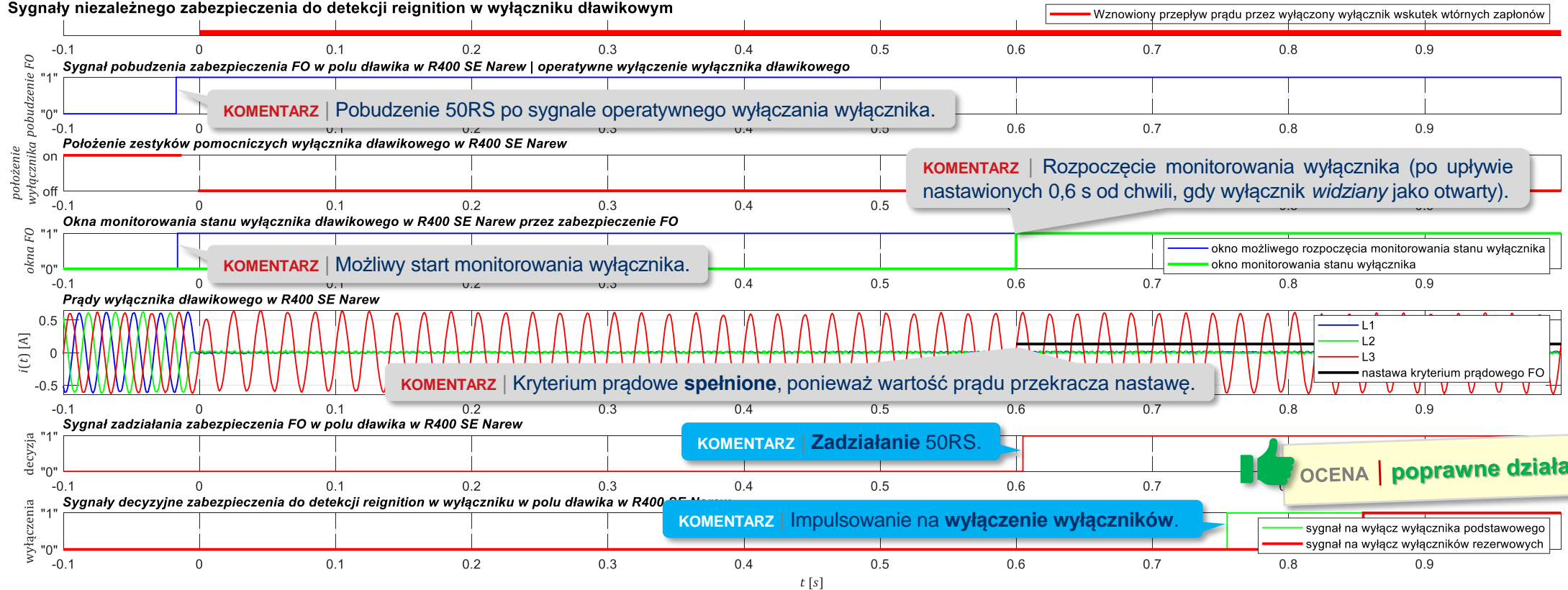
Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania Ocena pomiarowa



STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA WARUNKÓW WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS AWARII W POLU DŁAWIKA 400 kV










Sygnaly niezależnego zabezpieczenia do detekcji reignition w wyłączniku dławikowym



Ilustracja przebiegu czasowego działania elementu **alternatywnego nowego rozwiązania LRW**

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem

Koncepcje rozwiązania **Wyniki oceny generalnej**

Kryteria oceny		Koncepcja nowego rozwiązania LRW					
		4	6a	6b	6c	8	9
Zakres zmian projekt. w obw. wtórnych <i>ocena szczegółowa</i>		brak	niewielki	niewielki	średni	znaczny	znaczny
Poziom zaangażowania w instalację <i>ocena szczegółowa</i>		standardowy 	standardowy 	standardowy 	znaczny  	bardzo znaczny  	znaczny  
Czas zadziałania <i>ocena symulacyjna</i>		długi	krótki	krótki	krótki	krótki	krótki
Poprawność działania <i>ocena symulacyjna</i>	Operatywne wyłączenia z wielokrotnymi wtór. zapłonami	średnia	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka
	Operatywne wyłączenia z pojedynczymi wtór. zapłonami	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	wysoka	wysoka
	Operatywne wyłączenia bez wtórnych zapłonów	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	wysoka	wysoka
Ryzyko nieuzasadnionego zadziałania <i>ocena ekspercka</i>		nieznacznie wyższe	nieznacznie wyższe	wyższe	nieznacznie wyższe	nieznacznie wyższe	standardowe
Ryzyko nieuzasadnionego niezadziałania <i>ocena ekspercka</i>		niższe	niższe	niższe	niższe	wyższe	wyższe
Ryzyko nieuzasadnionego zadziałania podczas testowania EAZ <i>ocena ekspercka</i>		wysokie	wysokie	wysokie	wysokie	niskie	niskie
Zestaw koncepcji do aplikacji		NIE	TAK	NIE	NIE	NIE	TAK

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Rozwiązanie rekomendowane

6^a KONCEPCJA 6a

KOMENTARZ | **Ścieżka ewolucji, nie rewolucji!**

wariant LRW

OR

Logika OR algorytmu działania LRW | Wtórne zapłony występują jedynie w otwierającym się wyłączniku – wówczas kryterium wyłącznikowe LRW nie może być spełnione, ponieważ wyłącznik jest *widziany* jako otwarty – zatem ewentualną decyzję o zadziałaniu LRW należy podejmować wyłącznie na podstawie decyzji kryterium prądowego LRW.

W PSE S.A. od dawna...

Praktycznie wszystkie LRW zainstalowane w polach dławików są skonfigurowane w wariancie OR.

pobudzenie LRW

**3I0
niska**

Funkcja zabezpieczenia zerowoprądowego w polu dławika o niskiej nastawie prądowej i czasowej | Wtórne zapłony wywołują wznowienie przepływu prądu przez operatywnie wyłączany wyłącznik – takie wznowienie przepływu prądu można szybko wykryć, kontrolując składową zerową prądu – zadziałanie zabezpieczenia zapewni oczekiwane pobudzenie LRW.

Niedawny wymóg...

Wymóg stosowania przedmiotowych funkcji w polach dławików wprowadzony standardem PSE-ST.OW.NN.WN/2021.

UWAGA | Dwie powyższe cechy LRW – już stosowane w PSE S.A. – jeszcze nie zapewniają oczekiwanego zadziałania LRW w sytuacji zaistnienia wtórnych zapłonów podczas operatywnego wyłączania wyłącznika dławikowego. **Kluczowe jest wdrożenie trzeciej cechy** rekomendowanego rozwiązania LRW.

nastawa kryterium prądowego LRW

niska

Nastawa kryterium prądowego LRW poniżej prądu znamionowego dławika | Podczas wtórnych zapłonów przez operatywnie wyłączany wyłącznik płynie prąd nieprzekraczający prądu znamionowego dławika, zatem obniżenie nastawy kryterium prądowego rozszerzy zakres prądowy „widziany” przez LRW, co umożliwi detekcję przepływu tego *małego* prądu i **oczekiwane zadziałanie LRW**.

Nowy wymóg!!!

Dotychczas LRW w polach dławików w stacjach PSE S.A. nastawiano *wysoko* (dla innych zakłóceń taka nastawa jest wystarczająca, czego dowodzi praktyka) – **istotna zmiana dotychczasowej praktyki nastawiania LRW**.

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Rozwiązanie rekomendowane

Niska nastawa kryterium prądowego LRW



SUGEROWANE PODEJŚCIE DO WYZNACZANIA NISKIEJ NASTAWY KRYTERIUM PRĄDOWEGO LRW | Niska nastawa wartości rozruchowej I_{roz} kryterium prądowego 50BF powinna zawierać się w przedziale: $I_{min} \leq I_{roz} < I_d$, gdzie I_{min} – wartość minimalna I_{roz} wymagana Standardem PSE-ST.EAZ.NN.WN/2021, I_d – prąd znamionowy dławika.

KOMENTARZ | Dla dławika regulowanego jako I_d należy przyjąć wartość prądu roboczego dławika dla minimalnego zaczeputu.



GÓRNA GRANICA PRZEDZIAŁU WARTOŚCI NISKIEJ NASTAWY I_{roz} | CIGRE zaleca ustawianie I_{roz} na poziomie nieprzekraczającym $0,9 \cdot I_d$.

Jest to podyktowane koniecznością uwzględnienia zależności prądu roboczego dławika od wartości napięcia zasilania. Tym samym w sytuacji obniżenia napięcia w miejscu przyłączenia dławika wartość prądu płynącego przez nieskutecznie operatywnie wyłączony wyłącznik dławikowy może być niższa niż I_d , co wpływa na warunki działania kryterium prądowego LRW. Podstawą szacowania rekomendowanej górnej granicy nastawiania I_{roz} jest założenie, że ruchowo wartość napięcia w stacji z dławikiem będzie nie niższa niż 0,95 napięcia znamionowego. Jeśli dopuszcza się większe odchylenie w dół napięcia, wówczas należy także obniżyć górną granicę nastawy, proporcjonalnie do kwadratu ilorazu napięcia spodziewanego i napięcia znamionowego (przykładowo, dla napięcia spodziewanego na poziomie 0,9 napięcia znamionowego – górna granica przedziału niskiej nastawy I_{roz} wynosi $(0,9)^2 \cdot I_d \approx 0,8 \cdot I_d$).



SUGEROWANA NISKA NASTAWA I_{roz} | $0,3 \cdot I_d$ – rekomendacja eksploatacyjna ABB

UWAGA | Zastosowanie niskiej nastawy kryterium prądowego LRW wymaga potwierdzenia braku lub pomijalnego ryzyka nasycenia rdzeni przekładników prądowych współpracujących z LRW w sytuacji silnych zwarć poza dławikiem – nasycenie przekładników powoduje, że po wyłączeniu wyłącznika podstawowego ewentualny prąd rozładowania obwodu wtórnego z przekładnikiem, „widziany” przez LRW, może przekraczać niską nastawę, co implikuje ryzyko nieuzasadnionego zadziałania LRW. W toku weryfikacji parametrów przekładników prądowych należy uwzględnić spodziewane maksymalne warunki zwarciowe w miejscu instalacji tych przekładników oraz ich rzeczywiste obciążenie. Najlepiej, gdyby weryfikacja objęła również przekładniki prądowe współpracujące z EAZ pobudzającymi LRW, aby wykluczyć ryzyko zbędnego zadziałania tych EAZ i zmitigować ryzyko zbędnego pobudzenia LRW w rozpatrywanej sytuacji nasycenia przekładników.

Nowe rozwiązanie LRW dla stacji z dławikiem Rozwiązanie alternatywne

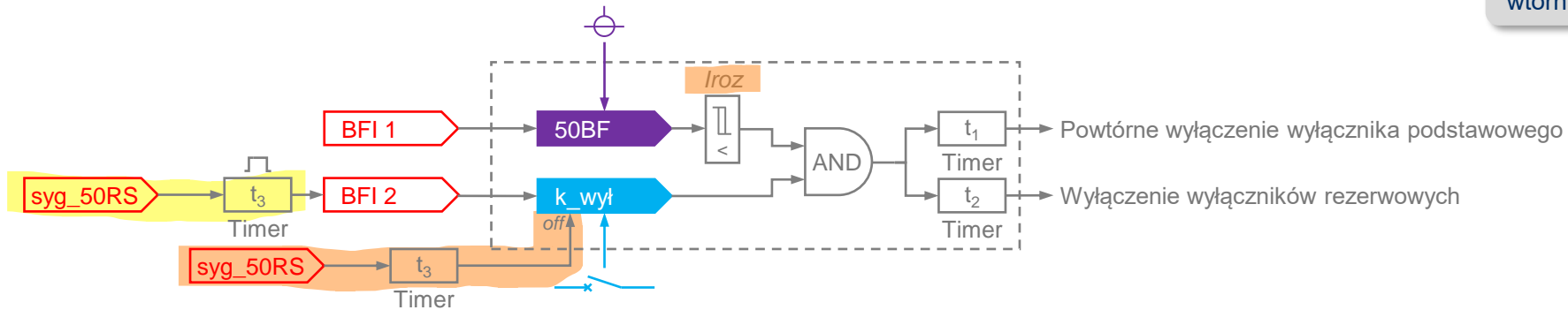
9 KONCEPCJA 9

KOMENTARZ | Ścieżka rewolucji!



IDEA WYKORZYSTANIA FUNKCJI 50RS W KONCEPCJI NOWEGO ROZWIĄZANIA | Dla stacji PSE S.A. z LRW skonfigurowanym w **wariancie AND** (do zadziałania LRW niezbędne jest koincydencyjne spełnienie 50BF i k_wył), w których nie ma możliwości zmiany konfiguracji na **wariant OR** (do zadziałania LRW wystarczy spełnienie 50BF lub k_wył) rekomenduje się aplikację koncepcji 9 (*niska* nastawa 50BF, **czasowa dezaktywacja** lub **czasowe spełnianie** k_wył po odebraniu sygnału zadziałania zabezpieczenia 50RS **syg_50RS**).

50RS | Funkcja zabezpieczenia do detekcji wtórnych zapłonów w wyłącznikach.



Schemat ideowy alternatywnego rozwiązania LRW z zaznaczonym zakresem zmiany

04

| Podsumowanie

Story | Najważniejsze osiągnięcia

Podsumowanie *Story*

BYŁO |

Eksplzja w polu dławika 400 kV ⚡

Eksplzja operatywnie wyłączanego wyłącznika dławikowego wskutek długotrwałego *łukowego* przepływu prądu przez otwarty wyłącznik w następstwie wtórnych zapłonów.



MOŻE BYĆ |

Wyłączenie rezerwowe w polu dławika 400 kV 🌸

Detekcja nieskutecznego operatywnego wyłączenia wyłącznika dławikowego przez LRW oraz wyłączenie wyłączników rezerwowych.

DIAGNOZA |

- Operatywnemu wyłączeniu wyłącznika dławikowego mogą towarzyszyć **wtórne zapłony**, których następstwem jest wznowienie przepływu prądu w wyłączanym wyłączniku, poprzez łuk między otwartymi stykami wyłącznika.
- Zwykle przerwanie *łukowego* przepływu prądu następuje *naturalnie* w chwili kolejnego przejścia sinusoidy wartości chwilowej prądu przez zero → zgodnie z praktyką i wymaganiami producentów po **zapłonach pojedynczych** możliwa jest dalsza eksploatacja wyłącznika.
- W rzadkich przypadkach wtórne zapłony przyjmują postać **zapłonów wielokrotnych** prowadzących do trwałej utraty zdolności wyłącznika do przerywania przepływu prądu → powinno to prowadzić do **wyłączenia wyłączników rezerwowych**.
- **Dotychczasowe rozwiązanie LRW nie gwarantuje oczekiwanego rezerwowania nieskutecznie operatywnie wyłączonych wyłączników dławikowych** → zakłócenie *nie-zwarciove* wykraczające poza standardowy zestaw zadziałań LRW.
- W skrajnie niekorzystnym przypadku brak rezerwowego przerywania przepływu prądu może prowadzić do **eksplozji wyłącznika**.
- Opracowane **rekomendowane rozwiązanie LRW zapewni oczekiwane pełne rezerwowanie wyłączników dławikowych**.



ROZWIĄZANIE EAZ

Opracowanie rozwiązania LRW dedykowanego dla pól dławikowych

KORZYŚCI

- Minimalizacja ryzyk ludzkich i infrastrukturalnych wywołanych nieskutecznym operatywnym wyłączeniem wyłącznika dławikowego w niestandardowej sytuacji wielokrotnych wtórnych zapłonów prowadzących do trwałej utraty zdolności wyłącznika do przerywania przepływu prądu.
- Mitygacja ryzyka wystąpienia w przyszłości niepożądanego zdarzenia zaistniałego w polu dławika 400 kV – eksplozja wyłącznika.

WYTYCZNE EKSPLOATACYJNE

Opracowanie metodyki wyznaczania *niskiej* nastawy LRW dla pól dławikowych

KORZYŚĆ

- Wsparcie wdrożenia opracowanego rozwiązania LRW dla pól dławikowych, poprzez ułatwienie doboru parametrów nastawczych LRW.

WYTYCZNE EKSPLOATACYJNE I PROJEKTOWE

Opracowanie ścieżki aplikacji rekomendowanego rozwiązania LRW

KORZYŚĆ

- Wsparcie wdrożenia opracowanego rozwiązania LRW dla pól dławikowych, poprzez zdefiniowanie kroków cząstkowych aplikacji rozwiązania.



WYTTCZNE STANDARYZACYJNE

Propozycja aktualizacji definicji LRW

KORZYŚĆ

- Rozszerzenie dotychczasowej postaci definicji obejmującej wyłącznie *zwarcione* zadziałania LRW o *nie-zwarcione* zadziałania LRW.

DOTYCHCZASOWA DEFINICJA | LRW jest układem umożliwiającym przerwanie prądu **zwarcowego** w przypadku, gdy zawiódł wyłącznik, który powinien **wyłączyć element sieci, w którym wystąpiło zwarcie**.

PROPONOWANA DEFINICJA | LRW jest układem umożliwiającym przerwanie **przepływu prądu zakłócenowego** w przypadku, gdy zawiódł wyłącznik **podstawowo przeznaczony do realizacji tej operacji łączeniowej**.

BiR'OWA SUGESTIA EKSPLOATACYJNA

Opracowanie koncepcji niejednoczesnych wyłączeń wyłączników rezerwowych dla pól dławikowych

KORZYŚĆ

- Minimalizacja ryzyk dla wyłączników *nie-dławikowych* realizujących rezerwowe przerwanie przepływu prądu dławika po zadziałaniu LRW.

BiR'OWA METODYKA WERYFIKACYJNA

Użycie opracowanych *cyfrowych bliźniaków* do weryfikacji symulacyjnej koncepcji rozwiązań EAZ

KORZYŚCI

- Weryfikacja działania nowych rozwiązań EAZ dla szerokiego zestawu scenariuszy warunków pracy sieci, w tym zarejestrowanych scenariuszy historycznych oraz scenariuszy wytworzonych symulacyjnie, które reprezentują nowe rodzaje zdarzeń, dotychczas nierejestrowane w KSE.
- Możliwość iteracyjnych badań symulacyjnych dostosowujących cechy rozwiązania do specyfiki oczekiwań PSE.
- Przyspieszenie wyboru najlepszego rozwiązania, przed wdrożeniem do aplikacji.

Dziękujemy!

PRELEGENCI

Mateusz Szablicki | mateusz.szablicki@pse.pl

Jarosław Gandzel | jaroslaw.gandzel@pse.pl