

## POMIARY PRĄDU UPŁYWOWEGO W INSTALACJACH I URZĄDZENIACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Marek OLESZ<sup>1</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki

tel: 583471820

fax: 583472136

e-mail: m.olesz@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W artykule omówiono wykorzystanie rejestratora prądów upływowych Kyoritsu KEW 5001 w diagnostyce urządzeń i instalacji elektroenergetycznych.

**Słowa kluczowe:** prąd upływowy, wyłączniki różnicowo – prądowe, ograniczniki przepięć, badania stanu technicznego urządzeń elektrycznych

### 1. WSTĘP

Prądy upływowe występują w urządzeniach i instalacjach elektrycznych wskutek rezystancji oraz pojemności poszczególnych przewodów czynnych do części mających potencjał ziemi.

Pomiar i monitorowanie prądów upływowych w instalacjach elektroenergetycznych ma istotne znaczenie praktyczne z następujących powodów:

– pozwala oszacować stan izolacji pojedynczych urządzeń elektrycznych pracujących pod napięciem (nie zawsze jest możliwe wyłączenie urządzenia lub po wyłączeniu pewne podzespoły są odłączone galwanicznie od zasilania),

– w przypadku monitorowania prądu upływowego na zasilaniu grupy urządzeń pozwala na stwierdzenie przyczyn niespodziewanego zadziałania urządzeń ochronnych różnicowoprądowych.

W obu przypadkach często nie wystarcza wiedza na temat poziomu prądu upływowego w chwili wykonywania pomiaru. W takich sytuacjach należy rejestrować prąd upływowy z określonym interwałem czasowym w dłuższym odcinku czasu – szczególnie w przypadku analizy przyczyn niespodziewanego wyzwalania wyłączników różnicowoprądowych.

Pojedyncze urządzenia elektryczne niskiego napięcia nie powinny pobierać nadmiernego prądu upływowego. Poziom tego prądu został określony w normach wyrobu, a dodatkowo może być on sposobem diagnozowania stanu izolacji urządzenia w eksploatacji.

Przykładowo obowiązujące w Niemczech normy krajowe VDE 0701 [1] i VDE 0702 [2] proponują w przypadku konieczności oceny stanu izolacji pracujących urządzeń elektrycznych pomiar:

- **zastępczego prądu upływowego**  $I_{ea}$  (equivalent leakage current),

- **prądu upływowego  $I_{abl}$  w przewodzie ochronnym** (protective conductor current),

- **prądu dotykowego (touch current).**

Pomiar zastępczego prądu upływowego odbywa się w urządzeniu I klasy ochronności przy obniżonym napięciu pomiarowym do wartości  $30\text{ V} \pm 5\text{ V AC}$ , a następnie zostaje przeliczony na napięcie znamionowe  $230\text{ V}$ . W czasie pomiaru napięcie przykładane jest pomiędzy zwarte zaciski L i N urządzenia, a przewód ochronny. Według wymagań normy w przypadku klasy I dla urządzeń przenośnych dopuszcza się poziom prądu do  $0,75\text{ mA}$ , a dla stałych  $3,5\text{ mA}$  ( $7\text{ mA}$ ). Jeżeli urządzenia są wyposażone w elementy grzejne to wartość prądu upływu może wynosić do  $1\text{ mA/1 kW}$  mocy ale nie więcej niż  $15\text{ mA}$  (dotyczy urządzeń o mocy powyżej  $6\text{ kW}$ ). Dla urządzeń w klasie ochronności II prąd upływowy nie może przekraczać  $0,5\text{ mA}$ .

W czasie pomiaru prądu dotykowego pomiędzy metalowe części urządzenia w II klasie ochronności, a ziemię jest włączony model odwzorowujący ciało człowieka w celu określenia rzeczywistej wartości prądu dotykowego [3].

Do pomiaru powyższych prądów stosuje się specjalne urządzenia tzw. mierniki bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych. Znacznie łatwiej w celu oceny stanu izolacji urządzenia zmierzyć prąd upływowy za pomocą cęgów prądowych. Bezpośredni pomiar prądu upływowego w przewodzie ochronnym dotyczy tylko urządzeń w I klasie ochronności posadowionych na izolacyjnej podstawie. Niektóre mierniki bezpieczeństwa urządzeń elektrycznych umożliwiają bezpośredni pomiar prądu upływowego w przewodzie ochronnym, który powinien być wykonywany w dwóch położeniach wtyczki w gnieździe. Z pomiarów do oceny brana jest większa wartość, która nie powinna przekroczyć  $3,5\text{ mA}$ .

W niektórych sytuacjach mogą powstawać prądy upływowe w stanie przejściowym np. w czasie załączania urządzeń elektrycznych powodując niezamierzone zadziałanie wyłączników różnicowoprądowych. Inną przyczyną jest sytuacja umiejscowienia w instalacji ograniczników przepięć za wyłącznikiem różnicowoprądowym pracujących w drugiej lub dalszej strefie ochronnej. W przypadku zadziałania wymienionych ograniczników przy przepływie nadmiernych prądów

wyładowczych może nastąpić pogorszenie struktury wewnętrznej warystora ZnO i wzrost prądu upływowego prowadzący do wyzwania wyłączników różnicowoprądowych. W takich przypadkach pomocne jest użycie czułych cęgów prądowych lub rejestratora prądów upływowych.

## 2. REJESTRATOR KEW 5001

Do rejestracji prądów upływowych zarówno w długim okresie czasu jak i w stanach przejściowych można wykorzystać rejestrator KEW 5001 umożliwiającą podłączenie maksymalnie trzech cęgów prądowych. Standardowo, dołączane są do wyposażenia cęgi o przekładni 100 mV/A i zakresie prądu do 1 A. Cęgi posiadają różne średnice wewnętrzne (24 mm, 40 mm, 68 mm) i można je mocować do metalowych powierzchni za pomocą magnesu na tylnej ścianie obudowy.

Rejestrator pozwala zapisać do 60000 danych w postaci wartości skutecznej lub chwilowej w czterech trybach pracy [4]:

- analiza ciągła (LOG) – pomiar polega na obliczeniu wartości skutecznej prądu na podstawie 180 próbek sygnału w dwóch okresach (próbkowanie 4500 próbek na 1 s) i wpisaniu wyniku do pamięci rejestratora, kolejny pomiar odbywa się w zadanym przez użytkownika odstępie czasu; rejestracja może obejmować okres do 25 lub 40 dni (ograniczony czasem pracy baterii) w zależności od pamięci rejestratora i interwału pomiędzy poszczególnymi próbkami, który można ustawiać w przedziale od 1 s do 3600 s; przykładowo przy minimalnym 1 s odstępie w trybie jednokanałowym uzyskuje się czas rejestracji 16 minut 40 sekund,

- analiza zdarzeń (DTC) – częstotliwość próbkowania wynosi tylko 625 Hz, co odpowiada próbkowaniu co 1,6 ms, na podstawie otrzymywanych próbek sygnału określa się wartość szczytową sygnału w okresie, która po podzieleniu przez 1,41 daje szacowaną wartość skuteczną dla sygnałów sinusoidalnych; wartość ta jest porównywana w każdym okresie z wartością progową, która może być ustawiana od 1 mA w górę z rozdzielczością do 1 mA; w chwili przekroczenia wartości progowej rozpoczyna się rejestracja prądu przez 800 ms (z próbkowaniem co 3,3 ms), przyrząd podaje 8 wyliczonych wartości skutecznych każda za okres 100 ms - 3 przed i 4 po wystąpieniu wartości progowej, dodatkowo w rejestrze zapisywana jest wartość szczytowa zmierzonego prądu; przy 3 kanałach można zapisać 1600 danych, a w 1 kanale 4800 danych,

- wartości maksymalnych (',') - częstotliwość próbkowania wynosi tylko 625 Hz, co odpowiada próbkowaniu co 1,6 ms, w chwili przekroczenia nastawionej wartości progowej obliczonej podobnie jak w analizie zdarzeń, urządzenie zapamiętuje największe wartości skuteczne w kolejnych 10 sekundowych przedziałach czasu aż do chwili kiedy prąd upływu spadnie do 50% ustalonej wartości progowej lub minie 10 minut, w trybie 3 - kanałowym można zapisać do 330 danych, a w 1 - kanałowym 990,

- analiza kształtu prądu (CAP) - próbkowanie 900 próbek na 1 s, czas rejestracji 200 ms (w tym 50 ms przed wyzwoleniem), możliwa praca w trybie 1 kanałowym (aktywna sonda tylko w kanale CH1), możliwość zapisu 345 oscylogramów.

Analiza częstotliwości próbkowania w powyższych trybach wskazuje, że najdokładniejszy pomiar ma miejsce w trybie rejestracji ciągłej, kiedy ma miejsce wierne

odtworzenie przebiegu prądu, a więc wartość skuteczna wyliczana jest z dużą dokładnością. W pozostałych przypadkach pomiary obciążone są dość dużą niedokładnością, a zaproponowany przez producenta system wyzwania ma w praktyce szczególnie przy obserwacji prądów w zakresie do 5 mA wiele niedoskonałości, co przedstawiono w dalszej części referatu.



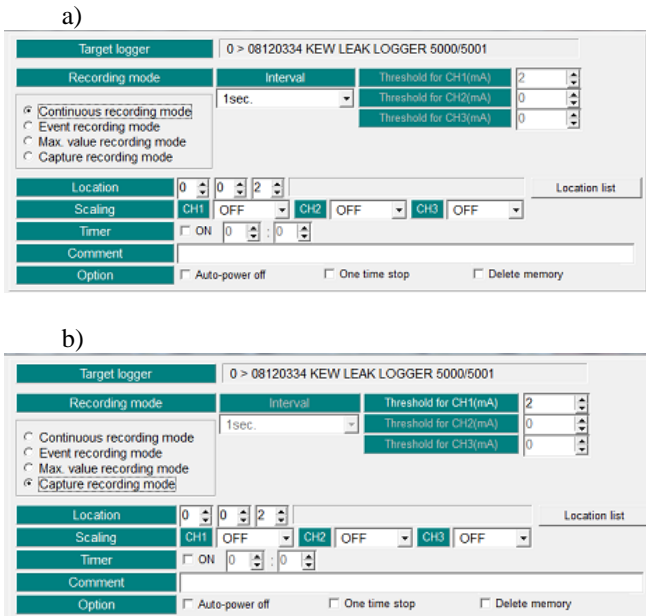
Rys. 1. Rejestrator KEW 5001 [5]

## 3. PRZYKŁADY POMIARÓW

Do rejestratora KEW 5001 przyłączono zawarte w wyposażeniu standardowym cęgi pomiarowe i analizowano w różnych trybach pracy (rys. 2) prądy upływowe urządzeń stosowanych w gospodarstwie domowym. Ustawienia i odczyt danych z rejestratora dokonywano za pomocą komputera z oprogramowaniem KEWLog producenta.

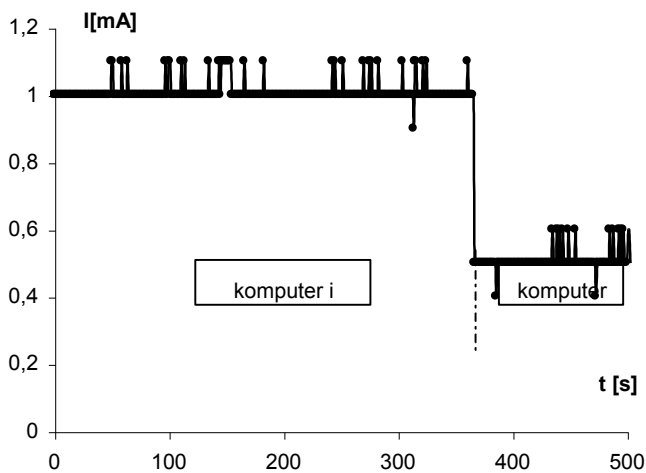
W czasie pomiarów rejestrowano prąd upływowy zestawu komputerowego, który jest znacznie większy od innych testowanych urządzeń elektrycznych: żelazka (0,2 mA, grzejnika olejowego 0,1 mA, piekarnika elektrycznego o mocy 1 kW – 0,1 mA). Prąd upływu zestawu komputerowego (komputer stacjonarny i monitor) wynosi około 1 – 1,2 mA przy czym udział prądu upływowego komputera i monitora jest podobny.

Zastosowanie do wstępnych pomiarów wysokoczułych cęgów prądowych KEW SNAP 2432 o rozdzielczości 1  $\mu$ A daje podobne wyniki pomiarów prądu upływowego, a różnica pomiędzy pomiarem wartości skutecznej składowej o częstotliwości 50 Hz oraz przebiegów w paśmie do 1 kHz jest niewielka i nie przekracza 2%.



Rys. 2. Okno programu ustawień rejestratora w trybie a) rejestracji ciągłej, b) rejestracji zdarzeń przekraczających wartość progową

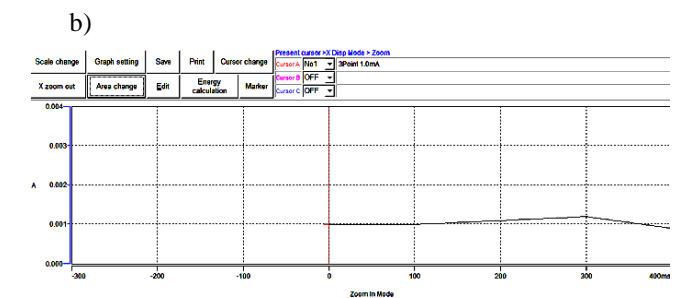
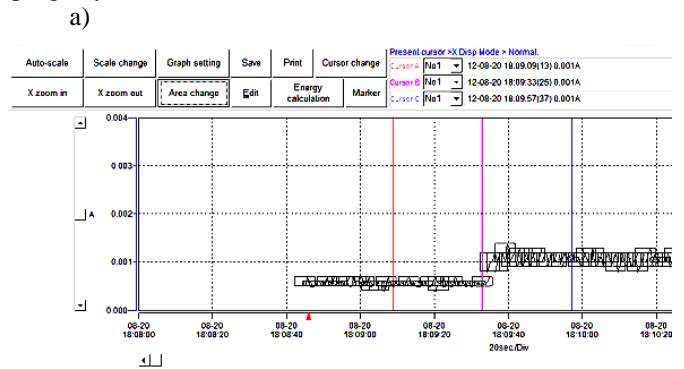
Przebieg pokazany na rysunku 3 zarejestrowano w trybie ciągłym polegającym na wyliczeniu co 1 sekundę wartości skutecznej za 40 ms. Sposób ten ze względu na najwyższą częstotliwość próbkowania w analizowanym przyrządzie wydaje się najpewniejszy do określenia wartości prądu upływowego dla danego urządzenia w czasie jego pracy.



Rys. 3. Prąd upływowy zestawu komputerowego (komputer i monitor - początkowa część wykresu) i tylko komputera PC zarejestrowany w trybie LOG

Na rys 4 pokazano analizę tego samego zestawu w trybie rejestracji zdarzeń przy ustawionym progu wyzwolenia na 2 mA. Zarówno przy wartości skutecznej prądu upływowego 0,5 mA (komputer) jak 1,1 mA (zestaw komputerowy) przyrząd - według informacji w wygenerowanych w formacie Excela plikach - aktywuje się przy podobnej wartości prądu wyzwolenia z zakresu 2,2 ÷ 3,1 mA. Na podstawie analizy arkusza Excel wynika, że przy ciągłym przekraczaniu wartości zadanej miernik rejestruje dane co 2 s zapisując wartości skuteczne przed i po wystąpieniu wyzwolenia. Niezrozumiałe jest występowanie wartości szczytowej przekraczającej 2 mA, gdyż prąd ciągły zestawu osiąga wartości skuteczną prądu upływu na

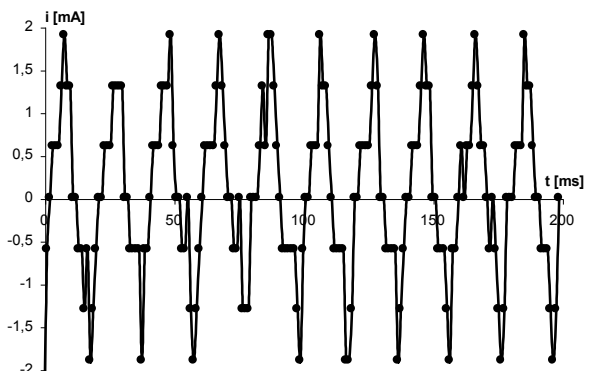
poziomie 1,2 mA. Jedynym wytłumaczeniem, takiego zachowania przyrządu może być występowanie krótkotrwałych impulsów prądu upływowego. W takim przypadku prognozowana przez przyrząd wartość skuteczna (jako wartość szczytowa podzielona przez współczynnik 1,41) jest wysoka i może przekraczać wprowadzony poziom progowy.



Rys. 4. Prąd upływu zestawu komputerowego zarejestrowany w trybie analizy zdarzeń (tryb DTC), a) zestawienie wszystkich zdarzeń, b) dane dla pojedynczego wyzwolenia obliczane za kolejne okresy 100 ms

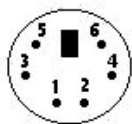
Podobne zachowanie przyrządu występowało w trybie rejestracji wartości maksymalnych. Tym razem wykrywano wartości progowe z zakresu 1,8 – 4,2 mA powodujące ciągłą aktywację procesu rejestracji. Niezrozumiałe jest sposób zapisu wyników, gdyż według instrukcji próbki danych powinny być kolejnymi największymi wartościami prądu w odstępach 10 s. Czas rejestracji po pojedynczej aktywacji zgodnie z informacją w instrukcji przyrządu utrzymywał się aż do wystąpienia połowy prądu wyzwolenia lub przez 10 minut.

W czasie rejestracji prądów ciągłych w trybie CAP wykonywane są oscylogramy za okresy 200 ms (rys. 5). Podobnie jak w poprzednich przypadkach niejasne są powody uruchamiania pomiaru – najprawdopodobniej wynikające z krótkotrwałych impulsów prądu podwyższających szacowaną wartość skuteczną sygnału.



Rys. 5. Prąd upływowy w czasie pracy zestawu komputerowego zarejestrowany w trybie CAP

Rejestrator można zastosować w diagnostyce urządzeń o bardzo małych prądach upływowych pod warunkiem wprowadzenia cęgów prądowych o większej czułości. Próbę taką wykonano podłączając do rejestratora cęgi ALCL-40D o czułości kilku  $\mu\text{A}$ , co pozwala na skuteczne monitorowanie ograniczników przepięć zarówno niskiego jak i średniego napięcia. Sposób ten wymaga zastosowania cęgów z oryginalnym, nietypowym wejściem producenta typu PS/2 lub należy wykonać odpowiedni kabel przyłączeniowy według informacji podanych na rysunku 6.

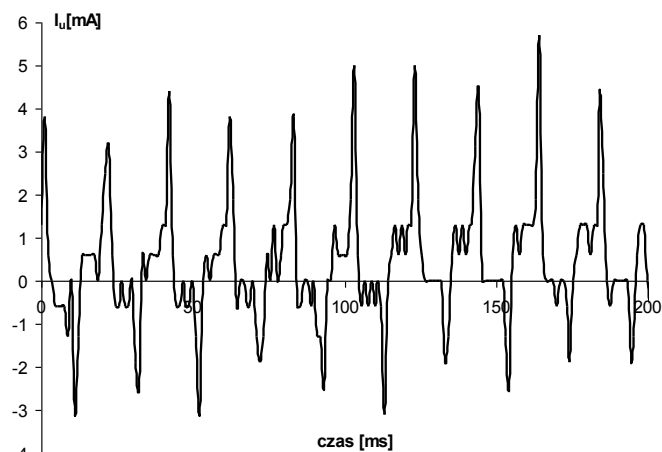


3 i 5 – cęgi prądowe,  
3 – połączenie z obudową wtyku,  
6 i obudowa – rezystor  $15 \div 75 \text{ k}\Omega$

Rys. 6. Oznaczenia styków wtyku PS/2 połączonego z cęgami prądowymi producenta

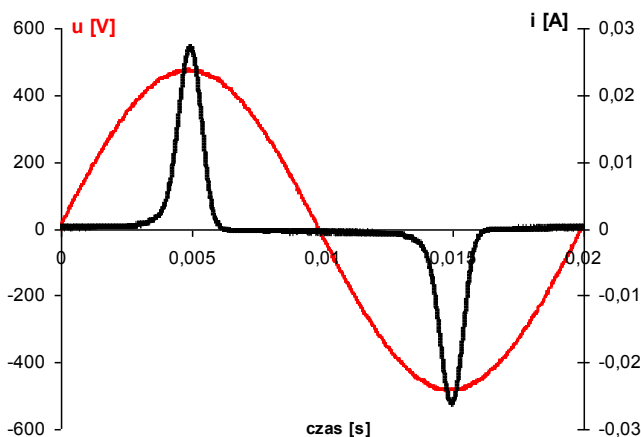
Zastosowanie innych cęgów wymaga oprócz prawidłowego wprowadzenia zacisków cewki prądowej przyłączenia rezystora o wartości zależnej od typu cęgów w celu zapewnienia wyświetlania prawidłowej wartości skutecznej mierzonego sygnału. W przypadku stosowania jakichkolwiek innych cęgów niż oryginalne dołączone razem w zestawie należy wykonywać kalibrację i stosować w czasie pomiaru odpowiednie współczynniki korekcyjne.

Analizowany zestaw – najlepiej po podłączeniu czulszych cęgów niż są oferowane w zestawie - można wykorzystać do rejestracji prądów upływowych w ogranicznikach niskiego lub średniego napięcia. Uszkodzenia wewnętrzne ogranicznika lub nieprawidłowy dobór napięcia trwałej pracy powodują silne wyładowania niezupełne w strukturze warystora wykrywane między innymi za pomocą pomiaru prądów upływowych. Na rysunku 7 pokazano przebieg odkształconego prądu upływowego ogranicznika zarejestrowany przy napięciu 345 V, wyższym od napięcia trwałej pracy  $U_c=275 \text{ V}$ .



Rys. 7. Przebieg prądu upływowego w ograniczniku zmierzony przy napięciu  $U=345 \text{ V} > U_c=275 \text{ V}$

Przebieg ten (rys. 7) jest inny od zarejestrowanego oscylogramu (próbkowanie 250 kS/s) prądu wyznaczonego na podstawie spadku napięcia na bezindukcyjnym rezystorze o wartości  $52 \Omega$  (rys. 8), co może wynikać z niewielkiej częstotliwości próbkowania rejestratora KEW 5001 (próbka co 1,11 ms) lub konstrukcji zastosowanych cęgów prądowych.



Rys. 8. Oscylogram prądu upływowego ogranicznika przepięć przy  $U=345 \text{ V} > U_c=275 \text{ V}$

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przyrząd umożliwia rejestrację prądów upływowych w trzech różnych miejscach instalacji lub urządzenia.

Zastosowane procedury pomiarowe są niepewne w jednoznacznym wykrywaniu przekroczenia krytycznej wartości skutecznej prądu upływowego.

Zaleca się stosowanie trybu rejestracji ciągłej w którym obserwowano prawidłowe wskazania wartości skutecznych.

Rejestracja w trybie pojedynczych zdarzeń pozwala jedynie na określenie charakteru prądu upływowego, którego wartość skuteczna jest określona z dużą niedokładnością.

Zastosowany algorytm wyzwalania przyrządu na podstawie zmierzonej wartości szczytowej jest nieskuteczny w przypadkach występowania zaburzeń wysokoczęstotliwościowych o znacznej amplitudzie.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. VDE 0701 Teil 1 2000-09 DIN VDE 0701-1 Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
2. VDE 0702 Teil 1 1995-11 DIN VDE 0702-1 Wiederholungsprüfungen an elektrischen Geräten
3. PN-EN 60990:2002 Metody pomiaru prądu dotykowego i prądu w przewodzie ochronnym
4. Instrukcja przyrządu KEW model 5000/5001, Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd, 2006
5. Karta katalogowa przyrządu KEW 5000/5001 – materiały internetowe firmy Biall, [www.biall.com.pl](http://www.biall.com.pl)

## LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT IN ELECTRICAL INSTALLATION

**Key-words:** earth-leakage current, residual current device, arresters, evaluation of electrical safety of devices

#### Abstract:

The paper presents features of KEW 5001 leak logger during control of electrical installation.