

Prof. Andrzej GAWOR  
Leży NEUWERT  
Henryk SZEPE

## O MOŻLIWOŚCI WYSTĘPOWANIA I MIERZENIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH IMPULSOWYCH

**Streszczenie.** Podczas pomiarów prądów błędzących w kopalniach obserwuje się często na przyrządach pomiarowych gwałtowne, krótkotrwałe wychylenia o znacznych amplitudach przekraczających nieraz zakresy pomiarowe przyrządów. Analiza statystyczna zarejestrowanych przebiegów czasowych prądów i napięć błędzących w kilku kopalniach potwierdziła występowanie krótkotrwałych impulsów prądowych, których pomiar zwykłymi przyrządami obarczony jest znacznym błędem.

Omówiono przyczyny występowania prądów błędzących impulsowych oraz przedstawiono urządzenie pozwalające mierzyć ich parametry.

### 1. Wstęp

Ocenę zagrożenia od prądów błędzących przy robotach strzałowych przeprowadza się na podstawie wyników pomiarów miliamperomierzem "Barbara-2". Dokładność pomiarów zależy między innymi od zmienności czasowej mierzonych prądów, w szczególności zaś od czasu utrzymywania się największej wartości prądu. Miliamperomierz "Barbara-2" mierzy dokładnie (tzn. z błędem wynikającym z jego klasy dokładności) wartości prądów utrzymujących się przez czas dłuższy od 0,23 sekundy. Podczas pomiarów prądów mających charakter impulsów prostokątnych o czasie trwania poniżej 0,23s, ujemny błąd względny przyrządu wzrasta, osiągając przy czasie 0,1s, wartość ok. 50% [6].

W związku z tym w przypadkach, gdy występujące prądy błędzące mają postać krótkotrwałych impulsów, wyniki pomiarów wykonanych miliamperomierzem "Barbara-2" nie odzwierciedlają rzeczywistego zagrożenia.

Możliwość, a także częstość występowania takich impulsów prądów błędzących ocenić można wstępnie na podstawie zarejestrowanych przebiegów czasowych prądów błędzących. Ocenę zagrożenia przy robotach strzałowych natomiast można przeprowadzić, znając główne parametry impulsów. Zacho- więc potrzeba opracowania specjalnego urządzenia pozwalającego mierzyć niezbędne do oceny bezpieczeństwa parametry prądów błędzących impulsowych.

## 2. Ocena możliwości występowania prądów błądzących impulsowych na podstawie pomiarów przebiegów czasowych napięć i prądów błądzących

W celu uzyskania informacji o charakterze zmienności czasowej prądów błądzących oraz ewentualnego wykrycia impulsów prądowych, wykonane zostały [3] w kopalni pomiary za pomocą rejestratorów elektromechanicznych. Mierzono zarówno różnice potencjałów źródeł jak i prąd błądzący płynący przez rezystancję  $3\Omega$  przyłączoną do ich zacisków.

Bezwładność ustroju pomiarowego zastosowanego typu rejestratorów umożliwia poprawny pomiar amplitudy impulsu prądowego (lub napięciowego) o czasie trwania większym od (1-2)s. Odpowiada to na taśmie rejestratora szerokości impulsu równej ok. (0,5-1)mm (przy prędkości posuwu taśmy 1800 mm/h). Każdy zatem zarejestrowany impuls o mniejszej szerokości charakteryzował się krótszym czasem trwania. Próby laboratoryjne wykazały, że przy bardzo krótkich czasach trwania impulsu, rejestrator może w ogóle nic nie zarejestrować.

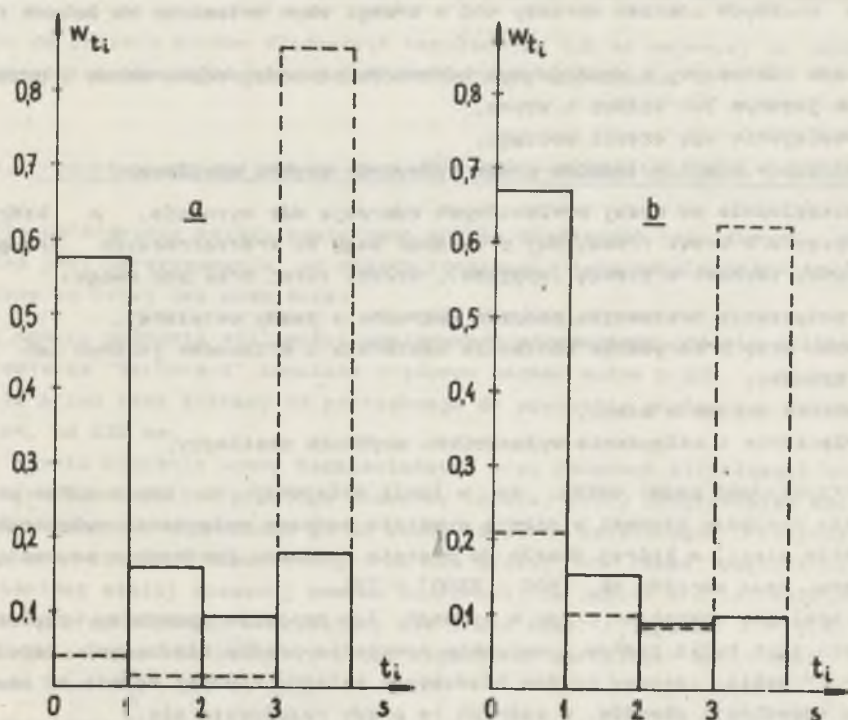
Przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych rejestrogramów, zliczając impulsy prądowe różniące się czasem trwania ( $t_1$ ) i grupując je w następujących przedziałach:

- 1) impulsy o czasie trwania  $t_1 \leq 1s$ , a więc wszystkie te, których rejestrator nie odtwarza dokładnie lub w ogóle ich nie rejestruje,
- 2) impulsy o czasie trwania  $1s < t_1 \leq 2s$ ,
- 3) impulsy o czasie trwania  $2s < t_1 \leq 3s$ ,
- 4) impulsy o czasie trwania  $t_1 > 3s$ .

Wyniki tej analizy przedstawić można w postaci histogramów obrazujących:

- a) częstość występowania poszczególnych impulsów w ujęciu liczbowym, tzn. liczbę impulsów z danego przedziału czasowego odniesioną do liczby wszystkich impulsów,
- b) częstość występowania poszczególnych impulsów w ujęciu czasowym, tzn. sumaryczny czas trwania impulsów z poszczególnych przedziałów odniesiony do całkowitego czasu pomiaru. Przykładowe histogramy przedstawione są na rys. 1.

Z histogramów widać, że przebiegi czasowe prądów błądzących charakteryzują się występowaniem dość znacznej ilości impulsów o czasie trwania poniżej 3s (od 13% do 38% całkowitego czasu trwania pomiaru). Jednocześnie można zauważyć, że wśród impulsów o czasie trwania poniżej 3s najczęściej pojawiały się impulsy o czasie trwania  $t_1 < 1s$ . Biorąc dodatkowo pod uwagę, że mogły mieć miejsce impulsy bardzo krótkie, których przyrząd nie zarejestrował z uwagi na bezwładność ustroju pomiarowego, możemy stwierdzić, że w miejscach, w których wykonywane były pomiary, występowały prądy błądzące o charakterze impulsowym, w stosunku do których tradycyjne przyrządy i metody pomiarowe nie są wystarczające.



Rys. 1. Przykładowe histogramy czasów trwania impulsów prądów błądzących zarejestrowanych w kopalni

a) w rejonie stacji prostownikowej zasilającej sieć trakcyjną, b) w rejonie końca przewodu jezdnego,

————— - ujęcie liczbowe, - - - - - - ujęcie czasowe

### 3. Powstawanie prądów błądzących impulsowych

Przebieg czasowy prądów błądzących zależy z jednej strony od przebiegu czasowego prądu w szynach i potencjału szyn względem ziemi, a z drugiej strony od własności elektrycznych dróg, którymi te prądy rozprzyskują się.

Zarówno podczas normalnej pracy trakcji elektrycznej jak i w warunkach zakłóceń mogą mieć miejsce sytuacje, w których prąd obciążenia płynący w szynach ma charakter pojedynczych lub powtarzających się po sobie krótkotrwałych impulsów. Wymienić można tu przykładowo:

- ruszanie pociągu z miejsca i towarzyszące mu często szarpnięcia spowodowane luzami na sprzęgach,
- przejazd pociągu przez zwrotnice lub skrzyżowania,

- przejazd pociągu przez odcinek źle utrzymanego toru, na którym dochodzi do bocznych uderzeń obrzeży kół o brzegi szyn zwłaszcza na łukach trasy,
- jazda lokomotywy z przerywanym kontaktem pomiędzy odbierakiem i przewodem jezdny lub kołami i szyną,
- wykolejenie się części pociągu,
- zwarcie w sieci wyłączone przez wyłącznik szybki zasilacza.

Niezależnie od wyżej wymienionych zdarzają się sytuacje, w których przepięcia w sieci trakcyjnej prowadzić mogą do krótkotrwałych przepięć pomiędzy szynami a ziemią (spągłem). Należy tutaj brać pod uwagę:

- przełączanie nastawnika podczas rozruchu i jazdy ustalonej,
- jazdę przy przerywanym kontakcie odbieraka z przewodem jezdny lub kół z szynami,
- zwarcia łukowe w sieci,
- wyłączanie i załączanie wyłączników szybkich zasilaczy.

Przykładowo podać można, że w linii kolejowej na powierzchni przepięcie pomiędzy szynami a ziemią powstałe podczas wyłączania wyłącznikiem szybkim sieci, w której doszło do zwarcia przewodu jezdny z szynami, osiągnąć może wartość ok. (500 - 1300) V [5].

Impulsowy charakter prądu w szynach lub napięcia pomiędzy szynami a ziemią jest tylko jednym z warunków powstania prądów błędzących impulsowych. Przebieg czasowy prądów błędzących zależy również będzie od charakteru impedancji obwodów, w których te prądy rozprzyskują się.

Wyznaczenie dróg rozprzysku prądów błędzących napotyka na znaczne trudności. Dotyczy to zwłaszcza podziemi kopalń, gdzie prądy błędzące rozprzyskują się mogą w zróżnicowanym strukturalnie górotworze i w połączonych z nim masach metalowych. Tym większe więc trudności spotyka się przy analizie tak jakościowej jak i ilościowej impedancji obwodów prądów błędzących. W rozważaniach dotyczących zagrożenia przy robotach strzałowych bierze się zwykle pod uwagę stan ustalony, a więc i rezystancyjny charakter obwodu źródła prądu błędzącego [1], [2]. Biorąc jednak pod uwagę, że do obwodu prądów błędzących zaliczyć można na przykład rozległe masy metalowe ułożone równoległe do osi torów lub suche skały będące dielektrykami, nie należy wykluczać obecności w tych obwodach indukcyjności lub pojemności. Może to mieć istotny wpływ na czasowy przebieg prądów błędzących, w tym również na powstawanie prądów impulsowych.

Na zakończenie powyższych uwag o powstawaniu prądów błędzących impulsowych należy podkreślić, że zagadnienie jest mało znane i nie było dotychczas badane.

Możliwość występowania niebezpiecznych impulsów prądowych, niewykrywalnych stosowanymi obecnie przyrządami pomiarowymi, ma bardzo istotne znaczenie dla bezpieczeństwa robót strzałowych i wymaga podjęcia badań. Badania te powinny mieć na celu przede wszystkim opracowanie metody i przy-

rzędu do pomiaru prądów błędzących impulsowych lub co najmniej do kontroli obecności takich impulsów, które stwarzają zagrożenie.

#### 4. Urządzenie do pomiaru parametrów krótkotrwałych impulsów prądowych

Dla opracowania metody pomiarowej prądów błędzących impulsowych niezbędne jest sprecyzowanie, co należy traktować jako impuls krótkotrwały. Możliwe są tutaj dwa podejścia:

- a) Z punktu widzenia możliwości pomiarowych stosowanego obecnie miliamperomierza "Barbara-2" impulsem prądowym nazwać można prąd utrzymujący się przez czas krótszy od potrzebnego do uzyskania dokładnych wskazań, tzn. od 230 ms.
- b) Z punktu widzenia oceny bezpieczeństwa przy robotach strzałowych krótkotrwałym impulsem prądowym nazwiemy impuls, który podgrzewając mostek zapalnika nie doprowadzi go do stanu cieplnie ustalonego. Przyjmując, że stan cieplnie nieustalony trwa nie dłużej od czasu pięciokrotnej cieplnej stałej czasowej mostka zapalnika, za impuls krótkotrwały przyjmujemy prąd błędzący utrzymujący się przez czas  $t_1 \leq 5\tau$  ( $\tau$  - cieplna stała czasowa mostka), który dla zapalników normalnych mostkowych wynosi ok.  $t_1 = 110$  ms [3].

Zagrożenie robót strzałowych takimi krótkotrwałymi impulsami prądów błędzących ocenić można, porównując wartość ich całki cieplnej z tzw. bezpiecznym impulsem prądowym, tj. impulsem prostokątnym, który w stanie cieplnie nieustalonym nie spowoduje odpalenia zapalnika podgrzanego poprzednio prądem dopuszczalnym [3].

Przy dłuższych impulsach, przy których mostek zapalnika przechodzi już w stan cieplnie ustalony, ocenę bezpieczeństwa wobec prądów błędzących przeprowadzać należy na podstawie prądu bezpiecznego (długotrwałego) zapalnika.

Dla pomiarów podstawowych parametrów krótkotrwałych impulsów prądów błędzących, tj.:

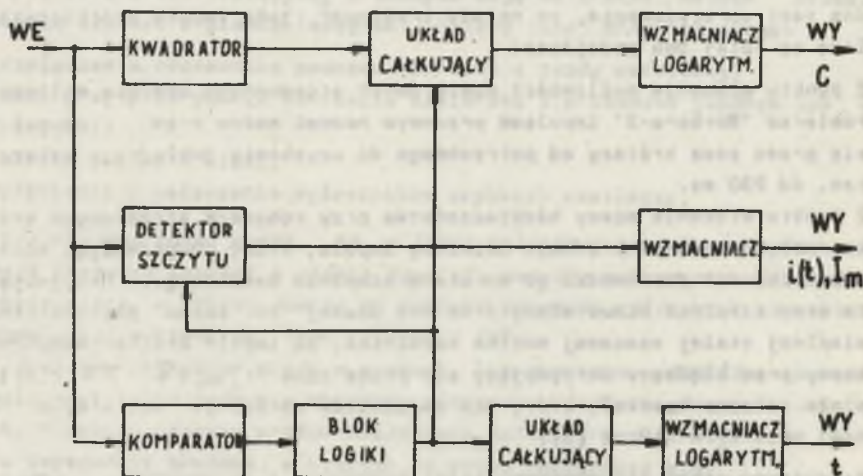
- czasu trwania  $t_1$ ,
- wartości szczytowej  $I_m$ ,
- całki cieplnej  $C = \int_0^{t_1} i^2/t \cdot dt$ .

opracowano i wykonano w Instytucie Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej [3] specjalne urządzenie, którego schemat blokowy przedstawiony jest na rys. 2.

Na wejściu urządzenia zainstalowano opornik o wartości rezystancji  $3,16\Omega$ , a więc odpowiadającej przeciętnej wartości rezystancji stosowanych zapalników elektrycznych mostkowych normalnych. Tak więc mierzone im-

pulsy prądów błędzających odpowiadają impulsom, jakie działałyby na zapalniki, gdyby końcówki ich zetknęły się przypadkowo z punktami będącymi zaciskami źródła prądu błędzającego.

Z wejścia sygnał przechodzi do trzech kanałów - kwadratora, detektora szczytu i komparatora, mających za zadanie w efekcie końcowym pomiary odpowiednio: całki cieplnej, wartości szczytowej impulsu i czasu trwania impulsu.



Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia do pomiaru parametrów impulsów prądów błędzających

Uruchomienie układów pomiarowych ma miejsce, gdy na wejściu pojawi się prąd o wartości większej od prądu bezpiecznego ( $I_b = 200 \text{ mA}$ ). W czasie trwania impulsu pomiarem poszczególnych parametrów steruje blok logiki. Po zaniku impulsu wyniki zapamiętywane są przez czas ok. 2s, w którym to czasie odpowiednio wzmacnione podawane są do trzech niezależnych wyjść w postaci impulsów napięciowych o czasie trwania 2s.

W czasie podawania sygnałów wyjściowych, a więc w ciągu 2s, układ pozostaje w stanie zablokowanym, tzn. nie mierzy ewentualnych następnych impulsów pojawiających się na wejściu.

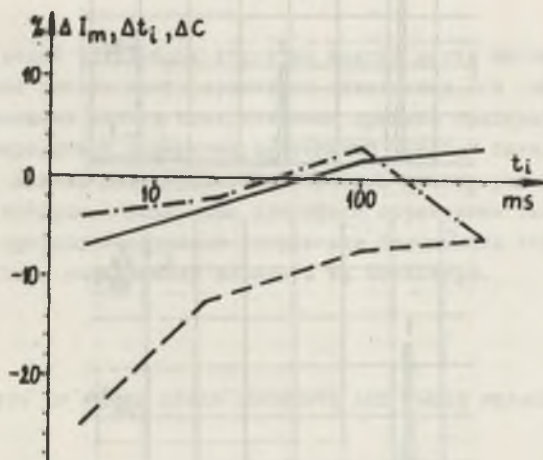
Po odczytaniu lub zarejestrowaniu wartości na wyjściach zapamiętane wyniki pomiaru zostają skasowane i układ jest przygotowany do pomiaru kolejnego impulsu. W celu sprawdzenia prawidłowości działania urządzenia przewidziano dodatkowy generator uruchamiany przyciskiem, podający na wejście pojedynczy impuls próbny.

Do wykonania poszczególnych układów elektronicznych wykorzystane zostały wzmacniacze operacyjne scalone oraz diody i tranzystory krzemowe.

Integralną częścią urządzenia są przyrządy pomiarowe na wyjściach. Mogą to być dowolne woltomierze napięcia stałego o rezystancji wewnętrznej

$R_V > 1 \text{ k}\Omega$ . Wygodnie jest zastosować trójkanałowy rejestrator napięcia o prędkości taśmy tak dobranej, by w sposób wystarczająco dokładny zarejestrowane zostały impulsy o czasie trwania 2s. Przy zastosowaniu takiego rejestratora każdy impuls prądu błędzącego zobrazowany zostanie trzema równocześnie zapisanymi prostokątami o odpowiedniej szerokości (wynikającej z prędkości posuwu taśmy) i wysokości odpowiadającej wartościom: całki cieplnej, wartości szczytowej prądu oraz czasu trwania impulsu. Rejestrator przyłączony do wyjścia prądowego ( $I_m$ ), w czasie gdy brak jest impulsów krótkotrwałych, rejestruje w sposób ciągły wartość spadku napięcia na rezystancji wejściowej, tzn. rejestruje prąd, jaki wskazywałby miliamperomierz "Barbara-2" podczas pomiaru długotrwałego. Pozostałe rejestratory wskazują w tym czasie zero.

Wykonane urządzenie z przyłączonymi na wyjściach trzema rejestratorami typu VAREG poddane badaniam testowym, zadając pojedyncze impulsy prostokątne o znanej czasie i wartości szczytowej [3]. Wykres błędów procentowych poszczególnych kanałów pomiarowych w zależności od czasu trwania impulsu przedstawiono na rys. 3. Rys. 4 natomiast przedstawia fragment rejestrogramów uzyskanych podczas prób urządzenia w kopalni.

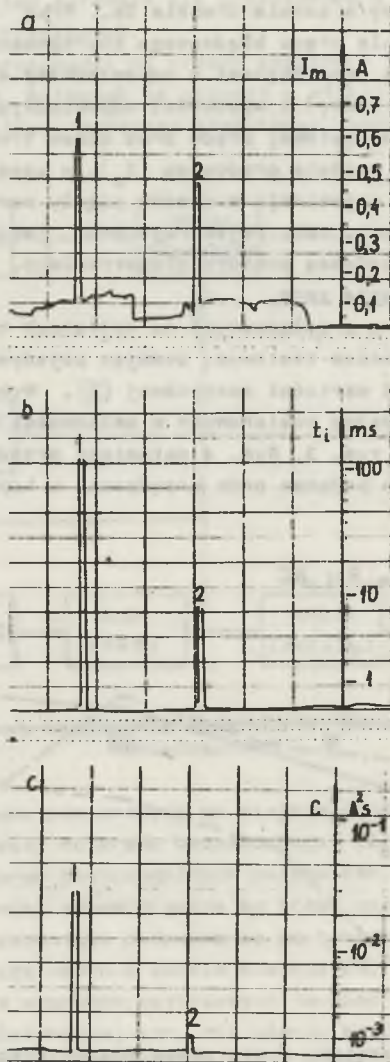


Rys. 3. Wykres błędów zestawu pomiarowego obejmującego urządzenie do pomiarów parametrów impulsów prądów błędzących wraz z rejestratorami przyłączonymi do wyjścia każdego kanału pomiarowego

— - - - - kanał pomiaru wartości szczytowej prądu, - - - - - kanał pomiaru czasu trwania impulsu, . . . . . kanał pomiaru całki cieplnej impulsu

Przedstawiona urządzenie pomiarowe przeznaczone jest przede wszystkim do pomiarów specjalistycznych wykonanych w uzasadnionych przypadkach. Dla celów praktycznych, tzn. do pomiarów wykonywanych bieżąco w przodkach, opracowywana jest obecnie uproszczona wersja, mająca za zadanie kontrolę

obecności prądów błędnych impulsowych oraz pomiar wartości szczytowej prądu [4].



Rys. 4. Przykładowe rejestrogramy z pomiarów impulsowych prądów błędnych w kopalni

1, 2 - zarejestrowane impulsy prądów błędnych, a - kanał pomiaru prądu i wartości szczytowej, b - kanał pomiaru czasu trwania impulsu, c - kanał pomiaru całki cieplnej



## LITERATURA

- [1] Cybulski W., Krzystolik P.: Strzelanie elektryczne w górnictwie, "Śląsk" Katowice 1970.
- [2] Gawor P.: Badania źródeł prądów błędzących i ich wpływ na zagrożenia w kopalniach ROW. Praca doktorska, Gliwice 1976 (niepublikowana).
- [3] Prace IEiAG: Badanie oporów wewnętrznych źródeł prądów błędzących oraz rozkładów ich wartości z punktu widzenia bezpieczeństwa robót strażalowych. Praca nr NB-18/75 (niepublikowana).
- [4] Prace IEiAG: Przyrząd do pomiaru impulsowych prądów błędzących - prototyp (I etap). Praca nr NB-23/76 (niepublikowana).
- [5] Pupylin W.N.: Rasczot napriazhenija riels - udaliennaja ziemia pri korotkich zamykaniach w tjaagowej sieti postojannogo toka. Wiestnik wsesojuznogo naucznoego issliedowatielskogo instituta železnodorožnogo transporta, 1970 nr 5.
- [6] Wolnik A.: Analiza zmian prądów błędzących występujących w podziemnych kopalniach. Praca dyplomowa magisterska wykonana w IEiAG, Gliwice 1975 (niepublikowana).

ОБ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСТУПАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ  
БЛУЖДАЮЩИХ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ

## Р е з ю м е

Во время измерений блуждающих токов на шахтах часто наблюдаются на измерительных приборах резкие кратковременные отклонения со значительными амплитудами превышающими иногда измерительные пределы приборов. Статистический анализ зарегистрированных временных протеканий токов и блуждающих напряжений в нескольких шахтах подтверждает выступание кратковременных импульсов тока, измерение которых нормальными приборами обременено значительной ошибкой. Излагаются причины выступления импульсных блуждающих токов, а также представлены приборы позволяющие измерить их параметры.

## ON THE POSSIBILITY OF PULSE STRAY CURRENTS AND THEIR MEASUREMENTS

## S u m m a r y

Short and violent indication deflections often exceeding the scales of instruments are observable while measuring underground stray currents. A statistical analysis of registered stray currents and voltages in a number of mines proved the existence of short duration current pulses which measuring by use of normal instruments is highly inadequate. Causes of stray currents and a measuring device have been presented.