



prof. dr hab. inż. Zbigniew HANZELKA  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30  
tel.: (12) 617 28 78, fax: (12) 633 22 84, e-mail: hanzel@agh.edu.pl



Kraków, 9 stycznia 2016 r.

## Recenzja rozprawy doktorskiej



Wykonana na zlecenie prof. dr hab. inż. Antoniego Cieśli, Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH.

Autor: mgr inż. Henryk Krawiec

Tytuł: **Odporność układów elektromechanicznych z silnikami prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu**

### 1. Dane bibliograficzne rozprawy

Rozprawa zawiera 156 stron. Składa się z czterech rozdziałów, trzech załączników, spisu literatury oraz wykazu stosowanych w tekście symboli i oznaczeń.

### 2. Ogólny pogląd na treść rozprawy oraz jej wartość naukową

Praca dotyczy ważnego zagadnienia współczesnej inżynierii elektrycznej, jakim jest poprawne działanie urządzeń – w rozważanym przypadku układów napędowych z silnikami prądu przemiennego - w obecności zapadów napięcia i krótkich przerw w zasilaniu. Mimo, że tematyka ta jest obecna w literaturze technicznej, głównie zagranicznej, w mniejszym stopniu w polskiej, nadal istnieje zapotrzebowanie na nowe coraz skuteczniejsze rozwiązania techniczne.

Ze względu na dużą wartość poznawczą i znaczenie praktyczne problem zwiększenia odporności napędów elektrycznych prądu przemiennego na zaburzenia elektromagnetyczne obecne w sieci zasilające należy uznać za bardzo trafny. Z pewnością duża w tym zasługa promotora pracy doktorskiej.

### 3. Charakterystyka rozprawy

Omówienie pracy w pierwszej części recenzji ograniczono do podkreślenia zalet i wad oraz zwrócenia uwagi na te zagadnienia ogólne, które w opinii recenzenta mają charakter dyskusyjny. W drugiej części recenzji zawarto wybrane uwagi szczegółowe.

### Uwagi krytyczne

1. Zastrzeżenia budzi strona graficzna pracy. Tekst zawiera błędy edytorskie, składniowe i powtórzenia. Kolejne paragrafy są niekiedy fragmentami niepowiązanymi

merytorycznie. Praca robi wrażenie pisanej w pośpiechu, bez poświęcenia wystarczająco długiego czasu w celu nadania jej ostatecznego kształtu.

2. W tytule pracy i w wielu miejscach w tekście Autor używa określenia układ elektromechaniczny. Czyni to w różny sposób: raz jest to tylko układ elektromechaniczny, innym razem układ elektromechaniczny z silnikiem, w innych miejscach tekstu układ elektromechaniczny z przemiennikiem VSI. Z pewnością rozważany napęd jest układem elektromechanicznym, lecz z obszernego zbioru różnych układów elektromechanicznych Autor koncentruje swoją uwagę na jednym konkretnym rodzaju napędu i zdaniem recenzenta mówienie o odporności napędu, byłoby bardziej właściwym terminem. Układ elektromechaniczny to także układ sprzęgający, agregat technologiczny, jego charakterystyki, a tych aspektów Autor nie rozważa w swojej pracy. Dopiero na stronie 34 znajduje się informacja, że „określenia układ elektromechaniczny a układ napędowy mają znaczenie zamienne”.
3. W przypadku napędów w z silnikami indukcyjnymi, problem sprowadza się do:
  - a. takiego sterowania inwertora, które gwarantuje minimalizację uchybu prędkości silnika podczas zaburzenia w przedziale zmian napięcia kondensatora, w którym nie jest aktywowane zabezpieczenie podnapięciowe wyłączające układ napędowy i tym samym przerywające realizowany proces technologiczny;
  - b. obniżenia w największym stopniu progu zadziałania zabezpieczenia podnapięciowego aktywowanego napięciem kondensatora w obwodzie pośredniczącym przemiennika częstotliwości.

Taki jest cel ocenianej pracy, choć Autor nie wypowiada tego w jawny sposób, natomiast przez ciągłe porównywanie wyników swoich badań z uchybem prędkości dla przypadku bezpośredniego zasilania silnika z sieci elektroenergetycznej sprawia wrażenie, że ten ostatni przypadek jest referencją na Jego propozycji. Tak nie jest, bowiem to, że układ z przemiennikiem częstotliwości gwarantuje lepsze możliwości stabilizacji prędkości silnika (w określonym przedziale zmian napięcia zasilającego) jest oczywiste i nie wymaga dowodu.

4. W typowej procedurze badawczej wyniki badań symulacyjnych uzyskane na podstawie modelu matematycznego są konfrontowane z wynikami badań laboratoryjnych przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu fizycznego. Oznacza to, że model symulacyjny odtwarza rzeczywistość fizyczną środowiska laboratoryjnego. Tego brak w ocenianej pracy. Badania laboratoryjne wykonano dla układu napędowego innego niż ten, który był symulowany. Oznacza to, że można mówić co najwyżej o porównaniu jakościowym/potwierdzeniu koncepcji, a nie o ilościowej analizie porównawczej. Dodatkowo w badaniach laboratoryjnych silnik obciążony jest generatorem prądu stałego pracującym na obciążenie rezystancyjne. Nie są to warunki odtwarzające stały moment obciążenia mechanicznego przyjmowany w badaniach symulacyjnych. Wyjaśnienia wymaga deklaracja Autora na stronie 140, że w badaniach z modelem fizycznym zrealizowano stały moment obciążenia o wartości równej 60% momentu znamionowego.
5. Wątpliwości budzi stosowany w całej pracy termin, „jakość energii”. Mimo, że jest powszechnie stosowany, zdaniem recenzenta powinien być co najmniej skomentowany

we wstępie do pracy. Zgodnie z regulacjami europejskimi<sup>1</sup> nadrzędnym pojęciem jest jakość dostawy energii (zwana także jakością zasilania),

### **Zalety pracy**

Oceniana praca opiera się na pomysle Autora polegającym na modyfikacji wektorowego układu sterowania silników indukcyjnych poprzez uzależnienie wartości strumienia sprzężonego z uzwojeniem wirnika od napięcia kondensatora w obwodzie pośredniczącym przemiennika podczas zapadu napięcia. Celem jest redukcja uchybu prędkości względem wartości zadanej. Autor badaniami symulacyjnymi i laboratoryjnymi przeprowadzonymi na zbudowanym przez siebie stanowisku potwierdził słuszność zaproponowanego oryginalnego rozwiązania. Wykazał umiejętność sformułowania tezy badawczej oraz potwierdził zdolność do rozwiązania z sukcesem problemu technicznego.

### **6. Ocena ogólna i wniosek końcowy**

Poczynione krytyczne uwagi ogólne i szczegółowe nie zmieniają generalnie pozytywnej opinii na temat recenzowanej pracy. Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Henryka Krawca stanowi opracowanie ciekawego i aktualnego zagadnienia naukowo-technicznego i dowodzi zadawalającego opanowania przez Doktoranta dyscyplin naukowych, z którymi jest związana.

Przedłożona rozprawa spełnia wymagania stawiane przez Ustawę z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz. U. nr 65) oraz rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 r. w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym.

Wnioskuje o przyjęcie przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony pracy.



---

<sup>1</sup> 1<sup>st</sup> (2001), 2<sup>nd</sup> (2003), 3<sup>rd</sup>(2005), 4<sup>th</sup> (2008) and 5<sup>th</sup> (2012) Benchmarking Reports on Quality of Electricity Supply, CEER Reports.

## ZAŁĄCZNIK nr 1: Uwagi szczegółowe (wybrane)

W tekście pracy brak jednolitości oznaczeń symboli wielkości fizycznych – kursywa lub prosto.

### 1. Wstęp

Str. 9, drugi akapit zawiera zaczerpniętą z normy definicję zapadu. Paragraf trzeci jest zbędnym powtórzeniem tych samych treści.

Piąty akapit - ... którego poziom zależy od napięcia jak też czasu ...? Jaka informację chciał Autor przekazać czytelnikowi?

Czwarty akapit jest niepotrzebnie rozszerzająco powtórzony na stronie 10 (pierwszy akapit).

Wyszczególnienie zapadów - ... po transformatorze o grupie połączeń ..., niezręczne sformułowanie.

Str. 11 – gdzie w normie PN-EN 61000-4-11 jest rysunek 1.2? Rysunek ten budzi wiele wątpliwości. Przykładowo na jego podstawie nie można zdefiniować przepięcia. Czym fragment charakterystyki napięcia opisany jako „zmiana napięcia” różni się od wahań napięcia?

Str. 12 – na podstawie przyjętej za normą PN-EN 61000-4-11 definicji odporności napędu, w warunkach znamionowej prędkości i znamionowego momentu obciążenia, sugeruje, że Autor będzie w dalszej części pracy badał charakterystyki odpornościowe układu we współrzędnych czas trwania zaburzenia-napięcie resztkowe podczas zapadu, choć nie sformułowano *explicite* tego celu. Szkoda.

Str. 14 – początkowe paragrafy: tekst mało czytelny, zacytowano jedno zdanie dotyczące przyczyn zapadów napięcia i wybrane z kontekstu pojedyncze zdania bez wyraźnego opisu jakiego napędu one dotyczą. W kolejnych zdaniach opisano wpływ zapadów na silnik indukcyjny, można się domyślać, że zasilany bezpośrednio z sieci. A Autor obiecywał czytelnikowi, że praca będzie dotyczyła silników zasilanych przez przemienniki częstotliwości i w wykazie różnych sposobów zabezpieczenia napędu przed skutkami zapadu dominują te, które odnoszą się do napędów z regulowaną „częstotliwościowo” prędkością wirowania. W tym zbiorze wymieniono np. stosowanie silników o mniejszym napięciu znamionowym, który to sposób bez dodatkowego komentarza jest zupełnie nieczytelny.

W końcowym akapicie (także na stronie 30, drugi akapit) stwierdzono, że „... dotychczasowe rozwiązania ... koncentrują się głównie na energoelektronice, której rozbudowa zwiększa odporność napędu.” Z podanych przez Autora sposobów zwiększenia odporności napędów zasadniczo tylko dwa wymagają zmian w obwodzie siłowym przemiennika.

Str. 16, 1.4.1. Pomiary laboratoryjne, pierwszy akapit – W załączniku 1 podano parametry silnika z biblioteki MATLAB SIMULINK, a nie jak podano w tym akapicie, parametry silnika stosowanego w badaniach laboratoryjnych. Powinno być – Załącznik 2?

Jaki przyjęto próg wartości napięcia definiujący przerwę w zasilaniu? Ta informacja pojawia się dopiero na stronie 18, jako wartość 10%, czyli wartość graniczna przerwy. Czy to już przerwa?

Szkoda, że Autor nie zadbał, aby każdy rysunek, składający się z kilku charakterystyk, był prezentowany na jednej stronie. Ułatwiłoby to śledzenie zmienności poszczególnych wielkości opisujących pracę napędu.

Autor arbitralnie, bez jakiegokolwiek uzasadnienia, wybrał warunki badań napędu – czas trwania i amplitudę zaburzenia oraz moment obciążenia.

Rys. 1.3. – brak opisu napięć, podobnie na rys. 1.5, 1.6 ...

Rys. 1.4 – badanie dotyczy bardzo krótkiej przerwy, zaburzenie kończy się bez osiągnięcia podczas jego trwania stanu ustalonego. Zaskakuje przesunięcie czasowe pomiędzy początkiem i końcem krótkiej przerwy i zmiana prędkości silnika. Brak w zbiorze parametrów momentu bezwładności zredukowanego na wał silnika utrudnia interpretację przedstawionych charakterystyk.

Szkoda, że nie badano napędu dla zmiennej wartości czasu trwania uzależnionej od stałej elektromechanicznej napędu.

Str. 18 – „przeregulowanie prądu”, „wahanie prądu”?

Str. 19, pierwsze zdanie jest tytułem rozdziału? Jeżeli tak to należało go wyróżnić.

Rys. 1.5, Na tym rysunku przedstawiono redukcję napięcia, nie zapad. Co jest powodem tak dużych i szybkich zmian napięcia w obwodzie DC?

Str. 21, pierwszy akapit – „model rozbudowanego przemiennika częstotliwości”? „„uznano, że układ jest zoptymalizowany względem zastosowanego silnika ....”. Niezręczne sformułowanie.

Autor wykorzystał model napędu dostępny w bibliotece MATLAB SIMULINK, nie mając pewności, że model ten odtwarza właściwie zachowanie układu w warunkach zaburzeń jakimi są zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu, np. jaki rodzaj zabezpieczeń i poziomy ich aktywacji przyjęto w modelu? Skąd pewność, że model ten został przystosowany do badań prowadzonych przez Autora?

Autor, w drugim akapicie, deklaruje „określenie charakterystyki odporności”. Jak definiuje te charakterystyki? Charakterystyki takie powszechnie określa się w układzie współrzędnych: napięcie resztkowe-czas trwania zaburzenia, dla różnych wartości momentu obciążenia mechanicznego, podczas, gdy Autor przyjmuje stały czas zaburzenia i zmniejsza stopniowo wartość napięcia resztkowego. Skąd Autor, na etapie formułowania procedury testów wie, że jest to wystarczający zakres zmian napięcia. Jaka była podczas testów wartość momentu obciążenia?

Dlaczego jako granicę utraty odporności przyjęto 1% zmiany prędkości zadanej?

„Wyniki symulacji odnośnie wymagań dotyczących odporności napędu nie w pełni zadawalają (dopuszczalne zmiany napięcia w niewielkim zakresie), ....”. Nieczytelne sformułowanie. Czy to oznacza, że napęd nie spełniał przyjętego kryterium 1% zmiany prędkości nawet przy niewielkich zmianach napięcia zasilającego, czyli był całkowicie nieodporny na zaburzenia w napięciu? Autor, aby poprawić odporność uzależnił wartość strumienia sprzężonego z uzwojeniem wirnika od poziomu napięcia zasilania, czyli zmodyfikował oryginalny model MATLAB-a.

Rys. 1.8, „inna skala czasu” – inna w relacji do przyjętej na rys. 1.7? Brak komentarzy do rysunków 1.7 i 1.8.

Str. 24, drugi akapit – na rysunku 1.8 nie ma charakterystyki odpornościowej. Rozumiem, że chodzi o rys. 1.10?

Ostatnie dwa akapity – podane wartości graniczne napięcia resztkowego, przy który zachowana jest poprawna praca napędu (uchybie prędkości mniejszy niż 1%) nie odpowiadają dokładnie wartościom podanym na rysunku 1.10.

Str. 28, pierwszy akapit – „przeregulowanie prądu”, „wahania prędkości”, „wahania prądów”. Podane w tym miejscu 16% jest wartością odpowiadającą warunkom przeprowadzonych symulacji, bez znaczenia uogólniającego, czego można oczekiwać we wnioskach.

„przeziennik częstotliwości z falownikiem napięcia”?

Str. 29, dlaczego w rozdziale 1 oznaczenie zależności (3.1)?

Podane w rozdziale 1.4.3. nie mają wystarczającego charakteru uogólniającego. Podano przykładowe wartości liczbowe odnoszące się do konkretnych analizowanych przypadków, uzyskane dla modeli napędu zaczerpniętych z bibliotek MATLAB-a.

Str. 30, ostatni akapit, bardzo niezręczne sformułowanie sposobu realizacji pracy:

- Rozpoznanie wstępne (czego?)
- Symulacja w idealnych warunkach (???) celem określenia maksymalnych możliwości (???)
- Symulacje (czego???) w warunkach zapadów ...
- Pomiar laboratoryjne (czego???)

Rozdział 1.6 Krótki opis realizacji (czego???)

Str. 31, „W rozdziale 2 przedstawiono ... zasilanego przez przeziennik częstotliwości sterowany ... „

„Zaprezentowano podstawowe (???) przebiegi czasowe stanu ustalonego (dla zapadów napięcia stan ustalony?), wykresy wskazowe oraz charakterystyki statyczne napięciowo-częstotliwościowe (???)”.

„... zaproponowano modyfikację układu regulacji i sterowania układu elektromechanicznego ...”. Jak Autor definiuje układ sterowania, a jak układ regulacji? Ostatni akapit, elementy składowe rozważanego układu – niezręczne sformułowanie. Forma telegramu nie jest najlepsza w tekstach technicznych.

Str. 32, pierwszy akapit – na rysunku 1.13 Autor umieścił transformator, a w tym akapicie zakłada idealne źródło napięcia. To odbiega od rzeczywistości technicznej. Autor nie ograniczył swoich rozważań do napędów małej mocy, a istotą jego koncepcji jest wzrost prądu napędu, wzrost spadku napięcia na impedancji zastępczej rzeczywistej sieci zasilającej i w konsekwencji pogłębienie zapadu.

Drugi akapit – zdanie bez orzeczenia, wiele niezręcznych sformułowań.

Ostatni akapit od końca – „... złożoność określenia wielkości sprzężenia zwrotnego ...” – niezręczne sformułowanie.

Str. 33, „- zaprogramowanie zapadów napięcia ...” – niezręczne sformułowanie.

Ostatni akapit. Nie można zgodzić się ze stwierdzeniem Autora, że charakter momentu obciążenia ma mniejsze znaczenie dla prowadzonych rozważań. Przy przyjętym kryterium jakości pracy napędu (uchybie mniejszy niż 1%) przyjęcie wentylatorowej charakterystyki napędu zasadniczo wpływa na jego pracę.

Str. 34, arbitralnie, bez uzasadnienia przyjęto parametry zaburzeń dla przeprowadzonych testów. Czy zaburzenie o napięciu resztkowym równym 10% jest przerwą czy zapadem napięcia?

**1. Badania symulacyjne odporności układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi, w warunkach zapadu napięcia i krótkich przerw w zasilaniu (dlaczego zapad jest w liczbie pojedynczej, a przerwy w zasilaniu w liczbie mnogiej?)**

Str. 35, Pierwszy akapit, zdanie bez orzeczenia

Założenie o zasilaniu uzwojeń stojana symetrycznym układem napięć nie będzie spełnione podczas niesymetrycznych zapadów.

Bardzo nietypowa forma zapisu równań .

Składowa rzeczywista i urojona – składowa czego?

Ostatni akapit na stronie – błąd stylistyczny. Dlaczego nie stwierdzono, że rysunek 2.3 przedstawia rozruch silnika?

Str. 41, akapit pod rysunkiem 2.3. Podano, że prąd  $I_{sd}=5,57$ , a  $I_{sq}=9,75$ . Patrząc na wartości ustalone składowych prądu na rysunkach 2.3, mam wrażenie, że powinno być odwrotnie?

Str. 44, ostatni akapit – równanie (4.48)?

Str. 45, niestaranna forma tabeli 4.2

Str. 46, ostatnie zdanie – skala czasu?

Str. 53, Wielob.?

Str. 55, Rozdział 2.2 pozbawiony jest wniosków końcowych.

Str. 56, pierwszy akapit, „Celem sprawdzenia poprawności opracowanego modelu porównano zachowanie układu elektromechanicznego z silnikiem indukcyjnym w przypadku bezpośredniego zasilania z sieci oraz w przypadku zasilania przez przemiennik częstotliwości sterowany wg zaproponowanego układu regulacji i sterowania.”

W jaki sposób takie porównanie może pomóc w ocenie poprawności opracowanego modelu? Porównywane są dwa różne modele układów, nieporównywalne! Walidację poprawności modelu symulacyjnego dokonuje się przez porównanie z wynikami uzyskanymi z modelu fizycznego.

Ponawiam pytanie odnośnie rozróżnienia układu regulacji i sterowania.

Jakie przyjęto parametry silnika w prezentowanych symulacjach? Ta informacja pojawia się dopiero na stronie 67. Są to parametry silnika z biblioteki MATLAB-a, jak można więc mówić o weryfikacji poprawności modelu?

Jaki przyjęto moment obciążenia? I znów ta informacja pojawia się dopiero na stronie 67.

Czym – w sensie jakościowym – różnią się wyniki przedstawione na rysunku 2.15 od wyników na rysunku 2.3?

Co to jest „idealne źródło napięcia”? Rozumiem, że jest to źródło napięcia o wartości amplitudy i częstotliwości sterowanych zgodnie z algorytmem zaproponowanym przez Autora. To bardzo nietypowa definicja idealnego źródła napięcia.

Str. 61, czy charakterystyka  $\omega_r$  jest poprawna?

Str. 63, dlaczego pojawiła się charakterystyka napięcia  $u_{DC}$ ? Analogicznie na rysunkach 2.20-2.20. Co nowego, w sensie jakościowym, wnoszą te rysunki?

Str. 67, zdanie nad rys. 2.23 – „... aktualnej wartości napięcia zdeterminowanej warunkami zapadu.” Niezręczne sformułowania.

Str. 68, Jaki jest cel powielania po raz kolejny rys. 2.10?

Zapad napięcia typu A jest z pewnością najtrudniejszym zaburzeniem dla układu napędowego. Jaki jest więc cel badań symulacyjnych innych rodzajów zapadów, skoro wiadomo, że uzyskane wyniki będą lepsze? Na stronie 140 Autor uzasadnia to następująco: „Ale by odpowiedzieć na pytanie o głębokość zapadu napięcia trzeba przeanalizować dokładnie wszystkie typy zapadów” ???

Pojawia się sterowanie wg. napięcia  $u_{DC}$  bez jakiegokolwiek komentarza w dwóch wersjach:

$$1 - u_s/f_s = f(u_{DC})$$

$$4 \text{ (??)} - \psi_r = (u_{DC})$$

Czytelnik nie wie nic o modelu przemiennika częstotliwości, przyjętym w badaniach. Nie wie nic o obwodzie pośredniczącym prądu stałego, który wnosi do układu sterowania pewną zwłokę czasu związaną z jego stałą czasową. Jaki to ma wpływ na działanie układu regulacji?

Str. 70, ostanía charakterystyka, dwukrotny wzrost napięcia  $u_{DC}$ ? To niedopuszczalne z punktu widzenia eksploatacji przemiennika.

Str. 80, rys. c) – czym spowodowana jest różnica w przebiegu  $\omega_{r1}$  i  $\omega_{r4}$ ? Dla zapadów niesymetrycznych warto było pokazać przebiegi czasowe wszystkich prądów fazowych.

Str. 82, drugi akapit – Na rysunku 2.27f ...

Str. 101, rys. d), spis oznaczeń charakterystyk, podobnie na pozostałych rysunkach?

Str. 115, rys. j)?

Str. 117, po co kolejny raz przebieg prądu  $iA4rms$  na rysunku h) i)? On już był pokazany na rysunku f). Rys. f) jest powtórzony jako rys. j).

Str. 122, dlaczego wykorzystano równoległy model silnika, a nie znanej metody odtwarzania strumienia wirnika??

Str. 127, co znaczy indeks „mean” przy symbolu napięcia kondensatora  $u_{DCmean}$ ? Jaki przyjęto czas uśredniania? Jak mierzono napięcie kondensatora w badaniach laboratoryjnych?

Str. 133, w tym i innym miejscach w pracy. Autor nie stosuje żadnych miar liczbowym dla oceny jakości działania różnych strategii sterowania (lub braku strategii w przypadku bezpośredniego zasilania silnika z sieci). Ogranicza się do prezentacji dowodów o charakterze jakościowym – analiza porównawcza charakterystyk Szkoda!

Str. 133, rys. c) phir?

Str. 140, „Należy zaznaczyć, że wielkość  $u_{Af}$  jest mierzona z wykorzystaniem podwójnego filtra RC, wskutek czego amplituda napięcia jest o kilka procent niższa, oraz kilkustopniowe opóźnienia w przebiegu wartości chwilowych.” Proszę o komentarz.

Duże przetężenia prądu na końcu zapadów F i G Autor tłumaczy skokową zmianą wartości napięcia przy końcu zapadów. Ale tak jest w przypadku każdego z analizowanych zapadów, a nie w każdym z analizowanych przypadków wartość prądu była tak duża.

