

**Henryk Banach**  
 Politechnika Lubelska, Lublin

## METODA POMIARU NAPIĘĆ INDUKOWANYCH W UZWOJENIU TWORNIKA OBCIĄŻONEJ MASZyny PRĄDU STAŁEGO

### MEASUREMENT METHOD OF GENERATED VOLTAGE IN ARMATURE WINDING OF DC LOADED MACHINE

**Abstract:** In the article a new measurement method of generated voltage in armature winding is presented. The method makes possibility to measure a generated voltage in d.c. loaded machines. The method is very convenient and needs only the simple testing in the motoring and generating mode. The generated voltage is the arithmetic mean of measured armature voltages on motor and generator operation by given armature and field current. An additional advantage by testing is any need to know an armature circuit resistances. The verification of the new method was made on d.c. shunt motor ( $P=1,5$  kW,  $U=220$  V,  $n=1450$  rpm).

#### 1. Wstęp

Wyznaczanie napięcia indukowanego w uzwojeniu twornika maszyny prądu stałego jest zagadnieniem dość skomplikowanym i wymagającym specjalnych przygotowań. Sprowadza się ono do wyznaczenia rezystancji obwodu twornika łącznie z rezystancją przejścia. O ile pomiar rezystancji poszczególnych uzwojeń nie stwarza dużych problemów, to wyznaczenie rezystancji przejścia w funkcji prądu twornika wymaga specjalnych zabiegów. W przypadku pętlicowego uzwojenia twornika należy to uzwojenie zewrzeć przy pomocy blachy miedzianej owiniętej na komutatorze. Po takich przygotowaniach obwód zasilany jest regulowanym prądem i następuje pomiar spadku napięcia na rezystancji przejścia[1]. Niestety w takim układzie gęstość prądu pod szczotkami jest równomierna, natomiast w normalnych warunkach pracy gęstość prądu pod szczotką pozostaje zróżnicowana pod krańcem zbiegającym i nadbiegającym. Dlatego też wyznaczenie rezystancji przejścia może być obciążone pewnym błędem. Po wyznaczeniu rezystancji uzwojeń i rezystancji przejścia, napięcie indukowane przy pracy silnikowej można wyznaczyć na podstawie następującej zależności:

$$U_i = U_a - R_a I_a - R_p I_a \quad (1)$$

gdzie:

$U_a$  - napięcie na zaciskach uzwojenia twornika,

$R_a$  - rezystancja uzwojenia twornika i uzwojeń komutacyjnych,

$R_p$  - rezystancja przejścia,

$I_a$  - prąd twornika.

Ta dość skomplikowana procedura wyznaczenia napięcia indukowanego stwarza wiele niedogodności, np. przy konieczności dokładnego wycechowania prądnicy hamowniczej. Opracowana przez autora metoda pozwala na ominięcie tych skomplikowanych w sensie przygotowań i pomiarów zabiegów, i daje możliwość wyznaczenia napięć indukowanych w relatywnie prosty sposób.

#### 2. Opis metody

Istnienie możliwości pomiaru napięć indukowanych wiąże się z pewnymi warunkami jakie musi spełniać badana maszyna. Należą do nich:

- niezależność oddziaływania twornika od kierunku przepływu prądu twornika,
- ustawienie szczotek w osi neutralnej.

Zakłada się również, że:

- maszyna wiruje tylko w jednym kierunku,
- prąd płynący w obwodzie wzbudzenia zachowuje niezmienny kierunek.

Idea metody zasadza się na pomiarach napięć na zaciskach uzwojenia twornika przy pracy silnikowej  $U_s$  i pracy prądnicowej  $U_G$ . Napięcie indukowane przy pracy silnikowej będzie równe:

$$U_i = U_s - R_a I_a - R_p I_a, \quad (2)$$

natomiast napięcie indukowane przy pracy prądnicowej wyrazi się zależnością:

$$U_i = U_G + R_a I_a + R_p I_a. \quad (3)$$

Przy założeniu, że prąd wzbudzenia  $I_f$  oraz prąd twornika  $I_a$  oraz prędkość obrotowa przy

obydwu pomiarach pozostają niezmiennie, oznacza to, że napięcie indukowane w uzwojeniu twornika będzie miało taką samą wartość w obu przypadkach pracy. Rozwiązując składający się z zależności (1) i (2) układ równań, wyrażenie na napięcie indukowane przybierze prostą postać:

$$U_i = \frac{U_s + U_G}{2} \quad (4)$$

Ponieważ wartości napięcia indukowanego określa się tylko na podstawie wartości napięć pomierzonych na zaciskach uzwojenia twornika, znajomość rezystancji obwodu twornika jak też rezystancji przejścia jest zbędna. Ważnym jest, aby pomiary następowały po sobie w krótkim czasie, co zapewnia niezmiennosc rezystancji w trakcie pomiaru.

### 3. Badania laboratoryjne

Pomiarów napięć indukowanych dokonano z użyciem silnika prądu stałego o danych znamionowych:

Typ: PZMb 44a,  
 $P_N = 1,5 \text{ kW}$ ,  
 $U_N = 220 \text{ V}$ ,  
 $I_N = 8,6 \text{ A}$ ,  
 $I_{IN} = 0,4 \text{ A}$ ,  
 $n_N = 1450 \text{ obr/min}$ .

Posługując się opracowaną przez autora metodą wyznaczono dla kilku prędkości obrotowych dwa rodzaje charakterystyk:

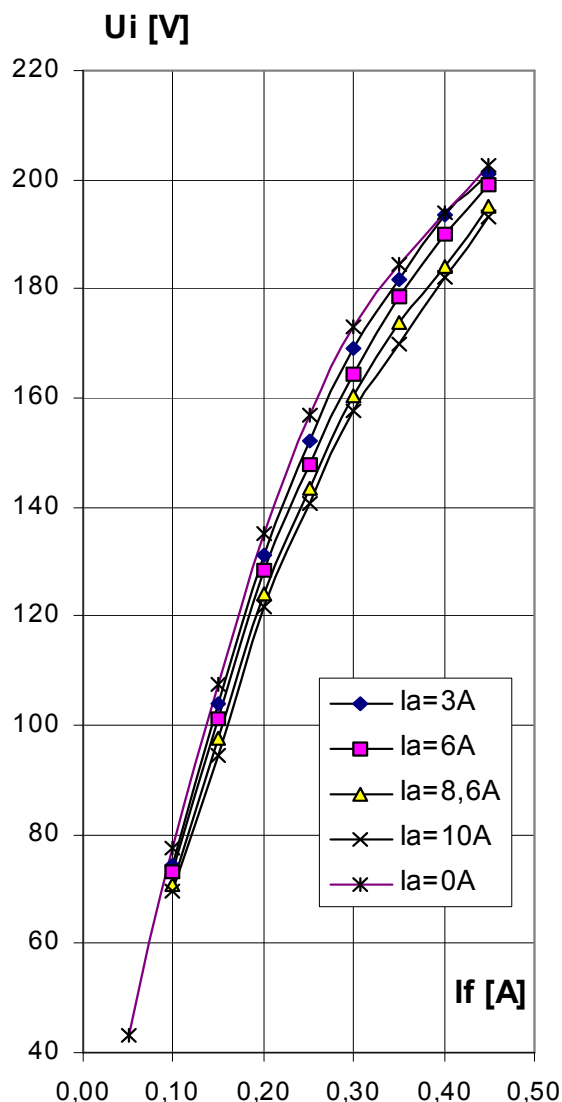
- zależność napięcia indukowanego w funkcji prądu wzbudzenia przy stałej wartości prądu twornika  $U_i = f(I_f)$ ,
- zależność napięcia indukowanego w funkcji prądu twornika przy stałej wartości prądu wzbudzenia  $U_i = f(I_a)$ .

Poniżej zostały przedstawione trzy charakterystyki  $U_i = f(I_f)$  dla następujących prędkości obrotowych  $n = 1500, 1000, 500 \text{ obr/min}$ . [2].

Przedstawione charakterystyki dają nam pewien pogląd na wielkość oddziaływania twornika w tej maszynie. W celu lepszego zilustrowania tego zjawiska na wykresach umieszczono dodatkowo charakterystykę biegu jałowego  $U_{io} = f(I_f)$  dla  $I_a = 0$ .

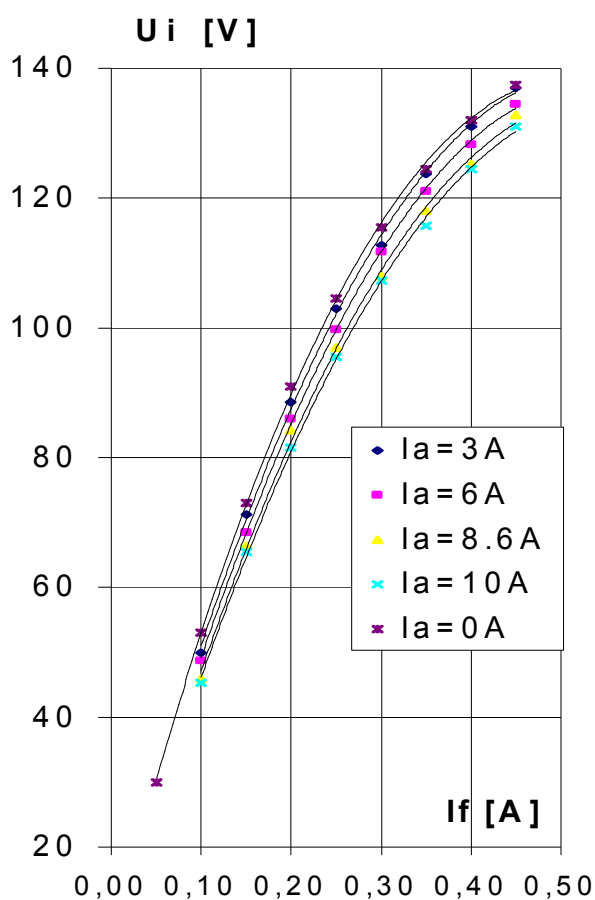
Drugi rodzaj charakterystyk, który może być przydatny przy cechowaniu prądnic hamowniczych, zdjęto dla sześciu prędkości obrotowych  $n = 1500, 1250, 1000, 750, 500, 250 \text{ obr/min}$ . Obra-

zuja one jak zmienia się napięcie indukowane przy wzroście obciążenia, przy zachowaniu znamionowej wartości prądu wzbudzenia [2].

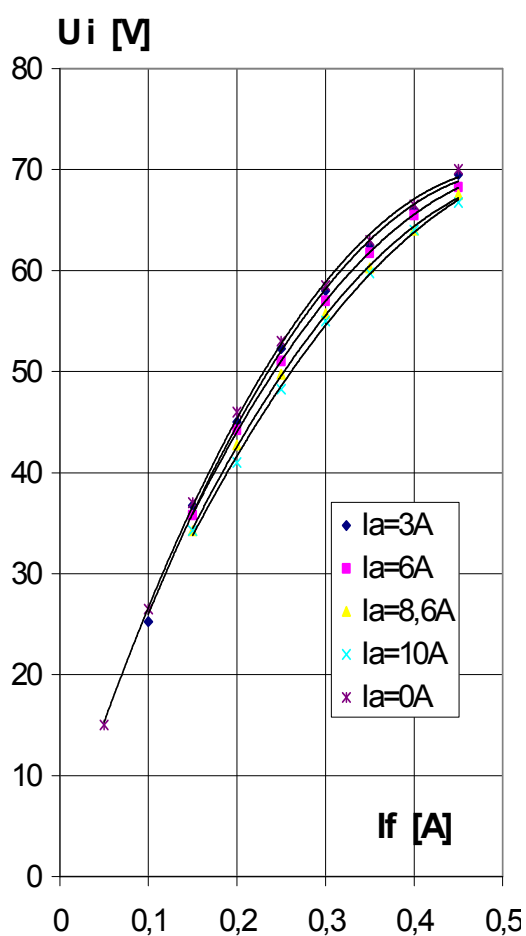


Rys. 1. Napięcie indukowane  $U_i$  w funkcji prądu wzbudzenia  $I_f$  wyznaczone dla prędkości obrotowej  $n = 1500 \text{ obr/min}$ .

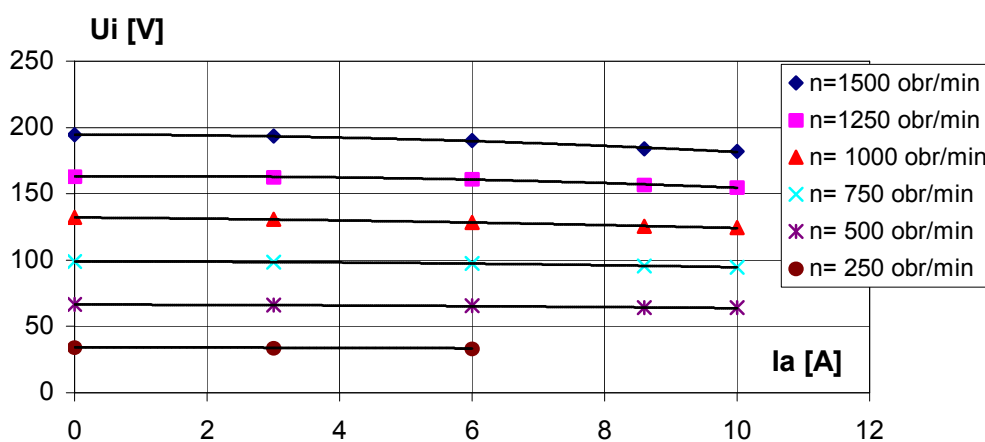
Charakterystyki przedstawione na rys. 4 mogą być pomocne do wyznaczania mocy i momentu na wale badanego silnika pracującego ze stałą prędkością obrotową. Przykładowo może być to silnik prądu stałego bądź silnik synchroniczny. Należy podkreślić, że wykonanie pomiarów do sporządzenia prezentowanych charakterystyk nie stwarzało większych problemów technicznych.



Rys.2. Napięcie indukowane  $U_i$  w funkcji prądu wzbudzenia  $I_f$  wyznaczone przy prędkości obrotowej  $n=1000$  obr/min.



Rys.3. Napięcie indukowane  $U_i$  w funkcji prądu wzbudzenia  $I_f$  wyznaczone przy prędkości obrotowej  $n=500$  obr/min.



Rys.4. Napięcie indukowane  $U_i$  w funkcji prądu twornika  $I_a$  wyznaczone dla znamionowej wartości prądu wzbudzenia  $I_f = 0,4$  A i dla wybranych prędkości obrotowych

Prezentowana metoda opiera się praktycznie na pomiarze trzech wielkości elektrycznych do których należą:

- napięcie na zaciskach obwodu twornika,
  - prąd wzbudzenia,
  - prąd twornika,
- oraz jednej mechanicznej jaką jest prędkość obrotowa.

#### 4. Wnioski

Doświadczenie zdobyte przy laboratoryjnej weryfikacji opracowanej przez autora metody pomiaru napięć indukowanych w obciążonej maszynie prądu stałego pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Opracowana metoda jest prostą w swoich założeniach i nieskomplikowaną pomiarowo.
2. Dodatkowym atutem tej metody jest brak konieczności pomiaru rezystancji uzwojeń obwodu twornika maszyny oraz rezystancji przejścia.
3. Przeprowadzanie serii pomiarów powinno odbywać się na nagrzałej maszynie, a kolejne serie pomiarów niezbędne do wyznaczenia interesujących nas charakterystyk powinny być wykonywane przy stałej wartości prądu twornika, co praktycznie zapewnia nam stałość rezystancji uzwojeń obwodu twornika i tym samym poprawia dokładność pomiarów.
4. Prezentowana metoda będzie raczej przydatna dla maszyn małej i średniej mocy, dla których możliwe będzie wykonanie odpowiednich pomiarów przy pracy silnikowej i pracy prądnicowej.

#### 5. Literatura

- [1]. Latek W.: Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle, WNT W-wa 1987
- [2]. Biegaj M., Kasprzak P.: Pomiary napięć indukowanych w obciążonych maszynach prądu stałego. Praca dyplomowa wykonana pod kierunkiem dr inż. H. Banacha, Politechnika Lubelska, Lublin 2004.

#### Autor

Dr inż. Henryk Banach  
Katedra Maszyn Elektrycznych  
Politechniki Lubelskiej  
ul. Nadbystrzycka 38 A  
20-618 Lublin  
tel.(0-81) 538-16-06  
e-mail: hbanach@elektron.pol.lublin.pl