

Ovrednotenje eksperimentalnih metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik

Primož Šlibar¹, Gorazd Štumberger^{2,1}

¹TECES, Tehnološki center za električne stroje, Gosposvetska 84, 2000 Maribor, Slovenija

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija

E-pošta: slibar@teces.si, gorazd.stumberger@uni-mb.si

Povzetek. V predstavljenem delu je ovrednotenih šest eksperimentalnih metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik magnetnih sklepov $\psi(i)$ električnih naprav. Za potrebe meritev je bil zgrajen eksperimentalni sistem, s katerim je bilo mogoče napajati testni objekt z regulirano napetostjo, ki je lahko bila stopnične, sinusne, oziroma sinusne oblike z dodano enosmerno komponento. Kot testni objekt je bil uporabljen trifazni tritebni laboratorijski transformator. Magnetno nelinearne karakteristike so bile določene s pomočjo numeričnega integriranja in odvajanja oziroma s pomočjo harmonske analize in izračuna impedanc. V programskem paketu MATLAB je bil sestavljen magnetno nelinearni dinamičen model testne naprave, v katerem so bile upoštevane magnetno nelinearne karakteristike, določene z različnimi metodami. Na podlagi primerjave odziva dinamičnega modela z izmerjenim je bilo opravljeno ovrednotenje različnih metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav. Zaradi možnosti določanja karakteristik pri različnih frekvencah je bila opravljena tudi analiza vpliva frekvence na določanje $\psi(i)$ karakteristike in posledično na odzive dinamičnega modela.

Ključne besede: elektromagnetne naprave, magnetno nelinearne karakteristike, eksperimentalne metode, transformator, dinamični model

Evaluation of experimental methods for determining magnetically nonlinear characteristics

Extended abstract. This paper evaluates six experimental methods for determining magnetically nonlinear characteristics of electromagnetic devices. Magnetically nonlinear properties of materials can be described by a permeability tensor or magnetizing curve. Similarly, magnetically nonlinear properties of electromagnetic devices can be described by magnetically nonlinear characteristics of flux linkages $\psi(i)$. They can be given in the form of a hysteresis loop, in the form of a unique $\psi(i)$ characteristic and/or in the form of partial derivatives $\partial\psi/\partial i$ (Figure 1).

The paper briefly presents six different methods suited for determining magnetically nonlinear characteristics of simple electromagnetic devices, like iron core inductors [1], [2] or for complex electromagnetic devices, such as linear synchronous-reluctance motors [3]. The tested device was supplied by a controlled voltage source, which was built specially for this purpose [4] (Figure 3). Stepwise changing voltages, sinusoidal voltages and sinusoidal voltages with offset were applied (Figures 4, 5 and 6.). A three-phase three-column laboratory transformer was chosen for the test device. The current-dependent characteristics of flux linkages were determined from the measured currents and voltages either by numerical integration (2) or by Fourier analysis (Figure 2) and the calculation of impedances (8) and (9). Respectively, these characteristics are incorporated in the dynamic model of the tested device (10).

All the methods used for determining magnetically nonlinear characteristics (Figure 7) were evaluated by comparison of the dynamic-model calculated currents and the measured currents (Figures 8 and 9). The presented results showed that the agreement between the measured and calculated currents for different applied voltage waveforms is better if current-dependent characteristics of flux linkages are determined with the applied stepwise changing voltage.

Key words: electromagnetic devices, magnetically nonlinear characteristics, experimental methods, transformer, dynamic model

1. Uvod

Raba računalniških programskih paketov za modeliranje statičnih in dinamičnih modelov elektromagnetnih naprav, ki temeljijo na uporabi numerične metode končnih elementov (ANSYS, Vector Fields, itd.), strmo narašča. Takšni programski paketi zahtevajo za modeliranje naprave natančno poznavanje konstrukcije naprave in magnetnih lastnosti uporabljenih materialov, tako dobljeni model pa je preobsežen in za vodenje prezahteven. Zato je treba poiskati način ali metodo, ki hkrati omogoča dinamičen model, uporaben za vodenje, in dovolj dober opis magnetno nelinearnih lastnosti naprave. Izkaže se, da lahko opišemo magnetno nelinearne lastnosti celotne kompleksne

elektromagnetne naprave z magnetno nelinearnimi karakteristikami magnetnih sklepov $\psi(i)$ in njihovimi parcialnimi odvodi $\partial\psi(i)/\partial i$.

Nekaj metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik enostavnih elektromagnetnih naprav (dušilka z železnim jedrom) je predstavljenih v delih [1] in [2]. V delu [3] je uporaba omenjenih metod razširjena tudi na zahtevnejše naprave, kot so na primer linearni sinhronski reluktančni motorji. V navedenih delih predstavljeni rezultati kažejo, da so omenjene metode primerne tudi za uporabo v dinamičnih modelih elektromagnetnih naprav.

Cilj tega dela ni iskanje novih eksperimentalnih metod določanja magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav, temveč ovrednotenje odzivov dinamičnih modelov, v katere so vključene karakteristike magnetnih sklepov, določene z različnimi eksperimentalnimi metodami. Posebej za to priložnost je bil za napajanje trifaznega trisebnega laboratorijskega transformatorja zgrajen eksperimentalni sistem in pretvornik [4]. Slednji omogoča napajanje testnega objekta z regulirano napetostjo stopnične, sinusne ali sinusne oblike z dodano enosmerno komponento. Tok, izračunan z dinamičnim modelom testnega objekta, je primerjan z izmerjenim tokom. Na podlagi dobljene razlike je izvedeno ovrednotenje šestih eksperimentalnih metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav.

2. Magnetni sklep ψ

V našem primeru smo kot testni objekt uporabili eno navitje trifaznega trisebnega laboratorijskega transformatorja. Za takšen objekt obstajata dva načina vzbujanja in merjenja napetosti ter toka za določanje karakteristik magnetnega sklepa $\psi(i)$. Prvi način je ta, da navitje, na katerem merimo tok in napetost, napajamo s spremenljivo napetostjo, navitji na preostalih dveh stebrih pa napajamo s konstantnim tokom. Drugi način je, da so vsa navitja, razen napajane, odprta. Ker smo izbrali drugi način, lahko opišemo napetostno ravnotežje v napajanjem navitju z (1),

$$u = Ri + \frac{d\psi}{dt}, \quad (1)$$

kjer sta u in i trenutni vrednosti napetosti in toka, ψ pa označuje magnetni sklep, v katerem je zajeto magnetno nelinearno obnašanje železnega jedra. R je ohmska upornost navitja, spremenljivka t pa pomeni čas.

2.1 Matematična orodja

Karakteristiko $\psi(i)$ in njen parcialni odvod $\partial\psi(i)/\partial i$ lahko na podlagi izmerjenih signalov napetosti in toka določimo na dva načina. Prvi zajema numerično integriranje in odvajanje, drugi način pa temelji na harmonski analizi posnetih signalov.

2.1.1 Numerično integriranje in odvajanje

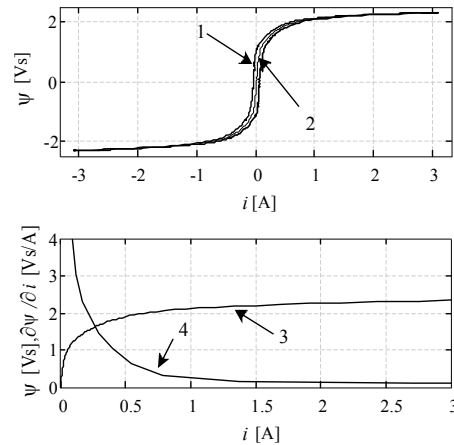
Magnetni sklep v odvisnosti od časa določimo s pomočjo numeričnega integriranja (2).

$$\psi(t) = \int_0^t [u(\tau) - Ri(\tau)] d\tau + \psi(0) \quad (2)$$

Pri tem $\psi(0)$ je začetna vrednost magnetnega sklepa zaradi remanence. Na podlagi izračunanega magnetnega sklepa $\psi(t)$ izrišemo karakteristiko $\psi(i)$ v obliki histerezne zanke (slika 1, krivulja 1). Če sedaj za vsak ψ izračunamo povprečno vrednost toka i , dobimo enolično karakteristiko, ki je prikazana kot krivulja 2 na sliki 1. Dobljeno karakteristiko preslikamo v prvi kvadrant ter ponovno izračunamo povprečno vrednost toka i za vsak ψ [3]. Tako dobimo karakteristiko, podano na sliki 1 kot krivuljo 3. Odvod magnetnega sklepa po toku $\partial\psi(i)/\partial i$ izračunamo z numeričnim odvajanjem (3).

$$\partial\psi / \partial i \approx \Delta\psi / \Delta i \quad (3)$$

Pripadajoča karakteristika je vidna na sliki 1 kot krivulja 4. Za nas sta najzanimivejši krivulji 3 in 4.



Slika 1: Karakteristike magnetnih sklepov, podane v obliki: histerezne zanke $\psi(i)$ - krivulja 1; enolične karakteristike $\psi(i)$ - krivulja 2; enolične karakteristike $\psi(i)$ v prvem kvadrantu - krivulja 3; parcialnih odvodov $\partial\psi(i)/\partial i$ - krivulja 4

Figure 1: Characteristics of flux linkages given in the form of: hysteresis loop $\psi(i)$ - curve 1; unique $\psi(i)$ characteristic - curve 2; unique $\psi(i)$ characteristic in the first quadrant - curve 3; partial derivatives $\partial\psi(i)/\partial i$ - curve 4

2.1.2 Harmonska analiza

Ker magnetno nelinearno karakteristiko $\psi(i)$ merjene naprave določamo v ustaljenem obratovalnem stanju, lahko upoštevamo, da sta tok i in napetost u periodični funkciji. Na podlagi te ugotovitve lahko opravimo harmonsko analizo (slika 2).

Napetost u_h in tok i_h h -te harmonske komponente zapišemo v realni obliki zapisa (4),

$$u_h = a_{uh} \cos(h\omega t) + b_{uh} \sin(h\omega t) \quad (4)$$

$$i_h = a_{ih} \cos(h\omega t) + b_{ih} \sin(h\omega t),$$

pri čemer so a_{uh} , b_{uh} , a_{ih} in b_{ih} Fourierjevi koeficienti napetosti in toka, ω pa je osnovna krožna frekvenca.

Delovno moč h -te harmonske komponente P_h izrazimo s (5).

$$P_h = a_{uh} a_{ih} + b_{uh} b_{ih} \quad (5)$$

S (6) določimo amplitudo h -te harmonske komponente napetosti U_h in toka I_h .

$$U_h = \sqrt{a_{uh}^2 + b_{uh}^2}, I_h = \sqrt{a_{ih}^2 + b_{ih}^2} \quad (6)$$

Iz h -te harmonske komponente moči P_h in toka I_h lahko določimo ohmsko upornost R_h (7).

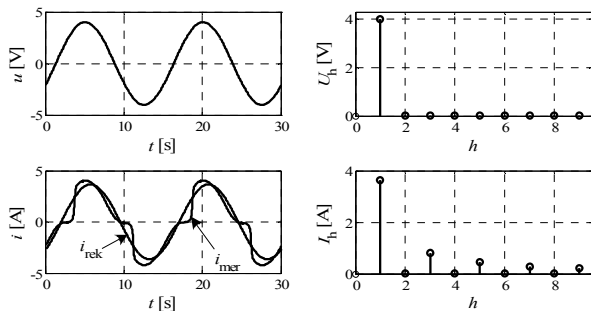
$$R_h = \frac{P_h}{I_h^2} \quad (7)$$

Količnik h -te harmonske komponente napetosti in toka je impedanca h -te harmonske komponente Z_h , podana z izrazom (8).

$$Z_h = \frac{U_h}{I_h} = \sqrt{R_h^2 + (\omega_h L_h)^2} \quad (8)$$

Iz (8) lahko izpeljemo izraz za induktivnost h -te harmonske komponente (9), ki pomeni razmerje med $\psi(i)/i$.

$$L_h = \frac{1}{\omega_h} \sqrt{Z_h^2 - R_h^2} \quad (9)$$



Slika 2: Napetost u , amplitudni spekter napetosti U_h , merjeni tok i_{mer} , njegov amplitudni spekter I_h in aproksimacija z osnovno harmonsko komponento i_{rek}
Figure 2: Voltage u , its amplitude spectrum U_h , measured current i_{mer} , its amplitude spectrum I_h and reconstruction with fundamental harmonic component i_{rek}

3. Eksperimentalni sistem in metode

Uporabljeni eksperimentalni sistem je namenjen za določanje magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav.

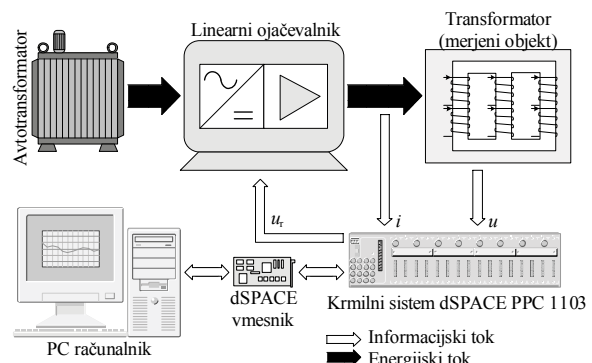
3.1 Eksperimentalni sistem

Sistem [4] za določanje magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav je zgrajen iz:

- *Avtotransformatorja* ISKRA IRN 140, ki je posredno prek usmernika služil kot napajalna stopnja linearnega ojačevalnika.
- *Linearnega ojačevalnika*, katerega naloga je bila ustrezna ojačitev napetostnega signala, dobljenega iz osebne (PC) računalnika. Največji vrednosti izhodne napetosti in toka sta 100 V in 10 A.

- *Osebnega računalnika*, ki je bil uporabljen kot vhodno-izhodna enota. S pomočjo krmilne enote dSPACE je računalnik pretvorniku posredoval informacijo o obliki in velikosti napetosti ter posredno prek krmilne enote shranjeval posnetke napetosti $u(t)$ in toka $i(t)$. S pomočjo programskega paketa MATLAB, SIMULINK je bila pozneje opravljena analiza dobljenih podatkov.
- *Krmilnega sistema dSPACE PPC 1103 in pripadajočega vmesnika*. Naloga krmilnega sistema je bila zajemanje podatkov iz senzorjev toka in napetosti ter regulacija izhodne napetosti linearnega ojačevalnika prek **D/A in A/D pretvornikov**.
- *Merjenega objekta*. Kot merjeni objekt je bilo uporabljeno primarno navitje ene faze tristranskega trifaznega laboratorijskega transformatorja z nazivnimi podatki $U_n = 400$ V, $S_n = 3,5$ kVA in $f = 50$ Hz.
- *Merilnih sond*. Za meritev napetosti so bile uporabljene diferencialne sonde Chauvin Arnoux P25. Tok pa je bil merjen s pomočjo Hallovih tokovnih senzorjev LEM HY10P z natančnostjo 1%, ki so bili integrirani v linearni ojačevalnik.

Shematična sestava eksperimentalnega sistema je vidna na sliki 3.

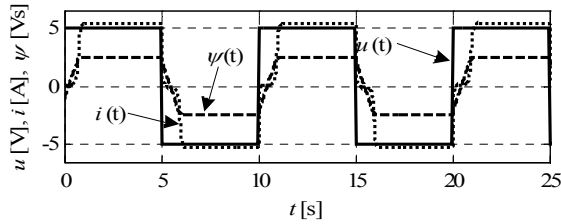


Slika 3: Eksperimentalni sistem
Figure 3: Experimental system

V nadaljevanju so opisane različne eksperimentalne metode, ki smo jih uporabili za določitev magnetno nelinearnih karakteristik testnega objekta.

3.2 Metoda I

Merjeni objekt napajamo s stopnično obliko napetosti. Pri tem mora amplituda napetosti doseči takšno vrednost, da merjeni odziv toka doseže stanje nasičenja ter hkrati pokrije celotno delovno področje. Iz posnetka napetosti in toka (slika 4) lahko s pomočjo (2) izračunamo časovni potek magnetnega sklepa $\psi(t)$. Pri tem upornost R najučinkoviteje določimo takrat, ko se tok ustali **ter** tik preden se napetost ponovno spremeni [1].

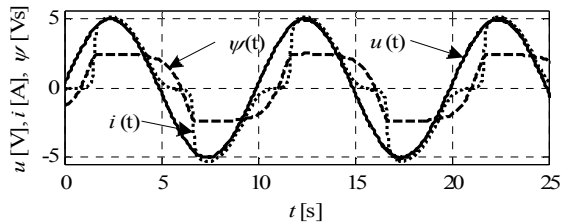


Slika 4: Časovni poteki napetosti, toka in izračunanega magnetnega sklepa (stopnična sprememba napetosti)

Figure 4: Measured voltage, current and calculated flux linkage for the applied stepwise changing voltage

3.3 Metoda II

Ta metoda se od metode I razlikuje samo v obliki napetosti, ki je sedaj sinusne oblike (slika 5).



Slika 5: Časovni poteki napetosti, toka in izračunanega magnetnega sklepa (sinusna napetost)

Figure 5: Measured voltage, current and calculated flux linkage for the applied sinusoidal voltage

Ta metoda je neuporabna, če se upornost R med meritvijo spreminja, saj ni stacionarnega stanja, kjer bi lahko določili pravo vrednost upornosti R .

3.4 Metoda III

Metoda III je podobna metodi I, s to razliko, da moramo izvesti več meritev pri različnih amplitudah. Za vsako amplitudo napetosti dobimo histerezno zanko. Če povežemo končne točke histereznih zank, dobimo enolično karakteristiko $\psi(i)$, ki jo lahko uporabimo v dinamičnem modelu [1].

3.5 Metoda IV

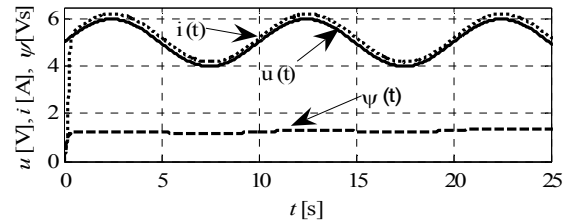
Metoda IV je podobna metodi III, vendar namesto stopnične oblike uporabimo sinusno obliko napetosti.

3.6 Metoda V

Merjeni objekt napajamo s sinusno obliko napetosti konstantne frekvence (slika 5). Na posnetkih napetosti u in toka i opravimo harmonsko analizo. Če uporabimo samo osnovno harmonsko komponento, lahko s pomočjo (7), (8), (9) določimo induktivnost L .

Magnetno nelinearno karakteristiko $\psi(i) = L i$ lahko določimo, ko opravimo serijo poskusov pri različnih amplitudah napetosti u in enaki krožni frekvenci ω . Karakteristiko $\partial\psi(i)/\partial i$ določimo s pomočjo (3). Ker upoštevamo samo osnovno harmonsko komponento se napaka s prehodom toka v stanje nasičenosti povečuje.

3.7 Metoda VI



Slika 6: Časovni poteki napetosti, toka in izračunanega magnetnega sklepa (sinusna napetost z dodano enosmerno komponento napetosti)

Figure 6: Measured voltage, current and calculated flux linkage for the applied sinusoidal voltage with offset

Metoda VI je podobna metodi V s to razliko, da napajalna napetost, ki je sinusne oblike, vsebuje tudi enosmerno komponento napetosti (slika 6). Samo ta metoda omogoča neposredno določitev karakteristike $\partial\psi(i)/\partial i$, pri preostalih metodah lahko $\partial\psi(i)/\partial i$ določimo posredno, in sicer z numeričnim odvajanjem (3).

Opraviti moramo serijo poskusov, kjer sta frekvenca in amplituda osnovne harmonske komponente napetosti konstantni, spreminjamo pa samo velikost enosmerne komponente U_{DC} . Za vsak poskus posebej izvedemo harmonsko analizo na posnetkih napetosti u in toka i . Induktivnost L določimo po (9), kjer upoštevamo samo osnovno harmonsko komponento. Če povežemo tako izračunane $L(I_{DC})$, kjer I_{DC} označuje enosmerno komponento toka, dobimo karakteristiko $\partial\psi(i)/\partial i$ kot funkcijo I_{DC} .

Metoda je primerna samo takrat, ko je napetost u izbrana tako, da merjeni tok i vsebuje samo osnovno in enosmerno harmonsko komponento.

4. Rezultati

Karakteristike $\psi(i)$ in $\partial\psi(i)/\partial i$, določene z metodami od I do VI, so prikazane na sliki 7.

Izraz za napetostno ravnotežje (1) lahko zapišemo tudi drugače, in sicer kot (10). Tako dobljen izraz je dinamični model testnega objekta, ki nam z uporabo karakteristik $\partial\psi(i)/\partial i$ iz slike 7 b), določenih z različnimi metodami, omogoča ovrednotenje teh metod.

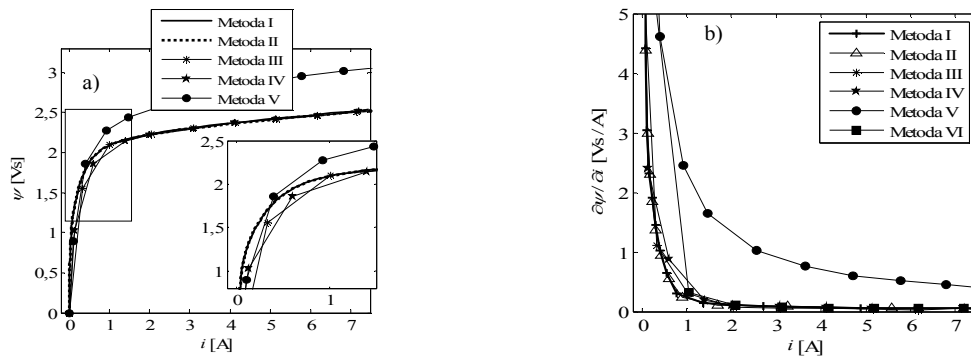
$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{\frac{d\psi}{di}} (u - Ri) \quad (10)$$

Tok i_{rek} izračunamo s pomočjo dinamičnega modela (10), kjer upoštevamo obliko in velikost izmerjene napetosti u ter karakteristiko $\partial\psi(i)/\partial i$ glede na izbrano metodo (slika 7). Slika 8 prikazuje časovne poteke izmerjenih i_{mer} in izračunanih tokov i_{rek} . S pomočjo slike 9, na kateri so prikazani poteki razlik izmerjenega in izračunanega toka ($i_{dif} = i_{mer} - i_{rek}$), lahko ovrednotimo posamezne eksperimentalne metode.

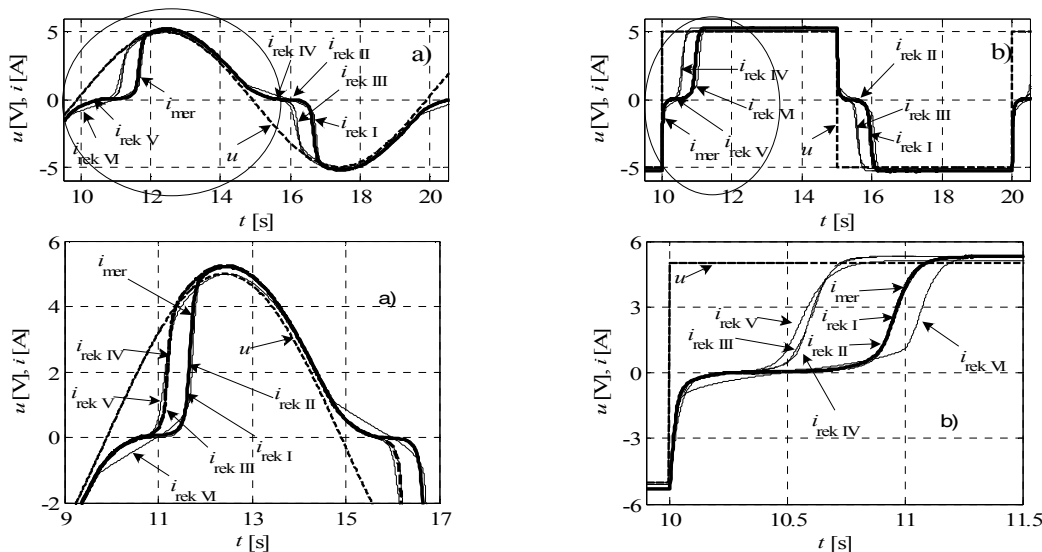
Rezultate metod, ki za določitev magnetno nelinearne karakteristike zahtevajo eno samo meritev

(skupina 1 - metoda I in II), je nesmiselno primerjati z rezultati metod, ki za določitev magnetno nelinearne karakteristike zahtevajo serijo meritev (skupina 2 – metoda III, IV, V in VI).

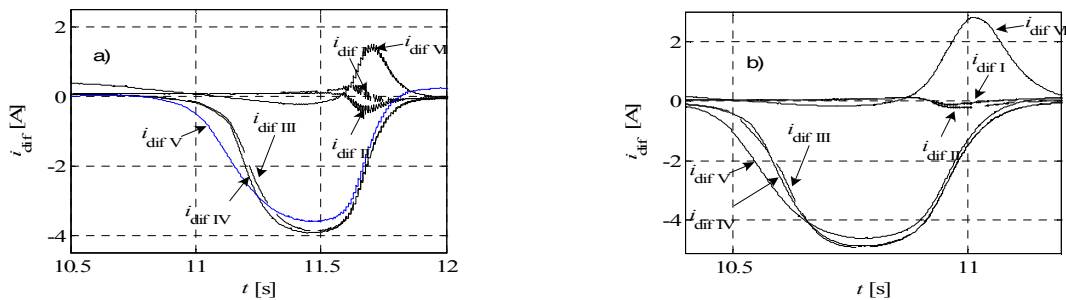
Čeprav se rezultati (slika 9, odstopanje i_{rek} od i_{mer}) znotraj posameznih skupin ne razlikujejo bistveno, lahko v prvi skupini omenimo rezultate metode I, medtem ko v drugi skupini izstopajo rezultati metode VI.



Slika 7: Karakteristike a) $\psi(i)$ in b) $\partial\psi(i)/\partial i$ določene po različnih metodah
 Figure 7: Characteristic $\psi(i)$ and $\partial\psi(i)/\partial i$ determined by different method



Slika 8: Časovni poteki izmerjenih i_{mer} in izračunanih tokov i_{rek} (glede na izbrano metodo), določeni s pomočjo dinamičnega modela (10) za različne $\partial\psi(i)/\partial i$ za a) sinusno obliko napetosti in b) stopnično obliko napetosti pri ($U = 5 \text{ V}$ $T = 10 \text{ s}$)
 Figure 8: Measured i_{mer} and calculated currents i_{rek} (depending on the used method) determined with characteristics $\partial\psi(i)/\partial i$ of different methods by equation (10), given for the applied a) sinusoidal changing voltage and b) stepwise changing voltage ($U = 5 \text{ V}$ and $T = 10 \text{ s}$)



Slika 9: Razlike med merjenimi in izračunanimi toki ($i_{\text{dif}} = i_{\text{mer}} - i_{\text{rek}}$) za a) sinusno obliko in b) stopnično obliko napetosti. Amplituda napetosti je $U = 5 \text{ V}$ in perioda $T = 10 \text{ s}$

Figure 9: Differences between the measured and calculated currents ($i_{\text{dif}} = i_{\text{mer}} - i_{\text{rek}}$) given for the applied a) sinusoidal changing voltage and b) stepwise changing voltage. Voltage amplitude is $U = 5 \text{ V}$ and period $T = 10 \text{ s}$

5. Sklep

V tem delu je predstavljenih in ovrednotenih šest eksperimentalnih metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik elektromagnetnih naprav. Omenjene karakteristike so podane v obliki tokovno odvisnih karakteristik magnetnih sklepov $\psi(i)$ in njihovih parcialnih odvodov $\partial\psi(i)/\partial i$. Karakteristike magnetnih sklepov, določene z različnimi metodami, se med seboj razlikujejo po načinu izračunavanja magnetnega sklepa in obliki napajalne napetosti. V programskem paketu MATLAB/SIMULINK je bil sestavljen magnetno nelinearen dinamičen model testne naprave, v katerega so vključene karakteristike magnetnih sklepov, določene z različnimi metodami. Primerjava izmerjenih in izračunanih tokov je bila uporabljena za ovrednotenje posameznih eksperimentalnih metod.

Pokaže se, da če želimo rezultate medsebojno primerjati, je najbolj primerno, da jih uvrstimo v dve med seboj neprimerljivi skupini. V prvo uvrstimo rezultate metod, ki potrebujejo za določitev magnetno nelinearne karakteristike eno meritev (metodi I in II). V drugo skupino pa uvrstimo preostale metode, ki potrebujejo za določitev karakteristike $\psi(i)$ oziroma $\partial\psi(i)/\partial i$ serijo meritev (metode III, IV, V in VI).

Najboljše rezultate glede na odstopanje izračunanih tokov glede na merjene pokaže v prvi skupini metoda I, v drugi pa metoda VI.

Če sedaj ocenimo vse metode skupaj na podlagi hitrosti, zahtevnosti in natančnosti opravljenih meritev, lahko zagotovo rečemo, da metoda I da najboljše rezultate.

6. Literatura

- [1] G. Štumberger, B. Polajžer, B. Štumberger, M. Toman, D. Dolinar, Evaluation of Experimental Methods for Determining the Magnetically Nonlinear Characteristics of Electromagnetic Devices, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 41, no. 10, pp. 4030-4032, 2005.
- [2] G. Štumberger, Primerjava metod za določanje magnetno nelinearnih karakteristik tuljav z železnim jedrom, B. Zajc, A. Trost, *Zbornik trinajste mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2004*, pp. 401-404, Ljubljana, Slovenska sekcija IEEE, 2004.
- [3] G. Štumberger, B. Štumberger, D. Dolinar, Identification of Linear Synchronous Reluctance Motor Parameters, *IEEE Transaction on Industry Applications*, vol. 40, no. 5, pp. 1317-1324, September/October 2004.
- [4] M. Dolinar, Določanje nelinearnih magnetilnih karakteristik železnega jedra trifaznega transformatorja, *Diplomska naloga*, Maribor 2005.

Primož Šlibar je leta 2002 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru. Od leta 2004 je zaposlen v Tehnološkem centru za električne stroje (TECES) kot mladi raziskovalec. Ukvarja se z modeliranjem in projektiranjem energetskih pretvornikov. Primož Šlibar je član študentske veje IEEE.

Gorazd Štumberger je diplomiral leta 1989 in magistriral leta 1992 na oddelku ERI Tehniške fakultete Univerze v Mariboru. V letu 1996 je doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, kjer je tudi zaposlen kot izredni profesor. Ukvarja se z modeliranjem in vodenjem elektromehanskih sistemov in elementov elektroenergetskega sistema. Dr. Gorazd Štumberger je član CIGRE, Compumag in IEEE.