

**UPOREDNA ANALIZA METODA PROJEKTOVANJA ASINHRONIH MOTORA
COMPARATIVE ANALYSIS OF ASYNCHRONOUS MOTOR DESIGN METHODS**Siniša Arslanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA**

Kratak sadržaj – Asinhroni motori važe za najčešće primenjivane električne mašine industriji. Razvojem industrije javila se potreba za sve preciznijim i izazovnijim tehničkim zahtevima. Cilj ovog istraživanja je poređenje dve metode projektovanja asinhronih motora, analitičke i metode konačnih elemenata. Za poređenje je korišćen osmopolni motor, osne visine 500 mm, snage 630 kW. Za potrebe proračuna korišćeni su softveri KONPRO i ANSYS Maxwell. Na kraju rada prikazano je poređenje karakteristika dobijenih proračunima i ispitnog protokola pomenutog motora.

Ključne reči: Asinhroni motor, metoda konačnih elemenata, uporedna analiza, FEM

Abstract – Asynchronous motors are the most commonly used electrical machines in the industry. With the development of the industry, there was a need for more precise and challenging technical requirements. The aim of this research is to compare two methods of designing asynchronous motors, analytical and finite element method. An eight-pole motor with frame size 500 and a power of 630 kW was used for comparison. KONPRO and ANSYS Maxwell software were used for calculation purposes. At the end of the paper, a comparison of the characteristics obtained by calculations and the test protocol of the mentioned motor is presented.

Keywords: Asynchronous motor, finite element method, comparison, FEM

1. UVOD

Dizajn, izbor materijala, tehnološki postupci i testiranje performansi predstavljaju osnovne korake za proizvodnju motora. Asinhroni motori su mašine koje se najčešće koriste za pogon pumpi, dizalica, ventilatora i sličnih mehanizama [1]. Pored gore navedenih procesa, najbitnija stavka jeste elektromagnetni proračun mašine.

U sklopu elektromagnetnog proračuna dimenzioniše se magnetno kolo mašine, proračunavaju se razni parametri kao što su naponi, struje, fluksevi, gustine flukseva u raznim delovima magnetnog kola i još mnoge druge elektromagnetne veličine koje utiču na rad jednog motora [2]. U ovom radu, elektromagnetnom proračunu se pristupilo na dva načina, analitički i metodom konačnih elemenata.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr. Dejan Jerkan

Analitički pristup podrazumeva proračun karakteristika motora putem analitičkih izraza, polazeći od pretpostavljene geometrije magnetnog kola, nominalne snage motora, nominalnog napona motora i nominalne frekvencije [3].

Metoda konačnih elemenata zasniva se na rešavanju Maksvelovih jednačina elektromagnetnog polja u svakoj tački posmatranog domena. Za potrebe proračuna ovom metodom, formira se model sa pretpostavljenom geometrijom. Za odabrani model formira se mreža konačnih elemenata, uglavnom trougaonog oblika (Slika 2.5). Što je ta mreža gušća, rezultati proračuna su tačniji [4].

2. PRORAČUN KONSTRUKCIJE MOTORA**2.1. Opšti podaci**

Tabela 2.1 – Opšti podaci motora

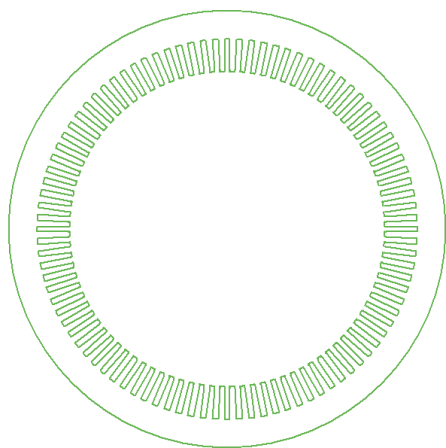
Tip	RZKIET 500 Lk-8
Snaga	630 kW
Napon	Δ 690 V
Broj polova	2p=8
Frekvencija	50 Hz
Tip hlađenja	IC 411
Način ugradnje	IM 1001-B3
Masa	5400 kg
Zaštita	IP 55
Radna mašina	Ventilator

2.2. Stator

Tabela 2.2 – Podaci statora

Spoljašnji prečnik	900 mm
Unutrašnji prečnik	650 mm
Dužina limpaketa	750 mm
Broj utora	96
Broj navoja	10
Dimenzija žice	9.5x2.5 mm
Korak namotaja	1-10
Br. paralelnih grana	4

Poprečni presek geometrije statora prikazan je na Slici 2.1.



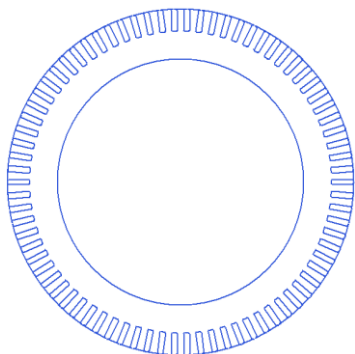
Slika 2.1 – Geometrija statora

2.3. Rotor

Tabela 2.3 – Podaci rotora

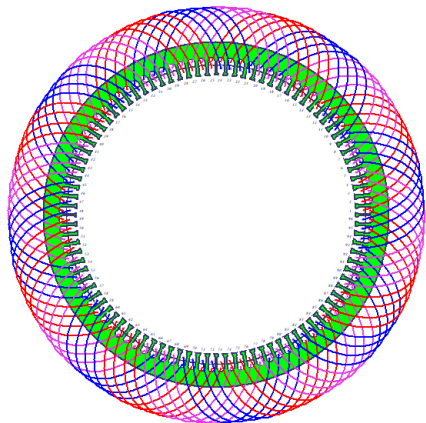
Spoljašnji prečnik	646 mm
Unutrašnji prečnik	460 mm
Dužina limpaketa	750 mm
Broj utora	78
Dimenzija štapa	10x40 mm

Poprečni presek geometrije rotora prikazan je na Slici 2.2.



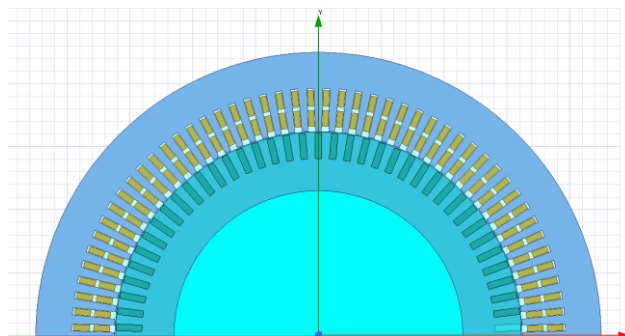
Slika 2.2 – Geometrija rotora

Namotaj statora je dvoslojni uslagani (petljasti), izveden od profilne žice dimenzije 9,5x2,5mm, sa korakom 1-10. Kružna šema statorskog namotaja prikazana je na Slici 2.3.



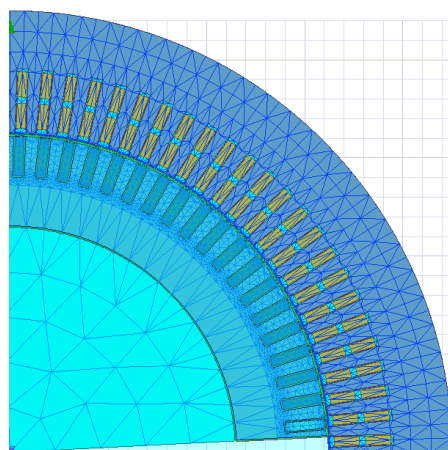
Slika 2.3 – Kružna šema statorskog namotaja

Prethodne slike predstavljaju model motora napravljen u RMXprt, sastavnom delu ANSYS Maxwell softvera. Pomoću njega, pravi se 2D model mašine koji je prikazan na sledećoj slici.



Slika 2.4 – 2-D model posmatranog modela

Nakon uspostavljenog modela i definisanja graničnih vrednosti i izvora polja, formira se mreža konačnih elemenata za koju se u svakoj tački proračunavaju Maksvelove jednačine elektromagnetnog polja.



Slika 2.5 – Mreža konačnih elemenata

2.4 Poređenje rezultata

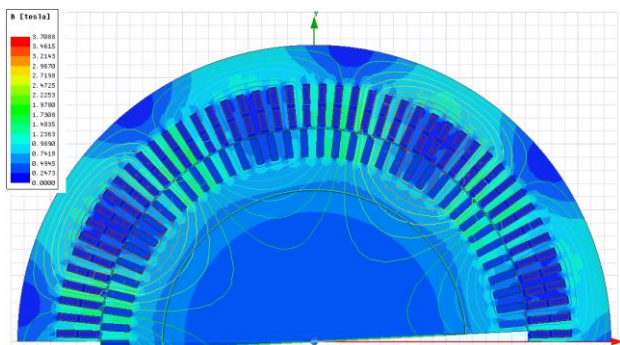
Najpre je urađen proračun analitičkom metodom, nakon koga je usledio precizniji proračun metodom konačnih elemenata.

Nakon uspostavljenog modela i definisanja parametara simulacije dolazi se do traženih karakteristika motora. Do finalnog dizajna mašine dolazi se preko više iteracija koje podrazumevaju prilagođavanje početne geometrije magnetnog kola, parametara namotaja statora kao i ostalih aktivnih delova mašine.

Nakon proračuna sprovedenih putem obe metode projektovanja, prikazuje se poređenje proračuna sa realnom mašinom i njenim ispitnim protokolom. Jasno se primećuju određena odstupanja koja su rezultat kako tehnološkog procesa proizvodnje tako i same konstrukcije motora.

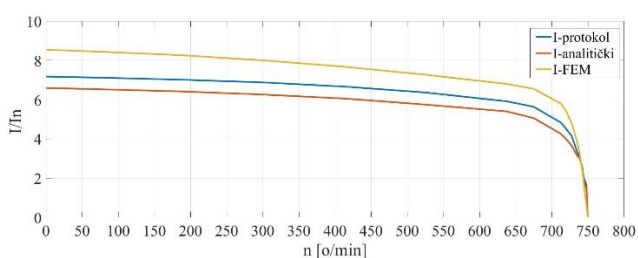
Tabela 2.4 – Poređenje rezultata

	Analitička metoda	FEM	Ispitni protokol
Indukcija u vazдушnom zazoru [T]	0.698978	0.688653	-
Indukcija u zubima statora [T]	~ 1.590	1.30900	-
Indukcija u zubima rotora [T]	~1.469	1.402	-
Indukcija u jarmu statora [T]	1.088	1.002	-
Indukcija u jarmu rotora [T]	1.212	0.211	-
Struja magnećenja [A]	147.9	151.4	-
Reaktansa magnećenja [Ω]	4.52	4.37	-
Otpornost statora [Ω]	0.01055	0.01228	0.01
Otpornost rotora [Ω]	0.01156	0.00744	-
Rasipna induktivnost statora [Ω]	0.17311	0.13221	-
Rasipna induktivnost rotora [Ω]	0.15517	0.16081	-
Gustina struje statora [A/mm ²]	2	2.19	-
Gustina struje u štapu rotora [A/mm ²]	2.22	2.01	-
Gustina struje u kratkospojnom prstenu [A/mm ²]	1.84	1.83	-
Struja praznog hoda [A]	148.01	153.3	147.7
Gubici u gvožđu [W]	7458	4823	16082
Gubici u praznom hodu [W]	8150	5668	20366
Gubici u bakru statora [W]	4365	5077	5239
Gubici u bakru rotora [W]	3712	2355	4294
Gubici na trenje i ventilaciju [W]	3741	3752	5371
Dodatni gubici [W]	3150	6300	3024
Ukupni gubici [W]	22426	22188	34475
Ulazna snaga [W]	652494	658598	655500
Stepen korisnog dejstva [%]	96.56	96.63	94.81
Nominalna struja [A]	643.2	642.8	651.5
Svedena rotorska struja po fazi [A]	327.1	324.8	-
Faktor snage	0.848	0.849	0.853
Brzina obrtanja [o/min]	745	747	744.8
Nominalni moment [Nm]	8087.7	8132.8	8077.7
Maksimalni moment [r.j.]	3.11	3.58	2.83
Polazni moment [r.j.]	1.06	1.26	1.21
Polazna struja [r.j.]	6.68	8.66	7.17

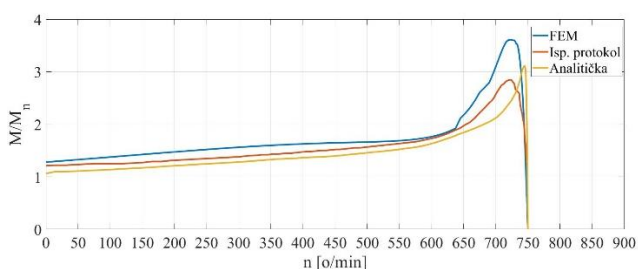


Slika 2.6 – Magnetna slika mašine

Na sledećim slikama prikazano je grafičko poređenje rezultata za struje i momentne karakteristike dobijene na različite načine.



Slika 2.7 – Poređenje struja



Slika 2.8 – Poređenje momentnih karakteristika

3. ZAKLJUČAK

U radu su detaljno opisane i izvedene dve metode projektovanja elektromotora. Analitička metoda, koja je praćena interno razvijenim softverom KONPRO u kompaniji WOLONG SEVER i metoda konačnih elemenata praćena ANSYS Maxwell-om. Obe metode pokazale su veoma dobre i verodostojne rezultate. Kada se uporede, vidimo da metoda konačnih elemenata daje mnogo preciznije rezultate kao i mnogo više mogućnosti za uspostavljanje raznih uslova simulacije i praćenja rezultata.

Poređenjem rezultata ove dve metode sa rezultatima ispitnog protokola može se videti da finalni proizvod, osim same konstrukcije i dizajna zavisi i od tehnoloških procesa, kvaliteta materijala sa kojim se radi, stručnosti radne snage kao i iskustva projektanta. Značajnije odstupanje simulacije i proračuna javlja se u gubicima u gvožđu.

Njihov iznos je kod realne mašine veći od računatih vrednosti. Ovo ukazuje na to da pored simulacije i proračuna uvek treba voditi računa i o ostalim faktorima. Daljeg značajnog odstupanja nema, što potvrđuje da je i jedna i druga metoda uspešno implementirana.

Ovako konstruisan i ispitan motor uspešno je isporučen krajnjem kupcu, uz dodatna poboljšanja i rekonstrukcije. Motor se koristi za pogon ventilatora u cevi.

4. LITERATURA

- [1] Berislav Jurković: „Elektromotorni pogoni“ školska knjiga-Zagreb, 1978.
- [2] Ion Boldea, Syed A. Nasar : „The induction machines design handbook, second edition“, ISBN 978-1-4200-6668-5, CRC Press, Taylor & Francis grup, New York, 2010.
- [3] Jožef Varga : “ Analitička metoda za sračunavanje karakteristika trofaznih asinhronih motora” D.K.: 621.313.33.025.3==861
- [4] S. J. Salon, “Introduction to Finite Elements,” in *Finite Element Analysis of Electrical Machines*, Springer US, 1995, pp. 1–16.

Kratka biografija:



Siniša Arslanović rođen je u Subotici, 1993. god. Diplomski rad iz oblasti Električnih mašina odbranio je 2018. godine u Novom Sadu na Fakultetu tehničkih nauka. Iste godine upisao je Master akademske studije. Zaposlen je kao projektant električnih mašina u kompaniji WOLONG SEVER. kontakt: sinisaarslanovic@gmail.com