

# Proračun paralelnog magnetnog kruga bez zračnog raspora

Adna Kulovac  
Univerzitet u Sarajevu  
Elektrotehnički fakultet  
Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
akulovac1@etf.unsa.ba

**Abstract**—Cilj je napraviti numerički proračun paralelnog magnetnog kruga bez zračnog raspora u programskom paketu Ansys Maxwell koji će biti dobiven metodom konačnih elemenata (Finite element method) te napraviti ručni proračun i usporediti dobivene rezultate.

## I. UVOD

U ovom istraživačkom radu bit će opisan proračun magnetnog kruga odnosno veličina koje opisuju magnetni krug kao što su magnetna indukcija, jačina magnetnog polja, gustina i jačina struje te fluks magnetnog polja.

## II. DEFINIRANJE POJMOVA I OSNOVNIH VELIČINA

Prije nego počnemo razmatrat konkretnu problematiku, potrebno je definirati pojmove koje ćemo koristiti u nastavku ovog rada te osnovne veličine koje opisuju magnetno polje i magnetni krug. Obzirom da je u sažetku spomenut metod konačnih elemenata, slijedi kratak opis istog.

Metod konačnih elemenata predstavlja numerički postupak rješavanja inženjerskih problema koja se svodi na rješavanje sistema algebarskih jednačina koje znatno olakšavaju proračun a proces modeliranja se sastoji u diskretiziraju kontinuuma odnosno strukture ili tijela koje nam je od interesa što je u ovom slučaju magnetna jezgra.

	Veličine i odgovarajuće jedinice		
	Veličina	Oznaka	Jedinica
1	Jačina magnetnog polja	H	A/m
2	Magnetni tok	$\Phi$	Wb
3	Indukcija	B	T
4	Magnetomotorna sila	$\Theta$	Az
5	Gustina struje	J	A/m <sup>2</sup>

## III. MAGNETNI KRUG

Obzirom da se bavimo paralelnim magnetnim krugom, treba spomenuti da se jezgra takvog magnetnog kruga sastoji od tri stupa i dva jarma kao što će biti prikazano na modelu koji je nacrtan u programskom paketu Ansys Maxwell.

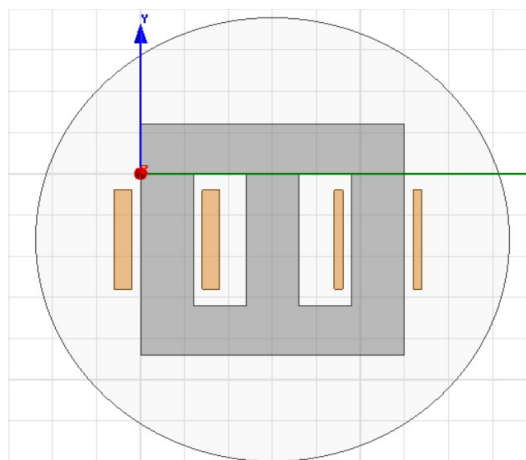
Magnetni krug kojeg razmatramo sastoji se od magnetne jezgre koja je napravljena od nelinearnog feromagnetnog materijala odnosno željeza te primarnog i sekundarnog namota koji su namotani oko vanjskih stubova jezgre i predstavljaju žice napravljene od bakra.

Kao ovisnost magnetne indukcije B o jačini magnetnog polja H uvodimo krivu magnetiziranja odnosno B - H krivu

koja karakterizira magnetiziranje feromagnetnog materijala od kojeg je jezgra napravljena. B - H kriva će u programskom paketu u kojem modeliramo magnetni krug biti generisana odabirom materijala od kojeg je jezgra napravljena i na osnovu te krive ćemo imati vrijednosti magnetne indukcije B i jačine magnetnog polja H.

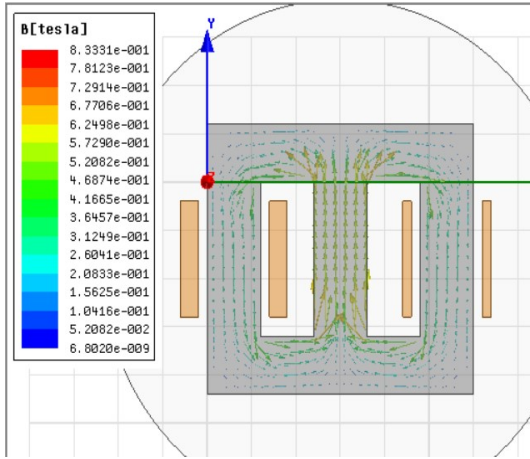
Također, potrebno je razjasnit značenje zračnog raspora u magnetnog jezgri. Obrisom da je jezgra napravljena od nelinearnog feromagnetnog materijala, povećanje struje ne znači da će se povećati fluks kroz jezgru te će se višak energije koji pri tome nastane konvertovati u toplotu i može doći do zapaljenja jezgre. Zato se dodaje zračni raspor koji kontrolira fluks i struju te osigurava da ne dođe do uzaludnog utroška energije. Međutim, ovdje se bavimo magnetnom jezgrom koja nema zračnog raspora tako da će sigurno doći do neželjenih gubitaka energije.

## IV. MODEL U PROGRAMSKOM PAKETU ANSYS MAXWELL



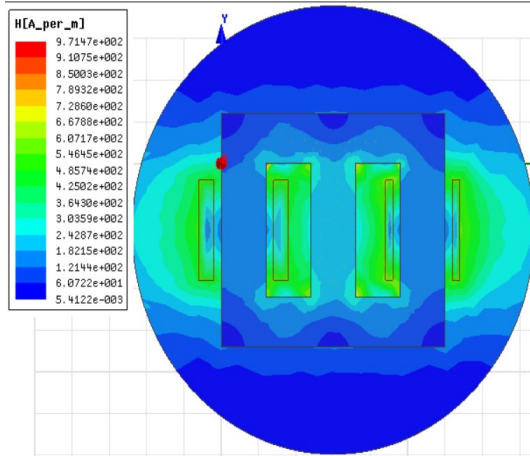
Kreirali smo prostor u kojem se mjere tražene veličine koji predstavlja zrak a to je krug oko magnetnog kruga koji se, kako je već navedeno, sastoji od magnetne jezgre i namota koji su predstavljeni pravougaonicima. Namot primara je predstavljen užim pravougaonicima a namot sekundara su preostala dva pravougaonika. Uzbuda na oba namota je jačina struje iznosa 1 A.

### A. Polje magnetne indukcije



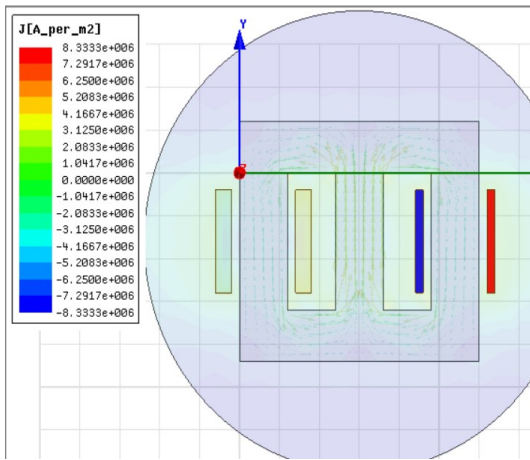
Karakteristike magnetnog polja su to da je ono najveće na ivicama jezgre, što i vidimo sa slike odnosno, gustina linija vektora magnetne indukcije je najveća na ivicama a magnetno polje je opisano vektorom magnetne indukcije.

### B. Jačina magnetnog polja



Sa slike uočavamo da je jačina magnetnog polja najveća u okolini namota.

### C. Gustina struje



Razmatramo gustinu struje na primarnom namotu, a za sekundarni namot vrijede ista razmatranja. Razlika je u iznosu

gustine struje što će bit pomenuto u dijelu 'Jednačine'. Sa slike uočavamo da je vrijednost gustine struje jednaka po iznosu a suprotna po apsolutnoj vrijednosti na označena dva pravougaonika koji predstavljaju primarni namot što je i opravdano jer smo podesili da je pobuda jačina struje na desnom pravougaoniku pozitivne vrijednosti a na lijevom negativne vrijednosti.

### D. Jednačine

Za rješavanje ovog problema u programskom paketu Ansys Maxwell odabrali smo da tip rješenja bude magnetostatički. Za sve magnetostatičke probleme vrijedi Amperov zakon. Amperov zakon daje relaciju izmeu magnetizacionog polja i struja koje to polje stvaraju. Definirajmo Amperov zakon odnosno zakon protjecanja na osnovu kojeg računamo jačinu magnetnog polja uz poznatu jačine struje kroz namote te broja namota:

$$\oint_C \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{J} d\vec{S} = \sum I = NI, \quad (1)$$

što se još naziva uopšteni Amperov zakon u integralnom obliku i vrijedi u homogeno namagnetisanoj materiji.

Ono što vrijedi kada uzmemo u obzir da je vektor normale na površinu kolinearan sa vektorom gustine struje je:

$$JS = NI. \quad (2)$$

Dakle, potrebno je da odnos umnoška gustine struje i površine održavamo konstantim. Ono što smo zadali kao pobudu i ono što je dobiveno ručnim proračunom je da taj iznos iznosi 1 A. Ukoliko uzmemo u obzir primarnu stranu imamo da je:

$$J_{\text{primar}} = 8.3333 \text{ MA/m}^2$$

$$S_{\text{primar}} = 0.12 \text{ mm}^2$$

$$J_{\text{primar}} * S_{\text{primar}} = 0.999996 \text{ A}$$

Dalje, ukoliko uzmemo u obzir sekundarnu stranu imamo da je:

$$J_{\text{sekundar}} = 4.1667 \text{ MA/m}^2$$

$$S_{\text{sekundar}} = 0.24 \text{ mm}^2$$

$$J_{\text{sekundar}} * S_{\text{sekundar}} = 1.000008 \text{ A}$$

što nam u oba slučaja daje vrijednost koja je približno jednaka 1A tako da nam greška u proračunu nema veliku vrijednost te smo uspjeli odnos umnoška gustine struje i površine održat konstantnim.

Razmotrimo sada vrijednost magnetne indukcije i magnetnog toka. Broj linija magnetne indukcije koji prolazi kroz neku površinu S naziva se magnetni fluks odnosno magnetni tok  $\Phi$ . Meutim, kroz pojedine dijelove površine S može prolaziti više silnica magnetnog polja a kroz neke manje, tako da vrijednost magnetne indukcije i magnetnog toka nije konstantna po ukupnoj površini što nam onemogućava da ih ručno proračunamo tačno. Proračunom vrijednosti jačine magnetnog

polja koristeći se analogijom izmeu magnetnih i električnih kola dobijamo vrijednost za jačinu magnetnog polja

$$H = 149.25 A/m$$

a kada očitamo vrijednost magnetne indukcije B sa B - H krive, dobijamo samo jednu vrijednost

$$B = 0.24 T$$

dok je programski paket izračunao vrijednost magnetne indukcije u svakoj tački magnetne jezgre.

Definirajući magnetni tok kao:

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}, \quad (3)$$

i uzimajući u obzir izračunatu vrijednost magnetne indukcije imamo da je vrijednost magnetnog toka:

$$\Phi = B \int_S dS = BS,$$

te ako uzmemo samo jedan pravougaonik površine  $0.06 \text{ mm}^2$  dobijamo samo jednu vrijednost magnetnog fluksa

$$\Phi = 0.0144 Wb,$$

dok koristeći se softverskim paketom možemo dobiti vrijednost magnetnog toka u svakoj tački površine koju razmatramo.

## V. ZAKLJUČAK

Poredeći tačnost rezultata koji su dobiveni ručnim proračunom i rezultata koje smo dobili koristeći programski paket Ansys Maxwell uočavamo važnost programskih paketa pri rješavanju inženjerskih problema u praksi koji zahtijevaju visoku tačnost rezultata koju ne možemo postići ručnim proračunom.