

GENERATOR MAGNETSKOG POLJA ZA EKSPERIMENT SELE

MAJA PARĐOVSKA, DRAGUTIN ŠEVIĆ, BRATISLAV MARINKOVIĆ, ALEKSANDAR
MILOSAVLJEVIĆ, STOJAN MADŽUNKOV

Institut za fiziku, 11080 Beograd, SCG, E-mail: bratislav.marinkovic@phy.bg.ac.yu

SAŽETAK

Jedan od osnovnih preduslova ostvarivanja visoke rezolucije merenja u eksperimentu SELE (Stepwise Electron Laser Excitation) je visok stepen homogenosti magnetskog polja elektronskog monohromatora. U ovom radu dat je prikaz sistema koji generiše homogeno magnetsko polje, zatim rezultati merenja tog polja, kao i poređenje eksperimentalnih rezultata sa programom za simulaciju generatora magnetskog polja.

Ključne reči: Trohoidalni elektronski monohromator, Stepwise Electron Excitation

1. Uvod

Naša aparatura SELE (Stepwise Electron Laser Excitation) koristi cilindrični trohoidalni elektronski monohromator (CTEM). Princip rada TEM-a zasniva se na kretanju elektrona u ukrštenim homogenim električnim i magnetskim poljima, pri čemu mlaz elektrona ulazi u disperzioni prostor paralelno vektoru magnetne indukcije [1] i [2]. Dejstvom električnog polja elektroda koje se nalaze na ulazu u monohromator elektroni se izvlače iz prostora katode i elektronskom optikom kolimišu, pri čemu se stvara mlaz elektrona definisanog smera, ali ne i kinetičke energije. Homogeno ukršteno električno i magnetsko polje duž ose spektrometra vrši prostornu disperziju elektrona u zavisnosti od njihove energije pri ulasku u TEM. Način da se postigne homogeno magnetsko polje je poznat [3]. Tu je analitičkim putem pokazano da se to polje može ostvariti namotajem u obliku sfere, ako je projekcija poduznog broja namotaja konstantna po osi namotaja. Problem se pojavljuje u domenu tehničke realizacije ovakvog sistema, pa se u praksi retko primenjuje. U našem eksperimentu homogeno magnetsko polje za ostvarivanje visoke rezolucije energijske selekcije elektrona realizovano je pomoću tri kalema.

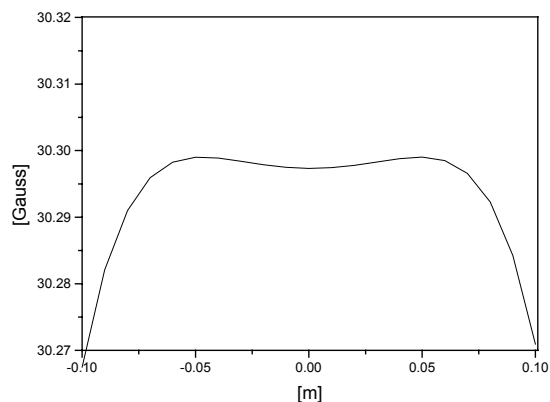
2. Rezultati simulacije generatora magnetskog polja

U eksperimentu SELE potrebno je ostvariti da nehomogenost magnetskog polja ni u jednoj tački spektrometra ne bude veća od 0.1% [4]. Simulacija generatora magnetskog polja ostvarena je korišćenjem programskog jezika C [4]. U međuvremenu, korisnički interfejs programa značajno je poboljšan objektno orijentisanim programiranjem u C++.

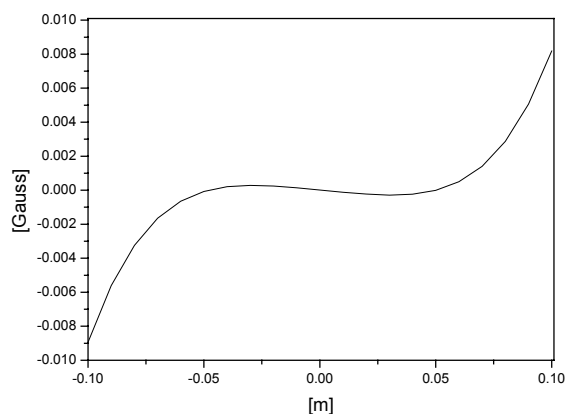
Za naše potrebe program simulira rad generatora magnetskog polja načinjenog od proizvoljnog broja kaleмова. U praktičnoj realizaciji sistem od dva kaleмова odbačen je zbog nepraktičnih dimenzija Helmholtz-ovih kaleмова uslovljenih velikom dužinom prostora u kome se zahteva homogeno

magnetsko polje. Sistem od tri kalema pokazao se kao dobar kompromis između postignutih rezultata sa jedne i tehničke realizabilnosti sa druge strane.

Program koji simulira rad generatora magnetskog polja uzima u obzir realne dimenzije kalema, tako da se polje kalema izračunava superpozicijom polja strujnih kontura koje čine namotaj. Takođe je omogućeno modifikovanje svih parametara generatora magnetskog polja, čime smo izbegli pogreške pri praktičnoj realizaciji generatora. Rezultati simulacije sistema od tri kalema jednakih poluprečnika R dati u [4], prikazani su na slikama 1 i 2. Jasno se vidi da je ostvaren visok stepen homogenosti magnetskog polja na osi i na rastojanju do 1cm od ose, uz odstupanje od 0,1%.



Slika 1. Amplituda aksijalne komponente polja CTEM-a na osi



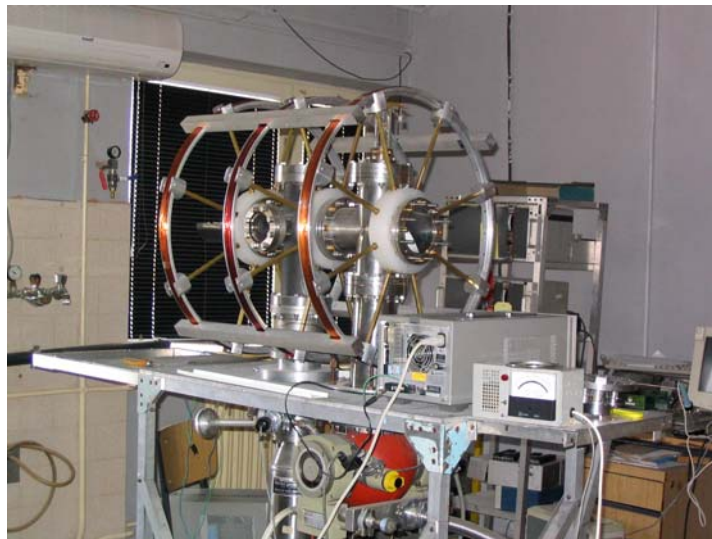
Slika 2. Amplituda radijalne komponente magnetskog polja CTEM-a na 1cm od ose

3. Opis generatora magnetskog polja

Uređaj je prikazan na slici 3. Sastoji se od tri kalema jednakih poluprecnika $R = 0,31\text{m}$. Rastojanje između spoljašnjih kalemova postavljenih simetrično oko srednjeg je $\frac{3}{2}R$. Srednji kalem ima smanjeni broj amper-namotaja u odnosu na spoljašnje. Naime, spoljašnji imaju 633, a srednji kalem 272 namotaja izolovane bakarne žice, u skladu sa potrebama eksperimenta. Po proračunu za

postizanje intenziteta polja od 30 Gaussa, neophodno je da spoljašnji kalemovi imaju oko 1000 amper-namotaja.

Napajanje kalemova se vrši iz posebnih izvora radi preciznog podešavanja odnosa struja. Omski gubici spoljašnjih kalemova su po 52Ω , a srednjeg $12,5 \Omega$. Prvi i treći kalem imaju dijemetre žica 0,7 mm, a srednji 1 mm. Između sistema kalemova nalaze se jedan četvorokraki i jedan petokraki krst koji su međusobno spojeni. Kanal spajanja kalemova obuhvata osu simetrije duž koje se smešta elektronska optika (sistem za usmeravanje i kolimisanje elektronskog snopa).



slika 3. Aparatura za SELE

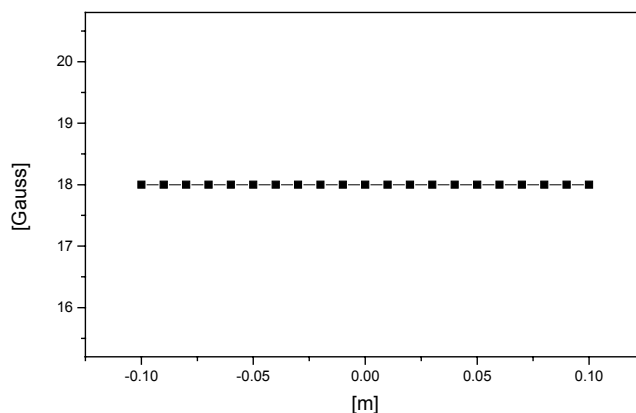
Kalemovi naležu na aluminijumske nosače kao što se vidi na slici 3. Mesingane šipke sa navojima povezuju nosače sa pozicionerima kalema načinjenim od tvrde plastike. Zatezanjem i otpuštanjem tih šipki ostvaruje se pozicioniranje i centriranje kalemova. Svaki kalem ima 8 nosača i 8 mesinganih šipki postavljenih simetrično pod uglom $\pi/4$ u radijalnom pravcu. Kalemovi su još dodatno učvršćeni sa 4 aluminijumske šipke koje naležu na sva tri kalema ponaosob.

4. Rezultati merenja magnetskog polja

Merenje magnetskog polja je vršeno digitalnim gausmetrom. Veliki problem predstavljala je činjenica da upotrebljeni gaussmetar, iako se radi o skupom, savremenom instrumentu renomiranog proizvođača, ipak ne poseduje dovoljnu tačnost da bi se proverila homogenost polja reda 0,1%. Problem je rešen tako što se iz merenja isključuje AD konvertor gausmetra, direktnim korišćenjem analognog signala sa Holove sonde. U institutu je razvijen program za komunikaciju PC računara sa AD karticama visoke tačnosti, radi merenja na našim eksperimentima. Program je pisan u C++. Rezultati prezentovani u ovom radu dobijeni su usrednjavanjem (analognom integracijom) signala sa Holove sonde, RC kolom. Radi preciznog vođenja sonde načinjen je specijalni umetak od plastike.

Kalemovi su posebno napajani. U programu za simulaciju podesili smo parametre shodno realnim uslovima i kao rezultat dobili da je kroz srednji kalem potrebna jača struja za faktor 1,34. Odnosno, broj amper-navoja srednjeg kalema prema spoljašnjim je 0,5585. To je eksperimentalno i potvrđeno.

Uradili smo seriju merenja i utvrdili da se potpuno homogeno polje duž ose dobija pri jačini struje $I = 1$ A kroz spoljašnje, a $I = 1,34$ A kroz srednji kalem. Rezultati merenja prikazani su na slici 4. Zbog dužine merenja, kalemovi nisu napajani maksimalnim strujama koje odgovaraju polju od 30 Gaussa, da ne bi došlo do pregrevavanja namotaja.



Slika 4. Izmerena amplituda aksijalne komponente magnetskog polja na osi

5. Zaključak

U ovom radu dat je prikaz uređaja za ostvarivanje homogenog magnetskog polja neophodnog u eksperimentu određivanja optičkih ekscitacionih funkcija. Takođe je omogućena optimizacija osobina magnetskog polja programom za simulaciju. U daljem radu potrebno je na najbolji način ostvariti hlađenje kalemova jer se za veće struje oslobađa velika količina toplote.

6. Zahvalnica

Zahvaljujemo se Predragu Kolaržu za digitalnu fotografiju aparature.

7. Literatura

- [1] V.Grill, H.Drexel, "The working principle of the trochoidal electron monochromator revisited", International Journal of Mass Spectrometry **205** (2001) 209-226.
- [2] Stamatović A, Doktorska disertacija 1969, Fizički fakultet Beograd
- [3] E. Boridy, "Magnetic Fields Generated by axially symmetric systems" J. All.Vol.66, No12, pp.5691-5701, December 1989.
- [4] D. Šević, B.Marinković,"Optimizacija osobina magnetskog polja TEM-a", 10.Kongres fizičara Jugoslavije, Zbornik radova knjiga I, Vrnjačka Banja 2000, str.99 – 102.