

SISTEM ZA MERENJE MAGNETSKOG POLJA CIKLOTRONA VINCY

Aleksandar Dobrosavljević, Saša Čirković, *Lab. za fiziku, Institut za nuklearne nauke VINČA*
Andrej Zdravković, Zlatko Urošević, Miloš Lučić, Milenko Gemaljević, *LOLA Institut*

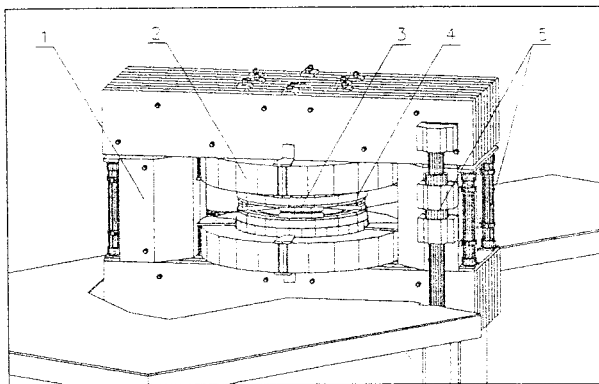
Sadržaj - U radu je prikazan sistem za merenje magnetskog polja ciklotrona VINCY, glavnog dela Akceleratorne instalacije TESLA, koja se gradi u Institutu za nuklearne nauke VINČA. Merni sistem se sastoji iz mehaničke strukture i upravljačke jedinice koji služe za automatsko pozicioniranje merne sonde u medijalnoj ravni, između polova magnetna, i odgovarajuće merne instrumentacije bazirane na dva digitalna testametra. Konceptualni projekt mernog sistema je urađen u Laboratoriji za fiziku, dok se njegova realizacija odvija u saradnji sa LOLA Institutom.

1. UVOD

Izgradnja Akceleratorne instalacije TESLA (AIT) koja se odvija u okviru Instituta za nuklearne nauke VINČA, predstavlja po obimu, složenosti i angažovanim sredstvima najveći naučni projekat u našoj zemlji. Glavni deo instalacije je izohroni ciklotron VINCY, uređaj za ubrzavanje lakih i teških jona. Ubrzavanje jona se vrši pomoću radiofrekventnog polja u

sektori, po 4 na svakom polu. Sektori su u vidu "kriški" ravnih ivica sa uglom od 42° , pri čemu je minimalni zazor između polova, na mestu između dva sektora, svega 31 mm. Konfiguracija polova je složena, i diktirana je "topologijom" magnetskog polja u medijalnoj ravni magnetna koja je izračunata na osnovu dinamike kretanja jonskog snopa. Detaljniji opis AIT je dat u [1].

Merenje magnetskog polja predstavlja jednu od najznačajnijih faza u izgradnji ciklotrona. Ne samo da se merenjem proveravaju inicijalne pretpostavke u vezi proračuna magnetna, već se samo na osnovu merenja može ustanoviti u kojoj su meri zadovoljeni zahtevi u pogledu kvaliteta magnetskog materijala, u kojoj su meri ispoštovane tolerance obrade i montažne tolerance, da li je zadovoljavajuća stabilnost napajanja glavnih i korekcionih namotaja itd. Merenje magnetskog polja čini sastavni deo procesa šimovanja magnetna, procedure koja se sastoji iz manjih zahvata na magnetskoj konfiguraciji sektora (mašinskoj doradi sektora) kako bi se sa lokalnim izmenama magnetskog polja što više približi



Slika 1. Magnetska struktura Ciklotrona VINCY:

1 - stub, 2 - glavni kalemovi, 3 - sektor, 4 - pol, 5 - sistem za podizanje

medijalnoj ravni, između polova magnetna ciklotrona. Magnetna struktura ciklotrona VINCY je prikazana na Sl.1. Polovi magnetna su u obliku cilindara, prečnika 2000 mm. Na njihovim kružnim površinama montirani su

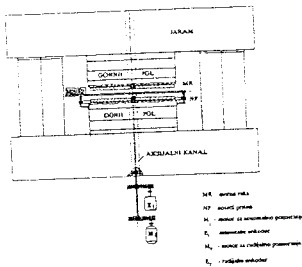
teorijskim zahtevima, i na taj način ostvarili uslove za kvalitetno ubrzavanje čestica u čitavom radnom opsegu ciklotrona. Procedure šimovanja je iterativna i u svakom koraku obuhvata više merenja, tako da obim i trajanje

cele kampanje presudno zavise od brzine sa kojom se može obaviti jedno elementarno merenje (dobijanje mape magnetskog polja u celoj medijalnoj ravni između polova magneteta), kao i vremena potrebnog za montažu, pripremu ili demontažu mernog sistema.

Merenja magnetskog polja su dugotrajna, sveobuhvatna i veoma odgovorna (kampanja koja uključuje šimovanje sektora magneteta zahteva oko 6 meseci). Zahtevi koje treba da ispuni sistem za merenje magnetskog polja u pogledu tačnosti, reproduktivnosti i pouzdanosti su posebno strogi. Merni sistem mora da bude jednostavan za montažu i demontažu, i pri tome da obezbeđuje visoku ponovljivost pozicioniranja merne sonde u medijalnoj ravni magneteta. Pored ostalog, merni sistem treba da obezbedi automatsko merenje, prikupljanje, obradu i arhiviranje podataka.

2. KONCEPT MERNOG SISTEMA

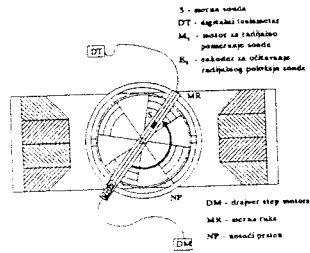
Geometrija magneteta ciklotrona VINCY u znatnoj meri određuje konstrukciju mernog sistema. Cilindrični oblik polova, radijalna simetrija magnetskog polja u medijalnoj ravni, kao i trajektorija ubrzanih čestica, nameću da se kod magnetskih merenja koristi cilindrični koordinatni sistem: z-osa se poklapa sa osom aksijalnog kanala koji prolazi kroz centar polova, dok se r- θ ravan poklapa sa medijalnom ravni koja se nalazi na sredini između polova magneteta. Merni sistem je trebalo da omogući "mapiranje" magnetskog polja u medijalnoj ravni, sa dovoljno gustom mrežom mernih tačaka definisanom odgovarajućim korakom u opsegu $r=0-1000$ mm i $\theta=0^{\circ}-360^{\circ}$, čime bi se pokrila cela kružna površina između polova magneteta.



Slika 2. Šematski prikaz sistema za merenje magnetskog polja

Konceptualni projekat mernog sistema je detaljno izložen u [2]. Koncept mernog sistema dat je na SI.2 i SI.3. Merni sistem sastoji se iz tri osnovna podsistema: mehaničke strukture, kontrolne jedinice i merne instrumentacije. Glavni elementi mehaničke strukture su:

- merna ruka koja se postavlja u medijalnu ravan magneteta i koja se pomoću osovine postavljene u donjem aksijalnom kanalu, okreće oko z-ose, u aksijalnom smeru (u pravcu θ);
- prsten za oslanjanje merne ruke, koji se montira na donjem polu magneteta;
- mehanizam za azimutalno pozicioniranje merne ruke (servo motor, optički enkoder, reduktor);
- mehanizam za radijalno pomeranje merne sonde



Slika 3. Mehanička struktura sistema za merenje u medijalnoj ravni

(davača) duž merne ruke (servo motor, optički enkoder, reduktor).

Kontrolnu jedinicu sačinjava:

- dvoosni pozicioner za upravljanje kretanjem merne sonde
- računar sa odgovarajućim programima za kontrolu rada mehaničke strukture i prikupljanje mernih podataka sa merne instrumentacije.

Mernu instrumentaciju čine:

- Digitalni Hol-efekt teslametar DTM-141 sa minijaturnom Hol-ovom sondom MPT-141 koja se montira na pokretni nosač merne ruke;
- NMR teslametar METROLAB PT-4025 (merenje se zasniva na nuklearnoj magnetskoj rezonanci) sa odgovarajućim mernim sondama koji služi kao referentni instrument.

Osnovni geometrijski parametri magneteta koji su uticali na definisanje mernog sistema su:

- prečnik pola - 2000 mm
- minimalni procep između sektora magneteta - 31 mm
- unutrašnje rastojanje između stubova magneteta - 3120 mm
- minimalni prečnik aksijalnog kanala - 80 mm
- dužina donjeg dela aksijalnog kanala - 1713 mm

Osnovni zahtevi koje treba da zadovolji merni sistem su sledeći:

- ukupna tačnost merenja magnetskog polja 10^{-4} ili bolja;
- fleksibilan korak radijalnog pomeranja merne sonde (0,5, 1, 2 ili 4 cm);

- fleksibilan korak azimutalnog pomeranja merne ruke (1° ili 2°);
- tačnost radijalnog pozicioniranja merne sonde bolja od 0.1 mm;
- tačnost azimutalnog pozicioniranja merne sonde (ruke) bolja od $20''$ (<0.1 mm na $r=1000$ mm);
- tačnost pozicioniranja merne sonde (ruke) u pravcu z-ose (koincidanije sa medijalnom ravni) bolja od 0.1 mm;
- dužina merne ruke sa pratećom opremom i priključnim kablovima mora biti manja od 1560 mm u radijalnom pravcu, da bi ruka mogla da prođe između stubova magneta;
- visina (debljina) merne ruke mora da bude manja od 25 mm da bi bilo moguće izvršiti određeno nivelisanje u pravcu z-ose i da bi mogla da prođe kroz procep od 31 mm;
- prsten na koji se oslanja merne ruke (preko podešljivih točkića) montira se oko donje polne ploče pomoću odgovarajućih držača, pri čemu između prstena i pola mora da ostane međuprostor od 150 mm koji omogućava sprovođenje izvoda korekcionih kalemova; odavde sledi da je unutrašnji prečnik prstena 2300 mm;
- svi delovi mernog sistema koji se nalaze u magnetskom polju moraju da budu izrađeni od nemagnetskih materijala da ne bi uticali na tačnost merenja;
- svi delovi mernog sistema koji se nalaze u jakom magnetskom polju u medijalnoj ravni ($B_{max}=2.6$ T), i koji se kreću (merna ruka, sonda, nosač sonde, zupčasti remen itd.) treba da budu izrađeni od nemagnetskog materijala sa što manjom električnom provodnošću, da bi se efekat vrtložnih struja sveo na minimum;
- vreme potrebno da se obavi jedno kompletno merenje tj. da se dobije jedna mapa magnetskog polja, mora biti manje od 4 sata (da bi se u toku

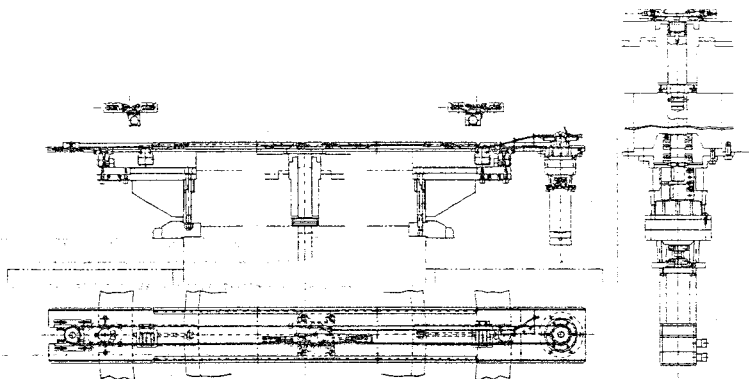
radnog dana moglo obaviti kompletno merenje, računajući i neophodne pripreme).

3. REALIZACIJA MERNOG SISTEMA

Realizacija mernog sistema se sprovodi u saradnji sa LOLA Institutom koji je preuzeo projektovanje i izradu upravljačke jedinice i mehaničke strukture. Očekujemo da će kompletan sistem biti testiran u toku leta, što bi omogućilo da se u toku septembra meseca započnu merenja magnetskog polja.

Merna ruka je urađena od titana koji po svojim osobinama zadovoljava sve postavljene uslove (nemagnetni materijal, loš električni provodnik, lak, poseduje dobre mehaničke osobine). Svi ostali delovi merne ruke su takođe urađeni od nemagnetskih materijala. Merna sonda se instalira na pokretno postolje (kolica) koje se pomera duž merne ruke pomoću zupčastog kajša od Kevlar vlakana čije je istezanje zanemarljivo. Kao pogonska grupa za radijalno pomeranje sonde koristi se DC servo motor firme MAXON sa obrtnim momentom 0.33 Nm, sa enkoderom i tahogeneratorom. Cikloidni prenosnik (prenosni odnos 1:29) omogućuje idealnu redukciju sa nullim zazorom. Za azimutalno pomeranje merne ruke koristi se DC servo motor firme MAXON sa obrtnim momentom 0.9 Nm, takođe sa enkoderom i tahogeneratorom. Na njemu je instaliran cikloidni prenosnik sa redukcijom 1:79. Ova pogonska grupa smeštena je sa donje strane magneta (ispod donje traverze) i povezana je sa mernom rukom preko vratila postavljenog u donjem aksijalnom kanalu i fiksiranom pomoću dva ležaja. Na Sl.4 prikazana je konstrukcija mehaničke strukture.

Upravljački deo mehaničke strukture sastoji se iz PC računara, servo modula, digitalnog ulazno/fizlznog modula (DUI) i regulatora brzine [3]. Dvoosni servo modul se koristi kao veza između DC motora koji



Slika 4. Konstrukcija mehaničke strukture

pokreću meri sistem i PC računara. Upravljanje DC motorima se vrši sa dvostrukom povratnom spregom (po poziciji i brzini). Na ulaze servo modula se dovode enkoderski signali sa inkrementalnih optičkih enkodera koji su spregnuti sa DC motorima. Izlazi iz servo modula su analogni signali koji preko regulatora brzine, upravljaju DC motorima. DUI modul se koristi kao veza PC računara sa sensorima za detekciju krajnjih pozicija sonde na mernoj ruci.

Operator interfejs je softver koji predstavlja vezu između korisnika sistema za merenje i samog sistema. On omogućava rad u nekoliko režima:

- ručni režim se koristi kod podešavanja sistema kao i kod dovođenja sistema u referentni položaj; kretanjem se upravlja pomoću tastera na tastaturi dok se na ekranu ispisuje trenutna pozicija merne sonde i njena aktivna brzina;
- režim generisanja korisničkog programa; na osnovu parametara merenja (korak u radijalnom i azimutalnom pravcu, početni i krajnji položaji sonde i merne ruke) generiše program za upravljanje DC servo motorima;
- automatski režim; startovanjem ovog režima se izvršava prethodno generisani korisnički program; tokom merenja je obezbeđen grafički prikaz mernih podataka.

Pozicioniranje merne sonde u radijalnom i azimutalnom pravcu je maksimalno fleksibilno, pri čemu se može birati proizvoljan korak, teorijski do nivoa rezolucije sistema a to je 1.4 μm u radijalnom i 4" u azimutalnom pravcu. Takođe se može vršiti merenje sa promenljivim korakom. Merenje se vrši u "start-stop" režimu, što znači da se merna sonda prvo pomeri za željeni korak, a potom po njenom zaustavljanju se obavlja merenje. Ukupna tačnost pozicioniranja će se utvrditi tek kada se budu sproveli detaljni testovi mernog sistema pomoću laserskog uređaja za kontrolu pozicioniranja. Što se tiče brzine merenja tj. ukupnog vremena potrebnog za dobijanje jedne mape magnetskog polja, procenjuje se da će ono biti manje od 1 sata.

Digitalni Hol-efekt teslametar DTM-141 firme Group 3, sa minijaturnom Hol-ovom sondom MPT-141 omogućava precizno merenje magnetskog polja do 2.2T (sonda kalibrisana pomoću NMR teslametra) sa tačnošću od $\pm 0.01\%$ i rezolucijom 1:60,000 od pune skale. Kalibracione krive i temperaturske karakteristike merne sonde su smeštene u memorijskom čipu, tako da kao izlaz iz instrumenta dobijamo izmerene vrednosti magnetskog polja u jedinicama Tesla ili gauss. Instrument omogućava 10 očitavanja u sekundi (maksimalna brzina merenja). Merna sonda ima male dimenzije (14x5x2 mm) dok je aktivna merne površina svega 1x0.5 mm što omogućava precizna lokalna merenja.

METROLAB PT4025 je mikroprocesorski kontrolisan NMR teslametar visoke tačnosti. Tačnost mu je bolja od ± 5 ppm i rezultati merenja se pokazuju na 8 1/2 digita displeju ili šalju do računara preko RS 232C interfejsa. Za merenje se koristi 5 različitih sondi koje pokrivaju opseg od 0.09 T do 3.4 T. NMR teslametar ćemo koristiti kao referentni instrument za kalibraciju mernih sondi, a takođe i za merenje magnetskog polja ciklotrona u referentnoj tački.

4. ZAKLJUČAK

Prikazani sistem za merenje magnetskog polja pruža maksimalnu fleksibilnost u pogledu izbora režima i parametara merenja (izbora koraka u radijalnom i azimutalnom pravcu). Konstrukcija sistema omogućava jednostavno montiranje i demontiranje delova sistema, pri čemu je obezbeđena visoka ponovljivost merenja (pozicioniranja). Procenjuje se da će sistem omogućiti dobijanje kompletne mape magnetskog polja za manje od 1 sata. Uskoro se očekuje detaljno testiranje svih karakteristika mernog sistema u realnim uslovima, kada bude montiran na magnet ciklotrona VINCY i tada će se dobiti konačni podaci o njegovim performansama.

LITERATURA

- [1] N. Nešković et al., TESLA Accelerator Installation, TESLA Report 1/93, VINČA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, 1993
- [2] A. Dobrosavljević and R. Ostojić, Magnetic field measurement system of the VINCY Cyclotron, TESLA Internal Report 1/93, Belgrade, 1993.
- [3] Z. Urošević i saradnici, Upravljačka jedinica sistema za merenje magnetskog polja Ciklotrona VINCY, XXXIX ETRAN, Zlatibor, jun 1995.

Abstract - This paper presents the magnetic field measurement system of the VINCY Cyclotron, main part of the TESLA Accelerator Installation, whose construction has been going on in the VINČA Institute of Nuclear Sciences. Measurement system consists from mechanical structure and control unit for the automatic positioning of the measurement probe in the median plane, between the poles of the magnet, and the corresponding measuring instrumentation, based on two digital teslameters. Concept of the measurement system is defined by the TESLA team, while the realization of the measurement system is performed in cooperation with the LOLA Institute.

MAGNETIC FIELD MEASUREMENT SYSTEM OF THE VINCY CYCLOTRON

A. Dobrosavljević, S. Ćirković,
A. Zdravković, Z. Urošević, M. Lučić, M. Gemaljević