

PRIMJENA SUPERKONDUKTIVNOSTI U MEDICINSKE SVRHE APPLICATION SUPERCONDUCTIVITY FOR MEDICAL PURPOSES

Emir Dizdarević, Vedad Zulić, Siemens d.o.o. Sarajevo

Sadržaj

Superkonduktivnost je pojava u fizici koja se zasniva na činjenici da neki metali na temperaturama bliskim apsolutnoj nuli imaju tu sposobnost da je njihov otpor jednak nuli. Ako pustimo jako visoku struju, reda više stotina ampera, kroz superkonduktivne namotaje i zatvorimo strujni krug pomoću superkonduktivnih prekidača u definisanim parametrima ta struja će kružiti kroz zatvoreni strujni krug bez ikakvih gubitaka t.j bez ikakvog grijanja.

Danas se u medicinskoj dijagnostici, kao veoma značajna metoda, koristi metoda dobijanja medicinskih slika, mekih dijelova ljudskog tijela, pomoću sistema magnetne rezonance (MRI). Svaki MRI sistem se sastoji iz tri glavne komponente a to su: magnet, gradijentni namotaji i radiofrekventni sistem sa predajničkim i prijemničkim kalemovima. Magnet je kvalitetniji ako daje jače homogeno magnetno polje i danas se koriste magneti jačine do 8 Tesla u komercijalne svrhe. Da bi dobili tako jako magnetno polje moramo imati superkonduktivni magnet čiji su namotaji potopljeni u tečni Helij. U ovom radu će biti opisana konstrukcija i fizikalnost superkonduktivnog magneta koji se koristi u medicinske svrhe.

Abstract

Superconductivity is phenomenon in physics that uses the fact that some metals at near absolute zero temperature have the ability that their resistance is equal to zero. If you let a very high current, several hundred amperes, through the superconductivity coil and close circuit with a superconductivity switch in defined parameters, the current will circulate through a closed circuit without losses, ie without heating.

Today, in medical diagnostics, as well as a very important method, using a method of obtaining the medical image, the soft tissue of human body systems using magnetic resonance imaging (MRI). Each MRI system consists of three main components namely: a magnet, gradient coils and radiofrequency system with transmit and receiver coils. Magnet is better if given more homogeneous magnetic field and is today used magnets measuring up to 8 Tesla for commercial purposes. To get such strong magnetic field we have superconductivity magnet whose coil submerged in liquid Helium. This paper will describe structures and physicality superconductivity magnets used in medical purposes.

1. UVOD

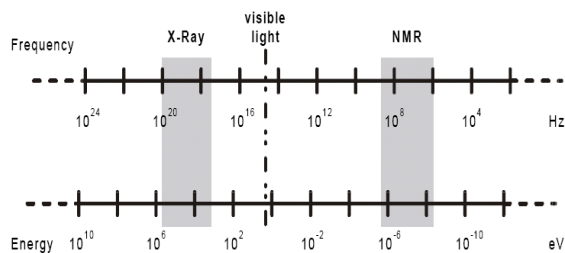
Svaki sistem magnetne rezonance je sastavljen iz tri glavne komponente bez kojih nema dobijanja dijagnostičkih slika mekih dijelova ljudskog tjela. Te tri komponente su razvijane i usavršavane zadnjih 25 godina, koliko je prošlo od dobijanja prvih slika, mekih dijelova ljudskog tijela, dijagnostičkom metodom magnetne rezonance. Kontrast slika, dobijenih metodom magnetne rezonance, zavisi od koncentracije jezgra atoma vodika u pojedinim organima i od vremena relaksacije T1 i T2 koje je različito za različite organe ljudskog tijela a također se razlikuje za bolesne (karcinogene) organe u odnosu na zdrave.

Te tri komponente su:

- a. Magnet koji proizvodi statičko homogeno magnetno polje
- b. Radio frekventni predajnik sa prijemnicima

- c. Gradijentni sistem sa namotajima raspoređenim u X, Y i Z osama

Jako bitno je naglasiti da ova dijagnostička metoda je zasnovana na mnogo manjim energijama nego dijagnostičke metode dobijanja medicinskih slika rengen metodama i da je MR dijagnostika, skoro bezopasna za pacijenta. Na sljedećoj Slici 1.1 se vidi opseg frekvencija i odnos energija izražen u Hercima i elektron Voltima. Kao što vidimo rengen zraci su u opsegu frekvencija od 10^{18} do 10^{20} Hz sa energijama između 10^4 i 10^6 eV i ova metoda je opasna za pacijenta i medicinsko osoblje. Zbog opasnosti od jonizirajućeg zračenja moraju se provoditi mjere propisane zakonskom regulativom koju donosi Agencija za zaštitu od jonizirajućeg zračenja BiH. Slika dobijena MR metodom je u spektru frekvencija 10^6 do 10^8 Hz sa energijama između 10^{-6} i 10^{-8} eV što je skoro bezopasno za ljudsko tijelo.

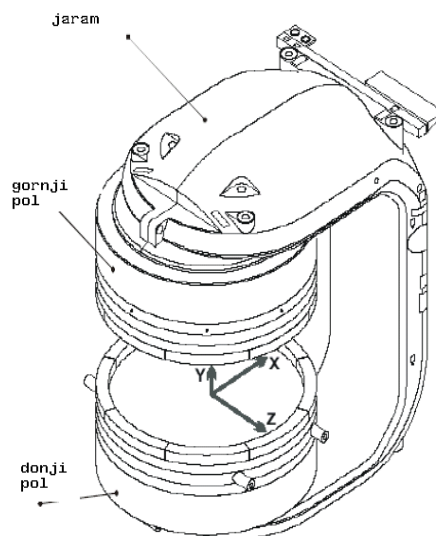
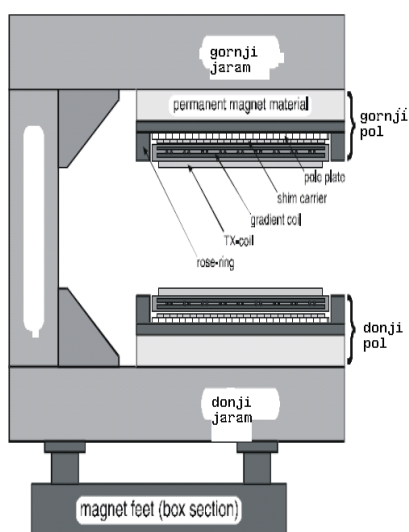


Slika 1.1 Opseg frekvencije i energije kod X-Ray i MR dijagnostičkih metoda

2. TIPOVI MAGNETA U MR DIJAGNOSTICI

Magnet je najveća i najskuplja komponenta svakog medicinskog sistema magnetne rezonance. Služi da dobijemo dovoljno jako homogeno magnetno polje, tako da bi se mogli pozicionirati protoni tj. jezgra atoma vodika paralelno ili antiparalelno. Jako bitno je naglasiti da magnetno polje u regionu skeniranja mora biti homogeno i ne smije preći razliku od 3PPM (tri dijela od jednog miliona). Danas se koriste tri tipa magneta medicinske magnetne rezonance: 1. Permanentni magnet koji je konstruisan spajanjem velikog broja feromagnetnih materijala. Oni su jako teški sa maksimalnim poljem od 0,5 Tesla, sa limitiranom stabilnosti i preciznosti. Dobra im je osobina što nemaju nikakvih troškova pri održavanju magnetnog polja. Ne troše helijum kao što ne troše ni struju. 2. Rezistivni elektromagneti su u obliku solenoida, oko koga su bakarni namotaji, kroz koje se pušta električna struja koja stvara magnetno polje. Ovi magneti čine alternativu permanentnim magnetima. Dobra im je osobina što je niža cijena koštanja, ali su limitirani jačinom polja i siromašnom stabilnosti, što im je svakako nedostatak. Kod ovih magneta

se stvara magnetno polje, kad pustimo struju kroz bakarne namotaje. Pri isključenju struje nema ni magnetnog polja. Na slikama 2.2.a i 2.2.b su prikazani izgledi permanentnog i rezistivnog magneta. 3. Superkonduktivni elektromagnet koji se koristi u medicinske svrhe se sastoje od namotaja Niobium-Titaniuma koji se nalaze na 4K (-269⁰ Celsiusa) potopljeni u tečnom Helijumu. Dobijaju superkonduktivnost tj. gube otpornost pri protoku električne struje. Kod ovih magneta je moguće dobiti veoma jako magnetno polje sa veoma velikom stabilnošću. Danas se koristi u dijagnostičke i naučne svrhe magneti jačine 8 Tesla koji su veoma teški i njihova težina prelazi 30 Tona. Konstrukcija ovih magneta je veoma skupa sa kriogenim štitom od Helija i veoma je nezgodna za održavanje, zbog temperature tečnog Helija od 4K. Ovo je najčešće korišteni tip magneta kod današnjih sistema magnetne rezonance, radi dobrih osobina koje su već navedene. Na slici 2.3. je prikazan izgled jednog superkonduktivnog magneta a u sljedećem poglavlju će biti objašnjeno njegovo funkcionalno djelovanje

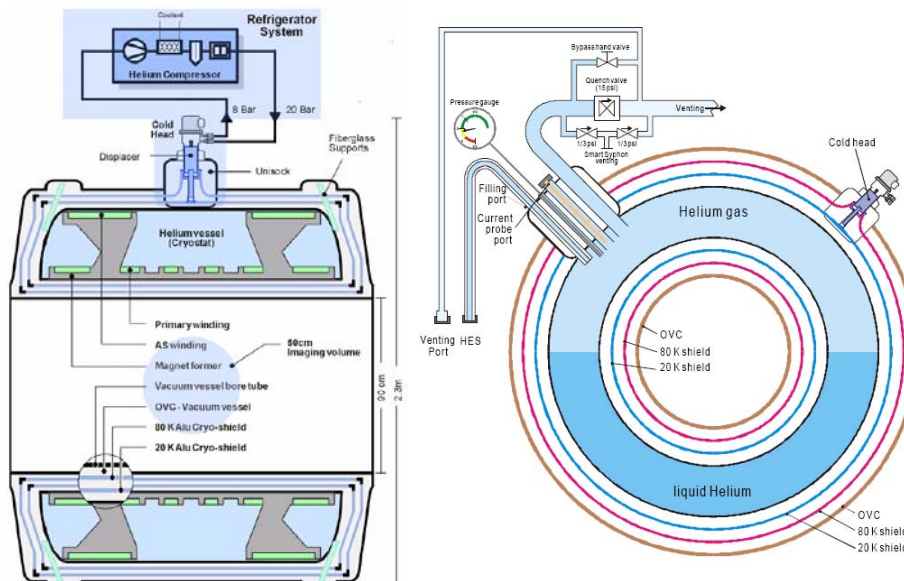


Slika 2.2. a. Izgled permanentnog magneta i b. Izgled rezistivnog magneta

3. SUPERKONDUKTIVNI MAGNET

Kao što je već napomenuto u prethodnom poglavlju superkonduktivni magnet ima namotaje od legure Niobium-Titaniuma koji su potopljene u tečni Helij. Na temperaturi od 4K ova legura dobija sposobnost superprovodnosti. Iz osnova elektrotehnike nam je poznato da jačina magnetnog polja je direktno proporcionalna jačini struje i broju namotaja, a obrnuto proporcionalna prečniku namotaja. Ako povećamo broj namotaja i pojačamo struju koja protiče kroz namotaje možemo očekivati jače magnetno polje, ali kod konduktivnih provodnika nije moguće namotati toliki broj namotaja da bi se dobilo homogeno magnetno polje jačine nekoliko Tesla. Superkonduktivnost je iskorištena da se kroz veliki broj namotaja izražen u desetinama kilometara propusti struja između 400 i 500 Ampera i dobije jačina homogenog magnetnog polja do nekoliko Tesla. Osim toga imamo i superkonduktivne prekidače koji omogućavaju da se pri dizanju magnetnog polja tj. puštanju struje kroz namotaje, na dostignutoj definisanoj vrijednosti, zatvore superkonduktivni prekidači i ostave da struja kruži kroz namotaje bez ikakvog priključenog izvora. Ta struja kruži, bez ikakvih gubitaka zahvaljujući superkonduktivnosti i magnetno polje ostaje po nekoliko godina stabilno i homogeno bez mijenjanja struje kroz superkonduktivne namotaje. Ovdje se javlja problem održavanja nivoa tečnog Helija koji nam omogućava superkonduktivnost. Kao što znamo tečni helij je prilično skup i ograničenih kapaciteta pošto njegova proizvodnja nije moguća izdvajanjem iz zraka i on se dobija iz rudnika. Pošto tečni Helij lako isparava a iz 1l. tečnog Helija možemo dobiti 700 l. gasnog Helija vidimo da se konstrukcijski mora riješiti superkonduktivni magnet sa što manjom potrošnjom tečnog Helija. To se rješava na način, tako što se formira kriogeni štiti tj. cijevi kroz koje prolazi gasni Helij koji se

hladi u kompresoru kriogenog štita. Cijevi koje su bliže namotajima su na temperaturi 20K i to je prvi kriogeni štiti, a dalje od namotaja su na temperaturi 80K i to je drugi štiti. Na ovaj način i koristeći glavu hlađenja koja ima osobinu da ubacuje u kriogeni štiti ohlađeni gasni Helij, u kompresoru, smanjujemo potrošnju tečnog Helija. Na slici 2.3.a vidimo da su namotana četiri primarna kružna namotaj i dva namotaja koja formiraju homogeno polje. Do namotaja je prvi kriogeni štiti 20K, a do njega dolazi drugi kriogeni štiti 80K. Također se nalazi i takozvani anti štiti namotaj, koji ima osobinu da smanji magnetno polje van superkonduktivnog magneta. Ako pogledamo sliku 2.3.b vidimo da je unutrašnji dio magneta i vanjski dio magneta obložen slojem u kojem je vakuum po principu termo posude radi što manjeg zagrijavanja. Pojava koja je jako nezgodna a dešava se je trenutak kada iz superkonduktivnosti superkonduktivni magnet prelazi u konduktivno stanje. To se dešava ako temperatura namotaja dostigne kritičnu temperaturu koja je oko 7K i ta se pojava naziva kvenč (Quench). Količinu energije koja je umnožak kvadrata struje od nekih 500A i otporom koji su namotaji dobili pri prelasku u konduktivno stanje u kratkom vremenu, je potrebno prevazići bez oštećenja namotaja. Oštećenje namotaja pravi ogromnu štetu pošto je svako oštećenje namotaja uništenje magneta, najskuplje komponente MR sistema. Tečni Helij preuzima svu količinu energije, tako što prelazi u gasno stanje. Preuzeta toplotu isparava van objekta kroz kvenč cijev i u tim slučajevima se zna potrošiti oko 900 l. tečnog Helija ali namotaji magneta ostaju ispravni. Svaki kvenč koji može biti svjesno izazvan u slučaju opasnosti ili sam od sebe donosi veliki trošak za vlasnika MR sistema koji se mjeri u desetinama hiljada Eura.



Slika 2.3. a. Izgled bočni supr. magneta i b. Izgled frontalni supr. magneta

4. ZAKLJUČAK

Kao što vidimo superkonduktivnost ima veliki značaj u medicinskoj dijagnostici. Osim primjene u medicini, superkonduktivnost je danas veoma zastupljena i u transportu jer brzi magnetni vozovi, na jednoj šini, su realizovani pomoću suprakonduktivnih magneta. Stalna su istraživanja i u prenosu električne energije pomoću suprakonduktivnih magneta a i CERN laboratorija dosta koristi superkonduktivnost u najnovim istraživanjima ako pronalaska novih čestica. Jako mnogo naučnih radova u svijetu se objavljuje na temu superkonduktivnosti i stalna su istraživanja u otkrivanju novih materijala koji bi pokazivali osobine superkonduktivnosti na većim temperaturama. Danas je poznato da neki keramički materijali koji su oksidi pokazuju superkonduktivnost na 77K. Pošto tečni azot, koji se jednostavno proizvodi iz zraka, ima osobinu da mu je temperatura oko 60K dolazimo u situaciju da mnogo jeftinije i jednostavnije obezbjeđujemo medij hlađenja potreban za superkonduktivnost. Što se tiče MR medicinske dijagnostike i nedovoljne količine u prirodi suprakonduktivnih materijala

koji pokazuju superkonduktivnost na temperaturama većim od temperature tečnog azota 50K, pretpostavlja se da će superkonduktivni magnet sa tečnim Helijem i kriogenim štitom još jedan duži period ostati kao najzastupljeniji magneti u svijetu koji se koriste u medicinske svrhe.

LITERATURA

- [1] B. Seeber, *Handbook of Applied Superconductivity*, University of Geneva 1998.
- [2] L. Landini, V Positano, M Filomena Santarelli, *Advanced Image Processing Magnetic Resonance Imaging*, Taylor& Francis Group, London New York 2005.
- [3] Frank G. Shellock *Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety* CRC Press, London New York Washington, D.C., 2001.
- [4] M.F. Reiser, W. Semmler, H. Hricak, *Magnetic Resonance tomography*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Chapter 2, pp.76-79, 2008