

NISKOFREKVENTNI ELEKTROMAGNETSKI STIMULATOR

Šumiga I.¹, Novak S.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Poznata je učinkovitost magnetske stimulacije na organizam. Niskofrekventni magnetski valovi mogu iscijeliti oštećene stanice u organizmu, ukloniti bol i ukočenost, poboljšati cirkulaciju i metabolizam, reducirati upalne procese, stres, depresiju i dr. U članku su spomenuta osnovna načela niskofrekventne elektromagnetske terapije. Zatim je opisan elektromagnetski stimulator realiziran pretežno u analognoj tehnici korištenjem diskretnih komponenata.

Ključne riječi: magnetsko polje, magnetoterapija, magnetska indukcija, elektromagnetski stimulator

Abstract: The efficiency of magnetic stimulation on the body is well known. Low-frequency waves can heal damaged cells in the body, relieve pain and stiffness, improve circulation and metabolism, reduce inflammation, stress, depression, etc. The article presents the basic principles of low-frequency electromagnetic therapy. Also, electromagnetic stimulator realized mainly in analog technique using discrete components is described.

Key words: magnetic field, magnetic therapy, magnetic induction, electromagnetic stimulator

1. UVOD

Razvoj novih tehnologija utječe na sve segmente ljudske djelatnosti, pa tako i na medicinu. Da bi metode liječenja bile što djelotvornije, suvremena medicina, naročito fizikalna, koristi novu tehnologiju i to energoterapijska sredstva kao što su ultrazvuk, laser i magnetoterapija. Magnetoterapija kao fizikalnoterapijska metoda u posljednje vrijeme je vrlo raširena. Tome pridonosi sve bolje razumijevanje biofizikalnih zakonitosti na razini stanica, postignuti rezultati u liječenju, jednostavnost njene primjene bez neželjenih popratnih efekata, razmjerno niska cijena primjene te ograničene mogućnosti terapije lijekovima.

2. DJELOVANJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA NA ORGANIZAM

Biološko djelovanje magnetskog polja zasniva se na elektromagnetskoj indukciji. Svaka promjena magnetskog toka kojim neki magnet djeluje na vodič u svom magnetskom polju uzrokuje indukciju električne struje u vodiču. Taj efekt se može postići permanentnim

magnetom koji se mehanički pokreće u odnosu na vodič. U ovom slučaju to je tijelo pacijenta. Prikladnija metoda je promjena magnetskog toka elektronički kontroliranom regulacijom struje kojom se napaja elektromagnet. Tom metodom može se prema želji mijenjati učestalost promjena: frekvencija, tj. broj promjena u sekundi, njihov valni oblik (način rasta i opadanja, pozitivan i negativan smjer, kao i srednja vrijednost magnetske indukcije (teoretska sredina između najniže i najviše vrijednosti u tijeku jedne promjene).

Magnetsko polje koje nastaje oko zavojnice kojom protječe stalna struja može biti velike gustoće, a njegovi fiziološki efekti su isti kao kod trajnog magneta. Takvo nepromjenljivo magnetsko polje utječe na električne čestice u gibanju (tjelesne struje), ali ne djeluje na nepokretne električne naboje. Pulsirajuća magnetska polja uslijed stalnih promjena magnetskog toka djeluju podjednako na električne čestice u gibanju i mirovanju, što je posebno važno za magnetoterapiju. Pravilnim izborom intenziteta, frekvencije i trajanja primijenjenog magnetskog polja mogu se postići optimalni terapijski rezultati. Vršne vrijednosti magnetske indukcije primijenjenog magnetskog polja kreću se između 0,5 i 10 mT (miliTesla). S nižim vrijednostima nisu utvrđeni nikakvi terapijski efekti (iznos magnetske indukcije magnetskog polja zemlje kojem je čovjek prirodno prilagođen prosječno je 0,05 mT). U biološkom smislu nema opasnosti ni od primjene polja znatno većeg intenziteta. U medicinskoj dijagnostici, metodom nuklearne magnetske rezonancije (NMR) postižu se polja i stotinjak puta većeg intenziteta (1-4 T).

Frekvencija primijenjenog magnetskog polja bitno utječe na mehanizam njihovog djelovanja na organizam. Kod tzv. visokofrekventne magnetske terapije trajanje pojedinačnih impulsa (frekvencije iznad 1000000 Hz), grupiranih u valne pakete koji se ponavljaju 5-800 puta u sekundi, toliko je kratko da uslijed tromosti odziva tkiva rezultira povišenjem njegove temperature (kratkovalna dijatermija). Da se izbjegne pregrijavanje tkiva, vrijeme potrebno za odvođenje proizvedene topline regulira se pauzama između impulsnih paketa, koje traju do 40 puta duže od pojedinih paketa.

Kod niskofrekventne elektromagnetske terapije koriste se pojedinačni impulsi (frekvencije do 100 Hz) ili impulsi paketi duljeg trajanja pojedinačnih impulsa, čime se eliminiraju termički, a postižu mnogi drugi poželjni efekti.

Biološke efekte niskofrekventne elektromagnetske terapije najbolje je objasniti djelovanjem na razini stanice organizma. Magnetski pobuđeni ioni u stanicama i oko stanica pokreću se u ritmu pulsiranja polja, prijanjaju uz staničnu stijenku i njihova razmjena kroz stijenku se ubrzava. Time se pospješuje rad "ionske pumpe", tj. povećan je transport materije u stanicu i izvan nje. Magnetski inducirane mikrovibracije u lipoidnom sloju stijenke također pospješuju difuziju kisika u stanicu, što potiče proizvodnju energije u mitohondrijima. Raste energetska metaboliizam stanice, mjerljiv količinom proizvedenog i utrošenog ATP (endonzin trifosfata).

Razlika električnog potencijala na stijenci zdrave stanice, podržana aktivnom razmjenom iona natrija (Na), kalija (K) i kalcija (Ca), iznosi 70-90 mV. Kod oštećenja stanica (infekcije, traume) elektropotencijal se snižava ispod 50 mV, a njihova funkcija slabi ili potpuno prestaje. Javljaju se rani simptomi oboljenja poput umora, različitih bolova i slično.

Primjenom pulsirajućih magnetskih polja kroz određeno vrijeme, transport iona se reaktivira i narušeni elektropotencijal stanica se normalizira.

Efekti magnetoterapije na razini stanica:

- povećana difuzija kisika u stanici zbog magnetski induciranih mikrovibracija lipoidnog sloja stanične stijenke
- porast energetskog metabolizma stanice mjereno količinom utrošenog ATP
- ubrzana difuzija iona kroz staničnu stijenku i pospješena ukupna razmjena tvari stanice
- stabilizacija kalij/natrij pumpe i potencijala stanične membrane.

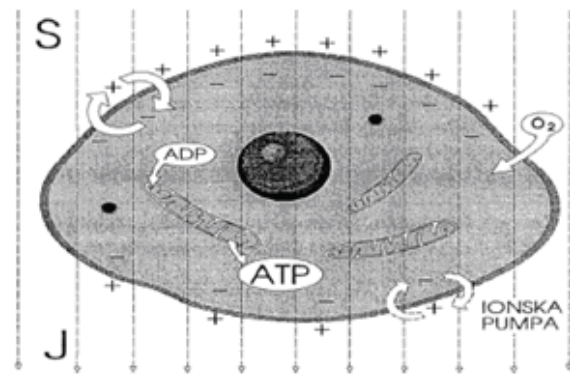
Brojna klinička i laboratorijska ispitivanja ukazuju i na druge efekte koji se iskazuju na razini pojedinih tjelesnih sustava ili organizma u cjelini:

- antiupalno, analgetsko i antiedemsko djelovanje
- poboljšanje cirkulacije, tj. povećan arterijski i venski protok te prokrvljenost tkiva uz antikoagulantni učinak
- povećan parcijalni pritisak kisika u krvi
- djelovanje na središnji živčani sustav, direktno i refleksno, a očituje se u regulaciji endokrinih funkcija i pojačanju imunološke obrane organizma
- povećanje sinteze DNA i kolagena u kulturama koštanog tkiva
- poboljšana resorpcija lijekova u tkivima.

3. NISKOFREKVENTNI ELEKTROMAGNETSKI STIMULATOR

To je generator unipolarnog niskofrekventnog pulsirajućeg magnetskog polja. Unipolarni naponski impulsi programiranog oblika, trajanja i frekvencije tjeraju struju kroz zavojnice, tj. Kroz elektromagnetske antene (EMA) oko kojih se formira sukladno magnetsko polje. Gustoća (intenzitet) magnetskog polja mijenja se ovisno o geometrijskim značajkama EMA (promjer, oblik, broj zavoja i udaljenost od zavojnice) i struje što teče zavojnicom. Osim magnetske gustoće (B) važna je i brzina njene promjene (dB/dt). To je mjera za indukciju napona u tkivima. Ocjenjuje se mjerenjem napona inducirano u kalibriranoj mjernoj zavojnici. Što je on

viši i indukcija u tkivima će biti veća. Kao i za intenzitet (B), vrijednosti induciranih napona mijenjaju se od točke do točke u prostoru, kako je prikazano slikom 1.



Slika 1. Djelovanje elektromagnetskog polja na stanicu

Indikacije za primjenu niskofrekventnog elektromagnetskog stimulatora postoje tamo gdje se bolest javlja kao posljedica poremećaja funkcije stanica. Terapija djeluje disperzno na opće poboljšanje metabolizma stanica. Budući da magnetsko polje prodire kroz sve dijelove ljudskog tijela, njegova primjena omogućuje postizanje dubinskih terapijskih efekata. To je prednost u odnosu na većinu srodnih (fizikalnih) terapijskih postupaka. Tretman pozitivno utječe na oboljele i na zdrave, djelovanju polja simultano izložene dijelove tijela, pospješujući im regeneraciju i imunološku obranu. Najvažniji efekti terapije su poboljšanje prokrvljenosti i opskrbe tkiva kisikom.

Također djeluje protuupalno i ublažava bolove i edeme (otoke). Nisu poznate negativne popratne pojave niti je moguće predoziranje terapije. Lista indikacija za primjenu vrlo je široka. Klinička ispitivanja koja se provode u svijetu ukazuju da se pulsirajuća magnetska polja mogu vrlo uspješno koristiti u terapiji sljedećih indikacija:

- kod bolesti potpornog i pokretačkog sustava (degenerativna i upalna oboljenja zglobova i kralješnice, oboljenja kostiju i mekih tkiva)
- otežano zacjeljivanje ozljeda i prijeloma (postoperativna stanja, rane i opekotine)
- sportske ozljede (nagnječnja, lezije ligamenata i mišića, teniski lakat)
- oboljenja središnjeg i perifernog živčanog sustava (neuralgije, glavobolje i migrene)
- oboljenja dišnih putova i sinusa (sinusitis, bronhitis, bronhijalna astma)

Elektromagnetska terapija najčešće nije zamjena, već nadopuna ostalih terapijskih metoda. Odlučuje je jednostavnost primjene bez nepoželjnih pratećih efekata i razmjerno niska cijena. Njena primjena nije ograničena samo na humanu medicinu. Vrlo dobri terapijski rezultati postižu se i u veterinarskoj praksi.

Pri upotrebi magnetskih polja, prema dosadašnjim iskustvima opisanim u literaturi, uglavnom nema opasnosti od prekoračenja propisanog doziranja ni apsolutnih kontraindikacija za njihovu primjenu.

Ipak se u nekim slučajevima preporuča odustati od terapije ili je provesti krajnje oprezno pod liječničkim nadzorom, ako je kod pacijenta prisutno sljedeće:

- pacemaker ili ozbiljni problemi sa srčanim ritmom
- trudnoća (posebno u području ploda)
- akutna tuberkuloza
- akutni i ozbiljni cirkulatorni poremećaji
- teška angina pektoris
- koronarna insuficijencija
- predinfarktna stanja
- unutarnja krvarenja ili sklonost krvarenju
- akutna psihička oboljenja
- pojačana funkcija štitnjače
- juvenilni dijabetes
- akutna febrilna stanja
- teški slučajevi gljivičnih oboljenja.

Također se preporuča izbjegavati dugotrajne tretmane u doba rasta jer djelovanje na rast još nije dovoljno razjašnjeno. Kroz cijelu terapiju ne preporuča se izlagati radijacijskoj terapiji ili rendgenskoj dijagnostici. Kod predisponiranih osoba terapija u večernjim satima (poslije 21 h) može prouzročiti smetnje u spavanju. Treba izbjegavati korištenje uređaja u blizini vrlo osjetljivih elektroničkih naprava ili magnetskih medija za pohranu podataka.

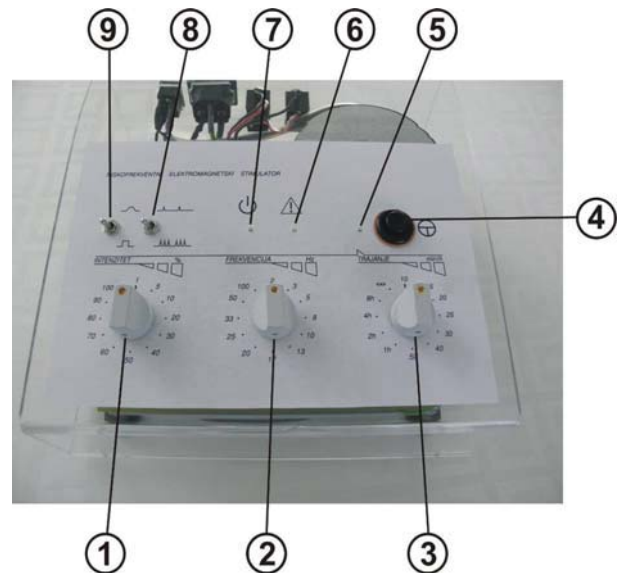
3.1. Opis uređaja

Niskofrekventni elektromagnetski stimulator prikladan je za korištenje u medicinskim ustanovama te kod kuće. Tretman je jednostavan, gotovo neosjetan i pravilno primijenjen bez neželjenih popratnih učinaka. Provodi se polaganjem antene na oboljelo mjesto i aktiviranjem uređaja u odabranom modu rada. Moguće su kombinacije s gotovo svim drugim, ne samo fizikalnim terapijama. Dobri rezultati postižu se u kombinaciji s akupunkturinom, ultrazvučnom, laserskom, ozonskom te krioterapijom. Zbog jednostavne i robusne konstrukcije uređaj zahtijeva minimalno održavanje. Jednostavan je za korištenje pa nema potrebe za specijalnom obukom i posebnom pripremom pacijenta. Terapija je moguća kroz odjeću, gips i povoje. Ne postoji opasnost od pojave opekotina. Nema fiziološkog djelovanja na rukovatelja. Metalni implantati i fragmenti u tijelu nisu kontraindikacija (kao kod visokofrekventne magnetoterapije).

Uređaj se sastoji od upravljačkog modula-generatora pobude za EMA i od elektromagnetske antene EMA (jedna ili dvije) - izvora elektromagnetskog polja.

Upravljački modul

Naponski impulsi koje generira modul su vršne vrijednosti 25V i trajanja (dužine) maksimalno 2 milisekunde. Promjena parametara impulsa direktno utječe na pobudu elektromagnetskih antena. Promjena intenziteta, frekvencije i impulsnog režima definira konačni oblik pravokutne naponske pobude. Promjena oblika pojedinačnog impulsa (pravokutni ili trapezni) ne utječe na te odnose. Primjenom trapeznog oblika impulsa ublažava se djelovanje izabranog tretmana.



Slika 2. Prednja ploča uređaja

Važni dijelovi označeni su brojevima:

- 1 Izbornik intenziteta – rotacijska preklopka
- 2 Izbornik frekvencija – rotacijska preklopka
- 3 Izbornik trajanja – rotacijska preklopka
- 4 Start/stop tretmana – tipkalo
- 5 Indikator tretmana – zelena LED dioda
- 6 Indikator greške – žuta LED dioda
- 7 Indikator spremnosti – zelena LED dioda
- 8 Izbornik pulsnog režima – dvo položajni prekidač
- 9 Izbornik oblika impulsa – dvo položajni prekidač

Elektromagnetske antene

Elektromagnetske antene su zavojnice izvedene u pojačanoj izolaciji, s dodatnim dvostrukim plaštem i završnim pjenastim slojem od prirodne gume. Realizirani uređaj sadrži dvije elektromagnetske antene: EMA1 i EMA2. EMA1 ima srednji promjer 250 mm i namotano je 125 zavoja žice promjera 1 mm. EMA2 ima srednji promjer 190 mm i namotano je 150 zavoja žice promjera 0,71 mm.



Slika 3. Elektromagnetske antene

3.2. Parametri tretmana

Parametri tretmana čine dvije funkcionalne grupe i zadaju se preko upravljačkih elemenata smještenih na prednjoj ploči upravljačkog modula (slika 2.). Elementi grupe za izbor valnih funkcija su izbornici 1, 2, 8 i 9. Elementi za programiranje trajanja tretmana su izbornik 3 i tipka 4.

Valne funkcije

Preklopkom 1 zadaje se intenzitet izražen u postocima. Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su izražene u postocima: 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100.

Rotacijska preklopka 1 određuje trajanje osnovnog naponskog impulsa kojim se pobuđuje EMA. Za stopostotni intenzitet to vrijeme je uvijek 2 milisekunde. Za niže intenzitete je linearno kraće. Intenzitetom je posredno određena maksimalna gustoća magnetskog polja (B_{\max}) koje se može dostići u nekoj točki prostora. Analogno važi i za brzinu promjene magnetske gustoće (dB/dt).

Preklopkom 2 zadaje se frekvencija izražena u hertzima. Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su izražene u Hz: 2, 3, 5, 8, 10, 13, 17, 20, 25, 33, 50, 100.

Povišenjem frekvencije povećava se srednja magnetska gustoća (B_{sred}) i srednja vrijednost brzine njene promjene (dB/dt_{sred}).

Dvopoložajnim prekidačem 9 zadaje se oblik pojedinačnog impulsa. Položaji su:

- gornji: trapezni oblik
- donji: pravokutni oblik

Izbor pravokutnih impulsa rezultira većom brzinom promjene gustoće magnetskog polja.

Dvopoložajnim prekidačem 8 zadaje se impulsni režim. Položaji su:

- gornji: uređaj reproducira frekvenciju izabranu preklopkom 2

- donji: na osnovu frekvencije izabrane preklopkom 2 uređaj generira impulsne pakete frekvencije od 100 Hz. Budući da je trajanje pojedinog impulsa prema trajanju pauze kod nižih frekvencija vrlo kratko, ukupna energija koju uređaj emitira je mala (B_{sred} i dB/dt_{sred}). Kod npr. 2Hz taj je odnos 2ms : 500ms. Ukoliko želimo pojačan

energetski izlaz, postoji mogućnost interpolacije dodatnih impulsa (impulsnih paketa koji se pojavljuju u taktu osnovne frekvencije)

Preklopkom 3 zadaje se ukupno trajanje tretmana.

Stupnjevito zakretanje preklopke moguće je u oba smjera od uspravnog crticom označenog graničnog položaja. Raspoložive vrijednosti su :

- minuta: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50

- sati: 1, 2, 4, 8

- neograničeno trajanje: ∞

Pritiskom na tipku 4 pokreće se izvođenje programiranog tretmana. Kao indikacija trajanja tretmana pali se zelena LED dioda 5.

Po isteku programiranog trajanja uređaj odašilje kratki zvučni signal, indikator 5 se gasi i izvođenje tretmana se automatski prekida. Vremensko brojilo poprima nultu vrijednost omogućujući ponovno pokretanje programa.

Prisilno zaustavljanje

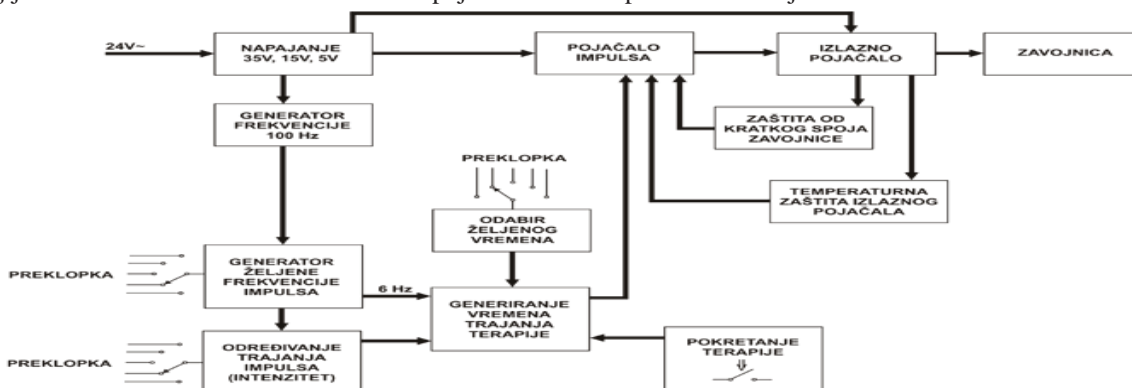
Program se može prekinuti ponovnim pritiskom na tipku 4. Uređaj odašilje kratki zvučni signal, indikator 5 se gasi i izvođenje tretmana se prekida. Vremensko brojilo poprima nultu vrijednost omogućujući ponovno pokretanje programa.

4. OPIS RADA UREĐAJA

Blokovska shema ostvarenog niskofrekventnog elektromagnetskog stimulatora prikazana je na slici 4.

Uređaj se napaja preko toroidnog transformatora 230/24V snage 100W. Sekundar transformatora vodi se na Graetzov spoj, nakon kojeg se punovalni ispravljeni napon filtrira i prilagođava na vrijednosti potrebne za napajanje analognih i digitalnih sklopova uređaja i za generiranje impulsa frekvencije 100Hz maksimalne amplitude 35V.

Punovalno ispravljeni sinusni impulsi frekvencije 100Hz prolaskom kroz komparator s histerezom daju pravokutne impulse. Na taj način je dobiven generator frekvencije 100Hz sinkroniziran s mrežnim sinusnim naponom. Slika 5. prikazuje oblik impulsa na ulazu, a slika 6. sklop za formiranje impulsa 100Hz na izlazu. Taj signal se vodi na generator odabrane frekvencije tretmana (pomoću preklopke 2, slika 2.) Ovaj generator je realiziran pomoću 4-bitnih sinkronih binarnih brojlara kojima se dijele osnovne frekvencije. Slika 7. prikazuje impulse frekvencije 33Hz.



Slika 4. Blokovska shema uređaja



Slika 5. Signal na ulazu sklopa za formiranje impulsa frekvencije od 100Hz

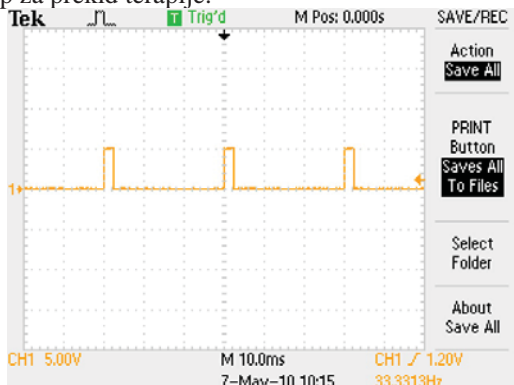


Slika 6. Signal na izlazu sklopa za formiranje impulsa

Trajanja impulsa

Intenzitet na određenoj frekvenciji se određuje promjenom širine signala i pauze unutar jedne periode. To se postiže dovodenjem izabrane frekvencije na ulaz monostabila kojemu se širina trajanja impulsa mijenja promjenom vrijednosti otpornika u RC kombinaciji za određivanje vremenske konstante monostabila. Spajanjem dodatnog kondenzatora na RC kombinaciju monostabila mogu se dobiti impulsi trapeznog oblika. Kombinacijom dva monostabila i potrebnih kombinacijskih logičkih sklopova može se birati rad s pojedinačnim ili paketima impulsa.

Za mjerenje odabranog vremena trajanja tretmana signal frekvencije 6 Hz (dobiven pomoću sinkronih binarnih brojila) se dovodi na dekadsko brojilo/dijelitelj frekvencije. Ovisno o odabranom vremenu tretmana (rotacijska preklopka 3, slika 2.), izlaz dekadskog brojila koji generira impuls po isteku vremena prosljeđuje se na sklop za prekid terapije.



Slika 7. Generiranje impulsa frekvencije 33Hz

Kada se definiraju parametri - frekvencija, intenzitet i oblik impulsa; pojedinačni impulsi ili paket impulsa te vrijeme trajanja terapije - pokretanjem terapije (slika 2., tipkalo 4) oblikovani signal se dovodi na pojačalo impulsa izvedeno kao protutaktno pojačalo snage. Pojačani impulsi se zatim vode na izlazno pojačalo izvedeno u spoju zajedničkog kolektora (emitorsko sljedilo). Za dobivanje dovoljno jake struje koja prolaskom kroz zavojnicu generira magnetsko polje za magnetoterapiju, koristi se paralelni spoj dva tranzistora u Darlingtonovu spoju.

Sklop je na izlazu zaštićen od kratkog spoja tako da se napon zavojnice uspoređuje s namještenim naponom pomoću komparatora. Ako kroz zavojnicu poteče prevelika struja, baze izlaznih tranzistora se prespajaju na masu i time odvoje izlaz pojačala od zavojnice.

Budući da se izlazni tranzistori tijekom rada griju, na njihova hladila je spojen temperaturni senzor koji u slučaju pregrijavanja prespaja na masu bazu izlaznih tranzistora i signalizira neispravnost.

5. ZAKLJUČAK

Niskofrekventni elektromagnetski stimulator ostvaren je u skladu s potrebama današnje medicine. Razvoj magnetoterapije rezultirao je pojavom mnogih uređaja koji se primjenjuju u specifičnim uvjetima. Predmet ovog rada je stimulator niske frekvencije (2 – 100 Hz), što omogućuje podvrgavanje tretmanu i pacijenata koji posjeduju metalne implatante, a za koje visokofrekventna magnetska terapija nije primjenljiva zbog efekta kratkovalne dijatermije.

Usklađivanje svih parametara rada uređaja obavlja se putem višepoložajnih preklopki, a sve funkcije ostvarene su sklopovski. Prednost ovakve realizacije je pouzdanost uređaja i jednostavnost upotrebe. Time se od korisnika ne zahtijevaju nikakva posebna znanja ni vještine.

Testiranje opisanog uređaja je pokazalo da se mogu pouzdano i ispravno generirati zahtijevani valni oblici i paketi impulsa željene frekvencije. Uređaj je izveden tako da ne može ugroziti ljudski život i postoje svi preduvjeti za njegovu uporabu.

6. LITERATURA

- [1] Biljanović, P. Poluvodički elektronički elementi. Školska knjiga : Zagreb, 1996.
- [2] Biljanović, P. Elektronički sklopovi. Školska knjiga : Zagreb, 1997.
- [3] Lissens Mark A. Clinical Applications of Magnetic Transcranial Stimulation. Peeters Press : Leuven (Belgium), 1992.
- [4] www.amoic.hr
- [5] www.zdrav-zivot.com.hr

Kontakt:

Mr. sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.
Križanićeva 33, 42000 Varaždin
Tel: 098/467 761
ivan.sumiga@velv.hr