

HELIJ-NEONSKI LASER =====

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Uvod

Radioamaterji smo se vedno trudili vzpostavljati radijske zveze na čim višjih frekvencah. Že pred mnogimi leti smo dosegli 10GHz, naprej pa so se stvari nekam ustavile. V časopisih, kot je DUBUS, sicer beremo o rednem vzpostavljanju zvez na 24GHz in poskusnih sprejemnikih in oddajnikih za 47GHz ter višja radioamaterska frekvenčna območja. Z radioamaterskimi sredstvi naj bi do danes že dosegli 142GHz. Žal ostaja vse skupaj pri poskusih, v tekmovanjih in ostalem rednem delu pa je skoraj nemogoče najti sogovornika že na 24GHz, kaj šele na višjih frekvencah.

Večina amaterjev, tudi tistih, ki se ukvarjajo s takšnimi poskusi, ne pozna ali nikoli ne omenja pravega razloga, zakaj postajajo zveze na višjih frekvencah vse težje. Iz teorije sledi ravno obratno: če so dimenzije (cena!) anten omejene, potem se spleča vzpostavljati zvezo na čim višjih frekvencah, ker slabljenje v tem slučaju upada z rastočo frekvenco. Tudi tehnologija sestavnih delov ni pravi izgovor, saj tehnologija stalno napreduje in vsak dan dobimo nove, boljše, hitrejše polprevodnike.

Pravi razlog je drugje: radijski valovi se ne širijo po praznem prostoru, pač pa skozi zemeljsko ozračje. Vplivov zemeljskega ozračja je več. Na nizkih frekvencah, pod 30MHz, ne moremo zanemariti vpliva ionosfere, ki lomi, odbija in slabi radijske valove. Zemeljsko ozračje je skoraj prozorno za frekvence od 100MHz do 10GHz in tu njegov vpliv običajno kar zanemarimo.

Na še višjih frekvencah se spet srečamo s slabljenjem, ki ga tokrat povzročajo nevtralne (neionizirane) molekule plinov, ki sestavljajo ozračje: v nižjih plasteh vodni hlapi (H₂O), kisik (O₂) itd, v višjih plasteh ozon O₃ itd. Vodni hlapi imajo precej široko rezonančno črto okoli 22GHz in ta slabi tudi 24GHz, kar omejuje domet radioamaterskih zvez na tem področju na manj kot 300km z vrhunsko opremo.

Nevtralna molekula kisika O₂ ima rezonance okoli 60GHz in okoli 110GHz: na teh frekvencah so nižje plasti zemeljskega ozračja popolnoma "črne" za radijske valove in tudi z velikimi močmi oddajnikov ter vrhunskimi sprejemniki ni možno doseči več kot kakšen kilometer dometa! Ker so rezonančne črte kisika in drugih plinov zelo široke, narašča slabljenje tudi v frekvenčnih "oknih" med posameznimi rezonančnimi črtami.

Praktično to pomeni, da se frekvenčno področje radijskih valov konča nekje pri frekvenci 100GHz oziroma valovni dolžini 3mm. Na še višjih frekvencah oziroma krajših valovnih dolžinah je dušenje radijskih valov v zemeljskem ozračju tako veliko, da ne moremo doseči uporabnega dometa radijske zveze, ne glede na vrsto in razpoložljivost uporabljene tehnike.

Kako potem narediti zvezo na še višjih frekvencah? Odgovor najdemo v fiziki, ki pravi, da postane zemeljsko ozračje spet skoraj popolnoma prozorno v frekvenčnem področju bližnje

infrardeče in vidne svetlobe, pri valovnih dolžinah nekje od 1.5 mikrometra do 0.4 mikrometra, oziroma pri frekvencah od 200THz (200000GHz) do 750THz (750000GHz). In ker v mednarodnih dogovorih zaenkrat še vedno piše, da je celotno frekvenčno območje nad 300GHz dodeljeno amaterski in amaterski satelitski službi, lahko na teh frekvencah povsem legalno vzpostavljamo naše radioamaterske zveze.

Pri tako velikem frekvenčnem skoku, s frekvence 10GHz (valovna dolžina 3cm) na frekvenco 500THz (vidna svetloba z valovno dolžino 0.6 mikrometra) se seveda močno spremenijo tudi sprejemniki in oddajniki. Kot oddajnik uporabimo laser, ki sicer v primerjavi z drugimi svetili ne daje velike moči, je pa svetloba na izhodu zelo dobro usmerjena. Kot sprejemnik imamo na razpolago celo vrsto detektorjev od polprevodniških fotodiod do elektronk fotopomnoževalk, za vidno svetlobo pa si lahko pomagamo tudi s prostim očesom!

Ker so domovina laserjev Združene Države Amerike, so se tam začeli radioamaterji najprej ukvarjati tudi z laserskimi zvezami in dosegli povsem zavirljiv domet. Z uporabo helij-kadmijevega laserja (modra svetloba) z izhodno močjo komaj 50mW in fotopomnoževalke na sprejemu so že pred leti dosegli domet 300km v kristalno čistem ozračju arizonske puščave. Laserske zveze so zato po dometu povsem primerljive z zvezami na mikrovalovnem področju 24GHz in tudi praktične zahteve so podobne: "čisto" ozračje in natančno nastavljanje anten in laserjev na gorskih vrhovih. In še nekaj imajo laserske zveze skupnega z radioamaterstvom: najboljši domet dosežemo ponoči, ko nas ne moti dnevna svetloba, in radioamaterji smo od nekdanj bili ponočnjaki!

2. Helij-neonska laserska cev

Do danes so fiziki razvili celo vrsto različnih laserjev: plinskih, s trdno aktivno snovjo, polprevodniških itd, zato se je kar težko odločiti, s kakšnim laserjem bi se lotili naših poskusov. Za nas radioamaterje pridejo seveda v poštev edino majhni, CENENI plinski ali polprevodniški laserji. Za naše poskuse bi bili še najbolj primerni polprevodniški laserji, ker jih je enostavno napajati in modulirati, vendar imajo sedanji polprevodniški laserji še razmeroma majhno izhodno moč, proizvajajo manj kvalitetno svetlobo od plinskih laserjev, niso prav poceni in jih je z napačnim ravnanjem zelo enostavno uničiti.

Radioamaterjem je danes verjetno najlažje dosegljiv helij-neonski plinski laser. HeNe lasersko cev lahko kupimo novo za okoli 300dem, kar ni pretiran strošek. Sam sem na znanem radioamaterskem "bolšjaku" v Pordenonu (Italija) kupil dve rabljeni Siemensovi HeNe laserski cevi LGR 7641 za okoli 50dem/kos, demontirani iz starih čitalcev črtnih kod. Obe cevi še danes delujeta povsem ok, le da bi jih verjetno danes dobil na bolšjaku še ceneje. Laserji so seveda še dosti cenejši v svoji domovini preko velike luže!

Za razliko od polprevodniških laserjev je helij-neonski laser dosti večji, je ponavadi v steklenem ohišju dolžine okrog 25cm in običajno oddaja vidno svetlobo, zato lahko konstrukcijo laserja, delovanje in vse pojave opazujemo kar s prostim očesom. Konstrukcija helij-neonskega laserja je prikazana na Sliki 1. Ker je aktivna laserska snov zmes plinov, mora biti ohišje laserja hermetično zaprta cev: to je naloga

zunanje steklene cevi in dveh kovinskih pokrovov, privarjenih na oba konca cevi.

Energijo za delovanje laserja dovajamo v aktivno plinsko zmes preko električnega preboja v plinu. Električno gledano je HeNe laser torej tlivka, z nekaterimi posebnostmi. V HeNe laserju je aktivna laserska (ojačevalna) snov žlahtni plin neon, dodatek žlahtnega plina helija pa izboljšuje izkoristek prenosa energije iz električnega preboja na atome neona. Oba plina sta v cevi pod nekaj velikostnih razredov nižjim tlakom od ozračja, podobno kot v neonskih reklamnih ceveh.

Elektrode tlivke so zelo velike, da omejujemo segrevanje. V tlivkah se najbolj segreva negativna elektroda zaradi katodnega padca potenciala tik ob površini elektrode, zato kot katoda ne zadošča sam pokrovček cevi, pač pa je v stekleno cev vgrajena dodatna kovinska cev kot negativna elektroda. Če se elektrode HeNe laserja pregrejejo, to lahko povzroči osvobajanje plinov, ujetih na površini kovin, ki spremeni sestavo plinov v cevi in preprečijo delovanje laserja.

Za vse vrste laserjev je značilno, da moramo dovesti zelo veliko količino energije na enoto aktivne snovi, da sploh dosežemo uporabno lasersko ojačenje. V plinskem laserju to storimo tako, da pot električnemu preboju zožamo na manj kot kvadratni milimeter s pomočjo dodatne, notranje steklene cevi. Čeprav med delovanjem laserja opazimo žarenje plina tudi drugod, je žarenje plina v notranji cevi dosti močnejše in samo tu pride do pojava laserskega ojačenja svetlobe.

Da dosežemo samostojno nihanje laserja, moramo aktivno lasersko snov vstaviti v rezonator, ki daje na določenih frekvencah zadosti močno povratno vezavo. Rezonator je je sestavljen iz dveh vzporednih zrcal na obeh koncih cevi. Zrcali sta izdelani iz stekla, ki je na notranji strani prevlečeno z več prozornimi plastmi z različnimi lomnimi količniki. Debeline in lomni količniki teh plasti so tako izbrani, da dosežemo odboj na željeni valovni dolžini in preprečimo odboj na drugih valovnih dolžinah.

Če bi izdelali rezonator HeNe laserja z idealnimi zrcali, ki enako odbijajo vse valovne dolžine, bi takšen laser deloval v bližnjem infrardečem (nevidnem) področju na valovni dolžini okoli 1.3 mikrometra, ker je tu ojačenje aktivne snovi (neon) največje. Da dosežemo delovanje laserja na valovni dolžini 632.8nm (rdeča svetloba ali 474THz), potrebujemo zrcala, ki dobro odbijajo to valovno dolžino in hkrati čimmanj odbijajo bližnjo infrardečo svetlobo z valovno dolžino okoli 1.3um.

Končno, če bi izdelali zrcala, ki prepuščajo ali slabijo bližnjo infrardečo in rdečo svetlobo ter odbijajo zeleno svetlobo, bi HeNe laser oddajal žarek zelene svetlobe! Žal je ojačenje vzbujenega plina neona zelo majhno za zeleno svetlobo in je pri izdelavi primernih zrcal potrebna velika natančnost, da dosežemo nihanje laserja na tej valovni dolžini, zato zelenega HeNe laserja ne srečamo prav pogosto.

HeNe laserska cev je običajno dolga okoli 25cm. Pri tej dolžini cevi potrebujemo za optimalno delovanje laserja na eni strani polprepustno zrcalo, ki prepušča približno 5% vpadne svetlobe ter odbija preostalih 95% svetlobe nazaj v laser. Pri dolžini cevi okoli 25cm znaša izhodna moč okoli 2mW. Na drugi strani laserskega rezonatorja bi želeli idealno zrcalo za delovno valovno dolžino 632.8nm, vendar v praksi dobimo tudi tu nekaj prepuščene svetlobe.

Ker znaša dolžina rezonatorja več kot 30000 valovnih dolžin pri delovni frekvenci laserja, ima takšen rezonator zelo dosti rezonančnih frekvenc. Pogoji za rezonanco je, da razdalja med zrcali ustreza mnogokratniku polovice valovne dolžine. Pri dolžini cevi 25cm so posamezne rezonančne frekvence razmaknjene za 600MHz. Ker je razmak med posameznimi rezonancami manjši od spektralne širine aktivne plinske zmesi, HeNe laser niha na več (običajno treh) spektralnih črtah hkrati. Širina vsake posamezne spektralne črte je dosti manjša in znaša okoli 1MHz.

3. Napajalnik za HeNe lasersko cev

Za napajanje laserske cevi potrebujemo ustrezen visokonapetostni izvor. Laserska cev dane dolžine potrebuje za vžig napetost okoli 6kV, med normalnim delovanjem pa znaša padec napetosti na cevi okoli 1200V. Idealen izvor za napajanje laserske cevi je tokovni generator, praktično pa uporabljamo napetostni izvor z zaporedno vezanim preduporom.

Običajni napajalniki za HeNe laserske cevi usmerjajo in pomnožijo omrežno napetost 220V na primerno vrednost s pomočjo dolge kaskade diod in kondenzatorjev. Takšen napajalnik je sicer enostaven in zanesljiv, a žal popolnoma neuporaben za naše radioamaterske poskuse, saj na vrhu hriba običajno nimamo na razpolago omrežne napetosti 220V!

Standardni napajalnik za vse prenosne radioamaterske naprave je 12V akumulator. Ustrezen switching napajalnik za lasersko cev je prikazan na Sliki 2. Prednost switching napajalnika je tudi v tem, da je galvansko popolnoma ločen od nevarne omrežne napetosti 220V. S takšnim napajalnikom se lahko mirno igramo, saj je kljub visoki izhodni napetosti tok zadosti majhen, da ni preveč nevaren.

Switching napajalnik vsebuje oscilator na 15kHz, sestavljen iz dveh inverterjev iz CMOS vezja 4049. Preostali štirje inverterji so vezani vzporedno in krmilijo vrata močnostnega MOSFETA BUZ21. Močnostni MOSFETi imajo sicer visoko vhodno upornost, a tudi visoko vhodno kapacitivnost, zato je potrebna vzporedna vezava štirih CMOS inverterjev.

Močnostni MOSFET krmili primarno navitje visokonapetostnega transformatorja. Transformator ima prestavo približno 1:100. Sekundarno navitje krmili usmernik v podvojevalnem vezju z diodama BY187. Takšen napajalnik da v prostem teku izhodno napetost do 8kV, pod obremenitvijo pa izhodna napetost pade na okoli 1600V, kar je ravno prav za napajanje HeNe laserske cevi. Zaporedno z lasersko cevjo še vedno potrebujemo upor 90kohm, da plin v cevi stabilno gori in cev ne začne bliskati.

Gradnjo napajalnika začnemo z izbiro primerne visokonapetostnega transformatorja. V mojem napajalniku sem uporabil vrstični transformator iz televizorja "minirama" brez predelav tako, da sem priključil le del primarnega navitja na odcepu za "booster" diodo v televizorju. Vsak vrstični transformator za male prenosne televizorje bi moral imeti primerna navitja za to vezje, sicer je treba previti le primarno navitje, 10 do 20 ovojev žice 0.8mm CuL.

Kondenzatorje 1nF/10kV in visokonapetostne diode BY187 sem našel v starih kaskadah za barvne televizorje. V eni kaskadi je običajno šest kondenzatorjev in šest diod, od vseh teh pa je le ena dioda običajno prebita in zato

popravljalci televizorjev kaskado zavržejo. Žal so vse novejšje kaskade zalite v trdo plastiko in zato le s težavo pridemo do sestavnih delov v notranjosti. Sam sem uporabil dele iz starejših kaskad, ki so bile zalite z mehko belo gumo. V skrajnem slučaju lahko namesto silicijevih VN diod BY187 uporabimo tudi ustrezne VN selenske palčke.

Pri priključitvi cevi pazimo na polariteto. Laserska cev bi sicer delovala tudi z obratno polariteto oziroma pri napajanju z izmeničnim tokom, vendar bi se zaradi prekomernega segrevanja elektrod življenska doba cevi precej zmanjšala. Nato pomerimo tok skozi cev. Za 25cm dolgo HeNe cev znaša nazivni tok okoli 5mA. Fino nastavitvev toka dosežemo s spreminjanjem frekvence oscilatorja (upora 20kohm in kondenzator 1.5nF).

Med delovanjem cevi opazimo močno svetlo-roza-rdečo svetlobo predvsem v notranjosti tanke notranje cevi. Ta svetloba vsebuje več povsem različnih spektralnih črt in zavisi izključno od plinske zmesi ter jakosti toka skozi cev, v glavnem pa jo sestavljata modra svetloba plina helija in rdeča svetloba plina neona. Ta svetloba je neusmerjena in ima širok frekvenčni spekter ter ni nič boljša od svetlobe navadne tlivke ali neonske reklamne cevi.

Na obeh koncih laserske cevi pa izhaja svetloba povsem drugačne rdeče barve. Laserska svetloba je usmerjena v obliko tankega žarka, ki po premeru ustreza premeru notranje steklene cevi v laserski cevi. Zaradi zelo majhne širine spektralne črte laserske svetlobe opazimo interferenčne pojave (migotanje, zrnatost) na vseh predmetih, ki so obsijani s takšno svetlobo.

Izkoristek HeNe laserja je zelo majhen. Cev dolžine 25cm normalno deluje pri toku 5mA in napetosti 1200V, se pravi troši električno moč 6W, izhodna svetlobna moč v obliki laserske svetlobe pa znaša komaj 2mW. Pri 12V napajanju zato z upoštevanjem izkoristka napajalnika pričakujemo porabo 0.8A do 1A.

Ko preizkušamo napajalnik, izmerimo še prag naše laserske cevi. Ojačenje laserske snovi seveda zavisi od vzbujanja in pri premajhnem vzbujanju laser ne more več nihati kot laser, pač pa oddaja le navadno neusmerjeno svetlobo. Pri HeNe laserju je prag opisan kot najmanjši tok, pri katerem laser še deluje. Za lasersko cev z nazivnim tokom 5mA je pragovni tok običajno 3mA ali manj. Tok skozi cev zmanjšamo tako, da povečamo zaporedni upor na izhodu napajalnika in opazujemo, kdaj laserski žarek izgine. Pragovni tok nam tudi pove, kolikšno življensko dobo lahko še pričakujemo iz naše cevi.

4. Uporaba HeNe laserja

Kljub majhni moči je laserska svetloba nevarna za človeško oko, ker je žarek zelo usmerjen in ga oko fokusira v eno samo točko na mrežnici. Zato nikoli ne glejmo naravnost v laser v smeri žarka in pazimo tudi odbite žarke od raznih zrcalnih površin (šipe ipd)! Varnost uporabe neke naprave sodi vsekakor na prvo mesto...

Naslednja težava je usmerjanje laserskega žarka. Lasersko cev moramo vgraditi na primerno stojalo, na katerem bomo lahko fino nastavljali azimut in elevacijo. No, vse vendarle ni tako komplicirano, kot to izgleda na prvi pogled: tudi presek laserskega žarka se širi v obliki navideznega stožca. Za omenjeno HeNe lasersko cev dolžine 25cm znaša divergenca

žarka 1.2 miliradiana. To pomeni, da se presek žarka razširi z začetnega premera 0.75mm po enem kilometru razdalje na krog s polmerom 1.2 metra!

Razširjanje premera žarka je povsem običajen valovni pojav in zavisi le od valovne dolžine in od začetnega premera žarka. Če želimo manjše razširjanje snopa radijskih valov, potrebujemo večjo anteno z večjim ojačenjem. Podobno velja za laserski žarek: če želimo manjše razširjanje snopa je treba začeti s snopom večjega preseka! V ta namen dodamo pred laser dve leči imenovani kolimator. V bolj skromnih besedah je to navaden daljnogled, uporabljen v obratni smeri.

No, za prve poskuse je povsem primeren kar žarek iz laserja takšen kot je, ker potrebuje manj natančno usmerjanje. Z golo HeNe lasersko cevjo lahko v jasnem vremenu dosežemo domet več desetih kilometrov.

Za prenos informacije in vzpostavljanje zveze je treba seveda žarek modulirati. To lahko storimo na več načinov: z enostavno mehansko zaslonko (ventilator s črnimi lopaticami), z moduliranjem napajalnika laserja ali pa z akusto-optičnim modulatorjem. Tudi akusto-optični modulator lahko preprosto izdelamo doma iz piezo piskača in ustrezne krmilne elektronike.

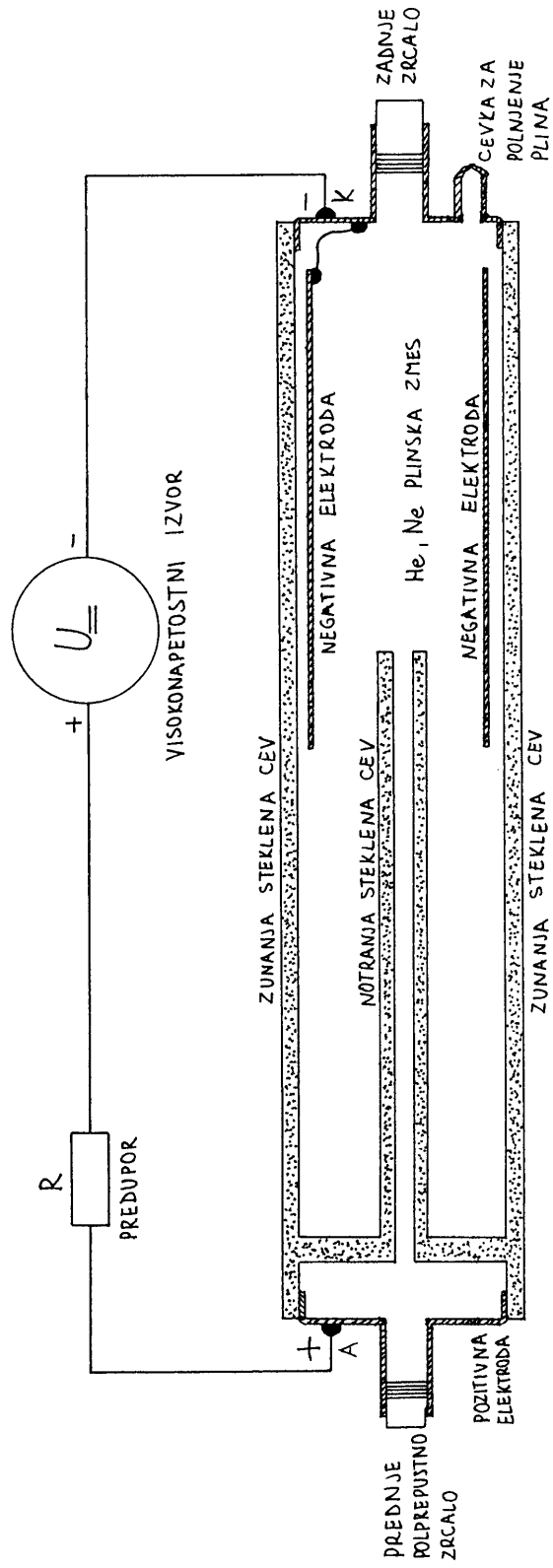
Ker lasersko svetlobo vidimo že s prostim očesom, za enostavno zvezo ne potrebujemo kakšnega posebnega sprejemnika. Za prenos zvočnih in drugih signalov seveda potrebujemo fotopomnoževalko ali polprevodniško fotodiodo in ustrezen ojačevalnik. Fotopomnoževalke imajo večje ojačenje, žal pa za rdečo svetlobo HeNe laserja niso preveč občutljive. Zato Američani uporabljajo za zveze na večje razdalje HeCd laserje, ki oddajajo modro svetlobo, zelo primerno za fotopomnoževalke. Končno lahko razen fotopomnoževalk uporabimo tudi cevi za slikovne ojačevalnike in infrardeče pretvornike, ki jih dobimo na velikih radioamaterskih "bolšjakih" v Pordenonu, Friedrichshafnu itd za smešno ceno med rabljeno vojaško kramo.

Na koncu še razmislek: radioamaterji se ukvarjamo s čedalje dražjimi napravami, cene celotnih radijskih postaj grejo danes v tisoče in desetisoče dem, ki nam navsezadnje dajejo zelo malo možnosti za eksperimentiranje in zabavo, saj je že vse znano, kako kaj gre. Zato v tem članku predlagam drugačno rešitev: za manj kot 100dem se da narediti radijsko postajo, ki dela na zavirljivi frekvenci 474000GHZ in dosega kar uporaben domet več desetih km...

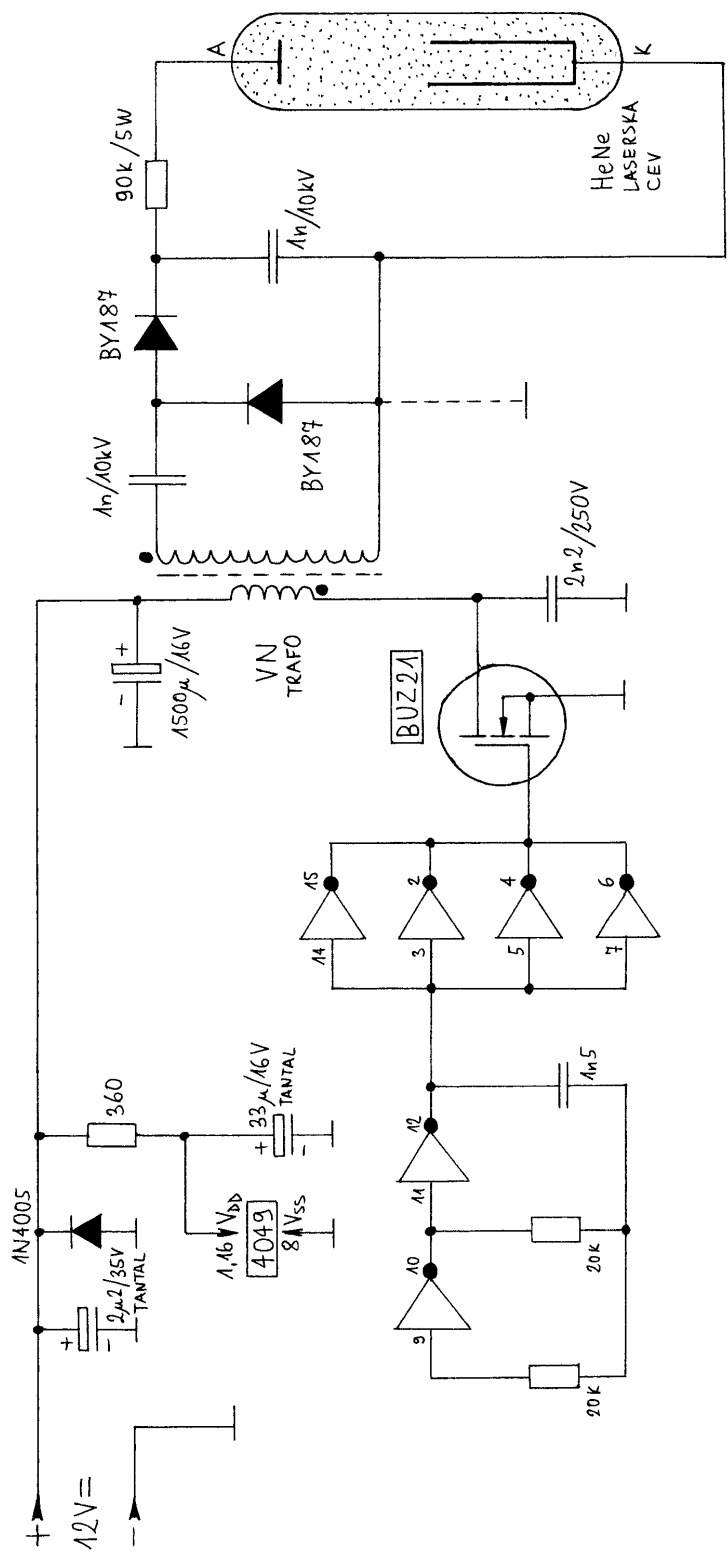
Seznam slik:

Slika 1. - Helij-neonska laserska cev.

Slika 2. - Napajalnik za helij-neonsko lasersko cev.



Slika 1. – Helij – neonska laserska cev.



Slika 2. - Napajalnik za helij- neonsko lasersko cev.