

## TESLIN TRANSFORMATOR

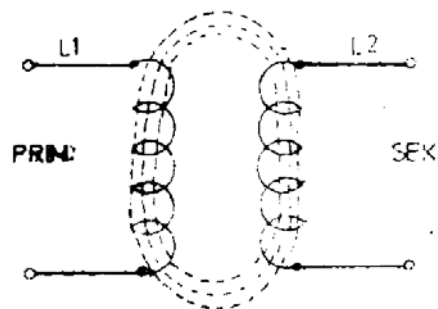
Među svim proizvedenim elektronskim aparatima, teslin transformator i njegovi učinci ostali su do danas najzanimljiviji za mlade konstruktore i eksperimentatore. Naš fizičar Nikola Tesla je još 1891. godine konstruirao posebni transformator, koji je poznat pod imenom "teslin transformator", a struje koje on proizvodi "tesline struje".

Teslinim transformatorom mogu se dobiti struje visoke frekvencije i visoki naponi. Veliki teslini transformatori proizvode napon do 20 MV i iskre dugačke do 14 metara. Teslinim transformatorima mogu se postići vrlo zanimljivi učinci (efekti), o kojima će biti govora kasnije.

Transformator o kojem će biti riječi nije vjerna kopija teslinog transformatora, ali princip rada je isti. Upotrijebljeni elementi su suvremeniji, pristupačniji i jeftiniji od klasičnih. Umjesto iskrišta koje proizvodi oscilacije VF-induktora i lajdenske boce, upotrijebljeni su mrežni ispravljač, elektronska cijev i tehnički kondenzatori.

## FENOMEN ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE

Razjasnimo elektromagnetsku indukciju u našem transformatoru. svima je poznato da se prolazom električne struje kroz svitak pojavljuje magnetsko polje i svitak se, dok kroz njega teče struja, ponaša kao magnet. Ako kroz svitak prolazi izmjenična struja, pojavit će se izmjenični magnetski tok. Postavimo li dva svitka u neposrednu blizinu (jedan u drugi) i kroz jedan pustimo izmjeničnu struju, električna energija prenijet će se magnetskom indukcijom na drugi svitak. U drugom svitku pojavit će se elektromotorna sila, odnosno napon (sl. 1).



Sl.1 Izmjenični magnetski tok što stvara struja u primarnom svitku inducira stanovitu EMS u svakom zavoju drugog svitka

Inducirani napon ovisit će o odnosu broja zavoja jednog i drugog svitka i o veličini napona. Takva dva svitka čine transformator s primarnom i sekundarnom zavojnicom. Poznata jednadžba transformatora glasi:

$$U_1 / U_2 = n_1 / n_2$$

$$U_2 = U_1 \cdot n_2 / n_1$$

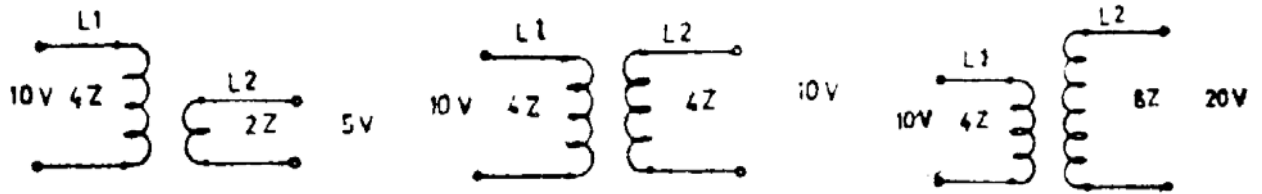
$U_1$  - napon primara

$U_2$  - napon sekundara

$n_1$  - broj zavoja primara

$n_2$  - broj zavoja sekundara

Još jasnije te odnose prikazuje slika 2.

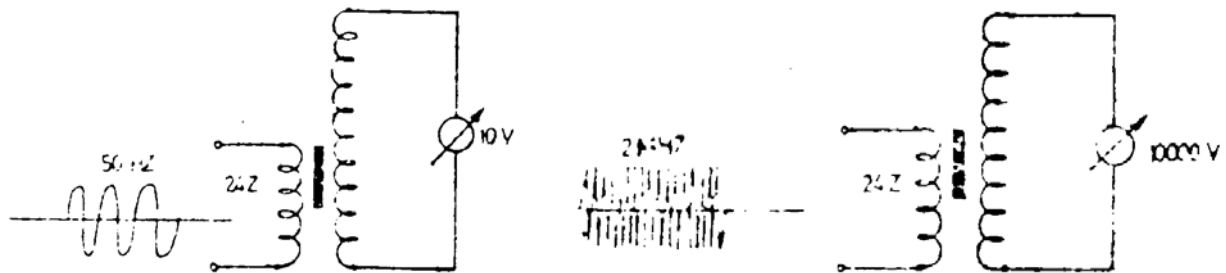


Sl.2 Ovisnost inducirano napona na sekundaru o broju zavoja sekundara i uz isti broj zavoja i isti napon na primaru

Ova formula, bez ikakvih ispravki vrijedila bi samo ako nema gubitka energije, odnosno da se sav magnetski tok s primarnog svitka prenese na sekundarni svitak, što znači u idealnim okolnostima. U praksi Inducirani napon ovisi i o drugim faktorima.

Kad bi se sagradio transformator (neopterećen na sekundaru) npr. sa 24 zavoja na primaru i 2400 zavoja na sekundaru i kad bismo ga stavili pod napon od 10 V na primaru, na sekundaru ne bismo izmjerili napon od 10000 V, što proizlazi iz formule, već bismo dobili napon od 10 do 50 V ili neku drugu vrijednost. Tada bi kroz primarni svitak s niskom impedancijom potekla visoka struja magnetiziranja i uzrokovala tehničke probleme. Namotavanjem zavojnice na željeznu jezgru spomenuti problem se donekle uklanja, ali javljaju se drugi, vezani za željeznu jezgru.

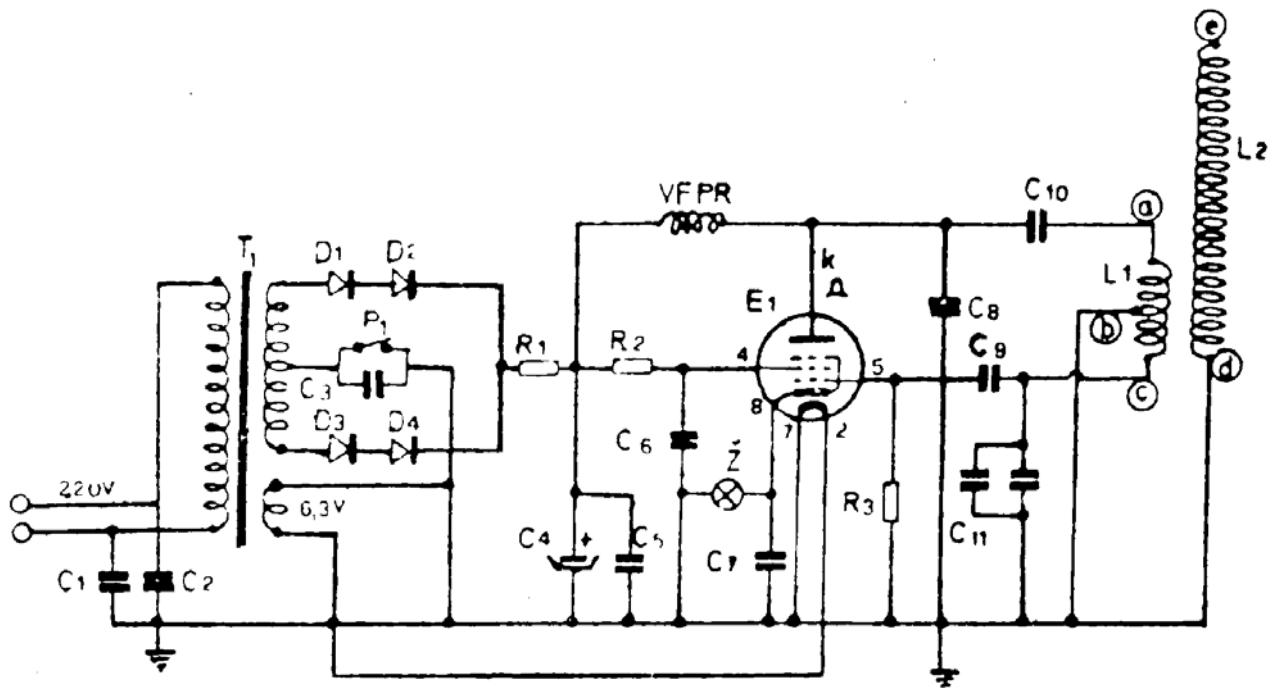
Međutim, visoki naponi spomenutim transformatorom mogu se dobiti ako ga priključimo na napon visoke frekvencije, npr. reda veličine MHz. S takvim naponom moguće je ograničiti struju magnetiziranja u primaru i smanjiti gubitke magnetskog toka. Pod takvim uvjetima, uz male korekcije, moguće je primijeniti naprijed navedenu formulu (pogledaj sl. 3).



Sl. 3 Utjecaj frekvencije na inducirani napon

## OBJAŠNJENJE ELEKTRIČNE SCHEME TESLINOG TRANSFORMATORA

Sl. 4 prikazuje električnu shemu transformatora. Ona nije tako zamršena kako se čini na prvi pogled.

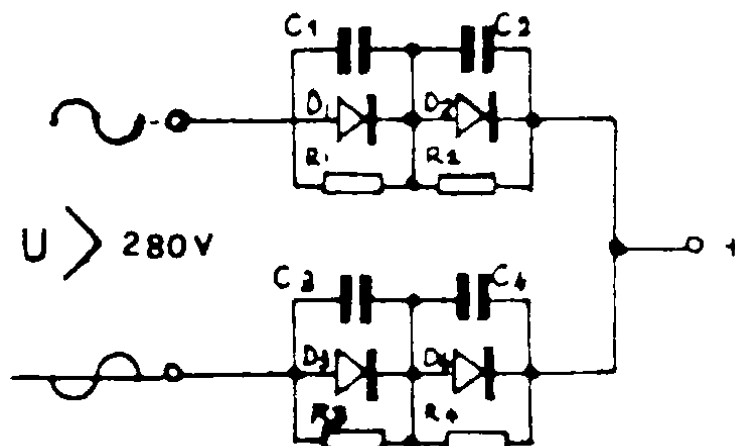


Sl. 4 Električna shema teslinog transformatora

Da bismo bolje razumjeli princip rada tog uređaja, razdvojit ćemo cijelu shemu na tri osnovna sklopa (sekcije) i to: mrežni ispravljač, visokofrekventni oscilator i visokonaponski transformator.

### Mrežni ispravljač

Ispravljačem dobivamo potreban istosmjerni napon za pogon elektronske cijevi; napon od 6,3 V za žarenje elektronke. Mrežni transformator može se lako nabaviti u svakoj prodavaonici radio-materijala ili pak upotrijebiti iz nekog cijevnog prijarnika. Snaga transformatora mora biti 80 do 100 W. Naponi sekundara moraju iznositi 6,3 V, a visoki napon 2 x 250 V do 2 x 400 V. Ako su naponi veći, onda će i učinci transformatora biti izrazitiji. Naponi više od 280 V mogu izazvati neugodnosti u pogledu izolacije ispravljača i probiti ispravljačke diode. Upotrebom viših napona od 280 V potrebno je ispravljački dio spojiti prema sl. 5. Takvim spajanjem zaštićene su diode od proboja.



Sl. 5 Spoj za napone transformatora veće od 280 V.  
C1, C2, C3, C4 = 2200 pF / 1500 V

$$R1, R2, R3, R4 = 3300 \Omega / \frac{1}{2} W$$

### **Visokonaponski transformator**

VNT čine zavojnice L1 i L2. Zavojnica L1 motana je sa 2 x 24 zavoja i srednjim izvodom, a L2 sa približno 2400 zavoja (svakako više od 2000 zavoja). Napon iz VF-oscilatora inducirat će približno 100 puta veći napon u zavojnicu L2 i iznositi će oko 20000 V.

Na primaru transformatora nije predviđen prekidač, što znači da će transformator biti stalno uključen i elektronka u svakom momentu biti užarena, dok će se anodni napon na elektronki pojaviti samo kada je uključen prekidač P1. U takvom stanju oscilator će proraditi i pojaviti će se visoki napon na zavojnici L2.

Diode: D1, D2, D3, D4 spojene su sistemom dvostrukog poluvalnog ispravljanja.

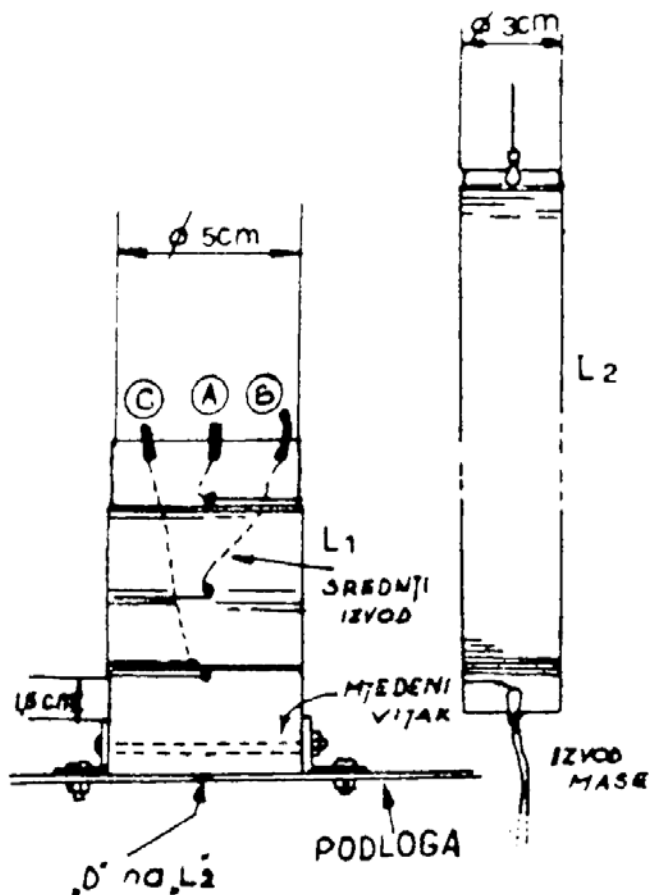
### **Oscilator**

Elektronska cijev 6BQ6 je pentoda s anodom izvedenom na kapici. ali može se upotrijebiti i slična, EL 34 ili EL 36.

Elektronka upravlja s oscilacijama u spoju oscilatora. Oscilator je podešen na frekvenciju od 1,8 do 2 MHz. Frekvencija oscilatora nije tako kritična, ona može varirati  $\pm 10$  do 20 % kHz. Oscilator je tipa Hartley i za dobivanje pozitivne reakcije, koja je neminovna, ima zavojnicu L1. Polarizacija katode, umjesto da bude postignuta katodnim otpornikom vezanim za masu, dobiva se žaruljicom (ž). Kod žaruljica zasvijetli, ona upozorava da oscilator visoke frekvencije radi. Žaruljica se ugasi ako je prekidačem P1 prekinut anodni napon elektronke.

## **IZRADA VISOKONAPONSKOG TRANSFORMATORA**

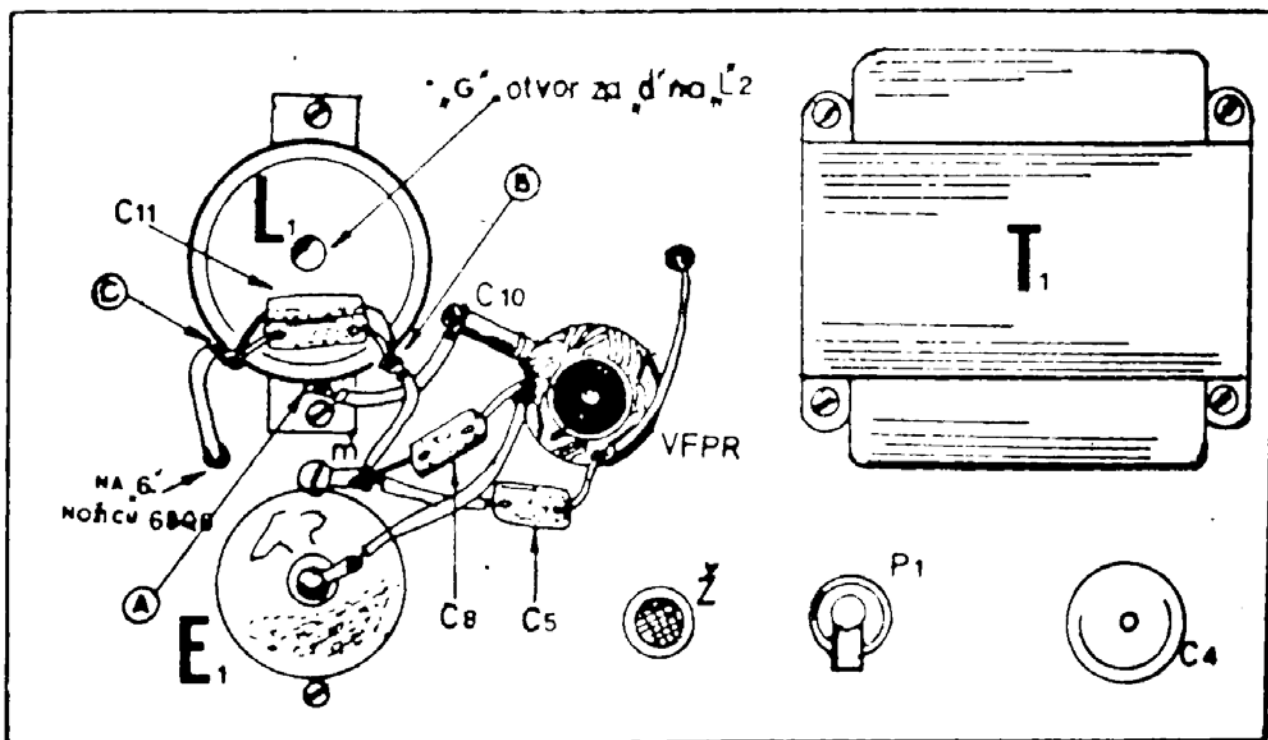
Nema sumnje da izrada VNT (L1 i L2) iziskuje najviše truda i preciznosti. Potrebno je nabaviti dvije cijevi od izoliranog materijala (juvidura, pertinaksa ili bakelita) za tijela zavojnice L1 i L2. Tijelo zavojnice može se napraviti tako da na valjak određenog promjera namotamo nekoliko slojeva prešpan-papira debljine 0,3 do 0,5 milimetara. Kao što se vidi iz sl. 6. tijelo zavojnice L1 ima promjer 5 cm, a L2 je promjera 3 cm. Prvo je dugo 12 cm a drugo 30 centimetara. Promjeri tijela mogu malo i odstupati, i to neće utjecati na rad transformatora. Na tijelo zavojnice L1 mota se lakom izolirana bakrena žica promjera 1 mm sa srednjim izvodom točno na 24. zavoju. Zavojnica L2 motana je bakrenom žicom izoliranom lakom promjera 0,20 do 0,22 milimetara. L2 ima oko 2500 zavoja namotanih jedan uz drugoga, bez zračnog međuprostora; 2500 zavoja odgovara dužini 40-50 m žice. Brojenje zavoja bit će olakšano ako izračunate koliko ih stane u 1 cm visine. Počeci i završeci zavojnice moraju biti pričvršćeni na metalne jezičke (stopice). Jedan se spaja na masu, a drugi na bakreni šiljak (sl. 6).



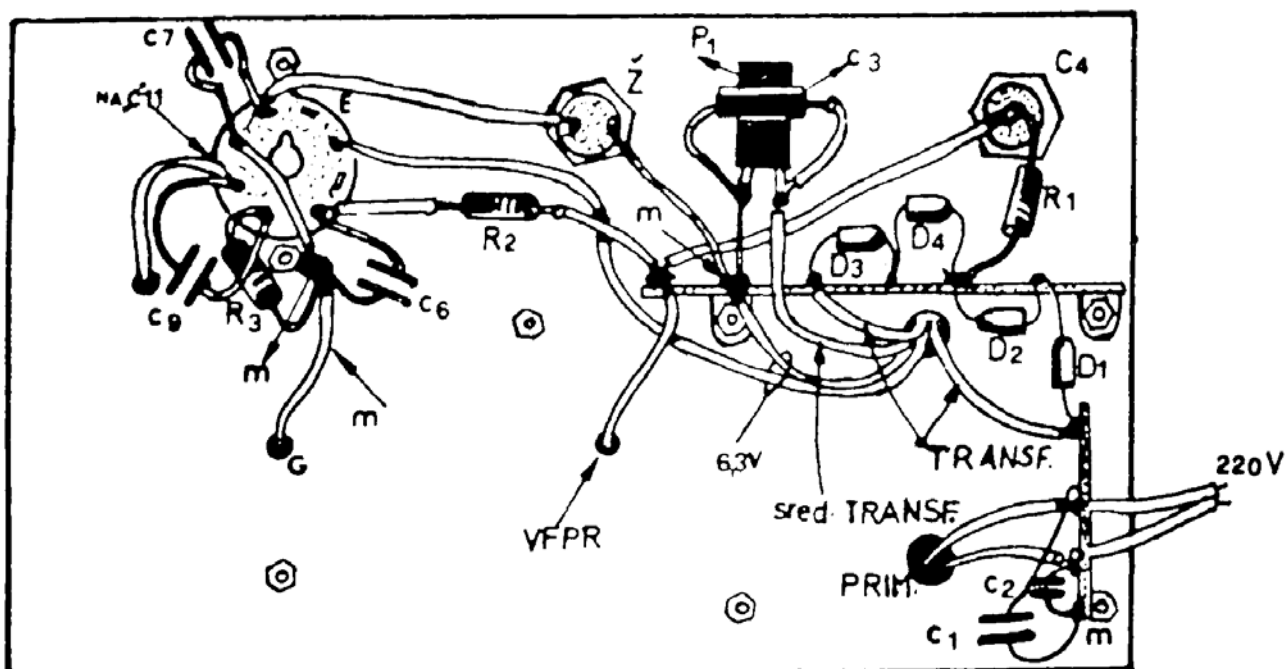
Sl. 6 Zavojnice visokonaponskog transformatora

## JOŠ NEKOLIKO SAVJETA KONSTRUKTORU TESLINOG TRANSFORMATORA

Potrebno je posebno paziti na izolaciju i zaštitu dijelova koji se nalaze pod visokim naponom na mrežnom transformatoru i na elektronskoj cijevi. Visoki napon visoke frekvencije na zavojnici L2 nije opasan po život, jer tesline struje ne mogu izazvati elektrolitska razlaganja stanica u organizmu, zbog brzog mijenjanja svog smjera. One se rasprostiru samo po površini tijela (skin-efekt). Dokazano je da tesline struje imaju pozitivno fiziološko djelovanje. Kada dodirujemo rukom takve struje, odnosno napone imamo osjećaj "peckanja" topline što nije ugodno, ali čim imamo neki metalni predmet u ruci to ne osjećamo. Na montažnim shemama (sl. 8 i 9) vidljivo je kako su montirani i raspoređeni svi elementi.



Sl. 7 Montažna shema teslinog transformatora (pogled odozdo)

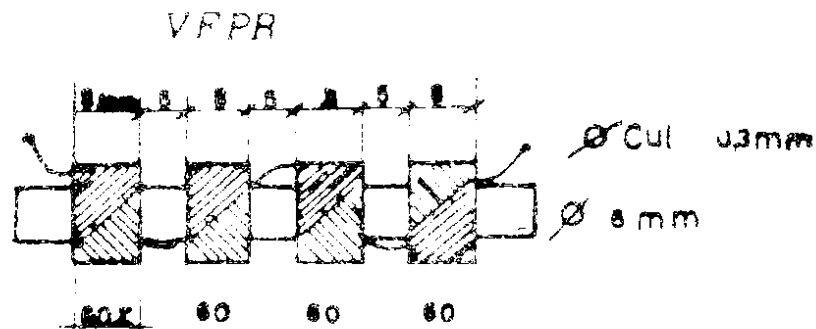


Sl. 8 Montažna shema teslinog transformatora (pogled odozdo)

Zavojnica L2 pričvršćena je u centar zavojnice L1. Postolje (šasisja) može se napraviti od aluminija 2 mm ili nekog izolacijskog materijala. Tada treba izvesti zajedničku masu s debljom bakrenom žicom na koju će biti spojene sve mase. Prije nego što se pričvrste zavojnice L1 i L2 preporučuje se obje zavojnice staviti u pećnicu ili na radiator (temperatura 30-40°C) 3 do 5 sati. Ovim postupkom odstranjuje se eventualna vlaga u tijelu zavojnice. Svakako nakon sušenja zavojnice premažite lakom ili parafinom. Zbog visokih frekvencija i napona upotrijebljeni kondenzatori moraju biti kvalitetni i za određene napone. Kondenzatori: C5, C8, C9, C10, C11 moraju biti od tinjca ili keramički za

napone do 3000 V, ali nikako za napone manje od 1500 V. Ukoliko ne možemo nabaviti kondenzatore za tako visoke napone onda je potrebno eksperimentirati sa serijskim povezivanjem većih vrijednosti kapaciteta i manjim naponima (u serijskom spoju kapaciteta naponi se raspodijele).

Kondenzator C11 je najkritičniji element u cijelom spoju. Preko njega se prenosi energija i javljaju se dosta veliki gubici. Zbog toga se on grije. Da bi se ta pojava ublažila, spojena su dva kondenzatora od 150 pF paralelno. Najbolje rješenje bi bilo kada bi se on zamijenio zračnim promjenljivim kondenzatorom od 300 pF za napon od 3000 volti. S takvim kondenzatorom i njegovim podešavanjem postigli bi se maksimalni rezultati.



Sl. 9 Podaci za motanje VFPR

POPIS ELEMENATA	
KONDENZATORI	OTPORNICI
C1, C2 – 2200 pF / 1500 V (keramički)	R1 – 100 Ω / 3 W
C3 – 5000 pF / 3000 V (papirnati)	R2 – 4,7 kΩ / 3 W
C4 – 8 μF / 800 V (elektrolitski)	R3 – 150 kΩ / 1W
C5 – 150 pF / 400 V (tinjac)	
C6 – 4700 pF / 350 V (papirnati)	OSTALO
C7 – 2200 pF (keramički)	T1 – Mrežni transformator (80 do 100 W)
C8 – 150 pF (tinjac)	E1 – 6BQ6
C9 – 300 pF (tinjac)	Ž – 6,3 V / 300 mA
C10 – 500 pF (tinjac ili keramički visokonaponski)	D1, D2, D3, D4 – Bv 127
C11 – 150 + 150 pF (tinjac)	VFPR – preko 200 mA