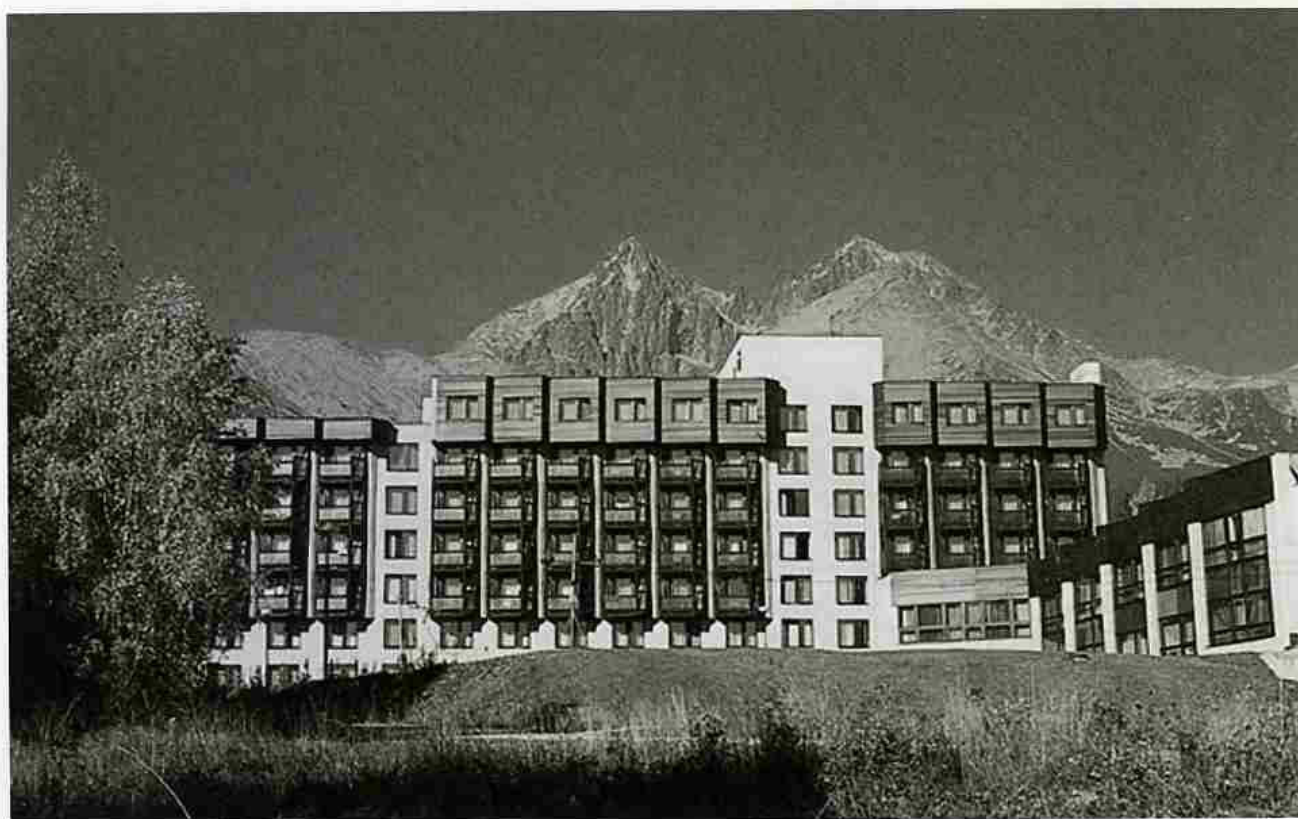


**33. stretnutie rádioamatérov vo Vysokých Tatrách  
TATRY 2007**

***Zborník prednášok***



***Tatranské Matliare 16.-18.11.2007***

## **KRÁTKOVLNNE KONCOVÉ STUPNE BEZ TRANSFORMÁTORA**

*Podľa článkov z internetu a podkladov OM3CV napísal Tono Mráz, OM3LU*

Veľakrát sa ocitneme v situácii, keď potrebujeme malý, ľahký a výkonný koncový stupeň (PA). Napríklad, keď ideme na DX expedíciu do vzácnej zeme DXCC, na expedíciu na vzácne ostrovy z programu IOTA alebo na KV preteky, napr. na krátkovlnný poľný deň.

Obmedzujúcim prvkom koncového stupňa, čo sa týka hmotnosti, býva sieťový transformátor. Pri 500 W vF výkone, musí byť anódový transformátor navrhnutý na 800 až 1000 W, hoci keď počítame so stredným výkonom, tak pre SSB a CW stačí aj 600 W transformátor. Pre 24/48-hodinové preteky musíme počítať s transformátorom 800 W, aby nedochádzalo k jeho prehriatiu. Keby sme dokázali anódový transformátor nahradiť ľahšími súčiastkami, bol by PA podstatne ľahší a menší. Riešením je beztransformátorový zdroj, teda napájanie PA priamo zo siete 230 V.

Amatérske konštrukcie takýchto PA sa vyskytujú medzi rádioamatérmi minimálne 30 rokov a ich nebezpečenstvo je dané týmito predsudkami:

- nebezpečenstvo úrazu zariadení priamo napájaných zo siete vyplýva z priameho prepojenia PA a vodičov sieťového prívodu
- niektoré konštrukcie beztransformátorových PA boli naozaj nebezpečné
- kostra PA je priamo prepojená s ochranným PE a neutrálnym vodičom N

Nástupnom spínaných zdrojov, kde jeho celá primárna časť je napájaná priamo zo siete, padli viaceré predsudky a ukázala sa cesta ako riešiť sieťovú časť beztransformátorového PA.

Skúsime si rozobrať možné nebezpečenstvá úrazu elektrickým prúdom v takomto PA. Začneme predpismi o bezpečnosti elektrických zariadení. Každé zariadenie musí zabezpečiť:

- ochranu pred zásahom elektrickým prúdom
- ochranu pred tepelnými účinkami
- ochranu pred nadprúdom
- ochranu pred povrchovými prúdmi
- ochranu pred prepätím

### **Terminológia:**

- **elektrické zariadenie EZ** – je akékoľvek elektrické zariadenie, pre nás je to PA
- **živá časť** – vodič alebo vodivá časť, ktorá je pri bežnej prevádzke pod napätím
- **neživá časť** – vodivá časť EZ, ktorej sa môžeme dotýkať, ktorá nie je živá, ale môže sa stať živou pri zlyhaní izolácie
- **dotykové napätie** – napätie vyskytujúce sa pri poruche izolácie medzi časťami súčasne prístupnými dotyku
- **fázový vodič** – je označený L
- **neutrálny vodič (pracovný)** – je označený N
- **ochranný vodič** – je označený PE
- **vodič PEN** – je súčasne ochranný a neutrálny vodič
- **sieť TN-C** – je dvojvodičová sústava L a PEN, kde je zlúčený neutrálny a ochranný vodič (bytový rozvod)

V bytových rozvodoch máme sieťový rozvod typu TN-C, čo znamená, že v sieti je zlúčený neutrálny (N) a ochranný vodič (PE) do jedného. Aby fungovala ochrana pred

nebezpečným napätím neživých častí PA, musí byť kovová kostra PA spojená s ochranným vodičom (PE) a fázový (L) a neutrálny (N) vodič nesmú byť spojené s kovovou kostrou PA. Keby bol s kostrou spojený fázový vodič (L), bol by to priamy skrat a prerušila by sa poisťka. Na kostre by sa neobjavilo nebezpečné napätie, ale PA by nefungoval. Keby bol s kostrou spojený neutrálny vodič (N), tak by sa nič nestalo, sieťový zdroj by fungoval, ale pri náhodnej zámene fázového (L) a neutrálneho (N) vodiča v zásuvke, napríklad použitím chybnnej „rozdvojky“, by sme dostali nebezpečné napätie 230 V na kostru.

Ďalší problém je prenikanie vŕ napätia do siete 230 V. Na zabránenie prenikania musí byť v sieťovom zdroji PA zaradený sieťový filter. Prídavné zemnenie PA je často veľmi účinná ochrana pred prenikaním vŕ do siete 230 V, ale hlavne v činžiakoch je akékoľvek prepájanie ochranného vodiča (u nás PE+N) s externým uzemnením nebezpečné. Preto sa odporúča pripájať externé uzemnenie cez bezpečnostný kondenzátor 10nF/250 V striedavých. Vtedy je kostra uzemnená pre vŕ, ale cez uzemnenie nepreteká vyrovnávací prúd 50 Hz. Dobré je, keď namotáme sieťový prívodný kábel na toroidné feritové jadro, napríklad na feritové jadro zo starého VN transformátora. Získame tým prídavné potlačenie prenikania vŕ signálu do siete 230 V. Ale to platí na všetky transceivry i PA.

Posledný problém je dotykové napätie, ktoré sa objaví na neživej časti (na kostre), keď je v prívide prerušený ochranný vodič (PE). Toto napätie vznikne prietokom prúdu cez kondenzátor 4n7 sieťového filtra a cez náhradný odpor 30 kohm zapojený medzi kostru a zem. Pri použití kondenzátora 4700 pF je prúd medzi kostrou a zemou 0,325 mA a napätie 9,7 V, čo vyhovuje norme, lebo to je bezpečné napätie a bezpečný prúd. Inak zapojené kondenzátory filtra, alebo ich väčšie hodnoty, môžu dať väčšie dotykové napätie v prípade poruchy.

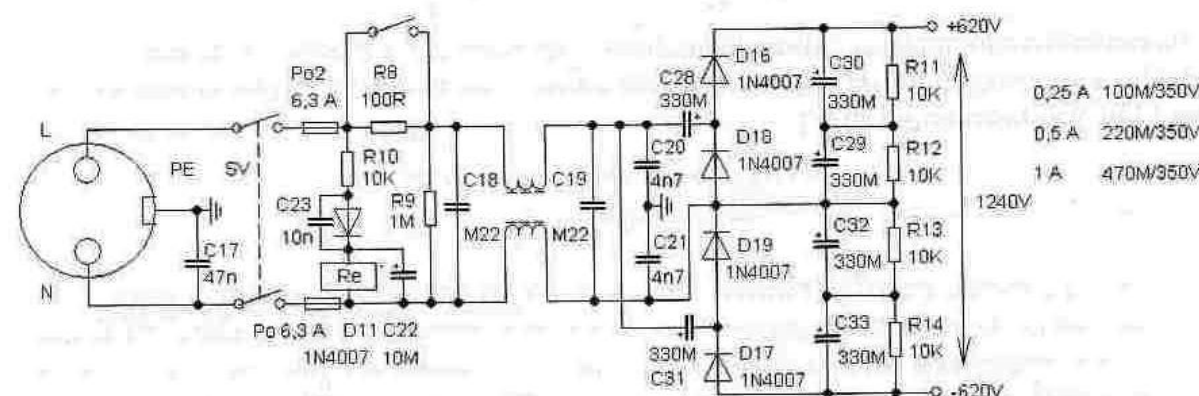
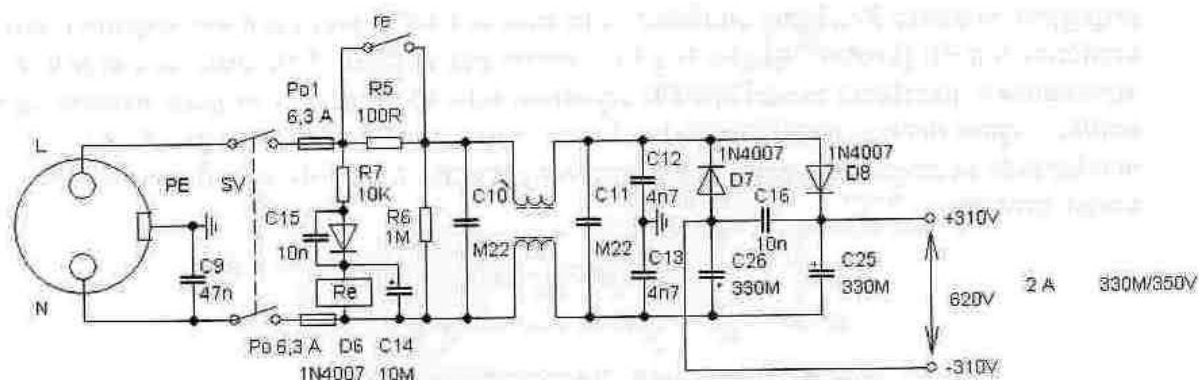
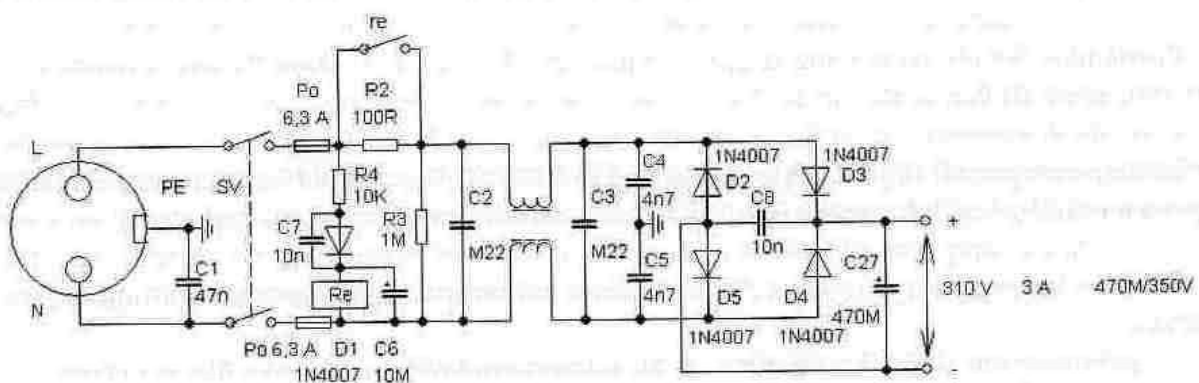
Na obrázku na nasledujúcej strane sú tri sieťové anódové zdroje bez transformátora. Rozdielny je typ usmerňovača a výstupné napätie. Na obmedzenie prúdového nárazu pri zapínaní zdroja je na vstupe relé Re, ktoré zopne po jednej sekunde a skratuje obmedzovací odpor R5.

Prvý zdroj má ako usmerňovač použitý mostíkový usmerňovač (gretz) a medzi výstupnými svorkami má 300 V. Podľa výstupného výkonu, pri ktorom je pokles výstupného napätia pod 10 %, zvolíme typ diód a kapacitu elektrolytického kondenzátora. Výstupná svorka má proti zemi striedavé napätie!!

Druhý zdroj má ako usmerňovač použité dva jednocestné usmerňovače, jeden na kladnú polaritu a druhý na zápornú. Napätie medzi výstupnými svorkami je 620 V a napätie svoriek proti zemi je 310 V (na jednej plus a na druhej mínus). Zdroj je vhodný pre PA s PL509, PL519, 6P45S a pod.

Tretí zdroj má ako usmerňovač použité dva zdvojovače, jeden na kladnú polaritu a druhý na zápornú. Napätie medzi výstupnými svorkami je 1240 V a napätie svoriek proti zemi je 620 V (na jednej plus a na druhej mínus). Zdroj je vhodný pre PA so 4xGU50 (500 W out), 2xGI7B (400 W) a pod.

Sieťové zdroje bez transformátora 300, 600 a 1200 V.



Usmerňovacie diódy sú typu 1N5408 (3 A, 1000 V), BY228 (3 A, 1500 V), BY255 (3 A, 1300 V) alebo lepšie BY550-1000 (5 A, 1000 V). Elektrolytické kondenzátory použijeme typy pre televízne zdroje s hodnotou 220uF/350V.

Kondenzátory C17, C18, C19, C20, C21 sú keramické na 250 V striedavých, ktoré sa používajú v spínaných zdrojoch PC. Odrušovacia tlmivka je tiež z PC zdroja, alebo má 2x20 závitov sieťovej dvojlinky 2x1,5mm<sup>2</sup> na toroide z PC zdroja.

Na obmedzenie prúdového nárazu pri zapínaní PA je použitý automatický obvod s relé Re. Pri použití RP100 na 24 V sú hodnoty R10 = 3k9/20W a C22 = 100uF/35V. Respektíve, veľkosťou odporu R10 nastavíme na relé napätie asi 24 V a veľkosťou kapacity C22 nastavíme dobu príťahu relé asi 1 sekundu. Vilo OM3CV použil vo svojom PA časový obvod s tranzistormi a nastavil čas zopnutia 120 sekúnd. Ale keď je nabíjací odpor 200 ohmov a filtračný kondenzátor 5000 uF, tak kondenzátor je nabitý asi za 5 sekúnd, takže postačí

spínací čas 10 sekúnd. Pri rádovo menšom filtračnom kondenzátore, bude nabitie trvať asi sekundu.

Poznámka: Na obrázkoch nie sú správne hodnoty R10 a C22. Odpor R8 má hodnotu 100-180 ohmov na 10 W.

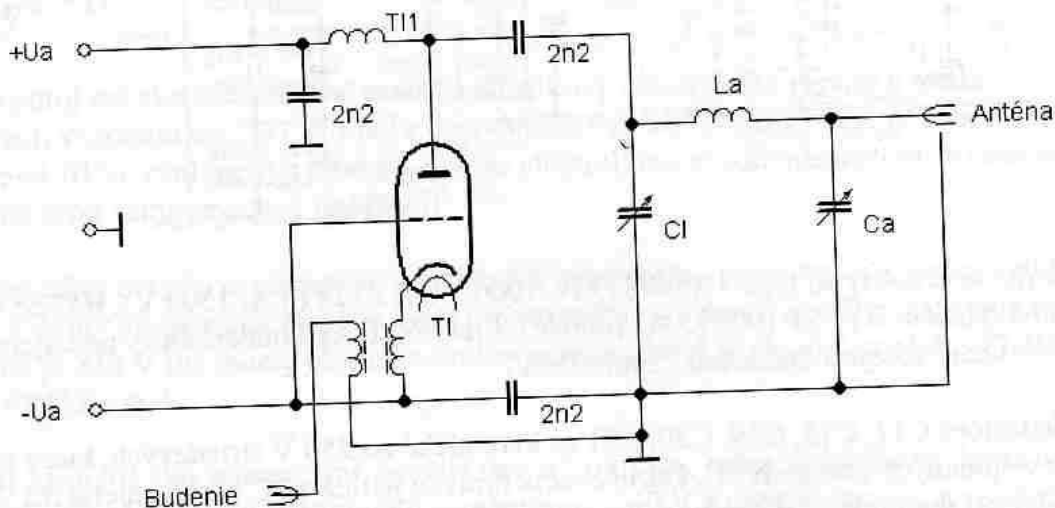
Paralelné odpory R11, R12, R13 a R14 sú 22k/10W (6 W) a slúžia na správne rozdelenie napätia na všetky kondenzátory a aj na vybitie kondenzátorov po vypnutí zariadenia.

Problém bezpečnosti pripojenia PA na sieť vyriešime správnym postupom pripojenia na zásuvku:

- jednoduchou skúšačkou zistíme, či na ochrannom kolíku v zásuvke nie je sieťové napätie 230 V.
- pripojíme vypnutý PA, ktorý indikuje (dútnavkou, LED a pod.) sieťové napätie medzi vodičom N a PE (kostra). Medzi N a PE nesmie byť napätie. Toto zistenie môže byť automatické, napríklad medzi N a PE zapojíme relé, ktoré nám, v prípade napätia na N vodiči, vypne sieťové napájanie (odpojí oba vodiče pred sieťovým vypínačom).
- neodporúča sa prepínač zmeny N a L vodičov, pretože naň vždy zabudneme a môžu nastať problémy.

### PRINCIPIÁLNE ZAPOJENIE PA

Na nasledovnom obrázku vidíme jednoduché zapojenie PA s triódou. Napájanie je z jedného z popísaných beztransformátorových zdrojov napätím 620 V (plus/mínus 310 V), alebo 1240 V (plus/mínus 620 V).



Principiálne zapojenie je s triódou, hoci ľahko môžeme použiť tetródu, alebo pentódu s prepojenými všetkými mriežkami. Na G2 môžeme priviesť príslušné napätie proti katóde. Budenie je privádzané cez širokopásmový transformátor do katódy elektrónky a pomerom závitov sa dá nastaviť vstupná impedancia blízka 50 ohmom. Výhodou tohto transformátora je malá oddeľovacia kapacita medzi  $-U_a$  a kostrou. Vysokofrekvenčné napätie sa z elektrónky privádza na pí-článok cez kondenzátory C1 a C2. Ich reaktancia by mala byť asi 1/10 zaťažovacej impedancie elektrónky, z čoho vychádza kapacita 2000 pF. Pretože sú to

Pri napájaní 1100 V tečie cez elektrónky prúd asi 1 A. Pri 600 V by tiekli 2 A a pri 300 V by museli tiecť 4 A.

Na porovnanie, pokiaľ si pamätáte, v starej FTdx560 boli použité 2x6KD6 a pri 800 V bol maximálny príkon PA 500 W.

Sú to podobné elektrónky ako PL509 a podobný PA, takže PA so štyrmi elektrónkami dá 500 W out. Pri šiestich môžeme očakávať 700-800 W.

Výstupná impedancia elektróniek bude približne:

Pri 1100 V/1 A bude  $R_a = V_a / (1.87 \times I_a) = 588$  ohm ... jedna elektrónka má asi 2350 ohmov  
 Pri 630 V/2 A bude  $R_a = V_a / (1.87 \times I_a) = 168$  ohm ... jedna elektrónka má asi 672 ohmov  
 A pri 310 V/4 A bude  $R_a = V_a / (1.87 \times I_a) = 42$  ohm ... jedna elektrónka má asi 168 ohmov

Realizovateľný je PA s napätím 1100 V, teda s výstupnou impedanciou okolo 600 ohmov, napr. konštrukcie od PA0FRI, či od SM0VPO. S ostatnými dvoma napájacími napätiami treba čarovať, aby bol PA realizovateľný.

Vilo OM3CV (ex OM3CEN) rozdelil elektrónky na dve polovice (2+2 alebo 3+3) a zapojil ich do push-pullu. Polovica elektróniek mala výstupnú impedanciu 84 ohmov a medzi anódami bola impedancia 168 ohmov. Pri menšom prúde (okolo 3 A) bude impedancia asi 200 ohmov a pomocou transformátora 4:1 dosiahol širokopásmový PA s výstupnou impedanciou 50 ohmov.

Pri použití šiestich PL519 v push-pulle, anódového napätia 600 V a pri špičkovom prúde 6 A by sme mohli dosiahnuť výkon okolo 800 W. Impedancia medzi anódami by sa opäť blížila k 200 ohmom. Výstupný transformátor by musel byť dimenzovaný na príslušný výkon. A máme malý, ľahký, výkonný a širokopásmový PA. Za takýto PA dáme len dolnopriepustné filtre a transmatch.

Vilo OM3CV nakoniec urobil širokopásmový PA so šiestimi elektrónkami PL519. Napájanie elektróniek je len 300 V. Tu je Vilov popis:

### KRÁTKOVLNŇNÝ PA S ELEKTRÓNKAMI 6XPL509

Po mnohých rokoch odmlčania som sa znovu ponoril do rádioamatérizmu, ktorý je taký úžasný, že to ani neviem opísať.

Aj v minulosti som inklinoval k technike, a tak som pri technike zostal, hoci za tú dobu nečinnosti vznikli mnohé nové veci, ktoré s úžasom sledujem. Zdá sa mi, že technická tvorivosť amatérov u nás je na ústupe. Nie je to škoda? Pre mňa je práve kúzlom niečo zaujímavé vytvoriť.

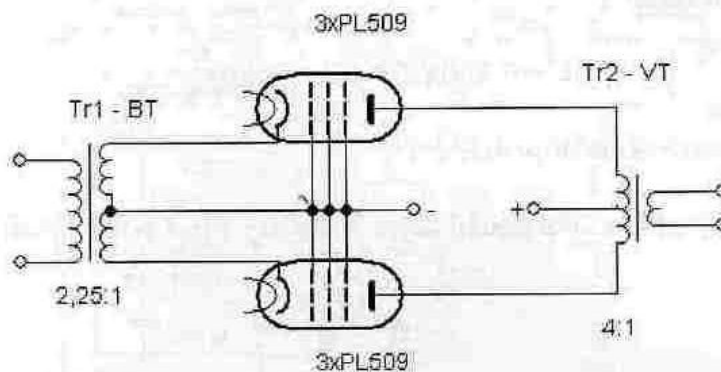
Popíšem môj KV PA, ktorý mám hotový už istý čas, avšak nikdy nič nie je úplne hotové. Je to výkonový zosilňovač na všetky KV pásma s výkonom okolo 500 W, s dobrou linearitou a potlačením harmonických frekvencií. Je ľahký, finančne nenáročný a bezpečný.

Je osadený elektrónkami 6xPL509, v zapojení PUSH-PULL, s uzemnenými mriežkami a s budením do katódy. Napájacie napätie som zvolil 300 V, aby som dosiahol výstupnú impedanciu medzi anódami 200 ohmov.

Moje požiadavky boli:

- budiaci výkon < 100 W
- výstupný výkon > 400 W
- napájacie napätie 310 V, priamo zo siete, bez sieťového traťa

Nevýhodou PA sú elektrónky PL509, či PL519, ktoré boli v TV prijímačoch, ale v dnešnej dobe sa už ťažšie zháňajú.

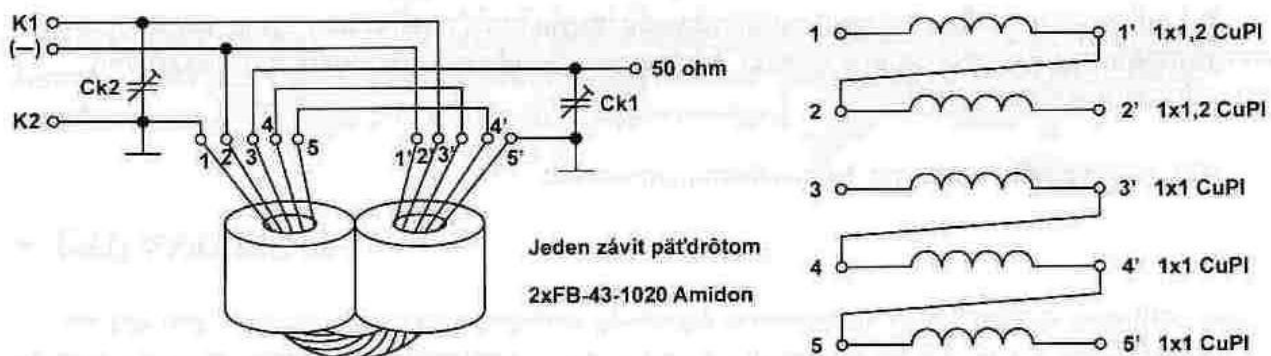


Obr. 1 – Blokové zapojenie PA

### • Návrh budiaceho traťa

$R_{vst}$ jednej vetvy	$R_{vst} = 1/3.S = 1.10^3/3.27 = 12$ ohmov
Vstupný odpor	$R_{kk} = 2.12 = 24$ ohmov
Pomer impedancií vstupu	$p = 50/24 = 2$
Indukčnosť budiaceho traťa	$L = 4.50/6,28.1.5 = 21$ uH

Požiadavku prenosu budiaceho výkonu v pásme 1,5 – 29,7 MHz spĺňa traťo zhotovené z dvoch trubic FB-43-1020 podľa obrázku.



Obr. 2 – Budiaci transformátor

Vinutie má 1 závit stočenými dvoma vodičmi s priemerom 1,2 mm CuPl a tromi vodičmi 1,0 CuPl (izolovaný hodvábo).

### • Návrh výstupného traťa

$$Z_{a-a} = 2(U_a - U_{sat})^2 / P_{out} = 2.(300-50)^2 / 600 = 208 \text{ ohmov}$$

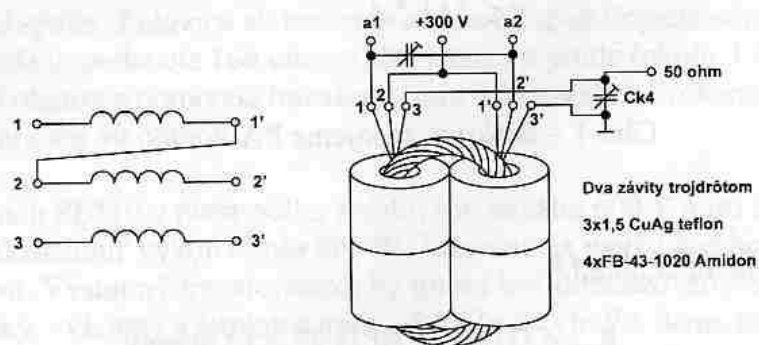
Keď počítame výkon PA 600 W, tak jeho príkon je 1000 W a odoberaný prúd je 3,3 A.

Indukčnosť výstupného traťa:

$$L = 4.200 / 6,28.1,5 = 85 \text{ uH}$$

Pomer impedancií primár/sekundár je 4:1.

Vzhľadom na prenášaný výkon som použil jadro 2x2 kusy FB-43-1020 podľa obrázku 3.



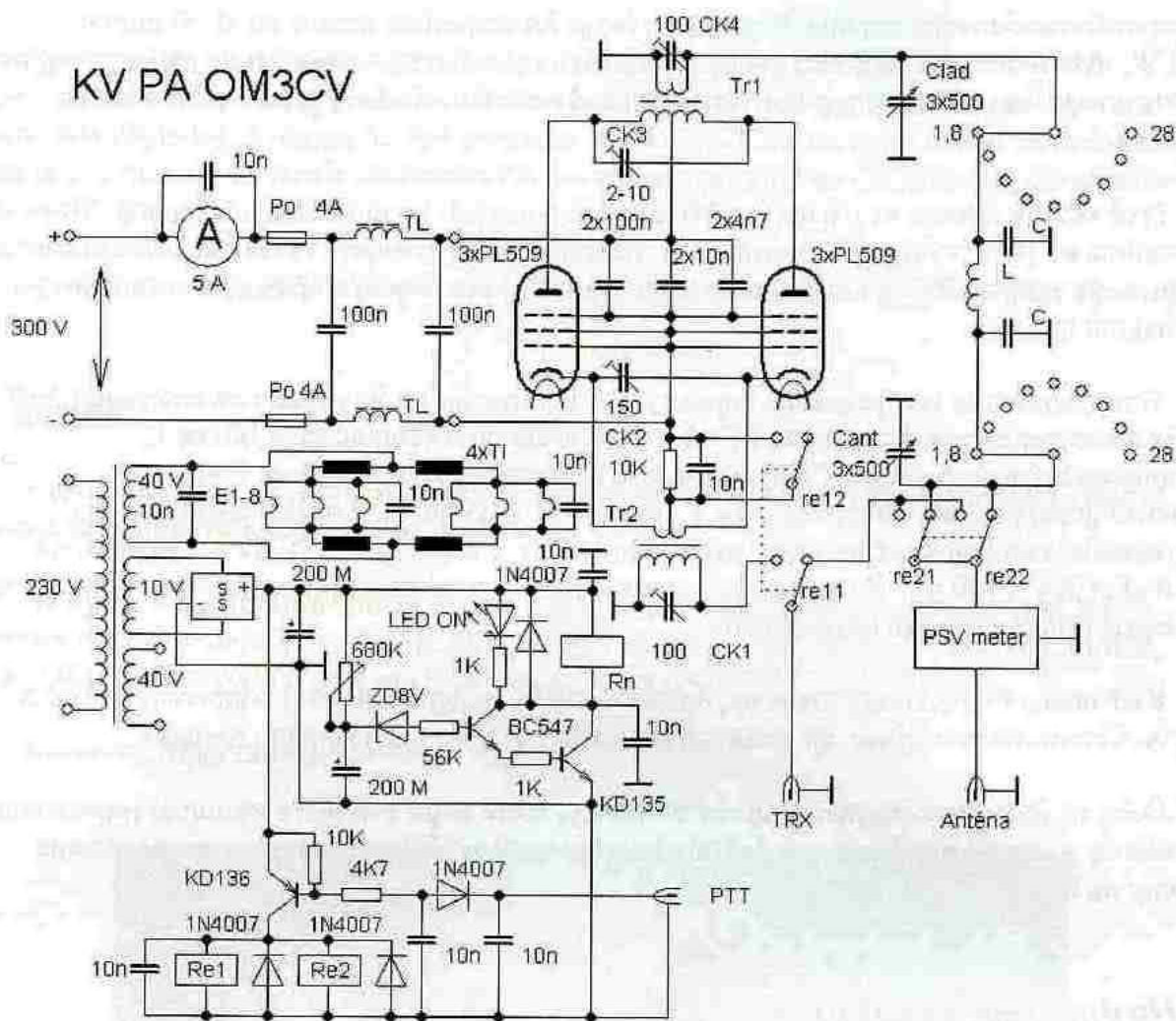
Obr. 3 – Výstupný transformátor

Vinutie má <sup>2</sup> závit vinuté stočenými tromi vodičmi s priemerom 1,5 mm CuAg, izolované teflónovou izoláciou. Dva vodiče sú z primárneho vinutia a tretí je zo sekundárneho vinutia.

V budiacom obvode a vo výstupnom obvode musia byť čo najkratšie spoje medzi transformátormi, elektrónkami a zemou. Blokovacie kondenzátory musia byť s krátkymi prívodnými vodičmi.

Aby sme vedeli čo robíme, tu je schéma zapojenia:





Re1, Re2 sú typ RE-CO, GPM 4 R, 12V/200 ohm

Relé Rn je rovnakého typu a kontakty skratujú obmedzovací odpor R2 zdroja

Napájací zdroj je prvý, na prvom obrázku príspevku, len filtračný elektrolytický kondenzátor je 4000 uF/450 V, gretzov usmerňovací blok je na 250V/10 A a musíme počítať s odberom až 5 A. Relé Rn má kontakt re a po 5-10 sekundách skratuje obmedzovací odpor R2 zdroja. Pri zapojovaní PA musíme dbať na vzájomné rozmiestnenie súčiastok a dimenzovanie vodičov z hľadiska napätia a prúdu.

Elektrónky môžeme žeraviť priamo zo sieťového napätia, lebo jedna elektrónka má žeravenie 40V/0,3A a  $6 \times 40V = 240V$ . Druhou možnosťou je paralelné žeravenie z malého transformátora 230V/40V 2 A a je to asi tá lepšia možnosť.

### • Oživovanie PA

Pri počiatočnom nastavovaní vyradíme pí-článok a výstupný transformátor zapojíme cez výstupné relé na výstupný vf konektor. Tým máme širokopásmový PA od 1,8 do 30 MHz.

Pretože elektrónky PL509, už majú svoje roky, musíme najskôr „nažhaviť“, aby sa pohltil vzduch v banke elektrónky. Elektrónky pripojíme aspoň na 6 hodín na žeraviace napätie bez

pripojeného anódového napätia. Potom na výstup PA pripojíme umelú záťaž 50 ohmov / 100 W, vyberieme si staršie elektrónky (pokiaľ ich máme), zasunieme ich do päťíc, pripojíme anódy a zapojíme anódové napätie. Ihneď by mal naskočiť kľudový prúd elektróniek asi 200 mA.

Prvé skúšky robíme na pásme 3,5 MHz bez zapojených kompenzačných kapacít. PA vybudíme na 10 W výkonu, skontrolujeme vstupné PSV a výstupný výkon na každom pásme. Vidíme, že vstupné PSV sa smerom na horné pásma zhoršuje a výstupný výkon znižuje (pri rovnakom buzení).

Teraz nastavíme kompenzačné kapacity. PA budíme na 10 W výkonu na frekvencii 29,7 MHz a kompenzačnými kapacitami CK1 a CK2 nastavíme vstupné PSV blízke 1. Kompenzačnými kapacitami CK3 a CK4 zase nastavíme najväčší výkon. Potom skontrolujeme priebeh vstupného PSV a výstupného výkonu na všetkých pásmach. Pre porovnanie, kompenzačné kapacity vychádzajú takto: CK1 = 100 pF, CK2 = 150 pF, CK3 = 2-10 pF, CK4 = 100 pF. Po nastavení kompenzácií, vymeníme trimre za pevné kondenzátory, najlepšie sľudové, na príslušné napätie.

Keď máme PA vykompenzovaný, môžeme zvýšiť buzenie, aby bol odoberaný prúd 2,5-2,8 A. Skontrolujeme výkon na všetkých pásmach a mal by byť približne rovnaký.

Ďalej na jednotlivé pásma zapojíme pí-články, ktoré majú vstupnú i výstupnú impedanciu 50 ohmov a otočné kondenzátory 3x500 pF, ktoré budú slúžiť na optimálne prispôbenie antény na PA.

### • Hodnoty pí-článkov

Hodnoty pí-článkov sú vypočítané pre  $Q = 5$  a pri použití dvoch otočných kondenzátorov 3x500 pF použijeme paralelné kondenzátory len pre pásma 1,8 MHz a 3,5 MHz. Väčšina cievok je vzduchových, len na spodné pásma môžeme použiť ferity AMIDON T200-2.

Vypočítané hodnoty pí-článkov sú:

Pásmo [MHz]	L [uH]	C1 [pF]	C2 [pF]
1,8	3,03	4440	4492
3,6	1,56	2283	2310
7,1	0,78	1142	1155
10,1	0,54	791	800
14,1	0,4	570	578
18,1	0,3	442	447
21,2	0,26	377	381
24,9	0,22	321	325
28,2	0,19	283	287

Poznámka OM3LU: Druhou možnosťou by bolo použiť pevné DP filtre podľa niektorého KV transceivra a za PA používať transmatch na presné prispôbenie antény. Samozrejme Vilove riešenie je jednoduchšie.

Na žeravenie elektróniek odporúčam použiť malý sieťový transformátor 230V/40V/100VA, lebo pri našej sieti by boli elektrónky trvale podžeravené (10-15 voltov by nám vždy chýbalo). S mojou IC-706 vybudím PA na 2,5-3 A a na vyšší výkon by bolo treba väčšie budenie. Na zvýšenie zosilnenia PA sa chystám pripojiť na G2 jednosmerné napätie okolo 100 V voči katóde.

Nasledujúce fotografie vám predstavujú moju konštrukciu, ktorá je jednoduchá a pevná.

### • Záver

Výstupný signál z PA je čistý, ale odporúčam skúšku dvojtónovým signálom. Koncový stupeň nezakmitáva a u mňa nemá problémy s TVI.

Na úplný záver by som chcel vysloviť hlbokú vďaku všetkým kamarátom, ktorí mi pomáhali. Boli to najmä: Jenda OK2BIQ, Jarda OK2BJJ, Fero OK1NOF, Martin OM6EE, Jano OM1JS, Jožo OM3JA, Tono OM3LU a Dušan OM3TEX. *+OM3DQ*

Nakoniec zopár obrázkov PA:



Čelný pohľad na hotový KV PA. Vilo ho nazýva „PA, nič jednoduchšie“