

# Vacuum tube amplifier 40 W zesilovač s elektronkami

Ing. Jaroslav Vlach

Článek přichází s tematikou zdánlivě již dávno zapomenutou: s konstrukcí výkonového nízkofrekvenčního zesilovače osazeného elektronkami. Toto zařízení nachází uplatnění především u některých znalců a muzikantů především pro svůj charakteristický zvuk, který tranzistorový zesilovač nedokáže nahradit. Rada světových výrobců profesionálních nízkofrekvenčních zařízení nabízí takové zesilovače v cenových relacích, nad nimiž se mnohdy až tají dech. Před třiceti lety jsme se s těmito zařízeními mohli běžně setkat i v naší technické literatuře, dnes se však po nich slehla zem. Je proto dost možné, že navozené téma vzbudí možná u někoho rozpaky, u někoho tiché nostalgické vzpomínky, u někoho však i pobídku ke konstrukci a výrobě takového zařízení.

## Trochu historie

Slova lampa či elektronka dnes prakticky nikomu nic neříkají. A přece díky této elektronické součástce se vývoj lidstva ve 20. století výraznou měrou posunul vpřed. Objev amerického fyzika Lee de Foresta z roku 1904 během několika málo let dosáhl významného rozšíření a umožnil rozmach nových oborů lidské činnosti: elektroniky, radio-techniky, vysílací techniky, výpočetní techniky a dalších oblastí. Od roku 1948, kdy byl uveden na trh první tranzistor, elektronka sváděla urputný boj o svoji existenci, až definitivně musela ustoupit v polovině 60. let z většiny svých pozic. A počátkem 80. let zmizela i z jednoho z posledních míst v přístrojích pro domácnost - z obvodu vysokého napětí barevného televizoru. Dnes se s elektronkou setkáme vlastně jen na místě obrazovky televizoru a počítače, příp. v oblasti vysílacích zařízení.

Koncové nízkofrekvenční zesilovače s koncepcí, která přečkala téměř půlstoletí, se vyráběly v tehdejších n. p. TESLA Pardubice od roku 1950 (KZ25, resp. KZ50), tehdy ještě s koncovými pentodami typu 4654. Tyto elektronky se často přehřívaly nebo mechanicky poškodily (např. čepečka s anodovým vývodem nebo bakelitová patice se odlepvaly od skleněné baňky apod.). V polovině 50. let se ve výrobním programu n. p. TESLA Rožnov objevila elektronka EL34, což byl evropský ekvivalent americké výkonové pentody 6CA7 (katalogový list sestavený podle [3] je uveden v tab. 1). Díky svým vlastnostem se tato elektronka vyrábí a používá již více než 40 let. Konstrukce této elektronky umožňuje při dvojitěm zapojení koncového stupně konstruovat koncové nízkofrekvenční zesilovače s výstupním výkonem až 100 W. Zesilovače AZK

201, resp. AZK 401 (tzv. „šedivé plac-ky“) vyráběné od roku 1961 v n. p. TESLA Valašské Meziříčí a později v n. p. TESLA Vráble, osazené právě dvojicí elektronek EL34, patřily k zařízením, která hojně využívali muzikanti a hudební skupiny ještě řadu let. Na ně později navázaly zesilovače AZK 405 (MONO 50), AZK 160 (MONO 130), AZK 360 (MUSIC 130), resp. AZK 450 (MONO 70). Konstrukce uvedených zesilovačů vycházela z dnes už překonané koncepce rozvodu výstupního signálu s jmenovitým napětím 100 V, která předpokládala vybavení reproduktorové soustavy převodním transformátorem pro převod z rozvodu 100 V na impedanci reproduktoru. Novější zesilovače už byly vybaveny transformátorem s převodem na impedanci 8, resp. 15  $\Omega$  (viz literatura [1] a

[2]). Od poloviny 70. let i u nás převládly už polovodičové koncové zesilovače, nejprve s bipolárními tranzistory, později též s tranzistory unipolárními (obvykle typu V-MOS).

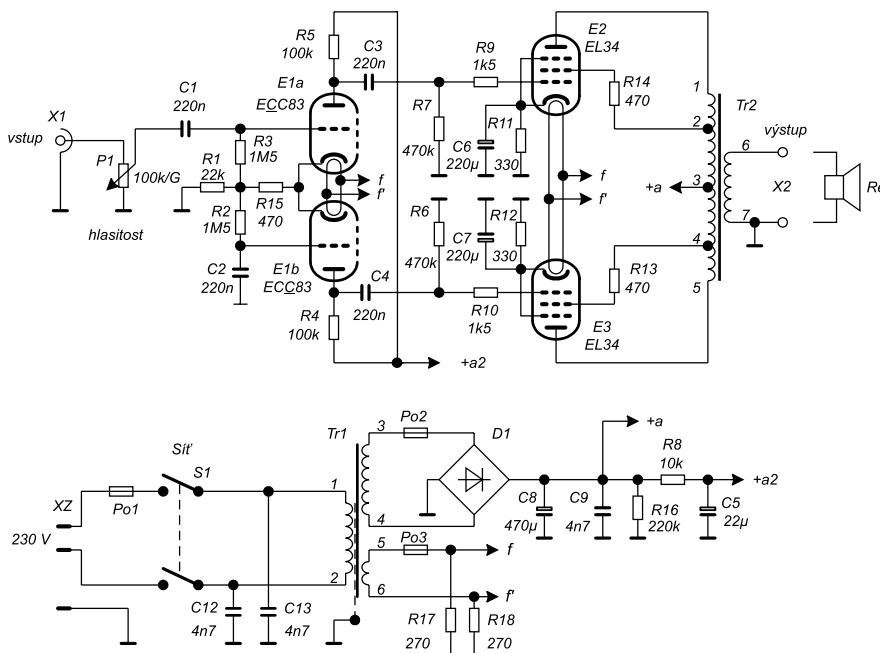
## Přítomnost

V současné době se výrobou koncových zesilovačů s použitím elektro-nek zabývá řada v profesionálním světě známých firem, jako je např. Marshall, Heathkit, Lamm Industries, Dynaco, Rocktron, D. Berning, Hoffman Amplifiers, Marantz, Hughes & Kettner, ASV - M. Šebart a další. Při podrobnějším studiu zapojení elektronkových zesilovačů lze dojít k zajímavému poznatku: nejdůležitější částí pro dosažení požadovaného výsledku je výstupní transformátor. Z těchto důvodů řada firem nabízí jako konstrukční prvek výstupní transformátory různých konstrukcí, od klasických na jádrech EI až po transformátory na toroidním jádře. Amatérové potom nezbývá, než si díl buď koupit nebo laborovat.

## Zapojení a konstrukce

Zapojení koncového zesilovače s elektronkami v dvojitěm zapojení se během let příliš nezměnila a doznala určitého optima, které umožňuje dosáhnout rozumného výstupního výkonu při poměrně malém množství součástek. V minulosti „utajovaná“ přítomnost elektronek (např. u zesilovače MONO 70 horizontální poloha koncových elektronek vedla ke špatnému odvádění tepla a k jejich postupnému znehodnocování) je nyní zase „v módě“, a tak konstruktéři a výrobci dosahují úmyslně takového archaického vzhledu zesilovačů, který by byl zcela nemyslitelný třeba před dvaceti lety.

Na obr. 1 je schéma koncového zesilovače se třemi elektronkami, které



Obr. 1. Schéma zapojení koncového zesilovače s elektronkami

bylo inspirováno zapojením uvedeným v [6]. Ve funkci prvního stupně, zároveň budiče a invertoru pro koncový stupeň, je použita elektronka ECC83 obsahující dvě triody (katalogový list sestavený podle [3] je uveden v tab. 2). Koncový stupeň je zapojen jako dvojitý (tzv. push-pull) s výstupním transformátorem, který je osazen dvěma výkonovými pentodami EL34. Zapojení je velmi jednoduché, neobsahuje korekční obvody, přesto umožňuje vytvořit koncový zesilovač s výkonem až 100 W. V uvedeném případě bude výkon zesilovače 40 W, což vyplývá ze zvoleného napájecího napětí.

Vstupní signál je přiváděn ze vstupního konektoru X1 přes oddělovací kondenzátor C1 na mřížku první triody E1a. Po zesílení je přes kondenzátor C3 přiváděn na první mřížku první výkonové elektronky E2. Vazbou přes katody je signál přiváděn na druhou triodu E1b, která pracuje jako invertor, a odtud na první mřížku druhé výkonové elektronky E3. Elektronky E2 a E3 tvoří dvojitý koncový stupeň s buzením do transformátoru Tr2. Indukční vazbou se na sekundární vinutí připojuje reproduktor Re.

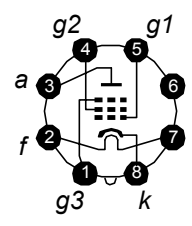
Obstarání výstupního transformátoru bude asi činit určité obtíže. V tab. 3 jsou uvedeny parametry výstupního transformátoru pro dvojitě zapojení elektronkového koncového stupně (podle pramene [6]), které lze použít při návrhu. Tento transformátor je navinut na C jádře. Domnívám se, že výroby by se mohla ujmout některá firma.

Zapojení napájecího zdroje je velmi jednoduché. Z prvního sekundárního vinutí transformátoru Tr1 se po usměrnění můstkem D1 a filtrační kondenzátory C8, resp. C9 získává napájecí napětí pro anody elektronek, z druhého sekundárního vinutí je napájeno žhavení jejich katod. Všechna vinutí jsou jistiště pojistkami.

Konstrukce zesilovače je v tomto článku jen naznačena, protože možnost mechanického uspořádání je celá řada. Pro jednoduchost bylo zavrženo umístění součástek na desce s plošnými spoji a zvolena tzv. vzdušná konstrukce využívající držáky součástek s pájecími očky, k nimž jsou součástky připájeny. Tento způsob se používal ještě v 60. letech. Jeho výhodou je v tom, že dovoluje snadné úpravy a opravy, což je pro amatéra velkou výhodou. Dalším důvodem pro volbu takového zapojení je přítomnost poměrně velkého anodového napětí (pro výkon 100 W je třeba zvolit anodové napětí podle tab. 1 až 800 V), takže se zmenšuje možnost přeskoků nebo sršení, což by se negativně projevilo i na kvalitě výsledného zvuku zesilovače.

Na obr. 2 je znázorněn návrh možné mechanické konstrukce zesilovače. Šasi je možno vyrobit z ocelového (nebo hliníkového) plechu. Rozvinutý tvar šasi je vyobrazen na obr. 2. Na horní straně se odvrství otvory pro umístění objímek pro elektronky, filtračního

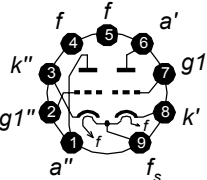
Tab. 1. Katalogový list elektronky EL34

| EL34<br>6CA7   | Žhavení<br>$U_F = 6,3 \text{ V}$<br>$I_F = 1,5 \text{ A}$<br><i>nepřímé</i>   | Nf dvojitý zesilovač třídy B       |                |                    |
|--|---|------------------------------------|----------------|--------------------|
|  |   | $U_{BA} = 375 \text{ V}$           | 425 V          | 800 V              |
| Výkonová pentoda pro koncové zesilovače výkonu<br><br>Patice: oktál | Statické hodnoty<br>$U_A = 250 \text{ V}$<br>$U_{G3} = 0 \text{ V}$<br>$U_{G2} = 265 \text{ V}$<br>$U_{G1} = -13,5 \text{ V}$<br>$I_A = 100 \text{ mA}$<br>$I_{G2} = 14,9 \text{ mA}$<br>$S = 11 \text{ mA/V}$<br>$\mu_{g2g1} = 11$<br>$R_i = 15 \text{ k}\Omega$ | $U_{G3} = 0 \text{ V}$             | 0 V            | 0 V                |
|  |   | $R_{G2} = 470 \Omega$              | 1000 $\Omega$  | 750 $\Omega^{(1)}$ |
|  |   | $U_{G1} = -32 \text{ V}$           | -38 V          | -39 V              |
|  |   | $R_{G1} = 3,8 \text{ k}\Omega$     | 3,4 k $\Omega$ | 11 k $\Omega$      |
|  |   | $I_{A0} = 2 \times 35 \text{ mA}$  | 2 x 30 mA      | 2 x 25 mA          |
|  | $\mu_{g2g1} = 11$<br>$R_i = 15 \text{ k}\Omega$   | $I_A = 2 \times 93 \text{ mA}$     | 2 x 120 mA     | 2 x 91 mA          |
|  |   | $I_{G2} = 2 \times 4,7 \text{ mA}$ | 2 x 4,4 mA     | 2 x 3 mA           |
|  |   | $I_{G1} = 2 \times 25 \text{ mA}$  | 2 x 25 mA      | 2 x 19 mA          |
|  |   | $U_{A0} = 370 \text{ V}$           | 425 V          | 795 V              |
|  |   | $U_A = 325 \text{ V}$              | 400 V          | 775 V              |
| $U_{G1ef} = 22,7 \text{ V}$  |   | 27 V                               | 23,4 V         |                    |
| $P_0 = 36 \text{ W}$   |   | 55 W                               | 100 W          |                    |
| $k = 6 \%$   |   | 5 %                                | 5 %            |                    |
| $^{(1)} U_{Bc2} = 400 \text{ V}$   |   |                                    |                |                    |
| $^{(2)} R_{g2}$ společný pro obě elektronky  |   |                                    |                |                    |

Vysvětlivky zkratk

|  |   |
|--|---|
| $U_A$ napětí na anodě  | $I_F$ žhavicí proud                       |
| $U_{A0}$ napětí na anodě v klidu (při $I_A = 0 \text{ mA}$ ) | S strmost                                 |
| $U_{BA}$ napájecí napětí (před anodovým odporem)             | $\mu_{g2g1}$ zesilovací činitel mřížky g2 |
| $U_F$ žhavicí napětí   | $R_{a-a}$ zatěžovací odpor mezi anodami   |
| $U_G$ napětí na mřížce                                       | $R_i$ vnitřní odpor                       |
| $I_A$ anodový proud  | $P_0$ výstupní výkon                      |
| $I_{A0}$ anodový proud v klidu (při $U_{G1} = 0 \text{ V}$ ) | k zesílení                                |

Tab. 2. Katalogový list elektronky ECC83

| ECC83<br>12AX7   | Žhavení<br>$U_F = 6,3/12,6 \text{ V}$<br>$I_F = 0,3/0,15 \text{ A}$<br><i>nepřímé</i>   | Nf odporový zesilovač        |                | Mezní hodnoty<br>$U_{A0} = 800 \text{ V}$<br>$U_A = 300 \text{ V}$<br>$P_{AR} = 1 \text{ W}$<br>$I_K = 8 \text{ mA}$<br>$R_{g1} = 2,2 \text{ M}\Omega$<br>$U_{G1} = -50 \text{ V}$<br>$U_{Kf} = 180 \text{ V}$ |
|--|---|------------------------------|----------------|--|
|  |   | $U_{BA} = 300 \text{ V}$     | 300 V          |  |
| Dvojitá trioda pro nf zesilovače<br><br>Patice: noval | Statické hodnoty<br>$U_A = 250 \text{ V}$<br>$R_K = 1600 \Omega$<br>$I_A = 1,2 \text{ mA}$<br>$S = 1,6 \text{ mA/V}$<br>$\mu = 100$<br>$R_i = 62,5 \text{ k}\Omega$ | $R_a = 500 \text{ k}\Omega$  | 100 k $\Omega$ | $U_{A0} = 800 \text{ V}$   |
|  |   | $R_{g1} = 1 \text{ M}\Omega$ | 250 k $\Omega$ | $P_{AR} = 1 \text{ W}$   |
|  |   | $R_K = 3,5 \text{ k}\Omega$  | 0,9 k $\Omega$ | $I_K = 8 \text{ mA}$   |
|  |   | $V = 70$                     | 54             | $R_{g1} = 2,2 \text{ M}\Omega$   |
|  |   | $V = 70$                     | 54             | $U_{G1} = -50 \text{ V}$   |
|  | Fázový invertor   | $U_{BA} = 250 \text{ V}$     | 250 V          | $U_{Kf} = 180 \text{ V}$   |
|  |   | $I_{A+A'} = 1 \text{ mA}$    | 1,1 mA         |  |
|  |   | $R_a = 100 \text{ k}\Omega$  | 200 k $\Omega$ |  |
|  |   | $R_K = 70 \text{ k}\Omega$   | 1 k $\Omega$   |  |
|  |   | $U_{G1ef} = 0,8 \text{ V}$   | 0,6 V          |  |
| $V = 25$   | 58  |                              |                |  |
| $k = 1,8 \%$   | 5,5 %   |                              |                |  |

Vysvětlivky zkratk

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| $U_A$ napětí na anodě  | $I_F$ žhavicí proud            |
| $U_{A0}$ napětí na anodě v klidu (při $I_A = 0 \text{ mA}$ ) | S strmost                      |
| $U_{BA}$ napájecí napětí (před anodovým odporem)             | $\mu$ zesilovací činitel       |
| $U_F$ žhavicí napětí   | V zesílení ( $I_A/U_{G1}$ )    |
| $U_{G1}$ napětí na mřížce g1                                 | $R_a$ anodový zatěžovací odpor |
| $U_{Kf}$ max. napětí mezi katodou a žhavicím vláknem         | $R_K$ katodový odpor           |
| $I_A$ anodový proud  | $P_{AR}$ anodová ztráta        |
| $I_K$ katodový proud   | k zesílení                     |

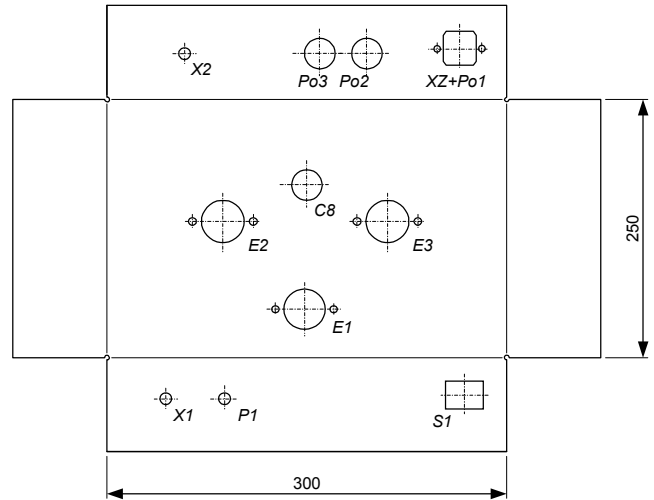
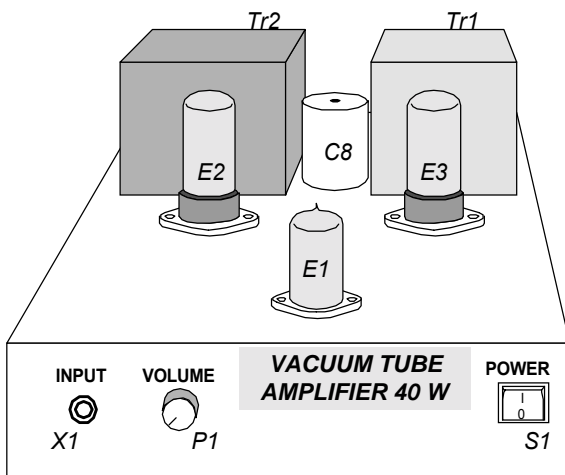
kondenzátoru C8, dále pak připevňovací otvory transformátoru, usměrňovací bloku D1 a držáku součástek. Na delší boční straně je vyvrtán otvor vstupního konektoru X1, otvor pro upevnění potenciometru P1 a vyplivaný otvor pro síťový spínač S1. Na protější delší straně se vytvoří otvory pro síťový konektor, pro pojistky Po1 až Po3 a pro výstupní konektor X2.

Na obr. 3 je znázorněn způsob propojení všech součástek zesilovače. Většina pasivních součástek je umístěna na držáku součástek, jehož základní destička je vyrobena z plechu (např. pocínovaného), do něhož jsou připevněna pájecí očka. Střední trámec je vystřihán ze stejného plechu a je spájen tzv. natupo se základní destičkou držáku. Tato konstrukce umožňuje po-

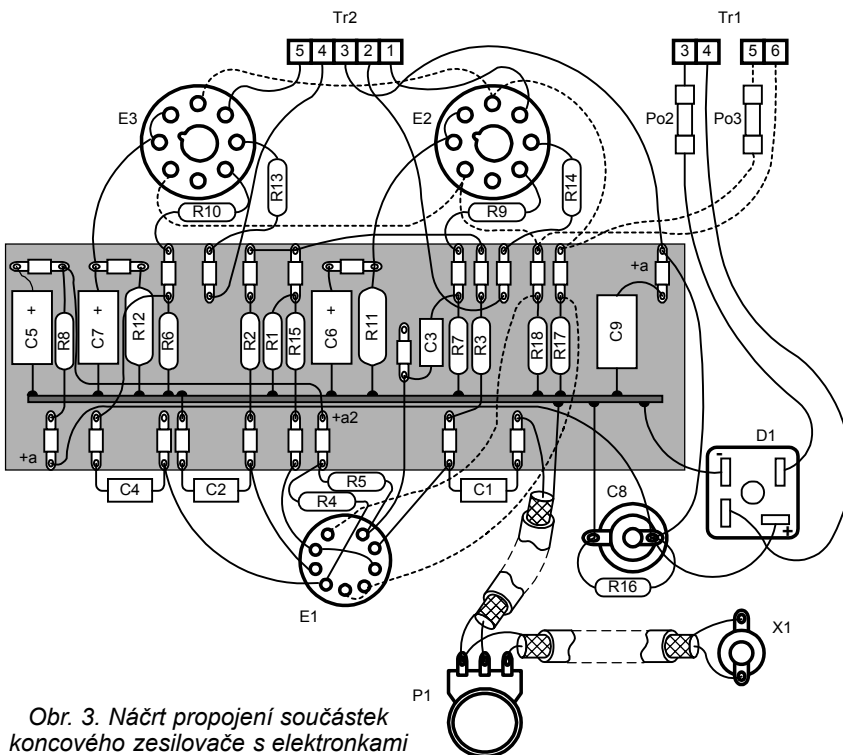
měrně snadné a přehledné upevnění všech pasivních součástek.

Spoje naznačené na obr. 3 nepřerušovanou čarou vedeme buď ohebným nebo i pevným vodičem s izolací PVC o průřezu nejméně 0,35 mm<sup>2</sup>. Spoje označené přerušovanou čarou označují rozvod žhavicího napětí pro katody elektronek. Tyto spoje vedeme dvěma mírně zkroucenými vodiči s izolací PVC o průřezu nejlépe 0,5 mm<sup>2</sup>. Pro signálové propojení potenciometru se vstupním konektorem X1 a se vstupem zesilovače použijeme nízkofrekvenční stíněný kablík.

Propojení síťových obvodů (připojení síťového konektoru XZ, síťového spínače S1, pojistka Po1 a primární vinutí transformátoru Tr1) provedeme třípramenným kabelem (např. zbytek ze



Obr. 2. Návrh mechanické konstrukce koncového zesilovače s elektronkami



Obr. 3. Náčrt propojení součástek koncového zesilovače s elektronkami

síťové šňůry) a zelenožlutý vodič dobře připojíme k šasi. Propojení výstupů z transformátoru Tr2 s konektorem X2 vedeme vodičem s izolací PVC o průřezu alespoň 0,5 mm<sup>2</sup>.

Rezistory R1 až R3, R6, R7, R9, R10 a R15 mohou být pro zatížení 0,5 W, rezistory R11 a R12 musí být pro zatížení 5 W, zbývající rezistory zvolíme pro zatížení 1 W. Kondenzátory musí být

pro napětí 400 V (v případě většího napájecího napětí je třeba zvětšit i tuto hodnotu), kromě C12 a C13, které musí být pro napětí alespoň 630 V. Kondenzátory C6 a C7 postačí pro napětí 63 V.

### Oživení

Po sestavení zesilovače pečlivě zkontrolujeme spoje (nesmíme zapo-

menout na to, že použité napájecí napětí je poměrně vysoké a životu nebezpečné!). Zatím neosazujeme elektronky. Zařízení připojíme do sítě a změříme napájecí napětí na příslušných vývodech objímek pro elektronky v místě anod a žhavení. Je-li vše v pořádku, připojíme na výstupní konektor X2 reproduktor o impedanci nejméně 4 Ω s výkonem alespoň 5 W a postupně zasuneme elektronky. Po chvíli (než se nažhaví katody elektronky) by měl být v reproduktoru slyšet slabý brum. Přiložením šroubováku na vstup zesilovače (pozor na dotyk s kostrou!) by se brum měl výrazně zvětšit. To je dobrá známka toho, že zesilovač pracuje. Protože zapojení nemá žádných nastavovacích prvků, je velká pravděpodobnost, že zesilovač bude dobře pracovat na první pokus. Pokud tomu tak není, zkontrolujeme napětí na anodách (příp. mřížkách) elektronek. Většinou je chyba např. v chybějícím spoji, součástce nebo vadné elektronce.

### Závěr

Předložený návrh konstrukce výkonného nízkofrekvenčního zesilovače osazeného elektronkami z hlediska obvodového řešení nepřináší žádné převratné novinky. Má především sloužit k „oprášení“ starého, dnes už možná opomenutého řešení, které umožňuje dosáhnout s nízkými náklady slušného výsledku. Může též posloužit k další diskusi a možnostem řešení zesilovače, který je vhodný např. pro mladé muzikanty.

### Použitá literatura

- [1] Kottek, E.: Československé rozhlasové a televizní přijímače a zesilovače, díl III. SNTL Praha 1973.
- [2] Kottek, E.: Československé rozhlasové a televizní přijímače a zesilovače, díl IV. SNTL Praha 1985.
- [3] Katalog elektronky TESLA 1973.
- [4] Firemní literatura Dynaco (USA).
- [5] Firemní literatura Hoffman Amplifiers (USA).
- [6] Firemní literatura ASV - M. Šebart (Slovinsko).

Tab. 3. Parametry výstupního transformátoru

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Jmenovitý výstupní výkon                | 40 W                      |
| Jmenovitá impedance primárního vinutí   | 4,7 kΩ                    |
| Jmenovitá impedance sekundárního vinutí | 6 Ω                       |
| Indukčnost primárního vinutí (a-a)      | 320 H (při 230 V, 50 Hz)  |
| Rozptylová indukčnost (a-a)             | 6,6 mH                    |
| Maximální proud primárním vinutím       | 120 mA                    |
| Převodový poměr                         | 2x 14:1                   |
| Odbočka pro stínící mřížku              | 40 %                      |
| Kapacita primárního vinutí (a-a)        | 290 pF                    |
| Odpor primárního vinutí                 | 154 Ω                     |
| Odpor sekundárního vinutí               | 0,2 Ω                     |
| Rozměry                                 | 100 x 100 mm, výška 90 mm |