

Nízkofrekvenční ekvalizér a spektrální analyzátor

Karel Bartoň

Desetipásmový stereofonní ekvalizér je dnes již klasický přístroj používaný v audiotechnice k úpravě nf signálu. V této konstrukci je doplněn spektrálním analyzátozem, sloužícím k optickému zobrazení úrovně signálu, obsaženého v jednotlivých pásmech přenášeného kmitočtového spektra.

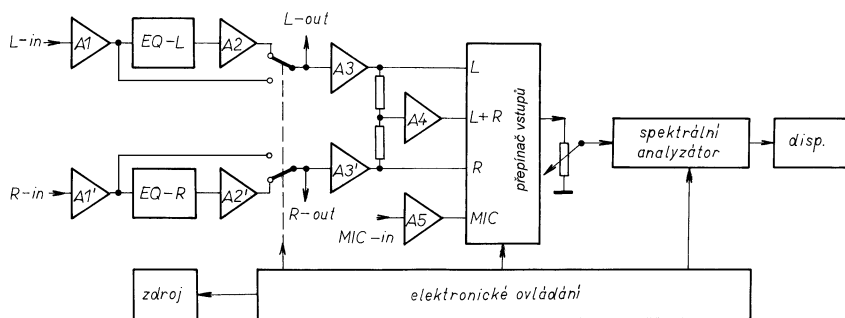
Přístroj je svými technickými parametry, užitnými vlastnostmi a komfortem obsluhy plně srovnatelný s továrními výrobky. Všechny funkce jsou ovládány mikrospínači. Elektronika byla navržena s ohledem na použití běžně dostupných součástek a při ožiování není potřeba nic nastavovat. Ekvalizér a spektrální analyzátor jsou dva na sobě funkčně nezávislé celky a lze je použít i samostatně.

Technické údaje

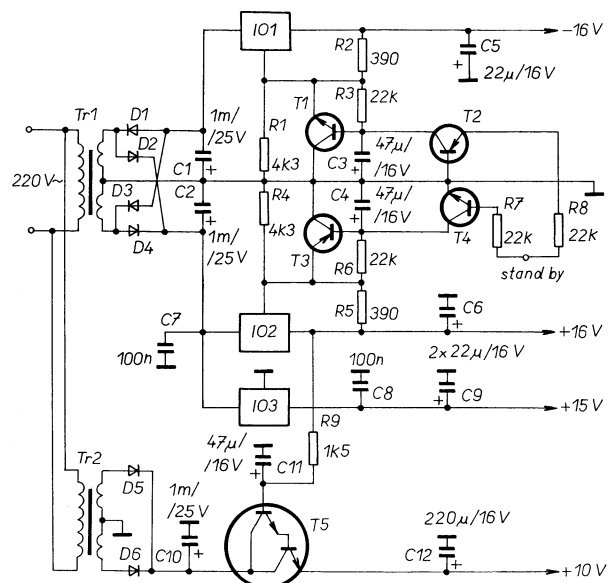
Počet pásem: 10.
 Střední kmitočet jednotlivých pásem: 32 Hz, 64 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz.
 Odstup signál/šum: >90 dB.
 Zkreslení: <0,05 %.
 Rozsah regulace: min. ±12,5 dB.

Popis činnosti podle blokového schématu

Vstupní signál se přivádí na vstupní zesilovač A1 (resp. A1'), který má jednotkové zesílení a zajišťuje oddělení dalších obvodů od zdroje signálu a také jejich buzení ze zdroje s malým výstupním odporem. Není-li zařazen ekvalizér, je signál odebrán přes relé přímo z výstupu vstupního zesilovače. Při poloze kontaktů relé, zakreslené na blokovém schématu, je signál vedený přes desetistupňový ekvalizér odebrán z výstupního zesilovače A2 (A2') a přiveden na výstupní konektor ekvalizéru, jednak na zesilovač A3 (A3') z jehož výstupu je signál přiveden na elektronický přepínač vstupů. Obvod A4 slouží k získání součtového signálu z levého a pravého kanálu, obvod A5 k zesílení malého signálu z měřícího mikrofonu.



Obr. 1. Blokové schéma



Obr. 2. Schéma napájecího zdroje

Z přepínače vstupů je signál veden přes potenciometr, jímž je možno nastavit citlivost, na spektrální analyzátor. Zde je signál deseti pásmovými propustěmi rozdělen a jeho okamžitá velikost je indikována na displeji složeném z matice 10 x 10 LED.

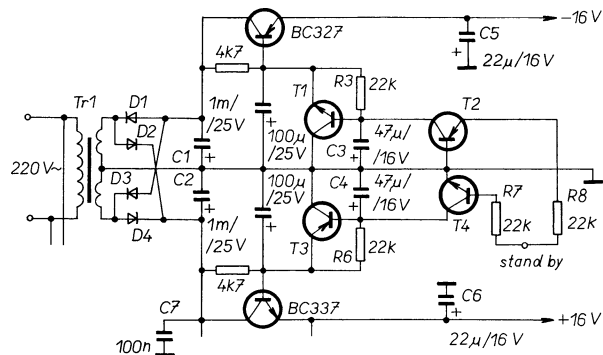
Přepínací relé, přepínač vstupů, zdroj, funkce „Stand by“ a všechny funkce spektrálního analyzátoru jsou řízeny mikrospínači přes obvod elektronického ovládání.

Napájecí zdroj

Ve zdroji (obr. 2) jsou použity dva transformátory. Jejich sekundární napětí jsou dvoucestně usměrněna diodami D1 až D6 a vyhlazena kondenzátory C1, C2 a C10. Integrované stabilizátory IO1 a IO2 stabilizují napětí pro napájení operačních zesilovačů. Napětí +15 V pro napájení obvodů CMOS v řídicí jednotce je stabilizováno IO3. Tranzistor T5 spíná napětí (asi 10 V) pro napájení spektrálního analyzátoru. Je sepnut, je-li na jeho bázi kladné napětí ze zdroje +16 V. Rezistor R9 a kondenzátor C11 zajišťují pomalý náběh výstupního napětí – omezí se tak nepříjemné přechodové jevy. Stejnou funkci má i obvod s T1, R3, C3 ve zdroji -16 V a T3, R6, C4 ve zdroji +16 V.

Vstup STAND BY slouží k spínání výstupního napětí zdroje. Při úrovni log. 0 na tomto vstupu pracuje zdroj normálně, při log. 1 se přes R7 a R8 sepnou tranzistory T2 a T4, které vybijí kondenzátory C3 a C4. Následně se otevrou tranzistory T1 a T3 a zmenší výstupní napětí zdroje na výstupech ±16 V a +10 V na méně než 2 V a přístroj se uvede do pohotovostního stavu. Pro úplné odpojení od sítě slouží vypínač na zadním panelu.

Při režimu STAND BY bylo napětí v některých případech tak velké, že operační zesilovače ještě pracovaly a integrované stabilizátory se nadměrně zahřívaly. Na obr. 3. je uvedena úprava zdroje. Místo stabilizátorů IO1 a IO2 jsou použity tranzistory, které jsou zapojeny jako „násobič kapacity“. Výstupní napětí v režimu STAND BY je menší a tak se výše zmíněná závada neprojevuje. Úpravu lze snadno realizovat na stávající desce s plošnými spoji a zdroj je navíc levnější.



Obr. 3. Schéma části napájecího zdroje s úpravou

Spektrální analyzátor (obr. 4)

Vstupní signál je veden na potenciometr P1 (umístěný na předním panelu), kterým upravujeme citlivost analyzátoru. Operační zesilovač A11 zajišťuje zesílení signálu a napájení filtrů ze zdroje signálu s malým výstupním odporem. Následuje deset pásmových propustí, obdobně zapojených, které signál rozdělí do deseti kmitočtových pásem. Pásmovou propust tvoří v každém bloku F1 až F10 operační zesilovač A (A1 až A10) spolu s rezistory R_A , R_B a R_D a kondenzátory C_A a C_B , které určují střední kmitočet pásmové propusti. Jejich odpory a kapacity pro jednotlivá pásma jsou uvedeny v tab. 1. Signál z výstupů A1 až A10 je usměrněn diodami D1 až D10. Odpor R_E s kondenzátorem C_C určují časovou konstantu náběhu usměrňovače. Usměrněné napětí, úměrné úrovni signálu v daném kmitočtovém pásmu je přivedeno ke vstupu analogového spínače (AS1 až AS10).

Spínače jsou řízeny obvodem IO1 (4017), což je Johnsonův dekadický čítač. Na jeho vstup 13 jsou přiváděny impulsy (kmitočet asi 3 kHz) z jednoduchého oscilátoru, sestaveného ze zbylých analogových spínačů AS11 a AS12. Tyto impulsy jsou čítány a vždy

na jednom z výstupů Q0 až Q9 se objeví úroveň log. 1, která sepne jeden z tranzistorů T1 až T10, spínající sloupec LED, příslušející k danému kmitočtovému pásmu. Současně sepne příslušný analogový spínač a přes něj je přivedeno usměrněné napětí na vstup IO2. Výstupy tohoto obvodu připojí tu LED, která odpovídá příslušnému vstupnímu napětí. Jednotlivá pásma se přepínají postupně za sebou, provoz je tedy multiplexní.

Displej je možno přepnout na pásmový nebo bodový provoz přivedením napětí na vývod 9 IO2. Zde je použit tranzistor T11, který je řízen z výstupu IO11 na desce ovládání. Při sepnutém T11 je zobrazení proužkové, při zavřeném bodové.

Odpor rezistoru R8 určuje velikost proudu svítivými diodami. Rezistory R5, R6 a R7 nastavují referenční napětí pro IO2. K výstupu referenčního napětí jsou připojeny též neinvertující vstupy operačních zesilovačů A1 až A11 a je tak vytvořen umělý střed jejich napájecího napětí, takže není potřeba symetrického napájení.

Rezistory R_C v neinvertujících vstupech A1 až A3 vyrovnávají proudovou nesymetrii vstupů u obvodů LM324. Pokud použijeme OZ typu TL084, lze je vynechat.

Ekvalizér

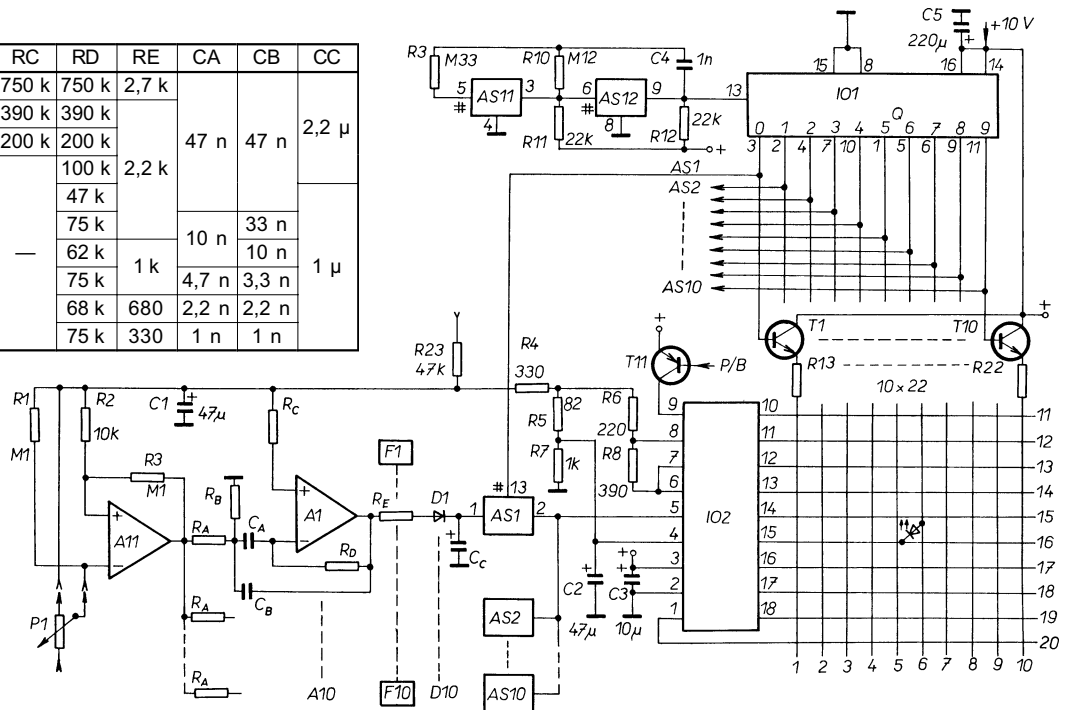
Jeden kanál desetipásmového ekvalizéru (obr. 5) je složen z deseti jednotlivých filtrů F1 až F10, které mají shodné zapojení. Jsou řazeny za sebou v sérii, takže vstup prvního tvoří zároveň vstup ekvalizéru a výstup posledního - desátého - stupně je výstupem ekvalizéru.

Střední kmitočet filtru je určen odpory rezistorů R1 a R2 a kapacitou kondenzátorů C1 a C2. Zdůraznění či potlačení kmitočtového pásma kolem středního kmitočtu je dáno polohou běžce potenciometru P. V poloze běžce uprostřed odporové dráhy prochází obvodem signál bez úpravy. Je-li běžec v pravé krajní poloze (u R4), je signál v pásmu středního kmitočtu filtru zeslaben, je-li v opačné poloze (u R3) je signál v tomto pásmu zesílen. Amplituda signálu na jiných kmitočtech se nemění. Rozsah regulace je možno zmenšit nebo rozšířit změnou odporu rezistorů R3 a R4.

Napájecí napětí pro operační zesilovače je na desce s plošnými spoji blokováno dvěma kondenzátory 47 μ F. V případě nestability je možno osadit další blokovací kondenzátory - na desce plošných spojů je na to patřováno.

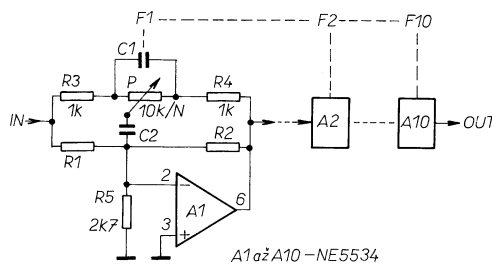
Pásmo	f [Hz]	RA	RB	RC	RD	RE	CA	CB	CC
1	32	130 k	15 k	750 k	750 k	2,7 k			
2	64	68 k	7,5 k	390 k	390 k		47 n	47 n	2,2 μ
3	125	36 k	3,9 k	200 k	200 k				
4	250	18 k	2 k		100 k	2,2 k			
5	500	8,2 k	910		47 k				
6	1 k	20 k	1 k		75 k		10 n	33 n	1 μ
7	2 k	11 k	1,2 k		62 k	1 k	4,7 n	3,3 n	
8	4 k	11 k	1,5 k		75 k				
9	8 k	12 k			68 k	680	2,2 n	2,2 n	
10	16 k	13 k	1,2 k		75 k	330	1 n	1 n	

D1 až D10 - 1N4148
 T1 až T10 - BC337; T11 - KC307
 IO1 - 4017; IO2 - LM3915
 AS1 až AS4 = IO3
 AS5 až AS8 = IO4 } 4066
 AS9 až AS12 = IO5
 A1, A11, A4 = IO6 } LM324;
 A3, A5, A6, A8 = IO7 } TL074;
 A2, A7, A10, A9 = IO8 } TL084

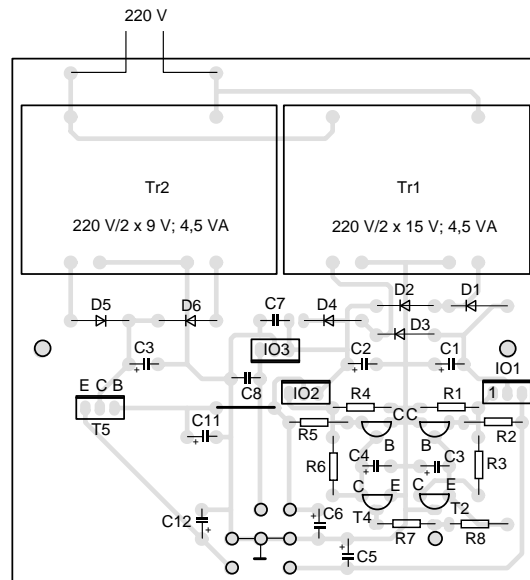
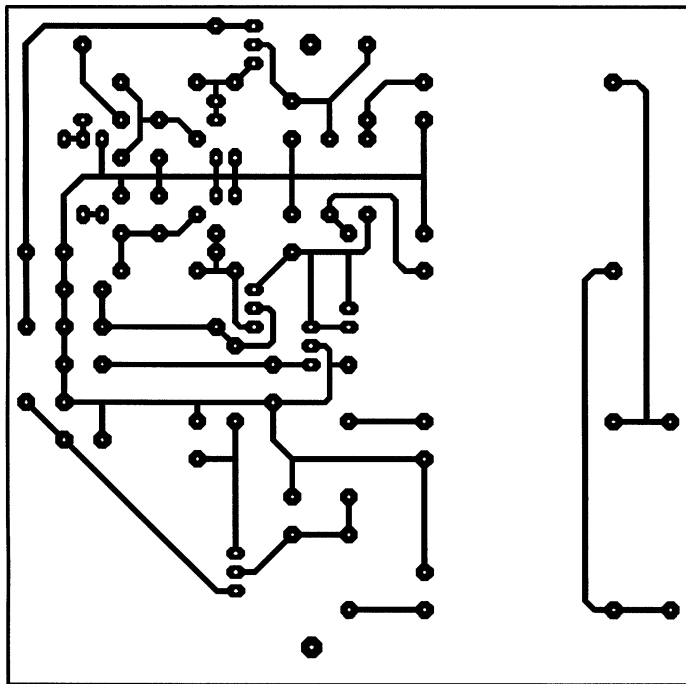


Obr. 4. Schéma zapojení spektrálního analyzátoru a tabulka součástek filtrů pro jednotlivá pásma

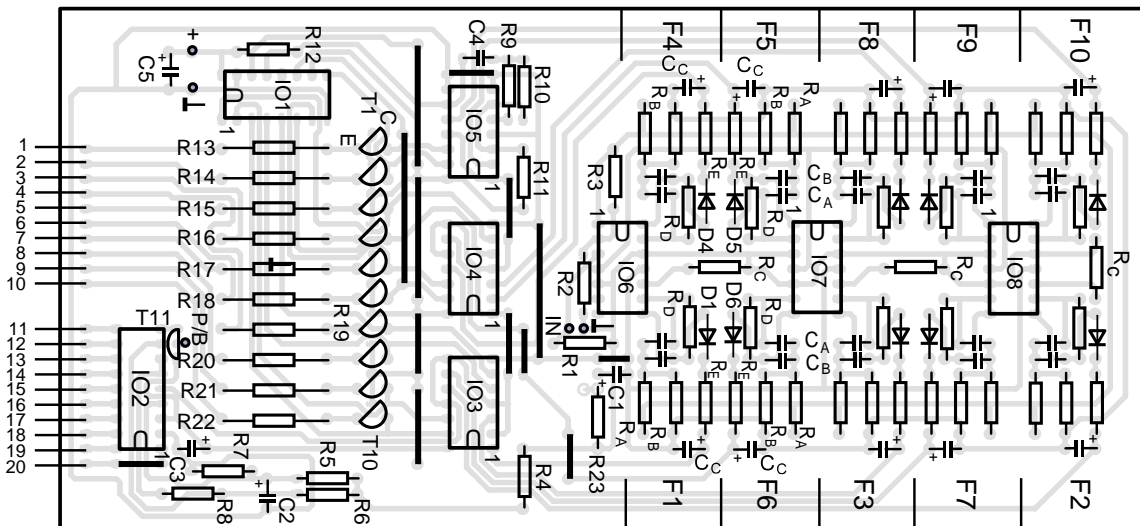
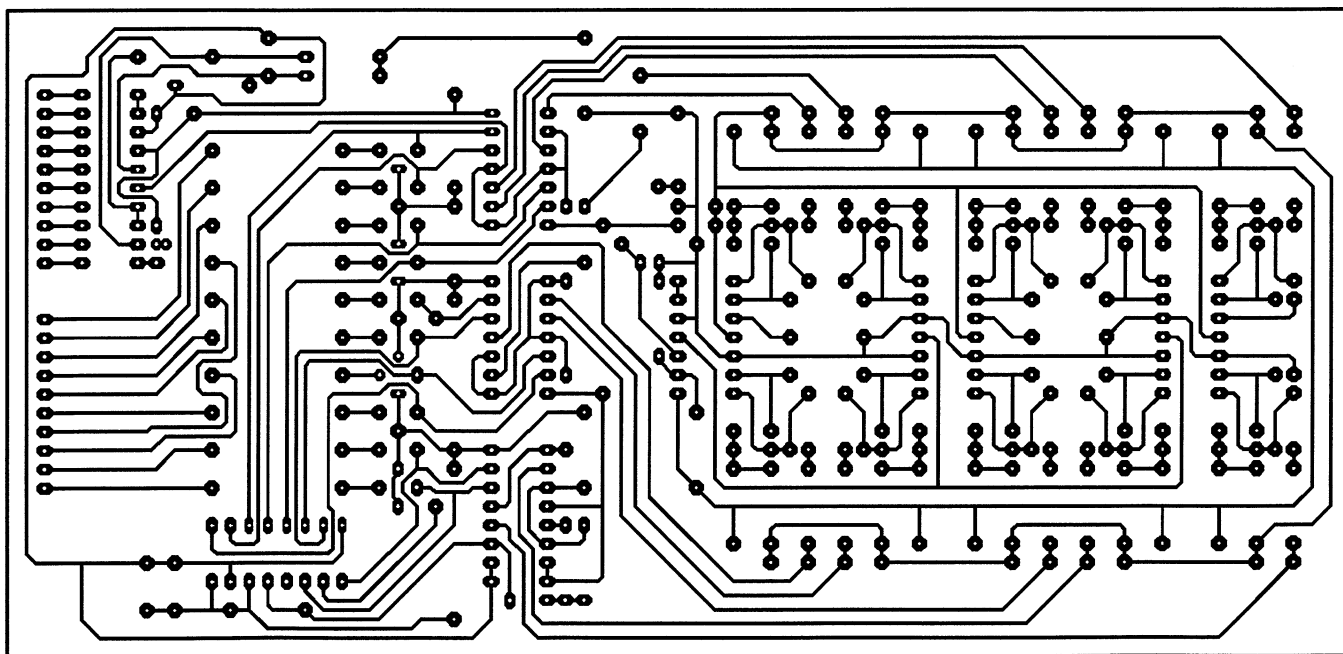
Obr. 5. Schéma zapojení ekvalizéru a tabulka součástek pro jednotlivá pásma



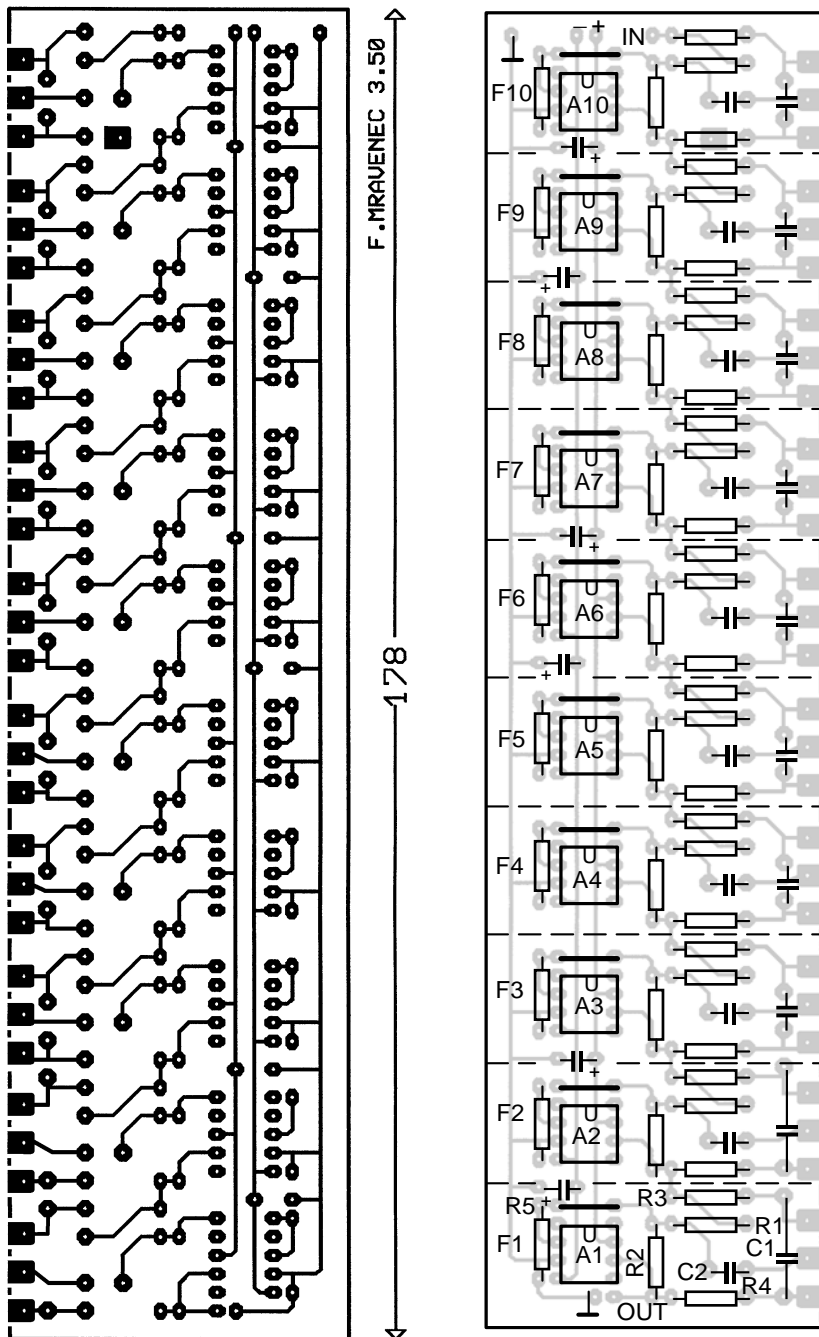
Pásmo	f [Hz]	C1	C2	R1	R2
1	32	2,2 μ	220 n		
2	64	1 μ	100 n		
3	125	470 n	47 n	120 k	120 k
4	250	220 n	22 n		
5	500	100 n	10 n		
6	1 k	68 n	6,8 n	91 k	
7	2 k	33 n	3,3 n		91 k
8	4 k	15 n	1,5 n		
9	8 k	6,8 n	680 p	120 k	110 k
10	16 k	3,3 n	330 p		



Obr. 6. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek napájecího zdroje



Obr. 7. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek spektrálního analyzátoru



Obr. 8. Deska s plošnými spoji pro ekvalizér a rozmístění součástek

Obvody elektronického ovládání

Na desce elektronického ovládání (obr. 9) jsou umístěny též vstupní a výstupní obvody ekvalizéru A1, A'1, A2 a A'2, jejichž funkce již byla popsána u blokového schématu. Z výstupu A1 je signál veden na vstup prvního filtru ekvalizéru, z výstupu posledního filtru ekvalizéru je signál přiveden na A2. Kondenzátory C1 a C1' slouží pro oddělení případné stejnosměrné složky v signálu. Změnou poměru odporů rezistorů R3 a R2 je možno vyrovnat celkový pokles amplitudy signálu za ekvalizérem. Z výstupů A2 a A2' je signál veden jednak na výstup přístroje, jednak přes A3 a A3' na vstup elektronického prepínače. Operační zesilovač A4

spolu s rezistory R6, R7 a R8 slouží k získání součtového signálu levého a pravého kanálu, A5 zesiluje signál z mikrofону.

Jako prepínač slouží analogový multiplexer IO6 (4051), který je ovládán z IO7 (4028). Na výstupu č. 3 (který je propojen se vstupem spektrálního analyzátoru) je přítomen jeden ze vstupních signálů na vývodech 1, 13, 14 nebo 15 v závislosti na kódu zvoleném mikrosplínači, připojeními k obvodu IO7. Zvolený vstup je indikován červenými LED1 až LED4. Pro volbu ostatních funkcí slouží IO8 až IO11. Jsou to známé dvojité klopné obvody D typu 4013. Přivedením log. 1 na jejich hodinový vstup C se změní logická úroveň na výstupu Q (\bar{Q}). Tento způsob prepínání je velmi spolehlivý. IO8 ovládá provoz displeje spektrálního

analyzátoru tím, že zkratuje přes AS1 rezistor R33, čímž se změní časová konstanta vybíjení kondenzátorů C_C v usměrňovači a provoz se zrychlí, nebo tím, že AS2 rozepne a vybíjecí odpor se odpojí - funkce „Hold“. Zároveň je z výstupu \bar{Q} (vývod č. 12 IO8) přes R49 přivedena log. 1 na vstup „enable“ IO6, který odpojí zdroj signálu.

Klopný obvod s IO10 ovládá (přes T1) relé prepínací na výstup signál před a za ekvalizérem. Klopný obvod s IO11 přivádí přes rezistor R26 úroveň log. 0 nebo log. 1 na bázi tranzistoru T11 ve spektrálním analyzátoru a zajišťuje tak proužkový nebo bodový provoz displeje. Druhým klopným obvodem z IO11 je zařízení uvedeno do režimu „STAND BY“ - napětím z vývodu 1 jsou přes rezistor R25 spínány tranzistory T2 a T4 ve zdroji.

Pro indikaci jsou použity LED s malou spotřebou (2 mA), které mohou být spínány přímo výstupy obvodů CMOS.

Dále je uveden popis ovládacích prvků přístroje a seznam funkcí.

POWER - zapnutí a vypnutí přístroje. Při vypnutí tímto tlačítkem zůstává přístroj v pohotovostním stavu (režim „STAND BY“).

EQ - je-li zařazen do signálové cesty ekvalizér, svítí kontrolní LED nad mikrosplínačem a tahovými potenciometry je možná úprava signálu nf. Při následném stisknutí mikrosplínače LED zhasne a nastavení potenciometrů nemá na výstupní signál vliv - ekvalizér je vyřazen z činnosti. Při tomto stavu analyzátor zobrazuje vstupní signál před ekvalizérem.

BAR/POINT - tlačítkem je možno přepínat režim displeje na bodový provoz, kdy v každém sloupci svítí pouze jedna LED odpovídající úrovni signálu v daném pásmu, nebo proužkový provoz, kdy současně s touto diodou svítí ve sloupci všechny LED pro nižší úroveň.

FAST/SLOW - prepíná se časová konstanta zobrazení (tj. rychlost, s jakou se mění údaj na displeji). Rychlý mód je vhodný pro běžné signály jako řeč nebo hudba, pomalý používáme pro velmi rychle dynamicky se měnící signály nebo při akustických měřeních.

HOLD - po stisknutí mikrosplínače se provoz spektrálního analyzátoru zastaví a na displeji zůstává stále zobrazen údaj, platný v okamžiku stisknutí. Opětným stiskem mikrosplínače se tato funkce ruší.

LEFT - analyzátor zobrazuje kmitočtové spektrum obsažené pouze v levém kanálu.

L + R - analyzátor zobrazuje kmitočtové spektrum obsažené v součtu signálů levého a pravého kanálu.

RIGHT - analyzátor zobrazuje kmitočtové spektrum obsažené pouze v pravém kanálu.

LEVEL - potenciometr umožňuje nastavit vhodnou vstupní úroveň signálu pro vstup spektrálního analyzátoru.

MIC - odpojuje vstup analyzátoru od ekvalizéru a připojuje měřicí mikrofon.

Tak je možné provádět různá akustická měření v prostoru. Mikrofon je připojen do vstupu MIC na předním panelu.

Mechanická konstrukce

Potenciometry ekvalizéru (20 ks), tlačítka mikrosplínačů (10 ks), indikační LED (8 ks), displej spektrálního analyzátoru tvořený 110 LED zelené barvy 5x2 mm a potenciometr P1 jsou upevněny (připájeny) na desce plošných spojů, která tvoří subpanel.

Ze strany spojů jsou k ní kolmo připájeny desky levého a pravého kanálu ekvalizéru a tím je zajištěno jejich

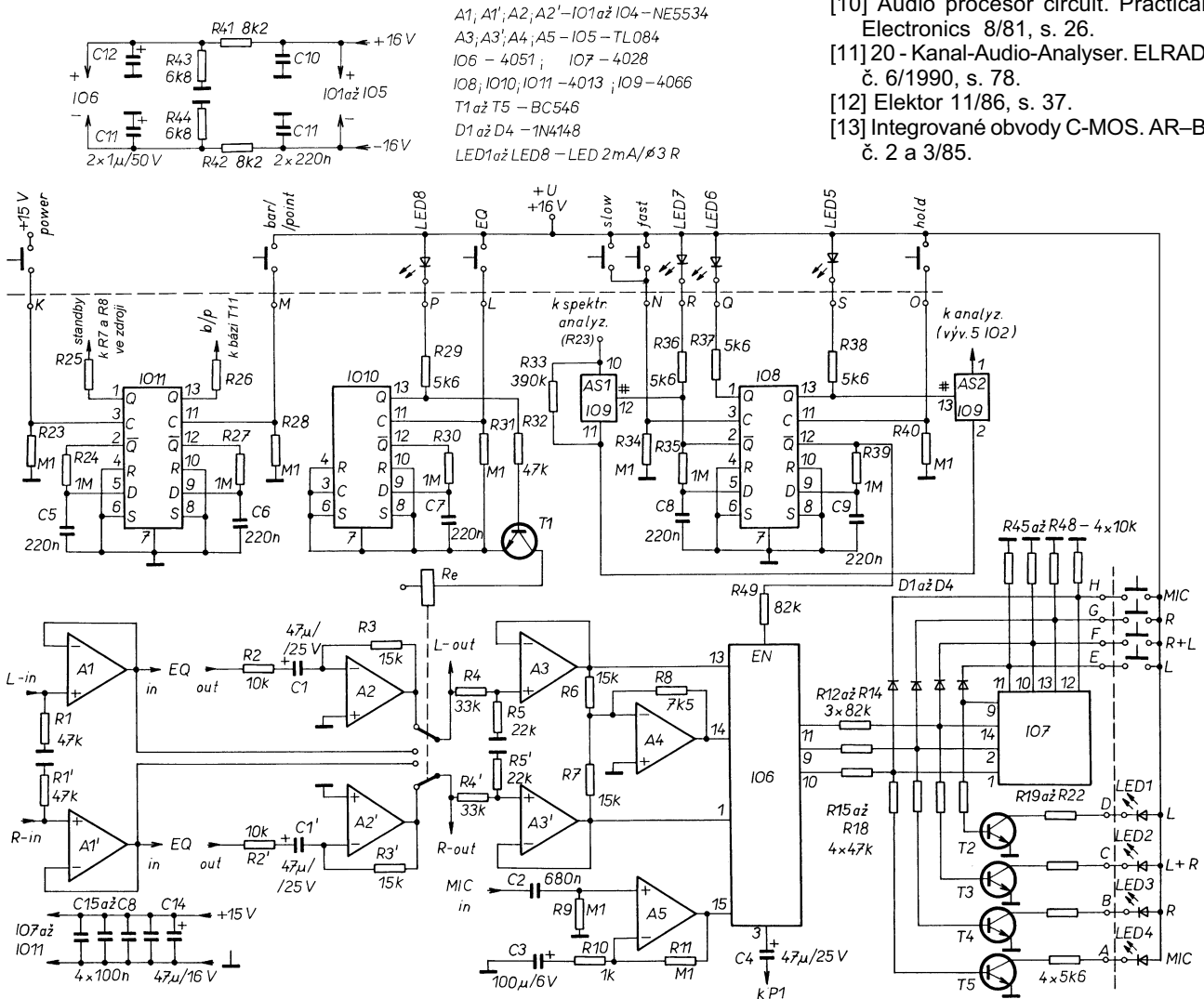
propojení s vývody tahových potenciometrů.

Mezi předním a zadním panelem jsou 4 rozpěrné tyčky, dvě spodní jsou čtvercového profilu 7 x 7 mm a je do nich vyříznut závit pro uchycení dna a krytu skříňky. Na všechny díly je použit ocelový plech tloušťky 1 mm, pouze přední panel je z duralu tloušťky 3 mm. Okénko pro displej je vyřezáváno, stejně tak jsou vyřezávány i drážky pro tahové potenciometry šířky 3 mm.

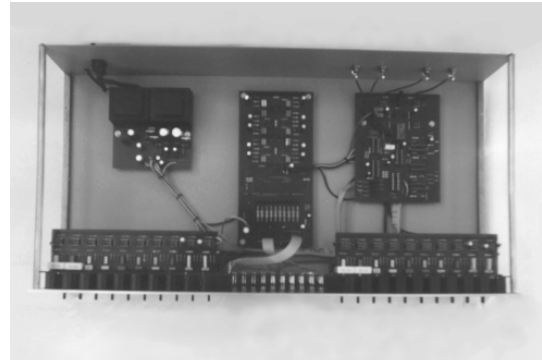
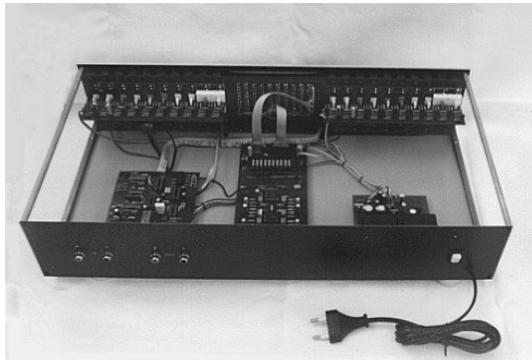
Až při korekturách jsme zjistili, že při redakčním zpracování článku se bohužel vytratila deska s plošnými spoji subpanelu. Tuto desku uveřejníme v některém z příštích čísel. Redakce

Literatura

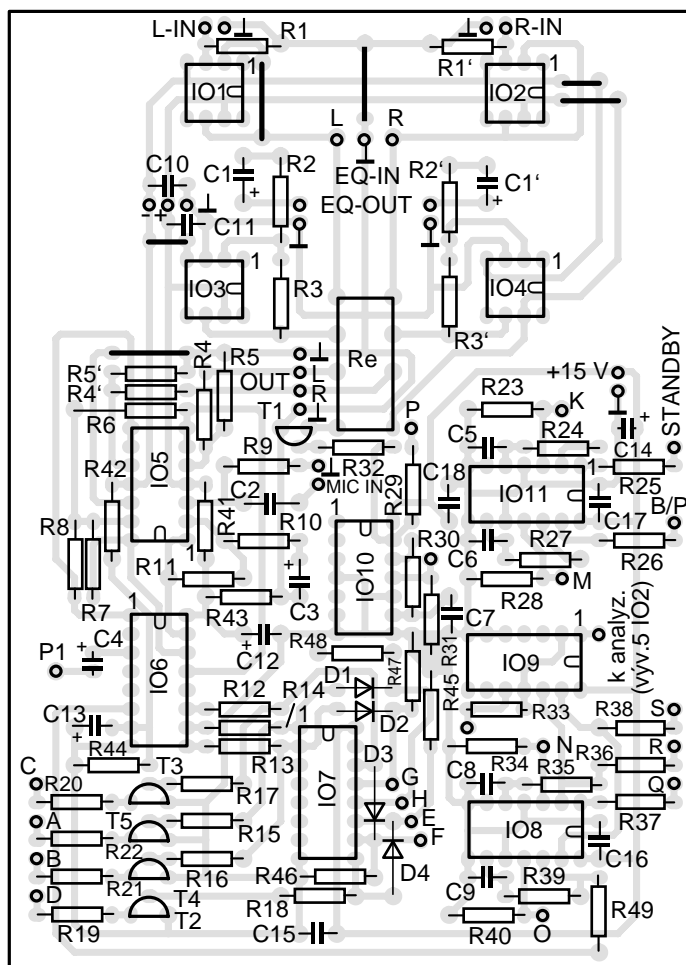
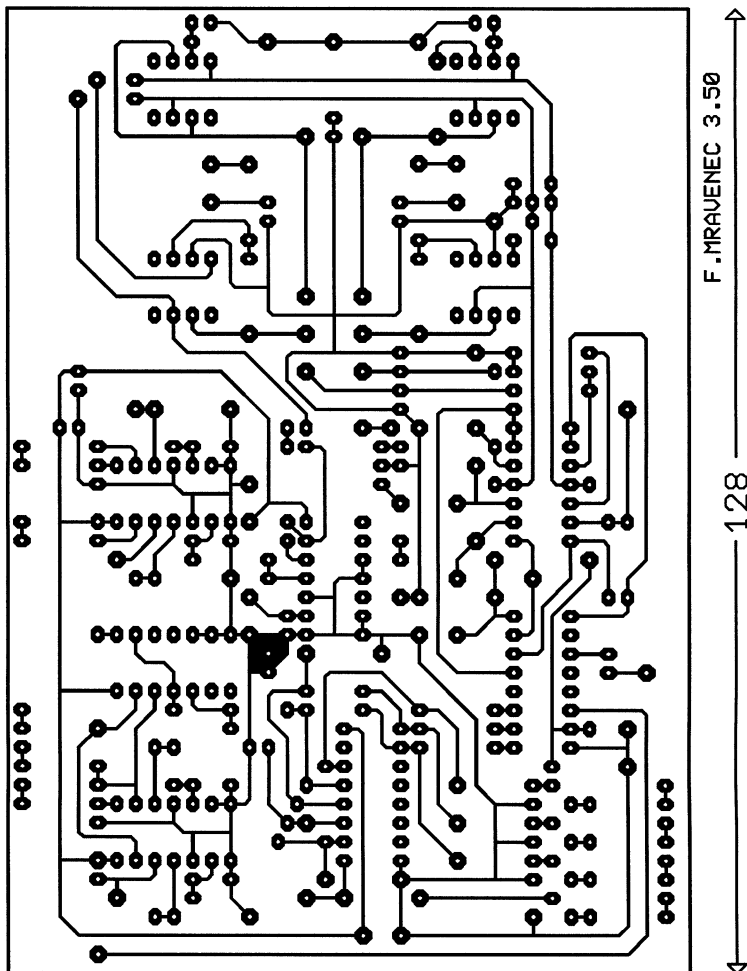
- [1] Funkschau 16/86, s. 67.
- [2] Elektronische Anlogschalter. ELRAD č. 5/1990, s. 71.
- [3] ELEKTOR 9/88, s. 52.
- [4] Funkschau - Arbeitsblätter. Funkschau 21/84, s. 60.
- [5] Kabeš, K.: Operační zesilovače v automatizační technice. SNTL: Praha 1988.
- [6] ELRAD č. 11/1988, s. 54.
- [7] Obvod pro řízení sloupce světelných diod - LM3915. KTE magazín.
- [8] RADIO-ELECTRONICS - 5/85, s. 74.
- [9] Real-Time Spectrum Analyzer for your Hi-Fi. RADIO-ELECTRONICS 4/85.
- [10] Audio processor circuit. Practical Electronics 8/81, s. 26.
- [11] 20 - Kanal-Audio-Analyser. ELRAD č. 6/1990, s. 78.
- [12] Elektor 11/86, s. 37.
- [13] Integrované obvody C-MOS. AR-B č. 2 a 3/85.



Obr. 9. Schéma zapojení obvodů elektronického ovládání



Obr. 10 a 11. Vnitřní provedení - pohled zezadu a shora



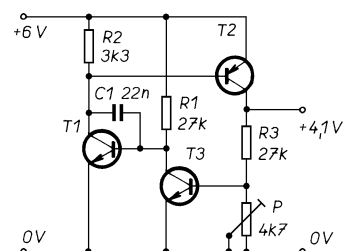
Obr. 12. Deska s plošnými spoji obvodů ovládní a rozmístění součástek

Stabilizovaný zdroj s malým úbytkem

Při konstrukci hodin jsem byl postaven před problém - výstupní napětí transformátoru, který jsem chtěl pro napájení použít, bylo při maximálním jasu displeje tak malé, že jsem nemohl použít klasický integrovaný stabilizátor (např. LM317). Navrhl jsem proto zapojení (obr. 1), kterému stačí vstupní napětí jen nepatrně větší než je saturační napětí regulačního tranzistoru. Proud procházející rezistorem R1 otevírá tranzistor T1 a kolektorovým proudem tranzistoru T1 se otevírá T2. Zvětší-li se výstupní napětí nad velikost nastavenou děličem R3 a P, zvětší se i napětí na bázi T3. Tranzistor T3 se otevírá a proud tekoucí do báze T2 se zmenší. Následně se přivrou i tranzistory T1 a T2 a výstupní napětí se vyrovná. Zesílení, uzavřené ve smyčce zpětné vazby, je značné - aby se stabilizátor nerozkmital, je nutno doplnit zapojení o kondenzátor C1.

Trimrem P nastavíme požadované výstupní napětí. Pro menší výstupní napětí bude třeba zmenšit odpor rezistoru R3. V uvedeném zapojení je rozsah výstupních napětí od 1 do 6 V. Odpor rezistoru R3 je přitom třeba měnit od 2,7 do 33 kΩ. Poněkud neobvyklé výstupní napětí 4,1 V jsem zvolil proto, že kromě napájení hodin zdroj zároveň dobíjí záložní baterii ze tří článků NiCd. Pro výstupní napětí asi 4 V je teplotní závislost výstupního napětí asi -20 mV/K. Je to způsobeno teplotní závislostí prahového napětí b-e tranzistoru T3, které se využívá ke stabilizaci. Pro většinu aplikací v běžných domácích podmínkách však můžeme tuto závislost zanedbat. Protože teplotní závislost je větší při větším výstupním napětí, je zdroj vhodný spíše pro menší výstupní napětí.

Pro zdroj můžeme použít součástky ze šuplíkových zásob. Jako T1 a T3 lze použít libovolné křemíkové tranzistory n-p-n, tranzistor T2 je třeba vybrat s ohledem na předpokládaný odběr ze zdroje. Pro menší proudy vyhoví např. KF517 (z dovážených typů BC640), pro větší např. KD136 (BD136). Při menším zesilovacím činiteli tranzistorů bude potřeba zmenšit odpor rezistoru R1. Stabilizátor jsem zkusil pro proudy do 0,5 A. **JB**



Obr. 1. Zapojení stabilizátoru