

Nízkofrekvenční generátory 2

RC generátor 10 Hz až 1 MHz

Tomáš Kadeřábek

Generátor byl navržen na motivy generátoru BK 124 na bázi moderních součástek. Cílem bylo získat jednoduchou konstrukci schopnou stavby v domácích amatérských podmínkách, bezpečnou a s parametry odpovídajícími oblíbenému BK 124. Generátor je možno postavit za asi 800 CZK.

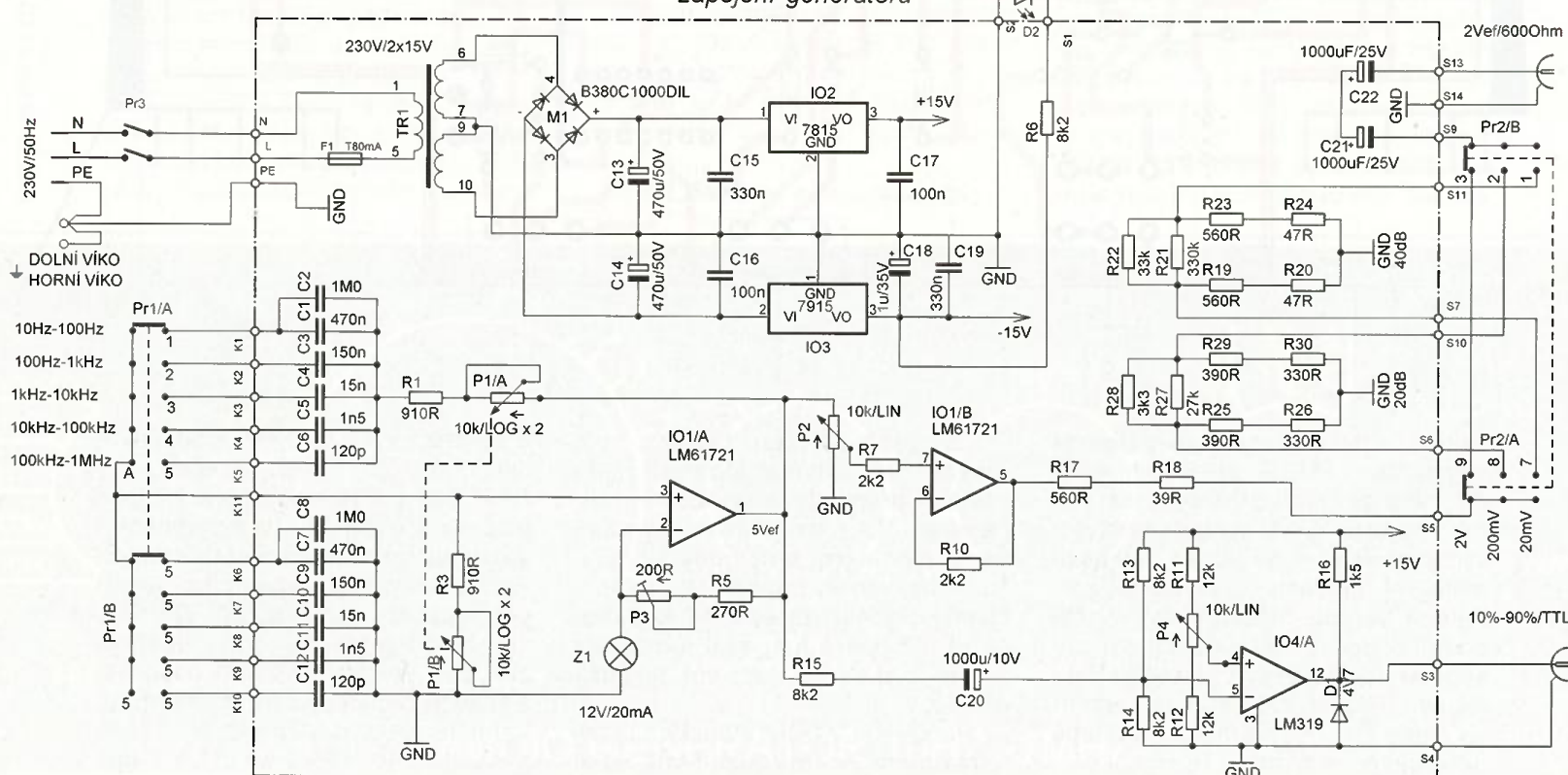
Popis zapojení

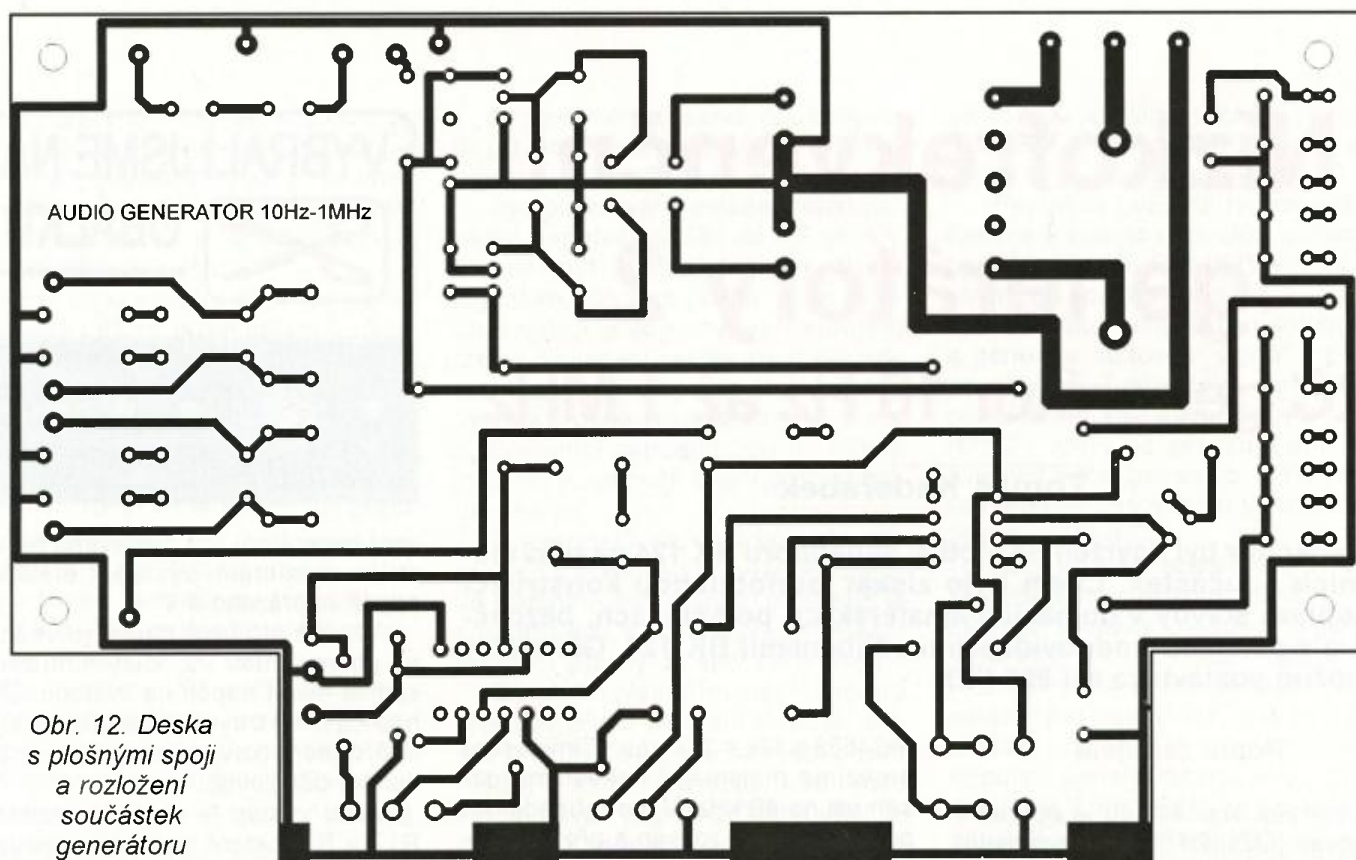
Centrální součástkou je operační zesilovač (OZ) IO1, jehož první polovina je zapojena v klasickém zapojení. Wienův člunek je tvořen tandemovým logaritmickým potenciometrem P1, rezistory R1 a R3 a soustavou kondenzátorů. Pro nejnižší rozsah je z důvodu nedostupnosti 1,5 μF použita paralelní kombinace 1 + 0,47 μF . Musí zde být použit velmi rychlý OZ alespoň s rychlostí 100 V/ μs . Zesilovač musí totiž zvládnout na nejvyšší frekvenci celý rozkmit napájecího napětí. V opačném případě bude nestabilní amplituda tam, kde zesilovač začíná omezovat amplitudu výstupního napětí z hlediska dosažení maximální možné rychlosti přeběhu. Byl použit OZ LM6172 s deklarovanou rychlostí přeběhu 3500 V/ μs , který je dostupný pouze u firmy Farnell. Pokud bychom chtěli zařízení zlevnit, můžeme použít běžněji dostupný OZ

MC4558 s $\text{SR} = 2,2 \text{ V}/\mu\text{s}$. Tím ovšem omezíme maximální frekvenční rozsah asi na 40 kHz. V tom případě odpadne poslední rozsah a předposlední bude omezen. I s tímto omezením dostaneme přístroj pokrývající zvukové frekvence.

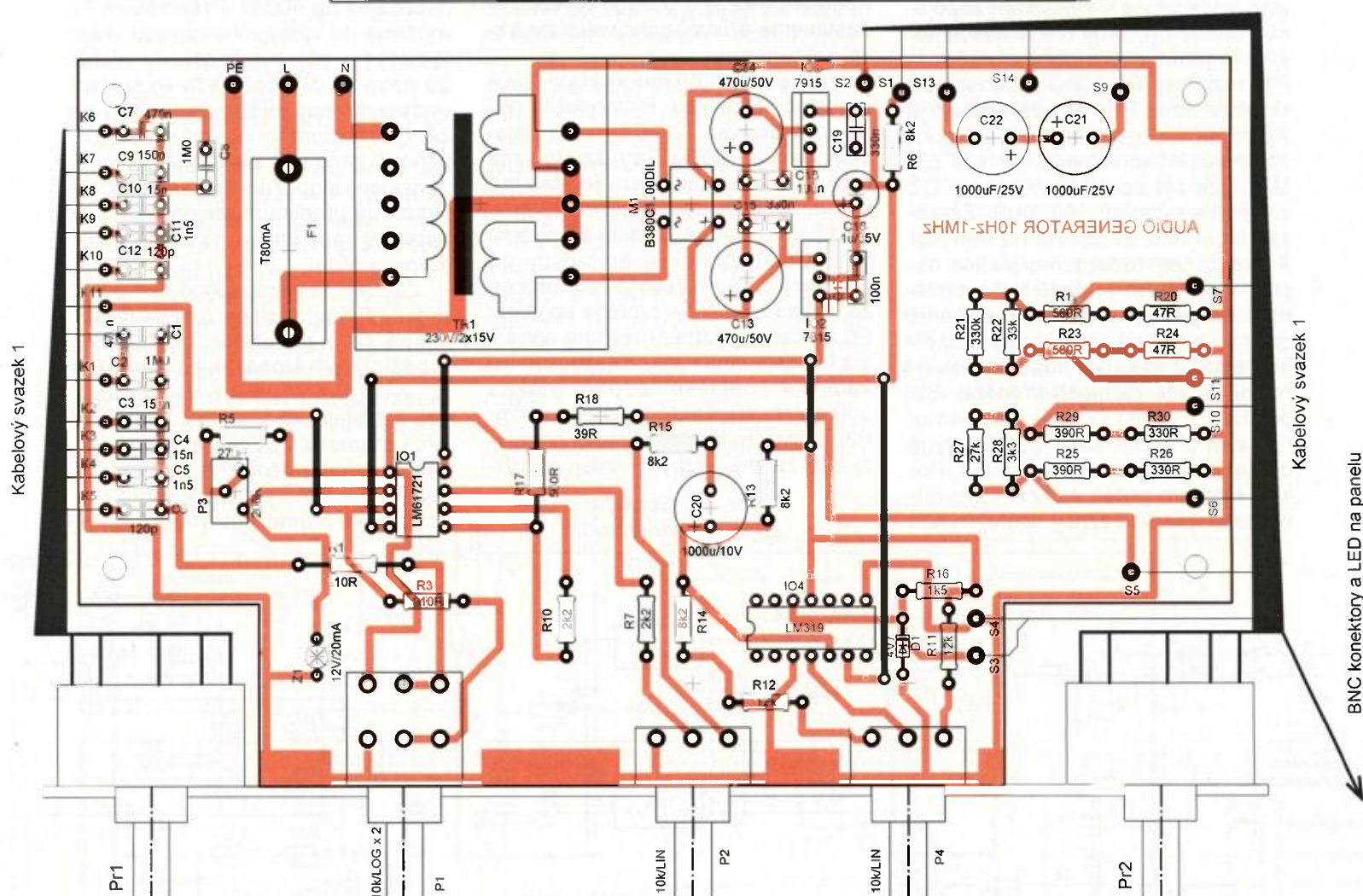
Základním prvkem je stabilizace amplitudy žárovkou. Byla použita přístrojová žárovka 12 V/20 mA (s pájecími vývody - GES). Tato žárovka má rovné vlákno a zapojení je stabilní. Pokud bychom použili běžnou žárovku 12 V/50 mA se závitem E5.5, zjistíme silnou závislost amplitudy na poklepu. To je asi způsobeno faktem, že vlákno žárovky je tvořeno spirálou. Při poklepu se změní těsnost spirály a s tím se i zlepší její ochlazování. To vede ke zmenšení odporu vlákna a k nárůstu amplitudy. V děliči je i trimr P3, kterým je možné nastavit pracovní bod zpětné vazby. Později při oži-

Obr. 11. Schéma zapojení generátoru





Obr. 12. Deska s plošnými spoji a rozložení součástek generátoru



torem). Zde byla použita polovina komparátoru LM319. Na jeho invertující vstup se upíná střídavý signál přímo z výstupu IO1A. Jeho neinvertující vstup je připojen na jezdec potenciometru P4. Změnou napětí na neinvertujícím vstupu můžeme ovlivňovat bod překlopení vůči průběhu sinusového signálu a tedy i vlastně střidu signálu. Výstup IO2 zkratuje Zenerovu diodu D1 - 4V7 a tím na výstupu generuje požadovaný TTL signál.

Uvedené zařízení by sice bylo možné zkonstruovat s baterií nebo vnějším průmyslově vyráběným napájecím. Uvedené řešení by však vedlo k omezení amplitudy signálu, horní frekvence, popřípadě zhoršení čistoty signálu (zkreslení). Aby moderní OZ dobře fungoval, potřebuje kvalitní symetrické napájení minimálně ± 15 V.

Problém je vyřešen klasickým transformátorem 2x 15 V/2 W firmy Hahn

a symetrickým zdrojem, osazeným dvojicí IO 7815/7915. Kondenzátory C17, C18 a C19 na výstupu IO jsou podle datového listu a zabráňují nežádoucím oscilacím stabilizátorů. Potřebný odstup napájecího napětí pro regulaci na filtračním kondenzátoru od regulovaného napětí je zaručen velkým vnitřním odporem a malým odběrem z transformátoru. Vzhledem k tomu, že odběr obvodů generátoru je řádově 10 mA a trans-

formátor má sekundární efektivní napětí 15 V při jmenovitém odběru 100 mA, napětí na filtračním kondenzátoru před regulátorem je 30 V, což poskytuje bohatě velký úbytek pro regulaci. Tepelnou ztrátu na regulátoru 0,15 W je možné chladit pouze samotným pouzdrem TO-220, regulátor však má již oteplení asi 30 až 40 °C, což je poznatelné při dotyku prstem.

Mechanická konstrukce a postup stavby

Jádrem mechanické konstrukce je skříň AH 315 (66 x 202 x 148 mm) (GM electronic) z ocelového plechu o tloušťce 1 mm a povrchovou úpravou černým práškovým vypalovacím lakem. Kovová krabice je naprosto nezbytná, protože prodávané plastové krabice od stejné firmy mají nejvyšší přípustné vnitřní napětí 50 V a výrobce výslovně uvádí jejich nevhodnost pro síťové napětí 230 V. Veškeré součástky, vyjma výstupních konektorů, signalizační diody LED, síťového spínače a přepínačů rozsahů jsou na jednostranné desce s plošnými spoji evropského formátu 100 x 160 mm se dvěma výřezy. Obrazec plošného spoje nemá žádný prostup vývodů mezi vývody pouzdra DIL8 a je snadno nakreslitelný. Na desce je jenom pět propojek, které jsou naznačeny i na výkrese. Pozice pro integrované obvody doporučuji osadit objímkami. Při oživení lze potom velice pohodlně zkontrolovat napájecí napětí před osazením IO.

Po osazení a vyzkoušení základní desky (Pr1 nahradíme propojkou v rozsahu 100 Hz až 1 kHz) namontujeme na potenciometry subpanel, a po jejich vyrovnaní do pravého úhlu a dotažení matic připájíme k hlavní desce (na obvodu desky je pro tyto účely zemní vodič a plošky).

Subpanel je vyroben opět z jednostranného kuprextitu o rozměrech 170 x 45 mm. Při profesionální výrobě by bylo levnější vyrobit subpanel

z hliníkového plechu s ohnutým lemem a k hlavní desce jej přišroubovat, generátor je ovšem navržen tak, abychom si vystačili se stojanovou vrtačkou a dělením kuprextitu nůžkami na plech.

V tuto chvíli musíme mít připraveny oba přepínače s vývody úhledně vyvedenými do kabelového svazku na vnější stranu (tu, na které je umístěn orientační kolík) a nesmíme zapomenout omezit počet poloh přepínače podle schématu.

Přepínače zasuneme do správných poloh na subpanel a dotáhneme matice. Po připájení lanek a zajištění kabelových svazků např. izolační páskou máme opět funkční jednotku, kterou můžeme vyzkoušet.

Po namontování distančních sloupků M3x 20 k hlavní desce a M3x 5 k subpanelu pomocí šroubů M3x 8 s válcovou hlavou je jednotka připravena k montáži do hlavní skříně, do které jsme předtím vyvrtali otvory. Vytiskneme na tiskárně na samolepicí fólii potisk panelu (obr. 13 nebo soubor na www.aradio.cz).

Pro přívod síťového napětí byla zvolena technika, kdy kabel je přímo součástí přístroje. Na zadní panel by bylo sice možné umístit panelovou zásuvku, stejnou, jako je např. ve stolních počítačích. Otvor pro ni bychom ovšem museli složitě pilovat. Pro námi zvolené řešení stačí kulaté otvory o průměru 12 mm pro kabelovou průchodku a 6 mm pro síťový spínač, které snadno vyvrtáme. Pro síťový spínač jednak už není na čelním panelu místo, jednak je ho všeobecně vhodnější dávat na zadní panel. Vodiče se síťovým napětím jsou potom omezeny pouze na zadní část přístroje a nemáme takové problémy s izolací a bezpečností všeobecně.

Ochranný vodič PE (žlutozelený) musí být vodivě spojen se zemí zařízení a s oběma díly skříně. U otvorů o průměru 3,5 mm na každé části skříně musíme z vnitřní strany očistit

lak modelářskou frérou (stačí i brusný papír), abychom získali dobrý kontakt. Mezi pájecí očko a panel vložíme zubatou podložku. K tomu, aby byl přístroj ve třídě I bezpečný, nelze v žádném případě spoléhat na přizemnění skříně pouze přes konektor BNC a šrouby, spojující obě části skříně. Vysokonapěťová odolnost mezi síťovými vodiči a zbytkem konstrukce je dosažena jednak použitím kvalitního certifikovaného transformátoru, jednak pečlivým provedením a zaizolováním všech spojů na spínači smršťovací bužirkou. Při kreslení obrazce spoje je třeba mít na paměti odstup 5 mm mezi každým síťovým a jakýmkoliv jiným vodičem. Po zapojení síťového spínače, zkrácení hřídel potenciometru a přepínačů, namontování ovládacích knoflíků a zakrytování je přístroj hotov.

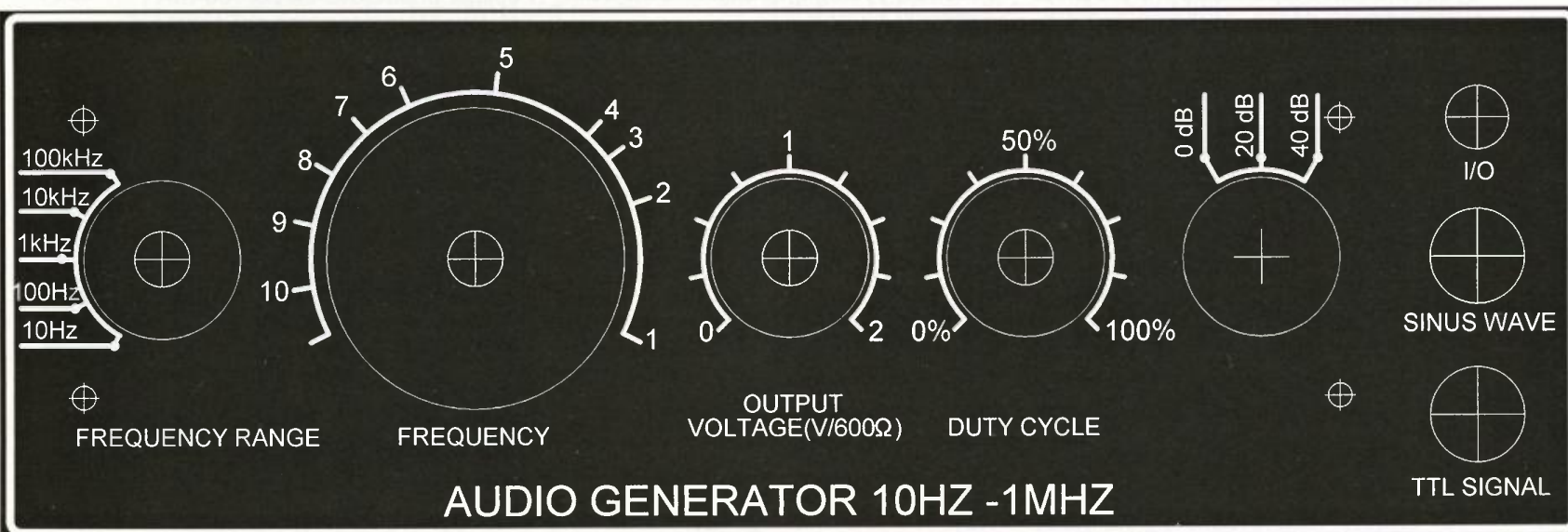
Měření generátoru

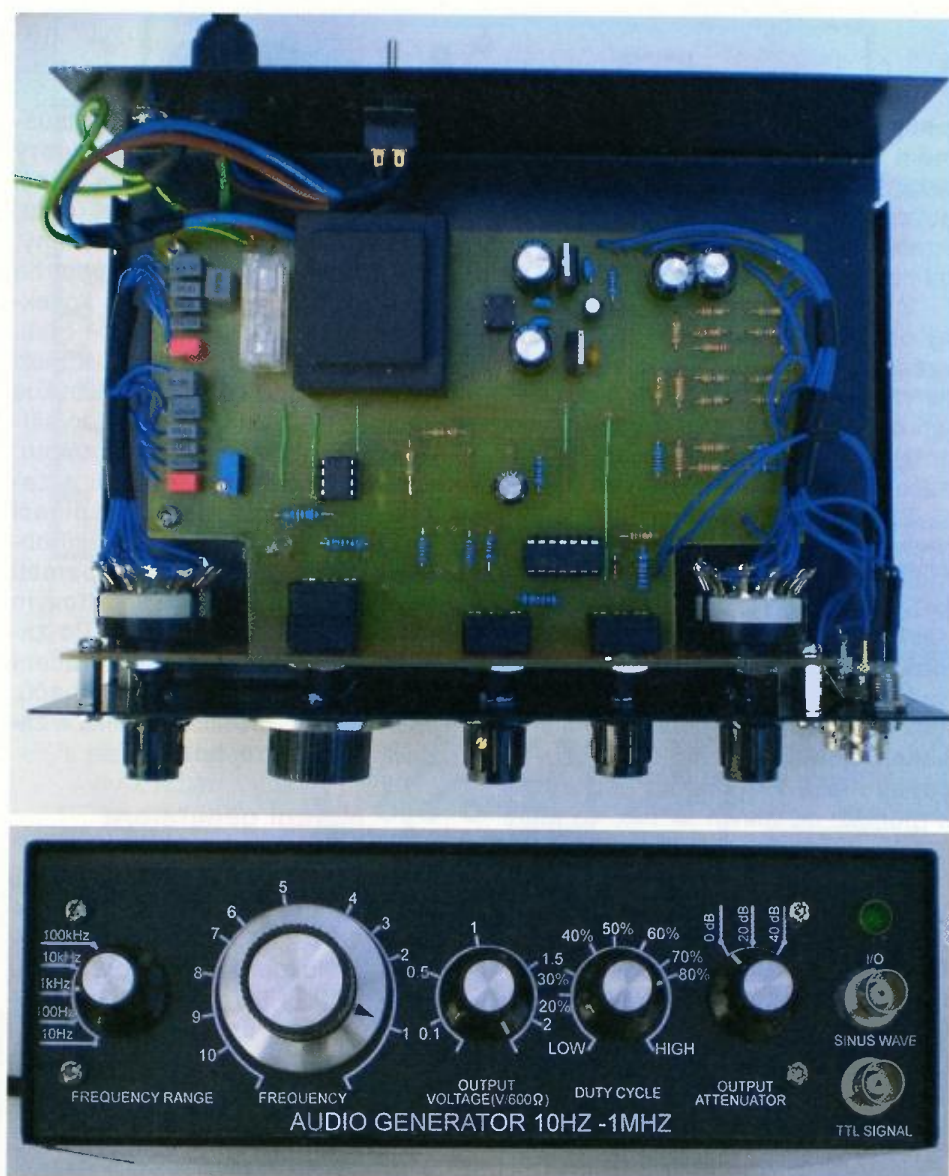
Při oživení zařízení bychom měli všeobecně dbát na bezpečnost. Pracujeme se střídavým napětím 230 V/50 Hz, a pokud nemáme oprávnění podle vyhlášky 50/78 minimálně podle §6, veškeré práce pod napětím a zapojení síťové části bychom měli dělat pod dozorem kolegy, majícího toto oprávnění.

I pokud vlastníme pouze jednoduché univerzální měřidlo, můžeme ověřit chod generátoru. Nastavíme-li na generátoru frekvenci 50 Hz, plné výstupní napětí a připojíme-li běžný voltmetr v režimu AC (měření střídavého napětí), naměříme odpovídající výstupní efektivní napětí naprázdno 4 V. Univerzální měřidlo ovšem pracuje nejvýše do několika stovek Hz.

Pro kontrolu všech rozsahů použijeme jinou metodu. Univerzální měřidlo, nastavené tentokrát na rozsah DC, připojíme na TTL výstup a nastavíme střihu asi 30 %. Voltmetr by měl ukázat asi 1,2 V. Při přeladění na rozsazích do 100 kHz by se napětí nemělo měnit o více než 10 mV. Na roz-

Obr. 13. Přední panel generátoru





Obr. 14. Fotografie hotového přístroje

sahu do 1 MHz bude napětí asi okolo 1 V, protože amplituda signálu již zde není tak stabilní.

Výstupní dělič můžeme zkontrolovat tak, že odpojíme kabel vedoucí z výstupu IO1B a k přepínači připojíme napětí z 9V baterie přes rezistor 600 Ω . Výstup zatížíme odporem 600 Ω a měříme stejnosměrné napětí. Voltmetr by měl v jednotlivých polohách ukázat 4,5 V, 450 mV a 45 mV s přesností asi 2 %.

Pokud máme možnost zobrazit signál na osciloskopu, můžeme zkontrolovat okem průběh signálu a oproti děliči osciloskopu i stanovit přesnost výstupního děliče. Můžeme zkontrolovat i jednotlivé stupnice a případně je překreslit.

Základním parametrem nízkofrekvenčního signálu je zkreslení THD (Total harmonic distortion), což je poměr efektivních hodnot všech vyšších harmonických k efektivní hodnotě celého signálu. K měření je nutné speciální přístroj - audioanalyzátor.

Pro měření byl použit UPA 3 od firmy Rohde&Schwarz (10 Hz až 100 kHz). Zároveň se stejným přístrojem byla změřena i stabilita amplitudy při ladění. Pouze rozsah nad 100 kHz byl změřen osciloskopem. Větší zkreslení na nižších frekvencích rozsahů je asi způsobeno reakcí teploty vlákna žárovky na nižší

frekvence. Výsledek je srovnatelný s generátorem BK 124 (0,2 % pro kmitočty vyšší než 100 Hz)

Parametry generátoru

Zkreslení: $f < 50$ Hz - $k < 3$ %,
 50 Hz $< f < 100$ Hz - $k < 0,6$ %,
 100 Hz $< f < 500$ Hz - $k < 0,2$ %,
 500 Hz $< f < 100$ kHz - $k < 0,1$ %.

Stabilita amplitudy
(referenční hodnota 500 Hz,
výstup zatížen 600 Ω):

pro $f < 100$ kHz je $\pm 0,2$ dB,
pro $f > 100$ kHz je -2 dB.

Přesnost výstupního děliče: $\pm 0,2$ dB.
Přesnost stupnic:

± 5 % z celého rozsahu.

Seznam použitých součástek

R1, R3	910 Ω
R5	270 Ω
R6, R15, R13, R14	8,2 k Ω
R7, R10	2,2 k Ω
R11, R14	12 k Ω
R16	1,5 k Ω
R17, R19, R23, R27	560 Ω
R18	39 Ω
R20, R24	47 Ω
R21	330 k Ω
R22	33 k Ω
R25, R29	390 Ω
R26, R30	330 Ω
R27	27 k Ω

R28	3,3 k Ω
P1	2x 10 k Ω /G, PC16SGK010 dvojité logaritmický potenciometr
P2, P4	10 k Ω /N, PC16MLK010 lineární potenciometr
P3	200 Ω , 64Y 200R
C1, C7	470 nF, RM5, CF1
C2, C8	1 μ F, RM5, CF1
C3, C9	150 nF, RM5, CF1
C4, C10	15 nF, RM5, CF1
C5, C11	1,5 nF, RM5, CF1
C6, C12	120 pF, RM5, FKP2
C13, C14	470 μ F/50 V, 10x 20 RM5, CE
C15, C19	330 nF/63 V, RM5, CK
C16, C17	100 nF/63 V, RM5, CK
C18	1 μ F/63 V 5x11 RM2.5, CE
C20	1000 μ F/10 V 10x 16 RM5, CE
C21, C22	1000 μ F/25 V 13x 25 RM5, CE
M1	můstek DB107, 1 A
IO1	LM6172, DIL 8
IO2	7815, TO-220
IO3	7915, TO-220
IO4	LM319, DIL14
D1	BZX83V004.7
LED	zelená, 5 mm
Z1	žárovka přístrojová 12 V/20 mA (GES)

Pr1, Pr2 otočný panelový přepínač

DS2

Skříň AH315

Kuprexit 160 x 100 x 1,5 mm, jednostranný

Kuprexit 170 x 45 x 1,5 mm, jednostranný

Distanční sloupek M3x 5, 4 ks

Distanční sloupek M3x 20, 4 ks

Šroub M3x 8, půlkulatá hlava, 10 ks

Matice M3, 2 ks

Pájecí očko M3, 2 ks

Zubatá podložka, 2 ks

Přístrojový knoflík 6/20, 4 ks

Přístrojový knoflík 6/40

BNC zásuvka panelová, 2 ks

Držák LED 5 mm panelový

Kabelová průchodka 6 mm, EG-7BL

Síťový spínač dvoupólový

Přístrojová nožička nalepovací, 4 ks

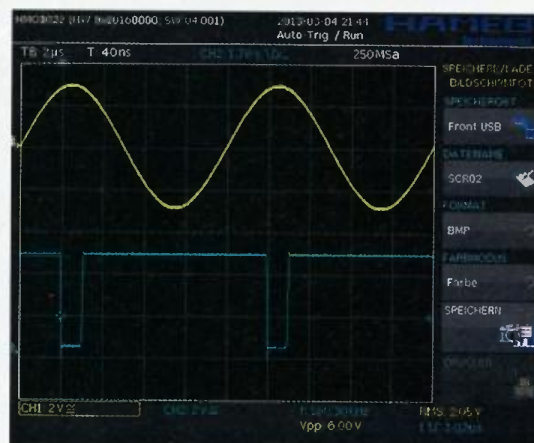
Pojistkové pouzdro do DPS PTF 15

Kryt pojistkového pouzdra BS 140

Pojistka přístrojová 5x 20 T80 mA

Tr1 transformátor Hahn, EI38/13,6;

230 V/2x 15 V, 3,2 W



Obr. 15. Změřený průběh