

Obr. 51. Nízkofrekvenční wattmetr

na můstkovém usměrňovači nepřekročí 1,4 V, zajišťuje charakteristika diod kvadratický průběh závislosti proudu na napětí. Prakticky to znamená, že proud diodami je úměrný čtverci výstupního napětí (U_{out}^2). Použijeme-li pro měření tohoto proudu měřidlo s otočnou cívkou, dosáhneme – samozřejmě po nastavení – u nízkofrekvenčního wattmetru přibližně lineární stupnice.

Aby bylo možno měřit i menší výkony, byly u popisovaného přístroje použity dva rozsahy, které se přepínají – Pf – odporový. Není třeba používat zvlášť přesné odpory – nastavení umožňují potenciometry P_1 a P_2 . Je zřejmé, že po malé úpravě lze přístroj použít i pro jiné zatěžovací impedance, případně navrhnout pro jiné rozsahy měření. Přitom je však důležité, aby vnitřní odpor použitého měřidla nebyl příliš velký, měl by být 100 až 180 Ω.

Po zapojení je třeba přístroj nastavit, nejlépe společně se zesilovačem. Na vstup zesilovače se připojí tónový generátor, nastavený na 1 kHz. Na výstup zesilovače se připojí popisovaný nízkofrekvenční wattmetr. Při měření se doporučuje s ohledem na sluch odpojit reproduktory a použít odporovou zátěž. Paralelně k nízkofrekvenčnímu wattmetru se připojí univerzální měřicí přístroj, přepnutý na měření střídavých napětí. V poloze přepínače Pf „200 W“ se regulátorem hlasitosti postupně zvětšuje i výkon zesilovače. Než ručka wattmetru dosáhne konce stupnice, je třeba nastavit P_2 tak, aby tímto proměnným odporem protékal větší proud. Když univerzální voltmetr ukazuje napětí 28,3 V, pak to při zátěži 4 Ω odpovídá výkonu 200 W; proměnným odporem P_2 se nastaví plná výchylka ručky měřidla wattmetru. Pak se regulátor hlasitosti „stáhne“ tak, až univerzální voltmetr ukazuje výstupní napětí 14,1 V. To odpovídá výstupnímu výkonu 50 W. Pak se přepínač přepne do polohy „50 W“ a trimrem P_1 se nastaví ručka měřidla na plnou výchylku. Tím je nastavení wattmetru skončeno.

Elektor č. 2/1981

Nízkofrekvenční milivoltmetr s lineární indikací pro kmitočty až do oblasti MHz

Silné zakřivení charakteristiky diod v propustném směru způsobuje při usměrňování malých napětí, že proud protékající měřidlem není úměrný přiváděnému napětí. Tím dochází ke zhoršení vlastností milivoltmetru – nelinearitě je možné omezit mimo jiné také použitím proudové záporné zpětné vazby z výstupního usměrňovače na vstup zesilovače.

Pro účinnou linearizaci pomocí proudové zpětné vazby je třeba, aby zpětnova-

zební proud byl úměrný vstupnímu napětí. Zapojení na obr. 52 ukazuje realizaci popsaného řešení.

Zesilovač má dobré vlastnosti (širokopásmovost) a dostatečnou rezervu zesílení. Proud detektorem vyvolá na odporu R_6 úbytek napětí. Toto napětí se používá jako zpětnovazební signál. Jednoduchým způsobem tak získáme zesilovač se silnou zápornou zpětnou vazbou. Proudová zpětná vazba linearizuje poměr vstupního napětí k výstupnímu proudu. Dosažený linearizační účinek je značný. Experimentálně nebylo možné zjistit podstatné odchylky od lineárního vztahu mezi vstupním napětím a výstupním proudem v rozsahu od 5 μ A do 100 mA v pásmu 20 Hz až 1 MHz. Výstupní proud 100 μ A přitom odpovídal vstupnímu napětí 100 mV.

Pro porovnání byly změněny vlastnosti zapojení bez zpětné vazby (odpor R_6 zkratován). Při výstupním proudu 30 μ A byla zjištěna nelinearita 25 %, a při výstupním proudu 10 μ A nelinearita 100 %. Velikost záporné zpětné vazby a tím i citlivost je možné nastavit změnou odporu R_6 . V tabulce jsou uvedeny charakteristické parametry zesilovače v závislosti na odporu R_6 .

R_6 [Ω]	Napětové zesílení	Dolní mezní kmitočet [Hz]	Horní mezní kmitočet [MHz]	Vstupní impedance [k Ω]
0	2000	100	0,65	
11	100	30	9	20
111	10	10	24	100

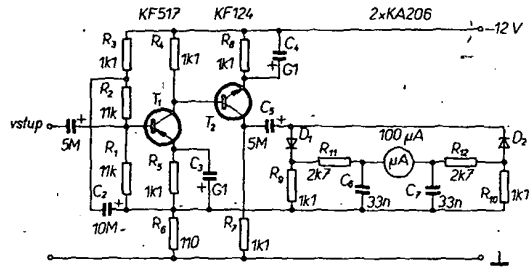
Funkamateu č. 5/1981

Generátory signálů

Levný generátor přesného síťového kmitočtu pro hodiny

Je všeobecně známo, že signálem síťového kmitočtu u nás nemůžeme řídit ani digitální hodiny, ani hodiny se synchronním motorem, protože síťový kmitočet je vždy nižší než 50 Hz. Denní zpoždění hodin je proto 10 až 20 minut.

Bylo již popsáno několik způsobů, jak vytvořit časový normál 50 Hz, ale krystalový generátor, dělička kmitočtu, zesilovač z diskretních součástí a transformace impulsů – to vše je dosti složité a navíc – výstupní signál má jakýsi tvar, který sinusovku připomíná jen vzdáleně. Kromě toho, impulsy měly po zesílení sklon k rušení „všeho“ a některé druhy synchronních motorů se nenechaly ošidit – při napájení rádo by sinusovým signálem prostě odmítaly vyvíjet jakoukoli činnost. Zařízení potřebovalo krystal, hodné pouzder IO, stabilizovaný zdroj.

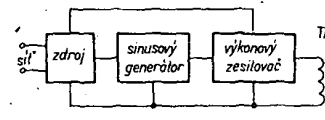


Obr. 52. Nf milivoltmetr s lineární indikací pro kmitočty do oblasti MHz

Proto jsem si zvolil jinou cestu. Popisovaný přístroj není řízen krystalem a přitom jím napájené hodiny budou přesnější, než běžné hodiny. Při pečlivém nastavení nemusí být odchylka hodin od správného času větší než ± 20 s denně (i méně).

Generátor nebo celé zařízení můžeme použít k pohonu synchronních motorků hodin, i jako zdroj 50 Hz pro digitální hodiny, případně vestavěné do rozhlasového přijímače.

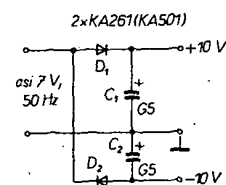
Blokové schéma celého zařízení je na obr. 53. Skládá se ze čtyř částí: ze zdroje, sinusového generátoru, výkonového zesilovače a převodního transformátoru.



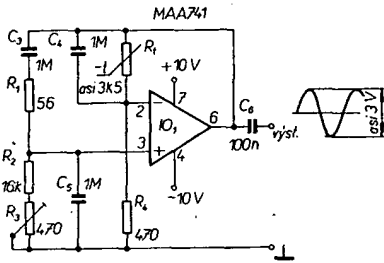
Obr. 53. Blokové schéma generátoru

Zdrojová část je rozdělena, společným dílem je jen napájecí transformátor, který je typu EI20 s výškou svazku 20 mm. Primární vinutí (síťové) má 3000 závitů o \varnothing 0,11 mm, sekundární I (pro napájení sinusového generátoru, obr. 54) má 100 závitů drátu o \varnothing 0,1 mm (asi 7 V), sekundární II pro napájení výkonového zesilovače má 200 závitů drátu o \varnothing 0,4 mm (asi 14 V). Nebylo by na škodu, kdybychom použili i větší transformátor. Usměrňovače a filtrační kondenzátory jsou umístěny na deskách s plošnými spoji jednotlivých funkčních celků. Napájecí napětí nepotřebuje žádnou stabilizaci.

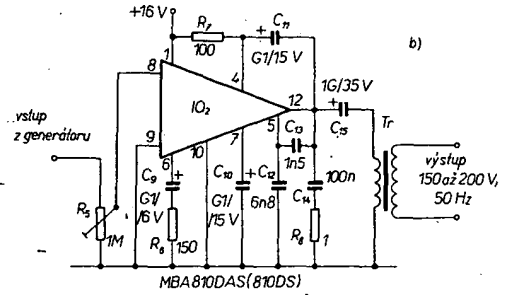
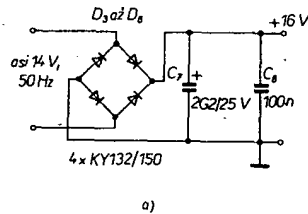
Generátor sinusových kmitů je na obr. 55. Jedná se o Wienův můstek s operačním zesilovačem (ve zjednodušené formě), na výstupu OZ dostaneme napětí sinusového průběhu s malým zkrácením a amplitudou asi 3 V. Termistor R_1 zaručuje amplitudovou stabilizaci i tvar výstupního napětí a musíme použít perličkový typ (některý z těchto typů: 12NR08, 12NR15, 12NR10, 12NR17). Odpory generátoru by měly být stabilní, kondenzátory také (ve vzorku byly použity obyčejné miniaturní odpory, kromě R_1 a R_2 , a kondenzátory papírové zalízané válcové, přitom přístroj pracuje uspokojivě). Odporovým trimrem R_3 nastavíme měřičem periody kmitočet výstupního napětí 50 Hz



Obr. 54. Zdroj napájecího napětí generátoru sinusového signálu



Obr. 55. Generátor sinusového signálu

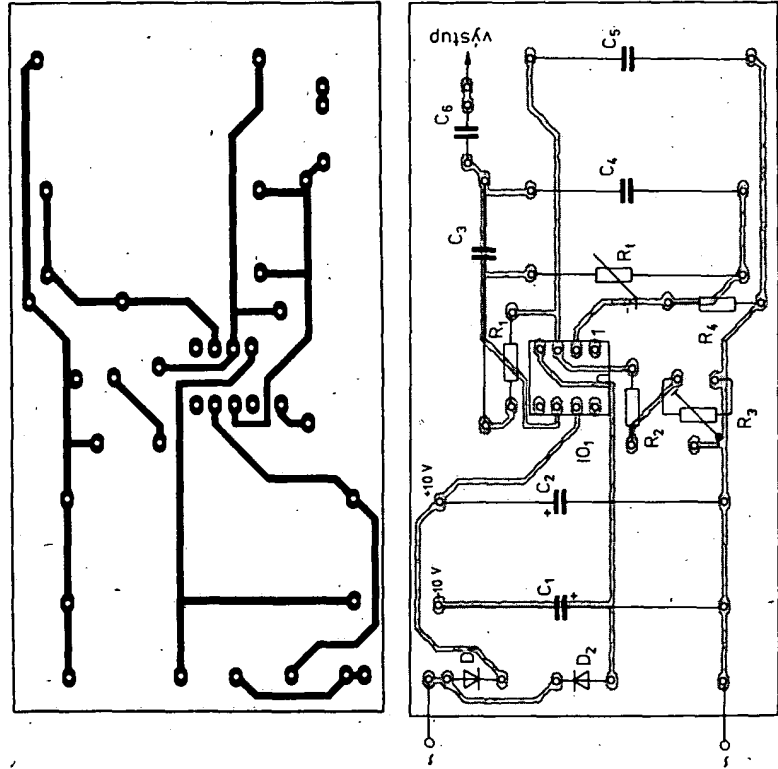


Obr. 56. Výkonový zesilovač (b) a jeho napájecí zdroj (a)

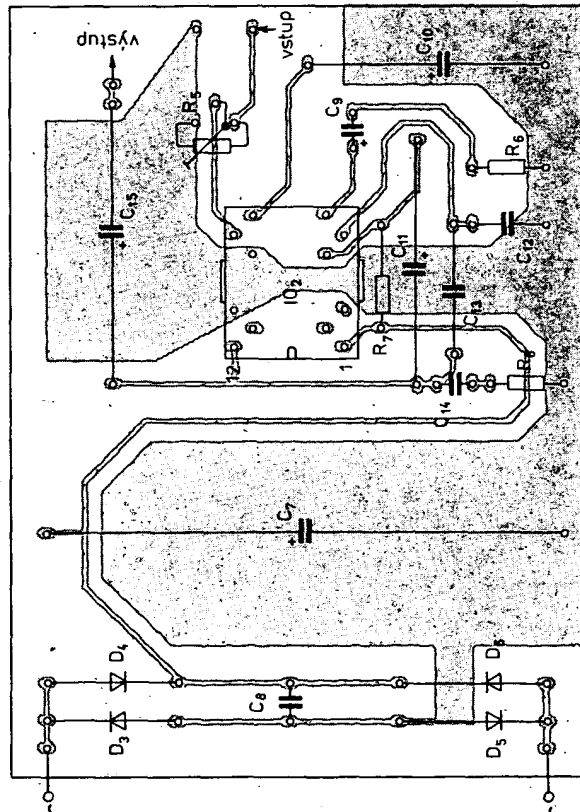
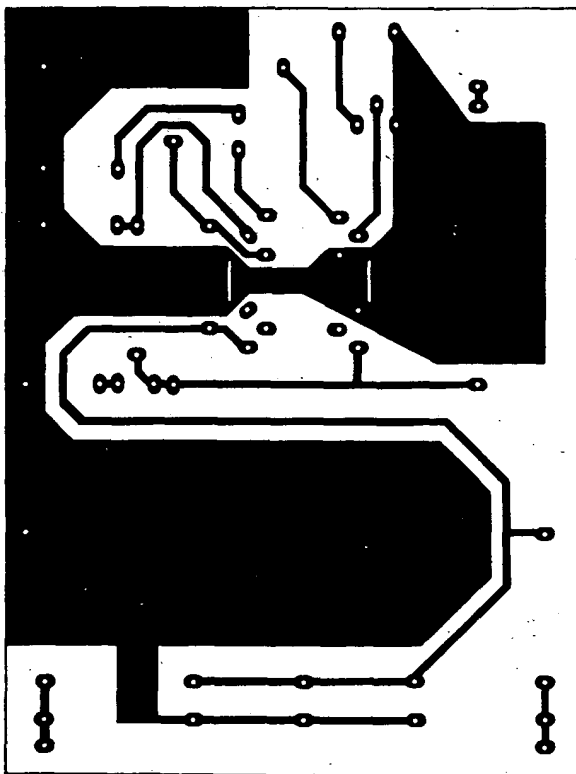
(20 000 μ s). Potom bude výhodné, změřit R_2 a R_3 a použít jiné odpory tak, aby R_3 tvořil jen malou část celkového odporu kombinace $R_2 + R_3 = 16,250$ k Ω . Použijeme pevný odpor (vybíráme, nebo složíme) $R_2 = 16$ k Ω a trimr 470 Ω . Na výstupu musíme dostat sinusové napětí. Nebude-li tvar sinusovky pravidelný, pak je nesprávný termistor, nebo se liší kapacity kondenzátorů od uvedených více, než je únosné.

Dalším dílem přístroje je výkonový zesilovač podle obr. 56a, b. Využijeme výhody monolitického zesilovače MBA810DS (nebo DAS), s vestavenou tepelnou ochranou, z něhož můžeme odebírat výkon 4 až 5 W. Obvykle ani tolik nebudeme potřebovat, ale každopádně obvod opatříme chladičem s co největší plochou. Napájecí napětí nemá překročit 16 V.

Na vstup zesilovače přivedeme sinusový signál a na osciloskopu kontrolujeme tvar výstupního signálu. Výstup zesilovače je zatížen transformátorem. Odporovým trimrem R_5 zmenšujeme úroveň vstupního signálu tak, by vrcholky sinusovky na výstupu nebyly omezeny (oříznuty). Výstupní amplituda na primárním vinutí bude asi 3 V, proto podle toho stanovíme i poměr převodního transformátoru. Použil jsem transformátor s jádrem M17 (M55), primární vinutí má 40 závitů drátu o $\varnothing 0,4$ mm, sekundární vinutí 3000 závitů drátu o $\varnothing 0,15$ mm. Na zátěži na sekundárním vinutí dostaneme 150 až



Obr. 57. Deska s plošnými spoji Q202 generátoru sinusového signálu se zdrojem napájecího napětí



Obr. 58. Deska s plošnými spoji Q203 výkonového zesilovače se zdrojem napájecího napětí

200 V, signál má sinusový tvar a kmitočet přesně 50 Hz.

Synchronní motorky v hodinách mají obvykle odběr 15 až 20 mA, při napájení z popisovaného zdroje pracuje tedy výkonový zesilovač s rezervou, potřebují-li větší proud, pak výkonový zesilovač zatěžujeme až „na doraz“.

Oba transformátory a obě desky s plošnými spoji (obr. 57 a 58) byly upevněny na jednu nosnou desku a přikryty bakelitovou krabicí 120 × 170 × 60 mm bez větracích děr (viz fotografie na obálce). V takovém případě se uvnitř krabice vytvoří „mikroklima“ s poměrně stálou teplotou kolem 35 °C (zesilovač MBA810 má na pouzdře asi 60 °C, napájecí transformátor přibližně také). Po uplynutí delšího času (několik hodin po dosažení teplotní rovnováhy) nastavíme definitivně kmitočet výstupního signálu pomocí R_3 .

Potřebujeme-li větší výkon, než můžeme odebrat z MBA810, pak lze použít výkonové zesilovače MDA2010, příp. 2020 na 18, popř. 25 W, kterými již můžeme napájet nejen synchronní motor, ale i větší přijímač s magnetofonem a vestavenými digitálními hodinami. Zapojení zůstane celkem zachováno, bude třeba pouze zaměnit napájecí a výstupní transformátor za výkonnější typy. Výkonový zesilovač lze zapojit podle některého z návodů, které již byly v AR otištěny.

Výkonový ultrazvukový generátor

Oblast aplikací ultrazvuku je velmi rozsáhlá. Od čištění nerůznějších předmětů (brýlí, hodinek, šperků atd.) přes lékařskou elektroniku, zabezpečovací zařízení, pomůcky pro nevidomé, pájení hliníku, odpuzdování komárů, dálkové ovládání, až po speciální aplikace (jako ultrazvuková holografie a vojenská technika) – všude se můžeme setkat s využitím ultrazvuku. Ve všech vyjmenovaných aplikacích se používají jednak generátory ultrazvukového kmitočtu, jednak potřebné ultrazvukové měniče, převádějící střídavé elektrické napětí na akustický signál. V dalším textu je popsán univerzální výkonový ultrazvukový generátor, který je možné používat pro experimenty v různých aplikacích.

V praxi se používají dva druhy měničů – magnetostrikční a piezoelektrické. Protože výroba magnetostrikčního měniče je poměrně náročná a nákladná, pro amatérské použití přicházejí v úvahu měniče na základě piezoelektrické keramiky, které se vyrábějí průmyslově. Popisovaný

generátor je možné používat pro všechny typy piezokeramických ultrazvukových měničů. Dodává napětí pravouhlého průběhu a to nemodulované, s modulací jiným pravouhlým napětím nebo s modulací kmitočtovou. Výstupní signál v kmitočtovém pásmu 3 až 60 kHz má výkon podle potřeby, popř. podle použitého napájecího zdroje (60 až 240 W). Takový generátor je základním přístrojem pro všechny výkonové experimenty s ultrazvukem, ať již jde např. o ultrazvukovou čističku, nebo zabezpečovací zařízení apod.

Schéma zapojení generátoru je na obr. 59 a dělí se na čtyři části: výkonový zesilovač ve třídě B, modulovaný nebo nemodulovaný oscilátor, sestavený z invertorů v technologii CMOS, výkonový napájecí část a zdroj napájení oscilátoru.

Výkonový zesilovač, pracující ve třídě B, který tvoří tranzistory T_3 , T_4 a dvojice tranzistorů T_1 a T_2 , by mohl při odporové zátěži dodávat proud 5 A. Paralelní spojení tranzistorů pro T_1 a T_2 se může zdát poněkud „barbarské“, ovšem v režimu plného otevření a plného zavření lze toto zapojení použít. Je však nutné zajistit dostatečný budicí proud pro báze (ten dodávají tranzistory T_3 a T_4), aby bylo zaručeno, že se oba tranzistory dvojice dostanou spolehlivě do saturace. V zapojení koncových stupňů stabilizovaných zdrojů, nebo nízkofrekvenčních zesilovačů se běžně v emitorech tranzistorů používají odpory, zajišťující rovnoměrné rozdělení proudu ve dvou nebo třech paralelních tranzistorech, tvořících koncový tranzistor. Rovnoměrnému rozdělení proudu pak odpovídá i rovnoměrné rozdělení zatížení jednotlivých tranzistorů – tyto úpravy zapojení není třeba u tohoto generátoru používat.

V pracovním režimu tranzistorů T_1 a T_2 , které jsou buď v saturovaném, nebo blokováném stavu, odpovídá tepelná ztráta jednotlivých tranzistorů ztrátě na diodě při obdobném zatížení. Dosažený výkon koncového stupně závisí na použitém napájecím napětí. Pro napětí 60 V je možné dosáhnout přibližně výkonu

$$P_{max} = 60 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 240 \text{ W.}$$

Tranzistory T_3 a T_4 tvoří Darlingtonův zesilovač n–p–n, tranzistory T_1 a T_2 tvoří Darlingtonův zesilovač polarity p–n–p. Koncový stupeň je tedy komplementární.

Rídící oscilátor, kterým se buď koncový stupeň generátoru, používá integrovaný obvod CMOS, obsahující šest invertorů. Jde vlastně o dva oscilátory, označené ve schématu jako oscilátor 1 a oscilátor 2. Kombinace kondenzátoru C_6 a proměnného odporu P_2 určuje kmitočet osciláto-

ru 1. Tento oscilátor se používá pro modulaci signálu z oscilátoru 2 pomocí tranzistoru T_5 . Základní kmitočet oscilátoru 2 určuje kombinace R_3 , C_5 a P_1 . První oscilátor tedy může pracovat v nízkofrekvenční oblasti, a modulovat ultrazvukový oscilátor 2.

Kmitočet obou oscilátorů je možné nezávisle řídit, takže generátor je skutečně univerzální a může se použít například jako generátor pro sirénu poplašného zařízení s kmitočtovou modulací nebo pro provoz ultrazvukové čističky. Pro přibližné určení kmitočtu oscilátoru je možné použít vztah

$$T = 2,25RC,$$

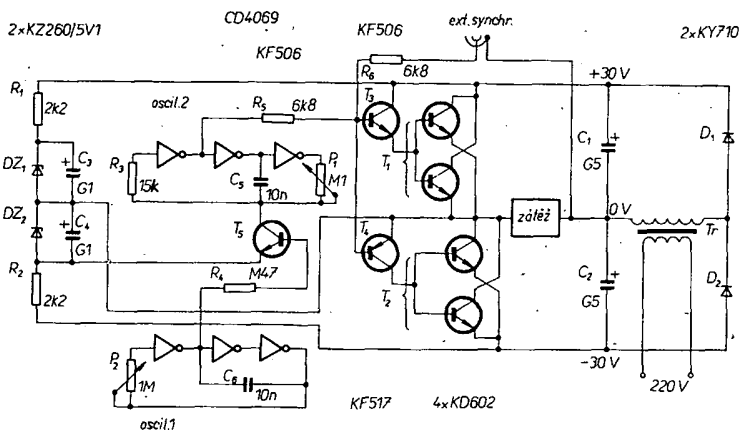
kde T je doba trvání cyklu oscilací, R je odpor proměnného odporu P_2 , C se rovná C_6 . Použití odporu R_3 v oscilátoru 2 není nezbytné, zlepšuje však stabilitu kmitočtu v závislosti na napájecím napětí. V oscilátoru 2, který je kmitočtově modulován, to však nemá zvláštní význam.

Napájecí část je třeba dimenzovat podle požadovaného maximálního výkonu. Výstupní napětí a maximální proud zdroje musí odpovídat předpokládané potřebě. Předpokládá-li se použití jen pro čištění ultrazvukem, je možné s napájecím napětím „jít“ až k mezímu napětí použitých tranzistorů.

Oscilátory mají přesto, že byl použit obvod v technologii CMOS, který má výrazně menší spotřebu než obvody v technologii TTL, poměrně značnou spotřebu. Je to způsobeno tím, že k nabíjení a vybíjení použitých kondenzátorů je při vysokém kmitočtu třeba určitá energie. Ke správnému napájení oscilátoru je proto třeba zajistit proud minimálně 10 mA při napětí 5 V. Použití obvod se Zenerovými diodami R_1 , R_2 , DZ_1 a DZ_2 zajišťuje poměrně stabilní napětí 6 až 10 V pro napájení integrovaného obvodu. K napájení oscilátoru je samozřejmě také možné použít usměrňené napětí z odděleného sekundárního vinutí síťového transformátoru (3 až 4 V/100 mA).

Konstrukční provedení generátoru není náročné, součástky jsou umístěny na desce s plošnými spoji, výkonové tranzistory jsou opatřeny přiměřenými chladiči. Před uvedením do provozu se běžce proměnných odporů nastaví do střední polohy. Výstup generátoru se zatíží odporem 1 k Ω (pro zatížení minimálně 10 W). Po zapnutí přístroje se buď střídavým voltmetrem, nebo osciloskopem ověří, odpovídá-li výstupní napětí omezení napájecím napětím, tj. dosahuje-li se saturace. Při nízkých kmitočtech (8 až 10 kHz) je oteplení výkonových tranzistorů nepatrné. Náběžné hrany impulsů jsou poměrně velmi strmé, proto je malý i rozptýlený výkon. Při zvyšování kmitočtu (nastavením proměnného odporu) do pásma 80 až 100 kHz je však situace jiná. Zde již představují náběžné a sestupné hrany impulsů až třetinu doby trvání cyklu, což vysvětluje i větší oteplení koncových tranzistorů. Rychlost (strmost) náběžných a sestupných hran výstupního napětí je omezena koncovými tranzistory, protože doba trvání náběžné hrany pro obvod CMOS je kolem 150 ns.

Pro použití generátoru budou stručně popsány dvě aplikace. První z nich je poplašná siréna. Využívá piezokeramického měniče o rozměrech $\varnothing 10 \times 0,2$ mm, umístěného ve středu kruhové membrány z hliníkové fólie o tloušťce 0,1 mm. Je třeba si uvědomit, že mechanické tlumení značně účinnost i rezonanční kmitočet celé soustavy. Piezokeramický ultrazvukový měnič („zátěž“ na obr. 56) je opatřen na obou čelních plochách postříbřenou vrstvou, ke které je třeba přivést napájecí napětí.



Obr. 59. Výkonový ultrazvukový generátor