

U2	79L12
Z1	telefonní žárovka 6 V/0,05 A
P1	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvoupólová
SW1, SW2	otočný přepínač dvoupó- lový, 3 polohy
SW3	otočný přepínač jedno- pólový, 3 polohy
TR1	síťový transformátor 230 V/12 V/2 VA, do plošných spojů

Jednoduchý generátor funkcí

Před několika léty jsem s úspěchem vyzkoušel velice jednoduchý generátor funkcí s integrovaným obvodem MAX038. Tento obvod se stále vyskytuje v dostatečném množství u prodejců v rámci EU, kteří ho stále nabízejí. Uvedený IO se dá rovněž úspěšně sehnat na elektronických aukcích. Nic tedy nestojí v cestě tomu, abyste si mohli tento generátor postavit i vy.

Popis funkce

Schéma generátoru je na obr. 35. Obvod MAX038 podle katalogového listu umožňuje generovat sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový signál v širokém rozsahu kmitočtů od 0,8 Hz do 22 MHz. Kmitočet, amplituda, ss složka (offset) i střída generovaného signálu jsou plynule nastavitelné.

Kmitočet generátoru lze nastavit v rozmezí od 18 Hz do 1,5 MHz v osmi podrozsazích. Na těchto kmitočtech nepřekročí zkreslení sinusového signálu hodnotu 0,2 %.

Hrubé nastavení kmitočtu zajišťuje celkem 8 kondenzátorů C2 až C9 přepínaných přepínačem SW1. Jednotlivé kmitočtové podrozsahy jsou:

1. podrozsah: 18 až 105 Hz,
2. podrozsah: 83 až 500 Hz,
3. podrozsah: 250 až 1500 Hz,
4. podrozsah: 1,230 až 7,400 kHz,
5. podrozsah: 3,800 až 22,7 kHz,
6. podrozsah: 17,8 až 106 kHz,
7. podrozsah: 83,4 až 500 kHz,
8. podrozsah: 252 až 1500 kHz.

Lze samozřejmě rozšířit počet podrozsahů směrem nahoru i dolů přidáním dalších kondenzátorů.

Plynule se kmitočet nastavuje potenciometrem R3. Poměr přeladění je upraven rezistorem R2 tak, aby se jednotlivé podrozsahy mírně překrývaly.

Na rezistor R2 se přivádí referenční napětí $U_{ref} = 2,5$ V z výstupu 1 IO1 vnitřního referenčního zdroje. Kmitočet f_o generovaného signálu dán vztahem:

$$f_o = 2 \cdot (I_{in} / C_F),$$

kde vstupní proud I_{in} tekoucí do vývodu 10 IO1 je:

$$I_{in} = U_{ref} / (R2 + R3)$$

a C_F je kapacita některého z kondenzátorů C2 až C9.

Výsledný vztah pro kmitočet signálu f_o je tedy:

$$f_o = 5 / (R2 + R3) \cdot C_F.$$

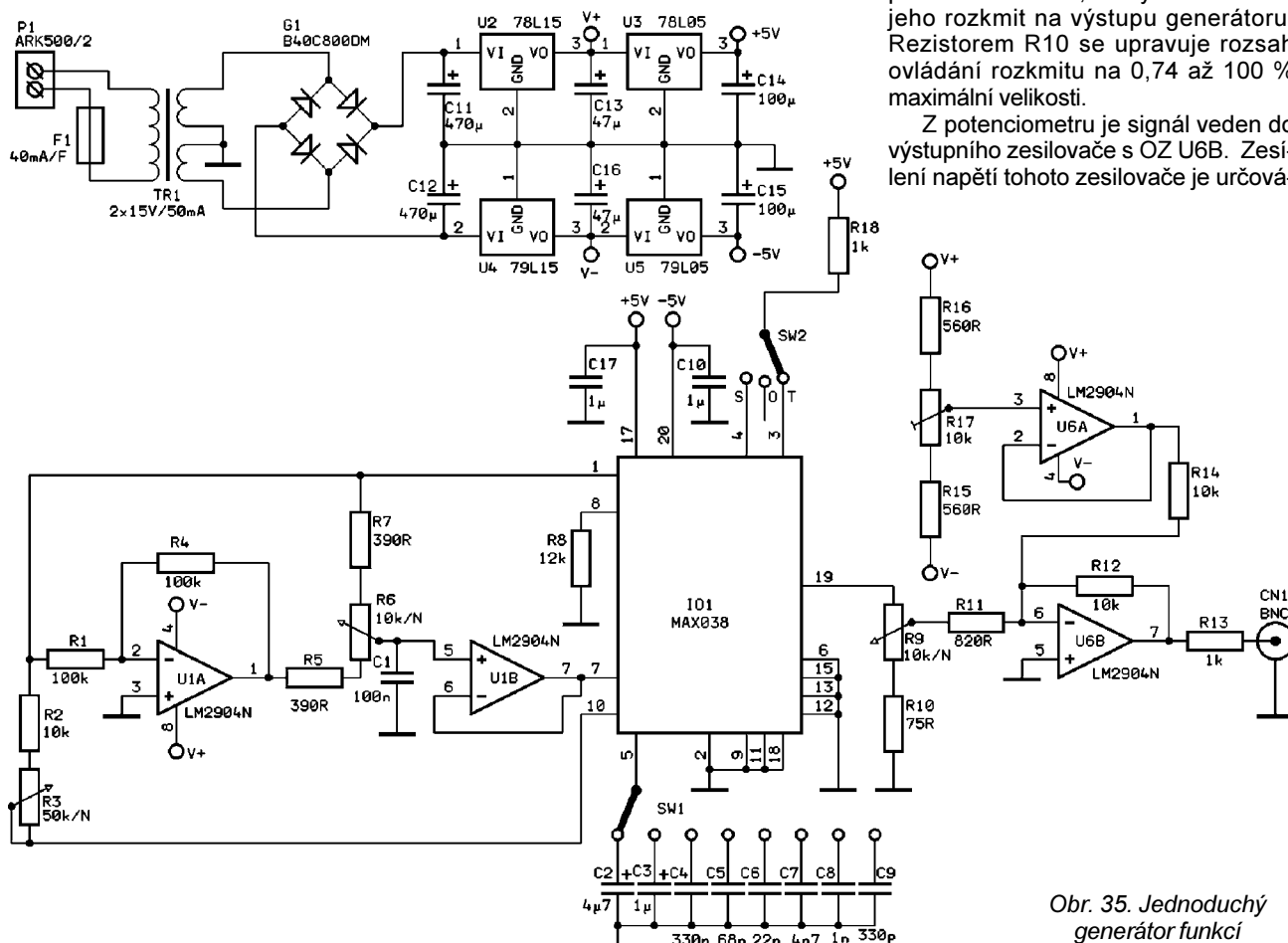
Potenciometrem R6 se ovládá střída generovaného signálu. Přes rezistory R5 a R7, které omezují rozsah ovládání, se na potenciometr přivádí kladné a záporné referenční napětí o velikosti $\pm 2,5$ V. Kladné referenční napětí se odebírá přímo z IO1, záporné referenční napětí se získává invertorem s OZ U1A, který má napěťové zesílení -1 (toto zesílení je nastaveno rezistory R1 a R4 se shodným odporem). Napětí v rozsahu $\pm 2,3$ V z běžce potenciometru R6 je přiváděno na ovládací vstup 7 IO1 přes sledovač napětí s OZ U1B s napěťovým zesílením +1, který zajišťuje impedanční přizpůsobení.

Přepínačem SW2 se volí průběh generovaného signálu, a to trojúhelníkový, obdélníkový a sinusový. Na schématu je SW2 v poloze T, kdy je zvolen trojúhelníkový průběh signálu (vývod 3 IO1 je přes rezistor R18 připojen na sběrnici +5 V a vývod 4 IO1 je nepřipojen). V prostřední poloze O je zvolen obdélníkový průběh signálu, v poloze S, ve které je k R18 připojen vývod 4 IO1 a vývod 3 IO1 je odpojen, je zvolen sinusový průběh.

Vývod 19 IO1 je výstup generovaného signálu se zvoleným průběhem. Signál je symetrický vůči zemi (má nulovou ss složku) a jeho mezivrcholový rozkmit je 2 V u všech průběhů.

Z výstupu 19 IO1 je signál veden na potenciometr R9, kterým se ovládá jeho rozkmit na výstupu generátoru. Rezistorem R10 se upravuje rozsah ovládání rozkmitu na 0,74 až 100 % maximální velikosti.

Z potenciometru je signál veden do výstupního zesilovače s OZ U6B. Zesílení napětí tohoto zesilovače je určová-



Obr. 35. Jednoduchý generátor funkcí

no odpory rezistorů R12, R11 a potenciometru R9 a v závislosti na poloze běžce R9 je asi 3 až 12.

Proudem tekoucím z OZ U6A přes rezistor R14 do sčítacího uzlu se k výstupnímu signálu přičítá ovladatelná ss složka neboli offset (sčítacím uzlem je invertující vstup OZ U6B, na kterém je nulový rozkmit signálu). Velikost ss složky se ovládá potenciometrem R17. Rezistory R15 a R16 omezují rozsah ovládání na -13,5 až +13,5 V, aby se nepřebudily OZ U6A a U6B. Sledovací napětí s OZ U6A s napěťovým zesílením +1 zajišťuje, že R14 je napájen ze zdroje napětí s nulovým vnitřním odporem.

Z výstupního zesilovače je signál veden přes oddělovací rezistor R13 na výstupní konektor CN1. Odporem rezistoru R13 je definován výstupní odpor generátoru 1 kΩ.

Obvody generátoru jsou napájeny symetricky napětími ± 5 a ± 15 V, která jsou odebrána z vestavěného síťového zdroje.

Ve zdroji je použit síťový transformátor 230 V/2x 15 V/2 VA v provedení do plošných spojů. Síťové napětí se při-

vádí na transformátor přes svorkovnici P2 a tavnou pojistku F1. Do síťového přívodu k P2 je zařazen dvoupólový vypínač se světelnou indikací zapnutého stavu, ten však není pro jednoduchost na schématu nakreslen.

Napětí ze sekundárních vinutí transformátoru jsou usměrňována diodovým můstkem G1, který je využíván jako dva samostatné dvoucestné usměrňovače. Jeden usměrňovač vytváří kladnou a druhý zápornou napájecí větev. Usměrněná napětí jsou vyhlazována kondenzátory C11 a C12 a stabilizována čtyřmi stabilizátory U2 až U5, které poskytují uvedená napájecí napětí. Aby stabilizátory nekmitaly a aby se zmenšila jejich výstupní impedance na vyšších kmitočtech, jsou jejich vývody zablokovány elektrolytickými kondenzátory C13 až C16.

Konstrukce a oživení

Generátor je zkonstruován z vývodových součástek umístěných na desce s jednostrannými plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 36, rozmístění součástek na desce je na obr. 37.

Zapojení nemá žádné záludnosti a pokud budou dodrženy obecné zásady, pracuje generátor na první zapojení.

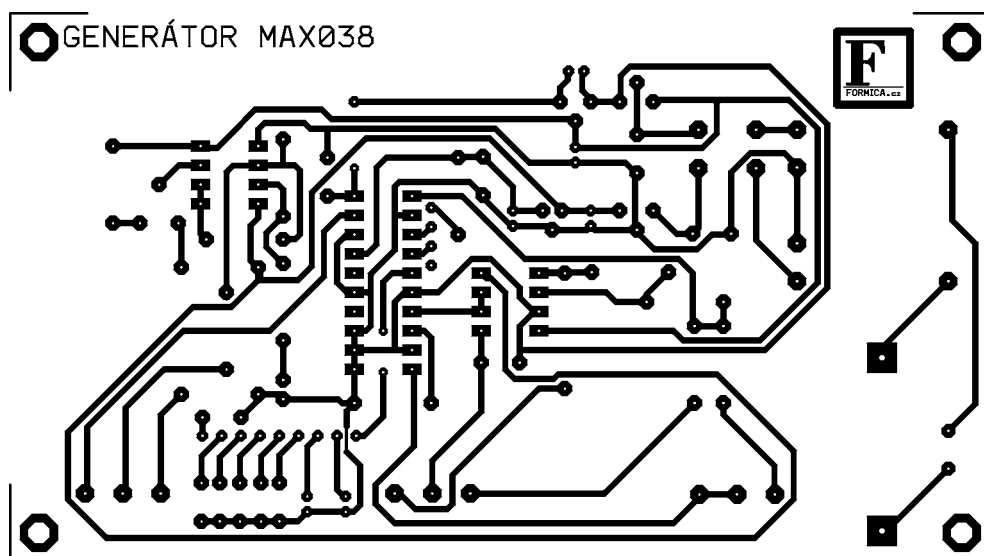
Při ožívování zkontrolujeme osciloskopem všechny průběhy výstupního signálu na všech kmitočtech a vyzkoušíme funkci všech ovládacích prvků.

Pokud chceme rozšířit kmitočtový rozsah generátoru, použijeme přepínač SW1 s více polohami a doplníme kondenzátory o kapacitě 82 pF pro podrozsah 1,16 až 6,1 MHz, 22 pF pro podrozsah 3,8 až 22,7 MHz, 22 μF pro podrozsah 3,8 až 22,7 Hz a 100 μF pro podrozsah 0,8 až 5 Hz. Protože jsem na těchto kmitočtech nepotřeboval měřit, nebyly uvedené podrozsahy v přístroji použity.

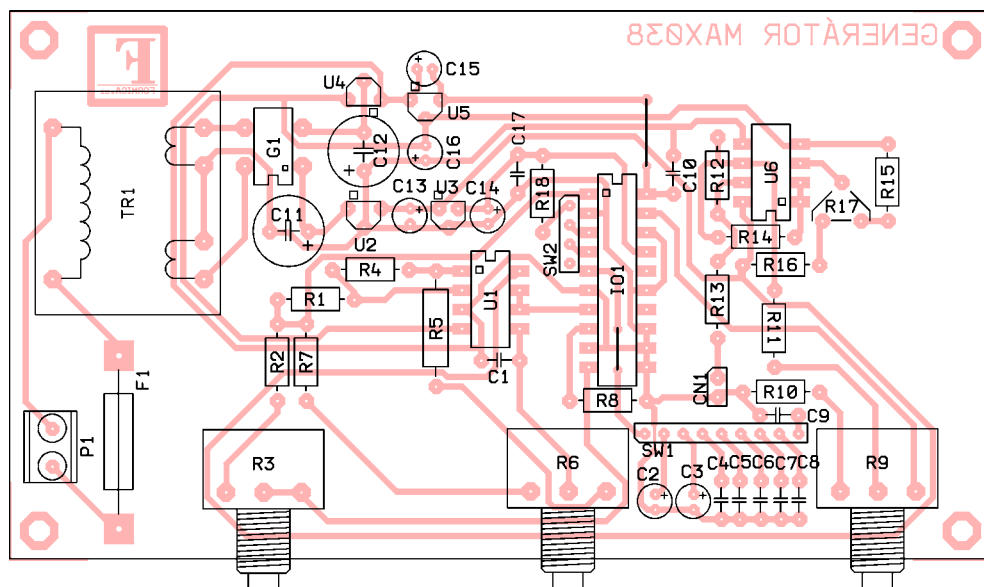
Mechanická konstrukce je ponechána na vůli konstruktéra. Kmitočet generovaného signálu lze indikovat analogovým nebo digitálním měřičem kmitočtu nebo je možné knoflík ladícího potenciometru R3 opatřit stupnicí, kterou pomocí měřiče kmitočtu ocejchujeme.

Seznam součástek

R1, R4	100 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R2, R12, R14	10 kΩ/1 %/0,5 W, metal.



Obr. 36.
Deska s plošnými
spoji jednoduchého
generátoru funkcí
(měř.: 1 : 1)



R3	50 k Ω /N, potenciometr lineární (TP 160 A/25)
R5	390 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R6, R9	10 k Ω /N, potenciometr lineární (TP 160 A/25)
R7	390 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R8	12 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R10	75 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R11	820 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R13, R18	1 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R15, R16	560 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R17	10 k Ω , trimr (PT6V, TP 011)
C1	100 nF, keramický
C2	4,7 μ F/25 V, radiální
C3	1 μ F/25 V, radiální
C4	330 nF, TC 350
C5	68 nF, TC 351
C6	22 nF, TC 351
C7	4,7 nF, TC 352
C8	1 nF, keramický
C9	330 pF, keramický
C10, C17	1 μ F, TC350
C11, C12	470 μ F/25 V, radiální
C13, C16	47 μ F/25 V, radiální
C14, C15	100 μ F/25 V, radiální
G1	B40C800DM
IO1	MAX038
U1, U6	LM2904N
U2	78L15
U3	78L05
U4	79L15
U5	79L05
F1	skleněná pojistka 40 mA/F, 5 x 20 mm
SW1	otočný přepínač jednopólový, 8 poloh
SW2	otočný přepínač jednopólový, 3 polohy
CN1	zásuvka BNC

P1	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvou pólová
TR1	síťový transformátor 230 V/2x 15 V/2 VA, do plošných spojů

Generátor funkcí s ICL8038

Další velice zajímavou konstrukcí, kterou jsem v uplynulém období vyzkoušel, je generátor funkcí s integrovaným obvodem ICL8038 (XR8038). Tento obvod se již údajně přestal vyrábět, ale stále je ještě možné jej zakoupit v některých prodejnách s elektronickými součástkami u nás i v EU.

Popis funkce

Schéma generátoru je na obr. 38. Generátor poskytuje signál se sinusovým, obdélníkovým nebo trojúhelníkovým průběhem. Zapojení generátoru vychází z doporučeného zapojení obvodu ICL8038, které je uvedeno v katalogových listech výrobce.

Rozsah generovaných kmitočtů je 1 Hz až 100 kHz v pěti dekadických podrozsazích:

1 až 10 Hz,
10 až 100 Hz,
100 Hz až 1 kHz,
1 až 10 kHz,
10 až 100 kHz.

Podrozsahy se volí přepínačem SW1 přepínáním kondenzátorů C3 až C7.

Plynule se kmitočtem ovládá potenciometrem R1 s lineárním průběhem odporové dráhy. Rezistory R2 a R3 určují rozsah přeladění, který je zvolen tak, aby se podrozsahy mírně překrývaly. Šumy vznikající při pohybu běžce ladičního potenciometru jsou potlačovány blokovacím kondenzátorem C1.

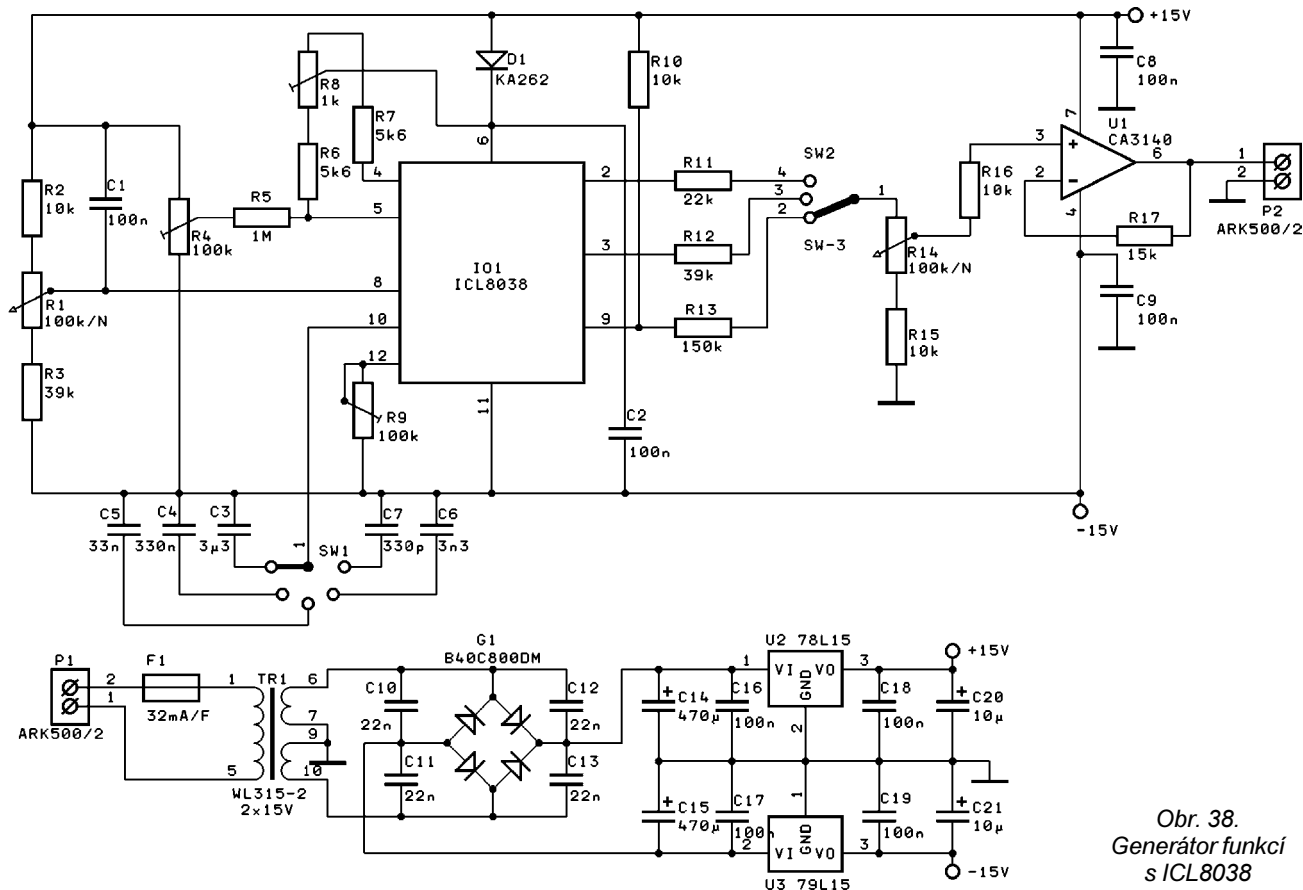
Aby bylo možné nastavit střidu generovaného signálu 1 : 1, je kladné napájecí napětí zaváděno do IO1 přes křemíkovou diodu D1. Trimrem R8 se nastavuje střida 1 : 1 na horním konci podrozsahu, trimrem R4 na dolním konci.

Signály s jednotlivými průběhy jsou z IO1 vyvedeny na tři zvláštní výstupy. Sinusové napětí odebíráme z vývodu 2 IO1, obdélníkové z vývodu 9 IO1 (s ohledem na vnitřní strukturu IO1 musí být mezi vývodem 9 IO1 a kladnou napájecí větvi zapojen zdvihací rezistor R10) a trojúhelníkové z vývodu 3 IO1.

Signál s požadovaným průběhem se volí přepínačem SW2. Děliče napětí tvořené rezistory R11 až R13 a potenciometrem R14 s rezistorem R15 zajišťují, že všechny signály budou mít na horním vývodu potenciometru R14 shodný mezivrcholový rozkmit.

Potenciometrem R14 s lineárním průběhem odporové dráhy se ovládá rozkmit signálu na výstupu generátoru. Ovládací rozsah je vymezen rezistorem R15 a je 9 až 100 % maximálního rozkmitu.

Z běžce potenciometru R14 je signál veden přes sledovač napětí s OZ U1 s napětovým zesílením +1 na výstupní svorkovnici P2. Kvůli stabilitě jsou napájecí vývody OZ U1 co nejblíže



Obr. 38.
Generátor funkcí
s ICL8038

u pouzdra zablokovány keramickými kondenzátory C8 a C9.

Výstupní odpor sledovače napětí je nulový, a proto by bylo vhodné zařadit mezi výstup OZ U1 a výstupní konektor oddělovací rezistor s odporem 100 Ω až 1 k Ω .

Generátor je napájen symetricky napětím ± 15 V z vlastního síťového zdroje.

Ve zdroji je použit síťový transformátor 230 V/2x 15 V/2 VA v provedení do plošných spojů. Síťové napětí se přivádí na transformátor přes svorkovnici P1 a tavnou pojistku F1. Do přívodu sítě k P2 je zařazen dvoupólový vypínač se světelnou indikací zapnutého stavu, ten však není na schématu nakreslen.

Napětí ze sekundárních vinutí transformátoru jsou usměrňována diodovým můstkem G1, který je využíván jako dva samostatné dvoucestné usměrňovače. Jeden z usměrňovačů vytváří kladnou a druhý zápornou napájecí větev. Aby se potlačilo vř. rušení, jsou usměrňovací diody zablokovány keramickými kondenzátory C10 až C13. Usměrněná napětí jsou vyhlazována kondenzátory C16 a C18 a stabilizována stabilizátory U2 a U3. Aby stabilizátory nekmityly a aby

se zmenšila jejich výstupní impedance na vyšších kmitočtech, jsou jejich výstupy zablokovány elektrolytickými kondenzátory C18 až C21.

Konstrukce a oživení

Generátor je zkonstruován z vývodových součástek umístěných na desce s jednostrannými plošnými spoji. Obrázec spojů je na obr. 39, rozmístění součástek na desce je na obr. 40.

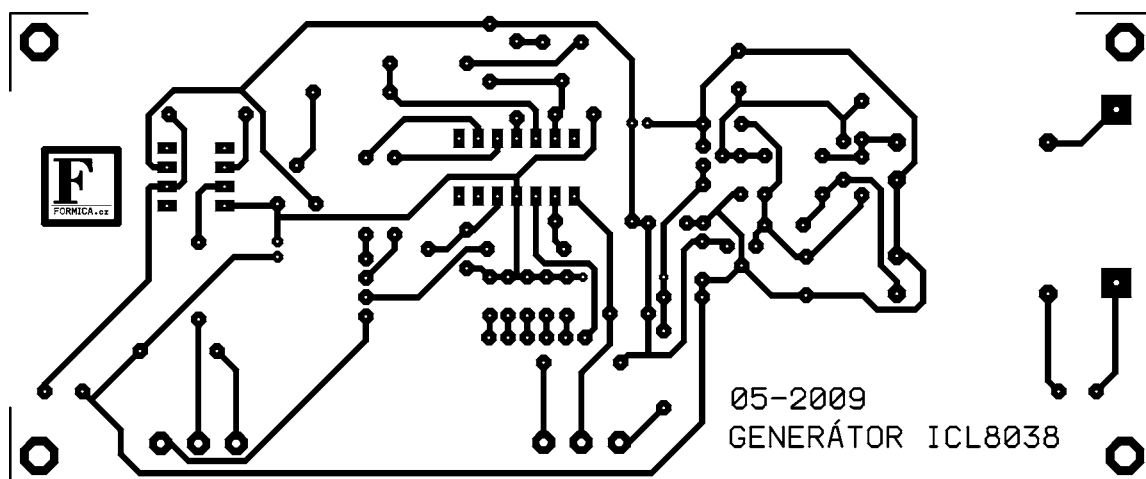
Oživení a nastavení není nikterak složité, ale je nutné k němu použít osciloskop. Při dodržení obecných zásad nastavíme generátor v následujících krocích. Zvolíme rozsah 100 Hz až 1 kHz a přepneme obdélníkový průběh výstupního signálu. Trimrem R8 nastavíme na horním konci kmitočtového rozsahu střidu 1 : 1. Pak na dolním konci kmitočtového rozsahu nastavíme střidu 1 : 1 trimrem R4. Tato nastavení několikrát opakujeme, protože se vzájemně ovlivňují. Pak přepneme na sinusový průběh výstupního signálu a nastavíme co nejmenší zkreslení sinusovky trimrem R9. Tím je ožívování ukončeno.

Mechanická konstrukce generátoru je již závislá jen na požadavcích kon-

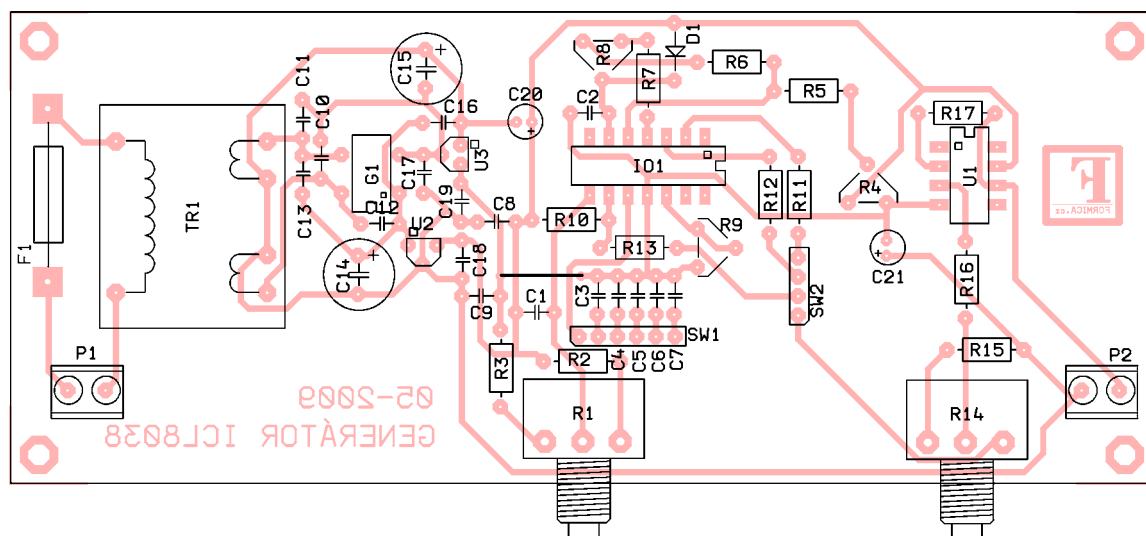
struktera. Kmitočtovou stupnici lze nakreslit na čelní panel nebo můžeme použít analogový nebo digitální měřič kmitočtu.

Seznam součástek

R1, R14	100 k Ω /N, potenciometr lineární (TP 160 A/25)
R2, R10, R15, R16	10 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R3, R12	39 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R4, R9	100 k Ω , trimr (PT6V, TP 011)
R5	1 M Ω /1 %/0,5 W, metal.
R6, R7	5,6 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R8	1 k Ω , trimr (PT6V, TP 011)
R11	22 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R13	150 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R17	15 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
C1, C2, C8, C9, C16, C17, C18, C19	100 nF, keramický
C3	3,3 μ F, fóliový
C4	330 nF, TC 350
C5	33 nF, TC 351
C6	3,3 nF, TC 352
C7	330 pF, fóliový
C10, C11, C12, C13	22 nF, keramický



Obr. 39. Deska s plošnými spoji generátoru funkcí s ICL8038 (měř.: 1 : 1)



Obr. 40. Rozmístění součástek na desce generátoru funkcí s ICL8038

C14, C15	470 µF/35 V, radiální
C20, C21	10 µF/25 V, radiální
D1	KA262 (1N4148, KA206, KA265)
G1	B250C1000DIL, diodový můstek DIL, 250 V/1 A
IO1	ICL8038
U1	CA3140 (TL071)
U2	78L15
U3	79L15
F1	skleněná pojistka 32 mA/F, 5 x 20 mm
SW1	otočný přepínač jedno-pólový, 5 poloh
SW2	otočný přepínač jedno-pólový, 3 polohy
P1, P2	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvoupólová
TR1	síťový transformátor 230 V/2x 15 V/2 VA, do plošných spojů

Generátor funkcí 1 s XR2206

Generátory funkcí jsou díky svým vlastnostem nepostradatelnými pomocníky při ožívování a proměřování nf zesilovačů, různých nf filtrů, výhybek apod. Několik takových generátorů již bylo popsáno v předchozích kapitolách, nyní si jako další ukážu nf generátoru funkcí představíme velmi jednoduchou konstrukci se specializovaným integrovaným obvodem XR2206. Generátor nemá výstupní zesilovač, výstupní signál se odebírá přímo z obvodu XR2206.

Popis funkce

Schéma generátoru je na obr. 41. Jedná se o mírně upravené zapojení doporučené výrobcem obvodu XR2206 (IO1). Toto zapojení mohou použít ti konstruktéři, kteří chtějí výstupní zesilovač generátoru řešit odděleně podle svého.

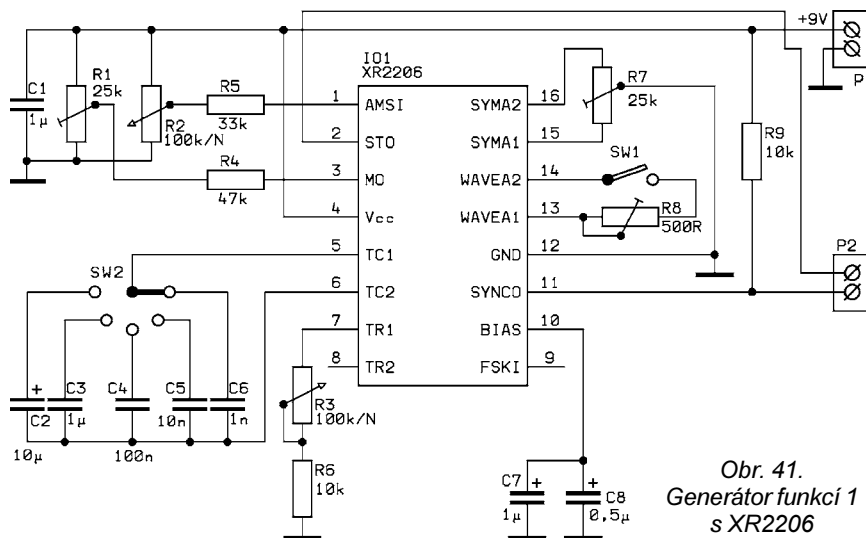
Generátor pokrývá pásmo kmitočtů 0,9 Hz až 100 kHz v pěti rozsazích (0,9 až 10 Hz, 9 až 100 Hz, 90 Hz až 1 kHz, 0,9 až 10 kHz a 9 až 100 kHz).

Generovaný kmitočet f_0 je podle katalogových listů určen vztahem:

$$f_0 = 1/(R \cdot C),$$

kde C je kapacita integračního kondenzátoru zapojeného mezi vývody 5 a 6 IO1 a R je odpor rezistoru zapojeného mezi vývod 7 IO1 a zem. Nejlepší teplotní stability kmitočtu se dosahuje při volbě R v rozmezí 4 až 200 kΩ, doporučené rozmezí kapacity C je 1 nF až 100 µF.

Kmitočtové rozsahy se volí otočným přepínačem SW2 přepínáním integračních kondenzátorů C2 až C6. Plynule se kmitočet nastavuje potenciometrem R3 s lineárním průběhem odporové dráhy. Poměr krajních kmitočtů nastavitelných potenciometrem R3 je omezen rezistorem R6 zapojeným do série s R3 a je asi 1 : 11. Odpor rezis-



Obr. 41.
Generátor funkcí 1 s XR2206

toru R6 určuje na každém rozsahu maximální nastavitelný kmitočet. Poměr přeladění směrem k vyšším kmitočtům můžeme zvětšit zmenšením odporu rezistoru R6. Potenciometr R3 vybereme tak, aby měl odpor větší než 100 kΩ, jinak nebudou krajní kmitočty rozsahů „sedět“.

IO1 má zvláštní výstup obdélníkového signálu na vývodu 11 IO1. Tento výstup je typu otevřený kolektor vnitřního spínacího tranzistoru NPN. Aby se na výstupu objevilo obdélníkové napětí, je mezi vývod 11 IO1 a kladnou napájecí sběrnici zapojen pracovní rezistor R9 vnitřního spínacího tranzistoru. Obdélníkové napětí o mezivrcholovém rozkmitu 9 V je vyvedeno na dolní svorku výstupní svorkovnice P2.

Na vývod 10 IO1 je připojeno vnitřní referenční napětí, které musí být zablokováno kondenzátory C7 a C8.

Na vývodu 2 IO1 je výstup trojúhelníkového nebo sinusového signálu. Trojúhelníkový signál je na tomto vývodu tehdy, když je spínač SW1 vypnut. Střída trojúhelníkového signálu se nastavuje trimrem R7. Při zapnutém spínači SW1 je na vývodu 2 IO1 sinusový signál. Co nejmenší zkreslení sinusového signálu se nastavuje trimrem R8. Je možné dosáhnout zkreslení asi 0,5 %, které je sice na osciloskopu patrné (zákmity na vrcholech sinusovky), ale pro většinu měření nevádí. Velikost výstupní amplitudy trojúhelníkového a sinusového signálu se plynule reguluje potenciometrem R2. Stejnosemenná složka trojúhelníkového signálu se nastavuje trimrem R1.

Optimální mezivrcholový rozkmit sinusového signálu na vývodu 2 IO1 z hlediska zkreslení je 4,4 V. Za stejných podmínek je mezivrcholový rozkmit trojúhelníkového signálu asi 11 V. Rozkmit trojúhelníků je vždy asi 3x větší než rozkmit sinusovky, protože se sinusovka odvozuje z trojúhelníků nelineárním tvarováním. Trojúhelníkový a sinusový signál jsou z vývodu 2 IO1 zavedeny na horní svorku výstupní svorkovnice P2.

Generátor je napájen napětím 9 V ze dvou plochých baterií o napětí 4,5 V zapojených do série. Odběr proudu je maximálně 10 mA. Napájecí napětí se

přivádí na svorkovnici P1 a je zablokováno kondenzátorem C1. Lze samozřejmě použít i stabilizovaný síťový zdroj s výstupním napětím +9 V a s proudovou zatížitelností 100 mA.

Konstrukce a oživení

Generátor je zkonstruován z vývodových součástek umístěných na desce s jednostrannými plošnými spoji. Obrázec spojů je na obr. 42, rozmístění součástek na desce je na obr. 43.

Při ožívování připojíme napájecí napětí a zkontrolujeme klidový napájecí proud, který by neměl přesáhnout 10 mA. Naladíme kmitočet 1 kHz a osciloskopem zkontrolujeme tvar signálů na vývodech 11 a 2 IO1. Nastavíme trimry R1, R7 a R8 a ověříme funkci generátoru na všech kmitočtech.

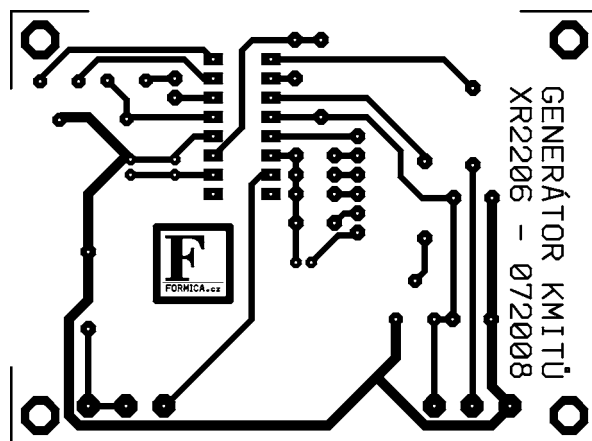
Pokud bychom chtěli, aby měl obdélníkový signál úrovně TTL, připojíme mezi vývod 11 IO1 a zem rezistor s odporem 10 kΩ. Pak bude vysoká logická úroveň signálu +4,5 V.

Konstrukce je natolik jednoduchá, že bude spolehlivě fungovat na první zapojení.

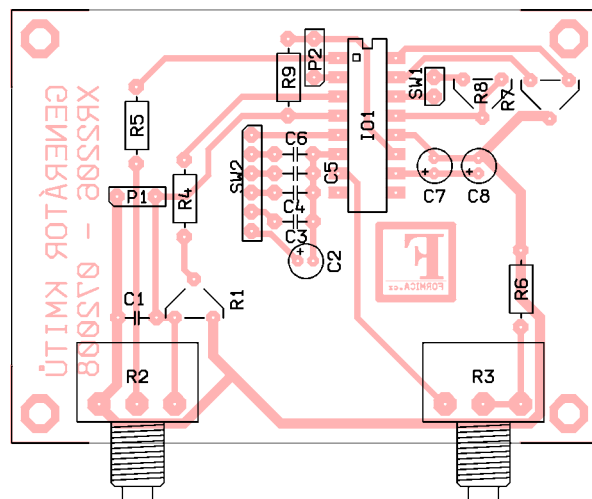
Seznam součástek

R1, R7	25 kΩ, trimr (PT6V, TP 011)
R2, R3	100 kΩ/N, potenciometr lineární (TP 160 A/25)
R4	47 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R5	33 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R6, R9	10 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R8	500 Ω, trimr (PT6V, TP 011)
C1, C3	1 µF, TC 350
C2	10 µF/25 V, radiální
C4	100 nF, TC 351
C5	10 nF, TC 351
C6	1 nF, TC 352
C7	1 µF/25 V, radiální
C8	0,5 µF/25 V, radiální
IO1	XR2206
SW1	spínač jednopólový
SW2	otočný přepínač jednopólový, 5 poloh
P1, P2	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvoupólová

Obr. 42.
Deska s plošnými
spoji generátoru
funkcí 1 s XR2206
(měř.: 1 : 1)



Obr. 43.
Rozmístění
součástek na desce
generátoru funkcí 1
s XR2206



Generátor funkcí 2 s XR2206

Aby se zvětšila užitná hodnota
předcházejícího velmi jednoduchého

generátoru funkcí, byl doplněn výstupní
 zesilovači.

Popis funkce

Schéma generátoru je na obr. 44.
Generátor funkcí je opět osazen obvo-

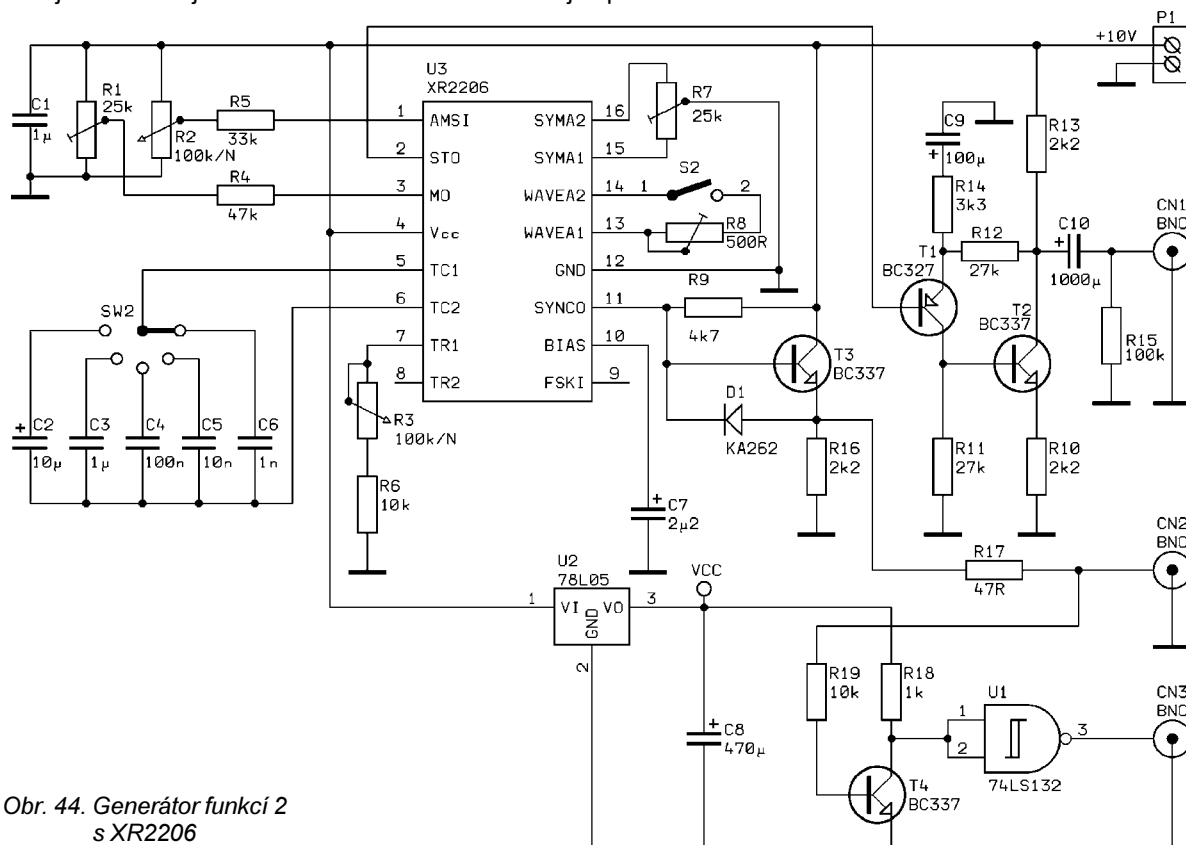
dem XR2206, který je tentokrát ozna-
čen jako U3. Jeho zapojení a funkce
jsou zcela identické, jako v předcháze-
jící kapitole. Seznámíme se proto pouze
s případnými změnami oproti původní-
mu zapojení a s přidáním výstupními
zesilovači.

Změny okolo U3 se týkají především
hodnot součástek. Kapacita kondenzá-
torů C7 a C8 byla upravena z 1,5 μF na
2,2 μF a odpor rezistoru R9 byl zmen-
šen z 10 $\text{k}\Omega$ na 4,7 $\text{k}\Omega$. Napájecí napětí
bylo zvýšeno na +10 V.

Trojúhelníkový a sinusový signál
z výstupu 2 U3 je zesilován dvoustup-
ňovým přímovězaným zesilovačem
s doplňkovými tranzistory PNP (T1)
a NPN (T2). Pracovní bod obou tranzis-
torů je stabilizován silnou stejnosměr-
nou zápornou zpětnou vazbou, která je
zaváděna z kolektoru T2 na emitor T1
rezistorem R12. Rezistor R12 také
spolu spolu s rezistorem R14 tvoří dě-
lič záporné zpětné vazby pro střídavé
signály (ss proud je vyloučen konden-
zátozem C9), který určuje napěťové ze-
silení asi 9 pro trojúhelníkový a sinusový
signál.

Z výstupu zesilovače je signál ve-
den na výstupní konektor CN1. Díky
oddělovacímu kondenzátoru C10 a vy-
bíjecímu rezistoru R15 má signál na
konektoru nulovou stejnosměrnou
složku.

Obdélníkový signál z výstupu 11 U3
je zpracováván emitorovým sledova-
čem s tranzistorem T3 a pak veden
přes oddělovací rezistor R17 na vý-
stupní konektor CN2. Emitorový sledo-
vač spolu s R17 zajišťují definovaný vý-
stupní odpor asi 50 Ω tohoto výstupu.
Signál z konektoru CN2 je vhodný pro
testování nf zesilovačů.



Obr. 44. Generátor funkcí 2
s XR2206

Pro použití v oblasti číslicové techniky je obdélníkový signál dále tvarován spínacím tranzistorem T4 a hradlem 74LS132 (U1). Hradlo je typu Schmittův klopný obvod a vytváří dokonale strmé hrany signálu. Hradlo také upravuje rozkmit signálu do úrovně TTL. Výstup hradla je vyveden na konektor CN3.

Hradlo U1 spolu s tranzistorem T4 jsou napájeny napětím +5 V ze zvláštního stabilizátoru 78L05 (U2). Výstupní impedanci stabilizátoru na vyšších kmitočtech zmenšuje blokovací kondenzátor C8.

V původním zahraničním prameni bylo na místě U1 použito čtyřvstupové hradlo SN7413. Protože se mi ho nepodařilo s úspěchem obstarat, použil jsem náhradní variantu s obvodem SN74LS132, která se nakonec ukázala jako zcela vyhovující a bezproblémová.

Generátor je napájen stabilizovaným ss napětím 10 V z vnějšího síťového zdroje, které se přivádí na svorkovnici P1. Napájecí proud je menší než 30 mA. Napájecí sběrnice je blokována kondenzátorem C1, který je fóliový, aby měl zanedbatelný ekvivalentní sériový odpor (ESR).

Generátor by bylo možné napájet i napětím 9 V ze dvou plochých baterií zapojených do série, příliš to však nedoporučuji, protože odběr generátoru je již dosti značný. V prototypu jsem s úspěchem vyzkoušel i tuto variantu a generátor při každodenním provozu ani po třech týdnech nejevil známky nestability. Po zvážení všech pro a proti generátor nakonec napájím samostatným síťovým zdrojem se stabilizátorem 78L10 s výstupním napětím 10 V.

Konstrukce a oživení

Generátor je zkonstruován z vývodových součástek umístěných na desce s jednostrannými plošnými spoji. Obrázec spojů je na obr. 45, rozmístění součástek na desce je na obr. 46.

Připájení součástek na desku a oživení je opět bezproblémové a konstrukce se vyznačuje 100 % reprodukovatelností. Oživení je stejné jako u předcházejícího generátoru, a proto je zde nepopisuji.

Výstupní signály jsou kvalitní, při přeladování mají konstantní amplitudu a zákmity na sinusovce jsou zcela nepatrné.

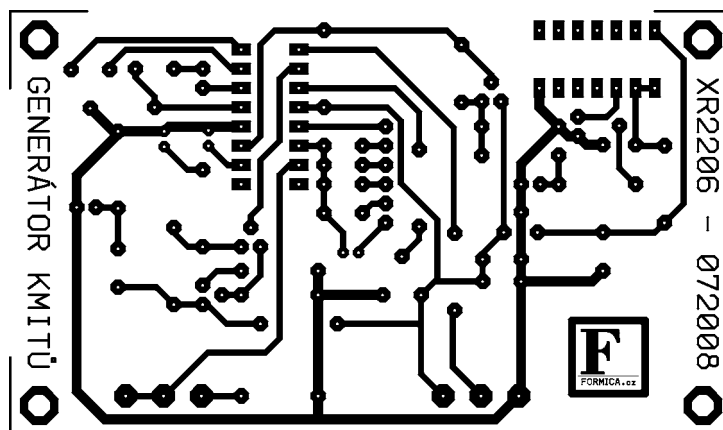
Seznam součástek

R1, R7	25 k Ω , trimr (PT6V, TP 011)
R2, R3	100 k Ω /N, potenciometr lineární (TP 160 A/25)
R4	47 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R5	33 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R6	1 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R8	500 Ω , trimr (PT6V, TP 011)
R9	4,7 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R10, R13,	
R16	2,2 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R11, R12	27 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R14	3,3 k Ω /1 %/0,5 W, metal.

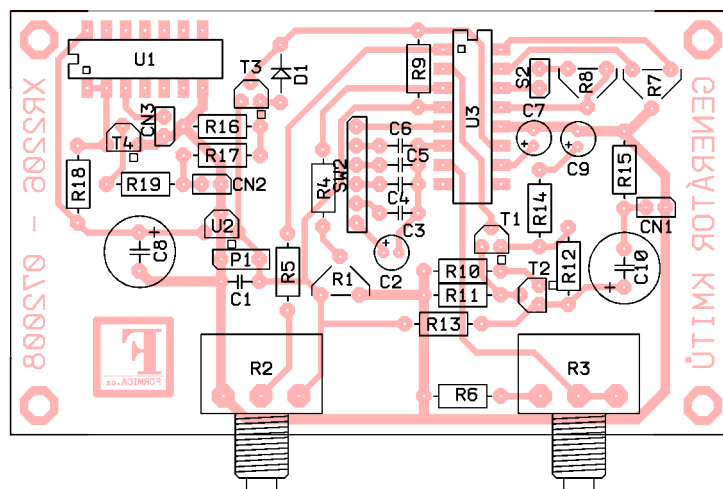
R15	100 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R17	47 Ω /1 %/0,5 W, metal.
R18	1 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
R19	10 k Ω /1 %/0,5 W, metal.
C1, C3	1 μ F, TC 350
C2	10 μ F/25 V, radiální
C4	100 nF, TC 351
C5	10 nF, TC 351
C6	1 nF, TC 352
C7	2,2 μ F/25 V, radiální
C8	470 μ F/10 V, radiální
C9	100 μ F/10 V, radiální
C10	1000 μ F/10 V, radiální
D1	KA262
T1	BC327
T2, T3, T4	BC337
U1	74LS132
U2	78L05
U3	XR2206
S2	spínač jednopólový
SW2	otočný přepínač jednopólový, 5 poloh
P1	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvoupólová
CN1, CN2, CN3	zásuvka BNC

Generátor funkcí 3 s XR2206

Nakonec si představíme konstrukci složitějšího generátoru s XR2206, která byla v mnoha podobách publikována



Obr. 45. Deska s plošnými spoji generátoru funkcí 2 s XR2206 (měř.: 1 : 1)



Obr. 46. Rozmístění součástek na desce generátoru funkcí 2 s XR2206

i v našich odborných časopisech a vychází z původních pramenů Elektor a Elektronika. V těchto pramenech byl generátor postaven na desce s oboustrannými plošnými spoji, což je pro amatéra, který si desky zhotovuje sám, vcelku velká překážka.

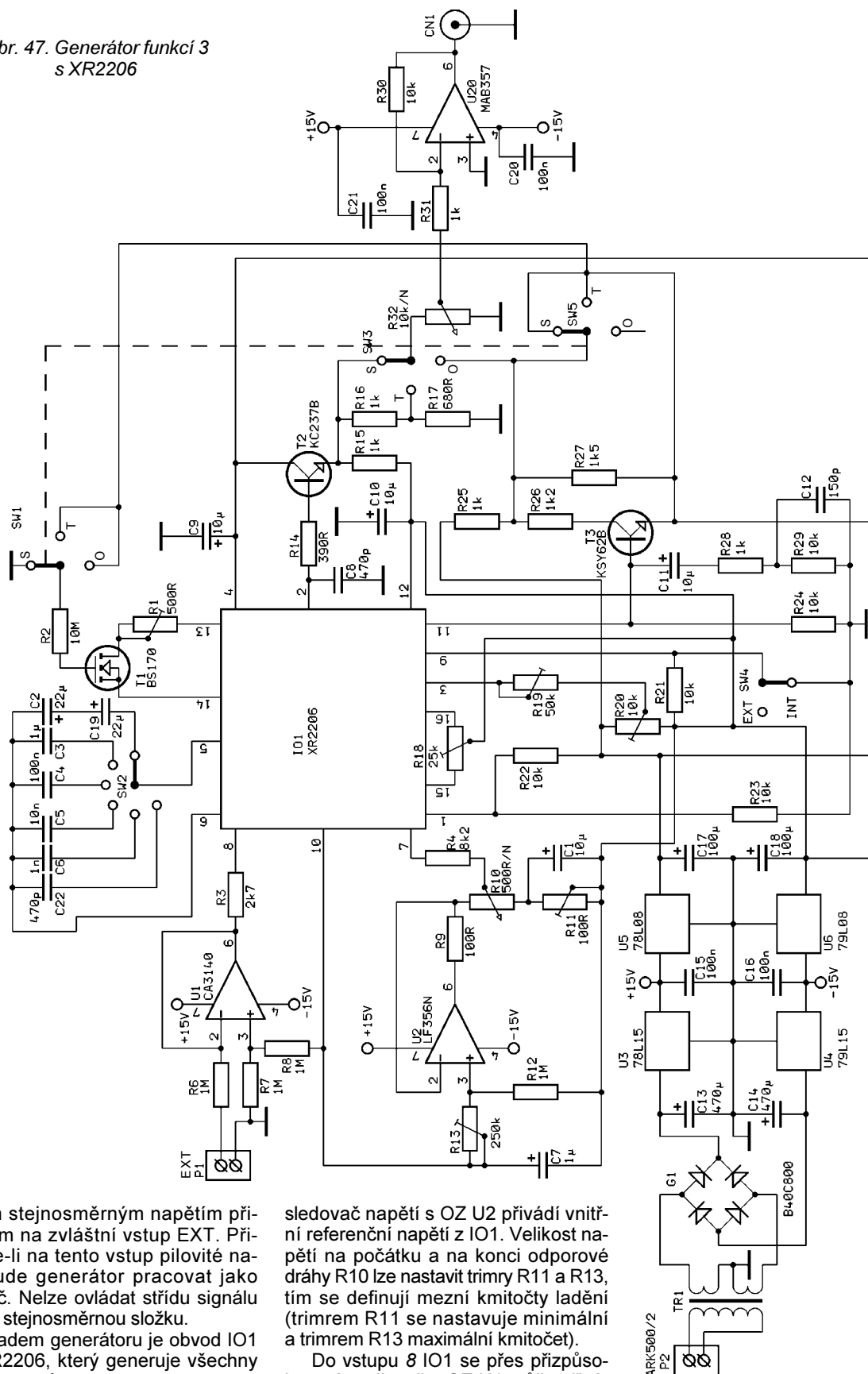
Mnou předložená konstrukce se liší jiným zapojením koncového stupně, přidáním dalších aktivních a pasivních součástek, úpravou hodnot součástek ve tvarovači obdélníkového signálu a deskou s odlišnými jednostrannými plošnými spoji s několika propojkami.

Nastavení generátoru je složitější, ale jeho parametry jsou o třídu lepší než u předcházející konstrukce. V koncovém stupni je použit velmi dobrý operační zesilovač MAB357(356) nebo MAC156.

Popis funkce

Schéma generátoru je na obr. 47. Kmitočtový rozsah generátoru je 0,1 Hz až 100 kHz a je rozdělen do šesti dekadických podrozsahů. Generátor poskytuje sinusový, trojúhelníkový a obdélníkový signál s mezivrcholovým rozkmitem přesahujícím 20 V. Výstupní signál lze plynule zeslabovat až do nuly. Generátor má nulovou výstupní impedanci, lze ji však zvětšit např. na 50 Ω zapojením rezistoru s odporem 50 Ω mezi koncovým stupeň a výstupní konektor. Kmitočty generátoru lze řídit

Obr. 47. Generátor funkcí 3
s XR2206



vnějším stejnosměrným napětím přivedeným na zvláštní vstup EXT. Přivedeme-li na tento vstup pilovité napětí, bude generátor pracovat jako rozmítač. Nelze ovládat střidu signálu ani jeho stejnosměrnou složku.

Základem generátoru je obvod IO1 typu XR2206, který generuje všechny tři základní průběhy signálu. IO1 je napájen symetricky napětím ± 8 V.

Kmitočtové podrozsahy se volí přepínačem SW2 přepínáním integračních kondenzátorů C2 až C6 a C22. Aby na sebe podrozsahy správně navazovaly, měly by mít tyto kondenzátory co nej přesněji dodržanou předepsanou kapacitu.

V rámci podrozsahů se kmitočty plynule ladí potenciometrem R10. Na potenciometr R10 se přes oddělovací

sledovač napětí s OZ U2 přivádí vnitřní referenční napětí z IO1. Velikost napětí na počátku a na konci odporové dráhy R10 lze nastavit trimry R11 a R13, tím se definují mezní kmitočty ladění (trimrem R11 se nastavuje minimální a trimrem R13 maximální kmitočty).

Do vstupu 8 IO1 se přes přizpůsobovací zesilovač s OZ U1 může přivádět větší napětí ze svorkovnice EXT (P1), kterým se rovněž může ovládat kmitočty.

Přepínačem SW4 se volí, zda se kmitočty bude ovládat napětím z potenciometru R10 (poloha INT) nebo ze svorkovnice EXT (poloha EXT).

Z vnitřního zapojení obvodu XR2206 uvedeného v katalogových listech výrobce vyplývá, že v přeladitelném vnitřním RC oscilátoru se na integračním

kondenzátoru vytváří trojúhelníkový signál a na výstupu komparátoru obdélníkový signál. Z trojúhelníkového signálu se pak vnitřním nelineárním tvarovacím obvodem odvozuje sinusový signál.

Obdélníkovým signálem je buzen vnitřní spínací tranzistor, jehož otevřený kolektor je spojen s vývodem 11 IO1. Emitor tohoto tranzistoru je spojen se záporným napájecím vývodem IO1,

v tomto generátoru je tedy na něm napájecí napětí -8 V. Z vývodu 11 IO1 je obdélníkový signál zaváděn do spínacího tranzistoru T3, kterým jsou posouvány logické úrovně signálu tak, aby byly symetrické vůči zemi. Ve společném bodě rezistorů R25 až R27 má obdélníkový signál nízkou úroveň přibližně -1,6 V a vysokou +1,6 V.

Trojúhelníkový a sinusový signál se odebírá z vývodu 2 IO1. Když je vypnut tranzistor T1, je na vývodu 2 IO1 trojúhelníkový signál. Jeho střída se nastavuje trimrem R18, amplituda trimrem R19 a ss složka trimrem R20. Když je tranzistor T1 sepnut, je na vývodu 2 IO1 sinusový signál, jehož zkreslení lze minimalizovat trimrem R1. Vlivem tvarování je rozkmit sinusového signálu přibližně třikrát menší než rozkmit trojúhelníkového signálu. Z výstupu 2 IO1 je trojúhelníkový nebo sinusový signál veden do oddělovacího emitorového sledovače s tranzistorem T2.

Tvar výstupního signálu generátoru se volí přepínačem se spřaženými sekcemi SW1, SW3 a SW5. Sekce SW3 určuje, který ze signálů z IO1 se vede na výstupní potenciometr R32 pro ovládání rozkmitu výstupního signálu. V poloze S se na R32 přivádí sinusový signál z emitoru T2. V poloze T se na R32 přivádí rovněž z emitoru T2 trojúhelníkový signál. Tento signál je veden přes dělič s rezistory R16 a R17, aby se jeho amplituda zmenšila na úroveň amplitudy sinusového signálu. V poloze O se na R32 přivádí obdélníkový signál ze společného bodu rezistorů R25 až R27. Sekci SW1 se ovládá tranzistor T1 a tím se volí mezi trojúhelníkovým a sinusovým signálem na emitoru T2. Sekce SW5 zkratuje zdroj obdélníkového signálu v případech, kdy tento signál není využíván, aby se zamezilo rušení jeho strmými hranami.

Z potenciometru R32 se signál vede do koncového stupně s OZ U20. Tento OZ je napájen napětím ± 15 V a zajišťuje mezivrcholový rozkmit výstupního signálu větší než 20 V. Napěťové zesílení koncového stupně je určováno odpory rezistorů R30 a R31 a vnitřním odporem potenciometru R32, takže se pohybuje zhruba v rozmezí 3 až 10.

Z výstupu OZ U20 je signál veden přímo na výstupní konektor CN1. Do cesty signálu můžeme vložit ochranný odpor, který bude ohrančovat výstupní impedanci generátoru.

Obvody generátoru jsou napájeny čtveřicí napětí ± 8 a ± 15 V, která jsou odebírána z vestavěného síťového zdroje.

Ve zdroji je použit síťový transformátor 230 V/2x 15 V/2 VA v provedení do plošných spojů. Síťové napětí se přivádí na transformátor přes svorkovnici P2. Do síťového přívodu k P2 je zapojen dvoupólový vypínač se světelnou indikací zapnutého stavu a tavná pojistka (40 mA/F, 5 x 20 mm), tyto součástky nejsou pro jednoduchost nakresleny na schématu.

Napětí ze sekundárních vinutí transformátoru jsou usměřňována diodovým můstkem G1, který je využíván jako dva samostatné dvoucestné usměrňovače vytvářející kladnou a zápornou napájecí větev. Usměrněná napětí jsou vyhlazována kondenzátory C13 a C14 a stabilizována čtyřmi stabilizátory U3 až U6. Aby stabilizátory nekmitaly, jsou jejich vývody zablokovány keramickými kondenzátory C15 až C18.

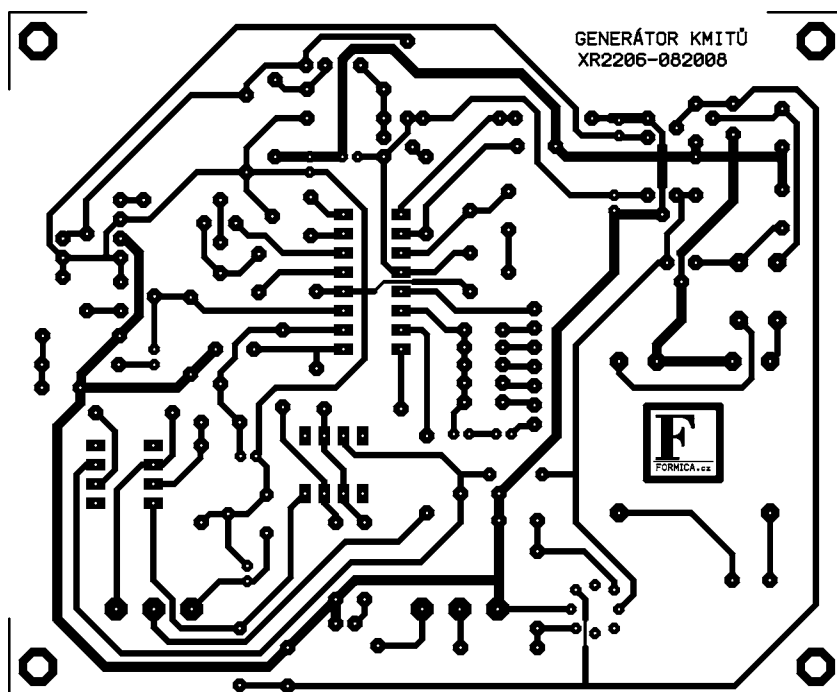
Konstrukce a oživení

Generátor je zkonstruován z vývodových součástek umístěných na desce s jednostrannými plošnými spoji.

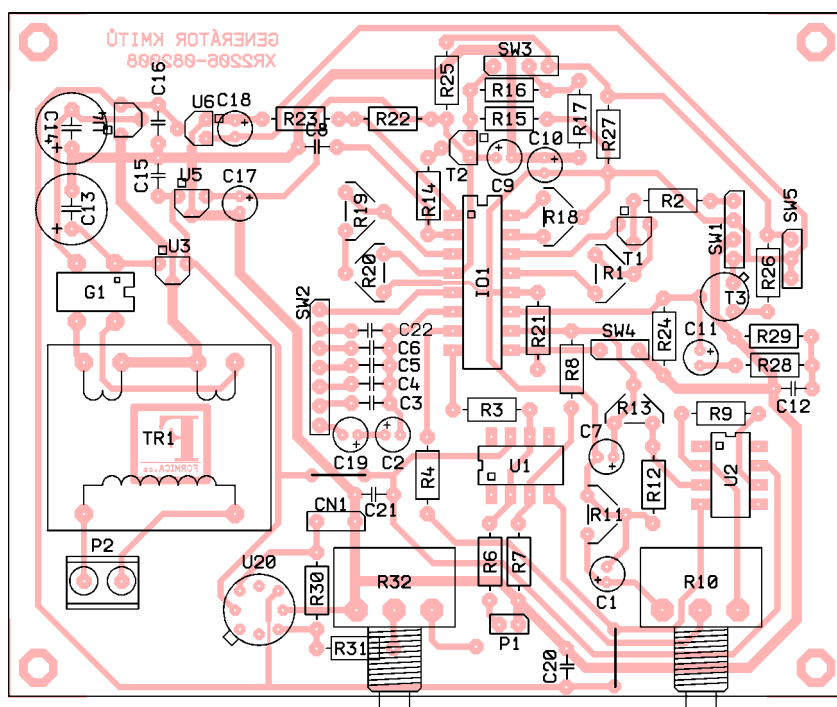
Obrazec spojů je na obr. 48, rozmístění součástek na desce je na obr. 49.

Tranzistory můžeme nahradit podobnými vf nebo spínacími tranzistory jiného typu, ale předepsané tranzistory se ukázaly jako zcela vyhovující. OZ U20 lze nahradit obvodem MAB356 nebo MAC156 až 157.

Přístroj je nutné ožивovat po jednotlivých krocích. Nejprve nastavíme minimální a maximální kmitočet jednotlivých podrozahů. Kmitočet budeme měřit čítačem (v nouzi osciloskopem), který připojíme k výstupu generátoru. Přepínači zvolíme podrozah 100 Hz až 1 kHz a obdélníkový průběh výstupního signálu. Potenciometrem R10 naladíme ma-



Obr. 48. Deska s plošnými spoji generátoru funkcí 3 s XR2206 (měř.: 1 : 1)



Obr. 49. Rozmístění součástek na desce generátoru funkcí 3 s XR2206

ximální kmitočet a trimrem R13 nastavíme kmitočet 1 kHz (nebo s malým přesahem 1,1 kHz). Pak naladíme minimální kmitočet a trimrem R11 nastavíme kmitočet 100 Hz (nebo s malým přesahem 90 Hz).

V dalším kroku seřídíme trojúhelníkový průběh signálu na výstupu 2 IO1. Signál sledujeme na osciloskopu připojeném k vývodu 2 IO1. Naladíme kmitočet 1 kHz a přepínačem SW1, SW3, SW5 zvolíme trojúhelníkový průběh výstupního signálu. Trimrem R19 natočeným zcela doleva nastavíme maximální amplitudu signálu. Pak nastavíme trimr R20 tak, aby omezení signálu bylo symetrické. Dále trimrem R19 zmenšíme amplitudu trojúhelníkového signálu tak, aby signál nebyl omezován a případně znovu trimrem R20 upravíme symetrii omezení. Mezivrcholový rozkmit trojúhelníkového signálu by měl být asi 11 V.

Nyní můžeme seřít sinusový průběh signálu na výstupu 2 IO1. Přepínačem SW1, SW3, SW5 zvolíme sinusový průběh signálu. Trimrem R18 nastavíme střihu signálu 1 : 1 (shodnou délku kladné i záporné půlperiody) a trimrem R1 minimální zkreslení. Protože vizuální nastavování zkreslení podle tvaru sinusovky je dosti nepřesné, a ne každý má k dispozici měřič zkreslení, použijeme k nastavení přípravek pro měření harmonického zkreslení popisovaný v tomto čísle KE na str. 13.

Rozkmit sinusového signálu je přímo úměrný rozkmitu trojúhelníkového signálu, při nastaveném mezivrcholovém rozkmitu trojúhelníkového signálu 11 V by měl mít sinusový signál mezivrcholový rozkmit 4,4 V. Trimrem R19 lze snížit rozkmit obou signálů tak, aby měly na potenciometru R32 stejný rozkmit jako obdélníkový signál.

Nakonec na všech kmitočtech osciloskopem zkontrolujeme správné průběhy signálu na výstupním konektoru CN1.

Takto sestrojený generátor funguje již několik let stabilně a bez poruch.

Seznam součástek

R1	500 Ω, trimr (PT6V, TP 011)
R2	10 MΩ/1 %/0,5 W, metal.
R3	2,7 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R4	8,2 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R5, R6, R7, R8, R12	1 MΩ/1 %/0,5 W, metal.
R9	100 Ω/1 %/0,5 W, metal.
R10	500 Ω/N, potenciometr lineární (TP 160 A/25b)
R11	100 Ω, trimr (PT6V, TP 011)
R13	250 kΩ, trimr (PT6V, TP 011)
R14	390 Ω/1 %/0,5 W, metal.
R15, R16, R25, R28, R31	1 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R17	680 Ω/1 %/0,5 W, metal.
R18	25 kΩ, trimr (PT6V, TP 011)

R19	50 kΩ, trimr (PT6V, TP 011)
R20	10 kΩ, trimr (PT6V, TP 011)
R21, R22, R23, R24, R29, R30	10 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R26	1,2 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R27	1,5 kΩ/1 %/0,5 W, metal.
R32	10 kΩ/N, potenciometr lineární (TP 160 A/25b)
C1	10 μF/25 V, radiální
C2, C19	22 μF/25 V, radiální
C3	1 μF, TC 350
C4	100 nF, TC 351
C5	10 nF, TC 351
C6	1 nF, TC 352
C7	1 μF/25 V, radiální
C8	470 pF, keramický
C9, C10, C11	10 μF/25 V, radiální
C12	150 pF, keramický
C13, C14	470 μF/25 V, radiální
C15, C16, C20, C21	100 nF, keramický
C17, C18	100 μF/25 V, radiální
G1	B40C800DIL, diodový můstek DIL

T1	BS170
T2	KC237B (KSY62B, KC238C)
T3	KSY62B
IO1	XR2206
U1	CA3140
U2	LF356N
U3	78L15
U4	79L15
U5	78L08
U6	79L08
U20	MAB357 (MAB356, MAC157, MAC156)
P1	externí vstup (zdiřky nebo zásuvka BNC)
SW1, SW3, SW5	otočný přepínač trojpólový, 3 polohy
SW2	otočný přepínač jednopólový, 5 poloh
SW4	otočný přepínač jednopólový, 2 polohy
TR1	síťový transformátor 230 V/2x 15 V/3 VA, do plošných spojů
P2	ARK500/2, šroubovací svorkovnice dvoupólová
CN1	zásuvka BNC

Napájecí zdroje

Ss zdroj 14,4 V/1 A s omezením proudu

Tento jednoduchý napájecí zdroj s omezením výstupního proudu využijám jako denní dobíječ akumulátoru v osobním automobilu, akumulátor není nutné z auta odpojovat.

Popis funkce

Schéma zdroje je na obr. 50. Ve zdroji je využíván stabilizátor kladného napětí typu LM317T (U1).

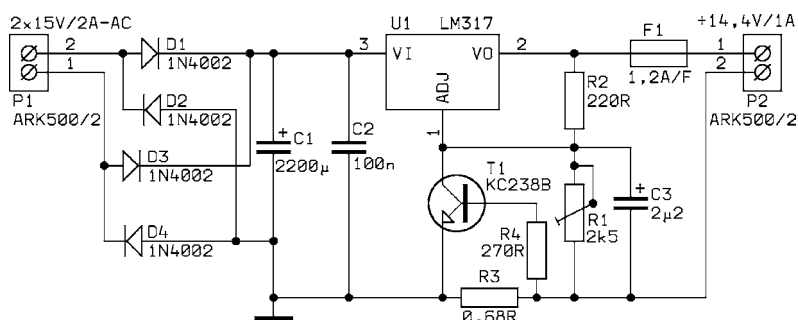
Na vstupní svorkovnici P1 se přivádí střídavé napětí 15 až 17 V/1,5 A ze sekundárního vinutí síťového transformátoru. Graetzův můstkový usměrňovač je tvořen běžnými křemíkovými diodami D1 až D4 typu 1N4002 (1N4007). Usměrněné tepavé stejnosměrné napětí o frekvenci 100 Hz je filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C1 a keramickým kondenzátorem C2.

Ss napětí z kondenzátoru C1 se přivádí na stabilizátor LM317T, výstup stabilizátoru je připojen přes ochrannou pojistku F1 na výstupní svorkovnici P2.

Výstupní napětí zdroje (na svorkovnici P2) je určováno odporovým děličem R2, R1. Stabilizátor LM317 nastaví na výstupu zdroje vždy takové napětí, při kterém bude na horním rezistoru R2 děliče napětí 1,25 V (rovné vnitřnímu referenčnímu napětí stabilizátoru). Zanedbáme-li proud vývodu ADJ obvodu LM317 (který je typicky 50 μA), platí pro výstupní napětí $U_{\text{výst}}$ zdroje vztah:

$$U_{\text{výst}} = 1,25 \cdot (1 + R1/R2).$$

Aby stabilizátor LM317 správně pracoval, musí jím mezi vývody VI a VO protékat proud alespoň 5 mA pro napájení jeho vnitřních obvodů. Pokud není ke svorkovnici P2 připojena zátěž, musí klidový napájecí proud 5 mA protékat děličem s R2 a R1. Protože se na R2 při činnosti stabilizátoru vždy nastá-



Obr. 50. Ss zdroj 14,4 V/1,5 A s omezením proudu