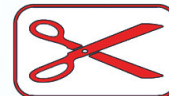


LCmetr - generátor

Ivo Stražil

VYBRALI JSME NA



OBÁLKU

Článek popisuje konstrukci jednoduchého měřiče indukčnosti, kapacity, impulsního generátoru a nf generátoru do 10 kHz.

Technické parametry

Napájení: 230 V, 5 W.
Měření indukčnosti: 1 μ H až 200 mH, přesnost ± 3 %.
Měření kapacity: 10 pF až 0,5 μ F, přesnost ± 3 %.
Měření frekvence: 0,01 Hz až 300 kHz, 0,1 až 50 000 imp/min, $\pm 0,1$ %.
Měření rezonanční frekvence připojeného obvodu: 0 až 3 MHz.
Generátor: „sinus, trojúhelník, pila, obdélník“, bílý šum; 1 Hz až 10 kHz; rozmitání; výstup -5 až +10 V; přesnost frekvence 1 %, zkreslení < 1 % (< 0,2 % pod 1 kHz).

Impulsní generátor:

5 mHz až 60 kHz;
 funkce: AKO, MKO, série impulsů, PWM.
Vnější rozměry: 208 x 65 x 157 mm.

Popis zapojení

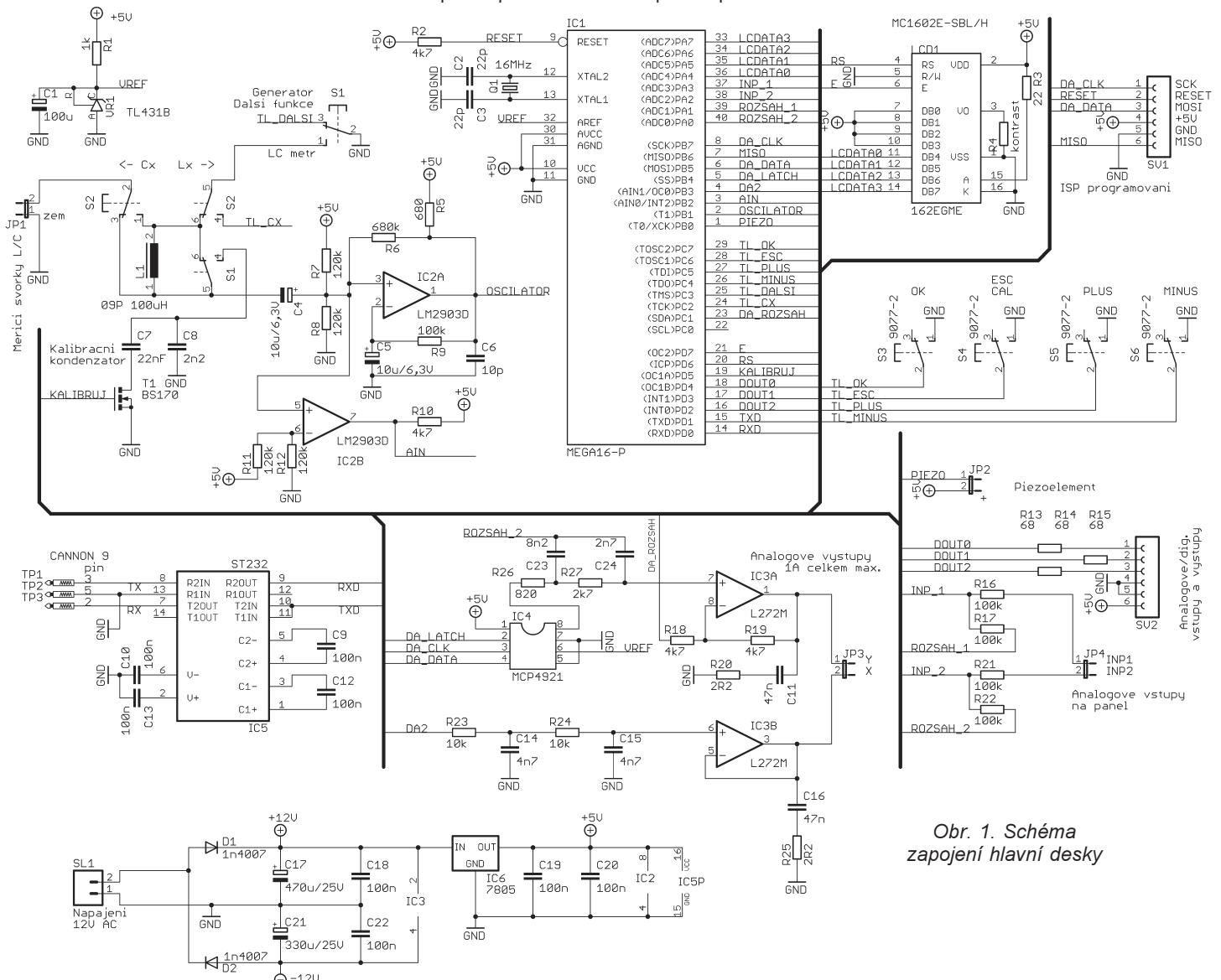
Srdcem přístroje (viz schéma na obr. 1) je mikrokontrolér atMega32 (IC1) běžící na frekvenci 16 MHz, jehož firmware realizuje většinu funkcí přístroje.

Zařízení má dva základní režimy funkce, které se přepínají spínačem S1 na panelu. Je-li spínač v poloze LC, přístroj pracuje jako LCmetr, volit měření kapacit nebo indukčnosti lze poté spínačem S2. V opačné poloze



S1 (GEN) se zobrazí menu se seznamem ostatních dostupných měření.

Pro měření indukčnosti nebo kapacity se využívá rezonanční metody - oscilátor kolem rezonátoru IC2A kmitá na frekvenci rezonančního obvodu, tvořeného vnitřním LC obvodem L1, C8, ke kterému jsou připojovány měřené součástky. V poloze spínače S2 pro měření cívek jsou měřící svorky připojeny do série s L1, v poloze pro měření kapacit jsou svorky připojeny paralelně k rezonančnímu obvodu.



Obr. 1. Schéma zapojení hlavní desky

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_i L_i}} \quad (1)$$

$$f_{kal} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(C_i + C_{kal}) L_i}} \quad (2)$$

Výpočet $C_i(C8)$, $L_i(L1)$:

$$C_i = C_{kal} \frac{f_0^2}{f_0^2 - f_{kal}^2} \quad (3)$$

$$L_i = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C_i} \quad (4)$$

Měření L_x, C_x :

$$L_x = L_i \left(\frac{f_0^2}{f_x^2} - 1 \right) \quad (5)$$

$$C_x = C_i \left(\frac{f_0^2}{f_x^2} - 1 \right) \quad (6)$$

Obvod kmitá bez připojení měřené součástky (při měření indukčnosti jsou měřicí svorky zkratovány) na frekvenci, dané součástkami L1, C8 (1). Aby bylo možné kompenzovat nestabilitu hodnot tohoto členu, tranzistorem T1 lze připojit paralelně k LC obvodu kalibrační kondenzátor C7, který by měl být kvalitní zejména z hlediska stálosti kapacity. Připojením C7 o známé kapacitě se změní frekvence kmitání obvodu podle (2) a z této změny můžeme vypočítat hodnoty prvků L1, C7 (3), (4).

Připojením měřené součástky se sníží rezonanční frekvence obvodu a z poměru čtverců původní (f_0) a nové (f_x) frekvence a ze znalosti hodnot L1, C7 již snadno vypočítáme hodnotu měřené součástky.

Tento princip měření využívá mnoho jiných konstrukcí, např. [1] nebo [2]. Metoda má vzhledem ke své jednoduchosti některé nevýhody: nelze měřit indukčnosti s velkým sériovým odporem ani elektrolytické kondenzátory. Vzhledem k použitému měřicímu kmitočtu 20 až 400 kHz také nesmí být měřicí kabely příliš dlouhé, aby oscilátor nemohl být ovlivňován rušením.

Signál z oscilátoru je přiveden vývodem PB1 procesoru k jeho vnitřnímu čítači. Obvody okolo IC1 jsou využívány i pro měření rezonanční frekvence obvodů: spínač S1 v poloze „Další měření“ vyřadí vnitřní LC obvod (zkratuje cívku L1 a odpojí kondenzátory C7, C8), takže IC2A kmitá na rezonanční frekvenci LC obvodu, připojeného ke svorkám.

Komparátor IC2B slouží jako vstupní zesilovač, když obsluha zvolí funkci „Měření frekvence“ - mikrokontrolér přepne směr vývodu PB1 na výstupní a nastaví ho do úrovně log. 0, čímž zablokuje oscilátor s IC2A a současně přes rezistor R6 posune stejnosměrnou úroveň na společném bodě R6 až R8 na asi 2,29 V. Komparátor IC2B poté porovnává napětí na tomto bodě s polovinou napájecího napětí na svém záporném vstupu, čímž je dána citlivost čítače asi 25 mV. Výstupní signál z IC2B je poté přiveden do mikrokontroléru.

Pro funkci generátoru se využívá dvojice analogových výstupů přístroje, průběhy jsou generovány softwarově na principu DDS, což umožňuje dosáhnout s nenáročným zapojením téměř absolutní kmitočtové stability a zkreslení pod 1 % (u výstupních frekvencí pod 1 kHz je zkreslení menší než 0,2 %, typicky 0,05 %). Jednoduchý generátor na podobném principu byl uveřejněn např. v lit. [3].

Jako převodník D/A pro hlavní výstup přístroje (Y) je použit obvod MCP4921 (IC4) s rozlišením 12 bitů a linearity lepší než 0,2 %. Vzorkovací frekvence převodníku je 200 kHz.

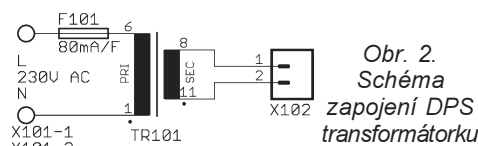
Výstupní signál z převodníku prochází RC filtrem R26, R27/C23, C24, který potlačuje nežádoucí rušení vzorkovací frekvenci převodníku o 35 dB. Uzel kondenzátorů filtru je přizemněn přes vývod procesoru ROZSAH_2. Při práci v režimu „Impulsní generátor“ ho přepíná procesor do stavu vysoké impedance a tím zamezuje funkci filtru, aby se nezhoršovala strmost hran signálu.

Referenční napětí 2,5 V pro IC4 je odvozeno od reference obvodu TL431B (VR1), výstupní napětí na vývodu 8 IC4 má rozsah 0 až 5 V. Do výsledného rozmezí výstupních hodnot -5 až +10 V je upravuje OZ IC3A, který je zapojen jako neinvertující zesilovač se zesílením 2. Mikrokontrolér může ovládním vodiče DA_ROZSAH měnit rozmezí výstupních napětí OZ - pokud je na vodiči DA_ROZSAH 0 V, může výstupní napětí nabývat hodnot 0 až 10 V, je-li na vodiči 5 V, je rozsah výstupních napětí -5 V až 5 V. Pokud stačí rozsah 0 až 5 V, uvede mikrokontrolér vodič DA_ROZSAH do stavu vysoké impedance a tím změní funkci obvodu IC3A ze zesilovače na sledovač (zesílení jedna).

Druhý výstup přístroje (X), užívaný pouze ve funkci rozmítaného generátoru, je zapojen velmi jednoduše - jako výstupní zesilovač slouží IC3B jako sledovač, signál je odebrán z PWM výstupu IC1 a filtrován dolní propustí s hraniční frekvencí 1 kHz, tvořenou RC členy R23/C14, R24/C15.

Jako IC3 je využit výkonový operační zesilovač L272 s dovoleným výstupním proudem až 1 A - proto je možné přímo výstupy přístroje ovládat např. relé, testovat reproduktory nebo jej využít jako jednoduchý stabilizovaný zdroj (funkce „DC výstup“).

Signál z dvojice vstupních svorek (Input 1, 2) je přes konektor JP4 přiveden k vnitřnímu 10bitovému převodníku A/D IC1. Protože převodník využívá stejnou napěťovou referenci 2,5 V jako IC4, je nutné pro rozsah měření napětí 0 až 5 V použít odporové děliče R16/R17, R21/R22, přičemž vodiče ROZSAH_1/2 jsou uvedeny do log. 0. Pokud by vstup byl využit jako digitální, mikrokontrolér přepne vývody připojené k vodičům ROZSAH_1/2 do stavu vysoké impe-



Obr. 2. Schéma zapojení DPS transformátorku

dance a tím umožní přivedení plného rozsahu napětí 0 až 5 V ke svým vstupním vývodům.

IC1 dále čte stav ovládacích prvků na panelu - čtyř tlačítek a dvou spínačů a řídí displej LCD MC1602-SBL (LCD1) s modrým podsvícením (písmo bílé, pozadí modré) - tyto displeje mají kromě módní barvy i vynikající čitelnost oproti klasickým TN displejům. Odpor rezistoru R4 určuje kontrast zobrazení, s použitým displejem stačilo R4 nahradit zkratem.

Do konektoru JP2 je zapojena piezosírénka pro zvukovou signalizaci.

Pro rozšíření možností přístroje je na zadní panel vyvedeno rozhraní RS-232 pro spojení se sériovým portem počítače PC. Integrovaný obvod IC5 převádí úroveň TTL na RS-232.

Firmware mikrokontroléru umožňuje tímto rozhraním ovládat všechny vstupy a výstupy přístroje - takto lze realizovat různá automatická měření, záznam dat apod. Popis komunikačního protokolu je uveřejněn na www.strasil.net.

Pouze po lince RS-232 je přístupné ovládání vodičů DOUT_0-2 na konektoru SV1 na DPS, který jinak není využit.

Programování procesoru v aplikaci umožňuje rozhraní ISP, vyvedené na konektor SV1.

Napájení přístroje je zajištěno zapouzdřeným transformátorem TR101 230/12 V, 10 W, který je společně s pojistkou umístěn na samostatné desce (obr. 2). Jeho sekundární vinutí je vyvedeno konektorem X102 a připojeno na svorky SL1 na hlavní desce, kde je dvojicí jednocestných usměrňovačů vytvořeno symetrické napájecí napětí ±12 V pro operační zesilovač IC3 a stabilizované napětí 5 V pro ostatní obvody.

Mechanická konstrukce

Přístroj je umístěn v šedé plastové krabičce typu SP-7770. Jednostranná hlavní DPS přístroje (obr. 3 až 5), částečně osazená součástkami SMD, je čtveřicí distančních sloupků (25 mm) uchycena k čelní stěně krabičky. Nese všechny ovládací prvky kromě šesti zdířek, připojených kablíky k příslušným konektorům, a síťového vypínače. Displej je zasunut do dutinkové lišty, připájené na DPS, v případě potřeby může být uchycen šrouby M2 do příslušných otvorů v desce. Pro integrované obvody IC1 a IC3 je vhodné použít objímky.

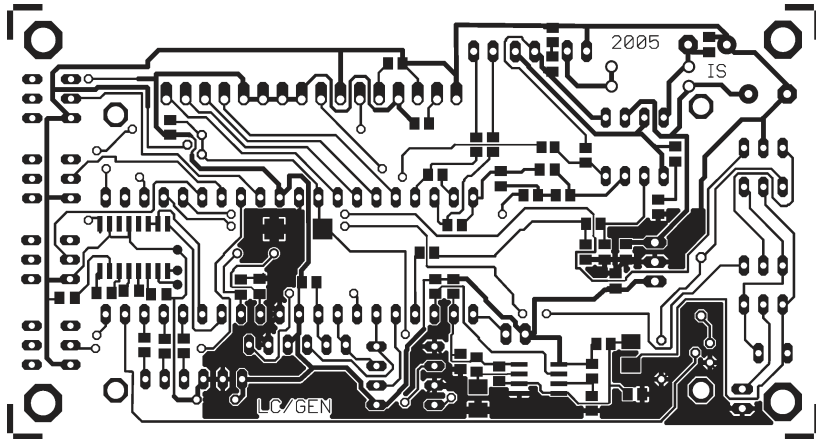
Kulaté hmatníky tlačítek jsou nastaveny kouskem špejle zasunuté do otvoru ve spodní straně hmatníku tak, aby vyčnívaly nad úroveň panelu.

Na panelu krabičky je umístěn štítek (obr. 7), vytištěný na samolepící fólii. Potřebné otvory vyřízneme ostrým skalpelem, okénko pro displej vytvo-

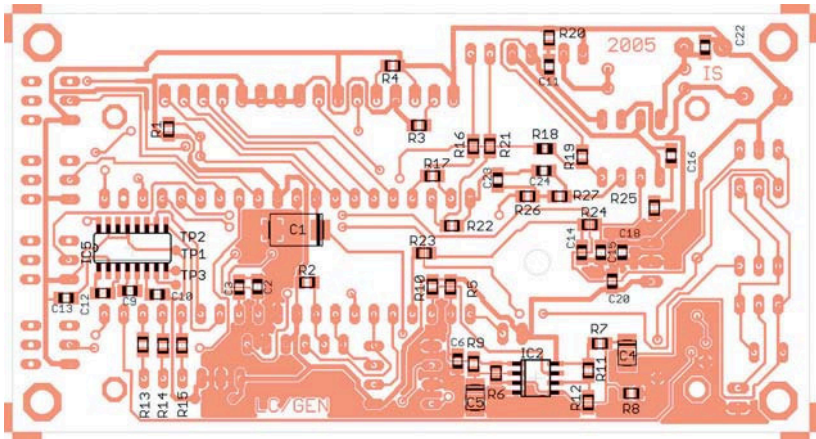
říme z kousku organického skla nebo fólie.

Na zadní stěně je umístěna napájecí Euro zástrčka a konektor Cannon 9

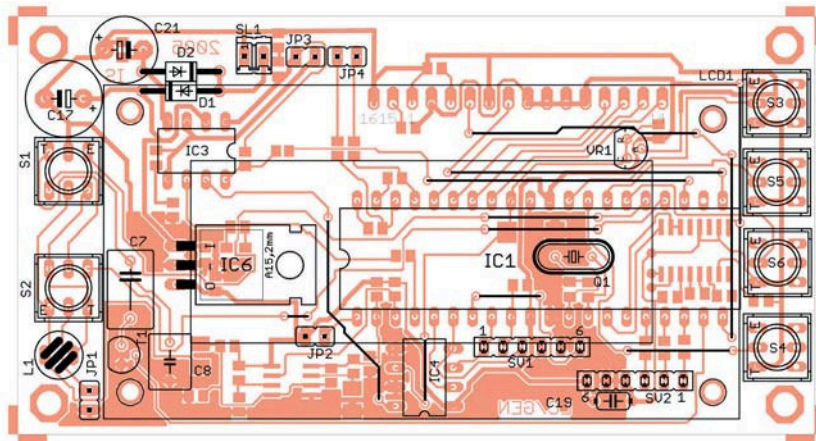
rozhraní RS-232. K nálítkům na dně krabičky je uchycena jednostranná DPS s transformátorem (obr. 6) a piezosírénka. Ochranný vodič napájení je vhodné propojit se zemí přístroje.



Obr. 3. Hlavní deska s plošnými spoji



Obr. 4. Rozmístění součástek - strana spojů



Obr. 5. Rozmístění součástek - strana součástek

Oživení

Desky s plošnými spoji pečlivě osadíme (nezapomeňte na několik drátových propojek na hlavní DPS) a připojíme k napájení zatím bez osazeného obvodu IC1. Osciloskopem ověříme kmitání oscilátoru IC2A v poloze přepínačů S1 a S2 „LC“ a „Cx“, dále změříme přítomnost napájecího napětí 5 V na objímce procesoru a napětí 2,5 V na katodě reference VR1. Poté můžeme přistoupit k osazení naprogramovaného procesoru a ověření všech funkcí přístroje (před měření indukčností a kapacit je nutné přesně nastavit změnou kapacity kalibračního kondenzátoru - viz návod k obsluze).

Pokud nesvítí podsvícení displeje, je nutné prohodit polaritu diod LED podsvětlení propájením příslušných pájecích bodů na displeji.

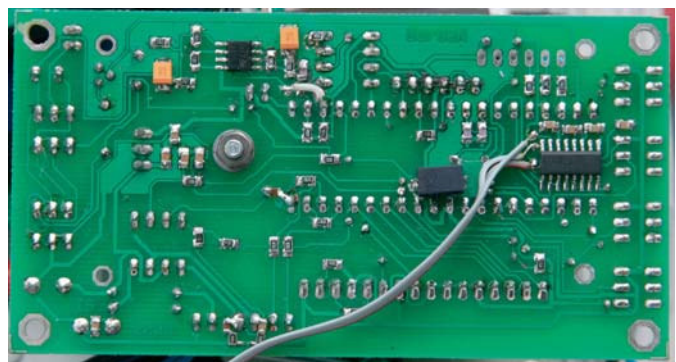
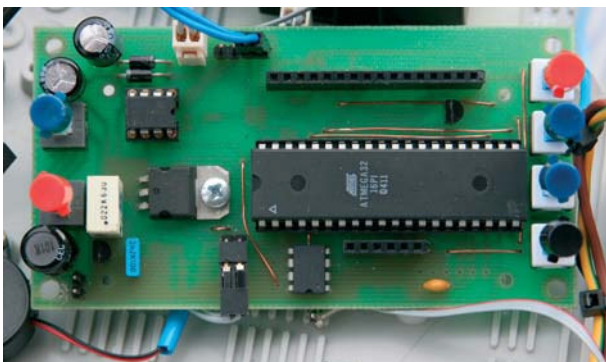
Obsluha přístroje

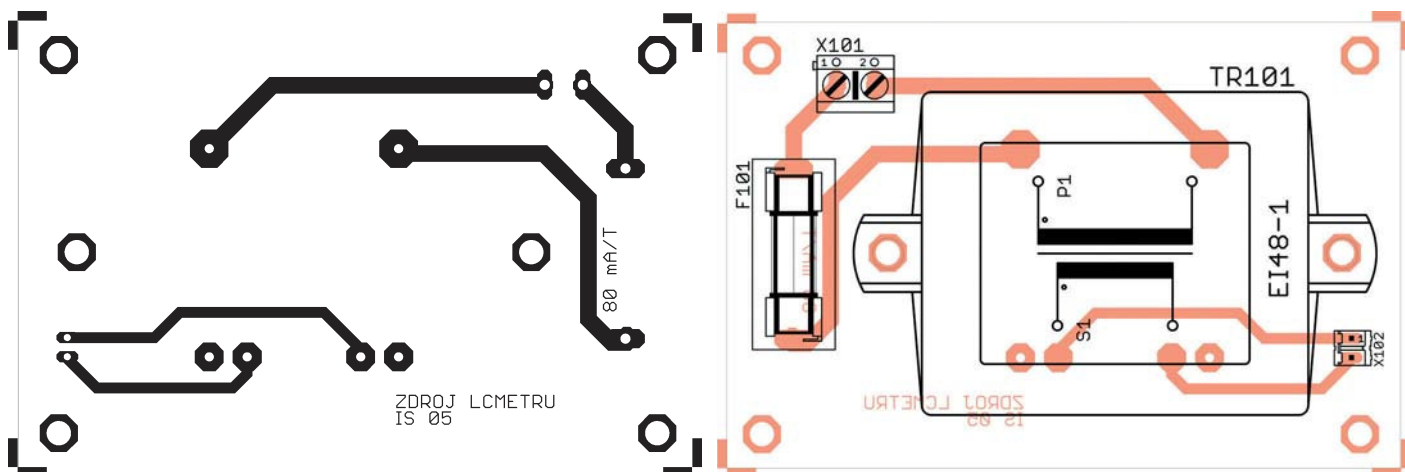
LC-metr

Spínač S1 přepneme do polohy „LC“, spínačem S2 zvolíme veličinu, kterou chceme měřit. Přístroj vyzve ke spuštění autokalibrace, kterou uskutečníme s připojenými měřicími šňůrami, aby se eliminoval jejich vliv na další měření. Start autokalibrace potvrdíme tlačítkem OK a vyčkáme (zobrazí se vypočítané hodnoty L1 a C8) - poté je možné měřit. Přepínání rozsahů je automatické.

Opětovné spuštění autokalibrace je možné přidržetím tlačítka „ESC/CAL“ - zobrazí se výzva k odpojení měřené součástky. Potvrzením výzvy tlačítkem OK se spustí celý cyklus autokalibrace, dalším stiskem tlačítka ESC/CAL se jen vynuluje měřená hodnota.

Přidržetím tlačítka „dolů“ se zapne funkce auto-hold, která při ustálení měřené hodnoty zablokuje měření, aby bylo možné přečíst údaj i po odpojení měřicích hrotů. O ustálení hodnoty informuje přístroj pípnutím.





Obr. 6. Deska s plošnými spoji transformátoru

Stiskem tlačítka „OK“ se zapne zobrazování odchylky měřené hodnoty v procentech od hodnoty, která byla zobrazena při stisku tlačítka.

Nastavení kapacity kalibračního kondenzátoru C7 je možné přidržetím tlačítka „OK“ při zapínání přístroje.

Impulsní generátor

Spínač S1 přepneme do polohy „GEN“, v zobrazeném menu zvolíme „Impulsní generátor“ a potvrdíme tl. „OK“. Dále zvolíme funkci: /AKO - astabilní klopný obvod; /AKO s povolením (generátor pracuje, jen je-li na svorce INP 1 log. 1); /MKO - série impulsů se odstartuje log. 1 na svorce INP 1; ruční spouštění tlačítkem; /PWM - výstup pulsně šířkové modulace; /Odpočet. V dalším kroku si zvolíme úroveň napětí výstupu z přednastavených hodnot, případně si nastavíme úroveň vlastní (pro log. 0, log. 1, čas před a po spuštění generátoru).

Dalším krokem je nastavení frekvence, ze které je vypočítán čas log. 0

a log. 1, který můžeme následně ještě změnit. Přístroj se také táže na počet impulsů v sérii (od jednoho po 1,9 milionu) a čas čekání před a po výstupu série impulsů - pro tyto dva časy si také můžeme zvolit odlišné výstupní napětí.

Poté se generátor spustí tlačítkem OK.

V režimu *Odpočet* je možné generátor využít jako časový spínač 1 s až 99 hodin s výstupem. Na konci nastaveného času začne přístroj pískat, aby upozornil obsluhu.

Nf generátor

V menu zvolíme „Generátor“, vybereme požadovaný průběh (sinus, trojúhelník, pila, obrácená pila, obdélník, bílý šum, růžový šum). Poté zvolíme úroveň signálu a můžeme zapnout lineární nebo logaritmické rozmítání (signál pro osciloskop na výstupu X má vždy úroveň 0 až 5 V). U rozmítání je možné zapnout zobrazování značky zvýšeným jasem - na zadané frekvenci setrvá oscilátor přístroje několikrát déle, což způsobí

jasnější zobrazení příslušné frekvence na stínítku osciloskopu.

Další funkce

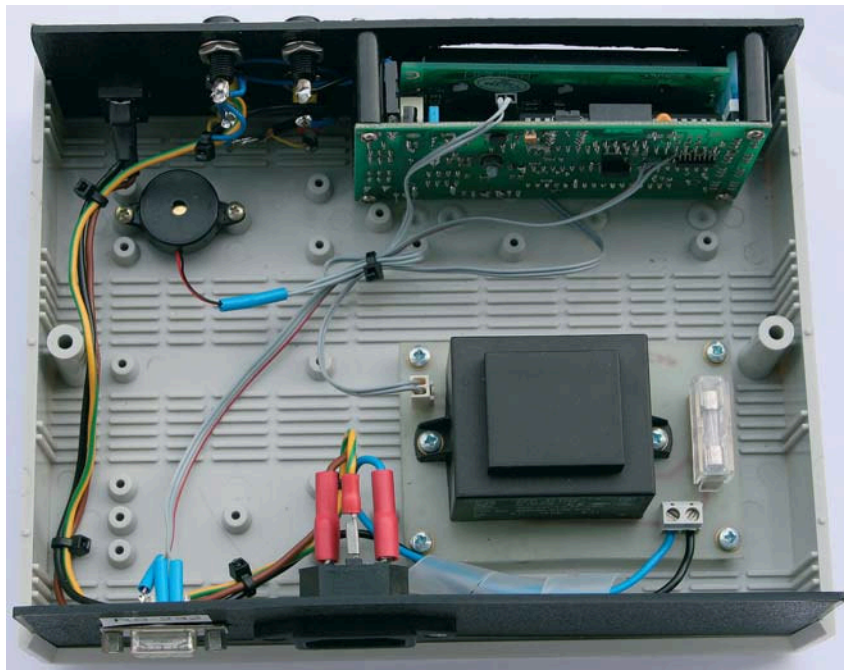
Většina ostatních funkcí má velmi jednoduché ovládání, proto uvedu jen jejich výčet:

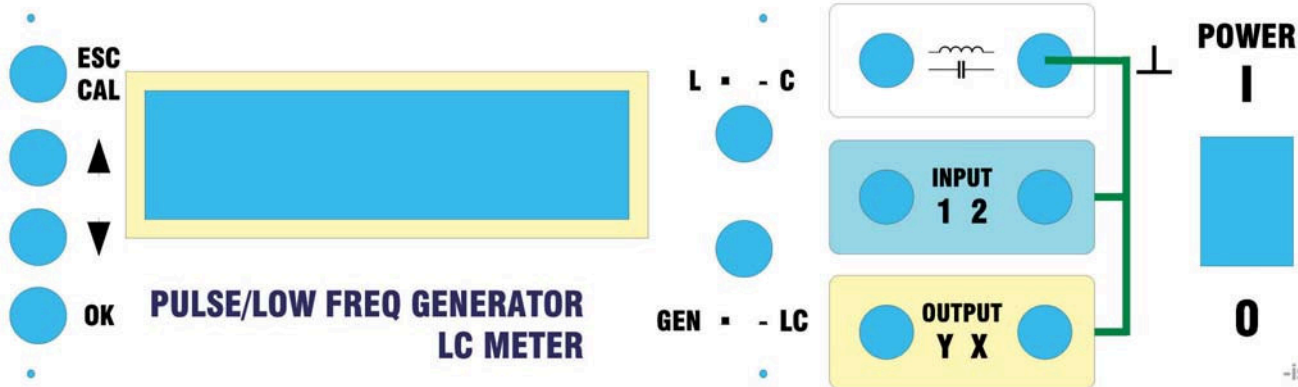
- *DC výstup* - výstup stejnosměrného napětí na výstupu Y.
- *Voltmetr* - dvojitý voltmetr 0 až 5 V.
- *Měření frekvence* - čítač 0,01 Hz až 300 kHz. U frekvencí pod 1 kHz měříme délky periody, rozlišení je 0,01 Hz. Stejný princip, ale jiný přepočít zobrazení používají funkce *Imp/min.* pro měření počtu impulsů za minutu a *Perioda.*
- *Ovládání z PC* - popis protokolu je uveřejněn na www.strasil.net.
- *Měření rezon. frekvence* obvodu připojeného k měřicím svorkám (do 3 MHz).

Seznam součástek

Hlavní DPS

| | |
|------------------|---------------------|
| R1 | 1 kΩ, SMD 0805 |
| R2, R10, | |
| R18, R19 | 4,7 kΩ, SMD 0805 |
| R3 | 22 Ω, SMD 0805 |
| R4 | viz text |
| R5 | 680 Ω, SMD 0805 |
| R6 | 680 kΩ, SMD 0805 |
| R7 až R8, | |
| R11 až R12 | 120 kΩ, SMD 0805 |
| R13 až R15 | 68 Ω, SMD 0805 |
| R9, R16 až R17, | |
| R21 až R22 | 100 kΩ, SMD 0805 |
| R20, R25 | 2,2 Ω, SMD 0805 |
| R23, R24 | 10 kΩ, SMD 0805 |
| R26 | 820 Ω, SMD 0805 |
| R27 | 2,7 kΩ, SMD 0805 |
| C1 | 100 μF/6,3 V, SMD D |
| C2, C3 | 22 pF, SMD 0805 |
| C4, C5 | 10 μF/6,3 V, SMD B |
| C6 | 10 pF, SMD 0805 |
| C7 | 22 nF, fóliový |
| C8 | 2,2 nF, fóliový |
| C9 až C10, | |
| C12 až C13, C18, | |
| C20, C22 | 100 nF, SMD 0805 |
| C11, C16 | 47 nF, SMD 0805 |
| C14, C15 | 4,7 nF, SMD 0805 |
| C17 | 470 μF/25 V |
| C19 | 100 nF |





-is- 2005

| | |
|----------|---|
| C21 | 330 µF/25 V |
| C23 | 8,2 nF, SMD 0805 |
| C24 | 2,7 nF, SMD 0805 |
| Q1 | 16 MHz, mini |
| T1 | BS170 |
| D1, D2 | 1N4007 |
| IC1 | ATmega16-P |
| IC2 | LM2903D |
| IC3 | L272 |
| IC4 | MCP4921 |
| IC5 | ST232 SMD |
| IC6 | 7805 |
| VR1 | TL431B |
| L1 | 100 µH 09P |
| LCD1 | MC1602-SBL |
| S1, S2 | spínač P-TURBO |
| S3 až S6 | tlačítka P-B170H |
| SL1 | PSH02-02P |
| SV1, SV2 | dutinková lišta 6 vývodů Jumper kolíky 24 ks (JP1 až JP4, displej) dutinková lišta celkem 28 vývodů (SV1, SV2, displej) |

DPS transformátoru

| | |
|-------|------------------------------|
| F101 | 80 mA/F |
| X101 | ARK500/2 |
| TR101 | 230/12 V, 10 VA, EI48 zalité |
| X102 | PSH02-02P pojistkové pouzdro |

Součástky mimo DPS (značení podle GM)

Krabička U-SP7770
Zdířky SBZ 6 ks
Síťový spínač P-B100H
Napájecí Euro konektor GSD 781
Zásuvka Cannon 9

Závěr

Popisovaná konstrukce umožňuje s nízkými náklady dovybavit amatérskou laboratoř hned o několik méně obvyklých měřicích přístrojů současně. Protože jsou zveřejněny zdrojové

Obr. 7. Štítek (196 x 59 mm)

kódy firmware přístroje (najdete také na www.aradio.cz), neměl by být problém dále upravovat a vylepšovat jeho funkce.

Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na ivo.strasil@centrum.cz

Firmware, popis komunikačního protokolu a podklady pro výrobu DPS jsou na www.strasil.net.

Literatura

- [1] Řeček, J.: LC-metr s 89C2051. Online: http://www.shop.hw.cz/constr/lc_metr/lc_metr_2051.html
- [2] Przewczek, J.: LCmetr s PIC. PE 3/198, s. 10 - 12.
- [3] Hensen, J.: Mini DDS Synthetiser. Online: <http://www.myplace.nu/avr/minidds/>

Zesilovač třídy D pro řízení motorku

S nízkofrekvenčními spínanými zesilovači třídy D se v přenosných přístrojích napájených z baterií, jako jsou např. mobilní telefony, přenosné a kapesní počítače, přehrávače CD a MP3, setkáváme stále častěji. Byť se kvalitou reprodukce úplně nevyrovnají lineárně pracujícím zesilovačům, ztráty jsou výrazně menší a tím u zmíněných aplikací významně prodlužují život napájecí baterie.

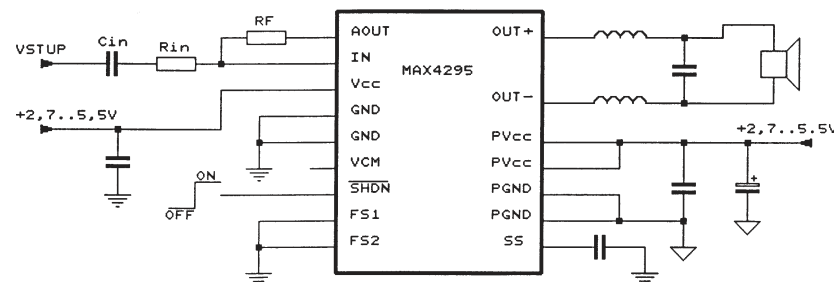
Jedním z integrovaných obvodů pro spínané zesilovače, které jsou v těchto přístrojích užívány, je MAX4295 [1] určený pro monofonní zesilovače, jehož typické zapojení je na obr. 1. Do zátěže 4 Ω může dodat při účinnosti přes 85 % výkon až 2 W, přičemž celkové harmonické zkreslení THD je asi 0,4 %. Využití MAX4295 však není omezeno jen na zpracování akustických signálů. Na obr. 2 je tento obvod využit v zapojení, určeném pro řízení otáček stejnosměrného motorku. Proti standardnímu zapojení integrovaného obvodu v zesilovači jsou v něm provedeny poměrně malé změny. Namísto nf signálu je na vstup

přivedeno řídicí stejnosměrné napětí z jezdce potenciometru R2, jehož maximální velikost je upravena sériovým rezistorem R1. Okolo střední polohy potenciometru motorek stojí, při natáčení potenciometru k jeho krajním polohám se mění směr otáčení motorku a jeho rychlost se zvyšuje. Motorek je připojen k internímu

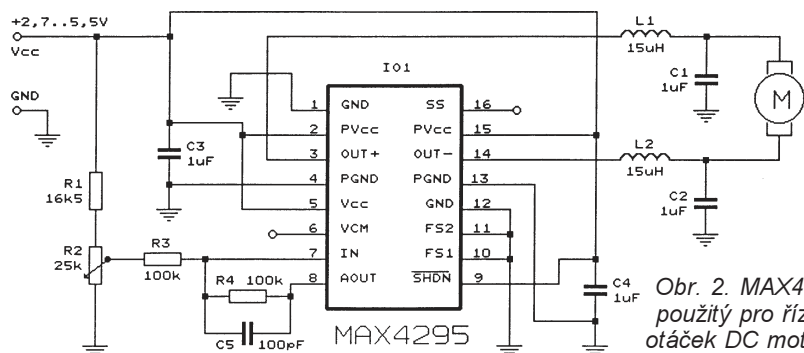
spínacímu H můstku IO přes odrušovací LC filtry.

JH

- [1] Mono, 2W, Switch-Mode (Class D) Audio Power Amplifier. Katalogový list 19-1746, Rev. 3. firmy Maxim, (www.maxim-ic.com).
- [2] Guy, J.: Circuit provides Class D motor control. EDN 1. května 2003, s. 96.



Obr. 1. Typické zapojení nf zesilovače s MAX4295



Obr. 2. MAX4295 použitý pro řízení otáček DC motorku