

Digitální wattmetr

Ivo Stražil

Tento článek popisuje konstrukci digitálního, mikroprocesorově řízeného síťového wattmetru, měřiče účinniku a odebrané energie s možností propojení s PC. Přístroj je umístěn v malé krabičce se síťovou vidlicí a zásuvkou, což umožňuje jeho jednoduchou obsluhu a použití i laiky.

Technické parametry

Provozní napětí: 150 až 260 V,
40 až 60 Hz;
pro využití komunikace s PC
a měření odebrané energie
nutný kmitočet sítě 50 Hz $\pm 0,5\%$.
Vlastní činný příkon: 0,5 W.

Maximální měřený činný výkon:
1350 W.

Maximální amplituda
proudu do zátěže: 8,6 A.
Maximální úbytek na bočnicku (RMS):
0,3 V.

Přesnost měření činného
výkonu (rozdílení 0,1 W):
 $I_{pk} < 0,7$ A: $\pm 2,5\% \pm 3$ dgt;
 $I_{pk} > 0,7$ A: $\pm 2,5\% \pm 8$ dgt.

Přesnost měření účinniku:
 $\pm 2\%$.
Přesnost měření jalového
a zdánlivého výkonu (rozdílení 1 VA,
případně VAR): $\pm 4\% \pm 1$ dgt.

Přesnost měření síťového
napětí (rozdílení 1 V):
 $\pm 1\% \pm 1$ dgt (True RMS).

Přesnost měření proudu
(rozdílení 0,01 A):
 $I_{pk} < 0,7$ A: dáno rozlišením ± 3 dgt;
 $I_{pk} > 0,7$ A: $\pm 3\% \pm 5$ dgt.

Zobrazení odebrané energie:
v kWh (rozdílení 0,01kWh);
v kJ (rozdílení 1 kJ).

Vnější rozměry (bez zástrčky):
75 x 122 x 47 mm.

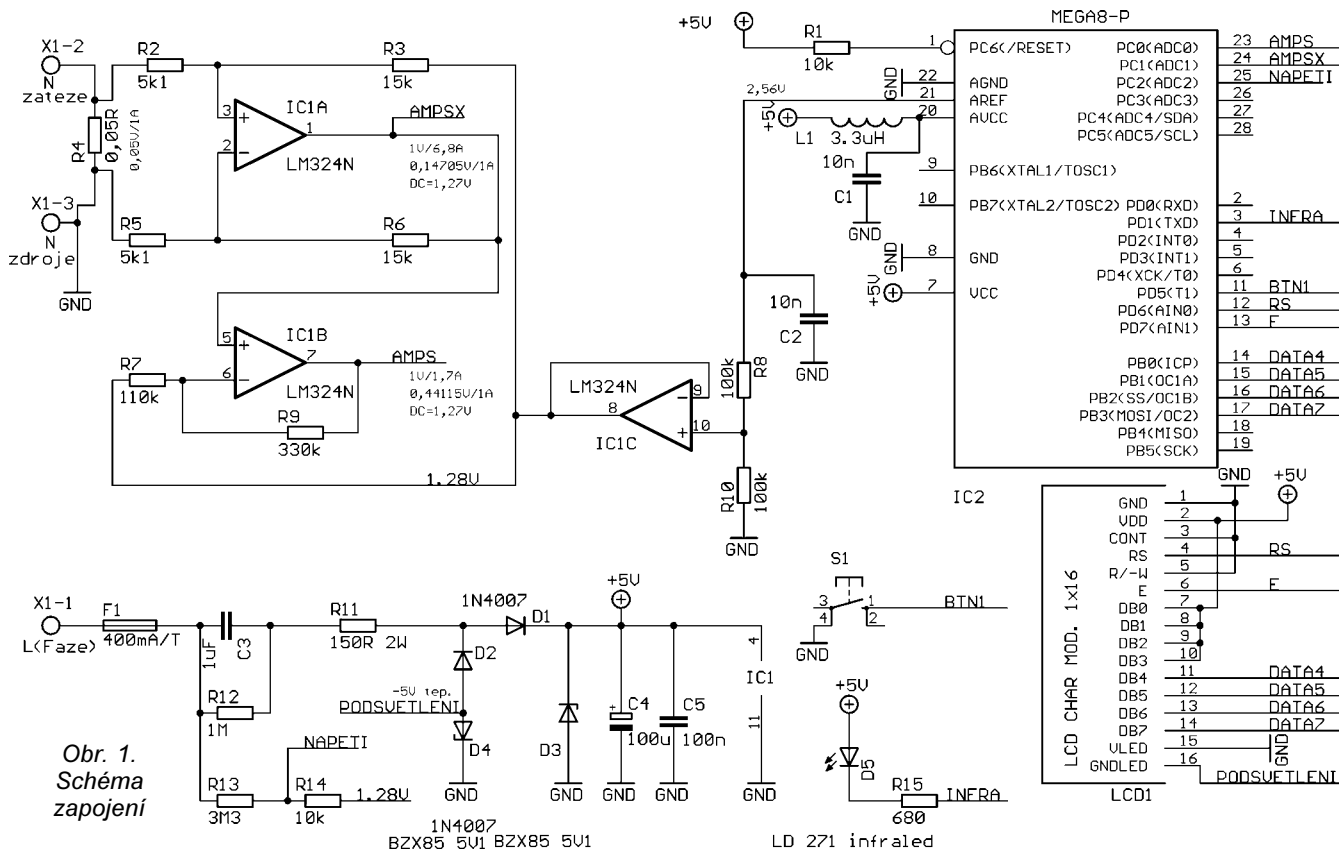
Hmotnost: 220 g.

Popis zapojení

Schéma zapojení je na obr. 1. Napájení přístroje je pro jednoduchost řešeno bez síťového transformátoru. Je použit sériový kondenzátor C3 spolu s vybíjecím rezistorem R12 a rezistorem R11, který omezuje proudový náraz při připojení k síti na ma-



ximální proud okolo 2 A. Diody D1 a D3 tvoří zdroj stabilizovaného napětí 5,1 V; diody D2 a D4 využívají zápornou půlvlnu síťového napětí pro podsvětlení displeje LCD. Miniaturní radiální pojistka F1 chrání přístroj v případě průrazu kondenzátoru C3



- jinak je napájecí zdroj plně zkratu-zvodrný.

Přívod středního vodiče k měřenému zařízení je přerušen bočnickem R4, tvořeným dvěma kusy paralelně zapojených keramických drátových rezistorů 0,1 Ω pro zatížení 5 W, umístěných nad sebou.

Srdcem celého přístroje je jednočipový mikrokontrolér ATmega8 z řady Atmel AVR (IC2), který pracuje na hodinové frekvenci 8 MHz, řízené interním oscilátorem RC. Novější zástupci řady AVR mají již dobře pracující nulovací obvody při připojení a poklesu napájení, není tedy nutné používat žádný napěťový „watchdog“ a vývod „Reset“ mikrokontroléru stačí uvést trvale do log. 1.

Napájení analogové části mikrokontroléru je odděleno tlumivkou L1 a kondenzátorem C1.

Interní 10bitový převodník A/D IC2 používá vnitřní referenční napětí 2,56 V, které je vyvedeno na vývodu AREF. K němu je připojen odporový dělič, který vytváří napětí 1,28 V, použité po oddělení pomocí sledovače IC1C jako virtuální zem pro operační zesilovače IC1A, IC1B.

OZ IC1A je zapojen jako diferenční zesilovač se zesilením přibližně 3, který zesiluje napětí na bočniku R4 a stejnosměrně je posouvá na napětí

virtuální země, aby mohly být obě půlvlny vyhodnoceny převodníkem AD v IC2. IC1B je neinvertující zesilovač se zesilením 3, který zlepšuje rozlišení wattmetru při malých měřených proudech. Oba tyto zesilovače jsou stejnosměrně vázané, offset operačních zesilovačů je automaticky kompenzován softwarově vždy při zapojení do sítě bez připojené zátěže.

Jako IC1 je použit běžný operační zesilovač LM324, který spolehlivě zpracovává vstupní napětí blízká nule.

Odporový dělič R13/R14 umožňuje mikrokontroléru měřit napětí v síti.

IC2 dále obsluhuje tlačítko S1 a displej LCD (LCD1) 8 x 2 znaků, kde se zobrazují naměřené údaje.

„elektroměru“, pomocné součty přenesené energie vynulovány a celý měřicí cyklus znovu začíná.

Pokud je špičkový proud do/ze zátěže menší než 0,7 A, měří přístroj proud za účelem dosažení vyššího rozlišení a přesnosti za IC1B (vodič AMPS) - toto se projevívá rozsvícením tečky vpravo nahoře na displeji. Vyšší proudy měří přístroj hned za IC1A (vodič AMPSX).

Softwarová detekce průchodu síťového napětí nulou je využita pro výpočet času měření, výpočet odebrané energie a také pro nastavení správné rychlosti sériové komunikace. Práce přístroje při odlišné frekvenci je možná, ale tyto funkce budou nepřesné.

Princip práce přístroje

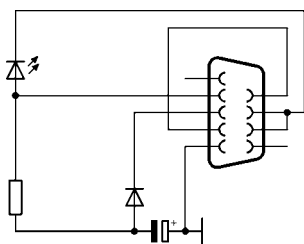
Ačkoliv většina wattmetrů používá nějakou formu analogové násobičky (např. [1]), rozhodl jsem se vykonat celé zpracování naměřených hodnot mikroprocesorem. IC2 vzorkuje každých 500 μs hodnoty napětí a proudu a jejich násobek přičítá k pomocnému součtu přenosu energie ze zdroje, případně do zdroje. Po načítání zhruba 600 vzorků jsou v okamžiku průchodu síťového napětí nulou přeneseny naměřené a přepočítané údaje na displej, inkrementována počítadla

Obsluha přístroje

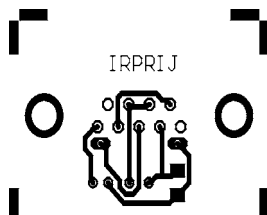
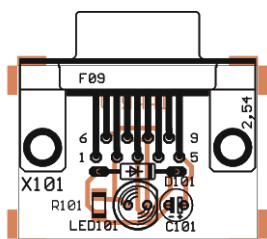
Při zapnutí wattmetru do síťové zásuvky proběhne iniciace a na okamžik se zobrazí verze firmware. Poté se zobrazení změní na standardní:

6 5,2 W
1 1,8 4 kWh

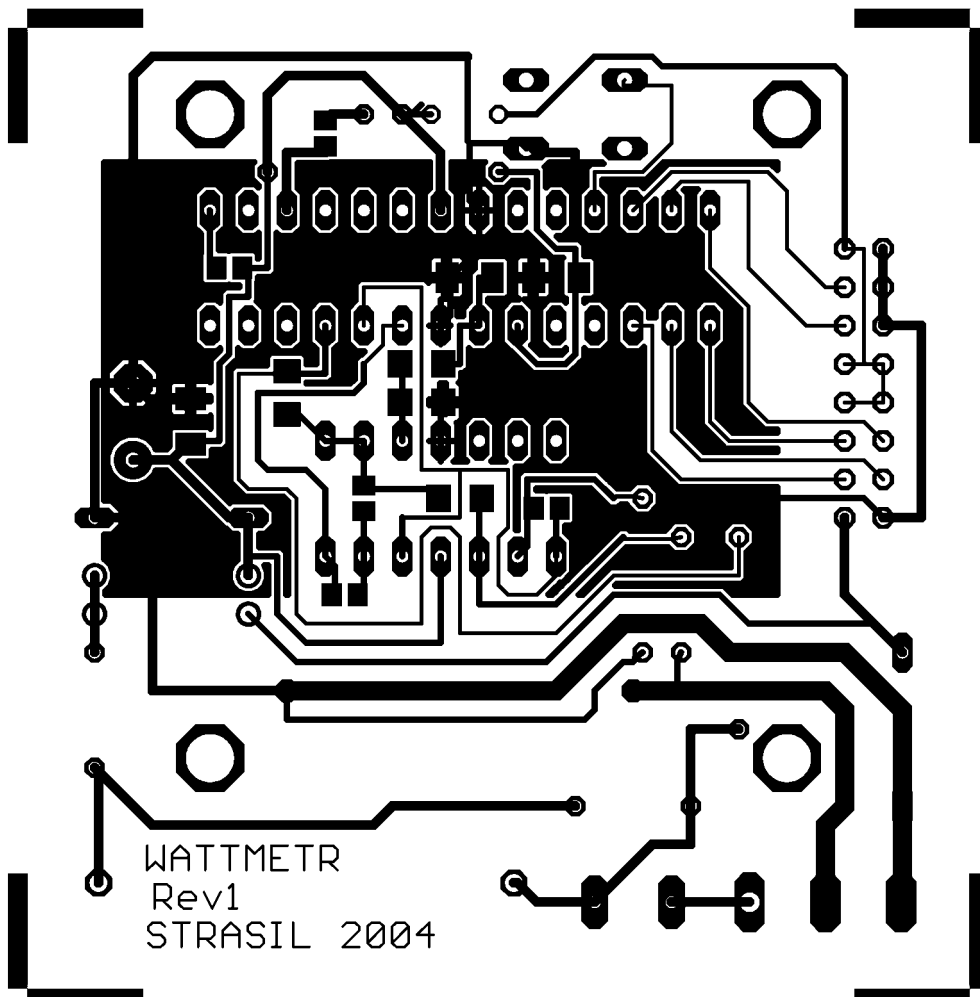
První řádek vždy zobrazuje činný výkon, případně výstražný nápis „Přetížení“. Zobrazuje se na něm také tečka, informující o přepnutí na nižší



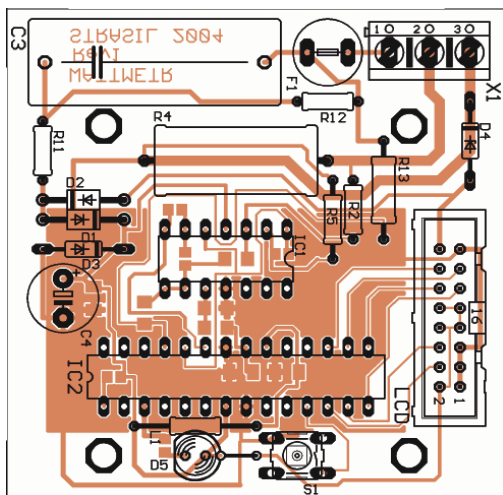
Obr. 2. Schéma zapojení přijímacího přípravku pro PC



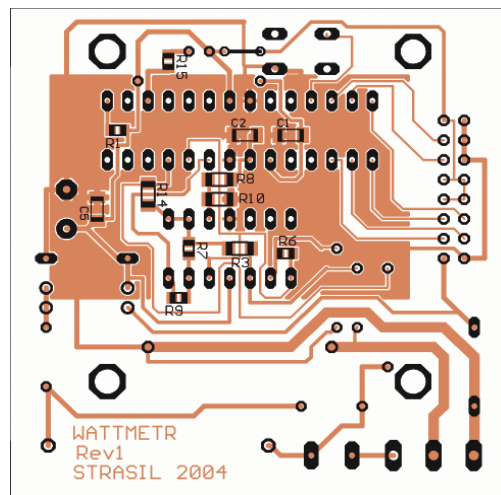
Obr. 3. Deska s plošnými spoji přijímacího přípravku pro PC



Obr. 4. Deska s plošnými spoji wattmetru (2 : 1 skutečný rozmer 63 x 63 mm)



Obr. 5. Rozmístění součástek na desce plošnými spoji wattmetru



rozsah a tedy vyšší přesnosti přístroje.

Zobrazení na druhém řádku displeje je možné přepínat tlačítkem S1. Stiskem tlačítka je možné cyklovat mezi těmito údaji:

1. čas měření* (méně než 24 hodin - rozlišení 1 s; 24 hodin - 99 dní - rozlišení 1 den);
2. zobrazení účinníku (rozlišení 0,01); účinník se počítá z poměru odebraného (činného) výkonu ke zdánlivému výkonu. Pokud je odebíraný proud harmonický, zobrazí se i text „U → I“ nebo „U ← I“, informující o indukčním, případně kapacitním charakteru zátěže;
3. jalový výkon;
4. zdánlivý výkon;
5. efektivní hodnota síťového napětí (true RMS);
6. efektivní hodnota proudu zátěží (true RMS);
7. odebraná energie* (rozlišení 1 kJ, maximálně 100 MJ);
8. odebraná energie* (v kWh, rozlišení 0,01 kWh nebo 1 kWh při větších hodnotě než 100 kWh);
9. průměrný činný výkon*.

Údaje označené hvězdičkou je možné vynulovat dlouhým stiskem tlačítka S1.

Některé údaje se z důvodu zmenšené přesnosti v blízkosti nuly nezobrazují při činném výkonu menším než 5 W.

Komunikace s PC

Procesor vysílá pomocí infračervené diody LED1 každou sekundu textová data s informací o aktuálním činném výkonu; pokud druhý řádek displeje zobrazuje napětí v síti, vysílá se i tato hodnota, oddělená středníkem. Schéma přijímacího přípravku k připojení na sériový port počítače PC, ze kterého je současně napájen, najdete na obr. 2. Přípravek je navržen pro umístění do běžné krytky konektoru CANNON 9, vhodná jednostranná deska s plošnými spoji je na obr. 3; součástky však lze připájet i přímo na vývody konektoru.

Data je možné přijímat v jakémkoliv terminálovém programu, jako je například Hyperterminal, a poté zkopírovat do tabulkového kalkulátoru a dále zpracovat. Rychlost vysílání je 1200 Bd, 8 bitů, 1 stopbit, bez parity.

Dosah této optické komunikace je přibližně 40 cm.

Mechanická konstrukce

Použití mikrokontroléru umožnilo zjednodušit elektroniku wattmetru tak, že se vejde na jedinou jednostrannou DPS o rozměrech 63 x 63 mm (obr. 4). Rozmístění součástek je na obr. 5. Pasivní součástky, které nejsou výkonově a napěťově namáhané, nebo jim toto namáhání nehrozí ani při zkratu na výstupu nebo přerušení bočníku, jsou v provedení plošnou montáž. Oba integrované obvody je vhodné umístit do objímek.

Celý přístroj je vestavěn do univerzální krabičky se síťovou vidlicí a zásuvkou KPZ 11, deska je přišroubována čtyřmi vruty ke spodnímu dílu krabičky. Vysílací infračervená dioda D5 je zapájena na dlouhých vývodech a prostrčena otvorem v horní stěně spodního dílu krabičky. Ve víku je vyřezán obdélníkový otvor pro displej LCD a díra pro hmatník tlačítka S1. Stisk hmatníku je na tlačítko S1 přenášen kouskem tvrdého drátu s vedením z plastového distančního sloupku. Displej LCD je propojen s deskou plochým kabelem s konek-

tory LPV 16. Pokud budete pájet konektor na displej ze strany spojů, prohodte spolu každé dva vodiče v kabelu tak, aby bylo zajištěno správné propojení s deskou.

Spojení desky přístroje s vidlicí a zásuvkou je zřejmé z fotografií, pokud je kovový rámeček displeje LCD zvenčí přístupný, je nutné jej uzemnit.

Fotografie vnitřního provedení přístroje je na obr. 7.

Hotový přístroj opatříme štítkem (obr. 8), který přelepíme průhlednou samolepicí fólií a po vyřezání otvorů skalpelem přilepíme na krabičku.

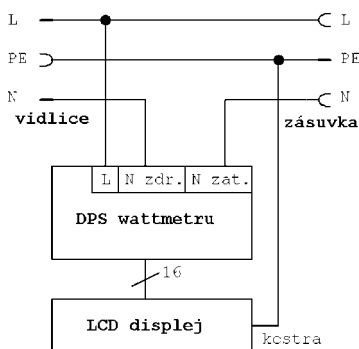
Oživení a kalibrace

Při pečlivé práci by neměl být s oživením přístroje žádný problém. Přístroj je možné předběžně otestovat připojením externího napájení +5 V a přiložením střídavého napětí asi 1 V/50 Hz na vývody rezistoru R14, čímž se simuluje připojení síťového napětí - bez něj by procesor na konci měření donekonečna vyčkával na průchod nulou. Pokud přístroj nepracuje na první zapojení, důrazně doporučuji použít při jeho ožívování toto náhradní napájení nebo alespoň oddělovací transformátor.

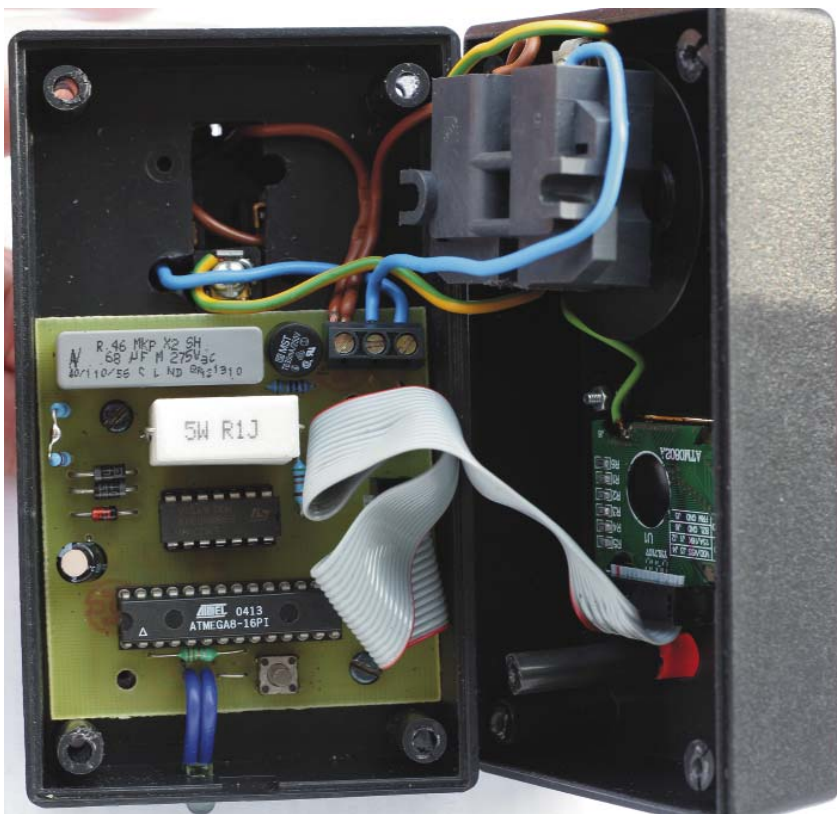
Po připojení k síti by měl přístroj ihned pracovat. Doporučuji jen zkontrolovat napájecí napětí mikrokontroléru, mělo by být v rozsahu 4 až 5,5 V.

Nyní můžeme přistoupit ke kalibraci. Pokud jste dodrželi předepsané tolerance rezistorů podle rozpisky součástek, pravděpodobně nebudete muset nic upravovat - z tohoto důvodu nejsou v odporových děličích použity trimry. Rezistory SMD s přesností 1% sice nejsou běžně dostupné, ale je možné je velmi lehce vybrat z běžně dostupných 5% rezistorů SMD.

Protože příkon je vypočítáván digitálně a vnesená chyba je zcela minimální, stačí zkalibrovat měření napětí a proudu s reálnou (odporovou) zátěží pomocí ampérmetru a voltmetru. Použijte několik různých zátěží,



Obr. 6. Schéma propojení v krabičce



Obr. 7. Fotografie vnitřního provedení přístroje

například žárovky, topná tělesa atd. Změnu údaje v tomto rozsahu uskutečnime změnou kalibrační konstanty v programu, změnou odporů rezistorů R2 a R5 (pozor: dvojice rezistorů R2, R5 a R3, R6 musí mít přesně stejný odpor!) nebo nejjednodušeji změnou odporu samotného bočnicku přidáním paralelního rezistoru nebo vložením kousku odporového drátu do série.

Měření síťového napětí lze dostavit změnou poměru děliče R13/R14.

Ověření přesnosti měření při nižším rozsahu (při použití zesilovače IC1B) provedeme obdobně s použitím např. výkonových rezistorů. Jako odporová zátěž v jednotkách wattů se osvědčily i odpuzovače hmyzu s topným tělískem. Přesné dostavení hodnoty můžeme provést změnou odporu rezistoru R7 nebo R9.

Ověřením přesnosti měření proudu a napětí je kalibrace hotova - všechny ostatní měřené údaje jsou vypočítány z těchto hodnot.

Seznam součástek wattmetru

R1, R14	10 kΩ, SMD 0805
R2, R5	5,1 kΩ, 0,1 %
R3, R6	15 kΩ, SMD 0805, min. 1 %
R4	0,05 Ω/5 W (2 ks), min. 1 % (vybrat)
R7	110 kΩ, SMD 0805 1 %
R8, R10	100 kΩ, SMD 0805 1 %
R9	330 kΩ, SMD 0805 1 %
R11	150 Ω, 2 W
R12	1 MΩ
R13	3,3 MΩ, 0,1%

R14	10 kΩ, SMD 0805 1 %
R15	680Ω, SMD 0805
C1, C2	10 nF, SMD 1206
C3	1 μF/275 V (AC)
C4	100 μF/16 V
C5	100 nF, SMD 1206
D1, D2	1N4007
D3, D4	BZX85 5V1
D5	LD271 (infra)
IC1	LM324
IC2	ATmega8-16PI
L1	3,3 μH, axiální
LCD displej	MC0802A-SYL/H (GM Electronic)
F1	400 mA/T, radiální, miniaturní
S1	tlačítko P-B1720C (GM Electronic)
X1	ARK500/3 konektor LPV-16, 2ks
	hmatník P11S HM R (EZK) krabička KPZ 11 (www.plastovekrabicky.cz)

Seznam součástek IR přijímače

R101	27 kΩ, SMD 1206
C101	10 μF/16 V
D101	1N4148
LED101	BPW 41
X101	CANNON 9 zásuvka pájecí
	Krytka konektoru CANNON 9

Závěr

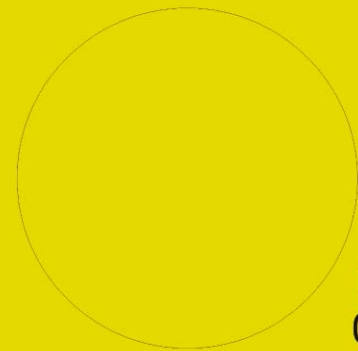
Cílem konstrukce bylo zhotovit levný přesný wattmetr s uživatelsky přístupným ovládáním. Při ověřování přesnosti pomocí referenčního digitálního wattmetru s přesností 0,5 % nebyly zjištěny odchylky větší než 1,5 % z měřeného údaje ani při připojení hůře

WATTMETR

○ režim



1,35 kW max



is
04

Obr. 8. Štítek přístroje

měřitelných zátěží, typicky triakových regulátorů nebo spínaných zdrojů.

Wattmetr byl dále úspěšně provozně prověřen několikaměsíčním častým provozem v dílně a týdenním kontinuálním měřením.

Domnívám se tedy, že se stanovený cíl povedlo splnit.

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

Firmware pro IC2 a podklady pro výrobu desky jsou dostupné na www.egmedical.cz/istrasil, program je také na www.aradio.cz.

Upozornění

Mějte na paměti, že všechny obvody přístroje jsou galvanicky spojeny se síťovým napětím, a proto je nutné zachovat při práci s přístrojem a zejména při jeho ožívování zásady bezpečné práce s elektrickými zařízeními. Z tohoto důvodu tuto konstrukci nelze v žádném případě doporučit ke stavbě začátečnickům.

Popisovaná konstrukce má sloužit jako podklad pro individuální stavbu přístroje. Komerční využití tohoto návodu je možné jen s výslovným souhlasem autora.

Literatura

- [1] Krajča, K.: Síťový wattmetr a fázoměr. PE 3/2002, s. 8.
- [2] Lániček, R.: Elektronika - obvody, součástky, děje. BEN 2001.
- [3] Archiv konference hw-news: list-archive.gin.cz/hw-news