

Hlasový modul

Ivo Stražil



Popisovaný přístroj je univerzálně použitelný modul s funkcemi přehrávání a záznamu zvuku, řečové syntézy číselných údajů a rozpoznávání hlasových povelů. V prezentovaném provedení slouží jako doplněk k různým technologickým zařízením a je ovládán standardní sběrnicí RS-232. Jako ukázka byl dále implementován i hlasový výstup údajů pro multimetry Metex. Zveřejnění zdrojových kódů v jazyce C umožňuje snadné uživatelské modifikace funkce přístroje.

Technické parametry

Napájecí napětí: 8 až 35 V.
 Klidový odběr proudu: 25 mA.
 Odběr proudu při hlášení: 75 mA.
 Kapacita paměti: 1 MB.
 Vnější rozměry: 85 x 70 x 20 mm.
 Hmotnost: 110 g.

Popis zapojení

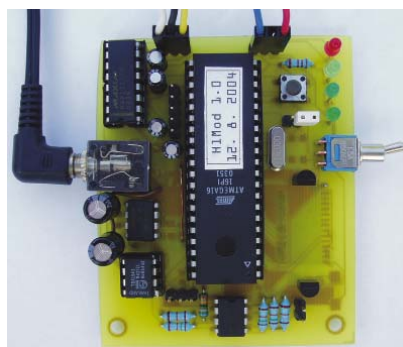
Srdcem celého hlasového modulu je mikrokontrolér AVR ATmega16 (IC2 - viz schéma na obr. 1), který řídí všechny funkce přístroje. IC2 je taktován krystalem Q1 na své maximální hodinové frekvenci 16 MHz, při které poskytuje pro popisované zařízení více než dostatečný výkon.

Hlasový modul je primárně určen k řízení z nadřazeného systému (např. řídicího PLC stroje) pomocí sběrnice RS-232, která je vyvedena na konektor SV2. Zařízení obsahuje běžný převodník úrovní s obvodem MAX232 (IC4).

Všechny zaznamenané zvuky jsou uloženy v paměti DataFlash firmy Atmel AT45DB081 (IC1) s kapacitou 1,03 MB; případnému rozšíření nestojí nic v cestě, protože se v této řadě pamětí vyrábí typy s kapacitami až 512 MB. Paměť zachovává data po dobu minimálně 20 let, navíc nabízí velmi rychlé čtení i zápis díky integrované dvojici bufferů SRAM. Snad jedinou její nevýhodou pro tuto aplikaci je nutnost napájení napětím 3,3 V (přesněji 2,6 až 3,6 V), naštěstí má „5V-tolerantní vstupy“, takže není nutné používat převodníky úrovní.

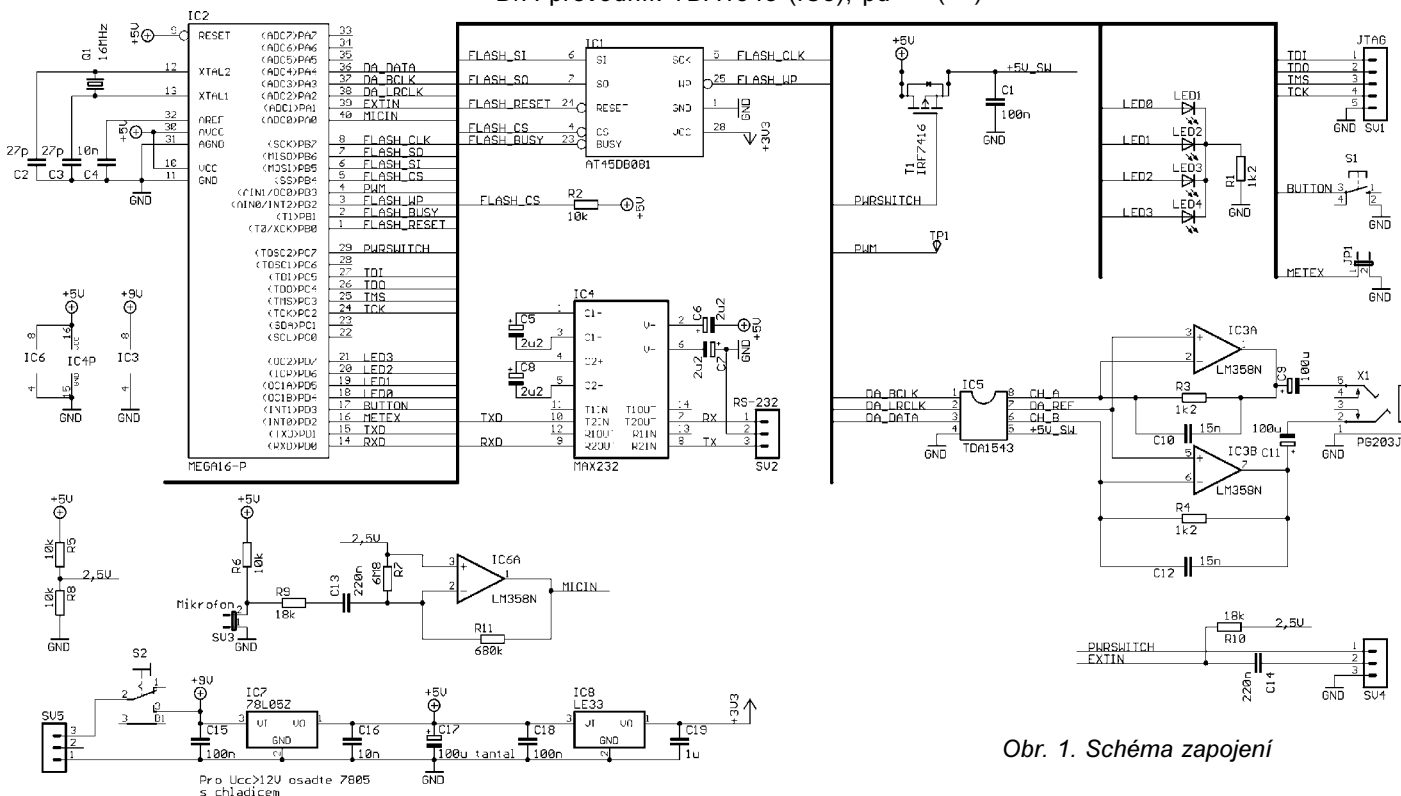
Paměť je připojena k hardwarovému synchronnímu sériovému rozhraní (SPI) mikrokontroléru IC2. Rezistor R2 zajišťuje zablokování přístupu k paměti IC1 přivedením log. 1 na signál /CS vždy, když jsou výstupy mikrokontroléru ve stavu vysoké impedance, například při náběhu napájecího napětí nebo při nahrávání programu.

Pro přehrávání zvuků je osazen D/A převodník TDA1543 (IC5), pů-



vodně určený pro CD přehrávače. Tento integrovaný obvod nabízí 16bitovou kvalitu ve dvou kanálech při vzorkovacích frekvencích až 192 kHz. Zvuková data se do převodníku přenášejí z mikrokontroléru po sériové sběrnicí I²S. Stereofonní výstup modulu vždy přehrává v obou kanálech ten stejný zvuk, ale je možné nezávisle na sobě regulovat hlasitosti obou výstupů, případně jeden výstup úplně umlčet. To umožňuje připojit k jednomu modulu např. vnitřní a vnější reproduktory s odlišnou funkcí.

Dvojitý operační zesilovač IC3 převádí proudový výstup převodníku na napěťový, vhodný pro připojení externího nf zesilovače nebo miniaturního reproduktoru či sluchátek o impedanci 32 Ω. Oba výstupní kanály jsou přístupné na konektoru Jack 3,5 mm (X1).



Obr. 1. Schéma zapojení

Převodník IC5 bohužel vyniká značnou spotřebou typicky 50 mA, a je tedy v době, kdy není zvukový výstup aktivní, odpojen od napájení tranzistorem P-MOSFET IRF7416 (T1). Signál PWRSWITCH (aktivní v nule), který ovládá pomocí T1 napájení převodníku, je přístupný i na špičce 1 konektoru SV4 pro případné využití na ovládání stavu stand-by vnějšího nf zesilovače. Tuto funkci je možné softwarově zablokovat, je možné také T1 neosazovat a nahradit jej propojkou mezi vývody drain a source.

Jako externí nf zesilovač doporučuji použít hotové moduly zesilovačů, které nabízí např. firma EZK. Vhodný je např. modul KMJ1514 s výstupním výkonem 50 W a funkcí stand-by. Pro vlastní konstrukci může být zajímavý např. IO TDA7241B (20 W při napájení jen 15 V).

Modul je prostřednictvím konektoru SV5 napájen z libovolného stejnosměrného zdroje o napětí 8 až 30 V. Napájecí napětí je stabilizováno na úroveň 5 V stabilizátorem IC7 a stabilizátorem IC8 na 3,3 V pro paměť DataFlash.

Přístroj má vlastní elektretový mikrofon a externí linkový vstup, dostupný na špičce 2 konektoru SV4. Signál z mikrofonu připojeného do konektoru SV3 je dále zesílen operačním zesilovačem IC6A. Mikrofon je napájen přes rezistor R6. Pokud nebude mikrofon užíván, nemusíte osazovat IC6 a součástky v jeho obvodu.

Při nahrávání zvuku do paměti se využívá interní převodník A/D mikrokontroléru IC2, do kterého jsou vodiči EXTIN a MICIN přivedeny oba audio-vstupy.

Zapojení je dále doplněno čtveřicí indikačních diod LED1 až LED4. Dioda LED4 signalizuje aktivitu zařízení, svit LED3 potvrzuje přijímání hlasového povelu. LED1 a LED2 jsou ovládnuty nadřazeným systémem.

Na konektor SV1 je vyvedeno rozhraní JTAG, které slouží pro programování a ladění programu v IC2 pomocí debuggeru ATMEL ICE, případně jeho klonu. Vzhledem k osazení tohoto konektoru nejsou vyvedeny vodiče zastaralejšího rozhraní ISP s obdobným účelem. Při změně firmwaru mikrokontroléru je možné využít vodiče na konektoru SV1 jako přímé digitální vstupy a výstupy.

Funkce modulu

Funkce modulu můžeme rozdělit do několika skupin:

Hlasový záznamník je základní kámen celého zařízení. Do paměti IC1 umožňuje nahrát z audiovstupu nebo digitálně přenést z počítače zvukový signál a následně jej přehrávat. Přehrávání zvuku probíhá současně na obou výstupních kanálech, ale je možné obou kanálům nastavit různou hlasitost, případně jeden z kanálů zcela umlčet.

Data jsou v paměti zaznamenána ve 4096 stránkách o 264 B. V aktuální verzi firmware je jedna stránka nejmenší adresovatelný celek.

Modul podporuje ztrátovou kompresi zvuku ADPCM, která umožňuje zaznamenat zvuk při stejném datovém objemu dvojnásobnou vzorkovací frekvencí a šířkou slova - komprimuje 16bitová zvuková data se znaménkem do čtyř bitů, do jednoho B se tedy vejdu dva vzorky. Zaznamenává se vždy rozdíl dvou po sobě následujících vzorků. Aby bylo dosaženo vyšší kvality, je velikost tohoto rozdílu kódována do čtyř bitů co nejpřesněji s optimální velikostí kroku, která se odvozuje z hlasitosti předchozích vzorků signálu - tím je dosaženo uspokojivé reprodukce i tichých pasáží.

Vzhledem závislosti dekodéru na obsahu již přehraných vzorků signálu je tedy nutné spouštět přehrávání vždy od začátku záznamu.

Použití ADPCM je vhodné zvláště pro záznam mluveného slova, na hudebních sekvencích se již značně podepisuje ztrátovost komprese. Při vzorkovací frekvenci 16 kHz (datový tok 64 kb/s) lze kvalitu přirovnat k MP3 s datovým tokem 32 kb/s. ADPCM ovšem pro jednodušší aplikace vítězí svou minimální hardwarovou i softwarovou náročností.

Použitý algoritmus ADPCM byl převzat z [3].

Při potřebě vyšší kvality záznamu hudebních sekvencí (znělky, gongy) je lepší použít nekomprimovaný (RAW) záznam se vzorkovací frekvencí 16 kHz.

Podporované formáty záznamu shrnuje tab. 1.

Funkce čtení číselných údajů potřebují pro svou správnou funkci přenést pomocí testovací utility VRTTest soubor *cisla8b.wav* (je dostupný na www.aradio.cz) z počítače PC do pa-

měti IC1 od strany 2949. Funkce převádí čísla zasláná po sériové lince na řeč skládáním z celkem 52 namluvených zvuků. Správně jsou čtena čísla v rozsahu 0 až 999 999 999 s maximálně devíti desetinnými místy. Na řeč je převáděno také znaménko minus, předpony p, n, m, M, k, G a jednotky Ω, V, A, VA, metr a gram.

Pro ilustraci, číslo -1556,15 V bude přečteno jako minus - jeden - tisíc - padesát - šest - celá - patnáct - volt. Hlásek milé dívky to sice není, ale srozumitelnost je výborná.

Čtení čísel je velmi účelným doplňkem mnoha zařízení zvláště v částečně bezobslužném provozu, kdy může technologie informovat o svém stavu podstatně přesněji a rychleji bez zaměštnávání zraku obsluhy, například o docházejícím materiálu nebo energii včetně odhadu zbývajících času provozu. Hlasový výstup hodnot k měřicím zařízením je další zajímavou aplikací a může jít i o cenově velmi výhodnou alternativu k velkoplošným displejům různých informačních systémů.

Funkce rozpoznávání hlasových povelů jsou jistou obdobou hlasového vytáčení u mobilních telefonů: na příkaz z nadřazeného systému začne hlasový modul pomocí vestavěného mikrofonu „poslouchat,“ a pokud do pěti sekund rozezná naučený povel, předá jeho číslo.

Rozpoznávání hlasových povelů pracuje na principu rozkladu zvuku příkazu na sadu šestnácti hodnot hlasitosti ve dvou kmitočtových pásmech a následného hledání nejmenšího rozdílu vůči naučeným zvukům. Protože se jako naučená šablona ukládá pouhých 32 B dat (16 hodnot x 2 pásma), stačí na uložení šablony až 16 příkazů interní paměť EEPROM mikrokontroléru IC2. Použitá metoda a její implementace vychází z [5].

Po zadání příkazu pro rozpoznání povelu nebo učení šablony je rozsvícena zelená dioda LED3, která je výzvou k vyřízení příkazu. Během svitu zelené LED mikrokontrolér načítá zvuk z mikrofonu a rozkládá digitálními filtry na hodnoty hlasitosti v nízkém a vysokém kmitočtovém pásmu. Tyto hodnoty IC2 dočasně ukládá do své paměti RAM. Poté, co je rozpoznán konec povelu, IC2 normalizuje načtené hodnoty na délku 2x 16 B, kde jeden byte je místo záznamu hlasitosti využít k uložení originální délky povelu.

Při učení povelů uloží mikrokontrolér tato data do své paměti EEPROM, při rozpoznávání postupně porovnává získaná data se zvolenými šablonami a hledá povel, který se se získanými daty nejlépe shoduje. Jako chybové skóre se při hledání používá součet euklidovských vzdáleností od všech prvků testované šablony. Číslo

Tab.1. Podporované formáty záznamu

Formát záznamu	f_{vz} [kHz]	šířka slova [b]	max. kapacita [s]
ADPCM 8 kB/s (64 kb/s)	16	16	131/94*
ADPCM 4 kB/s (32 kb/s)	8	16	263/187*
RAW 16 kB/s (128 kb/s)	16	8	66/47*
RAW 8 kB/s (64 kb/s)	8	8	131/94*

* - při nahraném souboru *cisla8b.wav*

nejméně odlišné šablony oznámí modul nadřazenému systému spolu s hodnotou chybového skóre tohoto povelu, která do jisté míry vyjadřuje spolehlivost rozpoznání. Pro snížení rizika chyby umožňuje mikrokontrolér zadat při volání funkce rozpoznání povelu, které šablony má testovat - jsou-li možné odpovědi, např. jen „Souhlas“ a „Ne“, je pravděpodobnost chybného určení téměř nulová.

Spolehlivost tohoto rozpoznávání je při dosažené jednoduchosti uspokojivá, při výběru z osmi povelů dosahuje asi 95 % s mluvčím, který prováděl učení příkazů, a asi 85 % s jiným mluvčím. Úspěšnost rozpoznávání je velmi závislá na použitých slovech, je vhodné používat slova, která se značně liší výslovností. Ideální jsou dvou až čtyřslabičné příkazy. Snaha o zřetelné a pomalé diktování příkazů (např. jako špatně slyšicím) nevede k úspěchu, naopak, nejlepší výsledky jsou při zadávání povelů normálním, klidným hlasem s jasnou, nepřehnanou artikulací.

Při výběru vždy jen ze dvou až pěti příkazů je možné dosáhnout i stoprocentní úspěšnosti rozpoznání. Pro zlepšení spolehlivosti je také vhodné naučit modul důležité povely několikaletými různými mluvčími.

Několik dalších funkcí modulu umožňuje ovládání a přepínání režimu funkce diod LED modulu, nastavení hlasitosti výstupu a nastavení přesné funkce signálu PWRSWITCH.

Ovládání modulu

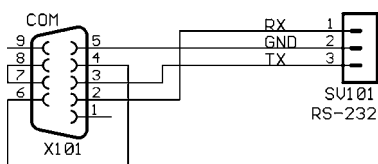
Modul je ovládán krátkými příkazy, které přijímá po sběrnici RS-232 z nadřazeného systému, obvykle jiného mikrokontroléru nebo technologického počítače. Sériová komunikace běží rychlostí 19200 Bd, 8 datových bitů, 1 stopbit, bez parity. Ukončení všech příkazů potvrzuje modul odesláním textu „OK“, probíhající příkaz je možné přerušit odesláním znaku Esc (#27).

Pokud je v nastavení modulu povolena funkce tlačítka S1, odesílá se při stisknutí tlačítka text „REQUEST“ nadřazenému systému.

Modul dále odesílá v průběhu plnění příkazů informační zprávy o průběhu, uvozené znakem ‘_’.

Dostupné příkazy shrnuje tab. 2.

Při ožiování a programování modulu je vhodné testovat jeho funkce z počítače PC pomocí propojovacího kabelu podle obr. 2. Můžeme využít libovolný terminálový program, například Hyperterminál nebo Mitecom, nebo testovací utilitku VRTest, která



Obr. 2. Propojovací kabel hlasový modul - PC

Tab. 2. Stručný přehled příkazů pro hlasový modul

Příkaz, parametry	Popis funkce
WP začátek počet (stran)	Přehrává zvuk
WR začátek počet (stran)	Nahrává zvuk z analog. vstupu
WL začátek počet (stran)	Nahrává zvuk z digitálně (z PC)
WE od do (bloku)	Maže DataFlash, parametry jsou 1/8 čísla strany
NS číslo	Čte číslo (př. NS 12,057 VA)
IE/II	Přepne na externí nebo interní (mic) vstup
CS data	Nastavení funkce LED, tlačítka, signálu PWRSWITCH...
CL data	Ovládá LED diody
FW/FA/FP/FF	Přepíná datový formát
VS ch_A ch_B	Nastavuje hlasitost obou kanálů
RW číslo	Učení hlasového příkazu
RR	Rozpoznává ze všech příkazů
RS 0011100000001000	Rozpoznává jen ze zvolené sady příkazů (jednička=akceptuj příkaz)

Méně významné příkazy nejsou uvedeny.

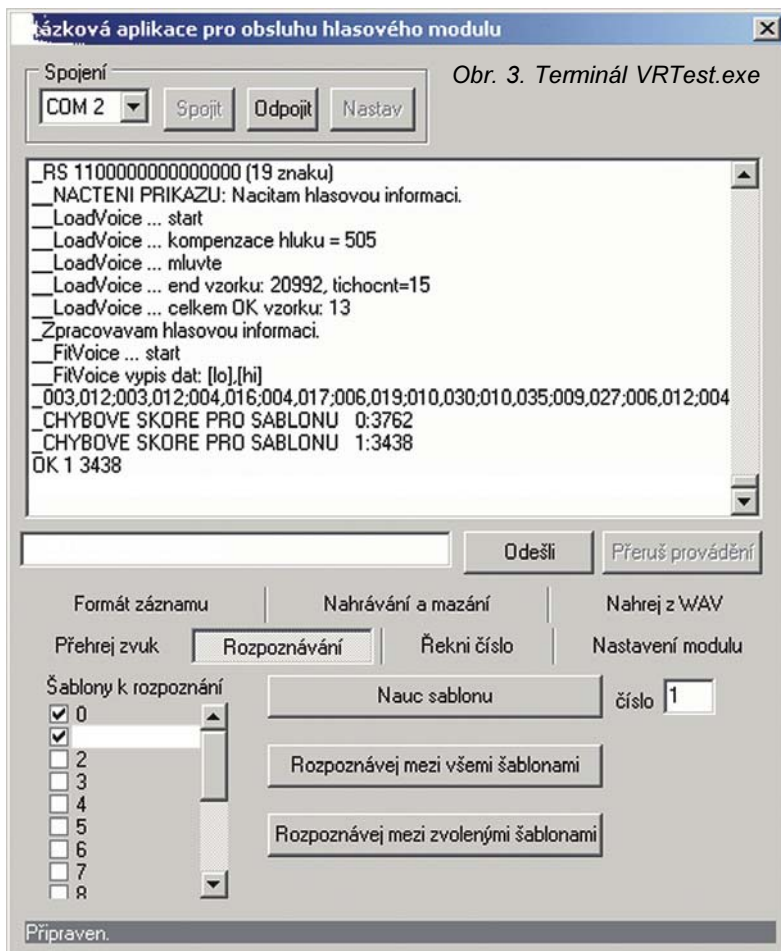
je spolu s bližšími informacemi o protokolu k dispozici na www.aradio.cz. Pomocí programu VRTest (obr. 3) je také možné nahrávat zvuky do hlasového modulu digitálně přímo z PC, například přenést do modulu soubor ciska8b.wav, nutný pro funkci čtení čísel a hlasového výstupu k multimetru.

Zvuky doporučuji před nahráním do modulu připravit na PC v nějakém editoru (vhodný je např. sharewarový GoldWave) a přenést je pokud možno digitálně pomocí VRTest.exe, aby se zabránilo ztrátě kvality. Před pře-

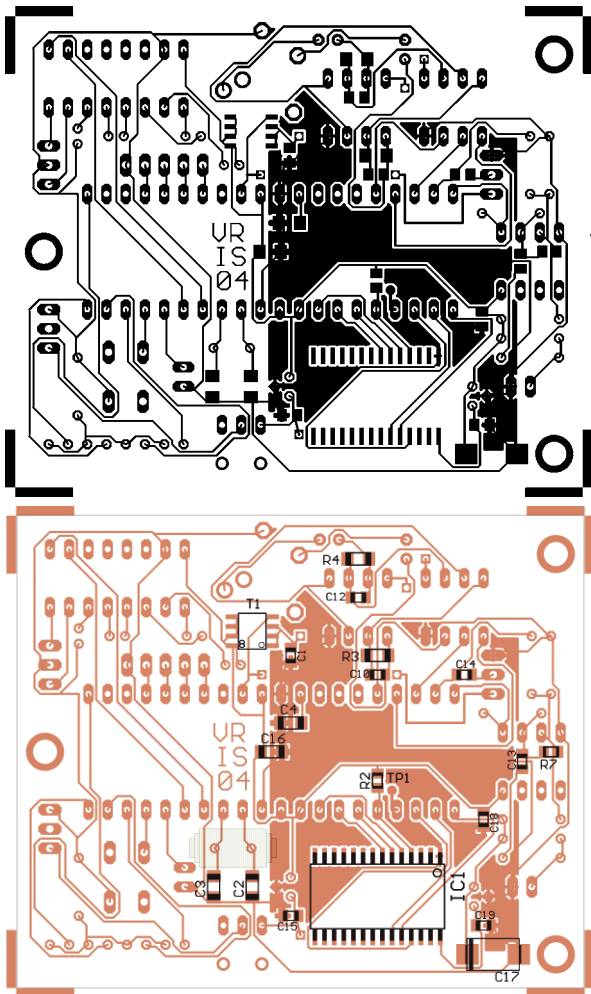
nosem je vhodné aplikovat na zvuk dolní propust (anti-aliasing) s hraniční frekvencí rovnou polovině vzorkovací frekvence.

Hlasový výstup k multimetru Metex

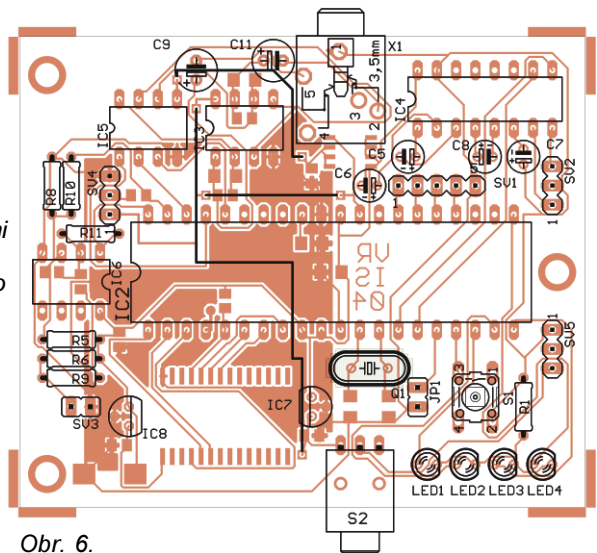
Malou úpravou ve firmwaru modulu byla doplněna funkce hlasového výstupu pro multimetry Metex, vybavené sériovým portem. Funkce se aktivuje spojením propojky JP1 a vypnutím a zapnutím přístroje.



Obr. 3. Terminál VRTest.exe



Obr. 5. Deska s plošnými spoji hlasového modulu



Obr. 6. Rozmístění součástek hlasového modulu (strana součástek)

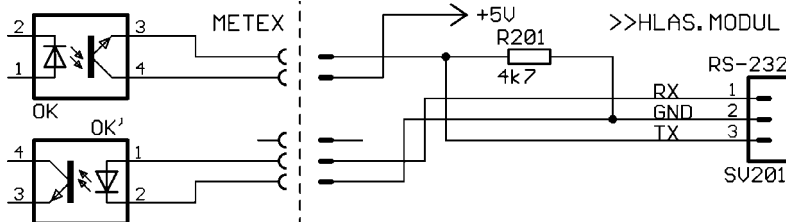
Obr. 6. Rozmístění součástek hlasového modulu (strana spojů)

Zapojení propojovacího kabelu je na obr. 4 (jako ochranný rezistor pro LED v optočlenu OK' působí proudové omezení v obvodu MAX232 - IC4). Rozhraní multimetru je opticky oddělené, na konektor na boku měřícího přístroje jsou vyvedeny vodiče ke dvojici optočlenu.

Samotný konektor vhodný pro Metexy není obvykle možné zakoupit, ale lze jej vyrobit z dlouhých konektorových (jumperových) kolíků (např. typ ASS12038G z GM Electronic), kterým odstraníme rozdrčením v kleštích horní plastový díl.

Spojením propojky JP1 se změnil formát přenosu dat po RS-232 na formát, který používají multimetry Metex (1200 Bd, 7 bit, 2 stopbity), a všechna přijatá data jsou nyní čtena hlasovým výstupem. Jednorázové přečtení zobrazeného údaje je možné spustit stiskem tlačítka S1 na modulu, které odesílá znak 'A' do multimetru, na což měřící přístroj reaguje vrácením

Obr. 4. Propojovací kabel hlasový modul - multimetr Metex



měřené hodnoty. Trvalé čtení se aktivuje přeprnutím měřícího přístroje tlačítkem Function do režimu „COM“ (indikovaného na displeji), kdy se trvale odesílají měřené hodnoty.

Modul čte i některé jednotky s předponami (viz výše).

Funkce byla testována s multimetrem M-3640D a měla by být funkční pro celou řadu M-36XX a pravděpodobně i pro řady M-38XX a M-46XX mimo model M-3890, který je vybaven rozhraním USB.

Mechanická konstrukce

Hlasový modul je realizován na jediné jednostranné DPS o rozměrech 77 x 62 mm (obr. 5) se třemi drátovými propojkami. Většina pasivních součástek a paměť IC1 je v provedení SMD. Rozmístění součástek pro obě strany desky jsou na obr. 6, 7. Mikrokontrolér je vhodné umístit do objímky.

DPS modulu je vhodná k umístění do krabičky WEB1002 na lištu

DIN (přesná sestava krabičky je: WEB1002-B1 2 kusy, WEB1002-B4 1 kus, WEB1002-B5 1 kus), kdy neosazujeme vypínač S2 a nahradíme jej propojkou. Pro umístění modulu např. na zeď je vhodná krabička UK22P, do které se deska po opilování rohů pohodlně vejde. Pokud chcete modul používat jako hlasový výstup k multimetru, může být vhodná krabička UK28P s prostorem pro 9V baterii.

Oživení

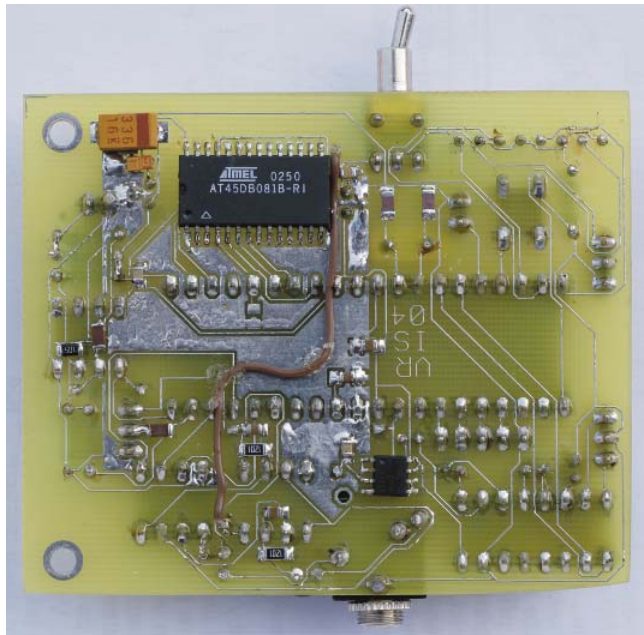
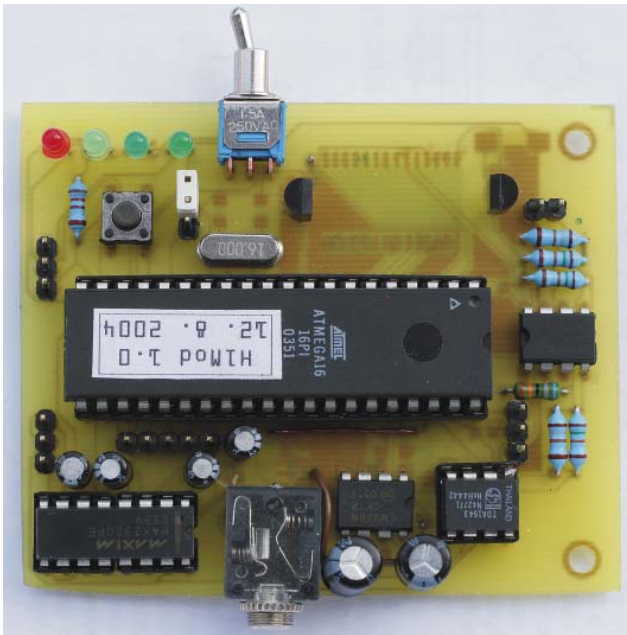
Při pečlivé práci by neměl být s oživením přístroje žádný problém. Osadíme všechny součástky mimo mikrokontrolér a paměť IC1 (nezapomeneme na trojici drátových propojek), připojíme modul k laboratornímu zdroji, nastavenému na 9 V s proudovým omezením asi 150 mA a ověříme funkci stabilizátorů 5 V a 3,3 V. Poté můžeme osadit IC1 a IC2 a propojit modul s PC pomocí kabelu podle obr. 2. Na PC spustíme terminál nebo program VRTest a ověříme všechny funkce modulu.

Pokud nefunguje přehrávání zvuků, lze pro otestování použít signál PWM, dostupný na pájecím bodě TP1. Při přehrávání zvuků je zde k dispozici výstupní signál s modulací PWM, který můžeme přes člen RC přivést do nf zesilovače.

Upozorňuji, že zatížení signálu FLASH_SO (např. kapacitou vodičů k ISP programátoru) může vést vzhledem ke slabému výstupnímu bufferu IC1 k těžko odhalitelným chybám, kdy jsou některé B čteny z IC1 chybně, což vyvolá nezřetelný šum při přehrávání RAW (nekomprimovaných) zvuků, ale zcela nemožní přehrávání komprimovaných (ADPCM) zvuků.

Seznam součástek hlasového modulu

R1	1,2 kΩ
R2	10 kΩ, 0805
R3, R4	1,2 kΩ, 1206



- R5, R6, R8 10 kΩ
- R9, R10 18 kΩ
- R11 680 kΩ
- C1, C15, C18, 100 nF, 0805
- C2, C3 1 pF, 1206
- C4, C16 10 nF, 1206
- C5 až C8 2,2 μF/16 V
- C9, C11 100 μF/16 V
- C10, C12 15 nF, 0805
- C13, C14 220 nF, 0805
- C17 100 μF/6,3 V, tantal SMD vel. D
- C29 1 μF/6,3 V, tantal SMD vel. A
- IC1 AT45DB081B
- IC2 ATmega16-16PI
- IC3, IC6 LM358N
- IC4 MAX232
- IC5 TDA1543
- IC7 78L05
- IC8 LE33
- LED1 až LED3 3 mm zelená
- LED4 3 mm červená
- T1 IRF7416 (SO-8)
- Q1 16 MHz
- S1 P-B1720C
- X1 SCJ-0354-O
- SV1 až SV5 konektorové kolíky 18 ks
- S2 KNX125
- Mikrofonní vložka MCE100
- Jumper - propojka
- Objímka DIL 40 vývodů

Krabička viz text

IO TDA1514 dodává GES-Electronics, paměť AT45DB081 má v nabídce GM-Electronic s objednáací lhůtou asi 14 dní.

Závěr

Předností popisovaného hlasového modulu je jeho relativní jednoduchost a použití běžných součástek. Zveřejnění zdrojových kódů firmwaru dovoluje uživatelské úpravy funkce přístroje.

Další vývoj modulu by mohl vést k implementaci úplné syntézy řeči spojovací metodou (skládání slov ze skupin hlásek - alofonů, namluvených a zaznamenaných v paměti modulu). Bylo by nutné také implementovat fonetickou transkripci češtiny („pět“ -> „pjet“). Více informací najdete v [4].

Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na mém e-mailu: ivo.strasil@centrum.cz

Firmware pro IC2 včetně volně šiřitelných (licence GPL) zdrojových kódů v jazyce C pro freewarový pře-

kladač AVR-GCC, program VRTTest, několik ukázkových vygenerovaných zvuků a podklady pro výrobu DPS jsou dostupné na www.aradio.cz. Máte-li zájem o komerční využití jakékoliv části tohoto návodu, prosím, kontaktujte mě.

Literatura

- [1] Archiv konference hw-news: list-archive.gin.cz/hw-news.
- [2] Archiv kódů pro kompresi hlasu: ftp://ftp.cs.cmu.edu/project/fgdata/speech-compression/
- [3] Kostomlatský, M.: ADPCM - „A mikroprocesor promluvil“. online: <http://www.mcu.cz/modules/news/article.php?storyid=84>
- [4] Ličev, L.; Kedroň, P.; Bárta, R.: Rozpoznávání hlasových vstupů a syntéza řeči v českém jazyce. online: <http://www.fs.vsb.cz/akce/1998/asr98/Sbornik/licev2/licev2.htm>
- [5] Stewart, B.: Low Cost Voice Recognition. online: <http://www.circuitcellar.com/pastissues/articles/Stewart91/text.htm>. Český překlad na www.mcu.cz

Neobvyklý blikač s LED

Od běžných zapojení blikačů se to, uvedené na obr. 1, liší nejen tím, že neobsahuje pro tento účel často užívaný časovač 555, ale také malým počtem použitých součástek. Navíc lze pro napájení použít st napětí 4 až 16 V neboss napětí 6 až 24 V, přičemž střední hodnota odebraného proudu je menší než 1 mA.

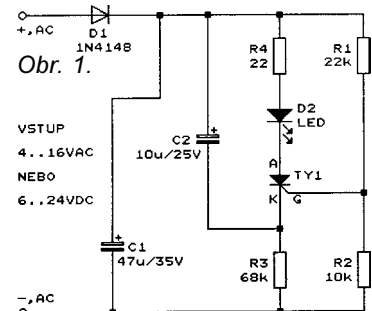
Po připojení napájení přes kondenzátor C2 začne nabíjet přes rezistor R3 a nabijí se až do té doby, než napětí hradla spojeného s děličem R1, R2 převyšív v důsledku klesajícího nabíjecího proudu C2 napětí na katodě asi o 0,5 až 1 V.

Pak se tyristor Ty1 otevře a kondenzátor C2 se vybijí přes něj, omezo- vací rezistor R4 a diodu LED. Po vybití kondenzátoru se tyristor uzavře a cyklus se opakuje. Odpor rezistoru R3 musí být takový, aby proud tyristorem po vybití kondenzátoru nepřevyšoval vratný proud Ty1. Při hodnotách uvedených na obr. 1 je kmitočet záblesků, závislý především na R3, C2 - asi 1 až 1,5 Hz. Přestože je doba, po kterou proud prochází diodou LED jen několik milisekund, je díky poměrně velkému proudu záblesk diody intenzivní. Použitý tyristor se otevírá již při proudu hradla do 0,2 mA, při náhradě jiným typem by měla být tento proud dodržen. Dioda D1 slouží při střídavém napájení k jed-

nocestnému usměrnění (a C1 k filtraci), při stejnosměrném jako ochrana proti přepólování.

JH

- [1] Edlinger, R.: Exotischer LED-Blinker. Elektor 2004, č. 7-8, s. 71.



Obr. 1.

VSTUP
4...16VAC
NEBO
6...24VDC