

# Ústředna EZS s rozhraním LAN

Ing. Ivo Stražil

**Komunikace prostřednictvím sítí, založených na moderních standardech Ethernet, zaznamenává po téměř úplné penetraci počítačových sítí LAN a rozvoji VoIP telekomunikace v poslední době rozmach i v oboru domovní automatizace. Zdá se, že se opravdu postupně blíží doba, kdy bude téměř každé technické zařízení v domě schopno komunikovat pomocí počítačové sítě, která bude umožňovat komfortní ovládání a vzdálenou správu.**

Tento článek přispívá do problematiky popisem experimentální ústředny poplašného zařízení (elektrické zabezpečovací signalizace - EZS), schopné komunikace pomocí IP sítě rozhraním Ethernet. Ústředna je schopna praktického nasazení, nicméně hlavní přínos článku vidí autor v popisu relativně jednoduchého, cenově dostupného a přesto výkonného řešení síťového rozhraní bez potřeby speciálních komunikačních modulů.

## Technické údaje

### Napájení:

ss externí 10 až 16 V, max. 3,15 A, nebo napájení podle standardu PoE+.

*Klidový odběr:* 85 mA při 12 V.

### Reléové výstupy:

relé 1, 2: max. 1 A/24 V DC;  
relé 3, 4: max. 8 A/230 V AC.

### Výstup pro napájení

signalizačních prvků - max. zatížení:  
2,5 A.

### Výstup pro napájení

vnějších prvků - max. zatížení:  
2,5 A.

### Komunikační rozhraní:

Ethernet 100BaseTX,  
RS-232, RS-485, I<sup>2</sup>C.

*Rozměry:* 164 x 126 x 47 mm.

## Ústředna EZS

Jádro systému elektrické zabezpečovací signalizace tvoří ústředna, specializované zařízení, které přijímá signály z čidel (detektorů). Na jejich základě vyhodnocuje narušení objektu a ovládá signalizační zařízení, typicky sirénu nebo zařízení pro dálkový přenos dat na pult centrální ochrany.

Ústředna dále umožňuje oprávněným uživatelům ovládat a nastavovat systém, například jej zastřežit či odstřežit. Ústředna rovněž trvale kontroluje funkční připravenost systému a zajišťuje zálohované napájení všech komponent systému.

V jednodušších instalacích se zpravidla setkáváme se dvěma základními typy ústředny: kabelovými smyčkovými ústřednami a bezdrátovými ústřednami. Vzhledem k existenci

ustálených průmyslových standardů pro smyčkové ústředny a jejich vyšší bezpečnosti oproti bezdrátovým zařízením byla zvolena koncepce kabelové smyčkové ústředny.

## Smyčky EZS

Smyčka je obvod, do kterého je připojeno jedno či více čidel - detektorů. Podle nastaveného chování ústředny mohou být smyčky obecně okamžité, zpožděné či 24hodinové. Aktivace okamžité smyčky vyvolá v zastřeženém stavu ústředny bezprostředně poplach, zatímco zpožděná smyčka vyvolá předpoplach, tedy časovou prodlevu před zahájením poplachu, během které může uživatel odstřežit hlídání prostor. 24hodinové smyčky vyvolávají okamžitý poplach i v odstřeženém stavu ústředny, a užívají se například pro připojení tísňových tlačítek či požárních hlásičů.

Koncept smyček také umožňuje rozdělení sledovaného prostoru na více sekcí (zón), které mohou být individuálně zastřeženy či odstřeženy.

Technické řešení smyčky kabelové ústředny se postupně vyvíjelo od jednoduché proudové smyčky se sériově zapojenými čidly, přerušujícími v poplachovém stavu obvod, po dnes užívaná zapojení jednoduše vyvážené smyčky (EOL, SEOL - Single End-of-line) a dvojitě vyvážené smyčky (DEOL - Double End-of-line).

V zapojení SEOL má smyčka, tvořená v klidovém stavu sepnutými výstupními kontakty čidel, definován nenulový odpor zařazením rezistoru do koncového místa smyčky tak, aby zkrat vodičů smyčky v libovolném místě kabeláže způsobil pokles odporu smyčky na nulovou hodnotu.

Ústředna měří odpor smyčky a porovnává ho se známým odporem zakončovacího rezistoru. Je-li odpor smyčky výrazně menší, je smyčka náhodně nebo úmyslně zkratována, je-li odpor smyčky výrazně větší, je smyčka přerušena aktivací jednoho z čidel nebo sabotáží.

Jediným místem, kde je možné provést útok zkratováním svorek, jsou přípojovací svorkovnice ústřed-



ny a čidel, která chráníme sabotážními spínači, označovanými také jako tamper. Tyto spínače rozeprnou při sejmutí krytu příslušného prvku a umožní zařízení upozornit obsluhu na možné poškození systému. Tento stav musí být možné sledovat i v odstřeženém stavu ústředny, kdy poplachové výstupy čidel spínají podle pohybu osob uvnitř objektu, a proto zřizujeme samostatnou smyčku pro vyhodnocení stavu sabotážních spínačů.

Logickou evolucí zapojení SEOL je dvojitě vyvážená smyčka (DEOL - Double End-of-line).

Dvojitě vyvážená smyčka zjednodušuje kabeláž systému tím, že umožňuje rozeznávat hned tři stavy: klidový stav, kdy je v obvodu smyčky zařazen jeden zakončovací rezistor, poplachový stav, kdy jsou v obvodu zařazen dva zakončovací rezistory v sérii, přerušeni smyčky v případě rozepnutí sabotážního spínače nebo přerušeni vodičů a zkrat - poruchu či záměrný útok na vedení smyčky.

Na tomto místě je nutné poznamenat, že i jednoduše a dvojitě vyvážené smyčky je samozřejmě možné s příslušnými technickými prostředky sabotovat, má-li útočník přístup ke kabeláži.

## Celková koncepce

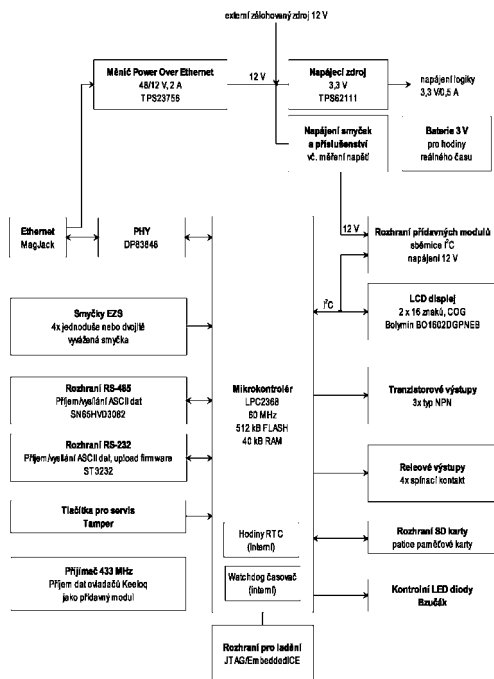
Popisovaná ústředna EZS je navržena tak, aby umožňovala snadné rozšiřování funkcí a spojování ústředny navzájem pomocí sítě LAN.

Zařízení může být napájeno po kabelu sítě LAN technologií Power over Ethernet (PoE+).

Ústředna je vybavena:

- čtveřicí vstupů drátových smyček;
- čtveřicí reléových výstupů a trojicí tranzistorových nprn výstupů;
- rozhraními LAN, RS-232 a RS-485;
- slotem pro paměťovou kartu microSD;
- rozhraním pro připojení přídatných modulů, založeném na sběrnici I<sup>2</sup>C.

Softwarové vybavení ústředny je vytvořeno tak, aby umožňovalo co nejvyšší flexibilitu zařízení; ústředna je vlastně volně programovatelná po-



Obr. 1. Blokové schéma hardwarového řešení hlavního modulu navrhované ústředny

mocí skriptovacího jazyka. Vzhledem k velkému rozsahu softwarové dokumentace bude tato dokumentace zveřejněna pouze na www stránkách autora.

Autor předpokládá dva základní scénáře nasazení ústředny: jako samostatnou ústřednu, užívající rozhraní LAN pro vzdálenou konfiguraci a přenos poplachových informací, nebo jako ústřednu v síti ústředny, kde zařízení pracuje jako inteligentní koncentrátor vstupů a výstupů a další zpracování dat uskutečňuje program na nadřazeném serveru, s nímž ústředna komunikuje.

## Popis zapojení

Blokové schéma hardwaru hlavního modulu navrhované ústředny je uvedeno na obr. 1.

## Rídící obvody

Dostatečný výkon pro plnohodnotnou funkci ústředny a jejího www rozhraní poskytují malé 32bitové mikrokontroléry, které mají často implementovanou hardwarovou podporu rozhraní MII/RMII, umožňujícího připojení řadiče fyzické vrstvy Ethernetu (tzv. obvodu PHY).

Jedním z nejrozšířenějších typů jader takových mikrokontrolérů je jádro ARM7TDMI nebo novější a výkonnější Cortex-M3. Na základě poměru dobré hardwarové výbavy, dostupnosti volně šiřitelných vývojových prostředků a ceny byl zvolen mikrokontrolér firmy NXP (bývalá součástková divize Philips) LPC2368 s jádrem ARM7TDMI, popsáný podrobně v následujícím oddílu.

Možnost zvětšení výkonu bez podstatných změn hardwaru nabízí vývodově kompatibilní mikrokontrolér

stejného výrobce LPC1768, vybavený jádrem Cortex-M3. Tento obvod bohužel není vybaven rozhraním pro přístup k SD kartě, které by muselo být emulováno softwarově, a byl uveden na trh v únoru 2009, takže jeho podpora volně šiřitelnými nástroji, např. balíkem nástrojů win-arm, byla v době vývoje zařízení ještě v plenkách.

## Architektura ARM7TDMI

Autorem architektury ARM7TDMI [11], [12], užitě ve zvoleném mikrokontroléru, je britská společnost ARM - Advanced RISC Machines, vyvíjející jádra mikroprocesorů a mikrokontrolérů již od 80. let 20. století, tehdy pod jménem Acorn Computers.

Politikou ARM je prodej licencí jádra a vývojových prostředků - samotné mikroprocesory a mikrokontroléry vyrábí několik známých výrobců integrovaných obvodů ve vlastních závodech.

V současné době jsou nejpoužívanějšími verzemi jádra ARM typ ARM7 a typy z něj odvozené, užívané pro malou spotřebu a dostatečný výkon v přístrojích spotřební elektroniky, například MP3 přehrávačích (např. iPod), a výkonnější verze jádra ARM9 a vyšší (např. XScale), nacházející uplatnění v zařízeních PDA, routerech, WiFi zařízeních a moderních mobilních telefonech.

Vlastnosti ve zvoleném mikrokontroléru užitého jádra ARM7TDMI můžeme shrnout v těchto bodech:

- šířka instrukčního slova, datové i adresové sběrnice je 32 bitů;
- většina instrukcí je jednocyklových, 4 bity instrukčního slova slouží k zadání podmínky - ta je tedy přímo součástí výkonné instrukce;
- k dispozici je 32bitový adresní prostor (4 GB), je užitá von Neumannova architektura.

Oproti staršímu jádru ARM7 je jádro ARM7TDMI doplněno o následující čtveřici vylepšení:

- Thumb - zvláštní alternativní instrukční soubor, který užívá jen 16bitová instrukční slova a tak spoří paměť programu na úkor pomalejší práce mikrokontroléru.
- Debug-interface - rozhraní JTAG pro ladění programu přímo v aplikaci.
- Multiplier - hardwarovou násobičku.
- Interrupt - podpora rychlých přerušování.

Na jádra ARM7/ARM7TDMI vývojově navazují jádra Cortex-M3, lišící se zejména užitím harvardské architektury<sup>1</sup>, hardwarové děličky a některých optimalizací přístupu k paměti [13]. Velká část programů je nicméně podle údajů firmy ARM přenositelná na jádra Cortex-M3 i na úrovni strojového kódu.

## Mikrokontrolér LPC2368

Mikrokontrolér LPC2368 [48] se vyznačuje následujícími vlastnostmi:

- 32bitové jádro ARM7TDMI-S s podporou režimu Thumb a hodinovou frekvencí až 72 MHz.
- Integrovaná paměť Flash 512 KB, paměť SRAM celkem 58 KB.
- Rozhraní ISP/IAP pro programování v aplikaci, rozhraní JTAG pro debugging.
- Integrovaný převodník A/D a D/A s šesti vstupy a jedním výstupem, rozlišení 10 bitů.
- Čítač reálného času (hodiny, RTC) s minimální spotřebou a zvláště vyvedeným napájením.
- Integrovaná komunikační rozhraní: port USB 2.0 OTG, rozhraní RMII, čtveřice asynchronních sériových rozhraní, synchronní sériové rozhraní SPI pro přenos rámců s délkou 8 až 16 bitů, dvě synchronní sériové rozhraní SSP pro přenos rámců o délce 4 až 16 bitů, sběrnice I<sup>2</sup>S a dvojice sběrnic I<sup>2</sup>C.

<sup>1</sup> Nejde ovšem o klasické pojetí harvardské architektury - paměťový prostor je stále pouze jeden [14], ale je odstraněno nejužší místo: pokud je to možné, užije jádro Cortex dvě datové sběrnice (datovou a programovou) pro přístup k paměti (typicky RAM a FLASH) namísto jediné sdílené sběrnice von Neumannovy architektury. Rovněž cache je rozdělena na datovou a programovou; navenek se ovšem jádro chová jako von Neumannovské včetně možnosti spuštění programu z paměti RAM. Toto řešení se někdy označuje jako Modified hardware architecture [15].

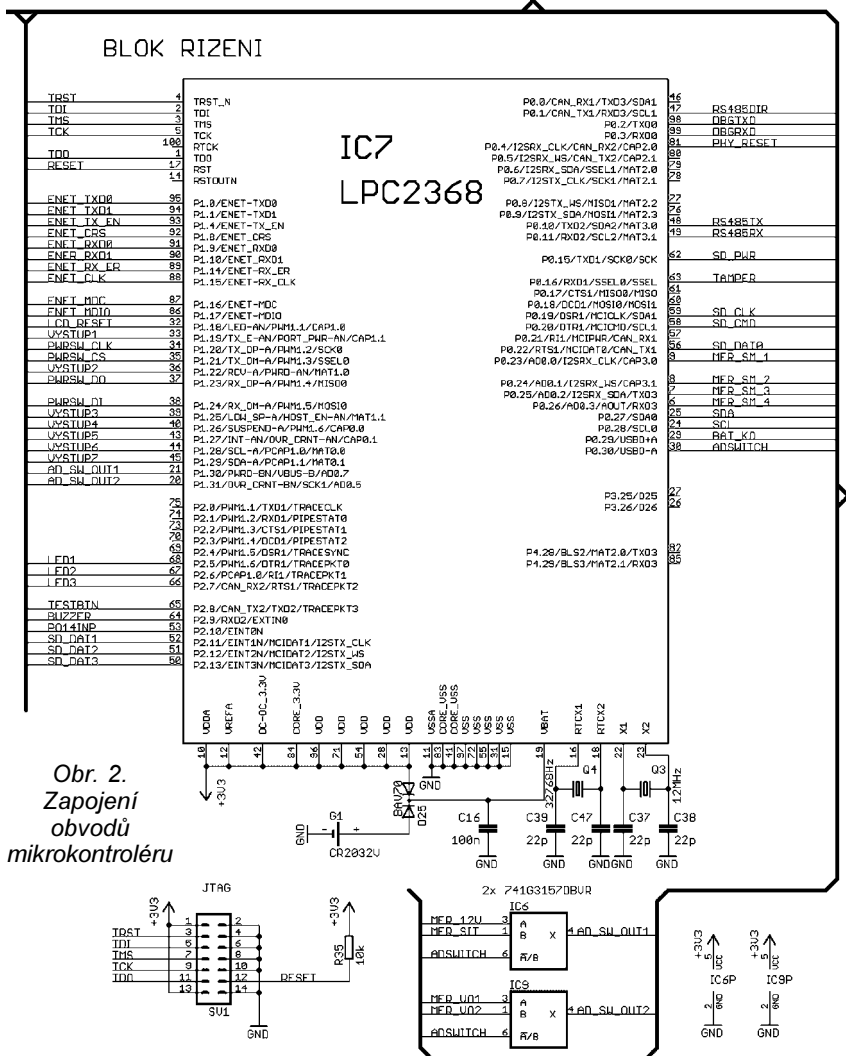
## Zapojení bloku řízení

Hodinová frekvence mikrokontroléru LPC2368 (IC7, viz detail schématu na obr. 2) je řízena krystalem Q3 (12 MHz). Kmitočet krystalu se násobí vnitřním fázovým závěsem pěti na 60 MHz.

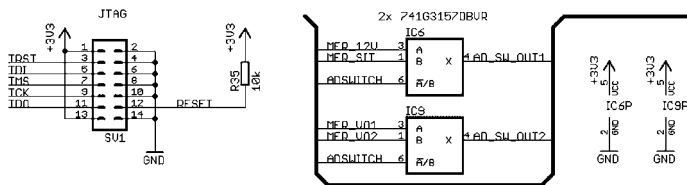
IC6 obsahuje i vnitřní obvod reálného času (RTC), který užívá pomaloběžný oscilátor s krystalem Q4. Tato část IC6 je napájena z vývodu VBAT přes diodový přepínač, tvořený dvojicí diodou D25, z napájecího napětí 3,3 V mikrokontroléru nebo z lithiové záložovací baterie typu CR2032 (G1), která vystačí na přibližně roční běh RTC při výpadku hlavního napájecího napětí.

Na konektor SV1 je vyvedeno programovací a ladicí rozhraní JTAG. Druhou možností programování je programovat přes rozhraní RS-232, umožněné interním „bootloaderem“ IC7. Programováním zde máme na mysli prvotní nahrání firmwaru do zařízení, nikoliv v smyslu nastavení parametrů ústředny.

Mikrokontrolér je dále vybaven časovačem „watchdog“ a vnitřním generátorem nulování při zapnutí napájení nebo podpětí (BOD reset). Proto není nutné použít externí obvody zajišťující tyto funkce, naopak program v mikrokontroléru zajišťuje reset dalších prvků, vyžadujících inicializaci



Obr. 2. Zapojení obvodů mikrokontroléru



po poklesu nebo výpadku napájení - v našem případě jde o displej LCD a o obvod PHY.

IC7 je vybaven 10bitovým převodníkem A/D s interním multiplexerem se šesti vstupy. Pro funkci zařízení potřebujeme měřit osm napětí a tedy musíme mít k dispozici osm vstupů. Z toho důvodu jsou osazeny dva analogové přepínače (integrované obvo-

dy IC6 a IC9 v pouzdru SOT23/6), které multiplexují čtyři vstupní analogové signály MER\_12V s MER\_SIT a MER\_VO\_1 s MER\_VO\_2 na dva vstupy převodníku A/D IC7. Přepínání řídí IC7 vodičem ADSWITCH.

## Obvody komunikace

### Ethernet

Standardní hardwarová struktura rozhraní Ethernet, užívaná u této třídy embedded zařízení, je uvedena na obr. 3.

Patch kabel sítě Ethernet je zapojen do konektoru RJ-45. K signálovým vodičům je připojen impulsní

transformátorek, který galvanicky odděluje ethernetový kabel od napájecích obvodů zařízení. Transformátorek má dvě oddělená jádra, jedno pro vysílání a druhé pro příjem dat, a bývá někdy vestavěn do stíněného tělesa konekturu - tento celek se označuje v angličtině jako „Magjack“ (původně jde o registrovanou obchodní značku společnosti BEL Fuse, nyní užívanou jako obecné označení tohoto druhu součástek).

### Obvod PHY

Sekundární vinutí transformátorku jsou připojena k obvodu fyzické vrstvy PHY (PHYSical Interface) [46], který zajišťuje převod proudu dat pro přenos sítě do vhodných signálů pro buzení vysílacího jádra transformátorku a zpětný převod signálů ze sekundárního vinutí přijímacího jádra transformátorku. Přesněji řečeno, provádí A/D a D/A převod, časování přenosu jednotlivých signálových prvků a převod kódování, tedy ve směru vysílání postupně kóduje data převody 4B5B, NRZI a MLT-3 (při provozu 100Base-TX). Moderní obvody PHY, jako je použitý IO DP83848C [47] firmy National Semiconductor, umožňují i další funkce, například automatické rozpoznání rychlosti sítě Ethernet a možnost připojení kříženým i standardním kabelem.

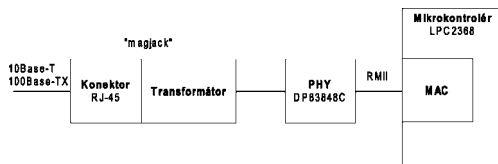
Obvody PHY se nastavují 2vodičovým sériovým rozhraním MIIM (Media Independent Interface Management).

Jako rozhraní mezi obvodem PHY a obvodem MAC (Media Access Controller), tedy řadičem linkové vrstvy, se užívá jedno ze standardizovaných rozhraní MII (Media Independent Interface), RMII (Reduced Media Independent Interface) nebo proprietární rozhraní výrobců obvodů PHY.

Ze schématu navrženého provedení obvodů rozhraní Ethernet (obr. 4) je zřejmé vnitřní zapojení konekturu Magjack (X2) a jeho spojení s obvodem PHY (IC2). Rezistory R1 až R4 slouží jako impedanční zakončení linky.

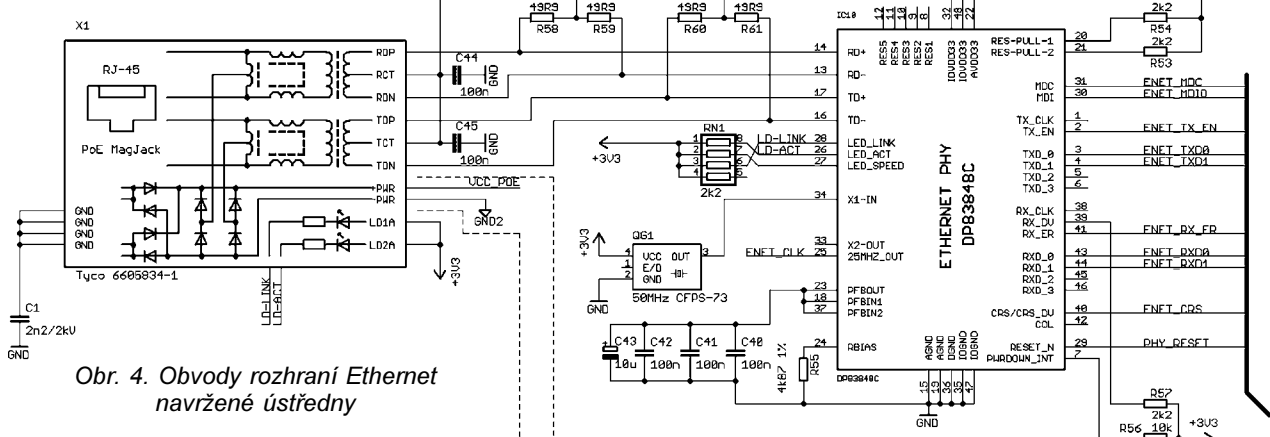
Obvod PHY dále spíná LED diody, umístěné v těle konekturu X2.

Z nevyužitých párů ethernetového kabelu a ze středů vinutí tlumivek, zapojených mezi datové vodiče roz-



Obr. 3. Hardwarová struktura rozhraní Ethernet

## ROZHRANÍ ETHERNET



Obr. 4. Obvody rozhraní Ethernet navržené ústředny

hraní Ethernet, je pomocí diodových můstků, vestavěných v konektoru, odvozeno vstupní napětí (VCC\_POE) pro měnič pro napájení ústředny podle standardu Power over Ethernet (PoE).

## Blok MAC

Blok MAC zajišťuje hardwarově některé funkce fyzické a linkové vrstvy rozhraní Ethernet: serializaci/deserializaci dat a přenos do vyrovnávací paměti pomocí DMA, filtrování přijatých dat podle MAC adresy zařízení a výpočet a kontrolu CRC kódů v rámci.

Mikrokontrolér IC7 je vybaven integrovaným blokem MAC, vybaveným rozhraním RMII [47] (Reduced Media Independent Interface) pro připojení k obvodu PHY.

Rozhraní RMII je synchronní rozhraní, pracující s hodinovou frekvencí 50 MHz a přenášíjící vždy paralelně dva datové bity v každém směru přenosu. Hodinový kmitočet rozhraní RMII je současně i referenčním kmitočtem pro časování přenosu obvodem PHY, a proto musí být zajištěna jeho přesnost: příslušný krystalový oscilátor (QG1 na obr. 4) musí mít odchylku menší než 50 ppm.

Vodiče rozhraní RMII jsou na obr. 4 značeny názvy, začínajícími ENET.

## Sériová asynchronní rozhraní

### RS-232

Rozhraní RS-232 bylo do návrhu ústředny doplněno spíše jako rozhraní pro základní ladění systému a nahrávání firmware do mikrokontroléru - jeho praktická využitelnost v systémech EZS je poměrně malá, ačkoliv existují například GSM terminály, čtečky karet RFID, autentizační terminály, displeje nebo panelové tiskárny komunikující tímto rozhraním.

Nahrávání firmware do mikrokontroléru je možné přes rozhraní JTAG (konektor SV1) a pomocí asynchronního sériového portu 0 mikrokontroléru. Je-li při nulování mikrokontroléru nastaven vývod P2.10 do logické nuly (zde stiskem tlačítka S2, vodič PO14INP), nespustí se uživatelský

program, ale z výroby předprogramovaný „bootloader“, komunikující po zmíněném sériovém portu 0. Počítač, připojený na tento port, je poté schopen pomocí speciálního programu (například NXP FlashMagic) programovat či verifikovat data v paměti FLASH mikrokontroléru.

Na obr. 5 je uvedeno elektrické zapojení rozhraní, které využívá převodník ST3232 (IC10) v katalogovém zapojení. Za zmínku stojí použití pojistkových rezistorů F14, F15, které do jisté míry spolu s vnitřní ESD ochranou IC10 omezují možnost poškození zařízení úmyslným přivedením přepětí na datové vodiče za cenu omezení maximální přenosové rychlosti portu.

### RS-485

Rozhraní RS-485 umožňuje připojení až několika stovek zařízení (s užitým typem budiče až 320), komunikujících některým z protokolů, založených na tomto standardu. V naší aplikaci půjde zejména o čtečky RFID karet, biometrické čtečky, přístupové klávesnice a zařízení domovní automatizace, například teplotní čidla nebo průmyslové počítače (PLC).

Vzhledem k tomu, že k rozhraní může být připojena relativně dlouhá sběrnice, je použit kvalitní budič Texas Instruments SN65HVD1780 (IC7), který je vybaven ESD ochranou do 16 kV, vnitřními odpory pro zajištění polarity neaktivní sběrnice („fail-safe“) a budiči s omezením strmosti hran. Komunikační rychlost je maximálně 115 Kb/s.

Obvod je zajímavý povoleným přepětím na datových pinech A, B až  $\pm 70$  V proti zemi; spolehlivá komunikace je nicméně možná jen při dodržení rozsahu napětí -5 až +12 V na obou vývodech.

Odolnost proti přepětí je zlepšena použitím obousměrných transilů D24, D25 a pojistkových rezistorů F12, F13, a to tak, aby linka RS-485 odolala i jednoduchému záměrnému útoku: v případě připojení datového vodiče A nebo B a země rozhraní přímo na napětí 230 V rozvodné sítě poteče obvodem proud kolem 30 A. Ten přeruší pojistkový rezistor podle [16] do 0,02 s, přičemž transil by neměl být nevratně poškozen (povolené přetížení transilu SMBJ 12 V je 200 A jednou půlvlnou [17] nebo 97 A impulsně v poměru 10 : 1000). Napětí na transilu nepřekročí zmíněnou přepětovou odolnost budiče IC7.

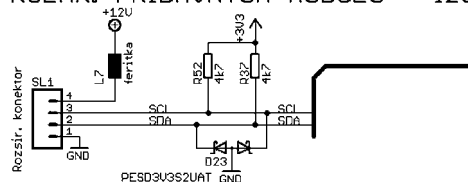
Budič je připojen k asynchronnímu sériovému portu 2 IC7; přepínání směru komunikace je řízeno softwarově IC7 vodičem RS485DIR.

## Rozhraní přidavných modulů

Navržený hlavní modul ústředny je vybaven rozhraním pro připojení přidavných modulů, které rozšiřují jeho vstupní a výstupní možnosti.

Pro připojení přidavných modulů je definováno jednoduché specializo-

## ROZHR. PŘIDAVNÝCH MODULU - I2C



Obr. 6. Zapojení konektoru přidavných modulů na hlavním modulu navrhované ústředny

vané rozhraní, sestávající ze sběrnice I<sup>2</sup>C a rozvodu napájení 12 V/300 mA na čtyřpinovém konektoru typu PSH.

Sběrnice I<sup>2</sup>C (viz specifikace [18]) je jednoduchá dvou vodičová synchronní sériová sběrnice, umožňující adresování až 127 paralelně připojených zařízení (v rozšířeném módu 1023) a přenos dat rychlostí 100 kb/s v nejpomalejším módu sběrnice, který použijeme. Vodiče sběrnice pracují jako tzv. montážní součin: výstupy připojených zařízení (integrovaných obvodů) jsou v provedení s otevřeným kolektorem a klidovou úroveň log. 1 na sběrnici zajišťují „pull-up“ rezistory. Sběrnice umožňuje spolupráci obvodů, napájených napětím 5 a 3,3 V.

Na hlavním modulu ústředny je umístěn jeden konektor, na přidavných modulech budou umístěny dva paralelně spojené konektory tak, aby bylo možné zřetězeně připojovat další moduly. Konektory modulů ve vzniklé sestavě jsou propojeny kabelem délky 10 cm.

Skutečné zapojení konektoru na hlavním modulu je uvedeno na obr. 6. Napájení přidavných modulů je jistěno vratnou polokrytalickou pojistkou 300 mA. R37 a R52 tvoří „pull-up“ rezistory sběrnice.

Jako ESD ochrana sběrnice slouží dvojitý transil typu PESD5V0U2BT firmy NXP (D23) v miniaturním pouzdru SOT-23. Jde o poměrně inovativní prvek, vyznačující se sníženou kapacitou transilů na pouhých 2,9 pF [19] - běžné hodnoty u srovnatelných transilů se pohybují ve stovkách pF a znemožnily by funkci sběrnice.

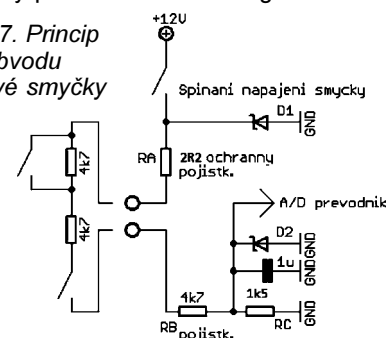
Maximální počet připojených přidavných modulů je omezen celkovou parazitní kapacitou sběrnice I<sup>2</sup>C a odporem napájecích vodičů: výpočtem byl stanoven při 50 % rezervě maximální počet pěti modulů v sestavě.

## Obvody vstupů a výstupů

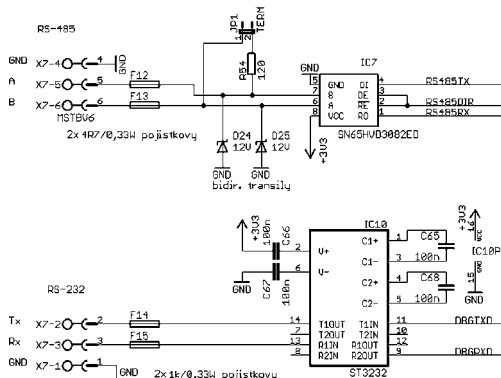
### Drátové smyčky

Mikrokontrolér IC7 obsahuje desetibitový převodník A/D s integrovanou

Obr. 7. Princip obvodu drátové smyčky

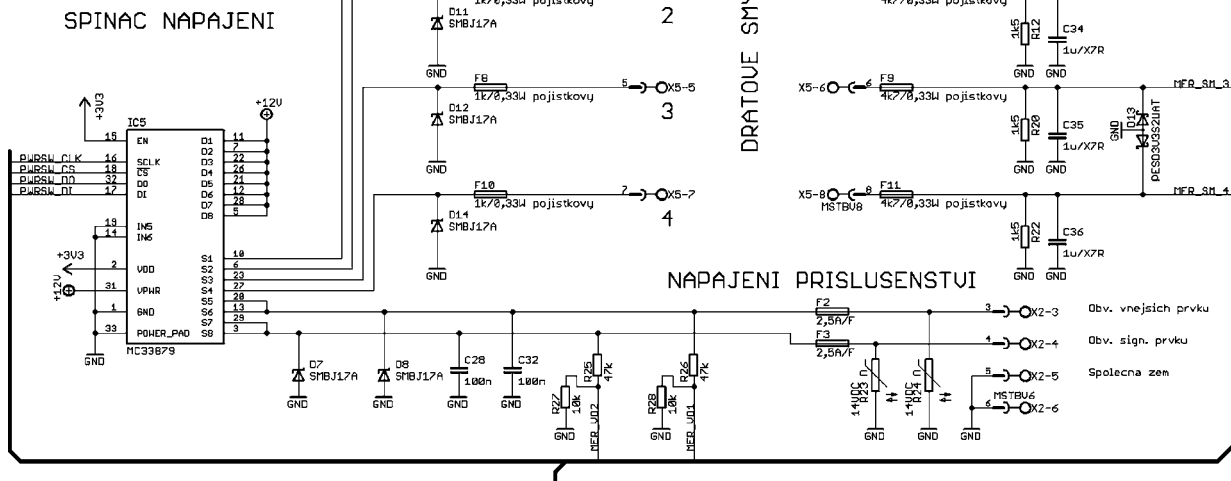


## BLOK ROZHRANÍ RS-232/485



Obr. 5. Schéma zapojení obvodů rozhraní RS-232 a RS-485

Obr. 8. Zapojení vstupů drátových smyček a výstupů napájení příslušenství



ným prepínačem s šesti vstupy. Čtyři z nich vyhodnocují čtyři vstupy drátových smyček.

Obvod každé smyčky je zapojen jako odporový dělič podle obr. 7.

Účelem bylo navrhnout takové zapojení, které bude účinně chráněno proti zničení výkonového jádra ústředny záměrně přivedeným přepětím a které bude schopno detekovat jednoduché poruchy kabeláže, například zkrat vodičů smyček navzájem.

Napájení smyčky je spínáno polo vodičovým spínačem, který je softwarově řízen tak, aby s periodou přibližně 50 ms spínal a rozpínal. Na konci tohoto času bude vyhodnoceno, zda byl přerušen průchod proudů smyčkou - nestane-li se tak, je smyčka napájena z obvodu jiné smyčky nebo cizího zdroje a je nutné ji považovat za vadnou či sabotovanou.

Výstupní impulsy běžných čidel mají šířku od 200 ms, takže se případně neztratí informace o narušení objektu.

Není-li smyčka zcela rozpojena, prochází všemi rezistory v obvodu ústředny proud, který vyvolává úbytek na rezistoru  $R_C$ . Tento úbytek je snímán převodníkem A/D IC7 a se znalostí aktuální hodnoty napájecího napětí ústředny ve větvi +12 V může být vyhodnocen stav smyčky.

Jako ESD i klasická přepětěová ochrana obvodů smyček slouží dva transily. Transil D1 je dimenzován na napětí 17 V a slouží jako ochrana

výstupu elektronického spínače. Při děletrvajícím vnějším přepětí na napájecí svorce smyčky se přepálí pojistkový rezistor  $R_A$ . Ten je zvolen tak, aby zkratzvzdornost výstupu napájení smyčky proti zemi zajišťovala elektronická pojistka v elektronickém spínači napájení smyčky (IC5) bez toho, aby se rezistor  $R_A$  přepálil.

Transil D2 má závěrné napětí 3,3 V a chrání vstup převodníku A/D A/D. Pojistkový rezistor  $R_B$  se rovněž při dlouhotrvajícím přepětí přepálí, aby uchránil převodník A/D A/D a D2 před přetížením.

Kondenzátor 1  $\mu$ F slouží spolu s vnitřním odporem děliče jako filtr RC s časovou konstantou  $\tau = 1,3$  ms. Vzhledem k tomu, že postačí relativně pomalé vyhodnocování průměrováním posledních výstupních vzorků převodníku A/D a že vstupní signál je téměř stejnosměrný, není nutné používat složitější antialiasingové filtry.

Na obr. 8 je uvedeno skutečné zapojení obvodů drátových smyček. Jako elektronický spínač je využit obvod Freescale MC33879 [22], osminásobný elektronický spínač s elektronickou pojistkou a detekcí rozpojení obvodu a zkratu, řízený sériovou sběrnici SPI mikrokontrolérem IC7. Jeho první čtyři sekce spínají napájení smyček, výstupy zbývající čtveřice slouží jako elektronická pojistka obvodů napájení příslušenství. Výhodou obvodu je mimo jiné i omezení strmosti změn výstupního napětí

(slew-rate limiting), snižující úroveň rušení, emitovaného vodiči smyček.

Vlastní obvod smyčky je osazen čtyřikrát zcela shodně, popíšeme tedy smyčku č. 1. Elektronický spínač IC5 přivádí napětí větve +12 V na pojistkový rezistor F4 a první svorku konektoru X5. Proud prochází smyčkou a vrací se na druhou svorku X5 a přes pojistkový rezistor F5 vstupuje do uzlu s R10, C33, anodou jedné poloviny dvojitěho transilu D10 a jako vodič MER\_SM\_1 pokračuje na vstupní vývod převodníku A/D IC7.

### Tranzistorové a reléové výstupy

Sedm vývodů portu 1 IC7 ovládá vodiči VYSTUP1 až VYSTUP7 tranzistorové a reléové výstupy zařízení.

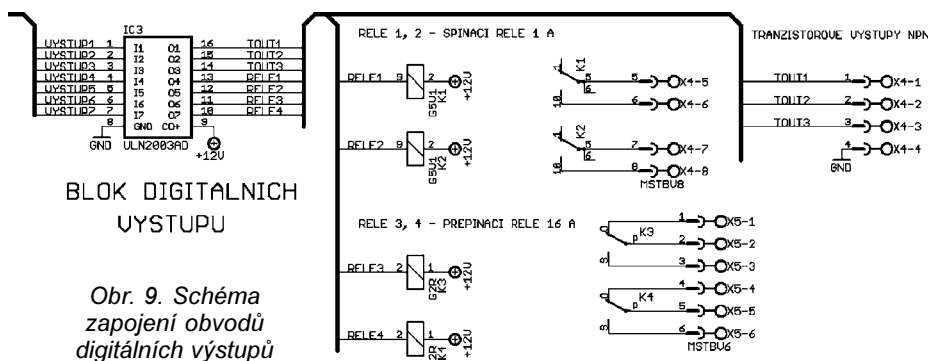
Úrovně CMOS 3,3 V z vodičů VYSTUP jsou proudově posíleny v IO ULN2003 (IC2 na obr. 9). ULN2003 je sedminásobný výkonový spínač typu npn s povoleným výstupním proudem 200 mA z každého výstupu. Obvod je vybaven diodami pro ošetření napěťových špiček od indukční zátěže, připojenými na společný vývod CD+.

Čtyři výstupy obvodu IC2 spínají elektromechanická relé, dvě signálová s vyvedenými spínacím kontaktem a dvě výkonová, která mají vyveden spínací i rozpínací kontakt. Zbýlá trojice výstupů IC2 je vyvedena na svorkovnici X4 jako tranzistorové výstupy. Ty by neměly být nechráněně zapojovány do vnějších obvodů ústředny, nemají nadproudovou ani přepětěovou ochranu. Případné přepětí může projít přes strukturu IC2 do větve +12 V napájení.

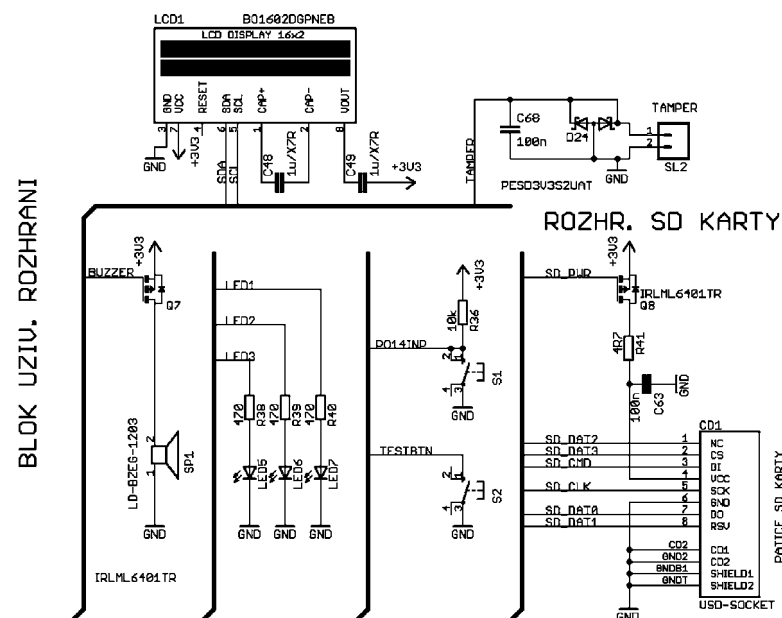
### Místní servisní ovládání

Ústředna je vybavena jednoduchým místním ovládním: jde o dvojici tlačítek, trojici LED a pozici pro případné osazení displeje LCD.

Dvojice tlačítek je připojena přímo k vývodům mikrokontroléru vodiči P014NP a TESTBTN. Tlačítko S2,



Obr. 9. Schéma zapojení obvodů digitálních výstupů



Obr. 10. Schéma bloku uživatelského rozhraní a rozhraní SD karty

ovládající vývod P014INP, slouží také k aktivaci bootloaderu mikrokontroléru IC7 pro nahrávání firmware prostřednictvím rozhraní RS-232. Toto tlačítko nemůže využívat interní „pull-up“ rezistor portu mikrokontroléru IC7 pro definici klidového stavu vodiče P014INP jako tlačítko S1, protože „pull-up“ rezistory nejsou při nulování IC7 aktivní a mohl by se nechtěně spustit bootloader.

Součástí hlavního modulu je i připravená pozice pro alfanumerický displej LCD. Byl zvolen typ Bolymin DO1602DGPNEB (LCD1) v provedení COG bez podsvětlení. Umožňuje zobrazit celkem 32 znaků textu na dvou řádcích. Displej může servisního technika informovat o stavu zařízení (např. přiřazené IP adresy nebo stavu smyček) a bude montován přímo na desce ústředny - nejde tedy o rozhraní pro uživatele. Data jsou displeji zasílána rozhraním I<sup>2</sup>C, společným s rozhraním předavných modulů. Současná verze softwaru ústředny prozatím s displejem LCD nepočítá.

Tranzistor Q7, řízený vodičem BUZZER z mikrokontroléru IC7, spíná miniaturní sirénku, osazenou na desce.

Diody LED jsou na desce označeny jako ACT, RUN a COMM. Diody LED ACT je ovládána softwarově skriptu ústředny, dioda RUN blikáním indikuje správnou funkci operačního systému a dioda COMM svítí, přenáší-li www server data.

Sabotážní kontakt ústředny (například při zavřené skříni ústředny sepnutí mikrosplínač) je připojen do konektoru TAMPER (SL2).

### Rozhraní paměťové karty

Paměťová karta typu microSD je vložena v zásuvce CD1.

Karta je připojena čtyřbitovým paralelním rozhraním [23] k řadiči SD karty, integrovanému v mikrokontroléru IC7. Toto rozhraní umožňuje vyšší rychlost přenosu dat oproti často využívanému rozhraní SPI, vhodnému zejména pro jednoduché aplikace

a pro mikrokontroléry, které nemají vestavěný řadič.

Karty typu microSD sice podporují nízkospotřebný režim i softwarový reset karty, nicméně i oficiální dokumentace rozhraní karet doporučuje zařadit elektronický spínač do napájecího obvodu karty, aby bylo možné kartu hardwarově odpojit, případně vynulovat. Proto spíná napájení karty na pokyn mikrokontroléru tranzistor Q8.

Rezistor R41 omezuje proudovou špičku při jeho sepnutí, vyvolanou nabíjením kondenzátoru C63 a blokovacího kondenzátoru o kapacitě až 1 μF, který je součástí paměťové karty. Pokud by nebyla velikost proudové špičky omezena, při sepnutí tranzistoru Q8 by mohlo vzniknout krátkodobé podpětí napájecího napětí 3,3 V, schopné způsobit BOD reset mikrokontroléru.

### Obvody napájení

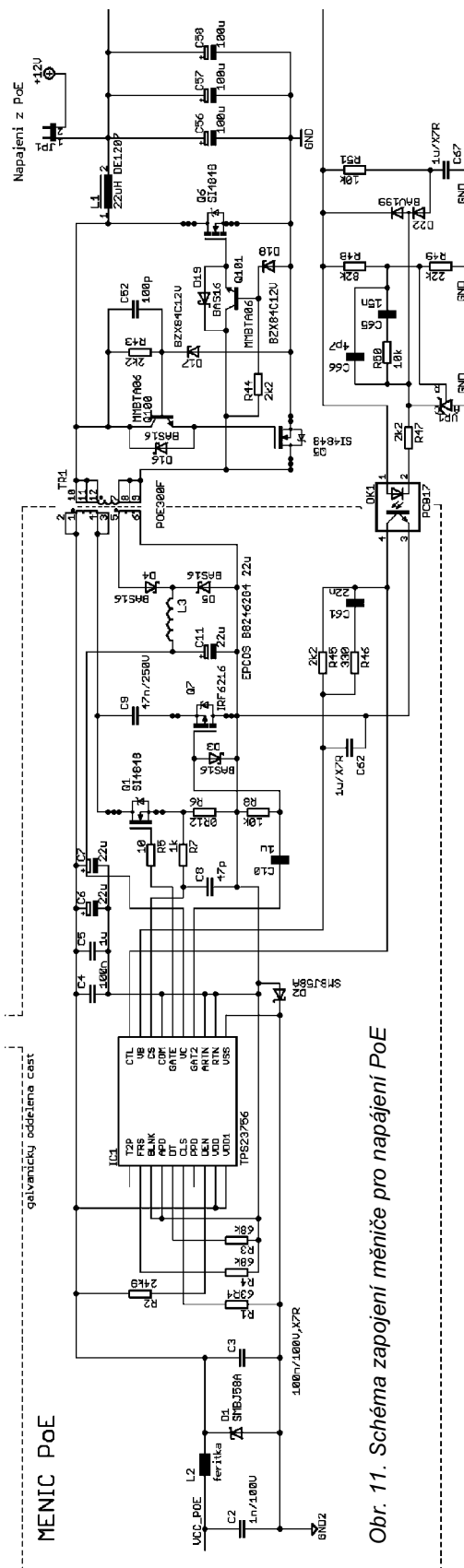
Hlavní modul ústředny umožňuje napájení ze sítě Ethernet podle standardu PoE nebo přímým připojením zdroje 12 V do svorkovnice ústředny. Jako vnější zdroj může být použit zálohovaný napáječ, například výrobek 2N Energy Bank nebo Jablotron BP-12.

### Měnič pro napájení systémem PoE

**Systém Power over Ethernet:** Technologie Power over Ethernet slouží k přenosu elektrické energie spolu s daty strukturovanou kabeláží sítě Ethernet. Užívají se kabely kategorie 5 nebo vyšší.

Původní standard IEEE 802.3af umožňoval přenos výkonu 12,95 W, nový standard IEEE 802.3at (Power over Ethernet Plus) ze září 2009 již dovoluje přenos až 30 W [24].

Pro přenos elektrické energie se užívá buď nevyužitých párů v kabelu sítě Ethernet, nebo fantomového napájení datovými páry. Použité napětí je 42 až 57 V.



Obr. 11. Schéma zapojení měniče pro napájení PoE

Napájené zařízení musí být vybaveno obvody, které umožní napáječ (tzv. injektor) PoE rozpoznat třídu zařízení, která udává maximální odebraný proud. Teprve poté může začít napájené zařízení odebírat výkon z injektoru.

**Měnič pro napájení systémem PoE:** Navržený měnič (obr. 11) poskytuje napájecí napětí 12 V pro obvody ústředny a vnějších částí systému, například čidel nebo sirén.

(Pokračování příště)

# Ústředna EZS s rozhraním LAN

Ing. Ivo Stražil

(Pokračování)

Použité zapojení měniče je založeno na obvodu TPS23756 firmy Texas Instruments [25], který již implementuje standard IEEE 802.3at, a je téměř beze změn založeno na zapojení firemního demonstračního kitu pro výstupní napětí 12 V a proud 2 A s deklarovanou účinností překračující 85 % (v lit [26]). Měnič je galvanicky oddělený a používá zatím vcelku málo rozšířenou propustnou topologii s aktivní demagnetizací (active-clamp forward). Ta umožňuje dosáhnout dobré účinnosti s menšími rozměry transformátoru než klasická topologie propustného měniče s demagnetizačním vinutím nebo blokujičím měniče (fly-back).

Napájecí napětí, usměrněné můstkovými usměrňovači, vestavěnými v Magjack konektoru (viz obr. 4) je vedeno vodiči VCC\_POE a GND2 na vstup měniče.

Vestavěný spínač s tranzistorem N-MOSFET v integrovaném obvodu TPS23756 (IC1) připojí výkonový obvod měniče k napájení až po úspěšné identifikaci se injektoru (norma používá termín classification). Zajímavé je, že se odpojí i vstupní elektrolitické kondenzátory měniče (C6, C7).

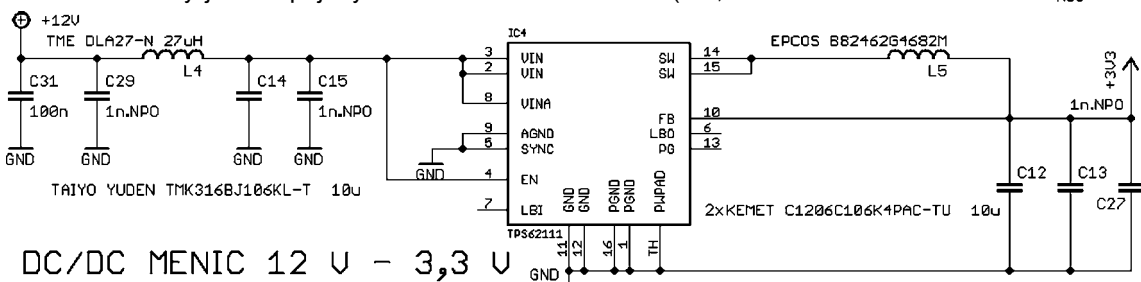
Vlastní měnič užívá externí tranzistory typu MOSFET, hlavní spínač Q1 je N-MOSFET s povoleným napětím UDS 150 V a odporem kanálu v sepnutém stavu 85 mΩ.

Transformátorek POE300 (L1, [27]) je výrobek britské firmy Coilcraft s rozměry 21 x 11 x 25 mm, schopný přenášet výkon až 30 W. Sekundární strana měniče používá aktivní usměrňovač, rovněž s tranzistory MOSFET.

Regulační smyčka měniče užívá programovatelnou napěťovou referenci TL431 (VR1). Obvod C67, D22 a R51 zajišťuje plynulý náběh výstupního napětí měniče.

## Měnič napájení logiky systému

Všechny obvody logiky hlavního modulu ústředny jsou napájeny na-



DC/DC MENIC 12 V - 3,3 V

pětím 3,3 V, které vytváří měnič s IO TPS62111 firmy Texas Instruments.

Tento obvod (obr. 12, IC4) je základem „step-down“ měniče s pracovní frekvencí 1 MHz a účinností kolem 82 % při výstupním proudu 300 mA [28]. Maximální výstupní proud měniče je 1 A.

Vysoká pracovní frekvence umožnila návrh zapojení tohoto měniče bez elektrolytických kondenzátorů, které jsou v dlouhodobém provozu častou příčinou poruch.

## Napájení obvodů příslušenství

Obvody, napájející vnější prvky ústředny, jsou kromě samozřejmě možnosti zkratu vlivem poruchy ohroženy i případným záměrným útokem, spočívajícím v přivedení přepětového impulsu, který může poškodit i elektroniku ústředny.

Obvody vnějších prvků navrhované ústředny jsou rozděleny na dvě sekce:

- obvod signalizačních prvků, napájející sirénu či sirény;
- obvod vnějších prvků, napájející ostatní součásti systému, zejména aktivní čidla.

Tyto obvody jsou napájeny napětím 12 V a každý z nich umožňuje odebrat proud až 1,2 A (celkový maximální odebraný proud závisí na použitém napájecím zdroji).

Oba obvody jsou jistěny samostatně: obvod signalizačních prvků musí být vzhledem k možnosti připojení nezálohované sirény schopen práce i v případě, kdy je obvod vnějších prvků v poruše. (Jako hlavní siréna se v instalacích EZS někdy užívá poměrně nákladná zálohovaná siréna, která je napájena z vlastního záložního akumulátoru a spouští se odpojením napájení, je tedy odolná proti sabotáži odpojením napájení z ústředny, případně zničením napájecího zdroje ústředny.)

Obvody jsou jistěny elektronickou pojistkou - součástí spínačů v obvodu Freescale MC33879 (IC5, viz schéma

zapojení na obr. 8). Tato pojistka odepíná výstup od napájení, je-li překročen proud typicky 0,6 A. Pro použitou paralelní kombinaci dvou výstupů je tedy vypínací proud typicky 1,2 A. Příslušné elektronické spínače v IC5 jsou trvale sepnuté, jsou tedy užity jen jejich elektronické pojistky.

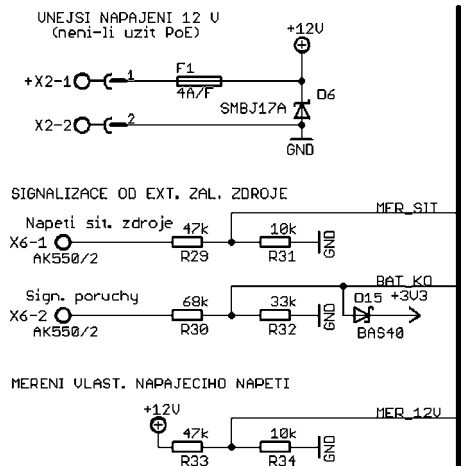
Řešení elektronické pojistky v IC5 je poměrně zajímavé: obvod nejdříve omezuje proud na hodnotu vypínacího proudu a teprve po několika sekundách je výstup odpojen na základě snímání lokálního přehřátí čipu IO [25]. Po odstranění zkratu se napájení příslušného výstupu automaticky obnoví.

Aktivaci elektronické pojistky může mikrokontrolér zjistit čtením stavového registru IC5 po sběrnici SPI, ale hlavním signálem o selhání jednoho z okruhů napájení je pro software zařízení naměřená skutečná hodnota napětí na výstupu napájení. Vodiče MER\_VO1 a MER\_VO2, připojené k převodníku A/D IC7 přes elektronický prepínač IC6, snímají přes odporové děliče napětí na obou výstupu.

Výstupy jsou dále vybaveny ochrannou transily D7, D8, varistory R23, R24 a tavnými pojistkami F2, F3. Tyto pojistky se za normálního provozu nemohou přepálit, protože dříve vybaví pojistka v obvodu IC5, ale uplatní se při přivedení vnějšího přepětí.

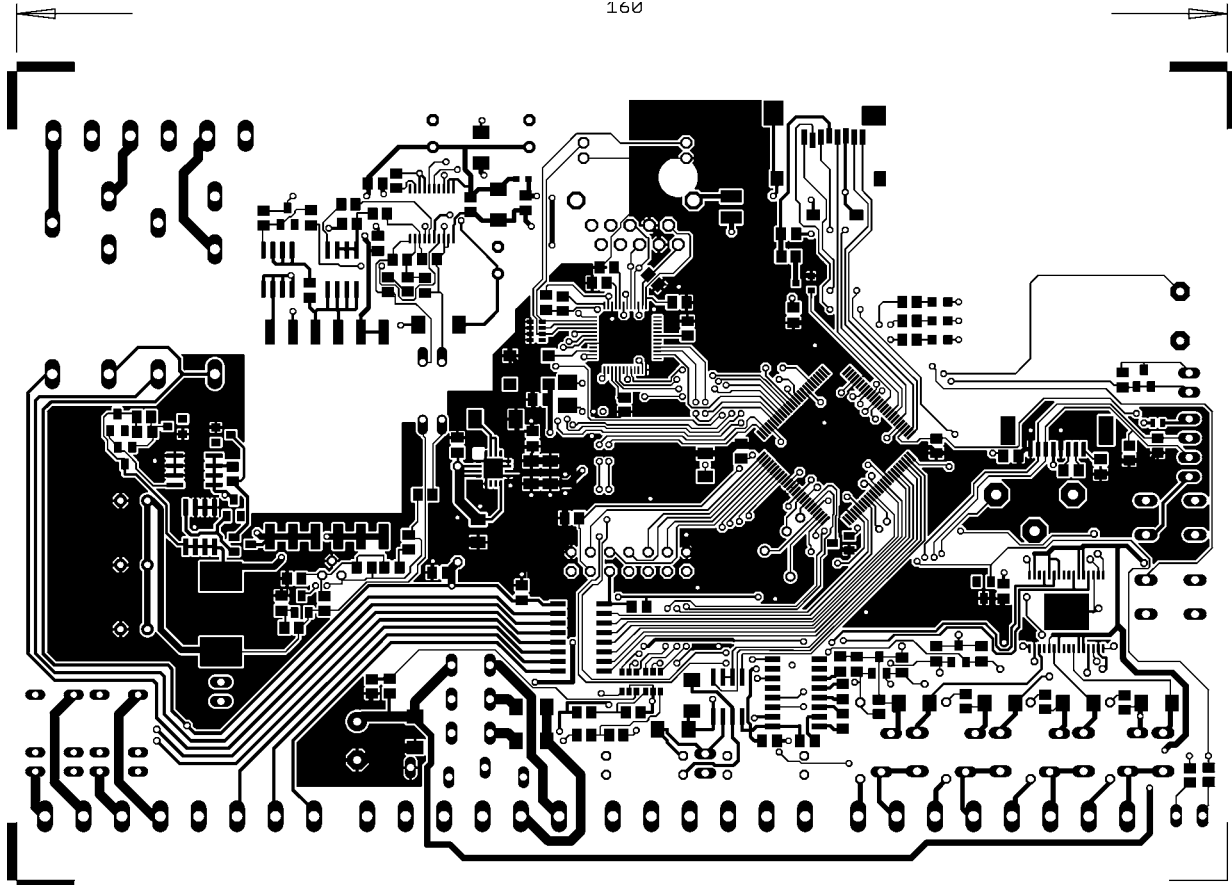
Na obr. 13 jsou uvedeny dosud nepopsané pomocné obvody napájení: svorky X2 slouží pro připojení napájecího zdroje, není-li užito napájení systémem PoE.

Případný vnější zálohovaný zdroj je možné monitorovat analogovým vstupem pro měření výstupního napětí jeho síťového zdroje a jedním digitálním vstupem (oba jsou vyvedeny na svorkovnici X6).

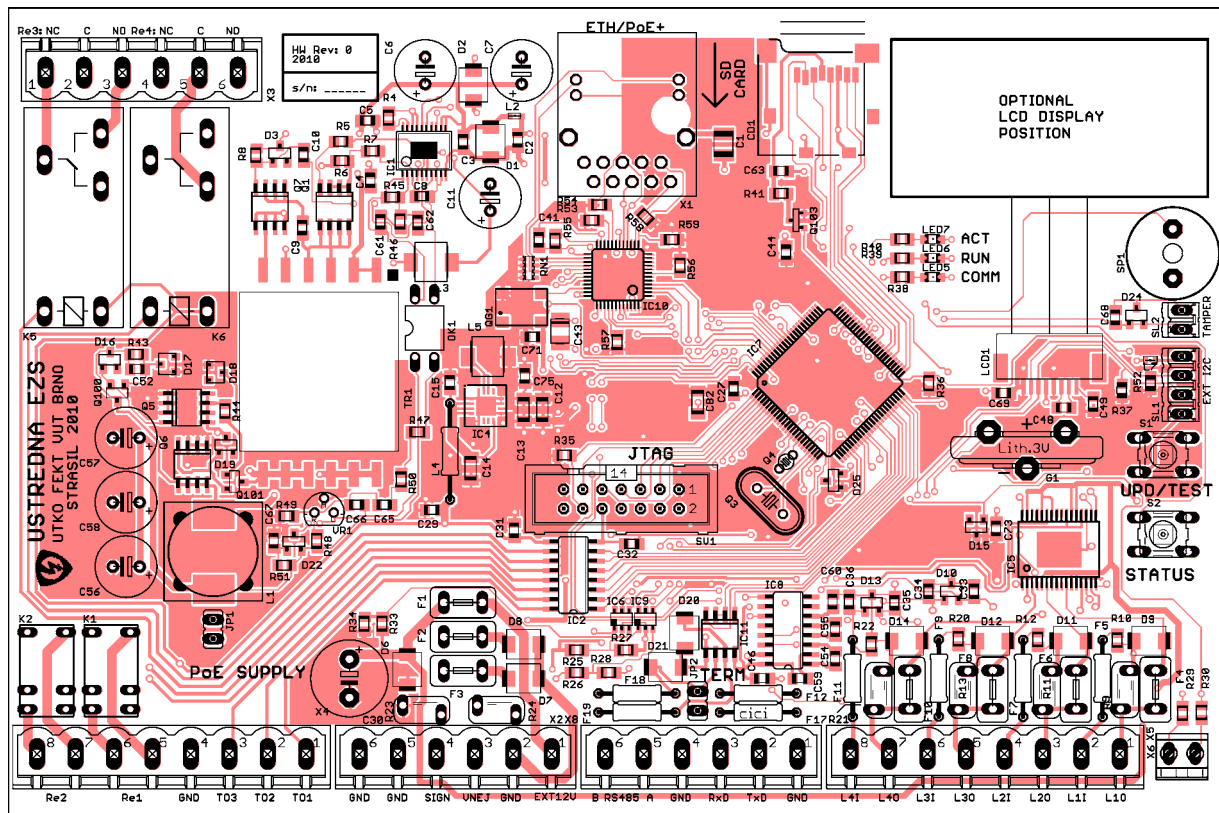


Obr. 13. Pomocné napájecí obvody

Obr. 12. Schéma zapojení měniče 12/3,3 V



Obr. 16. Deska s plošnými spoji ústředny, strana součástek



Obr. 14. Rozmístění součástek ústředny, strana součástek

Dělič R33/R34 slouží pro měření vlastního napájecího napětí ve větvi +12 V, zejména pro vyhodnocování selhání napájecího zdroje a stavu drátových smyček. Střední bod tohoto děliče a děliče analogového vstupu

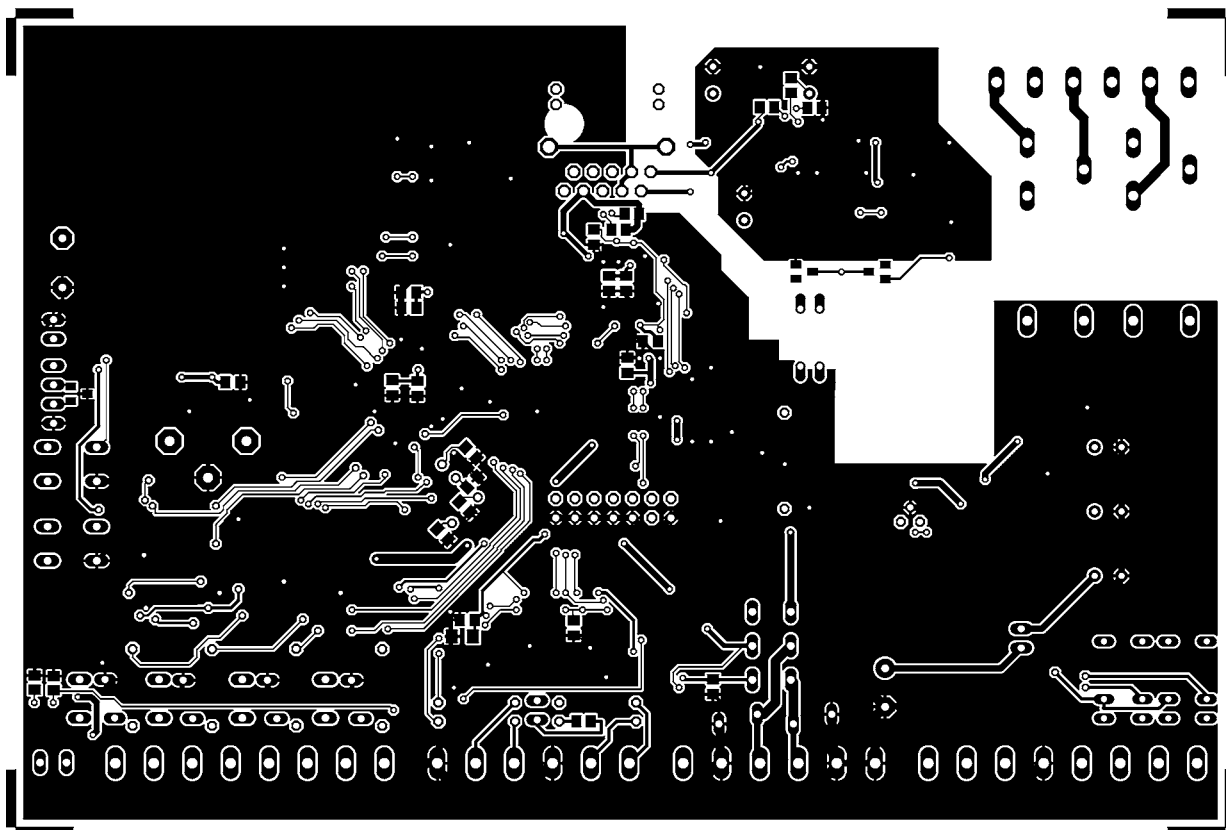
měření napětí síťového zdroje je zaveden do elektronického přepínače IC6 a z něj do vstupu integrovaného převodníku A/D mikrokontroléru IC7.

Transil D6 tvoří přepětovou ochranu větve napájení +12 V.

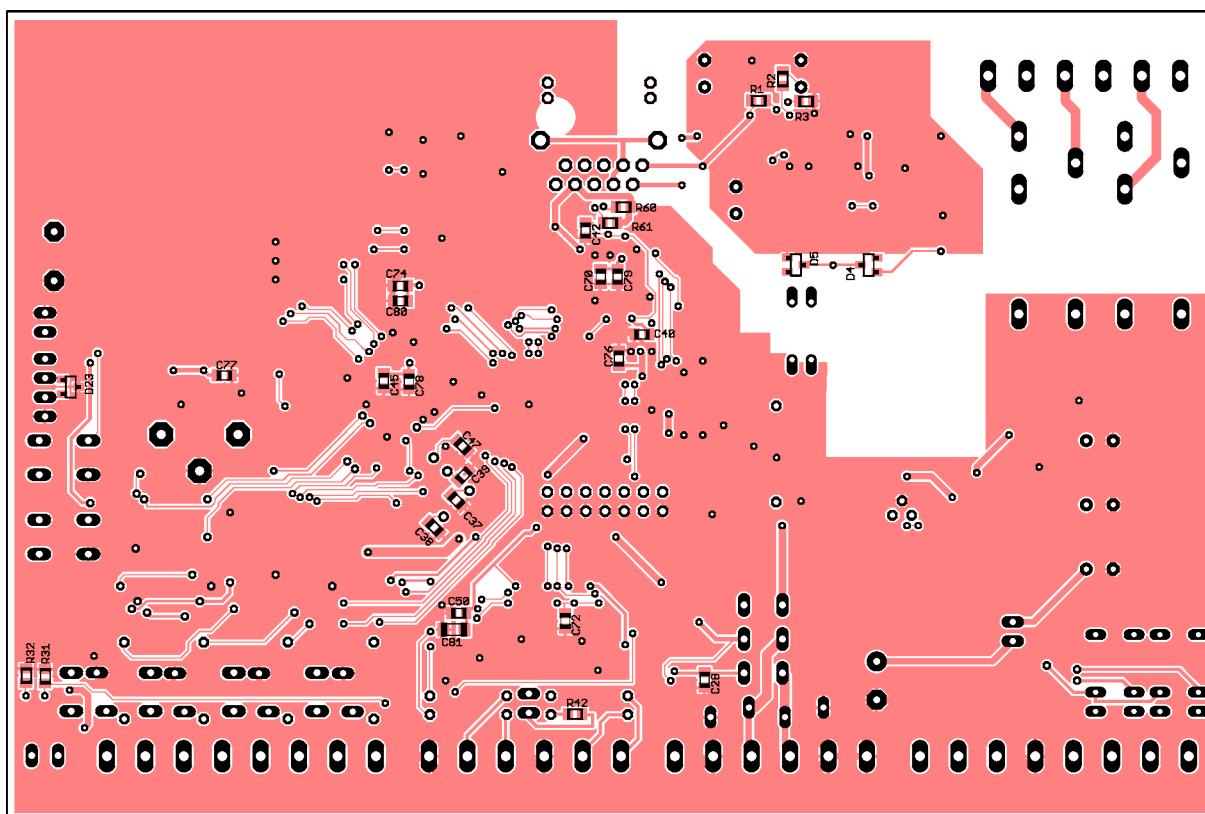
### Mechanická konstrukce

Prototyp ústředny byl realizován na oboustranné prokovené desce s plošnými spoji o rozměrech 160 x 107 mm v 7. konstrukční třídě s šířkou spojů





Obr. 17. Deska s plošnými spoji ústředny, strana spojů



Obr. 15. Rozmístění součástek ústředny, strana spojů

a mezer minimálně 0,18 mm (obr. 14 až 17).

Je užitá kombinovaná montáž vývodových součástek i součástek SMD ze strany součástek desky. Ze strany spojů je osazeno pouze několik blokovacích kondenzátorů v provedení SMT.

Návrh plošných spojů byl proveden v souladu s pravidly pro dosažení dobré elektromagnetické kompati-

bility (zejména šlo o rozmístění blokovacích kondenzátorů, a užití ploch „rozlité mědi“ na obou stranách desky), nicméně měření vyzařování ani odolnosti nebyla provedena.

Povrchové cesty - vzdálenosti mezi spoji od svorkovnice X3 ke kontaktům výkonových relé jsou zvoleny v souladu s požadavky normy ČSN EN 60950-1 na spoje, připojené k síti 230 V.

Deska s plošnými spoji je opatřena potiskem ze strany součástek.

Deska hlavního modulu ústředny je vložena do sestavy držáku Italtronic E107CM. Držák je možné vybavit úchytkou pro montáž na lištu DIN nebo nožkami pro uchycení na montážní desku rozvaděče.

(Dokončení příště)

# Ústředna EZS s rozhraním LAN

Ing. Ivo Stražil

(Dokončení)

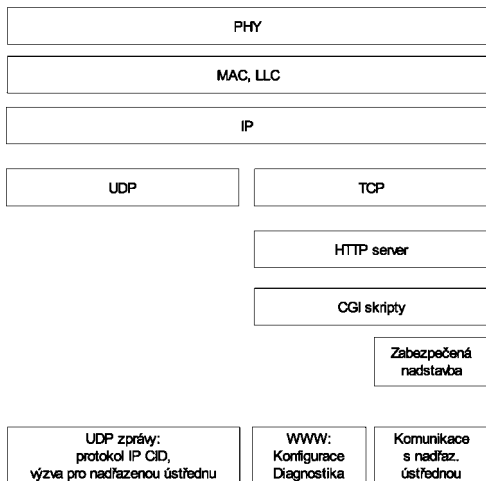
## Softwarové řešení

Softwarové řešení ústředny vyžaduje následující následující programové celky:

- Operační systém, umožňující současný běh procesů pro komunikaci sítí Ethernet a vlastní logiky zabezpečovacího zařízení.
- Modul, zajišťující bezpečný přenos dat sítí Ethernet a skládající se z ovladače linkové vrstvy Ethernet, TCP/IP stacku, HTTP serveru a podpory šifrování.
- Ovladače jednotlivých vstupních a výstupních periférií systému, například komunikačních linek RS-232, RS-485, výstupních relé a vstupů drátových smyček.
- Engine, zajišťující vlastní logiku systému.
- Podpůrné procesy, zejména ovladač souborového systému s možností čtení a zápisu na paměťovou kartu a časovače, zajišťující zpoždění nebo periodické spouštění vybraných funkcí, například vypnutí sirény po uplynutí stanoveného času.

Software (firmware) hlavního modulu ústředny je kompletně vytvořen v jazyce C s výjimkou několika optimalizovaných pasáží v assembleru. Vzhledem k rozsahu softwaru byly v maximální míře využity volně šiřitelné knihovny pro realizaci operačního systému, TCP/IP stacku, šifrování, skriptování a dalších funkcí.

Software ústředny využívá možnosti operačního systému FreeRTOS. Operační systém, distribuovaný jako sada zdrojových kódů v jazyce C, je



Obr. 18. Komunikační možnosti navrhované ústředny a jejich zařízení v softwarové struktuře zařízení

přímo zkompilován se zdrojovými kódy softwaru ústředny a běží z paměti Flash mikrokontroléru.

Jako modul pro realizaci kryptografických funkcí je použita volně šiřitelná knihovna PolarSSL [32], kterou bylo možné bez větších problémů portovat na architekturu ARM7TDMI.

Z široké nabídky funkcí knihovny jsou užity sady funkcí pro asymetrickou kryptografii podle standardu RSA, hašovací funkci SHA-256 a funkce pro kódování a dekódování Base-64.

Knihovna EFSL [33] je velmi známá volně šiřitelná knihovna pro práci s paměťovými kartami typu SD a se souborovými systémy FAT/FAT32. Knihovna podporuje SD a SDHC karty s velikostí do 16 GB a umožňuje současnou práci s více otevřenými soubory.

Po připojení napájecího napětí k ústředně nejprve proběhne inicializace zařízení: tedy inicializace HW periférií (portů, rozhraní RS-232, RS-485) a souborového systému a knihovny EFSL.

Následně ústředna načítá nastavení z hlavního konfiguračního souboru, uloženého na paměťové kartě, ověří „self-testem“ správnou funkci kryptografických funkcí RSA, inicializuje úlohy operačního systému a nakonec je spuštěn plánovač operačního systému s čtveřicí úloh, které zajišťují komunikaci sítí Ethernet, časování ústředny, správu vstupů a výstupů a zpracovávají i vlastní logiku ústředny.

Spolehlivý běh zařízení zajišťuje časovač „watch-dog“ (WDT), který hlídá běh všech úloh operačního systému s výjimkou úlohy komunikace sítí Ethernet, která je spravována samostatně tak, aby její selhání, které může být způsobené např. DoS útokem, nevedlo k restartu nebo selhání celé ústředny.

Software ústředny v současné verzi obsazuje 190 KB z 512 KB paměti Flash a 37 KB z celkem 42 KB dostupné paměti RAM mikrokontroléru.

## Přenosy dat sítí Ethernet

Navržená ústředna umožňuje komunikaci těmito metodami:

- Pomocí vestavěného www serveru protokolem HTTP pro konfiguraci a diagnostiku stavu zařízení.
- Specializovaným protokolem pro zabezpečený přenos dat mezi zařízením a nadřazenou ústřednou.
- Protokolem UDP pro zaslání krátkých informačních zpráv, generovaných skripty.

Komunikační možnosti a jejich postavení v rámci protokolového stacku zařízení shrnuje obr. 18.

Vzhledem k požadavku na dodržení nízké výrobní ceny zařízení byl zvolen mikrokontrolér s relativně malou pamětí RAM, který neumožňuje implementaci protokolů HTTPS/ TLS - www rozhraní pro konfiguraci ústředny. Používá tedy nezabezpečený přenos dat, nicméně pro bezpečnostně náročnější aplikace v sestavě s nadřazenou ústřednou je možné využít jednoduchý specializovaný zabezpečený protokol, zajišťující důvěrnost, integritu i autenticitu.

Podrobnější dokumentace softwarové části ústředny, komunikačních protokolů a nastavení zařízení je pro její velký rozsah zveřejněna na www stránce autora.

Na obr. 19 je uveden snímek obrazovky konfiguračního a diagnostického www rozhraní.

## Osazení a oživení ústředny

Samotné sestavení a oživení ústředny nemá žádné záležitosti. Vzhledem k tomu, že jde o relativně složitá zařízení, není možné doporučit stavbu bez základních znalostí programování, vyhledávání závad v obvodech a nebo bez vybavení alespoň osciloskopem.

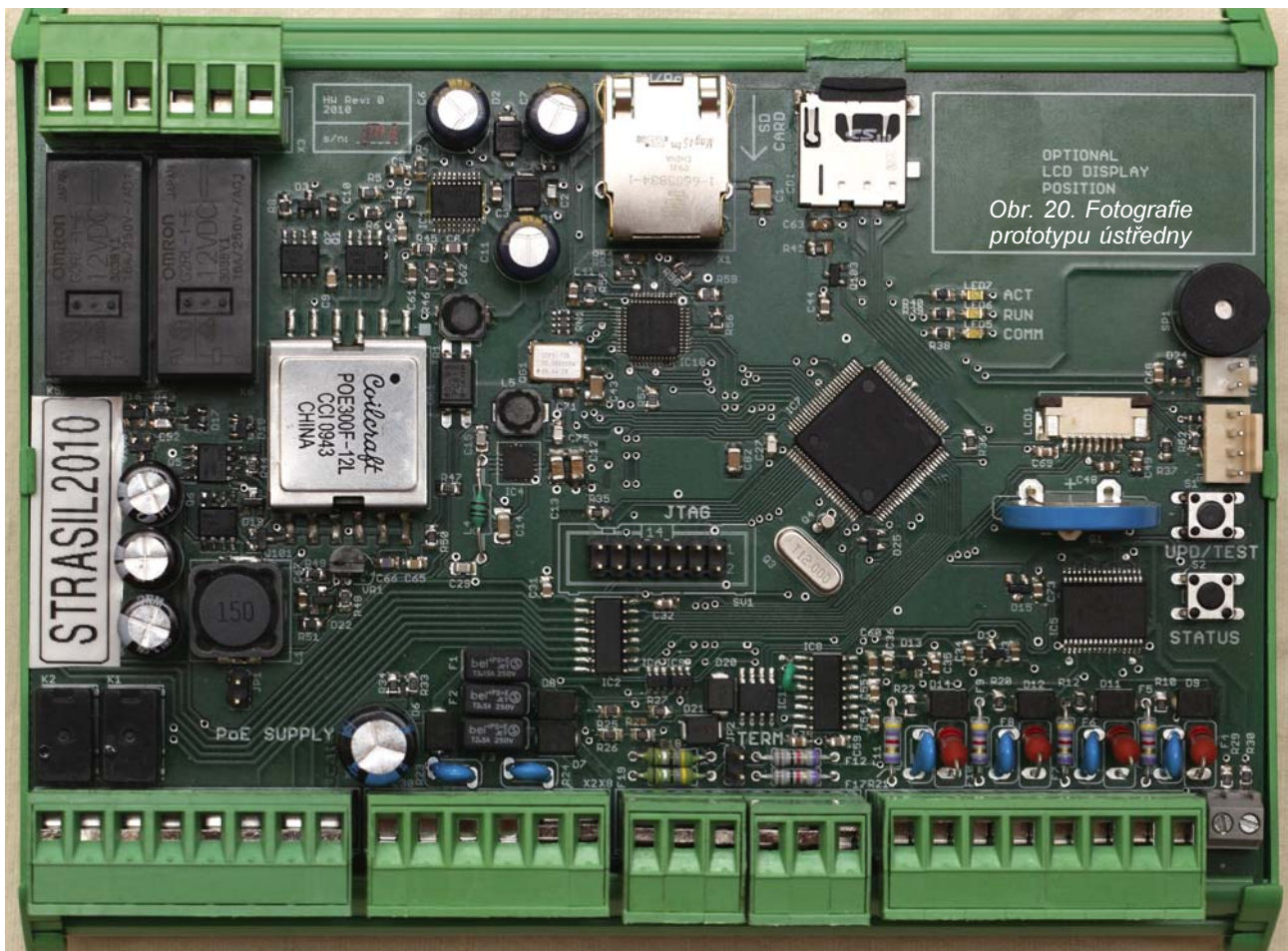
K osazené desce připojíme napájecí napětí 12 V z laboratorního zdroje na svorku +12VEXT: proudový odběr by měl být menší než 100 mA. Nyní můžeme připojit rozhraní RS-232 k počítači, restartovat ústřednu s přidruženým tlačítkem UPD/TEST a programem Flash Magic nahrát firmware do mikrokontroléru. Na paměťovou kartu microSD v počítači nakopírujeme základní konfigurační soubory z www stránky autora, kartu vložíme do ústředny a ústřednu opět restartujeme.

Nyní by mělo být možné přistupovat na IP adrese 192.168.1.123 na www rozhraní ústředny a ověřit zbývající funkce.

V případě zájmu o vlastní vývoj firmware, doporučuji začít zavedením ukázkové distribuce FreeRTOS [30], na jejímž základě byl následně vytvořen finální software zařízení.



Obr. 19. Diagnostika stavu ústředny



Obr. 20. Fotografie prototypu ústředny

## Závěr

Uvedený návrh ústředny byl prakticky ověřen realizací jednoho prototypu (obr. 20). Ústředna prokázala dostatečný výkon, spolehlivost a rozšiřitelnost pro realizaci všech běžných úloh v oboru EZS.

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

Podklady pro výrobu DPS, základní firmware a doplňující informace k softwaru a nastavení zařízení jsou dostupné na webu [www.strasil.cz](http://www.strasil.cz).

## Seznam literatury

*Pozn. redakce:* Pro velký rozsah byl seznam i s podklady pro DPS umístěn na [www.aradio.cz](http://www.aradio.cz).

## Seznam součástek

R1	63,4 Ω (SMD 0805)
R2	24,9 kΩ (SMD 0805)
R3, R4, R30	68 kΩ (SMD 0805)
R5	10 Ω (SMD 0805)
R6	0,12 Ω (SMD 0805)
R7	1 kΩ (SMD 0805)
R8, R27, R28, R31, R34, R35, R36, R50, R51, R56	10 kΩ (SMD 0805)
R9, R11, R13, R21, R23, R24	14VDC
R10, R12, R20, R22	820 Ω (SMD 0805)
R25, R26, R29, R33	47 kΩ (SMD 0805)
R32	33 kΩ (SMD 0805)
R37, R52	4,7 kΩ (SMD 0805)
R38, R39, R40	470 Ω (SMD 0805)

R41	4,7 Ω (SMD 0805)
R42	100 Ω (SMD 0805)
R43, R44, R45, R47, R53, R54, R57	2,2 kΩ (SMD 0805)
R46	330 Ω (SMD 0805)
R48	82 kΩ (SMD 0805)
R49	22 kΩ (SMD 0805)
R55	4,87 kΩ 1% (SMD 0805)
R58, R59, R60, R61	49,9 Ω (SMD 0805)
RN1	2,2 kΩ (SMD 1206/4)
C1	2n2/2kV (SMD 1210)
C2	1 nF, 100V (SMD 0805)
C3	100 nF, 100V, X7R (SMD 0805)
C4, C28, C31, C32, C40, C41, C42, C44, C45, C46, C50, C54, C55, C59, C60, C63, C68 až C73, C80	100 nF (SMD 0805)
C5, C10, C33, C34, C35, C36, C48, C49, C62, C67	1 μF, X7R (SMD 0805)
C6, C7, C11	22 μF (Elyt RM 3,5)
C8	47 pF (SMD 0805)
C9	47 nF/250V (SMD 0805)
C12 až C14, C43	10 μF, tantal (SMD B)
C15, C27, C29, C74 až C79	1 nF, NP0 (SMD 0805)
C30	1000 μF, 25V, 105C (Elyt RM 5)
C37, C38, C39, C47	22 pF (SMD 0805)
C52	100 pF (SMD 0805)
C56, C57, C58	100 μF (Elyt RM 3,5)
C61	22 nF (SMD 0805)
C65	15 nF (SMD 0805)
C66	4,7 pF (SMD 0805)
C81, C82	10 μF/X7R (SMD 1206)
D1, D	2SMBJ58A
D3, D4, D5, D16, D19	BAS16
D6 až D12, D14	SMBJ17A
D10, D13, D23, D24	PESD3V3S2UAT
D15	BAS40
D17, D18	BZX84C12V
D20, D21	SMBJ12A
D22	BAV199
D25	BAV70

IC1	TPS23756
IC2	ULN2003AD
IC4	TPS62111
IC5	MC33879
IC6, IC9	741G3157DBVR
IC7	LPC2368
IC8	ST232 (SO-16)
IC10	DP83848C
IC11	SN65HVD3082ED
VR1	TL431 (SO-8)
LCD1	LCD BO1602DGPN (neosazen!)
LED5, LED6, LED7	SMD 0805
OK1	PC817 (DIP 4)
Q1, Q5, Q6	SI4848 (SO-8)
Q100, Q101	MMBTA06 (SOT-23)
Q3	12MHz (HC49U)
Q4	32 768 Hz (TC26)
Q7	IRF6216 (SO-8)
Q103	IRLML6401TR (SOT-23)
QG1	Krystalový oscilátor 50 MHz CFPS-73
F1	Pojistka TE5 3,15A/F
F12, F17	Pojistkový rezistor 1 kΩ/0,33 W
F18, F19	Pojistkový rezistor 4,7 Ω/0,33 W
F2, F3	Pojistka TE5 2,5A/F
F4, F6, F8, F10	Pojistkový rezistor 2,2 Ω/1 W
F5, F7, F9, F11	Pojistk. rezistor 4,7 kΩ/0,33 W
G1	CR2032 vertik.
Držák Italtronic	E107
CD1	Objímka SD karty 3M 2900
JP1, JP2	Jumper 2 pin
K1, K2	Omron G5V1 12V
K5, K6	Omron G2R 12V
L1	22 μH, DE1207
L2, L7	Feritka
L3	EPCOS B82462G4 22uH
L4	DLA27-N 27uH
L5	EPCOS B82462G4682M
S1, S2	P-B1720
SL1	PSH02-04P
SL2	PSH02-02P
SP1	AL60P
SV1	PFL14
TR1	POE300F
X-2, X-3, X-8	MSTBV6
X-4, X-5	MSTBV8
X-6	AK550/2
X-10	Tyco 6605834-1