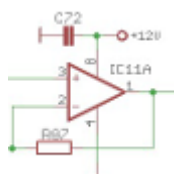


## Prenos systémových veličín v solárnych elektrárňach

Magyar Martin · Elektrotechnika

23.06.2014



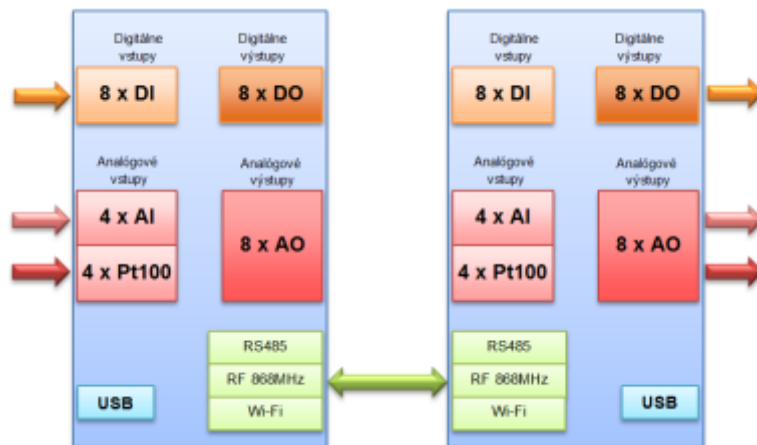
V tomto článku popíšeme zariadenie ktoré umožňuje zber signálov (analogových aj digitálnych) a komunikáciu v systémoch solárnych elektrární. Popíšeme si vlastnosti a spôsob návrhu zariadenia DPD 01. V jednotlivých kapitolách popíšeme návrh a funkciu jednotlivých jeho častí. Od zdroja, cez vstupy a výstupy, až po procesorové jadro.

### 1. Úvod

V praxi, pri prevádzke solárnych elektrární je potrebné, pre rýchle vyhľadávanie a odstraňovanie prípadných porúch alebo vyhľadávanie slabých miest systému, merať niektoré prevádzkové parametre. Čím viac parametrov sa sníma, tým jednoduchšie a rýchlejšie je odhalenie príčiny poruchy alebo straty výkonu systému. Pri zbere dát z rozsiahlych systémov však narážame na problém, ako také veľké množstvo dát preniesť na miesto spracovania. Ako najefektívnejšie sa javí priamo na mieste dáta previesť do digitálnej formy, zlúčiť do jedného dátového kanála a preniesť na miesto spracovania. Niekedy však nie je možné sa s nameranými dátami v digitálnej forme pripojiť priamo na merací systém a je nutné dáta previesť naspäť do analogového tvaru. Tento problém rieši napríklad zariadenie DPD 01. Tento dokument popisuje vlastnosti zariadenia a postup jeho návrhu. Postupne prejdeme funkciu a návrh všetkých jeho častí.

### 2. Popis riešenia komunikačného systému ako celku

Systém pozostáva z dvoch rovnakých uzlov (zariadení) navzájom prepojených dátovou linkou. Namerané dáta sú krížovo prenášané z jedného uzla do druhého. Digitálne vstupy z prvého uzla sú prenesené na digitálne výstupy na druhom uzle a naopak. Analogové vstupy sú prenášané na analogové výstupy. Tak isto opačným smerom z uzla dva na uzol jedna.



Obr. 1. Štruktúra systému prenosu analógových dát digitálnou cestou

Každý z oboch uzlov má nasledovné vstupy:

- 4 x analógový vstup. Ten môže byť riadený aktívnym signálom 0-10V alebo pasívne, pripojeným potenciometrom. Môže tak priamo merať signál z odporových snímačov bez nutnosti ďalšej pridanej elektroniky.
- 4 x Vstup PT100. Sem je možné pripojiť priamo platinový odporový snímač teploty Pt100. Fyzický merací rozsah je daný zapojením na cca  $-40^{\circ}\text{C}$  až  $320^{\circ}\text{C}$ , ale konfiguráciou je možné ho zúžiť pre potreby zladenia s výstupom 0-10V. Je možné nastaviť napríklad pre rozsah teplôt  $0-100^{\circ}\text{C}$  výstup 0-10V.
- 8 x Digitálny vstup. Digitálne vstupy sú „aktívne“ na ich aktiváciu stačí pripojiť spínací kontakt. Koncový spínač alebo tlačidlo.

a nasledovné výstupy:

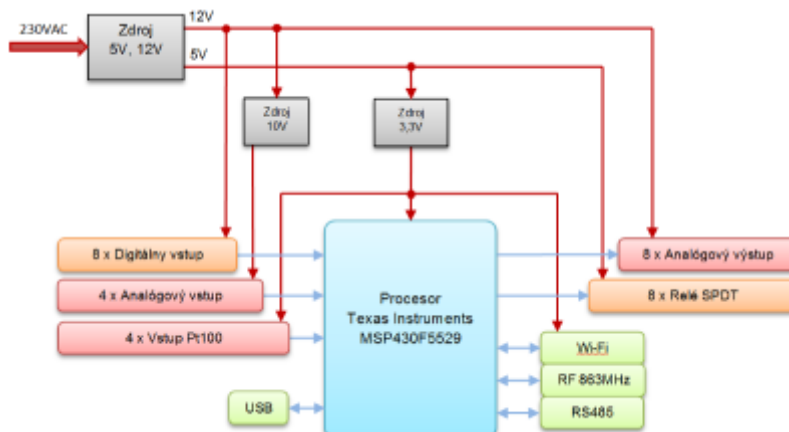
- 8 x analógový výstup 0 - 10V. Každý výstup môže byť nakonfigurovaný samostatne čo sa týka rozsahu ale aj zdroja signálu. Napríklad vstup 0-5V na prvom vstupe prvého uzla môže byť nasmerovaný na tretí analógový výstup druhého uzla, a to s rozsahom 0-10V. Zdroj signálu pre analógový výstup nemusí byť len vstup na druhom konci dátovej linky. Môže to byť aj signál na lokálnom vstupe daného uzla. Tak je možné napríklad meranú teplotu poslať na druhý koniec dátovej linky, ale zároveň ju zobraziť aj lokálne na meracom prístroji pripojenom k lokálnemu výstupu. Pre analógový výstup je možné definovať aj „bezpečnú“ hodnotu výstupu, ktorá sa na výstup zapíše pri strate komunikácie.
- 8 x SPDT reléový výstup. Osem prepínacích relé  $\sim 250\text{V}$  až 8A ktorých výstup zodpovedá príslušnému vstupu na druhom konci dátovej linky.

Dátová komunikácia medzi uzlami môže prebiehať po linke RS485 alebo bezdrôtovo, pomocou RF komunikácie alebo pomocou Wi-Fi. Zariadenie obsahuje aj rozhranie USB, pomocou ktorého je možné celé zariadenie konfigurovať.

### 3. Popis hardvérového riešenia

Vnútoraná štruktúra zariadenia pozostáva z napájacích zdrojov, procesora, elektroniky pre spracovanie digitálnych a analógových vstupov a výstupov. Striedavé napájacie napätie 230V je spínaným zdrojom transformované na 5V a 12V. Tie sú následne lineárnymi stabilizátormi stabilizované na 3,3V pre procesorové jadro systému a na

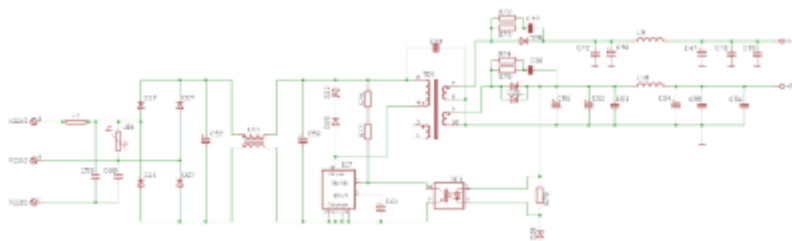
10V pre napájanie potenciometrov pripojených k analógovým vstupom. 5 voltové napätie je použité priamo na spínanie prepínacích relé. 12V slúži na napájanie výstupných operačných zosilňovačov analógového výstupu. Bloková schéma zariadenia vyzerá nasledovne:



Obr. 2. Vnútroštruktúra zariadenia na prenos analógových dát digitálnou cestou

#### 4. Sieťový zdroj 230VAC /5V, 12V

Sieťový zdroj je založený na integrovanom obvode firmy Power Integrations (1) typu TNY275 (2) z rodiny TinySwitch-III. Firma ponúka v rámci podpory návrhu zdrojov program PI Expert 9 (3) na výpočet kompletného zdroja. Po spustení programu len vyberiete rodinu integrovaných obvodov, rozsah vstupného napätia a počet a parametre výstupných napätí. Program urobí výber konkrétneho riadiaceho integrovaného obvodu a vykoná výpočet a optimalizáciu okolitých súčiastok. Výsledkom výpočtov je schéma zapojenia s konkrétnymi súčiastkami z databázy programu. Jednotlivé súčiastky v schéme je možné upravovať (vyberať z databázy) a hodnoty okolitých súčiastok sa prepočítajú automaticky. Vypočítajú sa aj zaťaženia a výkonové straty kritických komponentov. Výsledná vypočítaná schéma vyzerá nasledovne.



Obr. 3. Výsledná schéma sieťového zdroja ~230V

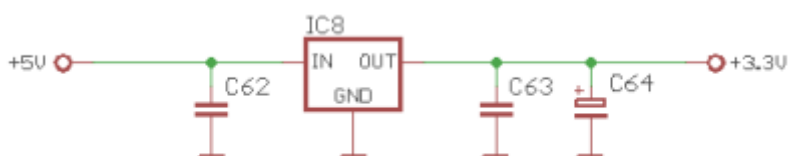
#### 5 ZDROJ 5V/3,3V

Tento zdroj je použitý na napájanie procesora, a obvodov komunikačných rozhraní. Vykonaním analýzy požiadaviek na spotrebu jednotlivých blokov:

- Procesor - cca 10mA
- Sériová EEPROM - max 300μA
- RF integrovaný obvod - max 12.5mA
- Wi-Fi modul - max 280mA
- RC485 - max 80mA

- Teplomery Pt100 - max 100mA
- Digitálne vstupy - cca 100  $\mu$ A

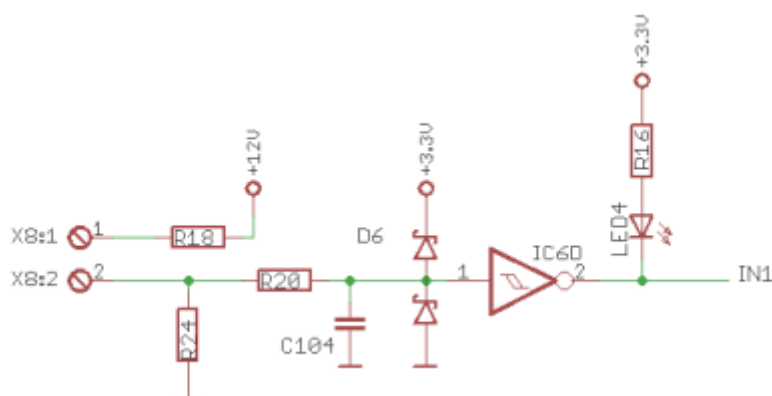
sme usúdili, že na napájanie digitálneho jadra Bude stačiť zdroj 3,3V/500mA. Tento zdroj je možné vyriešiť lineárnym nízko úbytkovým stabilizátorom. Celková strata na zdroji bude max 0,6W. Takúto stratu ochladí aj malé SMD DPACK puzdro priletované na plošnom spoji. Na napájanie sme použili integrovaný obvod firmy STMicroelectronics (4) typ LF33CDT (5). Výsledná schéma zdroja vyzerá nasledovne. C62 a C63 sú 100nF keramické a C64 je 10 $\mu$ F tantalový kondenzátor.



Obr. 4. Schéma zdroja 5V/3,3V s lineárnym stabilizátorom

## 6. Zber dát zo systému - digitálne vstupy

Digitálne vstupy sú navrhnuté ako pasívne. To znamená, že na ich aktiváciu netreba priviesť na vstup aktívny signál (napätie), ale stačí kontaktom relé alebo tlačidlom skratovať vstupné svorky.

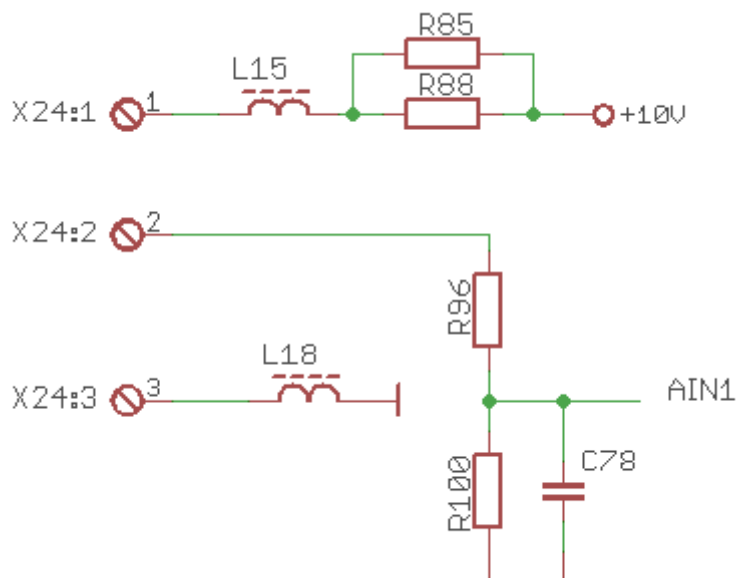


Obr. 5. Schéma zapojenia digitálneho vstupu

Odpor R18 chráni 12V zdroj pred priamym vyvedením na svorkovnicu a prípadným preťažovaním pri inom použití ako je odporúčané zapojenie. R18 a R24 tvoria delič z 12V na 3.3V a určujú prúd prechádzajúci spínacím kontaktom. Určitý minimálny prúd kontaktom je potrebný na jeho spoľahlivú funkciu. V tomto prípade bol vzhľadom na celkovú spotrebu systému kompromisne určený na 2,5mA. Signál je filtrovaný proti kontaktovým zákmitom RC členom R20 - C104 a tvarovaný Schmittovým hradlom. Dióda D6 slúži ako ochrana hradla IC6D pred prepätím.

## 7. Zber dát zo systému - analógové vstupy

Zariadenie obsahuje 4 analógové vstupy. Všetky štyri sú rovnocenné a umožňujú pripojenie napäťového signálu 0-10V alebo pripojenie potenciometra. Napäťový signál sa pripája na svorky 2 a 3, potenciometer medzi svorky 1 a 3, bežec na svorku 2.

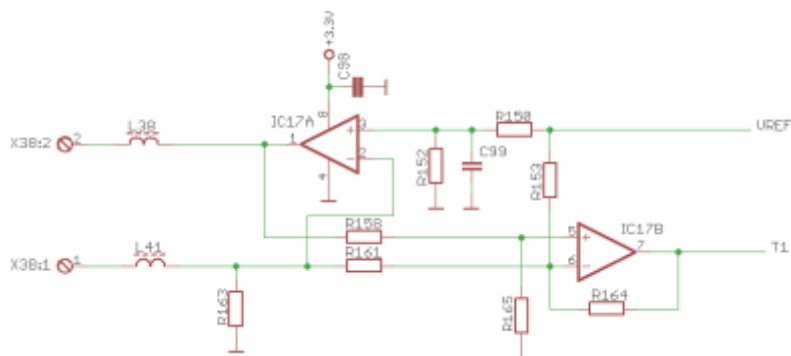


Obr. 6. Schéma zapojenia napätového analógového vstupu

L15, L18 sú feritové perly ktoré majú zabrániť vyžarovaniu prípadného rušenia prívodnými káblami k potenciometru. R96 a R100 robia delič vstupného napätia na úroveň vhodnú pre procesor.

## 8. Zber dát zo systému - vstupy merania teploty

Vstupy merania teploty podporujú platinový odporový snímač Pt100. Rozsah merania odporu je 80-220 $\Omega$ , čo zodpovedá teplote -40°C až 320°C. Snímač sa pripája ku vstupným svorkám (X38:1, X38:2).

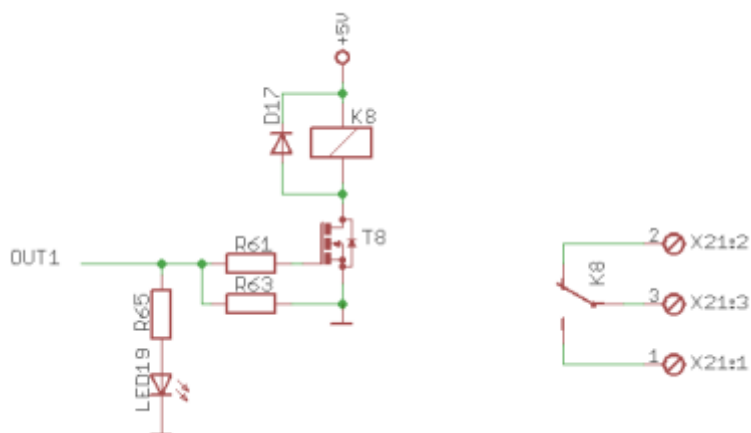


Obr. 7. Schéma zapojenia analógového vstupu metania teploty

Operačný zosilňovač IC17A tvorí spolu s referenčným napätím VREF (upraveným deličom R150, R152) a R163 prúdový zdroj pre snímač. Referenčné napätie VREF ide priamo z internej referencie v procesore. Operačný zosilňovač IC17B tvorí diferenciálny zosilňovač napätového úbytku na snímači. Odpor R153 posúva meraný rozsah o cca 80 $\Omega$  aby sa lepšie využil vstupný rozsah A/D prevodníka v procesore. Feritové perly L38 a L41 majú zabrániť vyžarovaniu prípadného rušenia prívodnými káblami k snímaču teploty a naopak, prijímaniu rušenia z vodičov.

## 9. Výstup dát do systému - digitálne výstupy

Zariadenie obsahuje 8 digitálnych výstupov. Sú urobené pomocou prepínacích relé.

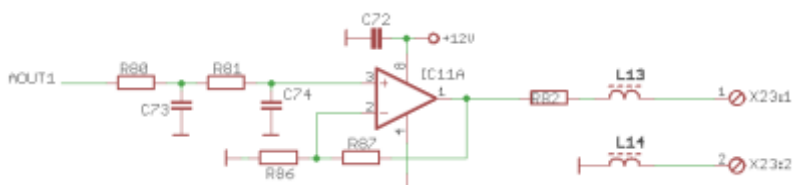


Obr. 8. Schéma zapojenia digitálneho výstupu

Obrázok ilustruje zapojenie jedného výstupného kanála. Signál je spínaný priamo z procesora (OUT1). R65, LED19 slúžia ako indikácia stavu. R63 drží relé vypnuté počas resetu procesora pri nábehu napájania.

## 10. Výstup dát do systému - analógové výstupy

Použitý procesor nemá zabudované D/A prevodníky. Analógový výstup je realizovaný PWM moduláciou. Šírkovo modulovaný výstup z procesora je filtrovaný dvoma RC filtermi R80 - C73 a R81 -C74. Následne je zosilnený neinvertujúcim zosilňovačom IC11A so zosilnením 3,7x.



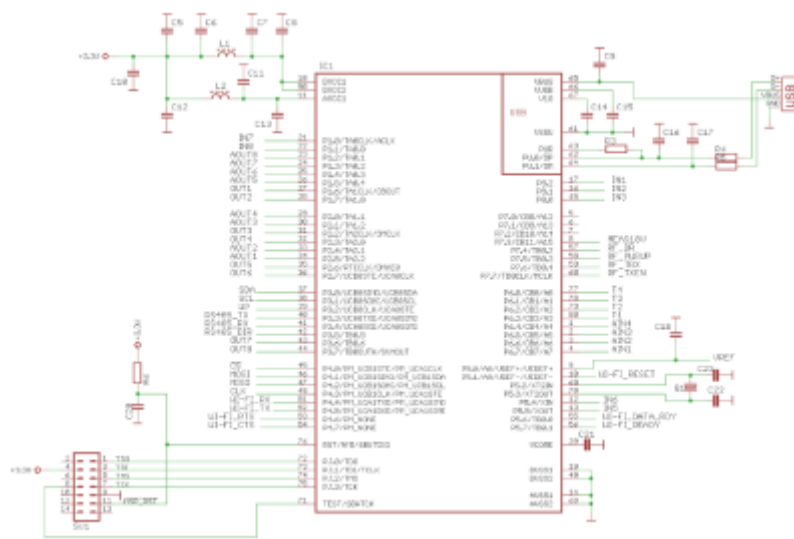
Obr. 9. Schéma zapojenia analógového výstupu

Pretože na generovanie PWM signálu je použitý digitálny výstup procesora napájaného z lineárneho napájacieho zdroja, ktorý nemá parametre napätvej referencie, je vyššia presnosť výstupu dosiahnutá korekčným zásahom procesora. Procesor si meria vlastné napájacie napätie a upravuje výstup PWM tak, aby korigoval výstup na základe skutočnej hodnoty napájacieho napätia. Zosilnenie operačného zosilňovača 3,7 x dáva plné výstupné napätie 10V pri vstupe 3,24V takže ostáva priestor pre kompenzáciu.

## 11. Procesorové jadro

Celé zariadenie je riadené mikroprocesorom firmy Texas Instruments (6) z rady 16bitových mikroprocesorov MSP430. Použitý je typ MSP430F5529 (7). Tento typ má pre náš účel dostatok vstupov a výstupov, dostatok časovačov na generovanie PWM výstupov. Má zabudované fyzické rozhranie USB ktoré použijeme na pripojenie k PC počas nastavovania parametrov. Významným dôvodom pre výber tohto procesora je aj výborná softvérová podpora so strany výrobcu. Texas Instruments ponúka vlastné vývojové prostredie (IDE) Code Composer Studio(CCS) (8) a k dispozícii množstvo príkladov a celých projektov na uľahčenie práce s tvorbou softvéru. Napríklad na podporu USB má knižnicu MSP430 USB Developers Package (9) s množstvom príkladov použitia. Všeobecné príklady sú priamo zabudované vo vývojovom prostredí

vo forme MSP430Ware (10). Zapojenie samotného procesora je jednoduché a vychádza z odporúčaného zapojenia.



Obr. 10. Schéma zapojenia procesora

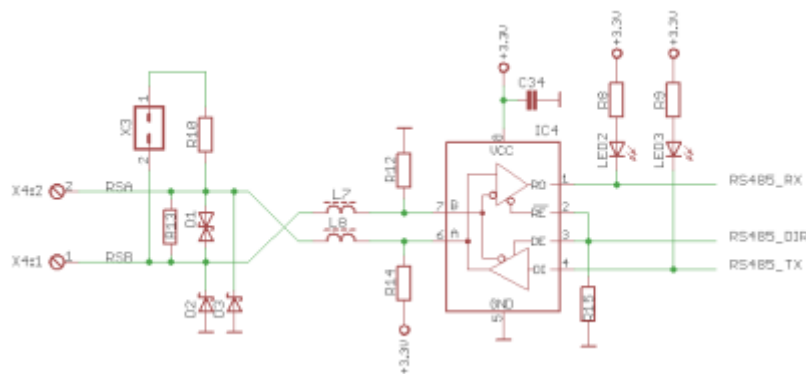
Napájanie procesora je filtrované blokovacími kondenzátormi a feritovými perlami. Zvlášť digitálne napájanie a zvlášť analógové. Konektor SV1 slúži na programovanie internej FLASH pamäte pomocou programátora MSP-FET430UIF (11) priamo z vývojového prostredia CCS. Kryštál Q1 má 4MHz a vnútorne sa násobí na 24MHz.

## 12. Komunikačné rozhrania

Zariadenie môže byť prepojené troma spôsobmi. Sériovou linkou RS485, rádiovým rozhraním, alebo môže byť pripojené k sieti Wi-Fi. Komunikačné protokoly linky RS485 aj rádiovkej komunikácie sú proprietárne. Komunikačné linky sú hardvérovo implementované nasledovne.

### RS485

V tomto zapojení je použité štandardné zapojenie integrovaného obvodu diferenciálneho rozhrania RS485 typu SN65HVD12D (12).

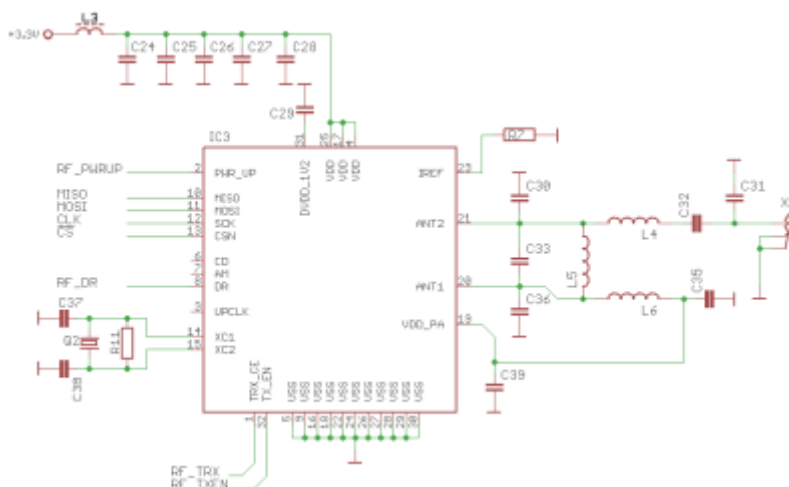


Obr. 11. Schéma zapojenia sériového rozhrania RS485

### Rádiové rozhranie 868MHz

Ako rádiové rozhranie je použitý integrovaný obvod firmy Nordic Semiconductor (13)

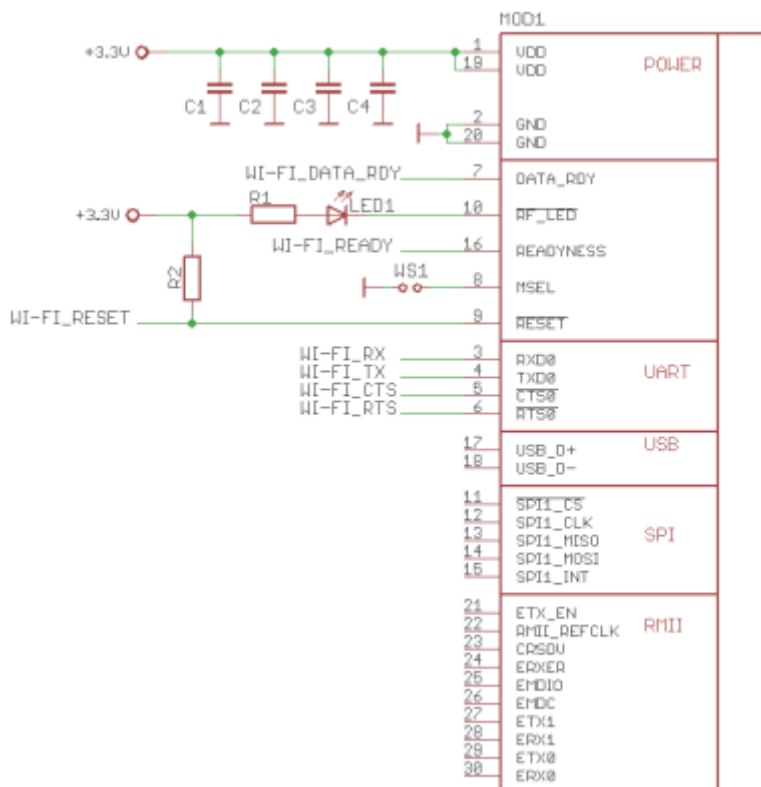
typ nRF905 (14). Rádiový obvod je nakonfigurovaný na komunikáciu na frekvencii 868MHz. S procesorom komunikuje po sériovej sinke SPI. Zapojenie vychádza z odporúčaného zapojenia výrobcu.



Obr. 12. Schéma zapojenia rádiového komunikačného rozhrania

## Wi-Fi

Bezdrôtová Wi-Fi komunikácia je riešená modulom od firmy Connect One (15). Typ modulu je IW-SM2144N1-EU-0 (16). Modul podporuje tieto internetové protokoly: ARP, ICMP, IP, UDP, TCP, DHCP, DNS, NTP, SMTP, POP3, MIME, HTTP, FTP a TELNET. Tieto bezpečnostné protokoly: SSL3/TLS1, HTTPS, FTPS, RSA, AES-128/256, 3DES, RC-4, SHA-1, MD-5, WEP, WPA a WPA2. Protokoly AES, 3DES a SHA sú podporované hardvérovo. Modul pracuje v európskom frekvenčnom pásme 2.412-2.472GHz a má 13 kanálov. Podporované sú štandardy IEEE 802.11b a IEEE 802.11g.



Obr. 13. Schéma zapojenia Wi-Fi komunikačného modulu



## 13. Záver

V tomto článku sme si predstavili zariadenie DPD 01. Popísali sme si jeho vlastnosti a prešli sme návrh a funkciu jednotlivých jeho častí. Od zdroja, cez vstupy a výstupy, až po procesorové jadro. Zariadenie bolo vyvíjané pre potreby prenosu dát v systémoch solárnych elektrární, využitie však nájde aj v iných oblastiach. Je využiteľný v systémoch priemyselnej aj domácej automatizácie. Dá sa použiť na monitorovanie vzdialených priemyselných celkov ako sú zásobníky, prečerpávacie alebo čistiace stanice. Na monitorovanie vzdialených objektov ako sú sklady alebo skleníky. Pre domácich nadšencov je možné ho použiť na monitorovanie studní alebo na dohľad nad domácimi zvieratami v kurínoch, chlievoch alebo kotercoch. Dá sa použiť na monitorovanie životných podmienok zvierat, ale aj na diaľkové kŕmenie, napájanie alebo vypúšťanie domácich zvierat z pohodlia domova. Dá sa použiť aj na zavlažovanie záhrad alebo otváranie skleníkov.

## Podakovanie

Táto publikácia bola vytvorená v rámci projektu Výskum technologickej základne pre návrh aplikácií využívania obnoviteľných zdrojov energie v praxi, ITMS kód 26220220083 Operačného programu Výskum a vývoj hrađený z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

1. Power Integrations. Power Integrations. [Online]  
<http://www.powerint.com/>
2. —. TNY274-280 TinySwitch-III Family. [Online]  
<http://www.powerint.com/sites/default/files/product-docs/tny274-280.pdf>
3. —. PI Expert Design Software. Power Integrations. [Online]  
<http://www.powerint.com/en/design-support/pi-expert-design-software>
4. STMicroelectronics. STMicroelectronics. [Online]  
<http://www.st.com/web/>
5. —. LF33C Very Low Drop Voltage Regulators With Inhibit. [Online]  
<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000546.pdf>
6. Texas Instruments. Texas Instruments. [Online]  
<http://www.ti.com/>
7. —. MSP430F5529 16-Bit Ultra-Low-Power Microcontroller. [Online]  
<http://www.ti.com/product/msp430f5529>
8. —. Code Composer Studio Integrated Development Environment for MSP430. [Online]  
<http://www.ti.com/tool/ccstudio-msp430>
9. —. MSP430 USB Developers Package. [Online]  
<http://www.ti.com/tool/msp430usbdevpack>
10. —. MSP430Ware. [Online]  
<http://www.ti.com/tool/msp430ware>
11. —. MSP430 USB Debugging Interface. [Online]  
<http://www.ti.com/tool/msp-fet430uif>
12. —. SN65HVD12 - 3.3V Differential Transceiver. [Online]  
<http://www.ti.com/product/sn65hvd12>

13. Nordic Semiconductor. Nordic Semiconductor. [Online]  
<http://www.nordicsemi.com/eng>
  14. —. nRF905 Low power Multiband Sub 1-GHz RF Transceiver IC. [Online]  
[http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Sub-1-GHz-RF/nRF905/\(language\)/eng-GB](http://www.nordicsemi.com/eng/Products/Sub-1-GHz-RF/nRF905/(language)/eng-GB)
  15. Connect One. Connect One. [Online]  
<http://www.connectone.com/>
  16. —. Nano WiReach - NEW COMMERCIAL VERSION. [Online]  
[http://www.connectone.com/?page\\_id=215](http://www.connectone.com/?page_id=215)
-