VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

NÁVRH OPTIMALIZÁTORU ENERGIE PRO ON-GRID FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY RODINNÝCH DOMŮ
POWER OPTIMIZER DESIGN FOR ON-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR FAMILY HOUSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bianka Trenčanová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Radoslav Cipín, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Studentka: Bianka Trenčanová ***ID:*** 164622
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Návrh optimalizátoru energie pro on-grid fotovoltaické systémy rodinných domů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Diskuze problematiky malých fotovoltaických elektráren pro rodinné domy se zaměřením na on-grid systémy.
2. Návrh modelu malé fotovoltaické elektrárny s respektováním skutečných parametrů prostředí.
3. Hardwarový návrh digitálně řízeného optimalizátoru toku energie.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura:

[1] Patočka M. Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice. Brno: VUTIUM, 2011. 564 s. ISBN: 978-80-214-4003-6.

[2] Stapleton G., Neill S. Grid-connected Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation. Routledge, 2012. 256 s. ISBN: 978-18-497-1344-3.

[3] Boxwell M. Solar Electricity Handbook - 2015 Edition: A simple, practical guide to solar energy - designing and installing solar PV systems. Greenstream Publishing, 2015. 204 s. ISBN: 978-19-076-7045-9

Termín zadání: 21.9.2015 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Radoslav Cipín, Ph.D.
Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., *předseda oborové rady*

UPOZORNĚNÍ:
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá hardware-ovým návrhom optimalizátora toku energie z fotovoltaickej elektrárne, aby sa zamedzilo prietokom vyrobenej energie do siete v grid-on systéme v prípade prebytku vyrobenej energie. V teoretickej časti približuje fotovoltaiku ako takú, typy elektrární a situáciu v Slovenskej a Českej republike. Praktická časť sa zaoberá samotným návrhom optimalizátoru a jeho hlavnými časťami s popismi technických parametrov jednotlivých komponentov, čiastočnými schémami zapojenia a na záver aj celej schémy ako celku.

Abstract

This thesis deals with hardware design of an optimizer of energy flow from photovoltaic power plant to prevent an overflow of power made by plant to grid in grid-on system in case of excess of made energy. Theoretical part is aimed at photovoltaic, types of photovoltaic power plants and situation in Slovakia and Czech republic. Practical part is about designing the energy flow optimizer. It describes its main parts with descriptions of components' features, partial connection diagrams and finally connection diagram as a whole.

Kľúčové slová

vývoj a trendy vo fotovoltaike;fotovoltaická elektráreň; grid-on elektráreň; model malej FV elektrárne; optimalizácia toku energie; akumulačné zariadenie; regulácia výkonu

Keywords

developments and trends in photovoltaics;photovoltaic power plant; grid-on plant; small PV power station design; optimalization of energy flow; energy storage devices; power regulation

Bibliografická citácia

TRENČANOVÁ, B. *Návrh optimalizátoru energie pro on-grid fotovoltaické systémy rodinných domů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radoslav Cipín, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Návrh optimalizátoru energie pro on-grid fotovoltaické systémy rodinných domů* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne …… Podpis autora ……..

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radoslavovi Cipínovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne …… Podpis autora ……..

OBSAH

1 ÚVOD **8**

2 VÝVOJ A TRENDY VO FV **9**

2.1 ZÁKLADNÉ TYPY FV ELEKTRÁRNÍ **10**

2.2 SITUÁCIA NA SR A ČR **10**

2.3 BUDÚCNOSŤ A PODPORA FVE **11**

3 NÁVRH MODELU GRID-ON ELEKTRÁRNE **12**

3.1 MODEL GRID-ON ELEKTRÁRNE **13**

3.2 SPOTREBIČ ČÍSLO JEDEN - BOJLER **16**

3.3 SPOTREBIČ ČÍSLO DVA - KLIMATIZÁCIA **17**

4 OPTIMALIZÁTOR TOKU ENERGIE **17**

4.1 MIKROKONTROLÉR MSP 430F5529 ..... **19**

4.1.1 TECHNICKÉ PARAMETRE 19

4.2 RF KOMUNIKAČNÝ MODUL CC1101 ..... **21**

4.2.1 TECHNICKÉ PARAMETRE 22

4.3 MERACÍ MODUL ADE 7878 ..... **23**

4.3.1 TECHNICKÉ PARAMETRE PREVODNÍKA ADE 7878 23

4.4 PREVODNÍK FT 230X A UART ROZHRANIE **26**

4.4.1 TECHNICKÉ PARAMETRE PREVODNÍKA FT 230X 27

4.5 SPI KOMUNIKÁCIA A GALVANICKÝ IZOLÁTOR **28**

4.5.1 TECHNICKÉ PARAMETRE GALVANICKÉHO IZOLÁTORA ADUM 1401 29

4.6 ETHERNETOVÝ MODUL WIZ 550S2E **31**

4.6.1 TECHNICKÉ PARAMETRE ETHERNETOVÉHO MODULU WIZ 550S2E 31

4.7 DC/DC ODDEĽOVAČ A STABILIZÁTOR **32**

4.7.1 TECHNICKÉ PARAMETRE DC/DC MENIČA QDC2S-1205S 32

4.7.2 TECHNICKÉ PARAMETRE STABILIZÁTORA MCP1703-3302EDB 33

4.8 ZDROJ **33**

4.8.1 TECHNICKÉ PARAMETRE MENIČA MYRRA 47154 34

4.8.2 TECHNICKÉ PARAMETRE STEP-DOWN MENIČA L5973D 34

5 ZÁVER **35**

LITERATÚRA **36**

ZOZNAM PRÍLOH **38**

A. VÝKON MODELOVEJ FVE POČAS ROKA **39**

B.1 SCHÉMA ZAPOJENIA 1 ..... **40**

B.2 SCHÉMA ZAPOJENIA 2 ..... **41**

B.3 SCHÉMA ZAPOJENIA 3 ..... **42**

B.4 SCHÉMA ZAPOJENIA 4 ..... **43**

C.1 PLOŠNÝ SPOJ - TOP **44**

C.2 PLOŠNÝ SPOJ - BOT **45**

C.3 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - TOP **46**

C.4 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - BOT **47**

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1Blokový diagram zapojenia wattroutra do domovej inštalácie 18
Obrázok 2 Blokový diagram zapojenia optimalizátora toku energie 19
Obrázok 3 Rozloženie vývodov mikrokontroléra MSP 430F5529 [10] 20
Obrázok 4 Čiastočná schéma zapojenia vývodov mikrokontroléra MSP 430F5529 21
Obrázok 5 Rozloženie vývodov na obvode CC1101 [11] 22
Obrázok 6 Schéma zapojenia obvodu CC1101 pre frekvenciu 868MHz 23
Obrázok 7 Konfigurácia pinov modulu ADE7878 [12] 24
Obrázok 8 Schéma zapojenia obvodu ADE7878 24
Obrázok 9 Prúdový vstupný obvod 25
Obrázok 10 Napäťový vstupný obvod 26
Obrázok 11 Princíp UART komunikácie [15] 27
Obrázok 12 Konfigurácia pinov na obvode FT230X [16] 28
Obrázok 13 Schéma zapojenia FT230x 28
Obrázok 14 SPI zbernica; jeden master a jeden slave [17] 29
Obrázok 15 Konfigurácia pinov na obvode ADUM1401 [18] 30
Obrázok 16 Schéma zapojenia obvodu ADUM1401 30

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

ZOZNAM SYMBOLOV:

$R_{10,11}$	Odpory prúdových vstupných obvodov modulu ADE7878	[Ω]
$R_{23,24}$	Odpory napäťových vstupných obvodov modulu ADE7878	[Ω]
N	Pomer prúdového transformátoru	[-]
I_{FS}	Maximálny prúd meracej časti systému	[A]
U	Špičkové napätie	[V]
U_P	Maximálna veľkosť napätia signálu na pinoch VAP, VBP, VCP modulu ADE7878	[V]

ZOZNAM SKRATIEK:

FVE	Fotovoltaická elektráreň
OZE	Obnovitelné zdroje energie
FV	Fotovoltaika/fotovoltaický
VDS	Verejná distribučná sústava
SR	Slovenská republika
ČR	Česká republika
SSE-D	Stredoslovenská energetika - Distribúcia, a.s.
TI	Texas Instruments
JTAG	Joint Test Action Group
ADC	Analog to Digital Converter
RTC	Real-time clock (hodiny reálneho času)
SW	Software
RF	Radio Frequency
CRC	Cyclic Redundancy Check
MTP	Media Transfer Protocol
A/D	Analog - Digital
MCU	Mikrokontrolér
DC	Jednosmerný (prúd)
AC	Striedavý (prúd)
TUV	Teplá úžitková voda

1 ÚVOD

V súčasnosti stále viac narastá záujem spotrebiteľov o malé zdroje obnoviteľnej energie pre domácnosti, pričom najväčší záujem je o fotovoltaické riešenia na výrobu elektriny alebo o solárny ohrev vody. Fotovoltaika je spôsob priamej premeny slnečnej energie na elektrickú energiu, ktorá má tú výhodu, že je ľahko distribuovateľná po dome bez nutnosti veľkých zásahov do muriva, prípadne armatúr. Práve to ju robí príťažlivou pre spotrebiteľov, ktorí chcú byť čo najviac nezávislí od distribučnej siete, alebo ak má slúžiť len ako záložný zdroj. Povedomie o týchto technológiách je síce pomerne vysoké, no napriek tomu domácnosti reálne využívajú malé OZE len veľmi málo. Dôvodom môžu byť vysoké náklady a fakt, že účinnosti týchto technológií sa zatiaľ pohybujú relatívne nízko, čo so sebou nesie riziko, že sa investícia buď nezhodnotí vôbec, alebo až o pár rokov. Prieskumy ukazujú [1], že spotrebiteľom najviac ide o úsporu pri svietení, prevádzke domácich spotrebičov a kúrení. Čoraz väčší je dopyt po energetických inováciách známych pod označením smart-home (ide najmä o inteligentné termostaty, osvetlenie a zásuvky). Tieto zariadenia umožňujú užívateľom mať väčšiu kontrolu nad spotrebou energie v ich domovoch, čo im pomáha ekonomickejšie a aj ekologickejšie viesť svoju domácnosť. Jedným z takýchto zariadení je optimalizátor toku energie.

Dnešný svet funguje na báze multifunkčnosti. Súčasní inžinieri a vývojári sa snažia vmestiť čo najviac funkcií do jediného prístroja. Optimalizátor toku energie zlučuje funkciu wattmetra a programovateľného regulátora, ktorý reguluje prebytky energie z domácej FVE a tým výrazne skracuje dobu návratnosti celej elektrárne. Spotrebiče sú pripojované priamo naň, takže odpadajú zbytočné straty energie v elektrizačnej sústave.

Práca stručne priblíži problematiku FVE pre obytné priestory, popíše základné typy FVE so zameraním na grid-on systém a navrhne model grid-on elektrárne, ktorej parametre budú určené na základe modelu reálneho domu, doplneného o vhodné akumulačné zariadenia. Pre túto modelovú situáciu navrhne hardvér optimalizátoru energie doplneného o štvorkvadrantový merač výkonu, ktorý bude vyhodnocovať prietok výkonu do siete a bude ho regulovať do akumulačných zariadení. Základom optimalizátoru bude mikrokontrolér MSP430.

2 VÝVOJ A TRENDY VO FV

Účinnosť FV panelov sa neustále zvyšuje. Keďže o tieto technológie je stále väčší záujem, vývoj rýchlo napreduje. Bežne montované panely na Slovensku v roku 2009 mali výkon 170W, dnes majú tie isté panely výkon 250W. Za 5 rokov sa účinnosť zvýšila cca o 55% [2] a momentálne sa účinnosti FV panelov pohybujú priemerne v rozmedzí 15-17%. Bežne používaným materiálom na výrobu FV panelov bol monokryštalický a amorfný kremík. V súčasnosti sa však kvôli jeho náročnému technologickému spracovaniu stále viac experimentuje s novými materiálmi, ako vodivé polyméry, anorganické (napr. FeS, CuS, CuO, CdSe) [3]a iné materiály (CdTe, GaAs a iné). Vývoj týchto riešení je stále len v začiatkoch a má mnoho nedostatkov, medzi ktoré patria napríklad nízka účinnosť, chemická a fotochemická nestabilita, či toxicita materiálov. Na pokroku v tomto odvetví sa výrazne podieľajú aj nanotechnológie, rôzne neštandardné mechanizmy (napr. excitácia viacerých elektrónov jedným fotónom, štiepenie energetickejších fotónov alebo dvojfotónová absorpcia), či koncentračné články (optické prvky presmerujúce čo najviac svetla na FV článok).

Čo sa týka celkového smerovania fotovoltaiky v Európe, pre zvýšenie využiteľnosti vyrobenej elektrickej energie sa upúšťa od budovania veľkých FVE na poliach a uprednostňuje sa výroba na mieste spotreby - teda priamo na strechách budov. Strešné inštalácie vo svete predstavujú viac, ako 70% všetkých inštalácií a sú preferované spolu s inštaláciami na obvodových plášťoch budov. Dôkazom toho je aj fakt, že na Slovensku štát na iné inštalácie neposkytuje podporu vo forme výkupnej ceny.

Vzhľadom na to, že sa míňajú zásoby fosílnych palív a ich cena neustále rastie, sú snahy o dosiahnutie GRID PARITY, teda stavu, kedy cena elektriny vyrobená z OZE bude nižšia, ako z elektrickej siete. Ceny FV panelov teda klesajú, predlžuje sa ich životnosť (30 rokov), technológia sa skvalitňuje a cena energie zo siete stúpa. Predpokladané dosiahnutie GRID PARITY na Slovensku je v rokoch 2015-2016.

Keďže jednou z nevýhod FVE je jej závislosť na počasí, čím vzniká výrazný nesúlad medzi výrobou a spotrebou, kedy energiu vyrábame cez deň a spotrebúvame večer, treba túto energiu uskladniť. Preto sa k FV panelom inštalujú batérie na akumuláciu nespotrebovanej energie. Snahy sú dosiahnuť úplnú nezávislosť domových inštalácií od siete, očakáva sa nárast počtu ostrovných systémov. Akumulátory sú však stále pomerne drahé a tak sa do módy dostávajú skôr tzv. grid-on elektrárne pre malé obydlia. To znamená, že FVE je pripojená k rozvodnej sieti a cieľom je dosiahnuť stav, aby sa celá energia, ktorá je vyrobená vo FVE spotrebovala v domácnosti a nenastal pretok výkonu do siete, čo môže byť aj pokutované v závislosti na konkrétnej časti územia danej krajiny. Pre maximalizáciu využitia vyrobenej energie treba takýto systém usmerňovať, na čo nám slúžia regulačné systémy, napr.regulátor toku energie. Z energie vyrobenej FV systémom sa bežne využije 30 až 40%. S regulátorom toku energie je možné využiť až 100% tejto energie, v závislosti na pripojených spotrebičoch

(akumulačných prvkoch). Tieto sa pripájajú priamo na optimalizátor toku energie a zväčša sa volia tak, aby vedeli dobre akumulovať prebytočnú energiu (bojlery, akumulačné nádoby, vykurovacie telesá, klimatizácia, bazénové filtrácie a pod.). Tým pádom je energia využívaná v čase výroby FVE a uskladňovaná na obdobie, kedy elektráreň vyrábať nebude.

2.1 Základné typy FV elektrární

Podľa spôsobu prepojenia FV panelov, riadiacich a výkonových prvkov do funkčného celku delíme FVE nasledovne:

- Autonómny systém - grid-off (ostrovný) [4], je používaný v ťažko dostupných miestach bez možnosti pripojenia k verejnej distribučnej sieti. Je vybavený akumulátormi, v ktorých je uskladnená nespotrebovaná energia na čas, kedy elektráreň vyrábať nebude (skoro ráno, večer, noc, zamračené dni)
- Pripojený k sieti - grid-on, najčastejšie využívaný typ FVE, ktorý je súčasne pripojený k VDS. Energia vyrobená FVE je spotrebovaná priamo na mieste, v prípade nedostatku vyrobenej energie sa odoberá zo siete, v prípade prebytku sa do siete predáva.
- Hybridný systém - principiálne ide o grid-off systém s prídavným zdrojom energie (spolupráca sVDS, príp. veternýgenerátor, dieselagregát a pod.) Hybridné FVE používajú striedač - hybridný menič napätia, ktorý umožňuje dodávku elektriny z distribučnej siete.

2.2 Situácia na SR a ČR

Množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na FV panely je ovplyvnené niekoľkými faktormi, ako napr. natočenie panelov, doba osvitu, ročné obdobie, oblačnosť a zemepisná šírka.

Napriek tomu, že pre Slovensko je charakteristické skôr oblačné počasie, má vďaka schopnosti FV článkov vyrábať elektrickú energiu aj z difúzneho (rozptýleného) žiarenia priaznivé podmienky pre využívanie slnečnej energie, pričom najväčší potenciál majú južné regióny. Ročný priemer žiarenia je približne1400-1700h/rok, na celú oblasť Slovenska ročne dopadá priemerne 1200-1400 kWh/m^2 žiarenia [5]. O niečo horšie je na tom Česká republika s 950-1150 kWh/m^2 ročne [6]. Ideálne pre využívanie FV panelov sú rodinné a bytové domy, kde možno ich používaním ušetriť 60-70% [7] energie na ohrievanie úžitkovej vody a 30-40% tepla na prikurovaní. Energetické nároky budovy však musia byt menšie, ako 50 kWh/m^2 za rok a musí byť dobre tepelne izolovaná, čo na Slovensku spĺňa ešte len málo budov. Napriek tomu je veľká kapacita na využívanie tohto druhu elektrárne a je teoreticky možné pokryť 100% súčasnej spotreby elektriny v krajine, ktorá činí asi 30 TWh za rok a ročná výroba elektriny z klasického

FV modulu o ploche 1 m^2 je asi 110 kWh. Celkovo má Slovensko vďaka vyššiemu svetelnému žiareniu lepšie podmienky, ako ČR.

2.3 Budúcnosť a podpora FVE

Vzhľadom na ubúdajúce zásoby fosílnych palív ľudstvo začína prechádzať na alternatívu - obnoviteľné zdroje energie. Európske štáty sa zaväzujú postupe zvyšovať percentuálny podiel energie získanej z OZE, pričom jednou z najpopulárnejších a najatraktívnejších foriem je fotovoltaika. Veľkou výhodou je jej univerzálnosť. Je možné používať širokú škálu výkonov, aplikácií (domácnosti, priemysel) a je ju možné využívať prakticky kdekoľvek na zemi i vo vesmíre. Solárna energia má najvyššiu hustotu výkonu zo všetkých známych zdrojov obnoviteľnej energie (celosvetový priemer je 170W/m^2) [8]. Množstvo slnečnej energie dopadajúcej na zemský povrch by dokázalo súčasnú celosvetovú spotrebu pokryť až 6000-krát. Poskytuje možnosť decentralizovanej výroby energie, čo možno využiť na zníženie spotreby materiálov a strát energie v elektrizačnej sústave. Výroba je bezpečná a čistá. Prevádzkové náklady na FV systémy sú veľmi nízke, po ich nainštalovaní si vyžadujú minimálnu údržbu. Okrem výskumu a vývoja sú podporované aj inštalácie FVE súkromnými i právnickými osobami vo forme dotačných programov a minimálnymi výkupnými sadzbami za dodanú elektrickú energiu do siete na dlhé časové obdobie (10-20 rokov). Medzi hlavné nevýhody fotovoltaiky sa radí nákladná inštalácia či nemožnosť nainštalovaný systém premiestniť. Okrem toho, že elektrická energia vyrobená FV systémom je zatiaľ stále drahšia, ako cena energie z iných zdrojov, výroba je nespoľahlivá a veľmi závislá na vonkajších podmienkach ako je počasie, ročné obdobie či časť dňa. FV panely sú zdrojom DC prúdu, ktorý je treba previesť na AC prúd, čo spôsobuje ďalšie straty (približne 4-12%) a taktiež FV články s časom znižujú svoju účinnosť, pričom pokles dodávaného výkonu činí približne 1% za rok prevádzky.

Na základe legislatívy majiteľ FVE dostáva dotáciu za každú vyrobenú MWh bez ohľadu na to, či ju spotrebuje pre seba alebo predá do siete. Dotácie sú priznané firmám a domácnostiam po dobu 15 rokov. Podmienkou je umiestnenie FVE na nehnuteľnosti zapísanej v katastri [9] a žiadateľ o pripojenie malého zdroja musí byť odberateľom elektrickej energie v domácnosti.

Ako už bolo spomenuté vyššie, energia z grid-on elektrárne je buď spotrebovaná priamo v danom objekte, alebo sú prebytky predané do VDS. U týchto typov elektrární je treba mať povolenie od distribútora, čo môže byť v niektorých lokalitách problém. Pretoky energie do VDS môžu byť brané ako nepovolená dodávka do siete. V súčasnosti Stredoslovenská energetika - Distribúcia, a.s., (SSE-D) ako prevádzkovateľ distribučnej sústavy bežne povoľuje pripájanie malých zdrojov do 10 kW pre sektor domácnosti. Pre takýto zdroj však platí podmienka, že elektrina vyrobená takýmto zdrojom je určená výhradne na vlastnú spotrebu odberného miesta, do ktorého je toto zariadenie na výrobu elektriny pripojené. Pretoky do siete v prípade, že nie ste registrovaný dodávateľ, sú v tejto oblasti nepovolené a pokutované. V prípade, že majiteľ začne s vyrobenou energiou obchodovať, musí mať uzavretú zmluvu s nejakým obchodníkom, ktorý od neho prebytky vykúpi a tým prichádza o všetky ďalšie iné príjmy vo forme zelených bonusov

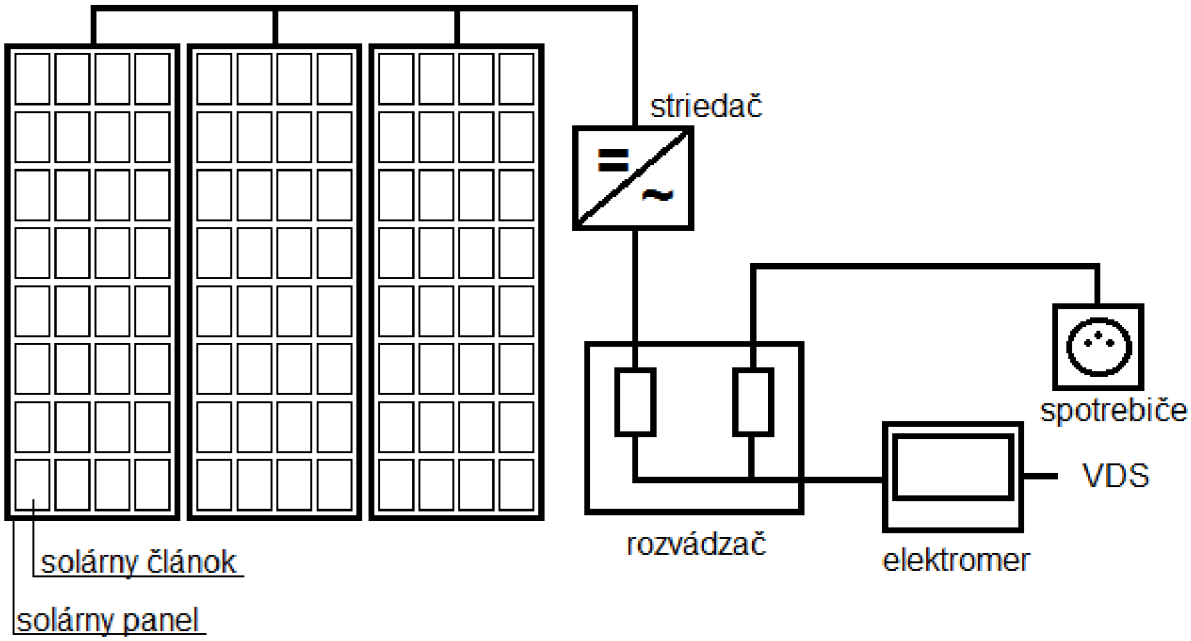
či výkupných cien za priamu dodávku a jediným príjmom majiteľa FVE sa tak stáva tržná cena elektriny v prípade predaja prebytkov do siete. Výhodnejšie pritom je využiť vlastnú vyrobenú energiu, čím majiteľ ušetrí cca 3 - 5 Kč/kWh v závislosti od tarifu, ako keby mal vyrobenú elektrinu predať za cca 0,25 - 0,80 Kč/kWh [10].

Ďalšie možné spôsoby podpory a faktory ovplyvňujúce rozmach FVE sú napr. pokles cien FV modulov a batérií, čo by výrazne prispelo k zvýšeniu záujmu o batériové systémy s možnosťou uskladnenia nespotrebovanej elektriny, na výrobu elektriny zdrojmi do 10kW by nebola potrebná licencia[11] ani živnostenské povolenie, plánuje sa tolerovať pretoky energie do siete do určitého percenta výroby, no očakáva sa veľký rozvoj zariadení optimalizujúcich spotrebu vyrobenej elektriny (GreenBono, WattRouter). Rozvoj solárnej energetiky sa teda môže oprieť ako o nefinančné mechanizmy podpory, tak aj o EU fondy.

3 NÁVRH MODELU GRID-ON ELEKTRÁRNE

Grid-on elektráreň je systém, ktorý pre svoju funkciu potrebuje distribučnú sieť a nesmie dôjsť k ostrovnej prevádzke. Súčinnosť so sieťou zabezpečuje striedač. Okrem toho tiež kompenzuje jalový výkon, keďže fotovoltaika sa chová ako kapacitný zdroj, teda zdroj jalovej energie, ktorej prebytok môže spôsobiť nárast napätia v sieti. Kvôli súčinnosti so sieťou je tiež nutné použiť ďalšie ochrany.

Hlavnými prvkami grid-on systému sú najmä FV panely a menič, prípadne monitorovací systém. Vyrobenú elektrickú energiu zmeria elektromer. Tento má opodstatnenie aj kvôli poberaniu dotácií od štátu. Aby bol schopný merať odobratú aj odovzdanú energiu, používa sa štvor-kvadrantový. Okrem vyššie uvedených musí elektráreň obsahovať aj ochranné prvky a istič. FVE je potom zapojená do rozvodnej skrine.

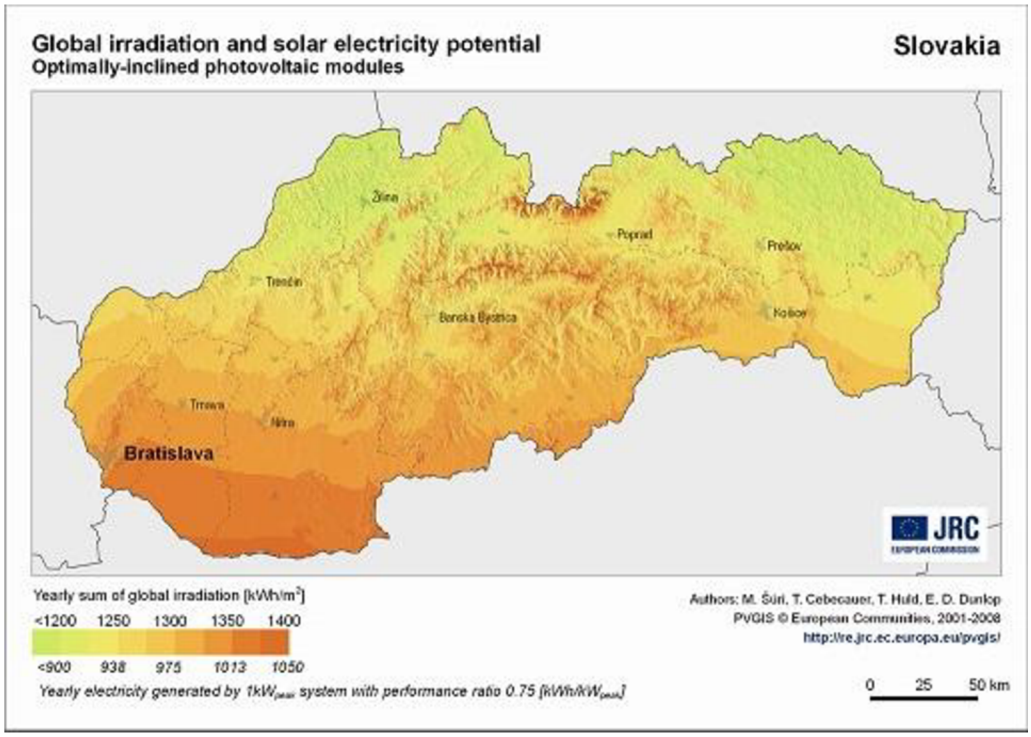


Obrázok 1 Základná schéma grid-on FVE

3.1 Model grid-on elektrárne

Pri tvorbe nového zariadenia je vždy potrebné sa od niečoho odraziť a je vhodné, ba až žiadúce vyvíjať ho na mieru spotrebiteľom a ich potrebám a požiadavkám. Na toto nám slúžia rôzne modelové situácie reprezentujúce realitu, ktoré nám pomáhajú vytvoriť zariadenie, ktoré bude v praxi skutočne použiteľné. Schému jednoduchej FVE môžeme vidieť na obrázku 1. Existuje veľa faktorov ovplyvňujúcich výkonnosť FVE, ako napr. natočenie solárnych panelov, doba osvitu, ročné obdobie, oblačnosť, zemepisná šírka a na intenzitu a dobu slnečného žiarenia vplýva taktiež nadmorská výška. Pri návrhu treba tieto činitele brať do úvahy, žiaľ, nie všetky dokážeme ovplyvniť. My sme si pre modelovú situáciu zvolili oblasť stredného Slovenska a to jednak z dôvodu, že tam sídli firma, pre ktorú je zariadenie vyvíjané a jednak pre to, že táto oblasť je, čo sa týka danej problematiky, najobtiažnejšia. Ako sme už totiž spomínali v predošlých kapitolách, v oblasti stredného Slovenska sú prietoky energie do siete v prípade, že nie ste registrovaný dodávateľ, pokutované, čo napr. na západnom Slovensku neplatí.

Náš rodinný dom teda leží na severozápade stredného Slovenska.Množstvo dopadajúceho žiarenia v tejto oblasti sa pohybuje okolo 1250 kWh/m^2 za rok (cca 938 kWh/kWp, čo znamená, že z jedného kW inštalovaného výkonu možno získať 938 kWh elektrickej energie ročne), ako vidíme na nasledujúcom obrázku:

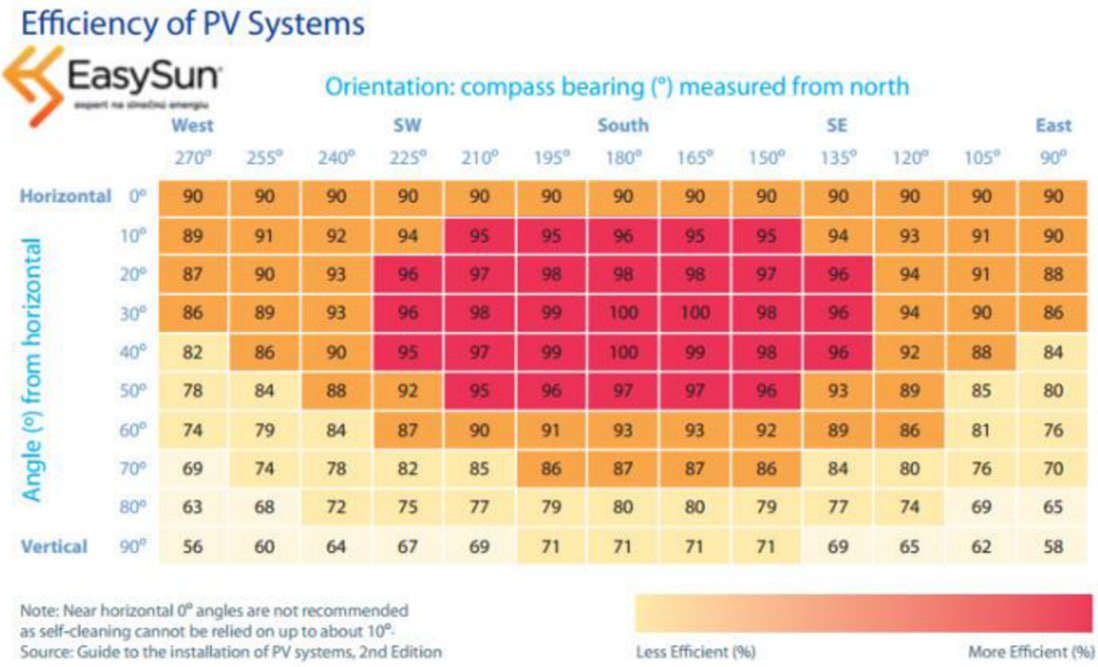


Obrázok 2Množstvo ožiarenia a elektrický potenciál FVE v rôznych oblastiach SR [12]

Prepolohu a miesto FV elektrárne je ideálna orientácia na juh a ak je objekt využívaný celoročne, sklon treba optimalizovať skôr na zimné mesiace (v našich podmienkach cca 30° - 40°). So zisťovaním týchto hodnôt nám môžu pomôcť rôzne tabuľky, ako môžeme vidieť na obrázku 3, ale aj nespočetné množstvo aplikácií a programov, ktoré vypočítajú potrebné údaje pre konkrétne miesto na zemi. Napr. stránka http://photovoltaic-software.com poskytuje odkazy na množstvo online výpočtových programov, ktoré sme v tejto kapitole aj ďalej využili.

ŠtandardnéFV moduly z kryštalického kremíku pozostávajú zo 60 alebo 72 článkov, bežný výkon je okolo 240 Wp. Firma, pre ktorú bolo zariadenie vyvíjané, používala panely z monokryštalického kremíku o výkone 250Wp. Inštalovaný výkon je potom súčtom výkonov jednotlivých panelov. Tento je jednosmerný a na striedavý ho transformujeme striedačom. Pri menších systémoch sa používajú najmä reťazcové striedače, pri ktorých treba počítať so stratami (kabeláž, účinnosť meničov...), no modernejšou variantou sú tzv. AC panely, kde každý panel má integrovaný vlastný striedač. Takéto panely možno pripojiť priamo do siete. Okrem toho sa používajú regulátory, ktoré riadia toky energie (rozhodujú, či sa energia vyrobená FV panelmi využije na napájanie objektu, alebo na nabitie akumulátorov). Taktiež sleduje úroveň nabitia akumulátorov a pri kritických hodnotách ich odpája. Niektoré striedače ho majú priamo integrovaný. Nasleduje zvolenie vhodnej konfigurácie v závislosti od zvoleného striedača. Panely sa delia do reťazcov - sériovo-paralelných kombinácií, nazývaných stringy. Zvyčajne sa volí sériové spojenie 10 - 15 modulov v jednom stringu. Pre náš model sme použili 15 panelov.Na stránke http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe sme si potom nechali vypočítať približný výkon FVEs celkovým inštalovaným výkonom 3,75kWp v našich zemepisných podmienkach počas celého roku. Najvyššie hodnoty produkovanej elektriny ako aj žiarenia dopadajúceho na moduly boli podľa predpokladov počas letných mesiacov,

a to v priemere od apríla až do augusta. Porovnávali sme fixovanú štruktúru s optimálnym sklonom panelov 35° a systém s dvojosím sledovacím systémom. Tento systém mal samozrejme vyššiu výkonnosť a to až o 33% počas mesiaca júl, kedy FVE vykazovala maximálne hodnoty, ako môžeme vidieť v prílohe A.



Efficiency of PV Systems

EasySun

Orientation: compass bearing (°) measured from north

Angle (°) from horizontal		West 270°	255°	240°	SW 225°	210°	195°	South 180°	165°	150°	SE 135°	120°	105°	East 90°
Horizontal	0°	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	10°	89	91	92	94	95	95	96	95	95	94	93	91	90
	20°	87	90	93	96	97	98	98	98	97	96	94	91	88
	30°	86	89	93	96	98	99	100	100	98	96	94	90	86
	40°	82	86	90	95	97	99	100	99	98	96	92	88	84
	50°	78	84	88	92	95	96	97	97	96	93	89	85	80
	60°	74	79	84	87	90	91	93	93	92	89	86	81	76
	70°	69	74	78	82	85	86	87	87	86	84	80	76	70
	80°	63	68	72	75	77	79	80	80	79	77	74	69	65
Vertical	90°	56	60	64	67	69	71	71	71	71	69	65	62	58

Note: Near horizontal 0° angles are not recommended as self-cleaning cannot be relied on up to about 10°.
Source: Guide to the installation of PV systems, 2nd Edition

Less Efficient (%) — More Efficient (%)

Obrázok 3Efektívnosť FV systému v závislosti na náklone a orientácii panelov [13]

Spotreba elektrickej energie bežného rodinného domu na Slovensku sa pohybuje od 3 MWh až do 5 MWh.Túto spotrebu FVE zvyčajne nepokryje celú, najmä v závislosti od podmienok vonkajšieho prostredia, čo ale nie je žiadny problém, keďže pri grid-on systémoch môžeme v takýchto prípadoch použiť ako zdroj energie sieť. Problém nastáva, keď vyrábanú energiu nestíhame spotrebúvať a ona tečie do VDS. Táto skutočnosť je zachytená naším zariadením, ktoré tok energie odkloní do akumulačných zariadení.

Zvolili sme si, že optimalizátor toku energie bude mať 2 výstupy na pripojenie spotrebiča na každej fázy - reléový a triakový. Ideálnym akumulátorom prebytočnej energie je voda v bojleri, preto sme si tento spotrebič zvolili ako ukážkový spotrebič s prioritou číslo jeden. Je pripojený na triakový výstup. Ako spotrebič s prioritou číslo dva sme zvolili klimatizáciu, pripojenú na reléový výstup.Na rozdiel od triakových výstupov, ktoré sa spínajú ihneď po zistení výroby, sa reléové výstupy zopínajú až po dosiahnutí určitej hodnoty. Spínanie podľa priorít by mohlo prebiehať tak, že ak po zopnutí spotrebiča s najvyššou prioritou výkon FVE stále rastie, pripne sa ďalší spotrebič s nižšou prioritou atď. V prípade znižovania výkonu sa spotrebiče budú, naopak, postupne podľa priorít odpínať. Ak dôjde k odpojeniu zopnutého spotrebiča, regulátor to rozpozná a v prípade, že elektráreň ďalej vyrába, zopne ďalší spotrebič (s nižšou prioritou). Celá záležitosť je však iba vecou softwaru.

3.2 Spotrebič číslo jeden - bojler

Bojler je náš spotrebič s prioritou číslo jeden. Jedná sa o zásobníkový ohrievač vody, tiež označovaný ako ohrievač TUV - teplej úžitkovej vody. Je to tlaková nádoba, v ktorej spodnej časti sa nachádza ohrievacie teleso a z vrchnej časti sa odvádza ohriata voda. Zdrojom tepla môže byť plyn, para, teplá voda a pod., v našom prípade je však zdrojom elektrina. Tá sa vo vykurovacej špirále mení na teplo, ktoré následne ohrieva vodu v bojleri. Bojler býva vybavený snímačom, podľa ktorého reguluje ohrev vody.Tento spotrebič bude pripojený na triakový výstup, ktorého výhodou je jednoduché zapojenie do elektrických obvodov.

Výpočet času potrebného na ohrev vody v bojleri

Pre štvorčlennú rodinu sme si zvolili bojler s objemom 120l a príkonom 2kW. Maximálna teplota vody v bojleri je 90°C, odporúčaná 60°C. Výpočet času ohrevu pri účinnosti ohrevu 98%:

Objem vody v bojleri je 120l (0,12m^3).

Hmotnosť vody v bojleri

$$m = V \cdot \rho = 0{,}12 \cdot 998 = 119{,}76 \text{ kg} \tag{1}$$

m	hmotnosť vody	[kg],
ρ	hustota vody	[kg $\cdot m^{-3}$], $\rho = 998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Výpočet času potrebného na ohrev:

c merná tepelná kapacita, pre vodu $c = 1480 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Prepočet mernej tepelnej kapacity z J na Wh

$$c_{Wh} = \frac{c}{3600} = \frac{4180}{3600} = 1{,}161 \text{ Wh} \tag{2}$$

Potrebná energia na ohrev vody z teploty 10°C na 60°C

$$E_{Wh} = \frac{1}{\eta} \cdot m \cdot c_{Wh} \cdot (t_2 - t_1) = \frac{1}{0{,}98} \cdot 119{,}76 \cdot 1{,}161 \cdot (60 - 10) = 7{,}094 \text{ kWh} \tag{3}$$

E_{Wh}	energia potrebná na ohrev vody	[Wh],
c_{Wh}	merná tepelná kapacita vody	[Wh],
t_1	vstupná teplota vody	[°C],

t_2	výstupná teplota vody	[°C].

Čas potrebný na ohrev vody

$$t = \frac{E_{Wh}}{P_p} = \frac{6\,952}{2000} = 3{,}54\ \text{h} \tag{4}$$

t	čas potrebný na ohrev vody v bojleri	[h],
P_p	príkon ohrievača	[W],
η	účinnosť ohrevu	[-].

Čas potrebný na ohriatie vody z teploty 10°C na odporučenú hodnotu 60°C v bojleri o objeme 120l a príkonom 2kW je 3,54 hodiny (3 hodiny, 32 minút a 24 sekúnd). Po uplynutí tohto času sa musí bojler odstaviť od prísunu energie z FVE a v prípade ďalšej výroby sa musí zopnúť spotrebič s druhou najvyššou prioritou - v našom prípade pôjde o klimatizáciu, keďže chceme demonštrovať oba typy akčných členov a klimatizácia je na rozdiel od bojlera spínaná práve reléovým výstupom.

3.3 Spotrebič číslo dva - klimatizácia

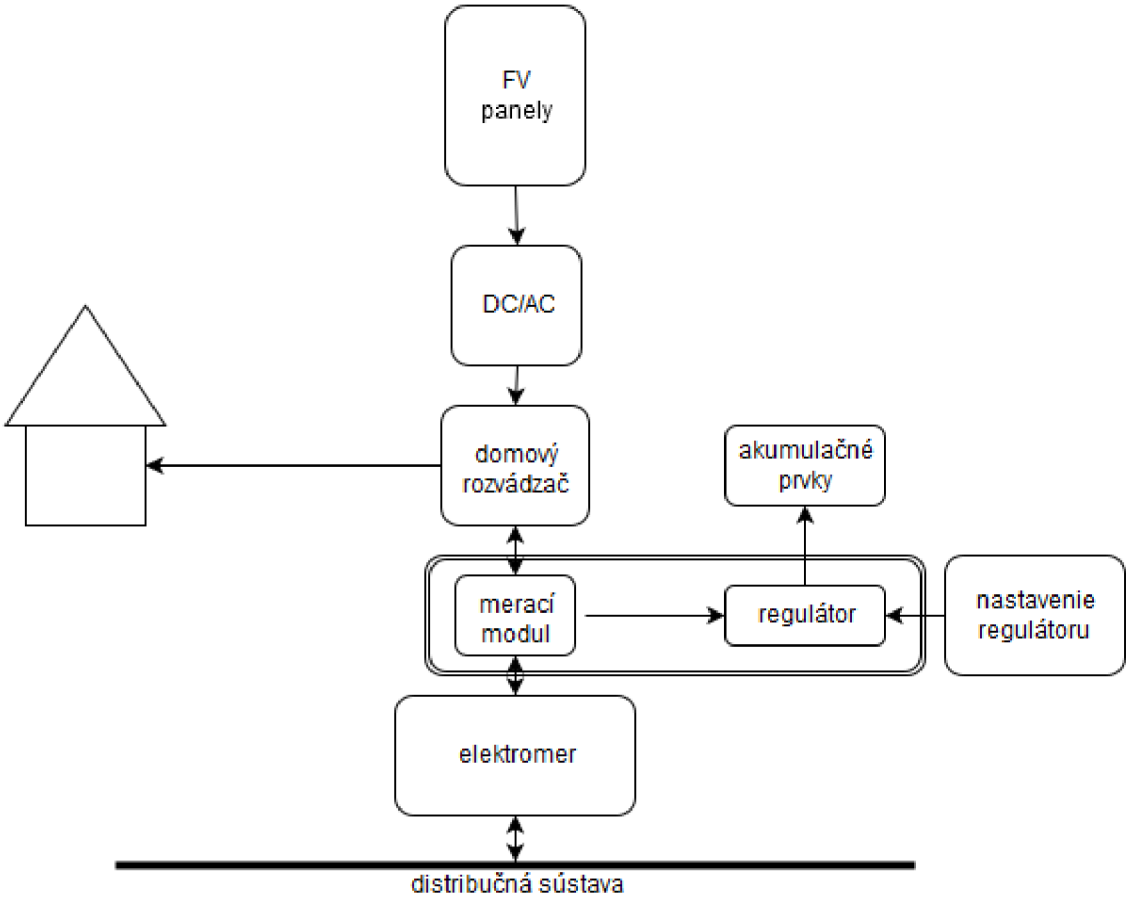
Spotrebič s druhou najvyššou prioritou je klimatizácia. V súčasnosti sú takmer všetky moderné klimatizácie reverzibilné, čiže sa dajú použiť ako na ochladzovanie vzduchu, tak aj na kúrenie, čo ich robí univerzálnejšími. Navyše, prevádzkové náklady sú malé - v porovnaní s elektrickým kúrením nám na 3kW tepelného výkonu postačí iba 1kW elektrického príkonu [14]. Nás sa však aj tak bude viac týkať situácia s chladením vzduchu v lete, keďže v zime bude výkon dodaný FVE pravdepodobne sotva stačiť na ohrev TUV.Takýmto spôsobom môžeme na optimalizátor postupne pripojiť až šesť rôznych spotrebičov a zoradiť ich podľa priorít.

4 OPTIMALIZÁTOR TOKU ENERGIE

Optimalizátor toku energie je programovateľný regulátor, ktorý má za úlohu regulovať prebytky energie z FVE, čím sa maximalizuje miera využitia energie zo systému a približuje sa 100%, oproti bežným hodnotám, ktoré sa pohybujú okolo 30-40%. Na regulátor sa pripájajú spotrebiče schopné akumulovať nevyužitú energiu v dobe, keď elektráreň vyrába a uskladniť ju na čas, kedy FVE vyrábať nebude, čím sa zvyšuje účinnosť celého systému. Medzi

takéto spotrebiče patria napr. bojlery, akumulačné nádoby, klimatizácia, vykurovacie teleso, bazénová filtrácia a pod.

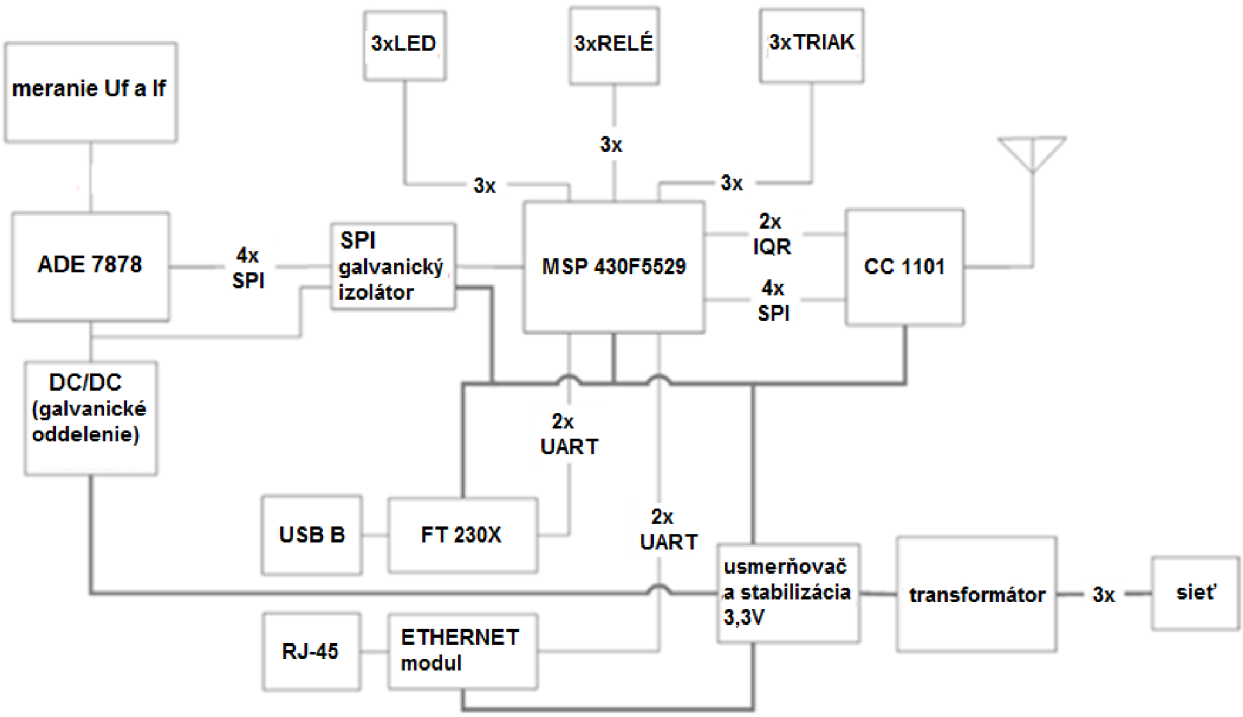
Kľúčovými prvkami prístroja sú merací modul a regulátor. Merací modul v reálnom čase meria prúd vo všetkých fázach a regulátor vyhodnocuje namerané napätia a prúdy a v prípade, že je zistená výroba elektrárne, spína akumulačné prvky podľa priorít. Celý čas sa pritom snaží držať nulový tok energie meracím modulom (teda aj elektromerom). Zaradenie optimalizátora do domovej inštalácie môžeme vidieť na obrázku 4.



Obrázok 4Blokový diagram zapojenia optimalizátoru toku energie do domovej inštalácie

Zariadenie pozostáva z dvoch častí - meracej a regulačnej, pričom meracia musí byť od regulačnej galvanicky oddelená, ako to vidíme aj na blokovej schéme na obrázku 4, pretože je priamo pripojená na fázy elektrickej sústavy. Základom zariadenia je mikrokontrolér MSP430F5529. Na tento sú pripojené spotrebiče cez 3 relé a 3 triaky. Zariadenie obsahuje 3 signalizačné LED diódy. RF modul slúži na komunikáciu so vzdialeným triakom (ktorý môže ovládať napr. ohrev bazéna). Celá regulačná časť je potom spojená cez galvanický izolátor s meracím modulom. Zariadenie je vybavené USB B konektorom s prevodníkom a pre prípad budúcich aplikácií je vyvedený aj WIZNET modul (WIZ550S2E) pre prípadné pripojenie Ethernetu. Komponenty sú napájané zdrojom s napätím 3,3V.

Prúdový rozsah merania je 3x20A - merací modul meria v reálnom čase prúd vo všetkých fázach. Regulátor vyhodnocuje merané prúdy a napätia a ak je zistená výroba FVE, spína pripojené spotrebiče podľa priorít a pritom sa stále snaží udržať nulový tok energie meracím modulom ("virtuálnu nulu" - súčet činných výkonov vo všetkých troch fázach je 0). Na obrázku 5 vidíme blokový diagram zapojenia zariadenia.



Obrázok 5Blokový diagram zapojenia optimalizátora toku energie

4.1 Mikrokontrolér MSP430F5529

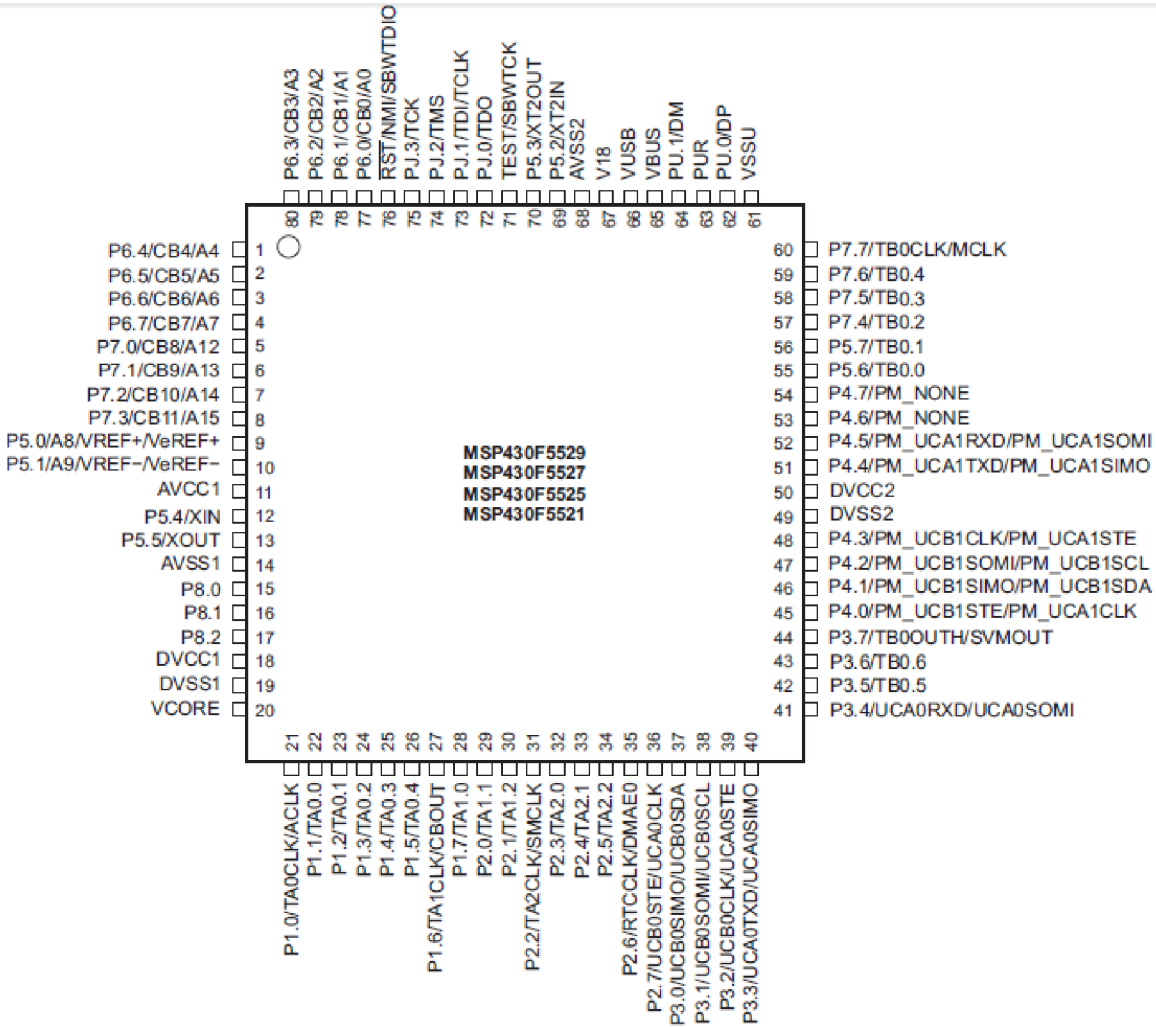
Mikrokontrolér vyrába firma Texas Instruments (ďalej už len TI). Do svojej práce som zvolila práve tento mikrokontrolér za prvé preto, že to vyžaduje firma, pre ktorú túto prácu robím a tiež preto, že produkty od firmy TI sú spoľahlivé, majú dobrú podporu a vývojové prostriedky.

4.1.1 Technické parametre

- Rozsah napájacieho napätia od 1,8 V do 3,6V
- Spotreba v aktívnom režime pri fCLK = 8MHz je 290µA
- Spotreba v režime spánku 2,1µA pri napájaní 3V
- 16 bitová RICS architektúra

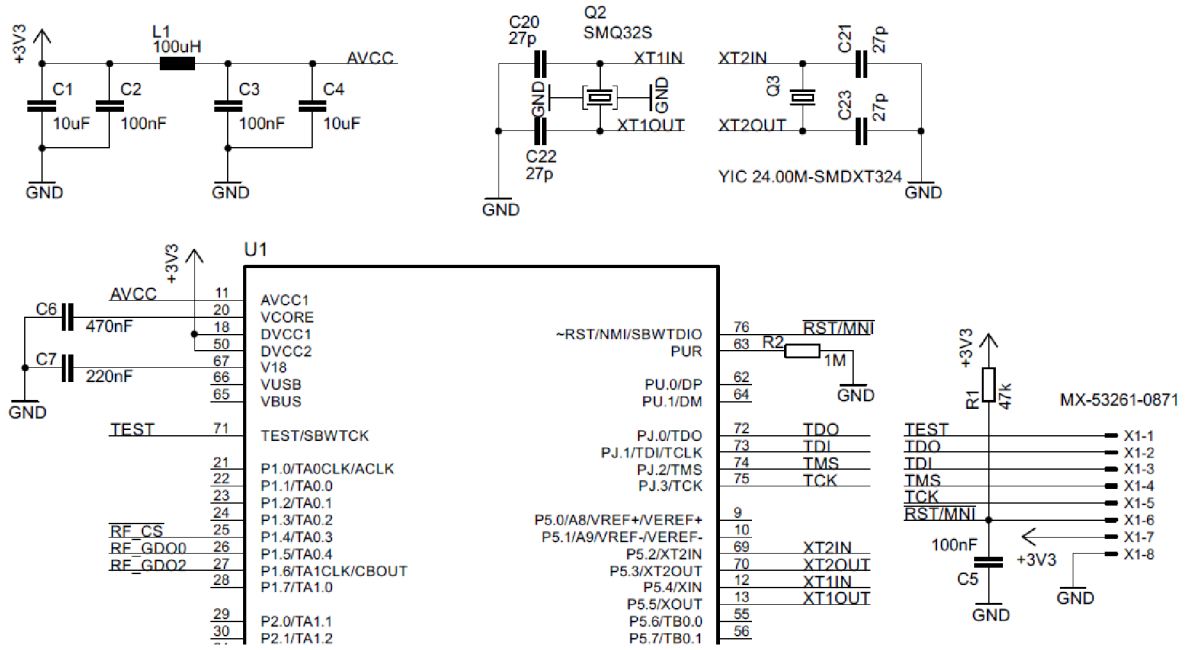
- 63 konfigurovateľných vstupno/výstupných pinov
- Zdroj hodinových impulzov až do 25MHz
- Poskytuje tri zbernice hodinových impulzov, pre ktoré sa dá separátne nastaviť frekvencia
- Detekcia výpadku hodín a okamžitý prechod na záložný zdroj hodinových impulzov
- 4x16 bitový Timer/Counter
- 2x UART rozhranie
- 4x SPI zbernica
- 2x I2C zbernica
- USB rozhranie
- 12 bitový A/D prevodník
- Komparátor, CRC modul atď.

Veľkosť FLASH pamäte je 128kB, RAM 10kB. Neobsahuje EEPROM pamäť, ale môže zapisovať do vyhradenej časti FLASH pamäte s preddefinovanou veľkosťou 4 x 128B. Nevýhodou však je, že môže čítať alebo mazať iba celý sektor naraz. Na obrázku 6 môžeme vidieť zapojenie jednotlivých pinov mikrokontroléra na pady jeho púzdra - PQFN80.



Obrázok 6Rozloženie vývodov mikrokontroléra MSP 430F5529 [15]

Na obrázku 6 vidíme rozloženie vývodov súčiastky a na obrázku 7 je základná schéma pripojenia mikrokontroléra. Konektror X1 je JTAG slúžiaci pre naprogramovanie samotného mikrokontroléra a na odlaďovanie programu. Ako hodinový zdroj impulzov sme použili kryštály Q2 s frekvenciou 32,768kHz, jedná sa teda o kryštál pre prípadné použitie RTC modulu v MSP430 a Q3 s frekvenciou 24MHz pre taktovanie mikrokontroléra MSP430. Pre napájanie ADC modulu je použitý LC filter pre vyhladenie zvlnenia napätia.



Obrázok 7Čiastočná schéma zapojenia vývodov mikrokontroléra MSP 430F5529

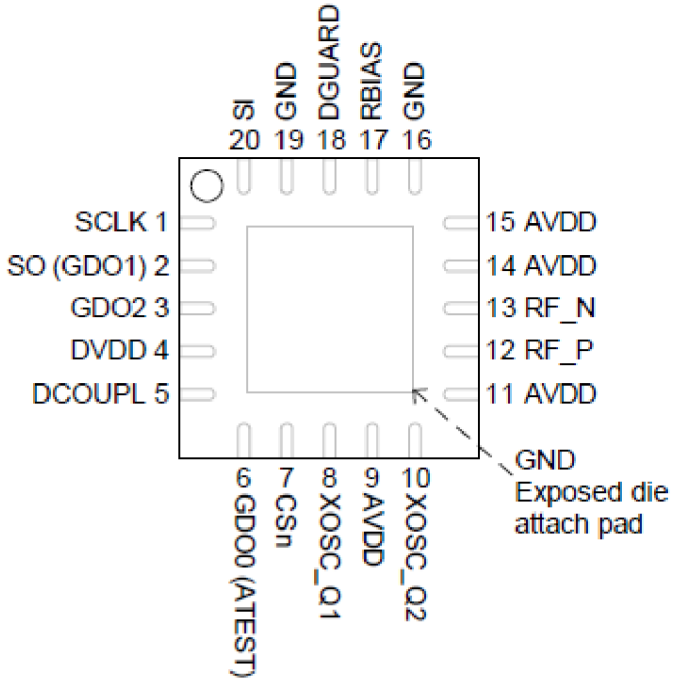
4.2 RF komunikačný modul CC1101

Komunikačný modul slúži na komunikáciu medzi optimalizátorom energie a ľubovoľnou perifériou, napr. triakom, ktorý zabezpečuje reguláciu toku výkonu do špirály pre ohrev bazénu. Je použitý z praktických dôvodov - a teda aby optimalizátor toku energie nemusel byť v tesnej blízkosti bazéna a aby z neho nemusel byť vedený dlhý kábel, ktorý by bol nepraktický. Preto sa teda ohrev bazénu spúšťa diaľkovo, prostredníctvom RF komunikácie. RF moduly bývajú riešené ako vysielač(transmitter), prijímač (receiver) alebo kombinácia oboch (transciever).

Pre naše účely sme si zvolili RF transciever obvod CC1101. Pracuje s frekvenciami 433 a 868MHz, my budeme používať 868MHz. TI poskytuje plnú SW podporu a má svoj vlastný proprietárny protokol. V skutočnosti by nám stačil obyčajný transmitter, pretože na komunikáciu s bazénom nepotrebujeme obojstrannú komunikáciu, keďže nepotrebujeme prijímať informácie o stave bazéna a to pre to, že nemôže nastať situácia, kedy by sa bazén plne ohrial iba energiou z FV elektrárne, najmä, ak má tento spotrebič najmenšiu prioritu. Transciever sme použili, pretože vďaka spätnej väzbe môžeme sledovať, či transciever prijíma vyslané signály a teda či funguje.

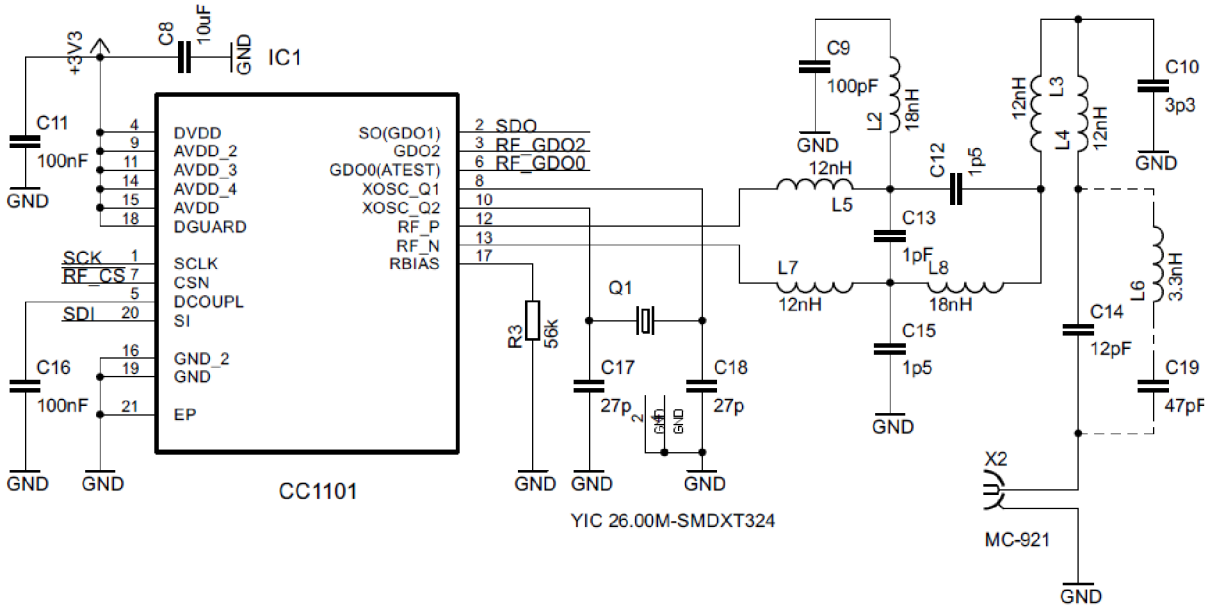
4.2.1 Technické parametre

- Vysoká citlivosť prijímača -112dBm
- Maximálny vysielací výkon 12dBm
- Komunikácia prostredníctvom SPI zbernice
- RSSI detektor
- Automatický výpočet CRC a vymazanie dát
- Veľmi dobrá prúdová spotreba; najmä v pokojovom režime
- Frekvenčné pásma: 300-348MHz, 387-464MHz, 779-928MHz
- Stabilita vysielacej frekvencie
- Možnosť nastavenia nosnej frekvencie na požadovanú hodnotu a iné



Obrázok 8Rozloženie vývodov na obvode CC1101 [16]

Obvod obsahuje digitálne vstupy GDO0 a GDO2 nakonfigurovateľné na ľubovoľnú funkciu poskytovanú výrobcom (zmena logickej úrovne pri naplnení/vyprázdnení zásobníka atď.). Zmena logickej úrovne na vstupe GDO2 indikuje príchod platných dát, ktoré tým pádom môže procesor načítať. Schéma je prevzatá z datasheetu, zapojená tak, ako to odporúča výrobca, pričom člen C19 a L6 sa neosadí, pretože ten sa osádza pre frekvenciu 915MHz, ktorá u nás nie je dovolená.



Obrázok 9Schéma zapojenia obvodu CC1101 pre frekvenciu 868MHz

4.3 Merací modul ADE7878

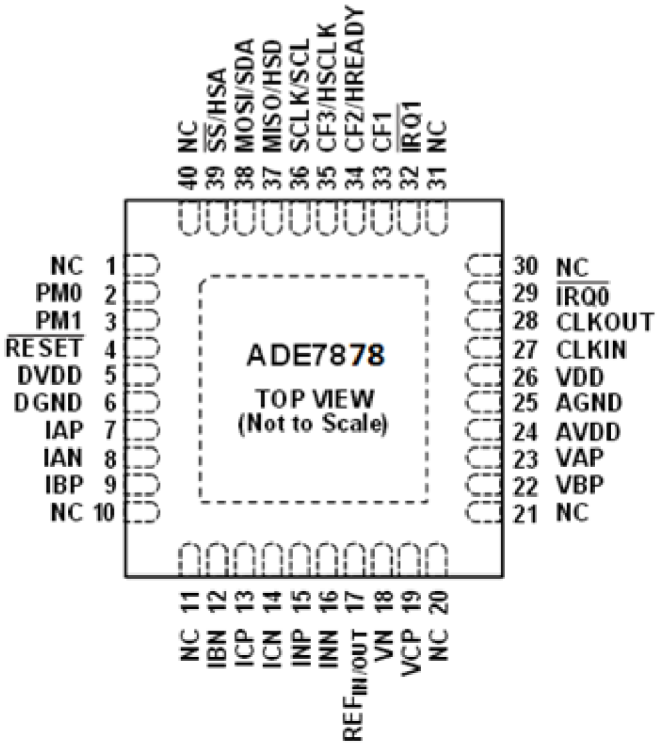
ADE7878 sa používa v systémoch na meranie a monitorovanie akosti elektrickej energie. Ide o veľmi presný trojfázový merací integrovaný obvod so sériovým rozhraním. Zahŕňa ADC, digitálny integrátor, referenčné obvody a i. ADE7878 počíta efektívnu hodnotu harmonických fázových prúdov a napätí a neutrálneho prúdu. Program digitálneho signálového procesora (DSP) je ukladaný do vnútornej ROM pamäte. Obsahuje registre navzorkovaného priebehu, ktoré umožňujú prístup ku všetkým ADC výstupom. Tento komponent sme si zvolili práve preto, že dokáže rozpoznať smer toku výkonu, čiže či je energia zo siete odoberaná, alebo do siete dodávaná, čo je pre naše zariadenie kľúčová funkcia. Dostupný v 40-vývodovom puzdre LFCSP.

Keďže je priamo spojený so sieťou, existuje nebezpečenstvo prierazu zo strany siete a poškodenia ostatných častí obvodu, od ktorých ho teda treba galvanicky oddeliť.

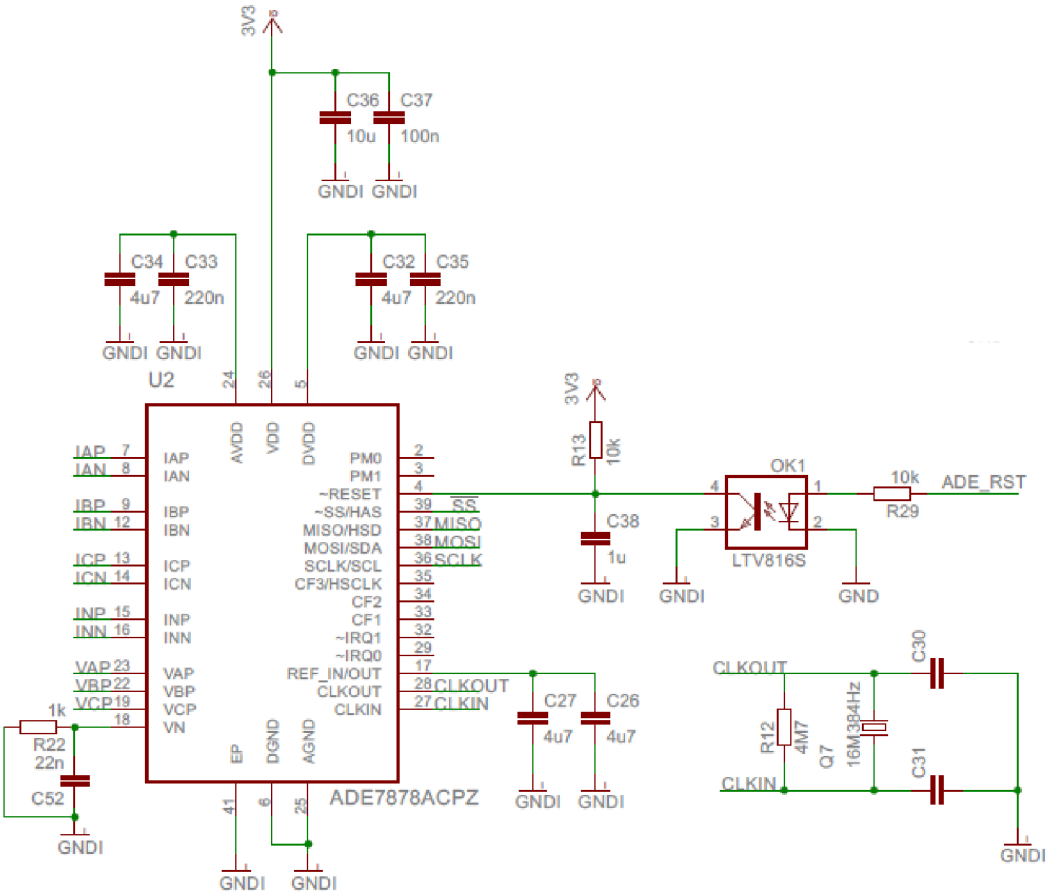
4.3.1 Technické parametre prevodníka ADE7878

- Podporuje meranie činnej, jalovej a zdanlivej energie na každej fázy zvlášť aj na systéme celkovo
- Meria PF, THD, efektívnu hodnotu a harmonické skreslenie všetkých harmonických do 2,8kHz pásmovej priepusti na všetkých fázach
- Efektívna hodnota a harmonické skreslenie všetkých harmonických do 2,8kHz pásmovej priepusti na neutrálnom prúde
- Meranie fázového uhla v prúdovom i napäťovom kanály

– Flexibilné SPI, I2C sériové rozhrania
– Rozsah napájacieho napätia: 2,4 - 3,7V

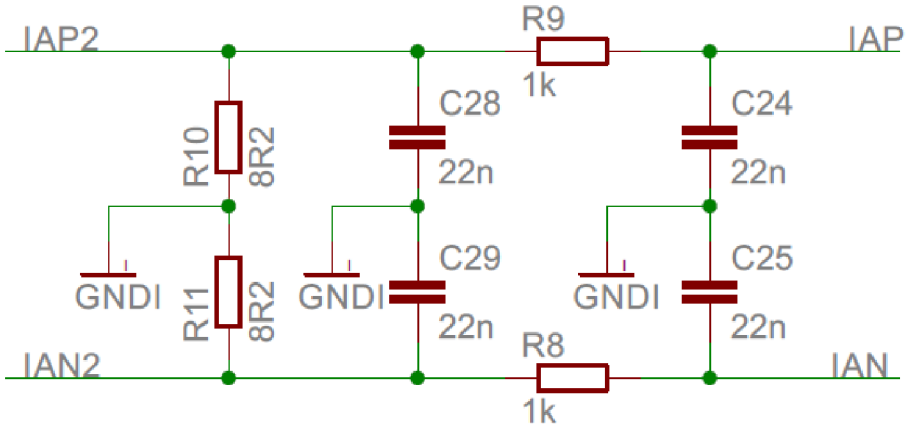


Obrázok 10Konfigurácia pinov modulu ADE7878 [17]



Obrázok 11Schéma zapojenia obvodu ADE7878

Obvod je zapojený podľa odporúčaní výrobcu. Na pin RESET je zapojený optočlen, ktorý galvanicky oddeľuje merací modul od mikrokontroléra, čím ho chráni pred poškodením. Všetky analógové vstupné signály sú filtrované antialiasingfiltrami ešte pred tým, ako sú spojené s ADE7878. Sú odporúčané konkrétne hodnoty jednotlivých komponentov použitých v týchto obvodoch. Schému prúdového vstupného obvodu môžeme vidieť na *obrázku 12*.



Obrázok 12Prúdový vstupný obvod

Ako sme už spomínali vyššie, celý obvod ako aj jednotlivé komponenty sú dané výrobcom. Avšak rezistory R10 a R11 sú záťažové rezistory pre transformátor prúdu a ich hodnota je funkciou pomeru použitého prúdového transformátora a maximálneho prúdu systému, podľa vzťahu(5)

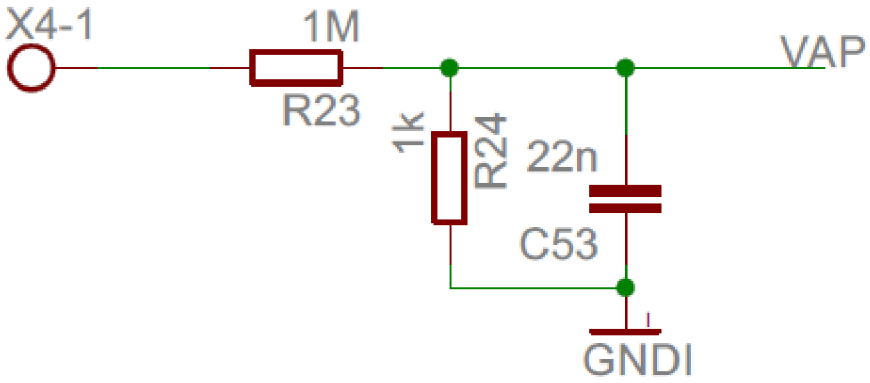
$$R10 = R11 = \frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}5}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{I_{FS}}} \tag{5}$$

kde $\frac{0{,}5}{\sqrt{2}}$ je maximálna efektívna hodnotanapätia, ktorá môže byť privedená na ADC vstup ADE7878. N je pomer vstupu k výstupu na prúdovom transformátore a $\mathrm{I_{FS}}$ je maximálna efektívna hodnota prúdu, ktorý chceme merať. Rozhodli sme sa použiť prúdový transformátor AC1020, čo je transformátor na meranie nominálneho prúdu 20A. Transformátor AC1020 má pomer 1000:1. Potom pre hodnoty odporov dostávame

$$R10 = R11 = \frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}5}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\frac{1000}{1}}{20} = 8{,}839\ \Omega \tag{6}$$

Keďže hodnota 8,839 Ω nie je v odporovej rade, použili sme 8,2Ω s tým, že ADE7878 sa potom skalibruje. Rovnaké vstupné obvody platia pre všetky tri vstupy fázových prúdov a aj pre nulový prúd[1].

[1] Hodnota nulového prúdu sa používa na odhalenie kradnutia elektrickej energie. Tým pádom by sme museli použiť aj prúdový transformátor aj pre nulový vodič. Keďže však úlohou nášho zariadenia nie je detegovať čierny odber, môžeme použiť rovnaký obvod, ako pri fázových prúdoch.



Obrázok 13Napäťový vstupný obvod

Odporučené zapojenie napäťového vstupného obvodu je na obrázku 13. Maximálna veľkosť signálu na pinoch VAP, VBP a VCP je už vyššie spomínaných 0,5Vp. Aj napriek tomu, že analógové vstupy modulu ADE7878 vydržia napätie až ±2V, odporúča sa neprekračovať hodnotu 0,5Vpvzhľadom na VN vstup, ktorý je pripojený na nulový vodič a zem ADE7878.Odpor R24 je odporučený výrobcom a odpor R23 musíme dopočítať, aby napätie na vstupe VAP nepresiahlo 0,5Vp. Fázové napätie v elektrickej sieti má toleranciu ±10%. To znamená,
že pri nominálnej hodnote fázového napätia 230V je maximálne dovolené napätie v sieti 253V. Špičková hodnota napätia 253V je $\sqrt{2} \cdot 230\text{V}$, čiže 358V. Potom jednoducho dorátame hodnotu odporu R23 pomocou vzťahu pre napäťový delič

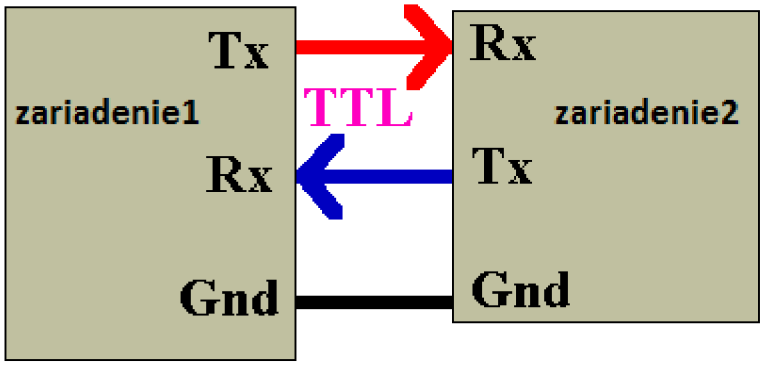
$$\mathrm{U_p} = \mathrm{U} \cdot \frac{\mathrm{R24}}{\mathrm{R24} + \mathrm{R23}} => R23 = \frac{\mathrm{U} \cdot \mathrm{R24}}{\mathrm{U_p}} - \mathrm{R24} = \frac{358 \cdot 1000}{0.5} - 1000 = 715\ \mathrm{k\Omega} \tag{7}$$

Minimálna hodnota odporu R23 je teda 715 kΩ a my sme kvôli rezerve použili 1MΩ odpor.

4.4 Prevodník FT230X a UART rozhranie

FT230X je prevodník medzi USB a sériovým UART rozhraním. V našej aplikácii potrebujeme sprostredkovať komunikáciu medzi mikrokontrolérom a PC, na čo nám poslúži asynchrónne UART rozhranie. Rozhranie UART (*Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*) [19] je zariadenie, ktoré je bežne používané v spojení s komunikačnými štandardmi ako TIA(Telecommunications Industry Association), linky RS232, RS422 a RS485. Dátový formát a rýchlosť prenosu sú konfigurovateľné. Používa sa na sériovú komunikáciu s PC alebo periférami. Dnes sú UART-y bežne súčasťou mikrokontrolérov.UARTbajt dát rozdelí na jednotlivé bity, ktoré potom po jednom postupne vysiela a v cieľovej destinácii ich skladá naspäť do pôvodných bajtov. Každý UART obsahuje posuvný register.Komunikácia môže byť jednosmerná (kedy zariadenie prijímajúce informácie žiadne informácie nevysiela späť vysielajúcemu zariadeniu), obojsmerná (obe zariadenia zároveň vysielajú i prijímajú) a poloduplexná (obe zariadenia aj vysielajú, aj prijímajú, nie však sučasne). Dáta sa vysielajú na pine označovanom ako TX (transmit) a prijímajú na pine RX (receive).Receiver je riadený

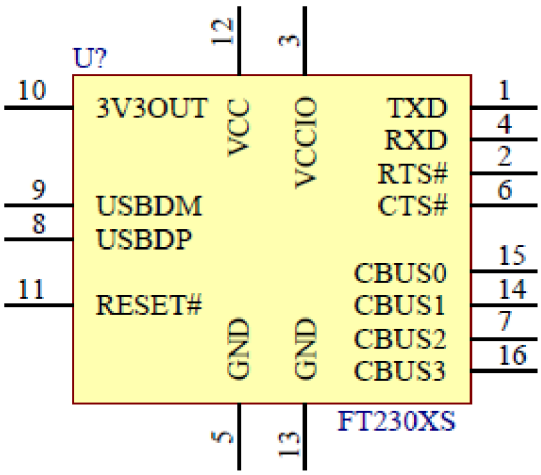
signálom z CLOCK-u, ktorý beží niekoľkonásobne rýchlejšie, ako prenosová rýchlosť, typicky osemkrát rýchlejšie a receiver testuje úroveň príchodzieho signálu s každým taktom, hľadajúc počiatočný bit informácie. Vysielanie je o niečo jednoduchšie, pretože nie je dané nijakýmičasovými intervalmi ani stavom linky. Akonáhle sú do posuvného registra poslané znaky, UART informácie ihneď vysiela s danou rýchlosťou - baudrate (zároveň generuje počiatočné bity a stop bity). Pri obojsmernej komunikácii UART používa dva posuvné registre - pre vyslané a prijaté znaky. Pokojová úroveň signálu je logická 1, vysielanie je zahájené jeho zmenou na logickú 0. Jednoduchá bloková schéma vysvetľujúca princíp UART komunikácie je na obrázku 14.



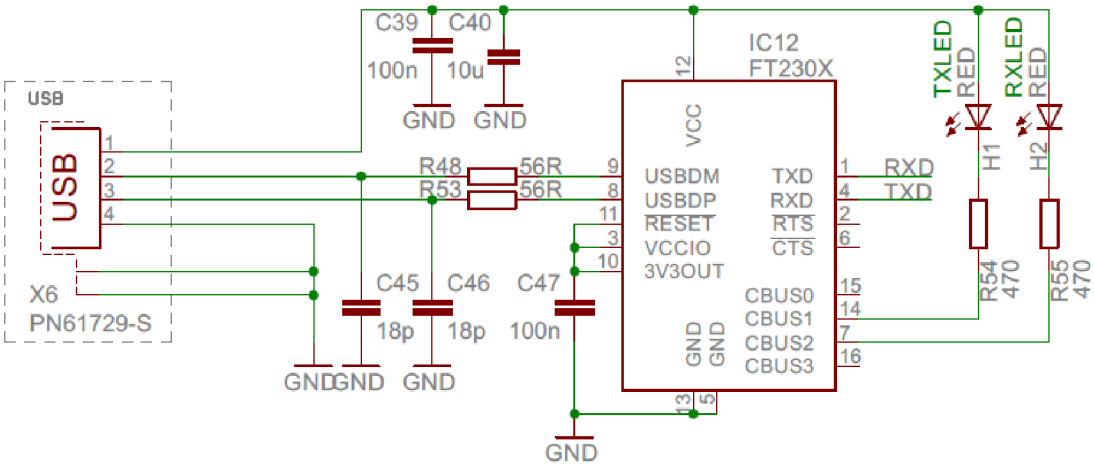
Obrázok 14Princíp UART komunikácie [20]

4.4.1 Technické parametre prevodníka FT230X

- Prevod USB rozhrania na asynchrónne sériové rozhranie
- Nevyžaduje špecifické programovanie firmware-u USB
- Plne integrovaná 2048 bytová MTP pamäť
- Konfigurovateľné CBUS I/O piny
- Podpora UART rozhrania pre 7 alebo 8 bitov
- Integrovaná +3,3V úrovňový konvertor pre USB I/O
- Možnosť inverzie UART signálu
- Kompatibilita s USB 2.0 v režime Hi-Speed
- Spotreba v aktívnom režime 8mA



Obrázok 15Konfigurácia pinov na obvode FT230X [21]



Obrázok 16Schéma zapojenia FT230X

4.5 SPI komunikácia a galvanický izolátor

Merací modul ADE7878 komunikuje s mikrokontrolérom MSP430 prostredníctvom SPI. SPI zbernica (Serial Peripheral Interface čiže sériové periférne rozhranie) je synchrónne sériové komunikačné rozhranie [20] používané na komunikáciu na krátke vzdialenosti, najmä vo vstavaných systémoch. SPI zariadenia komunikujú obojsmerne, využívajúc architektúru master-slave s jedným mastrom. Zariadenie master vytvára rámec pre čítanie a zapisovanie. Viacero slaveov je oslovovaných výberom prostredníctvom individuálnych SS (slave select) liniek. SPI je štvorvodičová sériová zbernica, čo môžeme vidieť aj na blokovom diagrame zapojenia optimalizátora toku energie (Obrázok 5). Zbernica špecifikuje štyri logické signály (pre jednoduchšiu predstavu viď. obrázok 17):

- SCLK - Serial Clock (výstup mastra)
- MOSI - Master Output, Slave Input (výstup mastra)
- MISO - Master Input, Slave Output (výstup slavea)
- SS - Slave Select (pin je aktívny v logickej 0;výstup mastra)

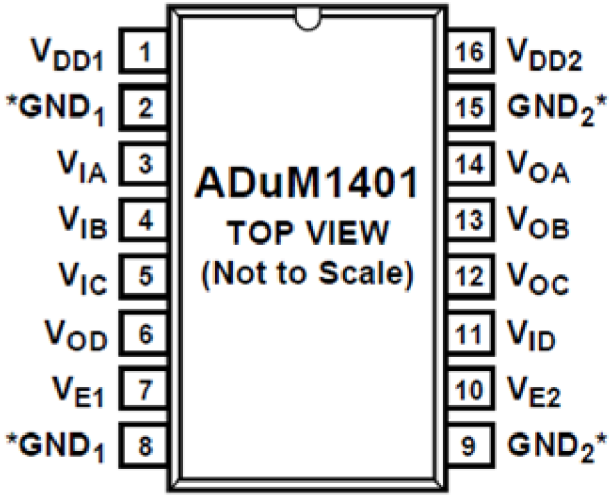
Obrázok 17SPI zbernica; jeden master a jeden slave [21]

S mastrom môže komunikovať vždy iba jeden (zvolený) slave.Ako sme už spomínali v predošlej kapitole, merací modul treba od zvyšných častí obvodu galvanicky oddeliť, aby sa eliminovalo riziko zničenia mikrokontroléra možným prierazom. Na tento účel použijeme SPI galvanický izolátor. Zvolili sme izolátor ADUM1401, pretože spĺňa požiadavky na komunikáciu prostredníctvom SPI (3 vstupy, 1 výstup) a zvláda prenosovú rýchlosť 2,5Mbps, čo je v súlade s prenosovou rýchlosťou 2,5MHz po SPI. Jedná sa o štvorkanálový digitálny izolátor. Vďaka kombinácii vysokorýchlostnej CMOS technológie a technológie jednoliateho vzduchového transformátorového jadra má výborné charakteristiky, v porovnaní napr. s optočlenmi. Digitálnym rozhraním a stabilnými charakteristikami sú potlačené napr. nepresné pomery prenosu prúdu, nelineárne prenosové funkcie a vplyv teploty na životnosť, typické pre optočleny. Je tiež eliminovaná potreba externých ovládačov a iných diskrétnych komponentov. Ďalšou obrovskou výhodou oproti optčlenom je, že pri porovnateľných prenosových rýchlostiach signálu spotrebúvajú jednu desatinu, maximálne jednu šestinu energie. ADUM1401 má nízke pulzné šírkové skreslenie a obsahuje funkciu refresh, ktorá zabezpečuje DC korektnosť v prípade absencie vstupných logických prechodov a keď do jedného zo zariadení nie je dodávaná energia.

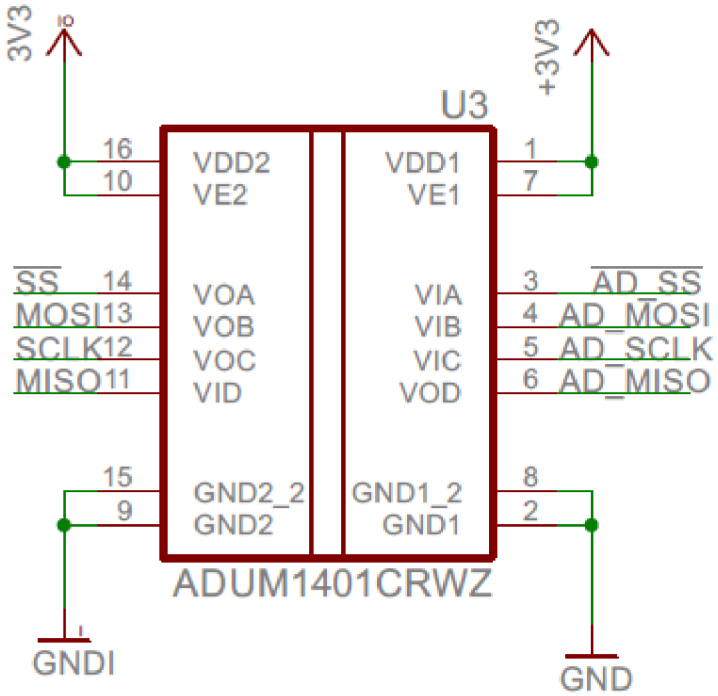
4.5.1 Technické parametre galvanického izolátora ADUM1401

- Napájacie napätia 2,7 V - 5,5V
- Nízkovýkonové aplikácie - 5 V: 1,0mA na kanál od 0 Mbps do 2 Mbps
  3,5 mA na kanál na 10 Mbps
  31 mA na kanál na 90 Mbps
  - 3 V: 0,7 mA na kanál od 0 Mbps do 2 Mbps
  2,1 mA na kanál na 10 Mbps
  20 mA na kanál na 10 Mbps
- Obojsmerná komunikácia

- 3V/5V úrovňový prenos
- Vysoká rýchlosť prenosu dát (DC do 90 Mbps)
- 16-lead SOIC puzdro



Obrázok 18Konfigurácia pinov na obvode ADUM1401 [23]



Obrázok 19Schéma zapojenia obvodu ADUM1401

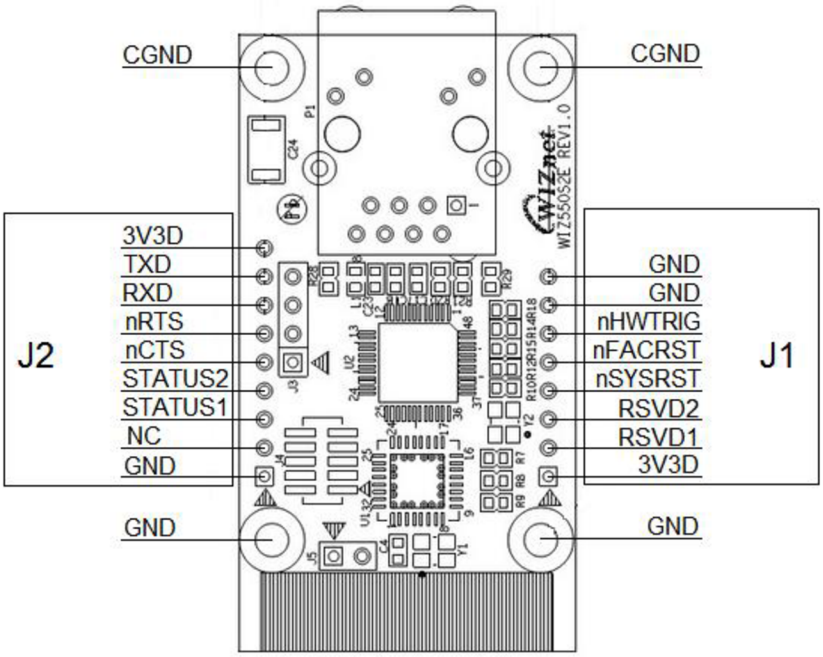
Ako môžeme vidieť názorne zobrazené na schéme zapojenia na obrázku 19, galvanický izolátor je napájaný z dvoch strán - z galvanicky oddelenej a z galvanicky neoddelenej.

4.6 Ethernetový modul WIZ550S2E

Pre možné budúce aplikácie, komunikáciu s optimalizátorom prostredníctvom internetu a pod. je prístroj vybavený ethernetovým modulom WIZ550S2E, založeným na rozhraniach RS232a RS422/485. [24]Aby bolo možné optimalizátor pripojiť do internetovej siete, je vybavený konektorom RJ-45 pre sieť Ethernet. Najbežnejšia rýchlosť je 100Mbit/s, zvyšuje sa však počet zariadení pracujúcich s prenosovou rýchlosťou 1Gbit/s.

4.6.1 Technické parametre Ethernetového modulu WIZ550S2E

- MCU LPC11E36FHN33
- TCP/IP Controller W5500
- RJ45(Integrated Transformer)
- 2,54mm Header x2
- napájanie 3,3V DC
- spotreba prúdu 140mA
- prevádzková teplota -40 ~ 85°C



Obrázok 20Rozloženie pinov modulu WIZ 550S2E

názov pinu	typ	popis	názov pinu	typ	popis
3V3D	P	napájanie +3,3V	**NC**	-	žiadne pripojenie
RSVD1	I/O	voľný pin	**STATUS1**	O	výstup pre LED display
RSVD2	I/O	voľný pin	**STATUS2**	O	výstup pre LED display
nSYSRST	I/O	systémový reset aktívny v 0	**nCTS**	I	Clear To Send vstup pre UART
nFACRST	I/O	továrenské nastavenie	**nRTS**	O	Request To Send výstup pre UART RS485 kontrola
nHWTRIG	I/O	Hardware Trigger aktívny v 0	**RXD**	I	prijímací vstup pre UART
GND	P	výkonová zem	**TXD**	O	vysielací výstup pre UART

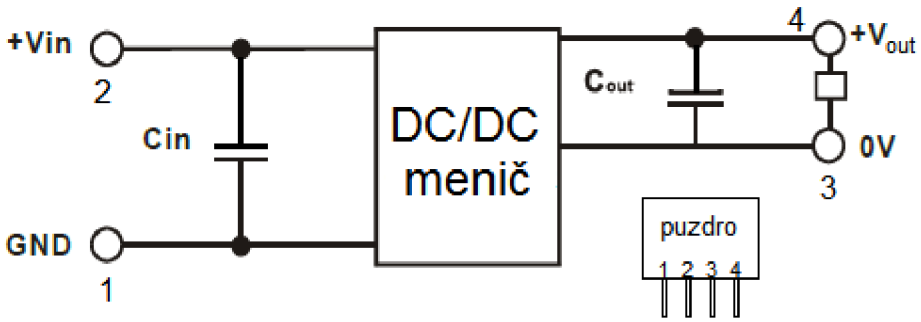
Obrázok 21Popis pinov modulu WIZ550S2E

4.7 DC/DC oddeľovač a stabilizátor

Tieto komponenty tvoria prechod medzi meracou a regulačnou časťou. Ako sme už viackrát spomenuli, meracia časť je priamo spojená so sieťou - hrozí nebezpečenstvo prierazu a poškodenie ďalších obvodov, preto je nutné tieto dve časti galvanicky oddeliť, čo docielime práve prostredníctvom DC/DC meniča.My sme zvolili menič QDC2S-1205S pre jeho vstupné napätie, ktoré je 12V a výstupné 5V, čo sa nám hodí kvôli stabilizátoru, ktorý za ním nasleduje, pretože stabilizuje napätie na 3,3V.

4.7.1 Technické parametre DC/DC meniča QDC2S-1205S

- spínacia frekvencia 80kHz
- štvorpinové puzdro
- jeden napäťový výstup
- pevné vstupné napätie 5, 12 alebo 24V (v našom prípade 12V, čo značí 10,8-13,2VDC)
- výstupné napätie 5VDC
- maximálny výstupný prúd 400mA
- účinnosť 75%
- prevádzková teplota -40-85 °C

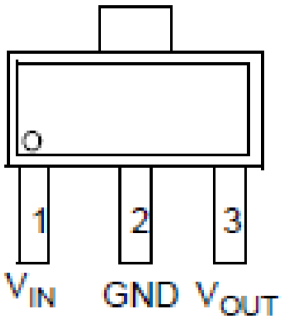


Obrázok 22 Typické zapojenie DC/DC meniča QDC2S[25]

Na ustálenie napätia na hodnotu 3,3V sme použili stabilizátor MCP1703-3302EDB. Zvolili sme tento konkrétny stabilizátor, pretože má malé low drop napätie, nízku prúdovú kľudovú spotrebu, štandardné, často používané puzdro a je lacný. Stabilizátory okrem toho viac či menej znižujú AC zložku, čiže zvlnenie, výstupného napätia.

4.7.2 Technické parametre stabilizátora MCP1703-3302EDB

- vstupné prevádzkové napätie 2,7-16,0V
- 250mA výstupný prúd pre výstupné napätia ≥ 2,5 V; 200mA pre napätia <2,5V
- štandardné výstupné napätia 1,2 V; 1,5 V; 1,8 V; 2,5V; 2,8V; 3,0V; 3,3V; 4,0V; 5,0V
- rozsah výstupného napätia 1,2-5,5 V s krokom 0,1V (možný aj 50mV krok)
- spotreba iba 2,0 µA v pasívnom režime
- dostupné puzdra SOT-223-3 (nami použitý typ), SOT-23A, 2x3 DFN-8 a SOT-89-3



Obrázok 23 Rozloženie pinov puzdra SOT-223-3 stabilizátora MCP1703-3302EDB [26]

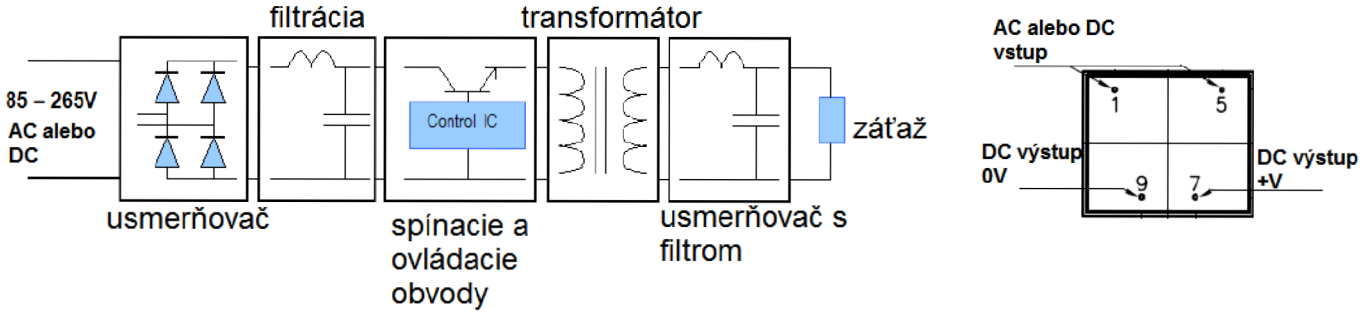
4.8 Zdroj

Zdroj bude napájať celý regulátor. Keďže bude tvoriť článok medzi sieťou a samotným zariadením, je nutné, aby bol z bezpečnostných dôvodov taktiež galvanicky oddelený. Na to nám poslúži menič. My sme zvolili menič Myrra 47154, pretože zlučuje viacero žiaducich funkcií. Ide o alternatívu k lineárnemuzdroju, ktorý nahrádza štandardné 50Hz transformátory,poistku a mostový usmerňovač s filtračným kondenzátorom. Myrra je efektívna a taktiež predstavuje veľkú úsporu energie vďaka jej nízkej spotrebe v standby režime.

Druhou dôležitou časťou zdroja je STEP-DOWN menič L5973D.

4.8.1 Technické parametre meniča Myrra 47154

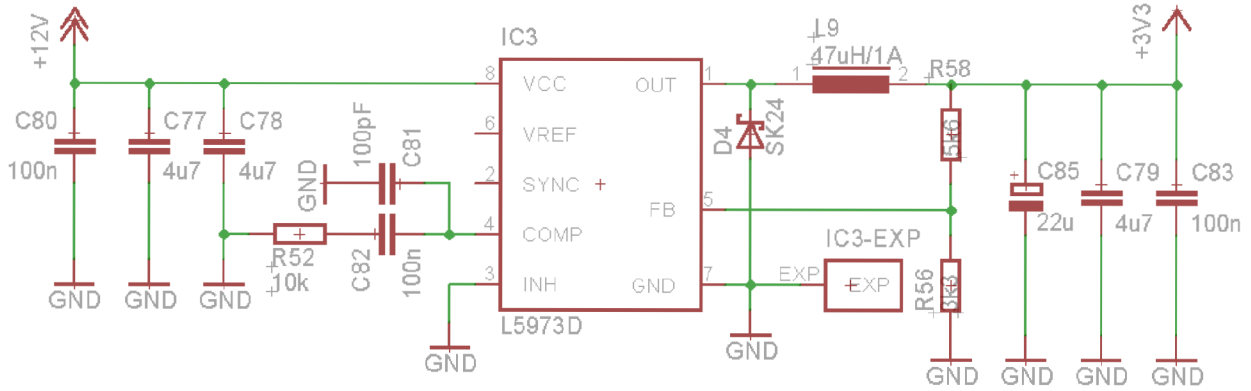
- vstupné napätie 85-265VAC, 85-370VDC
- vstupná frekvencia 47-440Hz
- prevádzková teplota -25-50°C
- výstupné napätie 12VDC
- výstupný prúd 420mA DC
- výstupný výkon 5W; jeden výstup 2,5 a 5W
- efektivita 75%



Obrázok 24 Štruktúra súčiastky a popis pinov [27]

4.8.2 Technické parametre STEP-DOWN meniča L5973D

- vnútorný spínač 2,5A[28]
- vstupné napätie 4,4-36V
- výstupné napätie môže byť nastavené od 1,235-35V
- vnútorná fixná frekvencia 250kHz



Obrázok 25Schéma zapojenia obvodu L5973D

Obvod je zapojený podľa odporúčaní výrobcu.

5 ZÁVER

V dôsledku rozmachu zelenej energie, najmä fotovoltaickej, o ktorej pojednáva táto práca, vyvstali nové otázky a problémy najmä ohľadom grid-on FVE, pri ktorých hrozí pretok vyrobenej elektriny do verejnej siete, čo je v prípade domácností skôr nežiaduce. Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce bol preto hardwarový návrh optimalizátoru toku energie pre takéto elektrárne. V prvej časti sme sa zaoberali problematikou malých FVE pre rodinné domy, pričom sme sa sústredili hlavne na grid-on systémy, ktorých sa táto práca týka. Rozoberali sme tiež celkové smerovanie fotovoltaiky a jej podporu a to so zameraním najmä na Slovenskú a Českú republiku.

V ďalšej časti sme navrhovali model malej FVE s rešpektovaním skutočných parametrov prostredia. Polohu sme volili v časti Slovenska, kde sídli firma, pre ktorú bolo zariadenie vyrábané a táto poloha bola zvolená taktiež preto, že daná oblasť je z pohľadu preberanej problematiky najobtiažnejšia. Snažili sme sa vytvoriť optimálne podmienky, ktoré by boli v súlade s odporúčaniami, pre maximálnu efektívnosť celého systému. Na demonštráciu výkonnosti nami navrhnutého systému sme použili jeden z online výpočtových programov, ktorý nám poskytol približnú predstavu o činnosti FVE v priebehu celého roka, pričom sme taktiež zobrali do úvahy možnosť použitia dvojosého sledovacieho systému a tento sme následne porovnali s fixovaným. Navrhli sme dva možné akumulačné spotrebiče na ukážku, ako by mohol systém fungovať.

Na záver sme navrhovali samotný optimalizátor toku nespotrebovanej energie z FVE. Skladá sa z meracej a regulačnej časti, kde meracia má za úlohu detegovať smer toku energie a v prípade, že by mala nami vyrobená nespotrebovaná elektrina tiecť do VDS, regulačná časť ju odkloní do akumulačných spotrebičov, čím bude užívateľ ušetrený od nepríjemností s prevádzkovateľom distribučnej sústavy a navyše radikálne zvýši účinnosť a využiteľnosť svojej elektrárne. Podrobne sme si rozobrali jednotlivé časti a komponenty zariadenia a ich zapojenie. Výsledkom práce je návrh plošného spoja optimalizátoru v programe Eagle.

LITERATÚRA

[1] Prieskum ZSE: záujem Slovákov o zelenú energiu rastie. *Zse.sk* [online]. ©2013-2015 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z: http://www.zse.sk/app/novinky/Prieskum-ZSE-zaujem-Slovakov-o-zelenu-energiu-rastie.html

[2] Batéria TESLA naživo a trendy fotovoltaiky v roku 2015. *Setri.sk* [online]. ©2008-2015 [cit. 2015-10-26]. Dostupné z: http://www.setri.sk/bateria-tesla-nazivo-trendy-fotovoltaiky-v-roku-2015/

[3] Fotovoltický článok. *Wikipedia.org* [online]. 13.október2015n. l. [cit. 2015-10-25]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Fotovoltick%C3%BD_%C4%8Dl%C3%A1nok

[4] Fotovoltické systémy a ich návrh, Česká vysoká škola technická Praha, prof. Ing. Vítězslav Benda, CSc. *Solarnenovinky.sk* [online]. ©2014-2015 [cit. 2015-10-25]. Dostupné z: http://www.solarnenovinky.sk/technika/2014/09/01/fotovolticke-systemy-a-ich-navrh-ceska-vysoka-skola-technicka-praha-prof-ing-vitezslav-benda-csc

[5] Fotovoltaika - podmínky v SR. *Frankensolar.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: http://www.frankensolar.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=18

[6] Fotovoltaika - podmínky v ČR. *Frankensolar.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: http://www.frankensolar.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=15

[7] Slnečná energia. *Platforma.ekofondplus.sk* [online]. 2014 [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: http://www.platforma.ekofondplus.sk/moderne-vyucovanie/teoria/54-slnecna-energia

[8]Fotovoltaika. *Https://cs.wikipedia.org* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika

[9]Vyjadrenie stredoslovenskej distribúcie k pripájaniu malých zdrojov. *Solarnenovinky.sk* [online]. ©2014-2015 [cit. 2015-10-26]. Dostupné z: http://www.solarnenovinky.sk/legislativa/2015/09/11/maly-zdroj-stredoslovenska-distribucia

[10] Síťové elektrárny On-GRID. *Http://www.sticka.cz* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.sticka.cz/kategorie/sitove-elektrarny-on-grid/

[11] MPO zvažuje návrhy na další smysluplný rozvoj fotovoltaiky. *Solarninovinky.cz* [online]. ©2008-2015 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2014050503/mpo-zvazuje-navrhy-na-dalsi-smysluplny-rozvoj-fotovoltaiky#.Vn10EVJOHK-

[12] Potenciál fotovoltaiky na Slovensku. *Www.daia.sk* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.daia.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=12:potencial-fotovoltaiky-na-slovensku&catid=7:nieo-o-fotovoltaike&Itemid=10

[13]Fotovoltaika v praxi (2): umiestnenie fotovoltaickej elektrárne na nehnuteľnosti. *Http://www.setri.sk* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.setri.sk/fotovoltaika-v-praxi-2-umiestnenie-fotovoltaickej-elektrarne-na-nehnutelnosti/

[14] Klimatizácia - princíp. *Http://www.midea.sk* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: http://www.midea.sk/20/klimatizacia---princip.html

[15]Texas Instruments. MSP430F5529 USB Experimenter's Board [online], June 2011, [cit. 29.10.2015]. < http://www.ti.com/tool/msp-exp430f5529 >

[16] Texas Instruments. CC1101 datasheet [online], 2013, [cit. 7.12.2015]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>

[17] ADE7878 Evaluation Board. *Analog.com* [online]. ©1995-2016 [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: http://www.analog.com/en/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-ade7878.html#eb-overview

[18] Polyphase Multifunction Energy Metering IC with Harmonic and Fundamental Information. *Analog.com* [online]. ©1995-2016 [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7854_7858_7868_7878.pdf

[19] Universal asynchronous receiver/transmitter. *Wikipedia.org* [online]. 16December2015n. l. [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver/transmitter

[20] MICROCONTROLLER UART TUTORIAL. *Societyofrobots.com* [online]. 2014 [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: http://www.societyofrobots.com/microcontroller_uart.shtml

[21] Future Technology Devices International Ltd . FT230X (USB to BASIC UART IC). *Ftdichip.com* [online]. ©2015 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT230X.pdf

[22] Serial Peripheral Interface. *Wikipedia.org* [online]. 2014 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

[23] ADUM1401. *Analog.com* [online]. ©1995-2016 [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: http://www.analog.com/en/products/interface-isolation/isolation/standard-digital-isolators/adum1401.html

[24] WIZ550S2E Datasheet. *Http://wizwiki.net* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:wiz550s2e:wiz550s2eds_en#overview

[25] QLT POWER QDC2S-xxxxS SERIES 2W DC-DC CONVERTER. *Http://fubar.gr* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://fubar.gr/wp-content/uploads/2014/11/qdc2s-2405s.pdf

[26] MCP1703. *Http://ww1.microchip.com* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22049e.pdf

[27] MYRRA 47154 AC/DC PCB Mount Power Supply, Switch Mode, Fixed, 85 V, 265 V, 5 W, 12 V, 420 mA. *Http://uk.farnell.com* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://uk.farnell.com/myrra/47154/power-supply-12v-5w/dp/1825782

[28]L5973D Datasheet (PDF) - STMicroelectronics. *Alldatasheet.com* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22520/STMICROELECTRONICS/L5973D.html

ZOZNAM PRÍLOH

A. VÝKON MODELOVEJ FVE POČAS ROKA 39

B.1 SCHÉMA ZAPOJENIA 1 40

B.2 SCHÉMA ZAPOJENIA 2 41

B.3 SCHÉMA ZAPOJENIA 3 42

B.4 SCHÉMA ZAPOJENIA 4 43

C.1 PLOŠNÝ SPOJ - TOP 44

C.2 PLOŠNÝ SPOJ - BOT 45

C.3 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - TOP 46

C.4 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - BOT 47

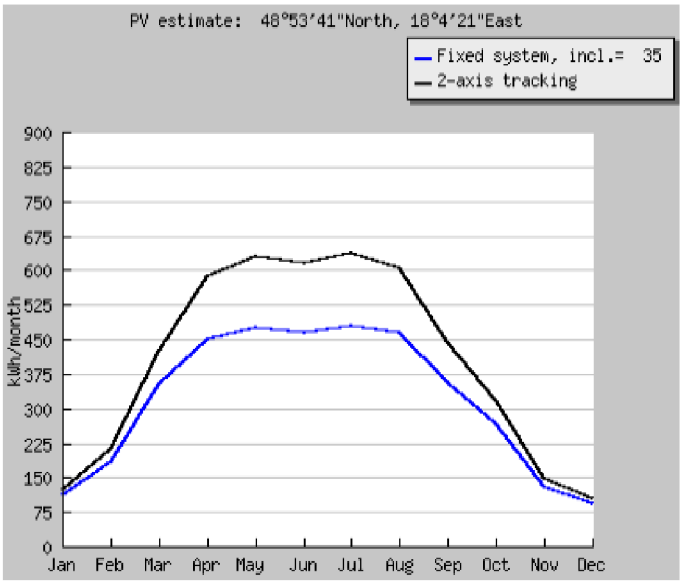
A. VÝKON MODELOVEJ FVE POČAS ROKA

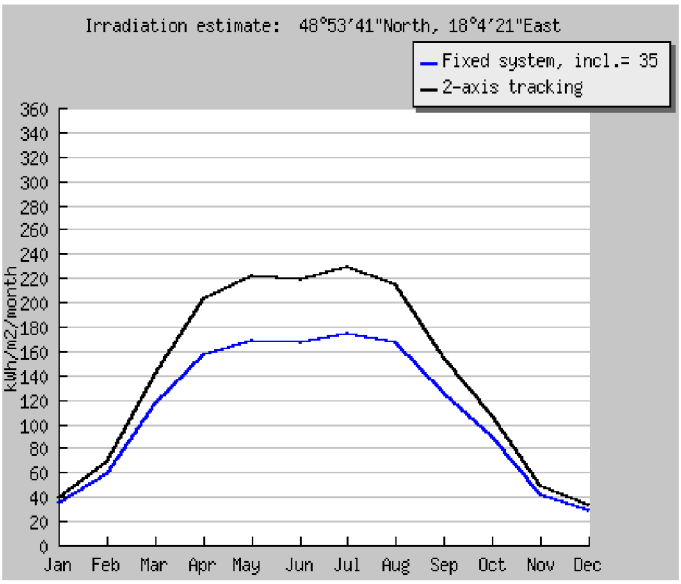
Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.55	110	1.12	34.9
Feb	6.60	185	2.12	59.4
Mar	11.40	352	3.78	117
Apr	15.10	452	5.24	157
May	15.30	474	5.44	169
Jun	15.40	463	5.56	167
Jul	15.40	478	5.60	174
Aug	14.90	463	5.38	167
Sep	11.90	358	4.17	125
Oct	8.57	266	2.89	89.6
Nov	4.33	130	1.42	42.5
Dec	2.99	92.6	0.95	29.5
Yearly average	**10.5**	**318**	**3.65**	**111**
Total for year		**3820**		**1330**

2-axis tracking system				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.95	122	1.25	38.8
Feb	7.62	213	2.46	68.8
Mar	13.80	427	4.57	142
Apr	19.60	587	6.75	203
May	20.30	630	7.15	222
Jun	20.50	615	7.28	218
Jul	20.60	638	7.38	229
Aug	19.50	604	6.94	215
Sep	14.70	441	5.11	153
Oct	10.20	315	3.43	106
Nov	4.95	148	1.62	48.7
Dec	3.34	104	1.07	33.1
Yearly average	**13.3**	**404**	**4.60**	**140**
Total for year		**4840**		**1680**

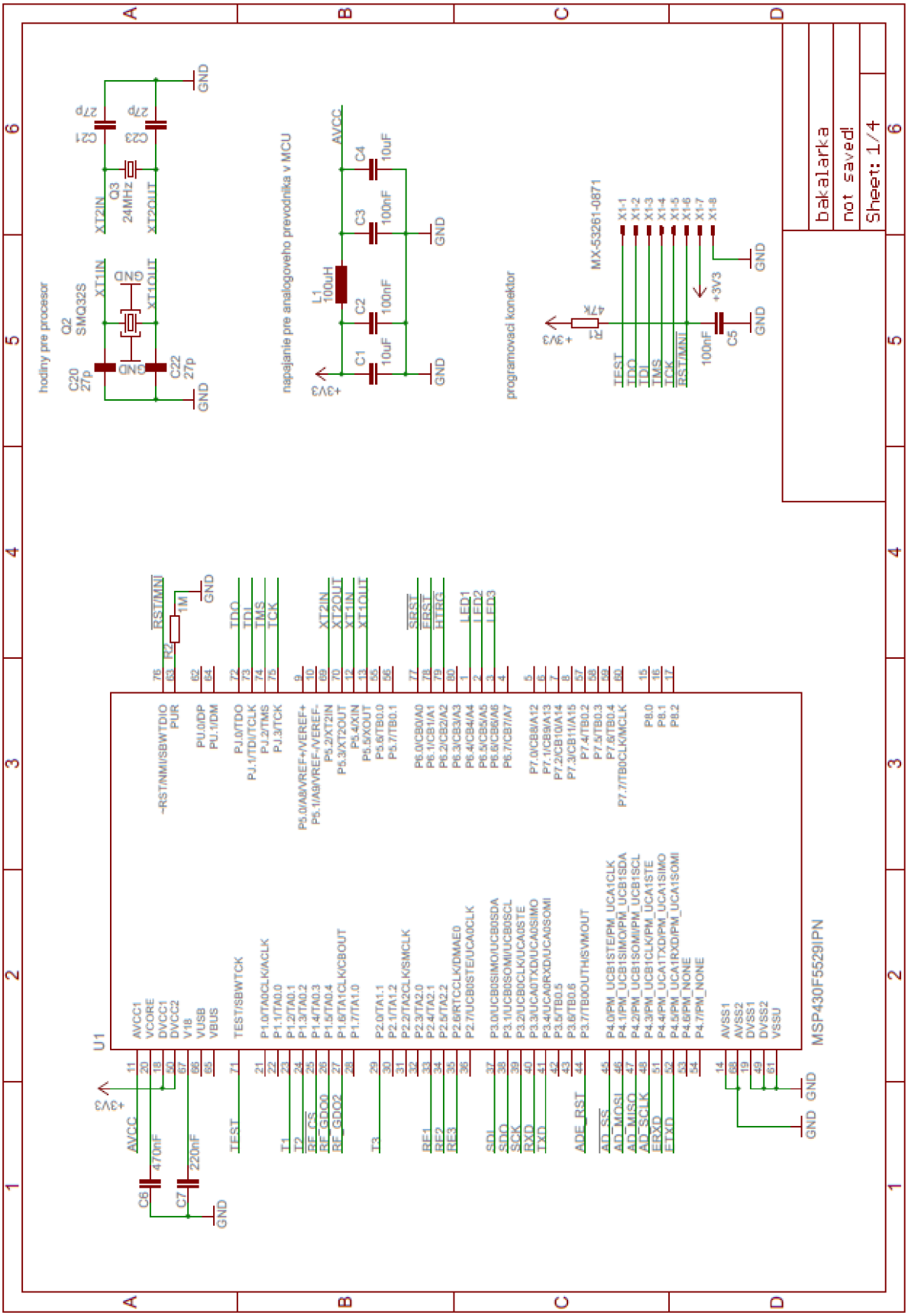
Nominal power of the PV system: 3.8 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 8.1% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 23.2%

E_d: Average daily electricity production from the given system (kWh)
E_m: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
H_d: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m^2)
H_m: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m^2)

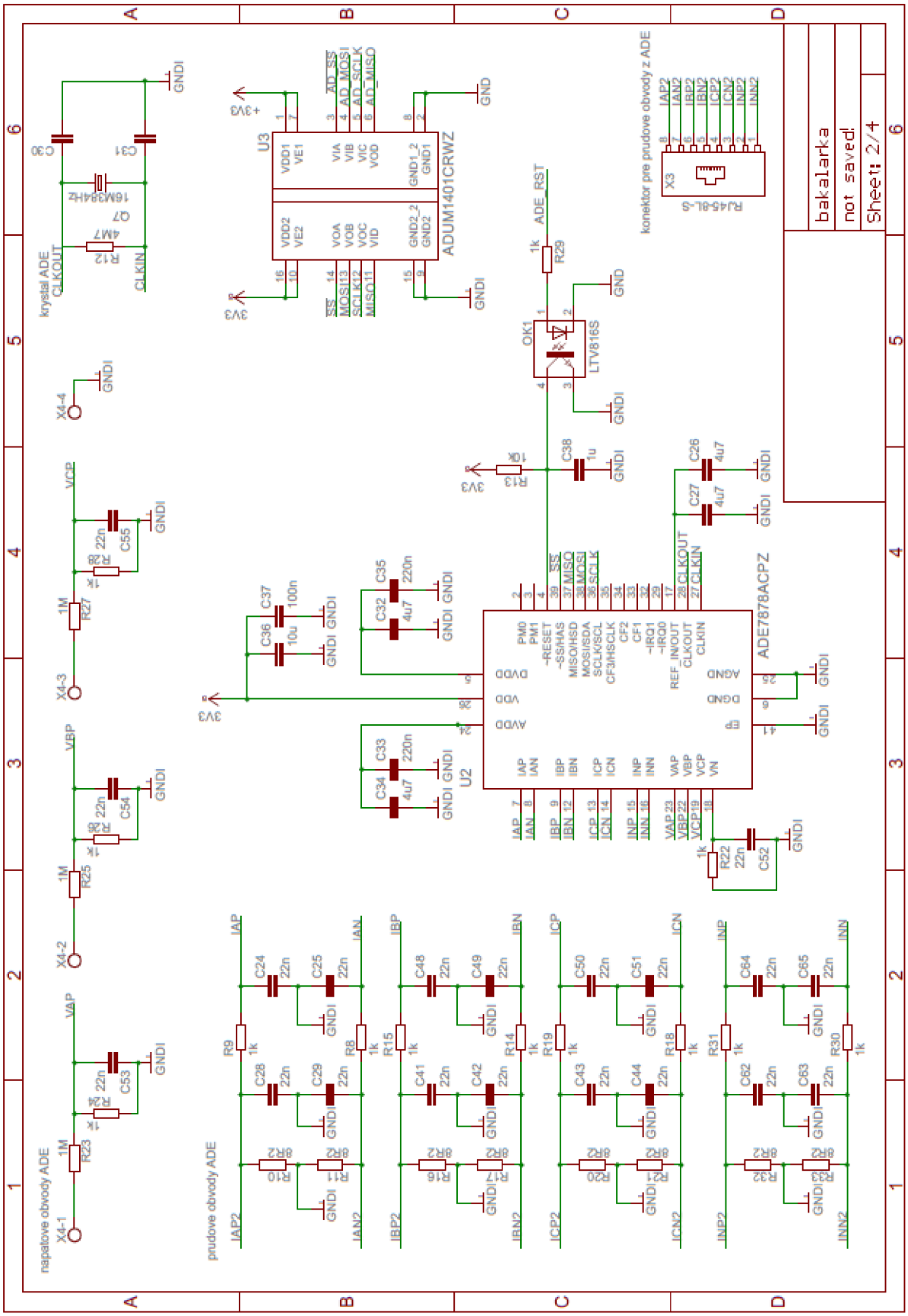




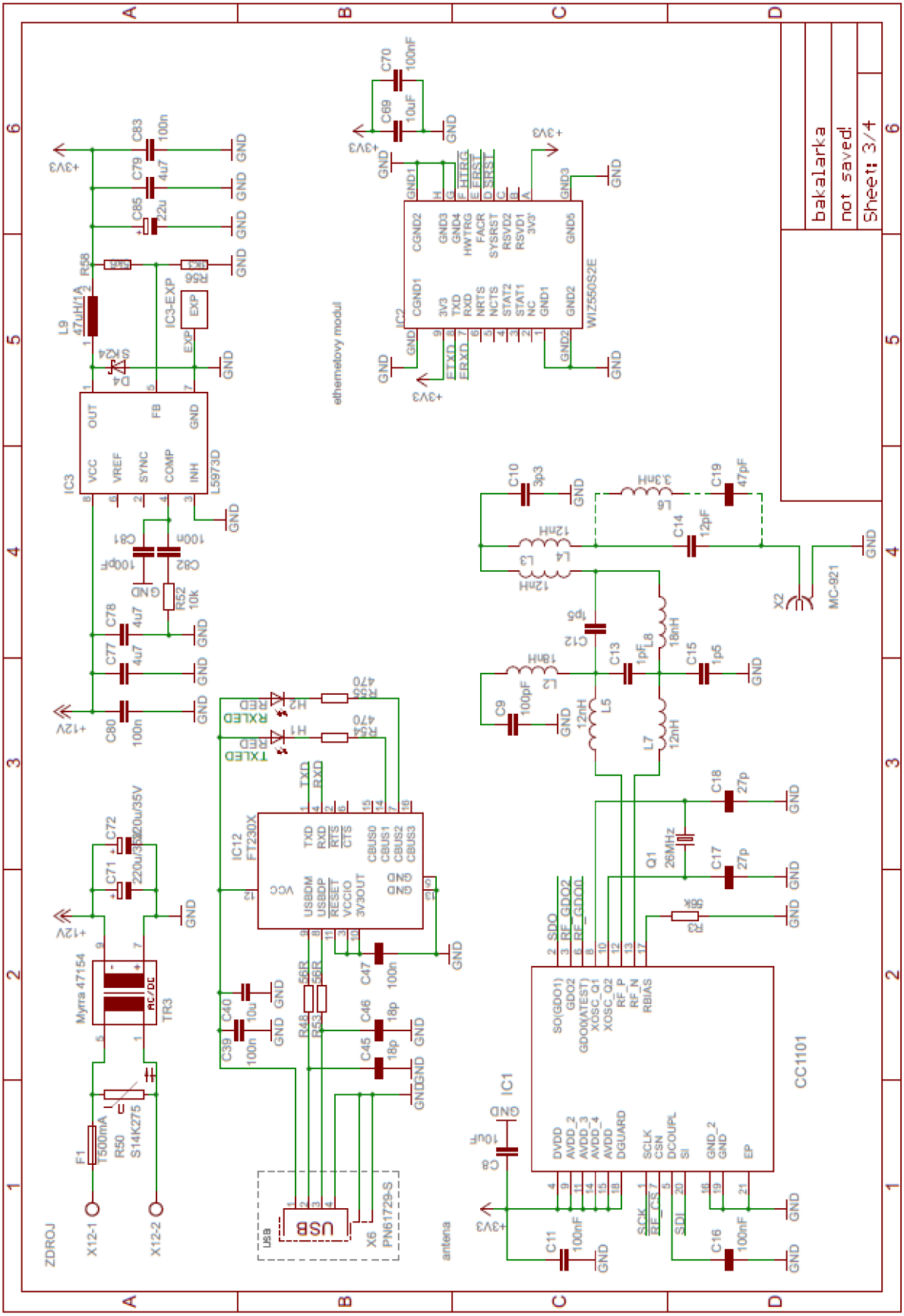
B.1 SCHÉMA ZAPOJENIA 1



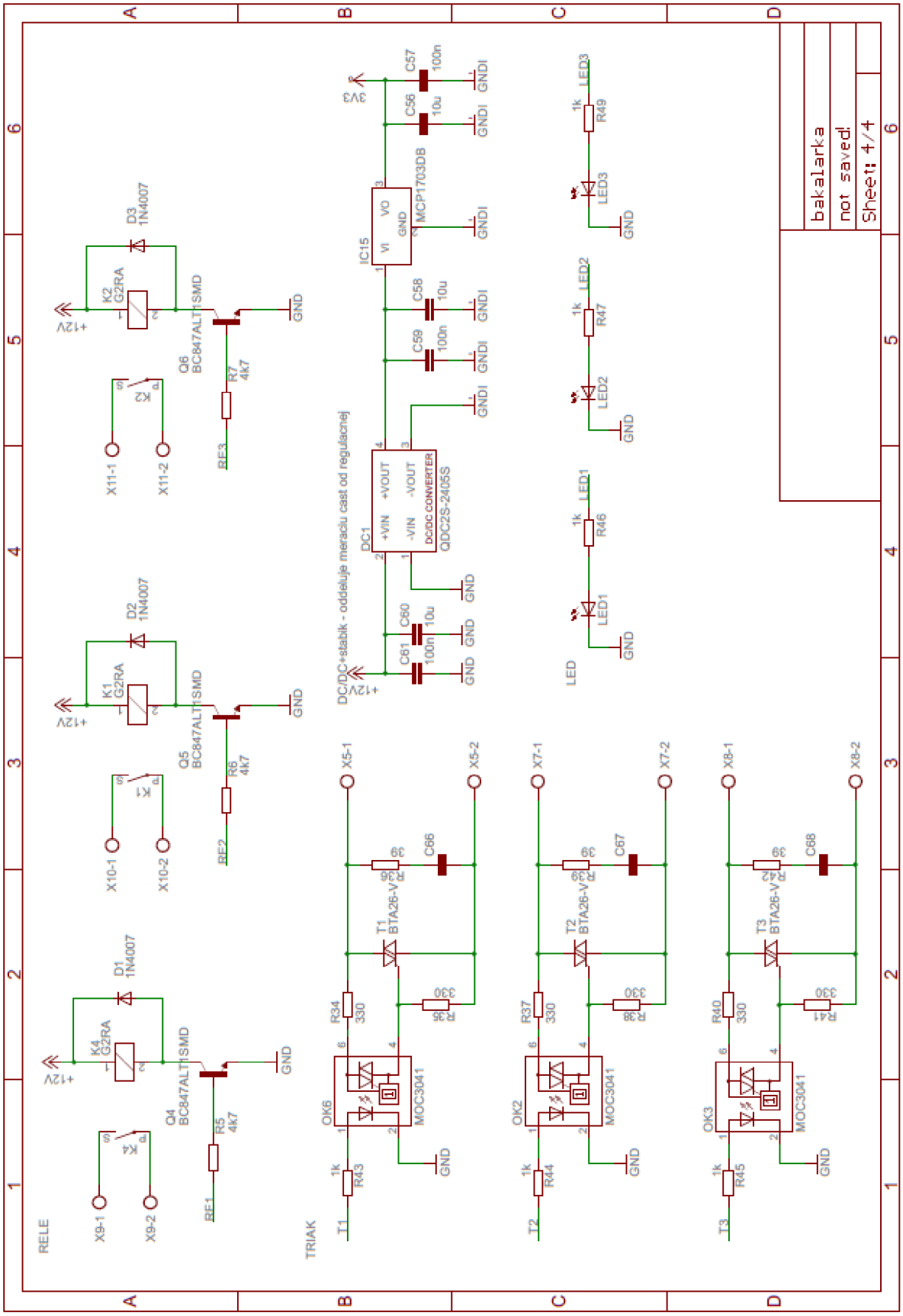
B.2 SCHÉMA ZAPOJENIA 2



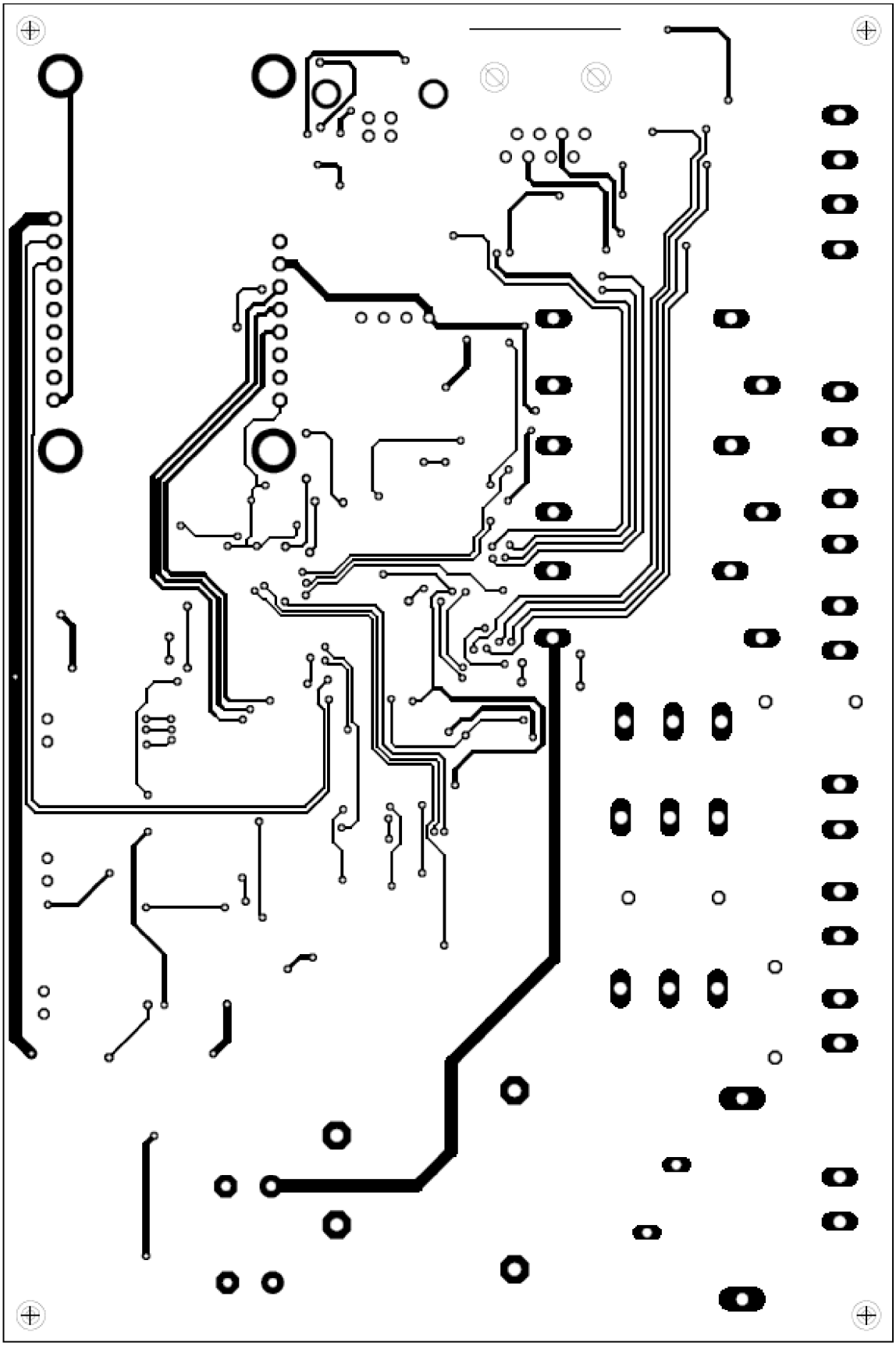
B.3 SCHÉMA ZAPOJENIA 3



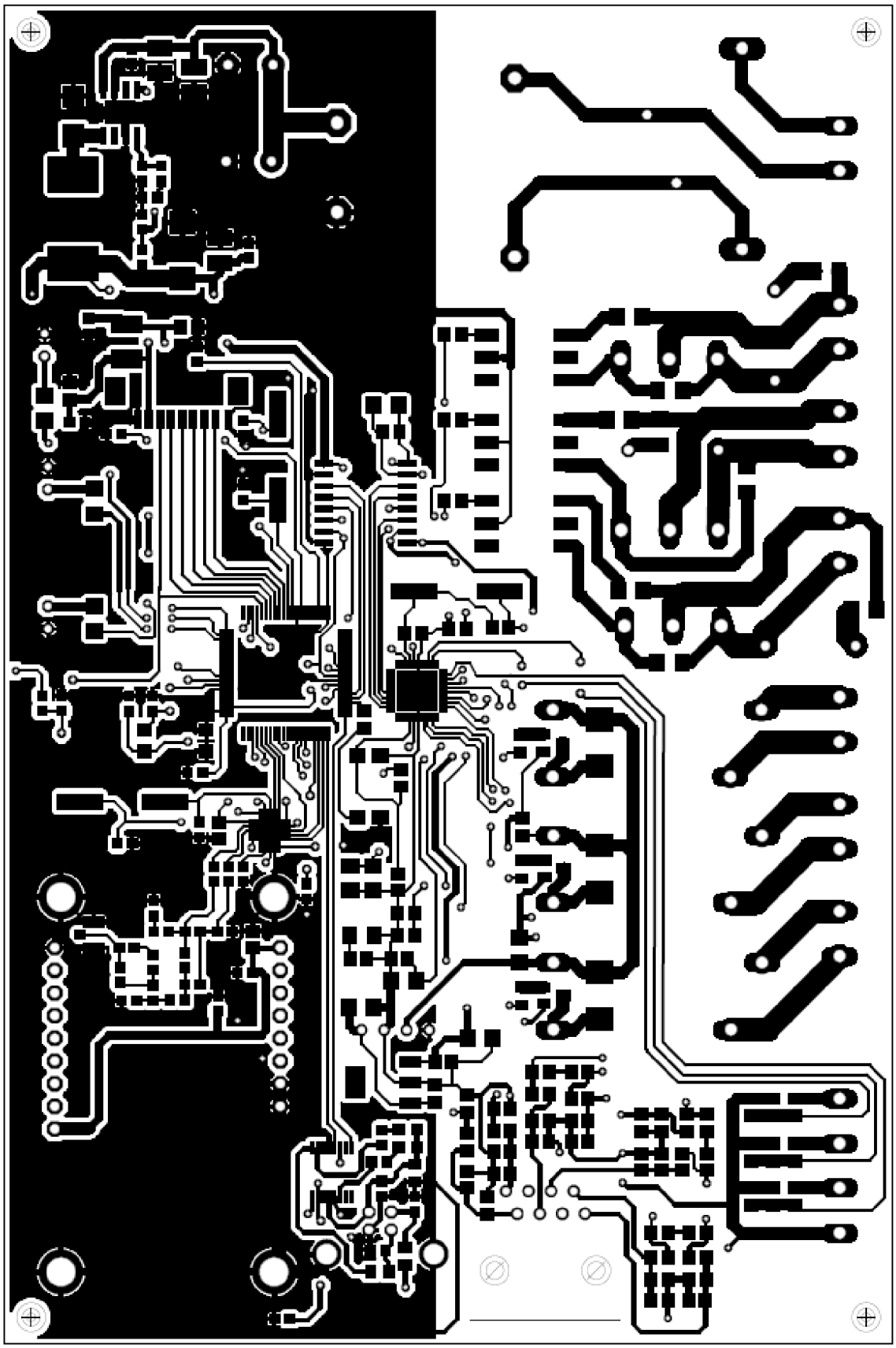
B.4 SCHÉMA ZAPOJENIA 4



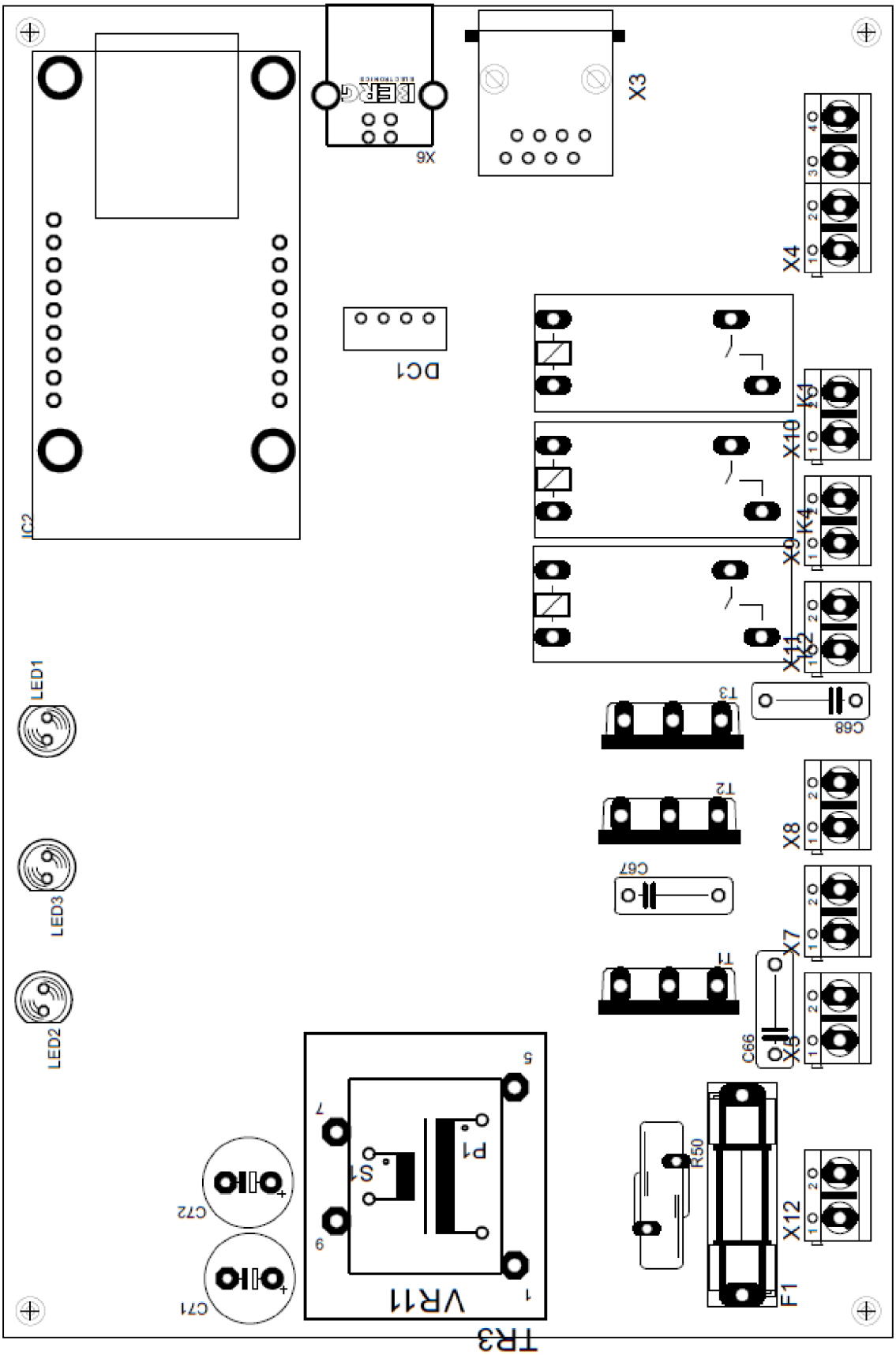
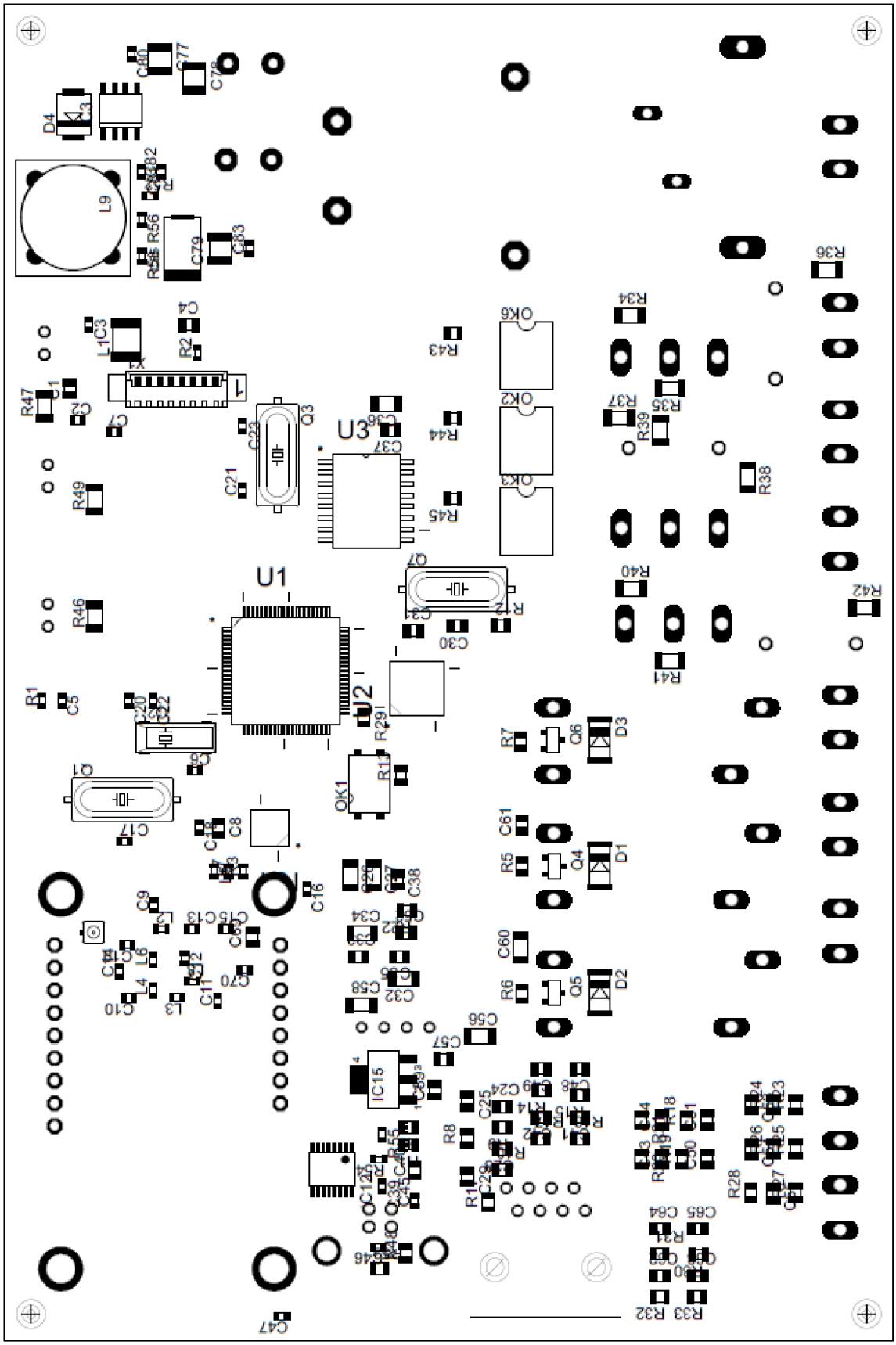
C.1 PLOŠNÝ SPOJ- TOP



C.2 PLOŠNÝ SPOJ - BOT



C.3 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - TOP



C.4 PLOŠNÝ SPOJ - ROZLOŽENIE SÚČIASTOK - BOT