

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



**Měření vlivu vnějších faktorů na účinnost fotovoltaických  
panelů**

Bakalářská práce

**Rudolf Šíma**

Školitel: Ing. Michal Šerý

České Budějovice 2011

Šíma, R. (2011). Měření vlivu vnějších faktorů na účinnost fotovoltaických panelů. [Measuring the impact of external factors on the efficiency photovoltaic panels ] – 89 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

### **Anotace**

Bakalářská práce "Měření vlivu vnějších faktorů na účinnost fotovoltaických panelů" pojednává o konstrukci testeru fotovoltaických článků a měření vlivu zastínění na jejich výkon.

Bachelor thesis

„Measuring the impact of external factors on the efficiency photovoltaic panels,“ discusses about the construction of the tester photovoltaic cells and measuring the impact of shading on their performance.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č.111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 12. 11. 2011

.....  
Rudolf Šíma

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Šerému, za odborné vedení, metodickou pomoc, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu bakalářské práce poskytl.

Děkuji firmě LINTECH, spol. s r.o. za fotovoltaické články Q-Cells SE, bez kterých by tuto bakalářskou práci nebylo možné provést.

Děkuji Bohumíru Tomáškoví za zapůjčení dataloggeru pro měření teploty fotovoltaických článků.

## OBSAH

1	Úvod.....	7
2	Fotovoltaický článek - výroba elektrické energie přímou cestou .....	8
2.1	Historie fotovoltaického článku.....	8
2.2	Fotoelektrický jev .....	9
2.3	Přeměna elektromagnetického záření na elektrickou energii .....	12
3	Druhy fotovoltaických článků .....	13
3.1	Monokrystalické fotovoltaické články.....	13
3.2	Polykrystalické fotovoltaické články .....	15
3.3	Amorfnní fotovoltaické články .....	16
3.4	Vícepřechodové struktury .....	16
4	Využití fotovoltaických článků v našich zeměpisných šířkách .....	17
4.1	Sluneční záření na území České republiky .....	17
4.2	Využití slunečního záření .....	18
4.3	Předpokládaná výše vyrobené elektrické energie .....	18
4.3.1	Typ a výkon fotovoltaického panelu .....	18
4.3.2	Sklon a směrování panelu vzhledem k slunci.....	19
4.3.3	Výpočet výkonu .....	19
4.4	Výkony fotovoltaických panelů na území České republiky .....	20
4.4.1	Modelový příklad výpočtu pro lokalitu České Budějovice .....	20
4.4.2	Vyhodnocení výkonu v delším časovém období .....	23
5	Tester fotovoltaických článků.....	24
5.1	Napájecí zdroj .....	24
5.2	Základní modul - digitální část .....	25
5.3	Rozšiřující modul - analogová část.....	30
5.3.1	Aktivní filtr pro převod signálu PWM.....	30
5.3.2	Měřící zesilovače .....	31
5.4	Kalibrace testeru .....	34
6	Měření fotovoltaických článků .....	38
6.1	Základní parametry fotovoltaických článků .....	38
6.2	VA charakteristika nezastíněného fotovoltaického článku.....	39
6.3	Chyba způsobená tepelným zářením .....	40

6.4	Vliv zastínění na měřené fotovoltaické články.....	42
6.5	Chyby měření.....	43
7	Závěr.....	45
8	Použitá literatura.....	46
	Seznam tabulek.....	47
	Seznam obrázků.....	48
	Seznam grafů.....	49
	Přílohy.....	50

# 1 ÚVOD

V dnešní době plné elektrických zařízení a vzrůstající spotřebě elektřiny v celosvětovém měřítku, je snaha o získání této energie upřednostňována před ochranou životního prostředí a vyčerpáváním nerostného bohatství Země. Životní prostředí se zde ovšem vytvářelo o mnoho dekad déle než období po „technické revoluci“. Během vytváření životního prostředí se zde ukládalo nerostné bohatství, jehož objem je limitován dobou potřebnou k jeho vzniku. Pokud se tyto zdroje používají k přeměně na elektrickou energii, a to buď cestou přímou, nebo nepřímou, musí zákonitě dojít k jejich vyčerpání. Využití těchto zdrojů bývá většinou levné a na zpracování nenáročné. To je bohužel předurčuje k masivnímu využití. Neméně významný je také negativní vliv této výroby na životní prostředí.

Existují zde i nové technologie výroby elektrické energie, spočívající v přeměně jedné energie na druhou. Mezi tyto technologie je možné zařadit výrobu elektrické energie za pomoci fotovoltaických článků. Tato technologie přeměny je sice známa již dlouho, ale nebylo ji možné dlouho využít z důvodu nevhodné výrobní technologie a vysoké ceny.

Při používání fotovoltaických panelů k výrobě elektrické energie ovšem dochází ke ztrátám při výrobě. K největším ztrátám na fotovoltaických člancích dochází vlivem zvýšené okolní teploty a vlivem nedostatečného osvětlení fotovoltaických článků. Pokud by se podařilo tyto nedostatky omezit, získalo by se z fotovoltaického článku více energie při stejné ploše článku.

Jako projektant jsem byl mnohdy svědkem špatného návrhu a bohužel i výstavby fotovoltaické elektrárny, kde nebyly tyto nedostatky brány v potaz. Ani po oslovení výrobců fotovoltaických článků, jsem nedostal téměř žádné informace o vlivu zastínění na výkon fotovoltaického článku.

Z tohoto důvodu jsem si pro zpracování své bakalářské práce vybral jako téma měření vlivu zastínění na výkon fotovoltaického článku.

## **2 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK - VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE PŘÍMOU CESTOU**

### **2.1 Historie fotovoltaického článku**

Na začátku vzniku fotovoltaického článku byl náhodný objev francouzského fyzika Alexandra Edmonda Bacquerela v roce 1839. Při pokusech s elektrodami ponořenými do elektrolytu zjistil, že po jejich nasvícení prochází obvodem malý elektrický proud.

Do výroby prvního fotovoltaického článku uteklo ještě 44 let, kdy první fotovoltaický článek vytvořil Adams a Day v roce 1877. Další výzkum učinil v roce 1883 Charless Fritts, který potáhl polovodivý selen tenkou vrstvou zlata. Jeho účinnost dosahovala 1 % a bylo ho možné vyrábět sériově. Fritts si byl jist využitím této technologie k výrobě elektrické energie, ale k většímu rozšíření a výrobě nedošlo. Účinnost 1 % bylo pro masivní použití přeci jenom málo. Později se pro výrobu článku používal oxid měďnatý, potažený na měděném plechu. Vývody z článku byly vyrobeny z olověného drátu, uloženém ve spirále na článku. Po inovování článku se začala používat pro odvod vyrobeného proudu napařená kovová mřížka. Tento článek měl již podobnou strukturu jako dnes vyráběné články. K jejich používání a většímu rozšíření ovšem nedošlo. Výkony těchto článků byly stále na příliš nízké hodnotě.

Na začátku vývoje fotovoltaických článků nebylo zcela jisté, jakým procesem dochází k výrobě elektrické energie. Nebyla také známa omezení a možnosti při přímém převodu slunečního záření na elektrickou energii. Významný podíl na konstrukci moderních článků měl Jan Czochralski, který pracoval na výrobě monokrystalu křemíku.

Fotovoltaický článek z křemíku byl patentován v roce 1946 v USA. Patentoval si jej Russell S. Ohl. Struktura a složení článku bylo vyvinuto roku 1954 v Bellových laboratořích. Tyto články již byly dopovány polovodičovými prvky. Šlo tedy již o první články s p-n přechodem. Dosahovaly účinnosti až 6 % a bylo již tedy



možné tyto články použít pro praktické účely. Cena byla však ještě stále natolik vysoká, že se příliš nerozšířily.

Prvním praktickým a významným využitím fotovoltaických článků bylo na umělých družicích, kde sloužili jako zdroj energie pro napájení přístrojů na oběžné dráze. Bez fotovoltaických článků by nebylo možné udržet jejich provoz na dobu delší, než by pokryli baterie. Ke své funkci mají fotovoltaické články v kosmu vhodné podmínky. Pokud je možné nasměrovat panely na vhodný zdroj světla, neztěžuje výrobu elektrické energie vysoká teplota nebo stín. Na Zemi se fotovoltaické články začali uplatňovat až v 70. letech po snížení ceny výroby křemíku. I tak se zatím používali spíše k napájení osamocených signalizačních zařízení, které byli svojí polohou odříznuti od elektrické sítě. K většímu využívání fotovoltaických článků došlo až po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se organizace a vlády začali zabývat otázkou nezávislosti na ropě. V této době také došlo k masivní výrobě elektronických součástek z křemíku a tím k levnější výrobě čistého křemíku. [1]

## 2.2 Fotoelektrický jev

Fotoelektrický jev či fotoefekt je fyzikální jev, při němž jsou elektrony uvolňovány (vyzařovány, emitovány) z látky (nejčastěji z kovu) v důsledku absorpce elektromagnetického záření (např. rentgenové záření nebo viditelného světla) látkou. Emitované elektrony jsou pak označovány jako fotoelektrony a jejich uvolňování se označuje jako fotoelektrická emise (fotoemise).

Pokud jev probíhá na povrchu látky, působením vnějšího elektromagnetického záření se uvolňují elektrony do okolí látky, hovoří se o vnějším fotoelektrickém jevu. Fotoelektrický jev však může probíhat i uvnitř látky, kdy uvolněné elektrony látku neopouští, ale zůstávají v ní jako vodivostní elektrony. V takovém případě se hovoří o vnitřním fotoelektrickém jevu.

Pokud na látku dopadají elektrony, které způsobují vyzařování fotonů, mluví se o inverzním (obráceném) fotoelektrickém jevu.

Bylo zjištěno, že při osvětlení některých látek (především kovy) se tyto látky nabíjí. Např. zinek osvětlený ultrafialovým světlem se nabije kladně.

Při ozáření vzorku spektrem elektromagnetického vlnění byly přitom pohlceny krátké vlnové délky a delší vlny ve spektru zůstaly.

Pro krátké vlnové délky došlo k emisi vodivostních elektronů z kovu. Počet těchto elektronů rostl s intenzitou vlnění. Jev byl ale pozorován jen pro krátké vlnové délky, pro velké délky vln jev nenastal při libovolné intenzitě. Pro krátké vlnové délky se zvýšením intenzity dopadajícího záření zvyšoval počet uvolněných elektronů, avšak intenzita neovlivnila energii těchto elektronů.

Podle představ klasické fyziky by elektronům měla být předána kinetická energie dopadajícího elektromagnetického vlnění. Energie elektromagnetických vln souvisí s intenzitou záření, tzn. že energie vyzařovaných elektronů by měla záviset na intenzitě dopadajícího záření. Experimenty však ukázaly, že kinetická energie vyzařovaných elektronů je závislá na frekvenci a nikoliv na intenzitě dopadajícího záření.

Experimentálně bylo zjištěno, že pokud frekvence dopadajícího záření klesne pod tzv. mezní (prahový) kmitočet  $\nu_0$ , fotoemise se neobjevuje. Mezní frekvence je charakteristickou vlastností každé látky. Pokud je frekvence  $\nu$  dopadajícího záření vyšší než mezní frekvence  $\nu_0$ , mají fotoelektrony energii v rozmezí od nuly do určité maximální hodnoty  $E_{\max}$ . Maximální hodnota energie  $E_{\max}$  je lineární funkcí frekvence a platí pro ni vztah:

$$E_{\max} = h(\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0$$

kde  $h$  je Planckova konstanta.

Tyto vlastnosti fotoelektrického jevu není klasická fyzika schopná vysvětlit.

Podivné chování světla při interakci s vlněním vysvětlil až Einstein v roce 1905 s využitím poznatků právě se rodící kvantové teorie. Byla to především Planckem prezentovaná teorie, že elektromagnetické vlnění předává svou energii při

interakcích s jinými částicemi nespojitě, po takzvaných kvantech. Velikost kvanta energie závisí na frekvenci (vlnové délce) elektromagnetického záření, přičemž platí:

$$E = hv = \hbar\omega$$

kde  $h$  je Planckova konstanta,  $\nu$  je frekvence elektromagnetického záření,  $\omega = 2\pi\nu$  je jeho kruhová frekvence a  $\hbar = h/2\pi$  je redukovaná Planckova konstanta. Pro toto kvantum světla se vžil název foton.

Světlo při dopadu předává energii elektronům na povrchu zkoumané látky. Je-li vlnová délka  $\lambda$  světla dostatečně malá, pak frekvence  $\nu$  a tedy i energie ( $c = \nu\lambda$ ), kterou záření po dopadu předá elektronu, může dosáhnout dostatečné hodnoty pro uvolnění tohoto elektronu z vazby v obalu atomu. Hodnota této energie potřebné k uvolnění elektronu se označuje jako ionizační energie. Velikost ionizační energie, kterou potřebují elektrony k uvolnění z látky, se někdy označuje jako fotoelektrická bariéra. Předáním dostatečné energie elektronům je možné tuto bariéru překonat (hovoří se také o tzv. výstupní práci). Minimální frekvence, při níž dopadající fotony předávají elektronům energii potřebnou k překonání této bariéry, se označuje jako prahová frekvence.

Při velkých vlnových délkách (nízkých frekvencích a tedy i energiích) se jev neprojeví, protože energie fotonu nestačí na uvolnění elektronu z obalu atomu.

Pokud je energie předaná elektronu větší než je potřeba k jeho uvolnění (tedy větší než výstupní práce), pak fotoelektronu po opuštění látky část energie zůstane. Tato energie má formu kinetické energie elektronu.

Z těchto úvah získal Einstein rovnici fotoelektrického jevu:

$$h\nu = h\nu_0 + E_{\max}$$

kde  $h\nu$  je energie dopadajícího fotonu,  $h\nu_0$  je minimální energie potřebná k uvolnění elektronu (tedy výstupní práce) a  $E_{\max}$  je maximální možná energie uvolněného elektronu. Z uvedené rovnice je vidět, že energie uvolněného elektronu závisí pouze na frekvenci dopadajícího záření, a nikoliv na intenzitě tohoto záření. Je také vidět,

že bez ohledu na intenzitu dopadajícího záření nemůže při  $v < v_0$  dojít k uvolnění elektronů, což znamená, že nedochází k fotoefektu. Elektrony mohou při cestě k detektoru prodělat neelastickou srážku a část své energie ztratit (zvláště elektrony vyražené z vnitřku látky), proto jejich energie leží v rozmezí od nuly do  $E_{\max}$ . Ačkoliv intenzita dopadajícího záření nemá vliv na energii uvolněných elektronů, ovlivňuje jejich počet. Při větší intenzitě záření je také počet uvolněných elektronů vyšší. [www.wikipedia.cz]

### **2.3 Přeměna elektromagnetického záření na elektrickou energii**

Fotovoltaický článek je vlastně polovodičová dioda. Základním prvkem fotovoltaického článku je tenká křemíková destička s vodivostí P a na ní je nanášena tenká vrstva polovodiče N. Dopadne-li na křemíkovou destičku foton o energii menší než 1,1 elektronvoltů, není křemíkem absorbován. Pokud je jeho energie větší než 1,1 elektronvoltů, je tento elektron absorbován a v polovodiči vznikne volný elektron a volná díra. Prostorové náboje ze závěrné vrstvy vytlačují elektrony k N-přechodu a díry k P-přechodu. V článku vznikne vnitřní fotoelektrický jev a na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí. Zapojením do elektrického obvodu dojde k elektrickému proudu a tím k přeměně elektromagnetického záření na elektrickou energii.

### **3 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ**

Jak je již z historie patrné, nejčastěji užívaným materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík (Si). Tento prvek má pro fotovoltaické články nejlepší vlastnosti jak z technického hlediska, tak i z jeho dostupnosti a ceny. V zemské kůře se nachází cca 25 % tohoto prvku a s jistou rezervou můžeme říci, že jeho zásoby jsou nevyčerpatelné. Výroba fotovoltaických článků je samozřejmě vhodná i z důvodu využití křemíku v polovodičových součástkách. Masivní výroba křemíkových ingotů tento materiál velice zlevňuje. Všechny tyto technologie mají ovšem své omezení a dochází u nich s postupem času k úbytku účinnosti. Po cca 25 letech můžeme počítat s úbytkem účinnosti nejméně o 10 %. Toto je potřeba brát na zřetel při výpočtech výkonu v delších obdobích.

#### **3.1 Monokrystalické fotovoltaické články**

Základní surovinou pro výrobu je monokrystalický křemík. Využívá se obvyklé metody pro jeho výrobu a to řízenou krystalizaci z taveniny (Czochralského proces). Do křemíkové taveniny je vložen zárodečný krystal z vysoce čistého křemíku. S krystalem se v tavenině otáčí a vibruje a tak dochází k narůstání krystalu. Výsledným produktem je křemíkový ingot o průměru až 400 mm. Tento ingot je při výrobě fotovoltaických článků řezán na plátky o síle cca 0,1 až 0,35 mm. Tyto plátky jsou před výrobou polovodiče leštěny a poté je technologicky nanášena vrstva fosforu. Je tím připravena základní deska s vodivostí typu N. Účinnost sériově vyráběných článků je 15 - 19 %. Výroba a zpracování takto chemicky čistého monokrystalického článku je finančně náročný a proto začali vznikat technologie výroby tažením přímo z taveniny. Takto vyrobený monokrystal má však po zpracování na fotovoltaický článek menší účinnost. Tyto články jsou označovány jako multikrystalické fotovoltaické články a dalo by se říci, že se nacházejí

v tabulkách jako mezistupeň mezi monokrystalickými články a polykrystalickými články. Účinnost sériově vyráběných článků je 15 - 18 %.



Obrázek č. 1: **Monokrystalický fotovoltaický článek**

Zdroj: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Solar\\_cell.png](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Solar_cell.png)



Obrázek č. 2: **Multikrystalický fotovoltaický článek**

Zdroj: <http://www.q-cells.com/typo3temp/yag/05/539x4e536002d614.jpg>

## 3.2 Polykrystalické fotovoltaické články

V dnešní době nejpoužívanější výroba fotovoltaických článků spočívá v odlévání čistého křemíku do forem. Takto vyrobený křemík má horší vodivost z důvodu hrubších krystalů. Krystaly zde totiž nenarůstají jako u monokrystalů, ale jsou při vysoké teplotě odlévány. Jeho účinnost je poměrně snížena při přímém osvětlení slunečním zářením, ovšem při difúzním, nepřímém osvětlení je jeho účinnost vyšší než u monokrystalického článku. Polykrystalické fotovoltaické články jsou tedy mnohem účinnější v oblastech s proměnlivým počasím. Polykrystal reaguje na změny v osvětlení mnohem rychleji a to v řádu milisekund. Technologie výroby základního polykrystalického křemíku umožňuje odlévat do forem čtvercové či obdélníkové ingoty. Této možnosti se hojně využívá pro výrobu čtvercových fotovoltaických článků. Jejich uspořádání do fotovoltaického panelu je pak snazší a úspornější. Na stejné ploše panelu (záleží na výrobci) cca 1,7 m<sup>2</sup> se vejde větší plocha fotovoltaických článků. Také jsou oblíbené u moderních architektů kvůli své neopakovatelné vnější struktuře, připomínající řez kamenem. Účinnost sériově vyráběných článků je 14 - 17 %.



Obrázek č. 3: Polykrystalický fotovoltaický článek

Zdroj: <http://www.civicsolar.com/sites/default/files/resources/poly.jpg>

### 3.3 Amorfni fotovoltaické články

Amorfni fotovoltaické články jsou vyrobeny nanesením tenké vrstvy amorfniho křemíku na sklo nebo fólii. Jejich nevýhodou je mnohem menší účinnost než u předešlých článků. Účinnost sériově vyráběných článků je 7-10 %. Pro zajištění výkonu je tedy nutná 2 - 2,5 krát větší plocha. Jejich výhodou je však mnohem menší závislost na teplotě. Jejich výkon se nesnižuje tak mnoho se vzrůstající teplotou jako u monokrystalických nebo polykrystalických článků. Také porovnání výkonu při horším osvětlení s ostatními technologiemi je pro ně přínosem.



Obrázek č. 4: Amorfni fotovoltaický panel

Zdroj: <http://www.dynamicsolarsolutions.com.au/amor.JPG>

### 3.4 Vícepřechodové struktury

Jednou z technologií, která se nejspíše začne masivně používat je technologie vícepřechodových struktur. Při výrobě se smísí tři slitiny v přesném poměru a tato slitina je nanášena na podložku. Tato směs je citlivá pouze na úzkou část světelného záření. Pokud ale nanášeme několik různých směsí na sebe, dostaneme panel o citlivosti na široké spektrum slunečního záření. Výhodou je také použití mnohem menšího množství křemíku než při výrobě monokrystalického nebo polykrystalického článku.

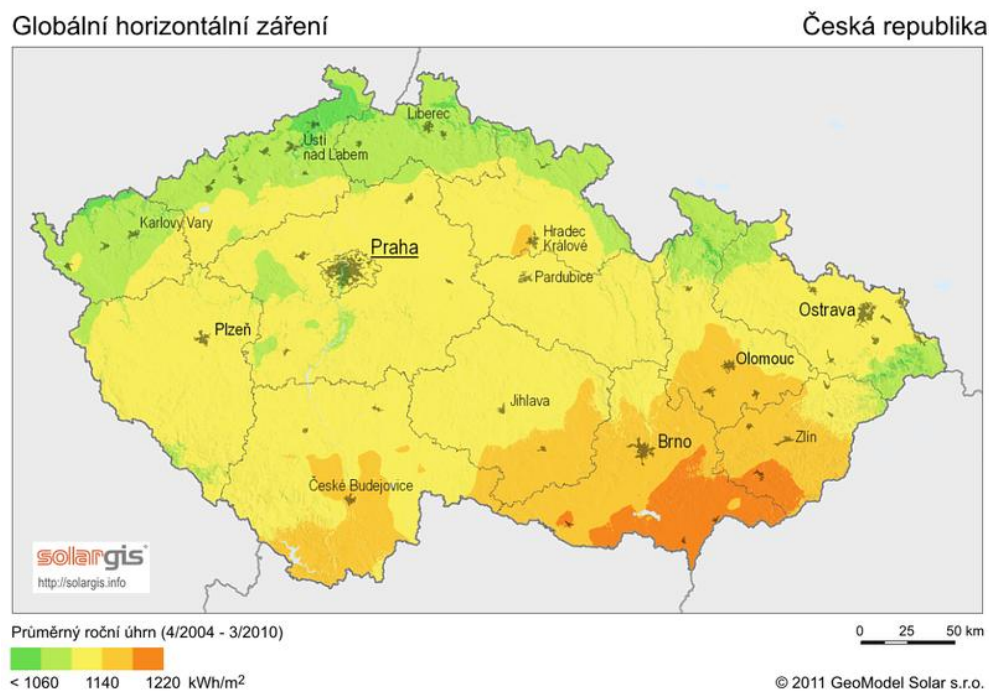


## 4 VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ V NAŠICH ZEMĚPISNÝCH ŠÍŘKÁCH

Česká republika je svým umístěním poměrně vhodná k využívání fotovoltaických článků. V průběhu roku zde dochází ke kolísání slunečního záření, ale vzhledem k citlivosti a účinnosti dnes komerčně vyráběných článků, je součet slunečních hodin v průběhu roku vhodný pro využívání fotovoltaických článků.

### 4.1 Sluneční záření na území České republiky

Ročně dopadá na 1 m<sup>2</sup> plochy 800 - 1250 kWh sluneční energie. V období od dubna do října dopadá 75 % sluneční energie a v období od října do dubna 25 % sluneční energie. Celkově dopadá na území České republiky sluneční záření během roku 1400 - 1800 h/rok. Ve vhodných klimatických lokalitách jako je jižní Morava dopadá až 2000 h/rok slunečního záření.



Obrázek č. 5: Mapa České republiky - globální horizontální záření

Zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/SolarGIS-Solar-map-Czech-Republic-cz.png>

Velikost a doba slunečního záření dopadajícího na zem není ovlivněna pouze vzájemnou polohou Slunce a Země, ale je také ovlivněna klimatem v dané lokalitě. Počty hodin dopadajícího slunečního záření není tedy odvozeno od času od rozbřesku po soumrak, ale je určeno na základě zaznamenaných statistických dat z meteorologických ústavů.

## 4.2 Využití slunečního záření

Využití energie slunečního záření můžeme rozdělit na dva způsoby:

1. Přeměnou na teplo pohlčením záření tmavým povrchem. Toto teplo je možné využít přímo pro ohřev vody, vytápění budov, vytápění skleníků.
2. Přeměnou na elektrickou energii.
  - a. Přímá přeměna pomocí fotovoltaických článků.
  - b. Nepřímá přeměna ohřevem teplovodního média, které je pak přivedeno na parní turbínu pohánějící alternátor.

## 4.3 Předpokládaná výše vyrobené elektrické energie

Pokud se zabýváme výpočtem předpokládané vyrobené elektrické energie z fotovoltaických panelů, potřebujeme k tomu znát několik údajů.

### 4.3.1 Typ a výkon fotovoltaického panelu

Pro výpočet vyrobené elektřiny je nutné znát typ a výkon fotovoltaického panelu. I když rozdíl účinnosti o 1-2 % mezi monokrystalickými a polykrystalickými panely se zdá být malý, jde o zavádějící údaj. Tyto parametry jsou měřeny při výkonové hustotě záření slunečního záření  $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , spektrum záření AM1.5

a stabilní teploty solárního článku 25 °C. O celkovém výkonu, který bude dodávat panel ve venkovním prostředí, vypovídá jen okrajově. Tato metodika byla schválena z důvodu zavedení jednotky watt-peak [Wp], která vyjadřuje nominální výkon fotovoltaického panelu. Díky tomuto je možné porovnávat výkony jednotlivých panelů vzhledem k jejich ploše a kvalitě. V dnešní době se nejčastěji instalují fotovoltaické panely o výkonu 220 - 250 Wp, přičemž plocha odpovídající tomuto výkonu je 1,6 - 1,7 m<sup>2</sup> pro monokrystalické a polykrystalické panely. Pro amorfní fotovoltaické panely jsou nejčastěji používané velikosti okolo 1,2 m<sup>2</sup> při nominálních výkonech kolem 100 Wp.

### **4.3.2 Sklon a směrování panelu vzhledem k slunci**

Pro výpočty musíme znát geografické umístění fotovoltaického panelu a jeho směrování vzhledem ke slunci. Nesmíme zapomenout, že jih z katastrální mapy se neshoduje s jihem geografickým. Je to zapříčiněno v minulosti zvolenou metodou zaměřování katastrálních území. Dalo by se říci pro naši republiku, že podklady z katastrální mapy je nutné otočit o 7° směrem k západu.

### **4.3.3 Výpočet výkonu**

Pokud máme tyto údaje, můžeme si v systému PVGIS na stránkách <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis> spočítat předpokládanou průměrnou roční výrobu elektřiny. Výpočty jsou prováděny na základě statistických záznamů z meteorologických ústavů. Zvolíme zde typ fotovoltaických článků, úbytky (úbytek výkonu na délce kabelů, ztráty v měniči atd.), odklon od jihu, sklon panelů. Po zadání těchto údajů a po spočítání obdržíme tabulku předpokládané výše vyrobené elektrické energie.

## **4.4 Výkony fotovoltaických panelů na území České republiky**

Jak již bylo napsáno výše, Česká republika je svým geografickým umístěním a klimatickými podmínkami vhodná pro používání fotovoltaických panelů. I pokud nebudeme uvažovat se státní podporou na výstavbě fotovoltaických elektráren, mají tyto systémy vzhledem ke stále vyšší ceně elektrické energie svoje opodstatnění.

### **4.4.1 Modelový příklad výpočtu pro lokalitu České Budějovice**

Na modelovém příkladě zde uvedu ideální umístění fotovoltaických panelů:

- Pro zvolenou lokalitu zvolím nejvhodnější natočení a to přímo na jih.
- Náklon panelů bude optimálních 34°
- Velikost fotovoltaického systému zvolím 3,4 kWp
- Odhadované ztráty na systému 8 %
- Instalace na volné ploše (menší tepelné ztráty než u instalací na objektech)

Po spočítání aplikací PVGIS dostaneme tyto výsledky:

- Předpokládaný výkon systému 3,31 Mwh
- Ztráty vlivem tepelného záření 7,5 %
- Ztráty způsobené nepřímým slunečním zářením 3,0 %
- Mnou nastavené ztráty na kabelech a měniči 8,0 %
- Odhadované ztráty na systému 8,0

Podrobnější údaje o výstupu ze systému PVGIS v příloze č. 18,19

### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 48°59'23" North, 14°28'0" East, Elevation: 388 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 3.4 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 7.5% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 8.0%

Combined PV system losses: 17.4%

Fixed system: inclination=34 deg., orientation=0 deg. (Optimum at given orientation)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4.00	124	1.29	40.0
Feb	6.41	180	2.12	59.4
Mar	9.19	285	3.13	97.1
Apr	11.60	347	4.10	123
May	13.30	413	4.87	151
Jun	12.80	384	4.75	142
Jul	13.90	430	5.19	161
Aug	12.70	393	4.71	146
Sep	9.95	299	3.57	107
Oct	8.12	252	2.81	87.1
Nov	3.81	114	1.27	38.1
Dec	2.93	90.8	0.95	29.5
Year	9.07	276	3.24	98.5
Total for year		3310		1180

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

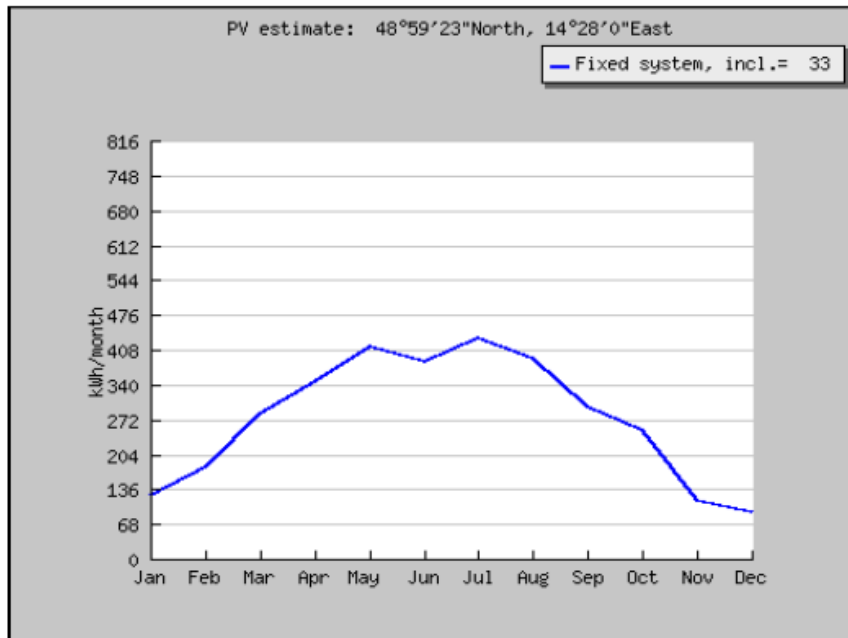
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

### Obrázek č. 6: Výstup aplikace PVGIS

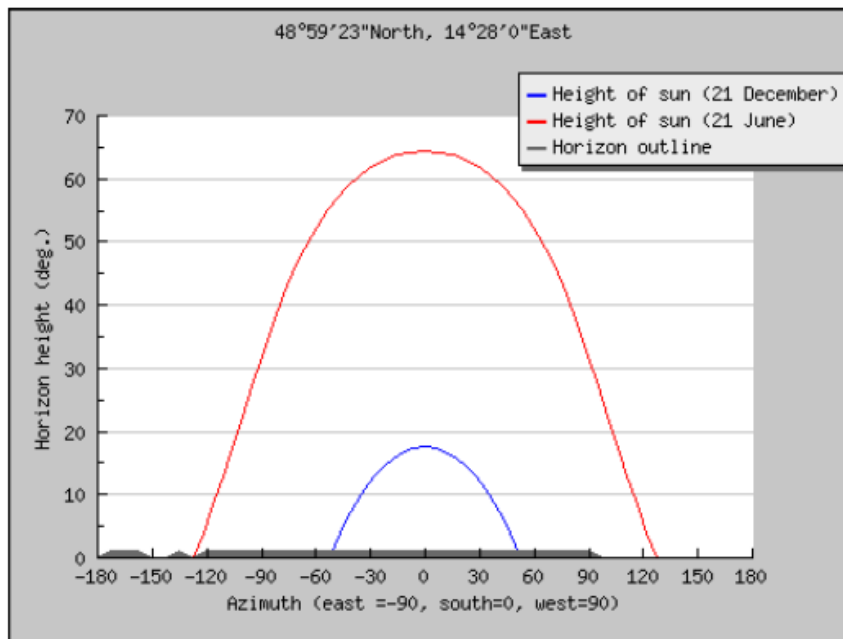
Zdroj: Vlastní výpočet v aplikaci PVGIS

Ve výstupu výpočtů systému PVGIS je také graf výkonu fotovoltaického systému podle měsíců a obrysy horizontu pro letní i zimní slunovrat.



Obrázek č. 7: **Graf výkonu fotovoltaického systému**

Zdroj: Vlastní výpočet v aplikaci PVGIS



Obrázek č. 8: **Obrysy horizontu slunovratů**

Zdroj: Vlastní výpočet v aplikaci PVGIS

#### 4.4.2 Vyhodnocení výkonu v delším časovém období

Pokud již známe předpokládaný výkon fotovoltaického systému na jeden rok, můžeme dopočítat předpokládanou výrobu po dobu životnosti systému cca 25 let.

Výrobci fotovoltaických panelů většinou garantují, že výkon jejich panelů nepoklesne po 20. letech pod 80 % nominálního výkonu. Pokud tedy budeme uvažovat se snížením nominálního výkonu každý rok o 1 % po dobu 25 let, dostaneme výsledných 75,3 MWh vyrobené elektrické energie z fotovoltaického systému.

Pokud již známe předpokládanou výši vyrobené energie, můžeme dál pokračovat s finančními propočty vztažené k fotovoltaickému systému.

Při finančních kalkulacích bychom neměli zapomenout zahrnout k pořizovací ceně systému i další náklady spojené s provozem zařízení. Například výrobci DC/AC měničů zatím neposkytují žádné dlouhodobé garance jako výrobci panelů. Nabízejí většinou pouze možnost prodloužení záruky, ale při spočtení těchto nákladů je možné odhadnout, že je nutné počítat minimálně s jednou výměnou DC/AC měniče v průběhu životnosti panelů.

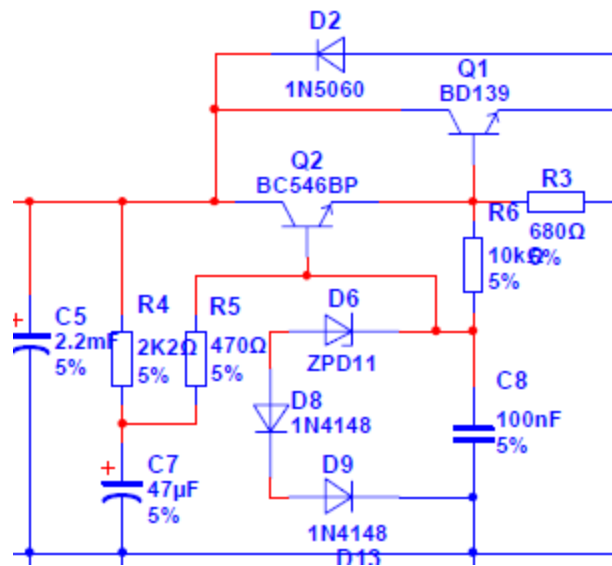
## 5 TESTER FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

Na počátku zpracování této bakalářské práce, jsem narazil na jeden zásadní problém. Potřeboval jsem k měření VA charakteristik vhodnou elektronickou zátěž se specifickými parametry. Elektronická zátěž měla mít možnost běžet v režimu konstantního proudu a to v hodnotách 0 - 4 A při vnitřním odporu do 50 mΩ. Protože bohužel není takové zařízení volně k zapůjčení na akademické půdě, musel jsem se do stavby tohoto zařízení pustit sám.

### 5.1 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj jsem začal navrhovat jako symetrický neregulovatelný  $\pm 9$  V/ 1 A. V průběhu návrhu ale vznikla otázka napájení ventilátoru umístěného v blízkosti chladiče pro výkonový stupeň elektronické zátěže. Zdroj byl tedy navržen jako dvojitý symetrický neregulovatelný s parametry  $\pm 5$  V/ 0,6 A  $\div$   $\pm 9$  V/0,6 A. Důvodem bylo alespoň částečné oddělení napětí +9 V použitých pro napájení digitální a analogové části přístroje. Vzhledem k větším požadavkům na kvalitní ss napětí bez zbytečného zvlnění a šumu, jsem se po dlouhém pátrání nechal inspirovat myšlenkou na aplikování „zesilovače kapacity s tranzistorem“ uvedeného na stránkách [4]. Kondenzátor zde zapojený do báze tranzistoru využívá zesílení tranzistoru  $h_{fe}$  ke snížení zvlnění hlavní napájecí větve. Provedl jsem drobnou úpravu této myšlenky a nahradil jsem původní tranzistor Darlingtonovým zapojením dvou tranzistorů. Také jsem přidal do báze řídicího tranzistoru zenerovou diodu v sérii s běžnou diodou pro tepelnou stabilizaci a případné jemnější nastavení pracovního bodu tranzistoru dodáním další diody.





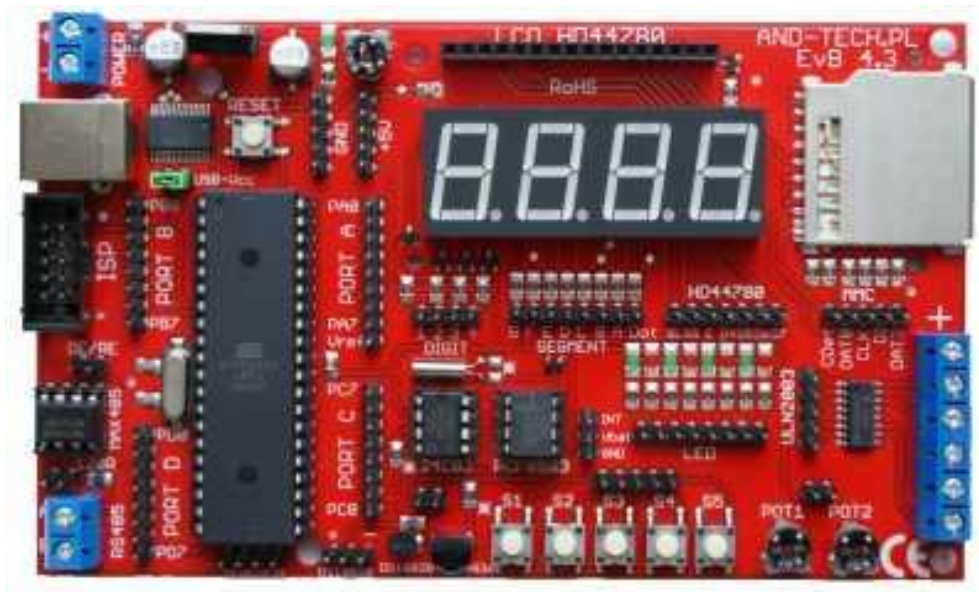
Obrázek č. 9: Darlingtonovo zapojení se „zesilovačem kapacity“

Zdroj: Převzato a upraveno [4]

Podle katalogového listu [5] použitých stabilizátorů napětí je žádoucí pro správnou funkci stabilizátorů zajistit minimální odběr 6 mA. Z tohoto důvodu byly na výstupy ze stabilizátorů zapojeny LED diody, které zároveň plní funkci vizuální kontroly výstupního napětí. Schéma zapojení zdroje, DPS a 3D vizualizace v přílohách č. 7, 12, 13, 14.

## 5.2 Základní modul - digitální část

Když jsem se už pustil do stavby elektronické zátěže s takto specifickými požadavky, rozhodl jsem se řídit analogovou část nějakým vhodným mikroprocesorem. Protože jsem však neměl moc velké zkušenosti s návrhem digitálních obvodů, byl jsem doveden k myšlence pořídit již hotovou vývojovou desku a vyrobit k ní jakési rozšíření. Výběr padl na vývojovou desku EvB 4.3. Jedná se o vývojovou desku s vhodně navrženou DPS umožňující jednoduché připojení jednotlivých periférií k řídicímu procesoru. Tyto výstupní piny rozmístěné po DPS se obzvláště hodily k vytvoření mého rozšíření, které je pouze ze shora nasunuto na výstupní piny mikroprocesoru a periférií.



Obrázek č. 10: Vývojová deska EvB 4.3

Zdroj: [http://shop.onpa.cz/img/evb43\\_2.jpg](http://shop.onpa.cz/img/evb43_2.jpg)

Vývojová deska obsahuje následující periferie:

- Procesor AVR ATMEGA32 (v projektu jsem zaměnil za procesor AVR ATMEGA 644 z důvodu nedostatku paměti SRAM u původního procesoru) s externím krystalem 16 MHz.
- Obvod reálného času PCF8583.
- Paměť EEPROM AT24C02
- Infračervený přijímač TSOP4836
- Teplotní čidlo DS18B20
- Převodník sběrnic RS485/RS232 - SN75176BP
- Patice pro kartu MMC/SD
- 5 tlačítek
- 8 indikačních LED diod
- 2 potenciometry pro nastavení napětí
- 4 x sedmissegmentový LED zobrazovač
- 5 x výkonový výstup s otevřeným kolektorem ULN2003
- Podsvětlený displej LCD 2x16 znaků (zelený, modrý, černý)
- USB konektor

- ISP programovací konektor

Pro tester fotovoltaických článků byly použity výstupy mikroprocesoru, obvod reálného času PCF8583, podsvětlený displej LCD 2x16 znaků, USB konektor a ISP programovací konektor.

Pin	Zařízení	Upřesnění
A0	Měření proudu	0 - 2,56 V = 0 - 1023
A1	Měření napětí	0 - 2,56 V = 0 - 1023
A7	Relé rozsahu proudu	LOG 0/1 stavu relé I
B0	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B1	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B2	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B3	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B4	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B5	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B6	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
B7	Klávesnice	Připojení maticové klávesnice 4x4
C0	I2C - SCI	Použito kartou EvB
C1	I2C - SDA	Použito kartou EvB
C2	Displej	RS
C3	Displej	E
C4	Displej	D4
C5	Displej	D5
C6	Displej	D6
C7	Displej	D7
D0	TXD	Použito kartou EvB pro komunikaci přes USB
D1	RXD	Použito kartou EvB pro komunikaci přes USB
D2	Relé rozsahu napětí	LOG 0/1 stavu relé U
D3	Relé rozsahu proudu	LOG 0/1 stavu relé I
D4	PWM	Řízení ventilátoru
D5	PWM	Výstup do aktivního filtru - řízení výkonového stupně
D6	Relé rozsahu napětí	LOG 0/1 stavu relé U

Tabulka č.1: Využití výstupu mikroprocesoru

Mikroprocesor je zde použit jako řídicí, měřicí a vizualizační člen elektronické zátěže. Pro řízení žádaného rozsahu proudu jsem použil hardwarový výstup PWM signálu mikroprocesoru. Při hardwarovém využití PWM výstupu se i při nastavení dělicího poměru výsledné frekvence na hodnotu 1, dostaneme na maximální frekvenci  $f = 7812,5$  Hz. To trochu komplikuje následné vyhlazení a použití jako řídicího signálu pro analogovou část, kde potřebujeme vstupní signál 0 - 2,56 V. Pokud bych naprogramoval softwarové PWM, mohl bych dosáhnout vyšších frekvencí. Lépe by se tyto frekvence vyhlazovaly, ale zatížil bych tím procesor po celou dobu měření. Softwarový PWM signál by byl také závislý na běhu aplikace a nebylo by možné se spolehnout na jeho nepřerušovaný běh. PWM signál má stálou frekvenci, ale mění se jeho střída. V tomto případě jsem nastavil čítač na 10bitové operace a tak velikost střídy 0 - 100 % odpovídá rozsahu 0 - 1023. Dalo by se říci, že jsem si následným vyhlazením na aktivním filtru „vyrobil“ 10bitový D/A převodník.

Mikroprocesor je vybaven 10bitovým A/D převodníkem pracujícím na principu postupné aproximace. Převodník je připojen na analogový multiplexer, takže je možné využít pro měření 8 vstupů (PA0 - PA7) mikroprocesoru. Pro použití v testeru fotovoltaických článků jsem si vystačil se dvěma vstupy.

Základní parametry A/D převodníku jsou:

- Integrální nelinearita 0,5 LSB
- Absolutní chyba  $\pm 2$  LSB
- Doba převodu 65 - 260  $\mu$ s
- Rychlost převodu až 15 kSPS
- Volitelná zabudovaná reference 1,1 V a 2,56 V (ATMEGA 32 má zabudovanou jenom referenci 2,56 V)

K mikroprocesoru je připojena maticová klávesnice (PB0 - PB7) pro snazší výběr žádané funkce. Dalších šest pinů je použito pro řízení LCD displeje 2x16 znaků. Čtyři piny jsou použity pro ovládání bistabilních relé, které jsou použity pro

přepínání rozsahů U a I. Díky svému provedení nepotřebují ani v jedné pozici stálé napětí na cívce, ale je nutné je ovládat přehozením ovládacího napětí na cívce.

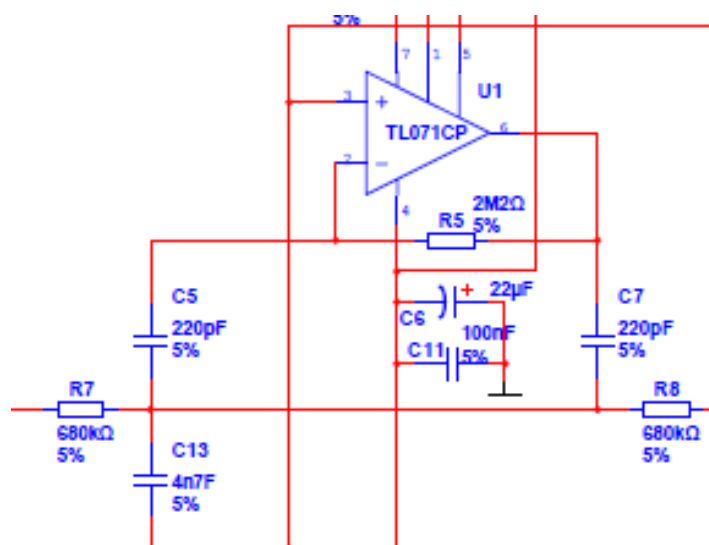
Výstup PD4 slouží pro ovládání otáček ventilátoru. Tento výstup je shodně jako výstup pro řízení žádaného proudu, nastaven na časovači generující PWM signál.

## 5.3 Rozšiřující modul - analogová část

Analogová část testeru se skládá z několika samostatně fungujících bloků. Je řízena z digitální části (PWM signál) a zároveň zpětně přizpůsobuje měřené veličiny ke zpracování v digitální části (převádí měřené U a I na hodnotu 0 - 2,56 V pro měření integrovaným převodníkem v mikroprocesoru v plném rozsahu).

### 5.3.1 Aktivní filtr pro převod signálu PWM

Aktivní filtr je vytvořený za pomoci operačních zesilovačů s odporově kapacitní zpětnou vazbou. Slouží pro vyhlazení a převod PWM signálu na řídicí napětí 0 - 2,56 V s rozlišením 10 bitů. Šum na výstupu tohoto filtru je nejvyšší při nastavení střídy PWM na 50 %. Přesto nepřesahuje hodnoty 1 mV.



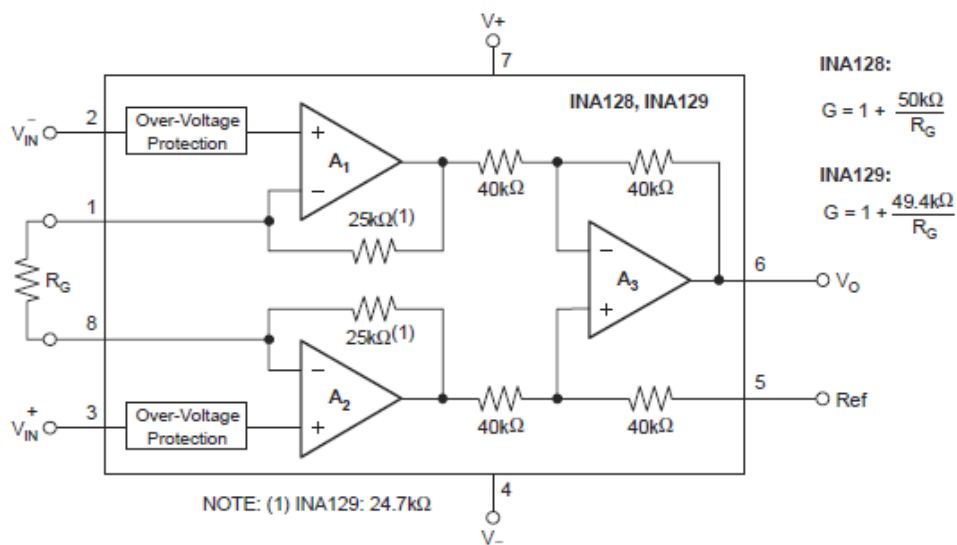
Obrázek č. 11: Vstupní část filtru PWM

Zdroj: Vlastní

### 5.3.2 Měřící zesilovače

Pro měření byl použit integrovaný 10bitový A/D převodník v mikroprocesoru. Zvolené rozsahy pro měření napětí i proudu vycházely z násobků 10bitového rozlišení převodníku A/D. Pro měření proudu jsem zvolil rozsah 5,115 A a 10,230 A. Pro měření napětí byl zvolen rozsah 1,023 V a 2,046 V. Měření U a I jsem tedy musel převést na hodnotu 0 - 2,56 V, abych docílil měření v celém rozsahu.

Pro tento převod jsem zvolil integrované měřící zesilovače INA128. Jsou to vlastně tři operační zesilovače zapojené jako měřící zesilovač.



Obrázek č. 12: Vnitřní zapojení obvodu INA128

Zdroj: Datasheet INA 128 - výrobce Burr-Brown pro Texas Instruments

K nastavení zesílení slouží odpor  $R_G$ . Jeho hodnotu je možné buď spočítat podle vzorce, který je uveden v datasheetu součástky, nebo odečíst z připravené tabulky.

INA128:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$$

INA129:

$$G = 1 + \frac{49.4k\Omega}{R_G}$$

DESIRED GAIN (V/V)	INA128		INA129	
	$R_G$ ( $\Omega$ )	NEAREST 1% $R_G$ ( $\Omega$ )	$R_G$ ( $\Omega$ )	NEAREST 1% $R_G$ ( $\Omega$ )
1	NC	NC	NC	NC
2	50.00k	49.9k	49.4k	49.9k
5	12.50k	12.4k	12.35k	12.4k
10	5.556k	5.62k	5489	5.49k
20	2.632k	2.61k	2600	2.61k
50	1.02k	1.02k	1008	1k
100	505.1	511	499	499
200	251.3	249	248	249
500	100.2	100	99	100
1000	50.05	49.9	49.5	49.9
2000	25.01	24.9	24.7	24.9
5000	10.00	10	9.88	9.76
10000	5.001	4.99	4.94	4.87

NC: No Connection

Obrázek č. 13: Vzorec a tabulka pro výpočet  $R_G$

Zdroj: Datasheet INA 128 - výrobce Burr-Brown pro Texas Instruments



Pro nastavení offsetu je výrobcem doporučeno použít dva proudové referenční zdroje a přes trimr a operační zesilovač zapojený jako neinvertující napěťový sledovač přivést na vývod Ref. Toto zapojení jsem mírně inovoval a použil jsem pro nastavení offsetu dvě napěťové reference.

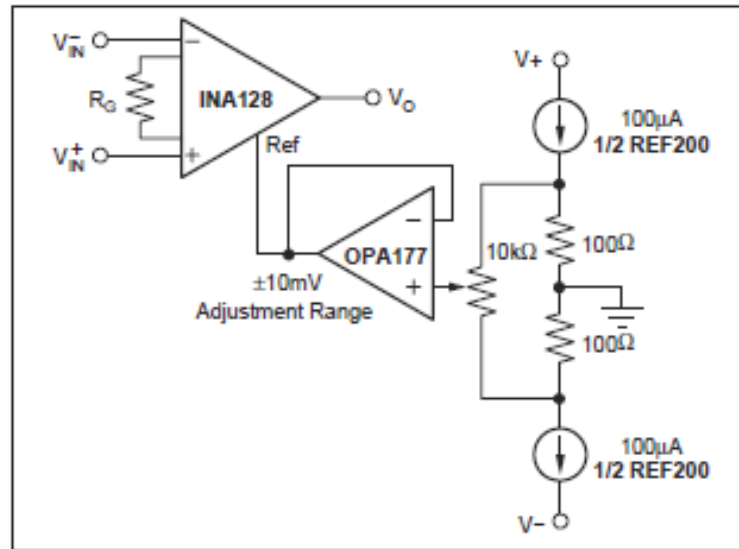
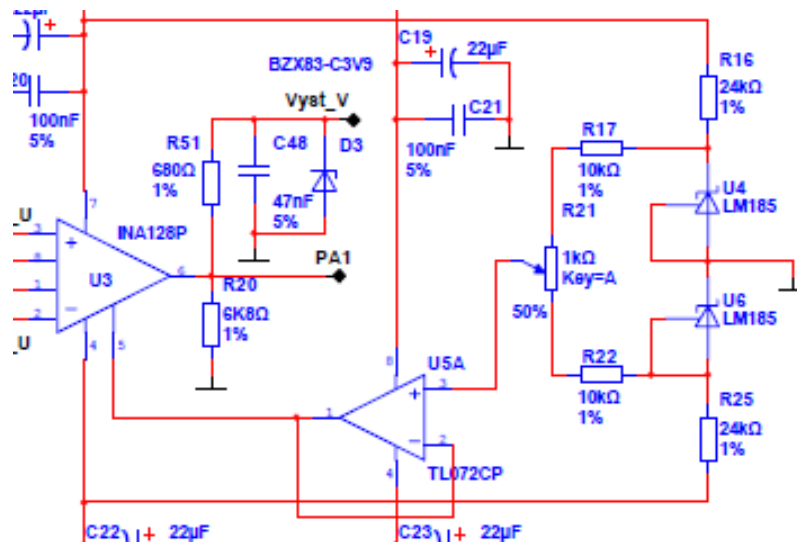


Figure 2. Optional Trimming of Output Offset Voltage

Obrázek č. 14: Vzorové nastavení offsetu

Zdroj: Datasheet INA 128 - výrobce Burr-Brown pro Texas Instruments



Obrázek č. 15: Inovované nastavení offsetu

Zdroj: Převzato a upraveno z Datasheetu INA 128

## 5.4 Kalibrace testeru

Před samotným měřením bylo nutné nastavit tester podle referenčního měřicího přístroje. K dispozici jsem měl multimetr MS-8218, který svojí přesností plně dostačuje k použití jako referenční měřidlo.

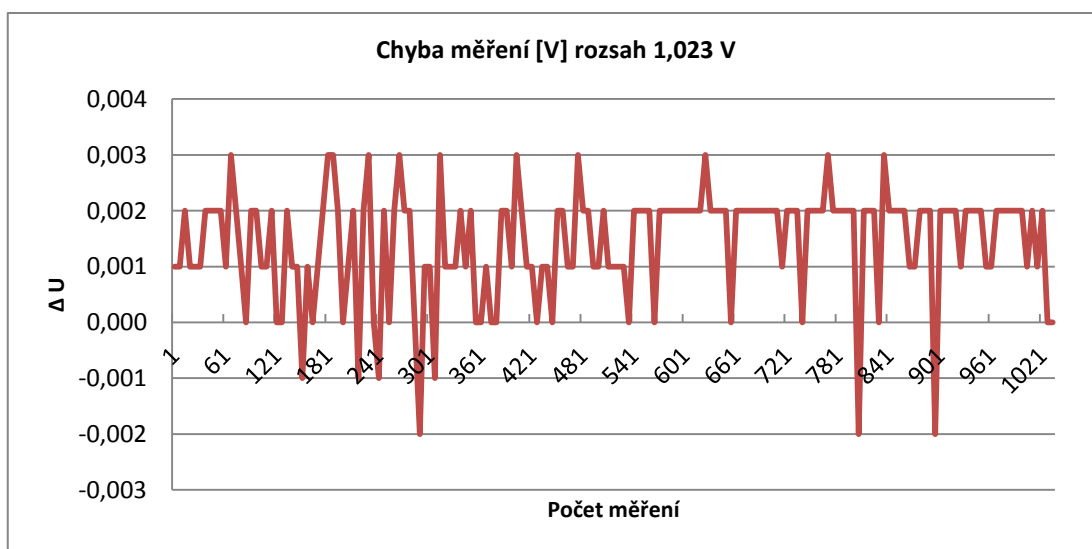
Přesnost převzatá z datasheetu pro použité rozsahy:

Napětí DC - rozsah 5 V -  $\pm (0,03\% + 6 \text{ dg})$

Proud DC - rozsah 5 A -  $\pm (0,5\% + 10 \text{ dg})$

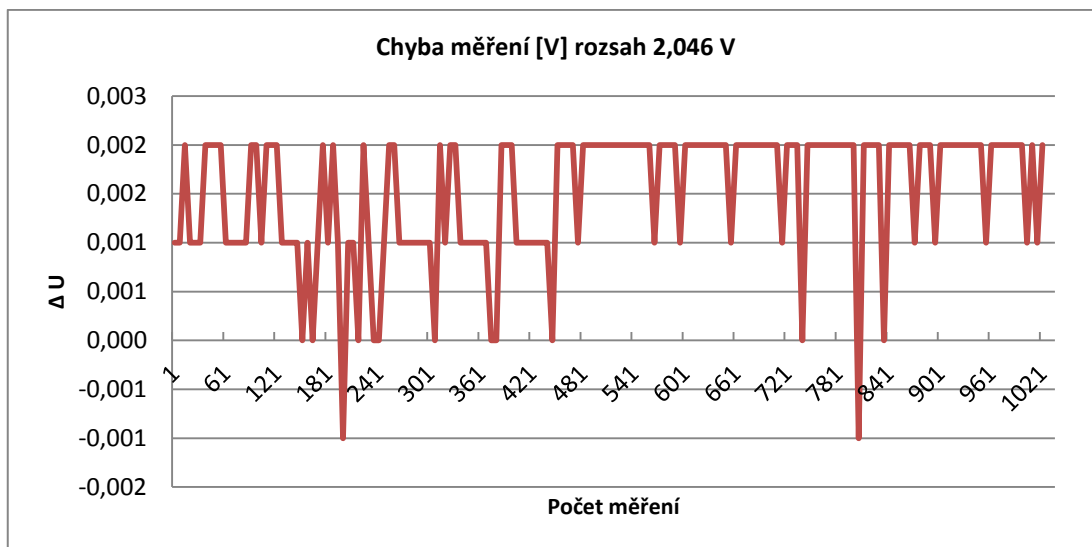
Proud DC - rozsah 10 A -  $\pm (0,5\% + 10 \text{ dg})$

Nastavení testeru a ověření funkce měření byla provedena na všech čtyřech rozsazích. Multimetr MS-8218 byl připojen k PC stejně jako tester fotovoltaických článků a záznamy o měření byly ukládány do souboru. Po provedení měření byly záznamy spojeny do jednoho souboru, kde došlo k vypočtení rozdílu mezi měřeným napětím (proudem) referenčním multimetrem MS-8218 a testerem. Rozdíly těchto měření jsou zde znázorněny v grafu.



Graf č. 1: Chyby měření na rozsahu 1,023 V

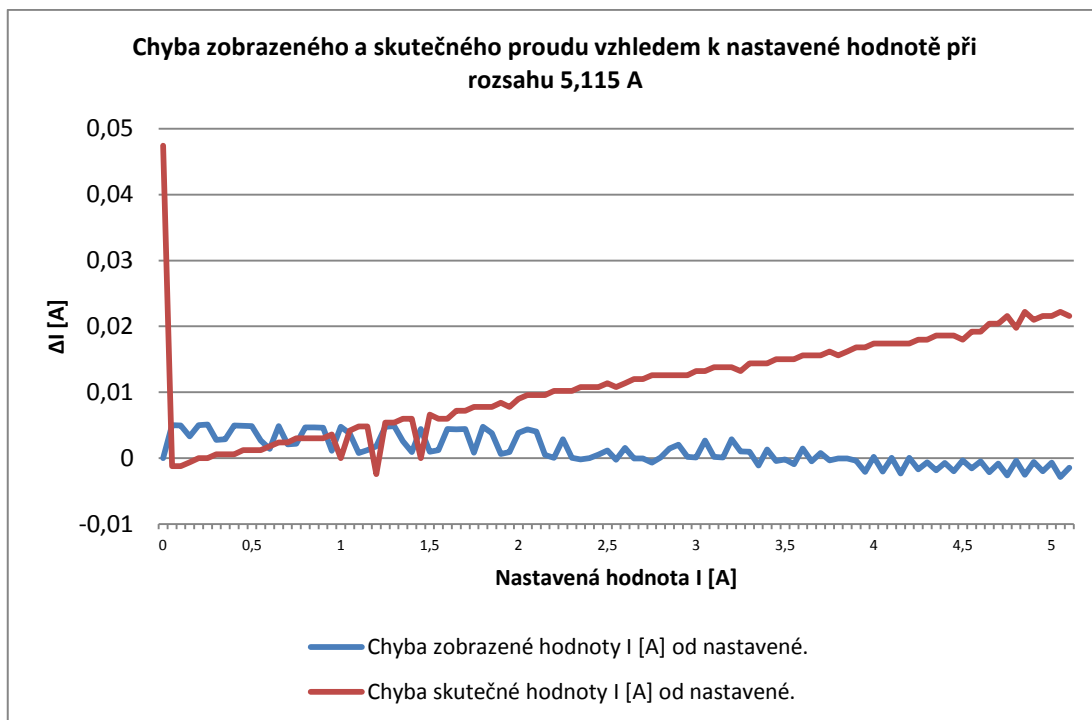
Zdroj: Vlastní



Graf č. 2: Chyby měření na rozsahu 2,046 V

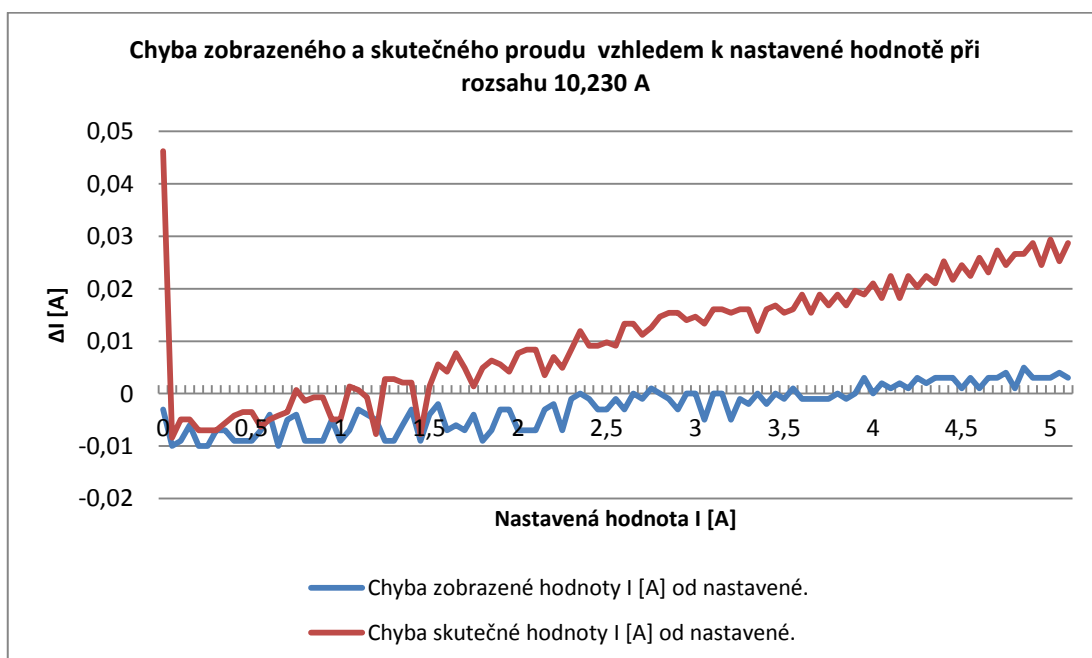
Zdroj: Vlastní

Měření napětí testerem je téměř shodné s výsledky měření referenčním multimetrem. Chyba měření se pohybuje v rozmezí -0,02 až +0,003 mV. Pokud budeme vycházet ze základní chyby měření referenčního multimetru, můžeme prohlásit, že chyba měření na napěťových vstupech testeru je  $\pm (0,03\% + 9 \text{ dg})$ .



**Graf č. 3: Chyba zobrazeného a skutečného proudu od nastavené hodnoty u rozsahu 5,115 A**

Zdroj: Vlastní



**Graf č. 4: Chybu zobrazeného a skutečného proudu od nastavené hodnoty u rozsahu 10,230 A**

Zdroj: Vlastní

Měření proudu v testeru je úzce spjato s nastavením žádaného proudu. Bohužel se nepodařilo k mé plné spokojenosti sladit na stejnou hodnotu žádaný, zobrazený (měřený testerem) a skutečný proud (měřený referenčním multimetrem).

Podle grafu je vidět, že chyba mezi zobrazeným a skutečným proudem se téměř od samého počátku zvětšuje. Chyba na počátku grafu jasně ukazuje, že zvolený operační zesilovač OPA602, který řídí výstupní MOSFET tranzistory IRF3205 není schopen svým zesílením na počátku rozsahu tyto tranzistory otevřít.

Přesto se dá říci, že chyba 0,023 A při plném rozsahu 5,115 A a 0,030 A při plném rozsahu 10,230 A není nijak vysoká. Pokud tuto chybu vyjádřím v procentech, tak pro oba rozsahy mohu říci, že chyba skutečného a zobrazeného proudu je max. 0,5 % vůči referenčnímu multimetru.

Pokud shrnu provedení přístroje, tak mohu prohlásit, že až na určité nedostatky jsem s ním spokojen a mohu s ním provést měření na fotovoltaických článkách. Jeho další rozšíření a použití je možné. Předradíme-li k napěťovému vstupu dělič napětí v poměru 25:1, máme elektronickou zátěž s možností využití do 51,15 V a 10,230 A. To vše s vnitřním odporem menším než 30 mΩ. Tyto parametry ještě zvyšuje možnost připojení k PC pro sběr a zpracování naměřených dat.

## 6 MĚŘENÍ FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ

Vzhledem k času, který jsem musel věnovat výrobě testeru a omezenému počtu fotovoltaických článků, jsem nenaměřil tak široký vzorek dat, jak jsem původně předpokládal. Přesto i z těchto několika desítek měření je možné vyvodit závěry a ověřit zvolenou metodiku měření.

### 6.1 Základní parametry fotovoltaických článků

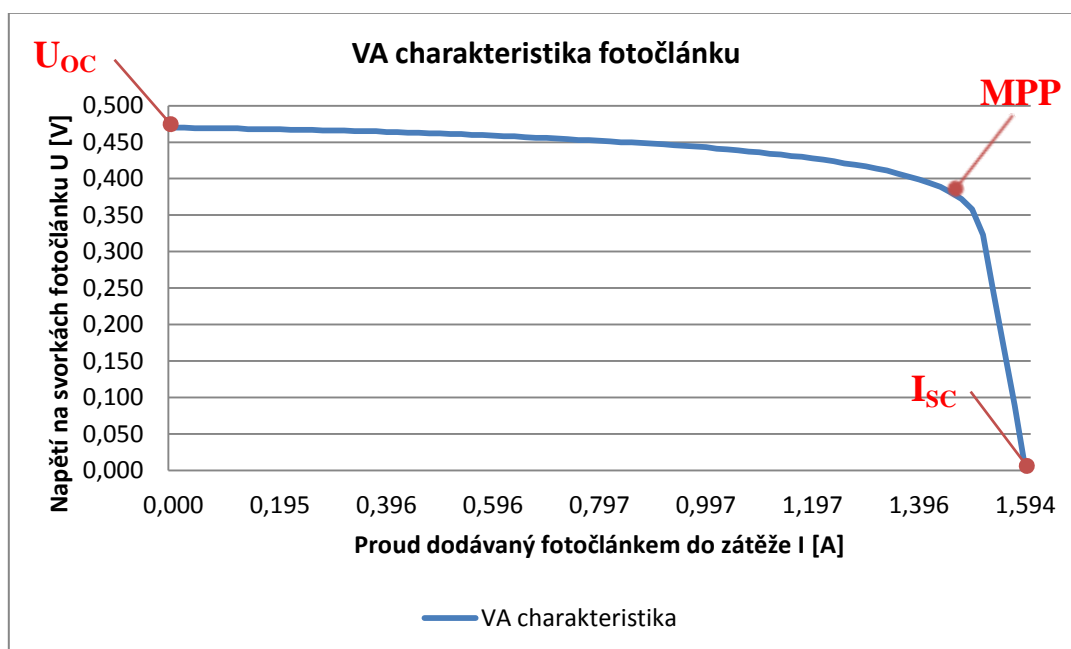
Základními parametry fotovoltaických článků jsou:

- $I_{sc}$  ..... Proud nakrátko [A]
- $U_{oc}$  ..... Napětí naprázdno [V]
- $I$  ..... Proud dodávaný fotočlánkem do zátěže [A]
- $U$  ..... Napětí na svorkách fotočlánku [V]
- $P$  ..... Výkon fotočlánku, který vypočítáme jako součin měřených hodnot  $I$  [A] a  $U$  [V]
- MPP ..... Pracovní bod fotočlánku s největším výkonem
- $T$  ..... Pracovní teplota fotočlánku [°C]

[2] [3]

## 6.2 VA charakteristika nezastíněného fotovoltaického článku

VA charakteristika fotovoltaického článku nám vypovídá na svém počátku o parametru  $U_{OC}$  a na svém konci o parametru  $I_{SC}$ . Bod značený na VA charakteristice jako MPP je pracovní bod fotovoltaického článku s největším výkonem. Aby bylo možné tento bod na VA charakteristice najít, musíme fotovoltaický článek zatěžovat zkonstruovaným testerem a zároveň měřit  $U$  [V] a  $I$  [A]. Při nejvyšším okamžitém výkonu se nacházíme právě na pracovním bodě MPP.



Graf č. 5: VA charakteristika fotovoltaického článku

Zdroj: Vlastní

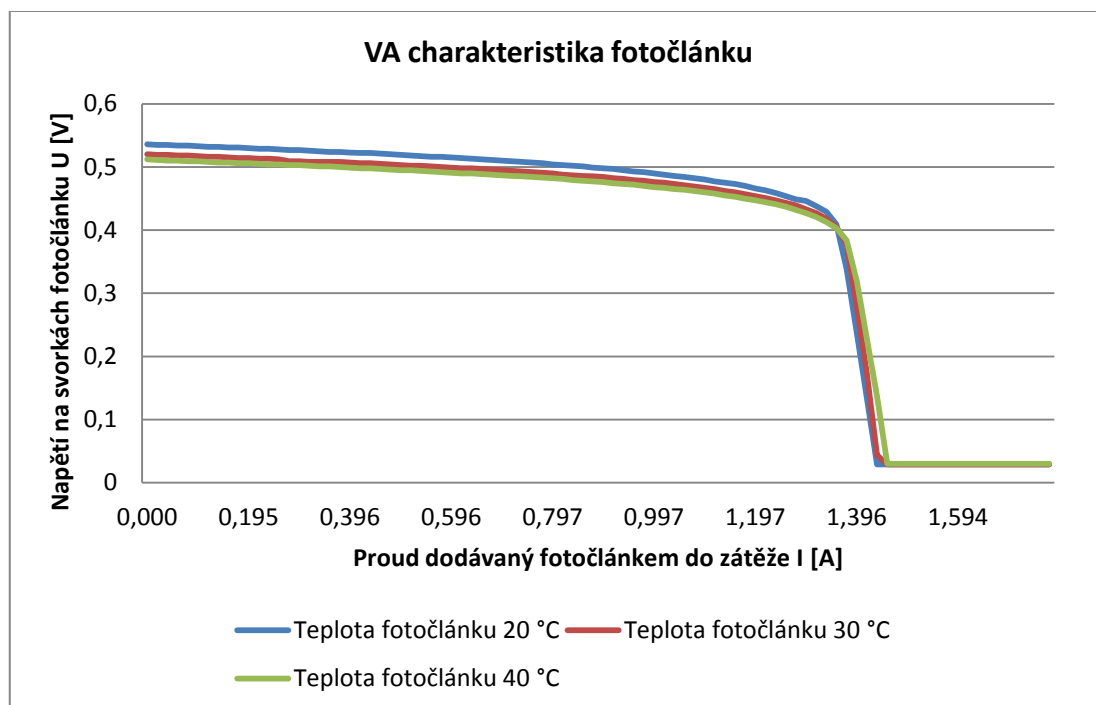
### 6.3 Chyba způsobená tepelným zářením

Chyby v měření VA charakteristik může způsobit proměnlivá teplota fotočlánku. Pokud nemáme k dispozici zařízení pro udržování stálé teploty, musíme teplotu při měření zaznamenávat a následně výsledky měření o tuto chybu opravit. Pro svá měření jsem používal datalogger na bázi procesoru Atmel AVR pro fotovoltaické panely, který vznikl v rámci bakalářské práce Bohumíra Tomáška. [8]

Nejvyšší výkon fotovoltaického článku.			
Teplota [°C]	Napětí [V]	Proud [A]	Výkon [W]
20 °C	0,429	1,336	0,573
30 °C	0,427	1,316	0,562
40 °C	0,403	1,356	0,546

Tabulka č. 2: Nejvyšší výkon fotovoltaického článku při různých teplotách

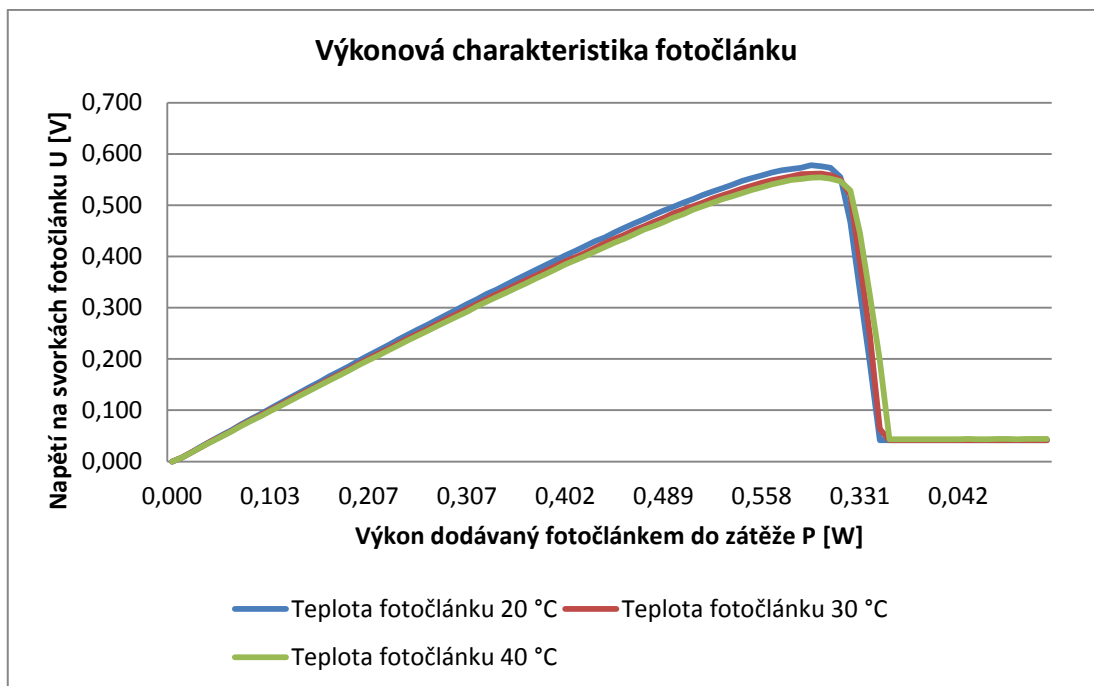
Zdroj: Vlastní



Graf č. 6: VA charakteristika fotočlánku při různých teplotách

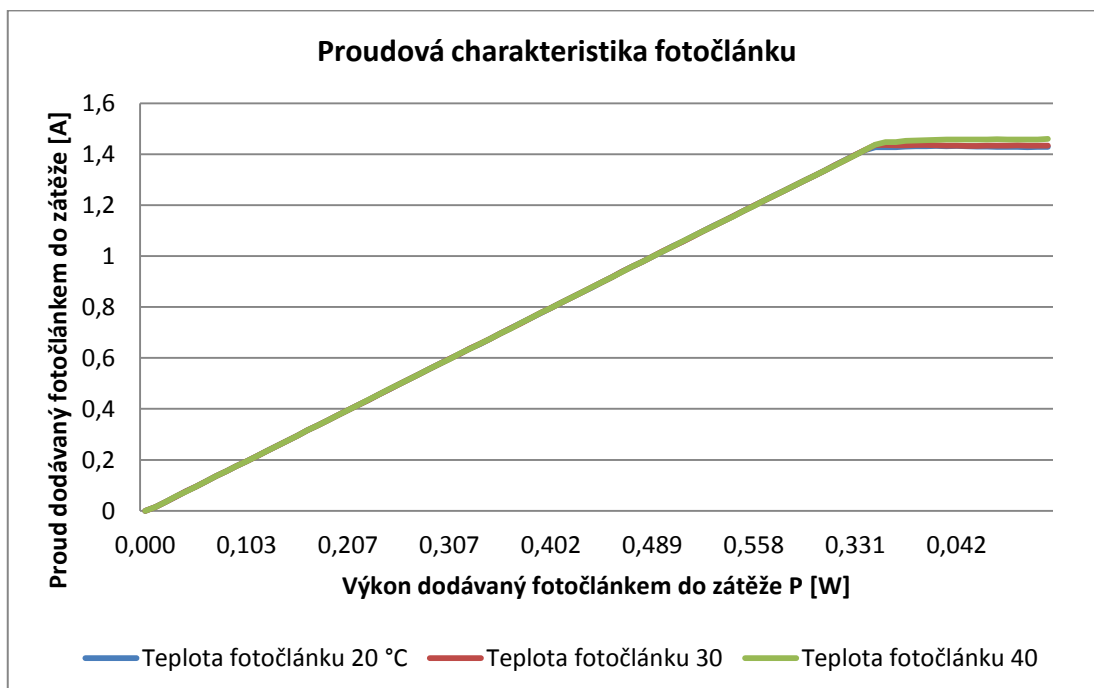
Zdroj: Vlastní





Graf č. 7: Výkonová charakteristika fotočlánku při různých teplotách

Zdroj: Vlastní



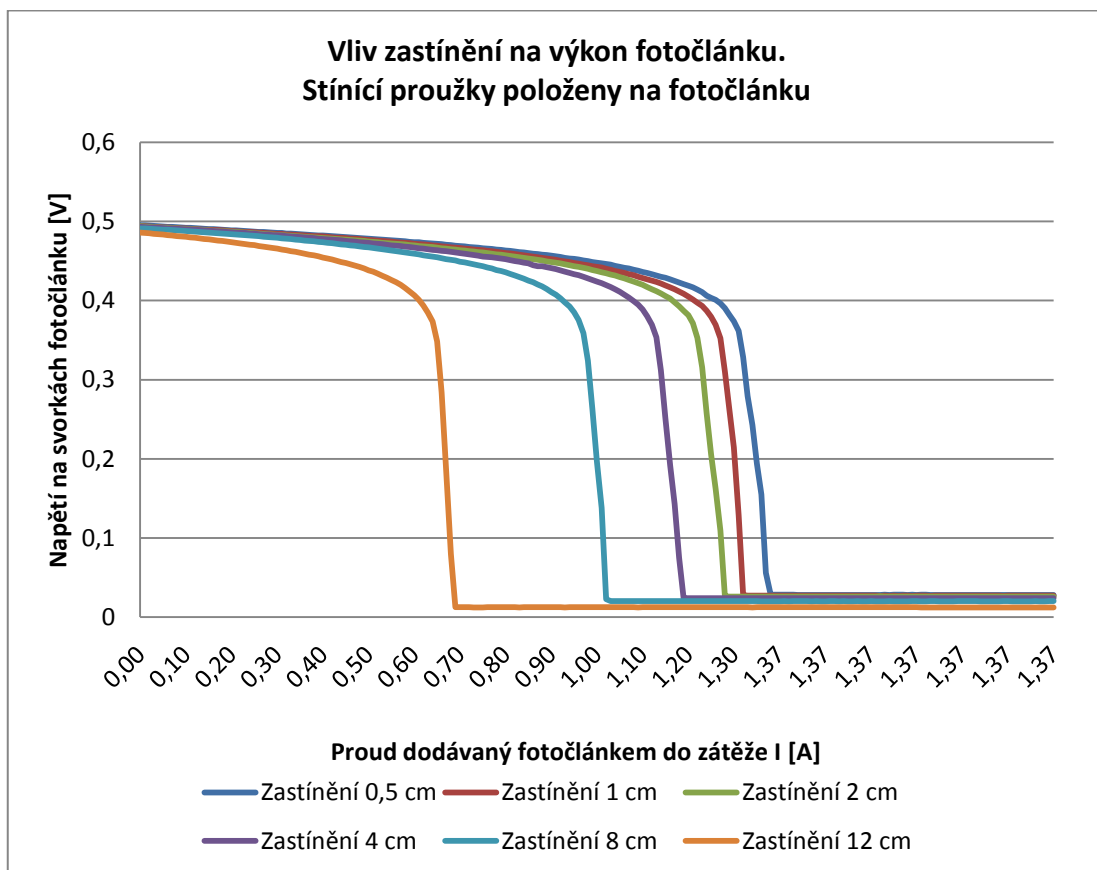
Graf č. 8: Proudová charakteristika fotočlánku při různých teplotách

Zdroj: Vlastní

## 6.4 Vliv zastínění na měřené fotovoltaické články

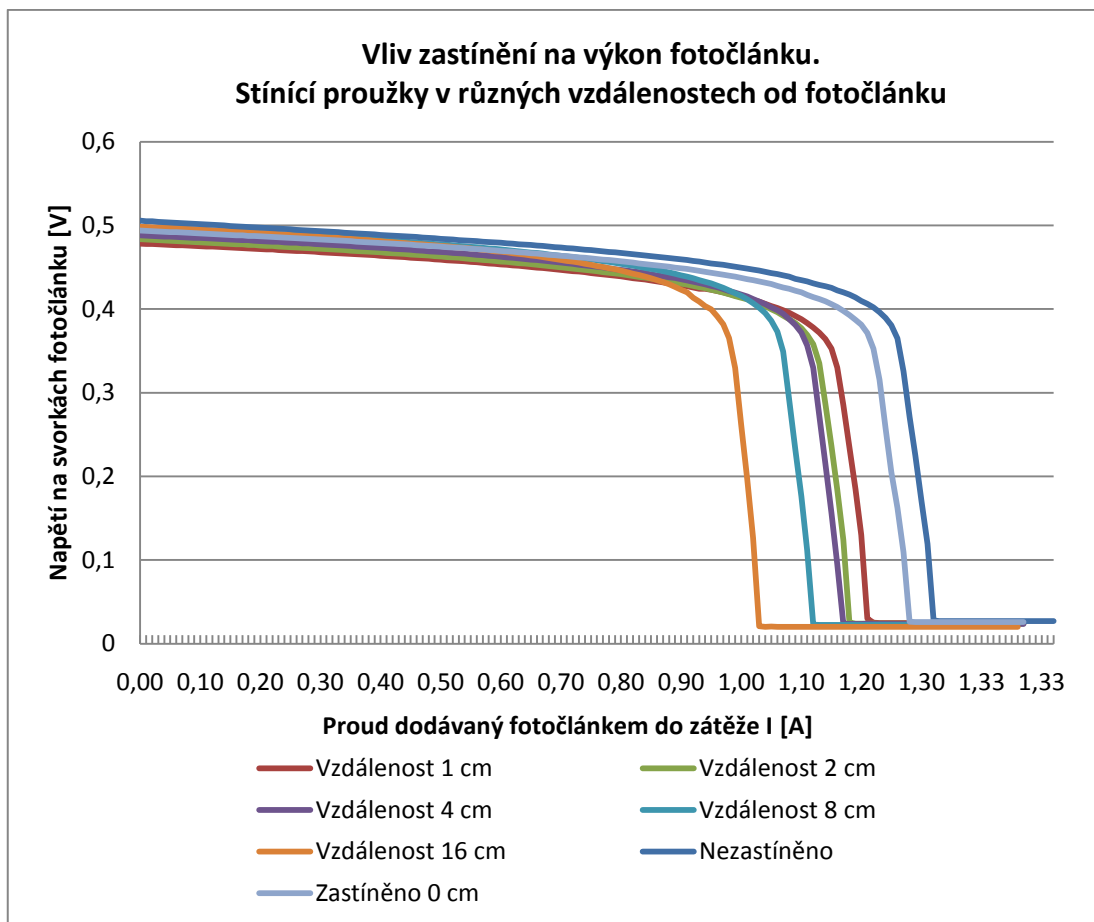
Měření vlivu zastínění bylo měřeno za pomoci neprůhledných proužků o šířkách 0,5 , 1 , 2 , 4 , 8 , 12 cm. Tyto proužky byly pokládány na fotovoltaický článek pro měření se vzdáleností zastínění 0 cm. Při měření zastínění ve vzdálenostech 1 , 2 , 4 , 8 a 16 cm od fotovoltaického článku byly pokládány na rám s průhlednou folií, která byla nastavována do těchto vzdáleností.

Z níže uvedených grafů je patrné, že zastínění fotovoltaického článku rapidně snižuje jeho výkon. Přitom nezáleží pouze na ploše stínícího prvku, ale i na jeho vzdálenosti od fotovoltaického článku.



Graf č. 9: VA charakteristika fotočlánku při zastínění neprůhlednými proužky různých šířek

Zdroj: Vlastní



**Graf č. 10: VA charakteristika fotočlánku při zastínění neprůhledným proužkem o šíři 2 cm v nastavené vzdálenosti**

Zdroj: Vlastní

## 6.5 Chyby měření

Úbytky výkonu na fotovoltaických článcích jsou výše prokázány provedeným měřením a prezentací v grafech. V průběhu měření se bohužel objevilo několik problémů, které drobně komplikovali správné vyhodnocení naměřených dat. Např. zapůjčený datalogger byl naprogramován na samostatné zaznamenávání naměřené teploty. Tyto údaje jsem musel pracně v excelu doplňovat do svých měření. Stejně tak světelný zdroj (400W halogen), který byl umístěn ve výšce 60 cm nad měřeným fotočlánkem byl příliš nízko. Šířka jeho stínítka je 16 cm a vzdálenost 60 cm od měřeného fotočlánku měla být dostatečná, ale během měření a obzvláště při zastínění

ve větších vzdálenostech od fotočlánku, docházelo k podsvícení stínítka a tím k chybnému měření.

## 7 ZÁVĚR

Praktickým měřením a vyhodnocením dat jsem prokázal možnost měřit vliv teploty a zastínění na samotném fotovoltaickém článku. Bohužel jsem při zadávání bakalářské práce netušil, že nebude možné zajistit si přístup k elektronické zátěži potřebných parametrů. Návrh a stavba testeru zapříčinila skluz ve zpracování mé bakalářské práce. Z tohoto důvodu, jsem nestihl vytvořit větší množství naměřených dat a podrobněji je vyhodnotit. I přes tyto potíže jsem rád, že se mi podařilo vyrobit, naprogramovat a odzkoušet tester na měření fotovoltaických článků. V průběhu návrhu a realizace testeru jsem se naučil mnoho nových věcí o elektronice a programování mikroprocesorů.

Tomuto tématu bych se rád v budoucnosti dál zajímal. Rád bych upravil tester na vyšší přesnost s využitím alespoň 12bitových A/D a D/A převodníků. Řešení převedením PWM signálu na řídicí ss napětí je sice realizovatelné, ale je nutné zvolit kompromis mezi zvlněním za filtrem PWM a dobou ustálení. U realizovaného testeru jsem nedokázal pro nízké zvlnění, dosáhnout menšího času než 10 ms na ustálení žádané hodnoty.

## 8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M., Fotovoltaika : elektřina ze Slunce. 2. vyd. Praha : Eko WATT, 2007. 112 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-
- [2] BANNERT, P., Parametry fotovoltaických článků : Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf
- [3] BANNERT, P., Matematický model V Achar fotovoltaického článku : Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Varnsdorf
- [4] SLÁNSKÝ, M., NF předzesilovač s přepínačem vstupů, 26. Leden 2007 - 0:00, <http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART1805-NF-predzesilovac-s-prepinacem-vstupu.html>
- [5] [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/DATASHEET/CD00000444.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00000444.pdf)
- [6] [shop.onpa.cz](http://shop.onpa.cz), Uživatelská příručka : Vývojová deska (kit) EVB 4.3 rev.3
- [7] MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR 4.díl: ATmega 16. 1. vyd. Praha : TECHNICKÁ LITERATURA BEN, 2006. 316 s. 21. století. ISBN 80-7300-174-8
- [8] TOMÁŠEK, B., Bakalářská práce: Návrh a realizace dataloggeru na bázi procesoru Atmel AVR pro fotovoltaické panely. JČU Přírodovědecká fakulta. České Budějovice : 2011. 51 s.

### Internetové zdroje:

- [http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrický\\_jev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrický_jev)
- [http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Inventor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Inventor)
- [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sluneční\\_energie](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sluneční_energie)
- <http://www.civicsolar.com/sites/default/files/resources/poly.jpg>
- <http://www.q-cells.com/typo3temp/yag/05/539x4e536002d614.jpg>
- [http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Solar\\_cell.png](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Solar_cell.png)
- <http://www.dynamicsolarsolutions.com.au/amor.JPG>
- <http://www.vosvdf.cz/cmsb/index.php?p=1102>
- <http://shop.onpa.cz/?kit-evb-4.3,27>

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka č.1 Využití výstupu mikroprocesoru

Tabulka č.2 Nejvyšší výkon fotovoltaického článku při různých teplotách

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek č.1 Monokrystalický fotovoltaický článek
- Obrázek č.2 Multikrystalický fotovoltaický článek
- Obrázek č.3 Polykrystalický fotovoltaický článek
- Obrázek č.4 Amorfní fotovoltaický panel
- Obrázek č.5 Mapa České republiky - globální horizontální záření
- Obrázek č.6 Výstup aplikace PVGIS
- Obrázek č.7 Graf výkonu fotovoltaického systému
- Obrázek č.8 Obrysy horizontu slunovratů
- Obrázek č.9 Darlingtonovo zapojení se „zesilovačem kapacity“
- Obrázek č.10 Vývojová deska EvB 4.3
- Obrázek č.11 Vstupní část filtru PWM
- Obrázek č.12 Vnitřní zapojení obvodu INA128
- Obrázek č.13 Vzorec a tabulka pro výpočet RG
- Obrázek č.14 Vzorové nastavení offsetu
- Obrázek č.15 Inovované nastavení offsetu

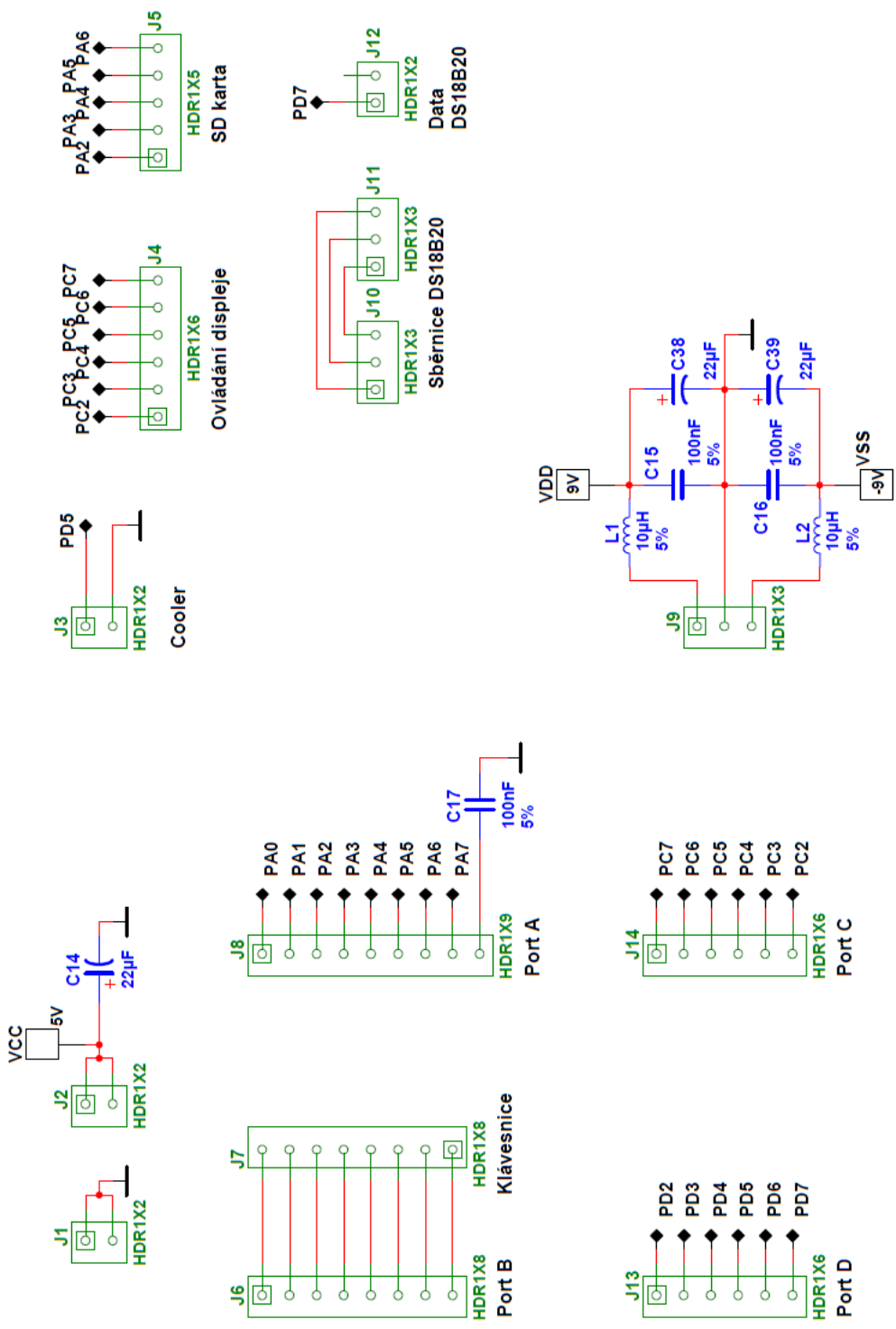


## SEZNAM GRAFŮ

- Graf č.1 Chyby měření na rozsahu 1,023 V
- Graf č.2 Chyby měření na rozsahu 2,046 V
- Graf č.3 Chyba zobrazeného a skutečného proudu od nastavené hodnoty u rozsahu 5,115 A
- Graf č.4 Chybu zobrazeného a skutečného proudu od nastavené hodnoty u rozsahu 10,230 A
- Graf č.5 VA charakteristika fotovoltaického článku
- Graf č.6 VA charakteristika fotočlánku při různých teplotách
- Graf č.7 Výkonová charakteristika fotočlánku při různých teplotách
- Graf č.8 Proudová charakteristika fotočlánku při různých teplotách
- Graf č.9 VA charakteristika fotočlánku při zastínění neprůhlednými proužky různých šířek
- Graf č.10 VA charakteristika fotočlánku při zastínění neprůhledným proužkem o šíři 2 cm v nastavené vzdálenosti

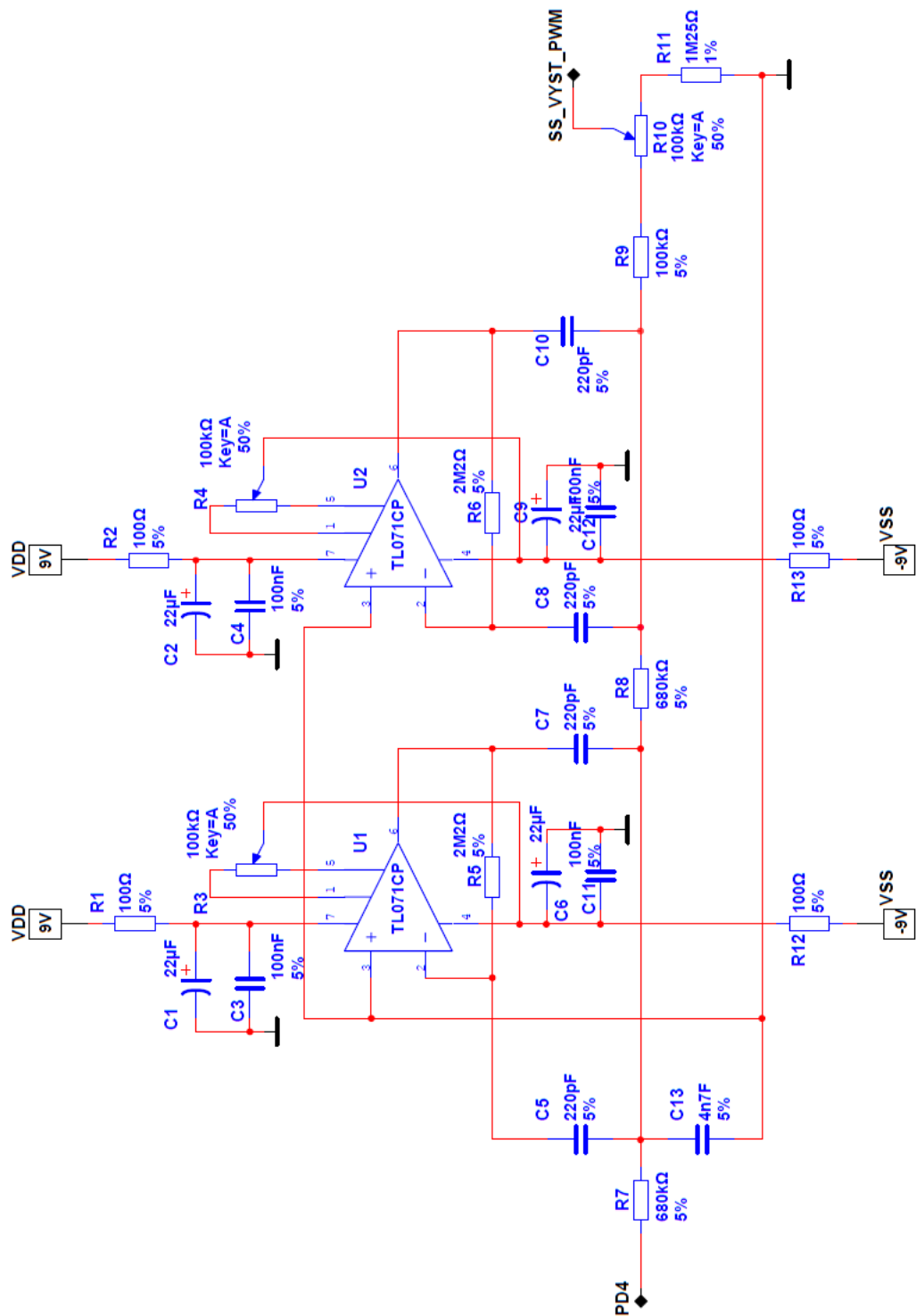
## PŘÍLOHY

- Příloha č.1 Schéma testeru FV článků - V/V konektory
- Příloha č.2 Schéma testeru FV článků - Filtr PWM
- Příloha č.3 Schéma testeru FV článků - Měřící zesilovač napětí
- Příloha č.4 Schéma testeru FV článků - Měřící zesilovač proudu
- Příloha č.5 Schéma testeru FV článků - Vyhodnocovací obvod výstupu
- Příloha č.6 Schéma testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník
- Příloha č.7 Schéma testeru FV článků - Napájecí zdroj
- Příloha č.8 DPS Bottom testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník
- Příloha č.9 DPS Top testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník
- Příloha č.10 DPS Bottom testeru FV článků - Analogové řízené testeru
- Příloha č.11 DPS Top testeru FV článků - Analogové řízené testeru
- Příloha č.12 DPS Bottom testeru FV článků - Zdroj
- Příloha č.13 DPS Top testeru FV článků - Zdroj
- Příloha č.14 3D testeru FV článků - Zdroj
- Příloha č.15 3D testeru FV článků - Analogové řízení testeru
- Příloha č.16 3D testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník
- Příloha č.17 Seznam součástek
- Příloha č.18 Výstup ze systému PVGIS
- Příloha č.19 Výstup ze systému PVGIS
- Příloha č.20 Pohled na digitální část testeru
- Příloha č.21 Pohled na analogovou část testeru
- Příloha č.22 Připravená měřící souprava
- Příloha č.23 Měření fotovoltaického článku
- Příloha č.24 Program pro mikroprocesor ATMEGA644



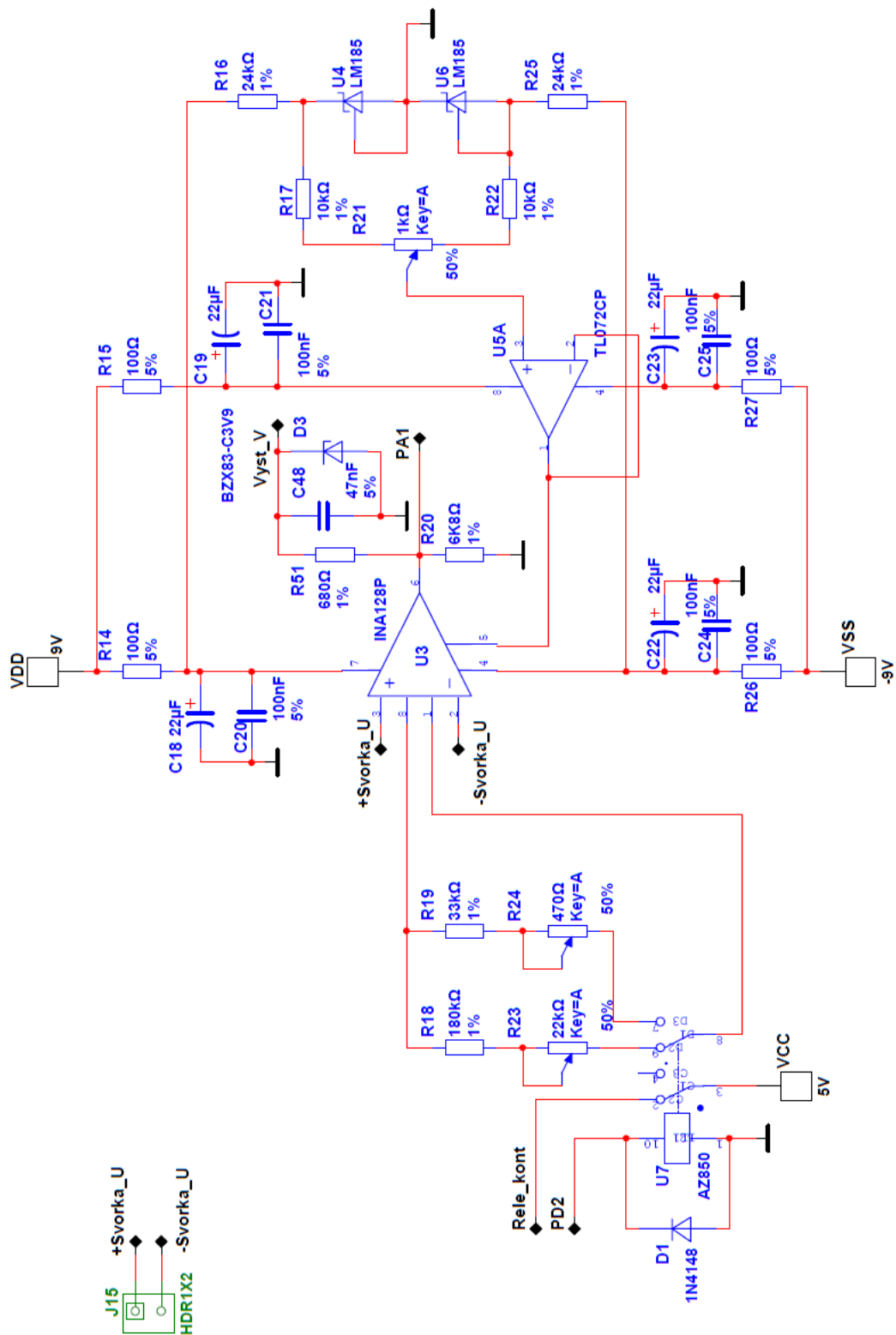
Příloha 1: Schéma testeru FV článků - V/V konektory

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



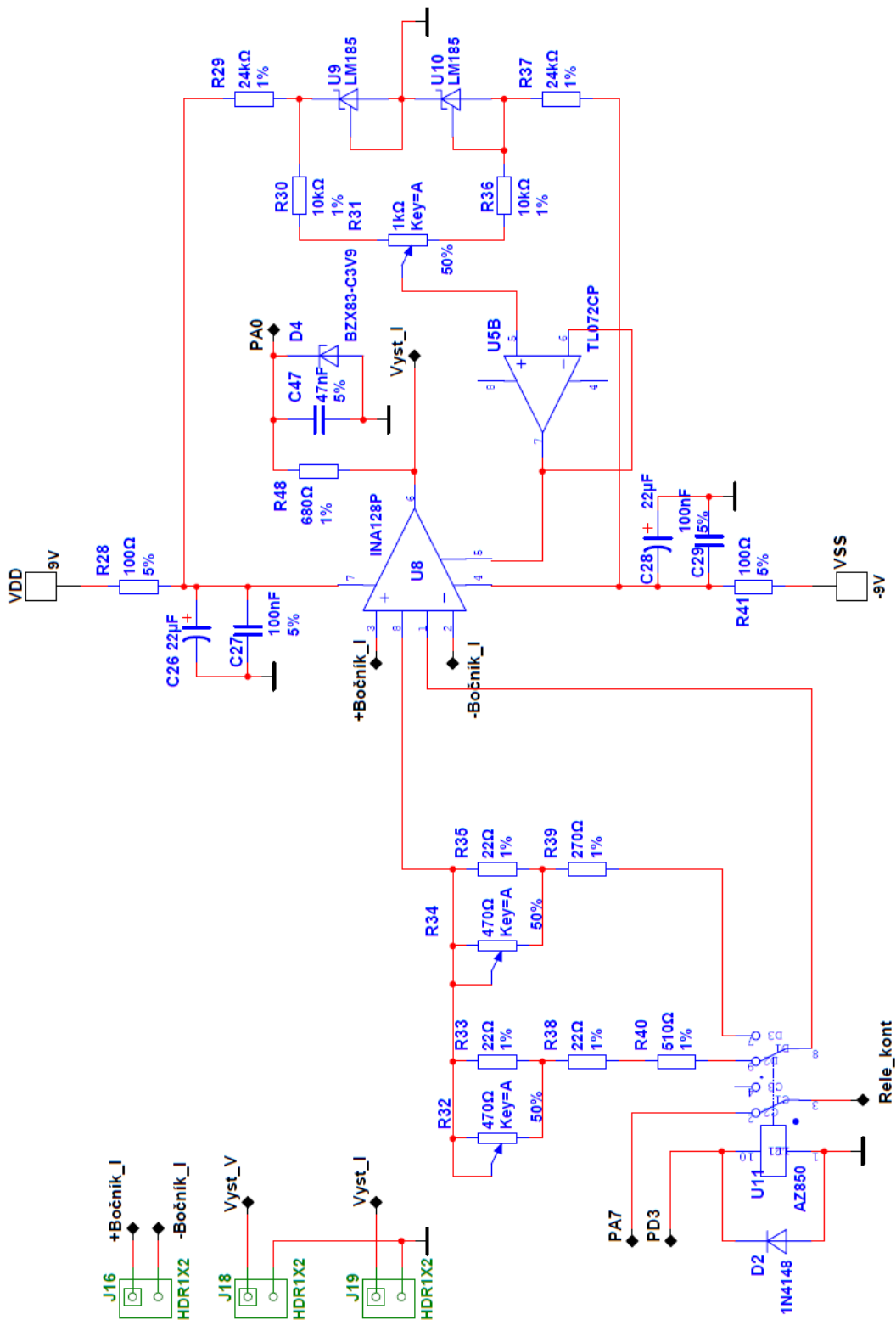
Příloha 2: Schéma testeru FV článků - Filtr PWM

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



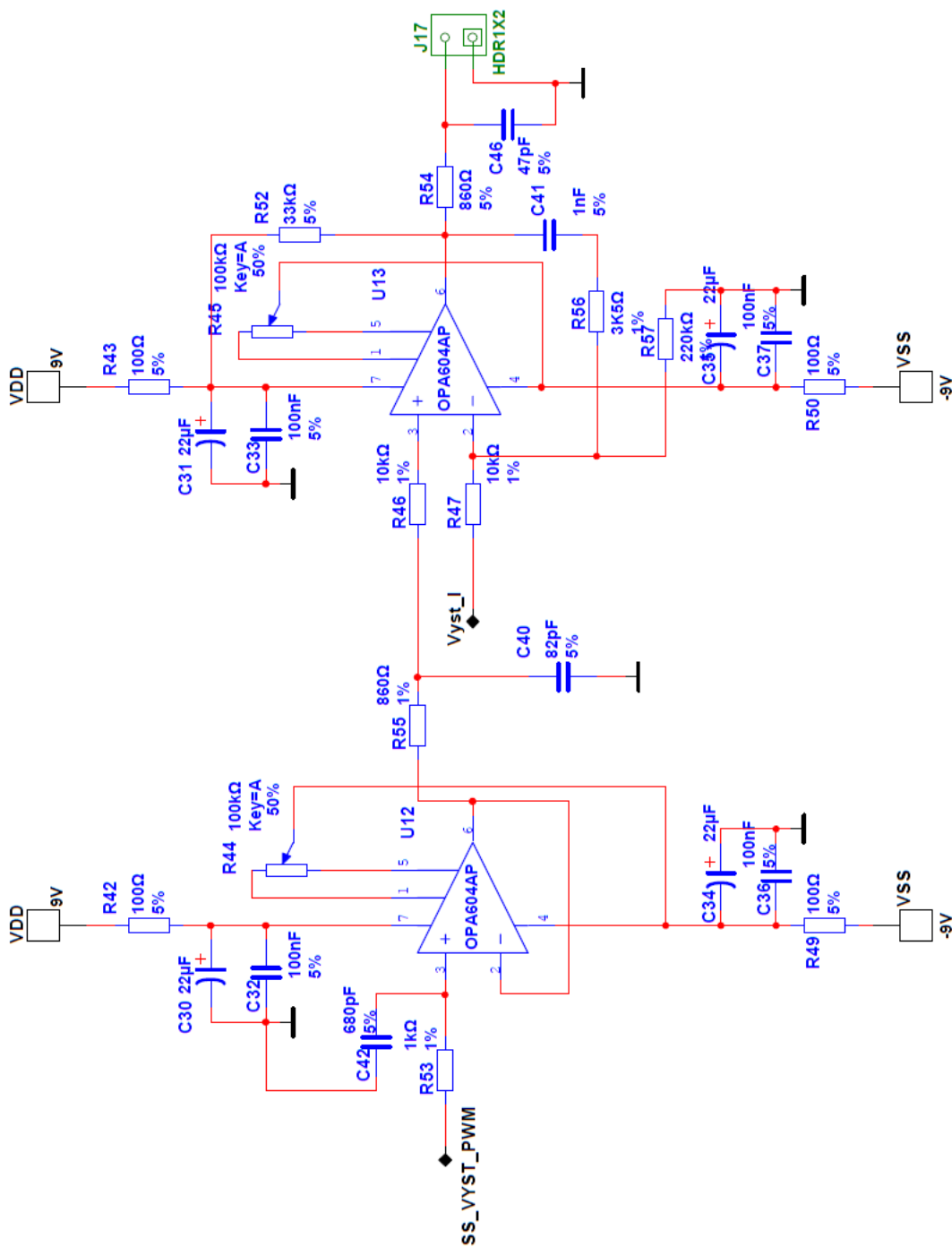
Příloha 3: Schéma testeru FV článků - Měřící zesilovač napětí

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



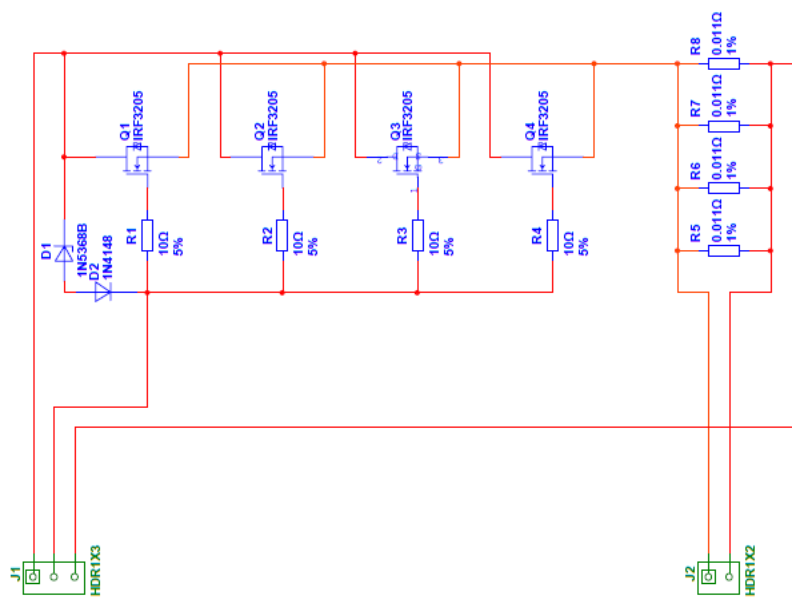
Příloha 4: Schéma testeru FV článků - Měřící zesilovač proudu

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



Příloha 5: Schéma testeru FV článků - Vyhodnocovací obvod výstupu

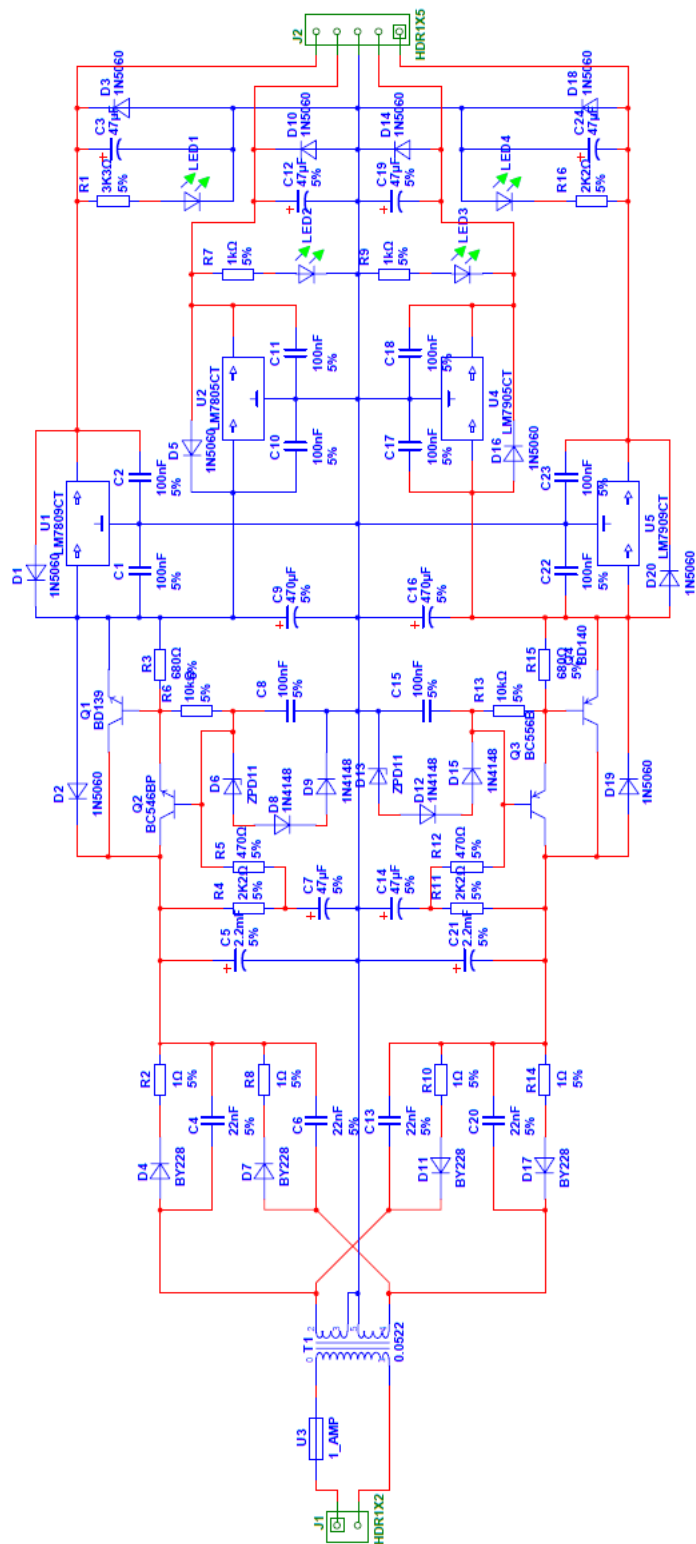
Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



Příloha 6: Schéma testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník

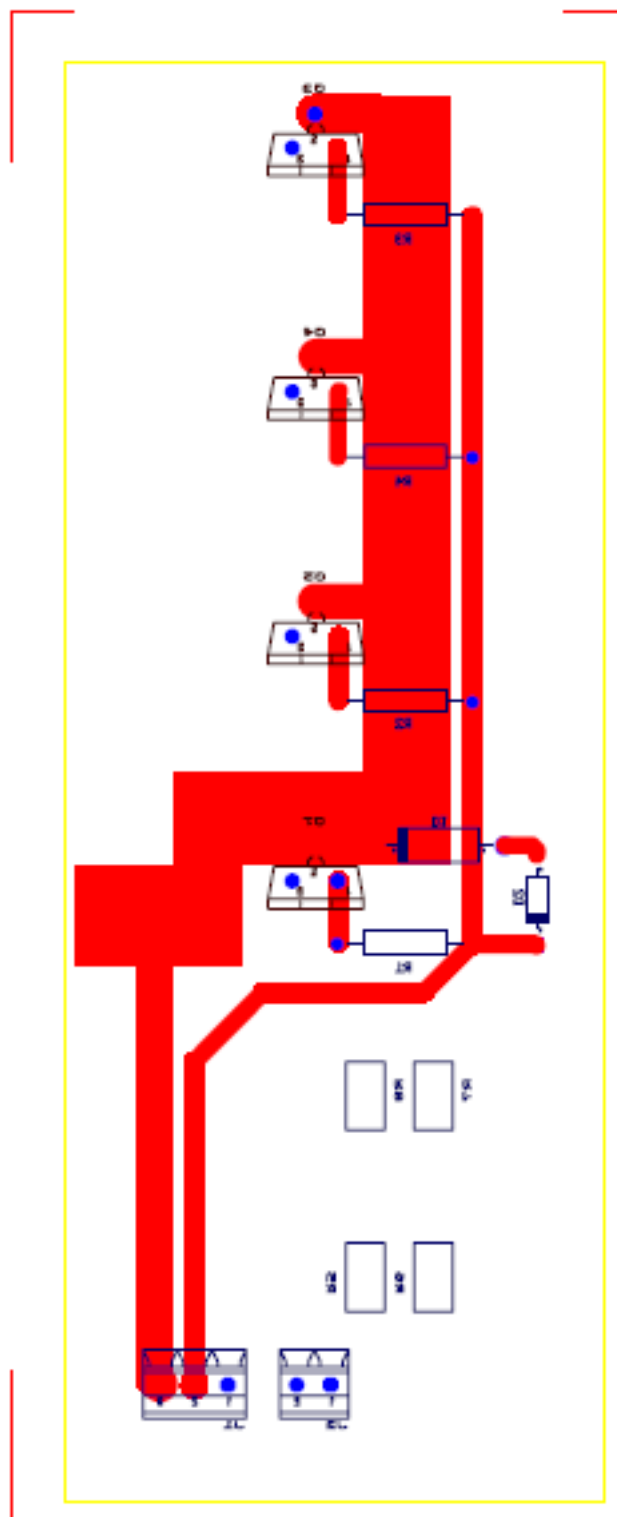
Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim





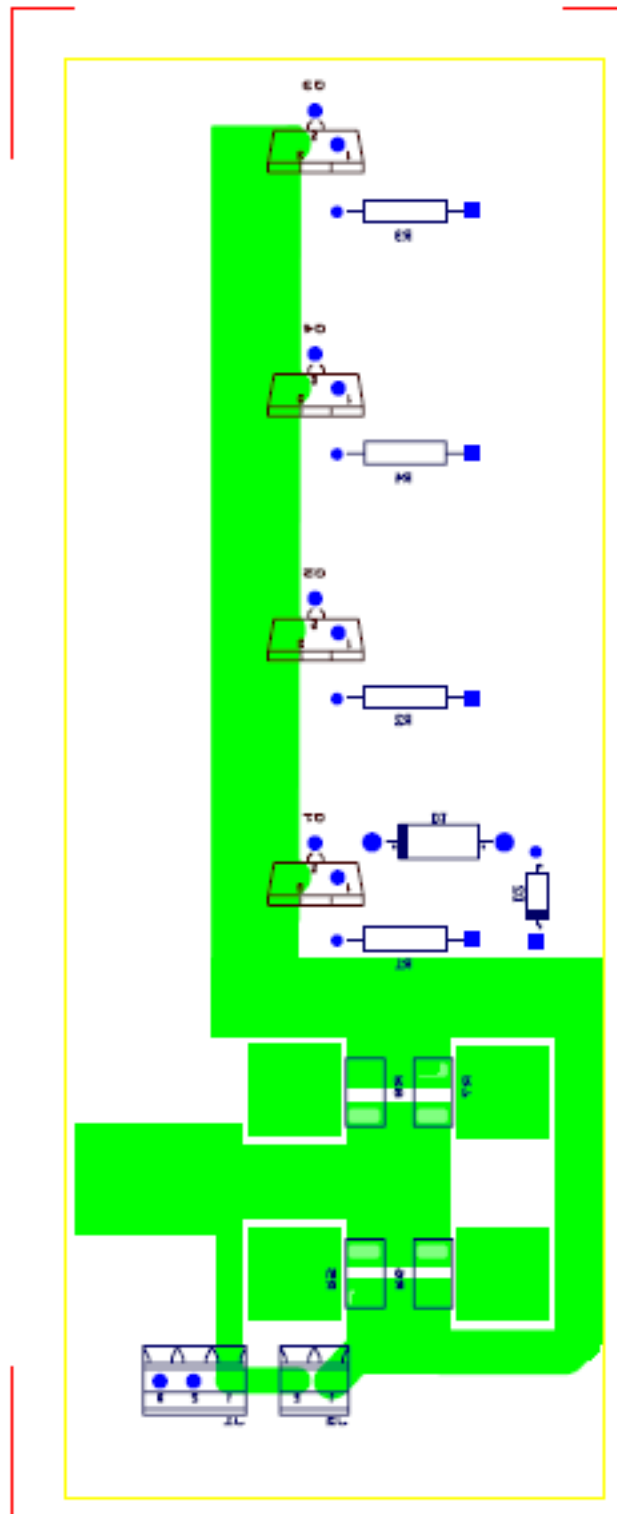
Příloha 7: Schéma testeru FV článků - Napájecí zdroj

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multisim



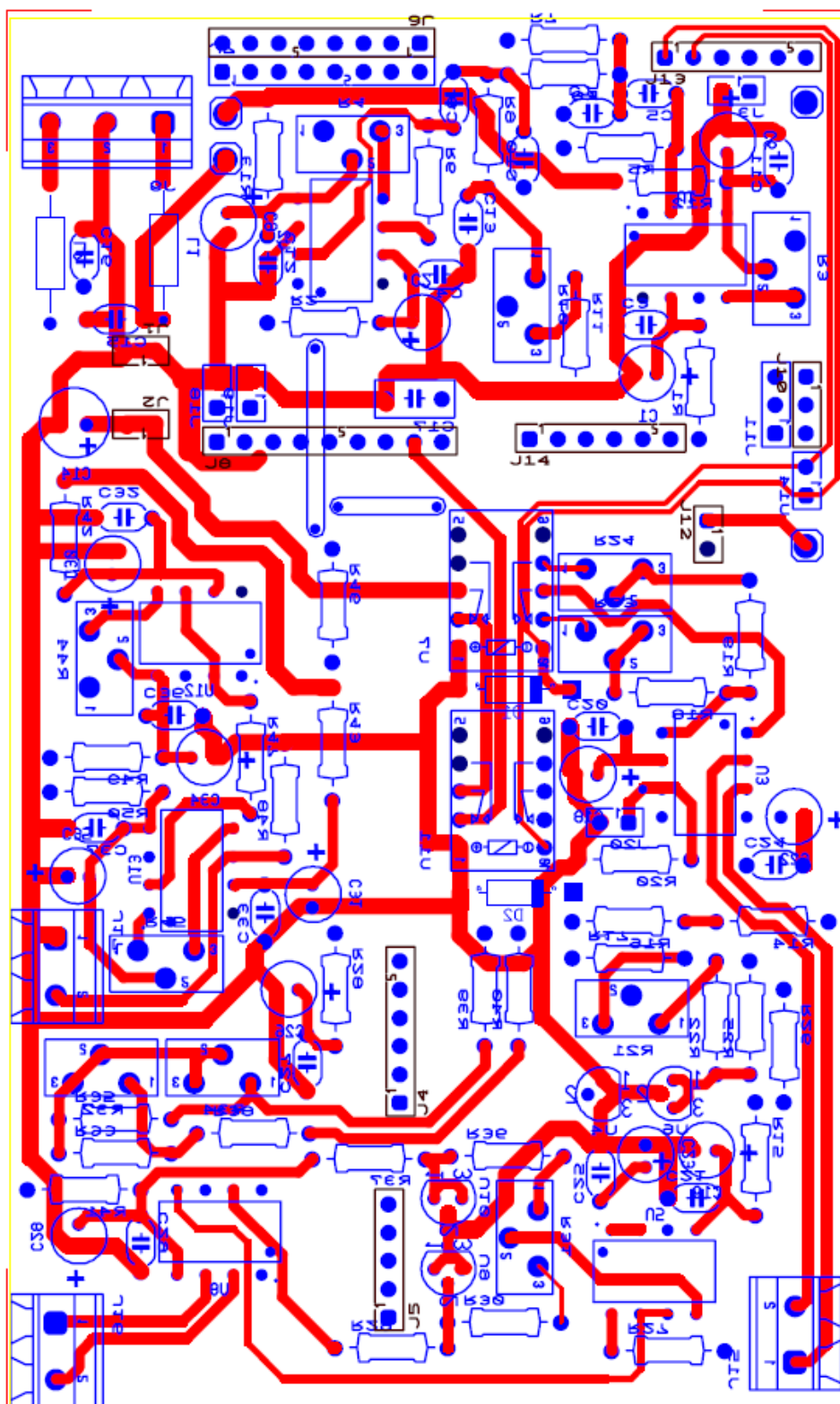
Příloha 8: DPS Bottom testeru FV článků - Výkonový blok + měřicí bočník

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



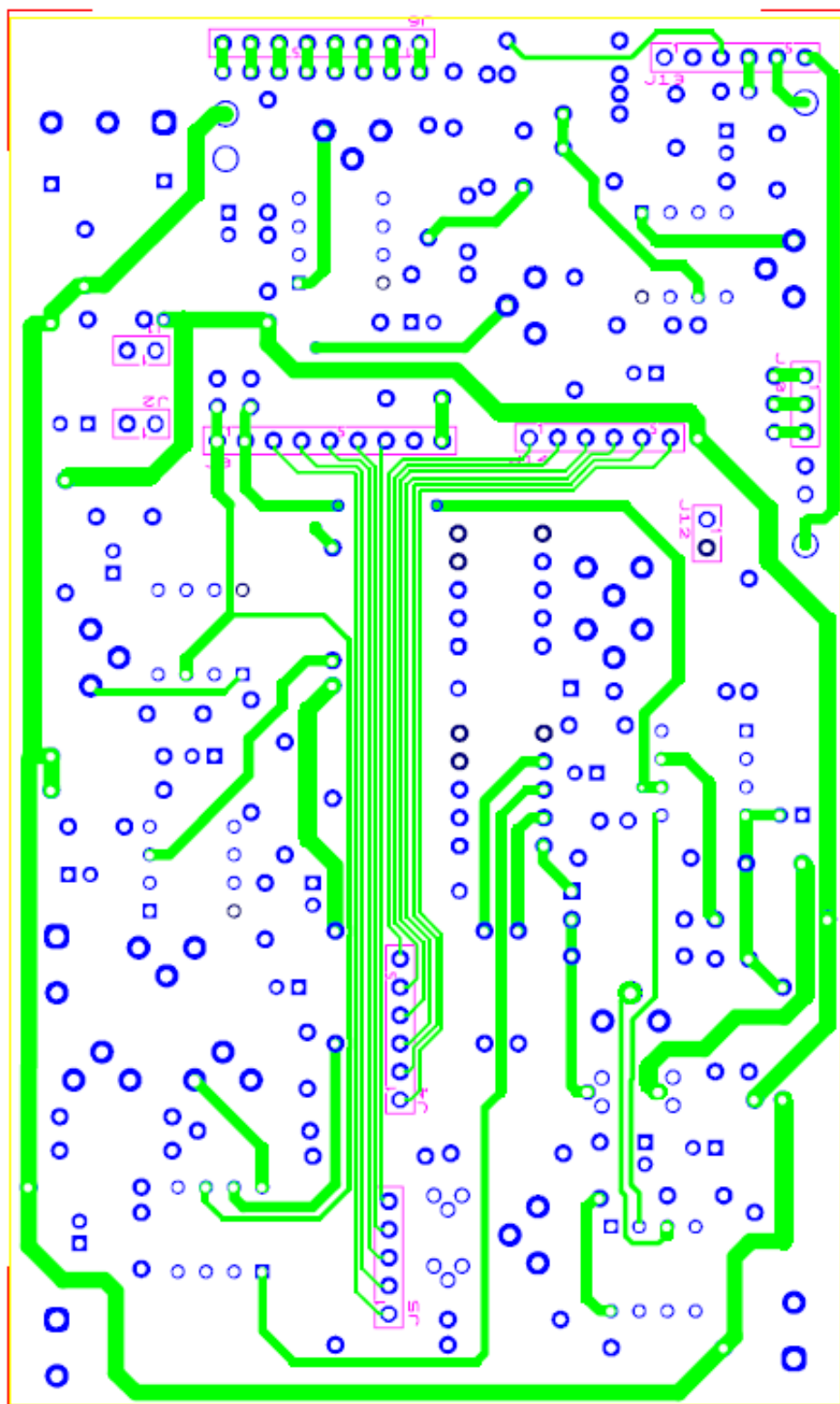
Příloha 9: DPS Top testeru FV článků - Výkonový blok + měřící bočník

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



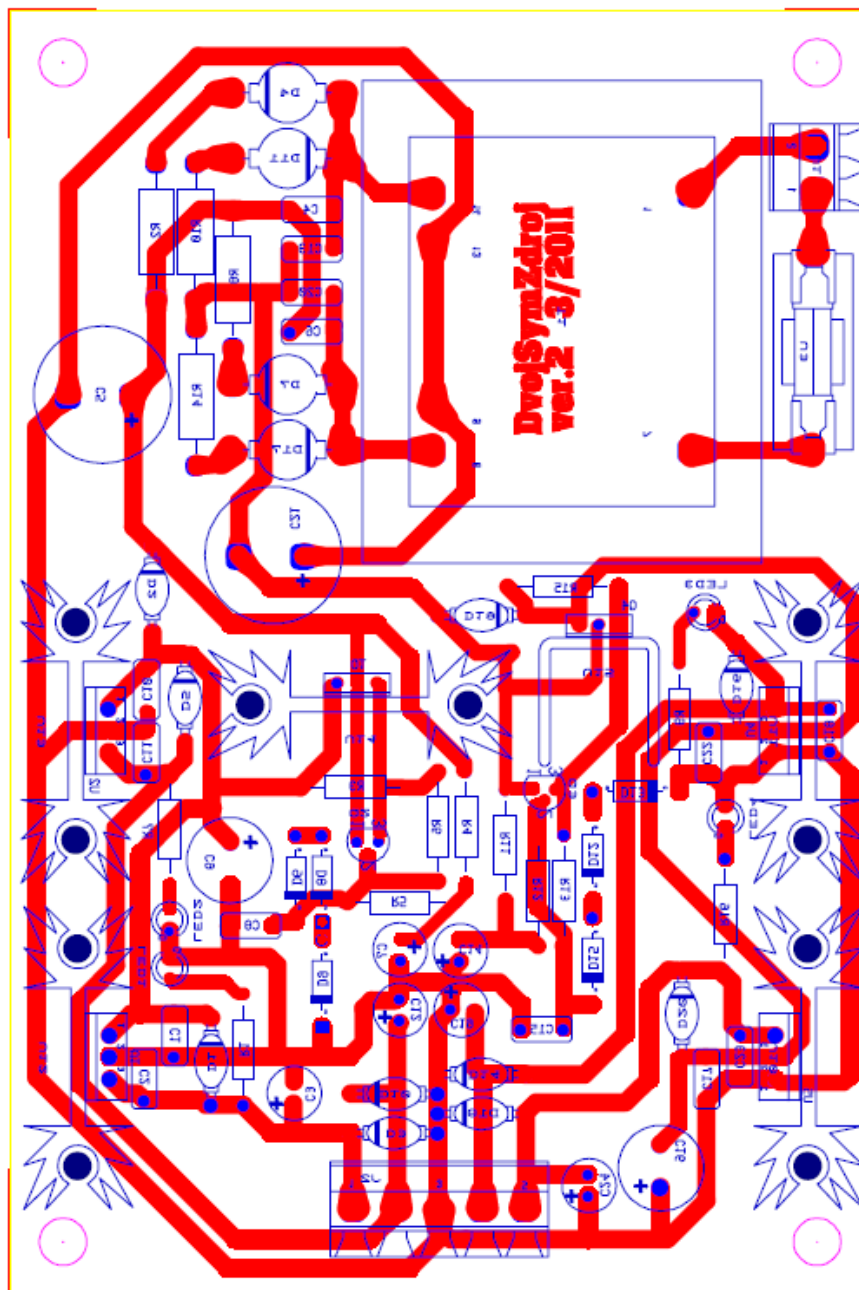
Příloha 10: DPS Bottom testeru FV článků - Analogové řízené testeru

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



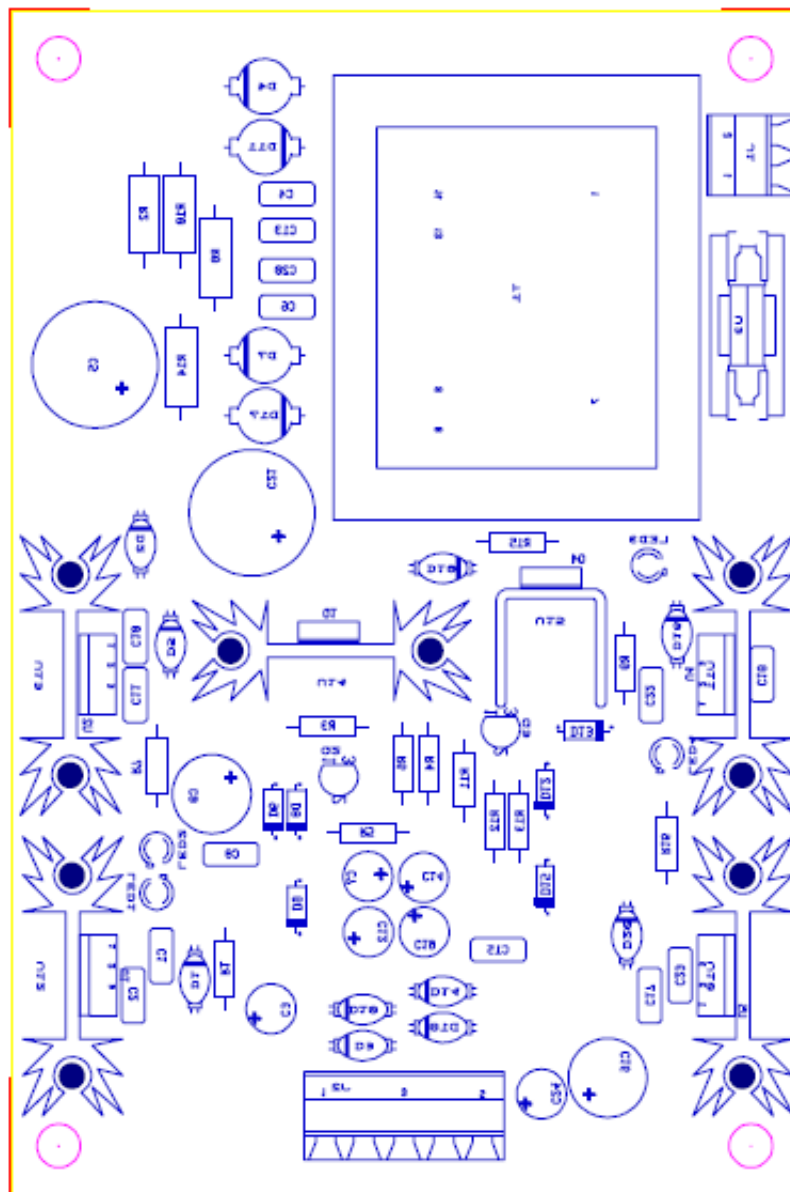
Příloha 11: DPS Top testeru FV článků - Analogové řízené testeru

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



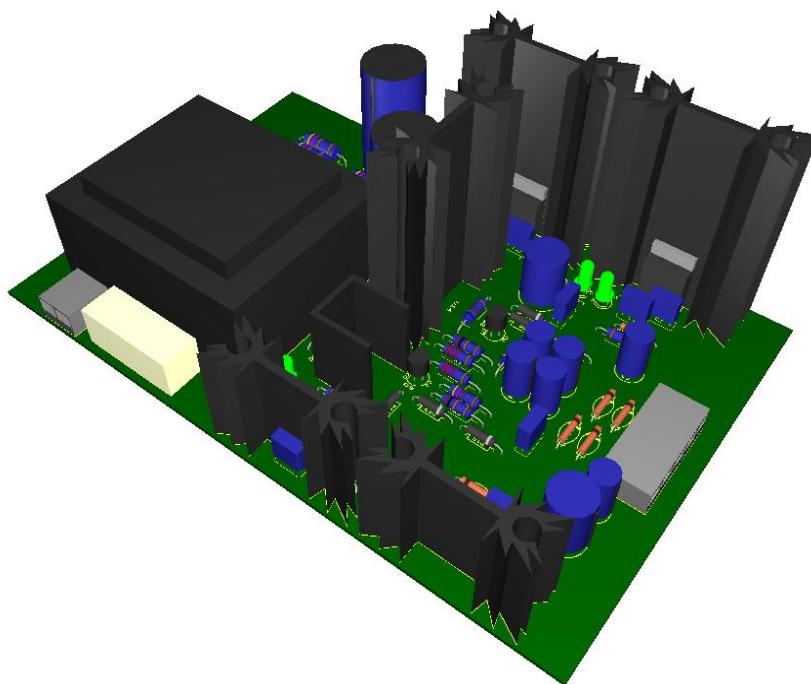
Příloha 12: DPS Bottom testeru FV článků - Zdroj

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



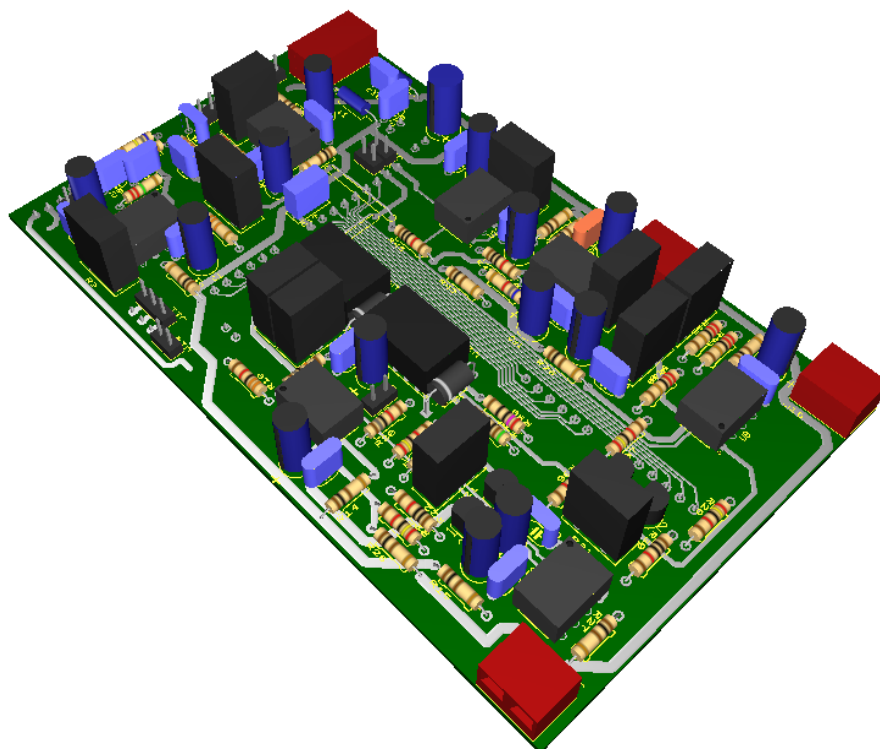
Příloha 13: DPS Top testeru FV článků - Zdroj

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



Příloha 14: 3D testeru FV článků - Zdroj

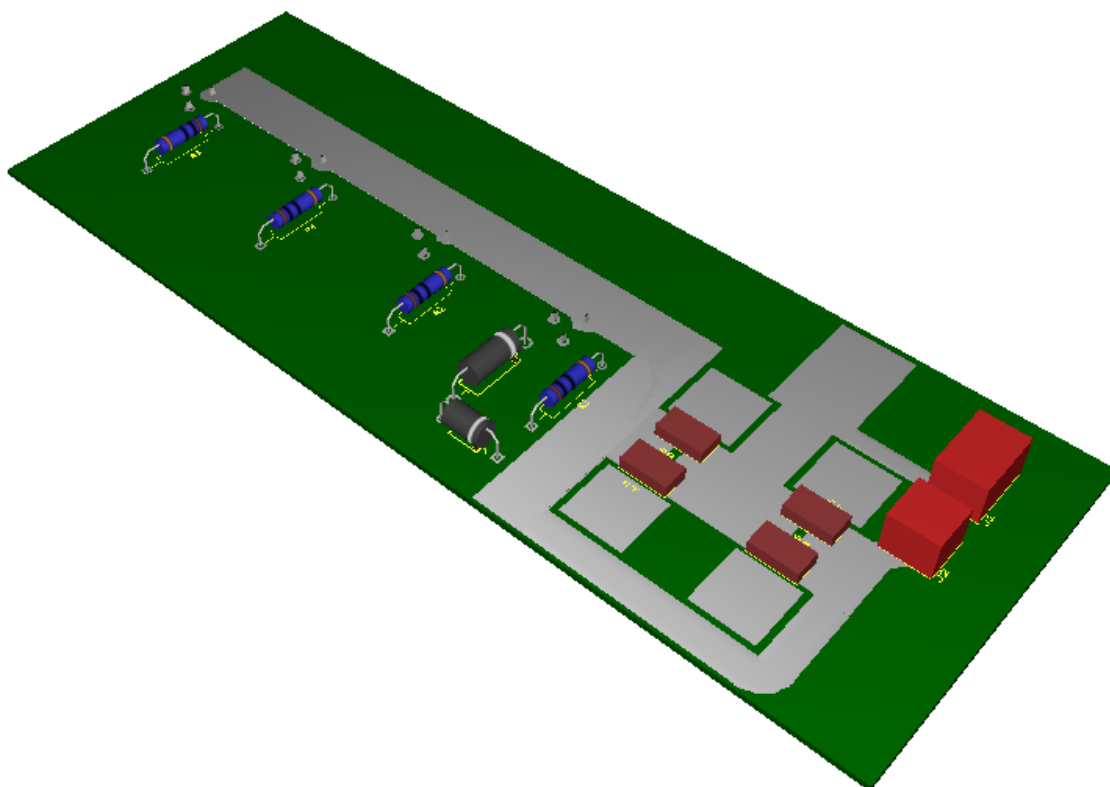
Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard



Příloha 15: 3D testeru FV článků - Analogové řízení testeru

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard





Příloha 16: 3D testeru FV článků - Výkonový blok + bočník

Zdroj: Vlastní - Kresleno v Multiboard

#### Seznam součástek pro napájecí zdroj

2	CAP_ELECTROLIT, 2.2mF 5%	C5, C21	Electrolytic
4	DIODE, BY228	D4, D7, D11, D17	
4	CAPACITOR, 22nF 5%	C4, C6, C13, C20	Polyester Film
4	CAP_ELECTROLIT, 47μF 5%	C7, C12, C14, C19	Tantalum
2	CAP_ELECTROLIT, 470μF 5%	C9, C16	Tantalum
3	RESISTOR, 2K2Ω 5%	R4, R11, R16	Metal Film
2	RESISTOR, 470Ω 5%	R5, R12	Metal Film
10	CAPACITOR, 100nF 5%	C1, C2, C8, C10, C11, C15, C17, C18, C22, C23	Ceramic
1	BJT_NPN, BC546BP	Q2	
4	LED_green	LED1, LED2, LED3, LED4	
1	RESISTOR, 3K3Ω 5%	R1	Metal Film
2	CAP_ELECTROLIT, 47μF	C3, C24	Tantalum
1	TS_XFMR2, 0.0522	T1	
1	1_AMP, 1_AMP	U3	
1	CONNECTORS, HDR1X2	J1	
1	CONNECTORS, HDR1X5	J2	

1	BJT_NPN, BD139	Q1	
1	BJT_PNP, BD140	Q4	
2	RESISTOR, 680Ω 5%	R3, R15	Metal Film
2	RESISTOR, 10kΩ 5%	R6, R13	Metal Film
4	DIODE, 1N4148	D8, D9, D12, D15	
1	BJT_PNP, BC556B	Q3	
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM7805CT	U2	
2	RESISTOR, 1kΩ 5%	R7, R9	Metal Film
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM7905CT	U4	
10	DIODE, 1N5060	D1, D2, D3, D5, D10, D14, D16, D18, D19, D20	
4	RESISTOR, 1Ω 5%	R2, R8, R10, R14	Metal Film
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM7809CT	U1	
1	VOLTAGE_REGULATOR, LM7909CT	U5	
2	ZENER, ZPD11	D6, D13	

**Seznam součástek pro  
Výkonový blok + bočník**

4	MOS_3TEN, IRF3205	Q1, Q2, Q3, Q4	
4	RESISTOR, 10Ω 5%	R1, R2, R3, R4	Power
1	DIODE, 1N4148	D2	Chip Resistor - Thin Film
4	RESISTOR, 0.011Ω 1%	R5, R6, R7, R8	
1	CONNECTORS, HDR1X3	J1	
1	CONNECTORS, HDR1X2	J2	
1	ZENER, 1N5368B	D1	

**Seznam součástek pro  
Analogové řízení  
testeru**

2	OPAMP, OPA604AP	U12, U13	
14	RESISTOR, 100Ω 5%	R1, R2, R12, R13, R14, R15, R26, R27, R28, R41, R42, R43, R49, R50	Metal Film
14	CAPACITOR, 100nF 5%	C3, C4, C11, C12, C20, C21, C24, C25, C27, C29, C32, C33, C36, C37	Ceramic
16	CAP_ELECTROLIT, 22μF	C1, C2, C6, C9, C18, C19, C22, C23, C26, C28, C30, C31, C34, C35, C38, C39	Electrolytic
2	RESISTOR, 10kΩ 1%	R46, R47	Metal Film
5	POTENTIOMETER,	R3, R4, R10, R44, R45	Ceramic

100kΩ

9	CONNECTORS, HDR1X2	J1, J2, J3, J12, J15, J16, J17, J18, J19	
1	RESISTOR, 33kΩ 5%	R52	Metal Film
1	RESISTOR, 1kΩ 1%	R53	Metal Film
1	CAPACITOR, 680pF 5%	C42	Ceramic
1	RESISTOR, 860Ω 5%	R54	Metal Film
1	CAPACITOR, 1nF 5%	C41	Ceramic
1	RESISTOR, 860Ω 1%	R55	Metal Film
1	CAPACITOR, 82pF 5%	C40	Ceramic
1	CAPACITOR, 47pF 5%	C46	Ceramic
1	RESISTOR, 3K5Ω 1%	R56	Metal Film
1	RESISTOR, 220kΩ 1%	R57	Metal Film
	SPECIAL_FUNCTION,		
2	INA128P	U3, U8	
4	LM185, LM185	U4, U6, U9, U10	
4	RESISTOR, 24kΩ 1%	R16, R25, R29, R37	Metal Film
4	RESISTOR, 10kΩ 1%	R17, R22, R30, R36	Metal Film
2	POTENTIOMETER, 1kΩ	R21, R31	Ceramic
2	Relay, AZ850	U7, U11	
3	RESISTOR, 22Ω 1%	R33, R35, R38	Metal Film
3	POTENTIOMETER, 470Ω	R24, R32, R34	Ceramic
2	DIODE, 1N4148	D1, D2	
1	RESISTOR, 510Ω 1%	R40	Metal Film
1	RESISTOR, 270Ω 1%	R39	Metal Film
2	RESISTOR, 680Ω 1%	R48, R51	Metal Film
2	CAPACITOR, 47nF 5%	C47, C48	Ceramic
2	ZENER, BZX83-C3V9	D3, D4	
1	OPAMP, TL072CP	U5	
1	RESISTOR, 180kΩ 1%	R18	Metal Film
1	RESISTOR, 33kΩ 1%	R19	Metal Film
1	POTENTIOMETER, 22kΩ	R23	Ceramic
1	RESISTOR, 6K8Ω 1%	R20	Metal Film
3	CONNECTORS, HDR1X6	J4, J13, J14	
1	CONNECTORS, HDR1X9	J8	
3	CONNECTORS, HDR1X3	J9, J10, J11	
1	CONNECTORS, HDR1X5	J5	
1	CAP_ELECTROLIT, 22μF	C14	Electrolytic
			Ferrite
2	INDUCTOR, 10μH 5%	L1, L2	Core
			Polyester
3	CAPACITOR, 100nF 5%	C15, C16, C17	Film
2	CONNECTORS, HDR1X8	J6, J7	
2	RESISTOR, 2M2Ω 5%	R5, R6	Metal Film
4	CAPACITOR, 220pF 5%	C5, C7, C8, C10	Ceramic
2	OPAMP, TL071CP	U1, U2	

2	RESISTOR, 680kΩ 5%	R7, R8	Metal Film
1	RESISTOR, 100kΩ 5%	R9	Metal Film
1	RESISTOR, 1M25Ω 1%	R11	Metal Film
1	CAPACITOR, 4n7F 5%	C13	Ceramic

## Příloha 17: Seznam součástek

Zdroj: Vlastní



## Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 48°59'23" North, 14°28'0" East, Elevation: 388 m a.s.l.,

Nominal power of the PV system: 3.4 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 7.5% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 8.0%

Combined PV system losses: 17.4%

Fixed system: inclination=34 deg., orientation=0 deg. (Optimum at given orientation)				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4.00	124	1.29	40.0
Feb	6.41	180	2.12	59.4
Mar	9.19	285	3.13	97.1
Apr	11.60	347	4.10	123
May	13.30	413	4.87	151
Jun	12.80	384	4.75	142
Jul	13.90	430	5.19	161
Aug	12.70	393	4.71	146
Sep	9.95	299	3.57	107
Oct	8.12	262	2.81	87.1
Nov	3.81	114	1.27	38.1
Dec	2.93	90.8	0.95	29.5
Year	9.07	276	3.24	98.5
Total for year		3310		1180

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

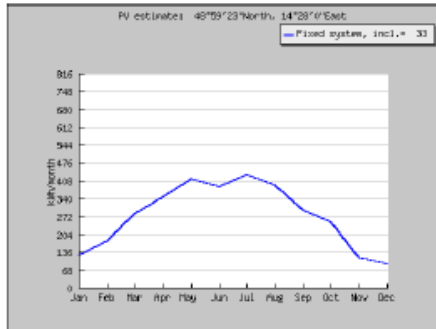
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

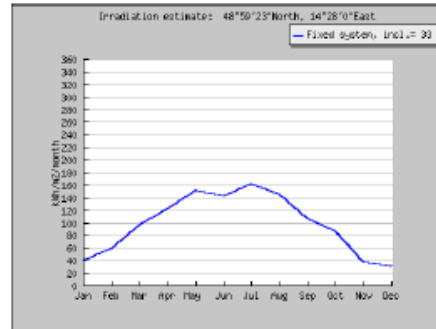
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

## Příloha 18: Výstup ze systému PVGIS

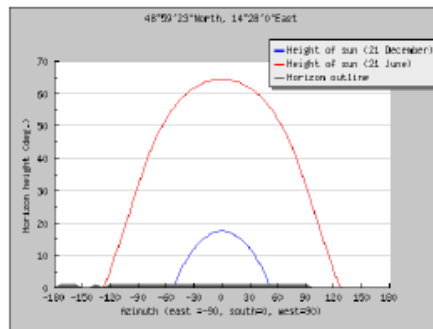
Zdroj: Vlastní



Monthly energy output from fixed-angle PV system



Monthly in-plane irradiation for fixed angle



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice

PVGIS (c) European Communities, 2001-2010  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

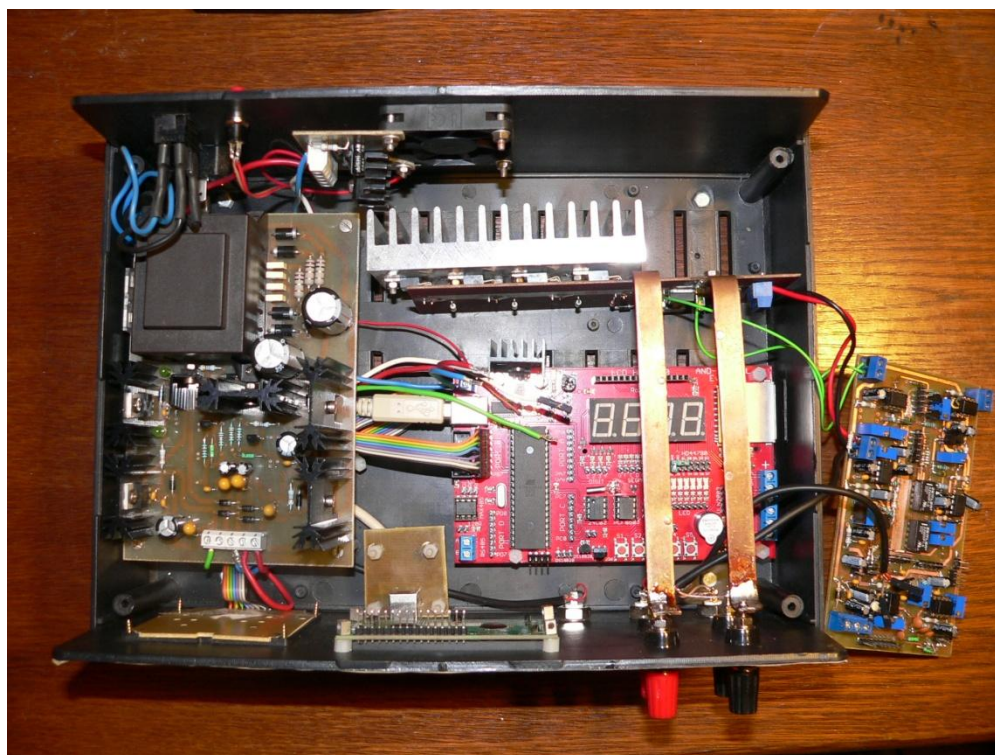
This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

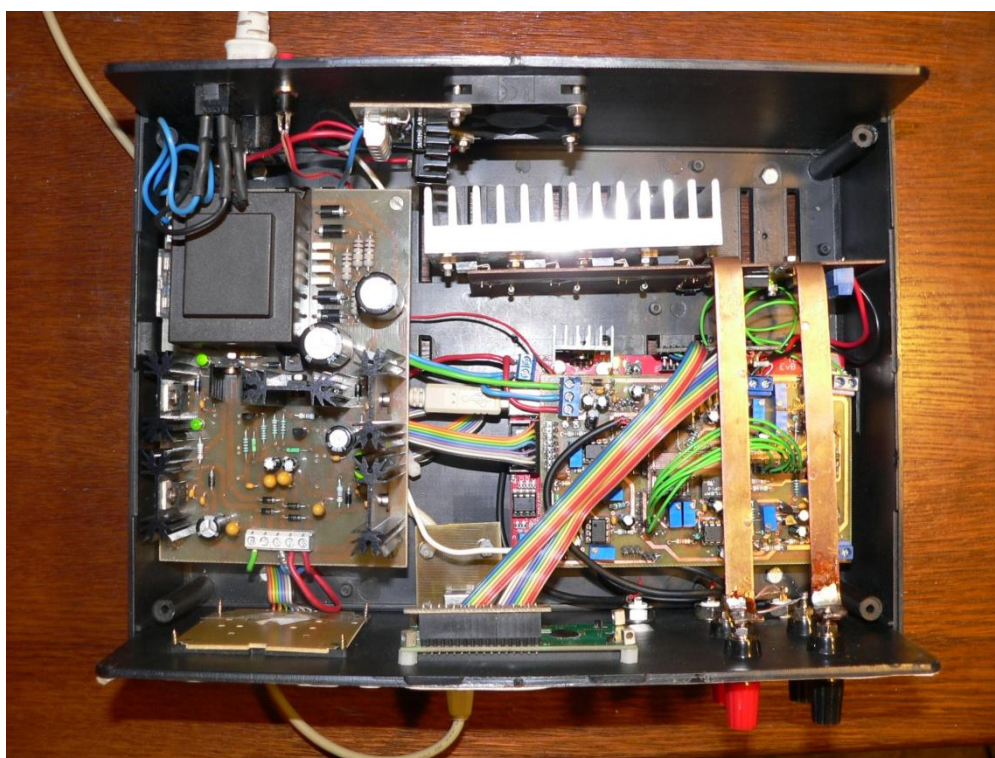
## Příloha 19: Výstup ze systému PVGIS

Zdroj: Vlastní



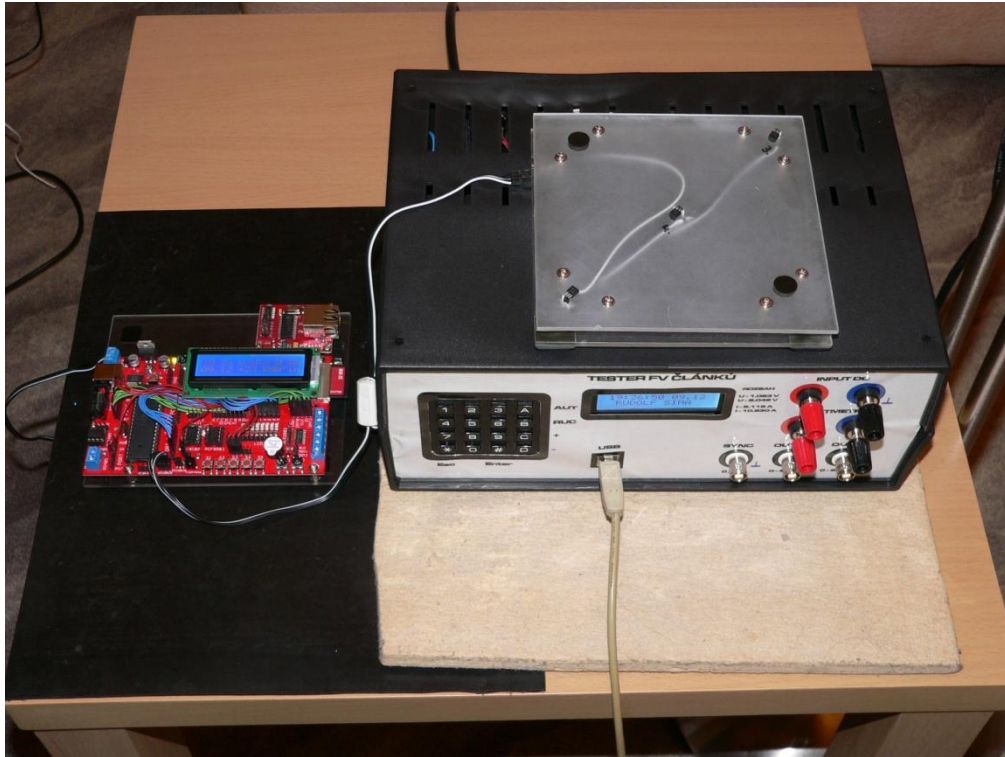
Příloha 20: Pohled na digitální část testeru

Zdroj: Vlastní



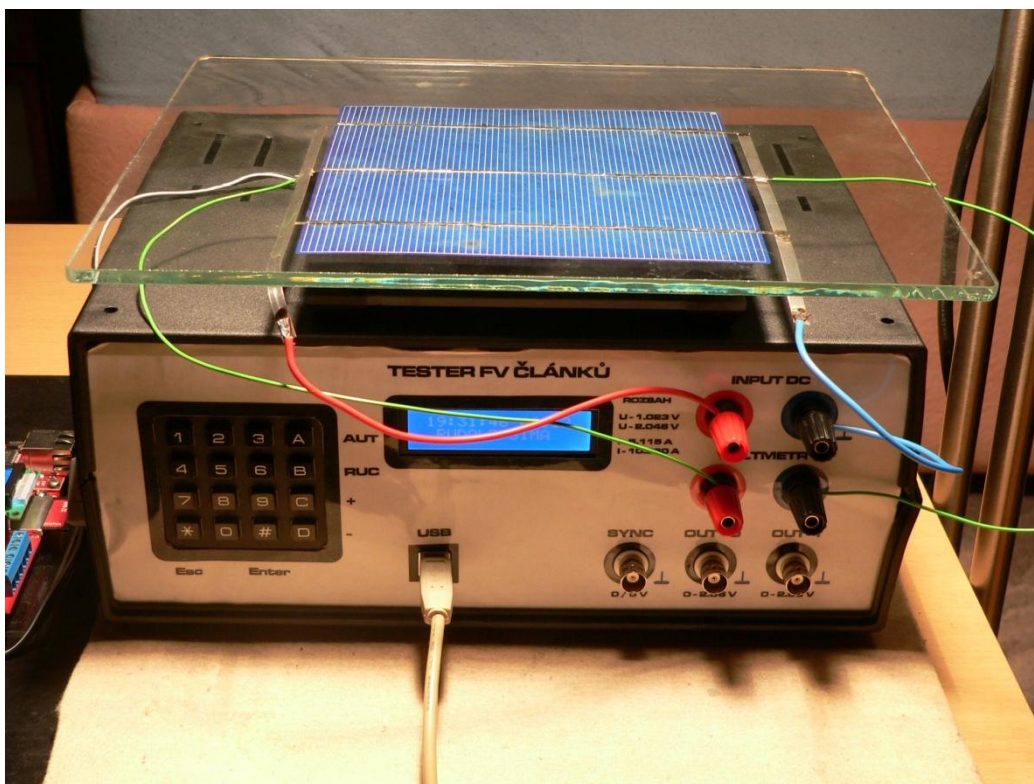
Příloha 21: Pohled na analogovou část testeru

Zdroj: Vlastní



Příloha 22: Připravená měřicí souprava

Zdroj: Vlastní



Příloha 23: Měření fotovoltaického článku

Zdroj: Vlastní

```

$regfile = "m644def.dat"
$crystal = 16000000
$baud = 256000
$hwstack = 32
$swstack = 10
$framesize = 40

Rem $sim

Dim Kl As Byte
Dim Rozsah_u As Word
Dim Rozsah_i As Word
Dim Rele_u As Byte
Dim Rele_i As Byte
Dim Pw1a As Integer
Dim Pw1b As Integer
Dim C_mereni As Word
Dim P_mereni As Word
Dim Zah_mereni As Word
Dim Zah_mer As Word
Dim P_vypoctu As Word
Dim Napeti(805) As Word
Dim Proud(805) As Word
Rem Dim Temp_mmp(40) As Word
Dim St_napeti As Single
Dim St_proud As Single
Dim St_vykon As Single
Dim St_odpor As Single
Dim H_pwm As Word
Dim D_pwm As Word
Dim S_pwm As Word
Dim Temp_pwm As Word
Dim H_mpp As Single
Dim D_mpp As Single
Dim S_mpp As Single
Dim Nap_celk As Single
Dim Pro_celk As Single
Dim Vypocty As Word
Dim Prumerovani As Word
Dim Po As Word

Declare Function Klavesnice(kl As Byte) As Byte
Declare Sub Prep_u(byval Rele_u As Byte)
Declare Sub Prep_i(byval Rele_i As Byte)
Declare Sub Mereni(byval P_mereni As Word)
Declare Sub Vypocet()
Declare Sub Vypocet_celk()

```



```

Declare Sub Mereni_lcd()
Declare Sub Rs232()
Declare Sub Rs232_cel()
Declare Sub Vetrak(byval Pw1a As Word)      'Podprogram pro řízení větráku
Declare Sub Pwm(byval Pw1b As Word)        'Podprogram pro řízení PWM (nastavení I)
Declare Sub Merpoc(byval P_mereni As Word)
Declare Sub Settime(byval S1 As Byte , Byval M1 As Byte , Byval H1 As Byte , Byval D1 As Byte , Byval Mes1 As Byte)
Declare Sub Gettime()
Declare Sub Zobraz_cas
Declare Sub Uloz_cas

```

```

Dim Tm(5) As Byte At &H1000                'Alokace místa pro proměnné v paměti SRAM (Pro použití s ATMEGA32
alokovat pole od adresy &H60.

```

```
Dim I As Byte
```

```
Dim Temp As Byte
```

```
Dim L As Byte
```

```
Dim LI As Byte
```

```
'Alokace místa pro proměnné v paměti SRAM (Pro použití s ATMEGA32 alokovat adresy &H60 až &H64.

```

```
Dim S As Byte At &H1000 Overlay
```

```
Dim M As Byte At &H1001 Overlay
```

```
Dim H As Byte At &H1002 Overlay
```

```
Dim D As Byte At &H1003 Overlay
```

```
Dim Mes As Byte At &H1004 Overlay
```

```
Dim Hodina As Byte
```

```
Dim Minuta As Byte
```

```
Dim Sekunda As Byte
```

```
Dim Den As Byte
```

```
Dim Mesic As Byte
```

```
' ***** Nastavení přepínání rozsahů *****

```

```
' Bistabilní relé jsou přepínána do inverzního stavu otočením polarity

```

```
' na cívce relé.

```

```
Config Porta.7 = Output
```

```
Config Portd.2 = Output
```

```
Config Portd.3 = Output
```

```
Config Portd.6 = Output
```

```
Portd.2 = 1                ' Nastavení rozsahu na 2.046 V
```

```
Portd.6 = 0                ' Nastavení rozsahu na 2.046 V
```

```
Portd.3 = 1                ' Nastavení rozsahu na 10.230 A
```

```
Porta.7 = 0                ' Nastavení rozsahu na 10.230 A
```

```
Waitms 50
```

```
Portd.2 = 0
```

```
Portd.3 = 0
```

```
Rele_u = 1
```

```
Rele_i = 1
```

```
' -----
Config I2cdelay = 5        ' Nastavení frekvence I2c sběrnice
Config Sda = Portc.1

```

```

Config Scl = Portc.0
'-----

Pwm 0          ' Nastavení PWM výstupu na 0.
Vetrak 0       ' Nastavení ventilátoru na plný výkon.

Rozsah_u = 2
Rozsah_i = 2
P_mereni = 100
Zah_mereni = 10
P_vypoctu = P_mereni - Zah_mereni
Zah_mer = Zah_mereni + 1
Prumerovani = 1

Config Lcd = 16 * 2
Config Lcdpin = Pin , Rs = Portc.2 , E = Portc.3 , Db4 = Portc.4 , Db5 = Portc.5 , Db6 = Portc.6 , Db7 = Portc.7
Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Down , Compare B Pwm = Clear Down , Prescale = 1
Config Adc = Single , Prescaler = 128 , Reference = Internal_2.56
Config Kbd = Portb
Cls

I2cinit
Rem Call Settime(00 , 55 , 10 , 10 , 12)      'Nastavení času podle přednastavených hodnot s baterií nastavení jen při
prvním programování.

Do
Cursor Off Noblink
Call Zobraz_cas
Locate 2 , 3
Lcd "RUDOLF SIMA"
Waitms 100

' ***** Menu přístroje *****
Rem Lowerline
Rem Cursor Off
Rem Locate 1 , 1
Rem Lcd "[A] NASTAVENI"
Rem Locate 2 , 1
Rem Lcd "[B] MERENI"

' ***** A: NASTAV ROZSAH *****

Kl = Klavesnice(kl)
If Kl = 3 Then
Cls
Waitms 100
Lowerline
Cursor Off

```

```

If Rele_u = 1 Then
  Locate 1 , 1
  Lcd "[A] U= 2.046 V"
Else
  Locate 1 , 1
  Lcd "[A] U= 1.023 V"
End If

If Rele_i = 1 Then
  Locate 2 , 1
  Lcd "[B] I= 10.230 A"
Else
  Locate 2 , 1
  Lcd "[B] I= 5.115 A"
End If
Waitms 100

Do
  Kl = Klavesnice(kl)
  If Kl = 3 Then
    Waitms 100
    If Rele_u = 0 Then
      Prep_u 1
      Rele_u = 1
      Locate 1 , 1
      Lcd "[A] U= 2.046 V"
    Else
      Prep_u 0
      Rele_u = 0
      Locate 1 , 1
      Lcd "[A] U= 1.023 V"
    End If
  End If

  If Kl = 7 Then
    Waitms 100
    If Rele_i = 0 Then
      Prep_i 1
      Rele_i = 1
      Locate 2 , 1
      Lcd "[B] I= 10.230 A"
    Else
      Prep_i 0
      Rele_i = 0
      Locate 2 , 1
      Lcd "[B] I= 5.115 A"
    End If
  End If
Loop Until Kl = 12

```

```

Cls
End If
' ***** KONEC ***** A: NASTAV ROZSAH *****

' ***** B: MERENI *****

If Kl = 7 Then
Cls
Waitms 100
Lowerline
Cursor Off
Locate 1 , 1
Lcd "[A] AUTOMATICKE"
Locate 2 , 1
Lcd "[B] RUCNI"

Do
Kl = Klavesnice(kl)
' ***** A: AUTOMATICKEI *****

If Kl = 3 Then
Call Vetrak(0)
Cls
Waitms 200

Cursor Off
Locate 1 , 1
Lcd "[0] - [9]"
Locate 2 , 1
Lcd "PROUD V BITECH "
Wait 1
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "[A]/[B]: +/- 10"
Locate 2 , 1
Lcd "[C]/[D]: +/- 1"
Wait 1
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "[*]: ESC"
Locate 2 , 1
Lcd "[#]: ULOZ"
Wait 1
Cls

Do
H_pwm = 1024
S_pwm = 512 ' Nastavení počátečního horního rozsahu automatického měření.
D_pwm = 0 ' Nastavení počátečního dolního rozsahu automatického měření.
Kl = Klavesnice(kl)

```

```

Cursor Off
Zobraz_cas
Locate 3 , 3
Lcd "PRIPRAVENO"

If Kl = 0 Then          ' Automatické měření - hledání MPP pomocí VA Charakteristiky.
Cursor Off
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "Hledani MPP"
Wait 1
Prep_u 0
Waitms 50
Prep_i 0
P_mereni = 600
Zah_mereni = 10
P_vypoctu = P_mereni - Zah_mereni
Zah_mer = Zah_mereni + 1
Prumerovani = 3

Do
Kl = Klavesnice(kl)
H_mpp = 0
  For S_pwm = 0 To 300 Step 1
    Pwm S_pwm
    Merpoc P_mereni
    S_mpp = St_vykon * 300
    S_mpp = Round(s_mpp)
    S_mpp = S_mpp / 300
    If S_mpp > H_mpp Then
      H_mpp = S_mpp
      H_pwm = Pwm1b
    End If
  Next
  Pwm H_pwm
  Merpoc P_mereni
  Mereni_lcd
  Rs232_cel
Loop Until Kl = 12
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=0

If Kl = 1 Then
Cursor Off
Cls
Locate 3 , 4
Lcd "Hledani MPP"
Locate 1 , 4
Lcd "Metoda postupna 2"
Wait 1

```

```

Prep_u 0
Waitms 50
Prep_i 0
P_mereni = 300
Zah_mereni = 100
P_vypoctu = P_mereni - Zah_mereni
Zah_mer = Zah_mereni + 1
Prumerovani = 2

Do
Kl = Klavesnice(kl)
Zacatek:
H_mpp = 0
Dim H_pwma As Word
For S_pwm = 0 To 400 Step 20
    Pwm S_pwm
    Merpoc P_mereni
    S_mpp = St_vykon * 100
    S_mpp = Round(s_mpp)
    S_mpp = S_mpp / 100
    If S_mpp > H_mpp Then
        H_mpp = S_mpp
        H_pwm = Pwm1b + 5
        D_pwm = Pwm1b - 25
    End If
Next
Prumerovani = 5
H_mpp = 0
Znovu:
If Kl = 12 Then
    Goto Pryc
Else
For S_pwm = D_pwm To H_pwm Step 1
    Pwm S_pwm
    Merpoc P_mereni
    S_mpp = St_vykon * 1000
    S_mpp = Round(s_mpp)
    S_mpp = S_mpp / 1000
    If S_mpp > H_mpp Then
        H_mpp = S_mpp
        H_pwma = Pwm1b
        Goto Znovu
    End If
Next
End If
If D_pwm = H_pwma Then
    Goto Zacatek
End If
If H_pwm = H_pwma Then

```

```

        Goto Zacatek
    End If
    Pwm H_pwma
    Merpoc P_mereni
    Mereni_lcd
    Rs232_cel
    Loop Until Kl = 12
    Pryc:
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=1

If Kl = 2 Then

End If          ' ***** KONEC ***** Kl=2

If Kl = 3 Then          ' VA charakteristika.
    Cursor Off
    Cls
    Locate 1 , 3
    Lcd "VA Charakteristika"
    Kl = Klavesnice(kl)
    Waitms 200
    Prep_u 0
    Waitms 50
    Prep_i 0
    Prep_i 0
    P_mereni = 800
    Zah_mereni = 10
    P_vypoctu = P_mereni - Zah_mereni
    Zah_mer = Zah_mereni + 1
    Prumerovani = 4
        For Po = 0 To 400 Step 2
            Pwm Po
            Mereni P_mereni
            Vypocet_cel
            Rs232_cel
            Mereni_lcd
        Next
    Pwm 0
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=3
    Cursor Off
    Cls
    Locate 1 , 1
    Lcd "Hledani MPP"
    Wait 2

    Do
    Kl = Klavesnice(kl)
    Temp_pwm = H_pwm - D_pwm

```

```

If Temp_pwm > 2 Then
  Pwm H_pwm
  Merpoc P_mereni
  H_mpp = St_vykon * 100
  H_mpp = Round(h_mpp)
  H_mpp = H_mpp / 100
  Pwm S_pwm
  Merpoc P_mereni
  S_mpp = St_vykon * 100
  S_mpp = Round(s_mpp)
  S_mpp = S_mpp / 100
  Rs232_cel
  Pwm D_pwm
  Merpoc P_mereni
  D_mpp = St_vykon * 100
  D_mpp = Round(d_mpp)
  D_mpp = D_mpp / 100

  If D_mpp =< S_mpp Then
    If S_mpp => H_mpp Then
      Temp_pwm = S_pwm - D_pwm
      Temp_pwm = Temp_pwm / 2
      D_pwm = S_pwm
      S_pwm = S_pwm + Temp_pwm
    Else
      Temp_pwm = H_pwm - S_pwm
      Temp_pwm = Temp_pwm / 2
      H_pwm = S_pwm
      S_pwm = S_pwm - Temp_pwm
    End If
  Else
    If S_mpp =< H_mpp Then
      Temp_pwm = H_pwm - S_pwm
      Temp_pwm = Temp_pwm / 2
      H_pwm = S_pwm
      S_pwm = S_pwm - Temp_pwm

      Else
        Temp_pwm = S_pwm - D_pwm
        Temp_pwm = Temp_pwm / 2
        D_pwm = S_pwm
        S_pwm = S_pwm + Temp_pwm
      End If
    End If
  Else
    Pwm H_pwm
    Merpoc P_mereni
    H_mpp = St_vykon
    Pwm S_pwm

```



```

Merpoc P_mereni
S_mpp = St_vykon
Pwm D_pwm
Merpoc P_mereni
D_mpp = St_vykon
        Rs232_cel
    If H_mpp > S_mpp Then
        Pwm D_pwm
        Merpoc P_mereni
        Mereni_lcd
        Rs232_cel
    Else
        If S_mpp > H_mpp Then
            Pwm S_pwm
            Merpoc P_mereni
            Mereni_lcd
            Rs232_cel
        Else
            Pwm H_pwm
            Merpoc P_mereni
            Mereni_lcd
            Rs232_cel
        End If
    End If
End If
Rs232_cel
Waitms 100
Loop Until Kl = 12

```

```

    If Kl = 7 Then
        Waitms 200
    Prep_u 0
    Waitms 1
    Prep_i 0
    P_mereni = 800
    Zah_mereni = 10
    P_vypoctu = P_mereni - Zah_mereni
    Zah_mer = Zah_mereni + 1
    Prumerovani = 20

```

```

Cursor Off
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "Hledani MPP"
Wait 2
St_vykon = 0
D_pwm = 5
D_mpp = 0

```

```

Do
  Znova_hledej:
  D_pwm = D_pwm + 20
  H_pwm = D_pwm
  Pwm D_pwm
  Merpoc P_mereni
  Rs232_cel
  S_mpp = St_vykon * 1000
  S_mpp = Round(s_mpp)
  S_mpp = S_mpp / 1000
  If S_mpp => D_mpp Then
    D_mpp = S_mpp
  Else
    D_pwm = D_pwm - 21
    Do
      Znova:
      If D_pwm => H_pwm Then
        D_pwm = 5
        D_mpp = 0
        Goto Znova_hledej
      End If
      Pwm D_pwm
      Merpoc P_mereni
      Rs232_cel
      S_mpp = St_vykon * 1000
      S_mpp = Round(s_mpp)
      S_mpp = S_mpp / 1000
      If S_mpp > D_mpp Then
        D_pwm = D_pwm + 1
        D_mpp = S_mpp
      Else
        If S_mpp < D_mpp Then
          D_pwm = D_pwm + 1
          D_mpp = S_mpp
          Goto Znova
        Else
          Mereni_lcd
          Rs232_cel
          D_pwm = 5
          D_mpp = 0
          End If
          Goto Znova_hledej
        End If
      Loop Until Kl = 12
    End If
  Loop Until Kl = 12
End If
' ***** KONEC ***** Kl=7

Pwm1b = 0

```

```

    Waitms 500
Loop Until Kl = 12

Vetrak 300
End If
***** KONEC ***** A: AUTOMATICKE *****

***** B: RUCNI *****

If Kl = 7 Then
Cls
Waitms 200
Cursor Off
Locate 1 , 1
Lcd "[0] - [9]"
Locate 2 , 1
Lcd "PROUD V BITECH "
Waitms 500
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "[A]/[B]: +/- 10"
Locate 2 , 1
Lcd "[C]/[D]: +/- 1"
Waitms 500
Cls
Locate 1 , 1
Lcd "[*]: ESC"
Locate 2 , 1
Lcd "[#]: ULOZ"
Waitms 500
Cls
Do
    Kl = Klavesnice(kl)
    If Kl = 0 Then
        Pwm1b = 100
        Cls
    End If
        ' ***** KONEC ***** Kl=0

    If Kl = 1 Then
        Pwm1b = 200
        Cls
    End If
        ' ***** KONEC ***** Kl=1

    If Kl = 2 Then
        Pwm1b = 300
        Cls
    End If
        ' ***** KONEC ***** Kl=2

    If Kl = 3 Then
        If Pwm1b < 1013 Then

```

```

    Pwm1b = Pwm1b + 10
    Waitms 100
End If
Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=3

If Kl = 4 Then
    Pwm1b = 400
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=4

If Kl = 5 Then
    Pw1b = 500
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=5

If Kl = 6 Then
    Pw1b = 600
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=6

If Kl = 7 Then
    If Pwm1b > 10 Then
        Pwm1b = Pwm1b - 10
        Waitms 100
    End If
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=7

If Kl = 8 Then
    Pwm1b = 700
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=8

If Kl = 9 Then
    Pwm1b = 800
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=9

If Kl = 10 Then
    Pwm1b = 900
    Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=10

If Kl = 11 Then
    If Pwm1b < 1023 Then
        Waitms 100
        Incr Pwm1b
    End If

```

```

Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=11

If Kl = 13 Then
  Pwm1b = 0
  Cls          ' ***** KONEC ***** Kl=13
End If

If Kl = 14 Then
  Kl = Klavesnice(kl)
  Waitms 200
  For Po = 0 To 400 Step 4
    Pwm Po
    Mereni P_mereni
    Vypocet_cel
    Rs232_cel
    Mereni_lcd
  Next
  If Kl = 12 Then
    Goto Skonci
  End If
  Pwm 0
  Skonci:
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=14

If Kl = 15 Then
  If Pw1b > 0 Then
    Waitms 100
    Decr Pw1b
  End If
  Cls
End If          ' ***** KONEC ***** Kl=15
Mereni P_mereni
Vypocet_cel
Rs232_cel
Mereni_lcd
Waitms 100
Loop Until Kl = 12
'***** KONEC ***** B: RUCNI *****
Pwm1b = 0
Cls
End If
Loop Until Kl = 12

'***** KONEC ***** MERENI *****
End If
Loop
End
' ***** KONEC ***** PROGRAM *****

```

' \*\*\*\*\* PODPROGRAMY \*\*\*\*\*

Function Klavesnice(kl)

    Kl = Getkbd()

End Function

Sub Prep\_u(rele\_u)

    If Rele\_u = 0 Then

        Portd.2 = 0

        Portd.6 = 1

        Waitms 50

        Portd.6 = 0

        Rozsah\_u = 1

    Else

        Portd.2 = 1

        Portd.6 = 0

        Waitms 50

        Portd.2 = 0

        Rozsah\_u = 2

    End If

    Waitms 200

End Sub

Sub Prep\_i(rele\_i)

    If Rele\_i = 0 Then

        Portd.3 = 0

        Porta.7 = 1

        Waitms 50

        Porta.7 = 0

        Rozsah\_i = 1

    Else

        Portd.3 = 1

        Porta.7 = 0

        Waitms 50

        Portd.3 = 0

        Rozsah\_i = 2

    End If

    Waitms 200

End Sub

Sub Mereni(p\_mereni)

    Start Adc

    Waitms 15

    For C\_mereni = 1 To P\_mereni

        Proud(c\_mereni) = Getadc(0)

        Napeti(c\_mereni) = Getadc(1)

    Next C\_mereni

    Stop Adc

End Sub

```

Sub Vypocet()
    St_napeti = 0
    St_proud = 0
    St_vykon = 0
    St_odpor = 0
    For C_mereni = Zah_mer To P_mereni
        St_napeti = Napeti(c_mereni) + St_napeti
        St_proud = Proud(c_mereni) + St_proud
    Next C_mereni
    St_napeti = St_napeti / P_vypoctu
    St_napeti = St_napeti / 1000
    St_napeti = St_napeti * Rozsah_u
    St_proud = St_proud / P_vypoctu
    St_proud = St_proud / 200
    St_proud = St_proud * Rozsah_i
    St_vykon = St_napeti * St_proud
End Sub

```

```

Sub Vypocet_cel()
    Nap_celk = 0
    Pro_celk = 0
    For Vypocty = 1 To Prumerovani
        Vypocet
        Nap_celk = Nap_celk + St_napeti
        Pro_celk = Pro_celk + St_proud
    Next Vypocty
    St_napeti = Nap_celk / Prumerovani
    St_proud = Pro_celk / Prumerovani
    St_vykon = St_napeti * St_proud
End Sub

```

```

Sub Merpoc(p_mereni)
    Mereni P_mereni
    Vypocet_cel
End Sub

```

```

Sub Mereni_lcd()
    Cls
    Lowerline
    Cursor Off
    Locate 1 , 7
    Lcd "V"
    Locate 2 , 7
    Lcd "A"
    Locate 1 , 14
    Lcd "ROZ"
    Locate 1 , 9
    Lcd Pwm1b

```

```

Locate 2 , 16
Lcd "W"
Locate 1 , 1
Lcd Fusing(st_napeti , "#.###")
Locate 2 , 1
Lcd Fusing(st_proud , "#.###")
Locate 2 , 9
Lcd Fusing(st_vykon , "#.###")
Waitms 100
End Sub

Sub Rs232()
Call Gettime
For C_mereni = Zah_mer To P_mereni
Print Hex(h) ; ":" ; Hex(m) ; ":" ; Hex(s) ; " " ; Hex(d) ; "." ; Hex(mes) ; " " ; Pwm1b ; " U=" ; Rozsah_u ; " I=" ; Rozsah_i ;
" U=" ; Napeti(c_mereni) ; " I=" ; Proud(c_mereni)
Next C_mereni
End Sub

Sub Rs232_cel()
Call Gettime
Print Hex(h) ; ":" ; Hex(m) ; ":" ; Hex(s) ; " " ; Hex(d) ; "." ; Hex(mes) ; " " ; Pwm1b ; " U=" ; Rozsah_u ; " I=" ; Rozsah_i ;
" U=" ; St_napeti ; " I=" ; St_proud
End Sub

Sub Vetrak(pw1a)
Pwm1a = Pw1a
End Sub

Sub Pwm(pw1b)
If Pw1b > 1023 Then
Pw1b = 1023
End If
Pwm1b = Pw1b
End Sub

Sub Gettime()
Tm(1) = 2
I2creceive &HA2 , Tm(1) , 1 , 5
End Sub

Sub Settime(s1 As Byte , M1 As Byte , H1 As Byte , D1 As Byte , Mes1 As Byte)
Tm(1) = Makebcd(s1) 'sekundy
Tm(2) = Makebcd(m1) 'minuty
Tm(3) = Makebcd(h1) 'hodiny
Tm(4) = Makebcd(d1) 'dny
Tm(5) = Makebcd(mes1) 'měsíce
I2cstart 'start I2c
I2cwbyte &HA2

```



```
I2cwrite 0
I2cwrite 8
I2cstart
I2cwrite &HA2
I2cwrite 2
For I = 1 To 5
  I2cwrite Tm(i)
Next
I2cstop
End Sub
```

```
Sub Uloz_cas
Call Gettime
Hodina = Makebcd(h)
Minuta = Makedec(m)
Sekunda = Makedec(s)
Den = Makedec(d)
Mesic = Makedec(mes)
End Sub
```

```
Sub Zobraz_cas
Call Gettime
Locate 1 , 2
Lcd Hex(h) ; ":" ; Hex(m) ; ":" ; Hex(s) ; " " ; Hex(d) ; "." ; Hex(mes)
End Sub
```

## Příloha 24: Program pro mikroprocesor ATMEGA644

Zdroj: Vlastní