

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra fyziky

**Vytvoření přípravku pro určení optimálního nastavení
fotovoltaických panelů**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý

Autor: Pavel Krčka

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá tématem přeměny slunečního záření ve fotovoltaických systémech na elektrickou energii. Nejprve je poukázáno na problematiku těžby a spalování fosilních paliv. Následně jsou popsány dispozice (možnosti) slunečního záření na zemském povrchu, jenž je možné efektivně využívat ve fotovoltaických systémech. Také je zde podrobně probrán princip fotoelektrického jevu, na němž je založena činnost nejrůznějších typů fotovoltaických článků, které představují základní stavební prvky každého fotovoltaického panelu.

Hlavní část textu je pak zaměřena na vytvoření přípravku, kterým je možné měřit optimální úhel a orientaci fotovoltaických panelů, při kterém by měly zmíněné fotovoltaické panely maximální energetický výnos v průběhu dne v daném ročním období.

Abstract

This Bachelor Thesis deals with the topic of transfer of solar radiation into electric energy in photovoltaic systems. At the beginning the problems of mining and combustion of fossil fuel are highlighted. After that the dispositions (possibilities) of the solar radiation that might be effectively used in photovoltaic systems are described. There is also the photoelectric effect, on which the function of various photovoltaic cell types representing the basic constructional elements of each photovoltaic panel described here in detail.

The main part of the text is then focused on development of a tool capable of measuring the optimum angle and position of photovoltaic panels, at which the photovoltaic panels should have the maximum energetic yield during a day in a specific season of a year.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím uvedených zdrojů.

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 pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 13. 5. 2010


.....
Pavel Krčka

Poděkování

Touto formou děkuji svému konzultantovi panu Ing. Michalovi Šerému, za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce a dále také za naprogramování mikrořadičů Atmel. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni Daleně Bořecké za asistenci při měření na přípravku a za podporu při studiu.

Obsah:

Úvod	9
1 Energie – životodárná síla	10
2 Slunce jako zdroj energie	11
2.1 Sluneční záření na Zemi	14
2.2 Vliv atmosféry na sluneční záření	15
2.3 Pohyb Slunce po obloze a množství energie, které lze získat.....	17
3 Historie fotovoltaiky	21
4 Fotovoltaické články – principy, materiály, realizace.....	23
4.2 Fyzikální princip fotoelektrického jevu.....	23
4.3 Křemík jako polovodič.....	25
4.3.1 Vlastní vodivost polovodiče.....	25
4.3.2 Nevlastní vodivost polovodiče	27
4.4 Princip přeměny slunečního záření na elektřinu ve FV článku	29
4.5 Základní typy fotovoltaických článků	33
5 Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů	34
6 Využití fotovoltaických panelů při realizaci elektráren	37
6.2 Ostrovní systémy (stand-alone, grid-off).....	37
6.2.1 Systémy s přímým napájením	38
6.2.2 Systémy s akumulací elektrické energie	38
6.3 Systémy připojené na síť (grid-connected)	39
6.3.1 Systémy pro vlastní spotřebu a prodej přebytků	39
6.3.2 Systémy pro prodej elektrické energie do sítě	40
6.3.3 Realizace fotovoltaických elektráren instalovaných na pozemku	41
7 Přípravek pro měření optimálního sklonu FV panelů	42
7.2 LED-diodový indikátor napětí.....	43
7.2.1 Integrované budiče LED-diod	43

7.2.2	Indikátor napětí s obvodem LM 3914	44
7.2.3	Schéma zapojení indikátoru napětí s obvodem LM 3914.....	45
7.2.4	Nastavení napěťových mezí indikátoru napětí	45
7.2.5	Rozmístění součástek a DPS indikátoru v měřítku 1:1 (50×50 mm)	46
7.2.6	Zhodnocení LED-diodového indikátoru napětí	46
7.3	Digitální voltmetr /ampérmetr s obvodem ICL7107	47
7.3.1	Voltmetr s obvodem ICL7107 – úvod	47
7.3.2	Parametry voltmetru:.....	47
7.3.3	Schéma zapojení voltmetru.....	48
7.3.4	Popis zapojení a princip činnosti voltmetru	48
7.3.5	Princip měření A/D převodníku ICL7107	52
7.3.6	Mechanická konstrukce, oživení a nastavení obvodu voltmetru	53
7.3.7	Rozmístění součástek a DPS voltmetru v měřítku 1:1 (60×80 mm)	56
7.3.8	Rozmístění součástek a DPS LED-displeje v měřítku 1:1 (30×70 mm)	56
7.3.9	Ampérmetr s obvodem ICL7107.....	57
7.3.10	Parametry ampérmetru:	57
7.3.11	Schéma zapojení ampérmetru	58
7.3.12	Popis zapojení a princip činnosti ampérmetru	58
7.3.13	Popis zapojení a princip činnosti ampérmetru	59
7.3.14	Rozmístění součástek a DPS ampérmetru v měřítku 1:1 (60×80 mm).....	60
7.3.15	Zhodnocení digitálního voltmetru / ampérmetru s ICL7107	60
7.4	Volt/ampér-metr pro osobní počítač	61
7.4.1	Popis V/A-metru.....	61
7.4.2	Parametry V/A-metru:	61
7.4.3	Popis zapojení V/A-metru	62
7.4.4	Postup osazení DPS a oživení obvodu V/A-metru	67
7.4.5	Deska plošných spojů V/A-metru v měřítku 1:1 (55×80 mm).....	68
7.4.6	Programové vybavení.....	69

7.4.7	Zhodnocení V/A-metru	70
7.5	Fotovoltaický napěťový regulátor	71
7.5.1	Popis fotovoltaického regulátoru	71
7.5.2	Specifikace FV regulátoru	71
7.5.3	Schéma zapojení FV regulátoru	72
7.5.4	Popis zapojení a princip činnosti FV regulátoru	73
7.5.5	Princip připojení / odpojení zátěže od akumulátoru	76
7.5.6	Nastavení FV regulátoru	77
7.5.7	Deska plošných spojů FV regulátoru v měřítku 1:1 (60×100 mm)	79
7.5.8	Zhodnocení FV regulátoru napětí	79
7.6	Jednoduchý můstkový měnič 12 V/230 V/100 W	80
7.6.1	Popis můstkového měniče napětí	80
7.6.2	Princip funkce můstkového měniče napětí	80
7.6.3	Schéma zapojení můstkového měniče napětí	81
7.6.4	Konstrukce můstkového měniče napětí	82
7.6.5	Nastavení můstkového měniče napětí	82
7.6.6	Deska plošných spojů měniče napětí v měřítku 1:1 (60×100 mm)	83
7.6.7	Zhodnocení můstkového měniče napětí	83
7.7	Monokrystalický fotovoltaický panel RS-M30	84
7.7.1	Parametry fotovoltaického panelu RS-M30:	84
7.7.2	Fotografické znázornění fotovoltaického panelu RS-M30:	84
7.8	Bezúdržbový olověný akumulátor CTM 12 V/17 Ah	85
7.8.1	Parametry olověného akumulátoru CTM:	85
7.8.2	Fotografické znázornění akumulátoru CTM:	85
8	Konstrukce přípravku – systém naklápění	86
9	Měření optimálního sklonu FV panelů	87
9.2	Postup při měření	87
9.3	Naměřené hodnoty napětí a proudu FV panelu – 9. 5. 2010	88

9.4	Naměřené hodnoty napětí a proudu FV panelu – 11. 5. 2010	89
9.5	Zhodnocení měření na přípravku	90
10	Závěr.....	91
11	Použitá literatura.....	92
12	Seznam zdrojů obrazové dokumentace	95
13	Příloha	96
13.1	Seznam použitých součástek pro indikátor napětí	96
13.2	Seznam použitých součástek pro digitální voltmetr	97
13.3	Seznam použitých součástek pro digitální ampérmetr	98
13.4	Seznam použitých součástek pro USB V/A-metr	99
13.4.1	SMD součástky	99
13.4.2	Klasické součástky a ostatní doplňující součástky	100
13.5	Seznam použitých součástek pro fotovoltaický regulátor	101
13.6	Seznam použitých součástek pro napěťový měnič	102

Úvod

Má bakalářská práce pojednává o problematice přeměny slunečního záření na elektrickou energii za pomoci fotovoltaických panelů.

V úvodní části práce je nastíněn ekologický problém, jenž je způsoben současným masivním využíváním neobnovitelných energetických zdrojů, kterými jsou převážně fosilní paliva (ropa, uhlí, zemní plyn). Jako rozumné řešení do budoucna je doporučeno využití a rozvoj obnovitelných a jaderných zdrojů, přičemž tato práce konkrétně popisuje využití a možnosti slunečního záření, které lze snadno přeměnit ve fotovoltaických systémech na elektrickou energii.

Následující kapitoly se zabývají tematikou fotovoltaických článků. Jsou zde například uvedeny informace o historickém přehledu vývoje fotovoltaických článků, o principu přeměny slunečního záření na elektrickou energii, o materiálech používajících se při výrobě fotovoltaických článků, a o následné realizaci fotovoltaických panelů, které jsou dále využívány v solárních elektrárnách, ať už se jedná o ostrovní systémy nebo o systémy připojené na rozvodnou síť.

Hlavní část mé práce je zaměřena na vytvoření přípravku, jenž umožňuje měření optimálního sklonu fotovoltaických panelů. Přípravek je tvořen z několika mechanických a elektronických částí, respektive dílů, které jsou zde podrobně popsány. Jedná se o digitální voltmetr, digitální ampérmetr, V/A-metr s USB rozhraním, fotovoltaický napěťový regulátor, indikátor napětí, měnič napětí, akumulátor a samozřejmě o fotovoltaický panel doplněný vhodnou mechanickou konstrukcí umožňující individuální nastavení a měření sklonu. Takto uspořádaný přípravek lze použít nejen k primárnímu měření optimálního sklonu, ale i jako nezávislý samostatný záložní zdroj elektrické energie.

V závěrečné části práce jsou pak porovnány naměřené hodnoty pomocí vytvořeného přípravku s teoretickými hodnotami odpovídajícími pro naši zeměpisnou polohu a klima.

1 Energie – životodárná síla

Energie je jednou z nejdůležitějších věcí na téhle planetě [1]. Činnost, pohyb, vývoj, to vše je doprovázeno přeměnami energie z jedné formy do formy jiné. Na konci většiny energetických přeměn je takzvané nízkopotenciálové teplo, které se rozptýlí do okolního prostředí a není již dále využitelné. Stálou dodávku energie potřebuje k životu jak celá biosféra, tj. živé organismy, tak i technosféra, tj. naše civilizace.

Celá biosféra již po mnoho milionů let spolehlivě funguje na sluneční energii. Tato energie je akumulována ve fosilních palivech a v biomase po fotosyntetické přeměně anorganických látek na látky organické v zelených rostlinách, přičemž k fotosyntéze je využito jen cca 0,1 % dopadající energie [2]. Organické látky biomasy mohou být časem přeměněny na uhlí, ropu, či zemní plyn. Děje se tak za příznivých podmínek působením geofyzikálních procesů ve větších hloubkách za vysokých tlaků a teplot bez přístupu vzduchu.

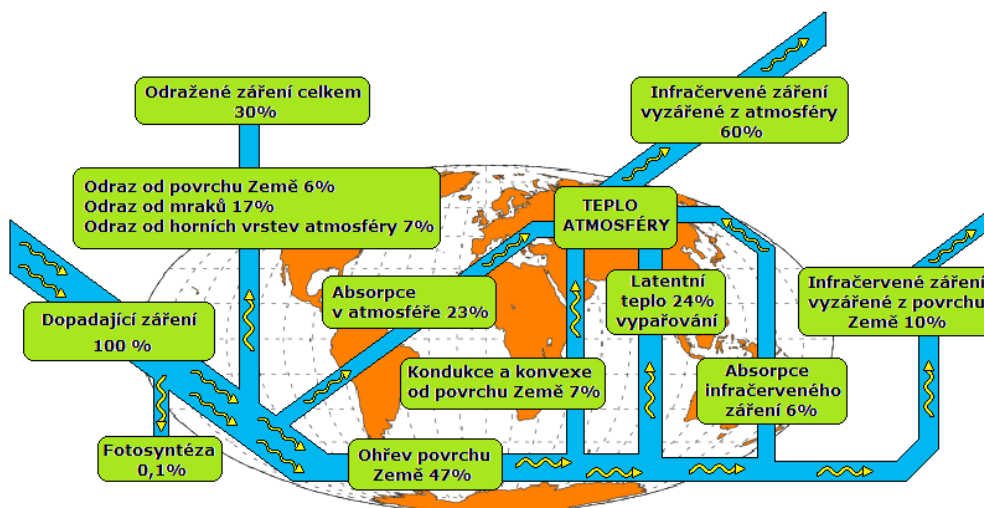
Horší je to s technosférou [1]. Většinu energie si naše civilizace bere ze zmíněných fosilních paliv, tj. ze zásob, které tady rostliny po miliony let vytvářely a které nyní čerpáme rychlostí o několik řádů převyšující rychlost jejich tvorby. Navíc využívání těchto neobnovitelných zdrojů (ropa, uhlí, zemní plyn) neúměrně zatěžují životní prostředí. Například při těžbě zemního plynu či ropy se do atmosféry Země dostává nemalé množství metanu (do jisté míry to platí i pro těžbu uhlí). Následné spalování fosilních paliv produkuje oxid uhličitý, jehož obsah v atmosféře stále stoupá o cca 0,4 % ročně. Jak metan, tak oxid uhličitý patří mezi takzvané skleníkové plyny a růst jejich koncentrace v atmosféře narušuje tepelnou bilanci Země – vede k růstu teploty. Z hlediska trvale udržitelného rozvoje je tedy nezbytné, aby se podporoval především rozvoj obnovitelných a jaderných zdrojů a současně se omezilo používání fosilních paliv [2]. To je jediná možná cesta energetického vývoje lidské civilizace. Slunce je největším zdrojem energie ve sluneční soustavě a většina energie na Zemi pochází právě z tohoto významného zdroje. Avšak pro přímé využití této energie je nutné použití vhodného zařízení, které je schopné přeměnit energii slunečního záření například na elektřinu.

A právě tato problematika bude probrána dále.

2 Slunce jako zdroj energie

Primárním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze [1], tj. spojování jader vodíku za vzniku helia (a posléze dalších těžších prvků). Ve slunci se každou sekundu přemění přibližně 600 milionů tun vodíku na helium. Hmotnost vzniklého helia je ale o něco menší než hmotnost vodíku, jenž vstupuje do reakce. Tento rozdíl hmotnosti je možné přepočítat na energii. Ve slunci tedy každou sekundu ubude cca 4,26 milionů tun hmoty, což představuje uvolnění $3,8 \cdot 10^{26}$ J energie.

Teplota slunečního povrchu je přibližně 5 900 K. Ze slunce je energie přenášena na Zemi ve formě elektromagnetického záření, respektive proudem fotonů (dualistický charakter viz pramen [2]). Na hranici zemské atmosféry je hustota dopadající solární energie (solární konstanta) přibližně $1,4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. Celkem na povrch Země osvětlený Sluncem dopadá zářivý výkon 180 000 TW ($1,8 \cdot 10^{17}$ W). Balance energie dopadající na Zemi je znázorněna na obr. 1:

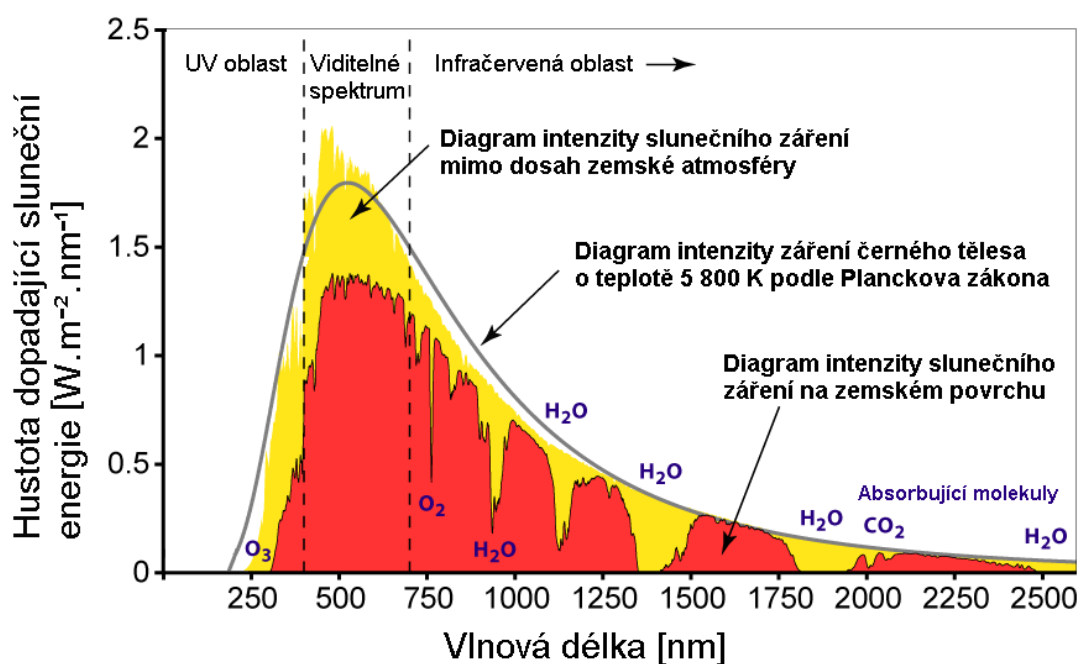


Obr.1: Přibližná bilance energie dopadající na Zemi

Spotřeba energie celé naší civilizace (technosféry) je pouze v řádu desítek TW (energie z uhlí, nafty, zemního plynu, z jaderných elektráren, biomasy i energie obsažená v potravě). Nabídka solární energie je tedy více než dostatečná k tomu, aby mohla v budoucnu případně nahradit většinu ostatních neekologických zdrojů.

Část dopadající energie [2] je ovšem při průchodu atmosférou pohlcena či odražena. Na povrch Země tedy dopadá o něco méně energie v závislosti na zeměpisné šířce, meteorologických podmínkách a denní či roční době. Maximální intenzita záření na povrchu Země je zhruba $I_{\max} = 1100 \text{ W.m}^{-2}$ při jasné obloze a jen desítky wattů při zatažené obloze.

Na obr. 2 je zobrazeno spektrum slunečního záření. Po průchodu atmosférou je spektrum slunečního záření pozměněno a ochuzeno o některá pásma, protože dochází k absorpci a rozptylu na molekulách plynů tvořících atmosféru a na částicích prachu nebo aerosolů v atmosféře přítomných [1]. Veškeré sluneční záření přicházející na zemský povrch se nazývá *globální záření* a zahrnuje záření všech vlnových délek přicházející ze všech směrů. Globální záření je dále možné rozdělit na tři dílčí složky [2]. Podstatná část energie připadá na *přímé záření*, které je směřováno v úzkém úhlu pouze ze slunečního kotouče. Část energie připadá na tzv. *difuzní cirkumsolární záření*, které vlivem rozptylu v atmosféře nesměruje pouze ze slunečního kotouče, určitý směr sice zachovává, ale je směřováno v mnohem větším úhlu než přímé záření. Nejmenší část energie připadá na *difuzní izotropní záření*, které je atmosférou rozptýleno natolik, že je ze všech směrů stejně intenzivní. Toto záření převládá při zcela zatažené obloze.



Obr. 2 : Spektrum slunečního záření

Pro srovnání je zakresleno emisní spektrum černého tělesa [1] při teplotě 5 800 K. Většina sluneční energie, která dopadá na povrch atmosféry a proniká k zemskému povrchu, se vyzáří zpět do vesmíru jednak ve formě krátkovlnného záření, jednak ve formě dlouhovlnného záření, tedy tepla. Podstatná část sluneční energie se přemění na teplo a uplatňuje v koloběhu vody v přírodě. Fotosyntéza a na ní navazující toky energie v potravních řetězcích jsou řádově nižší než přímá přeměna na teplo.

Spektrální rozsah slunečního světla je přibližně 30 až 3000 nm, většina sluneční energie přichází v oblasti viditelného záření, energetické maximum je okolo 500 nm. Vlnové délky kratší než 300 nm připadají UV záření, které lidské oko neregistruje. Vlnové délky přibližně 380–760 nm odpovídají fotosynteticky aktivnímu světelnému záření, vlnové délky nad 800 nm se již počítají k infračervenému záření (tepelnému).

UV záření o vlnových délkách kratších než cca 300 nm je silně pohlcováno v horních vrstvách atmosféry díky zde přítomnému ozonu (O_3). Je-li ozonová vrstva v atmosféře slabší, prochází na zemský povrch více UV záření s vlnovou délkou pod 300 nm. UV záření je sice velice významné z hlediska zdravotního, avšak celkem zanedbatelné z hlediska energetického, protože jeho energie tvoří pouze několik procent celkové sumy sluneční energie dopadající na Zemi.

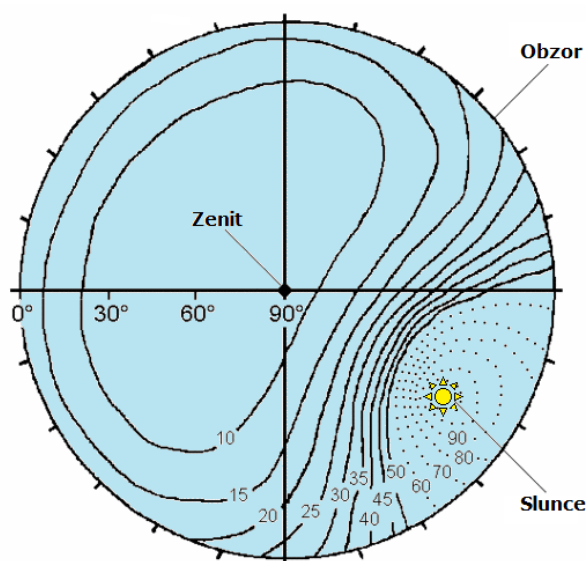
Ať tak či onak je jasné, že Slunce je bezesporu nejvýznamnějším zdrojem energie v naší sluneční soustavě, přičemž se z něj uvolňuje takové množství energie, že i po průchodu zemskou atmosférou dopadá na povrch Země zářivý výkon celkem $1,8 \cdot 10^{17}$ W. Tato energetická nabídka přímo vybízí k dalšímu využití části takto vysokého energetického potenciálu. Dopadající energie je v současné době dále využita především dvěma základními způsoby. Jednak je transformována ve fototermických solárních kolektorech na tepelnou energii, ale hlavně se přeměňuje ve fotovoltaických (PV) kolektorech na energii elektrickou, která je v naší technosféře nejvíce používaná. A právě touto fotovoltaickou problematikou se budou zabývat následující kapitoly.

2.1 Sluneční záření na Zemi

První věcí [1], kterou je nutné znát při využití slunečního záření k výrobě elektřiny, je to, jaký je využitelný potenciál tohoto zdroje. To znamená, kolik energie je možné získat z dané plochy za určitou dobu při daných podmínkách.

Pokud využíváme sluneční energii pro výrobu elektřiny na družicích pohybujících se na oběžné dráze kolem Země (historicky první praktické využití fotovoltaiky), je situace v zásadě jednoduchá a přehledná. Není-li Slunce zrovna zastíněno Zemí nebo jiným tělesem, dopadá na fotovoltaické panely stálý tok energie zhruba ve výši dané solární konstantou, tj. oněch $1,4 \text{ kW.m}^{-2}$. V kosmickém prostoru také zpravidla nebývá problém. Nastavit panely tak, aby na ně dopadalo záření téměř kolmo.

Pokud ovšem instalujeme fotovoltaické panely na Zemi, pak se problémů objeví hned celá řada. Sluneční záření je totiž výrazně ovlivňováno momentálním počasím, znečištěním atmosféry, mění se polohou Slunce na obloze v průběhu dne a roku (výška nad obzorem a azimut) a v neposlední řadě i stíněním od jiných staveb nebo stromů. Pro ukázkou jsou na obr. 3 znázorněny izokřivky intenzity záření [2] přicházejícího za jasného dne z oblohy z různých směrů při postavení Slunce 30° nad obzorem. Je patrné, že na straně odvrácené od Slunce je intenzita menší a zároveň konstantní (dáno rozptylem difuzního záření). Směrem ke Slunci intenzita záření roste. Faktorů, které však ovlivňují výkon fotovoltaických panelů, je ale více. Podívejme se proto blíže, na čem závisí, kolik energie od Slunce dopadá na určitou skloněnou plochu (fotovoltaický panel), jak se to mění v průběhu roku a kolik energie lze získat za celý rok.

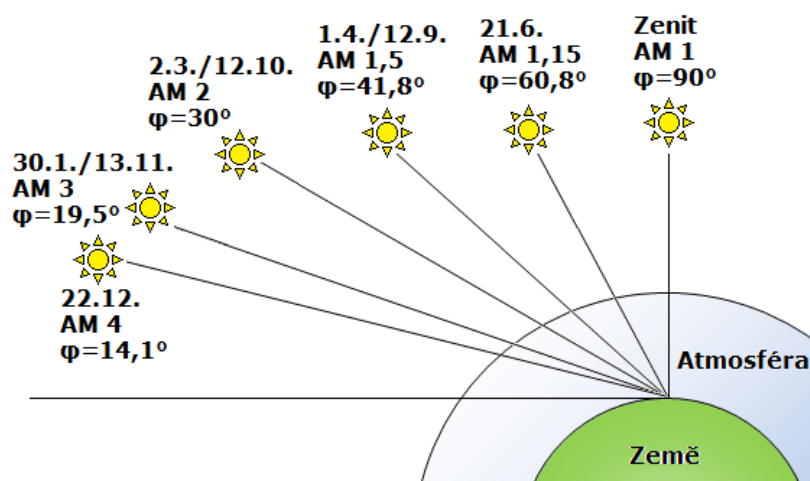


Obr. 3: Izokřivky intenzity slunečního záření za jasného dne z oblohy z různých směrů při postavení Slunce 30° nad obzorem

2.2 Vliv atmosféry na sluneční záření

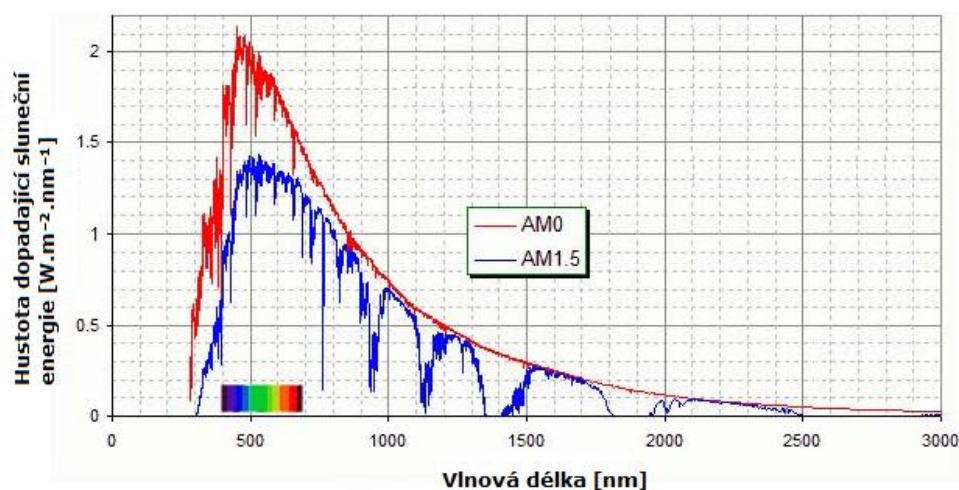
Jak již zde bylo uvedeno, tak první překážkou, která stojí slunečnímu záření v cestě, je zemská atmosféra [1]. Na plynech, aerosolech a pevných částicích v atmosféře dochází k odrazu, rozptylu a pohlcení části slunečního záření. Jednak se trochu změní spektrum záření (zastoupení jednotlivých vlnových délek) a jednak se sníží i celková intenzita. Za jasného a slunečného letního dne tak v našich zeměpisných šířkách dopadá o něco méně než $1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ povrchu orientovaného kolmo na sluneční paprsky. Výsledný vliv atmosféry závisí na mnoha faktorech. Patří mezi ně:

- výška slunce nad obzorem a s ní související tloušťka vrstvy vzduchu, skrz niž musejí sluneční paprsky projít. Používá se takzvaný „Air Mass“ faktor, který zohledňuje efektivní množství vzduchu ležícího v cestě slunečním paprskům (viz obr. 4 a 5). Je-li slunce v nadhlavníku (zenitu), je AM faktor roven jedné [3]. Pokud například natáčíme fotovoltaické moduly za sluncem, tak je třeba počítat s tím, že jejich výkon bude večer nebo ráno (při malé výšce slunce nad obzorem) znatelně menší;



Obr. 4: Souvislost AM faktoru a výšky Slunce nad obzorem

- nadmořská výška místa – opět souvisí s vrstvou vzduchu jako v předchozím bodě;

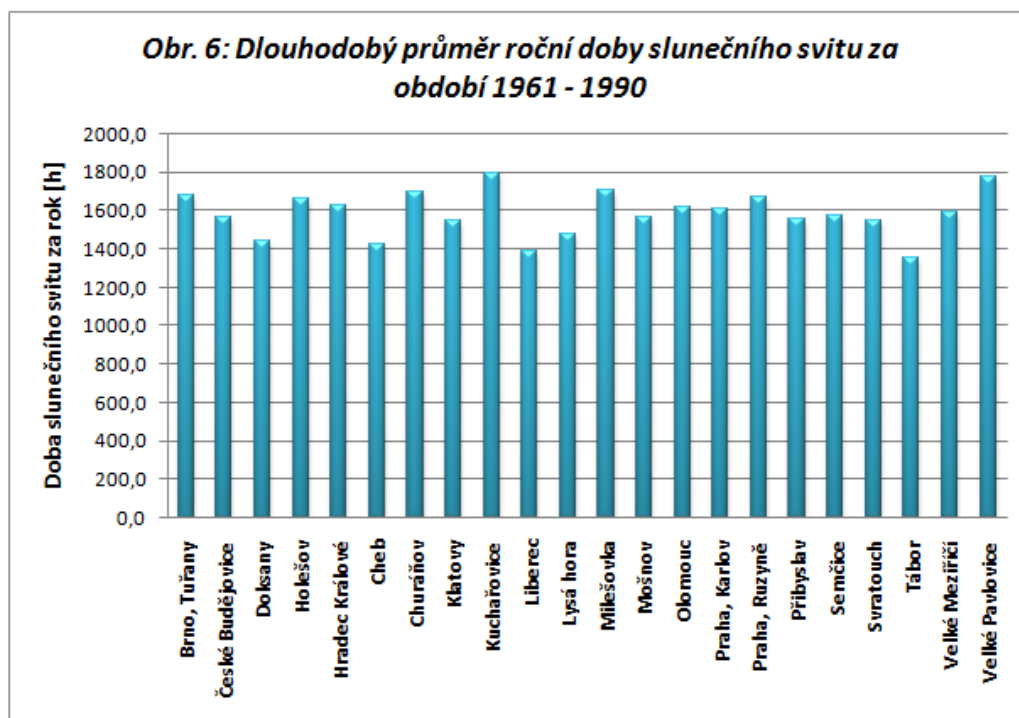


Obr. 5: Souvislost AM faktoru a množství energie dopadající na zemský povrch

- míra znečištění atmosféry – je všeobecně známo, že nad městy a ve velkých průmyslových aglomeracích je zřetelně větší obsah aerosolů a tuhých částic, a díky tomu i menší intenzita slunečního záření;
- oblačná pokrývka – největší překážkou v atmosféře jsou pochopitelně mraky, které značnou část dopadajícího záření odrazí a zbytek rozptýlí tak, že nedopadá ze směru Slunce, ale přichází více méně rovnoměrně ze všech směrů (difuzní záření). Relativní četnost slunečných a oblačných dnů závisí na lokálním klimatu a zpravidla je k dispozici dostatek meteorologických údajů za dlouhou dobu, po kterou se to sleduje. Zájemci mohou najít příslušné údaje na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu viz pramen [4].

Podrobně a se všemi potřebnými vztahy a vzorci jsou jevy spojené s průchodem slunečního záření atmosférou vysvětleny například v knize [5].

Celkem lze říci, že kvůli atmosféře sice musíme při výběru lokality a plánování fotovoltaického systému přihlížet, nicméně nemáme moc možností, jak jej ovlivnit. Jediné, co můžeme udělat, je změřit co nejpřesněji poměry ve vybrané lokalitě a podle toho se rozhodnout. Naštěstí rozdíly v množství dostupné solární energie nejsou na území ČR tak dramatické. Z grafu na obr. 6 je vidět, že průměrná délka slunečního svitu se u nás pohybuje někde mezi 1 350 a 1 800 hodin za rok, a rozdíl tedy nepřesahuje cca 25 %.

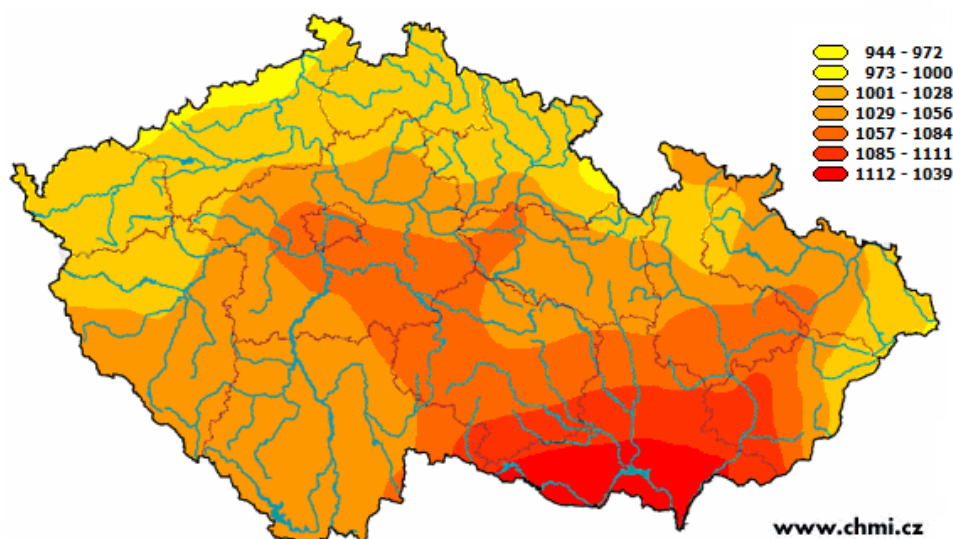


2.3 Pohyb Slunce po obloze a množství energie, které lze získat

To, jaká je intenzita slunečního záření v daném čase na daném místě, a tedy i to, jaký je okamžitý výkon fotovoltaického systému, pochopitelně souvisí nejen se stavem atmosféry, ale i s pohybem Slunce po obloze. Neboli závisí to na denní a roční době a na orientaci sklonu fotovoltaických modulů. Denní a roční pohyb Slunce po obloze je (na rozdíl od počasí) snadno vypočitatelný; v dnešní době je možné využít pro výpočty různé kalkulátory a programy, které jsou volně dostupné na webu. Pro určení pozice Slunce na obloze (výška nad obzorem a azimut) stačí například jednoduchý *Kalkulátor pro určení pozice Slunce na obloze* [6].

Pro navrhování a dimenzování fotovoltaického systému nás zajímá fotovoltaický (energetický) potenciál dané lokality, v němž jsou zahrnuty všechny výše uvedené vlivy. Fotovoltaický potenciál pro ČR je přehledně zobrazen na následujícím obr. 7.

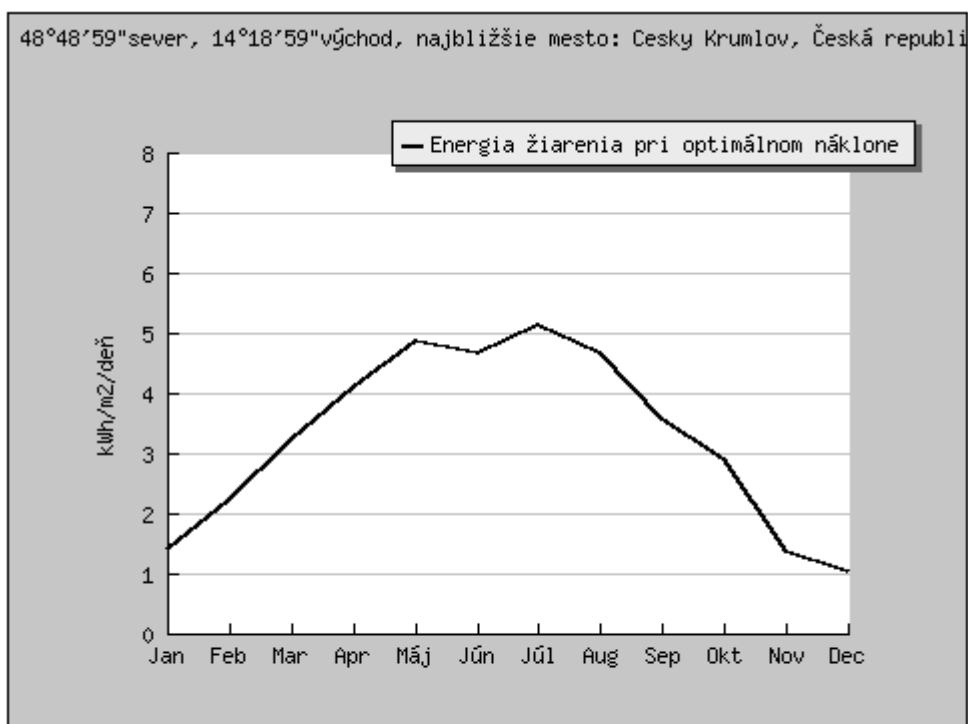
Obr. 7: Roční průměrný úhrn slunečního záření [$kWh \cdot m^{-2}$]



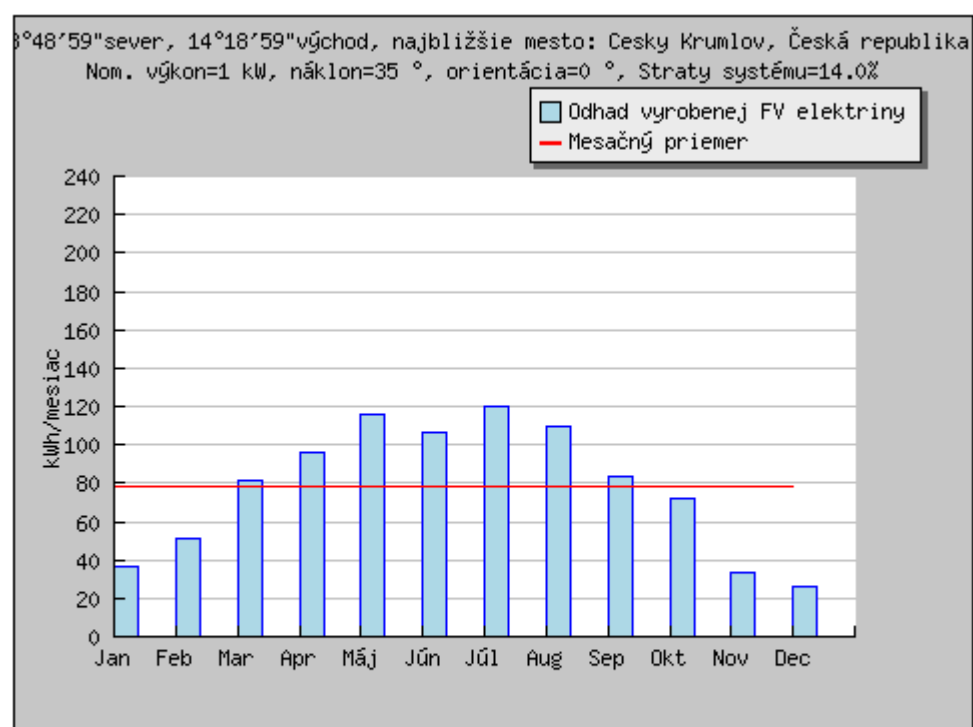
Pokud potřebujeme podrobné údaje o intenzitě a množství slunečního záření v různých lokalitách a v různou roční dobu, lze použít velmi podrobnou a užitečnou *Interaktivní mapu Evropy* (databáze pro výpočet intenzity slunečního záření a množství energie, které může fotovoltaický systém dodat) [7]. Kromě angličtiny je možné nastavit jako jazyk rozhraní i slovenštinu. Tato pomůcka poskytuje následující informace:

- energie slunečního záření v Evropě (měsíční a roční průměry celkového ozáření na vodorovný i skloněný povrch a další klimatické údaje využitelné pro fotovoltaické instalace);
- odhad výroby elektřiny z fotovoltaického systému za jednotlivé měsíce a celý rok pro zadaný sklon a orientaci modulů;
- fotovoltaiky podle regionů (statistické charakteristiky pro globální záření a fotovoltaický potenciál v regionech pro vodorovný, svislý a optimální sklon modulů).

Zajímá-li nás například, jaká energie slunečního záření je k dispozici v Českém Krumlově, popřípadě v Českých Budějovicích, můžeme získat data, která jsou uvedena na obrázcích 8 a 9.

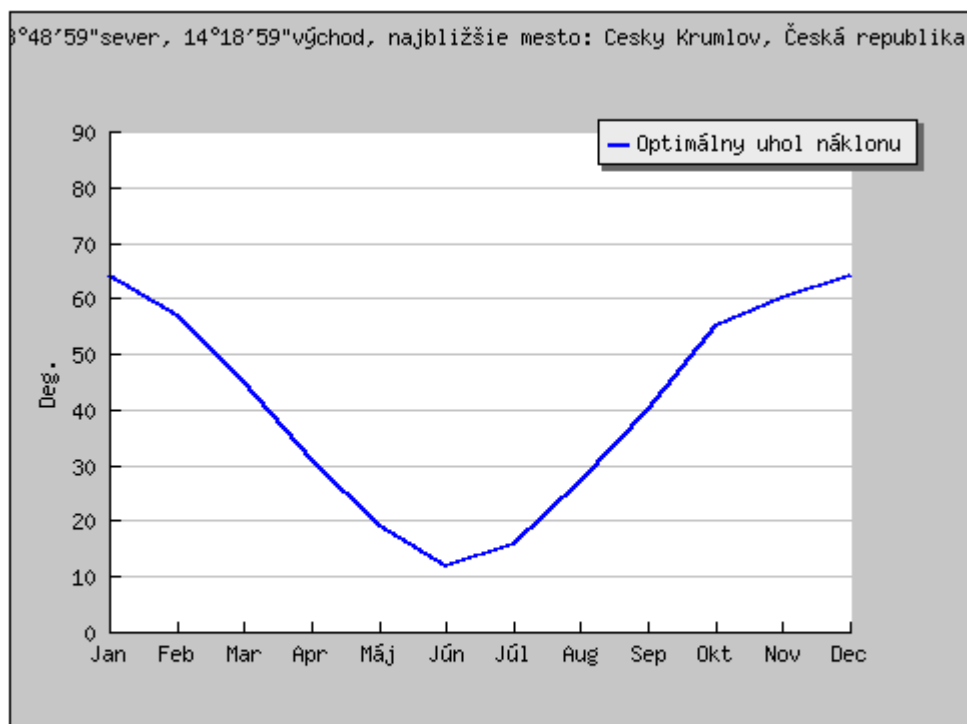


Obr. 8: Energie záření při optimálním náklonu (35°) - ukázka výstupu z Interaktivní mapy Evropy



Obr. 9: Odhad vyrobenej energie pro zařízení o výkonu 1 kW - ukázka výstupu z Interaktivní mapy Evropy

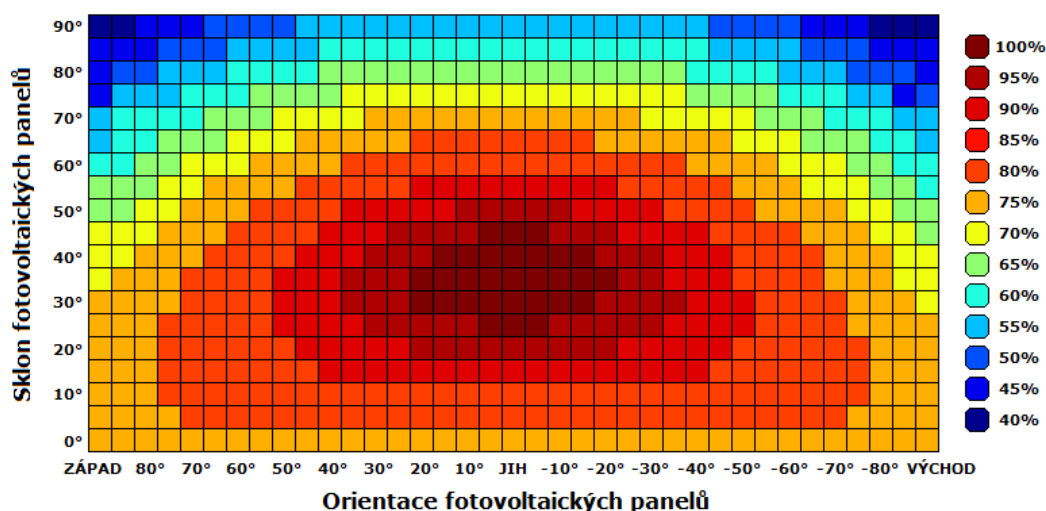
Lze získat také údaje o optimálním sklonu FV modulů, viz obr. 10:



Obr. 10: Optimální úhel náklonu FV panelů orientovaných na jih - ukázka výstupu z Interaktivní mapy Evropy

Správná orientace FV panelů je velmi důležitá, neboť toto nastavení značně ovlivňuje výkon celého fotovoltaického systému. Jaký je ale onen optimální sklon a orientace panelů? Odpověď je jednoznačná. Převážná většina typů FV panelů vyrobí nejvíce elektrické energie, dopadá-li sluneční záření kolmo na jejich plochu. Pro naši zeměpisnou polohu tedy vyplývá následující. Ideální orientace [8] je přímo na jih, při orientaci v rozsahu jiho-východ až jiho-západ jsou maximální ztráty dosaženého výkonu přibližně 5 %. Panely lze orientovat i vodorovně při ztrátě cca 10 % nebo svisle při ztrátě 30 %. Sklon panelů závisí na typu systému a způsobu jeho využívání, při celoročním provozu ostrovních systémů je lépe umístit panely více "nakolmo" (49°), protože sluneční kotouč je nízko v zimních měsících, naopak maximalizaci zisku u systémů pro výrobu elektřiny do sítě dosáhneme umístěním panelů více "naležato" (30-35°), protože během letních měsíců, kdy je nejvíce slunečních dnů a Slunce je vysoko na Zemi dopadá 75% ročního úhrnu globálního záření. Na následujícím obr. 11 je znázorněn vliv orientace a sklonu.

Obr. 11: Vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na jejich výkon



Doporučuji nicméně brát data získaná z tohoto systému jen jako první orientaci; data nemusí být pro všechna místa zcela přesná.

Vliv denního i ročního pohybu Slunce po obloze lze kompenzovat pomocí natáčecích zařízení, která udržují polohu fotovoltaických panelů stále v poloze kolmé k dopadajícímu záření, a umožní tak získat maximální množství energie, jež je na daném místě k dispozici.

3 Historie fotovoltaiky

Všechno to začalo v roce 1839 náhodným objevem tehdy pouze 19letého francouzského fyzika Alexandra Edmonda Becquerela. Při experimentech s kovovými elektrodami ponořenými v elektrolytu zjistil, že při jejich osvětlení začne procházet malý proud [9]. První skutečný fotovoltaický článek (jen v tuhé fázi, bez elektrolytu) s použitím selénu vytvořili Adams a Day v roce 1877. Další významný krok učinil roku 1883 Charles Fritts. Jeho první selenové fotočlánky s tenkou vrstvou zlata už měly plochu 30 cm², účinnost kolem 1 % a bylo možné je vyrábět hromadně. Fritts také jako první odhadl, jak velký využitelný potenciál toto zařízení má. Ke komerční výrobě a praktickému využití ale nedošlo; účinnost byla přece jen ještě příliš nízká.

Grondahl použil pro fotovoltaické články oxid měďný vytvořený v tenké vrstvě na měděném plechu. Proud se odváděl spirálou z olověného drátu nebo později kovovou mřížkou vytvořenou napařením. Celé uspořádání se již podobalo dnešním fotovoltaickým článkům. Tato technologie měla výhodu v levném a dostupném materiálu, účinnost však byla stále příliš nízká.

V počátcích byl rozvoj brzděn také tím, že nebylo zcela jasné, jaký je mechanismus vzniku elektrického proudu ve fotovoltaických článcích a jaké jsou možnosti a omezení při přeměně energie slunečního záření na energii elektrickou. Významným krokem na cestě k moderním fotovoltaickým článkům byla příprava monokrystalů křemíku, kterou vyvinul Jan Czochralski.

Křemíkový fotovoltaický článek patentoval Russell S. Ohl v roce 1946 v USA. Fotovoltaické články z křemíku dopovaného jiným prvkem (tedy články s PN-přechodem) a s účinností kolem 6 % vyrobili v Bellových laboratořích v roce 1954 (G.L. Pearson, Daryl Chapin, Calvin Fuller). Tato účinnost již byla rozumě velká pro praktické využití, cena byla ale příliš vysoká (to souviselo s nutností používat velmi čistý křemík).

Významným impulsem pro rozvoj tohoto odvětví bylo proto využití fotovoltaických článků jako zdroje energie na umělých družicích po roce 1957 (ruský Sputnik 3); zde cena nehrála roli, protože fotovoltaické články byly v podstatě jedinou praktickou cestou, jak zajistit napájení družic v kosmu. Na Zemi se uplatnily solární fotovoltaické články až v sedmdesátých letech, kdy jejich cena klesla. Stejně však bylo jejich použití omezeno na napájení navigačních světel nebo různých zabezpečovacích zařízení v místech bez elektrické sítě.

Větší pozemské využití fotovoltaických článků nastalo až po ropné krizi v sedmdesátých letech, kdy se hledaly cesty, jak se zbavit závislosti na ropě, a vlády investovaly hodně peněz do výzkumu nových technologií pro výrobu energie. Svou roli zde také nepochybně sehrálo masivní rozšíření křemíkových polovodičových součástek, a tedy také levnější masová výroba čistého křemíku. Přehled vývoje a důležité mezníky lze najít například v pramenu [10].

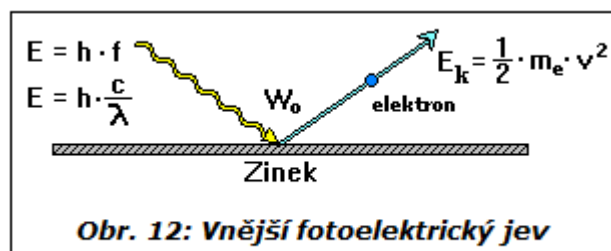
4 Fotovoltaické články – principy, materiály, realizace

4.2 Fyzikální princip fotoelektrického jevu

K tomu, abychom přeměnili energii [1] proudu fotonů (sluneční záření) v energii pohybujících se elektronů (elektrický proud), potřebujeme bezpodmínečně dvě věci:

- volné nosiče elektrického náboje – elektrony;
- rozdíl potenciálů, respektive elektrické napětí, které vytvoří elektrické pole, jenž svým silovým působením uvede volné elektrony do usměrněného pohybu v uzavřeném elektrickém obvodu.

Volné elektrony nepředstavují problém, jsou k dispozici v každém kovu. Problém ale je, jak jim dodat potřebnou energii a usměrnit je na tok částic potřebným směrem. Sluneční záření se za určitých podmínek chová jako elektromagnetické vlnění, nebo jako proud částic (dualistický charakter světla, viz pramen [2, 11]). Albert Einstein, jemuž byla v roce 1921 udělena Nobelova cena za objev fotoelektrického jevu, pojmenoval tyto kvazičástice částice *fotony*. Foton slunečního záření dokáže předat svou energii elektronu v kovu nebo v polovodiči, čili samotný přenos energie ze záření na elektrony je tedy možný. Již od 19. století je známo, že pokud ozařujeme povrch kovu zářením o určité vlnové délce, tak dochází k uvolnění (fotoemisi) elektronů z jeho povrchu viz obr. 12.



Pokud je energie záření (proudu fotonů) dostatečně velká, dojde k fotoemisi, tzn., že elektron vylétne z kovu a zanechá po sobě v kovu kladný náboj – elementární díra. Jde o takzvaný fotoelektrický jev [12], konkrétně o *vnější fotoelektrický jev*. Při *vnitřním fotoelektrickém jevu* elektrony naopak neopouští kov, zůstávají v něm jako valenční elektrony, jenž se podílí na vedení elektrického proudu.

Pokud ovšem elektron zůstane v kovu, je následně přitažen ke kladně nabitě "díře", která po něm zbyla, přičemž dojde k rekombinaci částic (díra pohltí elektron) a energie, kterou měl elektron, se uvolní jen jako neužitečné teplo. Je proto nutné oddělit od sebe elektrony a díry a donutit elektrony, aby předtím, než "zapadnou" zpět do díry (rekombinovaly), prošly elektrickým obvodem a vydaly energii, získanou ze slunečního záření ve formě užitečné práce v našem spotřebiči. Toto oddělení je snadněji realizovatelné v polovodičích nežli v kovech.

Polovodiče jsou látky, jejichž elektrické vlastnosti leží někde mezi kovy a izolanty, tj. nejsou v nich volné nosiče elektrického náboje jako v kovech, ale relativně snadno tam mohou vzniknout (dodáním tepla, nebo třeba právě dopadem slunečního záření). K výše zmíněnému oddělení elektronů a děr je zapotřebí vytvořit v polovodiči takzvaný P-N přechod. Tento PN přechod je základem celé naší moderní elektroniky a pochopení toho, jak funguje, je podstatné pro pochopení fotovoltického článku. Podstatu vzniku PN přechodu lze vysvětlit na nejběžnějším polovodičovém materiálu křemíku, který je také díky svým vlastnostem velmi vhodný pro výrobu fotovoltických panelů viz další kapitoly.

4.3 Křemík jako polovodič

4.3.1 Vlastní vodivost polovodiče

Základními polovodivými materiály jsou prvky IV. skupiny Mendělejevovy periodické soustavy prvků [13]. Uhlík (diamant), křemík, germanium, cín a olovo. Ve valenční sféře mají čtyři elektrony a jejich atomy jsou vázány kovalentní vazbou tvořenou čtyřmi dvojicemi elektronů. Šířka zakázaného pásu těchto prvků klesá se vzrůstající atomovou hmotností ($C \approx 5 \text{ eV}$, $Si \approx 1,12 \text{ eV}$, $Ge \approx 0,72 \text{ eV}$, $Sn \approx 0,3 \text{ eV}$, $Pb \approx 0,1 \text{ eV}$). V dnešní době našly největší uplatnění křemík, germanium a pro některé aplikace olovo. Čisté polovodivé materiály mají atomy uspořádané do pravidelné krystalické mřížky tvořící monokrystal. V 1 cm^3 je přibližně 10^{23} atomů.

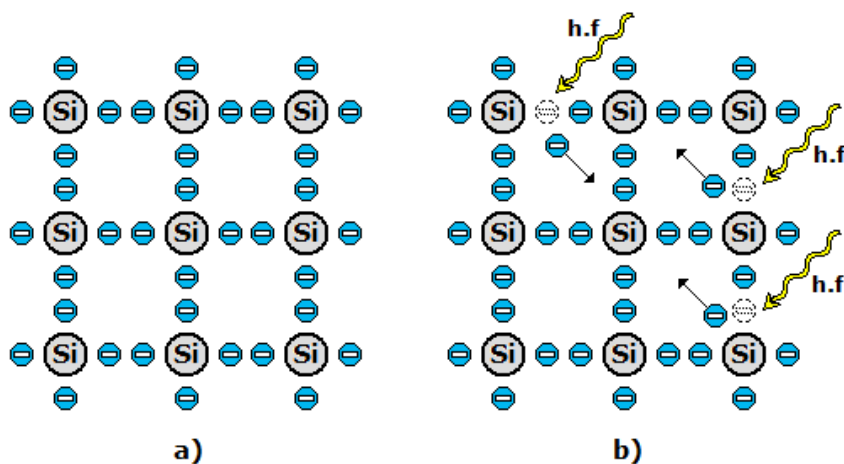
K uvolnění elektronu od atomu polovodiče dochází po přestupu elektronu z valenční sféry do vodivostní, tj. po překročení zakázaného pásu (*excitace elektronů*). Aby elektron mohl zakázaný pás překonat, je nutné, aby atom přijal určité kvantum energie ve formě tepla nebo záření. Při teplotě absolutní nuly (bez přívodu energie) zaujímají elektrony valenční sféry polohy na drahách nejbližších k jádru a jsou ve vazbách pevně vázány. Valenční sféra je velmi pevná, neboť je v součinnosti s okolními atomy doplněna na osm elektronů (nasycená kovalentní vazba). Protože jsou všechny valenční elektrony atomů v těchto vazbách využity, nezbyvá žádný elektron k vedení elektrického proudu. V důsledku toho je za těchto podmínek vodivost polovodiče nulová.

Přivedeme-li však z vnějšku do látky takové množství energie, které elektronům dovolí překonat zakázaný pás (*excitace* elektronů z valenčního do vodivostního pásu), dojde k rozbití některých vazeb. Elektrony uvolněné z těchto vazeb se volně pohybují krystalovou mřížkou a umožňují vedení elektrického proudu. Ve vazbě, ze které byl elektron uvolněn, zbývá volné místo nazývané díra. Protože nenasyčená vazba má snahu doplnit se opět na osm elektronů (nasytit se), působí díra na okolní náboje stejným způsobem, jako kdyby se v daném místě nacházel kladný náboj stejně velký jako náboj elektronu.

K zaplnění díry ve vazbě dojde buď přitažením některého volného elektronu (**rekombinací**), nebo tím, že v důsledku pohybu krystalové mřížky se v určitém okamžiku přiblíží některý ze sousedních atomů natolik, že dojde k vytržení elektronu z některé jeho vazby. Tento elektron zaplní volné místo ve vazbě prvního atomu, avšak díra se objeví ve vazbě jiného atomu, z jehož vazby byl elektron odtržen.

Popsaný děj se v látce neustále a na mnoha místech současně opakuje. Působením přiváděné energie dochází neustále ke vzniku párů elektron-díra, k neustálému pohybu elektronů i děr, k jejich rekombinaci i opětovnému uvolňování. Přitom je v látce stále přítomno určité množství volných elektronů i kladných nábojů (děr). Je zřejmé, že střední doba života elektronů i děr v popisovaném čistém polovodiči je stejná, neboť při rozbití vazby vznikne pár elektron-díra a při rekombinaci opět celý pár zanikne. Pohyblivost děr je však vzhledem k mechanismu jejich pohybu mnohem menší než pohyblivost elektronů.

Popsaný druh vodivosti, podmíněný vznikem volně pohyblivých párů nosičů náboje elektron-díra v důsledku rozbíjení vazeb mezi atomy čistého polovodiče, se nazývá vlastní **intrinzičná vodivost** polovodiče. Je zřejmé, že vlastní vodivost polovodiče při zvyšování teploty roste. Při teplotách v okolí $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je poměrně malá. Na obr. 13 jsou zobrazeny kovalentní vazby mezi atomy čistého čtyřmocného polovodiče - křemíku. Jedná se o dvě situace, kdy na obrázku a) není přiváděna energie; na obrázku b) přivádíme energii ve formě záření, kde $h \cdot f$ je energie fotonu, $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ je Planckova konstanta a f je frekvence záření.



Obr. 13: Kovalentní vazby mezi atomy čistého čtyřmocného polovodiče - křemíku

4.3.2 Nevlastní vodivost polovodiče

Nahradíme-li v krystalové mřížce čtyřmocného prvku (Ge nebo Si) některé jeho atomy pětímocným prvkem, např. P, As, Sb (obvykle připadá jeden atom příměsi na několik milionů atomů základního prvku), využijí se do čtyř dvojic elektronů, které tvoří nasycenou kovalentní vazbu atomů krystalu, pouze čtyři z pěti valenčních elektronů příměsi. Pátý elektron, který se vazby neúčastní, je poután k jádru velmi volně. K jeho uvolnění postačuje energie řádu setin elektronvltu, která je za běžných podmínek do látky trvale přiváděna (teplo z okolního prostředí, různé druhy záření atd.). Uvolněné elektrony pětímocných příměsí (tzv. **donorů = dárců**) se pohybují prostorem krystalové mřížky. Vytvářejí vodivost zprostředkovanou pohybem záporných (negativních) nábojů, kterou nazýváme *nevlastní vodivost typu N (elektronová vodivost)*. Je samozřejmé, že po odtržení elektronu se atom příměsi (**donoru**) stane jednomocným kladným iontem, který sice působí na okolní náboje svým elektrostatickým polem, avšak sám je pevně poután v krystalové mřížce. Svůj náboj nemůže přenášet do jiného místa v látce (vedení proudu se neúčastní). Je zřejmé, že přestože se v látce pohybuje velký počet volných elektronů, projevuje se látka navenek jako elektricky neutrální, neboť ke každému volnému elektronu přísluší jeden kladný iont.

Nahradíme-li v krystalové mřížce čistého čtyřmocného polovodiče některé atomy základního materiálu atomy trojmocného prvku, např. B, Al, Ga, In, chybí jeden elektron k tomu, aby se mohla vytvořit nasycená kovalentní vazba vytvořená ze čtyř dvojic elektronů. Jak jsme již dříve vysvětlili, chová se volné místo ve vazbě zvané díra jako pohyblivý kladný náboj, který umožňuje vedení proudu látkou. Vodivost vytvořená popsáním způsobem, která využívá k vedení proudu pohybu kladných (pozitivních) nábojů, se nazývá *nevlastní vodivost typu P (děrová vodivost)*.

Atom trojmocného prvku nazýváme **akceptor**, neboť při zaplnění nenasycené vazby přijme (**akceptuje**) do své valenční sféry jeden elektron. Tím se stane jednomocným záporným iontem. Ionty akceptoru se stejně jako ionty donoru neúčastní vedení proudu v látce, neboť jsou pevně vázány v krystalové mřížce.

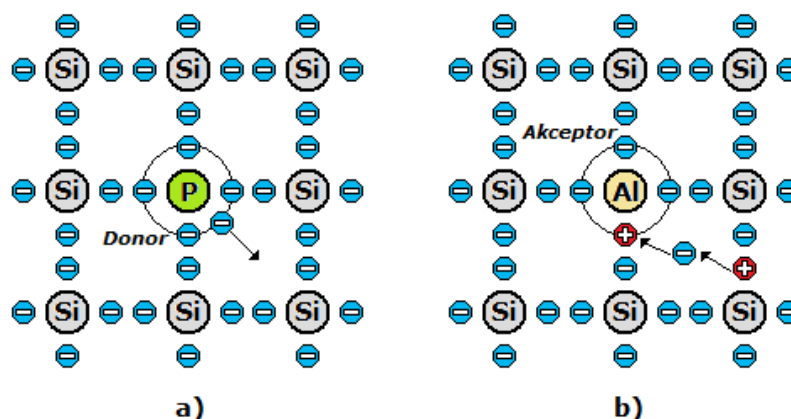
Vliv příměsí na vodivost polovodičů je obrovský. Nepatrnými koncentracemi nečistot lze dosáhnout zvětšení vodivosti polovodiče až o deset řádů podle koncentrace příměsí. Zvětšení vodivosti zjistíme již v případě, kdy jeden atom příměsí připadá na 10^{10} atomů základního materiálu. Při běžně užívaných koncentracích připadá na jeden atom donoru nebo akceptoru 10^4 až 10^8 atomů polovodiče. V látkách obsahujících příměsí působí vždy současně vlastní i nevlastní vodivost. Vlastní vodivost polovodiče je způsobena uvolňováním nosičů při rozbití vazeb základního (čistého) polovodivého materiálu. Protože při rozbití vazby vzniká vždy současně elektron i díra, objevují se oba druhy nosičů náboje v krystalové mřížce látky bez ohledu na druh její nevlastní vodivosti. Proto je v materiálu s nevlastní vodivostí typu N kromě velikého množství volných elektronů také určitý počet pohyblivých kladných nábojů děr a v látce s nevlastní vodivostí typu P určitý počet volných elektronů.

Volné nosiče náboje, jejichž počet v látce převládá, tj. v látce s nevlastní vodivostí typu N elektrony a v látce s nevlastní vodivostí typu P díry, nazýváme většinové (majoritní). Nosiče opačného znaménka jsou nosiče menšinové (minoritní). V látce s nevlastní vodivostí typu N jsou minoritními nosiči díry, v látce s nevlastní vodivostí typu P elektrony.

Polovodivé vlastnosti vykazují také sloučeniny tří a pětímocných prvků. Počet atomů obou prvků musí být v poměru 1 : 1, aby počet valenčních elektronů obou atomů dohromady byl osm. Protože atomy těchto prvků jsou vázány kovalentní vazbou (tj. vzájemným sdílením dvojic valenčních elektronů, tj. vytváří se u obou atomů valenční sféry obsazené čtyřmi elektrony).

V zásadě může být použita kterákoli kombinace trojmocných prvků (B, Al, Ga, In) a pětímocných prvků (N, P, As, Sb). Nejvýhodnější vlastnosti však mají sloučeniny GaAs, InP a AlSb. Pro získání nevlastní vodivosti typu P se užívají příměsí dvojmocné (Zn), pro typ N šestimocné (Te). Proti křemíku a germaniu vynikají tyto materiály, nazývané intermetalické polovodiče, neobyčejně velkou pohyblivostí elektronů (v GaAs $0,8 \text{ m}^2/\text{V.s}$, tj. asi pětikrát větší než v křemíku). Této vlastnosti se využívá při výrobě některých součástek, určených pro velmi vysoké kmitočty.

Na obr. 14 jsou zobrazeny vazby mezi atomy čistého čtyřmocného polovodiče, který je dotován: a) pětímocným prvkem – fosfor, přičemž se jedná o nevlastní vodivost typu N; b) třímocným prvkem – hliník, který vytváří nevlastní vodivost typu P.



Obr. 14: Vazby mezi atomy čtyřmocného polovodiče po dotaci příměsí

4.4 Princip přeměny slunečního záření na elektřinu ve FV článku

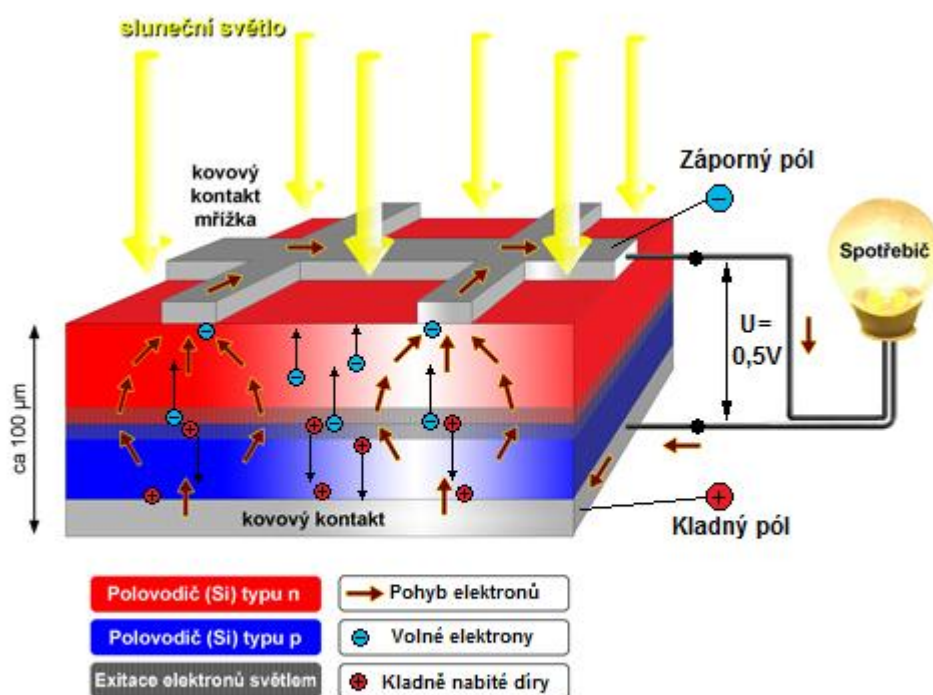
Nyní, když již máme dostatek informací o příměsové vodivosti křemíku, čili známe dotovaný polovodič typu N a polovodič typu P, můžeme přistoupit k dalšímu kroku.

Pokud se těsně spojí oba tyto dotované polovodiče [1] (přiblíží se ve speciální ochranné atmosféře na atomovou vzdálenost), dojde k tomu, že ve snaze vyrovnat koncentrace nosičů náboje, difundují elektrony do části P a díry do části N. V místě jejich dotyku vznikne tenoučká vrstva, která se nazývá PN přechod, jenž má zajímavé a užitečné vlastnosti.

Vždy, když přijde do kontaktu díra a elektron, dojde k tzv. rekombinaci nábojů (elektron pohltí díru). Pohyb nabitých částic na opačné strany ovšem brzy skončí, protože po elektronech zůstanou v polovodiči typu N kladně nabitě náboje a po dírách v polovodiči typu P záporné náboje. Vzniklé elektrické pole další difúzi zastaví, a tak dojde k přesunu jen malé části elektronů a děr v blízkosti PN přechodu. Rovnováha se ustaví, když stejné množství elektronů, které projde v důsledku difúze, je přetaženo zpátky působením elektrického pole.

Výsledkem procesu je výrazné snížení vodivosti v oblasti PN přechodu a vytvoření elektrického potenciálu (na P-části přechodu je záporný náboj a na N-části je kladný náboj). Těto vlastnosti PN přechodu se využívá v usměrňovacích diodách.

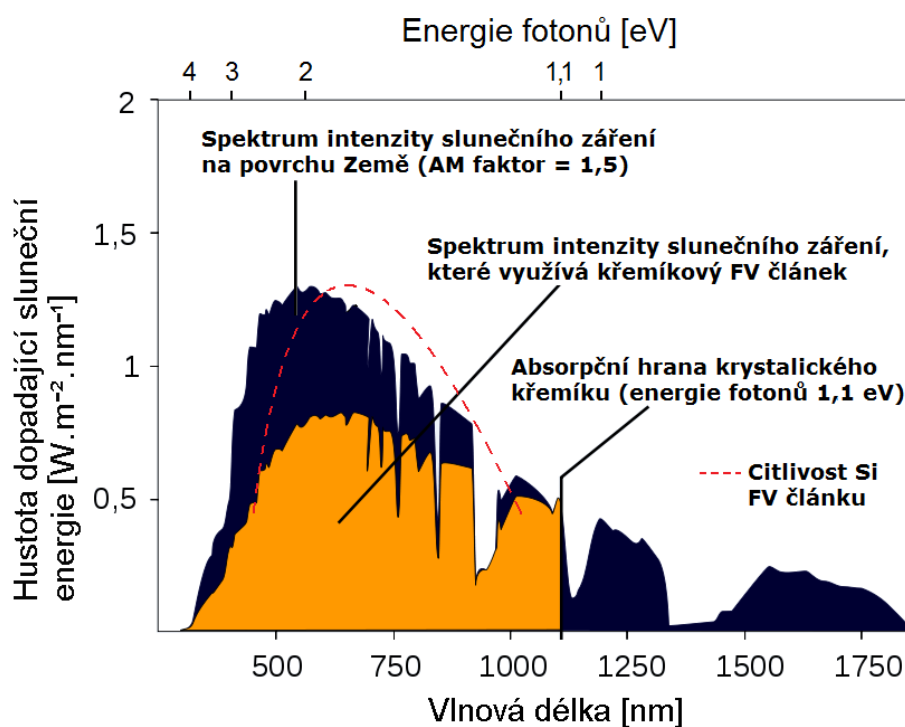
Vlastní fotovoltaický článek je vlastně taková velkoplošná dioda. Je vytvořen tak, že v tenkém plátku křemíku je v malé hloubce pod povrchem vytvořen PN přechod opatřený z obou stran vhodnými kovovými kontakty. Když na něj dopadá sluneční záření, generují se v oblasti PN přechodu volné vodivostní páry elektrony a díry. Elektrické pole PN přechodu je oddělí a pošle na opačné strany, elektrony do vrstvy typu N, která se tak stane záporným pólem fotovoltaického článku, a díry do vrstvy typu P, která tvoří kladný pól viz obr. 15.



Obr. 15: Princip činnosti fotovoltaického článku

Napětí fotovoltaického článku [1] je dáno použitým polovodičem, v případě křemíku je to přibližně 0,6 V a při zatížení ještě trochu klesá (udává se, že při optimálním proudu, kdy je výkon článku maximální, je napětí 0,5 V). Vzhledem k tomu je nutné spojovat řadu článků do série, aby se získalo prakticky využitelné napětí (zpravidla se používají moduly se 36 nebo 72 články, které dávají 18 V nebo 36 V).

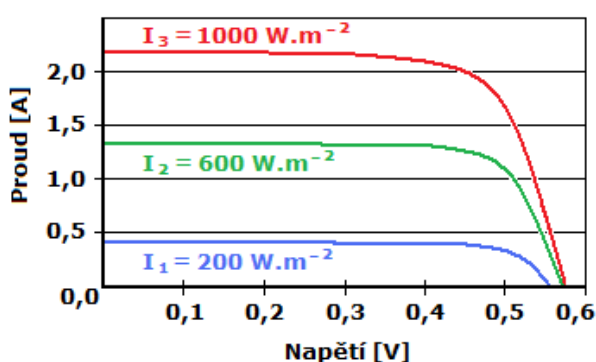
Jak již bylo uvedeno, fotovoltaický článek může využít jen takové fotony, jejichž energie je větší než rozdíl energie mezi valenčním a vodivostním pásem u pozitivního polovodiče. Křemíkový článek může využít fotony s energií větší než asi 1,1 eV, což představuje záření o vlnové délce kratší než 1100 nm (pro fotony platí, že čím je jejich vlnová délka kratší, tím mají větší energii - mají větší frekvenci). Sluneční záření procházející atmosférou obsahuje fotony s energiemi od 0,5 eV (infračervené záření) do asi 2,9 eV (ultrafialové záření). Do oblasti využitelné křemíkovými články spadá velká část energie slunečního záření – to je také jeden z důvodů, proč se křemík používá viz obr. 16.



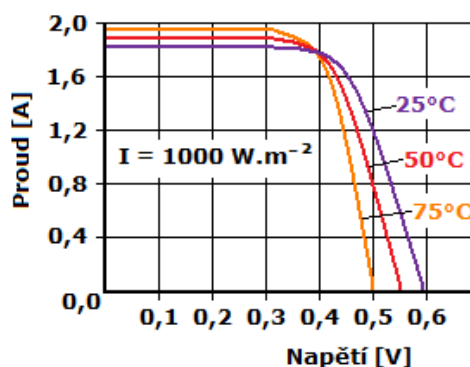
Obr. 16: Část spektra slunečního záření využitelná křemíkovým fotovoltaickým článkem

Energie fotonů s kratší vlnovou délkou (větší energií) ale není využita beze zbytku, každý foton uvolní jen jeden elektron a přebytek jeho energie se promění v teplo. V důsledku toho nelze principiálně dosáhnout s takovýmto článkem většího využití energie záření než asi 55 %. U reálného fotovoltaického článku jsou ještě další ztráty a v praxi se dosahuje účinnosti jen někde mezi 10 až 20 %.

Na dalším obr. 17 jsou zobrazeny volt-ampérové charakteristiky osvětleného fotovoltaického článku na bázi krystalického křemíku zapojeného do elektrického obvodu [2]. Jednotlivé křivky odpovídají různým intenzitám osvětlení. Průsečíky křivek se svislou osou udávají proud nakrátko, odpovídají tedy "nulovému" odporu ve vnějším obvodu neboli zkratování obou pólů FV článku. Roste-li odpor zátěže, pohybujeme se od těchto bodů po křivkách směrem rostoucího napětí (doprava). Průsečíky křivek s vodorovnou osou udávají napětí naprázdno, odpovídající tedy "nekonečnému" odporu ve vnějším obvodu neboli rozpojení obvodu. Optimální zátěž fotovoltaického článku má mít takový odpor, při kterém pracovní bod leží právě v tom bodě volt-ampérové charakteristiky, ve kterém součin napětí a proudu má největší hodnotu (obdélník daný osami a pracovním bodem na křivce, jenž má největší plochu). Tehdy článek poskytuje maximální možný výkon.



Obr. 17: Volt-ampérové charakteristiky osvětleného FV článku při různých intenzitách osvětlení při konstantní teplotě $t = 50^{\circ}\text{C}$



Obr. 18: Volt-ampérové charakteristiky osvětleného FV článku na bázi krystalického křemíku při různých teplotách při konstantní intenzitě osvětlení $I = 1000 \text{ W.m}^{-2}$

Na obr. 18 je vidět, jak se volt-ampérové charakteristiky osvětleného FV článku na bázi krystalického křemíku mění s teplotou při konstantní intenzitě osvětlení. Je patrné, že s rostoucí teplotou roste proud nakrátko, ale klesá napětí naprázdno. Při rostoucí teplotě tedy klesá maximální výkon dodávaný FV článkem při konstantní intenzitě osvětlení a tak klesá i účinnost fotovoltaické přeměny energie. Podrobnější informace o fotovoltaických článcích jsou probrány například v pramenu [2] nebo na webových stránkách [14].

4.5 Základní typy fotovoltaických článků

Fotovoltaické články už za sebou mají téměř 50 let vývoje [1] a byla vyvinuta celá řada typů a konstrukcí s využitím různých materiálů. Někdy se pro přehlednost rozlišují 4 generace fotovoltaických článků [15].

První generace – jde o fotovoltaické články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, v nichž je tvořen velkoplošný PN přechod. Tento typ se vyznačuje dobrou účinností a dlouhodobou stabilitou výkonu a v současné době je to stále ještě nejpoužívanější typ fotovoltaických článků (hlavně na velké instalace). Nevýhodou je relativně velká spotřeba velmi čistého (99,99% Si), a tedy drahého křemíku a poměrně velká náročnost výroby.

Druhá generace – ta je charakterizována snahou snížit množství potřebného křemíku a zlevnit výrobu tím, že se používají tenkovrstvé články. Nejběžnější jsou články z polykrystalického, mikrokrytalického nebo amorfního křemíku. Jejich hlavní nevýhodou je znatelně nižší účinnost a menší stabilita (účinnost dále klesá s časem). Začínají se používat i jiné materiály než křemík. V poslední době se tenkovrstvé články prosazují hlavně v takových aplikacích, kde je požadována pružnost a ohebnost. Existují například fotovoltaické folie, které se při rekonstrukci nalepí na plochou střechu a plní funkci nepropustné folie a současně vyrábí elektřinu [16]. Hlavně díky zájmům armády se rozvíjí také použití fotovoltaických článků, které tvoří součást oblečení nebo batohu a umožňují tak napájet přenosná zařízení (mobil, vysílačka).

Třetí generace – do této generace se řadí systémy, které používají k separaci nábojů jiné metody než PN přechod a často i jiné materiály než polovodiče. Jsou to například fotoelektrochemické (fotogalvanické) články [15], polymerní články [17] složené zpravidla z polymeru s konjugovanými dvojnými vazbami a molekul fullerenu (molekuly kulového tvaru tvořené uhlíkem [18]). Začínají se také uplatňovat nanostruktury ve formě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek nebo struktury vytvořené nanosením tzv. kvantových teček na vhodnou podložku [19]. Výhodou těchto struktur je možnost cíleně ovlivňovat (vyladit) optické a elektrické vlastnosti; nejsme tedy odkázáni jen na struktury, které nám příroda a Mendělejeva tabulka prvků poskytují.

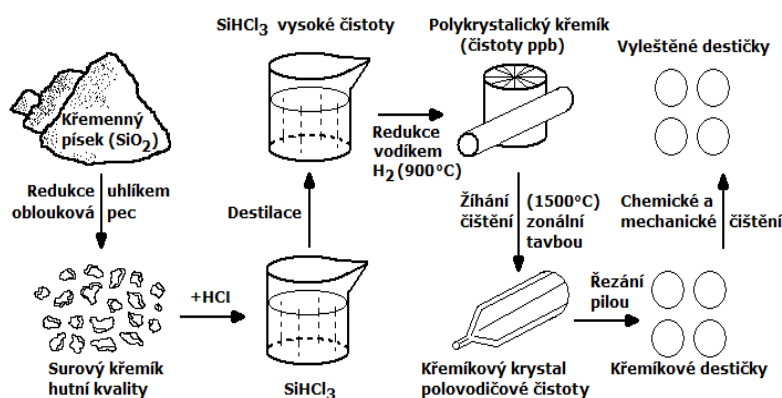
Zatím se takové články v praxi téměř neuplatňují (problémy s nízkou účinností a často malou stabilitou vlastností a životností). Hodně blízko komerčnímu využití jsou asi flexibilní fotovoltaické moduly založené na organických polymerech [20].

Čtvrtá generace – tvoří jí kompozitní, z jednotlivých vrstev složené fotovoltaické články, schopné efektivně využívat širokou část slunečního spektra. Je to dáno tím, že každá vrstva dokáže využít světlo v určitém rozsahu vlnových délek a to záření, které využít nemůže, propustí do hlubších vrstev, kde je využito [21]. Podrobnější informace o konkrétních typech fotovoltaických článků jsou k nalezení například v pramenech [1] a [2].

5 Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů

Z předcházejících kapitol je zřejmé, že nejvíce rozšířeny jsou dnes fotovoltaické články [2] na bázi křemíku (Si – monokrystalické, polykrystalické a amorfní na bázi tenkých vrstev), neboť křemík jako materiál má řadu výhod. Je hojně zastoupen v zemské kůře dokonce jako druhý nejrozšířenější prvek. Proto je relativně levný, je snadno dostupný, není jedovatý a je nejvíce používán a asi i nejlépe prozkoumaným polovodičem. Šířka zakázaného pásu $\Delta E_G \approx 1,1$ eV rovněž vyhovuje. V přírodě se vyskytuje většinou ve formě křemene neboli oxidu křemičitého (SiO_2). V této formě je mechanicky odolný a chemicky stabilní, drobná zrnka křemene tvoří všem dobře známý křemenný písek. Surový křemík se vyrábí z písku redukcí uhlíkem

v obloukové peci, kde dochází k celému řetězci chemických reakcí.



Obr. 19: Postup při výrobě Si polotovarů pro výrobu FV článků

Do obloukové pece se shora kontinuálně vpravují suroviny, kterými jsou písek promíchaný s mletým karbonizovaným uhlím (koksem). Směrem dolů stoupá teplota a v jednotlivých úrovních probíhají zmíněné chemické reakce. Dole v zóně s teplotou $T \approx 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ se hromadí roztavený křemík, který se v pravidelných intervalech odlévá. Takto získaný křemík hutní kvality má čistotu až 99 %, zhruba 1 % nečistot tvoří nejvíce příměsi Fe, Al a C. Pro použití v polovodičové výrobě je však potřebná mnohem vyšší čistota. Proto je třeba surový křemík dále vyčistit a poté vytvořit finální polotovar pro použití v další polovodičové výrobě. K tomuto účelu existují různé technologie, příklad jedné z nich je schematicky znázorněn na obr. 19. Převodem na kapalnou fázi a její destilací lze získat polotovar až čistoty tzv. *ppb* (nečistoty řádově 10^{-9}), která je potřebná pro výrobu integrovaných obvodů.

Nejpoužívanější technologií je dnes technologie Simens s chlórovým cyklem. Nejprve proběhne převod na trichlórsilán, který se následně destiluje. Poté lze z takto upraveného trichlórsilánu opět vyredukovat čistý křemík. Chlórový výrobní proces je náročný na spotřebu energie a na ochranu obsluhy i životního prostředí. V současnosti se vyvíjejí nové technologie výroby čištění křemíku, které nepoužívají chlórový cyklus a tím tyto problémy eliminují. Nyní jsou tyto technologie ve stadiu testování v poloprovozu, a pokud se osvědčí, mohou podstatně snížit energetickou náročnost výroby čistého křemíku i jeho cenu.

Po vyčištění obvykle vzniknou hrudky čistého křemíku, které procházejí kontrolou elektrického odporu, přičemž menší rezistivita než očekávaná hodnota by naznačovala přítomnost příměsí a tedy nižší čistotu materiálu. Z tohoto polotovaru je třeba vytvořit polykrystalické či monokrystalické *ingoty*.

Výroba polykrystalických ingotů je podstatně jednodušší. Materiál se roztaví a nalije do formy, kde se nechá pomalu definovanou rychlostí chladnout. Chladnutí musí být pomalé, aby se vytvořila co možná největší monokrystalická zrna a aby bylo v materiálu minimum dislokací, pnutí a podobně. Hranice zrn i další poruchy krystalu totiž tvoří pro elektrony potenciálové bariéry, je tedy žádoucí jejich přítomnost minimalizovat.

Výroba monokrystalických ingotů probíhá tzv. Czochralského metodou. Do taveniny o teplotě cca 1415 °C se ponoří malý monokrystal jako zárodek. Ten se velmi pomalu z taveniny vytahuje a přitom se nechává otáčet kolem podélné osy. Celý proces probíhá v inertní atmosféře za sníženého tlaku.

Vzniklý polykrystalický či monokrystalický ingot se nakonec příčně řeže na destičky, které tvoří základ FV článků. V technologii řezání došlo v posledních letech k výraznému posunu kvality, zejména drátové řezačky byly podstatně vylepšeny. Zatímco dříve technologie umožňovala řezat destičky o minimální tloušťce $d = 300 \mu\text{m}$, dnes je to až $d = 100 \mu\text{m}$. Ve stejném poměru se zmenšil i prořez. Úspora křemíku, energie potřebné k jeho výrobě i zefektivnění výroby je tak evidentní.

Do fotovoltaických panelů se jednotlivé články skládají v sérioparalelní kombinaci, aby při definovaném osvětlení poskytovaly žádané stejnosměrné napětí a výkon. Maximální výkon záleží především na velikosti celkové plochy FV článků tedy na velikosti panelů. Výrobní postup je následující. Na přední straně FV panelu je temperované (tzv. kalené) sklo. Tato skla jsou velmi odolná proti nárazu a odolají i poměrně velkým kroupám. Na sklo se pokládá plastová EVA (etylvinylacetát) fólie a na ni se skládají propojené FV články, které jsou vhodně propojeny tenkými kovovými pásky. Přes propojené články se znovu pokládá EVA fólie a zadní stěnu tvoří zpravidla laminátová kompozice PVF-PET-PVF (polyvinylidenfluorid-polyetylentereftalát-polyvinylidenfluorid). Poté se vyčerpá vzduch mezi těmito vrstvami a panel se zahřeje nad teplotu tání EVA fólie. Etylvinylacetát se po teplotním zpracování rozteče a jako zalévací hmota zalije FV články v prostoru mezi předním sklem a zadní laminátovou stěnou panelu. Nakonec se panely rámují a zatmelují silikonovým tmelem do hliníkových profilů a opatřují krabičkou s výstupními kontakty. Hotové FV panely jsou tak utěsněny proti vodě či jiným nečistotám. Životnost kvalitních FV panelů na bázi krystalických polovodičů bývá 20 až 30 let. Výše popisované fotovoltaické panely jsou v současné době hojně používány například v nejrůznějších FV elektrárnách, či záložních zdrojích.

6 Využití fotovoltaických panelů při realizaci elektráren

Využití fotovoltaických panelů při realizaci elektráren či záložních zdrojů je možné rozdělit na dvě dílčí části. První část pojednává o FV **systemech připojených na rozvodnou síť**. Druhá část se týká tzv. **ostrovních systému**, kdy FV panely slouží jako nezávislý energetický zdroj. A právě touto problematikou se budeme zabývat dále.

6.2 Ostrovní systémy (stand-alone, grid-off)

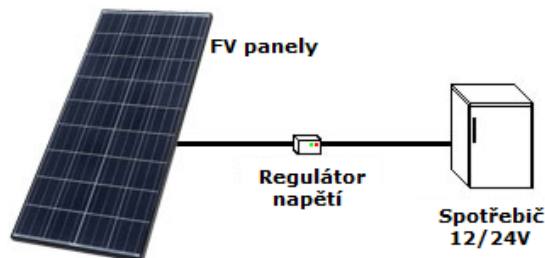
Ne vždy máme možnost využívat elektrickou energii dodávanou z distribuční sítě [22]. Taková situace obvykle nastává na odlehlých chatách a chalupách, zahradních domkách, karavanech, přívěsech, houseboatech, jachtách, případně v odlehlých objektech síťové infrastruktury a podobně. Na těchto místech obvykle požadujeme komfort domova v podobě možnosti poslouchat rádio, sledovat televizi nebo uložit si netrvanlivé potraviny do ledničky, případně potřebujeme elektrickou energii k pohonu nějakého zařízení, například čerpadla, zavlažování nebo komunikace.

Vybudování elektrické přípojky například v případě jachty nemusí být vůbec možné, nebo náklady na přípojku by byly neúnosně vysoké a neodpovídající získanému užitku. Řešením takové situace může být fotovoltaický systém odpovídajícího výkonu. Takový systém se vyplatí v případě, že by bylo nutné vybudovat elektrickou přípojku od 500 metrů a více.

Při budování ostrovního systému na výrobu elektrické energie je vhodné volit odpovídající spotřebiče, které fungují na stejnosměrný proud, v současnosti je možné na stejnosměrný proud provozovat televize, rádia, ledničky i vodní čerpadla. Stejnosměrný proud je možné pomocí napěťového měniče přetransformovat na proud střídavý. Neméně důležitá je také spotřeba energie. Čím menší je spotřeba, tím menší budou požadavky na akumulátory a výkon fotovoltaických panelů a tím bude také celá instalace levnější, spotřebiče by tedy měly být voleny s ohledem na maximální úspornost.

6.2.1 Systémy s přímým napájením

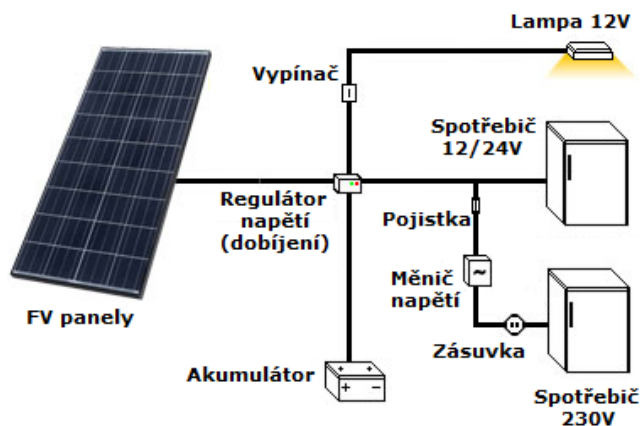
Tato varianta, která je znázorněna na obr. 20, se používá v případech, kdy je připojené elektrické zařízení funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče přes regulátor napětí, například při čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů (mobilní telefon, notebook, svítilna atd.).



Obr. 20: Systém s přímým napájením

6.2.2 Systémy s akumulací elektrické energie

Tato varianta uvedená na obr. 21 je použita v případech, kdy potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy speciální akumulátorové baterie, konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení; automobilové akumulátory se zde příliš nehodí, protože jsou konstruovány pro vysoký proud za krátký časový úsek. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče 230 V/~50 Hz napájené přes napěťový měnič.



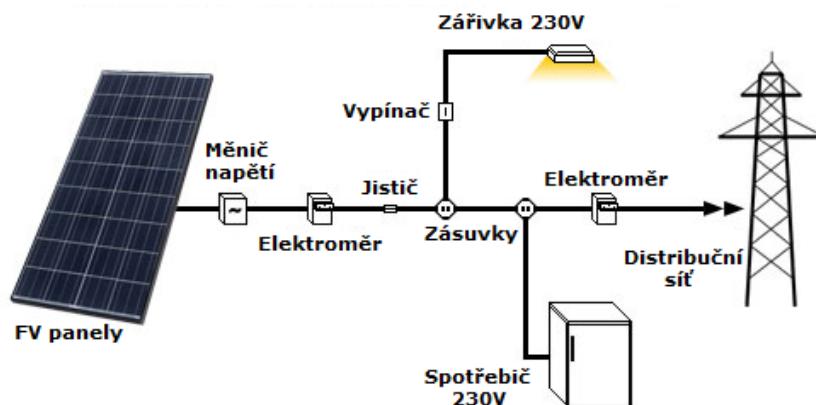
Obr. 21: Systém s akumulací elektrické energie

6.3 Systémy připojené na síť (grid-connected)

Fotovoltaické systémy připojené k rozvodné síti nejsou vzhledem k relativně kvalitní síti a stálosti dodávek elektřiny instalovány z důvodu nedostatku elektrické energie, jako je tomu u ostrovních systémů. Motivem instalace je zpravidla ekologický přínos fotovoltaického systému v tom, že při výrobě této elektřiny není vypouštěn žádný oxid uhličitý a dále jsou motivem pro pořízení fotovoltaického systému možné dosažitelné úspory potažmo i zisk, který může z takové investice plynout. Systémy připojené na síť jsou zpravidla budovány na rodinných domech nebo v průmyslových objektech, přičemž energie vyrobená systémem je buďto spotřebována přímo v daném objektu a případné přebytky jsou prodány do distribuční sítě, nebo je systém určen výhradně k výrobě a dodávání za výkupní cenu do distribuční sítě, tedy bez žádné vlastní spotřeby v místě instalace. Pokud je elektrická energie vyrobená solárním systémem spotřebována přímo tam, kde je vyrobena, ušetří investor cenu energie, kterou by musel jinak nakoupit a za tuto energii navíc inkasuje od distributora tzv. zelený bonus - systémy s vlastní spotřebou jsou tedy vůbec nejvýhodnější možnou investicí. V systémech připojených na síť se neinstalují žádné akumulátory.

6.3.1 Systémy pro vlastní spotřebu a prodej přebytků

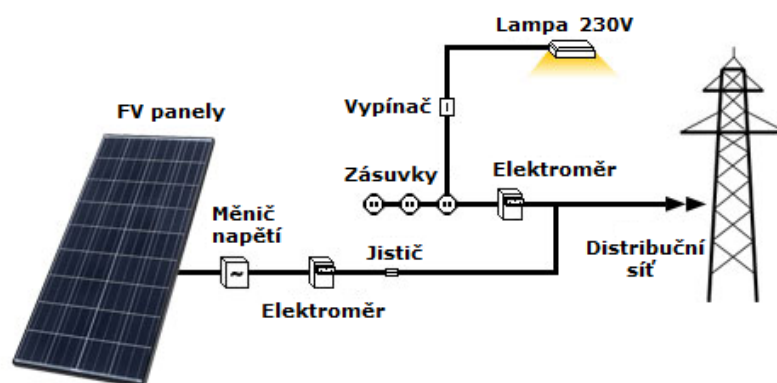
Systém v této konfiguraci je znázorněn na obr. 22. Obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič pro přeměnu stejnosměrného proudu na proud střídavý a zvláštní elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Celý tento okruh je připojen na samostatný jistič a přepěťovou ochranu do rozvaděče v daném objektu. Solární systém je připojen za hlavní elektroměr (z pohledu distribuční společnosti), je tedy možné dodávat energii spotřebičům v objektu (a tím šetřit náklady na odebranou elektřinu) nebo ji v případě přebytků přes hlavní čtyřkvadrantní elektroměr předávat do sítě. V obou případech je za vyrobenou elektřinu inkasován tzv. zelený bonus, v případě prodeje přebytků do sítě navíc výrobce inkasuje rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem.



Obr. 22: Systém pro vlastní spotřebu a prodej přebytků do sítě

6.3.2 Systémy pro prodej elektrické energie do sítě

Systém, který produkuje elektrickou energii výhradně pro výkup, ukazuje obr. 23. Obsahuje fotovoltaické panely připojené na napěťový měnič, který přemění stejnosměrný proud na proud střídavý a elektroměr pro odpočet energie vyrobené fotovoltaikou. Tento okruh je přes jistič a přepětovou ochranu připojen ještě před hlavní elektroměr v objektu (z pohledu distribuční společnosti). Veškerá vyrobená elektrická energie je tedy dodávána do distribuční sítě za výkupní cenu.



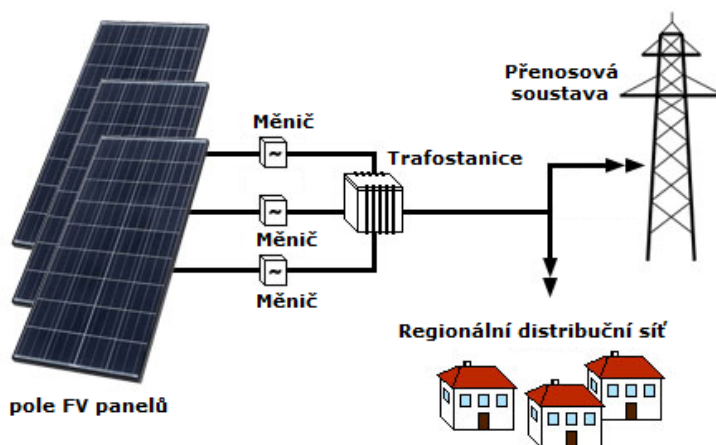
Obr. 23: Systém pro výhradní prodej elektrické energie do sítě

6.3.3 Realizace fotovoltaických elektráren instalovaných na pozemku

Jde obvykle o velké systémy o výkonech v řádech stovek kWp až MWp, které jsou výkonnostně limitovány výhradně velikostí a charakterem (sklonem) pozemku a dále dostupností dostatečně kapacitní elektrické přípojky (vedení 22 kV, 35 kV nebo 110 kV) pro dodávání energie do rozvodné sítě nebo do regionální distribuční sítě. K upevnění, uspořádání a k dodatečnému nastavení se používají nejrůznější typy konstrukcí, na kterých jsou FV panely montovány. Fotovoltaické panely jsou mezi sebou vhodně pospojovány (sérioparalelně) to tzv. "stringů". Z jednotlivých stringů je stejnosměrné napětí a proud přivedeno na napěťový měnič (invertor), který tyto stejnosměrné veličiny přemění na střídavé. Střídavé napětí a proud je pak bez problémů možné přeměnit v transformátoru na požadované velikosti napětí a proud a následně je přivést do rozvodné sítě.

Plocha panelů o nominálním výkonu 1 kWp činí přibližně 8 metrů čtverečních (mono nebo polykrystalických), plocha potřebného pozemku pod panely je v případě budování v několika řadách přibližně 2,5 násobek plochy panelů, protože mezi jednotlivými řadami panelů musí být takové rozestupy, aby si panely navzájem nestínily. Nároky na velikost pozemku jsou tím menší, čím více je pozemek jižně svažitéjší, tedy pokud mohou být jednotlivé řady panelů mírně nad sebou - nejsou nutné tak velké rozestupy mezi jednotlivými řadami.

Fotovoltaické elektrárny se neobejdou bez nutné údržby (odstraňování sněhu, sekání trávy, údržba konstrukcí). Elektrárnu je možné umístit i na pozemek pastvin a skot využívat pro spásání trávy pod panely, je tak beze zbytku využit pozemek a odpadá část nutné údržby. Zjednodušené blokové schéma FV elektrárny je zobrazeno na obr. 24.

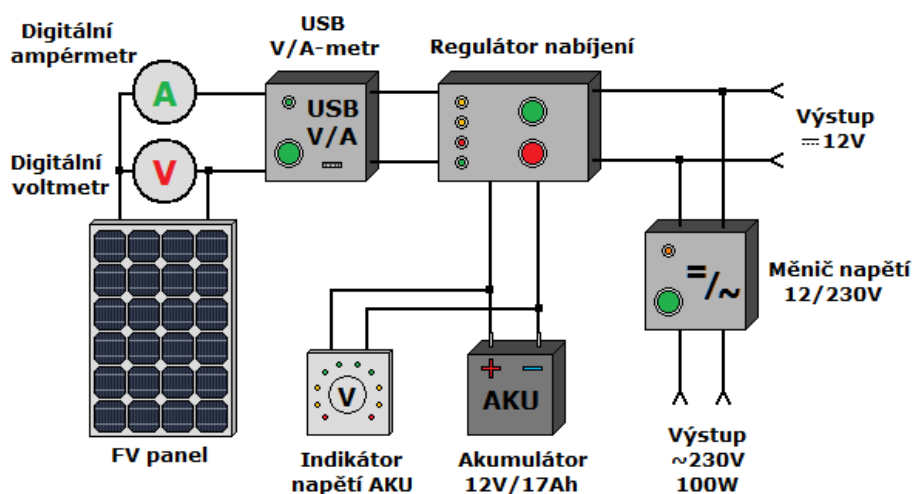


Obr. 24: Zjednodušené zapojení FV elektrárny

7 Přípravek pro měření optimálního sklonu FV panelů

Hlavní cílem celé této bakalářské práce je vytvoření přípravku, kterým by bylo možné změřit optimální úhel a orientaci fotovoltaických panelů, při kterém by měly zmíněné FV panely maximální průměrný výkon v průběhu dne v daném ročním období.

Zařízení, které tuto funkci umožňuje a navíc ještě plní funkci samostatného ostrovního záložního zdroje, je znázorněno na obr. 25. Přípravek se skládá z několika dílčích částí. Prvním dílem je samozřejmě monokrystalický fotovoltaický panel s nominálním výkonem 30 W. Elektrická energie je z fotovoltaického panelu přiváděna přes digitální ampérmetr, digitální voltmetr a USB-multimetr přímo do nabíjecího regulátoru, který je srdcem celého zapojení. Regulátor plní několik funkcí, které budou probrány v kapitole 7.4. K regulátoru je dále připojen 12 V bezúdržbový akumulátor s kapacitou 17 Ah, jenž slouží k uložení elektrické energie. Paralelně k akumulátoru je připojen LED-diodový indikátor napětí, který informuje o aktuálním napětí na akumulátoru. Posledním dílem je napěťový měnič sloužící k přeměně stejnosměrného napětí a proudu na napětí a proud střídavý, přičemž maximální zatížení tohoto invertoru je 100 W. Jednotlivé části zmíněného přípravku budou podrobněji probrány v následujících kapitolách.



Obr. 25: Blokové schéma přípravku pro měření optimálního sklonu FV panelů

7.2 LED-diodový indikátor napětí

7.2.1 Integrované budiče LED-diod

Jedná se o indikátory stejnosměrného napětí [23], které využívají ke své funkci nejrůznější typy integrovaných obvodů jako například integrované obvody U237B, A277D, nebo integrované obvody LM 39xx. Oproti jednoduchým indikátorům napětí, které jsou realizovány diskrétními součástkami, mají velikou výhodu v tom, že umožňují zřetelně, podrobně a přesně informovat o velmi malých změnách napětí v určitém požadovaném rozsahu. Indikace napětí je přitom prováděna prostřednictvím řady světelných diod, které se rozsvěcují nebo zhasínají při určité napětěvé úrovni na vstupu obvodu. Většina integrovaných obvodů určených výhradně k buzení LED-diod, odtud název „budiče LED“, nabízí provoz ve dvou režimech, a sice v režimu páskovém a bodovém.

Páskový režim (mode) je specifický tím, že s rostoucím indikovaným napětím se postupně rozsvěcují jednotlivé LED-diody v řadě. Indikátor reaguje od určité minimální napětěvé úrovně na vstupu, kdy se rozsvítí první LED-dioda v řadě, přičemž se vzrůstajícím napětím se postupně rozsvěcují i další LED-diody a to až do doby, kdy je velikost napětí na vstupu rovna maximální napětěvé úrovni, do které indikátor zobrazuje (indikuje) – svítí všechny LED-diody.

Bodový provoz se od páskového značně liší. Opět indikátor reaguje na určitý napětěvý rozsah, který je dán intervalem mezi minimální a maximální napětěvou úrovní. Velikost indikovaného napětí je ale zobrazena tak, že při určité napětěvé úrovni na vstupu, která pochopitelně spadá do vymezeného intervalu, se rozsvítí jen jedna z řady LED-diod, která této dané napětěvé úrovni přísluší. Zjednodušeně řečeno, při určitém napětí svítí jen jeden bod (LED-dioda).

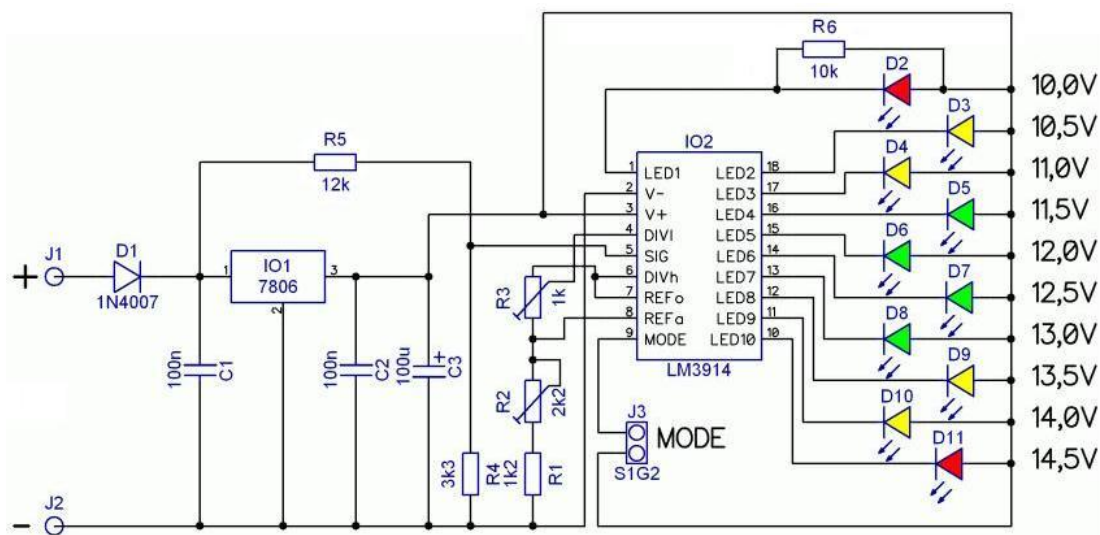
7.2.2 Indikátor napětí s obvodem LM 3914

Tento indikátor [24] je určen k indikaci napětí dvanácti voltové bezúdržbové baterie, aby tak informoval o jejím stavu, čili jestli je vybita (cca 10 V) nebo plně nabitá (cca 14,5 V), přičemž využívá ke své funkci integrovaný obvod LM3914. Schéma zapojení tohoto indikátoru je uvedeno v bodě 7.1.3. Indikované stejnosměrné napětí je přivedeno na piny J1(+) a J2(-). K připojení je použita pájitelná dvou-kontaktní svorkovnice. Ochranná dioda D1 zabrání prepólování indikovaného napětí, které by mělo za následek zničení následujících obvodů. Přivedené napětí je pro napájení indikátoru stabilizováno integrovaným stabilizátorem napětí IO1 (7806) na 6 V. Ke stabilizátoru jsou jak na vstupu, tak i výstupu připojeny kondenzátory C1 a C2, které umožňují správnou funkci a také pevné nastavení výstupního stabilizovaného napětí. Toto napětí bylo zvoleno s ohledem na maximální povolený proud výstupních vývodů obvodu IO2 (LM3914). Není tedy potřeba LED diodám předřazovat žádné omezovací rezistory.

Vstupní indikované napětí je vhodně sníženo odporovým děličem R4, R5 a přivedeno na vstupní pin 5 (SIG) obvodu LM 3914. Zbývající rezistor R1 a trimry R2 a R3 slouží k nastavení napětíového rozsahu, ve kterém indikátor pracuje. Integrovaný obvod IO2 typu LM3914 je srdcem celého indikátoru. Jak již bylo zmíněno, tak tento obvod byl speciálně vyvinut pro lineární indikaci velikosti napětí pomocí deseti LED, které mohou pracovat v bodovém nebo sloupcovém (páskovém) režimu.

Toto zapojení je tedy variabilní v tom, že je možné měnit režim (mode), ve kterém indikátor zobrazuje napětí. O tom, v jakém režimu má indikátor pracovat rozhoduje propojka typu "Jumper" (J3). Je-li spojena, je obvod přepnut do sloupcového neboli páskového režimu zobrazení. To znamená, že kromě aktuální LED, dejme tomu například D6 indikující napětí 12 V, svítí i všechny LED D2 až D5. Je-li však propojka rozpojena, je obvod přepnut do bodového režimu, ve kterém svítí vždy jediná LED, jenž přísluší jen konkrétní napětíové úrovni, kterou zrovna indikátor zobrazuje.

7.2.3 Schéma zapojení indikátoru napětí s obvodem LM 3914



7.2.4 Nastavení napěťových mezí indikátoru napětí

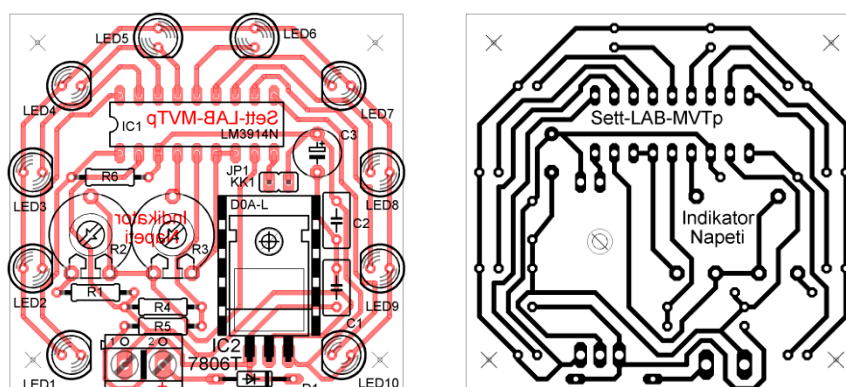
Po sestavení a pečlivé kontrole pájených spojů a osazených součástek je potřeba indikátor nastavit na správné hodnoty napětí. Jak již zde bylo zmíněno, tento indikátor je určen k indikaci napětí bezúdržbové baterie, aby tak informoval o jejím stavu, čili jestli je vybita (cca 10 V) nebo plně nabita (cca 14,5 V). To nastavení se provede připojením pinů J1 a J2 na regulovatelný napájecí zdroj (nejlépe s omezením výstupního proudu) a seřízením pomocí odporových trimrů R2 a R3.

Nejprve se na svorky J1 a J2 přivede rovných 10 V. Velikost tohoto napětí monitorujeme digitálním multimetrem, který je zapojen jako voltmetr. Poté otáčením trimru R2 nastavíme indikátor tak, aby se LED D2 právě rozsvítila. Následně na zdroji nastavíme rovných 14,5 V, tedy napětí, při kterém má svítit poslední LED. To se provede otočením trimru R3 tak, aby se LED D11 opět právě rozsvítila. Tím je nastavení ukončeno a indikátor zobrazuje pomocí jednotlivých LED napětí v kroku 0,5 V.

Barevné pořadí světelných diod je podle znázornění ve schématu v bodě 7.1.3 zvoleno úmyslně. Vyplývá to z nastavení indikátoru na daný účel (indikace napětí bezúdržbové baterie 12 V). Vychází se především z předpokladu, že červená barva má představovat krajní mez. A to bez ohledu na to, jestli se jedná o dolní nebo horní krajní hodnotu napětí (baterie je vybita / nabita). O jaké si mezihodnotě mezi krajním stavem (vybito / nabito) a normálním stavem informují žluté LED-diody. A nakonec zelené LED-diody vymezují určitý napěťový interval (od 11,5 V – 13 V), který informuje o optimálním napětí na bezúdržbové baterii.

Při bodové indikaci prochází vývodem pro buzení 1. LED diody (vývod 1) proud 100 μ A, i v případě, že svítí kterákoliv jiná LED-dioda. Tento proud může způsobit u diody s vysokou svítivostí slabý svit. Proto je v tomto případě připojen paralelně k první diodě rezistor R6 o hodnotě 10 k, který proud z velké části odkloní a zamezí tak slabému svitu první LED-diody.

7.2.5 Rozmístění součástek a DPS indikátoru v měřítku 1:1 (50×50 mm)



7.2.6 Zhodnocení LED-diodového indikátoru napětí

Toto zapojení s integrovaným budičem LM 3914 je velmi jednoduché, přičemž je i pro daný účel indikace napětí na akumulátoru dostatečně přesné. Vhodnou výměnou příslušných součástek lze toto zapojení použít i pro jiný rozsah indikovaného napětí. Rozpiska součástek pro indikátor napětí je uvedena v příloze viz bod 13.1.

7.3 Digitální voltmetr /ampérmetr s obvodem ICL7107

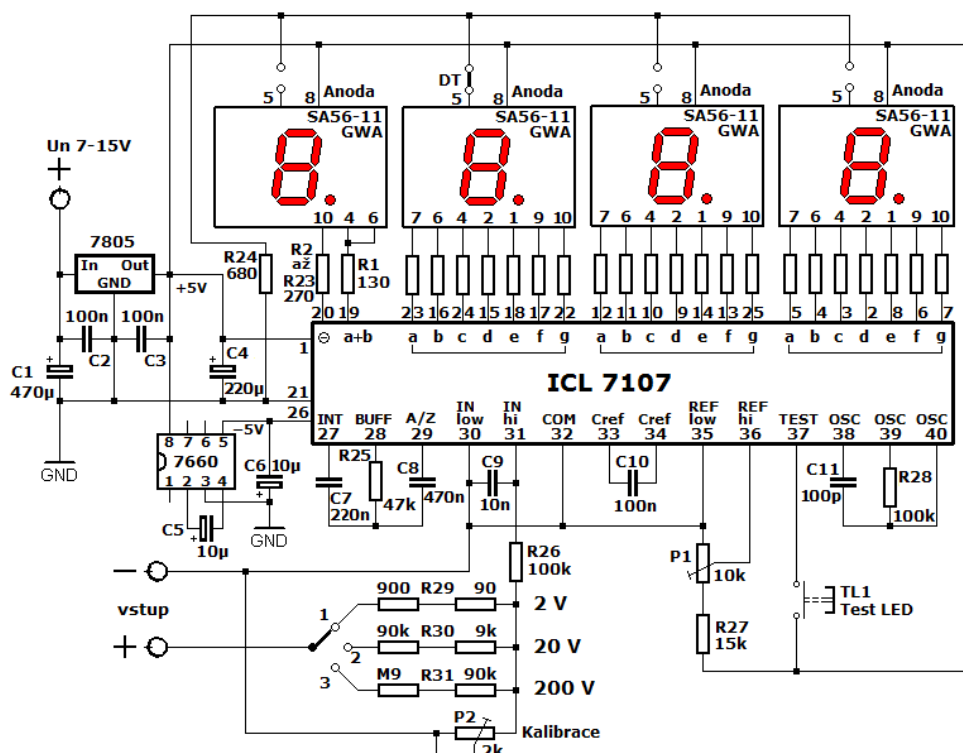
7.3.1 Voltmetr s obvodem ICL7107 – úvod

Následující kapitola popisuje realizaci dvou nezávislých digitálních panelových měřidel [25]. V první radě bude probráno zapojení voltmetru a následně pak i ampérmetru. Obě digitální měřidla využívají ke své funkci A/D převodník ICL7107, který vyrobila firma Intersil. Jedná se o integrovaný obvod CMOS, jenž pracuje metodou dvojí integrace. Tento převodník, realizovaný v pouzdře DIP40, dále obsahuje dekodér a budič pro $3\frac{1}{2}$ místný sedmi-segmentový LED displej, rozhraní pro přímé připojení LED displeje, obvody napěťové reference a obvody časovače, respektive oscilátoru. Z venku se A/D převodník ICL7107 spokojí jen s několika pasivními součástkami. Jak konstrukce voltmetru, tak i konstrukce ampérmetru, vychází ze dvou desek, které jsou navzájem propojeny vodiči (viz dále).

7.3.2 Parametry voltmetru:

- Stejnosměrné napájení obvodu – $7 \div 15$ V (optimum 12 V)
- Proudový odběr měřidla – cca 150 mA
- Základní měřicí rozsah převodníku ICL7107 – 200 mV
- Volitelné měřicí rozsahy pro měření napětí – 2 V, 20 V a 200 V
- Vstupní odpor měřidla (voltmetru) – $1\text{ M}\Omega$
- Vstupní svodový proud – cca 1 pA
- Minimální teplotní drift převodníku ICL7107 – $1\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

7.3.3 Schéma zapojení voltmetru



7.3.4 Popis zapojení a princip činnosti voltmetru

Jak již zde bylo zmíněno, tak se konstrukce voltmetru skládá ze dvou oddělených desek plošných spojů. Na jedné desce je umístěn LED displej, na druhé je zapojen obvod voltmetru. Desky jsou navzájem propojeny vodiči. Takto navržená konstrukce umožňuje individuální umístění obou desek. Volba umístění je jen na konstruktérovy.

Na základní desku voltmetru patří především velká objímka (pájitelná patice) pro CMOS převodník ICL7107, který je srdcem celého voltmetru. Patice je 40-ti pinová, přičemž má 20 vývodů na každé straně. Na jedné straně jsou připojeny rezistory R1 až R23, přes které se připojují jednotlivé segmenty číslicovek tvořící LED displej. Ke druhé straně objímky přísluší několik pasivních součástek nutných k činnosti převodníku. Také jsou tu rezistory vstupního napěťového děliče.

LED displej je možné složit různým způsobem. Záleží jen na tom, jaké LED číslicovky má konstruktér k dispozici. Displej je možné složit například ze tří sedmi-segmentových číslicovek a jedné dvou-segmentové číslicovky se znakovkou vpředu (+1888), nebo z jedné dvojité číslicovky (88) doplněné dalším dvojitým zobrazovacím znakem, a sice znakovkou v kombinaci s číslicovkami (+18). Takto složený displej bude pak stejný jako předešlý (+1888). A/D převodník ICL7107 rozlišuje polaritu pouze tím, že z pinu 20 spíná znak "minus" znakovky, při měření záporného napětí. Kladné znaménko tedy nevybudí. V mém případě je displej z důvodu nedostatku součástek složen ze čtyř samostatných sedmi-segmentových číslicovek (8888). Jedná se o číslicovky se společnou anodou, přičemž u první číslicovky budou využity jen tři segmenty (dva zobrazující jednotku a jeden segment zobrazující znaménko mínus).

Buzení LED displeje je zde pojato poněkud odlišněji. Ve schématu jsou zakresleny rezistory R1 až R23, které spínají jednotlivé segmenty displeje. V mnohých zapojeních využívajících tento převodník, se s podobnými rezistory vůbec nesetkáte. Výstupy integrovaného obvodu ICL7107 jsou pak k číslicovkám připojeny přímo. Neměl by však chybět jiný způsob zabezpečení, aby nedošlo ke vzniku nadměrného proudu, ať již při spínání segmentů nebo vinou zkratu. Čistě teoreticky by k takovému výraznému zvýšení proudu nemělo vůbec dojít, protože budiče LED displeje jsou zapojeni jako zdroje konstantního proudu. Obvykle udávaná hodnota proudu budičů segmentů je cca 8 mA. Je možné se setkat i se zapojením, kde je na pin 1 přivedeno napětí z jednoduchého stabilizátoru, přičemž je toto napájecí napětí sníženo na možnou dolní hranici, těsně pod 4,5 V. Takové zmenšení napětí však může odsunout spolehlivost měřidla až na její hranici. Zařazení rezistorů R1 až R23 také usnadňuje hledání případné chyby, způsobené obtížně pozorovatelným můstkem z cínu mezi plošnými spoji.

Napájení obvodu je poněkud složitější nežli u jednodušších typů A/D převodníků. Integrovaný obvod ICL7107 totiž pro svou činnost vyžaduje symetrické stabilizované napájecí napětí. Pracuje tedy s kladným napětím +5 V, s nulovým potenciálem GND (zem = 0 V) a se záporným napětím -5 V. V kladné větvi odebírá převodník proud přibližně 150 mA, počítaje v tom i proud displeje, kdežto v záporné větvi je jeho proudový odběr malý, resp. 1 mA.

Z důvodu univerzálnosti napájení celého voltmetru je tato problematika vyřešena následujícím způsobem. Kladné napětí +5 V je stabilizováno integrovaným stabilizátorem napětí 7805, který je včetně kondenzátorů C1 až C4 zapojen podle katalogového zapojení. Kladné napětí je pak přivedeno na pin 1, nulový potenciál GND je připojen na pin 21. Záporné napětí -5 V je zde vytvořeno DC/DC invertorem ICL7660, který plní úlohu měniče napětí, jenž pro svou funkci vyžaduje kondenzátory C5 a C6. Obvod 7660 je opět zapojen podle katalogového zapojení [26], přičemž jeho výstupní záporné napětí je přivedeno na pin 26. Takto vytvořená napájecí část umožňuje celý voltmetr napájet různým napětí od 7 do 30 V. Z důvodu minimálních teplotních ztrát na stabilizátoru 7805 se jako optimální jeví napájení 9 V baterií, nebo 12 V akumulátorem.

Na piny 27, 28, 29 integrovaného obvodu ICL7107 je dále připojen RC člen, který je tvořen integračním kondenzátorem C7, dále integračním rezistorem R25 a nakonec auto-nulovacím kondenzátorem C8. Tento RC člen se uplatňuje při měření a následném převodu analogové veličiny na digitální. Vhodnou volbou velikostí jednotlivých součástek RC členu je také možné nastavit základní měřící rozsah a částečně i rychlost načítání měřené veličiny převodníku. Pro základní rozsah 2 V (Full Scale 2 V) jsou doporučeny velikosti $C8 = 47 \text{ nF}$, $R25 = 470 \text{ k}\Omega$. Pro rozsah 200 mV jsou doporučeny dle katalogu [27] velikosti $C8 = 470 \text{ nF}$, $R25 = 47 \text{ k}\Omega$. Integrační kondenzátor, jenž se podílí na načítání analogové veličiny, je pro frekvenci oscilátoru (48 kHz) vhodné dimenzovat na $C7 = 220 \text{ nF}$.

Vstupní měřený analogový signál je na vstup převodníku ICL7107 (piny 30, 31) přiveden přes napětový dělič, jenž je tvořen třemi větvemi s rezistory R29, R30, R31, a dále pak přes RC filtr, který je realizován kondenzátorem C9 a rezistorem R26. Odporové větve je možné vhodně přepínat a měnit tak měřící rozsah voltmetru. Každá z větví obsahuje sériové spojení dvou rezistorů, kterým se docílí přesnější dosažení požadované hodnoty napětového děliče, nežli by tomu bylo v případě použití jen jednoho rezistoru. Napětový dělič má v první větvi celkovou hodnotu odporu 1 k Ω , přičemž umožňuje měřit vstupní napětí do 2 V.

Druhý napěťový dělič má celkovou hodnotu odporu 100 k Ω a dovoluje měřit napětí do 20 V. Třetí napěťový dělič disponuje celkovým odporem 1 M Ω a nabízí měření napětí do 200 V. V poslední řadě je třeba zmínit, že k celému odporovému děliči je připojen ještě odporový trimr P2 s odporem 2 k Ω , kterým je možné částečně zkalibrovat měřící rozsah (viz nastavení v bodě 7.2.6).

S přepínáním napěťových rozsahů souvisí i přepínání desetinné tečky na LED displeji. Desetinná tečka (DT) příslušného displeje se spíná přes rezistor R24 na zem (GND). Deska plošného spoje LED displeje je navržena tak, aby bylo možné s přepínáním rozsahů voltmetru přepínat i desetinnou tečku. Displej pak umožní přehledně zobrazit hodnoty v rozsahu do 2 V na tři desetinná místa (1.999), v rozsahu do 20 V na dvě desetinná místa (19,99) a v rozsahu do 200 V na jedno desetinné místo (199,9). Vhodné je použít jeden společný přepínač pro přepínání rozsahů i desetinné tečky současně.

Další nedílnou součástíku připojenou k A/D převodníku je referenční kondenzátor C10, který je připojen na piny 33 a 34. Kondenzátor je určen k nabíjení a vybíjení na hodnotu referenčního napětí při integrování (viz princip měření v bodě 7.2.5). S piny 35 a 36 je spojena sériová kombinace odporového trimru P1 a rezistoru R27. Tímto děličem napětí (P1+R27) se nastavuje přesná velikost referenčního napětí (100 mV), která je využívána při měření.

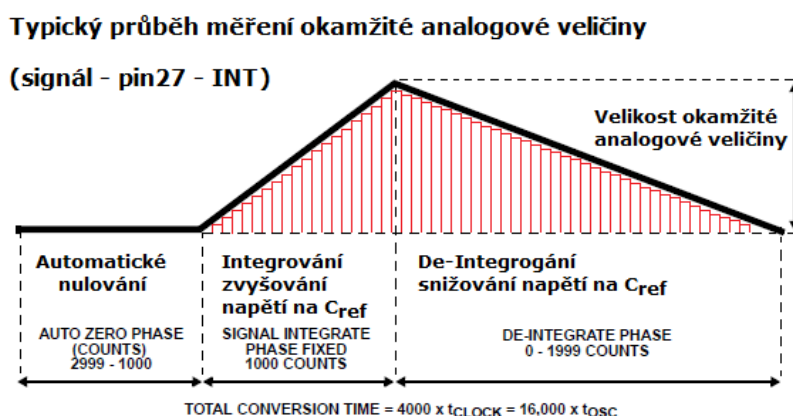
Pin 37 převodníku ICL7107 je určen k ověření funkčnosti LED displeje. Zkouška se u zhotoveného voltmetru provádí stiskem tlačítka TL1, kterým se na pin 37 přivede kladné napájecí napětí 5 V. Pokud je vše v pořádku a všechny segmenty displeje jsou správně zapojeny, zobrazí se údaj 1888.

Nelze zapomenout na interní oscilátor v A/D převodníku a jeho kmitočet. Na něm totiž závisí přesnost délky časových úseků využitých při měření (integrování) a také schopnost potlačení rušivých vlivů, které souvisí s kmitočtem sítě. Ze tří možností, které nabízí převodník pro činnost oscilátoru, byla zvolena ta nejjednodušší. Uskuteční se zapojením RC členu mezi piny 38, 39 a 40. Stabilnější funkci oscilátoru by zajistil vnější krystal (quarz), nebo v třetím případě celý externí oscilátor, připojený tamtéž.

Pro můj záměr měřit aktuální napětí na FV panelu vyhoví s dostatečnou přesností první varianta. RC člen je tedy tvořen kondenzátorem C11 o velikosti 100 pF a rezistorem o hodnotě 100 kΩ. S tímto použitým RC členem docílíme frekvence oscilátoru cca 50 kHz, přičemž měření vstupního napětí proběhne třikrát za sekundu.

7.3.5 Princip měření A/D převodníku ICL7107

Princip měření A/D převodníku ICL7107 je následující. Jak již zde bylo zmíněno, tak analogově číslicový převodník ICL7107 pracuje metodou dvojí integrace. Měření vstupní analogové veličiny je zde rozděleno do tří základních částí, které popisuje obr. 26.



Obr. 26: Princip měření A/D převodníku ICL7107

V první fázi dochází k automatickému nulování, které má zvýšit spolehlivost a přesnost měření. Svou roli tu hraje i referenční kondenzátor C10, který se nabíjí na referenční napětí a následně opět vybíjí. Pilně tu pracuje řídicí logika, integrátor a další interní obvody, které se tímto krokem připravují k hlavnímu měření vstupní analogové veličiny. Svou úlohu plní i společná svorka "common" (pin 32), na které se udržuje napětí asi o 2,8 V menší než je kladné napájecí napětí. Chová se jako vnitřní zdroj referenčního napětí s malou vstupní impedancí. V této první fázi se dále kompenzuje ofset (chybová činnost) komparátoru, integrátoru a dalších aktivních prvků uvnitř převodníku. Diferenciální vstup převodníku umožní potlačit rušivá napětí, která by mohla znehodnotit naměřené údaje.

Ve druhé fázi se měřené napětí přivede na vstup interního integrátoru. Ten počne integrovat a na integračním kondenzátoru C7 pak lineárně roste napětí úměrně k velikosti vstupního napětí - **integrování**.

Ve třetí fázi se na stejný vstup připojí vnitřní referenční napětí, tj. napětí přesně definované, neměnné, avšak s opačnou polaritou. Napětí na kondenzátoru C7 se proto snižuje. V okamžiku, kdy dosáhne nulové hodnoty, převod končí, o což se starají řídicí logické obvody. Jak již zde bylo zmíněno, tak v tomto převodníku ICL7107 je zabudován přesný generátor hodinového impulsu (oscilátor) a také čítač, který čítáním impulsů generátoru zjišťuje dobu nabíjení a vybíjení integračního kondenzátoru C7. Stav čítače na konci třetí fáze se dostane k obvodům indikace (dekodér a budič LED displeje) a zobrazí se číslo, jenž odpovídá měřenému napětí. S frekvencí oscilátoru, která je přibližně 50 kHz (dáno součástkami C11 a R28), proběhne celé měření vstupní veličiny zahrnující všechny tři zmíněné fáze třikrát za sekundu.

7.3.6 Mechanická konstrukce, oživení a nastavení obvodu voltmetru

Jelikož popisovaný obvod voltmetru obsahuje integrované obvody CMOS, je vhodné použít patice (objímky). Pro A/D převodník ICL7107 to bude 40-ti pinová patice určená pro pouzdro DIP40. Pro měnič napětí ICL7660 to bude patice s 8 piny pro pouzdra DIL8. Integrované obvody budou do patic vloženy až úplně nakonec.

Deska plošného spoje voltmetru obsahuje tři pájitelné svorkovnice. První dvou-kontaktní svorkovnice X1 umožňuje připojení tlačítka, kterým se spíná test LED displeje. Druhá svorkovnice X2 je tří-kontaktní a poskytuje pohodlné připojení napájení celého voltmetru. Třetí kontakt ve svorkovnici X2 je určen pro buzení desetinné tečky, přičemž se předpokládá vhodné spojení s přepínačem. Třetí svorkovnice X3 je čtyř-kontaktní a slouží k připojení vhodného přepínače, jenž umožní přepínání měřících rozsahů.

Z řady 23 rezistorů, které spínají (budí) jednotlivé segmenty LED displeje, si zaslouží pozornost rezistor R1 vedený z pinu 19. Tento rezistor má přibližně poloviční hodnotu odporu proti ostatním odporům v řadě. Je to proto, že segmenty A, B první znakovky je třeba budit současně, aby se rozsvítila číslice 1. Rezistorem pak teče dvojnásobný proud, který způsobuje dvojnásobný úbytek napětí. Proto je nutná poloviční hodnota odporu.

Za zmínku také stojí fakt, že pokud se bude po tomto voltmetru vyžadovat větší přesnost měření, bude třeba obezřetněji volit určité obvodové součástky. Tak například odporové trimry P1 a P2, by měly být kvalitní, cermetové. Dále pak kondenzátory je rovněž vhodné volit kvalitní, plastové, aby neměnili z různých důvodů kapacitu. S keramickými, popřípadě elektrolytickými kondenzátory je možné se smířit jen u stabilizátoru napětí 7805, dále u měniče napětí 7660, a nakonec u vstupního RC filtru (C9). Použité rezistory by měly být vyrobeny s lepší tolerancí (do 1 %) a výhradně metalizované, kvůli lepší stálosti hodnot odporu.

Před pájením součástek je nutné důkladně zkontrolovat správnost a neporušenost jednotlivých plošných spojů. Není na škodu zkušebně zasunout patice pro integrované obvody do vyvrtaných otvorů v desce. Případné nedostatky je nutné opravit. Následuje lakování ať už koupeným lakem na DPS, nebo jinou vhodnou alternativou (kalafuna + nitroředidlo). Teprve po důkladném zaschnutí je možné začít osazovat rezistory a posléze ostatní součástky. Nutno připomenout, že deska plošného spoje LED displeje obsahuje tři drátové propojky!

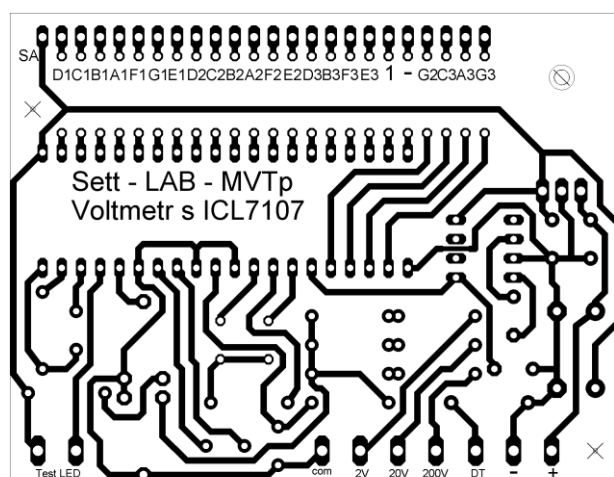
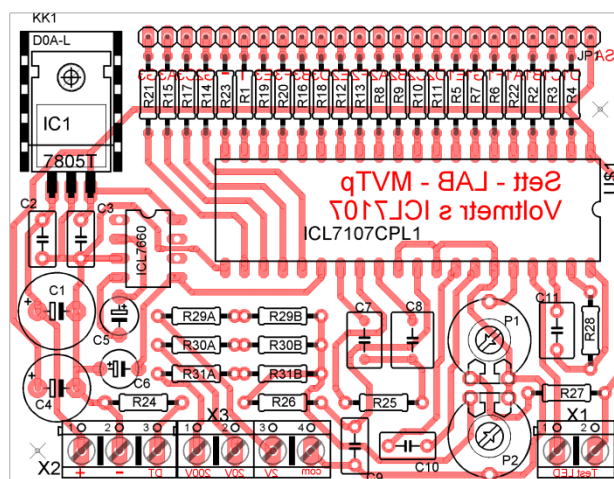
Dalším zásadním krokem, který přispěje k přesnějšímu měření, je očištění pájených spojů od veškerých zbytků pájení (přebytky kalafuny). To se nejlépe provádí "ostřejším" štětečkem namočeným v nitroředidle. Obvod A/D převodníku by na takovéto nečistoty reagoval zhoršenou funkcí, případně by nepracoval vůbec.

Propojování vodičů mezi deskami je nutné věnovat náležitou pozornost, aby nedošlo k záměně segmentů. Orientaci v propojování usnadňuje označení jednotlivých vývodů jak na desce voltmetru, tak na desce LED displeje. Propojovací vodiče od rezistorů k desce displeje je vhodné realizovat svazkem, nebo formou plochého mnohožilového kabelu. Délka vodičů, respektive kabelů bude odpovídat vzdálenosti umístění dvou zmiňovaných desek.

Nakonec se přistoupí k usazení CMOS integrovaných obvodů do připravených patic. U obvodu ICL7660 by s usazením do patice neměly být komplikace. S obvodem ICL7107 je to trochu problém. Zprvu ho doporučuji zasunout do patice jen zkušebně. Napoprvé se to totiž povede zřídka. Pro snazší usazení do patice je vhodné podle rovné plochy (například kovového pravítka) nožičky integrovaného obvodu patřičně přihnout.

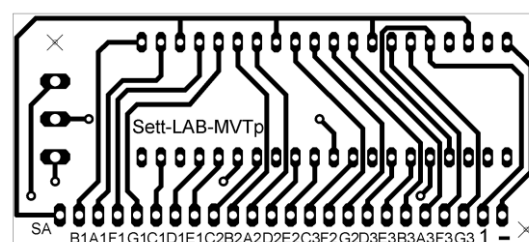
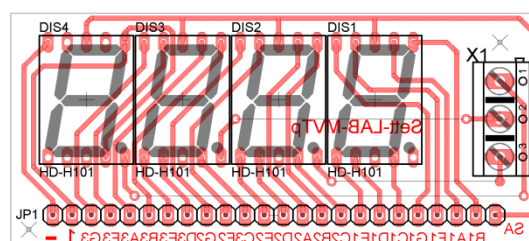
Je-li vše v pořádku, přivedeme napájecí napětí a začneme s nastavením a kalibrací voltmetru. Po zapnutí se na LED displeji rozsvítí tři nuly. Nyní půjde o správné nastavení referenčního napětí na pinu 36. K tomu je zapotřebí přesný voltmetr, nejlépe digitální, který přepneme na rozsah 200 mV. Přívodní vodič od kladné svorky připojíme k pinu 36, zatímco vodič záporné svorky patří ke vstupní svorce tohoto voltmetru s označením minus (pin 35). Trimrem P1 pak nastavíme přesně hodnotu 100 mV. Není-li referenční napětí přesně nastaveno, nelze pak očekávat bezchybnou funkci převodníku ICL7107. K tomu nutno dodat, že se nepředpokládá použití takového napájecího zdroje pro převodník, kde by docházelo ke kolísání napájecího napětí, například vlivem odebíraného proudu. V případě, že napájecí zdroj není dostatečně stabilní, je lepší napájet zvlášť jak LED displej, tak obvod voltmetru. Displej totiž odebírá různě velký proud podle množství rozsvícených segmentů. Odběr samotného převodníku ICL7107 je mnohem menší. V mém případě ale s napájením celého voltmetru (samozřejmě i ampérmetru) není problém, neboť je napájení zajištěno Pb akumulátorem 12 V, přičemž je toto napětí pro převodník ještě stabilizováno obvodem 7805.

7.3.7 Rozmístění součástek a DPS voltmetru v měřítku 1:1 (60×80 mm)



7.3.8 Rozmístění součástek a DPS LED-displeje v měřítku 1:1 (30×70 mm)

Pozn.: Deska plošného spoje LED-displeje pro voltmetr i ampérmetr je naprosto identická.



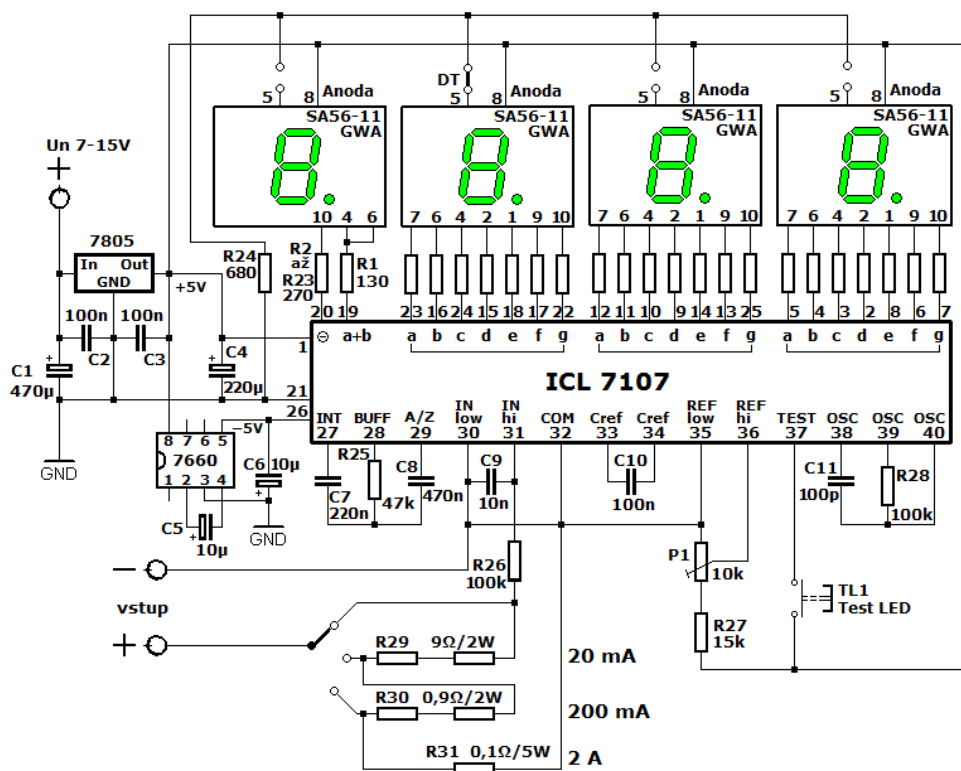
7.3.9 Ampérmetr s obvodem ICL7107

Jedná se o téměř identické zapojení jako je předešlé zapojení voltmetru s převodníkem ICL7107. Jediný rozdíl oproti voltmetru je ve vstupní části ampérmetru. Princip měření proudu je totiž následující. Panelové měřidlo pouze zjišťuje napětí, které vzniká průtokem proudu na čtecím rezistoru, jenž je vložen do měřeného obvodu. Čtecí rezistor má zpravidla velmi malou hodnotu odporu, aby jen nepatrně ovlivňoval činnost zmíněného měřeného obvodu. Na čtecím rezistoru pak vzniká vzhledem k jeho malé velikosti i velmi malý úbytek napětí (v řádu mV), který je ovšem bez problémů měřitelný použitým A/D převodníkem ICL7107.

7.3.10 Parametry ampérmetru:

- Stejnosměrné napájení obvodu – $7 \div 15$ V (optimum 12 V)
- Proudový odběr měřidla – cca 150 mA
- Základní měřicí rozsah převodníku ICL7107 – 200 mV
- Volitelné měřicí rozsahy pro měření proudu – 20 mA, 200 mA a 2 A
- Vstupní odpor měřidla (ampérmetru) – do $10\ \Omega$
- Vstupní svodový proud – cca 1 pA
- Minimální teplotní drift převodníku ICL7107 – $1\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

7.3.11 Schéma zapojení ampérmetru



7.3.12 Popis zapojení a princip činnosti ampérmetru

Ve schématu je dobře vidět rozdíl ve vstupní části ampérmetru. Čtecí rezistor je tu tvořen tzv. sdruženým bočníkem, který obsahuje sériové spojení několika rezistorů (R29 - R31). Jednotlivé rezistory jsou na sobě závislé, proto by jejich ohmický poměr měl být přesný. Takto uspořádaný bočník má výhodu v tom, že vylučuje poškození měřidla přepínáním rozsahů. Ostatní součástky, které jsou připojeny k A/D převodníku, jsou zapojeny naprosto stejně jako u voltmetru.

Určitý problém představuje zhotovení vstupních odporů. Týká se to rezistoru $R_{30} = 0,9 \Omega$, který je určen pro měření ve druhém proudovém rozsahu a dále pak rezistoru $R_{31} = 0,1 \Omega$, jenž měří ve třetím proudovém rozsahu. Ke zhotovení se nejlépe hodí odporový drát (konstantan, kanthal,...), který ovšem musí mít dostatečný průřez, aby se teplem neměnila hodnota jeho odporu. Kanthalový odporový drát má v tomto směru velmi dobré vlastnosti.

Jeden metr tohoto drátu s průměrem 0,65 mm disponuje odporem 4,2 Ω . Jedině rezistor R29 je možné složit ze dvou běžných 2 W rezistorů. Jako optimální se jeví kombinace rezistorů 5,6 Ω + 3,3 Ω . Plošný spoj ampérmetru je navržen tak, aby i rezistor R30 mohl být realizován určitou kombinací dvou rezistorů. Přesto je ale vhodnější, jak již bylo uvedeno, i tento rezistor zhotovit pomocí odporového drátu. V poslední řadě je vhodné zmínit důležitost pečlivého pájení jednotlivých odporů bočnicku. Nekvalitně připájené bočníky by mohly negativně ovlivnit činnost ampérmetru.

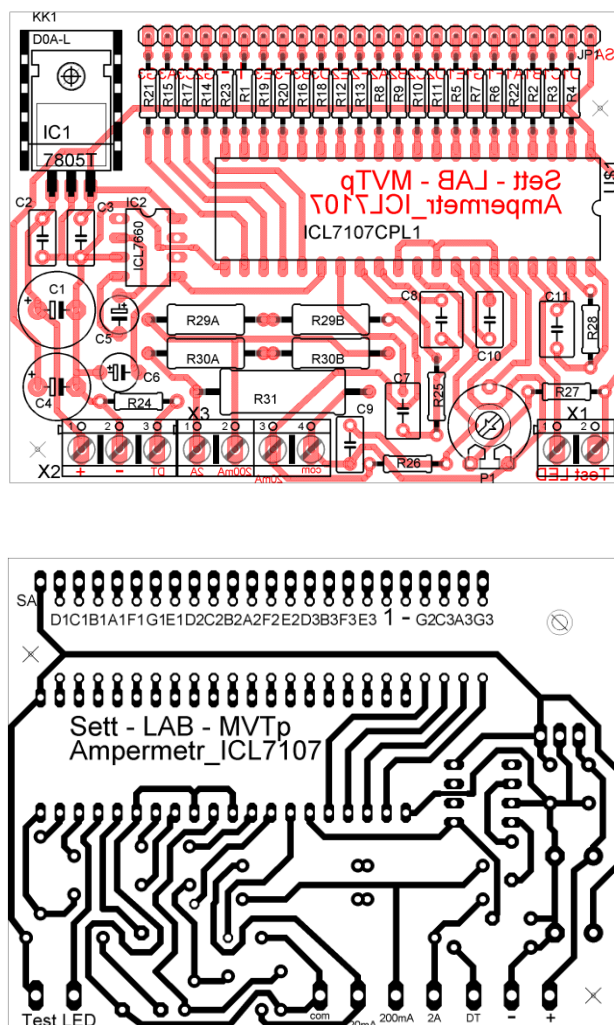
7.3.13 Popis zapojení a princip činnosti ampérmetru

Postup při konstrukci ampérmetru se v celku neliší od zapojování desky digitálního voltmetru. I zde je nutné dávat velký pozor při propojování vodičů, které spojují desku ampérmetru s deskou displeje. Úplně nakonec se opět usazují CMOS integrované obvody do připravených patic. Následuje připojení napájecího napětí a cejchování ampérmetru.

Stejně jako u voltmetru, i zde se musí přesně nastavit referenční napětí na pinu 36. Opět použijeme digitální voltmetr, který přepneme na napěťový rozsah 200 mV. Přívodní vodič od kladné svorky připojíme k pinu 36, zatímco vodič záporné svorky patří ke vstupní svorce ampérmetru s označením minus (pin 35). Trimrem P1 pak nastavíme přesně hodnotu 100 mV. Netřeba připomínat že na tomto nastavení závisí přesnost měřicího přístroje!

Následuje cejchování jednotlivých proudových rozsahů, tj. nastavení přesných hodnot odporů bočníků. Cejchování probíhá následujícím způsobem. V obvodu je nutné zařadit do série přesný i zkoušený ampérmetr. Dále se nastaví potřebná velikost procházejícího proudu změnou napětí říditelného zdroje, nebo změnou odporu zátěže. Podle výsledků měření pak dále upravujeme odpory bočníků. Správně ocejchovaný ampérmetr musí na displeji ukazovat stejnou proudovou hodnotu, jakou ukazuje cejchovní, tedy přesný ampérmetr.

7.3.14 Rozmístění součástek a DPS ampérmetru v měřítce 1:1 (60×80 mm)



7.3.15 Zhodnocení digitálního voltmetru / ampérmetru s ICL7107

Konstrukce digitálního voltmetru i ampérmetru s A/D převodníkem ICL7107 je opět snadná a pro záměr měřit napětí a proud FV panelu má plně dostačující vlastnosti. Seznam použitých součástek pro digitální voltmetr je uveden v příloze viz bod 13.2. Seznam použitých součástek pro digitální ampérmetr je též uveden v příloze viz bod 13.3.

7.4 Volt/ampér-metr pro osobní počítač

7.4.1 Popis V/A-metru

Jedná se o přístroj [28], který je jednoduchým doplňkem pro osobní počítač umožňující měření a záznam napětí i proudu. K počítači se připojuje prostřednictvím USB nebo standardního sériového portu. Přístroj měří současně obě veličiny a sám volí vhodný rozsah měření. Nevyžaduje externí napájení, neboť se sám napájí z USB portu osobního počítače.

Konstrukce V/A-metru využívá mikrořadič, jenž obsahuje A/D převodník, který je dále doplněn o obvody vstupního děliče, zesilovačů, referenčního napětí a sériového rozhraní. Při konstrukci byl kladen důraz na výběr běžně dostupných nenáročných součástek tak, aby si mohl přístroj postavit a oživit i průměrně zdatný amatér.

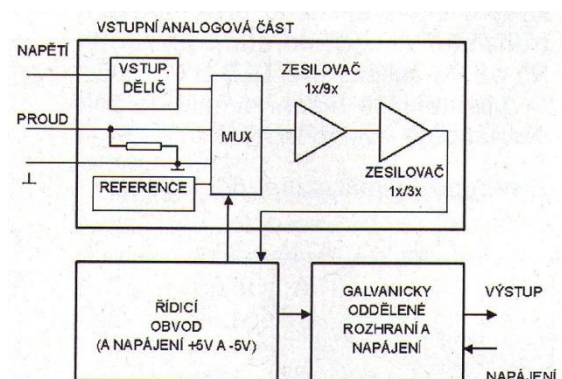
7.4.2 Parametry V/A-metru:

- Měřené veličiny – ss nebo efektivní hodnoty střídavého napětí a proudu
- Počet napěťových rozsahů – 8 (viz dále)
- Počet proudových rozsahů – 4 (viz dále)
- Efektivní rozlišení převodníku – cca 9 bitů (± 300 digit)
- Maximální měřená frekvence střídavého napětí – do 1 kHz
- Odpor napěťového vstupu – 10 M Ω
- Odpor proudového vstupu – 0,5 Ω nebo 5 Ω
- Přepínání rozsahu – automaticky
- Přepínání ss/stř – automaticky
- Maximální vstupní napětí – 330 V
- Maximální vstupní proud – 2 A (krátkodobě až 6 A)
- Přesnost měření – 1 % (závisí na nastavení přístroje)

Pozn.: Velikosti rozsahů nejsou odstupňovány po dekádách, ale jsou vždy přibližně trojnásobkem předchozího rozsahu.

7.4.3 Popis zapojení V/A-metru

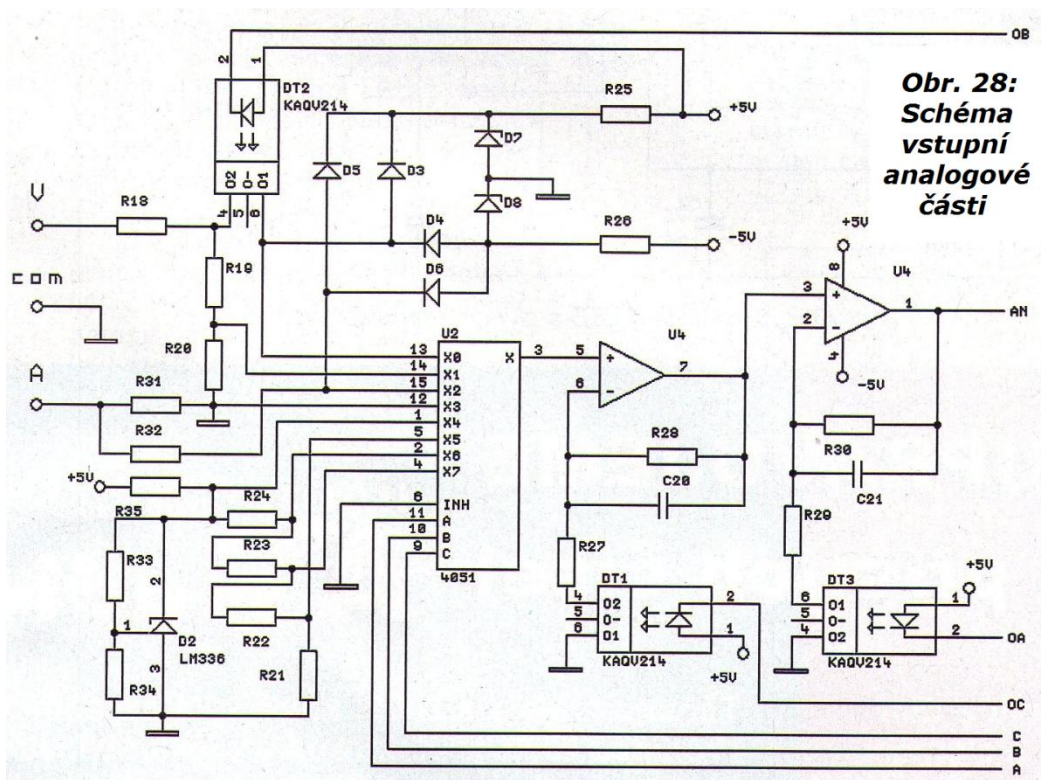
Zapojení má několik samostatných částí znázorněných v blokovém schématu na následujícím obr. 27.



Obr. 27: Blokové schéma

Centrální řídicí obvod v tomto měřicím přístroji zastupuje jediný integrovaný obvod – osmibitový mikrořadič. Přes opticky oddělené rozhraní odesílá mikrořadič jednosměrně naměřené hodnoty do počítače. Z rozhraní USB je také zajištěno napájení celého měřidla. Aby

byl přístroj použitelný v běžné praxi, je nutné v obvodu napájení použít DC-DC měnič pro kompletní galvanické oddělení od počítače. Společný nulový potenciál s osobním počítačem by silně omezil použití měřidla. Hlavní analogová část je zobrazena na obr. 28.



Obr. 28: Schéma vstupní analogové části

Hlavní analogová část je soustředěna kolem vstupního multiplexeru. Jeho vstupy umožňují volbu měření napětí ze vstupního děliče napětí nebo proudového bočníku. Dále je možné přepnout vstup měřidla na měření nulového napětí nebo vhodného referenčního napětí. Za multiplexerem jsou ještě dva zesilovače, které pracují buď jako sledovač, nebo zesilovač s definovaným zesílením.

Pro maximální přesnost měření se využívá tzv. autokalibrace před každým měřením. Mikrořadič změří a vyšle do počítače hodnoty odpovídající nulovému napětí a referenčnímu napětí vhodnému pro zvolené zesílení obou zesilovačů. Eliminuje se tím vliv kolísání vlastností obou zesilovačů a převodníku A/D, který má jako referenci použito napájecí napětí mikrořadiče.

Ovládání vstupů zajišťuje multiplexer U2 ve spolupráci s optickým spínačem MOS DT2. Při měření napětí na menších rozsazích je sepnut DT2 a toto napětí je měřeno buď přímo, nebo ještě se zvoleným zesílením.

Pro vyšší napětí je měřená hodnota brána až z rezistoru R20 a DT2 není sepnut. Při měření proudu je napětí snímáno z rezistoru R31 přes ochranný rezistor R32. Diody D3 až D8 vytvářejí ochranu vstupů při jejich přetížení větším napětím. Rezistory R18 a R32 zabezpečují, že vstupy multiplexeru nebudou nikdy připojeny přímo na vstupní svorky měřiče. I když by pro měření malých napětí bylo lepší, aby multiplexer připojil vstup přímo, je vstupní dělič připojen vždy a napětí je znovu po vstupním děliči zesíleno.

Nejvyšší referenční napětí 2,5 V je vytvořeno na integrovaném obvodu D2. V děličích na rezistorech R21 až R24 jsou vytvořena další referenční napětí a to 1 V; 0,32 V; 0,1 V.

Je-li nutné vstupní napětí zesílit, zapne mikrořadič jeden nebo oba zesilovače z integrovaného obvodu U4. Pokud nejsou optospínače DT1 a DT3 sepnuty, pracují oba operační zesilovače jako sledovač se zesílením 1. Sepnutím optického spínače MOS se zapojení změní na zesilovač s nastaveným zesílením daným zpětnovazebními rezistory. Kondenzátory C20 a C21 zabraňují zakmitání operačních zesilovačů.

Například pro napěťové rozsahy je možné vybrat z následujících kombinací (zesílení je pouze přibližné, protože je zanedbán vnitřní odpor spínačů):

Rozsah	Dělič	Zesilovač 1	Zesilovač 2
0,6 V	1/5,3	9,2×	3,2×
2 V	1/5,3	9,2×	1×
5 V	1/5,3	1×	3,2×
11 V	1/101	9,2×	3,2×
17 V	1/5,3	1×	1×
36 V	1/101	9,2×	1×
100 V	1/101	1×	3,2×
330 V	1/101	1×	1×

Proud se měří snímáním napětí na rezistoru R31. Zde je multiplexer přepnut do jediné polohy a měření menších proudů se zajistí pomocí zapnutých zesilovačů. Aby bylo možné měřit proudy v nejběžnějších rozsazích, byla jako kompromisní odpor snímacího rezistoru zvolena velikost 0,5 Ω . Pak je možné krátkodobě měřit proud až 6 A. Pozor! Při takovém proudu je snímací rezistor složený ze dvou paralelních 1 Ω značně přetížen. Je nutné proto měřit jenom krátce. Při delším měření není vhodné překračovat proud 2 A.

Rozsah	Zesilovač 1	Zesilovač 2	
220 (22) mA	9,2×	3,2×	
700 (70) mA	9,2×	1×	
2 (0,2) A	1×	3,2×	
*6 (0,6) A	1×	1×	*(krátkodobě)

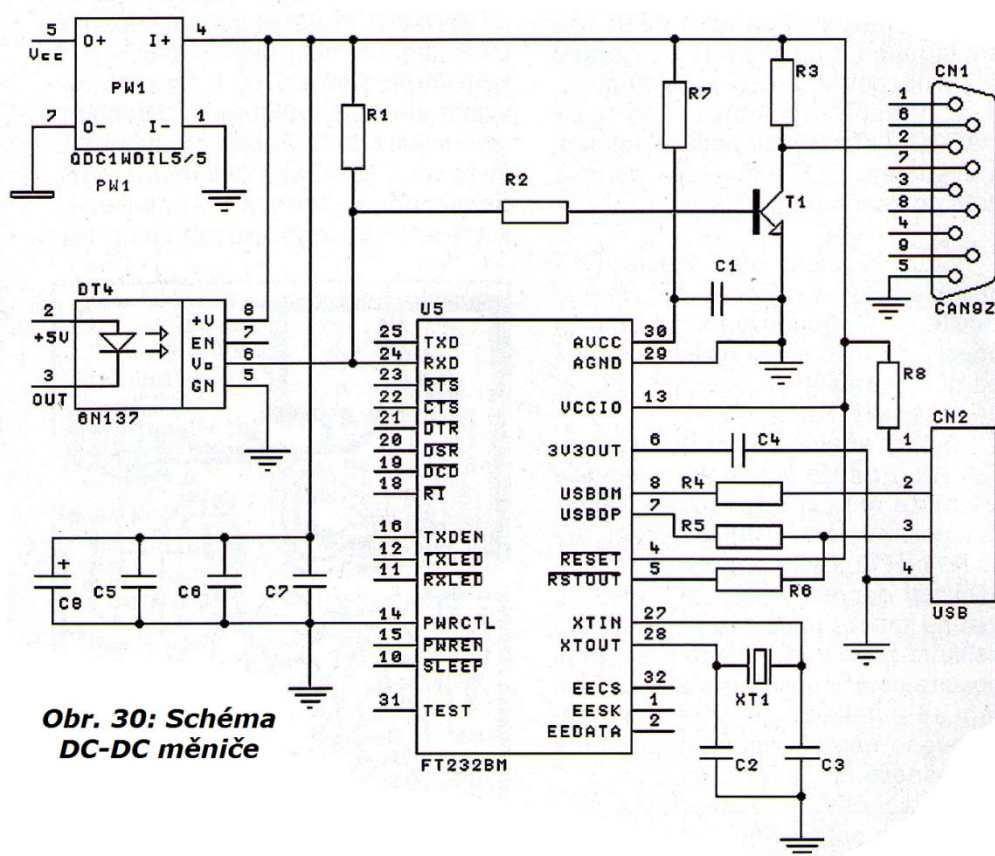
Pokud by se měření vyšších proudů nevyužilo a dávala by se přednost měření menších proudů je možné na pozici R31 osadit rezistor s odporem 10× větším – 5 Ω . Pak se také desetkrát zmenší rozsahy měření proudu – hodnoty uvedené v závorce. Zvolená velikost rezistoru R31 se nastaví na vstupu mikrořadiče (viz dále).

Obr. 29: Schéma řídicí části s obvodem Atmel

Jediný analogový vstup je označen AN. Protože napětí ze zesilovače U4 může mít jak kladnou, tak zápornou polaritu, je ve vstupu zařazen dělič R11, R12. Dva rezistory se stejnou velikostí odporu zajistí, že napětí do vstupu mikrořadiče má již správnou velikost a polaritu. Přitom se však posune nula. Způsob měření, při kterém se autokalibruje, včetně měření nulového napětí, eliminuje případné nepřesnosti děliče R11, R12.

V řídicí části je ještě přidána část stabilizace napájecího napětí. Použitý typ DC-DC měniče dává na výstupu napětí větší než 6 V, proto velikost napájecího napětí upravuje stabilizátor s malým úbytkem U6. Pro napájení analogových částí bylo potřeba i záporné napětí. To vytváří měnič U3 v katalogovém zapojení [26].

Poslední částí V/A-metru je rozhraní k osobnímu počítači (obr. 30). Signál OUT je oddělen rychlým optočlenem DT4. Port USB zajistí napájení celého zařízení. Protokol komunikace na USB sběrnici není jednoduchý a pro jeho implementaci by bylo potřeba využít složitější mikrořadič. Problém komunikace byl vyřešen použitím obvodu U5 FT232BM (převodník z USB na standardní sériovou komunikaci), který je v katalogovém zapojení [30]. Na desce je připraveno i místo pro rozhraní na připojení V/A-metru do sériového portu COM. Součástky R2, R3, R7, T1 a CN1 při použití USB portu nemusíme osazovat.



Obr. 30: Schéma DC-DC měniče

Jejich osazení přichází do úvahy, jestliže nebudeme chtít využívat USB port. Pak bychom neosadili U5, R4, R5, R6, C2, C3, C4, XT1. Pak ale nesmíme zapomenout, že na vývody 1 a 4 konektoru CN2 je nutné přivést napájení 5 V.

7.4.4 Postup osazení DPS a oživení obvodu V/A-metru

Celé zařízení se nachází na jediné jednostranné desce s plošnými spoji s 1 drátovou a 2 (nebo 3) SMD propojkami. Většina pasivní součástek je v provedení SMD. Výjimku tvoří rezistory, které určují přesnost hotového přístroje. Jsou to rezistory vstupního děliče, děliče u napěťové reference a snímací rezistor proudu. Jejich přesnost by měla být lepší než 1 %. Doporučuji je vybírat z více kusů pomocí ohmmetru s vyšší třídou přesnosti.

Mikrořadič můžeme osadit do desky již naprogramovaný nebo jej naprogramovat sériovým režimem programování (ISP). Po osazení všech součástek připojíme mezi vývody 1 a 4 konektoru CN2 napětí ze zdroje +5 V. Odběr by se měl pohybovat kolem 60 mA. Při naprogramovaném mikrořadiči začne pravidelně asi dvakrát za sekundu blikat kontrolní LED.

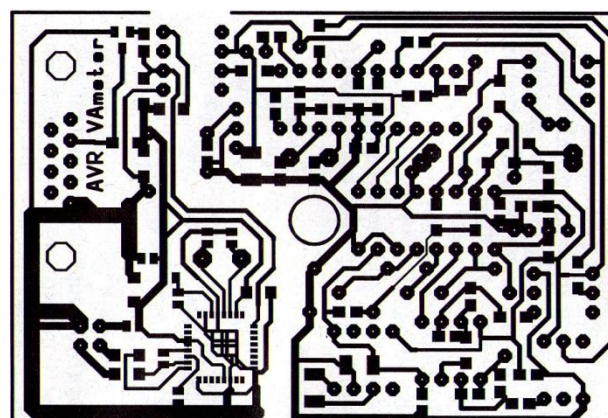
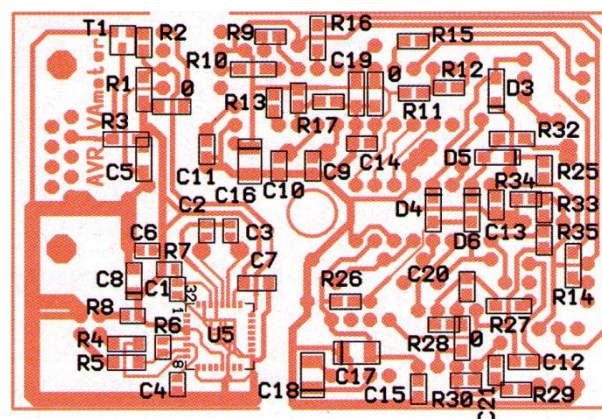
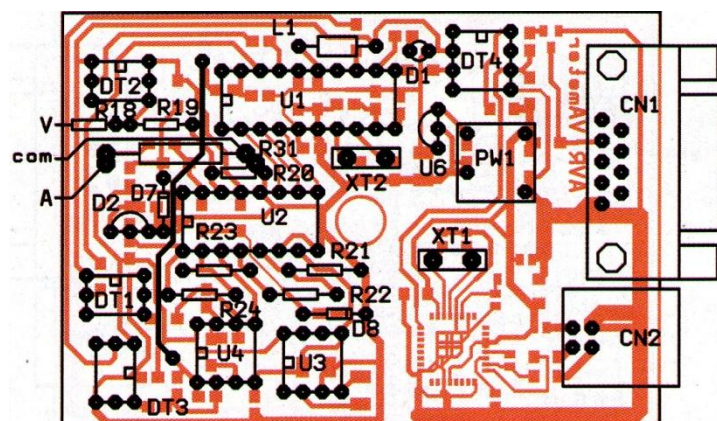
Po co nejpečlivějším výběru rezistorů R18 až R20 a R31 můžeme přistoupit k nastavení referenčních napětí. Nejprve zkontrolujeme, zda je na D2 napětí 2,5 V. Pro obvod referenčního napětí uvedený v rozpisu materiálu (LM336) bude asi nutné dostavit napětí malou změnou R33 nebo R34. Pokud bychom měli k dispozici lepší referenci (např. LT1009CZ od Linear Technology), pak rezistory R33 a R34 nemusíme vůbec osazovat.

Postupně kontrolujeme napětí na rezistorech R21 až R23. Zde by se měla objevit napětí 0,1 V; 0,32 V a 1 V. Pomocí přesného referenčního voltmetru je nutné tato napětí dostavit tak, aby byla co nejblíže uvedeným hodnotám.

Popisovaná kalibrace však není nezbytně nutná. Není-li možnost vybírat přesné rezistory, je možné použít běžné součástky. Přístroj pak nebude mít velkou vlastní přesnost.

Porovnáním s jiným přesným měřicím přístrojem můžeme však jeho přesnost zlepšit pomocí tzv. softwarové kalibrace (viz dále). Softwarová kalibracemi má drobnou nevýhodu v tom, že V/A-metr bude vyžadovat přenášení kalibračního souboru na každý počítač, se kterým bude spolupracovat.

7.4.5 Deska plošných spojů V/A-metru v měřítku 1:1 (55×80 mm)



7.4.6 Programové vybavení

Programové vybavení je složeno ze dvou spolupracujících částí. Program v mikrořadiči uskutečňuje jednotlivá měření a posílá data do počítače. Každá hodnota je měřena celkem 32× v průběhu 20 milisekund. Data jsou odesílána po blocích rychlostí 19,2 kBd. Podrobnosti o formátech dat jsou k nalezení v pramenu [28].

Program včetně zdrojových kódů je pro mikrořadiče ATtiny26L k dispozici na stránkách www.aradio.cz. Zdrojový program byl napsán ve vývojovém prostředí "AVR Studio 4". Při případném překladu je vhodné vypnout optimalizace překladače. Během programování nastavíme pojistky v mikrořadiči tak, aby pracoval s krystalem 6 MHz, WDT vypnut a měl povolený RESET.

Aby přístroj spolupracoval s PC, musíme splnit dva předpoklady: Při použití sběrnice USB zkontrolujeme, zda náš operační systém má vestavěné ovladače VCP pro převodník FT232BM. Většina nových systémů by měla ovladače instalovat sama, pro další systémy jsou ovladače k stáhnutí na stránce www.ftdichip.com.

Připojený V/A-metr se při správné funkci objeví jako další sériový port počítače, což můžeme zkontrolovat v „Ovládacích panelech“, ve „Správci zařízení“, v části „Porty“. Na počítači musí běžet program pro zobrazení měřených dat. Můžeme si ho samozřejmě napsat sami podle svých představ nebo použít zmiňovaný připravený program pro Windows.

Uvedený program pro osobní počítač je velmi jednoduchý. Není nutné jej instalovat. Stačí umístit program do vhodného adresáře a spustit. Před spuštěním nejprve připojíme V/A-metr k počítači a zkontrolujeme, je-li nový COM port instalovaný v systému. V případě, že program najde v pracovním adresáři soubor „*VAmetUSB.cal*“, dokáže z tohoto souboru vyčíst kalibrační konstanty pro jednotlivé rozsahy. Jedná se o textový soubor, který má v prvním řádku 12 celočíselných násobících konstant pro jednotlivé rozsahy.

Každá konstanta má 4 číslice s pomyslnou desetinnou čárkou za první číslicí, tzn. číslo 1000 představuje konstantu 1,000. Pořadí konstant by mělo být zřejmé po nahlédnutí do připojeného ukázkového souboru. Načtení kalibračního souboru je signalizováno hlášením „cal“ v části „Specification“.

Složitější zpracování dat je přesunuto do osobního počítače. Každé měření na určeném vstupu multiplexeru je předáváno jako 32 hodnot změřených převodníkem A/D mikrořadiče v době 20 milisekund. Po přijetí bloku dat je nejprve vypočítána hodnota odpovídající nulovému a referenčnímu napětí (aritmetickým průměrem). Pak se odečtením hodnoty pro „nulu“ od 32 hodnot pro vstupní napětí určí, zda jde o stejnosměrné nebo střídavé napětí. Vlastní výpočet efektivní hodnoty probíhá podle vztahu:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n U_k^2}{n}}$$

Na závěr se velikost zobrazeného napětí upraví porovnáním se změřenou hodnotou referenčního napětí, započítáním vstupního děliče (nebo velikosti snímacího odporu proudu) a případně i kalibrační konstantou z načteného souboru.

7.4.7 Zhodnocení V/A-metru

V/A-metr je pro účel monitorování napětí a proudu FV panelu velmi vhodný přístroj. Svojí jednoduchostí, odolností a vyhovující přesností plně postačí i pro jiná běžná amatérská měření. Lze ho doporučit pro měření při opravách, oživování a sběru většího počtu hodnot do souboru v počítači. Jednou z výhod je především spojení s počítačem a přímý záznam naměřených dat do souboru. Zpracování získaných dat a vytváření různých grafů po importu dat do programu, jako je Excel v MS Office nebo Calc v Open Office.org je pak velmi snadné. Další výhodou je možnost měřit při vhodném zapojení současně velikost napětí i proudu. Seznam součástek je uveden v příloze viz bod 13.4.

7.5 Fotovoltaický napěťový regulátor

7.5.1 Popis fotovoltaického regulátoru

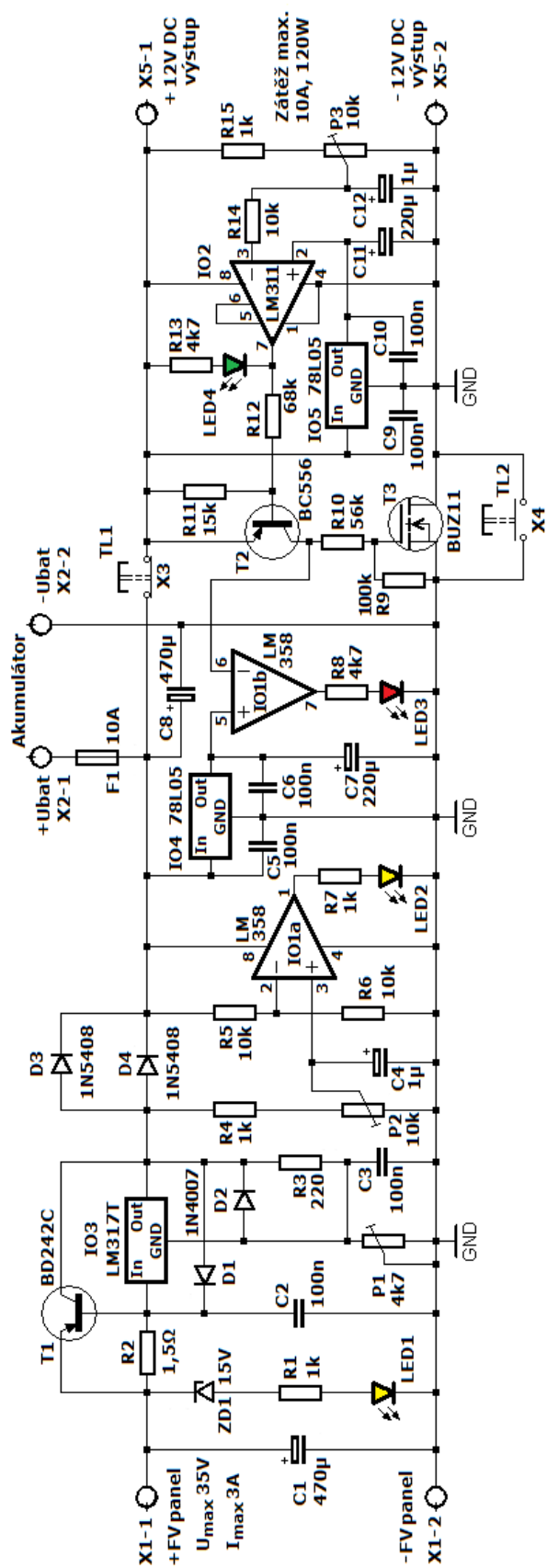
Regulátor napětí z fotovoltaického panelu (dále jen FV) slouží ke stabilizaci napětí pro nabíjení akumulátoru a napájení spotřebičů, přičemž pracuje s výstupním napětím 12V, které je možné jednoduše nastavit. FV regulátor umožňuje, aby bylo nabíjení akumulátoru efektivní a nedocházelo k nežádoucímu přebíjení. V případě nabitého akumulátoru poskytuje regulátor režim udržovacího nabíjení. Disponuje také funkcí odpojení zátěže při nízkém napětí akumulátoru a chrání tak akumulátor proti hlubokému vybíjení.

FV regulátor umožňuje snadnou realizaci kombinace ve složení FV panel, akumulátor a měnič 12/230 V, jenž může posloužit jako náhradní síťový zdroj elektrické energie tam, kde není možné používat elektrickou energii z běžné rozvodné sítě.

7.5.2 Specifikace FV regulátoru

- Maximální vstupní napětí ($FV_{\text{panel}} - U_{\text{max}}$) – 35 V
- Maximální vstupní proud (z FV panelu - I_{max}) – 3 A
- Proudový odběr regulátoru – do 15 mA (při 12 V, klidový stav)
- Nastavitelné nabíjecí (popř. napájecí) napětí regulátoru – 10 ÷ 15 V
- Výstupní napětí (podle nastavení regulátoru) – 10 ÷ 15 V
- Maximální výstupní proud (dáno použitou pojistkou F1) – 10 A
- Maximální zátěž na výstupu regulátoru – do 120 W
- Nastavitelná LED indikace dobíjení akumulátoru
- Nastavitelné odpojení zátěže při nízkém napětí- 8 ÷ 11 V
- Manuální připojení / odpojení zátěže od regulátoru a AKU
- Indikace napětí na FV panelu (nad 17 V)
- Indikace nabíjení akumulátoru
- Indikace připojení / odpojení zátěže
- Ochrana proti nadměrnému přebíjení akumulátoru
- Ochrana proti hlubokému vybití akumulátoru

7.5.3 Schéma zapojení FV regulátoru



7.5.4 Popis zapojení a princip činnosti FV regulátoru

Základem fotovoltaiického nabíjecího regulátoru je regulovatelný napěťový stabilizátor LM317TS, který je zapojen v základním doporučeném zapojení od výrobce podle katalogového listu [35]. LM317 stabilizuje napětí lépe než stabilizátory s pevným napětím řady 78xx a má také vestavěnou dokonalejší ochranu proti tepelnému a proudovému přetížení. Stabilizátor LM317 umožňuje regulovat výstupní napětí od 1,2 do 35 V a současně dodávat výstupní proud do 1,5 A, přičemž výstupní napětí je ještě sniženo o úbytek napětí potřebný pro vlastní funkci regulátoru.

Akumulátor je tedy nabíjen konstantním napětím, jenž je možné nastavit pomocí odporového trimru P1. V případě vybitého akumulátoru je FV panel schopen dodávat svůj maximální proud. S rostoucím stupněm nabití akumulátoru roste i jeho napětí, a tím se snižuje rozdíl napětí mezi napětím akumulátoru a konstantním výstupním napětím ze stabilizátoru LM317, což má za následek menší nabíjecí proud. Díky stabilizátoru napětí LM317, který zaručí výstupní nabíjecí napětí na hodnotě napětí plně nabitého akumulátoru, ***nemůže docházet k nežádoucímu nadměrnému přebíjení akumulátoru.***

Je-li požadován výstupní proud nabíječky větší než 1,5 A, ostatně jako v tomto případě, je potřeba regulátor LM317 proudově posílit výkonovým tranzistorem T1 typu PNP. Princip proudového posílení je jednoduchý. Pro proud do asi 1 A je využit stabilizátor LM317 a tranzistor T1 je uzavřen. Při zvýšení odběru vzniká větší úbytek na čtecím rezistoru R2 a díky němu se začíná otevírat i tranzistor T1. Při proudu větším než 1 A teče stabilizátorem jen malá část proudu a většina teče přes tranzistor T1. Při použití tranzistoru BD242 je možné z výstupu odebírat max. 3 A, kdežto při použití BD244 je maximální výstupní proud až 6 A.

Při velkém proudovém odběru je vhodné opatřit regulátor napětí LM317 a výkonový tranzistor T1 chladičem. Diody D1 a D2 u stabilizátoru slouží jako ochrana proti poškození IO při vybíjení blokovacích kondenzátoru do vývodů stabilizátoru. Blokovací kondenzátory slouží jako ochrana proti krátkodobým náhodným špičkám.

Kondenzátor C1 je použit jako filtr zmírňující drobné kolísání napětí na fotovoltaickém panelu, jenž je způsobené proměnlivým slunečním zářením. Obdobnou funkci plní i kondenzátor C8, který je připojen paralelně k akumulátoru.

Sériové spojení Zenerovy diody ZD1, rezistoru R1 a diody LED1 tvoří **indikaci napětí na FV panelu**. LED1 indikuje dostatečné napětí FV panelu pro nabíjení akumulátoru. LED začne svítit při napětí asi 17 V na výstupu z FV panelu. Je to dáno tím, že LED diodě je předřazena Zenerova dioda ZD1 se stabilizačním napětím 15 V a na LED1 je úbytek napětí asi 2 V. Indikované napětí může být upraveno změnou Zenerky s příslušným zenerovým napětím. Pokud bude použita Zenerova dioda se závěrným napětím 13 V, tak bude LED1 svítit již při napětí 15 V z FV panelu.

Dioda D3 slouží jako ochrana proti nežádoucímu vybíjení akumulátoru a to následujícím způsobem. Dojde-li k tomu, že napětí na fotovoltaickém panelu vlivem nedostatečného osvětlení, ať už přes den nebo v noci, poklesne pod určitou napětíovou úroveň (např. pod 12 V), bude mít akumulátor dočasně větší napětí než FV panel. Elektrický proud v uzavřeném obvodu vždy teče z většího potenciálu do menšího. Došlo by tedy k tomu, že by elektrický proud tekł z akumulátoru do FV panelu. A tomuto nežádoucímu jevu právě zabráňuje zmíněná dioda D3.

Dalším prvkem FV regulátoru je integrovaný obvod LM358 [36], který zde slouží jako indikační médium. Jedná se o integrovaný obvod v pouzdru DIP8, jenž obsahuje dva nízkopříkonné operační zesilovače. První operační zesilovač IO1a slouží k indikaci nabíjení akumulátoru a je použit jako komparátor. Komparátor IO1a porovnává napětí před diodou D3, tj. na straně výstupu stabilizátoru napětí LM317, s napětím za diodou D3, čili na straně akumulátoru.

Před diodou D3 je zapojena větev obsahující rezistor R4, odporovým trimr P2 a kondenzátor C4, která tvoří odporový dělič, na němž vzniká určitý úbytek napětí, který je možné nastavit právě pomocí trimru P2 (viz nastavení FV regulátoru). Část úbytku napětí vzniklá na trimru P2 je přivedena na neinvertující vstup (+) komparátoru IO1a.

Za diodou D3 je zapojeno sériové spojení rezistorů R5 a R6, které tvoří dělič napětí. Jelikož je tento dělič tvořen rezistory o stejné velikosti, vzniká na každém z rezistorů přibližně polovina napětí, které je aktuálně přivedeno na dělič napětí. Tato polovina napětí na děliči je přivedena na invertující vstup (-) komparátoru IC1a. **Indikace dobíjení akumulátoru** funguje následovně.

Je-li napětí na FV panelu dostatečně velké a před diodou D3 (na anodě) je úbytek napětí vůči zemi větší o 0,7 V, nežli za diodou D3 (na katodě), je pak tato dioda pólována v propustném směru, takže přes ni teče proud rovnou do akumulátoru a ten se dobíjí. V tomto případě je na neinvertující vstup (+) komparátoru IO1a přivedeno větší napětí než na invertující vstup (-), takže na výstupu tohoto komparátoru bude přibližně jeho napájecí napětí, které zapříčiní rozsvícení indikační diody LED2.

Dojde-li naopak k tomu, že napětí na fotovoltaickém panelu vlivem nedostatečného osvětlení, ať už přes den nebo v noci, poklesne pod určitou napěťovou úroveň, bude mít akumulátor dočasně větší napětí než FV panel. To znamená, že před diodou D3 napětí poklesne a bude menší než napětí za diodou D3. Tuto skutečnost zaznamená komparátor IO1a, přičemž následně nastaví na výstupu napětí blízké nule a indikační dioda LED2 signalizující dobíjení zhasne. Tímto způsobem funguje indikace nabíjení akumulátoru.

Druhý operační zesilovač IO1b v integrovaném obvodu LM358 slouží k indikaci odpojení zátěže od FV regulátoru. Na jeho neinvertující vstup (+) je přivedeno referenční konstantní napětí 5 V z monolitického integrovaného stabilizátoru 78L05 (IO4). Stabilizátor je zapojen podle doporučení v katalogovém listu od výrobce [37]. Invertující vstup komparátoru IO1b je připojen na kolektor tranzistoru T2. Princip **indikace odpojení zátěže** je následovný.

Pokud je zátěž připojena, jsou tranzistory T2 a T3 otevřeny a na invertující vstup komparátoru je přivedeno takové napětí, které velikostně odpovídá napětí na akumulátoru, přičemž je toto napětí zmenšeno o úbytek napětí na tranzistoru T2 (U_{EC}). V tomto stavu má tedy komparátor IO1b připojeno na invertujícím vstupu větší napětí než na neinvertujícím (cca $12\text{ V} > 5\text{ V}$) z čehož vyplývá, že se na výstupu komparátoru vyskytne napětí blízké 0 V a proto indikační dioda LED3 signalizující odpojení zátěže nesvítí!!!

V opačném případě dojde vlivem nízkého napětí na akumulátoru k odpojení zátěže od FV regulátoru (včetně akumulátoru) a to tak, že se právě tranzistory T2 a T3 zavřou (viz Princip odpojení zátěže), čímž se odpojí i napětí hlídané komparátorem IO1b. Komparátor má tedy v tomto stavu na neinvertujícím vstupu větší napětí než na invertujícím (cca $0\text{ V} < 5\text{ V}$), takže na výstupu tohoto komparátoru IO1b bude nyní přibližně jeho napájecí napětí, které zapříčiní rozsvícení indikační diody **LED3 signalizující odpojení zátěže**.

7.5.5 Princip připojení / odpojení zátěže od akumulátoru

Doba života běžného olověného akumulátoru se podstatně zkrátí, je-li akumulátor hluboce vybíjen [39]. Proto poslední část FV regulátoru, ze které je možné odebírat energii z akumulátoru, je tvořena obvodem odpojovače zátěže. Srdcem odpojovače je integrovaný obvod LM311 v pouzdře DIP8 [38]. Jedná se o operační zesilovač, který opět plní funkci komparátoru, jenž hlídá moment odpojení zátěže od FV regulátoru včetně akumulátoru a brání tak nežádoucímu hlubokému vybíjení akumulátoru. Na neinvertující vstup (+) komparátoru IO2 je přivedeno referenční konstantní napětí 5 V z monolitického integrovaného stabilizátoru 78L05 (IO5). Stabilizátor je opět zapojen podle doporučení v katalogovém listu od výrobce. Na invertující vstup (-) komparátoru je přivedeno určité hlídané napětí, které je nastavitelné pomocí odporového děliče, jenž je tvořen rezistory R14 a R15, dále odporovým trimrem P3 a nakonec kondenzátorem C12. Princip odpojení zátěže od FV regulátoru, tedy i akumulátoru, je následující.

Napětí na výstupu se porovnává s konstantním výstupním napětím stabilizátoru IO5. Je-li napětí akumulátoru dostatečné k napájení zátěže, je na invertujícím vstupu komparátoru větší napětí než na neinvertujícím vstupu (trimrem P3 nastavená hodnota např. $6\text{ V} > 5\text{ V}$ ze stabilizátoru IO5) a na výstupu komparátoru je napětí blízké 0 V. Tranzistor T2 typu PNP je otevřen a přivádí tak na řídicí elektrodu unipolárního tranzistoru T3 kladné napětí, které jej udržuje v otevřeném stavu. Ostatně **připojení zátěže signalizuje indikační dioda LED4**, která svítí, neboť je polarizovaná v propustném směru.

Vybíjením akumulátoru se zmenší jeho napětí, přičemž poklesne i hlídání napětí na děliči ($R14 + R15 + P3$). Nyní má komparátor na invertujícím vstupu menší napětí než na neinvertujícím (na trimru např. $3\text{ V} < 5\text{ V}$ ze stabilizátoru), komparátor se překlopí a tranzistory T2 a T3 se zavřou, v důsledku čehož odpojí zátěž. V tomto stavu obvod neodebírá z akumulátoru žádný proud. I když se postupem času akumulátor opět nabije z FV panelu, tranzistor T2 a T3 zůstanou uzavřeny a zátěž odpojena, protože operační zesilovač LM311 a stabilizátor IO5 mají odpojené napájení. V tomto případě je nutné zátěž manuálně připojit stiskem tlačítka TL2. Tlačítko TL1 slouží k manuálnímu odpojení zátěže.

7.5.6 Nastavení FV regulátoru

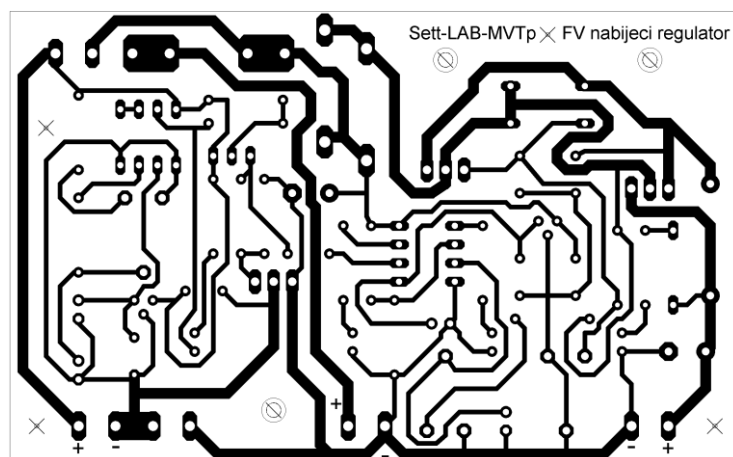
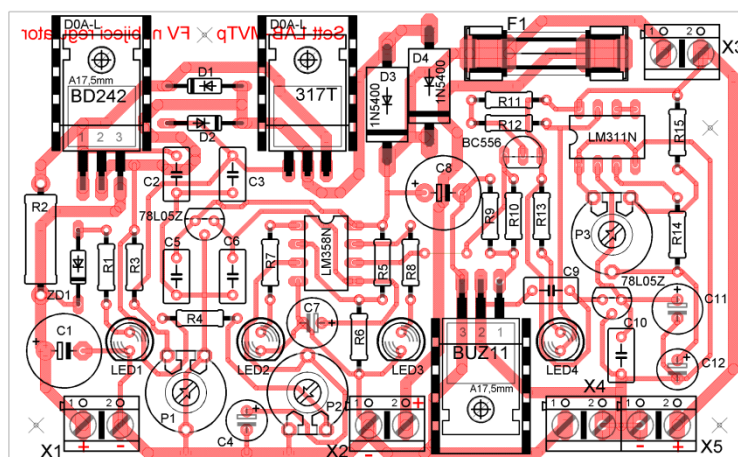
Pro správnou funkci FV regulátoru je nutné před prvním připojením akumulátoru a zátěže správně nastavit výstupní napětí ze stabilizátoru LM317. Na vstupní svorky pro FV panel připojíme místo FV panelu regulovatelný stejnosměrný stabilizovaný zdroj s nastavitelným napětím do 30V (záleží na použitém typu FV panelu a jeho max. napětí). Většina FV panelů s výkonem od 20 do 50 W mají výstupní napětí naprázdno kolem 20V. Pokud se FV panel zatíží, jeho výstupní napětí poklesne kupříkladu na hodnotu 17 – 20V. A právě v tomto rozmezí (17-20V) nastavíme velikost napětí na SS zdroji. Na svorky pro akumulátor připojíme voltmetr a odporovým trimrem P1 nastavíme požadované výstupní napětí v rozmezí 13,8 až 14,2 V (viz bod 7.8.1 doporučené nabíjecí napětí Pb akumulátoru).

Dále je zapotřebí nastavit indikaci nabíjení akumulátoru, kterou provádí komparátor IO1a, jenž porovnává napětí před diodou D3, tj. na straně výstupu stabilizátoru napětí LM317, s napětím za diodou D3, čili na straně akumulátoru. Nastavení vyžaduje voltmetr a dvojitý stejnosměrný regulovatelný zdroj, nebo jeden SS zdroj a nabitý akumulátor 12V. V případě možnosti použití dvou zdrojů postupujeme následovně. Na svorky pro akumulátor připojíme jeden výstup ze stejnosměrného zdroje a nastavíme na něm napětí na 12V. Druhý výstup ze stejnosměrného zdroje připojíme na anodu diody D3 a na zápornou svorku pro FV panel, přičemž na něm nastavíme napětí na 12V a budeme ho postupně zvyšovat na 13V. Odporový trimr P2 pak nastavíme do takové polohy, aby se indikační dioda LED2 rozsvítila právě v okamžiku, kdy se napětí na anodě diody D3 zvýšilo právě na 12,7 – 13V. V případě jen jednoho SS zdroje a akumulátoru postupujeme obdobně. Rozdíl je v tom, že na svorky pro akumulátor připojíme nabitý akumulátor na 12V, jinak je postup identický.

Poslední nastavení FV regulátoru se týká odpojení zátěže při nízkém napětí akumulátoru. K nastavení odpojovače použijeme opět stabilizovaný stejnosměrný regulovaný zdroj, který připojíme ke svorkám na místo akumulátoru. Na výstupní svorky, které jsou určeny k napájení zátěže, připojíme voltmetr. Na stejnosměrném zdroji se nastaví požadované vypínací napětí (záleží na použitém typu akumulátoru, např. 10V), při kterém odpojovač odpojí zátěž od FV regulátoru a zamezí tak nežádoucímu hlubokému vybíjení akumulátoru. Napětí je na výstupu kontrolováno voltmetrem. Odporový trimr P3 nastavíme do takové polohy, kdy se právě mění napětí na výstupu komparátoru LM311 a indikační dioda LED4 signalizující připojení zátěže zhasne.

Vhodné je funkci odpojovače opětovně vyzkoušet. Napětí stejnosměrného zdroje se nastaví na hodnotu nabitého akumulátoru 13,8V, přičemž napětí kontrolujeme voltmetrem. Stiskneme tlačítko TL2 a zátěž opět připojíme. V tomto stavu svítí LED4 (zátěž připojena), LED3 (zátěž odpojena) nesvítí. Napětí SS zdroje pomalu snižujeme. V momentě, kdy se snižováním napětí dostaneme na hodnotu blízkou cca 10V, mělo by dojít k odpojení zátěže. Indikační dioda LED4 (zátěž připojena) zhasne a dioda LED3 (zátěž odpojena) se rozsvítí. Případné rozdíly doladíme trimrem P3.

7.5.7 Deska plošných spojů FV regulátoru v měřítku 1:1 (60×100 mm)



7.5.8 Zhodnocení FV regulátoru napětí

Co se konstrukce týče, bylo přihlédnuto k běžně dostupným součástkám. Proudově namáhané plošné spoje je třeba pocínovat!!! Tranzistory T1, T3 a stabilizátor LM317 je vhodné opatřit hliníkovými chladiči z důvodu výkonové ztráty přeměněné na teplo.

Nevýhodou tohoto FV regulátoru je ztráta energie na stabilizátoru napětí LM317 při nabíjení vybitého akumulátoru. Stejnou funkci s daleko lepšími parametry lze realizovat modernějšími FV regulátory napětí. Seznam použitých součástek je uveden v příloze v bodě 13.5.

7.6 Jednoduchý můstkový měnič 12 V/230 V/100 W

7.6.1 Popis můstkového měniče napětí

Tento jednoduchý měnič [31, 32] slouží v kombinaci s vhodným akumulátorem (12 V) jako zdroj střídavého napětí 230 V/50 Hz v místech, kde není k dispozici rozvodná síť. Může napájet nejrůznější zařízení spotřební elektroniky s maximálním příkonem 100 W, jako například kompaktní zářivky, obyčejné trubicové zářivky s tlumivkou, různá světla, lampy, holicí strojky, nabíječky na mobilní telefony, kamery, notebooky, rádia, televize atd.

7.6.2 Princip funkce můstkového měniče napětí

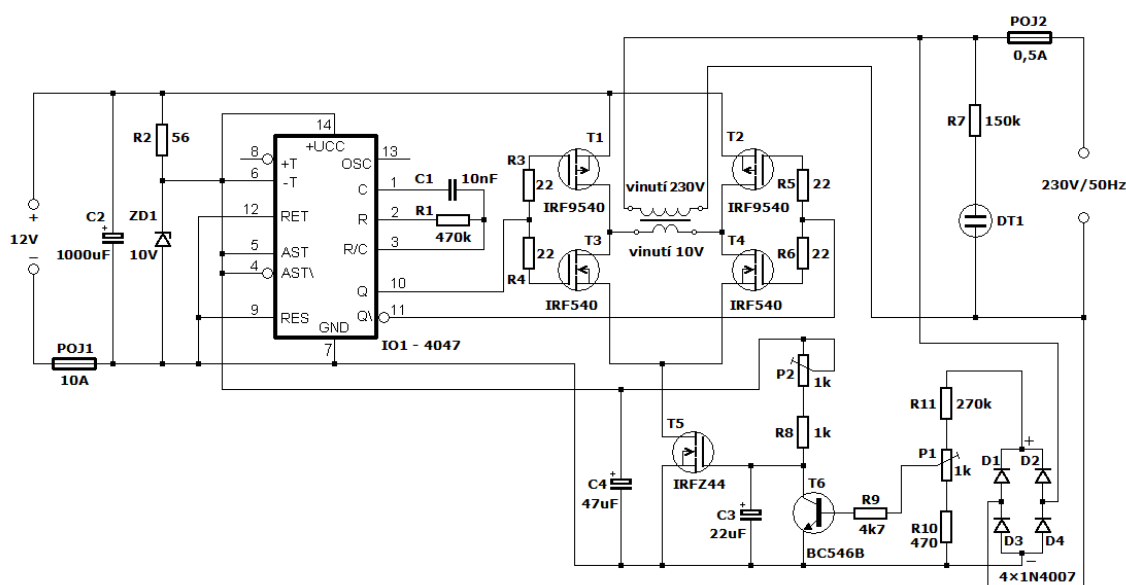
Zapojení je velmi jednoduché. Jako generátor obdélníkového průběhu 50 Hz slouží integrovaný logický obvod CMOS řady 4000. Použitý typ 4047 je v měniči napětí zapojen tak, aby pracoval jako astabilní multivibrátor. Na pinech 1, 2 a 3 má obvod 4047 připojen RC článek, který je tvořen součástkami R1 a C1. Tento RC článek je součástí oscilátoru, přičemž vhodnou volbou zmíněných součástek R1 a C1 lze volit výstupní frekvenci astabilního klopného obvodu. V zapojení není třeba použít krystalový oscilátor 50 Hz, neboť většina spotřebičů má uvedenu na výrobním štítku frekvenci 50 – 60 Hz (tolerance).

Na výstupech 10 a 11 jsou k dispozici výstupní impulsy v protifázi, jimiž jsou buzeny čtyři tranzistory typu MOSFET tvořící můstek. Tyto unipolární tranzistory T1, T2, T3 a T4 střídavě připojují jedno sekundární vinutí (10 V) transformátoru k napájecímu napětí 12 V a to následujícím způsobem. Je-li na výstupu 10 IO1 úroveň H, je sepnut tranzistor T3 vodivosti N, současně je na výstupu 11 úroveň L, při které je sepnut i tranzistor T2 vodivosti P. Po překlopení úrovně na výstupech 10 a 11 se uvedené tranzistory rozepnou a sepnou se tranzistory T1 a T4. Přítomnost transformovaného napětí 230 V na výstupu transformátoru signalizuje doutnavka DT1.

Stabilizace výstupního napětí je vyřešena tranzistorem T5 a jeho ovládacím obvodem. Pokud se vlivem zátěže zmenší výstupní napětí, tranzistor T6 tvořící dělič napětí s trimrem P2 a rezistorem R8 se více uzavře, protože i jemu na bázi pokleslo napětí. Tato změna napětí je následně přivedena na hradlo tranzistoru T5, který se naopak více otevře, zmenší se na něm úbytek napětí pro můstek a výstupní napětí se dorovná na úroveň zadanou trimry P1, P2. Vše funguje také naopak.

Hlavní předností měniče je to, že nevyžaduje transformátor s dvojitým sekundárním vinutím. Běžně lze koupit transformátor 230/12 V. S takovým převodem bude měnič také pracovat, avšak nedosáhne plného výkonu a stabilizace výstupního napětí 230 V nebude dobrá. Stačí malá úprava – odvinout pár závitů ze sekundárního vinutí. Počet odvinutých závitů je možné stanovit následovně. Primární vinutí (230 V) se připojí na síť. Ze sekundárního vinutí se odmotá právě tolik závitů, aby transformátor disponoval na sekundáru pouze 10 V. Transformátor se přitom nemusí ani rozebírat, někdy to ani nelze, postačí těch několik závitů prostrkat mezerou mezi cívkou a jádrem, u toroidu je to ještě snadnější a je to nutná úprava.

7.6.3 Schéma zapojení můstkového měniče napětí



7.6.4 Konstrukce můstkového měniče napětí

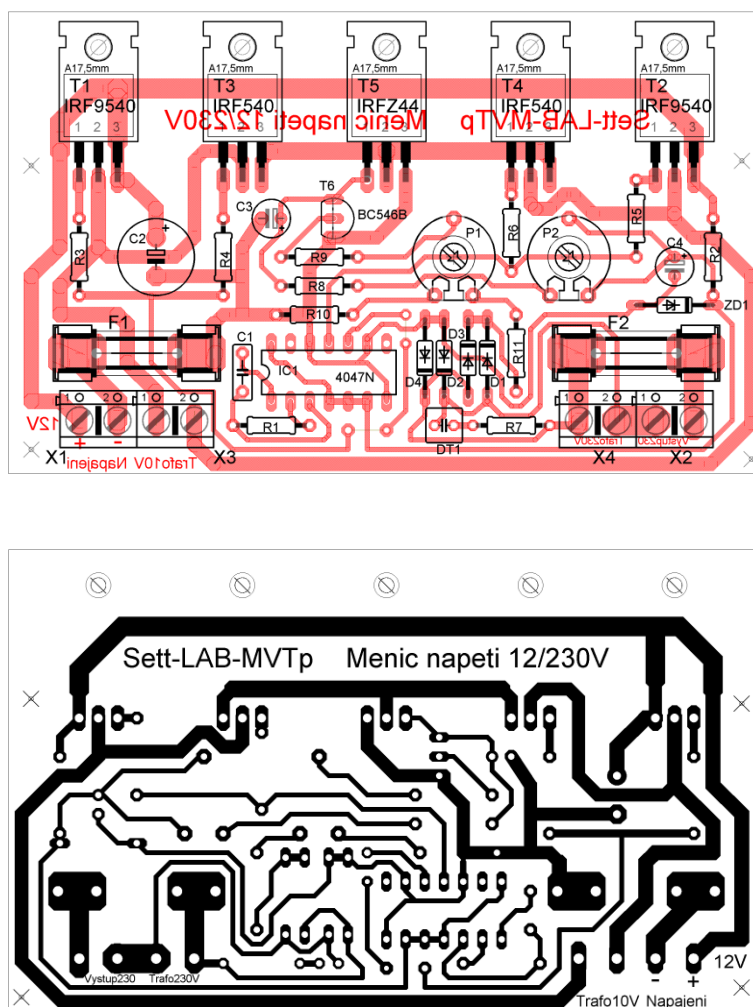
Na desce s plošnými spoji je nutné převrtat některé otvory vzhledem k tloušťce vývodů součástky na větší průměr, například u výkonových tranzistorů, pojistkových plíšků, svorek, trimrů. Integrovaný obvod 4047 je vhodné připojit pomocí 14-ti pinové patice. Silové spoje je potřeba tlustě pocínovat vzhledem k velkým procházejícím proudům. Výkonové tranzistory se na chladič přišroubují přes slídové podložky a pod hlavu šroubku se navlečou plastové izolační kroužky (dutinky). Pro zlepšení tepelné vodivosti je vhodné před mechanickou montáží potřít slídové podložky silikonovou vazelínou (nebo teplovodivou pastou) z obou stran.

Chladič obsažený v tomto návrhu je vhodný do výkonu max. 50W, na 100W se k duralovému chladiči „L“ musí přišroubovat malé chladičí žebro. Vodiče, které spojují měnič napětí s akumulátorem 12V a také s transformátorem, je nutné vhodně dimenzovat na příslušné proudové zatížení (lanko o průměru min. 1mm).

7.6.5 Nastavení můstkového měniče napětí

Při oživení se oba trimry nastaví do střední polohy. Po připojení 12V z akumulátoru se změří výstupní napětí a trimrem P1 se nastaví asi 225V, připojí se zátěž, nejlépe žárovka 230V/40W nebo 100W podle velikosti transformátoru a změna napětí se dorovná trimrem P2. Žárovka se odpojí a případná změna napětí se znovu zkoriguje trimrem P1. Trimry ne navzájem mírně ovlivňují, ale nastavení je velmi snadné, je možné dosáhnout změny výstupního napětí ze stavu naprázdno do plné zátěže v rozsahu 3-5V. Po zahřátí chladiče asi na 60 °C se výstupní napětí zmenší na 220 V, je to způsobeno strukturou použitých tranzistorů C-MOS u kterých se stoupající teplotou vzrůstá odpor kanálu. Při provozu naprázdno se zahřívá T4, neboť „pálí“ asi 2 V z napájecího napětí pro můstek v rámci výše popsané stabilizace. Při plném výkonu je T4 „tvrdě“ sepnut s úbytkem jen pár set mV, zahřívá se minimálně, největší teplota vzniká na tranzistorech s vodivostí P – tranzistory T1, T2.

7.6.6 Deska plošných spojů měniče napětí v měřítku 1:1 (60×100 mm)



7.6.7 Zhodnocení můstkového měniče napětí

Popisovaný měnič napětí se vyznačuje jak velmi jednoduchou konstrukcí, tak i funkcí. Hodí se pro nejrozmanitější účely. V mém případě je použit jako záložní zdroj energie pro běžné síťové spotřebiče s příkonem menším než 100 W, přičemž je napájen z bezúdržbového olověného akumulátoru o kapacitě 17 Ah, který je přes den nabíjen z fotovoltaického panelu. Pokud se měnič napětí na výstupu zatíží síťovým spotřebičem o příkonu 25 W, je jeho proudový odběr z akumulátoru cca 2,5 A. Při zatížení spotřebičem o příkonu 40 W je proudový odběr měniče napětí přibližně 3,6 A. Při zatížení 60 W se pak proudový odběr pohybuje kolem hodnoty 4,8 A. Seznam použitých součástek je opět uveden v příloze viz bod 13.6.

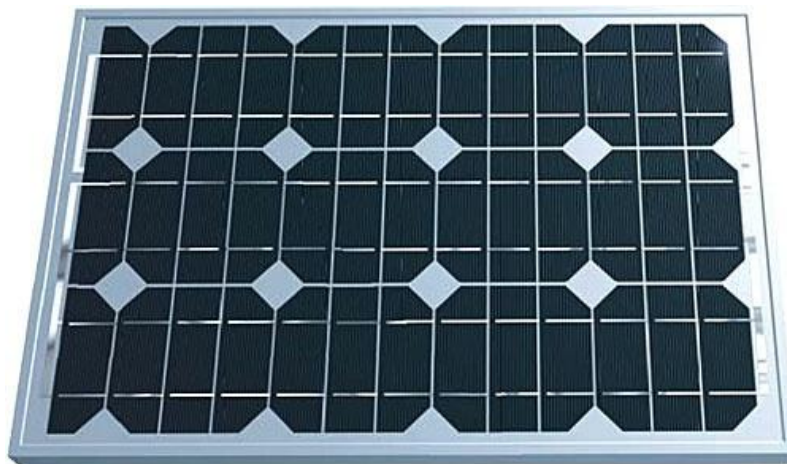
7.7 Monokrystalický fotovoltaický panel RS-M30

Jedná se o kvalitní fotovoltaický panel [33] na bázi monokrystalického křemíku se třemi ochrannými vrstvami, které zajišťují vysokou odolnost a dlouhou životnost panelu. Kvalitní duralový rám umožňuje montáž panelu do běžných montážních systému standardních rozměrů. Má vestavěnou ochranu proti přehřátí panelů. Tolerance výstupního výkonu je $\pm 3 \%$. Výkon je garantován po dobu 25 let. Panel je certifikován v Německé zkušebně TÜV.

7.7.1 Parametry fotovoltaického panelu RS-M30:

- Maximální výkon panelu $\rightarrow 30 \text{ W}$
- Maximální výstupní napětí naprázdno $\rightarrow 21,96 \text{ V}$
- Maximální zkratový proud $\rightarrow 1,88 \text{ A}$
- Maximální výstupní napětí při zátěži $30 \text{ W} \rightarrow 17,82 \text{ V}$
- Maximální výstupní proud při zátěži $30 \text{ W} \rightarrow 1,69 \text{ V}$
- Rozsah provozní teploty $\rightarrow -45 \text{ }^{\circ}\text{C} \div 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Rozměry panelu $\rightarrow 450 \times 540 \times 30 \text{ mm}$
- Hmotnost panelu $\rightarrow 3,2 \text{ kg}$
- Výrobce $\rightarrow \text{Richsolar}$

7.7.2 Fotografické znázornění fotovoltaického panelu RS-M30:



7.8 Bezúdržbový olověný akumulátor CTM 12 V/17 Ah

Tento typ gelového olověného akumulátoru [34] je hermeticky uzavřen, proto ho lze provozovat v libovolné poloze. Nejvíce se tento druh akumulátorů používá v telekomunikační technice, při silniční signalizaci ve výstražných mobilních a signalizačních zařízeních, dále pak v navigačních systémech, záložních systémech UPS a velkých zálohových jednotkách, zabezpečovacích systémech EZS. Je též vhodný pro motocykly, elektrické vozíky a koloběžky, nouzové osvětlení, protipožární zařízení, měřících stanice, lékařskou elektroniku atd. V mém případě slouží jako 12 V zdroj, do které se akumuluje elektrická energie z fotovoltaiického panelu v průběhu dne.

7.8.1 Parametry olověného akumulátoru CTM:

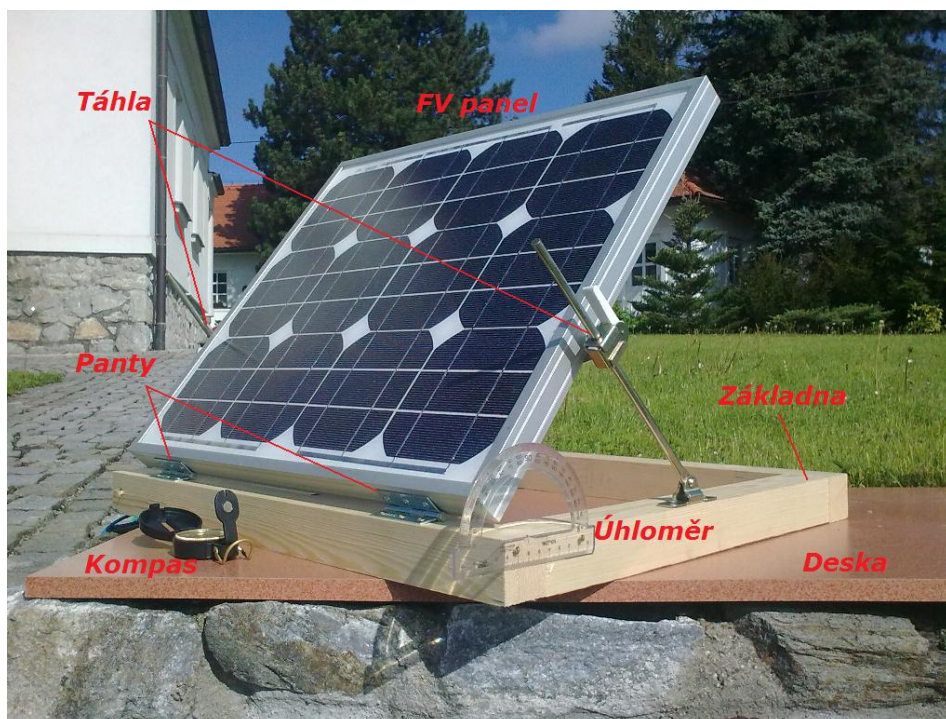
- Napětí → 12 V
- Kapacita → 17 Ah
- Optimální napětí nabitého akumulátoru → 13,5 ÷ 13,8 V
- Hranice napětí vybitého akumulátoru → 10,2 ÷ 9,8 V
- Rozměry → 167 × 181 × 77 mm
- Hmotnost → 6,1 kg
- Výrobce → CTM Components GmbH, Německo

7.8.2 Fotografické znázornění akumulátoru CTM:



8 Konstrukce přípravku – systém naklápění

Mechanická konstrukce přípravku pro měření optimálního sklonu fotovoltaických panelů je zobrazena na obr. 31. Základnu tvoří dřevěný rám složený z hranolů o rozměrech profilu 40×40 mm. Velikost tohoto rámu je 490×600 mm, takže je úmyslně o něco větší než duralový rám fotovoltaického panelu. Duralový rám fotovoltaického panelu je spojen s dřevěným rámem základny pomocí klasických pantů, přičemž k upevnění do duralového rámu jsou použity samořezné šrouby a k upevnění do dřevěného rámu jsou použity klasické vruty. Nastavení a fixace sklonu fotovoltaického panelu je zajištěna díky kovovým táhlům s brzdou, která jsou primárně určena pro sklopná okna. Pro tento účel se ale náramně hodí. V konstrukci jsou tedy použita dvě táhla především z důvodu větší stability a lepšího nastavení sklonu. Obě táhla jsou připevněna jak na obou stranách rámu fotovoltaického panelu (pohyblivá část táhla), tak i na obou stranách rámu základny (pevně ukotvená část táhla). Konstrukce je dále vybavena plastovým úhloměrem, který je vhodně připevněn na jedné straně dřevěného rámu základny. Takto uspořádaná konstrukce umožňuje bezproblémové měření optimálního sklonu fotovoltaických panelů od 10° do 90° .



Obr. 31: Konstrukce přípravku

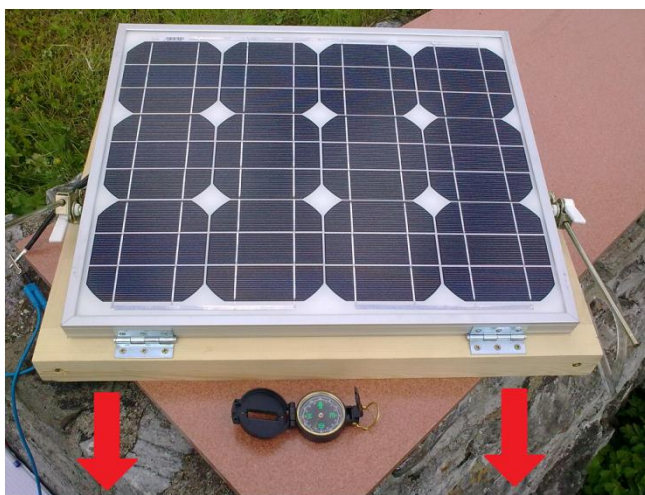
9 Měření optimálního sklonu FV panelů

9.2 Postup při měření

Měření optimálního sklonu fotovoltaických panelů probíhalo následujícím způsobem. V první řadě je třeba zmínit, že k měření byl použit monokrystalický fotovoltaický panel. Proto následující výsledky měření jsou nejlépe aplikovatelné pro tento typ fotovoltaických panelů.

V první řadě je třeba zajistit vodorovné umístění, respektive položení dřevěné základny měřicího přípravku. V mém případě byla použita deska, která byla pomocí vodováhy a dřevěných klínek nastavena na kamenném tarasu do roviny. Na takto připravenou desku byla následně položena základna přípravku.

Další důležité nastavení se týká inklinace neboli nastavení orientace měřicího přípravku tak, aby bylo možné fotovoltaický panel naklápět směrem k jihu. Natočení základny přípravku směrem na jih bylo nastaveno pomocí kompasu viz obr. 32.



Obr. 32: Nastavení orientace FV panelu

Následuje zapnutí jednotlivých elektrických komponent měřicího přípravku (připojení FV panelu, zapnutí a připojení voltmetru, ampérmetru, USB V/A-metru a regulátoru napětí). Na 12 V výstup přípravku je nutné připojit zátěž, která byla v mém případě realizována sériovým spojením dvou 20 W halogenových žárovek konstruovaných na 12 V. Tím byla vytvořena 40 W zátěž na maximální napětí 24 V.

Nakonec bylo provedeno měření optimálního sklonu, přičemž byl měněn úhel sklonu od 10° do 90°. Kroky mezi jednotlivými sklony byly stanoveny na 5° a to z důvodu markantnějších změn výkonů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách viz tab. 1 a tab. 2.

9.3 Naměřené hodnoty napětí a proudu FV panelu – 9. 5. 2010

Čas měření - 9:05				Čas měření - 10:00				Čas měření - 11:00				Čas měření - 12:00			
Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]
10	8,37	0,96	8,04	10	13,59	1,23	16,72	10	16,73	1,38	23,09	10	17,54	1,41	24,73
15	7,79	0,93	7,24	15	14,17	1,26	17,85	15	17,05	1,40	23,87	15	17,83	1,42	25,32
20	7,72	0,92	7,10	20	14,44	1,27	18,34	20	17,25	1,40	24,15	20	17,69	1,43	25,30
25	7,62	0,92	7,01	25	14,89	1,29	19,21	25	17,40	1,41	24,53	25	18,24	1,44	26,27
30	7,45	0,91	6,78	30	14,17	1,26	17,85	30	17,45	1,41	24,60	30	18,65	1,45	27,04
35	7,23	0,90	6,51	35	14,62	1,28	18,71	35	17,47	1,41	24,63	35	18,92	1,49	28,19
40	6,79	0,87	5,91	40	14,63	1,28	18,73	40	17,43	1,41	24,58	40	19,01	1,50	28,52
45	6,23	0,83	5,17	45	13,95	1,25	17,44	45	17,30	1,40	24,22	45	18,71	1,16	21,70
50	5,44	0,78	4,24	50	13,29	1,22	16,21	50	17,12	1,39	23,80	50	18,76	1,47	27,58
55	4,60	0,72	3,31	55	12,39	1,18	14,62	55	16,81	1,38	23,20	55	17,32	1,43	24,77
60	3,74	0,66	2,47	60	11,49	1,13	12,98	60	16,29	1,36	22,15	60	18,18	1,17	21,27
65	2,89	0,59	1,71	65	10,21	1,06	10,82	65	15,50	1,33	20,62	65	15,38	1,19	18,30
70	2,09	0,53	1,11	70	8,61	1,00	8,61	70	14,19	1,26	17,88	70	16,43	1,33	21,85
75	1,40	0,45	0,63	75	7,39	0,90	6,65	75	12,45	1,18	14,69	75	15,73	1,32	20,76
80	0,94	0,38	0,36	80	5,84	0,80	4,67	80	8,67	1,06	9,19	80	13,17	1,20	15,80
85	0,65	0,31	0,20	85	4,30	0,70	3,01	85	6,49	0,65	4,22	85	10,01	1,01	10,11
90	0,50	0,26	0,13	90	3,40	0,63	2,14	90	4,67	0,38	1,77	90	9,80	0,99	9,70

Tab. 1: Tabulka naměřených hodnot napětí a proudu FV panelu - měřeno 9. května 2010

9.4 Naměřené hodnoty napětí a proudu FV panelu - 11. 5. 2010

Čas měření - 9:10				Čas měření - 10:15				Čas měření - 11:00				Čas měření - 12:10			
Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]	Sklon [°]	U [V]	I [A]	P [W]
10	9,61	1,03	9,90	10	16,25	1,37	22,26	10	16,93	1,40	23,70	10	18,75	1,49	27,94
15	8,92	1,00	8,92	15	16,65	1,38	22,98	15	17,20	1,40	24,08	15	18,85	1,49	28,09
20	8,83	0,99	8,74	20	16,34	1,37	22,39	20	17,04	1,39	23,69	20	18,92	1,49	28,19
25	8,55	0,97	8,29	25	15,42	1,32	20,35	25	15,39	1,29	19,85	25	18,95	1,49	28,24
30	7,89	0,95	7,50	30	14,94	1,33	19,87	30	17,91	1,44	25,79	30	18,99	1,50	28,49
35	7,45	0,95	7,08	35	15,21	1,34	20,38	35	17,99	1,45	26,09	35	19,01	1,51	28,71
40	7,35	0,95	6,98	40	14,99	1,20	17,99	40	17,59	1,44	25,33	40	18,02	1,44	25,95
45	7,25	0,92	6,67	45	14,78	1,32	19,51	45	17,99	1,44	25,91	45	18,62	1,12	20,85
50	6,52	0,91	5,93	50	14,32	1,28	18,33	50	17,71	1,34	23,73	50	18,75	1,48	27,75
55	6,15	0,87	5,35	55	13,25	1,23	16,30	55	17,39	1,41	24,52	55	18,50	1,46	27,01
60	5,45	0,92	5,01	60	12,45	1,19	14,82	60	16,75	1,38	23,12	60	18,20	1,17	21,29
65	4,25	0,76	3,23	65	10,87	1,11	12,07	65	15,83	1,34	21,21	65	15,28	1,18	18,03
70	3,65	0,68	2,48	70	9,15	1,01	9,24	70	14,09	1,26	17,75	70	16,55	1,35	22,34
75	2,75	0,61	1,68	75	7,43	0,92	6,84	75	11,99	1,16	13,91	75	15,63	1,32	20,63
80	1,75	0,54	0,95	80	5,72	0,81	4,63	80	10,11	1,06	10,72	80	13,10	1,19	15,59
85	0,72	0,46	0,33	85	4,31	0,70	3,02	85	8,70	0,30	2,61	85	11,79	1,15	13,56
90	0,01	0,38	0,00	90	3,49	0,63	2,20	90	7,32	0,90	6,59	90	10,01	1,02	10,21

Tab. 2: Tabulka naměřených hodnot napětí a proudu FV panelu - měřeno 11. května 2010

9.5 Zhodnocení měření na přípravku

Měření na přípravku bylo provedeno ve dvou dnech, a sice 9. května a následně 11. května 2010. Původně bylo v plánu provádět měření od 9:00 do 15:00 v pravidelných časových intervalech po jedné hodině. V obou případech ale měření probíhalo jen dopoledne z důvodu velké oblačnosti v odpoledních hodinách. V prvním dni bylo dopoledne velmi příznivé počasí, takže jednotlivá měření byla pravidelně odstupňována. Ve druhém dni počasí už tak příznivé nebylo. Z tohoto důvodu nebyl striktně dodržen časový interval. Hodnoty naměřené v dopoledních hodinách jsou však dostačující k tomu, abychom si utvořili představu o závislosti sklonu FV panelů na jejich výkon. Dá se totiž předpokládat, že v odpoledních hodinách by se tato závislost projevila obdobně ale s opačným charakterem. Jinak řečeno dopoledne by s rostoucím sklonem FV panelu (od 10° do 40°) rostl i jeho elektrický výkon. Odpoledne by tomu bylo právě naopak, čili s klesajícím sklonem (od 40° do 10°) by rostl jeho výkon. Tato skutečnost je dána pohybem slunce.

Z hlediska maximalizace elektrického výkonu a následného energetického výnosu za celý den v měsíci květnu se jako optimální úhel sklonu pevně ukotvených monokrystalických křemíkových panelů jeví sklon 35° . Čímž se potvrdila hodnota uvedená v teorii v bodě 2.3.

Měření bylo negativně ovlivněno hned několika faktory, které byly zapříčiněny například nedostatečným zajištěním, respektive upevněním dřevěného rámu základny přípravku na vyrovnané desce, dále pak nestálostí počasí, nebo nepřesným odečítáním úhlů při daném sklonu. Měření bylo totiž značně subjektivně ovlivněno, proto bylo nutné, aby nastavování sklonu a následné odečítání z úhloměru prováděla jedna a tatáž osoba.

I přes tyto negativní faktory jsem dospěl k uspokojivým výsledkům.

10 Závěr

Problematika fotovoltaiky neboli přeměna slunečního záření na elektrickou energii je v poslední době jedním z nejdynamičtější se rozvíjejících odvětví. Jednotlivé prvky, které fotovoltaické systémy využívají, se stávají běžnou součástí našeho života.

Jedná se o velmi užitečný energetický zdroj, jehož rozvoj by v budoucnu mohl značně pomoci při řešení energetické krize, která zřejmě bude způsobena neúměrným využívání neobnovitelných zdrojů na úkor neustálého zvyšování výroby a spotřeby energie.

Aby bylo docíleno maximalizace energetického výnosu ve fotovoltaických systémech v průběhu dne, používají se v kombinaci s fotovoltaickými panely i nejrůznější typy natáčecích systémů a koncentrátorů slunečního záření.

Je třeba se zmínit, že fotovoltaika sice disponuje značným energetickým potenciálem, který však není tak veliký a hlavně stabilní, aby mohlo dojít k úplnému nahrazení ostatních energetických zdrojů, jakými jsou například jaderné elektrárny.

Můj názor je takový, že by se mělo v budoucnu přistoupit k rozvoji obnovitelných a jaderných zdrojů, které budou bezpochyby hlavními energetickými pilíři technosféry.

11 Použitá literatura

- [1] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří; TOMESŠ, Milan. *Fotovoltaika elektrina ze slunce slunce*. Brno : ERA, 2008. 81 s.
- [2] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*. Praha : ILSA, 2009. 160 s.
- [3] *An Atmospheric Solar Irradiance Model (Air Mass factor)* [online]. c2004 [cit. 2009-11-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.physics.dit.ie/resources/yearbook2004/farrell.pdf>>.
- [4] *Klimatické údaje za rok 2006* [online]. c2007 [cit. 2009-11-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.chmu.cz/meteo/ok/okdat61.html>>.
- [5] KITTLER, Richard; MIKLER, Jozef. *Základy využívania slnečného žiarenia*. Bratislava : VEDA, 1986. 148 s.
- [6] *Kalkulátor pro určení pozice Slunce na obloze* [online]. c2008 [cit. 2009-11-13]. Dostupné z WWW: <http://www.spectralcalc.com/solar_calculator/solar_position.php>.
- [7] *Interaktivní mapa Evropy a databáze pro výpočet intenzity slunečního záření* [online]. c2007 [cit. 2009-12-05]. Dostupné z WWW: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radday.php>>.
- [8] *Vliv orientace panelů na energetický výnos* [online]. c2010 [cit. 2009-12-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.solarenavi.cz/show.php?ida=13&ids=6&par=>>>.
- [9] *Edmond Becquerel (First Photovoltaic Devices)* [online]. c2010 [cit. 2010-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://pvcdrom.pveducation.org/>>.
- [10] *The History of Solar* [online]. c2006 [cit. 2010-04-06]. Dostupné z WWW: <http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf>.

- [11] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Dualita částice a vlnění* [online]. c2009 [cit. 2009-11-14]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dualita_%C4%8D%C3%A1stice_a_vln%C4%9Bn%C3%AD>.
- [12] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Fotoelektrický jev* [online]. c2010 [cit. 2009-11-14]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrick%C3%BD_jev>.
- [13] *Fyzikální základy polovodičů* [online]. c2003 [cit. 2009-10-16]. Dostupné z WWW: <<http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt&id=5>>.
- [14] *Photovoltaics* [online]. c2009 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <http://www1.eere.energy.gov/solar/photovoltaics_program.html>.
- [15] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Solar cell* [online]. c2009 [cit. 2009-10-18]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell>.
- [16] *Fotovoltaická střecha EVALON* [online]. c2010 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.izolace.com/fotovoltaicke.php?id=fotovoltaicke-evalon>>.
- [17] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Polymerní solární články* [online]. c2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymer_solar_cell>.
- [18] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Fulereny* [online]. c2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>>.
- [19] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Nanokrystalické solární články* [online]. c2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanocrystal_solar_cell>.
- [20] *Konarka* [online]. c2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.konarka.com/index.php/power-plastic/about-power-plastic/>>.
- [21] *Multijunction Devices* [online]. c2010 [cit. 2010-04-13]. Dostupné z WWW: <http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_cell_structures.html>.

- [22] *Typy instalací fotovoltaických systémů* [online]. 2010 [cit. 2010-01-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.solarenavi.cz/show.php?ids=3>>.
- [23] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku IV.*. České Budějovice : Kopp, 2002. 224 s.
- [24] *Indikátor napětí olověného akumulátoru* [online]. c2009 [cit. 2009-11-24]. Dostupné z WWW: <http://pandatron.cz/?609&inikator_napeti_oloveneho_akumulatoru>.
- [25] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku III.*. České Budějovice : Kopp, 1999. 244 s.
- [26] *Katalogový list obvodu ICL7660* [online]. c2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/67436/INTERSIL/ICL7660.html>>.
- [27] *Katalogový list obvodu ICL7107* [online]. c2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/67441/INTERSIL/ICL7107.html>>.
- [28] PECHAL, Stanislav. V-Ametr pro osobní počítač. *Praktická elektronika A Radio*. 2009, 12, s. 10-14.
- [29] *Katalogový list obvodu ATtiny26L-8PU* [online]. c2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/175115/ATMEL/ATTINY26L-8PU.html>>.
- [30] *Katalogový list obvodu FT232BM* [online]. c2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/202272/FTDI/FT232BM.html>>.
- [31] HORKÝ, Jan. Jednoduchý můstkový měnič 12V/230V/100W. *Praktická elektronika A Radio*. 2009, 9, s. 19.
- [32] HORKÝ, Jan. *Výkonový měnič 12/230V* [online]. c2009 [cit. 2009-10-28]. Dostupné z WWW: <http://pandatron.cz/?308&vykonovy_menic_12/220v>.
- [33] *Fotovoltaický panel RS-M30* [online]. c2010 [cit. 2010-02-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.hadex.cz/aku-bat-zdroje-nabijecky--solarni-panely>>.

- [34] *Akumulátor CTM 12V/17Ah* [online]. c2010 [cit. 2010-02-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.fulgurbattman.cz/produkt/baterie-akumulatory/baterie-akumulatory-prumyslove/prumyslove-olovene/zivotnost-5-9let/olovene-12v/ct-12-17i-12v-17ah-m5-2053.htm>>.
- [35] *Katalogový list obvodu LM317* [online]. c2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8619/NSC/LM317.html>>.
- [36] *Katalogový list obvodu LM358* [online]. 2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/11672/ONSEMI/LM358.html>>.
- [37] *Katalogový list obvodu 78L05* [online]. 2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/9047/NSC/78L05.html>>.
- [38] *Katalogový list obvodu LM311* [online]. 2010 [cit. 2010-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8611/NSC/LM311.html>>.
- [39] BELZA, Jaroslav . *Odpojovač pro olověný akumulátor* [online]. 2000 [cit. 2009-12-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.belza.cz/files1/odp.htm>>.

12 Seznam zdrojů obrazové dokumentace

Obrázek	1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 31, 32: autor
Obrázek	6, 7: [4]
Obrázek	8, 9, 10: [7]
Obrázek	17, 18, 19: [2]
Obrázek	20, 21, 22, 23, 24: [22]
Obrázek	27, 28, 29, 30: [28]
Obrázky v bodech	7.2.3, 7.2.5, 7.3.3, 7.3.7, 7.3.8, 7.3.11, 7.3.14: autor
Obrázek v bodě	7.4.5: [28]
Obrázky v bodech	7.5.3, 7.5.7, 7.6.3, 7.6.6: autor
Obrázek v bodě	7.7.2: [33]
Obrázek v bodě	7.8.2: [34]

13 Příloha

13.1 Seznam použitých součástek pro indikátor napětí

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
pájitelná svorkovnice (2-kontakty)	J1 + J2	-	1	5
Diody usměrňovací - 1N4007	D1	-	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R1	1,2 kΩ	1	1
Trimr - ležatý 5/10mm	R2	2,2 kΩ	1	9
Trimr - ležatý 5/10mm	R3	1 kΩ	1	9
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R4	3,3 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R5	12 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R6	10 kΩ	1	1
Pájitelná propojka typu Jumper - 2pin	J3	-	1	1
Kondenzátor 100nF/100V	C1, C2	100 nF	2	10
Kondenzátor elektrolyt.	C3	100μ/16V	1	5
Integrovaná stabilizátor - 6V - TO220	IO 1	TS7806	1	13
Integrovaný budič LED - LM 3914	IO 2	LM 3914	1	40
Patice pro LM3914 - 18 pinů	-	-	1	2
Chladič pasivní pro TS7806	-	-	1	5
Izolační dutinka + šroubek	-	-	1	4
LED-diody - 5mm- green	D5, D6, D7, D8	-	4	8
LED-diody - 5mm - yellow	D3, D4, D9, D10	-	4	8
LED-diody - 5mm - red	D2, D11	-	2	4
Kuprexit.deska (100×160 mm = 41Kč)	-	-	1	10
			Cena:	138,0 Kč

13.2 Seznam použitých součástek pro digitální voltmetr

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R1	130 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R2 - R23	270 Ω	22	22
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R24	680 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R25	47 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R26	100 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R27	15 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R28	100 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R29a	900 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R29b	90 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R30a	90 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R30b	9 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R31a	900 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R31b	90 k Ω	1	1
Trimr - ležatý 5/10mm	P1	10 k Ω	1	9
Trimr - ležatý 5/10mm	P2	2 k Ω	1	9
Kondenzátor elektrolyt.	C1	470 μ /25V	1	4
Kondenzátor 100nF / 100V / MKT	C2, C3, C10	100 nF	3	9
Kondenzátor elektrolyt.	C4	220 μ /25V	1	3
Kondenzátor elektrolyt.	C5, C6	10 μ /50V	2	3
Kondenzátor - foliový - MKT	C7	220 nF	1	5
Kondenzátor - foliový - MKT	C8	470 nF	1	6
Kondenzátor - foliový - MKT	C9	10 nF	1	2
Kondenzátor - foliový - MKT	C11	100 pF	1	5
LED displej 14mm, typ SA56-11GWA	SA56-11GWA-green	-	4	60
Patice jednořadá - 20pin-grid-2,54mm	pro usazení displeje	-	2	40
Patice jednořadá - 20pin-grid-2,54mm	pro propojení desek	-	2	40
Stabilizátor napětí - 7805 - TO220	TS7805	5V/1A	1	10
Slídová podložka TO-220	pro TS7805	-	1	2
Plastový kroužek / průchodka	pro TS7805	-	1	2
Chladič - TO220- hliníkový	pro TS7805	21K/W	1	4
DC/DC Converter ICL7660	ICL7660	-	1	21
Patice - pájitelná - pro pouzdro DIL8	pro ICL7660	DIL8	1	2
A/D převodník ICL7107 pro LED displej	ICL7107	-	1	48
Patice - pájitelná - pro pouzdro DIL40	pro ICL7107	DIL40	1	6
Pájitelná svorkovnice (2-kontakty -5mm)	X1	13A/250V	1	5
Pájitelná svorkovnice (3-kontakty -5mm)	X2	13A/250V	1	8
Pájitelná svorkovnice (4-kontakty -5mm)	X3	13A/250V	1	10
Tlačítko spínací - 2 kontakty	TL1	0,5A/250V	1	16
Přepínač otočný - 2x6 kontaktů	Přepínač	-	1	70
Kuprexit.deska (100x160 mm = 41 Kč)	DPS-voltmetr	80x60mm	1	12
Kuprexit.deska (100x160 mm = 41 Kč)	DPS-displej	70x30mm	1	6
			Cena:	451,00 Kč

13.3 Seznam použitých součástek pro digitální ampérmetr

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R1	130 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R2 - R23	270 Ω	22	22
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R24	680 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R25	47 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R26	100 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R27	15 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 0207 / 0,6W	R28	100 k Ω	1	1
Rezistor metaloxid, typ 0617 / 1,5W	R29a	5,6 Ω	1	4
Rezistor metaloxid, typ 0617 / 1,5W	R29b	3,3 Ω	1	4
Rezistor-odpor. drát-Kanthal (4,2 Ω /m)	R30a+b	0,9 Ω	1	5
Rezistor-odpor. drát-Kanthal (4,2 Ω /m)	R31a+b	0,1 Ω	1	5
Trimr - ležatý 5/10mm	P1	10 k Ω	1	9
Kondenzátor elektrolyt.	C1	470 μ /25V	1	4
Kondenzátor 100nF / 100V / MKT	C2, C3, C10	100 nF	3	9
Kondenzátor elektrolyt.	C4	220 μ /25V	1	3
Kondenzátor elektrolyt.	C5, C6	10 μ /50V	2	3
Kondenzátor - foliový - MKT	C7	220 nF	1	5
Kondenzátor - foliový - MKT	C8	470 nF	1	6
Kondenzátor - foliový - MKT	C9	10 nF	1	2
Kondenzátor - foliový - MKT	C11	100 pF	1	5
LED displej 14mm, typ SA56-11GWA	SA56-11GWA-green	-	4	60
Patice jednořadá - 20pin-grid-2,54mm	pro usazení displeje	-	2	40
Patice jednořadá - 20pin-grid-2,54mm	pro propojení desek	-	2	40
Stabilizátor napětí - 7805 - TO220	TS7805	5V/1A	1	10
Slídová podložka TO-220	pro TS7805	-	1	2
Plastový kroužek / průchodka	pro TS7805	-	1	2
Chladič - TO220- hliníkový	pro TS7805	21K/W	1	4
DC/DC Converter ICL7660	ICL7660	-	1	21
Patice - pájitelná - pro pouzdro DIL8	pro ICL7660	DIL8	1	2
A/D převodník ICL7107 pro LED displej	ICL7107	-	1	48
Patice - pájitelná - pro pouzdro DIL40	pro ICL7107	DIL40	1	6
Pájitelná svorkovnice (2-kontakty -5mm)	X1	13A/250V	1	5
Pájitelná svorkovnice (3-kontakty -5mm)	X2	13A/250V	1	8
Pájitelná svorkovnice (4-kontakty -5mm)	X3	13A/250V	1	10
Tlačítko spínací - 2 kontakty	TL1	0,5A/250V	1	16
Přepínač otočný - 2x6 kontaktů	Přepínač	-	1	70
Kuprexit.deska (100x160 mm = 41 Kč)	DPS-voltmetr	80x60mm	1	12
Kuprexit.deska (100x160 mm = 41 Kč)	DPS-displej	70x30mm	1	6
			Cena:	454,00 Kč

13.4 Seznam použitých součástek pro USB V/A-metr

13.4.1 SMD součástky

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R1	1,5 kΩ	1	1
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R2	4,7 kΩ	1	2
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R3	3,3 kΩ	1	1
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R4, R5	27 Ω	2	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R6, R9	1,5 kΩ	2	4
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R7	470 Ω	1	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R8	1 Ω	1	2
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R10, R27	1 kΩ	2	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R11, R12	2,2 kΩ	2	4
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R13, R17	10 kΩ	2	4
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R14, R16	820 Ω	2	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R15	820 Ω	1	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R25, R26	12 kΩ	2	4
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R28	8,2 kΩ	1	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R29	1 kΩ	1	2
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R30	2,2 kΩ	1	2
Rezistor, typ 1206 / 0,1W /	R32	4,7 kΩ	1	1
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R33, R34	4,7 kΩ	2	4
Rezistor, typ 0805 / 0,1W /	R35	1,2 kΩ	1	2
Zkratovací propojka, typ 1206	0	0 Ω	3	3
Kondenzátor, keramic., typ 0805	C1, C4, C6, C11-C15	100 nF	8	20
Kondenzátor, keramic., typ 1206	C5, C7	100 nF	2	5
Kondenzátor, tantal, SMD	C2, C3, C8, C16-C18	10μ/10	6	24
Kondenzátor, keramic., typ 0805	C9, C10	22 pF	2	5
Kondenzátor, keramic., typ 0805	C20, C21	1 nF	2	5
FT232BM - pouzdro TQFP32	U5	FT8U232BM	1	148
Tranzistor bipol., BC847, pouzdro SOT23	T1 (SMD)	BC847	1	1
Dioda SMD - usměrňovací, typ 4148	D3, D4, D5, D6	1N4148	4	16
			Cena:	272,0 Kč

13.4.2 Klasické součástky a ostatní doplňující součástky

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R18	8,2 MΩ	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R19	1,8 MΩ	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R20	100 KΩ	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R21	100 Ω	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R22	220 Ω	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R23	680 Ω	1	1
Rezistor, typ R0207 / 0,6W / <1 %	R24	1,5 KΩ	1	1
Rezistor, typ 0414 / 2W / <1 %	R31	1 or 10 Ω	2	8
4051 + patice(16pin-2Kč)	U2		1	12
ICL7660 + patice(8pin-2Kč)	U3		1	24
TLC272CP + patice(8pin-2Kč)	U4		1	14
LE50	U6		1	15
Krystal	XT1, XT2	6 MHz	2	50
LED - dioda - 5mm - green	D1	-	1	2
LM336-2,5	D2	2,5 V	1	10
BZX55-5V1	D7, D8	5,1 V	2	6
Opt. spínač MOS - KAQV214 + patice	DT1, DT2, DT3		3	90
Opt. spínač MOS - rychlý -6N137 + patice	DT4		1	16
QDC1WDIL5/5	PW1		1	200
seriový port - CANON 9 FEMALE do DPS	CN1		1	16
USB port, typ B, konektor do DPS	CN2		1	8
Kuprexit.deska (100×160 mm = 41 Kč)	-	100×60mm	1	15
			Cena:	493,0 Kč

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Kondenzátor, keramic., typ 1206	C19	100 nF	1	2,5
ATTiny26L-8PU, DIL20 + patice	U1	-	1	48
Cívka	L1	10 μH	1	5
			Cena:	55,5 Kč

13.5 Seznam použitých součástek pro fotovoltaický regulátor

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R1, R4, R7, R15	1 k Ω	4	4
Rezistor metal-oxid., typ 0414 / 1,5W	R2	1,5 Ω	1	4
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R3	220 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R5, R6, R14	10 k Ω	3	3
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R8, R13	4,7 k Ω	2	2
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R9	100 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R10	56 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R11	15 k Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R12	68 k Ω	1	1
Trimr - ležatý 5/10mm	P1	4,7 k Ω	1	9
Trimr - ležatý 5/10mm	P2, P3	10 k Ω	2	18
Kondenzátor elektrolyt.	C1	470 μ /50V	1	8
Kondenzátor 100nF / 100V / MKT	C2,C3,C5,C6,C9,C10	100 nF	6	18
Kondenzátor elektrolyt.	C4, C12	1 μ /50V	2	2
Kondenzátor elektrolyt.	C7, C11	220 μ /10V	2	5
Kondenzátor elektrolyt.	C8	470 μ /25V	1	8
Zenerova dioda	ZD1	15V/2W	1	5
Usměrňovací dioda 1N4007	D1, D2	1A/1000V	2	2
Usměrňovací dioda 1N5408	D3	3A/1000V	1	3
LED - dioda - 5mm - yellow	LED1, LED2	-	2	4
LED - dioda - 5mm - red	LED3	-	1	2
LED - dioda - 5mm - green	LED4	-	1	2
Tranzistor bipolární - PNP - BD242C	T1	100V/3A	1	15
Tranzistor bipolární - PNP - BC556	T2	65V/0,1A	1	2
Tranzistor MOSFET - N-kanál - BUZ11	T3	50V/30A	1	25
Slídivá podložka TO-220	pro T1, LM317, T3	-	3	6
Plastový kroužek / průchodka	pro T1, LM317, T3	-	3	6
Chladič - TO220- hliníkový	pro T1, LM317, T3	21K/W	3	12
Regulovatelný stabilizátor napětí LM317	IO3	-	1	16
Integr.obvod LM358- 2xnízkopříkonný OZ	IO1a,b	-	1	10
Integrovaný obvod LM311 - OZ	IO2	-	1	10
Patice - pájitelná - pro DIP8	pro LM358, LM311	DIP8	2	4
Stabilizátor napětí - 78L05 - TO92	IO4, IO5	5V/100mA	2	14
Pájitelná svorkovnice (2-kontakty -5mm)	X1, X2, X3, X4, X5	13A/250	5	25
Pojistka tavná rychlá (5x20mm)	F1	10A	1	3
Pojistkový plíšek / pouzdro	pro F1	-	2	4
Tlačítko rozpínací	TL1	10A/250V	1	
Tlačítko spínací	TL2	10A/250V	1	
Kuprextit.deska (100x160 mm = 41 Kč)	-	100x60mm	1	15
			Cena:	271,00 Kč

13.6 Seznam použitých součástek pro napěťový měnič

Název součástky	Označení - schéma	Hodnota	Počet ks	Cena [Kč]
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R1	470 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R2	56 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R3, R4, R5, R6	22 Ω	4	4
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R7	150 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R8	1 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R9	4,7 kΩ	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R10	470 Ω	1	1
Rezistor metalizovaný, typ 207 / 0,6W	R11	270 kΩ	1	1
Trimr - ležatý 5/10mm	P1, P2	1 kΩ	2	20
Kondenzátor 10nF / 100V / MKT	C1	10 nF	1	2,5
Kondenzátor elektrolyt.	C2	1000μ/16V	1	8
Kondenzátor elektrolyt.	C3	22μ/50V	1	1,5
Kondenzátor elektrolyt.	C4	47μ/25V	1	1,5
Zenerova dioda	ZD1	10V/1,3W	1	3
Usměrňovací dioda 1N4007	D1, D2, D3, D4	1N4007	4	4
Integrovaný obvod 4047	IO1	4047	1	12
Patice pro 4047 - 14 pinů	-	DIL14	1	2
Tranzistor MOSFET - P-kanál	T1, T2	IRF9540	2	44
Tranzistor MOSFET - N-kanál	T3, T4	IRF540	2	36
Tranzistor MOSFET - N-kanál	T5	IRFZ44	1	25
Tranzistor bipolární	T6	BC546B	1	3
Pojistka tavná rychlá	POJ1	10A	1	4
Pojistka tavná rychlá	POJ2	500 mA	1	4
Pojistkový plíšek / pouzdro	-	-	4	8
Doutnavka samostatná	-	-	1	5
pájitelná svorkovnice (2-kontakty)	X1, X2, X3, X4	-	4	20
Slídová podložka TO-220	-	-	5	10
Plastový kroužek / průchodka	-	-	5	10
Chladič - dural - L30 × 30 × 100 mm	-	-	1	
Kuprextit.deska (100×160 mm = 41 Kč)	-	100×60mm	1	15
Transformátor 230 /12 V / 100VA	-	230/10V	1	350
			Cena:	599,50 Kč