

NÁVRH SOLÁRNEHO ZDROJA S AC VÝSTUPOM (SOLAR SOURCE DESIGN WITH AC OUTPUT)

Milan PEŤKO

Katedra teoretickej elektrotechniky a elektrického merania, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, tel. 055/602 2579, E-mail: Milan.Petko@tuke.sk

SUMMARY

The article discusses the design of low power solar source. The power solar source consists of battery, electronic part and a solar module that uses solar cells. The paper presents an electronic part and design of solar module with AC output. The solar module is used in a mobile low power source as a source of electrical energy. The presented paper deals with comparison between measured values and simulation data of combined solar cells circuit. Next, the paper presents electronic application by using PWM.

There has been realized the solar cell simulation from load characteristic measurements and by using mathematical model. By the application of simulating program of P-Spice various solar cells connections and its reversible checks the simulation model at certain measurement conditions can be verified.

The main aim of the application is to obtain a high efficiency and reasonable pricing. In order to obtain high efficiency the different electronic applications are used. The electronic part is divided into: stabiliser, alternating inverter, switch transistors, filter, transformer. The paper deals mainly with alternating inverter. By connecting one of the various alternating inverters the efficiency of transforming of voltage is changed.

The consequential equipment was suggested step by step. There are cheaper applications, but the efficiency is lower, or there are more expensive ones with a higher efficiency or combination of them. The measuring data are depicted only for application of higher efficiency.

Keywords: solar cells, solar module, simulation, P-Spice

1. ÚVOD

Základnou podmienkou pri návrhu solárneho modulu je definovanie nominálnych hodnôt závislých na prevádzkových parametroch. Ak sú dodržané základné požadované podmienky na prevádzku zdroja, ako je veľkosť intenzity osvetlenia solárneho modulu, časový interval pôsobenia svetelného zdroja, vlnová dĺžka svetelného zdroja, teplota solárneho modulu, prevádzkové a bezpečnostné podmienky, môžeme zabezpečiť jeho základné parametre, ktorými sú prúd nakrátko, napätie naprázdno, maximálny výkon, stredný výkon. Tieto vlastnosti a parametre sú ovplyvňované hlavne typom a zapojením solárnych článkov. Na účinnosti celého zdroja sa veľkou mierou podieľa aj riadiaca časť.

2. ZÁKLADNÉ ČASTI SOLÁRNEHO ZDROJA

Solárny zdroj sa môže z realizačného hľadiska principiálne rozdeliť na tri základné časti: solárny modul, batéria, riadiaca časť. Z hľadiska funkcie môžeme rozdeliť solárny zdroj pre použitie DC, alebo AC. Solárny modul pozostáva zo sériovo – paralelného zapojenia solárnych článkov. Sériovým zapojením ovplyvňujeme veľkosť napätia, paralelným zapojením ovplyvňujeme veľkosť prúdu. Batéria, ako zásobník elektrickej energie, musí spĺňať základné požiadavky, ktorými sú veľkosť a stálosť napätia, požadovaný počet nabíjacích cyklov, hmotnosť a rozmer, životnosť, požadovaná

kapacita. Riadiaca časť by mala obsahovať ochrannú diódu zabezpečujúcu ochranu pri zmene polaritu, stabilizátor napätia, ochranu proti vybitiu a prebitiu batérie, regulátor maximálneho výkonu (pri zdrojoch pod 200W sa môže vynechať) a v prípade napájania spotrebičov, ktoré požadujú striedavé napájanie, striedač.

3. POPIS SOLÁRNEHO MODULU

Solárny modul je tvorený zo solárnych článkov s PN priechodom. Uvažujme PN priechod za tmy. Zaujímá nás veľkosť prúdu prechádzajúci priechodom. Vychádzame z predpokladu, že prúd prechádzajúci priechodom možno vyjadriť ako algebraický súčet rovnovážnych tepelných tokov nosičov náboja. V rovnováhe je súčet tepelných tokov, vzhľadom na znamienko, rovný nule. Nule sa rovnajú aj jednotlivé súčty elektrónových a dierových prúdov, prechádzajúce priechodom. Absolútne hodnoty prúdov elektrónov a dier, prechádzajúce prechodom z polovodiča typu N, označme I_n^N a I_p^N z polovodiča typu P označme I_n^P a I_p^P . V rovnovážnom stave platí:

$$-I_n^N + I_p^N + I_n^P - I_p^P = 0 \quad (1)$$

$$-I_n^N + I_p^N = 0 \quad (2)$$

$$I_n^P - I_p^P = 0 \quad (3)$$

Vplyv osvetlenia sa prejaví zväčšením koncentrácie minoritných nosičov. Vznikne tak prúd I_f pretekajúci priechodom PN. Pri osvetlení sa Fermiho hladina rozštiepi na kvázihladiny pre elektróny a diery. Ich rozdiel φ zodpovedá napätiu

$$U_f = \frac{\varphi}{e}, \text{ ktoré vzniklo následkom osvetlenia.}$$

V stacionárnom stave je prúd prechádzajúci PN prechodom rovný nule:

$$I_f - I_n^N + I_p^N + I_n^P - I_p^P = 0 \quad (4)$$

Prúdy majoritných nosičov I_n^N , I_p^P sa pri osvetlení zmenia následkom vzájomného posuvu energetických hladín a zmien výšky potenciálových bariér:

$$I_n^N = I_n^P \exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) \quad (5)$$

$$I_p^P = I_p^N \exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) \quad (6)$$

Použitím rovníc (4), (5) a (6) po úprave dostaneme:

$$I_f - I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right] = 0 \quad (7)$$

Pre fotoelektromotorickú silu platí:

$$U_f = \frac{\varphi}{e} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_f}{I_s} + 1\right) \quad (8)$$

Ak PN priechod pripojíme k obvodu, ktorým tečie prúd I , dostaneme pomocou rovníc (7), (8):

$$I_f = I + I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right] \quad (9)$$

$$U_f = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_f - I}{I_s} + 1\right) \quad (10)$$

Ak je PN priechod pripojený k odporu $R = \frac{U_f}{I}$, má rovnica (9) tvar:

$$I_f = \frac{U_f}{R} + I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right] \quad (11)$$

Pri malých vonkajších odporoch resp. zapojení nakrátko, kedy $I \gg I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right]$ platí $I_f \approx I$.

Pri veľkých vonkajších odporoch resp. zapojení naprázdno, kedy $I \rightarrow 0$, platí $I_f = I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right]$.

Ak k PN priechodu pripojíme aj zdroj s napätím U dostaneme:

$$I_f = \frac{U_f - U}{R} + I_s \left[\exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right) - 1 \right] \quad (12)$$

Pre výkon na solárnom článku platí, $P = UI$.

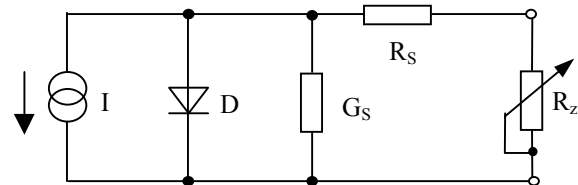
Pre maximálny výkon platí:

$$\frac{d(UI)}{dU} = I_k - I_s + I_s \frac{e}{kT} \exp\left(\frac{eU_m}{kT}\right) = 0 \quad (13)$$

Pre napätie na prázdno platí:

$$U_0 = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_k}{I_s} + 1\right) \quad (14)$$

Ak sú dodržané základné požadované podmienky na prevádzku zdroja, veľkosť intenzity osvetlenia, časový interval pôsobenia a vlnová dĺžka svetelného zdroja, môžeme zabezpečiť základné parametre solárneho článku (prúd nakrátko I_k , napätie naprázdno U_0 , maximálny výkon P_m , sériový odpor R_s , paralelnú vodivosť G_s , faktor nasýtenia F_f). Náhradná schéma solárneho článku je na obr. 1. Na obr. 2 je znázornená zaťažovacia charakteristika.



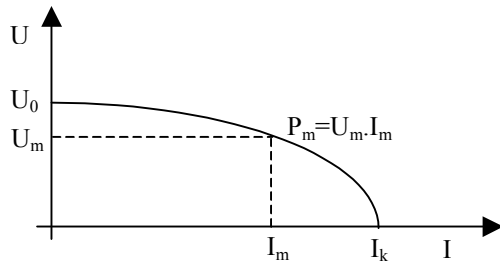
Obr. 1 Náhradná schéma solárneho článku

Fig. 1 Solar cell equivalent scheme

Parametre solárnych článkov sa získavajú z nameraných zaťažovacích charakteristík solárnych článkov. Na obr. 3 je nameraná zaťažovacia charakteristika pri osvetlení 5000 lux.

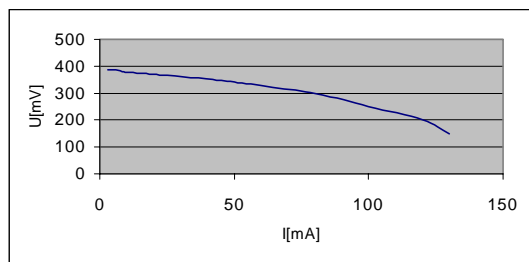
Pri zapájaní solárnych článkov sú dôležité najmä tieto podmienky:

- Paralelne spojené reťazce majú menšie straty.
- Dlhšie sériové reťazce vytvárajú väčšie straty, stúpa faktor nasýtenia F_f .
- I_k nie je optimálny parameter používaný pri zapájaní článkov. Straty sú minimalizované keď používame pri zapájaní parameter I_m .



Obr. 2 Zaťažovacia charakteristika solárneho článku

Fig. 2 Load characteristic of solar cell



Obr. 3 Zaťažovacia charakteristika solárneho článku pri osvetlení 5000 lux

Fig. 3 Load characteristic of solar cell of lighting intensity of 5000 lux

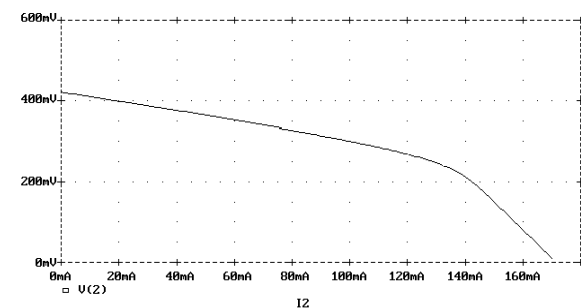
Sériovo-paralelným zapojením solárnych článkov získavame sčítanie napätia, alebo prúdu. Z výsledkov vyplýva, že kombinované zapojenia nemajú výrazne generovaný výkon. Pri paralelnom zapojení sa zvyšuje prúd, znižuje sa vnútorný odpor solárneho modulu. Tvrdosť zdroja je väčšia ako pri sériovom zapojení, kedy sa zväčšuje vnútorný odpor a aj napätie solárneho modulu. Volí sa také zapojenie, aby sa dosiahlo napätie potrebné pre dobíjanie batérie. Potom odpadá realizácia násobiča napätia a zvyšuje sa účinnosť.

4. SIMULÁCIA V PSpICE

Z predchádzajúcich meraní zaťažovacích charakteristík a z matematického vyjadrenia je možné vykonať simuláciu solárneho článku. Keďže merania na solárnych článkoch sú závislé na počasí, najmä na intenzite osvetlenia, môžeme pomocou simulácie vytvoriť stabilnejšie výskumné podmienky. Simulácia nami skúmaného článku bola vykonaná v programe PSpice. Zaťažovacia charakteristika pre solárny článok simulovaný v programe PSpice je na obr. 4. Simulácia solárneho článku je naznačená v programovom výpise. Solárny článok sme simulovali podľa náhradnej schémy na obr. 1. V simulácii sa nastavovali vnútorné parametre modelu diódy, veľkosť prúdového zdroja, hodnoty paralelnej vodivosti a sériového odporu.

Programový výpis

```
SOLAR CELL
I1 0 1 DC 0.059
RG 1 0 6
RS 2 1 1
*DIODE
V1 3 0 DC 0.2
SDIODE 1 3 1 0 MODS
.MODEL MODS VSWITCH RON=0.01 ROFF=10k
VON=0.35 VOFF=0.05
*SIMULATION OF THE CIRCUIT LOAD
I2 2 0
.DC I2 0 0.05 0.001
*DC CHANGE OF SOURCE I1
*.DC I1 0 .21 0.001
.PROBE
.END
```



Exit Add_trace Remove_trace X_axis Y_axis Plot_control Display_control
Macros Hard_copy Cursor Zoom

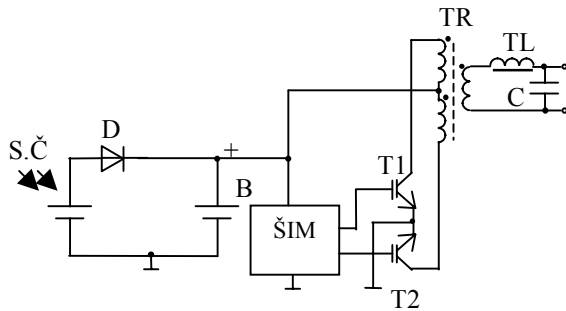
Obr. 4 Simulovaná charakteristika solárneho článku použitím P-Spice

Fig. 4 Simulated characteristic of solar cell using P-Spice

5. OPIS RIADIACEJ ČASTI

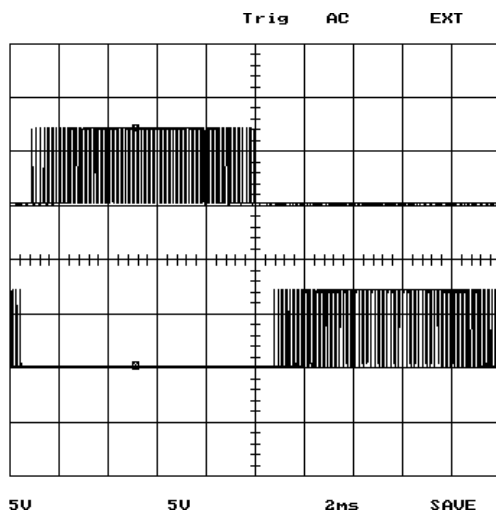
Riadiacu časť sa navrhuje tak, aby mala čo možno najmenšie straty a zároveň plnila požadované funkcie. Ochrana solárneho modulu proti zmene polarizácie napätia na výstupných svorkách je realizovaná ochrannou diódou, ktorá zároveň chráni batériu proti vybitiu pri zmene polarizácie. Striedač mení jednosmerné napätie batérie na striedavé napätie. Ako striedač bol použitý dvojčinný jednosmerný impulzový menič realizovaný tranzistormi T1, T2 a impulzovým transformátorom TR. Menič je riadený šírko-impulzovou moduláciou (ŠIM) pomocou obvodov TTL. Filter prispôsobuje a tvaruje striedavé napätie na sekundárnej strane zvyšovacieho transformátora TR. Pri ŠIM modulácii riadiaceho signálu sa používal nosný signál s frekvenciou 10kHz a modulovaný signál s frekvenciou 50Hz. Použili sme vysokofrekvenčný transformátor s feritovým jadrom, ktorý sme navrhli tak, aby sme na sekundárnom vinutí dostali striedavý signál 220V/ 50Hz,

namodulovaný na frekvencii 10kHz. Schéma zapojenia riadiacej časti so šírko-impulznou moduláciou a s dvojicou spínacích tranzistorov je na obr. 5.



Obr. 5 Základná schéma zdroja kde je použitá ŠIM
Fig. 5 Basic scheme of power source using PWM

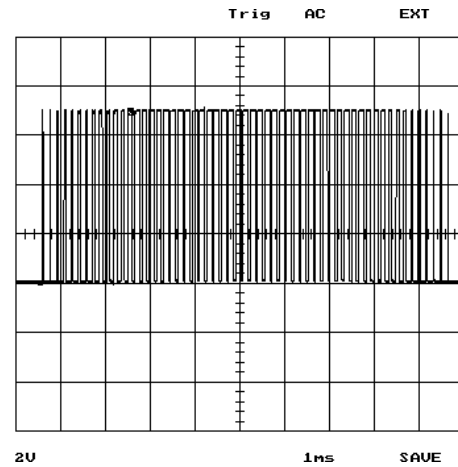
Priebehy signálov na kolektoroch spínacích tranzistorov T1 a T2 sú na obr. 6. Detail signálu na kolektore tranzistora T1 je na obr. 7. Do kolektorov tranzistorov sú zapojené jednotlivé primárne vinutia vysokofrekvenčného transformátora s feritovým jadrom TR. Na výstup sekundárneho vinutia TR sa ako tvarovací člen zapája filter, tvorený tlmivkou TL a kondenzátorom C. Priebeh výsledného signálu na sekundárnom vinutí transformátora je na obr.8.



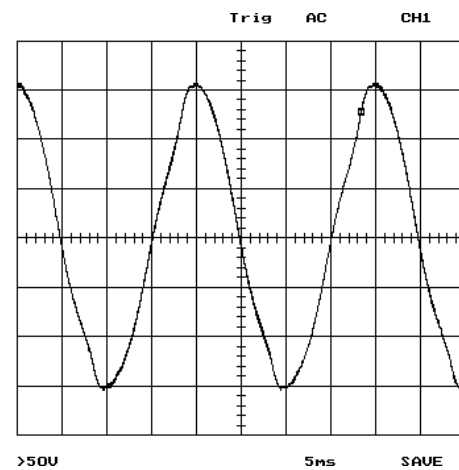
Obr. 6 Tvar signálov na kolektoroch T1 a T2, nulová úroveň signálu T1 je v 5V, nulová úroveň signálu T2 je v -10V

Fig. 6 The shape of signal on the collectors of the T1 and T2, the zero level of the first signal is 5V, the zero level of the second signal is -10V

Solárny modul je realizovaný ako sériové zapojenie 10 solárnych článkov typu GM 684. Nominálne hodnoty solárneho článku sú $U_N = 0,5V$, $I_n = 0,5A$ pri osvetlení 8000 lux. Zostavený solárny modul má nominálne hodnoty $U_n = 10V$, $I_N = 0.5A$. Použitá je batéria 5xNiCd, SONY NP - 33 6V 800 mAh.



Obr. 7 Detail signálu na kolektore T1
Fig. 7 Collector T1 signal detail



Obr. 8 Tvar signálu na sekundárnom vinutí za LC filtrom
Fig. 8 Shape of the signal on the secondary coil behind LC Filter

Ochranná dióda je typu KYS 26/30. Je to Schottkyho usmerňovacia dióda s nízkym úbytkom napätia v priepustnom smere, nízkymi výkonovými stratami a vysokou účinnosťou. Maximálny stratový výkon na dióde je 300mW. Použité spínacie tranzistory sú KD 139, ich stratový výkon je 1,45W. Dĺžka použitého chladiča CH-610-ZH je 1cm. Vysoko frekvenčný transformátor je realizovaný pomocou hrnčekového jadra s hmotou H12. Napätie na primárnej strane je 6V na sekundárnej strane 220V. Primárne vinutie pozostáva z dvoch vinutí, každé z nich má počet závitov 17 a priemer medeného vodiča je 0,95 mm. Sekundárne vinutie pozostáva zo 625 závitov a priemer medeného vodiča je 0,15 mm. Transformátor môže transformovať výkon 10W. Účinnosť celého zapojenia sa pohybuje pod hranicou 80%.

6. ZÁVER

Výhodou solárnych zdrojov je ich mobilita, nevýhodou citlivosť na počasie. Zdroje sa môžu použiť na napájanie mobilných telefónov, prenosných tlačiarní, atď. Účinnosť solárneho zdroja sa mení použitím typu solárneho modulu a elektroniky. V dnešnej dobe sa na zvýšenie účinnosti dajú s výhodou použiť rôzne typy meničov, integrovaných obvodov. Pri návrhu zdroja malého výkonu sa snažíme zvýšiť účinnosť najmä optimálnym zapojením solárnych článkov s ohľadom na celkový vnútorný odpor zdroja. Pri zdrojoch väčších (nad 200W) výkonov sa navyše snažíme dosiahnuť stav, aby zdroj pracoval v určitej časti zaťažovacej charakteristiky.

LITERATÚRA

- [1] Karamanolis, S.: Sluneční energie (Východisko z ekologicko-energetickej krize). Sdružení MAC, s.r.o., Praha, 1996.
- [2] Krieg, B.: Elekřina ze Slunce (Solární technika v teorii a praxi). HEL, Ostrava 4, 1993.

- [3] Kováčová, I. - Kováč, D.: Modelovanie meničov. Vydavateľstvo ELFA s.r.o, Košice 1997, 112 strán, ISBN 80-88786-61-4.
- [4] Mallat, J. - Krořta, J.: Stabilizované napájecí zdroje pro mikroelektroniku. ALFA, Praha, 1985.
- [5] Kvasnica, J.: Matematický aparát fyziky. ČSAV, Praha, 1989.
- [6] Tesla Eltos: Katalóg elektronických součástek, konstrukčních dílů, bloků a přístrojů. Praha 1 1987.

BIOGRAPHY

Milan Peřko was born on 22.2.1977. In 2000 he graduated from the Technical University of Košice. He started PhD study at the Department of Theoretical Electrotechnics and Electrical Measurements, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Technical University of Košice. His research includes alternative energy, simulation, sensors and electromagnetic field.