

ŘÍZENÍ TESTOVACÍ PLATFORMY OPTIMÁLNÍ PULZNĚ ŠÍRKOVÉ MODULACE

J. Kubák

Katedra teorie obvodů, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze

Abstrakt

Pulzně šířková modulace je metoda běžně používaná v moderní elektronice pro efektivní dávkování výkonu elektrickým zařízením. Nevýhodou pulzně šířkové modulace je nežádoucí rušení v základním pásmu. Jedna z metod, která tento problém adresuje, je optimální pulzně šířková modulace. Abychom byli schopni zjistit kvalitativní vlastnosti této modulace pro stochastické signály, je nutné použít empirické metody. Empirická měření optimálně pulzně šířkové modulace umožňuje vyvinutá platforma, jejíž nedílnou součástí je program Matlab.

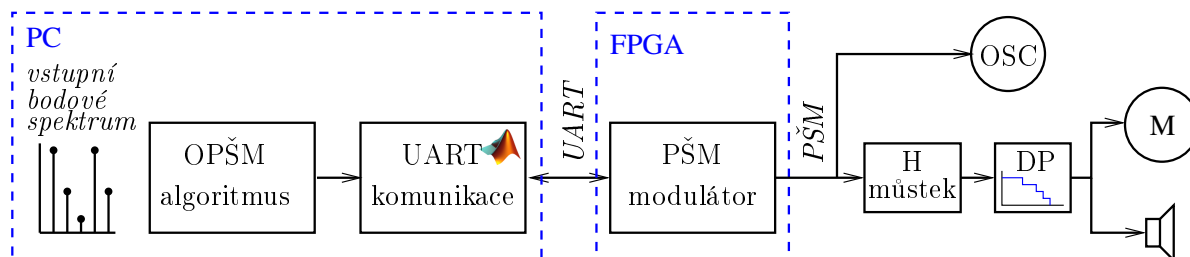
1 Optimální pulzně šířková modulace

Pulzně šířková modulace (PŠM) moduluje modulovaný signál na nosném obdélníkovém signálu. PŠM generuje rušení v základním pásmu, které působí problémy ve dvou fundamentálních oblastech použitých PŠM. V prvním případě se moduluje signál, který nese informaci, např. audio signál. Zde dochází ke snížení poměru signál šum modulovaného signálu. Dalším případem je dávkování výkonu elektrickým strojům. V této aplikaci vysokofrekvenční rušení PŠM snižuje účinnost řízení a zároveň nutí dimenzovat elektrická zařízení na ztrátový výkon rušení.

Optimální PŠM (OPŠM) je metoda, která problém rušení PŠM řeší rigorózním analytickým přístupem [3]. Vstupem OPŠM je bodové spektrum modulovaného signálu, výstupem je sekvence obdélníkových pulzů. OPŠM generuje takovou sekvenci obdélníkových pulzů definovaných délek, že frekvenční spektrum takové sekvence obsahuje vstupní spektrum v základním pásmu bez rušivých harmonických složek nosného signálu. Rušení nosného signálu se nalézá na vyšších frekvencích nad základním pásmem s definovanou rezervou. Toto rušení se následně odfiltruje pomocí dolní propusti (DP). Jedním řešením problému OPŠM je [3], které umožnilo vyvinout robustní rekurzivní algoritmus [4]. Dalším krokem je určení kvalitativních parametrů algoritmu. Budoucí teoretické odvození kvalitativních parametrů algoritmu je nutné doložit empirickými údaji. Aby bylo možné měřit tyto údaje, je nutná testovací platforma OPŠM.

2 Testovací platforma OPŠM

Platforma se skládá z implementace OPŠM algoritmu [4] na PC, PŠM modulátoru a výkonového zesilovače tvořeného H můstkem a DP. PŠM modulátor [2] pracuje na hodinové frekvenci $f_{hod} = 100\text{MHz}$ na FPGA. Výstupní sekvence OPŠM algoritmu je vstupem PŠM modulátoru. Komunikace mezi PC a PŠM modulátorem na FPGA probíhá po sériové lince (UART). Výstupem



Obrázek 1: Schéma testovací platformy OPŠM.

PŠM modulátoru je tří stavový PŠM signál, který je zesílený H můstkem. DP zajišťuje filtraci nechtěného rušení PŠM. Schéma platformy je na obrázku 1. Programovatelný PŠM modulátor dokáže pracovat v „jednorázovém“ a v „periodickém“ režimu. V jednorázovém režimu generuje sekvenci pulzů v paměti pouze jednou. Tento režim je vhodný pro měření relativně delších signálů, které nesou informaci. V periodickém režimu generovanou sekvenci neustále opakuje. Tato periodická sekvence je z pravidla relativně krátká. Periodický režim je vhodný pro přesné měření empirického spektra výstupního signálu, a také pro dávkování elektrických zařízení.

3 Řízení PŠM modulátoru

Programovatelný PŠM modulátor přijímá vstup v podobě sekvence čísel, kde každé číslo je úměrné délce pulzu. Čísla na lichých pozicích v sekvenci odpovídají nenulovým hladinám a čísla na suchých pozicích odpovídají nulovým hladinám. Znaménko čísel na lichých pozicích odpovídá polaritě pulzu. Délka pulzu v čase T_{P_i} je dána násobkem odpovídajícího čísla α_i v sekvenci s převrácenou hodnotou hodinové frekvence PŠM modulátoru, tedy $T_{P_i} = \frac{\alpha_i}{f_{hod}}$, kde i je pořadové číslo pulzu v sekvenci. Podrobnější popis lze nalézt v [2].

```
% vstupní vektor sekvence pulzů
values= [10 20 30 40];

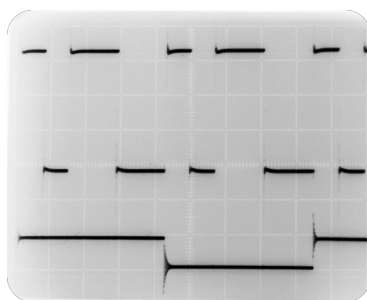
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      UART      %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
port = '/dev/ttyUSB0';
rate = 576000;
% nastavení sériového portu
uart = serial (port,'BaudRate',rate,'DataBits',8,...
              'Parity','none','StopBits',1,'Terminator','CR');
set(uart, 'OutputBufferSize', 2^16*2*4) % velikost UART bufferu
fopen(uart);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%      zápis      %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for index = 1:alimit
    poslat = ['W' dec2hex(data(index))];
    fprintf(uartid,poslat);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% start periodického režimu %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
poslat = ['S' dec2hex(1) ];
fprintf(uartid,poslat);

fclose(uart); % uzavření portu
```

Obrázek 2: Zjednodušené řízení programovatelného PŠM modulátoru v programu Matlab.

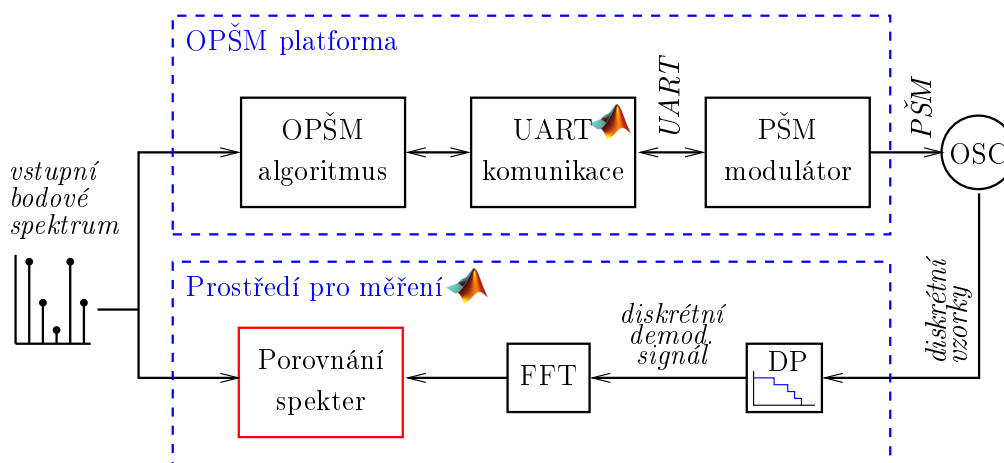
Programovatelný PŠM modulátor komunikuje s PC prostřednictvím UART. Po rozhraní se přenášejí data v podobě sekvence čísel a řídicích příkazů, např. *start*, *stop* apod. Hardwarová část komunika na FPGA je implementována UART prokolem [1]. Softwarová část řízení v PC je implementována v programu Matlab. Zjednodušený zdrojový kód je na obrázku 2. Jako příklad je použita vstupní sekvence {10, 20, 30, 40}, která odpovídá výstupu modulátoru na obrázku 3.



Obrázek 3: Stínítko osciloskopu zobrazující výstup PŠM modulátoru se synchronizací; periodický režim, sekvence pulzů= $\{10, 20, 30, 40\}$.

4 Systém pro měření OPŠM

Pro kvantifikaci kvalitativních parametrů použitého algoritmu OPŠM lze použít měřící systém na obrázku 4. Měřící systém se skládá z testované OPŠM platformy a měřícího prostředí v programu Matlab. Do obou bloků je přiváděno vstupní bodové spektrum. Výstupem OPŠM platformy je tří stavový PŠM signál, který je přiváděn do digitálního osciloskopu. Výkonová část platformy, H můstek a DP, není předmětem měření. Vzorke signálu exportují z osciloskopu a importují jako vstup měřícího prostředí. Pomocí jednoduché implementace DP s nekonečnou impulsovou odezvou v programu Matlab je signál PŠM demodulován. Následně je z demodulovaného signálu vypočteno jeho DFT spektrum, pomocí funkce *fft*. Nakonec se měřené spektrum porovná se vstupním spektrem. Měřené spektrum má zpravidla řádově vyšší počet vzorků než vstupní spektrum. Z toho důvodu je vstupní spektrum aproximováno, funkcí *resample*, na stejný počet vzorků jako má spektrum měřené. Nakonec se pro každou spektrální čáru vypočte kvadrát chyby.



Obrázek 4: Schéma systému pro měření OPŠM platformy.

5 Závěr

Díky univerzálním vlastnostem programu Matlab jsme implementovali systém pro měření OPŠM v jednom programovém prostředí. Výsledný měřící systém je schopný vyčíslit kvalitativní vlastnosti OPŠM algoritmu. Díky těmto měřením budeme v budoucnu schopni nastavit parametry OPŠM algoritmu tak, aby byla možná jeho implementace v reálném čase.

Reference

- [1] M. Bártu. UART protocol controller (in Czech). FEE CTU in Prague, 2006.
- [2] J. Kubák, J. Šťastný, and P. Kujan. Programmable PWM modulator optimized for high speed for OPWM test platform. In *Applied Electronics (AE), 2014 International Conference on*, pages 157–160, Sept 2014.
- [3] P. Kujan, M. Hromčík, and M. Šebek. Single-phase optimal Odd PWM problem. In *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE*, pages 371–378, 2008.
- [4] P. Kujan, M. Hromčík, and M. Šebek. Complete Fast Analytical Solution of the Optimal Odd Single-Phase Multilevel Problem. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 57(7):2382–2397, July 2010.

Kubák Jan

Katedra teorie obvodů, Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze
Technická 2, 166 27 Praha 6 - Dejvice
kubakjan@fel.cvut.cz