

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Softwarový generátor signálů
Ladislav Bechyňa

Bakalářská práce
2011

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav BECHYŇA**
Osobní číslo: **I07400**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Softwarový generátor signálů**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování:

Úkolem práce je vytvoření softwaru pro tvorbu libovolného průběhu signálu skládaného z bodů signálu nebo předdefinovaných periodických a neperiodických průběhů včetně signálů šumu. Teoretická část bude obsahovat analýzu trhu s arbitry generátory v různých výkonnostních úrovních, jejich popis a srovnání.

SW bude spolupracovat s laboratorním vybavením (arbitry generátory) v laboratořích FEL. SW bude umožňovat načtení externích dat ve formátech txt, csv, mat. Předdefinované signály budou zahrnovat průběhy harmonické funkce, konstanty, obdélníku, trojúhelníku a lichoběžníku. U všech předdefinovaných průběhů bude možné upravovat jejich parametry. Součástí práce bude i manuál popisující funkce softwaru s ukázkovými příklady.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Doňar B., Zaplatílek K. MATLAB - tvorba uživatelských aplikací, BEN-Technická literatura, 2004.

Doňar B., Zaplatílek K. MATLAB - začínáme se signály, BEN-Technická literatura, 2006

Signals and Systems with MATLAB, Karris, Orchard Publications, 2003

Proakis, Manolakis, Digital Signal Processing - Principles, Algorithms & Applications, Pearson 4th edition

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Pidanič
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **8. prosince 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2011**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2011

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 7. 2011

Ladislav Bechyňa

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Pidaničovi za odborný dozor, připomínky a konzultaci během tvorby této práce. Dále bych poděkoval své rodině za podporu během mého studia.

Anotace

Práce se zabývá vytvořením softwaru v programovém prostředí Matlab, který slouží pro tvorbu předdefinovaných a vlastních průběhů signálů. U předdefinovaných průběhů signálů lze měnit jejich parametry. Každý průběh lze uložit a kdykoliv načíst. Takto vytvořený průběh lze poslat po sériové lince do arbitrary generátoru MCP EPF10.

Klíčová slova

arbitrary generátor, softwarový generátor, Matlab

Title

Software signal generator.

Annotation

The bachelor work deals with creating software in Matlab, which is used for creating predefined and arbitrary waveform signals. Predefined parameters waveform signals can be change by user. Each waveform signals can be saved and loaded to memory at any time. This waveform signals can be sent over the serial line to the MCP EPF10 arbitrary generator.

Keywords

arbitrary generator, software generator, Matlab

Obsah

Seznam zkratek.....	8
Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	10
1 Úvod.....	11
2 Arbitrary generátory.....	12
2.1 Nabídka arbitrary generátorů na světovém trhu	12
2.1.1 Lecroy ArbStudio 1104D	12
2.1.2 B&K Precision model 4079.....	13
2.1.3 Dataman 531	13
2.1.4 MCP Shanghai EPF10	14
2.1.5 TTI TGA 12104.....	14
2.1.6 Stanford Research Systems DS345	14
2.1.7 Tektronix AWG 7000s	15
2.1.8 Agilent 81180A	16
2.2 Porovnání nabídky arbitrary generátorů	16
3 Generátor MCP EPF10.....	19
3.1.1 Výhody a nevýhody generátoru.....	19
3.1.2 Přední panel přístroje.....	20
3.1.3 Zadní panel přístroje.....	21
3.1.4 Formát dat pro komunikaci přes RS-232.....	21
4 Vytvořený software	25
4.1 Tvorba softwaru.....	25
4.2 Popis hlavního okna	27
4.3 Popis jednotlivých částí okna	28
4.3.1 Oblast pro vykreslení grafu	28
4.3.2 Výběr průběhu signálu	28
4.3.3 Akční tlačítka.....	29
4.3.4 Nastavení pro vlastní tvorbu signálu	29
4.3.5 Hlavní nastavení	30
4.3.6 Menu.....	31
4.4 Ukázky funkce programu	31

4.4.1	Vykreslení předdefinovaného průběhu.....	31
4.4.2	Vykreslení vlastního průběhu.....	33
5	Závěr.....	36
	Literatura.....	37
	Příloha – Obsah CD.....	38

Seznam zkratek

AWG	Arbitrary Waveform Generator
UWG	Universal Waveform Generator
BNC	Bayonet Neill Concelman
USB	Universal Serial Bus
GP-IB	General Purpose Interface Bus
FSK	Frequency Shift Keying
PC	Personal Computer
LCD	Liquid Crystal Display
SCPI	Standard Command for Programmable Instruments
CF	Compact Flash
DVD	Digital Versatile Disc
OS	Operační Systém
AM	Amplitudová Modulace
SNR	Signal to Noise Ratio
GUI	Graphical User Interface

Seznam obrázků

Obr. 1 - Lecroy ArbStudio 1104D [1]	12
Obr. 2 - B&K Precision Arbitrary Waveform Generator Model 4079 [4]	13
Obr. 3 - Dataman 531 [5].....	14
Obr. 4 - Generátor TGA 12104 od společnosti TTI [6].....	14
Obr. 5 - SRS DS345 [7].....	15
Obr. 6 - Tektronix AWG 7000 series [8].....	15
Obr. 7 - Agilent 81180A [9]	16
Obr. 8 - Arbitrary generátor MCP EPF10	19
Obr. 9 - Zadní panel generátoru.....	21
Obr. 10 - Spouštěcí signál číslo 177	23
Obr. 11- Data +5V	24
Obr. 12 - Část zakončovacích čísel 8 a 0.....	24
Obr. 13 - Vygenerovaná data pro 10 V v programu Wave edit.....	26
Obr. 14 - Vygenerovaná data pro 10 V z vytvořeného programu.	26
Obr. 15 - Okno programu	27
Obr. 16 - Oblast pro vykreslení grafu.....	28
Obr. 17 - Informační pole	28
Obr. 18 - Výběr průběhu.....	28
Obr. 19 - Akční tlačítka	29
Obr. 20 - Nastavení pro vlastní tvorbu průběhu signálu.....	29
Obr. 21 - Hlavní nastavení.....	30
Obr. 22 - Výběr průběhu signálu	31
Obr. 23 - Nastavení sklonu trojúhelníka.....	32
Obr. 24 - Nastavení požadovaných parametrů	32
Obr. 25 - SNR.....	32
Obr. 26 - Vytvořený průběh	33
Obr. 27 - Snímek z osciloskopu	33
Obr. 28 - Zaškrtnutí pole	34
Obr. 29 - Nastavení.....	34
Obr. 30 - Body průběhu signálu	34
Obr. 31 - Průběh signálu vytvořený z bodů bez aproximace.....	35
Obr. 32 - Průběh signálu vytvořený z bodů s aproximací 5 stupně.....	35

Seznam tabulek

Tab. 1 - Porovnání parametrů arbitrary generátorů [2] [3] [5] [6] [7] [8]	18
Tab. 2 - Základní nastavení komunikace	22
Tab. 3 - DB 9 Female	22
Tab. 4 - Názvy jednotlivých pinů DB [9]	22
Tab. 5 - Přiřazená čísla k hodnotám napětí	23

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření softwaru pro tvorbu libovolného průběhu signálu v programovém prostředí Matlab, který bude komunikovat s arbitrary generátorem. Arbitrary generátory jsou funkční generátory s funkcí arbitrary, která uživateli umožňuje vytvořit vlastní průběh signálu. Generátor má většinou uložené v paměti předdefinované signály u kterých může uživatel měnit jejich parametry. Většina generátorů má displej a 2 kanály. Při vývoji softwaru byl kladen hlavní důraz na tvorbu průběhu signálu, který vznikne z bodů, jež uživatel definuje kliknutím tlačítka myši.

Součástí práce je analýza trhu s arbitrary generátory a srovnání dle jejich parametrů. Jsou zde uvedeny základní parametry jako je frekvenční rozsah přístroje, počet kanálů, ale také jsou zde vypsány informace o komunikačních portech přístroje a jeho ovládání.

V následující kapitole jsou vypsány arbitrary generátory nabízené na trhu. Jsou zde popsány základní informace o generátorech, jejich přednosti a následně jsou jejich parametry srovnány v tabulce. V další kapitole je popsán generátor, pro který se vytvářel software, a jsou zde detailně vypsány nastavení pro jeho komunikaci přes sériovou linku. Čtvrtá kapitola informuje o vývoji programu a následnému přizpůsobení pro arbitrary generátor MCP EPF 10. Následně jsou zde popsány funkce a významy jednotlivých prvků a ukázány dva příklady, jak program funguje a výsledný průběh signál na výstupu generátoru.

2 Arbitrary generátory

Arbitrary generátory, dále jen generátory, jsou ve většině případů funkční generátory s funkcí arbitrary. Tato funkce nabízí možnost vlastní tvorby signálu, takže uživatel není omezen určitým počtem předdefinovaných signálů, tak jak je to u obyčejných funkčních generátorů.

Standardní generátor umí většinou základní průběhy signálu jako jsou sin, obdélník, trojúhelník, jednotkový skok a šum. Využití arbitrary funkce závisí na konstrukčním provedení generátoru, nejlevnější generátory jsou většinou jen malý přístroj s jedním BNC konektorem bez displeje a zde uživatel ovládá přístroj pomocí počítače, kde je nainstalovaný software od výrobce generátoru. Generátor je k počítači připojen přes komunikační port jako RS232, USB nebo GP-IB. U vyšších modelů může být generátor vybaven operačním systémem Microsoft Windows. Ovšem většina přístrojů střední třídy má grafický displej, kde se dá pohodlně vybírat z předdefinovaných průběhů, ale pro vytvoření vlastního průběhu je nutné využití softwaru v připojeném PC.

Kromě generování předdefinovaných průběhů mají generátory ještě další funkce. Nabízejí např. modulaci signálu, jak analogovou tak digitální, nebo také funkci BURST a SWEEP, která slouží pro rozmítání výstupní frekvence, většinou je lineární nebo může být také logaritmické.

2.1 Nabídka arbitrary generátorů na světovém trhu

2.1.1 Lecroy ArbStudio 1104D

Tento generátor nemá hardwarové ovládání, to znamená, že se ovládá pomocí softwaru v počítači, který dodává výrobce. Frekvenční rozsah přístroje je 125 MHz, což je dostačující. Velkou výhodou je možnost propojení více generátorů, a tak lze získat až 32 kanálový generátor. Výrobce k přístroji dodává software ArbStudio, jehož ovládání je velice intuitivní, což řadí tento přístroj do popředí. Má 16 bitové rozlišení v amplitudě, většina konkurence dodává přístroje s menším vertikálním rozlišením. Generátor se připojuje k počítači pomocí USB. Výrobce nabízí také levnější verzi pouze s dvěma kanály.[2]



Obr. 1 - Lecroy ArbStudio 1104D [1]

2.1.2 B&K Precision model 4079

Generátor má frekvenční rozsah 50 MHz a vzorkovací frekvenci 125 MS/s. Nabízí kromě analogové modulaci i FSK. Generátor má velký LCD displej, kde kromě nastavovaných parametrů zobrazuje daný průběh na určitém kanálu. Tento průběh ovšem není totožný s průběhem na výstupu, dává uživateli pouze základní informace o průběhu. Generátor má v paměti uloženo 9 předdefinovaných průběhů signálů.

Komunikace s PC probíhá s počítačem přes sériový port RS232 nebo rozhraní GP-IB. Jako jedna z mála společností udává přesné podrobnosti o komunikaci přístroje s PC jak přes sériový port tak GP-IB, takže v případě, že by uživatel nebyl spokojený s dodávaným programem WaveExpress, je tu možnost naprogramovat vlastní. V datasheetu jsou dokonce podrobně popsány i SCPI pokyny. Celkové ovládání přístroje se zdá být uživatelsky velice přívětivé. Levnější model generátoru s produktovým označením 4076 má pouze 1 kanál, ostatní parametry jsou zachovány.[3]



Obr. 2 - B&K Precision Arbitrary Waveform Generator Model 4079 [4]

2.1.3 Dataman 531

Dataman 531 je softwarově ovládaný generátor pro nenáročné uživatele s frekvenčním rozsahem 50 MHz. Generátor má jeden kanál, ale dva výstupy pro nízkou a vysokou napěťovou úroveň. Program má pět předdefinovaných průběhů, bohužel je zde úplná absence modulace a pokročilých funkcí. Hlavní výhodou generátoru je nízká cena a malé rozměry, proto je generátor vhodný pro notebooky. Komunikace probíhá přes USB port. Další výhodou je, že je generátor napájen přes USB, externí napájení je potřeba pouze pro vyšší napěťové úrovně. [5]



Obr. 3 - Dataman 531 [5]

2.1.4 MCP Shanghai EPF10

Tento generátor je detailně popsán v následující kapitole (kapitola 3).

2.1.5 TTI TGA 12104

Generátor nabízí frekvenční pásmo do 100 MHz, vzorkovací frekvenci 100 MS/s a čtyři kanály, ovládat se dá jak přes dodávaný software tak přímo na přístroji, kde se nachází spousta ovládacích prvků, jež jsou ale logicky rozmístěny. Displej je sice malý a nezobrazuje vytvořený průběh, zato je velice přehledný. Naopak program k vytváření vlastních průběhů již tak přehledný není, je spíše podprůměrný a neodpovídá cenové kategorii přístroje. Velkou výhodou je podpora CF paměťových karet, kam lze ukládat vytvořené průběhy signálů. Generátor má tři komunikační rozhraní RS232, GP-IB a USB. Výrobce také vyrábí levnější verze bez podpory CF karet, pouze s dvěma kanály, která je rozměrově menší. [6]

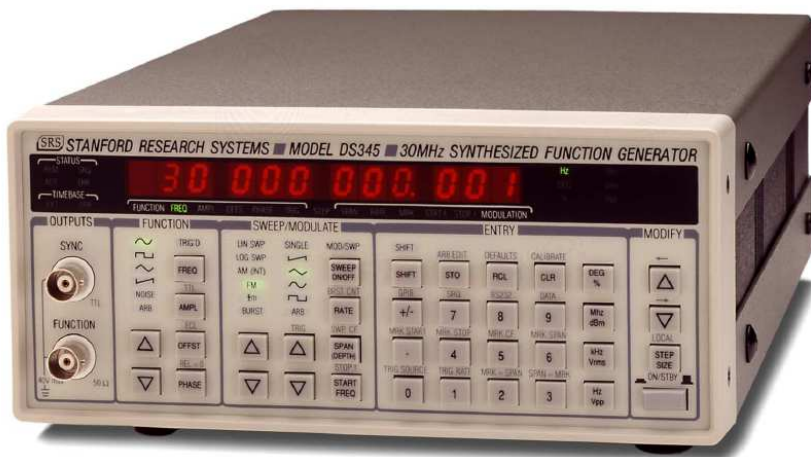


Obr. 4 - Generátor TGA 12104 od společnosti TTI [6]

2.1.6 Stanford Research Systems DS345

Tento generátor patří mezi starší modely, které jsou na trhu, má frekvenční rozsah pouze do 30 MHz. Ačkoliv je tento přístroj starší a má pouze segmentový displej, jeho

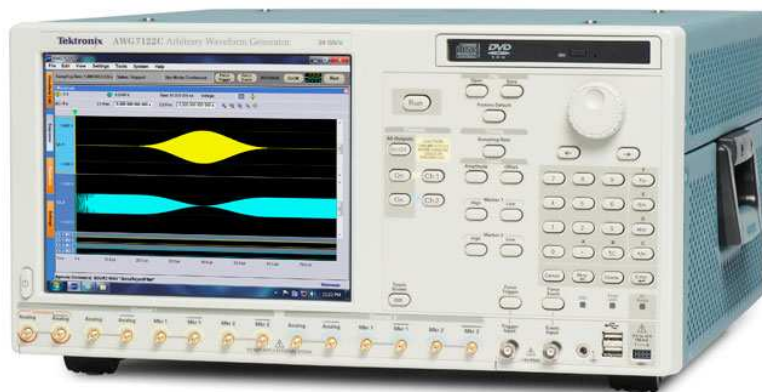
ovládání velice jednoduché, je zde velmi rychlý přístup k předdefinovaným průběhům a modulacím. Kromě RS332 má také GP-IB. Program pro vlastní tvorbu průběhu je taktéž starší, ale také velice přehledný. Nevýhodou je malý počet předdefinovaných průběhů v generátoru a pouze jeden kanál. Výrobce také vyrábí modely s menším frekvenčním rozsahem, které mají menší rozměry. [7]



Obr. 5 - SRS DS345 [7]

2.1.7 Tektronix AWG 7000s

Tento generátor patří mezi špičku na trhu. Má velký barevný displej, operační systém Windows 7, pevný disk, DVD mechaniku, čtyři USB porty, GP-IB a možnost připojení k ethernetu. Generátor má frekvenční rozsah 1 GHz a vzorkovací frekvenci 24 GS/s což je největší, co trh nabízí. Přístroj je v podstatě počítač s funkcí generátoru. Dodávaný software je perfektně propracovaný a odpovídá kvalitě přístroje. Hlavní výhodou generátoru je, že je plně funkční bez nutnosti používat jiné PC. Nevýhodou je cena, která sice odpovídá parametrům přístroje, ale převyšuje ceny ostatních generátorů na trhu. Tektronix vyrábí další arbitrary generátory, které jsou levnější a i jejich parametr jsou víc než dostačující. [8]



Obr. 6 - Tektronix AWG 7000 series [8]

2.1.8 Agilent 81180A

Společnost Agilent patří mezi nejlepší výrobce arbitrary generátorů na světě. Jejich aktuální produktový list obsahuje 22 arbitrary generátorů. Pro porovnání jsem vybral nejlepší z nich s produktovým označením 81180A. Jeho frekvenční pásmo je až 1500 MHz a má 4 kanály. Má velice přehledný displej a logické rozmístěný tlačítek. Přímo v generátoru si můžeme vybrat z 10 základních předdefinovaných průběhů signálu, nebo můžeme využít program BenchLink pro vlastní tvorbu průběhu, jehož průběh můžeme vidět přímo na displeji generátoru. Výhodou je jak připojení k ethernetu tak možnost připojení více přístrojů přes GB-IB. [9]



Obr. 7 - Agilent 81180A [9]

2.2 Porovnání nabídky arbitrary generátorů

K porovnání generátorů nabízených na světovém trhu jsem vybral 8 nejvýznamnějších společností, které arbitrary generátory vyrábějí. Některé společnosti se výrobou generátorů zabývají okrajově jako třeba společnost Lecroy a jiné mají generátory jako hlavní prodejní artikl. Většina společností nabízí velké množství generátorů, ale rozdíly mezi nimi jsou pouze ve frekvenčním pásmu a v počtu kanálů. K porovnání jsem tedy vybral vždy nejlepší model od dané společnosti. Bohužel osobně jsem “odzkoušel“ pouze generátor MCP EPF 10, který se nachází v laboratoři FEI a pro který jsem vyvíjel program.

Všechny poznatky jsem tedy získával z informací, které podávají výrobci. Nejlepší výběr a jedny z nejlepších generátorů nabízí firma Agilent Technologies, která nabízí široké spektrum arbitrary generátorů. K výrobkům dodávají podrobné manuály a kvalitně zpracovaný software.

Jeden z nejlevnějších arbitrary generátorů je Dataman 531, funkce které přístroj nabízí, odpovídají ceně za kterou se prodává. Tento přístroj nenabízí žádné speciální funkce i počet předdefinovaných průběhů je malý a nemá ani displej. Naopak předností oproti ostatním generátorům je možnost napájení přes USB.

Většina výrobců podává alespoň základní informace, jakým způsobem v jakém formátu generátor přijímá data z PC. Společnost MCP Shanghai takovéto informace nepodává vůbec. Oproti tomu výrobce B&K Precision informace o komunikaci mezi PC a přístrojem detailně popisuje v manuálu přístroje. Tento generátor patří mezi nejlepší pokud vybírám přístroj z pohledu poměr cena k výkonu.

Osobně mě ale nejvíce zaujal výrobce Tektronix se svými výrobky. Jeho generátory jsou spíše malé PC a tudíž bude jejich ovládání je snadné. Ovšem cena 1 milion Kč se mi zdá opravdu hodně a to i v případě, že vezmu v úvahu jeho veliké frekvenční pásmo, které je 1000 MHz, a funkce, které nabízí.

Nelze přesně určit který výrobek je nejlepší a který nejhorší, jelikož jsem neměl možnost osobně vyzkoušet všechny přístroje. Pokud bych ale pominul osobní uživatelskou zkušenost s MCP EPF10, tak mezi nejlepší určitě patří Agilent a mezi horší výrobky patří Dataman 531. V následující tabulce (Tab.1) jsou vypsány základní parametry vybraných arbitrary generátorů.

Tab. 1 - Porovnání parametrů arbitrary generátorů [2] [3] [5] [6] [7] [8]

Vlastnosti	Arbitrary generátory							
	Lecroy 1104D	B&K Model 4079	Dataman 531	MCP EPF10	TTI Tga 12104	SRS DS345	Tek AWG 70000s	Agilent 1180A
Frekvenční rozsah [MHz]	125	50	50	10	100	30.2	1000	1500
Vzor. frekvence [MS/s]	1000	125	100	40	100	40	24000	4200
Definované průběhy	11	9	5	10	6	8	10+	10
Počet kanálů	4	2	1	1	4	1	2 (4)	4
Vertikální rozlišení [bit]	16	14	12	12	12	12	10	12
Modulace	Analogová i digitální	Analogová a FSK	NE	Analogová, FSK a PSK	Analogová	Analogová	Analogová i digitální	Analogová i digitální
Funkce Burst	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Funkce Sweep	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Software pro editaci	Arb Studio	Wave Express	Dataman	Wave edit	Wave Manager Plus	ANO	ARB Express	Bench Link
Komunikace	USB	GPIO, RS232	USB	RS232	GPIO, RS232, USB	GPIO, RS232	GPIO, Lan, 6xUSB	GPIO, USB, Lan
Propojení svíce generátory	ANO	NE	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
Ovládání	Softwarové	Softwarové i hardwarové	Softwarové	Softwarové i hardwarové	Softwarové i hardwarové	Softwarové i hardwarové	Softwarové i hardwarové	Softwarové i hardwarové
Další vlastnosti	-	Velký grafický displej	-	-	Podpora CF karet	-	OS WIN7 HDD, DVD	Velký barevný displej
Cena [Kč]	97000	57000	9000	35000	110000	35000	1000000	920000

3 Generátor MCP EPF10

Tento generátor využívá technologie DDS a dokáže generovat průběh signálu s přesností 10 μ Hz a v frekvenčním rozsahu od 10 μ Hz až 10 MHz. DDS je v překladu přímá číslicová syntéza. Její velkou výhodou je rychlost změny výstupní frekvence. Generátory řady EPF mají rozsah až 120MHz. Generátor nabízí většinu základních signálů včetně modulací AM, FM, FSK, BPSK a Burst.

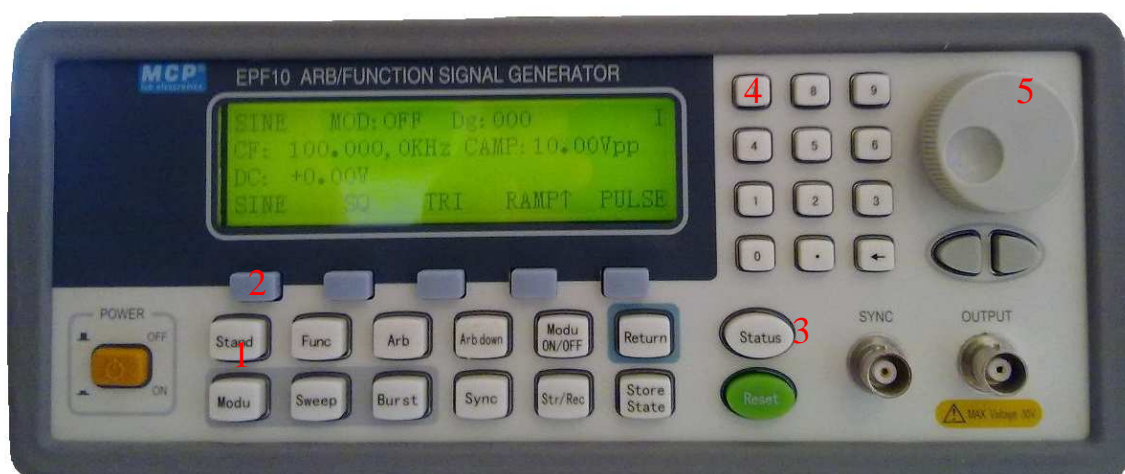
3.1.1 Výhody a nevýhody generátoru

Výhody:

- 8 standardních signálů,
- dobře čitelný LCD displej,
- komunikační port RS-232,
- přesná digitální FM modulace po celém pásmu,
- burst modulace,
- přesné rozmítání signálu pomocí digitální syntézy,
- paměť arbitrary průběhů.

Nevýhody:

- absence jiného komunikačního rozhraní,
- pouze 1 kanál,
- kmitočtové pásmo jen do 10 MHz,
- pomalé reakce přístroje. [10]



Obr. 8 - Arbitrary generátor MCP EPF10

3.1.2 Přední panel přístroje

Generátor má na předním panelu celkem šest skupin tlačítek, rozdělených podle jejich funkce do těchto skupin :

1. funkční tlačítka,
2. výběrová tlačítka,
3. systémová tlačítka,
4. numerická tlačítka,
5. nastavovací tlačítka.

Funkčních tlačítek je 12 a zapínají se zde různé funkce.

Tlačítko *Stand* slouží k výběru základních předdefinovaných průběhů jako je sinus apod.

Func zajišťuje výběr funkcí, např. funkci šumu.

V menu po stisknutí tlačítka *Arb* je možno si vybrat ze signálů, které byly před tím uloženy pomocí tlačítka *Arb down*, které má na starost komunikaci s PC.

Tlačítko *Return* vrací na nižší úroveň v menu.

Modu on/off slouží k zapnutí a vypnutí modulace, *Modu* na její nastavení.

Sweep slouží k rozkmitání výstupního signálu a *Burst* je pro vstup do funkce burst.

Pomocí *Sync* se vybírá synchronizační výstupní signál.

Tlačítka *Str/Rec* a *Store State* slouží ke vstupu do paměti přístroje.

Výběrová tlačítka jsou neoznačená, jelikož název funkce, příkazu nebo jednotky, jsou zobrazeny na displeji nad nimi. Jejich název se tedy mění a je závislý na aktuálním úrovni menu.

Systémová tlačítka jsou dvě *Status* a *Reset*. *Status* zvýrazní parametry, které lze v dané úrovni menu změnit a *Reset* resetuje přístroj do stavu, ve kterém se nacházel po zapnutí přístroje.

Numerická tlačítka slouží k zadávání číslic a desetinné čárky. Ve skupině s nimi je zde umístěno i tlačítko *Backspace*, které má stejnou funkci jako tlačítko na klávesnici u počítače.

Nastavovací tlačítka jsou tvořena z otáčejícího tlačítka, které slouží pro nastavení hodnoty na displeji a dvě tlačítka pro posun kurzoru na displeji.

Na předním panelu jsou kromě tlačítek a displeje umístěny dva konektory. Konektor s označením *Sync* je synchronizační výstup pro modulaci nosné a *Out* je výstupní konektor přístroje.

3.1.3 Zadní panel přístroje



Obr. 9 - Zadní panel generátoru

Na zadním panelu jsou umístěny tři BNC konektory, RS-232 port a konektor pro napájecí šňůru. Konektor s označením AF OUT je výstup interního modulačního signálu a AF IN je naopak vstup pro externí modulační signál používaný pro AM. Konektor s označením EXT TRIG IN je vstup pro externí spouštěcí signál používaný pro FSK a BURST. Některé verze generátoru mají i komunikační port GP-IB, bohužel tato verze ho nemá.

3.1.4 Formát dat pro komunikaci přes RS-232

Většina výrobců informuje uživatele o nastavení komunikace mezi generátorem a PC, společnost MCP Shanghai nikoliv.

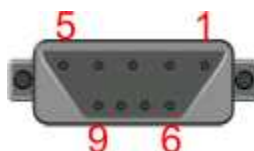
Pro správné fungování komunikace mezi PC a generátorem je jako první potřeba vědět základní informace, jako je přenosová rychlost, počet datových bitů, zda je přenášen paritní bit a počet stopbitů.

Pro získání těchto informací jsem se rozhodl použít Serial port monitor od společnosti Eltima Software, verze programu byla Trial, a dále jsem použil dodávaný software ke generátoru (Wave edit). Základní nastavení komunikace je v následující tabulce (Tab.2).

Tab. 2 - Základní nastavení komunikace

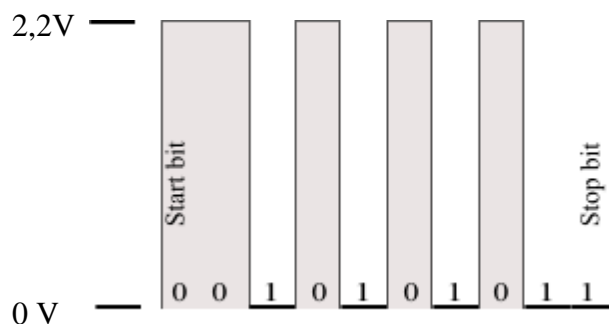
Parametry:	Hodnoty:
Přenosová rychlost	9600 Bd
Paritní bit	není
Počet datových bitů	8
Počet stop bitů	1

Generátor se připojuje k PC přes RS232 stejným způsobem, jako když se propojí mezi sebou dva počítače. Použije se tedy kabel RS232 křížený F-F, to znamená, že na obou stranách kabelu je konektor typu Female. Tento konektor má označení DB 9 a má devět pinů. Pro posílání dat z počítače do generátoru se využívá pin s názvem RXD a číselným označením 2. [9]

**Tab. 3 - DB 9 Female****Tab. 4 – Názvy jednotlivých pinů DB [9]**

Pin	Zkratka	Název
1	CD	Carrier Detect
2	RXD	Receive Data
3	TXD	Transmit Data
4	DTR	Data Termina Ready
5	GND	System Ground
6	DSR	Data Set Ready
7	RTS	Request To Send
8	CTS	Clear To Send
9	RI	Ring Indicator

Po sériové lince se přenáší logické jedničky a nuly. Pomocí programu Serial port monitor a také připojení osciloskopu na pin RXD, po kterém přicházejí data z počítače, jsem zjistil, jak program interpretuje určitá napětí, jenž si uživatel zvolí v programu Wave edit. Ke správnému načítání dat potřebuje generátor spouštěcí signál, což je číslo 177. Na Obr.10 je zobrazen jak tento signál vypadá se start bitem a jedním stop bitem. Dokud tento signál generátor neobdrží, nezačne načítat data.

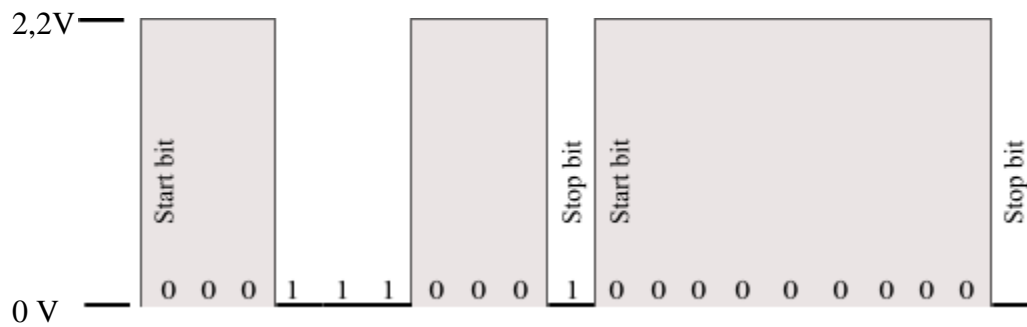


Obr. 10 - Spouštěcí signál číslo 177

Pro správné vykreslení průběhu potřebuje dále generátor přijmout 4096 vzorků signálu, přičemž ale každý vzorek je rozdělen do dvou hexadecimálních čísel. Generátor v arbitrary modu dokáže zobrazit napětí od -10 V do +10 V. Data se posílají přes sériovou linku v 8 bitovém formátu, což znamená, že by rozdíl od -10 V do +10 V náleželo 256 úrovní. Rozdíl mezi jednotlivými úrovněmi by byl 0.078 V. Tím, že se vzorek rozdělil do dvou čísel, se získala mnohem větší přesnost a menší rozdíl mezi jednotlivými úrovněmi. Tak jak jsou úrovně přiřazené k jednotlivým hodnotám celých napětí jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab.5). Jeden vzorek konstanty +5 V je zobrazen na Obr.11. Pokud se obě dvě hexadecimální čísla vyjádří jako dekadická, pak rozdíl mezi jednotlivými celými hodnotami napětí je 205, vyjma rozdílů mezi +5 V a +6 V, -5 V a -6 V a mezi -9 V a -10 V, kde je rozdíl pouze 204.

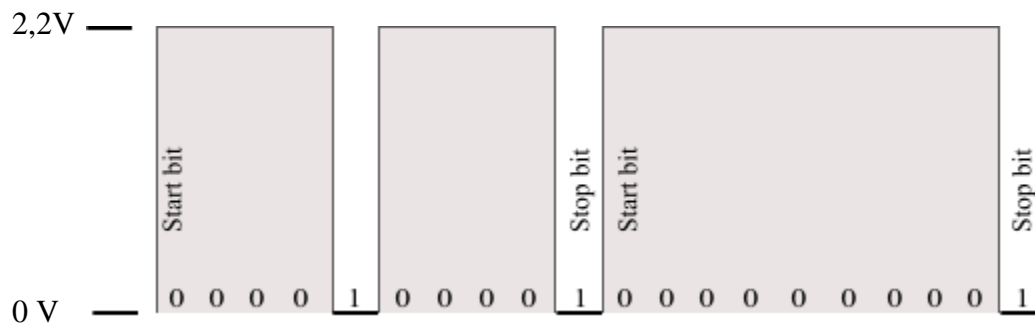
Tab. 5 - Přiřazená čísla k hodnotám napětí

Napětí v programu Wave edit	Hexadecimální číslo		Dekadické číslo		Dekadické číslo (obě části dohromady)
	1.část	2.část	1.část	2.část	
10 V	08	00	008	000	2048
9 V	08	CD	008	205	2253
8 V	09	9A	009	154	2458
7 V	0A	67	010	067	2663
6 V	0B	34	011	034	2868
5 V	12	00	012	000	3072
4 V	0C	CD	012	205	3277
3 V	0D	9A	013	154	3482
2 V	0E	67	014	067	3687
1 V	0F	34	015	034	3892
0 V	00	00	000	000	0
-1 V	00	CC	000	204	204
-2 V	01	99	001	099	409
-3 V	02	66	002	066	614
-4 V	03	33	003	033	819
-5 V	04	00	004	000	1024
-6 V	04	CC	004	204	1228
-7 V	05	99	005	099	1433
-8 V	06	66	006	066	1638
-9 V	07	33	007	033	1843
-10 V	07	FF	007	255	2047



Obr. 11- Data +5V

Pro úspěšné dokončení nahrání dat do generátoru potřebuje generátor signál, který se skládá z pěti dvojic 8 a 0. Jak vypadá část signálu, jedna dvojice, je zobrazeno na Obr.12.



Obr. 12 - Část zakončovacích čísel 8 a 0

4 Vytvořený software

4.1 Tvorba softwaru

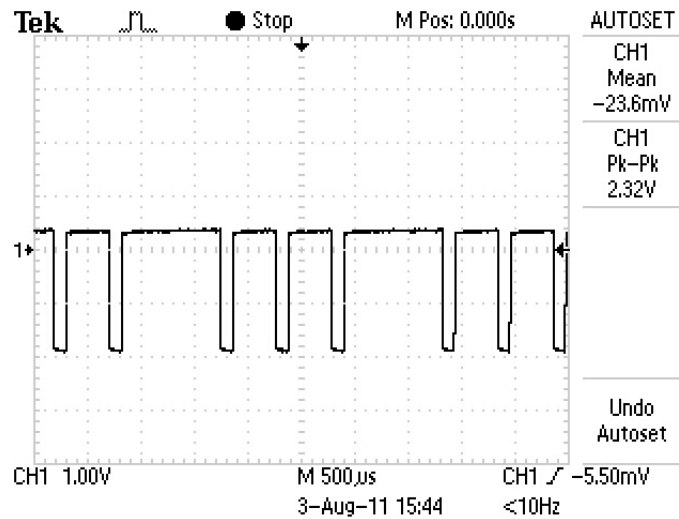
Nejjednodušší část byla vytvoření softwaru pro vykreslení průběhu na obrazovce počítače. Problémy nastaly při tvorbě komunikace mezi počítačem a generátorem. Výrobce sice dodává ke generátoru manuál, jehož obsah informuje uživatele o parametrech přístroje, ovšem o jeho funkcích je zde velice málo. Některé funkce jsou dokonce špatně popsány, nebo informují uživatele o triviálních úkonech a ty důležité jsou zde opomíjeny.

Software se skládá ze dvou m souborů s názvem cast1.m a f1.m. V prvním souboru jsou uloženy všechny funkce kromě výpočtu dat pro vykreslení průběhu. Výpočet zaopatřuje soubor f1.m. Zde je uložena funkce pro výpočet všech předdefinovaných průběhů.

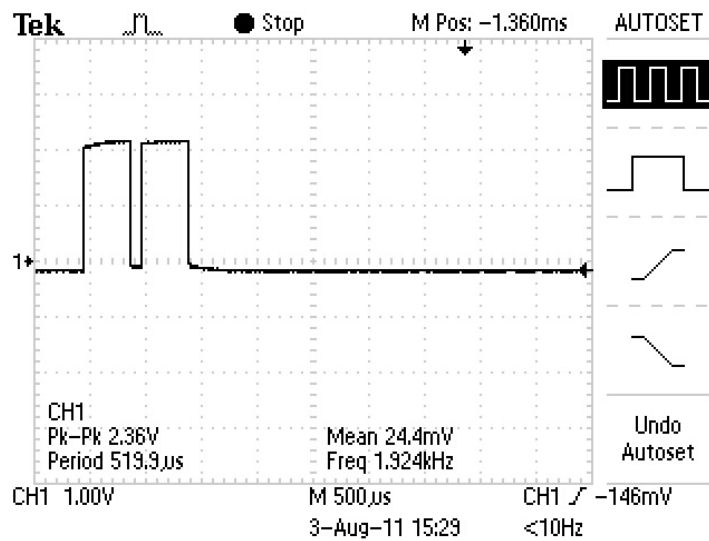
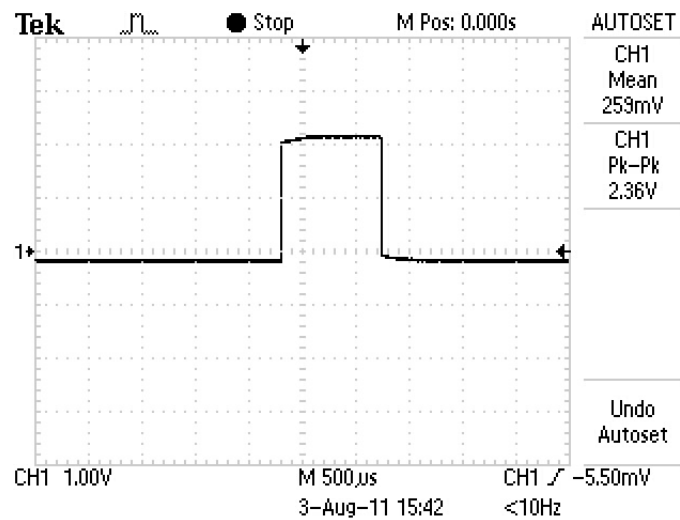
Hlavní problém byl v tom, že software byl vyvíjen tak, aby mohl co nejvíce nabídnout. Bohužel po složitém zprovoznění komunikace s PC bylo zjištěno, že spousta funkcí byla zbytečná. Jednoduše řečeno, vytvořený software byl pro generátor moc "chytrý". Přes komunikační rozhraní nelze nastavit frekvenci vygenerované průběhu, což se mi zdá jako velká slabina tohoto přístroje. Nadále nelze upravit stejnosměrná složka průběhu, respektive generátor přijme správně zakódovaná data, ale zjistí jaká je amplituda průběhu a průběh umístí tak, aby kladná i záporná amplituda byla stejně veliká. Pokud například zadáme v softwaru sinusový průběh s amplitudou 2 V a stejnosměrnou složkou -2 V, tak by správně měl mít průběh špičky 0 V a -4 V. Bohužel tyto informace generátor přijme, ale akceptuje napětí špička špička 4 V, amplituda tedy 2 V a špičky průběhu jsou pak +2 V a -2 V. Nastavení stejnosměrné složky jsem v softwaru zachoval a to z důvodu možnosti přidání dalších přístrojů, aniž by se muselo složitě zasahovat do kódu programu. Pokud by bylo potřeba přidat další přístroj, stačí přidat zaškrtačkové pole pro výběr generátoru a změnit kód v místě, kde se průběh signálu převzorkovává.

Další nevýhodou tohoto generátoru je, že přijímaný průběh přes sériovou linku se vždy spojí, "namoduluje" s průběhem signálu v generátoru. Tuto funkci se mi nepodařilo vypnout a není popsána ani nikde v manuálu. Správným nastavením parametrů průběhu v generátoru se docílí toho, že výsledný průběh bude pouze nepatrně zkreslený.

Na Obr.13 a Obr.14 jsou zobrazená data získaná připojením pinu číslo 2 sériové linky na osciloskop. První obrázek zobrazuje data vygenerovaná programem Wave edit, druhý data vygenerovaná pomocí tohoto softwaru. Obr.14 obsahuje dvě sejmutí obrazovky osciloskopu, jelikož software neposílá data hned za sebou. Tento software je vytvořený v programu Matlab, rychlost odesílání dat a rychlost matematických výpočtů závisí na hardwarovém vybavení počítače.



Obr. 13 - Vygenerovaná data pro 10V v programu Wave edit

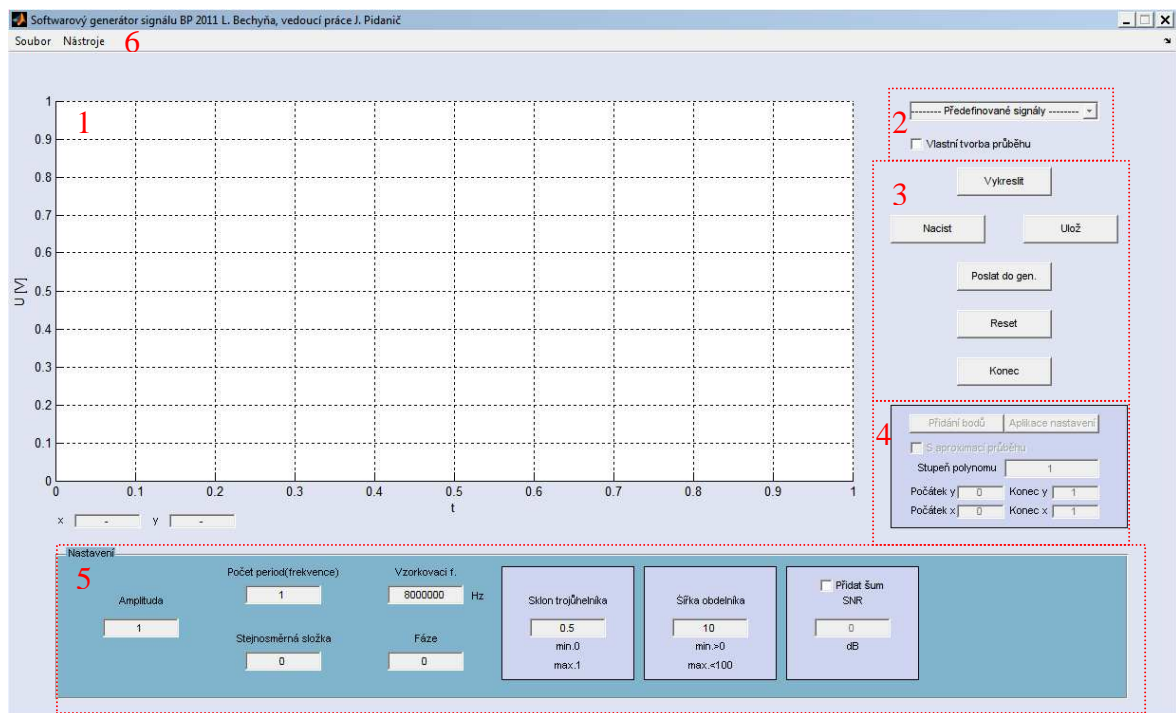


Obr. 14b - Vygenerovaná data pro 10V z vytvořeného programu

4.2 Popis hlavního okna

Po spuštění programu se zobrazí jedno velké okno které je zobrazeno na následujícím obrázku (Obr.15). Pro usnadnění popisu programu jsem okno rozdělil na dílčí části:

1. oblast pro vykreslení grafu,
2. výběr průběhu signálu,
3. akční tlačítka,
4. nastavení pro vlastní tvorbu signálu z bodů,
5. hlavní nastavení průběhu,
6. menu.

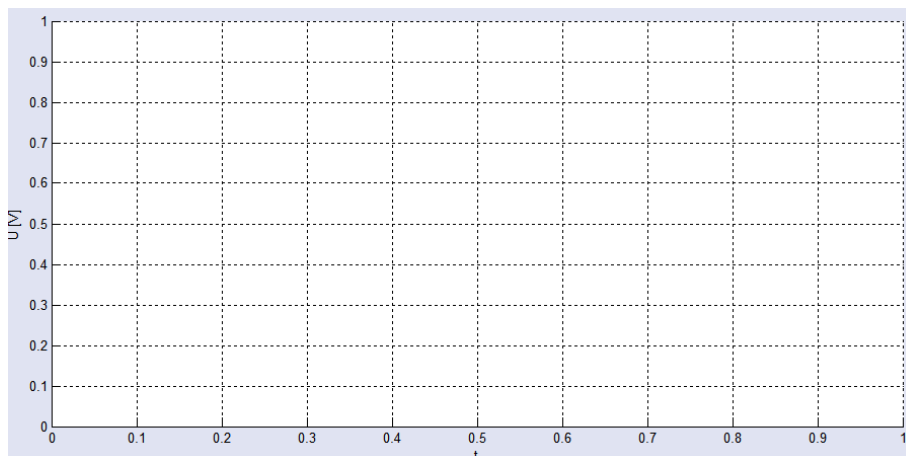


Obr. 15 - Okno programu

4.3 Popis jednotlivých částí okna

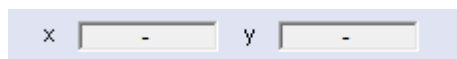
4.3.1 Oblast pro vykreslení grafu

Zde se vykresluje požadovaný průběh a jsou zde zobrazeny aktuální meze os s jejich popisky. Po zapnutí a nebo resetování programu oblast odpovídá následujícímu obrázku (Obr. 16).



Obr. 16 - Oblast pro vykreslení grafu

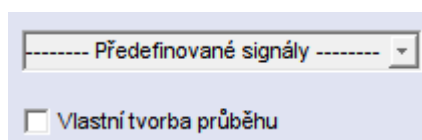
Pod grafem jsou umístěna informační pole, které informují o aktuálním umístění kurzoru nebo jiného nástroje v grafu na ose x a ose y. Pokud kurzor ukazuje mimo oblast grafu, pole zobrazují "--". Informační pole jsou zobrazena na Obr.17.



Obr. 17 - Informační pole

4.3.2 Výběr průběhu signálu

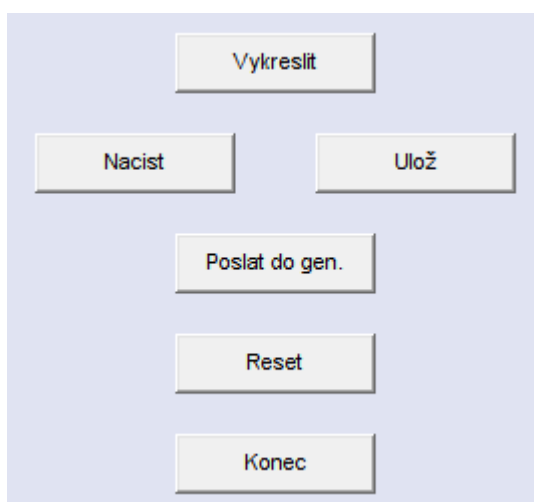
Zde se nachází jedno rozvírací menu a jedno zaškrtnuté pole. V rozvíracím menu jsou uloženy základní předdefinované signály, tj. sinus, cosinus, levostranná pila, pravostranná pila, trojúhelník, obdélník a konstanta. Zaškrtnuté pole aktivuje tvorbu průběhu signálu vytvořeného z bodů, který uživatel "nakliká" pomocí kurzoru. Pokud je vybrána jedna ze dvou možností, ta druhá je deaktivovaná, uživatele se tedy musí vždy pro výběr druhé možnosti vrátit do výchozího nastavení.



Obr. 18 - Výběr průběhu

4.3.3 Akční tlačítka

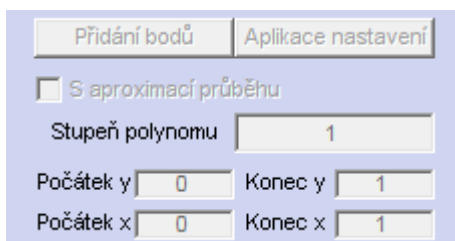
Na Obr.19 je zobrazeno šest hlavních akčních tlačítek. Po stisknutí tlačítka *Vykreslit* se zobrazí průběh signálu dle parametrů jaké nastavených uživatelem. Tlačítko *Načíst* a *Ulož* načítá a ukládá data, tedy uživatelem vytvořený průběh signálu a to ve formátu csv, mat nebo txt. Tlačítko s názvem *Poslat do gen.* spouští komunikaci s generátorem, průběh signálů převzorkuje a upraví data do podoby jež generátor akceptuje. Tlačítko *Reset* vymaže všechny data a veškeré parametry nastaví do výchozích hodnot, tak jak se nacházely po spuštění programu. Tlačítko *Konec* vymaže z paměti všechna data a zavře okno programu.



Obr. 19 - Akční tlačítka

4.3.4 Nastavení pro vlastní tvorbu signálu

Zde se nachází nástroje pro tvorbu vlastního průběhu, popřípadě aproximaci vytvořeného průběhu. Po stisknutí tlačítka *Přidání bodů* je možno pomocí kurzoru myši vytvořit v oblasti grafu hlavní kostru průběhu. Tlačítko *Aplikace nastavení* získává informace o tom, na jaké hodnoty uživatel nastavil do editačních oken *Počátek y*, *Konec y* a *Konec x* a podle těchto hodnot upravuje meze osy x a y. Dále také zjišťuje zda uživatel požaduje aproximaci průběhu a pokud ano, jaký má daná aproximace stupeň polynomu. Meze os se změní ihned po stisknutí tlačítka *Aplikace nastavení*, ale aproximovaný nebo neaproximovaný průběh signálu se zobrazí až po stisknutí akčního tlačítka *Vykreslit*.



Obr. 20 - Nastavení pro vlastní tvorbu průběhu signálu

4.3.5 Hlavní nastavení

Zde se nastavují parametry průběhu signálu pro předdefinované signály. Editační okno Amplituda je aktivní pro všechny předdefinované průběhy a určuje Amplitudu předdefinovaného signálu. Generátor umí přijímat po sériové lince průběhy s maximální amplitudou 10 V, pokud daný průběh signálu bude mít větší amplitudu, bude zkreslen.

Pole počet period udává kolik period bude průběh mít. Bohužel generátor nepodporuje přesné nastavení frekvence přes sériový port, tudíž zde uživatel nenajde okno pro nastavení frekvence, ale platí že jedna perioda odpovídá 100 kHz. Pole počet period je deaktivované pokud je zvolený průběh konstanta.

Pole Stejnoseměrná složka udává stejnosměrnou složku průběhu signálu, tedy posun signálu nahoru a dolů po ose x při zachování amplitudy.

Vzorkovací frekvence určuje kolik vzorků má daný průběh mít, je potřeba znát, že tato vzorkovací frekvence slouží pro potřeby zobrazení v okně. Program následně průběh vždy přepočítá na počty vzorků tak, jak požaduje generátor, tedy 4096 vzorků. Ačkoliv se zdá, že tato funkce zde nemá žádné využití, slouží pro upřesnění tvaru průběhu signálu. Tento parametr je deaktivován pouze pro konstantu, kde by byl bezúčelný.

Parametr Fáze ovlivňuje počáteční fázi průběhu signálu a jako v předchozím případě je deaktivován pouze pro konstantu.

Parametr sklon trojúhelníka určuje tvar trojúhelníka. Parametr může nabývat hodnot 0 až 1. Při 0.5, což je výchozí nastavení, se generuje rovnoramenný trojúhelník, dále směrem nule se získá levostranná pila a směrem k 1 se získá pravostranná pila.

Šířka obdélníka udává šířku obdélníka v jedné periodě. Uživatel může nastavit hodnotu 0 až 100, přičemž při krajních hodnotách obdélník vypadá jako konstanta. Pokud je ponecháno výchozí nastavení a parametr je nastaven na 10, pak je 10 % z periody obdélník a zbylých 90 % je konstanta.

Poslední parametr Šum je aktivní pouze pro předdefinované signály. Slouží k přidání šumu k signálu vybraného uživatelem, jehož velikost je ovlivněna SNR, který uživatel zadává. Výchozí nastavení tohoto parametru je 0 dB.

Pokud uživatel zadá do editačních polí písmeno a ne číslici pak program nebude správně fungovat. Ošetření této chyby nebylo požadováno, jelikož s aplikací budou pracovat pouze poučení uživatelé. Všechny výše popsané parametry můžete vidět na Obr.21 umístěném pod textem.

The screenshot shows a configuration window with several input fields and labels:

- Počet period(frekvence):** Input field with value 1.
- Vzorkovací f.:** Input field with value 8000000 Hz.
- Amplituda:** Input field with value 1 V.
- Stojnosměrná složka:** Input field with value 0 V.
- Fáze:** Input field with value 0 °.
- Sklon trojúhelníka:** Input field with value 0.5, with min:0 and max:1.
- Šířka obdelníka:** Input field with value 10, with min: >=0 and max: <100.
- Přidat šum SNR:** A checkbox labeled "Přidat šum SNR" is checked, with an input field below it showing 0 dB.

Obr. 21 - Hlavní nastavení

4.3.6 Menu

Pod názvem programu se nacházejí dvě menu s názvem Soubor a Nástroje. V menu Soubor lze načíst a uložit data, vytisknout průběh signálu a ukončit aplikaci. V menu Nástroje lze kurzor vyměnit za lupu nebo ruku. Lupa slouží k přiblížení průběhu v grafu nebo oddálení a nástroj ruka k posunu průběhu v grafu.

4.4 Ukázky funkce programu

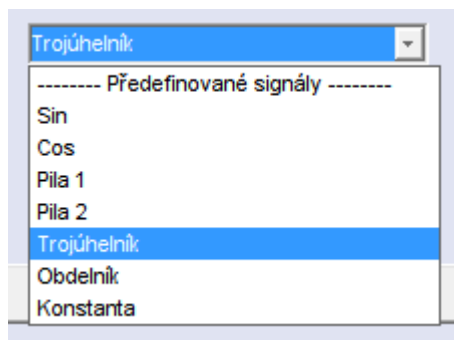
Zde bude zobrazena ukázka funkce programu, budou uvedeny dva příklady. První příklad bude vykreslení předdefinovaného průběhu a druhý vykreslení vlastního vytvořeného signálu.

4.4.1 Vykreslení předdefinovaného průběhu

Požadavky na průběh signálu :

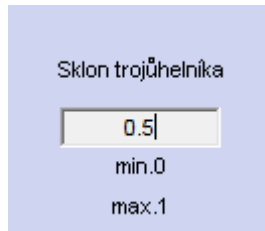
- tvar rovnoramenný trojúhelník,
- amplituda 2 V,
- 2 periody,
- šum SNR 20 dB.

Nejdříve se vybere typ předdefinovaného průběhu signálu, v tomto případě tedy trojúhelník.



Obr. 22 - Výběr průběhu signálu

Pro získání rovnoramenného trojúhelníka je potřeba nastavit parametr sklon trojúhelníka na 0.5.



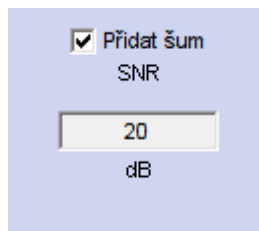
Obr. 23 - Nastavení sklonu trojúhelníka

Dále se nastaví amplituda na 2 V a počet period na 2.



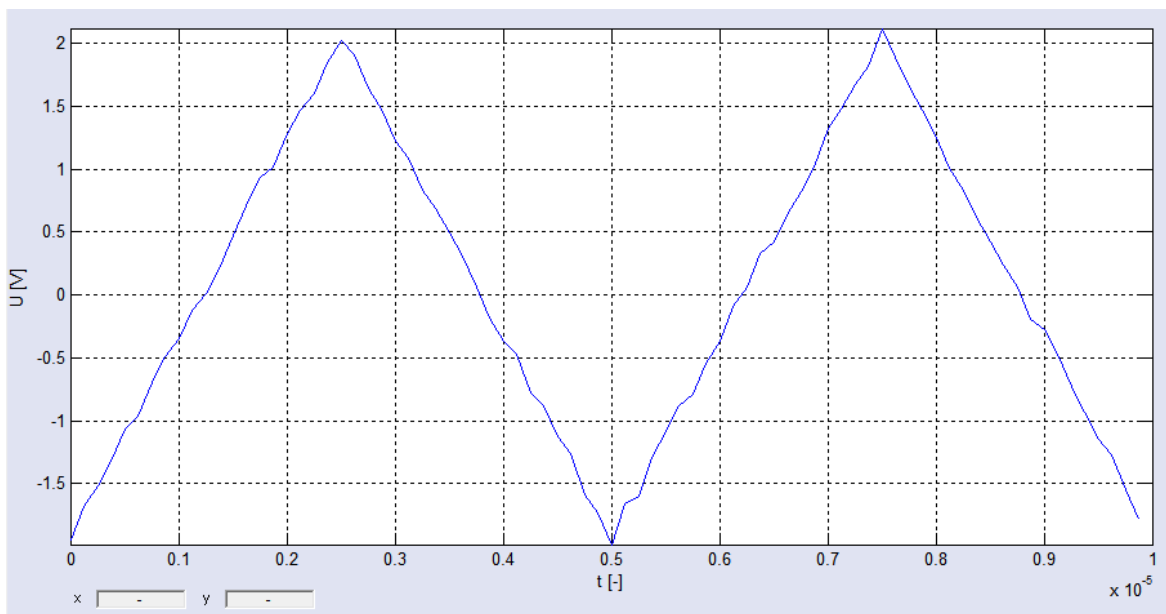
Obr. 24 - Nastavení požadovaných parametrů

Následně se zaškrtně pole pro přidání šumu a zadá se SNR 20 dB.



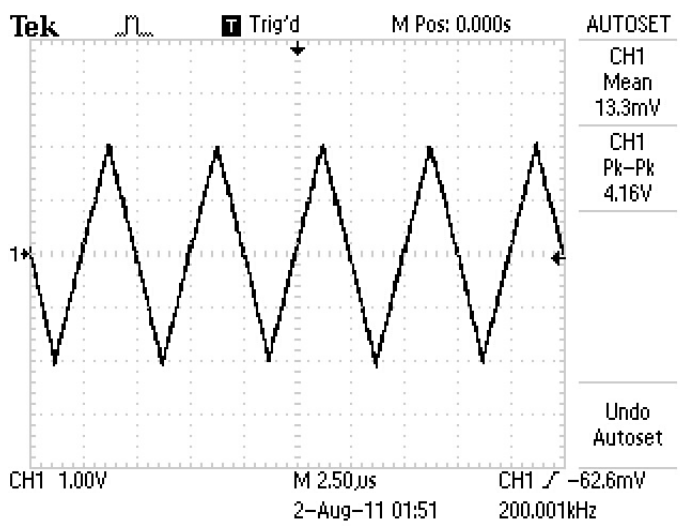
Obr. 25 - SNR

Po zmáčknutí tlačítka *Vykreslit* se průběh signálu dle nastavených parametrů vykreslí. Pokud by při vykreslení průběhu došlo k chybě je třeba použít tlačítko *Reset* a po zadání stejných parametrů nechat vykreslit průběh znovu.



Obr. 26 - Vytvořený průběh

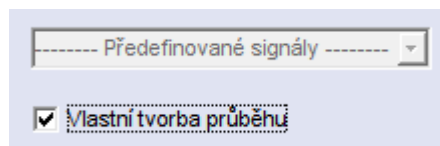
Po stisknutí tlačítka Poslat do gen. program pošle informace o průběhu signálu do generátoru. Vygenerovaný průběh signálu na výstupu generátoru je zobrazen na Obr.27.



Obr. 27 - Snímek z osciloskopu

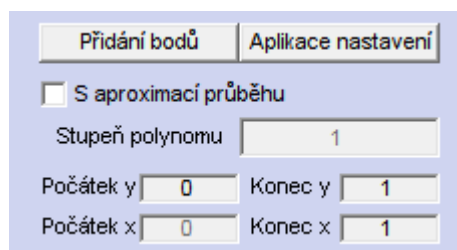
4.4.2 Vykreslení vlastního průběhu

Pro tvorbu průběhu pomocí myši musí uživatel zaškrtnout pole s názvem *Vlastní tvorba průběhu*, toto pole zobrazeno na Obr.28.

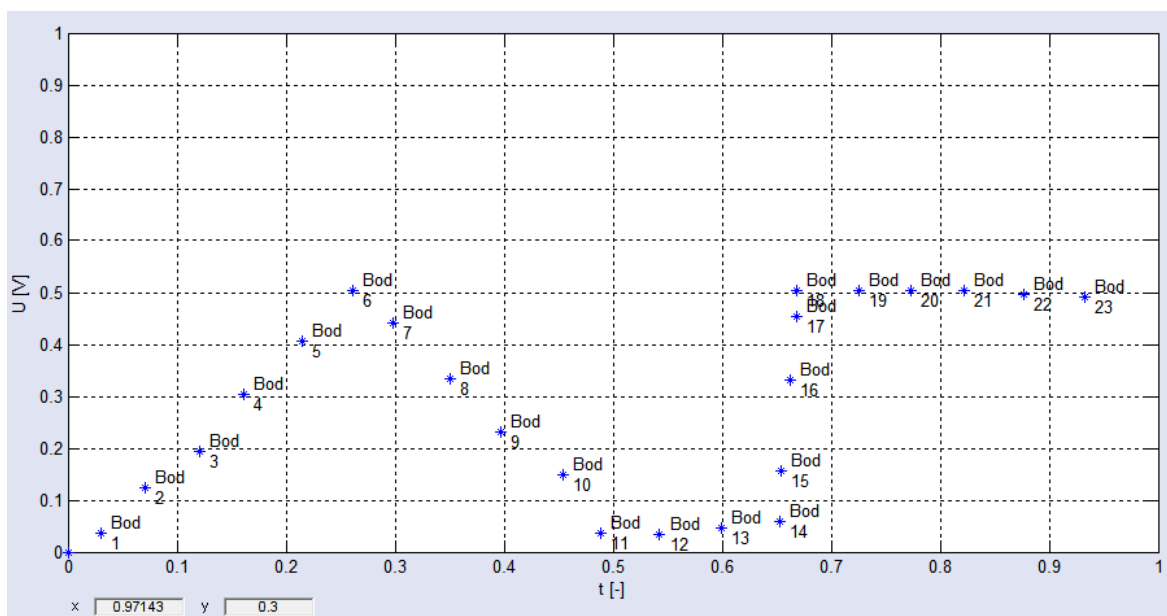


Obr. 28 - Zaškrtnuté pole

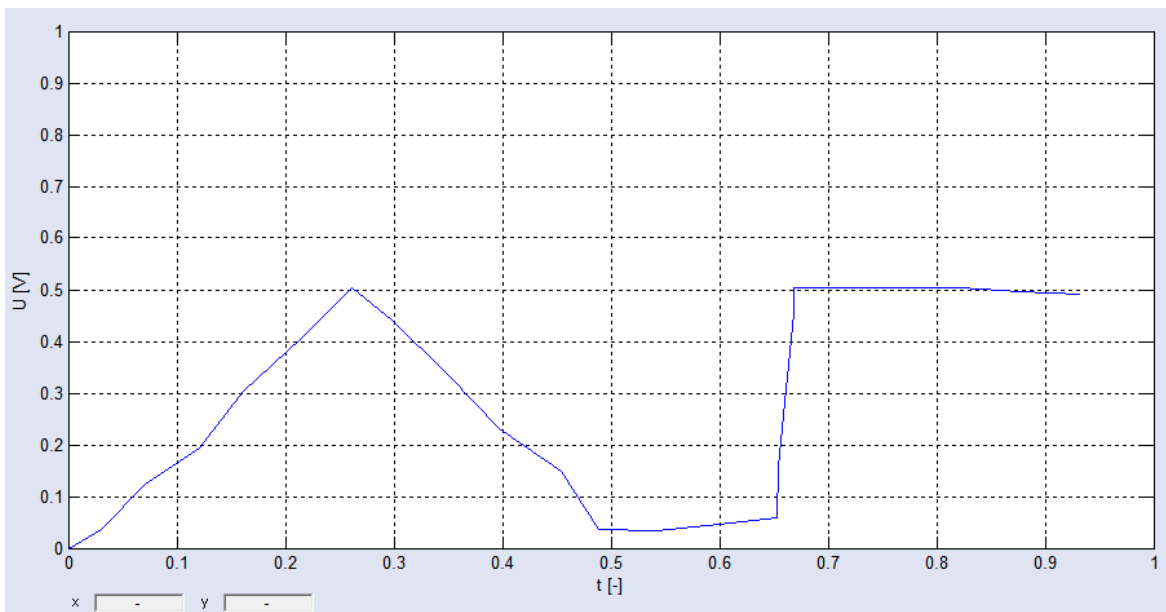
Dále musí uživatel aktivovat funkci pomocí tlačítka Přidání bodů, pak uživatel může “naklikat” jakýkoliv počet bodů, během této práce je možné změnit meze osy x a y, ale vždy je potřeba akci potvrdit tlačítkem aplikace nastavení. Pokud uživatel chce průběh vykreslit, tak může zvolit vykreslení s aproximací a nebo bez ní. Pak stačí stisknout akční tlačítko Vykreslit. Pokud uživatel chce, je tu možnost doplnit průběh o další body, které budou navazovat na předešlý poslední bod. Výběr stupně aproximace lze kdykoliv změnit, nebo vykreslit průběh bez aproximace. Na Obr.30 jsou zobrazeny body signálu, jak si je uživatel zvolil, a na Obr.31 je vykreslen průběh signálu, který vznikl spojením těchto bodů. Na Obr.32 je zobrazen tentýž průběh, ale s použitou aproximací .



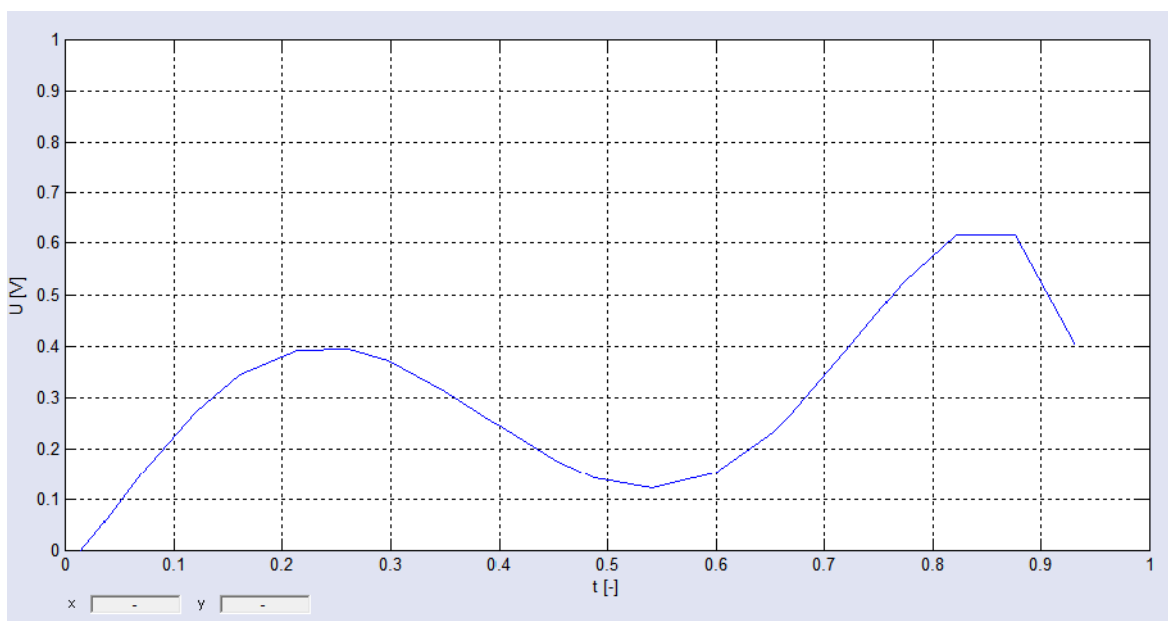
Obr. 29 - Nastavení



Obr. 30 - Body průběhu signálu



Obr. 31 - Průběh signálu vytvořený z bodů bez aproximace



Obr. 32 - Průběh signálu vytvořený z bodů s aproximací 5 stupně

Program nabízí uživateli průběh uložit a kdykoliv načíst. Stačí použít tlačítko *Ulož* a vybrat do jakého typu souboru se mají daná data uložit. Tyto data lze kdykoliv nahrát pomocí tlačítka *Nahraj*. Po nahrání průběhu se osy vždy přizpůsobí danému průběhu.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit program pro tvorbu průběhu signálů, který se následně pošle přes sériovou linku do arbitrary generátoru. Pro tvorbu byl použit program Matlab. Všechny prvky grafického prostředí byly vkládány ručně, což bylo sice složitější a časově náročnější, ale díky tomuto postupu se získal optimální zdrojový kód. Vytvořený program je plně funkční a posílá data přes sériovou linku do generátoru. Komunikace po sériové lince je nastavena pro sériový port COM1, jelikož tento port je využíván na počítačích v laboratořích FEI.

Program má efektivně rozložené ovládací prvky. Pomocí tvorby vlastního průběhu si může uživatel vytvořit libovolný průběh s amplitudou až 10 V. Výhodou je zde možnost i po vykreslení průběhu prodloužit průběh o další body, popřípadě změnit aproximaci průběhu. Volba předdefinovaných průběhů signálu je velice jednoduchá, celkem je na výběr ze 7 předdefinovaných průběhů. U takto vytvořených průběhů lze měnit jejich parametry nebo přidat k průběhu signálu šum. Jsou zde parametry, jako je počet period, fáze, sklon trojúhelníka, šířka obdélníka, vzorkovací frekvence nebo právě možnost přidání šumu, které programu dodávaného s generátorem chyběly. Kromě toho je zde možnost při vlastní tvorbě průběhů si měnit meze os. Pro jednodušší tvorbu vlastního průběhu jsou pod grafem průběhu umístěny souřadnice kurzoru, díky tomu může uživatel přesně určit polohu bodu, který ovlivní vzhled budoucího průběhu. Jakýkoliv průběh lze uložit do souboru s příponou txt, csv nebo mat.

Součástí teoretické části práce bylo porovnání nabízených arbitrary generátorů na trhu. Z důvodu velkého množství modelů u jednotlivých výrobců jsem vždy vybral nejvyšší nabízený model od daného výrobce. Nižší modely většinou disponují obdobnými funkcemi, mají ale menší frekvenční pásmo, omezený výběr modulací a většinou jeden kanál.

Literatura

- [1] **Lecroy.** *ArbStudio*. [Online] [Citace: 17. 5 2011.]
<http://www.lecroy.com/ArbStudio/arbstudio.aspx#spec>
- [2] **Lecroy.** *Datasheet ArbStudio*. [Online] [Citace: 17. 5 2011.]
http://www.lecroy.com/files/pdf/LeCroy_ArbStudio_Datasheet.pdf
- [3] **B&K Precision.** *Datasheet Model 4079*. [Online] [Citace: 17. 5 2011.]
http://www.bkprecision.com/products/docs/manuals/4076_79_manual.pdf
- [4] **B&K Precision.** *50 MHz Dual Channel Arbitrary Waveform Model 4079*. [Online] [Citace: 22. 5 2011.] <http://www.bkprecision.com/products/model/4079/50-mhz-dual-channel-arbitrary-waveform-function-generator.html>
- [5] **Dataman.** *Dataman 531*. [Online] [Citace: 23. 5 2011.]
<http://www.dataman.com/webpages/productview.aspx?pid=856>
- [6] **TTI.** *TGA 12100*. [Online] [Citace: 23. 5 2011.] <http://www.ttid.co.uk/products-tti/pdf-brochure/gen-tga1200-8p.pdf>
- [7] **Stanford Research Systems, Inc.** *Function Generator*. [Online] [Citace: 23. 5 2011.]
<http://www.thinksrs.com/products/DS345.htm>
- [8] **Tektronic, Inc.** *AWG 7000s*. [Online] [Citace : 3. 5 2011.]
<http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&cs=psu&ci=14056&lc=EN>
- [8] **Agilent Technologies.** *Agilent 81180 Arbitrary waveform generator*. [Online] [Citace: 17. 5 2011.] <http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?nid=-536902257.930158.00&cc=CZ&lc=eng>
- [9] **hw.cz.** *.Sériová linka RS-232* [Online] [Citace: 14. 4 2011.] <http://hw.cz/rs-232#konektory>
- [10] **MCP Shanghai.** *EPF10 ARB / Function signal generator Instructions for operation v1.2*
- [11] **ZAPLATÍLEK, K.; DOŇAR, B.** *Matlab tvorba uživatelských aplikací*. Praha : Nakladatelství BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-133-0.
- [12] **ZAPLATÍLEK, K.; DOŇAR, B.** *Matlab začínáme se signály*. Praha : Nakladatelství BEN – technická literatura, 2006. ISBN 9788073002008
- [13] **TAUFER, I.; KOTYK, J. a JAVŮREK, M.** *Jak psát a obhajovat závěrečnou práci bakalářskou, diplomovou, rigorózní, disertační, habilitační*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-157-3.

Příloha – Obsah CD

Příložené CD obsahuje textovou část bakalářské práce pod názvem **BechynaLadislav_SoftwarovyGenerator_JP_2011.pdf**. Složka Program obsahuje dva soubory s názvy:

- Cast1.m
- f1.m