

**VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2011

Marcel Zůvala

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Měření s USB generátorem

Measuring with USB Function Generator

2011

Marcel Zůvala

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Marcel Zůvala**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: **Měření s USB generátorem**
Measuring with USB Function Generator

Zásady pro vypracování:

1. Popište činnost analogového i digitálního generátoru, specifikujte pojem USB generátor
2. Detailně prozkoumejte a uveďte možnosti realizace výstupních signálů u vybraného vzorku USB generátoru
3. Podle pokynů vedoucího realizujte vzorové měření a výsledky prezentujte ve formě návodu k laboratorní úloze

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

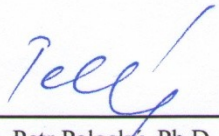
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Pavelek, Ph.D.**


Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011





doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*

.....
Marcel Zůvala

Datum odevzdání bakalářské práce: 6. 5. 2011

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Pavelkovi, Ph.D. za odborné rady, které mi v průběhu zpracování poskytl a všem, kteří mi s vytvořením této bakalářské práce pomáhali.

Abstrakt

Tato bakalářská práce zahrnuje problematiku funkčních generátorů. Obsahuje teoretickou část, kde se zabývám jejich rozdělením a principy činnosti. Cílem této práce je podrobný popis USB funkčního generátoru Agilent U2761A, jeho vlastností, ovládání a možnosti jeho využití s názornými ukázkami realizace výstupních signálů. Vzhledem k modulárnímu USB provedení tohoto generátoru jsem uvedl způsoby komunikace s tímto generátorem, doplněné praktickými příklady použití. V závěru jsem realizoval vzorová měření včetně prezentace jejich výsledků formou laboratorní úlohy.

Abstract

This bachelor thesis comprises problems of function generators. It includes theoretical part that deals with their dividing and principles. The main goal of this thesis is a detailed description of USB function generator Agilent U2761A, its properties, operating and the possibilities of its usage with descriptive samples of a signal realization. With regard to modular USB design of this generator, I showed how to communicate with this generator with practical demonstrations of this communication. In conclusion, I realized sample measurements including its results in a form of laboratory measurement.

Klíčová slova

Funkční generátor, Přímá digitální syntéza, USB modul, Ovladač, Výstupní signál

Keywords

Function generator, Direct digital synthesis, USB modul, Driver, Output signal

Seznam použitých symbolů a zkratek

AMM	Agilent Measurement Manager
AIWE	Agilent Intuilink Waveform Editor
CSV	Comma-separated values (hodnoty oddělené čárkami)
TSV	Tab-separated values (hodnoty oddělené tabulátorem)
DDS	Direct Digital Synthesis (přímá digitální syntéza)
DAS	Direct Analog Synthesis (přímá analogová syntéza)
DMM	Digital Multimeter (digitální multimetr)
PC	Personal computer (osobní počítač)
AM	Amplitudová modulace
FM	Frekvenční modulace
PM	Phase Modulation (fázová modulace)
D/A	Digitálně analogový
AKO	Astabilní klopný obvod
VCO	Voltage controlled oscillator (napětím řízený oscilátor)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
FSK	Frequency-Shift Keying (frekvenční klíčování)
PSK	Phase-Shift Keying (fázové klíčování)
ASK	Amplitude-Shift Keying (amplitudové klíčování)
ROM	Read Only Memory (typ paměti)
SCPI	Standard Commands for Programable Instruments
ICT	Instrument Control Toolbox
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (americký standardní kód pro výměnu informací)

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. FUNKČNÍ GENERÁTORY	2
2.1 TYPY GENERÁTORŮ	2
2.2 ANALOGOVÉ GENERÁTORY	3
2.2.1 Generátory harmonických kmitočtů	3
2.2.1.1 RC oscilátory	3
2.2.1.2 LC oscilátory	3
2.2.1.3 Krystalové oscilátory	4
2.2.2 Generátory impulzních průběhů	5
2.2.2.1 Generátor obdélníkového průběhu - astabilní klopný obvod AKO	5
2.2.2.2 Generátor trojúhelníkových průběhů	6
2.2.2.3 Generátor pilových průběhů	6
2.2.3 Generátor sinusového průběhu z obdélníku a pily	7
2.2.4 Generátor s fázovým závěsem	7
2.3 DDS	9
2.4 USB FUNKČNÍ GENERÁTORY	12
3. FUNKČNÍ GENERÁTOR AGILENT U2671A	13
3.1 ZÁKLADNÍ POPIS	13
3.2 INSTALACE A KONFIGURACE GENERÁTORU	15
3.3 AGILENT MEASUREMENT MANAGER	16
3.3.1 Výstupní funkce generátoru	17
3.3.2 Výstupní frekvence generátoru	17
3.3.3 Výstupní amplituda generátoru	18
3.3.4 Offset	18
3.3.5 Výstupní jednotky	18
3.3.6 Výstupní impedance	18
3.3.7 Nastavení střídavy obdélníkového signálu	19
3.3.8 Pila	20
3.3.9 Pulsní průběh	20
3.3.10 AM modulace	21
3.3.11 FM modulace	22
3.3.12 PM modulace	22
3.3.13 Generování průběhu s klíčováním posuvem kmitočtu	23
3.3.14 Generování rozmítaného kmitočtu	23
3.3.15 Spouštěcí signál	24
3.3.16 Libovolný průběh	24
3.4 AGILENT INTUİLÍNK WAVEFORM EDITOR	25
3.5 CSV FORMÁT	28

3.6	IVI OVLADAČ	29
3.7	MOŽNOSTI KOMUNIKACE S PROGRAMEM MATLAB	30
3.8	MOŽNOSTI KOMUNIKACE S PROGRAMEM LABVIEW	33
4.	ZÁVĚR	35
	POUŽITÁ LITERATURA	36
	SEZNAM PŘÍLOH	37

Seznam obrázků

Obr. 1 – RC oscilátor [2].....	3
Obr. 2 – Clappův oscilátor [2].....	4
Obr. 3 – Krystalový oscilátor [2]	5
Obr. 4 – Generátor obdélníkového průběhu [3]	5
Obr. 5 – Generátor trojúhelníkového průběhu [4].....	6
Obr. 6 – Generátor pilového průběhu [4].....	6
Obr. 7 – Generátor s funkčním měničem	7
Obr. 8 – Zapojené funkčního měniče	7
Obr. 9 – Generátor s fázovým závěsem [4].....	8
Obr. 10 – Blokové schéma DDS obvodu [1].....	9
Obr. 11 – Uspořádání fázového a delta registru [1]	9
Obr. 12 – Fázový kruh DDS systému [5].....	10
Obr. 13 – Různé rozložení uzlových bodů v jednotlivých periodách [5].....	11
Obr. 14 – Průběhy u jednotlivých bloků [6].....	11
Obr. 15 – USB rám Agilent U2781A spolu s různými moduly [10].....	12
Obr. 16 – U2761A modulární USB funkční generátor	13
Obr. 17 – přední panel generátoru U2761A.....	14
Obr. 18 – zadní panel generátoru U2761A.....	14
Obr. 19 – rám pro USB moduly U2781A [8].....	15
Obr. 20 – detekovaný generátor U2761A	15
Obr. 21 – Ověření komunikace	16
Obr. 22 – Agilent Measurement Manager.....	16
Obr. 23 – Nastavení střídání [7].....	19
Obr. 24 – Nastavení symetrie [7]	20
Obr. 25 – Pulsní průběh [7].....	20
Obr. 26 – Panel modulací.....	21
Obr. 27 – FSK modulace [7]	23
Obr. 28 – PSK modulace [7]	23
Obr. 29 – ASK modulace [7]	23
Obr. 30 – Frekvenční rozmítání (lineární).....	24
Obr. 31 – Vytvořený vlastní průběh.....	25
Obr. 32 – Ověření průběhu osciloskopem.....	25
Obr. 33 – Panel Agilent IntuiLink Waveform Editoru.....	26
Obr. 34 – Parametry signálu ISO7637-2 TP2a.....	27
Obr. 35 – Zrealizovaný ISO7637-2 TP2a	27
Obr. 36 – Obdélníkový signál sečtený s šumem	28
Obr. 37 – Průběh ISO7637-2 TP2b v Excelu.....	29
Obr. 38 – Konfigurace IVI ovladače v programu Matlab	30
Obr. 39 – Blokové schéma konfigurace IVI ovladače v programu Matlab [14].....	31
Obr. 40 – Generovaný průběh ověřený osciloskopem	32

Obr. 41 – Ovladač generátoru Agilent U2761A v Labview.....	33
Obr. 42 – Ovládací panel generátoru	33
Obr. 43 – Schéma zapojení generátoru	34
Obr. 44 – Generovaný průběh ověřený osciloskopem	34

Seznam tabulek

Tab. 1 – Výstupní funkce [7]	177
Tab. 2 – Rozsah výstupních frekvencí [7].....	17
Tab. 3 – Maximální frekvence nosné vlny AM modulace [7]	222
Tab. 4 – Maximální frekvence nosné vlny FM modulace [7]	222

1. Úvod

Generátory funkcí patří mezi jedny z nejdůležitějších elektronických zařízení určených pro vývoj, opravy, testování a ladění jak analogových, tak i digitálních elektronických obvodů. Používají se pro generování elektrických signálů jako je např. sinus, pila, trojúhelník nebo obdélník. Moderní funkční generátory nabízejí rozšířené možnosti, jako jsou např. různé typy modulací a jsou schopné generovat jakýkoliv signál. Oblast využití těchto zařízení je velice široká, od výzkumu a vývoje, vzdělávacích institucí až po různá servisní pracoviště.

Úvodní část této bakalářské práce se zabývá teoretickým rozбором funkčních generátorů, jejich rozdělením a vysvětlením principu činnosti. Hlavní část této práce se týká arbitrárního funkčního generátoru Agilent U2761A, jeho detailním popisem, možnostmi použití a formou laboratorní úlohy jsou provedena vzorová měření včetně jejich vyhodnocení.

2. Funkční generátory

2.1 Typy generátorů

Generátory mohou být analogové i digitální. Analogové syntezátory obvykle používají několik zdrojů signálů (s definovaným kmitočtem), k tomu aby postihly přeladění v potřebném rozsahu. Jejich kmitočty jsou následně násobeny nebo děleny a pomocí směšování s následnou filtrací dále sečítány nebo odečítány tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot. Uvedené procesy bývají označovány jako přímá analogová syntéza DAS (Direct Analog Synthesis). Syntezátory na bázi DAS jsou charakteristické vysokou spektrální čistotou generovaného signálu a poměrně rychlým přeladováním. Jsou však dosti složité a drahé. Rozšíření číslicových metod ve všech oblastech elektrotechniky vede v současnosti k realizaci syntezátorů pracujících na principu přímé digitální syntézy označované zkratkou DDS (Direkt Digital Synthesis).

Přímá digitální syntéza (DDS) je způsob vytvoření frekvenčně a fázově modulovaného výstupního signálu ze stabilního referenčního signálu o konstantní frekvenci. Při vytváření tohoto signálu se používá obvodů pro číslicové zpracování signálu. Frekvence referenčního signálu je v DDS obvodu dělena, přesněji upravena řídicím slovem (číslem), které má obvykle rozsah 24 až 48 bitů, což umožňuje velmi jemné ladění výstupní frekvence. [1]

Ačkoli byl princip DDS znám již řadu let, nehrály donedávna tyto obvody dominantní roli při generaci širokopásmových frekvencí vzhledem k omezení rychlosti číslicovou logikou a D/A převodníků. Poslední pokroky v technologii integrovaných obvodů a algoritmů pro číslicové zpracování signálů přinesly do této oblasti výrazný pokrok. U obvodů DDS lze nyní navíc jednoduše digitálně řídit různé funkce, např. způsoby modulace, frekvenční skoky atd. Navíc tyto digitální obvody nemají teplotní drift, který se projevuje u analogových systémů. Teplotní drift je změna proudového a napěťového offsetu v závislosti na teplotě. Udává se v nA/ °C nebo $\mu\text{V}/\text{°C}$. [1]

V současné době se vyrábí řada jednočipových DDS systémů ve formě integrovaných obvodů, které je možno použít místo původních analogových syntezátorů pracujících na principu fázových závěsů. Obvody DDS lze dále využít i pro realizaci různých generátorů přeladitelných v širokém kmitočtovém pásmu. [1]

Přímá digitální syntéza má následující výhody:

- ladění výstupní frekvence s mikro-Hertzovým rozlišením a fázové ladění na desetiny stupně, vše digitálně řízeno
- extrémně rychlé skokové změny frekvence i fáze, nebo naopak fázově spojitě změny frekvence bez „překývnutí“ vyskytujících se při přeladování u analogových smyček
- nejsou zde potíže s teplotním driftem a s tím spojeným doladováním jako u analogových systémů
- možnost amplitudové, frekvenční a fázové modulace i některé kombinace těchto modulací

Nevýhoda:

- podobně jako u všech systémů pracujících se vzorkováním je nutné použít externí analogový filtr pro potlačení nežádoucích frekvenčních spektrálních složek na výstupu D/A převodníku.[1]

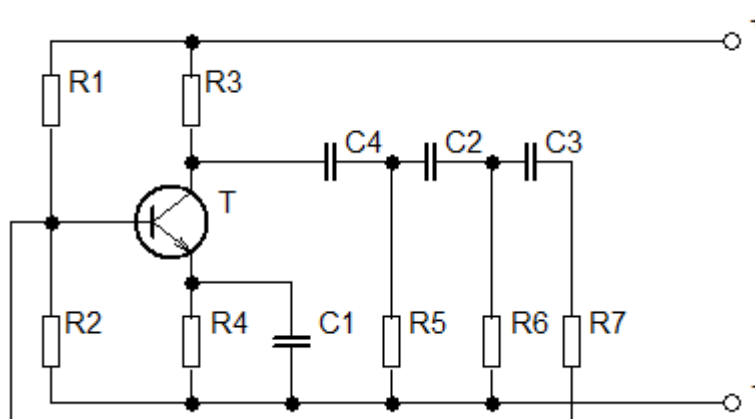
2.2 Analogové generátory

2.2.1 Generátory harmonických kmitočtů

Pro pásmo nízkých kmitočtů do několika set kHz může být sinusový signál generován oscilátorem s RC selektivním zpětnovazebním obvodem, pro vyšší kmitočty jsou používány LC oscilátory. Pro velmi přesné a stabilní oscilátory jsou využívány oscilátory řízené krystaly. [2]

2.2.1.1 RC oscilátory

Generátor se skládá z tranzistorového zesilovače s kladnou zpětnou vazbou, díky které se obvod rozkmitá. Musí být ovšem splněna podmínka ustálených kmitů, která říká, že v uzavřené smyčce zpětné vazby musí být pro první harmonickou zesílení rovno jedné a fázový posuv rovný 0 stupňů nebo celistvému násobku 360 stupňů. Protože tranzistor otáčí fázi o 180 stupňů, rozkmitá se generátor na takovém kmitočtu, na kterém mají RC články fázový posun také 180 stupňů, čímž kompenzuje fázový posun tranzistoru. [2]

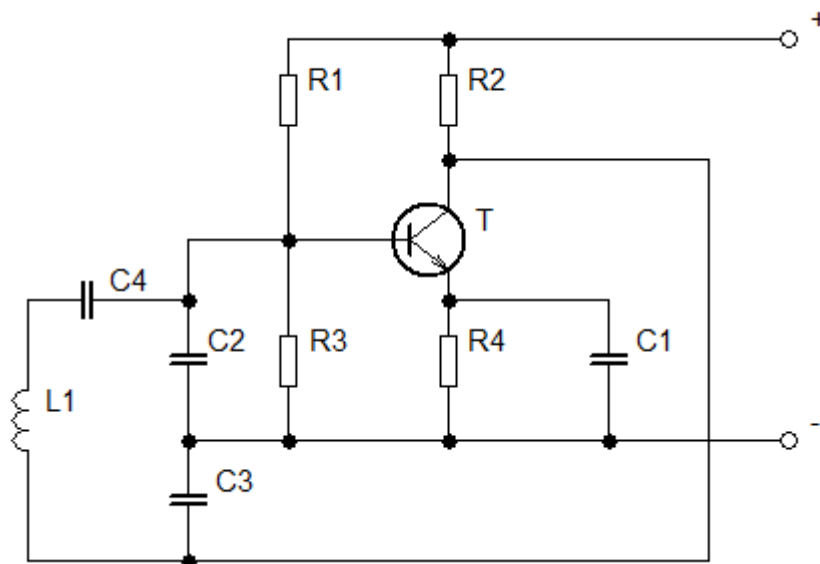


Obr. 1 – RC oscilátor [2]

2.2.1.2 LC oscilátory

Jedná se o nejpoužívanější oscilátory elektronických zařízení. Skládají se z rezonančního obvodu složeného z cívky a kondenzátoru, tranzistoru jako zesilovače a kladné zpětné vazby, pomocí níž vznikají netlumené kmity s konstantní amplitudou a frekvencí určenou rezonančním obvodem.

Oscilátory tohoto typu mají nejméně zkreslený průběh výstupního napětí, protože obvod potlačuje vyšší harmonické složky. Kmitočet je určen Thomsonovým vzorcem: $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ [2]

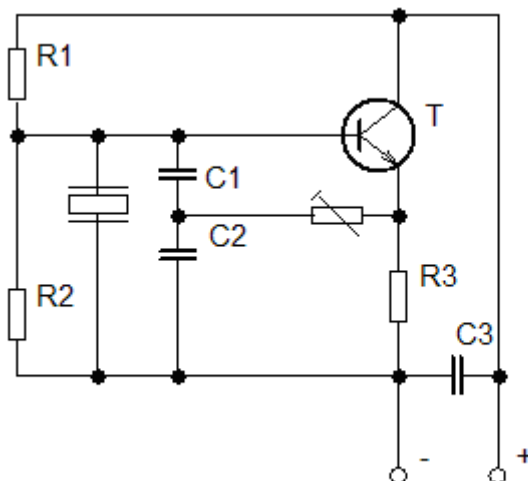


Obr. 2 – Clappův oscilátor [2]

Na obrázku č. 2 je zobrazen Clappův oscilátor, kde se při výpočtu rezonanční frekvence uvažuje sériové zapojení kondenzátorů C_2 , C_3 a C_4 .

2.2.1.3 Krystalové oscilátory

Tyto oscilátory jsou z hlediska frekvenční stability velmi výhodné. Jejich řídicí obvod tvoří piezoelektrický rezonátor. Podle obrázku č. 3 se jedná v podstatě o Clappův oscilátor, ve kterém je řídicí obvod LC nahrazen krystalem. Frekvence generovaných kmitů je mezi sériovou f_s a paralelní f_p rezonanční frekvencí piezoelektrického rezonátoru. Tedy $f_s < f_0 < f_p$. Čím větší jsou kapacity C_1 a C_2 , tím je frekvence bližší frekvenci f_s a tím je lepší frekvenční stabilita.[2]

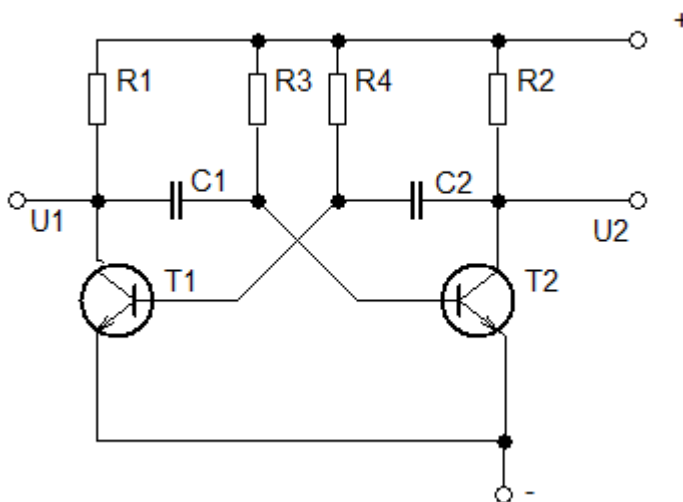


Obr. 3 – Krystalový oscilátor [2]

2.2.2 Generátory impulzních průběhů

2.2.2.1 Generátor obdélníkového průběhu - astabilní klopný obvod AKO

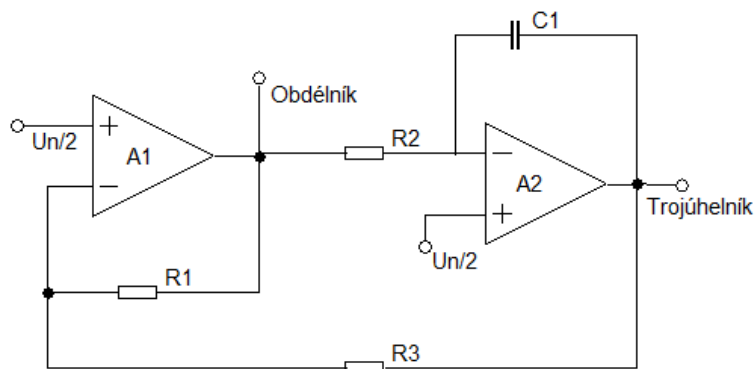
Jeho činnost je založena na periodicky se opakujících jevech nabíjení a vybíjení kondenzátorů. AKO nemá stabilní stav a periodicky se překlápí z jednoho stavu do druhého. Zapojení podle obrázku je teoreticky symetrické, ve skutečnosti se však jeden tranzistor začne otevírat dřív. Výsledkem je neustálé překlápění obou tranzistorů a proto můžeme z jejich kolektorů odebrat pravoúhlé periodické impulzy.[3]



Obr. 4 – Generátor obdélníkového průběhu [3]

2.2.2.2 Generátor trojúhelníkových průběhů

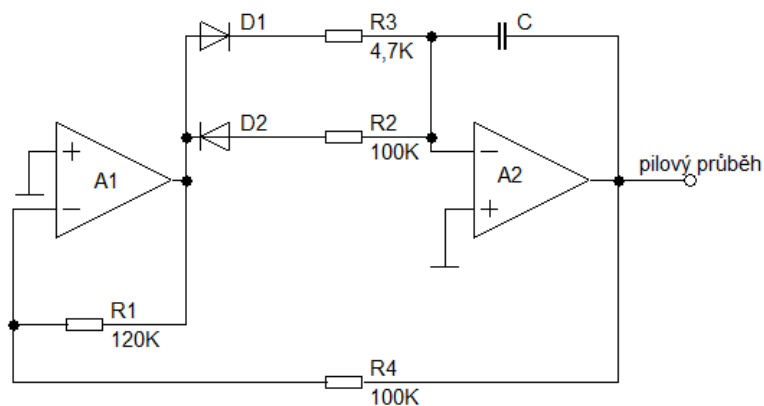
Trojúhelníkové napětí se získá integrováním obdélníkového napětí. Základem tohoto generátoru je integrátor tvořený operačním zesilovačem s kondenzátorem ve zpětné vazbě podle obrázku č. 5. [4]



Obr. 5 – Generátor trojúhelníkového průběhu [4]

2.2.2.3 Generátor pilových průběhů

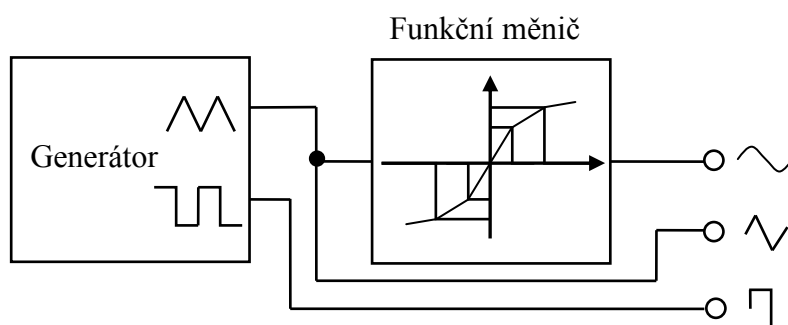
Pro generování pilových průběhů se používá zapojení s operačními zesilovači. Na obrázku je generátor tvořen dvěma operačními zesilovači, z nichž A₁ je ve funkci komparátoru. Diodami D₁ a D₂ a rezistory R₃ a R₄ lze měnit časovou konstantu integrátoru, to znamená rychlost nabíjení a vybíjení kondenzátoru C. Je-li na výstupu A₁ kladné napětí dojde k rychlému nabití kondenzátoru a když je na výstupu záporné napětí, tak se kondenzátor pomalu vybíjí. Výsledkem je, že na výstupu A₂ získáme signál pilového průběhu. [4]



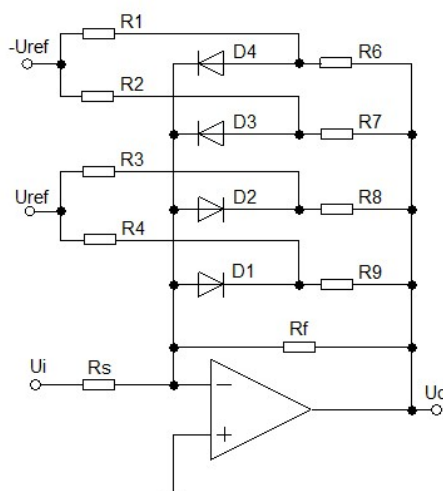
Obr. 6 – Generátor pilového průběhu [4]

2.2.3 Generátor sinusového průběhu pomocí funkčního měniče

Zde se sinusový signál vytváří z trojúhelníkového průběhu prostřednictvím funkčního měniče, který využívá aproximace funkční závislosti lomenými přímkami. Funkční měnič je podle obrázku zapojen s operačním zesilovačem. Diody D_1 a D_2 mají pomocí rezistorů vzájemně odstupňovaná napětí $U_{D1} < U_{D2}$. Je-li vstupní napětí $U_1 < U_{D1}$ jsou obě diody nevodivé. Pokud je U_1 větší než U_{D1} , tak dioda D_1 bude vodivá a rezistor R_1 se paralelně připojí k rezistoru R_F . Pokud je U_1 větší než U_{D2} , tak se k odporům paralelně připojí i rezistor R_2 .



Obr. 7 – Generátor s funkčním měničem

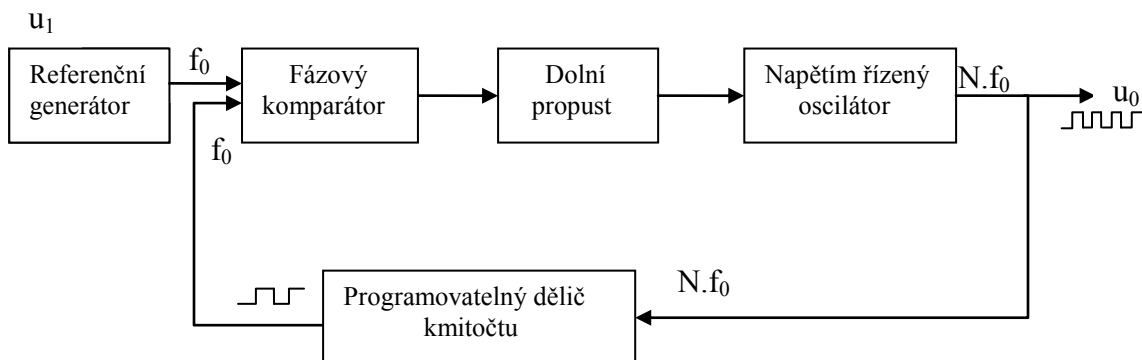


Obr. 8 – Zapojení funkčního měniče

2.2.4 Generátor s fázovým závěsem

Tento generátor umožňuje proměnný výstupní kmitočet. Základními částmi fázového závěsu jsou fázový komparátor, dolnoproustný filtr a napětím řízený oscilátor – VCO. Fázově kmitočtový komparátor (fázový detektor) porovnává fázi a kmitočet výstupního signálu napětím řízeného oscilátoru u_0 se vstupním signálem u_1 . Na výstupu fázového generátoru je šířkově modulovaný

impulsní signál. Po filtraci v dolní propusti je získáno analogové stejnosměrné napětí, které je úměrné střední velikosti signálu z fázového komparátoru. Takto získaný stejnosměrný signál je využit k řízení kmitočtu napětím řízeného oscilátoru a v závislosti na své hodnotě způsobuje zvýšení, případně snížení výstupního kmitočtu VCO na požadovanou velikost.[4]



Obr. 9 – Generátor s fázovým závěsem [4]

Výstup napětím řízeného oscilátoru má ve zpětné vazbě zařazen programovatelný dělič kmitočtu, který provádí dělení výstupního signálu N-krát. Fáze výstupního signálu z děliče kmitočtu je porovnávána s fází a kmitočtem zdroje referenčního signálu, který má přesně nastavený kmitočet. Pak je ve fázovém detektoru porovnáván vstupní signál z přesného generátoru s výstupním signálem napětíově řízeného oscilátoru, jehož kmitočet byl n-krát zmenšen. Na výstupu VCO proto bude signál s n-krát vyšším kmitočtem než je kmitočet vstupního signálu. Zapojení tedy pracuje jako násobič kmitočtu. Výstupní signál po filtraci přichází jako stejnosměrný signál úměrný rozdílu fází porovnávaných signálů na vstup VCO a kompenzuje chybu kmitočtu.[4]

Kromě stabilizace kmitočtu je možné skokově provádět přeladování oscilátoru, což je zabezpečeno, změnou dělicího poměru programovatelného děliče kmitočtu. [4]

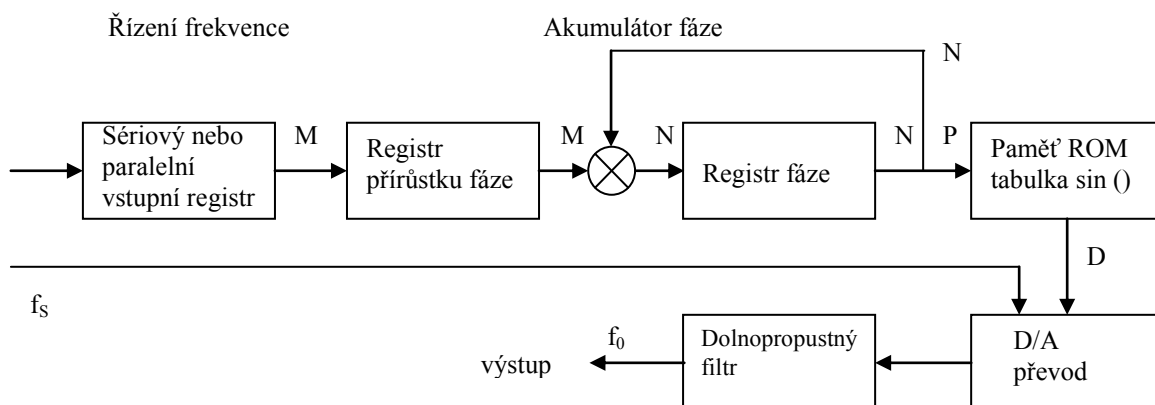
Potom platí:
$$\frac{f_{vco}}{N} = f_0 \Rightarrow f_{vco} = N \cdot f_0$$

- kde f_{vco} je kmitočet na výstupu VCO
- N je dělicí poměr děliče kmitočtu
- f_0 je kmitočet zdroje referenčního signálu

Zvětšíme-li dělicí poměr o jedničku na $N+1$, změní se výstupní kmitočet na $f_{vco} = (N + 1) \cdot f_0$, to znamená, že se zvětší o velikost referenčního kmitočtu f_0 . Proto je nejmenší změna kmitočtu výstupního signálu rovna referenčnímu kmitočtu.[4]

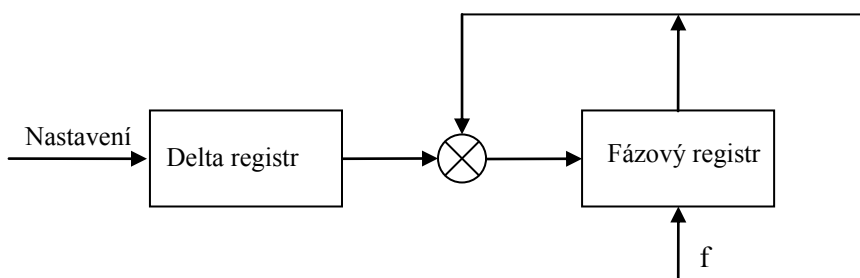
2.3 DDS

Na obr. 7 je blokové schéma DDS obvodu, který obsahuje vstupní část, která obvykle umožňuje paralelní nebo sériové připojení řídicího systému, akumulátor fáze, který se skládá ze sčítačky a registru, dále obvod, který převádí fázi na sinusový průběh a číslicově analogový převodník, na jehož výstupu je analogový signál.[1]



Obr. 10 – Blokové schéma DDS obvodu [1]

V akumulátoru fáze je první registr označován jako delta registr, druhý jako fázový registr.



Obr. 11 – Uspořádání fázového a delta registru [1]

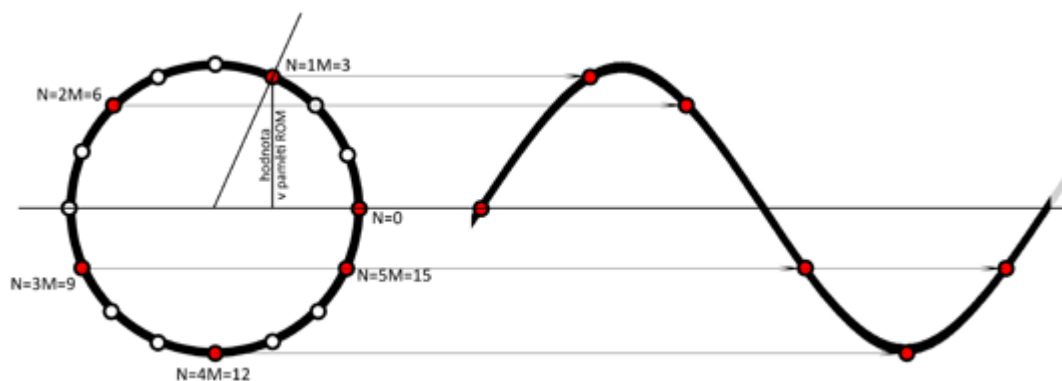
Binární číslo určující výstupní frekvenci se vkládá sériově nebo paralelně do delta registru. Toto číslo je určeno dle konkrétní realizace 24 až 48 bity a nazývá se ladící slovo. V blokovém schématu je označeno jako M. Po resetu jsou oba registry vynulovány. Při každém hodinovém cyklu akumulátor fáze přičte k aktuální hodnotě N ve fázovém registru hodnotu M z delta registru pomocí sčítačky. Dokud nedojde k přetečení fázového registru, bude platit pro k-tý hodinový cyklus:

$$N = k \cdot M$$

Hodnota ve fázovém registru se tedy bude při konstantní hodinové frekvenci v čase lineárně zvyšovat. K přetečení fázového registru zde dojde každou periodu výstupního signálu. Při přetečení ve fázovém registru zůstane zbytek po přetečení a děj dále pokračuje. Hodnota fázového registru adresuje místo v paměti ROM s tabulkou funkce sinus, V této paměti jsou uloženy hodnoty funkce sinus pro diskrétně a lineárně se zvětšující argument (úhel). Aby nemusela být paměť ROM zbytečně velká, používá se pro její adresaci pouze několik (běžně 10 až 14) nejvyšších bitů z fázového akumulátoru.[5]

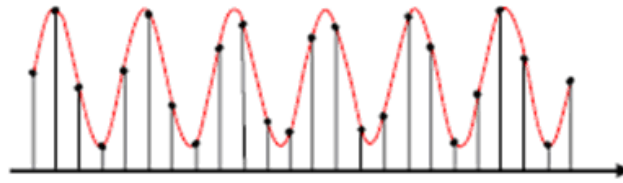
Nic nebrání, aby do paměti ROM byly nahrány vzorky jiného než harmonického průběhu. Získá se tak funkční tvarový generátor. U některých periodických funkcí se navíc využívá skutečnost, že jejich průběhy jsou symetrické a do paměti funkčních hodnot se ukládají jen části jejich průběhů. Pomocí elementární logiky pak zbývající části získáme například zrcadlením nebo násobením konstantami. Dojde tak k výrazné úspoře paměťového místa.[5]

Na obr. 3 je zobrazen digitální fázový kruh zjednodušeného DDS systému pro maximální hodnotu $N_{Max} = 15$ a pro ladící slovo $M = 3$. Po resetu je ve fázovém registru hodnota $N = 0$, což odpovídá bodu na kruhu zcela vpravo a nulové hodnotě funkce sinus. Při prvním hodinovém cyklu se hodnota fázového registru zvýší na $N = 3$, což odpovídá skoku na digitálním fázovém kruhu proti směru hodinových ručiček. Na tomto kruhu je vyznačena i hodnota uložena v ROM paměti funkce sinus jako svislá čára mezi osou a konkrétním bodem na kruhu.[5]



Obr. 12 – Fázový kruh DDS systému [5]

Pokud celočíselný násobek zvoleného inkrementačního kroku nebude roven počtu funkčních hodnot na periodu, poloha uzlových bodů v rámci jednotlivých period signálu se bude měnit (znázorněno na obr. 9). Tím bude výstupní spektrum mnohem méně znehodnocováno přítomností nežádoucích spektrálních složek.



Obr. 13 – Různé rozložení uzlových bodů v jednotlivých periodách [5]

Bude platit:

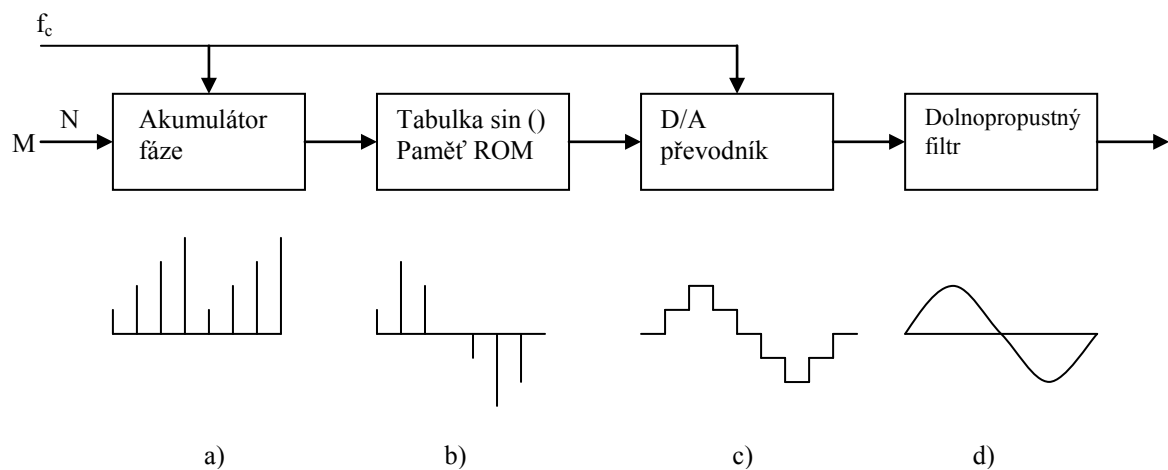
$$f_{out} = \frac{M \cdot f_s}{N_{MAX}}$$

Kde f_s je hodinová frekvence a f_{out} je frekvence výstupní.[5]

Maximální hodnota ladícího slova vychází z Nyquistova kritéria. Maximální hodnota přičtení fáze je tedy v tomto kruhovém diagramu 180° , což odpovídá v tomto konkrétním případě $M_{max} = 8$. Při $M = 8$ by sice bylo splněno Nyquistovo kritérium, ale na výstupu by mohl být obdélníkový signál náhodné amplitudy anebo dokonce konstantní nulová úroveň. Proto platí: [5]

$$M_{MAX} = \frac{N_{MAX}}{2} - 1$$

V praxi je však třeba volit maximální hodnotu ladícího slova nižší kvůli reálným vlastnostem výstupního rekonstrukčního filtru, respektive jeho omezené strmosti. [5]



Obr. 14 – Průběhy u jednotlivých bloků [6]

2.4 USB funkční generátory

USB generátory pracují na principu přímé digitální syntézy DDS. Tyto generátory spolu s dalšími modulárními zařízeními určených pro různé měřicí a testovací účely nabízí potřebnou flexibilitu a umožňují provádět další změny v konfiguraci již navrženého zařízení.



Obr. 15 – USB rám Agilent U2781A spolu s různými moduly [10]

Základní charakteristiky USB modulárních zařízení:

- Jsou vybaveny vysokorychlostním USB 2.0 rozhraním, které umožňuje komunikovat rychlostí až 480 MB/s
- Vyžadují PC k jejich ovládní
- Jsou dodávány spolu s programem pro jejich ovládní
- Jsou kompatibilní s různými vývojovými prostředími
- Pracují jako samostatné přístroje, nebo jako moduly, pokud jsou použity s USB rámem
- Díky připojení přes USB lze generátor připojit k počítači za chodu a bez nutnosti restartování

3. Funkční generátor Agilent U2761A

3.1 Základní popis

U2761A je modulární USB funkční generátor do 20 MHz s možností tvorby libovolného průběhu a funkcí pulzního generátoru. Může pracovat jako samostatná jednotka nebo modulárně, používá-li se s šasi U2781A. U2761A je vytvořen na principu nejnovější technologie přímé digitální syntézy (DDS), která digitálně vytváří libovolné průběhy s frekvencí vytvořenou z jedné, pevně dané frekvence zdroje. DDS nabízí digitální přesnost, snížení složitosti generátoru a zároveň zvyšuje stabilitu. Generátor vytváří stabilní, nezkreslené a přesné výstupní sinusové signály s jemnou přeladitelností až do 20 MHz a lineární pilu až do 200 kHz.[7]



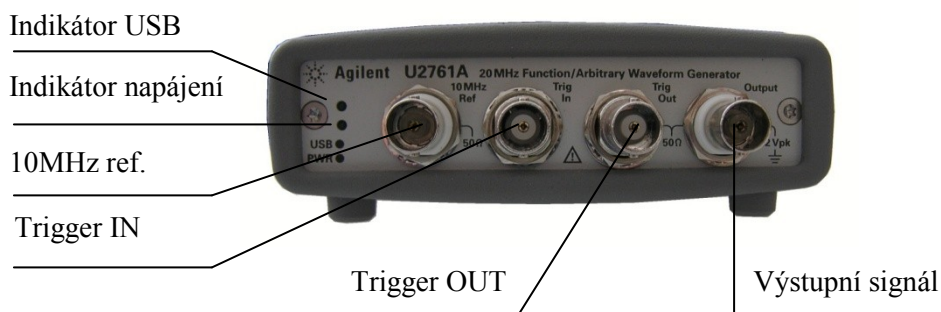
Obr. 16 – U2761A modulární USB funkční generátor

Parametry generátoru U2761A:

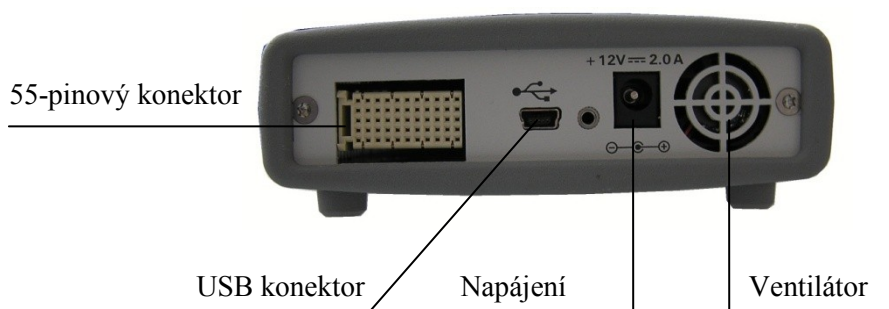
- až 20 MHz sinusový a obdélníkový průběh
- Hi-Speed 2.0, USB TMC 488,2
- sinus, obdélník, pila, trojúhelník, pulzní a DC průběhy
- 14-bit, 50MSa /s, libovolný průběh až do 64 K datových bodů
- AM, FM, PM, ASK, FSK, PSK modulace
- 40 mVpp až 5 Vpp amplitudový rozsah pro 50 Ω zátěž a 80 mVpp až 10 Vpp amplitudový rozsah pro otevřený okruh
- pulzní generátor

U2761A může generovat pět standardních průběhů (sinus, obdélník, pila, trojúhelník a pulsy), DC, nebo je možno vytvořit vlastní průběhy. Kromě toho je možné interně modulovat sinus, obdélník, pila, trojúhelník a vlastní průběhy pomocí AM, FM, PM, FSK, PSK, nebo ASK. Dále je k dispozici

lineární nebo logaritmické frekvenční rozmítání pro sinus, obdélník, pilu, trojúhelník a pro libovolný průběh.[7]



Obr. 17 – přední panel generátoru U2761A



Obr. 18 – zadní panel generátoru U2761A

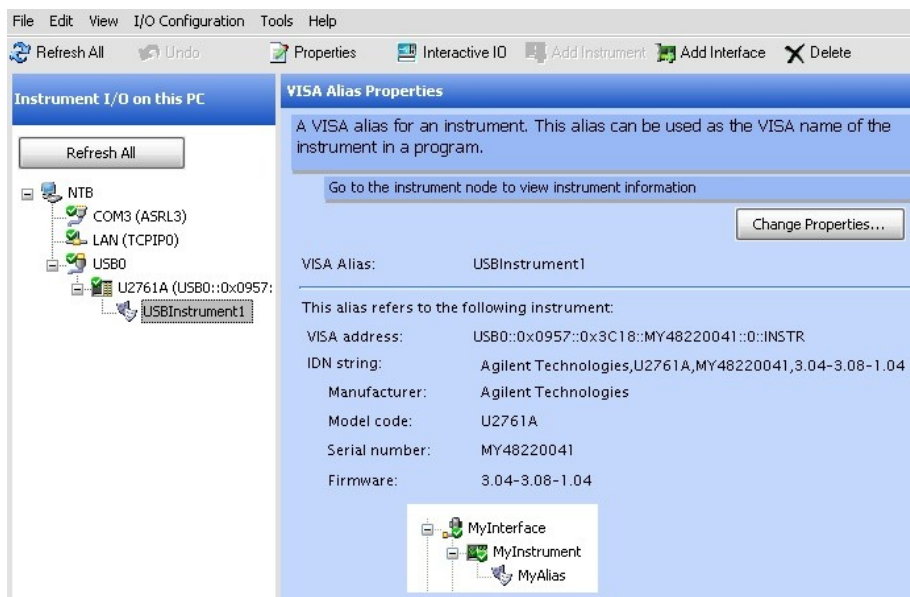
55- pinový konektor umístěný na zadním panelu slouží k připojení modulu do rámu šasi U2781A (obr. 13). Tento rám umožňuje připojit 6 „hot-swappable“ USB modulů, má vysokorychlostní rozhraní USB 2.0 a je ideální pro měření, monitorování a logování většího množství veličin a kanálů.



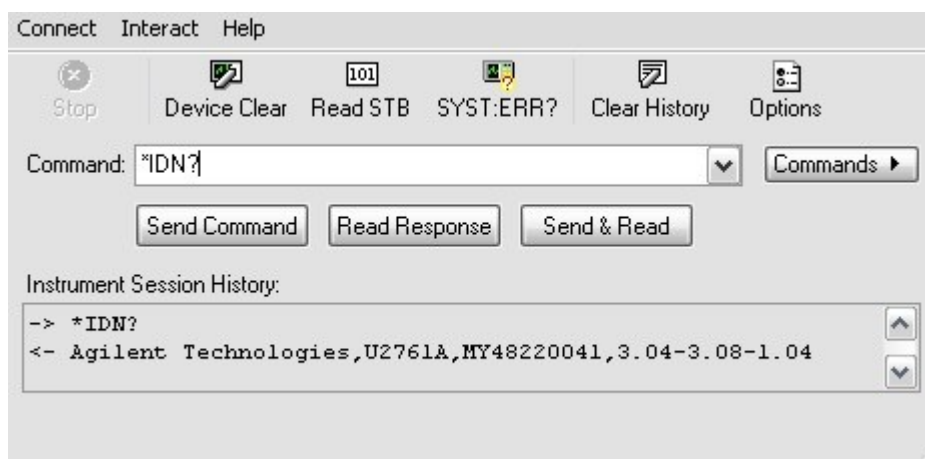
Obr. 19 – rám pro USB moduly U2781A [8]

3.2 Instalace a konfigurace generátoru

Propojení tohoto generátoru k počítači je realizováno prostřednictvím vysokorychlostního rozhraní USB 2.0. Pro komunikaci je nutné nainstalovat Agilent IO Libraries Suite a IVI-COM ovladač. IO Libraries je program, sloužící ke konfiguraci a komunikaci připojených zařízení. Po instalaci je nutné ověřit správné detekování zařízení (obr. 14) a komunikaci otestovat odesláním SCPI příkazu (obr. 15).



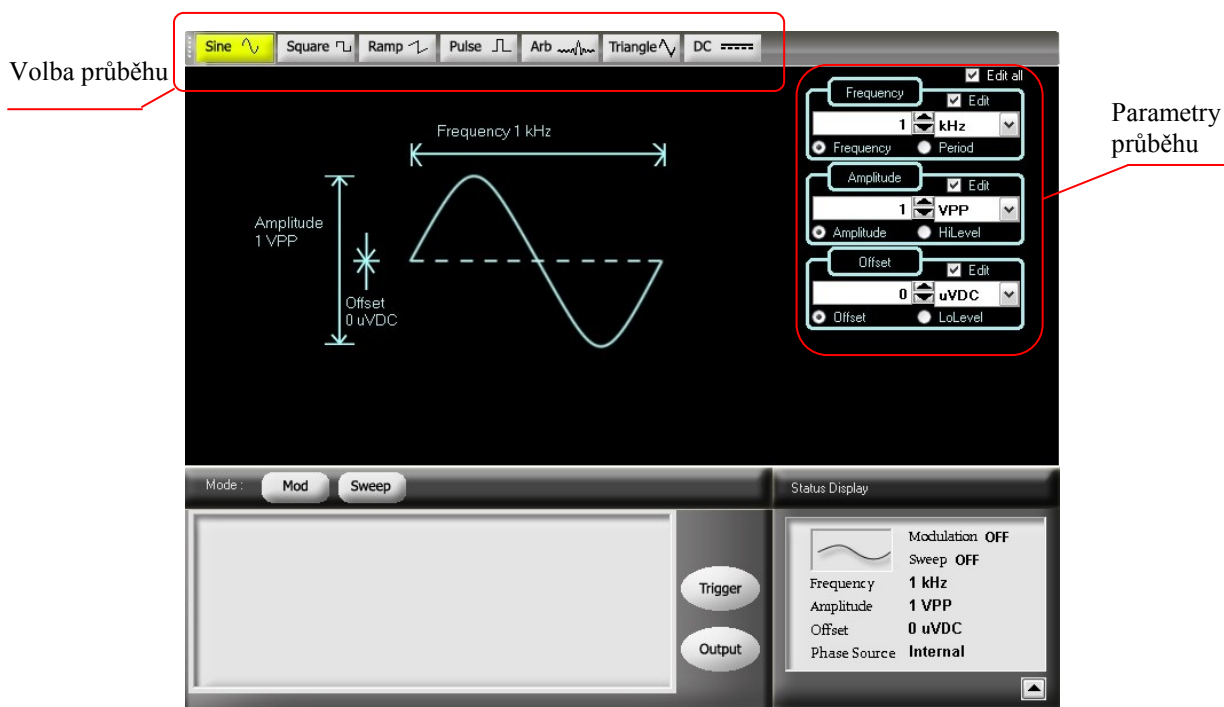
Obr. 20 – detekovaný generátor U2761A



Obr. 21 – Ověření komunikace

3.3 Agilent Measurement Manager

Pro rychlou konfiguraci generátoru a také pro získávání dat je určen program Agilent Measurement Manager (AMM). Jedná se o program s grafickým uživatelským rozhraním a intuitivním ovládáním (obr. 16). Pro správnou funkci je nutné mít nainstalován ovladač generátoru a IO Libraries.



Obr. 22 – Agilent Measurement Manager

Okno programu je rozděleno na několik částí, v horní části je možné zvolit požadovaný průběh a v pravé části nastavit parametry tohoto průběhu. Zvolený průběh je graficky znázorněn.

3.3.1 Výstupní funkce generátoru

Program umožňuje nastavit 5 standardních funkcí (sinus, obdélník, pila, obdélník, puls) a DC. Výběrem vlastního (arbitrary) průběhu můžeme zvolit buď přednastavené průběhy (exponential rise, exponential fall, negative ramp), nebo vytvořit svůj vlastní. Navíc je možné interně modulovat sinus, obdélník, pilu, trojúhelník a vlastní průběh. Tabulka č. 1 ukazuje, které funkce jsou dovoleny s modulací a s rozmítáním.[7]

	Sinus	Obdélník	Pila	Trojúhelník	Puls	DC	Vlastní
AM, FM, FSK, PSK, ASK	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO
Modulace - AM, FM, PM	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO
Modulace - FSK, PSK, ASK	NE	ANO	NE	NE	NE	NE	NE
Rozmítání	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO

Tab. 1 – Výstupní funkce [7]

3.3.2 Výstupní frekvence generátoru

Rozsah výstupních frekvencí je zobrazen v tabulce č. 2.

Funkce	Minimální frekvence	Maximální frekvence
Sinus	1 μ Hz	20 MHz
Obdélník	1 μ Hz	20 MHz
Pila, trojúhelník	1 μ Hz	200 kHz
Pulsní	500 μ Hz	5 MHz
DC	-	-
Libovolný průběh	1 μ Hz	200 kHz

Tab. 2 – Rozsah výstupních frekvencí [7]

Pokud nastavíme vyšší frekvenci než je maximální frekvence dané funkce, bude frekvence upravena na maximální možné hodnotě dané funkce. Například, pokud jsme nastavili u sinusového průběhu 20 MHz, pak změna funkce na pilu automaticky nastaví výstupní frekvenci na 200 kHz (horní hranice pro pilu). [7]

3.3.3 Výstupní amplituda generátoru

Vztah mezi výstupní amplitudou a offsetem je uveden níže. V_{\max} je maximální špičkové napětí pro vybrané výstupní zakončení (5V pro 50Ω, nebo 10V pro vysokou impedanci).[7]

$$V_{pp} \leq 2 \cdot (V_{\max} - |V_{offset}|)$$

Pokud změním zátěž, výstupní amplituda bude upravena (a žádná chyba nebude generována). Pokud tedy nastavíme amplitudu 5 V_{pp} a poté změním výstupní zakončení z 50 Ω na vysokou impedanci, bude hodnota amplitudy zdvojnásobena na 10 V_{pp} . A naopak, pokud změním impedanční zakončení z vysoké impedance na 50 Ω, tak amplituda klesne na polovinu.[7]

3.3.4 Offset

Vztah mezi výstupní amplitudou a offsetem je uveden níže. V_{\max} je maximální špičkové napětí pro vybrané výstupní zakončení (5V pro 50Ω, nebo 10V pro vysokou impedanci).

$$|V_{offset}| \leq V_{\max} - \frac{V_{pp}}{2}$$

Pokud zvolené napětí offsetu není platné, tak se automaticky nastaví maximální napětí, které je pro dané nastavení dovoleno.[7]

3.3.5 Výstupní jednotky

Po zapnutí je nastaveno jako výchozí napětí špička-špička. V některých případech může být amplituda automaticky změněna. To může nastat v případě, kdy jsou nastaveny jednotky V_{rms} nebo dBm pro různé výstupní funkce. Například, pokud je na výstupu obdélníkového průběhu 2,5 V_{rms} (pro 50 Ω) a pak změním na funkci sinus, tak U2761A automaticky nastaví výstupní amplitudu na 1,768 V_{rms} (horní mez V_{rms} pro sinusový průběh). Výstupní amplituda lze nastavit v jednotkách V_{pp} , V_{rms} nebo dBm. Nelze nastavit výstupní amplitudu v dBm, pokud je impedanční zakončení nastaveno na vysokou impedanci. Jednotky jsou automaticky převedeny na V_{pp} . [7]

3.3.6 Výstupní impedance

U2761A má na výstupním konektoru nastavenou výchozí výstupní impedanci 50 Ω. Pokud se skutečná impedance liší od zadané hodnoty, amplituda a offset nebudou správné.

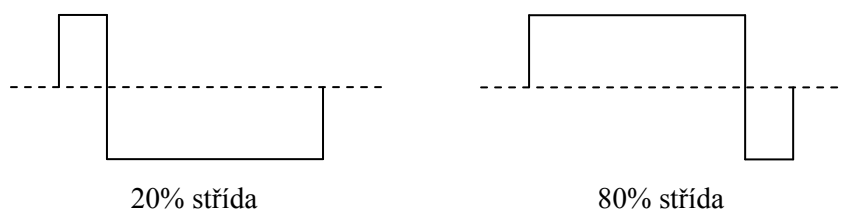
- Rozsah výstupní impedance je 1 Ω až 10 k Ω , nebo nekonečno. Výchozí hodnota je 50 Ω .
- Výstupní impedance je uložena v paměti a po zapnutí nebo vypnutí se vrátí na výchozí hodnotu.
- Pokud zadáme 50 Ω zakončení, ale skutečný výstup je otevřený, bude skutečný výstup na dvojnásobné hodnotě. Například, pokud nastavíme offset na 100 mVDC (pro 50 Ω zátěž), ale výstup není zakončený, skutečný offset bude 200 mVDC.
- Pokud změním nastavení výstupního ukončení, výstup amplitudy a offset bude automaticky upraven (nebude generována chyba). Například pokud bude nastavena amplituda na 5V_{pp} a pak bude změněno výstupní zakončení z 50 Ω na vysokou impedanci, tak amplituda se zdvojnásobí na 10V_{pp}. Pokud změním vysokou impedanci na 50 Ω , tak se amplituda sníží o polovinu.
- Nelze zadávat výstupní amplitudu v dBm pokud je výstupní zakončení nastaveno na vysokou impedanci. Jednotka bude automaticky převedena na V_{pp}. [7]

3.3.7 Nastavení střídání obdélníkového signálu

Po zapnutí je střídání obdélníkového signálu nastaveno na 50 %. Střídání nelze využít v plném rozsahu na všech frekvencích. Je automaticky limitováno frekvencí podle:

- 20% až 80% (frekvence \leq 10 MHz)
- 40% až 60% (frekvence $>$ 10 MHz)

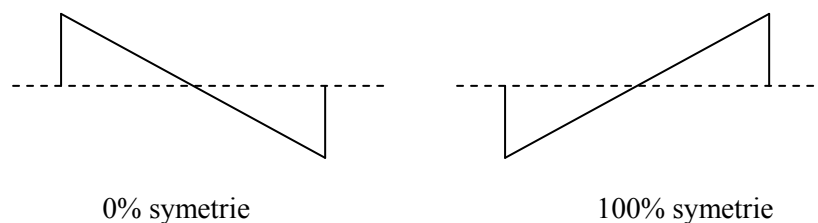
Například, pokud je střídání nastaveno na 70% a pak se změní frekvence na 12 MHz, tak U2761A automaticky nastaví na 60% (horní hranice pro tento kmitočet). Střídání nelze nastavit u AM, FM a PM modulací, kde je pevně nastaveno na 50 procent. [7]



Obr. 23 – Nastavení střídání [7]

3.3.8 Pila

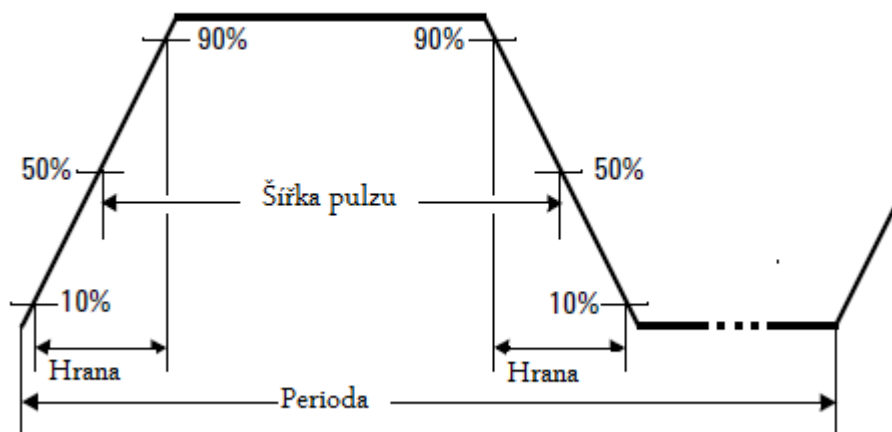
Symetrie vyjadřuje množství času cyklu, kdy průběh roste. Výchozí symetrie je nastavena na 100 %. Nastavení je obdobné jako u obdélníkového průběhu.[7]



Obr. 24 – Nastavení symetrie [7]

3.3.9 Pulsní průběh

Pulsní průběh se skládá z periody, šířky pulsu, náběžné a sestupné hrany. Rozsah periody je od 200ns do 2000 s. Výchozí hodnota je 1 ms.[7]



Obr. 25 – Pulsní průběh [7]

Šířka pulsu vyjadřuje čas od dosažení 50% náběžné hrany po dosažení 50% sestupné hrany.

- Rozsah periody pulsů je 40 ns až 2000 s. Výchozí hodnota je 500 μ s.
- Minimální šířka pulsů je závislá na periodě.

$W_{min} = 40 \text{ ns}$	pro periodu $\leq 10 \text{ s}$
$W_{min} = 200 \text{ ns}$	pro periodu $> 10 \text{ s}$, ale $\leq 100 \text{ s}$
$W_{min} = 2 \text{ ms}$	pro periodu $< 100 \text{ s}$, ale $\leq 1000 \text{ s}$
$W_{min} = 20 \text{ ms}$	pro periodu $> 100 \text{ s}$

- Šířka pulsů musí být menší, než je rozdíl mezi periodou a minimální šířkou pulsu podle vztahu

$$\text{Šířka pulsu} \leq \text{Perioda} - W_{min}$$

Střída pulsu je definována jako

$$\text{Střída} = 100 \times \text{Šířka pulsu} / \text{Perioda} [7]$$

3.3.10 AM modulace

U2761A umožňuje pouze jeden režim modulace, nelze modulovat při aktivovaném rozmítání (sweep). V nabídce lze nastavit nosný kmitočet, modulační frekvence, hloubka modulace, výstupní amplituda, ofset napětí a požadovaný průběh. [7]



Obr. 26 – Panel modulací

Nosná vlna AM může být sinus, obdélník, pila, trojúhelník, nebo libovolný průběh. Výchozí průběh je sinusový. Nelze použít Pulzní nebo DC průběh jako nosnou vlnu. Maximální frekvence nosné vlny závisí na zvolené funkci, jak je uvedeno níže. Výchozí frekvence je 1 kHz pro všechny funkce. [7]

Průběh	Minimální frekvence	Maximální frekvence
Sinusový	1 μ Hz	20 MHz
Obdélníkový	1 μ Hz	20 MHz
Pila a trojúhelník	1 μ Hz	200 kHz
Libovolný průběh	1 μ Hz	200 kHz

Tab. 3 – Maximální frekvence nosné vlny AM modulace [7]

- Modulovaný signál může mít kmitočety od 2 mHz do 20 KHz. Výchozí frekvence je 100 Hz.
- Hloubka modulace je vyjádřena v procentech a představuje rozsah amplitudy. Při 100% hloubce modulace nesmí maximální výstup U2761A překročit $\pm 2,5 V_{pp}$ (při 50 Ω zátěži). [7]

3.3.11 FM modulace

U frekvenční modulace závisí maximální frekvence nosné vlny na zvolené funkci, jak je uvedeno v tabulce č. 4. Výchozí frekvence je 1 kHz pro všechny funkce. [7]

Průběh	Minimální frekvence	Maximální frekvence
Sinusový	1 μ Hz	20 MHz
Obdélníkový	1 μ Hz	20 MHz
Pila a trojúhelník	1 μ Hz	200 kHz
Libovolný průběh	1 μ Hz	200 kHz

Tab. 4 – Maximální frekvence nosné vlny FM modulace [7]

Součet frekvence nosné vlny a odchylky musí být nižší nebo rovna maximální frekvenci pro vybrané funkce (20 MHz pro sinus a obdélník a 200 kHz pro pilu a libovolný průběh). Modulovaný signál může mít kmitočety od 2 mHz do 20 KHz. Výchozí frekvence je 100 Hz. Frekvenční odchylka může být 1 Hz až 500 kHz.[7]

3.3.12 PM modulace

Je podobná jako frekvenční, ale u PM modulace se fáze modulovaného signálu mění podle okamžité hodnoty napětí modulačního signálu. Změna fáze nosné vlny se nazývá fázová odchylka. Odchylka fáze lze nastavit od 0 do 360°. Výchozí nastavení je 180°. [7]

3.3.13 Generování průběhu s klíčováním posuvem kmitočtu

Frequency-Shift Keying modulace (FSK) – Frekvenční klíčování

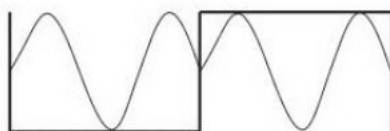
- při logické jedničce je zvýšen kmitočet a při logické nule snížen kmitočet nosné vlny



Obr. 27 – FSK modulace [7]

Phase-Shift Keying modulace (PSK) – Fázové klíčování

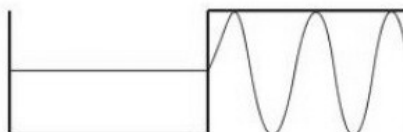
- binární informace je převáděna na změny fáze vysokofrekvenční nosné vlny



Obr. 28 – PSK modulace [7]

Amplitude-Shift Keying modulace (ASK) – Amplitudové klíčování

- vysokofrekvenční nosná vlna je spínána modulátorem tak, že např. menší amplituda nosné vlny reprezentuje logickou nulu a větší amplituda logickou jedničku

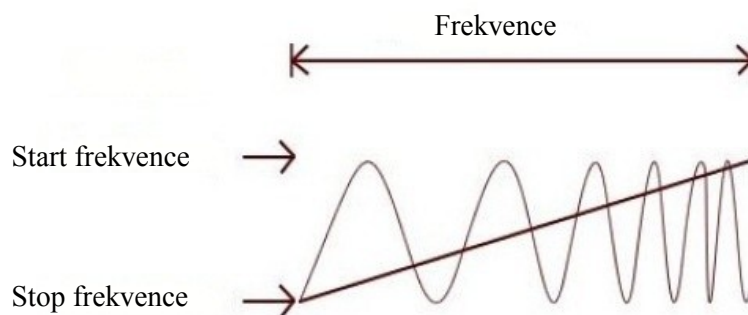


Obr. 29 – ASK modulace [7]

Nastavení modulací je podobné jako u klasických modulací.

3.3.14 Generování rozmítaného kmitočtu

V režimu rozmítání kmitočtu funkční generátor mění kmitočet výstupního signálu od počátečního kmitočtu do koncového kmitočtu danou rychlostí rozmítání. [7]



Obr. 30 – Frekvenční rozmítání (lineární)

U2761A umí rozmítat frekvenci směrem dolů i nahoru a to buď lineárně, nebo logaritmičticky (výchozí je lineární). Může také rozmítat jen jeden cyklus pomocí vnějšího nebo manuálního (softwarového) spouštění (trigger). U2761A může rozmítat frekvenci pro sinus, obdélník, pila, trojúhelník, nebo libovolný průběh. (Pulsy a DC rozmítat nelze).[7]

Rozsah spuštění a zastavení frekvence je 1 μ Hz-20 MHz (omezeno na 200 kHz pro pilu a libovolný průběh). Výchozí start frekvence je 100 Hz. Výchozí stop frekvence je 1 kHz. Doba jednoho cyklu rozmítání lze nastavit od 1 ms do 500 s. Rozmítat nelze při žádné modulaci.[7]

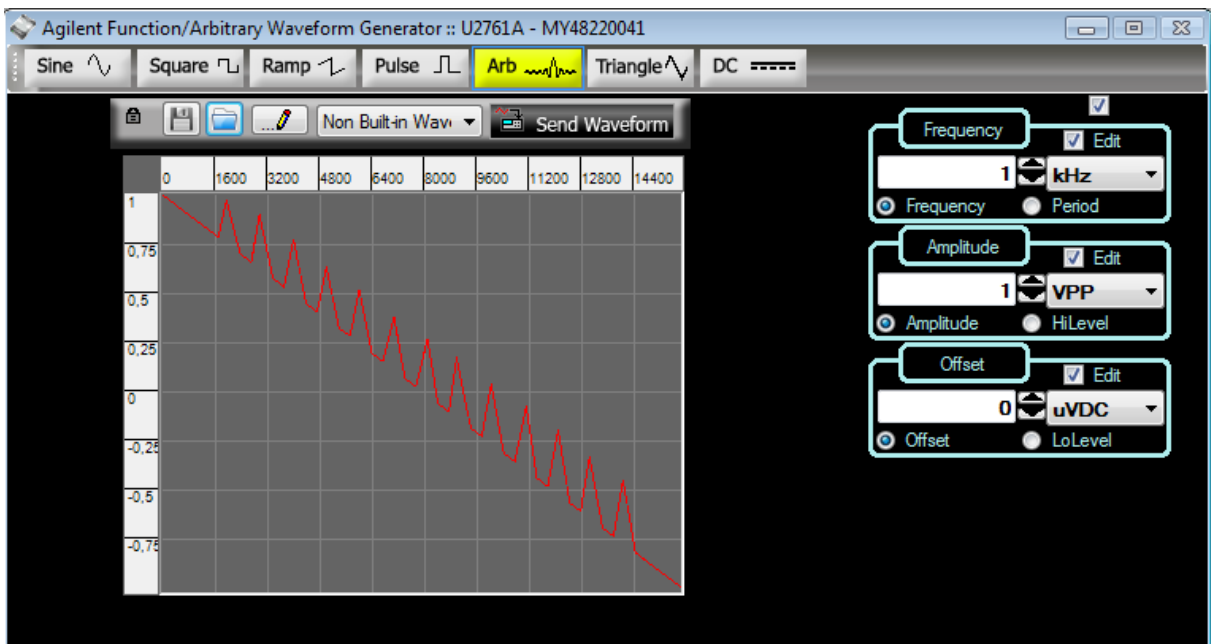
3.3.15 Spouštěcí signál

U2761A aktivuje rozmítání U2761A po přijetí spouštěcího signálu. Spoušť může být vnitřní (okamžitá), vnější nebo manuální (softwarová). Výchozí zdroj spouštění je vnitřní. Je-li vybrán zdroj externí, U2761A přijímá startovací impuls přes konektor Trig IN tím, že obdrží TTL puls určené polarity. Můžeme si určit buď sestupnou, nebo vzestupnou hranu. Startovací impuls musí mít 2,5 – 5 V a délku větší než 100 ns. Spouštěcí Trigger OUT signál je generován pouze u funkce sweep a to buď vzestupnou, nebo sestupnou hranou. Signál má 3 V a délku minimálně 500 μ s.[7]

Když je vybrán vnitřní zdroj spouštění, tak je na výstupu Trigger OUT generován signál po celou dobu rozmítání. Když je vybrán zdroj manuální (softwarový), tak je generován signál na začátku každého cyklu rozmítání.[7]

3.3.16 Libovolný průběh

U2761A podporuje vytvoření libovolného průběhu až do 65536 (64 kB) datových bodů. AMM umožňuje snadné vytvoření vlastního průběhu použitím kreslicích nástrojů. Po nastavení frekvence signálu, horní a dolní napěťové úrovně spustíme arbitrary waveform editor, ve kterém nakreslíme požadovaný průběh. Tento průběh lze dále upravovat pomocí interpolací, přidáváním čar (bodů) a je pak odeslán do generátoru. Průběh lze uložit pro další použití (editaci).



Obr. 31 – Vytvořený vlastní průběh

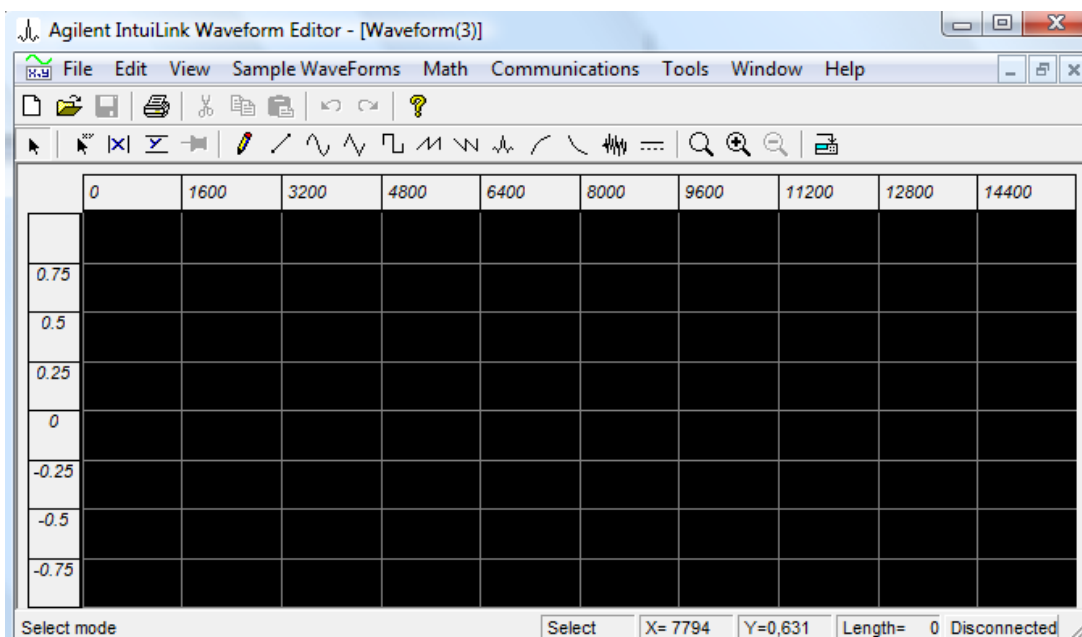


Obr. 32 – Ověření průběhu osciloskopem

3.4 Agilent IntuiLink Waveform Editor

Pro tvorbu libovolného průběhu můžeme použít program Agilent IntuiLink Waveform Editor (AIWE). Generátor U2761A není tímto programem podporován a tudíž nelze vytvořený průběh odeslat přímo do generátoru, ale je nutné průběh uložit jako csv formát a ten otevřít v AMM. Takto

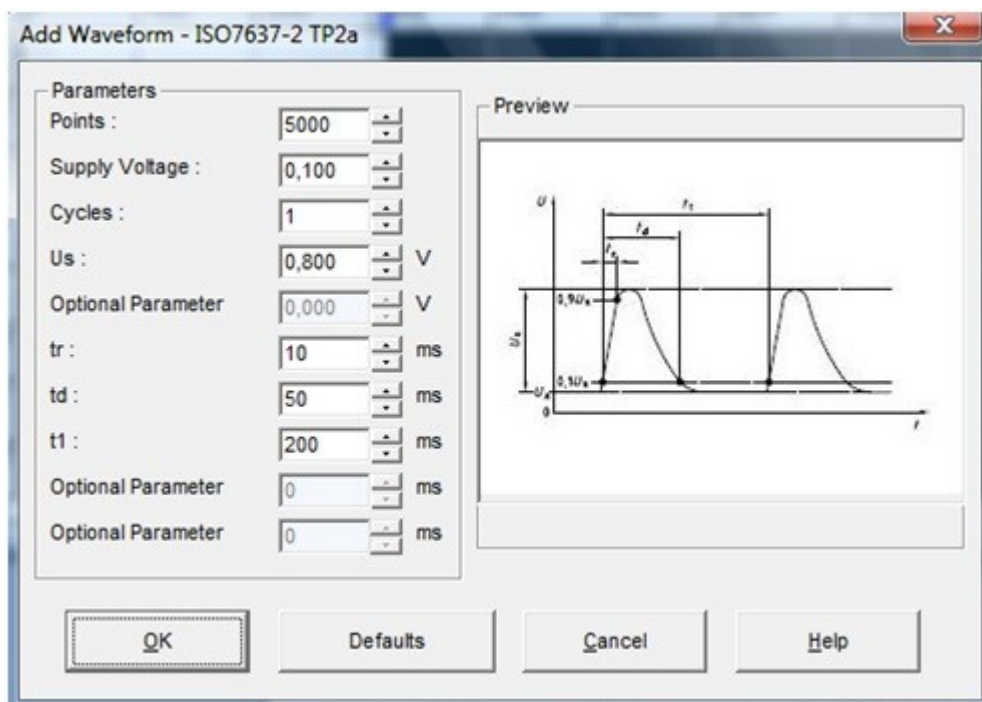
vytvořený průběh pak můžeme nahrát do generátoru a realizovat jej. Ovládání programu je stejně jako u AMM velmi jednoduché a intuitivní.



Obr. 33 – Panel Agilent IntuiLink Waveform Editoru

AIWE také obsahuje několik vzorků testovacích signálů, které se v praxi používají v automobilové technice k různým simulacím. Tyto simulace se provádějí u motorů vozidel v normálním nebo poruchovém stavu. V nabídce je například signál ISO 7637 – Test pulse 2a, který se používá pro simulaci přechodového děje, který vznikne při náhlém přerušení proudu v obvodu, způsobeného indukčností kabelového svazku.

Při tvorbě tohoto průběhu můžeme nastavit různé parametry podle nabídky obr. 28, která se zobrazí po výběru ISO 7637-2 TP2a v liště Sample Waveforms. Je to jedna z možností, jak se dá generátor použít v praxi.



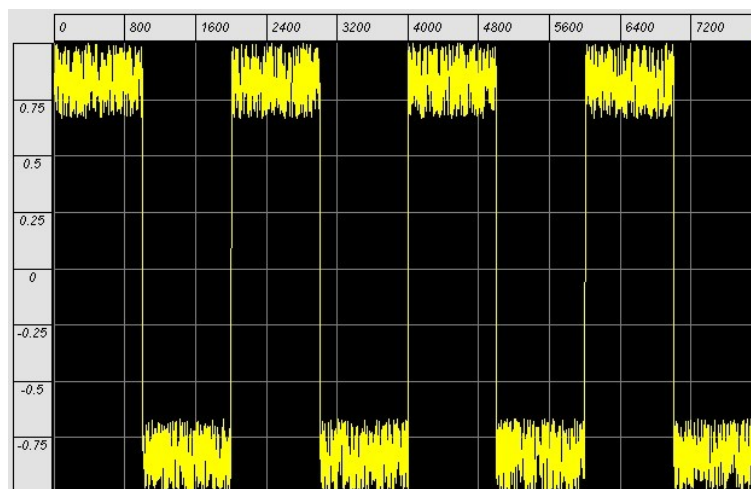
Obr. 34 – Parametry signálu ISO7637-2 TP2a

Po uložení do formátu csv je možné průběh otevřít v programu AMM a generátorem realizovat.



Obr. 35 – Zrealizovaný ISO7637-2 TP2a

AIWE také umožňuje provádět různé matematické operace, jako jsou sčítání signálů, odečítání, násobení. Je možné např. přidat šum k obdélníkovému signálu a získat tak následující průběh (obr. 31).



Obr. 36 – Obdélníkový signál sečtený s šumem

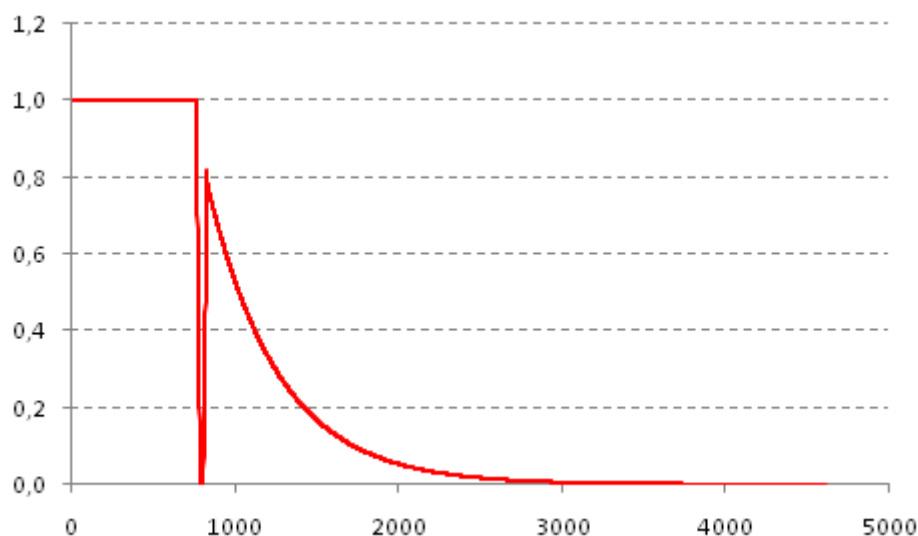
3.5 CSV formát

CSV (Comma-separated values, hodnoty oddělené čárkami) je jednoduchý souborový formát určený pro výměnu tabulkových dat. Soubor ve formátu CSV sestává z řádků, ve kterých jsou jednotlivé položky odděleny znakem čárka (.). Hodnoty položek mohou být uzavřeny do uvozovek ("), což umožňuje, aby text položky obsahoval čárku. Pokud text položky obsahuje uvozovky, jsou tyto zdvojeny. [9]

Jelikož se v některých jazycích včetně češtiny čárka používá v číslech jako oddělovač desetinných míst, existují varianty, které používají jiný znak pro oddělování položek než čárku, nejčastěji středník, případně tabulátor (taková varianta se pak někdy označuje jako TSV, Tab-separated values). Variantu se středníkem (ale stále pod názvem CSV) používá např. Microsoft Excel v české verzi Microsoft Windows (řídí se oddělovačem zadaným v Místním a jazykovém nastavení). [9]

Díky jednoduchosti, nenáročnosti a čitelnosti i bez specializovaného software se tento formát používá pro výměnu informací mezi různými systémy. Ke stejnému účelu se dnes používá i modernější a univerzálnější (ale složitější) formát XML. [9]

Průběh vytvořený v programu AIWE a uložený jako csv lze otevřít v programu Excel pro např. vyhodnocení uložených dat, nebo další zpracování apod. V Excelu verze 2007 je nutné zvolit záložku Data a Načíst externí data z textu. V průvodci importem dat zvolit jako oddělovač čárku. Jelikož je jako oddělovač použita čárka a desetinné místo je tečka, je nutné nahradit všechny znaky desetinných míst z teček na čárky. Na obrázku č. 32 je zobrazen průběh s označením ISO7637-2 TP2b, vytvořený v programu AIWE.



Obr. 37 – Průběh ISO7637-2 TP2b v Excelu

3.6 IVI ovladač

Ovladač zařízení je soubor softwarových rutin, které ovládají programovatelná zařízení. Každá rutina odpovídá nějaké programové operaci, jako je nastavení, zápis, čtení, spouštění zařízení apod. Ovladač zjednodušuje ovládání zařízení a snižuje čas nutný pro vývoj tím, že eliminuje potřebu učit se protokol, nutný k ovládání jednotlivých zařízení. [10]

Dříve programátoři používali příkazy, které byly závislé na jednotlivých zařízeních. Neexistoval žádný standart, a proto např. dva multimetry od různých výrobců mohly používat odlišné příkazy nutné pro jejich ovládání. V devadesátých letech byla vytvořena norma Standart Commands for Programmable Instruments (SCPI), která definovala soubor příkazů používající ASCII znaky. Například pokud bylo potřeba měřit stejnosměrné napětí, standardní SCPI příkaz je „MEASURE:VOLTAGE:DC?“. [10]

V roce 1993 byly vytvořeny VXIplug&play ovladače. Na rozdíl od SCPI, tyto ovladače nespécifikovaly jak ovládat zařízení. Ovládání se zařízením je prováděno voláním podprogramů v daném programovacím jazyce bez nutnosti formátování a odeslání ASCII znaků jako je u SCPI příkazů. ASCII znaky je nutné vytvořit a odeslat v syntaxi: „MEASURE:VOLTAGE:DC?“, následně přečíst řetězec a uložit jej do proměnné. S ovladačem se pouze volá funkce nazvaná MeasureDCVoltage() a jako návratovou hodnotu obdržím změřené napětí. [10] Ačkoliv je stále nutné dodržovat syntaxi, vytváření volání podprogramu v daném programovacím jazyce je méně náchylné k vytváření chyb. [10]

VXIplug&play ovladač ovšem neposkytuje běžné programovací rozhraní. Znamená to, že programování zařízení od firmy Keithley, za použitím VXIplug&play ovladače, je stále odlišné od programování zařízení od firmy Agilent. Z toho důvodu byla v roce 1998 skupinou výrobců vytvořena organizace Interchangeable Virtual Instruments (IVI). Tito výrobci se dohodli na potřebě poskytnout specifikace pro programování zařízení. Umožňuje to lepší výkonnost, snižuje cenu vývoje programu a usnadňuje provádění změn. Například pro jakýkoliv IVI ovladač vytvořený pro DMM je

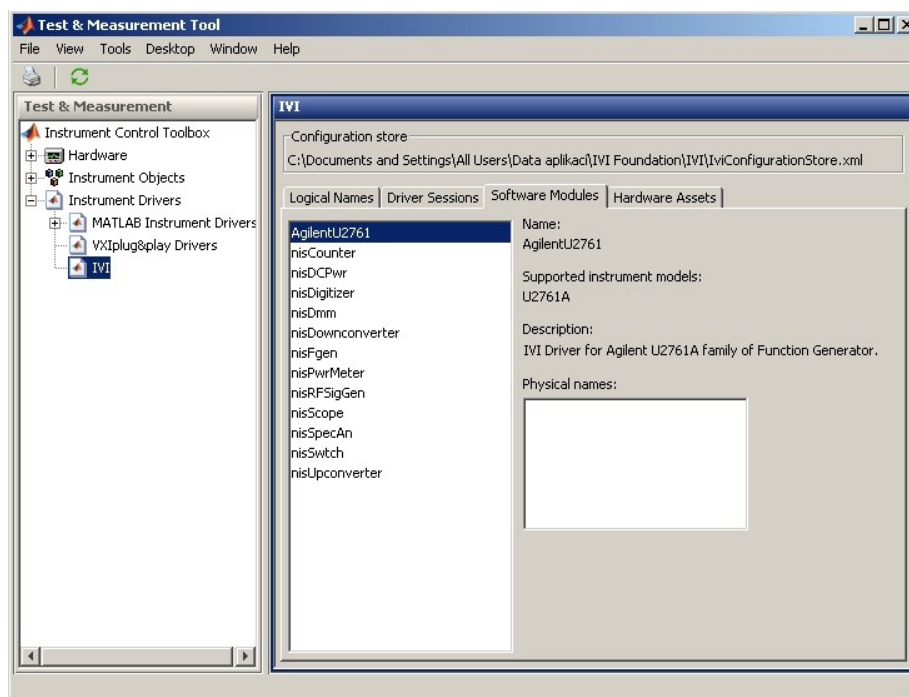
příkaz pro měření IviDmmMeasurement.Read, bez ohledu na výrobce. To znamená, že pokud se naučím programovat příkazy specifikované pro IVI ovladač, mohu použít zařízení jakéhokoliv výrobce bez nutnosti učení nových příkazů. [10]

3.7 Možnosti komunikace s programem Matlab

Nainstalováním IVI-COM ovladače je možné ovládat generátor z programu Matlab, pomocí nástroje Instrument Control Toolbox (ICT). Tento nástroj podporuje přístroje od více výrobců jako např. Agilent, Tektronix, Rohde & Schwarz a jiné. Podporuje mnoho komunikačních protokolů, GPIB, seriový, TCP/IP, VISA apod. a také podporuje mnoho ovladačů různých zařízení jako např. IVI, VXIplug&play. ICT poskytuje interaktivní nástroj pro detekci a komunikaci se zařízením, automaticky generuje skript pro rychlejší a snadnější realizaci.

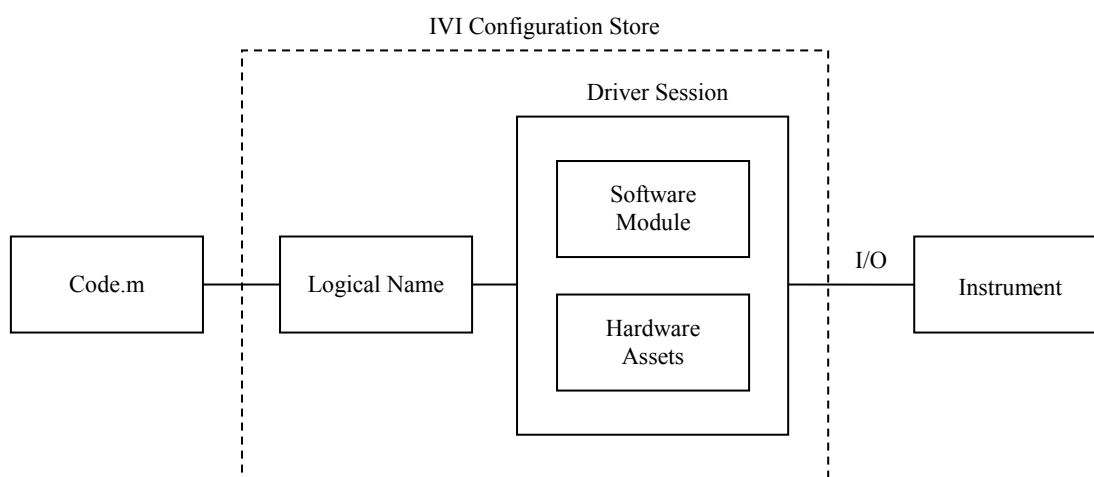
Pro nainstalování IVI-COM ovladače je nutné spustit nástroj Instrumental Driver Editor (výběrem Start > Toolboxes > Instrument Control > midedit, nebo zadáním příkazu midedit). Je to nástroj s grafickým uživatelským prostředím, který umožňuje vytvářet, modifikovat a importovat ovladače zařízení. Nejprve je nutné výběrem ze seznamu nainstalovaný ovladač nainportovat. Poté „midedit“ automaticky vygeneruje kód pro možnou komunikaci s tímto zařízením. V nabídce Groups pak vidíme kompletní seznam nabízených funkcí generátoru a dále je nutné provést uložení.

Nyní můžeme tento ovladač využívat z prostředí Matlab. Spuštěním nástroje tmtool (výběrem Start > Toolboxes > Instrument Control > tmtool, nebo zadáním příkazu tmtool). Je to grafický nástroj umožňující ovládání daného zařízení. V levé nabídce po rozbalení nabídky Hardware je seznam všech komunikačních protokolů umožňujících komunikaci se zařízením. Rozbalením nabídky Instruments Drivers a označením IVI je zobrazen seznam uložených konfigurací a je nutné provést vytvoření nové konfigurace vyplněním potřebných parametrů a uložení nové konfigurace.



Obr. 38 – Konfigurace IVI ovladače v programu Matlab

V záložce Hardware Assets se nastavuje komunikační port připojeného zařízení. Softwarový modul je specifický pro každé zařízení a obsahuje příkazy a funkce nutné pro komunikaci s daným zařízením. Tento modul je záležitostí výrobce zařízení a nelze jej editovat. Driver Session vytváří spojení mezi softwarovým modulem a hardwarovými prostředky zařízení (Hardware Assets). Stejná zařízení tak mohou používat stejný softwarový modul. Jelikož mají odlišné hardwarové prostředky vyžadují odlišný Driver Session. Také je možné používat stejné hardwarové prostředky připojené stejným způsobem (v odlišnou dobu), které mohou používat stejný softwarový modul. Vyžadují ale odlišný Driver Session. Logický název umožňuje přístup k Driver Session a je možné tento název považovat za ukazatel na Driver Session. Pokud je například nutné komunikovat s různými zařízeními, stačí v daném kódu upravit pouze odkaz na příslušný logický název.



Obr. 39 – Blokové schéma konfigurace IVI ovladače v programu Matlab [14]

Po uložení se tato nově vytvořená konfigurace zobrazí v nabídce MATLAB Instrument Drivers a rozbalením nabídky provést Create Device Object Using Driver. Zadáním jména nově vytvořené konfigurace je zařízení připraveno ke komunikaci. V nabídce Device Objects se zobrazí nově vytvořené rozhraní a výběrem z nabídky funkcí je možné generátor ovládat. Komunikace je zaznamenávána v okně Response.

Tento způsob komunikace se mi však nepodařilo prakticky odzkoušet. Při ukládání konfigurace byla programem Matlab zahlášena chyba při ukládání, jejíž příčinu se mi nepovedlo odstranit.

Další možností jak ovládat generátor nástrojem tntool je prostřednictvím SCPI příkazů rozbalením položky Hardware a při připojení zařízení přes USB port označením USB0. Do okna Data to write se postupně zapisují SCPI příkazy a zároveň je automaticky generován kód matlabu, který je možný uložit pro pozdější použití (editaci). Veškerá komunikace je ovládána několika tlačítky pro zápis příkazu, čtení, dotaz a tlačítka flush (hromadné odeslání příkazů). Příklad jak vygenerovat sinusový průběh s amplitudou $5V_{pp}$ a frekvencí 1kHz:

```

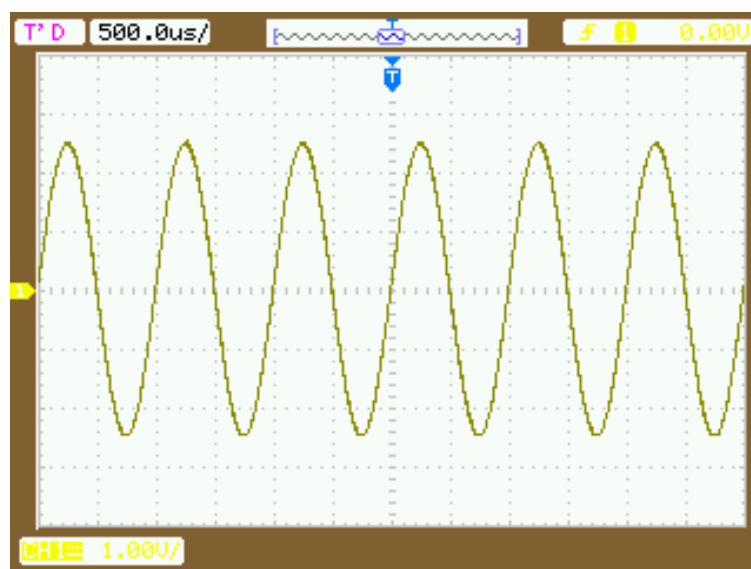
% Find a VISA-USB object.
obj1 = instrfind('Type', 'visa-usb', 'RsrcName',
'USB0::2391::15384::MY48220041::0::INSTR', 'Tag', '');

% Create the VISA-USB object if it does not exist
% otherwise use the object that was found.
if isempty(obj1)
    obj1 = visa('AGILENT', 'USB0::2391::15384::MY48220041::0::INSTR');
else
    fclose(obj1);
    obj1 = obj1(1)
end

% Communicating with instrument object, obj1.
fprintf(obj1, '*CLS');
fprintf(obj1, '*RST');
fprintf(obj1, 'FUNC SIN');
fprintf(obj1, 'VOLT 5 VPP');
fprintf(obj1, 'FREQ 1000');
fprintf(obj1, 'VOLT:OFFS 0');
fprintf(obj1, 'OUTP ON');

% Clean up all objects.
delete(obj1);

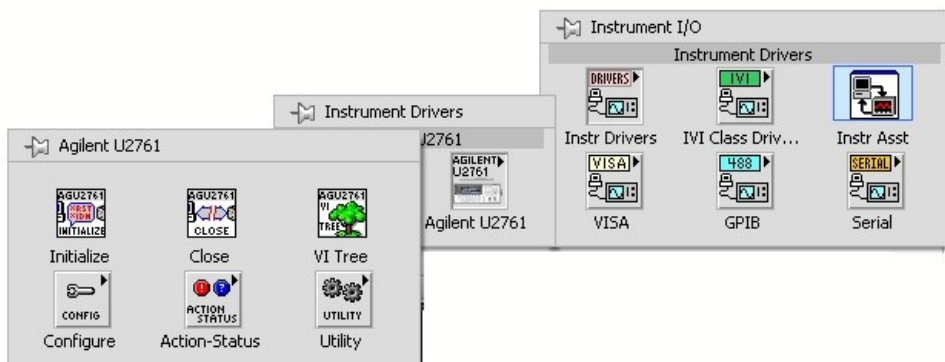
```



Obr. 40 – Generovaný průběh ověřený osciloskopem

3.8 Možnosti komunikace s programem Labview

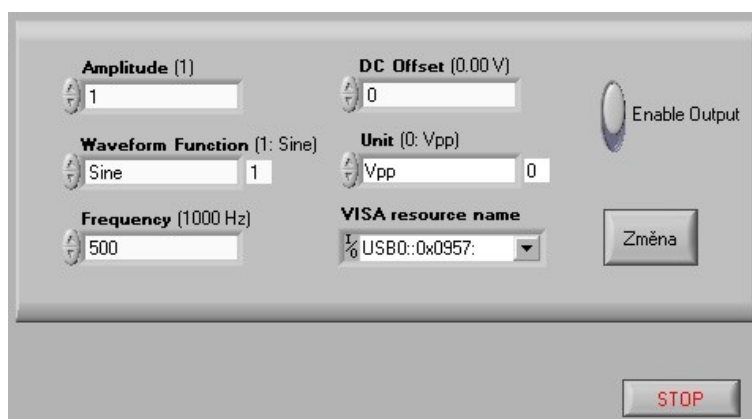
Pro komunikaci s programem Labview je nutné stáhnout a nainstalovat ovladač pro generátor ze stránek National Instruments, který se zkopíruje do adresáře Program files/National Instruments/Labview/instr.lib. Poté je ovladač přístupný z menu programu (obr. 32).



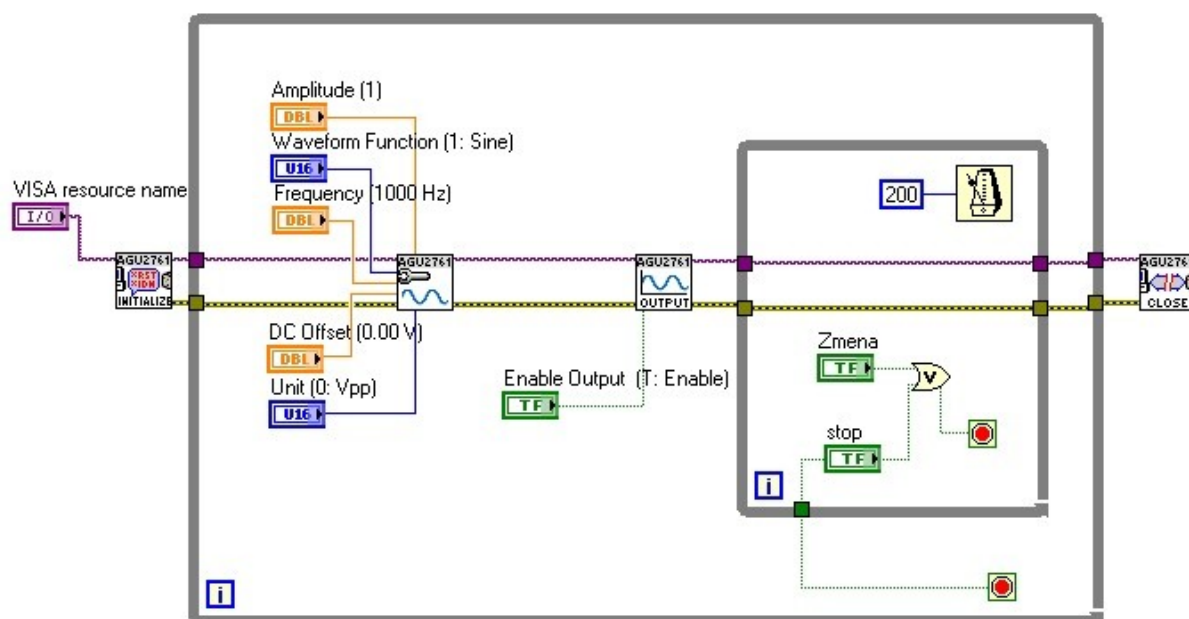
Obr. 41 – Ovladač generátoru Agilent U2761A v Labview

Pro odzkoušení komunikace jsem vytvořil jednoduché zapojení generátoru, kdy nastavuji pouze jeden ze základních průběhů a mohu měnit jeho parametry. Po spuštění je potřeba nastavit komunikační rozhraní. Při změně jakéhokoliv parametru je nutné použít tlačítko změna.

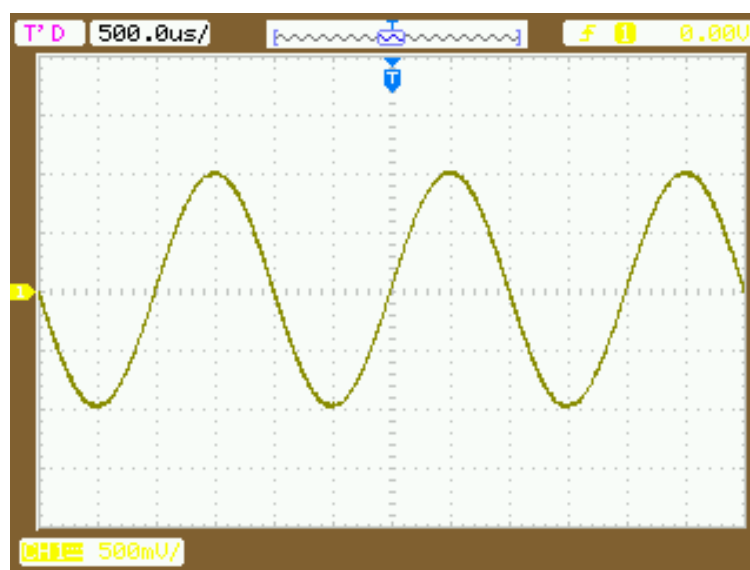
Labview nabízí velkou spoustu možností využití jako např. vytvoření nějakého specifického testovacího zařízení ve spojení s dalšími vi apod.



Obr. 42 – Ovládací panel generátoru



Obr. 43 – Schéma zapojení generátoru



Obr. 44 – Generovaný průběh ověřený osciloskopem

4. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byl detailní popis funkčního arbitrárního generátoru Agilent U2761A, popis jeho vlastností a možností jeho využití s různými programy.

Nejprve jsem v teoretické části popsal základní rozdělení generátorů, s vysvětlením principu činnosti analogových a digitálních generátorů. Detailní popis je věnován principu DDS, jež je součástí tohoto generátoru.

Následující část je věnována popisu generátoru Agilent U2761A, kde se kromě detailního popisu jeho vlastností a funkcí věnuji možnostem komunikace tohoto generátoru s různými programy. Nejprve jsem popsal program od firmy Agilent dodávaný spolu s generátorem, Agilent Measurement Manager. Tento program poskytuje všechny potřebné ovládací prvky a nástroje pro snadnou a rychlou komunikaci s generátorem, včetně návrhu vlastního průběhu. Nenabízí ovšem možnost matematických operací se signály. Tuto vlastnost navíc poskytuje program Agilent Intuilink Waveform Editor, který ale nepodporuje tento generátor a pro komunikaci s ním je nutné uložení průběhu do formátu csv a načtení tohoto průběhu programem AMM pro jeho odeslání do generátoru. Také jsem popsal jak nastavit komunikaci s programem Matlab. Zde si mi ovšem nepodařilo zprovoznit využití funkcí IVI-COM ovladače. Problém nastal při ukládání konfigurace v nástroji tmtool. Tento problém se mi nepodařilo odstranit i přes instalaci aktuálního ovladače. Z tohoto důvodu jsem jako příklad komunikace prezentoval pouze formou SCPI příkazů. Dalším z testovaných programů bylo vývojové prostředí Labview, které po instalaci ovladače umožňovalo ovládání veškerých dostupných funkcí generátoru. Odzkoušení spočívalo pouze v jednoduchém zapojení pro ukázkou využití.

V závěru jsem navrhnul laboratorní práci, která umožní praktické odzkoušení ovládání generátoru. Postupně jsem pomocí programu AMM generoval analogové modulace (AM, FM, PM), které jsem osciloskopem ověřoval. Podrobnější vyhodnocení jsem uvedl v závěru laboratorní práce.

Tato bakalářská práce mi umožnila pochopení problematiky funkčních generátorů, jejich principů a rozdělení. Testovaný generátor Agilent U2761A nabízí modulární řešení generátoru, jehož ovládání je řešeno obslužným programem přes rozhraní USB 2.0. Tato jeho vlastnost ve spojení s rámem šasi U2781A umožňuje vytvoření komplexního zapojení s různými moduly pro účely monitorování, měření různých veličin apod. Také možnost komunikace s prostředím Labview nabízí vytvoření nějakého specifického zařízení pro různé testovací účely apod.

Použitá literatura

- [1] Doc. Ing. Milan Štork, CSc. Integrované obvody pro přímou digitální syntézu frekvence [online]. 2003, [cit. 2010-12-2].
http://stag.zcu.cz/fel/kae/+eln/DDS_Ics.pdf
- [2] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika I*. Dotisk prvního vydání. České Budějovice: KOPP, 2004. 271 s. ISBN 80-7232-171-4.
- [3] KESL, Jan. *Elektronika II -přenosová technika*. 1. Dotisk 1. Vydání. Praha: BEN, 2004. 120s. ISBN 80-7300-075-X
- [4] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky 6 – kmitočtové filtry, generátory signálů a převodníky dat*. 1. Vydání. Praha: BEN, 2009. 272 s. ISBN 978-80-7300-240-4
- [5] Signal-Generators.EU. Princip přímé digitální syntézy (DDS). [online]. [cit. 2011-01-12].
<http://signalni-generatory.cz/theory.php>
- [6] Doc. Ing. Milan Štork, CSc. Přímá digitální syntéza a její aplikace. [online]. [cit. 2011-01-14].
<http://stag.zcu.cz/fel/kae/+eln/DDS.PDF>
- [7] Agilent U2761A USB Modular Function /Arbitrary Waveform Generator U2761A User Guide English, [pdf]. 2008, [cit. 2010-12-2].
- [8] H test. U2781A - Šasi pro až 6 USB modulů U2300A. [online]. [cit. 2011-03-11].
<http://www.htest.cz/index.php?produkt=191>
- [9] Wikipedie. CSV. [online]. [cit. 2011-03-11].
<http://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>
- [10] IVI GSG Your Guide to Getting Started with IVI Drivers, [pdf]. [online]. [cit. 2011-03-11].
http://www.ivifoundation.org/downloads/IVI_GSG_v_1.0.pdf
- [11] Conducted Immunity Testing on Automotive Electronics. [online]. [cit. 2011-03-11].
<http://www.docstoc.com/docs/42537815/Conducted-Immunity-Testing-on-Automotive-Electronics>
- [12] Wikipedie. Frekvenční modulace. [online]. [cit. 2011-03-19].
http://cs.wikipedia.org/wiki/Frekven%C4%8Dn%C3%AD_modulace
- [13] Wikipedie. Fázová modulace. [online]. [cit. 2011-03-19].
http://cs.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1zov%C3%A1_modulace
- [14] Hejl Zdeněk. Amplitudová modulace. [online]. [cit. 2011-03-19].
<http://modulace.godlike.cz/>

Seznam příloh

Vzorová laboratorní úloha – Modulované signály