



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## VIRTUÁLNÍ OSCILOSKOP

VIRTUAL OSCILLOSCOPE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Hoferková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

BRNO 2022

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Studentka:** Bc. Kateřina Hoferková

**ID:** 200344

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## Virtuální osciloskop

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit v prostředí LabVIEW virtuální osciloskop. Tento virtuální měřicí přístroj bude sloužit jako učební pomůcka v laboratorním cvičení z předmětu Měření v elektrotechnice.

1. Proveďte literární rešerši v oblasti tvorby virtuální instrumentace se zaměřením na vytvoření virtuálního osciloskopu.
2. Proveďte návrh virtuálního osciloskopu, který by měl mít základní funkce odpovídající dvoukanálovému číslicovému osciloskopu. Požadované funkce osciloskopu budou zadány vedoucí práce.
3. Realizujte virtuální osciloskop v prostředí LabVIEW.
4. Ověřte funkčnost virtuálního osciloskopu (buď s využitím virtuálního generátoru signálů v prostředí LabVIEW, nebo pomocí reálných signálů přivedených na vstup osciloskopu pomocí měřicí karty).
5. Navrhněte minimálně dvě laboratorní úlohy pro cvičení z předmětu Měření v elektrotechnice, které by demonstrovaly použití vytvořeného virtuálního osciloskopu.
6. Dosažené výsledky zhodnoťte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] THOMAS, Payal Reji a Nikita CHAUHAN. A Virtual Instrument Oscilloscope for signal measurements. International Journal of Engineering Research and General Science [online]. 2015, 3(3), 1014-1018. ISSN 2091-2730. Dostupné z: <http://pnrsolution.org/Datacenter/Vol3/Issue3/133.pdf>

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 18.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací virtuálního osciloskopu sloužícího především ke studijním účelům. Virtuální osciloskop je vytvořen v prostředí LabVIEW. Součástí aplikace je i funkční generátor s dvěma výstupy.

Práce se v teoretické části zaměřuje na rozbor funkčního generátoru a osciloskopu, dále také popisuje prostředí LabVIEW a jeho možnosti pro tvorbu virtuálního měřicího přístroje.

V praktické části práce je popsána tvorba dvoukanalového virtuálního osciloskopu, který je inspirován osciloskopem Siglent série SDS1000X. Součástí práce jsou i dvě laboratorní úlohy připravené pro tento virtuální osciloskop.

## **Klíčová slova**

Osciloskop, funkční generátor, LabVIEW, virtuální laboratoř, laboratorní úlohy

## **Abstract**

This thesis is focused on the design and implementation of a virtual oscilloscope used primarily for study purposes. The virtual oscilloscope is created in LabVIEW environment. The application also includes a function generator with two outputs.

The theoretical part of the thesis is focused on the analysis of function generator and oscilloscope, and also describes the LabVIEW environment and its possibilities for creating a virtual measuring instrument.

The practical part of the thesis describes creating of a two-channel virtual oscilloscope, which is inspired by the Siglent SDS1000X series oscilloscope. The thesis also includes two laboratory tasks prepared for this virtual oscilloscope.

## **Keywords**

Oscilloscope, function generator, LabVIEW, virtual laboratory, laboratory tasks

## **Bibliografická citace**

HOFERKOVÁ, Kateřina. Virtuální osciloskop. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141450>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Ing. Soňa Šedivá, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Bc. Kateřina Hoferková
<b>VUT ID studenta:</b>	200344
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2021/22
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Virtuální osciloskop

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 14. května 2022

-----  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Soni Šedivé, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé závěrečné práce.

V Brně dne: 14. května 2022

-----

podpis autora

# Obsah

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>12</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>1. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE V ELEKTROTECHNICE .....</b>	<b>14</b>
1.1 FUNKČNÍ GENERÁTOR .....	14
1.2 OSCILOSKOP.....	15
1.2.1 Analogové osciloskopy.....	16
1.2.2 Digitální osciloskopy .....	17
1.2.3 Funkce osciloskopu.....	19
<b>2. VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE.....</b>	<b>24</b>
2.1 PROSTŘEDÍ LABVIEW .....	24
2.2 NÁVRHOVÉ VZORY .....	25
2.3 TYPY GRAFŮ A CHARTŮ.....	28
2.3.1 Waveform Graph a Chart .....	28
2.3.2 XY Graph .....	29
<b>3. NÁVRH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ V PROSTŘEDÍ LABVIEW .....</b>	<b>30</b>
3.1 NÁVRH VIRTUÁLNÍHO FUNKČNÍHO GENERÁTORU V LABVIEW .....	30
3.2 NÁVRH VIRTUÁLNÍHO OSCILOSKOPU V LABVIEW.....	31
<b>4. REALIZACE VIRTUÁLNÍHO OSCILOSKOPU A FUNKČNÍHO GENERÁTORU V PROSTŘEDÍ LABVIEW .....</b>	<b>33</b>
4.1 REALIZACE FUNKČNÍHO GENERÁTORU .....	34
4.2 REALIZACE OSCILOSKOPU .....	35
4.2.1 Inicializace.....	37
4.2.2 Čekání na událost .....	38
4.2.3 Zpracování a zobrazení.....	43
4.2.4 Ukládání snímku displeje do souboru.....	47
4.2.5 Ukončení.....	48
<b>5. UŽIVATELSKÝ NÁVOD PRO VIRTUÁLNÍ LABORATOŘ V LABVIEW.....</b>	<b>50</b>
5.1 FUNKČNÍ GENERÁTOR .....	50
5.2 OSCILOSKOP.....	51
<b>6. LABORATORNÍ ÚLOHY A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI OSCILOSKOPU .....</b>	<b>57</b>
6.1 UKÁZKA VÝSLEDKŮ LABORATORNÍ ÚLOHY 1 – ZÁKLADNÍ OVLÁDÁNÍ OSCILOSKOPU.....	57
6.1.1 Úkol 1.....	57
6.1.2 Úkol 2.....	60
6.1.3 Úkol 3.....	62
6.1.4 Úkol 4.....	64
6.2 UKÁZKA VÝSLEDKŮ LABORATORNÍ ÚLOHY 2 – MĚŘENÍ POMOCÍ OSCILOSKOPU .....	65
6.2.1 Úkol 1.....	65
6.2.2 Úkol 2.....	65

6.2.3	Úkol 3.....	69
6.2.4	Úkol 4.....	71
6.2.5	Úkol 5.....	73
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>76</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>81</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Konstrukce obdélníkového průběhu ze sinusových signálů, (a) – 1 a 3 harmonická složka; (b) - 1, 3, 5, 7 harmonická složka; (c) – 1, 3, 5, 7, 9, 11 a 13 harmonická složka [1] .....	15
1.2	Signál na osciloskopu Voltcraft DSO-1084F, kde vertikální osa znázorňuje velikost napětí a horizontální osa čas .....	16
1.3	Blokové schéma analogového osciloskopu [3] .....	17
1.4	Blokové schéma číslicového osciloskopu [3] .....	17
1.5	Princip vzorkování v reálném čase [5] .....	18
1.6	Princip vzorkování v ekvivalentním čase [5] .....	18
1.7	Princip náhodného vzorkování (vlevo) a sekvenčního vzorkování (vpravo) v ekvivalentním čase [5] .....	19
1.8	Lissajousovy obrazce pro vybrané poměry úhlových frekvencí [9] .....	20
1.9	Stanovení fázového rozdílu pomocí Lissajousových obrazců [10] .....	21
1.10	Praktický rozdíl mezi DC a AC vazbou, první zobrazení díky DC vazbě obsahuje i stejnosměrnou složku signálu [5] .....	21
1.11	Amplitudové spektrum sinusového signálu [12] .....	22
1.12	Amplitudové spektrum obdélníkového signálu se střídou 50 % [12] .....	22
1.13	Amplitudové spektrum trojúhelníkového signálu [12] .....	23
2.1	Příklad čelního panelu s jednoduchým programem na sčítání dvou čísel .....	24
2.2	Příklad blokového diagramu s jednoduchým programem na sčítání dvou čísel .....	25
2.3	Ikona VI s konektory .....	25
2.4	Návrhový vzor stavový automat: 1 – smyčka <i>while</i> ; 2 – struktura <i>case</i> ; 3 – <i>shift register</i> ; 4 – následující stav [17] .....	26
2.5	Ovládání akcí pomocí <i>event handler</i> [18] .....	26
2.6	Návrhový vzor <i>master/slave</i> [19] .....	27
2.7	Návrhový vzor <i>producer/consumer</i> [20] .....	27
2.8	Návrhový vzor <i>queued message handler</i> [22] .....	28
2.9	Princip rozdílu v zobrazování dat mezi <i>waveform graph</i> a <i>waveform chart</i> [23] .....	29
2.10	Ukázka dat v <i>XY graph</i> [24] .....	29
3.1	<i>Basic Function Generator</i> [25] .....	30
3.2	Schéma možností nastavení parametrů výstupního signálu funkčního generátoru .....	31
3.3	Ukázka čelního panelu virtuálního osciloskopu v LabVIEW [28] .....	32
4.1	Schéma struktury blokového diagramu virtuální laboratoře v LabVIEW .....	33
4.2	Kód pro detekci zprávy <i>Stop</i> přijímané smyčkou generátoru od smyčky osciloskopu .....	34
4.3	SubVI pro generování signálu pomocí virtuálního funkčního generátoru .....	34
4.4	Osciloskop Siglent SDS1202X-E [30] .....	36
4.5	Schéma zjednodušeného principu stavového automatu osciloskopu .....	36
4.6	Kód pro změnu měřítka osy v <i>eventu</i> (události) <i>Vertical CH 1 [V]</i> .....	39
4.7	Kód pro zviditelnění signálu v prvním kanálu na displeji osciloskopu .....	39
4.8	Kód pro změnu módu měřítka horizontální osy na logaritmické u FFT grafu .....	40
4.9	Kód pro zobrazení kanálu s výsledkem matematické operace mezi signály .....	40
4.10	Kód pro skrytí kurzorů na displeji osciloskopu .....	41
4.11	Kód pro událost změny hodnoty <i>Trigger – channel</i> .....	41
4.12	Kód pro událost změny hodnoty tlačítka <i>Play/Pause</i> .....	42
4.13	Diagram pro nastavení proměnné <i>Play_stop</i> při stisknutí tlačítka <i>Play/Pause</i> .....	42
4.14	Kód pro zobrazení pozice kurzorů a výpočet jejich difference .....	43
4.15	Kód funkce <i>trigger_signal.vi</i> .....	44

4.16	Kód pro výběr vazby vstupu .....	45
4.17	Část kódu funkce <i>trigger_subVI.vi</i> pro detekci šířky kladného pulzu.....	45
4.18	Kód funkce <i>measuring_functions.vi</i> .....	47
4.19	Vytvoření cesty k souboru pro uložení snímku osciloskopu .....	48
4.20	Výběr grafu pro vytvoření snímku .....	48
4.21	Zpráva pro ukončení smyčky generátoru a její předání do fronty <i>Messages</i> .....	49
4.22	Přechod programu do stavu <i>End</i> pomocí <i>case struktury</i> , kterou řídí <i>error cluster</i> .....	49
5.1	<i>Cluster</i> funkčního generátoru pro nastavení parametrů signálu .....	50
5.2	Tlačítko <i>Stop</i> .....	51
5.3	Displej virtuálního osciloskopu časový mód; nahoře jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu	52
5.4	Displej virtuálního osciloskopu XY mód; nahoře jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu.....	53
5.5	Displej virtuálního osciloskopu FFT mód; nahoře jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu.....	53
5.6	Menu pro nastavování parametrů osciloskopu .....	54
5.7	Nastavení matematické operace mezi signály .....	54
6.1	Sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ .....	58
6.2	Dva sinusové signály s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ , $f_2 = 20\text{ Hz}$ .....	59
6.3	Dva sinusové signály s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ , $f_2 = 20\text{ Hz}$ , druhý signál je fázově posunutý o $90^\circ$ .....	59
6.4	Obdélníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ a střídou 50 % .....	60
6.5	Obdélníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ a střídou 20 % .....	60
6.6	Trojúhelníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 10\text{ Hz}$ , trigger mód Normal, náběžná hrana a triggerovací úroveň 0,5 V .....	61
6.7	Obdélníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , trigger mód Normal, náběžná hrana .....	62
6.8	Sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , vazba vstupu DC .....	63
6.9	Sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , vazba vstupu AC .....	63
6.10	Zachycení děje pomocí triggerovacího módu Single, jednorázový pulzní signál s parametry $U_{pp1} = 1\text{ V}$ , pulz o délce 0,5 s .....	64
6.11	Sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , obdélníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 %, offset 1 V .....	65
6.12	Měření pomocí kurzorů – sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , obdélníkový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 %, offset 1 V .....	66
6.13	Automatické měřicí funkce .....	67
6.14	Stanovení fázového rozdílu pomocí Lissajousových obrazců .....	70
6.15	XY režim – sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , sinusový signál s parametry $U_{pp2} = 2\text{ V}$ , $f_2 = 1\text{ Hz}$ , fáze $90^\circ$ .....	70
6.16	XY režim – sinusový signál s parametry $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , sinusový signál s parametry $U_{pp2} = 2\text{ V}$ , $f_2 = 2\text{ Hz}$ .....	71
6.17	Funkce Math – součet signálů (obdélníkový signál $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_2 = 10\text{ Hz}$ ) .....	72
6.18	Funkce Math – rozdíl signálů (obdélníkový signál $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_2 = 10\text{ Hz}$ ) .....	72
6.19	Funkce Math – součin signálů (obdélníkový signál $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_2 = 10\text{ Hz}$ ) .....	73
6.20	Spektrum signálů – obdélníkový signál $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_2 = 10\text{ Hz}$ .....	74
6.21	Spektrum signálů – obdélníkový signál $U_{pp1} = 2\text{ V}$ , $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 20 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1\text{ V}$ , $f_2 = 10\text{ Hz}$ .....	74

6.22 Spektrum signálů – obdélníkový signál $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ , $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 80 % a offset 1 V, sinusový signál $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ , $f_2 = 10 \text{ Hz}$ .....	75
---	----

## SEZNAM TABULEK

4.1	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>function_generator.vi</i> .....	35
4.2	Přehled událostí v <i>event struktuře</i> .....	38
4.3	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>trigger_signal.vi</i> .....	44
4.4	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>coupling.vi</i> .....	44
4.5	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>trigger_subVI.vi</i> .....	46
4.6	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>process_signals.vi</i> .....	46
4.7	Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce <i>measuring_functions.vi</i> .....	47
5.1	Přehled rozsahů vstupních parametrů generátoru.....	51
5.2	Přehled zobrazovacích módů virtuálního osciloskopu .....	52
5.3	Přehled možností nastavení parametrů osciloskopu a popis jejich funkčnosti .....	55
5.4	Přehled měřících funkcí osciloskopu.....	56
6.1	Naměřené a vypočtené hodnoty měření parametrů signálu CH 1 .....	67
6.2	Naměřené a vypočtené hodnoty měření parametrů signálu CH 2 .....	67
6.3	Naměřené a vypočtené střední a efektivní hodnoty signálu CH 1 a CH 2 .....	69

# ÚVOD

Pandemie onemocnění COVID-19 způsobila nucenou změnu výuky napříč všemi úrovněmi vzdělávání. Přechod na distanční formu výuky ukázal, že je potřeba využít pro vyučování technických předmětů i virtuální měřicí přístroje, které by alespoň částečně nahradily práci v laboratoři.

Diplomová práce se proto zabývá tvorbou virtuálního osciloskopu pro využití v případě distanční výuky předmětu Měření v elektrotechnice na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně. Studenti si budou moct vyzkoušet obsluhu osciloskopu při domácí přípravě, aniž by museli mít fyzický přístroj, jímž je v laboratoři osciloskop Siglent série SDS1000X. Virtuální osciloskop může tedy sloužit i jako doplněk prezenční výuky.

Virtuální měřicí přístroj je navržen v prostředí LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), které je vhodné pro vytváření virtuálních instrumentů.

Diplomová práce je členěna do pěti základních částí. Kapitola 1 představuje seznámení s vybranými přístroji v elektrotechnice, jejichž přenesení do virtuálního prostoru bude náplní této diplomové práce.

Kapitola 2 se zaměřuje na téma virtuální instrumentace, kde je popsán software LabVIEW a také základní programovací principy, návrhové vzory a vybrané funkce grafického programovacího prostředí využité při tvorbě virtuálních měřicích přístrojů.

Kapitola 3 je věnována možným přístupům k návrhu virtuálního osciloskopu v prostředí LabVIEW a zhodnocení těchto postupů.

Kapitola 4 obsahuje rozbor vlastního návrhu virtuální laboratoře a popis řešení virtuálního instrumentu v LabVIEW.

Následující kapitola 5 je zaměřena na uživatelskou část vytvořeného programu, obsahuje návod k použití a základní pokyny pro obsluhu, které využijí studenti při práci s virtuálními měřicími přístroji.

V šesté kapitole diplomové práce je popsáno zadání laboratorních úloh, které jsou přizpůsobené pro práci s vytvořeným virtuálním osciloskopem, a také je zde rozebrána ukázka jejich řešení. Plné znění laboratorních úloh je možné nalézt v přílohách práce.

# 1. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE V ELEKTROTECHNICE

V této kapitole jsou popsány vybrané měřicí přístroje, které se využívají pro měření elektrických veličin, kontrolu nebo nastavování parametrů v elektronických obvodech.

Mezi základní přístroje patří funkční generátor a osciloskop, na něž je zaměřena tato diplomová práce.

## 1.1 Funkční generátor

Funkční generátor je přístroj, který se využívá převážně jako zdroj napětových signálů s periodickým průběhem, umožňuje generování stejnosměrného signálu a případně i šumu. Periodický průběh může být nejčastěji obdélníkový, sinusový, trojúhelníkový nebo pilovitý, možné jsou i další tvary signálu.

Na funkčním generátoru je možné nastavit velikost (často hodnotu mezivrcholového napětí nebo efektivní hodnotu) a frekvenci výstupního signálu, dále také přidat stejnosměrnou složku, tedy DC offset signálu. Výrobci těchto přístrojů pak nabízí i různé další funkce, jako je například frekvenční modulace signálu [1].

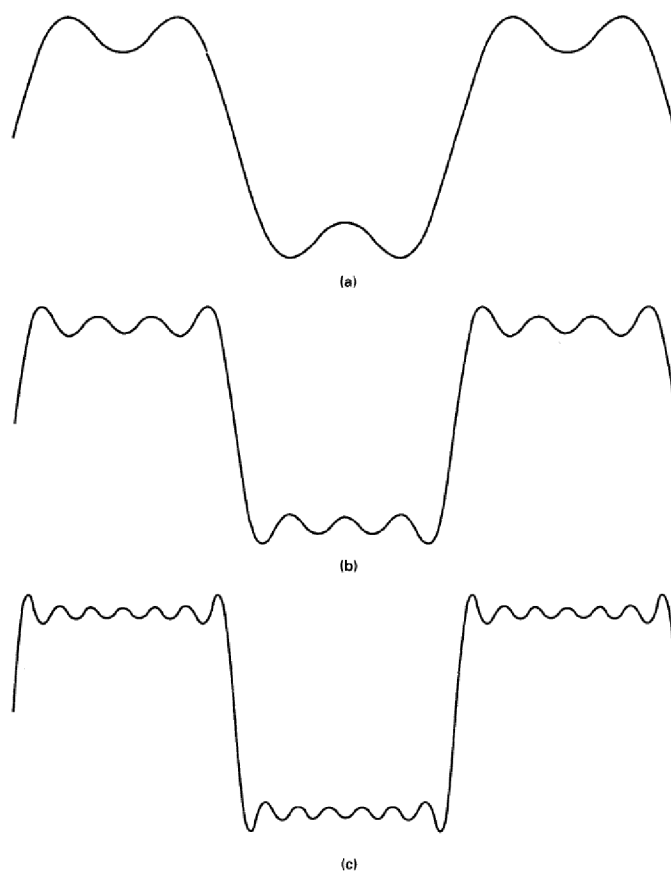
Základní funkcí, kterou může generátor generovat na výstupu, je sinusový signál. Tento signál je matematicky reprezentovaný rovnicí sinusoidy (1.1)

$$s(t) = A \sin(2\pi ft) , \quad (1.1)$$

kde  $s(t)$  reprezentuje signál jako funkci času,  $t$  je čas v sekundách,  $A$  je amplituda generovaného napětí ve voltech a  $f$  zastupuje frekvenci v Hz. Jednotkou je jednotka dané veličiny [1].

Důvodem, proč je sinusová funkce nazývána základní, je, že ostatní průběhy periodických signálů jsou dle Fourierova rozvoje složeny z kombinací sinusových vln s různými frekvencemi, amplitudami a fázemi [1].

Na obrázku 1.1 je možné vidět postupné skládání obdélníkového signálu ze sinusových průběhů, tedy z lichých harmonických složek signálu. Za harmonickou složku se považuje násobek základního kmitočtu signálu [1].

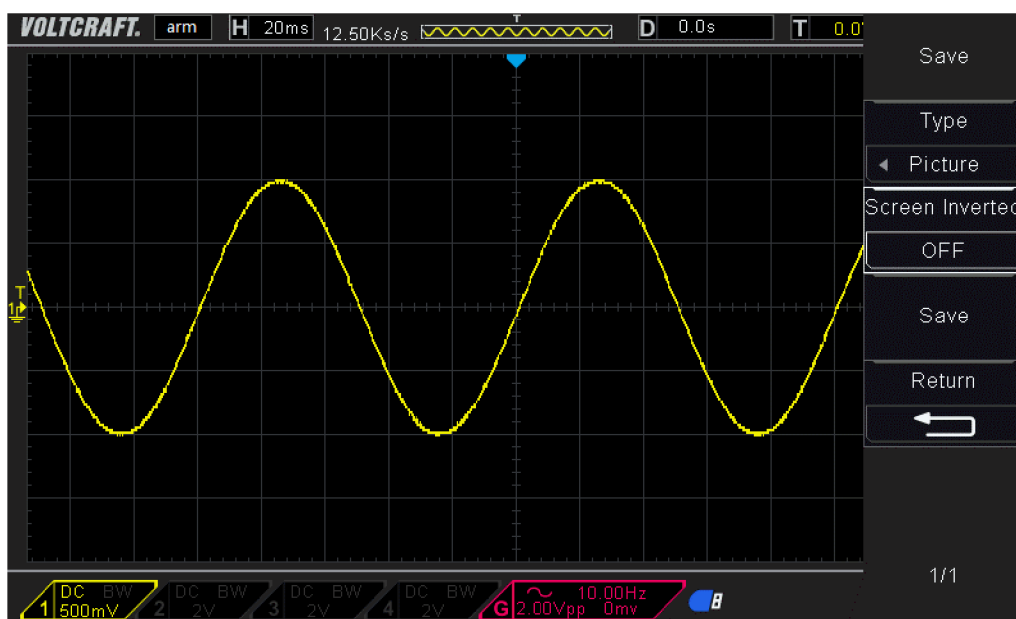


Obrázek 1.1 Konstrukce obdélníkového průběhu ze sinusových signálů, (a) – 1. a 3. harmonická složka; (b) – 1., 3., 5., 7. harmonická složka; (c) – 1., 3., 5., 7., 9., 11. a 13. harmonická složka [1]

## 1.2 Osciloskop

Osciloskop je přístroj využívaný zejména v elektrotechnice ale i mnoha dalších technických nebo vědeckých odvětvích a slouží k zobrazování a měření elektrických signálů, nejčastěji napětí, případně i proudu a jejich změny v čase.

Tradiční osciloskop využívá k zobrazování dvourozměrný displej, na němž je vykreslováno napětí v čase vstupující do přístroje. Na svislé ose je prezentována velikost tohoto napětí, na ose horizontální se pak nachází čas. Další možností je X/Y režim, kdy se zobrazuje závislost jednoho signálu na druhém, nejčastěji se jedná o dvě napětí [1]. Ukázkou zobrazovaného signálu je možné vidět na obrázku 1.2.



Obrázek 1.2 Signál na osciloskopu Voltcraft DSO-1084F, kde vertikální osa znázorňuje velikost napětí a horizontální osa čas

Osciloskop se nejčastěji využívá ke sledování a měření parametrů periodicky opakujících se signálů, je ale možné zachytit také jednorázové děje.

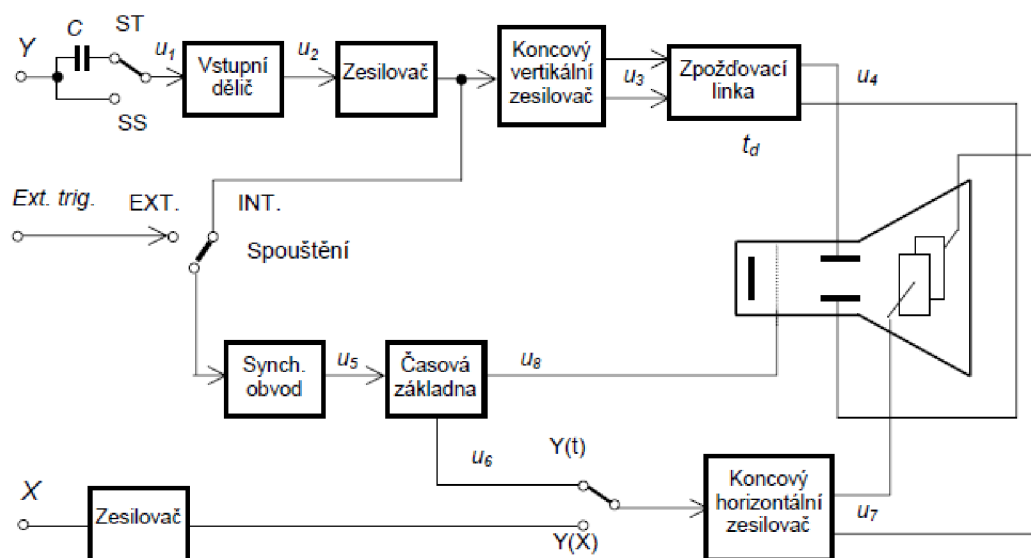
Pomocí otočných voličů je na displeji osciloskopu možné nastavit rozsah vertikální osy, který udává hodnotu signálu na jeden dílek osy. Stejný otočný volič se na měřicím přístroji nachází i pro nastavení časového úseku (v případě X/Y režimu hodnoty druhého signálu), který připadá na jeden dílek osy horizontální. Osciloskopy mívají nejčastěji dva nebo čtyři analogové vstupy neboli kanály, na které je možné přivádět měřené signály pomocí sond. Některé osciloskopy (MSO – Mixed Signal Oscilloscope, tedy osciloskop pro smíšené signály) jsou vybaveny i digitálními vstupy s digitálními sondami [2].

### 1.2.1 Analogové osciloskopy

Za základní dělení osciloskopů lze uvažovat rozdělení na přístroje analogové a digitální. V případě analogových osciloskopů se zobrazovací technologie CRT (z anglického termínu cathode-ray tube, tedy katodová trubice) používá k přímému zobrazování signálu. Princip analogových osciloskopů je zobrazen na obrázku 1.3.

Paprsek elektronů je v tomto případě tvarován a zaostřen soustavou elektrod a dopadá na stínítko [1].



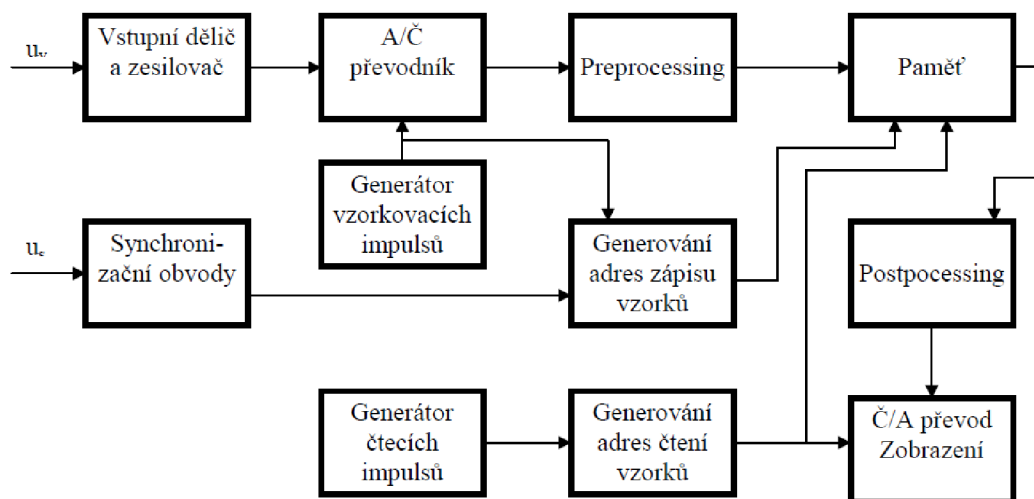


Obrázek 1.3 Blokové schéma analogového osciloskopu [3]

Analogový osciloskop tedy nepřetržitě zobrazuje měřený signál, nedochází zde k vzorkování nebo aproximacím [4].

### 1.2.2 Digitální osciloskopy

Digitální osciloskopy se dělí na DSO (Digital Storage Oscilloscope) a DPO (Digital Phosphor Oscilloscope), kdy je využita zobrazovací technologie CRT.

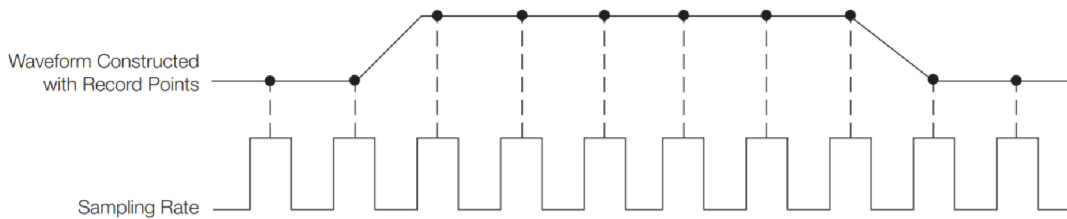


Obrázek 1.4 Blokové schéma číslicového osciloskopu [3]

Digitální osciloskopy pracují s digitalizovaným signálem, matematicky ho zpracovávají a zobrazují na displeji. Signál je vzorkován v čase pomocí vzorkovače a poté je převáděn do digitální podoby pomocí analogově-digitálního převodníku

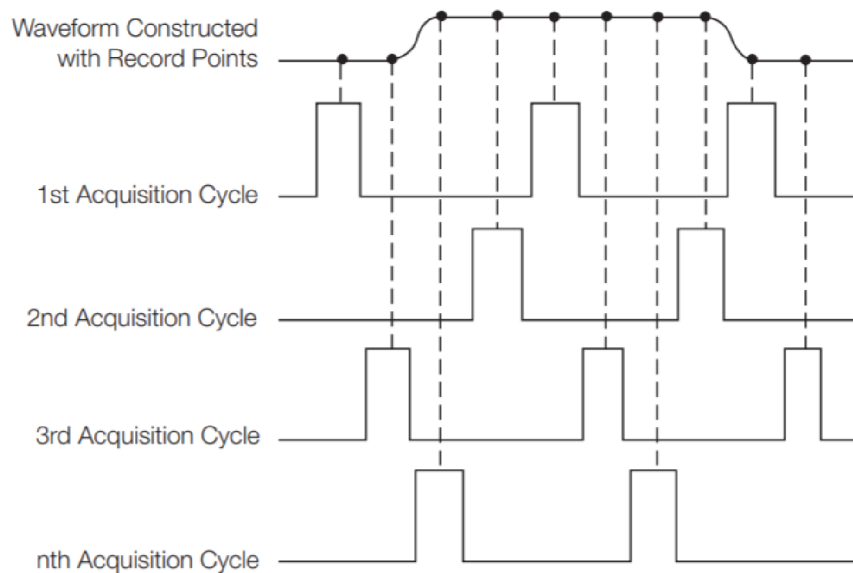
(nejčastěji komparačního s metodou paralelního porovnání). Za těmito částmi přístroje již obvody pracují s digitálním signálem [4].

Vzorkování může probíhat v reálném čase, kdy jsou vzorky z měřeného signálu sbírány během jednoho průběhu, jak je ukázáno na obrázku 1.5. Metoda je tedy vhodná jak pro periodické signály, tak i pro zachycení jednorázových dějů. Frekvence vzorkování se odvíjí od Nyquistova kritéria a měla by být minimálně dvojnásobná oproti nejvyššímu kmitočtu obsaženém ve spektru signálu. V praxi je vzorkovací frekvence volena násobně vyšší.



Obrázek 1.5 Princip vzorkování v reálném čase [5]

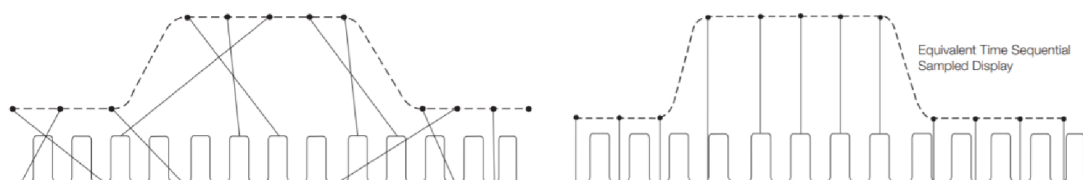
Při vzorkování v ekvivalentním čase se vzorky získávají během několika period a z takto získaných dat se následně složí výsledný průběh, jak je možné vidět na obrázku 1.6. Tento přístup je tedy možné použít pouze pro periodické signály, které však nemusí splňovat Nyquistovo kritérium [4].



Obrázek 1.6 Princip vzorkování v ekvivalentním čase [5]

Vzorkování v ekvivalentním čase se dále dělí na dvě podkategorie – sekvenční a náhodné vzorkování. Sekvenční vzorkování probíhá v několika periodách, přičemž v každé periodě dochází k získání pouze jednoho vzorku a okamžik sběru vzorku se v každé následující periodě posouvá o pevně daný časový interval. Takto přístroj postupně nasbírá dostatečný počet vzorků, aby mohl být rekonstruován měřený signál [6].

Při náhodném vzorkování je signál vzorkován maximální vzorkovací frekvencí při každém příchodu triggeru (spouštěcího signálu). Z každého vzorkování je tedy získána sada dat s pořadím vzorků, z nichž je sestavován rekonstruovaný vstupní signál pomocí změřeného časového intervalu mezi okamžikem triggeru a vzorkovacího signálu. Z mnoha takto získaných sad je pak možné sestavit navzorkovaný měřený signál. Principy dvou přístupů vzorkování v ekvivalentním čase jsou zobrazeny na obrázku 1.7 [6] [7].



Obrázek 1.7 Princip náhodného vzorkování (vlevo) a sekvenčního vzorkování (vpravo) v ekvivalentním čase [5]

### 1.2.3 Funkce osciloskopu

Pro stabilní a smysluplné zobrazování periodického signálu se využívá trigger (spouštění signálu). Událostí pro spouštění může být například náběžná nebo sestupná hrana signálu, případně obě hrany nebo také určitá šířka pulzu. U triggerování na určitou hranu zachycovaná událost nastává při okamžiku, kdy signál roste nebo klesá podle nastavené hrany a kdy měřený signál dosáhne úrovně nazvané trigger level, která je nastavitelná. Triggerovaný signál tedy začíná vždy stejnou událostí. Při nastavení okamžiku spouštění na šířku pulzu reaguje trigger na splnění podmínky na požadovanou šířku pulzu [2].

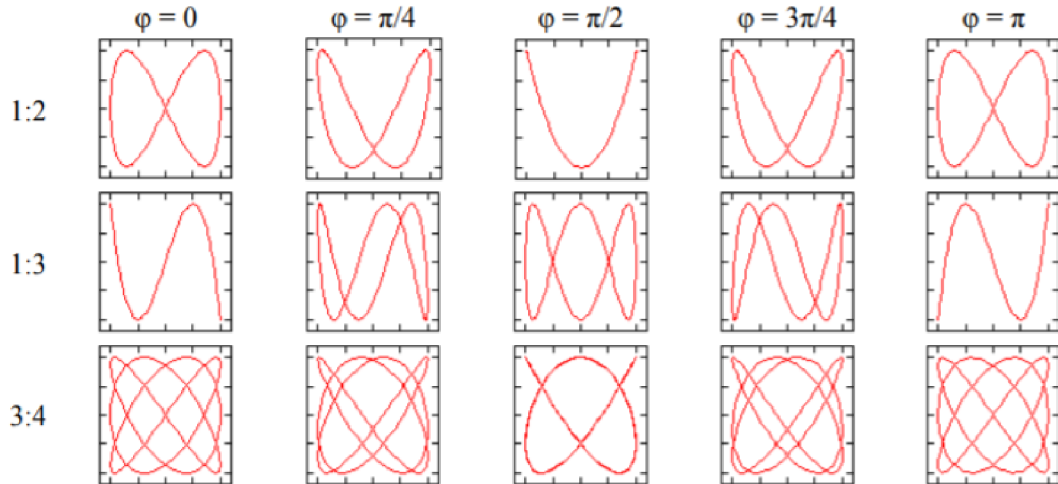
Osciloskopy nabízejí různé módy pro trigger, přičemž nejzákladnější jsou tři následující:

- **Normal:** zobrazování signálů se restartuje vždy při zachycení definované události.
- **Auto:** zobrazování signálů se restartuje automaticky, a to i bez události, na kterou reaguje trigger.
- **Single:** tento mód slouží pro zachycení jednorázových dějů, osciloskop zobrazí pouze první snímek, kdy se definovaná událost objeví [2].

Osciloskop se nejčastěji využívá pro pozorování časových průběhů měřených signálů a pracuje tak v časové oblasti. Toto ale není jediný režim činnosti přístroje, může totiž

být zapnut i tzv. X/Y režim. V tomto zobrazovacím módu je signál přivedený na vertikální vstup osciloskopu zobrazen jako funkce druhého signálu [8].

Výsledkem tohoto režimu jsou Lissajousovy obrazce, jimiž jsou křivky v rovině vzniklé funkční závislosti dvou signálů. Pomocí Lissajousových obrazců je možné detekovat poměr úhlových frekvencí a také velikost počáteční fáze signálu [9].



Obrázek 1.8 Lissajousovy obrazce pro vybrané poměry úhlových frekvencí [9]

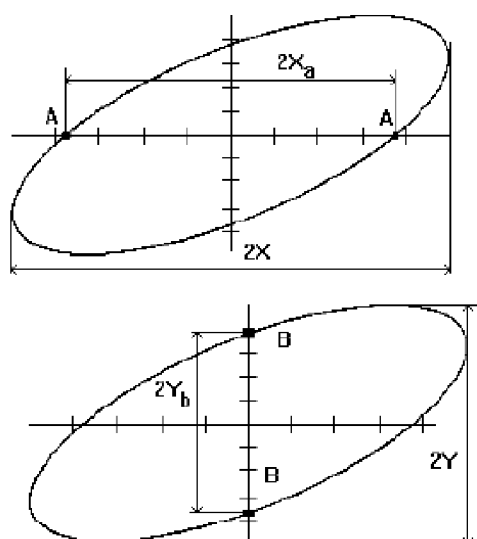
Na obrázku 1.8 se nachází ukázka Lissajousových obrazců pro některé vybrané poměry úhlových frekvencí (řádky) a také pro počáteční fáze (sloupce).

Lissajousův obrazec vzniklý ze dvou signálů lze použít ke stanovení poměru frekvencí těchto signálů, kdy přes vzniklý obrazec vedeme pomyslnou horizontální přímku a vertikální přímku, které neprocházejí vlastními průsečíky samotného obrazce. Určíme počet  $n_h$  bodů a počet  $n_v$  bodů, ve kterých tyto přímky protínají obrazec [10]. Poměr úhlových frekvencí je pak vypočten následujícím způsobem:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_h}{n_v} \quad [-], \quad (1.2)$$

Lissajousovy obrazce je možné využít i v určení fázového rozdílu mezi harmonickými signály. Z rozměrů obrazce, jak je vidět na následujícím obrázku se určí  $X_a, Y_b$ , a  $X, Y$  [10]. Fázový rozdíl signálů lze stanovit následujícím vztahem:

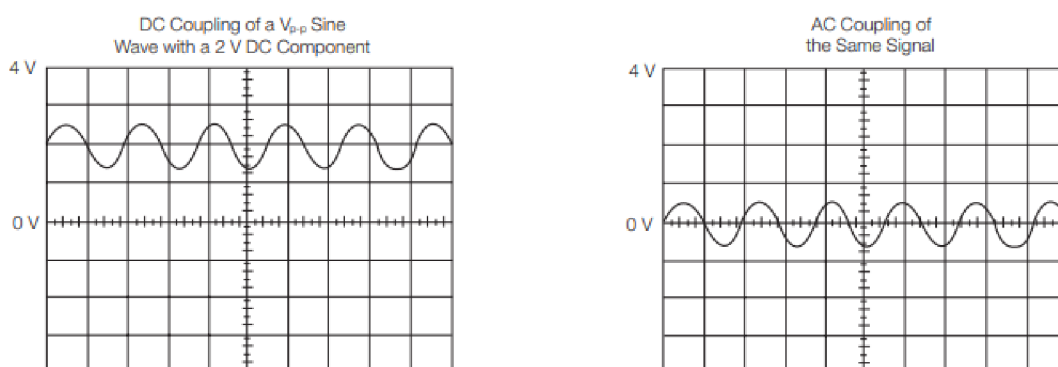
$$\varphi = \arcsin \frac{X_a}{X} = \arcsin \frac{Y_b}{Y} \quad [^\circ], \quad (1.3)$$



Obrázek 1.9 Stanovení fázového rozdílu pomocí Lissajousových obrazců [10]

U každého kanálu osciloskopu je často možné nastavit typ vazby, nejčastěji se jedná o stejnosměrnou (DC – direct current) nebo střídavou (AC – alternating current) vazbu, případně je možné kanál uzemnit (GND – ground) [5].

DC vazba zobrazuje všechny složky vstupního signálu, zatímco vazba AC odstraní pomocí sériově zapojeného kondenzátoru stejnosměrnou složku a signál je centrován okolo nulové hodnoty. Tato vazba se využívá, pokud je celý signál i se svou stejnosměrnou složkou příliš velký na měřítko osciloskopu [5].



Obrázek 1.10 Praktický rozdíl mezi DC a AC vazbou, první zobrazení díky DC vazbě obsahuje i stejnosměrnou složku signálu [5]

Osciloskopy disponují celou řadou měřicích funkcí, jako je měření mezivrcholové hodnoty napětí, amplitudy, efektivní (RMS = Root Mean Square) nebo střední hodnoty (Mean) signálu či rozdílů mezi horizontálními nebo vertikálními kurzory. Osciloskopy měří také frekvenci a periodu signálu nebo například detekují šířku pulzu [8].

Střední hodnotu  $s(t)_{Mean}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  lze vypočítat podle následujícího vzorce, přičemž jednotkou bude jednotka měřené veličiny [11]:

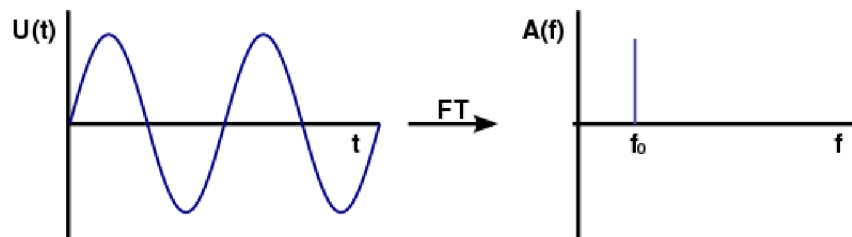
$$s(t)_{Mean} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt, \quad (1.4)$$

Efektivní hodnotu  $s(t)_{RMS}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  je možné vypočítat následující rovnicí, přičemž jednotkou bude jednotka měřené veličiny [11]:

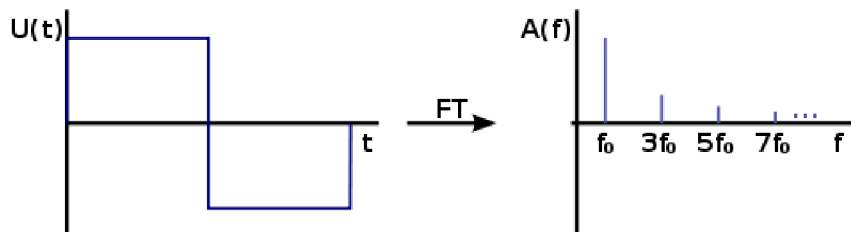
$$s(t)_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}, \quad (1.5)$$

Mezi další možnosti osciloskopů patří matematické funkce (tlačítko Math), kdy uživatel může provádět matematické operace se signály dvou kanálů, jako je násobení, sčítání, odečítání signálů.

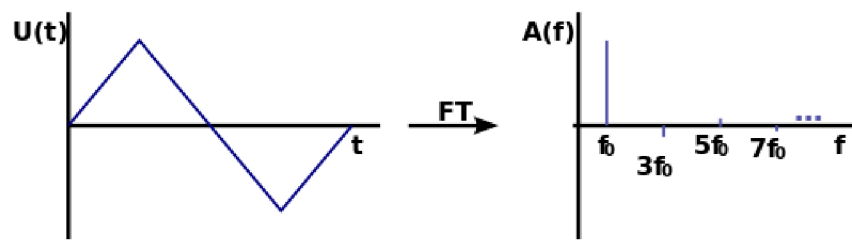
Některé osciloskopy nabízí i funkci FFT (Fast Fourier Transform) neboli rychlé Fourierovy transformace pro zobrazení spektra signálu a určení frekvenčních složek signálu. Například obdélníkový signál se skládá z lichých harmonických složek signálu, které jsou násobky základního kmitočtu [8]. Na následujících obrázcích je možné vidět ukázky spekter některých charakteristických signálů.



Obrázek 1.11 Amplitudové spektrum sinusového signálu [12]



Obrázek 1.12 Amplitudové spektrum obdélníkového signálu se střídou 50 % [12]



Obrázek 1.13 Amplitudové spektrum trojúhelníkového signálu [12]

Funkce a vlastnosti osciloskopů jsou podrobně popsány v literatuře, jako je například Oscilloscope Fundamentals od společnosti Tektronix [5] nebo skripta Měření v elektrotechnice [3].

## 2. VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE

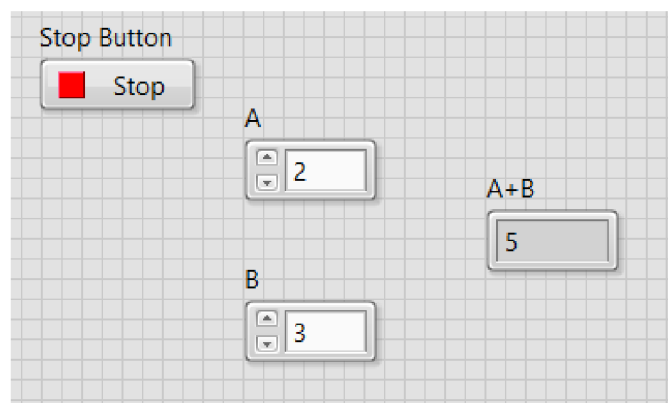
S nástupem výpočetní techniky se v posledních letech utvořila nová možnost, jak měřit a zpracovávat data. Tato technologie se nazývá virtuální instrumentace a spočívá v nahrazení měřicích přístrojů čistě virtuálními a simulačními prvky. Velkými výhodami těchto přístupů jsou zejména nízká pořizovací cena oproti fyzickému přístroji, ale také snadná možnost pro rozšíření instrumentu o další zpracování získaných signálů [13].

Pro účely virtuální instrumentace se využívá například prostředí LabVIEW, které je uzpůsobeno tvorbě těchto virtuálních instrumentů. Programovací prostředí LabVIEW 21.0 Development System bylo využito pro tvorbu výukové aplikace i v této práci.

### 2.1 Prostředí LabVIEW

Projekt v LabVIEW se skládá z jednotlivých VI, tedy virtuálních instrumentů. Hlavní VI je ekvivalentem ke zdrojovému souboru *main*, jednotlivé funkce a dílčí části se zapouzdřují do dalších VI, které jsou nazývány SubVI.

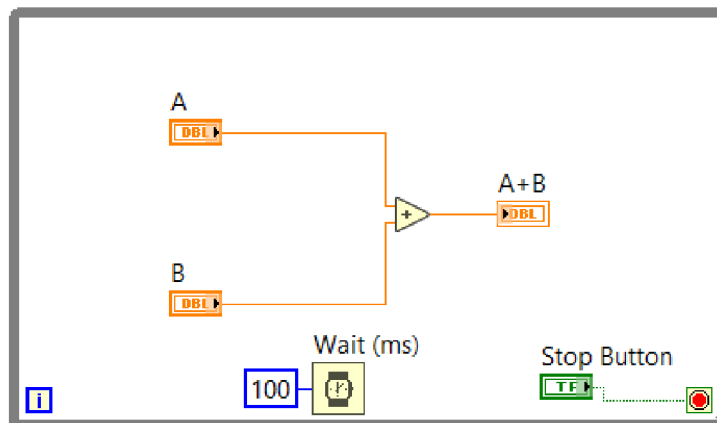
LabVIEW je prostředí pro grafické programování, které umožňuje vytváření aplikací s pokročilým uživatelským rozhraním – tzv. čelním panelem, příklad je možné vidět na obrázku 2.1. Kód je před uživatelem skryt v blokovém diagramu, kde posloupnost funkcí určuje tok dat přes virtuální vodiče, jimiž jsou různé datové typy transportovány, jak je možné vidět na obrázku 2.2.



Obrázek 2.1 Příklad čelního panelu s jednoduchým programem na sčítání dvou čísel

Jednotlivé funkce jsou v blokovém diagramu reprezentovány pomocí ikon, které mají své specifické vstupy, výstupy. Vstupy a výstupy pro uživatele jsou na čelním panelu reprezentovány pomocí ovládacích prvků (*controls*) a indikátorů (*indicators*) [14].





Obrázek 2.2 Příklad blokového diagramu s jednoduchým programem na sčítání dvou čísel

Každé VI má také svou ikonu s charakteristickou ilustrací a konektory, které je možné propojit s ovládacími prvky a indikátory na čelním panelu, viz obrázek 2.3.



Obrázek 2.3 Ikona VI s konektory

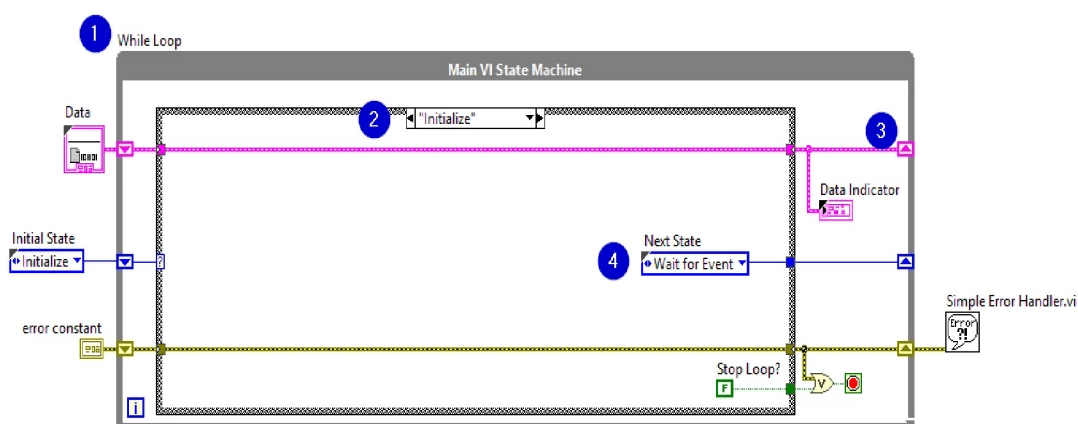
Programování v prostředí LabVIEW je spojeno se zavedenou terminologií, pro niž často neexistuje ekvivalentní překlad do českého jazyka, který by definoval daný pojem a byl srozumitelný pro odbornou veřejnost. Proto v práci budou často použity zavedené anglické termíny a názvy.

Základy práce s prostředím LabVIEW a pojmy s tímto spojené je možné nalézt například v literatuře *Začínáme s LabVIEW* [15] nebo v obsáhlejší knize *LabVIEW Graphical Programming* [16].

## 2.2 Návrhové vzory

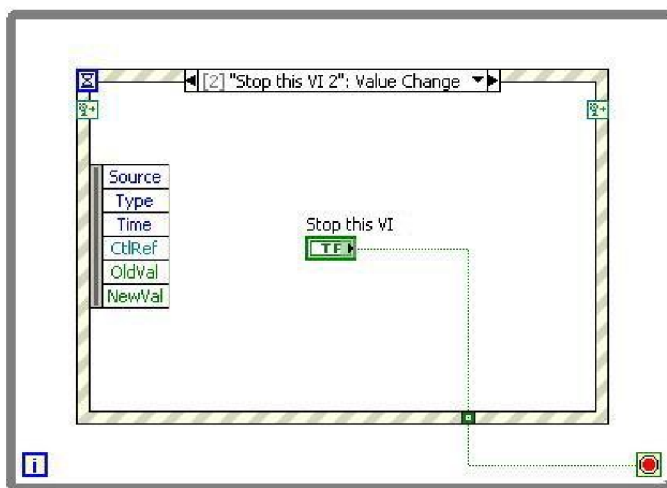
Pro vytváření programů nejen v prostředí LabVIEW existují obecná návrhové vzory, které je možné při tvorbě různých aplikací využít. Mezi základní vzory patří *stavový automat*, *event handler*, *master/slave* a *producer/consumer*.

*Stavový automat* je vhodný pro vytváření algoritmů založených na rozhodování a reprezentovaných stavovými diagramy; skládá se ze smyčky *while* a ze *struktury case*. Přenos informací k následujícímu stavu je zajištěno pomocí *shift registrů* [17] [14]. Základní princip je zobrazen na obrázku 2.4.



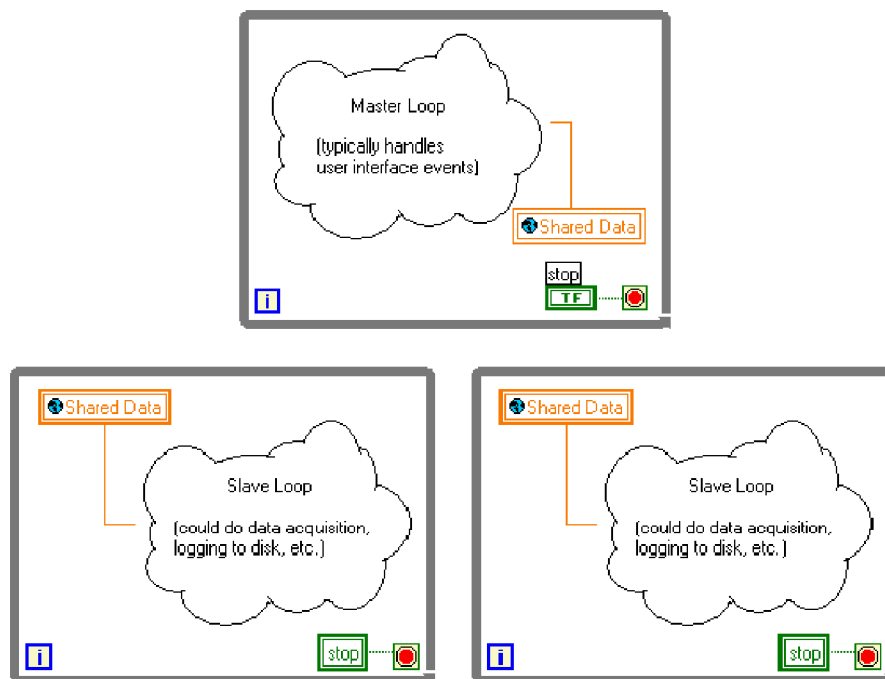
Obrázek 2.4 Návrhový vzor stavový automat: 1 – smyčka *while*; 2 – *struktura case*; 3 – *shift registr*; 4 – následující stav [17]

*Event handler* nabízí ovládání akcí, kterými uživatel interaguje s čelním panelem programu v LabVIEW. Tato struktura nabízí zachycení události, jako je například změna stavu kontrolu, kliknutí nebo stisknutí klávesy. Standardně je *event struktura* umístěna ve smyčce *while*. Jednu strukturu je možné nadefinovat pro různé události, které může zachytit – v tomto případě pro každou událost je možné nadefinovat jiný kód [14] [18]. Výhodné může být také použití *event handler* společně se *stavovým automatem*, kdy vznikne *stavový automat řízený událostmi*, který spojuje výhody dvou výše uvedených návrhových vzorů. Základní princip je zobrazen na obrázku 2.5.



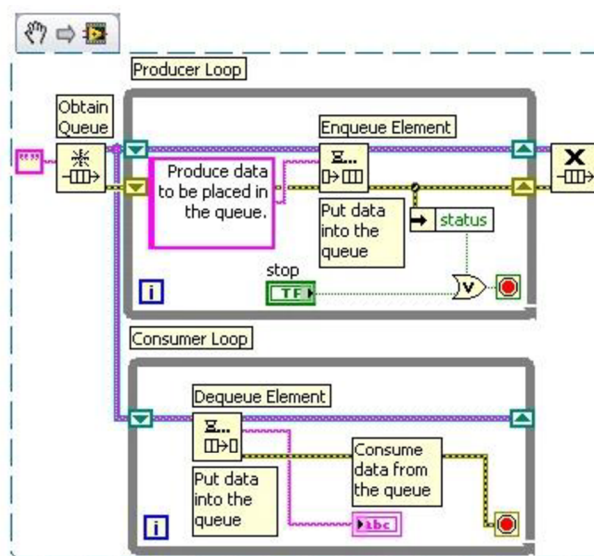
Obrázek 2.5 Ovládání akcí pomocí *event handler* [18]

Model *master/slave* nebo taktéž *client/server* se skládá z více paralelních smyček, přičemž každá z nich může obsluhovat procesy v různé rychlosti. Hlavní smyčka *master* řídí všechny smyčky *slave* a komunikuje s nimi. Tento design je vhodný zejména pro víceúlohové aplikace [14][19] a je zobrazen na obrázku 2.6.



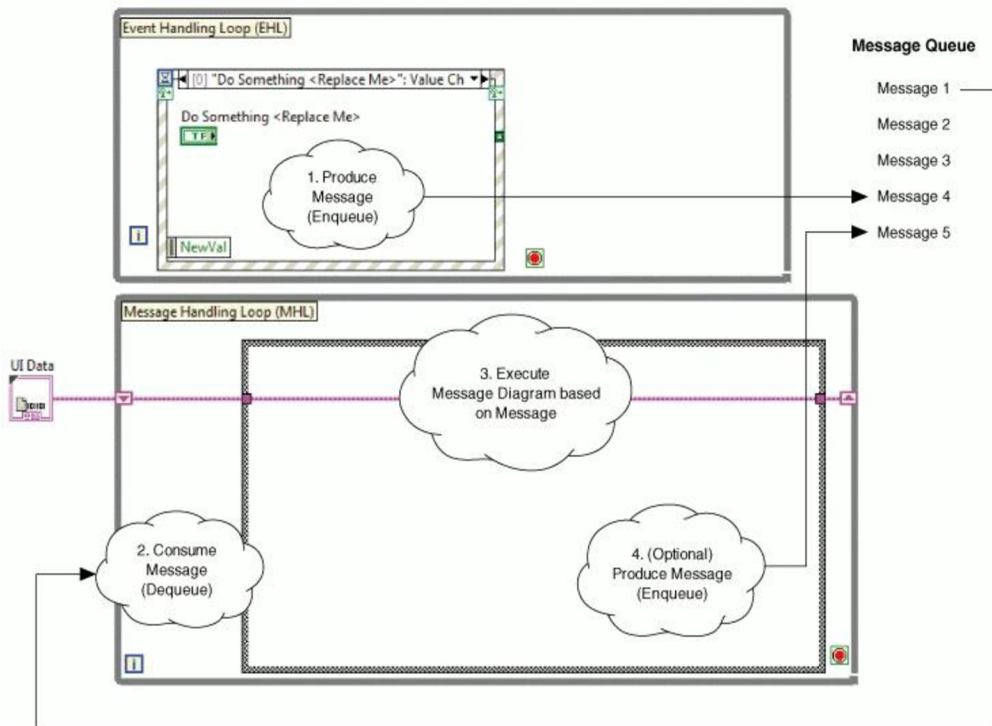
Obrázek 2.6 Návrhový vzor *master/slave* [19]

Návrhový vzor *producer/consumer* se využívá pro sdílení dat mezi dvěma paralelními smyčkami vykonávajícími se v různých rychlostech. Smyčky jsou buď *producer* – v takovém případě jsou data produkováána; nebo *consumer*, kdy dochází ke zpracování nebo využití dat. Data se v takovém případě řadí do fronty, která spojuje obě smyčky [14][20]. To je možné vidět na obrázku 2.7.



Obrázek 2.7 Návrhový vzor *producer/consumer* [20]

Další návrhové vzory mohou být složitější a mohou se skládat z více výše zmíněných struktur najednou. Příkladem může být *queued message handler*, který využívá výhod návrhového vzoru *producer/consumer* a kombinuje jej s *event handler*. Smyčka zastupující část *producer* obsahuje *event strukturu*, jež zachytává události na čelním panelu či akce aplikace. V této smyčce se pomocí fronty odesílají zprávy do smyčky *consumer*, kde dochází ke zpracování zpráv [21]. Princip využití toho návrhového vzoru v LabVIEW je možné vidět na obrázku 2.8.



Obrázek 2.8 Návrhový vzor *queued message handler* [22]

## 2.3 Typy grafů a chartů

Prostředí LabVIEW nabízí několik typů grafického zobrazení signálů či naměřených dat, na čelní panel je možné umístit *graph* nebo *chart*. Detailnější popis zobrazovacích možností byl do práce zařazen, protože nedílnou součástí realizace virtuálního osciloskopu je i grafické zobrazení dat.

### 2.3.1 Waveform Graph a Chart

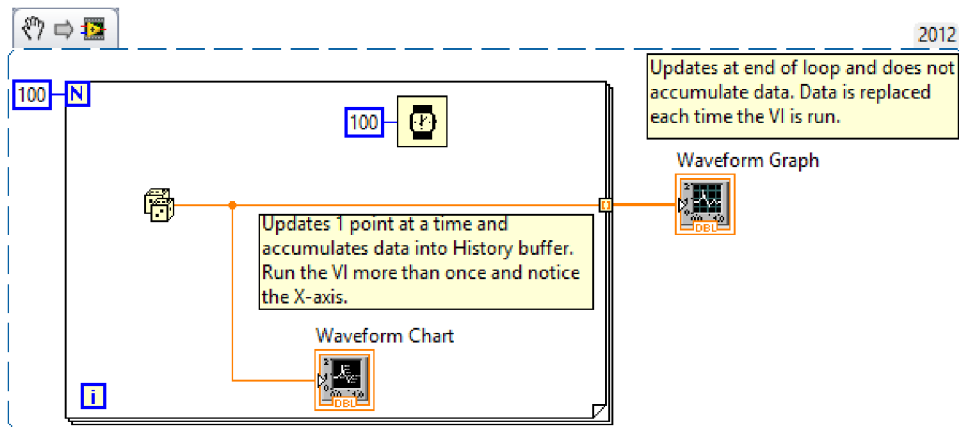
*Graph* nebo *chart* typu *waveform* je vhodný zejména pro zobrazování dat, která jsou získávána konstantní rychlostí a jsou tedy rovnoměrně rozmístěna.

Datový typ *waveform* se skládá z dat, počátečního času a  $\Delta t$ . Rozdíl mezi *graphem* a *chartem* spočívá ve způsobu zobrazování dat. Zatímco *waveform graph* zobrazuje všechny získané body souboru dat najednou, *waveform chart* využívá principu plnění

bufferu. Chart tedy na čelní panel vytiskne určitý počet dat, které ukládá do bufferu. Když se buffer zaplní, data se začínají přepisovat novými hodnotami, data se tak aktualizují postupně [23].

Rozdíly ve funkci *waveform graph* a *waveform chart* se dají názorně ilustrovat na *for* cyklu. V případě *waveform graph* se data zobrazí na konci smyčky a jsou změněny pokaždé, když je toto VI spuštěno. U *waveform chart* se přepisují data postupně s každou iterací cyklu a ukládají se do bufferu [23]. Příklad kódu zobrazujícího tyto principy je možné vidět na obrázku 2.9.

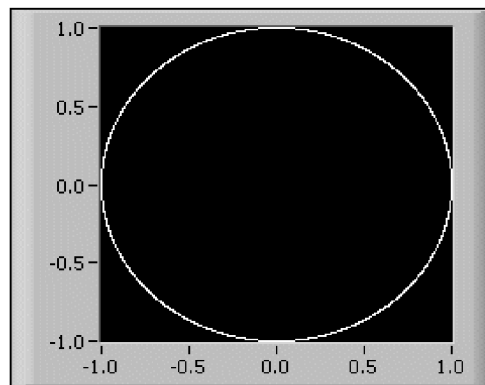
*Waveform graph* na rozdíl od *waveform chart* nabízí možnost použití kurzorů.



Obrázek 2.9 Princip rozdílu v zobrazování dat mezi *waveform graph* a *waveform chart* [23]

### 2.3.2 XY Graph

*XY graph* slouží k univerzálnímu zobrazování funkcí, které jsou časově variantní, tedy mají parametry proměnné v čase. Své využití nalezne při potřebě vykreslení objektu, jakým může být například kruhový tvar, jehož ukázka se nachází na obrázku 2.10. *XY graph* je tedy schopný zobrazit libovolnou množinu bodů [24].



Obrázek 2.10 Ukázka dat v *XY graph* [24]

### 3. NÁVRH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ V PROSTŘEDÍ LABVIEW

V této kapitole jsou rozebrány postupy při návrzích měřicích přístrojů – zejména osciloskopu a generátoru signálů, v prostředí LabVIEW. Za pomoci rešerše obsažené v této kapitole bude následně vytvořen vlastní návrh virtuálního osciloskopu, který bude vyhovovat požadavkům pro práci v laboratoři předmětu Měření v elektrotechnice.

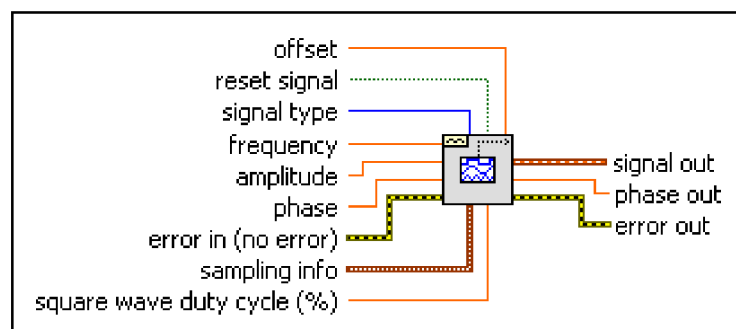
Virtuální instrument bude sloužit nejen jako pomůcka při distanční výuce, ale také jako doplněk prezenční výuky při domácí přípravě studentů.

#### 3.1 Návrh virtuálního funkčního generátoru v LabVIEW

V rámci této diplomové práce je v prostředí LabVIEW realizován virtuální funkční generátor. Ten má posloužit pro potřeby virtuální laboratoře, kdy generované signály mohou být měřeny, zobrazovány a analyzovány. Student při použití virtuálního osciloskopu tedy není odkázán na externí zdroj signálů, který by musel připojovat například přes měřicí kartu.

Funkční generátor nabídne možnost vybrat ze základních typů – obdélníkový, trojúhelníkový, sinusový, pilovitý signál a generovat daný průběh signálu. Součástí nastavení je také volba velikosti a frekvence vybraného signálu, nastavení fáze a také offsetu.

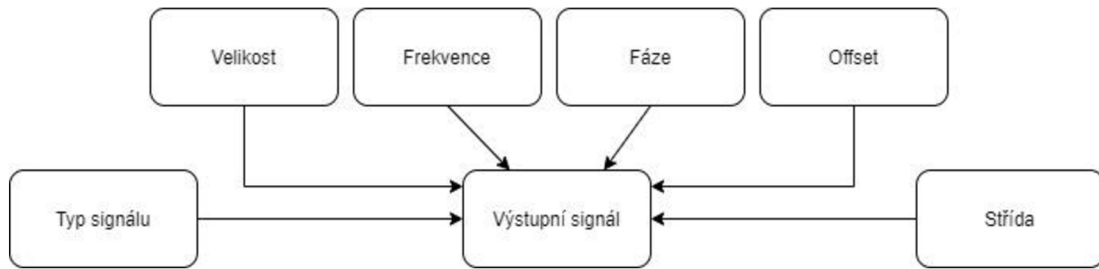
V LabVIEW je k dispozici VI, které základní funkce generátoru umožňuje obsluhovat. Toto VI se nazývá *Basic Function Generator* a umožňuje nastavit amplitudu, frekvenci, tvar signálu, fázi, offset a střihu pro obdélníkový signál [25]. Ikonu tohoto VI je možné vidět na obrázku 3.1 spolu s popisem jednotlivých vstupních a výstupních signálů.



Obrázek 3.1 *Basic Function Generator* [25]

Čelní panel funkčního generátoru by měl obsahovat základní nastavitelné údaje, které tento virtuální instrument nabízí. Panel by tedy měl obsahovat ovládací prvky pro velikost (amplitudu), frekvenci, offset a fázi signálu. Uživatel by měl mít možnost také jako

u reálného přístroje vybrat typ generovaného signálu, tedy jestli se bude generovat signál sinusový, obdélníkový, pilovitý nebo trojúhelníkový.



Obrázek 3.2 Schéma možností nastavení parametrů výstupního signálu funkčního generátoru

Na obrázku 3.2 je zobrazeno schéma parametrů signálu, které je možné na virtuálním funkčním generátoru v LabVIEW nastavovat, nastavení střídy je umožněno pro obdélníkový signál [25].

### 3.2 Návrh virtuálního osciloskopu v LabVIEW

Virtuální osciloskop nabízí možnost zobrazovat signály jako na reálném zařízení, vše je ale realizováno v podobě virtuální aplikace. Součástí virtuálního osciloskopu by mělo být několik hlavních bloků, kterými podle [26] jsou:

- čtení signálu,
- grafické zobrazení signálu na osciloskopu,
- zpracování chybových stavů,
- úprava měřítka os (vertikální a horizontální).

Toto schéma může být upraveno na základě dalších funkcí, kterými virtuální osciloskop může disponovat.

Virtuální osciloskop by měl být stejně jako ten fyzický vybaven jednotlivými kanály pro sběr dat. Kanály pak mohou být mezi sebou přepínány a zobrazovány na čelním panelu příslušného virtuálního instrumentu.

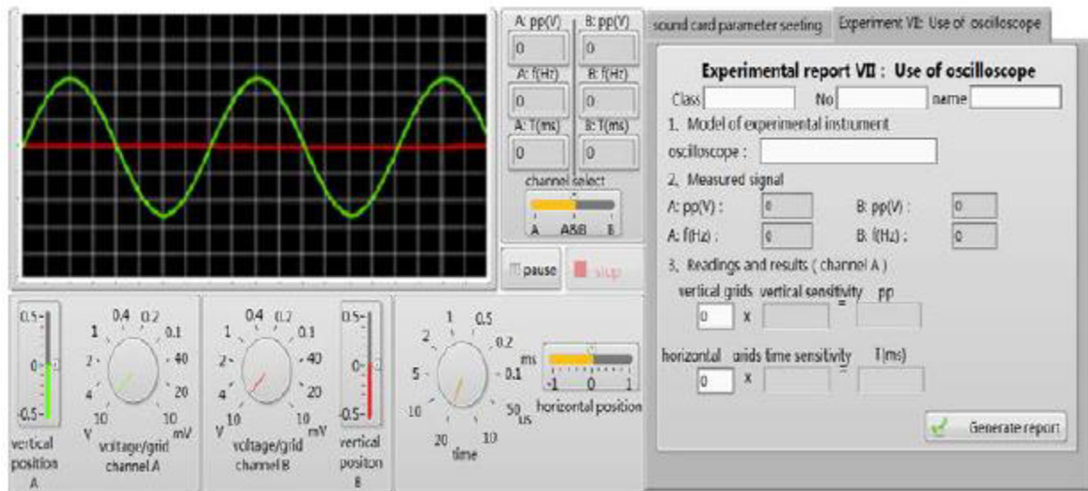
Sběr dat může být realizován různými způsoby. První možností je generování simulovaného signálu přímo ve VI s pomocí virtuálního funkčního generátoru. Pomocí tohoto virtuálního instrumentu je možné generovat základní průběhy signálů s volitelnou amplitudou, frekvencí a fází. Tento přístup je podrobněji rozebrán v předchozí kapitole 3.1.

Dalším přístupem je načítání reálného signálu například přes měřicí kartu od National Instruments (NI). V tomto případě je možné pro konfiguraci hardware od NI možné využít například nástroje z knihovny DAQ, které umožní práci s kanály a práci s měřicí kartou.

Virtuální osciloskop může mít celou řadu funkcí, které lze aplikovat na měřené signály. Jednou ze základních funkcí je trigger, který je možné nastavit na určitou úroveň

a také na druh hrany – sestupná, vzestupná hrana nebo i obě varianty. Další nedílnou součástí virtuálního osciloskopu by mělo být nastavení měřítka vertikální a horizontální osy, které je nutné pro korektní zobrazení signálu [27].

Čelní panel virtuálního osciloskopu by měl obsahovat graf, na němž se bude zobrazovat měřený signál. Další nedílnou součástí by mělo být nastavení základních parametrů pro zobrazení měřených signálů. Ukázku takového čelního panelu je možné vidět na následujícím obrázku 3.3.



Obrázek 3.3 Ukázka čelního panelu virtuálního osciloskopu v LabVIEW [28]

Čelní panel z obrázku 3.3 je rozdělen do pěti funkční částí. První z nich je oblast pro zobrazení signálů, dále je zde oblast pro parametry signálu, část ovládající vertikální osu kanálů a část pro ovládání horizontální osy. Poslední částí, která již přímo nepatří k virtuálnímu osciloskopu, je generování záznamu o měření [28].



## 4. REALIZACE VIRTUÁLNÍHO OSCILOSKOPU A FUNKČNÍHO GENERÁTORU V PROSTŘEDÍ LABVIEW

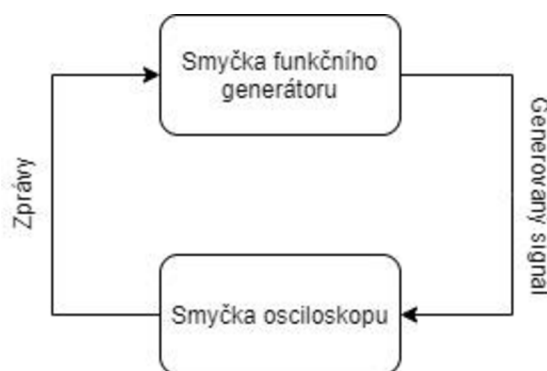
V této kapitole se práce zaměří na realizaci virtuálního osciloskopu a funkčního generátoru pro ověření funkčnosti osciloskopu v prostředí LabVIEW ve verzi z roku 2021. Vedoucí práce byly zadány následující požadované funkce, kterými virtuální osciloskop disponuje:

- Různé možnosti spouštění – trigger na náběžnou a sestupnou hranu a také na šířku pulzu
- Triggerovací módy auto, normal a single
- XY zobrazení na osciloskopu
- FFT a matematické operace se signály
- Kurzory a základní měřicí funkce

Blokový diagram programu funguje ve dvou smyčkách. Hlavní smyčka pro virtuální osciloskop obsahuje jednoduchý stavový automat a ovládá celý chod programu. Z této smyčky přichází zprávy prostřednictvím fronty nazvané *Messages* do druhé smyčky, jejímž úkolem je generovat zadané signály. Druhá fronta s názvem *Generated signal*, přenáší vygenerované signály ze smyčky generátoru do smyčky pro virtuální osciloskop.

Fronty byly v návrhu využity kvůli synchronizaci mezi smyčkami, protože prvek, který byl do fronty vložen v jedné smyčce jako první je z ní jako první odebrán ve smyčce druhé. *Shift registry* v obou cyklech zajistí, že se bude obsah fronty přenášet mezi jednotlivými iteracemi smyček.

Schéma celého blokového diagramu je znázorněno na následujícím obrázku 4.1.

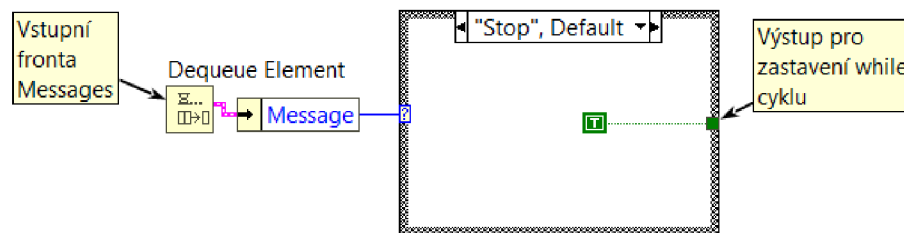


Obrázek 4.1 Schéma struktury blokového diagramu virtuální laboratoře v LabVIEW

V následujících kapitolách budou podrobně rozebrány tyto dvě smyčky a jejich vnitřní struktury.

## 4.1 Realizace funkčního generátoru

Funkční generátor funguje v samostatné smyčce a slouží ke generování signálů podle parametrů, které na čelním panelu nastaví uživatel (více o čelním panelu a možnostech nastavení se nachází v kapitole 5). Signály se tedy generují nezávisle na smyčce osciloskopu, aby došlo k programovému oddělení virtuálních instrumentů. Smyčka generátoru přijímá zprávy pomocí fronty *Messages*. Tyto zprávy jsou extrahovány z fronty pomocí funkce *Dequeue Element*, která vyjme z fronty vždy časově první poslanou zprávu od smyčky osciloskopu a dále probíhá její zpracování pomocí *case struktury*, jak je naznačeno na obrázku 4.2.

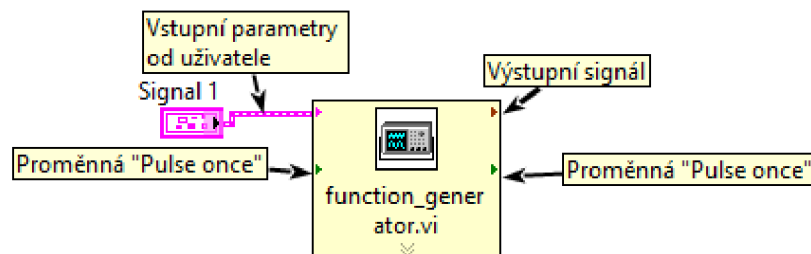


Obrázek 4.2 Kód pro detekci zprávy *Stop* přijímané smyčkou generátoru od smyčky osciloskopu

Vygenerované signály jsou ukládány do fronty *Generated signal*, která slouží k přenosu dat od smyčky generátoru ke smyčce osciloskopu.

Signály s uživatelsky nastavenými parametry se generují vždy, pokud ve frontě *Messages* není uložena žádná zpráva a smyčka generátoru se nemusí zabývat jejím vykonáváním. Pro tento případ je na funkci *Dequeue Element* nastaven *timeout*, tedy časový limit, po který funkce čeká na prvek fronty.

Pokud nedojde k naplnění fronty *Messages*, je *case struktura* ve smyčce generátoru přepnuta do stavu pro generování výstupního signálu. Virtuální funkční generátor v programu zastupuje vytvořené SubVI, které využívá funkce *Basic Function Generator* zmíněné v kapitole 3.1.



Obrázek 4.3 SubVI pro generování signálu pomocí virtuálního funkčního generátoru

Následující tabulka 4.1 shrnuje detailní rozpis vstupních a výstupních parametrů SubVI *function\_generator.vi*.

Tabulka 4.1 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *function\_generator.vi*

Vstupy funkce	Datový typ	Popis
Signal.Amplitude [V]	double	velikost
Signal.Frequency [Hz]	double	frekvence
Signal.Type	enum	typ nebo tvar
Signal.Offset [V]	double	offset
Signal.Phase [°]	double	fáze
Signal.Duty [%]	integer	střída
Signal.Noise	bool	povolení šumu
Signal.Delay [s]	double	zpoždění pulzů
Signal.Width [s]	double	šířka pulzů
Signal.Count	integer	počet pulzů
Pulse once	bool	indikátor pulzu z předchozí iterace
<b>Výstupy funkce</b>		
Generated signal	waveform	signál
Pulse once	bool	indikátor pulzu

Výstupní signál ze SubVI *function\_generator.vi* vstupuje do funkce *Enqueue Element*, která zajistí přidání signálu do fronty pro generovaný signál, kterou dále zpracovává smyčka osciloskopu.

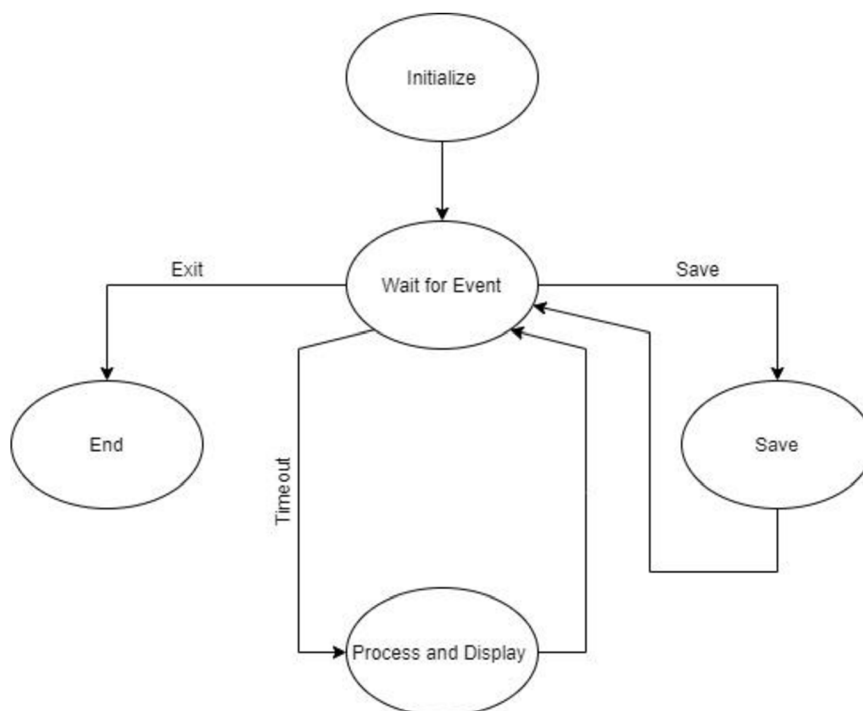
## 4.2 Realizace osciloskopu

Virtuální osciloskop vytvořený v LabVIEW byl při svém návrhu inspirován některými funkcemi digitálního osciloskopu Siglent série SDS1000X [29], který lze vidět na následujícím obrázku 4.4 a který se využívá v laboratorní výuce předmětu Měření v elektrotechnice na Fakultě elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Virtuální osciloskop funguje v programu v samostatné smyčce a slouží ke zobrazování, měření a zpracovávání signálů, které jsou generované virtuálním generátorem.



Obrázek 4.4 Osciloskop Siglent SDS1202X-E [30]

Virtuální osciloskop byl navržen jako stavový automat, který je rozdělen do několika částí podle funkcí, jež stav zastupuje. Schéma s jednotlivými stavy automatu a s jejich podmínkami pro přechody je možné vidět na následujícím obrázku 4.5.



Obrázek 4.5 Schéma zjednodušeného principu stavového automatu osciloskopu

Ve schématu je pět stavů, do nichž se automat osciloskopu může dostat. První stav pro inicializaci nazvaný *Initialize* proběhne vždy po spuštění aplikace a slouží k uvedení programu do chodu a nastavení počátečních hodnot proměnných a ovládacích prvků.

Následně stavový automat přejde bez podmínky do stavu *Wait for Event*, který zachycuje události z čelního panelu virtuální laboratoře. Pokud uběhne čas 100 ms uložený v *timeout* (jedná se o dostatečně dlouhou dobu na to, aby *event struktura* zachytila stisknutí nebo změnu některého z ovládacích prvků na čelním panelu aplikace), automat přejde do dalšího stavu *Process and Display*, kde se zpracovávají data z generátoru a dochází k jejich zobrazení na osciloskopu. Poté program bez podmínky pokračuje do stavu *Wait for Event*, aby opět mohly být zachyceny vstupy od uživatele.

Pokud je ve stavu *Wait for Event* stisknuto tlačítko *Save*, program přejde do stejnojmenného stavu, v němž dochází k uložení snímku obrazovky osciloskopu do souboru. Poté je nastaven opět stav *Wait for Event*.

V případě, že je stisknuto tlačítko *Exit* (neboli *Stop*), dochází ze stavu *Wait for Event* k přechodu do *End* stavu. V tomto případě se program ukončí a žádný další stav již nepřichází.

V rámci smyčky osciloskopu je využíván *shift registr* a *cluster* s uloženými daty pro snadný přenos informací mezi jednotlivými iteracemi cyklu. *Cluster* obsahuje tyto proměnné:

- *CH 1*
- *CH 2*
- *Play\_stop*
- *Trigger event*
- *Trigger level?*
- *Trigger mode*
- *Trigger – channel*
- *Trigger level [V]*
- *Coupling CH1*
- *Coupling CH2*
- *Pulse duration [s]*
- *Math action*
- *Trigger detected?*

V následujících kapitolách jsou detailně popsány jednotlivé stavy stavového automatu, jejich funkce a účely.

#### **4.2.1 Inicializace**

Ve stavu nazvaném *Initialize* dochází k inicializaci proměnných v *clusteru* pro přenos dat uvnitř smyčky osciloskopu a také výchozímu nastavení ovládacích prvků osciloskopu pomocí *property nodes*.

Do tohoto stavu se program dostane pouze při samotném spuštění aplikace a poté stavový automat plynule přechází do dalšího stavu nazvaného *Wait for Event*.

#### 4.2.2 Čekání na událost

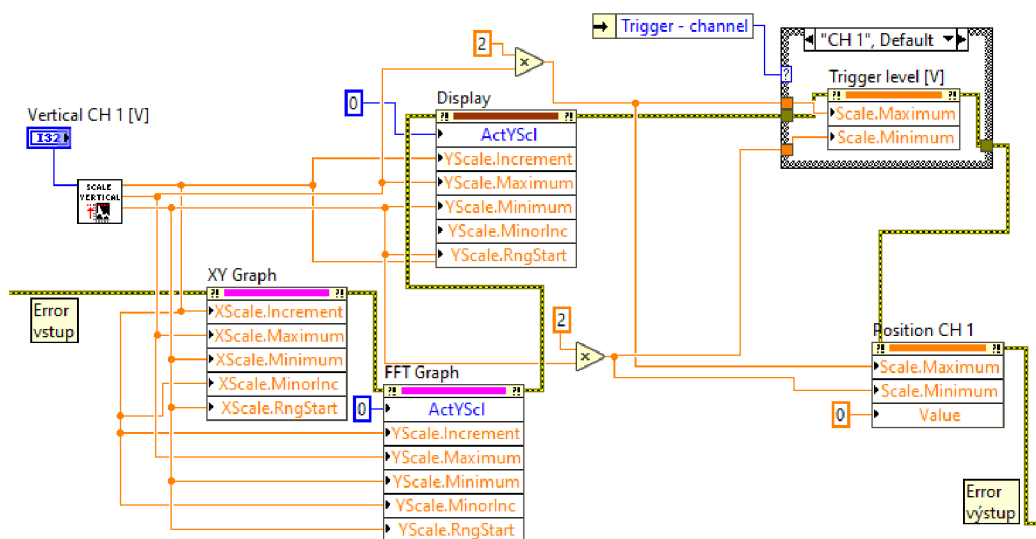
Ve stavu *Wait for Event* dochází k čekání na událost z čelního panelu, kterou vyvolá uživatel. V následující tabulce je stručný přehled událostí, na které *event struktura* zachycující události reaguje.

Tabulka 4.2 Přehled událostí v *event struktura*

Událost	Akce
<i>Exit</i>	Změna hodnoty
<i>Save</i>	Změna hodnoty
<i>Vertical CH 1 [V]</i>	Změna hodnoty
<i>Vertical CH 2 [V]</i>	Změna hodnoty
<i>Horizontal</i>	Změna hodnoty
<i>CH 1</i>	Změna hodnoty
<i>CH 2</i>	Změna hodnoty
<i>Position CH 1</i>	Změna hodnoty
<i>Position CH 2</i>	Změna hodnoty
<i>Frequency</i>	Změna hodnoty
<i>Logarithmic</i>	Změna hodnoty
<i>Math</i>	Změna hodnoty
<i>Math action</i>	Změna hodnoty
<i>Coupling CH1</i>	Změna hodnoty
<i>Coupling CH2</i>	Změna hodnoty
<i>Pulse duration [s]</i>	Změna hodnoty
<i>Cursors show</i>	Změna hodnoty
<i>Trigger level [V]</i>	Změna hodnoty
<i>Trigger event</i>	Změna hodnoty
<i>Trigger mode</i>	Změna hodnoty
<i>Trigger – channel</i>	Změna hodnoty
<i>Play/Pause</i>	Změna hodnoty
<i>Signal 1.Type</i>	Změna hodnoty
<i>Signal 2.Type</i>	Změna hodnoty
<i>Timeout</i>	Změna hodnoty

Událost vyvolaná při stisknutí (změně hodnoty) tlačítka *Exit* nastaví hodnotu v *shift registru* na stav *End*, aby se program v příštím kroku ukončil, tlačítko *Save* zajistí přechod programu do stavu pro ukládání do souboru.

Pomocí otočných voličů *Vertical CH 1 [V]* a *Vertical CH 2 [V]* jsou nastavovány hodnoty na vertikálních osách osciloskopu.

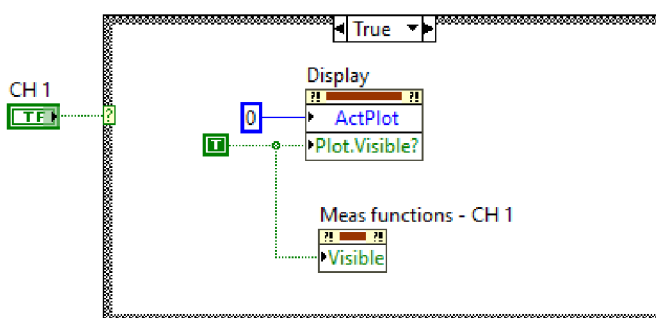


Obrázek 4.6 Kód pro změnu měřítka osy v *eventu* (události) *Vertical CH 1 [V]*

Na obrázku 4.6 je zobrazen kód, který zajistí změnu měřítka osy Y. K tomu jsou využity *property nodes* dostupných grafů. Aktivní vertikální osa se volí pomocí *property node Active Y Scale* a následují parametry jako inkrement, maximum a minimum osy. Při změně měřítka osy je upraveno i minimum a maximum otočného voliče *Position CH 1*, který je určen k posunu signálu. Při změně *Vertical CH 1 [V]* je také upraveno měřítko osy X pro *XY Graph*, který zajišťuje zobrazení signálů v X/Y režimu. Osa Y grafu *XY Graph* se upravuje při změně *Vertical CH 2 [V]*.

Pro změnu měřítka horizontální osy v grafu *Display* reaguje *event struktura* na změnu otočného voliče *Horizontal*. V tomto případě opět pomocí *property nodes* dochází k úpravě měřítka této osy.

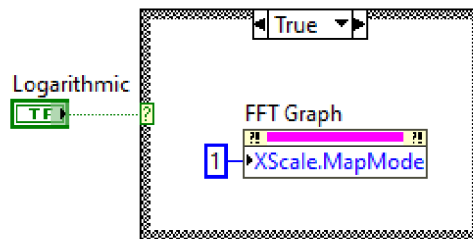
Události tlačítek *CH 1* a *CH 2* slouží pro zviditelnění a zneviditelnění signálu tohoto příslušného kanálu na displeji osciloskopu. K tomu je v programu využita *property node* pro výběr signálu a poté pro zviditelnění – *Plot.Visible?*, jak je možné vidět na obrázku 4.7. Dále je zde upravována i viditelnost příslušných měřících funkcí.



Obrázek 4.7 Kód pro zviditelnění signálu v prvním kanálu na displeji osciloskopu

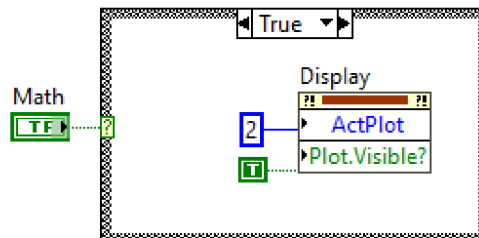
Pro posun signálu ve vertikální ose grafu *Display* slouží dva otočné voliče *Position CH 1* a *Position CH 2*. V této události jsou opět využity *property nodes* pro úpravu os, tentokrát se jedná o posun nuly příslušné vertikální osy, ke které daný signál náleží.

V záložce pro zobrazení amplitudového spektra rychlé Fourierovy transformace (FFT) signálů se nachází možnost nastavovat počátek a konec horizontální osy příslušného grafu pomocí *clusteru Frequency*. Ten obsahuje uživatelem nastavitelnou počáteční a koncovou hodnotu frekvence. K zobrazení výsledku FFT v logaritmických souřadnicích slouží tlačítko *Logarithmic*, jak je naznačeno na obrázku 4.8.



Obrázek 4.8 Kód pro změnu módu měřítka horizontální osy na logaritmické u FFT grafu

Stisknutí tlačítka *Math* zapíná matematické funkce na osciloskopu, na grafu pro zobrazení signálů v časové oblasti se zobrazí třetí kanál (pomocí *property node* z obrázku 4.9), na němž je provedena příslušná operace se signály. Výběr operací zajišťuje menu nazvané *Math action*.

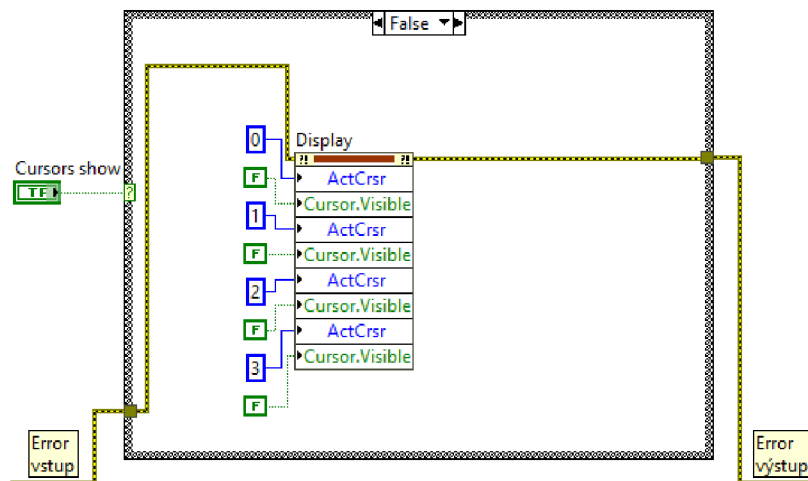


Obrázek 4.9 Kód pro zobrazení kanálu s výsledkem matematické operace mezi signály

Pro nastavení vazby vstupu slouží tlačítka *Coupling CH1* a *Coupling CH2*, po změně hodnoty dojde k uložení aktuální hodnoty do *clusteru* pro přenos dat v rámci smyčky osciloskopu.

Tlačítko *Cursors Show* spustí při stisknutí událost, která zajistí zobrazení kurzorů na displeji osciloskopu a jejich zarovnání na aktuálně zobrazený úsek signálu. Tyto kurzory je možné opětovným stisknutím zase vypnout.



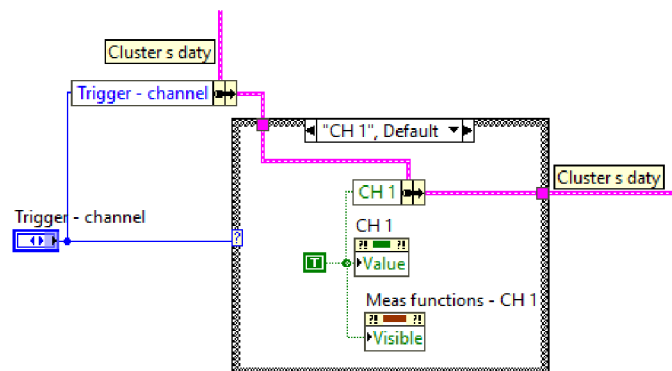


Obrázek 4.10 Kód pro skrytí kurzorů na displeji osciloskopu

Součástí *event struktury* jsou dále události vytvořené ovládacími prvky, které se týkají triggeru. *Event struktura* zachycuje změnu hodnoty u otočného voliče *Trigger level [V]*, kterým se nastaví spouštěcí úroveň. Při zachycení této události je nová hodnota pouze uložena do *clusteru* s daty pro přenos v rámci smyčky osciloskopu. Obdobně se do *clusteru* s daty uloží také hodnota *Trigger event*, pokud struktura zachytí událost změny ovládacího prvku pro nastavení spouštěcí události.

Jako na reálných osciloskopech i zde na virtuálním je možnost nastavovat triggerovací módy. Jsou jimi *auto*, *normal* a *single* a při změně hodnoty ovládacího prvku *Trigger mode* se uloží nová hodnota do *clusteru* pro data ve smyčce osciloskopu. Dále je nastavena hodnota tlačítka *Play/Pause*, neboť při *single* módu dojde ke změně stavu tohoto ovládacího prvku automaticky na *Pause*.

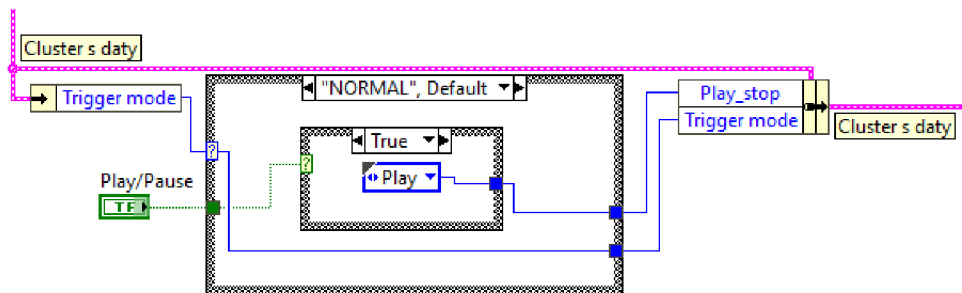
Při změně hodnoty virtuálního tlačítka *Trigger – channel event struktura* uloží aktuální hodnotu tohoto ovládacího prvku do *clusteru* pro přenos dat ve smyčce osciloskopu a pomocí *property nodes* je nastaven jako viditelný daný kanál osciloskopu, pokud byl v předešlém kroku vypnut, jak je možné vidět na následujícím obrázku 4.11.



Obrázek 4.11 Kód pro událost změny hodnoty *Trigger – channel*

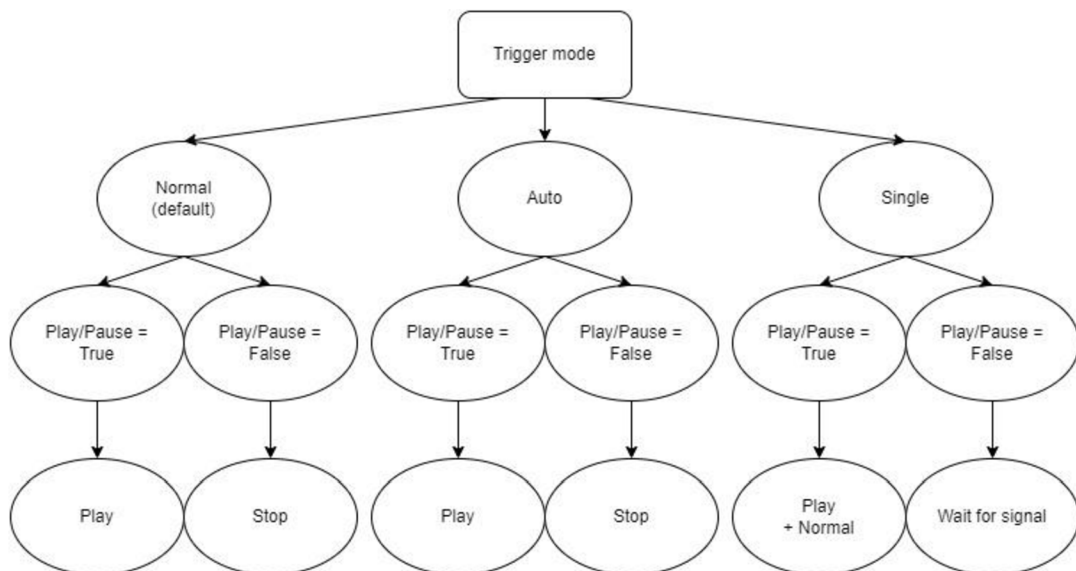
Pro spouštěcí událost požadované šířky pulzu je využita proměnná *Pulse duration [s]*, kde uživatel zadá minimální požadovanou šířku pulzu, na který může osciloskop zatriggrovat a nová hodnota je opět uložena do clusteru pro data osciloskopu.

Událost při změně hodnoty tlačítka *Play/pause* zajistí spuštění, nebo naopak zastavení zobrazování signálu na osciloskopu. Při zachycení této události se vykonávají vnořené *case struktury*, kdy první rozlišuje jednotlivé módy triggeru a druhá pak stav tlačítka *Play/Pause*. V závislosti na těchto parametrech se uloží hodnota do proměnné v *clusteru* s daty smyčky osciloskopu, jak je možné vidět na obrázku 4.12.



Obrázek 4.12 Kód pro událost změny hodnoty tlačítka *Play/Pause*

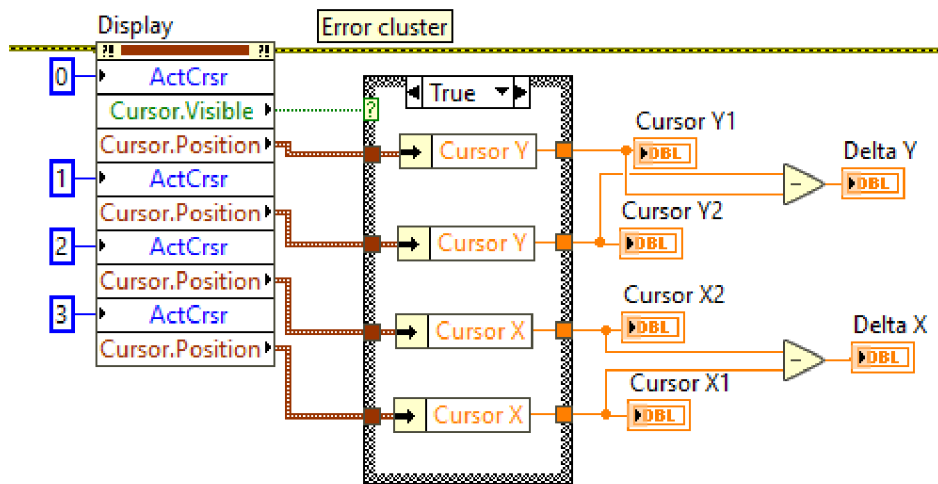
Na následujícím diagramu 4.13 je možné vidět schéma celkové struktury rozhodovacího mechanismu v případě zachycení události změny tlačítka *Play/Pause*. Tato část kódu zajišťuje pouze obsluhu akcí po přepnutí tlačítka *Play/Pause*, nikoliv obsluhu triggeru osciloskopu. Triggerovací mechanismy jsou detailněji popsány v následující kapitole 4.2.3.



Obrázek 4.13 Diagram pro nastavení proměnné *Play\_stop* při stisknutí tlačítka *Play/Pause*

*Event struktura* zachycuje také změny ovládacích prvků pro výběr typu signálu *Signal 1.Type* a *Signal 2.Type*. Zde je nastavováno zobrazování a skrývání některých ovládacích prvků na funkčním generátoru.

Pokud do 100 ms nenastane žádná událost od uživatele, *event struktura* přejde do tzv. *timeoutu*, tedy události po uplynutí časového limitu. V tomto případě je následující stav automatu *Process and display*. Na obrázku 4.14 je možné vidět kód pro zjištění aktuální pozice kurzorů, který je součástí *eventu timeout*.



Obrázek 4.14 Kód pro zobrazení pozice kurzorů a výpočet jejich difference

### 4.2.3 Zpracování a zobrazení

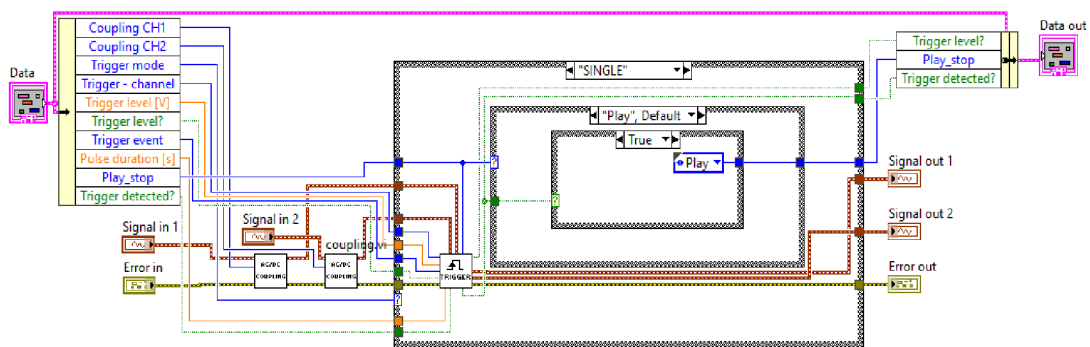
Ve stavu nazvaném *Process and display* se program nachází každých 100 ms, pokud není třeba zpracovávat událost od uživatele. Tento stav je vytvořen pro zpracování a zobrazení signálů dvou kanálů osciloskopu.

Oba signály vstupují do VI pro triggerování, které slouží pro nastavení spouštění kanálu. Uživatel může u triggeru zvolit mód, spouštěcí událost, úroveň triggerování a kanál, kterého se trigger týká. Výstupem funkce jsou triggerované signály, podrobný přehled vstupních a výstupních parametrů této funkce včetně jejich typů a účelu je obsažen v následující tabulce 4.3.

Tabulka 4.3 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *trigger\_signal.vi*

Vstupy funkce	Datový typ	Popis
<i>Signal in 1</i>	<i>waveform</i>	signál 1. kanálu
<i>Signal in 2</i>	<i>waveform</i>	signál 2. kanálu
<i>Data cluster</i>	<i>cluster</i>	<i>cluster</i> s daty pro přenos v rámci smyčky
<i>Error in</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy
<b>Výstupy funkce</b>		
<i>Signal out 1</i>	<i>waveform</i>	signál 1. kanálu
<i>Signal out 2</i>	<i>waveform</i>	signál 2. kanálu
<i>Data cluster</i>	<i>cluster</i>	<i>cluster</i> s daty pro přenos v rámci smyčky
<i>Error out</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy

Na následujícím obrázku 4.15 je zobrazeno řešení funkce *trigger\_signal.vi*.

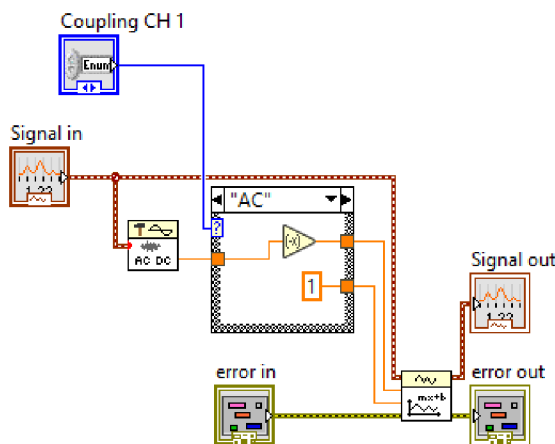


Obrázek 4.15 Kód funkce *trigger\_signal.vi*

Ve funkci *trigger\_signal.vi* se nachází VI *coupling.vi* (parametry v tabulce 4.4) pro výběr vazby vstupu signálu, jak je možné vidět na obrázku 4.16. Dále je zde *case struktura*, která zajišťuje výběr triggerovacího módu a podle něj a také podle výsledku z vnořeného VI *trigger\_subVI.vi* nastaví hodnotu proměnné *Play\_stop*.

Tabulka 4.4 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *coupling.vi*

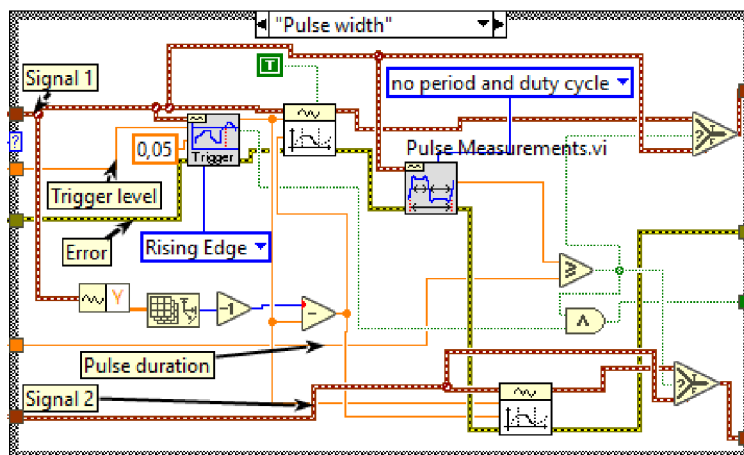
Vstupy funkce	Datový typ	Popis
<i>Signal in</i>	<i>waveform</i>	signál
<i>Coupling</i>	<i>enum</i>	volba vazby vstupu
<i>Error in</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy
<b>Výstupy funkce</b>		
<i>Signal out</i>	<i>waveform</i>	signál
<i>Error out</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy



Obrázek 4.16 Kód pro výběr vazby vstupu

Část kódu funkce *trigger\_subVI.vi*, jejíž parametry se nacházejí v tabulce 4.5, je možné vidět na obrázku 4.17. Funkce obsahuje tři hlavní *case struktury*, z nichž jedna slouží pro rozhodování, pro který kanál bude triggerování určeno, druhá *case struktura* rozlišuje, zda je trigger mimo rozsah a také ověřuje, zda již bylo aktivováno dialogové okno s upozorněním pro uživatele. Třetí *case struktura* slouží k vytvoření okamžiku spouštění buď na náběžnou hranu, sestupnou hranu nebo na šířku pulzu (je zde implementováno triggerování na rovnu nebo větší šířku pulzu, než je šířka pulzu zadaná). Pro samotné triggerování je využita funkce *Basic Level Trigger Detection.vi* a následně funkce *Get Waveform Subset.vi* pro získání počátku signálu, který byl detekován v *Basic Level Trigger Detection.vi*. Pro detekci šířky pulzu je navíc využita funkce *Pulse Measurement.vi*.

Pokud není trigger detekován z důvodu nevhodné úrovně nebo nedetekované události, vypíše se tato informace v dialogovém okně uživateli, tuto problematiku zajišťují další vedlejší *case struktury*.



Obrázek 4.17 Část kódu funkce *trigger\_subVI.vi* pro detekci šířky kladného pulzu

Tabulka 4.5 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *trigger\_subVI.vi*

Vstupy funkce	Datový typ	Popis
<i>Signal in 1</i>	<i>waveform</i>	signál 1. kanálu
<i>Signal in 2</i>	<i>waveform</i>	signál 2. kanálu
<i>Trigger – channel</i>	<i>enum</i>	výběr kanálu
<i>Trigger detected?</i>	<i>bool</i>	ukazatel detekování události z předchozí iterace
<i>Trigger level</i>	<i>double</i>	triggerovací úroveň
<i>Event</i>	<i>enum</i>	triggerovací událost
<i>Pulse duration</i>	<i>double</i>	minimální délka pulzu pro spouštění na šířku pulzu
<i>Trigger level?</i>	<i>bool</i>	ukazatel překročení amplitudy signálu
<i>Play_stop</i>	<i>enum</i>	proměnná pro zobrazovací mód
<i>Error in</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy
<b>Výstupy funkce</b>		
<i>Signal out 1</i>	<i>waveform</i>	signál 1. kanálu
<i>Signal out 2</i>	<i>waveform</i>	signál 2. kanálu
<i>Trigger level?</i>	<i>bool</i>	ukazatel překročení amplitudy signálu
<i>Trigger detected?</i>	<i>bool</i>	ukazatel detekování požadované události
<i>Error out</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy

Signály obou kanálů vycházející z funkce *trigger\_signal.vi* následně vstupují do funkce *process\_signals.vi*, kde dochází k měření a identifikování parametrů signálů, parametry této funkce jsou v tabulce 4.6.

Tabulka 4.6 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *process\_signals.vi*

Vstupy funkce	Datový typ	Popis
<i>Signal in 1</i>	<i>waveform</i>	signál
<i>Signal in 2</i>	<i>waveform</i>	signál
<i>Signal type 1</i>	<i>enum</i>	výběr typu signálu
<i>Signal type 2</i>	<i>enum</i>	výběr typu signálu
<i>Data in</i>	<i>cluster</i>	cluster s daty osciloskopu
<i>Error in</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy
<b>Výstupy funkce</b>		
<i>Meas values 1</i>	<i>cluster</i>	měřené hodnoty
<i>Meas values 2</i>	<i>cluster</i>	měřené hodnoty
<i>XY</i>	<i>cluster</i>	data pro XY graf
<i>Display</i>	<i>cluster</i>	data pro graf v časové oblasti
<i>FFT</i>	<i>cluster</i>	data pro FFT graf
<i>Error out</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy

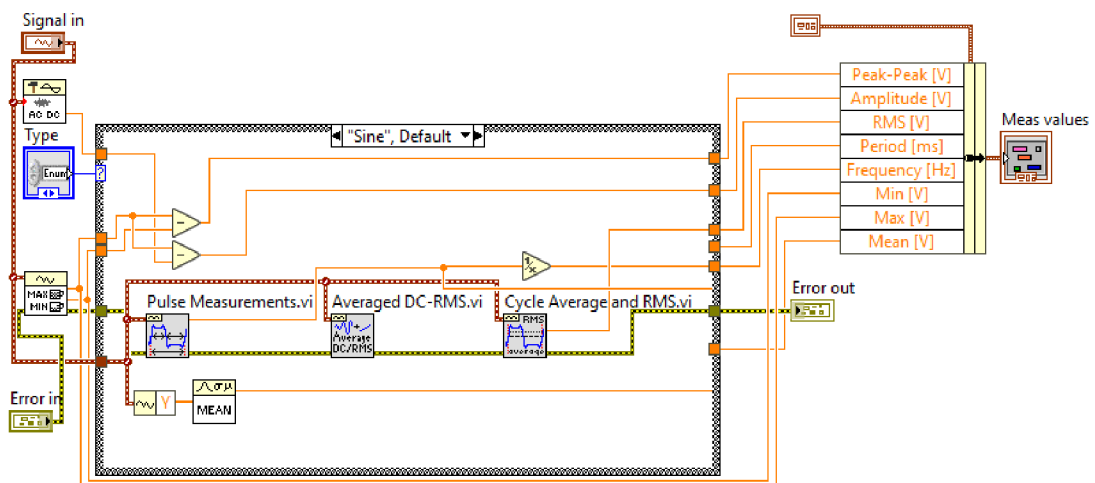
Provádí se zde požadované matematické operace mezi signály (sčítání, odčítání, násobení a dělení), výpočet FFT a také volání funkce *measuring\_functions.vi*, kde jsou

realizovány měřicí funkce virtuálního osciloskopu. V tabulce 4.7 je možné vidět souhrn vstupních a výstupních parametrů, jejich typů a účelu. Funkce na čelním panelu zobrazuje *cluster* s naměřenými hodnotami.

Tabulka 4.7 Přehled vstupních a výstupních parametrů funkce *measuring\_functions.vi*

Vstupy funkce	Datový typ	Popis
<i>Signal in</i>	<i>waveform</i>	signál
<i>Type</i>	<i>enum</i>	výběr typu signálu
<i>Error in</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy
Výstupy funkce		
<i>Meas values</i>	<i>cluster</i>	měřené hodnoty
<i>Error out</i>	<i>error cluster</i>	chybové zprávy

Na následujícím obrázku 4.18 je zobrazena funkce *measuring\_functions.vi*. Pomocí měřicích funkcí z LabVIEW jsou získávány hodnoty mezivrcholového napětí, velikosti signálu, RMS (Root Mean Square), periody, frekvence, minima, maxima a střední hodnoty signálu.



Obrázek 4.18 Kód funkce *measuring\_functions.vi*

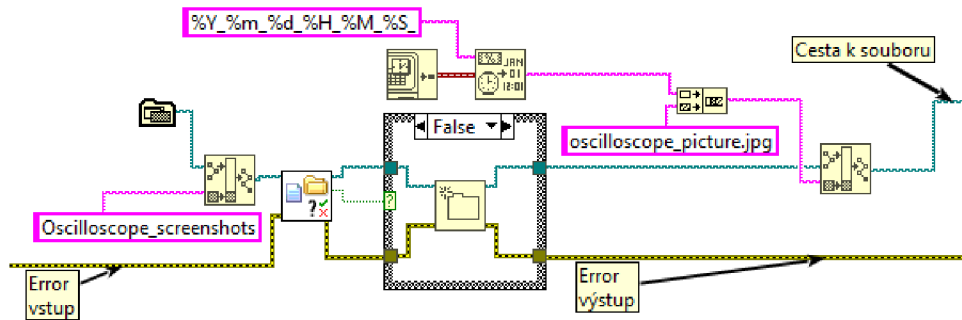
Upravené signály jsou následně zobrazeny na displeji osciloskopu, a to jak v normálním (časovém) režimu, v XY režimu i na FFT grafu.

K zobrazení v časovém a v FFT módu je využito *waveform graph* kvůli možnosti zobrazení kurzorů a snadné manipulaci s daty, pro zobrazení signálů v XY režimu byl naopak zvolen *XY graph* kvůli jeho možnosti volby dat pro vertikální i pro horizontální osy.

#### 4.2.4 Ukládání snímku displeje do souboru

Do tohoto stavu se program přesune v případě, kdy uživatel stiskl tlačítko *Save*. Je zde

vytvořena cesta k souboru, která slouží k ukládání snímku displeje osciloskopu.

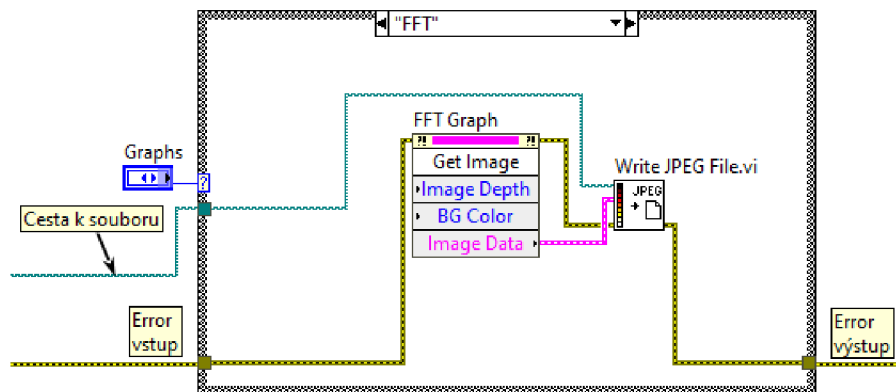


Obrázek 4.19 Vytvoření cesty k souboru pro uložení snímku osciloskopu

Na obrázku 4.19 je možné vidět část kódu, která je zodpovědná za vytvoření cesty k souboru. V adresáři aplikace je vytvořena složka nazvaná *Oscilloscope\_screenshots*, pokud však již existuje, je tento krok pomocí *case struktury* vynechán. Dále je vytvořen název souboru formátu JPEG, který obsahuje i časovou značku pro snadnější identifikaci a zamezení vytvoření souborů se stejným názvem.

Podle vybrané záložky se bude v tomto stavu do souboru ukládat příslušný graf. Pokud se tedy uživatel nachází aktuálně na záložce pro normální mód, bude uložen tento snímek. V opačném případě se vytvoří obrázek z grafu pro XY režim osciloskopu.

Na obrázku 4.20 se nachází část kódu s *case strukturou*, která zajišťuje rozhodování pro ukládání aktuálně zobrazeného grafu.



Obrázek 4.20 Výběr grafu pro vytvoření snímku

Po vykonání stavu *Save* se program přesouvá zpět do stavu *Wait for Event*.

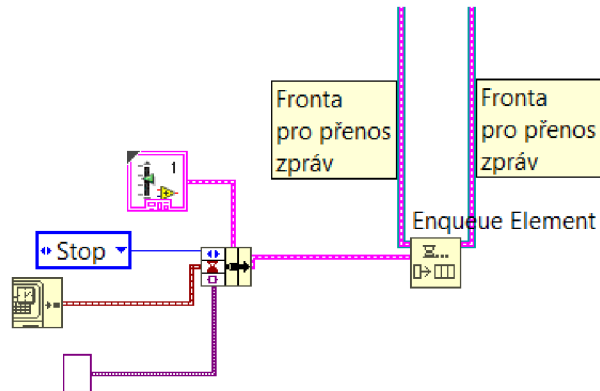
#### 4.2.5 Ukončení

Ve stavu *End* se provádí ukončení celé aplikace a inicializace některých prvků čelního panelu na počáteční hodnoty. Než se ukončí smyčka pro osciloskop pomocí podmínky v cyklu *while*, je nutné vyslat zprávu pro smyčku generátoru, jež se musí ukončit také.



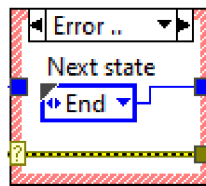
Pokud by se tak nestalo a jeden z cyklů by zůstal neukončený, program by nebylo možné ukončit tlačítkem *Exit* (neboli *Stop*) a bylo by nutné celou aplikaci restartovat.

Na obrázku 4.21 je možné vidět přidání této zprávy do fronty *Messages*.



Obrázek 4.21 Zpráva pro ukončení smyčky generátoru a její předání do fronty *Messages*

Do stavu *End* je program přesměrován i v každém případě, kdy je v hlavní smyčce zachycen chybový stav v *error clusteru*.



Obrázek 4.22 Přechod programu do stavu *End* pomocí *case struktury*, kterou řídí *error cluster*

Poté dojde k ukončení celého programu a tím i aplikace pro virtuální generátor a osciloskop. Vybrané prvky na čelním panelu VI jsou uvedeny do počátečního stavu.

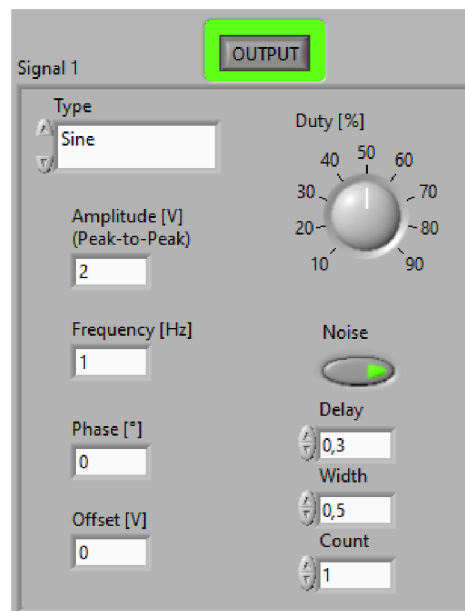
## 5. UŽIVATELSKÝ NÁVOD PRO VIRTUÁLNÍ LABORATOŘ V LABVIEW

Tato kapitola slouží jako uživatelský návod pro obsluhu virtuální laboratoře v LabVIEW 21.0, jejíž součástí je virtuální funkční generátor a virtuální osciloskop.

### 5.1 Funkční generátor

Součástí virtuální laboratoře je funkční generátor, který uživateli umožní generování signálů, které se pak přenášejí na vstup osciloskopu. Generátor signálů má dva výstupy a každý z nich má nastavitelné parametry.

Ukázka části čelního panelu pro nastavování parametrů signálu se nachází na obrázku 5.1 a na funkčním generátoru je tento *cluster* pro generování signálu číslo 1 i pro generování signálu číslo 2.



Obrázek 5.1 *Cluster* funkčního generátoru pro nastavení parametrů signálu

Uživatel může pro každý signál nastavit:

- Typ signálu (type)
- Velikost špička-špička (amplitude peak-to-peak)
- Frekvence (frequency)
- Fáze (phase)
- Offset
- Střída (duty) pro generování obdélníkového signálu
- Šum (noise)
- Šířka, zpoždění a počet pulzů (width, delay, count) pro generování pulzů

V tabulce 5.1 se nachází přehled rozsahů nebo možných hodnot vstupních parametrů virtuálního generátoru.

Tabulka 5.1 Přehled rozsahů vstupních parametrů generátoru

Vstupní parametr	Rozsah hodnot
<i>Type</i>	sine, square, triangle, sawtooth, pulse
<i>Amplitude [V] (peak-to-peak)</i>	0,5-15 V
<i>Frequency [Hz]</i>	0,5-100 Hz
<i>Phase [°]</i>	0-360°
<i>Offset [V]</i>	0-10 V
<i>Duty [%]</i>	10-90 %
<i>Delay</i>	0,1-1 s
<i>Width</i>	0,1-2 s
<i>Count</i>	1, 2, 3

Zapnutí výstupů generátoru probíhá pomocí tlačítka *Output*, které může být buď ve stisknuté, nebo v povolené poloze. Ke generovanému signálu je možné přidat šum prostřednictvím přepnutí tlačítka *Noise*.

## 5.2 Osciloskop

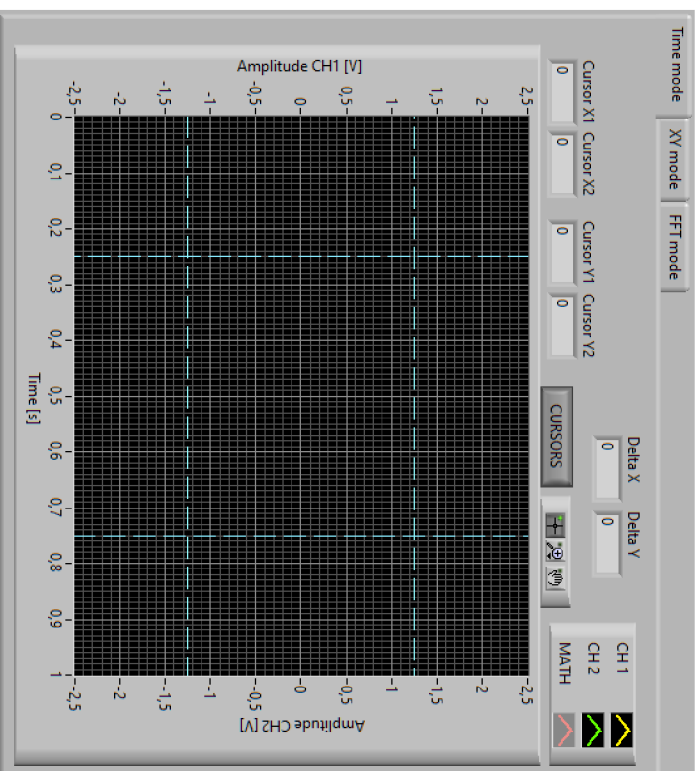
Hlavní částí virtuální laboratoře je osciloskop, který byl vytvořen pro vzor osciloskopu Siglent série SDS1000X [29], jenž je využíván v laboratořích předmětu Měření v elektrotechnice.

Aplikace se ukončí pomocí tlačítka *Stop* (neboli *Exit* v blokovém diagramu), které je možné vidět na následujícím obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 Tlačítko *Stop*

Displej osciloskopu nabízí normální mód v časové oblasti, XY mód a FFT mód pro vypočtené amplitudové spektrum, uživatel mezi nimi může přepínat pomocí záložek na čelním panelu. Kurzory je možné vypnout a zapnout tlačítkem *Cursors*. Nad displejem se zobrazují hodnoty aktuální polohy kurzorů a také jejich rozdíly na horizontální a vertikální ose. To vše je možné vidět na obrázku 5.3.



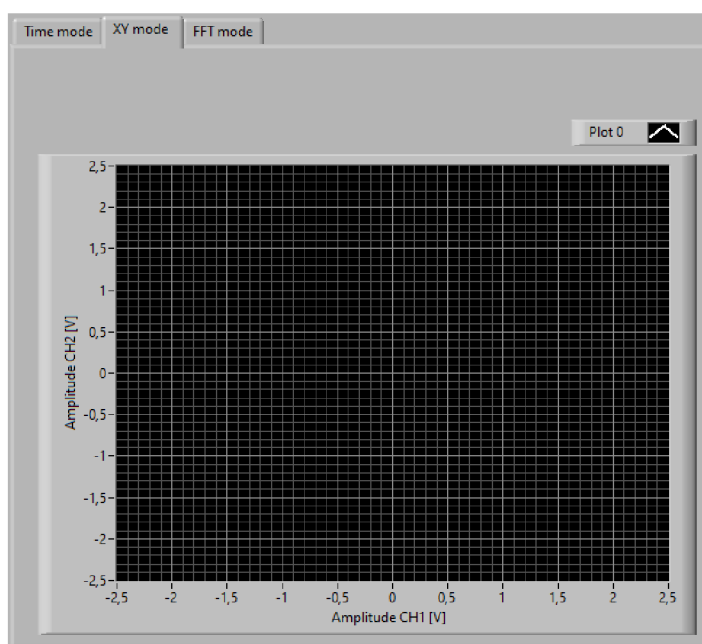
Obrázek 5.3 Displej virtuálního osciloskopu časový mód; nahore jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu

V následující tabulce 5.2 je přehled zobrazovacích módů a jejich stručný popis.

Tabulka 5.2 Přehled zobrazovacích módů virtuálního osciloskopu

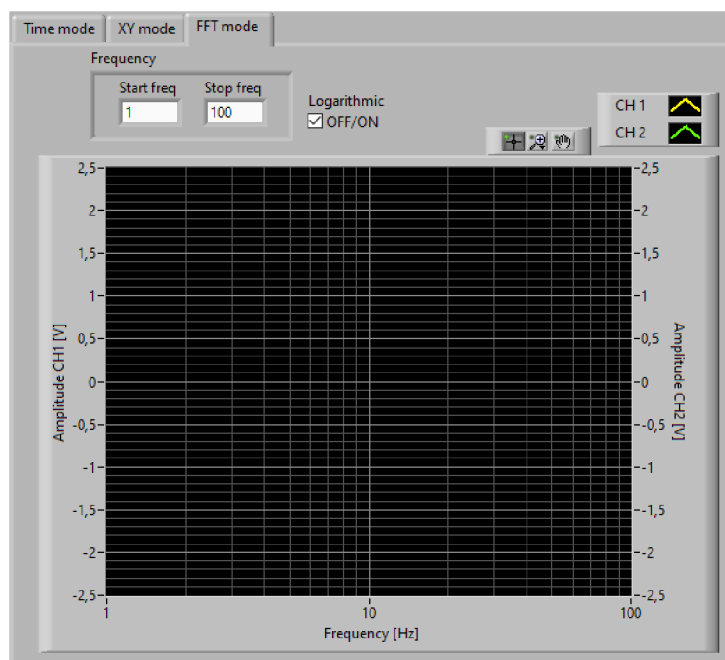
Mód	Popis
<i>Time mode</i>	Na vertikálních osách je zobrazeno napětí, na horizontální ose je zobrazen čas.
<i>XY mode</i>	Na horizontální ose je zobrazen kanál CH 1 a na vertikální kanál CH 2.
<i>FFT mode</i>	Na horizontální ose je zobrazena frekvence, na vertikálních osách amplitudy spekter.

Na následujícím obrázku 5.4 se nachází displej osciloskopu pro XY mód. Tento mód zobrazuje závislost signálu jednoho kanálu na druhém.



Obrázek 5.4 Displej virtuálního osciloskopu XY mód; nahoře jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu

Obrázek 5.5 ukazuje displej virtuálního osciloskopu pro FFT mód. Tento režim má některé specifické parametry, které si může uživatel nastavit, jako je rozsah zobrazované frekvence nebo přepnutí do logaritmických souřadnic na frekvenční ose.

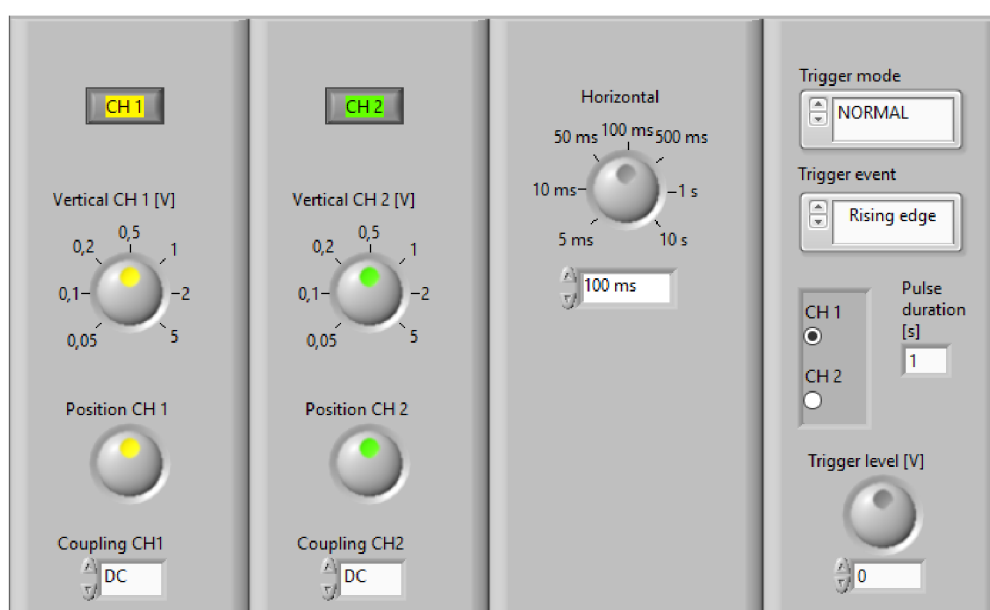


Obrázek 5.5 Displej virtuálního osciloskopu FFT mód; nahoře jsou záložky pro výběr zobrazovacího módu

V pravé části čelního panelu vedle displeje se nachází tlačítka a otočné voliče pro nastavování měřítka kanálů, vazby každého z kanálů a měřítka horizontální osy. Pro kanály osciloskopu *CH 1* a *CH 2* je zobrazeno měřítko na příslušné vertikální ose. Pro kanál *Math* je využita osa prvního kanálu.

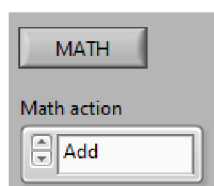
Součástí menu je i část pro trigger, kde uživatel může nastavit triggerovací mód, poté událost, na níž má spouštění reagovat, a v případě volby spouštění na minimální šířku pulzu také hodnotu šířky pulzu (trigger pak detekuje pulzy rovny nebo větší než je zadaná šířka). Dále je možné zvolit kanál, na nějž má být trigger aplikován a také úroveň. Na čelním panelu se triggerovaný signál zobrazuje v časovém okamžiku 0 s, který je popsán na horizontální ose grafu.

Toto menu se nachází na obrázku 5.6, přičemž každý blok představuje funkční celek.



Obrázek 5.6 Menu pro nastavování parametrů osciloskopu

Nad menu se nachází volba matematické operace se signály. Zobrazování je možné vypnout a zapnout pomocí tlačítka *Math* a v *Math action* (viz obrázek 5.7) je možné vybrat požadovanou matematickou operaci mezi signály (sčítání, odčítání, násobení nebo dělení).



Obrázek 5.7 Nastavení matematické operace mezi signály

V následující tabulce 5.3 je přehled možností nastavení parametrů na virtuálním osciloskopu.

Tabulka 5.3 Přehled možností nastavení parametrů osciloskopu a popis jejich funkčnosti

<b>Tlačítko</b>	<b>Funkce</b>
<i>CH 1</i>	Zobrazení kanálu CH 1
<i>CH 2</i>	Zobrazení kanálu CH 2
<i>Vertical CH 1 [V]</i>	Úprava měřítka vertikální osy kanálu CH 1
<i>Vertical CH 2 [V]</i>	Úprava měřítka vertikální osy kanálu CH 2
<i>Position CH 1</i>	Úprava vertikální pozice signálu kanálu CH 1
<i>Position CH 2</i>	Úprava vertikální pozice signálu kanálu CH 2
<i>Coupling CH 1</i>	Vazba kanálu CH 1
<i>Coupling CH 2</i>	Vazba kanálu CH 2
<i>Horizontal</i>	Úprava měřítka horizontální osy
<i>Trigger mode</i>	Výběr módu pro trigger – normal, auto, single
<i>Trigger event</i>	Výběr spouštěcí události
<i>Trigger – channel</i>	Výběr kanálu pro trigger
<i>Trigger level</i>	Volba úrovně pro trigger
<i>Pulse duration</i>	Délka pulzu pro trigger na šířku pulzu
<i>Cursors</i>	Zapnutí, nebo vypnutí kurzorů
<i>Frequency</i>	Nastavení počáteční a koncové frekvence horizontální osy grafu pro FFT
<i>Logarithmic</i>	Nastavení logaritmického měřítka u FFT
<i>Math</i>	Zapnutí, nebo vypnutí kanálu pro <i>Math</i>
<i>Math action</i>	Výběr akce pro <i>Math</i>
<i>Play/Pause</i>	Pauza, nebo spuštění osciloskopu
<i>Save</i>	Uložení snímku displeje do souboru
<i>Stop</i>	Ukončení aplikace

Pod displejem virtuálního osciloskopu se nachází *clustery* s výsledky měřicích funkcí, kterými tento virtuální osciloskop disponuje. Přehled měřicích funkcí implementovaných ve virtuálním osciloskopu je popsán v tabulce 5.4 níže.

Každý ze dvou *clusterů* přísluší jednomu ze dvou kanálů osciloskopu, pokud je kanál vypnut, *cluster* s měřicími funkcemi není viditelný.

Tabulka 5.4 Přehled měřicích funkcí osciloskopu

<b>Tlačítko</b>	<b>Funkce</b>
<i>Peak-Peak [V]</i>	Mezivrcholová hodnota napětí
<i>Amplitude [V]</i>	Hodnota amplitudy signálu (pro signál s ofsetem je uvažována hodnota bez offsetu)
<i>Min [V]</i>	Minimální hodnota signálu
<i>Max [V]</i>	Maximální hodnota signálu
<i>Period [ms]</i>	Perioda signálu
<i>Frequency [Hz]</i>	Frekvence signálu
<i>RMS [V]</i>	Efektivní hodnota signálu
<i>Mean [V]</i>	Střední hodnota signálu

Výsledky zobrazené na displeji si uživatel může uložit do souboru. Lze tak učinit stisknutím tlačítka *Save*, přičemž se uloží ten zobrazovací mód, který má uživatel v záložkách aktuálně otevřený.

Pomocí tlačítka *Play/Pause* je možné pozastavit zobrazovaný signál, nebo průběh spustit například po zachycení události v triggerovacím módu *single*.



## 6. LABORATORNÍ ÚLOHY A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI OSCILOSKOPU

V rámci diplomové práce byly k virtuálnímu osciloskopu vytvořeny i dvě laboratorní úlohy určené především pro studenty předmětu Měření v elektrotechnice na FEKT VUT v Brně. Tyto úlohy mají s pomocí aplikace vytvořené v prostředí LabVIEW za úkol studenty naučit základní principy, jež se využívají při měření s osciloskopem, anebo ty, které jsou spojené s použitím funkčního generátoru.

První laboratorní úloha je určena pro úplné začátečníky a slouží k pochopení základů ovládání osciloskopů a funkčních generátorů. Studenti se zaměří na zobrazení signálů, triggerovací módy a vazby vstupu.

Druhá laboratorní úloha již předpokládá znalosti z první úlohy, a proto zde základní ovládací prvky již nejsou tak podrobně popsány. Zaměřuje se zejména na měřicí funkce, měření s pomocí kurzorů a matematické operace se signály. Pokud je to možné, studenti by měli u obou úloh zaznamenat výsledky do přehledných tabulek.

Celé znění laboratorních úloh, kde je obsaženo zadání v podobě úkolů, teoretický úvod vycházející plně z teoretické části této diplomové práce a také pokyny k postupu měření na virtuálním osciloskopu, je možné nalézt v příloze A této diplomové práce. V následujících dvou kapitolách je popsáno, jakých výsledků by student/ka měl/a při řešení jednotlivých bodů zadání laboratorních úloh dosáhnout.

### 6.1 Ukázka výsledků laboratorní úlohy 1 – základní ovládání osciloskopu

V této kapitole jsou popsány a názorně předvedeny možné výsledky vycházející z laboratorní úlohy 1. Po zadání daného úkolu následují ukázky řešení.

#### 6.1.1 Úkol 1

**1. Na virtuálním generátoru nastavte generování signálů s těmito parametry (trigger Normal)**

a) sinusový signál,  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$  ( $U_{pp}$  – napětí peak-to-peak neboli napětí špička-špička),  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ . Pomocí odečtu z nastavení vertikálního zobrazení kanálu a počtu dílků rastru stanovte hodnoty amplitudy a periody. Pokud je třeba, upravte vhodně nastavení vertikálního a horizontálního rozlišení kanálu. Srovnejte, zda tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru.

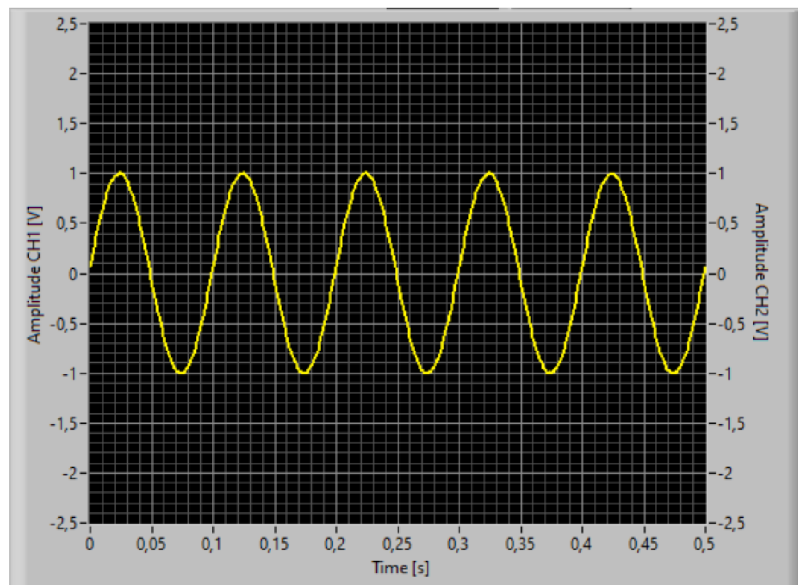
b) 2 sinusové signály,  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$  a odečtěte hodnoty amplitud a period pomocí počtu dílků. Naměřená data zapište. Pokud

je třeba, upravte měřítko os osciloskopu. Ověřte, že tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru. Přidejte k prvnímu signálu fázi  $90^\circ$  a zakreslete průběh obou signálů do jednoho grafu.

c) obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$  a odečtěte hodnoty amplitudy a periody pomocí počtu dílků, pokud je třeba, upravte měřítko os osciloskopu. Ověřte, že tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru. Nastavte a zakreslete dvě různé střídy u obdélníkového signálu (např. 20 a 80 %) a odečtěte velikost střídy pomocí dílků.

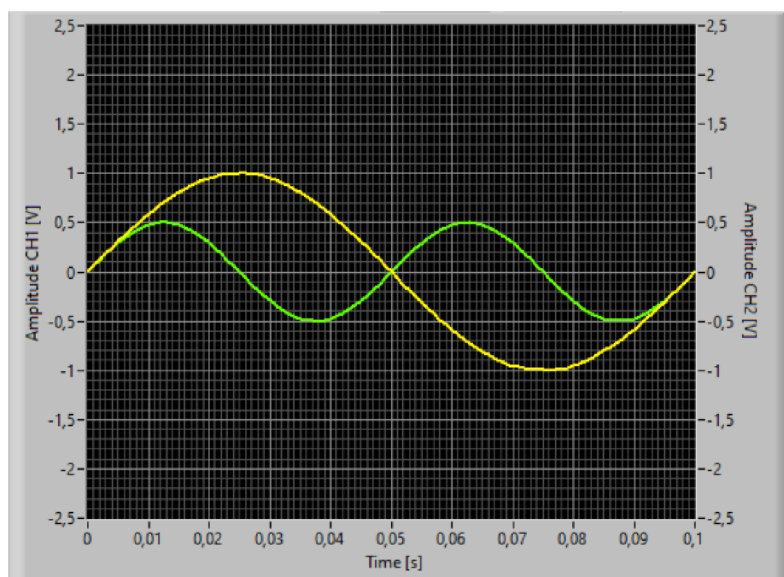
d) vyzkoušejte generování dalších nabízených typů signálu s různými parametry

a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu, jak je možné vidět na obrázku 6.1.

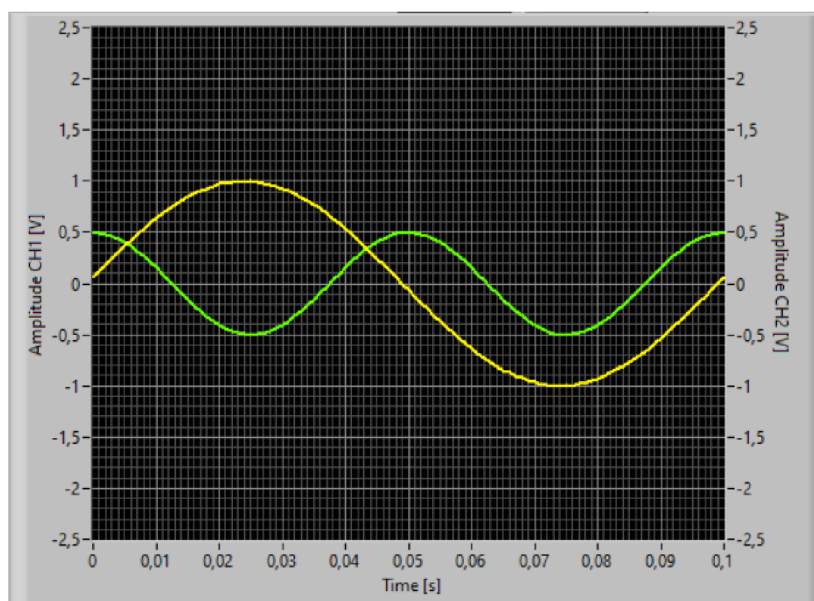


Obrázek 6.1 Sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$

b) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadané signály a zobrazit je na osciloskopu, jak je možné vidět na obrázku 6.2. Na obrázku 6.3 je pak druhý signál fázově posunutý o  $90^\circ$ . Pro lepší názornost bylo také upraveno rozlišení v časové ose.

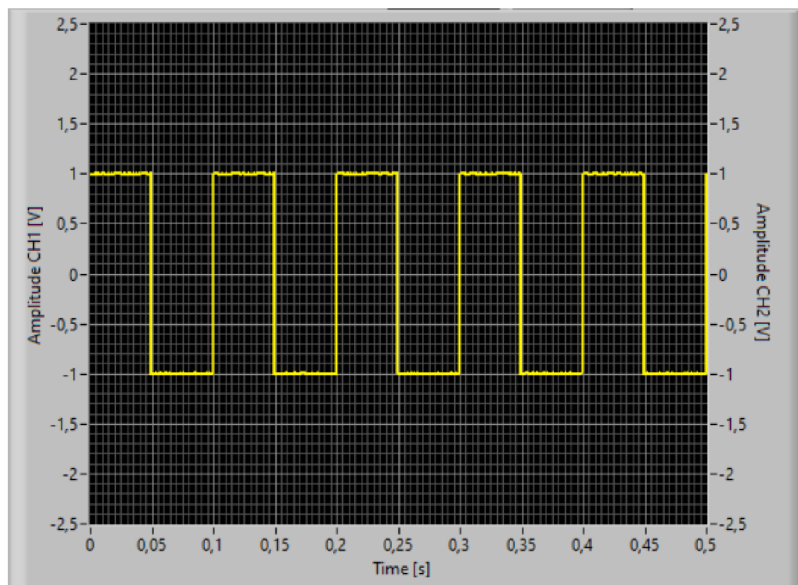


Obrázek 6.2 Dva sinusové signály s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$

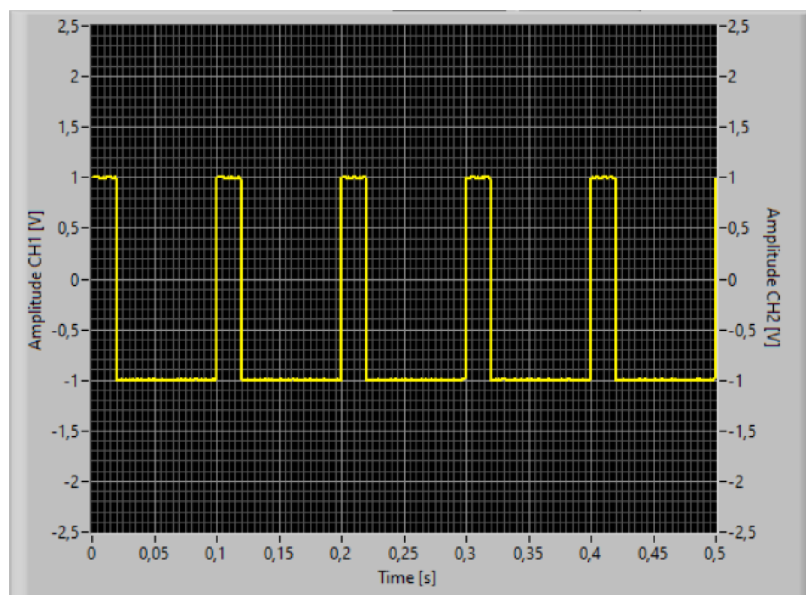


Obrázek 6.3 Dva sinusové signály s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$ , druhý signál je fázově posunutý o  $90^\circ$

c) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu, jak je možné vidět na obrázku 6.4 pro střihu 50 %. Nastavení střihy obdélníkového signálu na hodnotu 20 % je zobrazeno na obrázku 6.5.



Obrázek 6.4 Obdélníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$  a střídou 50 %



Obrázek 6.5 Obdélníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$  a střídou 20 %

### 6.1.2 Úkol 2

2. Vyzkoušejte rozdíly v triggerovacích módech pro různé události spouštění.

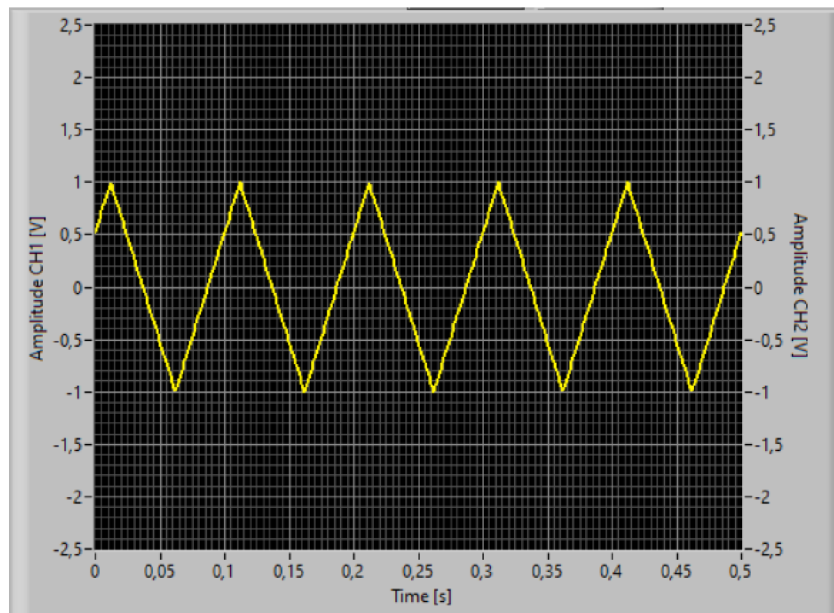
- a) nastavte na generátoru trojúhelníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ , na osciloskopu ponechte zapnutý pouze tento kanál. Nastavte trigger na mód

Normal a na zvolený kanál, spouštění náběžnou hranou a úroveň (level) 0 V a zakreslete výsledek. Nastavte úroveň na 0,5 V a opět zakreslete výsledek. Všimněte si, že při překročení úrovně amplitudy signálu se zobrazí chybové hlášení a signál nelze zatriggrovat, pokud není úroveň v rozsahu amplitudy signálu. Postup opakujte se stejným nastavením pro sestupnou hranu.

b) nastavte na generátoru obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  se střídou 50 %, na osciloskopu ponechte zapnutý pouze tento kanál. Nastavte trigger na mód Normal a na zvolený kanál, spouštění šířkou pulzu a hodnotu šířky pulzu nastavenou na 0,2 s. Poté změňte hodnotu šířky triggerovacího pulzu na 1 s a zhodnoťte, jak byl signál osciloskopem zachycen či nezachycen.

c) ponechte nastavení z bodu b) a změňte pouze triggerovací mód na Auto. Tentokrát při změně hodnoty šířky triggerovacího pulsu na 1 s bude osciloskop i nadále zobrazovat signál. Okomentujte důvod, proč tomu tak je.

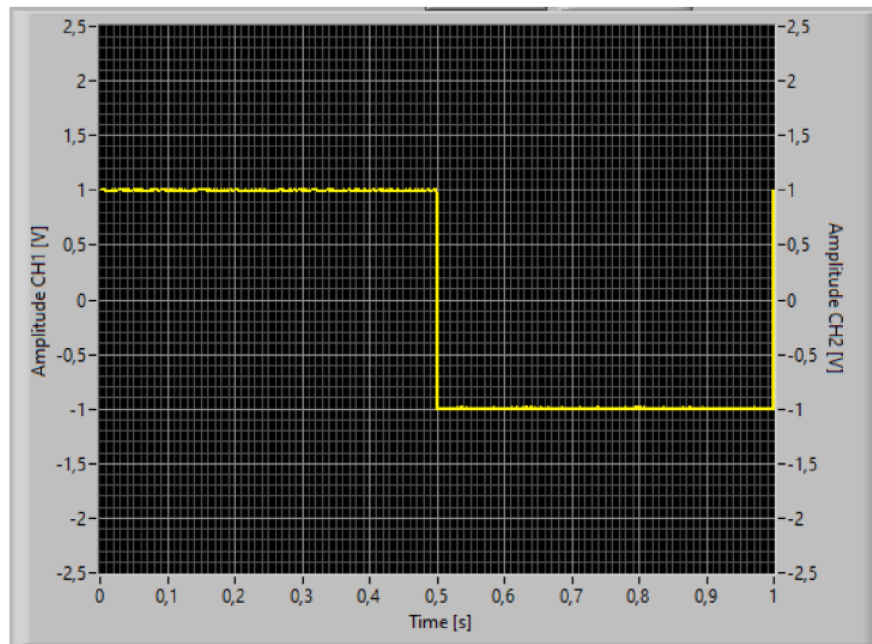
a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu s nastaveným módem triggeru Normal, na daný kanál a pro spouštění náběžnou hranou. Následně si vyzkouší různé úrovně triggeru a zakreslí výsledky. Vzorový signál na osciloskopu zatriggrováný na úroveň 0,5 V je zobrazen na obrázku 6.6. Pokud triggerovací úroveň překročí hodnotu amplitudy signálu, dojde k vypsání upozornující hlášky a pro správné zobrazování signálu je nutné úroveň přenastavit.



Obrázek 6.6 Trojúhelníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ , trigger mód Normal, náběžná hrana a triggerovací úroveň 0,5 V

b) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu s nastaveným módem triggeru Normal, na daný kanál

a pro spouštění šířkou pulzu. Pro nastavenou šířku pulzu 1 s osciloskop na signál nezatriggeruje, po změně hodnoty šířky triggerovacího pulzu na 0,2 s ale již ano, jak je možné vidět na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7 Obdélníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , trigger mód Normal, náběžná hrana

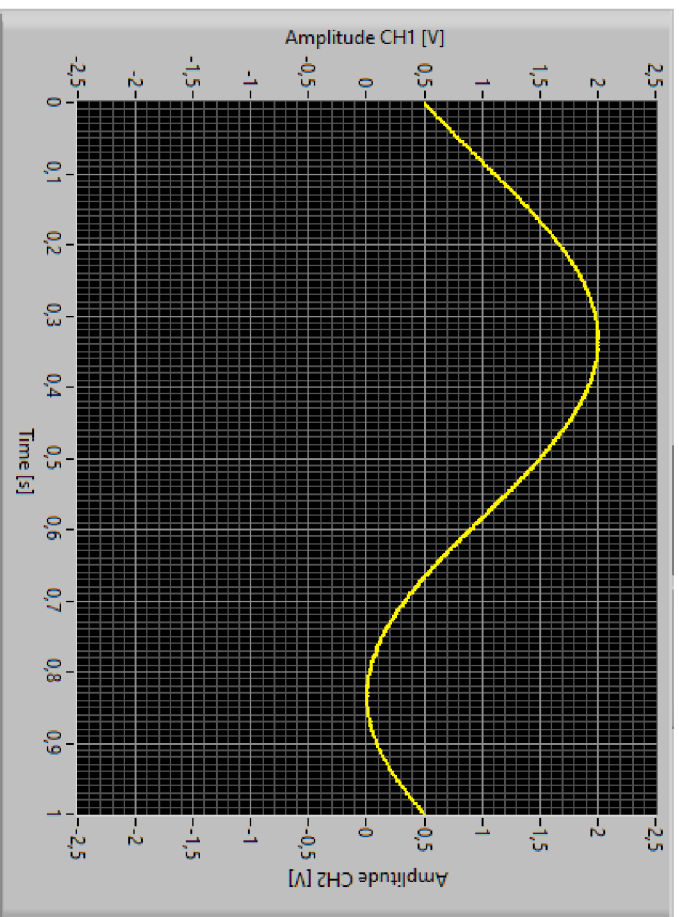
c) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru ponechat signál z bodu b) a zobrazit jej na osciloskopu s nastaveným módem triggeru Auto, na daný kanál a pro spouštění šířkou pulzu. Nyní je možné ověřit, že signál bude na osciloskopu zobrazen i při nastavení požadované šířky pulzu na 1 s, protože se jedná o Auto mód.

### 6.1.3 Úkol 3

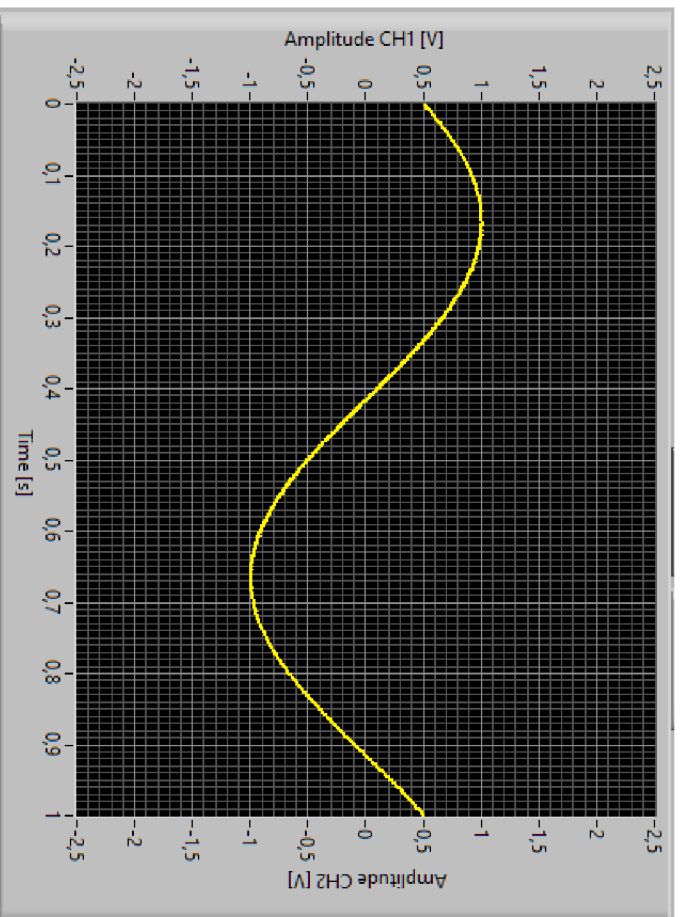
**3. Vyzkoušejte rozdíl mezi AC a DC vazbou vstupu na virtuálním osciloskopu.**

**a) nastavte na generátoru sinusový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  s offsetem 1 V. Ponechte na osciloskopu zobrazený pouze tento signál a nastavte trigger na mód Normal a úroveň 0,5 V. Zakreslete rozdíl mezi nastavením vazby vstupu DC a AC (anglicky coupling) a okomentujte rozdíly.**

a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu. Při nastavené DC vazbě vstupu na obrázku 6.8 bude patrná i stejnosměrná složka signálu, při AC (obrázek 6.9) nikoliv.



Obrázek 6.8 Sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , vazba vstupu DC



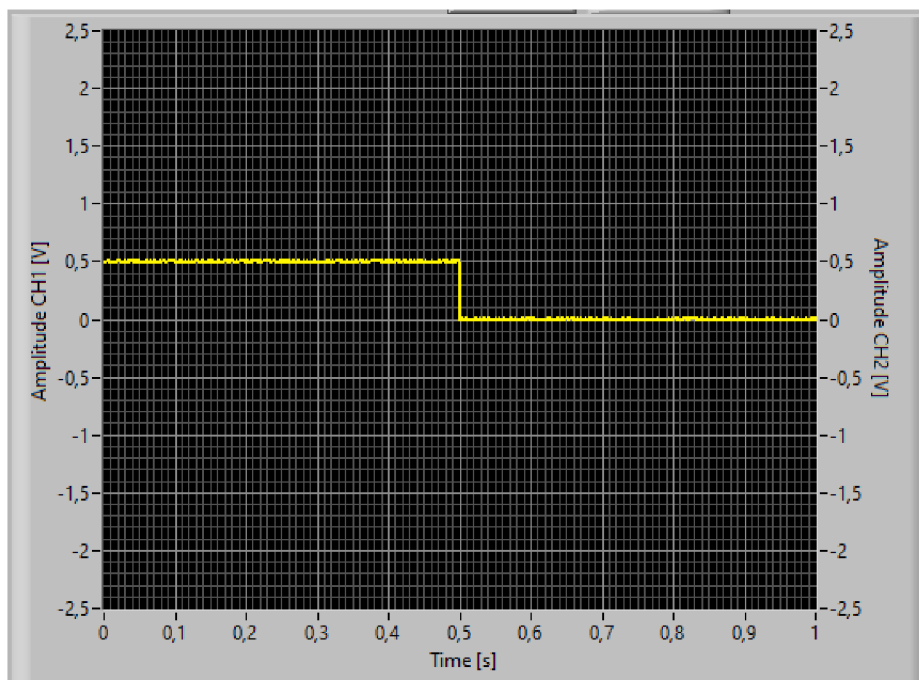
Obrázek 6.9 Sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , vazba vstupu AC

#### 6.1.4 Úkol 4

##### 4. Vyzkoušejte zachycení jednorázového děje

a) Vypněte výstup generátoru a nastavte na prvním kanálu osciloskopu jednorázový pulz s amplitudou  $U_{pp1} = 1$  V, šířkou pulzu 0,5 s, zpožděním 0,2 s a počet pulzů ponechte na 1. Nastavte Single mód a triggerovací událost náběžnou hranu, zatriggerujte na první kanál a nastavte vhodnou úroveň triggeru (například 0,1 V). Poté zapněte výstup generátoru, pozorujte zakreslete zachycený děj a vypněte výstup. Osciloskop opět spusťte (tlačítkem Play/Pause), triggerovací mód single se přepne do Normal. Nyní zapněte výstup generátoru a pozorujte, jak bude osciloskop při stejném nastaveném signálu a ponechaných ostatních parametrech triggeru reagovat v režimu Normal. Uveďte praktické použití tohoto trigger módu.

a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadaný signál a zobrazit jej na osciloskopu. Po přepnutí do triggerovacího módu single a opětovnému spuštění výstupu generátoru dojde k zatriggerování na první vzestupnou hranu a obraz se zastaví. Došlo k jednorázovému zachycení události, osciloskop se poté musí opět spustit tlačítkem *Play/Pause*.



Obrázek 6.10 Zachycení děje pomocí triggerovacího módu Single, jednorázový pulzní signál s parametry  $U_{pp1} = 1$  V, pulz o délce 0,5 s



## 6.2 Ukázka výsledků laboratorní úlohy 2 – měření pomocí osciloskopu

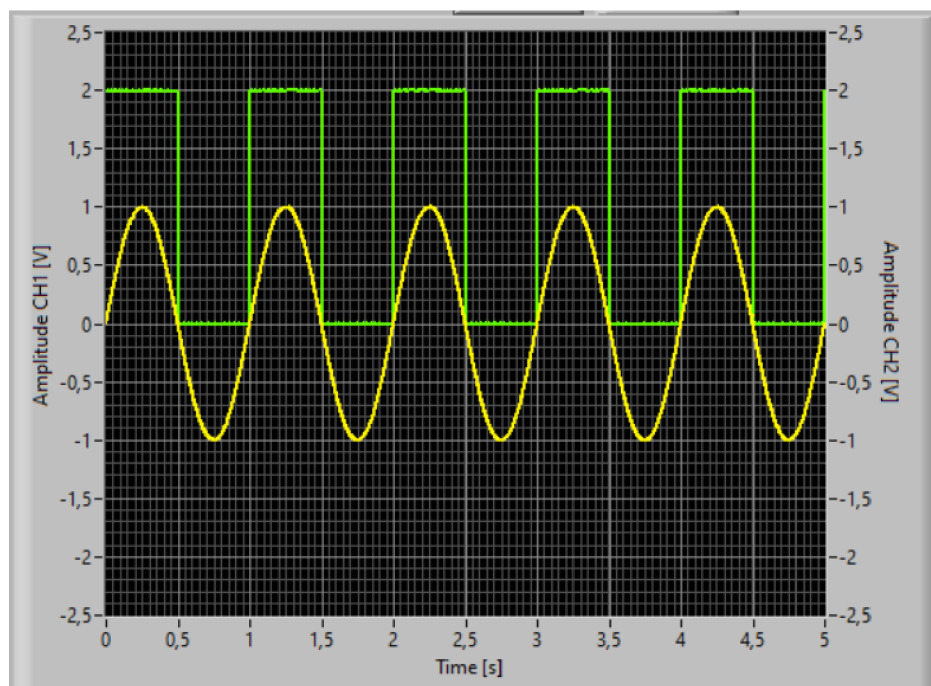
V této kapitole jsou popsány a názorně předvedeny možné výsledky vycházející z laboratorní úlohy 2. Po zadání daného úkolu následují ukázky řešení.

### 6.2.1 Úkol 1

1. Na virtuálním generátoru nastavte generování dvou signálů s těmito parametry:

- a) sinusový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  a obdélníkový signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 1 \text{ Hz}$  s offsetem 1 V a zkontrolujte parametry signálů pomocí dílků osciloskopu.

a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadané signály a zobrazit je na osciloskopu, jak je zobrazeno na obrázku 6.11.



Obrázek 6.11 Sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , obdélníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 50 %, offset 1 V

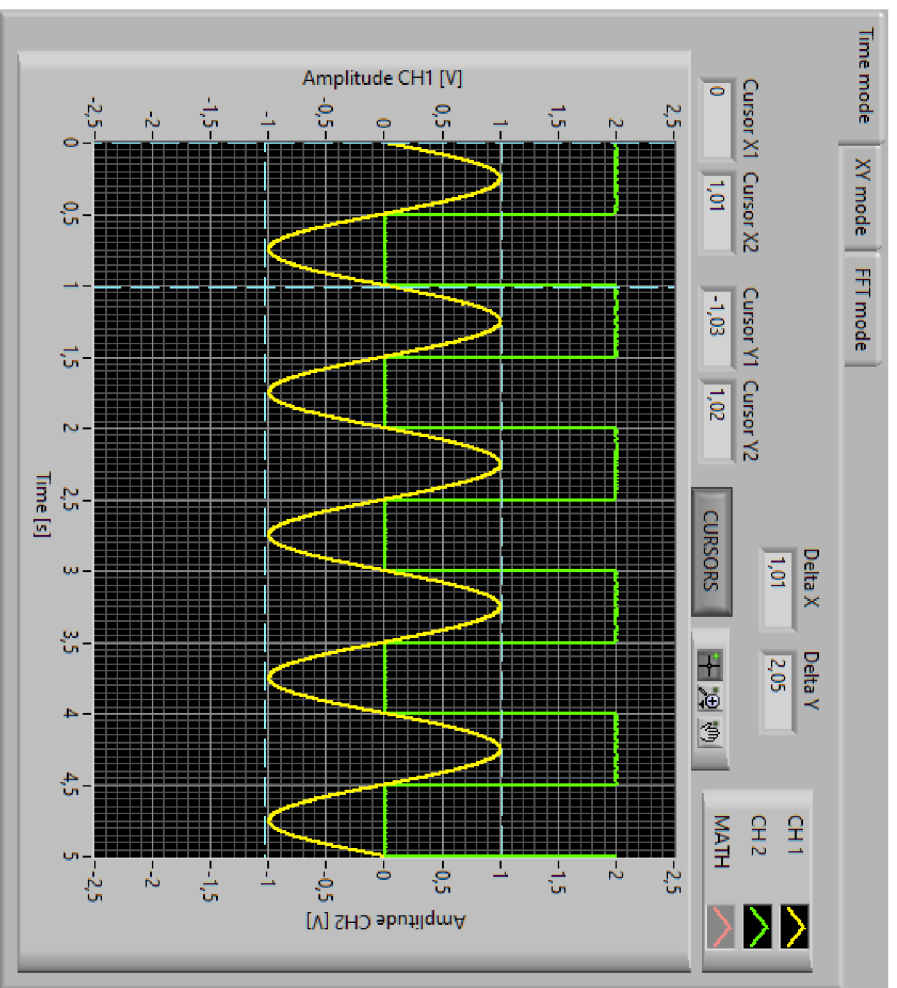
### 6.2.2 Úkol 2

2. Seznamte se s ovládáním kurzorů a s funkcí automatického měření.

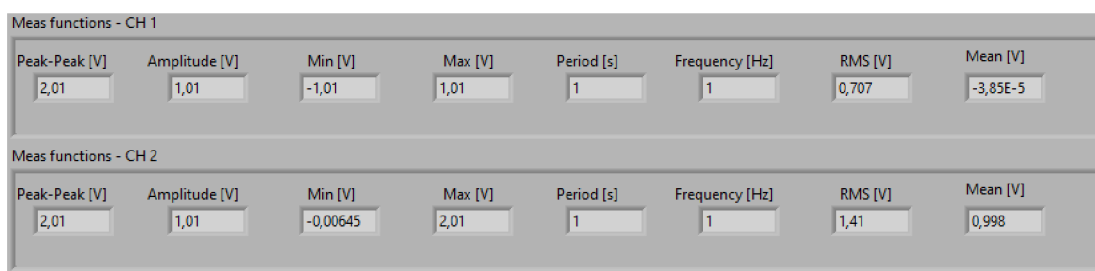
- a) Změřte pomocí kurzorů hodnoty minima a maxima signálů zadaných v úkolu 1a), mezivrcholovou hodnotu signálu, periodu (a z ní vypočtenou frekvenci)

- signálu a porovnejte tyto hodnoty s automatickými měřicími funkcemi. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky.
- b) Na základě teoretického vztahu vypočítejte efektivní hodnoty a střední hodnoty obou signálů. Tyto hodnoty zaznamenejte a porovnejte s automatickými měřicími funkcemi.
- c) Naměřená a vypočtená data z bodu b) запиšte do přehledné tabulky. Vypočítejte absolutní a relativní chyby měření střední a efektivní hodnoty obou signálů, pokud teoreticky vypočtené hodnoty považujete za konvenčně pravou hodnotu.

a) Student/ka by se měl/a na signálech nastavených v předchozím úkolu naučit ovládat kurzory. Na obrázku 6.12 je zobrazeno měření pomocí kurzorů a na obrázku 6.13 také hodnoty automatických měřících funkcí.



Obrázek 6.12 Měření pomocí kurzorů – sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , obdélníkový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 50 %, offset 1 V



Obrázek 6.13 Automatické měřicí funkce

V následujících tabulkách se nachází srovnání hodnot z automatických měřicích funkcí a hodnot naměřených ručně pomocí kurzorů.

Tabulka 6.1 Naměřené a vypočtené hodnoty měření parametrů signálu CH 1

Parametr signálu	Hodnoty z automatických měřicích funkcí	Naměřené hodnoty (s kurzory)
Maximum	1,01 V	1,02 V
Minimum	-1,01 V	-1,03 V
Amplituda	1,01 V	1,03 V
Mezivrcholová hodnota	2,01 V	2,05 V
Perioda	1 s	1,01 s
Frekvence	1 Hz	0,99 Hz

Tabulka 6.2 Naměřené a vypočtené hodnoty měření parametrů signálu CH 2

Parametr signálu	Hodnoty z automatických měřicích funkcí	Naměřené hodnoty (s kurzory)
Maximum	2,01 V	2,02 V
Minimum	-0,00645 V	-0,01 V
Amplituda	1,01 V	1,02 V
Mezivrcholová hodnota	2,01 V	2,02 V
Perioda	1 s	1,02 s
Frekvence	1 Hz	0,98 Hz

b) Student/ka by měl/a spočítat efektivní hodnoty a střední hodnoty podle teoretických vztahů uvedených níže.

Střední hodnotu  $s(t)_{Mean}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  lze vypočítat podle následujícího vzorce:

$$s(t)_{Mean} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt, \quad [V] \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned}
u_{CH1mean} &= \frac{1}{T} \int_0^T u_{CH1}(t) dt = \frac{1}{1} \int_0^1 \sin(2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot t) dt = \\
&= [-\cos(2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot t)]_0^1 = -1 - (-1) = \underline{0 V}
\end{aligned} \tag{6.2}$$

$$\begin{aligned}
u_{CH2mean} &= \frac{1}{T} \int_0^T u_{CH2}(t) dt = \frac{1}{1} \int_0^{0,5} 2 dt = 2 \cdot [t]_0^{0,5} = \\
&= 2 \cdot (0,5 - 0) = \underline{1 V}
\end{aligned} \tag{6.3}$$

Efektivní hodnotu  $s(t)_{RMS}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  je možné vypočítat následující rovnicí:

$$s(t)_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}, \quad [V] \tag{6.4}$$

$$\begin{aligned}
u_{CH1RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{CH1}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{1} \int_0^1 \sin^2(2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot t) dt} =, \\
&= \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 \left( \frac{1 - \cos(4 \cdot \pi \cdot t)}{2} \right) dt} = \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \left[ \frac{t}{2} - \frac{\sin(4 \cdot \pi \cdot t)}{8 \cdot \pi} \right]_0^1} =, \\
&= \sqrt{\frac{1}{2} - 0} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \underline{0,707 V},
\end{aligned} \tag{6.5}$$

$$\begin{aligned}
u_{CH2RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_{CH2}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{1} \int_0^{0,5} 2^2 dt} =, \\
&= \sqrt{\frac{1}{1} [4 \cdot t]_0^{0,5}} = \sqrt{2 - 0} = \underline{1,414 V},
\end{aligned} \tag{6.6}$$

c) Student/ka by měl/a srovnat naměřená a vypočtená data a výsledky zapsat do tabulky společně se stanovenými absolutními a relativními chybami měření efektivní a střední hodnoty signálů, kdy  $X_M$  bude hodnota měřená měřicími funkcemi a  $X_P$  (hodnota konvenčně pravá) je hodnota vypočtená.

Absolutní chyba se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\Delta_x = X_M - X_P, \quad [\text{V}] \quad (6.7)$$

Relativní chyba se stanoví následovně:

$$\delta_x = \frac{|\Delta_x|}{X_M} \cdot 100, \quad [\%] \quad (6.8)$$

V tabulce 6.3 se nachází vypočítané a naměřené střední a efektivní hodnoty signálů, přičemž teoreticky vypočtená hodnota je považována za hodnotu konvenčně pravou. Z těchto údajů jsou stanoveny absolutní a relativní chyby podle vztahů (6.7) a (6.8).

Tabulka 6.3 Naměřené a vypočtené střední a efektivní hodnoty signálu CH 1 a CH 2

Parametr signálu	Vypočtená hodnota (konvenčně pravá) [V]	Naměřená hodnota [V]	Absolutní chyba [V]	Relativní chyba [%]
Střední hodnota CH 1	0 V	-0,00004 V	-0,00004 V	100 %
Efektivní hodnota CH 1	0,707 V	0,707 V	0 V	0 %
Střední hodnota CH 2	1 V	0,998 V	-0,002 V	0,2 %
Efektivní hodnota CH 2	1,414 V	1,41 V	-0,004 V	0,3 %

### 6.2.3 Úkol 3

**3. Naučte se pracovat s XY režimem osciloskopu, využijte Lissajousovy obrazce ke stanovení fázového rozdílu mezi signály a poměru frekvencí signálů.**

a) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní sinusové signály s následujícími parametry: Signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 1 \text{ Hz}$  s fázovým rozdílem  $90^\circ$ . Přepněte se na osciloskopu do režimu XY. Zakreslete výsledný obrazec a pokuste se z něj určit fázový rozdíl mezi signály. Okomentujte.

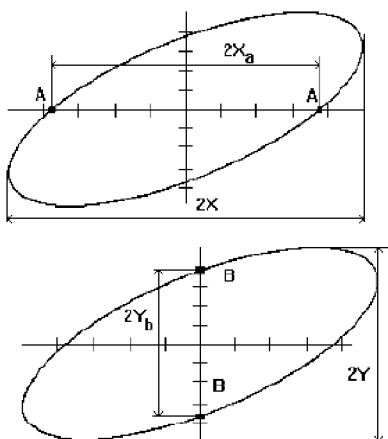
b) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní sinusové signály s následujícími parametry: Signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 2 \text{ Hz}$ . Z režimu XY nakreslete výsledný obrazec a pokuste se z něj určit poměr kmitočtů signálu. Okomentujte.

c) Vyzkoušejte další libovolný poměr kmitočtů a fázových rozdílů, případně i amplitud a výsledek i s nastavenými parametry zakreslete a okomentujte.

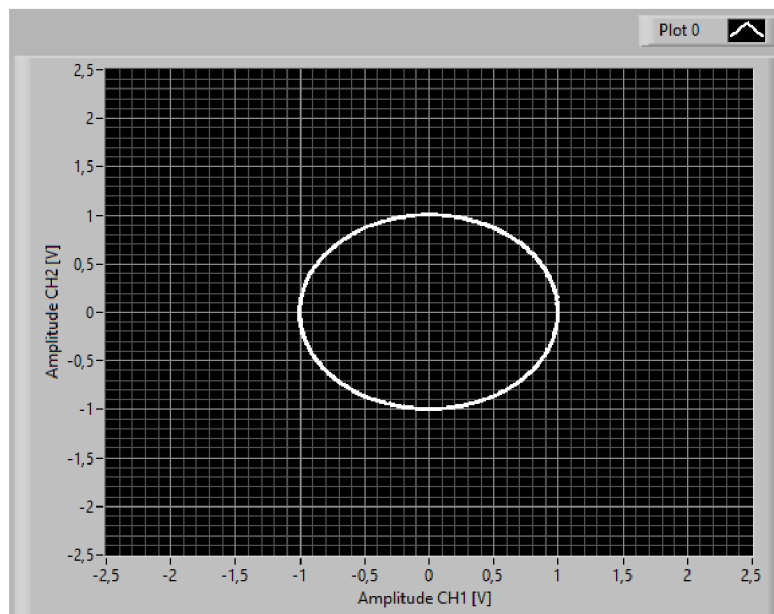
a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadané signály a zobrazit je na osciloskopu v záložce pro XY režim.

Následně by měl/a z výsledku zobrazeného na obrázku 6.15 určit fázový rozdíl mezi signály pomocí následujícího teoretického vztahu.

$$\varphi = \arcsin \frac{X_a}{X} = \arcsin \frac{Y_b}{Y} \quad [^\circ] , \quad (6.9)$$



Obrázek 6.14 Stanovení fázového rozdílu pomocí Lissajousových obrazců



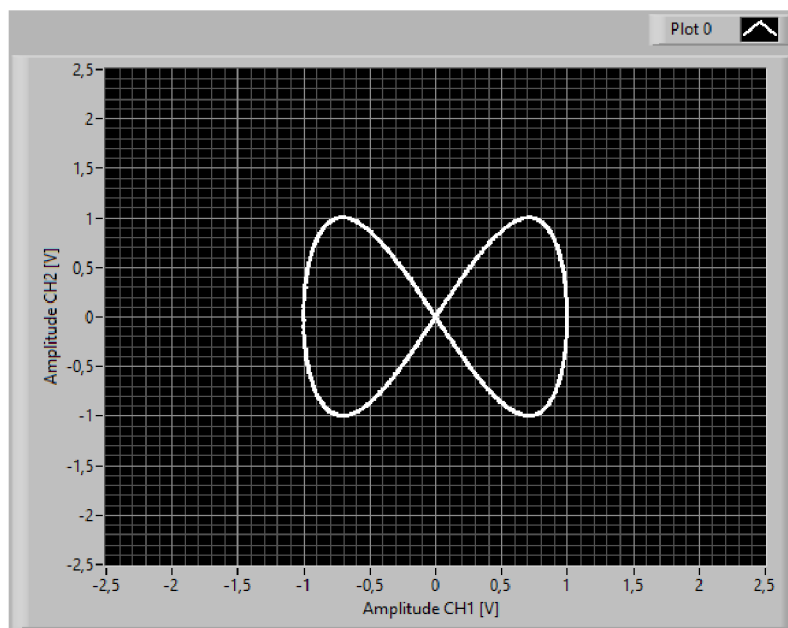
Obrázek 6.15 XY režim – sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , sinusový signál s parametry  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 1 \text{ Hz}$ , fáze  $90^\circ$

b) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadané signály a zobrazit je na osciloskopu v záložce pro XY režim.

Následně by měl/a z výsledku zobrazeného na obrázku 6.16 určit poměr kmitočtů signálů pomocí následujícího teoretického vztahu.

Určíme počet  $n_h$  bodů a počet  $n_v$  bodů, ve kterých horizontální a vertikální přímka, která neprochází vlastními průsečíky obrazce, protíná tento obrazec. Poměr úhlových frekvencí je pak vypočten následujícím způsobem:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_h}{n_v}, \quad (6.10)$$



Obrázek 6.16 XY režim – sinusový signál s parametry  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , sinusový signál s parametry  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 2 \text{ Hz}$

#### 6.2.4 Úkol 4

##### 4. Matematické funkce

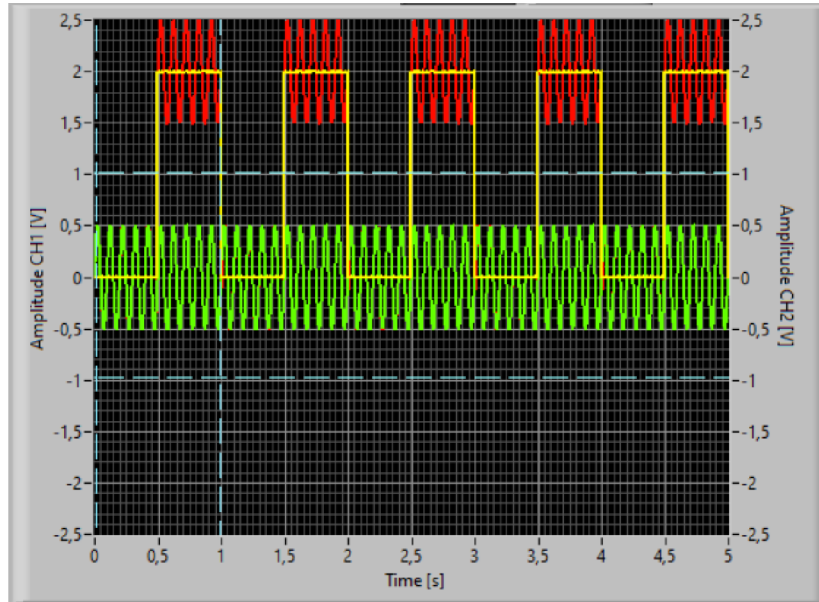
a) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní signály s následujícími parametry: Obdélkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$

b) Zapněte funkci Math a zakreslete výsledky pro operace se signály: sčítání, odečítání a násobení.

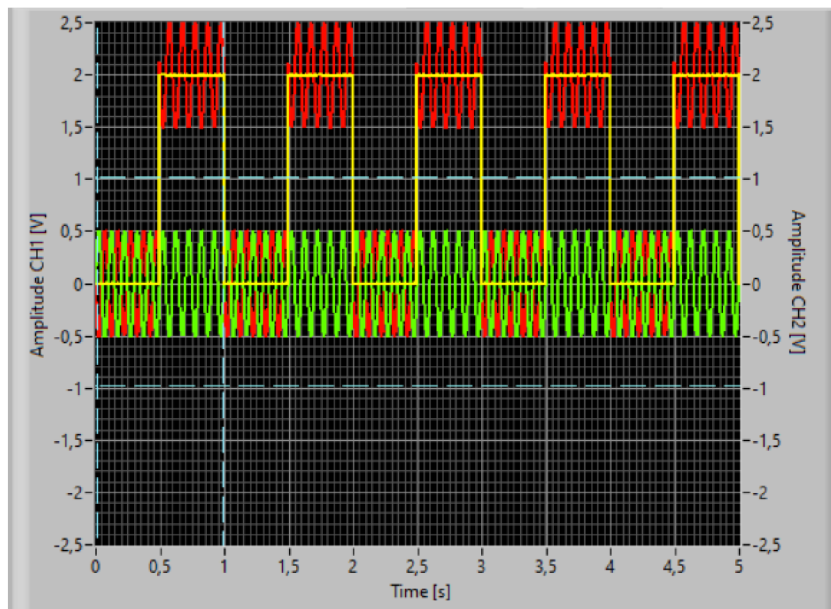
a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru nastavit zadané signály

a zobrazit je na osciloskopu.

b) Student/ka by měl/a zapnout funkci Math a postupně vybírat operace se signály. Na obrázku 6.17 je součet signálů, na obrázku 6.18 je rozdíl signálů a na obrázku 6.19 je součin signálů.

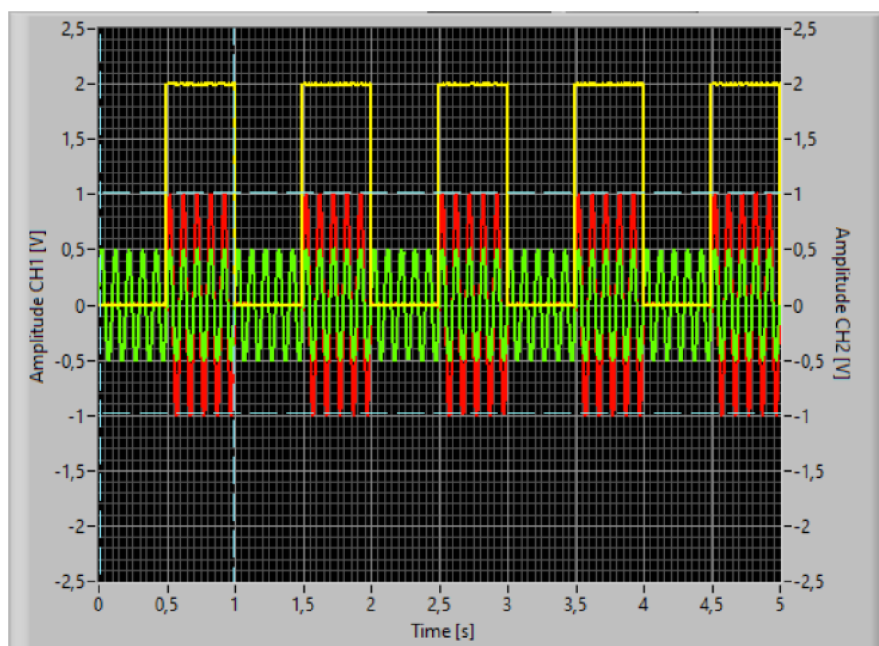


Obrázek 6.17 Funkce Math – součet signálů (obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2\text{ V}$ ,  $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1\text{ V}$ ,  $f_2 = 10\text{ Hz}$ )



Obrázek 6.18 Funkce Math – rozdíl signálů (obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2\text{ V}$ ,  $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1\text{ V}$ ,  $f_2 = 10\text{ Hz}$ )





Obrázek 6.19 Funkce Math – součin signálů (obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2\text{ V}$ ,  $f_1 = 1\text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1\text{ V}$ ,  $f_2 = 10\text{ Hz}$ )

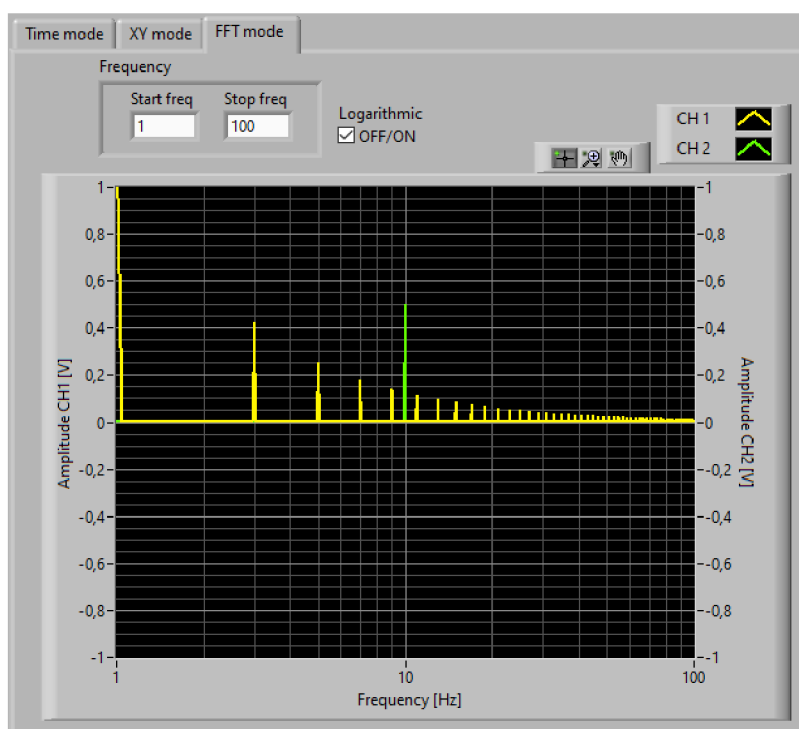
## 6.2.5 Úkol 5

### 5. Vyzkoušejte funkci FFT.

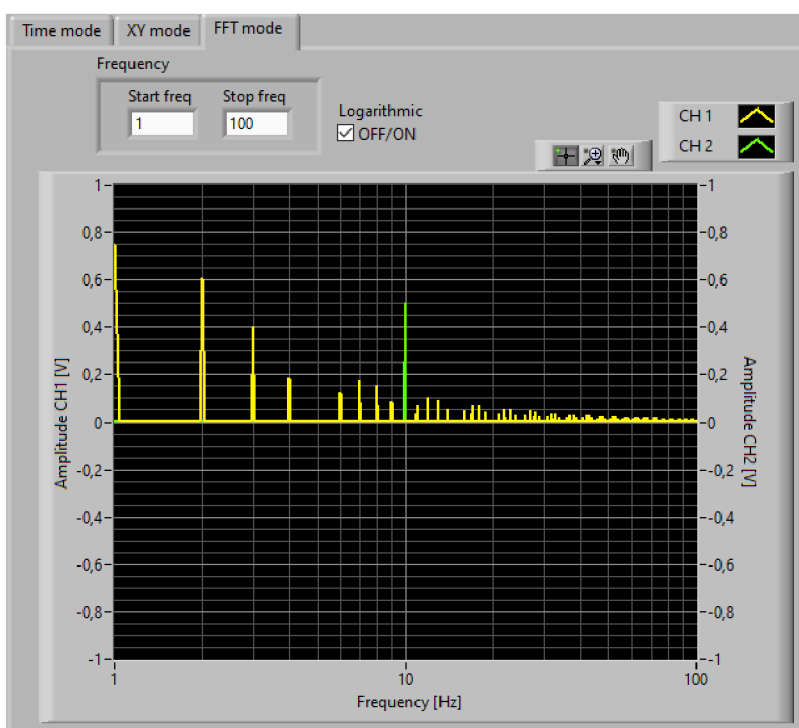
a) Ponechte nastavení generátoru z předchozího úkolu, přepněte do FFT režimu a vhodně upravte nastavení rozlišení kanálu. Zakreslete a okomentujte zobrazená spektra. U obdélníkového signálu změňte střídu na 20 % a 80 % a okomentujte změnu tvaru spektra.

a) Student/ka by měl/a na virtuálním funkčním generátoru ponechat zadané signály ze čtvrtého úkolu a zobrazit je na osciloskopu v záložce pro FFT režim.

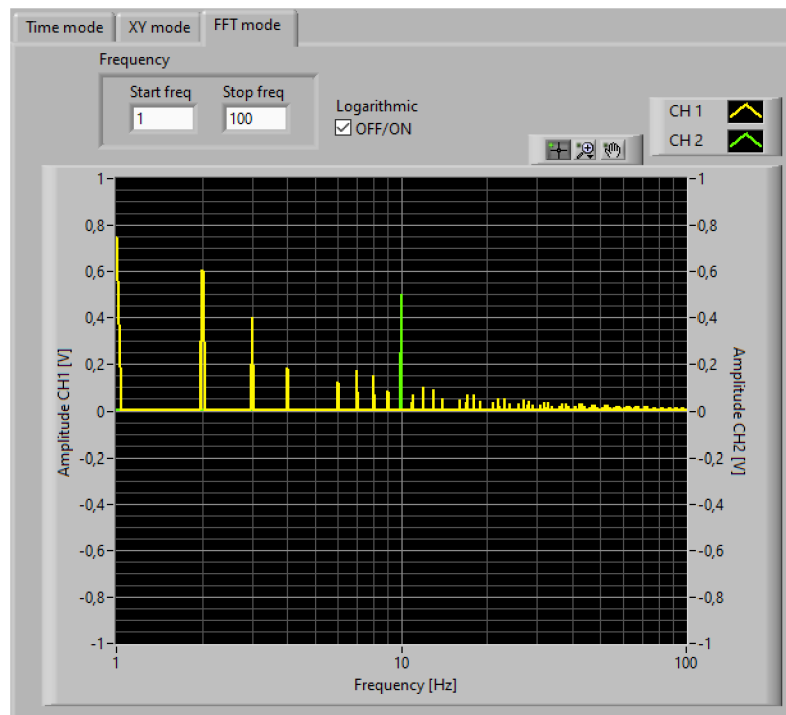
Amplitudy spekter je vhodné zobrazit ve vhodném vertikálním rozlišení pomocí otočných voličů *Vertical CH 1 [V]* a *Vertical CH 2 [V]*.



Obrázek 6.20 Spektrum signálů – obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$



Obrázek 6.21 Spektrum signálů – obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 20 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$



Obrázek 6.22 Spektrum signálů – obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 80 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$

## 7. ZÁVĚR

Pandemie COVIDu-19 ukázala výhody a nevýhody distanční výuky. Pro studenty Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií bylo jedním z problémů to, že nemohli navštěvovat laboratoře a v nich provádět elektrotechnická měření. I z tohoto důvodu byla vytvořena v rámci této diplomové práce virtuální laboratoř, která obsahuje funkční generátor a také osciloskop, na němž si studenti mohou vyzkoušet různé experimentální úlohy. Kromě toho, že virtuální osciloskop bude sloužit jako pomůcka při distanční výuce, své využití najde i při domácí přípravě studentů na běžnou prezenční výuku.

Virtuální laboratoř byla vytvořena v prostředí LabVIEW 21.0 a obsahuje virtuální funkční generátor pro generování signálů, a především virtuální osciloskop, který vyhovuje požadavkům na laboratorní výuku Měření v elektrotechnice.

První tři hlavní kapitoly práce shrnuly problematiku v teoretické části diplomové práce. V první kapitole byly rozebrány dva měřicí přístroje v elektrotechnice – osciloskop a funkční generátor, jejich funkce a popis přístrojů. Druhá kapitola se zaměřila na virtuální instrumentaci, prostředí LabVIEW a byly zde detailněji popsány prvky důležité pro realizaci osciloskopu, jako jsou například typy grafického zobrazení nebo návrhové vzory. Třetí kapitola se věnovala teoretickému rozboru návrhu měřicích přístrojů v prostředí LabVIEW a různým přístupům k jejich realizaci v odborných článcích.

V kapitole 4 byla rozebrána vlastní implementace virtuálního osciloskopu a s ním spojeného funkčního generátoru v prostředí LabVIEW, která vycházela z výše zmíněných teoretických rozborů. Virtuální laboratoř byla realizována ve dvou paralelních smyčkách – jedné pro funkční generátor a druhé pro osciloskop. Tyto smyčky byly propojeny pomocí dvou front přenášejících data a zprávy z jedné smyčky do druhé, přičemž smyčka pro virtuální osciloskop byla navržena na základě vzoru stavového automatu s *event strukturou*.

Kapitola 5 obsahuje uživatelský návod, v němž bylo popsáno, jak má student s virtuálním osciloskopem a funkčním generátorem zacházet a jaké funkce virtuální instrument pro studijní účely nabízí. Na panelu pro funkční generátor může uživatel nastavit parametry generovaného signálu, jako je typ, amplituda, frekvence, fáze nebo offset, je možné zvolit i jednorázový pulz. U virtuálního osciloskopu jsou k dispozici kurzory pro zjištění parametrů signálů z grafu, nastavení měřítka vertikálních os nebo horizontální osy a také nastavení pozice signálů a typu vazby. Implementován je také trigger na náběžnou nebo sestupnou hranu a na šířku pulzu, nechybí ani základní měřicí funkce, matematické operace mezi signály, XY režim nebo mód FFT. Vzhled a funkce virtuálního osciloskopu vycházejí z některých rysů osciloskopu Siglent série SDS1000X.

V kapitole 6 se práce zaměřila na ověření funkčnosti virtuálního osciloskopu za pomoci virtuálního funkčního generátoru pomocí dvou laboratorních úloh, které

mohou využít studenti předmětu Měření v elektrotechnice. V této kapitole se nachází znění zadání laboratorních úloh a bylo zde také popsáno ukázkové měření těchto úkolů. Úkoly byly navrženy tak, aby pokryly celé spektrum možností, jež vytvořený virtuální osciloskop nabízí a aby si studenti vyzkoušeli úkony, které pak budou provádět na reálném měřicím přístroji v laboratořích.

Práce tedy splňuje všechny body zadání, které byly rozčleněny do výše popsaných kapitol.

V návaznosti na tuto diplomovou práci by mohl být program upraven přidáním dalších funkcí, které osciloskopy mohou nabídnout, nebo by program mohl být například rozšířen o další dva měřicí kanály. Pro účely práce v laboratoři by také nad rámec zadání mohla být přidána možnost měřit reálný signál pomocí měřicí karty od NI.

## LITERATURA

- [1] COOMBS JR., Clyde F. *Electronic Instrument Handbook*. 3rd edition. The McGraw-Hill Companies, 2000. ISBN 9780070126183.
- [2] YADAV, Dhirendra. Basic Principle of the Oscilloscope. *Semesters.in* [online]. 2016 [cit. 2021-9-29]. Dostupné z: [https://semesters.in/basic-principle-of-the-oscilloscope-notes-for-electronics-engineering-1st-year/?fbclid=IwAR2UPP3P6W8\\_IH4uceINMKqfjeXBVvgeyzI0MsLYGAMgo1IVImU3ZsXLgQo](https://semesters.in/basic-principle-of-the-oscilloscope-notes-for-electronics-engineering-1st-year/?fbclid=IwAR2UPP3P6W8_IH4uceINMKqfjeXBVvgeyzI0MsLYGAMgo1IVImU3ZsXLgQo)
- [3] BEJČEK, Ludvík, Miroslav ČEJKA, Jiří REZ, Eva GESCHEIDTOVÁ a Miroslav STEIBAUER. *Měření v elektrotechnice*. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně.
- [4] HARWOT, Lubomír. Osciloskopy a jejich použití v průmyslových měřeních: Měřicí, zkušební a monitorovací technika. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. AMT měřicí technika, spol. s r.o., 2014 [cit. 2021-9-4]. Dostupné z: <https://www.spsdmasna.cz/dokumenty/publikace/MF0408.pdf>
- [5] Oscilloscope Fundamentals. *Case School of Engineering* [online]. Tektronix, c2009 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: [https://engineering.case.edu/lab/circuitlab/sites/engineering.case.edu.lab.circuitlab/files/docs/Oscilloscope\\_Fundamentals\\_-\\_Tektronix.pdf](https://engineering.case.edu/lab/circuitlab/sites/engineering.case.edu.lab.circuitlab/files/docs/Oscilloscope_Fundamentals_-_Tektronix.pdf)
- [6] Real-Time Versus Equivalent-Time Sampling. *Tektronix* [online]. Tektronix, c2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.tek.com/document/application-note/real-time-versus-equivalent-time-sampling>
- [7] What is equivalent time sampling mode? *Tektronix* [online]. Tektronix, c2021 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.tek.com/support/faqs/what-equivalent-time-sampling-mode>
- [8] JANOUD, Jan. Osciloskopy a zapisovače. *SPŠSE České Budějovice, stránky Ing. Jana Janouda* [online]. SPŠSE České Budějovice [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: [http://hidden.janoud.cz/dat/pdf/EM4/osciloskopy\\_a\\_zapisovace.pdf](http://hidden.janoud.cz/dat/pdf/EM4/osciloskopy_a_zapisovace.pdf)
- [9] PAUK, J. a M. KRČMÁŘ. Lissajousovy obrazce. *ČVUT* [online]. Praha: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/2008-2009/Zima08/proc/lissa.pdf>
- [10] ŠEDIVÁ, Soňa. *Laboratorní cvičení č. 1 – Osciloskopy I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021.
- [11] ŠEDIVÁ, Soňa. *Měření v elektrotechnice – prezentace 1*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2018.
- [12] *Praktická elektronika/Spektrum signálu*. In: Wikibooks [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: [https://cs.wikibooks.org/wiki/Praktická\\_elektronika/Spektrum\\_signálu](https://cs.wikibooks.org/wiki/Praktická_elektronika/Spektrum_signálu)

- [13] CHUNFENG, Liu, Chang JINCAI a Yang AIMIN. *Information Computing and Applications*. Qinhuangdao: Springer, 2011. ISBN 978-3-642-27452-0.
- [14] *LabVIEW Core 1 Course Manual*. Course Software Version 2012. National Instruments, 2012.
- [15] VLACH, J., J. HAVLÍČEK a M. VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [16] JENNINGS, Richard a Fabiola DE LA CUEVA. *LabVIEW Graphical Programming*. 5th edition. USA: McGraw-Hill Education, c2020. ISBN 978-1-260-13526-8.
- [17] Application Design Patterns: State Machines. *NI* [online]. 2020 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/16/simple-state-machine-template-documentation.html>
- [18] Event-Driven Programming in LabVIEW. *NI* [online]. 2020 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/06/event-driven-programming-in-labview.html>
- [19] Application Design Patterns: Master/Slave. *NI* [online]. 2021 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000x1r9CAA&l=cs-CZ>
- [20] Producer/Consumer Architecture in LabVIEW. *NI* [online]. 2021 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/21/producer-consumer-architecture-in-labview0.html>
- [21] Queued Message Handler. *LabVIEW Wiki* [online]. NI, 2021 [cit. 2021-9-16]. Dostupné z: [https://labviewwiki.org/wiki/Queued\\_Message\\_Handler](https://labviewwiki.org/wiki/Queued_Message_Handler)
- [22] Using a Queued Message Handler in LabVIEW. *NI* [online]. 28 Jan 2021 [cit. 2021-9-16]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/21/using-a-queued-message-handler-in-labview.html>
- [23] What Is the Difference between Waveform Graphs and Waveform Charts in LabVIEW? *NI* [online]. 21 Sep 2020 [cit. 2021-9-16]. Dostupné z: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P9zsSAC&l=cs-CZ>
- [24] LabVIEW 2018 Help: Types of Graphs and Charts. *NI* [online]. 2018 [cit. 2021-9-16]. Dostupné z: [https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvconcepts/types\\_of\\_graphs\\_and\\_charts/](https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvconcepts/types_of_graphs_and_charts/)
- [25] LabVIEW 2018 Help: Basic Function Generator VI. *NI* [online]. 2018 [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: [https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvwave/basic\\_function\\_generator/](https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361R-01/lvwave/basic_function_generator/)

- [26] THOMAS, Payal Reji a Nikita CHAUHAN. A Virtual Instrument Oscilloscope for signal measurements. *International Journal of Engineering Research and General Science* [online]. 2015, 3(3), 1014-1018 [cit. 2021-9-1]. ISSN 2091-2730. Dostupné z: <http://pnrsolution.org/Datacenter/Vol3/Issue3/133.pdf>
- [27] KHANNA, Ghriti. Design of Virtual Oscilloscope Using Labview. *International journal of Emerging Trends in Science and Technology* [online]. 2016 [cit. 2021-9-4]. ISSN 23489480. Dostupné z: doi:10.18535/ijetst/v3i02.02
- [28] WU, Feiqing, Fengyuan YANG, Dongdong MA, Chengyu WU, F. YAN, M. LI, X. HOU a Y. LONG. Design of virtual digital oscilloscope based on LabVIEW. *E3S Web of Conferences* [online]. 2021, 268 [cit. 2021-9-4]. ISSN 2267-1242. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/202126801059
- [29] SDS1000X, SDS1000X+ Series Digital Oscilloscope: Datasheet. *Batronix* [online]. Siglent Technologies [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: [https://www.batronix.com/pdf/Siglent/SDS1000X/SDS1000X\\_Datasheet.pdf](https://www.batronix.com/pdf/Siglent/SDS1000X/SDS1000X_Datasheet.pdf)
- [30] Siglent SDS1000X-E Series. *Siglent* [online]. c2021 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.siglent.eu/oscilloscopes/sds1000x-e-series>



## **SEZNAM PŘÍLOH**

<b>PŘÍLOHA A - LABORATORNÍ ÚLOHY .....</b>	<b>82</b>
<b>PŘÍLOHA B - ČELNÍ PANEL VIRTUÁLNÍ LABORATOŘE.....</b>	<b>96</b>
<b>PŘÍLOHA C - PŘILOŽENÉ DVD .....</b>	<b>97</b>

# Příloha A - Laboratorní úlohy

## A.1 Laboratorní úloha 1 – Základní ovládání osciloskopu

V této laboratorní úloze se studenti seznámí se základním ovládáním osciloskopu pomocí virtuálního instrumentu se zaměřením na zobrazení signálu, triggerování a vazby vstupu. Pokud je to vhodné, studenti by měli zaznamenat výsledky do přehledných tabulek.

### Úkoly

1. Na virtuálním generátoru nastavte generování signálů s těmito parametry (trigger Normal)
  - a) sinusový signál,  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$  ( $U_{pp}$  – napětí peak-to-peak neboli napětí špička-špička),  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ . Pomocí odečtu z nastavení vertikálního zobrazení kanálu a počtu dílků rastru stanovte hodnoty amplitudy a periody. Pokud je třeba, upravte vhodně nastavení vertikálního a horizontálního rozlišení kanálu. Srovnajte, zda tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru.
  - b) 2 sinusové signály,  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 20 \text{ Hz}$  a odečtěte hodnoty amplitud a period pomocí počtu dílků. Naměřená data запиšte. Pokud je třeba, upravte měřítko os osciloskopu. Ověřte, že tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru. Přidejte k prvnímu signálu fázi  $90^\circ$  a zakreslete průběh obou signálů do jednoho grafu.
  - c) obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$  a odečtěte hodnoty amplitudy a periody pomocí počtu dílků, pokud je třeba, upravte měřítko os osciloskopu. Ověřte, že tyto hodnoty odpovídají nastavení generátoru. Nastavte a zakreslete dvě různé střídy u obdélníkového signálu (např. 20 a 80 %) a odečtěte velikost střídy pomocí dílků.
  - d) vyzkoušejte generování dalších nabízených typů signálu s různými parametry
2. Vyzkoušejte rozdíly v triggerovacích módech pro různé události spouštění.
  - a) nastavte na generátoru trojúhelníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ , na osciloskopu ponechte zapnutý pouze tento kanál. Nastavte trigger na mód Normal a na zvolený kanál, spouštění náběžnou hranou a úroveň (level) 0 V a zakreslete výsledek. Nastavte úroveň na 0,5 V a opět zakreslete výsledek. Všimněte si, že při překročení úrovně amplitudy signálu se zobrazí chybové hlášení a signál nelze zatriggrovat, pokud není úroveň v rozsahu amplitudy signálu. Postup opakujte se stejným nastavením pro sestupnou hranu.
  - b) nastavte na generátoru obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  se střídou 50 %, na osciloskopu ponechte zapnutý pouze tento kanál. Nastavte trigger na mód Normal a na zvolený kanál, spouštění šířkou pulzu a hodnotu šířky pulzu nastavenou na 0,2 s. Poté změňte hodnotu šířky triggerovacího pulzu na 1 s a zhodnoťte, jak byl signál osciloskopem zachycen či nezachycen.

- c) ponechte nastavení z bodu b) a změňte pouze triggerovací mód na Auto. Tentokrát při změně hodnoty šířky triggerovacího pulsu na 1 s bude osciloskop i nadále zobrazovat signál. Okomentujte důvod, proč tomu tak je.
3. Vyzkoušejte rozdíl mezi AC a DC vazbou vstupu na virtuálním osciloskopu.
- a) nastavte na generátoru sinusový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  s offsetem 1 V. Ponechte na osciloskopu zobrazený pouze tento signál a nastavte trigger na mód Normal a úroveň 0,5 V. Zakreslete rozdíl mezi nastavením vazby vstupu DC a AC (anglicky coupling) a okomentujte rozdíly.
4. Vyzkoušejte zachycení jednorázového děje
- a) Vypněte výstup generátoru a nastavte na prvním kanálu osciloskopu jednorázový pulz s amplitudou  $U_{pp1} = 1 \text{ V}$ , šířkou pulzu 0,5 s, zpožděním 0,2 s a počet pulzů ponechte na 1. Nastavte Single mód a triggerovací událost náběžnou hranu, zatriggujte na první kanál a nastavte vhodnou úroveň triggeru (například 0,1 V). Poté zapněte výstup generátoru, pozorujte zakreslete zachycený děj a vypněte výstup. Osciloskop opět spusťte (tlačítkem Play/Pause), triggerovací mód single se přepne do Normal. Nyní zapněte výstup generátoru a pozorujte, jak bude osciloskop při stejném nastaveném signálu a ponechaných ostatních parametrech triggeru reagovat v režimu Normal. Uveďte praktické použití tohoto trigger módu.

## **Teoretický úvod**

Tato laboratorní úloha je určena pro virtuální osciloskop vytvořený pro použití při distanční výuce nebo pro domácí přípravu, teoretický úvod shrnuje základní přehled, který je pro úlohu nutné znát.

### **Základy osciloskopu**

Osciloskop slouží k zobrazování a měření elektrických signálů, nejčastěji napětí a jeho změny v čase.

Osciloskop se nejčastěji využívá ke sledování a měření parametrů periodicky opakujících se signálů, je ale možné zachytit také jednorázové děje.

Ovládání měřítka zajišťují otočné voliče, jimiž je na displeji možné nastavit rozsah vertikální osy, který udává hodnotu úrovně signálu na jeden dílek osy. Další otočný volič se na měřicím přístroji nachází i pro nastavení rozsahu horizontální osy, kdy se nastaví hodnota času (nejčastěji) připadající na jeden dílek této osy.

Další otočné voliče umožňují posouvání signálu daného kanálu, aby si uživatel mohl signály vhodně rozmístit na obrazovce.



Obrázek 1 Osciloskop Siglent SDS1202X-E

## Trigger

Pro stabilní a smysluplné zobrazování periodického signálu se využívá trigger (spuštění signálu), kdy se osciloskop snaží zachytit definovanou událost a zobrazit ji. Událostí pro spuštění může být například náběžná nebo sestupná hrana signálu, případně obě hrany nebo také určitá šířka pulzu. U triggerování na určitou hranu zachycovaná událost nastává při okamžiku, kdy signál roste nebo klesá podle nastavené hrany a kdy měřený signál dosáhne úrovně nazvané trigger level, která je nastavitelná. Triggerovaný signál tedy začíná vždy stejnou událostí. Při nastavení okamžiku spuštění na šířku pulzu reaguje trigger na splnění podmínky na požadovanou šířku pulzu.

Osciloskopy nabízejí různé módy pro trigger, přičemž nejzákladnější jsou tři následující:

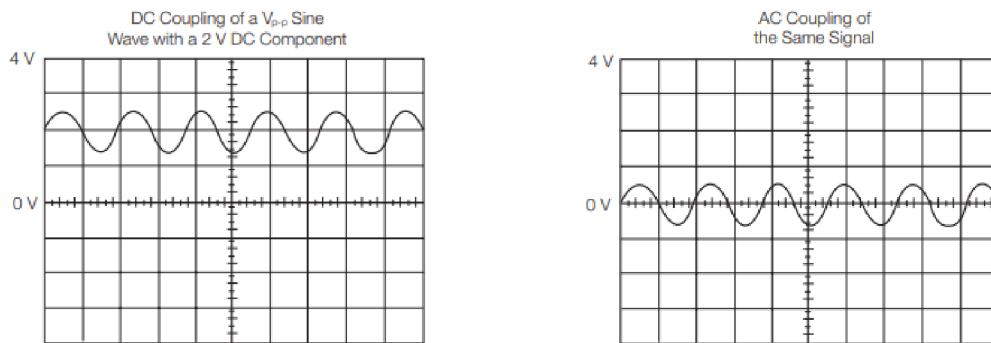
- **Normal:** zobrazování signálů se restartuje vždy při zachycení definované události.
- **Auto:** zobrazování signálů se restartuje kontinuálně, a to i bez události, na kterou reaguje trigger.
- **Single:** tento mód slouží pro zachycení jednorázových dějů, osciloskop zobrazí pouze první snímek, kdy se definovaná událost objeví.

## Vazba vstupu

U každého kanálu osciloskopu je často možné nastavit typ vazby, nejčastěji se jedná o stejnosměrnou (DC) nebo střídavou (AC) vazbu, případně je možné kanál uzemnit (GND).

DC vazba zobrazuje všechny složky vstupního signálu, zatímco vazba AC odstraní pomocí sériově zapojeného kondenzátoru stejnosměrnou složku a signál je centrováný

okolo nulové hodnoty. Tato vazba se využívá, pokud je celý signál i se svou stejnosměrnou složkou příliš velký na měřítko osciloskopu.



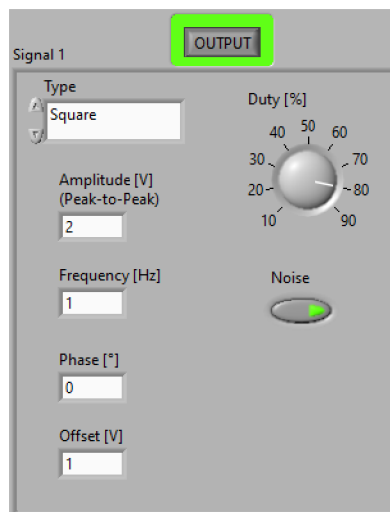
Obrázek 2 Praktický rozdíl mezi DC a AC vazbou, první zobrazení díky DC vazbě obsahuje i stejnosměrnou složku signálu

## Postup měření

V této kapitole je popsán podrobný postup měření a návod k vypracování laboratorní úlohy s virtuálním funkčním generátorem a virtuálním osciloskopem.

### Úkol 1

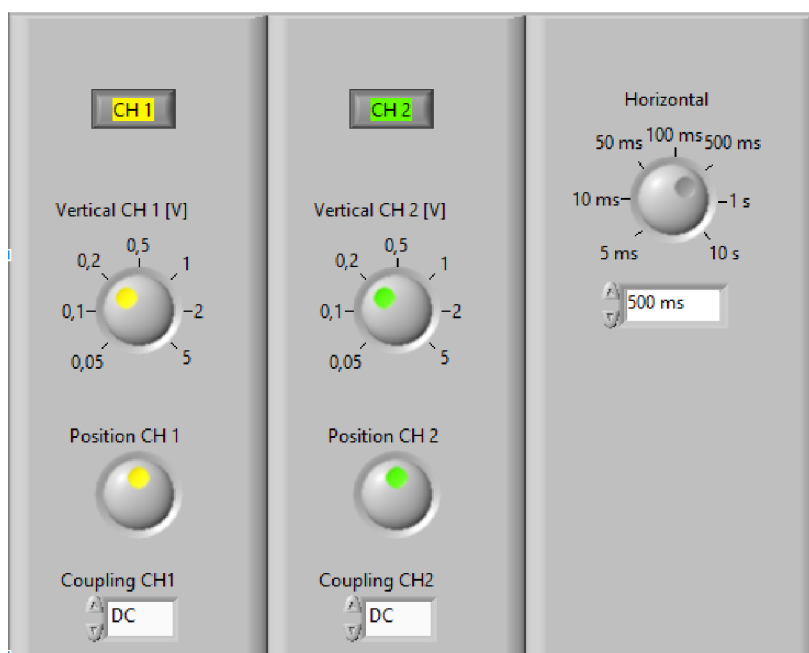
a), b), c), d) V záložce *Function generator* postupně nastavujte zadané signály. Vyberte typ signálu (sine, square, triangle, sawtooth nebo pulse), nastavte amplitudu signálu, frekvenci, fázi a offset. U obdélníkového signálu je také možné nastavit střidu. U pulzního signálu je možné nastavit šířku pulzu, zpoždění a počet pulzů. K signálu je možné na virtuálním funkčním generátoru zapnout přidání šumu.



Obrázek 3 Čelní panel virtuálního funkčního generátoru a možnosti nastavení parametrů signálu

Dále je možné upravit nastavení vertikálního a horizontálního rozlišení kanálu. Pro nastavení vertikálních rozlišení dvou kanálů osciloskopu slouží barevně odlišené otočné voliče *Vertical*, nastavení rozlišení horizontální osy je společně pomocí tlačítka *Horizontal*.

Pomocí tlačítek *CH 1* a *CH 2* je možné daný kanál vypnout nebo zapnout, vertikální posun kanálů je umožněn pomocí otočného voliče *Position*. Každý kanál má také nastavení vazby, pro první úkol ponechte nastavení na *DC*. Nastavení triggeru ponechte v inicializační hodnotě – mód *Normal*, náběžná hrana.



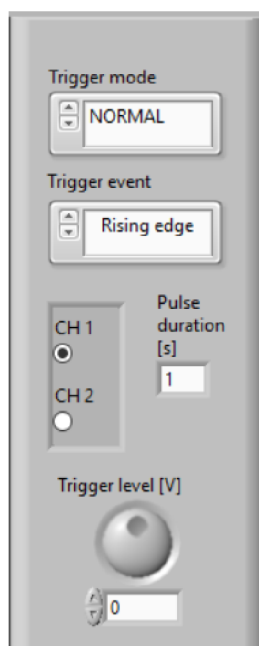
Obrázek 4 Čelní panel virtuálního osciloskopu a nastavení vertikálního a horizontálního rozlišení kanálu

## Úkol 2

a) Na funkčním generátoru nastavte zadaný signál obdobně jako u úkolu 1. Čelní panel nastavení triggeru je zobrazen na následujícím obrázku.

Nastavte parametry *Trigger mode*, *Trigger level* a *Trigger event* podle zadání, vyberte požadovaný kanál pro triggerování a zakreslete výsledky. Okamžik spouštění je na displeji virtuálního osciloskopu v čase 0 s.

Při překročení maximální vhodné úrovně *Trigger level* se zobrazí chybové hlášení a toto upozornění je nutné odkliknout a úroveň zvolit v rozsahu amplitudy signálu.



Obrázek 5 Čelní panel virtuálního osciloskopu a nastavení triggeru

b) Na funkčním generátoru nastavte zadaný signál. Nastavte parametry *Trigger mode*, *Trigger level* a *Trigger event* podle zadání, vyberte požadovaný kanál pro triggerování, nezapomeňte nastavit požadované šířky pulzu a okomentujte výsledky.

c) Upravte parametr *Trigger mode* a nastavte požadovanou šířku pulzu. Okomentujte výsledky a srovnajte je s bodem b).

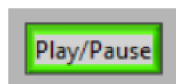
### Úkol 3

a) Na funkčním generátoru nastavte zadaný signál, tentokrát i s offsetem. Na osciloskopu zvolte zadanou úroveň triggeru a nastavte vazbu vstupu příslušného kanálu pomocí menu *Coupling*, okomentujte výsledky.

### Úkol 4

a) Na funkčním generátoru vypněte výstup a nastavte zadaný pulzní signál. Na osciloskopu zvolte triggerovací mód *Single* a nastavte vhodnou úroveň náběžné hrany. Zapněte výstup generátoru (*Output*), osciloskop zobrazí zachycený jednorázový děj.

Opět vypněte výstup generátoru a spusťte virtuální osciloskop stisknutím tlačítka *Play/Pause*. Triggerovací mód osciloskopu je nyní automaticky přepnut na *Normal*, je tedy možné pozorovat, že trigger v tomto módu již nedokáže pulz po stisknutí *Output* správně zachytit a na obrazovku se vypíše upozornění pro uživatele.



Obrázek 6 Tlačítko Play/Pause při zastavení zčervená

Práce s virtuálním osciloskopem se ukončí pomocí tlačítka *Stop*. Zobrazené signály je možné uložit v podobě snímku grafu do automaticky vytvářené složky *Oscilloscope\_screenshots* v adresáři aplikace pomocí tlačítka *Save*.



## A.2 Laboratorní úloha 2 – Měření pomocí osciloskopu

V této laboratorní úloze se předpokládá základní znalost ovládání osciloskopu a generátoru. Úkoly se zaměřují především na měřicí funkce a na analýzu signálů pomocí virtuálního osciloskopu. Pokud je to vhodné, studenti by měli zaznamenat výsledky do přehledných tabulek.

### Úkoly

1. Na virtuálním generátoru nastavte generování dvou signálů s těmito parametry:
  - a) sinusový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$  a obdélníkový signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 1 \text{ Hz}$  s offsetem 1 V a zkontrolujte parametry signálů pomocí dílků osciloskopu.
2. Seznamte se s ovládáním kurzorů a s funkcí automatického měření.
  - a) Změřte pomocí kurzorů hodnoty minima a maxima signálů zadaných v úkolu 1a), mezivrcholovou hodnotu signálu, periodu (a z ní vypočtenou frekvenci) signálu a porovnejte tyto hodnoty s automatickými měřicími funkcemi. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky.
  - b) Na základě teoretického vztahu vypočtete efektivní hodnoty a střední hodnoty obou signálů. Tyto hodnoty zaznamenejte a porovnejte s automatickými měřicími funkcemi.
  - c) Naměřená a vypočtená data z bodu b) zapište do přehledné tabulky. Vypočtete absolutní a relativní chyby měření střední a efektivní hodnoty obou signálů, pokud teoreticky vypočtené hodnoty považujete za konvenčně pravou hodnotu.
3. Naučte se pracovat s XY režimem osciloskopu, využijte Lissajousovy obrazce k stanovení fázového rozdílu mezi signály a poměru frekvencí signálů.
  - a) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní sinusové signály s následujícími parametry: Signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 1 \text{ Hz}$  s fázovým rozdílem  $90^\circ$ . Přepněte se na osciloskopu do režimu XY. Zakreslete výsledný obrazec a pokuste se z něj určit fázový rozdíl mezi signály. Okomentujte.
  - b) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní sinusové signály s následujícími parametry: Signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , signál  $U_{pp2} = 2 \text{ V}$ ,  $f_2 = 2 \text{ Hz}$ . Z režimu XY nakreslete výsledný obrazec a pokuste se z něj určit poměr kmitočtů signálu. Okomentujte.
  - c) Vyzkoušejte další libovolný poměr kmitočtů a fázových rozdílů, případně i amplitud a výsledek i s nastavenými parametry zakreslete a okomentujte.
4. Matematické funkce
  - a) Na virtuálním generátoru nastavte dva výstupní signály s následujícími parametry: Obdélníkový signál  $U_{pp1} = 2 \text{ V}$ ,  $f_1 = 1 \text{ Hz}$ , střída 50 % a offset 1 V, sinusový signál  $U_{pp2} = 1 \text{ V}$ ,  $f_2 = 10 \text{ Hz}$

b) Zapněte funkci MATH a zakreslete výsledky pro operace se signály: sčítání, odečítání a násobení.

5. Vyzkoušejte funkci FFT.

a) Ponechte nastavení generátoru z předchozího úkolu, přepněte do FFT režimu a vhodně upravte nastavení rozlišení kanálu. Zakreslete a okomentujte zobrazená spektra. U obdélníkového signálu změňte střídu na 20 % a 80 % a okomentujte změnu tvaru spektra.

## Teoretický úvod

Tato laboratorní úloha je určena pro virtuální osciloskop vytvořený pro použití při distanční výuce nebo pro domácí přípravu, teoretický úvod shrnuje základní přehled, který je pro úlohu nutné znát.

### Měření na osciloskopu

Osciloskopy disponují celou řadou měřicích funkcí, jako je měření mezivrcholové hodnoty napětí, amplitudy, efektivní (RMS = Root Mean Square) nebo střední hodnoty (Mean) signálu či rozdílů mezi horizontálními nebo vertikálními kurzory. Osciloskopy měří také frekvenci a periodu signálu nebo například detekují šířku pulzu.

Střední hodnotu  $s(t)_{Mean}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  lze vypočítat podle následujícího vzorce:

$$s(t)_{Mean} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt, \quad (1)$$

Efektivní hodnotu  $s(t)_{RMS}$  periody  $T$  signálu  $s(t)$  v čase  $t$  je možné vypočítat následující rovnicí:

$$s(t)_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt}, \quad (2)$$

### Lissajousovy obrazce

Osciloskop se nejčastěji využívá pro pozorování časových průběhů měřených signálů a pracuje tak v časové oblasti. Toto ale není jediný režim činnosti přístroje, může totiž být zapnut i tzv. X/Y režim. V tomto zobrazovacím módu je signál přivedený na vertikální vstup osciloskopu zobrazen jako funkce druhého signálu.

Výsledkem tohoto režimu jsou Lissajousovy obrazce, což jsou křivky v rovině vzniklé funkční závislostí dvou signálů. Pomocí Lissajousových obrazců je možné detekovat poměr úhlových frekvencí a také velikost počáteční fáze signálu.

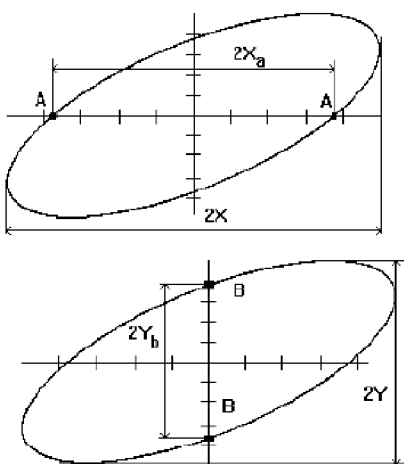
Lissajousův obrazec vzniklý ze dvou signálů lze použít ke stanovení poměru frekvencí těchto signálů, kdy přes vzniklý obrazec vedeme pomyslnou horizontální přímkou a vertikální přímkou, které neprocházejí vlastními průsečíky samotného obrazce.

Uuríme počet  $n_h$  bodů a počet  $n_v$  bodů, ve kterých tyto přímky protínají obrazec. Poměr úhlových frekvencí je pak vypočten následujícím způsobem:

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_h}{n_v}, \quad (3)$$

Lissajousovy obrazce je možné využít i v určení fázového rozdílu mezi harmonickými signály. Z rozměrů obrazce, jak je vidět na následujícím obrázku se určí  $X_a$ ,  $Y_b$ , a  $X$ ,  $Y$ . Fázový rozdíl signálů lze stanovit následujícím vztahem:

$$\varphi = \arcsin \frac{X_a}{X} = \arcsin \frac{Y_b}{Y} \quad [^\circ], \quad (4)$$

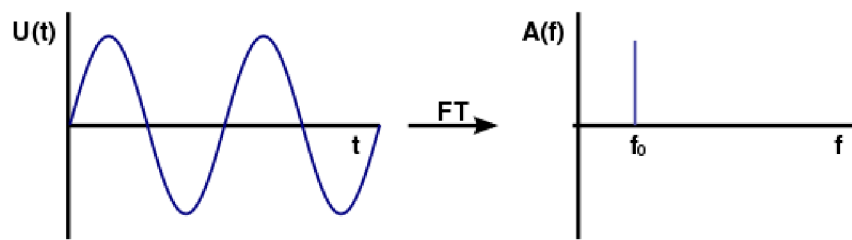


Obrázek 1 Stanovení fázového rozdílu pomocí Lissajousových obrazců

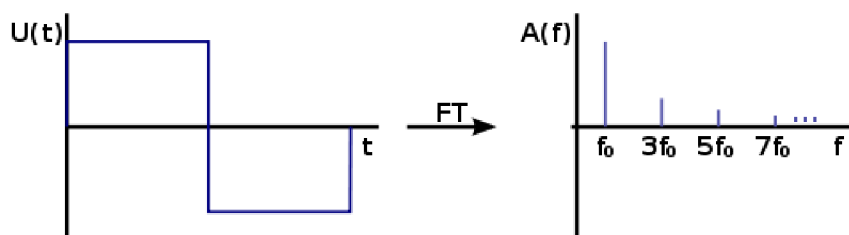
## Matematické funkce

Mezi další možnosti osciloskopů patří matematické funkce (tlačítko Math), kdy uživatel může provádět matematické operace se signály dvou kanálů, jako je násobení, sčítání, odečítání signálů.

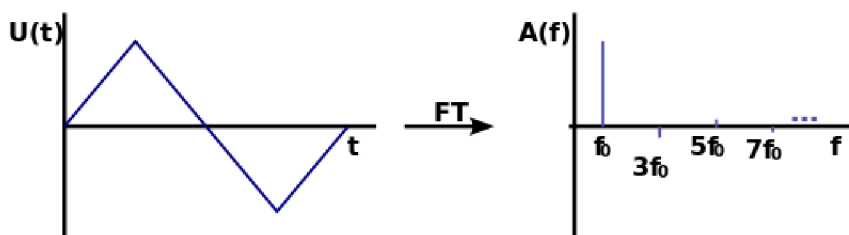
Některé osciloskopy nabízí i funkci FFT (Fast Fourier Transform) neboli rychlé Fourierovy transformace pro zobrazení spektra signálu a určení frekvenčních složek signálu. Například obdélníkový signál se skládá z lichých harmonických složek signálu, které jsou násobky základního kmitočtu. Na následujících obrázcích je možné vidět ukázky spekter některých charakteristických signálů.



Obrázek 2 Amplitudové spektrum sinusového signálu



Obrázek 3 Amplitudové spektrum obdélníkového signálu se střídou 50 %



Obrázek 4 Amplitudové spektrum trojúhelníkového signálu

## Postup měření

V této kapitole je popsán podrobný postup měření a návod k vypracování laboratorní úlohy s virtuálním funkčním generátorem a virtuálním osciloskopem.

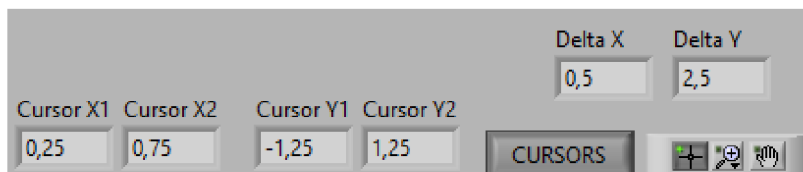
### Úkol 1

a) Na funkčním generátoru nastavte zadané signály a zobrazte je na virtuálním osciloskopu.

### Úkol 2

a) Pomocí kurzorů změřte parametry zobrazovaných signálů. Kurzory se zapínají pomocí tlačítka *Cursors* umístěného nad grafem osciloskopu společně s hodnotami kurzorů

a jejich rozdíly pro horizontální i vertikální osy, jak je možné vidět na následujícím obrázku. Srovnajte tyto hodnoty s údaji z automatických měřících funkcí (*Meas functions*) v přehledné tabulce.



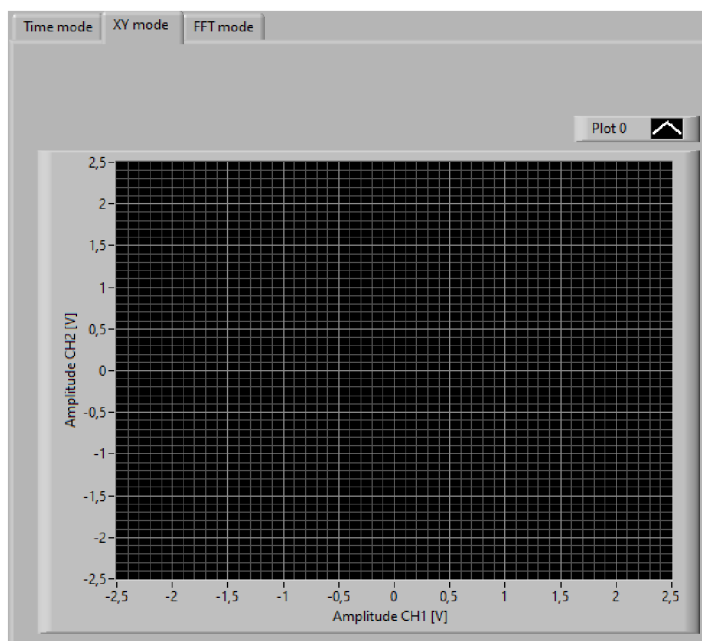
Obrázek 5 Čelní panel virtuálního osciloskopu a oddíl pro práci s kurzory

b) Pomocí vztahů z teoretického úvodu vypočtete efektivní a střední hodnoty obou signálů a společně s hodnotami získanými z automatických měřících funkcí je zaznamenejte do přehledné tabulky.

c) Srovnajte a zhodnoťte dosažené výsledky v tabulce. Vypočtete absolutní a relativní chyby měření střední a efektivní hodnoty signálu s pomocí hodnot získaných z automatických měřících funkcí.

### Úkol 3

a) Na funkčním generátoru nastavte zadané signály a zobrazte je na virtuálním osciloskopu se stejnými rozsahy vertikálních os. Pro přepnutí do XY režimu osciloskopu zvolte příslušnou záložku v horní části virtuálního osciloskopu.



Obrázek 6 Záložka pro XY režim na čelním panelu virtuálního osciloskopu

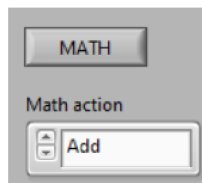
Pomocí vztahů z teoretického úvodu stanovte fázový rozdíl mezi signály.

b) Na funkčním generátoru nastavte zadané signály a zobrazte je na virtuálním osciloskopu. Pomocí vztahů z teoretického úvodu stanovte poměr kmitočtů vstupních signálů.

c) Vyzkoušejte další varianty poměru kmitočtů a fázových rozdílů signálů.

#### Úkol 4

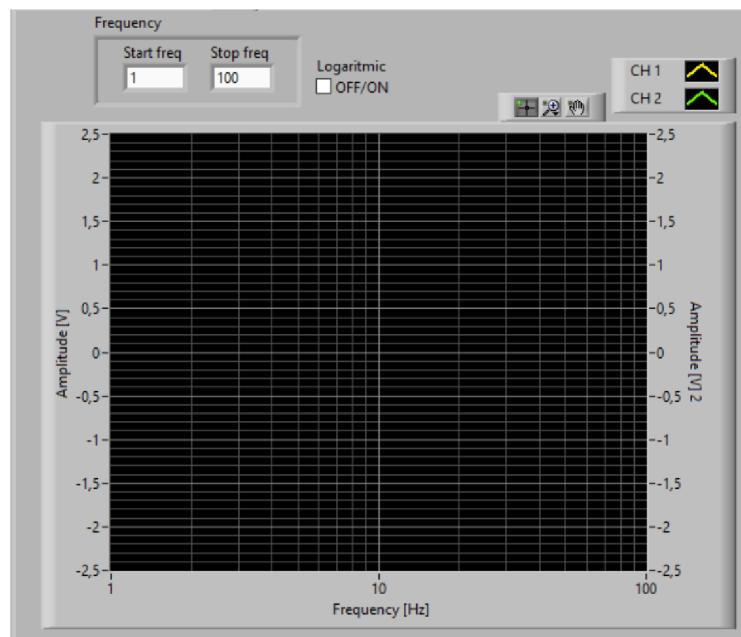
a) Na funkčním generátoru nastavte zadané signály a zobrazte je na virtuálním osciloskopu. Zapněte funkci Math pomocí stejnojmenného tlačítka a postupně volte požadované operace se signály z menu, které je možné vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 7 Čelní panel virtuálního osciloskopu a oddíl pro matematické operace se signály

#### Úkol 5

a) Na funkčním generátoru nastavte zadané signály a zobrazte je na virtuálním osciloskopu. Pro přepnutí do FFT režimu osciloskopu zvolte příslušnou záložku v horní části virtuálního osciloskopu. Pro nastavení počáteční a koncové frekvence je možné využít kolonky *Start freq* a *Stop freq*. Pro změnu vertikálního rozlišení kanálu použijte příslušné otočné voliče.



Obrázek 8 Záložka pro FFT režim na čelním panelu virtuálního osciloskopu

Práce s virtuálním osciloskopem se ukončí pomocí tlačítka *Stop*. Zobrazené signály je možné uložit v podobě snímku grafu do automaticky vytvářené složky *Oscilloscope\_screenshots* v adresáři aplikace pomocí tlačítka *Save*.

# Příloha B - Čelní panel virtuální laboratoře

**Function generator**

**Signal 1**

- Type: Square
- Amplitude [V] (Peak-to-Peak): 2
- Frequency [Hz]: 10
- Phase [°]: 0
- Offset [V]: 0
- Duty [%]: 50
- Noise: [Off]

**Signal 2**

- Type: Sine
- Amplitude [V] (Peak-to-Peak): 1
- Frequency [Hz]: 20
- Phase [°]: 0
- Offset [V]: 0
- Noise: [Off]

**Oscilloscope**

Time mode:  Time mode  XY mode  FFT mode

MATH:  MATH action

Cursor X1: 1.25, Cursor X2: 1.25, Cursor Y1: 0.75, Cursor Y2: 0.25

Delta X: -2.5, Delta Y: 0.5

CH1:  CH2:  MATH:

**Horizontal**

50 ms, 100 ms, 500 ms, 10 ms, 5 ms, 100 ns

Trigger mode:  Trigger event:  Pulse duration [s]: 1

CH1:  CH2:  Trigger level [V]: 0

**Vertical CH1 [V]**

0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5

Position CH1: [Knob] Coupling CH1:

**Vertical CH2 [V]**

0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5

Position CH2: [Knob] Coupling CH2:

**Amplitude CH1 [V]**

**Amplitude CH2 [V]**

**Meas functions - CH1**

Peak-Peak [V]	2.01	Amplitude [V]	1.01	Min [V]	-1.01	Max [V]	1.01	Period [s]	0.1	Frequency [Hz]	10	RMS [V]	0.999	Mean [V]	8.83E-5
---------------	------	---------------	------	---------	-------	---------	------	------------	-----	----------------	----	---------	-------	----------	---------

**Meas functions - CH2**

Peak-Peak [V]	1	Amplitude [V]	0.502	Min [V]	-0.502	Max [V]	0.502	Period [s]	0.05	Frequency [Hz]	20	RMS [V]	0.354	Mean [V]	-5.59E-6
---------------	---	---------------	-------	---------	--------	---------	-------	------------	------	----------------	----	---------	-------	----------	----------

**OUTPUT**

**Play/Pause** **Save** **Step**



## **Příloha C - Přiložené DVD**

Přiložené DVD obsahuje text práce v elektronické podobě a také zdrojový kód programu virtuální laboratoře s generátorem a osciloskopem ve verzi LabVIEW 21.0.