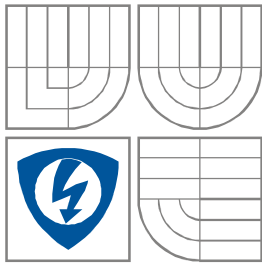


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM PRO MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ IMPULZNÍCH ZKOUŠEK

MEASURING SYSTEM FOR PULSE TESTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ BRÝDL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV KLUSÁČEK, PhD.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

## Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Ondřej Brydl  
**Ročník:** 2

**ID:** 115157  
**Akademický rok:** 2012/2013

### NÁZEV TÉMATU:

**Automatizovaný systém pro měření a vyhodnocení impulzních zkoušek**

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vypracujte návrh automatizovaného měřicího a vyhodnocovacího systému pro měření impulzních zkoušek v technické laboratoři ABB PPMV Brno. Měření bude prováděno pomocí USB měřicí karty a výpočetní techniky. Ovládání měřicího systému a vyhodnocení měření je předpokládáno pomocí programového prostředí LabVIEW. Vytvořte rozbor jednotlivých komponent a určete přesnost a nejistotu měření navrženého měřicího a vyhodnocovacího systému. Přesnost vyhodnocení navrženého systému bude porovnána s kalibrovaným profesionálním měřicím systémem TR-AS 25-8 od firmy DR. STRAUSS. Dbejte pokynů vedoucího a konzultantů práce.

Práce bude realizována ve spolupráci s firmou ABB s.r.o., PPMV Brno.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Vlach, J., Havlíček, J., Vlach, M. Začínáme s LabVIEW, BEN-technická literatura, Praha. 2008  
Dle doporučení konzultantů a vedoucího práce.

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 20.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. Stanislav Klusáček, Ph.D.

**Konzultant diplomové práce:** Ing. Vladimír Tauš - ABB s.r.o., PPMV Brno,  
Technická laboratoř

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### 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**

V práci je rozebrána metodika zkoušek impulzního napětí, nejprve je popsána teoretická část a odborné pojmy. Následně jsou popsány nejistoty vznikající při měření a jeho vyhodnocení. Jelikož klíčovým měřeným objektem bude rozvaděč vysokého napětí UniGear ZS1, jsou popsány jeho části. Je probráno vlastní měření, jeho průběh a schéma zapojení. V dalším pokračování práce je provedeno zkušební měření pomocí systému Dr. Strauss a digitálního osciloskopu. Je vybrán měřicí osciloskop který parametry vyhovuje tomuto řešení. Na základě těchto naměřených dat je vytvořena aplikace vhodná pro toto měření v programu LabVIEW12, její následné vyzkoušení a odladění v technické laboratoři ABB.

## **Klíčová slova**

Impulzní zkouška, LabVIEW, Atmosférický impulz, Doba půltýlu, Doba čela

## **Abstract**

In this paper is discussed impulse testing at high voltage switchgear. It focused on practical methodics of measuring, theoretical knowledge and technical terms. Further is discussed a parts of switchgear UniGear ZS1, which is most often equipment to measure. It also dealing with own measurements, process of measuring and wiring diagram. As next step, is perform trial testing with Dr Strauss system and digital osciloscope. Based on trial test, it choose digital scope and create application in in the program LabVIEW12 and debugging workstation at technical laboratory in ABB.

## **Keywords**

Impulse test, LabVIEW, Lightning impulse, Time to half – value, Face time

### **Bibliografická citace:**

BRÝDL, O. *Automatizovaný systém pro měření a vyhodnocení impulzních zkoušek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 56 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Stanislav Klusáček, PhD.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Automatizovaný systém pro měření a vyhodnocení impulzních zkoušek jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: **20. května 2013**

.....  
podpis autora

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Klusáčkovi, PhD. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantům Ing. Vladimíru Taušovi a Ing. Zdeňku Otríšalovi z technické laboratoře ABB s.r.o. PPMV Brno za jejich odborné rady a dobrou spolupráci.

V Brně dne: **20. května 2013**

.....  
podpis autora

# Obsah

Úvod.....	8
1 Teorie impulzních zkoušek.....	9
1.1 Definice základních pojmů .....	9
1.2 Zkušební napětí .....	10
1.3 Zkušební postupy .....	12
1.4 Jmenovité izolační hladiny.....	14
1.5 Nejistoty měření atmosférického impulsu .....	15
2 Rozvaděč napětí UNigear zs1 .....	16
2.1.1 Oddíl přípojníc.....	16
2.1.2 Kanál výfuku.....	16
3 Průběh impulzní zkoušky.....	18
3.1.1 Základní zapojení.....	18
3.1.2 Průběh měření .....	18
4 zkušební měření .....	20
4.1 Zkušební měření Dr.Strauss, Typ TRAS 25-8.....	20
4.1.1 Výpočet nejistot měření systému Dr. Strauss .....	22
4.2 Zkušební měření pomocí osciloskopu Tetronix.....	24
4.3 Srovnání zkušebního měření a výstupní protokol.....	27
5 Návrh měřicího zařízení.....	29
6 Úvod do LabVIEW .....	31
6.1 Základní části virtuálního přístroje .....	31
6.1.1 Čelní panel .....	31
6.1.2 Blokové schéma.....	32
7 Realizované řešení .....	34
7.1 Schéma zapojení.....	34
7.1.1 Návrh vhodného děliče .....	35
7.2 Programové řešení.....	36
7.2.1 Inicializační část .....	37
7.2.2 Měřicí část.....	38
7.2.3 Vyhodnocovací část.....	39
8 Zkušební měření .....	42
8.1 Naměřené hodnoty .....	42
8.2 Protokol o měření.....	46
8.3 Výpočet nejistot měření .....	47
8.4 Srovnání naměřených hodnot.....	50
9 Závěr .....	51
Literatura.....	53
Seznam obrázků.....	54
Seznam příloh .....	55
Příloha 1. Seznam použitých přístrojů.....	56

# ÚVOD

Tato práce pojednává o měření impulzních zkoušek na zařízeních, konkrétně na rozvaděčích vysokého napětí ve firmě ABB. Vysvětluje teorie měření, pojmy které je nutné znát. Pro správné pochopení měřicí úlohy je popsán rozvaděč UniGear ZS1, což bude měřené zařízení. Cílem této práce je navrhnout měřicí zařízení, které bude vyhovovat podmínkám v laboratoři ABB. Toto měřicí zařízení bude následně posílat data do aplikace v programu LabWiev12, kde probíhá vyhodnocení doby odezvy na atmosférický impulz. Testuje se, zda byla zkouška úspěšná nebo došlo k průraznému výboji. Podle teorie měření impulzních zkoušek se každá část testuje minimálně 30-ti testovacími pulzy. Pokud dva po sobě jdoucí testy způsobí průrazný výboj, je zkoušený přístroj označen za nevyhovující. Zkouška jednoho rozvaděče trvá přibližně 8 hodin, což je čas, který není možno podle stávajících norem zkrátit. Tento čas je způsoben velkým počtem testovacích impulzů (30) a také značným množstvím různých měřicích zapojení. Nejdelší prodleva však vzniká z důvodu vysokého zkušebního napětí. Pokud je do rozvaděče vybíjen impulz o velikosti až 200 kV, dochází k ionizaci okolního prostředí, které tím přechodně ztrácí svojí izolační schopnost. Po každém impulzu je tedy nutné počkat na obnovení izolačních vlastností, tato doba byla stanovena na 40 vteřin od posledního impulzu. Jak již bylo řečeno navrhované vyhodnocení bude probíhat v aplikaci vytvořené v LabVIEW12. Toto vyhodnocení je prováděno na základě předem dané odezvy atmosférického impulzu. Pokud změřený impulz má odlišné časové parametry než udávají normy v rámci rozsahu možných zkreslení, je prohlášen za výboj průrazný a zkouška nebude uznána jako splněná.

Tímto způsobem vzniklo zařízení schopné samostatně vyhodnocovat impulzní zkoušku rozvaděče vysokého napětí. V současné době v laboratoři funguje systém od firmy Dr.Strauss system-elektronik. Ovšem v případě poruchy tohoto zařízení by byl znemožněn testovací provoz, což je v průmyslové výrobě velký problém. Zařízení vytvořené v rámci diplomové práce tedy slouží jako záložní systém v případě potřeby. Z toho důvodu je požadovaná přesnost na vytvářený systém přibližně stejná, jaké dosahuje v současnosti používaný systém.

# 1 TEORIE IMPULZNÍCH ZKOUŠEK

Nejprve je potřebné definovat si základní pojmy, pro porozumění měření impulzních zkoušek na rozvaděčích vysokého napětí. Pojmy uvedené v kapitole 1.1 jsou dané normou ČSN EN 60060-1 [3].

## 1.1 Definice základních pojmů

### **Impulzní napětí**

Záměrně aplikované aperiodické přechodné napětí, které obvykle rychle narůstá do vrcholové hodnoty a potom klesá pomalu k nule.

### **Atmosférické impulzní napětí**

Záměrně aplikované aperiodické přechodné napětí s dobou čela kratší než 20  $\mu$ s, které obvykle rychle narůstá do vrcholové hodnoty a potom klesá pomalu k nule.

### **Plné atmosférické impulzní napětí**

Atmosférické impulzní napětí, které není přerušeno průrazným výbojem.

### **Krajní hodnota $U_e$**

Maximální hodnota základní křivky.

### **Doba čela $T_1$**

Zdánlivý parametr definovaný jako 1/0,6 násobek intervalu T mezi okamžiky, při kterých impulz dosáhne 30 % a 90 % vrcholové hodnoty křivky zkušebního napětí.

### **Zdánlivý počátek $O_1$**

Okamžik předcházející odpovídajícímu bodu A křivky zkušebního napětí o 0,3  $T_1$

### **Doba půltýlu $T_2$**

Zdánlivý parametr definovaný jako časový interval mezi zdánlivým počátkem  $O_1$  a okamžikem, kdy křivka zkušebního napětí klesla na polovinu hodnoty zkušebního napětí.

### **Napětí useknutého atmosférického impulzu**

Napětí atmosférického impulzu, během kterého průrazný výboj způsobí rychlé zhroucení napětí téměř na nulovou hodnotu.

Tyto základní pojmy definují tvar především velikost a charakteristiku odezvy na impulzní napětí. Dále je potřeba definovat konkrétní dobu  $T_1$ ,  $T_2$  a definice průrazného výboje, tedy stavu, kdy zařízení přestane splňovat požadavky dané normou ČSN EN 60060-1 [3].

## 1.2 Zkušební napětí

Norma ČSN EN 60060-1 [3] dále specifikuje velikost, přesnost a tvar zkušebního napětí. Následující pojmy jsou vyňaty z ČSN EN 60060-1 [3], jelikož se týkají měření atmosférických pulzů.

### Generování zkušebního napětí

Impulz je vytvářen impulzním generátorem, který je v podstatě tvořen určitým počtem kondenzátorů, které jsou paralelně nabíjeny ze zdroje stejnosměrného napětí a potom v sériovém zapojení vybíjeny do obvodu zahrnujícího zkoušený objekt.

### Normalizovaný zkušební impulz napětí

Normalizovaný atmosférický impulz napětí je plný atmosférický impulz napětí, který má dobu čela 1,2  $\mu$ s a dobu půltýlu 50  $\mu$ s, je popsán jako impulz 1,2/50.

### Tolerance

Za správně provedenou zkoušku se považují následující rozdíly mezi stanovenými hodnotami pro normalizovaný impulz:

- Hodnota zkušebního napětí:  $\pm 3\%$
- Doba čela:  $\pm 30\%$
- Doba půltýlu:  $\pm 20\%$

Relativní velikost překmitu normalizovaného impulzu nesmí překročit 10 %.

### Normalizovaný useknutý atmosférický impulz napětí

Je normalizovaný impulz useknutý vnějším jiskřištěm po 2  $\mu$ s až 5  $\mu$ s. Doba trvání zhroucení napětí by měla být mnohem rychlejší, než doba čela impulzu.

Při vzniku useknutého atmosférického impulzu dochází k průraznému výboji přes samočinně se obnovující izolaci zařízení. To je vyhodnocováno především z délky doby  $T_2$ , které nebude v toleranci  $\pm 20\%$  z hodnoty 50  $\mu$ s, ale bude podstatně kratší jak je uvedeno v definici useknutého impulzu.

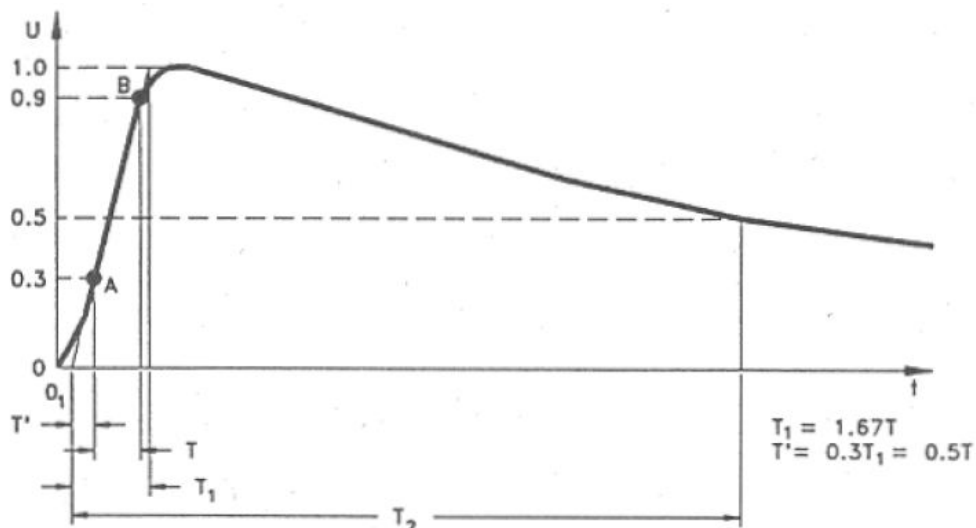
### Měření zkušebního napětí a určování tvaru impulzu

Měření hodnoty zkušebního napětí, časových parametrů a překmitu nebo oscilace zkušebního napětí musí být prováděny schválenými měřicími systémy (podle IEC 60060-2 [4]). Měření se musí provádět se zkoušeným objektem v obvodu, obecně se musí tvar impulzu kontrolovat u každého zkoušeného objektu. V případě, že se několik zkoušených objektů stejné konstrukce a velikosti zkouší za stejných podmínek, tvar se ověřuje jen jednou. Pro useknutý atmosférický impulz může zhroucení nastat v čele, vrcholu nebo týlu. Pro atmosférické impulzy napětí useknuté v čele je zaznamenána křivka křivkou zkušebního napětí. Impulzy useknuté v týle jsou považovány za plné lny

pro vyhodnocení zkušební napětí a doby čela, která může být určena ze sníženého napětového impulzu (například  $\leq 50\%$ ), které nezpůsobuje useknutí.

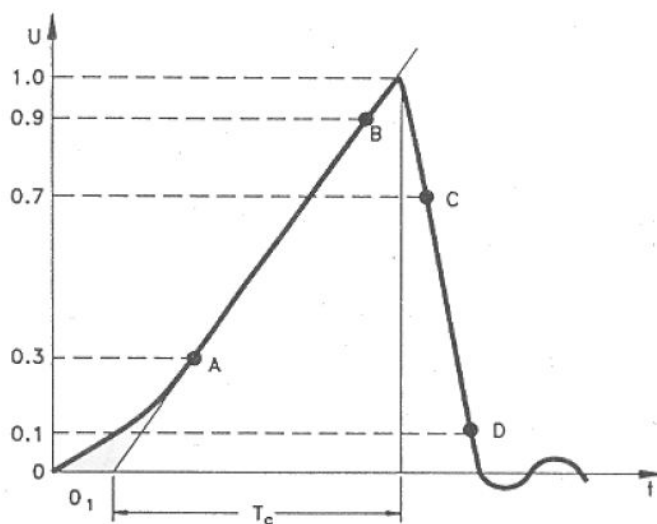
Useknutí může nastat na vnějším usekávacím jiskřišti nebo v důsledku průrazného výboje vnitřní nebo vnější izolace zkoušeného objektu.

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny možné průběhy atmosférického impulzu :

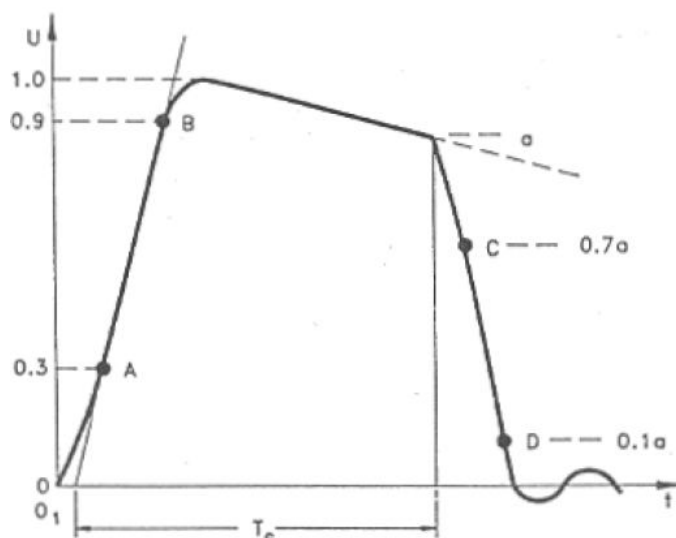


**Obrázek 1: Plný atmosférický impulz [1]**

Plný atmosférický impulz (obrázek 1), je takový impulz, který není přerušen průrazným výbojem.



**Obrázek 2: Atmosférický impulz useknutý ve vrcholu [1]**



**Obrázek 3: Atmosférický impulz useknutý v týlu [1]**

Doba  $T_c$  na obrázku 2 a 3 je časový interval mezi skutečným počátkem a dobou useknutí. Pokud dojde k useknutí atmosférického impulzu, v daném testu došlo k průraznému výboji. Pro kladný výsledek zkoušky jsou důležité především doby  $T_1$  a  $T_2$ .

### 1.3 Zkušební postupy

Při současném zadání jsou pro nás podstatné pouze zkoušky výdržným napětím a jejich metody. Postupy jsou popsány v normě ČSN EN 60060-1 [3].

#### Postup A

Na zkoušený objekt se přikládají tři impulzy určeného tvaru a polarity na hladině stanoveného výdržného napětí. Požadavky zkoušky jsou splněny, nedojde-li k poruše izolace (Tento postup je doporučen pro zkoušky degradovatelné nebo samočinně se neobnovující izolace).

#### Postup B

Na zkoušený objekt se přiloží patnáct impulzů stanoveného tvaru a polarity na hladině stanoveného výdržného napětí. Požadavky zkoušky jsou splněny, nedojde-li k více než dvěma průrazným výbojům v části samočinně se obnovující izolace a není-li detekčními metodami zjištěna porucha samočinně se neobnovující izolace.

### **Postup C**

Na zkoušený objekt se přiloží tři impulzy stanoveného tvaru a polarity na stanovené hladině výdržného napětí. Nedojde-li k průraznému výboji, zkoušený objekt při zkoušce vyhověl. Jestliže dojde k více než jednomu průraznému výboji, objekt při zkoušce nevyhověl. Dojde-li k jednomu průraznému výboji v části samočinně se obnovující izolací, přiloží se dalších devět impulzů a jestliže při nich nedojde k průraznému výboji zkoušený objekt při zkoušce vyhověl.

## 1.4 Jmenovité izolační hladiny

Jmenovitá napětí jednotlivých zařízení se volí podle normalizovaných řad, ty se podle rozsahu napětí dělí na dvě:

Rozsah 1: 3,6 kV – 7,2 kV – 12kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV.

Rozsah 2: 300 kV – 360 kV – 420 kV – 550 kV – 800 kV.

Tyto napěťové rozsahu určuje norma ČSN EN 62271-1 [5].

**Tabulka 1: Jmenovité Izolační hladiny pro jmenovitá napětí řady z [5]**

Jmenovité napětí $U_r$ kV(efektivní)	Jmenovité krátkodobé střídavé výdržné napětí $U_d$ kV (efektivní hodnota)		Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu $U_p$ kV(vrcholová hodnota)	
	Společná hodnota	V odpojovací dráze	Společná hodnota	V odpojovací dráze
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150	175	380	440
	185	210	450	520
123	185	210	450	520
	230	265	550	630
145	230	265	550	630
	275	315	650	750
170	275	315	650	750
	325	375	750	860
245	360	415	850	950
	395	460	950	1050
	460	530	1050	1200

Hodnoty výdržných napětí, uvedené v tabulce 1 platí při normálních klimatických podmínkách (teplota, tlak a vlhkost). V této práci jsou řešeny přístroje jmenovitého napětí pouze ze spodní poloviny rozsahu 1, maximálně zařízení do hodnoty 24 kV včetně, pro rozsah 2 se již zkušební impulzy nacházejí za hranicí 1 MV, což v našich podmínkách nebudeme realizovat.

## 1.5 Nejistoty měření atmosférického impulzu

Jsou definovány normou ČSN EN 60060-1 [3] a všeobecné požadavky jsou:

- Měření vrcholové hodnoty plného impulzu s celkovou nejistotou v rozmezí  $\pm 3\%$
- Měření vrcholové hodnoty kusého impulzu s celkovou nejistotou  $e$ , která je závislá na času do useknutí  $T_c$  následovně: pro useknuté impulzy v čele  $e \leq \pm 5\%$ . Pro impulzy useknuté v týlu  $e \leq \pm 3\%$
- Měření časových parametrů, které definují tvar impulzu s celkovou nejistotou v rozsahu  $\pm 10\%$

### Připojení ke zkoušenému objektu

Převodní zařízení musí být připojeno přímo na svorky zkoušeného předmětu. Převodní zařízení nesmí být připojeno mezi zdroj napětí a zkoušený předmět. Vodič k převodnímu zařízení musí vést pouze proud do měřicího systému. Převodní zařízení by mělo být umístěno tak, aby vazba mezi zkoušeným a měřicím obvodem byla zanedbatelná. Zde je myšlena především vazba kapacitní, která by mohla způsobovat problémy při vazbě na pevnou zem.

## 2 ROZVADĚČ NAPĚTÍ UNIGEAR ZS1

V našem případě je měřeným objektem nejčastěji rozvaděč Unigear ZS1, což je kovový, vzduchem izolovaný rozvaděč vysokého napětí. Bylo nutné seznámit se s tímto rozvaděčem, jeho součástmi a možnými napěťovými rozsahy.

V tabulce 2 je vidět, že tento typ rozvaděčů se vyrábí prakticky pro čtyři napětí, také jsou v ní uvedeny hodnoty jmenovitého výdržného napětí při atmosférickém pulzu, což jsou v podstatě hodnoty, pro které je rozvaděč testován výdržnou zkouškou.

**Tabulka 2: Napěťové rozsahy ZS1 a důležité parametry**

Jmenovité napětí	kV	7,2	12	17,5	24
Jmenovité krátkodobé napětí	kV/1min	20	28	38	50
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém pulzu	kV	60	75	95	125
Jmenovitý kmitočet	Hz	50-60	50-60	50-60	50-60
Jmenovitý proud hlavní přípojnice	A	...4000	...4000	...4000	...2500

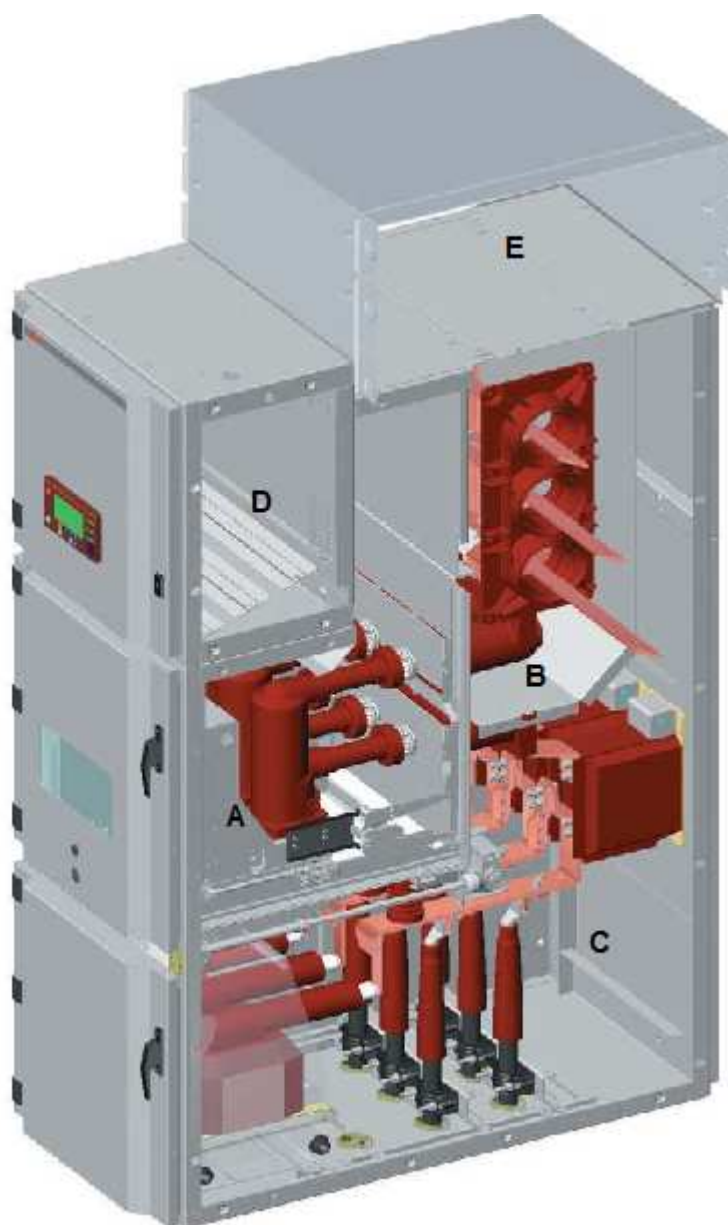
Každá jednotka je rozdělena do tří hlavních silových částí: A – přístrojová, B – přípojnice, C – přívodová. Každá jednotka je navíc vybavena částí D, kde jsou uloženy přístroje a kabeláž, převážně jsou zde jističe, relé a další nízkonapěťové přístroje. Rozvaděče odolné proti vnitřním obloukům jsou obvykle vybaveny kanálem výfuku (E), který slouží k odvedení výfukových plynů při vzniku oblouku. Rozvaděč ZS1 je zobrazen na obrázku 4.

### 2.1.1 Oddíl přípojnic

Obsahuje hlavní přípojnicový systém připojený k horním pevným odpojovacím kontaktům pomocí připojení odboček. Hlavní přípojnice jsou vyrobeny z elektrolytické mědi. Do 2500 A je systém tvořen plochými přípojnicemi, pro proudy mezi 3150 – 4000 A je použit speciální měděný profil. Přípojnice jsou obvykle kryté izolačním materiálem.

### 2.1.2 Kanál výfuku

Kanál pro výfuk plynu je umístěn nad rozvaděčem a probíhá po celé jeho délce. Každý výkonový oddíl je vybaven klapkou na své horní části. Tato se otevírá působením tlaku, který vzniká při poruše, a umožňuje únik plynu do kanálu. Tímto způsobem je rozvaděč částečně ochráněn před masivnější explozí, která by vznikla při nahromadění žhavých plynů vzniklých obloukem. Plyny jsou odvedeny vrchem rozvaděče, kde jsou rázovou vlnou otevírající klapky sepnuty ITH snímače a celý rozvaděč je vypnut.



Obrázek 4: Rozvaděč UniGear ZS1 [6]

## 3 PRŮBĚH IMPULZNÍ ZKOUŠKY

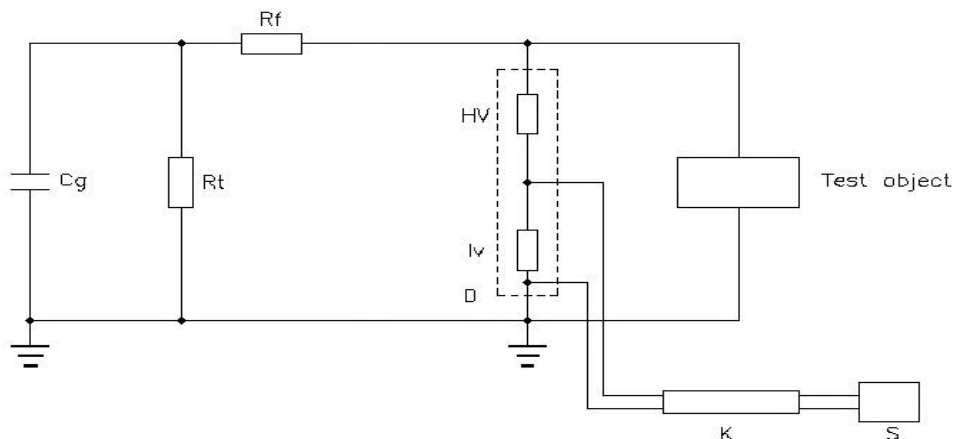
### 3.1.1 Základní zapojení

Průběh zkoušky atmosférickým impulzem je daný normou ČSN EN 60060-1 [3]. Základní schéma měření je na obrázku 5. Za zdrojem střídavého napětí se nachází dioda, která určuje polaritu zkušebního impulzu, která je následně připojena na čtyři paralelně zapojené kondenzátory. Ty jsou dále připojeny na rozvaděč napětí, kde je zapojen měřicí přístroj mezi objekt měření a zem.

### 3.1.2 Průběh měření

Každá zkouška se provádí minimálně 15 kladnými impulzy a 15 zápornými impulzy. Změna polarity impulzu se provede přepojením diody připojené před kondenzátory. Na počátku zkoušky se nabíjejí paralelně zapojené kondenzátory na zkušební napětí. Důvodem pro větší počet kondenzátorů je převážně vysoké napětí, které se pro testování používá. V našem případě je každý kondenzátor nabíjen (v případě rozvaděče jmenovitého napětí 17,5 kV) na přibližně 23 kV. Tyto kondenzátory jsou následně sériově vybíjeny do měřeného objektu a na měřicím přístroji je snímán atmosférický impulz. Podle průběhu atmosférického impulzu, doby náběhu a doby půltýlu vyhodnocujeme zda došlo k průraznému výboji či nikoliv. K průraznému výboji dochází nejčastěji v situaci, kdy je impulz v maximální hodnotě (obrázek 2), nebo při sestupné části atmosférického impulzu (obrázek 3). Před 15-ti zkušebními impulzy jsou na zařízení puštěny tři, postupně se zvětšující impulzy, které jsou nižší než testovací. Je to z důvodu jistého náběhu testovacího napětí. Pokud některý z těchto přípravných výbojů skončí průrazem, do výsledku zkoušky to není započítáváno. Ovšem pokud již rozjezdové impulzy způsobí průrazný výboj, je vysoce pravděpodobné, že i testovací impulzy způsobí průrazné výboje. Po každém atmosférickém impulzu je nutné počkat určitý čas, aby se obnovila izolační schopnost vzduchu, která se snížila ionizací okolního vzduchu při impulzu. Experimentálně bylo v těchto pracovních podmínkách zjištěno, že čas potřebný k obnově izolačních schopností je 40 vteřin. Mezi každým testovacím impulzem je tedy nutné počkat 40 vteřin a poté je možné vpustit do zařízení další impulz.

Tento postup je vždy stejný pro každý měřený okruh. Měřených okruhů je ovšem větší počet, podle obrázku 4 vidíme v oblasti B tři vodiče přípojnic. Měření probíhá postupně jednotlivými fázemi proti zasunutému vypínači v oblasti A. Následně se vypínač vysune a testuje se opět pouze do vypínačového prostoru (vývody jsou nyní zacloněny clonkami). Když je toho provedeno pro všechny tři vodiče přípojnic, přepojí se přívodní vodič na přívodovou část (na obrázku 4 část C). V přívodové části se testují opět tři fáze proti zasunutému vypínači a vypínači v servisu s vývody zacloněnými clonkami.



**Obrázek 5: Blokové schéma měření**

Cg	250 nF
Rt	256 Ω
Rf	43 Ω
D	Vysokonapěťový dělič , Typ SMC 2000/400
HV	Vysokonapěťová kapacita
Lv	Nízkonapěťová kapacita
K	Koaxiální kabel
S	Vyhodnocovací systém Dr. STRAUSS , Typ TRAS 25-8

Na obrázku č.5 je schematicky zobrazený kondenzátor Cg, který je ve skutečném zapojení realizován čtyřmi kondenzátory. Kondenzátory jsou nabíjeny zdrojem konstantního napětí a následně se vybíjí do zařízení, proto je jako zdroj napěťového impulsu znázorněn právě kondenzátor. Vlastní měření se provádí na napěťovém děliči, který je k měřenému objektu připojen paralelně. Ve schématu je tento vysokonapěťový dělič označen D. Vidíme také, že je zde speciálně označen odpor na vstupu jako vysokonapěťová kapacita, jelikož je na něm plné testovací napětí. Výstupní odpor označen jako Lv, označuje nízkonapěťovou kapacitu, ze které se odebírá výstupní atmosférický impuls. Tento kapacitní dělič má udávaný převod vypočtený z kapacity HV, Lv a kapacity měřicího kabelu. Výsledný převod je pak vypočten pomocí vzorce :

$$F_D = \frac{C_{HV} + C_{LV} + C_c}{C_{HV}} = \frac{2,031 + 999,0 + 2,497}{1,928} = 520,105 \quad (1)$$

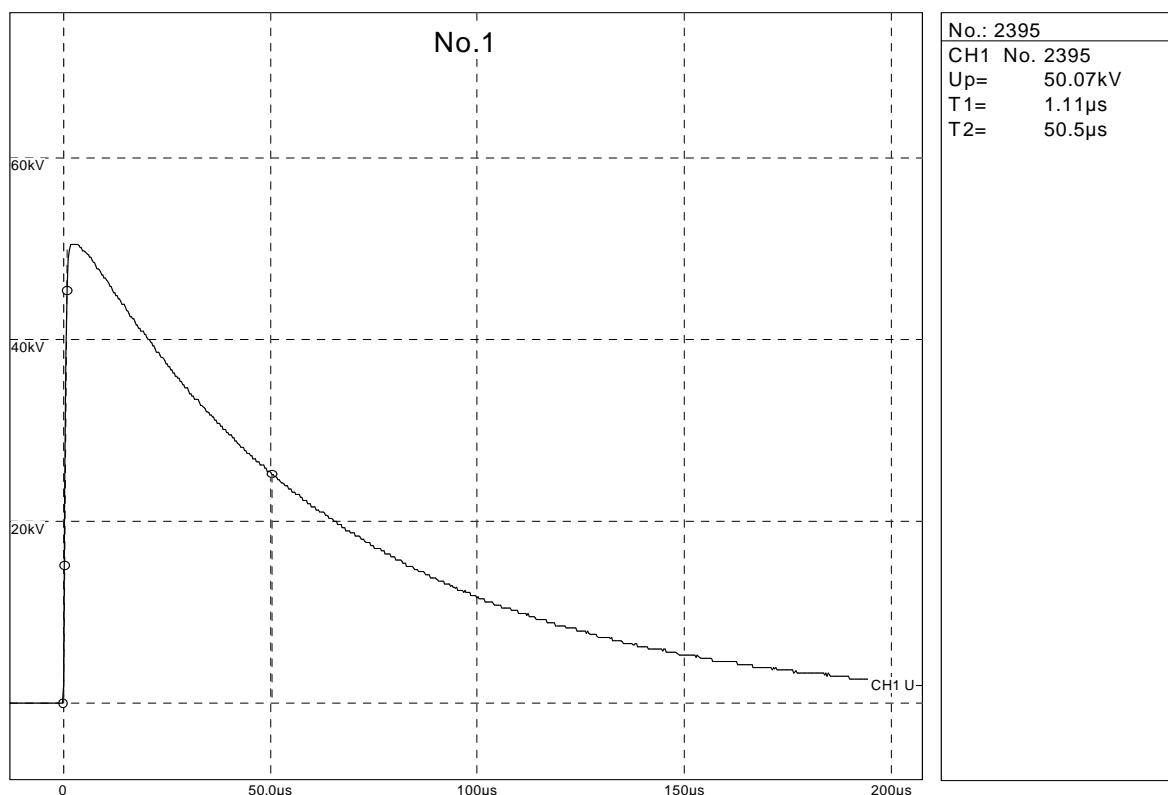
Vyhodnocovací systém od firmy Dr. STRAUSS, typ TRAS 25-8 potom v podstatě měří napětí na výstupu děliče. Systém je připojen pomocí koaxiálního kabelu, aby se zamezilo vstupu okolního rušení a zkreslení měřeného signálu. Na obrazovce vyhodnocovacího systému je potom vidět přesný atmosférický impuls (z obrázku 1) a vyznačenými a změřenými dobami náběhu ( $T_1$ ) a půltýla ( $T_2$ ).

## 4 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ

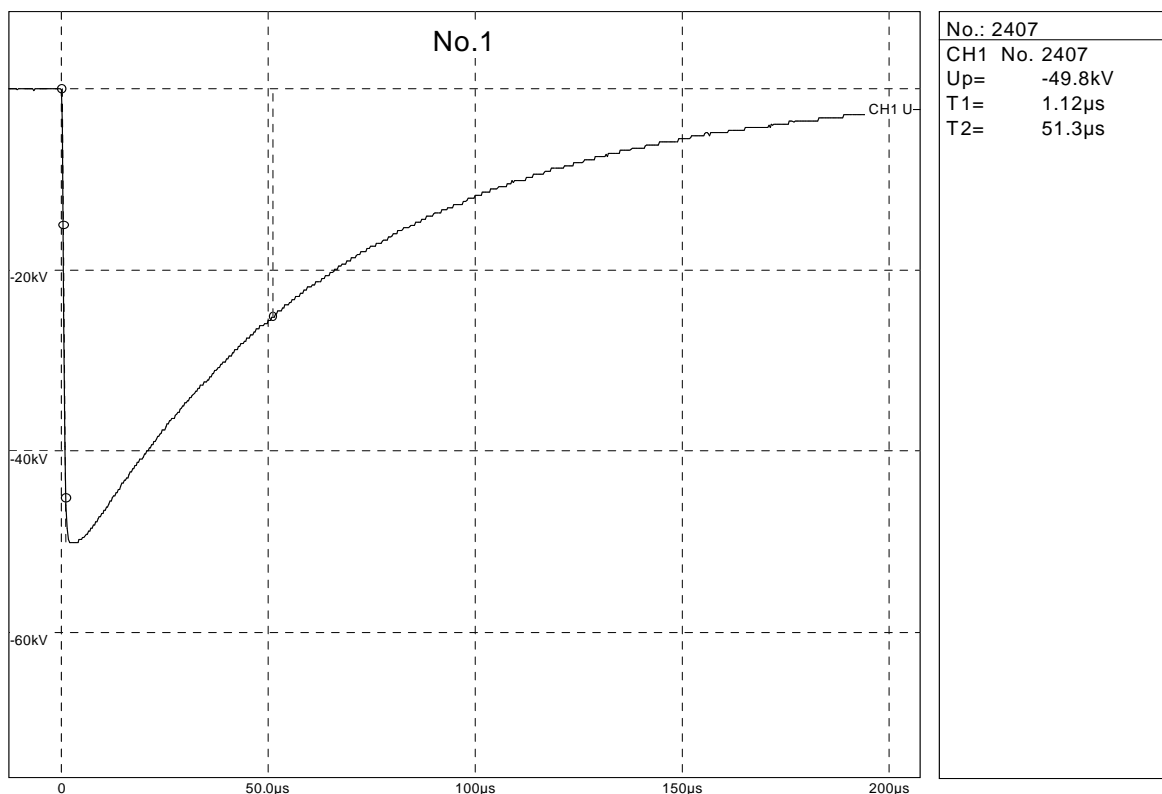
V rámci diplomové práce bylo provedeno testovací měření v laboratoři ABB, jednak z důvodu naměření užitečných dat, a také z důvodu pozorování průběhu zkoušky v praxi. Měření bylo provedeno dvěma postupy, pomocí kvalitního a testovaného měřicího přístroje Dr.Strauss, Typ TRAS 25-8 a pomocí digitálního osciloskopu Tetronix, typ TDS 2024B.

### 4.1 Zkušební měření Dr.Strauss, Typ TRAS 25-8

Tento systém je již výrobcem dodáván společně s měřicí aplikací pro PC. V této aplikaci není možné zjistit konkrétní naměřená data. Tím je myšleno to, že není možné zjistit navzorkovaná data, tedy konkrétní velikost napět'ového výstupu v daném čase. Výstupem aplikace je již výsledný měřicí protokol se všemi změřenými průběhy a jejich vyhodnocení. Jediné možné porovnání kvality je tedy z výsledného grafického průběhu, což je však pro přibližné porovnání systémů dostačující.



Obrázek 6: Výsledný graf kladného impulsu systému Dr.Strauss



**Obrázek 7: Výsledný graf záporného impulzu systému Dr.Strauss**

Na obrázcích 6 a 7 jsou vidět naměřené průběhy při testovacím napětí 50 kV, doba měření je 200  $\mu$ s. Výsledný graf obsahuje velikost doby T1 a T2, jelikož se jedná o normalizovaný impuls, velikost T1 musí být okolo 1,2  $\mu$ s a T2 50  $\mu$ s. Je vidět, že hodnoty jsou přibližně správné a proto se jedná o neprůrazné výboje, tato část zkoušky tedy proběhla úspěšně. U grafu je také zobrazená velikost impulzu s případnou malou odchylkou.

Stejně průběhy, ovšem odpovídající velikosti, by jsme viděli u dalších napěťových hladin. Výsledná zpráva tedy obsahuje všechny tyto grafické impulzy, společně s tabulkou, ve které jsou uvedeny všechny doby čela a půltýlu, poslední údajem jsou klimatická data z doby měření. Na ose y je zobrazené vstupní napětí na děliči, tedy o velikosti napěťového zkušebního impulzu, v tomto případě 50kV.

### 4.1.1 Výpočet nejistot měření systému Dr. Strauss

**Tabulka 3: Naměřené hodnoty a vypočtené nejistoty - kladný pulz 50 kV**

Měření	Doba čela [ $\mu$ s]	Doba půltýlu [ $\mu$ s]
1	1,11	50,5
2	1,11	50,5
3	1,11	50,4
4	1,12	50,5
5	1,12	50,5
6	1,1	50,5
7	1,11	50,5
8	1,11	50,5
9	1,11	50,5
10	1,12	50,5
Nejistota typu A	0,01	0,1
Nejistota typu B	0,03	1,3
Kombinovaná nejistota	0,03	1,3
Rozšířená nejistota	0,06	2,6

**Tabulka 4: Naměřené hodnoty a vypočtené nejistoty - záporný pulz 50 kV**

Měření	Doba čela [ $\mu$ s]	Doba půltýlu [ $\mu$ s]
1	1,12	51,3
2	1,14	50,9
3	1,12	51,3
4	1,14	50,9
5	1,13	50,9
6	1,13	51,2
7	1,12	51,2
8	1,14	50,9
9	1,14	50,9
10	1,13	51,3
Nejistota typu A	0,01	0,2
Nejistota typu B	0,03	1,4
Kombinovaná nejistota	0,03	1,4
Rozšířená nejistota	0,06	2,8

Hodnoty v tabulkách 3 a 4 byly získány při zkušebním měření.

- **Stanovení standardní nejistoty typu A pro měření doby čela**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} (7 * 1,11 + 3 * 1,12 + 1,1) = 1,11 \mu\text{s} \quad (2)$$

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - 1,11)^2} = 0,01 \mu\text{s} \quad (3)$$

- **Stanovení standardní nejistoty typu B pro měření doby čela a půltýlu**

Z kalibračního certifikátu získáme hodnotu 2,64 %, což je stanovená nejistota typu B pro měření doby čela a doby půltýlu. Pro nejistotu  $u_B$  musíme hodnotu vynásobit aritmetickým průměrem z měření.

$$u_{B\check{c}} = \frac{\bar{T}_{\check{c}}}{100} * 2,64 = \frac{1,11}{100} * 2,64 = 0,03 \mu\text{s} \quad (4)$$

$$u_{BP} = \frac{\bar{T}_p}{100} * 2,64 = \frac{50,5}{100} * 2,64 = 1,3 \mu\text{s} \quad (5)$$

- **Stanovení kombinované nejistoty měření pro doby čela a doby půltýlu**

$$u_C (T_{\check{c}}) = \sqrt{u_A^2 + u_{B\check{c}}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,03^2} = 0,03 \mu\text{s} \quad (6)$$

$$u_C (T_P) = \sqrt{u_A^2 + u_{BP}^2} = \sqrt{0,1^2 + 1,3^2} = 1,3 \mu\text{s} \quad (7)$$

- **Rozšířená nejistota  $U(T_{\check{c}})$  a  $U(T_P)$**

Rozšířená nejistota  $U(T_{\check{c}})$  a  $U(T_P)$  se určí vynásobením kombinované nejistoty koeficientem rozšíření  $k_r = 2$ .

$$U(T_{\check{c}}) = k_r * u_C (T_{\check{c}}) = 2 * 0,03 = 0,06 \mu\text{s} \quad (8)$$

$$U(T_P) = k_r * u_C (T_P) = 2 * 1,3 = 2,6 \mu\text{s} \quad (9)$$

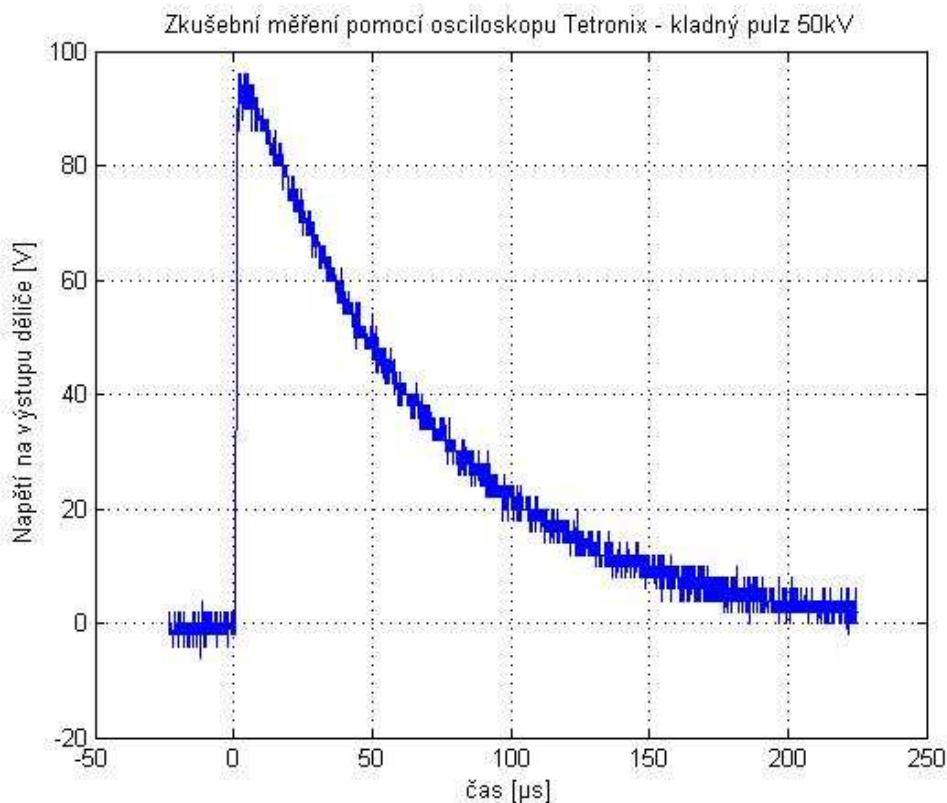
Výsledek ze zkušebního měření systémem Dr. Strauss můžeme zapsat ve tvaru:

$$T_{\zeta} = 1,11 \pm 0,06 \mu\text{s} \quad (10)$$

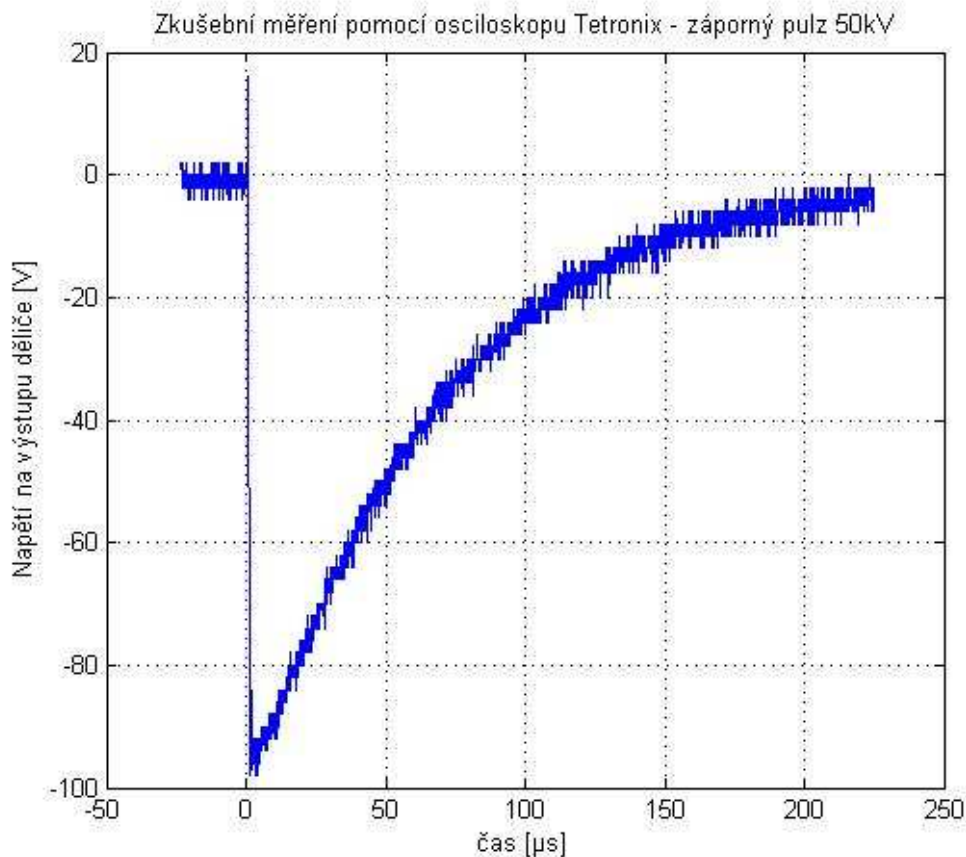
$$T_p = 50,5 \pm 2,6 \mu\text{s} \quad (11)$$

## 4.2 Zkušební měření pomocí osciloskopu Tetronix

Měření bylo provedeno digitálním osciloskopem Tetronix, typ TDS 2024B. Pro připojení k děliči napětí byla použita sonda Tetronix, typ P6015A. Jedná se o kapacitní sondu o velikosti  $1000 \times 3.0\text{pF}$  a vstupním odporem  $100\text{M}\Omega$ . Na vstup osciloskopu je přivedeno napětí z kapacitního děliče, na jehož vstupu je v tomto případě  $50\text{kV}$ . Dělič má dělicí poměr 520, takže pomocí jednoduchého výpočtu dostáváme na výstupu děliče špičkové napětí  $96\text{V}$ . Díky použití digitálního osciloskopu je možné naměřená data uložit ve formátu .csv a v počítači dále zpracovat. V programu Matlab lze načíst napěťové hodnoty spolu s časovou značkou jednotlivých dat a pomocí jednoduchých příkazů zobrazit výsledné grafy. Osciloskop měří rychlostí  $10\text{MS/s}$ , to zaručuje změřenou hodnotu každých  $0,1\mu\text{s}$ , rozlišení je tedy dostačující.



Obrázek 8: Zkušební měření kladného pulzu pomocí osciloskopu



**Obrázek 9: Zkušební měření záporného pulzu pomocí osciloskopu**

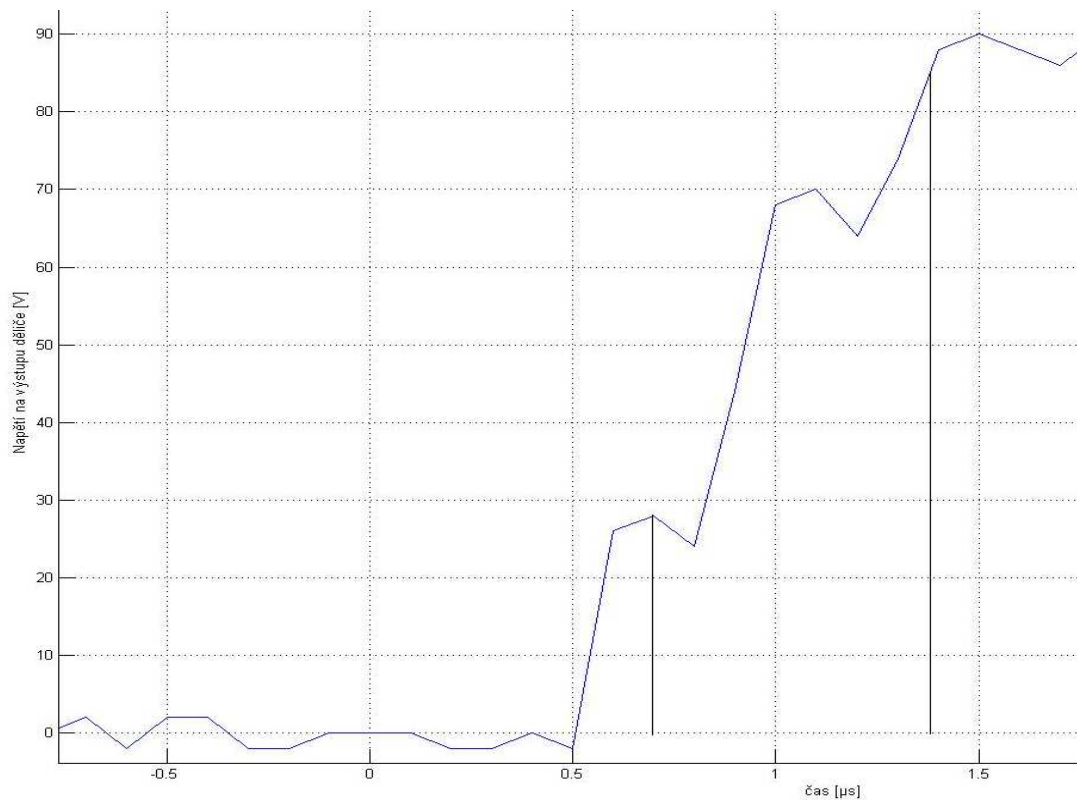
Jak je vidět na grafech 8 a 9, průběh z osciloskopu je značně zašuměný, to je pravděpodobně způsobeno vzorkovací frekvencí osciloskopu a zejména šumem na výstupu děliče. Tento šum se ve výstupu z přístroje Dr. Strauss nezobrazuje, jelikož je zobrazován průběh na vstupu kapacitního děliče.

Z obou průběhů nicméně vyplývají stejné časy jako z obrázků 6 a 7. Doba čela z grafu 8 je přibližena na grafu 10. Jsou vyznačeny hodnoty 30% a 90%, mezi kterými se doba čela počítá. Výpočet doby čela je potom :

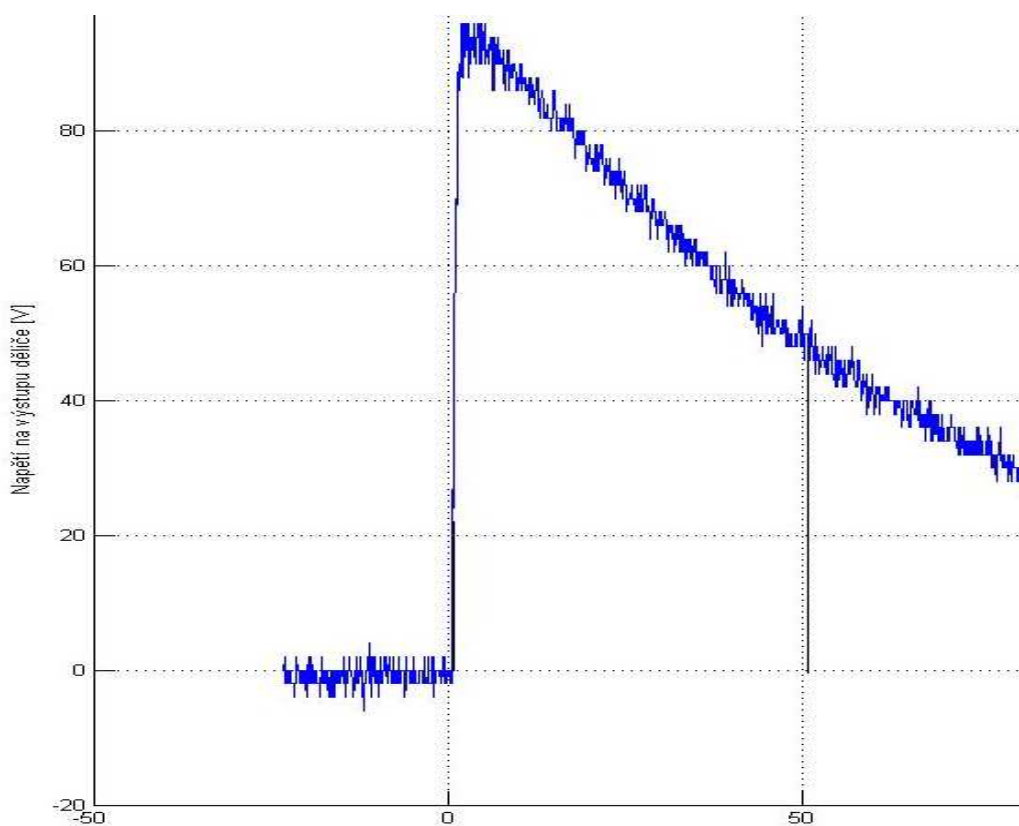
$$T_1 = \frac{1}{0,6} * 0,7 = 1,167\mu\text{s} \quad (12)$$

doba čela tedy vychází totožně jako při měření profesionálním přístrojem Dr. Strauss. Doba půltýlu na grafu 11 opět přibližně odpovídá době půltýlu z grafu 1, a to  $T_2 \approx 50 \mu\text{s}$ .

Zkušební měření je potvrzeno, že rychlost měření 10 MS/s je pro tuto práci vhodná a dostačující, proto je vybráno zařízení, které těchto rychlostí dosahuje.



**Obrázek 10: Doba čela T1 při měření osciloskopem**



**Obrázek 11: Doba půltýlu T2 při měření osciloskopem**

### 4.3 Srovnání zkušebního měření a výstupní protokol

Určit přesnosti naměřených dat lze pouze z grafického průběhu, protože nemáme k dispozici žádná ideální data. Při srovnání grafů je vidět, že charakteristiky mají stejný průběh. Data z osciloskopu však odpovídají očekávání, protože reálné měření obsahuje šum. Tento šum ovšem nemá rozhodující vliv na vyhodnocovací systém, což je potvrzeno na obrázcích 10 a 11. Naměřená data tedy můžeme označit za dostatečně přesná pro vyhodnocovací účely, protože výsledky obou měření jsou srovnatelné.

Ukažme si nyní požadovaný výstupní protokol:

project : Brydl50kV

page 1

#### Test - object - data

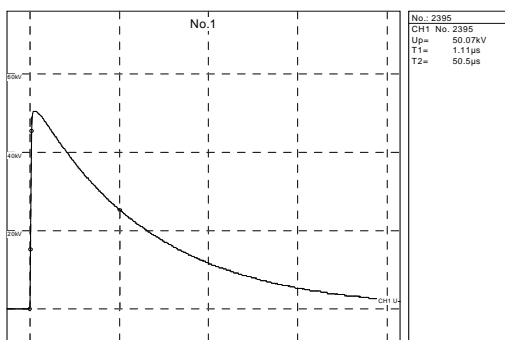
test date 12/18/ 12  
factory ser.-no.  
test object  
order-no.  
specification  
test-field

#### Climate - Data

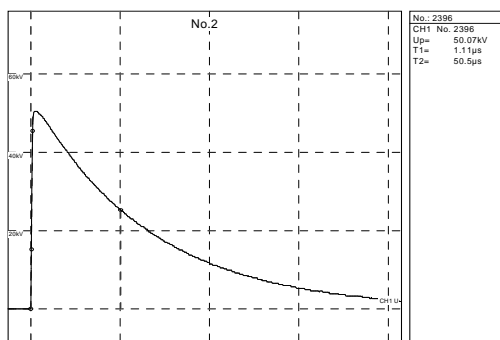
temperature 22.6 °C humidity 39.5 %  
air-pressure 987 hPa

#### Stand:

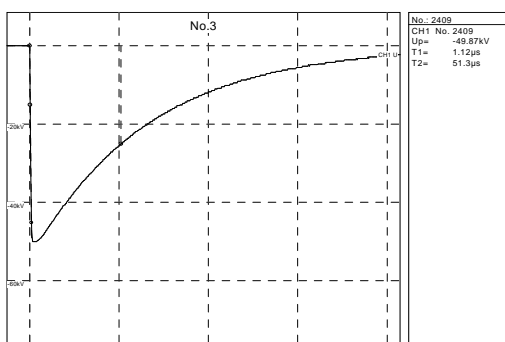
Brydl50kV : LI					
NO	NO	Up[kV]	T1[μs]	T2 [μs]	Remark
1	2395	50.07	1.11	50.5	No.1
2	2396	50.07	1.11	50.5	No.2
3	2397	50.07	1.11	50.4	No.3
4	2398	50.07	1.12	50.5	No.4
5	2399	50.07	1.12	50.5	No.5
6	2400	50.07	1.1	50.5	No.6
7	2401	50.07	1.11	50.5	No.7
8	2402	50.07	1.11	50.5	No.8
9	2403	50.07	1.11	50.5	No.9
10	2404	50.07	1.12	50.5	No.10
11	2407	-49.8	1.12	51.3	No.1
12	2408	-50.07	1.14	50.9	No.2
13	2409	-49.87	1.12	51.3	No.3
14	2410	-50.07	1.14	50.9	No.4
15	2411	-50.07	1.13	50.9	No.5
16	2412	-49.87	1.13	51.2	No.6
17	2413	-49.81	1.12	51.2	No.7
18	2414	-50.07	1.14	50.9	No.8
19	2415	-50.07	1.14	50.9	No.9
20	2416	-49.87	1.13	51.3	No.10



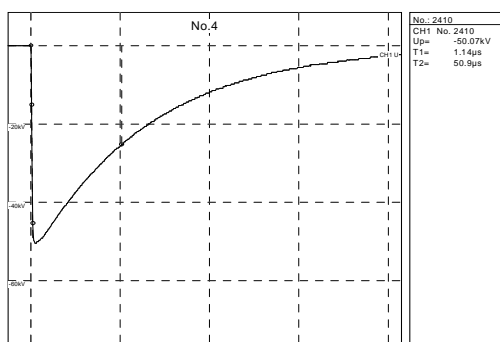
Brydl50kV : LI : NO 1



Brydl50kV : LI : NO 2



Brydl50kV : LI : NO 13



Brydl50kV : LI : NO 14

V horní části se nachází údaje o měření, datum měření a klimatické podmínky. Následují postupně vypsaná všechna měření. Zleva začíná pořadí měření, počet vzorkovaných bodů, testovací napětí, doba čela T1, doba půltýlu T2 a odkaz na grafický průběh odezvy. Průběhy odezvy následují za výčtem, jsou zobrazeny všechny měřené průběhy (zde pouze ukázka).

## 5 NÁVRH MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

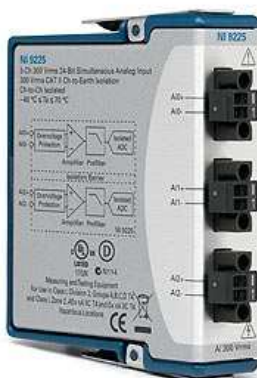
Jako jedno z uvažovaných řešení bylo zvažováno použití měřicího zařízení cDAQ-9174 a měřicí kartou, samozřejmě také PC, kde bude fungovat software.



**Obrázek 12: Pouzdro pro měřicí karty z [7]**

Měřicí zařízení cDAQ-9174 vidíme na obrázku 12. Samotné zařízení samozřejmě měřit nemůže, pro měření potřebujeme měřicí kartu.

Byla zvažována měřicí karta a to z hlediska maximálního měřitelného napětí a rychlosti snímání vzorků. Měřicí karta NI 9225 která je vidět na obrázku 8.



**Obrázek 13: Měřicí karta NI 9225 z [8]**

Tato karta je vhodná z hlediska napěťového rozsahu  $-300\text{V} - 300\text{V}$ , díky tomu by jsme nemuseli používat dělič na vstupu do karty. Z předchozího měření pomocí osciloskopem jsme zjistili, že dostatečná rychlost snímání je  $10\text{ MS/s}$ . Tato karta má však rychlost snímání pouze  $50\text{ kS/s}$ , což bohužel dostačující není.

Jelikož rychlost snímání je podstatně důležitější parametr než vstupní napětí, toto řešení nelze použít.

Další alternativou je použít dvoukanálový digitální osciloskop HANDYSCOPE HS3. Tento 10 MHz osciloskop má maximální napěťový rozsah 80 V. Z předchozích rozborů je jasné, že rozsah není dostatečný, ale rychlost snímání je vyhovující.



**Obrázek 14: Digitální osciloskop HS3 z [12]**

Základní parametry:

Měřená veličina	Napětí
Počet kanálů	2 vstupní , 1 výstupní
Napěťový rozsah	200 mV to 80 V
Vstupní impedance	1 M $\Omega$ / 30 pF
Rozlišení	12 bit
Rychlost snímání	10 MS/s
Konektory	BNC
Přenos signálu do PC	USB

Jedná se o digitální osciloskop od firmy HANDYSCOPE, pro který je vyvinut vlastní měřicí software, není tedy přímo použitelný v programu LabVIEW. I přes tuto nevýhodu dostalo řešení využívající tento osciloskop přednost. Je to z důvodů jednoduchého připojení a kompatibility s PC a měřenou soustavou, dalším důvodem je aktuální dostupnost tohoto zařízení. Jelikož bude použito toto zařízení, je nutné rozšířit původně myšlený program o inicializaci a další nastavení osciloskopu.

## 6 ÚVOD DO LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench) je obecným vývojovým prostředím pro vytváření aplikací zaměřených do oblasti měření ve všech jeho fázích - sběru, analýzy i prezentace naměřených dat. Poskytuje uživateli plnohodnotný programovací jazyk se všemi odpovídajícími datovými a programovými strukturami avšak v grafické podobě - tzv. G jazyk (Graphical language). Výsledný produkt tohoto vývojového prostředí se nazývá **virtuálním přístrojem** (Virtual Instrument), protože svými projevy a činnostmi připomíná klasický přístroj v jeho fyzické podobě.

Virtuální přístroj se vyznačuje následujícími rysy:

- Interaktivní grafické rozhraní (Graphical User Interface - GUI) ke koncovému uživateli - tzv. čelní panel (Front Panel), simuluje odpovídající čelní panel fyzického přístroje. Obsahuje prvky pro ovládání a indikaci (knoflíky, tlačítka, LED indikátory, grafy atd.). Ovládá její uživatel myší nebo klávesnicí.
- Činnost virtuálního přístroje je dána jeho blokovým schématem (Block Diagram). Toto schéma je vytvořeno ikonami reprezentujícími (koncový blok) ovládací a indikační prvky čelního panelu a ve svých uzlových blocích jsou to bloky zpracovávající procházející data. Blokový diagram je zdrojovou podobou každé aplikace.
- Virtuální přístroj má hierarchickou a modulární strukturu. Lze jej používat jako celý program nebo jeho jednotlivé podprogramy, které se nazývají **podřízenými virtuálními přístroji** (podVI, subVI). Součástí každého virtuálního přístroje je jeho ikona, kterou je prezentován v blokovém schématu, a konektor s přípojnými místy pro vstupní a výstupní signály.

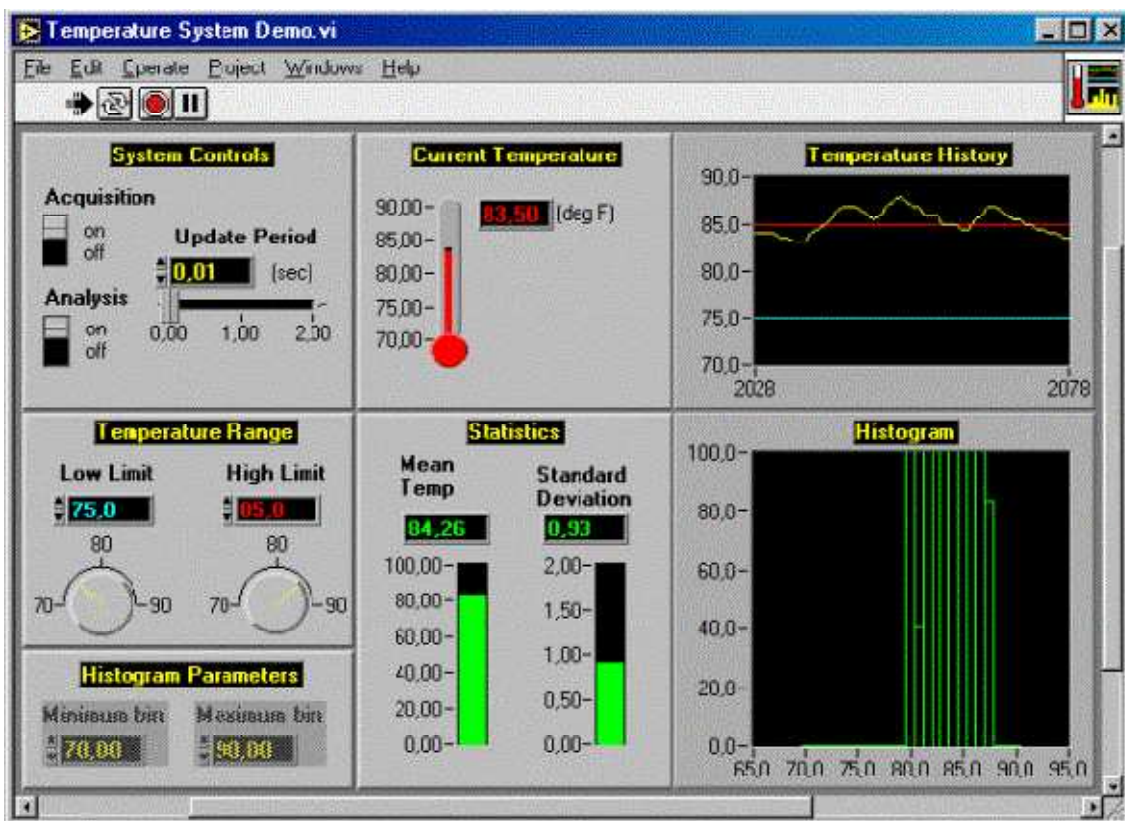
### 6.1 Základní části virtuálního přístroje

#### 6.1.1 Čelní panel

Na čelním panelu se nacházejí dva typy objektů:

- **ovládací (controls)** - slouží pro ovládání virtuálního přístroje. Zprostředkují tedy povely uživatele do aplikace - v blokovém diagramu jsou to bloky, z nichž signál vstupuje do algoritmu (vstupní bloky).
- **indikační (indicators)** - slouží k indikaci stavu virtuálního přístroje a výstupu výsledků. Zprostředkují tedy předávání informací uživateli. V blokovém schématu jsou to bloky, v nichž signálové cesty končí (výstupní bloky).

Ukázka náhodného čelního panelu je na obrázku 15, čelní panel zastupuje klasický čelní panel u přístrojů.



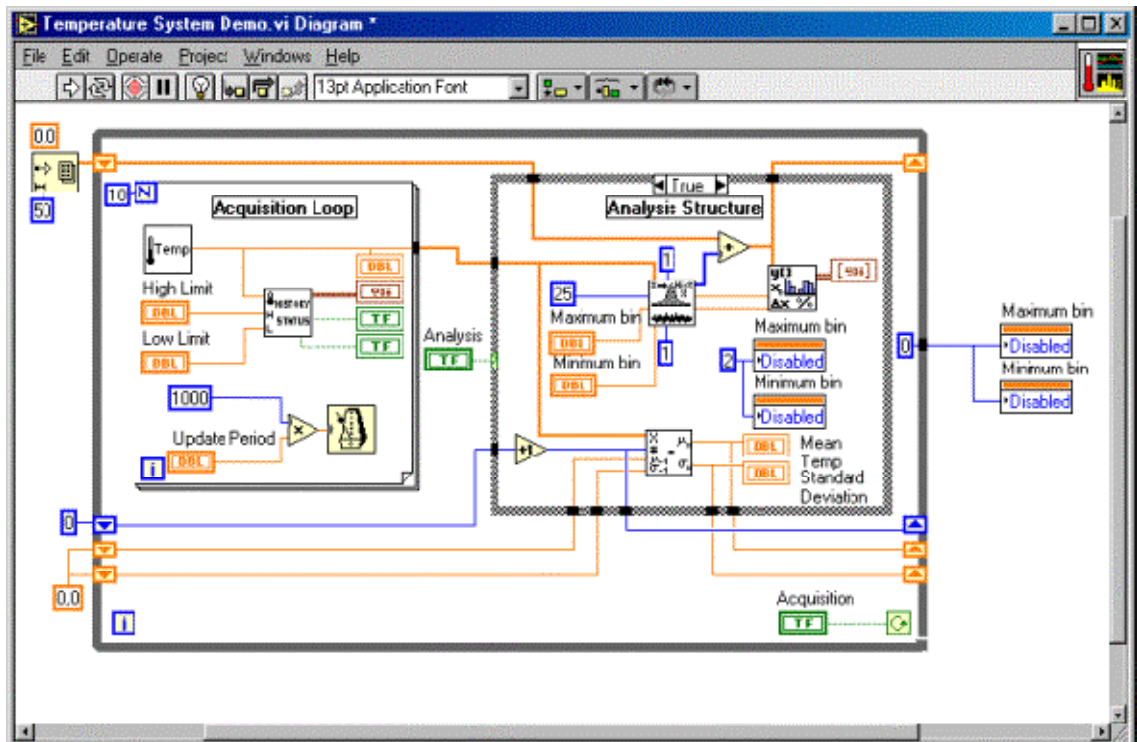
Obrázek 15: Ukázka čelního panelu v LabVIEW z [10]

### 6.1.2 Blokové schéma

Blokové schéma je grafickým vyjádřením zdrojového kódu virtuálního přístroje. Konstruuje se propojováním jednotlivých bloků signálovými cestami. Bloky jsou jednak **koncové** (zdrojové a cílové) (source and sink terminals), které jsou na panel blokového schématu umístěny automaticky při konstrukci čelního panelu a jednak **uzlové** (nodes), které reprezentují zpracování signálu a lze je vybírat z paletového menu **Functions** reprezentujícího vlastně knihovnu funkcí v okně blokového diagramu. Paletové menu s funkcemi lze vyvolat obdobným způsobem jako paletové menu objektů čelního panelu - buď' přes menu **Windows/Show Functions Palette** nebo kliknutím pravým tlačítkem myši v okně blokového diagramu.

Uzlové bloky jsou ekvivalentní příkazům, operátorům, funkcím a podprogramům klasických programovacích jazyků. Kromě tohoto propojení (wires) existují ještě tzv. **struktury** (structures), nahrazující v grafické podobě standardní konstrukce užívané v programovacích jazycích (podmíněný příkaz, přepínač, cyklus...). LabVIEW má i propojení na externí bloky textově orientovaného kódu a na textově orientované výrazy. Signálovou cestou se propojují zdrojové a cílové koncové bloky. Nelze propojit vzájemně dva zdrojové koncové bloky, ale lze spojit jeden zdrojový koncový blok k několika cílovým. Tvar a barva čáry reprezentující definovanou signálovou cestu rozlišuje typ proměnné, která prochází daným místem.

Běh aplikace v LabVIEW je řízen tokem dat. Tok dat (data flow) je charakterizován jediným pravidlem, a to, že uzlový blok zahájí zpracování dat, má-li k dispozici platná data na všech svých vstupech a po zpracování je posílá ke všem svým výstupům. Jednotlivé bloky mohou pracovat i současně a tím se tento způsob výrazně liší od sekvenčního způsobu zpracování dat v textově orientovaných jazycích, kde je běh aplikace řízen posloupností příkazů. Aplikace uvedeného pravidla umožňuje velmi jednoduchou realizaci paralelních větví zpracování aplikace.

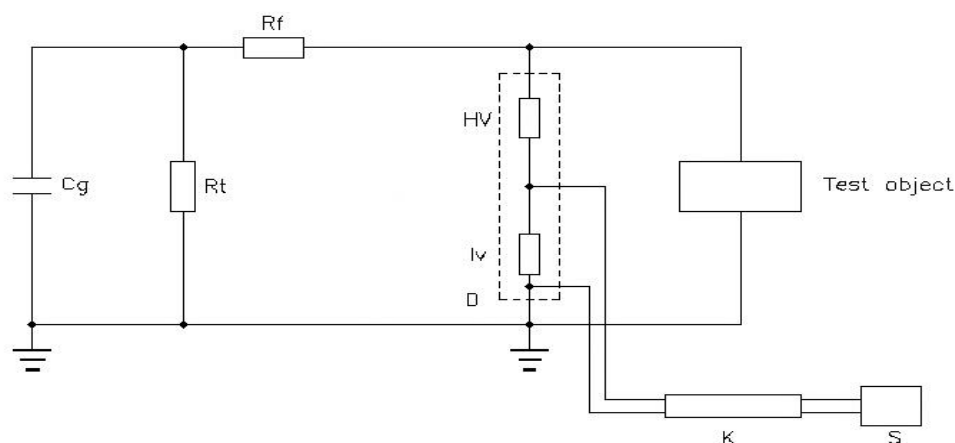


Obrázek 16: Ukázkové blokové schéma v LabVIEW z [10]

## 7 REALIZOVANÉ ŘEŠENÍ

### 7.1 Schéma zapojení

Schéma zapojení zůstalo velice podobné předchozímu řešení, ale výstup z vysokonapětového děliče nyní není připojený na systém Dr.Strauss. Systém byl nahrazen digitalizační měřicí jednotkou, která je připojena přes USB do počítače, na kterém běží měřicí a vyhodnocovací program.



Obrázek 17: Navrhované schéma zapojení

Cg	250 nF
Rt	256 $\Omega$
Rf	43 $\Omega$
D	Vysokonapětový dělič , Typ SMC 2000/400
HV	Vysokonapětová kapacita
Lv	Nízkonapětová kapacita
K	Koaxiální kabel
S	HANDYSCOPE HS3

V tomto zapojení lze ovšem měřit pouze na rozsahu do 80 V, pro měření na větší rozsahy je nutné zapojit před osciloskop další napětový dělič, dostatečně odolný proti parazitním kapacitám.

V této fázi je tedy zařízení používáno v přímém připojení, bez děliče, toto nám dovoluje používat impulzy o velikosti 40 kV, což je pro demonstrační účely dostačující.

### 7.1.1 Návrh vhodného děliče

V případě, že se použije pouze nekvalitní dělič, dojde k fatálnímu zkreslení měřeného průběhu a není možné provádět analýzu a vyhodnocení měření.

Vhodným děličem se jeví napěťová sonda k osciloskopu HP 9350 na obrázku 18. Sonda má konektor BNC, což je požadované pro navrhované řešení, i vhodný dělicí poměr.



Obrázek 18: Napěťová sonda HP 9350

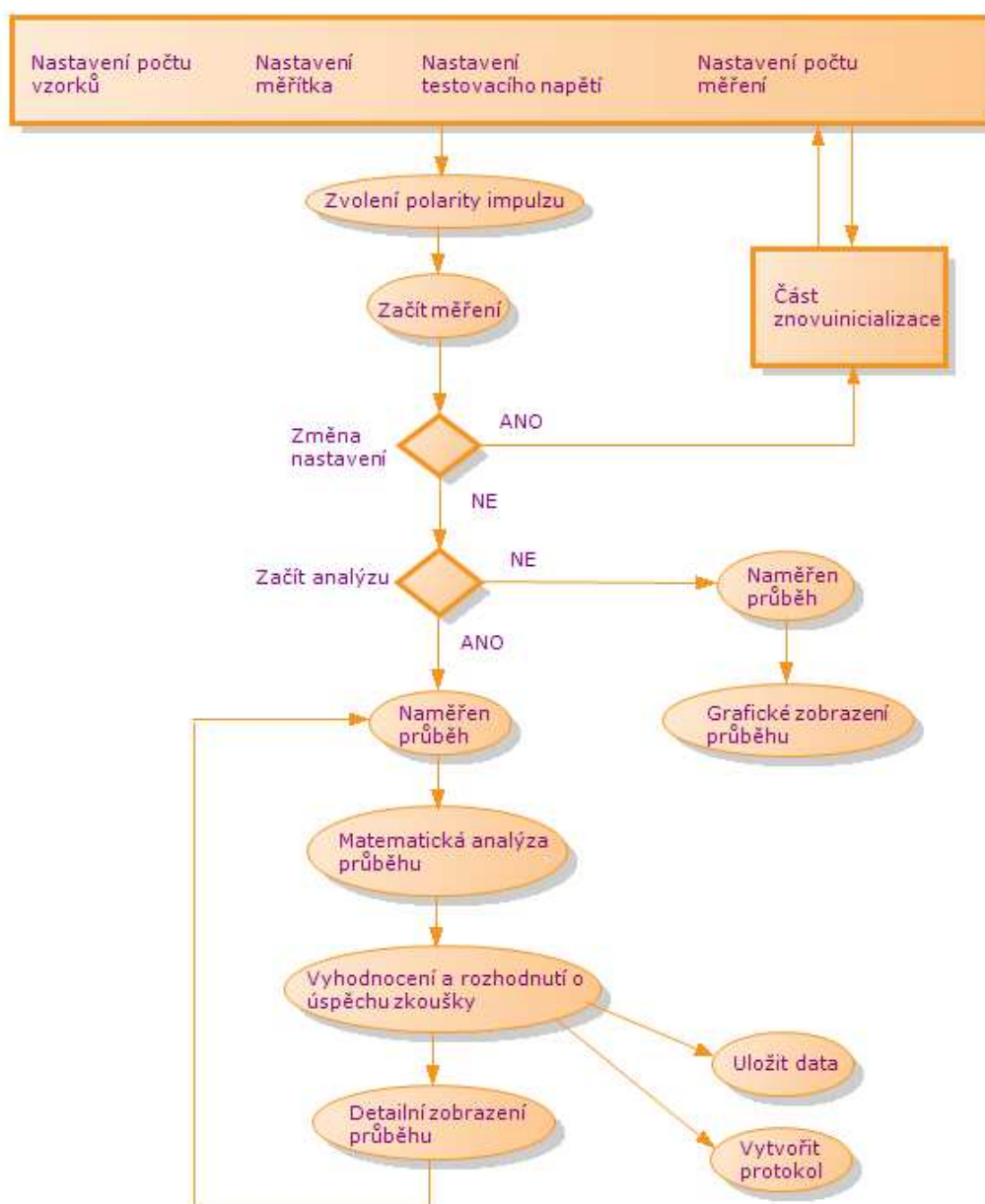
#### Dělicí poměr 10:1

- šířka kmitočtového pásma DC až 350 MHz
- max. vstupní napětí DC + AC 600 V CAT I  
300 V CAT II
- vstupní odpor 10 MOhm
- vstupní kapacita 16 pF (10 - 35 pF)
- kompenzace kapacity 10 - 35 pF
- náběžná hrana 1,0 ns

## 7.2 Programové řešení

Programovou část lze rozdělit na část inicializační, ve které se provádí nastavení osciloskopu. Nastavuje se zde vzorkovací frekvenci, měřicí kanál, počet měřených bodů a spouštěcí hodnotu. Druhá část je měřicí, ve které probíhá měření hodnot. Poslední část je potom vyhodnocovací, ve které se provádí vyhodnocení naměřených hodnot, nastavení počtu impulzů podle potřeby, spuštění analýzy a možnost uložení naměřených dat do excelu. Celý program v LabVIEW je utvořen jako sekvenční, tedy tak, aby byla nejprve provedena inicializace. Až je inicializace dokončena, přejde se do fáze měření a vyhodnocení, není tedy možné spustit měření bez inicializace.

Inicializační část



Obrázek 19: Blokové schéma realizovaného řešení

Celkové blokové schéma programu je na obrázku 19. Blok znovuinicializace je zde pro přehlednost připojen pouze za blok „Začít měření“. Ve skutečnosti lze změnu v nastavení provést v jakékoliv části programu, pokud je změna provedena během vyhodnocování, projeví se při dalším měření. Pokud by program neobsahoval tento blok, při každé změně v nastavení by se musel ukončit a tím by se ztratila naměřená data. Při sepnutí „Začít analýzu“ se vždy při změření impulsu provede výpočet jeho parametrů a na počítadle se zvětší počet pulzů. Popsaný cyklus tedy pracuje až do „Počtu měření“, následně se ukončí analýza a je možné vytvořit protokol o měření. Výsledek zkoušky je potom zřejmý z údajů čelního panelu a vytvořeného protokolu.

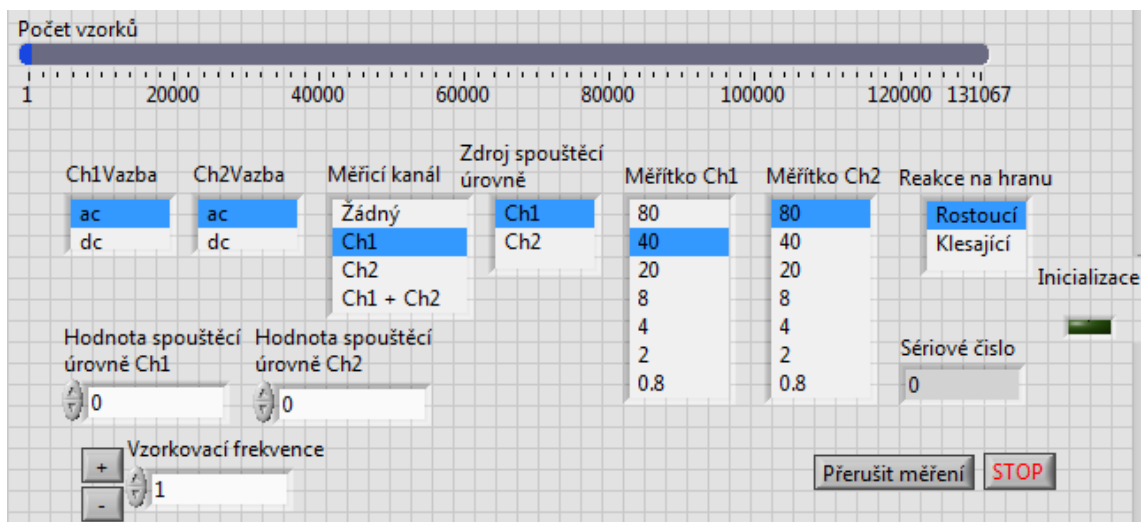
### 7.2.1 Inicializační část

Pro inicializaci se používají funkce z předdefinované knihovny *HS3.dll*. Ta obsahuje funkce přímo pro práci s tímto zařízením.

Zde se nastavuje a čte z funkce:

- Sériové číslo – můžeme kontrolovat zda měříme se stejným přístrojem.
- Citlivost – nastavení správného napěťového rozsahu.
- Vzorkovací frekvence – pro naše měření použijeme maximální vzorkovací frekvenci kterou lze, tedy 10 MHz.
- Počet vzorků – je možnost zvolit až přes sto tisíc vzorků, ovšem nám stačí měřit deset tisíc vzorků, s tímto počtem jsme bez problémů schopni analyzovat průběh.
- Kanál spouštěcí úrovně – určuje, z jakého kanálu budeme spouštěcí úroveň využívat
- Hodnota spouštěcí úrovně – velikost spouštěcí úrovně, po inicializaci je vždy nulová, pro měření může být nastavena hodnota 0 - 10 , a to záporná nebo kladná. V tomto nastavení bude zachycen příchozí pulz.
- Vazba – Určuje druh vazby, střídavá nebo stejnosměrná

Na obrázku 20 je potom ukázka z čelního panelu. Jedná se o detail na část, kde se provádí inicializace. Je vidět, že se zde ovládají výše popsané funkce a v případě správné inicializace se rozsvítí signalizace „Inicializace“. Pro měření se ponechá nastavení v základním stavu, tedy vazbu AC, měřicí kanál 1, měřítko na hodnotě 40, reakce na rostoucí hranu a vzorkovací frekvenci 10 MHz. Jediné co se nastavuje před spuštěním měření je hodnota spouštěcí úrovně. Na ukázce je také tlačítko „Stop“, které ukončí celou aplikaci, a „Přerušit měření“, to slouží k zastavení měření, nikoliv celého programu. Toto tlačítko se použije v případě, když je potřebné změnit polaritu měřeného pulzu, spouštěcí úroveň a uložit právě doměřená data.

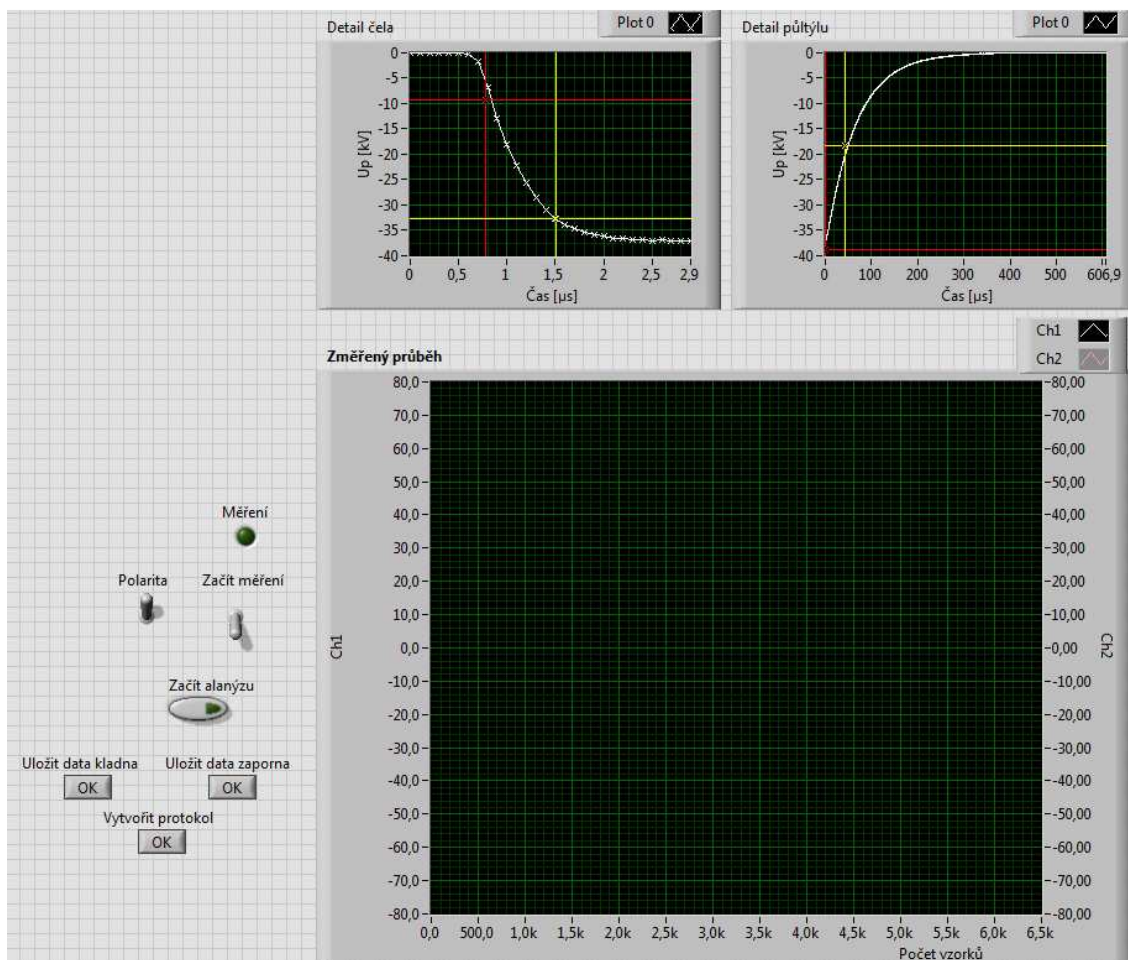


**Obrázek 20: Inicializační část na hlavním panelu**

## 7.2.2 Měřicí část

Blokový diagram zobrazuje tuto část od bloku „Začít měření“. Je vidět, že v této části lze provádět změny nastavení osciloskopu a také je zde spouštěna analýza.

Ukázka měřicí části na hlavním panelu je na obrázku 21, je vidět, že měření lze spustit přepínačem „Začít měření“. Dalším přepínačem lze nastavovat polaritu měřeného pulzu, kladný pulz = přepínač nahoře, záporný = přepínač dole. Program může takto zobrazovat naměřené hodnoty, pokud je požadováno také vyhodnocení pulzů, je nutné aktivovat tlačítko „Začít analýzu“. K uložení naměřených dat slouží tlačítka ve spodní části, data lze uložit ve formátu .xls. Toto ukládání slouží k uložení dat jednotlivých průběhů, pokud je potřeba vytvořit protokol o celém měření, provede se to sepnutím tlačítka „Vytvořit protokol“. Tím se vytvoří protokol ve formě .pdf, který bude ukázán později. Změřený průběh je potom zobrazen na grafu, je vidět, že můžeme zobrazovat oba kanály zároveň, ovšem v této aplikaci stačí pouze jeden kanál. Při přepínání rozsahů v inicializační části se automaticky mění rozsah stupnice na grafu.



Obrázek 21: Detail měřicí části na hlavním panelu

### 7.2.3 Vyhodnocovací část

Podle blokového diagramu z obrázku 19 začíná tato část blokem „Matematická analýza průběhu“. V této části jsou vyhodnocena naměřená data. Pro délku čela je procházeno pole naměřených hodnot a je zjištěno, kolik hodnot při náběhu je v mezích od 30% do 90% maximálního napětí, tak jak je definováno v kapitole 1.1. Pro dobu půltýlu je potom zjišťován počet vzorků vyhovující podmínce, že dosahují hodnot větších než polovina maximálního napětí, podle kapitoly 1.1.

Dalším blokem je „Vyhodnocení a rozhodnutí o úspěchu zkoušky“. Zde probíhá matematické vyhodnocení zjištěných délek z předchozí části. Podle normy popsané v kapitole 1.1 a podle znalosti vzorkovací periody můžeme z počtu vzorků vypočítat dobu čela a dobu půltýlu. To, zda doby vyhovují je určeno z podkapitoly 1.2, pokud jsou splněny podmínky, rozsvítí se jednotlivé indikátory na čelním panelu.

Posledním blokem této části je „Detailní zobrazení průběhu“. V tomto bloku se provede zobrazení výsledků z vyhodnocovací části. Nad hlavním grafem „Změřený průběh“, se nachází ještě dva detailní grafy, jeden zobrazuje detail náběžné hrany a druhý hranu sestupnou. Tyto dva grafy zobrazí průběh pouze v případě, že je zapnuté „Začít analýzu“, na rozdíl od hlavního grafu, který zobrazuje průběh vždy.

**Obrázek 22: Detail na vyhodnocovací část**

Pro všechny tyto vyhodnocovací části slouží detail čelního panelu z obrázku 22. Indikátor „Zkouška proběhla úspěšně“ svítí pouze po úspěšném provedení celé zkoušky, tedy z pravidla po 15 pulzech, což ovšem nemusí být vždy potřebné. Pro nastavení počtu měření je vytvořeno pole, do kterého lze zadat libovolnou hodnotu. Dále se volí jedno z předdefinovaných „Testovacích napětí“, pro testovací účely je použito napětí v primární části 40 kV. Další indikátory se rozsvěcí zeleně podle výsledku výpočtů, v pravé části jsou zobrazovací pole, ze kterých se odečítají přesné časy a počty měření.



Obrázek 23: Celkový pohled na čelní panel měřicího ústrojí

Obrázek 23 potom zobrazuje celkový pohled na čelní panel měřicího přístroje. Je snaha o co nejpřehlednější srovnání ovládacích prvků. V levé horní části se nachází nastavení osciloskopu, v levé spodní části je potom spuštění měření, nastavení parametrů měření a možnost ukládání dat. Pravá část je vyhrazena pro zobrazovací grafy, které vykreslují měřený průběh. Jelikož se jedná o pulzy s periodou 40 s, naměřený průběh vždy zůstává vykreslen na grafech až do příchodu dalšího pulzu.

## 8 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ

### 8.1 Naměřené hodnoty

V rámci testování právě předvedeného programu bylo provedeno také měření přímo v laboratoři ABB.

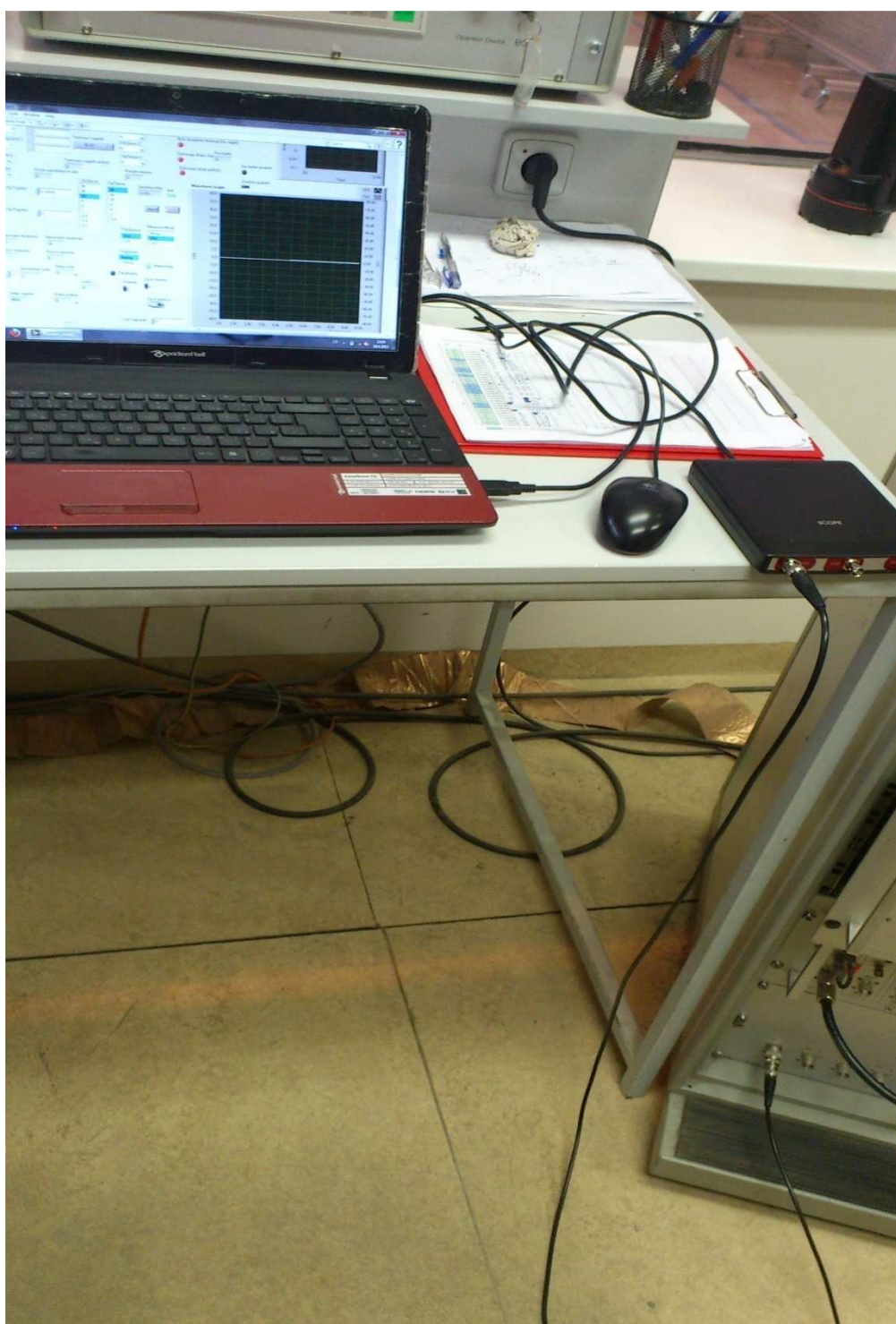
Měření bylo provedeno na reálném rozvaděči který je připraven pro zkoušení.



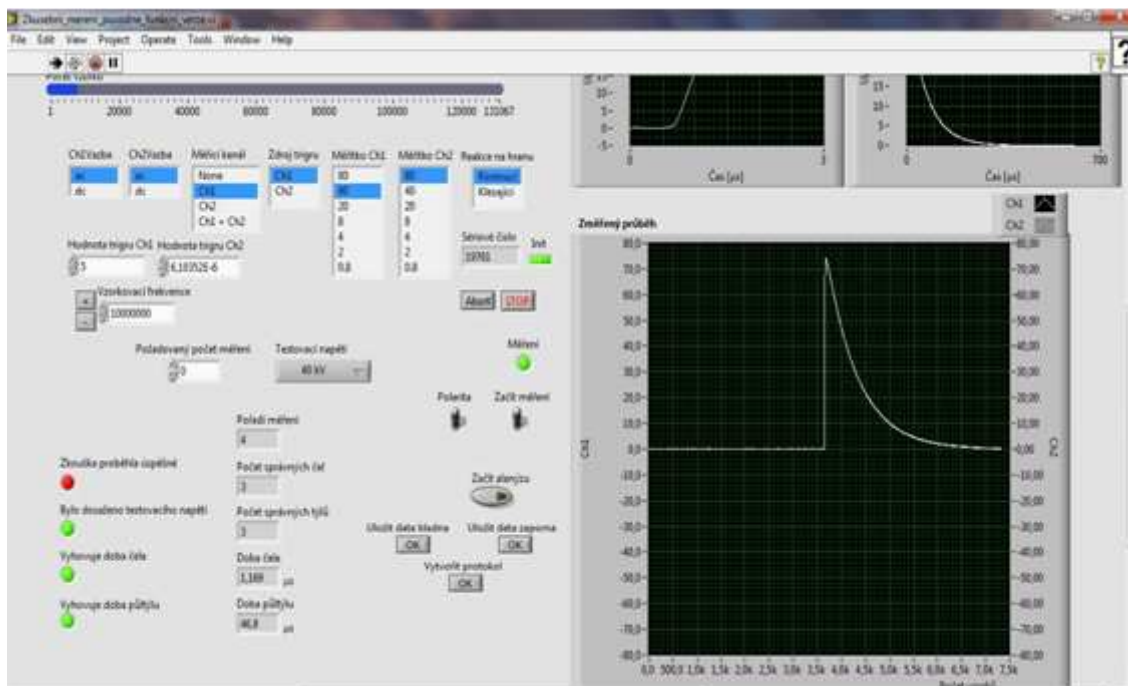
Obrázek 24: Fotografie ze zkušebny při testovacím měření



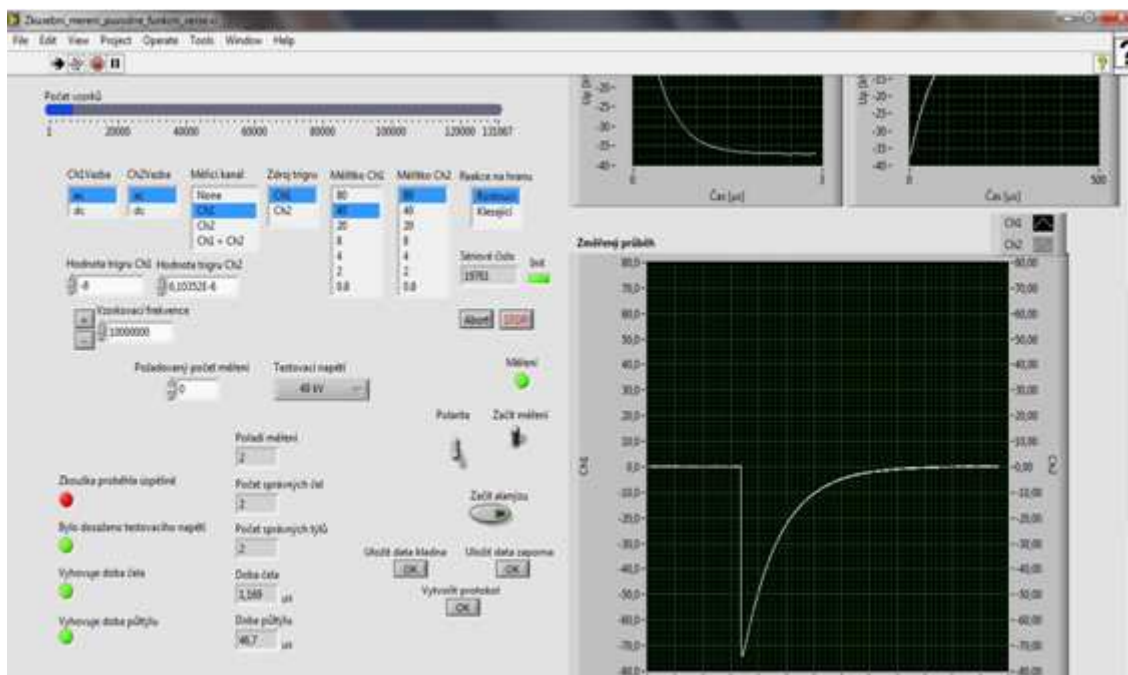
Obrázek 25: Připojení na jednu fázi přípojnic rozvaděče při zkušebním měření



**Obrázek 26: Připojení HS3 v laboratoři ABB**



Obrázek 27: Čelní panel s daty ze zkušebního měření



Obrázek 28: Čelní panel s daty ze zkušebního měření

Přímé připojení zařízení HandyScope HS3 v laboratoři ABB je na obrázku 26. Obrázky 27 a 28 zobrazují čelní panely při měření v laboratoři ABB, jednou pro kladný pulz (obr. 27) a druhé pro záporný (obr. 28). Obě měření jsou prováděna při pulzu 40 kV, další nastavení jsou vidět z čelních panelů .

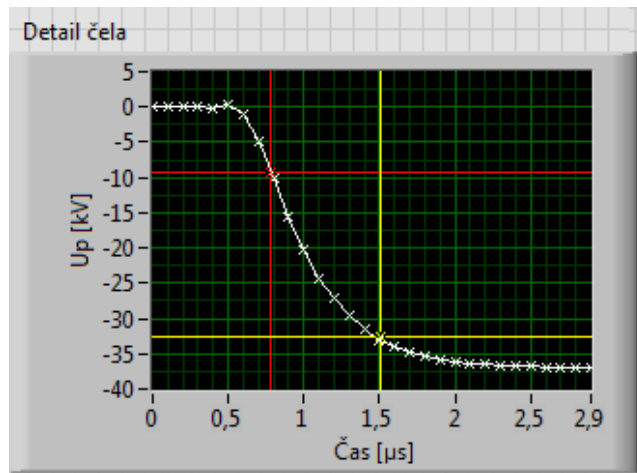
Při pulzu 40 kV je na výstupu děliče přibližně 73 V. Toho bylo dosaženo a proto indikátor „Bylo dosaženo testovacího napětí“ značí, že tato podmínka byla splněna.

Doby čela jsou totožné v obou případech a to 1,17  $\mu\text{s}$ , což je podle normy, a indikátory „Vyhovuje doba čela“ značí, že tato část proběhla úspěšně.

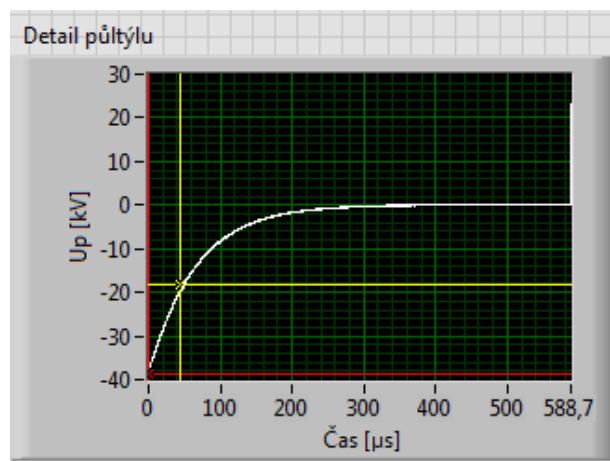
Čas půltýlu je, v obou případech takřka totožný a to 46,7  $\mu\text{s}$  a 46,8  $\mu\text{s}$ . V ideálním případě má být doba půltýlu rovna 50  $\mu\text{s}$ , ale podle tolerance popsané v kapitole 1.2 je tento údaj vyhovující, a proto je indikátor „Vyhovuje doba půltýlu“ zelený, měření tedy dopadlo úspěšně. Těchto měření bylo provedeno několik, tak aby se vyloučila možnost náhodné funkčnosti měřicí aplikace.

Na obrázku 29 je vidět detailní průběh čela záporného pulzu. Oblast ohraničená kurzory definuje úsek, který je zajímavý, tedy úsek mezi 30 % - 90 % maximálního napětí. Na grafu je zobrazen průběh do maximální dosažené hodnoty.

Detail půltýlu je zobrazen na obrázku 30, zde jsou kurzory od maxima až do poloviny maximálního napětí, z grafu je vidět, že doba je přibližně 50  $\mu\text{s}$ , přesněji to odečteme z pole „Doba půltýlu“ na čelním panelu.



Obrázek 29: Detail čela záporného pulzu



Obrázek 30: Detail půltýlu záporného pulzu

## 8.2 Protokol o měření

"Protokol o impulzní zkoušce"		Thursday, May 09, 2013 2:10:17 PM		
Testované zařízení: Rozvaděč napětí UNIGEAR ZS1				
Měření provedl: Brydl Ondřej				
Teplota 23.4°C Vlhkost 39.8% Tlak 983 hPa				
Tabulka naměřených dat:				
	Up[kV]	T1[μs]	T2[μs]	Pořadí
9.5.2013,14:07	40,00	01,50	46,00	01,00
9.5.2013,14:07	40,00	01,17	46,70	02,00
9.5.2013,14:08	40,00	01,17	46,80	03,00
9.5.2013,14:08	40,00	01,17	46,70	04,00
9.5.2013,14:09	40,00	01,50	45,20	05,00

**Obrázek 31: Ukázka měřicího protokolu jako část výsledku měření**

Jeden z výsledků měření je potom „Protokol o měření“, vytvořený podle popisu v předchozí kapitole. V horní části jsou údaje o měřeném objektu, kdo prováděl měření a datum měření. Následují atmosférické podmínky měření, které je potřeba vyplnit ručně. Tabulka dat je potom generována automaticky po stisknutí příslušného tlačítka. Obsahuje přesný čas měření, napětí na vstupu ( $U_p$ ), dobu čela ( $T_1$ ), doby půltýlu ( $T_2$ ) a pořadí měření. Protokol je vytvořen podobně, jako z autorizovaného systému, neobsahuje ale grafické průběhy. Ty je možné vytvořit po uložení naměřených dat do formátu .xls. Ukázka protokolu je na obrázku 31 a zobrazuje jedno ze zkušebních měření.

### 8.3 Výpočet nejistot měření

Pro výpočet přesnosti měření a určení nejistot bylo provedeno množství měření. Naměřené hodnoty čela a půltýlu jsou v tabulkách 5 a 6. Tabulka 5 zobrazuje naměřené hodnoty kladného pulzu, tabulka 6 potom záporného. Při porovnání obou tabulek je vidět, že vypočtené nejistoty jsou totožné a rozdíl při měření kladných nebo záporných pulzů není z hlediska nejistot patrný.

**Tabulka 5: Naměřené hodnoty a vypočtené nejistoty - kladný pulz 40 kV**

Měření	Doba čela [ $\mu$ s]	Doba půltýlu [ $\mu$ s]
1	1,17	46,8
2	1,17	46,9
3	1,01	46,7
4	1,17	46,9
5	1,17	46,6
6	1,17	46,8
7	1,01	46,8
8	1,17	46,9
9	1,17	46,8
10	1,01	46,7
Nejistota typu A	0,03	0,1
Nejistota typu B	0,02	0,7
Kombinovaná nejistota	0,04	0,7
Rozšířená nejistota	0,08	1,4

**Tabulka 6: Naměřené hodnoty a vypočtené nejistoty - záporný pulz 40 kV**

Měření	Doba čela [ $\mu$ s]	Doba půltýlu [ $\mu$ s]
1	1,01	46,7
2	1,17	46,6
3	1,01	46,7
4	1,17	46,9
5	1,01	46,6
6	1,17	46,8
7	1,01	46,9
8	1,01	46,8
9	1,17	46,8
10	1,17	46,8
Nejistota typu A	0,03	0,1
Nejistota typu B	0,02	0,7
Kombinovaná nejistota	0,04	0,7
Rozšířená nejistota	0,08	1,4

- **Stanovení standardní nejistoty typu A pro měření doby čela a půltýlu**

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} (5 * 1,169 + 5 * 1,002) = 1,08 \mu\text{s} \quad (13)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 46,8 \mu\text{s} \quad (14)$$

$$u_{A\check{c}} = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - 1,08)^2} = 0,03 \mu\text{s} \quad (15)$$

$$u_{AP} = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_2)^2} = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - 46,8)^2} = 0,1 \mu\text{s} \quad (16)$$

- **Stanovení standardní nejistoty typu B pro měření doby čela a půltýlu**

Nejistota typu B je stanovena pro osciloskop HS 3. Je určena z manuálu výrobce [12], hodnota přesnosti je zde uvedena  $0,2 \% \pm 1 \text{ LSB}$ . Tento údaj je udáván při použití dodávaného softwaru. V práci je ale osciloskop ovládán příkazy z dodané knihovny, takže dodávaný program není použit. Není také jasné, zda výrobce zahrnul do hodnoty všechny vlivy působící na přesnost celého zařízení, nebo pouze nejistotu konkrétního převodníku. Je nutné započítat také přesnost vazby AC při měření. Při používané frekvenci 10 MHz výrobce udává  $2,5 \% \pm 20 \text{ counts}$  [12].

Pro známou odchylku zdroje nejistoty  $\Delta_{\text{max}}$  se určí hodnota podle vztahu

$$u_{B\check{c}1} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{X} = \frac{0,002 * x}{\sqrt{3}} = \frac{0,002 * 1,01}{\sqrt{3}} = 0,01 \mu\text{s} \quad (17)$$

$$u_{B\check{c}2} = \frac{\Delta_{\text{max}}}{X} = \frac{0,025 * x}{\sqrt{3}} = \frac{0,025 * 1,01}{\sqrt{3}} = 0,02 \mu\text{s} \quad (18)$$

$$u_{BP1} = \frac{\Delta_{max}}{X} = \frac{0,002 * x}{\sqrt{3}} = \frac{0,002 * 46,79}{\sqrt{3}} = 0,05 \mu s \quad (19)$$

$$u_{BP2} = \frac{\Delta_{max}}{X} = \frac{0,025 * x}{\sqrt{3}} = \frac{0,025 * 46,79}{\sqrt{3}} = 0,7 \mu s \quad (20)$$

Celková nejistota typu B

$$u_{B\check{c}} = \sqrt{u_{B\check{c}1}^2 + u_{B\check{c}2}^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,02^2} = 0,02 \mu s \quad (21)$$

$$u_{BP} = \sqrt{u_{BP1}^2 + u_{BP2}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,7^2} = 0,7 \mu s \quad (22)$$

- **Stanovení kombinované nejistoty měření pro doby čela a doby půltýlu**

$$u_C(T_{\check{c}}) = \sqrt{u_{A\check{c}}^2 + u_{B\check{c}}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,02^2} = 0,04 \mu s \quad (23)$$

$$u_C(T_P) = \sqrt{u_{AP}^2 + u_{BP}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,7^2} = 0,7 \mu s \quad (24)$$

- **Rozšířená nejistota U(T<sub>č</sub>) a U(T<sub>P</sub>)**

Rozšířená nejistota U(T<sub>č</sub>) a U(T<sub>P</sub>) se určí vynásobením kombinované nejistoty koeficientem rozšíření  $k_r = 2$ .

$$U(T_{\check{c}}) = k_r * u_C(T_{\check{c}}) = 2 * 0,04 = 0,08 \mu s \quad (25)$$

$$U(T_P) = k_r * u_C(T_P) = 2 * 0,7 = 1,4 \mu s \quad (26)$$

Výsledek ze zkušebního měření navrženým systémem můžeme zapsat ve tvaru:

$$T_{\check{c}} = 1,08 \pm 0,08 \mu s \quad (27)$$

$$T_P = 46,8 \pm 1,4 \mu s \quad (28)$$

## 8.4 Srovnání naměřených hodnot

Srovnání takto naměřených hodnot s hodnotami naměřenými během zpracovávání práce, dojdeme k následujícím výsledkům. Naměřené hodnoty jsou totožné s hodnotami naměřenými osciloskopem Tetronix. Obě měření dosahují stejných grafických průběhů a vyhodnocení dob. Pokud srovnáme nový systém se systémem Dr. Strauss, zjistíme, že certifikovaný systém pravděpodobně používá funkce na vyhlazení naměřených dat.

Při měření osciloskopy odečteme dobu půltýlu přibližně 46  $\mu\text{s}$ , při ověřeném systému je to 50  $\mu\text{s}$ . Tato nepřesnost u osciloskopu je pravděpodobně způsobena nelinearitou měřeného signálu na hranici poloviny maximálního napětí, na které měříme časový úsek.

U doby čela jsou průměrné hodnoty měření stejné, je to z důvodu, že při náběžné hraně pulzu se sejme menší počet pulzů než při pomalejším klesání napětí pulzu.

Z hlediska nejistot měření, které byly určeny pro obě důležitá měření zjistíme, že nejistoty jsou přibližně stejné. Pro měření doby čela systém vykazuje mírné zhoršení přesnosti měření, pro dobu půltýlu zase zlepšení přesnosti měření. Lze tedy říci, že systémy jsou srovnatelně přesné.

Při všech měřeních bylo prokázáno, že naměřené hodnoty vyhovují normám pro správné splnění zkoušek, a přesnost měření je přibližně stejná. Můžeme tedy říci, že navrhovaný systém je vhodný pro měření impulzních zkoušek na rozvaděčích.

## 9 ZÁVĚR

V této práci je rozebrána základní schematika měření atmosférického impulzního napětí. Jsou nastudovány teoretické vědomosti o daném měření a postupy aplikované v praktickém prostředí. Je zde podrobně popsána vyhodnocovací metodika v případě tohoto měření, kterou využívá aplikovaný systém od firmy Dr. STRAUSS. Také jsou uvedeny jmenovité izolační hladiny pro které musí dané zařízení prokázat svoji provozní schopnost bez vznikání průrazných napětí, která by mohla ohrozit okolní prostředí a pracovníky. Měřeným zařízením bude výhradně rozvaděč vysokého napětí od firmy ABB, UniGear ZS1, který byl podrobně popsán v jedné z kapitol. Následně je popsáno měření na základním schématu podle obrázku 5, společně s průběhem měření a množstvím prováděných zkoušek na jednom zařízení.

Dále bylo provedeno zkušební měření s osciloskopem Tetronix, typ TDS 2024B, které je srovnáno s měřením ověřeným přístrojem Dr. STRAUSS. Tímto měřením také byla získána potřebná data, která byla použita pro návrh závěrečné aplikace. Dále bylo experimentálně zjištěno, že rychlost vzorkování osciloskopu 10 MHz je dostačující, pro postihnutí Doby čela, což je nejkratší úsek který potřebujeme zjistit.

V rámci práce bylo představeno několik možností řešení, uvedeny jednotlivé výhody i nevýhody. Na základě zjištění dostupnosti jednotlivých zařízení a jejich vlastností byl jako hardware vybrán digitální osciloskop HANDYSCOPE HS3. Software byl jednoznačně daný a to program LabVIEW, který ovšem není od stejné firmy, a bylo tedy potřeba zajistit správnou kompatibilitu.

Další kapitolou je zhrubé představení práce programu LabVIEW, jeho rozdělení na programovou část a čelní panel, ze kterého jsou následně aplikace ovládány.

Poslední částí je popis realizovaného řešení. Schéma stávajícího měřicího zařízení Dr. Strauss bylo rozšířeno o zařízení HANDYSCOPE HS3, jak je zobrazeno ve schématu na obr.18. Ovládací, měřicí a vyhodnocovací aplikace byla vytvořena v LabVIEW. V diplomové práci jsou popsány všechny důležité funkce programu. Také jsou popsány jednotlivé části čelního panelu a možnosti nastavování zařízení.

Následně bylo provedeno měření v laboratoři ABB pomocí nově vytvořeného řešení, jsou prezentovány jeho výsledky a porovnání s předchozím systémem. Bylo zjištěno, že při tomto řešení se dosahuje stejných výsledků jako při použití ověřeného systému Dr. Strauss, systém však umožňuje archivaci dat a zjednodušuje tvorbu měřicího protokolu. Při všech prováděných měřeních v laboratoři došlo k správnému rozpoznání průběhu a jeho správnému vyhodnocení. Těmito měřeními bylo prokázáno, že navrhované řešení je možné používat jako paralelní měřicí systém, v případě nefunkčnosti certifikovaného systému.

Pokud bude systém potřeba používat, je nutné zapojit do sestavy navrhovaný stabilní dělič, který posune velikost napětí na vhodnou mez..

Je plánované rozšíření systému o vhodný dělič, který zajistí schopnost měření potřebných napětí. Dále je plánované rozšíření měřicího protokolu o ukládání grafických průběhů a přehlednější vyhodnocení zkoušky. Je tedy v plánu program rozšířit a vyladit pro všechna možná měření a rozšíření při měření transformátorů.

# LITERATURA

- [1] Blažek, V.; Skala, P. *Vysoké napětí a elektrické přístroje, část I: Vysoké napětí*. Brno: VUTIUM, 2004. 74 s. ISBN 8021426101.
- [2] Gescheidtová, Eva; REZ, Jiří; STEINBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice : Měření v elektrotechnice*. Brno : VUTIUM, 2002. 184 s. ISBN 8021419903.
- [3] ČSN EN 60060-1. *Technika zkoušek vysokým napětím : Část 1 :Obecné definice a požadavky na zkoušky*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Srpen 2011. 68 s
- [4] ČSN EN 60060-2. *Technika zkoušek vysokým napětím : Část 2 :Měřicí systémy*. [s.l.] : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Listopad 1997. 66 s
- [5] ČSN EN 62271-1 (354205). *Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 1: Společná ustanovení* Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, Červenec 2009. 116 s
- [6] Abb.com: IEC vzduchem izolovaný rozváděč UniGear typ ZS1. ABB. [online]. 30.1.2008 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/0036c44d51341ca5c1257995005691af/\\$file/CA\\_UNIGEAR-ZS1%28EN%29E\\_1VCP000138-1201.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/0036c44d51341ca5c1257995005691af/$file/CA_UNIGEAR-ZS1%28EN%29E_1VCP000138-1201.pdf)
- [7] National Instruments. *NI cDAQ-9174* [online] [cit.12.1.2013]  
URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/207535>
- [8] National Instruments. *NI 9225 Device* [online] [cit.12.1.2013]  
URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208795>
- [9] National Instruments. *NI 9223 Device* [online] [cit.17.1.2013]  
URL: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/209139#top>
- [10] ŠTĚTINA,J. JAROŠ,M.RAMÍK,P. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Virtuální laboratoř - Experimentální metody*. Brno: VUTIUM, 2003.  
Dostupné z: <http://vlab.fme.vutbr.cz/>
- [11] National Instruments. *Začínáme s LabVIEW 2004*.  
URL: <http://www.ni.com/> (informace o produktech)
- [12] TiePie engineering. *Handyscope HS 3* [online][cit. 20.3.2013]  
URL: [http://www.tiepie.com/en/products/Oscilloscopes/Handyscope\\_HS3](http://www.tiepie.com/en/products/Oscilloscopes/Handyscope_HS3)

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Plný atmosférický impulz [1].....	11
Obrázek 2: Atmosférický impulz useknutý ve vrcholu [1].....	11
Obrázek 3: Atmosférický impulz useknutý v týlu [1] .....	12
Obrázek 4: Rozvaděč UniGear ZS1 [6].....	17
Obrázek 5: Blokové schéma měření .....	19
Obrázek 6: Výsledný graf kladného impulzu systému Dr.Strauss .....	20
Obrázek 7: Výsledný graf záporného impulzu systému Dr.Strauss .....	21
Obrázek 8: Zkušební měření kladného pulzu pomocí osciloskopu .....	24
Obrázek 9: Zkušební měření záporného pulzu pomocí osciloskopu .....	25
Obrázek 10: Doba čela T1 při měření osciloskopem.....	26
Obrázek 11: Doba půltýlu T2 při měření osciloskopem.....	26
Obrázek 12: Pouzdro pro měřicí karty z [7] .....	29
Obrázek 13: Měřicí karta NI 9225 z [8] .....	29
Obrázek 14: Digitální osciloskop HS3 z [12].....	30
Obrázek 15: Ukázka čelního panelu v LabVIEW z [10] .....	32
Obrázek 16: Ukázkové blokové schéma v LabVIEW z [10].....	33
Obrázek 17: Navrhované schéma zapojení.....	34
Obrázek 18: Napěťová sonda HP 9350 .....	35
Obrázek 19: Blokové schéma realizovaného řešení .....	36
Obrázek 20: Inicializační část na hlavním panelu .....	38
Obrázek 21: Detail měřicí části na hlavním panelu .....	39
Obrázek 22: Detail na vyhodnocovací část.....	40
Obrázek 23: Celkový pohled na čelní panel měřicího ústrojí.....	41
Obrázek 24: Fotografie ze zkušebny při testovacím měření.....	42
Obrázek 25: Připojení na jednu fázi přípojnic rozvaděče při zkušebním měření.....	42
Obrázek 26: Připojení HS3 v laboratoři ABB .....	43
Obrázek 27: Čelní panel s daty ze zkušebního měření .....	44
Obrázek 28: Čelní panel s daty ze zkušebního měření .....	44
Obrázek 29: Detail čela záporného pulzu .....	45
Obrázek 30: Detail půltýlu záporného pulzu .....	45
Obrázek 31: Ukázka měřicího protokolu jako část výsledku měření .....	46

# SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Seznam použitých přístrojů

Příloha 2. Zdrojový program

Příloha 3. Navržený program ve formě aplikace

Příloha 4. DVD

## Příloha 1. Seznam použitých přístrojů

**Tabulka 7: Použité přístroje**

Zařízení	Výrobce	Typ	Sériové číslo	Poznámka
Vyhodnocovací systém	Dr. STRAUSS	MIRA 25-8		Stávající měřicí systém
Vysokonapěťový dělič	HIGHVOLT	SMC 2000/400		Dělič, ve schématu značený "D"
Osciloskop	Tetronix	TDS 2024B	C046077	Použitý při zkušebním měření
Sonda	Tetronix	P6015A	C065927	Požita při zkušebním měření
Osciloskop	Handyscope	HS3	19761	Realizované řešení
PC	Packard Bell	EasyNote TS	10936850416	PC s vyhodnocovacím programem