

**Česká metrologická společnost, z.s.**

**Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1**

**tel/fax: 221 082 254**

**e-mail: cms-zk@csvts.cz**

**www.csvts.cz/cms**

**Kalibrační postup**

**KP 4.3.1/01/16**

**ANALOGOVÉ A ČÍSLICOVÉ OSCILOSKOPY**

**Praha**  
Říjen 2016

**Vzorový kalibrační postup** byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2016.

**Číslo úkolu:** VII/2/16.

**Zadavatel:** Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu.

**Řešitel:** Česká metrologická společnost.

**Revidoval:** Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

© ÚNMZ, ČMS.

**Neprodejné:** Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.



## 1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup je určen pro kalibraci analogových a číslicových osciloskopů s kmitočtovým rozsahem do 2 GHz.

Je popsána kalibrace základních parametrů osciloskopů.

Tento postup nenahrazuje, ale pouze doplňuje dokument EURAMET cg-7 Version 1.0 (06/2011).

Kalibrační postup nemůže zahrnout typové odlišnosti různých výrobků.

## 2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[1]
ČSN IEC 60050-300 (slovník IEV)	Mezinárodní elektrotechnický slovník - Elektrická a elektronická měření a měřicí přístroje - Část 311: Všeobecné termíny měření - Část 312: Všeobecné termíny elektrického měření - Část 313: Typy elektrických měřicích přístrojů - Část 314: Zvláštní termíny podle typu přístroje	[2]
ČSN EN 60359	Elektrická a elektronická měřicí zařízení - Vyjadřování vlastností	[3]
EAL G30(1997) přeznačeno na EA-10/7	Kalibrace osciloskopů (Calibration of Oscilloscopes)	[4]

EURAMET cg-7 Version 1.0 (06/2011)	Calibration of Measuring Devices for Electrical Quantities, Calibration of Oscilloscopes	[5]
Tektronix Inc	XYZs of oscilloscopes, 2009	[6]
Richtlinie DKD-R1-2	Kalibrierung von Oszilloskopen, April 1994	[7]
Agilent Technologies	Understanding oscilloscope frequency response and its effects on rise-time accuracy, Application Note 1420, 2002	[8]
Lannes S. Purnell, FLUKE.	SIGNAL GENERATORS and OSCILLOSCOPE CALIBRATION	[9]
David F. Martson	Oscilloscopes and their Calibration Lab World Magazine, Vol. 3, No. 4, May - July 2014	[10]

### 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci měřidel je dána v příslušném předpisu organizace. Dále musí být příslušní pracovníci seznámeni s tímto kalibračním postupem. Proces udržování a rozvoje kvalifikace má být soustavný a dokumentovaný, jak to předepisuje ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 bod 5.2.2 i revize CD2 ISO/IEC 17025. Doporučuje se také podrobné seznámení pracovníků, provádějících kalibraci osciloskopů s literaturou [5].

Doporučuje se i certifikace odborné způsobilosti těchto pracovníků na úrovni dobře osvojené znalosti literatury [4] [5] [5] [7] [8] [9] [10].

Pracovníci provádějící kalibraci elektrických měřidel mají být osobami znalými s vyšší kvalifikací ve smyslu ČSN 34 3100, ČSN EN 50110-1 a vyhlášky ČÚBP č. 50/78Sb, popřípadě předpisů, které je nahradí.

### 4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 a publikacích věnovaných metrologické terminologii (slovník IEV, ČSN IEC 60050-300).

V textu se užívá následujících znaků:

$d$	dělicí poměr,
$f$	kmitočet,
$f_3$	mezní kmitočet osciloskopu, kmitočtový rozsah pro pokles o 3 dB,
$f_{3h}$	horizontální kmitočtový rozsah,
$l_h$	horizontální linearita,
$l_z$	linearita časové základny,
$o_y$	odstup mezi vertikálními kanály,
$r_{hk}$	rozlišení horizontálních kurzorů,
$r_{vk}$	rozlišení vertikálních kurzorů,
$t_p$	délka impulzu na 50 % amplitudy,
$t_r$	čelo impulzu,
$t_{rg}$	čelo impulzu osciloskopu,
$t_{ro}$	odezva osciloskopu,
$A$	vertikální amplituda,
$B$	překmit impulzu,
$C$	podkmit impulzu,
$C_{vo}$	vstupní kapacita osciloskopu,
$H$	horizontální amplituda,
$P_i$	vstupní výkon,

- $P_r$  odražený výkon,
- $PSV$  poměr stojatých vln,
- $R_{vo}$  vstupní odpor osciloskopu,
- $X$  rychlost časové základny, horizontální vstup,
- $Y$  vertikální citlivost, vertikální vstup,
- $\Gamma$  činitel odrazu,
- $\Delta$  přírůstek, chyba.

**Osciloskopy - základní přehled principů**

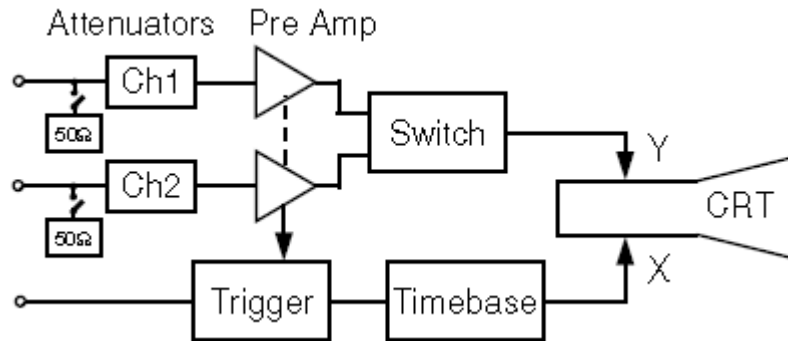


Schéma č. 1: Analogové šířka pásma 0,5 GHz.

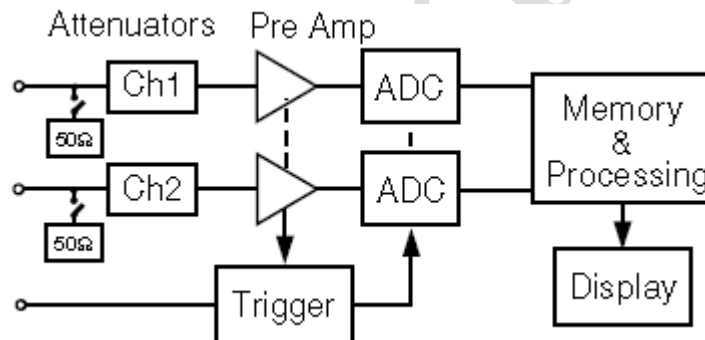


Schéma č. 2: Digitální šířka pásma 10 GHz.

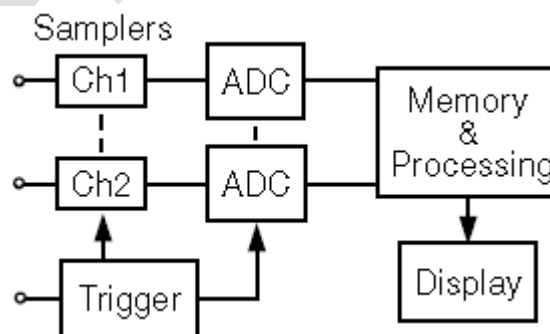


Schéma č. 3: Vzorkovací: Digitální šířka pásma nad 50 GHz.

## 5 Prostředky potřebné pro kalibraci

*Pozn.:* Všechna použitá měřidla a měřicí prostředky musí být navázány na vhodný etalon a mít platnou dobu kalibrace. (obvyklá doba je 1 rok).

Specifikace použitých etalonů nemá způsobit složku nejistoty měření větší, než je 1/4 dovolené hodnoty podle specifikace kalibrovaného přístroje.

### 5.1 Kalibrační pracoviště lze sestavit z následujících zařízení:

- kalibrátor osciloskopů,
- stejnosměrný zdroj,
- stejnosměrný kalibrátor,
- multimetr,
- generátor funkcí 1 MHz až 10 MHz,
- vf generátor např. 10 MHz až 2000 MHz,
- generátor časových značek (5 ns až 10 s),
- generátor impulsů (2,5 ns až 50 ms,  $t_r = 900$  ps),
- měřič vf výkonu (0 až 15 GHz, 3 mW až 300 mW),
- vf voltmetr např. (10 kHz až 2 GHz),
- čítač např. (5 mHz až 1000 MHz),
- analyzátor průběhů, (0 až 200 MHz; 400 MHz; 12,5 GHz),
- měřič LCR ,
- zatěžovací odpor  $50\Omega$  v koaxiálním pouzdře s konektorem BNC,
- koaxiální útlumy, rozdělovače výkonu, přechody, směrové vazby, mikrovlnné koaxiální kabely.

Kalibrátor osciloskopů (Fluke, Wavetek, Transmille), nebo multifunkční kalibrátor nahradí několik jiných přístrojů a podstatně usnadní kalibraci. Nejznámější pro toto použití jsou kalibrátory Meatest, Fluke, Wavetek, Transmille.

Výčet přístrojů je uveden pouze jako příklad, může být použito i jiných přístrojů. Proto jsou v dalším textu vlastnosti některých přístrojů, použitých na pracovišti stručně specifikovány. Výše uvedené měřicí přístroje musí mít zajištěnu metrologickou návaznost.

### 5.2 Ke kalibraci jsou dále potřebná následující zařízení:

- teploměr s měřicím rozsahem  $20^{\circ}\text{C}$  až  $26^{\circ}\text{C}$ , s rozlišením min.  $0,2^{\circ}\text{C}$ ,
- vlhkoměr (rozsah 30 % až 90% relativní vlhkosti),
- propojovací vodiče,
- čisticí prostředky.

## 6 Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace osciloskopu se provádí za následujících referenčních podmínek:

- teplota prostředí:  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,
- vlhkost vzduchu: 45 % až 75 % relat.

Referenční podmínky je nutné před zahájením kalibrace, v jejím průběhu a po skončení kalibrace kontrolovat.

Kontrola okolní teploty se provádí teploměry s teplotní stupnicí 0,1 °C/dílek nebo 0,2 °C/dílek. Pro kontrolu vlhkosti se použije vlhkoměr pro měření relativní vlhkosti s rozsahem alespoň 30 % až 90 %.

Ostatní podmínky laboratoře pro kalibraci, to je například vnější magnetické pole a vnější elektrické pole musí být natolik potlačené, aby nezpůsobovaly další přídavné chyby.

Plocha, na které je kalibrován osciloskop umístěn, musí být chráněna proti chvění.

Před započítáním kalibrace musí být kalibrován osciloskop a ostatní používané přístroje nejméně hodinu v provozu.

## 7 Postup kalibrace

Rozsah kalibrace je nutné předem odsouhlasit se zákazníkem, viz norma ISO/IEC 17025: 2005 část 4.4 Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv nebo revize ISO/IEC 17025: 2018 (část 7.1.1.).

7.1 Vnější prohlídka (metodika čl. 9.2).

7.2 Zkouška provozuschopnosti (metodika čl. 9.3).

7.3 Měření vlastností vertikálních zesilovačů (metodika čl. 9.4).

7.4 Kalibrace časové základny a horizontálního zesilovače (metodika čl. 9.5).

7.5 Kontrola spouštění (metodika čl. 9.6).

7.6 Kalibrace vnitřního kalibrátoru (metodika čl. 9.7).

7.7 Kontrola a kalibrace sond (metodika čl. 9.8).

7.8 Kontrola přídavného měřicího zařízení (metodika čl. 9.9).

Parametry, které odečítáme vizuálně na stínítku obrazovky nebo displeje, lze určit s přesností, která závisí na síle stopy, provedení stínítka a rastru.

U obrazovek s elektrostatickým vychylováním s vnitřním rastrem (analogové a analogově číslicové osciloskopy) to bývá 1 %. Stejnou přesnost lze očekávat u LCD displejů.

U obrazovek s elektromagnetickým vychylováním a elektronicky generovaným rastrem je přesnost odečtu 0,2 % až 0,5 %.

U barevných obrazovek, kde lze použít rozdílné barvy rastru a stopy to bude 0,1 %.

Poslední případy se týkají číslicových osciloskopů. Při odečítání jde zejména o vertikální vychylovací činitel, odezvu a časovou základnu. Jde-li o přístroje se zásuvnými jednotkami, provede se kalibrace se všemi dodanými jednotkami.

Rozlišení digitálních displejů závisí na počtu pixelů, které displej má.

Kalibraci osciloskopu lze provést i bez sond, pokud tím není ovlivněna jeho vlastní činnost.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

Zakázka na kalibraci se při přebírání přezkoumává podle ČSN EN ISO/IEC 17025, odst. 4.4.

Přezkoumání má potvrdit, že laboratoř má nezbytné fyzické, lidské a informační zdroje, a že pracovníci laboratoře mají dovednosti a odborné znalosti potřebné k provádění příslušných

kalibrací. Laboratoř musí vytvořit a udržovat postupy pro přezkoumávání poptávek, nabídek a smluv. Jakékoli rozdíly mezi poptávkou nebo nabídkou a smlouvou musí být dořešeny před zahájením prací. Každá smlouva musí být přijatelná jak pro laboratoř, tak zákazníka. Při přebírání přístroje ke kalibraci je třeba zjistit, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného osciloskopu odpovídá údajům uvedeným v objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede jeho předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce a kontrole provozuschopnosti přístroje. Kontroluje se mechanická nepoškozenost přístroje, přípojovacích konektorů a jejich čistota (v případě potřeby se vyčistí). U starých typů kontrolujeme i dostatečný jas.

### 8.1 Čištění a předběžná kontrola

Při přebírání osciloskopu ke kalibraci je třeba, aby odpovědný pracovník kalibrační laboratoře posoudil, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného osciloskopu odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede přezkoumání smlouvy z pohledu požadavků zákazníka a možností laboratoře.

Současně se provede předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce přístroje.

### 8.2 Příprava měřidla

Osciloskopy nevyžadují speciální přípravná opatření před kalibrací. Doporučuje se uskladnit přístroj v prostředí laboratoře nejméně 1 den před začátkem kalibrace.

## 9 Postup kalibrace

### 9.1 Příprava osciloskopu ke kalibraci

Před započatím kalibrace se musí vykonat tyto úkony:

- Kalibrovaný osciloskop se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu dle čl. 6 a ponechá se v něm po dobu nejméně 4 hodiny. Pak se přemístí na kalibrační pracoviště.
- Kalibrovaný osciloskop se připraví na zkoušení v souladu s jeho technickou dokumentací.
- Po připojení na napájení se musí osciloskop ustalovat při referenčních podmínkách po dobu náběhu. Není-li doba náběhu stanovena v dokumentaci dodávané s osciloskopem, ustaluje se minimálně po dobu 15 minut.
- Je-li to potřebné, provede se nastavení osciloskopu podle pokynů uvedených v dokumentaci dodávané s osciloskopem.

### 9.2 Vnější prohlídka

Při převzetí osciloskopu od zadavatele kalibrace se zjišťuje, zda byl dodán s potřebnou dokumentací a potřebným příslušenstvím (zásuvné jednotky, výměnné filtry na obrazovku, sondy apod.).

Osciloskop se zásuvnými jednotkami musí být dodán s minimální sestavou zásuvných jednotek, aby byla umožněna jeho funkce. Dokumentace musí obsahovat popis osciloskopu a příslušenství, návod k obsluze a výčet parametrů přístroje.

Kompletnost přístroje a jeho příslušenství zjistíme podle dokumentace.

Vnější prohlídkou zjistíme, zda není osciloskop mechanicky poškozen nebo zda nevykazuje jiné závady, které lze zjistit bez jeho zapnutí. Pokud jsou takové závady shledány, je přístroj z metrologické kalibrace vyřazen.



### 9.3 Zkouška provozuschopnosti

Zjišťuje se zda:

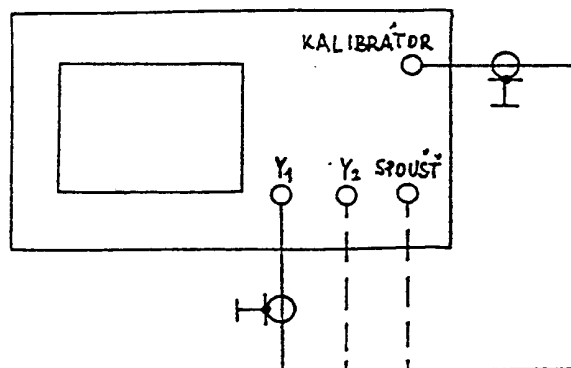
- přístroj je nastaven na 230V napájení,
- po zapnutí se na obrazovce objeví stopa nebo bod,
- funguje funkce vyhledání stopy (obvykle tlačítko),
- bod nebo stopa jde zaostřit a změnit jejich jas,
- funguje osvětlení rastru a jde měnit jeho jas, a zda je jas dostatečný,
- zda se objeví stopa při přepnutí časové základny do režimu AUT,
- funguje vertikální a horizontální posuv,
- osciloskop reaguje na vnitřní a vnější spouštění, časová základna se rozběhne v režimu NORM i AUT. Zjistíme to pomocí kalibrátoru obr. 1. V případě kalibrátoru s vysokou impedancí  $\geq 100 \text{ k}\Omega$ , připojíme výstup kalibrátoru na zesilovač pomocí sondy se vstupním odporem  $\geq 1 \text{ M}\Omega$ ,
- vertikální zesilovače jsou v činnosti, na obrazovce se objeví průběh kalibrátoru, jeho amplituda se mění při změně vertikální citlivosti. Přepnutím časové základny se mění počet zobrazených průběhů z kalibrátoru a signál jde zasynchronizovat,
- sondy po připojení na kalibrátor přivádějí signál na vertikální zesilovač a to zhruba ve stanoveném zeslabení,
- kurzory lze pohybovat po celé ploše obrazovky či obrazového pole po celé délce (bodové kurzory),
- funkce automatického nastavení osciloskopu (autoscale, autose) nalezne a stabilně zobrazí průběh kalibrátoru,
- u číslicových osciloskopů ověříme činnost jednotlivých způsobů sběr dat (v reálném čase, v ekvivalentním čase), činnost průměrování (averaging), obálky (envelope) i jiných způsobů zobrazení. Rovněž ověříme činnost ukládání průběhů do paměti (waveform save) a ukládání nastavení ovládacích prvků do paměti (setup),
- u osciloskopu s paměťovou jednotkou ověříme její činnost uložením a zpětným vyvoláním průběhu. Vyzkoušíme rovněž záznam obsahu dispeje (hardcopy) prostřednictvím tiskárny nebo PC alespoň v jednom z formátů, které osciloskop nabízí. Pokud má přístroj barevný displej, provedeme tuto kontrolu barevným záznamem s odlišnou barvou rastru, průběhů, kurzorů i zpráv,
- správnou činnost rozhraní (RS 232, IEEE 488) ověříme alespoň na funkci nastavení vertikální citlivosti, časové základny a spouštění,
- zpětné osvětlení LCD displeje funguje a poskytuje čitelný obraz za snížené viditelnosti
- multimetr nebo jiné vestavěné měřicí zařízení je funkční,
- u osciloskopu s nuceným větráním je větrák v činnosti a filtr u větrání je čistý.

Osciloskop s vestavěným kalibrátorem zapojíme podle obr. 1. Není-li v přístroji kalibrátor, použijeme vnější generátor funkcí, obr. 2. Kmitočtový rozsah generátoru je alespoň 1 Hz až 1 MHz. Výstupní napětí používáme sinusové a obdélník střídavý 1 – 1, amplituda alespoň 5 V/50  $\Omega$ . Požadovaná možnost zeslabení je alespoň 10 až 1000. Pokud má generátor zesilovač s nižším rozsahem, použijeme vnější 20 a více dB, viz obr. 2.

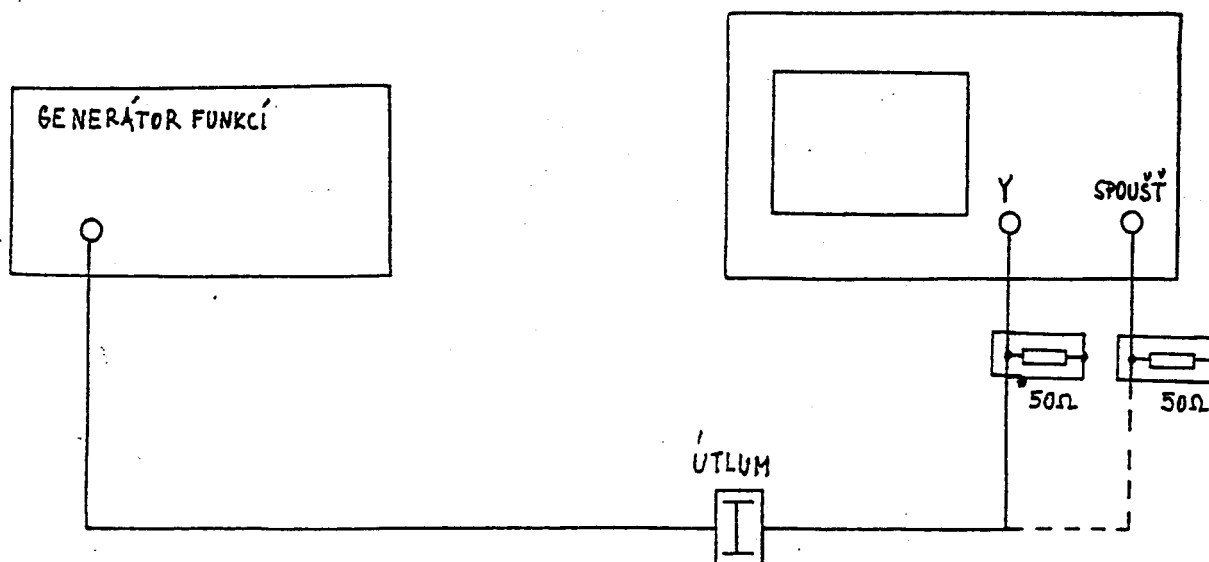
Pro informativní měření použijeme obdélníkový signál amplitudy 1 V a kmitočtu 1 kHz až 10 kHz. Nemá-li osciloskop přepínatelnou impedanci vstupů vertikálních zesilovačů z 1 M $\Omega$  na 50  $\Omega$ , připojíme na vstupy nejprve průchozí odpory 50  $\Omega$ . Pokud je impedance vstupů 50  $\Omega$ , použití vnějších přizpůsobovacích odporů odpadá. Na obrázcích kalibračních pracovišť jsou průchozí odpory 50  $\Omega$  uváděny důsledně.

Všechna měření provádíme s co nejlépe zaostřenou stopou. U mnoha číslicových osciloskopů již zaostřovací prvek není. Jas se nastavuje pomocí nabídky zobrazení (display) prvkem se sdruženými funkcemi. U některých číslicových osciloskopů je jas stop a rastr nastaven fixně a nelze ho měnit. Barvy stop, rastru a zpráv na displeji lze měnit jen u některých přístrojů vyšší třídy.

Zjistíme-li při informativním měření nedostatek v činnosti osciloskopu, kalibraci přerušíme.



**Obrázek č. 1:** Zkouška činnosti vertikálního zesilovače nebo vnějšího spouštění pomocí interního kalibrátoru osciloskopu



**Obrázek č. 2:** Kontrola činnosti vertikálního zesilovače a spouštění generátorem funkcí

## 9.4 Měření vlastností vertikálních zesilovačů

### 9.4.1 Kmitočtový rozsah

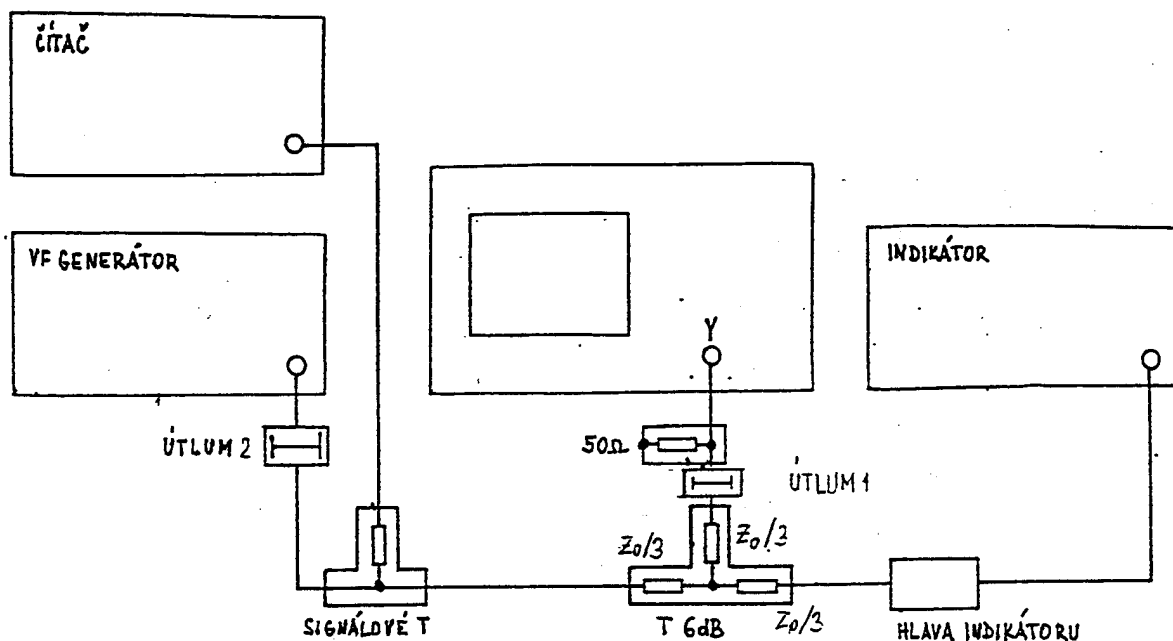
Kmitočtový rozsah určíme v zapojení podle obr. 3a. Na referenčním kmitočtu, 1 kHz až 10 kHz nebo 50 kHz (pokud výrobce nestanoví jinak) nastavíme referenční úroveň signálu, odpovídající na stínítku obrazovky např. 4 vertikálním dílkům. Velikost amplitudy volíme zhruba 2/3 vertikálního rozměru stínítka nebo obrazového pole.

Některé osciloskopy nevyužívají pro zobrazení signálu celou plochu obrazovky, část je určena pro komunikaci osciloskopu s operátorem. Obrazové pole pak zaujímá okolo 60 % plochy obrazovky. Konstantní úroveň signálu kontrolujeme indikátorem s přesností nejméně 10 % výkonově nebo 5 % napěťově. Hledáme kmitočet  $f_3$ , při kterém amplituda signálu na stínítku poklesne (ze 4 dílků) o 3 dB, v našem příkladu na 2,8 dílku. Nalezený kmitočet  $f_3$  určuje kmitočtový rozsah osciloskopu. Podobně určíme spodní mezní kmitočet, který je parametrem střídavé vazby vstupu vertikálního zesilovače. Měření kmitočtového rozsahu provádíme při střední citlivosti vertikálních zesilovačů, obvykle je to 0,1 V/dílek až 0,5 V/dílek na všech kanálech osciloskopu. V našem případě je vstupní signál 0,4 V až  $2 V_{ss}$ , tedy 0,4 mW až 10 mW. Měření se provede také při větších citlivostech vertikálních zesilovačů v případě, kdy při takových citlivostech je specifikovaný kmitočtový rozsah nižší. Indikátorem velikosti měřicího signálu může být širokopásmový vf voltmetr nebo lépe termický měřič výkonu. Nemá-li použitý vf generátor možnost přesného odečtu kmitočtu nejméně na 4 místa, jako má např. syntezátor, použijeme k jeho určení vnější čítač. Platí to i pro další zapojení. Je-li osciloskop vybaven omezením kmitočtového rozsahu, provedeme rovněž kontrolu omezeného kmitočtového rozsahu.

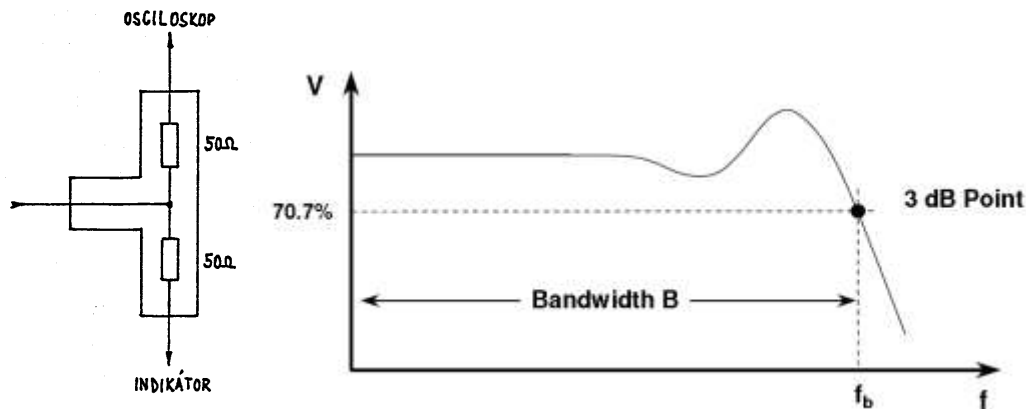
**Podrobněji viz také 3.3.3 Calibration of the bandwidth v EURAMET cg-7, Version 1.0 (06/2011).**

### Důležité upozornění

Pro kalibraci potřebujeme zdroj, kalibrovaný pro frekvenční závislost mezivrcholové hodnoty napětí (flatness). Tuto kalibrační schopnost v databázi KCDB BIPM nemá uznaný zatím nikdo. Lze to řešit kalibrací efektivní hodnoty a zkreslení (stačí 2. a 3. harmonická). Vliv zkreslení zahrneme do nejistoty. **Viz také EURAMET cg-7, Version 1.0 (06/2011) 3.3.3.1.3 Influence of harmonic distortions a 3.3.3.1.4 Flatness.**

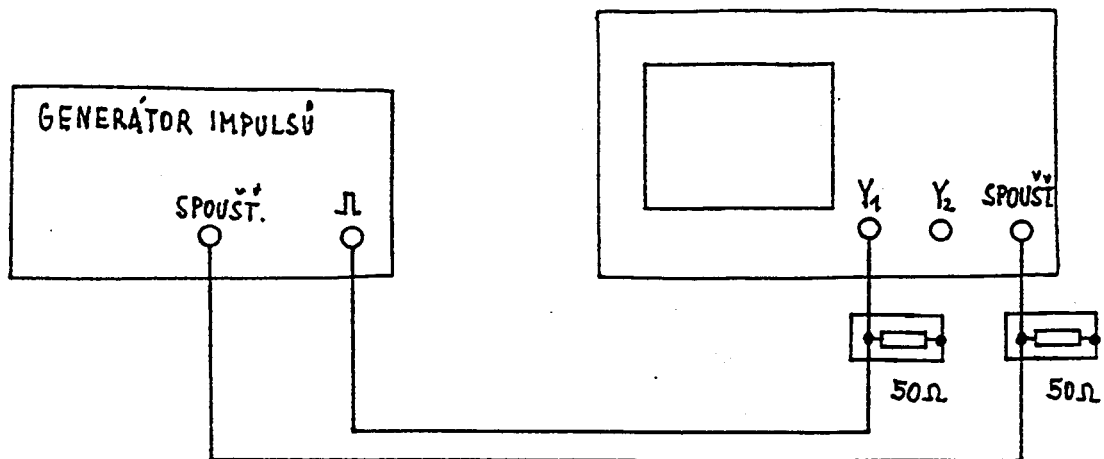


Obrázek č. 3a: Pracoviště na měření kmitočtového rozsahu osciloskopu



Obrázek č. 3b vlevo dvouodporový rozdělovač výkonu

Obrázek č. 3b vpravo frekvenční charakteristika může obsahovat nerovnosti (hrby)



Obrázek č. 4: Měření odezvy osciloskopu

Mezi vstup osciloskopu a tříodporový rozdělovač výkonu (T 6dB), vkládáme útlum 1. Zmenšíme tak vliv kmitočtově proměnné vstupní impedance osciloskopu na přesnost měření. Zařazení útlumu nejméně 3 dB vyžaduje zdvojnásobení vstupního výkonu. Vhodnější je použití dvouodporového rozdělovače výkonu podle obr. 3b, který vliv vstupní impedance osciloskopu na přesnost měření omezuje.

U číslicových osciloskopů testujeme kmitočtový rozsah ve všech režimech vzorkování, které osciloskop používá, v případě, že se kmitočty  $f_3$  v jednotlivých režimech od sebe liší. Kmitočtový rozsah číslicového osciloskopu při zápisu jednorázového děje určíme nepřímo z jeho odezvy, viz bod 9.4.2.

#### 9.4.2 Odezva, překmit a podkmit

Měření odezvy provádíme v zapojení na obr. 4 při střední vertikální citlivosti 0,1 V/dílek až 0,5 V/dílek. Odezvu měříme i při zmenšeném kmitočtovém rozsahu, pokud je výrobcem specifikován. Některé typy osciloskopů mají při nejvyšší vertikální citlivosti např. 0,5 mV/dílek až

2 mV/dílek nižší kmitočet  $f_3$  než na dalších rozsazích citlivosti.

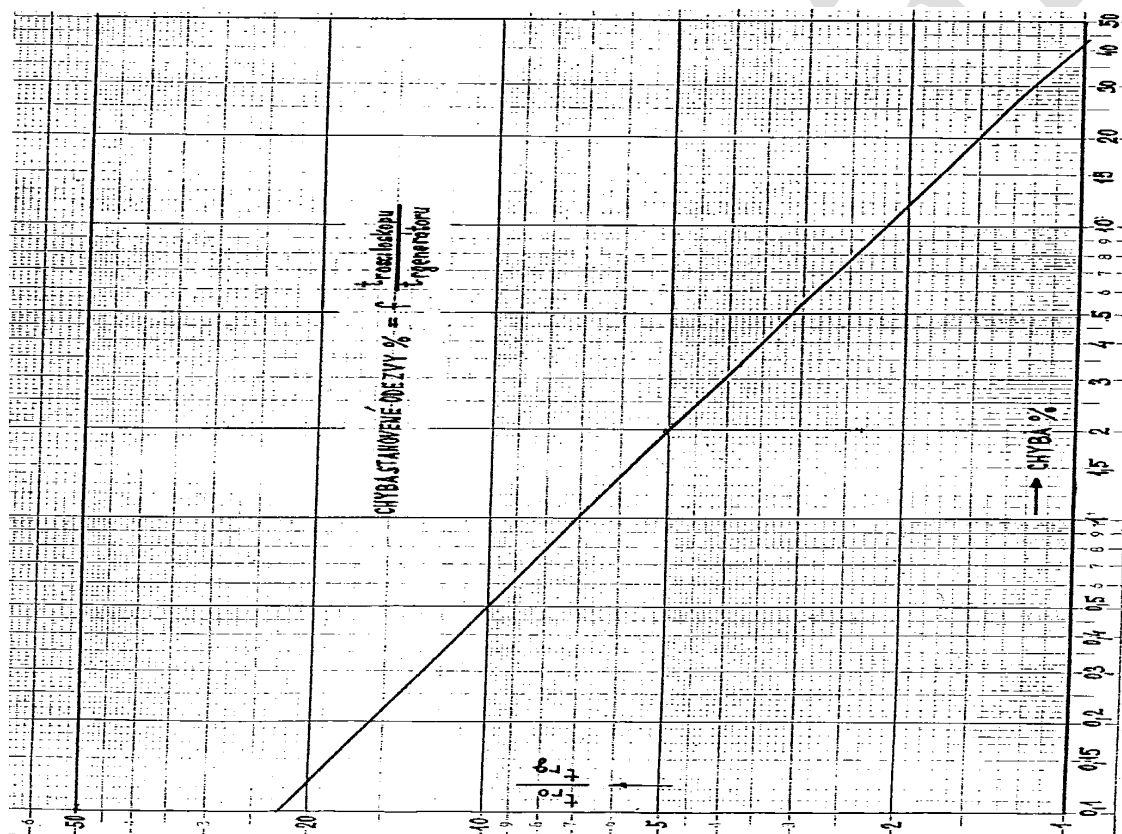
Amplitudu impulsu volíme asi 2/3 vertikálního rozměru stínítka nebo obrazového pole. Čelo impulsu generátoru  $t_{rg}$  musí být alespoň 3x kratší než je hledaná odezva osciloskopu  $t_{ro}$ . Pak je naměřená odezva  $t_m$  delší nežli skutečná odezva  $t_{ro}$  o 5,4 %, viz graf na obr. 5.

Pro aperiodický systém, jakým je vertikální zesilovač osciloskopu, platí vztah (1) a (2):

$$t_{ro} = \frac{0,35}{f_3} , \quad (1)$$

$f_3$  je kmitočtový rozsah osciloskopu pro pokles o 3 dB

$$t_m = (1 + \Delta_0)t_{ro} = \sqrt{(t_{ro}^2 + t_{rg}^2)} . \quad (2)$$



Obrázek č. 5: Chyba stanovení odezvy

Úpravou vztahu (2) získáme

$$\frac{t_{ro}}{t_{rg}} = \frac{1}{\sqrt{[(1 + \Delta_0)^2 - 1]}} , \quad (3)$$

$\Delta_0$  je chyba stanovení odezvy osciloskopu  $t_{ro}$ .

Vztah (3) je graficky vynesena na obr. 5. Ze vztahu (1) zhruba určíme odezvu osciloskopu, pod-

le které v grafu na obr. 5 nalezneme nejdelší možné čelo testovacího impulsu  $t_{rg}$ . V tab. 1 jsou obvyklé kmitočtové rozsahy osciloskopů od 25 MHz do 2 GHz, jim odpovídající odezvy  $t_{ro}$  a přípustná čela  $t_{rgmax}$  měřících impulsů:

$f_3$ MHz	$t_{ro}$ ns	$t_{rgmax}$ ns
25	14	4,5
50	7	2,3
75	4,7	1,5
100	3,5	1
120	2,9	1
150	2,3	0,75
200	1,75	0,5
250	1,4	0,45
300	1,16	0,38
350	1	0,3
400	0,875	0,29
500	0,7	0,23
1000	0,35	0,1
1500	0,23	0,075
2000	0,175	0,05

**Tabulka č. 1:** Kmitočtový rozsah osciloskopu  $f_3$ , odpovídající odezva  $t_{ro}$  a nejdelší přípustné čelo  $t_{rgmax}$  impulsu pro měření odezvy.

V zásadě volíme generátor impulsů s nejkratším čelem  $t_{rg}$ , jaký máme k dispozici. Interval odezvy  $t_{ro}$  je vymezen 10 % a 90 % úrovně amplitudy (temene) impulsu, obr. 6. Příklad stanovení odezvy analogově číslicového osciloskopu IWATSU-8623 je na obr. 7.

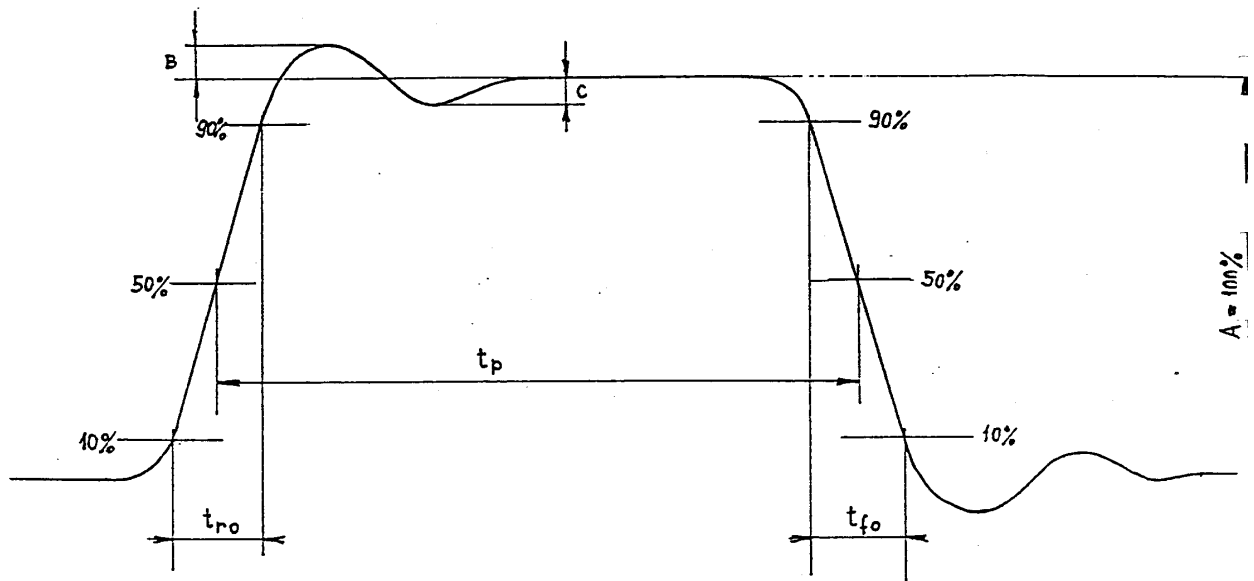
V zapojení na obr. 4 měříme také odezvu číslicových osciloskopů na jednorázový impuls (single shot). Generátor impulsů musí mít možnost vygenerovat jediný impuls. Spouštíme ho obvykle ručně, tlačítkem. Z odezvy číslicového osciloskopu na jednorázový impuls stanovíme kmitočtový rozsah osciloskopu v jednorázovém režimu pomocí vztahu (1).

Předkmit B a podkmit C určíme podle obr. 6 při měření odezvy. Samotný testovací impuls musí mít hladký průběh bez překmitu i podkmitu a dostatečnou délku  $t_p$ , aby na pozorovaném průběhu došlo k ustálení temene. Z obr. 6 plyne, že při měření nemusí být zobrazen tyl měřícího impulsu. Překmit B a podkmit C běžně vyjadřujeme v procentech:

$$\text{předkmit } [\%] = \frac{B}{A} \cdot 100, \quad (4)$$

$$\text{podkmit } [\%] = \frac{C}{A} \cdot 100. \quad (5)$$

$A$  - je amplituda impulsu



Obrázek č. 6: Impulz zobrazený osciloskopem

$t_p$  - délka impulzu,

$t_{ro}$  - čelo impulzu, odezva osciloskopu,

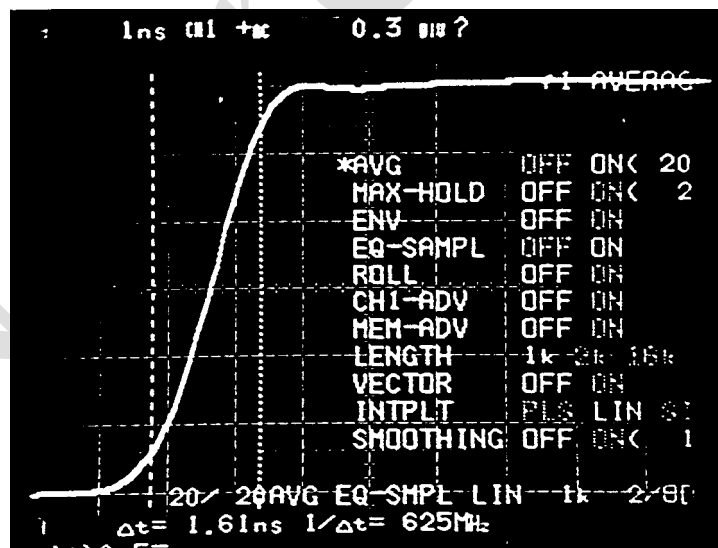
$t_{fo}$  - tyl impulzu,

$A$  - amplituda impulzu,

$B$  - překmit impulzu,

$C$  - podkmit impulzu,

Pokud pro testovací impulz platí  $t_{rg} = t_{fo} \ll t_{ro}$ , je  $t_{ro} = t_{fo} =$  odezva osciloskopu .



Obrázek č. 7: Odezva analogově – číslicového osciloskopu 200 MHz IWATSU – 8623.

Úroveň 10 % a 90 % amplitudy je vymezena tečkovanými horizontálními kurzory, odezvu vymezují kurzory,  $t_r = 1,61$  ns,  $X = 1$  ns/dílek,  $Y = 0,5$  V/dílek.

Koaxiální kabel spojující výstup generátoru impulzů a vertikální vstup osciloskopu volíme co nejkratší a tak kvalitní, aby jeho vlivem nedošlo k degradaci čela impulzu (pro měření v subnanosekundové oblasti ztráty pod 2 dB/m při kmitočtu 18 GHz).

### 9.4.3 Citlivost vertikálního zesilovače

Citlivost vertikálního zesilovače určujeme pomocí stejnosměrného signálu přesné velikosti na všech nastavitelných stupních citlivosti. Zapojení pracoviště je na obr. 8. a na obr. 9. Stejněsměrný kalibrátor musí umožnit nastavení ss napětí v rozsahu alespoň 1 mV až 100 V s přesností nejméně na 4 místa. Číslicový stejnosměrný voltmetr, alespoň čtyřmístný zde má kontrolní funkci. Kalibrátor je možné nahradit stejnosměrným regulovatelným zdrojem a děličem napětí. Dělič napětí např. 1:100 použijeme pro nastavení napětí  $10^{-3}$  V až  $10^{-1}$  V (obr. č. 9). Výchylku stopy nastavujeme zhruba na 2/3 vertikálního rozměru stínítka nebo obrazového pole, např. 4 nebo 6 středních dílků rastru.

Procentně vyjádřená chyba citlivosti  $\Delta_c$  je:

$$\Delta_c [\%] = \left( \frac{\text{výchylka}_{\text{naměra}}}{\text{výchylka}_{\text{správná}}} \cdot 100 \right) - 100 \quad (6)$$

Vhodné je na osciloskopu nastavovat celistvý počet dílků  $n$  [výchylka správná =  $n$  (dílek) · citlivost (V/dílek)] a necelistvou hodnotu (výchylku naměřenou) odečítat na zdroji nebo kalibrátoru. Přesnost určení naměřené výchylky (ve voltech či násobcích) má být 0,05 % nebo lepší.

Stejným způsobem prověřujeme rozsah změny citlivosti při jejím plynulém nastavení. Měření provádíme v pravé a levé krajní poloze regulátoru citlivosti. Udáváme poměr změny zesílení (např. 2,5:1). U osciloskopů se vstupním odporem 50  $\Omega$  je nutné dodržet největší přípustné vstupní napětí.

### 9.4.4 Vstupní odpor

Viz také EURAMET cg-7, Version 1.0 (06/2011), odstavec 3.3.3.1.1 Traceability in the high impedance range (typically below 100 MHz) a odstavec 3.3.3.1.2 Traceability in the 50  $\Omega$  line systém.

Vstupní odpor vertikálního zesilovače osciloskopu  $R_{vo}$  měříme pěti nebo vícemístným multimetrem (ss signálem) podle obr. 10. Svorka G v zapojení na obr. 10 je plovoucí země. Používat můžeme i běžné stejnosměrné můstkové metody. Měření vstupního odporu střídavým signálem je nevhodné. Kapacitní složka vstupní impedance může tvořit nezanedbatelnou paralelní složku s 1 M $\Omega$  vstupního odporu osciloskopu. Taková metoda je použitelná pouze při měření vstupní impedance 50  $\Omega$ .

V případě, že osciloskop má vstupní odpor přepínatelný z 1 M $\Omega$  na 50  $\Omega$ , měříme oba odpory. Procentně vyjádříme rozdíl mezi naměřenou a specifikovanou hodnotou odporu vztahem (7).

$$\Delta = \left( \frac{\text{hodnota}_{\text{naměra}}}{\text{hodnota}_{\text{správná}}} \cdot 100 \right) - 100 \quad (7)$$

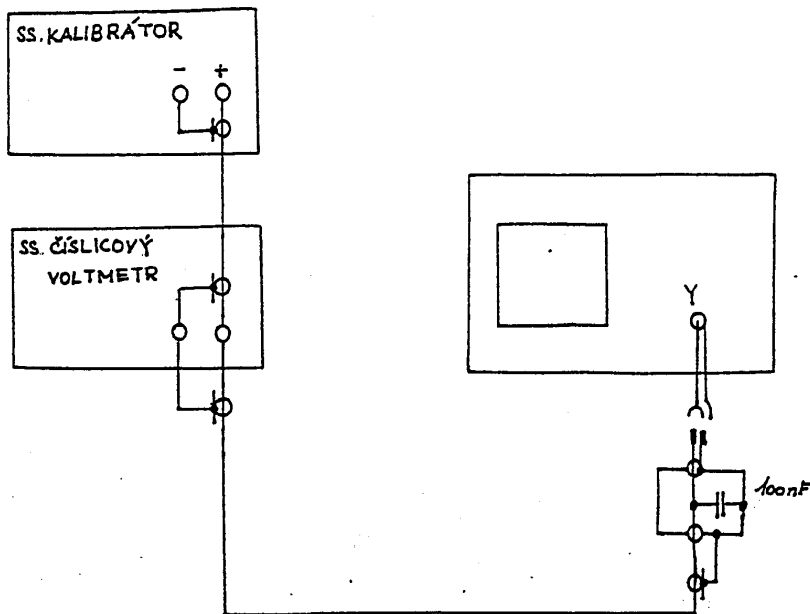
### 9.4.5 Vstupní kapacita

Vstupní kapacitu vertikálního zesilovače osciloskopu změříme měřičem LCR v zapojení podle obr. 11. Je vhodné používat LCR měřič napájený z baterií, protože u měřiče se obvykle měří neuzemněný prvek a u některých typů měřičů se síťovým napájením mohou nastat problémy. V bodech A, B přechází čtyřvodičové vedení v nesymetrické koaxiální vedení, opatřené na konci

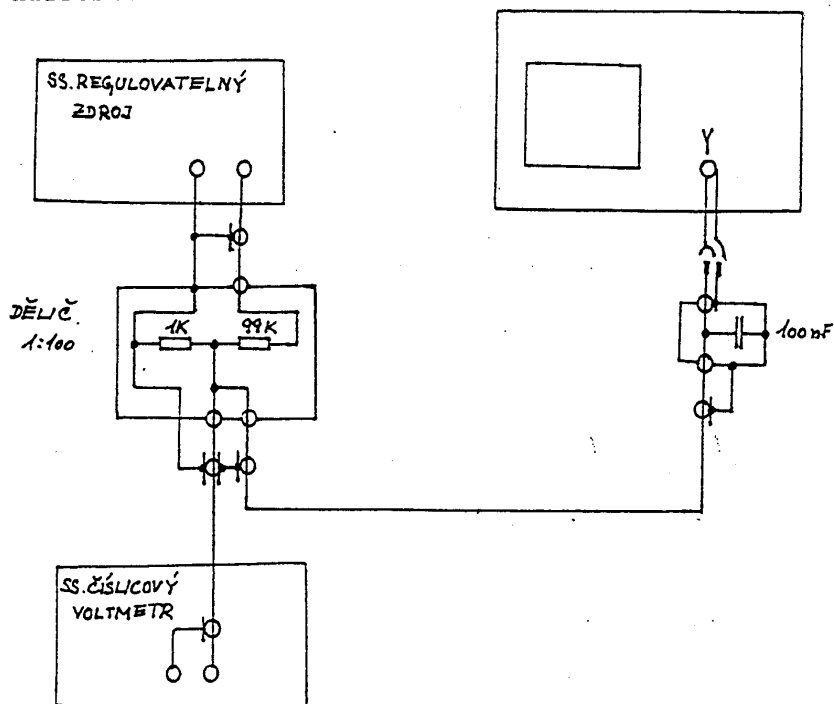


konektorem pro připojení na vstup zesilovače. Tuto část vedení použijeme co nejkratší (do 50 mm), aby jeho kapacita  $C_0$  nepřesáhla několik pF. Většina měřičů nedovoluje tak velkou kapacitu vynulovat. Kapacita  $C_0$  se přičítá ke vstupní kapacitě osciloskopu  $C_{v0}$ :

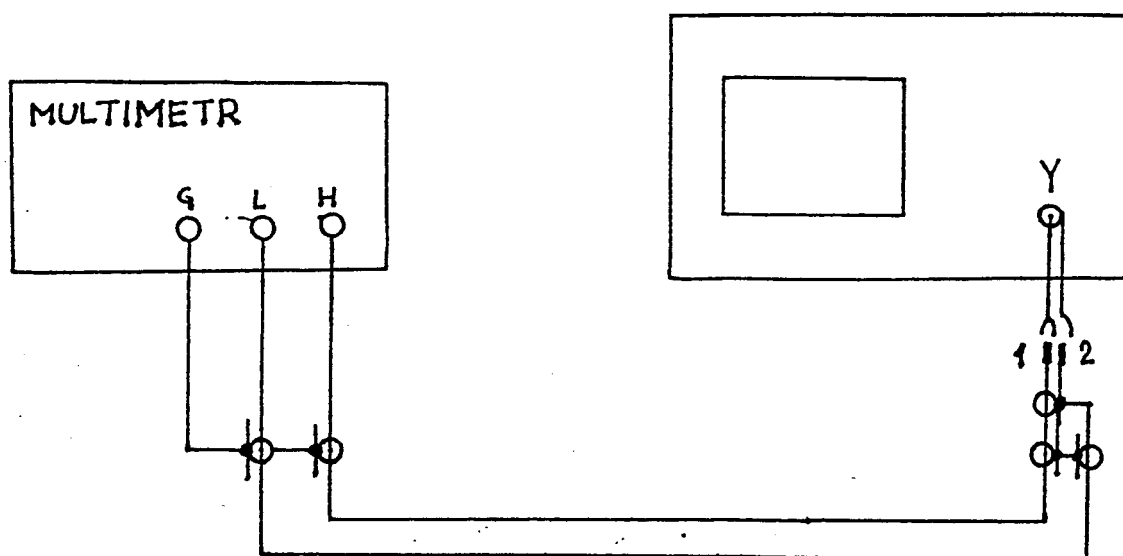
$$C_1 = C_{v0} + C_0 \quad (8)$$



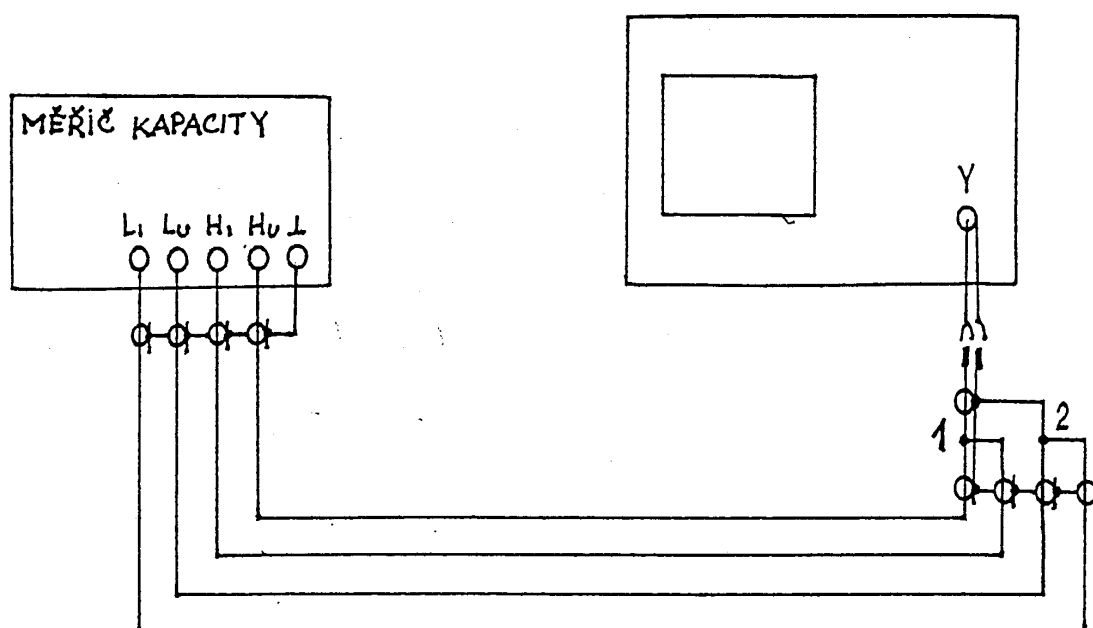
Obr. 8 Pracoviště kalibrace vertikálních zesilovačů se stejnosměrným kalibrátorem



Obr. 9 Pracoviště kalibrace vertikálních zesilovačů se ss zdrojem a děličem napětí



Obrázek č. 10: Měření vstupního odporu vertikálního zesilovače osciloskopu



Obrázek č. 11: Měření vstupní kapacity vertikálního zesilovače osciloskopu

Prvním měřením určíme kapacitu  $C_0$  bez připojení vstupu zesilovače a druhým měřením určíme kapacitu  $C_1$ . Vstupní kapacita vertikálního zesilovače  $C_{v0}$  je dána rozdílem  $C_1 - C_0$ , viz vztah (8). Procentní odchylku od specifikované hodnoty určíme vztahem (7).

Použijeme-li měřiče kapacity s nesymetrickým vstupem, připojíme stíněný vodič bodem 1 na živou svorku a bodem 2 na uzemněnou svorku měřiče kapacity. Také zde je délka stíněného

vodiče (koaxiálního kabelu) omezena na nezbytné minimum. Vstupní kapacitu osciloskopu určíme dvojitým měřením, jako v předchozím případě.

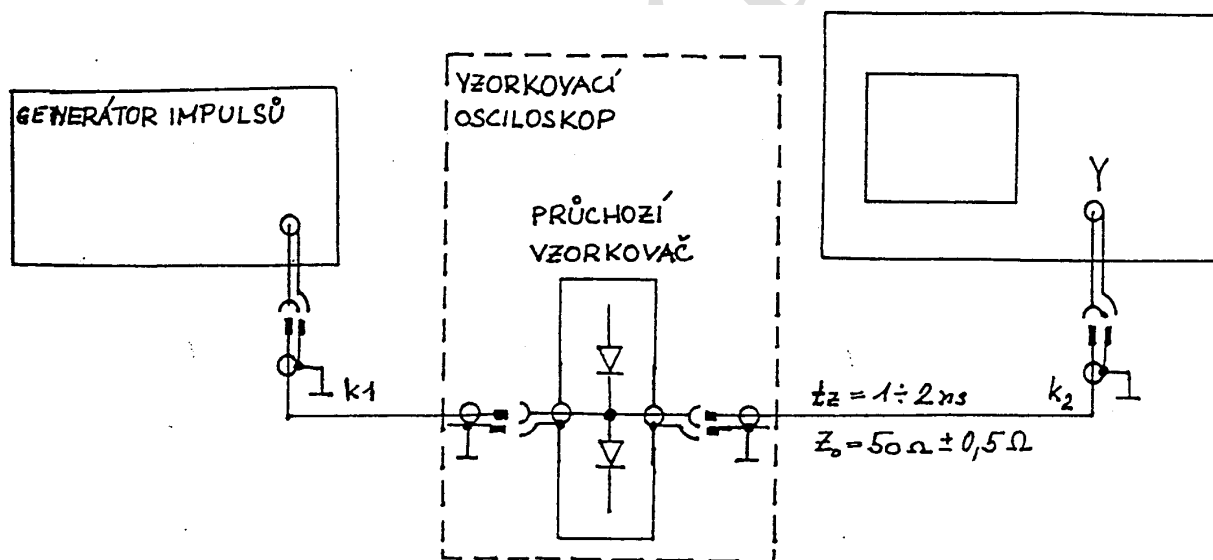
#### 9.4.6 Poměr stojatých vln

Toto měření provádíme u osciloskopu se vstupním odporem  $50 \Omega$ . Poměr stojatých vln vstupu vertikálního zesilovače změříme časovým reflektometrem, který dovoluje přímé odečtení modulu činitele odrazu  $|\Gamma|$ . Uspořádání pracoviště je na obr. 12. Kmitočtový rozsah měření  $f_3$  určuje odezva generátoru impulsů podle vztahu (1). Odpovídající odezvy pro obvyklé kmitočtové rozsahy osciloskopu jsou v tabulce 1.

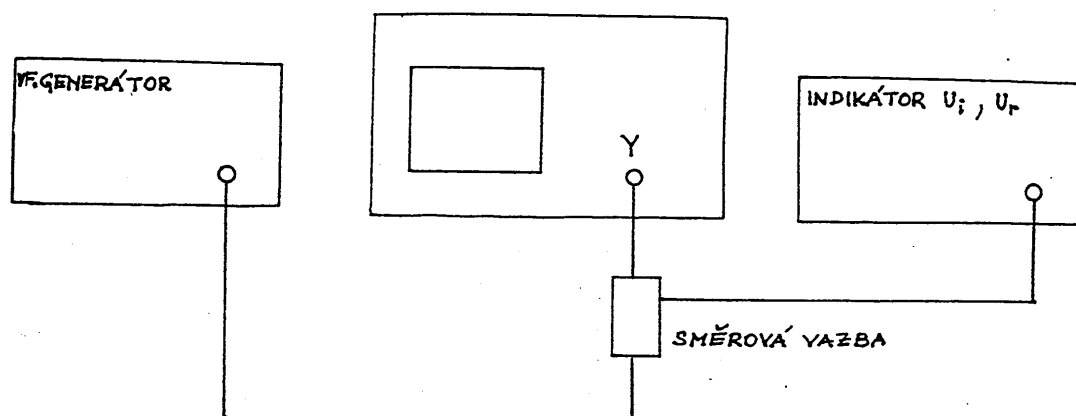
Koaxiální kabely  $k_1$  a  $k_2$  jsou přesné mikrovlnné (poloohebné) kabely se zpožděním 1 až 2 ns (délka je 235 mm až 470 mm) a impedancí  $50 \Omega \text{ max} \pm 0,5 \Omega \text{ max}$ . Přesnost impedance je nutné dodržet zejména u kabelu  $k_2$ , který určujeme referenční hladinu pro činitele odrazu  $\Gamma = 0$ .

Modul činitele odrazu  $\Gamma$  je možné měřit rovněž pomocí reflektometru. Měření je pak třeba provést na několika kmitočtech. Doporučená řada je 300, 500, 1000, 1500, a 2000 MHz. Schéma pracoviště je na obr. 13. Směrnost použití směrové vazby je nejméně 20 dB. Je-li indikátorem vf milivoltmetr, je činitel odrazu  $\Gamma$  dán poměrem napětí odražené vlny  $U_r$  a vstupující vlny  $U_i$ :

$$\Gamma = \frac{U_r}{U_i} \quad (9)$$



Obrázek č. 12: Měření PSV vstupu vertikálního zesilovače časovou reflektometrií



**Obrázek č. 13:** Měření PSV vstupu vertikálního zesilovače směrovou vazbou

Při použití měřiče výkonu je činitel odrazu

$$\Gamma = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \quad (10)$$

$P_r$  je odražený výkon

$P_i$  je vstupující výkon

Poměr stojatých vln určíme ze vztahů 11 a 12 :

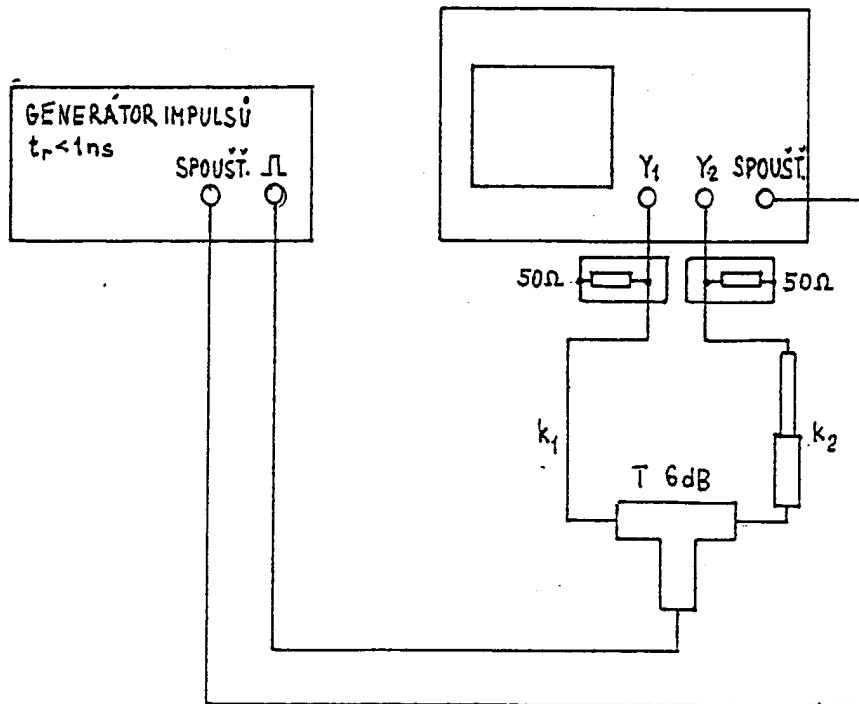
$$PSV = (1+\Gamma)/(1-\Gamma) \quad (11)$$

$$PSV = \frac{U_i + U_r}{U_i - U_r} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}} \quad (12)$$

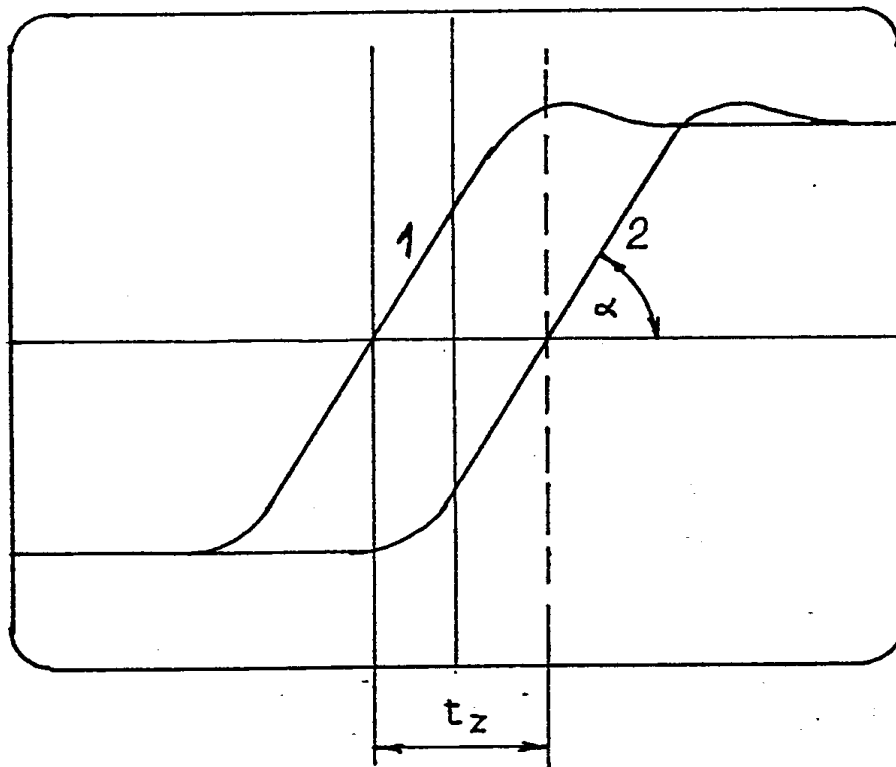
Měření *PSV* provádíme na všech vstupech vertikálních zesilovačů a pokud je specifikován, také na vstupu synchronizace.

#### 9.4.7 Zpoždění mezi kanály

Zpoždění mezi kanály měříme v zapojení podle obr. 14. Vedení  $k_1$  a  $k_2$  mají přibližně stejná zpoždění asi 1 ns až 2 ns. Část nebo celé vedení  $k_2$  má nastavitelné zpoždění v rozmezí větším než je specifikované zpoždění mezi kanály osciloskopu (zhruba 500 ps) a konstantní impedanci. Nejprve pomocí vedení  $k_2$  nastavíme mezi zobrazenými čely impulsů nulové zpoždění a pak obě vedení prohodíme. Na obrazovce odečteme hledané zpoždění mezi kanály. Odečítání provádíme na střední lince rastru s jemným dělením nebo pomocí kurzorů, obr. 15. Měření lze zjednodušit použitím kabelů  $k_1$  a  $k_2$  s přesně stejným zpožděním (diference zpoždění mezi kabely je 5 ps nebo menší). Odečtený časový posuv mezi čely impulsů je hledané zpoždění. Měření provádíme mezi vstupem 1 a všemi ostatními vstupy vertikálních zesilovačů. Čelo měřicích impulsů je kratší než 1 ns, aby úhel mezi čelem impulsu a vodorovnými linkami rastru a nebyl příliš ostrý. Při měření použijeme dostatečně rychlé časové základny (50 ps/dílek až 2 ns/dílek).



Obrázek č. 14: Pracoviště na měření zpoždění mezi kanály



Obrázek č. 15: Odečtení zpoždění mezi kanály pomocí kurzorů

## 9.4.8 Horizontální kurzory

*Úsečkové kurzory*

Horizontální úsečkové kurzory nastavujeme do koincidence s horizontálními linkami rastru. Postupujeme od středu stínítka nahoru a dolů až po první spodní a první horní linku rastru při všech citlivostech vertikálního zesilovače. Pokud nejsou vertikální zesilovače rovnocenné, volíme ten, který má více stupňů citlivosti. Chybu  $\Delta$  v procentech stanovíme ze vztahu (7). Udává se největší chyba ze všech měření, pokud není výrobcem specifikována jinak.

*Bodové kurzory*

Pomocí generátoru funkcí připojeného na jeden ze vstupů vertikálních zesilovačů (obr. 2) zobrazíme část pilového průběhu o kmitočtu asi 1 kHz zhruba podle obr. 16. Bodové kurzory (které sledují zobrazený průběh) posouváme postupně od středu na jednotlivé horizontální linky rastru. Měření se provádí při všech citlivostech vertikálního zesilovače. Chybu kurzorů v procentech stanovíme ze vztahu (7). Uveďme příklad z obr. 16. Při citlivosti 100 mV/dílek jsou na obrazovce nastaveny kursory na 4 dílky vertikálně. Správná hodnota vertikální výchylky je 400 mV, údaj osciloskopu necht' je například 401,2 mV. Potom je chyba:

$$\Delta = \left( \frac{401,2}{400} \cdot 100 \right) - 100 = 0,3 \%$$

*Rozlišení horizontálních kurzorů*

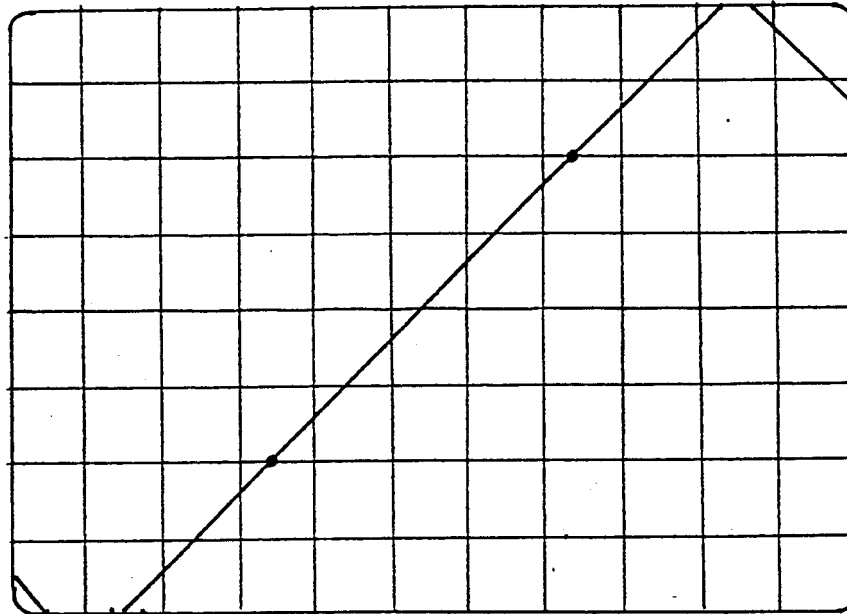
Napětí vymezené kurzory pro jeden díl rastru je u číslicových osciloskopů totožné s vertikální citlivostí/díl  $Y$  (je nastaven celistvý stupeň z rozsahu vertikální citlivosti). Rovnost napětí vymezeného oběma kurzory a tedy také dvěma sousedními linkami rastru je zajištěna softwarově. Rozlišení horizontálních kurzorů  $r_{hk}$  určujeme jako podíl nejmenšího kroku kurzoru při zvětšení nebo zmenšení napěťového intervalu (daného jedním vertikálním dílem rastru)  $\Delta_{hkmin}$  a vertikální citlivosti  $Y$ :

$$\Delta_{hk} = \frac{\Delta_{hkmin}}{Y} \cdot 100 \% \quad . \quad (13)$$

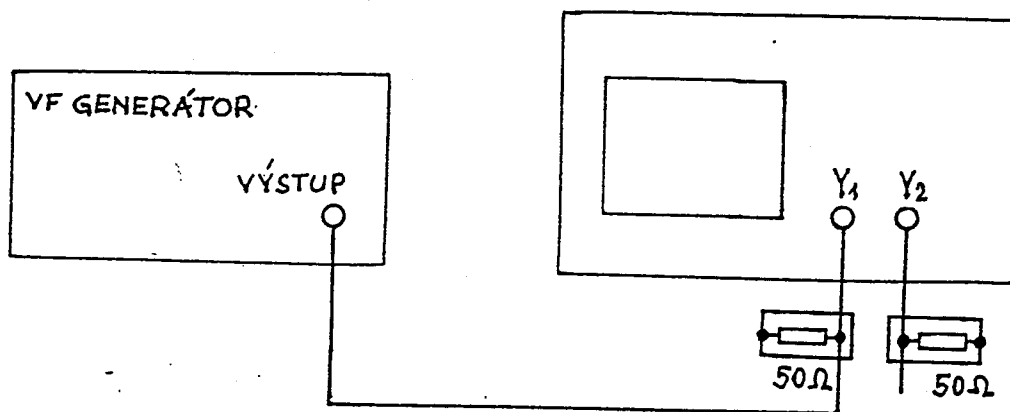
Rozlišení horizontálních kurzorů je vztaženo k jednomu vertikálnímu dílku rastru. Nejprve oba horizontální kurzory nastavíme do koincidence se dvěma sousedními horizontálními linkami rastru. Nepoužíváme jemně dělenou střední linku. U barevné obrazovky zvolíme odlišnou barvu rastru a kurzorů, abychom zlepšili vzájemné odlišení. Údaj kurzorů je stejný jako nastavená vertikální citlivost/dílek  $Y$ . Jeden z kurzorů posuneme o nejmenší nastavitelný krok, aby se údaj změnil na  $Y + \Delta_{hkmin}$ , nebo méně výhodně pro odečítání na  $Y - \Delta_{hkmin}$ .

Příklad: Nastavená vertikální citlivost  $Y = 1$  V/dílek je shodná s nastavením kurzorů. Jedním kurzorem zvětšíme jejich vzdálenost o nejmenší krok na  $Y + \Delta_{hkmin} = 1,02$  V. Určíme rozlišení

$$r_{hk} = \frac{0,02}{1} \cdot 100 = 2 \%$$



Obrázek č. 16: Kontrola vertikální výchyly bodovými kurzory na části pilového průběhu



Obrázek č. 17: Měření odstupu mezi kanály

#### 9.4.9 Vertikální linearita

Vertikální linearitu  $l_v$  měříme pomocí obdélníkového signálu střídavě 1 - 1 o kmitočtu 1 kHz v zapojení na obr. 2. (Časová základna je nastavena zhruba na 200  $\mu$ s/dílek). Při střední vertikální citlivosti (0,1 až 0,5) V/dílek nastavíme signál přesně na amplitudu 1 dílku ve středu obrazovky ( $A_s$ ). Průběh posuneme tak, aby se horní temena impulsu kryla s nejvyšší horizontální linkou rastru, a odečteme amplitudu signálu  $A_h$ . Pak průběh vertikálně posuneme, aby se spodní temena průběhu kryla s nejspodnější linkou rastru, a opět odečteme amplitudu signálu  $A_d$ . Linearitu  $l_v$  v % stanovíme porovnáním amplitudy  $A_h$  a  $A_d$ , s referenční amplitudou ze středu obrazovky  $A_s$ :

$$l_{vl} = \frac{A_h}{A_s} \cdot 100, \quad (14 a)$$

$$l_{vz} = \frac{A_d}{A_s} \cdot 100. \quad (14b)$$

Udáváme horší z takto stanovených hodnot.

#### 9.4.10 Odstup mezi kanály

Pracoviště zapojíme podle obr. 17. Měření odstupů provádíme na kmitočtu specifikovaném výrobcem. Není-li kmitočet udán, provedeme měření na horním mezním kmitočtu vertikálního zesilovače, jak je udán výrobcem. Oba sledované zesilovače jsou nastaveny na stejnou citlivost. Volíme střední zesílení (0,1 až 0,5) V/dílek. V kanálu 1 nastavíme amplitudu signálu na celý vertikální rozměr rastru  $A_1$  a průběh zasynchronizujeme. Pak odečteme amplitudu v kanálu 2,  $A_2$ . Odstup  $o_y$  mezi kanály se udává poměrem  $A_1/A_2$  nebo v decibelech:

$$o_y = 20 \log \frac{A_1}{A_2} . \quad (15)$$

Stejným způsobem měříme odstup mezi kanálem 1 a 3 atd., je-li osciloskop vícekanalový. Pokud kanály 3, 4 a případně další nejsou citlivostí rovnocenné s kanály 1, 2, provádíme měření při takové střední vertikální citlivosti, jakou lze nastavit u všech kanálů. Mají-li vertikální zesilovače vstupní odpor 50  $\Omega$ , odpadá použití vnějších průchozích odporů 50  $\Omega$ .

#### 9.4.11 Šum vertikálních zesilovačů

Měří se při největší vertikální citlivosti a při neomezeném kmitočtovém rozsahu u všech kanálů. Jsou-li přepínatelné vstupní odpory, měříme šum při obou vstupních odporech (tedy při 1 M $\Omega$  i 50  $\Omega$ ). Odečítáme špičkovou hodnotu šumového napětí. Pokud je osciloskop vybaven měřičem špičkové hodnoty napětí (VPP), použijeme vestavěný voltmetr. K odečtení šumu zesilovače je vhodné použít sběru dat v režimu obálka (envelope, accumulate), jak se stalo na střední stopě obr. 18. Stopa vznikla složením 40 navzájem se překrývajících průběhů. Použití nesprávného režimu, jako je tomu u horní stopy v obr. 18 vede k chybnému, obvykle příliš optimistickému měření špičkové hodnoty šumu. Popsané měření umožňují číslicové osciloskopy.

### 9.5 Vlastnosti časové základny a horizontálního zesilovače

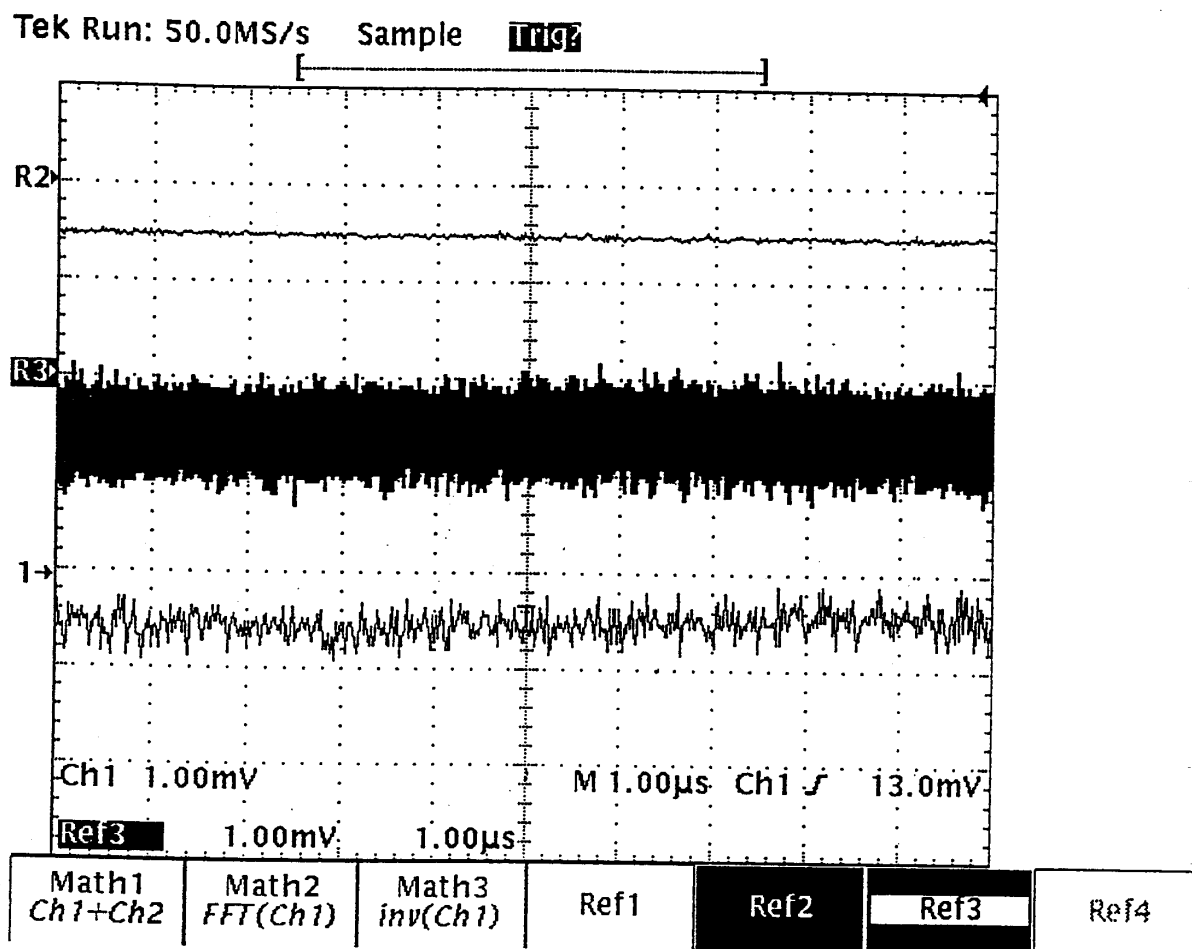
#### 9.5.1 Časová základna

Časovou základnu kontrolujeme generátorem časových značek (impulzů s periodou přesnou alespoň  $10^{-4}$  v řadě 1, 2, 5, 10) nebo generátorem sinusového napětí s přesným nastavením kmitočtu. Kmitočet generátoru sinusového signálu měříme čítačem, pokud to není přesný syntezátor ( $10^{-5}$ ). Zapojení je obdobné jako na obr. 4. Časové značky nebo sinusový signál nastavujeme do koincidence s horizontálním dělením rastru. Příklad kontroly časové základny 2 ns/dílek sinusovým signálem 500,04 MHz je na obr. 19, časové základny 50 ms/dílek časovými značkami 50 ms na obr. 20. Kontrolu koincidence testovacího průběhu provádíme na 8 středních horizontálních dílech rastru při střední vertikální citlivosti 0,1 V/dílek - 0,5 V/dílek. Porovnáním délky naměřeného a správného časového intervalu pomocí výrazu (7) určíme chybu časové základny. Měření provádíme na všech rozsazích časové základny s časovou lupou na nejrychlejších rozsazích, které se ještě při roztažení nekryjí se základními rozsahy. Stejně kontrolujeme zpoždovací časovou základnu (základna B), pokud jí je osciloskop vybaven.

Příklad kontroly časové základny  $X = 10$  ns/dílek časovými značkami 10 ns a této, ale zoomem 5 x roztažené časové základny na rychlost 2 ns/dílek je na obr. 21.

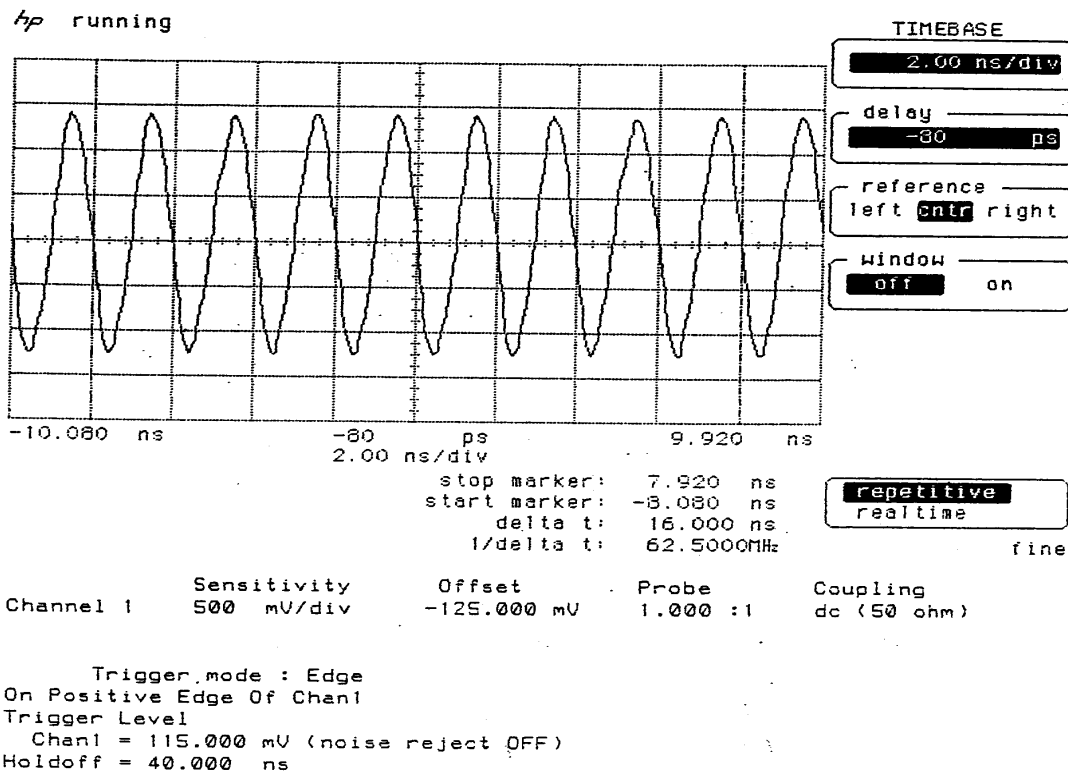
K testování časové základny 20 ms/dílek a pomalejší je vhodné použít sinusový signál. Pomalu se pohybující bod, který vykresluje boky sinusovky lze dostatečně přesně porovnat s rastrem. Nepostřehnutelně rychlé skoky na čele a týlu časových impulsů to však neumožňují. Uvedený problém odpadá u číslicových osciloskopů, kde zas musíme počítat s dobou až jednotek minut, potřebnou na sběr dat pro zobrazení testovacích průběhů s kmitočtem 10° Hz a pomalejších. Použijeme zobrazení, kde body průběhu jsou spojeny úsečkami (vectors) a zlepšíme tak viditelnost boků signálu. Stalo se tak u všech použitých oscilogramů z číslicových osciloskopů.



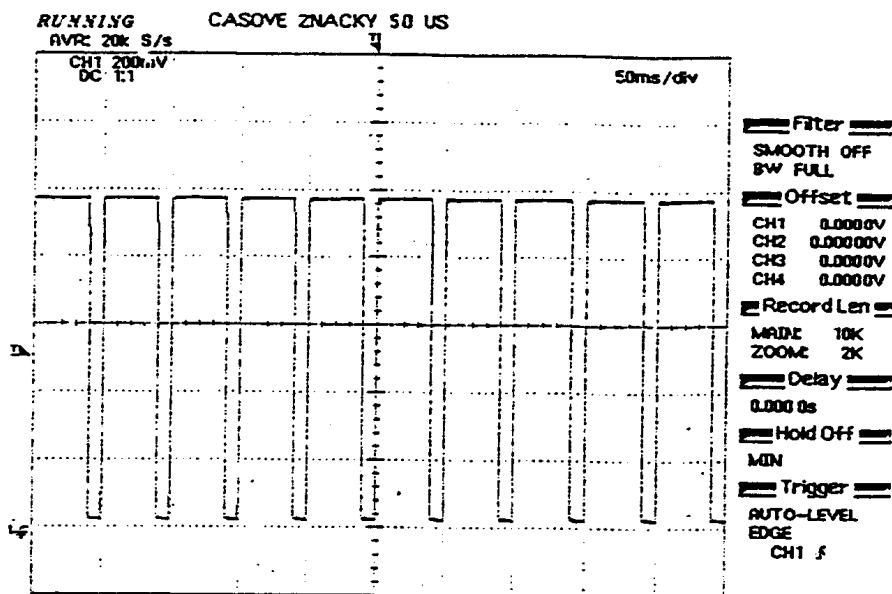


Obrázek č. 18: Šum 1 kanálu osciloskopu při citlivosti  $Y = 1 \text{ mV/dílek}$ .

- Sběr dat shora - režim 40 násobného průměrování, 50 MS/s,  
 - obálka ze 40 průběhů, 50 MS/s šum je 1,26 mV,  
 - režim vzorkování 50 MS/s.



**Obrázek č. 14:** Kontrola časové základny 2 ns/dílek sinusovým signálem 500,048 MHz. Horizontální kurzory vymezují interval 16 ns, odchylka časové základny od nastavené hodnoty je nulová. Linearita základny na tomto rozsahu je 100 %,  $X = 2$  ns/dílek,  $Y = 500$  mV/dílek.



**Obrázek č. 20:** Časové značky 50 ms,  $X = 50$  ms/dílek,  $Y = 200$  mV/dílek

### 9.5.2 Vertikální kurzory

#### Úsečkové kurzory

Vertikální úsečkové kurzory nastavujeme do koincidence s vertikálním dělením rastru na 8 středních dílcích rastru. Měření provedeme na všech rozsazích časové základny. Pro určení chyby porovnáme kurzory změřenou hodnotou časového intervalu s hodnotou správnou pomocí vztahu (7). Udáváme největší ze zjištěných odchylek.

#### Rozlišení vertikálních kurzorů

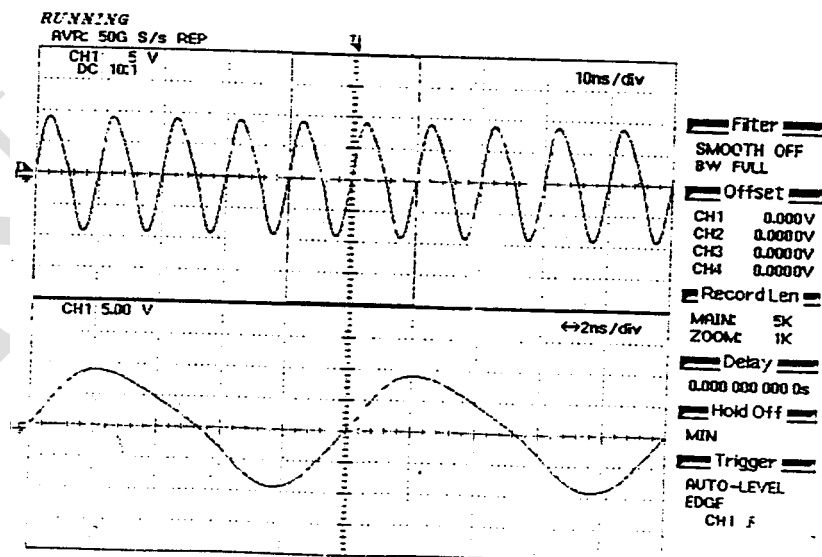
U číslicových osciloskopů se při koincidenci kurzorů s rastrem naměřený časový interval shoduje se zvolenou časovou základnou  $X$  při kterémkoliv z rozsahů. Tato skutečnost je zajištěna softwarově. Proto odečítací vlastnosti vertikálních - časových kurzorů charakterizujeme rozlišením  $r_{vk}$ , které vztahujeme k jednomu dílku rastru

$$r_{vk} = \frac{\Delta_{vk \min}}{X} \cdot 100\% \quad (16)$$

Nejprve nastavíme vertikální kurzory do koincidence se dvěma sousedními vertikálními linkami rastru, takže údaj kurzorů je  $X$ . Pak jeden z vertikálních kurzorů posuneme o nejmenší krok a z údaje o zvětšení časového intervalu  $X + \Delta_{vk \min}$  nalezneme nejmenší časový přírůstek  $\Delta_{vk \min}$ .

#### Bodové kurzory

Bodové kurzory posouváme po stopě nastavené do středu obrazového pole a nastavujeme je do koincidence s vertikálním dělením rastrů. Měření provedeme na všech rozsazích časové základny. Stanovení chyby je obdobné jako v předchozím případě. Některé typy číslicových osciloskopů dovolují zvolit na průběh v obrazovém poli diskrétní počet bodů, např. 256, 512 a 1024 či více. Před kontrolou bodových (i úsečkových) kurzorů u takového osciloskopu nastavíme nejvyšší možný počet bodů na průběh. Bodové kurzory nalezneme spíše u starších typů analogových přístrojů.



**Obrázek č. 21:** Časové značky 10 ns zobrazené časovou základnou  $X_1 = 10$  ns/dílek, horní stopa a po pětinasobném roztažení na  $X_2 = 2$  ns/dílek, dolní stopa. Úsek činnosti zoomu je na horní stopě vymezen obdélníkem.

### 9.5.3 Linearita časové základny

Linearitu časové základny měříme impulsy nebo sinusovými signály v zapojení podle obr. 4. Měření probíhá při střední vertikální citlivosti 0,2 V/dílek až 0,5 V/dílek a na všech rozsazích časové základny. Při měření impulsy postupujeme následovně: Impulz nastavíme do středu obrazového pole, zhruba 4 dílky. Šířku impulsu  $t_p$  v polovině amplitudy (pološírku) nastavíme přesně na jeden střední pravý dílek -  $t_{ps}$ . Posuneme impulz vlevo a porovnáme s druhým levým dílkem - odečteme délku  $t_{pl}$  (v dílcích). Obdobné měření provedeme na devátém dílku obrazového pole vpravo, odečtená hodnota je  $t_{pp}$ , obr. 22. Linearitu časové základny  $l_z$  v % stanovíme z výrazů (17) a (18):

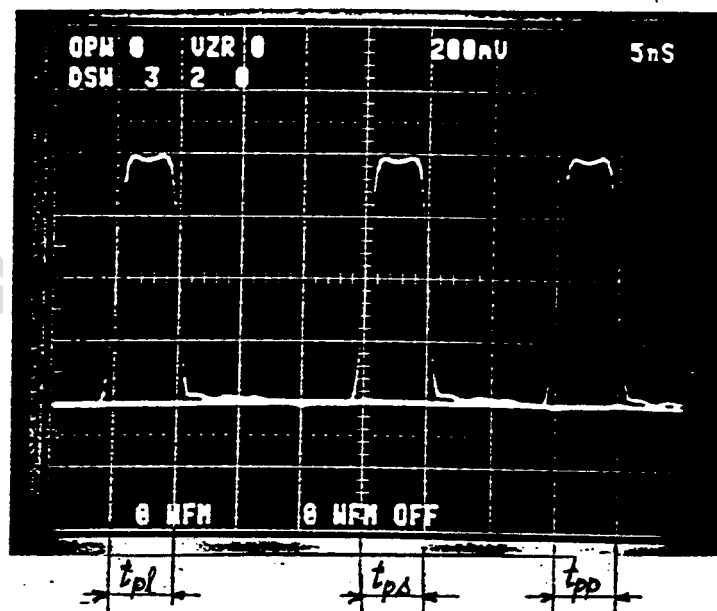
$$l_{z1} = \frac{t_{ps}}{t_{pl}} \cdot 100, \quad (17)$$

$$l_{z2} = \frac{t_{ps}}{t_{pp}} \cdot 100. \quad (18)$$

Uvádíme horší ze stanovených hodnot  $l_{z1}, l_{z2}$ .

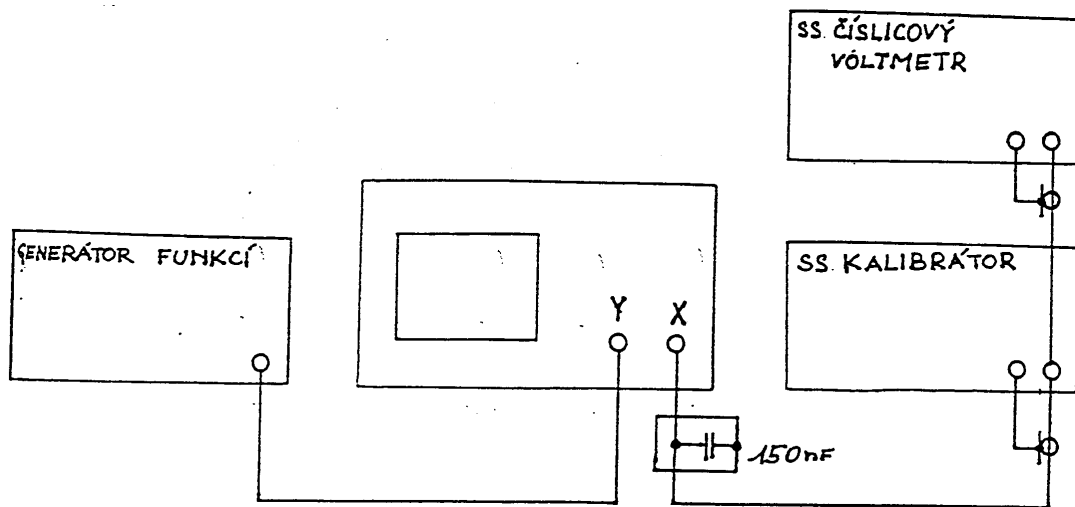
Linearitu stanovíme obdobným způsobem sinusovým signálem o kmitočtu  $f = 1/\text{rozsah}$  časové základny. Průběh nastavujeme do středu obrazovky či obrazového pole, amplituda je asi 4 dílky. Periodu nastavujeme přesně na 1 pravý střední dílek -  $t_{ps}$  a kontrolujeme na druhém dílku  $t_{pl}$  (vlevo) a devátém dílku -  $t_{pp}$  (vpravo), obr. 22. Linearitu v % určíme z výrazu (17) a (18), udáváme horší (menší) z vypočtených hodnot.

Pro stanovení linearity časové základny analogových osciloskopů na rozsahu 20 ms/dílek a pomalejších použijeme s výhodou sinusový signál. Ten dovolí přesněji stanovit sečné body boků sinusovky s linkami rastru. Sinusový signál použijeme také k měření linearity časové základny 1 ns/dílek a rychlejší. Vzhledem k dosahované přesnosti časové základny číslicových osciloskopů je vizuální měření její linearity spíše jen kontrolou.



**Obrázek č. 22:** Měření linearity časové základny 5 ns/dílek impulsy.

Pološírka impulsu na pravém středním dílku  $t_{ps} = 1$  dílek; vlevo  $t_{pl} = 1$  dílek a vpravo rovněž  $t_{pp} = 1$  dílek, takže linearita časové základny  $l_{z1} = l_{z2} = 100$  %; X = 5 ns/dílek, Y = 200 mV/dílek



Obrázek č. 23: Měření citlivosti horizontálního zesilovače

#### 9.5.4 Citlivost horizontálního zesilovače

Citlivost horizontálního zesilovače nebo vertikálního zesilovače, který pracuje jako horizontální (režim X-Y) měříme stejnosměrným signálem přesné velikosti. Měření je obdobné testování vertikálního zesilovače a provádíme je na všech nastavitelných stupních citlivosti. Pracoviště zapojíme podle obr. 23. Na vstup Y přivedeme pomocné pilové nebo sinusové rozmítací napětí o kmitočtu  $10^3$  Hz až  $10^6$  Hz. Tím získáme vertikální stopu, která umožní přesnější odečítání než bod. Citlivost vertikálního zesilovače volíme takovou, abychom pomocným rozmítacím napětím nastavili délku vertikální stopy na 4 až 6 dílků obrazového pole. Na vstup horizontálního zesilovače pak přivádíme přesné stejnosměrné napětí z kalibrátoru. Tímto napětím vychýlíme stopu horizontálně a symetricky podle osy obrazového pole nejméně o 4 dílky. Chybu horizontálního zesilovače v procentech určíme z výrazu (7). Obdobně určíme rozsah plynulého nastavení horizontální citlivosti, který udáváme poměrem. Přesný stejnosměrný voltmetr (alespoň čtyřmístný) kontroluje výstupní napětí kalibrátoru.

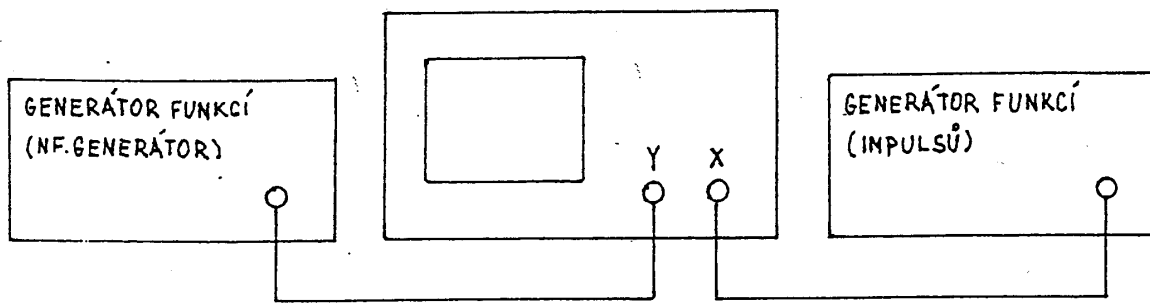
#### 9.5.5 Horizontální linearita

Horizontální linearitu (linearitu horizontálního zesilovače) měříme v zapojení podle obr. 24. Vertikální a horizontální citlivost osciloskopu nastavíme na střední hodnotu. Na vertikální vstup přivedeme pomocné pilové nebo sinusové napětí o kmitočtu  $10^3$  Hz až  $10^6$  Hz. Pomocí tohoto napětí nastavíme vertikální stopu asi na 4 střední dílky. Na horizontální vstup připojíme generátor kladných impulzů střídavy zhruba 1 - 1 a kmitočtu  $10^3$  Hz až  $10^5$  Hz. Amplitudou impulzů nastavíme obě vertikální stopy ve středu obrazovky přesně na vzdálenost 1 dílku -  $H_s$ . Stopy posuneme na druhý levý dílek a změříme vzdálenost  $H_1$ . Totéž provedeme vpravo na 9. dílku a změříme vzdálenost  $H_p$ . Horizontální linearitu  $l_h$  určíme porovnáním hodnot  $H_p$  a  $H_1$  s délkou středního dílku  $H_s$ . (správnou hodnotou) a udáváme ji v procentech:

$$l_{h1} = \frac{H_1}{H_s} \cdot 100, \quad (19)$$

$$l_{h2} = \frac{H_p}{H_s} \cdot 100. \quad (20)$$

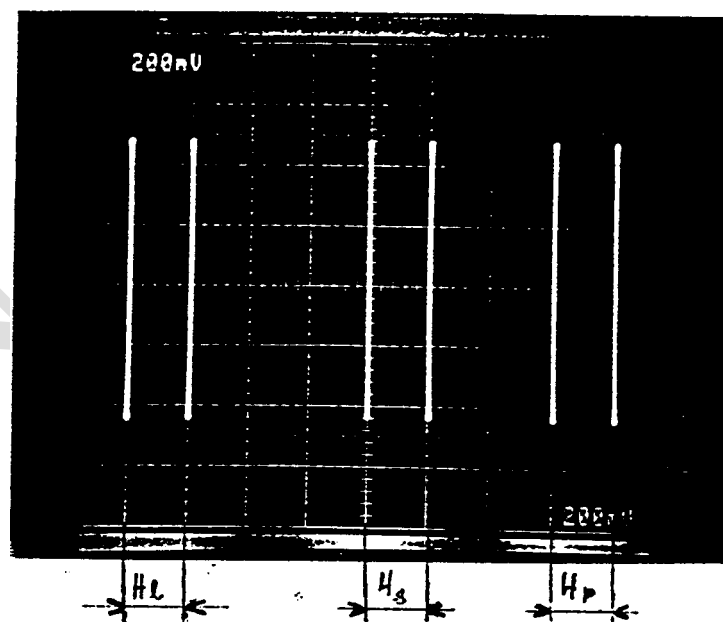
Z takto určených hodnot linearity v levé  $l_{h1}$  a pravé části obrazového pole  $l_{h2}$  udáváme horší hodnotu. Měření zachycuje oscilogram na obr. 25.



Obrázek č. 24: Pracoviště pro měření horizontální linearity

### 9.5.6 Horizontální kmitočtový rozsah

Pracoviště zapojíme podle obr. 26. Citlivost horizontálního i vertikálního zesilovače přepneme na 0,2 V/dílek až 0,5 V/dílek. Vertikální stopu získáme pilovým nebo sinusovým signálem o kmitočtu  $10^3$  Hz až  $10^6$  Hz převedeným na vertikální vstup. Délku stopy nastavíme zhruba na 4 střední dílky. Testovací sinusový signál přivádíme na horizontální vstup. Horizontální referenční amplitudu zvolíme např. 6 středních dílků, kmitočet signálu 1 kHz. Horizontální kmitočtový rozsah určí kmitočet  $f_{3h}$ , při kterém horizontální amplituda poklesne o 3 dB, v našem případě na 4,2 dílku proti referenční úrovni 6 dílků. Stálost amplitudy sinusového signálu na vstupu X kontrolujeme pomocí měřiče výkonu nejlépe termického, nebo jiným širokopásmovým indikátorem, ale i zde platí poznámka o mezivrcholové hodnotě jako u vertikálního vychylování. Kmitočet vř generátoru měříme čítačem. Použijeme-li generátor s vlastní přesnou indikací kmitočtu, není čítač nutný. Podobně jako při měření vertikálního kmitočtového rozsahu je vhodné použít spíše dvouodporový rozdělovač výkonu, nebo za dělič 6 dB (tříodporový) zařadit útlum pro snížení vlivu proměnné vstupní impedance vstupu X na přesnost měření.



Obrázek č. 25: Měření horizontální linearity; délka  $H_S = H_L = H_P = 1$  dílek. Horizontální linearita v levé části obrazovky  $l_{h1}$  = horizontální linearita v pravé části obrazovky  $l_{h2}$  jsou 100 %; X = 200 mV/dílek, Y = 200 mV/dílek

U některých typů osciloskopů se zásuvnými jednotkami je možné místo vertikálního zesilovače s pomocným rozmitacím generátorem použít zásuvnou jednotku časové základny. Časovou základnu je obvykle nutné spouštět vnějším signálem vyděleným z cesty testovacího sinusového napětí. Spouštěcí napětí získáme podobně jako signál pro čítač pomocí signálového T článku.

## 9.6 Spouštění

Viz také EURAMET cg-7, Version 1.0 (06/2011)3.3.5 Calibration of the trigger bandwidth and trigger sensitivity

### 9.6.1 Citlivost vnitřního spouštění

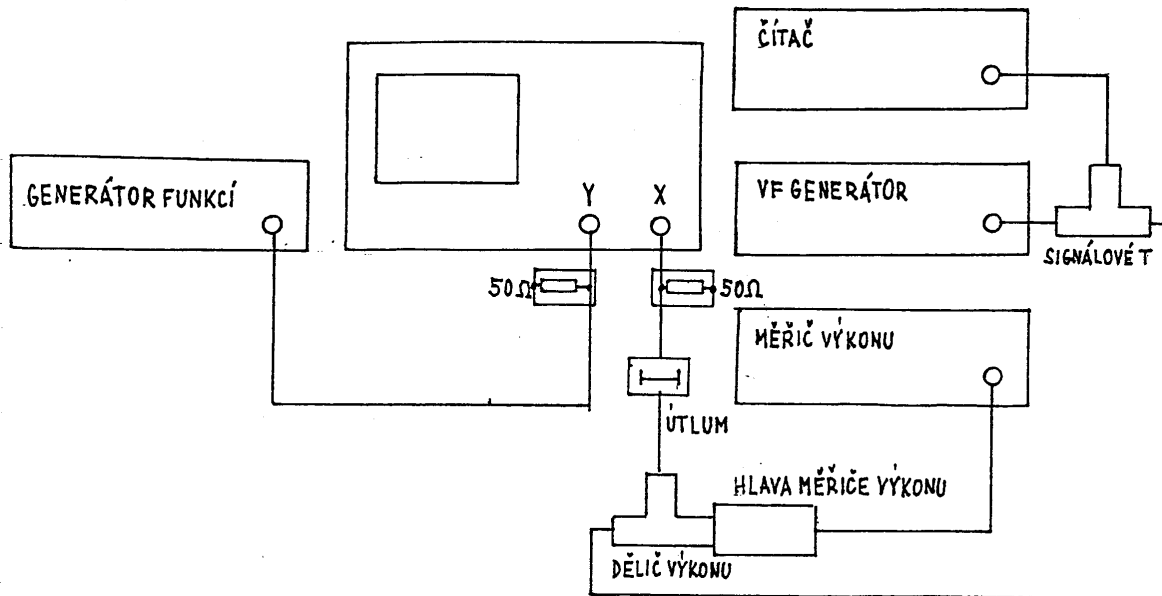
Citlivost vnitřního spouštění osciloskopu měříme v zapojení na obr. 2, místo generátoru funkci použijeme vř generátor s kmitočtovým rozsahem alespoň  $1,5 f_3$ . Osciloskop nastavíme na střední vertikální citlivost. Pokud výrobce udává jinak, přepneme spouštění na vnitřní ss vazbu, kladnou hranu a zádrž spouštění (hold off) nastavíme na nulu nebo minimum. U číslicových osciloskopů měříme citlivost spouštění při vzorkování v ekvivalentním čase (sample, equivalent sampling, storage) i v režimu reálného času (real time) nebo podle určení výrobce.

Měření provedeme na kmitočtech určených výrobcem. Nejsou-li kmitočty specifikovány, měříme citlivost vnitřního spouštění na kmitočtech  $f_3/10$ ,  $f_3/2$ ,  $f_3$ , případně i  $(1,2 \text{ až } 1,5)f_3$ . Na počátku měření nastavíme sinusový signál na amplitudu zhruba 2 (střední) dílky. Citlivost spouštění nalezneme postupným snižováním vstupního signálu na takovou velikost, při níž je zobrazený signál ještě zcela klidný. Spouštění dostavujeme ovládacími prvky “stabilita” a “úroveň” spouštění. Citlivost vnitřního spouštění udáváme v dílcích.

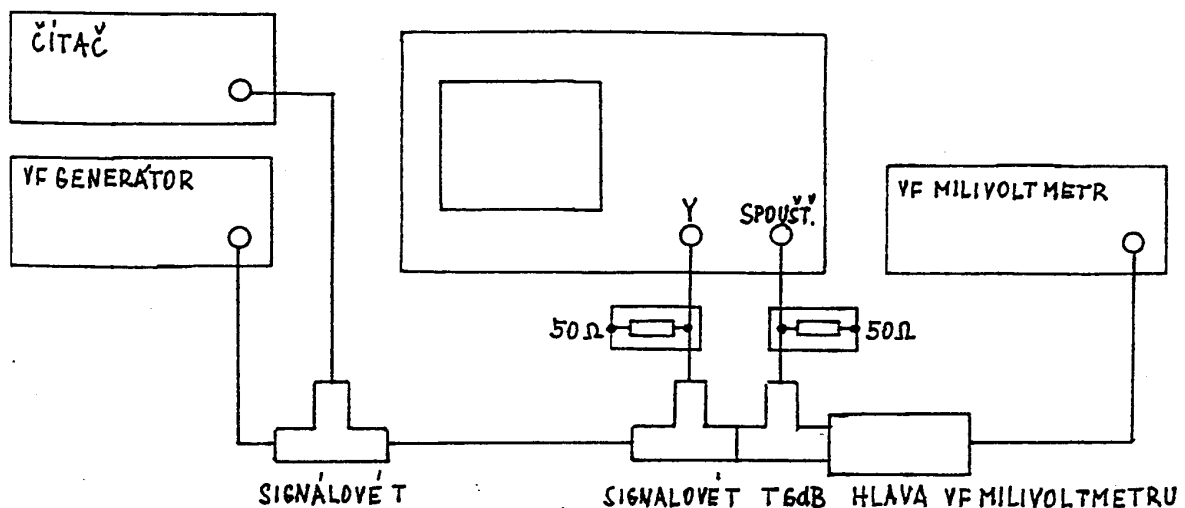
### 9.6.2 Citlivost vnějšího spouštění

Pracoviště zapojíme podle obr. 27. Sinusový signál z vř generátoru přivádíme na vstup spouštění a jeho úroveň měříme vř milivoltmetrem přes rozdělovací T 6 dB (tří odporový rozdělovač výkonu). Týž signál přivádíme na vertikální vstup přes signálové T, případně přes další signálové T na čítač pro kontrolu kmitočtu. Spouštění nastavíme na vnější, střídavou vazbu, kladnou hranu a hornofrekvenční propust (LF reject), není-li ve specifikaci citlivosti vnějšího spouštění uvedeno jinak. Pomocí prvků úroveň a stabilita spouštění nastavíme na obrazovém poli zcela klidný průběh. Spouštěcí napětí snižujeme jen tak, aby obraz zůstal naprosto klidný. Takto nalezené napětí je nejmenší možné vnější spouštěcí napětí a určuje se jím citlivost vnějšího spouštění. Udáváme ji v efektivním napětí a při specifikovaných kmitočtech. Nejsou-li kmitočty určeny výrobcem, změříme citlivost vnějšího spouštění při kmitočtu  $f_3/10$ ,  $f_3/2$  a  $f_3$ .

U číslicových osciloskopů může být citlivost vnějšího spouštění rozdílná při různých způsobech vzorkování. Pak je nutné citlivost vnějšího spouštění měřit při všech druzích vzorkování, jak určí výrobce v technických údajích osciloskopu.



Obrázek č. 26: Pracoviště pro měření horizontálního kmitočtového rozsahu



Obrázek č. 27: Pracoviště na měření citlivosti vnějšího spouštění

### 9.6.3 Citlivost vnitřního spouštění na šířku impulsu

Podle obr. 2 připojíme generátor impulzů na vertikální vstup osciloskopu. Pro toto měření použijeme generátor impulzů s čelem  $t_{rg}$  a týlem  $t_{fg}$  kratším 1 ns s možností nastavení nejkratší šířky impulsu  $t_p$  alespoň 0,5 ns. Spouštění osciloskopu zvolíme vnitřní, ss vazbu, kladnou hranou. Zádrž nastavíme na minimum. U číslicového osciloskopu měříme bez průměrování v režimu reálný čas i (ekvivalentní) vzorkování, pokud není výrobcem udáno jinak. Zvolíme střední vertikální citlivost. Měření zahájíme kladnými impulzy amplitudy asi 4 dílky a kmitočtu  $10^5$  Hz až  $10^6$  Hz a šířky  $t_p = 10 t_{r0}$ . Průběh nastavíme do středu obrazového pole. Šířku impulsu snižujeme, dokud je jeho zobrazení naprosto stabilní. V průběhu měření dostavujeme spouštění nastavovacími prvky "úroveň" a "stabilita". Nejkratší takto nalezená délka impulsu  $t_{pmin}$  je hledaný parametr.



## 9.6.4 Citlivost vnějšího spouštění na šířku impulsu

Pracoviště zapojíme podle obr. 28. Generátor impulsů má vlastnosti shodné s bodem 9.6.3 a amplitudu impulsů alespoň 2 V. Citlivost osciloskopu zvolíme (0,5 až 1) V. Spouštění nastavíme na vnější, ss vazbu, kladnou hranu, úroveň 0,2 V až 0,5 V. Impulz nastavíme vertikálně do středu obrazového pole, jeho amplitudu asi na 4 dílky. Zkracováním délky impulsu najdeme nejkratší délku spouštěcího impulsu  $t_{pmin}$  jako v bodě 9.6.3.

## 9.6.5 Fázová nestabilita vnitřního spouštění

Fázovou nestabilitu spouštění (jitter) měříme v zapojení na obr. 2 několika signály:

1. Impulzy střídavy zhruba 1 - 1 a kmitočtu  $f = f_3/4$ ; zdrojem signálu je generátor funkcí nebo impulsů.
2. Sinusovým signálem o kmitočtu  $f = f_3/4$  až  $f_3/2$ ; zdrojem signálu je generátor funkcí nebo vf generátor. Kmitočet  $f_3$  je hodnota udávaná výrobcem.
3. Sinusovým signálem o kmitočtu  $f_3$ ; zdrojem signálu je vf generátor.

Osciloskop nastavíme na střední vertikální citlivost. Spouštění přepneme do režimu vnitřní, ss vazba, kladná hrana, zádrž spouštění (hold off) nastavíme na minimum. Ve středu obrazového pole zobrazíme 1 až 2 periody měřicího signálu o amplitudě asi 4 dílky. Ovládacími prvky stabilita a úroveň spouštění upravíme co nejklidnější a nejostřejší zobrazení průběhu. U číslicového osciloskopu je nepřipustné použít průměrování, s výhodou však využijeme režimu obálka (envelope), pokud jím je osciloskop vybaven. Fázovou nestabilitu vnitřního spouštění provedeme v režimu reálného času i ekvivalentního vzorkování (sample, equivalent sampling, storage) nebo podle výrobce.

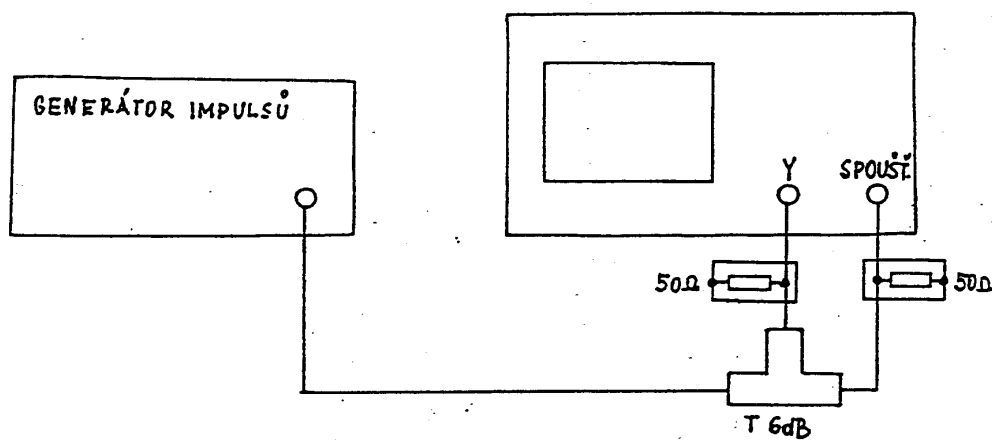
Fázová nejistota vnitřního spouštění je šířka čela impulsu nebo boku sinusovky zobrazeného signálu. Vlastní měření provádíme obvykle při nejrychlejší časové základně (např. 1 ns/dílek a rychlejší). Fázovou nejistotu uvádíme v časových jednotkách (pikosekundách) a to hodnotu:

- a) z měření 1 vztaženou k zobrazení impulsů,
- b) horší z hodnot měření 2 a 3 vztaženou ke spouštění sinusovým signálem.

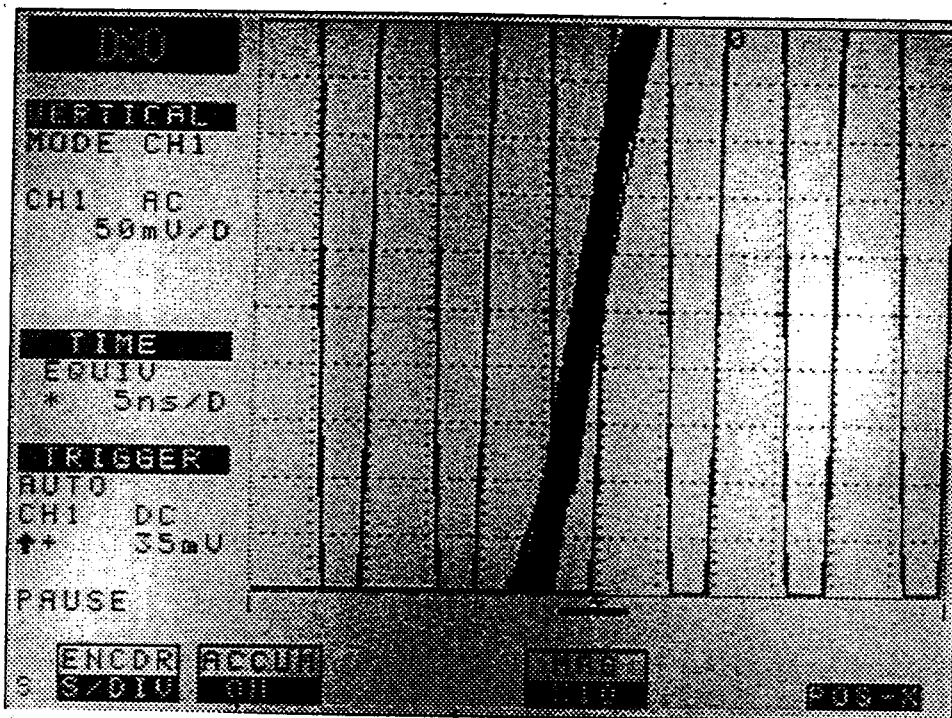
Příklad měření fázové nestability vnitřního spouštění impulsy o kmitočtu  $f_3/2$  je na obr. 29.

## 9.6.6 Fázová nestabilita vnějšího spouštění

Použijeme zapojení podle obr. 28 a měření provedeme podle bodu 9.6.5. Spouštění osciloskopu ovšem přepneme na vnější.



Obrázek č. 28: Měření citlivosti vnějšího spouštění na šířku impulsu



**Obrázek č. 29:** Měření fázové nejistoty spouštění harmonickým signálem blízkým sinusovému při kmitočtu  $f_3/2 = 10$  MHz, akumulací režim (obálka)  $X_1 = 50$  ns/dílek,  $X_2 = 5$  ns/dílek (roztaženo 10x). Naměřená fázová nejistota je 2,2 ns. Větší vertikální citlivost je zvolena proto, aby boky signálu byly strmější a odečet přesnější. Displej LCD se zpětným osvětlením.

### 9.7 Kalibrátor

Na průběhu kalibračního signálu měříme amplitudu, kmitočet a čelo kalibračního impulsu.

Amplitudu kalibračního signálu měříme pomocí zkalibrovaného vertikálního zesilovače téhož osciloskopu v zapojení na obr. 1. Spouštění zvolíme vnitřní, ss vazbu a kladnou hranu. Citlivostí vertikálního zesilovače nastavíme amplitudu zobrazeného signálu nejméně na 4 střední dílky obrazového pole. Odchylku amplitudy od správné hodnoty určíme pomocí vzorce (6). Pokud je přesnost vertikálního zesilovače kalibrovaného osciloskopu nevyhovující, změříme amplitudu kalibračního signálu jiným osciloskopem se známou a vyhovující přesností vertikálního zesilovače ( $\leq 2\%$ ). Amplitudu kalibračního signálu můžeme také porovnat v kalibrovaném osciloskopu s napětím ss kalibrátoru (obr. 8) nebo ss zdroje (obr. 9) podle bodu 9.4.3.

S výhodou použijeme horizontální kurzory, jestliže jimi je kalibrovaný osciloskop vybaven. Kmitočet změříme vnějším čítačem. Má-li výstup kalibrátoru vysokou impedanci  $\geq 100$  k $\Omega$ , připojíme kalibrátor k čítači pomocí sondy se vstupním odporem  $\geq 1$  M $\Omega$ .

Čelo kalibračního impulsu  $t_{rk}$  má význam měřit v případě, že jde o průběh určený rovněž na testování odezvy osciloskopu  $t_{ro}$ , ( $t_{rk} \leq t_{ro}$ ). Měření provedeme podle bodu 9.4.2, zapojení pracoviště je na obr. 4. Generátor impulzů je nahrazen kalibrátorem a spouštění osciloskopu je vnitřní.

## 9.8 Sondy

U sond k osciloskopům kalibrujeme kmitočtový rozsah, odezvu, dělicí poměr, vstupní odpor a vstupní kapacitu. Dále popsaným způsobem měříme pasivní odporové sondy se vstupním odporem 500 Ω až 10 MΩ a aktivní sondy se vstupním odporem 100 kΩ až 10 MΩ. Sondu měříme vždy ve spojení s osciloskopem nebo zásuvnou jednotkou zesilovače, pro který je určena.

### 9.8.1 Kmitočtový rozsah sondy

Zapojení pracoviště je na obr. 30 a obr. 31. Sonda je připojena ke zdroji testovacího signálu - vf generátoru prostřednictvím přechodu uzemněna přímo svojí kovovou přírubou na vnější vodič koaxiálního vedení pomocí kleštiny. Je nepřipustné uzemnit sondu pouze zemnicím vodičem! Kmitočtový rozsah sondy  $f_{3s}$  se vztahuje k poklesu vf signálu o 3 dB a měří se způsobem popsaným v bodu 9.4.1.

### 9.8.2 Odezva sondy, překmit a podkmit sondy

Odezva sondy  $t_{rs}$  se měří v zapojení podle obr. 32. Sonda je ke zdroji testovacích impulsů připojena zvláštním přechodem jako v bodu 9.8.1 a průchozím koaxiálním odporem 50 Ω. Požadavky na generátor impulsů a způsob určení odezvy jsou shodné jako v bodu 9.4.2.

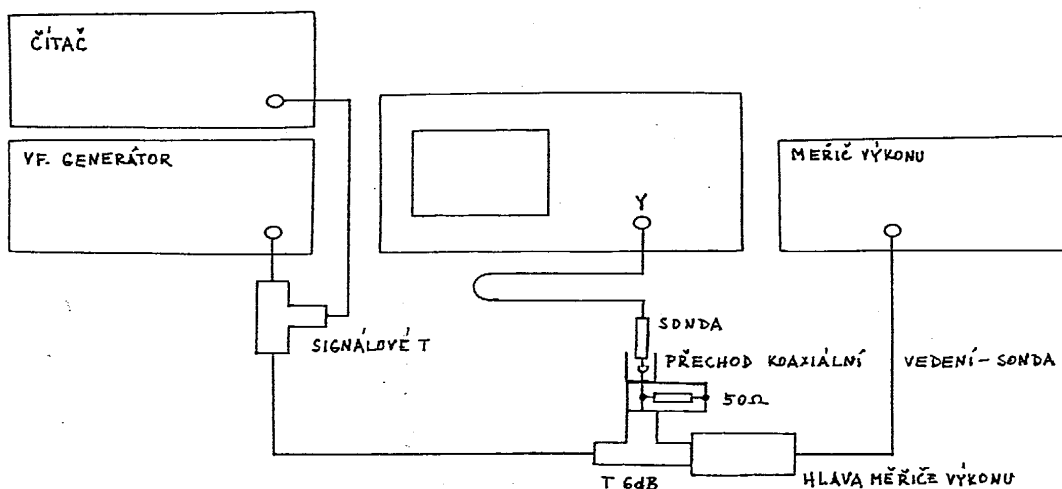
Překmit a podkmit sondy určíme podle bodu 9.4.2 a obr. 6. Na obr. 32 je porovnávána odezva sondy HP 1043A a osciloskopu HP 54502 – průběh 1 s odezvami osciloskopu HP 54502 průběh 2, 3. Odezva sondy s osciloskopem  $t_{rs} = 719$  ps a samotného osciloskopu v režimu vzorkování  $t_{rv} = 699$  ps. Amplituda impulsu  $A = 240$  mV a překmit  $B = 8$  mV = 3,3 %, podkmit  $C = 10$  mV = 4,2 %.

### 9.8.3 Vstupní odpor sondy

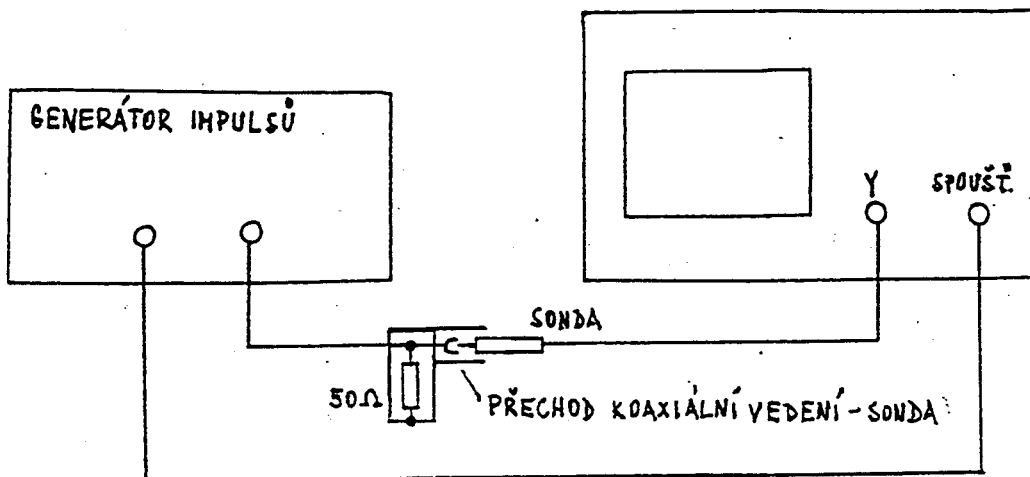
Vstupní odpor měříme v zapojení na obr. 10. Sondu připojíme ke stíněnému vedení multimetru v bodech 1 – 2 pomocí přechodu koaxiálního vedení – sonda. Kabel sondy musí být připojen do vertikálního vstupu osciloskopu. Měření provedeme podle bodu 9.4.4.

### 9.8.4 Vstupní kapacita sondy

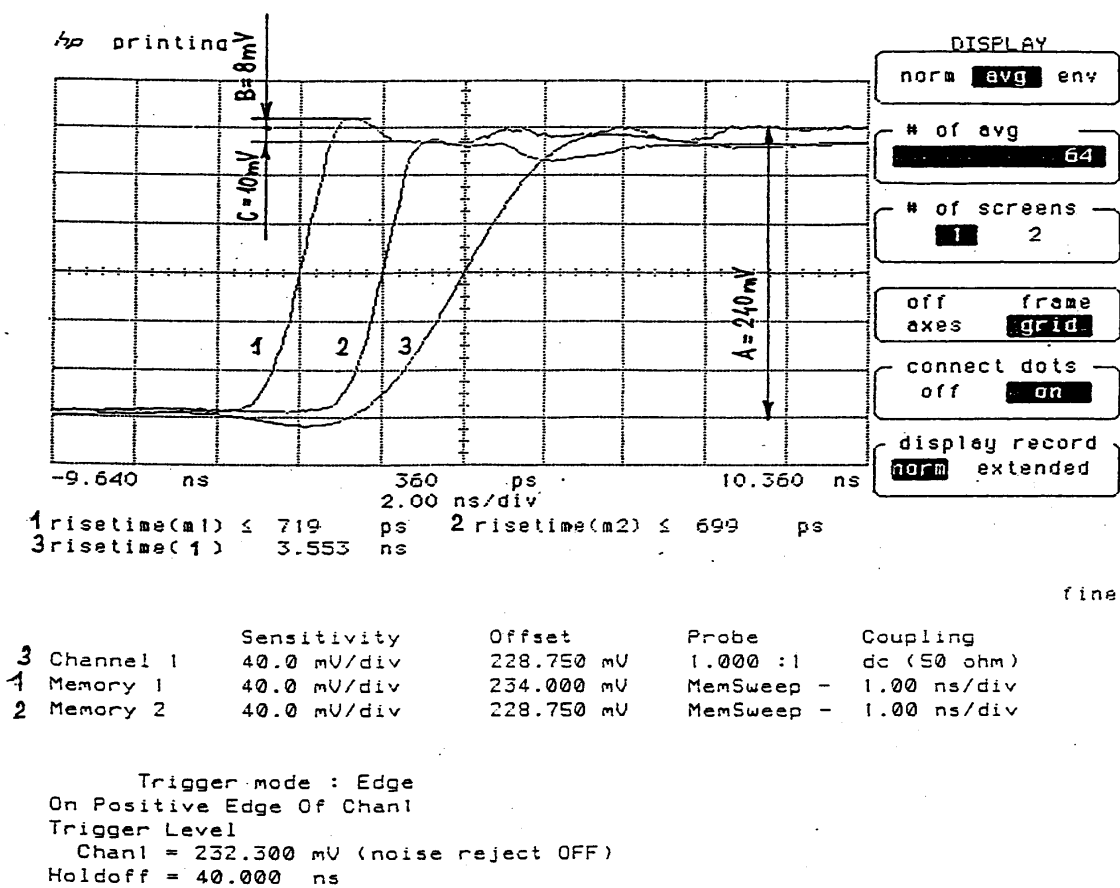
Zapojení pracoviště je na obr. 11. Sonda je kabelem zapojena do vertikálního vstupu osciloskopu. Hrot se zemnicí přírubou je připojen do bodů 1, 2 pomocí přechodu. Měření provedeme podle bodu 9.4.5.



Obrázek č. 30: Měření kmitočtového rozsahu sondy a osciloskopu



Obrázek č. 31: Měření odezvy sondy a osciloskopu



Obrázek č. 32: Odezva na impuls z tunelového generátoru impulsů HP 1106B,  $t_r = 20$  ps

1. sondy HP 1043A a osciloskopu HP 54502 režim vzorkování, opakovaný signál;  
 odezva  $t_{rs} = 719$  ps, amplituda impulsu  $A = 240$  mV = 100 %, překmit  $B = 8$  mV = 3,3 %,  
 podkmit  $C = 10$  mV = 4,2 %,  $X_1 = 1$  ns/dílek,  $Y = 40$  mv/dílek

2. osciloskopu HP 54502, režim vzorkování, opakovaný signál, odezva  $t_{ro} = 699$  ps,  $X_1 = 1$  ns/dílek.
3. osciloskopu HP 54502 na jednorázový průběh, režim reálný čas,  $t_{ro} = 3,553$  ns,  $f_3 = 98,5$  MHz,  $X_2 = 2$  ns/dílek.

### 9.8.5 Dělicí poměr

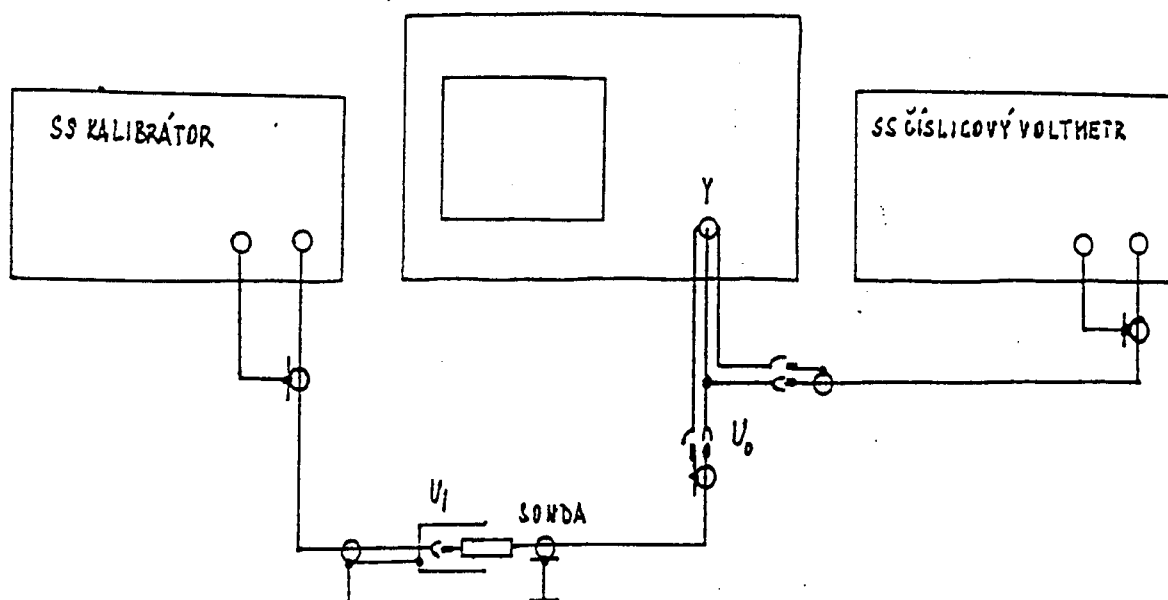
Dělicí poměr sondy změříme pomocí přesného ss napětí z kalibrátoru nebo ss zdroje kontrolovaného ss číslicovým voltmetrem v zapojení na obr. 33. Kalibrovaná sonda je připojena na vertikální vstup osciloskopu přes koaxiální rozbočovací T článek tak, že na vstup osciloskopu je současně připojen ss číslicový voltmetr. Vertikální citlivost osciloskopu nastavíme např. na 0,1 V/dílek a výstup kalibrátoru na  $U_i = 4$  V. Pro sondy s dělicím poměrem 10 je výchylka stopy osciloskopu 4 dílky = 400 mV =  $U_o$ . Výchylku měříme na středních dílcích obrazového pole.

Dělicí poměr  $d$  je:

$$d = \frac{U_i}{U_o} \quad (21)$$

Výstupní napětí sondy  $U_o$  měříme ss číslicovým voltmetrem, jehož vstupní odpor na rozsahu 1 V a méně je nejméně 1000 M $\Omega$ . Osciloskop má kontrolní funkci a současně je zátěží kalibrované sondy.

Dělicí poměr sondy s nízkým vstupním odporem 500  $\Omega$  až 5000  $\Omega$  měříme stejným způsobem. Tyto sondy vyžadují zátěž, tedy vstupní odpor osciloskopu 50  $\Omega$ . Do téže zátěže pracuje většina aktivních sond. Jsou-li aktivní sondy vybaveny násuvnými zeslabovači (např. 1:5, 1:10, 1:100), měříme dělicí poměry aktivní sondy i s těmito zeslabovači. Nepřesnost vstupního odporu osciloskopu by neměla pro toto měření přesáhnout 0,1 %. Pokud tomu tak není, je nutné nahradit osciloskop zátěží s přesností  $\pm 0,1$  % nebo lepší.



Obrázek č. 33: Měření dělicího poměru sondy

### 9.9 Přídavné měřicí vybavení

Mezi přídavné měřicí vybavení osciloskopu patří zejména vestavěný multimetr, měření kmitočtu a měření parametrů impulsu (čelo, týl, délka impulsu, kmitočet).

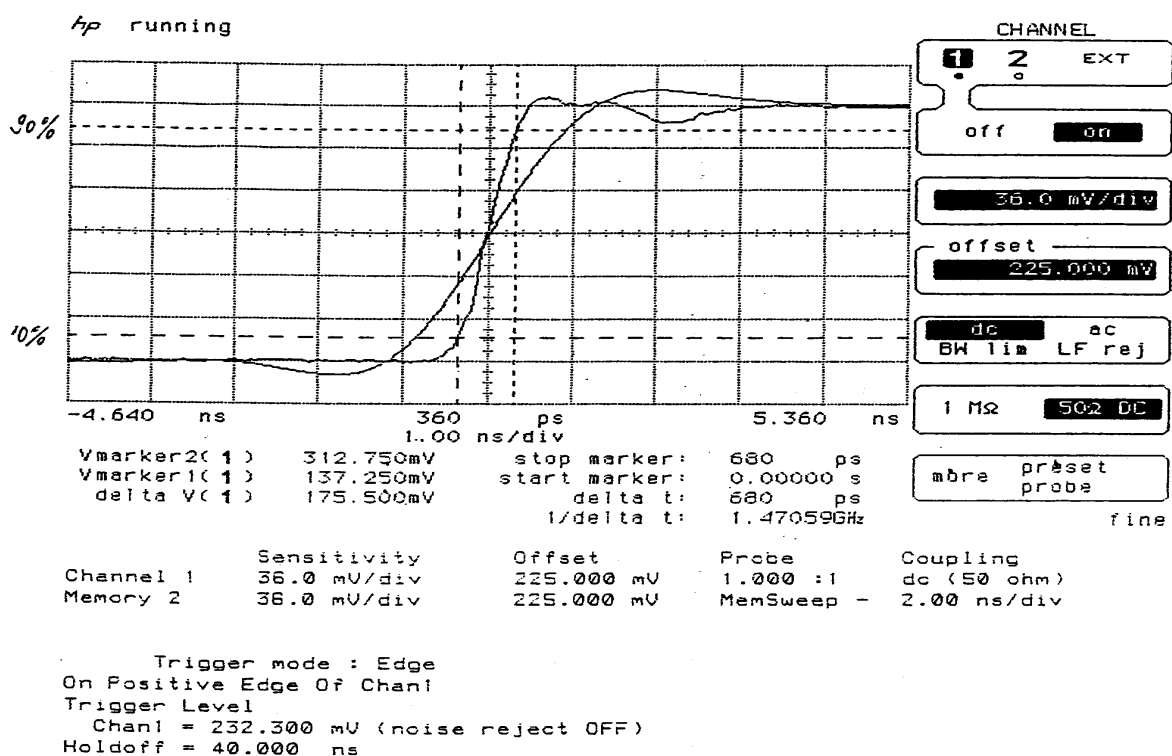
Kalibraci multimetru provedeme podle KP 4.1.2/06/11 N "Číslicový multimetr".

Kalibraci měření kmitočtu provedeme podle KP 6.1.3/01/15 Čítač.

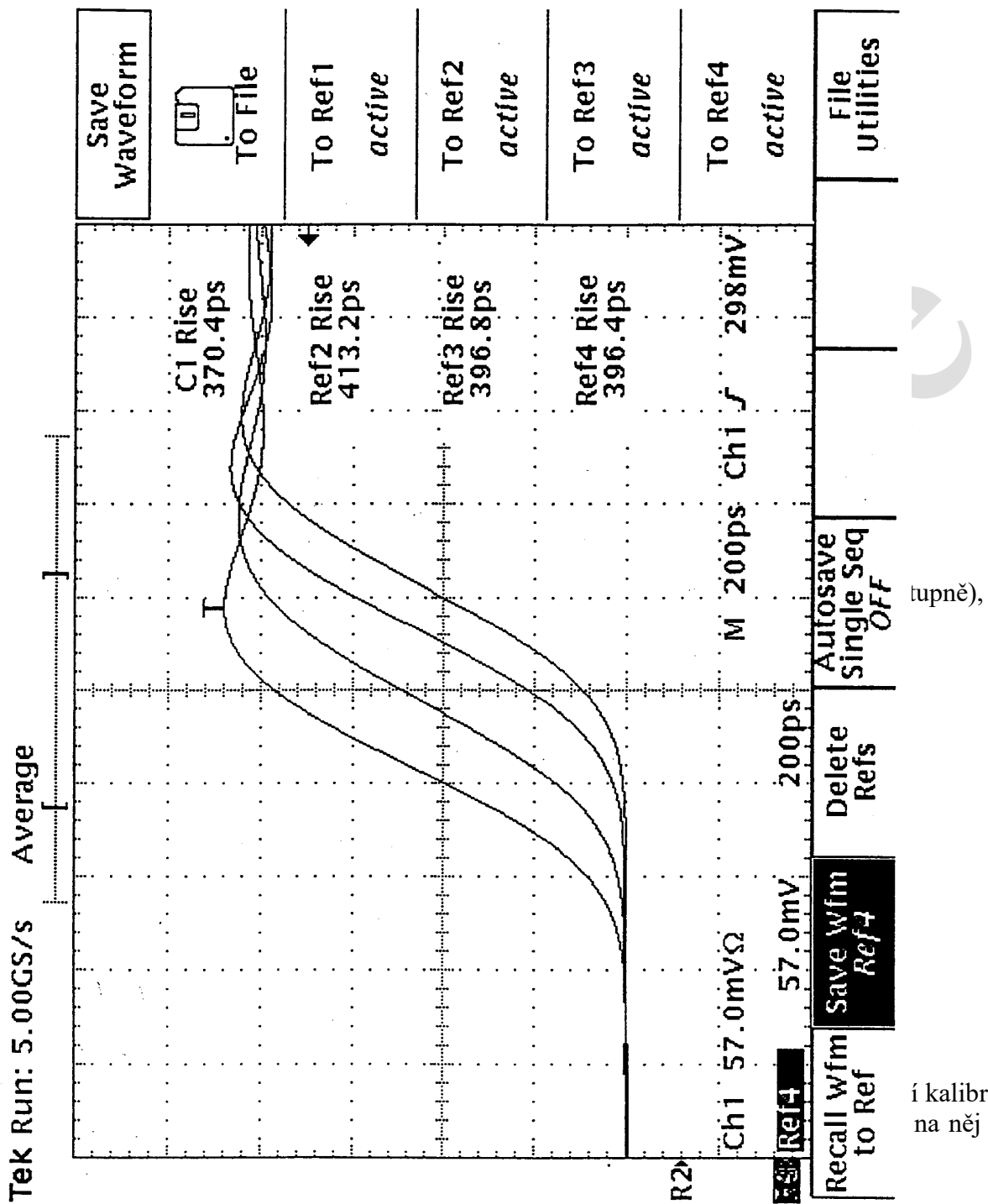
Parametry impulsů měříme tímž zkalibrovaným osciloskopem. Čelo, týl a délku impulsu změříme podle bodu 9.4.2. K měření lze použít kurzory, jestliže je jimi osciloskop vybaven. Přesnost odečtu čela nebo týlu impulsu zlepšíme vymezením úrovně 10 % a 90 % horizontálními kurzory. Do průsečíků horizontálních kurzorů s průběhem pak snadno nastavíme vertikální kurzory obr. 34. Podmínkou však je, aby osciloskop umožňoval současné zobrazení vertikálních i horizontálních kurzorů i jejich nezávislé nastavování.

Automatické měření čela a týlu impulsu provedeme podle bodu 9.4.2 nebo kurzory. U některých osciloskopů je nutné předem definovat potřebné úrovně, neboť umožňují měřit čelo a týl mezi úrovněmi 10 % a 90 %, 20 % a 80 % i jinými. Příklad automatického měření odezvy všech 4 kanálů osciloskopu je na obr. 35. Uvažované úrovně jsou 10 % a 90 %.

Měření kmitočtu nebo periody provedeme pomocí podle KP 6.1.3/01/15 Čítač. Lze použít i principy které byly popsány už v metodice TPM 5731.



**Obrázek č. 34:** Nastavení úrovně 10 % a 90 % na čele impulsu horizontálními kurzory a časové vymezení čela impulsu (odezva osciloskopu, opakovaný signál) vertikálními kurzory,  $t_{r0} = 680$  ps,  $X_1 = 1$  ns/dílek. Pomalejší průběh je jednorázová odezva,  $t_{r0} = 3,6$  ns,  $X_2 = 2$  ns/dílek,  $Y = 36$  V/dílek.



Obrázek č. 35: Příklad automatického měření odezvy všech 4 kanálů osciloskopu

## 10 Vyhodnocení kalibrace

### Vyhodnocení kalibrace

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny, podle ILAC-G08:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009).

Pokud je vypracováno vyjádření o shodě se specifikací, přičemž jsou vynechány výsledky měření a s nimi spojené nejistoty, musí laboratoř tyto výsledky zaznamenat a udržovat jejich záznamy pro další možnou potřebu.

Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.

Jestliže se přístroj, který se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.

Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

### 10.1 Postup vyhodnocení

Kalibrační laboratoř vede záznamy, v nichž kromě jiného uvádí:

- konkrétní udání použitého zdroje specifikace,
- měřicí rozsahy, na nichž je kalibrace prováděna,
- frekvence a výstupní napětí zobrazené na kalibrovaném osciloskopu,
- odpovídající konvenční hodnota napětí a frekvence (tj. napětí udávané multimetrem a frekvence udávaná čítačem),
- dovolené chyby parametrů zkoušeného osciloskopu v jednotlivých kontrolních bodech vyjádřené v procentech,
- zjištěné chyby parametrů zkoušeného osciloskopu v jednotlivých kontrolních bodech vyjádřené v procentech,
- nejistota kalibrace.

### 10.2 Postup v případě neshody

V případě, že kalibrovaný osciloskop nevyhověl při některé zkoušce požadavkům na něj kladeným, předává vedoucí kalibrační laboratoře objednateli kalibrace návrh na opravu nebo na vyřazení osciloskopu.

V případě, že kalibrovaný osciloskop čerpal na některém měřicím rozsahu požadavkům na něj kladeným více než 70 % specifikace, při interních kalibracích rozhoduje vedoucí kalibrační laboratoře, zda je možná justace nebo zda je možné přístroj dále provozovat ale doporučuje se zkrátit dobu do rekalibrace. Při kalibraci externímu zákazníkovi má být zákazník informován.

Nejsou-li splněny výše uvedené podmínky nebo nevyhověl-li kalibrovaný osciloskop jiným požadavkům, předává vedoucí kalibrační laboratoře objednateli kalibrace návrh na opravu nebo na vyřazení.



Postup uváděný v bodech 10.2 a 10.3 se používá v organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace. V jiných případech provádí příslušná rozhodnutí zástupce (obvykle metrolog) organizace, která objednala kalibraci.

### 10.3 Rozhodnutí o výsledku kalibrace

V organizacích, v nichž vedoucí kalibrační laboratoře vykonává současně funkci metrologa organizace, na základě vyhodnocení zkoušených bodů uvedených v kapitole 7 rozhodne vedoucí kalibrační laboratoře, zda kalibrovaný přístroj vyhovuje nebo nevyhovuje všem požadavkům na něj kladeným. Výsledek rozhodnutí je uveden v kalibračním listu.

## 11 Kalibrační list

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list musí obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo kalibrovaného osciloskopu,
- e) datum přijetí osciloskopu ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 4.3.1/01/16),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou nejistotu měření nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který osciloskop kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Vyjádření o nejistotě měření, které podle ILAC-P14:01/2013 bod 6.3 může mít tvar:

***„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu  $k$ , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“***

Další doporučení:

Tištěné výstupy protokolů o zkouškách a kalibračních listů mají též obsahovat číslo stránky a celkový počet stránek.

Doporučuje se, aby laboratoře začlenily vyjádření stanovující, že záznam o měření nebo kalibrační list nesmějí být bez písemného souhlasu laboratoře reprodukovány jinak než celé.

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny, podle ILAC-G08:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009).

Pokud je vypracováno vyjádření o shodě se specifikací, přičemž jsou vynechány výsledky měření a s nimi spojené nejistoty, musí laboratoř tyto výsledky zaznamenat a udržovat jejich záznamy pro další možnou potřebu.

Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.

Jestliže se přístroj, který se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.

Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede název/logo akreditačního orgánu, číslo osvědčení o akreditaci, údaje o oprávnění, na jehož základě je kalibrační list vydán, prohlášení, že kalibrační list nesmí být bez písemného schválení kalibrační laboratoře rozmnožován jinak než celý.

## 11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předává objednateli kalibrace. Jeho kopii si ponechává kalibrační laboratoř a archivuje ji nejméně po dobu 5 let. Doporučuje se archivovat záznamy o měření a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty místo do kalibračního listu zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do paměti počítače.

## 11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně

Na štítku je **uvedeno číslo kalibračního listu, datum provedené kalibrace podpis pracovníka**, který prováděl kalibraci **a identifikace kalibrační laboratoře**.

V případě, že je výsledek kalibrace nevyhovující, označí se měřidlo štítkem - **NEVYHOVUJE**. V případě, že je výsledek kalibrace nepokrývá měření v celém rozsahu specifikací, použije se štítek s označením **NEÚPLNÁ KALIBRACE**.

Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu pro interní kalibrace nebo ve smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace. Stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

## 11.4 Převzetí ke kalibraci a předání kalibrovaného osciloskopu

Převzetí osciloskopu ke kalibraci stvrzuje pracovník kalibrační laboratoře svým podpisem na kopii objednávky nebo na formuláři k tomu určenému.

Po skončení kalibrace osciloskopu stvrzuje zákazník svým podpisem na příslušném formuláři nebo do knihy zakázek jeho převzetí.

V obou případech se k podpisům připojují příslušná data.

## 11.5 Reklamace

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, tuto přebírá obvykle vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti provedené kalibrace, úplnosti nebo správnosti předaného kalibračního listu, úplnosti vráceného osciloskopu, případně výše fakturace za provedenou kalibraci.

Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a s nimi bez prodlení seznámit objednatele kalibrace.

Nebyly-li při analýze shledány závady, je o tom objednatel kalibrace informován také.

Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření.

### 11.6 Neshodné výsledky kalibrace

Pokud laboratoř zjistí, například při rekalibraci etalonu, že prováděla nesprávné (neshodné) kalibrace, je její povinnost provést nápravná opatření a informovat také zákazníka, pro kterého mohly být neshodné práce provedeny, viz také ČSN EN ISO/IEC 17025 bod 4.9 a 4.11.

## 12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku.

Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace, Technický vedoucí, někdy nazývaný i signátor).

## 13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

### 13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		převzal		
výtisk číslo	obdrží útvar	jméno	podpis	datum

### 13.2 Úprava, schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
úpravu schválil			

### 13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

## 14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

Stanovení nejistot měření je zpracováno v souladu s dokumentem EA 4/02. Nejistota měření představuje odhad té části vyjadřovaných výsledků měření, která charakterizuje rozmezí hodnot, v němž leží skutečná hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností (konfidenční úrovní).

Další podrobnosti viz také EURAMET cg-7, Version 1.0 (06/2011), část 7 Oscilloscope calibration: examples for uncertainty of measurement, viz kap 7. kde je rozveden výpočet nejistoty pro:

7 Kalibrace osciloskopů: příklady stanovení nejistoty měření.

7.1 Kalibrace svislého vychylování osciloskopu 100 MHz.

7.2 Kalibrace pro šířku pásma 500MHz osciloskopu.

7.3 Kalibrace doby náběhu 20 GHz osciloskopu.

(poznámka: pro akreditované laboratoře je nutné, pokud tyto příklady použijí, upravit je podle zásad akreditace – EA a ILAC)

### 14.1 Stanovení nejistoty měření při kalibraci osciloskopu

Kalibrace osciloskopu se skládá z dílčích kalibrací základních jednotek osciloskopu:

- kalibrace vertikálních zesilovačů,
- kalibrace časové základny a horizontálního zesilovače,
- kalibrace spouštění časové základny,
- kontrola a kalibrace sond,
- kontrola přídavného zařízení.

Stanovení nejistoty měření jednotlivých částí osciloskopu bude záviset na tom, zda se jedná o analogový nebo číslicový osciloskop. U analogového osciloskopu se velikost měřené (sledované) veličiny indikuje polohou stopy na rastru na stínítku obrazovky, zatímco u číslicových osciloskopů zaznamenaná stopa na stínítku znázorňuje průběh sledované veličiny, jejíž okamžité hodnoty jsou v číslicovém tvaru uloženy v paměti osciloskopu.

Dále bude naznačeno určení nejistoty měření pro kalibrace jednotlivých jednotek osciloskopu.

Stanovené nejistoty měření budou u analogových osciloskopů větší než u číslicových osciloskopů.

Ve všech případech určování nejistot měření je nutné provádět alespoň 5 opakovaných měření. Pro daný případ se stanoví složka nejistoty typu A ze vztahu:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Složky nejistoty měření pro jednotlivé případy stanovené podle metody B budou stručně popsány u jednotlivých jednotek osciloskopu.

Souhrnně lze ještě uvést, že u většiny případů určování standardní nejistoty bude jedním ze zdrojů nejistoty tloušťka světelné stopy na stínítku obrazovky, tloušťka a hustota sítě rastru na stínítku, má-li se určit velikost podle průřezu stopy s rastrem na stínítku. Podobně to platí i

při použití kurzorů. V těchto případech lze uvažovat rovnoměrné rozdělení hodnot mezi odhadnutými mezemi.

Standardní nejistoty použitých měřicích přístrojů se získají z příslušných kalibračních listů nebo ze specifikací výrobců.

Stručné poznámky k stanovení standardních nejistot měření některých základních vlastností jednotek osciloskopu.

## 14.2 Vertikální zesilovač

Stanovení kmitočtového rozsahu

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - přesnost (nejistota) určení kmitočtu, z kalibračního listu použitého etalonu nebo specifikace výrobce použitého osciloskopu měrného signálu, čtení na stínítku (stopa, rastr).

Stanovení odezvy, překmitu a podkmitu

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - čtení na stínítku ve vertikálním a horizontálním směru (stopa, rastr, kurzor)

Stanovení citlivosti vertikálního zesilovače

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - standardní nejistota hodnot zdroje ss napětí  
čtení na stínítku (stopa, rastr)

Stanovení vstupního odporu nebo vstupní kapacity

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - standardní nejistota měřiče odporu nebo kapacity (kalibrační list nebo specifikace výrobce)

Čtení na stupnici nebo zobrazovači měřiče:

Horizontální kurzory

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - odečet koincidence kurzorů s příslušnými linkami rastru.  
standardní nejistota měření zvolených hodnot napětí kurzorů (mezní hodnota a rozdělení),

## 14.3 Časová základna a horizontální zesilovač

Časová základna

typ A  $u_A$  - z opakovaných měření.

typ B - standardní nejistota v nastavení hodnoty kmitočtu sinusového nebo impulzního průběhu (z kalibračního listu nebo specifikace výrobce)  
dosažení shody mezi kmitočtem časové základny a kmitočtem referenčního napětí.  
Složka ze čtení.

Horizontální zesilovač

Podobně jako u vertikálního zesilovače.

Vertikální kurzory

Podobně jako u kurzorů horizontálních, avšak v kolmém směru.

#### 14.4 Stanovení kombinované standardní nejistoty a rozšířené nejistoty

*Kombinovaná standardní nejistota* je dána vztahem

$$u(y) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2},$$

Rozdělení pravděpodobností nejistoty  $u(y)$ , bude záviset nad velikosti jednotlivých složek nejistoty a rozdělení pravděpodobností veličin, které reprezentují. (EA 4/02, ČSN P ENV 13005).

*Rozšířená nejistota*  $U = k_U u(y)$ ,

Velikost koeficientu rozšíření  $k_U$  se určuje na základě požadované konfidenční úrovně (95 %) a daného rozdělení. Velikost kombinované standardní nebo rozšířené nejistoty se udává na dvě platná místa a zaokrouhlování se doporučuje provádět raději směrem nahoru (jen v případech je-li na prvním místě jednička nebo dvojka na dvě platná místa).

Při udávání rozšířené nejistoty je nutné kromě její velikosti též uvést konfidenční úroveň  $p$  a předpokládané rozdělení.

## 15 Validace

Metody použité v tomto kalibračním postupu byly validovány. Doklad o validaci je uložen v sekretariátu České metrologické společnosti.

### Změny proti předchozímu vydání

Tento kalibrační postup byl revidován s přihlédnutím k novým metrologickým předpisům a normám a podle připomínek uživatelů. Dále byl doplněn o postup při stanovení nejistoty měření při kalibraci a údaj o validaci použité metody.

### Upozornění

Tento kalibrační postup byl revidován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeném pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem VII/2/16. Nesmí být rozmnožován ani předáván jiným organizacím bez souhlasu České metrologické společnosti.

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V tomto případě je třeba kalibrační postup znovu validovat.

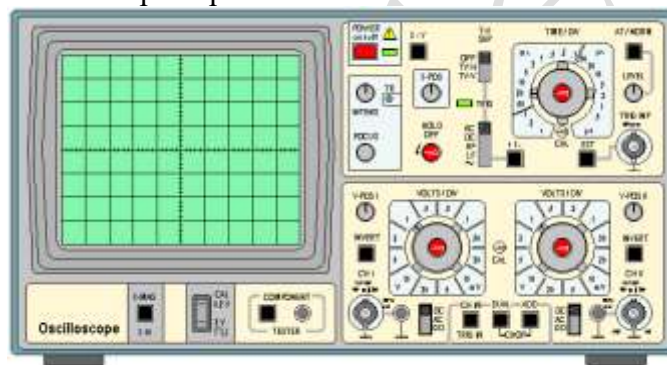
## 16 Přílohy

### Příloha č. 1: Osciloskopy

Osciloskopy patří k nejvíce univerzálním přístrojům a existují v praxi ve velmi mnoha provedeních. Staré typy měly i více než 100 elektroněk při šířce pásma jen kolem 20 MHz.



Většina univerzálních osciloskopů v provozu jsou pravděpodobně docela běžné a je kalibrovatelná podle tohoto kalibračního postupu



Mnoho aplikací ani nemusí vyžadovat kalibraci, ale pro jiné to může být kritické, proto je důležité upřesnit požadavky se zákazníkem.

Extremní typy osciloskopů, viz ukázky, je ale je nutné kalibrovat s uvážením doporučení výrobce.



**Příklad:** 75 MHz efektivní šířka pásma  $10^9$  svzorků za sekundu FFT funkce pro spektrální analýzu.



Příklad: 70 GHz pásma a 100 fs/dílek.

**EA-10/07**

Starší dokument. Technická platnost dokumentu byla obecně dobrá, s možnou výjimkou měřeni šířky pásma a dokument byl poněkud více normativní - Spousta "musí". Nezahrnuje: Jak zkontrolovat všechny amplitudy na náběhu a šířku pásma, uvažoval využití specializovaného přístrojového vybavení (kalibrátory osciloskopů) a některé další připomínky vedly k novému dokumentu.

**EURAMET cg-7 Version 1.0 (06/2011)** Calibration of Measuring Devices for Electrical Quantities, Calibration of Oscilloscopes, je proti EA-10/07 novelizován tak, že je považován za nový, samostatný dokument.

Doporučujeme seznámit se s postupy kalibrace, jak je uvádí kapitola 3 tohoto dokumentu:

## Obsah kap. 3

3.3 Kalibrační postupy .....	5
3.3.1 Kalibrace svislého vychylování (kalibrace amplitudy) .....	5
3.3.1.1 Návaznost DC .....	6
3.3.1.2 Návaznost AC .....	7
3.3.1.3 Návaznost na základě měření pulsu .....	7
3.3.2 Kalibrace svislého vychylování: návaznost pomocí měření pulsu .....	7
3.3.3 Kalibrace šířky pásma .....	9
3.3.3.1 Měření napětí amplitudy (pro stanovení šířky pásma) .....	10
3.3.3.1.1 Návaznost v rozsahu vysoké impedance (obvykle nižší než 100 MHz) .....	11
3.3.3.1.2 Návaznost v 50 Ω systému .....	13
3.3.3.1.3 Vliv harmonických zkreslení .....	14
3.3.3.1.4 Vliv odrazů .....	15
3.3.4 Kalibrace doby náběhu .....	15
3.3.5 Kalibrace spouštěcího šířky pásma a t citlivost .....	16
3.3.5.1 Pásmo triggeru .....	16
3.3.5.1.1 Postup kalibrace .....	17
3.3.5.2 Citlivost Triggeru .....	18
3.3.5.2.1 Postup kalibrace .....	18
3.3.6 Kalibrace režimu XY .....	19
3.3.7 Interní kalibrační signály .....	19
3.3.8 Měření kurzoru .....	19