

Laboratorní úloha z předmětu elektrotechnika

The laboratory practice for subject electrical engineering

Petr Fišnar

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr FIŠNAR**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Laboratorní úloha z předmětu elektrotechnika**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši zaměřenou na principy měření elektrických veličin pomocí analogových a číslicových osciloskopů.
2. Seznamte se podrobně s číslicovým osciloskopem M526 ETC.
3. Porovnejte vlastnosti osciloskopu M526 ETC s dostupnými osciloskopy.
4. Navrhněte a realizujte laboratorní úlohu pro měření na osciloskopu určenou pro předmět Elektrotechnika.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. HAVLÍK, L.: Osciloskopy a jejich použití. Ben, Praha, 2002, ISBN: 80-901936-8-4.
2. BASTIAN, P.: Praktická elektrotechnika. Europa - Sobotáles, Brno, 2004, ISBN 808670615X.
3. KLAUS, T.: Příručka pro elektrotechnika. Europa - Sobotáles, 2005, ISBN:80-86706-13-3.
4. HORST, J.: Informační a telekomunikační technika. Praha, BEN, 2004, ISBN 80-86706-08-7.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

1. června 2009

Ve Zlíně dne 13. února 2009



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Úkolem bakalářské práce bylo podrobně se seznámit s digitálním dvoukanálovým USB osciloskopem M524, navrhnout a realizovat dvě laboratorní úlohy pro měření na uvedeném osciloskopu v předmětu elektrotechnika.

Klíčová slova:

USB osciloskop M524

ABSTRACT

Imposition of baccalaureate work was in detail making the acquaintance of digital double - tubes USB oscilloscope M524, suggest and realize two laboratory exercises for measuring on mentioned oscilloscope in the subject electrotechnics.

Keywords:

USB oscilloscope M524

Poděkování, motto

Chtěl bych touto formou poděkovat panu doc. Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za poskytování odborných rad, korektur a doporučení. Poděkování patří rovněž panu Ing. Aloisi Mynaříkovi za poskytnutí elektrického přístroje.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.
V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OSCILOSKOP	11
1.1 HISTORIE OSCILOSKOPU.....	12
1.2 POJMY OSCILOSKOPU.....	13
1.3 DRUHY OSCILOSKOPŮ.....	15
1.3.1 Analogový osciloskop	16
1.3.1.1 Paměťový analogový osciloskop.....	16
1.3.1.2 Vzorkovací analogový osciloskop.....	17
1.3.1.3 Měření analogovým osciloskopem.....	18
1.3.1.4 Důležité parametry analogového osciloskopu	19
1.3.2 Digitální osciloskop.....	19
1.3.2.1 Měření digitálním osciloskopem.....	20
1.3.2.2 Důležité parametry digitálního osciloskopu	21
1.3.2.3 Výhody digitálních osciloskopů.....	21
2 OSCILOSKOP M524	22
2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	23
2.1.1 Uspořádání připojovacích míst.....	24
2.1.2 Hlavní okno aplikace	24
2.1.3 Ovládání kurzorů a mřížky	25
2.1.4 Ovládání zobrazení kanálů.....	26
2.1.5 Ovládání režimu zobrazení	26
2.1.6 Ovládání ukládání a načítání dat	26
2.1.7 Ovládání časové základny.....	27
2.1.8 Ovládání citlivosti vertikálních zesilovačů	28
2.1.9 Ovládání vertikálních posuvů.....	28
2.1.10 Ovládání zdroje signálu	29
2.1.11 Informace o kanálech.....	29
2.1.12 Ovládání speciálních funkcí.....	30
2.1.12.1 Funkce zobrazení X/Y	31
2.1.12.2 Zobrazení parametrů signálu (Wp)	32
2.2 POROVNÁNÍ S DOSTUPNÝMI OSCILOSKOPY	33
2.2.1 Volcraft 630	33
2.2.2 Tektronix TDS 210.....	34
2.2.2.1 Základní informace.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
3 DERIVAČNÍ ČLÁNEK	37

3.1	ZADÁNÍ.....	37
3.2	SCHÉMA.....	37
3.3	POUŽITÉ POMŮCKY.....	37
3.4	TEORETICKÝ ROZBOR.....	38
3.5	POSTUP MĚŘENÍ.....	39
3.6	NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY	39
3.7	ZÁVĚR.....	44
4	MĚŘENÍ HYSTEREZE	45
4.1	ZADÁNÍ.....	45
4.2	SCHÉMA.....	45
4.3	POUŽITÉ POMŮCKY.....	46
4.4	TEORETICKÝ ROZBOR.....	47
4.5	POSTUP MĚŘENÍ.....	49
4.6	ZÁVĚR.....	52
	ZÁVĚR.....	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
	SEZNAM TABULEK	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

Jako téma bakalářské práce jsem si zvolil laboratorní úlohu pro měření na osciloskopu pro předmět elektrotechnika. Vybral jsem si jej z toho důvodu, že se mi zdálo měření s osciloskopem již v hodinách elektrotechniky zajímavé.

Úkolem této bakalářské práce bylo naučit se pracovat se softwarovým programem pro digitální USB osciloskop M524 a popsat jeho hlavní funkce pro budoucí uživatele. Pro toho, kdo se již s analogovým nebo digitálním osciloskopem setkal, bude ovládání softwarového programu velice snadné.

Hlavní úlohou osciloskopu je zobrazování časových průběhů elektrického napětí. Slouží k měření střídavých i stejnosměrných signálů. Díky těmto vlastnostem našel osciloskop plné uplatnění nejen v laboratořích, ale i ve výrobních procesech. Původně byl vyvinut pro radiotechnická měření, ale dnes se používá v mnoha dalších oborech jako je strojírenství, geologie, lékařství, automobilový průmysl, atd.

Nevýhodou digitálního USB osciloskopu M524 je pomalá reakce při nízké hodnotě časové základny, při malých frekvencích nebo při změně parametru signálu a jeho ustálení. Výhodou oproti ostatním osciloskopům je jeho malá velikost a hmotnost.

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat dvě laboratorní úlohy, které by mohli studenti využívat v předmětu elektrotechnika.

I. TEORETICKÁ ČÁST

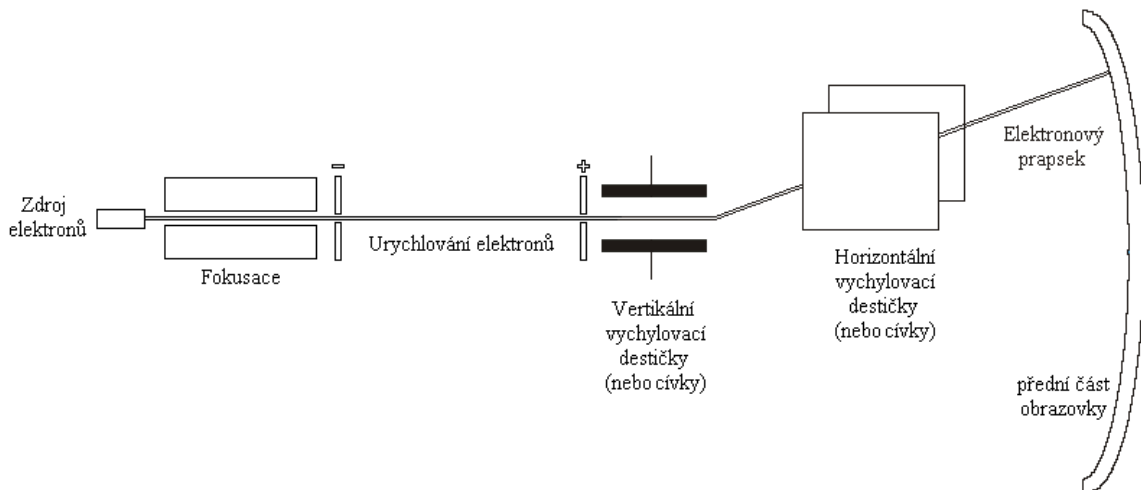
1 OSCILOSKOP

Je elektronický měřicí přístroj s obrazovkou vykreslující časový průběh měřeného napěťové signálu. V horizontálním směru je vychylovací cívka řízena interním generátorem pilovitého průběhu. Časový zdvih pily je nastavován přepínači určujících časovou základnu. Vertikální vychylování je odvozeno od velikosti úrovně sledovaného signálu. O tom, v které části se objeví rozsvícený bod, rozhoduje aktuální stav horizontálního vychylování. Osciloskop může měřit jenom napětí. Všechny měřené zobrazované veličiny jsou proto pro účely měření převáděné na odpovídající napětí.

Důležitými parametry osciloskopu jsou vstupní impedanční poměry, od kterých je odvozena (i od interního generátoru) maximální pozorovatelná frekvence sledovaného signálu. [1]

Na zobrazeném grafu obvykle vodorovná osa (x) představuje čas a svislá osa (y) představuje napětí. Z tohoto grafu lze vyčíst:

- přímé zobrazení průběhu analogového signálu
- napětí - ze stínítka osciloskopu lze odečíst různé parametry analogového signálu (amplitudu, okamžitou hodnotu v daném čase, střední hodnotu napětí, atd.), ne vždy je použití právě osciloskopu nejpřesnější měřicí metodou
- VA charakteristik nelineárních prvků - pro toto měření je třeba osciloskop s možností přivedení vlastní časové základny. Sem (na vstup X) také přivedeme měřící střídavé napětí. Paralelně k měřenému prvku (dioda, tranzistor, či složitější obvod) připojíme snímací rezistor, ze kterého si na vstup Y přivedeme druhé napětí a na stínítku poté spatříme požadovanou charakteristiku.
- frekvence signálu
- odečtením na stínítku a to tak, že změříme či spočítáme dílky mezi dvěma po sobě následujícími amplitudami a pomocí nastaveného rozsahu vypočteme frekvenci
- pomocí Lyssajousových obrazců - porovnávání dvou frekvencí
- fázového posunu
- útlumové charakteristiky [2]



Obr. 1. Schéma osciloskopu [3]

1.1 Historie osciloskopu

Vznik osciloskopu si vynutila potřeba nalezení tvaru signálu v čase. Jeden z nejpotřebnějších elektronických měřicích přístrojů se objevil na konci třicátých let tohoto století a byl to analogový osciloskop. První osciloskop s kalibrovaným vertikálním zesilovačem a spouštěnou (tedy nikoli volně běžící) časovou základnou byl Tektronix 511. Byl dán do prodeje ve Spojených státech v roce 1947.

Analogový osciloskop se stal nepostradatelným zařízením v laboratoři i průmyslu a zůstává tam až dodnes, byť je jeho pozice silně otřesena. V průběhu padesátých a osmdesátých let dosáhl obdivuhodných vlastností, takže mohl pracovat až do kmitočtu **1 GHz** (Tektronix 7104, 1988).

Soupeření mezi analogovými a digitálními osciloskopy je nesporně rozhodnuto ve prospěch digitálních přístrojů. Přesto existuje velké množství firem, které vyrábějí analogové osciloskopy dodnes. Vesměs jde o méně náročné osciloskopy s kmitočtovým rozsahem **20 – 200 MHz**, které jsou dosud (snad) výrobně levnější, nežli paměťové digitální osciloskopy. [4]

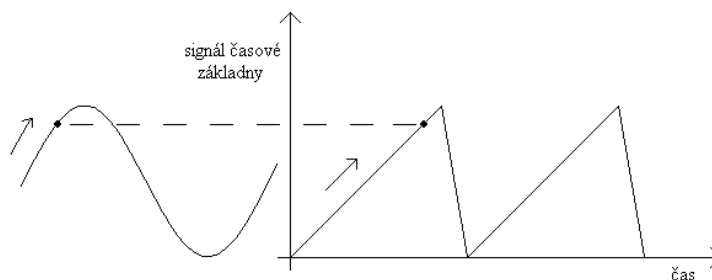
1.2 Pojmy osciloskopu

Osciloskop je elektronický měřicí přístroj, který slouží k zobrazování časových průběhů napěťových elektrických (převážně periodických) signálů. Elektronový paprsek je v Braunově elektronce (obrazovce) vychylován dvěma soustavami desek elektrostatického vychylování.

Vertikální zesilovač zesiluje signál jako vychylovací napětí pro vertikální vychylovací destičky.

Horizontální zesilovač většinou zesiluje pilové kmity časové základny, které umožní sledovat na osciloskopu periodické vstupní signály jako neměnné průběhy.

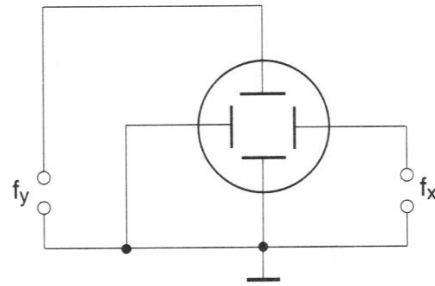
Časová základna tvořená generátorem pilových kmitů je stupňovitě nastavitelná v širokém rozpětí kmitočtů. Posunuje pozici aktuálně zobrazovaného bodu na obrazovce zleva doprava. [5]



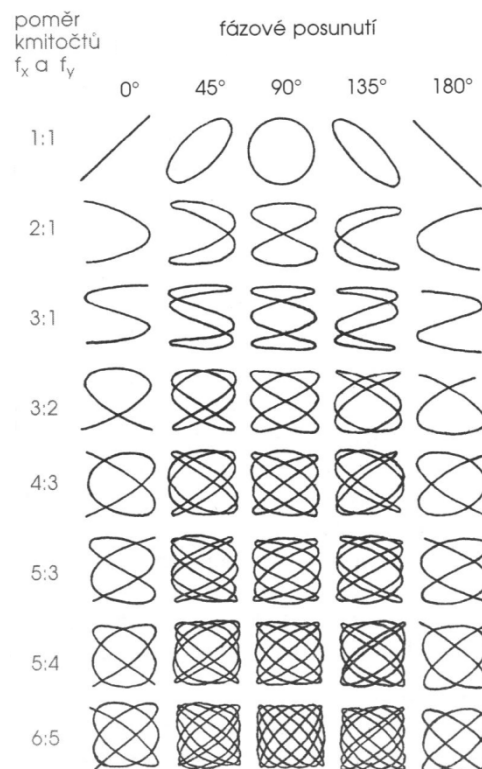
Obr. 2. Časová základna [2]

Kmitočtový rozsah neboli **frekvence** je veličina, kterou vnímáme jako podélné mechanické vlnění vzduchu.

Zobrazení X/Y se používá k získání časově nezávislých průběhů. Patří mezi ně Lissajousovy obrazce, charakteristiky polovodičových součástek, hysterezní křivky a další. Jde tedy o závislosti signálů na ose x a y. Pro zobrazení je tedy vhodné, aby dynamické vlastnosti obou kanálů byly totožné. To je dosažitelné pouze u digitálních paměťových osciloskopů. Kmitočtový rozsah kanálu X je u analogových osciloskopů omezen na zhruba **100 až 400 kHz** a také jeho citlivost je nižší, **100 mV** až několik voltů na díl. [4]

Obr. 3. Srovnání signálů f_x a f_y [4]

Lissajousovy obrazce (křivky) jsou získané složením kolmých harmonických kmitů. Tvar křivek závisí na poměru úhlových frekvencí a na fázovém posuvu. Velikost amplitud ovlivňují rozšiřování nebo zužování obrazce podél dané osy. [6]

Obr. 4. Lissajousovy obrazce pro několik fázových posunutí mezi sinusovými signály f_x a f_y a pro jejich kmitočtový poměr [4]

Úhlová frekvence neboli **úhlová rychlost** je fyzikální veličina, která vyjadřuje změnu úhlové dráhy za jednotku času a bývá obvykle chápána jako skalární veličina.

Fázový posuv určuje stav signálu v daném místě a čase ke stavu signálu v časovém a prostorovém počátku.

Amplituda je maximální hodnota periodicky měnící se veličiny.

Synchronizace spouští časovou základnu. Časová základna běží svojí vlastní rychlostí nebo se při synchronizačním impulzu generuje jedna pila. Interní synchronizací se synchronizuje podle měřeného signálu. Externí synchronizací se synchronizační impulzy přivádí na samostatný konektor „ext sync“. [2]

Vzorkovací frekvence neboli **Nyquistova frekvence** je rovna počtu vzorků na sekundu měřeného signálu. Čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím lepší je osciloskop a tím rychlejší signál může být zobrazen. Musí být minimálně dvakrát větší, než je vzorkovaný signál, jinak dochází ke vzniku aliasingu.

Aliasing je chyba vzorkování. Pokud se totiž v původním spojitém signálu vyskytuje frekvence vyšší, než je polovina vzorkovací frekvence, dojde, jak praví Shannonův teorém, k úplnému a nenávratnému zkreslení signálu díky jevu nazývajícimu se aliasing. Aliasingu se dá zabránit jedině takzvaným antialiasing filtrem, což je dolní propust' zařazená před A/D převodníkem. Ta nedovolí frekvencím vyšším než je Nyquistova frekvence vstoupit do A/D převodníku.

A/D převodník je elektronická součástka určená pro převod spojitého (neboli analogového) signálu na signál diskrétní (neboli digitální). Princip převodu spojitého signálu na diskrétní je složen ze vzorkování signálu a jeho kvantování. Nevýhodou vzorkování je, že ztratíme mnoho detailů z původního signálu. [6]

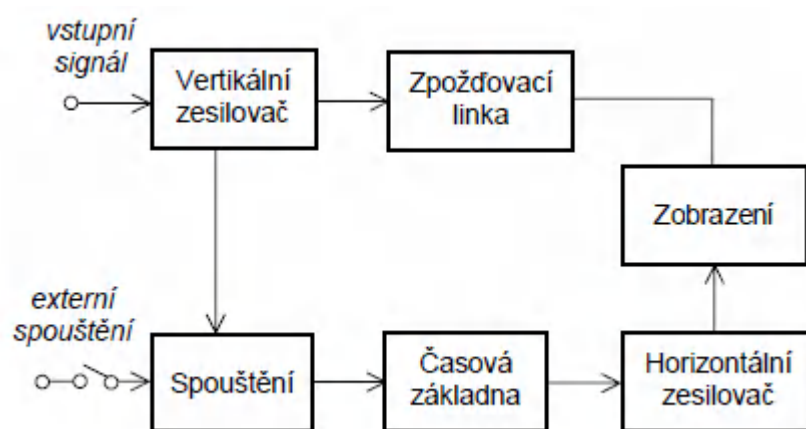
1.3 Druhy osciloskopů

- Analogové
 - klasické
 - paměťové - používají paměťovou obrazovku pro uchování jednorázového nebo neperiodického průběhu, které trvají velmi krátce (například průběh napětí krátce po zapnutí přístroje)
 - vzorkovací - pro zachycení velmi rychlého průběhu odebere z každé n-té periody vzorek posunutý oproti předchozímu vzorku, z těchto vzorků je složen výsledný průběh stejného tvaru n-krát pomalejší.

- Digitální
 - mohou spolupracovat s osobním počítačem nebo plnit funkci paměťových a vzorkovacích osciloskopů [2]

1.3.1 Analogový osciloskop

Pracují výlučně s analogovými signály. Základními částmi analogových osciloskopů jsou obrazovka, obvody časové základny a spouštění, napájecí zdroj, vertikální a horizontální zesilovač.



Obr. 5. Základní blokové schéma analogového osciloskopu [7]

1.3.1.1 Paměťový analogový osciloskop

Využívají paměťovou obrazovku opatřenou speciálním dielektrickým povlakem kovové mřížky umístěné v blízkosti stínítka uvnitř obrazovky. Zobrazený průběh signálu je uchován jako kladně nabitá křivka v povlaku mřížky až po dobu několika dní. Doba pozorování průběhů je však omezena na několik minut. Paměťové osciloskopy lze použít k zobrazení pomalu se měnících jevů, které by se při použití běžné obrazovky zobrazily jako pohybující se bod, popřípadě rychle se měnících neperiodických signálů.

1.3.1.2 Vzorkovací analogový osciloskop

Lze je použít k zobrazení periodických signálů s kmitočtem až desítky **GHz**. Okamžité hodnoty napětí se zjišťují v kratičkém okamžiku pozorovaného průběhu a zachovávají se pro zobrazení. Intervaly odběrů vzorků se rovnají periodě pozorovaného signálu zvětšené o malý časový úsek Δt . Dobu prodloužení určuje volba počtu bodů n , z nichž se celý průběh na obrazovce složí:

$$\Delta t = \frac{T}{n - 1}$$

T perioda pozorovaného průběhu

Vzorkovací perioda T_v je pak:

$$T_v = T + \Delta t = \frac{n}{n - 1} \cdot T$$

Z uvedeného vyplývá, že kmitočet opakování zobrazení f_o je:

$$f_o = \frac{f}{n}$$

Nároky na kmitočtovou charakteristiku vertikálního zesilovače i maximální kmitočet časové základny jsou n -krát nižší než je kmitočet pozorovaného signálu f . Je zřejmé, že tento princip lze použít jen pro zobrazení periodických signálů.

Paměťové a vzorkovací osciloskopy byly v poslední době nahrazeny digitálními osciloskopy. [7]

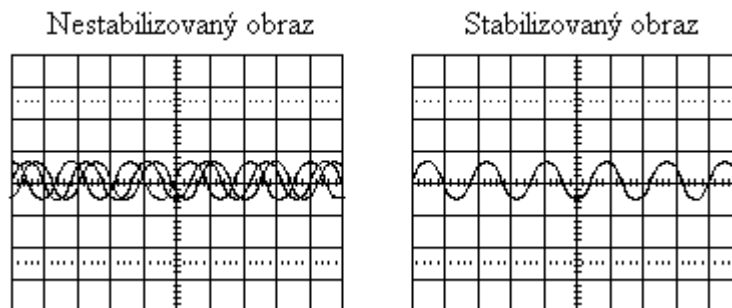
1.3.1.3 Měření analogovým osciloskopem

Když připojíme sondu osciloskopu k obvodu, signál je přes sondu přiveden k vertikálnímu systému osciloskopu. V závislosti na tom, jak nastavíme měřítko, dělič napětí (útlumový článek) sníží napětí signálu, nebo zesilovač zvýší napětí signálu.

Potom signál putuje přímo na vertikální vychylovací desky CRT. Napětí přivedené na tyto vychylovací desky způsobí pohyb svítícího bodu (elektronový paprsek dopadne na fosforovou vrstvu uvnitř CRT a vytvoří svítící bod). Kladné napětí způsobí pohyb bodu nahoru, záporné napětí způsobí pohyb bodu dolů.

Signál také putuje do spouštěcího systému, aby aktivoval horizontální posun. Spuštění horizontálního systému způsobí, že horizontální časová základna pohybuje svítícím bodem po obrazovce zleva doprava za určitý časový interval. Mnoho opakování v rychlém sledu způsobí, že pohyb svítícího bodu splyne ve spojitou čáru.

Horizontální a vertikální pohyb společně vykreslí graf signálu na obrazovku. Správné načasování horizontálního pohybu je nezbytné ke stabilizaci opakujícího se signálu. Zajistí to, že pohyb začíná ve stejném bodě periodického signálu a obraz je proto zřetelný.



Obr. 6. Nestabilizovaný a stabilizovaný signál [8]

Pro použití analogového osciloskopu je nutné nastavit tři hlavní parametry k přizpůsobení vstupního signálu:

- Zeslabení nebo zesílení signálu. Ovládací prvek provede nastavení amplitudy signálu před tím, než je signál přiveden na vertikální vychylovací desky.
- Časová základna. Ovládací prvek provede nastavení času připadajícího na horizontální dílek obrazovky.
- Synchronizace časové základny. Ovládací prvek zajistí stabilizaci periodického signálu i aktivaci jednotlivých událostí.

- Je také potřeba získat ostrý a dobře viditelný obraz. K tomu použijeme nastavení zaostření a intenzity. [8]

1.3.1.4 Důležité parametry analogového osciloskopu

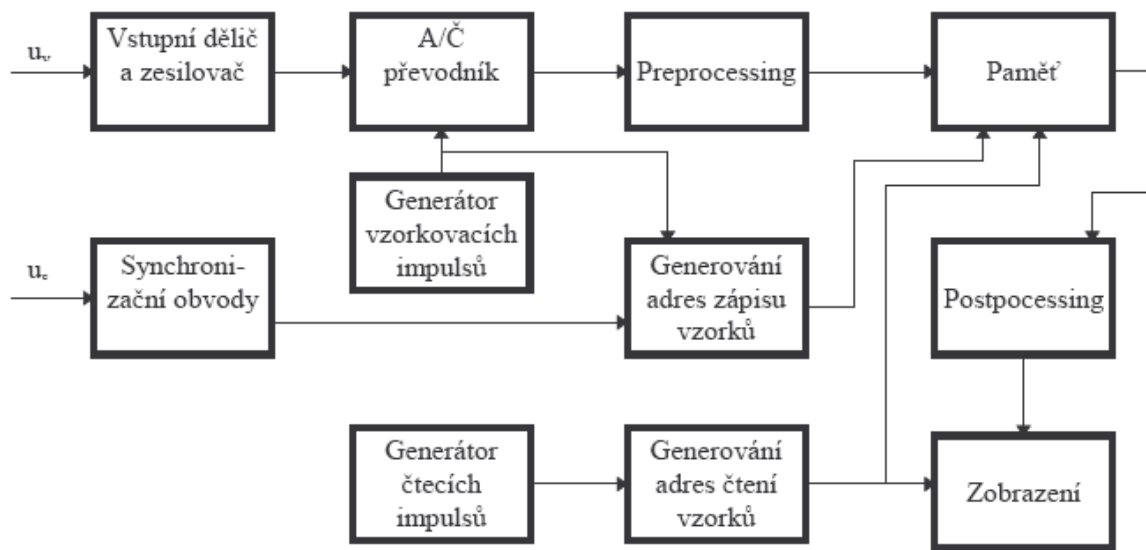
Nikdy nekupujeme osciloskop, který splňuje pouze naše minimální požadavky, když to znamená finanční úsporu. Osciloskopem s nižším kmitočtovým rozsahem nemusíme najít např. parazitní špičky nebo zákmit impulzu. Osciloskopem bez druhé časové základny, spouštěné po zpoždění, hůře určíme namodulovaný signál, jehož kmitočet není vázaný na kmitočet nosného průběhu. Absence kurzorů učiní naše měření pomalejší a méně přesné. [4]

kmitočtový rozsah	
odezva	
vertikální citlivost:	přesnost zesílení, stálost nulové polohy stopy, šum
počet vstupů	
vstupní odpor a kapacita	
spouštění:	jeho způsoby a citlivost
časová základna:	časová lupa, zpožděná základna, přesnost
obrazovka:	velikost, provedení rastru
výstupní signály:	kalibrátor, časová základna, vertikální zesilovač
přídavné vlastnosti:	zprávy na obrazovce, automatické nastavení, paměti nastavení osciloskopu

Tab. 1. Důležité parametry analogového osciloskopu [4]

1.3.2 Digitální osciloskop

Digitální osciloskopy poskytují oproti analogovým osciloskopům některé výhody. Pracují na principu vzorkování sledovaného signálu, při kterých musíme počítat s jevy, které vzorkování doprovází. Vzorkovací efekty se u analogových osciloskopů nevyskytují. Paměť digitálních osciloskopů je FIFO. Paměť je po úplném naplnění přepsána tak, že je přepsán nejdříve přijatý vzorek, potom druhý, atd. [7]



Obr. 7. Blokové schéma digitálního osciloskopu [7]

1.3.2.1 Měření digitálním osciloskopem

Některé ze systémů tvořících digitální osciloskop jsou stejné jako u analogového. Navíc digitální osciloskop obsahuje přídatné data zpracující systémy. S pomocí těchto přídatných systémů digitální osciloskop sbírá data pro celý tvar signálu a pak je zobrazí.

Když připojíme sondu digitálního osciloskopu k obvodu, vertikální systém přizpůsobí amplitudu signálu stejně jako u analogového osciloskopu. Potom analogově-digitální převodník převede signál na diskrétní body v čase a převede napětí těchto bodů do digitální podoby nazývané vzorky (sample). Časovač horizontálního systému určuje, jak často analogově-digitální převodník sejme vzorky. Tempo, ve kterém tyto hodiny "tikají" se nazývá vzorkovací frekvence (the sample rate) a měří se ve vzorcích za sekundu.

Vzorky z analogově-digitálního převodníku jsou uchovány v paměti jako jednotlivé body signálu. Jeden bod signálu může být tvořen více vzorky. Tyto body společně tvoří záznam tvaru signálu. Spouštěcí mechanismus určuje první a poslední bod záznamu. Displej tyto body obdrží a všechny současně zobrazí, jakmile jsou všechny uloženy v paměti. Stejně jako u analogového, je také u digitálního osciloskopu nutné při měření správně nastavit vertikální, horizontální a spouštěcí parametry.

V závislosti na schopnostech osciloskopu je možné použít další zpracování vzorků, výpočet různých parametrů (frekvence, amplituda) přímo pomocí osciloskopu nebo uložení záznamu pro pozdější zpracování. Pokud je možné k digitálnímu osciloskopu připojit

tiskárnu, bývají tyto osciloskopy vybaveny funkcí pro přímý tisk obrazovky. Některé výkonné osciloskopy obsahují přímo vestavěnou tiskárnu určenou pouze pro tisk obrazovky, nebo také pro tisk nastavení, některé mají dokonce vlastní pevný disk pro ukládání výsledků měření. Běžnou součástí kvalitních digitálních osciloskopů je rozhraní umožňující propojení s počítačem. Za takových podmínek je vhodné mít na počítači ovládací program, který takovou komunikaci umožňuje a obsluhuje. Z takového programu je možné osciloskop nejen ovládat, ale zejména získávat naměřená data, zpracovávat je a ve vhodném tvaru ukládat a archivovat. Práce s osciloskopem je pak jednodušší a efektivnější. [8]

1.3.2.2 Důležité parametry digitálního osciloskopu

Základními parametry digitálních osciloskopů jsou šířka pásma, počet kanálů, napěťová citlivost, vzorkovací frekvence, vertikální rozlišovací schopnost (počet bitů A/D převodníku) a velikost paměti. Čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím rychlejší signály je možné zaznamenat. Čím větší je počet bitů A/D převodníku, tím menší změny signálu lze zachytit. Čím větší je kapacita číslicové paměti, tím delší časový interval lze zobrazit.

1.3.2.3 Výhody digitálních osciloskopů

- možnost zachycení jednorázových přechodných jevů
- nastavitelná velikost „záporného zpoždění“ (možnost sledování signálu před příchodem spouštěcího impulsu)
- lepší přesnost
- automatický výpočet řady parametrů
- tisk a archivace naměřených hodnot
- digitální zpracování výsledků – spektrální analýza
- vytvoření pracovišť pro automatizované měření - často se opakující měření (např. výstupní kontrola výrobků)
- možnost převedení dat do počítače [9]

2 OSCILOSKOP M524

Dvoukanálový digitální paměťový osciloskop rodiny M520 přístrojů ETC Measuring Lab 3 (EML3) využívá na komunikaci s počítačem rozhraní USB **2.0**. Osciloskop je možné připojit k různým počítačům, které jsou vybavené rozhraním USB **2.0**, nebo USB **1.1**. Podmínkou je pouze instalace řídicího programového vybavení.

Osciloskopy rodiny M520 umožňují měření časových závislostí napětí pomocí dvou nezávislých kanálů s rozlišovací schopností **256** bodů (**8** bitů). Citlivost těchto kanálů je možné měnit v rozsahu **10mV/d** až **5V/d** v devíti rozsazích, přičemž jeden dílek je tvořený **32** body. Vstupní impedance každého z kanálů odpovídá obvyklému standardu osciloskopů a umožňuje připojení standardních osciloskopických sond. Sondy s dělicím poměrem **1:1**, **1:10**, **1:100** a **1:1000** jsou podporované programovým vybavením. Pro každý vstup je možné nezávisle zvolit dělicí poměr připojené sondy, jako i jednosměrnou, nebo střídavou vazbu. Kterýkoli vstup je možné připojit na referenční úroveň GND bez potřeby odpojení měřených systémů. Vertikální poloha každé stopy je nastavitelná s přesností na jeden zobrazený bod. Synchronizace měření je možná z kanálu A, B, nebo externího synchronizačního vstupu, případně jejich kombinace. Prahovou úroveň synchronizace je možné nastavit nezávisle pro každý měřicí kanál s přesností na jeden zobrazovaný bod. Prahová úroveň externího synchronizačního vstupu je pevná (asi **1,5 V**).

Osciloskopy rodiny M520 mají dvouúrovňový spouštěcí systém. Pro vzorkování průběhů, které se periodicky opakují, využívají metodu náhodného vzorkování, pomocí kterého je možné takovéto průběhy vzorkovat s rozlišením odpovídajícím až sto násobku maximální vzorkovací frekvence jednorázových dějů.

Technické vybavení osciloskopu sbírá informace do svojí interní paměti v jednom režimu:

- Režim sběru informací před a po vzniku spouštěcí události.

Osciloskop sbírá data ihned po spuštění měření. Po vzniku spouštěcí události sesbírá nastavený počet vzorků a ukončí sběr. Počet vzorků, který třeba sesbírat po vzniku

spouštěcí události je možné nastavit v rozsahu od dvou vzorků, až do počtu daleko převyšujícího kapacitu paměti technického vybavení osciloskopu.

Každý z dvou kanálů osciloskopu je vybavený vlastním převodníkem. Osciloskopy rodiny M520 jsou teda tzv. pravé dvoukanálové osciloskopy, které eliminují nežádoucí efekty související s multiplexováním kanálů.

Pro ovládání osciloskopu jsou využité všechny možnosti, které poskytuje řídicí počítač a operační systém. [10]



Obr. 8. USB Osciloskop M524 [10]

2.1 Základní informace

- dvoukanálový osciloskop se šířkou pásma **120 MHz**
- citlivost: **10 mV/d** až **5 V/d** s krokem **1 – 2 – 5**
- max. vzorkovací frekvence v reálném čase **100 MS/s**
- max. ekvivalentní vzorkovací frekvence **10 GS/s**
- max. spotřeba jen **2,25 W**
- velikost vnitřní paměti pro každý kanál **8 K**

- velikost paměti **63 000** vzorků
- programové vybavení pro Windows **98SE**, Windows ME, Windows **2000** a Windows XP
- kompatibilní s USB **2.0** a USB **1.1**
- cena se pohybuje okolo **23 000 Kč** [11]

2.1.1 Uspořádání připojovacích míst

Na čelním panelu jsou přístupné: kanál A, kanál B, externí synchronní vstup/kompenzační generátor a signalizační LED dioda.



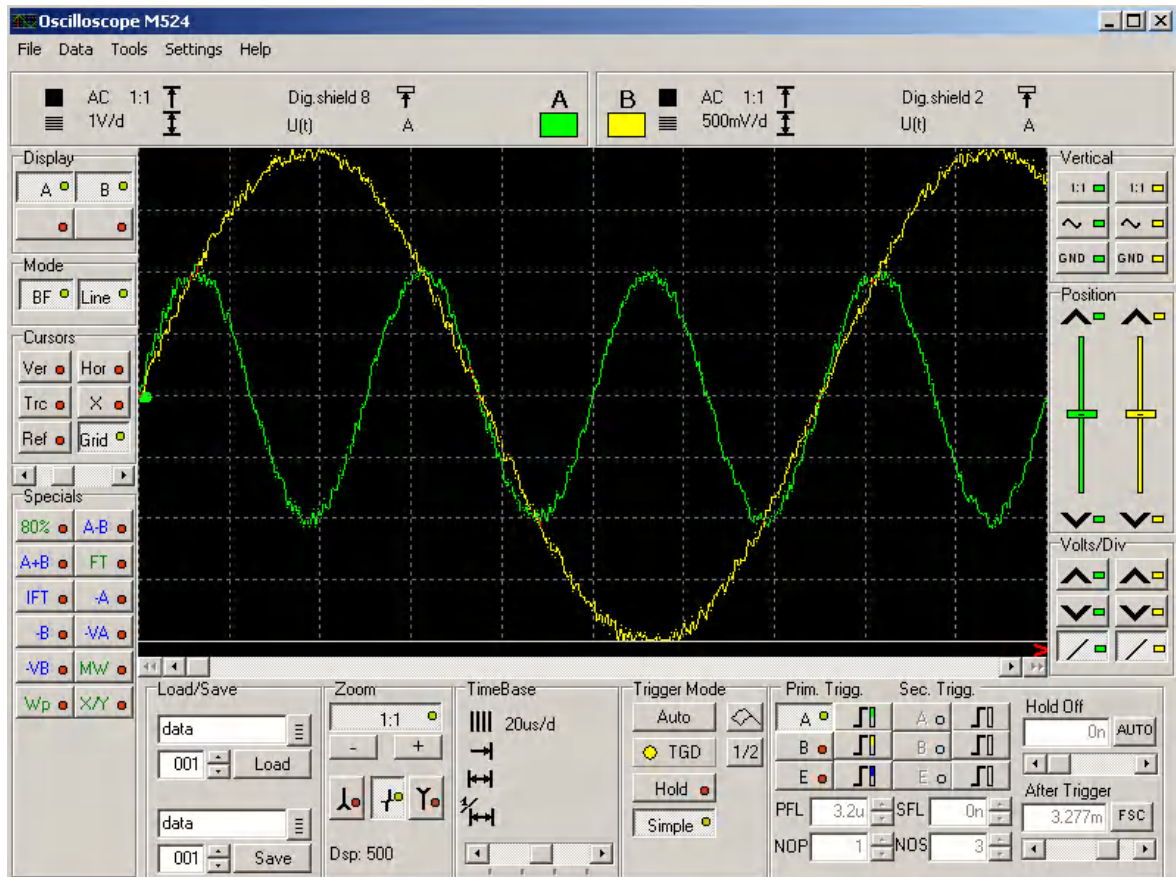
Obr. 9. Čelní panel přístroje [10]

Když je barva LED diody:

- zelená, přístroj je nakonfigurovaný a momentálně nekomunikuje s počítačem
- oranžová, přístroj komunikuje s počítačem
- červená, přístroj je napájený, není však nakonfigurovaný

2.1.2 Hlavní okno aplikace

Po spuštění programového vybavení se otevře hlavní okno aplikace. V tomto okně jsou všechny prvky související s ovládáním funkcí osciloskopu.



Obr. 10. Hlavní okno aplikace [10]

2.1.3 Ovládání kurzorů a mřížky

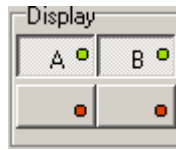


Obr. 11. Ovládací prvky kurzorů a mřížky [10]

Tlačítka „Ver“ a „Hor“ slouží k zapnutí nebo vypnutí vertikálních a horizontálních kurzorů. Tlačítkem „Ref“ se zapne nebo vypne referenční kurzor, který nastavuje 0 V .

Stisknutím tlačítka „Grid“ se zapne nebo vypne mřížka hlavního okna aplikace. Změnou polohy rolovací lišty je možné měnit intenzitu jasu mřížky.

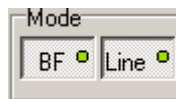
2.1.4 Ovládání zobrazení kanálů



Obr. 12. Ovládací prvky zobrazení kanálů [10]

Tlačítka „A“ a „B“ slouží k zapnutí nebo vypnutí zobrazeného kanálu. Uchopením funkce a jejím přemístěním na některé z tlačítek umístěných ve spodní části ovládacích prvků je možné aktivovat zvolenou funkci a její výsledek zobrazit přes zvolený virtuální kanál. Levé tlačítko odpovídá virtuálnímu kanálu C, pravé kanálu D.

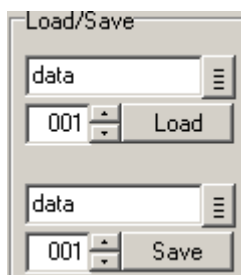
2.1.5 Ovládání režimu zobrazení




Obr. 13. Ovládací prvky režimu zobrazení [10]


Tlačítko „BF“ slouží k zapnutí nebo vypnutí režimu „Beam finder“. V tomto režimu je průběh, který se nachází pod obrazovkou zobrazený jako rovná čára ve spodní části obrazovky a průběh nad obrazovkou jako rovná čára v horní části obrazovky. Tlačítkem „Line“ se zapne nebo vypne režim, ve kterém jsou dva sousední naměřené vzorky spojené čárou.

2.1.6 Ovládání ukládání a načítání dat

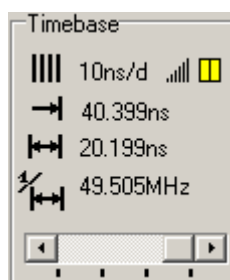


Obr. 14. Ovládací prvky pro ukládání a načítání dat [10]

Do horní části je potřeba zapsat jméno souboru, z kterého se mají data načítat. A pod tímto názvem, je potřeba zapsat ještě příponu souboru. Po kliknutí na tlačítko  je možné zvolit zdrojový soubor pomocí standardního dialogového okna operačního systému. Po kliknutí na tlačítko „Load“ se data načtou a zobrazí.





Do dolní části je potřeba zapsat jméno souboru, do kterého se mají data uložit. A pod tímto názvem, je potřeba zapsat příponu souboru (od 000, po 999). Po uložení dat je přípona automaticky zvětšena o jedničku. Po kliknutí na tlačítko  je možné zvolit cílový soubor pomocí standardního dialogového okna operačního systému. Po kliknutí na tlačítko „Save“ se data uloží na pevný disk do zvoleného souboru.

2.1.7 Ovládání časové základny



Obr. 15. Ovládací prvky časové základny [10]

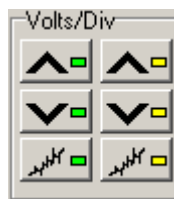
Pomocí rolovací lišty ve spodní části je možné měnit časovou základnu. Zobrazené jsou následující údaje:

- čas odpovídající jednomu horizontálnímu dílku obrazovky 
- čas mezi spouštěcí událostí a vertikálním kurzorem 
- čas mezi vertikálními kurzory 
- obrácená hodnota času mezi vertikálními kurzory (frekvence) 

V případě, že je zvolená časová základna vzorkovacího režimu, zobrazí se v pravém horním rohu symbol a dva obdélníky, které mění barvu v závislosti od nasbíraného množství vzorků takto (levý obdélník reprezentuje kanál A, pravý obdélník kanál B):




- červená – nasbíraných vzorků je méně jak **50 %**
- žlutá – nasbíraných vzorků je víc jak **50 %**, ale méně jak **100 %**
- zelená – nasbíraných vzorků je **100 %**

2.1.8 Ovládání citlivosti vertikálních zesilovačů

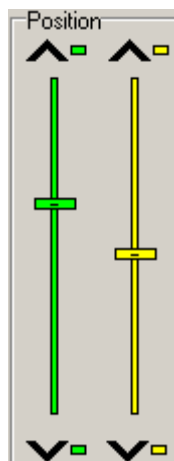


Obr. 16. Ovládací prvky citlivosti [10]

Prvky nacházející se v levé části se týkají kanálu A, prvky nacházející se v pravé části se týkají kanálu B.



Po kliknutí na tlačítko  se rozsah na příslušném kanále změní na méně citlivý, v opačném případě  se rozsah na příslušném kanále změní na více citlivý. Tlačítko  se zapne nebo vypne digitální stínění na příslušném kanále. Úroveň digitálního stínění je možné měnit v hlavním menu.

2.1.9 Ovládání vertikálních posuvů

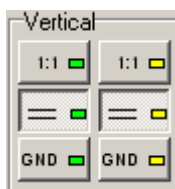


Obr. 17. Ovládací prvky vertikálních posuvů stop [10]

Prvky nacházející se v levé části se týkají kanálu A, prvky nacházející se v pravé části se týkají kanálu B.




Po kliknutí na tlačítko  se posune průběh na příslušném kanále o nejmenší možnou hodnotu směrem nahoru, v opačném případě  se posune průběh na příslušném kanále o nejmenší možnou hodnotu směrem dolů. Po kliknutí mezi běžce a tlačítko se průběh na příslušném kanále posune přibližně o jeden bod na obrazovce. Vertikální posuv je možné nastavovat i uchopením běžce.

2.1.10 Ovládání zdroje signálu

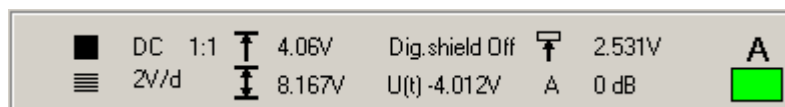


Obr. 18. Ovládací prvky zdroje signálu [10]

Prvky nacházející se v levé části se týkají kanálu A, prvky nacházející se v pravé části se týkají kanálu B.






Po kliknutí na tlačítko „1:1“, „1:10“, „1:100“ nebo „1:1000“ je možné zvolit dělicí poměr sondy připojené k příslušnému kanálu. Stisknutím tlačítka  (stejnoseměrná složka), resp.  (střídavá složka) se zapne nebo vypne jednosměrná vazba vstupu. Tlačítkem  se zapne nebo vypne uzemnění vstupu příslušného kanálu.

2.1.11 Informace o kanálech



Obr. 19. Informace o kanále [10]

Prvky nacházející se v levé části se týkají kanálu A, prvky nacházející se v pravé části se týkají kanálu B, zobrazené jsou následující informace:

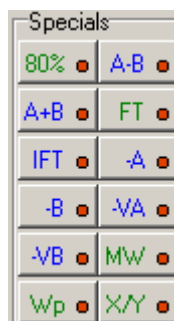
- informace o vazbě kanálu a dělicím poměru sondy 
- citlivost vertikálních zesilovačů 
- když je zapnutý referenční kurzor – napětí mezi horizontálním kurzorem a referenčním kurzorem 
- když je vypnutý referenční kurzor – napětí mezi horizontálním kurzorem a napětím $0V$ (když je vazba přepnutá na AC, tento údaj chybí, protože ho není možné naměřit)
- napětí mezi horizontálními kurzory 
- prahové napětí spouštění 

„Dig. shield“ – informace o zapnutém nebo vypnutém digitálním stínění, případně o jeho úrovni

„ $U(t)$ “ – napětí mezi $0V$ a místem, kde vertikální kurzor přetíná průběh na příslušném

kanále „A“ – poměr napětí špička-špička průběhu na obrazovce k napětí vymezenému horizontálními kurzory vyjádřený v decibelech

2.1.12 Ovládání speciálních funkcí



Obr. 20. Ovládací prvky speciálních funkcí [10]

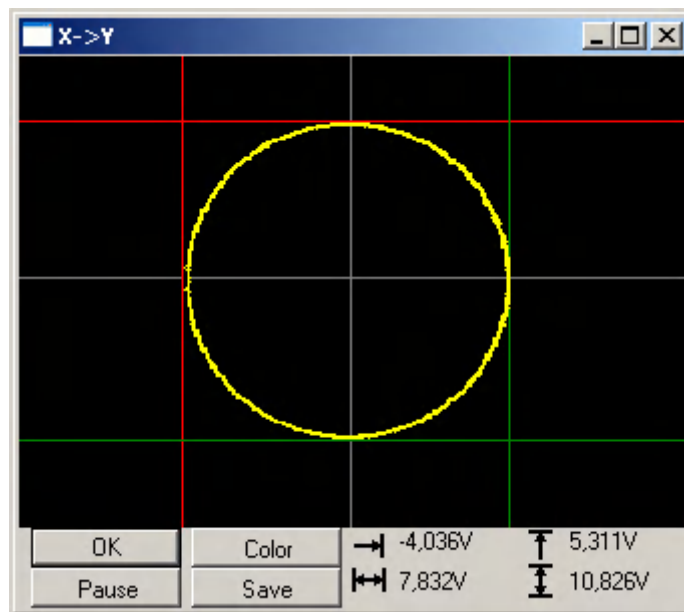
Funkce je možné rozdělit na dvě skupiny:

1. Funkce transformace dat, které zobrazí výsledek v hlavním okně aplikace na zvoleném virtuálním kanále. Tyto jsou vyznačené modrou barvou.
2. Ostatní funkce, které nezobrazují výsledek v hlavním okně aplikace. Tyto jsou vyznačené zelenou barvou.

Po kliknutí na tlačítko některé z funkcí transformace dat, se dočasně aktivuje a kurzor myši změní tvar. Po kliknutí na volné tlačítko některého z virtuálních kanálů dojde k plné aktivaci funkce a data budou zobrazené barvou příslušného virtuálního kanálu. Po kliknutí na tlačítko některé z ostatních funkcí se okamžitě aktivuje okno dané funkce.


2.1.12.1 Funkce zobrazení X/Y




Po aktivování této funkce se otevře okno, ve kterém modul vykreslí zobrazení X/Y.



Obr. 21. Okno Funkce zobrazení X/Y [10]

Šedou čarou jsou vyznačené hodnoty 0 V pro X-ovou a Y-ovou osu. K dispozici jsou dva horizontální a dva vertikální kurzory. Po jejich uchopení je možné měnit jejich polohu. Informace o poloze kurzorů jsou zobrazené v pravé spodní části okna:

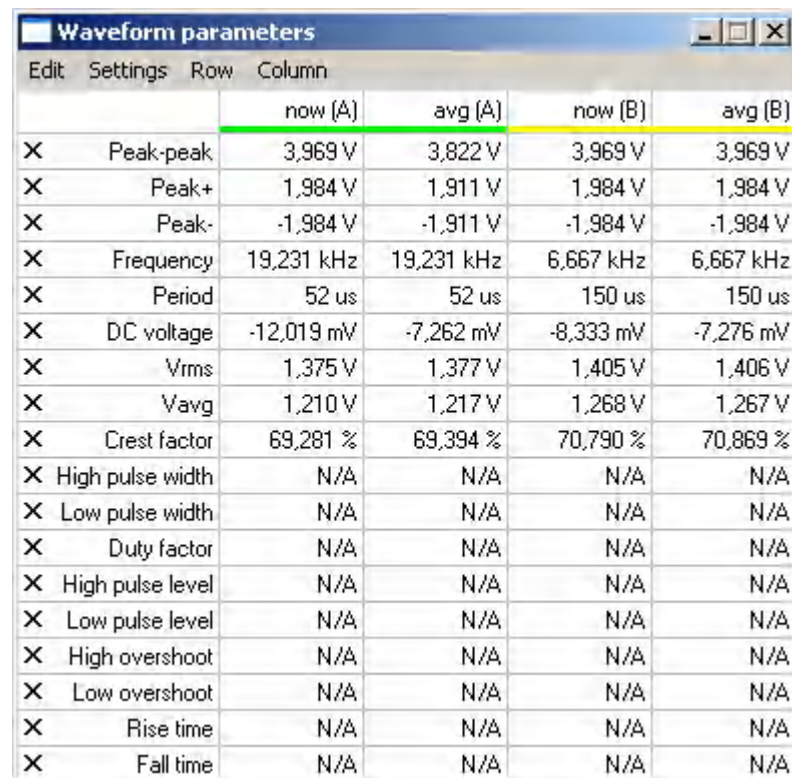
- poloha červeného vertikálního kurzoru vůči hodnotě 0 V 

- rozdíl mezi vertikálními kurzory 
- poloha červeného horizontálního kurzoru vůči hodnotě 0 V 
- rozdíl mezi horizontálními kurzory 

Tlačítkem „Color“ je možné zvolit barvu, kterou bude obrazec vykreslený. Po kliknutí na tlačítko „Save“ je možné uložit obrazec do souboru ve formátu „.jpg“. Tlačítko „Pause“ slouží k pozastavení překreslování obrazce.

2.1.12.2 Zobrazení parametrů signálu (Wp)

Zobrazení parametrů signálu slouží na automatický výpočet parametrů signálu na kanále A, B, C nebo D.



Waveform parameters					
Edit Settings Row Column					
		now (A)	avg (A)	now (B)	avg (B)
X	Peak-peak	3,969 V	3,822 V	3,969 V	3,969 V
X	Peak+	1,984 V	1,911 V	1,984 V	1,984 V
X	Peak-	-1,984 V	-1,911 V	-1,984 V	-1,984 V
X	Frequency	19,231 kHz	19,231 kHz	6,667 kHz	6,667 kHz
X	Period	52 us	52 us	150 us	150 us
X	DC voltage	-12,019 mV	-7,262 mV	-8,333 mV	-7,276 mV
X	Vrms	1,375 V	1,377 V	1,405 V	1,406 V
X	Vavg	1,210 V	1,217 V	1,268 V	1,267 V
X	Crest factor	69,281 %	69,394 %	70,790 %	70,869 %
X	High pulse width	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low pulse width	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Duty factor	N/A	N/A	N/A	N/A
X	High pulse level	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low pulse level	N/A	N/A	N/A	N/A
X	High overshoot	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low overshoot	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Rise time	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Fall time	N/A	N/A	N/A	N/A

Obr. 22. Okno parametrů signálu [10]

V tabulce jsou zobrazené následující parametry signálu:

„Peak-peak“ – napětí mezi minimem a maximem signálu

- „Peak+“ – napětí maxima signálu
- „Peak-“ – napětí minima signálu
- „Frequency“ – frekvence signálu
- „Period“ – perioda signálu
- „DC voltage“ – jednosměrná složka signálu
- „Vrms“ – efektivní hodnota napětí
- „Vavg“ – střední hodnota napětí
- „Crest factor“ – činitel výkyvu (poměr efektivní hodnoty napětí k amplitudě)

V případě, že se modulu nepodaří najít periodu signálu, na místě hodnot parametrů bude zobrazené „N/A“. Za délku náběžné hrany je považované trvání náběžné hrany mezi 10% a 90% napětí mezi impulsem a mezerou. Kliknutím na křížek při změně parametru je možné zobrazení parametru vypnout. Ke každému parametru a každému aktivovanému kanálu je možné zobrazit tyto statistiky:

- „now“ – okamžitá hodnota parametru
- „min“ – minimální hodnota parametru
- „max“ – maximální hodnota parametru
- „avg“ – průměrná hodnota parametru
- „dev“ – derivace parametru [10]

2.2 Porovnání s dostupnými osciloskopy

Porovnání dvou laboratorních osciloskopů s digitálním USB osciloskopem M524.

2.2.1 Voltcraft 630

Analogový osciloskop Voltcraft **630** je dvoukanálový přístroj s šířkou pásma DC až **30 MHz (-3 dB)** a maximální horizontální časovou základnou **20 ns/d**. Velké množství

možností nastavení spouštění usnadňuje práci. Pro zobrazení je použita pravoúhlá obrazovka s vnitřním jasem. Maximální vertikální vychýlení je 1 mV/d . Vysoce citlivý řídicí obvod garantuje stabilní obraz pro oba kanály a to i při rozdílných frekvencích. Provozní režimy TV-H a TV-V umožňují sledování videosignálů. K osciloskopu je možno připojit i frekvenční čítač. Max. spotřeba 35 W . Cena se pohybuje okolo $9\,500 \text{ Kč}$. [12]



Obr. 23 Voltcraft 630 [12]

2.2.2 Tektronix TDS 210

Tektronix TDS 210 je výkonný digitální osciloskop s velice jednoduchým ovládáním. Jeho výhodou je jeho malá velikost. Umožňuje provádět i náročná měření na elektronických zařízeních a poslouží nejen pro zobrazení časově závislých průběhů, ale je schopen pracovat např. i ve funkci altimetru a měřiče kmitočtu. Cena se pohybuje okolo $13\,000 \text{ Kč}$. [13]



Obr. 24 Tektronix TDS 210 [8]

2.2.2.1 Základní informace

- frekvenční rozsah **60 MHz** s volitelným omezením šířky pásma na **20 MHz**
- vzorkovací rychlost **1 GS/s** a délka záznamu **2 500** vzorků pro každý kanál
- kurzory s možností odečtu hodnoty a pět automatických měření
- vysoce kontrastní LCD displej s vysokým rozlišením, teplotní kompenzací a vypínatelným osvětlením
- uložení průběhu a nastavení do paměti
- automatické nastavení
- průměrování průběhů a detekce špiček
- digitální osciloskop pracující v reálném čase (nejméně desetinásobné převzorkování)
- dvojitá časová základna
- možnost spouštění TV signálem
- snadná instalace rozhraní RS-**232** pomocí modulů
- různý dosvit displeje
- uživatelské menu s možností volby deseti jazyků
- max. spotřeba **20 W** [13]

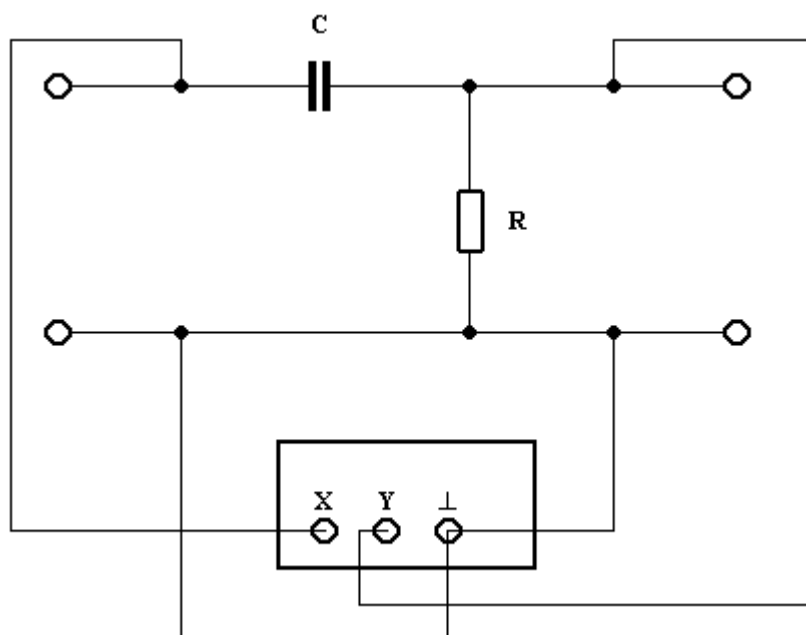
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 DERIVAČNÍ ČLÁNEK

3.1 Zadání

1. Na derivačním obvodu určete a vypočítejte napěťový přenos a mezní frekvenci derivačního článku tvořeným kondenzátorem a rezistorem.
2. Změřte amplitudu, frekvenci a vypočítejte fázový posuv výstupního signálu pomocí USB osciloskopu M524.
3. Zobrazte graficky amplitudovou a fázovou frekvenční charakteristiku.

3.2 Schéma



Obr. 25. Schéma pro měření derivačního článku

3.3 Použité pomůcky

Zdroj $Z\ 5 - 5\ V/3\ A$

MODULE BOARD RC

$C = 3,3\ \mu F$

$$R = 500 \Omega$$

USB osciloskop M524

3.4 Teoretický rozbor

U derivačních obvodů je výstupní napětí derivací vstupního napětí. V těchto obvodech dochází k nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Náběžná hrana znamená kladný impuls, doběžná záporná impuls. Derivační článek provádí v obvodu matematickou funkci, kterou nazýváme derivování. Vzhledem ke svým vlastnostem ho lze považovat za horní propust, tzn., že malé frekvence utlumuje a vyšší frekvence propouští.

- úhlovou frekvenci určíme pomocí vzorce:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (1)$$

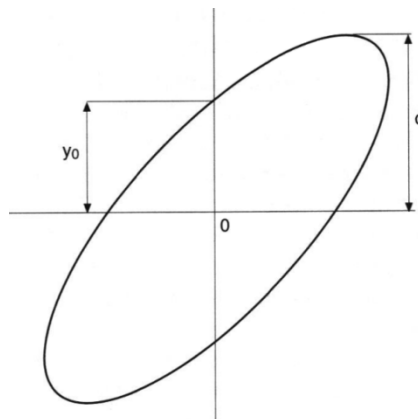
- mezní frekvenci – přenos článku klesne o **3 dB** z max. hodnoty:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (2)$$

- fázový posuv určíme pomocí vzorce:

$$\varphi = \text{arctg} \cdot \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} \quad (3)$$

- fázový posuv pomocí Lissajousového obrazce:



Obr. 26. Určení fázového úhlu dvou signálů z Lissajousova obrazce [4]

$$\varphi_{osc} = \arcsin \cdot \frac{y_0}{d} \quad (4)$$

3.5 Postup měření

Zapojíme obvod dle schématu (nezapomeňme ke každému modulu stavebnice připojit **+5 V** a GND (zem). Na zdroji nastavíme vstupní napětí na hodnotu **5 V** a frekvenci na hodnotu **10 Hz**. Připojíme digitální osciloskop M524 k počítači.

Po zobrazení hlavního okna osciloskopu klikneme na záložku „Settings“ a poté na „Restore defaults“, tím se nastaví původní hodnoty osciloskopu. Jako první kalibrujeme osciloskop.

To provedeme tak, že klikneme na tlačítko GND pro oba kanály (v ovládacích prvcích zdroje signálu). Poté posuneme oba kanály (v ovládacích prvcích vertikálních posuvů stop) doprostřed obrazovky k zelené šipce. Po kliknutí na tlačítko „Ref“ (ovládání kurzorů a mřížky) se na obrazovce zobrazí referenční kurzor, který posuneme doprostřed obrazovky k oběma kanálům a zelené šipce. Tímto je osciloskop kalibrován a můžeme začít měřit.

K zobrazenému hlavnímu oknu osciloskopu si otevřeme okno zobrazení parametrů signálu (Wp) a okno s funkcí zobrazení X/Y (ovládání speciálních funkcí).

Měření probíhá pro frekvence od **10 Hz** po **1 kHz**. Po zobrazení výstupního napětí na osciloskopu klikneme na „Ver“ a „Hor“ (ovládání kurzorů a mřížky), které zobrazí vertikální a horizontální kurzory, kterými se odečítají hodnoty výstupního napětí a frekvence. Po dvojím rychlém kliknutí na horizontální kurzor se zobrazí hodnoty pro napětí (v informacích o kanálu) a frekvenci (v ovládání časové základny), které zapíšeme do tabulky. Vše můžeme kontrolovat v okně zobrazení parametrů signálu (Wp). K měření fázového posuvu nám slouží okno s funkcí zobrazení X/Y. Zde si musíme horizontální kurzory nastavovat sami, což je méně přesné. Výsledky zapíšeme do tabulky. Průsečík šedých os nám určuje **0 V**.

3.6 Naměřené a vypočítané hodnoty

1. Určení mezní frekvence a změření napětíového přenosu derivačního RC článku

- mezní frekvence vypočítáme ze vztahu (2):

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = 96,5 \text{ Hz}$$

- napět'ový přenos (ve [V] a [dB]) určíme pomocí vzorce:

$$A_V = \frac{U_2}{U_1} \quad (5)$$

$$A_{VdB} = 20 \cdot \log \cdot A_V \quad (6)$$

f_{osc} [Hz]	U_{vstup} [V]	$U_{výstup}$ [V]	A_u [V]	A_u [dB]
10,040	5	0,540	0,1080	-19,3315
15,060	5	0,788	0,1576	-16,0489
20,030	5	1,039	0,2078	-13,6471
25,000	5	1,278	0,2556	-11,8488
30,030	5	1,504	0,3008	-10,4344
35,088	5	1,719	0,3438	-9,2739
40,161	5	1,922	0,3844	-8,3043
45,045	5	2,125	0,4250	-7,4322
50,251	5	2,316	0,4632	-6,6846
60,241	5	2,627	0,5254	-5,5902
70,028	5	2,890	0,5780	-4,7614
80,128	5	3,128	0,6256	-4,0741
89,928	5	3,296	0,6592	-3,6197
100,402	5	3,487	0,6974	-3,1304
250,000	5	4,490	0,8980	-0,9345
500,000	5	4,776	0,9552	-0,3981
748,503	5	4,872	0,9744	-0,2253
1000,000	5	4,967	0,9934	-0,0575

Tab. 2. Měření napět'ového přenosu ve V a v dB

Příklad výpočtu prvního řádku tabulky:

A_V a A_{VdB} vypočítáme ze vztahu (5), (6):

$$A_V = \frac{U_2}{U_1} = \frac{0,54}{5} = 0,108 \text{ V}$$

$$A_{VdB} = 20 \cdot \log \cdot A_V = 20 \cdot \log \cdot 0,108 = -19,3315 \text{ dB}$$

2. Měření fázového posuvu

číslo měření	f	f _{osc}	U _{vstup}	U _{výstup}	φ	φ _{osc}		
	[Hz]	[Hz]	[V]	[V]	[°]	y ₀	d	φ
1	10	10,040	5	0,540	84,05	0,528	0,536	80,05
2	15	15,060	5	0,788	81,10	0,776	0,788	79,59
3	20	20,030	5	1,039	78,17	1,000	1,039	74,15
4	25	25,000	5	1,278	75,28	1,216	1,275	72,30
5	30	30,030	5	1,504	72,44	1,412	1,510	69,14
6	35	35,088	5	1,719	70,04	1,569	1,725	65,26
7	40	40,161	5	1,922	67,29	1,725	1,922	63,50
8	45	45,045	5	2,125	65,00	1,882	2,157	60,45
9	50	50,251	5	2,316	62,36	1,961	2,314	57,56
10	60	60,241	5	2,627	58,08	2,157	2,627	55,11
11	70	70,028	5	2,890	54,02	2,235	2,863	51,19
12	80	80,128	5	3,128	50,20	2,275	3,137	46,29
13	90	89,928	5	3,296	47,00	2,314	3,333	43,58
14	100	100,402	5	3,487	43,59	2,275	3,490	40,41
15	250	250,000	5	4,490	21,06	1,569	4,471	20,32
16	500	500,000	5	4,776	10,55	0,941	4,784	11,20
17	750	748,503	5	4,872	7,20	0,628	4,863	7,25
18	1000	1000,000	5	4,967	5,30	0,471	4,941	5,28

Tab. 3. Měření amplitudy, frekvence a fázového posuvu

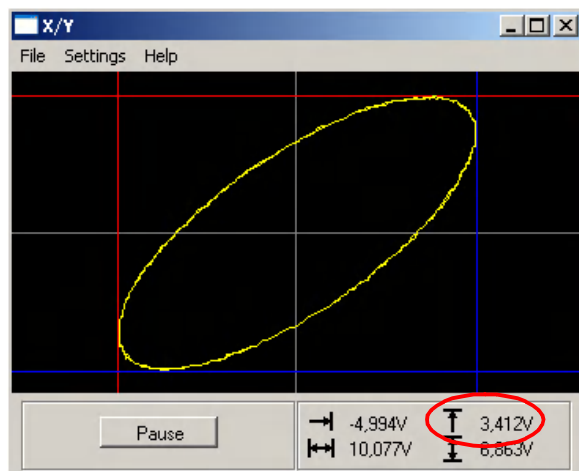
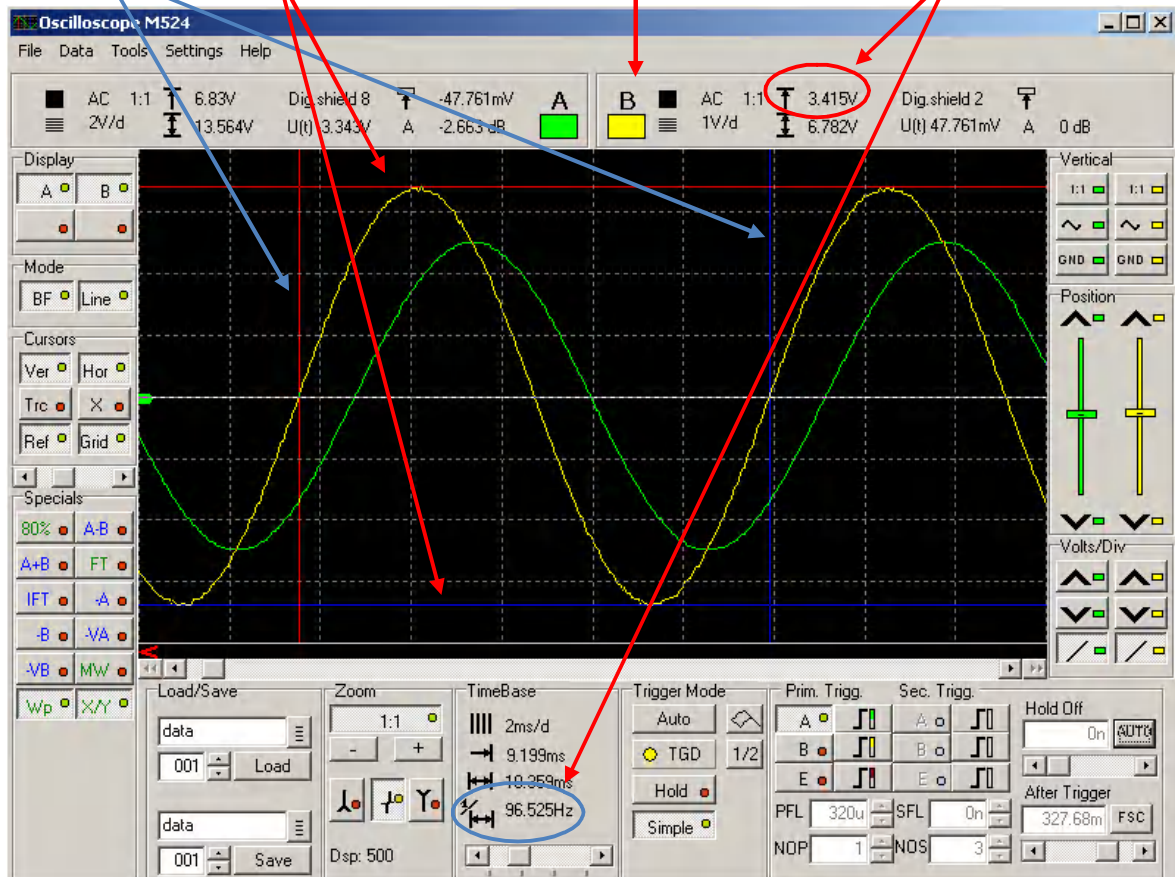
Příklad výpočtu prvního řádku tabulky:

f_{osc} , $U_{výstup}$ zjistíme přímo z osciloskopu, φ a φ_{osc} vypočítáme ze vztahu (3), (4):

$$\varphi = \arctg \cdot \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} = \arctg \cdot \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10,04 \cdot 500 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}} = 84,05^\circ$$

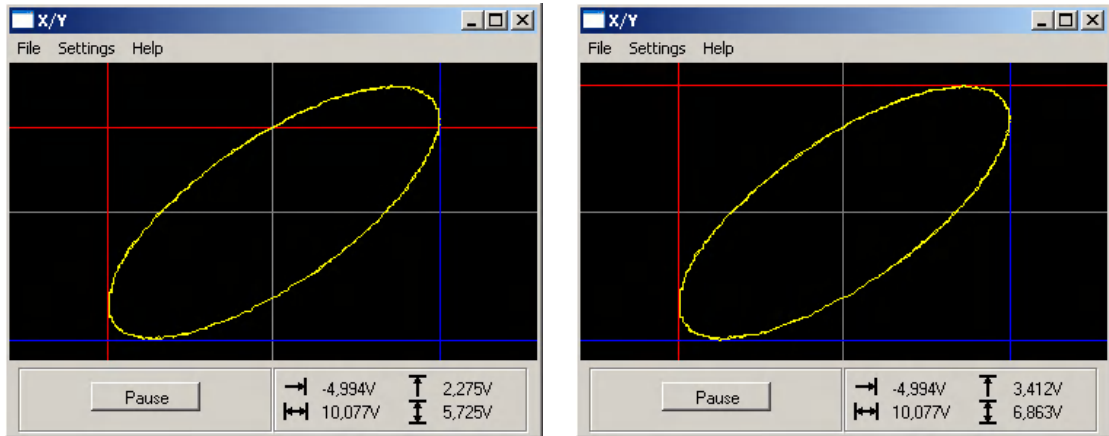
$$\varphi_{osc} = \arcsin \cdot \frac{y_0}{d} = \arcsin \cdot \frac{0,528}{0,536} = 80,05^\circ$$

Vertikální a horizontální kurzory měřený kanál naměřené hodnoty



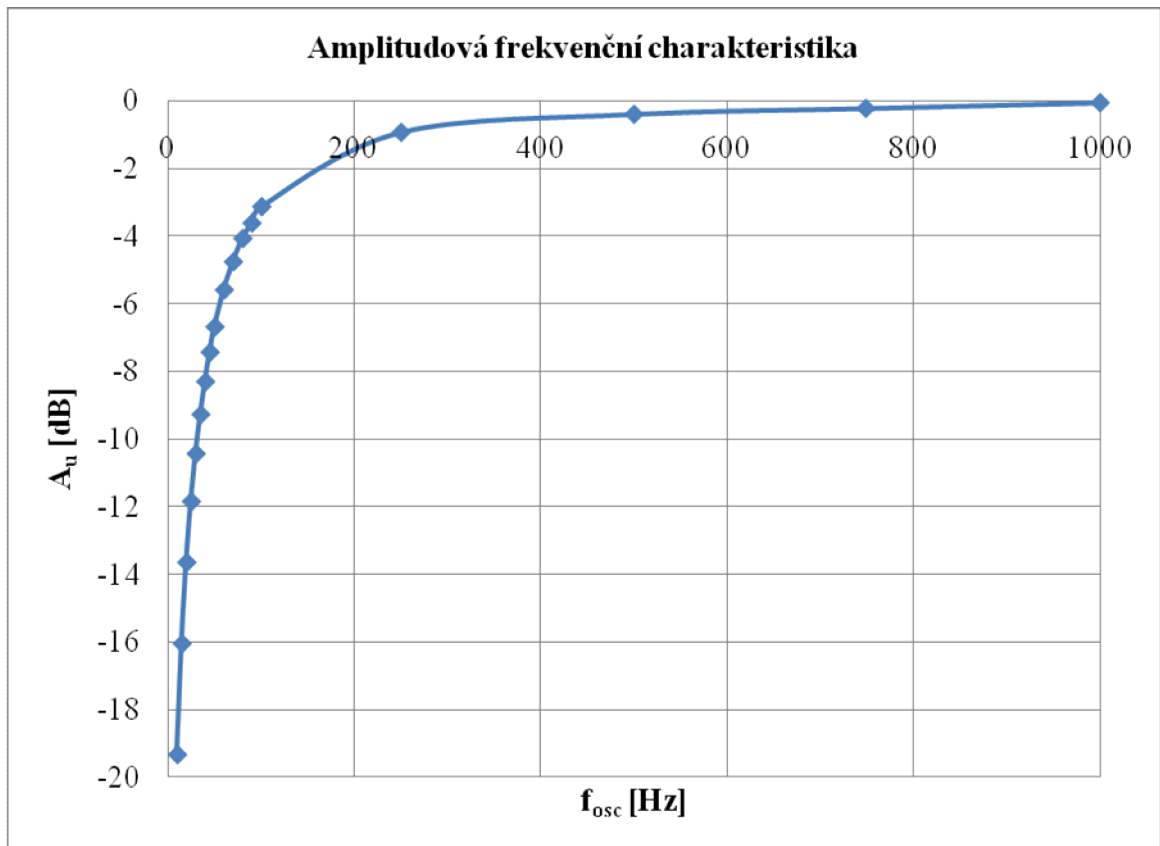
		now (A)	avg (A)	now (B)	avg (B)
X	Peak-peak	10,000 V	10,031 V	6,912 V	9,245 V
X	Peak+	5,062 V	5,065 V	3,438 V	4,638 V
X	Peak-	-4,938 V	-4,966 V	-3,474 V	-4,607 V
X	Frequency	96,525 Hz	67,876 Hz	96,525 Hz	96,524 Hz
X	Period	10,360 ms	39,587 ms	10,360 ms	10,360 ms
X	DC voltage	16,651 mV	19,149 mV	13,755 mV	19,714 mV
X	Vrms	3,524 V	3,502 V	2,381 V	2,379 V
X	Vavg	3,170 V	3,149 V	2,144 V	2,143 V
X	Crest factor	70,475 %	69,989 %	69,910 %	69,914 %
X	High pulse width	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low pulse width	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Duty factor	N/A	N/A	N/A	N/A
X	High pulse level	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low pulse level	N/A	N/A	N/A	N/A
X	High overshoot	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Low overshoot	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Rise time	N/A	N/A	N/A	N/A
X	Fall time	N/A	N/A	N/A	N/A

Obr. 27. Názorné vysvětlení celého měření

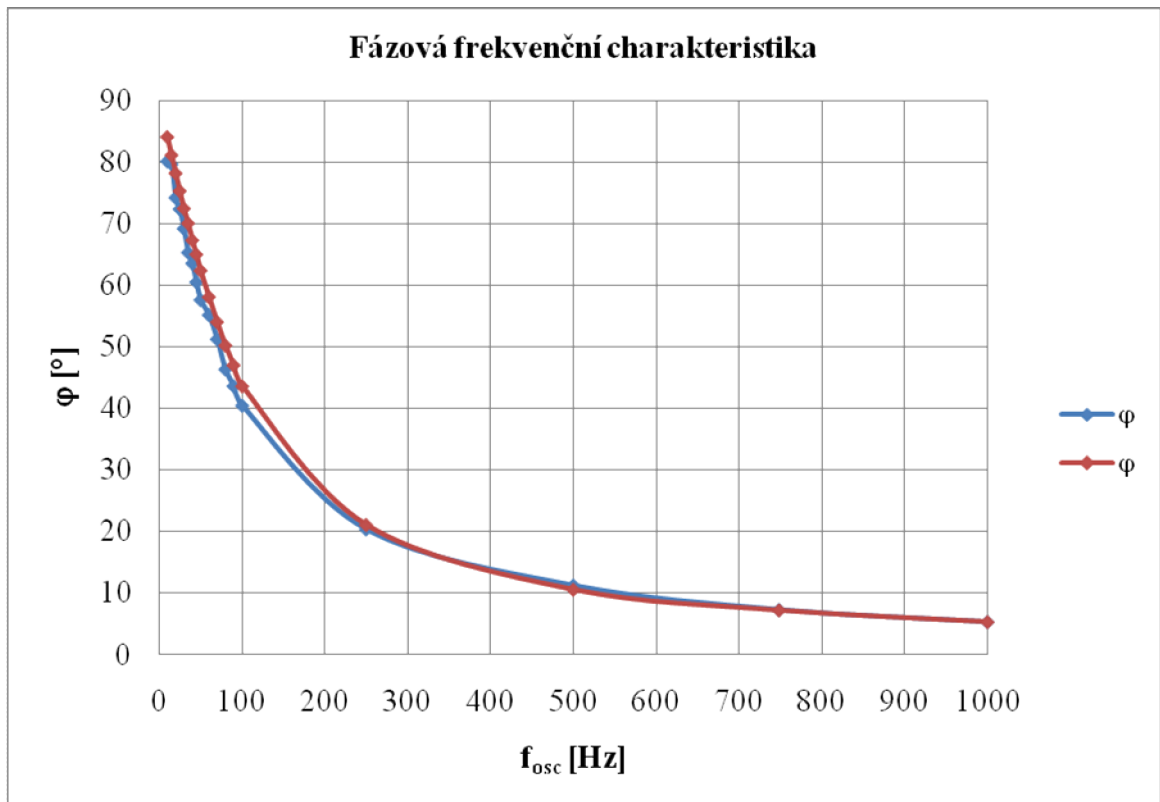


Obr. 28. Názorné vysvětlení pro měření fázového posuvu z Obr. 26.

3. Grafické zobrazení amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky



Graf 1. Amplitudová frekvenční charakteristika



Graf 2. Fázová frekvenční charakteristika – srovnání φ_{osc} a φ

3.7 Závěr

Při tomto měření jsme si ověřili základní funkci derivačního RC článku. Tento článek funguje jako horní propust. To znamená, že zadržuje nízké frekvence a propouští vysoké. Tato vlastnost je i viditelná z grafu Amplitudové frekvenční charakteristiky.

Rozdílný fázový posuv někdy i o několik stupňů je dán špatným odečtením z funkce X/Y u osciloskopu, jelikož zde už není automatické nastavení vertikálních kurzorů. Tím se může špatně odečíst velikost napětí a po dosazení do vzorce to nevyhází s teoretickým předpokladem fázového posuvu pro derivační RC článek.

4 MĚŘENÍ HYSTEREZE

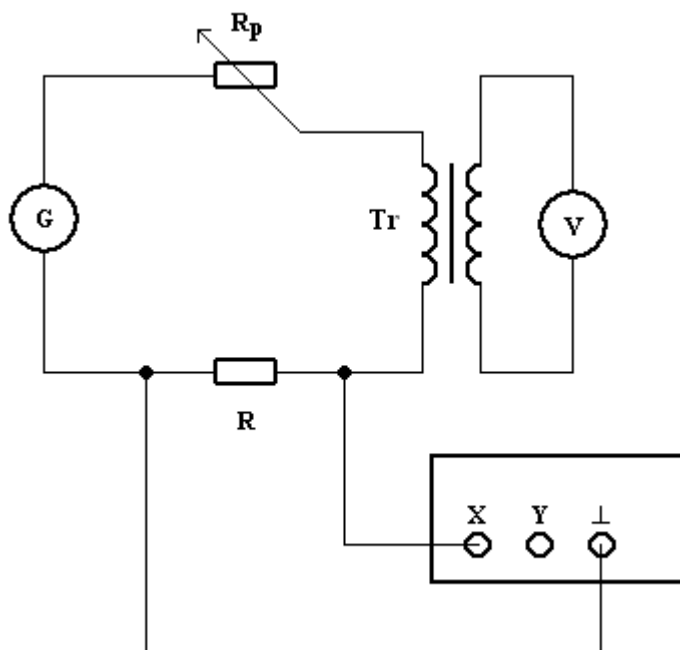
4.1 Zadání

Na magnetickém obvodu transformátoru proveďte tyto úkoly:

1. Změřte a graficky znázorněte magnetizační křivku daného feromagnetického materiálu.
2. Na osciloskopu zobrazte hysterezní smyčky.
3. Ze zobrazených hysterezních smyček určete remanentní indukci B_r a koercitivní intenzitu H_k .

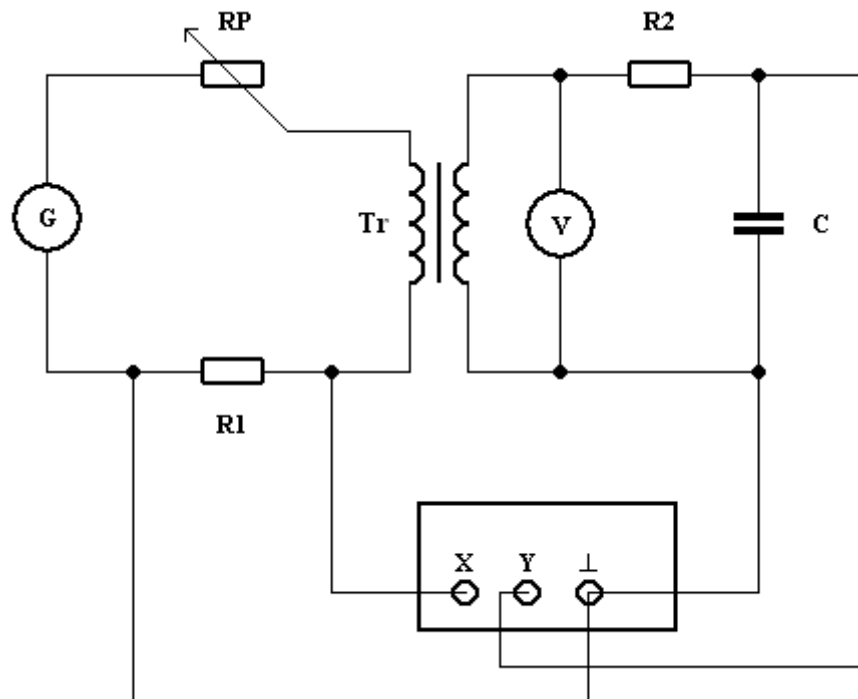
4.2 Schéma

a) Magnetizační křivka



Obr. 29. Schéma pro měření magnetizační křivky

b) Hysterezní smyčka



Obr. 30. Schéma pro měření hysterezní smyčky

4.3 Použité pomůcky

G – Generátor výstup $0 \div 255 \text{ V} / 1 \text{ A}$

$R_p = 940 \Omega, 0,63 \text{ A}$

Tr – Transformátor BJN 50 24 V/12 V, 50 VA, $N_1 = 145 \text{ z}$, $N_2 = 80 \text{ z}$, $S = 7,071 \text{ cm}^2$, $l_s = 167 \text{ mm}$

V – Multimetr

$R_1 = 5,6 \Omega$

$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$

$C = 2 \mu\text{F}$

USB osciloskop M524

4.4 Teoretický rozbor

Magnetizační křivka vyjadřuje závislost magnetické indukce B na intenzitě magnetického pole H .

$$B = \mu \cdot H \quad (1)$$

U diamagnetických a paramagnetických látek je tato závislost lineární. U feromagnetických látek nelineární.

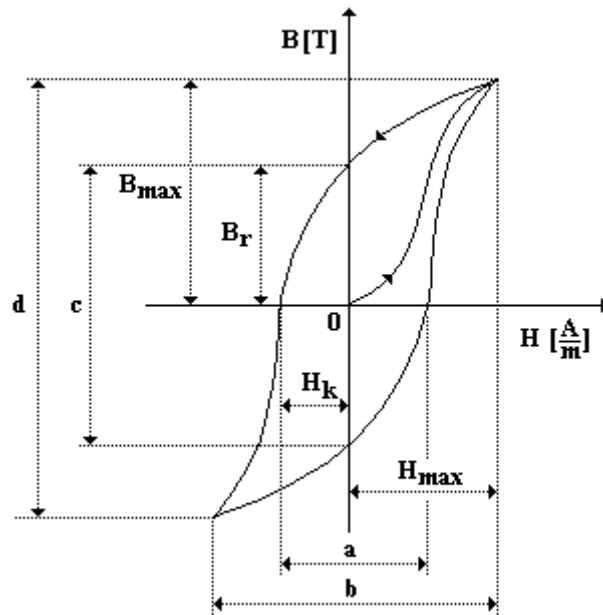
Při malých hodnotách intenzity, magnetická indukce a poměrná permeabilita stoupá rychle. Další část charakteristiky je téměř lineární. V této části charakteristiky dosahuje poměrná permeabilita maximální hodnoty. Poté dochází ke zlomu, tzv. oblast nasycení magnetická indukce roste. S rostoucí intenzitou magnetického pole pomaleji a poměrná permeabilita se zmenšuje. Tato magnetizační charakteristika platí jen v případě, že materiál nebyl již před měřením za tímto účelem magnetizován.

Koercitivní intenzita H_k - intenzita magnetického pole potřebná k odstranění remanentní indukce.

$$H_k = \frac{a}{b} \cdot H_{max} \quad (2)$$

Remanentní indukce B_r - magnetická indukce, která ve feromagnetickém materiálu zůstane i při nulové hodnotě intenzity magnetického pole.

$$B_r = \frac{c}{d} \cdot B_{max} \quad (3)$$



Obr. 31. Zobrazení hysterezní smyčky

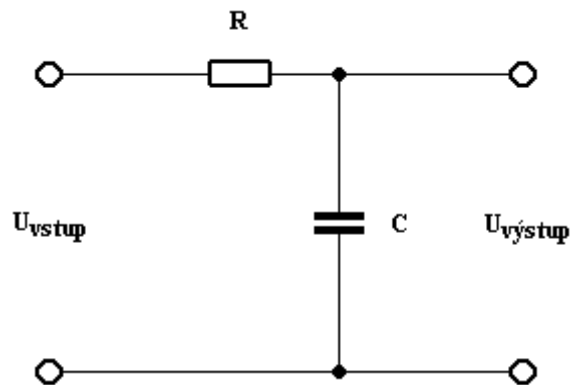
Hysterezní smyčka:

- okamžitá hodnota hysterezní smyčky závisí na velikosti napětí:

$$U_2 = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot N_2 = N_2 \cdot S_{Fe} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (4)$$

- výchozí hodnota pro měření:

$$B_t = \frac{1}{N_2 \cdot S_{Fe}} \cdot \int U_2 \cdot \Delta t \quad (5)$$



Obr. 32. Schéma integračního článku

- výstupní napětí integračního článku:

$$U_{\text{výstup}} = \frac{1}{R \cdot C} \cdot \int U_{\text{vstup}} \cdot \Delta t \quad (6)$$

- z toho plyne:

$$B_z = \frac{1}{N_z \cdot S_{Fz}} \cdot U_{\text{výstup}} \cdot R \cdot C \quad (7)$$

- maximální indukci lze určit pomocí vzorce:

$$B_{\text{max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot R \cdot C}{N_z \cdot S_{Fz}} \cdot U_{\text{výstup}} \quad (8)$$

- z toho plyne:

$$B_{\text{max}} = \frac{U_z}{4,44 \cdot N_z \cdot S_{Fz} \cdot f} \quad (9)$$

- maximální intenzitu určíme pomocí vzorce:

$$H_{\text{max}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot N}{l_s} = \frac{U_{\text{z}} \cdot N_z}{2 \cdot R_1 \cdot l_s} \quad (10)$$

4.5 Postup měření

- a) Zapojíme obvod dle schématu pro měření magnetizační křivky. Pomocí R_P nastavíme magnetizační proud a odečítáme příslušné hodnoty napětí U_{z} na osciloskopu do hodnoty napětí $U_z = 12 \text{ V}$. Z naměřených hodnot vypočítáme maximální magnetickou indukci B_{max} , maximální magnetickou intenzitu H_{max} a sestojíme magnetizační křivku.

číslo měření	U_z	U_{z}	B_{max}	H_{max}
	[V]	[V]	[T]	[A.m ⁻¹]
1	0,989	0,908	0,079	70,391
2	1,998	1,261	0,159	97,757
3	3,012	1,471	0,240	114,037
4	4,010	1,624	0,319	125,898
5	5,030	1,779	0,401	137,914
6	5,990	1,958	0,477	151,791
7	7,020	2,173	0,559	168,459

8	8,010	2,484	0,638	192,568
9	9,000	2,985	0,717	231,408
10	10,020	3,785	0,798	293,427
11	11,090	4,657	0,883	361,027
12	11,990	5,922	0,955	459,094

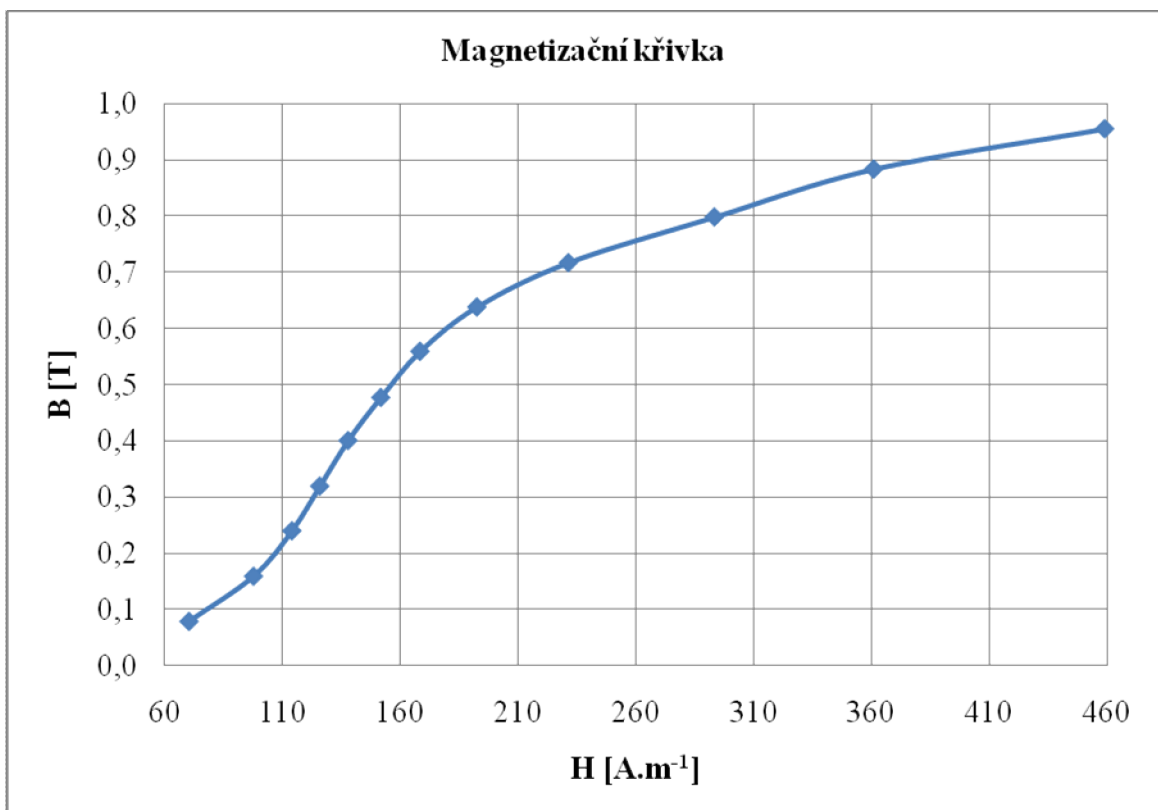
Tab. 4. Měření magnetizační křivky

Příklad výpočtu prvního řádku tabulky:

U_2 naměříme na multimetru, U_{III} zjistíme přímo z osciloskopu, B_{max} a H_{max} vypočítáme ze vztahu (9), (10):

$$B_{\text{max}} = \frac{U_2}{4,44 \cdot N_2 \cdot S_{Fe} \cdot f} = \frac{0,989}{4,44 \cdot 80 \cdot 0,00070711 \cdot 50} = 0,079 \text{ T}$$

$$H_{\text{max}} = \frac{U_{\text{III}} \cdot N_1}{2 \cdot R_1 \cdot l_s} = \frac{0,908 \cdot 145}{2 \cdot 5,6 \cdot 0,167} = 70,391 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$



Graf 3. Magnetizační křivka

- b) Zapojíme obvod dle schématu pro měření hysterezní smyčky. Zobrazení hysterezní smyčky si zvolíme pro hodnoty napětí $U_2 = 3 \text{ V}$ a 6 V . Pro zadanou maximální magnetickou indukci B_{max} , přiřadíme odpovídající velikost napětí U_2 a H_{max} . Pomocí R_p nastavíme požadované napětí U_2 a pomocí osciloskopu v režimu X/Y zobrazíme hysterezní smyčku. Ze stínítka odečteme úsečky a, b, c, d .

číslo měření	a	b	c	d	H_{max}	H_k	B_{max}	B_r
	[V]	[V]	[V]	[V]	[A.m ⁻¹]	[A.m ⁻¹]	[T]	[T]
1	2,475	6,099	2,314	3,176	114,037	46,277	0,240	0,175
2	3,890	10,696	3,098	4,275	151,791	55,204	0,477	0,346

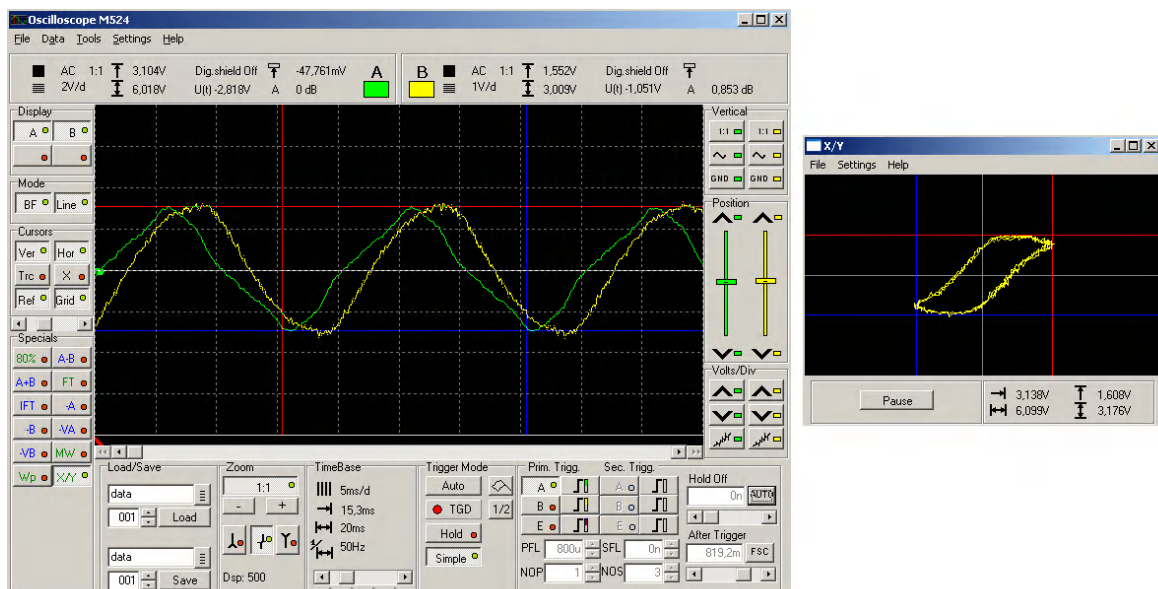
Tab. 5. Měření hysterezní smyčky

Příklad výpočtu prvního řádku tabulky:

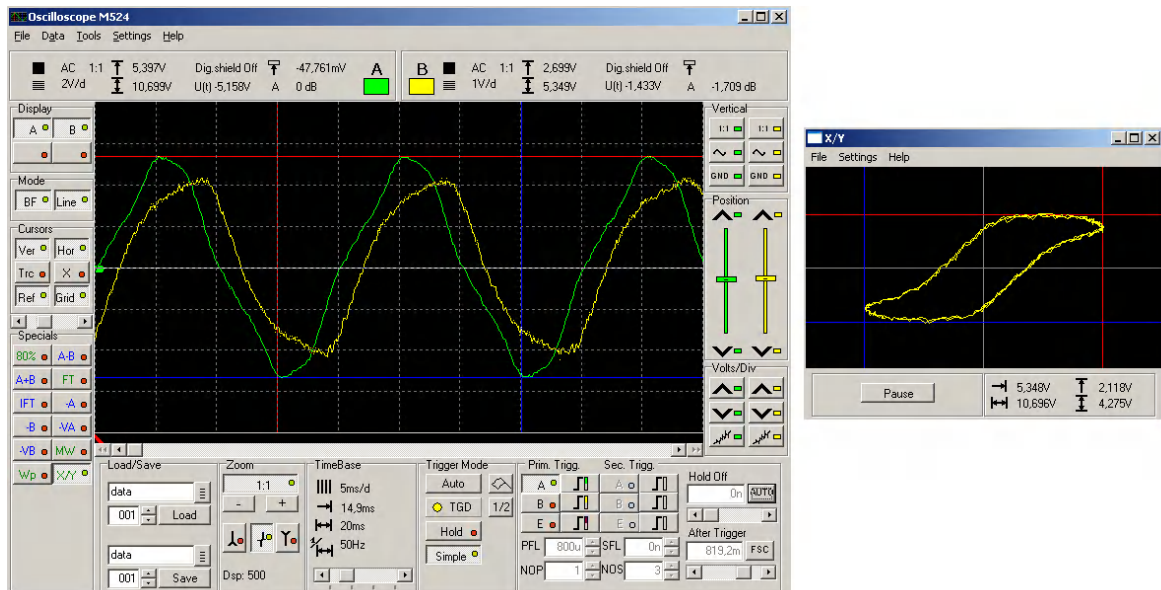
a, b, c, d zjistíme z osciloskopu, H_k a B_r vypočítáme ze vztahu (2), (3):

$$H_k = \frac{a}{b} \cdot H_{max} = \frac{2,475}{6,099} \cdot 114,037 = 46,277 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$B_r = \frac{c}{d} \cdot B_{max} = \frac{2,314}{3,098} \cdot 0,240 = 0,175 \text{ T}$$



Obr. 33. Hysterezní smyčka pro 3 V



Obr. 34. Hysterezní smyčka pro 6 V

4.6 Závěr

Cílem této úlohy bylo graficky zobrazit magnetizační křivku daného feromagnetického transformátoru a na osciloskopu zobrazit jeho hysterezní smyčky pro 3 V a 6 V ve funkci zobrazení X/Y.

Transformátor pro napětí 24 V je navrhnutý tak, aby se v provozu nenasycoval, proto nedochází k úplnému nasycení magnetického obvodu a tudíž je hysterezní smyčka zaoblená.

ZÁVĚR

V teoretické části bylo úkolem vytvořit literární rešerši o principu měření elektrických veličin pomocí analogových a digitálních osciloskopů. Seznámit se také s tím, co to je osciloskop, vysvětlení jednotlivých pojmů, jaké druhy osciloskopu existují a kde se s takovými osciloskopy setkáme.

Hlavním úkolem bylo podrobné seznámení s digitálním USB osciloskopem M524 a přiblížit jeho funkce. Dále porovnat tento typ osciloskopu s dostupnými osciloskopy v laboratoři Elektrotechniky.

V praktické části jsou navrženy a realizovány dvě laboratorní úlohy pro měření na digitálním USB osciloskopu M524. První úloha byla zaměřena hlavně na vyzkoušení funkcí osciloskopu, jako je, změření amplitudy, frekvence a fázového posuvu signálu. Cílem druhé úlohy bylo naměřit a následně graficky znázornit magnetizační křivku a z měřeného transformátoru zobrazit hysterezní smyčky na osciloskopu.

Po přečtení této bakalářské práce by mělo být jasné, co to osciloskop je, jak se s ním měří, na co se využívá a jaké druhy osciloskopu existují.

Osciloskop se stal nepostradatelnou součástí mnoha odvětví, např. v automobilovém průmyslu se stává ideálním nástrojem pro diagnostiku aut.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

In theoretic parts there was imposition to create literary background research about measuring principle of electric quantities by the help of analog and digital oscilloscope. Make the one's acquaintance also with it, what the oscilloscope is, explication single conceptions, which kind of oscilloscope exist and where we can use oscilloscopes.

Primary imposition was detailed acquaint with digital USB oscilloscope M524 and put nearer his function. Then compare this type of oscilloscope with another accessible oscilloscopes in electrical engineering laboratory.

In practical part, there are designed and realized two laboratory exercises for measuring on digital USB oscilloscope M524. First exercise was bent especially on checking - out function of oscilloscope, such as, timed amplitude, frequence and phase shift signal. Aim of second exercise was deal out and consequently diagrammatize magnetizaton curve and from measured transformer display BH - loop on oscilloscope.

After reading this baccalaureate work should be clear, what the oscilloscope is, how measure with it, what is it use for and which kind of oscilloscopes are exist.

Oscilloscope come to be an indispensable part of many brunches, e.g. in car industry it is an ideal tool for car diagnostics.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *AmaPro* [online]. [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.volny.cz/pojemcz/abc/o/o_23.htm>.
- [2] *Wikipedie, otevřená encyklopedie – Osciloskop* [online]. 10.04.2009 v 20:06. [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Osciloskop>>.
- [3] *Osciloskop* [online]. [cit. 2009-04-03]. MFF UK v Praze, Katedra didaktiky fyziky. Dostupný z WWW: <http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/Osciloskop/oscilloscope_cz.html>.
- [4] HAVLÍK, Ladislav. *Osciloskopy a jejich použití*. 1. Vyd. Praha : Nakladatelství Sdělovací technika, 2002. 254 s. ISBN 80-901936-8-4.
- [5] SMÍLEK, Jiří. *Elektrická měření : Osciloskopy – skripta* [online]. 06.02.2006. [cit. 2009-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.jsmilek.cz//skripta%20pdf/mereni%204%20osciloskopy%20skripta.pdf>>.
- [6] *Wikipedie, otevřená encyklopedie – Lissajousův obrazec* [online]. 16.12.2008 v 23:11. [cit. 2009-05-04]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lissajous%C5%AFv_obrazec>.
- [7] BEJČEK, Ludvík; ČEJKA, Miloslav; GESCHEIDTOVÁ, Eva; REZ, Jiří; STEIBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice* [online]. 01.05.2003. [cit. 2009-04-29]. Dostupný z WWW: <https://www.fec.vutbr.cz/et/skripta/uamt/Mereni_v_elektrotechnice_L2.pdf>.
- [8] ŠŤASTNÁ, Barbora. *Vypracování vhodné metodiky studia výboje vysokotlaké vysokofrekvenční duté katody - plazmové tužky* [online]. 2003. [cit. 2009-04-29]. Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí diplomové práce: Prof. RNDr. Jan Janča, DrSc. Dostupný z WWW: <<http://www.math.muni.cz/~stastna/dp/04.htm>>.
- [9] VLČEK, Jiří. *Digitální osciloskop: doplněk k publikaci Moderní elektronika* [online]. 18.08.2008. [cit. 2009-05-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=4&i=102&h=310&pl=42>>.
- [10] *Dokumentace k osciloskopu M524 na CD*. 14.07.2005. [cit. 2009-04-15].
- [11] *ETC M524* [online]. 13.04.2005. [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <http://www.soselectronic.com/a_info/resource/l/m524.pdf>.

- [12] *Dvoukanálový osciloskop Voltcraft 630: návod* [online]. 14.01.2003. [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.electro24.cz/detail-45821-osciloskop-voltcraft-630-2-30-mhz/mediaview.php?id=4724>>.
- [13] *Digitální osciloskop Tektronix TDS 210* [online]. 05.12.2007. [cit. 2009-05-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bajer/ESOLAB/Tektronix.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	Analogově/Digitální.
AC	Střídavý proud.
CRT	(Cathode ray tube) Katodová trubice.
DC	Stejnoseměrný proud.
FIFO	(First In, First Out) První vstupující prvek zároveň ze systému první vystupuje.
GND	Označení pro zem.
LCD	(Liquid crystal display) Tenké a ploché zobrazovací zařízení.
RS-232	Sériový port, používá se jako komunikační rozhraní.
USB	(Universal Serial Bus) Universální sériová sběrnice.
WCD	(Waveform Conformity Detection) Detekce změny průběhu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma osciloskopu [3]	12
Obr. 2. Časová základna [2]	13
Obr. 3. Srovnání signálů f_x a f_y [4]	14
Obr. 4. Lissajousovy obrazce pro několik fázových posunutí mezi sinusovými signály f_x a f_y a pro jejich kmitočtový poměr [4]	14
Obr. 5. Základní blokové schéma analogového osciloskopu [7]	16
Obr. 6. Nestabilizovaný a stabilizovaný signál [8]	18
Obr. 7. Blokové schéma digitálního osciloskopu [7]	19
Obr. 8. USB Osciloskop M524 [10]	23
Obr. 9. Čelní panel přístroje [10]	24
Obr. 10. Hlavní okno aplikace [10]	25
Obr. 11. Ovládací prvky kurzorů a mřížky [10]	25
Obr. 12. Ovládací prvky zobrazení kanálů [10]	26
Obr. 13. Ovládací prvky režimu zobrazení [10]	26
Obr. 14. Ovládací prvky pro ukládání a načítání dat [10]	26
Obr. 15. Ovládací prvky časové základny [10]	27
Obr. 16. Ovládací prvky citlivosti [10]	28
Obr. 17. Ovládací prvky vertikálních posuvů stop [10]	28
Obr. 18. Ovládací prvky zdroje signálu [10]	29
Obr. 19. Informace o kanále [10]	29
Obr. 20. Ovládací prvky speciálních funkcí [10]	30
Obr. 21. Okno Funkce zobrazení X/Y [10]	31
Obr. 22. Okno parametrů signálu [10]	32
Obr. 23 Voltcraft 630 [12]	34
Obr. 24 Tektronix TDS 210 [8]	34

Obr. 25. Schéma pro měření derivačního članku	37
Obr. 26. Určení fázového úhlu dvou signálů z Lissajousova obrazce [4]	38
Obr. 27. Názorné vysvětlení celého měření	42
Obr. 28. Názorné vysvětlení měření fázového posuvu z Obr. 26.	43
Obr. 29. Schéma pro měření magnetizační křivky	45
Obr. 30. Schéma pro měření hysterezní smyčky	46
Obr. 31. Zobrazení hysterezní smyčky	47
Obr. 32. Schéma integračního članku	48
Obr. 33. Hysterezní smyčka pro 3 V	51
Obr. 34. Hysterezní smyčka pro 6 V	51

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Důležité parametry analogového osciloskopu [4]	19
Tab. 2. Měření napětového přenosu ve V a v dB	40
Tab. 3. Měření amplitudy, frekvence a fázového posuvu	41
Tab. 4. Měření magnetizační křivky	49
Tab. 5. Měření hysterezní smyčky	50

SEZNAM PŘÍLOH

CD s elektronickou verzí této práce.