
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Měření V-A charakteristik diod pomocí digitálního
osciloskopu

Measuring V-A characteristics diodes by means of
digital oscilloscope

Bakalářská práce

Autor: Lukáš Hlavatý
Vedoucí práce: Doc. ing. Ivan Doležal, Csc.

V Liberci 18. 5. 2007

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že s o u h l a s í m s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Doc. Ing. Ivanu Doležalovi, CSc., který byl vždy ochoten podat pomocnou ruku v odborných otázkách týkajících se mé bakalářské práce, panu Ing. Milanu Kolářovi, CSc. za pohotovou práci při zajišťování potřebného softwaru i hardwaru. A také bych chtěl poděkovat svým rodičům za jejich podporu, které se mi od nich dostávalo po celou dobu studia.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace softwaru pro měření voltampérových charakteristik diod pomocí digitálního osciloskopu ETC M621. K jednoduchému obvodu sériově zapojené diody s předřadným odporem je přivedeno měřicí napětí generované zdrojem, který je realizován dvěma způsoby.

Volně běžícím generátorem funkcí v měřícím systému Metex MS-9150 a upraveným programovatelným napájecím zdrojem TESLA BK-126 řízený po sériové lince a ovládaný navrženým softwarem. Naměřené hodnoty je možné zobrazit, filtrovat a uložit do textového souboru.

Abstract

Objectives of this bachelor work are a design and an implementation of software for measuring V-A characteristics of diodes by digital oscilloscope ETC M621. A series wiring of a diode and a series resistor is connected to a voltage generator, which is realized in two ways.

By a freely running function generator from the measuring system Metex MS-9150 and by the modified power supply TESLA BK-126, which is controlled by a designed program through a serial interface. Measuring data can be displayed, filtered and saved into text file.

Obsah

Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Abstrakt.....	5
Úvod.....	8
1 Rozbor použitých pomůcek	10
1.1 Měření voltampérových charakteristik diody	10
1.1.1 Ohmová metoda.....	10
1.1.2 Ohmová metoda pro více diod.....	11
1.1.3 Měření na analogovém osciloskopu	11
1.2 Diody	12
1.2.1 Charakteristické vlastnosti	12
1.2.2 Dělení diod.....	15
1.3 Osciloskop	18
1.3.1 Charakteristika přístroje.....	18
1.3.2 Princip řízení osciloskopu.....	20
1.3.3 Technické parametry osciloskopu	20
1.4 Měřicí systém Metex MS-9150	20
1.5 Programovatelný laboratorní zdroj	21
2 Návrh řešení	22
2.1 Schéma zapojení	22
2.2 Režim reakce na spouštěcí událost	22
2.3 Popis zobrazovaných signálů.....	23
2.4 Princip měření.....	26
2.4.1 Princip měření s generátorem jako zdrojem měřicího napětí	26
2.4.2 Princip měření s řízeným zdrojem jako zdrojem měřicího napětí	30
2.5 Zobrazení charakteristiky	32
2.6 Uložení dat.....	34
2.7 Kompatibilita a instalace programu	35
3 Popis programu	36
3.1 Inicializace osciloskopu	36
3.2 Vlákno TMereniThread	37
3.3 Úvodní okno	37
3.4 Hlavní okno.....	38
3.4.1 Volně běžící generátor funkcí v měřicím systému Metex M-9150	38
3.4.2 Upravený napájecí zdroj po sériové lince.....	41
3.5 Okno zobrazení V-A charakteristiky diody	41
3.6 Uložení souboru	42
4 Zhodnocení výsledků práce	43
4.1 Naměřená data	43
4.2 Podmínky měření	45
4.3 Ladění programu	45
Závěr	46
Seznam použité literatury	47
Příloha A -Princip řízení osciloskopu	48
Příloha B –Ukázka zobrazení charakteristiky.....	49
Příloha B –Připojení k řízenému zdroji	49
Příloha C – Grafy	50

Seznam ilustrací

Obrázek 1.1.1- Schéma zapojení	10
Obrázek 1.1.2 – Měření charakteristik diod v propustném směru	11
Obrázek 1.2 – Polovodičové diody	12
Tabulka 1 – Barevný klíč podle normy Pro-Electron	17
Obrázek 1.3.1 – Schéma činnosti EPB	19
Obrázek 1.3.2-Přední panel osciloskopu	19
Obrázek 2.1 – Schéma zapojení.....	22
Obrázek 2.3 – Popis průběhů signálů	24
Obrázek 2.3a – Špatně nastavený offset	25
Obrázek 2.3b – Špatně nastavený offset.....	25
Obrázek 2.3c – Správně nastavený offset.....	26
Obrázek 2.5 – Vliv klouzavého průměru.....	34
Obrázek 3.3 – Úvodní okno	37
Obrázek.3.4.1 – Hlavní okno pro měření pomocí generátoru	39
Obrázek 3.4.2 – Vzhled okna pro měření s upraveným napájecím zdrojem	41
Obrázek 3.5 – Zobrazení V-A charakteristiky diody.....	42
Obrázek 3.6 – Uložení souboru	42
Tabulka 2 – Naměřené hodnoty.....	43
Graf 1 – Germaniová dioda BAT 46	43
Tabulka 3 – Naměřené hodnoty zelené LED diody v propustném směru	44
Tabulka 4 – Naměřené hodnoty zenerovy diody BZX55-C4V3 v závěrném směru.....	44

Úvod

Zadání bakalářské práce vzniklo na Katedře elektroniky a zpracování signálů a hlavním cílem této bakalářské práce byl vývoj softwaru pro měření diod, který povede ke zkvalitnění výuky předmětů na katedře.

Doposud bylo měření voltampérových charakteristik diod při výuce časově náročné, protože se měřili charakteristiky bod po bodu a hodnoty se museli odečítat z měřících přípravků, zapisovat do sešitů a následně přenést do grafické podoby. S použitím navrženého programu, který nese název ScopeVAchar, se proměří charakteristika diody ve chvílce a to jak v propustném směru tak i ve směru závěrném, samozřejmě pro dosažení vyšší přesnosti se měření každý směr jednotlivě. Výhodou je také okamžité zobrazení průběhu charakteristiky diody, čímž si uživatel opticky zkontroluje správnost naměřených dat, které si následně uloží v elektronické podobě a odnese domů.

Bakalářská práce je strukturována do čtyř kapitol. V úvodu jsou popisovány metody měření diod a vlastnosti všech použitých pomůcek, které jsou součástí měření. Druhá kapitola se zabývá návrhem řešení a popisují zde jak jsem postupoval při návrhu a realizaci řešení. Třetí část je již zaměřena na popis samotného programu a jeho obslužných funkcí. V závěrečné kapitole bilancuji dosažené výsledky práce.

Seznam použitých termínů a zkratek:

I_F	proud v propustném směru [A]
U_F	napětí v propustném směru [V]
P_D	ztrátový výkon diody [W]
ϑ_a	teplota okolí [°C]
U_{RM}	maximální závěrné napětí [V]
I_{FM}	maximální propustný proud [A]
P_{tot}	celkový ztrátový výkon diody [W]
$\vartheta_{j\ max}$	teplota hradlové vrstvy [°C]
$\vartheta_{a\ max}$	teplota okolí [°C]
t_i	doba impulsu [s]
T	perioda signálu [s]
r_f	dynamický odpor diody v propustném směru [ohm]
t_{rr}	doba zotavení diody [s]
C_D	kapacita diody [F]
U_{FP}	prahové napětí diody v propustném směru [V]
U_{Rmax}	maximální závěrné napětí [V]
U_Z	zenerovo napětí, prahové napětí v závěrném směru [V]
U_R	napětí v závěrném směru [V]
EPB	<i>ETC Pointer Bus</i> , komunikační protokol pro komunikaci s osciloskopem
EPP	<i>Extensible Provisioning Protocol</i> , standardní komunikační protokol pro tiskárny
TTL	<i>Transistor-transistor logic</i> - druh odlišení logických stavů (0-1) pomocí polovodičových prvků (tranzistorů)
RS-232	standardní komunikační rozhraní pro sériovou komunikaci mezi počítači
BNC kabel	<i>Bayonet Neill-Concelman</i> , koaxiální kabel pro měřicí sondy
GND	Girl Next Door, zkratka pro uzemněný signál

1 Rozbor použitých pomůcek

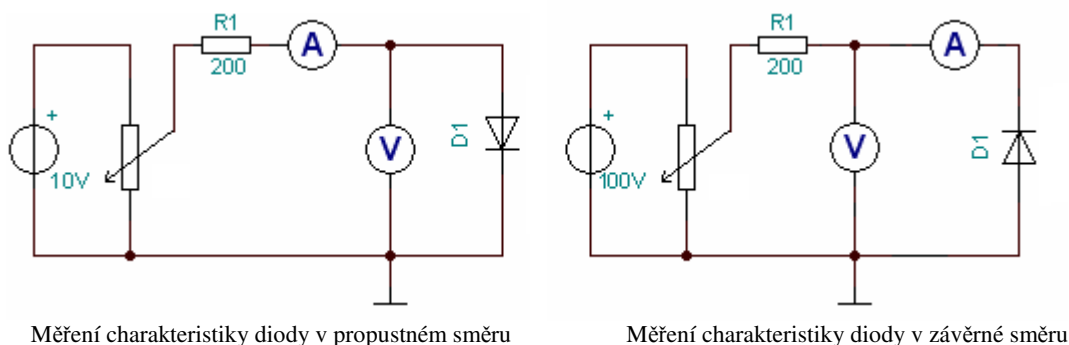
1.1 Měření voltampérových charakteristik diody

Charakteristiky diod můžeme měřit statickou nebo dynamickou metodou. U statické metody nebo také ohmové je dioda s ochranným předřadným odporem zapojena ke zdroji stejnosměrného napětí zatímco u dynamické metody je zdrojem střídavý signál napětí a měření se provádí pomocí osciloskopu.

1.1.1 Ohmová metoda

Obrázek 1.1.1 znázorňuje schéma pro měření charakteristiky v propustném a závěrném směru metodou bod po bodu. Obě zapojení se liší pouze v umístění měřidel (ampérmetru a voltmetru). Tím udržíme chybu při měření charakteristik diod v propustném a závěrném směru, způsobenou vnitřním odporem měřidel, co nejnižší.

Při měření charakteristiky diody v propustném směru dosahuje napětí na diodě řádově maximálně několika jednotek voltů podle typu diody a pro takto malé napětí se měří voltmetrem napětí přímo na diodě a proud obvodu za předřadným odporem. Je to obdoba metody měření malých odporů, protože když v propustném směru přiložíme na diodu dostatečně velké napětí, dioda se otevře a odpor diody se radikálně zmenší. Hodnota tohoto odporu diody, která se pohybuje řádově v desítkách ohmů podle strmosti charakteristiky, je proti odporu voltmetru, který se vyznačuje velkým vnitřním odporem, mnohonásobně menší a hodnota proudu procházejícího voltmetrem bude zanedbatelná. Chyba měření proudu procházejícího diodou ampérmetrem je tedy minimální.

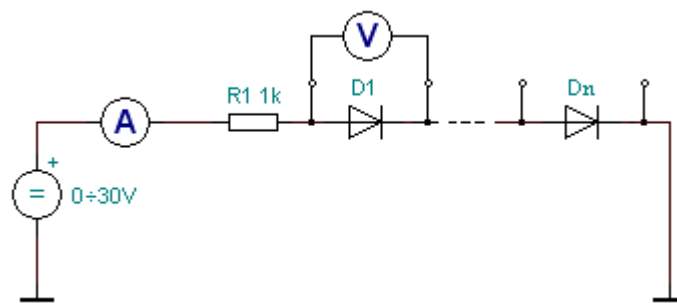


Obrázek 1.1.1- Schéma zapojení

Při měření charakteristik diod v závěrném směru, kdy je dioda zavřená, je zapojen ampérmetr přímo u diody, protože diodou prochází velmi malý závěrný proud řádově nano ampéry. Voltmetr měří úbytek napětí na ampérmetru a diodě, ale chyba v měření napětí je zanedbatelná, protože ampérmetr má velmi malý odpor oproti odporu diody v závěrném směru. Z toho vyplývá, že je úbytek napětí na ampérmetru zanedbatelně malý a chyba metody minimální.

1.1.2 Ohmová metoda pro více diod

Této metody se využívá zejména při školních měřeních kdy se v krátkém čase proměří hned několik diod současně a výhodou je odběr hodnot napětí při shodných prouděch pro snadné porovnání diod. Postup měření je následující: Diody se zapojí do série (ve shodné polaritě) s předřadným odporem a uzly se vyvedou na svorky (viz. Obrázek 1.1.2), takže se na ně může snadno přepojovat voltmetr. Proud řetězcem diod se nastavuje napětím regulovaného zdroje.



Obrázek 1.1.2 – Měření charakteristik diod v propustném směru

1.1.3 Měření na analogovém osciloskopu

Zde se užívá zapojení uvedené na obrázku (2.1), pomocí kterého se dají charakteristiky diod v propustném a závěrném směru jednoduchým způsobem zobrazit na obrazovce osciloskopu. Frekvence měřicího napětí pro zobrazení průběhu na stínítku analogového osciloskopu je řádově vyšší než při měření s digitálním osciloskopem. Používá se tedy frekvence v rozsahu jednotek KHz. V důsledku používání střídavého napětí se měří průběžně a opakovaně obě části charakteristiky diody, takže se v režimu zobrazování XY průběh na obrazovce osciloskopu jeví jako stabilní. Pomocí offsetu a amplitudy měřicího signálu je možno regulovat zobrazovaný průběh. Tento způsob dynamického měření je vhodný pro rychlé znázornění a porovnání charakteristik různých diod, nehodí se však k exaktnímu určení jednotlivých naměřených hodnot.

1.2 Diody

Diody jsou elektronické součástky se dvěma elektrodami, které (ve většině případů) pro jednu polaritu přiloženého napětí propouští elektrický proud a pro opačnou polaritu brání jeho průtoku. K dosažení tohoto ventilového účinku se v pevných látkách využívá energetická bariéra na styku dvou oblastí odlišných vlastností, kterou lze přiloženým napětím vhodné polarity snížit a napětím opačné polarity naopak zvýšit. Nejvíce využívanou bariérou je v současnosti P-N přechod a přechod kov-polovodič. Více na [5] a [6]. Tyto přechody mají vedle ventilového účinku využívaného v usměrňovačích ještě další vlastnosti, které se využívají pro nejrůznější elektronické funkce.



Obrázek 1.2 – Polovodičové diody

1.2.1 Charakteristické vlastnosti

Pro aplikaci jednotlivých typů diod v elektronických obvodech potřebujeme znát jejich charakteristiky, ze kterých je možné vyčíst mnoho důležitých dat. To však může být v některých případech časově příliš náročné. Proto výrobci ve svých katalogových listech udávají informace o řadě charakteristických vlastností. Tyto charakteristické vlastnosti diod jsou většinou rozděleny na mezní hodnoty a charakteristické parametry.

1.2.1.1 Mezní hodnoty

Mezní hodnoty jsou ty hodnoty, které nesmějí být v žádném případě překročeny, neboť by došlo ke zničení polovodičového prvku. V úvahu musíme vzít také kolísání napájecího napětí a tolerance ostatních obvodových prvků, protože nesmí být překročena ani jedna mezní hodnota.

Diody různých druhů mohou být elektricky přetěžovány různým způsobem:

- příliš velkým proudem v propustném směru I_F
- příliš velkým napětím v závěrném směru U_R
- příliš velkým ztrátovým výkonem P_D
- příliš vysokou teplotou okolí ϑ_a

V katalogových listech proto výrobci udávají pro každý druh zatížení mezní hodnoty s indexem max. nebo M, kde už malé překročení těchto mezních hodnot má obvykle za následek okamžité nebo předčasné zničení diody.

Mezní hodnoty U_R a I_F

Mezní hodnota U_R je maximální napětí v závěrném směru a I_F je maximální přípustná hodnota proudu v propustném směru (buď stejnosměrný proud nebo efektivní hodnota střídavého proudu). Katalogové listy zpravidla obsahují tyto a související hodnoty proudů a napětí, který mají následující význam:

U_{RM} – maximálně přípustné vrcholové závěrné napětí; jedná se o vrcholovou hodnotu střídavého napětí v závěrném směru při provozní frekvenci vyšší než 20 Hz ;

I_0 – usměrněný proud jako aritmetický průměr proudu diodou;

I_{FM} – nejvyšší přípustný periodicky se opakující špičkový proud v propustném směru; jedná se o vrcholovou hodnotu střídavého proudu propustném směru při provozní frekvenci vyšší než 20 Hz

I_{FS} – nejvyšší hodnota proudu, který smí diodou téci maximálně po dobu jedné sekundy; pokud by se tato hodnota proudu periodicky opakoval, došlo by k poškození diody

Mezní hodnoty celkového ztrátového výkonu P_{tot}

Při provozu diody v propustném směru je na jejích vývodech napětí U_F a teče jí určitý proud I_F . Součin proudu a napětí udává ztrátový výkon P_D . Tento výkon pak vede k ohřátí krystalu polovodiče. Největší přípustný ztrátový výkon udává výrobce jako totální ztrátový výkon P_{tot} za určité teploty. Zásadně platí :

$$P_D = U_F \cdot I_F \leq P_{tot} \quad [W; V, A]$$

V závěrném směru se ztrátový výkon počítá ze závěrných hodnot diod, tedy:

$$P_D = U_R \cdot I_R \quad [W; V, A]$$

Mezní hodnoty teploty hradlové vrstvy $\vartheta_{j \max}$

Hlavně vlivem ztrátového výkonu při provozu v propustném směru vzniká v hradlové vrstvě teplo, čímž se zvyšuje její teplota. Teplota hradlové vrstvy ϑ_j nesmí překročit stanovené meze, neboť potom krystal výrazně mění své vlastnosti a dojde ke zničení diody. Přípustná teplota hradlové vrstvy závisí na druhu polovodičového materiálu a pro ukázkou dosahuje následujících hodnot:

u germaniových diod $\vartheta_{j \max} \approx 70^\circ\text{C}$ až 90°C ,

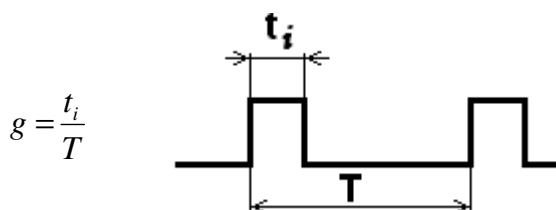
u křemíkových diod $\vartheta_{j \max} \approx 150^\circ\text{C}$ až 200°C .

Mezní hodnoty teploty okolí $\vartheta_{a \max}$

Někteří výrobci udávají místo maximální teploty hradlové vrstvy jako mezní hodnotu nejvyšší teplotu okolí $\vartheta_{a \max}$. Maximální teplota okolí $\vartheta_{a \max}$ je potom menší než mezní teplota hradlové vrstvy $\vartheta_{j \max}$. Jestliže vzniká nebezpečí, že bude překročena nejvyšší přípustná teplota hradlové vrstvy vlivem ztrátového výkonu a teploty okolí, musíme diodu chladit.

Mezní hodnoty při impulsním zatížení

Není-li dioda zatěžována sinusovým, ale pravoúhlým průběhem napětí, musíme dodržet přípustnou impulsní zatížitelnost podle katalogového listu diody. Parametrem je poměr g . Čím je hodnota g větší, tím je menší maximálně přípustný proud v propustném směru.



1.2.1.2 Parametry diod

Dynamický odpor

Pro dynamický odpor se používá označení r s indexem F pro dynamický odpor v propustném směru a R pro dynamický odpor v závěrném směru. Určuje se ze změny proudu ΔI způsobeným vlivem změn napětí ΔU v určitém pracovním bodu. Pro propustný směr je výpočet dynamického odporu následující:

$$r_F = \frac{\Delta U_F}{\Delta I_F} \quad [\Omega]$$

Doba zotavení t_{rr} (Reverse Recovery)

Je hlavní dynamický parametr diod definován jako doba, která udává, jak rychle dokáže dioda po velmi rychlé komutaci napětí a za definovaných hodnot propustného i (dočasného špičkového) závěrného proudu přepnout z propustného do závěrného směru a tedy blokovat průchod proudu.

Kapacita diody C_D

Každá dioda má kapacitu hradlové vrstvy. Hradlová vrstva působí jako dielektrikum a materiály P a N jako desky kondenzátoru. Hodnota kapacity se při zvětšujícím se napětí v závěrném směru zmenšuje, protože se šířka hradlové vrstvy zvětšuje. Nevýhodou této kapacity je, že při vysokých kmitočtech se dioda s předřadným odporem chovají jako dolnofrekvenční propust.

1.2.2 Dělení diod

Diod je v současné době nepřeberné množství a pro lepší přehlednost se dělí do několika skupin určujících bližší zařazení podle vlastností či parametrů diody.

Podle druhu polovodičového materiálu

Dělí se na křemíkové a germaniové diody. Křemíkové usměrňovací diody mají prahové napětí v rozmezí $U_{FP} \approx 0,5$ až $0,8$ V, $I_R \approx 5$ až 500 nA a vyznačují se strmějším průběhem za kolenem charakteristiky. Germaniové diody mají $U_{FP} \approx 0,2$ až $0,4$ V, $I_R \approx 10$ až 500 μ A a pozvolnější nárůst charakteristiky.

Podle provedení na hrotové a plošné

U hrotových diod je P-N přechod vytvořen na styku destičky polovodiče s hrotem wolframového drátku. Používají se pro usměrňování malých proudů až do vysokých hodnot kmitočtů.

U plošných diod je přechod vytvořen na daleko větší ploše, například difúzí par příměsí prvků do základní polovodičové destičky. Plošné diody se využívají pro usměrňování větších proudů. Jejich použití je omezeno na nižší kmitočty, protože velká plocha přechodu představuje velkou kapacitu přechodu.

Dělení podle použití

- Usměrňovací (spínací) diody

	<i>Křemík</i>	<i>Germanium</i>	<i>Selen</i>
U_{FP}	0,5 až 0,8 V	0,2 až 0,4 V	0,6 V
U_{Rmax}	80 až 1500 V	40 až 100 V	20 až 30 V
I_R	5 nA až 500 nA	10 μ A až 500 μ A	100 μ A až 500 μ A
ϑ_{jmax}	150°C až 200°C	70°C až 90°C	60°C až 80°C

- Stabilizační (Zenerovy) diody

$$U_Z \approx 2,7 \text{ až } 200 \text{ V}$$

$$P_Z \approx 0,5 \text{ až } 10 \text{ W}$$

$$r_d \approx 1 \text{ až } 30 \Omega$$

$$U_{FP} \approx 0,6 \text{ až } 0,7 \text{ V}$$

- Kapacitní diody

Využívají se v rezonančních obvodech díky závislosti kapacity velikosti závěrného napětí.

$$U_R \approx 1 \text{ až } 30 \text{ V}$$

$$C_D \approx 3 \text{ až } 1000 \text{ pF}$$

- Tunelové (Schottkyho) diody

$$U_R \approx 5 \text{ až } 100 \text{ V}$$

$$I_F \approx 10 \text{ mA až } 20 \text{ A}$$

$$P_{tot} \approx 100 \text{ mW až } 20 \text{ W}$$

$$\vartheta_j \approx 100 \text{ }^\circ\text{C},$$

Charakteristické hodnoty:

$$\text{při spínání: } t_{rr} \approx 50 \text{ ps}$$

$$\text{při vypínání: } t_{rr} \approx 100 \text{ ps}$$

$$C_D \approx 10 \text{ pF}$$

$$I_R \approx 5 \text{ mA}$$

- Elektroluminiscenční diody

$$U_{FP} \approx 1,2 \text{ až } 5 \text{ V}$$

Označení diod

Na všech diodách je vytištěno typové označení. Pro označování používají evropští výrobci převážně typový klíč Pro-Electron a američtí výrobci typový klíč JEDEC. Značení je prováděno buď písmeny a číslicemi nebo se u diod s velmi malými rozměry, kde by bylo označení písmeny a čísly nečitelné, používají obdobně jako u rezistorů barevné proužky na pouzdrech.

Značení podle normy JEDEC se skládá z 1N a čtyřmístného čísla. Základní údaj 1N poukazuje na jeden PN přechod. Následuje čtyřmístné číslo, jež je na pouzdru vytisknuto nebo zadáno barevnými proužky. První proužek je oproti zbylým třem dvojnásobně široký a je jím označen vývod katody. Přiřazení barev k deseti číslicím je stejné jako u značení rezistorů.

Výhodnější značení je podle normy Pro-Electron. Zde je již ze značení patrné o jaký druh diody jde a pro jaké použití je určena. První písmeno udává polovodičový materiál (A = germanium, B = křemík), druhé písmeno vyznačuje hlavní funkci (A = všeobecné usměrňování malých signálů - spínací dioda, B = kapacitní dioda, E = tunelová dioda, G = oscilátorové diody pro vysokofrekvenční použití, H = dioda, jež reaguje na magnetické pole) a případné třetí písmeno poukazuje na průmyslové využití (X = dioda pro násobiče, Y = výkonová dioda pro síťové usměrňovače, Z = Zenerova dioda-referenční dioda). Po písmenech následují ještě dvě nebo tři písmena. Standardní typy diod mají typové označení složené ze dvou písmen a tří číslic, diody pro průmyslové využití mají tři písmena a dvě číslice. Písmena a číslice jsou na pouzdrech vytištěn nebo je použito barevného značení (viz Tabulka 1).

Široké barevné proužky		Úzké barevné proužky
1. a 2. písmeno – barva	3. písmeno – barva	Číslice – barva
Hnědá = AA	Bílá = Z	Černá = 0
Červená = BA	Šedá = Y	Hnědá = 1
	Černá = X	Červená = 2
	Modrá = W	Oranžová = 3
	Zelená = V	Žlutá = 4
	Žlutá = T	Zelená = 5
	Oranžová = S	Modrá = 6
		Fialová = 7
		Šedá = 8
		Bílá = 9

Tabulka 1 – Barevný klíč podle normy Pro-Electron

U diod pro průmyslové využití existuje ještě možnost vyznačit celou kombinaci písmen barvou pouzdra. Přitom platí:

Světle zelená = BAV

Světle modrá = BAW

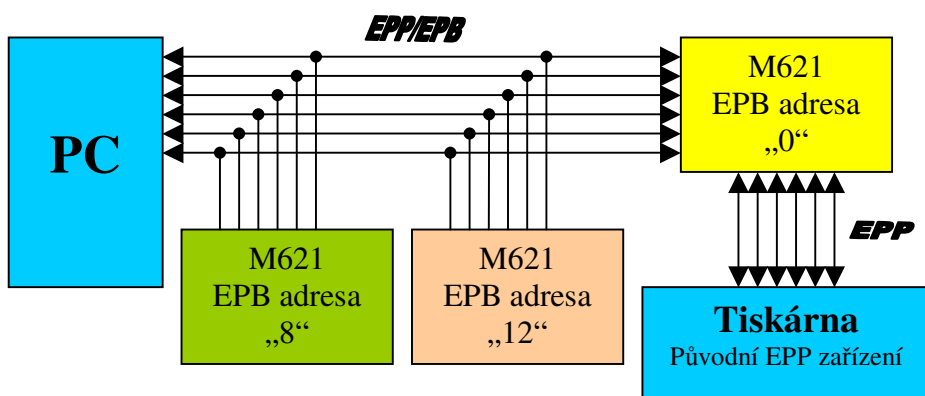
Černá = BAX

Následující sériové číslo je udáno obvyklými barevnými proužky. Široký první proužek značí katodu.

1.3 Osciloskop

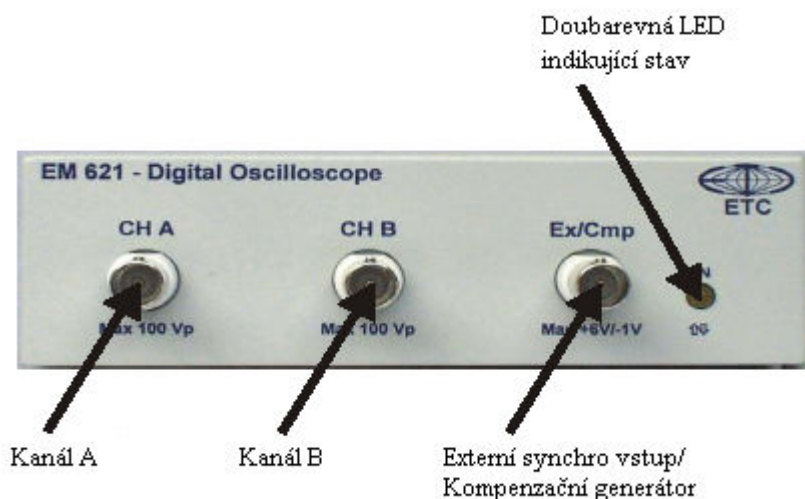
1.3.1 Charakteristika přístroje

Dvoukanálový digitální paměťový osciloskop M621 využívá vlastností technického vybavení, které se připojí k PC prostřednictvím obousměrného rozhraní EPP. Přenos příkazů a dat je definován protokolem EPB (ETC Pointer Bus). Jde o komunikační protokol, který umožňuje obsluhovat najednou až šestnáct různých modulů připojených k PC prostřednictvím komunikačního portu EPP/EPB. Na obsazení standardně jediného paralelního portu PC je myšleno a nabízí se zde možnost klasického zapojení tiskárny přes komunikační protokol EPP, které se zapojuje přes osciloskop M621 na modulu s adresou nula. Osciloskop je standardně nastaven na adresu nula a při zapojení jednoho zařízení se tato adresa nesmí měnit. Zařízení s adresovým kódem nula je hlavním řídicím prvkem komunikace EPB (viz obrázek 1.2 – Schéma činnosti EPB). Připojené moduly jsou na takto vytvořené sběrnici jednoduše přístupné pod přímým řízením počítače, jako i prostřednictvím přerušení.



Obrázek 1.3.1 – Schéma činnosti EPB

Přesnost měření je zabezpečena parametry technického vybavení spolu s výpočtovými možnostmi počítače. Technické vybavení osciloskopu je tedy možné připojit k různým počítačům a podmínkou je pouze instalace ovladačů daného přípojného rozhraní, které se nachází na internetových stránkách výrobce [7].



Obrázek 1.3.2-Přední panel osciloskopu

Vstupy kanálů A a B jsou standardní vstupy se vstupním odporem 1 M Ω a kapacitou 20 pF. Vstup externího synchronizačního impulsu je TTL kompatibilní, se vstupním odporem 47 k Ω ve vstupním režimu. Když je nastavený jako výstup kompenzačního generátoru, má výstupní odpor cca. 150 Ω a dodává signál s amplitudou cca. 3,5V. Signalizační dioda je dvojbarevná. Zelená barva signalizuje zapnutí přístroje a červená komunikaci s počítačem. Podle intenzity komunikace se barva LED diody mění od zeleno-žluté až po červenou, přičemž červená signalizuje nejintenzivnější komunikaci.

Osciloskop M621 umožňuje měření časových závislostí napětí prostřednictvím dvou nezávislých kanálů s rozlišovací schopností 256 bodů (8 bitů), kde je možné měnit citlivost v rozsahu 10mV/dílek až 5V/dílek obrazovky v devíti rozsazích. Vstupní impedance každého z kanálů odpovídá obvyklému standardu osciloskopů a dovoluje připojit standardní osciloskopické sondy.

Každý kanál osciloskopu M621 je vybavený vlastním A-D převodníkem. Znamená to, že M621 je tzv. pravý dvoukanálový osciloskop, který eliminuje nežádoucí efekty, vyskytující se u osciloskopů s multiplexovými kanály.

1.3.2 Princip řízení osciloskopu

Jádrem ovládání osciloskopu je funkce Data, která je zodpovědná za spuštění, kontrolu a vyčíslení hodnot. V praxi to znamená, že po úvodní inicializaci program přejde do nekonečné smyčky, která zabezpečuje proces měření hodnot. Princip řízení je vyobrazen v diagramu (viz. Příloha A- Princip řízení osciloskopu).

1.3.3 Technické parametry osciloskopu

Vertikální vycylovací systém

Vstupy	2 kanály, 1 externí synchronizační vstup/výstup kompenzačního generátoru (BNC)
Šířka pásma($\pm 3\text{dB}$)	0 Hz až 150 MHz(DC); 1,2 Hz až 150MHz(AC)
Rozsahy [mV/dílek]	10, 20, 50, 100, 200, 500, 1V, 2V, 5V
Rozlišovací schopnost	8 bitů (0,4 %)
Maximální vstupní napětí	$\pm 100\text{V}$
Jiné	Odstranění rušení prostřednictvím metody digitálního stínění

Časová základna

Rozsahy časové základny	Jednorázové děje: 1 $\mu\text{s/d}$ až 2 s/d Periodické děje: 10 ns/d až 2 s/d
Vzorkovací frekvence	Jednorázové děje: 1 KHz až 50 MHz Periodické děje: 1 KHz až 5 GHz
Jiné	Dvojitá časová základna

1.4 Měřicí systém Metex MS-9150

Hlavním důvodem použití tohoto měřicího systému je dostupnost na každém pracovišti učebny, pro kterou je navrhovaný software určen. Jedná se o univerzální laboratorní měřicí stolní systém 4 v 1 - integruje většinu laboratorních funkcí v jednom přístroji obsahující zdroj pevných napětí a regulovatelného napětí 0-30 V, digitální multimetr, čítač a frekvenční generátor. Metex bude používán jako generátor měřicího napětí k dynamickému měření charakteristik diody.

Základní údaje o generátoru funkcí

Průběhy	Sinus, Obdélník, Trojúhelník, Skewed Sine, Ramp, Pulse, TTL Level
Frekvence	0.2Hz až 2MHz
Offset napětí	0 až 10V DC
Výstupní impedance	nastavitelná 50 Ω , 600 Ω
Výstupní amplituda	2vpp až 20vpp bez zátěže, 1vpp až 10vpp (50 Ω zátěž)
Attenuator	- 20dB
Rozmítání	logaritmické, lineární, 1:100

1.5 Programovatelný laboratorní zdroj

Jedná se o zdroj Tesla BK 126, který byl doplněn modulem, umožňující ovládání výstupních svorek přes RS-232. Tento modul byl vyvinut v rámci diplomové práce jednoho z absolventů a bližších informací se lze dočíst zde [4].

Základní údaje o zdroji

Parametr	Hodnota	Poznámka
Rozsah výstupních napětí	0 až ± 10 V	$\pm 10,24$ V _{max.}
Maximální proud	400 mA	Pro výstupy ± 10 V
Rozlišení	5 mV	12 bitů
Max. vzorkovací frekvence	15 Hz 120 Hz	1,2 kbit/s 9,6 kbit/s
Zvlnění výstup. Napětí	1,0 mV rms max. 0,5 mV rms max.	Bez zátěže Zátěž 10 K Ω
Posun nuly	2 mV max.	(15 až 30 °C)

V tabulce parametrů se uvádí dvě rychlosti vzorkování, avšak při nastavení vyšší rychlosti přenosu dat (9,6 kbit/s) zdroj nebyl schopen číst vysílaná data. Důkladným přeměřením přídavného modulu byla zjištěna vyšší hodnota logické nuly na vstupu mikrořadiče. Tato nesrovnalost se neodstranila ani prohozením rezistorů v obvodu interface mezi zdrojem a PC. Nabízela se tedy ještě možnost výměny optočlenu 4N33, nakonec byl vstupní obvod kompletně změněn na jiný používaný obvod s optočlenem PC817 (KP1010) se čtyřmi vývody, ale ani to nevedlo ke zprovoznění komunikace na vyšší rychlosti a tak jsem musel pro měření charakteristik diod použít nižší rychlost.

Rozsahy výstupních kanálů zdroje jsou 0 až ± 10 V. Ovládáním obou kanálů a zapojením napájecích přívodů obvodu na svorku kanálu A a svorku kanálu B jsem docílil rozsahu až 20 V. Tohoto rozsahu může být využito pro měření zenerových diod s vyšší hodnotou průrazného napětí. Prostřední svorka zdroje označená 0V je tedy nevyužita (viz Příloha B – Připojení k řízenému zdroji).

2 Návrh řešení

Pro návrh programu jsem zvolil programovací jazyk Borland Pascal verze 7.0 a jako příručka mi posloužil Development Kit osciloskopického modulu.

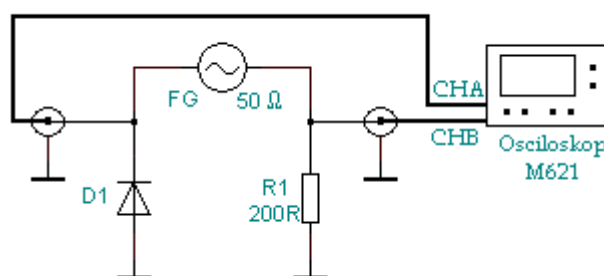
2.1 Schéma zapojení

Obvod vychází z teoretických úvah jak by se mělo zapojení chovat při připojení k měřicímu napětí generovaného zdroje. Důležitým faktorem bylo docílení plovoucí země pro sondy osciloskopu. Proto jsem vybral zapojení, se kterým jsem se dříve setkal při měření v předmětu Analogová elektronika a jehož výhodou je měření úbytků napětí přímo na součástkách.

Pro práci na vývoji měřícího softwaru jsem si vyrobil obvod zapojení na malém plošném spoji. Jako přívodní kabel zdroje pro generování měřícího napětí a jako kabely pro měřící sondy osciloskopu jsem použil BNC kabely.

Studenti v učebně B1 však používají pro zapojení obvodů přípravek pouze se dvěma svorkami na BNC kabel, proto se musí pro generátor měřícího napětí použít redukce BNC svorky a signály přivést samostatnými vodiči (viz Obrázek 2.1).

Používanou frekvencí měřícího signálu pro měření charakteristiky diody byla hodnota 100 Hz.



Obrázek 2.1 – Schéma zapojení

2.2 Režim reakce na spouštěcí událost

Osciloskop M621 dovoluje, jako většina osciloskopů vyšší cenové třídy volit režim reakce na platnou spouštěcí událost. Režim reakce závisí na nastaveném režimu sběru dat. Pro účel měření voltampérových charakteristik diod jsem vybral režim sběru

dat zvaný M_AFTER_TRIGGER, kde je sběr dat odstartovaný příchodem platné synchronizační události, uplynutím času potřebného na příchod platné synchronizační události, případně povelom od aplikace a zařízení naměří počet vzorků stanovených ve funkci Data. Režim obsahuje pět spouštěcích módů, z čehož moje aplikace bude využívat mód AUTO a NOWAIT. V mód AUTO se po startu měření čeká na příchod synchronizační události typicky jednu polovinu času potřebného na vyčíslení všech 32000 vzorků při dané časové základně. V případě, že do této doby synchronizační událost nenastane, sběr dat se spustí automaticky. V tomto módu se uplatňuje prahová úroveň napětí pro synchronizaci signálů. Výpočet této úrovně vychází z hodnot kanálu B, protože signál proudu na rezistoru je při nastavování stabilnější než signál napětí na diodě a je následující:

```
if DataB_max<>DataB_min then begin  
  
    MainForm.ScrollShape.Top:=round((DataB_max-DataB_min)/2)+DataB_min;  
  
    SetTriggerSource(0,0,0);  
  
    SetTriggerSource(1,0,1);  
  
    SetTrigger(1,MainForm.ScrollShape.Top);  
  
end;
```

Mód NOWAIT nepatří mezi standardní módy osciloskopu, ale svými vlastnosti, že startuje sběr dat okamžitě funkcí Data, přičemž se nezohledňuje nastavení synchronizační události, je pro rychlé vycentrování a nastavování signálů nepostradatelný a měl by být nastaven vždy při upravování amplitudy a offsetu měřícího signálu, protože tak zabráníme ztrátě stopy signálu pro jeho rychlé ustálení.

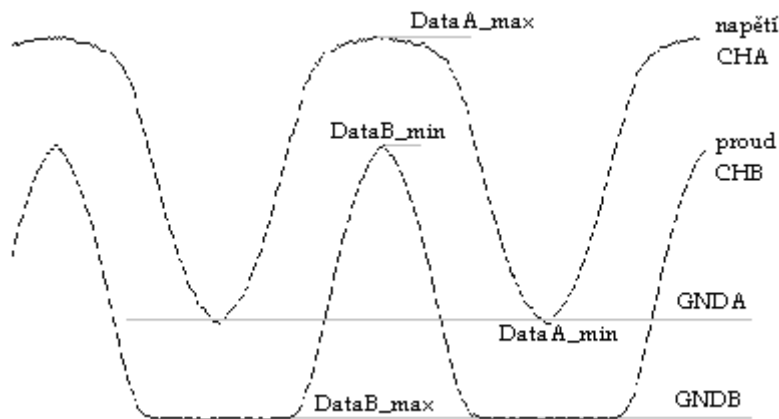
2.3 Popis zobrazovaných signálů

V této kapitole vysvětlím princip nastavení amplitudy a offsetu generátoru do požadovaných mezí pro správné odměření charakteristiky diody a popíši zobrazované průběhy měřících signálů. Popis vysvětlím na sinusové průběhu měřícího napětí.

Ovládáním knoflíku amplitudy na generátoru se zvětšuje nebo zmenšuje amplituda měřícího sinusového signálu. Tento signál je měřen přímo na diodě sondou kanálu A a modulován diodou tak, že při dosažení prahového napětí diody je amplituda

sinusového signálu utlumena ve směru překročení prahové úrovně napětí. Příčina tohoto útlumu je otevření diody, čímž vznikne na rezistoru úbytek napětí. Tento úbytek napětí je měřen sondou kanálu B.

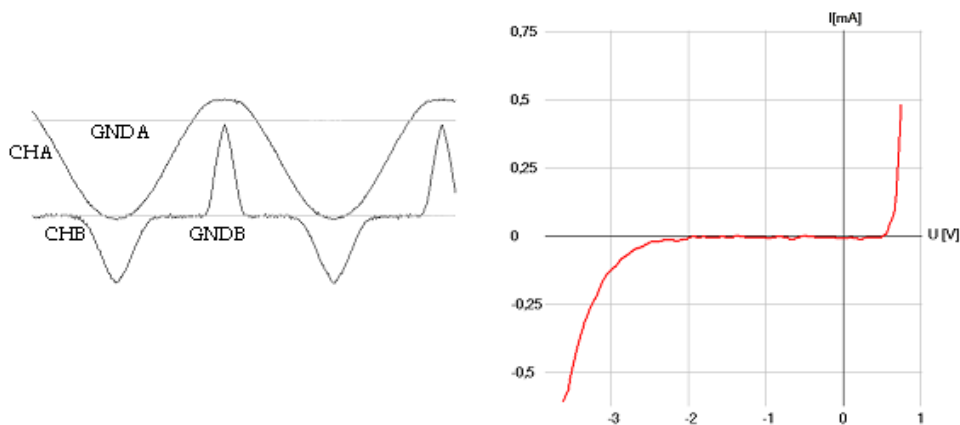
Na obrázku 2.3 jsou zobrazeny průběhy měřených signálů pro měření diody v propustném směru se správně nastavenou hodnotou offsetu. Signály jsou doplněny o krajní hodnoty signálu, které dopočítávám ze získaných dat a používám je pro identifikaci signálu. *DataA_max* odpovídá maximální hodnotě napětí a *DataA_min* minimální hodnotě. Hodnota *DataB_min* je minimální hodnota proudu a *DataB_max* maximální hodnota proudu. Na obrázku se jeví v opačné pořadí, protože při zobrazování kanálu B měním jeho fázi, aby při zobrazení kladného průběhu napětí byl kladný i průběh proudu a naopak. *GNDA* je hodnota uzemněného kanálu A, která odpovídá nastavenému offsetu generátoru a v programu je tato hodnota umístěna v proměnné *groundA*. *GNDB* je hodnota uzemněného kanálu B a ukládá se do proměnné *groundB*.



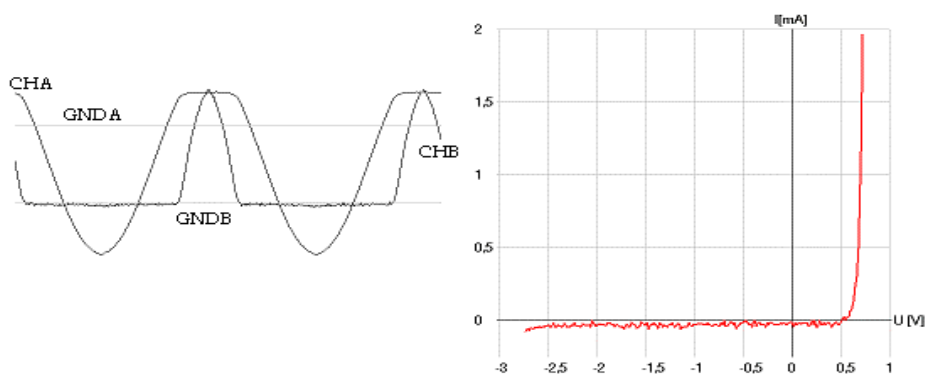
Obrázek 2.3 – Popis průběhů signálů

Ze správně nastavené hodnoty offsetu na obrázku 2.3 je vidět, jak se signál napětí vrací do nuly nebo kousek do záporných hodnot. To je dáno tím, aby charakteristika procházela vždy počátkem charakteristiky a zároveň příliš nezasahovala do záporných hodnot.

Na následujících obrázcích je vidět vliv posunutí offsetu na měření charakteristiky zenerovy diody BZX55-C4V3. Zobrazen je vždy průběh signálu na obrazovce a charakteristika z průběhu vyplývající.

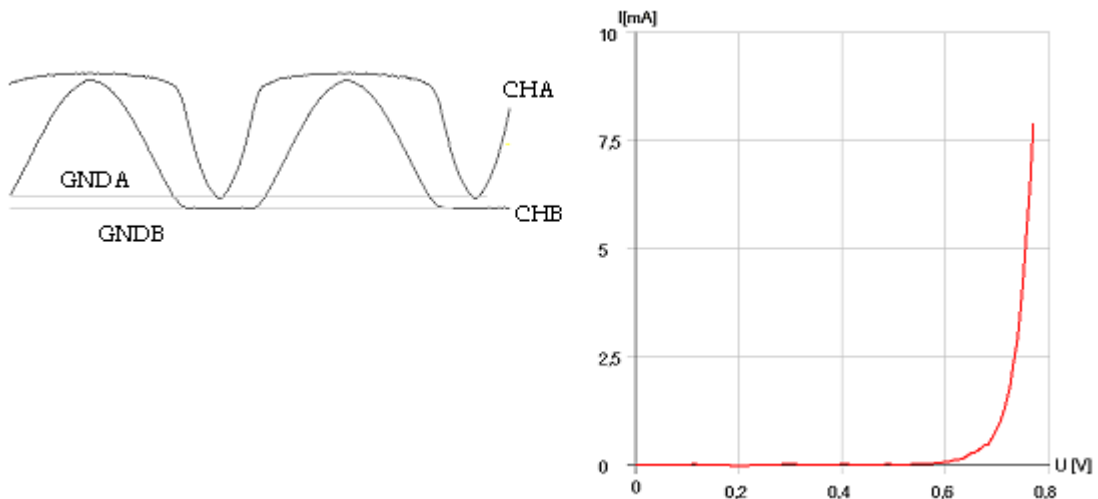


Obrázek 2.3a – Špatně nastavený offset



Obrázek 2.3b – Špatně nastavený offset

Na obou obrázcích není offset nastaven k okraji průběhu signálu napětí, ale leží někde uprostřed amplitudy signálu. To posunuje rozsah měřených napětí v propustném a závěrném směru v poměru amplitudy k hodnotě offsetu. Tento efekt měření však není žádoucí a pro správné měření se musí offset generátoru nastavit na okraj amplitudy a tím měřit charakteristiku pouze jedné polaritě diody.



Obrázek 2.3c – Správně nastavený offset

2.4 Princip měření

Po spuštění programu ScopeVAchar a úspěšné inicializaci osciloskopu bude možno zvolit způsob a typ měření. Z tohoto stavu budu vždy vycházet při popisu principu měření v následujících kapitolách.

2.4.1 Princip měření s generátorem jako zdrojem měřicího napětí

Výběrem panelu *GENERÁTOR* a typu měření se stiskem tlačítka *Ok* nastaví vzhled hlavního okna a okno se otevře. Spustí se měřící vlákno a v několika prvních měření v módu *NOWAIT* se provede vycentrování signálů na obrazovce pomocí změny rozsahu a vertikálního posunu. Rozsah se automaticky nastaví na maximální možné zobrazení signálu a po vycentrování se změří polohy uzemněných signálů, které je třeba znát pro nastavování ukazatelů amplitudy a offsetu a pro samotné vyčíslení dat z osciloskopu. Pokud dojde ke změně vertikálního posunu nebo rozsahu musí se tato hodnota opět přeměřit. To je realizováno nastavením proměnné *nastav* na hodnotu *True*, jak je vidět v ukázce zdrojového kódu:

```

if nastav then //uzemění obou kanálů
begin
  MainForm.Button_Graf.Enabled:=false;
  if zemA=false then begin
    MainForm.GNDA.Font.Color:=clLime;
    MainForm.GNDB.Font.Color:=clLime;
    SetGround(0,1);
    SetGround(1,1);
  end;
  if (DataA_max = DataA_min) and (not((DataA_min=1) or (DataA_max=255) )) then
  begin
    groundA:=dataA[100];
    MainForm.GNDA.Font.Color:=clWindowText;
    SetGround(0,0);
  end;
end;

```

```

if (DataB_max = DataB_min) and (not((DataB_min=1) or (DataB_max=255) )) then
    begin
        groundB:=DataB[100];
        nastav:=False;
        MainForm.GNDB.Font.Color:=clWindowText;
        SetGround(1,0);
    end;
end;
end; // konec nastav

```

Dále se postupuje podle ukazatelů amplitudy a offsetu k nastavení správných hodnot posunem ukazatelů do zelených polí. Amplituda je vizualizovaná pomocí *TrackBaru* rozděleného do tří barevných částí a rozsahem pozic 0 až 20. Žluté pole signalizuje malý proud, zelené přiblížení k hodnotě prahového proudu a její dosažení a pozice ukazatele větší než 12 ukazuje do červeného pole kvůli překročenému prahovém proudu. Amplituda se měří z velikosti amplitudy proudového signálu tedy kanálu B a výpočet pozice ukazatele se provádí takto.

```

if (odpor<>0) and (DataA_min>1) and (DataA_max<255) then
MainForm.TrackBar_Amplituda.Position:=
    round(12/ProudValue*((RozsahB/32)*1000*(DataB_max-DataB_min))/odpor);

```

Překročí-li se však hodnota nastaveného prahového proudu rozsvítí se i červený alarm signalizující překročení nastaveného proudu. Toto barevné hlášení je pro vyšší zdůraznění překročení prahového proudu tak, aby uživatel dále pokračoval jen snížením proudu. Vyčíslení proudu a řízení alarmu je následující:

```

if not((DataB_min=1) or (DataB_max=255) )and (zemB=false) then
    begin
        if L=5 then begin
            L:=0;
            if odpor<>0 then CC:=(((RozsahB/32)*1000*(DataB_max-DataB_min))/odpor);
            Str(CC:2:3,S);
            MainForm.ProudEdit.text:=S;
            if odpor<>0 then
                if (((RozsahB/32)*1000*(-DataB_min+DataB_max))/odpor)>(ProudValue) then
                    begin
                        MainForm.Alarm.Height:=25;
                        MainForm.Alarm.Brush.Color:=clred;
                    end
                else begin
                        MainForm.Alarm.Brush.Color:=clLime;
                        MainForm.Alarm.Height:=15;
                    end;
            end;
        end else begin
            L:=0;
            MainForm.Alarm.Height:=15;
            MainForm.Alarm.Brush.Color:=clYellow;
            MainForm.ProudEdit.text:='-----';
        end; ...
    end;

```

Zobrazení offsetu jsem realizoval také pomocí *TrackBaru* s rozsahem pozic 0 až 100 pro citlivější chování ukazatele a pomocí barevných polí, jenže zde je rozložení osově souměrné. Je to dáno tím, že správnou hodnotu offsetu můžeme přejet na obě strany. Offset měřím na kanálu A tedy na průběhu napětí na diodě a nastavená hodnota offsetu pro správné odměření charakteristiky se pohybuje na samém okraji průběhu nebo v jeho blízkém okolí, avšak offset nesmí pro odebrání dat z osciloskopu nikdy ležet mimo rozkmit průběhu napětí. Pro tuto hodnotu offsetu je zde zelené pole. Při vycentrování se ukazatele offsetu u měření malých napětí tj. propustných směrů charakteristik chová citlivěji. Je to dáno procentuálním vyhodnocením správně nastaveného offsetu z celkové amplitudy signálu. Provedení v kódu je následující:

```

if (DataA_max<>DataA_min) and (DataA_min>1) and (DataA_max<255)

                                and (ZemA=False) and (ZemB=False) then begin

if SetupCom.PropustSmer.Checked then begin

    MainForm.TrackBar_Offset.Position:=

                                60-round((groundA-DataA_min)/(DataA_max-
DataA_min)*200);

    if ((groundA-DataA_min)/(DataA_max-DataA_min)<=0.1) and

                                ((groundA-DataA_min)/(DataA_max-DataA_min)>=0) then begin

        MainForm.StatusBar1.Panels[0].Text:='Stisknutím Graf zobrazíte
charakteristiku';

        MainForm.Button_Graf.Enabled:= true; end

    else begin MainForm.Button_Graf.Enabled:=false;

    MainForm.StatusBar1.Panels[0].Text := 'Nastavte správně amplitudu a offset ';

    end; end;

if SetupCom.ZavernySmer.Checked then begin

    MainForm.TrackBar_Offset.Position:=40-round((groundA-DataA_max)/

(DataA_max-DataA_min)*200);

    if ((DataA_max-groundA)/(DataA_max-DataA_min)<=0.1) and

((DataA_max-groundA)/(DataA_max-DataA_min)>=0) then begin

```

```

MainForm.StatusBar1.Panels[0].Text := 'Stisknutím Graf zobrazíte
charakteristiku ';

MainForm.Button_Graf.Enabled:= true;

end else begin MainForm.Button_Graf.Enabled:=false;

MainForm.StatusBar1.Panels[0].Text := 'Nastavte správně amplitudu a offset ';

end; end;

```

Z ukázky je patrné, že tlačítko *Graf* bude dostupné jen při hodnotě offsetu nastavené ve správných mezích. Stisknutím tlačítka *Graf* je volána procedura *Graf_charakteristika*, která vyčísluje a filtruje naměřená data z osciloskopu. Zde se nejprve provede uložení všech 512 hodnot zobrazované na obrazovce a následné vyčíslení napětí a proudu.

```

r:=512;
for i:=0 to r-1 do E[i]:=DataA[i]; //Uložení průběhu napětí
for i:=0 to r-1 do F[i]:=DataB[i]; //Uložení průběhu proudu

for i:=0 to r-1 do napeti[i]:=(RozsahA*(E[i]-groundA))/32;
if odpor<>0 then for i:=0 to r-1 do pro[i]:=-((RozsahB/32)*(F[i]-groundB))/odpor;

```

Hodnoty napětí jsou ukládány do pole *napeti* a hodnoty proudu do pole *pro*. Toto pole bude ještě upravováno, protože po zobrazení dvou period signálů, kdy jedna perioda signalizuje měření od počátku po maximální hodnotu proudu a zpět, je charakteristika diody změřena hned čtyřikrát a může se tedy stát, že se vyčíslené hodnoty budou opakovat. Toto opakování se filtruje voláním procedury *Hodnoty*, kde se průměrují hodnoty proudů naměřených při shodných napětích a ukládají se do nového pole *proud* se správně nastavenými indexy tak, aby nedošlo k pomíchání hodnot.

```

procedure Hodnoty;
var
  i,n,j : integer;
  buffer : real;
begin
  k:=0;
  for i:=0 to r-1 do begin
    n:=1; buffer:=pro[i];
    for j:=0 to r-1 do begin
      if j<>i then if (napeti[i]=napeti[j]) then begin
        buffer:=pro[j]+buffer;
        inc(n);
      end;
      if (j=r-1) then proud[i]:=buffer/n;
    end;
  end;
end;

```

Dále přerovnam naměřené hodnoty podle velikosti napětí od nejmenšího po největší, přesunem napětí posunu i korespondující hodnotu proudu. Poté následuje

poslední fáze úpravy dat před zobrazením a tedy zmenšení obsahu polí hodnot do podoby pole, kde je každá hodnota napětí zastoupena pouze jednou s odpovídající proudem.

Zde končí oddělená úprava dat naměřených při měření s generátorem jako zdrojem měřícího napětí a začíná společná část zobrazení charakteristiky diody pro oba způsoby měření, uvedené v kapitole 2.5.

2.4.2 Princip měření s řízeným zdrojem jako zdrojem měřícího napětí

Je-li v Úvodním okně vybrána možnost měření charakteristiky diody *ZDROJ TESLA*, tj. měření pomocí upraveného programovatelného napájecího zdroje, musí se ještě nastavit rychlost a port pro komunikaci. Změna rychlosti přenosu dat na 9,6 Kbit/s je zde ošetřena pouze programově, protože komunikace na této rychlosti v době návrhu programu nefungovala. Při výběru portu je postupováno tak, že pokud je vybraný port obsazený nebo nastane jiná chyba, která nedovolí otevření portu, zobrazí se hlášení o nedostupnosti portu. Bude-li ponechán přednastavený port *COM1* bezezměny a nedojde-li k otevření portu, zobrazí se hlášení až po stisku *Ok*, kdy se přepínáme do redukovaného hlavního okna [viz kapitola 3.4.2]. Nastane-li tato situace musí se provést opětovné nastavení portu, jinak se neodešlou data do zdroje. Otevření portu je realizováno následovně:

```
PortName:=PChar('COM'+inttostr(ComBox.ItemIndex+1));  
ComH:=CreateFile(PortName, GENERIC_WRITE, 0, nil, OPEN_EXISTING, 0, 0);  
if ComH = INVALID_HANDLE_VALUE then ShowMessage('Invalid Handle Value');
```

V události *OnClick* tlačítka *Ok* odesílám data pro nastavení zdroje do počátečního stavu a definuji vzhled okna, protože pro oba druhy měření používám stejné okno. Podle typu měření se odešlou první data, kterými sepnu výstupní svorky zdroje a nastavím je na počáteční napětí. Dále je třeba nastavit vertikální rozsah osciloskopu, protože v průběhu měření stejnosměrných signálů by se neměl měnit měřící rozsah osciloskopu. To je zde problematické, protože před měřením neznáme prahové napětí diody pro přesné nastavení měřícího rozsahu. Proto nastavuji měřící rozsahy kanálu A jednotlivě pro vybraný typ měření. Pro propustný směr nastavuji pevně rozsah na 1,6 V. Zde vycházím ze známých průběhů charakteristik diod, které mají ve většině případů, pomínu-li LED diody, prahové napětí do 0,8 V. Kdyby bylo nastavení měřícího rozsahu osciloskopu menší docházelo by při měření ke změně měřícího rozsahu, která by ovlivnila správnost měření. Avšak vyšší nastavení měřícího

rozsahu osciloskopu na 4 V by vedlo k větším chybám měření, protože by se zvýšilo rozlišení osciloskopu. V závěrném směru nastavuji pevně rozsah na 8 V. To je proto, že zenerovy diody s $U_Z > -5$ V mají pozvolnější průběh charakteristiky a nesmí zde dojít ke změně rozsahu. U zenerových diod s vyšším U_Z je zlom charakteristiky prudký a případná změna rozsahu se v naměřených hodnotách neprojeví.

V případě měření propustného směru diody je na výstupních svorkách osciloskopu nastaveno shodně napětí -10 V nebo pro závěrný směr napětí +10V. Jelikož nastavím oba kanály na stejné napětí je tato pozice signálu považována za 0 V. Spuštěním měření respektive vysílání dat do zdroje se mění pouze napětí na kanálu A, kanál B má stále počáteční hodnotu napětí.

Po nastavení zdroje posunu stejnosměrné signály do krajní polohy obrazovky osciloskopu odvozené od typu měření. Stejnosměrné signály jsou zobrazovány jako vodorovná zrnitá čára. Pro propustný směr se posunou signály do spodní části obrazovky tak, aby nesahaly za okraj obrazovky a byl pro měření maximálně využit vertikální rozsah 256 bitů. Kladné hodnoty napětí jsou promítány posunem signálu nahoru od počátečního nastavení zatímco záporné měřené hodnoty napětí v závěrném směru posunem signálu dolů, proto se nastaví signály před měřením závěrných charakteristik k hornímu okraji obrazovky. Tento popis je pouze principiální, protože obrazovka je skryta a v aplikaci se vypíše okamžité číselné hodnoty napětí a proudu v obvodu.

Tlačítko *Start* bude zpřístupněno teprve po nastavení zdroje a osciloskopu, jeho stiskem uložím první hodnotu signálu odpovídající nulovému napětí a spustím časovač, který bude řídit napětí na svorkách zdroje. Spuštěný časovač vysílá po sériové lince data, kterými inkrementuje výstupní napětí zdroje v krocích 0,05V pro propustný směr a -0,1V pro závěrný směr. Vysílání dat je indikováno změnou vyčíslených hodnot napětí a proudu nebo blikáním žluté diody na zdroji. Všechny naměřené hodnoty bodů čáry stejnosměrného signálu průměruji a napětí a proud získávám z rozdílu nulové hodnoty signálu a aktuální hodnoty. Tlačítkem *Stop* se ukončí měření a provede se nastavení signálů do počáteční polohy. Není zde nutnost tlačítka *Graf* pro zobrazení charakteristiky, protože charakteristika se zobrazí po dosažení nastavené hodnoty prahového proudu automaticky a měření se zastaví.

Se zobrazenou charakteristikou lze pracovat stejně jako po zobrazení charakteristiky změřené generátorem a po zavření okna V-A charakteristiky diody se opět provede nastavení do počátečního stavu pro nové měření.

2.5 Zobrazení charakteristiky

Zobrazení charakteristiky je navrhnuté dynamicky, aby docházelo vždy k maximálnímu zobrazení při prezentaci naměřených dat, které je omezeno pouze velikostí plochy použité komponenty *Image*. Hlavní výkonná procedura je zde *Mriska*, která zajišťuje návrh a vykreslení hlavních os, vedlejší mřížky a popisků os.

Nejprve tedy zjistím minimální a maximální hodnoty napětí a proudu, z nichž si vypočtu koeficienty pro roztažení charakteristiky. Pomocí koeficientů pak nastavím polohu hlavních os. V ukázce je vidět příklad návrhu polohy osy *y*:

```
osaY_ok:=false;      k:=0;

  repeat

  for i:=0 to (r-1) do if ((round(500-osaY-koefY*proud[i]))>5)=true

and((round(500-osaY-koefY*proud[i]))<495)=true then

k:=k+1;

  if k>=(r-1) then osaY_ok:=true

  else begin osaY:=osaY+50;

              k:=0;

  end;

until osaY_ok=true;
```

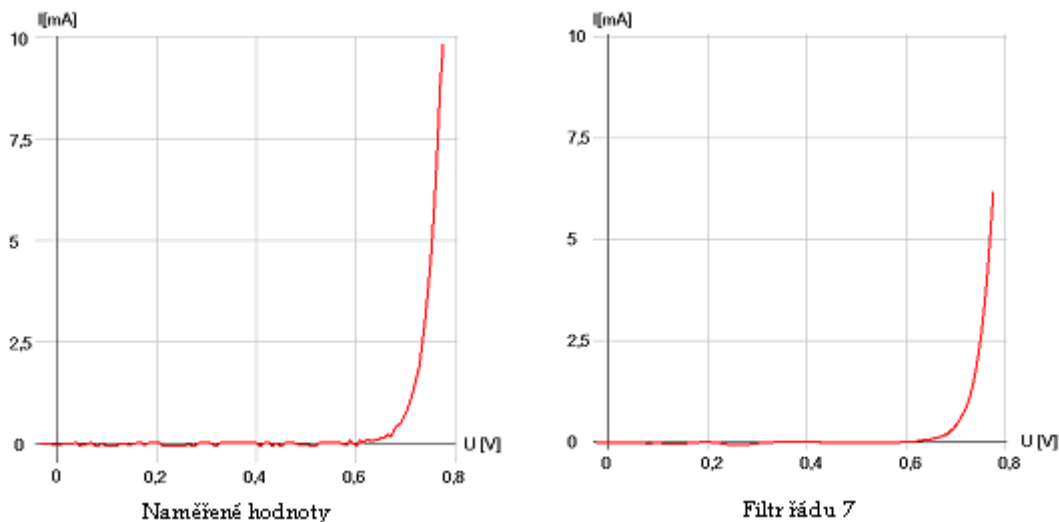
Polohy čar vedlejší mřížky se nastavují stejnoměrně od hlavních os se vzdáleností odpovídající intervalu mezi dvěma sousedními popisky. Počet čar mřížky je limitován minimálním počtem čtyř průsečíků na jedné ose, aby bylo dostatečně čitelné měřítko charakteristiky. V praxi je však tento počet téměř vždy vyšší. Popisky jsou polohově přiřazeny ke mřížce a hodnotu jejich nadpisu vyčísľuji z měřených rozsahů použitých při odběr dat. Popisky jsou vypisovány v řadě 1, 2 a 5.

Nyní je připravena plocha pro vykreslení průběhu charakteristiky, kde mohou být vykresleny jak naměřené tak i filtrované hodnoty. Naměřené hodnoty mívají zubatější průběhy charakteristiky, proto bylo třeba použít pro zobrazení filtr hodnot. Jako filtr hodnot jsem použil klouzavý průměr, který průměrování krajního bodu z vybraného počtu vzorků s již průměrovanými vzorky sice vyhladí charakteristiku, ale přitom ji částečně utlumí [viz *obrázek 2.5*]. Tento útlum je dán menším počtem naměřených bodů v aktivní části charakteristiky. Řešením k odstranění útlumu by bylo získání většího počtu vzorků zvětšením hustoty vzorkování v aktivní části charakteristiky, což je v praxi nereálné. Druhým řešením se nabízí průměrování nikoliv krajního bodu z vybraného počtu vzorků jak je tomu v proceduře Filtr, ale průměrováním prostřední bodu. To by pro dosažení stejného efektu vyhlazení průběhu vedlo ke zvýšení řádu filtrace a útlum by tím pořád nebyl odstraněn. V následující ukázce je kód použité procedury Filtr:

```

procedure filtr;
var i,j    : integer;
      QQ    : integer;
      suma  : real;
      z     : array [0..511]of real;
begin
  Charakteristika.NamerHodnoty.Checked:=False;
  Charakteristika.FiltrHodnoty.Checked:=True;
  Mrizka;
  for i:=1 to (r-1) do begin
    suma:=proud[i];
    if i>N then QQ:=N
      else QQ:=i;
    for j:=1 to QQ-1 do suma:=suma+proud[i-j];
    z[i]:=suma/qq;
  end;
  Charakteristika.Graf.Canvas.Pen.Color:=clRed;
  Charakteristika.Graf.Canvas.Pen.Width:=2;
  Charakteristika.Graf.Canvas.
    MoveTo(osaX+round((koefX)*napeti[1]), round(500-osaY-(koefY)*z[1]));
  for i:=2 to (r-1) do Charakteristika.Graf.Canvas.
    LineTo(osaX+round((koefX)*napeti[i]), round(500-osaY-(koefY)*z[i]));
end;

```



Obrázek 2.5 – Vliv klouzavého průměru

2.6 Uložení dat

Zde se volí místo uložení souboru s naměřenými daty. Data se ukládají do textového souboru s definovaným názvem, skládající se z několika částí oddělených podtržítkem. Začíná zkratkou *V*Achar, druhým v pořadí je název skupiny provádějící měření následovaným označením diody, pomlčka uvozuje písmeno značící typ měření *F* (*Forward*) propustný, *R* (*Reverse*) závěrný směr, dále může být v případě nutnosti název doplněn o index tak, aby nikdy nedošlo k přepsání již existujícího souboru. Editace názvu se provádí v *Úvodním okně*.

VAchar_Hlavaty_ZDC4V3-R(2).txt

Ukázka složení názvu souboru.

Pro uložení dat jsem použil exponenciálního tvaru se zaokrouhlováním na čtyři platná místa. Data jsou řazena do dvou sloupců oddělených mezerou a jako oddělovač desetinných míst byla použita tečka, aby uložená data mohly být zpracovány v programu Matlab nebo Excel. Kód uložení je následující.

```
assignFile(soubor,FileName);
rewrite(soubor);
writeln(soubor, ' U [V]      |      I[mA]      ');
for j:=0 to (r-1) do
  if ABS(proud[j])>0.00003 then begin
    U:=FormatFloat('0.000E+00' , napeti[j]);
    write(soubor,U);
    write(soubor,'      ');
    I:=FormatFloat('0.000E+00' , proud[j]);
    writeln(soubor,I);
  end;
closeFile(soubor);
SaveForm.Close;
```

Na prvním řádku je popisek sloupců i s jednotkami ve kterých se data ukládají. Data jsou ukládána od hodnoty proudu vyšší než $30\mu\text{A}$. Počet uložených hodnot není konstantní a je ovlivněn průběhem charakteristiky a zvoleným způsobem měření.

2.7 Kompatibilita a instalace programu

Měřicí program jsem navrhl pod operačním systémem MS WINDOWS XP a tomu odpovídá i použitá dynamická knihovna modulu osciloskopu.. Software je kompatibilní se systémy MS WINDOWS NT a také ve WINDOWS 98, kde se musí změnit používaná dynamická knihovna osciloskopu, která je součástí Development Kitu osciloskopu dostupném na [7].

Pro takto malý program není třeba psát instalačního programu. Jednoduše se soubory *ScopeVAchar.exe*, *DK.ini* a *M621drv.dll* nakopírují do libovolného adresáře a standardním způsobem se vytvoří zástupce na ploše. Soubor *DK.ini* obsahuje registrační čísla modulů osciloskopu.

3 Popis programu

V této části bych se chtěl blíže věnovat samotné aplikaci s bližším popisem a přiblížením jejích jednotlivých výkonných částí.

3.1 Inicializace osciloskopu

Po spuštění ikony ScopeVAchar musí nejprve program provést inicializaci modulu osciloskopu. Volání funkce *Inicializace* se vykonává v události *OnShow* hlavního okna. Podle návratové hodnoty funkce program vyhodnotí stav komunikace s modulem osciloskopu M621. Je-li problém s komunikací, zobrazí se chybová hláška a program se nespustí. V případě úspěšné inicializace se provede nastavení parametrů osciloskopu a programu. U osciloskopu je třeba nastavení všech jeho funkcí do počátečního stavu jako nastavení ukazatelů na vyrovnávací paměť hodnot naměřených osciloskopem, vertikální posuvu průběhu a nastavení měřeného rozsahu pro každý kanál jednotlivě. Nastavení časové základny, režimu reakce na platnou spouštěcí událost, nastavení aktivní hrany průběhu a zdroje synchronizačního signálu a spuštění programového vlákna *TMereniThread*. Programové parametry slouží ke správnému fungování programu a zmínil jsem se o nich v předchozích kapitolách. Zde je ukázka inicializace a význam jejich možných návratových hodnot:

```
procedure TMainForm.FormShow(Sender: TObject);
var status:word;
begin
  Status:=InitHardware(0,true);
  if status = 1000 then begin {Zařízení je inicializováno}
    .....nastavení parametrů měření;
  end
  else begin
  if status = 1003 then MessageDlg('Špatné číslo Develoment Kitu',mtError,[mbOk],0)
  else
  if status = 1004 then MessageDlg('Problém s komunikaci po EPB',mtError,[mbOk],0)
  else
  if status = 1005 then MessageDlg('Inicializované zařízení není EM621',mtError,[mbOk],0)
  else
  if status = 1006 then MessageDlg('Na sběrnici EPB není zařízení s adresou 0',mtError,[mbOk],0)
  else
  if status = 1007 then MessageDlg('Zařízení je používáné jinou aplikací',mtError,[mbOk],0)
  else
  MessageDlg('Chyba v inicializaci',mtError,[mbOk],0);
  Application.Terminate;
  end;
end;
```

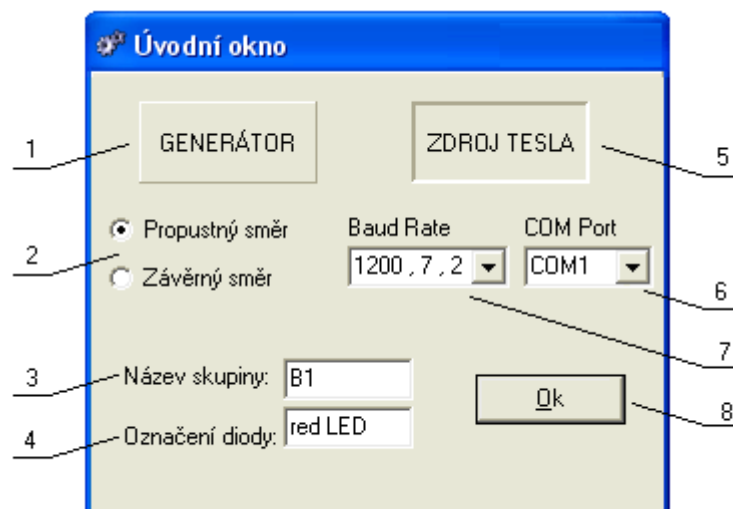
3.2 Vlákno TMereniThread

Vlákem TMereniThread získávám naměřená data z osciloskopu voláním funkce *Data*, která řídí a kontroluje měření. Vlákno je aktivní jen tehdy, je-li aktivní hlavní měřicí okno, v ostatních případech nejsou načítána data z osciloskopu. Nulovou hodnotou parametru status se spustí měření. Poté se kontroluje zda parametr nabude hodnoty 2, která signalizuje ukončení sběru a možnost použití dat. V čase kontroly může status nabýt i hodnoty 5 signalizující neplatná naměřená data, kdy byl například v čase sběru změněn rozsah vertikálního zesilovače. Nastane-li tento stav odstartuje se nové měření. Výkonná procedura vlákna je zde:

```
procedure TMereniThread.Execute;  
var a,b,c :byte;  
    status:word;  
begin  
    while not terminated do begin  
        status:=0;  
        while (status <> 2) and not terminated do begin  
            status:=Data(1,status,a,b,c);  
            if status = 5 then status:=0;  
        end;  
        Synchronize(Mereni);  
    end;  
end;
```

3.3 Úvodní okno

Po provedení úspěšné inicializace se program přepne do *Úvodního okna*. *Úvodní okno* (viz obrázek 2.1) nabízí volby pro měření a je dostupné kdykoliv za běhu programu přes menu *Úvodní okno* v hlavním okně.



Obrázek 3.3 – Úvodní okno

V *Úvodní okně* se nastavují dva způsoby měření. Volba tlačítka *GENERÁTOR* (1) nastaví hlavní okno pro měření pomocí volně běžícího generátoru a volbou tlačítka *ZDROJ TESLA* (5) se nastaví hlavní okno pro měření pomocí řízeného zdroje Tesla. Při výběru volby (5) se uživateli programu zpřístupní nastavení parametrů pro komunikaci přes sériový port. Rozbalovacím okénkem (7) lze zvolit rychlost komunikace sériové linky a rozbalovacím okénkem (6) se nastavuje číslo portu. Typ měření se nastavuje pomocí přepínacích tlačítek (2). Dále jsou zde dvě okna pro název skupiny provádějící měření (3) a pro označení měřené diody (4). Editace těchto dvou oken je pro přehlednost naměřených dat součástí názvu ukládaného souboru. Stiskem tlačítka *Ok* (8) se potvrdí nastavení, zavře se *Úvodní okno* a předá se řízení do *Hlavního okna*.

3.4 Hlavní okno

V hlavním okně probíhá samotné měření. Nastavení se provedlo v *Úvodním okně*, kde byla volba ze dvou způsobů měření, a proto tuto kapitolu také rozdělím.

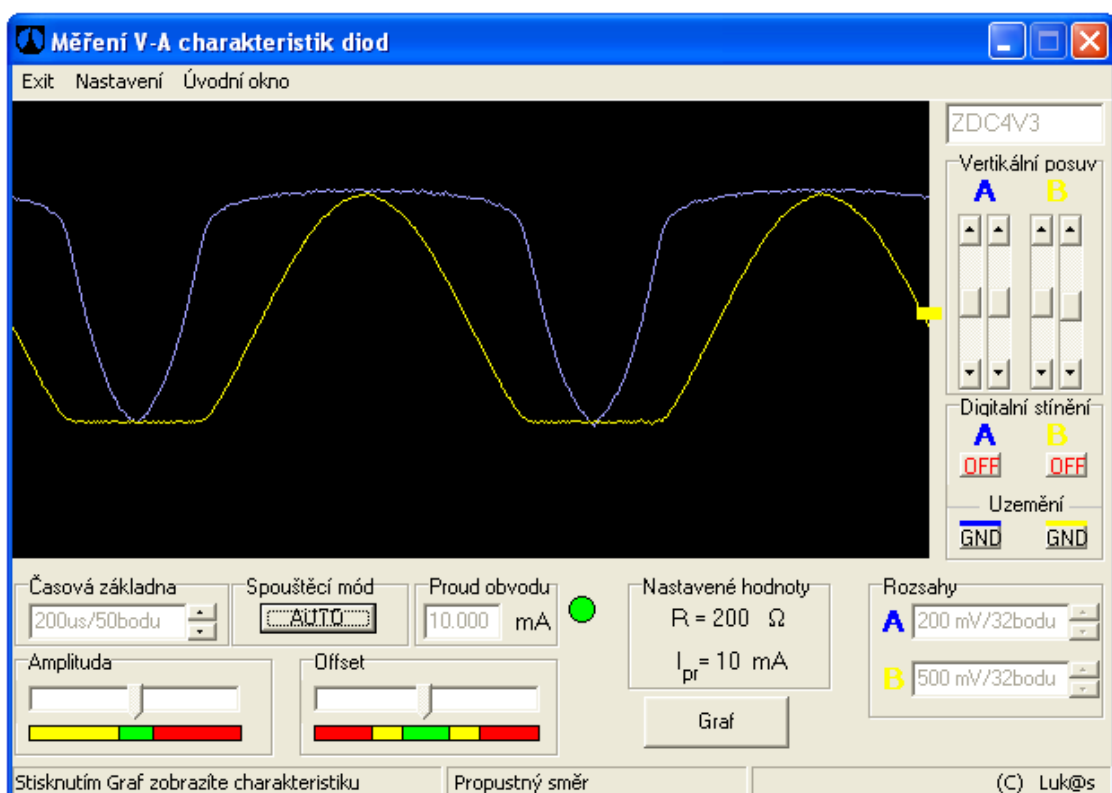
3.4.1 Volně běžící generátor funkcí v měřícím systému Metex M-9150

Dominantním prvkem měřícího okna je obrazovka osciloskopu zobrazující pro orientaci průběhy obou kanálů současně. Rozlišení obrazovky je 512 bodů horizontálně, kde každý bod odpovídá jednomu bodu měření, a 256 bodů vertikálně pro zobrazení hodnoty naměřeného napětí. Modrý průběh signálu kanálu A zobrazuje napětí na diodě a žlutý průběh signálu kanálu B zobrazuje proud měřený z úbytku napětí na rezistoru. Z připojení osciloskopu vyplývá, že na rezistoru bude napětí opačné polarity než na diodě. S ohledem na tuto skutečnost jsem otočil fázi proudu na obrazovce, tak aby měli vykreslované průběhy stejnou polaritu.

Na pravém okraji obrazovky je obdélníček indikující hodnotu prahového napětí pro synchronizační signál vzhledem k vertikálnímu rozsahu obrazovky. Tato funkce je nastavována optimálně programem, kdy po každém novém měření je vyčíslena hodnota, kterou nastavuji na střed průběhu kanálu B, čímž je zaručena platná synchronizační událost. Spouštěcím módem volím způsob startu měření a nastavuje se ručně přepínacím tlačítkem. Po spuštění programu je defaultně nastaven mód *NOWAIT*, protože sběr dat startuje okamžitě funkcí *Data*. Tím se vyhneme čekání na platnou synchronizační událost, které by mělo za následek nezobrazení průběhů na obrazovce,

kteřá se překreslí jen po získání platných dat z osciloskopu [více v kapitole 3.2]. V mód *NOWAIT* se tedy neprovádí žádné synchronizování dat. Tím jsou zobrazovány aktuálně naměřená data a zobrazovaný průběh se může rychle posunovat. Rychlost posunujícího se signálu je dána nastavenou frekvencí a časovou základnou. To uvedu na příkladu: Při nastavené měřicí frekvenci 100 Hz ($T=0,01s$), časové základně $200\mu s/50$ bodů a počtem zobrazovaných a měřených bodů 512 nebudou zobrazovány přesně dvě periody signálů, které odpovídají 500 bodům, ale dvě periody a právě zbylých 12 bodů třetí periody. O těchto 12 bodů budou vždy při dalším novém měření posunovány měřené signály. Proto se mód *NOWAIT* používá hlavně při nastavování amplitudy nebo offsetu a pro prohlížení signálů je zde mód *AUTO*, kde se uplatní synchronizační událost a průběhy se opticky zastaví.

Časová základna je standardně nastavena na $200\mu s/50$ dílků. Tento rozsah je přednastaven na používanou měřicí frekvenci kolem 100 Hz, kdy se na obrazovce objeví dvě periody měřených signálů. Rozsah časové základny lze měnit pomocí tlačítka *Up/Down*.



Obrázek.3.4.1 – Hlavní okno pro měření pomocí generátoru

Protože mají diody určitá proudová omezení indikují v kolonce Proud obvodu aktuální hodnotu proudu. Hodnota je defaultně nastavena na 10mA a její překročení signalizuje hlásič (kolečko) červeným zbarvením, žlutým indikuje malý rozsah pro signál kanálu B, jinak je zelený. Umístění hlásiče je vpravo od kolonky. Hodnotu překročení proudu lze nastavit spolu s hodnotou rezistoru přes položku v menu *Nastavení/Změna nastavených hodnot*. Tyto hodnoty jsou pro přehlednost vypsány v kolonce *Nastavené hodnoty*.

Pro nastavení správných průběhů pro odměření charakteristiky s maximálním rozlišením jsem použil grafickou vizualizaci hodnot amplitudy a offsetu generátoru napětí. Pro hodnoty amplitudy a offsetu, při kterých se můžou odebrat data pro správné naměření charakteristik, je třeba nastavit ukazatele do zelených polí. Posun ukazatelů odpovídá směru otáčení nastavovacích prvků na generátoru. Při nastavování musíme dávat pozor, aby nedošlo k překročení povoleného proudu.

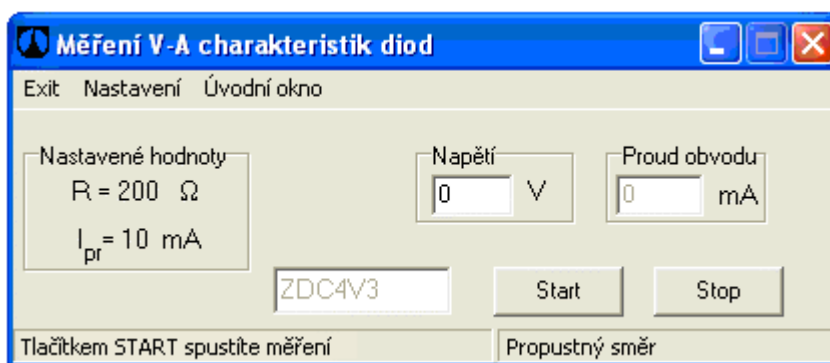
Vedle obrazovky jsou umístěny ovládací prvky osciloskopu. Všechny ovládací prvky bezprostředně spojené s některým kanálem jsou pro jednodušší orientaci označeny barvou daného kanálu. Nastavení rozsahů je jen informativní, rozsahy a vertikální posun jsou nastavovány optimálně programem. Vertikální posun lze změnit i ručně, ale pouze jemnějším posunem signálů v rámci obrazovky, levým rolovacím proužkem kanálu. Ovládací prvky, které slouží k zapínání resp. vypínání jednotlivých funkcí mají dvě polohy – zapnuté a vypnuté. Ve stavu zapnuté má text zelenou barvu. Digitální stínění eliminuje rušení, které je asynchronní vůči spouštěcímu signálu měření. Účinnost digitálního stínění závisí na jeho stupni, ze stupnice 1 až 6, kde 6 je nejvyšší a nastavuje se přes menu *Nastavení/Stupeň digit. stínění*.

Panel *Uzemnění* slouží ovládnutí zapnutí a vypnutí uzemnění (*GND*). Zapnutím uzemnění kanálu se na obrazovce objeví čára, která odpovídá úrovni 0V. V pravém horním rohu je vypsáno označení měřené diody, který se edituje v *Úvodním okně*. Ve spodní části okna se nachází stavový řádek chovající se jako skromný průvodce při měření a indikátor typu měření.

Funkce některých položek z menu jsem v popisu již vysvětlil, zbývá pouze položka *Úvodní okno*, která otevře stejnojmenné rozhraní, a položka *Exit*, kterou se ukončí program a vlákno měření.

3.4.2 Upravený napájecí zdroj po sériové lince

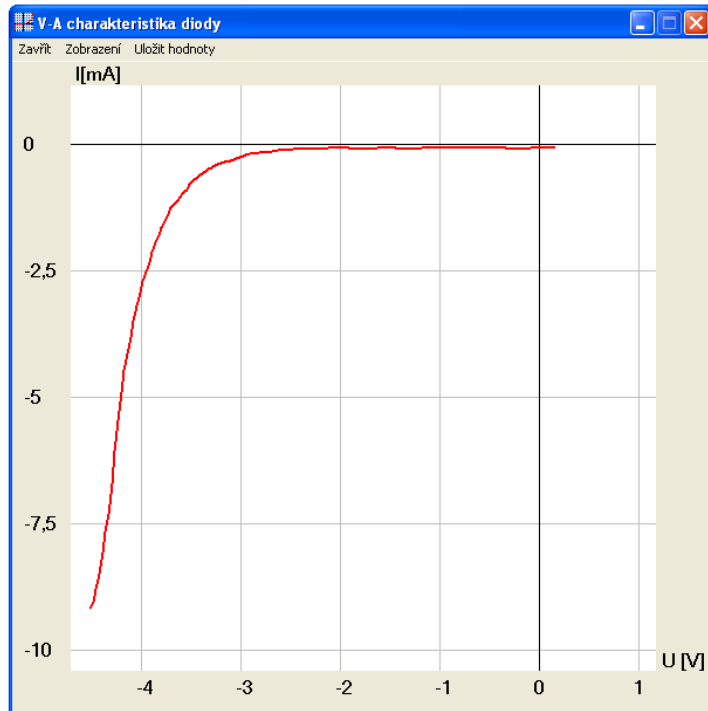
Vzhled okna je podstatně jiný, protože se sondami osciloskopu snímají stejnosměrné signály. Avšak Menu a kolonky *Nastavené hodnoty* a *Označení diody* jsou stejné. Otevření okna provede nastavení osciloskopu (více v kapitole 2.4.2), které signalizuje jako průvodce měřením opět stavový řádek. Po nastavení je možné tlačítkem *Start* začít měření, odesláním první hodnoty napětí do zdroje a spuštěním časovače, který mění s každou periodou hodnotu napětí. Tlačítkem *Stop* měření kdykoliv ukončíme. Kolonkami *Napětí* a *Proud* je umožněno číselné sledování průběhu měření. Chybí zde tlačítko zobrazující graf. Tato funkce je řešena automaticky po dosažení hodnoty proudu uvedeného v nastavených hodnotách.



Obrázek 3.4.2 – Vzhled okna pro měření s upraveným napájecím zdrojem

3.5 Okno zobrazení V-A charakteristiky diody

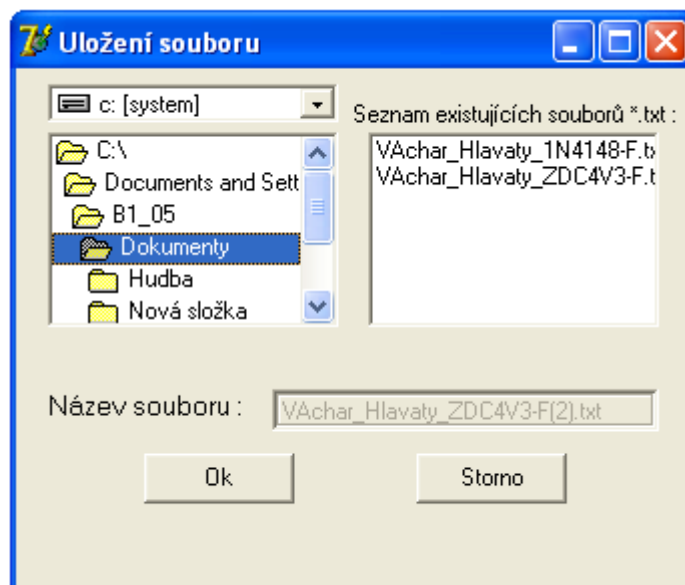
Zde je provedena vizualizace naměřených dat vynesím do souřadnicového systému XY. Graf je koncipován dynamicky pro docílení vždy maximálního rozložení hodnot a řádného označení a popisu os. Přes Menu *Graf* lze provádět úpravu grafu, přepínáním zobrazení naměřených a filtrovaných dat. Dále můžeme měnit řád použitého filtru. Položkou *Uložit hodnoty* se přepneme do okna *Uložení souboru*, položkou *Zavřít* okno zavřeme a vrátíme se zpět do hlavního okna.



Obrázek 3.5 – Zobrazení V-A charakteristiky diody

3.6 Uložení souboru

Okno obsahuje standardní prohlížeče diskových zařízení s možností výběru umístění souboru do vlastního adresáře. Pro lepší orientaci je pomocí *ListBoxu* vypisován obsah aktuálního adresáře. Vypisuje pouze textové soubory uložené vlastním programem. Tlačítkem *Ok* se potvrdí uložení souboru do vybraného adresáře, tlačítkem *Storno* se uložení zruší.



Obrázek 3.6 – Uložení souboru

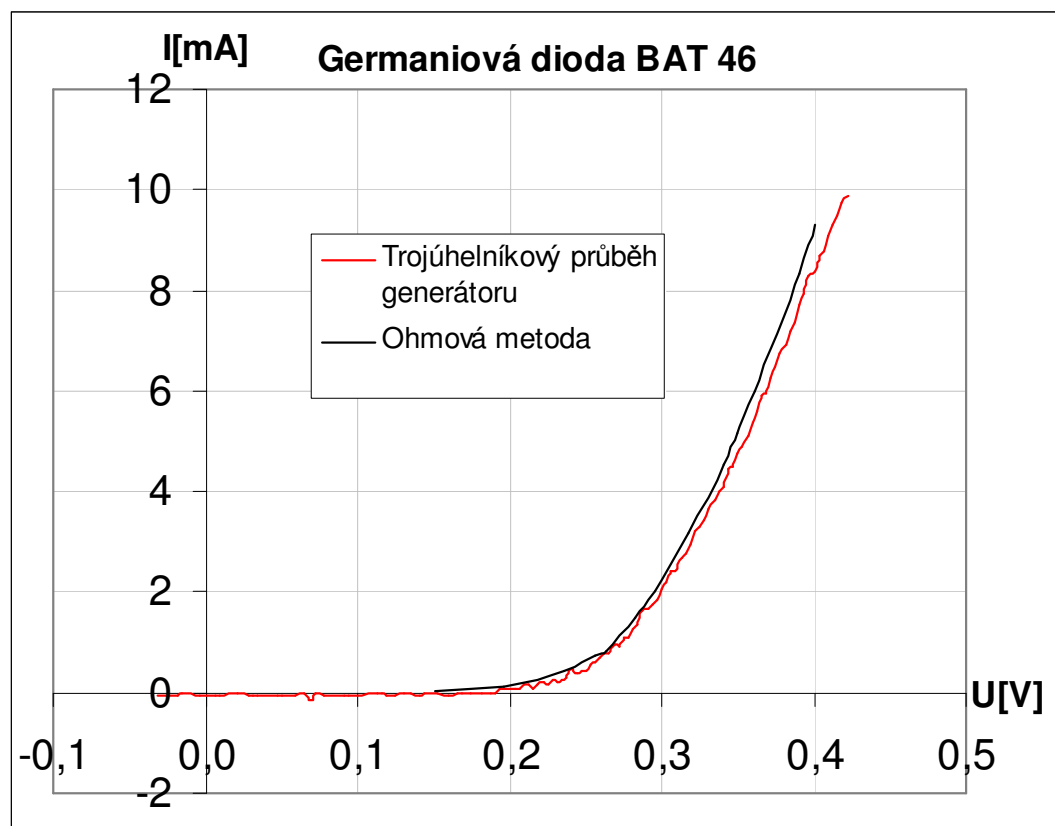
4 Zhodnocení výsledků práce

4.1 Naměřená data

Veškeré měření na volně běžícím generátoru jsem v průběhu realizace programu prováděl s použitím sinusového signálu. Teoreticky však muselo být docíleno stejného výsledku měření i s použitím trojúhelníkového signálu. Tento předpoklad byl několika měřeními ověřen a zde je porovnáním výsledků měření na germaniové diodě BAT 46 s hodnotami naměřenými ohmovou metodou:

Ohmová metoda		Sinusový signál		Trojúhelníkový signál	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,256	0,72	0,256	0,586	0,256	0,599
0,295	2	0,3	2,01	0,3	2,01
0,283	1,5	0,288	1,5	0,288	1,62
0,341	4,54	0,35	4,69	0,347	4,51
0,361	6	0,369	5,92	0,369	5,97
0,39	8,34	0,4	8,39	0,4	8,43

Tabulka 2 – Naměřené hodnoty



Graf 1 – Germaniová dioda BAT 46

V tabulce 2 uvádím pouze zlomek hodnot pro porovnání, ve skutečnosti je charakteristika v grafu 1 zaznamenána 121 body. V grafu 1 jsem zvolil jsem porovnání naměřených dat trojúhelníkového signálu a ohmové metody. Sinusový signál jsem nezobrazoval, protože se přímo kryje s trojúhelníkovým. Zobrazené průběhy obou metod se velmi blízce kopírují.

Další porovnání naměřených hodnot jsem provedl na zelené LED diodě průměru 5 mm v propustném směru (Tabulka 3) a na zenerově diodě BZX55-C4V3 v závěrném směru (Tabulka 4). Nemohou být porovnávané hodnoty pro shodný proud, protože každý způsob měření proměří charakteristiku v jiných bodech. Proto jsou porovnávané nejbližší možné hodnoty.

Ohmová metoda		Řízený zdroj TESLA		Trojúhelníkový signál		Sinusový signál	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
1,846	0,807	1,830	0,815	1,844	0,677	1,844	0,937
1,894	2,000	1,874	2,069	1,906	1,830	1,906	2,194
1,959	4,540	1,938	4,487	1,984	4,430	1,969	4,516
1,987	6,000	1,972	6,045	2,016	5,722	2,000	5,749
2,027	8,340	2,017	8,315	2,063	8,334	2,047	8,047

Tabulka 3 – Naměřené hodnoty zelené LED diody v propustném směru

ohmová metoda		Řízený zdroj TESLA		Sinusový signál	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
-3,840	-0,850	-3,770	-0,857	-3,656	-0,898
-3,887	-1,500	-3,942	-1,467	-3,875	-1,547
-3,991	-1,990	-4,053	-1,963	-4,000	-1,901
-4,042	-2,300	-4,095	-2,239	-4,063	-2,148
-4,137	-3,000	-4,174	-2,800	-4,156	-3,073
-4,182	-3,430	-4,239	-3,452	-4,188	-3,379
-4,390	-7,000	-4,456	-6,916	-4,438	-7,172

Tabulka 4 – Naměřené hodnoty zenerovy diody BZX55-C4V3 v závěrném směru

Grafy porovnávaných hodnot jsou v příloze C, kde je opět vidět, že se průběhy blízce kopírují a menší odchylky mohou být vlivem zahřátí diody. Z dosažených charakteristik lze konstatovat, že program ScopeVAchar měří voltampérové charakteristiky diod správně.

Pro generování měřicího napětí lze samozřejmě použít jakýkoliv jiný generátor než generátor ze systému Metex MS-9150. Já jsem například většinu času stráveného vývojem programu používal generátor HP 33120A.

4.2 Podmínky měření

Nejdůležitější podmínkou pro měření je zapojení obvodu podle obrázku 2.1 a správným připojením měřících sond osciloskopu do obvodu. Dojde-li k opačnému zapojení diody nebo opačnému připojení generátoru, bude program schopný měřit, ale naměřená data budou mít opačnou polaritu. Toto se ve výsledku projeví zobrazením závěrné charakteristiky do prvního kvadrantu a propustné charakteristiky do třetího kvadrantu souřadnicového systému.

4.3 Ladění programu

Zde chci uvést chyby programu a jejich odstranění, které jsem nestihl vyladit a mohou nastat v průběhu měření. Jedna chyba občas nastane při spuštění měření na řízeném zdroji, kdy software posílá data zdroji, ale zdroj přijme pouze první informaci a další již nepřijímá. Toto lze někdy odstranit stopnutím a znovu spuštěním měření. V horším případě pak restartem programu. Druhá chyba se zřídka projevuje při ukládání hodnot z osciloskopu tedy po stisknutí tlačítka Graf, kdy nedojde k zobrazení charakteristiky a program přestane reagovat. Tato chyba vede ke kolapsu programu. Poslední netečností programu je nastavení signálů do počátečního stavu u měření s řízeným zdrojem. Toto je signalizováno nedostupností tlačítka Start a lze nastavení spustit ručně stisknutím tlačítka Stop.

Závěr

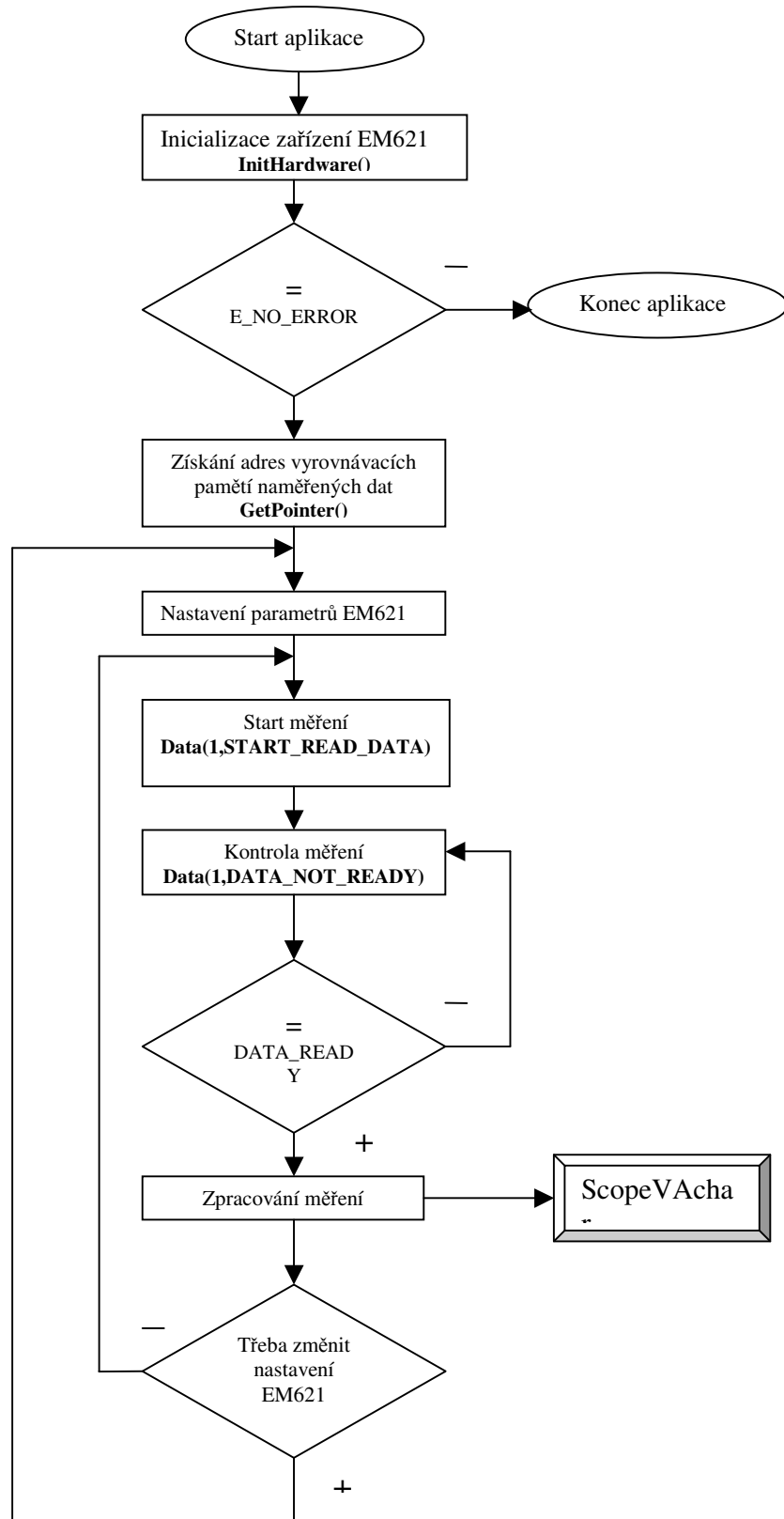
V této bakalářské práci jsem se důkladně seznámil s modulem digitálního osciloskopu. Prostudoval jsem příručku pro jeho ovládání a posléze navrhnul a realizoval software pro měření voltampérových charakteristik diod. Software byl vyvíjen poměrně dlouhou dobu a postupem času byl notně vylepšován a plně automatizován pro maximální komfort uživatele. Okna programu jsou přehledné a jednotlivé funkce snadno dostupné, takže plně věřím, že se s nimi uživatel během pár minut naučí pracovat. Lze tedy konstatovat, že cíl práce byl až na výjimky uvedené v předchozí kapitole splněn.

Závěrem bych chtěl dodat, že polovodičových diod existuje nepřehledné množství typů a vlastností. Je tedy možné, že se narazí na součástku, kterou můj software nezměří, nebo změří chybně.

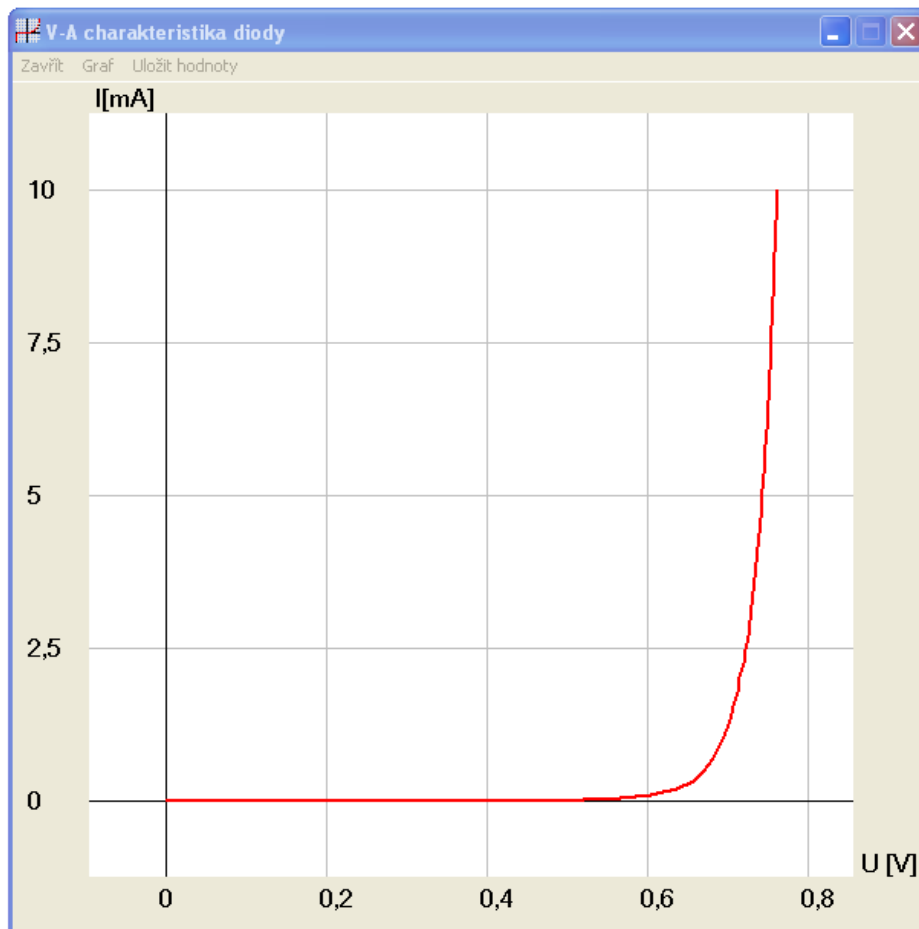
Seznam použité literatury

- [1] Manuál osciloskopu ETC M621
- [2] Manuál Development Kitu M621
- [3] Manuál měřicího systému METEX MS-9150
- [4] Myslivec, Martin: *Programovatelný laboratorní zdroj*. [Diplomová práce FS] TUL 1998.
- [5] Vobecký, Jan a Záhlava, Vít: *Elektronika; Součástky a obvody, principy a příklady*. Praha, 2001, nakladatelství: GRADA Publishing
- [6] Frohn M., Oberthür W., Fiedler H.-J., Škemer M., Zastrow P.: *Elektronika, polovodičové součástky a základní zapojení*. Praha, 2006. nakladatelství: Technická literatura BEN
- [7] Firma ETC s.r.o. .[online]. <http://www.etc.sk>
- [8] BUILDER, informační server pro programování [online]. <http://www.builder.cz>

Příloha A -Princip řízení osciloskopu



Příloha B – Ukázka zobrazení charakteristiky



Příloha B – Připojení k řízenému zdroji



Příloha C – Grafy

