

Zařízení pro diagnostiku elektronických prvků

Jiří Janků

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Janků**
Osobní číslo: **A14280**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Zařízení pro diagnostiku elektrotechnických prvků**
Téma anglicky: **An Electro-technical Component Diagnostics Device**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte možnosti testování a identifikace základních analogových elektrotechnických součástí.
2. Provedte průzkum trhu se zařízeními umožňujícími identifikaci součástí a porovnejte je mezi sebou.
3. Navrhněte vlastní řešení a porovnejte jeho možnosti se zařízeními dostupnými na trhu.
4. Popište princip identifikace vaším zařízením, zařízení realizujte a popište jeho činnost.
5. Funkčnost zařízení ověřte sadou zkušebních měření na vybraných součástkách.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. FRISCH Herbert, **Základy elektroniky a elektronických obvodů**, SNTL, Praha, 1987
2. SUCHÁNEK Vladimír, **Dioda, tranzistor a tyristor názorně**, SNTL, Praha, 1983
3. FAJT Václav, **Elektrická měření**, SNTL, Praha, 1987
4. **Elektrotechnická měření**, BEN – technická literatura, Praha, 2002, ISBN 80-7300-022-9
5. VOBECKÝ Jan, ZÁHLAVA Vít, **Elektronika – Součástky a obvody, principy a příklady**, Praha, 2001, ISBN 80-7169-884-9

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

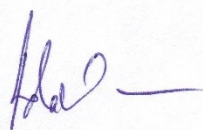
Datum zadání bakalářské práce:

3. února 2017

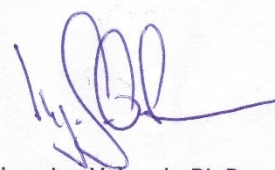
Termín odevzdání bakalářské práce:

29. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/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 diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/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 diplomovou/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 – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/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 diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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 diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové/bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 2. května 2017


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Práce se zabývá sestavením zařízení využitelného k diagnostice různých analogových prvků. Sestavené zařízení je schopno identifikovat součástky na základě měření charakteristických vlastností a taktéž určí parametry daných součástek. Součástí práce je vlastní kompletace zařízení a taktéž ověření funkčnosti provedením sady zkušebních měření.

Klíčová slova:

Analogové součástky, ESR, diagnostika, měření, tester, mikroprocesor, Atmega328.

ABSTRACT

The work deals with constructing of equipment usable for various analogue components diagnosis. The assembled device is able to identify components by their typical characteristic measuring and is also able to determine the components parameters. The work involves not only device assembling, but the device functionality is verified by performing a set of test measurements.

Keywords:

Analogue components, ESR, diagnostics, measurement, tester, microprocessor, ATMEGA328.

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za jeho cenné rady, věcné podněty, celkově za odborné vedení mé bakalářské práce a v neposlední řadě za odbornou výuku předmětu Mikroelektronika, která více prohloubila mé znalosti týkající se této problematiky a stala se základem, ze kterého jsem vycházel při tvorbě této práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/dílokové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 ZÁKLADNÍ ANALOGOVÉ ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY, JEJICH IDENTIFIKACE A MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ.....	10
1.1 REZISTOR	10
1.1.1 Parametry rezistorů	11
1.1.2 Měření elektrického odporu	11
1.1.2.1 Ohmova metoda.....	12
1.1.2.2 Srovnávací metoda.....	13
1.1.2.3 Můstkové metody měření odporu	14
1.2 KONDENZÁTOR	14
1.2.1 Parametry kondenzátorů.....	16
1.2.2 Měření kapacity.....	16
1.2.2.1 Měření kapacity voltmetrem a ampérmetrem.....	16
1.3 CÍVKA	17
1.3.1 Parametry cívek.....	18
1.4 DIODA	18
1.4.1 Propustný směr.....	19
1.4.2 Závěrný směr.....	19
1.4.3 Parametry diod	19
1.4.4 Měření diod	20
1.5 TRANZISTOR.....	21
1.5.1 Zapojení tranzistoru	22
1.5.2 Charakteristiky tranzistoru	23
1.5.3 Měření	23
2 ZAŘÍZENÍ UMOŽŇUJÍCÍ IDENTIFIKACI SOUČÁSTEK NA NAŠEM TRHU	25
2.1 JEDNODUCHÝ UNIVERZÁLNÍ TESTER POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK DT-155	25
2.2 ANALYZÁTOR POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK DCA55.....	26
2.3 ANALYZÁTOR POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK DCA75.....	28
2.4 MĚŘIČ KAPACIT A ESR - ATLAS ESR70.....	28
2.5 MASTECH MY-68	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
3 KONSTRUKCE A SESTAVENÍ ZAŘÍZENÍ	31

3.1	SCHÉMA	32
3.2	SESTAVENÍ ZAŘÍZENÍ K IDENTIFIKACI SOUČÁSTEK	32
3.3	OŽIVENÍ	34
3.3.1	Kalibrace sestaveného zařízení	34
3.4	TECHNICKÉ PARAMETRY	35
3.5	FUNKCE SESTAVENÉHO ZAŘÍZENÍ	35
3.5.1	Další funkce zařízení	36
3.6	POPIS MIKROKONTROLERU ATMEGA 328/P	37
3.6.1	Základní technické vlastnosti mikrokontroleru Atmega328/P	37
3.6.2	Blokové schéma	38
3.6.3	Zapojení vývodů	38
3.7	USBASP	39
3.8	SOFTWARE	39
3.8.1	Část pro správnou funkci hardwaru	40
3.8.1.1	USB Drivery	40
3.8.1.2	eXtreme Burner	40
3.8.2	Část pro tvorbu vlastního měřicího programu	40
3.8.2.1	WinAVR	40
4	PRINCIP MĚŘENÍ	41
4.1	ZPŮSOB TESTOVÁNÍ	41
4.1.1	Měření odporu	42
4.1.2	Měření diod	42
4.1.3	Měření PNP tranzistoru nebo P-Channel-MOSFET	43
4.2	KONTROLNÍ A SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ	43
4.2.1	Technické parametry použitých měřicích přístrojů	44
4.2.1.1	VOLTCRAFT VC650BT	44
4.2.1.2	UNI-T UT70A	44
4.2.1.3	MASTECH MY-68	45
4.2.2	Měření rezistorů	46
4.2.3	Měření kondenzátorů	47
4.2.4	Měření diod	48
4.2.5	Měření tranzistorů	48
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM PŘÍLOH	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK	58

ÚVOD

Cílem práce je seznámit se a popsat běžné analogové prvky a následně z jejich charakteristických znaků vysvětlit základní princip jejich měření s využitím mikrokontroleru a sestavením zařízení využitelného k diagnostice těchto analogových prvků. Toto téma je zvoleno zejména proto, aby byla usnadněna práce při opravách elektronických zařízení.

Na trhu je nespočet výrobců elektronických součástek a také jejich ekvivalentních náhrad, anebo se již původní součástky nevyrábí a je nutné tyto součástky vyměnit. Pokud se opravují stará zařízení, většinou s novou alternativní součástkou nemusí pracovat zcela správně. Proto se často využívá „starých šuplíkových“ zásob, ale z těchto součástek již zmizely popisky. Jak rychle a efektivně zjistit o jakou součástku jde? Dnešní trh přesycený všelijakou technikou však nenabízí nic, co by běžný radioamatér mohl potřebovat, či mu to jen z části mohlo pomoci. Zde se přímo nabízí možnost testování a diagnostiky součástek využitím mikrokontroleru.

Mikrokontrolery a jejich použití jsou v dnešní době velmi aktuální téma zejména proto, že se s nimi setkáváme snad ve všech zařízeních od projektů vyráběnými amatéry až po profesionální aplikace. Nalezneme je např. v hračkách, automobilech, televizích, či v inteligentních domech.

Problematiku diagnostiky součástek využitím mikrokontroleru řeší například Markus Frejek, který navrhl projekt AVR-Tranzistortester později modifikovaný Karl-Heinz Kubbelem [1]. S uvedeným mikrokontrolerem a stejným zapojením měřícího obvodu se sice prodávají i tzv. „čínské klony“, ale tyto nedosahují takové přesnosti, anebo se musí dodatečně upravovat. V této práci je použita osvědčená koncepce zařízení pro diagnostiku elektrotechnických prvků dle projektu Markuse Frejeka.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ ANALOGOVÉ ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY, JEJICH IDENTIFIKACE A MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ

1.1 Rezistor

Rezistor je pasivní součástka (většinou se dvěma vývody), jehož hlavním parametrem je elektrický odpor. Jeho schématická značka je obr. 1.2. Je charakterizován svou konduktivitou (vodivostí) $\gamma = e_0nb$ [S/m], kde e je elementární náboj o velikosti $1,602 \cdot 10^{-19}$ C, n je koncentrace volných elektronů resp. děr [m^{-3}], b pohyblivost volných elektronů resp. děr [$\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$], přičemž hustota nosičů náboje n a pohyblivost b mohou být velmi teplotně závislé.[2]

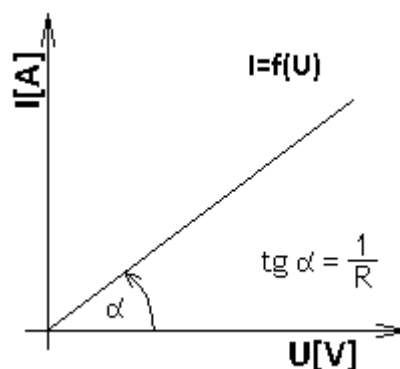
Pro odpor vodiče R platí např. vztah

$$R = \frac{l}{\gamma S} \quad (1.1)$$

kde l je délka vodiče [m], S je průřez vodiče [mm^2] a γ je konduktivita [$\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$], tj. čím větší je γ , tím menší bude odpor.

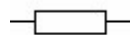
Vztah mezi elektrickým odporem a elektrickými veličinami proudem a napětím je dán **Ohmovým zákonem**. Na obr. 1.1 je tvar této funkce ve tvaru:

$$U = IR \quad (1.2)$$



Obr. 1.1 - Voltampérová charakteristika rezistoru

Jednotkou odporu je Ω (ohm) = V/A.



Obr. 1.2 - Schématická značka rezistoru

Bude-li rezistor připojen na zdroj proudu, vznikne ihned v okamžiku zapnutí úbytek napětí U na rezistoru, protože proud bude procházet v plné velikosti okamžitě. Rezistor je tedy ideální součástka k vytvoření napěťového obrazu procházejícího proudu, a tím i k dělení napětí. Reálnou součástku pak nazýváme odporníkem. Toto označení se nevžilo, v běžné praxi se používá k označení reálného prvku slovo odpor.

Teplotní závislost odporu reálného prvku lze vztáhnout na výchozí teplotu 20°C a při změně teploty až do 200°C ji můžeme udávat takto:

$$R_{\vartheta} = R_{20}[1 + \alpha_{20}(\vartheta - 20)] \quad (1.3)$$

kde α_{20} se nazývá teplotní součinitel odporu. U většiny vodičů je tento součinitel kladný, tj. odpor se s rostoucí teplotou zvětšuje. U většiny kovů leží α_{20} v okolí hodnoty $4 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. Jestliže zanedbáme malé vlastní kapacity a indukčnosti i povrchový jev u velmi vysokých frekvencí, lze odporník považovat za frekvenčně nezávislou součástku.[2]

1.1.1 Parametry rezistorů

Součástky jsou zpravidla popisovány mezními a charakteristickými parametry. Mezní jsou ty parametry, jejichž překročení vede ke zničení dané součástky. Charakteristické jsou pak ty, které vyjadřují užitečné vlastnosti součástky. Jejich neakceptování vede pak k nesprávné funkci obvodu, nemusí dojít ke zničení. Nejdůležitějšími parametry diskrétního rezistoru je jmenovitá hodnota odporu a jmenovitá zatížitelnost.[4]

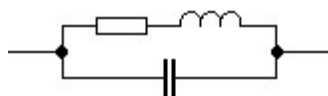
1.1.2 Měření elektrického odporu

Elektrický odpor je jedna ze základních vlastností všech pasivních, ale i aktivních prvků, elektrických spotřebičů a obvodů, izolace či jiných elektrických zařízení. Z hlediska velikosti, ale i následného měření, můžeme odpory rozdělit na:

- malé - do 1Ω
- střední - 1Ω až $1\text{M}\Omega$
- velké - nad $1\text{M}\Omega$

Pokud chceme měřením stanovit pouze elektrický odpor daného obvodu, musíme k napájení obvodu použít **stejnoseměrný** proud. U jakékoliv zátěže se připojením do obvodu střídavého proudu projeví i další její vlastnosti - indukčnost a kapacita obr. 1.3. Měřením při střídavém

napájení bychom tedy nezjistili velikost elektrického odporu, ale hodnotu impedance celého obvodu.



Obr. 1.3 – Náhradní schéma skutečné zátěže

Při měření elektrického odporu působí na měřicí obvod různé rušivé vlivy, které mohou ovlivňovat zejména měření velmi malých nebo velmi velkých odporů. Pro odpory všech velikostí je charakteristická jejich závislost na teplotě. Proto je nejvhodnější měřit odpor při té teplotě, při níž ho potřebujeme znát, či používat. Měříme-li odpor při jiné teplotě, je nutno naměřenou hodnotu na příslušnou teplotu přepočítat.

Pro měření ohmických odporů můžeme použít tři způsobů - *výchylkové metody* (metody měření pomocí klasických přístrojů), *nulové metody* (měření odporu pomocí můstků) a *ohmmetry* (přístroje přímo ukazující hodnotu odporu jak ručkové tak digitální). [5]

1.1.2.1 Ohmova metoda

Ohmova metoda měření elektrického odporu je klasický způsob měření, při němž vypočítáváme velikost odporu měřené zátěže pomocí Ohmova zákona.

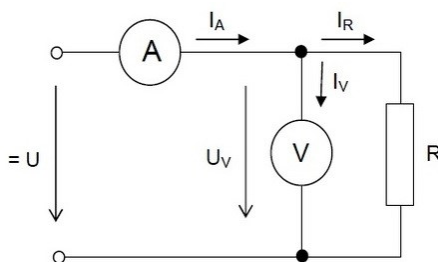
$$R_X = \frac{U_X}{I_X} [\Omega; \text{V/A}] \quad (1.4)$$

kde U_X – je úbytek napětí na měřeném odporu

I_X – proud protékající měřeným odporem

Měření je prováděno zásadně při napájení stejnosměrným proudem. S touto metodou lze měřit odpory všech velikostí.

Zapojení pro malé odpory



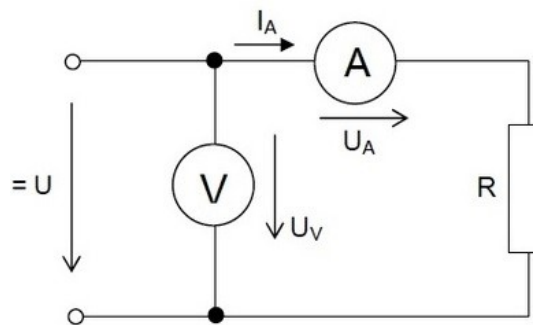
Obr. 1.4 – Schéma zapojení pro měření malých odporů

Ampérmetr neměří pouze proud tekoucí zátěží I_R , ale i proud I_A , který je součtem proudů zátěží a voltmetrem obr. 1.4.

$$R = \frac{U_V}{I_A - I_R} \quad (1.5)$$

Pro proud tekoucí voltmetrem platí $I_V = \frac{U_V}{R_V}$, kde R_V je vnitřní odpor voltmetru pro daný napěťový rozsah.

Zapojení pro velké odpory



Obr. 1.5 – Schéma zapojení pro měření velkých odporů

Ampérmetr v tomto případě měří proud tekoucí přímo zátěží I_A , voltmetr však neměří pouze úbytek napětí na měřeném rezistoru, ale i úbytek napětí na měřeném ampérmetru obr. 1.5.

$$R = \frac{U - U_A}{I_A} \quad (1.6)$$

Výslednou velikost měřeného odporu získáme z

$$R = \frac{U - R_A I_A}{I_A} = \frac{U}{I_A} - R_A \quad (1.7)$$

1.1.2.2 Srovnávací metoda

Při měření odporu srovnávací metodou porovnáváme neznámý odpor s odporem, u něhož známe jeho hodnotu, většinou s odporovým normálem.

1.1.2.3 Můstkové metody měření odporu

U měření odporu výchylkovými metodami je výsledek měření ovlivněn přesností či nepřesností použitých měřicích přístrojů. U můstkových metod se měřicí přístroj používá pouze k indikaci stavu můstku (nuly), takže jeho chyba neovlivňuje přesnost měření. Můstkové metody jsou nejpresnější metody měření s přesností až 0,01%.

Wheatstoneův můstek se skládá ze čtyř větví a nulového indikátoru. Na dvou protilehlých svorkách je stejnosměrné napájecí napětí, neznámý rezistor se zapojí do první větve. V ostatních větvích jsou umístěny proměnné odporové normály. Mezi dalšími dvěma svorkami je zapojen nulový indikátor, který ukazuje, zda je můstek vyvážen či nikoliv. Vyvažování můstku spočívá ve změně velikosti odporu tří rezistorů tak dlouho, až má nulový indikátor nulovou výchylku. Neznámý odpor se pak vypočítá podle II. Kirchhoffova zákona. [5]

1.2 Kondenzátor

Kondenzátor je elektronická pasivní součástka, jejíž základní vlastností je kapacita, respektive schopnost akumulace elektrického náboje Q . Vztah mezi napětím U a nábojem Q je

$$Q = CU \quad (1.8)$$

kde konstanta úměrnosti C je kapacita. Vztah říká, že kondenzátor s kapacitou C (farad) a napětím U (napětí) přiloženým na jeho svorkách má v sobě uložen náboj Q (coulomb). Protože mezi nábojem Q na dané kapacitě a jejím proudem platí vztah

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1.9)$$

jsou napětí U a proud I na kondenzátoru vázány vztahem

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (1.10)$$

Odtud vyplývá, že proud kondenzátorem je přímo úměrný změně napětí na jeho svorkách.

Připojíme-li v daném okamžiku na kondenzátor stejnosměrné napětí, nastane přechodový děj, při kterém kondenzátorem proteče proud potřebný k jeho nabití (popřípadě vybití) na dané napětí. Pokud nebude dále kondenzátor nějakým způsobem vybíjen, proud do něj po dobití již dále nepoteče. To znamená, že kondenzátor nepropouští stejnosměrný proud, což se v praxi hojně využívá. [6]

Naproti tomu střídavý proud kondenzátorem prochází v souladu s vzorcem uvedeným níže. Kondenzátor přitom klade střídavému proudu střídavý odpor, říkáme, že má impedanci Z .

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1.11)$$

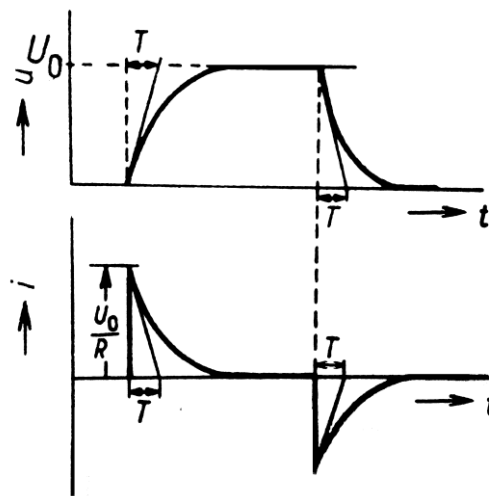
U a I jsou amplitudy sinusového napětí a proudu. Uvedený vzorec je formální obdobou Ohmova zákona a je z něj patrné, že s rostoucí frekvencí f (Hz) impedance Z (Ω) kondenzátoru C (F) klesá podle hyperboly. Na kondenzátory lze tedy zjednodušeně pohlížet jako na frekvenčně závislé rezistory.

U ideálního kondenzátoru předbíhá maximum proudu maximum napětí o 90° . Je-li totiž

$$U = U_0 \cdot \sin \omega t, \quad (1.12)$$

pak musí být

$$I = C \frac{dU}{dt} = C \cdot \omega \cdot U_0 \cdot \cos \omega t \quad (1.13)$$



Obr. 1.6 – Nabíjení a vybíjení kondenzátoru [2]

K fyzikálním dějům lze poznamenat:

Připojíme-li na člen RC napětí U_0 , začne se kondenzátor nabíjet obr. 1.6. Protože na začátku nabíjení je napětí na kondenzátoru nulové, musí nejprve celé napětí U_0 připadat na rezistor R , tj. prochází proud U_0/R . Jak se kondenzátor nabíjí, roste u_c , tj. napětí u_R a proud i klesají. Je-li kondenzátor nabit; je nabíjecí proud nulový. Vybíjení probíhá opačně, tj. kondenzátor se vybíjí, dokud se jeho náboj může zmenšovat. Vzniká záporný vybíjecí proud, který bude nulový, až se kondenzátor vybije.

1.2.1 Parametry kondenzátorů

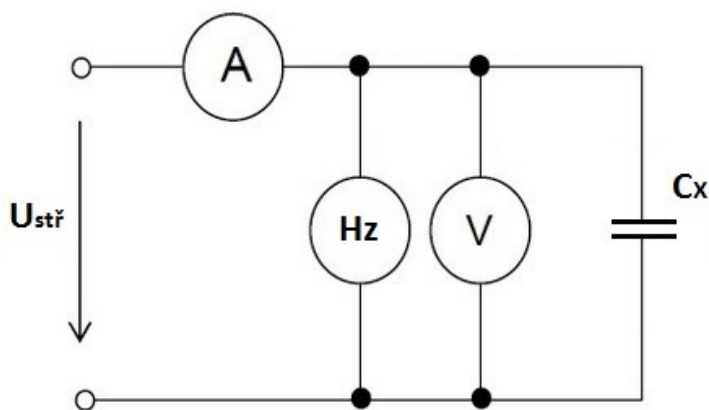
Nejdůležitějšími parametry jsou jmenovitá hodnota kapacity (charakteristický parametr) a jmenovité napětí (mezní parametr). Jmenovité hodnoty kapacity jsou převážně dostupné jen v řadách jmenovitých hodnot, které až na výjimky, nebývají tak rozsáhlé jako u rezistorů.

1.2.2 Měření kapacity

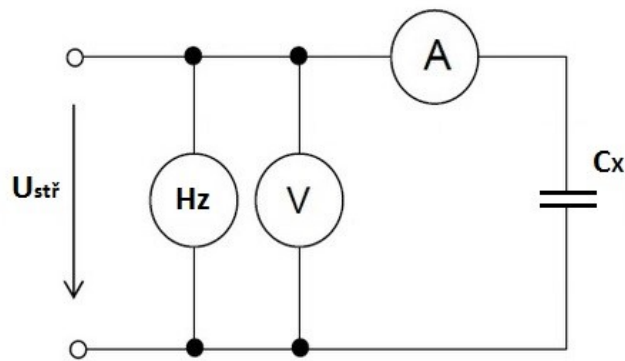
Žádný kondenzátor nevykazuje pouze kapacitu, avšak má i určité ztráty způsobené nedokonalostí izolace dielektrika, ztrátami v dielektriku při střídavé polarizaci a odporem elektrod. Zapojíme-li kondenzátor na střídavé napětí, nebude mít proud oproti tomuto napětí fázový posuv 90° (jak je tomu u ideálního kondenzátoru), ale vždy bude menší o určitý ztrátový úhel δ . [4]

1.2.2.1 Měření kapacity voltmetrem a ampérmetrem

Měření kapacity pomocí voltmetru a ampérmetru připomíná Ohmovu metodu měření odporu. Podobně jako u odporu použijeme měření pro malé i velké kapacity obr. 1.7 a 1.8. Voltmetr a ampérmetr měří napětí a proud v efektivních hodnotách.



Obr. 1.7 – Zapojení pro měření malých kapacit



Obr. 1.8 – Zapojení pro měření velkých kapacit

Má-li kondenzátor malý ztrátový činitel ($\delta < 0,01$), potom přibližně platí, že impedance kondenzátoru je rovna jeho kapacitní reaktanci X_C a pro výpočet použijeme

$$X_C = \frac{U}{I}; X_C = \frac{1}{2\pi f C} \Rightarrow C_X = \frac{I}{2\pi f U} \quad (1.14)$$

Je-li $\text{tg}\delta > 0,01$, je třeba korigovat údaj ampérmetru $C_X = \frac{I}{2\pi f U} \sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta}$.

1.3 Cívka

Cívka je elektronická pasivní součástka, jejímž základním parametrem je indukčnost. Jde v podstatě o magnetický zásobník energie.

Prochází-li elektrický proud I uzavřeným obvodem, vzniká zde magnetický tok Φ , pro který platí:

$$\Phi = L \cdot I \text{ [Wb]} \quad (1.15)$$

kde L je vlastní indukčnost daného obvodu. Základní jednotkou magnetického toku je 1 weber. Vytvoříme-li cívku z N závitů, bude při stejném proudu výsledný indukční tok N -krát větší:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad (1.16)$$

kde L je indukčnost cívky. Cívka je tedy součástka, která prakticky realizuje vlastní indukčnost L , popřípadě je praktickým prostředkem k vytváření magnetického pole.

Faradayův zákon elektromagnetické indukce říká, že změni-li se magnetický indukční tok uzavřeným vodičem za dobu Δt o $\Delta \Phi$, indukuje se ve vodiči elektromotorické napětí, jehož střední hodnota je:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1.17)$$

Záporné znaménko ve zmíněném zákonu respektuje Lencovo pravidlo, která říká, že indukovaný proud i napětí působí proti změně, která jej vyvolala.

$$U = -L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (1.18)$$

Cívka má indukčnost jeden henry, indukuje-li se v ní napětí jeden volt rovnoměrnou změnou proudu o jeden ampér za jednu sekundu.

1.3.1 Parametry cívek

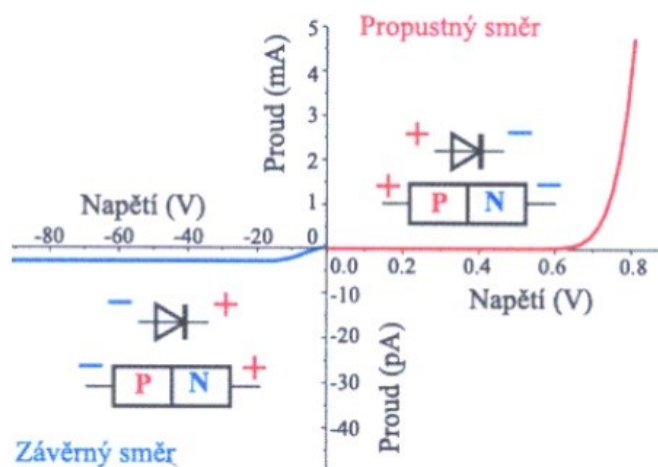
Mezi nejdůležitější parametry cívek patří jmenovitá hodnota indukčnosti a jmenovitá zatížitelnost. Cívky se vyskytují v nejrůznějších variantách co do použitého materiálu a tvaru. Mohou být bez jádra, tzv. vzduchové cívky, anebo s feritovým jádrem.

1.4 Dioda

Polovodičová dioda je nelineární elektronická součástka s dvěma elektrodami s usměrňovacím účinkem, kde jednotlivé vývody označujeme anoda a katoda, jejíž teoretickou charakteristiku obr. 1.9 lze odvodit z rovnice pro přechod PN, tzv. Shockleyho rovnice:

$$I = i_{sat}(e^{U/U_T} - 1) \quad (1.19)$$

kde I je proud na diodě, i_{sat} je saturační proud, U anodové napětí a U_T teplotní napětí $U_T = \frac{k \cdot T}{q}$ (k - Boltzmanova konstanta, T - teplota, q - náboj e).



Obr. 1.9 – V-A charakteristika ideálního přechodu diody a schematická značka [6]

Při závěrném napětí větším než cca 0,5 V (dle druhu diody) roste závěrný proud jen nepatrně. Jde o ztrátový proud způsobený nerovnoměrnostmi na hraničních plochách přechodu P-N. Při propustném napětí vyšším než 0,5 V se odchyluje skutečný průběh charakteristiky od ideálního exponenciálního průběhu, protože se proud v důsledku dosud zanedbaného vlastního odporu krystalu - tzv. odporu dráhy - zmenší proti teoreticky odvozené hodnotě. Přiložené napětí se tedy rozdělí na napětí na závěrné vrstvě a na úbytek napětí na odporu krystalu. Protože odpor dráhy lze předpokládat v hodnotách (1 až 300) ohmů, nehraje v závěrném stavu, kdy může proud nabývat hodnot řádu (nA) až (μ A), žádnou roli. Podobně nemá vliv závěrný (ztrátový) proud v propustném stavu, protože tam proud dosahuje hodnot řádově (mA) až (A).[2]

1.4.1 Propustný směr

Pro přibližné výpočty a jednoduché úvahy lze zakřivený průběh propustné větve V-A charakteristiky nahradit dvěma přímkami. Charakteristika je znázorněna v I. kvadrantu V-A charakteristiky diody. Při této úvaze předpokládáme, že do jistého, tzv. prahového napětí U_{TO} , je dioda zcela nevodivá. Po překročení tohoto prahového napětí proud a napětí na diodě stoupají lineárně.

1.4.2 Závěrný směr

Diodou, polarizovanou závěrně vnějším zdrojem, prochází závěrný proud I_R , úbytek v závěrném směru (závěrné napětí diody) má hodnotu U_R . Závěrný proud přechodu PN je až do značných hodnot závěrného napětí nepatrný a zvětšuje se značně teprve tehdy, jestliže bylo dosaženo kritické hodnoty intenzity elektrického pole v oblasti přechodu. Napětí, při němž dochází k tomuto stavu, nazýváme jako průrazné napětí U_{BR} . Charakteristika je znázorněna v III. kvadrantu V-A charakteristiky diody.

1.4.3 Parametry diod

Obecně lze shrnout, že na V-A charakteristikách diod dochází v propustném i závěrném směru při určité hodnotě napětí k strmému nárůstu proudu. Napětí, při kterém dochází v propustném směru k průtoku významné hodnoty proudu, se označuje jako **prahové** napětí U_T . Pro křemík je jeho typická hodnota (0,65 až 0,7) V. Hodnota prahového napětí vyplývá z šířky zakázaného pásu, a proto se u diod z různých materiálů liší.[3]

Tab. 1.1 - Práhové napětí U_T diod různých materiálů

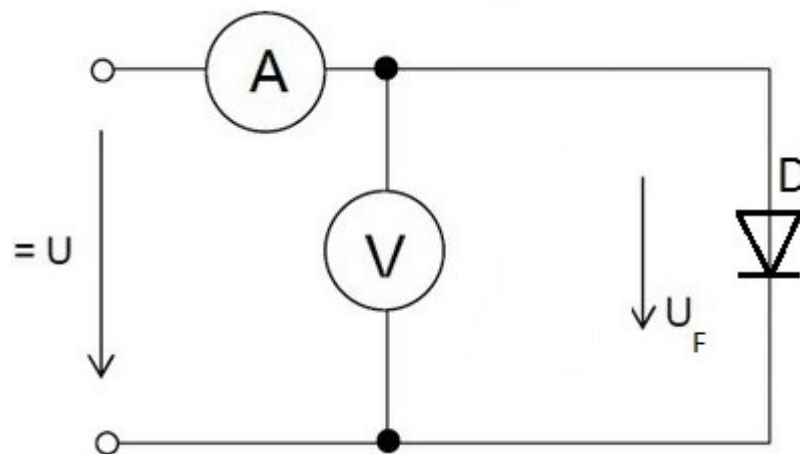
Druh diody	U_T [V]
Si	0,7
Ge	0,3
GaAs	1,2
GaP	2,2

Aby nedošlo k tepelnému přetížení, je pro každou diodu výrobcem stanovena maximální povolená střední hodnota proudu I_{FAV} .

Vedle mezních parametrů zaručujících „přežití“ součástky (U_{RRM} , U_{RSM} , I_{FSM} , I_{FAV}) při jejich použití, udávají výrobci ještě charakteristické parametry. Ty udávají, do jaké míry jsou zaručeny určité vlastnosti. U diod je to doba zotavení t_{rr} , který udává, jak rychle dokáže dioda přepnout z propustného do závěrného směru a blokovat průchod proudu.

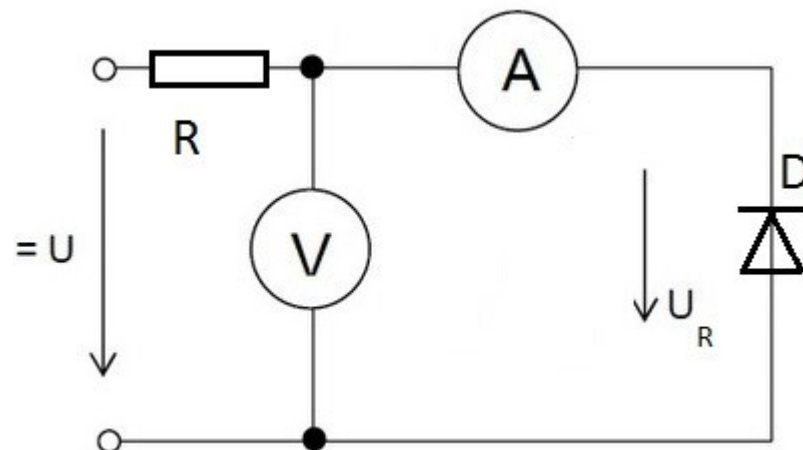
1.4.4 Měření diod

Při přiložení napětí a jeho pomalém zvyšování se dioda otvírá a začíná vést proud. Tuto velikost napětí nazýváme práhové napětí U_T .



Obr. 1.10 - Měření diod v propustném směru

Při zapojení diody v závěrném směru obr. 1.11 neteče diodou téměř žádný proud (jen velmi malý μA). Při vložení velkého odporu do obvodu omezíme proud protékající diodou na velmi malé hodnoty. Při zvyšování napětí dojde ke skokové změně, kdy proud začne růst (ale kvůli vysoké hodnotě odporu nedojde ke zničení diody – nedestruktivní průraz) v tu chvíli dostáváme průrazné napětí U_R .



Obr. 1.11 - Měření diod v závěrném směru

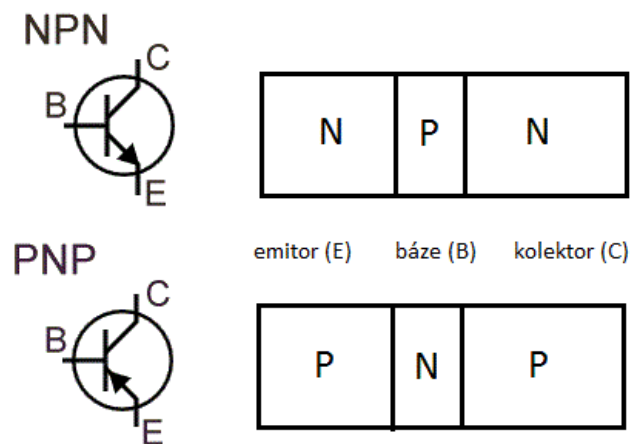
1.5 Tranzistor

Tranzistory jsou elektronické součástky nejčastěji se třemi elektrodami, které jsou v závislosti na jejich konkrétním zapojení schopny zesilovat napětí nebo proud, anebo obojí současně. Proto je tranzistor považován za aktivní součástku na rozdíl od diody, která nemá zesilovací schopnost, a proto je pasivní součástkou.

Název vyplývá ze spojení **TRAN**sfer **reSISTOR**. Důvodem byla změna jeho odporu mezi dvěma svorkami řízená velikostí proudu v řídicím obvodu třetí svorky.

Tranzistor je tedy polovodičová zesilovací součástka, která je nejčastěji vyrobena z germania nebo křemíku. Můžeme jej řídit nízkým signálovým výkonem a na výstupu dostaneme mnohem větší signálový výkon, řízený tedy vstupním signálem. K tomuto zesílení musí být k dispozici zdroj stejnosměrného napětí. V zásadě lze tranzistory dělit na unipolární a bipolární. U unipolárních tranzistorů existuje pouze jeden druh proudu - buď elektronový, nebo děrový, zatímco u bipolárních tranzistorů existují současně oba druhy proudu. [6]

Struktura tranzistoru se skládá ze tří oblastí typu P a N obr. 1.12, jež jsou za sebou řazeny buď ve sledu P-N-P, tj. tranzistor PNP, nebo N-P-N, tj. tranzistor type NPN. Vývody z jednotlivých oblastí označujeme jako emitor E, báze B, kolektor C. Emitor vysílá (emituje, vystřeluje) pohyblivé nosiče nábojů do prostoru báze, odkud je přejímá (sbírá) kolektor.

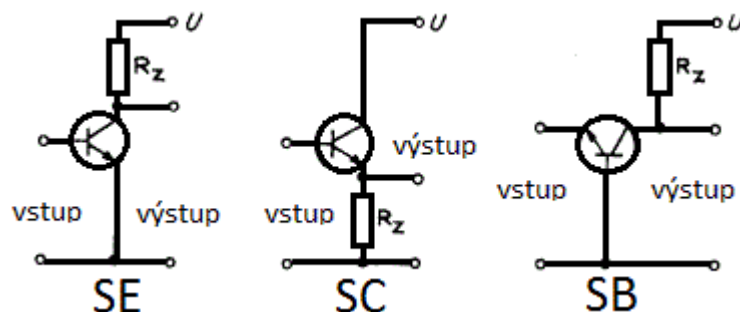


Obr. 1.12 – Tranzistor NPN a PNP

Tranzistor využívá dvou přechodů PN; jeden je mezi emitorem a bází, druhý mezi kolektorem a bází. Tranzistor si tedy můžeme představit, jako spojení dvou diod, emitorové a kolektorové, jež jsou zapojeny proti sobě. Přiložíme-li mezi kolektor a emitor napětí, neprochází proud, protože při obou možných polaritách vnějšího napětí je vždy jedna z diod polarizována závěrně. Zdůrazněme však, že funkci tranzistoru nemůžeme vysvětlit pomocí uvedeného zapojení dvou diod vzhledem k tomu, že všechny tři oblasti tranzistorové struktury vzájemně spolupracují vlivem malé šířky střední oblasti, báze. K dosažení malé šířky báze je nutné používat při výrobě tranzistoru jediného krystalu polovodiče.

1.5.1 Zapojení tranzistoru

Tranzistor má tři vývody: emitor, báze, kolektor. Je-li zapojen jako zesilovač, musí mít na vstupu dvě svorky, na výstupu rovněž. Jeden vývod v tranzistoru musí být proto společný vstupní i výstupní straně.



Obr. 1.13 - Tři základní zapojení tranzistoru [2]

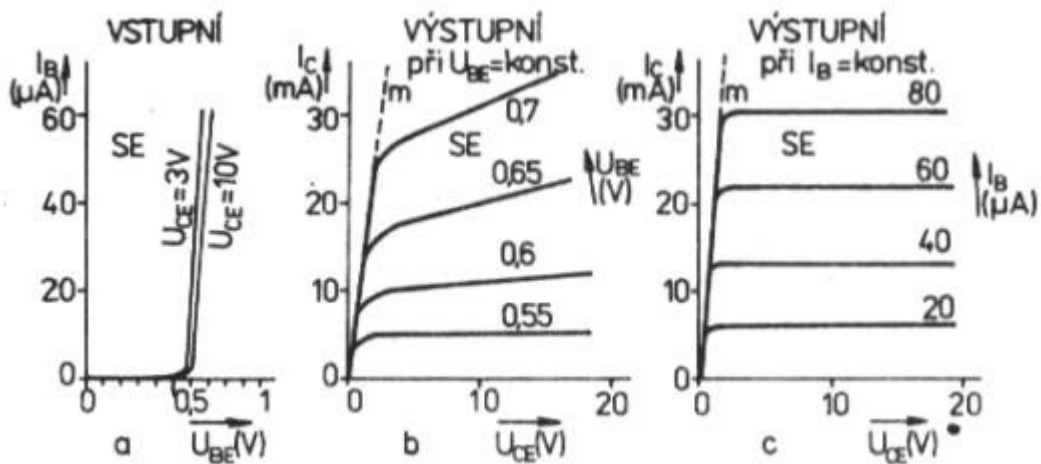
Každý ze tří vývodů tranzistoru může patřit vstupu i výstupu zesilovače, proto existují tři základní zapojení tranzistoru, nazývaná zapojení se společným emitorem, se společnouází, se společným kolektorem, jak je vidět na obr. 1.13.

Chování tranzistoru značně závisí na tom, které z uvedených zapojení použijeme.

1.5.2 Charakteristiky tranzistoru

Jsou to vynesené závislosti mezi kolektorovým proudem a napětím kolektor-emitor, tedy funkcí $I_C = f(U_{CE})$, nebo vztah mezi kolektorovým proudem a napětím báze-emitor $I_C = f(U_{BE})$ apod. Vzhledem k tomu, že máme šest proměnných veličin (tři proudy a tři napětí) můžeme vyznačit 15 různých závislostí dvou proměnných. Hlavními jsou tyto a jsou znázorněny na obr. 1.14:

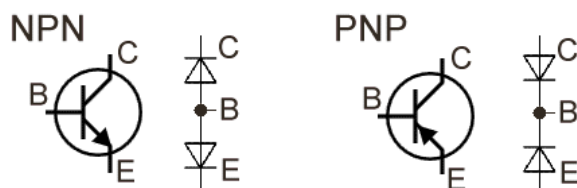
$$I_B = f(U_{BE}); I_C = f(U_{BE}); I_C = f(U_{CE}); I_C = f(I_B)$$



Obr. 1.14 – Charakteristika tranzistoru NPN zapojeného se spol. emitorem [2]

1.5.3 Měření

Nejjednodušší kontrolu funkčnosti tranzistoru lze provést měřicím přístrojem pro měření diod, otestováním obou přechodů - tranzistor tvoří dvě sériově zapojené diody obr. 1.15.



Obr. 1.15 – Zapojení diod v tranzistoru NPN a PNP

K přeměření přechodů PN mezi jednotlivými elektrodami je ideální digitální multimetr s diodovým testem. Touto měřicí funkcí jsou v současné době vybaveny v podstatě všechny digitální multimetry. Diagnostika pak probíhá postupným měřením mezi všemi elektrodami proti sobě.

Vyhodnocení stavu:

- PN přechod je v pořádku - na displeji se zobrazí číslo (560 - v řádu setin) - úbytek napětí na přechodu (mV).
- PN přechod je přerušovaný nebo v závěrném stavu - na displeji se zobrazí OL nebo 1 – nekonečno.
- PN přechod je zkratovaný – na displeji se zobrazí 0, multimetr může pískat - velmi malý odpor přechodu – což znamená zkrat.

Identifikace vývodů:

Tab. 1.2 - Měření přechodů P-N, možné stavy

NPN				PNP			
E	B	C	STAV	E	B	C	STAV
COM	+		Otevřený	COM	+		Zavřený
+	COM		Zavřený	+	COM		Otevřený
	COM	+	Zavřený		COM	+	Otevřený
	+	COM	Otevřený		+	COM	Zavřený
COM		+	Zavřený	COM		+	Zavřený
+		COM	Zavřený	+		COM	Zavřený

Identifikace elektrod pak probíhá běžným měřicím přístrojem s dvěma měřicími hroty, který je zapojen do svorky COM a do svorky pro měření PN přechodů +. S třemi vývody součástky pak vychází počet měření na šest. Dle tabulky lze zjistit, kde jsou jednotlivé elektrody. Přechod B-E má vždy vyšší hodnotu (vyšší úbytek napětí) než přechod B-C.

Tímto způsobem lze snadno rozlišit elektrody u neznámého pouzdra tranzistoru a zároveň je zjištěno, že se jedná o bipolární tranzistor příslušné vodivosti. Avšak ostatní parametry napěťové, proudové už takto jednoduše zjistit nejde.

2 ZAŘÍZENÍ UMOŽŇUJÍCÍ IDENTIFIKACI SOUČÁSTEK NA NAŠEM TRHU

Ke stavbě zařízení bylo přistoupeno z důvodu, že v dané době nebylo na našem trhu žádné takovéto kompaktní zařízení dostupné. Podobná testovací zařízení nabízely čínské weby, ale po přečtení komentářů, bylo dospěno k závěru, že než tato zařízení předělávat, je jednodušší postavit je celé nové. Čínské tzv. „klony“ používaly součástky různé kvality a zařízení byla nespolehlivá a měřila s vysokou nepřesností.

Na našem trhu sice byla a jsou zařízení, která umí měřit součástky, ale vždy, aby měření bylo úspěšné, se musí nastavit na přístroji, o kterou součástku jde.

V současné době, kdy je tato práce psána, není na našem trhu žádné takto kompaktní zařízení. Podobná zařízení nabízí firma gme.cz pod označením Univerzální tester polovodičových součástek DT-155, za cenu 1080,- Kč, Analyzátor polovodičových součástek DCA55, za cenu 2849,- Kč, anebo Analyzátor polovodičových součástek DCA75, za cenu 5559,- Kč. Poslední dva produkty však nejsou dostupné. Ale tato zařízení umí diagnostikovat pouze, jak plyne z názvu, polovodičové součástky. GME také nabízela přístroj Atlas ESR70 za cenu 4390,- Kč, ale tento produkt není v současné době dostupný, sloužil pouze k měření kondenzátorů.

2.1 Jednoduchý univerzální tester polovodičových součástek DT-155



Obr. 2.1 - Univerzální tester polovodičových součástek DT-155 [7]

Vlastnosti:

Tester polovodičových součástek je inteligentní tester analyzátor, který nabízí v jednom přístroji možnosti testování a identifikace, viz níže:

1. Automatická identifikace typu součástky

- Bipolární transistory
- Darlingtonovy transistory
- Rozšíření na modely MOSFET
- Spotřeba modelů MOSFET
- Přechody FET
- Nízkovýkonové citlivé triaky
- Nízkovýkonové citlivé tyristory
- Světlo Emitující Diody
- Dvoubarevné Diody
- Diody
- Diodové sítě

2. Automatická identifikace pinů.

3. Speciální identifikace, jako například ochrana diodou a odporem.

4. Měření zesílení pro bipolární tranzistory.

5. Měření zbytkového proudu pro bipolární transistory.

6. Detekce křemíkového nebo germaniového transistoru.

7. Měření pole pro tranzistory MOSFET.

8. Pokles napětí v propustném směru pro Diody, LED a transistory báze-emitor přechod.

9. Automatické a manuální vypnutí napájení "power-off". [6]

2.2 Analyzátor polovodičových součástek DCA55



Obr. 2.2 - Analyzátor polovodičových součástek DCA55 [8]

1. Automatická identifikace součástky.

2. Automatická identifikace pinů.
3. Identifikace speciálních zapojení (např. ochranné diody, rezistory atd.)
4. Měření bipolárních tranzistorů: proudový zisk, svodový proud, identifikace materiálu přechodu (křemík, germanium)
5. Unipolární tranzistory: gate treshold
6. Měření napětí v propustném směru pro diody, LED a přechody v tranzistorech
7. Automatické nebo ruční vypínání [7]

Parametry:

Tranzistory:

- Zesílení: 4..650000 \pm 3% (+-5Hfe)
- Měřicí napětí U_{ce} : 2,0..3,0V
- Přesnost U_{be} : \pm 2% (+-20mV)
- U_{be} pro darlingtony (s rezistorem): 0,95..1,8V
- BJT I_c : 2,45..2,55mA
- BJT svodový proud: 0,7mA

MOSFETy:

- Gate threshold: 0,1..5,0V \pm 2% (+-20mV)
- Měřicí proud I_{ds} : 2,45..255mA
- Odpor gatu: 8kOhm
- JFET I_{ds} : 0,5..5,5mA

SCR/Triak:

- Měřicí proud gatu: 4,5mA
- Měřicí proud zátěže: 5,0mA

Diody:

- Měřicí proud: 5mA
- Přesnost měření U_f : \pm 2% (20mV)
- UF LED: 1,5..4,00V
- Zkratový odpor: 10Ohm

2.3 Analyzátor polovodičových součástek DCA75



Obr. 2.3 - Analyzátor polovodičových součástek DCA75 [9]

Vlastnosti totožné s DCA55 a navíc lze připojit k PC.

2.4 Měřič kapacit a ESR - Atlas ESR70

Atlas ESR je pokročilý nástroj zvláště určený k analýze kapacitorů o stejném odporu (v nebo mimo obvod). Navíc, pokud je to možné, zobrazí kapacitu testovaného zařízení.

Vlastnosti:

- Rozsah měření ESR od 0 do 20Ω (u ESR70 je to 40Ω).
- Rozlišení ESR 0.01Ω .
- Rozsah kapacity $1\mu\text{F}$ až $22\,000\mu\text{F}$.
- Lze použít i pro kontrolu slabých odporů.
- Integrovaný obvod pro vybíjení odstraňuje nutnost, aby uživatel vybil před testem ručně kapacitory.
- Použití pro měření v obvodech i mimo obvody pro ESR a slabých odporů.
- ESR70 v sobě má zvukový alarm pro rychlé informování uživatele a sdělení stavu ESR testu.
- Automatická analýza začne v okamžiku, kdy je detekována součástka.
- Automatické a ruční vypnutí. [10]

2.5 Mastech MY-68

Další možností, jak změřit parametry součástky, je použití nějakého univerzálního digitálního přístroje, jako je třeba digitální multimetr MY-68 na obr 2.4 při měření tranzistoru KC508. Tento umí kromě běžných veličin, jako napětí, proud, odpor, měřit navíc kapacitu, frekvenci a zesilovací činitel h_{FE} . Avšak na rozdíl od zařízení konstruovaného autorem této práce neumí toto změřit automaticky. Jako všechny podobné přístroje se musí na multimetru nastavit parametr, který se chce měřit. Navíc pokud se měří zesilovací činitel, již předem musí být známo, o jaký tranzistor jde, zdali NPN či PNP a znát rozvržení vývodů, aby se mohly tyto vývody zasunout do příslušné zdířky. Lze sice zkusit metodu pokus omyl a tranzistor různě vsunovat do patice měřicího přístroje, až přístroj ukáže nějakou hodnotu, ale stále nebudeme s jistotou vědět, o jaký tranzistor jde a jaké jsou jeho parametry. Též po přepnutí rozsahu na měření diod, se dá provést kontrola, zdali není tranzistor poškozen, jelikož je známo, že je složen ze dvou diod zapojených proti sobě. Dají se tak změřit jednotlivé přechody (diody), zdali jsou v jednom směru vodivé a v druhém ne.

Ale vše se musí dělat manuálně a při měření více součástek to může být zdlouhavé.



Obr. 2.4 – MY-68 při měření h_{FE} tranzistoru KC508

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 KONSTRUKCE A SESTAVENÍ ZAŘÍZENÍ

V praktické části je popisována stavba zařízení pro diagnostiku elektrotechnických prvků a princip funkce tohoto zařízení při měření, který vychází ze základních charakteristik analogových součástek. Stavba takového zařízení byla zvolena proto, jelikož se nepodařilo na našem trhu odpovídající zařízení nalézt. Požadavkem kladeným na zařízení je mít v jednom zařízení nejen jednoúčelový měřicí přístroj, ale „inteligentní“ prostředek umožňující po připojení neznámé součástky její identifikaci (tj. zobrazení o jakou součástku jde) včetně identifikace rozložení jednotlivých vývodů. Na základě charakteristických znaků analogových elektronických součástek je naprogramován mikrokontroler, který danou metodou určí, o kterou součástku jde a jaké má základní parametry. Navíc je toto zařízení natolik univerzální, že lze vývody neznámé součástky připojit nelibovolným způsobem na třívstupý testovací panel, či kabel. Nemůže tedy dojít k omylu nechtěným prohozením vývodů při připojení součástky k testovacímu zařízení.

Je zde podrobně popisováno sestavení vlastního zařízení pro diagnostiku elektronických prvků od vlastní konstrukce, včetně podpůrného vybavení potřebného k oživení, až po způsob nahrání programu do mikrokontroleru ATmega328/P.

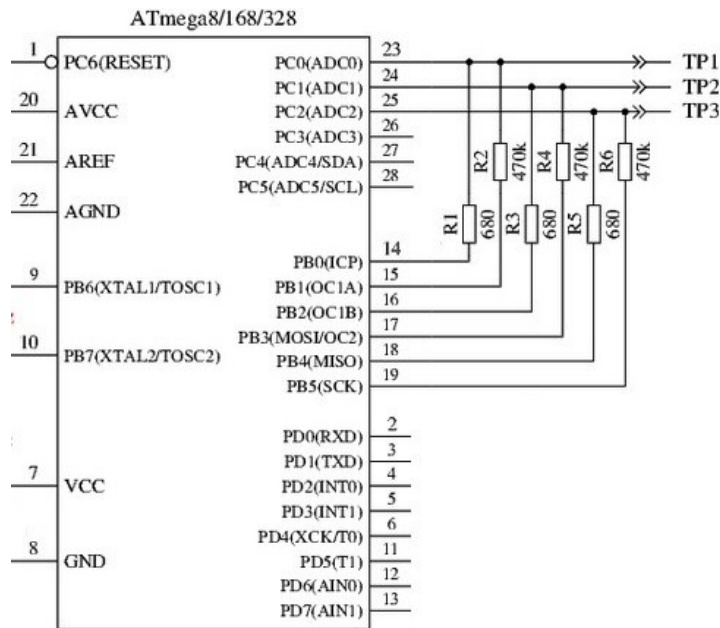
Zařízení na obr. 3.1 je postaveno dle schématu uvedeného v příloze. Jedná se o modifikovanou verzi vybavenou zdrojovou částí s funkcí automatického vypnutí při nečinnosti a s konektorem ISP pro programování mikrokontroleru.



Obr. 3.1 – Ukázka sestaveného zařízení při testu tranzistoru PNP

3.1 Schéma

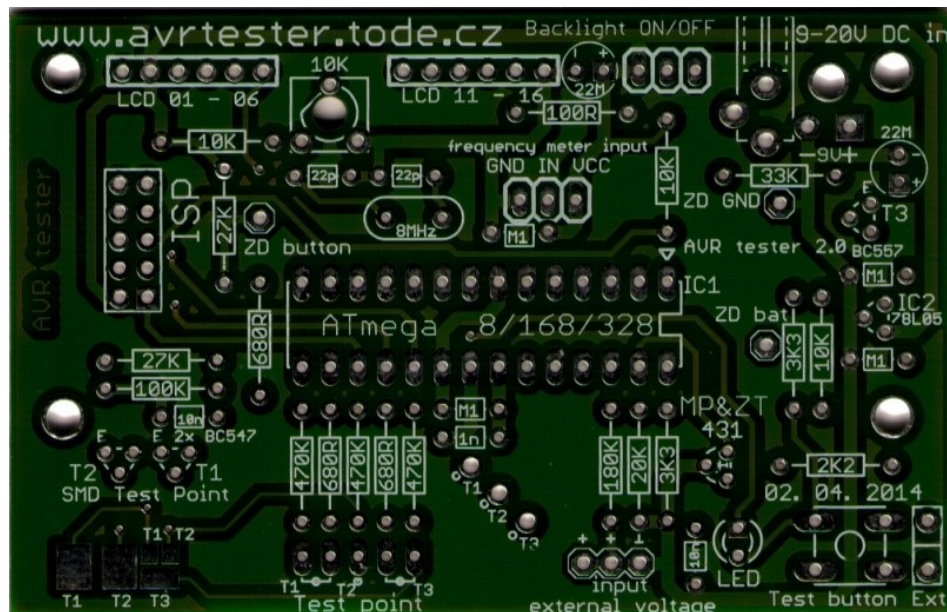
Kompletní schéma je uvedeno v příloze této práce. Na obr. 3.2 je jen nejzákladnější a nejpodstatnější část zapojení zařízení pro diagnostiku analogových prvků, jsou to A/D vstupy a výstupy. Zejména je nutné dodržet hodnoty odporů v měřící části obvodu 680Ω a $470k\Omega$, které je potřeba vybrat v toleranci 0,1%.



Obr. 3.2 – Základní schéma zapojení měřících pinů

3.2 Sestavení zařízení k identifikaci součástek

Přestože schéma testeru není nikterak složité (v programu Eagle od firmy Cadsoft vyšla DPS jako jednovrstvá) bylo přistoupeno k objednání již hotové DPS. Problematikou obdobného zařízení se totiž na internetu zabývá nespočet nadšenců. Na stránkách www.avrtester.tode.cz je nabízena již hotová DPS za cenu 95,- Kč obr. 3.3. Ke stavbě zařízení lze též použít základní kit Arduino, do kterého zapojíme na vstupy a výstupy A/D převodníku přesné odpory, připojíme LCD displej, naprogramujeme příslušný software a můžeme měřit. V této práci je však sestaveno celé kompaktní měřící zařízení.



Obr. 3.3 – DPS ze stránek www.avrtester.tode.cz [11]

Ke stavbě jsou použity běžně dostupné součástky, které lze bez problémů zakoupit. Jak již ale bylo zmiňováno, odpory 680Ω a $470k\Omega$ musí být použity v toleranci 0,1%. Přestože prodejci součástek je na trhu mnoho, tyto velmi přesné odpory byly zakoupeny až v Pardubicích v prodejně Eltip za cenu 70,- Kč. (Původně byly tyto odpory zakoupeny za „pár halířů“ 680Ω a $470k\Omega$ po 100 ks a byly proměřovány za účelem nalezení přesně uvedené hodnoty, ale v daném množství, nebyla nalezena žádná hodnota blízká se potřebné.) Ostatní součástky jsou běžně k sehnání v korunových hodnotách. Protože podsvícený LCD displej 2x16 s HD44780 a procesor ATMEGA328 byl v ČR příliš drahý, bylo přistoupeno k jejich objednání přes ebay.com, kde vyšel displej na 45,- Kč a procesor na 25,- Kč obr. 3.4. V tomto případě bylo pro jistotu zakoupeno procesorů Atmega328 více, jelikož zařízení nemá řádné ochranné obvody a již při prvním testování se ukázala tato strategie správnou. Jelikož měření probíhá přímo na pinech procesoru, je nutné vybit měřené kondenzátory. Jejich napětí totiž může zničit procesor. I přes tuto vědomost se statická elektřina vymkla kontrole a programování nového rezervního procesor Atmega328 díky tomu proběhlo bez zbytečných prostojů. Zařízení se používá bez ochranných obvodů proto, jelikož je měření přesnější z důvodu absence parazitních kapacit a odporů samotného ochranného zapojení. Celkem tedy funkční zařízení přišlo cca na 250,- Kč bez krabičky. Krabička lze použít jakákoliv, v tomto případě byla použita obyčejná za 40,- Kč a výsledek je vidět na obr. 3.5 za cenu nepřevyšující 300,- Kč. Zařízení je také možno zabudovat do nějakého dalšího stolního přístroje, jako může být třeba zdroj, či generátor.

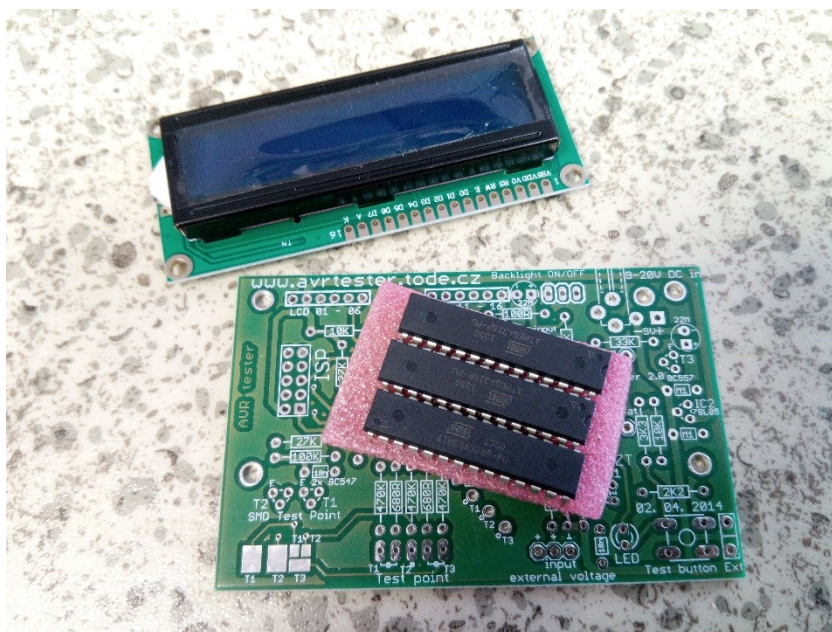
3.3 Oživení

Oživení zařízení se provede připojením sestavené DPS bez IO Atmega328 a LCD ke zdroji napětí s omezením proudu nebo měkkému zdroji přes rezistor 100R, aby nedošlo k případnému zničení již osazených součástek, pokud došlo k přehlédnutí vadné součástky. Odběr proudu by měl být v řádech několika mA. Pokud je vše v pořádku. Lze desku osadit procesorem a provést naprogramování viz kapitola 3.7.

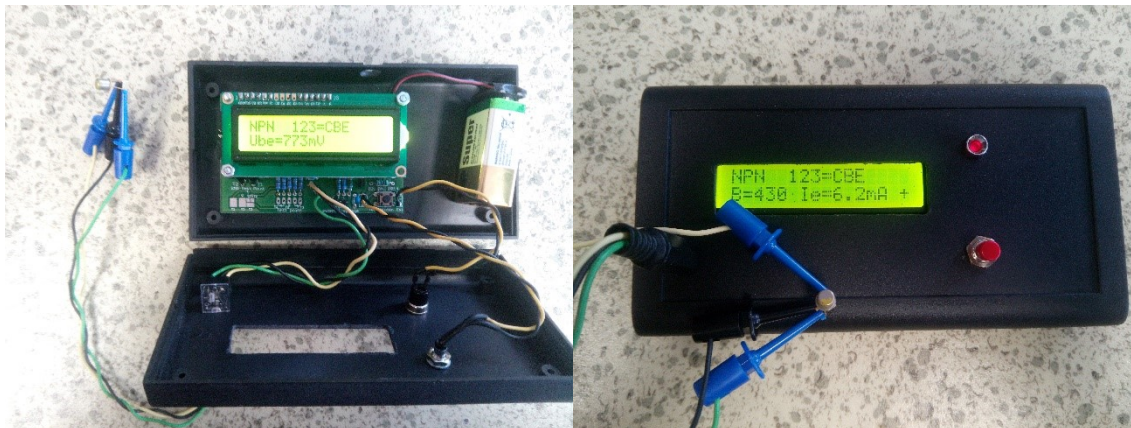
Sestavení celého zařízení je zcela jednoduché a funguje na první zapojení. Pokud se tester v pořádku spustí, je nutné provést kalibraci (tuto kalibraci je též vhodné provést, pokud k měření použijeme místo patice měřící hroty a naopak).

3.3.1 Kalibrace sestaveného zařízení

Kalibraci vyvoláme stiskem tlačítka v menu. Zkratujeme všechny piny co nejkratším drátem. Po celou dobu procesu kalibrace je potřebné zabezpečit, aby nedošlo k nežádoucímu doteku kteréhokoliv testovacího pinu, anebo měřícího kabelu. Ve 4. kroku je potřeba odpojit všechny měřící sondy. V poslední fázi je třeba na vyzvání textem ">100nF" vložit mezi piny 1 a 3 kondenzátor s hodnotou mezi 100nF až 20 μ F. S tímto kondenzátorem bude napěťový offset analogového komparátor kompenzovaný pro přesnější měření kondenzátorů.



Obr. 3.4 – LCD, DPS a Atmega328 před osazením



Obr. 3.5 – Sestavené zařízení v krabičce při měření tranzistoru KC508

Kalibraci je též nutno provést pokaždé, když se změní měřicí hroty za jiné. V sestrojeném zařízení jsou použity zkušební hroty. Navíc je upravena patice DIL, do které lze součástky pouze vsunout a provést měření.

3.4 Technické parametry

Napájení 9 – 12 V

Klidový odběr < 20nA

Doba měření cca 2s (u větších kapacit se prodlužuje)

Zobrazení na podsvíceném displeji 2 x 16 znaků

Automatická detekce a zobrazení pinů měřené součástky

Ovládání jedním tlačítkem

Konektor JACK pro změnu měřících hrotů

3.5 Funkce sestaveného zařízení

- pracuje s procesory ATmega8, ATmega168 a ATMEGA328 (čím vyšší procesor, tím více měření a funkcí).
- naměřené hodnoty jsou zobrazovány na LCD displeji (2x16 znaků).
- automatické vypnutí (zapnutí jedním tlačítkem, ihned začne měřit).
- univerzální tři zkušební piny

- automatická detekce NPN, PNP, N- a P-kanálový MOSFET, JFET, diody, malé tyristory, triaky
- automatická detekce obsazení pinů (testovaná součástka může být připojena na zkušební piny v libovolném pořadí)
- měření h_{21} a U_{BE} pro bipolární tranzistory (i tranzistory typu darlington).
- automatická detekce ochranných diod u bipolárních tranzistorů a MOSFETů.
- mohou být měřeny až dva odpory s rozlišením od 0,1 ohm do 50 Mohm (Rezistory pod 10 ohmů jsou měřeny metodou pomocí ESR a rozlišením 0,01 ohm)
- měření kondenzátorů v rozmezí od 35pF do 100mF (měřeny s rozlišením až do 1 pF), měření ESR (kondenzátor musí být předem **VYBIT !!!**)
- odpory a kondenzátory jsou zobrazeny zároveň příslušným symbolem, číslem PINu a hodnotou
- mohou být zobrazeny i dvě měřené diody příslušným symbolem, číslem PINu a úbytkem napětí
- pokud se měří jediná dioda, zobrazí se parazitní kapacita a zpětný proud
- mohou být detekovány a měřeny indukance od 0,01 mH do 20 H
- měření ESR (ekvivalentní sériový odpor) u kondenzátorů větších jak 90 nF, rozlišení je 0,01 Ohm
- VLOSS (ztrátový činitel v %) u kondenzátorů větších jak 5 nF

3.5.1 Další funkce zařízení

Měřicí zařízení není určeno pouze k diagnostice součástek, ale má i další rozšiřující funkce potřebné v domácí laboratoři.

Do menu se dostanete dlouhým stisknutím tlačítka (> 0,5 s). Krátký stisk tlačítka přepne na další funkci. Dlouhé stisknutí tlačítka spustí funkci.

Seznam vestavěných funkcí:

- *měření frekvence* na pinu PD4. Frekvence se měří na 1 sekundu. Pokud je nižší než 25 kHz, bude měření s lepší přesností, rozlišení spadne na 0,001 MHz.

- *měření napětí* na pinu PC3. S děličem 10: 1 pro napětí 50 V. S další úpravou je také možno měřit Zenerovy diody
- *frekvenční generátor* na pinu TP2. Připojení odporu 680 ohm na PB2 slouží ke generování signálu s 1 Hz až 2 MHz na portu TP2. Pin TP1 je zem.
- *proměnný signál PWM* (pulsní šířková modulace) s pevnou frekvencí na pinu TP2. 10-bitový čítač. Pin TP1 je zem. Krátký stisk zvyšuje šířku impulsu o 1%, dlouhý stisk o 10%.

3.6 Popis mikrokontroleru Atmega 328/P

V použitém diagnostickém zařízení je použit mikrokontroler Atmel® picoPower® ATMEGA328/P což je nízkonapěťový CMOS 8-bitový mikrokontroler založený na AVR® se zvýšenou RISC architekturou. Podle provádění výkonných instrukcí v jednom hodinovém cyklu ATMEGA328/P dosahuje průchodnosti do 1MIPS za MHz. To umožňuje systémovému projektantovi optimalizovat zařízení pro spotřebu energie a rychlost zpracování. Blokové schéma zapojení mikrokontroleru je na obr. 3.6 a zapojení vývodů na obr. 3.7 [12]

3.6.1 Základní technické vlastnosti mikrokontroleru Atmega328/P

Pokročilá RISC Architektura

- 131 výkonných instrukcí
- 32 x 8 pracovních registrů
- plně statické operace
- propustnost až 20 MIPS na 20MHz
- na čipu 2 cyklické násobiče

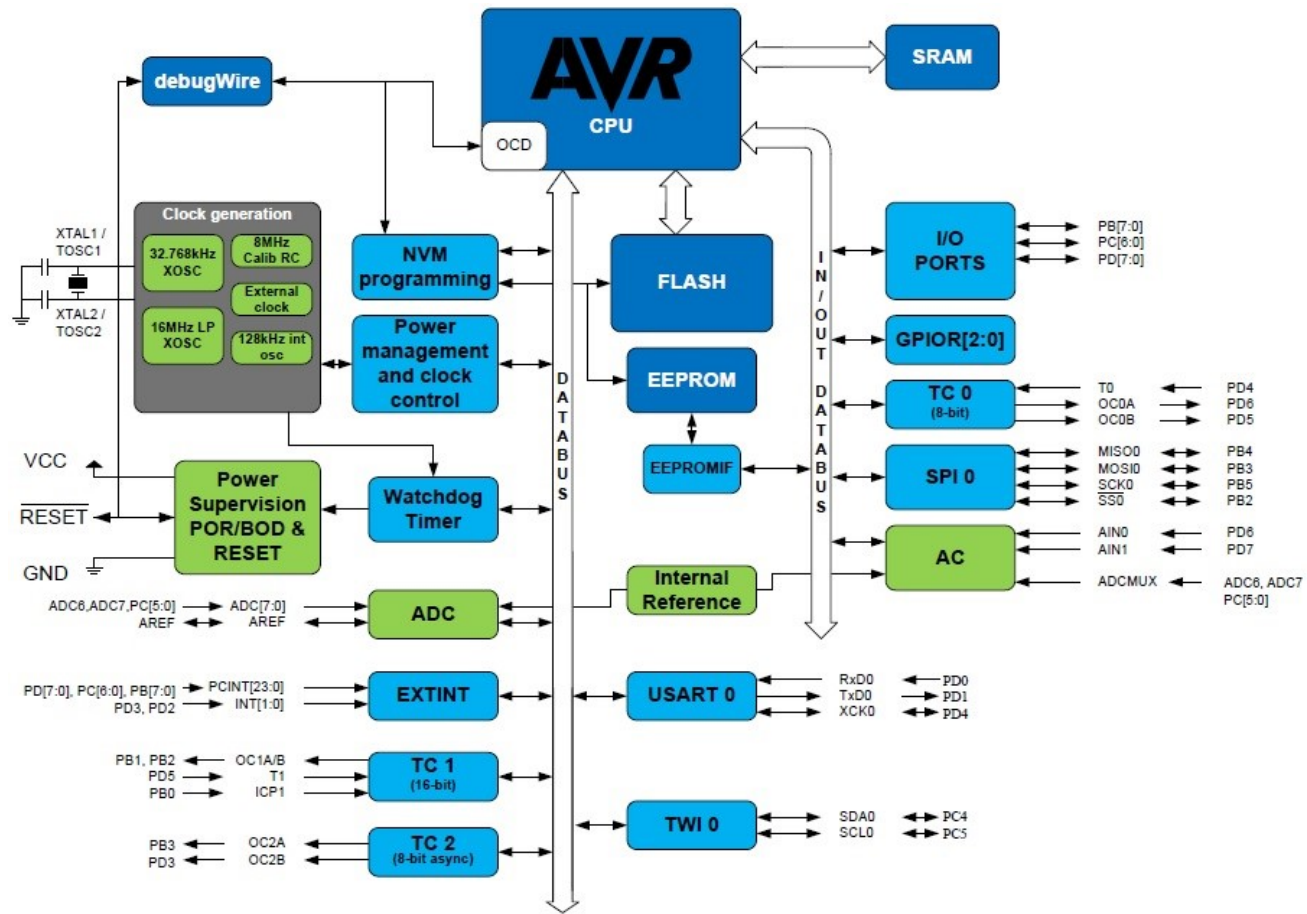
Vysoce odolné energeticky nezávislé paměťové segmenty

- 32kB programové paměti
- 1kB EEPROM
- 2kB Interní SRAM
- počet cyklů zápis/mazání: 10.000 Flash / 100.000 EEPROM
- Uchování dat: 20 let při 85 ° C / 100 let při 25 ° C

Pracovní napětí 1.8 ... 5.5V

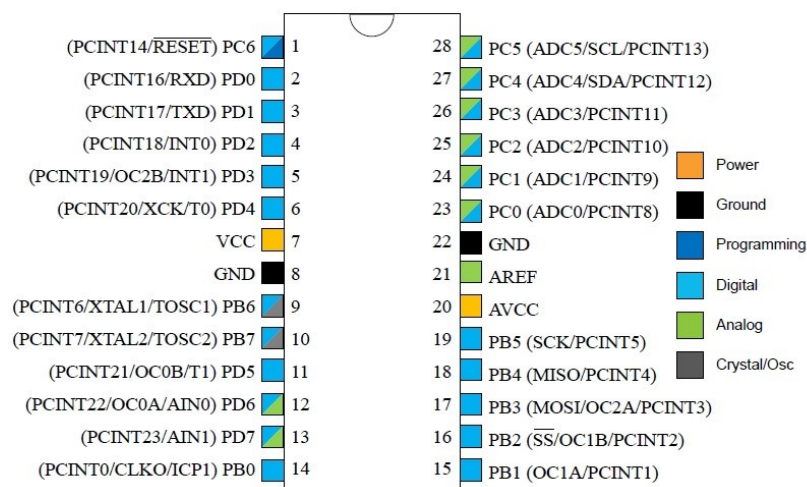
Pracovní kmitočet 20MHz

3.6.2 Blokové schéma



Obr. 3.6 – Blokové schéma mikrokontroleru ATmega328/P [12]

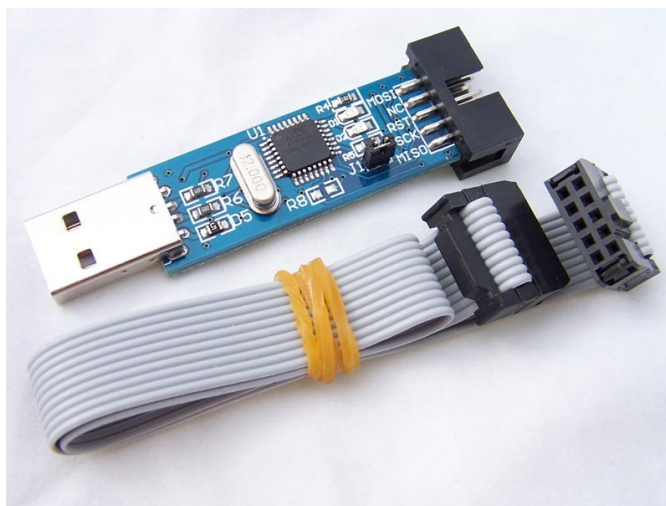
3.6.3 Zapojení vývodů



Obr. 3.7 – Zapojení vývodů mikrokontroleru ATmega328/P [12]

3.7 USBasp

Po sestavení celého zařízení, toto nebude fungovat, pokud do něj nenahrajeme příslušný program pro měření. Program byl použit od původních tvůrců a je volně ke stažení na <http://www.fischl.de/usbasp/>. Taktéž jsou k dispozici zdrojové kódy, které, pokud má kdokoliv zájem, lze modifikovat dle vlastní potřeby. USBasp obr. 3.8 je zařízení potřebné k nahrání programu do zařízení. Jedná se o nejmenší a nejjednodušší ISP programátor pro procesory ATMEL. Podporuje většinu obvodů, včetně TINY, Mega, apod. Má volně šiřitelný ovládací software pro Windows i Linux, připojuje se pomocí USB. Funguje i jako programátor přímo v prostředí ARDUINO, nebo v Atmel studio. I tento programátor se dá běžně vyrobit v domácích podmínkách, ale opět byl zakoupen z důvodu velmi nízké ceny prostřednictvím ebay.com za cenu 40,- Kč.



Obr. 3.8 – Programátor USBasp

3.8 Software

Tato část se dělí na dvě části, a to na část softwarového vybavení potřebného k vlastnímu oživení zařízení a část programovací, kdy můžeme modifikovat a měnit parametry vnitřního programu mikrokontroleru ATmega.

3.8.1 Část pro správnou funkci hardwaru

3.8.1.1 USB Drivery

Aby bylo možné nahrát vlastní program do Atmega328 je potřeba zařízení mezi PC a deskou testeru. Jedná se o již zmíněný programátor USBasp. Jeho drivery jsou volně dostupné na stránkách <http://www.fischl.de/usbasp/>. [13]

3.8.1.2 eXtreme Burner

EXtreme Burner je program sloužící k nahrání firmwaru do mikrokontroleru ATmega přes zařízení USBasp. Program „extreme_burner_avr_v1.4.2_setup“ je volně dostupný na stránkách <http://extreme-burner-avr.software.informer.com/download/>. Firmware se dá nahrát i pomocí jiných programů, jako jsou AVRDUDE, BASCOM-AVR, Khazama AVR Programmer. Autor této práce zvolil program eXtreme Burner z důvodu jeho jednoduchosti a přehlednosti. Při nahrávání firmwaru je nutné nastavit pojistky na hodnoty: `lfuse:0xf7` `hfuse:0xd9` `efuse:0x04`. [14]

3.8.2 Část pro tvorbu vlastního měřicího programu

3.8.2.1 WinAVR

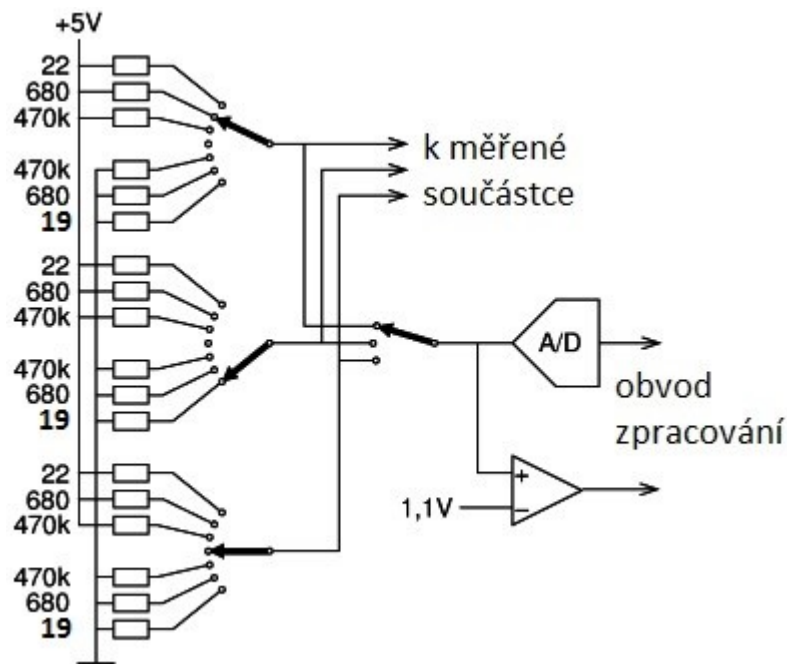
WinAVR je kompletně řešený systém založený na otevřených vývojových nástrojích open source software pro série Atmel AVR RISC mikroprocesory hostované na platformě Windows. To zahrnuje GNU GCC kompilátor pro C a C++. Obsahuje všechny nástroje pro vývoj na AVR. To zahrnuje avr-gcc (kompilátor), AVRDUDE (programátor), avr-gdb (debugger), a další. WinAVRTM se skládá z mnoha open source projektů.

Za pomocí tohoto programu lze modifikovat původní firmware pro tester s Atmega328. Kompletní zdrojový kód testeru je přílohou této práce.

Dále je možno použít AVR Studio 7, které lze na jejich stránkách www.atmel.com po registraci volně stáhnout. Studio 7 podporuje všechny AVR a Atmel procesory. Atmel Studio 7 poskytuje snadno použitelné prostředí pro psaní a ladění aplikací napsaných v jazyce C / C++ nebo assembleru. [12]

4 PRINCIP MĚŘENÍ

Na obr. 4.1 je znázorněna podstata zapojení testeru. Je vidět, že každý pin (měřící port) testovacího zařízení je spojen se třemi I/O piny mikrokontroléru: jeden je zapojen přímo na I/O pin, druhý přes odpor $680\ \Omega$ a třetí na I/O pin přes $470\ \text{k}\Omega$. Nyní bychom měli vědět, že každý I/O pin z mikrokontroléru může být buď naprogramována jako vstup (pak přejde do stavu vysoké impedance), nebo jako výstup; v druhém případě to bude připojení přes nízký vnitřní odpor asi $20\ \Omega$ na 0 voltů (logická 0) nebo 5 voltů (logická 1). Výsledkem je, že každý kolík testovacího zařízení může být připojen přes $20\ \Omega$, $680\ \Omega$ nebo $470\ \text{k}\Omega$ k 0 nebo +5 voltů. Navíc všechny tři I/O piny, na které se zkoušený objekt připojuje bez odporů, jsou rovněž vstupy mikrokontroléru vestavěného A/D převodníku, takže napětí na každém z pinů testovacího zařízení se může měřit a porovnávat. [1]



Obr. 4.1 – Ekvivalentní schéma připojení testované součástky [1]

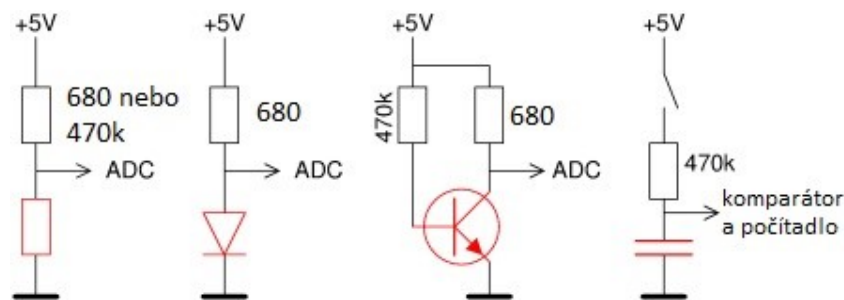
4.1 Způsob testování

Na obr. 4.2 jsou znázorněny, s použitím několika příkladů, možnosti, které mohou být realizovány v softwarovém nastavení spínačů v příslušných polohách. Zleva doprava je vidět:

- měření odporu - neznámý odpor tvoří dělič napětí s nastaveným odporem v testeru,
- test diod – měří se pokles napětí přes diodu ($0,6\ \text{V}$ pro vodivý směr křemíkové diody, $5\ \text{V}$ v opačném směru)

- proudový zisk z tranzistoru (základní proud je dodáván přes 470 k, a výsledný kolektorový proud je měřen)

- kapacita - po sepnutí spínače se měří doba nabití kondenzátoru přes odpor 470k Ω na napětí 1,1 V. [1]



Obr. 4.2 – Způsoby měření jednotlivých součástek [1]

Detailnější popis měření je popsán pro měření odporu, diody a tranzistoru PNP.

4.1.1 Měření odporu

Každý odpor se vyhodnocuje pomocí čtyř různých typů měření v jednom směru. Přes odpor 680 Ω , 470k Ω a v opačném zapojení. Měření v opačném směru se používá pouze k identifikaci odporu. V případě nesouladu mezi oběma měřeními, tj. rozdíl je příliš velký, měření končí - nejedná se o odpor a pokračuje se v detekci jiné součástky. [1]

4.1.2 Měření diod

Je-li předběžnými zkouškami detekována dioda, je nutné zkontrolovat, že se opravdu jedná o diodu. Napětí na odporu 680 Ω musí být v rozmezí 0,15 V až 4,64 V. Napětí na odporu 680 Ω musí být větší než 1.125 násobek napětí na odporu 470k Ω a šestnáctkrát větší na odporu 470 k Ω , než je napětí na odporu 680 Ω . Kromě toho, později opakované měření s odporem 470 k Ω by nemělo mít vyšší napětí než předchozí měření s odporem 680 Ω . Pokud je detekována pouze jedna dioda, zbytkový proud v závěrném směru je měřen s odporem 470k Ω při napětí 5 V. Rozlišení je asi 2 nA. V případě, že závěrný proud je větší jak 5,3 uA (napětí na odporu 470k Ω je větší než 2,5 V), se měření provádí pomocí odporu 680 Ω . Pak je rozlišení jen asi 1 uA. Kromě toho se také měří pro jednotlivé diody v opačném směru kapacita. [1]

4.1.3 Měření PNP tranzistoru nebo P-Channel-MOSFET

Prvním faktorem měření je proudový zesilovací činitel, který je měřen se společným kolektorem pro uvažované tranzistory typu PNP. Pokud je měřené napětí na bázi (U_B) nad 9mV s odporem 680 Ω , pak h_{FE} získáme ze vztahu $h_{FE} = \frac{U_E - U_B}{U_B}$. Napětí U_E je rozdíl napětí v emitoru a V_{CC} . V případě, že napětí U_B je nižší než 10 mV, je měření provedeno s odporem 470k Ω v bázi. V tomto případě je proudový zesilovací činitel h_{FE} získán ze vztahu $h_{FE} = \frac{U_E \cdot 470000}{U_B(680+22)}$.

Následující testy se společným emitorem se provádí, je-li předpokládán tranzistor PNP. Kladná část součástky je přímo připojena k V_{CC} , záporná část je přes odpor 680 Ω spojena s GND. V případě, že na záporné části součástky je napětí nad 3,4V ve chvíli, když je báze připojena přes odpor 680 Ω k GND, musí jít o tranzistor PNP nebo P-Channel FET. Snadno pak můžeme zjistit, analýzou napětí v bázi, o jaký typ jde. V případě, že napětí báze je větší jak 0,97 V, jde o PNP. Pro měření proudového zesilovacího činitele se použije v bázi odpor 470k Ω namísto 680 Ω . Současné zesílení pak je $h_{FE} = \frac{(U_C - U_{C0}) \cdot 470000}{U_B(680+19)}$. Napětí U_{C0} je napětí na odporu kolektoru bez zapojené báze.

Zjištěné hodnoty pro PNP platí pouze tehdy, když je druhé měření dokončeno. Za účelem pořádku prevence detekce PNP v obráceném módu (kolektor a emitor jsou prohozeny) je měření s vyšším proudovým zesílením považováno za správné. Pokud napětí báze je nižší než 0,97 V, musí jít o P-E-MOS. V tomto případě je prahová hodnota napětí gate měřena pomocí odporu 470k Ω v gate pomalým přepínáním nahoru a dolů, s čekáním na změnu signálu na digitálním vstupu drain, pak odečtené napětí je výsledkem napětí na gate svorce.[1]

4.2 Kontrolní a srovnávací měření

Po oživení přístroje bylo provedeno několik srovnávacích měření. Pro porovnání byly k měření použity přístroje Voltcraft VC650BT, UNI-T UT70A a k srovnávacímu měření h_{FE} digitální multimetr Mastech MY-68. V tabulkách jsou uvedeny katalogové hodnoty nebo hodnoty vyznačené na měřených součástkách.

4.2.1 Technické parametry použitých měřících přístrojů

4.2.1.1 *VOLTCRAFT VC650BT*

- Rozsah měření odporu (0,01 Ω - 40 M Ω) 400/4k/40k/400k/4M/40M
- Přesnost měření odporu $\pm(0,6\% + 10 \text{ digit})$
- Rozsah měření frekvence (0,001 Hz - 4 MHz)
40/400/4k/40k/400k/4M/40M/400M
- Přesnost měření odporu $\pm(0,02\% + 8 \text{ digit})$
- Rozsah měření kapacity (0,001 nF - 6 mF) 40n/400n/4u/40u/400u/4000u
- Přesnost měření kapacity $\pm(2\% + 20 \text{ digit})$
- Rozsah měření teploty -40 - 1000 $^{\circ}\text{C}$
- Rozhraní 1x USB
- Napájení 230 V/AC 6x baterie typu C
- Max. měřená hodnota A/AC 10 A
- Vnitřní odpor AC 10 M Ω
- Max. měřená hodnota A/DC 10 A
- Min. měřená hodnota A/DC 0.01 μA
- Min. měřená hodnota A/AC 0.01 μA
- Typ měření True RMS
- Max. měřená hodnota V/AC 600 V
- Měření proudu AC/DC
- Vnitřní odpor DC 10 M Ω
- Měření napětí AC/DC
- Min. měřená hodnota V/AC 0.1 mV
- Displej (counts) 40000
- Max. měřená hodnota V/DC 600 V
- Kategorie měření CAT II 600 V
- Min. měřená hodnota V/DC 0.01 mV
- Základní přesnost (\pm) 0,03 %
- Frekvenční rozsah 45 Hz - 100 KHz
- Test diody 2.7V [15]

4.2.1.2 *UNI-T UT70A*

- Typ použitého zobrazovače LCD 3,5-místný(1999), podsvětlený
- Vzorkování 2,5x/s
- Rozsah měření napětí DC 200m/2/20/200/1000V
- Přesnost měření napětí DC $\pm(0,5\% + 1 \text{ digit})$
- Rozsah měření napětí AC 200m/2/20/200/750V
- Přesnost měření napětí AC $\pm(0,8\% + 3 \text{ digity})$
- Rozsah měření proudu DC 20 μ /2m/200m/10A
- Přesnost měření proudu DC $\pm(1,5\% + 1 \text{ digit})$
- Rozsah měření proudu AC 20 μ /2m/200m/10A
- Přesnost měření proudu AC $\pm(1\% + 3 \text{ digity})$

– Rozsah měření odporu	200/2k/20k/200k/2M/20M/2000M Ω
– Přesnost měření odporu	$\pm(0,8\% + 1 \text{ digit})$
– Rozsah měření kapacity	20n/200n/2 μ /100 μ F
– Přesnost měření kapacity	$\pm(2,5\% + 5 \text{ digitů})$
– Rozsah měření indukčnosti	1 μ ...2m/20m/200m/20H
– Přesnost měření indukčnosti	$\pm(2\% + 10 \text{ digitů})$
– Rozsah měření kmitočtu	2k...10MHz
– Přesnost měření kmitočtu	$\pm(0,1\% + 3 \text{ digity})$
– Rozsah měření teploty	-40...1000 $^{\circ}$ C
– Přesnost měření teploty	$\pm(1\% + 3 \text{ digity})$
– Test diody	1mA, 2,8V
– Zdroj napájení	1 baterie 9V 6F22 [16]

4.2.1.3 MASTECH MY-68

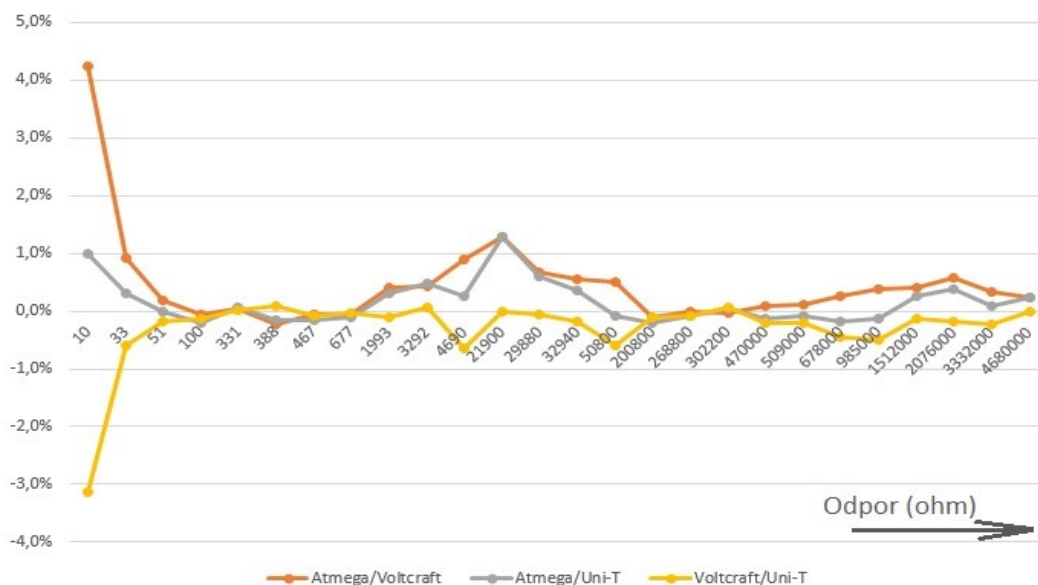
– Max. LCD display	3260
– Bargraf	Ano
– DC napětí	400m/4/40/400V $\pm 0,7\%$, 1000V $\pm 0,8\%$
– AC napětí	400m $\pm 3,0\%$, 4/40/400V $\pm 0,8\%$, 750V $\pm 1,0\%$
– DC proud	0,4/4/40/400mA $\pm 1,2\%$, 10A $\pm 2,0\%$
– AC proud	0,4/4/40/400mA $\pm 1,5\%$, 10A $\pm 3,0\%$
– Rozsah měření odporu	400/4k/40k/400k/4M Ω $\pm 1,2\%$, 40M Ω $\pm 2,0\%$
– Rozsah měření kapacity	4n $\pm 5,0\%$, 40n/400n/4 μ /40 μ /200 μ F $\pm 3,0\%$
– Rozsah měření frekvence	10/100/1k/10k/100k/200kHz $\pm 2,0\%$
– Šířka pásma	40 \div 1000 Hz
– Test diody	1mA / 1,5V
– h_{FE} test	$I_b=10\mu$ A / $V_{ce}=2,8$ V
– Zvuková signalizace	< 50 Ω
– Impedance	10 M Ω
– Napájení	9V 6F22 baterie [17]

4.2.2 Měření rezistorů

K měření bylo vybráno 30 ks metalizovaných rezistorů 1/4W, tolerance 5%. Hodnota označená na rezistorech je z tabulky vynechána, jelikož všechny naměřené hodnoty (vyjma odporů do 7 Ω) byly v toleranci s tolerancí uváděnou výrobcí obou digitálních multimetrů tj. 1%.

Tab. 4.1 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných rezistorů

Atmega	Voltcraft	Uni-T	Atmega	Voltcraft	Uni-T
1,2 Ω	0,8 Ω	1,3 Ω	22,18 kΩ	21,90 kΩ	21,90 kΩ
2,5 Ω	2,1 Ω	2,5 Ω	30,08 kΩ	29,88 kΩ	29,90 kΩ
3,5 Ω	3,1 Ω	3,4 Ω	33,12 kΩ	32,94 kΩ	33,0 kΩ
7,2 Ω	6,6 Ω	7,0 Ω	51,06 kΩ	50,80 kΩ	51,10 kΩ
10,3 Ω	9,9 Ω	10,2 Ω	200,60 kΩ	200,80 kΩ	201,0 kΩ
33,3 Ω	33,0 Ω	33,2 Ω	268,80 kΩ	268,80 kΩ	269,0 kΩ
50,8 Ω	50,7 Ω	50,8 Ω	302,10 kΩ	302,20 kΩ	302,0 kΩ
99,6 Ω	99,7 Ω	99,8 Ω	470,40 kΩ	470,0 kΩ	471,0 kΩ
331,2 Ω	331,1 Ω	331,0 Ω	509,60 kΩ	509,0 kΩ	510,0 kΩ
387,4 Ω	388,3 Ω	388,0 Ω	679,80 kΩ	678,0 kΩ	681,0 kΩ
466,3 Ω	466,6 Ω	467,0 Ω	988,80 kΩ	985,0 kΩ	990,0 kΩ
676,3 Ω	676,7 Ω	677,0 Ω	1,52 MΩ	1,51 MΩ	1,51 MΩ
2,0 kΩ	1,99 kΩ	2,0 kΩ	2,09 MΩ	2,08 MΩ	2,08 MΩ
3,31 kΩ	3,29 kΩ	3,29 kΩ	3,34 MΩ	3,33 MΩ	3,34 MΩ
4,73 kΩ	4,69 kΩ	4,72 kΩ	4,69 MΩ	4,68 MΩ	4,68 MΩ



Obr. 4.3 - Rozdíl naměřených hodnot rezistorů mezi jednotlivými přístroji

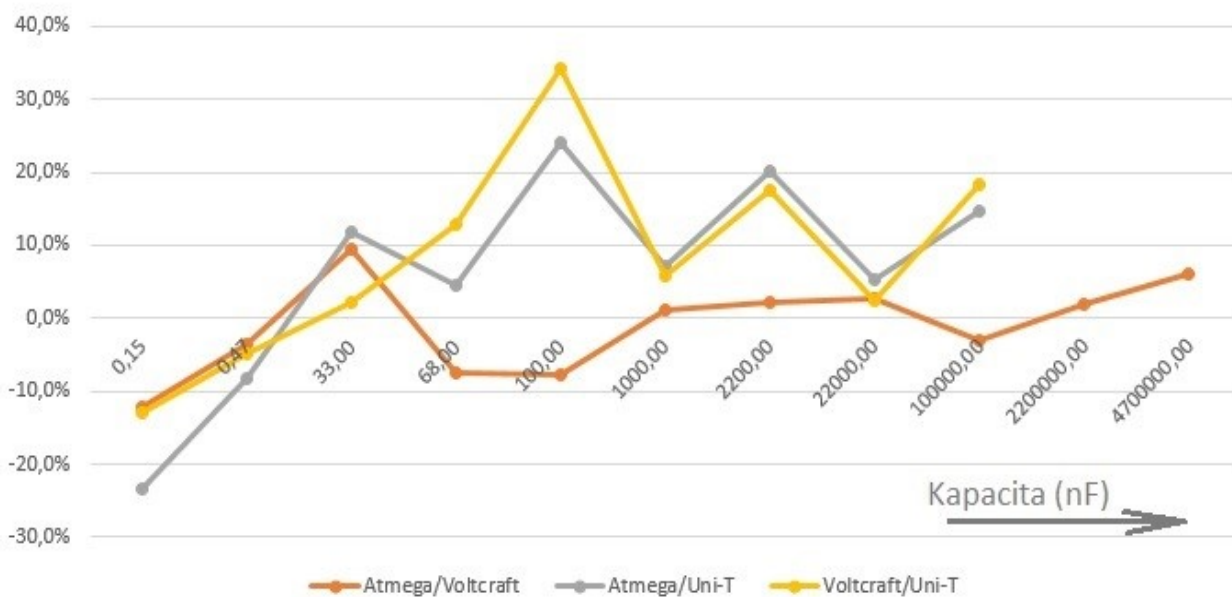
V grafu jsou uvedeny procentuální odchylky odporů větších jak 10 ohm, jelikož naměřená odchylka malých odporů byla velmi vysoká, jak u zhotoveného zařízení, tak i mezi samotnými měřicími přístroji.

4.2.3 Měření kondenzátorů

Jako měřicí prvky byly použity keramické kondenzátory na napětí 15V a radiální elektrolytické kondenzátory na napětí 25V.

Tab. 4.2 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných kondenzátorů

Označení	Atmega	Voltcraft	Uni-T
150	153 pF	174 pF	200 pF
470	496 pF	514 pF	540 pF
33n	36,15 nF	33,0 nF	32,30 nF
68n	85,47 nF	92,32 nF	81,80 nF
100n	117,80 nF	127,56 nF	95,0 nF
1u	1,03 uF	1,02 uF	960,0 nF
2u2	2,38 uF	2,33 uF	1,98 uF
22u	24,35 uF	23,69 uF	23,10 uF
100u	103,90 uF	107,30 uF	90,60 uF
2200u	2063,0 uF	2026,70 uF	neumí
4700u	4802,0 uF	4528,0 uF	neumí



Obr. 4.4 – Rozdíl naměřených hodnot kondenzátorů mezi jednotlivými přístroji

4.2.4 Měření diod

Tab. 4.3 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných diod

	Atmega	Vollcraft	Uni-T
1N4001	0,660 V	0,556 V	0,546 V
1N4004	0,660 V	0,552 V	0,543 V
1N4007	0,685 V	0,546 V	0,554 V
1N4148	0,709 V	0,588 V	0,577 V
1N5399	0,671 V	0,559 V	0,552 V
1N5408	0,626 V	0,546 V	0,533 V
1N5819	0,249 V	0,172 V	0,182 V
FR104	0,621 V	0,522 V	0,505 V
FR107	0,621 V	0,511 V	0,497 V
LED	1,790 V	1,744 V	1,592 V
LQ1232	1,750 V	1,730 V	1,570 V
LQ1812	1,900 V	1,870 V	1,700 V

4.2.5 Měření tranzistorů

Tab. 4.4 - Naměřené hodnoty proudového zesílení h_{FE} vybraných tranzistorů

Označení	Atmega	MY-68	Kat. hodnota [18][19]
BC327-25	281	324	160..400
BC337-25	431	408	160..400
BC337-40	288	289	250..670
BC547B	431	428	200..450
BC548B	431	370	200..450
BC549B	431	434	200..450
BC549C	430	388	420..800
KC237B	391	323	180..460
KC239C	431	439	380..800
KC307A	159	184	120..220
KC307B	396	302	180..460
KC508	430	375	125..900
KC509	698	786	240..900
KF504	145	174	100
KF508A	289	258	133..1000
KF517A	88	104	35..120
KF517B	107	127	90..300

ZÁVĚR

V první části práce jsou popsány základní analogové elektronické součástky, jejich funkce, parametry a principy měření. Z těchto základních parametrů vychází princip měření součástek sestrojeným zařízením. I tak měření s tímto zařízením je omezeno jen na jejich identifikaci, rozložení elektronických vývodů a změření základních hodnot. U měření LED diod lze při měření vidět i jejich barvu a rozptyl svitu (bodová, plošná). V další části je popsána stavba a vlastní proces naprogramování mikroprocesoru Atmega328/P. Jelikož autor práce neměl možnost porovnat měření s přesnými součástkami, použil jako referenční hodnoty naměřené přístrojem Voltcraft VC650BT, jehož cena byla nejvyšší, stejně jako jeho udávaná přesnost. Z výsledků kontrolního měření lze konstatovat, že sestrojené zařízení se svými naměřenými hodnotami blíží použitému digitálnímu měřicímu přístroji UNI-T 70A.

Při stavbě byla hlavním požadavkem nízká pořizovací cena a jednoduchá konstrukce, což toto zapojení splňovalo. U zařízení je použit minimální počet základních součástek a jeden mikroprocesor. Kromě hardwarové stránky bylo třeba vyřešit i softwarovou část, neboť mikroprocesor se pochopitelně prodává „prázdný“, tj. bez nahreného software. Díky možnostem dnešní doby, s využitím znalostí a prostředků poskytnutých počítači, není softwarová část neřešitelný problém. Stavba zařízení sama o sobě není nikterak složitá, dodržíme-li základní pravidla stavby elektronických obvodů. Je třeba například nejdříve všechny součástky řádně proměřit, zjistit (ověřit) zapojení tranzistorů, osadit nejdříve pasívní součástky, poté teprve aktivní a nakonec mikroprocesor apod.

Možnost určení parametrů různých součástek a rozložení jejich pinů (např. elektrod tranzistorů) byl pro autora této práce jeden z hlavních důvodů, proč takovéto zařízení sestrojil. Při koupi součástek může totiž dojít k neúmyslnému zaměnění hodnot součástek (např. odpor 100k za 100R - odchylka v řádu může mít v zapojení fatální chybu), anebo taktéž např. při náhradě tranzistoru jiným s odlišně zapojenými vývody (např. KC639 a BC639 mají naprosto shodné parametry, ale jiné rozložení elektrod - KC639 C-B-E versus BC639 E-C-B) mohou nastat nemalé problémy. Je proto mnohem výhodnější před zapojením součástek do obvodu provést test jejich reálných vlastností a tím předejít omylu, než pak dodatečně hledat chybu v často složitém zapojení či dokonce platit daň v podobě zničeného zařízení.

Toto univerzální zařízení, umožňující identifikovat velké množství součástek a jejich parametrů, si neklade za cíl nahradit profesionální přístroje, které mohou být mnohem přesnější a také méně citlivé na případnou chybu obsluhy. Může nám ale zásadním způsobem usnadnit

či urychlit práci v běžných situacích při opravách stávajících či stavbě nových elektronických obvodů. A to už jen například proto, že běžný uživatel nemusí studovat mnohdy složité a rozsáhlé manuály k přístrojům, které mají ovládací panel osázen tlačítky a vypínači v úctyhodném množství.

Zařízení má jednu velkou slabinu. Tou je, že vlastní měření elektronické součástky probíhá přímo na vývodech mikroprocesoru, který je náchylný na statickou elektřinu a napětí vyšší než 5V. Proto je NUTNÉ před připojením vybit kondenzátory, nepřipojovat externí napětí a dbát, aby se přes měřenou součástku nepřivedla do zařízení statická elektřina. Toto lze ošetřit připojením relé na vstup měřených vývodů, které v době nečinnosti tyto vývody zkratuje, po stisknutí tlačítka se rozpojí, avšak je nutné provést přeprogramování, jelikož tester při zjištění, že jsou piny zkratovány, provádí kalibraci. Tato úprava zapojení sice ochranu zařízení proti zničení rozšiřuje, ale činí zařízení složitějším a taktéž se mohou negativně při měření projevit parazitní vlastnosti související s připojením relé.

Kontrolní měření nebylo provedeno s žádnou přesnou, či kalibrovanou součástkou, pouze byly vzájemně porovnány naměřené hodnoty mezi komerčně vyráběnými měřicími přístroji. Přesto se dá říci, že zařízení má u měření odporu podobnou procentuální odchylku, jako jsou udávané odchylky u měřících přístrojů použitých ke kontrolnímu měření. U sestaveného zařízení může být případná odchylka naměřené hodnoty způsobena například přechodovým odporem použitého konektoru JACK. Avšak rozdíl v měřených hodnotách lze vidět i u samotných srovnávacích přístrojů. Větší odchylky byly zaznamenány u měření kapacit, ale i zde bylo kontrolním měřením zjištěno, že odchylku vykazují i samotná použitá kontrolní zařízení. U měření diod a tranzistorů jde pouze o orientační srovnání, jelikož každý přístroj používá k měření jiné napětí.

Při kontrolním měření se potvrdilo, že měřením tímto zařízením je velice jednoduché a rychlé, není třeba přepínat žádné rozsahy či přepojovat měřicí hroty ve zdírkách měřících přístrojů. Vlastní procentuální odchylka se neliší od komerčně vyráběných, mnohdy mnohem dražších přístrojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AVR-Transistortester – Mikrocontroller.net. [online]. Dostupné z: <https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-Transistortester>
- [2] FRISCH Herbert, Základy elektroniky a elektronických obvodů, SNTL, Praha, 1987
- [3] SUCHÁNEK Vladimír, Dioda, tranzistor a tyristor názorně, SNTL, Praha, 1983
- [4] FAJT Václav, Elektrická měření, SNTL, Praha, 1987
- [5] Elektrotechnická měření, BEN - technická literatura, Praha, 2002, ISBN 80-7300-022-9
- [6] VOBECKÝ Jan, ZÁHLAVA Vít, Elektronika - Součástky a obvody, principy a příklady, Praha, 2001, ISBN 80-7169-884-9
- [7] Univerzální tester polovodičových součástek DT-155 | GM electronic. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty . | GM electronic* [online]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/univerzalni-tester-polovodicovych-soucastek-dt-155>
- [8] Analyzátor polovodičových součástek DCA55 | GM electronic. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty . | GM electronic* [online]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/analyzator-polovodicovych-soucastek-dca55>
- [9] Analyzátor polovodičových součástek DCA75 | GM electronic. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty . | GM electronic* [online]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/analyzator-polovodicovych-soucastek-dca75>
- [10] Měřič kapacit a ESR ESR70 | GM electronic. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty . | GM electronic* [online]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/meric-kapacit-a-esr-esr70>
- [11] *AVR tester - czech clone - Úvod* [online]. Copyright © [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <http://www.avrtester.tode.cz/pictures/galleries/2/53739c3f3c42b.jpg>
- [12] *Atmel Corporation - Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions* [online]. Dostupné z: http://www.atmel.com/.../Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_datash...
- [13] USBasp - USB programmer for Atmel AVR controllers - fischl.de. *Thomas Fischl - Embedded Software Developer - fischl.de* [online]. Copyright © 1998 [cit. 10.05.2017]. Dostupné z: <http://www.fischl.de/usbasp/>

- [14] Download eXtreme Burner - AVR by eXtreme Electronics, India. *eXtreme Burner - AVR - Software Informer. It is a GUI supports several types of clock sources for various applications.* [online]. Copyright © 2017, [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <http://extreme-burner-avr.software.informer.com/download/>
- [15] Stolní multimetr VC-650BT | Voltcraft. *Voltcraft - internetový obchod* [online]. Copyright © 2008 [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/stolni-multimetr-vc-650bt.k124411>
- [16] UNI-T. *Měřicí a testovací přístroje :: UNI-T :: UNI-T* [online]. Copyright © 2013 TIPA, spol. s r.o., [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <http://www.uni-t.cz/search?phrase=ut70a>
- [17] MASTECH » Mastech MY68 - Digital Multimeter (Mastech MY-68). *Import and Distribution - optical fiber, cable coaxial, cable rj45, ethernet cable, gbic module, sfp module, kvm switch, digital multimeter, network switch, wifi, Mastech, Hanlong, Oxca, V&A, Vutlan, Oring switches* [online]. Copyright ©2017 Atel Electronics [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <http://www.atel-electronics.eu/produkt.php?hash=02933&pro=10>
- [18] Tesla Rožnov, Polovodičové součástky, Rožnov pod Radhoštěm, 1983
- [19] STŘÍŽ Vítězslav, TOLASZOVÁ Miluše, Katalog polovodičových součástek 1 Tranzistory AC105...BF979, Ostrava, 1992, ISBN 80900119862

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α_{20}	Teplotní součinitel odporu při teplotě 20°C
ADC	Analog/digital converter
AVR	Označení pro rodinu 8bitových a některých 32bitových mikročipů typu RISC s harvardskou architekturou od firmy Atmel
b	Pohyblivost náboje
C	Kapacita
DPS	Deska plošného spoje
e	Náboj
ESR	Equivalent Resistance Series
f	Frekvence
h_{FE}	Proudový zesilovací činitel tranzistoru (tranzistor zapojen se společným emitorem)
I	Proud
I_A	Proud ampérmetrem
I_B	Proud bázi tranzistoru
I_C	Proud kolektorem tranzistoru
I_{FAV}	maximální usměrněný proud
I_{FSM}	maximální povolený impulsní proud
I_R	Proud zátěží
i_{sat}	Saturační proud
ISP	In-System Programming (schopnost některých jednočipů a programovatelných logických obvodů být programovány bez nutnosti jejich vyjmutí)
k	Boltzamova konstanta
l	Délka vodiče
L	Indukčnost
n	Hustota nosičů náboje
N	Počet závitů cívky
PWM	Pulse Width Modulation (pulsní šířková modulace)
Q	Elektrický náboj
R	odpor
R_{20}	Odpor při teplotě 20°C
R_A	Vnitřní odpor ampérmetru

RISC	Reduced Instruction Set Computing (redukovaná instrukční sada)
R_V	Vnitřní odpor voltmetru
R_ϑ	Odpor při teplotě ϑ
S	Průřez vodiče
SB	Zapojení tranzistoru se společnou bází
SC	Zapojení tranzistoru se společným kolektorem
U	Napětí
U_A	Napětí na ampérmetru
U_{BE}	Napětí báze-emitor tranzistoru
U_{CE}	Napětí kolektor-emitor tranzistoru
U_{RRM}	Maximální opakovatelné špičkové závěrné napětí
U_{RSM}	maximální nárazové závěrné napětí
U_T	Teplotní napětí
U_V	Napětí na voltmetru
X_C	Kapacitní reaktance
Z	Impedance
γ	Konduktivita
Φ	Magnetický tok

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 - Voltampérová charakteristika rezistoru	10
Obr. 1.2 - Schematická značka rezistoru	10
Obr. 1.3 – Náhradní schéma skutečné zátěže	12
Obr. 1.4 – Schéma zapojení pro měření malých odporů	12
Obr. 1.5 – Schéma zapojení pro měření velkých odporů.....	13
Obr. 1.6 – Nabíjení a vybíjení kondenzátoru [2]	15
Obr. 1.7 – Zapojení pro měření malých kapacit	16
Obr. 1.8 – Zapojení pro měření velkých kapacit	17
Obr. 1.9 – V-A charakteristika ideálního přechodu diody a schematická značka [6]	18
Obr. 1.10 - Měření diod v propustném směru.....	20
Obr. 1.11 - Měření diod v závěrném směru	21
Obr. 1.12 – Tranzistor NPN a PNP.....	22
Obr. 1.13 - Tři základní zapojení tranzistoru [2]	22
Obr. 1.14 – Charakteristika tranzistoru NPN zapojeného se spol. emitorem [2].....	23
Obr. 1.15 – Zapojení diod v tranzistoru NPN a PNP.....	23
Obr. 2.1 - Univerzální tester polovodičových součástek DT-155 [7].....	25
Obr. 2.2 - Analyzátor polovodičových součástek DCA55 [8].....	26
Obr. 2.3 - Analyzátor polovodičových součástek DCA75 [9].....	28
Obr. 2.4 – MY-68 při měření h_{FE} tranzistoru KC508	29
Obr. 3.1 – Ukázka sestaveného zařízení při testu tranzistoru PNP.....	31
Obr. 3.2 – Základní schéma zapojení měřících pinů	32
Obr. 3.3 – DPS ze stránek www.avrtester.tode.cz [11]	33
Obr. 3.4 – LCD, DPS a Atmega328 před osazením	34
Obr. 3.5 – Sestavené zařízení v krabičce při měření tranzistoru KC508.....	35
Obr. 3.6 – Blokové schéma mikrokontroleru ATmega328/P [12]	38
Obr. 3.7 – Zapojení vývodů mikrokontroleru ATmega328/P [12].....	38
Obr. 3.8 – Programátor USBasp	39
Obr. 4.1 – Ekvivalentní schéma připojení testované součástky [1].....	41
Obr. 4.2 – Způsoby měření jednotlivých součástek [1].....	42
Obr. 4.3 - Rozdíl naměřených hodnot rezistorů mezi jednotlivými přístroji.....	46
Obr. 4.4 – Rozdíl naměřených hodnot kondenzátorů mezi jednotlivými přístroji	47

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 - Prahové napětí U_T diod různých materiálů	20
Tab. 1.2 - Měření přechodů P-N, možné stavy	24
Tab. 4.1 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných rezistorů	46
Tab. 4.2 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných kondenzátorů	47
Tab. 4.3 - Naměřené kontrolní hodnoty vybraných diod	48
Tab. 4.4 - Naměřené hodnoty proudového zesílení h_{FE} vybraných tranzistorů	48

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: ČÁST PROGRAMU – MĚŘENÍ DIOD

PŘÍLOHA B: SCHÉMA ZAŘÍZENÍ

PŘÍLOHA C: CD SE ZDROJOVÝM PROGRAMEM

SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK

R1,R3,R5	680R (tolerance 0,1%)
R2,R4,R6	470k (tolerance 0,1%)
R7,R12	3k3
R8,R15	27k
R9	100k
R10	33k
R11,R13,R19	10k
R14	100
R16	2k2
R17	20k
R18	M18
TRIMR	10k
C1	1n
C2,C17	10n
C3,C4,C5,C6	100n
C9	33M/25V
C10	22M/25V
C11,C12	22p
LED	LED 3mm
T1,T2	BC547
T3	BC557
X-TAL	8MHz
IC1	ATMEGA328/P
IC2	78L05
REF	431
DIS1	MC1602 (HD44780 kompatibilní)
BUTTON	T1
ISP	MLW10A
NAP	PC-GK1.3

PŘÍLOHA A: ČÁST PROGRAMU – MĚŘENÍ DIOD

```

// =====
if(PartFound == PART_DIODE) {
  // =====
  if(NumOfDiodes == 1) {          //single Diode
    lcd_MEM_string(Diode);      //"Diode: "
  #if FLASHEND > 0x1fff
    // enough memory to sort the pins
  #if EBC_STYLE == 321
    // the higher test pin number is left side
    if (diodes.Anode[0] > diodes.Cathode[0]) {
      lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
      lcd_MEM_string(AnKat_str);  //"->|- "
      lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
    } else {
      lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
      lcd_MEM_string(KatAn_str);  //"-|<- "
      lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
    }
  #else
    // the higher test pin number is right side
    if (diodes.Anode[0] < diodes.Cathode[0]) {
      lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
      lcd_MEM_string(AnKat_str);  //"->|- "
      lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
    } else {
      lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
      lcd_MEM_string(KatAn_str);  //"-|<- "
      lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
    }
  #endif
  GetIr(diodes.Cathode[0],diodes.Anode[0]);    // measure and output Ir=x.xuA
#else
  // too less memory to sort the pins
  lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
  lcd_MEM_string(AnKat_str);          //"->|- "
  lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
#endif
  UfAusgabe(0x70);          // mark for additional resistor and output Uf= in line 2
#ifndef SamplingADC
  /* load current of capacity is (5V-1.1V)/(470000 Ohm) = 8298nA */
  ReadCapacity(diodes.Cathode[0],diodes.Anode[0]); // Capacity opposite flow direction
  if (cap.cpre < -3) { /* capacity is measured */
  #if (LCD_LINES > 2)
    lcd_line3();          // output Capacity in line 3
  #endif
    lcd_MEM_string(Cap_str);  //"C="
  #if LCD_LINE_LENGTH > 16
    DisplayValue(cap.cval,cap.cpre,'F',3);
  #else
    DisplayValue(cap.cval,cap.cpre,'F',2);
  #endif
  #endif
  }
#else // SamplingADC
showdiodecap:
  cap.cval=sampling_cap(diodes.Cathode[0],diodes.Anode[0],0); // at low voltage
  lcd_next_line_wait(0); // next line, wait 5s and clear line 2
  DisplayValue(cap.cval,sampling_cap_pre,'F',2);
#ifndef PULLUP_DISABLE
  lcd_data('-');
  cap.cval=sampling_cap(diodes.Cathode[0],diodes.Anode[0],1); // at high voltage
  DisplayValue(cap.cval,sampling_cap_pre,'F',2);
  #if LCD_LINE_LENGTH > 16
    lcd_MEM_string(AT05volt); // " @0-5V"
  #else
    lcd_MEM_string(AT05volt+1); // "@0-5V"
  #endif
#endif
#else
  #warning Capacity measurement from high to low not possible for diodes without PULLUP_DISABLE option!

```

```

#endif /* PULLUP_DISABLE */
#endif
    goto end3;
} else if(NumOfDiodes == 2) { // double diode
    lcd_data('2');
    lcd_MEM_string(Diodes);          //"diodes "
    if(diodes.Anode[0] == diodes.Anode[1]) { //Common Anode
        lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
        lcd_MEM_string(KatAn_str);    //"-|<-"
        lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
        lcd_MEM_string(AnKat_str);    //"->|-"
        lcd_testpin(diodes.Cathode[1]);
        UfAusgabe(0x01);
#ifdef SamplingADC
        goto showdiodecap; // double diodes are often varicap; measure capacitance of one of
them
#else
        goto end3;
#endif
    }
    if(diodes.Cathode[0] == diodes.Cathode[1]) { //Common Cathode
        lcd_testpin(diodes.Anode[0]);
        lcd_MEM_string(AnKat_str);    //"->|-"
        lcd_testpin(diodes.Cathode[0]);
        lcd_MEM_string(KatAn_str);    //"-|<-"
        lcd_testpin(diodes.Anode[1]);
        UfAusgabe(0x01);
#ifdef SamplingADC
        goto showdiodecap; // double diodes are often varicap; measure capacitance of one of
them
#else
        goto end3;
#endif
    }
    // else if ((diodes.Cathode[0] == diodes.Anode[1]) && (diodes.Cathode[1] == di-
odes.Anode[0]))
    }
    if (diodes.Cathode[0] == diodes.Anode[1]) {
        // normally two serial diodes are detected as three diodes, but if the threshold is high
        // for both diodes, the third diode is not detected.
        // can also be Antiparallel
        diode_sequence = 0x01; // 0 1
        SerienDiodesAusgabe();
        goto end3;
    }
    if (diodes.Cathode[1] == diodes.Anode[0]) {
        diode_sequence = 0x10; // 1 0
        SerienDiodesAusgabe();
        goto end3;
    }
} else if(NumOfDiodes == 3) {
    //Serial of 2 Diodes; was detected as 3 Diodes
    diode_sequence = 0x33; // 3 3
    /* Check for any constellation of 2 serial diodes:
    Only once the pin No of anyone Cathode is identical of another anode.
    two diodes in series is additionally detected as third big diode.
    */
    if (diodes.Cathode[0] == diodes.Anode[1]) {
        diode_sequence = 0x01; // 0 1
    }
    if (diodes.Anode[0] == diodes.Cathode[1]) {
        diode_sequence = 0x10; // 1 0
    }
    if (diodes.Cathode[0] == diodes.Anode[2]) {
        diode_sequence = 0x02; // 0 2
    }
    if (diodes.Anode[0] == diodes.Cathode[2]) {
        diode_sequence = 0x20; // 2 0
    }
    if (diodes.Cathode[1] == diodes.Anode[2]) {
        diode_sequence = 0x12; // 1 2
    }
    if (diodes.Anode[1] == diodes.Cathode[2]) {
        diode_sequence = 0x21; // 2 1
    }
}

```

```
//      if((ptrans.b<3) && (ptrans.c<3))
if(diode_sequence < 0x22) {
    lcd_data('3');
    lcd_MEM_string(Dioden);          //"Diodes "
    SerienDiodenAusgabe();
    goto end3;
}
} // end (NumOfDiodes == 3)
lcd_MEM_string(Bauteil);           //"Bauteil"
lcd_MEM_string(Unknown);           //" unbek."
lcd_line2(); //2. row
lcd_MEM_string(OrBroken);          //"oder defekt "
lcd_data(NumOfDiodes + '0');
lcd_MEM_string(AnKat_str);         //" ->|- "
goto not_known;
// end (PartFound == PART_DIODE)
```

PŘÍLOHA B: SCHÉMA ZAŘÍZENÍ

