

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Kompaktní tester elektronických součástek

Abstrakt

Kompaktní tester elektronických součástek.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací mikroprocesorového testeru. V první části práce jsou uvedeny principy měření základních součástek pomocí mikrokontrolérů. Další část práce popisuje hardware navrženého prototypu, vybrané způsoby měření a software řídicího mikrokontroléru. Následuje měření parametrů navrženého prototypu a vyhodnocení výsledků. Na konec je prototyp srovnán s podobnými zařízeními a také jsou navržena vylepšení do budoucna. Závěr práce je zaměřen na zhodnocení dosažených parametrů prototypu a odůvodnění některých nedostatků.

Klíčová slova

Mikrokontrolér, mikroprocesor, AVR, ATmega32, tester, měření, indukčnosti, kondenzátory, rezistory, diody, tranzistory

Abstract

Compact tester of electronic components.

This thesis deals with design and realization of the microprocessor tester. The first part outlines the basic principles of measurement using microcontrollers. The next part describes hardware of the designed prototype, chosen measurement methods and the software of the microcontroller. The parameters of the designed prototype were measured in lab and the results evaluated. At the end is the prototype compared with similar devices and also there are some proposed improvements for the future. End of this work focuses on an evaluation of the of the prototype parameters and justification of the shortcomings.

Key words

Microcontroller, microprocessor, AVR, ATMEGA32, tester, measurement, chokes, capacitors, resistors, diodes, transistors

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/ diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 7.6.2013

David Patera

.....

Obsah

OBSAH	5
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	6
1 ÚVOD	7
2 MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH ELEKTRONICKÝCH KOMPONENT VYUŽITÍM MIKROKONTROLÉRŮ	8
2.1 MĚŘENÍ REZISTORŮ, KONDENZÁTORŮ A INDUKČNOSTÍ.....	8
2.2 MĚŘENÍ POLOVODIČOVÝCH PRVKŮ.....	12
2.3 SHRUTÍ	13
3 POPIS MĚŘICÍHO SYSTÉMU	14
3.1 NAPÁJECÍ ČÁST	14
3.2 MĚŘICÍ ČÁST.....	15
3.3 MIKROKONTROLÉR	16
3.3.1 <i>ATmega32</i>	16
3.3.2 <i>Vstupní/Výstupní porty</i>	16
3.3.3 <i>AD převodník</i>	17
3.3.4 <i>Čítače/Časovače</i>	18
3.4 PROGRAMOVACÍ ROZHRANNÍ	18
3.5 ALFANUMERICKÝ LCD DISPLEJ	18
4 POPIS PROGRAMU MIKROKONTROLÉRU A MĚŘICÍCH PROCEDUR	19
5 PARAMETRY PROTOTYPU ZÍSKANÉ MĚŘENÍM	25
5.1 MĚŘENÍ KONDENZÁTORŮ.....	25
5.2 MĚŘENÍ ODPORŮ	26
5.3 MĚŘENÍ INDUKČNOSTÍ	27
5.4 MĚŘENÍ POLOVODIČOVÝCH PRVKŮ.....	28
6 SROVNÁNÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ S JIŽ DOSTUPNÝMI ZAŘÍZENÍMI	29
7 MOŽNÁ VYLEPŠENÍ PROTOTYPU	30
8 ZÁVĚR	31
POUŽITÁ LITERATURA	33
PŘÍLOHY	A

Seznam symbolů a zkratk

AVR	označení rodiny 8-bitových procesorů od firmy Atmel.
I/O	vstup/výstup mikrokontroléru
ADC	analogově-číslíkový převodník
RC	sériové spojení rezistoru a kondenzátoru
RL	sériové spojení rezistoru a indukčnosti
CMOS	technologie používaná většinou integrovaných obvodů
NAND	logické hradlo s funkcí negovaného logického součinu
NPN a PNP	druhy bipolárních tranzistorů
D-S	Drain-Source (elektrody unipolárního tranzistoru)
LCD	Displej z tekutých krystalů
THT	trough-hole technology
USART	synchronní/asynchronní sériové rozhraní
DDR	data direction register
AVCC	napájení AD převodníku
AREF	vstup referenčního napětí pro AD převodník
ADMUX, ADCSRA	ovládací a řídicí registr AD převodníku
SPI	Serial peripheral interface
ISP	in system programming
MOSI	master out slave in
MISO	master in slave out
SCK	serial clock
GND	ground
VCC	napájení
R/W	read/write
RS	register select
EN	enable
1N4148	usměrňovací dioda

1 Úvod

Cílem této práce je seznámit se s principy měření základních elektronických součástek využitím mikrokontrolérů a následně návrh a realizace takového systému. Dané téma jsem si zvolil zejména proto, abych se jakožto člověk zatím netknutý mikroprocesorovou technikou, do této problematiky ponořil a získal základní přehled. Mikroprocesory a jejich využití je v současné době velmi aktuální téma zejména proto, že se s nimi setkáváme dnes a denně v různých zařízeních od amatérských projektů, hraček, mobilních zařízení, automobilů až po precizní zařízení použité například v lékařství.

Na dnešním trhu se téměř nevyskytuje profesionální zařízení, které by sloužilo jako kompaktní tester základních elektronických součástek. Zařízení, které by usnadňovalo práci technikům v rychlém rozpoznání součástek a poskytovalo by údaj o základních parametrech součástky v rámci určité přesnosti. Každý elektronik, který kdy luštil zašlé označení na vypájeném tranzistoru, ve snaze zjistit rozložení vývodů a probíral se nekonečným množstvím stránek, naoko nabízející dokumentace od výrobců, bude s tímto zařízením moci veškerou nezáživnou rutinu přenechat mikrokontroléru.

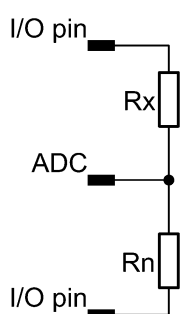
S podobnou myšlenkou před lety přišel Markus Frejek a navrhl systém zvaný Tranzistortester s AVR [1]. Svoje řešení uveřejnil na internetu a od té doby se jím zabývá nespočet nadšenců, kteří jeho řešení modifikují a vylepšují. Na aukčních portálech se toto zařízení nechá pořídit za cenu nižší než 1000 Kč. Modifikací se vyskytuje velké množství, avšak všechny vycházejí ze stejného zapojení měřicího obvodu připojeného na mikrokontrolér. A toto je cílem i mé práce. Použít osvědčenou koncepci a napsat pro ni software, ve kterém bude aplikována myšlenka zvolená na základě studia metod měření elektronických součástek

2 Měření základních elektronických komponent využitím mikrokontrolérů

Nejprve je potřeba si uvědomit, jaké možnosti nám mikrokontrolér nabízí. Pro použití mikrokontroléru k měření a testování máme k dispozici relativně omezenou škálu prostředků a nástrojů. Existuje mnoho systémů, kde mikrokontrolér řídící činnost měřidla, je obklopen podpůrnými obvody různé složitosti, které zpracovávají a připravují signály pro další zpracování mikrokontrolérem. Tím jsou myšleny i uživatelské ovládací prvky na přepínání rozsahů a podobně. Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí testeru, kde měřidlo je samotný mikrokontrolér s naprostým minimem okolních součástek (podrobněji popsáno v dalších kapitolách). Z tohoto důvodu principy probrané v této části budou založeny na podobné myšlence.

2.1 Měření rezistorů, kondenzátorů a indukčností

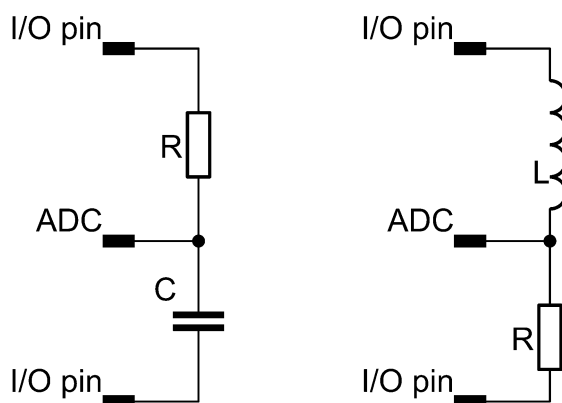
První metoda měření odporů, znázorněna na obr. 2.1, je odvozena ze srovnávací metody měření odporů. Neznámý odpor je zapojen v sérii se známým a na tuto sériovou kombinaci je připojeno napětí 5V z I/O pinu mikrokontroléru. Na známém odporu je proti zemi měřeno napětí AD převodníkem. V mikrokontroléru poté probíhá samotný výpočet proudu tekoucím sériovou větví. Z tohoto proudu a znalosti úbytku napětí na neznámém rezistoru se vypočítá ohmická hodnota elektrického odporu.



Obr. 2.1: Schéma měření neznámého rezistoru

Princip následujících metod spočívá v měření časové konstanty RC nebo RL. Využit se dají pro měření el. odporu, kapacity i indukčnosti. Liší se jen pořadím prvků v zapojení a ve vzorci, podle kterého program počítá neznámou veličinu.

Na obr. 2.2 vlevo je znázorněno zapojení sériové kombinace rezistoru a kondenzátoru. Obdobně jako v předchozím případě je přes I/O piny připojeno na větev napětí 5V a vstupem AD převodníku měřen úbytek napětí na spodním prvku, v tomto případě kondenzátoru. Rozdíl ale spočívá v programu. Ten opakuje odečet AD převodníkem, dokud napětí nedosáhne určité úrovně. Po celou dobu od připojení napájení na větev je zaznamenáván čas časovačem uvnitř mikrokontroléru. Hodnota napětí, při které se zastaví počítání času, je v programu vhodně zvolena tak, aby se z této hodnoty a dalšího jednoho údaje dala dopočítat neznámá hodnota podle vzorce $\tau = RC$. Pro jednoduchost, pokud zvolíme konstantu napětí v programu jako 63.21% ustálené hodnoty, doba kterou napočítá časovač bude přímo rovna době jedné τ . Pokud by se jednalo o rezistor a indukčnost, prvky by byly zapojeny podle obr. 2.2 vpravo. Princip měření by byl potom stejný a jediná odlišnost by byla ve vzorci pro výpočet neznámého prvku, který by byl nyní $\tau = L/R$.



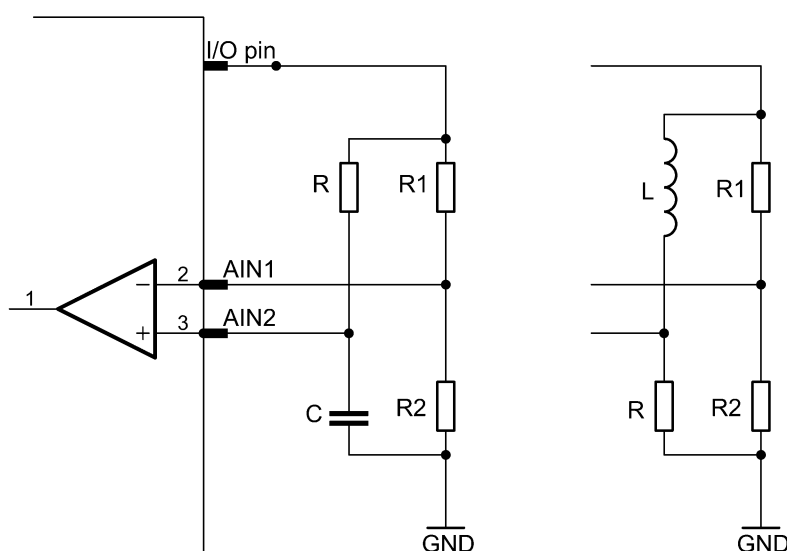
Obr. 2.2: Schéma pro měření časové konstanty pomocí AD převodníku

Další způsob měření těchto třech prvků je principiálně totožný s předchozím. Liší se jen v odečtu napětí na měřeném prvku. Při měření tímto způsobem není použit AD převodník, ale vše je prováděno pomocí I/O pinů. Jako v předchozím případě se předpokládá, že před měřením je kondenzátor vybit. Střed sériové kombinace je připojen na I/O pin, který je nastaven jako vstupní. Postup měření je následující. Přivedení napětí na větev, spuštění časovače a vypnutí v momentě, kdy se příslušný bit korespondující se stavem na vstupním pinu přeploží do logické 1. Napětí, při kterém se daný bit registru nastaví do 1, je dané dokumentací od výrobce obvodu. Doba, kterou napočítá časovač, je opět přímo úměrná časové konstantě. Tento způsob jde použít i pro měření indukčností podobně jako v předchozím případě.

Oproti principu, kdy je napětí odečítáno AD převodníkem, má tento způsob jednu výhodu. Tou je zastavení časovače přesně v momentu, kdy napětí dosáhne požadované

hodnoty. Kdežto AD převodník potřebuje určitou dobu na odečet napětí a potom i na přepočítání na digitální hodnotu. Může proto nastat situace, kdy AD převodník naměří hodnotu napětí, při které by se měl časovač zastavit. Časovač počítá dokud není převod dokončen a v okamžiku jeho zastavení už napočítal dobu, která neodpovídá časové konstantě. Toto se projeví zejména při měření malých časových konstant.

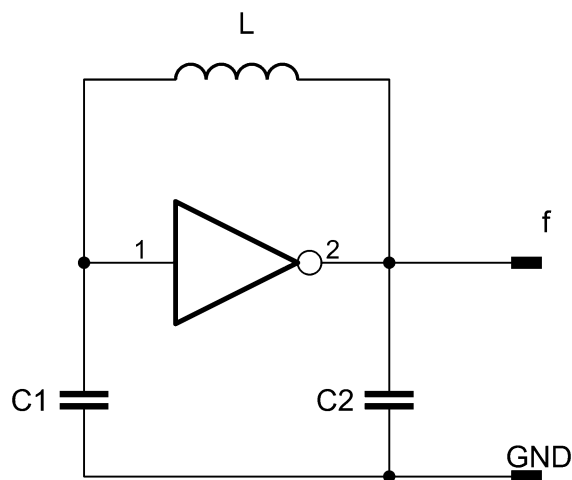
Další způsob měření R, C a L je možný pomocí zapojení znázorněného na obr. 2.3 vlevo. Využit je k tomu analogový komparátor, který je jednou z periférií mikrokontroléru. Na jeho invertující vstup je přivedeno napětí pevné hodnoty z odporového děliče R1 a R2. Neinvertující vstup komparátoru sleduje napětí na kondenzátoru. V okamžiku, kdy napětí na neinvertujícím vstupu překročí velikost napětí na invertujícím vstupu, se výstup komparátoru přeploží do log 1 a zastaví se časovač. Postup výpočtu je analogický jako u předchozích metod. Na obr. 2.3 vpravo je opět varianta pro měření indukčnosti.



Obr. 2.3: Schéma pro měření kapacity, odporu nebo indukčnosti pomocí zabudovaného komparátoru.

Koncepty měření odporů, kondenzátorů a indukčností za pomoci oscilátorů jsou další početnou skupinou. Myšlenka je založena na tom, že oscilátor může být sestaven pomocí CMOS NAND hradel nebo invertorů a jeho frekvence závisí na hodnotách indukčnosti, kapacity a odporu v jejich zpětnovazebních větvích. Mikrokontrolér je použit na měření frekvence oscilátoru a výpočet hodnoty neznámého prvku, za předpokladu že ostatní prvky jsou známy.

Jedna z technik používající induktor v CMOS oscilačním obvodu je znázorněna na obr. 2.4.



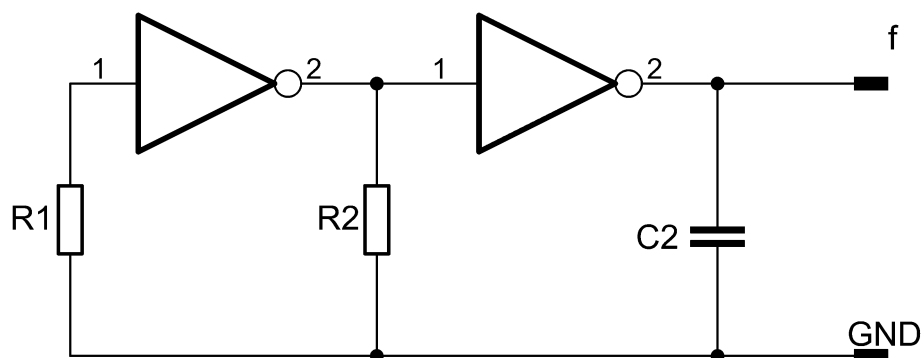
Obr. 2.4: Základní LC oscilátor

Oscilační kmitočet je určen rovnicí 2.1 a z této rovnice vyjádřená indukčnost viz rov. 2.2.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot \left(\frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} \right)}} \quad (2.1)$$

$$L = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \left(\frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2} \right)} \quad (2.2)$$

Použitím RC oscilátoru můžeme měřit odpor nebo kapacitu za předpokladu, že právě ten druhý prvek je známý. Viz obr. 2.5.



Obr. 2.5: Základní RC oscilátor.

Výstupní kmitočet oscilátoru za předpokladu že R a C jsou známy lze vypočítat ze vztahu 2.3. Z tohoto vztahu je dále vyjádřena kapacita pro případ, že změříme frekvenci, známe R a neznámou je C 2.4. Analogicky by se postupovalo při vyjádření elektrického odporu.

$$f = \frac{1}{\pi \cdot R \cdot C} \quad (2.3)$$

$$C = \frac{1}{\pi \cdot R \cdot f} \quad (2.4)$$

2.2 Měření polovodičových prvků

Princip rozpoznání a měření bipolárních tranzistorů a diod je rozebrán podrobněji v popisu měřících metod testeru a to včetně schémat zapojení, jehož návrhem se tato práce zabývá. Proto bude na následujících řádcích pouze nastíněna základní myšlenka.

Diody

Pokud se jedná zprvu o detekci diody jako takové, princip rozpoznání je v naprosté většině následující. Součástka se připojí do série s rezistorem, na sériovou větev je přivedeno napětí a na prvcích je změřen úbytek napětí. Poté se na větev přivede napětí v opačném směru a opět se změří úbytky napětí. Z naměřených hodnot se určí, jestli tekl proud větví jen v jednom směru a z tohoto poznatku vyplyne, jestli testovaná součástka je polovodičová dioda. Tím je dána i polarita diody a úbytek napětí na diodě v propustném směru. Tento princip lze aplikovat na usměrňovací diody i na svítivé diody, protože napětí které poskytuje mikrokontrolér je dostačující pro otevření všech typů diod.

Bipolární tranzistory

Rozpoznání bipolárních tranzistorů je založeno na myšlence, že bipolární tranzistor, ať už NPN nebo PNP, je struktura se dvěma PN přechody. Lze si tedy tranzistor představit jako dvě polovodičové diody. Postup je tedy obdobný jako v případě detekce diod, jen je aplikován na všechny tři kombinace párů na svorkách tranzistoru (báze-emitor, báze-kolektor, kolektor-emitor). Ze zjištění polohy a polarity diod je snadno určeno, zda se jedná o tranzistor NPN či PNP a také přímo vyplývá umístění báze tranzistoru. Zbývá už jen rozlišit umístění emitoru a kolektoru a změřit statický proudový zesilovací činitel.

2.3 Shrnutí

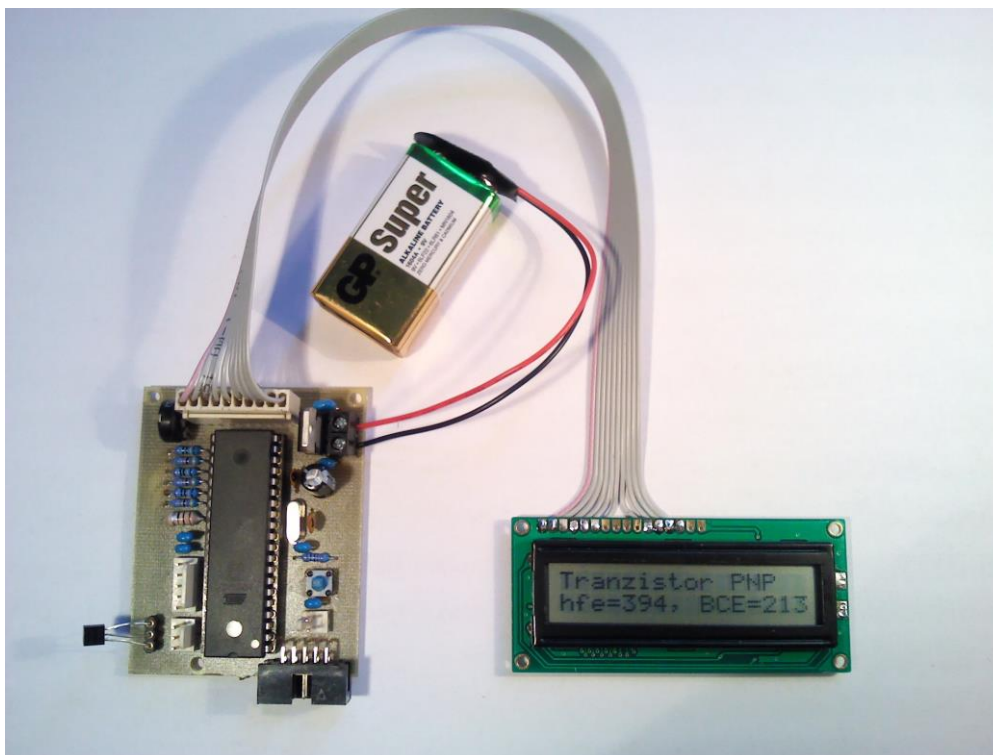
Výše popsané metody se jeví jako velmi jednoduché, ale jsou zde okolnosti, na které je třeba brát zřetel. Je to například nenulový odpor D-S tranzistorů připojujících I/O piny na napájení a na zem. Při větším proudu (jednotky mA) tekoucím přes tyto tranzistory vzniká úbytek napětí, který ovlivní výsledek. Je proto nutné při výpočtech s tímto úbytkem počítat.

Při větších odporech, tím pádem menším proudu (jednotky až desítky μA), lze tento úbytek zanedbat, avšak nastává další problém a to při odečtu AD převodníkem. AD převodník při odečtu potřebuje nějaký čas k nabití samplovacího kondenzátoru. Při dodržení podmínek stanovených v dokumentaci od výrobce, jako je maximální hodnota vstupního odporu, je tento čas zanedbatelný. V opačném případě je toto nutné kompenzovat v programu. AD převodník i kompenzace budou více rozebrány dále.

Důležité je uvědomit si, že všechny výše popsané metody jsou vztažené k jednomu rozsahu. Z toho se také odvíjí jejich přesnost. Není proto možné měřit pomocí stejné metody rezistory o velikostech desítek Ω a stovek $\text{k}\Omega$ a očekávat stejnou přesnost. To samé platí pro měření časových konstant, kde se lze u velkých kondenzátorů dostat na časové konstanty τ o velikostech v řádech desítek sekund. Podobně to platí i pro indukčnosti a tranzistory s velkým proudovým zesilovacím činitelem.

Jedním z cílů návrhu testeru je proto také dosáhnout co nejširší šířky pásma měření pomocí automatického přepínání rozsahů.

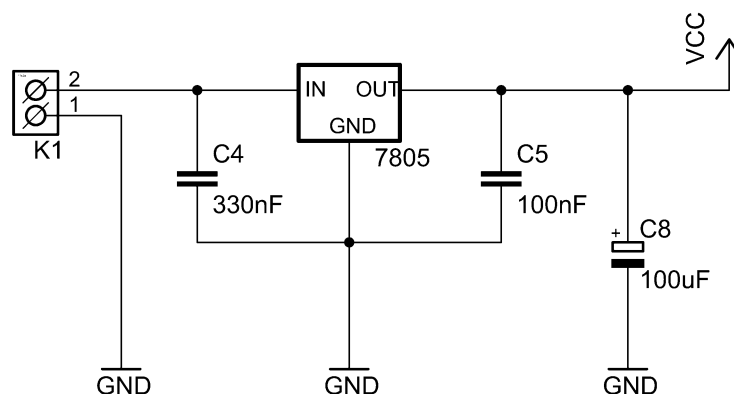
3 Popis měřícího systému



V této části bude dopodrobna popsáno zapojení testeru a jeho hlavních částí. Celkové schéma zapojení je znázorněno v příloze A.

3.1 Napájecí část

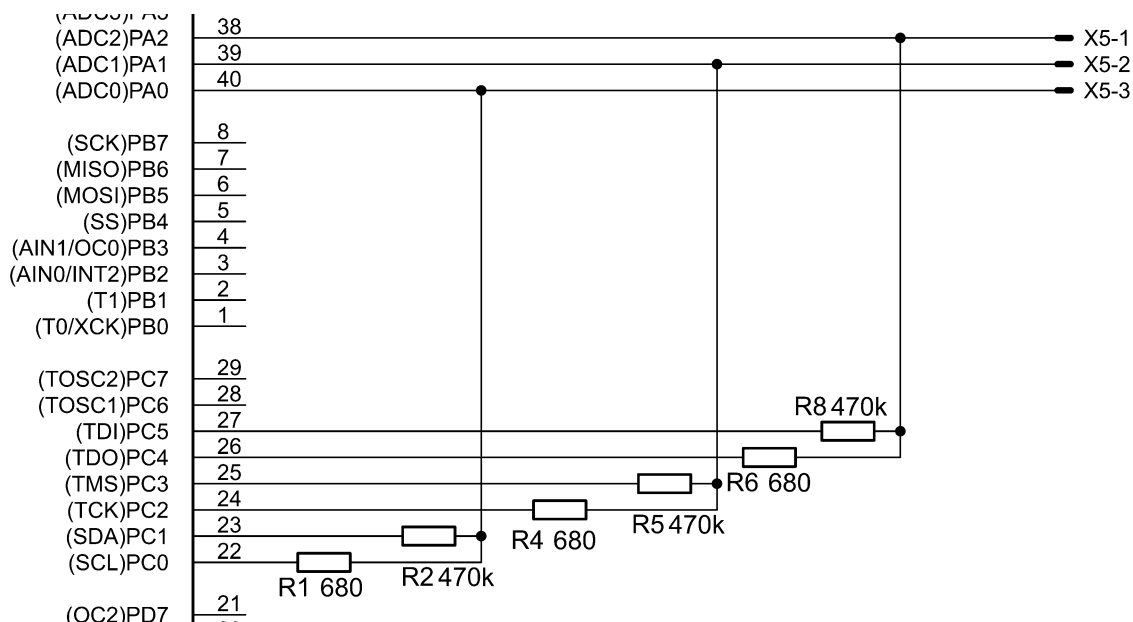
Některé z požadavků na navrhovaný tester jsou jednoduchost jeho používání, kompaktnost, malé rozměry a odolnost. Všechny tyto aspekty vedly k návrhu bateriově napájeného zařízení, kde s pomocí baterie a několika málo součástek, vznikne naprosto dostačující napájecí zdroj pro další součástky. Napětí, které potřebuje mikrokontrolér je $5V$ a jeho maximální odběr proudu je $200mA$. Stejně velké napětí potřebuje pro práci i použitý LCD displej s maximálním odběrem proudu $2,5mA$. Těmto požadavkům naprosto dostatečně vyhoví lineární regulátor napětí MC7805CTG, na jehož výstupu je právě $5V$ a maximálně dodá proud $1A$. Vstupní napětí regulátoru musí být minimálně o $2V$ vyšší než výstupní. Na jeho vstup je tedy připojena $9V$ alkalická baterie, která těmto požadavkům vyhoví. Přesné zapojení regulátoru (viz obr. 3.1) odpovídá doporučenému zapojení, které je uvedeno v dokumentaci od výrobce [2]



Obr. 3.1: Schéma napájecí části testeru.

3.2 Měřicí část

Pomocí zapojení znázorněného na obr. 3.2 tester provádí veškeré rozpoznávací a měřicí úkony. Skládá se ze tří testovacích vstupů, šesti rezistorů a mikrokontroléru. Každý testovací vstup je přiveden na mikrokontrolér jednak přímo a také přes dva rezistory 680Ω a $470k\Omega$. Brána, na kterou jsou vstupy přivedeny přímo má dva režimy, ve kterých může v jeden čas pracovat. Jsou to I/O režim a režim AD převodníku. Brána, na kterou jsou testovací vstupy přivedeny přes rezistory, pracuje jen v režimu I/O.



Obr. 3.2: Schéma měřicí části testeru

3.3 Mikrokontrolér

Jako řídicí prvek celého zařízení byl vybrán mikrokontrolér ATmega32 z rodiny AVR od firmy Atmel. Tato volba byla učiněna na základě základního průzkumu mikrokontrolérů nabízených na trhu a na doporučení od lidí, kteří mají v tomto odvětví zkušenosti. Základními aspekty této volby byly například nízká cena mikrokontroléru, vývojové prostředí od výrobce zdarma, možnost pořízení programátoru pro mikrokontrolér za velmi nízkou cenu, přehledná dokumentace od výrobce, možnost pořízení THT verze a také periferie jimiž mikrokontrolér disponuje. Základní použité periferie v tomto projektu budou popsány v následujících kapitolách. Možnost pořízení THT verze byla důležitá z toho důvodu, že celý vývoj mohl probíhat na nepájivém kontaktním poli.

3.3.1 ATmega32

Mikrokontrolér ATmega32 nese označení AVR což je rodina 8-bitových mikroprocesorů typu RISC s harvardskou architekturou. Harvardská architektura má oddělené sběrnice pro programovou a pro datovou paměť. Instrukce v programové paměti jsou vykonávány v jednoúrovňovém pipeline. Zatímco jedna instrukce se vykonává, další instrukce se načítá z programové paměti. Tento koncept umožňuje vykonávání instrukcí v každém hodinovém cyklu.

Mikrokontrolér lze pořídit v pouzdře PDIP a také TQFP/MLF. Pracovní napětí mikrokontroléru je $4,5\text{ V} - 5,5\text{ V}$. Nízko-příkonová verze ATmega32L pracuje dokonce už od $2,7\text{ V}$. Procesor disponuje 32 KB interní Flash paměti, 1 KB EEPROM a 2 KB SRAM paměti. Kmitočet, na kterém může procesor pracovat je až 16 MHz , za předpokladu použití externího krystalu. Obsahuje ale také interní oscilátor, který pracuje na kmitočtu až 8 MHz . Procesor obsahuje celou řadu periferních obvodů, které lze podle potřeby nastavit. V následující části budou popsány jen ty použité v navrhovaném zařízení.

3.3.2 Vstupní/Výstupní porty

Každý port představuje 8 bitů (1Byte), které jsou fyzicky vyvedeny na vývody mikrokontroléru. Jednotlivé piny mohou mít v závislosti na nastavení registrů alternativní funkce jako například vstup AD převodníku, USART, vstup externího přerušení. Všechny AVR porty mají true READ-MODIFY-WRITE funkcionalitu, jestliže jsou použity jako obecné číslicové vstupy/výstupy. To znamená, že směr jednoho pinu portu může být změněn,

aniž by došlo ke změně směru jakéhokoliv jiného dalšího pinu. To samé platí při nastavování vybuzeného stavu, pracuje-li pin jako výstup. Nebo připojení/odpojení pull-up rezistoru pracuje-li pin jako vstup. Všechny vývody mají individuálně aktivovatelný pull-up rezistor připojitelný k napájecímu napětí. Všechny piny jsou chráněny diodami vůči napájení a vůči zemi.

Každý port je ovládán třemi registry DDRX, PORTX a PINX. Kde X určuje o jaký port se jedná. Atmega32 má tyto porty 4 (A, B, C a D). Registr DDRX nastavuje vývody portu do režimu vstupního nebo výstupního. Registrem PORTX se řídí logická úroveň na vývodu, je-li nastaven jako výstup, nebo se prostřednictvím tohoto registru připojuje pull-up rezistor, je-li vývod nastaven jako vstup. Registr PINX je určený jen pro čtení a jeho hodnota odpovídá logické úrovni na vývodu.

3.3.3 AD převodník

Převod analogového signálu na číslicový se využívá poměrně často, protože zpracování a analýza dat probíhá vesměs číslicově. Atmega32 disponuje 10-bitovým převodníkem s postupnou aproximací. AD převodník je připojen na 8-kanálový analogový multiplexer, což umožňuje přivedení 8 samostatných napěťových vstupů prostřednictvím portu A. Převodník obsahuje Sample and Hold obvod, který zajišťuje držení vstupního napětí na konstantní úrovni během převodu. AD převodník má oddělený pin napájecího napětí AVCC. Napětí na AVCC se nesmí lišit o více jak 0,3 V od napájecího napětí mikrokontroléru. Referenční napětí pro převodník 2,56 V a 5 V jsou zajištěny už v čipu. Přivedené referenční napětí je doplněno o kondenzátor připojený na pin AREF pro lepší odrušení.

Obvody AD převodníku potřebují pro dosažení maximálního rozlišení hodinový signál o frekvenci mezi 50kHz a 200kHz. Pokud je 8 bitů dostatečné rozlišení, může být frekvence ještě vyšší a tím je dosažena větší vzorkovací rychlost převodníku. Hodinový signál pro převodník je získán z předděličky, která volitelným dělicím poměrem dělí frekvenci hodin mikrokontroléru.

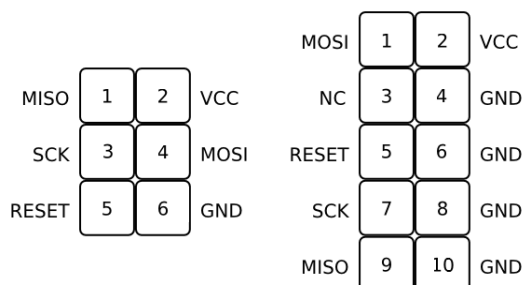
Funkce AD převodníku je řízena pomocí dvou registrů ADMUX a ADCSRA. Nastavuje se pomocí nich například: referenční napětí, zarovnání výsledku, výběr kanálu multiplexeru, povolení činnosti, povolení přerušování, start převodu a další.

3.3.4 Čítače/Časovače

Čítače a časovače patří mezi nejpoužívanější periferie mikrokontrolérů. Jde o součást, která pracuje nezávisle na tom, jaké instrukce zpracovává mikroprocesor. Čítače a časovače umožňují čítat vnitřní nebo vnější impulsy, generovat PWM signál, signál určité frekvence a také časování určité části programu.

3.4 Programovací rozhraní

Programování mikrokontroléru probíhá přes sériové rozhraní SPI způsobem In System Programming (ISP). In system programming znamená, že mikrokontrolér se tímto způsobem dá naprogramovat přímo v zařízení, ve kterém je zapojen. Programování se provádí pomocí třech signálů MISO, MOSI a SCK, které jsou jako alternativní funkce na 7-5 pinu brány B. Dále pak pomocí resetu a společné země GND. Standardně se pro toto programování využívá 6 nebo 10 pinového konektoru. Konektor obsahuje ještě VCC, pomocí kterého se dá aplikace napájet, ale jeho hlavní smysl je napájení mikrokontroléru při programování, pokud je aplikace bez napětí.



Obr. 3.3: Rozložení vývodů v ISP programovacích konektorech

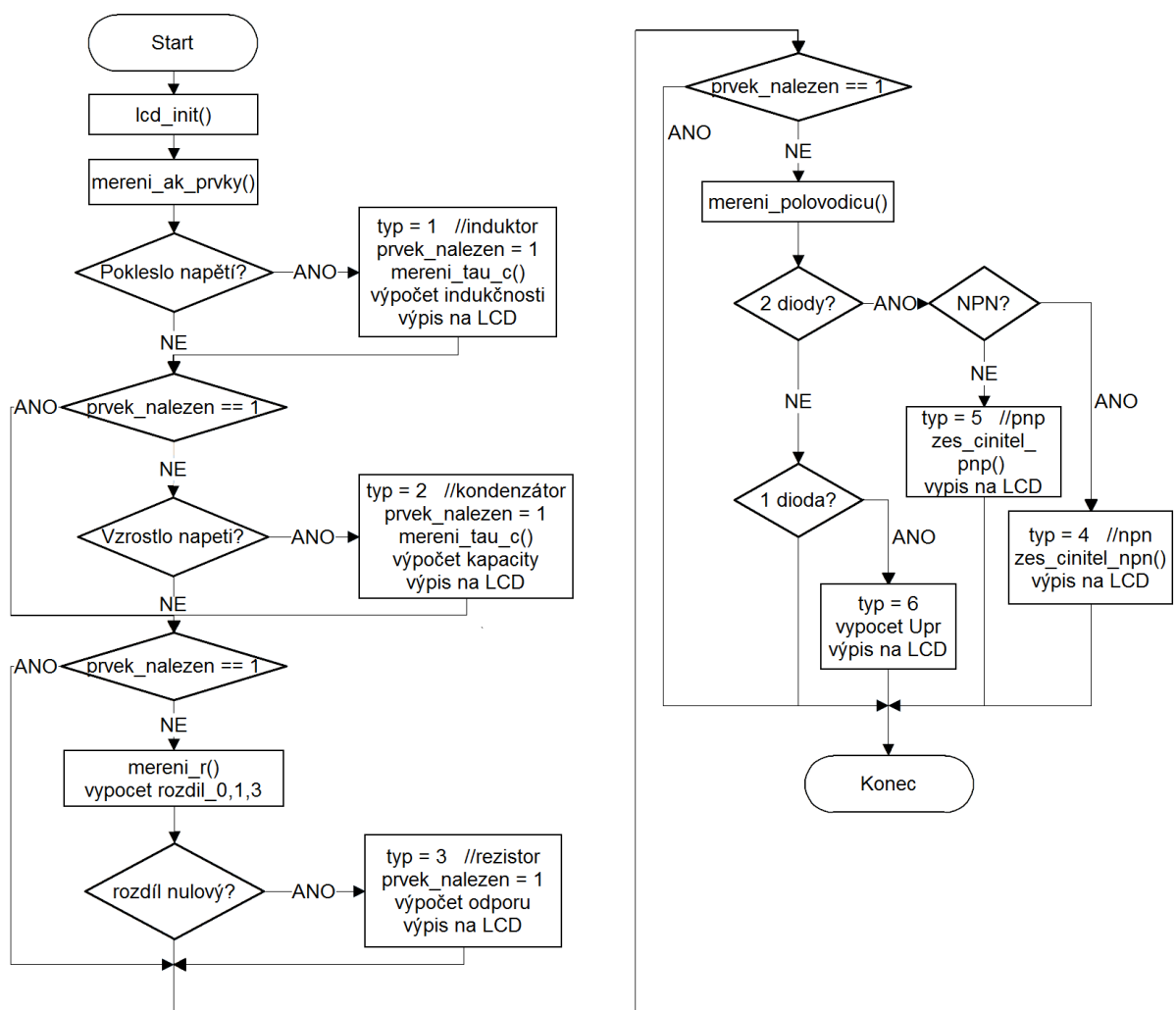
3.5 Alfanaumerický LCD displej

Tester informuje uživatele o výsledcích měření prostřednictvím dvouřádkového alfanumerického LCD displeje. Displej má již zabudovaný řadič (v tomto případě řadič S6A0069), který řídí činnost displeje a komunikaci s okolím. Displej pracuje při napájení 5V a s okolím komunikuje pomocí osmi datových vývodů a tří řídicích. Displej lze provozovat ve 4 bitové komunikaci, kdy se použijí jen čtyři horní datové vodiče. Řídicí signály jsou R/W, RS a EN. Signálem R/W se určuje, zda se do displeje zapisuje nebo se z něj čte. Číst se může tzv. busy bit, který udává informaci, jestli je řadič displeje zaneprázdněn, nebo jestli může

přijímat data. Tímto se dá zrychlit komunikace s displejem. Signálem RS se řídí, zda se displeji posílá po datových vodičích příkaz nebo data. Pomocí příkazů se displej vždy na začátku komunikace inicializuje. Poté se nastaví kolika bitová komunikace bude s displejem probíhat, nastaví se chování kurzoru, smazání displeje apod. Pro signál EN jsou v dokumentaci od výrobce uvedeny doby, jak dlouho má být signál EN nastaven v různých fázích komunikace. Zejména při inicializaci jsou tyto doby důležité.

4 Popis programu mikrokontroléru a měřících procedur

Základní popis chování zařízení při testování je znázorněn ve vývojovém diagramu na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Vývojový diagram hlavní smyčky programu

Po vstupu programu do hlavní funkce main() dojde nejdříve k inicializaci LCD displeje pomocí podprogramu inicializace_lcd(). Program pokračuje sekcí, která rozpoznává, zda-li není připojen akumulární prvek, tedy induktanost nebo kondenzátor. Před vstupem do této části se nejprve nastaví AD převodník. Rozlišení se nastaví na 8-bitů čímž se zhorší přesnost, ale dosáhne se vyšší možné vzorkovací rychlosti. Při 8-bitovém rozlišení může mít hodinový signál vyšší frekvenci než 200kHz. Frekvence, na níž pracuje mikrokontrolér je 16MHz. Předdělička pro AD převodník je tedy nastavena na 64, což poskytuje hodinový signál o frekvenci 250kHz. Zvýšení vzorkovací rychlosti na úkor přesnosti převodníku je učiněno proto, že v následující sekci bude zapotřebí co nejrychlejšího monitorování přechodových dějů na indukčnostech a kondenzátorech.

Program tedy pokračuje vstupem do části, která naměří potřebné údaje pro zjištění, zda-li se na svorkách nenachází akumulární prvek. Princip měření spočívá v tom, že se předpokládají všechny 3 možnosti, jak by mohl být prvek na svorky připojen. Naměření hodnot provede podprogram mereni_ak_prvky(), který má jako parametry předpokládané vývody se součástkou a časovou prodlevu mezi měřeními. Podprogram se volá třikrát pro všechny tři možnosti připojení. Podprogram připojí součástku do série s rezistorem a dvakrát po sobě s časovou prodlevou na ní změří úbytek.

Z těchto hodnot již lze zjistit, jestli se jedná o induktor a také na jakých svorkách se nachází. Pokud program projde podmínkovým výrazem na indukčnost, následuje volání dalšího podprogramu mereni_tau_l(), který změří časovou konstantu RL článku. Rezistor s menším odporem (680 Ω) je zvolen kvůli tomu, aby časová konstanta byla měřitelná. Ta je totiž nepřímo úměrná velikosti odporu $\tau = L/R$. Před měřením časové konstanty nejdříve dojde k změření a následnému výpočtu ohmického odporu drátu, ze kterého je navinuta indukčnost. Tento údaj je započten do výsledného výpočtu indukčnosti pro lepší přesnost. Pro přesnější odečet AD převodníkem je úroveň, do které se měří čas, nastavena jako 0,9932*ustálené hodnoty. Konstanta 0,9932 odpovídá časové konstantě 5τ . Samotný výpočet indukčnosti je uveden ve vztahu 4.1. Hodnoty odporů ve vztahu odpovídají rezistoru v sérii s indukčností (680Ω) a odporům kanálů unipolárních tranzistorů v mikrokontroléru (22Ω při připojení na napájení a 19Ω při připojení na zem).

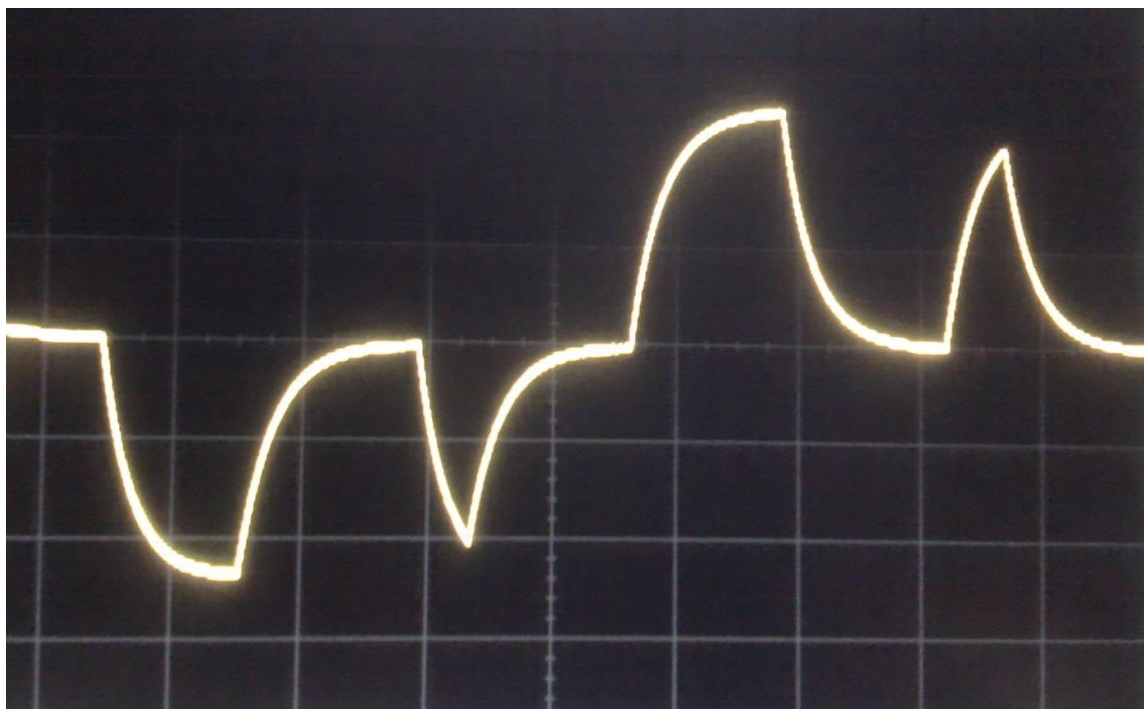
$$L = \frac{5\tau}{5} \cdot \left(680\Omega + 22\Omega + 19\Omega + \frac{5V - U_{ADC} - 22\Omega \cdot \frac{U_{ADC}}{680\Omega + 19\Omega}}{\frac{U_{ADC}}{680\Omega + 19\Omega}} \right) \quad [\text{H}] \quad (4.1)$$

Výsledná hodnota indukčnosti spolu s informací na které svorky je indukčnost připojena je vypsaná na LCD.

V případě, že se neprokáže indukčnost, přeskočí program tuto část a pokračuje vstupem do cyklu s podmínkou zda se jedná o kondenzátor. Není-li splněna podmínka pro identifikaci kondenzátoru, opakuje se pomocí cyklu volání podprogramu `mereni_ak_prvky()` a zdesetinásobí se časová prodleva mezi měřeními. Začíná se na $1\mu s$ a pokud se neprojeví kondenzátor ani po $100ms$, přeskočí se úsek programu zaměřený na kondenzátory a pokračuje se dále. Měření samotné kapacity probíhá principiálně stejně jako u měření indukčnosti. Rozdíl je ale v tom, že se při měření rozlišují velké a malé kondenzátory. Pokud se pro rozpoznání kondenzátoru použije časová prodleva větší než $10\mu s$, probíhá měření časové konstanty a následný výpočet kapacity pomocí odporu $680\ \Omega$. V opačném případě se použije odpor $470\ k\Omega$. Program také řeší, jestli je na svorky připojen elektrolytický kondenzátor a pokud ano, zajistí aby byl výpočet kapacity proveden na základě hodnot naměřených při správné polarizaci. Na základě měření bylo totiž zjištěno, že přes opačně polarizovaný kondenzátor teče velký svodový proud, který vytvoří úbytek napětí na rezistoru v sérii. Na obr. 4.2 je vidět průběh napětí na kondenzátoru při měření. Kondenzátor se nejprve nabije v jednom směru, zjistí se ustálená hodnota, na kterou se nabil a vypočte se hodnota pro čas 2τ . Poté se kondenzátor nabije znovu a změří se čas, za který dosáhne doby 2τ . Totéž se opakuje pro opačnou polarizaci a z ustálených hodnot se vybere ta vyšší. Ta odpovídá správné polarizaci elektrolytického kondenzátoru. Následuje výpočet kapacity z naměřené doby (viz vztah 4.2) a výpis hodnoty na LCD.

$$C = \frac{\frac{2\tau}{2}}{(R + 22\Omega + 19\Omega)} \quad [F] \quad (4.2)$$

R ve vzorci reprezentuje odpory $680\ \Omega$ $470\ k\Omega$, které jsou použity podle rozsahu.



Obr. 4.2: Stínítko osciloskopu zachycující měření kondenzátoru.

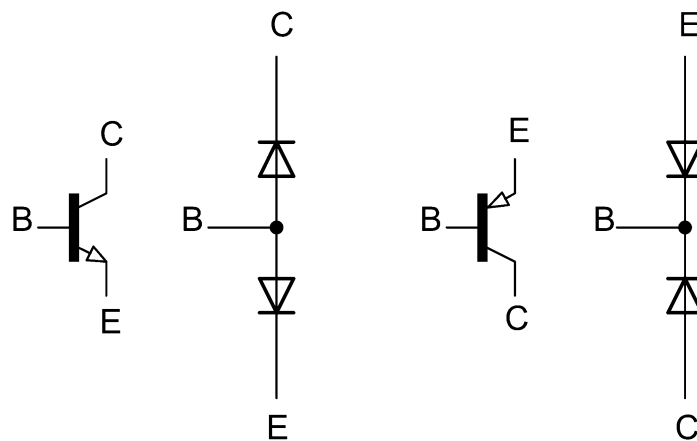
Pokud se neprokázala přítomnost indukčnosti ani kondenzátoru provede se nastavení AD převodníku na 10-bitové rozlišení. Dále se totiž budou měřit rezistory a polovodičové prvky kde nezáleží na rychlosti měření, nýbrž na jeho přesnosti.

Program poté dojde do části, kde se zavolá podprogram `mereni_r()`, který opět naměří tabulku hodnot potřebných pro rozlišení zda-li je neznámá součástka rezistor. Jeden z parametrů podprogramu je informace o tom, pomocí jakého odporu se má měření provést. Zprvu se použije odpor $680\ \Omega$ a pokud naměřené údaje nevyhoví podmínce, zavolá se podprogram znovu s použitím odporu $470\ k\Omega$. Tímto je docíleno měření odporů na dvou rozsazích a automatického přepínání mezi nimi. Následuje už jen výpočet hodnoty odporu (vztah 4.3), který zahrnuje i úbytky napětí na kanálech unipolárních tranzistorů a výpis na LCD displej.

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{5V - 22\Omega \cdot \frac{U_{ADC}}{R+19\Omega} - U_{ADC}}{\frac{U_{ADC}}{R+19\Omega}} \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

R ve vztahu opět znamená odpor $680\ \Omega$ nebo $470\ k\Omega$, zvolený podle rozsahu.

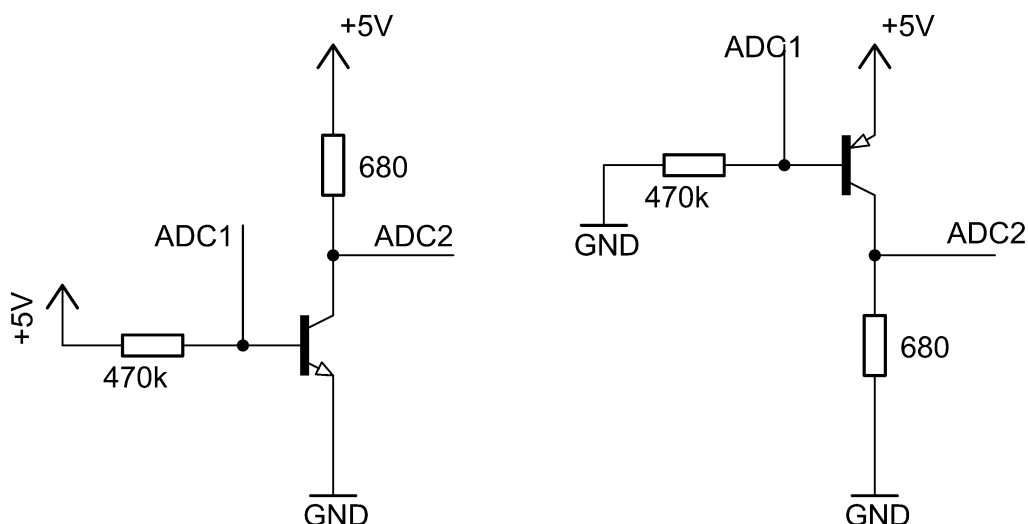
Poslední částí funkce `main()` před vstupem do nekonečné smyčky je rozpoznání a měření polovodičových prvku. A to bipolární tranzistory NPN a PNP a diody. Na začátku je opět zavolán podprogram, který naměří potřebné údaje. V tomto případě je předpokládáno všech šest různých způsobů, jak lze na tři testovací vstupy připojit diodu. Po navrácení z podprogramu, následuje šest podmínkových výrazů. Tři z nich náleží NPN tranzistoru a tři PNP tranzistoru. Podmínka, která musí být splněna pro tranzistor je, nalezení dvou PN přechodů při měření tabulky a také jejich přesné umístění a polarita viz Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Symbolické znázornění bipolárních tranzistorů používané pro zjištění funkčnosti (vlevo NPN tranzistor, vpravo PNP tranzistor)

Z obrázku je patrné, že po nalezení tranzistoru jakožto dvou PN přechodů, je už pevně získáno umístění báze. A to jak NPN tranzistoru tak PNP. Z tohoto poznatku se dále vychází. U NPN tranzistorů je volán podprogram `zes_cinitel_npn()`, který nejprve zjistí umístění zbylých dvou vývodů tranzistoru (kolektoru a emitoru) a poté změří a vypočítá samotný statický proudový zesilovací činitel. Umístění vývodů kolektoru a emitoru je provedeno tím způsobem, že se otevře dioda B-E a testuje se, zda teče přes K-E proud. Pokud tomu tak není předpokládaná dioda B-E byla ve skutečnosti dioda B-K.

Nyní už je známo rozložení vývodů tranzistoru na testovacích svorkách. Následuje měření statického proudového zesilovacího činitele. Pomocí I/O pinů, dostupných rezistorů a vstupů AD převodníku jsou tranzistory připojeny do měřících zapojení znázorněných na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Měřící zapojení pro získání statického proudového zesilovacího činitele (vlevo pro tranzistor NPN, vpravo pro tranzistor PNP)

Označené napájení i GND jsou reprezentovány pomocí I/O portů. Vývody označené ADC jsou vstupy AD převodníku. Princip obou zapojení je podobný. Pomocí odporu $470\text{ k}\Omega$ připojeného k bázi tranzistoru je dosaženo bázového proudu v jednotkách μA . To umožní měření statického zesilovacího činitele až do velmi vysokých hodnot. Program po odměření dvou údajů AD převodníkem vypočte proud báze, proud kolektoru a z těchto dvou údajů už snadno získá velikost statického proudového zesilovacího činitele (vztah 4.4 pro PNP tranzistor). Informaci, že se jedná o tranzistor, rozložení jeho vývodů a zesilovací činitel jsou údaje, které se vypíší na LCD displej.

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\frac{U_{ADC2}}{680+19}}{\frac{U_{ADC1}}{470k+19}} \quad (4.4)$$

Je-li v tabulce nelezene pouze jeden PN přechod, jedná se samozřejmě o diodu. Program na základě hodnot v tabulce zjistí umístění diody a společně s úbytkem napětí na diodě všechny tyto údaje vypíše na LCD displej.

Následuje vstup programu do nekonečné smyčky, kde se nachází až do doby dalšího stisku resetovacího tlačítka.

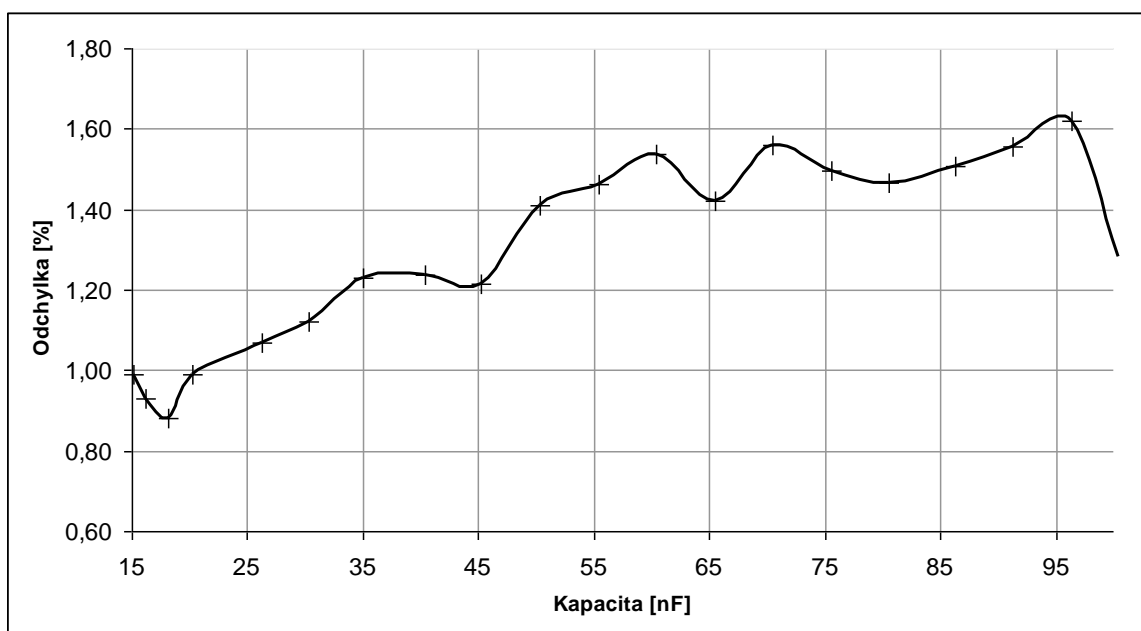
5 Parametry prototypu získané měřeními

Funkce navrženého testeru byla ověřována pomocí LCR měřiče GW 826 a digitálního multimetru Metex M-3640D. Rezistory, kondenzátory a indukčnosti byly testovány LCR měřičem, který byl nastaven na minimální frekvenci (100Hz). Výrobce udává základní přesnost LCR měřiče jako 0,1%. Byl tedy uvažován jako normálový přístroj. Digitální multimetr Metex byl použit spíše pro orientační měření.

Některá měření probíhala s přibližně logaritmickou volbou vzorků, proto i některé grafy mají logaritmickou osu.

5.1 Měření kondenzátorů

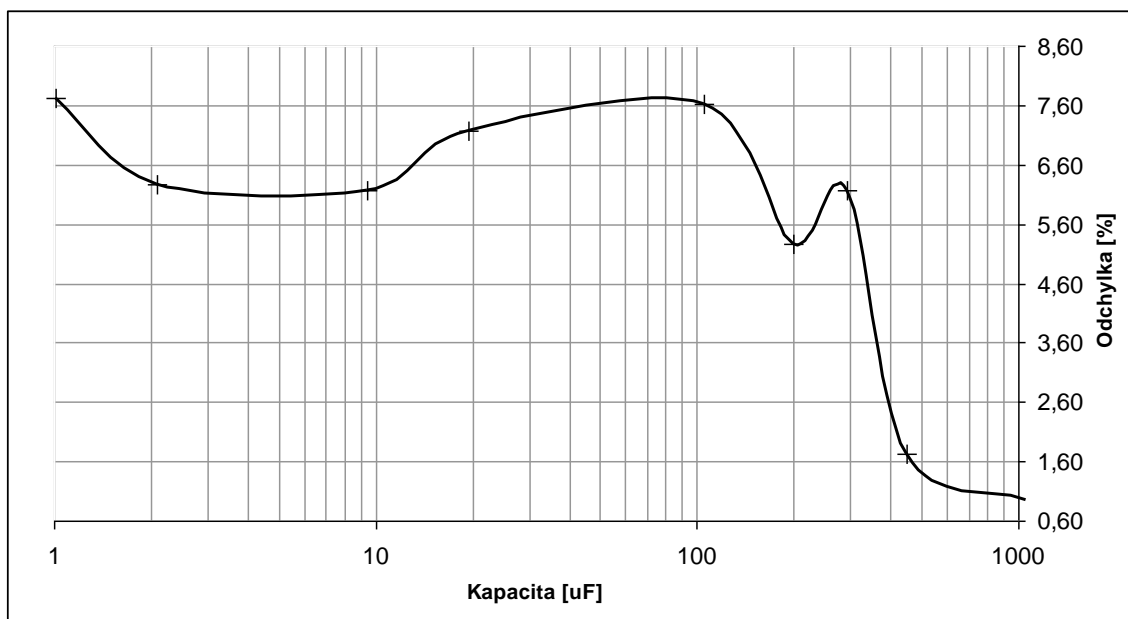
Měření kondenzátorů se skládalo ze dvou částí. V první části se ověřovala přesnost měření na kapacitní dekádě MA 2405 (0,1 nF – 100 nF). Na obr. 5.1 je grafické znázornění odchylky mezi měřicími přístroji při měření na kapacitní dekádě.



Obr. 5.1: Grafické znázornění procentuální odchylky mezi testerem a normálovým měřičem pro malé kondenzátory.

Obr. 5.2 zachycuje měření velkých (v tomto případě elektrolytických) kondenzátorů

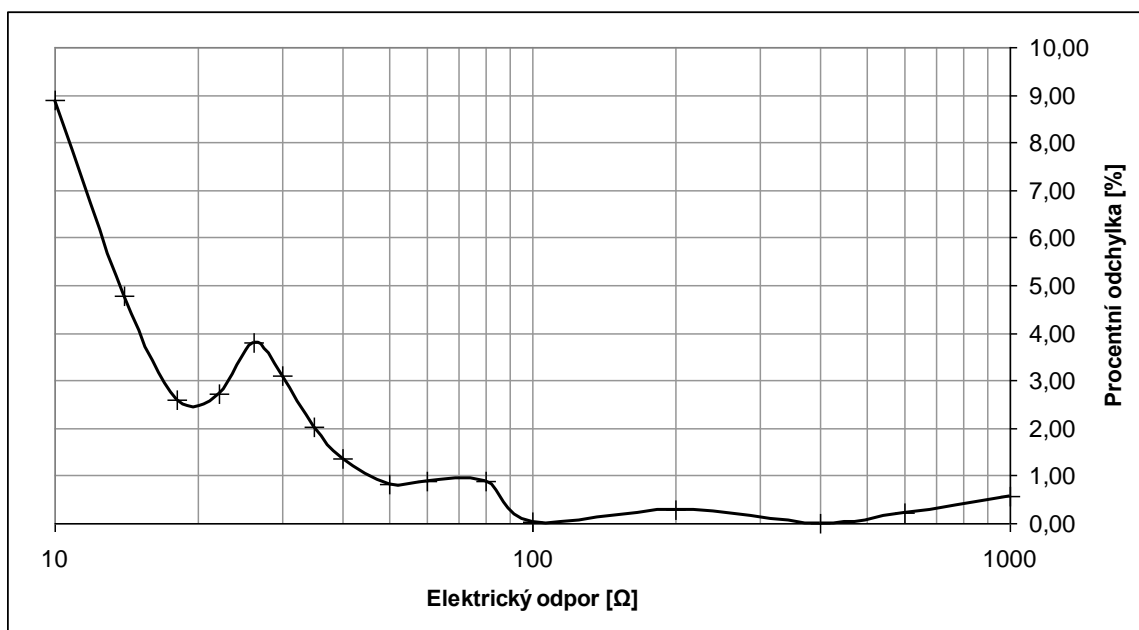
různých dimenzací a kvalit. Měření kondenzátorů probíhá na dvou rozsazích a k jejich přepínání dochází okolo měřené hodnoty $8 \mu F$.



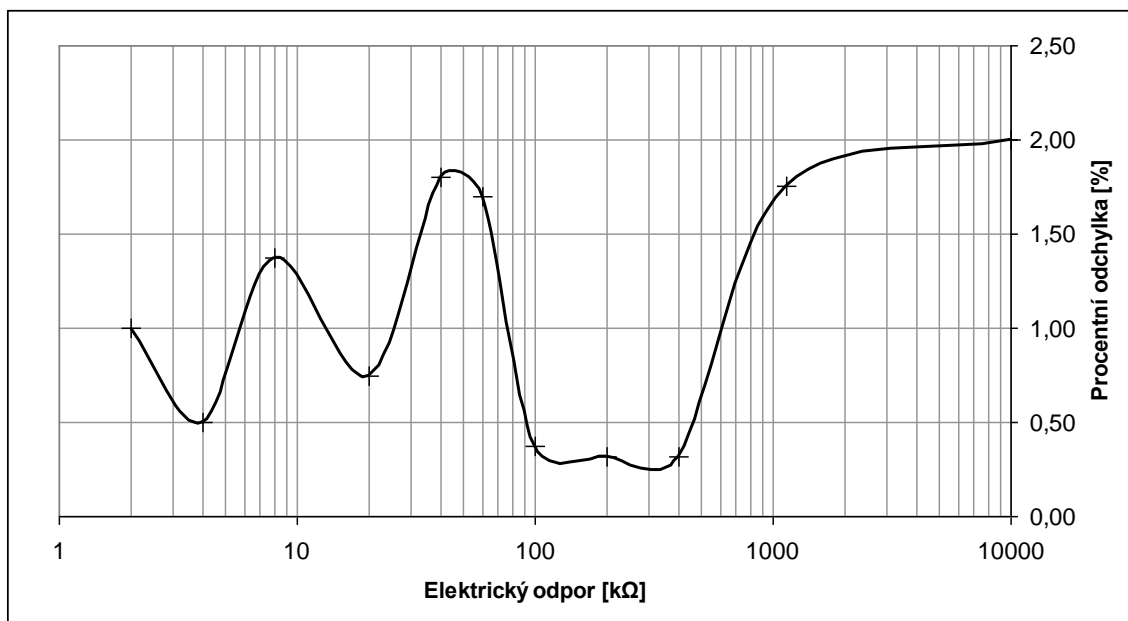
Obr. 5.2: Grafické znázornění procentuální odchylky mezi testerem a normálovým měřičem pro velké kondenzátory.

5.2 Měření odporů

Na obr. 5.3 je grafické znázornění odchylky mezi přístroji pro malé hodnoty odporů. Jako je tomu i u kondenzátorů, měření probíhá na dvou měřicích rozsazích.

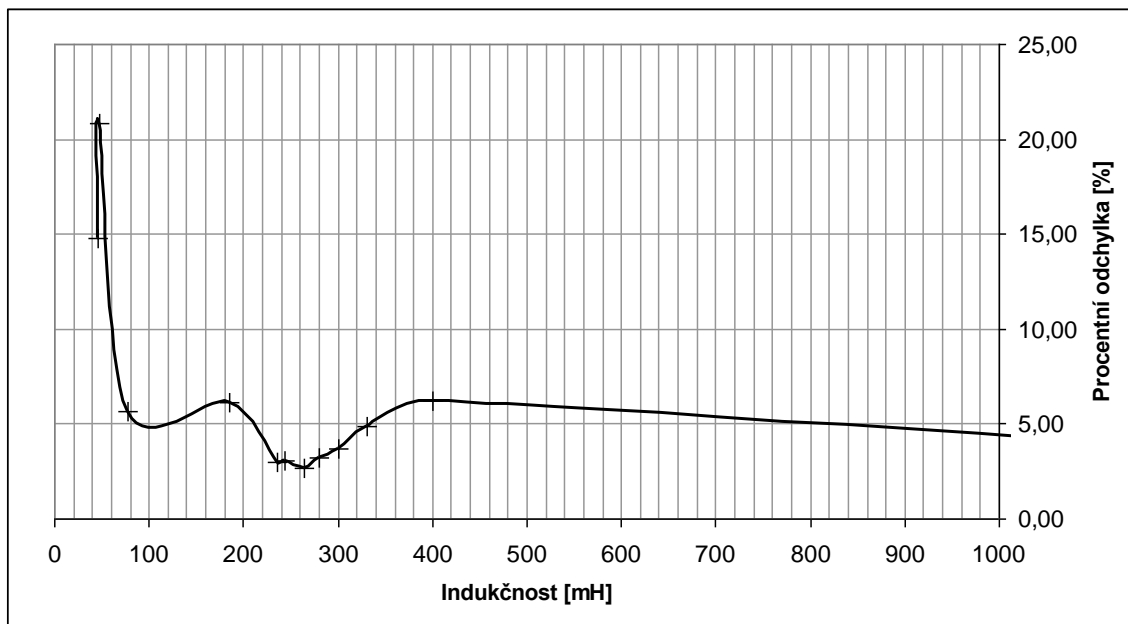


Obr. 5.3: Grafické znázornění procentuální odchylky mezi testerem a normálovým měřičem pro malé odpory.



Obr. 5.4: Grafické znázornění procentuální odchylky mezi testerem a normálovým měřičem pro velké odpory.

5.3 Měření indukčností



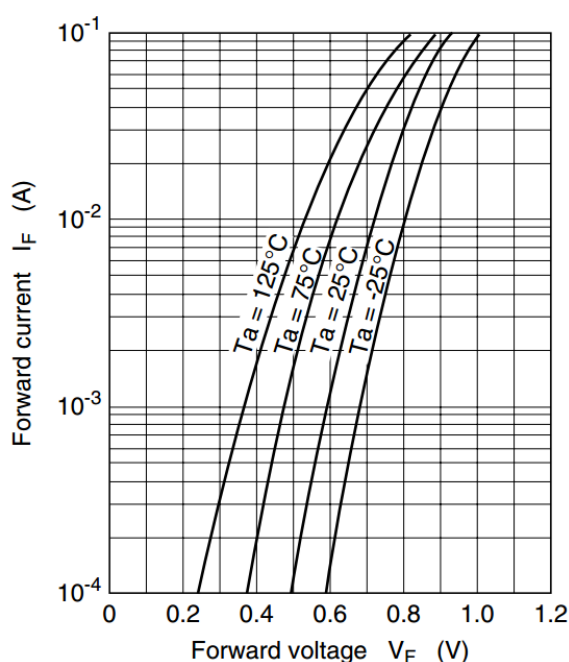
Obr. 5.5: Grafické znázornění procentuální odchylky mezi testerem a normálovým měřičem pro indukčnosti.

5.4 Měření polovodičových prvků

Pokud tester rozpozná diodu, změří její propustné napětí. Tato hodnota se však značně liší od hodnoty zobrazené multimetrem. Rozdíl je způsoben různým měřicím proudem obou přístrojů. Různými proudy se dostanou dvě různá místa na volt-ampérové charakteristice diody, z toho pak i různá napětí. Výrobce multimetru v dokumentaci uvádí, že měřicí proud je přibližně 1 mA. Navržený tester má měřicí proud závislý na propustném napětí diody a lze spočítat ze vztahu 5.1, kde 5 V je napájecí napětí sériového spojení rezistoru s diodou, U_{PR} je hodnota zobrazená testerem, 680Ω je hodnota předřadného odporu a 22Ω a 19Ω jsou přibližné hodnoty odporů kanálů unipolárních tranzistorů.

$$I_{PR} = \frac{5V - U_{PR}}{680\Omega + 22\Omega + 19\Omega} \quad (5.1)$$

Pro příklad jsou zde uvedeny údaje o usměrňovací diodě 1N4148 naměřené při 25°C . Multimetr naměřil propustné napětí 586 mV při proudu přibližně 1 mA . Navržený tester ukázal hodnotu $U_{PR} = 702\text{ mV}$. Pro tuto hodnotu byl ze vztahu 5.1 vypočítán proud $I_{PR} = 5,96\text{ mA}$. Na obr. 5.6 je volt-ampérová charakteristika diody v propustném směru uvedená výrobcem v datasheetu. Z té je patrné, že hodnoty z testeru i multimetru korespondují s křivkou pro 25°C .



Obr. 5.6: Závislost proudu v propustném směru na propustném napětí. Dioda 1N4148

Co se tranzistorů týče, tak tester bezpečně rozpozná bipolární tranzistory a poskytne informaci o typu (NPN,PNP) a rozložení vývodů na testovacích vstupech. Hodnota statického proudového zesilovacího činitele se opět mírně liší od hodnoty udané multimetrem, což je opět z části dáno tím, že multimetr měří za jiných podmínek. Porovnáním s hodnotami v datasheetech také nedojde k výrazným závěrům, protože tam jsou hodnoty udané za specifických podmínek. Například při daném napětí kolektor-emitor.

6 Srovnání dosažených výsledků s již dostupnými zařízeními

Jak již bylo na začátku řečeno, systémů založených na stejné koncepci se vyskytuje mnoho. Uživatelé si pro jejich tester odladili vlastní software a uveřejnili ho volně na internetu. Proto se v dnešní době vyskytuje nepřehledné množství mutací. Naprostá většina ovšem jako jediný parametr udává měřicí rozsah. Dále tedy bude popsán jeden takový, jako zástupce všech testerů, založených na stejné bázi a jeden, který používá odlišný princip měření.

Tester součástek R C L D Tran. Mosfet, ESR

Toto zařízení je nabízeno na aukčním serveru [8]. Měřič dokáže měřit jednak více součástek, ale co se týče kapacit, tak rozpozná kondenzátory s kapacitou přibližně o 3 řády menší. Pravděpodobně z toho důvodu, že místo AD převodníku používá na měření časových konstant výstupní pin mikrokontroléru. Zde jsou některé parametry, uvedené v popisu:

Měřicí rozsahy:

Rezistory: $0.5\Omega-20M\Omega$

Kondenzátory: $30pF-20000\mu F$

Cívky/tlumivky: max $22 H$

Dokáže rozpoznat a změřit:

Kondenzátory (kapacitu, ESR), Rezistory, Cívky, Diody a LED (polaritu, napětí, kapacitu), Tranzistory bipolární (zapojení vývodů, napětí přechodů, typ PNP/NPN, zesílení) Tranzistory unipolární N i P kanál (typ tranzistoru, zapojení vývodů, kapacitu přechodu) Duální diody (zapojení vývodů, napětí diod) Tyristory

LCFesR 4.5 METER

Zařízení uvedené na [9] dokáže měřit indukčnosti, kapacity, frekvenci, malé odpory a ekvivalentní sériový odpor. Tento měřič je mnohem přesnější a dokáže měřit na mnohem širším rozsahu. Používá totiž oscilační obvody. Některé byly uvedeny v 1. kapitole. Na druhou stranu se ale jedná o mnohem složitější zařízení. Některé z výrobcem uvedených parametrů:

Indukčnosti: $10nH - 30H$ s přesností $<5\%$

Kondenzátory: $100pF - 22000\mu F$ s přesností $<5\%$ (menší než $100pF$ s odchylkou $\pm 1pF$)

Malé odpory a ESR: $250m\Omega - 30\Omega$ s přesností $<4\%$

7 Možná vylepšení prototypu

Pro měření časových konstant přechodových dějů, je pravděpodobně účinnější ta metoda, kdy jsou vstupní hodnoty získávány pomocí vstupního pinu mikrokontroléru. Pro ten jsou dané úrovně, při kterých se překlopí do logické 0 a logické 1. Získá se tím takřka okamžitá reakce na potřebnou úroveň na vstupu mikrokontroléru. Oproti tomu převodník má jistou latenci.

Velmi přesných hodnot by se také dosáhlo použitím metody s LC a RC oscilátory na vstupech. Avšak při zvolení tohoto řešení by celé zařízení podstatně ztratilo na kompaktnosti. Muselo by se totiž zavést zapojení s více než třemi testovacími vstupy.

Přesnost měření elektrolytických kondenzátorů by se dala vylepšit uvažováním ztrátového činitele ve výpočtech.

Dále se nabízí rozšíření funkce mikrokontroléru na další polovodičové součástky. Jako jsou tyristory, unipolární tranzistory, diaky, triaky apod.

Přidáním dalších rezistorů do měřícího zapojení by se dosáhlo přesnějšího měření z důvodu více měřících rozsahů.

Dalším zpříjemněním práce s prototypem by bylo investování do kvalitnějšího LCD displeje s podsvícením. Použitý displej má totiž celkem špatný pozorovací úhel.

8 Závěr

Návrhu zařízení předcházela studie, která byla zaměřena na možnosti měření základních elektronických součástek pomocí mikrokontrolérů. Ze zjištěných postupů byl pro každý typ součástky zvolen jeden princip. Po návržení, sestrojení a ověření přesnosti však vyšlo najevo, že některé principy by byly vhodné upravit nebo změnit. Navržená vylepšení byla zmíněna v předchozí kapitole. Zde se krátce zhodnotí dosažené výsledky a zdůvodní případné špatné vlastnosti.

Co se týče akumulačních prvků, kde bylo testování založeno na měření časové konstanty přechodového děje, nebylo použití AD převodníku tou nejlepší volbou. Problém AD převodníku spočívá v tom, že má poměrně malou vzorkovací frekvenci. V případě rychlých přechodových dějů (malé indukčnosti a malé kapacity) byla časová konstanta mnohdy kratší než čas mezi vzorky AD převodníku. Pro získání obstojných výsledků touto metodou, by bylo zapotřebí, aby byla perioda vzorkování mnohonásobně kratší než časová konstanta přechodového děje. Z tohoto důvodu zařízení rozpoznává a měří kondenzátory až od 15 nF a indukčnosti od 30 mH .

Dalším nešvarem navrženého zařízení je uvažování kondenzátoru jako ideální součástky. Záležitost, která se takřka neprojevila při měření na kapacitní dekádě (kvalitní polypropylenové kondenzátory s minimálním ztrátovým činitelem) měla značný vliv při měření elektrolytických kondenzátorů. Na obr. 5.2 je znázornění odchylky mezi navrženým testerem a normálovým měřičem při měření elektrolytických kondenzátorů. Jednalo se o kondenzátory různých kvalit a velikost jejich ztrátového činitele korespondovala s velikostí procentuální odchylky.

Měření indukčnosti je složitá disciplína a způsob měření, který používá tento tester, není cesta k jinému měření než čistě orientačnímu. Ještě více než u kondenzátorů se zde totiž uplatňuje malá rychlost AD převodníku. Smysluplné hodnoty (s přesností okolo 5%) ukazuje tester až u cívek o indukčnosti $>70\text{ mH}$.

Z grafu na obr. 5.4 je patrné, že pro velmi malé hodnoty odporů je tester vhodný pouze pro orientační účely. Avšak od $90\ \Omega$ do $1\text{ k}\Omega$ měří tester s obstojnou přesností, s odchylkou do 0,5%.

Lépe je na tom měření větších hodnot odporů (viz obr. 5.2), kde od $2\text{ k}\Omega$ do $10\text{ M}\Omega$ odchylka nepřekročí hranici 2%. Konkrétně od $100\text{ k}\Omega$ do $400\text{ k}\Omega$ se drží pod 0,5%.

Rozpoznávání a měření polovodičových prvků je asi největší přínos tohoto zařízení. Zařízení udávající takřka okamžitou informaci o rozložení vývodů tranzistorů je významným

pomocníkem.

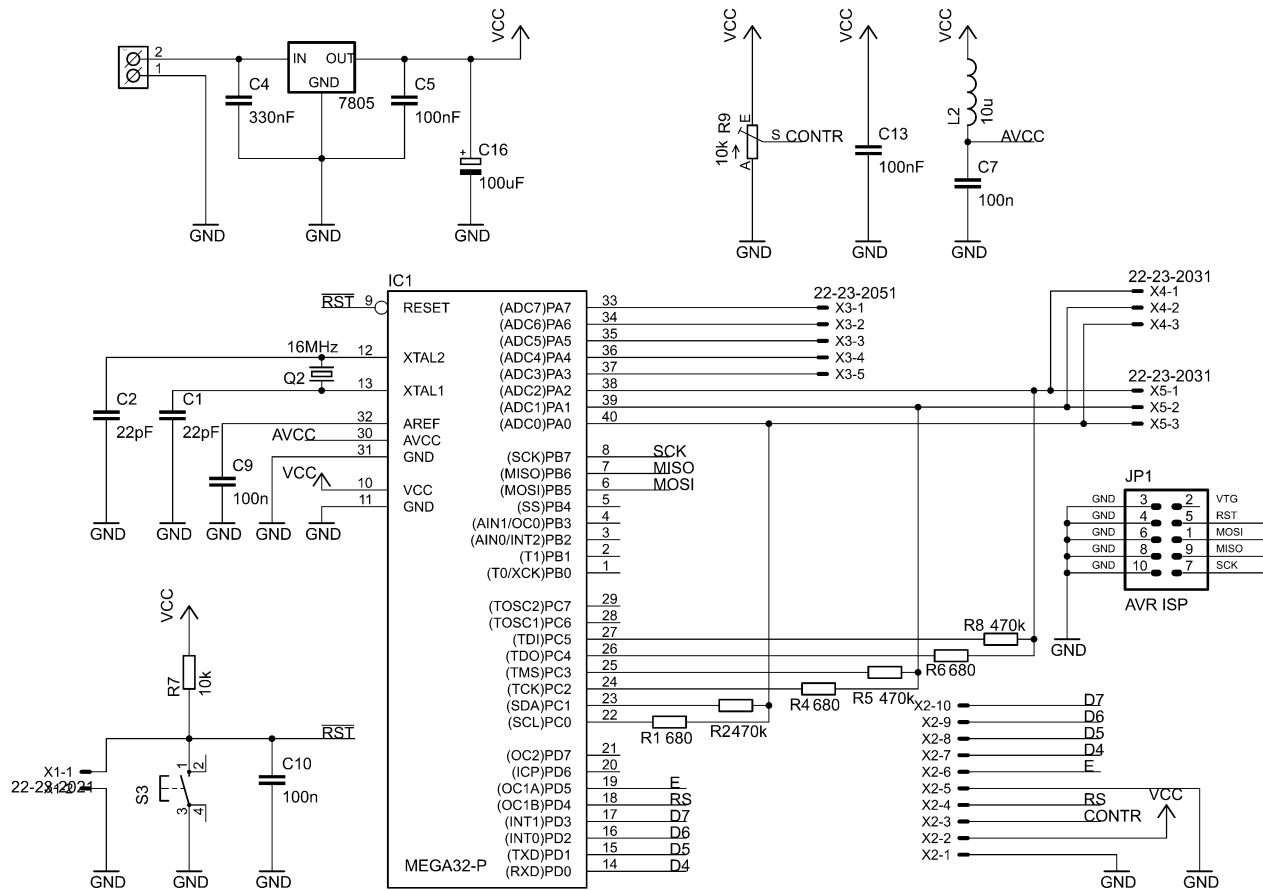
Výsledkem celé práce je kromě navrženého a vytvořeného zařízení, také získání nespočtu znalostí spjatých s problematikou a uvědomění si souvislostí, nad kterými bych jinak neměl důvod přemýšlet. Samotné práci na prototypu předcházela poměrně zdlouhavá studie mikroprocesorové techniky a její použití. V tomto okamžiku se domnívám, že jsem díky této práci získal základní znalosti o mikrokontrolérech a to je splnění mého vlastního vytyčeného cíle.

Použitá literatura

- [1] <http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-Transistortester>
- [2] MATOUŠEK, David.: *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR Atmega16 4.díl*, Praha: BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-174-8. BEN, Praha 2006
- [3] <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [4] <http://users.ece.gatech.edu/~hamblen/UP3/GDM1602A.pdf>
- [5] Burkhard, K.: *Elektronika s podporou PC Visual Basic v praxi*, HEL 2004
- [6] <http://www.gme.cz/dokumentace/330/330-203/dsh.330-203.1.pdf>
- [7] <http://svetelektro.com/clanky/kniha-programujeme-avr-v-jazyku-c-557.html>
- [8] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009, viii s. ISBN 978-80-7232-383-8.
- [9] <http://aukro.cz/tester-soucastek-r-c-l-d-tran-mosfet-esr-i3293561645.html>
- [10] http://www.ebay.com/itm/New-Transistor-Tester-Capacitor-ESR-Inductance-Resistor-Meter-NPN-PNP-Mosfet-261225868427?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3cd2466c8b

Přílohy

Příloha A – Kompletní schéma navrženého zařízení.



Příloha B – Tabulky naměřených hodnot.

Naměřené hodnoty pro malé kondenzátory

RLC [nF]	15,15	16,16	18,16	20,21	26,24	30,29	34,98	40,39	45,27	50,33	55,36	60,42	65,44
Tester [nF]	15	16,01	18	20,01	25,96	29,95	34,55	39,89	44,72	49,62	54,55	59,49	64,51
proc. odchylka [%]	0,99	0,93	0,88	0,99	1,07	1,12	1,23	1,24	1,21	1,41	1,46	1,54	1,42

70,5	75,53	80,56	86,24	91,23	96,33	100,45
69,4	74,4	79,38	84,94	89,81	94,77	99,16
1,56	1,50	1,46	1,51	1,56	1,62	1,28

Naměřené hodnoty pro velké kondenzátory

RLC [uF]	1,01	2,09	9,4	19,54	105	199,9	293,9	448,6	1060
Tester [uF]	0,932	1,959	9,98	20,94	113	210,4	312	456,3	1050
proc. odchylka [%]	7,72	6,27	6,17	7,16	7,62	5,25	6,16	1,72	0,94

Naměřené hodnoty pro malé odpory

RLC [Ω]	2,01	3,01	4,02	6,01	8,01	10,01	14,01	18,01	22	26	29,99	34,99	39,98
Tester [Ω]	2,76	3,5	4,76	6,44	8,67	10,9	14,68	18,48	22,6	26,99	30,92	35,7	40,53
proc. odchylka [%]	37,31	16,28	18,41	7,15	8,24	8,89	4,78	2,61	2,73	3,81	3,10	2,03	1,38

49,98	59,97	79,95	100	199,91	399,8	599,7	999,47
50,39	60,5	80,66	99,98	200,5	399,8	598,3	993,8
0,82	0,88	0,89	0,02	0,30	0,00	0,23	0,57

Naměřené hodnoty pro velké odpory

RLC [mH]	32	45,3	48	77,5	185	236	243	265	280	300	330	400	1393
Tester [mH]	46,5	52	58	81,9	173,6	243	250,5	272	289	311	346	425	1350
proc. odchylka [%]	45,31	14,79	20,83	5,68	6,16	2,97	3,09	2,64	3,21	3,67	4,85	6,25	3,09

Naměřené hodnoty pro indukčnosti

RLC [mH]	32	45,3	48	77,5	185	236	243	265	280	300	330	400	1393
Tester [mH]	46,5	52	58	81,9	173,6	243	250,5	272	289	311	346	425	1350
proc. odchylka [%]	45,31	14,79	20,83	5,68	6,16	2,97	3,09	2,64	3,21	3,67	4,85	6,25	3,09