

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY
SEZIMOVO ÚSTÍ



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

2012

Jakub Vyškovský



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jakub Vyškovský**
Obor studia: **26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy**
Název práce: **Využití moderních měřících metod k diagnostice a měření aktivních elektronických součástek (tranzistor, dioda) ve výuce.**

Zásady pro vypracování:

1. Popište základní analýzu moderních měřících metod aktivních elektronických součástek.
2. Shrňte měření základních parametrů aktivních součástek.
3. Popište a změřte aktivní součástky zapojené do obvodu.
4. Vypracujte základní diagnostiku aktivních součástek v elektrickém obvodu.
5. Popište automatizovanou diagnostiku (využití u firem).
6. Užití u firem MICRONIX Bechyně s.r.o., VSP DATA a.s.
7. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci
- 8.


Doporučená literatura:

- [1] FIALA, M., VROŽINA, M., HERCIK, J., Elektrotechnická měření, 1981, č.j. 30 877/80-221
[2] MAŤÁTKO, J., Elektronika, ISBN 80-85970-49-X

Vedoucí práce: Ing. Alexej Salzman, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Bc. Miroslav Hospodářský
Oponent práce: Ing. Václav Šedivý

Datum zadání absolventské práce: **1.9.2011**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2012**


.....
Ing. Alexej Salzman
(vedoucí práce)




.....
Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá souhrnem a měřením aktivních elektronických součástek pro ucelení středoškolských znalostí a snaží se objasnit různé parametry těchto součástek. Umožňuje pochopit, jak součástky měřit a čím. Vysvětlena je zde i diagnostika a princip automatizované diagnostiky. Výsledná absolventská práce slouží také jako didaktická pomůcka pro středoškolské účely k výuce.

Annotation

This graduate thesis deals with the abstract and measurement of active electronic components for the completion of high school knowledge and seek to clarify the different parameters of these components. Lets understand how and what to measure components . Explained there is a principle diagnosis and automated diagnostics. The final graduation work also serves as an education tool for secondary purposes for teaching

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Alexeji Salzmanovi, za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této absolventské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem absolventskou práci *využití moderních měřicích metod k diagnostice a měření aktivních elektronických součástek (tranzistor, dioda) ve výuce* vypracoval samostatně a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Táboře dne 1. Února 2012


vlastnoruční podpis

Obsah

Kapitola 1.....	1
Úvod	1
Kapitola 2.....	2
Shrnutí měřených základních parametrů a informací tranzistoru a diody	2
2.1 Tranzistory- obecná charakteristika	2
2.1.1 Základní rozdělení tranzistorů.....	2
2.1.2 Bipolární tranzistory	3
2.1.3 Unipolární tranzistory	5
2.2 Měřené parametry tranzistoru	7
2.2.1 Statické charakteristiky tranzistorů.....	9
2.2.2 Ostatní parametry tranzistoru	12
2.2.3 Vliv teploty na stálost parametrů tranzistoru	12
2.3 Diody obecná charakteristika	13
2.3.1 Dělení diod	14
2.3.2 Polovodičová dioda	15
2.3.3 Stabilizační (Zenerova) dioda	17
Kapitola 3.....	19
Základní analýza měření a metody pro měření tranzistoru a diody	19
3.1 Měření v elektrotechnice	19
3.1.1 Chyby měření	19
3.2 Měřicí metody	20
3.2.1 Měření diod a tranzistorů	20
3.2.2 Rozbor měřicí metody polovodičové diody	21
3.2.2 Rozbor měřicí metody tranzistoru	22
3.3 Přístroje k měření parametrů tranzistorů a diod	23
Kapitola 4.....	25
Postup při měření aktivních el. součástek zapojených do obvodu	25
4.1 Měření bipolárních tranzistorů	25
4.2 Měření unipolárních tranzistorů	27

4.3.1 Zapojení v propustném směru	29
Postup měření	29
4.4 Měření V – A charakteristiky na křemíkové diodě (usměřňovací)	32
Kapitola 5.....	34
Diagnostika	34
5.1 Diagnostika – obecná charakteristika	34
5.2 Automatizace diagnostických systémů	35
5.2.1 Rozpoznávání v technické diagnostice	35
5.2.2 Automatické funkční testery	36
5.2.3 Testery „In Circuit“	37
5.2.4 ASA tester	38
5.3 Příklad diagnostiky - automobilová diagnostika	39
Základní metody pro hledání závad u motorových vozidel	39
5.4 Diagnostická a opravárenská stanice BoardMaster8000+	40
Kapitola 6.....	42
Využití automatické diagnostiky u firem VSP DATA a.s., MICRONIX Bechyně s.r.o.	42
6.1 Měření a diagnostika ve firmě VSP DATA a.s.	42
6.2 Měřicí přístroje ve firmě MICRONIX Bechyně s.r.o.	44
Kapitola 7.....	45
Závěr.....	45
Příloha A	i
Příloha B	ii

Seznam obrázků

Obr. 2.1. Základní rozdělení tranzistorů z hlediska vnitřní struktury.....	3
Obr. 2.2 Struktura tranzistoru a) tranzistor typu NPN b) tranzistor typu PNP.....	3
Obr. 2.3 Ukázka dělení unipolárních tranzistorů.	5
Obr. 2.4. Schématická značka JFET tranzistoru pro a) NJFET b) PJFET	6
Obr. 2.5. Měřené veličiny tranzistoru.	7
Obr. 2 .6. V-A charakteristika tranzistoru.....	8
Obr. 2.7 Rozdělení kvadrantů statických charakteristik bipolárních tranzistorů.....	9
Obr. 2.8. Rozdělení kvadrantů statických charakteristik unipolárních tranzistorů.....	10
Obr. 2.9. Grafické znázornění charakteristik.....	11
Obr. 2.9.1. změna V-A charakteristiky na teplotě.....	13
Obr. 2.9.2 schématická značka diody.....	15
Obr.2.9.3 Schématická značka Zenerovy diody.....	17
Obr. 3.1. Schéma zapojení pro měření malých odporů	21
Obr. 3.2. Schéma zapojení pro měření velkých odporů.....	22
Obr. 3.5. Měřicí přístroj CT22.....	23
Obr.3.6. Měřicí přístroj multimetr dm341	24
Obr. 4.1.Schéma zapojení	25
Obr. 4.2 Schéma zapojení pro měření statických charakteristik BJT tranzistorů (SC).	26
Obr. 4.3 Schéma zapojení pro měření statických charakteristik BJT tranzistorů (SB).	26
Obr. 4.4 Zapojení pro měření statických charakteristik tranzistoru NJFET v zapojení SS.	27
Obr. 4.5. Zapojení pro měření statických charakteristik tranzistoru NJFET v zapojení SD.	27
Obr. 4.6. schéma zapojení Zenerovy diody	29
Obr. 4 .7 V-A charakteristika Zenerovy diody v propustném směru.....	30
Obr. 4 .8 V-A charakteristika Zenerovy diody v závěrném směru.....	31
Obr.4.9. schéma zapojení křemíkové diody	32

Obr.4.9.1 V-A charakteristika křemíkové diody v propustném směru.....	33
Obr. 5.1. Obecné uspořádání automatizovaného diagnostického řetězce.....	36
Obr.5.2. měřicí jehlový adaptér : a)uspořádání b)vybrané typy jehel	37
Obr. 5.3 Schéma automatického testeru elektronických obvodů	39
Obr. 5.4. board master 8000+	40
Obr. 5.5. připojení plošného spoje.....	51

Seznam tabulek

..

Tab.2.1 Příklad parametrů tranzistoru.	8
Tab.2.2. katalogové parametry Zenerovy diody	17
Tab. 4.1 příklad naměřených hodnot v propustném směru	30
Tab. 4.2 příklad naměřených hodnot v závěrném směru	31
Tab.4.3 příklad naměřených hodnot v propustném směru	32

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době moderních technologií hraje velkou roli elektronika. Prodělala a prodělává obrovský a velmi prudký vývoj. Na jeho začátku stály primitivní obvody sestavené z jednoduchých často elektromechanických součástí. Ve své práci se zabývám aktivními elektronickými součástkami. Jmenovitě tranzistor a dioda. Tyto součástky nedílně obsahuje každý elektronický přístroj. Od radia přes automatickou pračku až po raketoplán. Vždyť na průlomu vývoje počítačů byl právě



tranzistor, který tehdy nahradil zastaralou elektronku. Tato technologie se vyvíjela velice rychlým tempem a připravila cestu pro další levnější a energeticky efektivnější výrobky.

Cílem této práce je vytvořit obecná skripta pro středoškolské účely k výuce. Tato skripta objasní studentovi co to jsou aktivní elektronické součástky (tranzistor, dioda), jakým způsobem je lze měřit a jaké vlastnosti mají. Objasňují metody elektrotechnického měření. Dále se student po přečtení této práce naučí co to je technická a automatizační diagnostika a jakým způsobem funguje v praxi např. ve firmě VSP DATA a.s. Výsledná práce by pak mohla být použitelná jako studijní materiál, ale také jako příručka k tomu, jak zapojit a změřit různé parametry těchto součástek.

Kapitola 2

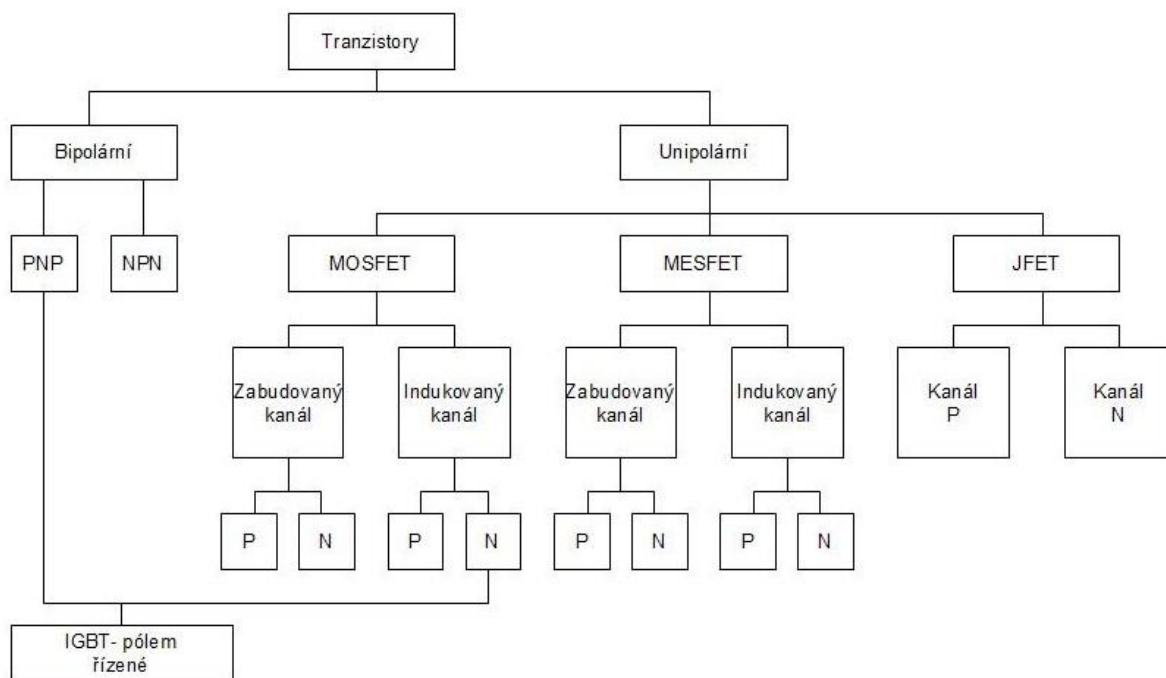
Shrnutí měřených základních parametrů a informací tranzistoru a diody

2.1 Tranzistory- obecná charakteristika

Tranzistor je polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN. Jedná se v podstatě o spojení dvou polovodičových diod v jedné součástce. Většinu vlastností tranzistoru však dvojicí diod nahradit nelze. Tranzistorový efekt byl objeven a tranzistor vynalezen 16. prosince 1947 v Bellových laboratořích týmem, ve složení: William Shockley, John Bardeen a Walter Brattain. Za tento objev jim byla roku 1956 udělena Nobelova cena za fyziku. Jednalo se o velmi významný objev, který vedl k faktickému vědeckotechnickému převratu v oblasti aplikované elektrotechniky. V praxi se to projevuje zejména obrovskou mírou miniaturizace jednotlivých součástek a tím i neustálým zvyšováním koncentrace polovodičových součástek vztahenou na jednotku plochy.[4] Každý tranzistor má (nejméně) tři elektrody, které se u bipolárních tranzistorů označují jako kolektor, báze a emitor, u unipolárních jako drain, gate a source. Podle uspořádání použitých polovodičů typu P nebo N, se rozlišují dva typy bipolárních tranzistorů, NPN a PNP (prostřední písmeno odpovídá vždy bázi). Unipolární tranzistory jsou označovány jako NFET nebo PFET.

2.1.1 Základní rozdělení tranzistorů

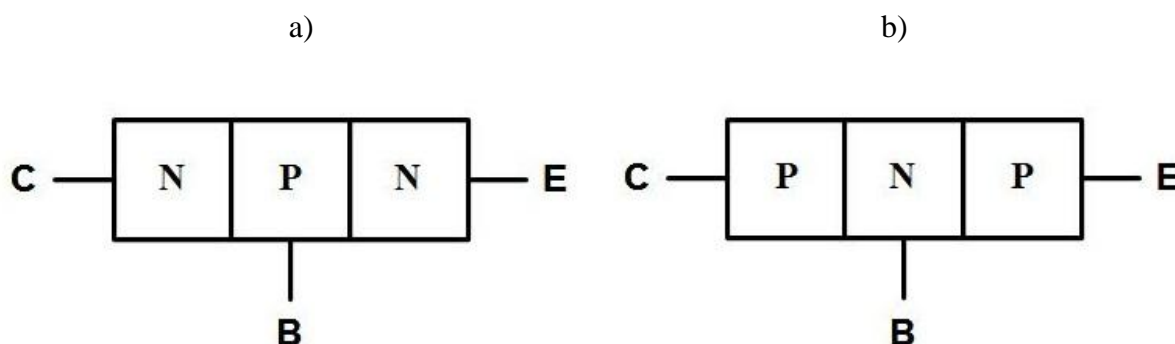
Základní dělení tranzistorů z hlediska jejich vnitřní struktury a technologie použité pro výrobu, je vyobrazeno na obr. 2.1. Tranzistory se dále dělí podle použití. Můžeme je rozdělit na zesilovací a spínací, podle kmitočtových vlastností pak na nízkofrekvenční, mikrovlnné a vysokofrekvenční a podle výkonu na nízko výkonové, výkonové a vysoko výkonové.



Obr. 2.1. Základní rozdělení tranzistorů z hlediska vnitřní struktury.

2.1.2 Bipolární tranzistory

Bipolární tranzistor je tvořen dvěma přechody PN. Podle toho jak jsou jednotlivé typy polovodiče seřazeny, dělíme bipolární tranzistory na NPN a PNP. Tranzistor má tři vývody označené jako báze (B), kolektor (C) a emitor (E), obr. 2.2



Obr. 2.2 Struktura tranzistoru a) tranzistor typu NPN b) tranzistor typu PNP

Bipolárním tranzistorem tečou tři různé proudy a to:

- I_c - kolektorový proud
- I_b - proud bázi
- I_e - proud emitorem

Mezi těmito proudy je definována závislost popsána rovnicí:

$$I_e = I_b - I_c \quad [A]$$

Velmi zjednodušeně můžeme říct, že princip činnosti bipolárního tranzistoru je založený na tom, že proudem do báze, řídíme proud tekoucí kolektorem a emitorem. Podle toho jak polarizujeme jednotlivé přechody PN získáme čtyři různé režimy činnosti tranzistoru a to následující :

závěrný – nevodivý

- inverzní aktivní
- normální aktivní
- saturace

Mezi základní elektrické veličiny bipolárního tranzistoru patří kolektorový proud I_c , proud tekoucí do báze I_b , součet těchto dvou proudů je proud vytékající z editoru I_e . Ale jelikož je I_b o několik řádů menší než I_c , lze považovat emitorový proud stejně velký jako proud kolektorový. Dále sem patří napětí mezi bázi a emitorem U_{be} a napětí mezi kolektorem a emitorem U_{ce} .^[4] Tyto čtyři veličiny stačí k tomu aby se dala určit voltampérová charakteristika. U každého tranzistoru jsou výrobcem také uváděny parametry tranzistoru. Jsou zde i uvedeny neelektrické parametry, těmi nejdůležitějšími jsou údaje o teplotách a ztrátových výkonech tranzistoru.

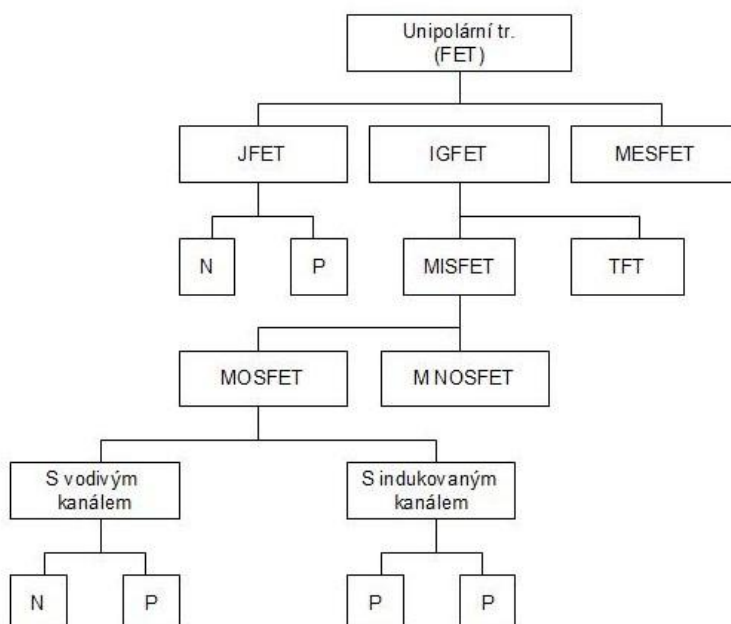
Pro popsání funkce bipolárního tranzistoru lze použít následující definici ...

Bipolární tranzistor je aktivní polovodičová součástka, u které malý proud bázi vyvolá velký kolektorový proud !

Bipolární tranzistor se nejčastěji používá ve dvou základních aplikacích jako lineární zesilovač nebo jako bezkontaktní spínač. Jeho zesilovacích účinků se využívá např. v zesilovací technice, oproti tomu jako spínač se využívá např. ve spínaných zdrojích.

2.1.3 Unipolární tranzistory

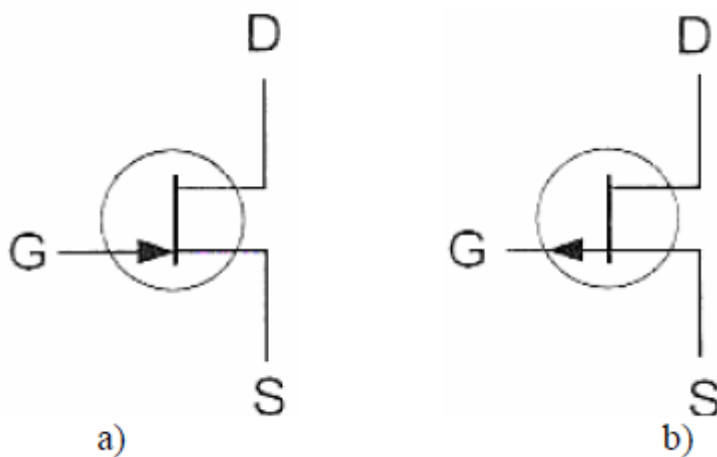
Unipolární tranzistor je založen na principu řízení pohybu nosičů náboje za pomoci elektrického pole. Unipolární tranzistory jsou označovány jako unipolární, proto, že k vedení využívají pouze jeden typ nosičů a to buď díry a nebo elektrony. Elektrody unipolárních tranzistorů se označují jako „drain“, „source“ a „gate“. Plní stejnou funkci jako u bipolárních tranzistorů. Mezi elektrodami „drain“ a „source“ je takzvaný vodivý kanál (P a nebo N), kterým protéká proud. „Gate“ jinak řečeno hradlo je kovová elektroda izolovaná od kanálu. Jako izolace se velice často používá oxid křemíku (SiO_2). Na rozdíl od bipolárních tranzistorů jsou unipolární tranzistor řízeny napětím a to tak, že napětím přivedeným na hradlo se nám vodivý kanál buď zužuje nebo rozšiřuje čímž tranzistor otevíráme nebo zavíráme. Hlavními představiteli unipolárních tranzistorů jsou tranzistory řízené elektrickým polem (FET- z angl. **F**ield **E**ffect **T**ranzistor). Od bipolárního se liší hlavně tím, že kolektorový proud není řízen vstupním proudem, ale napětím jak je již zmíněno výše.[4]



Obr. 2.3 Ukázka dělení unipolárních tranzistorů.

Využití nacházejí bipolární tranzistory jako součásti integrovaných obvodů, jako spínací součástky, v zesilovačích (výkonové) a jako anténní zesilovače (vysokofrekvenční) a v mnoha dalších aplikacích.

Podobně jako u bipolárních tranzistorů i u unipolárních rozlišujeme základní zapojení označována SS, SD a SG a stejně jako u bipolárních tranzistorů i zde je nejpoužívanější varianta se společným emitorem (source). Teplotní závislost je menší než u bipolárního tranzistoru. Na obr. 2.4. je schématická značka patřící unipolárnímu tranzistoru konkrétně JFETu s označnými svorkami, aby byla patrná podobnost s bipolárními tranzistory.[8]



Obr. 2.4. Schématická značka JFET tranzistoru pro a) NJFET b) PJFET

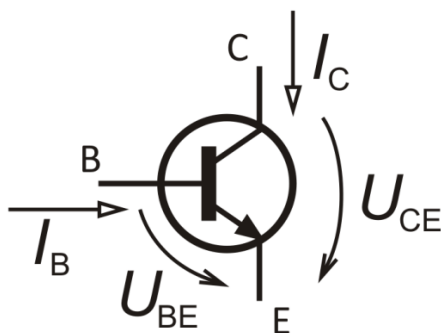
Pro unipolární tranzistory typu JFET platí jedno zásadní omezení, které říká že přechod P+N nesmí mít v žádném místě kanálu kladné napětí.



Obr.2.5 unipolární tranzistor

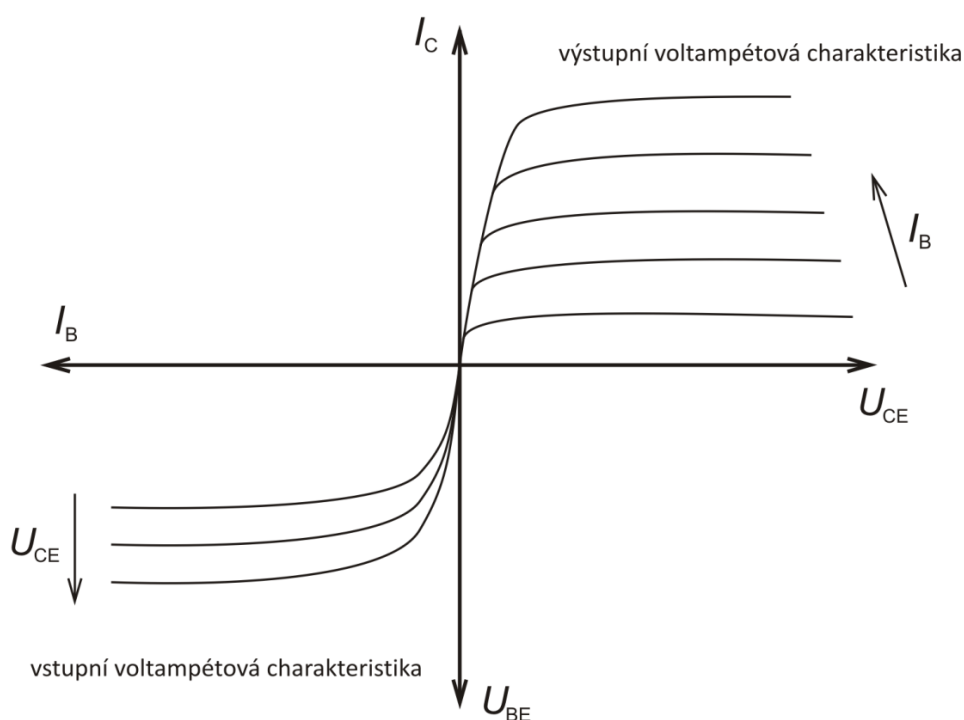
2.2 Měřené parametry tranzistoru

Každý tranzistor je charakterizován určitými parametry. Tyto parametry v zásadě dělíme na statické a dynamické. V této semestrální práci jsem se zaměřil pouze na statické parametry, které jsou reprezentovány voltampérovými charakteristikami. Na nich je zřetelně patrný vliv teploty na tyto součástky. To znamená, že při určování těchto charakteristik budeme potřebovat změřit čtyři základní veličiny tranzistoru, tj. proud báze, napětí mezi bází a emitorem, proud kolektoru a napětí mezi kolektorem a emitorem. Jednotlivé měřené veličiny jsou znázorněny na obr. 2.5, který představuje schematickou značku tranzistoru NPN a k ní zakreslené jednotlivé elektrické veličiny.



Obr. 2.5. Měřené veličiny tranzistoru.

Z těchto změřených veličin pak jsme schopni sestavit voltampérovou charakteristiku. Výstupní voltampérová charakteristika je závislost kolektorového proudu na napětí mezi kolektorem a emitorem při konstantním proudu do báze nebo při konstantním napětí mezi bází a emitorem. Pro úplnost ještě uvedu, že existuje také vstupní voltampérová charakteristika, která je popsána jako závislost proudu báze na napětí mezi bází a emitorem při konstantním napětí mezi kolektorem a emitorem. Tyto charakteristiky se pak vynášejí do jednoho grafu (obr. 2.6).



Obr. 2.6. V-A charakteristika tranzistoru.

U každého tranzistoru jsou výrobcem také uváděny parametry tranzistoru. Jsou zde i uvedeny neelektrické parametry, těmi nejdůležitějšími neelektrickými parametry jsou údaje o teplotách a ztrátových výkonech tranzistoru. Příklad základních parametrů tranzistoru a jejich typických hodnot je uveden v tab. 2.1. [6]

Tab.2.1 Příklad parametrů tranzistoru.

Symbol	Parametr	Podmínka	Min.	Max.	Jednotka
U_{BEO}	napětí kolektor-báze	otevřený emitor	-	30	V
U_{CEO}	napětí kolektor-emitor	otevřená báze	-	30	V
U_{BEO}	napětí báze-emitor	otevřený kolektor	-	5	V
I_C	stejnoseměrný proud kolektoru		-	100	mA
I_{CM}	špičkový proud kolektoru		-	200	mA
I_{BM}	špičkový proud báze		-	200	mA
P_{TOT}	celkový vyzářený výkon	$T_{AMB} \leq 25 \text{ } ^\circ\text{C}$	-	500	mW
T_{STG}	skladovací teplota		-65	150	$^\circ\text{C}$
T_J	teplota přechodu		-	150	$^\circ\text{C}$
T_{AMB}	pracovní teplota okolí		-65	150	$^\circ\text{C}$

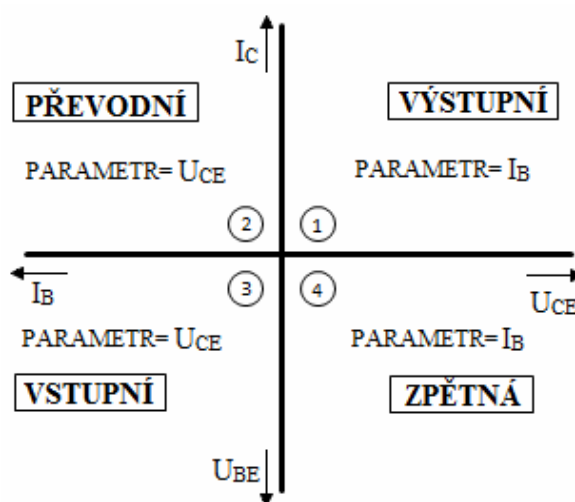
Tyto parametry nám říkají, jaké hodnoty proudů a napětí nesmíme při provozu daného tranzistoru překročit. Nebo v jakých teplotách jsou tranzistory schopny pracovat a jaký výkon se při jejich provozu promění v teplo.

2.2.1 Statické charakteristiky tranzistorů

Asi nejčastěji měřené charakteristiky bipolárních tranzistorů jsou takzvané statické charakteristiky vyjadřující závislost proudů, respektive napětí, při určité řídicí veličině takzvaném parametru.

Obecně nám pak statické charakteristiky bipolárního tranzistoru umožňují:

- Přehledným způsobem zjistit statické (klidové) hodnoty proměnných veličin v závislosti na pracovních podmínkách (poloze pracovního bodu) a vhodně nastavit vnější napájecí obvody.
- Stanovit velikosti parametrů (např. h , y) kvazilineárního režimu malých signálů a odhadnout jejich průběh v závislosti na poloze pracovního bodu.
- Graficky řešit statické poměry při vybuzení do režimu velkých signálů, jak je to potřeba při navrhování výkonových zesilovačů a použití tranzistoru jako spínacího prvku.
- Graficky řešit statické poměry při vybuzení do režimu velkých signálů, jak je to potřeba při navrhování výkonových zesilovačů a použití tranzistoru jako spínacího prvku.



Obr. 2.7 Rozdělení kvadrantů statických charakteristik bipolárních tranzistorů.

I.kvadrant

V tomto kvadrantu jsou zaneseny výstupní charakteristiky, které nám dávají představu o závislosti výstupního proudu I_C tranzistoru na výstupním napětí při určité hodnotě proudu báze I_B .

II. kvadrant

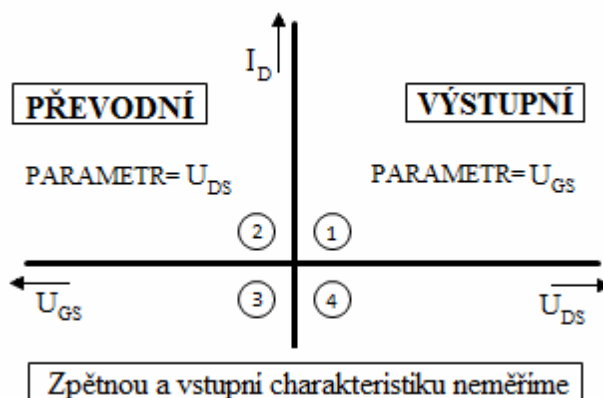
Ve druhém kvadrantu můžeme pozorovat převodní charakteristiky. Ty udávají závislost výstupního proudu I_C na vstupní veličině I_B nebo U_{BE} .

III. kvadrant

Ve třetím kvadrantu můžeme pozorovat průběhy odpovídající V-A charakteristikám polovodičové diody B-E v propustném směru. Tyto charakteristiky jsou ovlivňovány velikostí U_{CE} , proto je měříme při určitých hodnotách U_{CE} , které je parametrem těchto charakteristik.

IV. kvadrant:

V tomto kvadrantu jsou vyobrazeny charakteristiky, znázorňující zpětný vliv výstupních parametrů tranzistorů na vstupní. Parametrem je zde stejná vstupní veličina jako u výstupních charakteristik. U unipolárních tranzistorů navzdory tomu, že měření čtyřpólových charakteristik je možné, ale zbytečné provádíme zpravidla měření pouze charakteristiky převodní a vstupní.



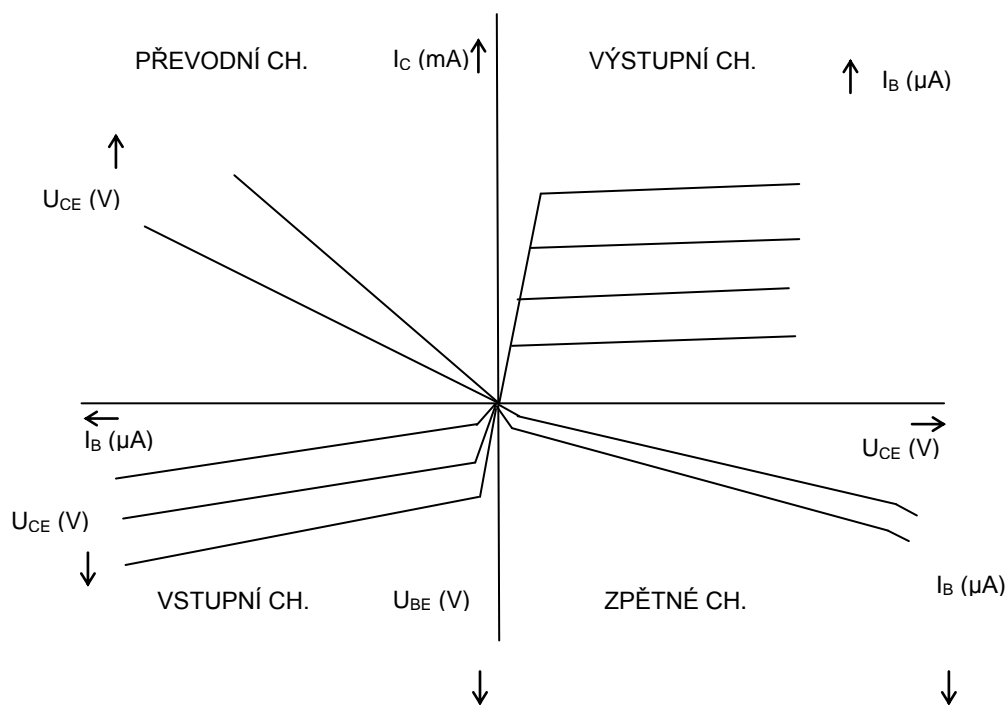
Obr. 2.8. Rozdělení kvadrantů statických charakteristik unipolárních tranzistorů

I. kvadrant:

V tomto kvadrantu jsou měřeny tzv. výstupní charakteristiky. Tyto charakteristiky nám dávají představu o závislosti proudu I_D na řídicím napětí U_{DS} .

II. kvadrant:

V druhém kvadrantu analogicky jako v případě bipolárních tranzistorů jsou charakteristiky převodní. Jde o závislost proudu I_D na řídicím napětí U_{GS} . [4]



Obr. 2.9. Grafické znázornění charakteristik.

2.2.2 Ostatní parametry tranzistoru

saturační napětí

Jedná se o napětí, které je mezi kolektorem a emitorem při saturaci, tj. když je tranzistor úplně otevřen. Toto napětí je v řádu desetin voltu.

maximální ztrátový výkon

Je to maximální výkon, který je může přeměnit na teplo aniž by došlo k ovlivnění vlastností tranzistoru nebo jeho poškození.

šumový činitel

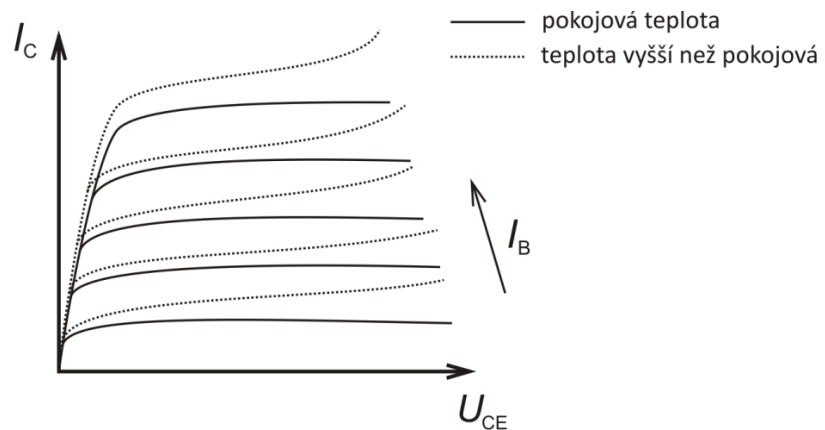
Šum tranzistoru je způsoben hlavně teplem. S rostoucí teplotou kmitají elektrony rychleji a šum roste. Na šum má také vliv velikost kolektorového proudu. Šumový činitel udává poměr výkonů signál/šum na vstupu ku signál/šum na výstupu.

tranzitní kmitočet

Jedná se o kmitočet, při kterém poklesne proudové zesílení tranzistoru na hodnotu jedna. Jinými slovy je to kmitočet, při kterém přestane tranzistor zesilovat. [6]

2.2.3 Vliv teploty na stálost parametrů tranzistoru

Jak je zřejmé z teorie polovodičů, jsou polovodičové součástky závislé na teplotě. Se změnou teploty se také mění jejich vlastnosti. Se vzrůstající teplotou roste vlastní vodivost polovodičů, což znamená, že se zvyšuje počet volných nosičů náboje. Toto zvyšování počtu nábojů je způsobeno zvýšením kmitání atomů a to může způsobovat uvolnění některých kovalentních vazeb a tím uvolnění elektronů z valenčního pásu do vodivostního. Existuje několik vlivů teploty na vlastnosti tranzistoru. Uvedu jen ty nejdůležitější. Se vzrůstající teplotou roste zbytkový proud tranzistoru I_{CB0} , což je proud, který teče mezi bází a kolektorem při odpojeném emitoru. Tento proud je nežádoucí při provozu tranzistoru, proto také není žádoucí, aby se dále zvyšoval se zvyšující teplotou. Další vliv je, že se zvyšující se teplotou klesá napětí mezi bází a emitorem. To znamená, že při zvyšování teploty klesá prahové napětí U_{BE} , což způsobuje dřívější otevírání tranzistoru a rychlejší nárůst kolektorového proudu, což je také nežádoucí vlastnost. Zvyšující se kolektorový proud více zahřívá tranzistor, který se tím více otevírá a následně zvyšuje proud I_C . Aby nedošlo k přehřátí a zničení tranzistoru, musí se toto nekontrolované zvyšování kolektorového proudu nějakým způsobem ošetřit. Existuje mnoho řešení, jak tomu zabránit. Obvykle se to řeší tím, že se do obvodu připojí teplotně závislá součástka (termistor, dioda). Vlivem teploty se mění i výstupní V-A charakteristika. Příklad změny na obr. 2.5. Z výše uvedených vlivů teploty na vlastnosti tranzistoru je patrné, že zvyšování teploty zhoršuje celkové vlastnosti tranzistoru a proto by se měli provozovat tranzistory při nízkých přibližně pokojových teplotách. [5]



Obr. 2.9.1. změna V - A charakteristiky na teplotě.

2.3 Diody obecná charakteristika

Dioda je elektronická součástka se dvěma elektrodami. Termín dioda původně znamenal elektronka s dvěma elektrodami, v současnosti se jedná prakticky pouze o polovodičovou součástku. Každá dioda má dva pracovní vývody, které se nazývají **katoda** a **anoda**. Základní funkcí diody je, že dovozuje tok proudu směrem od anody ke katodě od velmi nízkého napětí, např. Schottkyho dioda 0,3 V, křemíková dioda 0,7 V. Ve směru opačném, tedy od katody k anodě, proud obvykle neteče.

Pracovní stavy diody

Pokud je na katodě kladné napětí a na anodě záporné napětí je dioda zavřená, to znamená že téměř neteče proud. V tomto stavu se dioda chová podobně jako rozepnutý spínač. Pokud záporné napětí překročí konstrukční mez, může dojít k průrazu (což většinou znamená zničení diody - polovodičového přechodu). Pokud je na katodě záporné napětí a na anodě kladné napětí, je dioda otevřená a proud může protékat téměř bez omezení. V tomto stavu je odpor nebo úbytek napětí na diodě malý. V tomto stavu se dioda chová podobně jako sepnutý spínač. Polovodičovou diodou začíná téct proud teprve po překonání tzv. bariérového napětí P-N přechodu. Pokud propustný proud překročí konstrukční mez, může dojít ke spálení diody (což většinou znamená zničení diody - polovodičového přechodu). [3]

2.3.1 Dělení diod

Podle konstrukčního principu a účelu to může dioda být:

- Polovodičová dioda – je založena na P-N přechodu, který dovoluje tok proudu pouze jedním směrem.

Hrotová dioda – historicky nejstarší typ polovodičových diod, základ krystalky

Plošná dioda

Schottkyho dioda – Nevyužívá P-N přechodu, ale přechodu kov-polovodič

- Elektronka

Dvojitá dioda – elektronka pro dvoucestné usměrnění

Spínací dioda - 0,1 až 0,2 V

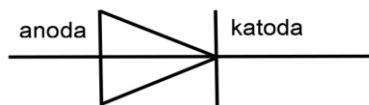
Usměrňovací dioda - 0,5 V

Některé polovodičové diody se nevyužívají pro usměrnování napětí, ale kvůli vedlejším jevům, ke kterým může při polovodičovém usměrnování docházet.

- Fotodioda – dopadající světelné nebo jiné záření způsobí v oblasti přechodu P-N vytvoření dvojice elektron – kladná díra, a tím podle způsobu zapojení dojde ke zvýšení vodivosti nebo ke zvýšení napětí na přechodu P-N
- LED – svítivá dioda. Rekombinace v oblasti přechodu P-N při průchodu proudu v propustném směru způsobují vydávání světelného záření. Napětí 1,2 V
- Zenerova dioda – bývá konstruována tak, že v závěrném směru dochází při napětí několika voltů k nedestruktivnímu zenerovu průrazu. Díky tomu může fungovat jako stabilizátor napětí
- Tunelová dioda +0 V, Inverzní dioda
- Kapacitní dioda (varikap, varaktor) je speciální dioda konstruovaná tak, aby měla větší kapacitu. S velikostí napětí na diodě se mírně mění její kapacita. Tohoto jevu se používá pro vytvoření řízené kapacity, např. v ladicích obvodech rádiových přijímačů
- PIN dioda je to speciální dioda, co má uprostřed intrimickou regulaci [3]

2.3.2 Polovodičová dioda

Polovodičová dioda je elektrotechnická součástka, jejímž úkolem v elektrickém obvodu je propouštět elektrický proud jedním směrem. Podle konstrukce slouží k usměrňování elektrického proudu (přeměna střídavého proudu na stejnosměrný proud), ke stabilizaci elektrického napětí nebo k signalizaci průchodu proudu.



Obr. 2.9.2 schématická značka diody

Parametry polovodičové diody:

- Prahové napětí - elektrické napětí, při kterém dojde ke zrušení hradlové vrstvy
- Průrazné napětí - elektrické napětí, které způsobí při zapojení v závěrném směru zničení přechodu P-N a průchod proudu diodou
- VA charakteristika - závislost proudu protékajícího diodou na napětí mezi vývody
- Maximální zatížení - největší možný výkon elektrického proudu nepoškozující diodu
- Maximální proud - největší proud, který může procházet diodou
- Teplotní rozmezí - rozmezí teplot, při kterých může dioda pracovat

Měření V- A charakteristiky najdete v **kapitole 3**

Další parametry polovodičových diod

Bariérové napětí

Též se nazývá bariérové napětí. Je to minimální napětí, které je nutno přiložit na diodu v propustném směru, aby jí začal procházet proud. V případě křemíku je 0,7 V a s teplotou klesá o 2mV při oteplení o 1 K. Pro germanium má hodnotu 0,5V, pro materiály používané pro výrobu LED má hodnotu 1,5 V a u diod PIN dosahuje až 2V.

Maximální propustné napětí

Udává napětí, při kterém v propustném směru teče maximální proud. Při zvětšení napětí nad tuto mez dojde k prudkému zvětšení elektrického proudu a může dojít ke zničení diody.

Maximální závěrné napětí

Udává maximální napětí, které je možno přiložit na diodu v závěrném směru. Po překročení této hodnoty dojde k prudkému růstu proudu a zničení diody.

Maximální proud v propustném směru

Udává maximální proud, který může diodou trvale procházet. Pokud je dlouhodobě překročen dochází k nadměrnému ohřevu diody a může dojít k jejímu úplnému zničení. Dioda je však schopna pracovat s proudovými pulzy, které mají přesně definovanou velikost a dobu trvání.

Závěrný (zbytkový) proud

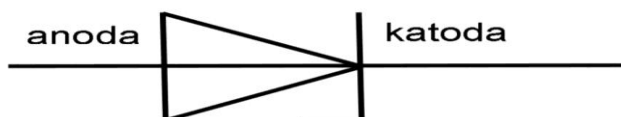
Udává velikost proudu, který teče diodou v závěrném směru. Pro křemíkové diody je zanedbatelný, ale pokud používáme germaniové diody musíme s ním počítat.

Mezní kmitočet

Udává maximální kmitočet napětí (proudu), který je dioda schopna usměrňovat. Při vyšším kmitočtu, než je mezní, se nestačí obnovovat potenciálová bariéra a proud diodou prochází v obou směrech. Pro běžné usměrňovací diody je mezní kmitočet přibližně 1 kHz. Schottkyho diody jsou schopny usměrňovat proudy o frekvenci až několika GHz. [8]

2.3.3 Stabilizační (Zenerova) dioda

Je nelineární polovodičová součástka s PN přechodem, ale tento přechod je velmi tenký. V propustném směru se chová jako usměrňovací dioda, v závěrném směru dochází k nedestruktivnímu průrazu přechodu, takže součástka vede elektrický proud a nezničí se. Napětí, při kterém začne dioda vést proud, se nazývá Zenerovo napětí a od tohoto napětí má PN přechod velmi malý odpor. Proud ale protéká opačným směrem než v přímém směru a má v katalogu také danou maximální hodnotu. Mechanismus průrazu do napětí asi 5 V v závěrném směru je označován jako Zenerův jev, nad 5 V v závěrném směru je mechanismus průrazu nazýván lavinovým jevem.[8] Dioda má název stabilizační, protože se využívá toho, že napětí v závěrném směru se mění velmi málo, i když se mění výrazně proud diodou. Proto se může stabilizovat napětí v obvodu, když bude výstupní napětí odebíráno na diodě. Měření V-A charakteristiky najdete v **kapitole 3**.



Obr.2.9.3 Schématická značka Zenerovy diody

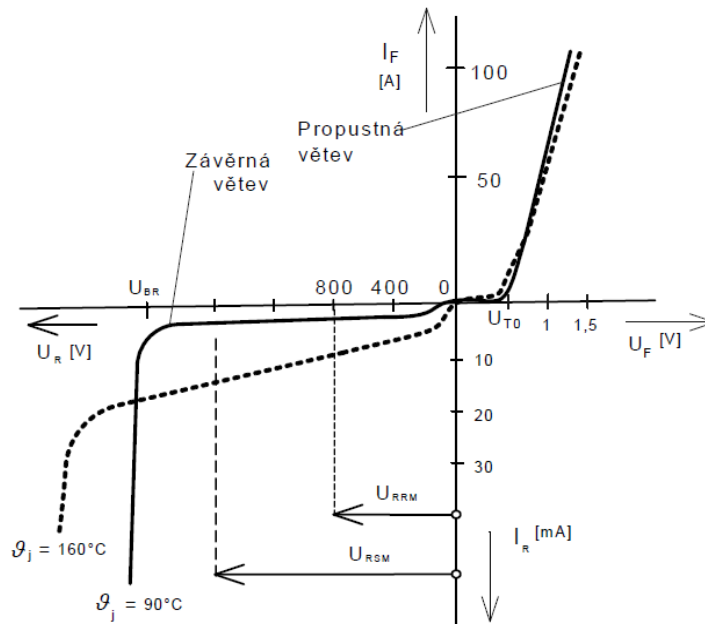
V tab. 2.2. můžete vidět příklad katalogových parametrů Zenerovy diody .

Tab.2.2. katalogové parametry Zenerovy diody

Název	Označ.	Jednot.	Hodnota
Zenerovo napětí	U_Z	V	7 až 8
Zenerův proud	I_Z	mA	100
Zenerův proud max.	I_{ZMAX}	mA	640
Ztráta diody	P_D	W	5

Zenerovy diody se používají v nejrůznějších zapojeních pro ochranu elektronických prvků před přetížením, pro ochranu měřících přístrojů, k omezení úrovně signálu, apod. Měření V-A charakteristiky naleznete v **kapitole 3**.

Teplotní vlastnosti diody



Obr.2.9.4 grafické znázornění změny teploty na V - A charakteristice

S teplotou se mění charakteristika diody. V propustném směru s rostoucí teplotou klesá prahové napětí U_{TO} a narůstá odpor v propustném směru. Tato skutečnost je nepříznivá zejména pro velké hodnoty propustných proudů, neboť se vzrůstající teplotou neúměrně narůstá její propustná výkonová ztráta.

V závěrném směru způsobuje zvýšení teploty zvětšení zbytkového proudu I_{RO} , spolu s nárůstem průrazného napětí U_{BR} . Zbytkový proud se promítne do větší výkonové ztráty diody. Zvyšování teploty diody tedy může vést při nedostatečně dimenzovaném chladiči k tepelné nestabilitě a překročení dovolené teploty přechodu.

Kapitola 3

Základní analýza měření a metody pro měření tranzistoru a diody

3.1 Měření v elektrotechnice

Měření je souhrn činností, které mají za cíl určit hodnotu měřené veličiny (vyjádřit hodnotu veličiny v jednotkách této veličiny). Elektrické měření je měření elektrických veličin a měření neelektrických veličin s využitím elektrických měřicích prostředků. K měření používáme míry, měřicí přístroje a převodníky. Míra je měřidlo, které během používání reprodukuje hodnotu nebo hodnoty měřené veličiny. Měřicí přístroje se dělí na analogové a číslicové.

3.1.1 Chyby měření

Výsledky hodnot jakéhokoliv měření nejsou nikdy tak přesné, že by se získala přímo správná neboli skutečná hodnota měřené veličiny. Je hodně vlivů, které ovlivňují výsledek měření jako například nepřesností měřicích přístrojů. Podle velikosti chyb, které při měřicím cyklu vznikají, se určuje přesnost měření. Obecně platí, že čím je chyba menší, tak tím je přesnost měření nebo měřicího přístroje větší a naopak. Práce s chybami měření je velmi důležitý krok, který vede ke zvýšení přesnosti měření.[6]

3.1.2 Rozdělení měřicích chyb

- nahodilé - tento typ chyby se projevuje zcela nahodile a nepředvídatelně, ale nemůže se vyloučit. Je vhodné měření opakovat nejméně desetkrát, protože tato chyba mění s každým dalším měřením svoji velikost do kladných i záporných hodnot.
- systematické - systematická neboli soustavná chyba je taková součást chyby, které se při opakovaném měření nemění hodnota ani polarita veličiny za stálých podmínek měření.

- hrubé - u hrubých chyb se nikdy neví, kdy se projeví a odkud se může projevit. Důležité je si uvědomit, že tato chyba znehodnotí celý měřicí experiment. Naštěstí tato chyba se dá jednoduše najít. Hodnota, která jednoznačně vyčnívá z tabulky naměřených hodnot, se vypustí z ostatního dalšího zpracování.
- chyba přístroje - Jsou způsobeny vlastními nedokonalostmi měřicího přístroje. Každý přístroj měří s určitou vlastní chybou, která je určena třídou přesnosti daného měřicího přístroje.
- chyba pozorovatele - V této kategorii jsou zařazeny všechny chyby, které jsou zapříčiněny lidským faktorem. Začíná to špatným nastudováním měřicího postupu, nesprávným zapojením měřicích přístrojů do obvodu, Nevhodně zvolený přístroj pro danou úlohu, špatně zvolený měřicí rozsah, špatné odečítání hodnot ze stupnice analogového měřicího přístroje.

3.2 Měřicí metody

Měřicí metoda je souhrn teoretických poznatku a praktických operací použitých při měření. Podle způsobu stanovení měřené veličiny se měřicí metody dělí na přímé a nepřímé:

- Přímé měřicí metody: výsledek měření se získá odečtením údaje jediného přístroje. Příkladem je změření el. napětí pomocí voltmetru.
- Nepřímé měřicí metody: výsledek měření se získá výpočtem hodnoty funkce několika proměnných. Hodnoty těchto proměnných se získají pomocí přímých měřicích metod. Příkladem je určení el. odporu z údaje voltmetru a ampérmetru pomocí Ohmova zákona.

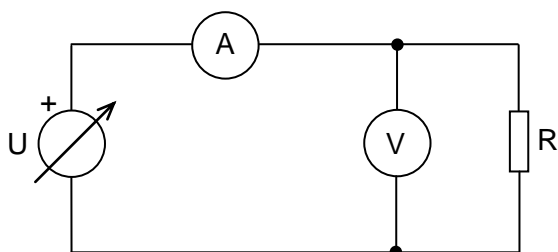
3.2.1 Měření diod a tranzistorů

Polovodičové diody můžeme zkoušet ohmmetrem nebo testerem přechodu PN. Ohmickou metodou pomocí ohmmetru je možné diody zkoušet pouze staršími analogovými ohmmetry. Digitálními to už není možné. Digitálními multimetry je možné zkoušet diody testerem přechodu PN. Tím jsou dnes vybaveny většinou i ty nejjednodušší digitální multimetry. Tranzistory se mohou zkoušet zapojené nebo nezapojené. Nezapojené tranzistory můžeme měřit ohmmetrem nebo testerem přechodu PN. Měří se přechody mezi bází a kolektorem a mezi bází a emitorem. Měřicí proud by měl být menší, jak 1 mA, aby součástka nebyla přetížena. U zapojených tranzistoru se měří napětí mezi bází a emitorem- UBE a napětí mezi kolektorem a emitorem – UCE.. Napětí UBE může být maximálně 1,5V. Pokud má větší hodnotu, je zpravidla tranzistor špatný. U všech měření je třeba dávat pozor na typ tranzistoru (PNP nebo NPN). Je tím dána polarita měření.[6]

3.2.2 Rozbor měřicí metody polovodičové diody

Pro každý ze směrů (závěrný a propustný) existuje jiná metoda měření. V případě směru propustného se používá **Ohmova metoda pro malé odpory**. Tato metoda má však chybu způsobenou tím, že ampérmetr měří i proud procházející voltmetrem. Korekci se může provést poččetně nebo mechanicky. Poččetně se provedeme tak, že od proudu změřeného ampérmetrem se odečte proud tekoucí voltmetrem. Pro něj platí vztah $I_V = \frac{U_V}{R_V}$, kde U_V je napětí na voltmetru a R_V je jeho vnitřní odpor. Proud, který se použije pro konstrukci V-A charakteristiky bude dán vztahem $I = I_A - \frac{U_V}{R_V}$, kde I_A je proud tekoucí ampérmetrem. Mechanicky se může chyba korigovat tak, že před odečítáním proudu voltmetru z obvodu odpojíme, například pomocí spínače.[5] Mechanická korekce je nejlepší, protože eliminuje i chyby vzniklé při výpočtech proudu a je také časově nejméně náročná. Měření jsem provedl v **kapitole 4**.

Ohmova metoda pro malé odpory



legenda:

U – regulovatelný zdroj

A – ampérmetr

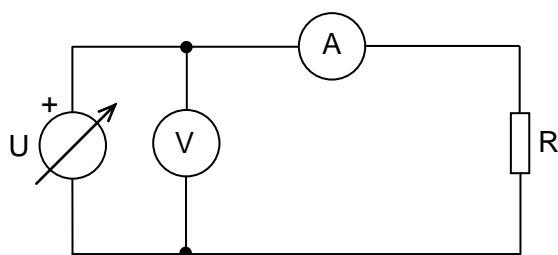
V – voltmetr

R – měřený odpor

Obr. 3.1. Schéma zapojení pro měření malých odporů

V případě měření charakteristiky v závěrném směru se používá **metoda pro velké odpory**. U této metody také vzniká chyba, která je způsobena tím, že voltmetr měří také úbytek napětí na ampérmetru. Tuto chybu lze korigovat opět poččetně nebo mechanicky. Početní korekce spočívá v odečtení úbytku napětí na ampérmetru od napětí změřeného voltmetrem. Pro napětí, které se použije pro konstrukci voltampérové charakteristiky platí $U = U_V - I_A R_A$, kde U_V je napětí změřené voltmetrem, I_A je proud tekoucí ampérmetrem a R_A je odpor ampérmetru. Mechanická korekce se provede zkratováním ampérmetru. Mechanická korekce je opět nejuvhodnější. [6]

Ohmova metoda pro velké odpory



legenda:

U – regulovatelný zdroj

A – ampérmetr

V – voltmetr

R – měřený odpor

Obr. 3.2. Schéma zapojení pro měření velkých odporů

3.2.2 Rozbor měřicí metody tranzistoru

Měření výstupní a vstupní charakteristiky, což je v podstatě voltampérová charakteristika, jde o metodu měření bod po bodu. Stejně jako u diod použijeme Ohmovu metodu. Měření se provádí pomocí voltmetru a ampérmetru. Na tyto přístroje neklademe žádné speciální nároky, protože k měření se používá stejnosměrný proud.

Při měření vstupních charakteristik měříme v podstatě voltampérovou charakteristiku diody, protože přechod báze-emitor je tvořen právě jedním P-N přechodem. Pokud je tranzistor uzavřen, má tento přechod velmi velký odpor (v řádu $M\Omega$), proto použijeme **Ohmovu metodu pro měření velkých odporů**. [5] Tato metoda je vysvětlena v kapitole 3.2.2. Po otevření tranzistoru klesá odpor přechodu báze-emitor na několik ohmů, použijeme proto **Ohmovu metodu pro měření malých odporů**. Obě tyto metody jsou však zatíženy chybou. V případě metody pro velké odpory je chyba způsobena tím, že voltmetr měří i úbytek napětí na ampérmetru. Pokud použijeme metodu pro malé odpory, je chyba způsobena tím, že ampérmetr měří i proud tekoucí voltmetrem. Tyto chyby jsme si objasnili též v předchozích kapitolách a již víme jak je odstranit.

Při měření výstupních charakteristik je tranzistor otevřen, tudíž je jeho odpor malý. Z tohoto důvodu můžeme použít **Ohmovu metodu pro měření malých odporů**. Během měření sledujeme, zda při daném napětí není proud překročen. Pokud k jeho překročení dojde, okamžitě zastavíme měření. V měření při tomto napětí pokračujeme až po snížení proudu báze, protože tím se sníží i proud kolektorový.[6] Návod na změření výstupní charakteristiky je v následující kapitole č. 4.

Při měření je nutné zajistit konstantní teplotu měřeného tranzistoru, neboť jeho vlastnosti jsou teplotně velmi závislé (s rostoucí teplotou klesá odpor polovodičů). Proto se charakteristiky měří od nejvyššího napětí mezi kolektorem a emitorem a nejvyššího proudu báze. Proud tranzistorem tedy postupně klesá a jeho teplota se tak udržuje na téměř konstantní hodnotě. K potlačení chyby způsobené ohřevem tranzistoru je také důležité, aby se měření provádělo co nejrychleji. Vliv teploty na tranzistor jsme si vysvětlili v minulé kapitole č.2.

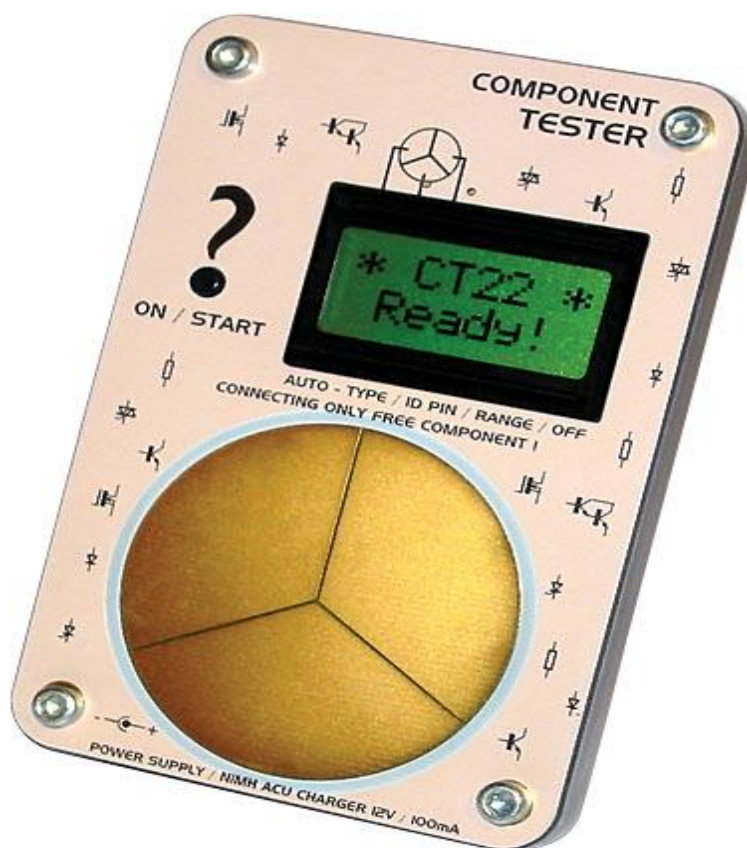
3.3 Přístroje k měření parametrů tranzistorů a diod

CT22 COMPONENT TESTER

Přístroj slouží pro rychlou kontrolu a identifikaci elektronických součástek:

tranzistorů, tyristorů, triaků, diod a odporů.

Celý proces je automatický s minimálními nároky na obsluhu.



Obr. 3.5. Měřicí přístroj CT22

Ovládání testeru je velmi jednoduché. Přístroj zapneme stiskem tlačítka a po ohlášení připravenosti připojíme součástku přiložením na dělenou kontaktní plochu pod displejem. Je možno přitisknout i součástky v SMD provedení.

Měření tranzistorů je základní funkcí testeru. Součástka je testována zda vykazuje zesilovací funkci. Nejprve je určena polarita a rozložení vývodů. Přiřazení vývodů je vztaženo k symbolu dotykové plochy nad displejem. Dále je podle napětí U_{be} určen typ tranzistoru: SI – křemíkový, GE – germaniový. U germaniových tranzistorů středních a větších výkonů je údaj

o zesílení často značně zkreslen velkým zbytkovým proudem tranzistoru. Ten je sice při měření zesílení brán v úvahu, ale hlavní příčinou je velká závislost zbytkového proudu na odporu báze-emitor. Jako poslední se zobrazuje zbytkový proud tranzistoru a napětí U_{be} .

Diody jsou detekovány na základě nelineární VA charakteristiky. Na displeji se zobrazuje přiřazení vývodů, napětí v propustném směru, pořadové číslo diody a proud protékající diodou. Měření je provedeno pro dvě různé hodnoty proudu s rozsahy asi do 1 mA a do 10 mA. Na základě zobrazených údajů lze již určit typ diody. Základní technické parametry najdete v příloze.

Multimetr DM 341



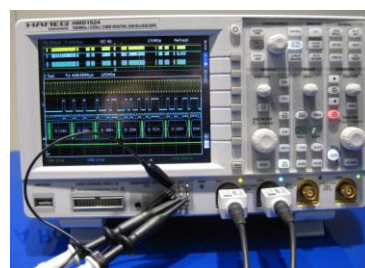
Obr.3.6. Měřicí přístroj multimetr dm341

Vlastnosti : měření napětí, proudu, odporu, kapacity, prozvánění, test tranzistorů
Základní technické parametry najdete v příloze.

Osciloskop HMO 3524,digitální

Čtyřkanálový digitální osciloskop s 8/16bitovou logickou analýzou; šířka pásma 2Hz až 350MHz; barevný TFT display s úhlopříčkou 165mm a rozlišením 640 x 480 bodů; 2M bodů paměti na kanál; vzorkování 4GSa/s v reálném čase, 50GSa/s v ekvivalentním čase; frekvenční čítač s rozlišením 6 digitů; rozhraní 2xUSB, RS232 .

Základní technické parametry najdete v příloze.



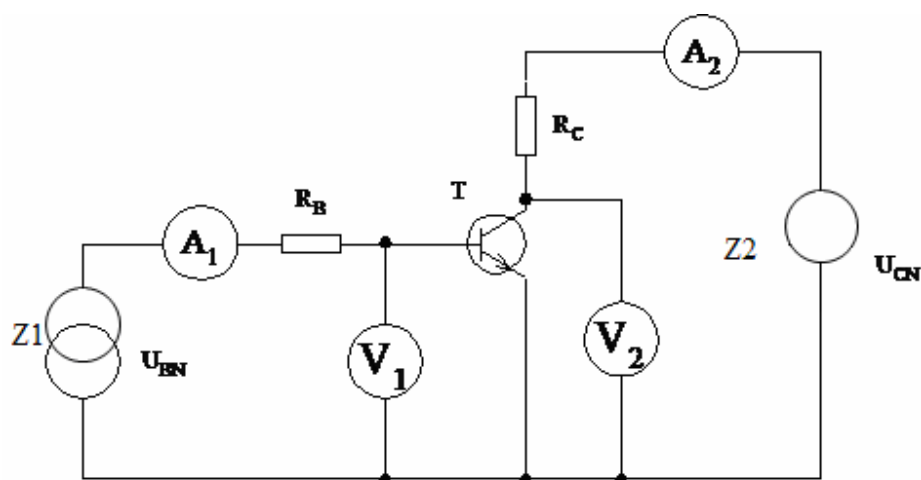
Kapitola 4

Postup při měření aktivních el. součástek zapojených do obvodu

4.1 Měření bipolárních tranzistorů

Zapojení a postup pro měření statických charakteristik BJT

Na obr. 4.1. je zapojení pro měření statických charakteristik bipolárních tranzistorů v zapojení se společným emitorem (SE).

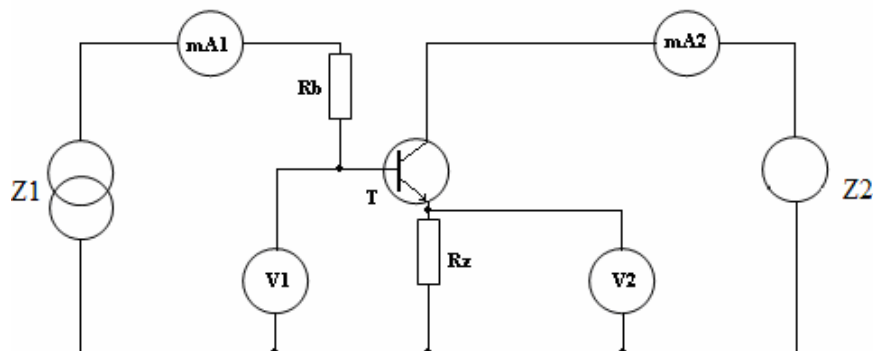


Obr. 4.1. Schéma zapojení

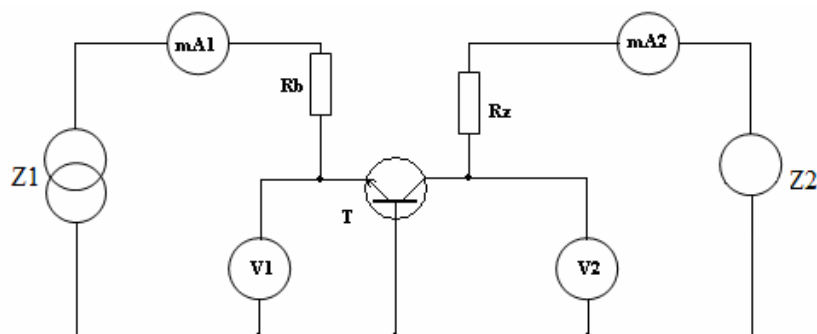
V tomto zapojení je využito nastavitelného zdroje proudu, kterým regulujeme proud báze I_B , a nastavitelný zdroj napětí kterým regulujeme napětí mezi kolektorem a emitorem U_{CE} . Pro odečítání proudu I_C použijeme ampérmetr (zde je to A_2). Toto je pouze stručný postup měření výstupních charakteristik tranzistoru NPN v zapojení SE. Detailní postup pro měření je v následujícím odstavci.

Princip měření statických charakteristik (výstupních)

1. Proud báze musíme nastavit na určitou hodnotu, vždy vycházíme z katalogových hodnot. Nesmíme překročit uvedené mezní hodnoty a katalog nám dává dobrou představu, v jakých hodnotách by se měl nastavovaný proud pohybovat. Proud báze je pro měření každé jedné charakteristiky vždy po celou dobu jejího měření konstantní a po jejím odměření se mění jeho hodnota na další požadovanou hodnotu pro měření.
2. Dalším krokem je postupné nastavování napětí UCE vždy od nulové hodnoty až po maximum dané katalogovým listem. Není nezbytně nutné dosáhnout U_{CEmax} , jelikož charakteristika se stává od určité hodnoty UCE lineární, je tedy zbytečné proměřovat ji celou. Ušetříme tak čas pro měření jednotlivých „laloků“ charakteristiky ale i samotný tranzistor.
3. Proud I_C odečítáme pro každé jednotlivé nastavené napětí UCE.
4. Dalším bodem je pak zpracování naměřených hodnot ve vhodné formě. Naměřené hodnoty tedy vyneseme do grafu. Stejný postup lze aplikovat i pro měření výstupních charakteristik pro zapojení SC obr. 4.2. a SB obr. 4.3, kde jediným rozdílem je parametr vstupních charakteristik, kde u SB je jím proud I_E a zapojení tranzistoru. [4]



Obr. 4.2 Schéma zapojení pro měření statických charakteristik BJT tranzistorů (SC).



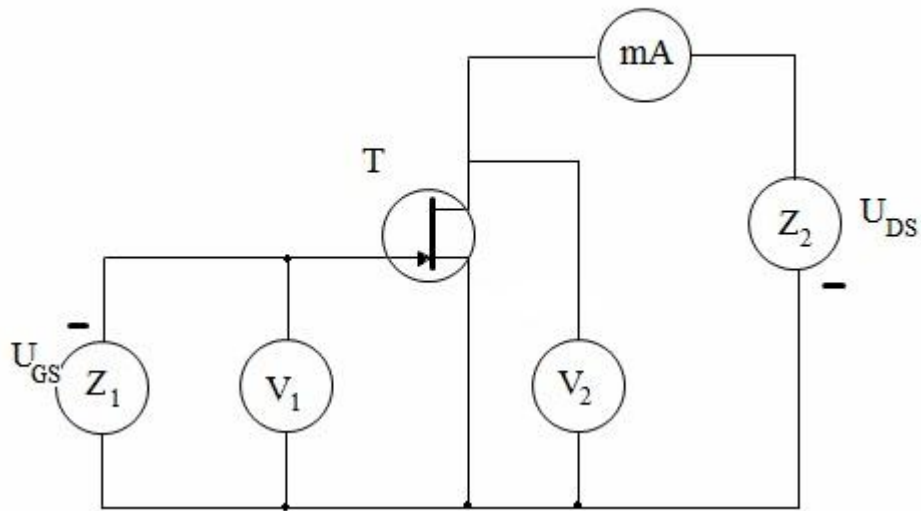
Obr. 4.3 Schéma zapojení pro měření statických charakteristik BJT tranzistorů (SB).

Výstupem takového měření je tedy soustava charakteristik tranzistoru, ze které lze stanovit například hybridní parametry, pracovní oblast a oblast saturace tranzistoru a další parametry.

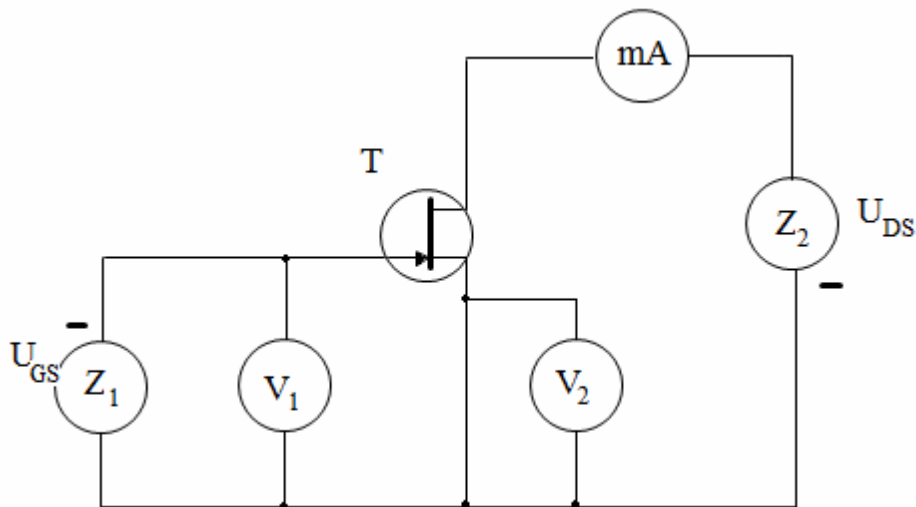
4.2 Měření unipolárních tranzistorů

Zapojení a postup pro měření statických charakteristik FET

Na obr. 4.4. se nachází zapojení unipolárního tranzistoru do obvodu. Je možno měřit statické (vstupní a převodní) charakteristiky přiloženého tranzistoru. Na obr. 4.4. je tedy uvedeno zapojení pro měření statických charakteristik na JFET tranzistoru s N kanálem v zapojení SS (společný source). Jde o obdobu zapojení SE u bipolárních tranzistorů. Dále na obr. 4.5. je zapojení SD. Zapojení SG se obvykle neproměňuje pro jeho nevhodné vlastnosti. Stejná zapojení pouze s odlišnou polaritou přiváděného napětí platí i pro kanál P tranzistoru JFET. [4]



Obr. 4.4 Zapojení pro měření statických charakteristik tranzistoru NJFET v zapojení SS.



Obr. 4.5. Zapojení pro měření statických charakteristik tranzistoru NJFET v zapojení SD.

Princip měření statických charakteristik (výstupních)

1. Při měření výstupních charakteristik jak je popsáno výše je nejprve potřeba nastavit určitou hodnotu napětí UGS a tato hodnota zůstává v průběhu měření pro každou jednu výstupní charakteristiku konstantní. Je potřeba dbát na polaritu přiváděného proudu podle kanálu tranzistoru. Po odměření charakteristiky vždy nastavíme novou hodnotu tohoto napětí a měření opakujeme

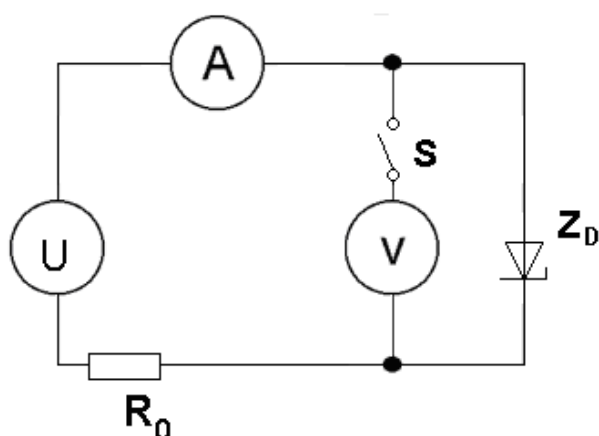
2. máme tedy nastavený proud UGS a nyní můžeme začít pro danou charakteristiku nastavovat řídicí veličinu a tou je napětí UDS měřit začínáme vždy od nulové hodnoty až po maximum dané katalogem. Vzhledem k tomu, že charakteristika se časem linearizuje není nezbytně nutné proměřovat ji až do hodnoty UDSmax stejně jako u bipolárních tranzistorů šetříme tím nejen čas potřebný k měření ale i tranzistor samotný

3. pro každou jednotlivou hodnotu UDS pro danou křivku odečítáme hodnotu proudu ID

4. naměřené hodnoty zpracujeme do grafu. Po změření charakteristik dostaneme jejich soustavu, která nám může sloužit pro určení např. pracovního bodu, admitančních parametrů, a všeobecně lépe zjistit vlastnosti předloženého prvku. [4]

4.3 Měření V–A charakteristiky na Zenerově diodě (stabilizační)

4.3.1 Zapojení v propustném směru



U..... regulovatelný zdroj napětí

A..... ampérmetr

V..... voltmetr

Z_D.... dioda

Obr. 4.6. schéma zapojení Zenerovy diody

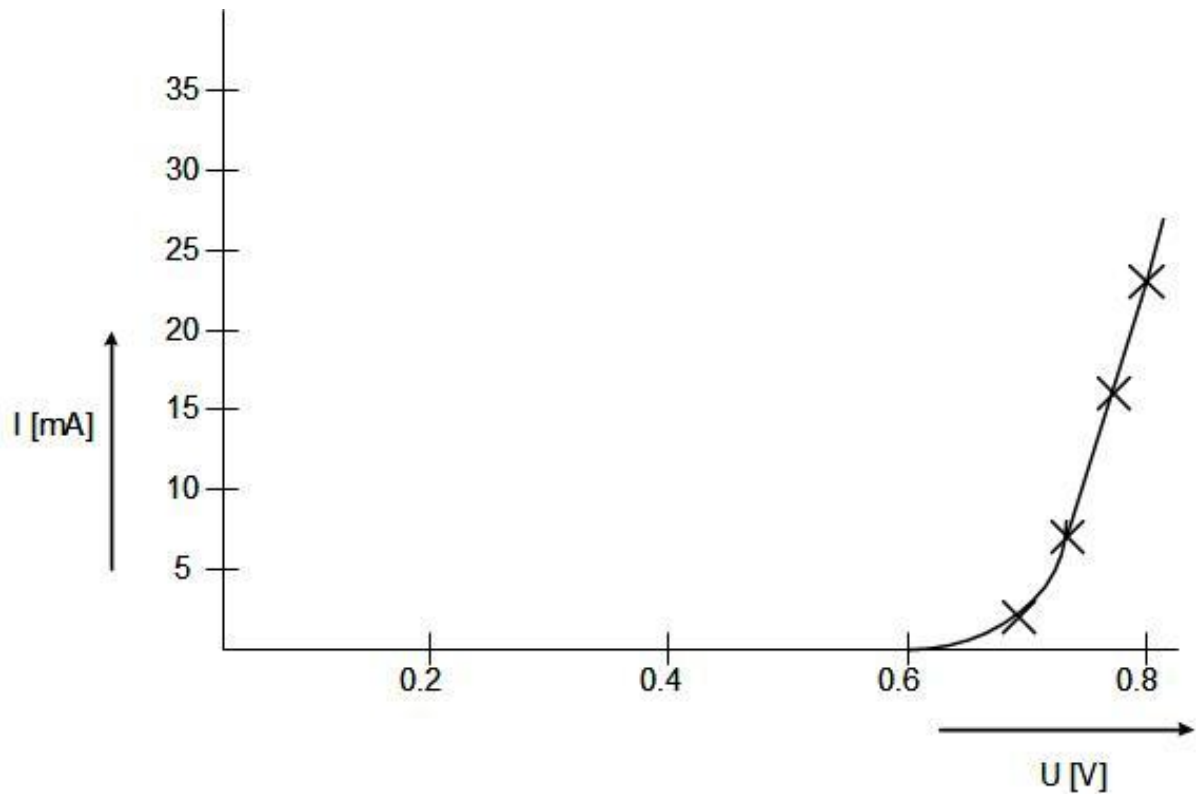
Postup měření

- Nejdříve si v katalogu elektronických součástek nalezneme mezní napětí měřených součástek.
- Dále zapojíme přístroje podle schéma zapojení.
- Součástku budeme vždy měřit od nejvyššího proudu, aby se nám příliš neprojevovala teplota ve měření.
- Nejdříve budeme měřit Zenerovu diodu v propustném směru a pak v závěrném. Musíme brát na zřetel mezní hodnoty diody, aby nedošlo k jejímu zničení.
- Při měření musíme nejdříve přečíst změřené napětí na voltmetru, poté ho spínačem vyřadíme a po ustálení na ampérmetru vyčteme změřený proud bez chyby způsobené voltmetrem.
- Změřené hodnoty vepíšeme do tabulky.

Naměřené hodnoty v propustném směru

Tab. 4.1 příklad naměřených hodnot v propustném směru

č. měření	1	2	3	4	5	6
U (V)	0	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8
I (mA)	0	0,015	0,213	3,38	13,37	25,13



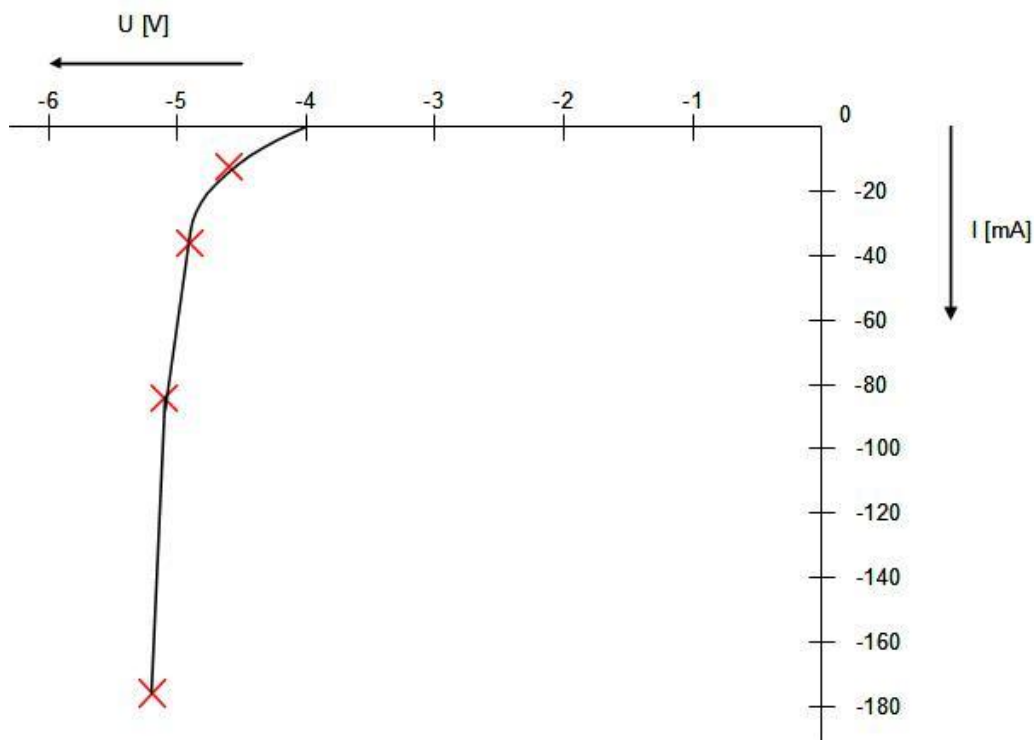
Obr. 4.7 V-A charakteristika Zenerovy diody v propustném směru.

Propustný směr se u zenerových diod moc nevyužívá. Charakteristika je podobná stabilizační diodě. Dioda se začíná otevírat kolem napětí 0,7V.

Naměřené hodnoty v závěrném směru

Tab. 4.2 příklad naměřených hodnot v závěrném směru

č. měření	1	2	3	4	5	6
U (V)	-5,2	-5,1	-5	-4,9	-4,8	0
I (mA)	-173	-84,5	-53,3	-34,9	-22,5	0

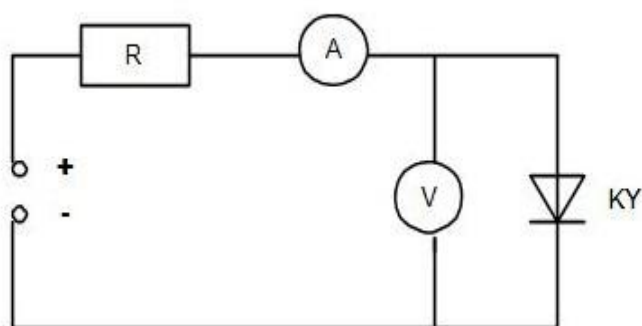


Obr. 4.8 V-A charakteristika Zenerovy diody v závěrném směru.

Pracovní oblast této diody leží v oblasti elektrického nedestruktivního průrazu, kdy se při velkých změnách proudu jen velmi málo mění hodnota napětí. Dioda se začíná otevírat kolem napětí -4,6V. Napětí v závěrném směru se stabilizovalo na hodnotu zhruba -5,1V.

4.4 Měření V – A charakteristiky na křemíkové diodě (usměrňovací)

Zapojení v propustném směru

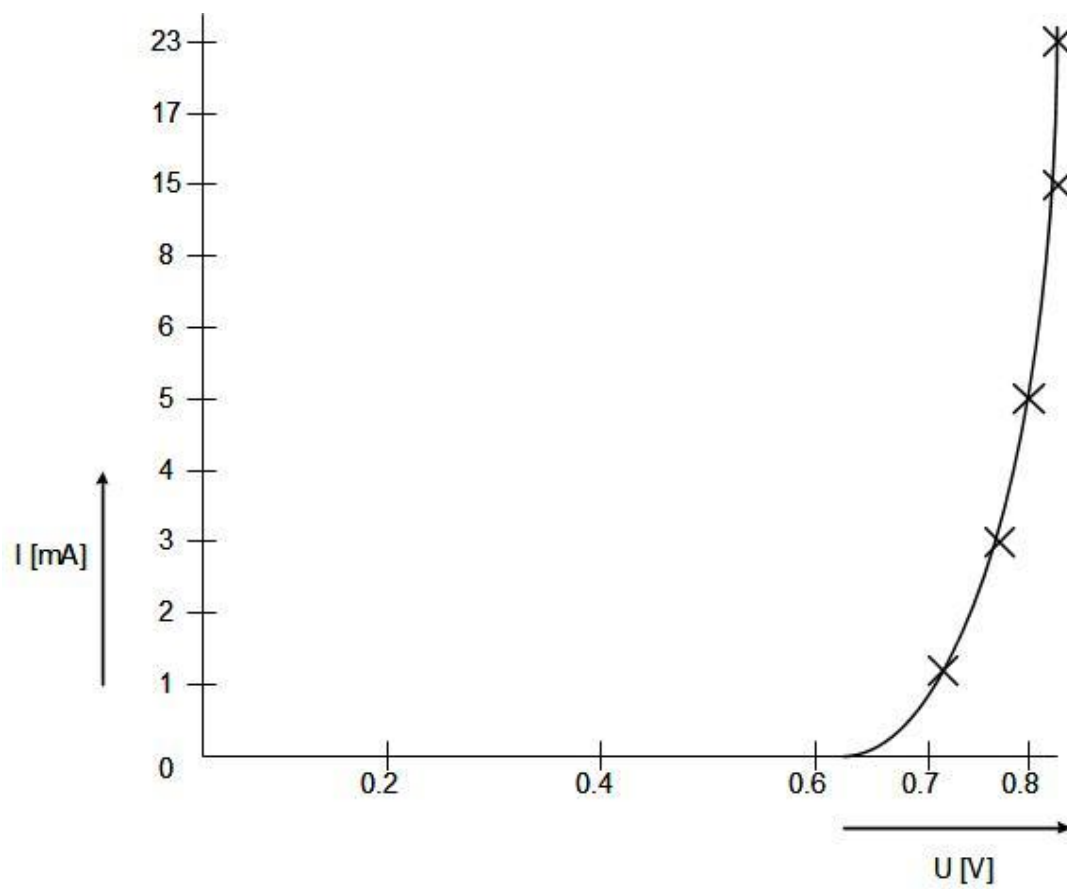


Obr.4.9. schéma zapojení křemíkové diody

Tab.4.3 příklad naměřených hodnot v propustném směru

č. měření	1	2	3	4	5	6
U (V)	0	0,71	0,75	0,79	0,8	0,82
I (mA)	0	1	3	5	15	23

Charakteristické parametry Zenerových diod uvedeny ve výše umístěné tabulce. VA charakteristiky Zenerových diod v propustném směru se neliší od charakteristik usměrňovacích křemíkových diod.



Obr.4.9.1 V-A charakteristika křemíkové diody v propustném směru

Kapitola 5

Diagnostika

5.1 Diagnostika – obecná charakteristika

Dia- gnosi je v řečtině „skrze poznání“. Pojem diagnóza byl původně převzat z řečtiny jen pro lékařské vyšetření pacienta a teprve mnohem později byl využit i pro technické aplikace. Technická diagnostika je vědní obor, který se zabývá metodami, postupy a prostředky bez demontážního a nedestruktivního zjišťování technického stavu objektu.

- Diagnóza je vyhodnocení okamžitého technického stavu objektu. Z hlediska terminologie spolehlivosti se jedná o vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných technických podmínek. Základními úkoly diagnostiky jsou:
 - a) detekce vady nebo poruchy, tj. identifikace vady nebo identifikace úplné nebo částečné poruchy objektu,
 - b) lokalizace vady nebo poruchy, tj. určení místa vady nebo poruchy v objektu.
- Prognóza (z řeckého „prognosis“) je extrapolace vývoje technického stavu do budoucnosti. Cílem prognózy je např. stanovení na základě statických vyhodnocení pravděpodobnost bezporuchového stavu v následujícím období nebo na základě vad stanovení termínů dílčích a generálních oprav nebo výměn komponentů objektu.
- Geneze (z řeckého „genesis“ je analýza možných a pravděpodobných příčin vzniku poruchy nebo vady, a tím předčasného zhoršení technického stavu objektu. [1]

5.2 Automatizace diagnostických systémů

Diagnostickým systémem nazýváme diagnostické prostředky, diagnostikované objekty a obsluhu. Diagnostické systémy rozdělujeme na :

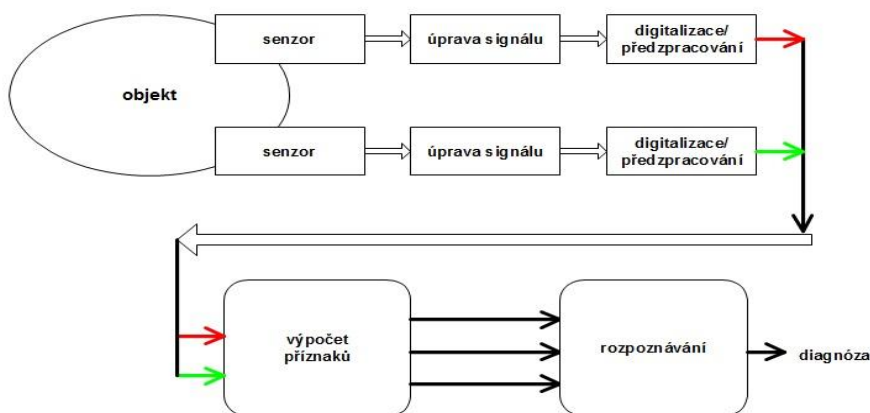
- **ON-LINE**, tyto vyhodnocují technický stav objektu za provozu. Příkladem ON-LINE systému je např. monitorovací systém, který je k diagnostikovanému objektu trvale připojený, trvale sleduje jeho stav a průběžně vyhodnocuje mezní stavy objektu.
- **OFF-LINE**, nejčastěji pod tímto pojmem rozumíme systémy, u kterých je během diagnostikování testem objekt mimo provoz. Algoritmy diagnostikování testem se dělí na nezávislé (kombinační) a závislé (sekvenční). U nezávislých testů je sled jednotlivých kroků testu nezávislý na výsledcích předcházejících kroků testu. Závislý algoritmus testu realizuje kroky testu v závislosti na výsledcích předcházejících kroků. Závislý test je časově méně náročný. Oproti systémům ON-LINE umožňují systémy OFF-LINE snadněji lokalizovat poruchy, detekovat poruchové stavy, které se při provozu objektu neprojeví. OFF-LINE také nazýváme postup, při kterém se pomocí přenosných zařízení naměří, částečně zpracují a uloží data do paměti. Vlastní vyhodnocení stavu objektu, porovnání s minulým stavem a prognózování se realizuje mimo diagnostikovaný objekt na centrálním počítači. [2]

5.2.1 Rozpoznávání v technické diagnostice

Na diagnostické systémy se dnes stále častěji klade požadavek automatického určování diagnózy příp. automatického odvozování prognózy případně geneze vady nebo poruchy.

Jde zejména o snahy:

- automatizovat činnosti, které byly dosud prováděny člověkem
- vyloučit subjektivní faktory lidského hodnocení
- kompenzovat omezenou schopnost zpracování složitých případně rozsáhlých dat člověkem
- konstruovat systémy dosahující dosud nedostupné aplikační možnosti



Obr. 5.1. Obecné uspořádání automatizovaného diagnostického řetězce

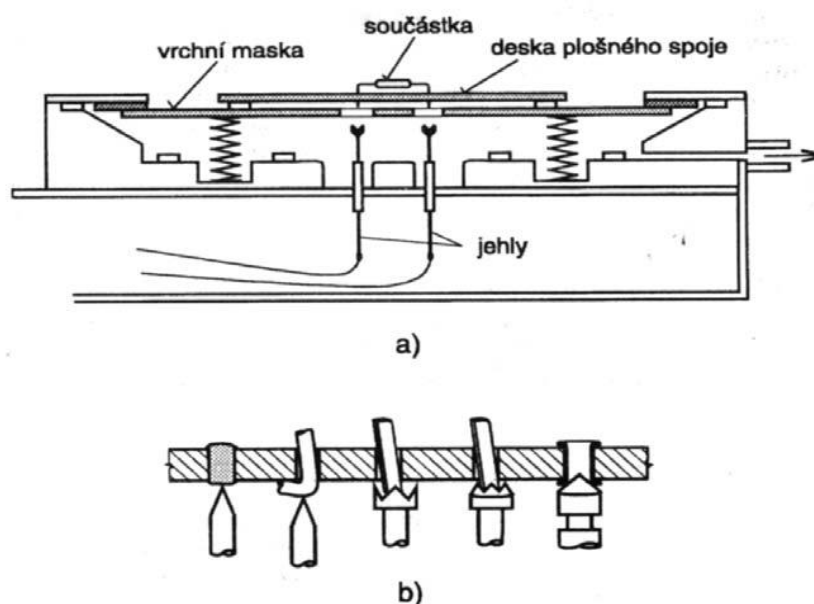
Typické obecné schéma automatizovaného diagnostického řetězce obsahujícího část pro rozpoznávání je uvedeno na obr. 5.1. Snímané diagnostické (fyzikální) veličiny jsou převedeny na měronosné signály, poté následuje jejich přenos, zesílení, případná analogová filtrace a převod do číslicové podoby. Získaná číslicová data jsou dále zpracovávána pomocí segmentace, číslicová filtrace (např. průměrování, vyhlazování, potlačení šumu), normalizace a vyloučení vychýlených hodnot. [1]

5.2.2 Automatické funkční testery

Funkční testery diagnostikují činnost celé desky jako uzavřeného systému. Prostřednictvím procesních a případně pomocných diagnostických konektorů přivádíme na uživatelsky přístupné vstupy dvouhodnotové signály a následně signály z uživatelských výstupů porovnáváme s modelem bez chybové desky. Modelem je obvykle matematický logický model v paměti počítače nebo fyzikální model tvořený bez chybovou deskou (v jednodušších případech). Nevýhodou funkčních testerů je nedostatečná lokalizace poruch, neboť testování probíhá pouze přes uživatelské vývody a vnitřní uzly desky jsou nepřístupné. Protože požadujeme lokalizaci s přesností na vadnou součástku, používáme u funkčních testerů metodu slovníku poruch nebo řízenou sondu (nebo kombinaci obou metod). Slovník poruch je v podstatě tabulka, která přiřazuje jednotlivým poruchám desky odezvy na vstupní test pro všechny možné poruchové stavy obvodu. Rozlišitelnost je při použití slovníku poruch omezená a také je tato metoda velmi náročná na čas a paměť testeru. Algoritmus řízené sondy je založen na programovém vybavení testeru. Program vede pomocí obrazovky operátora, aby přikládal sondu na jednotlivé vnitřní uzly desky. Po každém přiložení se spustí test a na základě jeho odezvy se stanoví další diagnostikovaný uzel na desce. [1]

5.2.3 Testery „In Circuit“

Se dají přeložit jako testery prvků v obvodě. Tyto testery, jak název napovídá, umožňují přesnou lokalizaci poruch jak propojovací sítě, tak jednotlivých analogových a číslicových součástek. Metoda spočívá na postupném testování spojů tištěného spoje a testování jednotlivých prvků, umístěných na desce při maximálně možném potlačení vlivů ostatních součástek. Hlavním rozdílem oproti funkčním testerům je připojení diagnostikované desky. Princip těchto testerů je založen na přímém kontaktování jednotlivých uzlů obvodů speciálním měřicím adaptérem s odpruženými hroty (obr. 5.1). Přitlačení adaptéru s jehlami se u jednoduchých testerů realizuje ručně a u větších pak pneumaticky, a to odčerpáním vzduchu pod deskou. Programové vybavení testerů umožňuje postupně provést několik testů, jako např. test kontaktů jehel adaptéru k uzlům desky a test zkratů mezi jehlami, test plošných spojů neboli test propojovací sítě na zkratky a přerušení, test hodnot pasivních prvků (odpory, kondenzátory, indukčnosti aj.), test aktivních polovodičových prvků (diody, tranzistory aj.) a test logických obvodů. [9]



Obr.5.2. měřicí jehlový adaptér : a)uspořádání b)vybrané typy jehel

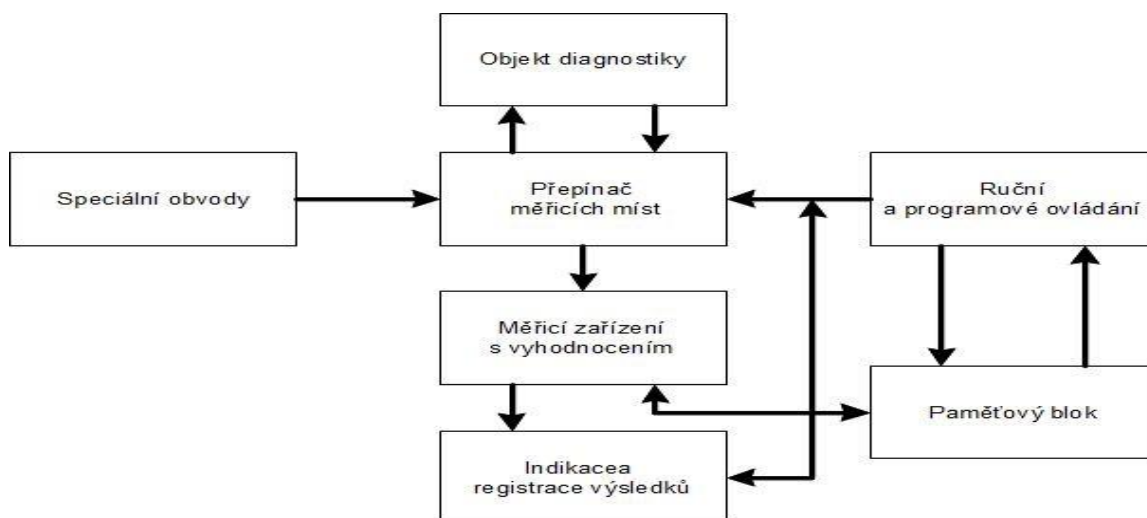
Programové vybavení testerů umožňuje postupně provést :

- test kontaktů jehel adapteru k uzlům desky a test zkratů mezi jehlami,
- test plošných spojů neboli test propojovací sítě na zkratky a přerušení,
- test hodnot pasivních prvků (odpory, kondenzátory, indukčnosti, aj.),
- test aktivních polovodičových prvků (diody, tranzistory, zesilovače aj.),
- test logických obvodů

Testery „In Circuit“ neboli testery prvků v obvodě umožňují přesnou lokalizaci poruch jak propojovací sítě, tak jednotlivých pasivních a aktivních (analogových a číslicových) součástek. Algoritmus testů „In Circuit“ spočívá v postupném testování jednotlivých spojů tištěného spoje a testování jednotlivých prvků, umístěných na desce při maximálním možném potlačení vlivu okolních součástek. Pod pojmem „In Circuit“ je celá řada metod od statických až po dynamické, funkční, parametrické, polyfunkční a „Cluster-test“. Statické metody testují obvody bez vztahu k ostatním součástkám, většinou za účelem zjistit, zda byla součástka vůbec osazena nebo není-li osazena chybně. U pasivních součástek statický test stanoví, zda součástka je ve stanovené toleranci. Funkční testy ověřují základní funkci součástky, tento test může být statický i dynamický, tj. s ověřením funkčnosti při provozních kmitočtech hodinových pulsů. Parametrické metody již měří parametry součástek (např. náběžnou a sestupnou hranu impulsu, dobu zpoždění, zesílení, vstupní klidové proudy atd., tedy vyhodnocují chyby postupného poškození struktury součástek, které zatím nevykazují poruchu. Polyfunkční testy jsou kombinované parametrické a dynamické testy. „Cluster“ testy se používají u testování celků, které nelze rozčlenit na jednotlivé součástky nebo je nutné provést ověření jako celku (např. analogovo číslicové převodníky, převodník napětí - kmitočet, apod.). Programové vybavení testerů umožňuje samoučení, tj. uložení odezev pro dané vstupní signály do paměti. Rozdíl oproti funkčním testerům je v připojení diagnostikované desky. „In Circuit“ test je založen na přímém kontaktování jednotlivých uzlů obvodu speciálním měřicím adaptérem s odpruženými měřicími hroty. Hroty lze rozmisťovat od rozteče 1.25 mm.[9]

5.2.4 ASA tester

ASA lze přeložit jako analogová příznaková analýza nebo impedanční příznaková analýza. Princip metody spočívá v zobrazení voltampérových charakteristik, označované jako impedanční příznaky (nebo ASA příznaky) a to jak pasivních tak aktivních součástek a integrovaných obvodů umístěných na desce. Testování probíhá při odpojeném napájecím napětí desky. Měřené součástky a obvody se k testeru připojí vícekontaktní sondou nebo pomocí jehlového adaptéru. Metodu ASA lze aplikovat bez znalostí katalogových hodnot součástí, jejich vnitřních struktur a schéma zapojení desky. Tyto testery mají také samoučící mechanismus, je také možná kombinace s testerem „In Circuit“. Obecně lze automatické diagnostické zařízení – tester – pro funkční diagnostiku elektronických obvodů schématicky znázornit obr. 5.3. [9]



Obr. 5.3 Schéma automatického testeru elektronických obvodů

5.3 Příklad diagnostiky - automobilová diagnostika

Automobilová diagnostika je cílený postup, který vede k odhalení závady na motorovém vozidle, nebo k nastavení či změnám konfigurací jednotlivých zařízení.

U automobilové diagnostiky mluvíme především o:

- Komunikaci s řídicími jednotkami
- Měření průběhu napětí jednotlivých snímačů, nebo akčních členů

Činnosti v diagnostice směřují k:

- Ověření správného průběhu regulovaného procesu
- Zjištění místa a příčiny závady, která způsobila odchylku od průběhu tohoto děje

Základní metody pro hledání závad u motorových vozidel

Vnitřní diagnostika

Nebo-li sériová diagnostika, je komunikace s řídicí jednotkou pomocí zařízení k tomu určených. Tyto zařízení umožňují čtení chybových hlášení, diagnózu sledováním hodnot měřených a zprostředkovaných samotnou řídicí jednotkou, nebo její programování. Zahrnuje také test elektronických systémů vozidla jako je řízení motoru, převodovky, ABS/ASR, airbagy, nulování servisních intervalů atd.

Hlavní části vnitřní diagnostiky

Řídící jednotky

Pod pojmem řídicí jednotka si můžeme představit velice malý počítač, skládající se z procesoru a paměťových obvodů. Řídící jednotka přijímá hodnoty z jednotlivých snímačů a porovnává je buďto s hodnotami předprogramovanými (jsou uloženy v paměti), nebo s hodnotami které sama vypočetla. Po zpracování těchto informací vysílá jednotka řídicí signály pro jednotlivé prvky.

Vnější diagnostika

Nebo-li paralelní diagnostika, zahrnuje všechny ostatní diagnostické metody, které se netýkají komunikace s řídicí jednotkou.

Například :

- Měření a porovnání elektrických odporů jednotlivých členů a jejich vodičů s hodnotami předepsanými výrobcem. [1]

5.4 Diagnostická a opravárenská stanice BoardMaster8000+

BoardMaster 8000 PLUS - je univerzální, nejvíce vybavený a výkonný diagnostický a vývojový systém schopný testovat a lokalizovat poruchy a vady všech existujících plošných spojů, součástek a veškeré elektroniky. [7]



Obr. 5.4. board master 8000+



Obr. 5.5. připojení plošného spoje

Vlastnosti:

- funkční testy digitálních prvků (v plošných spojích i mimo ně)
- funkční testy analogových prvků
- grafický generátor testů
- srovnávání vadné a dobré desky v reálném čase, současné vyhodnocení
- V-A charakteristiky digitálních i analogových prvků
- identifikace neznámých integrovaných obvodů
- čtečka EPROM paměti pro kontrolu uložených údajů
- lokátor zkratů
- digitální osciloskop, digitální multimetr, generátor signálů libovolného průběhu,
- manažer pro sestavování sekvencí testů
- automatické realizace testovacích sekvencí
- programovatelný zdroj

Kapitola 6

Využití automatické diagnostiky u firem VSP DATA a.s., MICRONIX Bechyně s.r.o.

6.1 Měření a diagnostika ve firmě VSP DATA a.s.

Společnost byla založena v roce 1993 a pod jménem VSP DATA a.s. působí od roku 2000. Sídlo vedení společnosti je v Táboře. Servisní a opravárenské kapacity jsou umístěny v závodě Service Park v Sezimově Ústí. Další skladové a podpůrné prostory jsou umístěny v Táboře a jeho okolí. Zpočátku se společnost soustředila pouze na prodej ICT produktů, po-prodejní servis, vývoj vnitropodnikových aplikací a ERP systémů. V roce 1996 začala s opravou laserových tiskáren, ke kterým se v krátké době přidaly tiskárny inkoustové, digitální kamery, datové projektory, GPS navigace a další ICT technologie.

Do firmy VSP DATA jsem se vypravil dne 2.7 2012 za účelem získání informací o měření a diagnostice opravovaných elektronických zařízení. Po příchodu do firmy jsem byl mile překvapen s jakou ochotou jsem byl přijat. Na vrátnici jsem se sešel s panem Fořtem, který byl připraven mne provést. Postupně jsem zjišťoval co firma opravuje. Z největší části se tu opravují tiskárny a mobilní telefony snad všech značek co znám. Při obcházení firmy mi pan Fořt sdělil, že v této firmě na diagnostiku není moc čas, ale diagnostiku provádějí v omezené míře a to takovou tu základní. Pracovníci měří podle schémat zapojení například hodnotu odporu nebo zkrat na desce. K měření používají MULTIMETR – UNIT UT 70C. Dále pak diagnostikují kontrolu zápisu dat do paměti RAM za pomoci Osciloskopu GDS 840C. Dozvěděl jsem se, že k nejčastější poškozené součástky na desce plošného spoje jsou konektory a aktivní elektronické součástky (tranzistor). Příčina chyby bývá taky často špatně nainstalovaný software. Ve firmě VSP DATA je takto ochuzená diagnostika kvůli dvěma důvodům.

- Přístroje na automatizovanou diagnostiku jsou drahé a nevyplácí se jim kupovat, protože vyrábí velké množství tiskáren různých typů a to třeba po dobu jen půl roku a potom nastupuje jiný typ tiskáren. To znamená, že by firma musela po každém cyklu přeprogramovat přístroje.
- Pracovníci musí diagnostikovat chybu do jedné hodiny, potom je komponenta vyřazena z provozu.

Je tedy jasné, že v dnešní době technologie a rychlému výrobnímu procesu je snažší, rychlejší a levnější vyměňovat komponenty tzv. kus za kus. Toto zjištění mne nepřekvapilo.

Přístroje používané ve firmě VSP DATA

MULTIMETR – UNIT UT 70C.



Vlastnosti :

- automatické vypínání
- funkce HOLD
- funkce PEAK HOLD
- patice pro testování tranzistorů
- ochrana proti přetížení
- podsvětlený zobrazovač LCD
- ruční přepínání rozsahů
- test diody a průchodnosti obvodu
- indikátor vyčerpání baterie

Obr. 6.1. Multimetr UNIT UT .

Technické údaje naleznete v příloze.

OSCILOSKOP GDS 840C



Obr. 7.2. Digitální paměťový osciloskop.

Vlastnosti :

- 250 MHz Displej: 5.7 LCD, Barevný
- 250MHz Šířka pásma
- 12ti segmentový horizontální displej
- 25GS/s Vzorkovací frekvence pro opakované průběhy

Technické údaje naleznete v příloze.



Obr.7.3. Ukázka měření multimetrem UNIT UT ve firmě VSP DATA.

6.2 Měřicí přístroje ve firmě MICRONIX Bechyně s.r.o.

Tradice této společnosti sahá až do roku 1990, kdy zahájila svou činnost importem kancelářské techniky a měřicích přístrojů. Disponuje vlastní montážní skupinou a zabývá se nejen mezinárodním obchodem, ale také kalibracemi a záručním i pozáručním servisem na všechny produkty.

Do firmy micronix s.r.o. jsme se vypravili s kolegou Leopoldem Krebsem dne 6. srpna, abychom zjistili jaké přístroje firma předvádí a prodává. Před tím než jsme firmu navštívili kontaktovali jsme pracovníka z oddělení měřicí techniky, protože firma micronix se nezabývá jen měřicí technikou. Navrhl nám, že by mohl předvést určité typy přístrojů na měření aktivních a pasivních součástek. Do prodejny micronix jsme tedy jeli s tím, že nám předvedou nějaké ty přístroje. Ale jaké bylo naše překvapení, když za pultem seděl pán, který nevěděl nic o naší domluvě a po krátkém rozhovoru s ním bylo zřejmé, že není schopen nám odpovědět. Zavolał pánu, s kterým jsme se domlouvali, ale byl na dovolené. Pán za pultem nám řekl, že o měřicích přístrojích nic neví a tudíž nám nemůže pomoci. Po prohledání katalogu nám dal do rukou čínsky psaný manuál k přístroji, který nás zajímal. Ať si vybereme informace jaké chceme. Manuál si vzal zpět s tím že ho nemůže poskytnout, jelikož patří k výrobku. Dal nám email na stejného pracovníka, s kterým jsme se domlouvali před návštěvou. Bohužel už se nám nikdo neozval ani na opakované zprávy. Firma micronix prodává určitě kvalitní měřicí přístroje nicméně pokud nemáte vážný zájem koupit měřicí přístroj tak vám ho ani neukážou.



Obr.7.4. Prodejna firmy Micronix (v levém rohu Jakub Vyškovský)

Kapitola 7

Závěr

Za vlastní přínos v této práci považuji vytvoření přehledných skript jako didaktickou a studijní pomůcku pro středoškolské účely k výuce elektrotechniky, měření a diagnostiky. Čas ukáže, jestli a jak se tento studijní materiál využije. Tuto práci jsem se snažil napsat tak, aby byla srozumitelná pro studenty středních škol a poskytla základy v dané problematice. Hlavním problémem v této práci bylo vybrání určitých informací aktivních elektronických součástek, protože jich je tolik, že by se o nich dalo napsat několik absolventských prací. Na úplný závěr bych chtěl říci, že prohlídka firmy VSP DATA a.s. byla plně dostačující za účelem získání informací. Bohužel jak už bylo zmíněno firma MICRONIX s.r.o. neposkytla informace žádné.

Literatura

[1] KREIDL, M., ŠMÍD, R., Technická diagnostika, ISBN 80-7300-158-6

[2] MENTLÍK, V., Diagnostika elektrických zařízení, ISBN 978-80-7300-232-9

[3] Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. 2012- [cit. 2012-09-26].Dioda.
Dostupné z www: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Dioda> >

[4] KAŇA, LEOŠ. Měření vlastností tranzistorů [online]. [cit. 2012-09-26].
Dostupné z : < http://vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=1817>

[5] SMĚLÍK, MARTIN. Přesná měření vlastností polovodičových součástek [online].
[cit. 2012-09-26].
Dostupné z : < http://vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18533>

[6] Měření v elektronice [online]. [cit. 2012-09-26].
Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wtech/elearning/PEN/pen-mereni.pdf>

[7] ABI katalog [online]. [cit. 2012-09-26]. Dostupné z: <www.amtest-tm.com>

[8] Stránský, J., a kol.: Polovodičová technika I, SNTL, Praha 1973

[9] Vdoleček, F.: Spolehlivost a technická diagnostika [online].
[cit. 2012-09-26].
Dostupné z : <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>

Příloha A

Použitý SoftWare

Microsoft World trial vision.....(<http://www.adobe.com/downloads/>).

PDFCreator 1.3.2..... (<http://www.pdfforge.org/>)

Concept draw VI professional trial..... (<http://www.stahuj.cz/>)

Příloha B

Obsah přiloženého CD

- Absolventská práce v PDF
- Fotky z prohlídky firmy VSP DATA a.s a MICRONIX Bechyně s.r.o. v JPG
- Technické údaje měřicích přístrojů použité v této práci
- Obrázky el. schémat v cdd

