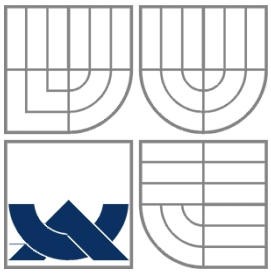
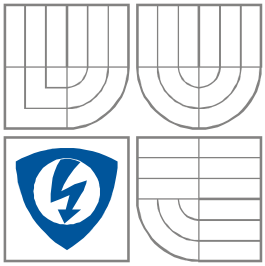


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝ VYSOKOFREKVENČNÍ FÁZOVACÍ ČLÁNEK

Digitally Controlled High-frequency Phase Shifter

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Jakub Vaníček
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO, 2008

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jakub Vaníček
Bytem: Foersterova 59, 0lomouc, 779 00
Narozen/a (datum a místo): 3. února 1986 v Olomouci

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

   ☐ disertační práce
   ☐ diplomová práce
   ☒ bakalářská práce
   ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
   (dále jen VŠKP nebo dílo)

   Název VŠKP: Číslicově řízený vysokofrekvenční fázovací článek
   Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
   Ústav: Ústav radioelektroniky
   Datum obhajoby VŠKP: _____

   VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

   ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
   ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.

2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.

3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti

   ☒ ihned po uzavření této smlouvy
   ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
   ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
   ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
   ☐ 10 let po uzavření této smlouvy (z důvodu utajení v něm obsažených informací)

4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.

2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.

3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.

4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

…….. ……

Nabyvatel Autor

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav radioelektroniky

Číslicově řízený vysokofrekvenční fázovací článek

Bakalářská práce

Studijní obor: **Elektronika a sdělovací technika**

Jméno studenta: **Jakub VANÍČEK**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.**

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací číslicově řízeného vysokofrekvenčního fázovacího článku. Práce obsahuje jak samotných návrh zapojení, tak i desky plošných spojů pro vytvoření příslušného zařízení. Výsledkem celého projektu je zařízení ovládané pomocí PC.

Klíčová slova

Fázovací článek, Stabilizátor, USB, koaxiální kabel, HyperTerminal

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Radio Electronics

Digitally Controlled High-frequency Phase Shifter

Bachelor's thesis

Specialization: **Electronics and Communication**

Student: **Jakub VANÍČEK**

Supervisor: **Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.**

Abstract

This Bachelor's thesis deals with a design and a realization of an Digitally Controlled High-frequency Phase Shifter. Design of connection and Board for create demand deviceis incorporated in this project. Apparatus with a user friendly PC kontrol is result of this project

Key words

Phasing segment, Voltage stabilizer, Universal Seriál Bus, coaxial cable, HyperTerminal

Bibliografická citace:

VANÍČEK, J. *Číslicově řízený vysokofrekvenční fázovací článek.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma Číslicově řízený vysokofrekvenční fázovací článek vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 2. ledna 2008 .....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 2. ledna 2008 .....
podpis autora

Obsah:

1. Úvod 11
2. Fázovače 12
   - 2.1. Fázovače feritové 12
   - 2.2. Diody diodové 12
   - 2.3. Diody p-i-n 13
   - 2.4. Fázovač s přepínanými vedeními 14
   - 2.5. Ovládací obvody fázovačů s diodami p-i-n 15
   - 2.6. Digitální řízení fáze 16
3. Dálkové řízení fázového posuvu pro 12 fázovacích článků počítačem PC pomocí rozhraní USB 17
   - 3.1. Mikrokontrolér AT mega 16 18
   - 3.2. Komunikační modul FT232RL 19
   - 3.3. USB-Universal Seriál Bus 19
   - 3.4. Třísvorkový stabilizátor 7805 20
4. Vf. část fázovacího článku 21
   - 4.1. Teoretický výpočet jednotlivých délek vedení pro požadovanou změnu Fáze 24
   - 4.2. Naměřené a vypočítané hodnoty použitých úseků vedení 24
     - 4.2.1. Naměřené hodnoty pro useky 270˚ 25
     - 4.2.2. Naměřené hodnoty pro useky 180˚ 26
     - 4.2.3. Naměřené hodnoty pro useky 90˚ 27
     - 4.2.4. Naměřené hodnoty pro useky 45˚ 28
     - 4.2.5. Shrnutí naměřených a vypočítaných hodnot úseků vedení 29
5. Kontrola funkčnosti komunikace 29
6. Závěr 31
7. Seznam literatury 32
8. Seznam příloh 33

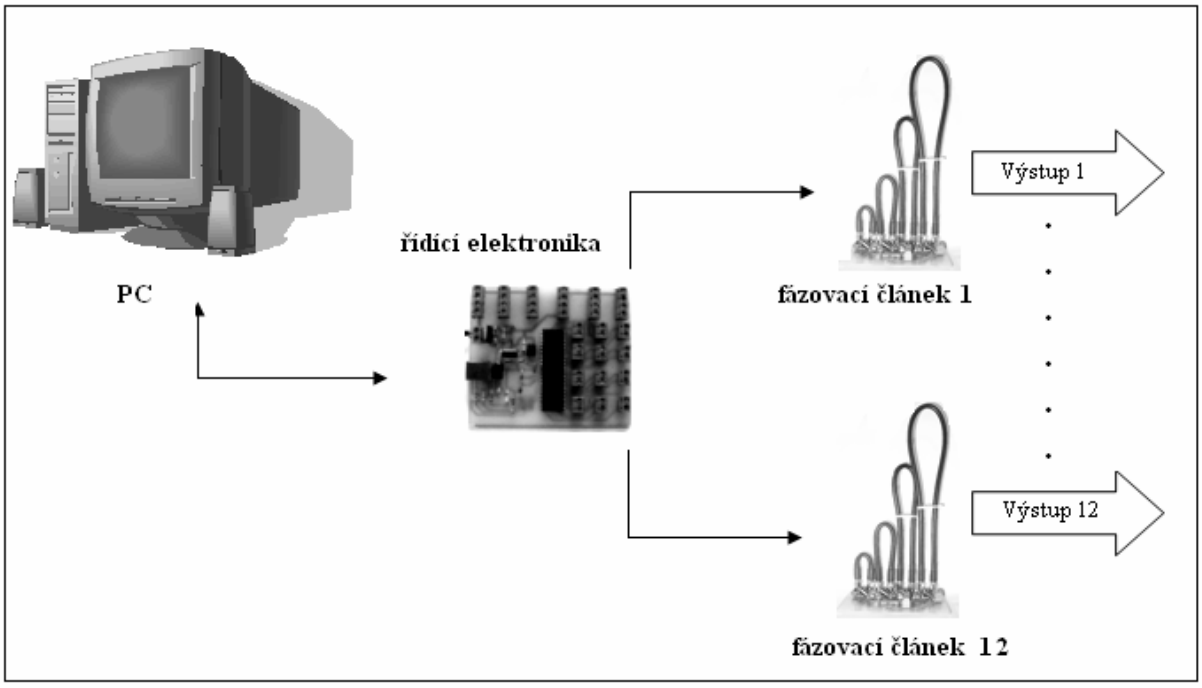
Seznam obrázků:

Obr. 1.1 Realizační schéma fázovacího článku ... 11
Obr. 2.3 Zjednodušená náhradní schémata diody pro vf. signál ... 14
Obr. 2.4 Schéma fázovače s přepínanými vedeními v provedení na páskové vedení ... 14
Obr. 2.5 Principielní schéma ovládacího obvodu 1 bitu fázovače s diodami p-i-n ... 15
Obr. 2.6 Principielní schéma číslicového řízení fáze ... 16
Obr. 3.1 Blokové schéma demonstrující dálkové řízení fázového posuvu pro 12 fázovacích článků počítačem PC ... 17
Obr. 3.3.1 Zapojení USB-A a USB-B ... 19
Obr. 3.3.2 Příklad propojení USB a FT232RL ... 20
Obr. 3.4 Zapojení třísvorkového stabilizátoru ... 20
Obr. 4.2 Pouzdro SOT-23 ... 21
Obr. 4.3 Charakteristická křivka diody HSMP-3893 ... 22
Obr. 4.4 Charakteristická křivka tranzistoru BCR512 ... 22
Obr. 4.2.1 Schéma zapojení pro měření skutečné změny fáze ... 24
Obr. 4.2.1.1 Měření 1 fáze 270˚ ... 25
Obr. 4.2.1.2 Měření 2 fáze 270˚ ... 25
Obr. 4.2.2.1 Měření 1 fáze 180˚ ... 26
Obr. 4.2.2.2 Měření 2 fáze 180˚ ... 26
Obr. 4.2.3.1 Měření 1 fáze 190˚ ... 27
Obr. 4.2.3.2 Měření 2 fáze 180˚ ... 27
Obr. 4.2.4.1 Měření 1 fáze 45˚ ... 28
Obr. 4.2.4.2 Měření 2 fáze 45˚ ... 28
Obr. 5.1 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 270˚ ... 29
Obr. 5.2 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 180˚ ... 29
Obr. 5.3 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 90˚ ... 30
Obr. 5.4 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 45˚ ... 30
Obr. 7.1.1 Schéma zapojení řídící části ... 35
Obr. 7.1.2 Osazovací výkres řídící části ... 36
Obr. 7.1.3 Předloha pro výrobu plošného spoje řídící části ... 36
Obr. 7.2.1 Schéma zapojení vf. části ... 38
Obr. 7.2.2 Osazovací výkres vf. části ... 39
Obr. 7.2.3 Předloha pro výrobu plošného spoje vf. části ... 39
Obr. 7.4.1 Řídící část-pohled ze strany součástek ... 46
Obr. 7.4.2 Řídící část-pohled ze strany spojů ... 46
Obr. 7.4.3 Vf. část-pohled ze strany součástek ... 47
Obr. 7.4.4 Vf. část-pohled ze strany spojů ... 47
Obr. 7.5.1 Rozmístění vývodů řídící části ... 48
Obr. 7.5.2 Nastavení parametrů přenosu ... 48

1 Úvod

Úkolem bakalářské práce je navrhnout a sestavit fázovací článek pro anténu s elektronickým řízením vyzařovacího svazku pro pásmo 430 – 440 MHz. Dále pak navrhnout protokol pro dálkové řízení fázového posuvu pro 12 fázovacích článků počítačem PC pomocí rozhraní USB.

Podle realizačního schématu fázovacího článku je uskutečněno celé zapojení. Je z něj názorně vidět, jak bude celé zařízení pracovat. Nastavování fázového posuvu se bude realizovat pomocí HyperTerminálu v počítači. Obslužný program mikrokontroléru dále rozešle zadané parametry na požadovaný fázovací článek.



Obr. 1.1 Realizační schéma fázovacího článku

2 Fázovače[1]

Elektronicky řízené posouvače fáze jsou základními prvky, které umožňují realizovat ideje o bezinerciálním řízení pohybu svazku antény. Uplatnění našly prozatím dva typy elektronicky řízených posouvačů fáze (nebo-li fázovače):

2.1 Fázovače feritové

U nich se fáze řídí pomocí změny permeability vf vedení.

2.2 Fázovače diodové

Základním stavebním prvkem je dioda p-i-n, kterou lze pomocí stejnosměrného proudu udržovat v propustném stavu pro vf vlnění a pomocí závěrného napětí udržovat v nepropustném stavu. To umožňuje navrhnout několik typů fázovačů.

V pásmu kmitočtů 3 - 10 GHz našly uplatnění oba typy fázovačů. Všeobecně lze říci, že pro vyšší kmitočty než 10 GHz jsou vhodnější fázovače feritové a naopak pro nižší kmitočty než 3 GHz jsou vhodnější fázovače diodové. V pásmu 3 – 10 GHz je možné použití obou typů.

Na fázovače určené pro použití v primárních radiolokátorech klademe následující požadavky:

- Činnost v dostatečně širokém kmitočtovém pásmu.
- Přijatelné průchozí ztráty. Neměly by být větší než 1 dB.
- Přenos potřebného impulsního a středního výkonu.
- Dostatečně krátká doba přepnutí.
- Malý řídící příkon.
- Teplotní stabilita.
- Malé fázové chyby a malé změny průchozího útlumu při změnách fázových stavů.
- Dostatečně malé rozměry. Fázovače se umisťují do těsné blízkosti zářičů, proto se požaduje, aby jejich příčné rozměry nepřevyšovaly $\lambda / 2 \times \lambda / 2$.
- Odolnost proti vlivům prostředí, včetně odolnosti vůči radioaktivnímu záření.

Tab. č. 1: Porovnání feritových a diodových fázovačů v pásmu 3 – 10 GHz

Parametr	Fázovač feritový	Fázovač diodový
Šířka pásma	5 – 15 %	10 %
Vložené ztráty pro fázový posuv 360°	0,5 dB	0,75 – 1,5 dB
Špičkový výkon	100 kW	50 kW (závisí na délce impulsu)
Střední výkon	1 kW	500 W

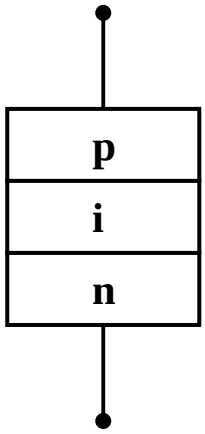
[1] Pro zpracování dané kapitoly byly použity údaje uvedené v knize: KUPČÁK, D. Antény radiolokátorů pro řízení letového provozu, díl II. – Základy techniky radiolokačních antén. Pardubice: Nakladatelství ÚVR Opočinek, 1986, s. 207 – 209, 212 – 216, 221 – 222.

Přepínací čas	2 – 10 μs u toroidu, ~ 100 μs u dvoumod.	< 1 μs
Parametr	Fázovač feritový	Fázovač diodový
Teplotní závislost	0,5° - 3° / 1° C	zanedbatelná
Potřeba dostavení vložné fáze pro toleranci ± 10°	obvykle nutná	není nutná
Přepínací energie a udržovací výkon	20 – 1000 μJ	0,1 – 5 W
Reciprocita	ano i ne	ano
Odolnost proti radioakt. záření	vynikající	špatná

2.3 Diody p-i-n

Diody p-i-n jsou tvořeny třemi vrstvami na jednom křemíkovém čipu. Krajní vrstvy jsou silně dotovány a mají vodivosti typu p a n. Střední vrstva i má velmi nízkou intrinzickou vodivost. Odtud plyne i název těchto diod.

Schématická značka diody p-i-n:



Při normální teplotě jsou téměř všechny atomy nečistot ionizovány. Akceptory v oblasti p dodávají díry, donory v oblasti n dodávají elektrony. Vlivem termálního pohybu difundují elektrony a díry do vrstvy i. Vrstvičky prostorových nábojů, které se vytvoří v blízkosti obou rozhraní, zabraňují dalšímu průniku děr a elektronů do vrstvy i. Při nulovém předpětí tedy dioda p-i-n v podstatě nevede.

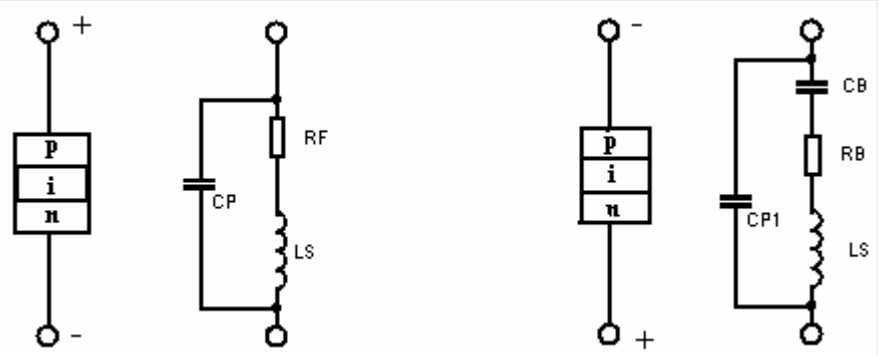
Je-li k diodě připojeno předpětí v přímém směru, odčerpají se obě nábojové bariéry a umožní se vznik dalších děr a elektronů do vrstvy i. Vrstva i se zaplaví nosiči náboje, dírami a elektrony. Ty ovšem navzájem nekombinují a aby se dioda udržela ve vodivém stavu, musí se úbytek nosičů nahrazovat trvalým proudem, který budeme označovat jako I_o. Potřebná velikost proudu I_o závisí na době života nosičů. Čím je delší doba života nosičů, tím může být proud I_o menší. Doba života nosičů náboje v křemíku je 0,1 – 20 μs. Nesmíme ji zaměňovat s dobou přepnutí, neboť ta závisí na dalších mnoha činitelích, též na řešení ovládacího obvodu.

Je-li k diodě připojeno napětí ve zpětném směru, vyprázdní se vrstva i od nosičů náboje a dioda se chová jako deskový kondenzátor s kvalitním nízkoztrátovým dielektrikem. Záporné předpětí $– U_b$ je nezbytné, neboť jednak slouží k úplnému vyprázdnění vrstvy i, jednak vypudí náboje, které do vrstvy i proniknou při kladných půlvlnách vf napětí během vysílacího impulsu. S tím je ovšem spojený jistý proud, který závisí na velikosti vf napětí a který musí

budící obvod schopný dodat. Na druhé straně záporné napětí nesmí překročit hodnotu průrazného napětí – $U_{p.}$

Použití diody, p-i-n jakožto spínacího prvku pro vysoké kmitočty, je založeno na tom, že k vytvoření, nebo k odstranění vodivého stavu vrstvy i je zapotřebí určitý čas, který souvisí s dobou života nosičů.

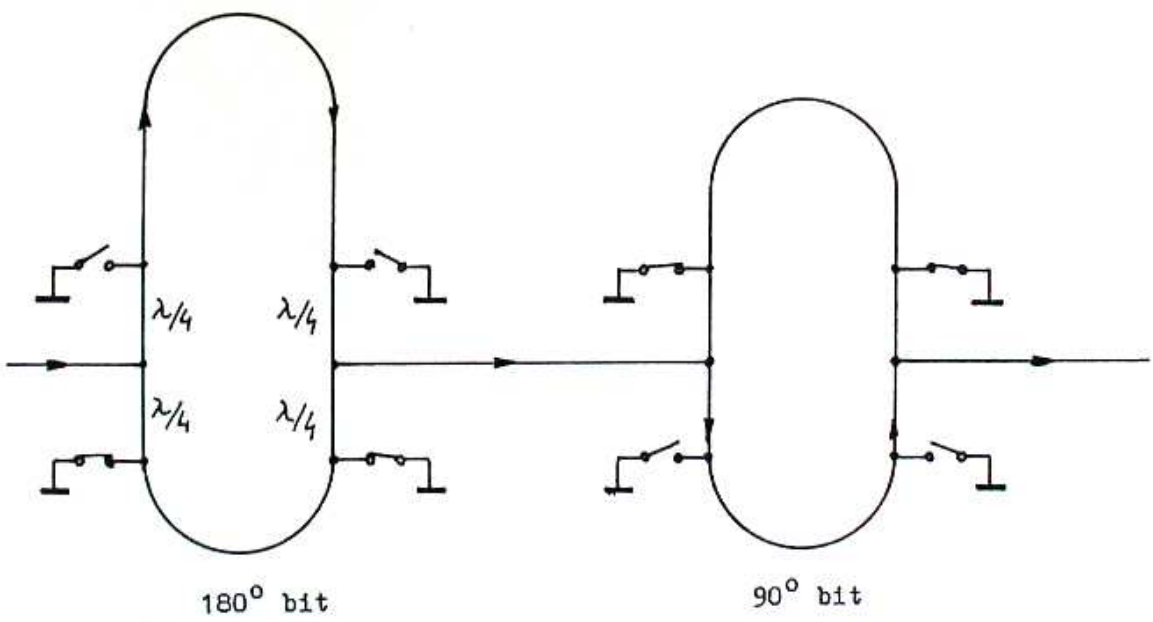
Diody p-i-n mají velmi malé rozměry ve srovnání s vlnovou délkou. Typické rozměry čipu jsou 0,5 x 0,5 x 0,1 mm. Kolíkové vodiče, které jsou přivařeny k čipu, usnadňují převod tepla a v důsledku velkého relativního průměru je jejich indukčnost nízká. Ochrana čipu před okolním prostředím je provedena pasivací bočních stěn a pokrytím vrstvou těžkého skla. Koeficient tepelné roztažnosti skla je přizpůsoben koeficientu tepelné roztažnosti čipů a kolíků, takže dioda je schopná snášet termální šoky.



a, Přímý směr b, Zpětný směr

Obr. 2.3 Zjednodušená náhradní schémata diody pro vf signál:

2.4 Fázovač s přepínanými vedeními



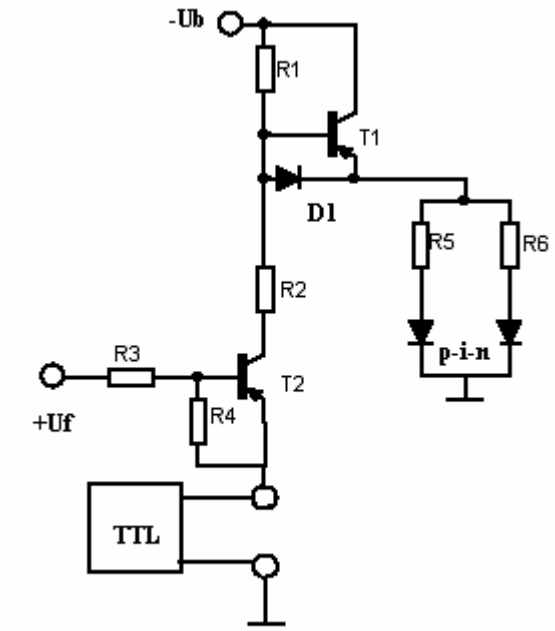
Obr. 2.4 Schéma fázovače s přepínanými vedeními v provedení na páskové vedení

Princip činnosti plyne z obrázku. Každý bit vyžaduje čtyři spínače, tedy 4 diody. Jsou umístěny ve vzdálenosti λ / 4 od větvících obvodů. Větve, v nichž jsou spínače sepnuty, jsou tak vyřazeny z činnosti, neboť zkraty se transformují do větvících bodů, jakožto ∞ impedance a vf signál prochází větvemi, v nichž jsou spínače rozepnuty. Fázový posuv se získává pomocí rozdílné délky vedení v obou větvích.

Pokud je fázovač určen pro provoz s vysokým vf výkonem, je vhodnější použít řešení spínače v základním módu. Jako choulostivější lze označit stav diody p-i-n, kdy je dioda polarizována ve zpětném směru. Tomu pak odpovídá stav spínače rozepnuto. Spínač ve stavu rozepnuto se nachází ve větvi, jíž prochází vf signál, na níž tedy neteče zkratový proud ani není napětí naprázdno. Dioda je namáhána vf napětím, které je rovno napětí postupné vlny + eventuálně odražené vlny o malé velikosti. Naopak stav, kdy je spínač sepnut a kdy spínačem tečou zkratové proudy, odpovídá diodě ve stavu, kdy je polarizována v propustném směru a kdy je podstatně odolnější.

Fázovač je tedy vhodný pro použití na vysokém výkonu. Fázovač však má vyšší průchozí útlum, neboť průchozí útlum nezávisí na velikosti bitu. Jak uvidíme dále, u fázovače s hybridními čtyřbrany lze docílit u bitů s nižším fázovým posunem nižšího průchozího útlumu. Též počet diod je ve srovnání s fázovačem s hybridními čtyřbrany dvojnásobný.

2.5 Ovládací obvody fázovačů s diodami p-i-n



Obr. 2.5 Principielní schéma ovládacího obvodu 1 bitu fázovače s diodami p-i-n

Ovládají se současně dvě diody 1 bitu. K zajištění rovnoměrného rozdělení proudu jsou v sérii s diodami zapojeny rezistory R_5, R_6. Při logické 1 (+ 5V) na výstupu z ovládací logiky (TTL) se k diodám přivádí kladné předpětí + U_f a při logické nule na ovládací logice (0V) se tranzistor T_2 uzavře a k diodám p-i-n se přivádí záporné předpětí – U_b.

2.6 Digitální řízení fáze

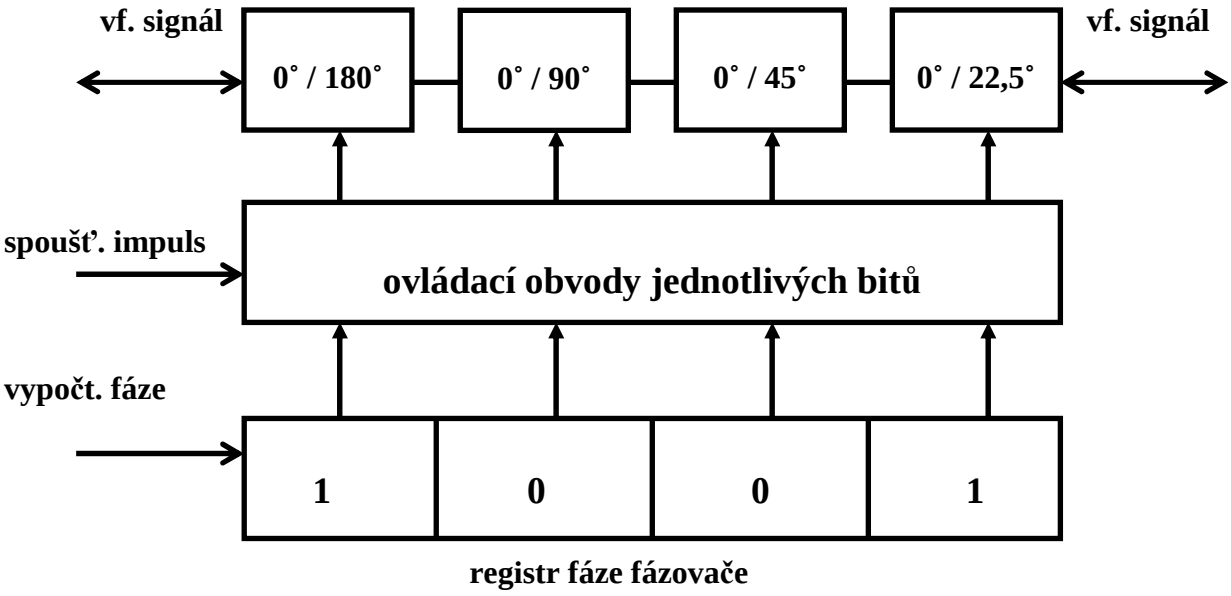
Digitální řízení fáze je výhodné z hlediska číslicového řešení, a proto se všeobecně používá. Principielní schéma jednoho fázovače je na obrázku č. 9. Ve vf cestě jsou zařazeny kaskádně jednotlivé fázovací články, pro čtyřbitový fázovač to jsou 0° / 180° až 0° / 22,5°. V registru fáze je uložena dvojkově hodnota fáze, jež má být nastavena (u feritových fázovačů) nebo udržována (u diodových fázovačů). Když je tedy na obrázku č. 9 dvojkově číslo 1001, značí fázi 180° + 22,5° = 202,5°. Ovládací obvod provádí vlastní řízení feritů nebo diod.

Fázovač může realizovat fáze v intervalu < 0°, 360°) s krokem Δ,

$$\Delta = \frac{360^{\circ}}{2^{P}} ,$$

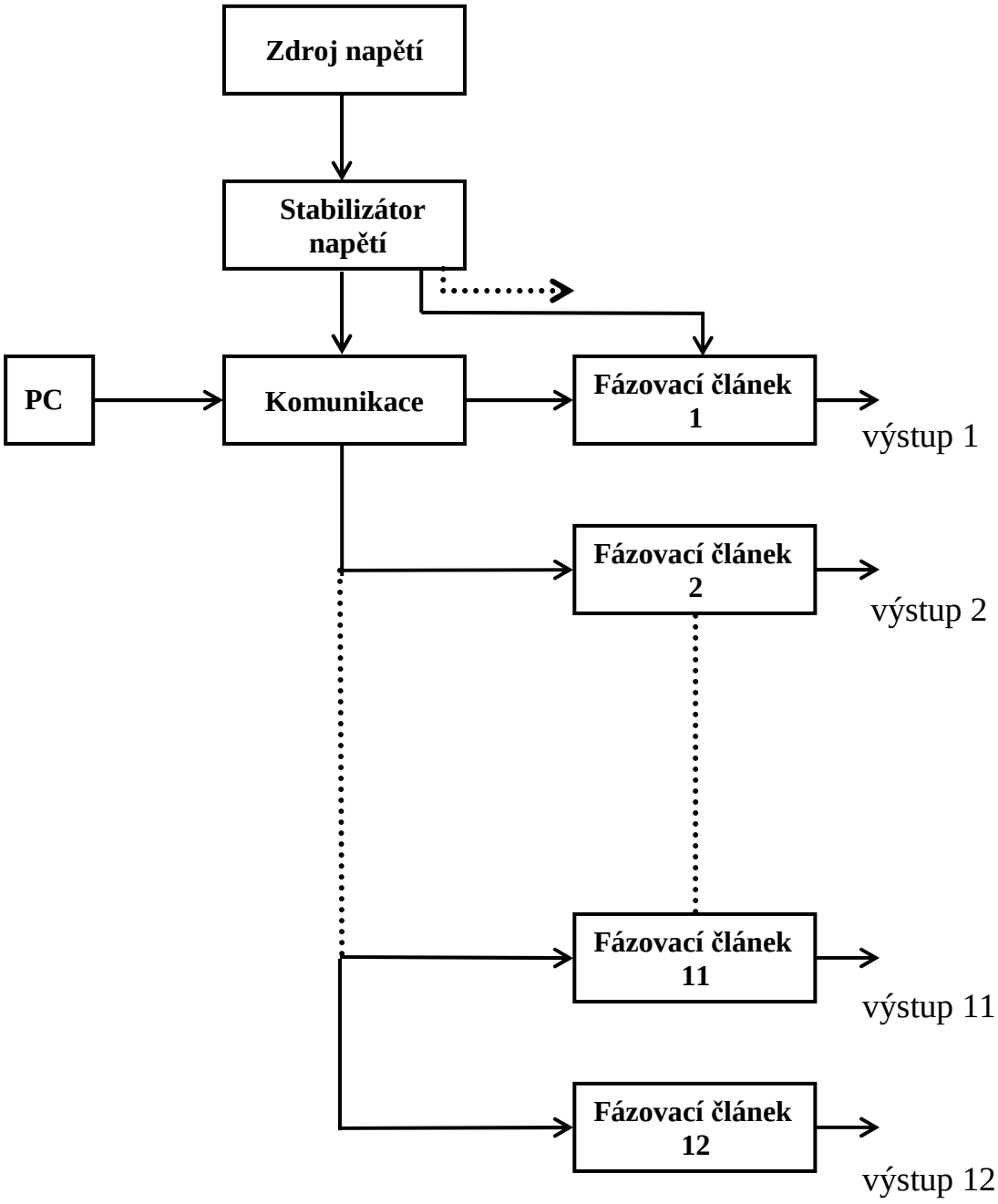
kde P značí počet bitů. Tak pro jednobitový fázovač by bylo P = 1 a Δ = 180°, pro čtyřbitový fázovač P = 4 a Δ = 22,5°.

Tím se nastavují fáze pouze v diskrétních hodnotách, vznikají komplikace ve směrové charakteristice, které se však daří úspěšně překonávat zavedením jistých náhodných prvků do fázování.



Obr. 2.6 Principielní schéma číslicového řízení fáze

3 Dálkové řízení fázového posuvu pro 12 fázovacích článků počítačem PC pomocí rozhraní USB



Obr. 3 Blokové schéma demonstrující dálkové řízení fázového posuvu pro 12 fázovacích článků počítačem PC

Pro tento účel jsem vytvořil samostatnou jednotku, tj. desku plošného spoje. Na jejím vstupu je rozhraní USB. Dále pak obvod FT232RL, který převádí standardní komunikační linku USB na rozhraní RS-232 pro vzájemnou sériovou komunikaci. Za ním následuje mikrokontrolér AT Mega 16, na který jsem připojil rozhraní ISP. Rozhraní ISP umožňuje programovat procesor přímo v aplikaci, není tedy nutné tento procesor přenášet z patice a umísťovat do speciálního programátoru. Z tohoto důvodu jsem procesor umístil na desku bez patice. Zajištění napájecího napětí 5 V jsem realizoval pomocí třísvorkového stabilizátoru. Na desce jsou umístěny konektory typu ARK, které slouží jako napěťové a zemnící svorky, dále jsem je pak použil pro připojení jednotlivých fázovacích článků.

3.1 Mikrokontrolér AT mega 16

Základní vlastnosti:

- paměť programu je tvořena zabudovanou Flash o kapacitě 16kB, počet přeprogramování je 1000 cyklů
- datová paměť RAM kapacity 1kB
- obsahuje 512B paměti EEPROM, počet přeprogramování je 100 000 cyklů
- obsahuje 2x8bit čítač/časovač
- obsahuje 10bitový AD převodník
- obsahuje analogový komparátor
- obsahuje modul pro sériovou komunikaci USART
- napájecí napětí 4.5 – 5.5V
- uložen v pouzdře 40-pin PDIP

Pro komunikaci s PC budu používat rozhraní USART, nebo-li Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter. Obvod je schopný obousměrné komunikace, a to jak synchronní, tak i asynchronní, s vysokou možnou přenosovou rychlostí, podporující 5 - 9 datových bitů, 1-2 stop bity, výběr mezi paritami, obsahuje hardware pro jejich kontrolu a další.

USART lze rozdělit na tři základní části:[1]

Generátor hodinových pulzů:
Slouží k synchronizaci vysílací i přijímací části. Používá se pro synchronní sériový režim.

Vysílač:
Je-li jednotka USART korektně nastavena, provede se odeslání bytu zapsáním do registru UDR. Po odvysílání je nastaven příznak TXC v registru UCSRA.

Přijímač:
Je-li jednotka USART korektně nastavena, je po příjmu znaku nastaven příznak RXC v registru UCSRA. Poté lze přečíst přijatý znak opět z registru UDR.

[1] Progmatujte.zaměřeno na informační technologie. AVR – USART – procesor ATmega16, USART [online]. 2008. [citováno 5. června 2008]. Dostupný z: http://programujte.com/index.php?akce=clanek&cl=2006111611-avr-%E2%80%93-usart

3.2 Komunikační modul FT232RL

Obvod FT232RL převádí standardní komunikační linku USB na rozhraní RS-232. K modulu jsou volně dostupné ovladače (drivery) pro PC dvou typů:

-Direct driver
- VCP driver (virtual COM port)

K obvodu FT232RL se přistupuje jako ke standardnímu rozhraní RS-232 (např. MAX232) a tím je komunikace poměrně jednoduchá (stačí propojit RxD a TxD vývody mikrokontroleru s vývody TxD a RxD obvodu FT232RL). Pokud se dále v PC nainstaluje VCP driver, tak se vytvoří virtuální COM port a aplikace, které dříve komunikovaly s hardwarem přes klasický COM port, tak mohou s tím samým zařízením komunikovat přes USB. Já jsem se rozhodl pro možnost komunikace pomocí VCP.

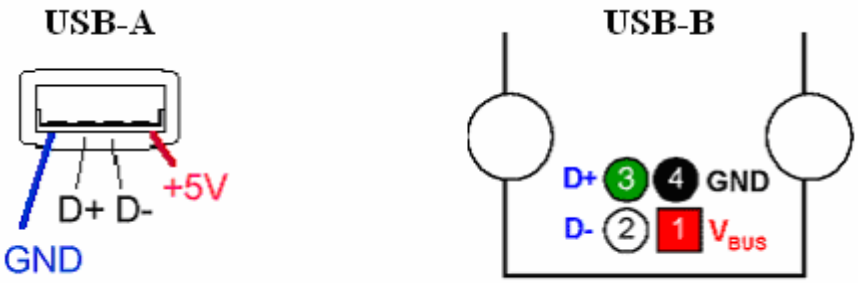
3.3 USB-Universal Serial Bus

USB je univerzální sériová sběrnice, která nahrazuje klasický sériový port RS232 a někde dokonce i paralelní port.

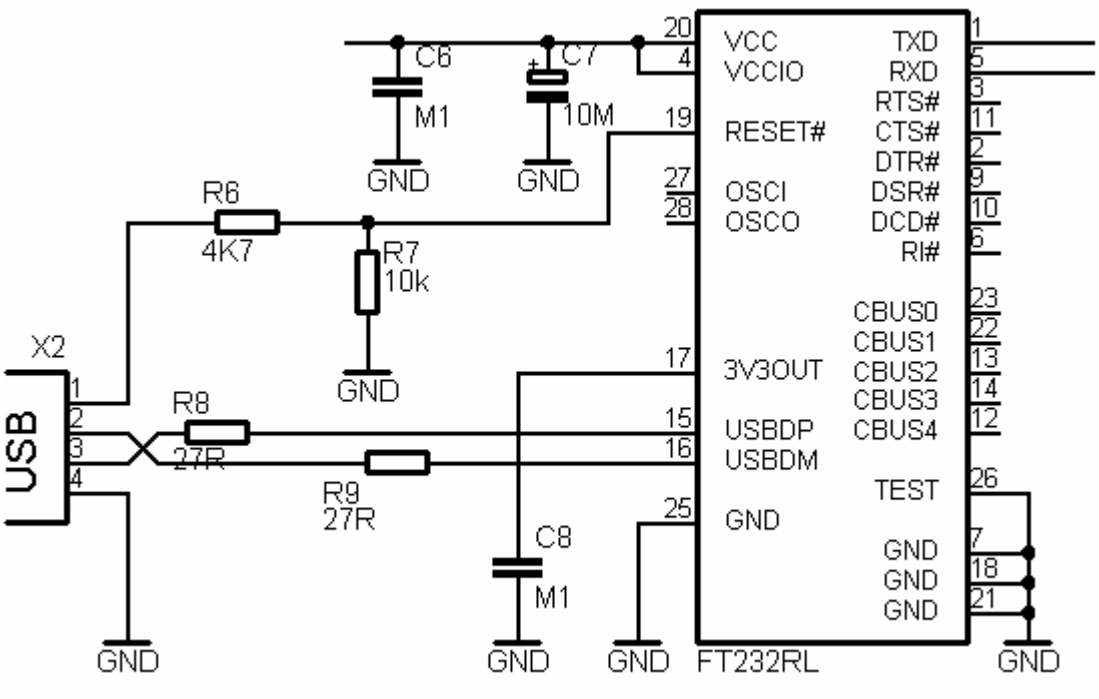
Základní parametry rozhraní USB:

- Komunikační rychlost od 1,5 Mbit/s do 480Mbit/s
- Komunikační vzdálenost do 5m
- Možnost připojení více zařízení
- Rozhraní obsahuje 5V napájení

USB rozhraní používá dva typy konektorů. Plochý konektor „typ A“. Druhý konektor „typ B“ je určen pro periferní zařízení, čímž je zároveň definován standard propojovacího kabelu.



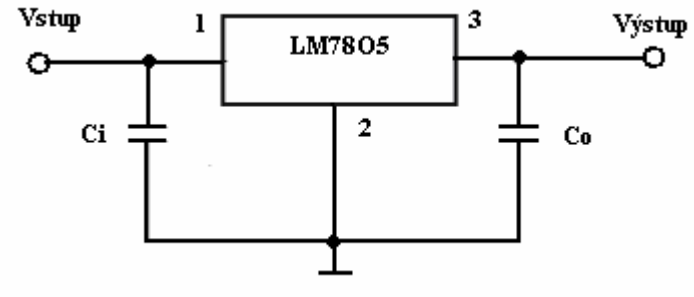
Obr. 3.3.1 Zapojení USB-A a USB-B



Obr. 3.3.2 Příklad propojení USB a FT232RL

3.4 Třísvorkový stabilizátor 7805

Po napájení celého zařízení jsem zvolil třísvorkový stabilizátor Lm 7805, který slouží pro stabilizaci vstupního napájecího napětí na konstantní hodnotu 5 V. Hodnoty udané výrobcem jsou výstupní napětí 4,8 – 5,2 V, maximální napájecí napětí 35 V, výstupní proud do 1,5 A.



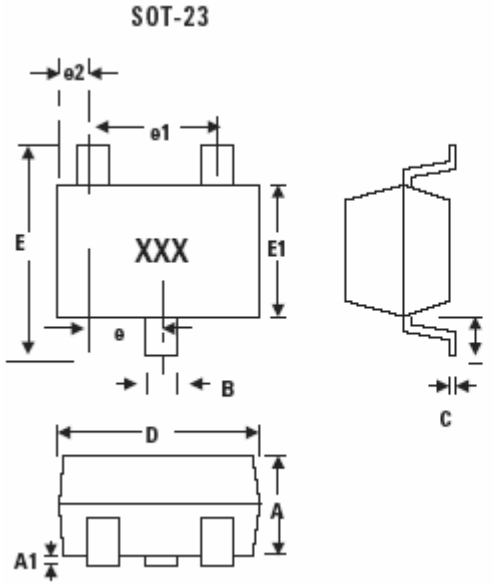
Obr. 3.4 Zapojení třísvorkového stabilizátoru

4 Vf. část fázovacího článku

Na vstupu fázovacího článku je konektor pro připojení jednotlivých vstupů s výstupy z desky pro dálkové ovládání. Za ním je obvod 74164, což je 8-bitový posuvný registr. Dále jsou tranzistory BCR512, p-i-n diody HSMP-3893 a konektory pro připojení koaxiálního kabelu.

Jak tranzistor, tak i dioda je umístěna v pouzdře SOT-23.

Obr. 4.1 a, Zapojení tranzistoru BCR512[4] b, Zapojení diody HSMP-3893[5]



SYMBOL	AGILENT	
	MIN	MAX
A	0.79	1.2
A1	0	0.1
B	0.37	0.54
C	0.086	0.152
D	2.73	3.13
E1	1.15	1.5
e	0.89	1.02
e1	1.78	2.04
e2	0.45	0.6
E	2.1	2.7
L	0.45	0.69

Obr. 4.2 pouzdro SOT-23[6]

Výstupní fáze fázovacího článku je dána průchodem signálu různě dlouhými úseky vedeni, resp. různě dlouhými úseky koaxiálního kabelu. Pro tento účel jsem vybral koaxiální kabel typu RGC-54, což je koaxiální nízko – útlumový kabel.

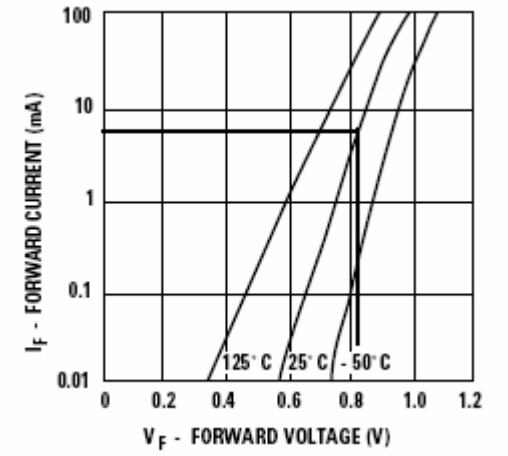
[4] Infineon technologies. BCR512 [online]. 2001. [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://www.ortodoxism.ro/datasheets/infineon/1-bcr512_1.pdf

[5] Digi Key.com. Diode pin switch 100V SOT-23-HSMP-3893-TR1G [online]. Avago technologies us ins – HSMP-3893-TR1G. Datasheet: HSMP-389x, 489x Series [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://rocky.digikey.com/scripts/ProductInfo.dll?Site=US&V=516&M=HSMP-3893-TR1G

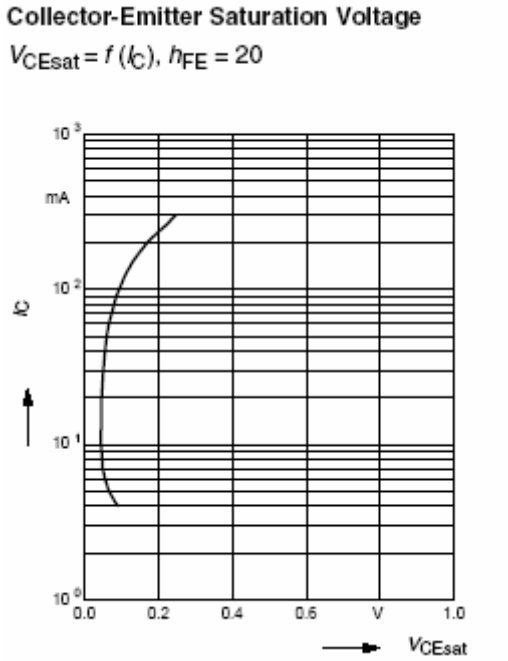
[6] Digi Key.com. Diode pin switch 100V SOT-23-HSMP-3893-TR1G [online]. Avago technologies us ins – HSMP-3893-TR1G. Datasheet: HSMP-389x, 489x Series [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://rocky.digikey.com/scripts/ProductInfo.dll?Site=US&V=516&M=HSMP-3893-TR1G

Výpočet hodnoty rezistorů:

Fázovací článek je napájen přes stabilizátor napětí snižující hodnotu ze zdroje stejnosměrného napětí o velikosti od 7 V do 35 V na hodnotu 5 V. Hodnota 5 V se průchodem přes tranzistor a diodu sníží o určitý úbytek napětí.



Obr. 4.3 Charakteristická křivka diody HSMP-3893[8]



Obr. 4.4 Charakteristická křivka tranzistoru BCR512[9]

Jak je patrné z obrázku, napětí se sníží asi na 4 V, hodnota rezistorů proti spálení diody je :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4}{0{,}01} = \underline{\underline{400\Omega}} \qquad (1)$$

[8] Digi Key.com. Diode pin switch 100V SOT-23-HSMP-3893-TR1G [online]. Avago technologies us ins – HSMP-3893-TR1G. Datasheet: HSMP-389x, 489x Series [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://rocky.digikey.com/scripts/ProductInfo.dll?Site=US&V=516&M=HSMP-3893-TR1G

[9] Infineon technologies. BCR512 [online]. 2001. [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://www.ortodoxism.ro/datasheets/infineon/1-bcr512_1.pdf

Hodnoty koaxiálního kabelu [7]

RGC-54

VLASTNOSTI

	MATERIÁL	mm.
VNITŘNÍ VODIČ	Čistá měď	19 x 0,28
DIELEKTRIKUM	Foam PE	2,95 ± 0,15
VNĚJŠÍ VODIČE	Al / Pet / Al folie	
	Měděné drátky	4,5 ± 0,15
	Pokrytí >	80%
PLÁŠŤ	Speciální venkovní, černé PVC	5,8 ± 0,2

Útlum*

F (MHz.)	dB/100 m.
10	3
100	9,3
600	23
1000	30,9
1750	42,3
2400	49,6

[7] Nordix Grupo [online]. 2002. [citováno 5. června 2008]. Dostupný z: http://www.nordixkabely.cz/download/datasheet/Nordix_RGC54pvc.pdf

4.1 Teoretický výpočet jednotlivých délek vedení pro požadovanou změnu fáze

$$\lambda = \varepsilon \cdot \lambda_0 = \varepsilon \cdot \frac{c}{f} = 0{,}81 \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \, m \cdot s^{-1}}{435 MHz} = \underline{\underline{0{,}55862 m}} \qquad (2)$$

délka vedení pro změnu fáze o:

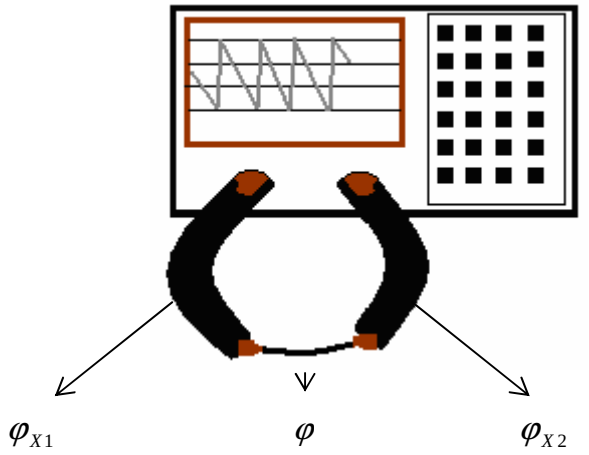
$$270^\circ \Rightarrow \quad \frac{270^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = \underline{\underline{0{,}4189 m}} \qquad (3)$$

$$180^\circ \Rightarrow \quad \frac{180^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = \underline{\underline{0{,}2793 m}} \qquad (4)$$

$$90^\circ \Rightarrow \frac{90^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = \underline{\underline{0{,}1396 m}} \qquad (5)$$

$$45^\circ \Rightarrow \quad \frac{45^\circ}{360^\circ} \cdot \lambda = \underline{\underline{0{,}0698 m}} \qquad (6)$$

4.2 Naměřené a vypočítané hodnoty použitých úseků vedení



Obr. 4.2.1 Schéma zapojení pro měření skutečné změny fáze

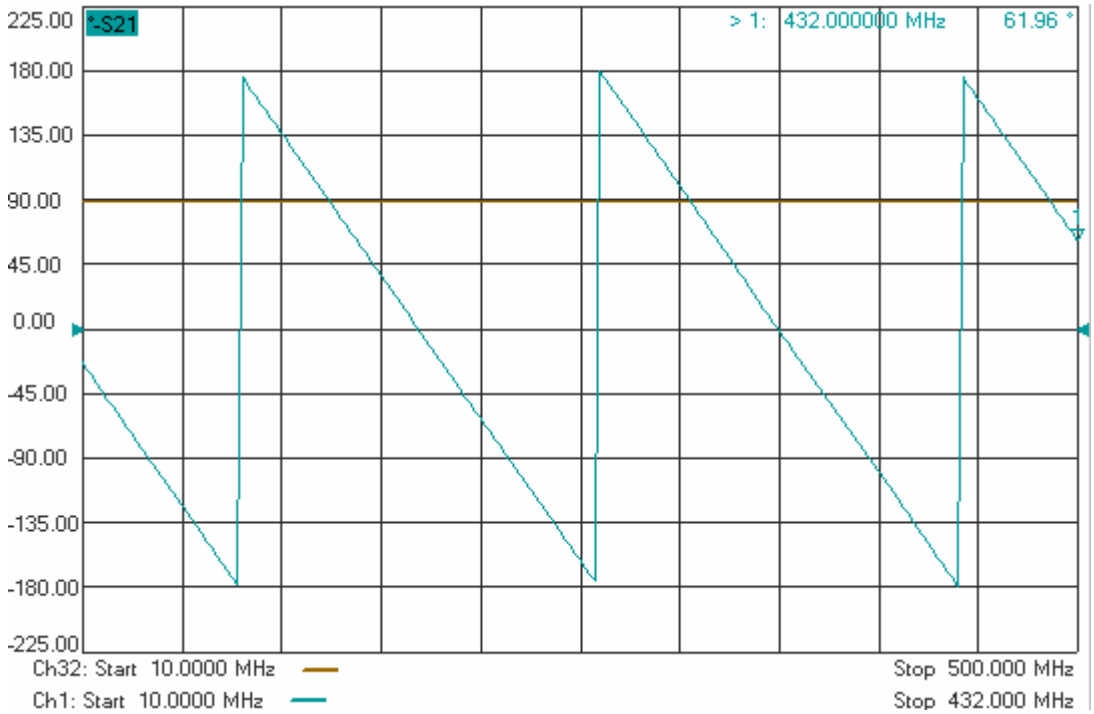
Použité vzorce:

$$\varphi_X = \varphi_{X1} + \varphi_{X2} = \frac{1{,}44 \cdot 360}{\lambda} \qquad (7)$$

$$\varphi = \varphi_C - \varphi_X \qquad (8)$$

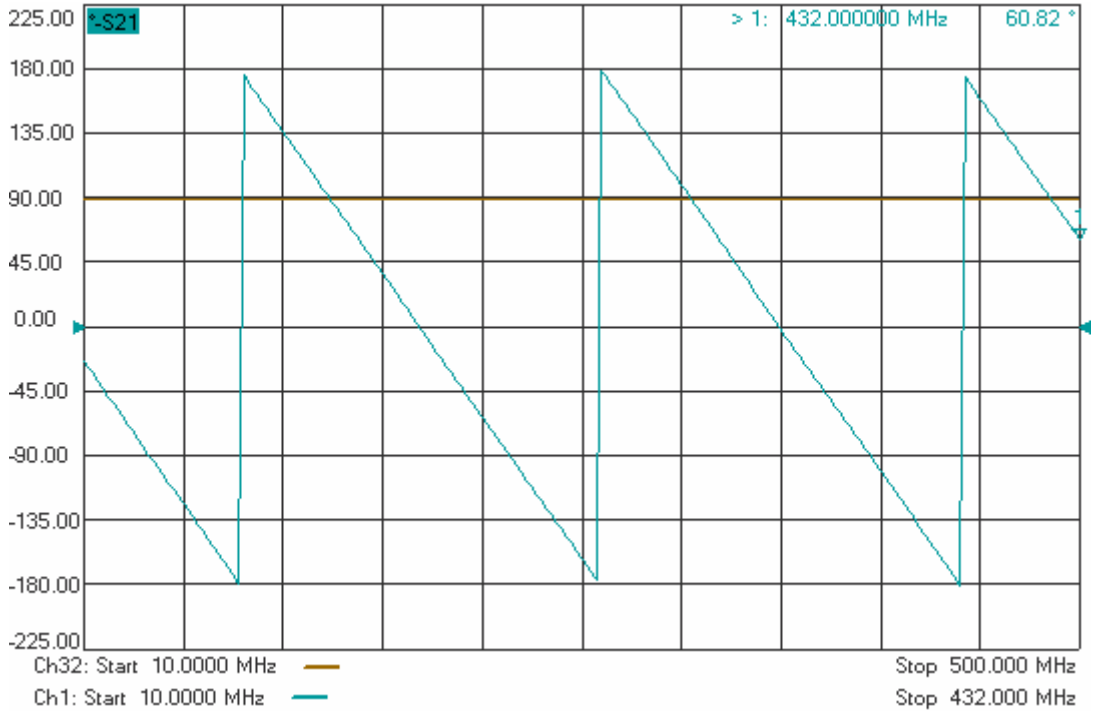
Pozn.: Hodnota 1,44 byla určena jako konstanta při spojení obou pomocných vedení pro připojení jednotlivých úseků vedení

4.2.1 Naměřené hodnoty pro úseky „270°“



Obr. 4.2.1.1 Měření 1

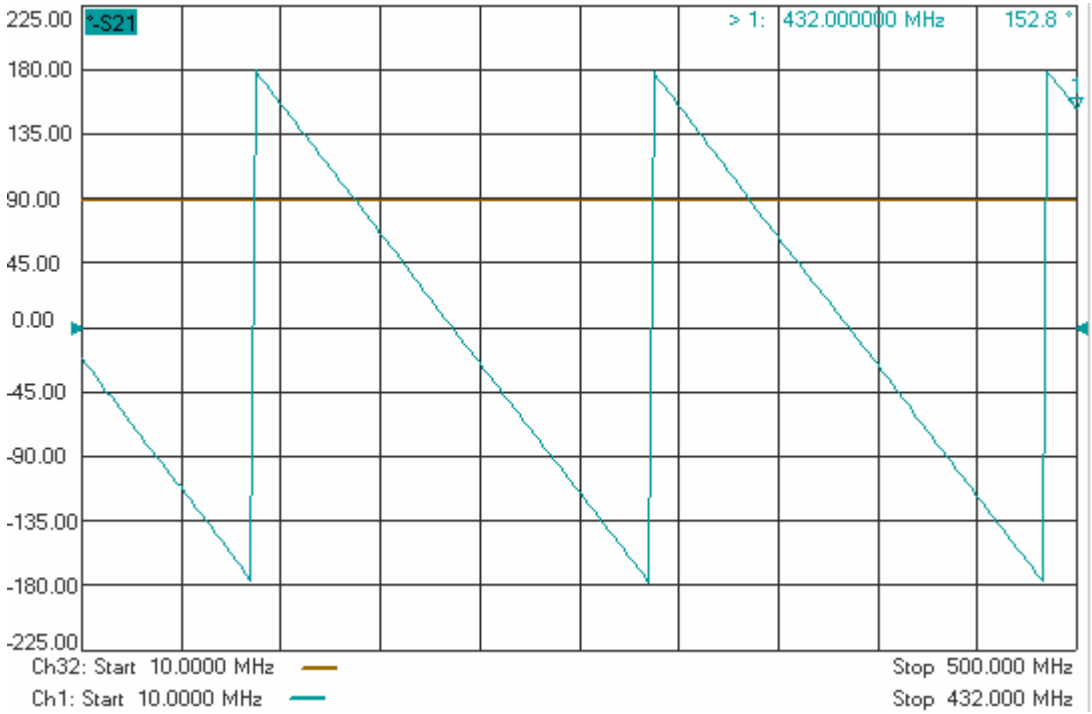
$$\varphi_{1(270°)} = \varphi_C - \varphi_X = (3 \cdot 360 - 61{,}96) - 746{,}5 = \underline{\underline{271{,}5°}}$$



Obr. 4.2.1.2 Měření 2

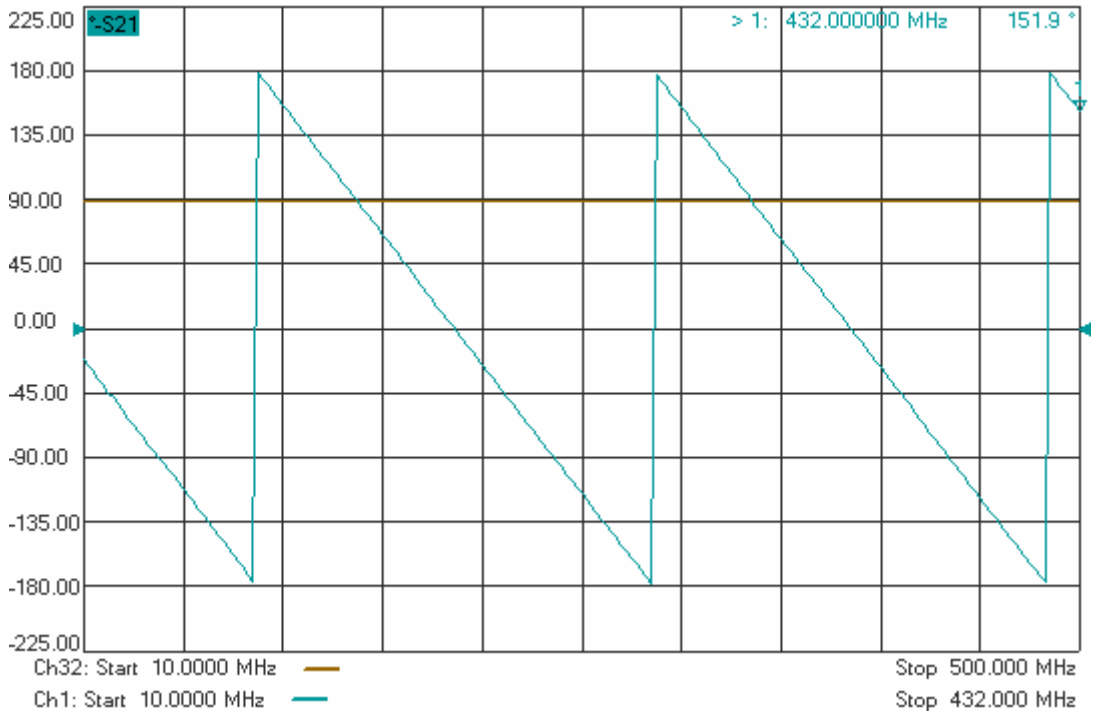
$$\varphi_{2(270°)} = \varphi_C - \varphi_X = (3 \cdot 360 - 60{,}82) - 746{,}5 = \underline{\underline{272{,}7°}}$$

4.2.2 Naměřené hodnoty pro úseky „180˚“



Obr. 4.2.2.1 Měření 1

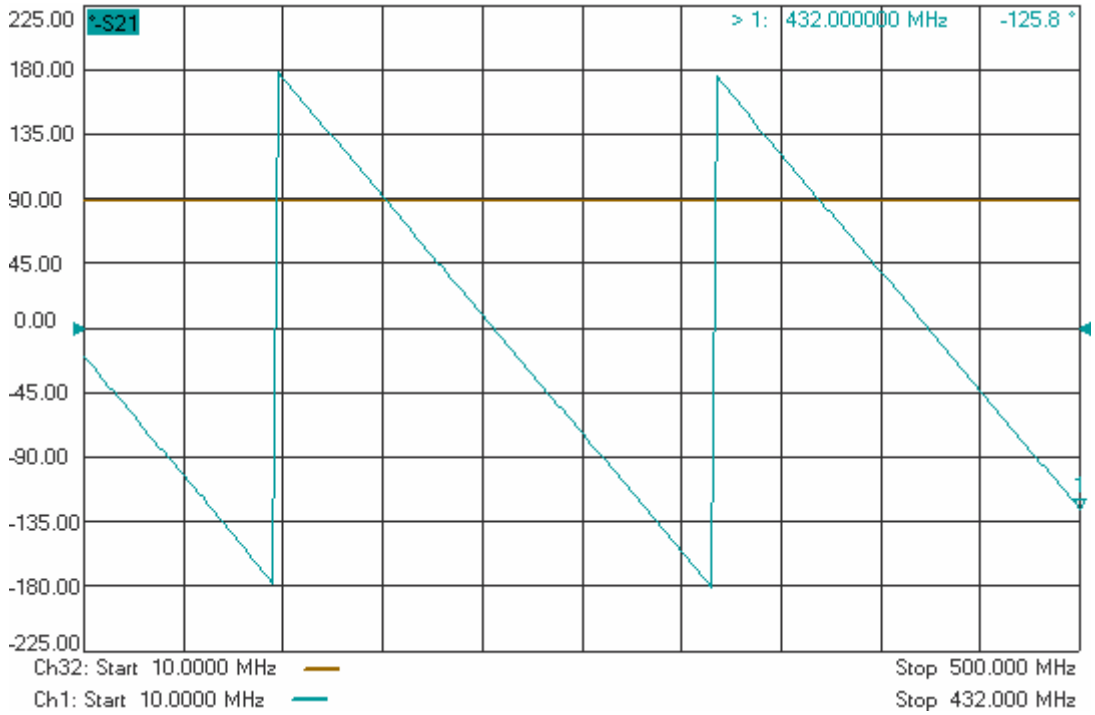
$$\varphi_{1(180°)} = \varphi_C - \varphi_X = (3 \cdot 360 - 152{,}8) - 746{,}5 = \underline{\underline{180{,}7°}}$$



Obr. 4.2.2.2 Měření 2

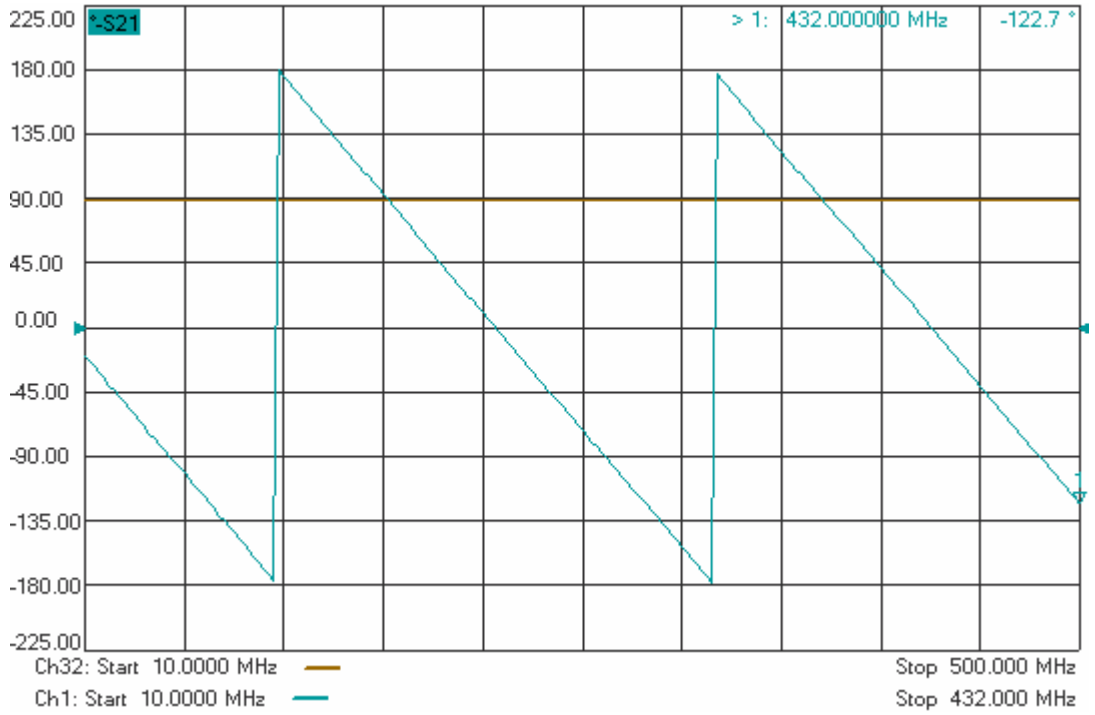
$$\varphi_{2(180°)} = \varphi_C - \varphi_X = (3 \cdot 360 - 151{,}9) - 746{,}5 = \underline{\underline{181{,}5°}}$$

4.2.3 Naměřené hodnoty pro úseky „90°“



Obr. 4.2.3.1 Měření 1

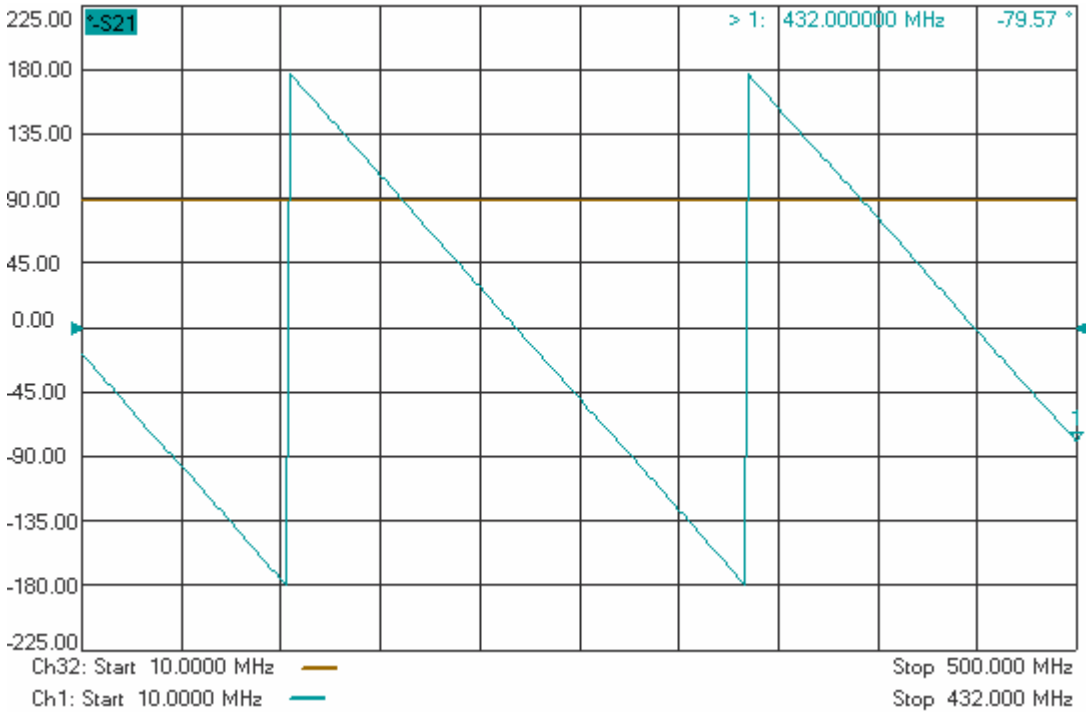
$$\varphi_{1(90°)} = \varphi_C - \varphi_X = (2 \cdot 360 + 125{,}8) - 746{,}5 = \underline{\underline{99{,}3°}}$$



Obr. 4.2.3.2 Měření 2

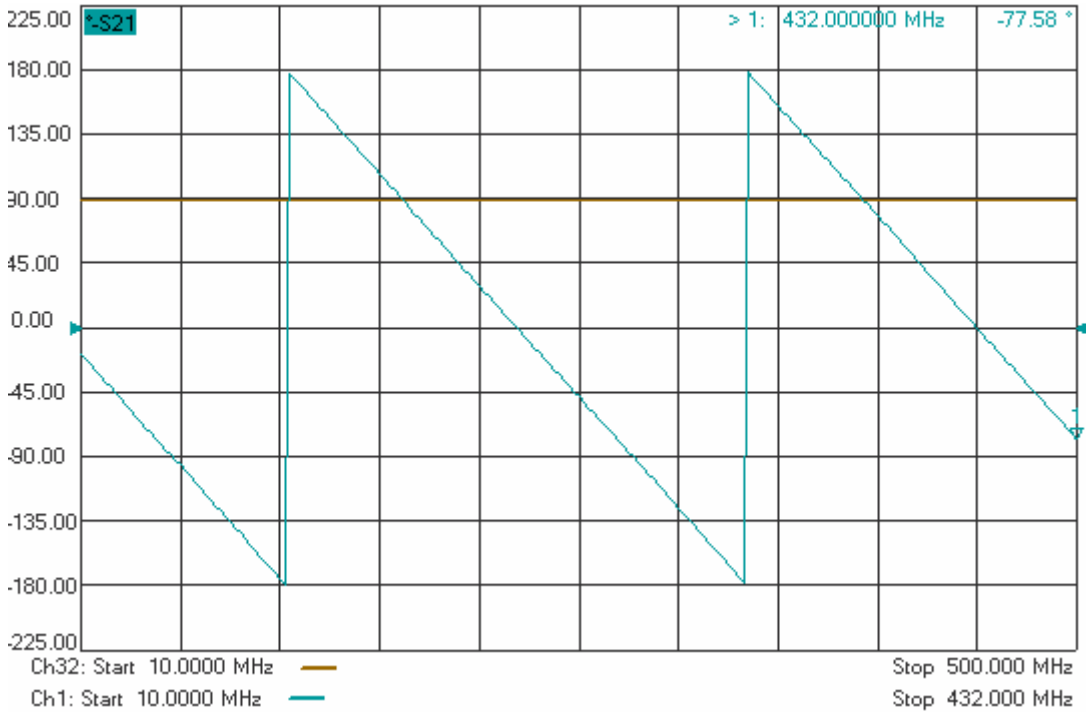
$$\varphi_{2(90°)} = \varphi_C - \varphi_X = (2 \cdot 360 + 122{,}7) - 746{,}5 = \underline{\underline{96{,}5°}}$$

4.2.4 Naměřené hodnoty pro úseky „45°“



Obr. 4.2.4.1 Měření 1

$$\varphi_{1(45°)} = \varphi_C - \varphi_X = (2 \cdot 360 + 79{,}5) - 746{,}5 = \underline{\underline{53{,}1°}}$$



Obr. 4.2.4.2 Měření 2

$$\varphi_{2(45°)} = \varphi_C - \varphi_X = (2 \cdot 360 + 77{,}58) - 746{,}5 = \underline{\underline{51°}}$$

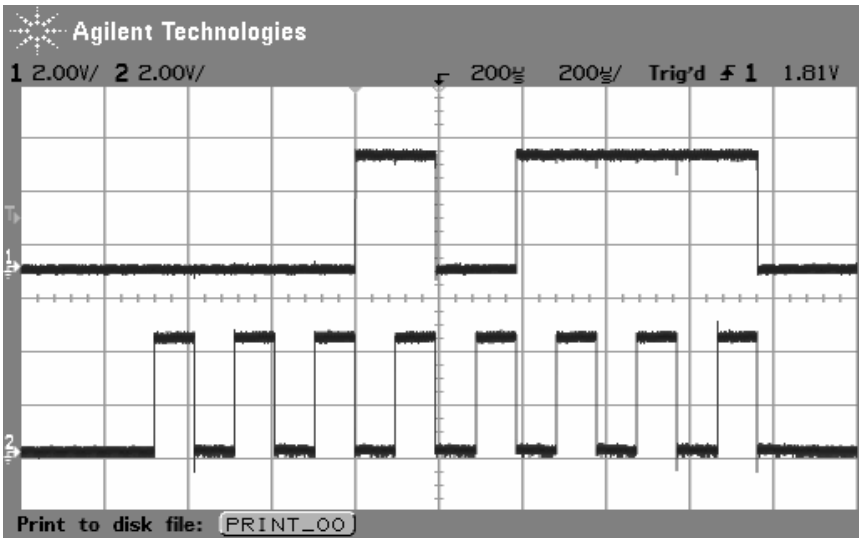
4.2.5 Shrnutí naměřených a vypočítaných hodnot úseků vedení

Tab. č. 2: Naměřené a vypočítané hodnoty

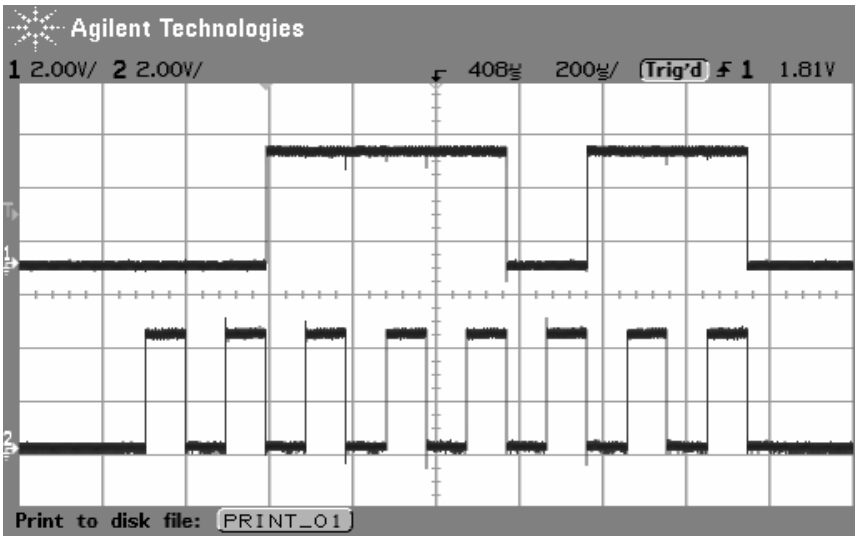
Požadovaná fáze[˚]	Délka vedení[m]	Naměřená fáze 1[˚]	Naměřená fáze 2[˚]	Chyba 1 [%]	Chyba 2 [%]	Útlum 1 [dB]	Útlum 2 [dB]
270	**0,4189**	**271,5**	**272,7**	**0,55**	**1**	**0,94**	**0,93**
180	**0,2793**	**180,7**	**181,5**	**0,38**	**0,83**	**0,91**	**0,92**
90	**0,1396**	**96,5**	**99,3**	**7,22**	**10,3**	**0,87**	**0,86**
45	**0,0698**	**53,1**	**50,9**	**18**	**13,1**	**0,85**	**0,84**

5 Kontrola funkčnosti komunikace

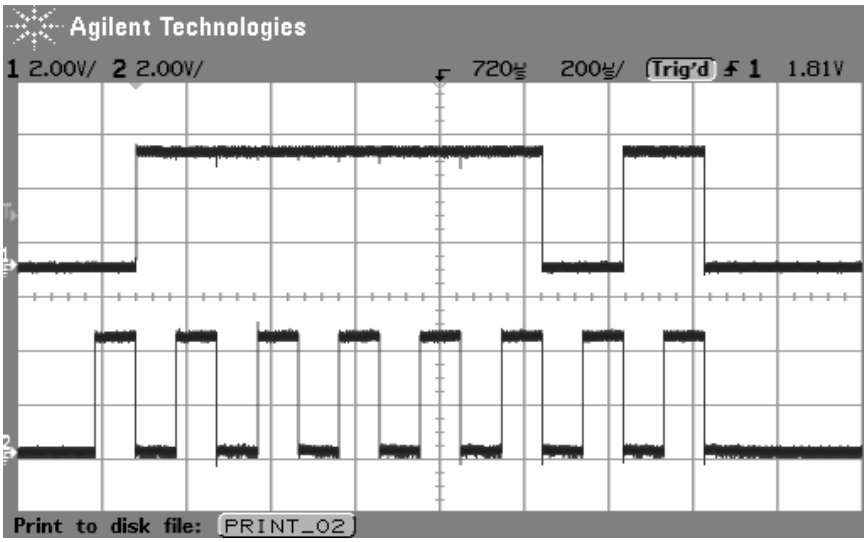
Po vytvoření programu a jeho následném naprogramování do mikroprocesoru jsem provedl test funkčnosti komunikace mezi PC a řídící částí obvodu. Na počítači jsem nastavoval v hyperterminálu hodnotu změny fáze a číslo fázovacího článku. Na příslušném výstupu jsem sledoval pomocí osciloskopu, zda-li na zadané místo přijdou data a clock.



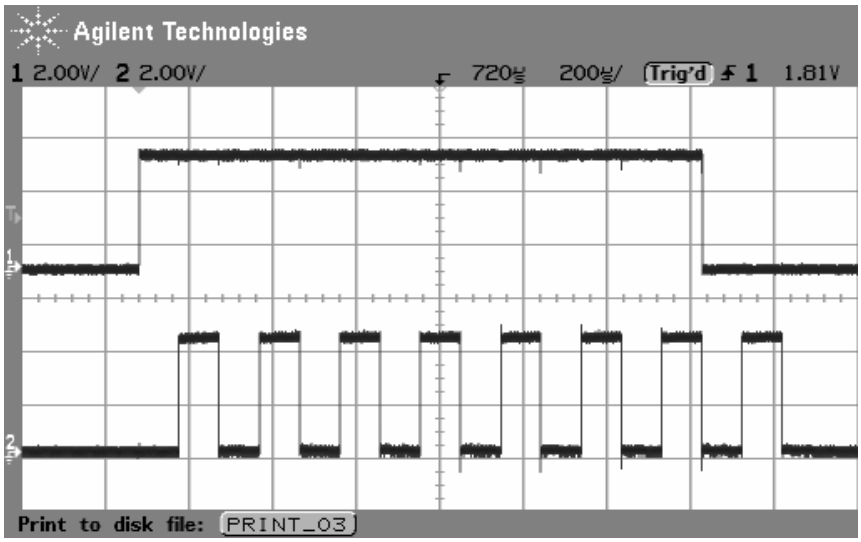
Obr. 5.1 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 270˚



Obr. 5.2 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 180˚



Obr. 5.3 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 90˚



Obr. 5.4 Přijatá výstupní hodnota pro změnu fáze o 45˚

5 Závěr

Při práci na mé bakalářské práci jsem postupoval následovně:

Nejdříve jsem navrhnul schéma zapojení jak řídící části, tak vf části. Poté jsem vytvořil desky plošných spojů. Tyto desky jsem si nechal vyrobit ve školní dílně. Následně jsem desky osadil součástkami dle předloh osazovacích výkresů, tyto výkresy jsem umístil do přílohy této práce v částech příloha 1 a 2.

Po vytvoření desek jsem vyrobil úseky vedení realizující samotnou změnu fáze. Úseky vedení jsem proměřil a výsledky uvedl do tabulky č. 2. Jak je z tabulky patrné, naměřené hodnoty pro úseky vedení 270˚ a 180˚ se příliš neliší od hodnot vypočítaných (tyto hodnoty jsou vypočítány v části 4.1) a dopustil sem se chyby v relevanci 2 %. Oproti tomu úseky s požadovanými hodnotami 90˚ a 45˚ se mi nepodařili zkonstruovat přesně. Zde jsem se dopustil chyby až 18 % .

Dále jsem pokračoval s vytvářením ovládacího programu. Zdrojový text tohoto programu je umístěn v příloze 3. Funkci tohoto programu jsem ověřil tak, že jsem na klávesnici počítače zadával požadovaný fázovací článek a jeho požadovanou změnu fáze a na výstupních svorkách sloužících pro připojení jednotlivých fázovacích článků jsem pomocí osciloskopu sledoval, zda-li na příslušný výstup jdou požadovaná data a clock. Ukázka z tohoto měření je v kapitole 5. Funkci fázovacích článků jsem z časových důvodů nestihl proměřit, proto tyto hodnoty nejsou uvedeny v této práci. Funkci proměřím do obhajoby mé práce a výsledky uvedu v prezentaci.

6 Seznam literatury

[1] KUPČÁK, D. *Antény radiolokátorů pro řízení letového provozu, díl II. – Základy techniky radiolokačních antén.* Pardubice: Nakladatelství ÚVR Opočinek, 1986, s. 207 – 209, 212 – 216, 221 – 222.

[2] Infineon technologies. BCR512 [online] 2001 [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://www.ortodoxism.ro/datasheets/infineon/1-bcr512_1.pdf

[3] Digi Key.com. Diode pin switch 100V SOT-23-HSMP-3893-TR1G [online] Avago technologies us ins-HSMP-3893-TR1G. Datasheet: HSMP-389x, 489x Series [citováno 22. prosince 2007]. Dostupný z: http://rocky.digikey.com/scripts/ProductInfo.dll?Site=US&V=516&M=HSMP-3893-TR1G

[4] Nordix Grupo [online]. 2002. [citováno 5. června 2008]. Dostupný z: http://www.nordixkabely.cz/download/datasheet/Nordix_RGC54pvc.pdf

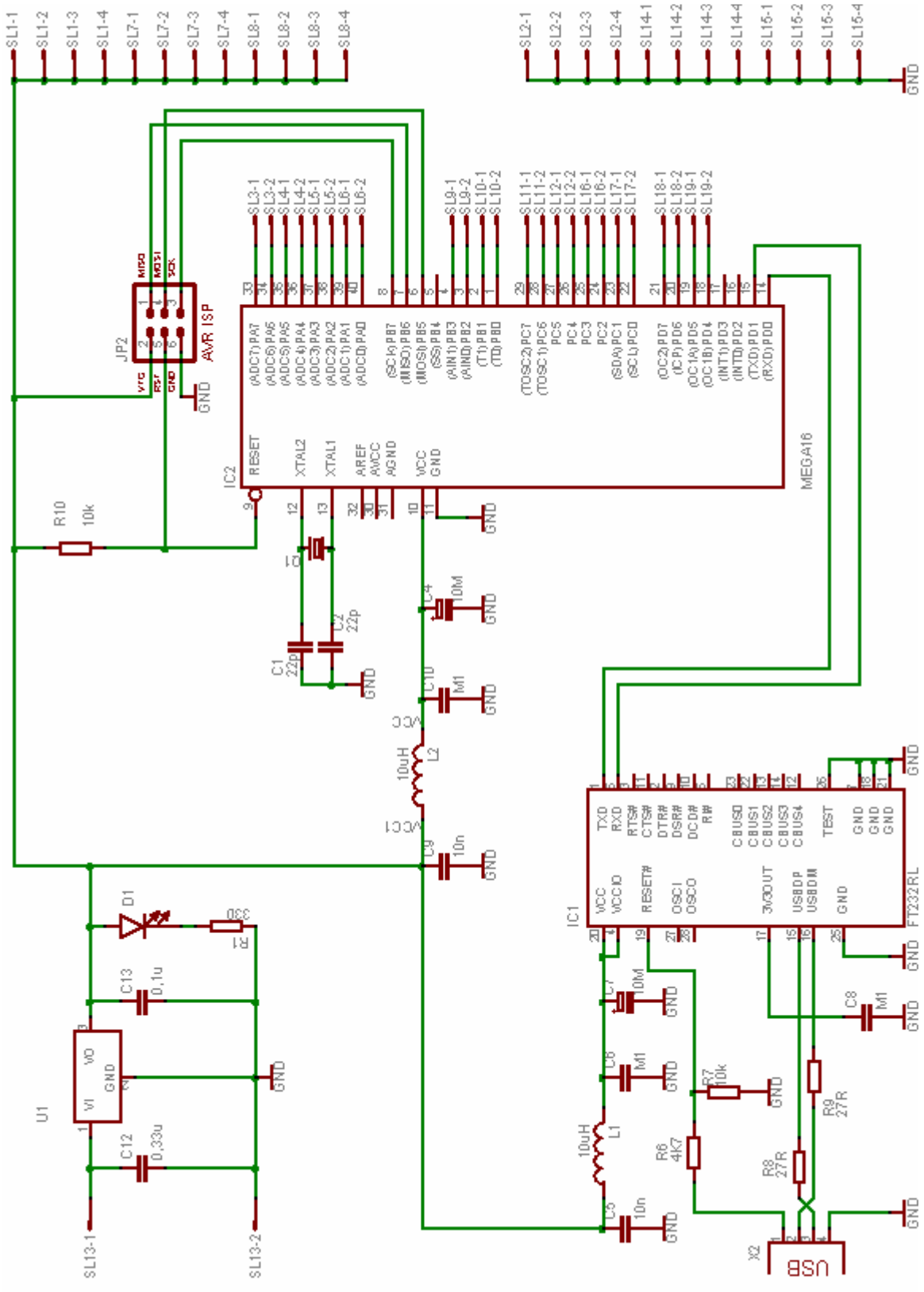
[5] Progmatujte.zaměřeno na informační technologie. AVR – USART – procesor ATmega16, USART [online]. 2008. [citováno 5. června 2008]. Dostupný z: http://programujte.com/index.php?akce=clanek&cl=2006111611-avr-%E2%80%93-usart

[6] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR AT mega 16.* 1. vydání. Praha: Nakladatelství BEN, 2006.

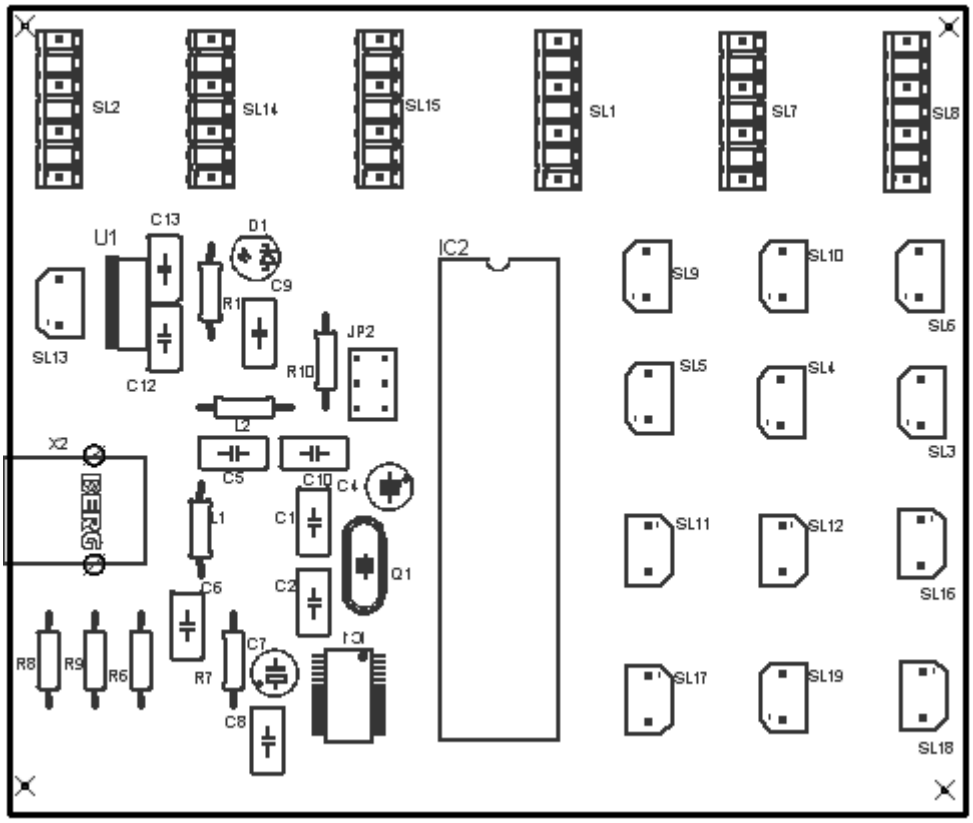
7 Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení, deska plošného spoje, osazovací výkres a seznam použitých součástek řídící části 34
Příloha 2: Schéma zapojení, deska plošného spoje, osazovací výkres a seznam použitých součástek vf. části 37
Příloha 3: Ukázka zdrojového textu 40
Příloha 4: Fotodokumentace 45
Příloha 5: Popis řídící desky a nastavování parametrů 47

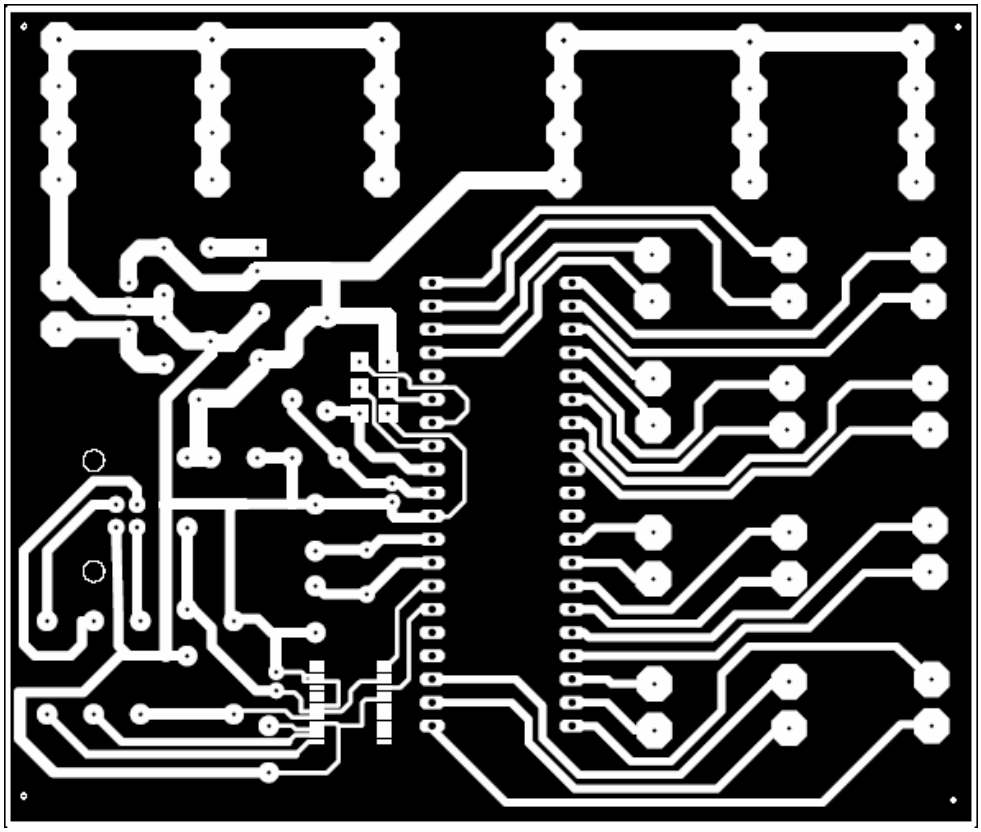
Příloha 1: Schéma zapojení, deska plošného spoje, osazovací výkres a seznam použitých součástek řídící části.



Obr. 7.1.1 Schéma zapojení řídící části



Obr. 7.1.2 Osazovací výkres řídící části

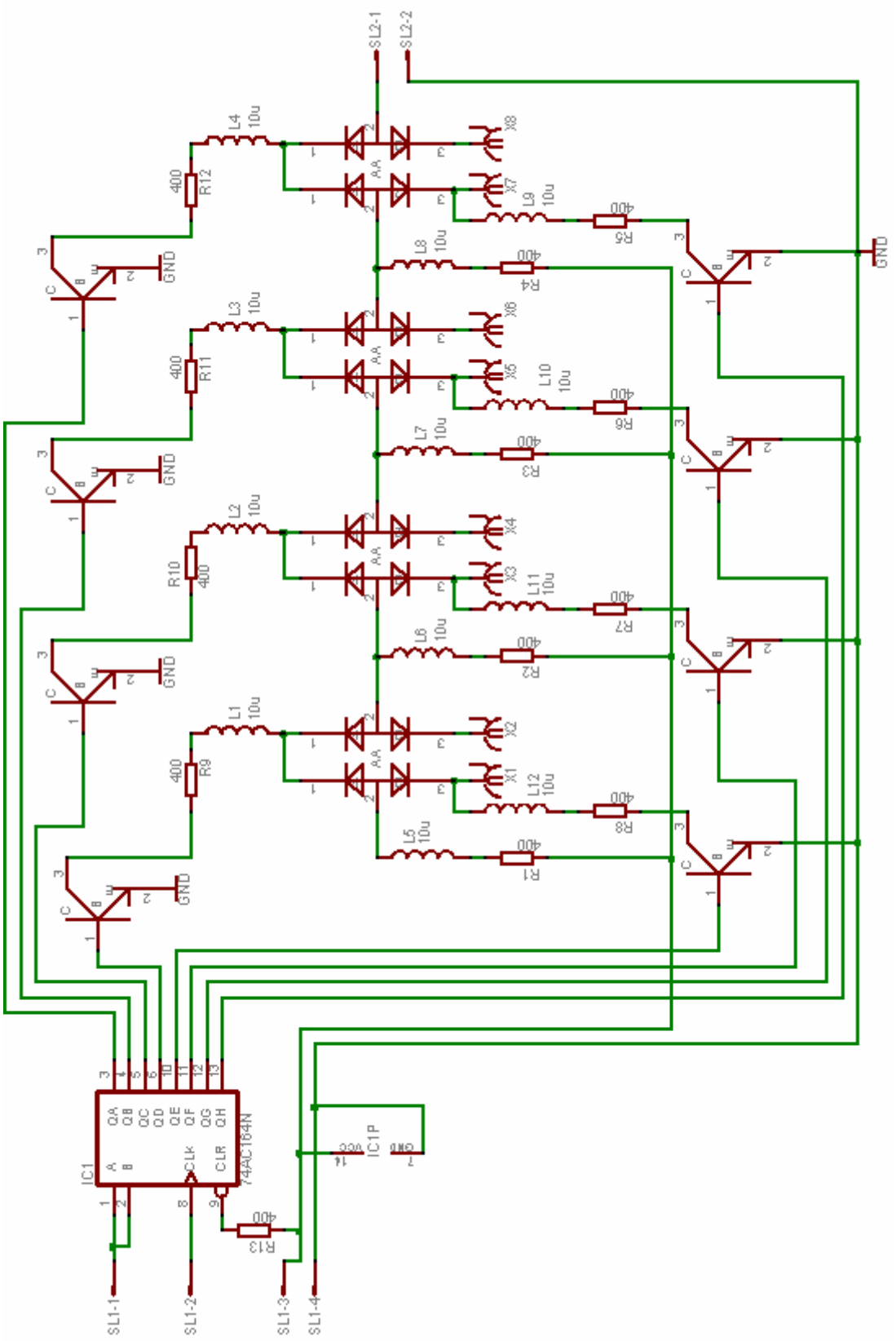


Obr. 7.1.3 Předloha pro výrobu plošného spoje řídící části

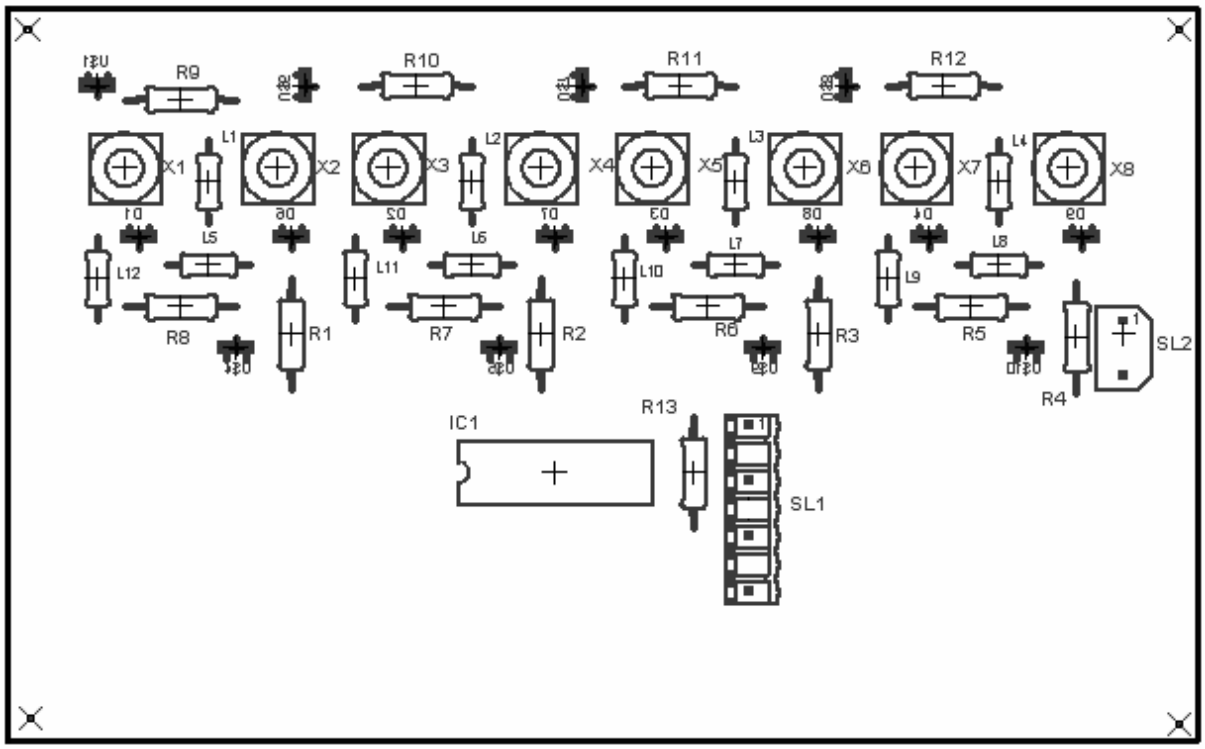
Seznam použitých součástek:

Part	Value	Position (mm)
C1	22p	(34.29 27.94)
C2	22p	(34.29 19.05)
C4	10M	(42.64 31.75)
C5	10n	(25.4 35.56)
C6	M1	(20.32 16.51)
C7	10M	(30.03 11.21)
C8	M1	(29.21 3.81)
C9	10n	(28.26 48.79)
C10	M1	(34.29 35.56)
C12	0,33u	(17.78 48.26)
C13	0,1u	(17.78 55.88)
D1		(27.94 58.42)
IC1	FT232RL	(38.1 8.89)
IC2	MEGA16	(54.61 30.48)
JP2	AVR-ISP-6	(40.64 43.18)
L1	10uH	(21.78 27.18)
L2	10uH	(26.67 40.56)
Q1		(39.87 23.11)
R1	330	(22.86 53.34)
R6	4K7	(15.24 12.7)
R7	10k	(25.4 12.7)
R8	27R	(5.08 12.7)
R9	27R	(10.16 12.7)
R10	10k	(35.56 45.72)
SL1		(61.3 73.39)
SL2		(6.35 73.47)
SL3		(101.2 39.85)
SL4		(85.63 39.85)
SL5		(71.06 40.35)
SL6		(100.99 53.85)
SL7		(81.567 73.226)
SL8		(99.7 73.2)
SL9		(70.92 53.85)
SL10		(85.85 53.85)
SL11		(71.07 26.15)
SL12		(85.87 26.15)
SL13		(6.35 50.8)
SL16		(101.17 26.92)
SL17		(71.2 9.65)
SL18		(101.35 10.15)
SL19		(85.85 7.35)
U1		(13.97 49.53)
X2		(10.16 29.21)

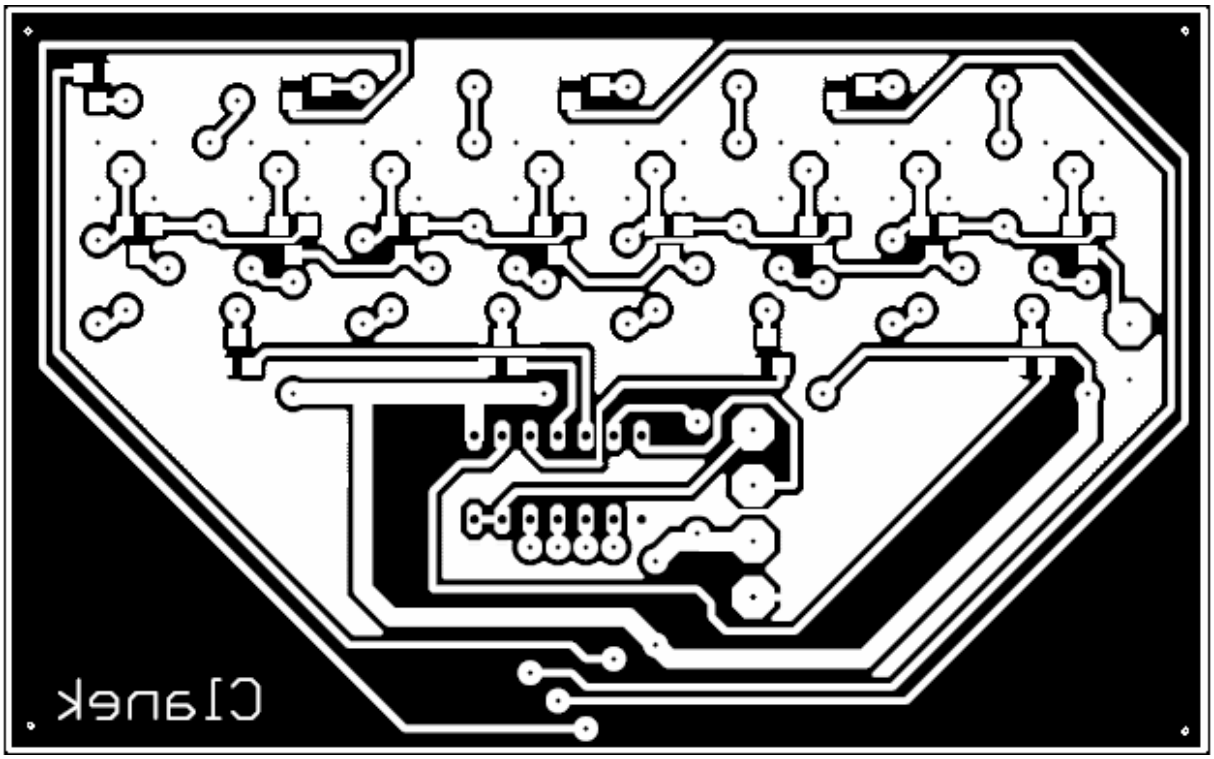
Příloha 2: Schéma zapojení, deska plošného spoje, osazovací výkres a seznam použitých součástek vf. části.



Obr. 7.2.1 Schéma zapojení Vf. části



Obr. 7.2.2 Osazovací výkres Vf. části



Obr. 7.2.3 Předloha pro výrobu plošného spoje Vf. části

Seznam použitých součástek:

Part	Value	Position (mm)
D1	HSMP3893	(7.62 44.45)
D2	HSMP3893	(31.75 44.45)
D3	HSMP3893	(55.88 44.45)
D4	HSMP3893	(80.01 44.45)
D6	HSMP3893	(21.59 44.45)
D7	HSMP3893	(45.72 44.45)
D8	HSMP3893	(69.85 44.45)
D9	HSMP3893	(93.98 44.45)
IC1	74AC164N	(45.72 22.86)
L1	10u	(13.97 49.53)
L2	10u	(38.1 49.53)
L3	10u	(62.23 49.53)
L4	10u	(86.36 49.53)
L5	10u	(13.97 41.91)
L6	10u	(38.1 41.91)
L7	10u	(62.23 41.91)
L8	10u	(86.36 41.91)
L9	10u	(76.2 40.64)
L10	10u	(52.07 40.64)
L11	10u	(27.44 40.64)
L12	10u	(3.81 40.64)
R1	400	(21.59 35.56)
R2	400	(44.45 35.56)
R3	400	(69.85 35.56)
R4	400	(93.48 35.31)
R5	400	(83.82 38.1)
R6	400	(59.69 38.1)
R7	400	(35.56 38.1)
R8	400	(11.43 38.1)
R9	400	(11.43 57.15)
R10	400	(33.02 58.42)
R11	400	(57.15 58.42)
R12	400	(81.28 58.42)
R13	400	(58.42 22.86)
SL1		(63.5 19.59)
SL2		(97.79 35.56)
U$1	BCR-512	(3.81 58.42)
U$4	BCR-512	(16.51 34.29)
U$5	BCR-512	(40.64 34.29)
U$6	BCR-512	(22.86 58.42)
U$7	BCR-512	(48.26 58.42)
U$8	BCR-512	(72.39 58.42)
U$9	BCR-512	(64.77 34.29)
U$10	BCR-512	(88.9 34.29)
X1	SMA	(6.35 50.8)
X2	SMA	(20.32 50.8)
X3	SMA	(30.48 50.8)
X4	SMA	(44.45 50.8)
X5	SMA	(54.61 50.8)
X6	SMA	(68.58 50.8)
X7	SMA	(78.74 50.8)
X8	SMA	(92.71 50.8)

Příloha 3: Zdrojový text pro mikroprocesor ATmega16

```
                    .NOLIST
                    .INCLUDE "m16def.inc"
                    .LIST
                    .EQU BAUD=51                ;tj. 9600 Bd
                    .DEF REG=R16                ;pracovní registr
                    .DEF PRAC=R22               ;pracovní registr
                    .DEF IREG=R17               ;registry pro
                    .DEF IZASOB=R18             ;podporu přerušení
                    .DSEG                       ;datový segment
                    .ORG 19                     ;adresa 19=R19
BUFFER:             .BYTE(3)                    ;3bajtový bufer R19 - R21
                    .EQU BUFKON=BUFFER+2        ;konec buferu
                    .DEF RTCCR1B=R19            ;1.bajt
                    .DEF ROCR1AL=R20            ;2.bajt
                    .DEF ROCR1AH=R21            ;3.bajt
                    .DEF BUFPOS=R30             ;ukazovátko v buferu

                    .MACRO POSLI
                    LDI R26, 8

ZPRACUJ_LOOP:       ROR R25
                    BRCC ZPRACUJ_LOOP1
                    SBI @0,@1
                    RJMP ZPRACUJ_LOOP2

ZPRACUJ_LOOP1:      CBI @0,@1

ZPRACUJ_LOOP2:      RCALL DELAY             ;zavolej delay
                    SBI @0,@2
                    RCALL DELAY             ;ukonči delay
                    CBI @0,@2
                    DEC R26
                    BRNE ZPRACUJ_LOOP
                    CBI @0,@1
                    .ENDMACRO

                    .CSEG                   ;kódový segment
                    RJMP RESET
                    .ORG URXCaddr           ;usart rxc
                    RJMP RX
                    .ORG UTXCaddr           ;usart txc
                    RJMP TX
                                            ;inicializace
RESET:              LDI REG,LOW(RAMEND)
                    OUT SPL,REG             ;nastavení SPL
                    LDI REG,HIGH(RAMEND)
                    OUT SPH,REG             ;nastavení SPH
```

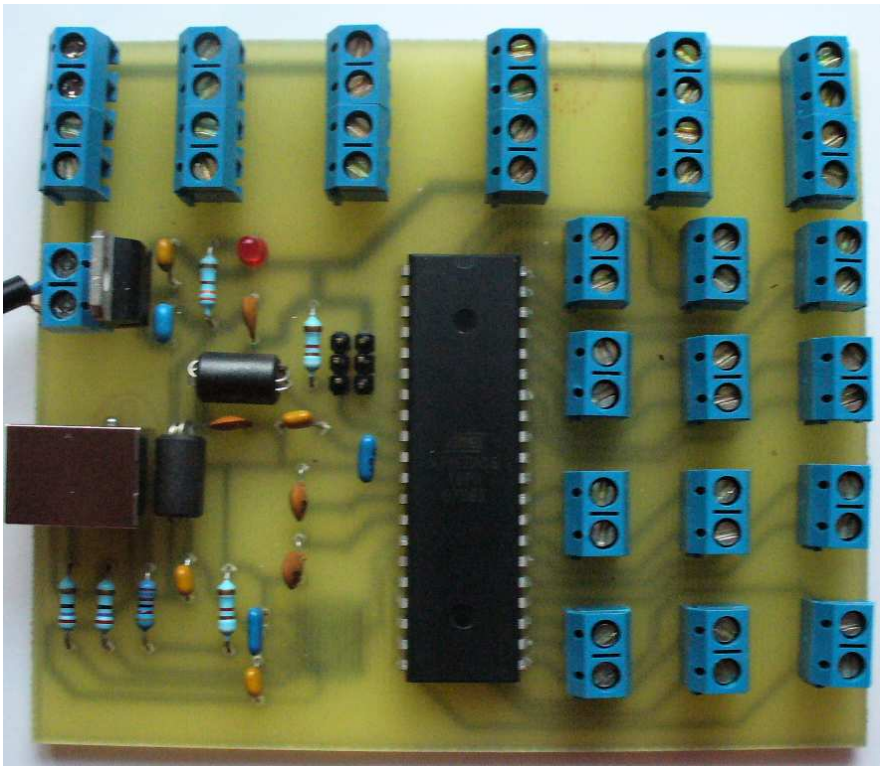
```
                                ;nastavení výstupů
        SBI DDRA,0              ;PA0 jako výstup
        SBI DDRA,1              ;PA1 jako výstup
        SBI DDRA,2              ;PA2 jako výstup
        SBI DDRA,3              ;PA3 jako výstup
        SBI DDRA,4              ;PA4 jako výstup
        SBI DDRA,5              ;PA5 jako výstup
        SBI DDRA,6              ;PA6 jako výstup
        SBI DDRA,7              ;PA7 jako výstup

        SBI DDRB,0              ;PB0 jako výstup
        SBI DDRB,1              ;PB1 jako výstup
        SBI DDRB,2              ;PB2 jako výstup
        SBI DDRB,3              ;PB3 jako výstup

        SBI DDRC,0              ;PC0 jako výstup
        SBI DDRC,1              ;PC1 jako výstup
        SBI DDRC,2              ;PC2 jako výstup
        SBI DDRC,3              ;PC3 jako výstup
        SBI DDRC,4              ;PC4 jako výstup
        SBI DDRC,5              ;PC5 jako výstup
        SBI DDRC,6              ;PC6 jako výstup
        SBI DDRC,7              ;PC7 jako výstup

        SBI DDRD,1              ;TxD jako výstup
        SBI DDRD,4              ;PD4 jako výstup
        SBI DDRD,5              ;PD5 jako výstup
        SBI DDRD,6              ;PD6 jako výstup
        SBI DDRD,7              ;PD7 jako výstup

        CLR ZH                  ;ukazovátko BUFPOS(Z)
        LDI BUFPOS,BUFFER       ;ukazuje na začátek
                                ;buferu

        LDI REG,LOW(BAUD)
        OUT UBRRL,REG           ;9600 Bd
        LDI REG,HIGH(BAUD)
        OUT UBRRH,REG
        LDI R16,(1<<URSEL)|(3<<UCSZ0);8 datových bitů
        OUT UCSRC,R16           ;+1 stop-bit

        LDI REG,0b10011000
        OUT UCSRB,REG           ;povol USART RXC
        LDI REG,0b01000000
        OUT TCCR1A,REG          ;toggle OC1A
        SEI                     ;I=1



START:  RJMP START
```

```
ZPRACUJ:        MOV R23, R19        ;přesune obsah registru
                MOV R24, R20        ;přesune obsah registru
                MOV R25, R21        ;přesune obsah registru

                SUBI R23, '0'
                SUBI R24, '0'
                SUBI R25, '0'
                CPI R23, '1'
                BRNE ZPRACUJ1
                LDI R26, 10
                ADD R24, R26

ZPRACUJ1:       CPI R25, 0
                BRNE ZPRACUJ2
                LDI R25, 0B11101000
                RJMP ZPRACUJ5

ZPRACUJ2:       CPI R25, 1
                BRNE ZPRACUJ3
                LDI R25, 0B11011100
                RJMP ZPRACUJ5

ZPRACUJ3:       CPI R25, 2
                BRNE ZPRACUJ4
                LDI R25, 0B10111110
                RJMP ZPRACUJ5

ZPRACUJ4:       LDI R25, 0B01111111

ZPRACUJ5:       CPI R24,0
                BRNE ZP1
                POSLI PORTA,7,6
                RJMP ZPET

ZP1:            CPI R24,1
                BRNE ZP2
                POSLI PORTA,5,4
                RJMP ZPET

ZP2:            CPI R24,2
                BRNE ZP3
                POSLI PORTA,3,2
                RJMP ZPET

ZP3:            CPI R24,3
                BRNE ZP4
                POSLI PORTA,1,0
                RJMP ZPET
```

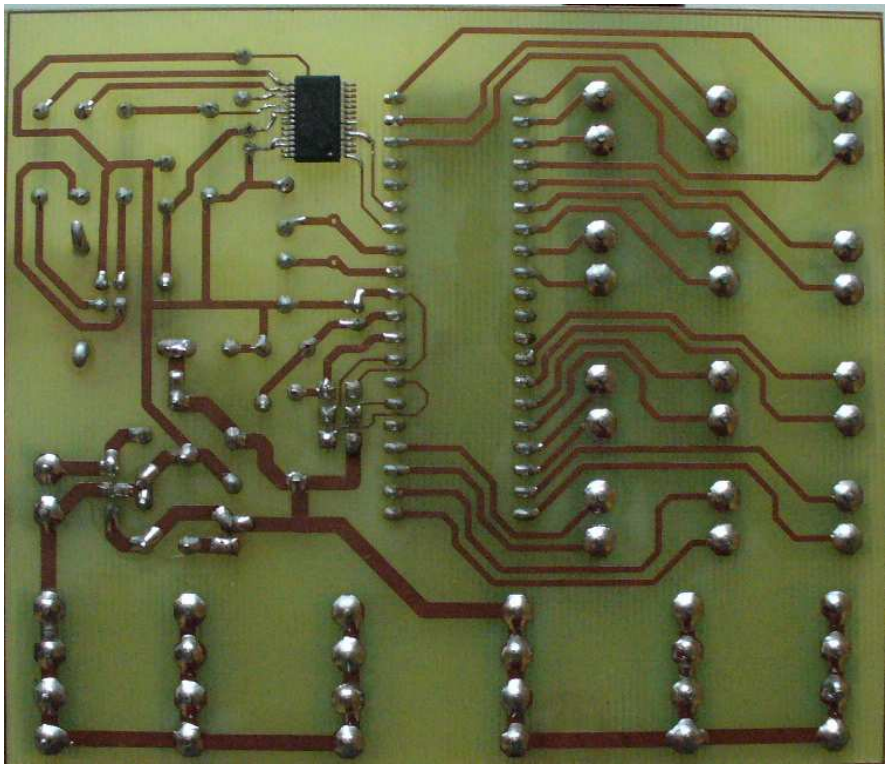
```
ZP4:        CPI R24,4
            BRNE ZP5
            POSLI PORTB,3,2
            RJMP ZPET

ZP5:        CPI R24,5
            BRNE ZP6
            POSLI PORTB,1,0
            RJMP ZPET

ZP6:        CPI R24,6
            BRNE ZP7
            POSLI PORTC,7,6
            RJMP ZPET

ZP7:        CPI R24,7
            BRNE ZP8
            POSLI PORTC,5,4
            RJMP ZPET

ZP8:        CPI R24,8
            BRNE ZP9
            POSLI PORTC,3,2
            RJMP ZPET

ZP9:        CPI R24,9
            BRNE ZP10
            POSLI PORTC,1,0
            RJMP ZPET

ZP10:       CPI R24,10
            BRNE ZP11
            POSLI PORTD,7,6
            RJMP ZPET

ZP11:       CPI R24,11
            POSLI PORTD,5,4
            RJMP ZPET

ZPEXIT:     RET
```

```
                                                ;obsluha USART RXC:
RX:             IN IZASOB,SREG                  ;ulož SREG
                IN IREG,UDR                     ;čti data z UDR
                ST Z+,IREG                      ;ulož do buferu
                CPI BUFPOS,BUFKON+1 ;konec?
                BRNE RXKON                      ;ne->skoč na RXKON

                CALL ZPRACUJ
                LDI IREG,0b01011000
                OUT UCSRB,IREG                  ;povol USART TXC
                LDI BUFPOS,BUFFER               ;ukazovátko na začátek
                LD IREG,Z+                      ;čti první bajt
                OUT UDR,IREG                    ;pošli jej
RXKON:          OUT SREG,IZASOB                 ;obnov SREG
                RETI                            ;konec obsluhy

                                                ;obsluha USART TXC:
TX:             IN IZASOB,SREG                  ;ulož SREG
                LD IREG,Z+                      ;čti bajt
                OUT UDR,IREG                    ;pošli jej
                CPI BUFPOS,BUFKON+1 ;konec?
                BRNE TXKON                      ;ne->skoč na TXKON

                LDI IREG,0b10011000
                OUT UCSRB,IREG                  ;povol USART RXC
                LDI BUFPOS,BUFFER               ;ukazovátko na začátek
                OUT TCCR1B,RTCCR1B              ;nastav TCCR1B,
                OUT OCR1AH,ROCR1AH              ;OCR1A horní
                OUT OCR1AL,ROCR1AL              ;a spodní bajt
TXKON:          OUT SREG,IZASOB                 ;obnov SREG
                RETI                            ;konec obsluhy


DELAY:          CLR R27

DELAY1:         DEC R27                         ;zpoždění, projede 256x
                BRNE DELAY1
                RET
```

Příloha 4: Fotodokumentace

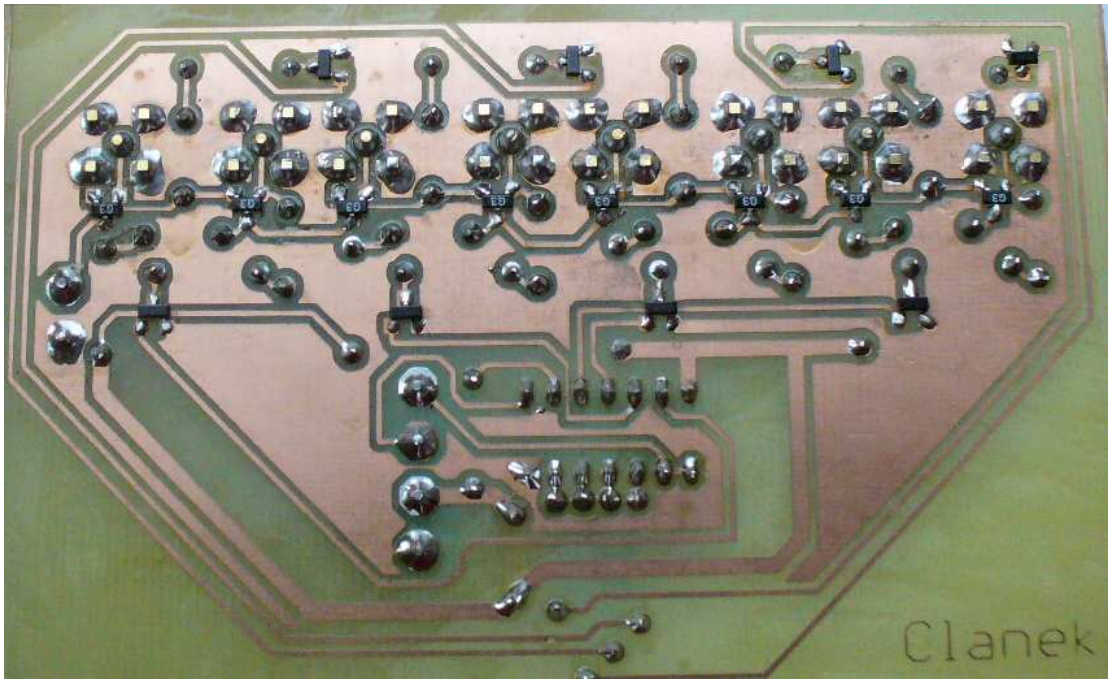


Obr. 7.4.1 Řídící část-pohled ze strany součástek



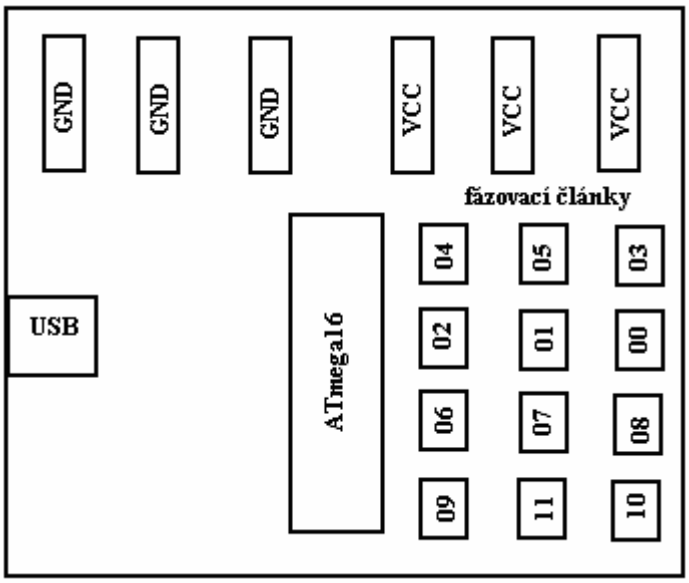
Obr. 7.4.2 Řídící část-pohled ze strany spojů

Obr. 7.4.3 Vf. část-pohled ze strany součástek



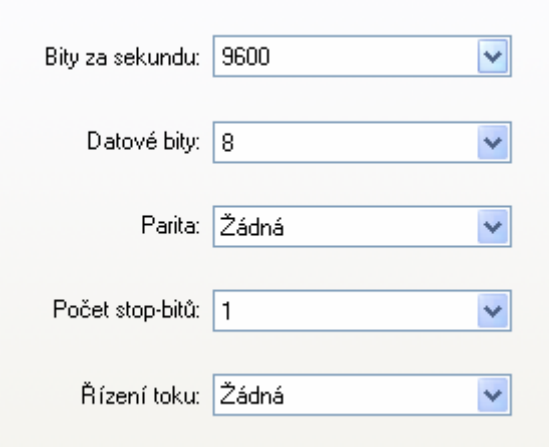
Obr. 7.4.4 Vf. část-pohled ze strany spojů

Příloha 5: Popis řídící desky a nastavování parametrů



Obr. 7.5.1 Rozmístění vývodů

Nastavování čísla fázovacího článku a druhu změny fáze se provádí pomocí HyperTerminálu. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné nejdříve nainstalovat ovladač VCP od firmy FTDI, který přidá nový virtuální COM port. HyperTerminál lze nalézt: Start-programy-příslušenství-komunikace-HyperTerminal. Po zadání názvu připojení se v okně připojit musí zvolit COM port, který se nám po instalaci přidal. Dále pak nastavení dle následujícího obrázku.



Obr. 7.5.2 Nastavení parametrů přenosu

Zadávání hodnot do terminálu:

První dvě čísla udávají číslo fázovacího článku a zadávají se ve tvaru 00, 01 - 10, 11
Třetí číslo udává hodnotu změny fáze a to: 0 = 270˚, 1 = 180˚, 2 = 90˚, 3 = 45˚