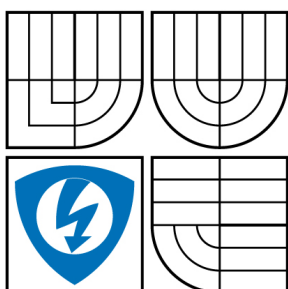




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SMYČKOVÁ ANTÉNA S AUTOMATICKÝM LADĚNÍM

MAGNETIC LOOP ANTENNA WITH AUTOMATIC TUNER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LADISLAV HORNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK LUKEŠ, Ph.D.

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Ladislav Horníček
Bytem: Choceň, Hemže 14
Narozen/a (datum a místo): 12.6.1982, Vysoké Mýto

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

(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: Smyčková anténa s automatickým laděním
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Zbyněk Lukeš, Ph.D.
Ústav: Ústav radioelektroniky
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v * :

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

* hodící se zaškrtněte

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.

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 pořizování 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 tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 30.května 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

SMYČKOVÁ ANTÉNA S AUTOMATICKÝM LADĚNÍM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE

Bc. LADISLAV HORNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. ZBYNĚK LUKEŠ, Ph.D.

ANOTACE

Tento projekt je zaměřený na konstrukci smyčkových antén určených pro pásmo krátkých vln doplněných o obvod automatického ladění. Tyto antény využívají ke své činnosti pouze magnetickou složku elektromagnetické vlny. Na začátku práce jsou shrnuty nejdůležitější vlastnosti těchto antén a rozebrány jednotlivé části antény. Další částí je návrh antén s uvedením postupu a vztahů potřebných k jejich návrhu. Důraz je kladen na návrh ladícího kondenzátoru. Poslední část se věnuje možnostem automatického ladění antén pomocí mikroprocesoru.

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MAGNETIC LOOP ANTENNA WITH AUTOMATIC TUNER

MASTER'S THESIS

AUTHOR Bc. LADISLAV HORNÍČEK

SUPERVISOR Ing. ZBYNĚK LUKEŠ, Ph.D.

ABSTRACT

This project is focused on the magnetic loop antenna with automatic tuner in band short waves. This antenna is only the magnetic part of the electromagnetic radio wave used. At the beginning work are lumped most important characteristics these antennas and discuss individual parts antennas. Next part is proposal antennas with presentation progress and relations needed to their proposal. Emphasis is placed on a proposal tuning capacitor. Last part discuss possibilities automatic antennas tuning by the help of microprocessor.

Klíčová slova:

Anténa, magnetická smyčka, poměr stojatých vln.

Keywords:

Antenna, magnetic loop, standing wave ratio.

Bibliografická citace práce

HORNÍČEK, L. *Smyčková anténa s automatickým laděním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zbyněk Lukeš, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Smyčková anténa s automatickým laděním jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce 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 uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce 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 30. května 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Zbyňku Lukešovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 30. května 2008

.....
podpis autora

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. TEORIE ANTÉN	11
2.1 ROZDĚLENÍ ANTÉN	11
2.2 ANTÉNNÍ PRVKY	11
2.2.1 Zářič	11
2.3 MAGNETICKÉ ANTÉNY	12
2.4 PRINCIP MAGNETICKÉ SMYČKY	12
2.4.1 Části antény	12
2.4.2 Náhradní schéma antény	15
2.4.3 Anténní parametry magnetické smyčky	15
3. TEORETICKÝ NÁVRH	17
3.1 NÁVRH ANTÉNY	17
3.1.1 Hlavní smyčka	17
3.1.2 Ladící kondenzátor	19
3.1.3 Vazební smyčka	27
3.1.4 Shrnutí parametrů důležitých pro konstrukci antén	28
3.2 OBVOD AUTOMATICKÉHO LADĚNÍ	28
3.2.1 Mikroprocesor	28
3.2.2 PSV metr	29
3.2.3 Úprava napětí a AD převod	31
3.2.4 Změna kapacity ladícího kondenzátoru	34
3.2.5 Ostatní části obvodu	35
3.3 SW ČÁST NÁVRHU	38
4. PRAKTICKÁ REALIZACE	43
4.1 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ANTÉNY	43
4.2 LADÍCÍ OBVOD	43
5. NAMĚŘENÉ HODNOTY	46
6. ZÁVĚR	47
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	49
PŘÍLOHY	50

1. ÚVOD

Magnetická smyčka je anténa využívající pouze magnetickou složku elektromagnetické vlny. Výhody těchto antén jsou jejich malé rozměry ve srovnání s půlvlnným dipólem, což je největší přednost těchto antén, a možnost přesného ladění v každém kanálu. Využití najdou hlavně mezi radioamatéry, využívají je ale i nejruznější služby jako armáda, interpol, červený kříž a jiné. Díky jejich práci s magnetickou složkou elektromagnetické vlny se dají použít také k měření magnetického pole.

Tato práce bude věnována návrhu antén pracujících v pásmu krátkých vln. Konkrétně to jsou dvě vysílací antény, první pro pásmo (3-10) MHz a druhá pro pásmo (14-28) MHz. Obě antény jsou doplněny o obvod automatického ladění.

2. TEORIE ANTÉN

2.1 Rozdělení antén

K vyzařování elektromagnetických vln se používá vhodně upravená část vedení, neboli tzv. anténa. Je to zařízení, které zajišťuje přechod vysokofrekvenční energie do prostředí. Děje probíhající na anténě jsou vratné, to znamená, že anténa může energii vyzařovat a stejným způsobem přijímat – tzv. reciprocita. Přesto rozdělujeme antény na přijímací a vysílací, na které jsou většinou kladeny mnohem větší požadavky. Dosah zářiče určuje jeho výkon, ale i konstrukce antény. Podle typu vlnění (λ = mm, cm, dm, m, km) se antény liší velikostí a tvarem. Podle typu vyzařovací charakteristiky jsou antény všesměrové (antény rozhlasových vysílačů), směrové (televizní antény) a vícesměrové (radioreléové spoje).

2.2 Anténní prvky

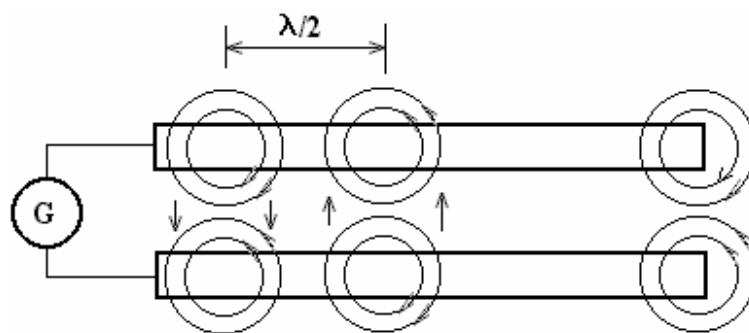
Při podrobnějším zkoumání se anténa jeví jako komplex složený z několika dílů, které společně plní požadavky pro pokud možno bezeztrátový přenos energie z vysílače do prostoru. Hlavní 3 části antény jsou:

1. Vlastní zářič určité délky umístěný nad zemí, pouze tato část má schopnost vyzařovat vysokofrekvenční (vf) energii.
2. Napáječ přivádějící vysokofrekvenční energii k zářiči, musí mít minimální ztráty, nesmí vyzařovat energii.
3. Vazební členy spojují jednotlivé celky a vzájemně je přizpůsobují, zamezují odrazu na konci vedení (chybí-li, hrozí poškození vysílače vlivem nepřizpůsobení antény k vysílači).

Často se k částem antén řadí i některé doplňky, jako například měřič PSV (poměr stojatých vln), který zjišťuje, jaká část výkonu se odrazí na konci napáječe od zářiče zpět k vysílači a také úroveň rušení. Dále sem mohou patřit například prvky zabezpečení proti blesku (vyžadují spolehlivé uzemnění, antény, které nelze přímo uzemnit se uzemňují přes tlumivku).

2.2.1 Zářič

Zářič je nejdůležitější část antény, proto zde bude popsán podrobněji. Je to část, která předává energii do prostoru. Bývá sestaven z vodivého elektricky materiálu a v souvislosti se svými rozměry (délkou) se vyznačuje indukčností a ztrátovým odporem. Protože je upevněn v určité vzdálenosti od země, vyznačuje se kapacitou vůči zemi. Tyto prvky ($R - L - C$) se u zářiče rozkládají po celé délce vodiče a to umožňuje vyzařování energie do prostoru. Protože je rychlost šíření v pevných látkách menší, je skutečná délka zářiče kratší. Koeficient zkrácení závisí na průměru vodiče, trubky, izolantu kolem vodiče (to platí především pro napáječe). Způsob přivedení nebo odvedení vf energie k zářiči nebo od něj závisí na typu zářiče i napáječe při respektovaném rozložení proudu a napětí na zářiči.



Obr. 1: *Princip zářiče.*

Princip zářiče lze vysvětlit podle obrázku 1, na kterém je otevřené vedení realizované dvěma vodiči blízko sebe. Protože kolem každého vodiče, kterým prochází $\vec{v}$ f proud se vytváří elektromagnetické pole, soustředí se $\vec{v}$ f pole mezi nimi. Na $\vec{v}$ f vedení se střídají amplitudy napětí a proudu, směr magnetických a elektrických siločar se mění v závislosti na frekvenci. Rychlost změn směru proudu odpovídá frekvenci a vzdálenost mezi dvěma maximy a minimy určuje poloviční délka vlny. Pokud se oba vodiče od sebe dostatečně vzdálí a tato vzdálenost bude srovnatelná s vlnovou délkou, elektromagnetické pole se rozšíří do okolního prostoru. Tímto způsobem se přenáší $\vec{v}$ f energie na velké vzdálenosti.

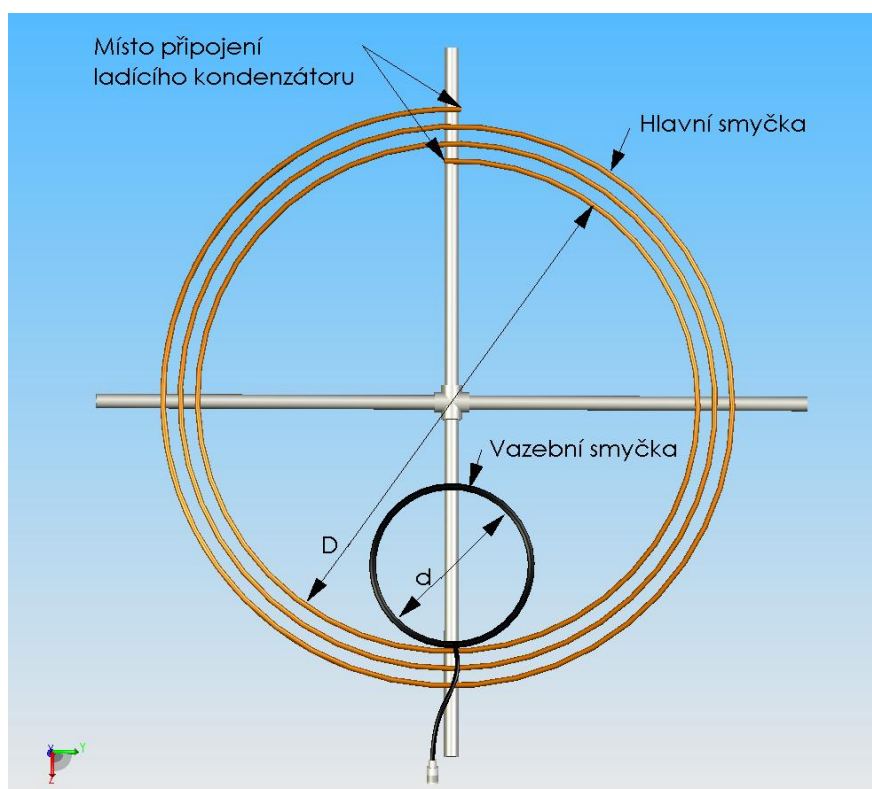
2.3 Magnetické antény

Elementární dipól jakožto základní typ antény není vždy realizovatelný, zejména při kmitočtech, kdy je rozměr antény několikanásobně menší, než je vlnová délka pracovního kmitočtu antény. V takových případech lze použít například feritovou anténu, nebo právě magnetickou smyčku. Ty mohou mít sice různé tvary, jak je uvedeno dále, ale vždy u nich platí, že je jejich rozměr n -násobně menší než používaná vlnová délka. Magnetická smyčka, které se věnuje tato práce, je speciálním typem rámové antény. Hlavní rozdíl je v obvodu antény, který je u rámové antény srovnatelný s vlnovou délkou, pro kterou byla navržena, zatímco u smyčkové antény je to pouze zlomek vlnové délky. Pokud ji tedy srovnáme s klasickou rámovou anténou, dipólem, směrovou anténou, nebo například s „quad“ anténou, je smyčková anténa rozměrově efektivnější. Další důležitou vlastností těchto antén je již zmíněná schopnost generovat a zpracovávat pouze magnetickou složku elektromagnetického pole. To jim zaručuje necitlivost vůči jakémukoliv elektrickému rušení.

2.4 Princip magnetické smyčky

2.4.1 Části antény

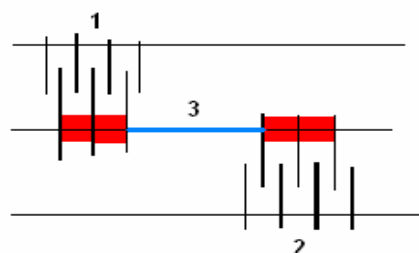
Smyčková anténa je ukázána na obr. 2 a skládá se ze 3 základních částí a to hlavní smyčky, vazební smyčky a ladícího kondenzátoru. Hlavní smyčka tvoří vlastní zářič. K přesnému výběru frekvence slouží ladící kondenzátor, napájení antény bývá realizováno menší vazební smyčkou.



Obr. 2: Části smyčkové antény.

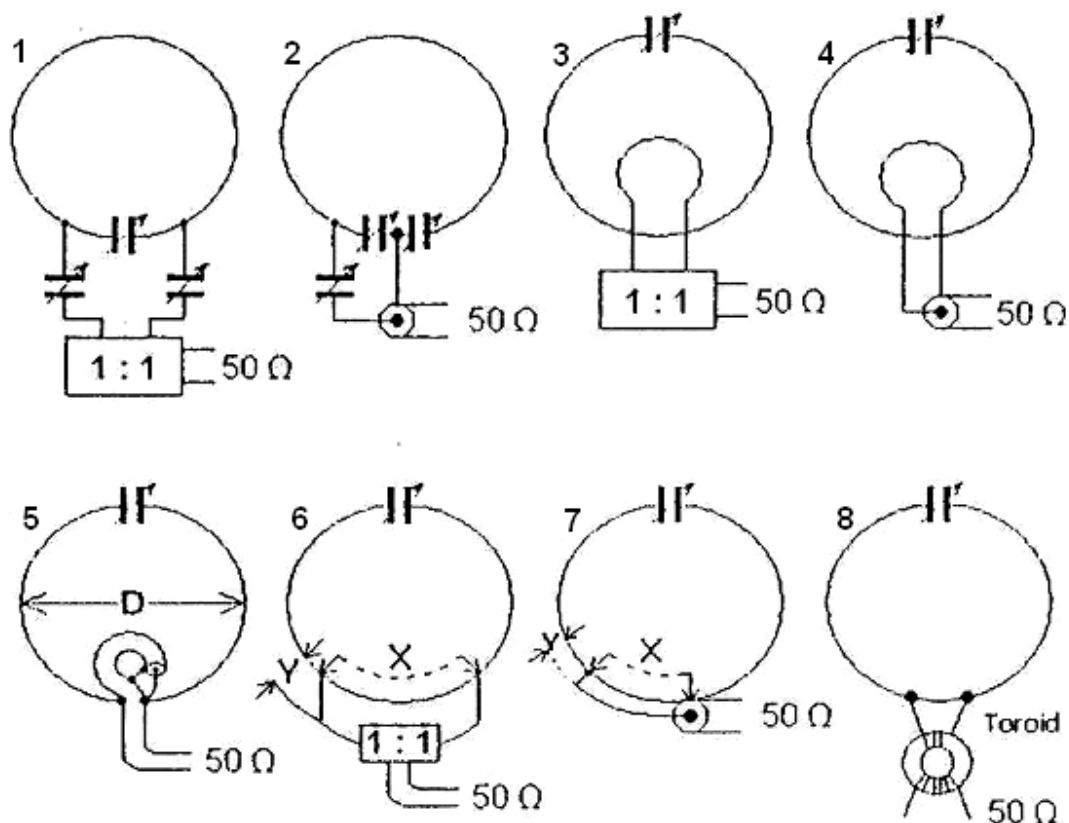
Hlavní smyčka má za úkol vyzařovat energii do prostoru. Musí být vyrobena z dobře vodivého materiálu, aby se minimalizovaly ztráty ve smyčce. Proto je dobré vyhnout se při výrobě použití velkého počtu spojů. Nejdůležitějším jejím parametrem je ale její obvod. Ten totiž určuje, na jakých frekvencích bude anténa pracovat. Podle [1] má být obvod hlavní smyčky $\frac{1}{4}$ nejmenší vlnové délky, pro kterou je anténa určena. Je-li požadovaná vlnová délka tak velká, že i rozměry hlavní smyčky by vycházely příliš velké, lze rozměry antény zmenšit navinutím hlavní smyčky do tvaru spirály. To bude ukázáno dále.

Ladící kondenzátor umožňuje změnu pracovního kmitočtu antény v relativně velké míře. Pro přijímací antény může být použit klasický laditelný kondenzátor, nebo například varicap, ovšem při použití antény jako vysílací je nutno počítat s tím, že smyčka představuje otevřený závit naprázdno, tudíž se na konci smyčky může objevit vysoké napětí [1]. Proto je kladen důraz na dielektrické vlastnosti použitého kondenzátoru, respektive na elektrickou pevnost vzduchové mezery mezi deskami otočného kondenzátoru. Pro vysoká napětí není také vhodné používat kondenzátory s třecími kontakty. Lepší je použít vícesegmentový kondenzátor s vodivě spojenými otočnými segmenty (rotory), tzv. „split stator“, jak je ukázané na obr. 3. Jako vstupní svorky se pak použijí statorové části kondenzátoru.

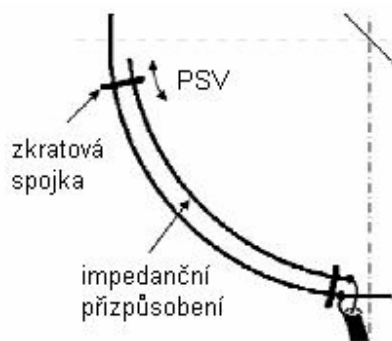


Obr. 3: Princip vícesegmentového kondenzátoru pro vyloučení třecích kontaktů (1, 2 – statorové části, 3 – otočná část).

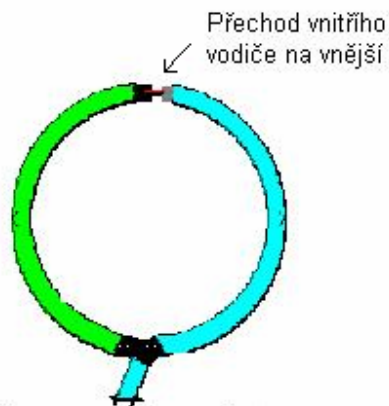
Nejčastější realizace napájení antény bývá menší vazební myčkou, jak je to ukázané na obr. 4, typ 4. Detail smyčky je pak na obr. 6. Pro její umístění je nejvhodnější místo uvnitř hlavní smyčky, naproti ladicímu kondenzátoru. Její průměr by měl být podle [2] $1/5$ průměru hlavní smyčky, doporučená vzdálenost od hlavní smyčky se uvádí asi 0 až 5 cm. Možností, jak navázat anténu na 50 Ohmové vedení je však více a jsou ukázány na obr. 4. Kromě zmíněné vazební smyčky je velmi rozšířené také tzv. gama napájení, které je ukázané na obr. 4, typ 7 a v detailu na obr. 5. Toto napájení umožňuje jednoduchým způsobem přizpůsobit anténu napájecímu vedení pomocí změny délky pahýlu.



Obr. 4: Různé typy indukční smyčky.



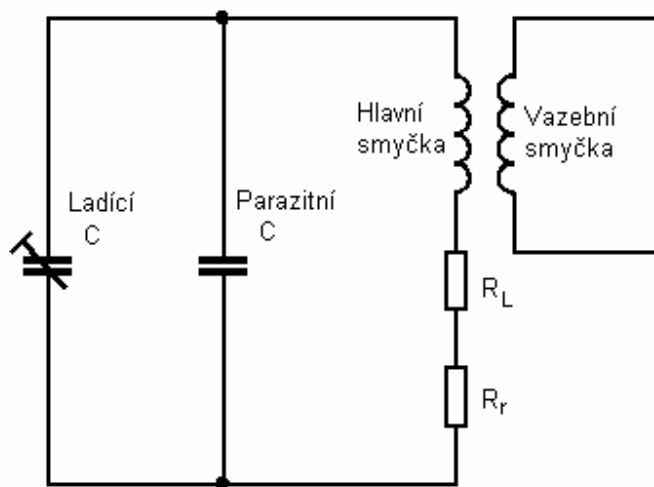
Obr. 5: Detail gama napájení.



Obr. 6: Detail vazební smyčky

2.4.2 Náhradní schéma antény

Náhradní schéma antény je na obrázku 7. Jedná se vlastně o paralelní rezonanční obvod tvořený ladícím kondenzátorem, parazitními kapacitami, vyzařovacím odporem R_r , ztrátovým odporem R_L a indukčností hlavní smyčky. Celý obvod je pak napájen pomocí induktivní vazby mezi hlavní a vazební smyčkou.



Obr. 7: Náhradní schéma antény.

2.4.3 Anténní parametry magnetické smyčky

Magnetická smyčka se podle [1] vyznačuje směrovostí s vyzařovacím diagramem ve tvaru číslice 8. To znamená, že zaručuje příjem v předozadním směru, zatímco boční směry jsou výrazně potlačeny. Činitel kvality cívky hlavní smyčky Q je rozhodující faktor udávající selektivitu v rezonanci, tedy při pracovním kmitočtu. Pokud je smyčka zatížena, klesající Q zapříčiní

snížení selektivity. Některé další parametry smyčkových antén lze spočítat z následujících vztahů převzatých z [3]:

$$\text{Vyzařovací odpor:} \quad R_r = 3,38 \cdot 10^{-8} (f_0^2 \cdot A)^2 \quad [\Omega] \quad (1)$$

$$\text{Plocha kruhové smyčky:} \quad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [m^2] \quad (2)$$

$$\text{Ztrátový odpor:} \quad R_L = 9,96 \cdot 10^{-4} \sqrt{f} \frac{o}{D} \quad [\Omega] \quad (3)$$

$$\text{Účinnost:} \quad \eta = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (4)$$

$$\text{Činitel kvality:} \quad Q = \frac{X_L}{2(R_r + R_L)} \equiv \frac{f_0}{\Delta f} \equiv \frac{f_0}{B} \quad (5)$$

$$\text{Směrová funkce:} \quad F = \sin^2 \theta \quad (6)$$

Kde: **D** je průměr hlavní smyčky [m]
f₀ je pracovní kmitočet antény [Hz]
B, Δf je šířka pásma antény [Hz]
θ je úhel vyzařování v rovině xy
o je délka hlavní smyčky

3. TEORETICKÝ NÁVRH

3.1 Návrh antény

3.1.1 Hlavní smyčka

Podle výše uvedeného platí, že by měl být obvod hlavní smyčky maximálně $\frac{1}{4}$ nejmenší vlnové délky, pro kterou je anténa určena a z toho musíme při návrhu vycházet. Další, co je nutné zvážit je tvar hlavní smyčky. Ten může být čtvercový, šestiúhelníkový, apod. Tyto tvary se liší svou plochou, kterou mají při zachování obvodu geometrického útvaru a podle vztahu (1) je plocha antény jedním z parametrů, na kterém závisí vyzařovací odpor antény, který chceme maximalizovat. Snažíme se tedy vybrat tvar antény s největší plochou a tím je kruh. Z toho lze odvodit rozměry antény, o kterých, vzhledem ke tvaru kruhu, nejlépe vypovídá průměr hlavní smyčky. Pro další návrh budeme potřebovat znát i indukčnost hlavní smyčky, kterou lze spočítat podle následujícího vztahu [3]:

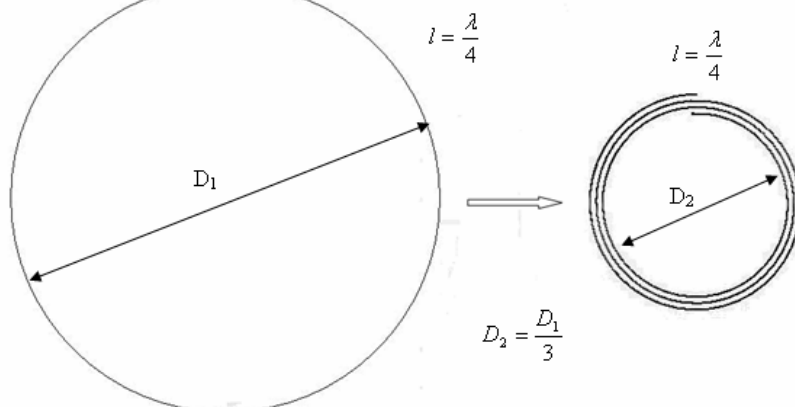
$$L = 0,2 \cdot o \cdot \left(\ln \frac{o}{d} - 1,07 \right) \quad [\mu H], \quad (7)$$

kde L je indukčnost hlavní smyčky [μH],
 o je obvod hlavní smyčky [m],
 d je průměr vodiče hlavní smyčky [m].

V kapitole 2.4.1 je zmínka o možném zmenšení rozměrů antény, pokud je anténa určena pro pásma s velkou vlnovou délkou. V takovém případě se použije více závitů navinutých do tvaru spirály jak to ukazuje obr. 8. Počet závitů se řídí žádaným rozměrem smyčky a navrženým kmitočtem. Anténa však nesmí změnit svůj charakter na rámovou anténu, tedy musí zůstat zachován poměr délky hlavní smyčky a vlnové délky. Indukčnost hlavní smyčky se pak mění s kvadrátem počtu závitů podle vztahu uvedeného v [3]

$$L' = L \cdot N^2 \quad [\mu H], \quad (8)$$

kde L' je indukčnost vícezávitové smyčky,
 N je počet závitů smyčky,
 L je indukčnost jednoho závitu smyčky podle vztahu (7) [μH].



Obr. 8: Princip zmenšení rozměrů antény.

Konkrétní hodnoty parametrů hlavní smyčky jsou uvedeny v tabulce 1. Tyto hodnoty platí pro průměr vodiče použitého k realizaci hlavní smyčky 8 mm . Kromě vypočtených hodnot jsou zde uvedeny i některé naměřené hodnoty. Za pozornost stojí rozdíl naměřených a teoreticky spočítaných indukčností obou hlavních smyček. U jednozávitové antény není tento rozdíl příliš patrný, u antény se třemi závitů už je ale poměrně značný. Pro další výpočty budou použity naměřené hodnoty indukčností.

	Anténa 1	Anténa 2
f [MHz]	$3 \div 10$	$14 \div 28$
l [m]	$30 \div 100$	$10,7 \div 21,4$
l [m]	7,5	2,5
n	3	1
L_{teor} [mH]	21	2,3
$L_{\text{měř}}$ [mH]	13,9	2,8
A [m ²]	0,5	0,5
R_r [mΩ]	$0,1 \div 9,6$	$37 \div 59$
$R_{L,\text{teor}}$ [mΩ]	$17 \div 30$	$12 \div 16$
$R_{L,\text{měř}}$ [mΩ]	16	4

Tab. 1: Vybrané parametry antén (f – pracovní frekvence, λ – vlnová délka, l – délka hlavní smyčky, n – počet závitů hlavní smyčky, L – indukčnost hlavní smyčky, A – plocha antény, R_r – vyzařovací odpor, R_L – zráťový odpor).

3.1.2 Ladící kondenzátor

Při návrhu ladícího kondenzátoru se vychází z toho, co bylo napsané v kapitole 2.4.2, tedy že hlavní smyčka, spolu s parazitními kapacitami a ladícím kondenzátorem tvoří paralelní rezonanční obvod. Úkolem ladícího kondenzátoru je doladovat obvod tak, aby byla jeho rezonance na právě vysílaném nebo přijímaném kmitočtu. Lze tedy využít Thomsonova vztahu a vyjádřit z něj vztah pro kapacitu ladícího kondenzátoru

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} [F], \quad (9)$$

kde C je kapacita ladícího kondenzátoru,
 L je indukčnost hlavní smyčky [H],
 f je pracovní frekvence [Hz].

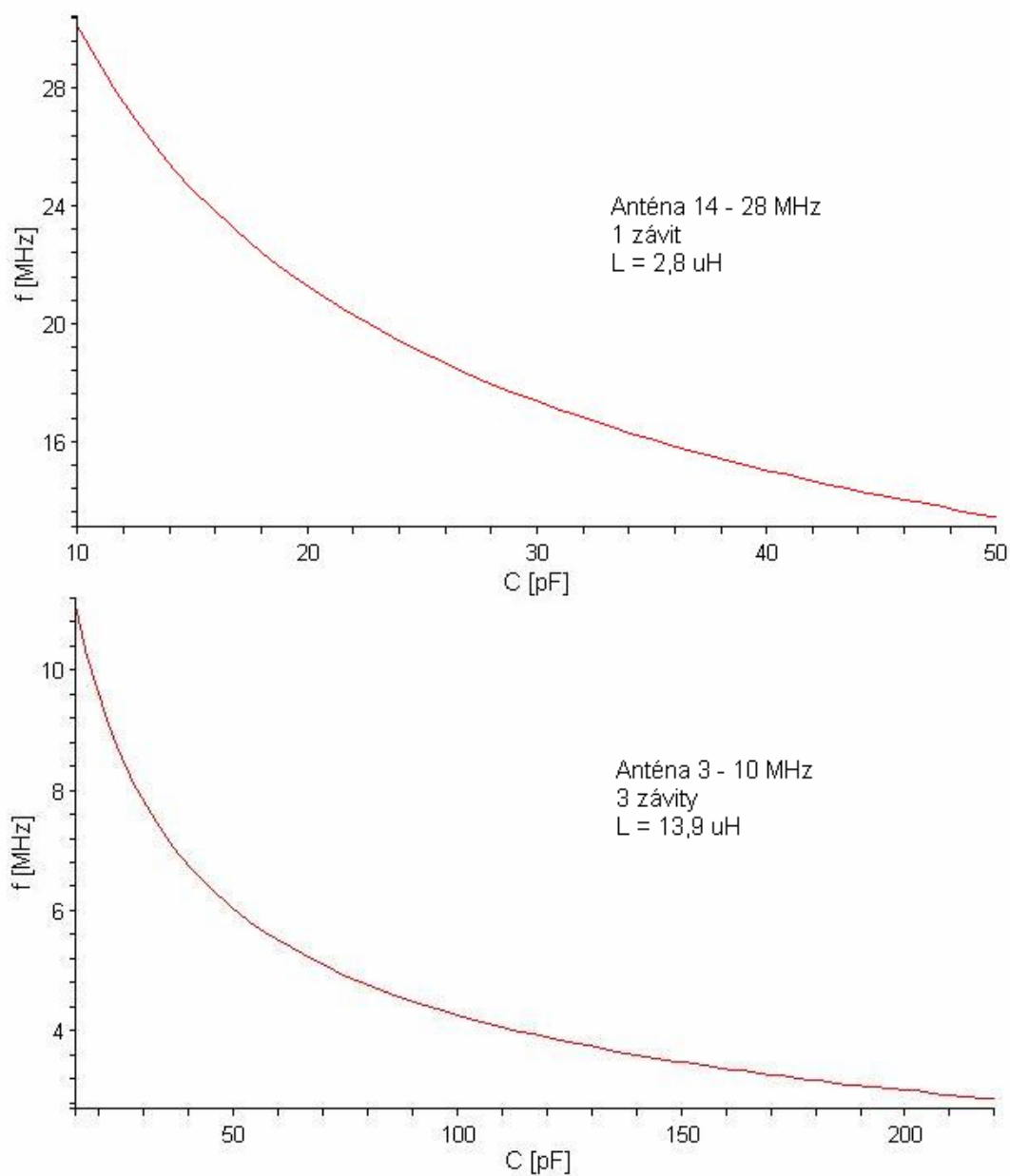
Rozsah kapacit, který musí mít ladící kondenzátor je tedy interval mezi kapacitami počítanými pro krajní pracovní frekvence antény,

$$C_{\min} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{\max})^2 \cdot L} \quad (10)$$

a

$$C_{\max} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{\min})^2 \cdot L}. \quad (11)$$

Konkrétní hodnoty kapacit pro obě antény jsou uvedeny společně se vstupními parametry použitými při výpočtu v tabulce 2. Závislosti pracovní frekvence antén na kapacitě ladícího kondenzátoru pro obě navrhované antény jsou na obr. 9. Z těchto závislostí je patrné, že se nejedná o lineární funkce, pro lineární otočné kondenzátory je tedy při konstantní rychlosti otáčení rotoru kondenzátoru v každém úhlu natočení rotoru jiná rychlost přeladování. Tento nedostatek lze odstranit vhodným navržením tvaru desek otočného kondenzátoru nebo proměnnou rychlostí otáčení rotoru kondenzátoru.



Obr. 9: Grafy závislosti pracovní frekvence antén na kapacitě ladícího kondenzátoru.

	Anténa 1	Anténa 2
$f \text{ [MHz]}$	$3 \div 10$	$14 \div 28$
$L \text{ [uH]}$	13,9	2,8
$C_{\min} \text{ [pF]}$	18	11,5
$C_{\max} \text{ [pF]}$	202	46

Tabulka 2: f – pracovní frekvence antény, L – indukčnost hlavní smyčky antény, $C_{\min}$ - minimální kapacita ladícího kondenzátoru, $C_{\max}$ – maximální kapacita ladícího kondenzátoru.

Jak již bylo napsané výše, při použití antény jako vysílače se objevuje na kondenzátoru v okolí rezonance poměrně vysoké napětí, které lze podle [4] spočítat ze vztahu

$$U_c = \frac{I}{2\pi f C} \quad [\text{V}], \quad (12)$$

kde f je pracovní frekvence antény [Hz],
 C je kapacita ladícího kondenzátoru [F],
 I je velikost vysokofrekvenčního proudu ve smyčce [A].

Pracovní frekvence f a kapacita ladícího kondenzátoru C jsou známy, zbývá určit vysokofrekvenční proud ve smyčce podle [4]

$$I = \sqrt{\frac{P}{R_r + R_L}} \quad [\text{A}] \quad , \quad (13)$$

kde P je výkon vysílače [W],
 R_r je vyzařovací odpor [Ω],
 R_L je ztrátový odpor [Ω].

Jako příklad poslouží situace navrhované jednozávitové antény na jejím dolním rozsahu frekvence. S ohledem na dříve spočítané jsou známy vstupní parametry výpočtu, tedy pracovní frekvenci $f = 14 \text{ MHz}$, kapacitu ladícího kondenzátoru $C = 46 \text{ pF}$, vyzařovací odpor $R_r = 37 \text{ m}\Omega$, a ztrátový odpor $R_L = 4 \text{ m}\Omega$. Pokud bychom je požadován vysílači výkon $P = 10 \text{ W}$, byl by s ohledem na vztah (13) vysokofrekvenční proud ve smyčce

$$I = \sqrt{\frac{P}{R_r + R_L}} = \sqrt{\frac{10}{37 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-3}}} = 15,6 \text{ A}. \quad (14)$$

Po dosazení do vztahu (12) vychází napětí na ladícím kondenzátoru

$$U_c = \frac{I}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 14 \cdot 10^6 \cdot 46 \cdot 10^{-12}} = 3,5 \text{ kV}. \quad (15)$$

Bude-li uvažována elektrická pevnost vzduchu 24 kV na centimetr a použití deskového kondenzátoru se vzduchovým dielektrikem, je zapotřebí pro vysílání výkonu 10 W vzdálenost desek kondenzátoru asi 1,5 mm a s rostoucím vysílaným výkonem roste i tato vzdálenost.

Ne vždy jsou laditelné kondenzátory na takto vysoká napětí k dispozici, proto je i zde popsán způsob, jak se dá použít ladící kondenzátor na menší napětí a pomocí pevných kondenzátorů zvýšit výkon, na který jej lze použít. Princip je na obrázku 10. Velké napětí je rozděleno na více sériových kondenzátorů, jeden ladící na menší napětí a ostatní pevné, které jsou běžně k dostání i na vyšší napětí.



Obr. 10: Princip zvýšení napětí ladícího kondenzátoru, C_{TRIM} – ladící kondenzátor, C_S – pevný kondenzátor

Výsledná kapacita sériového zapojení kondenzátorů C_{TRIM} a C_S z obrázku 16 se počítá podle vzorce

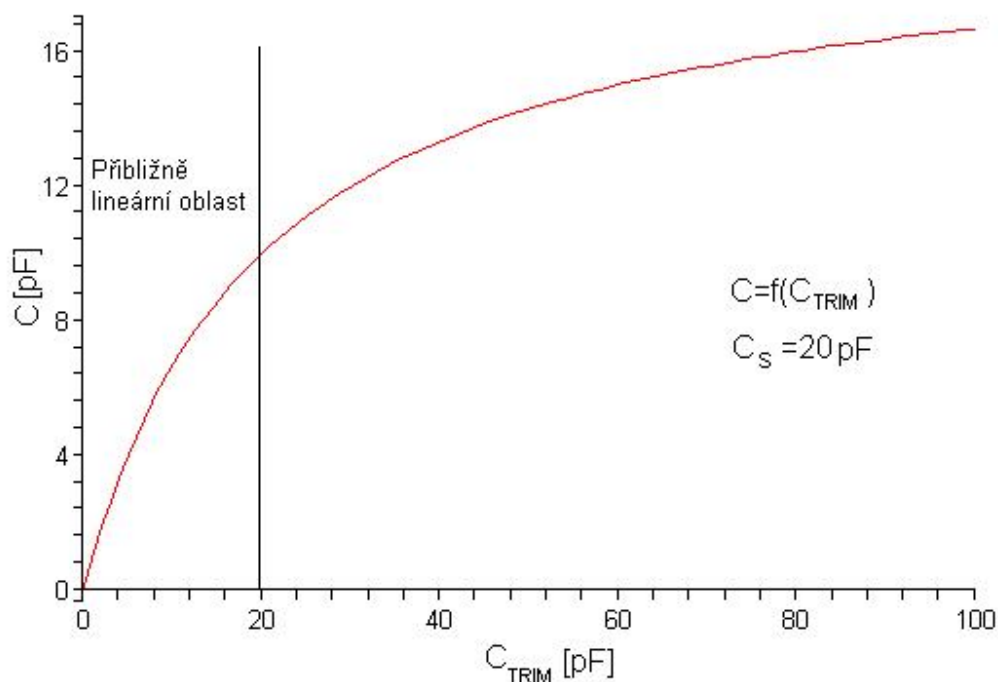
$$C = \frac{C_{TRIM} \cdot C_S}{C_{TRIM} + C_S} [F]. \quad (16)$$

Z něj lze vyčíst, že budeme-li lineárně měnit kapacitu ladícího kondenzátoru, nebude lineární výsledná kapacita tohoto zapojení, což by společně s grafy z obr. 9 vedlo k přílišné citlivosti pracovní frekvence na úhel natočení ladícího kondenzátoru pro vyšší frekvence a naopak necitlivosti pro frekvence nižší (platí pro lineární kapacitní trimr). Jaký bude skutečný průběh výsledné kapacity počítané ze vztahu (16) je na obrázku 11. Na něm je vidět, že použije-li se pouze ta část, kde nepřesáhne hodnota kapacity ladícího kondenzátoru C_{TRIM} velikost pevného kondenzátoru C_S , bude výsledný průběh kapacity přibližně lineární. Toho se dá využít a hodnotu pevného kondenzátoru volit tak, aby odpovídala maximální hodnotě ladícího kondenzátoru, tedy $C_S = \max(C_{TRIM})$.

V této práci bude využit jako ladící kondenzátor vícesegmentový otočný kondenzátor s lineárním průběhem kapacit a vzduchovým dielektrikem. Segmenty kondenzátoru jsou 4, jejich rotorové části jsou vodivě spojeny a jejich kapacitní rozsah je uveden v následující tabulce.

Číslo Segmentu	C_{min} [pF]	C_{max} [pF]
1	9,5	23,5
2	9,5	23,5
3	13	337
4	13	397

Tab. 3: Rozsahy segmentů ladícího kondenzátoru.



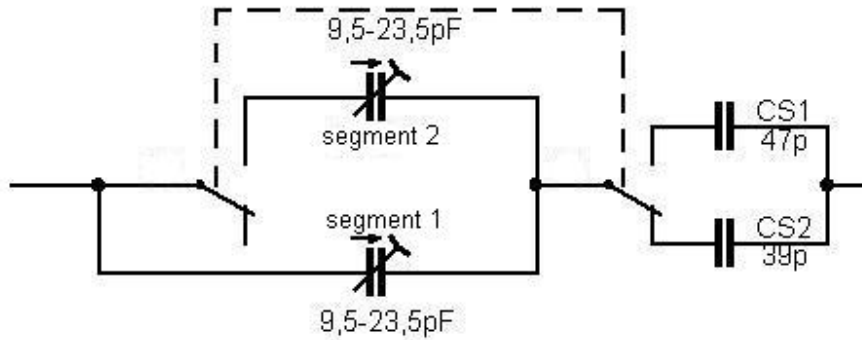
Obr. 11: Průběh výsledné kapacity sériového zapojení kondenzátorů z obrázku 10.

Při porovnání hodnot v tabulkách 2 a 3 je patrné, že při zařazení sériového kondenzátoru k segmentům ladícího kondenzátoru není výsledný rozsah kapacit dostatečný pro ladění v požadovaných pásmech. Proto je nutné vytvořit obvod, který by toto odstranil. Možností, jak kombinovat segmenty ladícího kondenzátoru a pevných kondenzátorů je několik.

Nejprve bude rozebrán návrh obvodu pro anténu pásma 14MHz až 24MHz. Z tabulky 2 je vidět požadovaný rozsah kapacit ladícího kondenzátoru 11,5pF až 46pF. Pro takto nízké kapacity se nabízí využití segmentů 1 a 2 ladícího kondenzátoru. Samotné segmenty nenabízí příliš velký kapacitní rozsah, pokud by se ale tyto segmenty spojily paralelně, vznikne laditelné pásmo od 19 do 47 pF. Pro zvýšení průrazného napětí celého obvodu se dále nabízí připojení sériového kondenzátoru C_S s velikostí 47pF. Minimální kapacita tohoto zapojení se určí podle vztahu (16) jako

$$C_{\min 1} = \frac{19 \cdot 10^{-12} \cdot 47 \cdot 10^{-12}}{19 \cdot 10^{-12} + 47 \cdot 10^{-12}} = 13 \text{ pF} . \quad (17)$$

Hodnota 13pF je ale příliš vysoká. Musí se proto použít buď samostatné segmenty 1 a 2, nebo použít přepínače, pro nízké kapacity používat pouze jeden z těchto segmentů a pro vyšší kapacity jejich paralelní kombinaci. Zároveň s přepínáním segmentů se přepínají i pevné sériové kondenzátory. Toto zapojení je na obrázku 12.



Obr. 12: Přepínání segmentů ladícího kondenzátoru.

Použitím přepínačů se rozdělí kapacita na pásma, první pásmo představuje segment 1 sériově s kondenzátorem CS2 s mezními kapacitami podle (16)

$$C_{\min 1} = \frac{9,5 \cdot 10^{-12} \cdot 39 \cdot 10^{-12}}{9,5 \cdot 10^{-12} + 39 \cdot 10^{-12}} = 7,9 pF \quad \text{a} \quad C_{\max 1} = \frac{23,5 \cdot 10^{-12} \cdot 39 \cdot 10^{-12}}{23,5 \cdot 10^{-12} + 39 \cdot 10^{-12}} = 14,5 pF. \quad (18)$$

Druhé pásmo tvoří paralelní spojení segmentů 1 a 2 se sériovým kondenzátorem CS1 s mezními kapacitami podle (16)

$$C_{\min 2} = \frac{19 \cdot 10^{-12} \cdot 47 \cdot 10^{-12}}{19 \cdot 10^{-12} + 47 \cdot 10^{-12}} = 13 pF \quad \text{a} \quad C_{\max 2} = \frac{47 \cdot 10^{-12} \cdot 47 \cdot 10^{-12}}{47 \cdot 10^{-12} + 47 \cdot 10^{-12}} = 23,5 pF. \quad (19)$$

Pomocí dvou pásem jsou pokryty kapacity od 7,5pF do 23,5pF. Aby byly pokryty i vyšší kapacity až do požadovaných 46pF, připojí se vždy paralelně k celému obvodu z obrázku 12 další kondenzátor C_p . Tím se zvýší kapacita obvodu právě o hodnotu kondenzátoru C_p . Jeho velikost se volí podle toho, jaký je interval přeladování obvodu z obrázku 12. V tomto případě je to

$$\Delta = C_{\max 2} - C_{\min 2} = 23,5 \cdot 10^{-12} - 13 \cdot 10^{-12} = 10,5 pF. \quad (20)$$

Paralelně se tedy připojí kondenzátor $C_p = 10 pF$, vznikne třetí pásmo s kapacitami většími o C_p než 2. pásmo a postupným připojováním dalších paralelních kondenzátorů jsou přidávána další pásma až dokud se jejich kapacita nedostane na požadovanou. Výpočty kapacit pásem vypadají následovně:

$$C_{\min 3} = C_{\min 2} + C_p = 13 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 23 pF \quad (21)$$

$$C_{\max 3} = C_{\max 2} + C_p = 23,5 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 33,5 pF \quad (22)$$

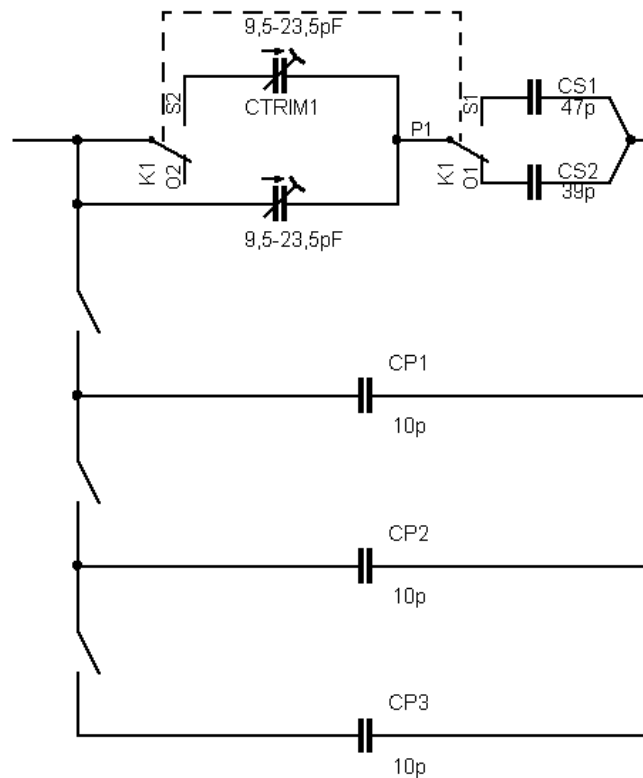
$$C_{\min 4} = C_{\min 3} + C_p = 23 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 33 pF \quad (23)$$

$$C_{\max 4} = C_{\max 3} + C_p = 33,5 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 43,5 pF \quad (24)$$

$$C_{\min 5} = C_{\min 4} + C_p = 33 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 43 pF \quad (25)$$

$$C_{\max 5} = C_{\max 4} + C_p = 43,5 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 53,5 pF \quad (26)$$

Z výpočtů je vidět, že počet pásem se zvýšil na 5 a výsledné zapojení obvodu je na obrázku 13. V tabulce 4 je potom shrnutí mezních kapacit všech pásem a jim odpovídajících frekvencí.



Obr. 13: Obvod ladícího kondenzátoru pro anténu 14MHz až 28MHz.

Pásmo	C_{min} [pF]	C_{max} [pF]	f_{min} [MHz]	f_{max} [MHz]
1	7,9	14,5	24,7	33,8
2	13	23,5	19,6	26,4
3	23	33,5	16,4	19,8
4	33	43,5	14,4	16,6
5	43	53,5	13	14,5

Tab. 4: Kapacitní a frekvenční rozsahy pásem antény 14 až 28MHz.

Obdobně jako u předchozí antény se postupuje i v případě antény 3MHz až 10MHz. Z tabulky 2 lze vyčíst, že potřebný rozsah kapacit je 18pF až 202pF. Využijí se tedy segmenty 3 a 4 ladícího kondenzátoru. Na rozdíl od předchozího, kdy byla zvyšována kapacita segmentů paralelním zapojením, v tomto případě bude výhodné kapacitu segmentů snížit, aby bylo docíleno jemnějšího ladění antény. Segmenty 3 a 4 se tedy zapojí do série. Nelinearita průběhu kapacity sériového zapojení kondenzátorů je zde odstraněna tím, že mají oba segmenty přibližně stejnou

velikost a jsou laděny současně. Podle vztahu (14) pak bude kapacita zapojení vždy přibližně poloviční v porovnání s okamžitou kapacitou segmentů. Výhodou je i to, že se dá takto zapojit ladící kondenzátor jako „split stator“. Minimální a maximální kapacita sériově řazených segmentů 3 a 4 bude

$$C_{\min} = \frac{C_{3\min} \cdot C_{4\min}}{C_{3\min} + C_{4\min}} = \frac{13 \cdot 10^{-12} \cdot 13 \cdot 10^{-12}}{13 \cdot 10^{-12} + 13 \cdot 10^{-12}} = 6,5 pF \quad (27)$$

a

$$C_{\max} = \frac{C_{3\max} \cdot C_{4\max}}{C_{3\max} + C_{4\max}} = \frac{337 \cdot 10^{-12} \cdot 397 \cdot 10^{-12}}{337 \cdot 10^{-12} + 397 \cdot 10^{-12}} = 182 pF \quad , \quad (28)$$

kde $C_{3\min, \max}$ je minimální, resp. maximální kapacita segmentu č.3,
 $C_{4\min, \max}$ je minimální, resp. maximální kapacita segmentu č.4.

Stejně jako v předchozím případě se i zde zařadí sériový kondenzátor C_s pro zvýšení napětí. Pro něj se nabízí kapacita 180pF. Kondenzátor 180pF pro velká napětí však nebyl zrovna k dispozici, proto je zde místo jednoho kondenzátoru použito sériového zapojení 2 kondenzátorů C_{S1} a C_{S2} s kapacitami 330pF. Po přepočtu na jeden sériový kondenzátor je tedy jeho kapacita

$$C_s = \frac{C_{S1} \cdot C_{S2}}{C_{S1} + C_{S2}} = \frac{330 \cdot 10^{-12} \cdot 330 \cdot 10^{-12}}{330 \cdot 10^{-12} + 330 \cdot 10^{-12}} = 165 pF \quad . \quad (29)$$

Minimální maximální kapacita prvního pásma pro tuto anténu lze pak spočítat jako

$$C_{\min 1} = \frac{C_{\min} \cdot C_s}{C_{\min} + C_s} = \frac{6,5 \cdot 10^{-12} \cdot 165 \cdot 10^{-12}}{6,5 \cdot 10^{-12} + 165 \cdot 10^{-12}} = 6,25 pF \quad (30)$$

a

$$C_{\max 1} = \frac{C_{\max} \cdot C_s}{C_{\max} + C_s} = \frac{182 \cdot 10^{-12} \cdot 165 \cdot 10^{-12}}{182 \cdot 10^{-12} + 165 \cdot 10^{-12}} = 86,5 pF \quad . \quad (31)$$

Analogicky s (20) se spočítá velikost laditelného pásma

$$\Delta = C_{\max 1} - C_{\min 1} = 86,5 \cdot 10^{-12} - 6,25 \cdot 10^{-12} = 80,25 pF \quad . \quad (32)$$

Laditelné pásmo určuje zároveň maximální velikost paralelních kapacit. Opět z důvodu dostupnosti je místo jednoho sériového kondenzátoru použita kombinace dvou paralelních o velikostech 47pF a 33pF. Počítat se tedy bude s kapacitou

$$C_p = 47 \cdot 10^{-12} + 33 \cdot 10^{-12} = 80 pF \quad . \quad (33)$$

Opět budou další pásma antény vždy o C_p větší, tedy

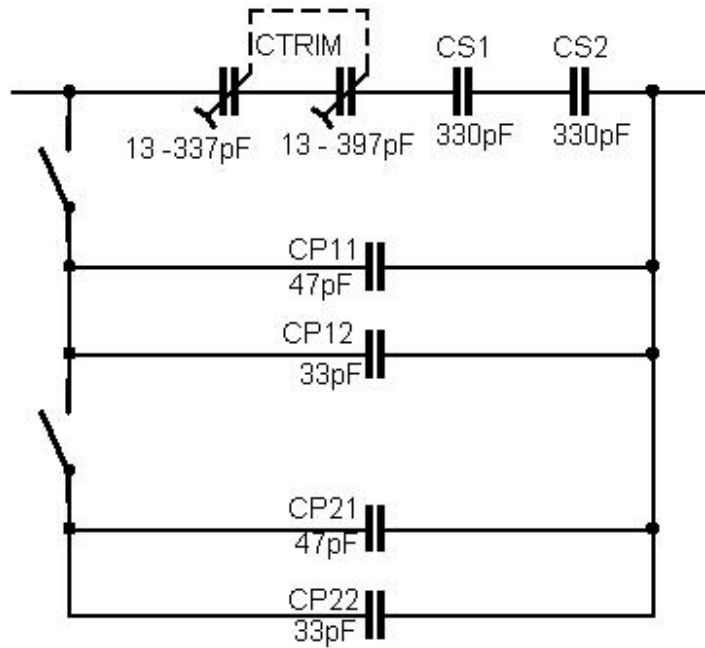
$$C_{\min 2} = C_{\min 1} + C_p = 6,25 \cdot 10^{-12} + 80 \cdot 10^{-12} = 86,25 pF \quad (34)$$

$$C_{\max 2} = C_{\max 1} + C_p = 86,5 \cdot 10^{-12} + 80,25 \cdot 10^{-12} = 166,75 pF \quad (35)$$

$$C_{\min 3} = C_{\min 2} + C_p = 86,25 \cdot 10^{-12} + 80 \cdot 10^{-12} = 166,25 \text{ pF} \quad (36)$$

$$C_{\max 3} = C_{\max 2} + C_p = 166,75 \cdot 10^{-12} + 80,25 \cdot 10^{-12} = 247 \text{ pF} \quad (37)$$

Maximální kapacita třetího pásma je nad maximální požadovanou kapacitou uvedenou pro tuto anténu v tabulce 2, proto lze s výpočtem skončit. Zapojení kondenzátorů pro anténu 3MHz až 10MHz je na obr. 14, shrnutí pásem antény pak v tab. 5.



Obr. 14: Obvod ladícího kondenzátoru pro anténu 3MHz až 10MHz.

Pásmo	$C_{\min}$ [pF]	$C_{\max}$ [pF]	$f_{\min}$ [MHz]	$f_{\max}$ [MHz]
1	6,25	86,5	17	4,59
2	86,25	166,75	4,59	3,31
3	166,25	247	3,31	2,72

Tab. 5: Kapacitní a frekvenční rozsahy pásem antény 3 až 10MHz.

3.1.3 Vazební smyčka

K napájení se nejčastěji využívá vazební smyčka umístěná naproti ladícímu kondenzátoru. Smyčka je tvořena koaxiálním kabelem, její průměr je asi 1/5 hlavní smyčky. V půlce smyčky je přechod vnitřního vodiče na vnější [2] jako je tomu na obr. 6. Průměr vazební smyčky bude v tomto případě pro obě antény stejný a sice

$$d = \frac{D}{5} = \frac{0,8}{5} = 0,16 \text{ m}, \quad (38)$$

kde D je průměr hlavní smyčky.

3.1.4 Shrnutí parametrů důležitých pro konstrukci antén

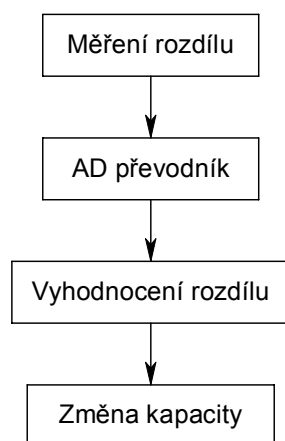
Pro konstrukci antén stačí znát následující parametry: délka hlavní smyčky l , počet závitů hlavní smyčky n , průměr hlavní smyčky D , průměr vazební smyčky d a rozsah kapacity ladícího kondenzátoru mezi C_{min} a C_{max} . Tyto parametry jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 6.

	Anténa 1	Anténa 2
f [MHz]	$3 \div 10$	$14 \div 28$
l [m]	7,5	2,5
n	3	1
D [m]	0,8	0,8
d [m]	0,16	0,16
C_{min} [pF]	18	11,5
C_{max} [pF]	202	46

Tab. 6: Hlavní parametry antén.

3.2 Obvod automatického ladění

Automatické ladění antény spočívá v tom, že obvod sleduje přizpůsobení antény k vysílači. Ukazatelem přizpůsobení je PSV. Ten počítá s výkonem dopředné a odražené vlny na vedení podle vztahu 39. Lze ale využít principu PSV metru a ladit anténu tak, aby byl maximální rozdíl výkonu mezi dopřednou a odraženou vlnou. Tento ladící obvod tedy sleduje rozdíl výkonů obou vln a podle zjištěné hodnoty nastavuje kapacitu ladícího kondenzátoru. Ke změně kapacity je použit krokový motor otáčející rotorem ladícího kondenzátoru. Motor je opatřen převodovkou 1:60, aby bylo docíleno jemnějšího kroku otáčení při jednoduchém čtyřtaktním buzení. K řízení motoru slouží mikroprocesor AT89S51. Blokové schéma řídicího obvodu je na obrázku 15.

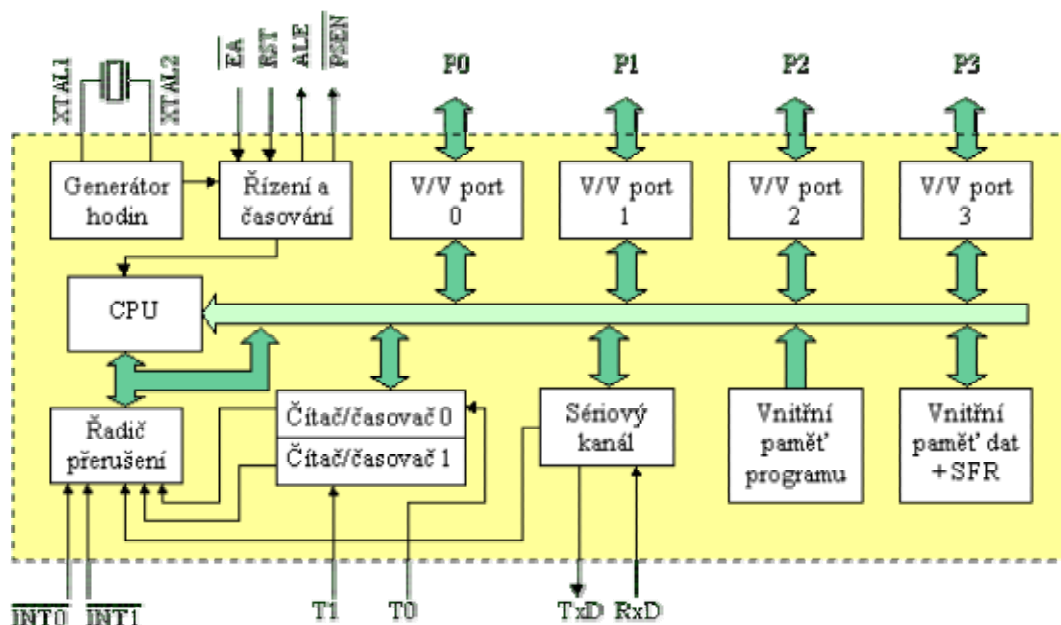


Obr. 15: Blokové schéma obvodu automatického ladění.

3.2.1 Mikroprocesor

Základní částí ladícího obvodu je mikroprocesor, který provádí vlastní vyhodnocení přizpůsobení antény k přijímači a následné nastavení kapacity ladícího kondenzátoru. Na procesor nejsou kladeny přílišné nároky co se týká výpočetního výkonu, proto byl zvolen mikroprocesor AT89S51. Jedná se o osmibitový jednočipový mikroprocesor s harvardskou strukturou, u které je oddělena datová a programová paměť. Vnitřní struktura mikroprocesoru je zobrazena na

obr. 16. Procesor je schopen samostatné činnosti po připojení vnějšího krystalu na vývody XTAL1 a XTAL2, napájecího napětí 5V ss na vývod U_{cc} a připojení nulovacího obvodu na vývod RST. Navíc podporuje tento procesor ISP programování, což je vhodné při ladění programu.



Obr. 16: Vnitřní struktura mikroprocesoru AT89S51.

3.2.2 PSV metr

Poměr stojatých vln je jedním z ukazatelů účinnosti celého vysílacího zařízení. Výstup vysílače, vř vedení (koaxiální kabel) a anténa musí být k sobě navzájem impedančně přizpůsobeny – jejich impedance na daném kmotočtu musí být shodná. Pokud tomu tak je, je PSV rovno jedné. Impedanční nepřizpůsobení je na závadu, protože v místě připojení dochází k odrazu vř energie zpět ke zdroji. Odraz energie znamená samozřejmě ztrátu výkonu. Kolik procent energie se vyzáří anténou v závislosti na PSV je uvedeno v tabulce 7. V praxi se podle [5] považuje jako hranice dobrého přizpůsobení takové, kde je $PSV < (1,5 \text{ až } 2)$.

PSV	Vyzářený výkon [%]
1	100
1,2	99
1,5	95
2	89
3	75
5	55
10	34
20	18

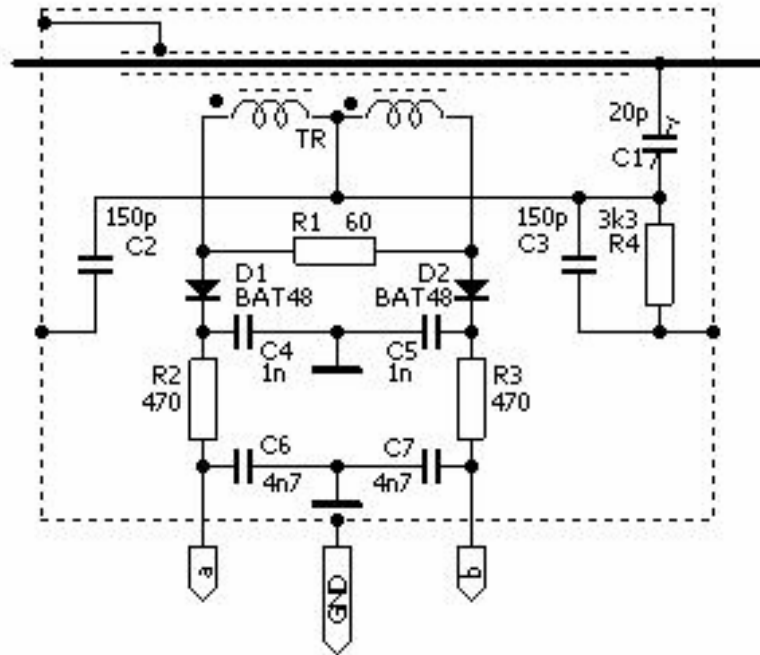
Tab. 7: Přepočet vyzářeného výkonu na PSV.

Numericky lze podle [6] určit PSV ze vztahu

$$PSV = \frac{1 + \frac{\sqrt{P_R}}{\sqrt{P_F}}}{1 - \frac{\sqrt{P_R}}{\sqrt{P_F}}}, \quad (39)$$

Kde P_F je výkon dopředné vlny,
 P_R je výkon vlny odražené.

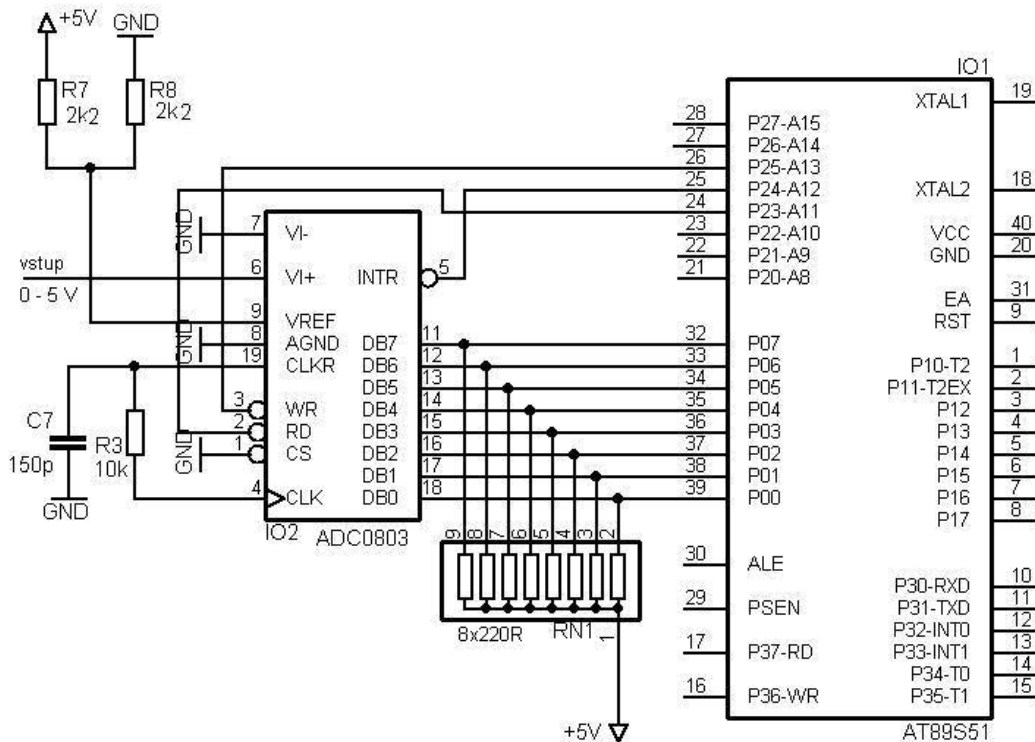
Jak měřit PSV je dobře popsáno například v [7], kde je uvedeno také několik zapojení a jejich popis. Princip všech zapojení je takový, že se vezme část vedení a pomocí induktivní vazby se snímá napětí, které je úměrné výkonu přímé nebo doražené vlny ve vedení. Jeden z takových PSV metrů převzatý ze [6] je na obrázku 17. Induktivní vazba je zde realizována pomocí toroidního jádra navlíknutého na koaxiálním kabelu a několika závitů lakovaného drátu navinutými na jádru. Vinutí na jádru jsou dvě, proti uzemnění opačně orientované. K tomu, aby jedno vinutí měřilo výkon dopředné vlny a druhé vinutí výkon zpětné vlny slouží na obrázku 17 diody D_1 D_2 . Výstupem PSV metru z obrázku 17 jsou svorky a (napětí úměrné výkonu dopředné vlny), b (napětí úměrné výkonu odražené vlny) a GND.



Obr. 17: Schéma PSV metru podle [6].

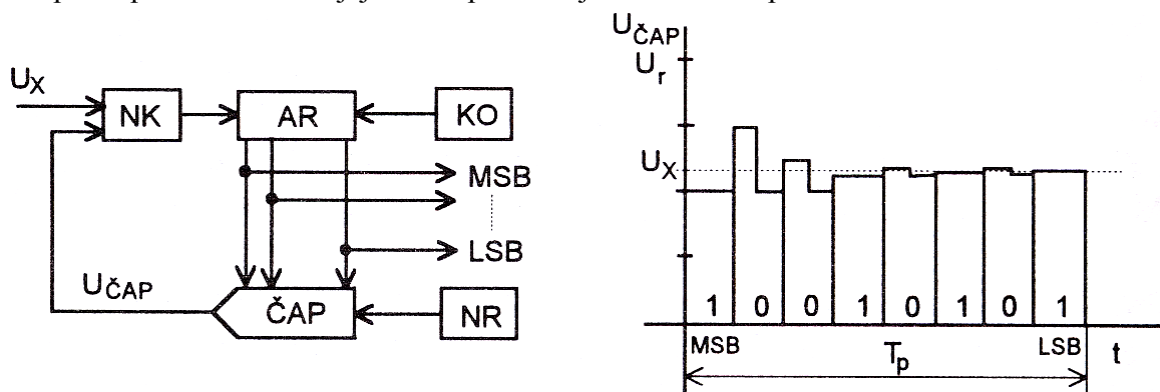
3.2.3 Úprava napětí a AD převod

Jak ukazuje obrázek 15, je kvůli číslíkovému zpracování dat potřeba převést analogové napětí z výstupu PSV metru na digitální signál. K tomu slouží AD převodník, který však není implementován v mikroprocesoru AT89S51. Proto je nutné použít externí převodník. Zde je to osmibitový AD převodník AD0804. Jedná se o převodník pracující na principu postupné aproximace. Podrobně je tento převodník popsán v [8]. Připojení k mikroprocesoru je ukázáno na obr. 18. Výstup převodníku (DB0 až DB7) je přiveden na port P0 mikroprocesoru, který však jako jediný port tohoto mikroprocesoru nemá zvyšovací odpory [9]. Proto jsou zvyšovací odpory připojeny externě a na obrázku 18 je tvoří rezistorová síť RN1. K řízení převodu slouží vstupy CS, RD, WR a výstup INTR. Protože se v tomto zapojení jedná vlastně o jedinou periférii řízenou mikroprocesorem, může být vývod CS sloužící k výběru periférie připojen trvale na GND. Ostatní řídicí vstupy jsou připojeny k mikroprocesoru. Vstup VREF slouží k vybrání referenční úrovně napětí. Pokud má být napěťový rozsah vstupu 5V, je nutné na něj přivést poloviční napětí, tedy 2,5V. To získáme ze stabilizovaného napájecího napětí o velikosti 5V použitého v aplikaci pro napájení mikroprocesoru pomocí napěťového děliče tvořeného rezistory R7 a R8. Aby bylo referenční napětí co nejpřesnější, je nutné vybrat měřením z několika rezistorů 2 s nejbližším odporem. K časování využívá převodník vlastní hodinový signál odvozený od velikosti rezistoru R3 a kondenzátoru C7. Jejich velikosti byly voleny podle doporučení v [8].



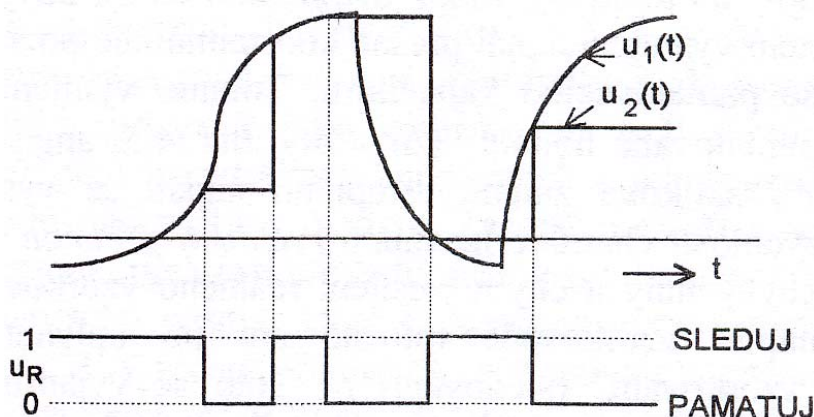
Obr. 18: Připojení AD převodníku k mikroprocesoru.

Princip převodníku s postupnou aproximací je na obrázku 19. Vstupní napětí U_x se v něm srovnává se zpětnovazebním kompenzačním napětím $U_{\check{C}AP}$ na výstupu ČAP (číslicově-analogový převodník), které se mění tak dlouho, dokud není rozdíl mezi oběma napětími menší než rozlišovací schopnost převodníku. Pak je odpovídající číslo na vstupu ČAP převodníku výstupem AD převodníku. Chyba při převodu nastane, jestliže není během doby převodu zajištěno konstantní vstupní napětí. Proto se na jejich vstup umísťuje vzorkovač s pamětí.



Obr. 19: Princip převodníku s postupnou aproximací.

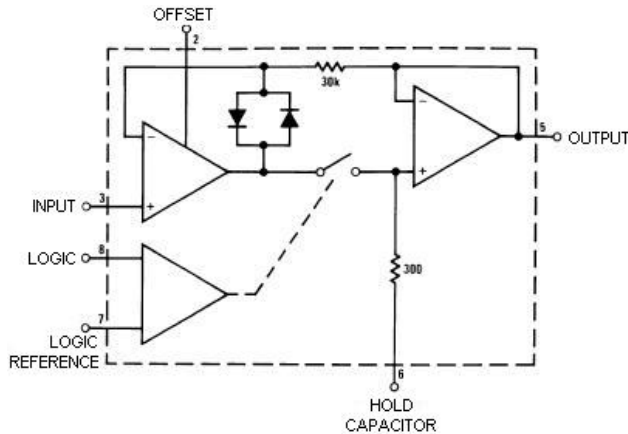
Vzorkovač s pamětí (S&H) je obvod, který odebere vzorek z převáděného signálu a podrží velikost napětí po dobu nezbytnou pro správnou činnost AD převodníku. Jeho funkce je patrná z obr. 20. Vzorkovač pracuje buď v režimu sledování, nebo v režimu pamatování. Volba režimu se řídí pomocí řídicího signálu. V režimu sledování je v ideálním případě signál na jeho výstupu shodný s tím na vstupu. Při změně řídicího signálu přejde do stavu pamatování a na jeho výstupu je v ideálním případě takové napětí, které bylo na vstupu v okamžiku změny řídicího signálu.



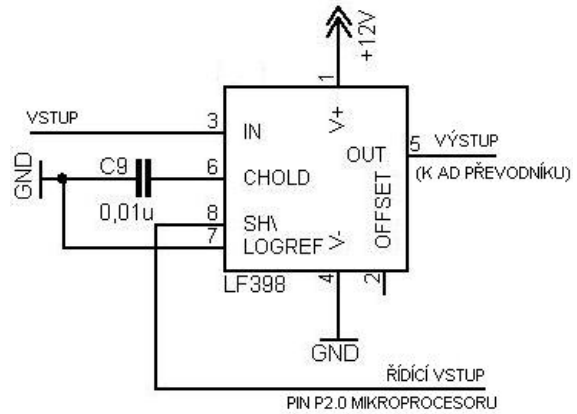
Obr. 20: Princip vzorkovače s pamětí ($u_1(t)$ – vstup, $u_2(t)$ – výstup, U_R – řídicí signál).

Zde je jako vzorkovač s pamětí použit integrovaný obvod LF398 k tomu určený. Jeho vnitřní schéma je na obr. 21, zapojení do ladícího obvodu je na obr. 22. Pamětí je u tohoto obvodu externí kondenzátor (C_9 na obr. 22). Velikost kapacity kondenzátoru je zvolena podle doporučení v [10]. K řízení obvodu slouží vstup SH\ napojený na pin P2.0 mikroprocesoru. Je-li na tom-

to vstupu logická jednička, je obvod v režimu pamatování, logická nula znamená režim sledování. Vstupní napětí je vztaženo k úrovni GND celého obvodu, proto zůstane nezapojený vývod OFFSET.



Obr. 21: Blokové schéma obvodu LF398.



Obr. 22: Zapojení obvodu LF398.

AD převodník i obvod S&H jsou navrženy tak, aby zpracovávali analogový signál o velikosti 0 až 5V. Při osmi bitovém slovu na výstupu převodníku dostáváme rozlišovací schopnost $q = 19,6mV$. Pro výpočet byl použit vzorec

$$q = \frac{\Delta U}{2^n - 1} \text{ [V]}, \quad (40)$$

kde ΔU je napěťový rozsah vstupu převodníku [V],
 n je počet bitů převodníku.

Na výstupu PSV metru nedosahuje napětí úrovně až 5V, pro kterou je navržen AD převodník. Proto je nutné napětí dostatečně zesílit, abychom využili celý rozsah převodníku. Zároveň lze využít toho, že se v aplikaci nevyužívá absolutní hodnotu PSV a využívá se pouze rozdíl mezi svorkami a a b z obrázku 17. Proto je možné použít rozdílového zapojení operačního zesilovače pro získání rozdílu napětí mezi těmito svorkami a následně už jenom upravit velikost napětí na požadovanou velikost jako je to na obr. 23. Pro rozdílový zesilovač na tomto obrázku platí vztah

$$U_3 = \frac{R_5}{R_3}(U_2 - U_1), \quad (41)$$

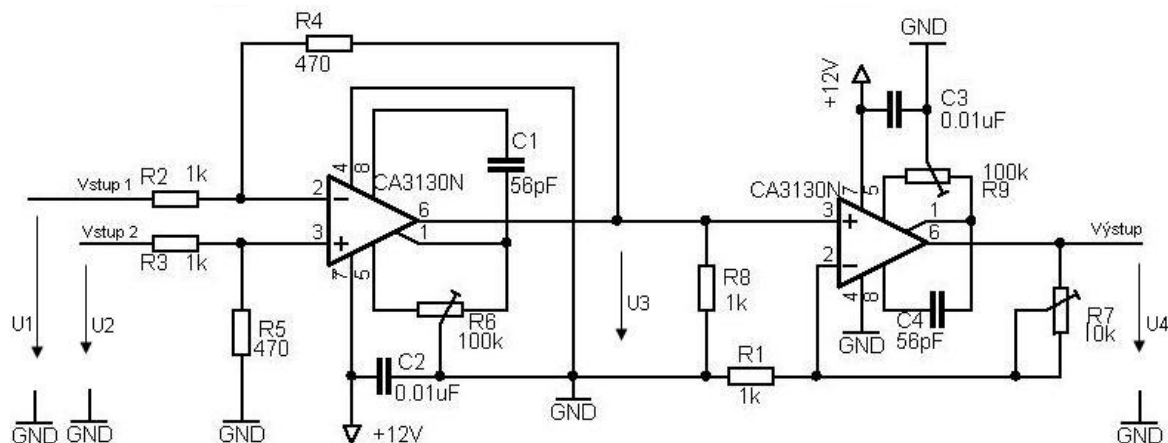
pro neinvertující zesilovač platí

$$U_4 = \left(1 + \frac{R_7}{R_1}\right)U_3. \quad (42)$$

Dosazením (41) do (42) vznikne vztah pro výstupní napětí obvodu

$$U_4 = \left(\frac{R_5}{R_3} + \frac{R_7 R_5}{R_1 R_3}\right)(U_2 - U_1) \quad (43)$$

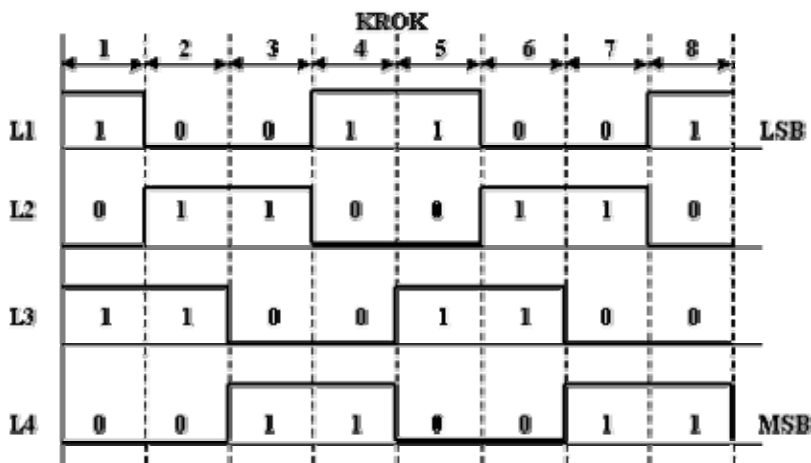
Jako R_7 je v obvodu umístěn trimr, kterým lze nastavit zesílení při ožiování obvodu. Další trim-ry R_6 a R_9 a kondenzátory C_1 a C_4 slouží k nastavení nulových úrovní obou operačních zesilovačů. Napájení zesilovačů je nesymetrické, 12V, blokové kondenzátory C_2 a C_3 .



Obr. 23: Zapojení operačních zesilovačů pro úpravu napětí z PSV metru.

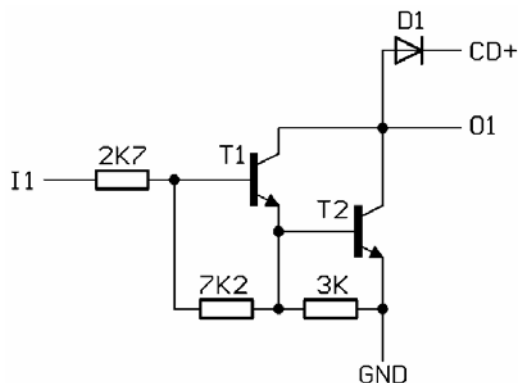
3.2.4 Změna kapacity ladícího kondenzátoru

Ke změně kapacity ladícího kondenzátoru slouží krokový motor a spínací relé. Krokový motor se skládá z permanentního magnetu, který tvoří rotor a několika, většinou čtyř statorových cívek. Metod, jak řídit krokový motor je více. Zde je použito čtyřtaktní bipolární řízení. Buzeny jsou tedy vždy 2 vinutí současně v pořadí podle obrázku 24.

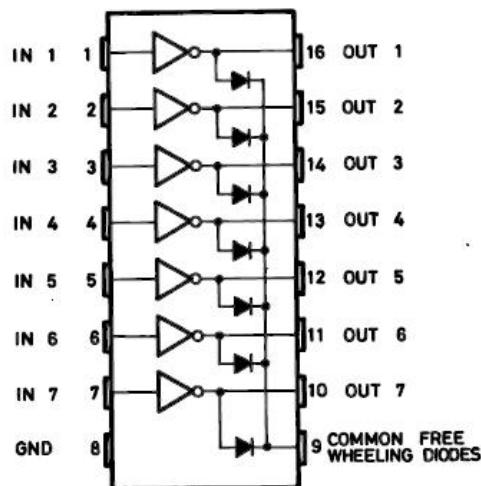


Obr. 24: Buzení cívek $L_{1,2,3,4}$ při bipolárním čtyřtaktním řízení.

K buzení cívek jsou vyhrazeny čtyři nejvyšší bity portu P1 mikroprocesoru. Ty ovládají vstupy integrovaného obvodu ULN2803. Tento obvod obsahuje podle [11] 8 tranzistorů určených ke spínání proudu až 500mA a napětí až 50V. Zátěž může mít indukční charakter, protože obvod obsahuje i ochranné diody pro každý výstup. Schéma zapojení jednoho spínače obvodu je na obr. 25, zapojení vývodů je na obr. 26.

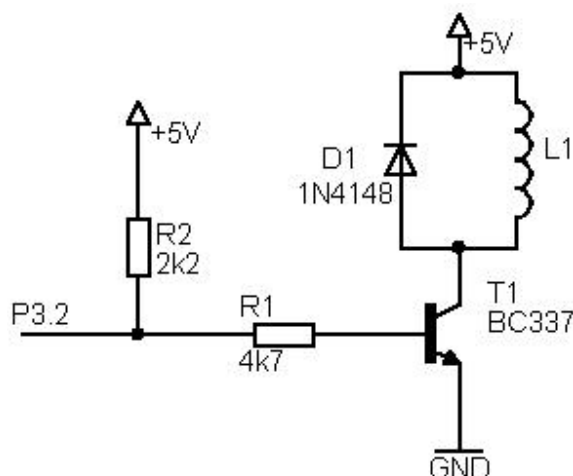


Obr. 25: Schéma zapojení jednoho spínače obvodu ULN2803.



Obr. 26: Vnitřní zapojení obvodu ULN2803.

Spínací relé jsou ovládána piny P3.2 až P3.6 mikroprocesoru. Stejně jako v případě krokového motoru se jedná o induktivní zátěž, k jejich spínání tak nemůže dojít přímo pinem mikroprocesoru. Na rozdíl od cívek motoru je zde použit pro každé relé zvláštní spínací tranzistor, samozřejmě doplněný o ochrannou diodu. Schéma připojení cívky jednoho relé je na obr. 27. Rezistor R2 v tomto zapojení slouží k posílení proudového výstupu pinu mikroprocesoru.

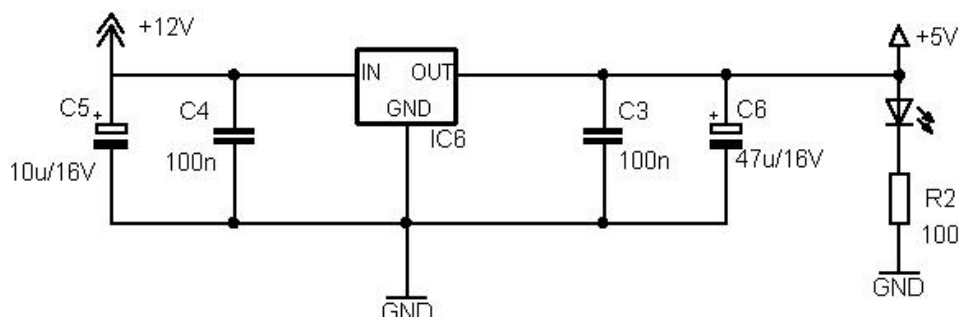


Obr. 27: Obvod spínání cívky relé.

3.2.5 Ostatní části obvodu

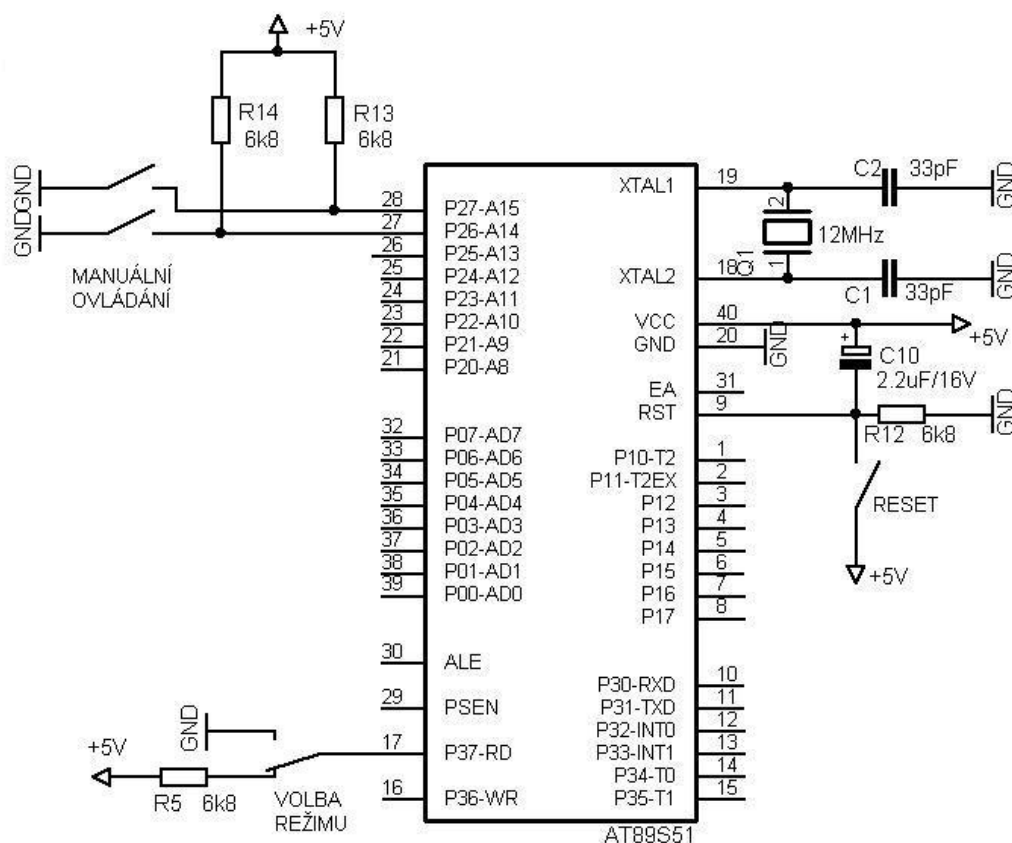
Důležitou součástí zapojení je napájení jednotlivých částí. Vše bylo navrhováno tak, aby bylo pro celé zařízení potřeba pouze jedno napájecí napětí 12V. S tímto napětím pracuje krokový motor, relé a použité operační zesilovače. Pro ostatní je potřeba napájení 5V. To získáme pomocí stabilizátoru napětí 7805. Jeho zapojení použité v obvodu je na obr. 28 (stabilizátor označen jako

IC6), hodnoty součástek jsou voleny s ohledem na [12]. LED v obvodu slouží k indikaci připojeného napájecího napětí.



Obr. 28: Napájení zařízení.

K mikroprocesoru jsou připojeny také tlačítka pro volbu směru otáčení motorku, přepínač režimu manuálního a automatického ladění a krystal jak ukazuje obr. 29. Tlačítka k volbě směru jsou napojeny na piny P2.6 a P2.7. Stiskem tlačítka jsou spínány na GND, jinak je na nich úroveň logické 1, kterou zaručuje napojení na napájecí napětí přes rezistory R13 a R14. Stejně je tomu i u přepínače volby režimu. Ovládání vstupu RST, stejně jako zapojení krystalu k mikroprocesoru je dáno doporučením v [9].



Obr. 29: Připojení ovládacích prvků a krystalu k mikroprocesoru.

Pro sledování krajních poloh ladícího kondenzátoru slouží obvod na obr. 30. S rotorem kondenzátoru je spojena hřídel potenciometru POT_C. Při otáčení kondenzátorem se pak při napájecím napětí $U_{CC} = 5V$ mění napětí na jezdcí potenciometru podle vztahu

$$U_{POT} = 5 \frac{R_A}{R_8 + R_{11}} [V] \quad , \quad (44)$$

kde R_8, R_{11} jsou rezistory podle obr. 30 $[\Omega]$,
 R_A je proměnná část potenciometru podle obr. 30 $[\Omega]$.

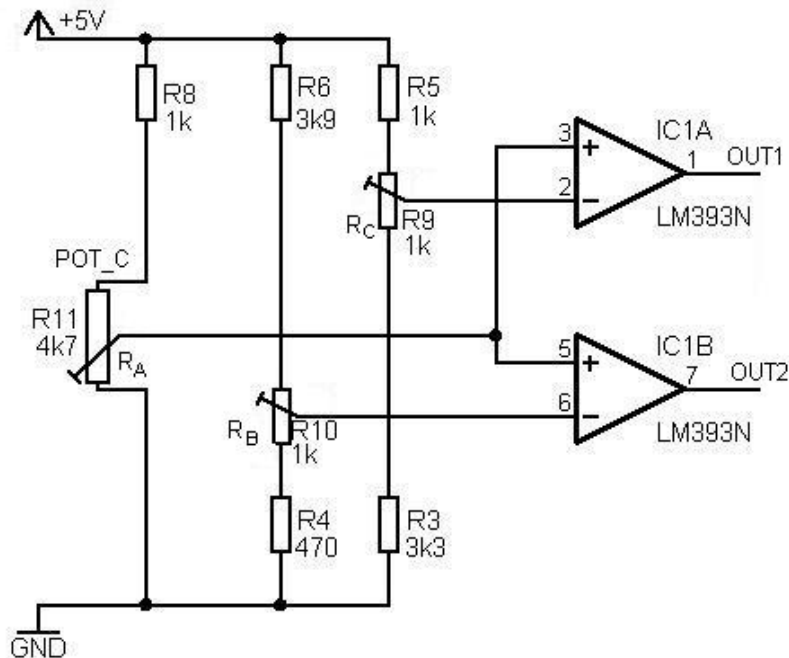
Konkrétně je toto napětí v rozsahu od 0V do 4,1V. Pro první krajní mez potenciometru se toto napětí porovnává s napětím daným nastavením trimru R10. Je-li napětí jezdcí potenciometru větší než napětí na jezdcí trimru R10, objeví se na výstupu komparátoru IC1B log. 1, jinak je na výstupu IC1B log. 0. Obdobně se chová komparátor IC1A, na jehož výstupu je log. 1, pokud je napětí jezdcí potenciometru větší než napětí na jezdcí R9, jinak je na jeho výstupu log. 0. Napětí na jezdcích trimrů R10 a R9 se počítají podle vztahů

$$U_{R10} = 5 \frac{R_4 + R_B}{R_6 + R_4 + R_{10}} [V] \quad (45)$$

a

$$U_{R9} = 5 \frac{R_3 + R_C}{R_3 + R_5 + R_9} [V], \quad (46)$$

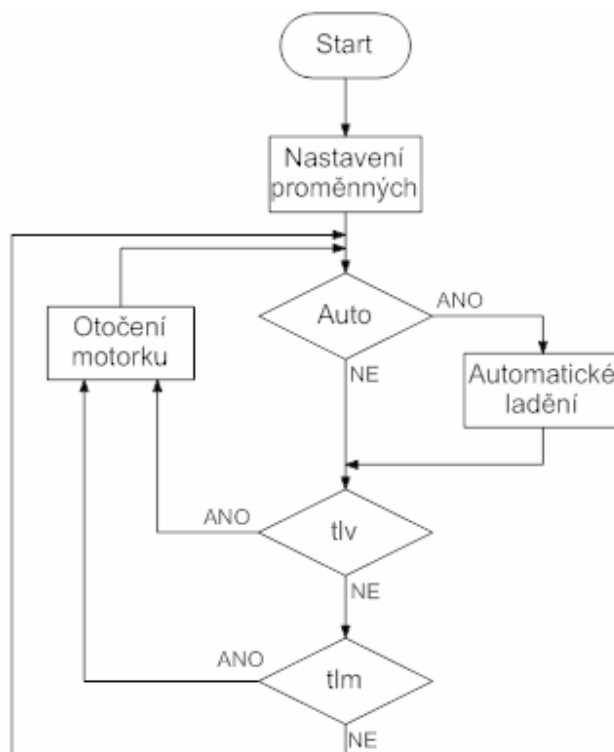
kde R_B a R_C jsou proměnné části trimrů R_9 a R_{10} .



Obr. 30: Obvod pro sledování krajních poloh ladícího kondenzátoru.

3.3 SW část návrhu

Celý obvod ladění antény řídí mikroprocesor. Jak bylo napsané výše, použit byl mikroprocesor AT89S51. Použitý program bude popsán pomocí vývojových diagramů. Hlavní větvení programu je na obr. 31.

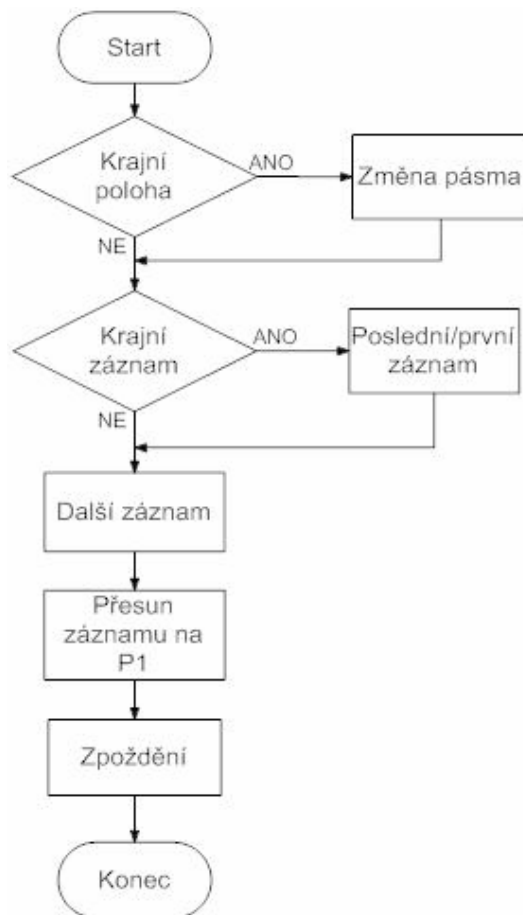


Obr. 31: Větvení hlavního programu (*tlv*-tlačítko pro zvětšení kapacity, *tlm*-tlačítko pro zmenšení kapacity, *auto*-přepínač automatického a ručního ladění) .

Blok nastavení proměnných v obr. 31 zahrnuje nastavení samých nul na portu P1. To proto, že po zapnutí mikroprocesoru je na všech datových vývodech log. 1 a proud by začal procházet všemi vinutími krokového motorku. Stejně tak je nutné nastavit správné hodnoty na pinech ovládajících relé. Dále se provádí načtení adresy, kde se nachází tabulka se stavy motorku a nastavení konstant. Blok *auto* kontroluje, jestli je zapnutý režim automatického, nebo ručního ladění (log. 0 znamená ruční ladění), bloky *tlv* a *tlm* sledují stisk některého z tlačítek ručního ladění.

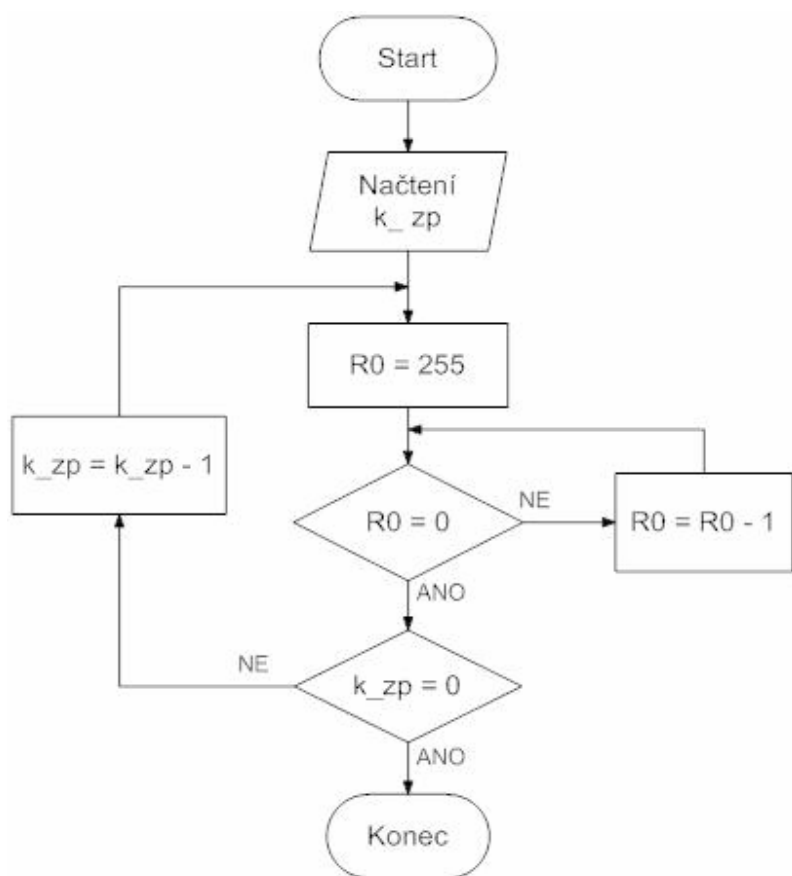
Nejčastěji využívanými částmi programu jsou otočení krokového motorku o jeden krok. Jak je patrné z obrázku 24, při použitém způsobu řízení jsou možné pouze 4 stavy řídicích výstupů portu P1. Tyto stavy jsou uloženy pomocí tabulky v programové paměti mikroprocesoru a to od adresy 300h . Stavy jsou pak pouze vyčítány a přesouvány na port P1. Před každým načtením dalšího stavu se však musí kontrolovat, jestli se nejedná o krajní stav (krajní záznam), nebo jestli se nenachází ladící kondenzátor v krajní poloze. Vývojový diagram vykonání jednoho kroku motorku je na obr. 32. Rozdíl v otočení motorku na jednu nebo druhou stranu je pouze ve směru vyčítání dat z tabulky. Při změně pásma dojde k sepnutí či rozepnutí příslušných relé. Aby se obvod dostal na přibližně stejnou kapacitu jako byla na konci předchozího pásma, musí se také přetočit ladící kondenzátor do druhé krajní polohy. Program je řešený tak, že když se dostane

ladicí obvod na své maximum/minimum, nezastaví se ladění, ale pokračuje od minimální/maximální kapacity. Takto je zajištěno, že se při automatickém ladění prozkoumá celý kapacitní rozsah.



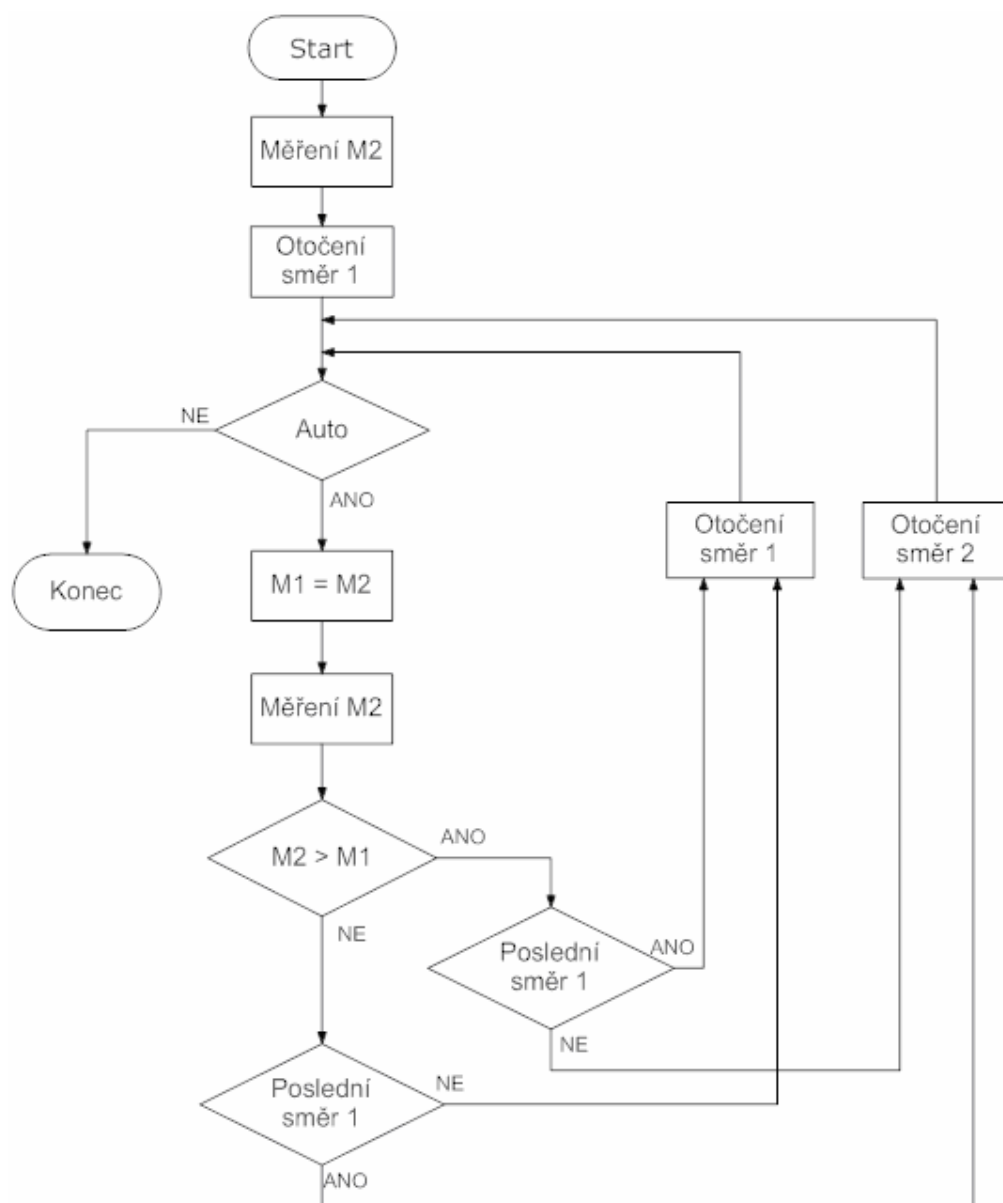
Obr. 32: Vývojový diagram otočení motorku o jeden krok.

Aby se dala softwarově řídit rychlost otáčení motorku, je po vykonání každého kroku motorku volána zpožďovací smyčka. Funkce zpožďovací smyčky je patrná z obr 33. Pro zpoždění je použito konstanty, která se v každém kroku o jedničku zmenší. K tomu slouží u použitého mikroprocesoru příkaz *djnz*. Při taktu krystalu 12MHz trvá vykonání tohoto příkazu 2 μ s. Pro konstantu 255 (FF) by tedy trvala smyčka 510 μ s. To ale nestačí, motorek by se při tomto zpoždění otáčel příliš rychle, proto se opakuje tato smyčka několikrát. Kolikrát se bude opakovat je dáno konstantou uloženou na adrese 37h a před každým voláním zpožďovací smyčky je nutné tuto konstantu nastavit. Tento způsob umožňuje řídit rychlost otáčení v různých fázích programu. Použít se to dá například při změně pásma antény, kdy je potřeba urychlit přetočení ladícího kondenzátoru.



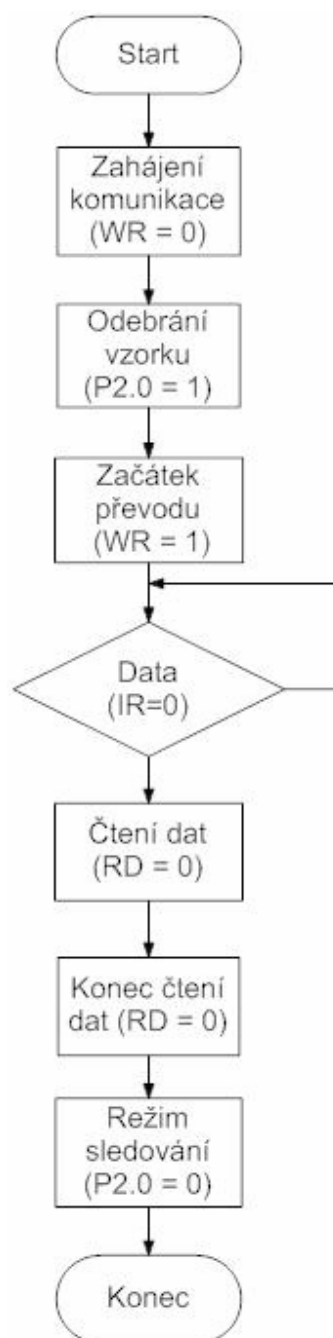
Obr. 33: Vývojový diagram zpoždovací smyčky (k_{zp} – konstanta zpoždění).

Jak bylo napsané výše, obvod automatického ladění by měl reagovat na velikost napětí na vstupu AD převodníku a ladit ho na maximum. To probíhá podle vývojového diagramu na obr. 34. Na začátku automatického ladění se změří vstupní napětí, otočí se motorek, aby došlo ke změně kapacity a opět se změří vstupní napětí. Dále už se vyhodnocuje směr posledního otočení motorku a poslední dvě měřená napětí a podle nich se natáčí krokový motor.



Obr. 34: Vývojový diagram automatického ladění antény (auto – automatický režim ladění).

Bloky měření M1 a M2 na obr. 34 jsou vlastně pouze AD převody rozdílového signálu ze zapojení na obr. 23. Podle zapojení z obr. 18 je potřeba při AD převodu ovládat vzorkovač S&H a AD převodník. Pro řízení vzorkovače slouží pin P2.0 mikroprocesoru. Jestliže je tento pin nastaven na log. 1, je vzorkovač v režimu pamatování, při log. 0 funguje v režimu sledování. Obvod AD převodníku je podle [9] ovládán signály WR, IR a RD. Začátek komunikace je dán nastavením WR na log. 0 a po jeho nastavení zpět na log. 1 je započat vlastní AD převod. Po skončení převodu je nastaven IR na log. 0 a obvod čeká na úroveň log. 0 na vstupu RD. Podle té pozná, že provádíme čtení dat. Po skončení čtení dat je nutné znova nastavit RD a IR na log. 1. Vývojový diagram řízení celého AD převodu je na obr. 35.



Obr. 35: Vývojový diagram ovládání AD převodu.

4. PRAKTICKÁ REALIZACE

4.1 Mechanická konstrukce antény

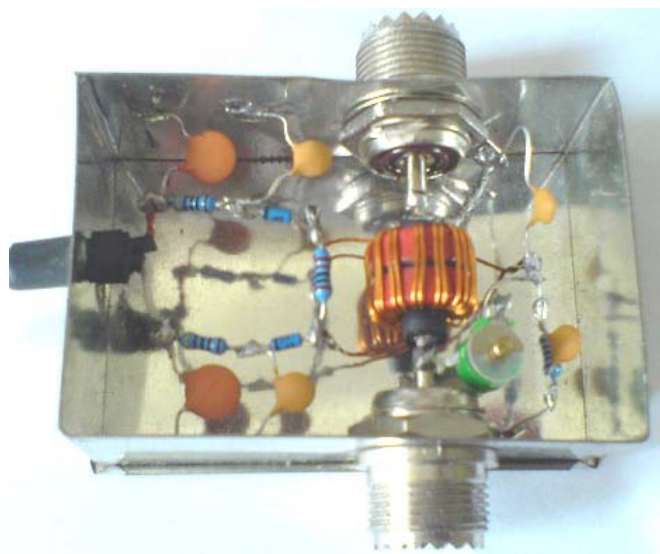
Pro nosnou konstrukci antény bylo potřeba vybrat materiál, který bude odolný povětrnostním podmínkám a zároveň lehce mechanicky opracovatelný. Volba padla na plastové vodovodní trubky prodávané pod označením PPR-PN 16 20x2,8, které jsou lehce dostupné a dostatečně tvárné. Na každou anténu jsou potřeba 4 trubky o délce minimálně 40cm. Ty jsou spojeny do tvaru kříže spojkou k tomu určenou.

S ohledem na výše napsané požadavky na hlavní smyčku byla zvolena jako materiál ke konstrukci smyčky měděná trubka (98% mědi) o průměru 8mm a tloušťce stěny 1mm. Pro obě antény je tato trubka bez spojů, které by zvyšovaly její odpor. Mechanicky je upravena do tvaru kruhu, resp. spirály podle návrhu v kapitole 3.1.1 a připevněna k nosné konstrukci.

Vazební smyčka je vyrobena z koaxiálního kabelu RG213/U podle návrhu v kapitole 3.1.3. Její průměr je 16cm, pro připojení k vysílači je opatřena konektorem PL259/6.

4.2 Ladící obvod

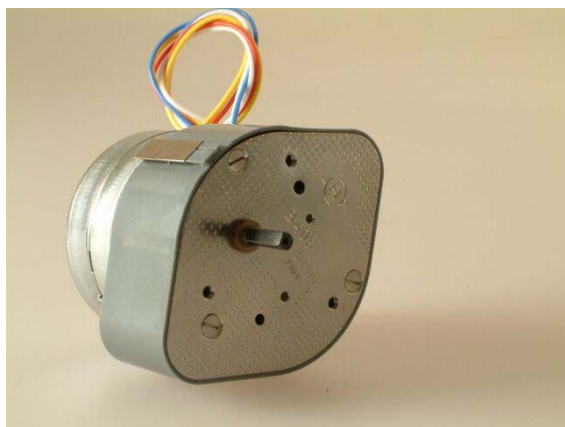
PSV metr je sestaven podle schéma na obr. 17. Základem PSV metru je vedení, které v tomto případě tvoří koaxiální kabel RG6174/U s charakteristickou impedancí 50Ω . Na koaxiálním kabelu jsou nastrčeny 2 spleená červená toroidní jádra. Červená barva jader je zvolena díky frekvencím 2MHz až 30MHz, pro které jsou jádra určena. Na jádrech jsou namotány 2 cívky z měděného lakovaného lanka o průměru 0,5mm. Cívky jsou vinuty bifilárně a mají 14 závitů. Celý obvod PSV metru je dobré umístit do stíněné krabičky, abychom předešli možnému rušení. Zde je použita pocínovaná krabička U-AH101 o rozměrech 67x46x22mm. Vstupní i výstupní konektor PSV metru je PL konektor s označením SO239.



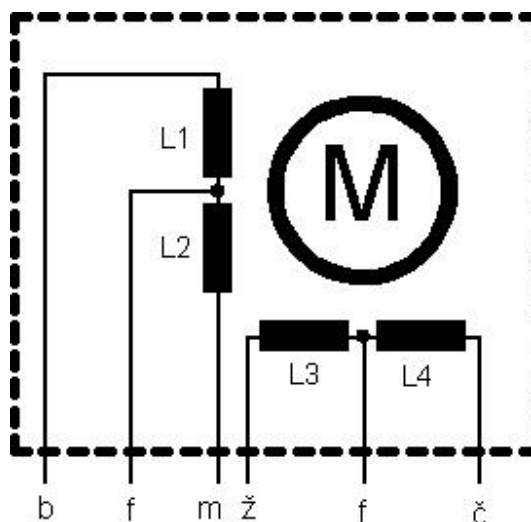
Obr. 36: Konstrukce PSV metru.

Další samostatnou částí ladícího obvodu je DPS (deska plošných spojů), na které je umístěn ladící kondenzátor. Ta obsahuje zapojení ladícího kondenzátoru podle obr. 13, resp. 14, spínací relé a tranzistory použité ke spínání relé. Navíc je na ní umístěn potenciometr sloužící ke zjišťování krajních poloh ladícího kondenzátoru a obvod s komparátory z obr. 30.

Pro natáčení rotoru ladícího kondenzátoru je použit krokový motor s označením SMR300-100-RI/12. Je konstruován na 12V napájecí napětí a opatřen převodovkou 1:60. Výrobce [13] udávaný úhel natočení jednoho kroku při čtyřtaktním řízení je 9° . Díky převodovce se tento úhel zmenší na $0,15^\circ$, což umožňuje velmi přesné natáčení rotoru ladícího kondenzátoru. Vnitřní zapojení vinutí motoru je na obr. 38. V obvodu je zapojen tak, že je napájecí napětí přivedeno přes rezistor $30\Omega/3W$ (R_1 na obr. 39) na oba středy vinutí (fialové vodiče) a obvod ULN2803 ze zapojení na obr. 39 spíná konce vinutí proti zemi.



Obr. 37: Krokový motor s převodovkou.



Obr. 38: Zapojení vinutí krokového motoru a barevné značení vývodů (b-bílá, f-fialová, m-modrá, ž-žlutá, č-červená).

Samostatná je i deska pro úpravu signálu před AD převodem, tedy zapojení z obr. 23. Ostatní části ladícího obvodu jsou na jedné DPS, na které je tedy mikroprocesor, AD převodník, veškeré ovládací prvky, budič vinutí motorku a stabilizátor napětí. Schéma kompletního zapojení na této DPS je na obr. 39.

5. NAMĚŘENÉ HODNOTY

Jedním z hlavních parametrů antén je jejich frekvenční rozsah. V tabulce 8 je srovnání požadovaných parametrů s naměřenými. Zapojení ladících kondenzátorů je podle obr. 13 a 14.

		Anténa1	Anténa2
Požadované frekvence	$f_{\min}$ [MHz]	3	14
	$f_{\max}$ [MHz]	10	28
Naměřené frekvence	$f_{\min}$ [MHz]	3	13,9
	$f_{\max}$ [MHz]	8,5	26

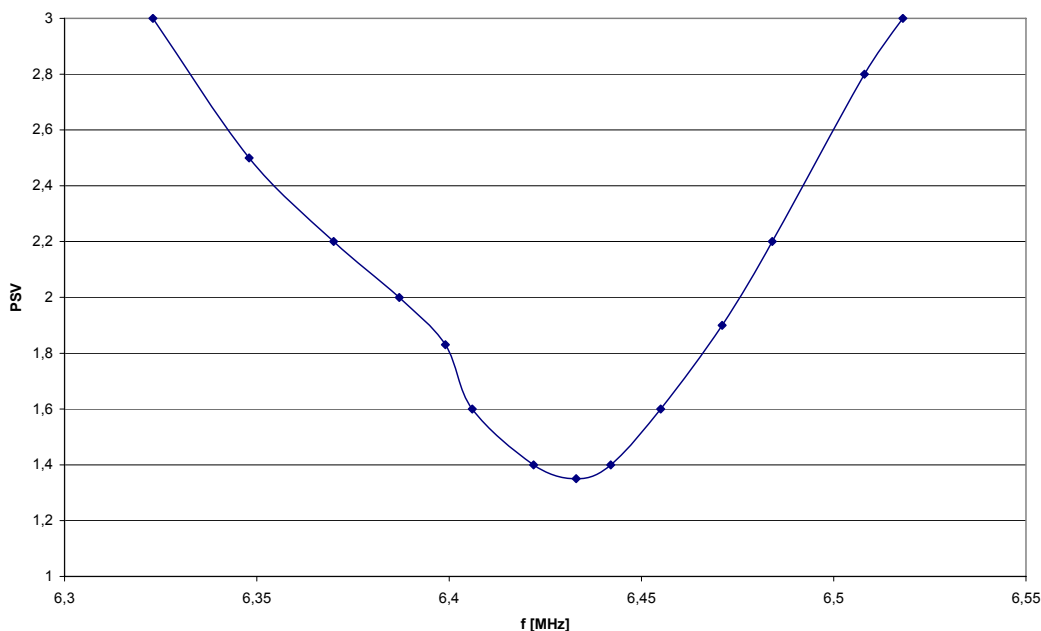
Tab. 8: Srovnání požadovaných a skutečných pracovních frekvencí antén.

Možnost přesného ladění smyčkové antény je ukázána v grafu na obr. 40 se strojeného z hodnot v tabulce 9. Ladící kondenzátor byl při měření ponechán v klidové poloze a v okolí oblasti naladění antény bylo sledováno PSV. Z grafu je vidět, že je pásmo naladění poměrně úzké, pro PSV menší než 2 je to asi 163kHz.

f [MHz]	6,323	6,348	6,37	6,387	6,399	6,406	6,422
PSV	3	2,5	2,2	2	1,83	1,6	1,4

f [MHz]	6,433	6,442	6,455	6,471	6,484	6,508	6,518
PSV	1,35	1,4	1,6	1,9	2,2	2,8	3

Tab. 9: Naměřené hodnoty PSV v oblasti přizpůsobení antény.



Obr. 40: Graf závislosti PSV na frekvenci v oblasti přizpůsobení antény.

6. ZÁVĚR

Tato práce se zabývala anténami typu magnetická smyčka. Jejich největšími přednostmi jsou hlavně malé rozměry a přesné ladění v každém pásmu. Jak ostré je minimum PSV v závislosti na vysílané frekvenci je na obr. 40. Aby bylo možné se na toto minimum naladit, je potřeba přesného nastavení polohy ladícího kondenzátoru.

Ladící kondenzátor bývá většinou konstruován jako otočný se vzduchovým dielektrikem. Pro velké vysílací výkony je potřeba aby byl konstruován na velká napětí. Jestliže není k dispozici kondenzátor na velká napětí, je možné využít principu uvedeného v kapitole 3.1.2, to však s sebou nese některé další komplikace. Ladící kondenzátor je zde zapojen do obvodu společně s několika dalšími kondenzátory. Možný vznik nelinearit při sériovém zapojení kondenzátorů je vyřešen v kapitole 3.1.2. Větší roli zde ale hrají parazitní kapacity, které v obvodu vznikají. Pro obě zde navrhované antény se pohybuje požadovaná kapacita ladícího kondenzátoru pod hranicí 20pF. Bude-li tedy parazitní kapacita nap. 5pF, jde již o značné navýšení celkové kapacity obvodu a také o nezanedbatelnou změnu vyzařovaných frekvencí (9). V návrhu se také nepočítá s parazitní kapacitou připojení DPS k hlavní smyčce antény. Vliv parazitních kapacit se podařilo vyřešit u antény určené pro frekvence 3MHz až 10MHz. U antény pro frekvence 14MHz až 28MHz se jejich vliv nepodařilo zcela odstranit, proto zde není ani uvedena předloha pro tvorbu DPS a zapojení bylo realizováno pouze na univerzální DPS.

Ladící obvod zde byl navrhován tak, aby byl co nejjednodušší a zároveň skýtal dostatek možností pro jeho další rozšíření či úpravu. Rozšíření je možné především větším využitím funkcí mikroprocesoru, například použitím sériového komunikačního rozhraní pro vzdálené ovládání ladění antény. Všechny navrhnuté hardwarové části obvodu jsou funkční. Ne zcela funkční je navrhnutý software automatického ladění. K tomu aby byl funkční je potřeba, aby se ladící kondenzátor neustále doladřoval tak, aby bylo rozdílové napětí z PSV metru maximální. To se neděje a obvod dokáže reagovat pouze na stav, kdy je toto napětí větší než zvolená konstanta. Lepším řešením by tedy bylo počítat pomocí mikroprocesoru skutečné PSV a ladit obvod na hodnotu menší nežli zvolené PSV.

Tato práce kázala základní vlastnosti smyčkových antén a postup jejich návrhu. Jsou zde patrná také některá úskalí návrhu, jako např. existence parazitních kapacit. Není zde řešen vliv magnetického pole v okolí antény na součástky jako je mikroprocesor nebo spínací relé v obvodu ladícího kondenzátoru. Ty by bylo dobré stínit.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DVORSKÝ, M. Magnetická anténa. *Elektrorevue*. Březen 2008. Dostupné na WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/magneticka-antena/>>. ISSN 1213-1539
- [2] ON4CEQ. *Magnetic Loop Antenna's* [online]. 1999. Dostupné na WWW: <http://www.qsl.net/mnqrp/Loop/Mag_Loops.htm>
- [3] AA5TB. *Small Transmitting Loop Antennas* [online]. 2008. Dostupné na WWW: <<http://www.aa5tb.com/loop.html>>
- [4] OK1CJB. *Zkušenosti s magnetickou anténou* [online]. 2006. Dostupné na WWW: <http://ok1cjb.nagano.cz/www/?ant%E9ny:ant%E9ny_KV:magnetick%E1_ant%E9na>
- [5] NOVÁČEK, Z.: *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Elektronické kriptum FEKT VUT Brno. 43s. Brno. 2007.
- [6] OK1CJB. *KV reflektometr 1 až 100 W* [online]. 2006. Dostupné na WWW: <http://ok1cjb.nagano.cz/www/?za%F8%EDzen%ED:m%EC%F8en%ED:m%EC%F8en%ED_KV_SWR>
- [7] ERBEN, J. Amatérské konstrukce kmitočtově nezávislých SWR/PWR metrů pro KV. *Radioamatér*. č.3. 2002. s. 10 až 12. ISSN 1212-9100
- [8] INTERSIL. *ADC0803, ADC0804 datasheet* [online]. Poslední revize 2002-08-01. Dostupný na WWW: <www.datasheetcatalog.org/datasheet/intersil/fn3094.pdf>
- [9] ATMEL CORPORATION. *AT89S51-24PC datasheet* [online]. Poslední revize 2005-03-01. Dostupný na WWW: <www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2487.pdf>
- [10] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *LF198/LF298/LF398 datasheet* [online]. Poslední revize 1994-31-03. Dostupný na WWW: <www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/LF398_2.pdf>
- [11] MOTOROLA. *ULN2803 datasheet* [online]. Poslední revize 2006-02-15. Dostupný na WWW: <www.analog.com.tw/download.asp?Folder=pdf&File=DS-2003-02.pdf>
- [12] ST MICROELECTRONICS. *Positive voltage regulators datasheet* [online]. Poslední revize 2004-11-01. Dostupný na WWW: <www.st.com/stonline/books/pdf/docs/2143.pdf>
- [13] Internetová stránka http://www.regulace.cz/CZ/KM/km_300-100ri.html.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AD	Analogově-digitální
B	Šířka pásma antény [Hz]
ČAP	Číslicově - analogový převodník
d	Průměr vazební smyčky [m]
D	Průměr hlavní smyčky [m]
DPS	Deska plošných spojů
ISP	In-System Programming
l	Délka hlavní smyčky [m]
L	Indukčnost hlavní smyčky [H]
R _r	Vyzařovací odpor [Ω]
S&H	Sample and Hold
SW	Software

PŘÍLOHY

Příloha A, výpis programu mikroprocesoru

```
1  ;*** hlavicka programu ***
2  $MOD51
3  $TITLE(BYTE SIGNED MULTIPLY)
4  $PAGEWIDTH(132)
5  $DEBUG
6  $OBJECT
7  $NOPAGING
8  ;*** vlastní program ***
0000 9      org 00h
0000 020040 10      jmp 40h
00A7 11      tlp      bit P2.7
00A6 12      tll      bit P2.6
00A5 13      AD_WR bit P2.5
00A4 14      AD_IR bit P2.4
00A3 15      AD_RD bit P2.3
00A2 16      pot_max bit P2.2
00A1 17      pot_min bit P2.1
00A0 18      SaH      bit P2.0
00B7 19      mode     bit P3.7
0034 20      psv_1     equ 34h
0035 21      psv_2     equ 35h
0037 22      kzpoz     equ 37h
0020 23      smer      bit 36.0h
00B6 24      rele_1    bit P3.6
00B5 25      rele_2    bit P3.5
00B2 26      mimor     bit P3.2
0038 27      pasmo     equ 38h
28  ;*** hlavni program ***
0040 29      org 40h
0040 759000 30      mov P1, #00h
0043 C2B6 31      clr rele_1
0045 C2B5 32      clr rele_2
0047 753801 33      mov pasmo, #01h
004A C2B2 34      clr mimor
004C 900300 35      mov DPTR, #stavy
004F 7900 36      mov R1, #00h
0051 753710 37      mov kzpoz, #00010000b
0054 30B756 38      jnb mode, tlac
39  ;*** automaticke ladeni ***
0057 12010E 40      auto: call mereni
005A 8B35 41      mov psv_2, R3
005C 1200C8 42      call prava
```

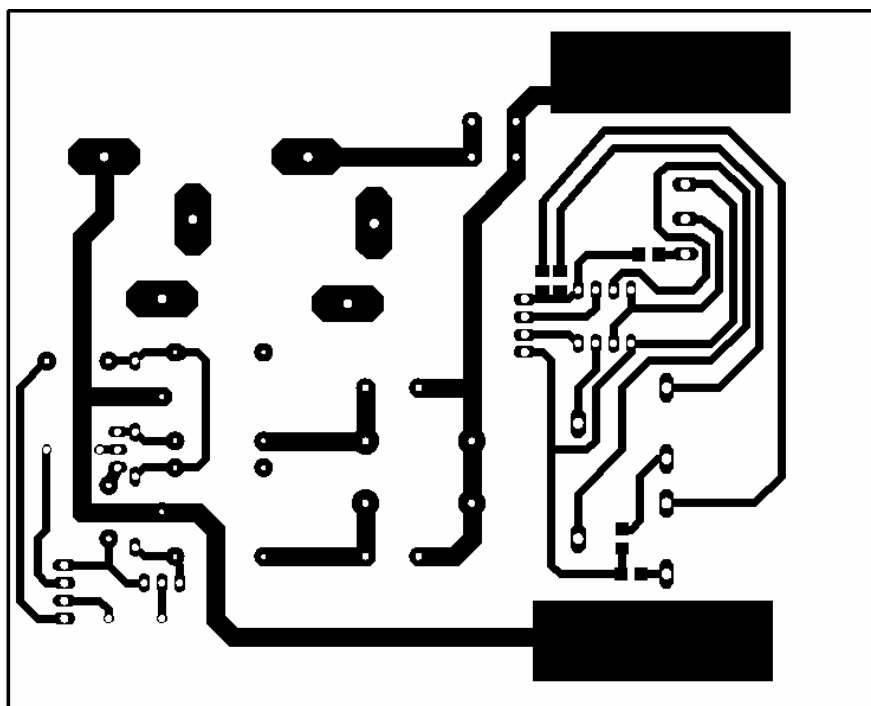
005F D220	43		setb smer
0061 30B749	44	dalsi:	jnb mode, tlac
0064 E535	45		mov a, psv_2
0066 F534	46		mov psv_1, a
0068 12010E	47		call mereni
006B 8B35	48		mov psv_2, R3
006D E535	49		mov a,PSV_2
006F 9534	50		subb a, psv_1
0071 5002	51		jnc minus
0073 4009	52		jc plus
0075 202003	53	minus:	jb smer,smera
0078 02009A	54		jmp mensi
007B 020087	55	smera:	jmp vetsi
007E 302003	56	plus:	jnb smer, smerb
0081 02009A	57		jmp mensi
0084 020087	58	smerb:	jmp vetsi
0087 1200EB	59	vetsi:	call leva
008A 1200EB	60		call leva
008D 1200EB	61		call leva
0090 1200EB	62		call leva
0093 12012E	63		call zpozd
0096 C220	64		clr smer
0098 80C7	65		jmp dalsi
009A 1200C8	66	mensi:	call prava
009D 1200C8	67		call prava
00A0 1200C8	68		call prava
00A3 1200C8	69		call prava
00A6 12012E	70		call zpozd
00A9 D220	71		setb smer
00AB 80B4	72		jmp dalsi
	73		*** ovladani tlacitky ***
00AD 30A708	74	tlac:	jnb tlp, prav
00B0 30A60D	75		jnb tll, lev
00B3 20B7A1	76		jb mode, auto
00B6 80F5	77		jmp tlac
00B8 1200C8	78	prav:	call prava
00BB 20B799	79		jb mode, auto
00BE 80ED	80		jmp tlac
00C0 1200EB	81	lev:	call leva
00C3 20B791	82		jb mode, auto
00C6 80E5	83		jmp tlac
	84		*** otoceni doprava ***
00C8	85	prava:	*** test polohy potenciometru ***
00C8 30A103	86		jnb pot_min, pokrp
00CB 120144	87		call n_pasm
	88		*** konec testu polohy potenciometru ***
00CE C0E0	89	pokrp:	push acc

00D0 C0D0	90	push psw
00D2 C0F0	91	push b
00D4 B90302	92	cjne R1, #03h, delej
00D7 79FF	93	mov R1, #11111111b
00D9 09	94	delej: inc R1
00DA E9	95	mov A, R1
00DB 93	96	movc A, @A+DPTR
00DC F590	97	mov P1, A
00DE 12012E	98	call zpozd
00E1 759000	99	mov P1, #00h
00E4 D0E0	100	pop acc
00E6 D0D0	101	pop psw
00E8 D0F0	102	pop b
00EA 22	103	ret
	104	;*** otoceni doleva ****
00EB	105	leva: ;*** test polohy potenciometru ***
00EB 20A203	106	jb pot_max, pokrl
00EE 12017F	107	call v_pasm
	108	;*** konec testu polohy potenciometru ***
00F1 C0E0	109	pokrl: push acc
00F3 C0D0	110	push psw
00F5 C0F0	111	push b
00F7 B90002	112	cjne R1, #00h, delej1
00FA 7904	113	mov R1, #04h
00FC 19	114	delej1: dec R1
00FD E9	115	mov A, R1
00FE 93	116	movc A, @A+DPTR
00FF F590	117	mov P1, A
0101 12012E	118	call zpozd
0104 759000	119	mov P1, #00h
0107 D0E0	120	pop acc
0109 D0D0	121	pop psw
010B D0F0	122	pop b
010D 22	123	ret
	124	;*** Mereni PSV ***
	125	; zmerene PSV je ulozeno do registru R3
010E C0E0	126	mereni: push acc
0110 C0D0	127	push psw
0112 C0F0	128	push b
0114 C2A5	129	clr AD_WR
0116 D2A0	130	setb SaH
0118 D2A5	131	setb AD_WR
011A 20A4FD	132	jb AD_IR, \$
011D C2A3	133	clr AD_RD
011F AB80	134	mov R3, P0
0121 D2A3	135	setb AD_RD
0123 D2A4	136	setb AD_IR

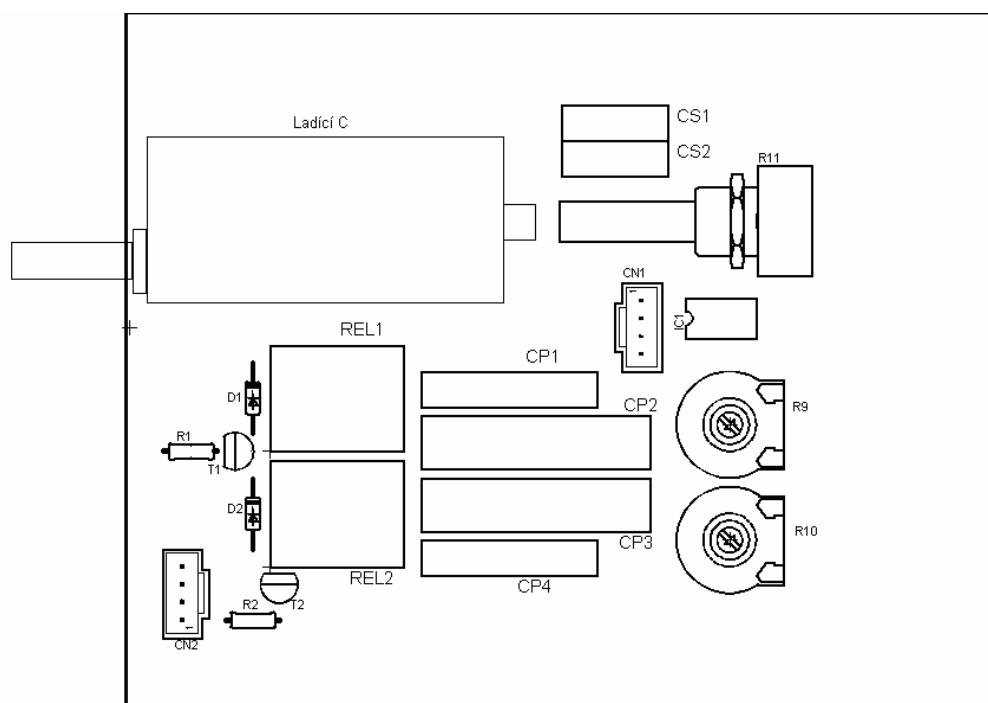
0125 C2A0	137	clr SaH
0127 D0E0	138	pop acc
0129 D0D0	139	pop psw
012B D0F0	140	pop b
012D 22	141	ret
	142	;*** zpozdeni pri otaceni ***
012E C0E0	143	zpozd: push acc
0130 C0D0	144	push psw
0132 C0F0	145	push b
0134 AA37	146	mov R2, kzpozd
0136 78FF	147	vice: mov R0,#11111111b
0138 D8FE	148	djnz R0,\$
013A DAFA	149	djnz R2, vice
013C 00	150	nop
013D D0E0	151	pop acc
013F D0D0	152	pop psw
0141 D0F0	153	pop b
0143 22	154	ret
	155	;*** zmena rozsahu na mensi ***
0144 75370C	156	n_pasm:mov kzpozd, #00001100b
0147 C3	157	clr c
0148 7401	158	mov a,#01h
014A 9538	159	subb a, pasmo
014C 5020	160	jnc mpas_3
014E C3	161	clr c
014F 7402	162	mov a,#02h
0151 9538	163	subb a, pasmo
0153 5003	164	jnc mpas_1
0155 020163	165	jmp mpas_2
0158 C2B6	166	mpas_1:clr rele_1
015A C2B5	167	clr rele_2
015C 753801	168	mov pasmo, #01h
015F C3	169	clr c
0160 020176	170	jmp opetl
0163 D2B6	171	mpas_2:setb rele_1
0165 C2B5	172	clr rele_2
0167 753802	173	mov pasmo, #02h
016A C3	174	clr c
016B 020176	175	jmp opetl
016E D2B6	176	mpas_3:setb rele_1
0170 D2B5	177	setb rele_2
0172 753803	178	mov pasmo, #03h
0175 C3	179	clr c
0176 11F1	180	opetl: call pokrl
0178 20A2FB	181	jb pot_max, opetl
017B 753710	182	mov kzpozd, #00010000b
017E 22	183	ret

	184	;*** zmena rozsahu na vetsi ***
017F 75370C	185	v_pasm:mov kzpoz, #00001100b
0182 C3	186	clr c
0183 7401	187	mov a, #01h
0185 9538	188	subb a, pasmo
0187 5019	189	jnc vpas_2
0189 C3	190	clr c
018A 7402	191	mov a, #02h
018C 9538	192	subb a, pasmo
018E 501D	193	jnc vpas_3
0190 C3	194	clr c
0191 7403	195	mov a, #03h
0193 9538	196	subb a, pasmo
0195 5000	197	jnc vpas_1
0197 C2B6	198	vpas_1: clr rele_1
0199 C2B5	199	clr rele_2
019B 753801	200	mov pasmo, #01h
019E C3	201	clr c
019F 0201B5	202	jmp opetp
01A2 D2B6	203	vpas_2: setb rele_1
01A4 C2B5	204	clr rele_2
01A6 753802	205	mov pasmo, #02h
01A9 C3	206	clr c
01AA 0201B5	207	jmp opetp
01AD D2B6	208	vpas_3: setb rele_1
01AF D2B5	209	setb rele_2
01B1 753803	210	mov pasmo, #03h
01B4 C3	211	clr c
01B5 11CE	212	opetp: call pokrp
01B7 30A1FB	213	jnb pot_min, opetp
01BA 753710	214	mov kzpoz, #00010000b
01BD 22	215	ret
	216	;*** Tabulka stavu motorku****
0300	217	org 300h
0300 50	218	stavy: DB 01010000b
0301 90	219	DB 10010000b
0302 A0	220	DB 10100000b
0303 60	221	DB 01100000b
	222	end

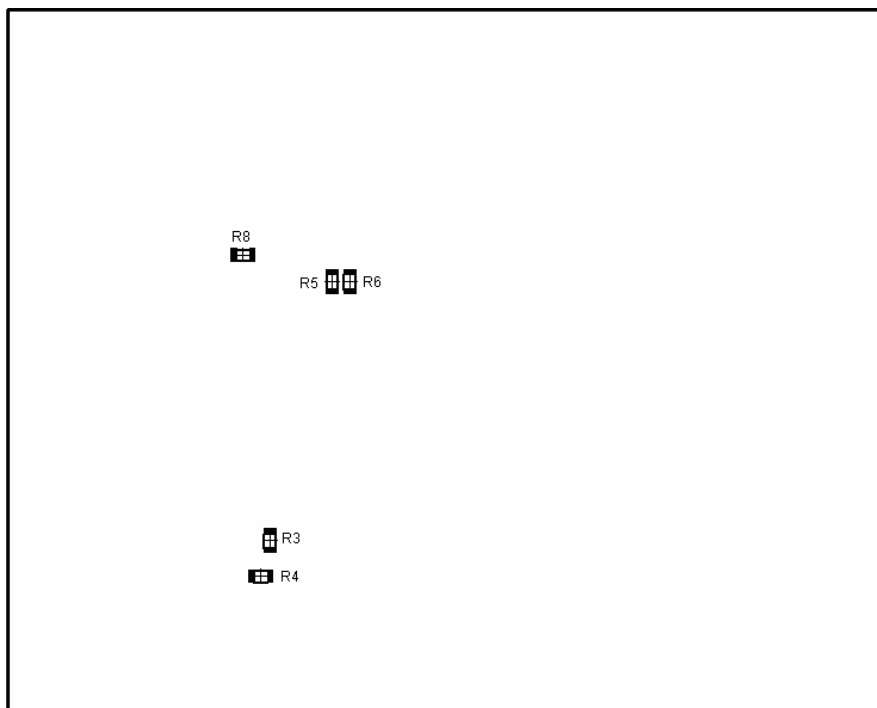
Příloha B, podklady pro tvorbu DPS



DPS ladicích kondenzátorů, spoje.



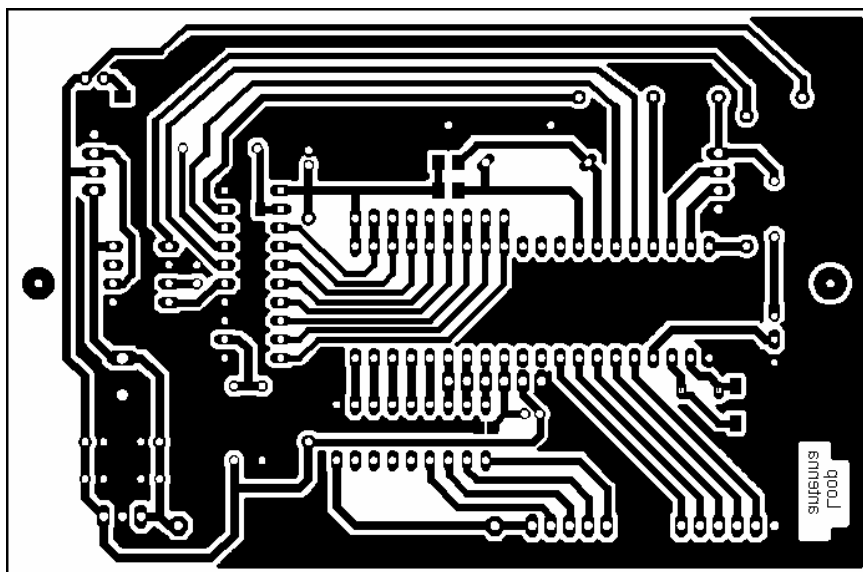
DPS ladicích kondenzátorů, osazovací výkres, strana součástek.



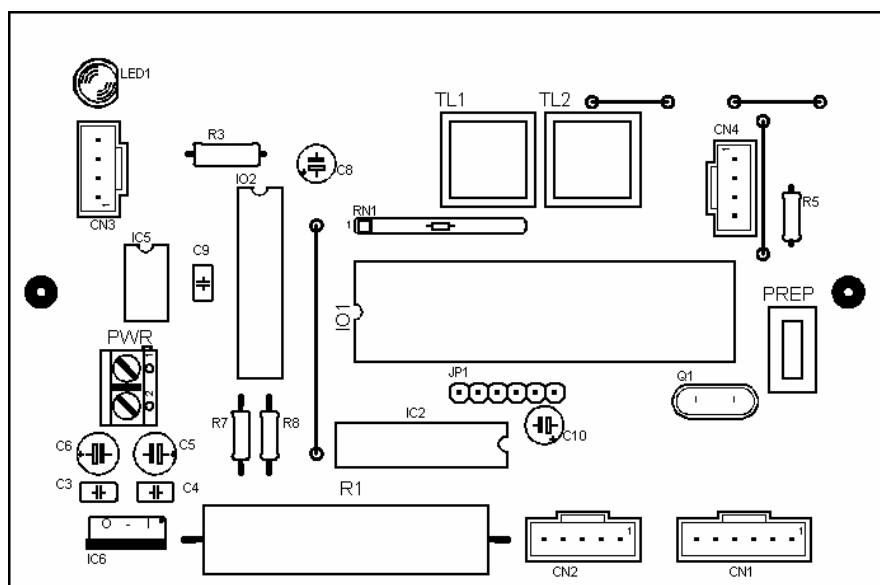
DPS ladících kondenzátorů, osazovací výkres, strana spojů.

Rozpiska součástek desky ladících kondenzátorů

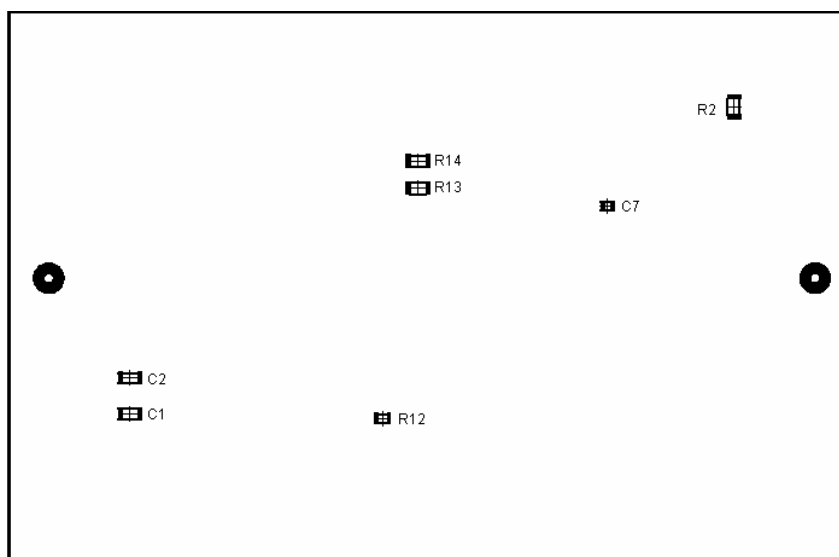
označení	popis	Hodnota
R1,R2	rezistor	4k7
R3	rezistor	3k3
R4	rezistor	470
R5	rezistor	1k
R6	rezistor	3k3
R8	rezistor	1k
R9,R10	trimr	1k/lin
R11	potenciometr	4k7/lin
CS1,CS2	kondenzátor trubičkový	330pF/2kV
CP1	kondenzátor trubičkový	47pF/3kV
CP2,CP3	kondenzátor trubičkový	33pF/3kV
CP4	kondenzátor trubičkový	47pF/3kV
D1,D2	dioda	1N4148
T1,T2	tranzistor	BC337
REL1,REL2	relé	RM50-1CO-12V
CN1,CN2	konektor	PSH02-04W



DPS řídicí elektroniky, spoje.



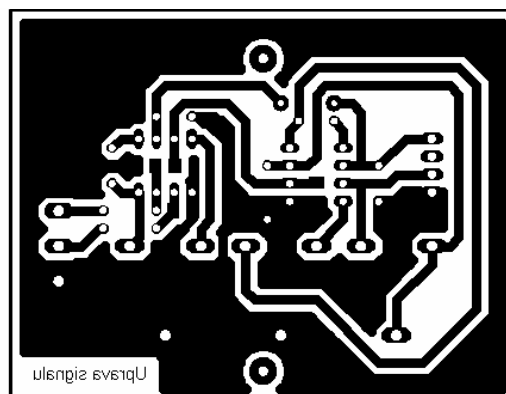
DPS řídicí elektroniky, osazovací výkres, strana součástek.



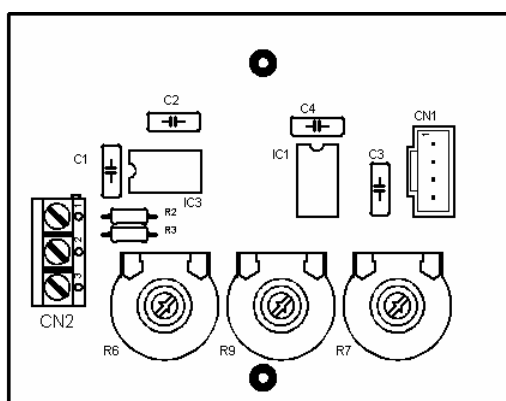
DPS řídící elektroniky, osazovací výkres, strana součástek.

Rozpiska součástek desky řídící elektroniky

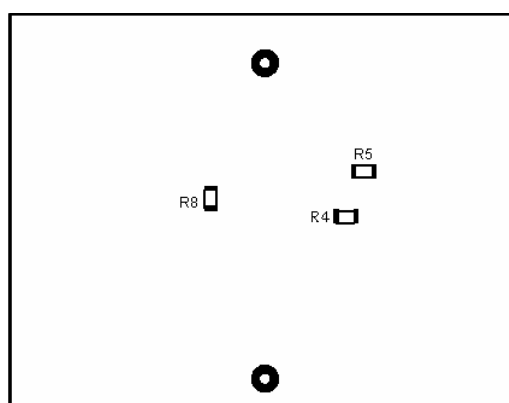
označení	popis	Hodnota
R1	Rezistor	30R/3W
R2	Rezistor	100R
R3	Rezistor	10k
R5	Rezistor	6k8
R7,R8	Rezistor	2k2
R12,R13,R14	Rezistor	6k8
RN1	rezistorová síť	8x220R
C1,C2	kondenzátor keramický	33pF
C3,C4	kondenzátor keramický	100n
C5,C6	kondenzátor elektrolytický	47uF/16V
C7	kondenzátor keramický	150pF
C9	kondenzátor keramický	10nF
C10	kondenzátor elektrolytický	2,2uF/16V
IO1	Mikroprocesor	AT89S51
IO2	AD převodník	ADC0803
IC2	budič vinutí motorku	ULN2803
IC5	obvod S&H	IL300
IC6	Stabilizátor	7805
PWR	Svorkovnice	AK500/2
LED1	LED dioda	Zelená
CN1	Konektor	PSH02-06
CN2	Konektor	PSH02-05
CN3,CN4	Konektor	PSH02-04
PREP	Přepínač	



DPS úpravy napětí z PSV metru, spoje.



DPS úpravy napětí z PSV, osazovací výkres, strana součástek.



DPS úpravy napětí z PSV, osazovací výkres, strana spojů.

Rozpiska součástek desky řídicí elektroniky

označení	popis	hodnota
R1,R2,R3	Rezistor	1k
R4,R5	Rezistor	470R
R6	Trimr	100k/lin
R7	Trimr	10k/lin
R8	Rezistor	1k
R9	Trimr	100k/lin
C1	kondenzátor	56pF
C2,C3	kondenzátor	10n
C4	kondenzátor	56pF
IC1,IC2	operační zesilovač	CA3130
CN1	Konektor	PSH02-04
CN2	Konektor	AK500/3