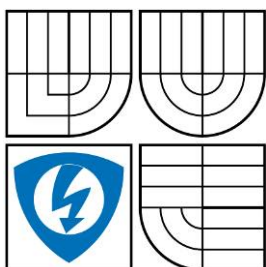


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **AUTOMATICKÝ ANTÉNNÍ TUNER**

AUTOMATIC ANTENNA TUNER

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. Jaroslav Šváb**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.**

BRNO, 2007

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Jaroslav Šváb  
Bytem: Mrštíkova 503, Říčany, 664 82  
Narozen/a (datum a místo): 12.4.1983, Brno  
(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: Automatický anténní tuner  
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.  
Ústav: Radioelektroniky  
Datum obhajoby VŠKP: 11.6.2008

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- 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 zpracování 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: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

# **Automatický anténní tuner**

## **Diplomová práce**

**Studijní obor:** Elektronika a sdělovací technika

**Jméno studenta:** Bc. Jaroslav ŠVÁB

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

### **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací automatického anténního tuneru pro KV vysílače. Přístroj pracuje v rozsahu KV v pásmu (1,5 MHz - 30 MHz) podle výběru dané frekvence. Princip spočívá v tom, že tuner má nevelký rozsah přizpůsobovaných impedancí, obvykle však postačí k doladění většiny odchylek v soustavě 50 Ω anténa - 50 Ω napáječ - 50 Ω výstup transceiveru. Dále má i paměti, do nichž se ukládají nastavení pro jednotlivá pásma či kmitočtové segmenty. Přechod z pásma na pásmo je pak rychlý, pohodlný, a hlavně bezpečný, což je velkou výhodou. Při automatickém režimu lze nastavit hranici SWR, od které má tuner začít ladění. Při plně automatickém režimu není nutné propojení s TRXem, přístroj ladí automaticky po zaklíčování, pokud je překročena nastavená hranice SWR. Automatické ladění je u tohoto přístroje velmi rychlé, pokud není laděná anténa uložena v paměti, trvá ladění cca 0.5 - 6s, pokud tuner ladí z paměti.

Práce s tunerem je dalo by se říci bezproblémová, ovládání lze zvládnout velmi rychle. Tuner je malý a lehký.

Výsledkem celého projektu je kompaktní přístroj ovládaný tlačítky od uživatele.

### **Klíčová slova**

Automatický anténní tuner, impedance, anténa, napáječ, transceiver, paměti, pásma, kmitočtové segmenty, SWR, automatické ladění

# **Automatic Antenna Tuner**

## **Master's Thesis**

**Specialization:**                      **Electronics and Communication**

**Student:**                                **Bc. Jaroslav ŠVÁB**

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

### **Abstract**

This degree work deals with the design and implementation of an automatic antenna tuner for short-wave transmitters. The device works within the short-wave range in (1.5 MHz - 30 MHz) band according to the selection of the given frequency. Its principle is that the tuner has a small range of adapted impedances, but it is usually sufficient for fine tuning of most deviations in the system of antenna 50  $\Omega$  - feeder 50  $\Omega$  – transceiver outlet 50  $\Omega$ . It is also equipped with memories which the settings for the individual bands or frequency segments are stored into. Then the transition from one band to another is quick, easy and, first of all, safe, which is a great advantage. In automatic mode, a SWR limit from which the tuner should start to tune can be set. Interconnection with a TRX is not necessary in a fully automatic mode, the device tunes automatically after keying if the set limit of SWR has been exceeded. The automatic tuning is very quick with this device, if the antenna being tuned is not stored in the memory the tuning lasts ca 0.5 - 6 s, if the tuner uses the memory.

It could be said that the work with the tuner is without problems, it is possible to learn to control it in a short time. The tuner is small and light.

The result of the whole project is a compact device controlled by the user by means of push buttons.

### **Key Words**

Automatic antenna tuner, impedance, antenna, feeder, transceiver, memories, bands, frequency segments, SWR, automatic tuning

## **Bibliografická citace:**

ŠVÁB, J. *Automatický anténní tuner*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. 66 stran. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Automatický anténní tuner“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne .....

.....  
Jaroslav Šváb

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

.....  
Jaroslav Šváb

# Obsah:

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Parametry tuneru.....</b>	<b>12</b>
2.1	<i>Délka napájecího vedení .....</i>	<i>12</i>
2.2	<i>Čemu se vyhnout a čemu věnovat pozornost .....</i>	<i>12</i>
2.3	<i>Způsobené ztráty tunerů .....</i>	<i>13</i>
2.4	<i>Přizpůsobování impedancí .....</i>	<i>13</i>
2.5	<i>Činitel stojatých vln.....</i>	<i>20</i>
<b>3</b>	<b>Kmitočtově nezávislé PSV metry pro KV – 1.....</b>	<b>21</b>
3.1	<i>Co lze očekávat od PSV metru.....</i>	<i>21</i>
3.2	<i>Jak se měří PSV.....</i>	<i>21</i>
3.3	<i>Přehled používaných kmitočtově nezávislých PSV metrů.....</i>	<i>23</i>
3.4	<i>Citlivost PSV metru .....</i>	<i>25</i>
3.5	<i>Pravidlo čtyřnásobku a pravidlo 0,1 <math>\lambda</math> .....</i>	<i>26</i>
3.6	<i>Kompenzace chyb PSV metrů.....</i>	<i>27</i>
3.7	<i>Obvod potenciometru .....</i>	<i>29</i>
3.8	<i>Citlivost měřicího přístroje.....</i>	<i>30</i>
3.9	<i>Porovnání SWR metrů .....</i>	<i>31</i>
3.10	<i>Vyhodnocení .....</i>	<i>31</i>
<b>4</b>	<b>Čítač 30 MHz.....</b>	<b>33</b>
4.1	<i>Základní technické parametry .....</i>	<i>33</i>
4.2	<i>Popis zapojení .....</i>	<i>33</i>
<b>5</b>	<b>Přizpůsobovací články .....</b>	<b>35</b>
5.1	<i>Rozdělení přizpůsobovacích článků.....</i>	<i>35</i>
5.1.1	<i>L články .....</i>	<i>35</i>
5.1.2	<i>T články .....</i>	<i>37</i>
5.1.3	<i><math>\pi</math> články .....</i>	<i>37</i>
<b>6</b>	<b>Přizpůsobovací L článek.....</b>	<b>38</b>
6.1	<i>Zapojení L článku – 1. varianta .....</i>	<i>38</i>
6.2	<i>Zapojení L článku – 2. varianta .....</i>	<i>40</i>
<b>7</b>	<b>Automatický anténní tuner .....</b>	<b>43</b>
7.1	<i>Návrh a blokový popis .....</i>	<i>43</i>
7.2	<i>Manipulace s tunerem .....</i>	<i>43</i>
<b>8</b>	<b>Vyhodnocovací obvody .....</b>	<b>44</b>
8.1	<i>Mikrokontrolér ATmega16-16AU .....</i>	<i>44</i>
8.2	<i>Alfanumerický displej MC0802A-SYL/H.....</i>	<i>45</i>
<b>9</b>	<b>Programovací obvody .....</b>	<b>48</b>
9.1	<i>ISP programování .....</i>	<i>48</i>
9.2	<i>Integrovaný ISP programátor .....</i>	<i>49</i>
<b>10</b>	<b>Mechanická konstrukce tuneru .....</b>	<b>50</b>
10.1	<i>Návrh desky plošných spojů .....</i>	<i>50</i>
10.2	<i>Návrh desky plošných spojů řídicí části.....</i>	<i>50</i>
<b>11</b>	<b>Vývoj softwarového vybavení tuneru.....</b>	<b>51</b>
11.1	<i>Programování AVR mikrokontroléru .....</i>	<i>51</i>
<b>12</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>13</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>53</b>
<b>14</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>54</b>



## Seznam obrázků:

<i>Obr. 2.1 Smithův diagram.</i>	14
<i>Obr. 2.2 Vynesené body představující správný L článek.</i>	16
<i>Obr. 2.3 Určení bodu č.1 na Smithově diagramu.</i>	17
<i>Obr. 2.4 Určení bodu č.2 na Smithově diagramu.</i>	18
<i>Obr. 2.5 Vypočítané ideální hodnoty pro přizpůsobení antény.</i>	19
<i>Obr. 3.1 Stupnice jednotoridního PSV metru 1W – 200W.</i>	22
<i>Obr. 3.2 Stupnice PSV metru 1W – 2 kW.</i>	22
<i>Obr. 3.3 Používané typy kmitočtově nezávislých PSV metrů 1,8 MHz – 28 MHz.</i>	24
<i>Obr. 3.4 Kompenzace chyb PSV metrů pomocí odporu R1.</i>	25
<i>Obr. 3.5 Zhoršení PSV doutoroidním PSV metrem směrem k TCVRu.</i>	27
<i>Obr. 3.6 PSV metr pro 3kW pro PA.</i>	28
<i>Obr. 3.7 Obvody potenciometru.</i>	30
<i>Obr. 4.1 Schéma zapojení čítače.</i>	34
<i>Obr. 5.1 Zapojení L článku – horní zádrž: 1. varianta.</i>	36
<i>Obr. 5.2 Zapojení L článku – horní zádrž: 2. varianta.</i>	36
<i>Obr. 5.3 Zapojení L článku – dolní zádrž: 1. varianta.</i>	36
<i>Obr. 5.4 Zapojení L článku – dolní zádrž: 2. varianta.</i>	36
<i>Obr. 5.5 Zapojení T článku.</i>	37
<i>Obr. 5.6 Zapojení <math>\pi</math> článku.</i>	37
<i>Obr. 6.1 Zapojení L článku – 1. varianta.</i>	38
<i>Obr. 6.2 Zapojení L článku – 2. varianta.</i>	40
<i>Obr. 8.1 Základní zapojení procesoru ATmega16-16AU.</i>	45
<i>Obr. 8.2 Barevný alfanumerický displej MC0802A-SYL/H.</i>	45
<i>Obr. 8.3 Blokové schéma alfanumerického displeje MC0802A-SYL/H.</i>	46
<i>Obr. 8.4 Napájení alfanumerického displeje MC0802A-SYL/H.</i>	46
<i>Obr. 9.1 Aplikační rozhraní pro ISP programování CodeVisionAVR.</i>	48
<i>Obr. 9.2 Programovací obvod.</i>	49
<i>Obr. 11.1 Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér.</i>	51

## Seznam tabulek:

<i>Tab. 2.1 Hodnota odraženého výkonu v závislosti na ČSV.</i>	20
<i>Tab. 3.1 PSV na umělé zátěži při <math>U_f = 9V</math> u dvoutoroidního PSV metru 200W u jednotoroidního QRPP PSV metru 100 W.</i>	31
<i>Tab. 3.2 PSV na umělé zátěži při <math>P = 200W</math> SWR metrů 200W, 2kW, 3kW.</i>	31
<i>Tab. 9.1 Nastavení požadované funkce obvodu pomocí přepínačů.</i>	49

# 1 Úvod

Anténní tuner může být manuální nebo plně automatický, symetrický nebo nesymetrický, pro QRP provoz nebo schopný pracovat s maximálním povoleným výkonem. Může to být jen kondenzátor, zapojený do série s anténou nebo L článek. Může to být dosti oblíbený T článek nebo méně oblíbený, ale velmi účinný  $\pi$  článek. Některé složitější tunery vyladí obě reaktance, jak kapacitní tak i induktivní, a mohou být zapojeny podle požadavků.

Z technického hlediska jsou anténní tunery definovány jako část napájecího vedení, ať už jako fyzické části napáječů nebo soustředěné obvody z kapacit nebo indukčností. Nejdůležitější je, že musí být umístěny přímo u antény, aby tato definice platila. Ve skutečnosti, při pokusu umístit tuner od antény dál než velmi malý zlomek délky vlny, se už nejedná o anténní tuner.

Takže skříňka, obvykle se dvěma nebo třemi knoflíky, kterými se může kroutit, nebo v poslední době plně automatický tuner, umístěný přímo za transceiverem, ve většině případů není anténním tunerem, ale lze spíše říct, že je přizpůsobovacím článkem mezi transceiverem a napáječem.

Anténní člen by měl být umístěn přímo u použité antény. Tím se zlepší vyzařování jakéhokoli anténního systému, protože přenos výkonu z napájecího vedení do antény bude optimální a napájecí vedení „uvidí“ svoji charakteristickou impedanci na obou stranách: na straně vysílače i na straně antény.

Umístění anténního členu přímo k anténě je ale problematické, protože vyžaduje dálkové ovládání, aby bylo možné pracovat s anténou na různých kmitočtech.

S rozvojem nasazení mikroprocesorů pro řízení nejrůznějších zařízení jsou v poslední době stále běžnější dálkově ovládané anténní tunery, hlavně v profesionálních stanicích na KV. Nejznámějším případem jsou dnes zřejmě magnetické antény, dálkově laděné do rezonance a na minimální PSV.

Nejlepší ale nejdražší řešení je dálkově ovládaný nebo plně automatický tuner ve vodotěsné skříňce přímo u antény. Zásadní technická rozhodnutí:

- Max. přenášený výkon. Podle výkonu se volí rozměry indukčností a mezery mezi deskami kondenzátorů.
- Pokud se preferují potlačení harmonických, volí se typ horní zádrže. Moderní zařízení to ale většinou nepotřebují, mají dobré potlačení už samy od sebe. Většina přijímačů má tendenci se zahlcovat "od spoda", zvláště při použití dlouhohrátových antén.
- Pokud se bude používat napájení koaxiálem, vystačí se s tunerem nesymetrickým. Pro napájení žebříčkem nebo dvojlinkou bude potřeba tuner symetrický.
- Rozhodne se mezi univerzálností nebo minimálními ztrátami. Tyto dvě vlastnosti se mezi sebou vylučují. Pro domácí použití je lepší navrhnout třeba i několik tunerů jednoúčelových pro konkrétní antény a optimalizovat ztráty.

## 2 Parametry tuneru

### 2.1 Délka napájecího vedení

Podrobnějším zabýváním jednou z oblíbených hraček anténářských inženýrů, Smithovým diagramem se zjistí, že délka přenosového vedení mezi anténou a anténním tunerem a délka vedení mezi tunerem a vlastním zařízením má na přizpůsobení a účinnost systému podstatný vliv.

Provoz na jednom pásmu činí celou situaci poněkud jednodušší, protože z teorie přenosových vedení plyne, že je-li jeho délka přesným násobkem půlvlny, lze komplexní impedanci, „viděnou“ na svorkách antény, dostat i na druhém konci vedení, kde je snaha ji anténním tunerem vyladit.

Co si ale počít při potřebě pracovat na více pásmech? Dobrým řešením je použít napájecí vedení, obvykle koaxiální kabel takové délky, která odpovídá přesnému celistvému násobku půlvln nejoblíbenějšího pásma, a počítat s tím, že nějakou obecnou komplexní impedanci na konci kabelu u zařízení při práci na jiných pásmech bude k výstupu vysílače - ať už QRP tranzistorového nebo výkonového elektronkového zesilovače - třeba tunerem přizpůsobit.

Na krátkovlnných pásmech KV, od 80 do 10 m v mnoha případech poslouží dobrý a jednoduchý přizpůsobovací článek. Co se myslí pod pojmem jednoduchý? Nejjednodušším přizpůsobovacím článkem jsou indukčnost a kapacita, zapojené do obvodu tvaru L.

Dobře navržený L článek má menší ztráty než jiná uspořádání, jako T- nebo  $\pi$ - články a lze jej snadno sestavit i doma, najdou-li se vhodné otočné kondenzátory. Ideální je mít možnost měnit hodnoty v obou větvích, ale s anténami, které na pracovním kmitočtu nerezonují, se může najít potřebná hodnota indukčnosti experimentálně, navinout cívku s potřebnou indukčností a ladit jen otočným kondenzátorem na nejmenší PSV.

Stále udržovaným mýtem dokonce i mezi zkušenými amatéry je představa taková, aby anténa byla účinná, tak musí na pracovním kmitočtu rezonovat. To je zcela mylné. Proto je L-anténa přizpůsobovaná skutečným anténním tunerem, a nikoli přizpůsobovacím článkem napájecího vedení, tak účinná.

Kombinace L-antény, jejíž vodič začíná velmi blízko vysílače, s L-článkem a s dobrou protiváhou představuje vynikající vícepásmovou anténu, pokud je její délka alespoň  $0,15 \lambda$ .

### 2.2 Čemu se vyhnout a čemu věnovat pozornost

Pokud se chce dosáhnout dobrého potlačení harmonických a jiných nežádoucích kmitočtů, neměly by se používat T-články. Musí se ale upozornit na to, že při odkrytování mnoha anténních tunerů se zjistí, že bývají zapojeny právě jako T-článek, který působí jako hornofrekvenční propust, takže téměř vůbec nepotlačuje kmitočty nad pracovním kmitočtem.

Je dobré se vyhnout tunerům, které používají kondenzátory a cívky malých rozměrů. Výkon, který zařízení tak pracně poskytne, by se neměl měnit v teplo.

Přizpůsobovací členy s vestavěným PSV-metrem jsou jistě výhodné, protože nepotřebují další propojovací kabely a konektory. Ztráty obvykle používaných konektorů a krátkých spojovacích úseků koaxiálního kabelu jsou ale až do oblasti VKV minimální, takže užíváním vestavěného PSV-metru se neušetří výkon.

## 2.3 Způsobené ztráty tunerů

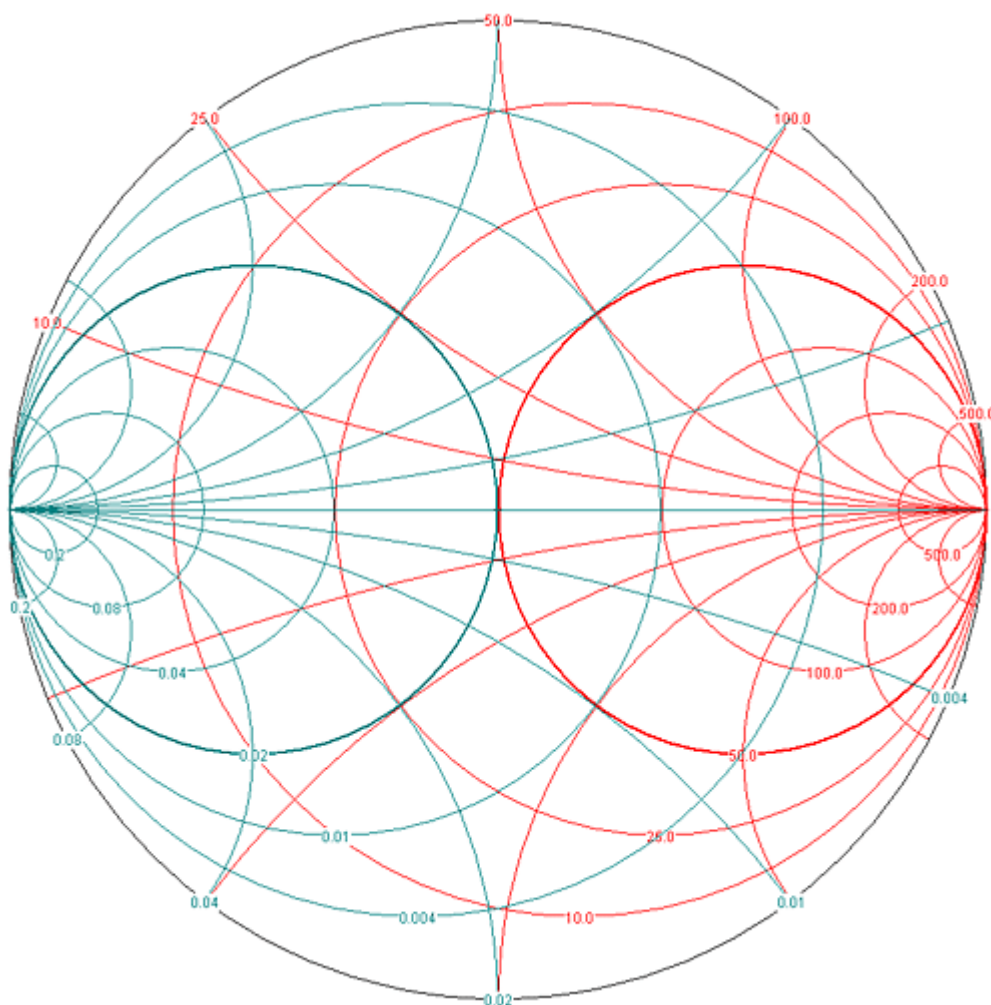
Nepřítelem je vysoké provozní  $Q$  (činitel jakosti). Pokud je tedy  $Q$  naprázdno = 100 a podaří se tuner vyladit na provozní  $Q = 50$ , tak je polovina výkonu ztracena (spotřebuje se na cirkulační proudy). Vždy je tedy snaha, aby  $Q$  naprázdno bylo co nejvyšší (nejedná se jen o samotné cívky, ale o celkové zapojení včetně kondenzátorů, přepínačů i přívodů) a  $Q$  zatíženého obvodu co nejnižší (obvod musí být tlumen zátěží tedy anténou). Pro dosažení co nejvyššího činitele  $Q$  naprázdno je snaha používat kvalitní cívky vzduchové nebo na keramice. Pro nižší kmitočty je možno použít i toroidní jádra, ale zásadně železoprachové, feritové materiály se hodí pouze pro neladěné transformátory a nebo QRP.

Ladicí kondenzátory se volí také vzduchové, pro výkony do 100 W se vystačí i s rozhlasovými typy s menšími mezerami, ale nesmí se nimi zkoušet vyladit vysoké impedance (drát  $\lambda/2$  na konci). Přepínače se volí rovněž kvalitní, pokud možno keramické. U propojovacích vodičů je snaha o nejkratší možné délky a nešetří se na průměru. Pro snížení parazitní indukčnosti je možno použít několik vodičů paralelně nebo měděné pásky.

## 2.4 Přizpůsobování impedancí

Anténa se musí před použitím "naladit", tedy správněji "přizpůsobit". Co se na ní ale přizpůsobujeme? Je to právě ta impedance, která musí být stejná jak na výstupu radiostanice, tak i na svorkách antény. Co to tedy ta impedance vlastně je? Z použité jednotky impedance  $\Omega$  jde o odpor. Bohužel nejde o odpor stejnosměrný, používaný v běžné elektrotechnice, a proto se nemůže měřit běžným stejnosměrným ohmmetrem. Jde o činný odpor pro střídavý proud. Impedance ovšem není jen odpor, ale je to složka dvou veličin. Jedná se o "komplexní impedanci". Skládá se ze složky reálné, která má charakter rezistentní (odporový) a ze složky reaktanční (jalové), která má charakter buď induktivní - pak jde o tzv. "Induktanci" (kladnou reaktanci) udávanou v  $\Omega$ , nebo kapacitní, a pak jde o tzv. Kapacitanci (zápornou reaktanci), opět udávanou v  $\Omega$ . Vstupní impedance antény má pouze reálnou - rezistentní složku (tedy jen odporový charakter) pouze v případě, že délka antény je délkou rezonanční (to znamená, že její délka odpovídá např. půlvlně a je zkrácena příslušným koeficientem krácení). Pokud se změní délka antény mimo délku rezonanční, přibude k reálné složce i složka reaktanční - pokud bude anténa kratší než rezonanční, bude tato reaktanční (jalová) složka kapacitního charakteru, pokud bude anténa delší, bude tato reaktanční (jalová) složka charakteru induktivního. Záleží však také na místě napájení antény, tedy na místě připojení napájecího kabelu. U půlvlnného dipólu v rezonanční délce  $\lambda=1/2$ , v místě, kde je proudová kmitna a napěťový uzel - tedy uprostřed, se nachází pouze odporová složka impedance. Stejně tomu tak ale je i na obou koncích, kde je napěťový kmitna a proudový uzel. V těchto místech má rezonanční anténa pouze reálnou složku (odporovou). Všude jinde nabude impedance i složky reaktanční. Z toho důvodu se napájí antény buď uprostřed, nebo na konci - pouze v několika málo případech i v jiných místech. Dále také záleží i na výšce umístění antény nad zemí. Největšího ovlivnění impedance výškou umístění antény se projeví ve výšce do  $\lambda=1/2$  nad zemí. Ve větších výškách je již impedance stabilnější. To se ve větší míře netýká antén, které mají vlastní umělou zem (antény Ground plane). Co se hodnoty vstupní impedance týče, nejmenší a nejvýhodnější je u půlvlnného dipólu uprostřed, kde prakticky nabývá hodnoty kolem 70  $\Omega$  - teoreticky 73  $\Omega$  u otevřeného dipólu, či 300  $\Omega$  u dipólu skládaného. Na obou koncích dipólu jde již hodnota impedance rapidně nahoru - dosahuje cca 1 – 5 k $\Omega$ . Vzhledem k tomu, že výstupní impedance radiostanic je dnes 50  $\Omega$ , je

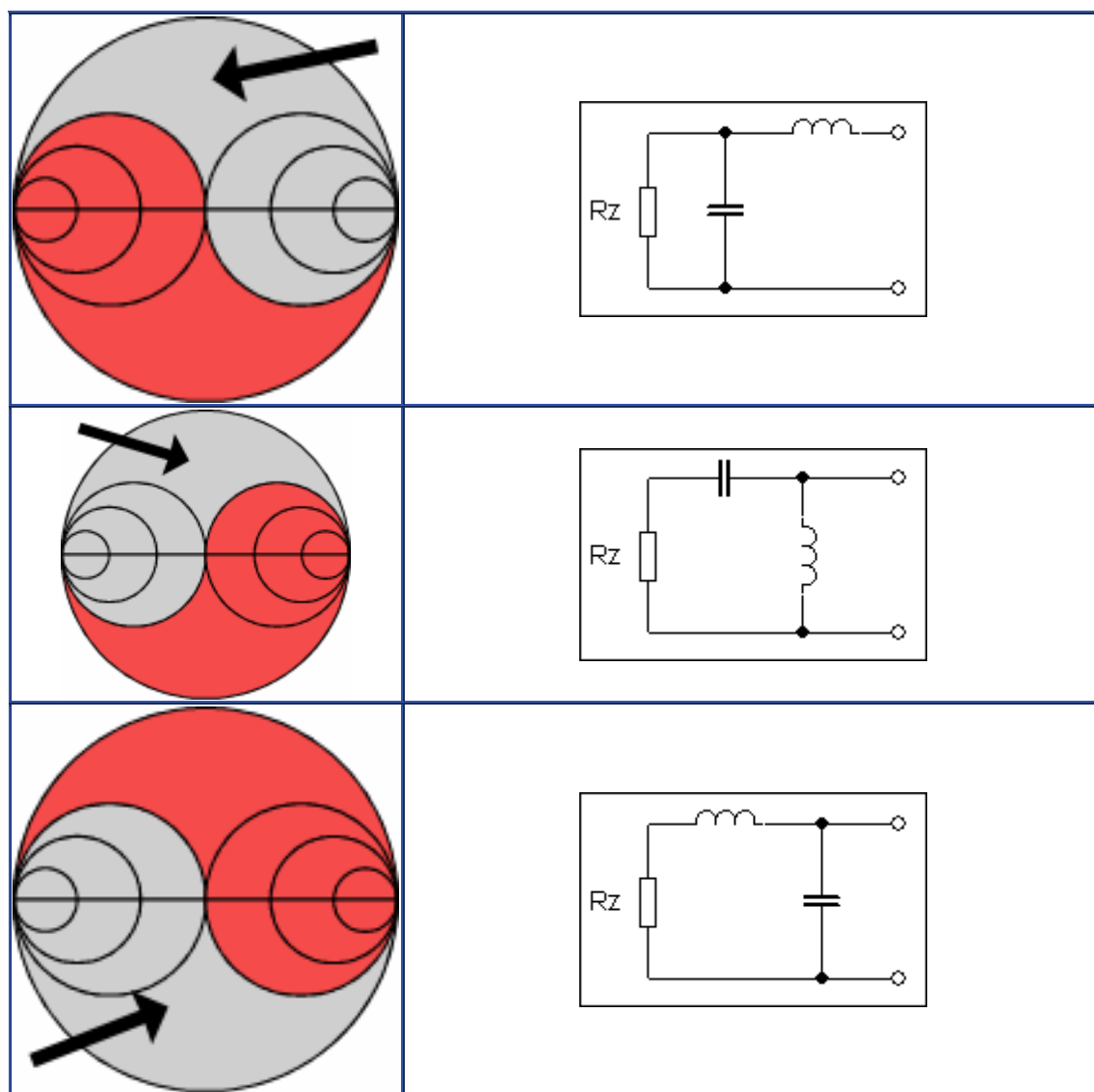
napájení dipólu nejvýhodnější právě uprostřed, kde se u skládaného dipólu impedance jednoduše přizpůsobí čtvrtvlnnou smyčkou z koaxiálního kabelu, a u dipólu otevřeného se nemusí přizpůsobovat vůbec. Horší je to při napájení antény na konci, kde je již nutné transformovat dosti vysokou impedanci. Při přizpůsobení správně zkonstruované antény se musí nejdříve zjistit a změřit všechny udávané složky impedance, což je možné například šumovým můstkem, nebo různými "anténaskopy". Druhou možností je pak tovární anténní analyzátor, například MFJ-259B, či 269. Pokud jsou známy tyto hodnoty, lze pak pomocí Smithova diagramu určit správné přizpůsobení bez nekonečného laborování. Po změření konstruované antény se zjistí reálná a reaktanční složka impedance, a poté podle zjištěných hodnot se navrhne správné přizpůsobení. Není to nic složitého. K tomu se použije Smithův diagram (viz obr. 2.1).

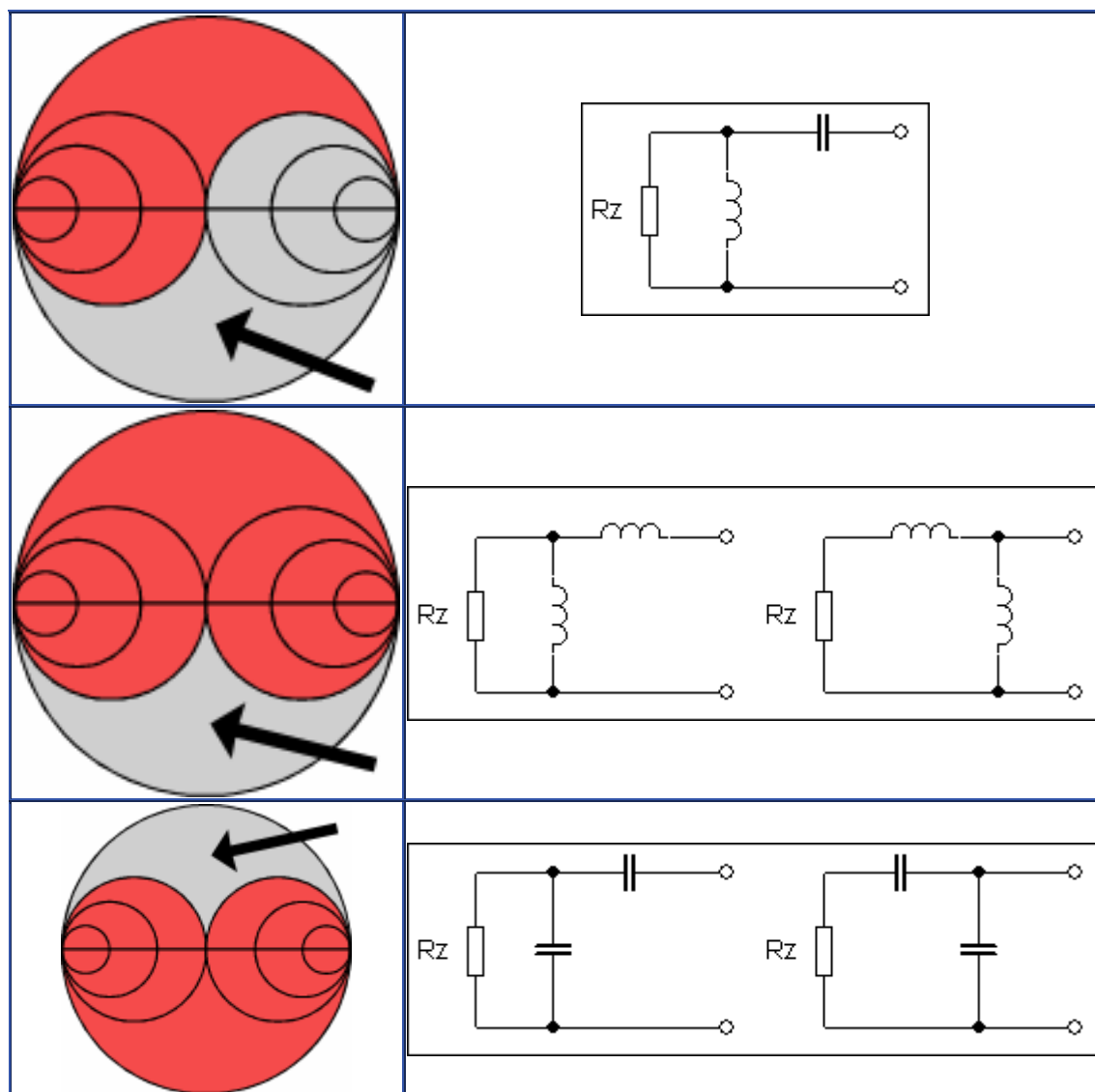


**Obr. 2.1** Smithův diagram.

Hlavní velká kružnice je uvnitř rozdělena různými kružnicemi a křivkami. Kterýkoliv místo uvnitř diagramu má přesné hodnoty impedance. Jen jediný bod však představuje ideální stav, tedy reálnou impedanci 50 Ω, kladnou reaktanci - **induktanci** 0, zápornou reaktanci - **kapacitanci** 0, tedy místo ideálního přizpůsobení. Tento bod se nachází ve středu kružnice. Diagram je pak rozdělen na dvě poloviny vodorovnou přímkou. Kterýkoliv bod na této přímce má pouze reálnou - odporovou složku, bez složky reaktanční. Horní polovina diagramu nad touto přímkou vyjadřuje kladnou reaktanci, spodní polovina zápornou reaktanci. Kterýkoliv z červených kružnic v pravé části diagramu je tvořena body se stejnou reálnou impedancí - například tučně vyištěná červená

kružnice představuje impedanci  $50 \Omega$ , tedy kdekoli na této kružnici bude reálná složka impedance  $50 \Omega$ , při čemž v horní polovině kružnice přibude složka induktivní (kladná reaktance) a ve spodní polovině kružnice přibude složka kapacitní (záporná reaktance). Nyní se musí podle těchto parametrů do diagramu zaneš bod, představující změřené hodnoty vyrobené antény. Podle místa, kde se tento bod bude nacházet, se může správně určit ideální přizpůsobení antény. Různé přizpůsobovací obvody se chovají různě, co se týče účinnosti a ztrát. Nejznámější tunery s T nebo  $\pi$  články sice přizpůsobí cokoliv, ale s takovými ztrátami, že nevyzáříme téměř nic, protože u těchto LC článků je možné nastavit kombinaci tak, že se dosáhne téměř maximálních ztrát. Proto se raději volí L článek, který sice není co se rozsahu týče tak univerzální, ale dosáhne se s ním minimálních ztrát. Jak ale určit zapojení L článku, když je celkem 8 možností (kombinace LC, CC, LL)? V tomto případě pomůže právě Smithův diagram. Do něj se vynesl bod, představující parametry změřené antény. Na obr. 2.2 je 6 zjednodušených obrázků tohoto diagramu. Vybere se ten obrázek, v jehož **ŠEDÉ části se nachází vynesení bod** antény a vedle něj je správné zapojení L článku, který přizpůsobí anténu s těmito parametry.

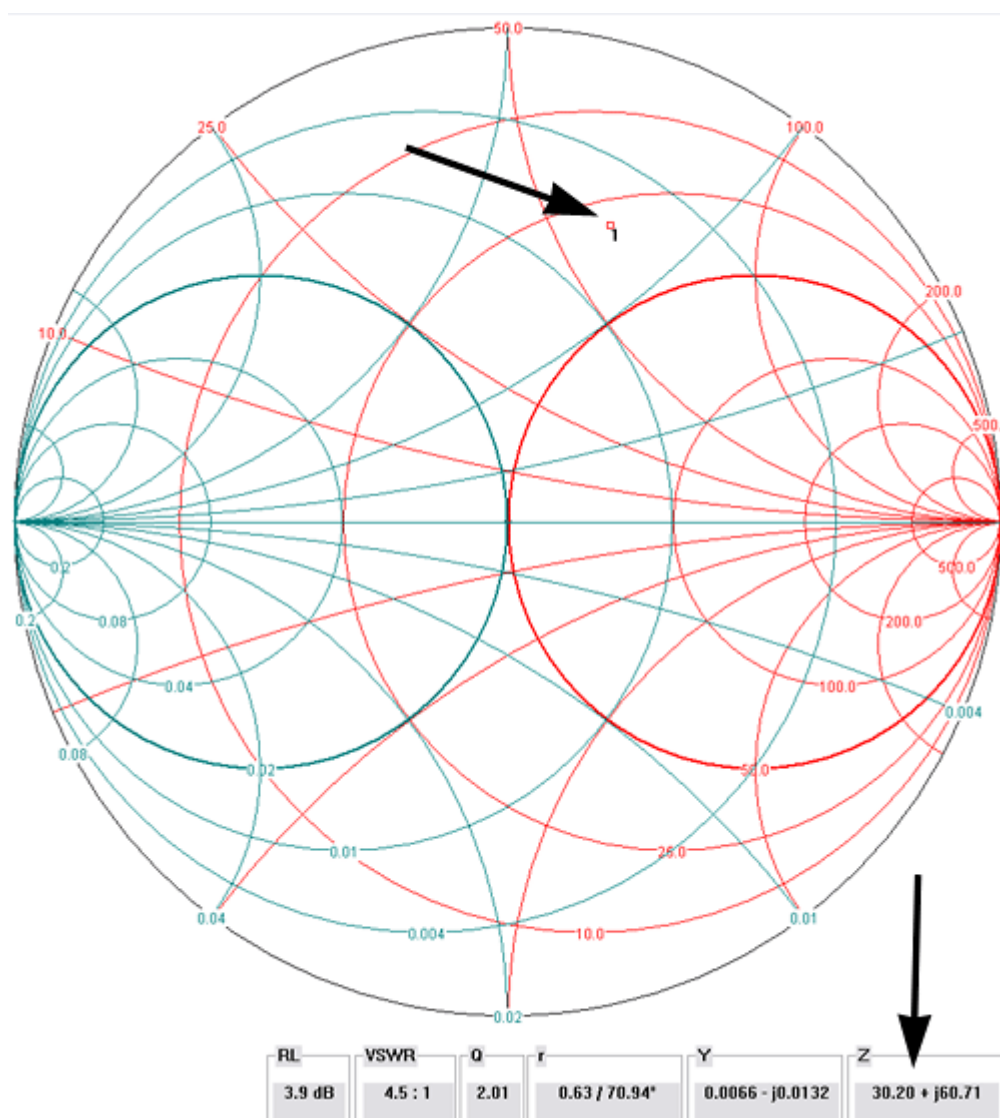




**Obr. 2.2** Vynesené body představující správný L článek.

Při pohledu na první a třetí obrázek vyplývá, že stačí dát nad kondenzátor přepínač, kterým se bude přepínat před cívku a za cívku, a pokryje se tak kompletně celý Smithův diagram, tedy přizpůsobení jakékoliv antény. Momentálně jsou změřené parametry zkonstruované antény, tyto parametry se zanesly do Smithova diagramu, podle místa vyneseného bodu se určilo správné zapojení L článku. Nyní již zbývá jen určit správné hodnoty kondenzátoru a cívky, případně ladícího kondenzátoru a proměnné cívky pro laditelný L článek. Určení přesných hodnot kondenzátoru a cívky se dá docílit ideálním způsobem, použít specializovaný software "Smith", se kterým se provede výpočet v grafickém prostředí velmi rychle a spolehlivě. Po nainstalování se program spustí a na ploše se zobrazí Smithův diagram. Nyní se musí do diagramu vynést bod, který představuje parametry zkonstruované antény. Pro příklad se vezme anténa pro 14MHz, která má  $30 \Omega$  rezistanci a  $60 \Omega$  kladnou reaktanci (induktanci). Tyto hodnoty se vynést do grafu. V malém okně vlevo se stiskne "DATAPOINT", v následně otevřeném okně se klikne na "myš" a v diagramu se najde místo s uvedenou rezistancí a induktancí (při pohybu bodu v diagramu je vidět měnící se parametry vpravo dole pod diagramem). V místě, kde bude bod vykazovat tyto změřené parametry se umístí levým tlačítkem myši.

Otevře se nové okno, kde se musí určit frekvence (příkladně 14MHz). Nyní je na ploše diagramu stanoven bod, představující tuto anténu - BOD Č. 1.

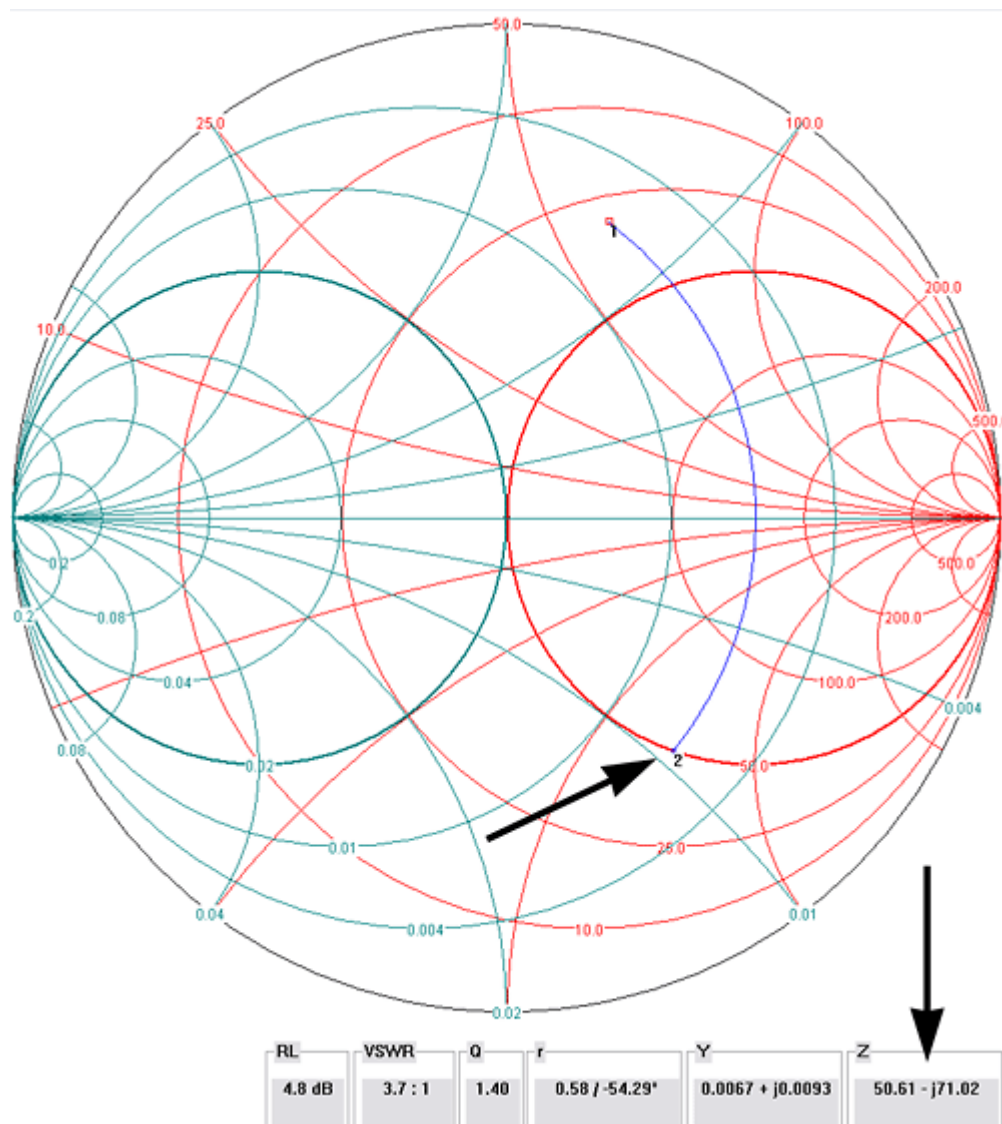


**Obr. 2.3** Určení bodu č.1 na Smithově diagramu.

Na levé části programu, kde se nachází okno se schématem - zatím jen zdroj signálu a zátěž, se musí zanést cívka a kondenzátor. Ty se vyberou v dolním okně. Správným přizpůsobením bude L-článek podle prvního obrázku, tedy s paralelním kondenzátorem a sériovou cívkou (postupuje se ve směru od zátěže). V programu se tedy klikne v okně Toolbox v oblasti SHUNT (paralelní) na kondenzátor, který bude následně ve schématu v horním okně. Na diagramu přibyla kružnice, po které se teď může myši pohybovat (ale nikde mimo kružnici to nelze). U paralelního kondenzátoru se lze po této kružnici pohybovat jen ve směru hodinových ručiček, tedy doprava. K vysvětlení poslouží to, že od této chvíle bude v diagramu pohyb zásadně po kružnicích, a to tak, aby se při určování přizpůsobovacích členů dostali VŽDY do středu kružnice, tedy do místa ideálního přizpůsobení. Při určení paralelního kondenzátoru se po vzniklé kružnici dá dostat nejprve na nějakou jinou kružnici, která se později dovede právě do středu diagramu. Při pohledu na diagram se kružnice, po které je možno se s bodem pohybovat,

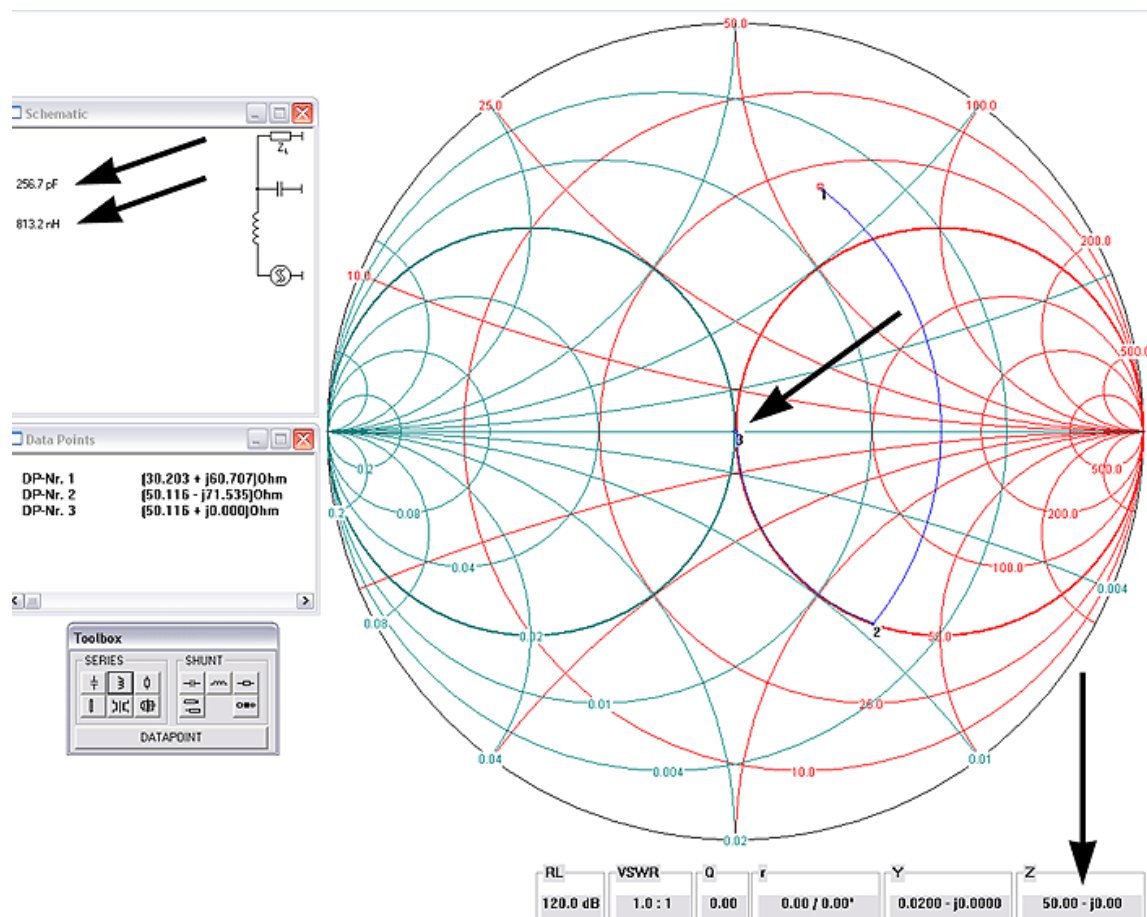


protíná jiné kružnice, ale jen jednu, která prochází středem diagramu, a to tučnou červenou kružnicí označenou hodnotou  $50 \Omega$ . Tuto kružnici ale při tomto pohybu protíná dvakrát - jednou v její horní části, a jednou ve spodní části. I po této kružnici je možno se pohybovat jen pravotočivě, to znamená, že se musí na tuto kružnici dát dostat v její spodní části. S tímto bodem kružnice se dojde až na spodní průtnutí této kružnice, kde se klikne levým tlačítkem myši. Tím se ukončí tato kružnice v tomto bodě, a vznikne BOD Č. 2. Vpravo dole je vidět v tabulce, že se již upravila rezistance na hodnotu  $50 \Omega$ .



**Obr. 2.4** Určení bodu č.2 na Smithově diagramu.

Nyní se musí upravit ještě reaktance. To se učiní vložení další součástky, a to sériové cívky. Vlevo v okně Toolbox se klikne v části Series na cívku. Tím se cívka ve schématu objeví a zároveň se v diagramu objeví další kružnice, kopírující kružnici  $50 \Omega$ , po níž se pravotočivým pohybem dá dostat s bodem přesně do středu kružnice, kde se klikne levým tlačítkem myši. V pravé spodní části tabulky pod diagramem je vidět, že jsou hodnoty  $50 \Omega$  rezistance, a  $0 \Omega$  reaktance, což znamená ideální přizpůsobení. V levé části programu ve schématu L-článku, který je takto sestaven, jsou vidět u cívky a kondenzátoru přesné hodnoty, které program vypočítal pro přizpůsobení antény na tyto ideální hodnoty.



**Obr. 2.5** Vypočítané ideální hodnoty pro přizpůsobení antény.

Jak je ale vidět v diagramu, po kružnicích se dá pohybovat jen jedním směrem - vzniklé kružnice po založení bodu jsou jen jednosměrné - druhým směrem nevedou. Proto se musí vědět, jakým směrem se dá pohybovat po kružnicích jednotlivých vložených součástek.

SÉRIOVÝ KONDENZÁTOR - pouze levotočivě

PARALELNÍ KONDENZÁTOR - pouze pravotočivě

SÉRIOVÁ CÍVKA - pouze pravotočivě

PARALELNÍ CÍVKA - pouze levotočivě

Pokud se podařilo vložit součástku špatnou, se kterou se po její kružnici nedá dostat do požadovaného místa, může se tato součástka odstranit kliknutím pravým tlačítkem myši na její kružnici, nebo na konkrétní bod v okně Data Points. Pochopitelně se může navrhnout přizpůsobení pro více frekvencí, tím pádem se určí přizpůsobení pro více frekvencí a podle rozdílů hodnot součástek se osadí proměnné součástky – ladící kondenzátor a proměnná cívka (rolšpule).

## 2.5 Činitel stojatých vln

Činitel stojatých vln, nazývaný též poměr stojatého vlnění je jedním z ukazatelů účinnosti celého zařízení. Všechny součásti systému, tj. výstup vysílače s vf vedením a anténou, musí být k sobě impedančně přizpůsobeny, tj. jejich impedance na daném kmitočtu musí být shodné. V tom případě je ČSV rovno 1. Pokud jsou impedance, např. vedení a antény odlišné, ČSV roste a vznikají ztráty na vedení.

*Příklad:* Připojí-li se skládaný dipól o impedanci  $300\ \Omega$  přímo na koaxiální kabel o impedanci  $75\ \Omega$ , ČSV bude  $300/75 = 4$ . Impedanční nepřizpůsobení je na závadu, protože v místě připojení dochází k odrazu vf energie zpět ke zdroji. To je také důvod, proč může dojít ke zničení vysílače, pokud je použita nepřizpůsobená nebo vůbec žádná anténa. Velké množství odražené energie se vrací zpět do vysílače, který se nadměrně zahřívá. Pokud není k vf vedení přizpůsobena ani anténa ani výstup vysílače, vzniknou mnohonásobné odrazy ve vedení, které jsou postupně ztrátami ve vedení utlumeny. Odraz energie znamená samozřejmě ztrátu výkonu.

ČSV	Odražený výkon [%]	Odražený výkon [dB]
1,0	0	0
1,1	0,25	-0,01
1,2	1	-0,04
1,5	4	-0,18
2,0	11	-0,50
2,5	18	-0,90

**Tab. 2.1** Hodnota odraženého výkonu v závislosti na ČSV.

## 3 Kmitočtově nezávislé PSV metry pro KV – 1

### 3.1 Co lze očekávat od PSV metru

- Dostatečnou citlivost, případně dostatečný výkon.
- V rámci 1,8 až 28 MHz kmitočtovou nezávislost. Při konstantním výkonu je na všech pásmech stejná výchylka nepřesahující tloušťku ručičky.
- Při maximální citlivosti a velkém výkonu ukazuje při dobré umělé zátěži co nejmenší výchylku odraženého výkonu.
- Nenarušuje příliš impedanci vedení. To se projeví zhoršením SWR mezi reflektometrem a TCVRem.
- Konstrukčně co nejjednodušší a malý. Velký měřicí přístroj umožňuje pouze přesně číst nepřesný údaj
- Je schopen měřit PSV lepší jak 1,5 i při malých výkonech a průchozí výkon bez velkých chyb. Samozřejmě průchozí výkon se blíží skutečnosti jen při PSV = 1.

### 3.2 Jak se měří PSV

Jediná stupnice PSV na měřidle platí jen pro jeden určitý, zpravidla maximální, výkon. Je tedy jen informativní. Stačí proto použít přístroj s čistou stupnicí a ladit na minimální výchylku odraženého výkonu. Další používanou možností je měřidlo např. s 10-ti dílky. Pak se stanovuje PSV dle první části vzorečku (1a) nastavením plné výchylky 10 dílků, přepnutím na odražený výkon a odečtením výchylky.

$$PSV = \frac{U_f + U_r}{U_f - U_r} \quad (1a)$$

$$PSV = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_f}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_f}}} \quad (1b)$$

Pět dílků, to je polovina stupnice, odpovídá PSV = 3. Dva dílky znamenají PSV = 1,5. Tento postup je obvyklý nejen pro zjištění PSV, ale i pro cejchování stupnice. Také levné výrobky mívají PSV = 3 uprostřed stupnice. Vlivem nelinearity diod může ve skutečnosti stupnice vypadat tak jak vidíme na obr. 3.1, která platí pro výkon 10 W. Zlepšení průběhu stupnice na obr. 3.2 přinese s logaritmickým průběhem – indikátory z magnetofonů. Nicméně pro PSV nižší než 1,5 se stupnice příliš neroztáhne.



Stupnice při potenciometru 100 k/log Lineární měřící přístroj 150 uA/800  $\Omega$

**Obr. 3.1** Stupnice jednotoridního PSV metru 1W – 200W.



Stupnice při potenciometru 220k/log Logaritmičtý indikátor 220 uA/1700  $\Omega$

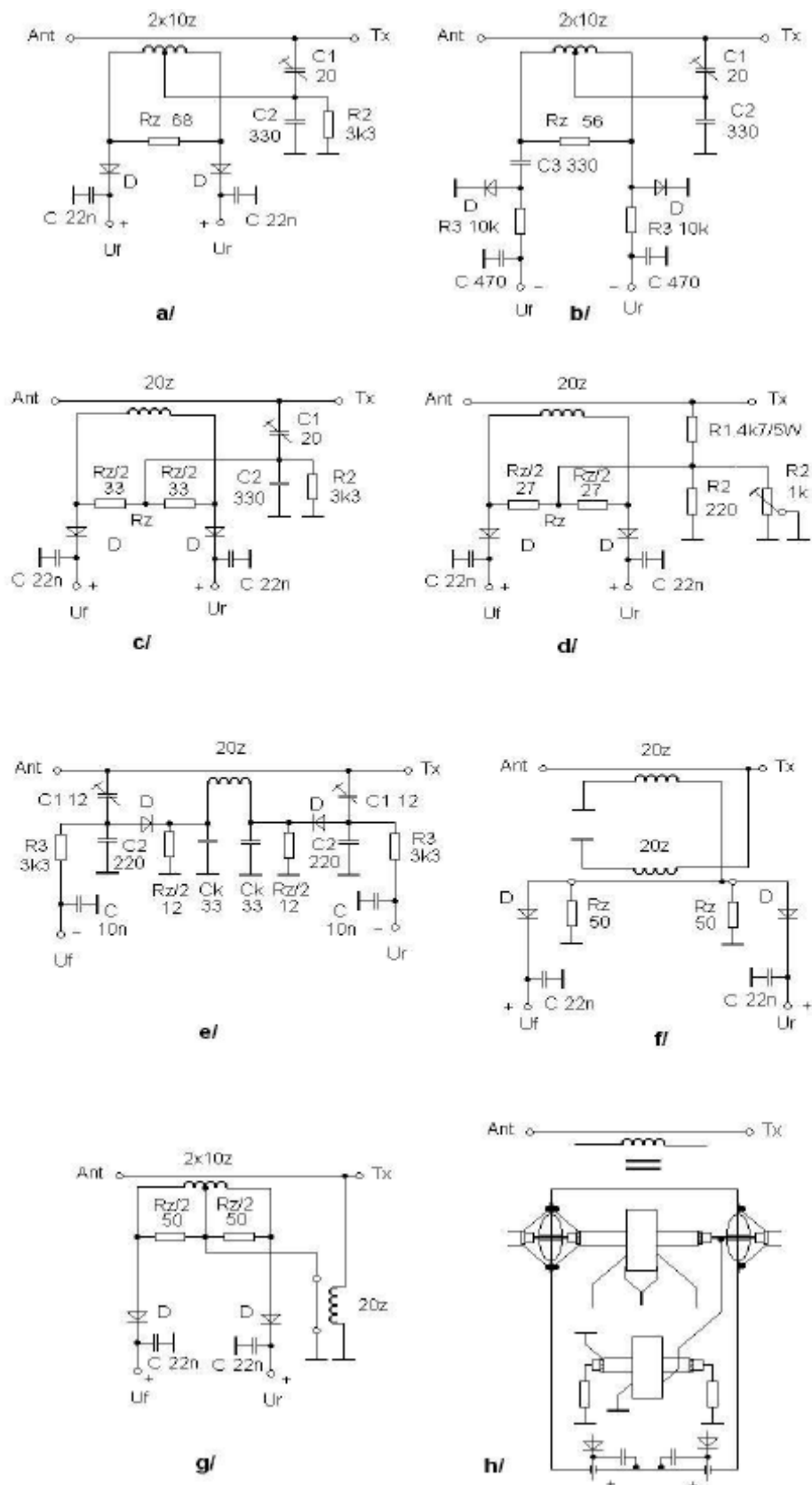
**Obr. 3.2** Stupnice PSV metru 1W – 2 kW.

Podle běžné stupnice PSV, nebo vzorečku (1a), dostáváme lepší a zároveň chybnější údaj PSV, čím menší je výkon vysílače. Jde o známý efekt, jako by anténa měla tím lepší PSV, čím menší je výkon. Pokud se chce určit hodnota PSV přesněji, musí se použít druhý vzoreček (1b) a odečítat dopředný výkon  $P_f$  do antény a výkon odražený  $P_r$ . Zatímco v prvním případě se může jevit PSV antény při malém výkonu skoro rovno jedné, odečtením výkonů, kdy je eliminována nelinearita diod, se dostane např.  $PSV = 1,5$ . K přesnějšímu určení hodnot PSV blízkých jedné nelze dost dobře použít dvouručkové PSV metry s dvojitým potenciometrem. Zde by se musel měřící přístroj dopředného výkonu vypínat, aby se mohl potenciometr při odečítání odraženého výkonu vytočit na velkou citlivost. Lépe to řeší dvouručkové přístroje s citlivostí pro odražený výkon asi 4x větší. Pokud se dodrží záměr, že PSV metr má být malý, jednoduchý a do jisté míry i přesný, nemá cenu se dvěma ručičkami příliš zabývat. Velký měřící přístroj nevyřeší otázku přesnosti. Na malý přístroj se ale těžko vejde stupnice. Tento nedostatek se vyřeší převedením stupnic na potenciometru. Ten mívá 270 až 300°. Stupnice při použití logaritmičtého potenciometru je rovnoměrná a její přesnost vyhovuje. Někde mezi polovinou a dvěma třetinami, u logaritmičtých přístrojů až třemi čtvrtinami stupnice měřícího přístroje, se označí základní dílek, obvykle 1 W, který odpovídá levému dorazu

potenciometru. Na tento dílek se nastaví potenciometrem výchylka. Stupnice potenciometru ukazuje výkon. Pokud by kousek tenkého koaxiálu, na kterém je navlečen toroid snesl 3 kW, stačil by feritový toroid průměru jen 10 mm, aniž by sycení překročilo 10 mT. To ale neplatí pro dvoutoroidní PSV metry. Proto se pro velké výkony používají jednotoroidní provedení a koaxiální kabel Aircell 7 s toroidy průměru 16 mm. To umožňuje zhotovit PSV metr do 3 kW minimálních rozměrů.

### 3.3 Přehled používaných kmitočtově nezávislých PSV metrů

Na obr. 3.3 jsou vidět používané typy PSV metrů. Asi nejjednodušší je varianta a/. Varianta b/ se používá v TCVRech jako reflektometrická ochrana a zdroj napětí pro ALC. Vinutí jsou bifilární a mívají od 2 x 7 do 2 x 15 závitů, u jednoduchých vinutí 10 až 40 závitů. U typu c/ se ušetří odbočka rozdělením zatěžovacího rezistoru  $R_z$  na dvě stejné poloviny. Ve variantě d/ je kapacitní dělič nahrazen odporovým. Varianta e/ má výhodu, že přehození vstupu a výstupu nemá téměř vliv na výchylku odraženého výkonu. Na variantě f/ a g/ jsou dva typy dvoutoroidních reflektometrů. Ty se nenastavují, ale jejich návrh je obtížnější. Zatímco u typů a/ až e/ je hodnota zatěžovacích rezistorů  $R_z$  volitelná obvykle mezi 10 až 100 W v závislosti na požadované citlivosti, počtu závitů a materiálu toroidu, musí být u typů f/ a g/ zatěžovací rezistory  $R_z = 50$  W. To dále komplikuje návrh pro dosažení požadované citlivosti. Pokud se toroidy nestíní, je potřeba je zpravidla umístit kolmo, nebo nechat mezi nimi mezeru větší jak 1,5 průměru toroidu. U napěťového transformátoru je problém s udržení sycení asi pod 50 mT. Může se použít více splených jader, nebo jádro větší. Případně se napěťové trafo udělá s dvakrát větším počtem závitů než proudové a protáhnou se jím dva závity koaxu. Také kupované výrobky mívají napěťové trafo většího průměru. Uvedené berličky ale znamenají mírné zhoršení vlastností. Dvoutoroidní PSV metry se sice nenastavují, ale zabírají větší prostor a pro problémy s napěťovým transformátorem jsou řešitelné v amatérských konstrukcích asi do 200 W. Nejdříve se navrhne vyhovující napěťové trafo a pak se zhotoví totožné trafo proudové. Jedině tak je šance na dobré výsledky. Ve variantě h/ je vidět, že toroidem je vždy protažen kousek koaxiálu, jehož opletení slouží jako stínění a je spojené jak u napěťových, tak proudových transformátorů se zemí jen na jednom konci. Koax je vyveden pomocí skleněných průchodek. Napětí  $U_r$  a  $U_f$  stačí vyvést dírkou s bužírkou, průchodkové kondenzátory jsou možné ale zbytečně přepychové. Do 400 W je vhodný protažený koaxiální kabel 50 W průměru 3mm s teflonovou izolací, která odolává nešetnému pájení. Čím je méně závitů na toroidu a čím je větší zatěžovací odpor  $R_z$ , tím je větší citlivost. Možnosti variability jsou dány materiálem jádra, reaktancí a sycením, které se musí pohybovat v rozumných mezích. Pro jednotoroidní PSV metr se používá standardní krabička z pocínovaného plechu rozměrů 45 x 30 x 22 mm. Pro dvoutoroidní PSV metr je nutné jít na velikost 67 x 45 x 22mm. Pocínované krabičky jsou lacino k dostání pod označením U-AH100 a U-AH101 v GM elektronik. Montáž je vzdušná bez použití plošného spoje.



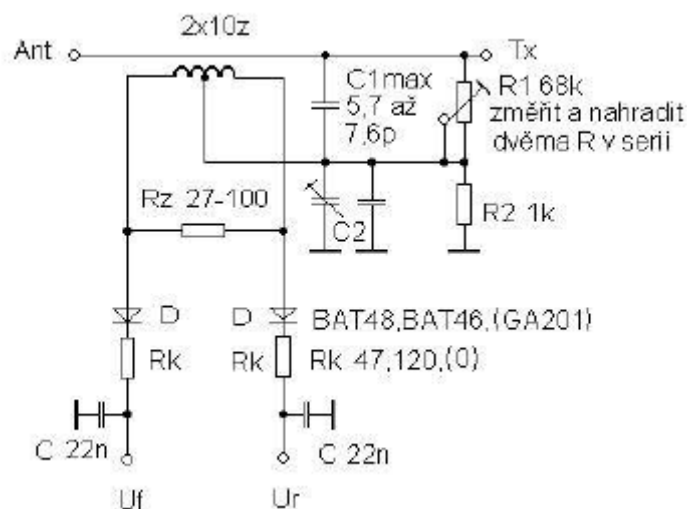
Obr. 3.3 Používané typy kmitočtově nezávislých PSV metrů 1,8 MHz – 28 MHz.

### 3.4 Citlivost PSV metru

Mezi polovinou a třemi čtvrtinami stupnice měřícího přístroje se označí základní dílek dle záměru, například 1 W. Tento dílek se bude nazývat základní citlivostí PSV metru  $P_{\min}$  [W]. Nyní je potřeba znát, jaký je vztah mezi základní citlivostí PSV metru  $P_{\min}$  [W], citlivostí měřícího přístroje  $I_m$  [mA], zatěžovacím odpůrkem PSV metru  $R_z$  [W], počtem závitů  $N$  na toroidu a celkovým odporem měřícího obvodu  $R_{obv}$  [kW] při největší citlivosti.  $R_{obv}$  je součet vnitřního odporu měřícího přístroje  $R_i$ , rezistoru  $R_2$ , asi 50% doladovacího trimru  $R_s$  a  $R_k$ ,  $R_3$ , viz obr. 3.3, 3.4 a obrázky dalších PSV metrů. Následující přibližný vztah (2) se snaží respektovat nelinearitu Shotkyho diod a platí pro výchylku ručky měřícího přístroje 70% stupnice, t.j. pro hodnotu základní citlivosti  $P_{\min}$ . U PSV metrů s rozděleným  $R_z$  se dosazuje součet obou polovin  $R_z$ . Jako příklad se zkusí dosadit citlivost měřícího přístroje  $I_m = 60 \text{ mA} = 0,06 \text{ mA}$ , obvykle používaný počet závitů na toroidu  $N = 2 \times 10 = 20$ , celkový odpor měřícího obvodu  $R_{obv} = 4,5 \text{ kW}$  a zatěžovací odpůrek PSV metru  $R_z = 68 \text{ W}$ :

$$P_{\min} = \left[ \frac{N(5R_{obv}I_m + 1)}{R_z} \right]^2 [W; z\acute{a}v; k\Omega; mA; \Omega] \quad (2)$$

$$P_{\min} = \left[ \frac{20(5 \cdot 4,5 \cdot 0,06 + 1)}{68} \right]^2 = 0,48W \quad (3)$$



C1 na 500 V

C2 dle závitů a  $R_z$  100 pF – 400 pF

$R_z$  dle požadavku citlivosti v závislosti na reaktanci vinutí

$R_1$  kompenzace na 1,8 MHz

$R_k$  kompenzace diod pro omezení diferencí výchylky na různých pásmech

$R_z$  dimenzovat dle vztahu (7),  $R_1$  dle vztahu (8)

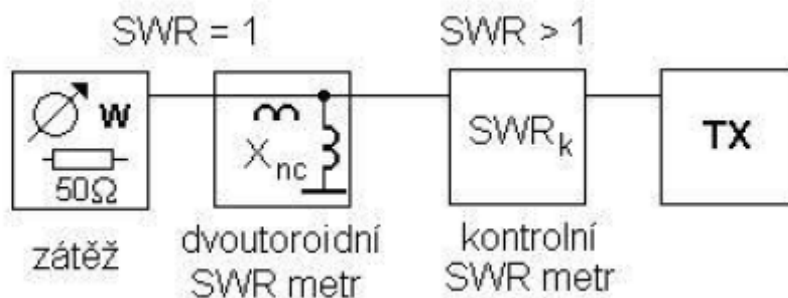
**Obr. 3.4** Kompenzace chyb PSV metrů pomocí odporu  $R_1$



Základní citlivost PSV metru při výchylce 70%, to je na základním dílku  $P_{min}$  měřicího přístroje, vyjde asi 0,5 W. Vztah (2) bez velkého experimentování umožní předem aspoň přibližně navrhnout citlivost PSV metru. Hodnoty nelze volit zcela libovolně, ale musí se pohybovat v jistých rozumných mezích. Počet závitů na toroidu by prioritně neměl být menší, než dle vztahů (3). Vodítkem může být i hodnota  $U_f$  při největším výkonu  $P_{max}$ . Je-li větší jak 12 V, nemusí se to již líbit diodám BAT48 a také zatížení  $R_z$  začíná být zbytečně velké a může způsobit konstrukční potíže. Je-li při  $P_{max}$   $U_f$  nižší jak 6, začínají být ztelnější projevy nelinearity diod a při malých výkonech se PSV nadlepšuje. Obráceně se může za konstrukčně rozumnou velikost maximálního výkonu PSV metru  $P_{max}$  považovat výkon, kdy  $U_f$  dosahuje 12 V.

### 3.5 Pravidlo čtyřnásobku a pravidlo 0,1 $\lambda$

Na nejnižším pásmu 160 m se doporučuje reaktance vinutí minimálně čtyřnásobná než zatěžovací odpor  $R_z$  50 W. To znamená 200 W. Platí to pro napěťové trafo dvutoroidního PSV metru i různé baloony. Platí to i pro proudové transformátory jednotoroidních PSV metrů. Zde však mohou být zatěžovací odpůrky  $R_z$  různé, např. 80 W. Pak vychází minimální reaktance vinutí na nejnižším kmitočtu 320 W. Má-li ale dokonale vynulovat výchylka na nejnižším pásmu a u dvutoroidních PSV metrů ještě příliš nezhoršovat PSV směrem k TCVRu, musí se jít aspoň na 10-ti násobek. Vady začnou být zanedbatelné až při 20-ti násobku. Jenže čím větší reaktance, tím více potřebných závitů. Pak můžou nastat na nejvyšším kmitočtu 28 MHz. Délka vinutí na nejvyšším kmitočtu se uvádí pod 0,04  $\lambda$  až 0,05  $\lambda$ . To lze u malých toroidů pro PSV metry dodržet. U velkých baloonů se zpravidla dá vejít aspoň do maximální délky vinutí 0,08  $\lambda$  - 0,1  $\lambda$ . Také u jednotoroidních PSV metrů se volí kapacita děliče  $C_1$ , aby její reaktance na nejvyšším kmitočtu byla aspoň 10-ti, lépe 20-ti násobkem 50 W. Důsledky pravidla „jen čtyřnásobku“ jsou vidět na obr. 3.5, kde je zhoršení PSV dvutoroidním PSV metrem směrem k TCVRu, pokud se navrhne reaktance napěťové cívky na pásmu 3,5 MHz jen  $4 \times 50 = 200$  W. Je vidět, že zhoršení PSV je patrné ještě při 16-ti násobku na 14 MHz. Pravidlo ne čtyřnásobku, ale 20-ti násobku je proto opodstatněné. Zde je také jedna z příčin proč na externím PSV metru bývá dobrá hodnota PSV ale na PSV metru TCVRu je PSV horší. U špatně navrženého dvutoroidního PSV metru jsou tyto efekty patrné na nejnižších pásmech, u jednotoroidního s kapacitním děličem s velkou kapacitou  $C_1$  na nejvyšších. Tyto nežádoucí vlastnosti jsou minimalizovány u typu dle obr.3.3d/. Čím je nižší reaktance napěťové cívky dvutoroidního PSV metru na nejnižším pásmu a nižší reaktance kapacity  $C_1$  na pásmu nejvyšším, tím je také horší zaměnitelnost vstupu a výstupu PSV metru. Vyjímkou je provedení dle obr. 3.3e/.



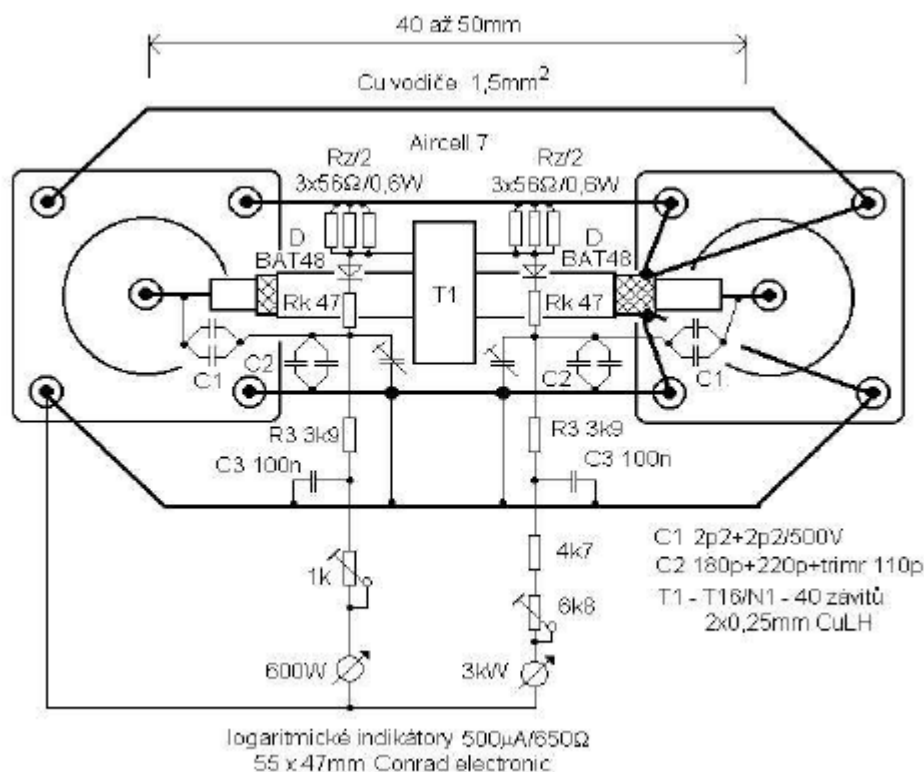
f [MHz]	1,75	3,5	7	14
PSV <sub>k</sub>	1,7	1,3	1,14	1,08
X <sub>nc</sub> [Ω]	100	200	400	800
pravidlo nx	2	4	8	16

**Obr. 3.5** Zhoršení PSV doutoroidním PSV metrem směrem k TCVRu

### 3.6 Kompenzace chyb PSV metrů

Snad všechny tovární a amatérské PSV metry při zapojení na umělou zátěž, nastavení maximální výchylky a přepnutí na odražený výkon ukazují výchylku na všech pásmech prakticky nulovou. Když se vytočí potenciometr na plnou citlivost, je vidět, že nějaká a někdy dost velká výchylka zde je. Někdy narůstá směrem k nižším pásmům a největší je na 160 m, někdy k vyšším pásmům a největší je na 28 MHz. U většiny PSV metrů lze vyladit anténní člen mezi anténou a PSV metrem tak, že výchylka odraženého výkonu je i při maximální citlivosti nulová. Pokud není, je to zpravidla způsobeno příliš velkým obsahem harmonických a parazitních kmitočtů ve vysílaném signálu. Jen u málokterého PSV metru je ale při maximální citlivosti a velkém výkonu na všech pásmech nulová výchylka odraženého výkonu i při připojení na umělou zátěž. Také se dá říci, že ukazuje-li na neověřeném PSV metru anténa  $PSV = 1$ , pak je jisté, že se údaj blíží pravdě jen tehdy, ukazuje-li tento PSV metr  $PSV = 1$  i na dobré umělé zátěži. Při chybně navržené toroidní cívce proudového trafo, která má nízkou reaktanci, se může falešná výchylka odraženého výkonu na nejnižším pásmu 1,8 MHz zmenšit snížením zatěžovacího odporu  $R_z$ , tak aby reaktance toroidní cívky na 1,8 MHz byla aspoň  $20R_z$ . Samozřejmě to nejde u dvoutoroidních PSV metrů, kdy musí být  $R_z = 50 \text{ W}$  a proto se vždy musí dobře navrhnout toroidy. Další snížení  $R_z$  pouze dále snižuje citlivost a další vady již neodstraní. Je proto dobré přijít vadám na kloub a omezit je bez snížení citlivosti PSV metru. Pravidlo čtyřnásobku je pro omezení chyb upřesněno v předchozím odstavci na pravidlo 20-ti násobku. To znamená, že indukčnost jak proudové, tak napěťové toroidní cívky, by na 1,8 MHz neměla být menší jak 88 mH (při odporu  $R_z = 50 \text{ W}$ ). Podobně kapacita  $C_1$  děliče by neměla být pro pásmo 28 MHz větší jak 5,7 pF. (při napajeci 50 W). Tím se dosáhne toho, že narušení impedance vlivem připojení PSV metru do obvodu, zaměnitelnost vstupu a výstupu a zhoršení vlastností na nejnižším, či nejvyšším pásmu, jsou přijatelné. Nesmí se zapomenout také na kapacitu mezi žilou a opletením kousku koaxu, který je protažen toroidem. Ta je 1,12 pF/cm u 3 mm tenkých koaxů 50 W, 1 pF/cm u RG58 a RG213 a 0,74 pF/cm u Aircell 7. Čtyři cm koaxiálu ve větší krabici z pocínovaného plechu je ještě rozumná délka. Při ní se ke kapacitě  $C_1$  připočítají další asi 4 pF. Narušení impedance PSV metrem je tedy o tuto kapacitu větší než by odpovídalo  $C_1$ . Koax pro PSV metr s přerušným opletením délky 10 cm na 28 MHz již poznatelně naruší impedanci. U jednotoroidních PSV metrů malá kapacita děliče  $C_1$  a následně i  $C_2$ , znamená nemožnost zcela vynulovat výchylku na 3,5 a zejména 1,8 MHz. To je způsobeno rozhozením děliče  $C_1/C_2$  odporem  $R_2 = 3k3$ , který uzavírá stejnosměrný obvod měřidla. S jeho hodnotou je potřeba pro zvýšení citlivosti jít níže. Falešná výchylka odraženého výkonu by pak ale byla na nejnižším kmitočtu příliš velká. Pro hodnotu  $R_2$  (nebo  $R_3$  na obr. 3.3e/ a obr. 3.6) platí opět pravidlo dvacetinásobku  $X_{c2}$  na nejnižším kmitočtu. Například pro  $C_2 = 200\text{pF}$  vyjde  $R_2 = 8,8 \text{ kW}$ , což je z hlediska citlivosti zpravidla nevyhovující. Proto musíme obvyklý odpor  $R_2 = 3k3$ , nebo nižší, na 1,8 MHz kompenzovat jak je vidět na obr. 3.4. V praxi se to může dělat i obráceně. Paralelně k  $C_1$  se dají např. dva pevné sériové rezistory  $R_1 = 2 \times 27 \text{ k}$ . Proměnným trimrem  $R_2$  se vynuluje výchylka na 1,8 MHz. Pak se trimr  $R_2$  nahradí pevnou kombinací vhodných

rezistorů. Nejdříve se už nastavilo minimum odraženého výkonu na 28 MHz kapacitou C1, nebo C2. Nastavení se dělá při dobré umělé zátěži, výkonu blízkém  $P_{max}$  a maximální citlivosti. Přístroje se odpojí a napětí se měří digitálním multimetrem. Zdánlivě by kompenzace odpadla u PSV metru na obr. 3.3d/. Výhodou je kmitočtová nezávislost impedance děliče a její dostatečně velká hodnota. Konstrukční parazitní kapacity ale zhoršují vlastnosti na vyšších kmitočtech a tak se mírné kompenzaci tentokrát odporového děliče zpravidla se nedá vyhnout. Při 2 kW je ztráta na odporu děliče  $R_1 = 4k7$  kolem 21 W, což je rovněž nepříjemná konstrukční komplikace. Nesmí se zapomenout, že pokud se po koaxu posílá i stejnosměrné napětí pro přepínání antén na střeše, rozhodí se PSV metr, který má kompenzaci, nebo odporový dělič dle obr. 3.3d/. U PSV metrů, navržených podle pravidla 20-ti násobku, ať dvoutoroidních s napěťovou cívku či jednotoroidních s kapacitním děličem, je při 2 kW jalový výkon na cívce nebo kapacitě C1 100 VAR. Při pravidle jen 4 násobku již ale 500 VAR. Pokud je cívka a kapacita C1 bezstrátová, nevzniká žádné teplo. Samozřejmě napěťová cívka ztráty má a tak dvoutoroidní PSV metr do 2 kW je věcí těžko realizovatelnou.



**Obr. 3.6** PSV metr pro 3kW pro PA

Další vadu vnášejí diody. Zatímco u Germaniových diod se výchylka ručičky při konstantním výkonu s kmitočtem příliš neměnila, případně směrem k vyšším kmitočtům klesala, je u Schotkyho diod diference výchylky s kmitočtem vyšší. Musí se tedy kompenzovat. Z levných diod vyhovuje BAT48. U ní do série vychází kompenzační odpor  $R_k$  kolem 47  $\Omega$ , u BAT46 asi 120  $\Omega$ . Diference výchylky od 160m do 10m při konstantním výkonu pak klesne na tloušťku ručičky měřicího přístroje. Schotkyho diody jsou natolik stejné, že jejich přesné párování proti jiným chybám nepřinese zlatelný užitek. Typy diod se můžou vybírat zjednodušeně tak, aby při proudu asi 10 mA na nich bylo co nejmenší napětí. U GA201 to je 72 mV, BAT48 85 mV, BAT46 106 mV, BAT45 163 mV. Ve zkušebním PSV metru se ale při 10 W/14 MHz/ PSV = 1,30

dostalo následujících výsledků: BAT48 – PSV = 1,23, BAT46 a 45 – PSV = 1,22 , GA201 – PSV = 1,21. Nejblíže pravdě je tedy BAT48 a nejhorší je GA201. U PSV metrů se použijí levné BAT48 (40V), nebo ještě levnější BAT46 (100V). Napěťová volba diod je dána poměrem základní citlivosti  $P_{min}$  a maximálního výkonu  $P_{max}$ . Při rozumném poměru do 1:500 napěťově vyhovují BAT48.

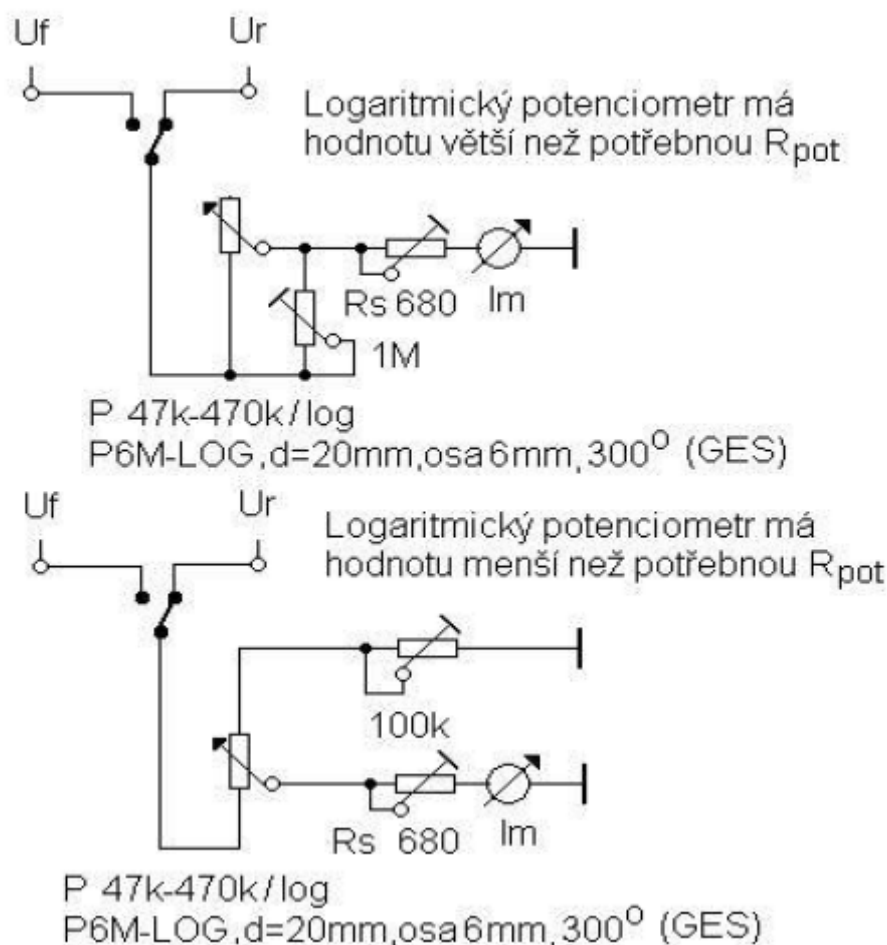
### 3.7 Obvod potenciometru

Pro rovnoměrnou stupnici se použije logaritmický potenciometr 47 k, 100 k, 220 k, 470 k. Hodnota závisí na citlivosti měřícího přístroje, zda se budou odečítat lépe malé výkony (menší hodnota potenciometru) a na maximálním výkonu PSV metru. V sérii je trimr  $R_s$ , jehož hodnota je asi 50% vnitřního odporu měřidla. Trimrem  $R_s$  se přesně nastaví při levém dorazu potenciometru výchylka na základní dílek  $P_{min}$ , který je udělaný na měřidle asi v 70% rozsahu stupnice. Tento dílek a levý doraz potenciometru představuje zamýšlený základní výkon  $P_{min}$ . U běžných PSV metrů se zpravidla nevolí méně jak 0,5 W a naopak u PSV metrů na 2 kW se volí rozumně 5 nebo 10 W, aby se nebyly potíže s výkonovou volbou zatěžovacích rezistorů  $R_z$  a tím i parazitními kapacitami. Hodnota dosažitelných potenciometrů je 47, 100, 220, 470 k. My se ale do hodnoty potenciometru, tak aby na pravém dorazu byl údaj zamýšleného maximálního výkonu, se těžko trefí. Potřebná hodnota logaritmického potenciometru  $R_{pot}$  se odhadne z přibližného vztahu (4):

$$P_{pot} = 200 \frac{\sqrt{P_{max}} R_z}{N \cdot I_m} [k\Omega; W; \Omega; \mu A] \quad (4)$$

$$P_{pot} = 200 \frac{\sqrt{200 \cdot 80}}{22 \cdot 60} = 171 k\Omega \quad (5)$$

Jako příklad se uvádí výkon  $P_{max} = 200$  W, zatěžovací odpor PSV metru  $R_z = 80 \Omega$ , toroid s počtem  $N = 2 \times 11 = 22$  závitů, měřící přístroj  $I_m = 60$  mA. Po dosazení vyjde  $R_{pot} = 171$  k $\Omega$ . Pokud by se jemně odečítaly výkony 1 až 10 W, zvolil by se potenciometr 100 k/log, běžně se použije hodnota 220 k/log. Soudobé značení je 220 k/B, místo dřívějšího názornějšího 220 k/G. Je-li hodnota konkrétního potenciometru větší než odhadnutý  $R_{pot}$ , pomůže se paralelním trimrem, viz obr.3.7. Je-li hodnota potenciometru menší než odhadnutý  $R_{pot}$ , pomůže se trimrem připojeným mezi konec potenciometru a zem. Trimry po nastavení se můžou nahradit vhodnou kombinací pevných rezistorů. Při použití logaritmického potenciometru je na levém dorazu citlivost největší, t.j. nejmenší výkon, na pravém citlivost nejmenší, t.j. největší výkon. Každá konstrukce a každý typ potenciometru má trochu odlišný průběh. Vždy je nutné cejchovat individuálně. Nejpreciznější jsou také vlasové cejchovací čárky obyčejnou tužkou. I pečlivě nakreslená stupnice počítacem zdegradeje ruční cejchování.



Obr. 3.7 Obvody potenciometru

### 3.8 Citlivost měřícího přístroje

Citlivost je dána nejen údajem proudu, např. 100 mA, ale také vnitřním odporem měřidla  $R_i$ , který při 100 mA bývá kolem 1 kW. Je-li 3 kW, je přístroj v obvodu málo citlivý a vezme si sám pro sebe větší výkon. Naopak při  $R_i$  500 W je přístroj v obvodu citlivější a také odebírá sám pro sebe výkon šestkrát menší. Více se ale projeví vady ložisek. Pružinky musí být jemnější a váznutí ručičky a choulostivost přístroje je větší. Měřící přístroje se používá od 50 mA, obvykle 3000 W do 200 mA, obvykle 600 W. Výhodné je používat indikátory z magnetofonů a VU metrů, které mají přibližně logaritmičeskou stupnici. Jejich vlastnosti se liší. Některé mají při rozsahu 60 mA vnitřní odpor 1400 W. Takový přístroj se hodí na citlivé PSV metry pro QRP. Pokud se ale omylem přepne při maximálním výkonu na dopředný výkon, zmagnetuje se přístroj tak, že ručička může zůstat viset na horním dorazu. Na druhém konci jsou necitlivé VU metry 500 mA s  $R_i$  asi 1700 W, které se koupí za 40 Kč v GM elektronik. Ty jsou na tyto jevy a otřesy odolné. Hodí se na málo citlivé PSV metry velkého výkonu. Běžné lineární přístroje MP40 z Metry Blansko s rozsahem 60 až 200 mA, jsou rovněž dobrým kompromisem mezi citlivostí a mechanickou odolností. U indikátorů z magnetofonů bývá potřeba světlou ručičku přebarvit. To se provedeme lihovým fixem. Běžná barva svou vahou příliš naruší vyvážení ručičky. Na měřícím přístroji je označen  $P_{min}$ , např. 1 W. Vyšší výkony se odečítají na stupnici potenciometru, nižší výkony se označí na stupnici měřícího přístroje. Při  $P_{min} = 1$  W lze rozumně označit ještě 0,5 a 0,2 W. Označení 0,1 W

na obr. 3.2 je možné jen při logaritmickém přístroji. Příslušná čárka je o tloušťku ručičky před nulou. Pokud se udělá na umělé zátěži pasivní voltmetr cejchovaný ve W, čte se 100 mW přesně a může se dobrou přesností odhadnout ještě 10 mW. U průchozího Wattmetru se základním výkonem  $P_{min} = 1\text{ W}$  to ale možné není.

### 3.9 Porovnání SWR metrů

V tabulce 1 jsou pro porovnání naměřené údaje dvoutoroidního PSV metru a jednotoroidních QRPP PSV metrů pomocí měření  $U_f$  a  $U_r$  digitálním multimetrem. U všech měření se použila stejná umělá zátěž  $50\ \Omega$ . Je měřeno vždy při takovém výkonu, aby  $U_f$  bylo 9 V. Výsledky jsou tedy porovnatelné a ukazují, že prakticky není kvalitativní rozdíl mezi jednotoroidním a dvoutoroidním provedením PSV metru.

pásmo [MHz]	dvoutoroidní 200W PSV	QRPP 100W 4xH6	QRPP 100W 4xH22
1,8	1,025	1,016	1,013
3,5	1,009	1,008	1,017
7	1,002	1,009	1,016
14	1,011	1,007	1,011
21	1,019	1,007	1,008
28	1,028	1,006	1,012

**Tab. 3.1** PSV na umělé zátěži při  $U_f = 9\text{ V}$  u dvoutoroidního PSV metru 200W u jednotoroidního QRPP PSV metru 100 W

V tabulce 2 jsou výsledky měření pomocí  $U_f$  a  $U_r$  digitálním multimetrem ostatních PSV metrů při výkonu 200 W na zátěži  $50\ \Omega$ . To znamená při různých  $U_f$ . Výsledky nejsou proto příliš srovnatelné a největší nadhodnocení výsledků je u PSV metrů 3 kW. U PSV metru 1 W až 2 kW je demonstrační ukázka zhoršení PSV na 1,8 MHz na 1,06, vlivem již popisované degradace pravidla 20-ti násobku jen asi na 10-ti násobek. Samozřejmě pokud se volí správný postup a začíná se vztahem.

pásmo [MHz]	jednotor. 1W - 200W PSV	jednotor. 1W - 2kW PSV	3kW PSV
1,8	1,023	1,061	1,004
3,5	1,018	1,044	1,004
7	1,015	1,038	1,006
14	1,017	1,038	1,008
21	1,022	1,035	1,011
28	1,022	1,031	1,013

**Tab. 3.2** PSV na umělé zátěži při  $P = 200\text{ W}$  SWR metrů 200W, 2kW, 3kW

### 3.10 Vyhodnocení

Při dodržení uvedených vztahů PSV metru je asi 50% úspěšnost v kapse. Zbývajících 50%, které se zahrnují pod pojem „přísná symetrie“ připadá na pečlivost a trpělivost při doladění, vyhledání optimálních uzemňovacích bodů a umístění součástek v prostoru, zejména konečné dostavení nuly, to jest fáze mezi napětím a proudem u odraženého výkonu na 21 až 28 MHz provedeme změnami polohy diody a  $R_k$  odraženého výkonu. Za přínosné se považuje použití logaritmického potenciometru se stupnicí ve W, logaritmický měřicí přístroj, kompenzační odpůrky u Schotkyho diod a kompenzaci

kapacitního děliče. Tím se omezí obvyklé vady a nepřesnosti, které jsou téměř běžné i u drahých výrobků zvučných jmen. Také při stanovení PSV dle druhé poloviny vztahu (1), to je odečítáním  $P_f$  a  $P_r$  se vyhneme projevům nelinearity diod a tím se dosáhne reálnější hodnota PSV.

U PSV metrů velkých výkonů nad 1 kW je lépe volit C1 nikoliv 3 x 2,2 pF/500 V paralelně, ale raději v sérii 3 kondenzátory 18 pF/500 V. Výsledná kapacita je pak stejná, ale na vyšší napětí a jalový výkon na kondenzátorech C1, který na 28 MHz může dosáhnout až 150 VAr se rozloží stejně po 50 VAr na kondenzátor. Zdá se, že tlumivka na místě obvyklého R2 umožní připojení dvou měřidel. Bohužel tlumivka nezabrání chybám taháním měřidel za sebe. Efektivnější postup nastavování jednotoroidního PSV metru 1 - 200 W, či jednotoroidního typu obecně je: Na kmitočtu 7MHz, eventuelně 14MHz se doladí kondenzátor C2 děliče na minimální výchylku odraženého výkonu při co největším výkonu na dobré umělé zátěži. Na 21 a 28 MHz výchylku dále snížíme na minimum změnou polohy diody BAT48, nebo BAT46 s kompenzačním odpůrkem Rk. Na 3,5 a 1,8MHz se odstraní falešné výchylky odraženého výkonu buď kompenzací děliče dle obr. 3.4, nebo místo R2 tlumivkou s cca 30 až 40 závitů na nf toroidu s  $\mu$  nad 3000, tedy z praměťácké hmoty H40, H60, v nouzi oranžový T10/H22 - 40 až 50 záv. Tím se dosáhne mnohem snadnějšího dostavení stejné fáze napětí na odpůrku R<sub>z</sub> a protifáze napětí na děliči C1/C2 na nejvyšších pásmech 21 až 28 MHz pouze mírnými změnami polohy Schotkyho diody s kompenzačním odpůrkem Rk. Popsané vyhledávání optimálního místa uzemnění C2 je sice možné, ale příliš pracné a nepraktické. Součástky proto musí být ve vzduchu, aby se daly mírně v prostoru „přiohnout“, nikoliv na úhledném plošném spoji. Adekvátně to platí i pro PSV metry dvutoroidní.

## 4 Čítač 30 MHz

### 4.1 Základní technické parametry

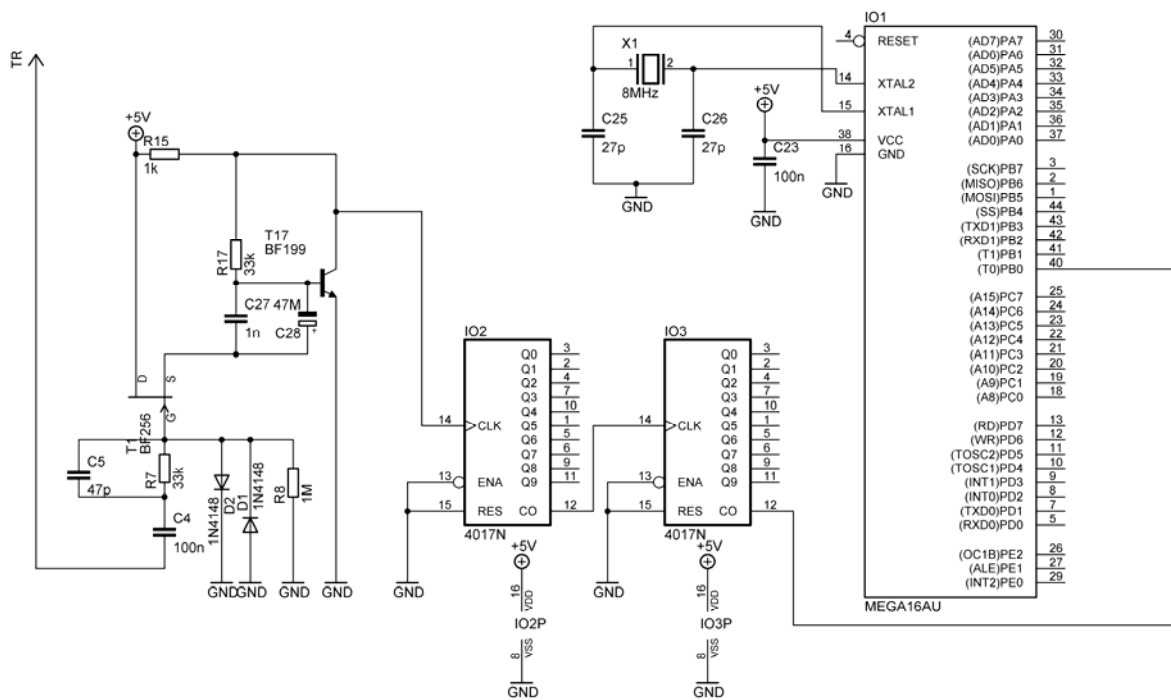
U čítače je použit vstupní odpor 1 M $\Omega$ . Přivede-li se signál s vyšší amplitudou než 0,7 V, začnou se uplatňovat omezovací diody D1 a D2 a vstupní odpor se začne rapidně zmenšovat, čímž se zatíží zdroj signálu a může se tak narušit činnost měřeného obvodu. Tím vzniká mezera, kdy je úroveň signálu pro citlivý vstup příliš vysoká. Takový signál lze úspěšně změřit, pokud ho ke vstupu 100 mV připojíme přes velký odpor, např. 10 M $\Omega$ . V zapojení není, protože by to znamenalo použít přepínač. Na vstupu se vynechal snižovací rezistor o velikosti 10 M $\Omega$  z důvodu velkého vstupního odporu. Například pokud se bude měřit frekvence krystalového oscilátoru u mikrokontroléru právě se snižovacím odporem 10 M $\Omega$ , zatíží se oscilátor natolik, že přestane kmitat, avšak v některých případech – např. v režimu počítadla impulsů je snižovací rezistor nezbytný. Maximální rozsah 30 MHz je dán mezním kmitočtem, na kterém jsou schopny pracovat obvody, které jsou použity jako předdělička (IO2, IO3).

### 4.2 Popis zapojení

Nezbytnou součástí čítače je mikrokontrolér ATmega16, který pracuje na maximálním možném hodinovém kmitočtu. Je to sice na úkor spotřeby, ale je to nezbytné pro maximální výkon a relativní přesnost. K zobrazení slouží alfanumerický LCD displej, který je řízený mikrokontrolérem. Vstupní signál je na kondenzátoru C4 zbaven stejnosměrné složky a tranzistorem T1 oddělen od vlastního zesilovače s tranzistorem T2. Tranzistor T1 je použit kvůli dosažení maximální vstupní impedance. Diody D1 a D2 slouží jako ochrana tranzistoru T1 před přivedením příliš vysokého napětí na G, kterým by se tranzistor zničil.

Kmitočet je měřen mikrokontrolérem pomocí čítače T0 v módu 1, kdy se pro přesně definovaný čas spočítá počet impulsů na vstupu T0. Maximální vstupní kmitočet je omezen na 1/24 hodinového kmitočtu. Aby bylo možné měřit vyšší kmitočty než 1 MHz, je nutné použít předděličku, v našem případě se jedná o děličku dekadickou, složenou ze dvou kaskádně seřazených obvodů (IO2, IO3). Oba jsou zapojeny jako dělička 10.





Obr. 4.1 Schéma zapojení čítače

## 5 Přizpůsobovací články

Nejhorší variantou je stavba T-článku, takže pro nesymetrický napáječ - koaxiální kabel se bude jednat buď o L-,  $\pi$ - nebo  $\pi$ -L článek.

L-článek používající velmi kvalitní kondenzátor je možné použít v orientaci, kdy kondenzátor je na straně antény nebo u výstupu vysílače. Na některých pásmech při přizpůsobování L- nebo T-antény musí být kondenzátor na straně antény, na jiných pásmech na straně vysílače. L-článek můžete zlepšit tak, že použijete proměnnou indukčnost i kapacitu. Proměnná indukčnost se může realizovat třemi způsoby:

- jako pevnou cívku s odbočkami a přepínačem
- jako válcovou cívku, kde se po závitech pohybuje jako sběrač nebo jako variometr

Z uvedených možností je nejlepší volbou variometr, protože umožňuje plynule měnit indukčnost, aniž by v obvodu byl zařazen nějaký třetí kontakt. Variometry dnes ale nejsou příliš populární, protože v porovnání s přepínači nebo proměnnými válcovými cívkami jsou poměrně dost drahé.

Po nejjednodušších L-článcích jsou dalším typem přizpůsobovacích článků  $\pi$ -články, které působí jako ještě lepší filtr horních kmitočtů a umožňují přizpůsobení ve velmi širokém rozsahu. Poté následuje  $\pi$ -L článek, který umožňuje největší rozsah přizpůsobení a výborné potlačení vyšších kmitočtů.

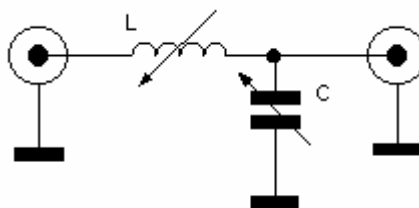
Jak je vidět, postavit si přizpůsobovací článek nebo anténní člen není obtížné. Ztráty v koaxiálním vedení, používaném u většiny radioamatérských stanic, se významně uplatňují teprve při PSV větším než 3:1 a při velkých délkách kabelu. To znamená, že použití anténního tuneru jako přizpůsobovacího článku napájecího vedení s poměrně krátkými kabely - tedy situace, která se běžně vyskytuje - nemusí být na závadu. Největší účinnosti se přesto určitě dosáhne, je-li přizpůsobovací článek umístěn přímo u antény, aby mohl zajistit jednu jedinou věc: přizpůsobit komplexní impedanci antény přenosovému vedení, ale v žádném případě nevykládat anténu.

### 5.1 Rozdělení přizpůsobovacích článků

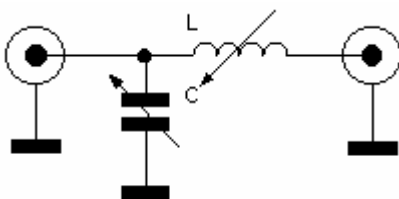
#### 5.1.1 L články

Nejjednodušší zapojení tuneru je L článek. Toto zapojení kromě své jednoduchosti vyniká bezkonkurenčně nejnižšími ztrátami. Provozní Q obvodu se totiž automaticky nastaví na nejnižší hodnotu potřebnou k danému převodu impedancí. I pro extrémní případ převodu z  $50 \Omega$  na  $5000 \Omega$  tedy poměru impedancí 1:100 bude převod napětí 1:10 a tedy se vystačí s provozním  $Q = 10$ . Pro běžné převody se pohybuje Q v řádu jednotek a ztráty jsou zanedbatelné. Na obr. 4.1, 4.2, 4.3 a 4.4 jsou vidět čtyři základní zapojení L článků. Volí se zapojení 4.1 nebo 4.2 pokud se požadujeme horní zádrž, nebo 4.3, 4.4) jako dolní zádrž. Nevýhoda L článku je ale malý rozsah přeladění, obsáhne pouze polovinu plochy Smithova diagramu. Proto je potřeba L článek otáčet (přepínačem nebo záměnou vstupního a výstupního konektoru). Pokud je impedance antény vyšší než  $50 \Omega$ , bude kondenzátor na výstupu, pro nižší impedanci na vstupu. Toto ale platí pouze když je impedance reálná. Při přítomnosti reaktance (jalové složky) to bude jinak.. Protože má L článek pouze dva prvky, je potřeba aby oba byly plynule laditelné. Pro použití s jednou anténou je možno vyhledat i pevné odbočky na cívce. Těžko se ale podaří udělat kvalitní L článek pro celý rozsah krátkých vln. Většinou je potřeba udělat dva, pro dolní a horní pásma. Vyjímku

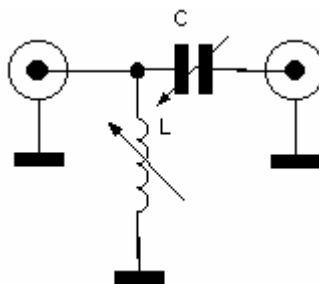
tvoří automatické tunery na principu postupného připojování kondenzátorů a cívek pomocí relé. Otočné kondenzátory tak velký rozsah nemají.



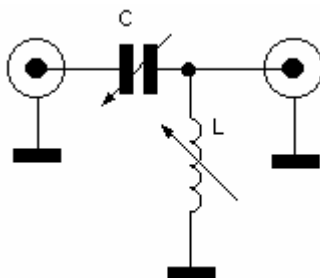
**Obr. 5.1** Zapojení L článku – horní zádrž: 1. varianta



**Obr. 5.2** Zapojení L článku – horní zádrž: 2. varianta



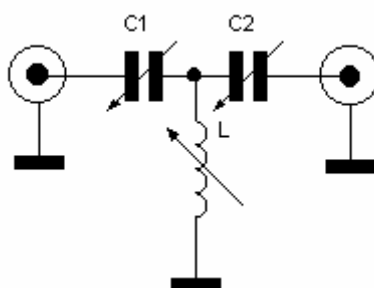
**Obr. 5.3** Zapojení L článku – dolní zádrž: 1. varianta



**Obr. 5.4** Zapojení L článku – dolní zádrž: 2. varianta

### 5.1.2 T články

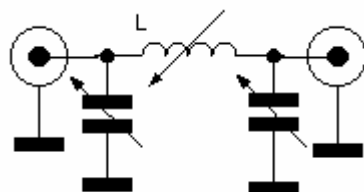
Je to nejčastější typ továrně vyráběných tunerů. Hrozí zde ale nebezpečí vysokých ztrát. T článek obsahuje celkem tři proměnné prvky. Tím umožňuje v širokém rozsahu měnit nejenom impedanci, ale bohužel taky provozní  $Q$  obvodu. Aby se dosáhlo u T článku rozumných hodnot  $Q$ , tak se při ladění dosahuje co největších kapacit a nejmenší indukčnosti. Bohužel hodnoty kondenzátorů u továrně vyráběných T článků bývají kolem 200 pF a to je pro nižší pásma rozhodně málo. Typické zapojení nejčastěji používaného T článku je na obr. 4.5. Nevýhodou je nutnost izolace kondenzátorů od kostry.



Obr. 5.5 Zapojení T článku

### 5.1.3 $\pi$ články

Pro  $\pi$  články platí v menší míře totéž co pro T články. Rozsah bývá menší, ale možnost nastavení zbytečně vysokého  $Q$  platí i zde. Pouze situace je opačná, správné naladění bude při co největší indukčnosti a nejmenších kapacitách. Toto je myšleno z hlediska účinnosti, pokud se dělá  $\pi$  článek pro odstranění harmonických tak se zachová opačně. Dřívější hodnota provozního  $Q$  elektronkových zapojení se doporučovala kolem 12. Byl to rozumný kompromis mezi ztrátami a potlačením harmonických. Od anténního tuneru pro moderní zařízení ale očekáváme maximální účinnost, harmonické by měly být dobře potlačeny již v samotném přístroji. Proto se provozní  $Q$  udržuje na nejnižší možné hodnotě. Typické zapojení  $\pi$  článku je na obr. 4.6.



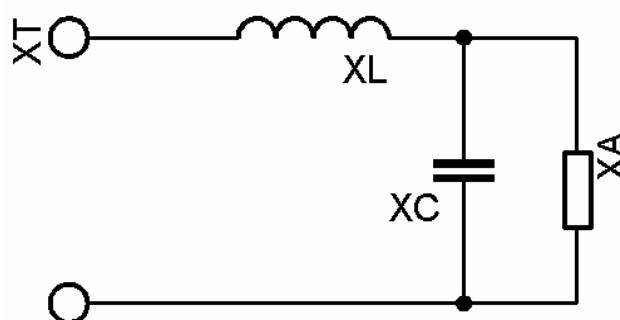
Obr. 5.6 Zapojení  $\pi$  článku

## 6 Přizpůsobovací L článek

Pro nejjednodušší konfiguraci přizpůsobovacího článku se vžil název „L článek“, i když výstižnější je název „ $\Gamma$  (gama) článek. (obr. 5.1) nebo článek „obrácené  $\Gamma$  (obr. 5.2). Svou konfigurací je článek L jednoduchým kmitavým obvodem.

### 6.1 Zapojení L článku – 1. varianta

Paralelní kombinace  $X_C$  a  $X_A$  v sérii s  $X_L$ :



Obr. 6.1 Zapojení L článku – 1. varianta

Výpočet indukčnosti L:

$$X_T = X_L + \frac{X_C \cdot X_A}{X_C + X_A} \quad (6)$$

$$R_0 = j\omega L + \frac{\frac{1}{j\omega C}(X_{AR} + jX_{AI})}{\frac{1}{j\omega C} + (X_{AR} + jX_{AI})} \quad (7)$$

$$R_0 = j\omega L \frac{\frac{(X_{AR} + jX_{AI})}{j\omega C}}{1 + j\omega C X_{AR} + j^2 \omega C X_{AI}} \quad (8)$$

$$R_0 = j\omega L + \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{1 + j\omega C X_{AR} - \omega C X_{AI}} \quad (9)$$

$$R_0 = j\omega L + \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{1 + C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})} \quad (10)$$

$$R_0 - j\omega L = \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{1 + C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})} \quad (11)$$

$$j\omega L = R_0 - \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{1 + C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})} \quad (12)$$

$$L = \frac{R_0}{j\omega} - \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{j\omega + j\omega C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})} \quad (13)$$

$$L = \frac{R_0}{j\omega} - \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{j^2 \omega^2 C X_{AR} - j\omega^2 C X_{AI}} \quad (14)$$

$$L = \frac{R_0}{j\omega} - \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{\omega^2 C(-X_{AR} - jX_{AI})} \quad (15)$$

$$L = \frac{R_0}{j\omega} - \frac{X_{AR} + jX_{AI}}{\omega^2 C(X_{AR} + jX_{AI})} \quad (16)$$

$$L = \frac{\omega C R_0 (X_{AR} + jX_{AI}) + j^2 X_{AI}}{j\omega^2 C (X_{AR} + jX_{AI})} \quad (17)$$

$$L = \frac{\omega C R_0 (X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{j\omega^2 C (X_{AR} + jX_{AI})} \quad (18)$$

Výpočet kapacity C:

$$R_0 = [1 + C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})] = j\omega L [1 + C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})] + X_{AR} + jX_{AI} \quad (19)$$

$$R_0 + R_0 C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI}) = j\omega L + j\omega L C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI}) + X_{AR} - jX_{AI} \quad (20)$$

$$R_0 C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI}) - j\omega L C(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI}) = j\omega L - R_0 + X_{AR} - jX_{AI} \quad (21)$$

$$C[R_0(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI}) - j\omega L(j\omega X_{AR} - \omega X_{AI})] = j\omega L - R_0 + X_{AR} - jX_{AI} \quad (22)$$

$$C = \frac{j\omega L - R_0 + X_{AR} - jX_{AI}}{j\omega R_0 X_{AR} - \omega R_0 X_{AI} + \omega^2 L X_{AR} + j\omega^2 L X_{AI}} \quad (23)$$

$$C = \frac{j(\omega L - X_{AI}) - (R_0 + X_{AR})}{j(\omega R_0 X_{AR} + \omega^2 L X_{AI}) + \omega^2 L X_{AR} - \omega R_0 X_{AI}} \quad (24)$$

Výpočet činitele jakosti Q:

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (25)$$

$$Q = \frac{\omega \frac{\omega CR_0(X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{j\omega^2 C(X_{AR} + jX_{AI})}}{X_{AR} + jX_{AI}} \quad (26)$$

$$Q = \frac{\omega CR_0(X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{j\omega C(X_{AR} + jX_{AI}) \cdot (X_{AR} + jX_{AI})} \quad (27)$$

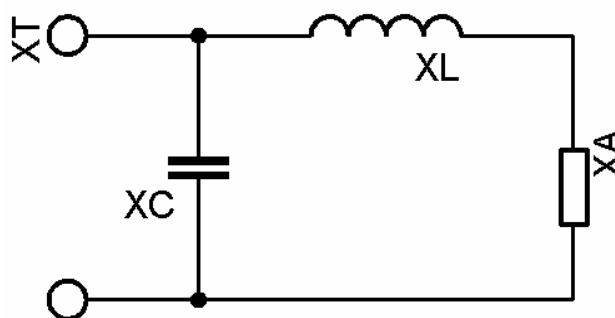
$$Q = \frac{\omega CR_0(X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{(j\omega CX_{AR} + \omega CX_{AI}) \cdot (X_{AR} + jX_{AI})} \quad (28)$$

$$Q = \frac{\omega CR_0(X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{j\omega CX_{AR}^2 - \omega CX_{AR}X_{AI} - \omega CX_{AI}X_{AR} - j\omega CX_{AI}^2} \quad (29)$$

$$Q = \frac{\omega CR_0(X_{AR} + jX_{AI}) - X_{AI}}{j\omega C(X_{AR}^2 - X_{AI}^2) - 2\omega CX_{AI}X_{AR}} \quad (30)$$

## 6.2 Zapojení L článku – 2. varianta

Paralelní kombinace  $X_C$  v sérii s  $X_L$  a  $X_A$ :



Obr. 6.2 Zapojení L článku – 2. varianta

Výpočet kapacity C:

$$X_T = \frac{(X_L + X_A) \cdot X_C}{X_L + X_A + X_C} \quad (31)$$

$$R_0 = \frac{(j\omega L + X_{AR} + jX_{AI}) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI} + \frac{1}{j\omega C}} \quad (32)$$

$$R_0 = \frac{\frac{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI}}{j\omega C}}{\frac{j^2\omega^2 LC + j\omega CX_{AR} + j^2\omega X_{AI}C + 1}{j\omega C}} \quad (33)$$

$$R_0 = \frac{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI}}{-\omega^2 LC + j\omega CX_{AR} - \omega X_{AI}C + 1} \quad (34)$$

$$R_0 = \frac{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI}}{C \cdot (j\omega X_{AR} - \omega X_{AI} - \omega^2 L) + 1} \quad (35)$$

$$R_0 C (j\omega X_{AR} - \omega X_{AI} - \omega^2 L) = j\omega L + X_{AR} + jX_{AI} - R_0 \quad (36)$$

$$C = \frac{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI} - R_0}{R_0 \cdot (j\omega X_{AR} - \omega X_{AI} - \omega^2 L)} \quad (37)$$

Výpočet indukčnosti L:

$$R_0 = \frac{j\omega L + X_{AR} + jX_{AI}}{-\omega^2 LC + j\omega CX_{AR} - \omega X_{AI}C + 1} \quad (38)$$

$$-\omega^2 LCR_0 + j\omega CX_{AR}R_0 - \omega X_{AI}CR_0 + R_0 = j\omega L + X_{AR} + jX_{AI} \quad (39)$$

$$-\omega^2 LCR_0 j\omega L = X_{AR} + jX_{AI} - j\omega CX_{AR}R_0 + \omega X_{AI}CR_0 - R_0 \quad (40)$$

$$-L \cdot (\omega^2 CR_0 j\omega) = X_{AR} + jX_{AI} - j\omega CX_{AR}R_0 + \omega X_{AI}CR_0 - R_0 \quad (41)$$

$$L = \frac{R_0 - X_{AR} - jX_{AI} + j\omega CX_{AR}R_0 - \omega X_{AI}CR_0}{\omega(\omega CR_0 + j)} \quad (42)$$



Výpočet činitele jakosti Q:

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (43)$$

$$Q = \frac{\omega \frac{R_0 - X_{AR} - jX_{AI} + j\omega C X_{AR} R_0 - \omega X_{AI} C R_0}{\omega(\omega C R_0 + j)}}{X_{AR} + jX_{AI}} \quad (44)$$

$$Q = \frac{R_0 - X_{AR} - jX_{AI} + j\omega C X_{AR} R_0 - \omega X_{AI} C R_0}{(X_{AR} + jX_{AI}) \cdot (\omega C R_0 + j)} \quad (45)$$

$$Q = \frac{R_0 - X_{AR} - jX_{AI} + j\omega C X_{AR} R_0 - \omega X_{AI} C R_0}{\omega C R_0 X_{AR} + jX_{AR} + j\omega C R_0 X_{AI} - X_{AI}} \quad (46)$$

## 7 Automatický anténní tuner

### 7.1 Návrh a blokový popis

Blokový popis automatického anténního tuneru je zobrazen v příloze 1. V příloze 2 je schéma řídicí části tuneru. Důležitou součástí je mikrokontrolér, který je srdcem celého zapojení. Nedílnou součástí je také přizpůsobovací člen, v tomto případě je jedná o L člunek. Podrobněji je popsán v kapitole 4.1.1. Anténa má čtyři bloky paměti; každý paměťový blok má přes 2500 stálých nezávislých pamětí pro tunerová nastavení. Tuner obsahuje vysoce účinné přepínání L člunku v pásmu 1,5 až 30 MHz. Druhou část tvoří tzv. přední panel, kde jsou umístěna tlačítka a alfanumerický LCD displej. Tato část je připojena k řídicí desce přes 50-ti pinový konektor.

### 7.2 Manipulace s tunerem

Tuner se připojí do konektoru pro anténu na transceiveru. Připojí se anténa do výstupu ANT na tuneru. Do napájecího konektoru se připojí stejnosměrné napětí 11-16V. Na TRX se nastaví požadovaná frekvence a druh provozu, zaklíčuje se a po doladění se může vysílat. Tuner je plně automatický sloužící k přizpůsobení transceiveru 1,5 - 30 MHz k anténě. Anténa může být jakákoliv, nesymetricky napájená anténa, či přes balun připojená symetricky napájená, LW, Yagi a pod. Rozsah přizpůsobení je mnohem větší, než u jiných tunerů, a spotřeba proudu je malá.

#### Postup instalace :

- Vypnout transceiver.
- Neinstalovat zařízení během bouřek (i vzdálených) či blízko VN a VVN vedení.
- Připojí se tuner nesymetrickým kabelem 50Ω transceiverem. Konektory vystavené povětrnostním vlivům se utěsní vulkanizační páskou. Tuner je určen pro spojení s anténami nesymetrickým kabelem. Pokud se používají symetrické antény, či LW, poté se připojí je k tuneru přes odpovídající balun.
- Připojí se k tuneru napájení.

## 8 Vyhodnocovací obvody

### 8.1 Mikrokontrolér ATmega16-16AU

Mikrokontrolér ATmega16-16AU patří do rodiny AVR osmibitových procesorů RISC od firmy ATMEL. AVR architektura vychází s koncepcí rychle přístupného registrového pole, které obsahuje 32 obecně použitelných registrů délky 8 bitů. Přístup do registrového pole je proveden v jediném strojovém cyklu. To znamená, že během jednoho strojového cyklu lze vykonávat jednu aritmeticko-logickou operaci. Oba operandy aritmeticko-logické instrukce jsou načteny z registrového pole, operace je provedena a výsledek směřuje opět do registrového pole. To vše v jediném strojovém cyklu.

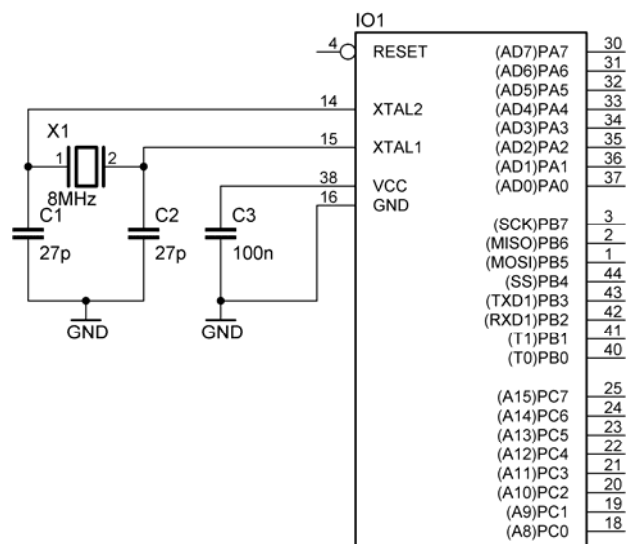
Tato technika dává AVR procesorům velký výpočetní výkon. Například mikrokontroléry řady 8051 disponují instrukcemi o délce od 12 do 48 hodinových cyklů, navíc se pro výpočty musí používat akumulátor, který je v procesoru pouze jeden. Registrové pole lze tedy chápat jako skupinu akumulátorů. Všechny mikrokontroléry AVR disponují pamětí FLASH, pamětí EEPROM, jednotkou obsluhy přerušení, 8-bitovým čítačem/časovačem a dnes pochopitelně i různými komunikačními rozhraními jako je port UART nebo sériové komunikační rozhraní SPI. V řadě procesorů je integrován A/D převodník, či analogový komparátor.

V tomto případě, kdy přístroj bude komunikovat s počítačem a zároveň řídit a konfigurovat externí generátor po sériové lince RS232 je nutné, aby procesor obsahoval dva komunikační porty UART. Rovněž musí disponovat integrovaným A/D převodníkem a bude programovatelný pomocí rozhraní SPI. Dále bude obsluhovat alfanumerický LCD displej, což klade vysoké nároky především na paměťovou kapacitu procesoru. Na základě těchto požadavků byl pro tyto účely zvolen mikroprocesor ATmega16-16AU, který všechny požadavky splňuje. Je dostupný pouze jako SMD součástka v pouzdru TQFP44.

Mezi nejdůležitější parametry procesoru patří:

- 128 kB programové paměti FLASH
- 4 kB paměť EEPROM
- 4 kB paměť SRAM
- dva sériové kanály UART
- 8-kanálový 10-bitový A/D převodník
- 7 osmibitových portů
- pracovní kmitočet až 8 MHz
- napájecí napětí 2,7 – 5,5 V

Mikroprocesor potřebuje ke své základní funkčnosti minimální konfiguraci. Jako zdroj  $V_{CC}$  požaduje kladné napětí +5 V. Pro generování pracovního kmitočtu procesoru může být využit jednak interní oscilátor, nebo externí oscilátor realizovaný v tomto případě krystalem o kmitočtu 8 MHz, což činí délku jedné instrukce mikroprocesoru na 125 ns. Resetovací pin procesoru je ošetřen ISP programátorem.



Obr. 8.1 Základní zapojení procesoru ATmega16-16AU.

## 8.2 Alfanumerický displej MC0802A-SYL/H

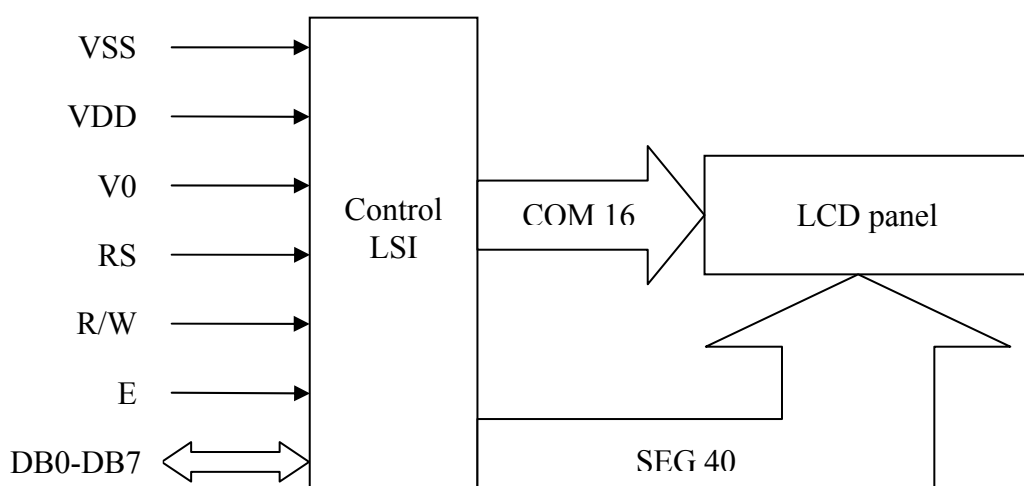
Jako kompaktní periferie automatického anténního tuneru bude sloužit barevný alfanumerický LCD displej MC0802A-SYL/H od firmy Powertip Technology Corporation, jenž patří v dnešní době k vedoucím výrobcům LCD (Liquid Crystal Display) a nabízí tak široký výběr provedení standardních modulů.



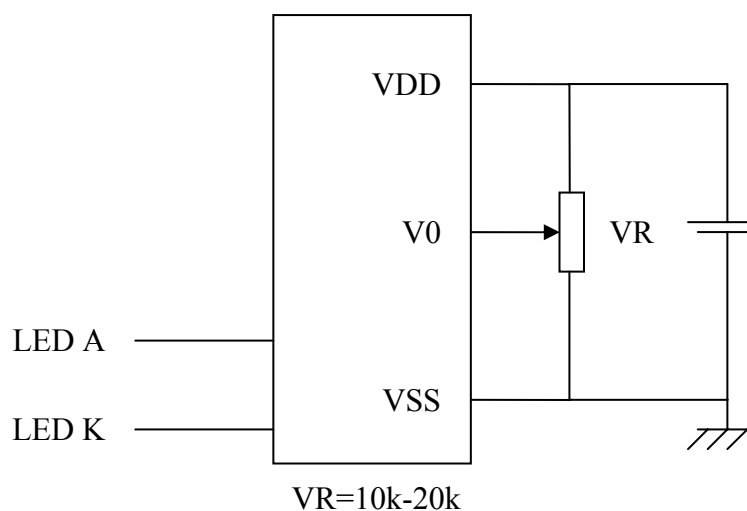
Obr. 8.2 Barevný alfanumerický displej MC0802A-SYL/H.

Technické parametry displeje:

- podsvícení : žlutozelené LED,
- mechanické rozměry : 40,0 x 35,4 x 12,8 mm,
- viditelná plocha : 30,4 x 19,8 mm,
- velikost bodu : 0,55 x 0,55 mm,
- rozteč bodů : 3,35 x 5,15 mm,
- řadič : S6A0069.



**Obr. 8.3** Blokové schéma alfanumerického displeje MC0802A-SYL/H.



**Obr. 8.4** Napájení alfanumerického displeje MC0802A-SYL/H.

Alfanumerické displeje jsou řízeny řadiči s různým stupněm inteligence. Alfanumerický displej je v podstatě oblast malých bodů, které buď svítí nebo nesignálí. Množství bodů (pixelů) v řádcích a sloupcích udává rozlišení displeje např.: 128 x 64, 240 x 128 nebo 320 x 240. Velikost jednotlivých bodů pak udává jemnost zobrazení.

Zobrazení potřebného obrazce na displeji se provede rozsvícením příslušných bodů na dané zobrazovací ploše. Rozsvícení jednotlivých bodů ve většině případů zajišťuje řadič displeje, který je integrován na plošném spoji. Často užívanými řadiči jsou např. KS107

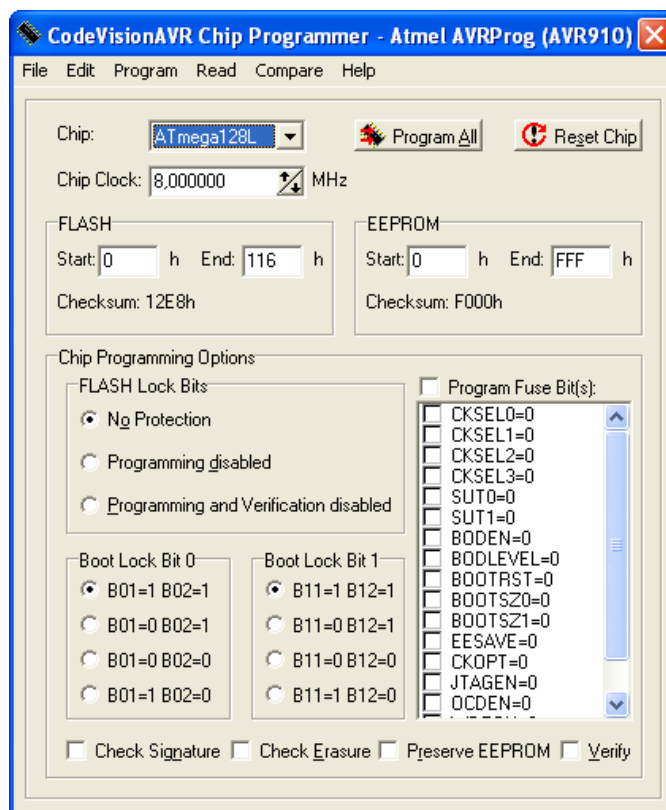
a KS108 od firmy Samsung, které umožňují obsluhovat displeje do velikost 128 x 64 bodů, a Toshiba T6963 obsluhující displeje od 128 x 64 bodů až po 240 x 128 bodů. Pro displeje s větším rozlišením se používá např. EPSON SED1335, který obsluhuje displeje až do rozlišení 640 x 256 bodů. Z důvodu velkých tlaků na cenu se vyrábějí i displeje bez řadičů, kde řízení všech bodů displeje musí zajistit externí elektronická jednotka. U displeje MC0802A-SYL/H je k řízení použit řadič S6A0069.

## 9 Programovací obvody

### 9.1 ISP programování

V současné době se využití jednočipových mikroprocesorů stalo běžnou záležitostí usnadňující v mnoha případech zjednodušení celého obvodové řešení. V souvislosti s tímto trendem je nutné, zabývat se otázkou, jak procesory naprogramovat. Vzhledem k použitému procesoru ATmega16-16AU, jehož provedení je pouze v SMD, je třeba navrhnout využití sériové programovací rozhraní (Serial Peripheral Interface - SPI), umožňující obvod naprogramovat přímo v aplikaci.

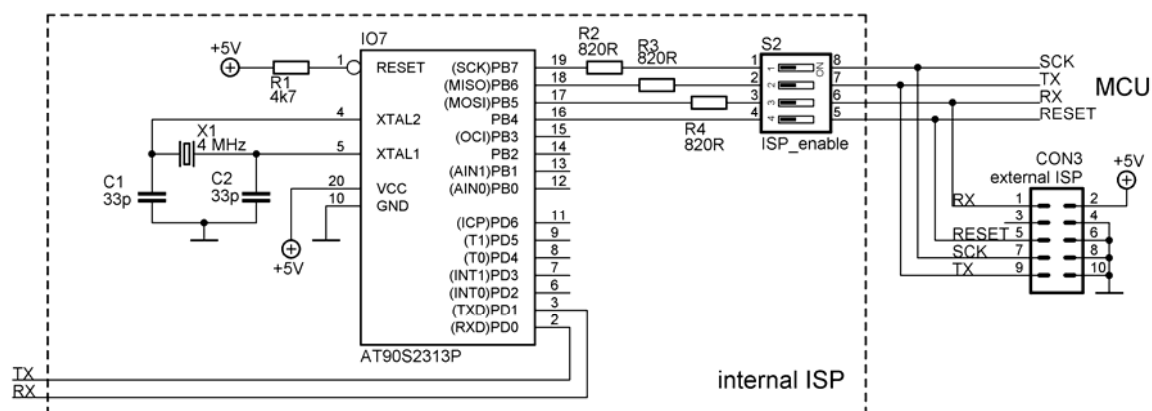
Jedná se o standardní rozhraní, které slouží jak pro programování, tak pro připojení SPI periférií. Z hlediska programování je rozhraní SPI nejjednodušší variantou, jak zapsat firmware včetně obsahu EEPROM do procesoru. Výhodou je již zmíněná možnost programovat procesor přímo v aplikaci, není tedy potřeba procesor neustále vysunovat z patice a přemísťovat do speciálního programátoru. Pro práci s SPI rozhraním je zapotřebí konvertor z paralelního, sériového či USB portu PC na SPI rozhraní. Existuje celá řada různých programátorů jednočipových mikrokontrolérů, nazývané společným názvem ISP (In System Programming). Takový obvod musí být podporován vývojovými prostředky pro práci s procesory AVR. Například vývojové prostředí CodeVisionAVR, umožňuje po napsání a kompilaci kódu ihned procesor programovat z jednoho prostředí. Snadno se tak aplikace ladí, protože po provedení změny v programu se spustí nová kompilace, která může končit přímo programováním procesoru.



Obr. 9.1 Aplikační rozhraní pro ISP programování CodeVisionAVR.

## 9.2 Integrovaný ISP programátor

V tomto případě je použito zapojení AVR ISP programátoru, který využívá USB port a je kompatibilní s vývojovým prostředím CodeVisionAVR.



Obr. 9.2 Programovací obvod.

V tomto zapojení je použit také mikroprocesor AVR ATTINY2313, zapojený za převodníkem UMS2. Zajistí komunikaci mezi rozhraním USB a programovaným mikroprocesorem. SPI rozhraní většiny AVR procesorů je ve většině případů spojeno s piny MOSI, MISO a SCK.

Součástí tohoto obvodu je i konektor, který v kombinaci s jiným programátorem umožní naprogramovat procesor i externě v případě, že dojde k selhání zabudovaného programovacího obvodu s ATTINY2313. Příkladem takového externího zařízení může být programátor SmartProg2 firmy ELNEC, podporující ISP programování.

V souvislosti s použitím několika způsobů programování a s nutným využitím sériového portu mikroprocesoru UART pro ISP je celé zapojení opatřeno několika přepínači, jejichž různé kombinace umožní nastavení požadované funkce. Pravidla pro přepínání jsou uvedeny v tab. 8.1.

Funkce	Nastavení přepínacího pole $S_1$		Nastavení přepínacího pole $S_2$	
	ON piny	OFF piny	ON piny	OFF piny
Interní ISP programování	1,2,3,4	-	1,3	2,4
Externí ISP programování	-	1,2,3,4	-	1,2,3,4
Komunikace přes USB	-	1,2,3,4	2,4	1,3

Tab. 9.1 Nastavení požadované funkce obvodu pomocí přepínačů.



## 10 Mechanická konstrukce tuneru

### *10.1 Návrh desky plošných spojů*

Po dokončení kompletního obvodového zapojení automatického tuneru, je nutné navrhnout desky plošných spojů.

Jedna deska obsahuje zapojení LCD displeje (příloha 6, 7), další zobrazuje řídicí část (příloha 3, 4), kterou tvoří mikroprocesor se všemi periferiemi, PSV metr, L článek s přepínatelným relém a čítač. Deska byla vyrobena z materiálu FR4, s tloušťkou 1,4 mm, pro zajištění správného 50  $\Omega$  vedení.

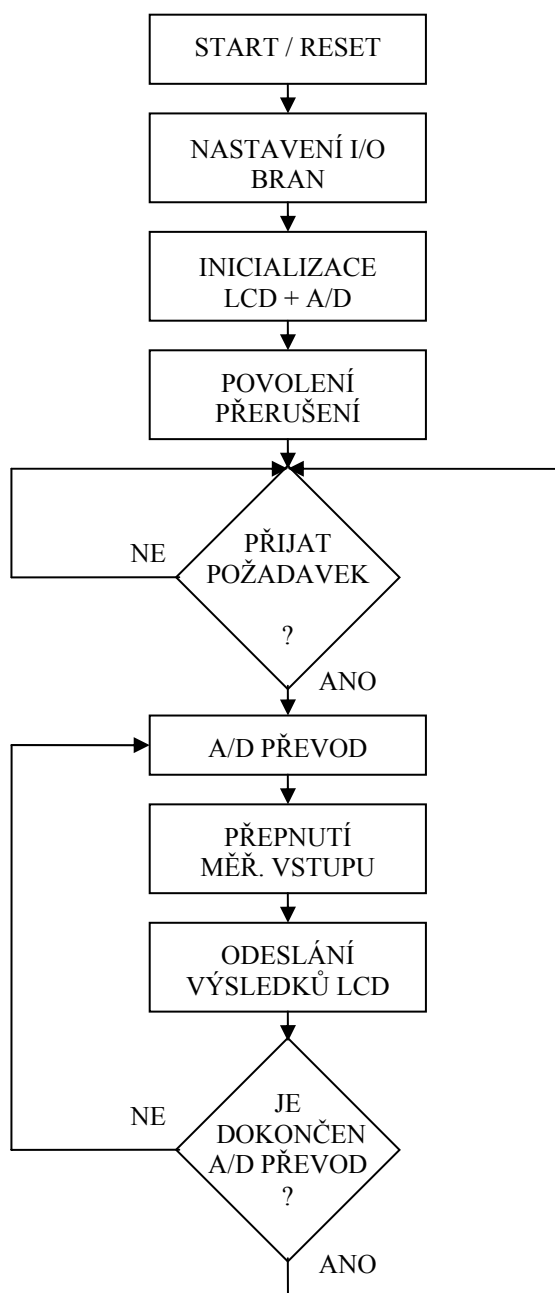
### *10.2 Návrh desky plošných spojů řídicí části.*

Tato deska obsahuje zbývající vyhodnocovací a řídicí část celého obvodového zapojení. Jedná se zejména o mikroprocesor se všemi periferiemi, dále PSV metr, napájecí obvody, obvody pro nastavování kontrastu a jasu alfanumerického LCD displeje.

# 11 Vývoj softwarového vybavení tuneru

## 11.1 Programování AVR mikrokontroléru

Tuner začne ladit vždy, když hodnota PSV překročí nastavenou hodnotu. Automatické ladění pracuje dobře v modech AM, SSB, CW, a digitálních. Vše se ovládá šesti tlačítky na panelu. Funkce se aktivuje stisknutím tlačítka. Při spuštění procesu měření zasílá aplikace požadavek přístroji pro naměřenou hodnotu. Obslužný program v mikroprocesoru zahájí měření podle vývojového diagramu na Obr. 10.1. Vzhledem k tomu, že integrovaný A/D převodník mikroprocesoru pracuje s 10-bitovým vzorkováním, je vždy naměřená hodnota uložena ve dvou 8-bitových registrech.



**Obr. 11.1** Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér.

## 12 Závěr

Úkolem diplomové práce je návrh a realizace automatického anténního tuneru, o jehož postatě a významu je pojednáno v úvodní kapitole. Princip činnosti spočívá v automatickém ladění tuneru. Po rozboru této metody bylo navrženo blokové schéma zařízení, jež splňuje požadavky měřicí metody.

Jsou popsány tři základní zapojení tunerů (L článek, T článek,  $\pi$  článek). Existuje velké množství dalších, ale je to vždy kombinace těchto tří základních, nic lepšího už se neobjeví (kromě vyšších ztrát).

Nejjednodušší přizpůsobovací členy jsou L články (nesymetrické i symetrické). Univerzální tunery jsou pohodlnější, ale zaplatí se za ně vysokými ztrátami.

Účinnost přenosu výkonu anténními přizpůsobovacími články patří k důležitým parametrům přenosové cesty vysílač - anténa. Odvozené vztahy umožňují relativně přesný odhad hodnot pro jednoduché přizpůsobovací články L, T a  $\pi$ .

Hlavním účelem podrobnějšího návrhu bylo obvodové řešení anténního tuneru s požadovaným pracovním rozsahem v KV pásmech. V tomto úkolu byl nejdůležitější výběr stěžejních prvků měřicího systému tak, aby bylo dosaženo požadovaného kmitočtového rozsahu. Nejvyšší důraz byl kladen na zvolení přizpůsobovacího článku. I přes důkladnou volbu těchto součástek bylo samozřejmě nutné se zabývat i vlivem jejich parazitních vlastností na proces a výsledky měření.

Další rozsáhlou částí práce byl návrh vyhodnocovacích obvodů, kam patří například příprava na připojení alfanumerického LCD displeje.

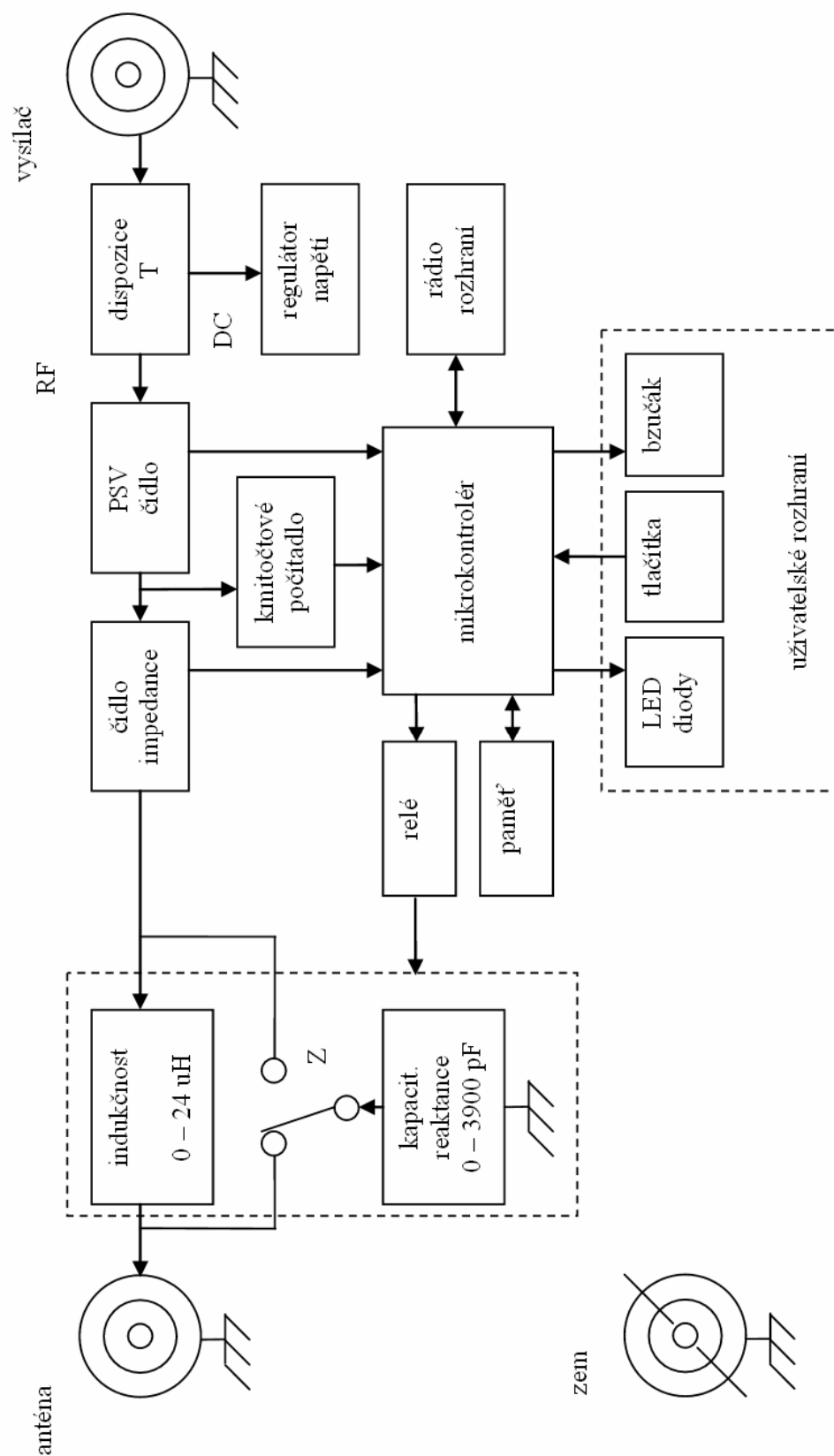
Po návrhu desek plošných spojů, jejich osazení a ověření základní funkčnosti zapojení bylo vytvořeno softwarové vybavení mikroprocesoru, který je srdcem celého zapojení a komunikuje se všemi důležitými periferiemi přístroje.

## 13 Seznam použité literatury

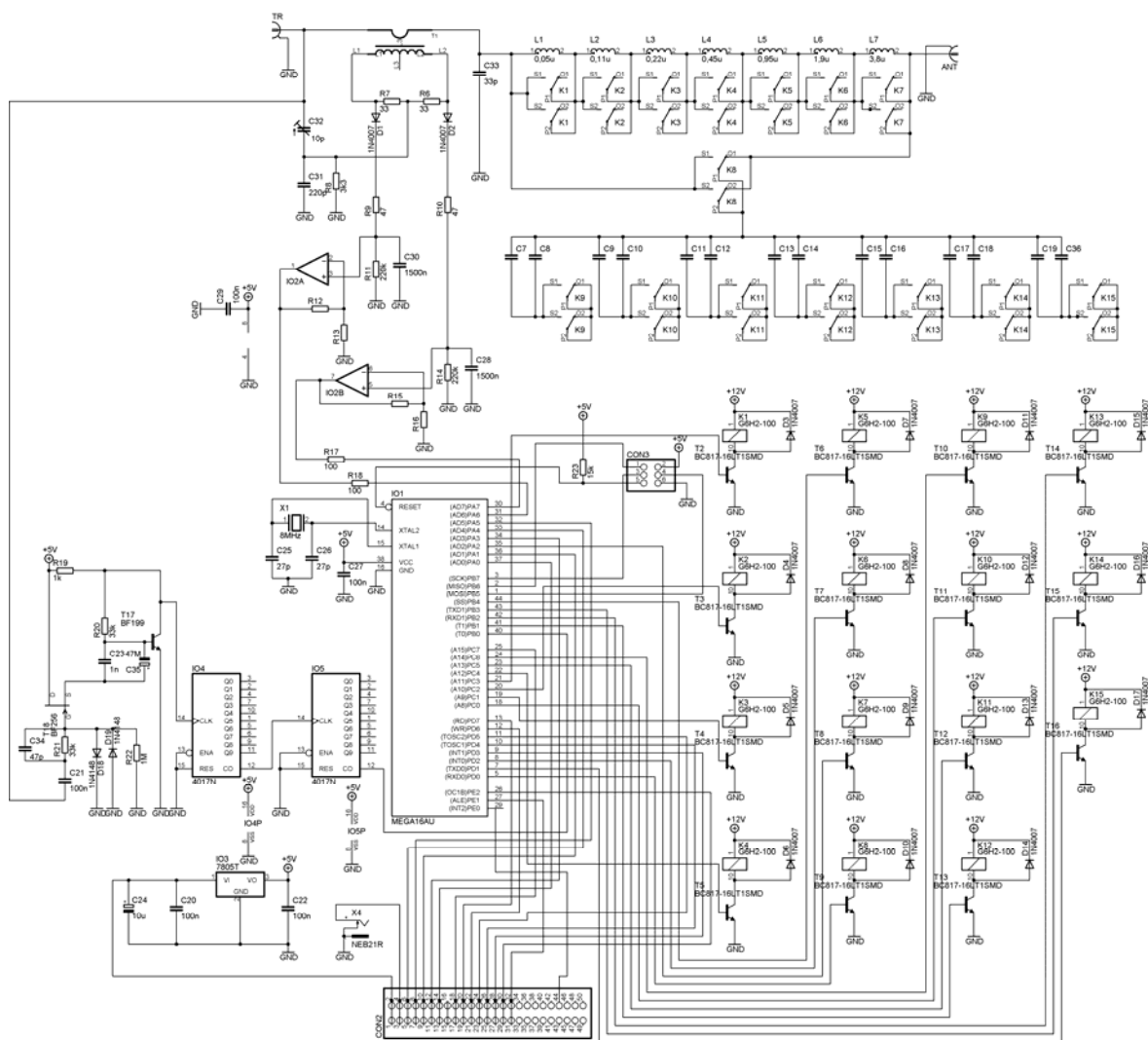
- [1] The ARRL Handbook for radio Communications 2004. ARRL National Association for Amateur Radio. Newington, USA, 2004.
- [2] OBERMAJER, P. Rádioamatér 6/2003, str: 21-22.
- [3] OBERMAJER, P. Rádioamatér 4/2002, str: 24-26.
- [4] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry AVR*. BEN-technická literatura Praha, 2003.
- [5] MACOUN, J. Proč a jak měříme ČSV (PSV). *Magazín praktické elektroniky KTE*, duben 1997, roč. 2, č. 4, s. 32-47.
- [6] MATUSZCYK, J. *Antény prakticky*. BEN-technická literatura Praha, 2003.
- [7] TICHY, M. *Elektronika*, Elektronický učební text, MFF UK Praha, [on-line], 2002, [cit. 17.5.2007]. Dostupné na www: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/>
- [8] ČERNOHORSKÝ, D; TICHÝ, J. *Vyzařování a šíření rádiových vln II*. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1977.
- [9] NOVÁČEK, Z. *Elektromagnetické vlny, antény a vedení*. Elektronický text FEKT VUT Brno. Dostupné ne www: [https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/urel/Elmag\\_vlny\\_anteny\\_a\\_vedeni\\_S.pdf](https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/urel/Elmag_vlny_anteny_a_vedeni_S.pdf)
- [10] DOSTÁL, T. *Analogové elektronické obvody*, Skriptum FEKT VUT Brno, 2004.
- [11] VÁŇA, V. *Programování v jazyce C*, BEN-technická literatura Praha, 2003.
- [12] MANN, B. *C pro mikrokontroléry*, BEN-technická literatura Praha, 2004.
- [13] MATOUŠEK, D. *Práce s inteligentními displeji LCD*. BEN-technická literatura Praha, 2006.
- [14] SERASIDIS, V. *AVR In-System Programming*. [on-line], [cit. 17.5.2007]. Dostupné na www: [http://www.serasidis.gr/circuits/avr\\_isp/avr\\_isp.htm](http://www.serasidis.gr/circuits/avr_isp/avr_isp.htm)
- [15] Internetové stránky RADIO11M.FREESERVERS.COM. [on-line], [cit. 17.5.2007]. Dostupné na www: [http://www.radio11m.freeservers.com/cb\\_list3.htm](http://www.radio11m.freeservers.com/cb_list3.htm)

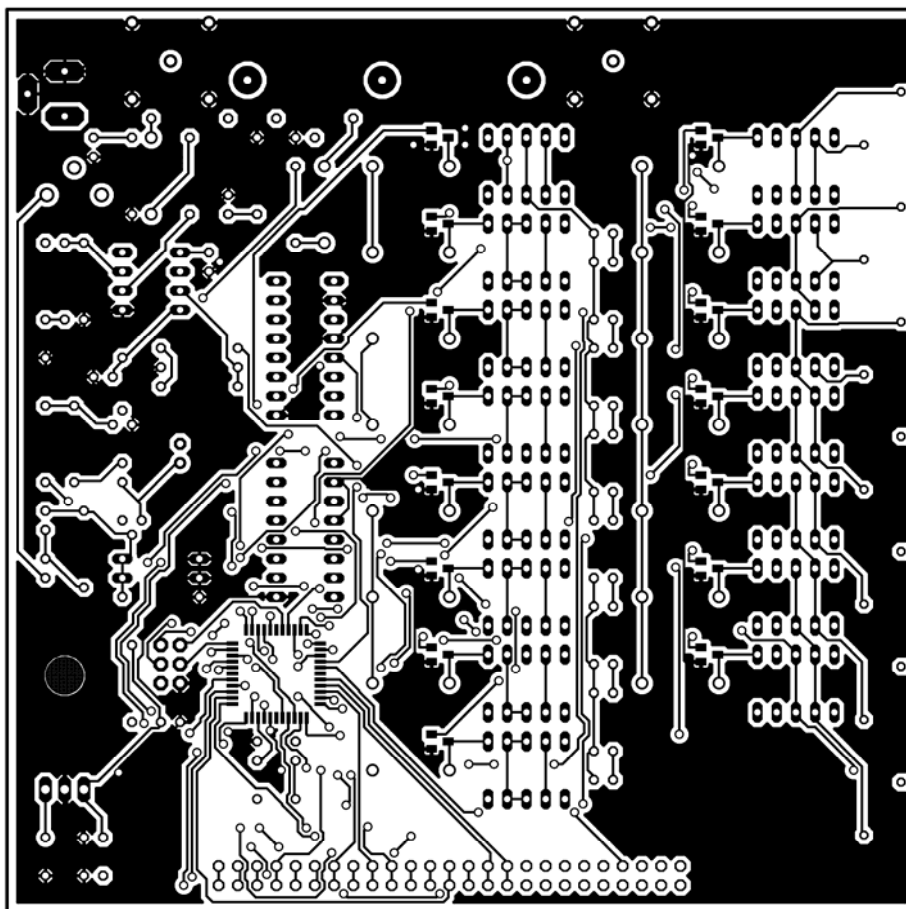
## 14 Seznam příloh

<b>Příloha 1:</b> <i>Blokové schéma automatického anténního tuneru.</i> .....	55
<b>Příloha 2:</b> <i>Schéma zapojení řídicí části tuneru.</i> .....	56
<b>Příloha 3:</b> <i>Deska plošných spojů řídicí části, horní vrstva (měřítko 1:1).</i> .....	57
<b>Příloha 4:</b> <i>Deska plošných spojů řídicí části, spodní vrstva (měřítko 1:1).</i> .....	58
<b>Příloha 5:</b> <i>Schéma zapojení předního panelu tuneru</i> .....	59
<b>Příloha 6:</b> <i>Deska plošných spojů předního panelu, horní vrstva (měřítko 1:1).</i> .....	62
<b>Příloha 7:</b> <i>Deska plošných spojů předního panelu, spodní vrstva (měřítko 1:1).</i> .....	62
<b>Příloha 8:</b> <i>Zdrojový text pro mikroprocesor ATmega16</i> .....	63
<b>Příloha 9:</b> <i>Seznam použitých součástek na řídicí desku</i> .....	65
<b>Příloha 10:</b> <i>Seznam použitých součástek na přední panel</i> .....	66

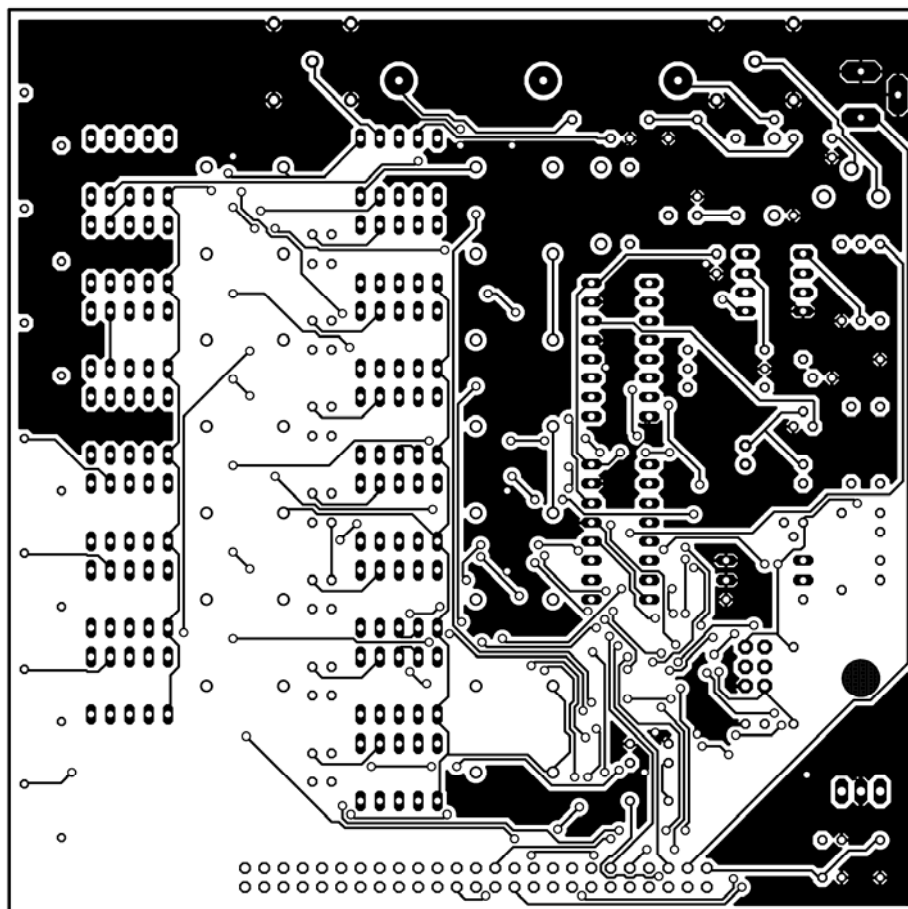
**Příloha 1:** Blokové schéma automatického anténního tuneru.

**Příloha 2: Schéma zapojení řídicí části tuneru.**



**Příloha 3:** *Deska plošných spojů řídicí části, horní vrstva (měřítko 1:1).*



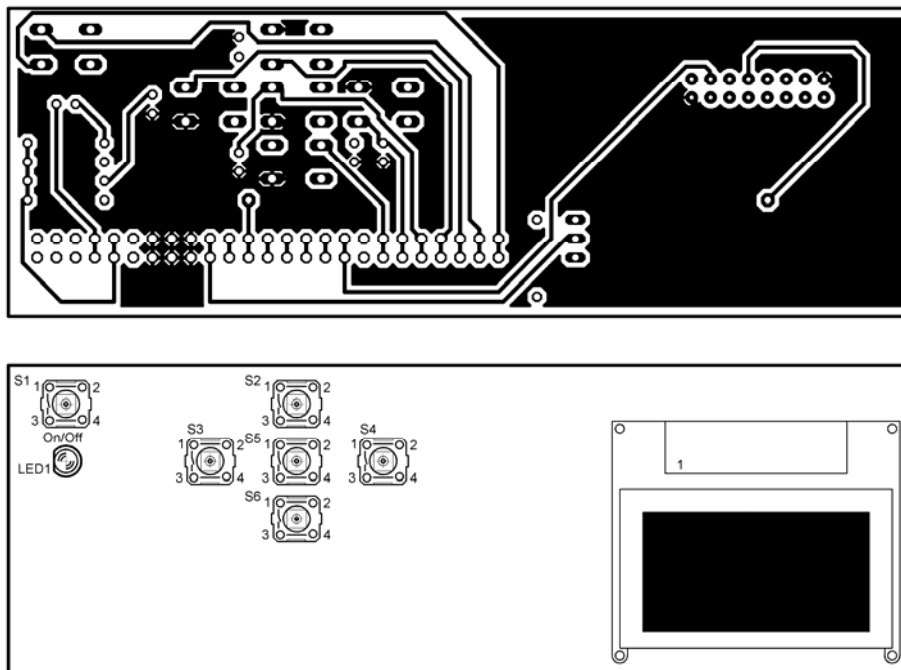
**Příloha 4:** *Deska plošných spojů řídicí části, spodní vrstva (měřítko 1:1).*

**Příloha 5:** *Schéma zapojení předního panelu tuneru*

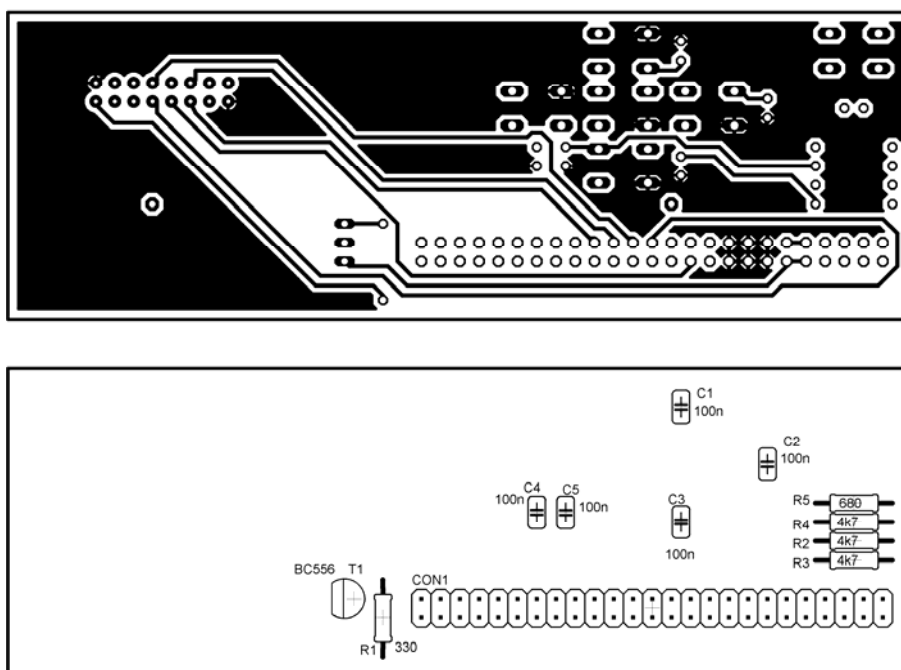




**Příloha 6:** Deska plošných spojů předního panelu, horní vrstva (měřítko 1:1).



**Příloha 7:** Deska plošných spojů předního panelu, spodní vrstva (měřítko 1:1).



**Příloha 8: Zdrojový text pro mikroprocesor ATmega16**

```

//Určeno pro procesor AT mega 16 s krystalem 8MHz
//(c) 2008 Šváb Jaroslav, VUT-FEKT/UREL
//*****SETUP*****
#include <mega16.h> //procesor ATmega16
#define xtal 800000 //krystal 8 MHz
#include <Delay.h>
#include <stdio.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x00

unsigned int napeti; //příznak měřeného kanálu
unsigned int lsb; //registry pro uložení naměřené hodnoty napětí
unsigned int msb;
bit ctu;
bit konecAD;
//*****A/D*****
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void) { //obsluha přerušení A/D převodníku
//převod bude prováděn objedno
//přečte výsledek A/D převodu (!nejdříve LSB!)

    lsb=ADCL; //přečte výsledek A/D převodu (!nejdříve LSB!)
    msb=ADCH;

    if (ctu==1) {
        ctu=0; //příště se přeskočí
        putchar(napeti);
        putchar(lsb);
        putchar(msb);

        switch (napeti) { //nastavení kanálu měření 1,2,3
            case 11: napeti=12;
                ADMUX=1;
                break;
            case 12: napeti=13;
                ADMUX=2;
                break;
            case 13: konecAD=1; };
        }
        else { ctu=1; }; //příště se odešle
        #asm("cli")
        #asm("reti")
    }
}
//*****A/D_CONFIG*****
void ADconfig (void) {
    ADCSRA=0x8E; //konfigurace A/D převodníku
    ADMUX=0; //nastavení kanálu A/D převodníku
    napeti=11; //informace o čísle měřeného napětí (U1)
    konecAD=0;
    ctu=1; //převod bude prováděn objedno
    while (1) { //nekonečná smyčka (čeká na dokončení A/D převodu)

```

```

        if (konecAD==1) { //pokud odeslal vše, skončí a zakáže přerušení
            #asm("cli")
            UCSR0B=0x00; //Registr_B-zakáže celý UART
            break;      }
        else {
            ADCSRA|=0x40; //spustí A/D převod
            #asm("sei")
        };
    };
}
//*****UART*****
interrupt [USART0_RXC] void data(void) {
    if (UDR0==7) {
        ADconfig(); //zavolá A/D převod
    };
    UCSR0A=0x00; //nastaví zpět reg_A, aby nedošlo opět k přerušení
    UCSR0B=0x18; //nastaví zpět reg_B, (zakáže přerušení, povolí RX TX)
    #asm("reti")
}
//*****RESET*****
void main (void){
    // USART0 initialization
    // Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
    // USART0 Receiver: On
    // USART0 Transmitter: On
    // USART0 Mode: Asynchronous
    // USART0 Baud rate: 9600
    UCSR0A=0x00; //Registr_A (Control and Status)
    UCSR0B=0x18; //Registr_B
    UCSR0C=0x06; //Registr_C
    UBRR0H=0x00; //Baud Rate Registers
    UBRR0L=0x33;

    //nastavení typu portu (IN/OUT)
    DDRA=0xff; //OUT - LCD data
    DDRC=0xff; //OUT - LCD control
    DDRD=0x00; //IN - keyboard (+ to GENETATOR!!!)
    DDRF=0x00; //IN - A/D converter - BRIDGE

    while (1) { //nekonečná smyčka (čeká na přerušení od RX)
        UCSR0A=0x00; //obnoví nastavení reg_A
        UCSR0B=0x98; //obnoví znovu čekání na přerušení
        #asm("sei") //povolení všech přerušení
    };
}
//*****END*****

```

**Příloha 9: Seznam použitých součástek na řídicí desku**

<i>označení</i>	<i>typ</i>	<i>provedení</i>
<u>Rezistory:</u>		
R <sub>6</sub> , R <sub>7</sub>	33R	207/10
R <sub>8</sub>	3k3	207/10
R <sub>9</sub> , R <sub>10</sub>	47R	207/10
R <sub>11</sub> , R <sub>14</sub>	220k	207/10
R <sub>17</sub> , R <sub>18</sub>	100R	207/10
R <sub>19</sub>	1k	207/10
R <sub>20</sub> , R <sub>21</sub>	33k	207/10
R <sub>22</sub>	1M	207/10
R <sub>23</sub>	15k	207/10
<u>Kondenzátory:</u>		
C <sub>20</sub> , C <sub>21</sub> , C <sub>22</sub> , C <sub>27</sub> , C <sub>29</sub>	100n	
C <sub>23</sub>	1n	
C <sub>24</sub>	10u	elektrolytický
C <sub>25</sub> , C <sub>26</sub>	27p	
C <sub>28</sub> , C <sub>30</sub>	1500n	
C <sub>30</sub>	220p	
C <sub>31</sub>	10p	trimr
C <sub>33</sub>	33p	
C <sub>35</sub>	47M	elektrolytický
<u>Integrované obvody:</u>		
IO <sub>1</sub>	μP ATmega16-16AU	SMD TQFP64
IO <sub>2</sub>	OZ 7805T03	DIL08
IO <sub>3</sub>	stab. 7805	TO220H
IO <sub>4</sub>	čítač 74HC4017	
IO <sub>5</sub>	čítač 74HC4017	
<u>Konektory:</u>		
CON <sub>2</sub>	PINHD 2x25	
CON <sub>3</sub>	PINHD 2x3	
<u>Diody</u>		
D <sub>1</sub> - D <sub>17</sub>	1N4007	
D <sub>18</sub> , D <sub>19</sub>	1N4148	
<u>Trimr:</u>		
R <sub>17</sub>	50k	10,3 mm ležatý
<u>Relé:</u>		
K <sub>1</sub> - K <sub>15</sub>		G6H2-100



Krystaly:

X <sub>1</sub>	8 MHz
----------------	-------

Cívky:

L <sub>1</sub>	0,05μH	Z4/22
L <sub>2</sub>	0,11μH	Z4/22
L <sub>3</sub>	0,22μH	Z4/22
L <sub>4</sub>	0,45μH	Z4/22
L <sub>5</sub>	0,95μH	Z4/22
L <sub>6</sub>	1,9μH	Z4/22
L <sub>7</sub>	3,8μH	Z4/22

Tranzistory:

T <sub>2</sub> – T <sub>16</sub>	NPN BC817-16SMD	SOT23
T <sub>17</sub>	NPN BF199	TO92
T <sub>18</sub>	JFET-N BF256	TO92

Koaxiální přizpůsobení:

ANT	CON-COAX 50 Ω
TR	CON-COAX 50 Ω

**Příloha 10: Seznam použitých součástek na přední panel**

<i>označení</i>	<i>typ</i>	<i>provedení</i>
<u>Rezistory:</u>		
R <sub>1</sub>	330R	207/10
R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	4k7	207/10
R <sub>5</sub>	680R	207/10
<u>Kondenzátory:</u>		
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>5</sub> , C <sub>6</sub>	100n	C025-024x044
<u>Konektory:</u>		
CON <sub>1</sub>	PINHD 2x25	
<u>Dioda</u>		
LED <sub>1</sub>	LED3MM	
<u>Tranzistor:</u>		
T <sub>1</sub>	PNP BCR-562	SOT23
<u>Tlačítka:</u>		
S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>4</sub> , S <sub>5</sub> , S <sub>6</sub>	P-B1720C	B3F-10XX
<u>LCD displej:</u>		
	MC0802A-SYL/H	