

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Automatizovaný zkušební systém pro měření parametrů palubní letecké
radiostanice

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr JURÁŠ**
Osobní číslo: **E15N0054K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Automatizovaný zkušební systém pro měření parametrů
palubní letecké radiostanice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Sestavte automatizovaný zkušební systém a vytvořte program pro měření parametrů palubní letecké radiostanice LUN 3520.15-8.

1. Popište strukturu a princip funkce testované radiostanice LUN 3520.15-8, měřené parametry, kritéria, periodu testování, odkazy na platné normy a zákonná omezení.
2. Sestavte a popište automatizovaný zkušební systém pro měření parametrů palubní letecké radiostanice.
3. Navrhněte program v prostředí LabVIEW pro měření parametrů uvedené radiostanice.
4. Proveďte kontrolní měření a ověřte správnou funkci Vámi navrženého programu.
5. Proveďte vyhodnocení zvoleného řešení a objasněte výhody nového programu.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na sestavení automatizovaného zkušebního systému pro měření parametrů palubní letecké radiostanice LUN 3520.15-8. Pomocí programu v prostředí Lab VIEW jsem navrhl zdrojové kódy pro měření parametrů kontrolního konektoru, vysílače a přijímače radiostanice. Dalším krokem byla realizace měření daných parametrů a tím ověření správné funkce programu. V závěrečné části bylo provedeno vyhodnocení zvoleného řešení, jeho výhody či případné problémy.

Klíčová slova

Automatizovaný zkušební systém, palubní letecká radiostanice LUN 3520.15-8, GPIB, Z-1043, CMS-57, USB, Lab VIEW, vrtulník W-3A Sokol.

Abstract

This diploma thesis is focused on the compilation of an automated test system for the measuring of parameters of airborne radio station LUN 3520.15-8. Using a program in LabVIEW, I designed source codes for the measuring of control connector parameters, radio transmitter and receiver parameters. There were a realization of the given parameters measurement and thus a verification the correct function of the program in the next step. The evaluation of the chosen solution, its advantages or possible problems were discussed in the final part of this diploma thesis.

Key words

Automated test system, airborne radio station LUN 3520.15-8, GPIB, Z-1043, CMS-57, USB, LabVIEW, W-3A Sokol helicopter.

Prohlášení

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

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

.....
podpis

V Blovicích, dne 21. 5. 2018

Bc. Petr Juráš

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Richardu Linhartovi, Ph.D. za konzultaci, dále Ing. Oldřichu Kroupovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat pedagogickému sboru Fakulty elektrotechnické, Západočeské univerzity v Plzni za získání všech odborných znalostí během mého studia.

Za podporu děkuji také mé manželce, Mgr. Leně Jurášové, která mi poskytla pevné rodinné zázemí během celého mého studia.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ	9
SEZNAM ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 STRUČNÝ POPIS SOUPRAVY LETECKÉ PALUBNÍ RADIOSTANICE LUN 3520.15-8....	13
1.1 VŠEOBECNÝ POPIS RADIOSTANICE LUN 3520.15-8	13
1.2 STRUKTURA A ROZMÍSTĚNÍ MODULŮ V BLOKU RADIOSTANICE.....	14
1.3 PRINCIP RADIOSTANICE	15
1.4 MĚŘENÉ PARAMETRY RADIOSTANICE.....	17
1.4.1 <i>Kontrola kontrolního konektoru</i>	<i>17</i>
1.4.2 <i>Kontrola stability nosného kmitočtu vysílače.....</i>	<i>17</i>
1.4.3 <i>Kontrola výkonu vysílače</i>	<i>18</i>
1.4.4 <i>Kontrola hloubky modulace a zkreslení vysílače</i>	<i>18</i>
1.4.5 <i>Kontrola citlivosti přijímače.....</i>	<i>19</i>
2 NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO ZKUŠEBNÍHO PRACOVÍŠTĚ	20
2.1 MĚŘICÍ PRACOVÍŠTĚ PRO JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ	20
2.1.1 <i>Měřicí pracoviště pro kontrolu kontrolního konektoru</i>	<i>20</i>
2.1.2 <i>Měřicí pracoviště pro kontrolu stability nosného kmitočtu vysílače</i>	<i>21</i>
2.1.3 <i>Měřicí pracoviště pro kontrolu výkonu vysílače</i>	<i>21</i>
2.1.4 <i>Měřicí pracoviště pro kontrolu hloubky modulace a zkreslení vysílače</i>	<i>22</i>
2.1.5 <i>Měřicí pracoviště pro kontrolu citlivosti přijímače.....</i>	<i>22</i>
2.2 VÝBĚR VHODNÝCH MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ	23
2.2.1 <i>Sběrnice GPIB</i>	<i>23</i>
2.2.2 <i>Sběrnice USB.....</i>	<i>24</i>
2.2.3 <i>Rozhraní GPIB–USB–HS</i>	<i>25</i>
2.2.4 <i>Multimetr Keithley 2000.....</i>	<i>25</i>
2.2.5 <i>Zkušební zařízení Z 1043.....</i>	<i>26</i>
2.2.6 <i>Rohde & Schwarz CMS 57</i>	<i>27</i>
2.3 NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO MĚŘICÍHO PRACOVÍŠTĚ	29
3 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LABVIEW	30
3.1 NÁVRH PROGRAMU PRO KONTROLU KONTROLNÍHO KONEKTORU	30
3.1.1 <i>Kontrola napájecích napětí modulu zdroje</i>	<i>31</i>
3.1.2 <i>Kontrola napětí na desce NF obvodů</i>	<i>34</i>
3.1.3 <i>Kontrola napětí modulu vysílače</i>	<i>35</i>
3.1.4 <i>Kontrola napětí na desce demultiplexeru</i>	<i>37</i>
3.1.5 <i>Kontrola napětí modulu syntezátoru</i>	<i>37</i>
3.1.6 <i>Kontrola napětí modulu přijímače.....</i>	<i>38</i>

3.2	NÁVRH PROGRAMU PRO MĚŘENÍ PARAMETRŮ VYSÍLAČE.....	41
3.2.1	<i>Měření nosného kmitočtu a výkonu</i>	41
3.2.2	<i>Měření hloubky modulace a zkreslení</i>	43
3.3	NÁVRH PROGRAMU PRO MĚŘENÍ CITLIVOSTI PŘIJÍMAČE.....	44
4	ZMĚŘENÉ PARAMETRY RADIOSTANICE	45
4.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KONTROLNÍHO KONEKTORU.....	45
4.1.1	<i>Vyhodnocení napájecích napětí modulu zdroje</i>	45
4.1.2	<i>Vyhodnocení napětí na desce NF obvodů</i>	46
4.1.3	<i>Vyhodnocení napětí modulu vysílače</i>	47
4.1.4	<i>Vyhodnocení napětí na desce demultiplexeru</i>	48
4.1.5	<i>Vyhodnocení napětí modulu syntezátoru</i>	48
4.1.6	<i>Vyhodnocení napětí modulu přijímače</i>	49
4.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ VYSÍLAČE	51
4.2.1	<i>Nosný kmitočet a výkon</i>	51
4.2.2	<i>Hloubka modulace a zkreslení</i>	52
4.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ PŘIJÍMAČE	53
	ZÁVĚR.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	PŘÍLOHY	57

Seznam symbolů

Značka	Celý název	Jednotky
v	Teplota	(°C)
f	Frekvence	(Hz)
I	Proud	(A)
m	Hloubka modulace	(%)
P	Výkon	(W)
S/N	Poměr signál – šum	(dB)
t	Čas	(s)
U	Stejnoseměrné napětí	(V)
U_n	Stejnoseměrné jmenovité napětí	(V)
Z	Impedance	(Ω)

Pozn. V práci používám pouze veličiny ve skalární formě.

Seznam zkratk

AM	Amplitudová modulace
AVC	Napětí automatického řízení citlivosti
ASC	American Standard Code for Information Interchange
CMS	Radiocommunication Service Monitor
ČR	Česká republika
D/A	Digitálně analogový převodník
DMT	Testovací napětí demultiplexeru
DVV	Demodulační výstup vysílače
GPIB	General Purpose Interface Bus
HOT	Napájení napětí hodin
HP	Havarijní přijímač
HP-IB	Hewlett Packard Interface Bus
IMS	International Measurement System
KOV	Nízkofrekvenční napětí kontrolního odposlechu vysílače
LabVIEW	Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench
LND	Ladící napětí 1. pásma
LNH	Ladící napětí 2. pásma
MBR	Nízkofrekvenční výstup přijímače
NF	Nízká frekvence
NFS	Nízkofrekvenční výstupní signál bloku radiostanice
NI	National Instruments
PLT	Testovací napětí synchronismu syntezátoru
R&S	Rohde & Schwarz
SMS	Modulační signál

SQ	Umlčovač šumu
UKV	Ultra krátké vlny
USB	Universal Serial Bus
VKV	Velmi krátké vlny
VF	Vysoká frekvence

ÚVOD

Tato práce se věnuje automatizovanému zkušebnímu systému pro měření parametrů palubní letecké radiostanice LUN 3520.15-8. Tato stanice je důležitou součástí palubního vybavení většiny letadel a vrtulníků, které využívá letectvo armády České republiky. Starší verze radiostanic LUN 3520 a používané přístroje pro měření parametrů radiostanic umožňují naladit frekvence v prvním leteckém pásmu s odstupem 25kHz. Stále větší objem letecké přepravy si vyžádal v tomto leteckém pásmu navýšení kmitočtů. Původní odstup mezi kanály 25kHz byl nahrazen odstupem 8,33kHz. Tím došlo k požadovanému zvětšení kapacity leteckého pásma. Na tuto situaci muselo reagovat i letectvo armády ČR. Starší verze radiostanic LUN, pocházející z doby 90. let 20. Století, se modernizovaly nahrazením dvou bloků (přijímače a syntezátoru) tak, aby pracovaly s odstupem kmitočtu 8.33kHz. Měřicí přístroje používané ke kontrole parametrů radiostanice neumějí v manuálním režimu s takto upravenými kmitočty pracovat. Nákup nových měřicích přístrojů by znamenal velkou finanční zátěž pro armádu. Tento problém lze vyřešit pomocí návrhu automatizovaného zkušebnímu systému.

Cílem této práce je sestavit automatizovaný zkušební systém a vytvořit program pro měření parametrů palubní letecké radiostanice LUN 3520.15-8. Využito bude programu v prostředí Lab VIEW, kde navrhne zdrojové kódy pro měření parametrů kontrolního konektoru, vysílače a přijímače radiostanice.

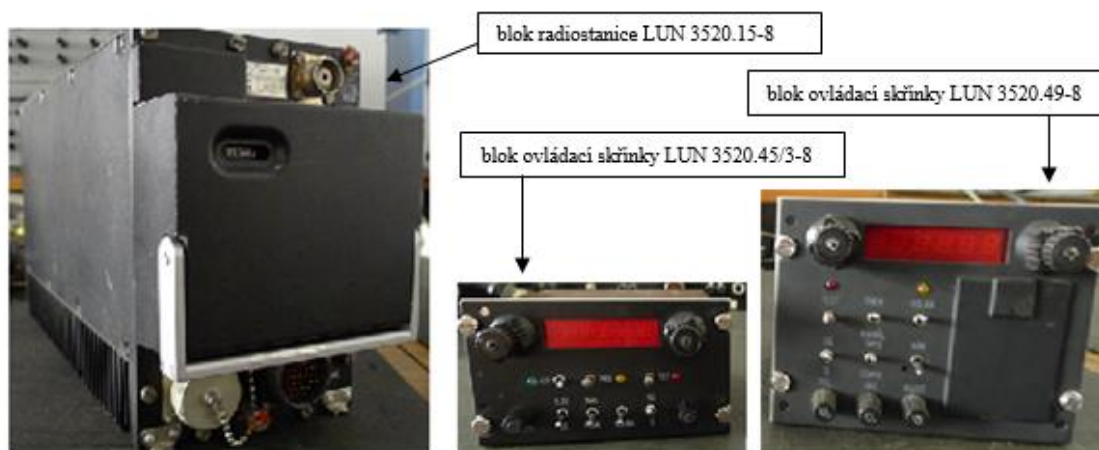
Nejprve si přiblížíme strukturu, princip a základní technické parametry letecké palubní radiové stanice LUN 3520.15-8. Popíšeme problematiku předepsaných prací a měření parametrů radiostanice. Následovat bude popis pracovišť pro jednotlivá měření a výběr vhodných měřicích přístrojů. Na základě takto zpracovaných informací navrhne sestavu automatizovaného zkušebnímu systému pro měření parametrů. V prostředí LabVIEW navrhne zdrojové kódy pro měření parametrů na kontrolním konektoru, vysílače a přijímače radiostanice tak, aby nám umožnily automaticky řídit proces měření palubní letecké radiové stanice. Poté provedeme kontrolní měření, při kterém ověříme správnost navržených zdrojových kódů. V závěru zhodnotíme zvolené řešení a objasníme jeho výhody.

1 STRUČNÝ POPIS SOUPRAVY LETECKÉ PALUBNÍ RADIOSTANICE LUN 3520.15-8

1.1 Všeobecný popis radiostanice LUN 3520.15-8

Letecká palubní radiostanice LUN 3520.15-8 je komunikační zařízení, určené pro oboustranné simplexní fonické radiové spojení mezi letadlem a pozemním řízením letového provozu, případně mezi letadly navzájem. Radiostanice je především konstruována pro vojenská letadla a vrtulníky, proto využívá dvou leteckých pásem. Složení soupravy na palubě letounu tvoří:

- blok radiostanice LUN 3520.15-8
- blok ovládací skřínky LUN 3520.45/3-8 nebo LUN 3520.49-8
- odpružený rám LUN 3520.70-8¹.



Obr. 1.1: Souprava LUN 3520.15-8

Technické parametry:

- Frekvenční rozsah:
 - v pásmu VKV (118,000 až 155,975) MHz
 - v pásmu UKV (220,000 až 399,975) MHz
- Počet kanálů:
 - v pásmu VKV 4559
 - v pásmu UKV 7200

¹ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

- c) Citlivost přijímače:
v obou pásmech lepší než $3 \mu\text{V}$ při dosažení poměru signál + šum k šumu 10 dB a při napětí na NF výstupu 30 V.
- d) Kanálový odstup:
v pásmu VKV – 8,33 kHz a 25 kHz
v pásmu UKV – 25 kHz
- e) Vysokofrekvenční výkon vysílače (v obou pásmech):
normální minimálně 15 W
snížený $6 \text{ W} \pm 2 \text{ W}$
- f) Hloubka modulace: $90\% \pm 10\%$
- g) Provozní stejnosměrné napájecí napětí: 24,0 až 29,4 V
- h) Stejnosměrné jmenovité napájecí napětí: 27,5 V
- i) Maximální povolený odběr proudu:
při příjmu 2,6 A
při vysílání 7,7 A
- j) Maximální doba vysílání: 20 minut
- k) Pracovní kmitočet havarijního přijímače: 121,5 MHz nebo 243 MHz
- l) Úroveň spínání umlčovače šumu havarijního přijímače nesmí být větší než $6 \mu\text{V}$.
- m) Doba přeladění na jiný kanál nesmí přesáhnout 1 s.
- n) Charakteristická impedance anténního konektoru 50Ω
- o) Rozsah provozních teplot: -60°C až $+60^\circ\text{C}$

1.2 Struktura a rozmístění modulů v bloku radiostanice

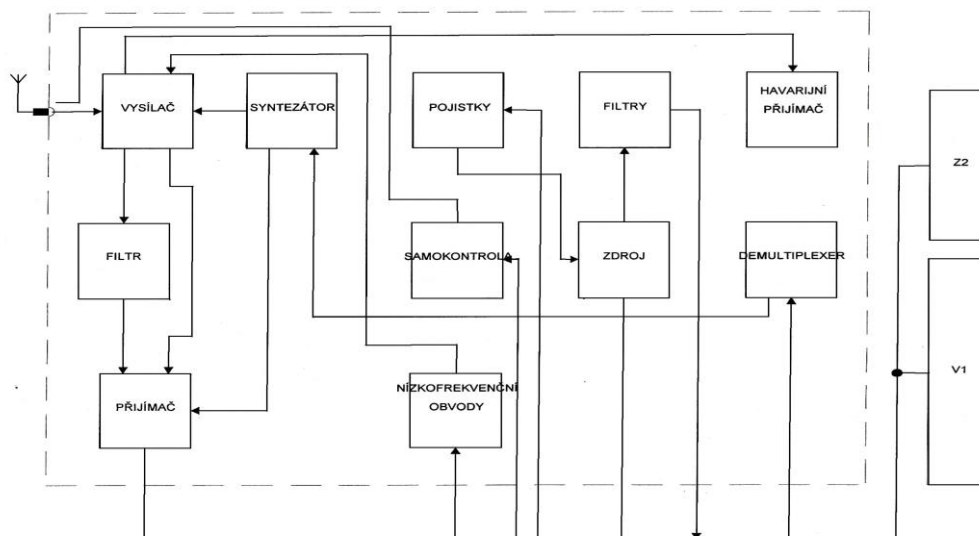
Blok radiostanice je složen z jednotlivých modulů. Hlavní částí je rám, kde je deska kabeláže s řadovými konektory, které elektricky propojují všechny moduly. Zdroj s chladícím křídlem je uložen ve spodní části rámu. Vysílač s chladícím křídlem je umístěn v horní části rámu. Oba moduly zároveň tvoří spodní a horní kryt bloku radiostanice. V prostřední části rámu jsou podélně zasazeny moduly přijímače a syntezátoru. Dále jsou zde vloženy moduly: demultiplexer, nízkofrekvenční obvody, samokontrola, filtry napájení a pojistky viz *Obr. 1.2*. Na čelním panelu bloku radiostanice je uprostřed pod krytem umístěn havarijní přijímač. V horní části je anténní konektor, ve spodní části se nachází 32-pólový konektor (V1) pro připojení kabeláže. Na levo, pod krytkou, je 19-pólový konektor (Z2) pro kontrolu činnosti radiostanice při přezkušování kontrolní měřicí technikou² viz *Obr. 1.1*.

² MESIT přístroje spol. s.r.o. *Technický popis*. Uherské Hradiště: 2010



Obr. 1.2: Blok radiostanice

1.3 Princip radiostanice



Obr. 1.3: Blokové schéma³

Napájecí napětí palubní sítě je přivedeno přes pojistky, které chrání zdroj při přepólování nebo před úplným zničením. Zdroj vyrábí všechna potřebná napětí pro provoz radiostanice (-12 V, +15 V, +5 V, +30 V). Filtry dodatečně filtrují napájecí napětí ze zdroje pro elektronické obvody, které jsou citlivé na zvlnění napájecího napětí.

³ MESIT přístroje spol. s.r.o. Předpis pro provoz. Uherské Hradiště: 1998

Obvody samokontroly se aktivují po stlačení tlačítka TEST umístěného na ovládací skřínce. Doba testu trvá maximálně 3 sekundy a je opticky signalizována na ovládací skřínce. Během této doby se kontroluje činnost vysílače, přijímače, syntezátoru a demultiplexeru. V případě závady zůstane optická signalizace trvale svítit.

Modul demultiplexeru vyhodnocuje signály, které jsou přivedeny pomocí kabeláže z ovládací skříňky. Tyto signály nesou informaci o zvoleném režimu radiostanice a navoleném kmitočtu. Syntezátor je zdrojem vysokofrekvenčních signálů velmi přesných kmitočtů, které jsou potřebné pro správnou činnost přijímače a vysílače.

Modul přijímače je řešen jako superhet s jedním směřováním v prvním leteckém pásmu (VKV) a dvojím směřováním ve druhém leteckém pásmu (UKV). Ladění je realizováno kapacitními diodami, pro které se ladící napětí vytváří v přesném D/A převodníku. Součástí přijímače je obvod umlčovače šumu. Tento umlčovač šumu je vypínatelný z ovládací skříňky. Filtr zabraňuje pronikání rušivých signálů frekvenčně modulovaného rozhlasu v pásmu VKV a tvoří samostatný celek vně modulu přijímače.

Modul vysílače je navržen jako sestava dvou širokopásmových výkonových vysokofrekvenčních zesilovačů s modulačními a pomocnými obvody. Pro každé letecké pásmo slouží jeden zesilovač. Pokud není vysílač zaklíčován, je signál z anténního konektoru přiveden přes relé na vstup přijímače. V nízkofrekvenčních obvodech se zpracovává modulační signál pro automatické udržování hloubky modulace.

Modul havarijního přijímače je řešen jako superhet s dvojím směřováním. Dle zvolené varianty pracuje na kmitočtu 121,5 MHz v pásmu VKV nebo 243 MHz v pásmu UKV. Při zachycení nouzové frekvence lze vypnout na ovládací skřínce akustickou signalizaci. Optická signalizace bude trvale svítit po celou dobu vysílání nouzové frekvence.⁴

⁴ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

1.4 Měřené parametry radiostanice

Výrobce radiostanice stanovil dle předpisu pro údržbu, že radiostanice nevyžaduje během provozu žádné nároky na údržbu. Revize jejího technického stavu se provádí po uplynutí předepsané doby do revize, kterou je nálet 2000 letových hodin.⁵ Pro armádu ČR je letecká radiostanice považována za důležitou součást palubního vybavení letounu, a proto se řadí mezi přísně sledované agregáty, jejichž nesprávná funkce při události v letovém provozu je brána jako incident. Z tohoto důvodu armáda ČR rozhodla, že údržba radiostanice se bude provádět dle revize daného typu letadla nebo vrtulníku, kterou stanovují výrobci. Jedním z typu vrtulníku, který využívá radiostanice LUN 3520.15-8 je W-3A Sokol, který slouží pro zabezpečení letecké záchranné služby v Plzeňském kraji. Tento stroj má plánované revize po 100 letových hodinách dále 300 letových hodin a 600 letových hodin. Při každé takové revizi se přezkušují parametry radiostanice dle technologických karet schválených výrobcem. Celý proces měření se tak skládá z následujících kontrolních činností:

1. Kontrola kontrolního konektoru
2. Kontrola stability nosného kmitočtu vysílače
3. Kontrola výkonu vysílače
4. Kontrola hloubky modulace a zkreslení vysílače
5. Kontrola citlivosti přijímače

1.4.1 Kontrola kontrolního konektoru

Kontrola kontrolního konektoru radiostanice se provádí na vrtulníku W-3A Sokol každých 100 nalétaných hodin. Kontrolují se napětí modulu zdroje, filtrů, vysílače, nízkofrekvenčních obvodů, přijímače, syntezátoru a demultiplexeru. Hodnoty naměřeného napětí musí spadat do mezních hodnot udávaných výrobcem. V *Tab. 1* jsou uvedeny mezní hodnoty kontrolního konektoru.

1.4.2 Kontrola stability nosného kmitočtu vysílače

Kontrola stability nosného kmitočtu vysílače radiostanice se provádí každých 300 a 600 nalétaných hodin na vrtulníku W-3A Sokol. Stabilita nosného kmitočtu vysílače je

⁵ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

charakterizována odchylkou nosného kmitočtu od jmenovité hodnoty. Odchylka nesmí být větší než $\pm 2,5$ kHz v celém rozsahu prvního i druhého leteckého pásma.

1.4.3 Kontrola výkonu vysílače

Kontrola výkonu vysílače radiostanice se provádí na vrtulníku W-3A Sokol každých 300 a 600 nalétaných hodin. Měření výkonu provádíme v celém rozsahu prvního i druhého leteckého pásma. Výstupní výkon vysílače nesmí být menší než 15 W. Měření výkonu je nutné provádět bez modulace vysílače.⁶

Tab. 1 Mezní hodnoty kontrolního konektoru⁷

Bod číslo:	Funkce	Mezní hodnoty [V]
1	napájecí napětí (-12 V)	(-9,5) - (-12,5)
2	napájecí napětí +15 V	14,2 - 15,5
3	napájecí napětí +5 V	4,8 - 5,4
4	napájecí napětí +30 V	29,4 - 30,6
5	modulační signál SMS	4,8 - 5,2
7	napájecí napětí vysílače +27 V	26,75 - 28,25
9	testovací napětí demultiplexeru DMT	2,4 - 5,2
10	ladící napětí 1. pásma LND	2,0 - 28,0
11	ladící napětí 2. pásma LNH	2,0 - 28,0
12	napětí automatického řízení citlivosti AVC	0,0 - 14,0
13	testovací napětí synchronismu syntezátoru PLT	2,4 - 5,2
17	ss. nízkofrekvenční výstup přijímače MBR	0,38 - 0,48
17	stř. nízkofrekvenční výstup přijímače MBR	0,145 - 0,215
18	demodulační výstup vysílače DVV	4,8 - 5,2

1.4.4 Kontrola hloubky modulace a zkreslení vysílače

Kontrola hloubky modulace a zkreslení vysílače radiostanice se provádí na vrtulníku W-3A Sokol každých 300 a 600 nalétaných hodin. Radiostanice pracuje v režimu amplitudové modulace. Z nízkofrekvenčního generátoru přivedeme na vstup modulátoru signál o frekvenci 1 kHz a napětí 250 mV. Měříme hodnotu modulace pro horní i dolní limit a vypočteme průměrnou hodnotu dané modulace. Hloubka modulace musí být vysílačem udržována na konstantní hodnotě $90\% \pm 10\%$. Modulační zkreslení vysílače smí

⁶ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

⁷ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

být maximálně 15%. Měření provádíme v celém rozsahu prvního i druhého leteckého pásma.

1.4.5 Kontrola citlivosti přijímače

Kontrola citlivosti přijímače radiostanice se provádí na vrtulníku W-3A Sokol každých 300 a 600 nalétaných hodin. Citlivost rádiové stanice je jedním z hlavních kontrolovaných parametrů. Na vstup anténího konektoru radiostanice přivedeme vysokofrekvenční signál z generátoru modulovaný signálem o frekvenci 1000 Hz a hloubkou modulace 30%. Při výstupním nízkofrekvenčním napětí radiostanice 30 V musí být dosaženo poměru signál + šum k samotnému šumu více než 10 dB. To znamená, že citlivost přijímače musí být lepší než 3 μV .⁸

⁸ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

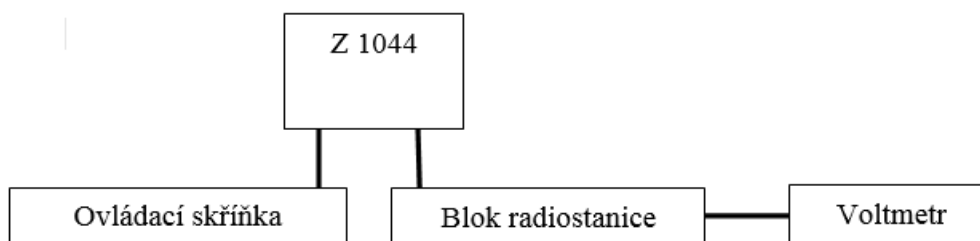
2 NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO ZKUŠEBNÍHO PRACOVISTĚ

2.1 Měřicí pracoviště pro jednotlivá měření

Starší verze radiostanice LUN 3520.17-8 neumí ladit kmitočty v prvním leteckém pásmu s odstupem 8,33kHz. V obou pásmech používá pouze odstup mezi kmitočty 25kHz. Kontrolní měřicí technika používaná na starší verzi radiostanice nezvládne tedy přezkoušet parametry radiostanice LUN 3520.15-8 v prvním leteckém pásmu. Pro správný návrh automatizovaného pracoviště si nejprve vytvoříme měřicí pracoviště složené ze základních prvků přístrojového vybavení pro každý krok měření zvlášť. Použité kontrolní přístroje nepodporují systém automatizovaného měření a jsou schopny měřit pouze jeden typ veličiny.

2.1.1 Měřicí pracoviště pro kontrolu kontrolního konektoru

Měření se provádí na standu, a proto je potřeba propojit radiostanici s ovládací skříňkou se zařízením, které nám simuluje propojení soupravy na vrtulníku. Tímto zkušebním zařízením je Z 1044. Měření napětí se provádí po jednotlivých krocích, jak je uvedeno v bodě 1.4.1.⁹



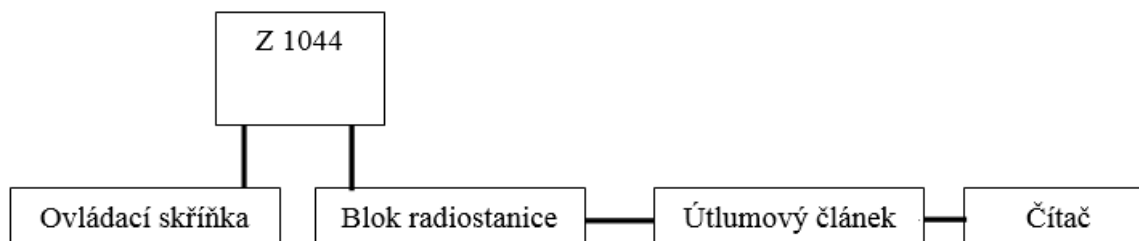
Obr. 2.1: Blokové schéma měřicího pracoviště pro kontrolu kontrolního konektoru¹⁰

⁹ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

¹⁰ Tamtéž.

2.1.2 Měřicí pracoviště pro kontrolu stability nosného kmitočtu vysílače

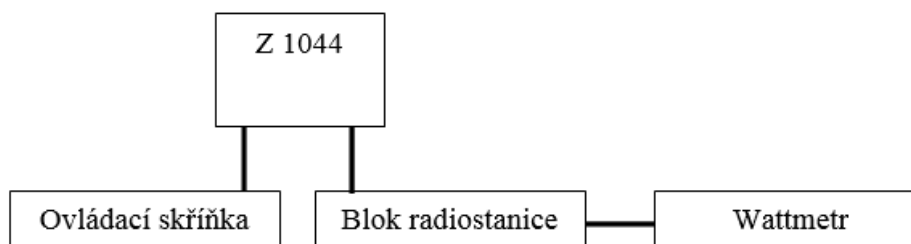
Ke kontrole stability nosného kmitočtu potřebujeme naladit kmitočet na ovládací skříňce a zaklíčovat radiostanici pomocí zkušebního zařízení Z 1044. Vysílaný kmitočet odečteme za pomoci přesného čítače. Aby nedošlo ke zničení čítače vlivem vysílaného výkonu, použije se útlumový článek.¹¹



Obr. 2.2: Blokové schéma měřicího pracoviště pro kontrolu stability nosného kmitočtu vysílače¹²

2.1.3 Měřicí pracoviště pro kontrolu výkonu vysílače

Pro kontrolu výkonu potřebujeme naladit kmitočet na ovládací skříňce a zaklíčovat radiostanici pomocí zkušebního zařízení Z 1044. Výsledný vysílací výkon je odečítán za pomoci wattmetru.



Obr. 2.3: Blokové schéma měřicího pracoviště pro kontrolu výkonu vysílače¹³

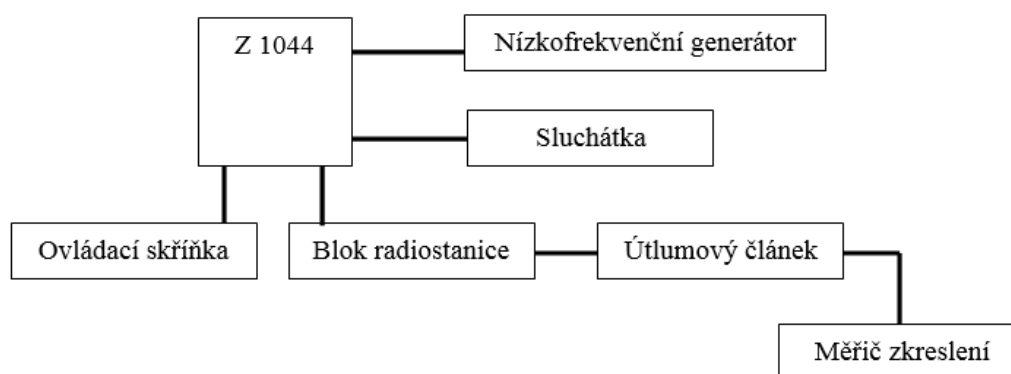
¹¹ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

¹² Tamtéž.

¹³ Tamtéž.

2.1.4 Měřicí pracoviště pro kontrolu hloubky modulace a zkreslení vysílače

Z nízkofrekvenčního generátoru přivedeme na vstup zkušebního zařízení Z 1044 signál o frekvenci 1 kHz a napětí 250 mV. Dále se naladí kmitočet na ovládací skříňce a zaklíčuje se radiostanicí pomocí zkušebního zařízení Z 1044. Měřič zkreslení umožňuje odečtení hodnoty hloubky modulace a zkreslení. Sluchátka slouží pro kontrolní činnost vysílače.¹⁴



Obr. 2.4: Blokové schéma měřicího pracoviště pro kontrolu hloubky modulace a zkreslení vysílače¹⁵

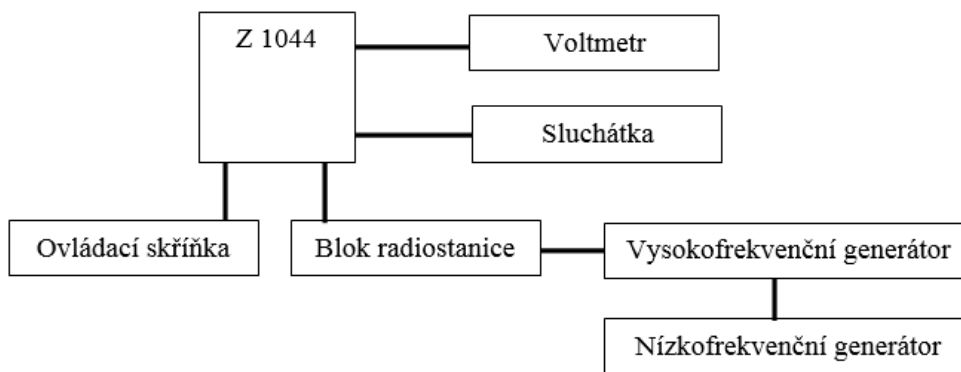
2.1.5 Měřicí pracoviště pro kontrolu citlivosti přijímače

Na vstup anténního konektoru radiostanice přivedeme z VF signálního generátoru vysokofrekvenční signál modulovaný nízkofrekvenčním signálem o frekvenci 1000 Hz s hloubkou modulace 30%. Nosný kmitočet amplitudově modulovaného signálu bude shodný s kmitočtem nastaveným na ovládací skříňce. Na výstupu zkušebního zařízení Z 1044 je připojen NF voltmetr, který umožňuje měření výstupního napětí přijímače. Sluchátka slouží pro kontrolní činnost přijímače.¹⁶

¹⁴ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

¹⁵ Tamtéž.

¹⁶ Tamtéž.



Obr. 2.5: Blokové schéma měřicího pracoviště pro kontrolu citlivosti přijímače¹⁷

2.2 Výběr vhodných měřicích přístrojů

V předchozí kapitole jsme si popsali jednotlivá měřicí pracoviště. Pro různá měření je třeba více typů měřicích přístrojů. Takto sestavené měřicí pracoviště, které by bylo uzpůsobeno pro měření všech požadovaných vlastností radiostanice, by bylo velice nepřehledné a pro obsluhu časově náročné. Pro automatizovaný zkušební systém musíme vybírat přístroje podporující komunikaci po sběrnici GPIB.

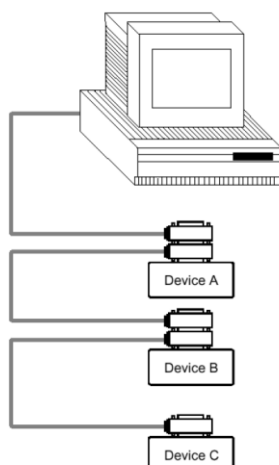
2.2.1 Sběrnice GPIB

V roce 1972 byla sběrnice vyvinuta ve firmě Hewlett–Packard jako firemní sběrnice HP-IB. Standardizována byla v roce 1972 pod označením IEEE 488 a v roce 1987 došlo k rozšíření standardu pod označením IEEE 488.2. V roce 1984 byl tento standard přijat v bývalém Československu pod označením IMS–2.

V dnešní době je GPIB sběrnice nejrozšířenějším způsobem propojení měřicí techniky ve světě. Měřicí přístroje propojené přes GPIB sběrnici jsou většinou schopny autonomního provozu (local) i provozu v systému řízeném počítačem (remote). Mezi největší výhody patří velká spolehlivost, dobrá programová podpora a snadné použití.¹⁸

¹⁷ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.

¹⁸ [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://otp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka01-03.htm>



Obr. 2.6: Zapojení sběrnice GPIB¹⁹

Měřicí systém využívající sběrnici GPIB je řízen přes zásuvnou desku rozhraní v počítači nebo přes externí zařízení. Měřicí přístroje jsou ke sběrnici připojeny paralelně speciálními dvojitými konektory. Jedna strana konektoru tvoří zástrčku a druhá zásuvku. Maximální délka propojených kabelů je 20 m a lze připojit až 16 přístrojů.²⁰

2.2.2 Sběrnice USB

Universální sériová sběrnice USB je v dnešní době nejvíc rozšířenou sběrnici, která se používá pro připojení elektroniky k počítači. Používá k tomu dva typy konektorů. Typ A (USB Host) je obsažen v počítačích. Typ B (USB Device) je určen pro periferní zařízení (monitor, tiskárna a jiné). Postupně vytlačuje klasický sériový port RS 232 a proto jsou výrobci i uživatelé nuceni přecházet na USB.

Základní parametry rozhraní USB:

- komunikační rychlost od 1,5 Mbit/s do 480 Mbit/s
- komunikační vzdálenost do 5 m
- možnost připojení více zařízení
- rozhraní obsahuje 5 V napájení²¹

¹⁹ [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <http://otp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka01-03.htm>

²⁰ Tamtéž.

²¹ [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/usb/usb-universal-serial-bus-popis-rozhrani.html>

2.2.3 Rozhraní GPIB–USB–HS

Kompaktní rozhraní GPIB–USB–HS je externí zařízení. Dokáže přeměnit jakýkoliv počítač s portem USB na plně funkční řadič IEEE 488.2, který může ovládat až 14 programovatelných přístrojů. Počítač musí být vybaven ovladačem NI – 488.2 pro správnou funkci rozhraní GPIB–USB–HS.

Základní technické parametry:

- kompatibilní se standardem IEEE 488.2
- operační systém Windows
- konektor GPIB IEEE 488, 24 – pin konektor
- konektor USB 2.0
- rozměry: 10,7 cm x 6,6 cm x 2,6cm
- výrobce: National Instruments²²



Obr. 2.7: Rozhraní GPIB-USB-HS²³

2.2.4 Multimetr Keithley 2000

Keithley 2000 je vysoce výkonný digitální multimetr s podporou pro rozhraní GPIB sběrnice. Multimetr nabízí až 13 integrovaných funkcí měření. Pro naši potřebu využijeme pouze funkce pro měření stejnosměrného a střídavého napětí (DCV a ACV).²⁴

²² [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/cs/pg/1/sn/catnav:pm/fil/pmdmid:120494/>

²³ Tamtéž.

²⁴ [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.produktinfo.conrad.com/index.php?bl=CS&q=1164897>

Rozsahy měření:

- DC napětí od 0,1 μ V do 1000 V
- AC napětí od 0,1 μ V do 750 V, špička 1000 V



Obr. 2.8: Keithley 2000²⁵

2.2.5 Zkušební zařízení Z 1043

Zkušební zařízení Z1043 bylo vyrobeno firmou Mesit přístroje spol. s. r. o. v roce 1994. Slouží pro přezkušování radiostanic řady LUN 3520. Ovládat toto zařízení je možné manuálně nebo v automatizovaném režimu. Z 1043 je vybaveno propojovacím modulem (interface), který je tvořen třemi deskami elektroniky, panelem s ovládacími prvky pro nastavení adresy, signalizací dálkového ovládání a konektorem IMS-2 pro připojení sběrnice GPIB. Spodní část zařízení Z1043 slouží pro ovládání radiostanice v manuálním režimu. Nahrazuje tak ovládací skříňku. Dále jsou zde umístěny vstupní a výstupní body pro připojení měřicích přístrojů a konektory pro připojení radiostanice. Pro měření parametrů radiostanice LUN3520.15-8 budeme zařízení používat pouze v automatizovaném režimu, který nám umožňuje ladit frekvence s odstupem mezi kmitočty 8,33 kHz.²⁶

²⁵ [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <http://www.produktinfo.conrad.com/index.php?bl=CS&q=1164897>

²⁶ MESIT a.s. *Průvodní list*. Uherské Hradiště: 1994



Obr. 2.9: Zkušební zařízení Z 1043

2.2.6 Rohde & Schwarz CMS 57

CMS 57 je radiokomunikační servisní monitor s podporou pro rozhraní GPIB sběrnice. Tento měřicí přístroj je navržen přímo pro potřeby měření parametrů leteckých radiostanic. Zastává funkci vysokofrekvenčního i nízkofrekvenčního generátoru, čítače, wattmetru i měřiče zkreslení. Pro námi navrhovaný automatizovaný systém je CMS 57 nejvhodnější variantou měřicího přístroje. Velkou výhodou CMS 57 je snadná ovladatelnost a velice přesné měření požadovaných parametrů.²⁷



Obr. 2.10: Rohde & Schwarz CMS 57²⁸

²⁷ [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://www.rohde-schwarz.com/cz/search_63238.html?term=CMS&x=16&y=10

²⁸ Tamtéž.

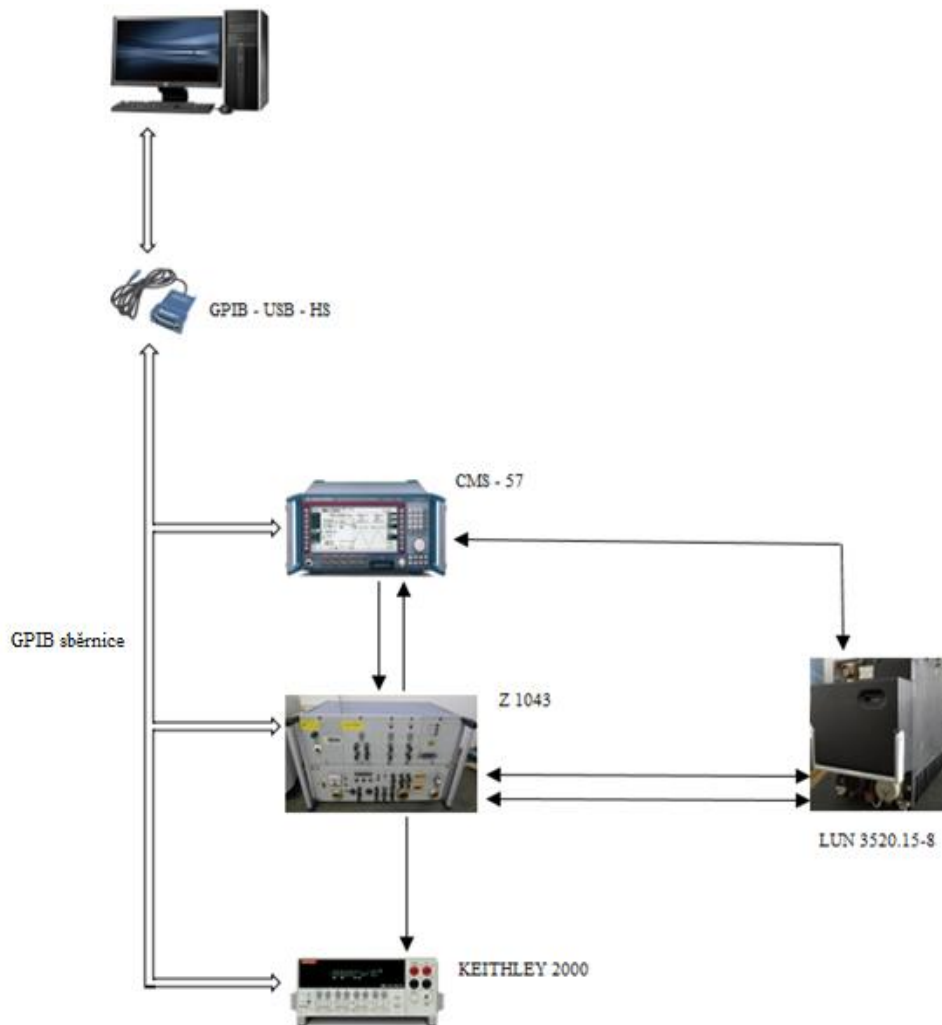
Základní technické parametry:

- vysokofrekvenční syntezátor od 0,4 – 1000 MHz s ladícím krokem 10 Hz, podporující amplitudovou modulaci
- dva nezávislé modulační generátory od 20 Hz do 30 kHz s ladícím krokem 0,1 Hz
- vysokofrekvenční čítač od 0,4 – 1000 MHz
- wattmetr od 1 mW do 100 W
- wattmetr se selektivní citlivostí až -100 dBm
- hloubka modulace 0 % - 99 %²⁹

²⁹ [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://www.rohde-schwarz.com/cz/search_63238.html?term=CMS&x=16&y=10

2.3 Návrh automatizovaného měřicího pracoviště

V předchozí kapitole jsme vybrali a popsali vhodné měřicí přístroje pro měření parametrů rádiové stanice LUN 3520.15-8. Po sestavení těchto přístrojů nám vznikla konečná podoba automatizovaného měřicího pracoviště.



Obr. 2.11: Návrh automatizovaného měřicího pracoviště

3 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ LabVIEW

Programovací a vývojové prostředí LabVIEW v překladu laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů je někdy nazýváno jako G-jazyk, čili grafický jazyk. V roce 1983 firma NI uvedla desku pro rozhraní GPIB a tím byl také odstartován vývoj programovacího prostředí LabVIEW.³⁰ „Výchozím předpokladem byla představa, aby technik, který je schopen zapsat své poznatky a požadavky do blokového diagramu, mohl intuitivně zapsat podobně i program“.³¹ Postupem času se tento systém vyvinul k vysoké míře dokonalosti.

Prostředí LabVIEW je uživatelsky příjemné a velmi dobře přehledné. Je vhodné k programování systémů pro měření a analýzu signálů, řízení a vizualizaci procesů různé složitosti i k programování složitějších systémů.³²

Naším cílem bude v prostředí LabVIEW naprogramovat zdrojové kódy k změření parametrů radiostanice, jak bylo popsáno v kapitole 1.4.

3.1 Návrh programu pro kontrolu kontrolního konektoru

Na kontrolním konektoru bude celkem provedeno 14 bodů měření. Body 1, 2, 3, a 4 kontrolují napájecí napětí modulu zdroje. Bod 5 kontroluje napětí na desce nízkofrekvenčních obvodů. Body 7 a 18 kontrolují napětí modulu vysílače. Bod 9 testuje napětí na desce demultiplexeru. Bod 13 testuje napětí synchronizmu modulu syntezátoru. Body 10, 11, 12, a 17 kontrolují napětí modulu přijímače. Pro nastavení daných bodů se při manuálním měření používá osmnácti polohový přepínač na zkušebním zařízení Z 1043. Pro naše použití budeme tento přepínač ovládat pomocí programových instrukcí, které jsou kódovány dle ASC II.³³

³⁰ VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. s. 12-18. ISBN: 978-80-7300-245-9

³¹ VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. s. 12. ISBN: 978-80-7300-245-9

³² VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. s. 12-18. ISBN: 978-80-7300-245-9

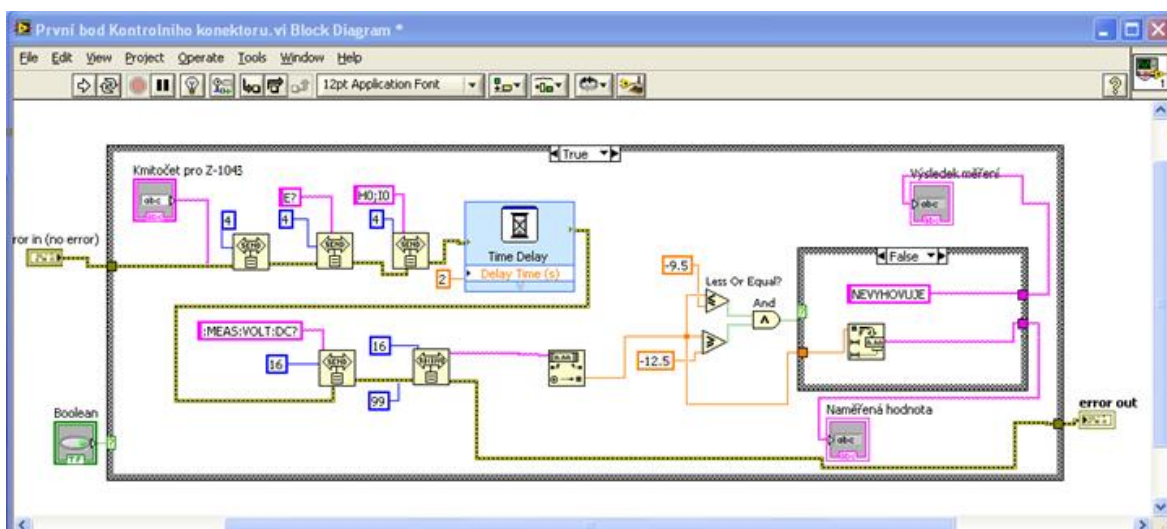
³³ MESIT a.s. *Průvodní list*. Uherské Hradiště: 1994

3.1.1 Kontrola napájecích napětí modulu zdroje

Pro správnou komunikaci dálkového ovládání automatizovaného systému je zapotřebí nastavit adresy přístrojů, které používáme k měření. Zvolená adresa zkušebního zařízení Z 1043 je číslo 4 a multimetru Keithley 2000 je přiděleno číslo 16.

První bod kontrolního konektoru je měření napětí -12 V.

Z paletové nabídky funkce pro komunikaci s přístroji vybereme funkci SEND pro správné adresování a nastavení programové instrukce pro dálkové ovládání přístroje. Programová instrukce KMITOČET PRO Z 1043 nám naladí frekvenci radiostanice. Zvolenou frekvenci nastaví obsluha dle formátu pro ladění kmitočtů Z 1043 viz *Tab. 2*. Příkazem E? nastavíme výběr prvního bodu měření, příkazem H0 vypneme přepínač provozu NFS a KOV a příkazem I0 vypneme přepínač modulace na přístroji Z 1043. Následuje nástroj TIME DELAY, který zpozdí vykonávání dalších příkazů o čas 2 s. Příkazem :MEAS:VOLT:DC? multimetr Keithley 2000 změří napětí na prvním bodu. Funkce RECEIVE odečte z multimetru naměřenou hodnotu. Další zpracování získané informace je převod řetězcové zprávy na číslo pomocí převodníku STRING/NUMBER a její následné zobrazení. Dále jsou nastaveny mezní hodnoty měření dle *Tab. 1*.



Obr. 3.1: První bod kontrolního konektoru

Tab. 2 Formát pro ladění kmitočtů Z 1043 (8,33 kHz)

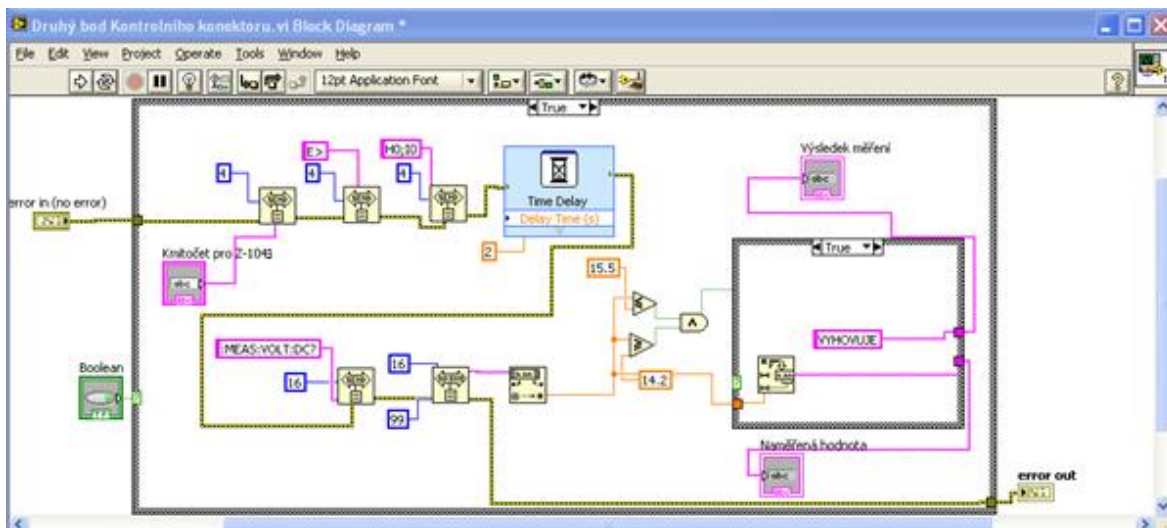
První letecké pásmo					
Stovky MHz	Desítky MHz	Jednotky MHz	dle tabulky pro ladění kHz		
@4	A1 - A5	B0 - B9	C	D	--
Příklad nastavení kmitočtu: 135,341 MHz			@4A3B5C5D0@5		

Druhé letecké pásmo					
Stovky MHz	Desítky MHz	Jednotky MHz	Stovky kHz	Desítky a jednotky kHz	
@6 do 300	A0 - A9	B0 - B9	C0 - C9	D0 - D3	
@7 nad 300					D0 = 00
					D1 = 25
					D2 = 50
					D3 = 75
Příklad nastavení kmitočtu: 262,525 MHz			@6A6B2C5D1		

Nastavení kmitočtu prvního leteckého pásma s odstupem 8,33 kHz pro správné nastavení přístroje Z 1043, a tím i přesné naladění radiostanice pomocí programu LabVIEW, je složitější, než nastavení kmitočtu druhého leteckého pásma. Přesné frekvence v celém rozsahu nastavení ladění prvního leteckého pásma s krokem 8,33 kHz je znázorněno v Tab. 3.

Druhý bod kontrolního konektoru je měření napětí +15 V.

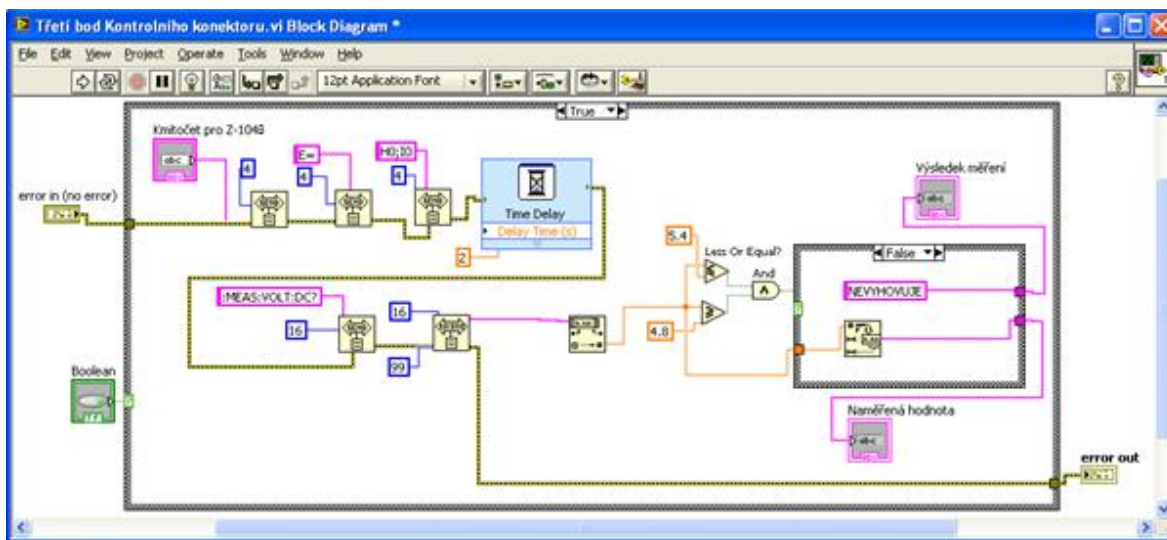
Příkazem E> nastavíme výběr druhého bodu měření na přístroji Z 1043. Dále upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.



Obr. 3.2: Druhý bod kontrolního konektoru

Třetí bod kontrolního konektoru je měření napětí +5 V.

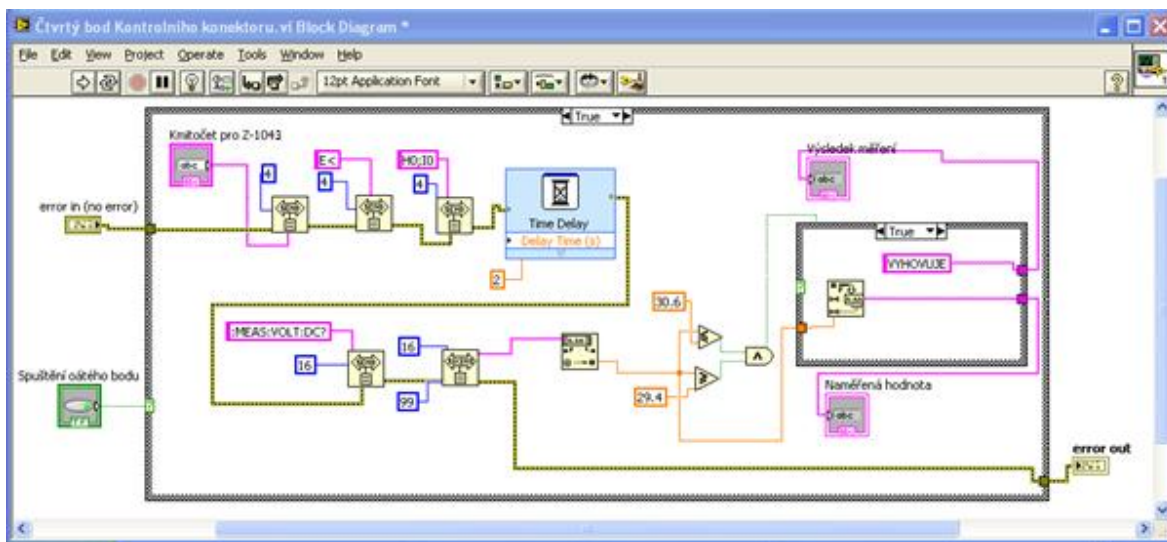
Příkazem E= nastavíme výběr třetího bodu měření na přístroji Z 1043. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.



Obr. 3.3: Třetí bod kontrolního konektoru

Čtvrtý bod kontrolního konektoru je měření napětí +30 V.

Příkazem E< nastavíme výběr čtvrtého bodu měření na přístroji Z 1043. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.



Obr. 3.4: Čtvrtý bod kontrolního konektoru

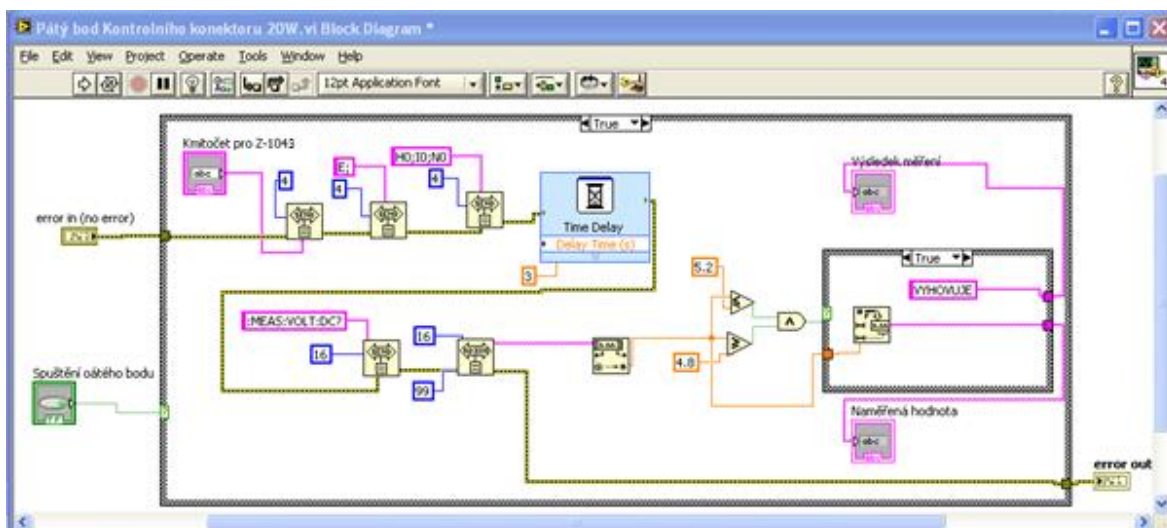
3.1.2 Kontrola napětí na desce NF obvodů

Pátý bod kontrolního konektoru je měření signálu SMS.

Deska NF obvodů zpracovává modulační signál pro vysílač. Úkolem těchto obvodů je vyrobit stejnosměrné napětí se superponovanou střídavou složkou (signál SMS), které by bylo obrazem požadované modulační obálky vysílače.³⁴

Příkazem E; nastavíme výběr pátého bodu měření na přístroji Z 1043. Příkazem N0 nastavíme měření signálu SMS pro plný výkon radiostanice. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.

³⁴ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

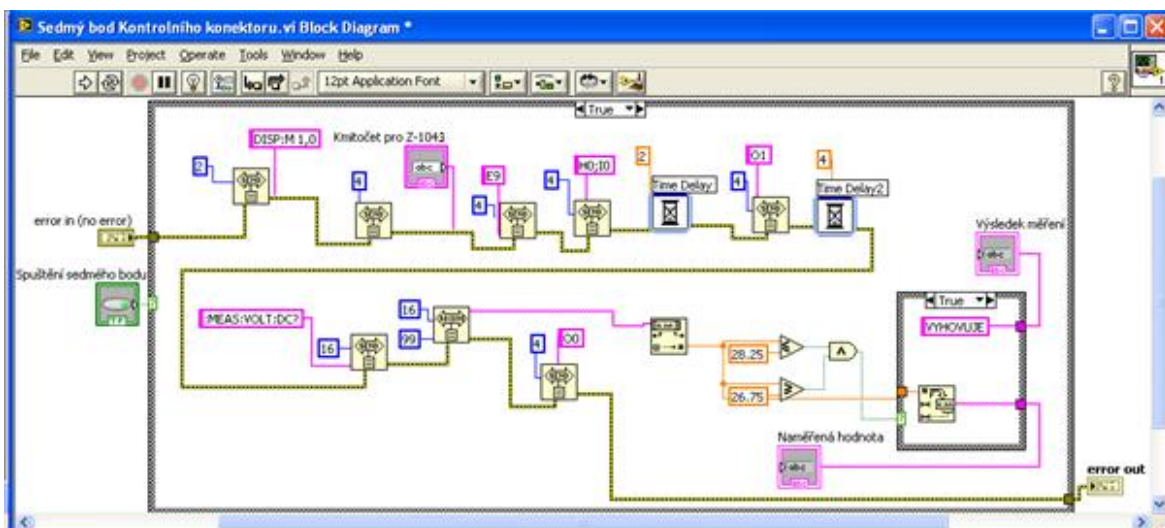


Obr. 3.5: Pátý bod kontrolního konektoru

3.1.3 Kontrola napětí modulu vysílače

Sedmý bod kontrolního konektoru je měření napájení vysílače +28 V.

Napájení vysílače +28 V je přivedeno z modulu zdroje po zaklíčování radiostanice. K tomuto bodu měření použijeme přístroj CMS 57 s přidělenou adresou číslo 2. Z paletové nabídky funkce pro komunikaci s přístroji vybereme funkci SEND pro nastavení programové instrukce DISP:M 1,0. Tímto nastavíme přístroj CMS 57 na test vysílače. Programová instrukce KMITOČET PRO Z 1043 nám naladí frekvenci radiostanice. Zvolenou frekvenci nastaví obsluha dle formátu pro ladění kmitočtů Z 1043 viz *Tab. 2*. Příkazem E9 nastavíme výběr sedmého bodu měření, příkazem H0 vypneme přepínač provozu NFS a KOV a příkazem I0 vypneme přepínač modulace na přístroji Z 1043. Následuje nástroj TIME DELAY, který zpozdí vykonávání dalších příkazů o čas 2 s. Příkazem O1 vyšleme signál pro zaklíčování radiostanice. Doba měření je nastavena nástrojem TIME DELAY na 4 s. Příkazem :MEAS:VOLT:DC? multimetr Keithley 2000 změří napětí na sedmém bodu. Funkce RECEIVE odečte z multimetru naměřenou hodnotu. Další zpracování získané informace je převod řetězcové zprávy na číslo pomocí převodníku STRING/NUMBER a její následné zobrazení. Nastavíme mezní hodnoty měření dle *Tab. 1*. Příkazem O0 ukončíme klíčování radiostanice na přístroji Z 1043.

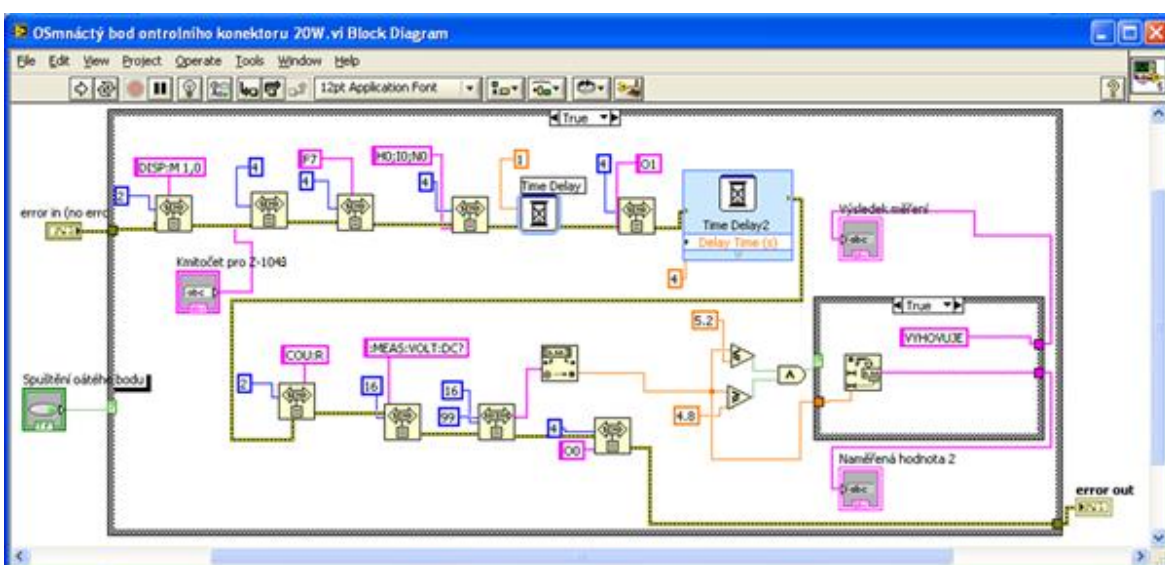


Obr. 3.6: Sedmý bod kontrolního konektoru

Osmnáctý bod kontrolního konektoru je měření signálu DVV.

Signál demodulovaného výstupu vysílače (DVV) je tvořen samotným modulem vysílače. Slouží jako akustická kontrola stavu vysílání.

Příkazem F7 nastavíme výběr osmnáctého bodu měření na přístroji Z 1043. Programová instrukce COU:R zobrazí na přístroji CMS 57 vysílaný kmitočet. Ostatní programové instrukce jsou naprogramovány stejně jako při měření sedmého bodu.



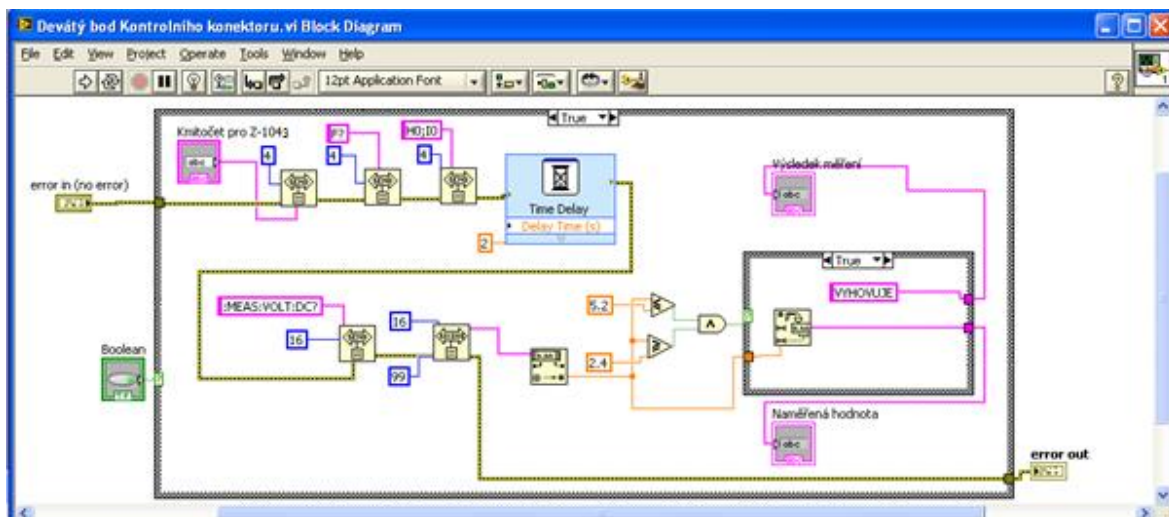
Obr. 3.7: Osmnáctý bod kontrolního konektoru

3.1.4 Kontrola napětí na desce demultiplexeru

Devátý bod kontrolního konektoru je měření signálu DMT.

Signál kontroly přenosu dat (DMT) slouží ke správné funkci desky demultiplexeru. Při běžném provozu dochází ke střídání logických nul a jedniček. Nastane-li porucha, dojde k zastavení tohoto střídání a na výstupu DMT se objeví logická nula.³⁵

Příkazem F? nastavíme výběr devátého bodu měření na přístroji Z 1043. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.



Obr. 3.8: Devátý bod kontrolního konektoru

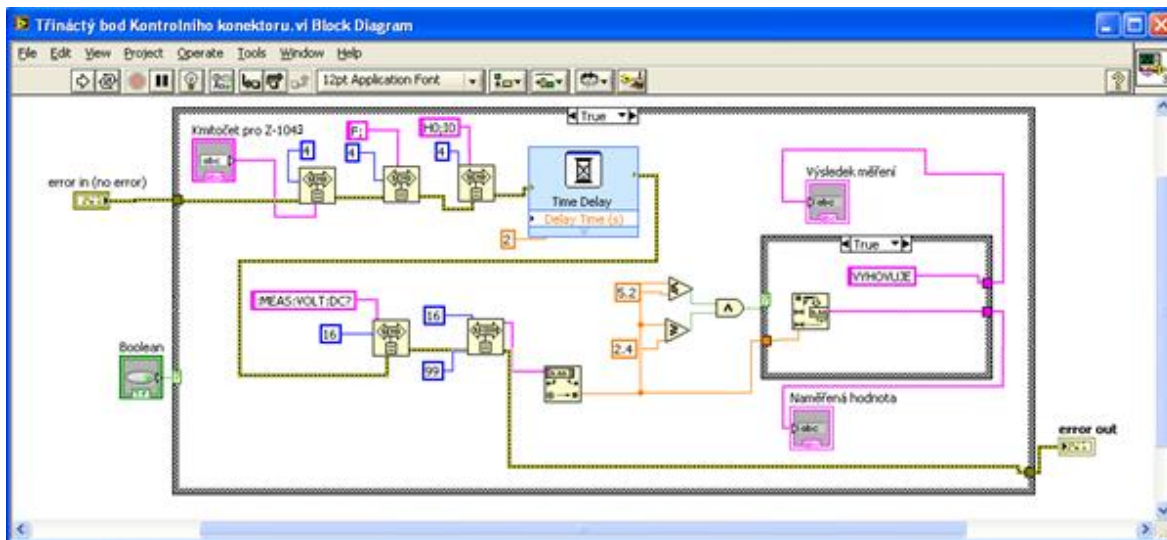
3.1.5 Kontrola napětí modulu syntezátoru

Třináctý bod kontrolního konektoru je měření signálu PLT.

Signál kontroly synchronismu syntezátoru (PLT) slouží ke správné funkci modulu syntezátoru. Příkazem F; nastavíme výběr třináctého bodu měření na přístroji Z 1043. Opět

³⁵ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.

upravíme mezní hodnoty měření dle *Tab. 1*. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.



Obr. 3.9: Třináctý bod kontrolního konektoru

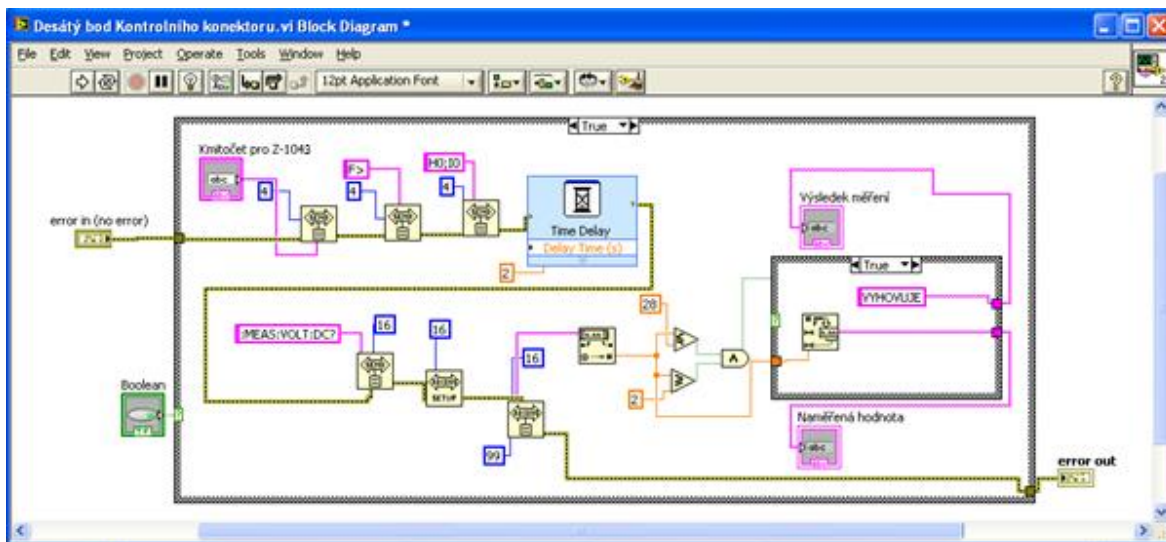
3.1.6 Kontrola napětí modulu přijímače

Desátý a jedenáctý bod kontrolního konektoru je měření LND a LNH.

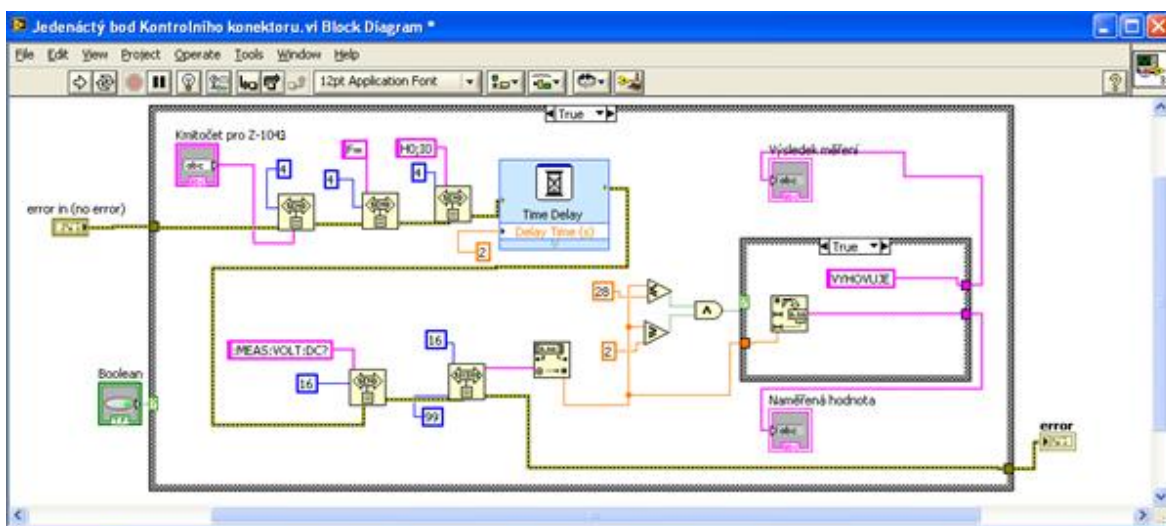
Ladící napětí přijímače prvního pásma (LND) a ladící napětí přijímače druhého pásma (LNH) nám slouží ke kontrole ladících napětí, které jsou vytvářeny v modulu přijímače dvěma posuvnými registry a dále dvěma digitálně analogovými převodníky.³⁶

Příkazem F> nebo F= nastavíme výběr desátého a jedenáctého bodu měření na přístroji Z 1043. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle *Tab. 1*. Ostatní nastavení a příkazy jsou stejné jako u bodu jedna.

³⁶ MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.



Obr. 3.10: Desátý bod kontrolního konektoru

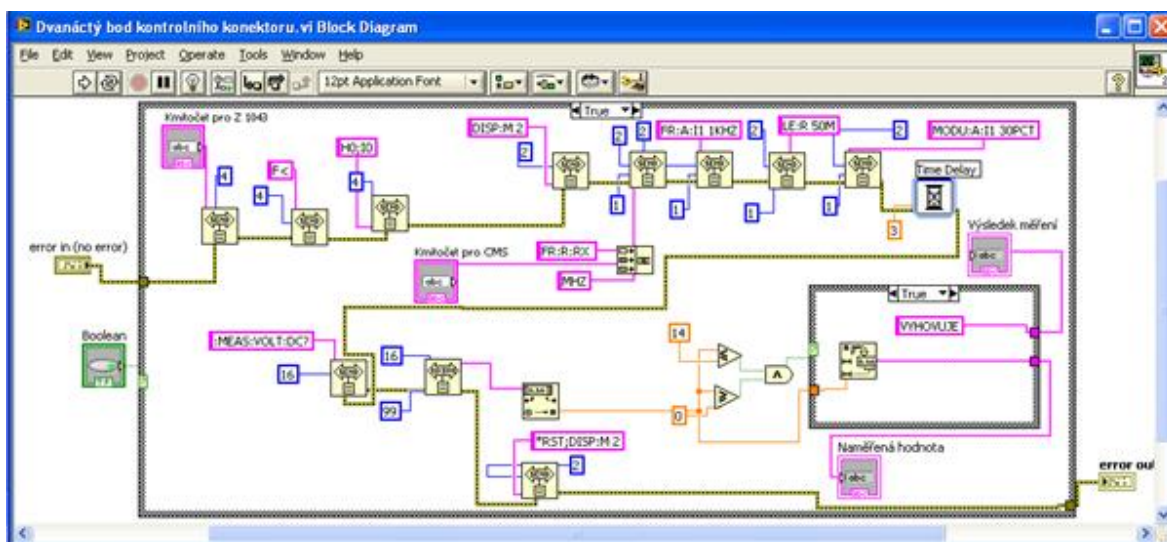


Obr. 3.11: Jedenáctý bod kontrolního konektoru

Dvanáctý bod kontrolního konektoru je měření AVC.

Napětí automatického řízení citlivosti (AVC). K tomuto bodu měření použijeme přístroj CMS 57 s přidělenou adresou číslo 2. Příkazem DISP:M 2,0. uvádíme multifunkční měřicí zařízení do režimu testování přijímače. Následuje čtveřice příkazů nastavujících nosný kmitočet FR:R:RX, modulační kmitočet FR:A:I1 1KHZ, výstupní úroveň signálu LE:R 50M a typ použité modulace MODU:A:I1 30PCT. Programová

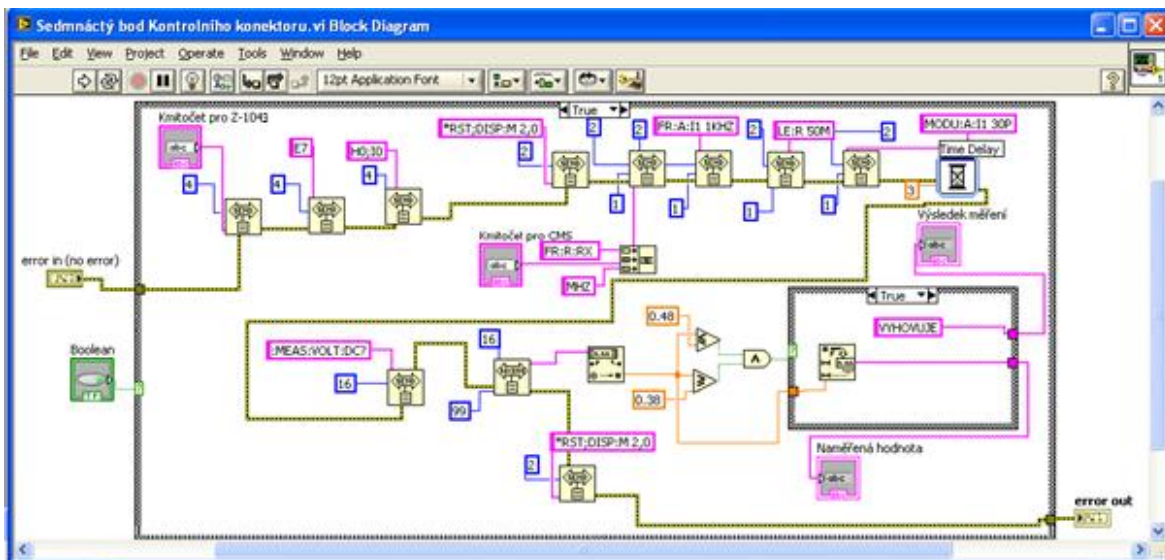
instrukce KMITOČET PRO Z 1043 nám naladí frekvenci radiostanice. Zvolenou frekvenci nastaví obsluha dle formátu pro ladění kmitočtů Z 1043 viz Tab. 2. Příkazem F< nastavíme výběr dvanáctého bodu měření, příkazem H0 vypneme přepínač provozu NFS a KOV a příkazem I0 vypneme přepínač modulace na přístroji Z 1043. Následuje nástroj TIME DELAY, který zpozdí vykonávání dalších příkazů o čas 3 s. Příkazem :MEAS:VOLT:DC? multimetr Keithley 2000 změří napětí na dvanáctém bodu. Funkce RECEIVE odečte z multimetru naměřenou hodnotu. Další zpracování získané informace je převod řetězcové zprávy na číslo pomocí převodníku STRING/NUMBER a její následné zobrazení. Opět upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1.



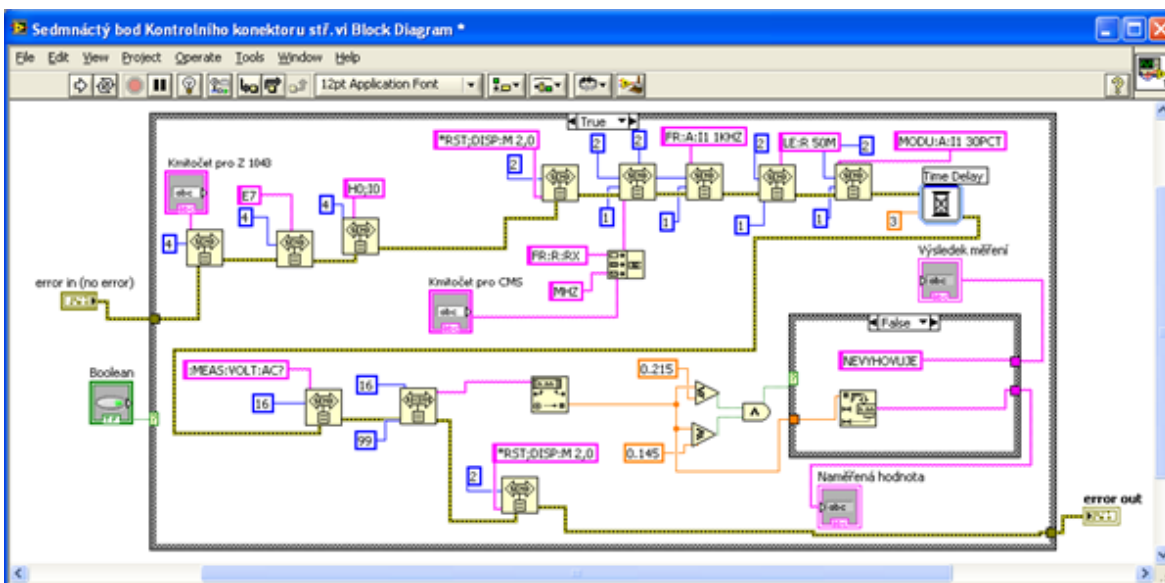
Obr. 3.12: Dvanáctý bod kontrolního konektoru

Sedmnáctý bod kontrolního konektoru je měření MBR.

Měřicí bod přijímače (MBR) slouží k měření stejnosměrného i střídavého napětí pro rychlou kontrolu správné funkce přijímače. Zdrojový kód je stejný, jako byl popsán v bodě dvanáct. Líší se pouze nastavením příkazu E7, který nastaví sedmnáctý bod měření na přístroji Z 1043 a příkazem :MEAS:VOLT:AC? multimetr Keithley 2000 změří střídavé napětí. Dále upravíme mezní hodnoty měření dle Tab. 1.



Obr. 3.13: Sedmnáctý bod kontrolního konektoru stejnosměrného napětí



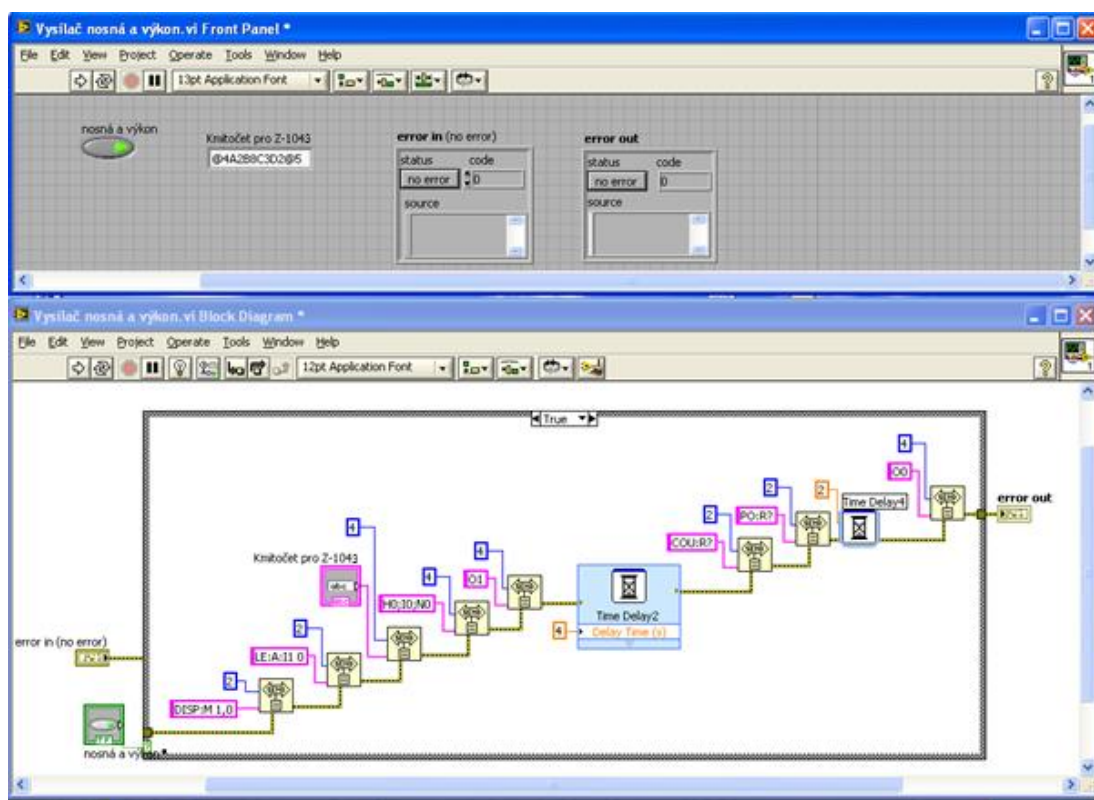
Obr. 3.14: Sedmnáctý bod kontrolního konektoru střídavého napětí

3.2 Návrh programu pro měření parametrů vysílače

3.2.1 Měření nosného kmitočtu a výkonu

K měření použijeme přístroj CMS 57 s přidělenou adresou číslo 2. Z paletové nabídky funkce pro komunikaci s přístroji vybereme funkci SEND pro nastavení programové

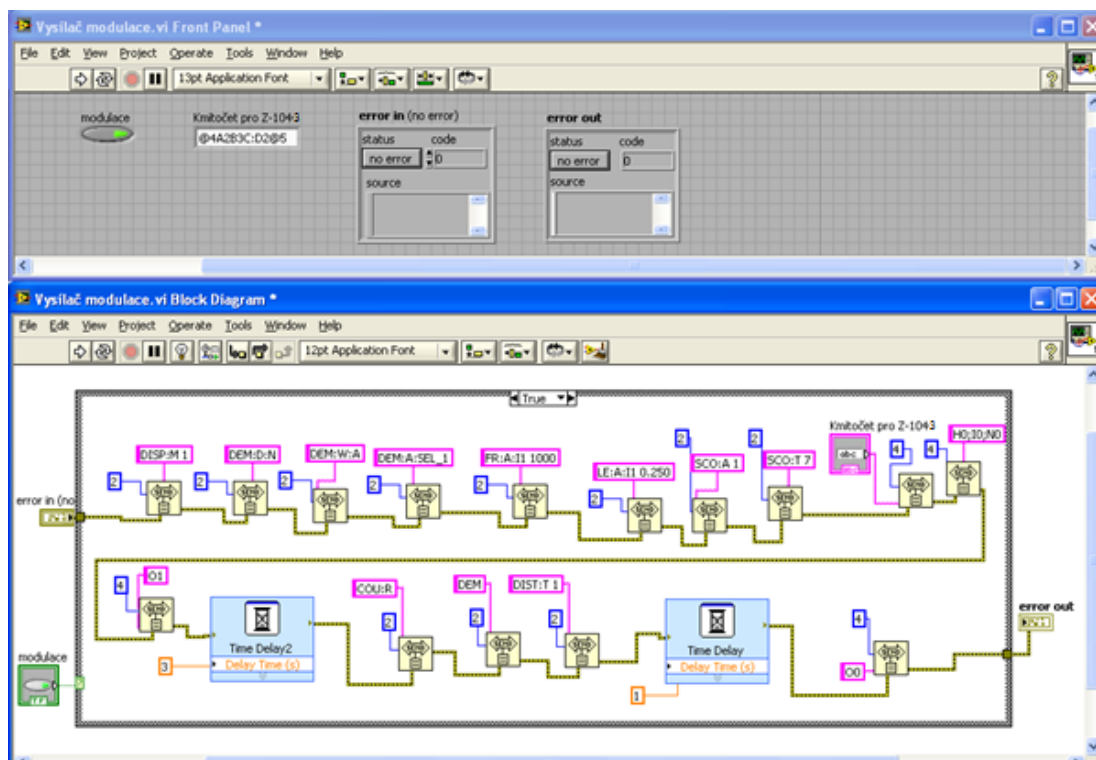
instrukce DISP:M 1,0. Tímto nastavíme přístroj CMS 57 na test vysílače. Příkazem LE:A:11 0 vypneme modulační generátor. Programová instrukce KMITOČET PRO Z 1043 nám naladí frekvenci radiostanice. Zvolenou frekvenci nastaví obsluha dle formátu pro ladění kmitočtů Z 1043 viz *Tab. 2*. Příkazem H0 vypneme přepínač provozu NFS a KOV, příkazem I0 vypneme přepínač modulace a příkazem N0 nastavíme měření plného výkonu na přístroji Z 1043. Následuje nástroj TIME DELAY, který zpozdí vykonávání dalších příkazů o čas 4 s. Příkazem O1 vyšleme signál pro zaklíčování radiostanice. Doba měření je nastavena nástrojem TIME DELAY na 2 s. Programová instrukce COU:R aktivuje měření vysílaného kmitočtu a instrukce PO:R aktivuje měření výkonu. Oba parametry se zobrazí na přístroji CMS 57. Doba měření je nastavena nástrojem TIME DELAY na 2 s. Příkazem O0 ukončíme klíčování radiostanice na přístroji Z 1043.



Obr. 3.15: Měření nosného kmitočtu a výkonu

3.2.2 Měření hloubky modulace a zkreslení

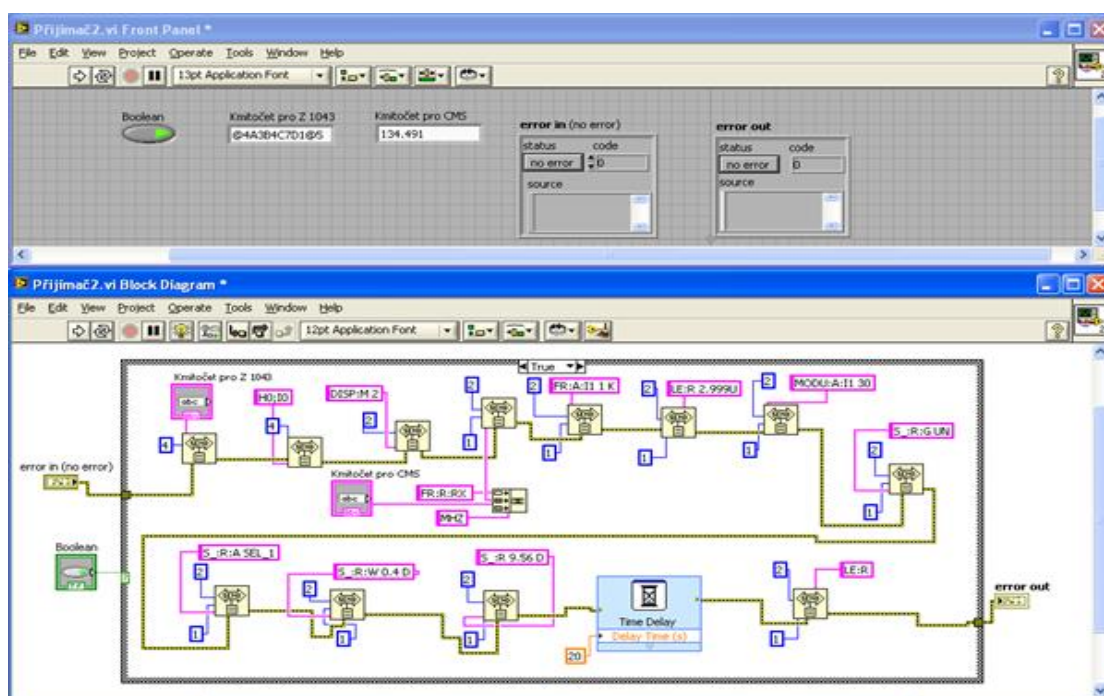
Příkazy pro nastavení přístroje Z 1043 jsou stejné jako u měření nosného kmitočtu a výkonu, proto je zde nebudeme již popisovat. Vysvětlíme si pouze rozšířené příkazy pro přístroj CMS 57, potřebné k měření hloubky modulace a zkreslení. Příkaz DEM:D:N slouží pro vypnutí snímací korekce. Příkazem DEM:W:A nastavujeme režim vážení signálu na automatickou volbu nejvhodnějšího režimu snímání signálu. Příkaz DEM:A:SEL_1 nastavuje počet měřicích cyklů na jeden. Příkazem FR:A:11 nastavíme frekvenci modulačního generátoru. Příkazem LE:A:11 nastavíme úroveň modulačního generátoru. Příkazem SCO:A nastavíme amplitudu a příkazem SCO:T nastavíme čas na osciloskopu. Příkazem DEM aktivujeme měření hloubky modulace a příkazem DIST:T aktivujeme měření zkreslení.



Obr. 3.16: Měření modulace a zkreslení

3.3 Návrh programu pro měření citlivosti přijímače

Programová instrukce KMITOČET PRO Z 1043 nám naladí frekvenci radiostanice. Zvolenou frekvenci nastaví obsluha dle formátu pro ladění kmitočtů Z 1043 viz tab. 2. Příkazem H0 vypneme přepínač provozu NFS a KOV a příkazem I0 vypneme přepínač modulace na přístroji Z 1043. Příkazem DISP:M 2,0. uvádíme multifunkční měřicí zařízení do režimu testování přijímače. Následuje čtveřice příkazů nastavujících nosný kmitočet FR:R:RX, modulační kmitočet FR:A:I1, výstupní úroveň signálu LE:R a typ použité modulace MODU:A:I1. Další skupina příkazů nastavuje automatické měření mezní citlivosti. Příkazem S_:R:G Un vypneme modulační generátor zkušební frekvence, který v našem případě nepotřebujeme. Příkazem S_:R:A SEL_1 nastavujeme počet měření mezní citlivosti na jeden naměřený údaj. Příkazem S_:R:W 0,4 D nastavíme rozsah okolo cílové hodnoty, která má být naměřena na 0,4 dB, což je nejpřesnější varianta testu. Příkaz S_:R 9,56 D je aktivační příkaz pro zahájení vyhledávání požadované citlivosti přijímače, kterým se zároveň nastavuje mezní hodnota poměru signál/šum. Následuje nástroj TIME DELAY, který zpozdí vykonávání dalších příkazů o čas 20 s, a který poslouží k bezpečnému doměření hledané hodnoty citlivosti. Příkazem LE:R aktivujeme zobrazení naměřené hodnoty citlivosti na přístroji CMS 57.



Obr. 3.17: Měření citlivosti přijímače

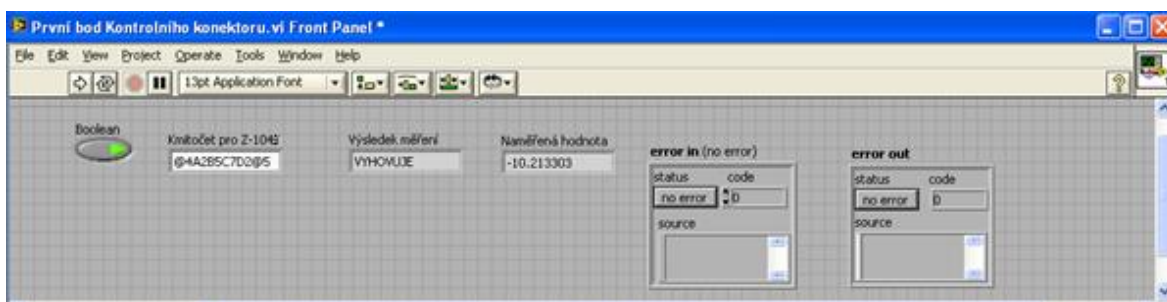
4 ZMĚŘENÉ PARAMETRY RADIOSTANICE

4.1 Výsledky měření kontrolního konektoru

4.1.1 Vyhodnocení napájecích napětí modulu zdroje

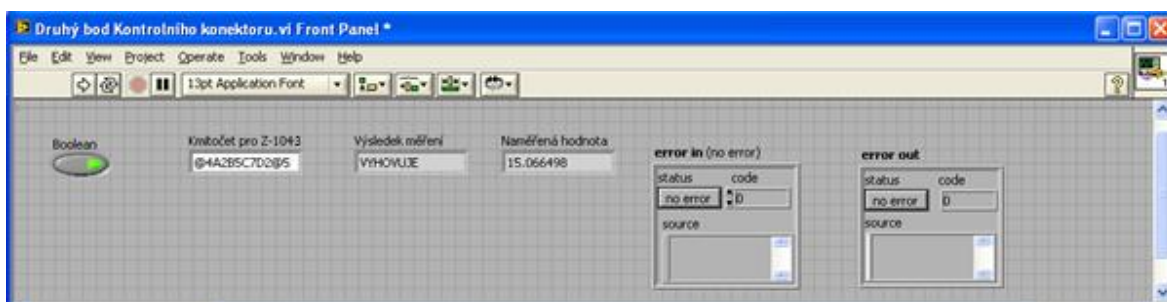
Obrázky 4.1 až 4.4 ukazují naměřené výsledky hodnot napájecích napětí modulu zdroje.

V prvním bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí $-10,213303$ V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle Tab. 1 je naměřená hodnota v mezích tolerance.



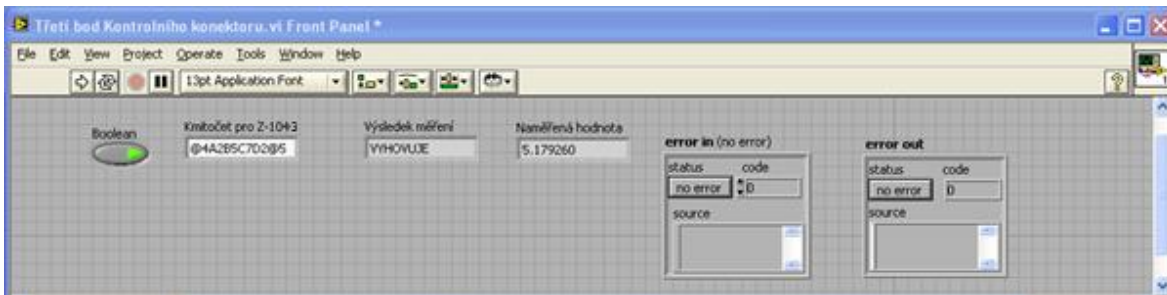
Obr. 4.1: Vyhodnocení napětí prvního bodu měření

Ve druhém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí $15,066498$ V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle Tab. 1 je naměřená hodnota v mezích tolerance.



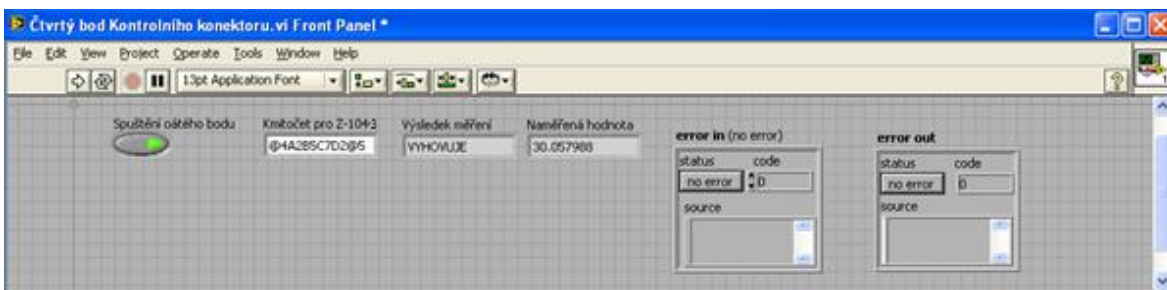
Obr. 4.2: Vyhodnocení napětí druhého bodu měření

Ve třetím bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí $5,179260$ V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle Tab. 1 je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.3: Vyhodnocení napětí třetího bodu měření

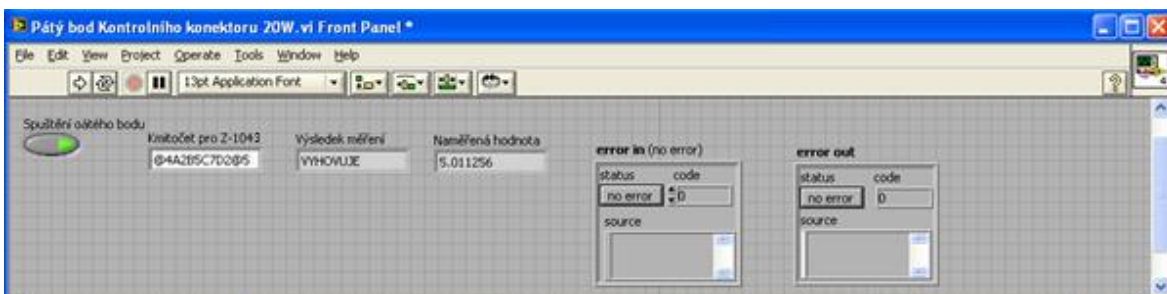
Ve čtvrtém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 30,057988 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.4: Vyhodnocení napětí čtvrtého bodu měření

4.1.2 Vyhodnocení napětí na desce NF obvodů

V pátém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 5,011256 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.

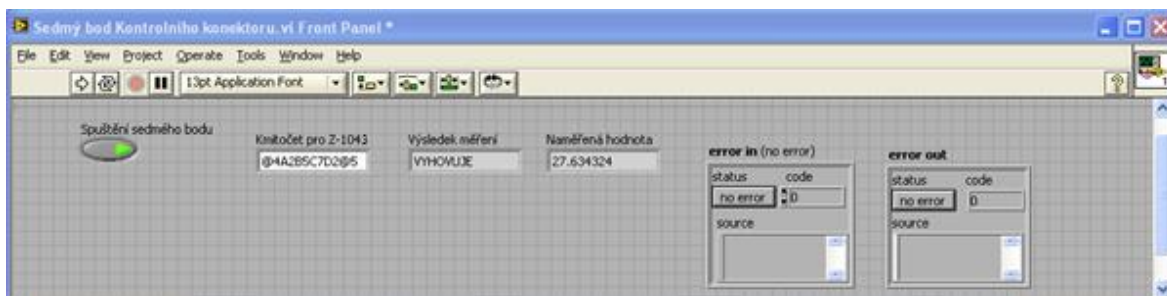


Obr. 4.5: Vyhodnocení napětí pátého bodu měření

4.1.3 Vyhodnocení napětí modulu vysílače

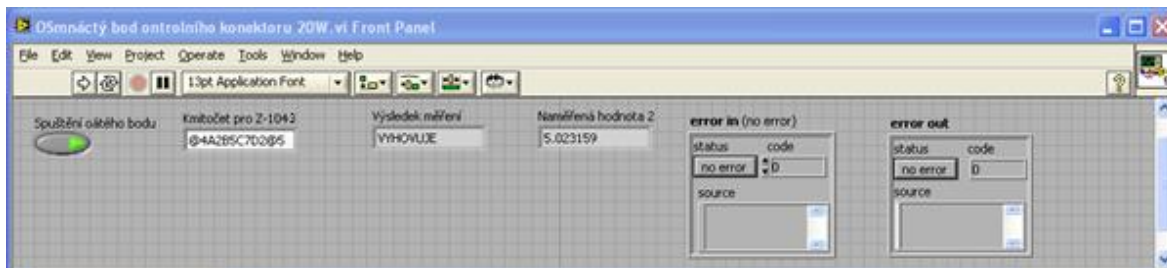
Obrázky 4.6 a 4.7 ukazují naměřené výsledky hodnot napětí modulu vysílače.

V sedmém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 27,634324 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.6: Vyhodnocení napětí sedmého bodu měření

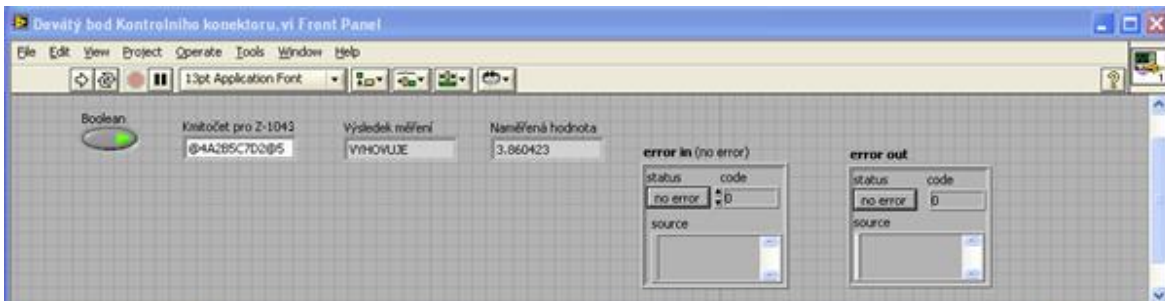
V osmnáctém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 5,023159 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.7: Vyhodnocení napětí osmnáctého bodu měření

4.1.4 Vyhodnocení napětí na desce demultiplexeru

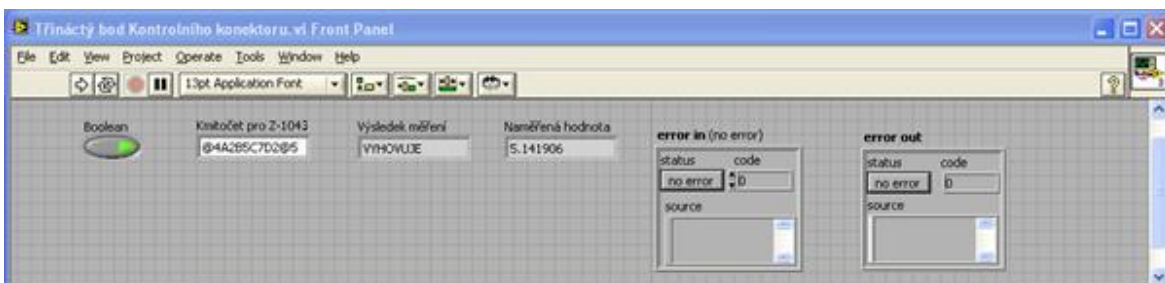
V devátém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 3,860423 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.8: Vyhodnocení napětí devátého bodu měření

4.1.5 Vyhodnocení napětí modulu syntezátoru

Ve třináctém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 5,141906 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.

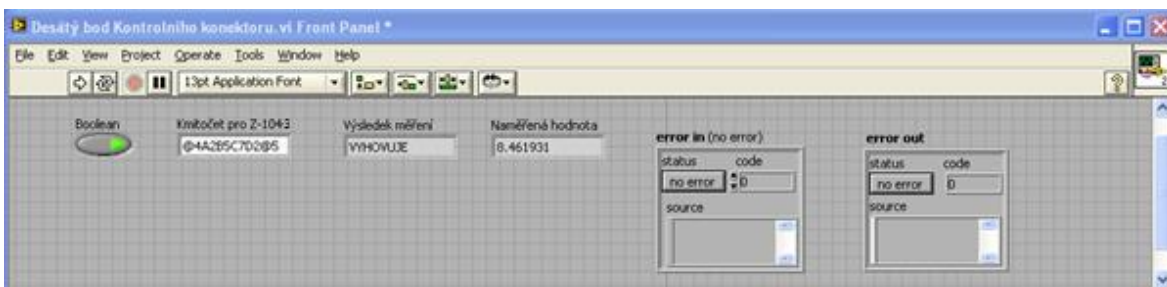


Obr. 4.9: Vyhodnocení napětí třináctého bodu měření

4.1.6 Vyhodnocení napětí modulu přijímače

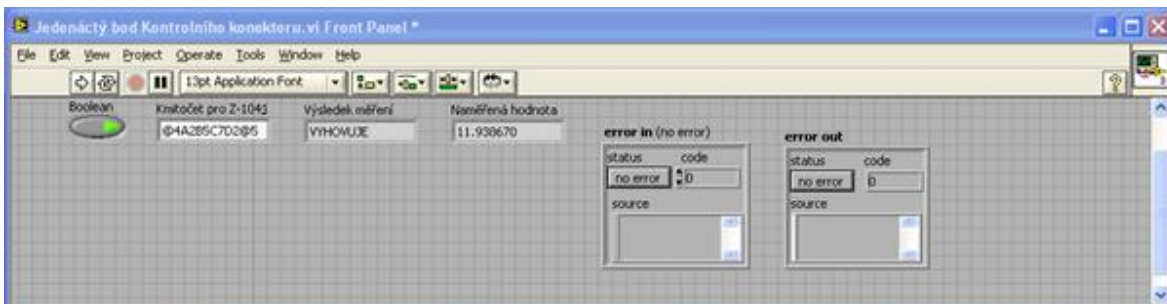
Obrázky 4.10 až 4.14 ukazují naměřené výsledky hodnot napětí modulu přijímače.

V desátém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 8,461921 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



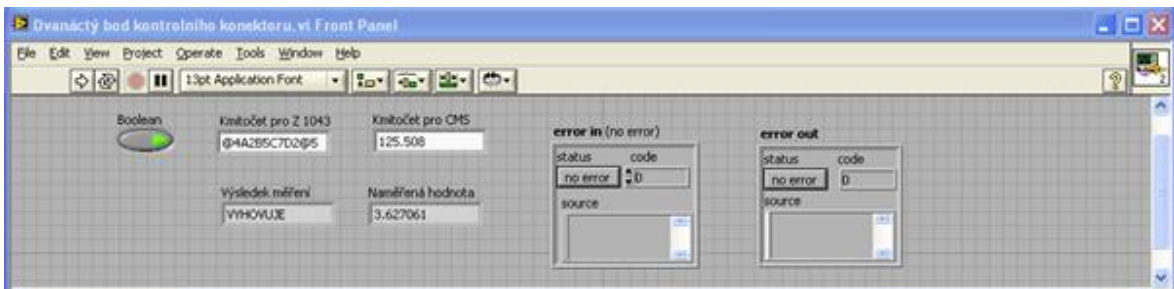
Obr. 4.10: Vyhodnocení napětí desátého bodu měření

V jedenáctém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 11,938670 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



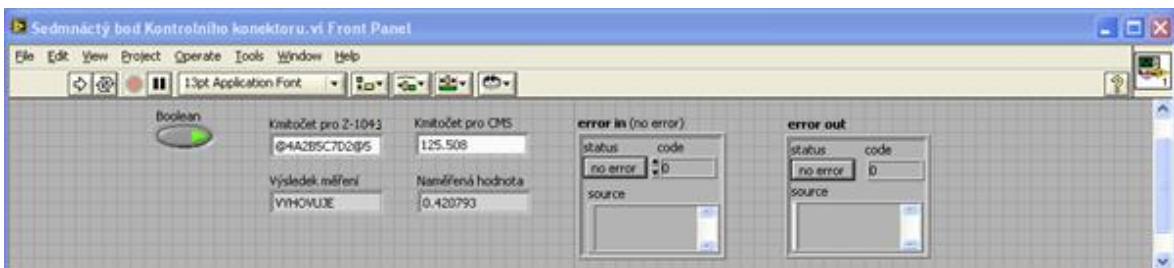
Obr. 4.11: Vyhodnocení napětí jedenáctého bodu měření

Ve dvanáctém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 3,627061 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



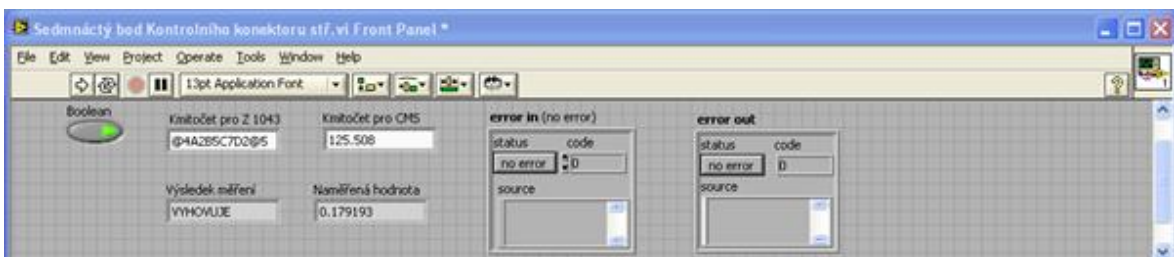
Obr. 4.12: Vyhodnocení napětí dvanáctého bodu měření

V sedmnáctém bodě byla naměřena hodnota stejnosměrného napětí 0,420793 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.



Obr. 4.13: Vyhodnocení stejnosměrného napětí sedmnáctého bodu měření

V sedmnáctém bodě byla naměřena hodnota střídavého napětí 0,179193 V. Tato hodnota je vyhovující, protože podle *Tab. 1* je naměřená hodnota v mezích tolerance.

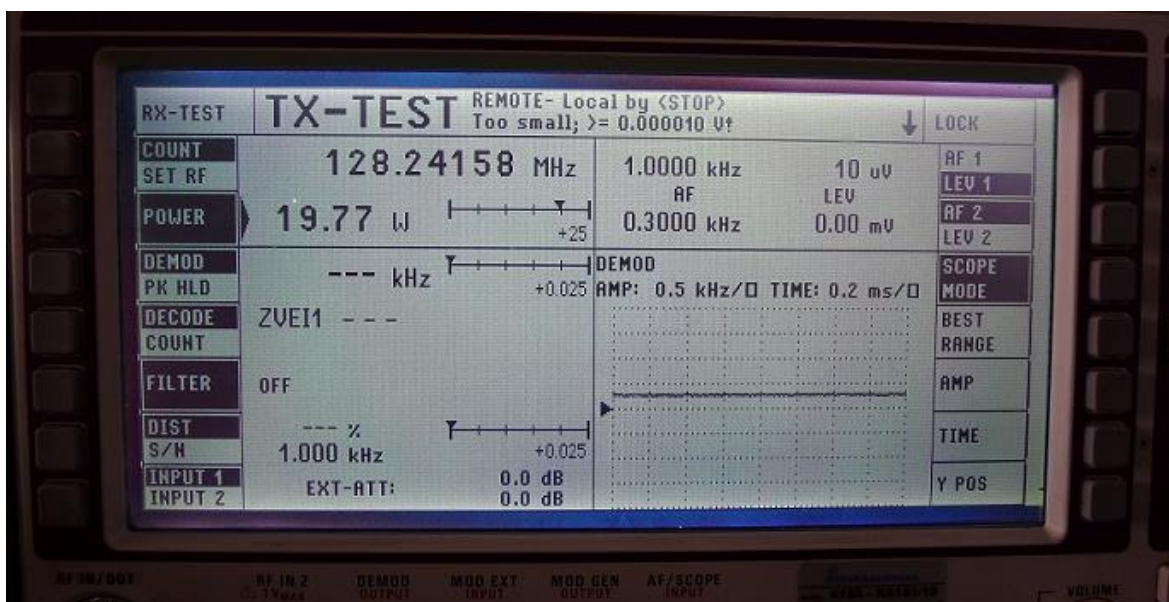


Obr. 4.14: Vyhodnocení střídavého napětí sedmnáctého bodu měření

4.2 Výsledky měření vysílače

4.2.1 Nosný kmitočet a výkon

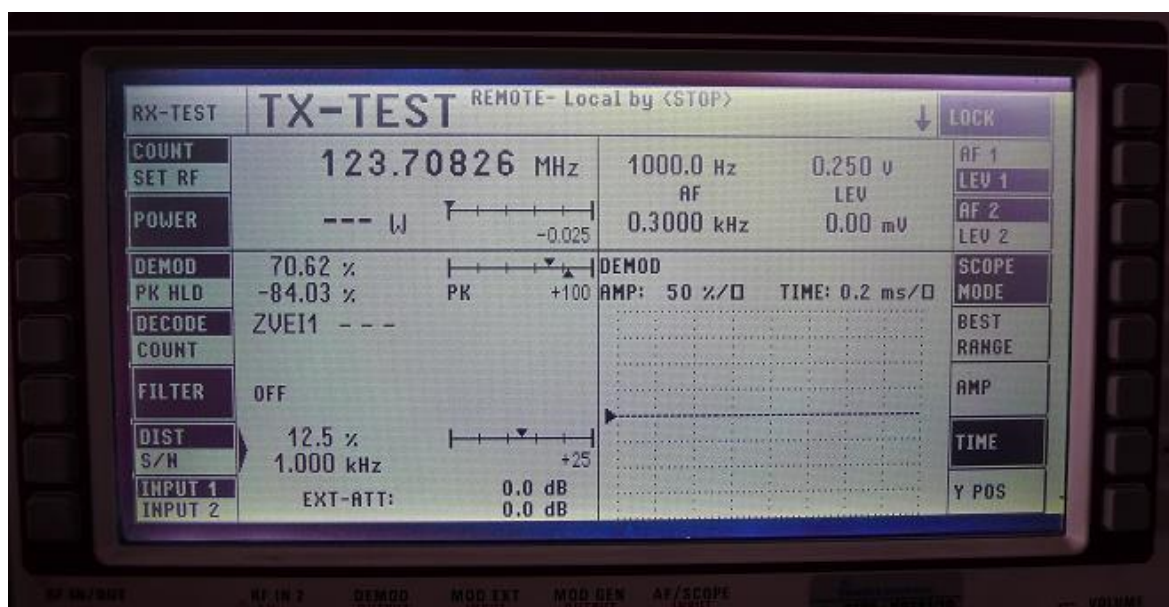
V bodě 3.2.1. předchozí kapitoly byl popsán zdrojový kód programu k změření nosného kmitočtu a výkonu vysílače. Pro nastavení kmitočtu radiostanice byl v programu zvolen formát slova „@4A2B8C3D2@5” což odpovídá naměřené frekvenci 128,241 MHz. Na tomto kmitočtu byl naměřen výkon 19,77 W. Obě hodnoty vyhovují technickým parametrům radiostanice.



Obr. 4.15: Vyhodnocení nosného kmitočtu a výkonu

4.2.2 Hloubka modulace a zkreslení

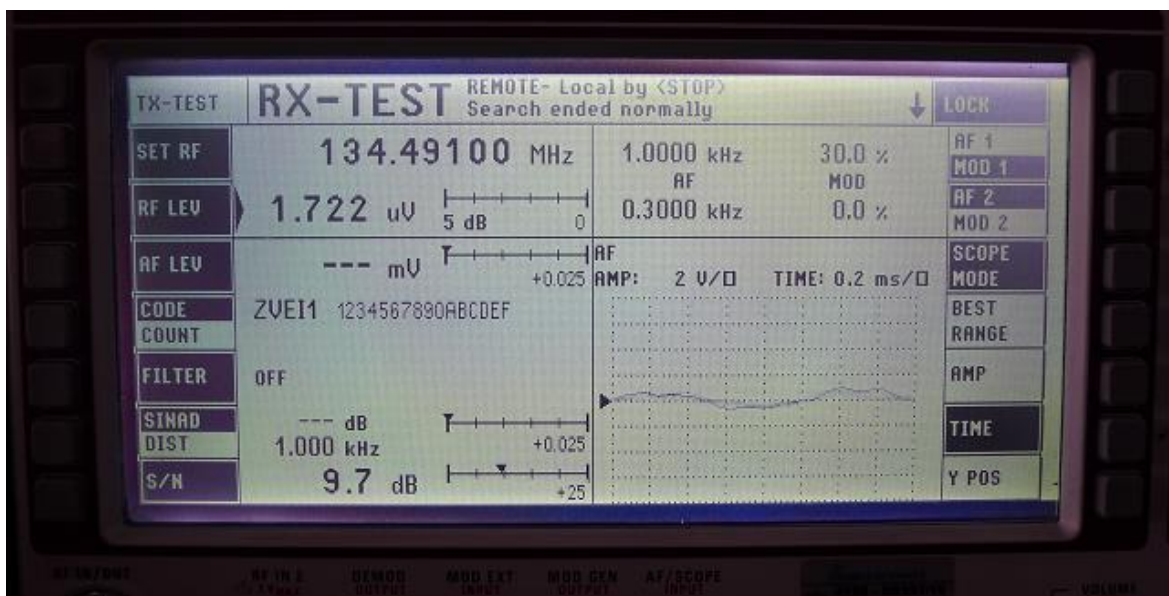
V bodě 3.2.2. předchozí kapitoly byl popsán zdrojový kód programu k změření hloubky modulace a zkreslení vysílače. Pro nastavení kmitočtu radiostanice byl v programu zvolen formát slova „@4A2B3C:D2@5” což odpovídá naměřené frekvenci 123,708 MHz. Změnou frekvence bylo zároveň ověřeno správné nastavení pro ladění kmitočtů s odstupem 8,33 kHz, jak je uvedeno v Tab. 3. Na tomto kmitočtu byla naměřena hloubka modulace 84,03 % a zkreslení 12,5 %. Obě hodnoty vyhovují technickým parametrům radiostanice.



Obr. 4.16: Vyhodnocení hloubky modulace a zkreslení

4.3 Výsledky měření přijímače

V bodě 3.3. předchozí kapitoly byl popsán zdrojový kód programu k změření citlivosti přijímače. Pro nastavení kmitočtu radiostanice byl v programu zvolen formát slova „@4A3B4C7D1@5” což odpovídá frekvenci 134,491 MHz. Na tomto kmitočtu byla naměřena citlivost přijímače 1,722 μV . Tato hodnota vyhovuje technickým parametrům radiostanice.



Obr. 4.17: Vyhodnocení citlivosti přijímače

Závěr

Tato práce měla za cíl sestavit automatizovaný zkušební systém pro měření parametrů palubní letecké radiostanice LUN 3520.15-8. Celý výzkum probíhal na vojenské základně dopravního letectva Praha-Kbely. Tento úkol byl časově náročný, neboť v době mé práce docházelo k závadám na samotných měřicích přístrojích. Zejména zkušební zařízení Z 1043, které bylo vyrobeno v roce 1994, je pro tento systém nejdůležitějším článkem, protože veškeré ovládání radiostanice je zapojeno právě k tomuto přístroji. V České republice se nacházejí pouze dva kusy Z 1043. V diplomové práci je uveden stručně popis a struktura radiostanice a její měřené parametry. Dále jsou popsána jednotlivá měřicí pracoviště pro lepší pochopení celkového návrhu automatizovaného zkušebního systému. Výběr vhodných měřicích přístrojů byl ovlivněn hlavně požadovanými parametry pro daná měření. Dalším důležitým předpokladem pro výběr přístrojů je podpora rozhraní pro připojení GPIB sběrnice.

Po sestavení zkušebního automatizovaného systému složeného z přístrojů Z 1043, multifunkční měřicí zařízení CMS 57, multimetru Keithley 2000, které jsou přes sběrnici GPIB propojeny s PC, bylo nutno nejdříve naprogramovat ladění frekvencí prvního leteckého pásma, ve kterém je požadován odstup kanálů 8,33 kHz. Zkušební zařízení Z 1043 je programováno instrukcemi v kódu ASC II. Na základě těchto informací se podařilo sestavit kompletní tabulku pro naladění kmitočtů s odstupem kanálů 8.33 kHz celého rozsahu prvního leteckého pásma viz *Tab. 3*.

Dalším krokem byl návrh softwaru pro měření kontrolního konektoru. Jednotlivé body byly měřeny samostatně. Výsledkem byly správně naměřené hodnoty, které byly jednotlivě zaznamenány. Poté jsem pokračoval v návrhu softwaru pro měření parametrů vysílače a přijímače. Požadované parametry se podařilo změřit, ale nebylo dosaženo kladného výsledku, neboť se nezdařilo naměřené hodnoty programově odečíst z multifunkčního přístroje CMS 57.

Hlavním výsledkem této práce je důkaz, že takto sestavené automatizované pracoviště dokáže spolupracovat s programem LabVIEW, a docílit tím změřenými parametry požadovaných parametrů na radiostanici LUN 3520.15-8. Díky vytvoření tabulky pro ladění kmitočtů

s odstupem 8,33 kHz v prvním leteckém pásmu je možno měřit přesně požadované parametry radiostanice LUN 3520.15-8 na jakémkoliv volitelném kmitočtu.

Seznam použité literatury

- [1] MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz*. Uherské Hradiště: 1998.
- [2] MESIT přístroje spol. s.r.o. *Technický popis*. Uherské Hradiště: 2010.
- [3] MESIT přístroje spol. s.r.o. *Předpis pro provoz, technologie údržby*. Uherské Hradiště: 1998.
- [4] [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z:
<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka01-03.htm>
- [5] [online]. [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/usb/usb-universal-serial-bus-popis-rozhrani.html>
- [6] [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z:
<http://www.produktinfo.conrad.com/index.php?bl=CS&q=1164897>
- [7] [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z:
<http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/cs/pg/1/sn/catnav:pm/fil/pmid:120494/>
- [8] [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z:
https://www.rohde-schwarz.com/cz/search_63238.html?term=CMS&x=16&y=10
- [9] VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. s. 12-18. ISBN: 978-80-7300-245-9.
- [10] VLACH, Jaroslav, HAVLÍČEK, Josef a VLACH, Martin. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2008. s. 12. ISBN: 978-80-7300-245-9.
- [11] MESIT a.s. *Průvodní list*. Uherské Hradiště: 1994

Přílohy

Příloha 1

Tab. 3 Formát slova pro naladění kHz

kHz	C	D	--
008	0	0	@5
016	0	1	
024	0	1	@5
033	0	2	
041	0	2	@5
049	0	3	
058	0	3	@5
066	1	0	
074	1	0	@5
083	1	1	
091	1	1	@5
099	1	2	
108	1	2	@5
116	1	3	
124	1	2	@5
133	2	0	
141	2	0	@5
149	2	1	
158	2	1	@5
166	2	2	
174	2	2	@5
183	2	3	
191	2	3	@5
199	3	0	
208	3	0	@5
216	3	1	
224	3	1	@5
233	3	2	
241	3	2	@5
249	3	3	
258	3	3	@5
266	4	0	
274	4	0	@5
283	4	1	
291	4	1	@5
299	4	2	
308	4	2	@5
316	4	3	
324	4	3	@5
333	5	0	

kHz	C	D	--
341	5	0	@5
349	5	1	
358	5	1	@5
366	5	2	
374	5	2	@5
383	5	3	
391	5	3	@5
399	6	0	
408	6	0	@5
416	6	1	
424	6	1	@5
433	6	2	
441	6	2	@5
449	6	3	
458	6	3	@5
466	7	0	
474	7	0	@5
483	7	1	
491	7	1	@5
499	7	2	
508	7	2	@5
516	7	3	
524	7	3	@5
533	8	0	
541	8	0	@5
549	8	1	
558	8	1	@5
566	8	2	
574	8	2	@5
583	8	3	
591	8	3	@5
599	9	0	
608	9	0	@5
616	9	1	
624	9	1	@5
633	9	2	
641	9	2	@5
649	9	3	
658	9	3	@5
666	:	0	

kHz	C	D	--
674	:	0	@5
683	:	1	
691	:	1	@5
699	:	2	
708	:	2	@5
716	:	3	
724	:	3	@5
733	;	0	
741	;	0	@5
749	;	1	
758	;	1	@5
766	;	2	
774	;	2	@5
783	;	3	
791	;	3	@5
799	<	0	
808	<	0	@5
816	<	1	
824	<	1	@5
833	<	2	
841	<	2	@5
849	<	3	
858	<	3	@5
866	=	0	
874	=	0	@5
883	=	1	
891	=	1	@5
899	=	2	
908	=	2	@5
916	=	3	
924	=	3	@5
933	>	0	
941	>	0	@5
949	>	1	
958	>	1	@5
966	>	2	
974	>	2	@5
983	>	3	
991	>	3	@5
999	?	0	

Příloha 2



Obr. 5.1: Vrtulník W-3A Sokol



Obr. 5.2: Ovládací skříňky LUN 3520.45/3-8 v kokpitu vrtulníku



Obr. 5.3: Bloky radiostanic LUN 3520.15-8 v zadní části trupu vrtulníku