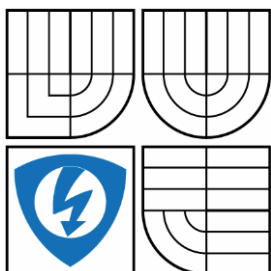


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

AUTOMATIZOVANÉ MĚŘENÍ JEDNODUCHÝCH ELEKTRICKÝCH OBVODŮ

MEASUREMENT AUTOMATION OF SIMPLE ELECTRICAL CIRCUIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL GÁLA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2016

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Michal Gála

ID: 154722

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatizované měření jednoduchých elektrických obvodů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled významných parametrů a charakteristik přenosových článků prvního řádu a popište jejich praktické využití v elektrotechnice.
2. V návaznosti na semestrální projekt navrhnete a realizujete měřicí pracoviště pro automatizované měření přenosových charakteristik těchto článků. Výběr přístrojů zdůvodněte.
3. Vytvořte měřicí aplikaci pro měření charakteristik daných článků v programu MATLAB, LabVIEW nebo libovolné verzi jazyka C, výběr zdůvodněte. Aplikace musí být schopná změřit základní parametry diskutované v teoretické části, bude umožňovat nastavení parametrů měření, export dat a grafů do souboru a bude generovat protokol o měření.
4. Vytvořenou měřicí aplikaci prezentujte a popište její funkcionality.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČEJKA, M.: Elektronické měřicí systémy, Skriptum VUT Brno, 2002

[2] Firemní literatura, manuály přístrojů Agilent

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 23.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práca popisuje prenosové články prvého rádu z teoretického pohľadu a následne komplexné dvojbrany aj z pohľadu praktického merania. Meranie prebieha pomocou automatizovaného meracieho systému. V práci sú popísané nastaviteľné parametre meracích prístrojov použitých v automatizovanom meracom systéme, dôvod prečo boli vybrané a praktická realizácia meracieho systému. Na riadenie procesu merania je využitá meracia aplikácia. V práci sa zaoberám výberom programu, pomocou ktorého je naprogramovaná meracia aplikácia a taktiež rozoberám jednotlivé podúlohy v konkrétnych fázach aplikácie. V práci je prezentovaná funkcionálna meracia aplikácia, spolu s postupnou ukážkou merania. Záver obsahuje zhodnotenie výsledkov, ktoré boli dosiahnuté počas vývoja.

Klíčová slova

prenosové články prvého rádu, prenosové charakteristiky, komplexné dvojbrany, automatizovaný merací systém, návrh systému, Labview student edition 2014, meracia aplikácia, derivačný článok, integračný článok.

Abstract

Document describe simple electrical circuit from theory and subsequently complex double-port from practical measure. On measurement is using automated measuring system. Document describes the adjustable parameters of measuring devices used in automated measuring system, the reason why they were chosen and the practical implementation of the measurement system. Process control measurement is used on measurement application. Document concerns the choice of program, which is use of programmed measuring application, and also analyze various subtasks in specifically stages of application. Document presented the functionality of measuring applications with a consistent example of measurement. In conclusion of document is contain evaluation of the results that have been achieved during development.

Keywords

simple electrical circuit, transmission characteristic, complex double-port, automated measurement system, system design, Labview student edition 2014, measurement application, derivative segment, integrating segment.

Bibliografická citace:

GÁLA, M. *Automatizované měření jednoduchých elektrických obvodů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 86 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Automatizované měření jednoduchých elektrických obvodů sem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 20. května 2016

.....
podpis autora

Poděkování

Ďakujem vedúcej bakalárskej práce pani Ing. Marii Havlíkovéj, Ph.D. za odborné konzultácie počas spracovania práce. Taktiež veľká vďaka patrí pánovi Ing. Miroslavovi Uhrovi, ktorý zastúpil pani Ing. Mariu Havlíkovú, Ph.D. v čase jej neprítomnosti. Ďakujem predovšetkým za praktické rady, ktoré mi poskytoval počas celého vývoja meracej aplikácie, taktiež za odborné konzultácie dokumentácie bakalárskej práce. Vďaka patrí aj môjmu konzultantovi pánovi Bc. Ondřejovi Bošítkovi za množstvo informácií a rád, ktoré mi počas práce poskytoval.

V Brně dne: 20. května 2016

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	8
2	Prenosové články prvého rádu	9
2.1	Komplexné dvojbrany	9
2.1.1	Derivačný CR článok	10
2.1.2	Integračný RC článok.....	13
2.1.3	Derivačný RL článok	15
2.1.4	Integračný LR článok.....	18
2.2	Komplexné jednobrany	20
2.2.1	Sériový RC článok	21
2.2.2	Sériový RL článok.....	23
3	Automatizovaný merací systém	26
3.1	Návrh zostavy	27
3.1.1	Prenosové charakteristiky	27
3.1.2	Požiadavky na meracie prístroje	29
3.1.3	Prístrojová zostava	30
3.2	Realizácia	40
3.2.1	Zapojenie navrhnutého obvodu.....	40
3.2.2	Programovo nastaviteľné parametre	41
4	Meracia aplikácia	43
4.1	Výber programu	43
4.2	Popis.....	46
5	Funkcionalita meracej aplikácie.....	58
6	Záver.....	72

1 ÚVOD

Automatizované meracie systémy nachádzajú v dnešnom rýchlom svete uplatnenie čoraz viac. Ich využitie má potenciál vo väčšine priemyslu.

Automatizovaný merací systém zefektívni čas, ktorý je venovaný na dosiahnutie výsledkov merania a užívateľa odbremení od výpočtov, ktoré sú prevedené meracou aplikáciou automaticky po spustení merania.

V práci bude popísaný prehľad prenosových článkov prvého rádu, ktoré budú vo výsledku merané automatizovaným meracím systémom.

Parametre, pomocou ktorých je možné zostrojenie charakteristík slúžiacich na identifikovanie prenosových článkov prvého rádu, sú tiež obsahom práce.

Na zostavovanie automatizovaného meracieho systému sú potrebné meracie prístroje, ktoré sú programovateľné, majú možnosť vzdialeného ovládania.

Výber prístrojov, ktoré sú potrebné pri získavaní parametrov na zostavenie charakteristík sa tiež nachádza v práci. Výber meracích prístrojov bude podliehať požiadavkám, ktoré sú uvedené v kapitole číslo 3.

Bude popísaná realizácia, zapojenie meracích prístrojov do obvodu automatizovaného pracoviska.

Riadenie automatizovaného meracieho systému je riešené pomocou meracej aplikácie, ktorá je softwarovou časťou počítača. Popis výberu programu, ktorý bude slúžiť na naprogramovanie meracej aplikácie bude popísaný v práci.

Obsahom práce bude taktiež funkčný popis meracej aplikácie so samotným predvedeným automatizovaným meraním.

Taktiež sa bude v práci nachádzať postup nastavovania parametrov a úlohy užívateľa v jednotlivých fázach meracej aplikácie.

V práci bude uvedená ukážka analýzy pre exaktne nastavené meracie parametre. Táto ukážka bude mať informatívny charakter a bude nad rámec zadania bakalárskej práce. Analýza automatizovaného meracieho systému však závisí od práve nastavených hodnôt meracích parametrov, pri iných hodnotách má odlišné parametre.

Záver práce je venovaný zhodnoteniu výsledkov dosiahnutých postupným vývojom meracej aplikácie a možných vylepšení v budúcnosti. Nachádza sa tu aj osobný prínos, ktorý mi práca dodala.

2 PRENOSOVÉ ČLÁNKY PRVÉHO RÁDU

Prenosové články prvého rádu sú zložené z jedného akumuláčného prvku, a jedného, alebo viacerých odporových prvkov.

Akumulačným prvkom je kondenzátor C , alebo cievka L . Odporovým prvkom je rezistor R [1].

Dôležitou zmienkou je poradie súčiastok a spôsob ich vzájomného zapojenia.

Podľa spôsobu zapojenia delíme prenosové články prvého rádu:

- komplexné dvojbrany;
- komplexné jednobrany.

Komplexné dvojbrany sú prenosové články prvého rádu, ktorých zapojenie obsahuje dve vstupné svorky $S1$, $S2$ (1. brána) a dve výstupné svorky $S3$, $S4$ (2. brána) vid', Obrázok 1.

Komplexné jednobrany sú prenosové články prvého rádu, ktorých zapojenie obsahuje vstupnú svorku $S1$ a výstupnú svorku $S2$. Svorky sú dve a tvoria jednu bránu vid', Obrázok 16.

Poradie súčiastok v ceste prúdu I určuje vlastnosti článku, jeho možné využitie v praxi a tvary prenosových charakteristík.

V kapitole 2.1 a 2.2 práce sa venujem podrobnejšiemu rozboru jednoduchých elektrických článkov prvého rádu.

Prenosové články prvého rádu môžu byť v elektronických obvodoch vložené úmyselne, ich použitie je uvedené v nasledujúcich častiach kapitoly. Na druhej strane sa stretávame s prenosovými článkami prvého rádu, ktorý majú parazitný vplyv. Parazitný vplyv majú napr. kapacity, ktoré sa vo väčších obvodoch nachádzajú medzi vodičmi[2].

2.1 Komplexné dvojbrany

Blokovú schému komplexného dvojbranu vid', Obrázok 1.



Obrázok 1: Bloková schéma komplexného dvojbranu[13]

Vstupné svorky $S1$, $S2$ tvoria vstupnú bránu komplexného dvojbranu, medzi svorkami sa nachádza vstupné napätie $u_1(t)$.

Výstupné svorky $S3$, $S4$ tvoria výstupnú bránu komplexného dvojbranu, medzi svorkami sa nachádza výstupné napätie $u_2(t)$.

Prúd tečúci vstupnými svorkami $S1, S2$ má označenie $i_1(t)$, prúd tečúci výstupnými svorkami $S3, S4$ má označenie $i_2(t)$.

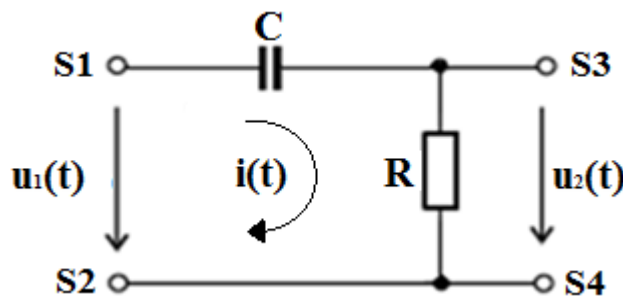
Každý elektrický obvod v elektrotechnickej teórii, alebo praxi sa musí skladať z elektrických súčiastok. Presné poradie elektrických súčiastok rozdeľuje komplexné dvojbrany:

- derivačný CR článok;
- integračný RC článok;
- derivačný RL článok;
- integračný LR článok[1].

V kapitolách 2.1.1 až 2.1.4 popisujem jednotlivé komplexné dvojbrany.

2.1.1 Derivačný CR článok

Schéma derivačného CR článku je na Obrázok 2.



Obrázok 2: Schéma derivačného CR článku[9]

Derivačný CR článok sa skladá z paralelného zapojenia kondenzátora C a rezistora R . Napätie medzi vstupnými svorkami $S1, S2$ má označenie $u_1(t)$, vstupné napätie. Výstupné napätie $u_2(t)$ sa nachádza medzi výstupnými svorkami $S3, S4$ obvodu.

Prúd $i(t)$ tečie kombináciou súčiastok derivačného CR článku[2].

Tvar frekvenčného prenosu $F(j\omega)$ derivačného CR článku, ktorý je bezrozmerný:

$$F(j\omega) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{j\omega K_d}{1 + j\omega K_d} \quad (1)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného CR článku[s][2].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ derivačného CR článku má časti:

- modul $|F(j\omega)|$ derivačného CR článku;
- fázový posun φ derivačného CR článku[°].

Tvar modulu $|F(j\omega)|$ derivačného CR článku je:

$$|F(j\omega)| = \frac{|u_2(t)|}{|u_1(t)|} = \frac{\omega K_d}{\sqrt{1 + (\omega K_d)^2}} \quad (2)$$

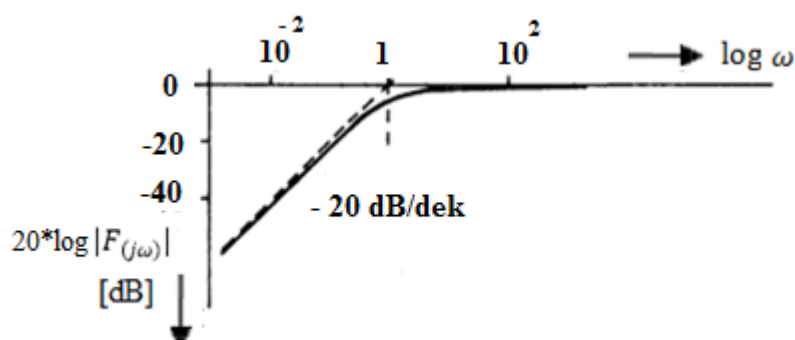
- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného CR článku[s][2].

Charakteristika vytvorená z modulu $|F(j\omega)|$ derivačného CR článku sa volá amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$ derivačného CR článku, vid', Obrázok 3.

Výpočet priebehu amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ derivačného CR článku, na ktorej je modul $|F(j\omega)|$ derivačného CR článku vyjadrený v [dB], (3)[3].

$$|F(j\omega)_{db}| = 20 \cdot \log|F(j\omega)| = 20 \cdot K_d \cdot \log\omega - 20 \cdot \log\sqrt{1 + \omega^2 K_d^2} \quad (3)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného CR článku[s][3].



Obrázok 3: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku[11]

Amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$ derivačného CR článku má dve časti. Prvá časť má sklon -20 dB/dek. Druhá časť má sklon 0 dB/dek[9].

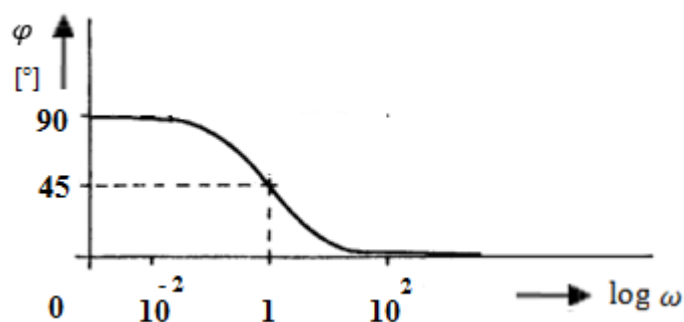
Medzi časťami sa nachádza zlom charakteristiky s uhlovou frekvenciou ω_0 . Uhlová frekvencia zlomu ω_0 derivačného CR článku, má tvar:

$$\omega_0 = \frac{1}{K_d} = \frac{1}{C \cdot R} \quad (4)$$

- K_d - derivačná konštanta derivačného CR článku[s];
- C - kapacita kondenzátora[F];
- R - odpor rezistora[Ω][2].

Jednotka uhlovej frekvencie ω a uhlovej frekvencie zlomu ω_0 derivačného CR článku je [rad/s].

Fázový posun φ derivačného CR článku má tvar (5), tvorí fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$ vid', Obrázok 4.



Obrázok 4: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku[11]

Jednotka fázového posunu φ , derivačného CR článku je [°].

$$\varphi = \arctg\left(\frac{1}{\omega K_d}\right) \quad (5)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného CR článku[s][11].

Fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ derivačného CR článku je závislosť fázového posunu φ na uhlovej frekvencii ω . Ak je dosiahnutá hodnota uhlovej frekvencie zlomu ω_0 , znamená to, že hodnota na fázovej frekvenčnej charakteristike $\varphi(\omega)$ derivačného CR článku je $+45^\circ$ [11].

Výpočet derivačnej konštanty K_d derivačného CR článku, ktorá má jednotku [s]:

$$K_d = C \cdot R \quad (6)$$

- C - kapacita kondenzátora[F];
- R - odpor rezistora[Ω][2].

Uhlová frekvencia ω je na charakteristikách vid', Obrázok 3 a Obrázok 4 zobrazená v logaritmickej stupnici.

Použitie derivačného CR článku v praxi:

Derivačný CR článok našiel uplatnenie v obvodoch číslicovej techniky.

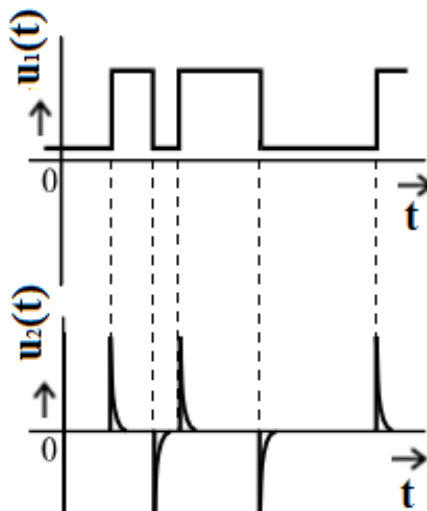
V dnešnom modernom svete je digitálna technika často využívaná na meracie a porovnávacie účely.

Derivačný CR článok pracuje ako filter typu horná priepusť.

Malá derivačná konštanta K_d derivačného CR článku spôsobuje vytvorenie impulzov, ktoré majú ihlový tvar.

Toto vytvorenie prebieha v okamihoch, kedy sa vstupný signál $u_1(t)$ mení skokovo.

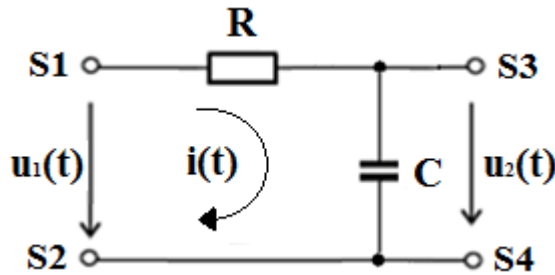
Ihlové impulzy vid', priebeh $u_2(t)$ na Obrázok 5[2].



Obrázok 5: Funkcia derivačného CR článku[2]

2.1.2 Integračný RC článok

Schému integračného RC článku vid', Obrázok 6.



Obrázok 6: Schéma integračného RC článku[10]

Integračný RC článok sa skladá z paralelného zapojenia rezistora R a kondenzátora C . Vstupné napätie $u_1(t)$ je napätie medzi vstupnými svorkami $S1$, $S2$ obvodu.

Výstupné napätie $u_2(t)$, je napätie medzi výstupnými svorkami $S3$, $S4$ obvodu[2].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného RC článku, ktorý je bezrozmerný, má tvar:

$$F(j\omega) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{1}{1 + j\omega K_i} \quad (7)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s][2].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného RC článku má časti:

- modul $|F(j\omega)|$ integračného RC článku;
- fázový posun φ integračného RC článku[°].

Tvar modulu $|F(j\omega)|$ integračného RC článku:

$$|F(j\omega)| = \frac{|u_2(t)|}{|u_1(t)|} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega K_i)^2}} \quad (8)$$

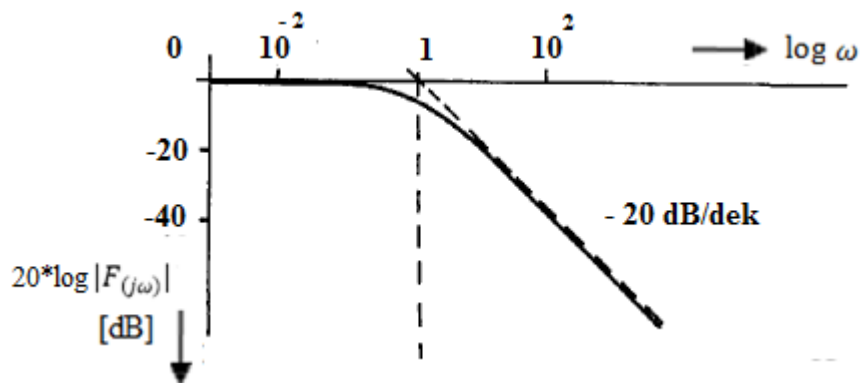
- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s][11].

Charakteristika vytvorená z modulu $|F(j\omega)|$ sa nazýva amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$ integračného RC článku vid', Obrázok 7.

Výpočet priebehu charakteristiky, na ktorej je modul $|F(j\omega)|$ vyjadrený v [dB], (9)[3].

$$|F(j\omega)_{ab}| = 20 \cdot \log|F(j\omega)| = 20 \cdot \log 1 - 20 \cdot \log \sqrt{1 + \omega^2 K_i^2} \quad (9)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s][3].



Obrázok 7: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integračného RC článku[12]

Amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$ integračného RC článku sa skladá z dvoch častí. Prvá časť má sklon 0 dB/dek. Druhá časť má sklon -20 dB/dek. Medzi časťami sa charakteristika láme[11].

Hodnota modulu $|F(j\omega)|$ na charakteristike je v zlomovej časti $1/\sqrt{2}$.

Miesto zlomu sa nazýva uhlová frekvencia zlomu ω_0 , má tvar:

$$\omega_0 = \frac{1}{K_i} = \frac{1}{R \cdot C} \quad (10)$$

- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s];
- R - odpor rezistora[Ω];
- C - kapacita kondenzátora[F][2].

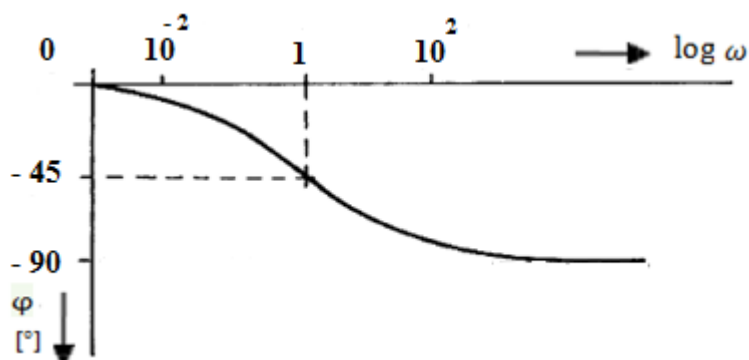
Jednotka uhlovej frekvencie zlomu ω_0 a uhlovej frekvencie ω integračného RC článku je [rad/s].

Fázový posun φ integračného RC článku má jednotku [°], a tvar:

$$\varphi = \arctg(-\omega K_i) \quad (11)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s][11].

Charakteristika vytvorená z (11) sa nazýva fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ integračného RC článku vid', Obrázok 8.



Obrázok 8: Fázová frekvenčná charakteristika integračného RC článku[12]

Ak je dosiahnutá hodnota uhlovej frekvencie zlomu ω_0 , hodnota fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ je -45°.

Konštanta K_i , sa nazýva integračná konštanta integračného RC článku, má jednotku [s] a tvar:

$$K_i = R \cdot C \quad (12)$$

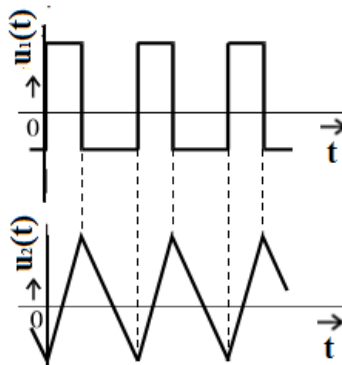
- R - odpor rezistora[Ω];
- C - kapacita kondenzátora[F][10].

Uhlová frekvencia ω je na charakteristikách vid', Obrázok 7 a Obrázok 8 zobrazená v logaritmickej stupnici.

Použitie integračného RC článku v praxi:

Integračný RC článok sa využíva aj ako filter typu dolná priepusť. Na uhlových frekvenciách ω , ktoré sú vyššie ako uhlová frekvencia zlomu ω_0 , je frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného RC článku veľmi nízky, blížiaci sa k nule.

Na uhlových frekvenciách ω menších ako uhlová frekvencia zlomu ω_0 je frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného RC článku rovný približne 1.



Obrázok 9: Funkcia integračného RC článku[2]

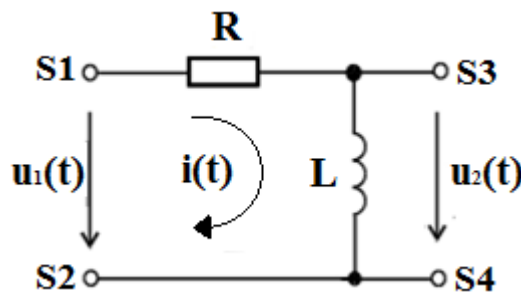
Na Obrázok 9 je ukázaná ďalšia funkcia integračného RC článku.

Z periodického obdĺžnikového vstupného napätia $u_1(t)$ integračný RC článok vytvorí pílové výstupné napätie $u_2(t)$.

Využitie pílového výstupného napätia $u_2(t)$ je v časových základniach osciloskopov[2].

2.1.3 Derivačný RL článok

Schému derivačného RL článku vid', Obrázok 10.



Obrázok 10: Schéma derivačného RL článku[11]

Derivačný RL článok sa skladá z paralelnej kombinácie rezistora R a cievky L . Medzi vstupnými svorkami $S1$, $S2$ obvodu je vstupné napätie $u_1(t)$. Medzi výstupnými svorkami $S3$, $S4$ sa nachádza výstupné napätie $u_2(t)$. Prúd $i(t)$ preteká kombináciou elektrických súčiastok derivačného RL článku[9].

Tvar frekvenčného prenosu $F(j\omega)$ derivačného RL článku, ktorý je bezrozmerný:

$$F(j\omega) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{j\omega K_d}{1 + j\omega K_d} \quad (13)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného RL článku[s][1].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ derivačného RL článku má časti:

- modul $|F(j\omega)|$ derivačného RL článku;
- fázový posun φ derivačného RL článku[°].

Tvar modulu $|F(j\omega)|$ derivačného RL článku, (14).

$$|F(j\omega)| = \frac{|u_2(t)|}{|u_1(t)|} = \frac{\omega K_d}{\sqrt{1 + (\omega K_d)^2}} \quad (14)$$

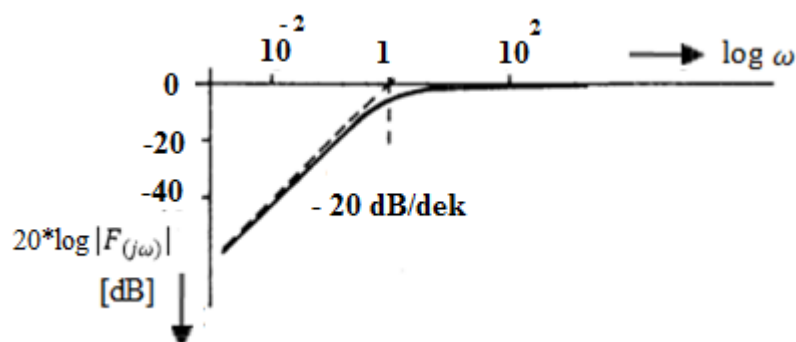
- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného RL článku[s][2].

Modul $|F(j\omega)|$ derivačného RL článku tvorí amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku $|F(j\omega)_{db}|$ derivačného RL článku vid', Obrázok 11.

Výpočet priebehu charakteristiky, na ktorej je modul $|F(j\omega)|$ vyjadrený v [dB], (15)[3].

$$|F(j\omega)_{db}| = 20 \cdot \log |F(j\omega)| = 20 \cdot K_d \cdot \log \omega - 20 \cdot \log \sqrt{1 + \omega^2 K_d^2} \quad (15)$$

- K_d - derivačná konštanta derivačného RL článku[s];
- ω - uhlová frekvencia[rad/s][3].



Obrázok 11: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného RL článku[11]

Amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$ derivačného RL článku sa skladá z dvoch častí.

Prvá časť so sklonom -20 dB/dek pokrýva nízke uhlové frekvencie ω . Na nízkych uhlových frekvenciách ω derivačný RL článok dosahuje malé hodnoty prenosu $F(j\omega)$, blížiac sa k nule[11].

Druhá časť charakteristiky má sklon 0 dB/dek. Táto časť pokrýva vyššie uhlové frekvencie ω .

Zlom na charakteristike je v mieste, ktoré je nazvané uhlová frekvencia zlomu ω_0 . Charakteristika sa láme v mieste rovnom približne -3 dB. Modul $|F(j\omega)|$ je na uhlovej frekvencii zlomu ω_0 rovný $1/\sqrt{2}$.

Uhlová frekvencia zlomu ω_0 , derivačného RL článku sa vypočíta:

$$\omega_0 = \frac{1}{K_d} = \frac{R}{L} \quad (16)$$

- K_d - derivačná konštanta derivačného RL článku[s];
- R - odpor rezistora[Ω];
- L - indukčnosť cievky[H][9].

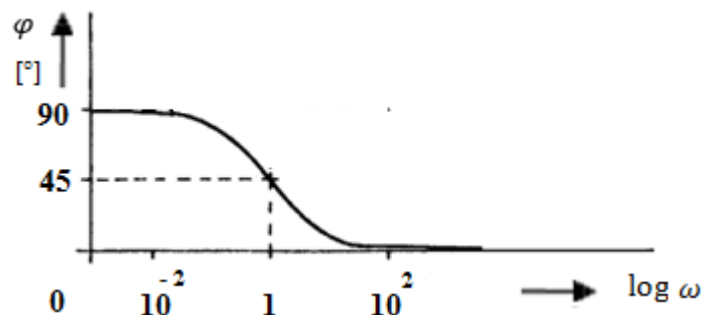
Jednotka uhlovej frekvencie zlomu ω_0 a uhlovej frekvencie ω je [rad/s].

Fázový posun φ derivačného RL článku, ktorý je vyjadrený v jednotke [°], tvorí fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$ derivačného RL článku vid', Obrázok 12.

Fázový posun φ derivačného RL článku má tvar:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{1}{\omega K_d}\right) \quad (17)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_d - derivačná konštanta derivačného RL článku[s][11].



Obrázok 12: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného RL článku[11]

Ak sa amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$ nachádza na uhlovej frekvencii zlomu ω_0 znamená to, že charakteristika na Obrázok 12 sa musí nachádzať na hodnote +45°[11].

Konštanta K_d sa nazýva derivačná konštanta derivačného RL článku, má jednotku [s].

Tvar derivačnej konštanty K_d derivačného RL článku je:

$$K_d = \frac{L}{R} \quad (18)$$

- L - indukčnosť cievky[H];
- R - odpor rezistora[Ω][9].

Uhlová frekvencia ω je na charakteristikách vid', Obrázok 11 a Obrázok 12 zobrazená v logaritmickej stupnici.

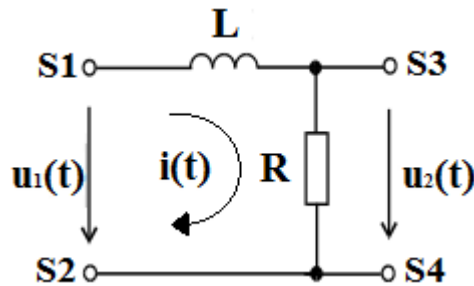
Použitie derivačného RL článku v praxi:

Použitie derivačného RL článku nie je až také výhodné ako použitie derivačného CR článku.

Cievka L v obvode spôsobuje problémy ako stratový odpor a parazitnú kapacitu pri vyšších uhlových frekvenciách ω . Spomenutý problém znižuje kvalitu prenosu derivačného RL článku. Derivačný RL článok sa uplatňuje v priemysle ako parazitný obvod[5].

2.1.4 Integračný LR článok

Schému integračného LR článku vid', Obrázok 13.



Obrázok 13: Schéma integračného LR článku[10]

Integračný LR článok sa skladá z paralelnej kombinácie cievky L a rezistora R . Napätie $u_1(t)$ je napätie medzi vstupnými svorkami $S1, S2$ obvodu, volá sa vstupné napätie. Medzi výstupnými svorkami $S3, S4$ obvodu sa nachádza výstupné napätie $u_2(t)$.

Prúd $i(t)$ tečie kombináciou súčiastok integračného LR článku[10].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného LR článku, ktorý je bezrozmerný má tvar:

$$F(j\omega) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)} = \frac{1}{1 + j\omega K_i} \quad (19)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta LR článku[s][2].

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ integračného LR článku má časti:

- modul $|F(j\omega)|$ integračného LR článku;
- fázový posun φ integračného LR článku[°].

Tvar modulu $|F(j\omega)|$ integračného LR článku je:

$$|F(j\omega)| = \frac{|u_2(t)|}{|u_1(t)|} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega K_i)^2}} \quad (20)$$

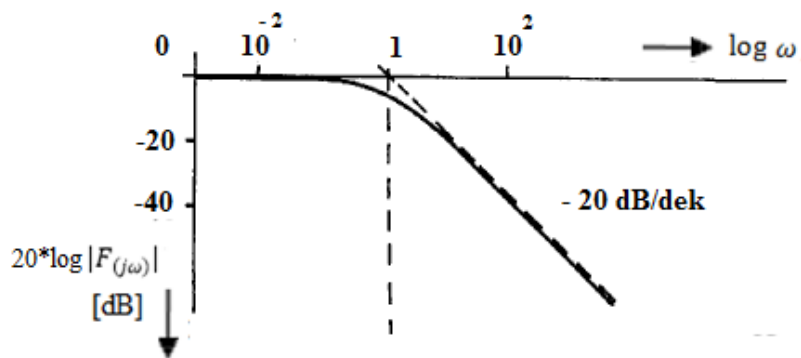
- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného LR článku[s][11].

Modul $|F(j\omega)|$ integračného LR článku, tvorí amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku $|F(j\omega)_{db}|$ vid', Obrázok 14.

Výpočet priebehu charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ na ktorej je modul $|F(j\omega)|$ vyjadrený v [dB], (21)[3].

$$|F(j\omega)_{db}| = 20 \cdot \log|F(j\omega)| = 20 \cdot \log 1 - 20 \cdot \log \sqrt{1 + \omega^2 K_i^2} \quad (21)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i - integračná konštanta integračného LR článku[s][3].



Obrázok 14: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integračného LR článku[11]

Amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)|_{ab}$ integračného LR článku sa skladá z dvoch častí.

Prvá časť charakteristiky má sklon 0 dB/dek. Druhá časť má sklon -20 dB/dek. Medzi týmito časťami sa nachádza zlom charakteristiky[10].

Zlom nastáva na uhlovej frekvencii zlomu ω_0 . Modul $|F(j\omega)|$ je v tomto mieste rovný $1/\sqrt{2}$, čo sú približne -3 dB na charakteristike vid', Obrázok 14.

Tvar uhlovej frekvencie zlomu ω_0 je:

$$\omega_0 = \frac{1}{K_i} = \frac{R}{L} \quad (22)$$

- K_i - integračná konštanta integračného LR článku[s];
- L - indukčnosť cievky[H];
- R - odpor rezistora[Ω][2].

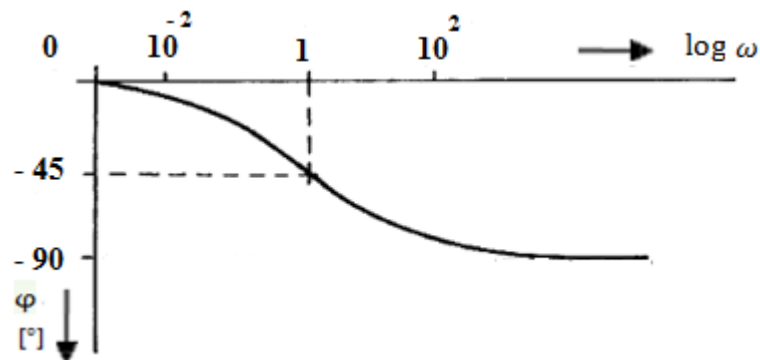
Uhlová frekvencia ω a uhlová frekvencia zlomu ω_0 má jednotku [rad/s].

Fázový posun φ tvorí fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$ integračného LR článku, vid', Obrázok 15.

Tvar výpočtu fázového posunu φ integračného LR článku vid', (23), jednotka je [°].

$$\varphi = \arctg(-\omega K_i) \quad (23)$$

- ω - uhlová frekvencia[rad/s];
- K_i – integračná konštanta integračného LR článku[s][11].



Obrázok 15: Fázová frekvenčná charakteristika integračného LR článku[11]

Fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ integračného LR článku má na uhlovej frekvencii zlomu ω_0 hodnotu -45° .

Integračná konštanta K_i integračného LR článku má jednotku [s] a tvar:

$$K_i = \frac{L}{R} \quad (24)$$

- L - indukčnosť cievky[H];
- R - odpor rezistora[Ω][10].

Uhlová frekvencia ω je na charakteristikách vid', Obrázok 14 a Obrázok 15 zobrazená v logaritmickej stupnici.

Použitie integračného LR článku v praxi:

Využitie integračného LR článku v praktických podmienkach závisí od použitých elektrických súčiastok v obvode. Aj tento článok podobne ako článok v kapitole 2.1.3 sa skladá aj z cievky L .

Integračný LR článok pracuje pri nižších uhlových frekvenciách ω , filter typu dolná priepusť.

Pri aplikovaní článku do iného obvodu je integračný LR článok potrebné úplne magneticky odtieniť, pretože je náchylný na elektromagnetické polia[4].

Ďalšia nevýhoda je nutnosť počítať s väčšími priestormi medzi súčiastkami, čo je nereálne pri miniaturizácii v dnešnom svete. Existuje však kompromis, a to využitie integračného LR článku v obvodoch, kde pretekajú väčšie prúdy, napríklad u výhybiek reproduktorov[4].

2.2 Komplexné jednobrany

Blokovú schému komplexného jednobranu vid', Obrázok 16.



Obrázok 16: Bloková schéma komplexného jednobranu[14]

Komplexné jednobrany sa skladajú z obvodových súčiastok ako rezistor R a kondenzátor C alebo cievka L .

Teoretická časť 2.2 má informatívny charakter, jej obsah má priblížiť použitie jednotlivých typov komplexných jednobranov.

Komplexný jednobran má svorky označené $S1$, $S2$. Obvod komplexného jednobranu je napájaný napätím $u(t)$ a preteká ním prúd $i(t)$ [1].

Ustálený stav: nezávisle na čase t sa nemení napätie $u(t)$ alebo prúd $i(t)$.

Prechodný dej: napätie $u(t)$ a prúd $i(t)$ sa menia v závislosti na čase t [6].

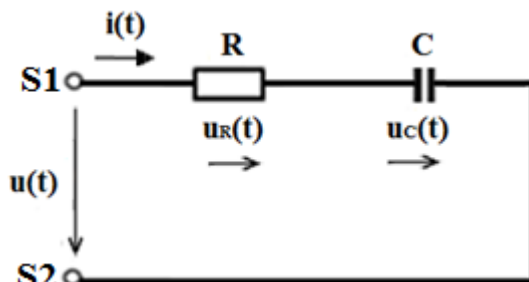
Komplexné jednobrany podľa zloženia súčiastok sú:

- sériový RC článok;
- sériový RL článok[6].

Obsah ďalších častí kapitoly 2.2 je venovaný rozboru jednotlivých typov komplexných jednobranov. Časti 2.2.1 a 2.2.2 sú informatívne a poukazujú hlavne o použití komplexných jednobranov v praktických podmienkach.

2.2.1 Sériový RC článok

Schému sériového RC článku vid', Obrázok 17.

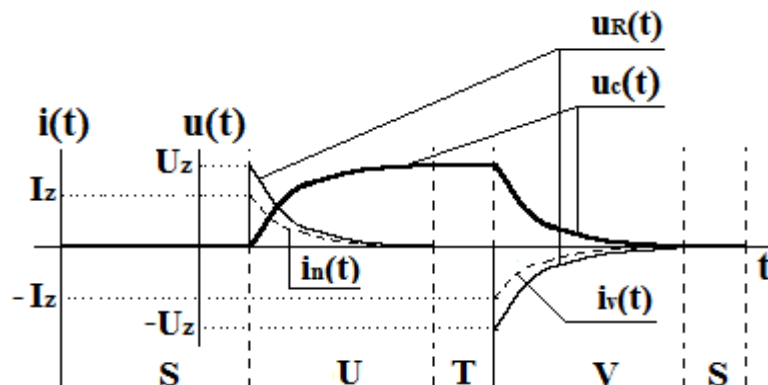


Obrázok 17: Schéma sériového RC článku[15]

Sériový RC článok sa skladá zo sériovej kombinácie rezistora R a kondenzátora C .

Sériový RC článok je napájaný napätím $u(t)$, obvodom článku preteká prúd $i(t)$.

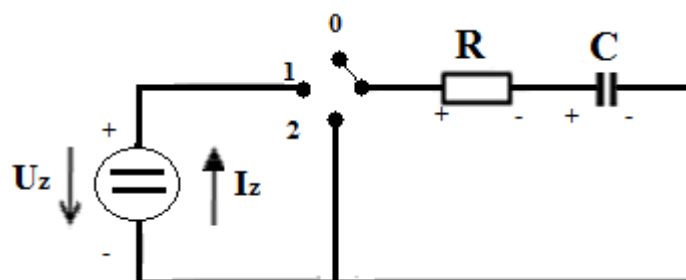
Sériový RC článok má dva ustálené stavy a dva prechodné deje vid', Obrázok 18.



Obrázok 18: Časové priebehy signálov u sériového RC článku[6]

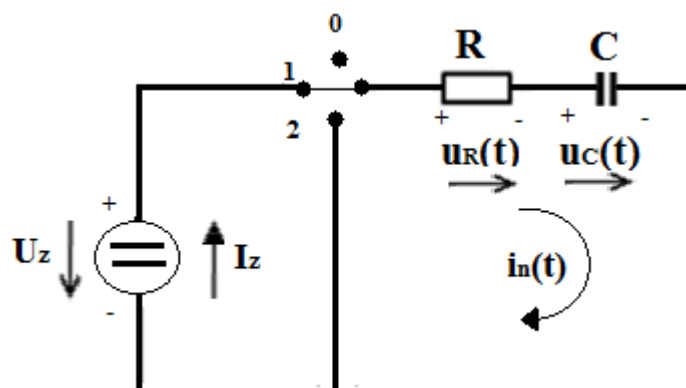
Popis ustálených stavov a prechodných dejov:

Stav S: Spínací kontakt je v polohe 0, obvod je rozpojený, vid', Obrázok 19.



Obrázok 19: Prvý ustálený stav S[15]

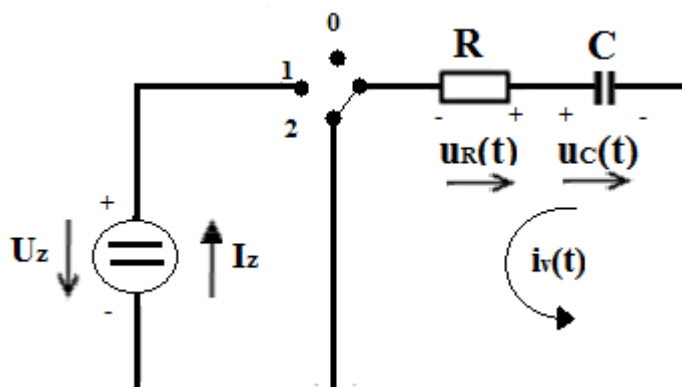
Stav U : Spínací kontakt je v polohe 1 vid', Obrázok 20. Nabíjanie kondenzátora C . Na začiatku sa nabíjací prúd $i_n(t)$ rovná prúdu zdroja I_z . Nabíjací prúd $i_n(t)$ klesá úmerne s nabitím kondenzátora C . Napätie kondenzátora $u_c(t)$ stúpa až po hodnotu napätia zdroja U_z . Napätie rezistora $u_R(t)$ počas stavu klesá z hodnoty rovnjej napätia zdroja U_z [15].



Obrázok 20: Prvý prechodný dej - nabíjanie kondenzátora C , stav U [15]

Stav T : Moment, kedy je spínací kontakt prepnutý z polohy 1 do polohy 2 vid', Obrázok 21. Kondenzátor C je plne nabitý. Druhý ustálený stav[6].

Stav V : Spínací kontakt je v polohe 2 vid', Obrázok 21. Vybíjanie kondenzátora C . Veľkosť vybíjacieho prúdu $i_v(t)$ je úmerná vybitiu kondenzátora C . Napätie kondenzátora $u_c(t)$ sa znižuje, napätie rezistora $u_R(t)$ tiež, avšak je opačnej polaroty oproti stavu U [6].



Obrázok 21: Druhý prechodný dej – vybíjanie kondenzátora C , stav T , stav V [15]

Časová konštanta K_T sériového RC článku má jednotku [s] a tvar:

$$K_T = R \cdot C \quad (25)$$

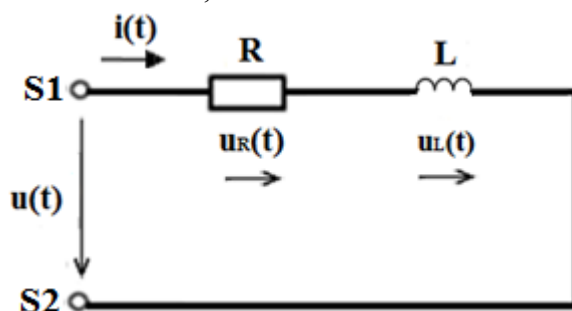
- R - odpor rezistora[Ω];
- C - kapacita kondenzátora[F][1].

Použitie sériového RC článku v praxi:

Sériový RC článok sa používa napríklad ako výkonová záťaž riadená frekvenciou. Rezistor R predstavuje záťaž. Kondenzátor C je frekvenčne závislý, mení svoju impedanciu zmenou frekvencie[7].

2.2.2 Sériový RL článok

Schému sériového RL článku vid', Obrázok 22.

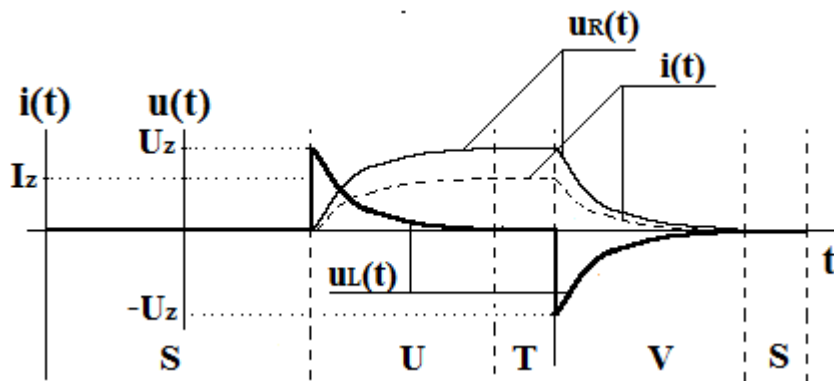


Obrázok 22: Schéma sériového RL článku[14]

Sériový RL článok sa skladá zo sériovej kombinácie rezistora R a cievky L .

Sériový RL článok je napájaný napätím $u(t)$, obvodom článku preteká prúd $i(t)$.

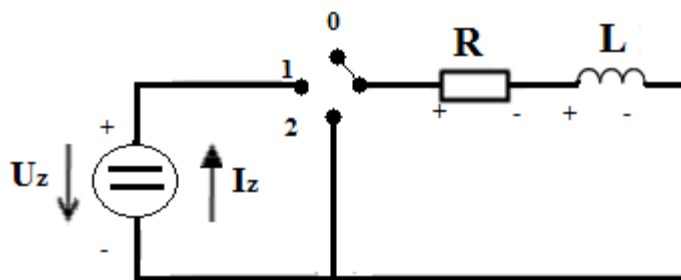
Článok má dva ustálené stavy a dva prechodné deje, vid', Obrázok 23[6].



Obrázok 23: Časové priebehy signálov u sériového RL článku[6]

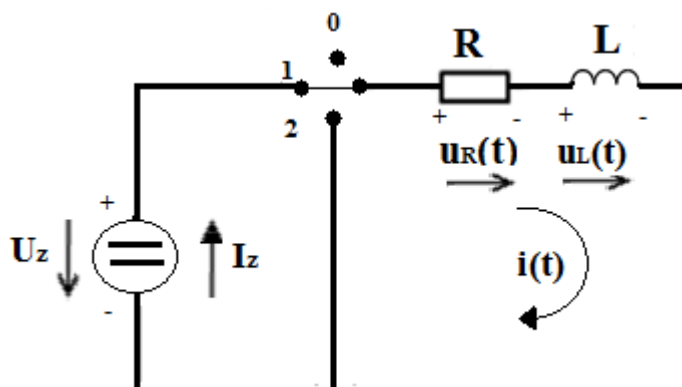
Popis ustálených stavov a prechodných dejov:

Stav S: Spínací kontakt je v polohe 0. Kľudový stav, obvod je rozpojený, vid', Obrázok 24[6].



Obrázok 24: Prvý ustálený stav S[6]

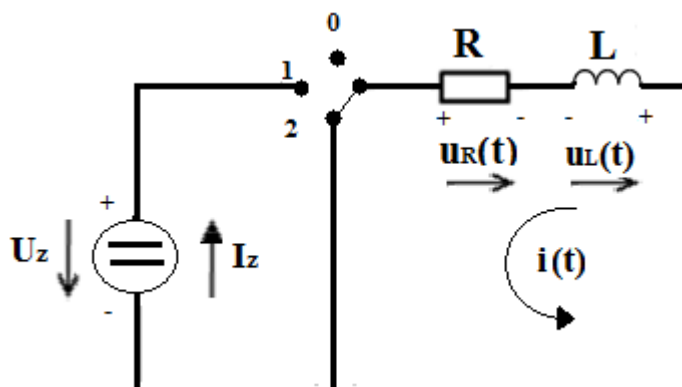
Stav *U*: Spínací kontakt je v polohe 1, vid', Obrázok 25. Vznik prúdu $i(t)$, ktorý spôsobí na cievke L indukované napätie $u_L(t)$, ktoré klesá nepriamoúmerne v závislosti na veľkosti prúdu $i(t)$. Na konci stavu sa prúd $i(t)$ vyrovná prúdu zdroja I_z .



Obrázok 25: Prvý prechodný dej – vznik prúdu $i(t)$, stav *U*[6]

Stav *T*: Moment, kedy je spínací kontakt prepnutý z polohy 1 do polohy 2 vid', Obrázok 26. Prúd $i(t)$ dosahuje maximálnu hodnotu, je rovný prúdu zdroja I_z . Veľkosť napätia rezistora $u_R(t)$ sa rovná napätiu zdroja U_z . Druhý ustálený stav.

Stav *V*: Spínací kontakt je v polohe 2 vid', Obrázok 26. Zánik prúdu $i(t)$, ktorý je na konci stavu rovný nule. Indukované napätie $u_L(t)$ a napätie rezistora $u_R(t)$ na konci stavu dosiahnu tiež nulové hodnoty[6].



Obrázok 26: Druhý prechodný dej – zánik prúdu $i(t)$, stav *T*, stav *V*[6]

Časová konštanta K_T má jednotku [s] a tvar:

$$K_T = \frac{L}{R} \quad (26)$$

- L - indukčnosť cievky[H];
- R - odpor rezistora[Ω][6].

Použitie sériového RL článku v praxi:

Sériový RL článok je v praxi obmedzený použitou cievkou L . Výroba cievky L je nákladná a súčiastka predstavuje dosť ťažký a rozmerovo nemalý prvok obvodu. Ak však je využiteľnosť vyššia nad úkor geometrických a váhových vlastností, sériový RL článok sa dá využiť v obvodoch pre nízkočfrekvenčnú techniku[8].

3 AUTOMATIZOVANÝ MERACÍ SYSTÉM

Praktická časť mojej bakalárskej práce spočíva vo vytvorení automatizovaného meracieho systému, ktorý má automatizovane merať parametre na zostavenie prenosových charakteristík komplexných dvojbranov. Prenosové charakteristiky konkrétnych typov komplexných dvojbranov sú popísané v časti práce viď, kapitola 2.1. Automatizovaný merací systém je systém, ktorý je zložený z riadiacej jednotky, zbernice komunikačného rozhrania a meracích prístrojov. Pomocou riadiacej jednotky, počítača je riešené ovládanie automatizovaného meracieho systému.

Meracie prístroje musia podporovať vybranú zbernicu komunikačného rozhrania. Parametre merania nastavené v počítači pomocou meracej aplikácii sa zbernicou komunikačného rozhrania prenesú k meracím prístrojom, ktoré prevádzajú meranie.

Automatizovaný merací systém má oproti meraniu, ktoré prebieha neautomatizovane niekoľko výhod.

Výhody:

- rýchlosť merania;

U automatizovaného merania je po vhodnej programátorskej úprave meracej aplikácie odstránený nadbytočný čas určený na manuálnu zmenu parametrov merania, napr. zmena frekvencie vo frekvenčnom rozsahu, úprava parametrov meracích prístrojov. V mojom prípade bude úprava meracej aplikácie v čo najväčšom rozsahu. Výsledkom tejto úpravy bude, aby jednotlivé fázy merania prebiehali čo najrýchlejšie a bez nutnej obsluhy užívateľa.

- okamžitá práca s výsledkami merania;

V automatizovanom meracom systéme by mala byť využitá možnosť spracovávať výsledky merania ihneď po prevedenej činnosti systému. V mojom prípade tomu tak bude. Výsledky merania budú vytvárať charakteristiky už počas merania, automatizovaný merací systém zmeria jednu frekvenčnú úroveň, zaznamená ju, a automaticky prejde na druhú.

Pri neautomatizovanom meraní by charakteristiky boli vytvorené až po ukončení merania na všetkých frekvenčných úrovniach a za niekoľkonásobne dlhší časový interval.

- počas spusteného merania nie je nutná prítomnosť obsluhy;

V prípade mnou vytvoreného automatizovaného meracieho systému bude prítomnosť obsluhy potrebná iba na spustenie merania a na rozhodnutie ukladania nameraných údajov či protokolu. Počas merania prítomnosť obsluhy potrebná nie je, čo zefektívni čas na inú prácu, prípadne ďalšie skúmanie či meranie na iných pracoviskách.

- malá pravdepodobnosť subjektívnych chýb;

Keďže počas merania nebude potrebná prítomnosť obsluhy, sú chyby spôsobené obsluhou minimalizované.

Merania budú prevedené meracími prístrojmi s čo najväčšou možnou presnosťou. Kombinácia rýchlosti a presnosti bude dôležitá. Na meracie prístroje bude okrem iných požiadaviek kladený teda aj požiadavok na presnosť. Čím presnejší bude výsledný

automatizovaný merací systém, tým detailnejšie budú vyhodnotené merané charakteristiky.

Návrh postupu a popis výslednej schémy, ktorá vzišla z návrhu, je súčasťou kapitoly 3.1.

Realizácia automatizovaného meracieho systému spolu s nastavením potrebných parametrov je obsahom kapitoly 3.2.

3.1 Návrh zostavy

V tejto časti kapitoly je uvedený popis návrhu automatizovaného meracieho systému, ktorý sa nachádza na Ústave automatizácie a meracej techniky v učebni SD1.120. Návrh bol podriadený výslednej funkčnosti automatizovaného meracieho systému a druhu jeho použitia.

Automatizovaný merací systém podľa parametrov popisovaných v teoretickej časti vid', 2.1 má prakticky zmerať amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$ komplexných dvojbranov.

Tento výsledný formát mi zadala vedúca bakalárskej práce. Preto mám zloženie automatizovaného meracieho systému prispôbiť na meranie parametrov, ktoré sú potrebné na zostavenie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

Bližší popis parametrov, ktoré slúžia na zostavenie oboch charakteristík vid', u konkrétnych komplexných dvojbranov v kapitole 2.1, prípadný všeobecný popis parametrov vid', v nasledujúcej časti 3.1.1.

Testovanie automatizovaného meracieho systému bude prebiehať na prípravku, ktorý je súčasťou učebne SD1.120 a zapojenie obsahuje derivačný CR článok, integračný RC článok, vid', Obrázok 56.

Užívateľovi bude zabezpečený veľký rozsah meracích parametrov, ktoré si môže nastaviť podľa vlastného uváženia. Meracie prístroje sú vyberané podľa požiadaviek vid', kapitola 3.1.2 a s čo najväčším možným rozsahom nastaviteľných parametrov. Od nastavených parametrov závisí výsledný tvar frekvenčných charakteristík.

Návrh je pre realizáciu automatizovaného meracieho systému veľmi dôležitý. Preto je rozpísanie postupu návrhu, popis výberu meracích prístrojov rozsiahlejšieho charakteru.

3.1.1 Prenosové charakteristiky

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ je pomer výstupného napätia $u_2(t)$, ku vstupnému napätiu $u_1(t)$.

Frekvenčný prenos $F(j\omega)$ komplexného dvojbranu má tvar :

$$F(j\omega) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)} \quad (27)$$

- $u_2(t)$ - výstupné napätie[V];
- $u_1(t)$ - vstupné napätie[V].

Hodnoty vstupného napätia $u_1(t)$ a výstupného napätia $u_2(t)$ sú pre automatizovaný merací systém dôležité, pretože frekvenčný prenos $F(j\omega)$ sa delí na modul $|F(j\omega)|$ a fázový posun φ .

Sú to hlavné parametre, potrebné na zostavenie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

Amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$ je závislosť modulu $|F(j\omega)|$ na uhlovej frekvencii ω .

Modul $|F(j\omega)|$ komplexného dvojbranu má tvar:

$$|F(j\omega)| = \frac{|u_2(t)|}{|u_1(t)|} \quad (28)$$

- $|u_2(t)|$ - absolútna hodnota výstupného napätia[V];
- $|u_1(t)|$ - absolútna hodnota vstupného napätia[V][1].

Priebeh amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$, vyjadrený v [dB], (29):

$$|F(j\omega)_{ab}| = 20 \cdot \log|F(j\omega)| \quad (29)$$

- $|F(j\omega)|$ - modul komplexného dvojbranu[3].

Vzťah medzi uhlovou frekvenciou ω , ktorá má jednotku [rad/s] a frekvenciou f , ktorá má jednotku [Hz]:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (30)$$

- ω – uhlová frekvencia[rad/s][1].

Fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ je závislosť fázového posunu φ výstupného napätia $u_2(t)$ od vstupného napätia $u_1(t)$ na uhlovej frekvencii ω .

Fázový posun φ derivačného článku má tvar, (31).

Fázový posun φ integračného článku má tvar, (32).

$$\varphi = \arctg\left(\frac{1}{\omega K_d}\right) \quad (31)$$

$$\varphi = \arctg(-\omega K_i) \quad (32)$$

- ω – uhlová frekvencia[rad/s].
- K_d - derivačná konštanta derivačného typu článku[s].
- K_i - integračná konštanta integračného RC článku[s][11].

Fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ derivačného článku má rozsah v rozmedzí 90° až 0°, integračný článok sa vyznačuje fázovou frekvenčnou charakteristikou $\varphi(\omega)$ v rozmedzí 0° až -90°.

Podľa tvaru amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ je možné základné delenie komplexného dvojbranu.

3.1.2 Požiadavky na meracie prístroje

Merací systém pre automatizované meranie prenosových charakteristík komplexných dvojbranov musí zaisťovať získanie parametrov, vid' 3.1.1 na realizáciu amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$, vid', Obrázok 27.

Pre stanovenie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ je potrebné zaistiť:

- generovanie sínusového signálu vo frekvenčnom rozsahu, ktorý si užívateľ navolí sám.

Generovanie sínusového signálu bude realizované funkčným generátorom. Užívateľ musí mať na výber čo najširšie frekvenčné spektrum, na ktorom skúma modul $|F(j\omega)|$ komplexného dvojbranu. Preto bude na funkčný generátor kladený okrem iných požiadaviek aj tá aby mal čo najväčší možný rozsah generovaných frekvencií.

- meranie vstupného napätia $u_1(t)$;
- meranie výstupného napätia $u_2(t)$.

Meranie vstupného napätia $u_1(t)$ a výstupného napätia $u_2(t)$ bude realizované s multimetrami, ktoré majú najväčšie možné nastaviteľné rozlíšenie.

Rozlíšenie je nastaviteľný parameter, preto bude na užívateľovi výslednej meracej aplikácie, aké rozlíšenie nastaví, avšak pre väčšiu detailnosť je potrebné merať s čo najväčším nastaveným rozlíšením u oboch multimetrov. Samozrejme, multimetre musia plniť aj iné dôležitejšie parametre, ktoré popíšem v nasledujúcej kapitole.

Pre stanovenie fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ je potreba zaistiť:

- generovanie sínusového signálu vo frekvenčnom rozsahu, ktorý si užívateľ navolí sám ;

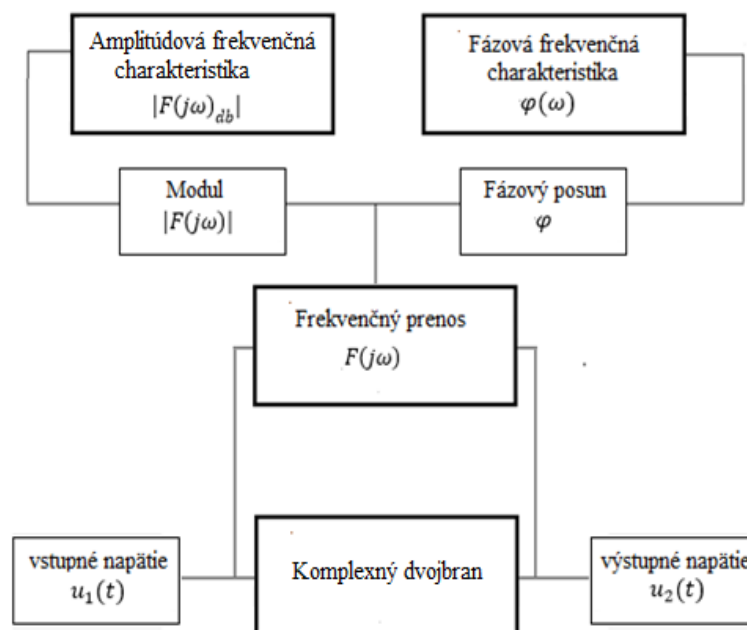
Užívateľ musí mať na výber čo najväčší frekvenčný rozsah, na ktorom skúma fázový posun φ . Meranie bude prebiehať súčasne s meraním amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$, použitý bude rovnaký typ funkčného generátora, výber vid'. 3.1.3.

- meranie fázového posunu φ výstupného napätia $u_2(t)$ od vstupného napätia $u_1(t)$.

Fázový posun φ je treba merať pomocou dvoch kanálov. Pri výbere meracieho prístroja dbám taktiež na možnosti nastavení čo najväčšieho rozsahu parametrov merania a taktiež presnosť merania.

Všetky prístroje v meracom systéme musia byť vybavené komunikačným rozhraním, musí byť splnená možnosť vzdialene ich ovládať.

Grafickú podobu návrhu postupu získavania parametrov, ktoré vedú k výslednému zostaveniu amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ vid', Obrázok 27.



Obrázok 27: Bloková schéma návrhu postupu zostavenia prenosových charakteristík

3.1.3 Prístrojová zostava

Prístrojové vybavenie laboratória SD1.120 má širokú škálu použiteľnosti. Táto škála zahŕňa meracie prístroje, ktoré podporujú komunikačné rozhrania a naopak zahŕňa aj také, ktoré nepodporujú komunikačné rozhrania.

Pre vhodný návrh, a z toho plynúce vytvorenie automatizovaného meracieho systému, sa zameriam na programovateľné meracie prístroje. Programovateľné meracie prístroje podporujú aspoň jeden typ komunikačného rozhrania, dajú sa ovládať cez vzdialenú riadiacu jednotku v tzv. vzdialenom režime ovládania.

Meracie prístroje, ktoré potrebujem na zostavenie automatizovaného meracieho pracoviska sú:

- funkčný generátor;
- 2 x multimeter;
- čítač, alebo osciloskop podporujúci meranie fázového posunu φ .

Funkčné generátory, ktoré podporujú jeden alebo viacero typov komunikačných rozhraní sú: funkčný generátor Agilent 33120A, funkčný generátor Agilent 33220A.

Špecifikácia funkčného generátora Agilent 33120A[17]:

Priebehy generovaných signálov:

- sínus, trojuholník, obdĺžnik, rampa, šum, exponenciálny rast, exponenciálny pád, jednosmerný signál, pulz;
- vzorkovanie: 40 MSa/s.

Výstup:

- impedancia: 50 Ω ;

- amplitúdová presnosť: $\pm 2\%$ z nastavenia;
- modulácie: AM, FM, FSK, Burst;
- podrobnejší prehľad výstupných parametrov vid', katalógový list meracieho prístroja.

Frekvenčné charakteristiky:

- generovaný rozsah: 100 μ Hz – 15 MHz;
- frekvenčná presnosť závisí od doby používania a od okolitej teploty v laboratóriu, detailný popis parametrov ako aj frekvenčného rozlíšenia vid', katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhranie:

- GPIB, RS-232. Merací prístroj sa podporou komunikačných zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia funkčného generátora Agilent 33220A[18]:

Priebehy generovaných signálov:

- sínus, trojuholník, obdĺžnik, rampa, šum, exponenciálny rast, exponenciálny pád, negatívna rampa, jednosmerný, pulz;
- vzorkovanie: 50 MSa/s.

Výstup:

- impedancia: 50 Ω ;
- amplitúdová presnosť: $\pm 1\%$ z nastavenia;
- modulácie: AM, FM, PM, FSK, PWM;
- podrobnejší prehľad výstupných parametrov vid', katalógový list meracieho prístroja.

Frekvenčné charakteristiky:

- generovaný rozsah: 100 μ Hz – 20 MHz;
- frekvenčná presnosť závisí od doby používania a od okolitej teploty v laboratóriu, detailný popis týchto parametrov ako aj frekvenčného rozlíšenia vid', katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhranie:

- GPIB, LAN, USB. Merací prístroj sa podporou komunikačných zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Generovaný signál, ktorý je potrebný na vyhodnotenie charakteristík, bude striedavý sínus, AC sínus. Oba funkčné generátory podporujú tento typ generovaného signálu. Funkčný generátor Agilent 33220A má možnosť generovať širšie frekvenčné spektrum od 100 μ Hz – 20 MHz, zatiaľ čo funkčný generátor Agilent 33120A má možnosť generovať širšie frekvenčné spektrum od 100 μ Hz – 15 MHz. Podľa dostupných možností bude zvolený ten funkčný generátor, ktorý obsahuje širšie frekvenčné spektrum generovaného signálu.

Dôležitá bude aj presnosť vybraného funkčného generátora.

Amplitúdová presnosť je u funkčného generátora Agilent 33220A $\pm 1\%$ z nastavenia, u funkčného generátora Agilent 33120A je amplitúdová presnosť $\pm 2\%$ z nastavenia. Do návrhu obvodu preto volím funkčný generátor Agilent 33220A.

Zbernice komunikačného rozhrania podporované funkčným generátorom Agilent 33220A sú GPIB, LAN, USB.

Multimetre, ktoré podporujú jeden alebo viacero typov komunikačných rozhraní sú: multimeter Agilent 34401A, multimeter Metex M-3890D, multimeter Metex M-3850D.

Špecifikácia multimetra Agilent 34401A[19]:

Merateľné veličiny:

- DC/AC napätie, DC/AC prúd, frekvencia, perióda, odpor 2 až 4 vodičov, test stavu diódy, vodivosť.

Špecifikácia presnosti:

- základná presnosť závisí od doby používania, okolitej teploty v laboratóriu a meranej veličiny, podrobnejší prehľad vid', katalógový list meracieho prístroja.

Vstupné parametre:

- maximálne napätie: 1000 V;
- maximálny prúd: 3 A.

Napájanie:

- sieť.

Zobrazovač:

- rozlíšenie: $6\frac{1}{2}$ digitu.

Rýchlosť systému:

- 1000 čítaní/s. Viac o rýchlostných parametroch systému vid', katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhranie:

- GPIB, RS-232, LAN. Merací prístroj sa podporou zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia multimetra Metex M-3890D[22]:

Merateľné veličiny:

- DC/AC napätie, frekvencia, odpor, vodivosť, test stavu diódy, kapacita, kontrola tranzistora, DC/AC prúd, teplota.

Vstupné parametre:

- maximálny prúd: 20 A.

Špecifikácia presnosti a rozsahu:

- presnosť a merací rozsah závisia od meranej veličiny, viac o týchto parametroch vid', katalógový list meracieho prístroja.
- voľba rozsahu: automatická, manuálna.

Zobrazovač:

- maximálne zobrazenie: 4 čísla s úpravou polarity.

Rýchlosť systému:

- 4 merania/s.

Napájanie:

- batéria. V prípade použitia komunikačného rozhrania je použité napájanie zo siete riadiacej jednotky.

Podporované komunikačné rozhranie[20]:

- USB a SW. Zbernica USB slúži na pripojenie k PC a pomocou softwaru v PC je zabezpečené ovládanie meracieho prístroja. Merací prístroj nie je možné ovládať pomocou štandardných príkazov SCPI, ktoré slúžia na ovládanie veľkej škály programovateľných meracích prístrojov. Programovateľné multimetre Metex majú na vzdialený režim ovládania originálny program a ovládanie je zabezpečené pomocou klávesových skratiek. Ak však je zapojené komunikačné rozhranie USB, tak je možné prevádzkovať merací prístroj po neobmedzenú dobu[20].

Špecifikácia multimetra Metex M-3850D[21]:

Merateľné veličiny:

- DC/AC napätie, frekvencia, odpor, vodivosť, test stavu diódy, kapacita, kontrola tranzistora, DC/AC prúd, teplota, logická úroveň, indukčnosť, útlm.

Vstupné parametre:

- impedancia: 10 M Ω , 100 pF;
maximálny prúd: 20 A.

Špecifikácia presnosti a rozsahu:

- presnosť a merací rozsah závisia od meranej veličiny, viac o týchto parametroch vid', katalógový list meracieho prístroja;
voľba rozsahu: automatická, manuálna.

Zobrazovač:

- maximálne zobrazenie: 4 čísla s úpravou polarity.

Rýchlosť systému:

- 2,5 merania/s.

Napájanie:

- batéria. V prípade použitia komunikačného rozhrania je použité napájanie zo siete riadiacej jednotky.

Podporované komunikačné rozhranie:

- RS-232 a SW. Zbernica RS-232 slúži na pripojenie k PC a pomocou softwaru v PC je zabezpečené ovládanie meracieho prístroja. Merací prístroj nie je možné ovládať pomocou štandardných príkazov SCPI, ktoré slúžia na ovládanie veľkej škály programovateľných meracích prístrojov. Programovateľné multimetre Metex majú na vzdialený režim ovládania originálny program a ovládanie je zabezpečené pomocou klávesových skratiek. Ak však je zapojené komunikačné

rozhranie RS-232, tak je možné prevádzkovať merací prístroj po neobmedzenú dobu[20].

Všetky tri typy multimetrov majú spomedzi širokej škály merateľných veličín aj veličinu AC napätie, respektíve striedavú zložku signálu.

Multimetre Metex M-3850D a Metex M-3890D nie je možné v režime vzdialeného ovládania ovládať normalizovaným spôsobom, ktorý používa väčšina meracích prístrojov, teda SCPI príkazmi. Túto požiadavku spĺňa iba multimeter Agilent 34401A.

Navyše multimeter Agilent 34401A má spomedzi všetkých multimetrov najvyššiu rýchlosť merania, možnosť až 1000 meraní za sekundu. Tým prispieva k celkovej rýchlosti automatizovaného meracieho systému. Rýchlosť merania je jedna z hlavných výhod automatizovaného merania.

Multimeter Agilent 34401A podporuje nastaviteľné rozlíšenie meranej hodnoty o maximálnej veľkosti $6\frac{1}{2}$ digitu. Je to najvyššie rozlíšenie spomedzi všetkých multimetrov. Týmto rozlíšením prispievam k zachytávaniu detailov pri meraní a vyhodnocovaní frekvenčného prenosu $F(j\omega)$ komplexných dvojbranov.

Do navrhovaného obvodu automatizovaného meracieho systému vďaka týmto parametrom vyberám dva multimetre Agilent 34401A. Multimeter Agilent 34401A podporuje celkovo tri zbernice komunikačného rozhrania, a to komunikačné rozhranie GPIB, RS-232, LAN.

Čítače, alebo osciloskopy, ktoré podporujú jeden alebo viacero typov komunikačných rozhraní: čítač Agilent 53131A., osciloskop Agilent DSO3062A, osciloskop Agilent 54621A, osciloskop Agilent 54621D, osciloskop Agilent DSO7012B,.

Špecifikácia čítača Agilent 53131A[23]:

Merateľné veličiny:

- perióda, šírka pulzu, časový interval, fázový posun, uhol, vrcholy, frekvencia.

Kanály:

- počet: 2;
- väzba: jednosmerná DC, striedavá AC;
- impedancia: 1 M Ω , 50 Ω ;
- šírka pásma: 225 MHz;
- frekvenčný rozsah: závislý na väzbe a vstupnej impedancii, podrobnejší prehľad vid', katalógový list meracieho prístroja;
- časový interval rozlíšenia: 500 ps;
- presnosť časovej základne: 0,3 ppm[29].

Podporované komunikačné rozhrania:

- GPIB, RS-232. Merací prístroj sa podporou komunikačných zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia osciloskopu Agilent DSO3062A[24]:

Merateľné veličiny:

- meranie napätia: priemerné napätie, napät'ové minimum a maximum, stredná hodnota napätia, amplitúda, napät'ové prekmity a podkmity;
- meranie času: oneskorenie nábežnej a zostupnej hrany, nábežný čas, zostupný čas, frekvencia, perióda.

Kanály:

- počet: 2;
- väzba: jednosmerná DC, striedavá AC, zem GROUND;
- šírka pásma: 60 MHz;
- vstupná impedancia: 1 M Ω , 13 pF;
- časový interval rozlíšenia: 5 ns;
- presnosť časovej základne: 100 ppm;
- podrobnejší prehľad parametrov vid', katalógový list meracieho prístroja.

Citlivosť:

- vertikálna: 2 mV;
- podrobnejší prehľad citlivostných parametrov vid', katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhrania:

- štandardne USB, voliteľné GPIB, RS-232. Merací prístroj sa podporou zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia osciloskopu Agilent 54621A[25]:

Merateľné veličiny:

- meranie napätia: priemerné napätie, napät'ové minimum a maximum, stredná hodnota napätia, amplitúda, napät'ové prekmity a podkmity;
- meranie času: frekvencia, perióda, nábežná hrana, zostupná hrana, oneskorenie, fáza len na analógovom kanále;

Kanály:

- počet: 2;
- väzba: jednosmerná DC, striedavá AC, zem GROUND;
- šírka pásma: 60 MHz;
- maximálny vzorkovací kmitočet: 200 MSa/s;
- vstupná impedancia: 1 M Ω , 14 pF;
- časový interval rozlíšenia: 5,8 ns;
- presnosť časovej základne: 1 ppm;
- podrobnejší prehľad parametrov vid', katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhrania:

- RS-232, voliteľné komunikačné rozhranie je GPIB. Komunikačné rozhranie GPIB nie je podporované základným meracím prístrojom, iba pripojovacím modulom. Merací prístroj sa podporou zberníc začleňuje medzi

programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia osciloskopu Agilent 54621D[26]:

Merateľné veličiny:

- meranie napätia: priemerné napätie, napät'ové minimum a maximum, stredná hodnota napätia, amplitúda, napät'ové prekmity a podkmity;
- meranie času: frekvencia, perióda, nábežná hrana, zostupná hrana, oneskorenie, fáza len na analógových kanáloch;

Kanály:

- počet: 2 analógové+16 digitálnych;
- väzba: jednosmerná DC, striedavá AC, zem GROUND;
- šírka pásma: 60 MHz;
- maximálny vzorkovací kmitočet: 200 MSa/s;
- vstupná impedancia: 1 M Ω , 14 pF;
- časový interval rozlíšenia: 5,8 ns;
- presnosť časovej základne: 1 ppm;
- podrobnejší prehľad parametrov viď, katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhrania:

- RS-232, voliteľné komunikačné rozhranie je GPIB. Komunikačné rozhranie GPIB nieje podporované základným meracím prístrojom, iba pripojovacím modulom. Merací prístroj sa podporou zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov.

Špecifikácia osciloskopu Agilent DSO7012B[27]:

Merateľné veličiny:

- meranie napätia(prebieha len na analógových kanáloch): priemerné napätie, napät'ové minimum a maximum, stredná hodnota napätia, amplitúda, napät'ové prekmity a podkmity, smerodajná odchýlka;
- meranie času: frekvencia, perióda, nábežná hrana, zostupná hrana, oneskorenie, fáza len na analógových kanáloch;

Kanály:

- počet: 2 analógové;
- časový interval rozlíšenia: 3,5 ns;
- presnosť časovej základne: 15 ppm;
- vstupná impedancia: 1 M Ω , 14 pF;
- vzorkovací kmitočet: 2 GSa/s;
- šírka pásma: 100 MHz;
- podrobnejší prehľad parametrov viď, katalógový list meracieho prístroja.

Podporované komunikačné rozhrania:

- vysokorýchlostné USB 2.0, 2x USB 1.1, XGA, LAN. Merací prístroj sa podporou zberníc začleňuje medzi programovateľné meracie prístroje. Ovládanie vo vzdialenom režime je pomocou SCPI príkazov. Pomocou zbernice XGA sa pripája monitor k meraciemu prístroju.

Merací prístroj je v obvode výsledného automatizovaného meracieho systému potrebný na meranie fázového posunu φ medzi vstupným napätím $u_1(t)$ a výstupným napätím $u_2(t)$.

Meranie fázového posunu φ z ponúknutých meracích prístrojov nepodporuje osciloskop Agilent DSO3062A.

Ostatné meracie prístroje podporujú okrem iného aj meranie fázového posunu φ . Na meranie fázového posunu φ v mojom systéme bude potreba dvoch kanálov. To spĺňajú všetky ostatné typy meracích prístrojov.

V úvode kapitoly 3 píšem, že pre automatizovaný merací systém je dôležitá rýchlosť merania, ale najmä jeho presnosť.

Presnosť časovej základne je jeden z rozhodujúcich parametrov, slúžiacich pre výber vhodného meracieho prístroja na meranie fázového posunu φ . Čím väčšiu presnosť časovej základne bude mať merací prístroj, tým kvalitnejšie bude vyhodnotenie fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

Presnosť časovej základne u čítača Agilent 53131A je 0,3 ppm, u osciloskopov Agilent 54621A a Agilent 54621D je 1 ppm. Osciloskop Agilent DSO7012B má 15 ppm.

Z dostupných meracích prístrojov má najlepšiu presnosť časovej základne čítač Agilent 53131A. Čítač Agilent 53131A má aj dobrý časový interval rozlíšenia a to 500 ps. Čítač Agilent 53131A si vyberám do výsledného meracieho obvodu. Špecifické zapojenie čítača Agilent 53131A vid', kapitola 3.2.

Čítač Agilent 53131A podporuje komunikačné rozhranie GPIB a RS-232.

Výber komunikačného rozhrania[28]:

Porovnanie komunikačného rozhrania GPIB a RS-232[30]:

Typ:

- GPIB: paralelné komunikačné rozhranie. Dokáže prenášať viac ako jeden bit v čase;
- RS-232: sériové komunikačné rozhranie. Dokáže prenášať jeden bit v čase.

Maximálna modulačná rýchlosť:

- GPIB: 1 MB/s. modulačná rýchlosť komunikačného rozhrania GPIB je vysoká z dôvodu, že ide o paralelné rozhranie.
- RS-232: maximálna modulačná rýchlosť sériového rozhrania RS-232 je 7 KB/s;

Vysoká rýchlosť výsledného použitého komunikačného rozhrania môže odstrániť hluché momenty v meracej aplikácii.

Maximálna dĺžka zbernice:

- GPIB: 20 m, max 4 metre medzi prepojenými meracími prístrojmi.

- RS-232: maximálna dĺžka zbernice 50 metrov s dĺžkou komunikačného rozhrania sa nepriamoúmerne mení modulačná rýchlosť.

Použitých bude 5 metrov zbernice. Pri tejto dĺžke ostáva teoretická rýchlosť komunikačného rozhrania GPIB 1 MB/s. U komunikačného rozhrania RS-232 pre prípad 5 metrov bude rýchlosť približne 2,4 KB/s.

Maximálny počet prepojených meracích prístrojov:

- GPIB: 15.
- RS-232: na jeden kábel jeden merací prístroj, teda prepojenie čo i len dvoch meracích prístrojov je nemožné.

V mnou navrhnutom a zostavenom obvode automatizovaného meracieho systému sú použité štyri meracie prístroje.

Rôzna rýchlosť použitých meracích prístrojov:

- GPIB: Možnosť použitia meracích prístrojov s rozličnou rýchlosťou merania, komunikačné rozhranie sa prispôsobí najpomalšiemu v obvode;
- RS-232: Keďže na jeden vodič komunikačného rozhrania prislúcha jeden merací prístroj, tak vo výsledku sa čaká na každý merací prístroj.

Prípojenie PC do automatizovaného meracieho systému:

- GPIB: pomocou GPIB-USB-HS redukcie. Jeden koniec redukcie je kompatibilný s komunikačným rozhraním GPIB. Druhý koniec má prípoj typu USB, pripojený do PC, tým je dosiahnutá funkcia PC ako riadiacej jednotky pre 4 programovateľné meracie prístroje.
- RS-232: na zrealizovanie automatizovaného meracieho systému by bolo potreba toľko vodičov, koľko by bolo meracích prístrojov v systéme. V mojom prípade štyri, ktoré by som musel zapojiť do PC.

Pri výbere komunikačného rozhrania zavážil fakt o rýchlosti prenosu. Teoretická rýchlosť prenosu komunikačného rozhrania GPIB je 1 MB/s, oproti tomu má komunikačné rozhranie RS-232 prenosovú rýchlosť približne 2,4 KB/s.

Navyše vodičom komunikačného rozhrania RS-232 môže byť pripojený maximálne jeden merací prístroj. Aj v tomto smere má návrh komunikačné rozhranie GPIB, kde je možnosť pripojenia 15 meracích prístrojov. Pre účel návrhu automatizovaného meracieho systému bude využité komunikačné rozhranie GPIB.

Meracie prístroje, ktoré súžia na meranie parametrov amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$ sú:

- funkčný generátor Agilent 33220A s programovo nastavenými parametrami: zabezpečuje generovanie sínusového signálu;
- multimeter Agilent 34401A s programovo nastavenými parametrami: zabezpečuje meranie vstupného napätia $u_1(t)$ komplexného dvojbranu;
- multimeter Agilent 34401A s programovo nastavenými parametrami: zabezpečuje meranie výstupného napätia $u_2(t)$ dvojbranu

Meracie prístroje, ktoré súžia na meranie parametrov fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ sú :

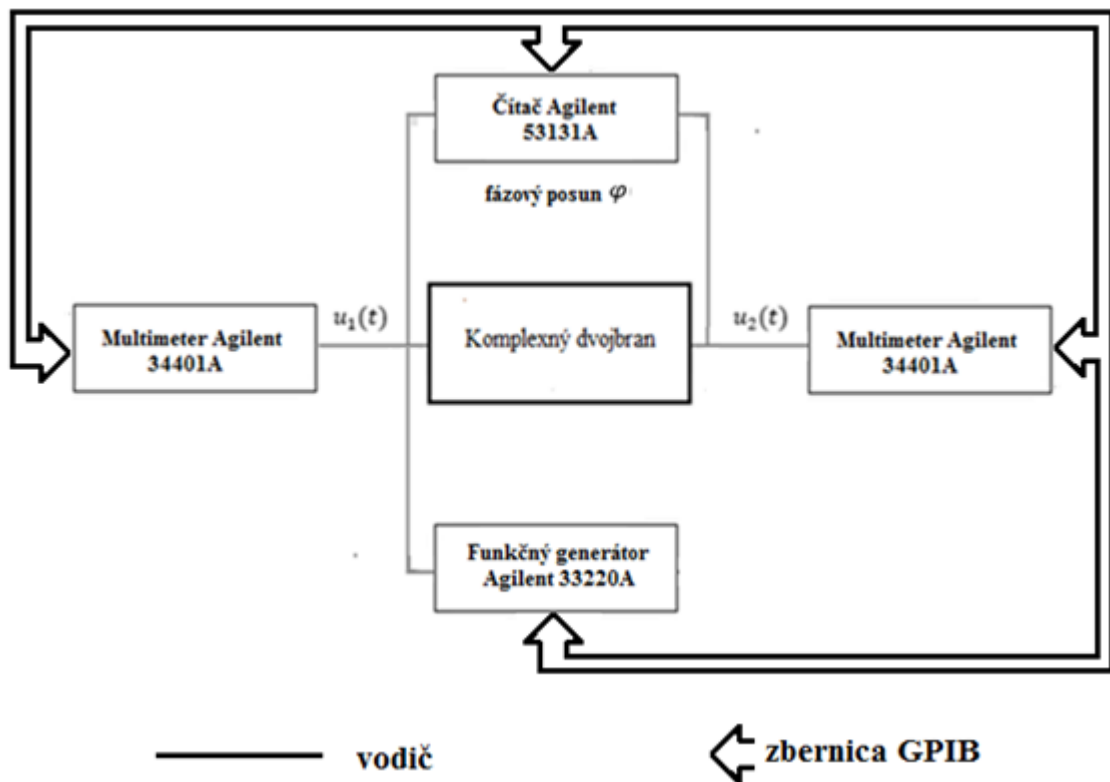
- funkčný generátor Agilent 33220A s programovo nastavenými parametrami: zabezpečuje generovanie sínusového signálu;
- čítač Agilent 53131A s programovo nastavenými parametrami u oboch kanálov: zabezpečuje meranie fázového posunu φ výstupného napätia $u_2(t)$ od vstupného napätia $u_1(t)$:

Programovo nastaviteľné parametre, ktoré je potrebné nastaviť pre meranie oboch charakteristík, popíšem v kapitole 3.2.

Použité komunikačné rozhranie je GPIB. Komunikačné rozhranie GPIB umožňuje nastavenie parametrov meracích prístrojov cez PC pomocou SCPI príkazov.

Pojmom SCPI príkazy je definovaný štandardný syntax a príkazy, ktoré slúžia na programové riadenie automatizovaných meracích prístrojov vo vzdialenom režime ovládania.

Navrhnutý obvod v podobe blokovej schémy získavania parametrov pomocou konkrétnych meracích prístrojov vid', Obrázok 28.



Obrázok 28: Bloková schéma návrhu získavania parametrov pomocou meracích prístrojov

3.2 Realizácia

Realizácia automatizovaného meracieho pracoviska sa striktne drží jeho návrhu.

Táto časť kapitoly obsahuje podrobnejšie popísané zapojenie meracích prístrojov a nastavenie parametrov meracích prístrojov.

Fotografia výsledného zrealizovaného obvodu automatizovaného meracieho systému je súčasťou kapitoly.

3.2.1 Zapojenie navrhnutého obvodu

Meranie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ vyžaduje:

- funkčný generátor Agilent 33220A pripojený na vstupné svorky $S1$, $S2$ komplexného dvojbranu.

Funkčný generátor Agilent 33220A musí byť pripojený na tieto svorky z dôvodu zisťovania prenosu medzi vstupnými svorkami $S1$, $S2$ a medzi výstupnými svorkami $S3$, $S4$ v závislosti na generovanej frekvencii. Preto musí generovaný signál prechádzať komplexným dvojbranom smerom vstup, výstup.

- multimeter Agilent 34401A pripojený na vstupné svorky $S1$, $S2$ komplexného dvojbranu.

Multimeter Agilent 34401 musí byť pripojený na vstupné svorky $S1$, $S2$ z dôvodu zisťovania vstupného napätia $u_1(t)$. Dostatočné rozlíšenie je potrebné na kvalitné spracovanie a zaznamenávanie vstupného napätia $u_1(t)$.

- multimeter Agilent 34401A pripojený na výstupné svorky $S3$, $S4$ komplexného dvojbranu.

Multimeter Agilent 34401 musí byť pripojený na výstupné svorky z dôvodu zisťovania výstupného napätia $u_2(t)$. Dostatočné rozlíšenie je potrebné na kvalitné spracovanie a zaznamenávanie výstupného napätia $u_2(t)$.

Meranie fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ vyžaduje:

- funkčný generátor Agilent 33220A pripojený na vstupné svorky $S1$, $S2$ komplexného dvojbranu.

Funkčný generátor Agilent 33220A musí byť pripojený na tieto svorky z dôvodu zisťovania fázového posunu φ medzi vstupnými svorkami $S1$, $S2$ a medzi výstupnými svorkami $S3$, $S4$ v závislosti na generovanej frekvencii. Preto musí generovaný signál prechádzať komplexným dvojbranom smerom vstup, výstup rovnako ako v prípade merania amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$.

- čítač Agilent 53131A pripojený:

kanál $Ch1$ na výstupné svorky $S3$, $S4$ komplexného dvojbranu;

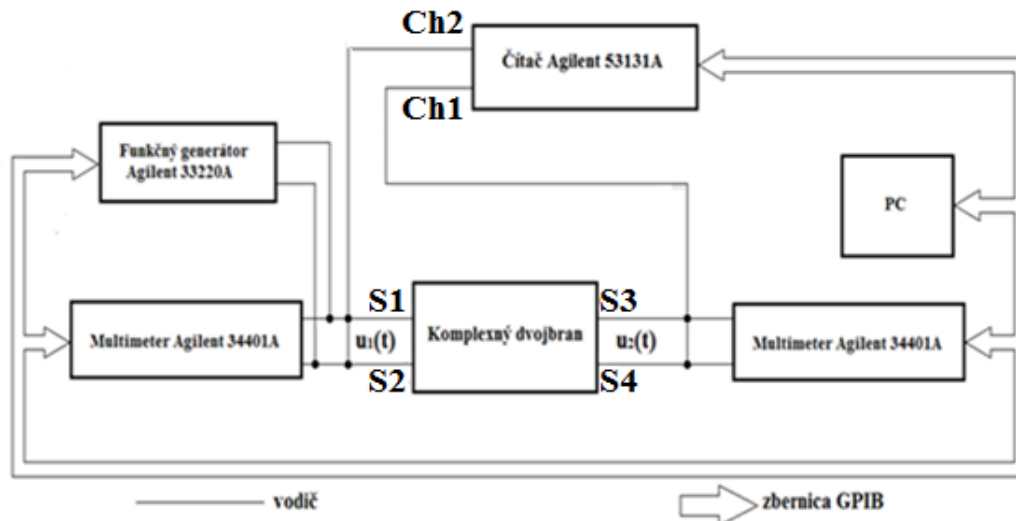
kanál $Ch2$ na vstupné svorky $S1$, $S2$ komplexného dvojbranu.

Čítač Agilent 53131A musí byť takto pripojený na komplexný dvojbran z dôvodu zisťovania fázového posunu φ výstupného napätia $u_2(t)$ od vstupného napätia $u_1(t)$.

Opačné zapojenie kanálov by viedlo k chybe a vyhodnocovaný by bol fázový posun φ vstupného napätia $u_1(t)$ od výstupného napätia $u_2(t)$.

Zo získaných parametrov merania už viem zostaviť amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku $|F(j\omega)_{ab}|$ a fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$.

Blokovú schému reálneho zapojeného obvodu automatizovaného meracieho systému vid', Obrázok 29.



Obrázok 29: Bloková schéma zapojenia automatizovaného meracieho systému

3.2.2 Programovo nastaviteľné parametre

Meracie prístroje použité v obvode majú programovo nastaviteľné parametre, vďaka ktorým plnia presne stanovenú funkciu.

Parametre sú nastavované pomocou meracej aplikácie, ktorú popíšem v kapitole 4.

Parametre, ktoré je treba nastaviť pre správnu funkciu v obvode:

Multimetre Agilent 34401A:

- meracia funkcia;
- automatický rozsah;
- rozlíšenie;
- počet meraní.

Funkčný generátor Agilent 33220A:

- typ signálu;
- hodnota amplitúdy;
- jednotka;
- hodnota frekvencie v Hz;
- konečná hodnota frekvencie v Hz.

Čítač Agilent 53131A:

- meracia funkcia;

- kanál;
- citlivosť;
- impedancia;
- typ triggeru;
- hodnota triggeru;
- hrana triggeru;
- počet meraní;
- štatistická funkcia smerodajnej odchýlky.

Meracie prístroje multimeter Agilent 34401A, funkčný generátor Agilent 33220A a čítač Agilent 53131A s týmito programovo upravenými parametrami som použil vo výslednom obvode automatizovaného meracieho systému.

Zostavený obvod automatizovaného meracieho systému vid', Obrázok 30.



Obrázok 30: Reálny obvod automatizovaného meracieho systému

Merací prípravok, na ktorom prebiehal vývoj a testovanie automatizovaného meracieho systému vid', Obrázok 56.

4 MERACIA APLIKÁCIA

Programovanie meracej aplikácie je kľúčová časť práce. Na vývoj aplikácie, ktorá slúži na meracie účely, sa dnes používajú mnohé programy. Niektoré programy používajú na vývoj zápis exaktných SCPI príkazov do príkazového riadku, iné majú SCPI príkazy skryté vo svojich programových častiach.

SCPI príkazy slúžia na komunikáciu medzi riadiacou jednotkou, PC a meracím prístrojom, ktorý sa nachádza v obvode mnou zostaveného automatizovaného meracieho systému. Každý parameter sa nastavuje výlučne pomocou nich.

Mnou naprogramovaná meracia aplikácia má umožňovať nastavenie parametrov merania, export dát a grafov na úložný disk, ďalej má dokázať zmerať parametre komplexného dvojbranu, ktoré sú popisované v časti, kapitola 2.1 a 3.1.1.

O meraní má byť schopná napísať protokol.

Kapitoly 4.1 a 4.2 sú venované výberu programu na vytvorenie meracej aplikácie a na samotný popis vytvorenej meracej aplikácie.

4.1 Výber programu

Na tvorbu meracej aplikácie som mal možnosť výberu z týchto programov:

- Labview;
- Matlab;
- ľubovoľná verzia jazyka C.

Meracia aplikácia vo finálnej verzii meria charakteristiky:

- amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$;
- fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$.

Meracia aplikácia, ktorá meria uvedené charakteristiky sa dá vytvoriť pomocou všetkých ponúkaných programov, avšak postup programovania je za pomoci každého programu iný.

Rozdelenie podľa typu programovania:

- textové programovanie: Matlab, ľubovoľné verzie jazyka C;
- grafické programovanie: ľubovoľná verzia Labview.

Textové programovanie:

Programovanie založené na správnom syntaxe SCPI príkazov a kódu. Programátor musí poznať syntax pre program, v ktorom programuje a postupnosť SCPI príkazov.

Správny zápis textových príkazov je dôležitý pre prekladač, tzv. kompilátor, ktorý prekladá z vstupného programovacieho jazyka do výstupného. Ak nastane chyba v syntaxe kódu počas prekladu, prekladač ju zachytí a vyhodnotí chybové hlásenie.

Program v Matlabe alebo verziách jazyka C sa skladá z viacerých textových príkazov, či príkazov SCPI, ktorých postupnosť spĺňa činnosť výslednej meracej aplikácie.

Grafické programovanie:

Programovanie založené na toku dát tzv. dataflow. Tok dát nahradzuje vykonávanie inštrukcií ako je tomu v textovom programovaní.

Programový kód je zložený z blokovej schémy. Postupnosť blokov určuje programátor, ktorý nemusí poznať syntax programu, ale musí poznať, na aké účely má byť meracia aplikácia využívaná. Náplňou každého bloku meracieho prístroja sú SCPI príkazy.

Programátor ovplyvňuje sekvenciu blokov, za dosiahnutím presných činností výslednej meracej aplikácie.

Vybraný program:

Program Labview student edition 2014 som si vybral na vytvorenie meracej aplikácie z týchto dôvodov:

- široká podpora meracích prístrojov. Po prebratí ovládačov pre mnou použité meracie prístroje je potreba nastavenia ich adresy v meracej aplikácii. Po nastavení adresy je merací prístroj pripravený na použitie a vykonáva činnosti, ktoré sú naprogramované sekvenciou blokov meracieho prístroja. V základnom prevedení verzií jazyka Labview sú ovládacie bloky meracieho prístroja Agilent 34401A. Ďalšie možnosti použitia prístrojov sú na stránkach czech.ni.com a <http://sine.ni.com/>, kde sú k nájdeniu ovládače ostatných meracích prístrojov využitých v mnou vytvorenom meracom obvode. Na programovanie meracej aplikácie som okrem ovládaču multimetra Agilent 34401A využil aj ovládač funkčného generátora Agilent 33220A a čítača Agilent 53131A. Ovládač obsahuje bloky meracieho prístroja. Pri možných výberoch programu Matlab či rôznych verzií programu C, má každý merací prístroj exaktný syntax SCPI príkazov, ktorý slúži k využitiu meracieho prístroja v meracej aplikácii. V akejkoľvek z verzií programu Labview slúžia bloky meracieho prístroja na ovládanie mnou vytvoreného systému.
- činnosť programátora nie je presné písanie SCPI príkazov ako v iných programoch. Automatizovaný merací systém sa ovláda pomocou nich, avšak SCPI príkazy sa nachádzajú v jadre blokov akejkoľvek verzie programu Labview. Činnosť programátora tak spočíva v prepájaní blokov, ktoré plnia menšie úlohy celku. Programátor má na výber či využije predprogramované bloky s SCPI príkazmi vo svojom jadre, alebo použije nižší level, teda samotný zápis SCPI príkazov.
- všetky verzie programu Labview majú kvalitne spracovanú a predovšetkým podrobnú dokumentáciu, ktorá sa nachádza na internetových stránkach sine.ni.com a tiež v mnohých knižných publikáciách.
- na tvorbu protokolu o meraní, ktorý je jedným z výsledkov meracej aplikácie, som využil taktiež doplnenie databázy blokov o nástroj Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs, ktorý sa

nachádza k voľnému stiahnutiu na internete. V celej meracej aplikácii tak nevyužívam zápis SCPI príkazov, riešim sekvenciu blokov.

- modularita programu Labview student edition 2014 je na vysokej úrovni. V prípade nutnosti doplnenia činností meracej aplikácie je potrebné dodanie rozširovacích blokov do block diagramu, v iných textových programoch by mohlo prísť k rozsiahlejšiemu zásahu do kódu programu.
- súčasťou každej verzie programu Labview je dôkladný prvok na ladenie chýb v naprogramovanej meracej aplikácii, volá sa highlight execution. Po využití tohto typu vyladenia chýb dôjde k pomalšiemu spusteniu aplikácie. Programátor vidí typy dát, prebiehajúce po vodičových spojoch. Ak je v danom prepojení nezrovnalosť, program to dá najavo a programátor vie, na ktorý blok sa má zamerať.
- zakúpenie ľubovoľnej plnej verzie programu Labview je dosť náročná záležitosť. Avšak k dispozícii mám študentskú verziu Labview student edition 2014. Verzia Labview student edition 2014 ponúka mnohé postupy ako plná verzia programu Labview, avšak výsledná meracia aplikácia, ktorá je naprogramovaná pomocou Labview student edition 2014 je spustiteľná len z prostredia Labview, nie pomocou súboru s koncovkou .exe.

Program Labview student edition 2014, ako aj zloženie každej inej verzie programu Labview sa skladá:

- Front panel
- Block diagram
- Connector pane

Front panel:

Vstupno-výstupná časť programu. Indikátory a mnohé ovládacie prvky, ktoré slúžia na ovládanie vstupu a výstupu hodnôt z meracej aplikácie sa vkladajú práve sem. S ovládacími prvkami a indikátormi prichádza do styku užívateľ meracej aplikácie. Ovládacie prvky sú tlačidlá, posuvné stupnice[16].

Z indikátorov sú na výber XY grafy, LED diódy či mnohé tabuľky. Mojou úlohou je vytvoriť čo najviac užívateľsky dostupný front panel. Aby nastavovanie parametrov meracej aplikácie bolo intuitívne, a bez väčších zložitostí. Front panel sa pri programovaní meracej aplikácie vytvára ako prvá časť[16].

V naprogramovanej aplikácii je možné cez front panel meniť parametre merania. Pri zmenených parametroch dochádza ku rôznym výstupom z meracej aplikácie či už iný tvar charakteristiky, alebo iný obsah dátového súboru. Front panel mnou vytvorenej aplikácii vid', Obrázok 31.

Block diagram:

Časť programu, na ktorej som prepájal jednotlivé bloky za dosiahnutím výsledného využitia meracej aplikácie. V tejto časti som vytvoril prepojenia terminálov objektov, ktoré vznikli na front panely vodičmi. Určoval som potrebnú sekvenciu vodičových prepojení. Mnou vytvorenú časť Block diagram vid', na niekoľkých ukážkach v prílohe práce.

Conector pane:

Slúži na tvorbu subVI. SubVI slúži na zlepšenie prehľadu v programovej časti block diagram. Časť sekvencií blokov ukladám, a používam ich v súčasnom kóde ako celok reprezentovaný ľubovoľne zvolenou ikonou[16].

SubVI plní rovnakú úlohu ako sekvencia blokov v ňom, avšak šetrí množstvo prepojení na block diagrame[16].

Počet vstupov a výstupov v subVI odpovedá počtu indikátorov a počtu ovládacích prvkov v podprograme[16].

V mojej meracej aplikácii som využil túto možnosť a subVI som využil pre lepší prehľad vodičových prepojení na časti programu block diagram.

4.2 Popis

Meraciu aplikáciu som naprogramoval ako stavový automat. Použitie stavového automatu má niekoľko výhod:

- vytvorená meracia aplikácia má menšie nároky na procesor;
- možné opakovanie stavov;
- pridelenie rôznych podmienok na ukončenie stavov;
- väčší prehľad v časti block diagram;
- zastavenie programu, v akomkoľvek mieste spracovávaní.

Stavový automat vytvorený na automatizované meranie prechodových charakteristík komplexných dvojbranov má tieto stavy:

- Štart aplikácie;
- Konfigurácia;
- Inicializácia;
- Generátor;
- Zaznamenávanie;
- Riadenie;
- Tlačidlo osobné info a hlavička;
- Informácie;
- Koniec;
- Pdf protokol;
- Koniec aplikácie.

Stavový automat je vytvorený v časti block diagram programu Labview student edition 2014.

Popis úloh v jednotlivých stavoch:

Stav Štart aplikácie:

Úvodný stav po spustení meracej aplikácie. Nastavenie adres meracích prístrojov, povolené sú iba kontroly na nastavenie adres meracích prístrojov.

Po nastavení adres meracích prístrojov nemôže dôjsť k okamžitému štartu merania, nie sú nastavené parametre merania.

Ak dôjde ku stisku tlačidla adresy nastavené, tak stavový automat prejde do nasledujúceho stavu.

V priebehu stavu štart aplikácie má užívateľ okrem povinnosti nastaviť adresy meracích prístrojov aj možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Štart aplikácie viď, v prílohe práce Obrázok 45.

Stav Konfigurácia:

Stav som doplnil v priebehu vývoja aplikácie. Nastavenie parametrov merania. Je druhý v stavovej hierarchii.

Povolené sú kontroly pre oba multimetre Agilent 34401A, kontroly pre funkčný generátor Agilent 33220A a pre čítač Agilent 53131A. Pomocou kontrol dokáže užívateľ meracej aplikácie nastaviť parametre merania cez počítač. Nastavované parametre sú popísané v kapitole 3.2.2.

Generovaná frekvencia má programovo nastavenú začiatočnú hodnotu frekvencie, konečnú hodnotu frekvencie a krok zvyšovania frekvencie. Nastavením a opakovaním stavov som dosiahol automatické zvyšovanie frekvencie až po konečnú hodnotu merania.

V stave sa nachádza tlačidlo, ktoré oddeľuje časť nastavenia parametrov od časti určenej pre meranie.

Po stlačení tlačidla štart merania dochádza ku spusteniu merania.

V priebehu stavu Konfigurácia má užívateľ okrem povinnosti nastaviť parametre merania aj možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Konfigurácia viď, v prílohe práce Obrázok 46.

Stav Inicializácia:

V stave sú uložené bloky na inicializáciu všetkých meracích prístrojov, použitých vo vytvorenom meracom obvode automatizovaného meracieho pracoviska.

V blokoch meracích prístrojov sú SCPI príkazy slúžiace na nastavenie meracích prístrojov do režimu vzdialeného nastavenia SYST:REM; ďalej tu má miesto SCPI príkaz *IDN?, ktorý slúži na samotné identifikovanie meracích prístrojov.

Pre dva multimetre Agilent 34401A a čítač Agilent 53131A sa v stave Inicializácia tiež nachádza blok obsahujúci SCPI príkaz :CONF:. SCPI príkaz :CONF: nastavuje meracie

parametre multimetra Agilent 34401A a čítača Agilent 53131A podľa požiadaviek užívateľa.

Parametre ako adresy meracích prístrojov som programovo povolil nastavovať počas stavu Štart aplikácie. Zo stavu Štart aplikácie sa nastavené adresy prenesú do stavu Inicializácia.

Počas stavu Konfigurácia som programovo povolil siahť do blokov s obsahom SCPI príkazu :CONF: a tak siahť na parametre meracích prístrojov pred meraním. Nastavené parametre sa zo stavu Konfigurácia prenesú do blokov, ktoré sú použité v stave Inicializácia.

V mojej meracej aplikácii je zmena parametrov počas samotného merania nedovolená, kontroly slúžiace užívateľovi na zmenu parametrov merania sú počas stavu Inicializácia užívateľovi neprístupné.

V priebehu stavu Inicializácia má užívateľ meracej aplikácie možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Inicializácia vid', v prílohe práce Obrázok 47.

Stav Generátor:

V stave sú bloky funkčného generátora Agilent 33220A určujúce parametre generovaného signálu.

Obsahom týchto blokov sú SCPI príkazy začínajúce FUNC:, nastavujúce tvar generovaného signálu, SCPI príkaz nastavujúci jednotku generovaného signálu :VOLT:UNIT, SCPI príkaz nastavujúci hodnotu amplitúdy %.:VOLT %; či SCPI príkaz nastavujúci offset generátora Agilent 33220A %.:VOLT:OFFS %; alebo mnohé ďalšie potrebné SCPI príkazy.

Parametre generovaného signálu užívateľ meracej aplikácie nastaví v stave Konfigurácia. Podobne ako v predošlom prípade sa zo stavu Konfigurácia prenesú do stavu Generátor.

Počas stavu Generátor sa nedá nastaviť žiadny parameter generovaného signálu.

V priebehu stavu Generátor má užívateľ meracej aplikácie možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Generátor vid', v prílohe práce Obrázok 48.

Stav Zaznamenávanie:

V stave sú bloky, ktoré slúžia na vyhodnocovanie hodnôt z oboch multimetrov Agilent 34401A, čítača Agilent 53131A či funkčného generátora Agilent 33220A.

Obsah blokov je napr. SCPI príkaz :FETCH?, ktorý slúži na vrátenie nastaveného parametru merania, SCPI príkaz READ?, ktorý slúži na čítanie hodnôt meracích prístrojov, či mnohé iné SCPI príkazy, pomocou ktorých dosiahnem prečítanie a následnú prácu s prečítanými dátami.

Bloky, ktoré zaznamenávajú hodnoty v stave, majú svoje vodičové zakončenia na termináloch slúžiacich na vykreslenie charakteristík.

Parametre merania použité v tomto stave sú taktiež prednastavené v stave Konfigurácia. V stave Zaznamenávanie nie je povolené nastaviť žiaden parameter merania.

XY graf amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$ pracuje so zaznamenanými hodnotami oboch napätí[V] z multimetrov Agilent 34401A a generovanou uhlovou frekvenciou [rad/s] z funkčného generátora Agilent 33220A.

Hodnota výstupného napätia U_2 , multimetra Agilent 34401A a hodnota vstupného napätia U_1 , multimetra Agilent 34401A je v ďalších krokoch stavu vydelená v pomere U_2/U_1 , prepočítaná na logaritmus a vynásobená 20. Modul[dB] je vynášaný na XY graf amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$.

Na XY graf je taktiež vynášaná frekvencia, ktorá je vynásobená hodnotou 2π pre dosiahnutie uhlovej frekvencie [rad/s].

XY graf fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ pracuje so zaznamenanými hodnotami fázového posunu[°] z čítača Agilent 53131A a generovanou uhlovou frekvenciou[rad/s] z funkčného generátora Agilent 33220A.

XY graf fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ má taktiež svoje zobrazenie v závislosti ako aj na uhlovej frekvencii [rad/s] tak na frekvencii [Hz].

Pre čítač Agilent 53131A je v stave Zaznamenávanie vyriešená aj výberová smerodajná odchýlka merania. Je to z dôvodu, že čítač Agilent 53131A je náchylný na šum a pri nesprávne zvolených parametroch je výsledok neadekvátny. Bližší popis smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A a priebeh jej vytvorenia sa nachádza v ďalšej časti kapitoly 4.

V priebehu stavu Zaznamenávanie má užívateľ meracej aplikácie možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Zaznamenávanie vid', v prílohe práce Obrázok 49.

Stav Riadenie:

Prednastavené hodnoty ako hodnota frekvencie, konečná hodnota frekvencie a krok zvyšovania frekvencie sa prenesú zo stavu Konfigurácia do stavu Riadenie.

Krok zvyšovania frekvencie určuje počet iterácií meracej aplikácie. Každá nová frekvencia sa zobrazuje v uzamknutom kontrole hodnota frekvencie Hz.

Ak je hodnota v kontrole nižšia ako konečná hodnota frekvencie, tak meracia aplikácia prechádza do stavu Generátor na vygenerovanie o krok vyššej frekvencie.

Ak hodnota kontrolu prevýši konečnú hodnotu frekvencie, dôjde k stavu Tlačidlo osobné info a hlavička.

V stave Riadenie sa nachádza kontrol Stop. Kontrol Stop som doplnil v priebehu vyvíjania meracej aplikácie. Nachádza sa tu z dôvodu možnej úpravy parametrov merania tak, že užívateľ nemusí čakať na prejdienie celej meracej aplikácie až do konca. Po stlačení kontrolu Stop je priebeh meracej aplikácie vrátený do stavu Konfigurácia.

V priebehu stavu Riadenie má užívateľ meracej aplikácie možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež je k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Riadenie vid', v prílohe práce Obrázok 50.

Stav Tlačidlo osobné info a hlavička:

Posledný stav, v ktorom môže užívateľ doplniť a upraviť osobné údaje, taktiež posledný stav, v ktorom môže užívateľ doplniť a upraviť hlavičku protokolu.

Po stlačení kontrolu osobné informácie a hlavička vyplnená, kontrol má podobu veľkej zelenej kontrolky, meracia aplikácia automaticky prejde do nasledujúcich stavov, v ktorých je doplnenie týchto údajov nemožné.

Osobné údaje sú použité v prípadnom protokole o meraní. Podľa vyplnenej hlavičky je možné založenie protokolu do databázy ostatných protokolov.

Obrázok časti block diagramu pre stav Tlačidlo osobné info a hlavička vid', v prílohe práce Obrázok 51.

Stav Informácie:

Je to informatívny stav. V tomto stave je užívateľ informovaný o nasledujúcich dialógových oknách. Pomocou týchto okien príde k možnému ukladaniu datového súboru, obrázkov oboch charakteristík a protokolu o meraní.

V stave je popísaný význam každého dialógového okna a predovšetkým ich poradie a popis čo sa pomocou každého okna ukladá. Pred ukončením stavu a následnom pokračovaní meracej aplikácie je užívateľ povinný kliknúť na tlačidlo, ktoré sa nachádza na informatívnom okne. Názov tlačidla je Informácie prečítané.

Obrázok časti block diagramu pre stav Informácie vid', v prílohe práce Obrázok 52.

Stav Koniec:

Posledný stav merania. Na block diagrame sa nachádzajú bloky, ktoré ukončujú činnosti všetkých meracích prístrojov, použitých v obvode automatizovaného meracieho pracoviska.

Obsah ukončovacích blokov pre meracie prístroje ako multimeter Agilent 34401A, funkčný generátor Agilent 33220A či čítač Agilent 53131A je SCPI príkaz *STB?, tento príkaz zistí, či je stavový register čistý, SCPI príkaz :SYST:ERR?, ktorý prečíta chyby zo zoznamu chýb.

Okrem blokov meracích prístrojov s ďalšími SCPI príkazmi sa tu nachádzajú aj bloky, slúžiace na exporty nameraných dát do súboru.

Súbor je jeden a zachytáva hodnoty z predošlého stavu z grafov pre amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$.

Súbor s nameranými dátami sa skladá postupne z frekvencie[Hz], uhlovej frekvencie[rad/s], modulu[dB], fázového posunu[°] a výberovej smerodajnej odchýlky čítača[°].

Uloženie resp. neuloženie dátového súboru je riešené pomocou prvého dialógového okna, ktoré naskočí na monitor počas stavu Koniec.

V stave je riešený aj export grafov do súborov. Namerané charakteristiky sú postupne ukladané na disk vo formáte .jpg.

Užívateľ meracej aplikácie si zvolí umiestnenie na disku pre dátový súbor a aj oba obrázky vo formáte .jpg. Uloženie resp. neuloženie obrázkov charakteristík je riešené pomocou druhého a tretieho dialógového okna, ktoré naskočia na monitor počas stavu Koniec.

V priebehu stavu Koniec užívateľ už nemá k dispozícii možnosť vyplniť údaje ako meno a priezvisko, ročník, obor štúdia a dátum merania. Taktiež nemá k dispozícii vyplnenie hlavičky protokolu.

Časť block diagramu pre stav Koniec vid', v prílohe práce Obrázok 53.

Stav Pdf protokol:

V stave prichádza k vytvoreniu protokolu o meraní vo formáte pdf.

Súčasťou protokolu je názov protokolu, osobné údaje o užívateľovi, miesto, účel merania a použité meracie prístroje. Stav obsahuje bloky nástroja Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs.

Pomocou blokov v tomto stave je riešený vizuálny vzhľad vytvoreného protokolu, miesto umiestnenia textových polí, nadpisov či obrázkov.

V protokole sa ďalej nachádza časť, ktorá je venovaná charakteristikám.

V nej sú obrázky výslednej amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

Charakteristiky v protokole sú zobrazené v dvoch variantách. Prvá varianta je s uhlovou frekvenciou [rad/s] a druhá varianta je s frekvenciou [Hz].

V protokole je umiestnená aj charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A.

V protokole sú vďaka vyplneniu osobných údajov doplnené informácie o užívateľovi, aplikácie, vyplnená hlavička protokolu prezentuje dôležité informácie o protokole.

Posledný blok v stave je ukončovací a zatvára pripravený pdf protokol. Protokol nie je po prejení stavu pdf protokol automaticky uložený.

Na konci stavu je v réžii užívateľa meracej aplikácie uloženie protokolu na disk.

Užívateľ má v tomto stave za úlohu vybrať presné miesto uloženia. Zobrazenie štvrtého dialógového okna slúži na túto činnosť.

Ak sa užívateľ rozhodne protokol o meraní neuložiť, tak samotné ukladanie zruší a meracia aplikácia pokračuje nasledovným stavom.

Po uložení resp. neuložení protokolu dôjde k automatickému prechodu do posledného stavu.

Obrázok časti block diagramu pre stav Pdf protokol vid', v prílohe práce Obrázok 54.

Stav Koniec aplikácie:

Posledný stav meracej aplikácie. Stav, v ktorom sa časť kontrolov dá do pôvodných parametrov.

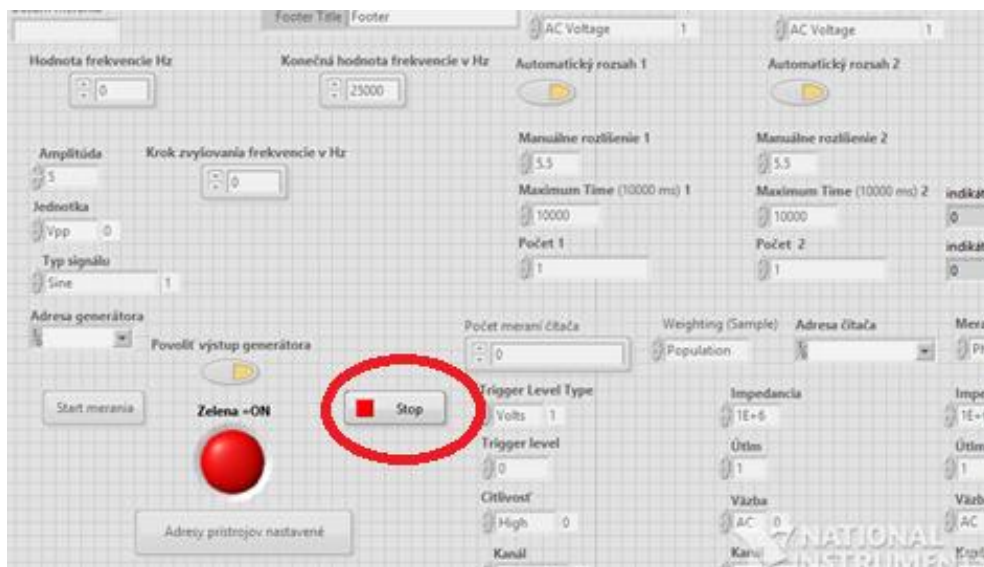
Tieto parametre sú uložené ako defaultné. Jednotlivé kontroly som po jednom uložil do defaultného nastavenia.

Defaultné parametre slúžia na prípravu nového merania. Obrázok časti block diagramu pre stav Koniec aplikácie vid', v prílohe práce Obrázok 55.

Cez ovládacie bloky multimetrov Agilent 34401A, funkčného generátora Agilent 33220A a čítača Agilent 53131A ide naprieč všetkých stavov meracej aplikácii vodič, ktorý slúži na zachytávanie a ohlásenie chybových stavov. Ak nastane chyba v ktoromkoľvek stave meracej aplikácie, kde sa nachádzajú bloky meracích prístrojov, príde ku vyhodnoteniu chybového stavu a automatickému prepnutiu do posledného stavu meracej aplikácie. Vývojový diagram meracej aplikácie vid', v prílohe práce Obrázok 44.

Vo finálnej fáze meracia aplikácia dokáže:

1.Meniť a prispôbovať parametre merania: Nastavenie parametrov merania prebieha v stave Konfigurácia. Počas spusteného merania nemožno meniť parametre. Tlačidlom stop vid', zakrúžkovaná časť na *Obrázok 31* užívateľ meracej aplikácie dokáže meranie pozastaviť a upraviť niektoré parametre napr. krok zvyšovania frekvencie. Kontroly všetkých nastavitelných parametrov dokáže meniť užívateľ meracej aplikácie na front panely. Časť front panel meracej aplikácie vid', Obrázok 31.



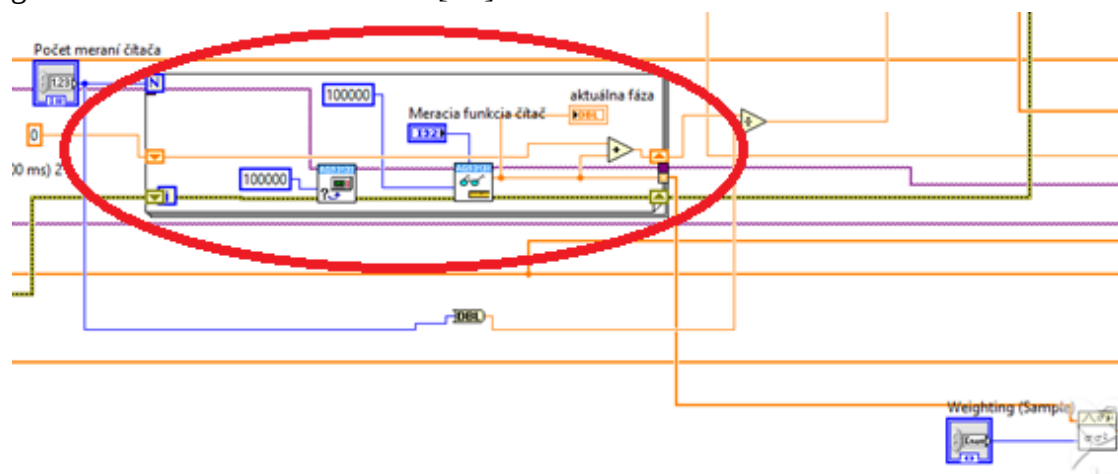
Obrázok 31: Ukážka front panelu meracej aplikácie

2.Výpočet výberovej smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A: Výpočtom výberovej smerodajnej odchýlky som vyriešil spätnú väzbu, ktorá je užívateľovi poskytnutá pomocou frekvenčného grafu výberovej smerodajnej odchýlky na nameraný graf fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$. Výberová smerodajná odchýlka je

počítaná z väčšieho počtu meraní na tej istej frekvenčnej úrovni. V mojom prípade je výberovou smerodajnou odchýlkou merania čítača Agilent 53131A vyriešená jeho neadekvátnosť pri nesprávne zvolených parametroch merania. Keďže meracie parametre si užívateľ nastaví sám, poskytujem mu spätnú väzbu na toto nastavenie. Čítač Agilent 53131A je merací prístroj, ktorý je obzvlášť náchylný na šum a okolité vplyvy. Výberová smerodajná odchýlka vo výsledku ukazuje, ako veľmi sa líši hodnota viacerých meraní na jednej frekvenčnej úrovni. Vysoké hodnoty, ktoré užívateľ môže uvidieť na grafe už počas merania hovoria, že pri daných parametroch sa namerané hodnoty čítača Agilent 53131A na jednej frekvenčnej úrovni veľmi líšia. Užívateľ by mal upraviť niektorý z parametrov, aby bola hodnota čo najnižšia. Príklad vysokej hodnoty výberovej smerodajnej odchýlky viď, časť kapitoly 5.

Programový výpočet výberovej smerodajnej odchýlky som vyriešil pomocou cyklu For. Cyklus For viď zakrúžkovaný na, Obrázok 32. Užívateľom nastavený počet meraní čítača Agilent 53131A vstupuje do cyklu, následne sa vypočíta priemerná hodnota z počtu meraní. Priemerná hodnota putuje do XY grafu fázová frekvenčná charakteristika umiestnenom na Front panely meracej aplikácie.

Jednotlivé merania sú pomocou auto indexovania tunela uložené do poľa. Pole hodnôt putuje do bloku standart deviation, ktorý má na výstupe nastavený typ smerodajnej odchýlky, ktorá je vypočítaná z nastaveného počtu meraní čítača Agilent 53131A. Nastavený je typ: výberová smerodajná odchýlka, prečo je tomu tak vysvetlím v kapitole 5. Výberová smerodajná odchýlka je zaznamenávaná na grafe v časti front panel meracej aplikácie s názvom Smerodajná odchýlka. Smerodajná odchýlka je na grafe v závislosti na frekvencii v [Hz].

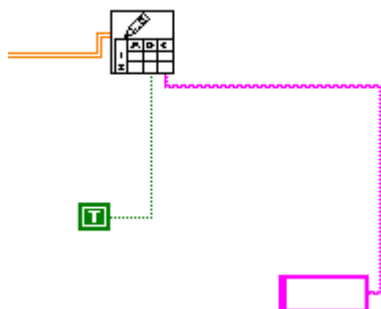


Obrázok 32: Výpočet smerodajnej odchýlky

3.Vytvorenie dátového súboru s nameranými hodnotami: Blok Write to spreadsheet file sa nachádza v stave Koniec. V bloku musí byť nastavený oddeľovač na nové hodnoty, taktiež musí byť povolené transponovanie, aby boli hodnoty v riadkoch viď, Obrázok 33.

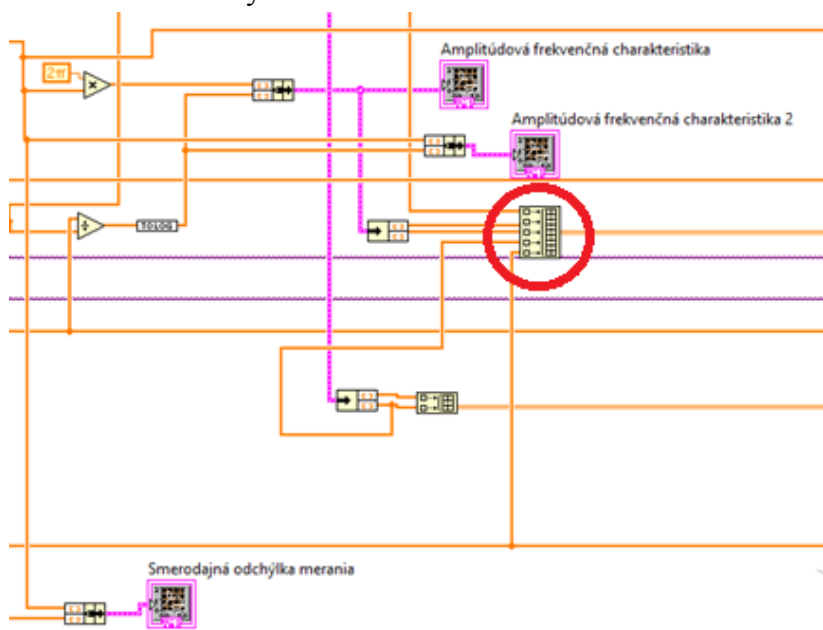
Blok pracuje s poľom, ktorého vytvorenie prebieha v stave Zaznamenávanie. Stav Koniec prebieha po meraní, tým je v mojom prípade dosiahnuté, že vytvorený dátový súbor obsahuje celé spektrum užívateľom nastavených meracích úrovní. V stave

Zaznamenávanie sa postupne upravila dáta, z ktorých bude vytvorená tabuľka hodnôt, ktoré sú textovým vypísaním charakteristík na front panely.



Obrázok 33: Ukážka kódu z block diagramu slúžiaci na export nameraných dát do súboru

Blok Build array function slúži na vytvorenie už spomínaného poľa hodnôt. Vstup do tohto bloku som navoliť tak, že do bloku vstupuje päť vodičových spojení. Hodnoty vstupujúce do bloku sú frekvencia [Hz], uhlová frekvencia [rad/s], modul [dB], fáza [°] a smerodajná odchýlka čítača[°]. Blok Build array function vid', v stave Zaznamenávanie zakrúžkovaný na Obrázok 34.



Obrázok 34: Blok Build array function v stave Zaznamenávanie
Ukážku vytvoreného datového súboru vid', Obrázok 35. Celý datový súbor vid', na priloženom CD ku práci.

RCzapisdata - Poznámkový blok				
Súbor	Úpravy	Formát	Zobrazit	Pomocník
10,000	62,832	-0,009	0,057	0,011
50,000	314,159	-0,029	-1,191	0,026
90,000	565,487	-0,047	-2,399	0,016
130,000	816,814	-0,069	-3,514	0,017
170,000	1068,142	-0,093	-4,629	0,010
210,000	1319,469	-0,120	-5,699	0,009
250,000	1570,796	-0,150	-6,757	0,018
290,000	1822,124	-0,183	-7,801	0,016
330,000	2073,451	-0,218	-8,835	0,015
370,000	2324,779	-0,255	-9,841	0,017
410,000	2576,106	-0,295	-10,844	0,011
450,000	2827,433	-0,338	-11,834	0,012
490,000	3078,761	-0,382	-12,800	0,016
530,000	3330,088	-0,429	-13,762	0,009
570,000	3581,416	-0,477	-14,700	0,013
610,000	3832,743	-0,528	-15,635	0,009
650,000	4084,070	-0,580	-16,559	0,013
690,000	4335,398	-0,634	-17,462	0,017
730,000	4586,725	-0,689	-18,343	0,014
770,000	4838,053	-0,746	-19,218	0,016
810,000	5089,380	-0,805	-20,080	0,015
850,000	5340,708	-0,865	-20,927	0,015
890,000	5592,035	-0,926	-21,758	0,019
930,000	5843,362	-0,988	-22,575	0,010
970,000	6094,690	-1,051	-23,375	0,020
1010,000	6346,017	-1,116	-24,165	0,016
1050,000	6597,345	-1,181	-24,948	0,019

Obrázok 35: Ukážka vytvoreného dátového súboru

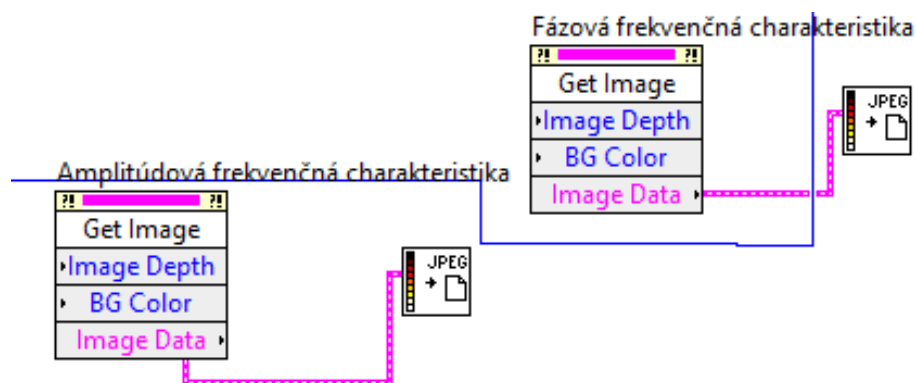
Užívateľ meracej aplikácie si pomocou dialógového okna v stave Koniec zvolí umiestnenie vytvoreného dátového súboru, ktorý bol vytorený blokom Build array function v stave Zaznamenávanie na disk či inú úložnú jednotku.

4.Ukladanie charakteristík do súborov:

Charakteristiky sa ukladajú do 2 súborov typu .jpg, náplňou jedného vytvoreného súboru je amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{db}|$, druhého fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$, viď, Obrázok 36.

To, že výsledné charakteristiky obsahujú všetky frekvencie, na ktorých prebiehalo meranie som docielil vložením blokov z obrázku až do záverečného stavu merania, stavu Koniec. Teda po zaznamenaní všetkých parametrov na charakteristikách.

Uloženie obrázkov výsledných charakteristík je na užívateľovi meracej aplikácie. Formou dialógového okna si vyberie umiestnenie na disku. Ak sa rozhodne, že obrázky neuloží, ukladanie zruší.



Obrázok 36: Ukladanie obrázkov do súborov

5. Vytvorenie protokolu:

Nástroj Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs som využil na tvorbu protokolu vo formáte .pdf. Nástroj obsahuje bloky, ktorých sekvencia vytvorí súbor typu pdf, zapíše doň informácie potrebné v protokole merania, uloží doň obrázky charakteristík.

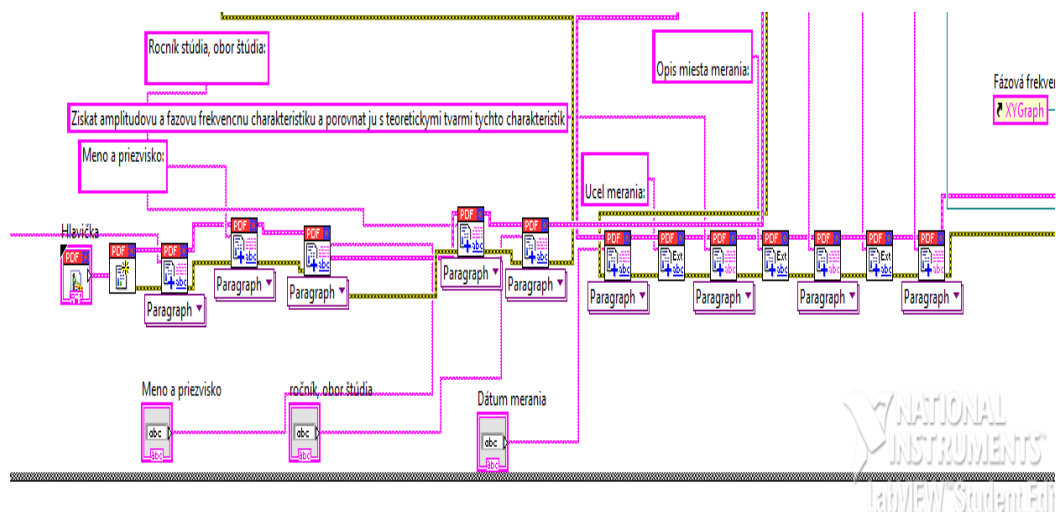
Obrázkov je päť. Štyri obrázky sú obrázky charakteristík. Charakteristiky sú štyri z dôvodu použitia uhlovej frekvencie [rad/s] na osi X dvoch z obrázkov a frekvencie [Hz] na osi X ďalších dvoch.

Piaty obrázok je charakteristika smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A.

Charakteristiky uložené do protokolu sú kompletne, teda obsahujú všetky namerané hodnoty. Dosiahol som to tak, že do stavu Pdf protokol som vyniesol päť referencií na charakteristiky, ktoré sú na front paneli. Keďže stav Pdf protokol prebieha po meraní, v týchto referenciách sú obrázky kompletných charakteristík.

Použité bloky Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs vid', Obrázok 37.

Uloženie protokolu je na užívateľovi meracej aplikácie. Po meraní a po vyplnení resp. nevyplnení údajov hlavičky a osobných údajov sa dialógové okno spýta či a kde na disk chce užívateľ uložiť výsledný protokol o meraní. Ak sa rozhodne protokol neuložiť, tak ukladanie zruší.



Obrázok 37: Ukážka použitých blokov slúžiacich na vytvorenie a uloženie protokolu

Časť vytvoreného protokolu, ktorý vzišiel z blokov na Obrázok 37 vid', Obrázok 38. Protokol vo svojom plnom zobrazení vid', príloha na priloženom CD ku práci.



Obrázok 38: Ukážka vytvoreného protokolu typu .pdf

Vytvorená meracia aplikácia je na priloženom CD pod názvom Automatizovaný merací systém.vi.

Ako možnosť na otvorenie meracej aplikácie bol zo súboru Automatizovaný merací systém.vi vytvorený aj projekt s koncovkou .lvproj, ktorý je taktiež obsahom priloženého CD.

5 FUNKCIONALITA MERACEJ APLIKÁCIE

Meracia aplikácia slúži na meranie a porovnávanie tvarov amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$. Pracuje mnou zostaveným automatizovaným systémom, ktorý bol zostavovaný s ohľadom predovšetkým na rýchlosť a presnosť merania.

Meracia aplikácia okrem charakteristík, podľa ktorých vie užívateľ určiť či sa jedná o integračný, alebo derivačný článok zaznamenáva a vyhodnocuje aj výberovú smerodajnú odchýlku meraní čítača Agilent 53131A.

Výsledné dokumenty, ktoré môže meracia aplikácia vytvoriť sú:

1. dátový súbor s nameranými hodnotami;
2. protokol vo formáte .pdf;
3. obrázok amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{ab}|$;
4. obrázok fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

V dátovom súbore sú textovo zapísané hodnoty z oboch charakteristík, navyše sú tam hodnoty frekvencie[Hz] a hodnoty výberovej smerodajnej odchýlky[°] čítača Agilent 53131A.

Tvorba protokolu je pre výslednú prácu veľmi dôležitá, na tvorbu som využil nástroj Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs, čo je nástroj práve pre takýto typ práce.

V Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs sú bloky, ktorých prepojenie slúži na vytvorenie protokolu typu .pdf, umiestnenie textových polí do protokolu a umiestnenie obrázkov charakteristík.

Výsledné protokoly o meraniach vid', na priloženom CD.

Pri tvorbe protokolu som dbal na to, aby užívateľ meracej aplikácie mohol do protokolu doplniť svoje osobné údaje, dátum merania, vyplniť údaje hlavičky potrebné pre vloženie výsledného listu protokolu napr. do databázy ostatných protokolov.

Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs bol využitý vo svojej demo verzii.

Demo verzia ponúka tie isté možnosti ako plná verzia. K vývoju stavu Pdf protokol meracej aplikácie mi postačovala táto verzia, z dôvodu finančnej náročnosti zakúpenia plnej verzie. To, že sa jedná o demo verziu nástroja sa môže užívateľ presvedčiť aj tým, že vo výslednom protokole nie sú dĺžne ani mäkčene a v protokole sa nachádza vodoznak.

Ak však bude meracia aplikácia v ďalšom období využívaná školou na meracie prípadne vedecké účely, odporúčam investíciu a do budúcnosti zakúpenie plnej verzie nástroja Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs. Odstráni sa tým vodoznak a výsledný protokol bude obsahovať iba údaje spojené s meraním komplexného dvojbranu.

Čítač Agilent 53131A, ktorý je časťou meracieho obvodu automatizovaného meracieho systému, je počas merania fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ pod dohľadom,

a to tak, že meracia aplikácia vyhodnocuje výberovú smerodajnú odchýlku meracieho prístroja.

Je predpoklad, že čím viac užívateľ zvolí meraní čítača Agilent 53131A, tým je presnejšia výsledná výberová smerodajná odchýlka. Počet meraní však ovplyvní čas prebiehajúcej meracej aplikácie, čas merania. Užívateľ preto musí zvoliť dostatočný počet opakovaní vzhľadom k celkovej dobe trvania merania.

Výberová smerodajná odchýlka čítača Agilent 53131A je spätnou väzbou na nameranú fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$, ktorá je vo výsledku taktiež produktom meracej aplikácie spolu s amplitúdovou frekvenčnou charakteristikou $|F(j\omega)_{ab}|$.

Na vývoj meracej aplikácie bola využitá verzia Labview student edition 2014. Táto verzia je študentom daná bezplatne. Zakúpenie plnej verzie programu Labview je finančne náročná záležitosť, avšak verzia Labview student edition 2014 mi plne postačovala na vyvíjanie a riešenie programátorských problémov počas vývoja.

Výsledná naprogramovaná meracia aplikácia je spustiteľná, ak obsahom PC je program Labview student edition 2014. Keďže sa jedná o verziu student edition, tak neobsahuje podprogram na vytvorenie samostatného .exe súboru.

Prezentácia merania a ukážka nameraných výsledkov:

Ukážkové meranie prebiehalo na prípravku, ktorý obsahoval zapojenie derivačného CR článku a integračného RC článku, viď, Obrázok 56 v prílohe práce.

Po spustení meracej aplikácie má užívateľ niekoľko povinností:

1. Nastavenie adries funkčného generátora Agilent 33220A, dvoch multimetrov Agilent 34401A a čítača Agilent 53131A;
2. Nastavenie parametrov každého meracieho prístroja. Od tejto činnosti závisí výsledné meranie automatizovaného meracieho systému;

Nastavené parametre v ukážkových meraniach sú:

Funkčný generátor Agilent 33220A:

- typ signálu: Sine;
- hodnota amplitúdy: 5;
- jednotka: Vpp;
- začiatočná hodnota frekvencie: 10 Hz;
- krok zvyšovania frekvencie v Hz: 40 Hz;
- konečná hodnota frekvencie v Hz: 40 000 Hz.

Multimetre Agilent 34401A:

- meracia funkcia: AC voltage;
- automatický rozsah: ON;
- rozlíšenie: 6.5;
- maximálny čas čakania na hodnotu z displeja: 10000;
- počet meraní: 1.

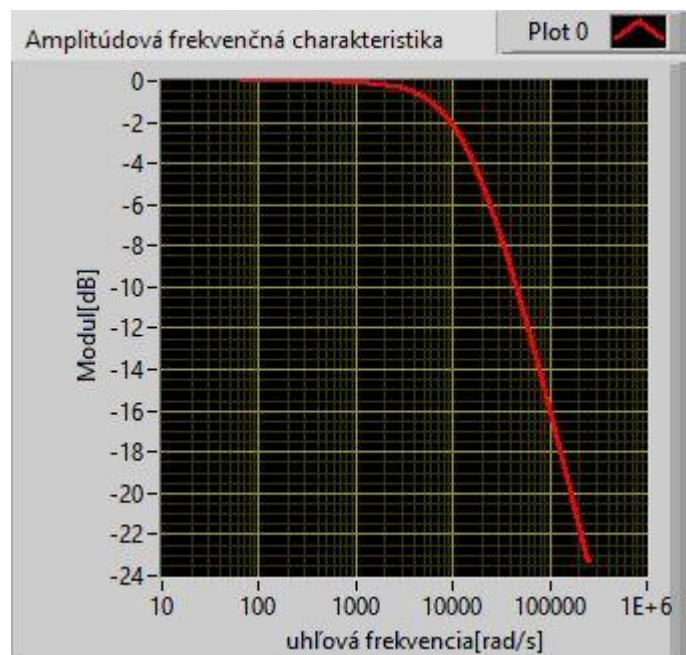
Čítač Agilent 53131A:

- meracia funkcia: Phase;
- kanál: Ch1, Ch2;
- citlivosť: High;
- impedancia: 1E +6;
- typ trigger: Volts;
- hodnota triggeru: 0;
- hrana triggeru: Positive;
- počet meraní: 10;
- štatistická funkcia smerodajnej odchýlky: population.

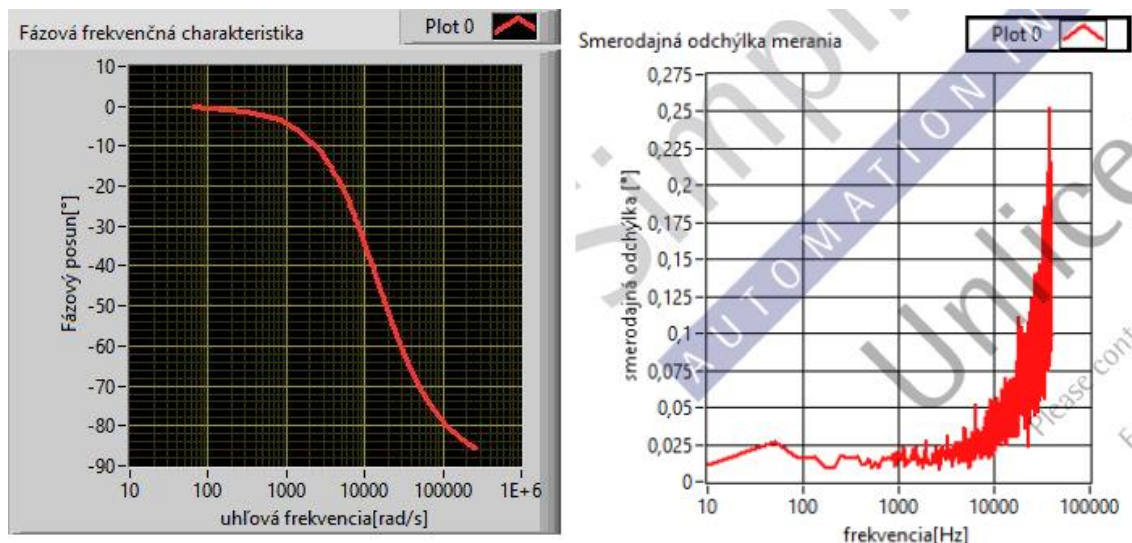
U čítača Agilent 53131A je dôležité u oboch kanálov *Ch1*, *Ch2* rovnaké nastavenie parametrov merania. Štatistickú funkciu smerodajnej odchýlky je treba nastaviť na výberovú smerodajnú odchýlku, pretože vždy sa bude počítať z konečného počtu vzorkov. Nastavený parameter je population.

3. Spustenie merania;
4. Vyplnenie osobných údajov a údajov hlavičky;
5. Prečítanie informácií o spôsobe ukladania v ďalších stavoch meracej aplikácie a potvrdenie tlačidlom o prečítaní týchto informácií;
6. Uloženie datového súboru, obrázkov charakteristík vo formáte .jpg a protokolu o meraní vo formáte .pdf na úložnú jednotku.

Z nastavenia parametrov, vid' predošlá strana, som dostal charakteristiky ako amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$ vid', Obrázok 39 a fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ vid', ľavá časť, Obrázok 40 .Vytvorené charakteristiky som porovnal s teoretickými tvarmi oboch charakteristík a dospel som k záveru.



Obrázok 39: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integrálneho RC článku



Obrázok 40: Fázová frekvenčná charakteristika integračného RC článku a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky

Z charakteristík je po porovnaní s teoretickými tvarmi známe, že sa jedná o integračný RC článok.

V protokole typu .pdf, ktorý je produktom meracej aplikácie, sú k nájdeniu okrem týchto typov charakteristík aj charakteristiky, ktoré majú na osi X frekvenciu v [Hz].

Graf výberovej smerodajnej odchýlky pre meranie čítača Agilent 53131A na integračnom RC článku vid', pravá časť, Obrázok 40.

Z hodnôt výberovej smerodajnej odchýlky usudzujem, že čítač Agilent 53131A má v nastavenom frekvenčnom rozsahu od 40 Hz do 40000 Hz nízke hodnoty výberovej smerodajnej odchýlky.

Výberová smerodajná odchýlka čítača Agilent 53131A je najvyššia 0,253° na frekvencii 39090 Hz. K tomu, aby bola takto nízka výberová smerodajná odchýlka, prispieva funkčný generátor Agilent 33220A a čítač Agilent 53131A nastavenými parametrami.

Parametre som nastavil dostatočne na to, aby som identifikoval typ komplexného dvojbranu v celom frekvenčnom rozsahu.

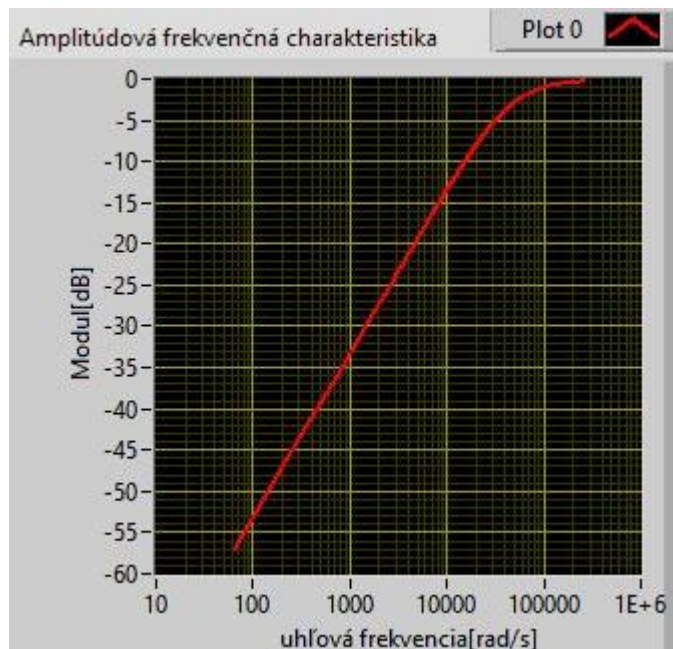
Dátový súbor vytvorený meracou aplikáciou je textovým vyjadrením frekvenčných charakteristík a výberovej smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A.

Graf výberovej smerodajnej odchýlky je časťou protokolu o meraní integračného RC článku.

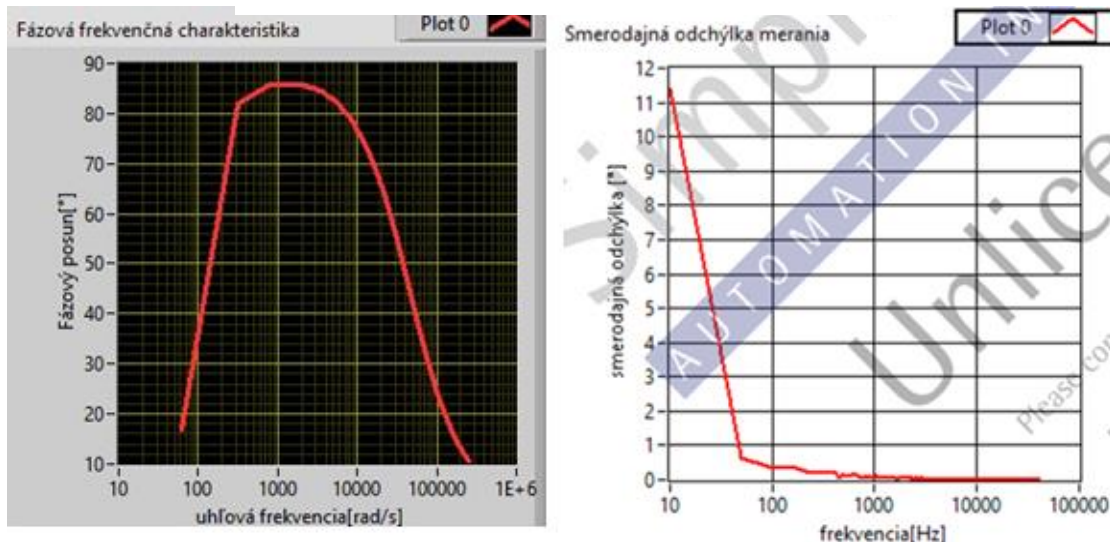
V prílohe práce je celý protokol o meraní, dátový súbor merania integračného RC článku a obrázky amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$.

Meranie na druhom komplexnom dvojbrane z prípravku prebieha podľa rovnakých úvodných krokov. Keďže sa jedná o ukážku merania, zvolil som aj nastavené parametre meracích prístrojov rovnaké.

Po procese merania som porovnal tvary amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ derivačného CR článku s teoretickými tvarmi oboch charakteristík. Po porovnaní som dospel k záveru. Z merania som dostal tieto charakteristiky:



Obrázok 41: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku



Obrázok 42: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky

Tvar amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $|F(j\omega)_{db}|$ vid', Obrázok 41 odpovedá po porovnaní s teoretickým tvarom charakteristiky derivačného CR článku.

Začiatok fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$ vid', ľavá časť Obrázok 42 po porovnaní s teoretickým tvarom, neodpovedá tvaru charakteristiky pre derivačný CR článok.

Avšak v priebehu vyšších frekvencií sa priebeh stabilizuje a ukazuje, že sa jedná o derivačný CR článok. Na grafe výberovej smerodajnej odchýlky vid', pravá časť Obrázok 42 čítača Agilent 53131A ukazujem správanie meracieho prístroja na celom frekvenčnom spektre.

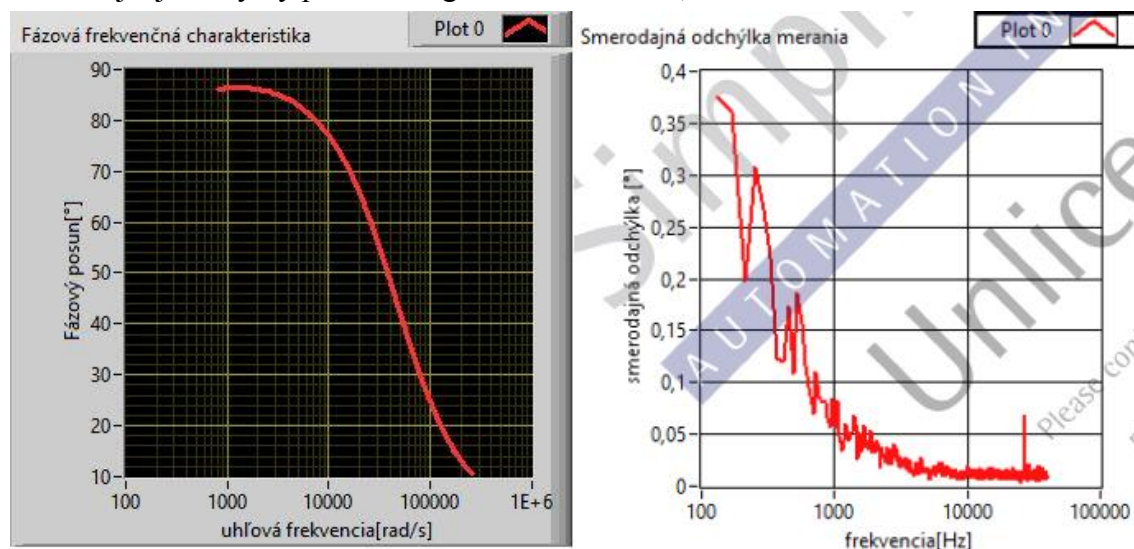
Z hodnôt usudzujem, že frekvenčné spektrum nastavené na meranie by bolo vhodné upraviť. Vhodná úprava by mala spočívať vo zvýšení začiatkovej hodnoty meranej frekvencie, z dôvodu, že na prvej meranej hodnote 10 Hz je výberová smerodajná odchýlka až $11,400^\circ$. Na druhej meranej hodnote 50 Hz je výberová smerodajná odchýlka $0,615^\circ$. Tretia meraná hodnota má výberovú smerodajnú odchýlku $0,367^\circ$, čo je v porovnaní s úvodnými výberovými smerodajnými odchýlkami viditeľne menej.

Toto meranie je v práci z dôvodu poukázania spätnej väzby na meranie pomocou výberovej smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A.

Graf výberovej smerodajnej odchýlky čítača Agilent 53131A vid', pravá časť Obrázok 42, ma viedol k úprave nastavených parametrov a k opakovanému meraniu.

Fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$ opakovaného merania začína od hodnoty 130 Hz. Koniec merania je tak, ako v predošlom prípade nastavený na hodnotu 40 000 Hz, iteračný krok frekvencie je na hodnote 40 Hz. Iteračný krok bol počas celého merania aj v opakovanom prípade nemenný.

Graf opakovanej fázovej frekvenčnej charakteristiky spolu s grafom výberovej smerodajnej odchýlky pre čítač Agilent 53131A vid', Obrázok 43.



Obrázok 43: Opakovaná fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky

Na ľavej časti obrázku Obrázok 43 vid', fázovú frekvenčnú charakteristiku $\varphi(\omega)$, ktorej tvar odpovedá tvaru derivačného článku. Výberová smerodajná odchýlka, pravá časť Obrázok 43 má viditeľne nižšie hodnoty. Najvyššia hodnota je v tomto prípade $0,375^\circ$ na frekvencii 130 Hz.

Graf výberovej smerodajnej odchýlky je časťou protokolu o meraní, ktorý vid', na priloženom CD.

Súčasťou prílohy je, okrem protokolu, podobne ako aj v predošlom prípade dátový súbor s nameranými parametrami a obrázky amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky $F(j\omega)_{db}$ a fázovej frekvenčnej charakteristiky $\varphi(\omega)$. Na priloženom CD sú všetky materiály o prvom meraní a aj o druhom opakovanom meraní.

Analýza automatizovaného meracieho systému:

Pre analýzu automatizovaného meracieho systému som vypočítal jeho neistoty. Je to časť práce, ktorá sa v zadaní nenachádza, je navyše, avšak svoje uplatnenie nachádza pri celkovom rozbere meracieho systému. Neistoty meracieho systému závisia od jeho nastavených parametrov. Pre ukážku výpočtu som použil nastavenie, ktoré je z časti popísané v úvode kapitoly 5, avšak musí sa líšiť parameter nastavenej úrovne frekvencie, ktorej merací rozsah nebol od 40 Hz do 40 000 Hz, ale 1690 Hz.

Na vygenerovanej frekvencii 1690 Hz prebiehalo navyše 10 meraní derivačného CR článku a integračného RC článku. Z meraní som vypočítal neistotu typu a $u_a(U)$, neistotu typu b $u_b(U)$, celkovú neistotu $u_c(U)$, chybu hodnoty napätia ΔU , neistotu nepriameho merania $u_c(A)$ a rozšírenú hodnotu neistoty $U(A)$, neistoty typu a a typu b $u_a(\varphi)$, $u_b(\varphi)$ fázového posunu φ , chybu Triggeru $Trig_err$, efektívne rozlíšenie $RMS\ res$, celkovú neistotu $u_c(\varphi)$ fázového posunu φ a mnohé ďalšie počítateľné hodnoty.

Analyzujem tak automatizovaný merací systém na jednej vygenerovanej frekvencii. Táto analýza je nad rámec zadania bakalárskej práce, a v každom prípade je závislá na práve nastavených parametroch merania. Neistota merania nie je rovnaká pre akékoľvek nastavené parametre. Pre ukážku som si vybral práve frekvenčnú úroveň 1690 Hz. Teoreticky ukázané a popísané jednotlivé vzorce, ktoré slúžia na analýzu vid', (33) až (47).

Výpočet neistoty typu a pre vstupné napätie U_1 , alebo výstupné napätie U_2 [V]:

$$u_a(U) = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} * \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (33)$$

- n – počet meraní[-];
- x_i – aktuálna hodnota[V];
- $\bar{x}$ – priemer hodnôt[V].

Výpočet chyby vstupného napätia U_1 , alebo výstupného napätia U_2 [V]:

$$\Delta U = \frac{\delta_M * \bar{U} + \delta_R * X_R}{100} \quad (34)$$

- δ_M – presnosť z čítania(katalógová hodnota)[%];
- $\bar{U}_1$ – priemerná hodnota vstupného napätia[V];
- δ_R – presnosť z rozsahu(katalógová hodnota)[%];
- X_R – rozsah merania.

Výpočet časti z neistoty typu b vstupného napätia U_1 , alebo výstupného napätia U_2 [V]:

$$u_{b1}(U) = \frac{\Delta U}{\chi} \quad (35)$$

- ΔU – chyba napätia;
- χ – koeficient tvaru rozloženia.

Výpočet celkovej neistoty typu b vstupného napätia U_1 , alebo výstupného napätia U_2 [V]:

$$u_b(U) = \sqrt{u_{b1}(U)^2 + u_{b2}(U)^2} \quad (36)$$

- $u_{b1}(U)$ – časť neistoty typu b [V];
- $u_{b2}(U)$ – časť neistoty typu b [V].

Výpočet celkovej neistoty vstupného napätia U_1 , alebo výstupného napätia U_2 [V]:

$$u_c(U) = \sqrt{u_a(U)^2 + u_b(U)^2} \quad (37)$$

- $u_a(U)$ – neistota typu a [V];
- $u_b(U)$ – neistota typu b [V].

Rozšírená neistota vstupného napätia U_1 , alebo výstupného napätia U_2 [V]:

$$U(U) = Kr * u_c(U) \quad (38)$$

- Kr – pravdepodobnostný interval výskytu;
- $u_c(A)$ – celková neistota z nepriameho merania [V].

Celková neistota z nepriameho merania modulu $|F(j\omega)|$ [dB]:

$$u_c(A) = \sqrt{\left(\left(-\frac{20}{\overline{U}_1}\right) * (u_c(u_1))\right)^2 + \left(\left(\frac{20}{\overline{U}_2}\right) * (u_c(u_2))\right)^2} \quad (39)$$

- $\overline{U}_1$ – priemerná hodnota vstupného napätia [V];
- $\overline{U}_2$ – priemerná hodnota výstupného napätia [V];
- $u_c(u_1)$ – celková neistota merania vstupného napätia [V];
- $u_c(u_2)$ – celková neistota merania výstupného napätia [V].

Rozšírená neistota modulu $|F(j\omega)|$ [dB]:

$$U(A) = Kr * u_c(A) \quad (40)$$

- Kr – pravdepodobnostní interval výskytu [-];
- $u_c(A)$ – celková neistota z nepriameho merania [V].

Výsledná hodnota modulu $|F(j\omega)|$ derivačného CR, alebo integračného RC článku pri frekvencii 1690 Hz získaná pomocou nepriameho merania [dB]:

$$|F(j\omega)| = 20 \log \left(\frac{\overline{U}_2}{\overline{U}_1} \right) = (výsledok \pm U(A)) dB \quad (41)$$

- $\overline{U}_1$ – priemerná hodnota vstupného napätia [V];
- $\overline{U}_2$ – priemerná hodnota výstupného napätia [V];
- $U(A)$ – rozšírená neistota modulu $|F(j\omega)|$ [dB].

Výpočet neistoty typu a fázového posunu φ [°]:

$$u_a(\varphi) = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} * (x_i - \bar{x})^2} \quad (42)$$

- n – počet meraní[-];
- x_i – aktuálna hodnota[°];
- $\bar{x}$ – priemer hodnôt[°].

Hodnoty šumu na kanále čítača Agilent 53131A pri nezapojenom funkčnom generátore Agilent 33220A:

Derivačný CR článok= - 723,0508 μ V;

Integračný RC článok= - 709,7029 μ V.

Chyba triggeru[s]:

$$Trig_err = \frac{\sqrt{E_{input}^2 + E_{signal}^2}}{Input\ signal\ rate\ at\ trigger\ point} \quad (43)$$

- E_{input} – efektívna hodnota šumu na vstupe(katalógová hodnota)[V];
- E_{signal} – efektívna hodnota šumu nameraná na rozpojenom obvode pomocou čítača Agilent 53131A, rozdiel minima a maxima šumových hodnôt pre oba články vydelený koeficientom 6,6, pretože šlo o náhodné signály a s pravdepodobnosťou 99,9 % tieto hodnoty nebudú prekročené[V];
- $Input\ signal\ rate\ at\ trigger\ point$ – úroveň vstupného signálu v bode spustenia(katalógová hodnota)[V/s].

Efektívne rozlíšenie fázového posunu φ [°]:

$$RMS\ res = \sqrt{(t_{res}^2 + (2 * Trig_err^2)) * (1 + (\frac{\bar{\varphi}}{360^\circ})^2) * freq * 360^\circ} \quad (44)$$

- t_{res} – čas rozlíšenia[s];
- $\bar{\varphi}$ – priemerná hodnota fázového posunu[°];
- $freq$ – meraná frekvenčná úroveň[Hz];
- $Trig_err$ – chyba triggeru[s].

Výpočet neistoty typu b fázového posunu φ [°]:

$$u_b(\varphi) = \frac{RMS\ res}{\sqrt{3}} \quad (45)$$

- $RMS\ res$ – efektívne rozlíšenie[°].

Výpočet celkovej neistoty fázového posunu φ [°]:

$$u_c(\varphi) = \sqrt{u_{a\varphi}^2 + u_{b\varphi}^2} \quad (46)$$

- $u_{a\varphi}$ – neistota typu a fázového posunu φ [°];
- $u_{b\varphi}$ – neistota typu b fázového posunu φ [°].

Rozšírená neistota fázového posunu φ [°]:

$$U(A) = Kr * u_c(\varphi) \quad (47)$$

- Kr – pravdepodobnostný interval výskytu[-];
- $u_c(\varphi)$ – celková neistota z nepriameho merania[°].

Hodnoty potrebné pre analýzu integračného RC článku:

$$\overline{U}_1 = (3,43 \pm 5,86 * 10^{-3})V;$$

$$\overline{U}_2 = (2,63 \pm 5,36 * 10^{-3})V;$$

$$\bar{\varphi}=(-36,29 \pm 0,10)^\circ.$$

Výpočet neistoty typu a pre vstupné napätie $U_1[V]$:

$$u_a(U_1) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 1,362 * 10^{-7}} = 3,890 * 10^{-5} V \quad (48)$$

Výpočet neistoty typu a pre výstupné napätie $U_2[V]$:

$$u_a(U_2) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 1,34811 * 10^{-5}} = 3,870 * 10^{-4} V \quad (49)$$

Výpočet chyby vstupného napätia $\Delta U_1[V]$:

výpočet ΔU_1 slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_{b1}(U_1)$.

$$\Delta U_1 = \frac{0,06 * 3,43252 + 0,03 * 10}{100} = 5,059 * 10^{-3} V \quad (50)$$

Výpočet chyby výstupného napätia $\Delta U_2[V]$:

výpočet ΔU_2 slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_{b1}(U_2)$.

$$\Delta U_2 = \frac{0,06 * 2,63093 + 0,03 * 10}{100} = 4,578 * 10^{-3} V \quad (51)$$

Výpočet časti z neistoty typu b vstupného napätia $U_1[V]$:

$$u_{b1}(U_1) = \frac{5,059 * 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 2,921 * 10^{-3} V \quad (52)$$

Výpočet časti z neistoty typu b výstupného napätia $U_2[V]$:

$$u_{b1}(U_2) = \frac{4,578 * 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 2,643 * 10^{-3} V \quad (53)$$

Pre oba prípady bola použitá do výpočtu aj neistota $u_{b2} = 2 * 10^{-4} V$. Jedná sa o neistotu presnosti sínusového signálu.

Výpočet celkovej neistoty typu b vstupného napätia $U_1[V]$:

$$u_b(U_1) = \sqrt{(2,921 * 10^{-3})^2 + (2 * 10^{-4})^2} = 2,928 * 10^{-3} V \quad (54)$$

Výpočet celkovej neistoty typu b výstupného napätia $U_2[V]$:

$$u_b(U_2) = \sqrt{(2,643 * 10^{-3})^2 + (2 * 10^{-4})^2} = 2,651 * 10^{-3} V \quad (55)$$

Výpočet celkovej neistoty vstupného napätia $U_1[V]$:

výpočet $u_c(U_1)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(U_1)$.

$$u_c(U_1) = \sqrt{(3,890 * 10^{-5})^2 + (2,928 * 10^{-3})^2} = 2,928 * 10^{-3} V \quad (56)$$

Rozšírená neistota vstupného napätia U_1 odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [V]:

$$U(U_1) = 2 * 2,928 * 10^{-3} = 5,856 * 10^{-3} V \quad (57)$$

Výpočet celkovej neistoty výstupného napätia U_2 [V]:

výpočet $u_c(U_2)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(U_2)$.

$$u_c(U_2) = \sqrt{(3,870 * 10^{-4})^2 + (2,651 * 10^{-3})^2} = 2,679 * 10^{-3} V \quad (58)$$

Rozšírená neistota výstupného napätia U_2 odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [V]:

$$U(U_2) = 2 * 2,679 * 10^{-3} = 5,358 * 10^{-3} V \quad (59)$$

Celková neistota z nepriameho merania modulu $|F(j\omega)|$ [dB]:

výpočet $u_c(A)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(A)$.

$$u_c(A) = \sqrt{\left(\left(-\frac{20}{3,43252}\right) * (2,928 * 10^{-3})\right)^2 + \left(\left(\frac{20}{2,63093}\right) * (2,679 * 10^{-3})\right)^2} = 0,0266 dB \quad (60)$$

Rozšírená neistota modulu $|F(j\omega)|$ odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [dB]:

výpočet $U(A)$ slúži na vyjadrenie rozšírenej neistoty modulu $|F(j\omega)|$.

$$U(A) = 2 * 0,0266 = 0,0532 dB \quad (61)$$

Výsledná hodnota modulu $|F(j\omega)|$ integračného RC článku pri frekvencii 1690 Hz získaná pomocou nepriameho merania:

$$|F(j\omega)| = 20 \log\left(\frac{2,631}{3,433}\right) = (-2,31 \pm 0,05) dB \quad (62)$$

Výpočet neistoty typu a fázového posunu φ [°]:

$$u_a(\varphi) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 4,142 * 10^{-3}} = 6,783 * 10^{-3} V^\circ \quad (63)$$

Chyba triggeru [s]:

výpočet $Trig_err$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(A)$.

$$Trig_err = \frac{\sqrt{(1 * 10^{-3})^2 + (-2,022 * 10^{-6})^2}}{10000} = 1 * 10^{-7} s \quad (64)$$

Efektívne rozlíšenie fázového posunu φ [°]:

výpočet $RMS\ res(\varphi)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_b(\varphi)$.

$$RMS\ res(\varphi) = \sqrt{((750 * 10^{-12})^2 + 2 * (1 * 10^{-7})^2) * (1 + (\frac{-36,2877}{360^\circ})^2) * 1690 * 360} = 0,0865^\circ \quad (65)$$

Výpočet neistoty typu b fázového posunu φ [°]:

$$u_b(\varphi) = \frac{0,0865}{\sqrt{3}} = 0,0499^\circ \quad (66)$$

Výpočet celkovej neistoty fázového posunu φ [°]:

výpočet $u_c(\varphi)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(\varphi)$.

$$u_c(\varphi) = \sqrt{(6,783 * 10^{-3})^2 + (0,0499)^2} = 0,0504^\circ \quad (67)$$

Rozšírená neistota fázového posunu φ odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [°]:

$$U(\varphi) = 2 * 0,0504 = 0,1008^\circ \quad (68)$$

Hodnoty pre derivačný CR článok:

$$\overline{U}_1 = (3,52 \pm 5,92 * 10^{-3})V;$$

$$\overline{U}_2 = (0,79 \pm 8,92 * 10^{-4})V;$$

$$\overline{\varphi} = (76,33 \pm 0,10)^\circ.$$

Výpočet neistoty typu a pre vstupné napätie U_1 [V]:

$$u_a(U_1) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 2,001 * 10^{-8}} = 1,491 * 10^{-5} V \quad (69)$$

Výpočet neistoty typu a pre výstupné napätie U_2 [V]:

$$u_a(U_2) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 1,01 * 10^{-9}} = 3,350 * 10^{-6} V \quad (70)$$

Výpočet chyby vstupného napätia ΔU_1 [V]:

výpočet ΔU_1 slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_{b1}(U_1)$.

$$\Delta U_1 = \frac{0,06 * 3,523433 + 0,03 * 10}{100} = 5,114 * 10^{-3} V \quad (71)$$

Výpočet chyby výstupného napätia ΔU_2 [V]:

výpočet ΔU_2 slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_{b1}(U_2)$.

$$\Delta U_2 = \frac{0,06 * 0,7864 + 0,03 * 1}{100} = 7,719 * 10^{-4} V \quad (72)$$

Výpočet časti z neistoty typu b vstupného napätia $U_1[V]$:

$$u_{b1}(U_1) = \frac{5,114 * 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 2,953 * 10^{-3}V \quad (73)$$

Výpočet časti z neistoty typu b výstupného napätia $U_2[V]$:

$$u_{b1}(U_2) = \frac{7,719 * 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 4,456 * 10^{-4}V \quad (74)$$

Pre prípad vstupného napätia $\overline{U_1}$ bola použitá do výpočtu aj neistota $u_{b2} = 2 * 10^{-4} V$. Pre prípad výstupného napätia $\overline{U_2}$ bola použitá do výpočtu aj neistota $u_{b2} = 2 * 10^{-5} V$. Parametre u_{b2} sa líšia, pretože pri meraní sú použité iné rozsahy merania. Jedná sa o neistotu presnosti sínusového signálu.

Výpočet celkovej neistoty typu b vstupného napätia $U_1[V]$:

$$u_b(U_1) = \sqrt{(2,953 * 10^{-3})^2 + (2 * 10^{-4})^2} = 2,960 * 10^{-3}V \quad (75)$$

Výpočet celkovej neistoty typu b výstupného napätia $U_2[V]$:

$$u_b(U_2) = \sqrt{(4,456 * 10^{-4})^2 + (2 * 10^{-5})^2} = 4,460 * 10^{-4}V \quad (76)$$

Výpočet celkovej neistoty vstupného napätia $U_1[V]$:

výpočet $u_c(U_1)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(U_1)$.

$$u_c(U_1) = \sqrt{(1,491 * 10^{-5})^2 + (2,960 * 10^{-3})^2} = 2,960 * 10^{-3}V \quad (77)$$

Rozšírená neistota vstupného napätia U_1 odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% $[V]$:

$$U(U_1) = 2 * 2,960 * 10^{-3} = 5,920 * 10^{-3} V \quad (78)$$

Výpočet celkovej neistoty výstupného napätia $U_2[V]$:

výpočet $u_c(U_2)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(U_2)$.

$$u_c(U_2) = \sqrt{(3,350 * 10^{-6})^2 + (4,460 * 10^{-4})^2} = 4,460 * 10^{-4} V \quad (79)$$

Rozšírená neistota vstupného napätia U_2 odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% $[V]$:

$$U(U_2) = 2 * 4,460 * 10^{-4} = 8,920 * 10^{-4} V \quad (80)$$

Celková neistota z nepriameho merania modulu $|F(j\omega)|[dB]$:

výpočet $u_c(A)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(A)$.

$$u_c(A) = \sqrt{\left(\left(-\frac{20}{3,523433}\right) * (2,960 * 10^{-3})\right)^2 + \left(\left(\frac{20}{0,786473}\right) * (4,460 * 10^{-4})\right)^2} = 0,0203 dB \quad (81)$$

Rozšírená neistota modulu $|F(j\omega)|$ odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [dB]:

$$U(A) = 2 * 0,0203 = 0,0405 \text{ dB} \quad (82)$$

Výsledná hodnota modulu $|F(j\omega)|$ derivačného CR článku pri frekvencii 1690 Hz získaná pomocou nepriameho merania:

$$|F(j\omega)| = 20 \log \left(\frac{0,786}{3,523} \right) = (-13,03 \pm 0,04) \text{ dB} \quad (83)$$

Výpočet neistoty typu a fázového posunu $\varphi[^\circ]$:

$$u_a(\varphi) = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} * 5,573 * 10^{-4}} = 2,488 * 10^{-3} \quad (84)$$

Chyba triggeru[s]:

výpočet $Trig_err$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $RMS\ res(\varphi)$.

$$Trig_err = \frac{\sqrt{(1 * 10^{-3})^2 + (-2,022 * 10^{-6})^2}}{10000} = 1 * 10^{-7} \text{ s} \quad (85)$$

Efektívne rozlíšenie fázového posunu $\varphi[^\circ]$:

výpočet $RMS\ res(\varphi)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $u_b(\varphi)$.

$$RMS\ res(\varphi) = \sqrt{((750 * 10^{-12})^2 + 2 * (1 * 10^{-7})^2) * (1 + (\frac{76,3272}{360})^2)} * 1690 * 360 = 0,08793^\circ \quad (86)$$

Výpočet neistoty typu b fázového posunu $\varphi[^\circ]$:

$$u_b(\varphi) = \frac{0,08793}{\sqrt{3}} = 0,05077^\circ \quad (87)$$

Výpočet celkovej neistoty fázového posunu $\varphi[^\circ]$:

výpočet $u_c(\varphi)$ slúži ako medzivýpočet pri stanovení $U(\varphi)$.

$$u_c(\varphi) = \sqrt{(2,488 * 10^{-3})^2 + (0,05077)^2} = 0,0508^\circ \quad (88)$$

Rozšírená neistota fázového posunu φ odpovedá intervalu, v ktorom by sa výsledky nachádzali s pravdepodobnosťou 95% [°]:

$$U(\varphi) = 2 * 0,0508 = 0,1016^\circ \quad (89)$$

6 ZÁVER

Obsah kapitoly 2 s názvom Prenosové články prvého rádu je zameraný na celkový prehľad prenosových článkov prvého rádu, významné parametre článkov a ich využitie v elektrotechnickej praxi.

Pre praktickú časť bakalárskej práce je dôležitejšia kapitola 2.1 s názvom Komplexné dvojbrany, pretože v kapitole rozoberám prenosové charakteristiky, ktoré sú merané aj vytvoreným automatizovaným meracím systémom v praktickej časti bakalárskej práce.

Kapitola 2.2 s názvom Komplexné jednobrany hovorí o využití komplexných jednobranov ako dôležitých súčiastok v elektrotechnickej praxi.

V kapitole 3 s názvom Automatizovaný merací systém je obsah venovaný návrhu zostavy automatizovaného meracieho systému, ktorý slúži na meranie parametrov teoreticky popísaných v kapitole 2.1 s názvom Komplexné dvojbrany.

Ďalšie časti kapitoly 3 sú venované návrhu a realizácii automatizovaného meracieho systému. V týchto častiach riešim výber meracích prístrojov, návrh meracieho obvodu, praktické zapojenie meracích prístrojov a nastaviteľné parametre jednotlivých meracích prístrojov.

Obsah kapitoly 4 je venovaný výberu programu, ktorý slúži na tvorbu meracej aplikácie.

Pomocou meracej aplikácie bude užívateľovi umožnené ovládanie, spúšťanie a ukladanie výsledkov merania. Výsledky meraní som dosiahol realizovaným automatizovaným meracím systémom.

Ďalšia časť tejto kapitoly je venovaná jednotlivým úlohám, ktoré plní vytvorená meracia aplikácia a stavom, v ktorých sú plnené.

Kapitola 5 obsahuje popis funkcionality meracej aplikácie, a samotné ukážky meraní. Taktiež je tu uvedený postup krok za krokom, ktorý je potreba absolvovať pre dosiahnutie výsledkov merania.

V kapitole 5 našiel svoje uplatnenie aj ukážkový výpočet analýzy automatizovaného meracieho systému. Výsledné hodnoty však nie sú dané pre všeobecne nastavené parametre.

Na záver by som chcel zhodnotiť dosiahnuté výsledky bakalárskej práce. Automatizovaný merací systém, ktorý som zostavil plní svoju funkciu a automatizované meria charakteristiky komplexných dvojbranov. Merané charakteristiky sú amplitúdová frekvenčná charakteristika $|F(j\omega)_{ab}|$ a fázová frekvenčná charakteristika $\varphi(\omega)$.

Prínosom pre mňa je konštruktívna práca pri tvorbe meracej aplikácie. Na naprogramovanie meracej aplikácie bol využitý program Labview student edition 2014. Tento program má mnoho výhod, ktoré sú spomenuté v práci a vďaka ktorým bol vybraný.

Počas programovania som narazil na množstvo programátorských problémov, ktorých vyriešenie mi dodalo skúsenosť s programovaním v tomto type programu a pri riešení problémov som využil už osvojenú znalosť z kurzu Použití PC v mŕčící technice.

Počas mnohých testovaní meracej aplikácie a automatizovaného meracieho systému sa objavovali nielen programátorské problémy, ale aj nevídanosti v obvodom zapojení. Ich vyriešenie viedlo k správnej funkčnosti automatizovaného meracieho systému a dodalo mi skúsenosti s hľadaním chýb aj v obvodom zapojení.

Mnou vytvorená meracia aplikácia je určená pre študentov a učiteľov oboru automatizácia a meracia technika.

Keďže na vytvorenie meracieho obvodu boli použité prístroje z laboratória SD1.120, tak meracia aplikácia spolu s automatizovaným meracím systémom sa bude primárne nachádzať v tomto laboratóriu, ktoré patrí ústavu Automatizace a měřící techniky.

V nasledujúcom období by som chcel rozšíriť funkčnosť automatizovaného meracieho systému aj pre zložitejšie prenosové články. Toto by viedlo k testovaniu a vyvíjaniu meracej aplikácie aj na prenosové články s väčším počtom akumuláčnych súčiastok.

Námet na charakteristiky merateľné automatizovaným meracím systémom by spočíval vo vytvorení impulznej charakteristiky. Konečná meracia aplikácia by po tomto doplnení bola vhodným nástrojom na testovanie prenosových vlastností a potvrdenie správnej funkčnosti obvodov, ktoré slúžia na úpravu tvaru frekvenčného spektra signálu.

Literatura

- [1] Ing. Mařátko, Jan. *Elektronika*. Bratislava : Vydavateľstvo Alfa, 2008. ISBN 80-05-01182-2.
- [2] Doc. Ing. Sedláček, CSc., Jiří and Prof. Ing. Valsa, CSc., Juraj. *Elektrotechnika 2*. [Online] 2004. [Cited: 12 2, 2015.] http://www.utee.feec.vutbr.cz/files/predmety/BEL2/Multimed_uc/Elektrotechnika_2.pdf. ISBN: 80-214-2573- 3.
- [3] Prof. Ing. Pavel Jura, CSc. *Signály a systémy část 2 Spojité systémy*. https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=100107 [internet]. Brno : FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ.
- [4] Moravec, Mgr. Stanislav. *PŘENOSOVÉ ČLÁNKY RC, RL*. [Online] 6 1, 2001. [Cited: 12 7, 2015.] <http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt018.htm>.
- [5] Cievka. *Základy elektrotechniky*. [Online] [Cited: 12 8, 2015.] <http://www.elektrotechnika1.estranky.sk/clanky/zaklady-elektrotechniky/cievka.html>.
- [6] *Teorie elektroniky. Elektrické přechodové děje v obvodech RC a RL*. [Online] [Cited: 12 9, 2015.] http://dlabos.wz.cz/en/08-Prechodove_jevy.html.
- [7] Doc. Ing. Jaroslav Lokvenc, CSc. and doc. Dr. René Drtina, Ph.D.,. *Odborne casopisy. Paralelní článek RL||RC jako frekvenčně řízená odporová zátěž*. [Online] 1 2014, 2006. [Cited: 12 10, 2015.] http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2014/01/Elektro_01_2014_output/web/Elektro_01_2014_opf_files/WebSearch/page0014.html.
- [8] *Elektrotechnika. Cievky*. [Online] [Cited: 1 4, 2016.] <http://www.tonko.eu/ele/content/5-cievky>.
- [9] Reichl, Jaroslav. *Encyklopedie fyziky. Derivační článek*. [Online] 2006. [Cited: 12 17, 2015.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1368-derivacni-clanek>.
- [10] —. *Encyklopedie fyziky. Integrační článek*. [Online] 2006. [Cited: 12 16, 2015.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1369-integracni-clanek>.
- [11] Kohl, Leo. *Měření fázového rozdílu měření harmonického zkreslení. Laboratorní práce č.7*. Brno : VUT Brno, 12 2, 1997.
- [12] Moravec, Mgr. Stanislav. *KOMPLEXNÍ DVOJBRANY - PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI*. [Online] 1 2001. [Cited: 12 11, 2015.] <http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt017.htm>.

- [13] Olejár, Ing. Bc. Martin. komplexní napěťový přenos lineárních dvojbranů a možnosti jeho měření. *elektronické aplikace*. [Online] [Cited: 12 2, 2015.] <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=115>.
- [14] Jednobrány a dvojbrány. *Elektronika*. [Online] [Cited: 1 14, 2016.] <http://web08.eu/zosity/elektronika/II.A/poznamky/>.
- [15] Moravec, Mgr. Stanislav. PŘECHODOVÉ DĚJE. *Slaboproud*. [Online] 1 2001. [Cited: 12 21, 2015.] <http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt049.htm>.
- [16] LabVIEW Environment Basics. *National Instruments*. [Online] NI. [Cited: 3 2, 2016.] <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/environment#Block Diagram>.
- [17] 33120A Function / Arbitrary Waveform Generator, 15 MHz. *Keysight*. [Online] [Cited: 1 3, 2016.] <http://www.keysight.com/en/pd-1000001289:epsg:pro/function-arbitrary-waveform-generator-15-mhz?&cc=CZ&lc=eng>.
- [18] Keysight. Keysight 33220A . *www.keysight.com*. [Online] Keysight technologies. [Cited: 1 4, 2016.] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5988-8544EN.pdf?id=187648>. 5988-8544EN.
- [19] . —. 34401A Digital Multimeter, 6½ Digit. *Keysight*. [Online] Keysight technologies. [Cited: 5 1, 2016.] <http://www.keysight.com/en/pd-1000001295%3Aepsg%3Apro-pn-34401A/digital-multimeter-6-digit?cc=CZ&lc=eng&lsrch=true&searchT=agilent%2034401A>.
- [20] Měření počítačem pomocí multimetru METEX . [Online] [Cited: 2 1, 2016.] <https://vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/machacj/docs/MT.pdf>.
- [21] Metex. M 3850 D - Digitální multimetr. *Metex* . [Online] Metex instruments. [Cited: 2 4, 2016.] <http://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/provozni/digitalni-multimetry/m3850d.html>.
- [22] —. Metex M 3890 D - Digitální multimetr. *Metex*. [Online] Metex instruments. [Cited: 1 10, 2016.] <http://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/provozni/digitalni-multimetry/m3890d.html>.
- [23] Keysight. 53131A 225 MHz Universal Frequency Counter/Timer. *Keysight*. [Online] Keysight technologies. [Cited: 1 20, 2016.] <http://www.keysight.com/en/pd-1000001385%3Aepsg%3Apro-pn-53131A/225-mhz-universal-frequency-counter-timer?cc=CZ&lc=eng&lsrch=true&searchT=gilent%2053131A>.
- [24] —. Agilent Technologies 3000 Series Oscilloscopes. *Keysight*. [Online] [Cited: 4 9, 2016.] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5989-2235EN.pdf?id=638687>.

- [25] —. 54621A 2-Channel 60 MHz Oscilloscope. *Keysight*. [Online] [Cited: 4 8, 2016.] <http://www.keysight.com/en/pd-1000000808%3Aepsg%3Apro-pn-54621A/portable-dso?nid=-32416.536880783.00&cc=CZ&lc=eng>.
- [26] —. 54621D 2+16 Channel, 60 MHz Mixed-Signal Oscilloscope. *Keysight*. [Online] [Cited: 4 10, 2016.] <http://www.keysight.com/en/pd-1000000809%3Aepsg%3Apro-pn-54621D/portable-mso?cc=CZ&lc=eng&lsrch=true&searchT=54621D>.
- [27] —. InfiniiVision 7000B Series Oscilloscopes Engineered for the best signal visibility. *Keysight*. [Online] [Cited: 4 10, 2016.] <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-4769EN.pdf?id=1828837>.
- [28] M. Čejka. Elektronické měřicí systémy. *VUT Brno*. [Online] 2015/2016. [Cited: 11 9, 2015.] https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=106506.
- [29] Agilent. Agilent RF and Universal Frequency Counter Comparison Guide. *rs-online*. [Online] [Cited: 4 11, 2016.] <http://www.rs-online.com/designspark/assets/ds-assets/uploads/knowledge-items/agilent-rf-and-universal-frequency-counter-comparison-guide/5990-7861EN.pdf>.
- [30] World, RF Wireless. GPIB vs Serial-Basic difference between GPIB and Serial interfaces. *RF Wireless World*. [Online] [Cited: 4 10, 2016.] <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/GPIB-vs-Serial.html>.

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Bloková schéma komplexného dvojbranu[13].....	9
Obrázok 2: Schéma derivačného CR článku[9]	10
Obrázok 3: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku[11]	11
Obrázok 4: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku[11]	11
Obrázok 5: Funkcia derivačného CR článku[2].....	12
Obrázok 6: Schéma integračného RC článku[10]	13
Obrázok 7: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integračného RC článku[12]	14
Obrázok 8: Fázová frekvenčná charakteristika integračného RC článku[12]	14
Obrázok 9: Funkcia integračného RC článku[2].....	15
Obrázok 10: Schéma derivačného RL článku[11]	15
Obrázok 11: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného RL článku[11].....	16
Obrázok 12: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného RL článku[11]	17
Obrázok 13: Schéma integračného LR článku[10]	18
Obrázok 14: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integračného LR článku[11].....	19
Obrázok 15: Fázová frekvenčná charakteristika integračného LR článku[11]	20
Obrázok 16: Bloková schéma komplexného jednobranu[14]	20
Obrázok 17: Schéma sériového RC článku[15]	21
Obrázok 18: Časové priebehy signálov u sériového RC článku[6].....	21
Obrázok 19: Prvý ustálený stav S[15].....	22
Obrázok 20: Prvý prechodný dej - nabíjanie kondenzátora C, stav U[15].....	22
Obrázok 21: Druhý prechodný dej – vybíjanie kondenzátora C, stav T, stav V[15]	22
Obrázok 22: Schéma sériového RL článku[14]	23
Obrázok 23: Časové priebehy signálov u sériového RL článku[6].....	23
Obrázok 24: Prvý ustálený stav S[6].....	24
Obrázok 25: Prvý prechodný dej – vznik prúdu $i(t)$, stav U[6].....	24
Obrázok 26: Druhý prechodný dej – zánik prúdu $i(t)$, stav T, stav V[6]	24
Obrázok 27: Bloková schéma návrhu postupu zostavenia prenosových charakteristik.....	30
Obrázok 28: Bloková schéma návrhu získavania parametrov pomocou meracích prístrojov	39
Obrázok 29: Bloková schéma zapojenia automatizovaného meracieho systému	41
Obrázok 30: Reálny obvod automatizovaného meracieho systému.....	42
Obrázok 31: Ukážka front panelu meracej aplikácie	52
Obrázok 32: Výpočet smerodajnej odchýlky	53
Obrázok 33: Ukážka kódu z block diagramu slúžiaci na export nameraných dát do súboru.....	54
Obrázok 34: Blok Build array function v stave Zaznamenávanie.....	54

Obrázok 35: Ukážka vytvoreného datového súboru	55
Obrázok 36: Ukladanie obrázkov do súborov.....	55
Obrázok 37: Ukážka použitých blokov slúžiacich na vytvorenie a uloženie protokolu	56
Obrázok 38: Ukážka vytvoreného protokolu typu .pdf.....	57
Obrázok 39: Amplitúdová frekvenčná charakteristika integračného RC článku	60
Obrázok 40: Fázová frekvenčná charakteristika integračného RC článku a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky	61
Obrázok 41: Amplitúdová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku	62
Obrázok 42: Fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku a a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky	62
Obrázok 43: Opakovaná fázová frekvenčná charakteristika derivačného CR článku a odpovedajúca charakteristika výberovej smerodajnej odchýlky	63
Obrázok 44: Vývojový diagram meracej aplikácie.....	73
Obrázok 45: Časť stavu Štart aplikácie.....	73
Obrázok 46: Časť stavu Konfigurácia.....	73
Obrázok 47: Časť stavu Inicializácia	73
Obrázok 48: Časť stavu Generátor.....	73
Obrázok 49: Časť stavu Zaznamenávanie.....	73
Obrázok 50: Časť stavu Riadenie	73
Obrázok 51: Časť stavu Tlačidlo osobné info a hlavička	73
Obrázok 52: Časť stavu Informácie	73
Obrázok 53: Časť stavu Koniec	73
Obrázok 54: Časť stavu Pdf protokol.....	73
Obrázok 55: Časť stavu Koniec aplikácie.....	73
Obrázok 56: Merací pripravok	73

Zoznam príloh

Príloha 1. Manuál k meracím prístrojom

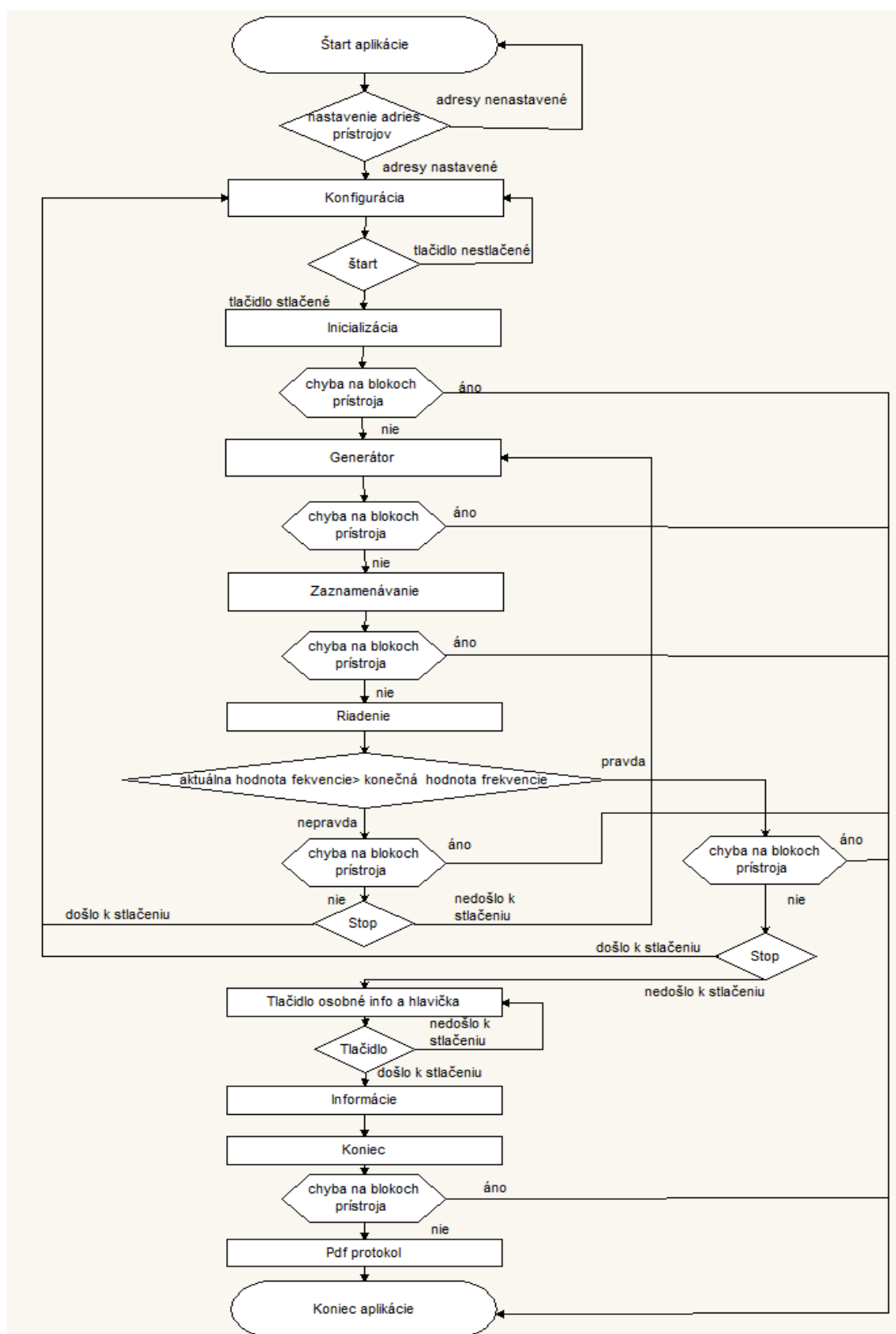
- funkčný generátor Agilent 33120A: katalógový list vid', [17];
- funkčný generátor Agilent 33220A: katalógový list vid', [18];
- multimeter Agilent 34401A: katalógový list vid', [19];
- multimeter Metex M-3890D: katalógový list vid', [22];
- multimeter Metex M-3850D: katalógový list vid', [21];
- čítač Agilent 53131A: katalógový list vid', [23];
- osciloskop Agilent DSO3062A: katalógový list vid', [24];
- osciloskop Agilent 54621A: katalógový list vid', [25];
- osciloskop Agilent 54621D: katalógový list vid', [26];
- osciloskop Agilent DSO7012B: katalógový list vid', [27].

Príloha 2. CD s meracou aplikáciou, a ukážkami datových súborov, obrázkov a protokolov o meraniach. Na priloženom CD sa nachádza aj inštalačný súbor pre Simplicity AI Custom PDF Generator for Labview VIs a drivery meracích prístrojov ako čítača Agilent 53131A a funkčného generátora Agilent 33220A.

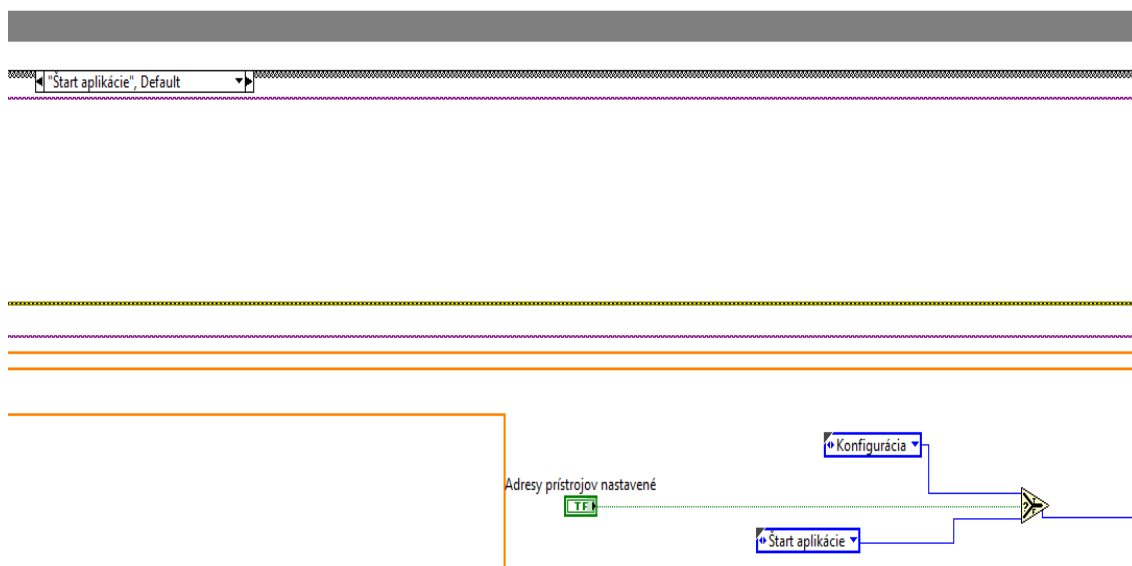
Príloha 3. Vývojový diagram meracej aplikácie

Príloha 4. Obrázky častí stavov meracej aplikácie

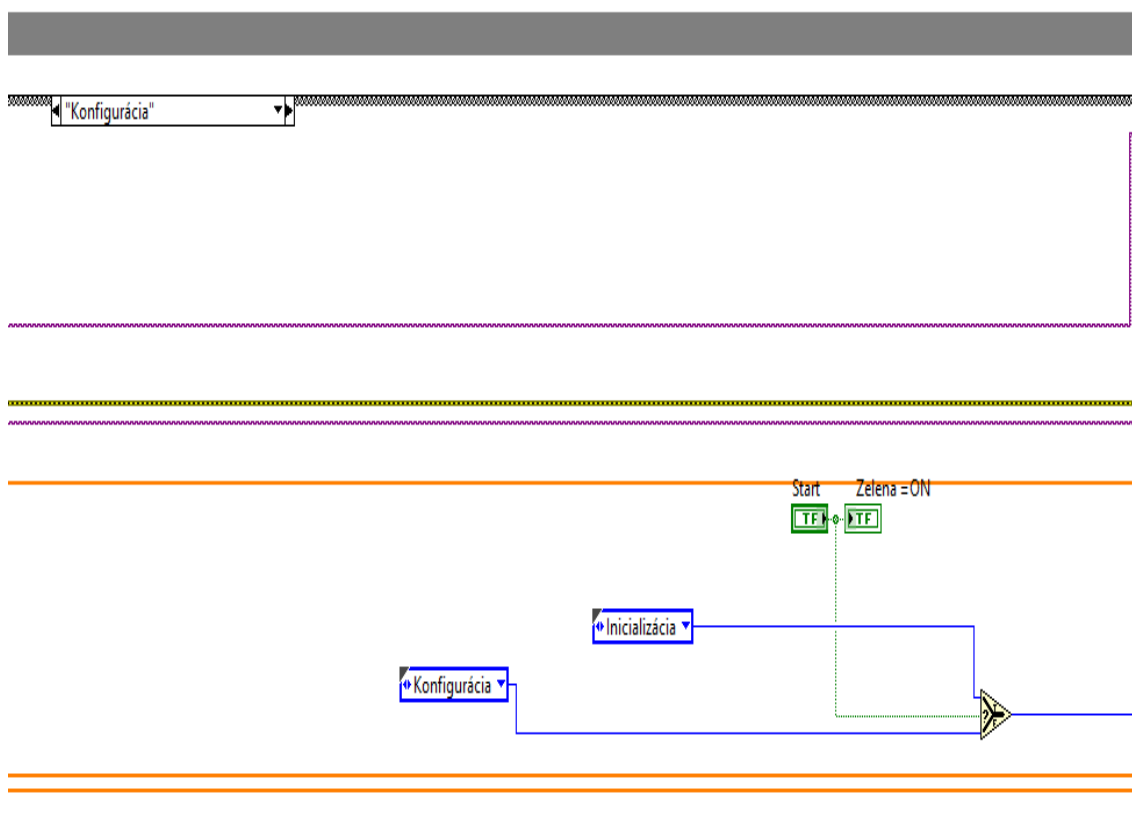
Príloha 5. Prípravok, ktorý slúžil na testovanie automatizovaného meracieho systému



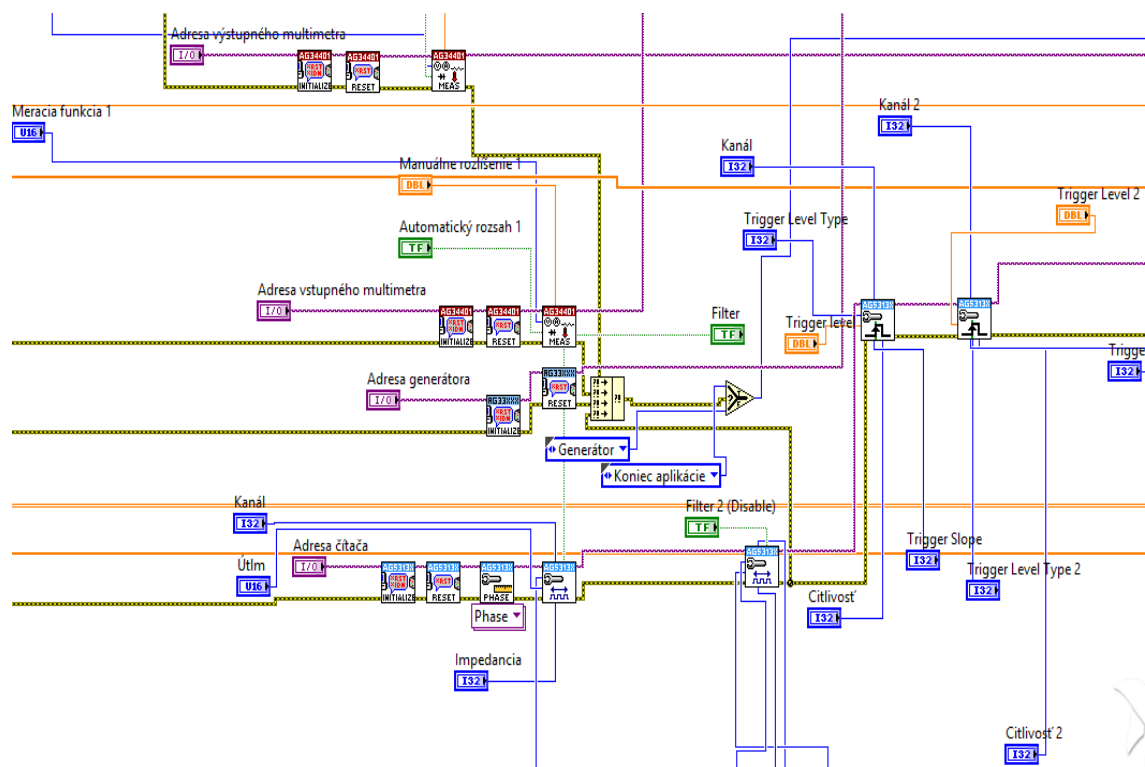
Obrázok 44: Vývojový diagram meracej aplikácie



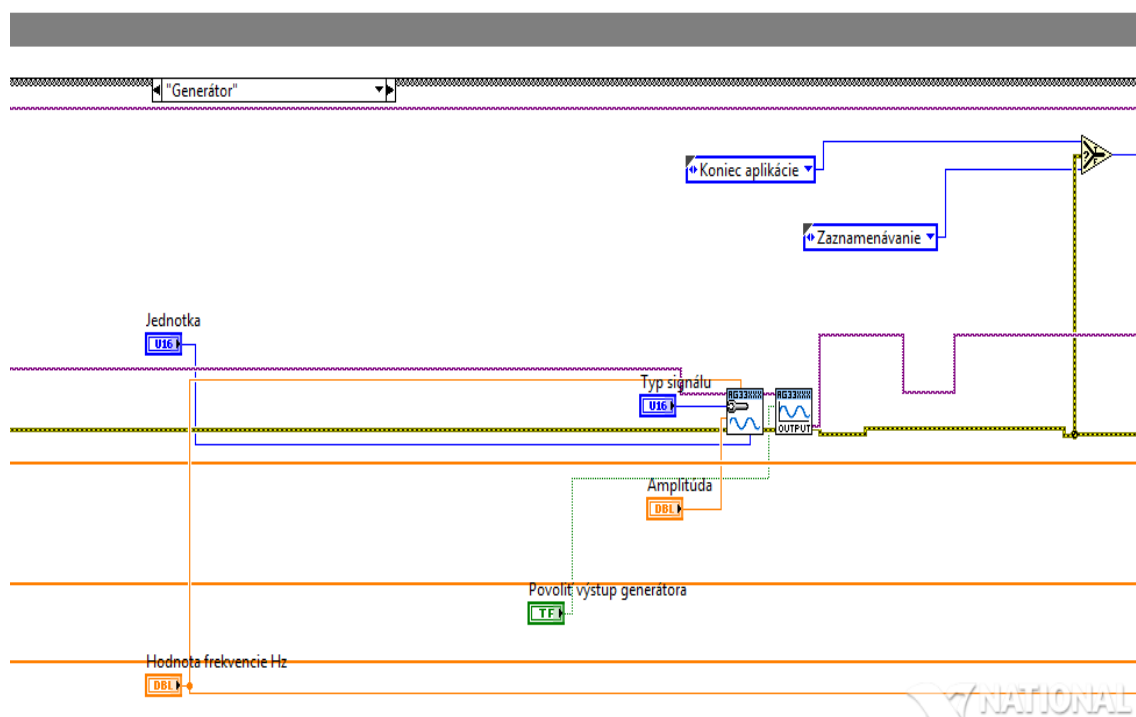
Obrázok 45: Časť stavu Štart aplikácie



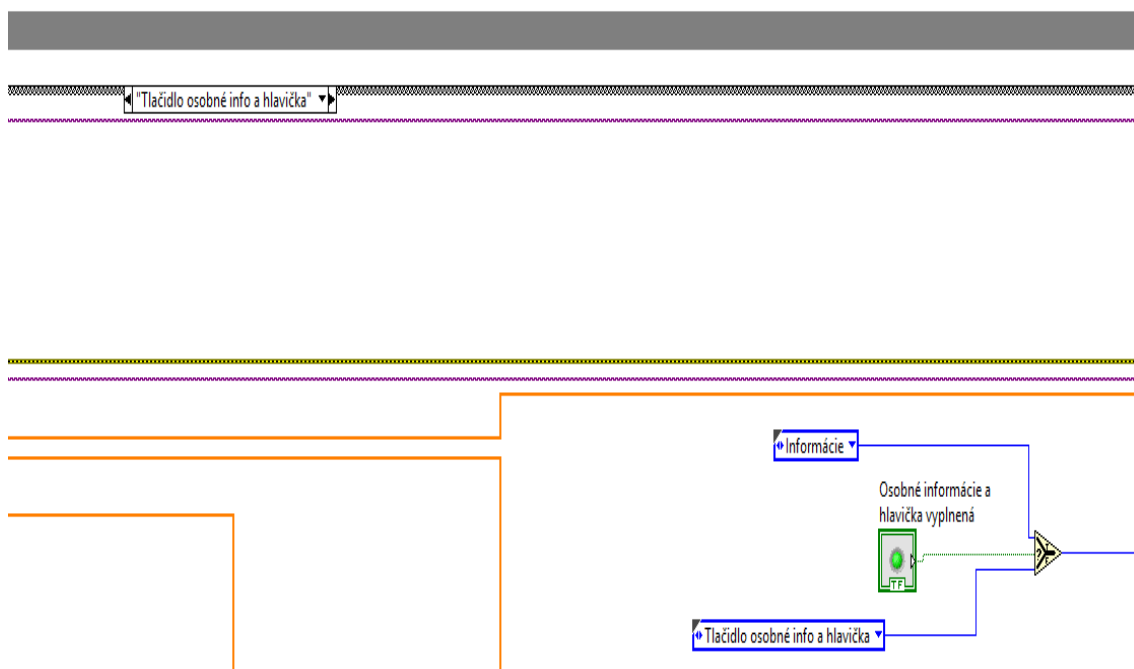
Obrázok 46: Časť stavu Konfigurácia



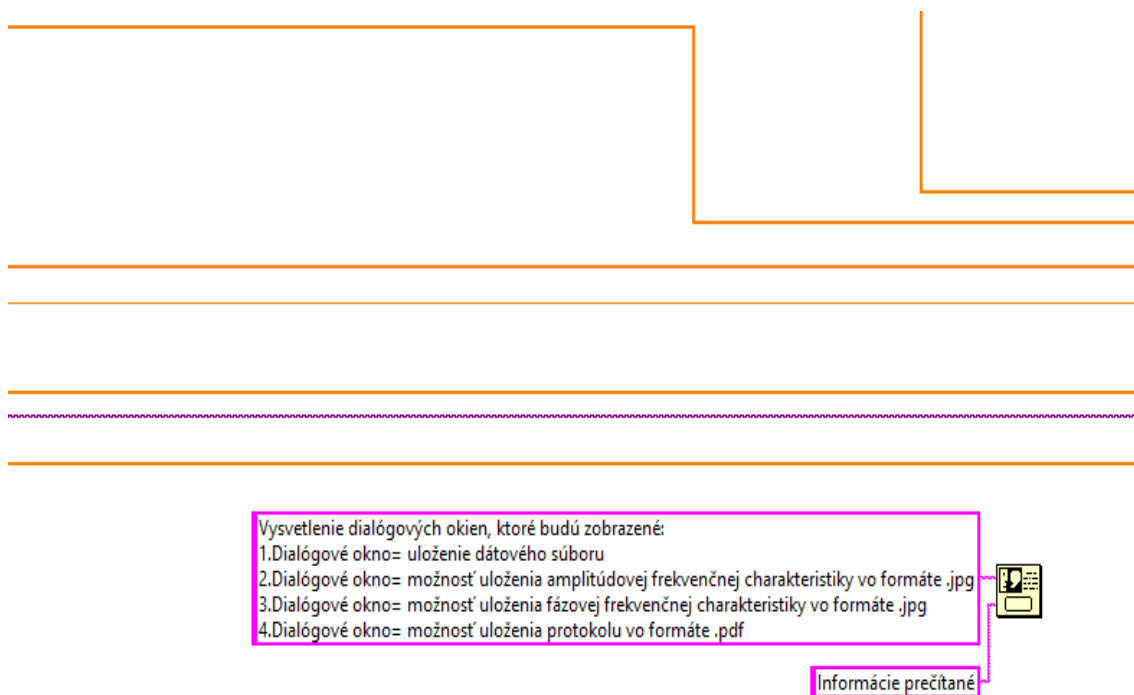
Obrázok 47: Časť stavu Inicializácia



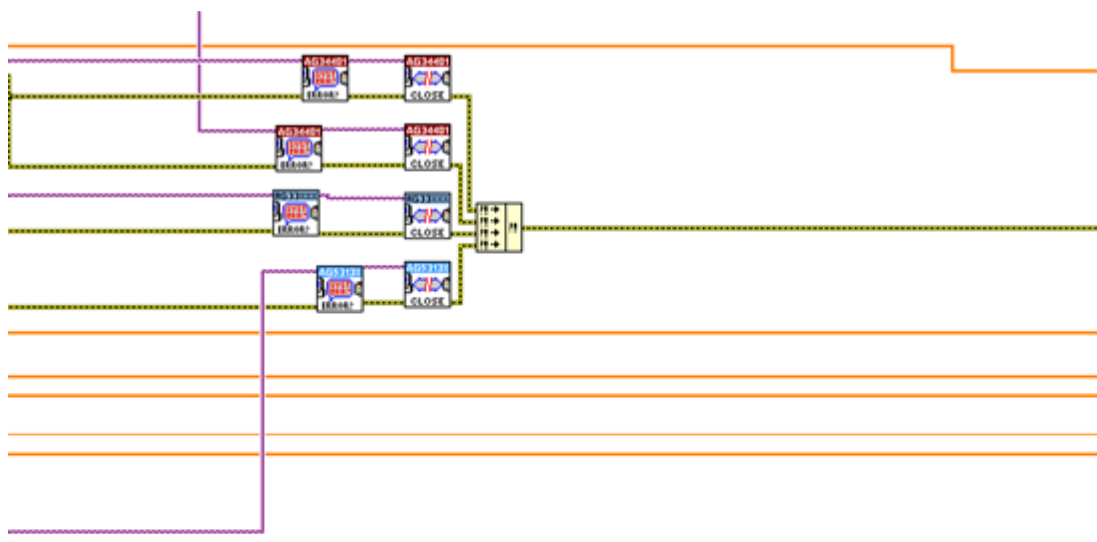
Obrázok 48: Časť stavu Generátor



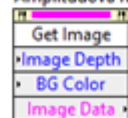
Obrázok 51: Časť stavu Tlačidlo osobné info a hlavička



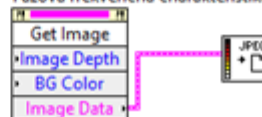
Obrázok 52: Časť stavu Informácie



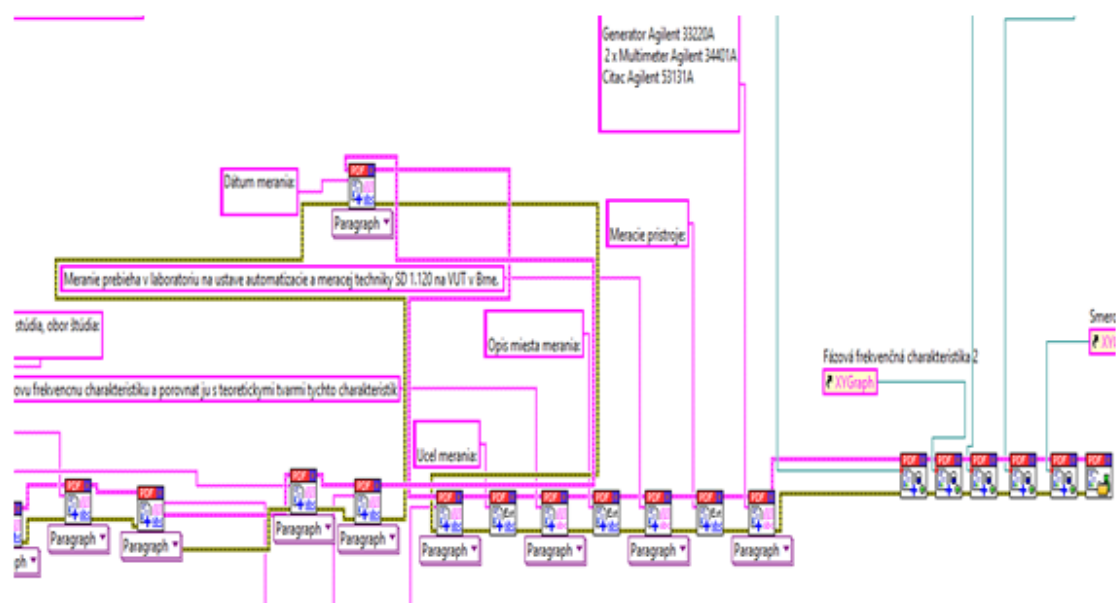
Amplitúdová frekvenčná charakteristika



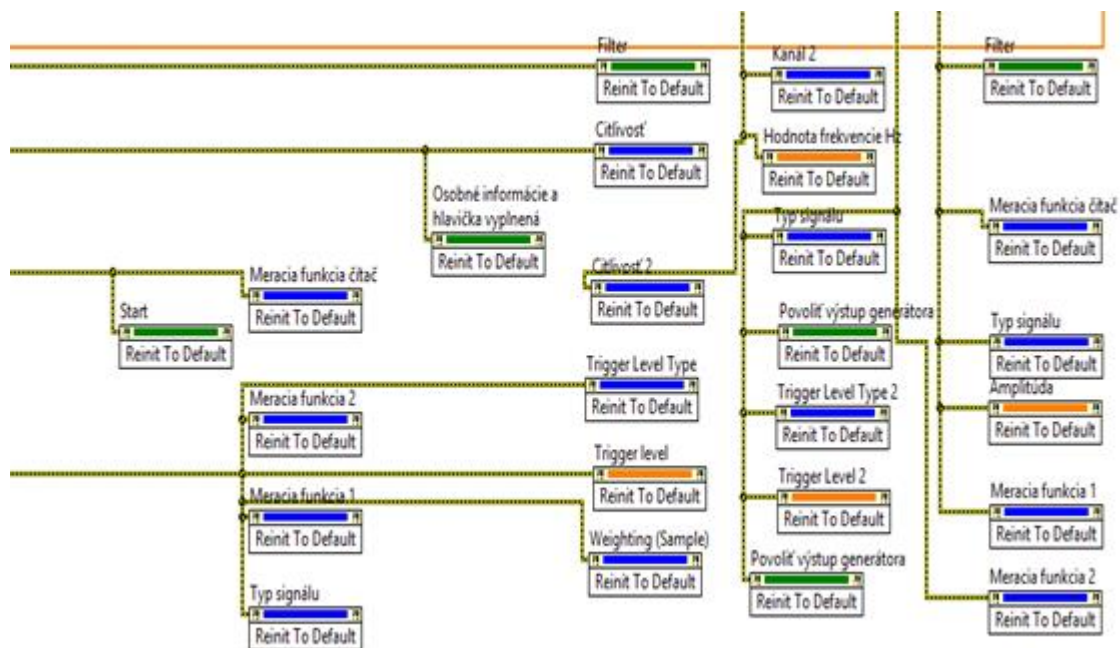
Fázová frekvenčná charakteristika



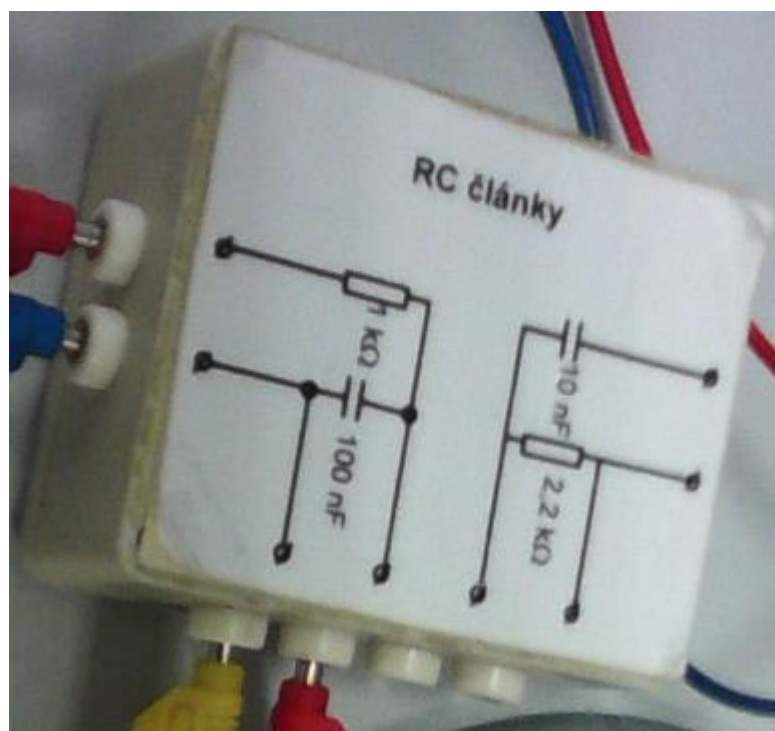
Obrázok 53: Časť stavu Koniec



Obrázok 54: Časť stavu Pdf protokol



Obrázok 55: Časť stavu Koniec aplikácie



Obrázok 56: Merací prípravok