

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

GALVANICKY ODDĚLENÉ ČIDLO NAPĚTÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

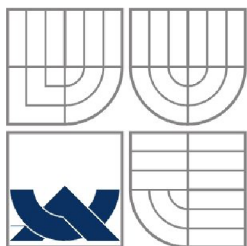
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Růžička

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

GALVANICKY ODDĚLENÉ ČIDLO NAPĚTÍ

VOLTAGE SENSOR WITH A GALVANIC SEPARATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

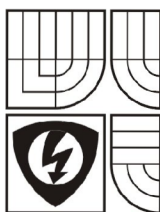
Zdeněk Růžička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Huták, Ph.D.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Zdeněk Růžička

Ročník: 3

ID: 106755

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Galvanicky oddělené čidlo napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zvolte vhodné principiální řešení unipolárního i bipolárního čidla stejnosměrného napětí – galvanické oddělení optické, transformátorem ...
2. Navrhněte vhodné obvodové řešení tohoto čidla.
3. Navržené čidlo realizujte a ověřte jeho parametry

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 1.10.2009

Termín odevzdání: 27.5.2010

Vedoucí projektu: Ing. Petr Huták, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Tato práce řeší volbu vhodného principiálního řešení galvanicky odděleného napětového čidla a vychází ze Semestrálního projektu. Navrhuje vhodné obvodové řešení s ohledem na parametry jednotlivých částí čidla i měřeného obvodu. Do obvodového řešení jsou zahrnuty výpočty pro nastavení obvodových prvků čidla. V další části je popsán návrh obvodového zapojení a následná realizace na desku kontaktního pole. Ověření funkce a parametrů čidla je provedena v závěrečné části.

Abstract

This thesis finds suitable principled solving voltage sensor with a galvanic separation. Thesis designs circuit solving sensor in reference to parameters in singles parts sensor and parameters gauged circuit. Circuit design includes calculations for setting up circuit components. Next part describes design circuit wiring and realization on the desk of contacts field. Last part describes verify parameters and function checking member.

Klíčová slova

Čidlo napětí; galvanické oddělení; měření stejnosměrného napětí; fázově zavěšená smyčka

Keywords

Voltage sensor; galvanic separation; measurement DC voltage; phase lock loop

Bibliografická citace

RŮŽIČKA, Z. Galvanicky oddělené čidlo napětí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 22 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **Galvanicky oddělené čidlo napětí** jsem 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.

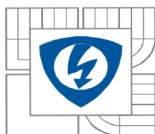
Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících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

V Brně dne Podpis autora

Poděkování

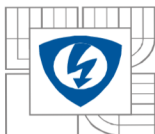
Děkuji vedoucímu bakalářské práce **Ing. Petru Hutákovi** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne Podpis autora



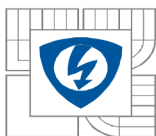
OBSAH

1	ÚVOD	11
2	VOLBA VHODNÉHO PRINCIPIÁLNÍHO ŘEŠENÍ ČIDLA	11
2.1	Vymezení požadavků na čidlo napětí	11
2.2	Možnosti provedení napěťového čidla	12
2.2.1	Napěťová čidla s izolačním zesilovačem	12
2.3	Vhodné obvodové prvky	14
2.4	Fázový závěs - funkce	14
2.4.1	Základní princip smyčky PLL (Phase Lock Loop)	14
3	NÁVRH VHODNÉHO OBVODOVÉHO ŘEŠENÍ ČIDLA	15
3.1	Určení parametrů a návrh PLL	15
3.2	Návrh obvodového zapojení měřicího obvodu	22
3.3	Návrh obvodového zapojení oddělovacího obvodu	22
3.4	Návrh obvodového zapojení obvodů zpracovávajících signál	25
3.5	Návrh obvodového zapojení čidla	25
4	REALIZACE NAPĚŤOVÉHO ČIDLA	26
5	OVĚŘENÍ PARAMETRŮ ČIDLA	27
6	ZÁVĚR	32
	LITERATURA	33

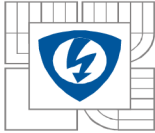


SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Blokové schéma čidla dle vymezených požadavků.....	11
Obrázek 2	Princip fázového závěsu.....	15
Obrázek 3	Smyčka fázového závěsu.....	16
Obrázek 4	Dolní propuť.....	16
Obrázek 5	Přechodová charakteristika smyčky PLL.....	18
Obrázek 6	Frekvenční a fázová charakteristika dolní propusti.....	21
Obrázek 7	Zapojení napěťově řízeného oscilátoru a blokové schéma HCT4046.....	22
Obrázek 8	Derivační člen.....	23
Obrázek 9	Přechodová charakteristika CR článku.....	24
Obrázek 10	Zapojení optického členu čidla a blokové zapojení 6N137.....	24
Obrázek 11	Obvodové zapojení fázově zavěšené smyčky PLL.....	25
Obrázek 12	Zapojení napěťového čidla.....	26
Obrázek 13	Orientace IO a vyvedení pinů.....	26
Obrázek 14	Vstupně-výstupní charakteristika čidla.....	27
Obrázek 15	Závislost výstupního napětí čidla na UCC.....	28
Obrázek 16	Závislost měřeného napětí na frekvenci oscilátoru.....	28
Obrázek 17	Závislost výstupního napětí na frekvenci oscilátoru.....	29
Obrázek 18	Přenos čidla s $f = 1\text{kHz}$ sinusového průběhu.....	30
Obrázek 19	Přenos čidla s $f = 5\text{kHz}$ sinusového průběhu.....	30
Obrázek 20	Přenos čidla s $f = 10\text{kHz}$ sinusového průběhu.....	31
Obrázek 21	Přechodová charakteristika.....	31



SEZNAM TABULEK



1 ÚVOD

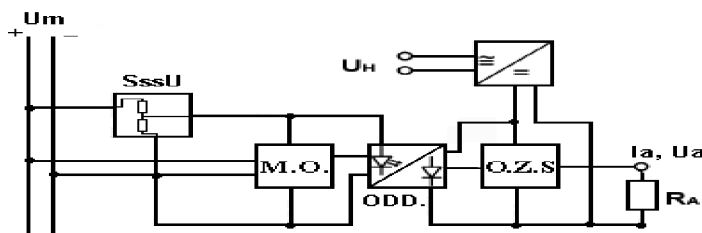
Tato práce řeší volbu vhodného principiálního řešení galvanicky odděleného napěťového čidla a vychází ze Semestrálního projektu. Navrhuje vhodné obvodové řešení s ohledem na elektrické parametry jednotlivých částí čidla i měřeného obvodu. Obvodové řešení zahrnuje i výpočty pro nastavení obvodových prvků čidla. Další část tvoří realizace, tedy zapojení obvodu na kontaktní pole a oživení. Ověření funkce a parametrů je provedeno v závěrečné fázi práce.

Napěťová čidla se často využívají v různých odvětvích výkonové elektroniky, kde je třeba kontrolovat napětí respektive proud v silnoproudém obvodu. Uplatňují se například v tranzistorových měničích, kde přispívají k chodu celého měniče jako zpětná vazba. Existuje řada druhů čidel s různými funkcemi např. oddělovače, převodníky jako izolační zesilovače signálu, programovatelná čidla (pro PLC automaty) atd. Napěťové čidlo je obecně převodník stejnosměrného napětí na jiný signál, který je kompatibilní s požadovaným signálem řídicích obvodů. Přičemž převodní charakteristika čidla musí zůstat lineární. [1]

2 VOLBA VHODNÉHO PRINCIPIÁLNÍHO ŘEŠENÍ ČIDLA

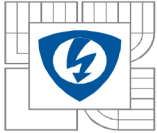
2.1 Vymezení požadavků na čidlo napětí

Navrhované napěťové čidlo se bude řídit určitými požadavky jako je omezení jeho působnosti pouze na první kvadrant, tedy kladné napětí i proud v měřeném obvodu. Měřicí obvod napěťového čidla je napájen z měřeného obvodu. Jako oddělovače měřicího obvodu a obvodů zpracovávajících signál je použito optického členu. V obvodech zpracujících signál OZS nebude použit programovatelný procesor.



Obr. 1 Blokové schéma čidla dle vymezených požadavků

Kde U_mměřené napětí
 ssUstabilizované ss napětí
 MOměřicí obvod
 ODDoddělovací (OPTO) člen
 OZSobvody zpracující signál
 U_hnapájecí napětí pro OZS
 U_a, I_avýstupní signál čidla



K důležitým požadavkům určitě patří i přenosová frekvenční charakteristika čidla. Zde se předpokládá, že čidlo je schopné přenést spínané stejnosměrné napětí z měniče o frekvenci jednotek až desítek kHz.

2.2 Možnosti provedení napěťového čidla

Již v semestrálním projektu byla vyloučena možnost provedení čidla způsobem, který v sobě zahrnuje použití Hallovy sondy z důvodu povahy měřené veličiny. Dále se tedy práce zaměří na provedení čidla s izolačním zesilovačem respektive optickým členem. Povaha izolačního zesilovače je dána principiálními řešeními jednotlivých druhů.

2.2.1 Napěťová čidla s izolačním zesilovačem

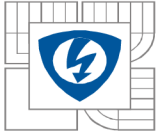
Izolační zesilovače jsou zařízení, které slouží k přenosu naměřeného signálu ze silových obvodů do řídicích obvodů, přičemž obě soustavy jsou galvanicky odděleny. Je možné použít všude tam, kde je potřebné přetransformovat unifikovaný napěťový nebo proudový signál na unifikovaný proudový resp. napěťový signál. V případě měření proudu je potřebné předřadit bočník, v případě měření napětí - dělič napětí. [1]

Takto pojaté napěťové čidlo je většinou složeno z elektronického obvodu, jenž převádí stejnosměrný signál na střídavý. Převedený signál se přenesse přes oddělovač a zpětně se z něj vyrobí stejnosměrný signál. Elektronický obvod se nazývá modulátor, protože přivedením stejnosměrného signálu na jeho vstup se ovlivňuje (moduluje) frekvence střídavého napětí. Pro zpětné převedení střídavého signálu na stejnosměrný signál se užívá demodulátor.

Izolační zesilovače mohou být použity i bez střídavého signálu, tedy stejnosměrnou cestou přes oddělovač. Takový oddělovač je složen z optoelektronického prvku s odlišnými vlastnostmi než klasický OPTRON.

2.2.1.1 Napěťové čidlo s generátorem střídavého signálu

Principem čidla s generátorem střídavého signálu je ovlivňování generátoru měřeným obvodem. Napětí měřeného obvodu ovlivňuje frekvenci generovaného napětí, které se přenesse pomocí oddělovacího členu do obvodů zpracovávajících signál. Měřicí obvod obsahuje napětím řízený generátor střídavého napětí. Oddělovací člen je v tomto případě optoelektronický prvek. Obvody zpracovávající signál jsou tvořeny demodulačním obvodem jako např. usměrňovač a dále pro úpravu signálu pro další použití např. zesilovačem. [1]



2.2.1.2 Napěťové čidlo s oscilátorem

Ve své podstatě pracuje čidlo stejně jako v předchozím případě, ale pro přenos informace o měřeném napětí se užívá střídavého harmonického signálu tedy sinusového průběhu. Modulátor tvoří zdroj frekvence střídavého signálu, který je ovládán měřeným napětím. [1]

Pro frekvenční principy je možno použít způsobu známého jako PLL (Phase Lock Loop)

2.2.1.3 Napěťové čidlo bez střídavého signálu

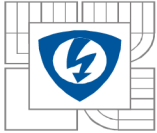
Napěťové čidlo používá pro přenos informace o stejnosměrném signálu v měřeném obvodu stejnosměrný signál. Signál získaný z měřeného obvodu se pouze sníží na požadovanou úroveň pro přenos signálu přes optočlen a dále se upraví pro potřeby řídicích obvodů. Optočlen v tomto případě musí být citlivý na změny napěťové hladiny měřeného obvodu a musí mít lineární převodní charakteristiku.

[1]

Z výše popsaných principů se nabízí jako nejefektivnější varianta vytvoření napěťového čidla bez zdroje (modulátoru) střídavého napětí. Tento způsob ale naráží na několik překážek. První překážkou je úprava signálu v měřicím obvodu, kde je nutnost použití vhodného zesilovacího prvku s nízkou vlastní spotřebou pro buzení LED diody v optočlenu. Zde není možno uvažovat o bipolárním provedení části, která upravuje signál potřebný pro optočlen z důvodu nárůstu spotřeby měřicího obvodu čidla. Spotřeba bipolárních prvků pohybujících se na našem trhu neklesá pod 100mA. Při použití vyššího napětí (nad 1kV) v měničích by zde vznikl odběr a nežádoucí výkon. Tedy ztrátový výkon v napájecí části bipolárních prvků. Proto je nutné se v tomto případě zaměřit na polem řízenou technologii, tedy unipolární provedení. Jako nejvhodnější se pro tento účel nabízí tranzistory MOS(MIS)-FET s trvalým kanálem N nebo použít operačního zesilovače. Při použití OZ se strukturou CMOS je také nutno použít symetrické napájení (kladné i záporné napětí).

Další překážkou je nutnost lineární převodní charakteristiky optočlenu pro minimální zkreslení měřeného signálu. Tady nastává nutnost použití optočlenu s lineární převodní charakteristikou nebo v případě nelineárního optočlenu zapojení zpracovávajících obvodů tak, aby se výsledný signál co nejvíce přiblížil k průběhu měřeného napětí. Dále se také musí brát ohled na spotřebu vysílací LED => snížením napájecího proudu dochází také k zhoršení přenosových vlastností respektive optočlen utlumuje. V pásmu frekvencí se kterými měniče pracují, tedy v řádu x100Hz - x10kHz se ale tento útlum neprojeví.

V případě využití principu frekvenčního přenosu informace o měřeném napětí je třeba se zaměřit na obvody, které jsou vhodné svojí spotřebou a přenosovými vlastnostmi. Pro vytvoření střídavého signálu je nutné navrhnout oscilátor nebo generátor, jehož frekvence výstupního napětí se bude měnit podle měřeného napětí. Jelikož se tyto obvody většinou skládají z více diskretních polovodičových a pasivních prvků, v rámci odběru proudu celého obvodu se tímto zvyšuje spotřeba čidla. Proto je třeba najít jiné řešení a to v podobě integrovaných obvodů. Zde se nabízí použití integrovaného obvodu 4046 - fázového závěsu. Jeho napájení je jednodušší než v případě diskretních prvků.



Oddělovací optočlen nemusí mít lineární převodní charakteristiku, protože není nutné při frekvenčním přenosu přesně sledovat hladinu modulovaného napětí. Je tedy nutné přenést kmitu nebo pulzy signálu. U optočlenu je třeba dodržet požadavek přenosu vyššího kmitočtu bez útlumu. Proto lze použít optočlen s hradlem na výstupní straně, které zaručuje spínání i při vyšších kmitočtech s trvale nastavenou hladinou napětí bez kolísání a tedy bez zesílení na straně zpracovávajících obvodů.

I přes efektivnost prvního řešení bez modulátoru bude čidlo řešeno s použitím frekvenčního přenosu informace a to pro svoji jednodušší stavbu, minimální použití diskretních a pasivních prvků vzhledem k řešení bez modulace.

2.3 Vhodné obvodové prvky

Jak bylo již řečeno, návrh napěťového čidla se bude zabývat frekvenčním přenosem. Tedy frekvenční přenos bude realizován napěťově řízeným oscilátorem resp. generátorem jako modulačním prvkem. Pro oddělení měřicího obvodu a obvodů zpracovávajících signál bude použit optočlen s výstupním hradlem. Pro získání výsledného měřeného signálu bude použito způsobu známého jako PLL(phase locked loop – fázově zavěšená smyčka).

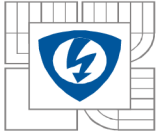
Obvod známý jako PLL je na trhu realizován několika integrovanými obvody jako jsou např. 4046, 74HC4046, 74HCT4046, LM 565 nebo již nedostupný NE565. Pro použití ve větším frekvenčním rozsahu a zachování nízkého napájecího napětí je třeba použít řady HC(High speed - vyšší rychlost-frekvence). Jelikož v sobě zahrnuje napětím řízený oscilátor VCO, může být použit pro tuto funkci do měřicího obvodu. Stejně tak bude použit do obvodů zpracovávajících signál jako PLL demodulátor.

2.4 Fázový závěs - funkce

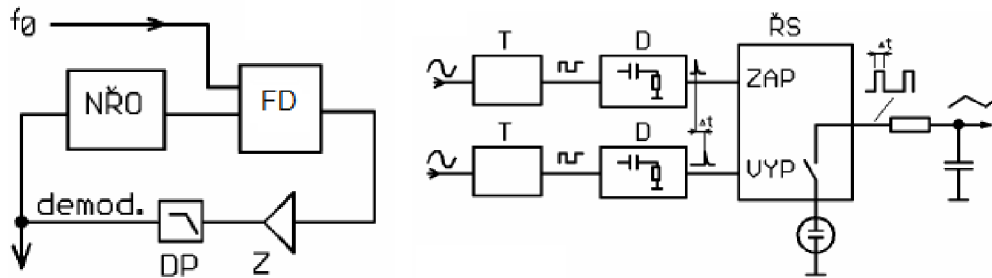
Obvod se obvykle skládá ze tří hlavních blokových částí - napětím řízeného oscilátoru VCO, fázového detektoru FD nebo komparátoru. Pro správnou funkci je vždy připojen obvod, který představuje dolní propust DP – není součástí IO. Součástí dolní propusti může také být operační zesilovač.

2.4.1 Základní princip smyčky PLL (Phase Lock Loop)

Napětím řízený oscilátor VCO (Voltage Controlled Oscillator) vytváří signál, který fázový detektor porovnává se vstupním signálem. Výstup FD je zesilován zesilovačem odchylky Z, filtrován dolní propustí DP a takto získaným napětím je řízen kmitočet VCO. Touto zpětnou vazbou se zajišťuje doladování VCO na kmitočet vstupního signálu. Napětí na výstupu dolní propusti je úměrné kmitočtu vstupního signálu. Tak můžeme demodulovat kmitočtově modulovaný signál (viz Obr. 2a).



Fázový detektor tvaruje vstupní sinusové signály tvarovačem T na obdélníky, které potom derivační obvod D derivuje na úzké impulsy. Ty určují okamžiky průchodu signálu nulou. Dále následuje řízený spínač ŘS, který k integračnímu článku připojuje a odpojuje zdroj napětí. Čím je rozdíl fází obou signálů větší, tím déle je integrační článek připojen ke zdroji napětí. Rozdíl fází obou signálů tak převedeme na šířku impulsů. Tu potom převedeme integrací (průměrováním) na napětí (viz Obr.2b).



Obr. 2 Princip fázového závěsu – a) PLL smyčka b) fázový detektor

[2]

3 NÁVRH VHODNÉHO OBVODOVÉHO ŘEŠENÍ ČIDLA

3.1 Určení parametrů a návrh PLL

Pro návrh smyčky je třeba určit několik parametrů integrovaného obvodu a to jak měřením, tak z údajů (datasheet) od výrobce. Návrhem smyčky jsou určeny parametry samostatných prvků dolní propusti R_3 , R_4 , C . Velmi důležitý údaj pro následné navržení smyčky je vlastní spotřeba čidla tedy měřicího obvodu. Jedná se o spotřebu napětíově řízeného oscilátoru tzn. růst spotřeby se změnou měřeného napětí a tedy i výstupní frekvence. Spotřeba se pohybuje cca. 4 - 6 mA při frekvenci $f_0 = 2,5\text{MHz}$. Snížením frekvence na cca. $f_0 = 0,5\text{MHz}$ se odběr pohybuje do cca. 4 mA, ale při konst. napětí přiváděném na vstup VCO. Pro obvody s napětím od 1kV je proudová spotřeba čidla poměrně velká. Frekvence f_0 je obvykle nazývána jako středová, protože pro její dosažení je třeba nastavit měřené napětí na $\frac{1}{2}$ napájecího napětí.

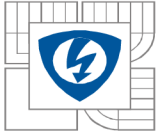
Snížením odběru je tedy docílena nižší spotřeba, ale logicky dojde ke zhoršení přenosových vlastností snížením středové frekvence a tím i zmenšení přenosového pásma.

Nastavení středové frekvence je provedeno pomocí dvou pasivních prvků a to odporu R_1 a kondenzátoru C_1 , které určují časovou konstantu oscilátoru. Pro středovou frekvenci $f_0 = 0,5\text{ MHz}$ a napájecí napětí $U_{CC} = 5\text{V}$ platí: $R_1 = 150\text{k}\Omega$ (vybrán a změřen $178,9\text{k}\Omega$), $C_1 = 56\text{nF}$

Časová konstanta oscilátoru

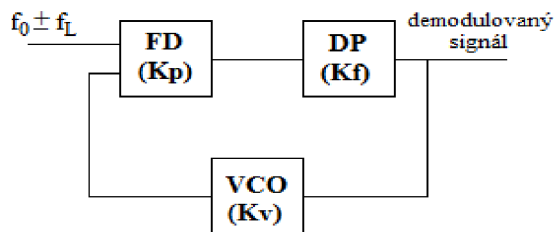
$$\tau = R_1 \cdot C_1 \quad (1)$$

$$\tau = 178,9 \cdot 10^3 \cdot 56 \cdot 10^{-12} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$



Určení časové konstanty je provedeno z grafu výrobce PHILIPS integrovaného obvodu HCT4046 PLL $f_0 = f(C1)$ při parametrech R_1 a U_{CC} (viz.přílohy na CD - datasheet 4046(PHILIPS) str.28, 30). Z časové konstanty je dále určeno frekvenční pásmo $2f_L = f(\tau)$, které je definováno výrobcem jako pásmo ve kterém je smyčka fázového závěsu synchronizována s modulovaným signálem. Pro frekvenci $2f_L$ platí: $2f_L = 700\text{kHz}$

Výrobce také uvádí frekvenční pásmo $2f_C$ definované jako pásmo smyčky, která je zavěšena či zachycena.



Obr. 3 Smyčka fázového závěsu – z hlediska přenosu

Ve výpočtu smyčky fázového závěsu je počítáno s přenosy jednotlivých částí. Některé jsou určeny v údajích od výrobce (HCT4046 (PHILIPS)) jako K_p – přenos fázového detektoru, K_v – přenos napětím řízeného oscilátoru. Přenos dolní propusti je následně odvozen.

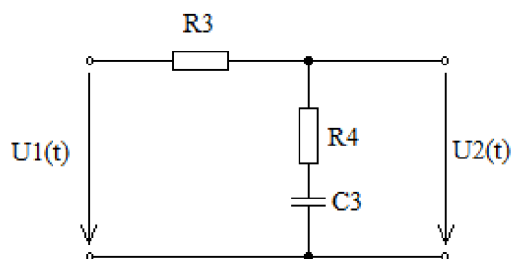
Přenos určený výrobcem:

FD – fázový detektor

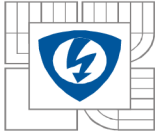
$$K_p = \frac{U_{CC}}{4\pi} \quad (2)$$

VCO – napětím řízený oscilátor

$$K_v = \frac{2f_L \cdot 2\pi}{0,9 - (U_{CC} - 0,9)} \quad (3)$$



Obr. 4 DP – dolní propust' – odvození operátorového přenosu



Pro dolní propust' na Obr. 4 platí:

$$K_f = \frac{U_2(t)}{U_1(t)} = \frac{R_4 + \frac{1}{j\omega C_3}}{R_3 + R_4 + \frac{1}{j\omega C_3}} = \frac{j\omega C_3 R_4 + 1}{j\omega(C_3 R_3 + C_3 R_4) + 1}$$

Pro operátorový přenos DP platí:

$$j\omega = p, \quad C_3 R_3 = \tau_1, \quad C_3 R_4 = \tau_2, \quad \tau_1 + \tau_2 = \tau_3$$

$$K_f = \frac{p\tau_2 + 1}{p(\tau_1 + \tau_2) + 1} = \frac{p\tau_2 + 1}{p\tau_3 + 1} \quad (6)$$

Kde frekvenční charakteristika je

$$F_f(j\omega) = \frac{j\omega\tau_2 + 1}{j\omega(\tau_1 + \tau_2) + 1} = \frac{j\omega\tau_2 + 1}{j\omega\tau_3 + 1} \quad (7)$$

Pro přenos udávaný v decibellech:

$$\left|F_f(j\omega)\right|_{dB} = 20 \cdot \left[\log\left(\sqrt{(\omega\tau_2)^2 + 1}\right) - \log\left(\sqrt{(\omega\tau_3)^2 + 1}\right) \right] \quad (8)$$

A pro fázovou charakteristiku

$$\varphi(j\omega) = \arctg\left(\frac{\omega\tau_2}{1}\right) - \arctg\left(\frac{\omega\tau_3}{1}\right) \quad (9)$$

Přenos otevřené smyčky je:

$$H(p) \times G(p) = K_p \times K_F \times \frac{K_V}{p}$$

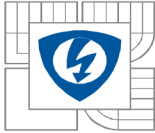
Charakteristická rovnice:

$$1 + H(p) \times G(p) = 0$$

$$1 + K_p \times K_F \times \frac{K_V}{p} = 0 \quad (10)$$

$$1 + K_p \cdot \frac{p\tau_2 + 1}{p(\tau_1 + \tau_2) + 1} \cdot \frac{K_V}{p} = 1 + K_p \cdot K_V \cdot \frac{p\tau_2 + 1}{p^2(\tau_1 + \tau_2) + p} = 0$$

$$p^2(\tau_1 + \tau_2) + p + K_p \cdot K_V \cdot p\tau_2 + K_p \cdot K_V = 0$$



$$p^2 + \frac{1 + K_p \cdot K_v \cdot \tau_2}{(\tau_1 + \tau_2)} p + \frac{K_p \cdot K_v}{(\tau_1 + \tau_2)} = 0 \quad (11)$$

Z charakteristické rovnice vyplývá, že přenos otevřené smyčky odpovídá kmitavému členu a tedy platí:

$$\tau^2 p^2 + 2\xi\tau p + 1 = 0 \quad (12)$$

Přirozená úhlová frekvence smyčky ω_n je definována:

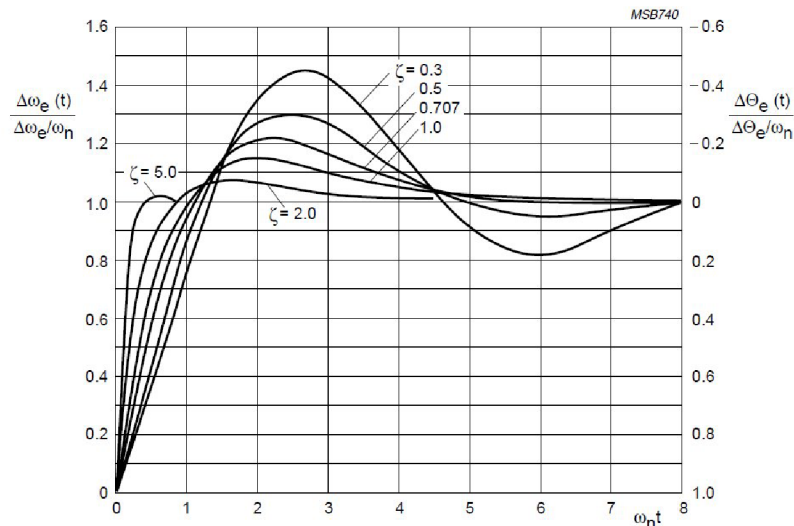
$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p \cdot K_v}{\tau_1 + \tau_2}} \quad (13)$$

Hodnota tlumení ξ vychází z druhého členu rovnice (12) a je definována:

$$\xi = \frac{1}{2\omega_n} \cdot \frac{1 + K_p \cdot K_v \cdot \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \quad (14)$$

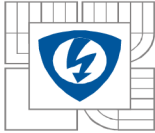
Překmitem a časem ustálení smyčky fázového závěsu vyjádřeným v procentech je možné určit úhlovou frekvenci ω_n . Pro návrh smyčky bude tlumení splňovat hodnotu $\xi = 0,707$ určenou výrobcem v grafu na Obr. 5.

Z grafu přechodového děje je patrné, že při uvedeném tlumení je překmit do 25% a ustálení pod 5% při $\omega_n t = 5$. Požadovaný čas ustálení určuje rychlost změny měřeného signálu, kterou je schopno čidlo přenést. Je jím určena tzv. přeladitelnost oscilátoru ve smyčce.



Obr. 5 Přechodová charakteristika s parametrem ξ daná výrobcem

Výrobcem určené hodnoty ustálení jsou navrženy pro čas $t = 1\text{ms}$, což znamená, že smyčka je schopna reagovat na změnu o frekvenci do 1kHz. Pro docílení zadané hodnoty ξ je třeba určit čas t , tedy vypočítat úhlovou frekvenci smyčky při daném $\omega_n t$. Pro potřeby čidla je navržený čas nižší



o jeden řád, tedy jde o čas v řádu μs . Smyčka bude schopna reagovat na změny o frekvenci v řádu jednotek kHz, maximálně však do 5 – 10kHz.

Pro úhlovou frekvenci smyčky při návrhu platí:

$$\omega_n = \frac{\omega_n t}{t} \quad (15)$$

Z definičního vztahu úhlové frekvence smyčky lze vyjádřit součet obou časových konstant τ_1 a τ_2 :

$$(\tau_1 + \tau_2) = \frac{K_p \cdot K_V}{\omega_n^2} \quad (16)$$

Ze vztahu pro hodnotu tlumení (14) je nutné vyjádřit odpor R_4 a dále odpor R_3 :

$$\xi = \frac{1}{2\omega_n} \cdot \frac{1 + K_p \cdot K_V \cdot \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$$
$$\xi = \frac{1}{2\omega_n \cdot (\tau_1 + \tau_2)} + \frac{K_p \cdot K_V \cdot \tau_2}{2\omega_n \cdot (\tau_1 + \tau_2)}$$
$$\frac{(\tau_1 + \tau_2) \cdot 2\omega_n \cdot \xi - 1}{2\omega_n \cdot (\tau_1 + \tau_2)} = \frac{K_p \cdot K_V \cdot \tau_2}{2\omega_n \cdot (\tau_1 + \tau_2)}$$

$$\tau_2 = \frac{(\tau_1 + \tau_2) \cdot 2\omega_n \cdot \xi - 1}{K_p \cdot K_V}$$

Když za časovou konstantu τ_2 dosadíme a upravíme, dostaneme odpor R_4

$$R_4 = \frac{(\tau_1 + \tau_2) \cdot 2\omega_n \cdot \xi - 1}{K_p \cdot K_V \cdot C_3} \quad (17)$$

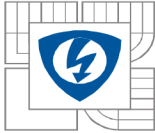
Odpor R_3 dostaneme ze vztahu pro součet časových konstant τ_1 a τ_2 kde platí:

$$C_3 R_3 = \tau_1, \quad C_3 R_4 = \tau_2$$

$$\tau_1 + \tau_2 = \tau_3$$

$$C_3 R_3 + C_3 R_4 = \tau_3$$

$$R_3 = \frac{\tau_3}{C_3} - R_4 \quad (18)$$



Vlastní výpočet s určenými parametry tlumení $\xi = 0,707$, času $t = 66,39 \mu s$ a $\omega_n t = 5$

$$\omega_n = \frac{\omega_n t}{t} = \frac{5}{66,39 \cdot 10^{-6}} = 75312,55 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

Číselné vyjádření přenosů jednotlivých částí smyčky s napájecím napětím $U_{CC} = 5V$ a frekvenčním pásmem synchronizace smyčky $2f_L = 7 \cdot 10^5 \text{ kHz}$:

$$K_P = \frac{U_{CC}}{4\pi} = \frac{5}{4\pi} = 0,39789V \cdot \text{rad}^{-1}$$

$$K_V = \frac{2f_L \cdot 2\pi}{0,9 - (U_{CC} - 0,9)} = \frac{7 \cdot 10^5 \cdot 2\pi}{(5 - 0,9) - 0,9} = 1,3744 \cdot 10^6 V \cdot \text{rad} \cdot s^{-1}$$

Vyjádření celkové časové konstanty smyčky ze vztahu (16), kde platí :

$$\tau_1 + \tau_2 = \tau_3$$

$$\tau_3 = (\tau_1 + \tau_2) = \frac{K_P \cdot K_V}{\omega_n^2} = \frac{0,39789 \cdot 1,3744 \cdot 10^6}{(75312,55)^2} = 9,6417 \cdot 10^{-5} s = 96,4 \mu s$$

Vyjádření odporů R_4 a R_3 , kde $C_3 = 33 \text{ nF}$

$$R_4 = \frac{\tau_3 \cdot 2\omega_n \cdot \xi - 1}{K_P \cdot K_V \cdot C_3} = \frac{(9,6417 \cdot 10^{-5}) \cdot 2 \cdot 75312,55 \cdot 0,707 - 1}{0,39789 \cdot 1,3744 \cdot 10^{-5} \cdot 33 \cdot 10^{-9}} = 513 \Omega \approx 510 \Omega$$

$$\tau_2 = C_3 R_4 = 33 \cdot 10^{-9} \cdot 513 = 1,693 \cdot 10^{-5} s = 16,93 \mu s$$

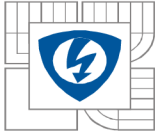
$$R_3 = \frac{\tau_3}{C_3} - R_4 = \frac{9,6417 \cdot 10^{-5}}{33 \cdot 10^{-9}} - 513 = 2408,6 \Omega \approx 2400 \Omega$$

$$\tau_1 = C_3 R_3 = 33 \cdot 10^{-9} \cdot 2408,6 = 6,254 \cdot 10^{-5} s = 79,5 \cdot 10 \mu s$$

Součtem obou časových konstant je ověřena správnost návrhu

$$\tau_1 + \tau_2 = \tau_3$$

$$16,93 \cdot 10^{-6} + 79,5 \cdot 10^{-6} = 96,4 \cdot 10^{-6} s$$



Z těchto parametrů je možno navrhnout dolní propust' otevřené smyčky fázového závěsu pomocí frekvenční a fázové charakteristiky, kde vycházíme z rovnic (7), (8), (9) popisujících dolní propust':

$$K_f = \frac{p\tau_2 + 1}{p(\tau_1 + \tau_2) + 1} = \frac{p\tau_2 + 1}{p\tau_3 + 1}$$

$$|F_f(j\omega)|_{dB} = 20 \cdot \left[\log\left(\sqrt{(\omega\tau_2)^2 + 1}\right) - \log\left(\sqrt{(\omega\tau_3)^2 + 1}\right) \right]$$

$$\varphi(j\omega) = \arctg\left(\frac{\omega\tau_2}{1}\right) - \arctg\left(\frac{\omega\tau_3}{1}\right)$$

Pro samotný výpočet je použito prostředí Matlabu pomocí příkazů:

$$\tau_1 = t1 = 79,5 \cdot 10e - 6$$

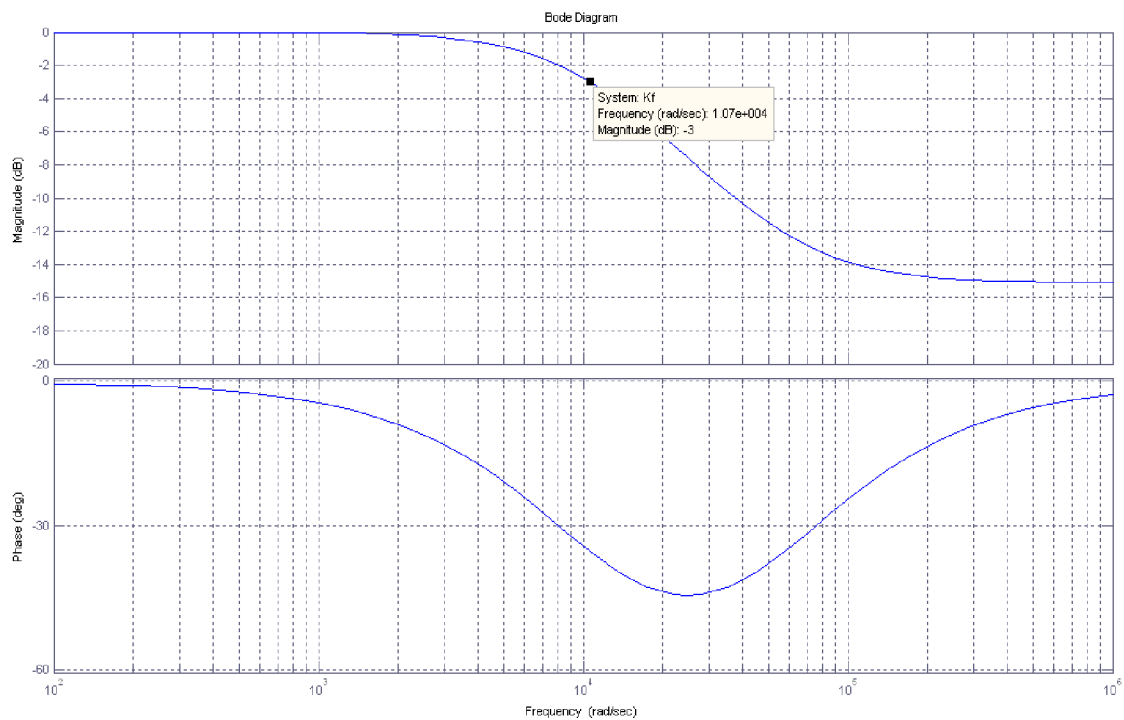
$$\tau_2 = t2 = 16,93e - 6$$

$$\tau_3 = t3 = t1 + t2$$

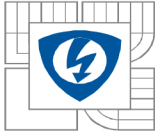
$$Kf = tf([t2,1], [t3,1])$$

`bode(Kf)`

`grid`

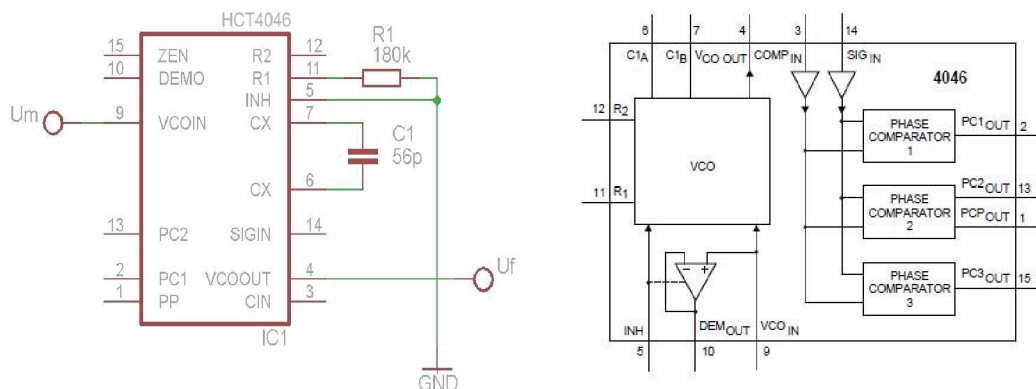


Obr. 6 Frekvenční a fázová charakteristika dolní propusti



3.2 Návrh obvodového zapojení měřicího obvodu

Protože napěťové čidlo nemá určení do konkrétní aplikace (měniče), nebude dále uvažován návrh napájení z měřeného obvodu pomocí děliče nebo jiným způsobem. Tento je uvažován pouze v rovině odběru měřicího obvodu. Zapojení měřicího obvodu vychází z velké části z výrobcem udaného zapojení pro integrovaný obvod s napěťově řízeným oscilátorem VCO (voltage control oscillator) kde jak již bylo uvedeno jsou navrženy hodnoty prvků R_1 , C_1 určující kmitočet f_0 oscilátoru při napájecím napětí U_{CC} .

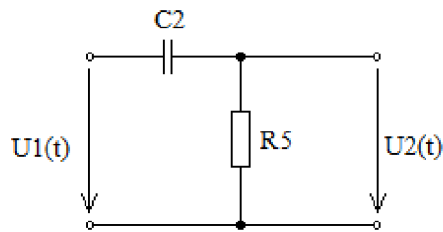
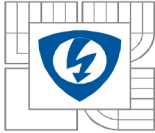


Obr. 7 Zapojení napěťově řízeného oscilátoru a blokové schéma HCT4046

Napěťově řízený oscilátor má podle Obr. 7 přivedeno vstupní měřené napětí U_m na pin č.9 IO, tímto je řízen oscilátor. Výstupní napětí o dané frekvenci je vyvedeno z pinu č.4 na optočlen. Napájecí napětí je přivedeno na piny 16(+) a 8(-), které jsou uvedeny na Obr. 13. Napájecí napětí integrovaného obvodu je $U_{CC} = 5V$.

3.3 Návrh obvodového zapojení oddělovacího obvodu

Vysílací strana optočlenu složená z LED diody může mít odběr proudu několik jednotek až desítek mA, které odebírá právě z oscilátoru VCO. Zde je nutná snaha i v případě aplikační neurčitosti čidla snížit odběr LED na minimum, potřebné pro svoji funkci. Proto se mezi výstup VCO a LED optočlenu přidá derivační člen s diodou jako zátěží. Derivační člen sníží střední hodnotu napětí U_m a tím proudový odběr. Volba parametrů prvků derivačního členu vychází z nejvyšší přenášené frekvence mezi VCO a PLL. Perioda nejvyšší přenášené frekvence musí být větší než je časová konstanta derivačního článku tzn. aby byl článek schopen přenést tuto frekvenci, ale zároveň musí být schopen vyvolat pomocí požadovaného minimálního proudu světelný přenos v optickém členu.



Obr. 8 Derivační člen

Přenos a přechodová charakteristika derivačního článku je odvozena:

$$K_D = \frac{U_2(t)}{U_1(t)} = \frac{R_5}{\frac{1}{j\omega C_2} + R_5} = \frac{R_5}{\frac{j\omega R_5 C_2 + 1}{j\omega C_2}} = \frac{j\omega R_5 C_2}{j\omega R_5 C_2 + 1}$$

$$j\omega = p, \quad C_2 R_5 = \tau_D$$

$$K_D = \frac{p\tau_D}{p\tau_D + 1}$$

Přechodovou charakteristiku lze vyjádřit pomocí inverzní Laplaceovy transformace.

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{p} \cdot K_D\right\} = L^{-1}\left\{\frac{1}{p} \cdot \frac{p\tau_D}{p\tau_D + 1}\right\} = L^{-1}\left\{\frac{\tau_D}{p + \frac{1}{\tau_D}}\right\} = e^{-\frac{t}{\tau_D}}$$

Perioda nejvyššího přenášeného kmitočtu při $f_0=500\text{kHz}$, $2f_L = 700\text{kHz}$.

Předpoklad nejvyššího kmitočtu:

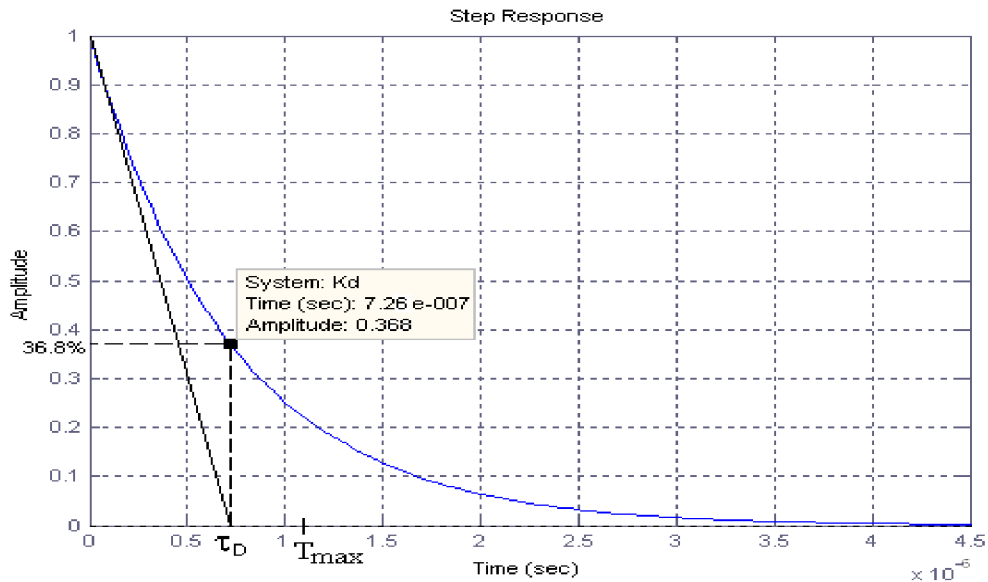
$$f_{\max} = f_0 + f_L = 500 \cdot 10^3 + 350 \cdot 10^3 = 850\text{kHz}$$

$$T_{\max} = \frac{1}{f_{\max}} = \frac{1}{850 \cdot 10^3} = 1,176 \cdot 10^{-6} = 1,18\mu\text{s}$$

Časová konstanta při výběru prvků $R_5 = 3,3\text{k}\Omega$, $C_2 = 220\text{pF}$

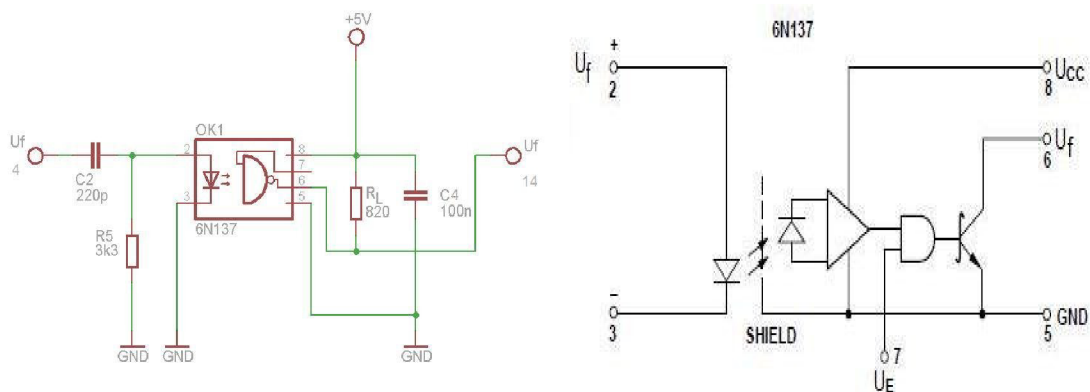
$$\tau_D = R_5 \cdot C_2 = 3,3 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^{-12} = 7,26 \cdot 10^{-7} \text{ s} = 0,726\mu\text{s}$$

Časová konstanta derivačního článku je menší než perioda nejvyšší frekvence VCO signálu a tedy vyhovuje jak z hlediska přenosu, tak z hlediska snižování proudového odběru LED a VCO. Situace časové konstanty τ_D a periody T_{\max} je naznačena na Obr. 9. Při snížení přenášeného kmitočtu (snížení měřeného napětí) se perioda posune vpravo od stávajícího umístění.



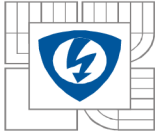
Obr. 9 Přechodová charakteristika CR článku

Pro odrušení napájecího napětí optického členu je použit kondenzátor C_4 , jehož velikost je daná výrobcem.



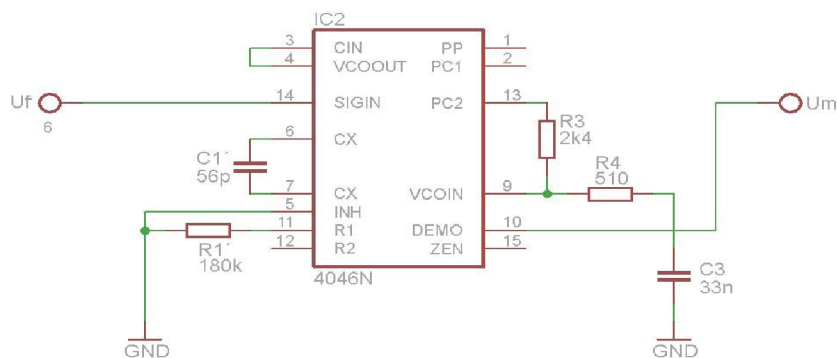
Obr. 10 Zapojení optického členu čidla a blokové zapojení 6N137

Maximální pracovní izolační schopnost oddělovače se pohybuje do 1414V maximálního napětí(amplitudy) resp. 1kV efektivní hodnoty. Oddělovač může být zatížen krátkodobě i vyššími hodnotami napětí(do 8-10kV), ale časové hodnoty pro elektrickou odolnost vyššího napětí se pohybují v řádech $x1 - x10$ vteřin. Jednotlivé společné potenciály GND na straně vstupu **nesmí** být spojeny s výstupními, jinak by čidlo ztratilo schopnost izolace.



3.4 Návrh obvodového zapojení obvodů zpracovávajících signál

Obvody zpracovávající signál jsou složeny ze smyčky PLL, tedy vhodně zapojeného integrovaného obvodu 4046. Na toto zapojení se nevztahuje nutnost zmenšení proudového odběru na minimum, neboť je zde předpoklad napájení z obvodů řídicích(měnič) bez omezení. Obvodové zapojení smyčky je naznačeno na Obr. 11. Modulované napětí U_f je přivedeno z kolektoru optočlenu (výstup 6) na jeden ze vstupů fázového detektoru. Na další vstup fázového detektoru (pin 3) je vyveden výstup z oscilátoru pro porovnání obou frekvencí. Výstup detektoru 2 (pin 13) tvoří dolní propust' s prvky R_3 , R_4 , C_3 .



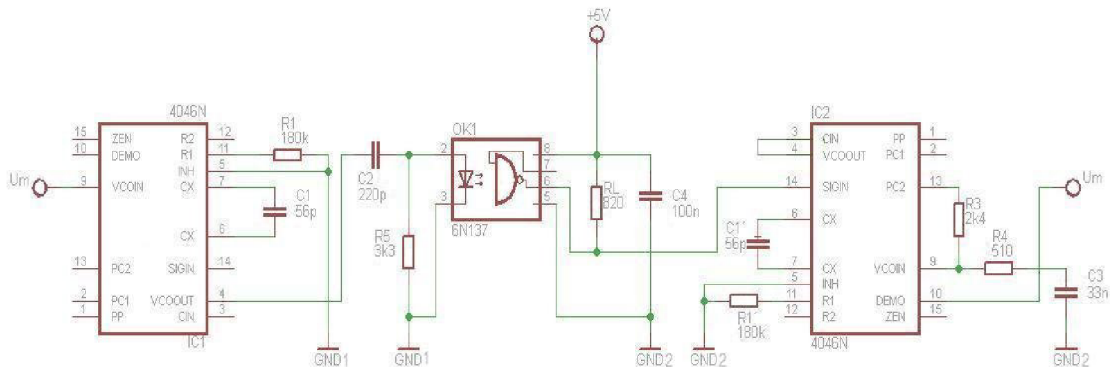
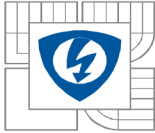
Obr. 11 Obvodové zapojení fázově zavěšené smyčky PLL

Demodulované (měřené) napětí není odebíráno přímo ze vstupu VCO za dolní propustí, ale odebírá se ze zdrojového sledovače (SOURCE FOLLOWER) pin č. 10 proto, aby nebylo ovlivněno výstupním odběrem vstupní napětí oscilátoru. Tento sledovač je znázorněn v blokovém schématu obvodu HCT4046 na Obr. 7. Oscilátor ve smyčce má stejné parametry prvků R_1 , C_1 jako oscilátor v měřicím obvodu z důvodu stejného frekvenčního rozsahu obou oscilátorů. Pro jeho správnou funkci musí být spojen se společným potenciálem pin č.5 INHIBIT. Napájecí napětí není zobrazeno, ale je stejným způsobem zapojeno jako u měřicího obvodu.

3.5 Návrh obvodového zapojení čidla

Z výše řešených návrhů jednotlivých částí plyne celkové zapojení frekvenčně řešeného napěťového čidla. Tento návrh obsahuje větší důraz na řešení signálové cesty.

Zmenšené napětí U_m je přivedeno na vstup napěťově řízeného oscilátoru, kde na jeho výstupu je odebíráno pulzní napětí, jehož hlavním parametrem je frekvence. Toto napětí je přivedeno přes derivační člunek do LED vysílací diody v optickém členu. Pulzní signál se galvanicky oddělí a z hradla na výstupu je vyveden do jednoho ze vstupů fázového detektoru. Dále se demoduluje pomocí fázově zavěšené smyčky. Z výstupu zdrojového sledovače je vyvedeno galvanicky oddělené měřené napětí.

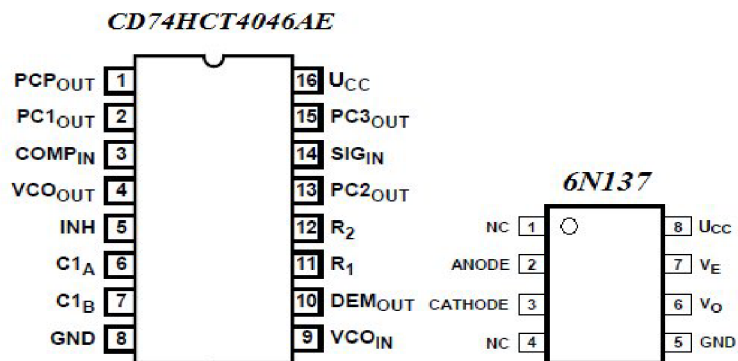


Obr. 12 Zapojení napěťového čidla

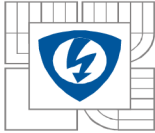
Společný potenciál GND1 měřícího obvodu je připojen ke společnému potenciálu v měřeném obvodu. Podobně je tomu u GND2, kde je tento připojen ke společnému potenciálu svorkovnice řídicích obvodů. Napájecí napětí na výstupní straně je přivedeno ze svorkovnice řídicích obvodů (měniče). V případě použití do konkrétního měniče s daným měřeným napětím by se měřený signál přiváděl na vstup oscilátoru přes odporový dělič. Zde nastává nutnost dělič navrhnout tak, aby při maximálním měřeném napětí na něm bylo napětí rovno napájecímu napětí $U_{CC} = 5V$ oscilátoru. Také je nutné respektovat určité pásmo necitlivosti napěťově řízeného oscilátoru, které se projevuje funkcí oscilátoru až od určité úrovně měřeného napětí.

4 REALIZACE NAPĚŤOVÉHO ČIDLA

Realizace galvanicky odděleného čidla napětí je provedena na desku kontaktního pole pro ověření parametrů čidla a pro zjištění některých nezmiňovaných vlastností pomocí měření. Je provedena podle výše uvedeného celkového obvodového návrhu z Obr. 11. Pro doplnění je na Obr.13 uvedeno rozložení pinů integrovaných obvodů 4046 a 6N137.



Obr. 13 Orientace IO a vyvedení pinů

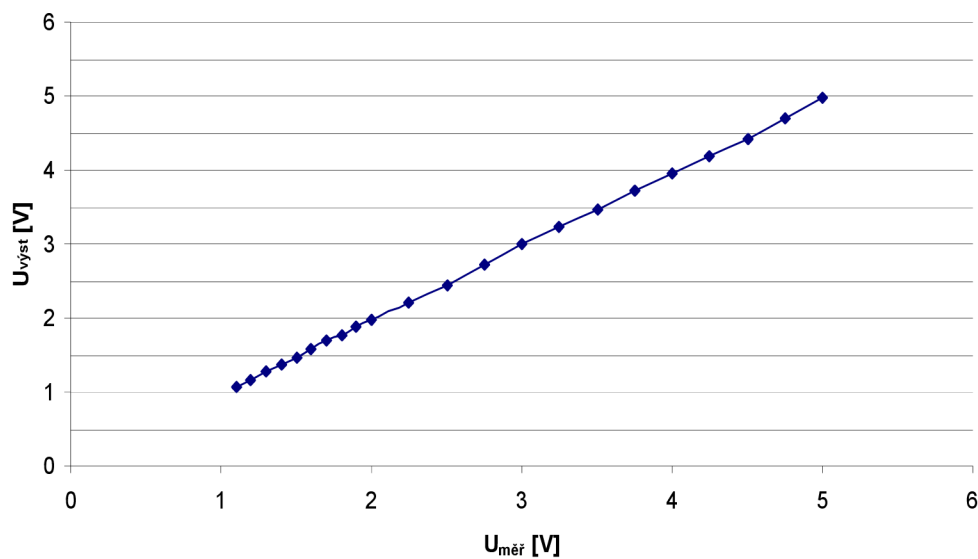


5 OVĚŘENÍ PARAMETRŮ ČIDLA

K ověření základních parametrů čidla je zapotřebí změření několika závislostí čidla a to zejména měření vstupně-výstupní charakteristiky, vstupně-výstupní frekvenční závislosti čidla a závislost napájecího napětí na výstupním napětí. Dále je nutné zjistit funkci přenosu stejnosměrného pulzního nebo sinusového napětí (superponovaného na ss signál) respektive největší přenášenou frekvenci měřeného signálu a přechodovou charakteristiku. Největší možná přenášená frekvence je taková, při které čidlo dokáže zachovat alespoň střední hodnotu měřeného signálu s minimální odchylkou i při zkresleném průběhu výstupního napětí.

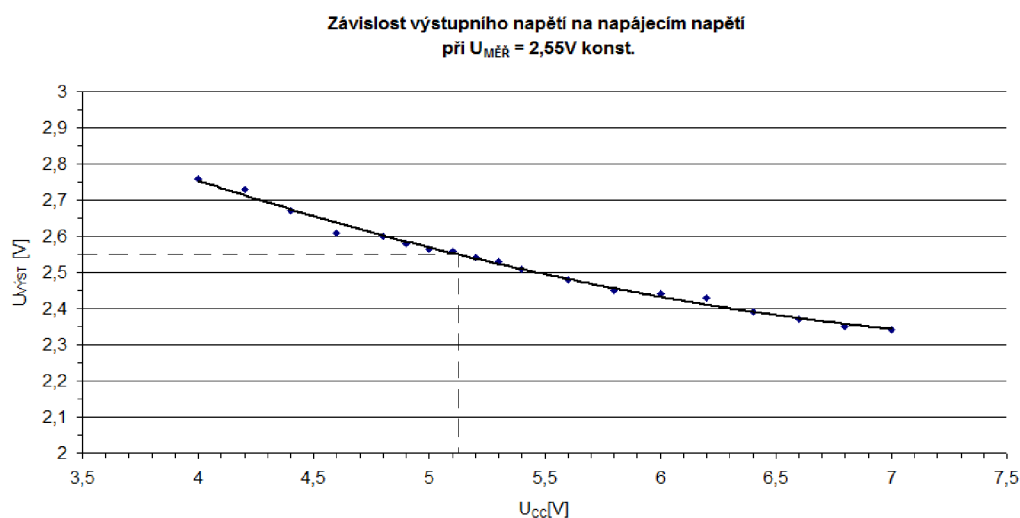
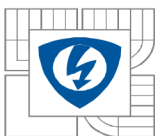
Vstupně-výstupní charakteristika čidla lze definovat jako závislost měřeného napětí v obvodu na výstupním odděleném napětí. Lze jí vyjádřit zkreslení nebo linearitu napětíového čidla.

Vstupně-výstupní závislost galvanicky odděleného čidla napětí



Obr. 14 Vstupně-výstupní charakteristika čidla

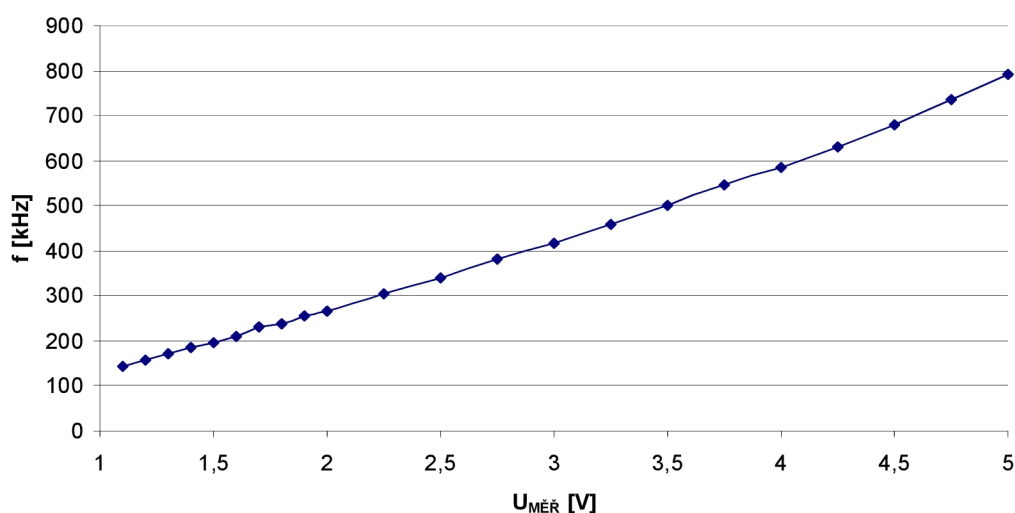
Z charakteristiky je patrné, že čidlo reaguje na měřené napětí až přibližně od 1V. Napětíově řízený oscilátor není schopen pracovat s nižším napětím, tedy v pásmu necitlivosti. Vstupně-výstupní charakteristiky napětíového čidla je téměř lineární, tzn. zkreslení čidla je relativně malé a pohybuje se do 1,5%. Odchylky výstupního napětí od měřeného se pohybují v řádech setin voltů. Trvalou odchylku mezi výstupním a měřeným napětím může způsobit také nedokonalé nastavení napájecího napětí integrovaných obvodů, které je možné vidět z charakteristiky na Obr. 15.



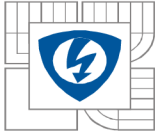
Obr. 15 Závislost výstupního napětí čidla na U_{CC}

Napájecí napětí bylo při ověřování parametrů čidla na měřící straně totožné s napájecím napětím na výstupní straně. Ze závislosti na Obr. 15 je patrné, že výstupní napětí je totožné s konstantním měřícím napětím při napájecím napětí $U_{CC} =$ cca. 5,1V. Pro správnou a přesnou funkci čidla je tak zapotřebí stabilizovaného a ve všech částech stejného napájecího napětí. Pro stabilizování napájecího napětí získaného z měřeného obvodu je nutné použít stabilizátor, který tak může zvyšovat spotřebu čidla proudovým odběrem pro svoji funkci.

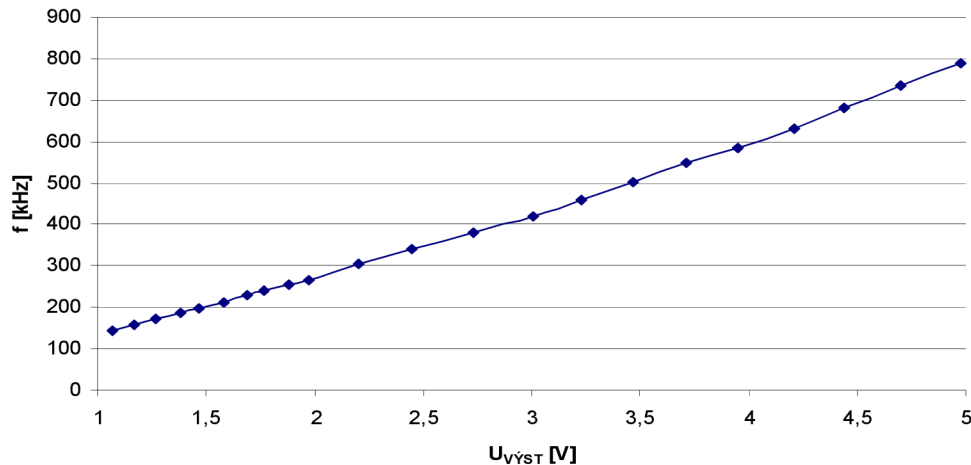
Závislost měřeného napětí na frekvenci



Obr. 16 Závislost měřeného napětí na frekvenci oscilátoru



Závislost výstupního napětí na frekvenci

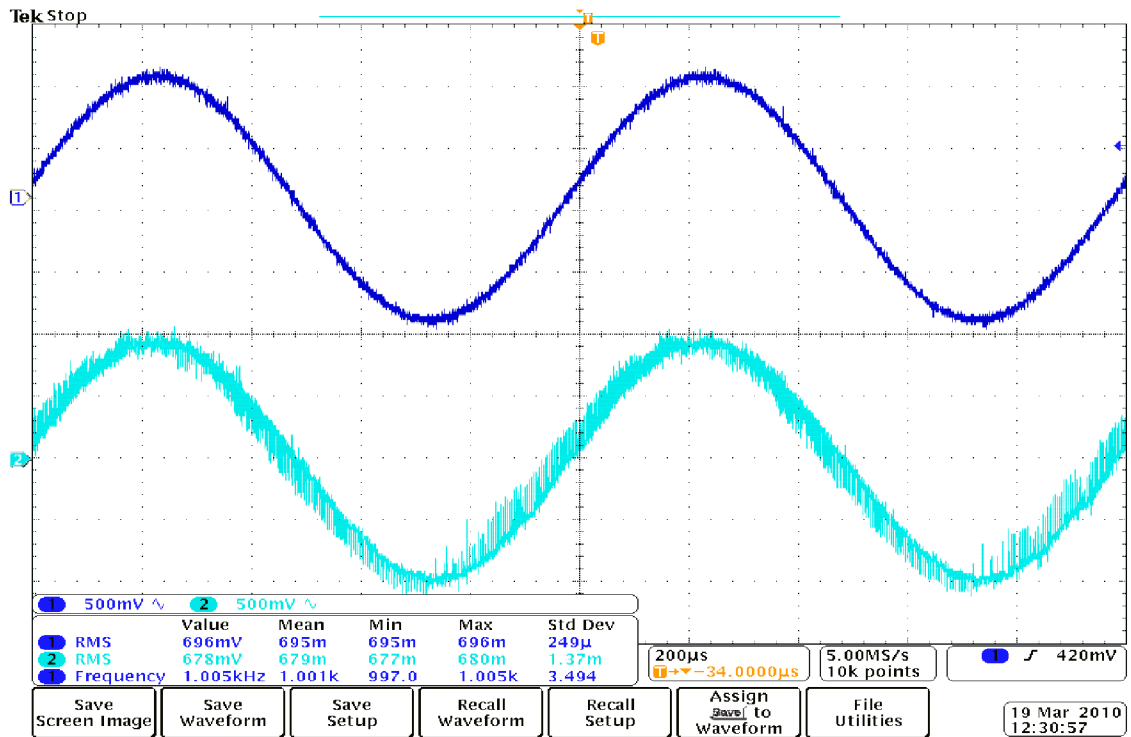
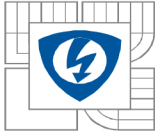


Obr. 17 Závislost výstupního napětí na frekvenci oscilátoru

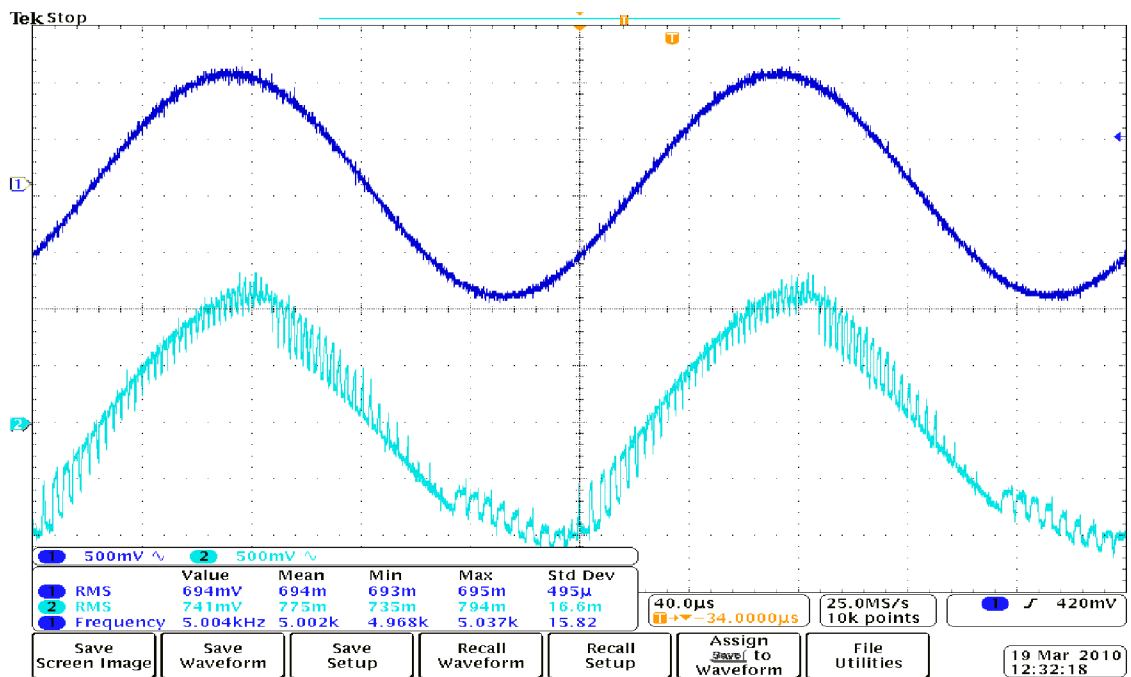
Ze vstupně-výstupních frekvenčních závislostí na Obr. 16 a Obr. 17 je patrné, že mají obě téměř totožný lineární průběh. Linearita VCO udávaná výrobcem (viz. CD Přílohy-výpočty) je na rozsahu 0,5V okolo středu napájecího napětí, kde se pohybuje do 1%. Závislost měřeného napětí na frekvenci se vztahuje k napětově řízenému oscilátoru v měřeném obvodu a závislost výstupního napětí na frekvenci se vztahuje k oscilátoru ve smyčce PLL. Ze závislostí plyne, že středová frekvence je posunuta níže, než navržená frekvence $f_0 = 500\text{kHz}$ => to může být způsobeno výběrem odlišných prvků z řady pro nastavení oscilátoru než udává výrobce. Frekvenční rozsah je tedy menší, než navržený asi o cca. 50kHz.

Podstatnou část u čidla tvoří frekvenční přenos, kterým lze určit jak rychlou změnu měřeného signálu může čidlo přenést aniž by výrazně zkreslilo měřený signál nebo udrželo jeho střední hodnotu. V přenosu čidla má také význam přechodová charakteristika, která určuje jakým způsobem reaguje čidlo na jednotkový skok. Z této reakce vyplývá také zkreslení signálu čidlem, které takto ovlivní frekvenční přenos. Pro změření přenosu a přechodové charakteristiky je zapotřebí dvoukanalového osciloskopu.

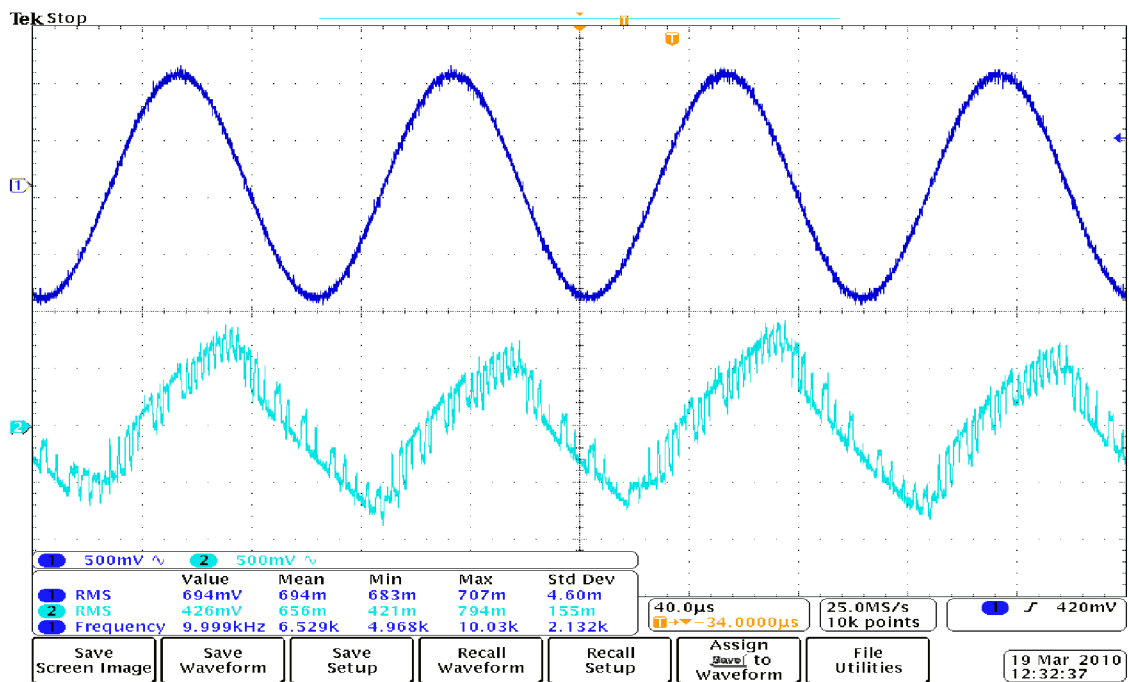
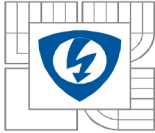
Při přenášení změny s frekvencí $f = 1\text{kHz}$ superponované na stejnosměrný signál se sinusová změna výrazně neliší od původního zdrojového signálu. Měření je naznačeno na Obr. 18. Sinusový signál nemá žádný fázový posuv. Střední kvadratické hodnoty obou signálů se liší asi o cca. 20mV. Při změně s frekvencí $f = 5\text{kHz}$ je výstupní signál viditelně zkreslený, ale svoji efektivní hodnotou se liší asi cca. 55mV. Zde dochází také k malému fázovému posuvu mezi měřeným a výstupním napětím.



Obr. 18 Přenos čidla s $f = 1\text{kHz}$ sinusového průběhu

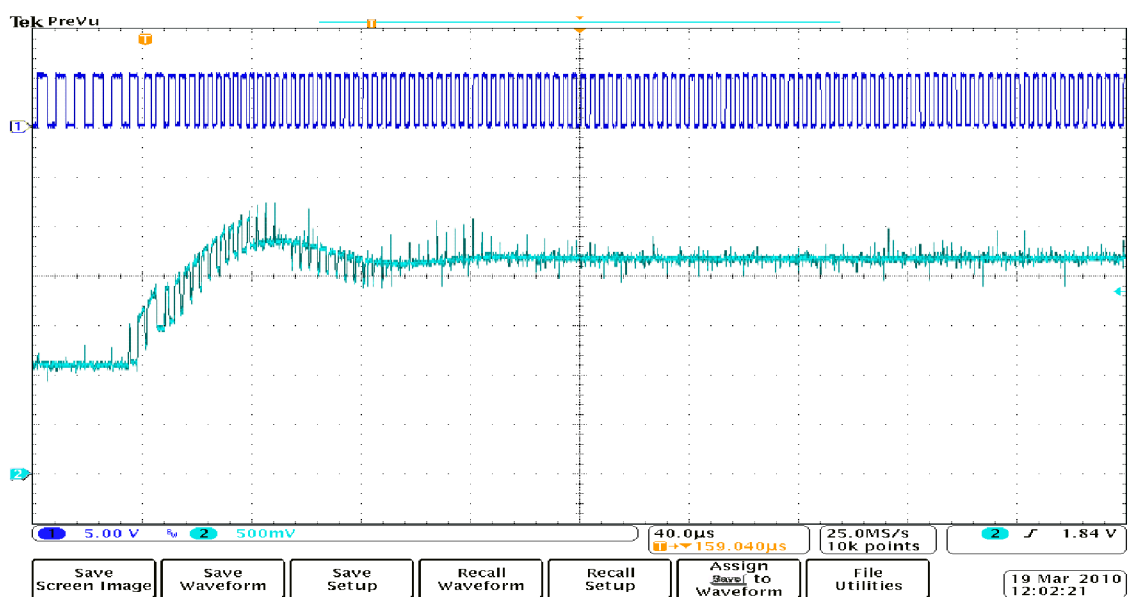


Obr. 19 Přenos čidla s $f = 5\text{kHz}$ sinusového průběhu

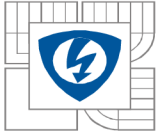


Obr. 20 Přenos čidla s $f = 10\text{kHz}$ sinusového průběhu

Při změně s frekvencí $f = 10\text{kHz}$ se výstupní signál již značně liší od vstupního. Průběh výstupního signálu se blíží pilovému průběhu. Odchylka efektivní hodnoty se pohybuje v desetinách voltů, což překračuje zkreslení větší jak 5%. Mezi oběma signály dochází také ke značnému fázovému posuvu.



Obr. 21 Přejchodová charakteristika

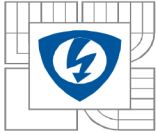


6 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce je zvolení vhodného řešení galvanicky odděleného čidla napětí a jeho následný návrh, realizace a ověření parametrů. Jedno z hlavních kritérií předpokládá napájení měřícího obvodu čidla z měřeného obvodu. Z ohledem na toto kritérium byl vybrán způsob s převodem měřeného napětí na napětí s proměnou frekvencí. Při návrhu obvodového řešení byla snaha co nejvíce snížit spotřebu měřícího obvodu. Měřením frekvenčních rozsahů oscilátoru v závislosti na napájení bylo zjištěno, čím více se zvyšuje frekvence výstupního napětí, tím větší má oscilátor proudový odběr a to i bez zatížení LED a měření pulzního napětí. Proto se návrh snažil snížit frekvenční rozsah měřícího oscilátoru VCO na nejmenší možný. Tato snaha vedla ke zhoršení přenosových vlastností čidla hlavně reakce na rychlost změny měřeného napětí. I přes zhoršení přenosových vlastností je čidlo schopno přenést měřený signál bez výrazného ovlivnění průběhu do frekvence 2-3kHz. S výraznějším ovlivněním průběhu čidlo pracuje při frekvenci měřeného signálu do 5kHz, kde se efektivní hodnota výstupního signálu liší o cca. 0,05V (1%) oproti vstupnímu měřenému. Měření ss signálu do spínací frekvence $f = 5\text{kHz}$ je relativně přesné. Při dalším zvyšování frekvence měřeného signálu už čidlo výrazně zkresluje signál a odchylka výstupního napětí od vstupního přesahuje 5% z celkového rozsahu, což může nepříznivě ovlivňovat chod zařízení ve kterém by čidlo mohlo pracovat.

Proudový odběr se snížením frekvenčního rozsahu povedlo snížit, ale ne do té míry, kdy by se čidlo mohlo využít pro aplikace s vyšším napětím od. 1kV. Při takovém napětí by docházelo k větším ztrátám a to zejména v napájecí části měřícího obvodu. Tímto by čidlo zatěžovalo měřený obvod. Pro další snižování proudového odběru je třeba zlepšovat parametry napěťové řízeného oscilátoru a derivačního členu v měřícím obvodě, případně optického členu. Tento způsob měření stejnosměrného napětí je tedy možno použít pro měření napětí, které nebude svojí velikostí vytvářet v napájecích obvodech velké ztráty.

Realizace obvodu byla provedena na kontaktní pole podle výše uvedeného obvodového návrhu. Kde byly následně měřeními ověřeny parametry a celková funkčnost čidla.



LITERATURA

- [1] RŮŽIČKA, Z. Návrh galvanicky odděleného čidla napětí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010
- [2] webové stránky fy. TZBINFO-digitální učebnice, fázový závěs [online] [cit 2010-10-03] dostupný na WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=4&i=102>>
- [3] webové stránky fy. GM Electronic, datasheet HCT4046(PHILIPS), 6N137 [online] [cit 2010-10-03] dostupný na WWW: <<http://www.gme.cz/cz/index.php>>
- [3] webové katalog. seznam el. součástek, datasheet HCT4046(Texas Instruments), [online] [cit 2010-10-03] dostupný na WWW: <<http://www.datasheetcatalog.com/>>