

VIBRATION SENSOR

Jan Matěj

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xmatej44@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Marek Bohrn

E-mail: bohrn@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper lays out a design of a system for reading the radar antenna gearbox vibrations. Firstly it names different types of sensors and defines their suitability for this usage. It describes their important electric and frequency properties. Secondly it shows a design of the data transmission system from the transducer to a computer and describes measured data changes according to the gearbox faults.

Keywords: Vibration measurement, accelerometers, piezoelectric accelerometer, spectral analysis

1. ÚVOD

V dnešní době je měření elektrických i neelektrických veličin velmi důležitou součástí elektrotechniky. Díky němu je možné zjišťovat stav různých zařízení, předpovídat poruchy a nutnost opravy. Tento článek se zabývá návrhem řešení pro diagnostické měření na převodovce radarové antény. Pro identifikaci vad převodovek je nezbytné měřit změnu frekvence a amplitudy snímaných vibrací v čase. Pro měření se využívají senzory pohybu.

2. SENZORY POHYBU

Senzory pohybu můžeme rozdělit do tří základních kategorií.

- Senzory polohy – kapacitní senzory s proměnnou plochou překrytí, odporové senzory polohy – potenciometry,
- Senzory rychlosti – elektrodynamický senzor vibrací,
- Senzory zrychlení – akcelerometry. [1]

U senzorů polohy je nezbytné použít pevný vztažný bod, vůči kterému je pohyb měřen. Vytvořit takový vztažný bod je však značně obtížné. Pomocí elektrodynamického senzoru rychlosti lze přesně měřit frekvence jen asi do 3 kHz. Nejvhodnější volbou tak představují senzory zrychlení.

Senzorů zrychlení existuje celá řada. Kapacitní, piezorezistivní a piezoelektrické akcelerometry.

Nejčastěji využívaným typem akcelerometrů v průmyslu je piezoelektrický senzor vibrací se stříhovým (smykovým) jevem. Tyto senzory jsou odolné vůči rušení a teplotním vlivům. [2]

2.1. VÝBĚR SENZORU

Výběr senzoru je podřízen několika kritériím v závislosti na jeho použití. Nejpodstatnějšími parametry jsou: Dynamický rozsah (maximální měřitelné zrychlení), frekvenční rozsah, citlivost (hodnota změny napětí při změně zrychlení o $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), hodnota hustoty šumu, teplotní rozsah a teplotní citlivost, možnosti montáže senzoru.

V tomto případě je převodovka navržena pro snížení otáček elektromotoru. Nejvyšší měřené frekvence se tak budou nacházet na ozubeném kole nejbližší motoru. Zde je nezbytné zavést pojem zu-

bová frekvence. Ta se vypočítá vynásobením frekvence otáčení a počtem zubů podle vztahu (1). Tato hodnota pak představuje nejvyšší frekvenci, kterou je nezbytné měřit.

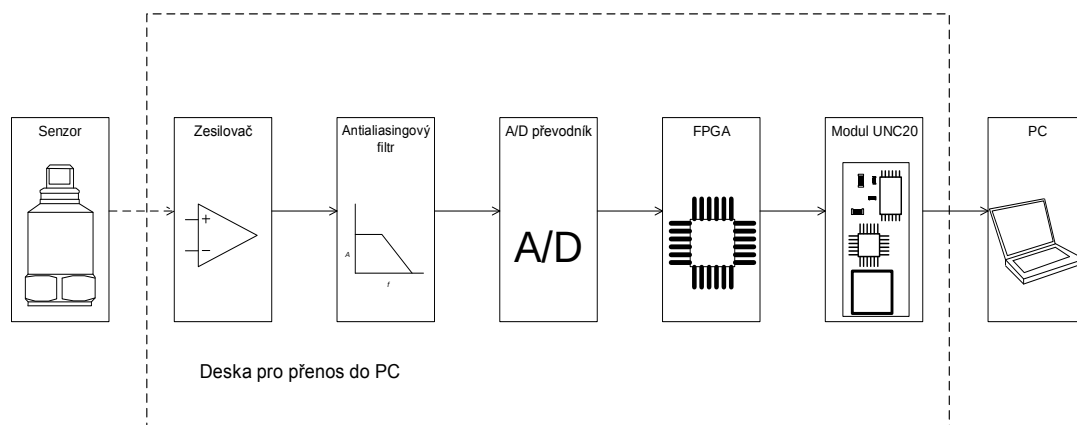
$$f_z = f_{ot} \cdot N_z \quad (1)$$

V dané aplikaci jsou požadované parametry: frekvenční rozsah alespoň 10 kHz, vzhledem k nízkým hodnotám vibrací ($10^{-3} \text{ g} \approx 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) co největší citlivost a nejnížší hodnota šumu a pro co nejmenší útlum vibrací mezi konstrukcí a senzorem možnost montáže pomocí závitu.

Vzhledem k předchozím požadavkům byl vybrán senzor 780B společnosti Wilcoxon Research. Jedná se o piezoelektrický akcelerometr se stříhovým jevem, který patří do rodiny ICP (Integrated Circuit Piezoelectric) s vestavěným zesilovačem. Senzor je třeba napájet proudovým zdrojem. Frekvenční rozsah je 14 kHz, citlivost 100 mV/g , šum $5 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ a je možné jej zašroubovat pomocí závrtného šroubu na potřebné místo.

3. OBVOD PRO PŘENOS DAT DO PC

Blokové schéma navrženého obvodu je na obrázku 1. Výstupní signál ze senzoru je přiveden k zesilovači. Po zesílení je signál ořezán antialiasingovým filtrem a následně navzorkován A/D převodníkem. Tato data jsou předána obvodu FPGA, který je posílá do mikrokontroléru. Ten je součástí modulu, jenž obsahuje rozhraní Ethernet, kterým jsou data posílána do počítače.



Obrázek 1: Blokové schéma desky pro přenos naměřeného signálu do PC

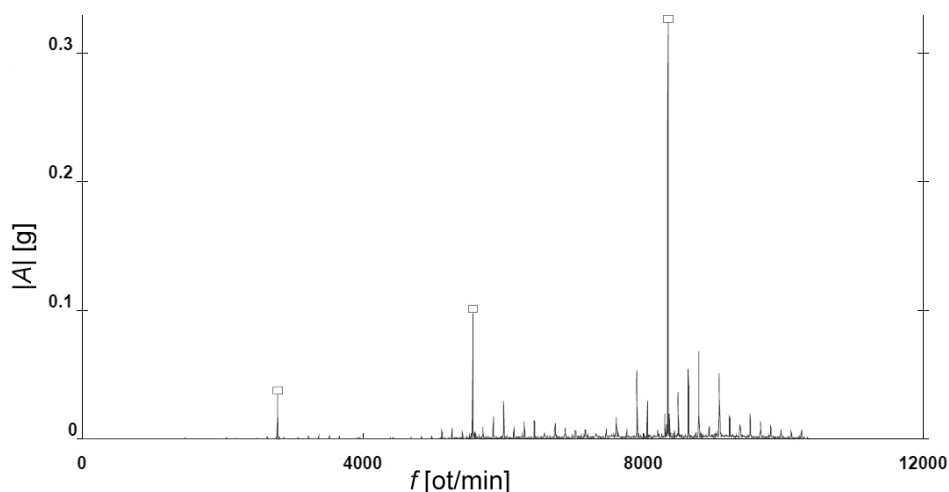
Jako zesilovač je použit diferenční operační zesilovač AD8138, který zajišťuje zesílení vstupního signálu pro využití dynamického rozsahu A/D převodníku. Vzhledem k velmi malé amplitudě vstupního signálu v desítkách μV je nezbytné zesílení alespoň 10^4 . Proto jsou za sebou zařazeny dva operační zesilovače s takovým zesílením, aby na výstupu pro A/D převodník dosahoval signál amplitudy kolem 0,5 V. Antialiasingový filtr je realizován jako aktivní filtr druhého řádu přímo na operačních zesilovačích s mezní frekvencí 10 kHz. Pro A/D převodník byl vybrán AD9235 s 12 bitovým rozlišením, který je nastaven na vzorkovací frekvenci 100 kHz. Jako FPGA byl vybrán obvod z rodiny Spartan-6 společnosti Xilinx. Pro přenos dat do počítače byl vybrán modul UNC20 od společnosti Forth-Systeme GmbH. Tento modul obsahuje mikroprocesor, paměť, rozhraní Ethernet a další periferie. Jelikož modul není schopen přistupovat k navzorkovaným datům z A/D převodníku v reálném čase, pracuje FPGA jako FIFO, kdy předává data mikroprocesoru, když k tomu modul UNC 20 vyše pokyn. Jelikož je deska navržena pro připojení zároveň dvou těchto akcelerometrů (pro sledování vibrací jak v axiálním, tak v radiálním směru vzhledem k hřídelům převodovky), je potřeba značná paměť v FPGA.

4. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Naměřená data ze senzoru je možné analyzovat buď v časové nebo frekvenční oblasti. Častěji se však využívá frekvenční analýzy, kde se posuzují velikosti jednotlivých složek spektra. Otáčková frekvence, tedy frekvence, na které se otáčí hřídel a také zubová frekvence **Chyba! Nena-
lezen zdroj odkazů.** Dochází zde také k amplitudové modulaci, kdy nosný signál je dán zubovou frekvencí, který je modulován otáčkovou frekvencí.

Ve spektru lze odhalovat především tyto jevy:

- Nevyváženost hřídele – způsobí vibrace na otáčkové frekvenci a také na jejím dvojnásobku. Amplituda vibrací přitom roste s druhou mocninou otáček. [2]
- Prohnutý hřídel – způsobí zákmity na frekvenci otáčení a na jejím dvojnásobku.
- Obroušení zubů – Dochází k nárůstu druhé a třetí spektrální složky, k rozšíření bočních pásem.
- Nesouosost hřídelů – projevuje se nárůstem druhé a třetí složky zubové frekvence a rozdílnou výškou pravého a levého bočního pásma. Dobře je to patrné na obrázku 2.



Obrázek 2: Spektrum převodovky trpící nesouosostí hřídelů

5. ZÁVĚR

Článek se věnoval návrhu systému pro snímání vibrací. Základním prvkem je senzor vibrací. Nejlepším kandidátem se ukázal být piezoelektrický akcelerometr zvláště díky jeho velkému frekvenčnímu rozsahu. Dále zde bylo představeno řešení pro přenos údajů ze snímače do počítače. To se skládá z několika důležitých prvků – zesilovače, filtru, A/D převodníku, FPGA a modulu s mikroprocesorem a rozhraním Ethernet. Také byl v článku proveden rozbor možných vad převodovky a jejich projev ve vibracích stroje.

REFERENCE

- [1] RIPKA, Pavel; ĎAĎO, Stanislav; KREIDL, Marcel; NOVÁK, Jiří. Senzory a převodníky. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 80-010-3123-3.
- [2] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [3] GIRDHAR, Paresh; SCHEFFER, Cornelliuss. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. Burlington, MA: Newnes, 2004, 255 s. ISBN 07-506-6275-1.