

Snímanie vibrácií brusných kotúčov kontaktným a bezkontaktným spôsobom

Zlatica Vargová

Bakalářská práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zlatica VARGOVÁ**

Osobní číslo: **T07407**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Snímání vibrací brusných kotoučů kontaktním
a bezkontaktním způsobem**

Zásady pro vypracování:

TEORETICKÁ ČÁST:

- 1)Dle příslušných ČSN EN ISO norem definujte základní pojmy z oblasti vibrací.
- 2)Popište způsoby snímání vibrací (se zaměřením na bezkontaktní způsoby).
- 3)Definujte pojem FFT (rychlá Fourierova transformace) a její využití ve vibrodiagnostice.
- 4)Popište způsoby vyvažování brusných kotoučů (staticky, dynamicky)

PRAKTICKÁ ČÁST:

- 1)Provedte vyvážení zadaného brusného kotouče
- 2)Provedte snímání vibrací laserinterferometrickým bezkontaktním způsobem (RE-NISHAW)
- 3)Měření vyhodnoťte

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 4. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Závěrečná bakalářská práce „ Snímání vibrací brusných kotúčů kontaktním a bezkontaktním způsobem “ se v teoretické části zabývá zahrnutím poznatků vibrační diagnostiky se zaměřením na bezkontaktní způsoby. Tato část je rozdělena do pěti podkapitol: základy diagnostiky, vibrační diagnostika, FFT – Fast Fourier Transformation, bezkontaktní snímání, vyvažování brusných kotúčů.

Praktická část se zabývá vyvažováním brusného kotůče a jeho následného měření vibrací převážně bezkontaktním způsobem. Dále zahrnuje rozbor naměřených vibrací a jejich statistické vyhodnocení.

Klíčové slova:

technická diagnostika, vibrace, měření, FFT, snímání, laser, vyvažování, brusný kotúč

ABSTRACT

The final Bachelor work „ Scanning of abrasive wheel vibration with contact and non-contact form“ is concerned with comprehension of vibrating diagnostics knowledge focusing on non-contact form. This section is divided into five subheads: diagnostics basic, vibration diagnostics, FFT - Fast Fourier Transformation, non-contact scanning, abrasive wheel equilibration.

Practical part is concerned with equilibration abrasive wheel and its following measurements of vibration mostly with non-contact form. Moreover, this part includes also analysis of measured vibration and their statistical evaluation.

Keywords:

technical diagnostics, vibration, measurements, FFT, scanning, laser, evaluation, abrasive wheel

Rada by som týmto poďakovala môjmu vedúcemu bakalárskej práce doc.Dr.Ing. Vladimírovi Patovi za moje vedenie pri vypracovaní, cenné rady, pripomienky pri riešení záverečnej práce a poskytovaní odborných materiálov. Ďalej by som chcela poďakovať Ing. Martinovi Řezníčkovi, za spoluprácu a pomoc pri meraní vibrácií v laboratóriu. A Ing. Jiřímu Šálkovi za odbornú pomoc v laboratóriu pri spúšťaní zariadenia. V neposlednom rade by som poďakovala svojim rodičom hlavne za stráženie syna.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia bakalárskej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú rovnaké.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADY DIAGNOSTIKY	12
1.1 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA	12
1.1.1 Terminológia a základné pojmy	12
1.1.2 Ciele diagnostiky	14
1.1.3 Význam	15
1.1.4 Diagnostika a údržba	15
2 VIBRAČNÁ DIAGNOSTIKA	17
2.1 VZNIK VIBRÁCIÍ A ICH PODSTATA (ZÁKLADNÉ POJMY).....	17
2.1.1 Rozdelenia kmitania	18
2.2 VIBRÁCIE	21
2.2.1 Analýza signálu	21
3 FFT – FAST FOURIER TRANSFORMATION	23
3.1 FREKVENČNÁ ANALÝZA	23
3.2 PARAMETRI FFT	25
4 BEZKONTAKTNÉ SNÍMANIE	26
4.1 MICHELSONOV POKUS	26
4.2 LASEROVÝ INTERFEROMETER.....	27
5 VYVAŽOVANIE BRÚSNÝCH KOTÚČOV	29
5.1 DRUHY VYVAŽOVANIA.....	29
5.1.1 Statiké vyvažovanie	29
5.1.2 Dynamické vyvažovanie	30
5.2 PROCES VYVAŽOVANIA	32
5.3 OROVNÁVANIE BRÚSNÝCH KOTÚČOV.....	32
5.3.1 Orovnávanie tyčkovými diamantovými orovnávačmi	33
5.3.2 Iné druhy orovnávania.....	33
5.3.3 Orovnávanie brúsnych kotúčov diamantovými kladkami.....	34
6 MERANIE VIBRÁCIÍ A ICH ANALÝZA	37
6.1 POUŽITÉ ZARIADENIA	37
6.2 PRVÉ VYVAŽOVANIE BRÚSNEHO KOTÚČA	37
6.2.1 Postup pri meraní	38
6.2.2 Analýza nameraných grafov	39
6.2.2.1 Rýchla Fourierova analýza	41
6.2.3 Výsledky analýzy	43
6.3 DRUHÉ VYVAŽOVANIE BRÚSNEHO KOTÚČA.....	44
6.3.1 Výsledky analýzy	45
7 POROVNANIE	47
7.1 POROVNANIE 1. A 2. VYVAŽOVANIA.....	47
7.1.1 Boxplotové diagramy	47

7.2	POROVNANIE KONTAKTNÉHO A BEZKONTAKTNÉHO MERANIM.....	51
ZÁVER		

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

ZOZNAM OBRÁZKOV

ZOZNAM TABULIEK

ZOZNAM GRAFOV

ZOZNAM PRÍLOH

ÚVOD

Cieľom tejto práce je zlepšenie vyváženia brúsneho kotúča statickým vyvážením a pozorovanie kmitania vibrácií prevažne bezkontaktným spôsobom.

Dnešná doba má veľký vplyv na to, aby aj strojárstvo začalo rešpektovať a zaoberať sa trendmi, medzi ktoré nepochybne patrí vybavenie účinnou diagnostikou.

V práci sa budem venovať prevažne vibračnej diagnostike, ktorá ponúka širokú možnosť využitia, napr. pri výrobe - ako kontrola zariadení (predchádzanie trvalých porúch), alebo forma zisťovania závad a šírky poškodenia materiálu, či technických zariadení. Mojou snahou bude opätovné vyvažovanie brúsneho kotúča a snímanie vibrácií laserovým interferometrom, ktorým chcem získať celkový grafický záznam o vniknutých vibráciách na pozorovanom kotúči, a tým aj výsledky o zlepšení, prípadne zhoršení vibrácií.

Význam dobrého vyváženia sa odzrkadľuje na zníženej opotrebovanosti brúsneho kotúča, zlepšení kvality povrchu a znížení šíriacich sa vibrácií po celej sústave zariadenia na minimum. Hlavnou nevýhodou bezkontaktnéj diagnostiky je jej finančná náročnosť.

Údaje, ktoré som v tejto práci použila som čerpala z odbornej literatúry a z konzultácií s doc.Dr.Ing. Vladimírom Patom.

Od tejto práce očakávam rozšírenie vedomostí o vibračnej diagnostike a získanie cennej príležitosti a znalostí o meraní vibrácií laserovým interferometrom.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADY DIAGNOSTIKY

1.1 Technická diagnostika

Technická diagnostika je všeobecná náuka, ktorá sa zaoberá zisťovaním stavu strojov a zariadení rôznymi spôsobmi využitia dostupných diagnostických prostriedkov – snímačov, prístrojov, PC atď. STN 01 0105 ju definuje ako odbor zaoberajúci sa metódami a prostriedkami zisťovania technického stavu objektu. Podľa tejto normy diagnostický systém je organizovaný systém tvorený :

- diagnostickými prostriedkami
- objektom diagnostiky
- obsluhou diagnostického systému [1]

V súčasnosti technická diagnostika napreduje a patrí k novým trendom zasahujúcim do prevádzky stojných zariadení. Pomáha veľmi ľahko odhaliť skutočný stav stroja a ak využijeme všetky dostupné prostriedky diagnostiky, zistíme že nám ponúka oveľa väčšie možnosti využitia, ako napr. objaviť pôvod spôsobujúci stav skúmaného zariadenia. Medzi výhody týkajúce sa technickej diagnostiky patria pre väčšinu prípadov bezdemontážne a nedeštruktívne postupy, ktoré nám umožňujú prísť k hĺbke technického stavu objektov. Stáva sa častou chybou, že pod pojmom diagnostika si predstavujeme jednoduché kontrolné práce a zariadenia, ktorých výstupy nenesú diagnostickú a prognostickú informáciu o sledovanom predmete.

1.1.1 Terminológia a základné pojmy

Diagnóza – vyhodnotenie schopnosti prevádzky za daných podmienok (okamžitý stav objektu). Diagnóza vedie k riešeniu dvoch základných úloh:

- Detekcia poruchy, tj. identifikácia poruchy objektu, alebo jeho častí. Z hľadiska použiteľnosti objektu rozlišujeme poruchový a bezporuchový stav.
- Lokalizácia poruchy, tj. určenie miesta poruchy objektu. S lokalizáciou súvisí diagnostické rozlíšenie, ktoré uvádza počet detekovaných porúch daným diagnostickým algoritmom.

Prognóza je určenie budúceho vývoja technického stavu objektu. Pritom vychádzame zo štatistických vyhodnotení pravdepodobnosti bezporuchového stavu.

Genéza je analýza príčin porúch, alebo predčasného zhoršenia stavu objektu.

Diagnostické prostriedky sú technické zariadenia (senzory, testery, ...) a pracovné postupy pre analýzu a vyhodnotenie diagnostikovaného objektu. Pracovné postupy sú diagnostické algoritmy začínajúce pri štúdiu objektu - definíciou systému, zoznamom sledovaných porúch, realizácie modelu, voľbou diagnostického algoritmu až po voľbu diagnostických prostriedkov a realizácií diagnostického systému. Diagnostické prostriedky delíme na:

- a) Vonkajšie - oddelenie diagnostického zariadenia od diagnostického objektu. Používa sa pri príliš rozmerných a zložitých diagnostických zariadeniach, alebo pokiaľ diagnostické zariadenie využívame pre viac diagnostických objektov.
- b) Vnútorne - je založené na použití diagnostického zariadenia, ktoré je zabudované do diagnostikovaného objektu. Použitie tejto varianty je žiaduce vtedy, ak chceme diagnostiku prevádzať veľmi často a bez zásahu do chodu diagnostikovaného objektu.

Obe varianty sa môžu podľa potreby kombinovať, pretože vnútorná diagnostika je menej presná v lokalizácii porúch. Vonkajšia diagnostika potom presne určí miesto poruchy.

Diagnostický systém - je komplex zahrňujúci diagnostické prostriedky, ich obsluhu a sledovanie objektu.

- a) ON – LINE systémy – vyhodnocujú technický stav počas prevádzky.
- b) OFF – LINE systémy – zväčša sa pod týmto systémom rozumie diagnostikovanie pri zastavení prevádzky. V priebehu použitia toho systému sa namerajú, sčasti spracujú a uložia údaje do pamäte cez prenosné zariadenia.

Diagnostická veličina – nesie informáciu o časti, či celku, technického stavu objektu.

Diagnostický objekt – je predmetom štúdia, pričom na veľkosti objektu nezáleží.

Technický stav – udáva schopnosť kompletného využitia objektu pri reálnych užívateľských a prevádzkových podmienkach. Objekt je v bezporuchovom, prevádzky schopnom, či poruchovom stave.

Spolehlivost' – je všeobecná vlastnost' objektu spočívající v schopnosti plnit' požadované funkcie pri zachovaní hodnôt stanovených prevádzkových ukazovateľov v daných medziach a v čase podľa stanovených technických podmienok.

Bezporuchovosť – schopnosť objektu plniť nepretržite požadované funkcie počas stanovenej doby, za stanovených podmienok.

Porucha – je jav, ktorého následkom zariadenie stráca schopnosť plniť požadovanú funkciu.

Samotné poruchy sa triedia podľa rôznych hľadísk :

→ podľa príčiny vzniku poruchy

- poruchy vonkajších príčin
- poruchy vnútorných príčin

→ podľa časového priebehu zmien

- poruchy náhle
- poruchy postupné
- poruchy občasné

→ podľa stupňa porušenia schopnosti prevádzky

- poruchy úplné
- poruchy čiastočné

→ podľa pôvodu

- poruchy konštrukčné
- poruchy technologické
- poruchy prevádzkové

→ odstrániteľné a neodstrániteľné poruchy [2]

1.1.2 Ciele diagnostiky

Hlavným cieľom technickej diagnostiky je zabezpečiť plynulý a spoľahlivý chod zariadení počas celej doby prevádzky. Pre jej reálne zvýšenie je treba obmedziť dĺžku opráv na minimum, včasnými zásahmi znižovať následky poruchy a zaistiť efektívnejšie odstupy

medzi jednotlivými opravami. Pre dosiahnutie účinku zvýšenej spoľahlivosti je potrebné mať dostatočné množstvo informácií, ktoré vypovedajú o stave zariadenia v danom momente. Pri skorom zistení skrytých chýb, z ktorých sa vyvíjajú vážnejšie chyby vedúce až k trvalému poškodeniu (napr.: nesúosovosti, nevyváženia, uvoľnenia,...), a určenia ich rozsahu vieme úspešne a v pravý čas chyby odstrániť skôr, než vzniknú vážnejšie poruchy zariadenia. Vzniknuté trvalé poruchy strojov a zariadení málokedy nastávajú náhle a bez varovania. Predzvest'ou poruchy bývajú isté zmeny parametrov, ako sú :

- intenzita mechanického kmitania
- zvýšená teplota
- zvýšenie hladiny hluku
- znížená tolerancia výrobkov
- znížené vlastnosti mazania
- iné príznaky [3]

Hlavnou snahou je zachytiť tieto predzvesti a náležite a podľa potreby na ne reagovať, aby sa docielilo ekonomickému, spoľahlivému a nepretržitému chodu strojov a zariadení na pracovisku, obmedzenie vzniknutých škôd a predĺženie cyklov údržby.

1.1.3 Význam

Zvýšená bezpečnosť a znížené náklady v spojení s modernými výrobami poukazujú na dva faktory súčasnosti, pre ktoré využívanie technickej diagnostiky rýchlo vzrastá. Najnáročnejšia diagnostika sa vyskytuje pri lietadlách, vesmírnej technike, v tepelných, vodných a jadrových elektrárnach, lodných a iných zložitých motoroch s veľkými výkonmi, či inak špecifických zariadeniach v rôznych oblastiach priemyslu. Pri motorových vozidlách, technike pre domácnosť a stavebníctve je používaná pomerne jednoduchá diagnostika.

1.1.4 Diagnostika a údržba

Správna údržba strojov a zariadení má veľkú hodnotu. Plynulosť výroby, kvalita výrobkov, zachovávanie ekologických hľadísk, a z toho vyplývajúca aj hospodárska úspešnosť je konečný stav, ktorý nám pomáha zachovať iba systém údržby, ktorá predchádza škodám a výpadkom strojov. Chybou podnikov je zanedbanie celej údržby zariadení, avšak tam, kde je prítomná údržba sa zabúda na dôležitú časť, ktorá sa týka mazania a analýzy

mazív. V rade prípadov údržbári nemajú dostatočnú kvalifikáciu, potrebné zariadenia, používajú staré, či nevhodné mazivá, nezostavujú žiadny plán údržby. V tribotechnike je najkritickejšia časť nedodržanie čistoty pri práci a znečistenie mazív. Podstatný problém nastáva pri meraní vibrácií, kde diagnostici zabúdajú na to, že nás zaujímajú sily a energie, ktoré únavovo poškodzujú časti strojov. Znamená to napr. že životnosť ložísk sa zníži na 1/8 pri dvakrát väčšej sile. Medzi problémy v údržbe nemôžeme zabudnúť začleniť aj ľudský faktor a s ním spojené chyby napr. namontovanie ložiska s väčším presahom, premazanie či nedolieatie oleja. Dôsledky poruchy sa často mylne nazývajú príčinami, pretože sa nezachádza do hĺbky problému. Východisko z tohoto zle zaužívaného systému je doplnenie chýbajúceho informačného systému, prepojenie údržby a technickej diagnostiky, mazacie plány, vzdelaní pracovníci, udržiavanie čistoty, podrobné analyzovanie porúch a kompletná dokumentácia zhrňujúca typ poškodenia, znečistenie, stav mazania, opotrebenia stroja.

Stratégia údržby strojov:

- Údržba kým nenastane porucha – kritický stav údržby (výhodná pri dosluhujúcich strojoch, ktoré sa ďalej neopravujú a nebudú ďalej využívať)
- Údržba po chybe – žiadna diagnostika, odstránenie poruchy po jej vyskytnutí
- Údržba preventívna – pravidelné odstavenie a znovuoobnovenie stroja (nevýhoda: výmena aj dielov schopných prevádzky)
- Údržba prediktívna – využíva sa diagnostika on –line i off – line, oprava sa vykonáva len na objektoch, ktorým hrozí poškodenie (najnižšie náklady)
- Údržba preaktívna – podobná prediktívnej, avšak na rozdiel od nej je diagnostika neodmysliteľnou časťou technologického zariadenia a riadiaceho systému.

2 VIBRAČNÁ DIAGNOSTIKA

Vibračná diagnostika, nazývaná tiež vibrodiagnostika je jednou z hlavných metód bezdemontážnej nedeštruktívnej diagnostiky rotačných strojných zariadení a jej merania sú uskutočnené bez obmedzenia chodu bežnej prevádzky. Využíva vibrácie, ako zdroj informácií (diagnostický parameter), ktoré generujú zariadenia v chode. Vibrodiagnostika napomáha plánovaniu údržby zariadení podľa skutočného stavu, čím zvyšuje ekonomickosť výroby, pretože sa môže vynechať preventívna údržba, ktorá zahŕňa napr. výmenu dielov, čas potrebný na opravu atď. Ak sú strojné zariadenia pravidelne monitorované, predlžuje sa termín odstávok, ktoré sú navrhované s dostatočným predstihom a poskytujú presné informácie, ktorý uzol bude predmetom opravy.

V minulosti boli skúsení technici schopní rozoznať, či stroj pracuje správne, alebo či na ňom vzniká závada. Dnes sa však na takéto subjektívne metódy nemožno spoliehať, pretože moderné stroje pracujú v oblasti vyšších pracovných kmitočtov, a preto aj známky poruchy a opotrebenia prejavujúce sa v chvení a zvýšení hlučnosti sa objavujú v oblasti vyšších frekvencií, kde pre ich zistenie a meranie sú potrebné vibroakustické prístroje. Za ideálneho predpokladu by strojné zariadenie nespôsobovalo žiadne chvenie, pretože by sa jeho celá energia premieňala na užitočnú prácu. V praxi sú vibrácie vedľajším produktom normálneho prenosu dynamických síl mechanickou sústavou. Bezzávadná konštrukcia má nízku hladinu chvenia. Opotrebenie, únavové lomy, korózia a postupné deformácie súčastok spôsobujú, že dochádza k porušeniu súsovnosti hriadeľov, nevyváženosti rotorov a zväčšeniu vŕti. Tieto okolnosti prispievajú k zvýšenej hladine chvenia, ktorá v prenose mechanickou sústavou vyvoláva rezonanciu a zapríčiňuje zvýšené zaťaženie ložísk. Príčiny a následky sa spoločne zosilujú a následne dochádza k poruche stroja.

2.1 Vznik vibrácií a ich podstata (základné pojmy)

Mechanické kmitanie je jav, pri ktorom hmotné body, alebo tuhé telesá vykonávajú vratný pohyb okolo pokojnej rovnovážnej polohy. Rovnovážna poloha telesa je podmienená nulovou hodnotou pôsobiacich síl a naopak kmitanie telesa je vždy spôsobené budiacou silou, ktorá môže pôsobiť buď externe, alebo interne. Termín kmitanie je ekvivalentný k pojmu vibrácie podľa normy ČSN ISO 2041. [4]

Tuhé teleso sa prezentuje ako celok, ktorý je možné nahradiť jedným hmotným bodom a tým pádom pohyb všetkých častí telesa je v danej chvíli rovnaký.

Vlna je zmena vlastností alebo fyzikálneho stavu prostredia šíriaceho sa v tomto prostredí a prenášajúceho energiu bez toho aby dochádzalo naraz k premiestňovaniu prostredia. U telies jednotlivé body prostredia kmitajú s rôznou výchylkou a fázovou rýchlosťou a jav sa šíri postupnými vlnami pružným prostredím. [4]

Stojatá vlna sa vytvorí ak sa v telese superponujú dve zhodné vlny vplyvom odrazu a šíria sa proti sebe rovnakou fázovou rýchlosťou. Rozloženie maximálnych a minimálnych výchýliek kmitajúcich bodov prostredia sa nemení.

Rázy vznikajú nárazom dvoch navzájom sa pohybujúcich telies pričom nastane náhla zmena gradientu určujúcu veličiny vibrácií. Ráz spôsobuje prechodový kmitavý jav vytvárajúci v telese postupnú rázovú vlnu.

Podľa časových zmien veličín (obr.2.1) sa rozdeľuje charakter javu vibrácií na periodický, neperiodický a náhodilý.

Fáza nazývaná tiež fázový posun (definovaný v tab.2.1) sa môže taktiež popísať, ako posuv dvoch periodických veličín (vid'. obr. 2.1a). Poznáme fázový a nulový posun. Nulovým posunom sa nazýva posun o 360° (o 2π). Fázový posun je meraný pri rotačných objektoch k tzv. referenčnej značke (tj. vzťažnému bodu)

2.1.1 Rozdelenia kmitania

❖ Kmitanie sa dá rozdeliť na:

- lineárne – kmitanie sa dá popísať lineárnou diferencálnou rovnicou, alebo jej sústavami.
- nelineálne - kmitanie nejde popísať lineárnou diferencálnou rovnicou, ani jej sústavami.

❖ Kmitanie z kinematického hľadiska delíme na:

- periodické – kmity sa opakujú po určitom časovom úseku. Periodické kmity sa delia na:

– harmonické vibrácie zahŕňa jedinú frekvenciu. Sú zadané vzťahom (2.1). Pre harmonické vibrácie stačí stanoviť jednu určujúcu veličinu (výchylku, rýchlosť, zrýchlenie) a ostatné dve sa dajú dopočítať podľa rovnice:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.1)$$

– anharmonické vibrácie sa nazývajú kmity, ktoré nie je možné zaradiť medzi harmonické.

– zložené vibrácie na základe vzťahu (2.2.) sú dané superpozíciou rôznych časových priebehov. Môžu byť periodické i neperiodické.

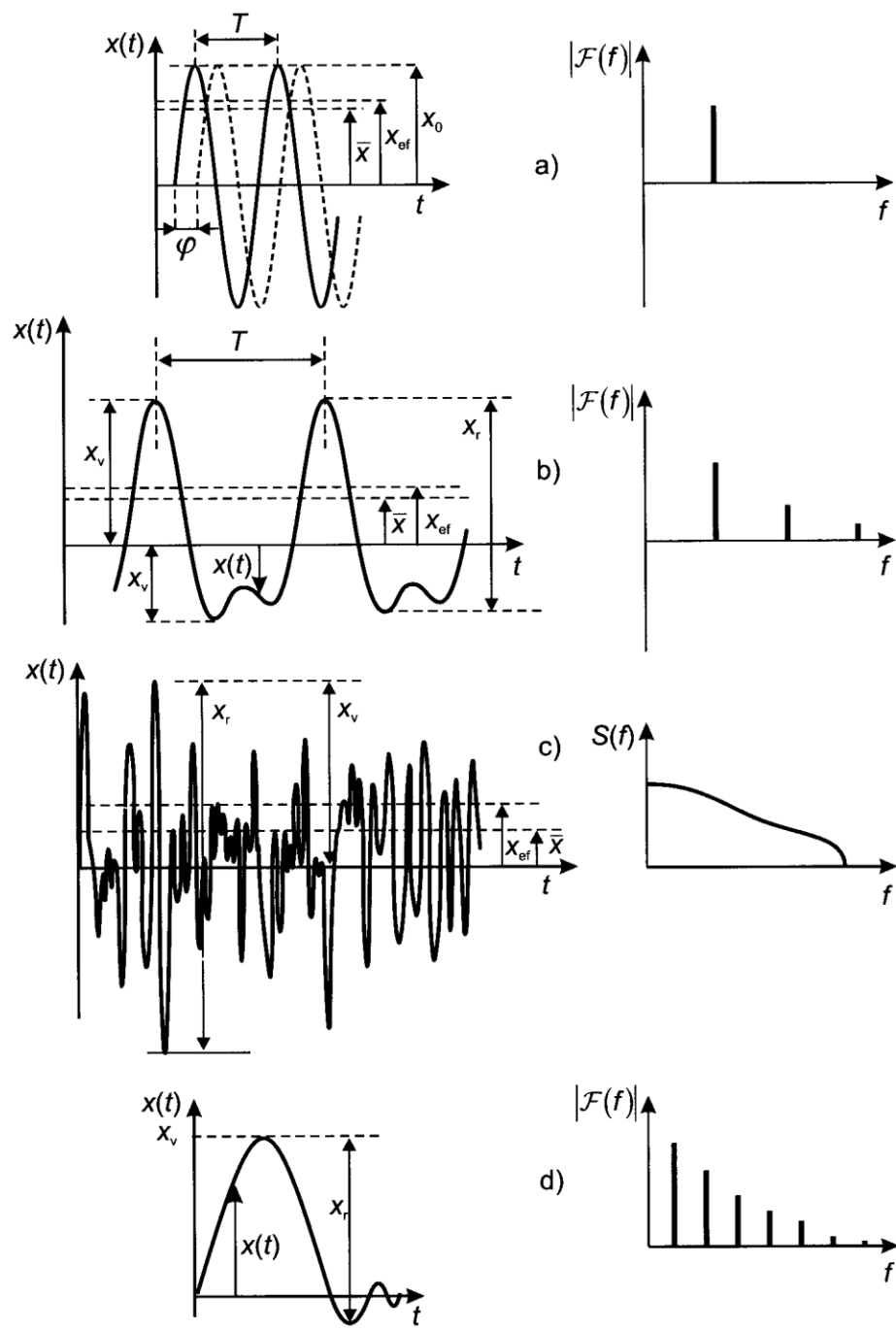
$$x = x_{01} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \dots + x_{0n} \sin(\omega_n t + \varphi_n) \quad (2.2)$$

Periodické zložené vibrácie vzniknú superpozíciou harmonických vibrácií a ich periódy sú v určitých pomeroch racionálnymi číslami. Neperiodické zložené vibrácie majú aspoň jeden pomer zložiek vyjadrený iracionálnym číslom.

– neperiodické – ak nejde o periodický pohyb, hovoríme o neperiodickom (aperiodickom) pohybe, ktorý zahŕňa napr. priamočiary pohyb, alebo aperiodické tlmené kmity.

❖ Podľa tlmenia kmitov určujeme:

- netlmené – nedochádza k strate energie
- tlmené – časť energie kmitov sa stráca (spotrebúva sa napríklad na trenie)



Obr.1 Časové priebehy veličín vibrácií a odpovedajúca spektrálna veličina

na ľavej strane a) harmonický, b) zložený periodický c) náhodný, d) prechodový
a v pravo odpovedajúca spektrálna veličina[4]

2.2 Vibrácie

Vibrácie sú prejavom chovania mechanických častí strojov. Tak reagujú na pôsobenie vonkajších a vnútorných síl, a preto sa vibračné signály používajú ako indikátory mechanického stavu strojov. Každá mechanická porucha generuje vibrácie špecifickým spôsobom. Celkové vibrácie predstavujú celkovú vibračnú energiu meranú v istom frekvenčnom rozsahu, a ak príde k zisteniu zvýšených celkových vibrácií dá sa predpokladať, že existuje závada ktorá je príčinou tohto stavu. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že úroveň chvenia pod 2 mm/s nevyvolávajú škodlivé sily ohrozujúce stav zariadenia. Ak úroveň chvenia prevyšuje stanovenú hranicu je potrebné zasiahnuť proti nežiaducemu chveniu.

Hodnoty veličín mechanických vibrácií určuje budiaca sila svojim smerom a kmitočtom. Budiacou silou (vynucovacou) sa rozumie pôsobenie vonkajšej sily na kmitajúci systém. Vibrácie sa dajú popísať kombináciou šiestich pohybov posuvom v ortogonálnej sústave súradníc x , y , z a rotáciou okolo osí x , y , z . Mechanický systém má šesť stupňov voľnosti. Kmitajúci systém delíme podľa nich na systémy s jedným, dvomi, tromi, alebo viacerými stupňami voľnosti. Počet rovníc popisujúcich vibrácie je rovný počtu stupňov voľnosti.

2.2.1 Analýza signálu

Analýza vibračných signálov sa zaoberá ich dvomi zložkami : amplitúdou a frekvenciou.

Frekvencia označuje početnosť určitého javu v danom časovom úseku – jav predstavuje jeden vibračný cyklus. Z frekvencie vibrácií sa dá vydedukovať typ poruchy.

Amplitúda je veľkosť vibračného signálu a je spätá so závažnosťou poruchy.

Pri meraní celkových vibrácií používame vyjadrenia ktoré sú znázornené vid'. (obr. 2.2).

Peak = maximálna (vrcholová) hodnota, tiež nazývaná ako výkmit

Udáva vzdialenosť medzi vrcholom vlny a nulovou úrovňou. Popisuje amplitúdy krátkodobých javov a rázov, atď. Nepoukazuje na časový priebeh, ani na kmitočtové zloženie kmitania.

Peak to peak = variačné rozpätie (rozkmit)

Udáva vzdialenosť medzi najvyšším a najnižším vrcholom vlny. Pri ideálnej sínusovej krivke sa rovná 2 krát maximálnej hodnote.

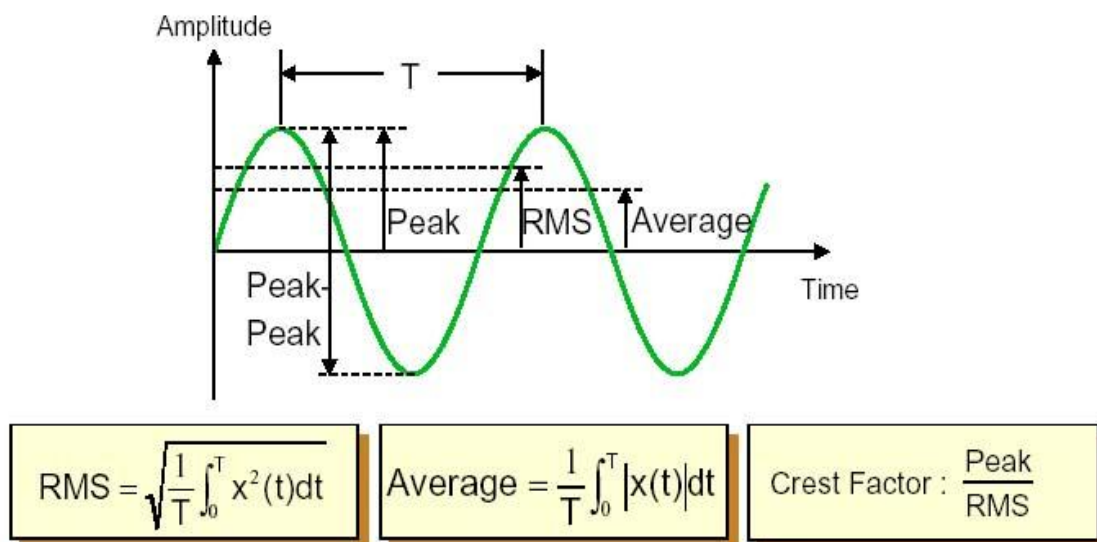
Average = priemerná hodnota

Priemerná hodnota amplitúdy priebehu vlny. Určuje sa spriemerovaním absolútnych hodnôt časového priebehu signálu. Pri ideálnom priebehu sínusovej vlny je hodnota rovná nule (priebeh v kladnom i zápornom stave je rovnaký), avšak väčšina vln nie je ideálne sínusová ani symetrická k nulovej hodnote – vtedy sa nazýva priemer nenulový. Pri ideálnej sínusovej krivke sa rovná 0,637 z maximálnej hodnoty.

RMS (Root Mean Square) = efektívna hodnota

Táto hodnota je matematicky odvodená, porovnaním energií, alebo výkonu jednosmerného, alebo striedavého prúdu. Pri ideálnej sínusovej krivke sa rovná 0,707 z maximálnej hodnoty.

Hodnota RMS pri FFT spektre ide o druhú odmocninu súčtu štvorcov okamžitých hodnôt. [5]



Obr.2 Popis amplitúdy sínusového časového signálu [5]

3 FFT – FAST FOURIER TRANSFORMATION

(Rýchla Fourierova Transformácia)

FFT je najvhodnejšou metódou na pozorovanie vibračných signálov spôsobom, pri ktorom sa ich snažíme analyzovať. Z matematického hľadiska to znamená, že signál je rozložený na určité amplitúdy odpovedajúcim rôznym frekvenčným zložkám. FFT spektrá poskytujú informácie o stave stroja, vďaka nim sme schopný závalu lokalizovať, určiť jeho príčinu a pomocou trendovania určiť, za aký dlhý čas sa stane daná závala kritická pre správny chod stroja. Podstatou je, že určitá závala sa objavuje pri určitej frekvencii, potom pri analýze FFT spektier sledujeme zmeny amplitúd v týchto frekvenčných rozsahoch.

3.1 Frekvenčná analýza

V matematike je určené, že periodická funkcia $f(t)$ s periódou T ide vyjadriť nekonečnou sumou rady funkcií sínus a kosínus. Frekvencia každej funkcie sínus a kosínus je daná celočíselným násobkom frekvencie pôvodnej funkcie. Ide o Fourierove rady, ktoré sa dajú vyjadriť v tvare:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n2\pi \frac{t}{T}) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n2\pi \frac{t}{T}) \quad (3.1)$$

kde koeficienty sú dané vzťahmi:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \sin(n2\pi \frac{t}{T}) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n2\pi \frac{t}{T}) dt \quad (3.2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n2\pi \frac{t}{T}) dt \quad (3.3)$$

a_n a b_n vyjadrujú hodnoty amplitúd jednotlivých kmitočtových zložiek komplexného časového signálu $f(t)$.

Fourierove rady sa dajú používať iba pri periodickom kmitaní. Dá sa napísať, že $T \rightarrow \infty$ a frekvencie kmitočtových zložiek nie sú celočíselné násobky elementárnej frekvencie, no

môžu mať spojité spektrum hodnôt. Pre výpočet kmitočtových zložiek je treba použiť rovnice (3.3) využitím integrálov:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (\text{priama transformácia}), \quad (3.4)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f)e^{j2\pi ft} df \quad (\text{inverzná transformácia}). \quad (3.5)$$

Funkcia $S(f)$ je všeobecne komplexná, čo znamená prítomnosť reálnej i imaginárnej zložky. Je nositeľom informácie o amplitúdach a fázach všetkých harmonických frekvencií zahrnutých v $x(t)$.

Fourierova transformácia je daná spojitým analytickým integrálom. V diskretných časových momentoch vzdialených o Δt ide zachytiť časový signál vibračných detektorov. Ak poznáme iba $x(t)$ – diskkrétne hodnoty funkcie a integrály Fourierovej transformácie je treba počítať numericky:

$$S'(f) = \Delta t \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n\Delta t)e^{-j2\pi f n\Delta t} \quad (3.6)$$

V tomto prípade sú získané informácie nepresné. Funkcia $S'(f)$ popisuje presne iba zložky z nižšou frekvenciou ako je f_{\max} , ktorá súvisí z veľkosťou vzorkovacieho intervalu Δt .

Meranie časového signálu prebehne v konečnom časovom intervale T (celková doba merania), tým nám zostáva k dispozícii iba obmedzený počet diskretných hodnôt $x(n\Delta t)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, $N = T / \Delta t$ (N - je počet vzorkou). Z toho vyplýva, že sa dajú určiť amplitúdy a fázy pre nekonečne veľa hodnôt frekvencie a intervalu medzi 0 a f_{\max} .

Dostávame diskkrétne kmitočtové zložky s krokom Δf . Môžeme si to predstaviť, že diskretná Fourierova transformácia predstavuje sústavu m pásmových filtrov so šírkou pásma Δf (interval medzi kmitočtovými zložkami, $\Delta f = 1/T$). Obmedzením počtu diskretných hodnôt $x(n\Delta t)$, dostávame vzťah :

$$C(m\Delta f) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t)e^{-j2\pi m n\Delta f n\Delta t} \quad (3.7)$$

pre $m = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$

Účinný algoritmus pre výpočet tohto vzťahu pri diskretnéj transformácii sa nazýva rýchla Fourierova transformácia (FFT). Je používaný vo výpočtových technických programoch v PC. Pri používaní algoritmu FFT sa spravidla obmedzujeme iba na hodnoty N , ktoré sú rovné mocnине čísla 2, tj. 256, 512, ... Avšak táto podmienka neplatí všeobecne pre Fourierovu transformáciu, ale je to cena, ktorú treba zaplatiť za rýchlosť algoritmu FFT, ktorá je pri frekvenčnej analýze vo väčšine prípadov oveľa dôležitejšia. Počet hodnôt kmitočtového spektra je rovný polovici počtu hodnôt časového signálu, pričom f_{\max} je rovná polovici vzorkovacej frekvencie $f_{vz} = 1/\Delta t$. To súvisí so Shannonovým vzorkovacím teorénom, podľa ktorého musí byť vzorkovacia frekvencia aspoň dvakrát väčšia (Nyquistova frekvencia) ako frekvencia najvyššej harmonickej zložky, obsiahnutej v meranom signále. V digitálnej fourierovej transformácii sa táto skutočnosť prejaví tým, že iba $N/2$ hodnôt funkcie $C(m \Delta f)$ vo vzťahu (3.4) je nezávislých. Pri skutočnom meraní signál zahŕňa rôzne rušivé zložky. Niektoré z nich majú náhodný charakter, iné sú harmonické zložky s vyššou frekvenciou, ako je maximálna frekvencia kmitočtových zložiek daná Shannonovým teorénom. Náhodné rušivé signály neovplyvňujú do značnej miery výsledky kmitočtovej analýzy. Ak je vzorkovacia frekvencia nižšia, ako by bolo žiaduce k najvyššej frekvencii meraného signálu, nachádza sa v kmitočtovom spektre „nepravé“ výrazné maximum (špička). Všeobecne platí, že každá zložka $f_s > f_{\max}$ vytvorí v kmitočtovom spektre FFT maximum pri frekvencii $f = f_{vz} - f_s$. Tento jav sa nazýva kmitočtové skreslenie. [2]

3.2 Parametri FFT

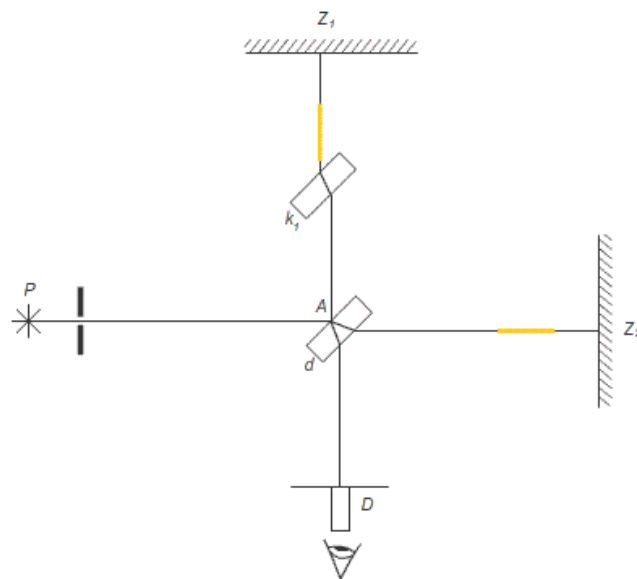
Základné pásmo s frekvenciou od 0 Hz do $f_{vz}/2$ sa nazýva frekvenčný rozsah. Je nezávislý na počte vzorkou signálu N . Počet spektrálnych čiar sa udáva ako $N/2$. Poradové číslo spektrálnej čiary sa nazýva, číslo časového odmerania. „Zoom“ faktor M popisuje pri frekvenčnej lupe, koľko krát je menší frekvenčný rozsah. Rozlíšiteľnosť frekvenčnej analýzy nazýva interval (rozstup medzi spektrálnymi čiarami). Daný rovnicou (3.5) :

$$t = \frac{1}{T} = \frac{1}{NT_{vz}} = \frac{f_{vz}}{N} \quad (3.8)$$

4 BEZKONTAKTNÉ SNÍMANIE

4.1 Michelsonov pokus

Michelsonov interferometer navrhol Albert Abraham Michelson v roku 1881. Zdokonalená verzia so zmenou od pôvodnej bola odlišná viacnásobným odrazom lúčov medzi zrkadlami bola použitá v roku 1887.



Obr.3 Michelsonov interferometer [6]

- P zdroj svetelných lúčov
 d polopriepustná sklenená doštička
 k_1 kompenzačná doštička
 Z_1, Z_2 zrkadlá
 D ďalekohľad

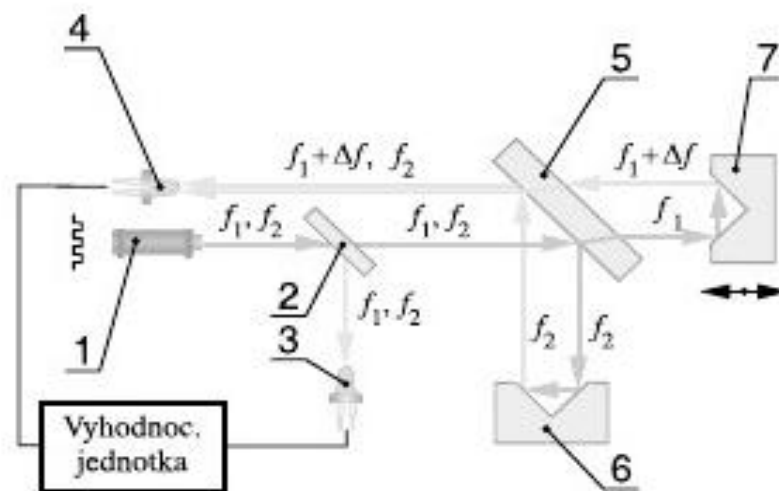
Lúč zo zdroja P dopadá pod uhlom 45° na polopriepustnú sklenenú doštičku d , kde sa v bode A štiepi na dva lúče.

Lúč č.1 sa odrazí od polopriepustnej doštičky a dopadá kolmo na zrkadlo Z_1 , tu sa odrazí späť do bodu A , po prechode polopriepustnou doštičkou dopadá do ďalekohľadu D . Lúč č.2 prejde polopriepustnou doštičkou, dopadne kolmo na zrkadlo Z_2 , tu sa odrazí späť do bodu A , v bode A sa odrazí do ďalekohľadu D .

Oba lúče sa teda stretnú v ďalekohľade, kde spolu interferujú. Pretože lúč č.2 prejde polopriepustnou doštičkou celkom trikrát, vkladá sa do cesty lúča č.1 doštička k_1 (kompenzačná) rovnobežná s doštičkou d . Ak sú vzdialenosti zrkadiel Z_1 a Z_2 od bodu A rovnaké, budú rovnaké aj dráhy lúčov a v ohnisku objektívu sa oba lúče spoja.

V prípade, že posunieme zrkadlo Z_2 o vzdialenosť l , dráhový rozdiel lúčov bude $\Delta l = 2l$. V závislosti na veľkosti dráhového rozdielu vznikajú interferenčné maximá pre $\Delta l = k \lambda$ (kde k je celé číslo, λ (vlnová dĺžka lúča) a interferenčné minimá pre $\Delta l = (2k + 1) \lambda / 2$. [6]

4.2 Laserový interferometer



Obr.4 Laserový interferometer [7]

Laserový interferometer funguje na fyzikálnom princípe interferenčného komparátora z časti 4.1. Ako zdroj svetla je použitý dvojfrekvenčný plynový hélium – neónový laser L . Laser vyžaruje svetelné žiarenie na frekvenciách sebe blízkych $f_1 = 5,000\,000\,02 \cdot 10^{14}$ Hz a f_2

= 5,000 000 00.10¹⁴ Hz. Lúče sa dajú oddeliť pomocou polarizačného filtra 2 na meracie a referenčné. Referenčné lúče f_1 a f_2 dopadajú na fotocitlivý prvok 3, meracie lúče dopadajú na polopriepustné zrkadlo zrkadlo 5, kde sa delia na dve časti. Jedna časť s frekvenciou f_2 sa odráža od kútového odražača 6 a po odraze ide späť na fotocitlivý prvok 4. Druhá časť s frekvenciou f_1 prejde cez polopriepustné zrkadlo, dopadá na kútový odražač 7, upevnený na meranom objekte. Tento lúč je frekvenčne posunutý na hodnotu $f_1 + \Delta f$ a taktiež dopadá na fotocitlivý prvok 4. Vzniknutý vyhodnocovaný signál na výstupe vyhodnocovacej jednotky je priamoúmerný zmene Δf . Presnosť merania vzdialeností ovplyvňuje index lomu okolitého prostredia, poväčšinou vzduchu.

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (4.1)$$

λ vlnová dĺžka laserového lúča vo vzduchu

λ_0 vlnová dĺžka laserového lúča vo vákuu

n index lomu vzduchu

Hodnota indexu lomu sa mení v závislosti od zmeny teploty, tlaku, vlhkosti a chemického zloženia vzduchu. Pomocou laserového interferometra sa dajú merať dĺžky s chybou od 0,01 μm . [7]

5 VYVAŽOVANIE BRÚSNÝCH KOTÚČOV

Nevyváženosť je druhou najčastejšie sa vyskytujúcou závadou prejavujúcou sa u rotačných strojov, a tiež patrí k jednej z najzákernejších stojných porúch, pretože nespôsobuje viditeľné zmeny, nevynúti okamžité odstavenie, i keď sa stroj rozoberie, porucha zostáva skrytá. Napriek tomu sa naďalej prejavuje jej negatívny vplyv na zariadenie. Nevyváženosť nastáva keď sa ťažisko kotúča nezhoduje a je vychýlené zo svojej geometrickej osi (osi otáčania).

U nevyváženého kotúča vzniká pri vysokých rýchlostiach zotrvačná nevyvážená sila F_i , ktorá pôsobí na vretene a jeho ložiská (obr.5) a negatívne ovplyvňuje sústavu stroj – nástroj – obrobok - prípravok. Pri malej šírke brúsneho kotúča, kde sú rotujúce hmoty skoro v jednej rovine, stačí jeho statické vyváženie. [8]

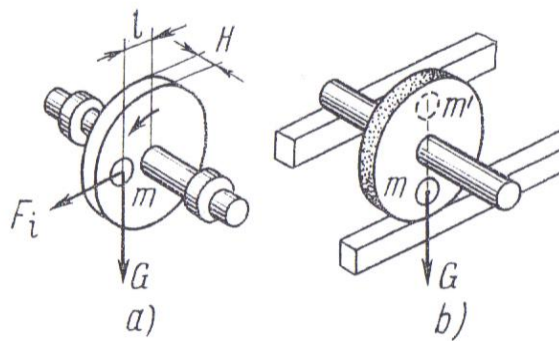
Nevyváženosť zapríčiňuje napríklad výrobné nepresnosti, nehomogénne rozloženie hmoty, rozličné rozloženie nánosu na rotore a lopatkách a iné. Nevyváženosť taktiež spôsobuje väčšie zaťaženie ložísk. K diagnostikovaní problémov spojených s nevyváženosťou sa používa meranie celkových vibrácií, FFT spektier a meranie fáz.

5.1 Druhy vyvažovania

Medzi druhy nevyváženosti patrí statická a dynamická nevyváženosť. Ak je výška kotúča $H > 0,1D$ je statické vyvažovanie nedostatočné, pretože nevyvážené hmoty sú rozložené v rôznych rovinách.

5.1.1 Statické vyvažovanie

Statickú nevyváženosť pozorujeme v pokojnom stave a zaznamenávame pôsobenie iba jednej sily.



Obr.5 Znárodnenie nevyváženého brúsneho kotúča

a) nevyvážená hmota m mimo ťažiska, b) vyváženie hmoty m hmotou m' [8]

Veľkosť nevyváženej sily je obecne (vid'. obr. 7)

$$F_i = m \cdot \omega^2 \cdot l \quad (5.1)$$

kde $\omega^2 \cdot l$ je zrýchlenie ťažiska ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$),

$$F_i = m \left(\frac{v_k}{R} \right)^2 \cdot l = \frac{G}{g} \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 \cdot l, \quad (5.2)$$

kde G je hmotnosť kotúča (kg),

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ – zemské tiažové zrýchlenie

n – otáčky kotúča (min^{-1}),

l – veľkosť excentricity (cm).

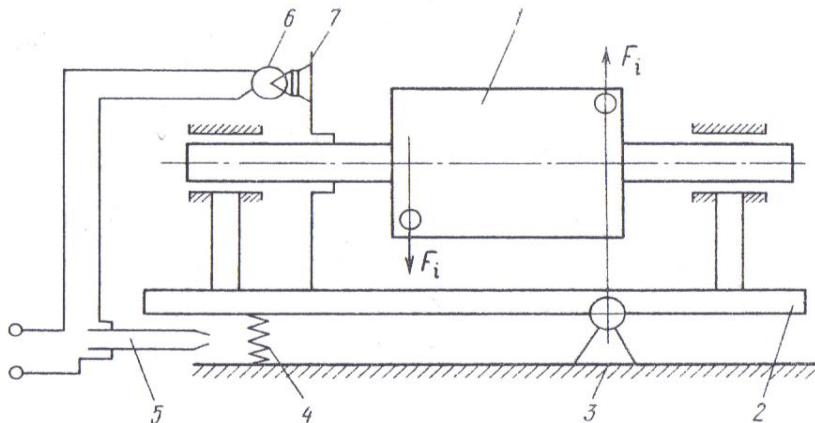
Pri rotácii kotúča pôsobí sila F_i , na ložiská striedavým zaťažéním, ktoré sa mení podľa zákona harmonického kmitania ($F_i \cdot \sin \omega t$).

Ak je výška kotúča $H > 0,1D$ je statické vyvažovanie nedostatočné, pretože nevyvážené hmoty sú rozložené v rôznych rovinách. [8]

5.1.2 Dynamické vyvažovanie

Na rozdiel dynamickú nevyváženosť nie je možné merať v pokojnom stave a pôsobia dve rovnaké sily (hmoty) proti sebe (o 180°), čo znamená že v pokojnej polohe sa zariadenie zdá

ako vyvážené. Aj napriek tomu zariadenie vibruje. V praxi sa najčastejšie objavuje dynamická nevyváženosť, ktorá je vykonávaná na mieste prevádzky, bez demontáže a väčšieho zásahu do stroja. Dynamické vyvažovanie má niekoľko výhod, medzi ktoré patrí rýchlosť celkového procesu (úspora času), nepotrebnosť rozobrať zariadenie, vyvažovanie celej sústavy, presná metóda a ekonomickosť, keďže demontáž, montáž zvyšujú náklady a sú strojmi ďalších zvyknutých chýb.



Obr.6 Schéma dynamického vyvažovania brúsneho kotúča

1-kotúč, 2-rám, 3-priečny čap, 4- pružina, 5- elektrický kontakt,
6-žiarovka, 7-deliaci kotúč [8]

Kotúč 1 je upevnený na tŕni, otočnom v ložiskách rámu 2, ktorý sa môže pootáčať okolo čapu 3. Druhý koniec rámu pridržujú pružiny 4. Pri rotácii kotúča v dôsledku dynamickej nevyváženosti vzniká sila F_i , ktorá striedavo vychýľuje rám 2 a stláča pružiny 4. Ak smeruje vektor sily F_i dole, pružina 4 sa stláča a uzatvára elektrický kontakt 5, ktorý zapne elektrický obvod neónovej lampy 6. Lampa 6 osvieti číslo dieliku na stupnici kotúča 7, ktorý určuje miesto pre odstránenie hmoty.

Moderné vyvažovacie poloautomatické stroje sú vybavené elektronickým zariadením, ktoré podľa veľkosti impulzu (uhla vychýlenia rámu) určuje i veľkosť odoberanej hmoty. Po prevedení korekcie sa kotúč s tŕňom otočia o 180° a vyvažuje sa na druhej čelnej ploche brúsneho kotúča. Pri rotácii dynamicky vyváženého kotúča sa rám nevychýľuje a lampa sa nerozsvecuje. Povolená nevyváženosť závisí na hmoty kotúča. [8]

5.2 Proces vyvažovania

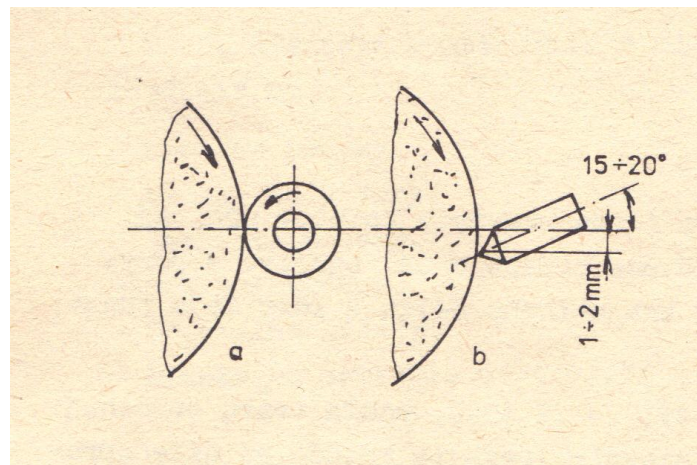
Nevyváženosť sa prejavuje vo frekvenčnom spektre iba s vibračnou zložkou s rotorovou frekvenciou. To znamená, že ak je vo frekvenčnom spektre mimo iného i špička z rotorovou frekvenciou, nemusí to hneď znamenať nevyváženosť. Prvou vecou, ktorú vykonáme, je zistenie počiatočného stavu, tj. zmeranie vibrácií celkového stroja aj so snímaním otáčok. Nevyváženosť označujeme vektorom. Pri vyvažovaní je nutné poznať zmenu vibrácií (odozvu), na skúšobné závažie, o ktorom vieme jeho hmotnosť a miesto. Závažie pokladáme vždy na rovnaký polomer, čo výrazne uľahčí proces vyvažovania. Odozvu stroja získame inštaláciou na skúšobného závažia, o určitej známej hmotnosti na definované miesto. Následné vyvažovanie pokračuje tak, že program vypočíta zmenu v hmotnosti a polohe skúšobného závažia tak, aby nevyváženosť dosahovala minimálne výsledky. V ideálnom prípade nulové. Vyvažovací cyklus prebieha v niekoľkých krokoch. Prvým je inštalácia hlavného závažia, eventuálne jemných dovažovacích závaží. Pri stabilných vyvažovacích strojoch sa používa funkcia sumarizácia závažia. Ide o vektorový súčet všetkých závaží tak, aby sa dala nahradiť jedným finálnym závažím s rovnakým účinkom. U väčšiny strojov je najlepšou alternatívou vyvažovať priamo na mieste, čo nám dokáže odhaliť ďalšie komplikácie, ktoré ovplyvňujú veľkosť vibrácií.

Pri vyvažovaní v dvoch rovinách (postup je zhodný s predchádzajúcim) avšak nastáva menšia zmena, že meriame v dvoch bodoch a závažie inštalujeme do dvoch rovín. Tým získame odozvu z dvoch závaží pre obidve roviny. Z tohto dôvodu je potrebné uskutočniť dva skúšobné rozbehy. Výpočet daný v týchto rovinách je podstatne zložitejší. Po skončení vyvažovania sa overí úspešnosť opakovaným meraním vibrácií stroja.

5.3 Orovňavanie brúsnych kotúčov

Brúsne kotúče po upnutí na stroj a istom čase, ktorý s nimi pracujeme orovňavame, pretože pri práci dochádza k nerovnomernému opotrebovaniu.

Orovnanie teda spočíva v centrovaní jeho obvodu centrovania voči osi rotácie a v odstraňovaní opotrebovaných častí brúsneho kotúča. Orovňavame mechanickými orovnávačmi (kolieskový, tyčkový), alebo diamantovými orovnávačmi. Poloha diamantového kotúča voči brúsne kotúču musí byť taká, aby vylúčila rezanie zrn brúsneho kotúča, ale iba ich vylamovanie. Poloha orovnávačov vid'. obr. 9



Obr.7 Orovnávanie brusných kotúčov

a) kolieskový orovnávač

b) diamantový orovnávač [9]

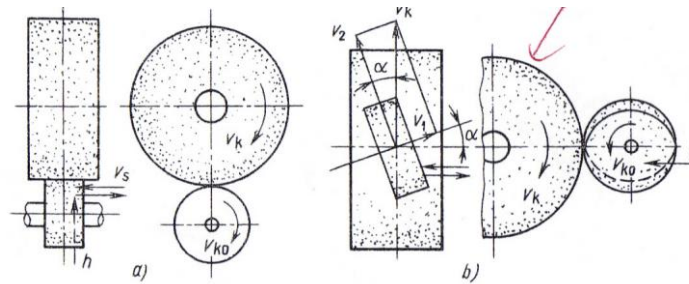
Pri orovnávaní odoberáme čo najmenšiu potrebnú vrstvu brusiva, ktorej veľkosť sa pohybuje v rozpätí 0,05 – 0,15 mm pri jednom orovnaní.

5.3.1 Orovnávanie tyčkovými diamantovými orovnávačmi

Orovnávanie diamantom má oproti ostatným spôsobom veľa výhod. Pri orovnávaní vznikajú malé stykové plochy medzi diamantom a brusným kotúčom, čo vyvoláva malé orovnávacie sily. K výhodám ktoré pomáhajú zabezpečiť kvalitne orovnaný obrobok s presnými geometrickými tvarmi, prispieva vysoká odolnosť proti opotrebeniu.

5.3.2 Iné druhy orovnávania

Bez použitia diamantov sa orovnávaajú kotúče pri hrubovacom brúsení. Používajú sa k tomu kladky určené k odbrusovaniu a odval'ovaniu.



Obr.8 a) obrusovanie, b) odvalovanie [8]

Pri odbrusovaní nezáleží na smere otáčania orovnávaného kotúča, nástroj vykonáva nútený rotačný pohyb. Zrornosť a tvrdosť orovnávacieho kotúča sa volí o 1 či 2 stupne vyšší, ako zrornosť a tvrdosť orovnávaného kotúča. Princíp orovňovania obrusovaním je založený na zrezávaní a otupovaní vrcholkov zrn brusiva, na ktorých vznikajú plošky s malým počtom rezných hrán.

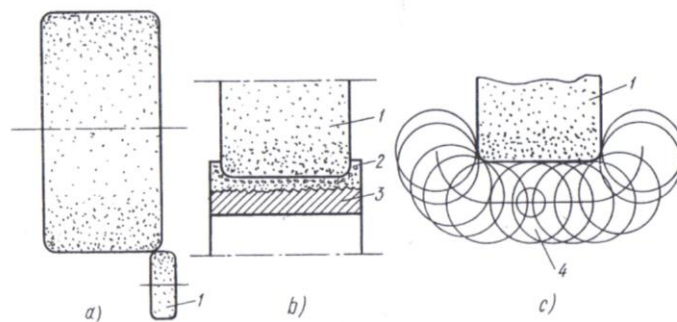
Pri odvalovaní je pohyb orovnávacieho kotúča závislý na pohybe brúsneho kotúča. Pri brúsení vonkajších plôch sa orovnávací nástroj spravidla natáča o uhol $\alpha = 5-6^\circ$ vzhľadom k zvislej rovine. Pri odvalovaní sa dáva zrornosť a tvrdosť o 2 až 4 stupne vyššia ako zrornosť a tvrdosť orovnávaného kotúča. Odvalovanie spočíva v odrezávaní a drtení zrn brusiva, pričom vzniká veľký počet britov. V tomto prípade sa však zväčšuje rozdiel medzi prevýšením jednotlivých zrn.

Elektroiskrivé orovňovanie sa používa pri diamantových kotúčoch s elektricky vodivým spojivom. Za najefektívnejšiu technologickú schému pri tomto type orovňovania je pokladaná schéma s grafitovou elektródou v tvare kladky špeciálneho profilu, alebo drôtu. (obr.123). Kotúč je v tom prípade anóda, ku ktorej je pripevnený kladný pól zdroja jednosmerného prúdu. Elektróda spojená so záporným pólom sa stáva katódou. Orovňovanie sa vykoná v technickom oleji. Pri orovnaní tvarovou elektródou má elektróda zrkadlový tvar profilu orovnávaného kotúča a rozmery zmenšené o veľkosť medzery nutnej pre vznik iskry. Pri použití drôtu ako elektródy vylúčime vplyv opotrebenia elektródy na presnosť orovňovania kotúča. Ako elektróda sa používa mosadzný alebo medený drôt s priemerom 0,2 až 0,3 mm.

5.3.3 Orovňovanie brúsnych kotúčov diamantovými kladkami

Využíva sa pri hromadnej výrobe a umožňuje dosiahnutie vysokej presnosti brúsených súčastí. Pracovná vrstva orovnávej kladky obsahuje 300 až 1000 drobných diamantových kryštálov hmotnosti približne 0,02 karátov. Používajú sa prírodné i umelé diamanty. Pred

použitím sa zrná diamantov dôkladne triedia kvôli zabezpečeniu jednotvárneho a rovnakého brúsiva. Reznosť kladky je vysoká a má vysokú trvanlivosť, lebo zaťaženie sa pri orovnávaní rozdeľuje na veľký počet diamantových zrn. Doba používania jednej kladky sa pohybuje v rozmedzí od 18 000 až 20 000 krát. Okrem toho po otupení prvej pracovnej vrstvy diamantových zrn začína pracovať druhá vrstva. Tým sa zabezpečuje aj skrátenie doby orovnávania a presnosť obrábania. Počas orovnávania vykonáva kladka nútený otáčavý pohyb. K orovnaniu tvarových brúsnych kotúčov je potrebné orovnávanie zapichovacím spôsobom vid' obr.9. Najlepšiu kvalitu obrábanej plochy dostaneme pri protichodnom otáčaní brúsneho kotúča a orovnávačej kladky.



Obr. 151. Schéma orovnávaní brousících kotoučů diamantovými kladkami

1 – brousící kotouč, 2 – diamantová vrstva, 3 – nosná část kladky, 4 – dráha pohybu kladky

Obr.9 Orovnávanie diamantovými kladkami

1- brúsiaci kotúč, 2- diamantová vrstva, 3- nosná

2- časť kladky, 4- dráha pohybu kladky [8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 MERANIE VIBRÁCIÍ A ICH ANALÝZA

6.1 Použité zariadenia

Zariadenie, ktoré som používala pri praktickej časti sa volá rovinná horizontálna brúska typu BRH 20.03F, ktorá má 2550 otáč./min.. Na meranie vibrácií bol použitý Renishaw laserový iterferometer, ktorý pracuje na princípe Michalsnovho pokusu vid'. str.12. Pre kontaktné meranie bol zvolený balatron s rozsahom od 0 do 30 μm . Pre overovanie správnosti vyváženia bola použitá vyvažovačka umiestnená vo vodorovnej polohe, aby neprišlo k chybe pri kontrole vyváženia kotúča.



Obr.10 Dôkaz o vodorovnej polohe statickej vyvažovačky

Brúsny kotúč som vyvažovala iba staticky, pretože dynamické vyvažovanie by bolo neekonomické, z dôvodu vzniknutia poškodenia na kotúči , vid' príloha 3.

6.2 Prvé vyvažovanie brúsneho kotúča

Pri prvom vyvažovaní brúsneho kotúča som sa snažila vyvážiť priemerne vyvážený kotúč tak, aby bol čo najlepšie vyvážený. Vyvažovanie prebiehalo rozmiestňovaním vyvažovacích doštičiek po strane brúsneho kotúča do daných polôh, aby brúsny kotúč pri položení na vyvažovačku bol čo najmenej v pohybe alebo pri dobrom vyvážení zostal v pokoji. Keď som dospela k záveru, že je vyvážený, kotúč bol vložený a pripevnený do brúsky a nasledovalo spustenie stroja.



Obr.11 Kotúč pripevnený v brúske po prvom vyvážení

6.2.1 Postup pri meraní

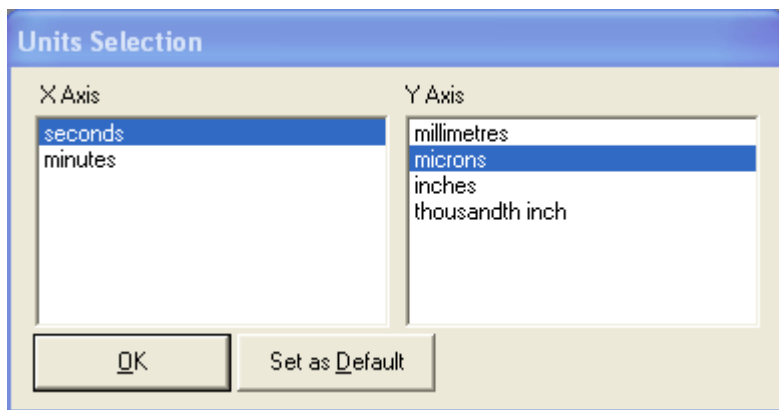
Po spustení sa nechala brúska bežať okolo 7 min., aby boli zaznamenané vibrácie, nie z rozbehu kotúča a ustálenia chodu stroja, ale už zo samotného rotujúceho brúsneho kotúča. Počas tejto doby som si v počítači v osciloskope zmenila časť nastavení pre lepšie zachytenie všetkých vibrácií frekvenčného záznamu.

Capture	1kHz
Pre-trigger time	1s
Post-trigger time	10s
All-trigger time	11s

Po ukončení nastavenia a uplynutí doby na stabilizovanie brúsky som pristúpila k samotnému meraniu. 30-krát som namerala chvenie počas stanovenej doby. Namerané výsledky som ukladala a neskôr vyhodnotila.

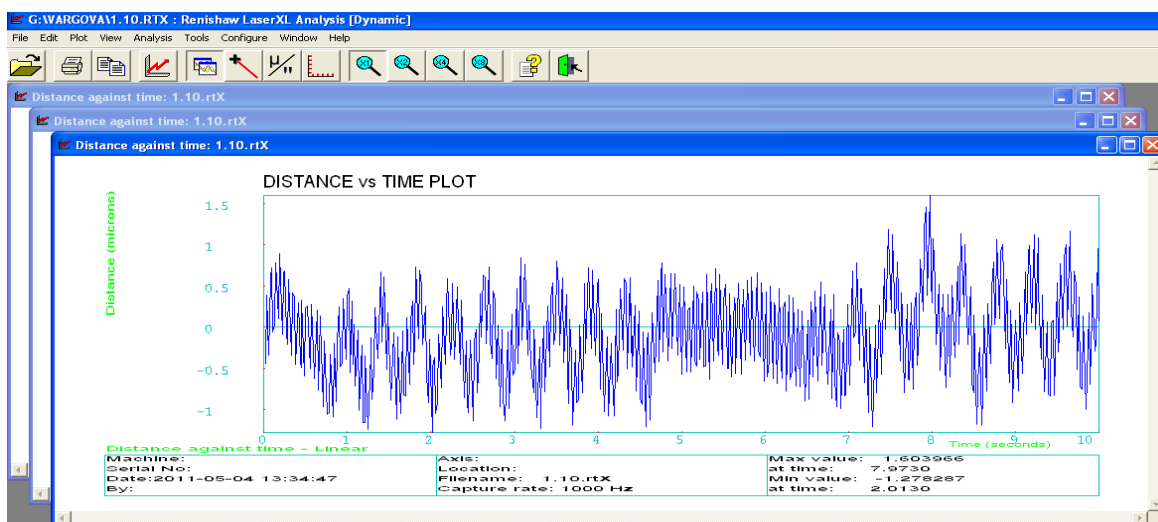
6.2.2 Analýza nameraných grafov

Pred analýzou bolo potrebné skontrolovať popri prípade upraviť jednotky uvádzajúce v grafe pomocou okienka units v základnom paneli.



Obr.12 Nastavenie jednotiek

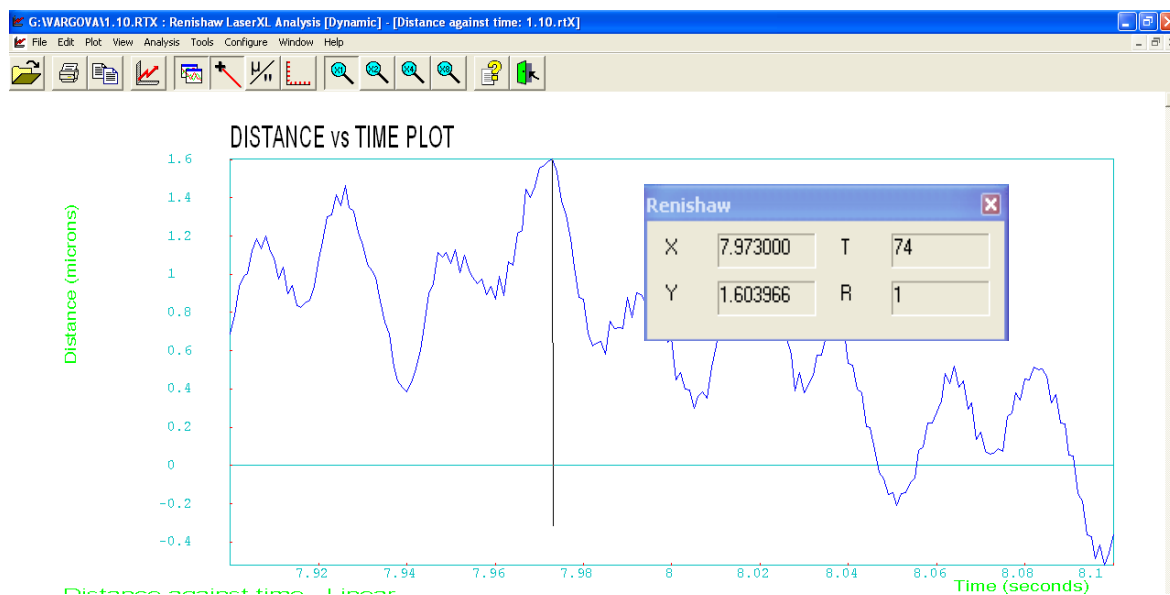
Po nastavení jednotiek vznikol grafický záznam z merania pripravený k analýze.



obr.13 Amplitúdový časový diagram

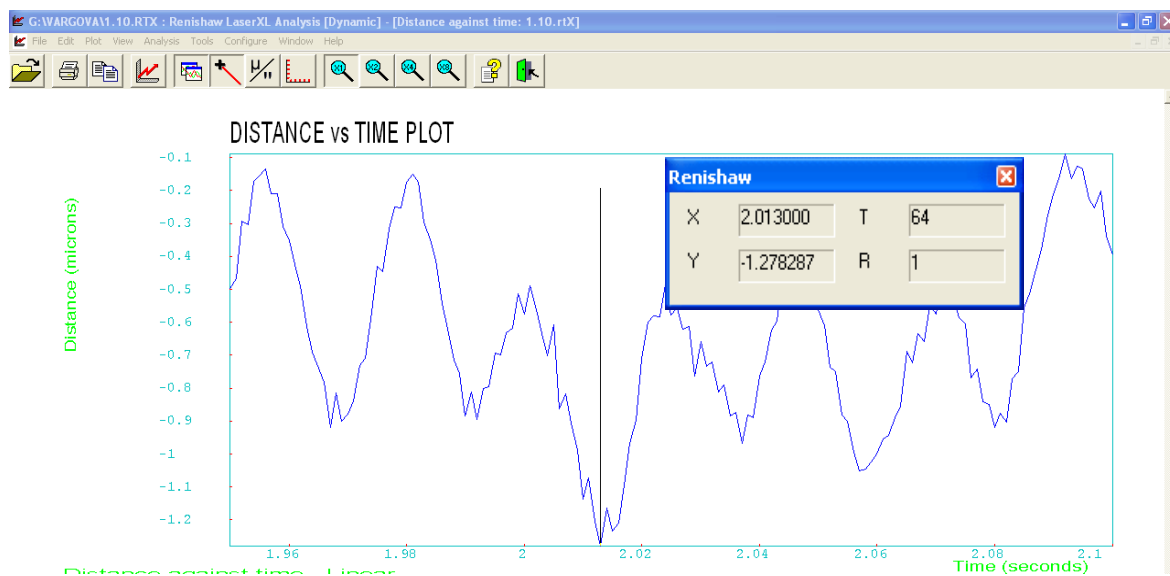
U každého z grafov som zapísala maximálnu a minimálnu hodnotu v čase z tabuľky pod grafom so zaokrúhlením na jedno desatinné miesto. Rozbor maximálnej hodnoty som urobila nasledovne. Políčkou scale som nastavila zobrazenie grafu a to uvedením času pred a za časom 7,97s, ktorému odpovedala maximálna hodnota amplitúdy, v danom prípade 1,6 μ m.

Na grafe je vidieť maximum a po nastavení kurzora na hranicu maximálnej hodnoty tabuľka renishaw zobrazí presne hodnotu amplitúdy v čase.



obr.14 Rozbor amplitúdového časového diagramu v okamihu maxima

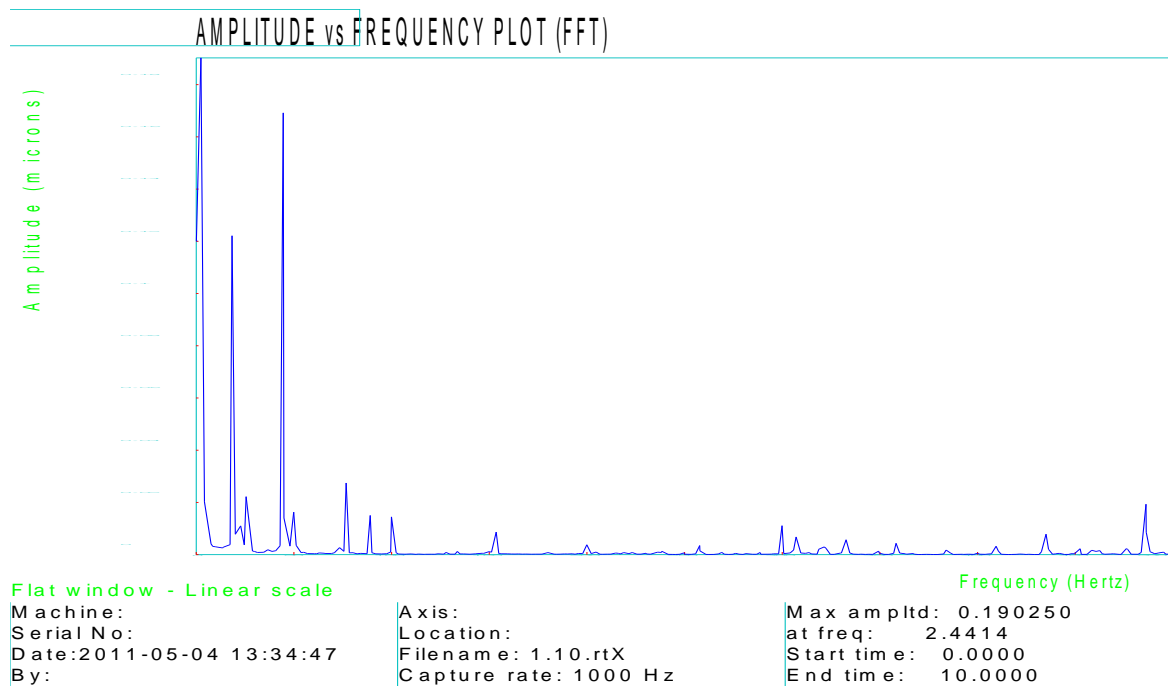
Rozbor minimálnej hodnoty prebiehal podobne. Rozsah zobrazenia grafu som zúžila na oblasť okolo minima. V danom prípade som si určila hodnoty od 1,95 do 2,1s. Po nastavení kurzora na hranicu s minimom tabuľka renishaw zobrazila výsledné hodnoty.



Obr.15 Rozbor amplitúdového časového diagramu v okamžiku minima

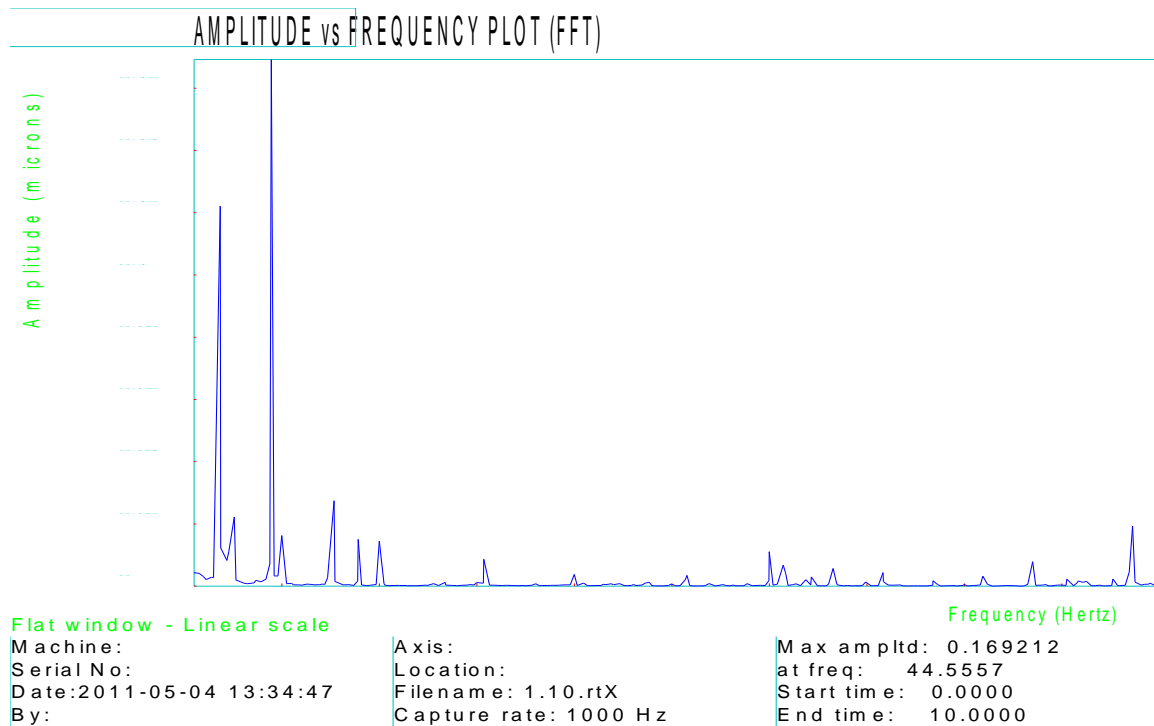
6.2.2.1 Rýchla Fourierova analýza

V ponuke Analysis som klikla na ponuku FFT (flat window). Dostala som graf závislosti amplitúdy a frekvencie. Na grafe je vidieť vibrácie, z ktorých prvá a najväčšia je pravdepodobne vzniknutá nízkou tuhosťou sústavy. Ďalšie menšie vibrácie sa nazývajú periférne vibrácie. Všetky tieto vibrácie môžu mať veľa príčin od spomínanej nízkej tuhosti až po hluk na pracovisku, či kroky v miestnosti. Vznik týchto vibrácií je ťažké určiť.



Graf 1. FFT zobrazujúci všetky vibrácie

Pre zobrazenie pozorovanej a hľadanej vibrácie som zmenila rozsah z 0Hz na 5HZ. Na grafe sa zobrazila najväčšia vibrácia, zodpovedajúca nevyvážku. Jej amplitúda a frekvencia je uvedená vid' graf1.



Graf 2. FFT zobrazujúci vibráciu nevyvážku

Ku každému grafu bola spravená FFT a hodnoty boli zapísané do tabuľky výsledkov s presnosťou na dve desatinné miesta z dôvodu lepšieho prehľadu a výhody pri štatistike.

6.2.3 Výsledky analýzy

Tab. 1. Výsledky po prvom vyvažovaní kotúča

Č.M.	$Y_{MAX_1}(\mu\text{m})$ [čas (s)]	$Y_{MIN_1}(\mu\text{m})$ [čas (s)]	R_1 (μm)	DFT_1 (μm)
1	2,3 [t=8,33]	-4,5 [t=8,94]	6,8	0,72
2	1,7 [t=7,55]	-2,8 [t=8,12]	4,5	0,78
3	1,0 [t=0,57]	-3,8 [t=2,06]	4,8	0,72
4	3,3 [t=5,98]	-1,3 [t=5,68]	4,6	0,71
5	3,7 [t=0,90]	-0,5 [t=9,92]	4,2	0,71
6	2,6 [t=7,80]	-1,3 [t=9,62]	3,9	0,73
7	1,9 [t=0,32]	-2,1 [t=3,11]	4,0	0,75
8	0,6 [t=2,30]	-3,4 [t=3,29]	4,0	0,73
9	0,8 [t=0,98]	-3,3 [t=1,33]	4,1	0,72
10	1,4 [t=2,45]	-2,8 [t=5,96]	4,2	0,77
11	2,0 [t=0,17]	-2,9 [t=6,82]	4,9	0,79
12	4,4 [t=0,45]	-0,4 [t=0,26]	4,8	0,72
13	2,8 [t=5,20]	-1,9 [t=7,10]	4,7	0,74
14	2,4 [t=4,26]	-3,2 [t=2,29]	5,6	0,82
15	2,7 [t=7,73]	-2,1 [t=1,66]	4,8	0,81
16	1,6 [t=1,42]	-2,7 [t=0,35]	4,3	0,81
17	1,2 [t=9,82]	-3,1 [t=7,02]	4,3	0,81
18	3,0 [t=2,12]	-1,1 [t=2,31]	4,1	0,78
19	2,7 [t=0,42]	-1,9 [t=9,85]	4,6	0,78
20	3,0 [t=1,25]	-1,3 [t=6,49]	4,3	0,76
21	1,6 [t=1,95]	-2,8 [t=2,64]	4,4	0,74
22	2,2 [t=0,31]	-2,0 [t=1,31]	4,2	0,73
23	3,3 [t=4,86]	-0,8 [t=9,90]	4,1	0,80
24	1,9 [t=7,72]	-3,0 [t=6,66]	4,9	0,81
25	1,4 [t=1,53]	-3,1 [t=2,15]	4,5	0,79
26	1,5 [t=0,36]	-3,7 [t=0,55]	5,2	0,79
27	0,9 [t=4,88]	-3,8 [t=2,62]	4,7	0,80
28	1,0 [t=8,42]	-3,6 [t=8,23]	4,6	0,80
29	4,1 [t=7,72]	-1,1 [t=7,10]	5,2	0,80
30	2,7 [t=7,60]	-1,0 [t=9,99]	3,7	0,80

Č.M..... číslo merania

Y_{MAX_1} maximálna hodnota posudzovaného grafu, v danom časovom okamihu

Y_{MIN_1} minimálna hodnota posudzovaného grafu, v danom časovom okamihu

R_1 variačné rozpätie posudzovaného grafu

DFT_1 hodnoty získané Fourierovou transformáciou

6.3 Druhé vyvažovanie brúsneho kotúča

Pri druhom vyvažovaní som sa snažila ešte presnejšie umiestniť malé závažia na kotúči. Skúška vyvažovania a jeho presnosti prebiehala rovnako ako v prvom prípade vid'. kapitola 6.2. Keď sa mi podarilo dosiahnuť, aby sa kotúč na vyvažovačke vôbec netočil vložil sa naspäť do brúsky. Po zapnutí stroja sa opäť nechala čas na ustálenie a po jeho uplynutí som namerala za sebou ďalších 30 meraní, počas ktorých som ukladala namerané grafy. Postup pri meraní a analýza výsledkov sa robili obdobným spôsobom ako pri prvom vyvážení brúsneho kotúča.



Obr.16 Kotúč pripevnený v brúske po druhom vyvážení

6.3.1 Výsledky analýzy

Tab. 2. Výsledky po druhom vyvážení kotíča

Č.M.	$Y_{MAX_2}(\mu\text{m})$ [čas (s)]	$Y_{MIN_2}(\mu\text{m})$ [čas (s)]	R_2 (μm)	DFT_2 (μm)
1	1,6 [t=7,97]	-1,3 [t=2,01]	2,9	0,2
2	1,7 [t=8,59]	-0,5 [t=8,40]	2,2	0,15
3	1,7 [t=5,67]	-1,2 [t=5,91]	2,9	0,16
4	0,6 [t=1,07]	-1,8 [t=0,88]	2,4	0,18
5	2,2 [t=6,36]	-0,9 [t=6,55]	3,1	0,17
6	1,0 [t=9,49]	-1,0 [t=0,03]	2,0	0,17
7	1,1 [t=3,36]	- 1,1 [t=3,55]	2,2	0,17
8	0,8 [t=9,58]	-1,0 [t=9,77]	1,8	0,17
9	1,0 [t=6,10]	-0,8 [t=4,65]	1,8	0,16
10	0,8 [t=9,15]	-1,3 [t=0,99]	2,1	0,16
11	0,5 [t=0,93]	-0,8 [t=4,87]	1,3	0,16
12	1,0 [t=9,50]	-0,7 [t=8,44]	1,7	0,16
13	0,7 [t=3,72]	-1,2 [t=4,90]	1,9	0,16
14	6,6 [t=7,06]	-3,9 [t=0,08]	10,5	1,99
15	3,5 [t=4,77]	-3,0 [t=0,39]	6,5	1,18
16	1,9 [t=6,28]	-1,0 [t=6,09]	2,9	0,16
17	1,0 [t=9,20]	-1,3 [t=1,29]	2,3	0,16
18	0,7 [t=1,04]	-1,2 [t=0,85]	1,9	0,16
19	0,7 [t=0,79]	-1,1 [t=0,60]	1,8	0,17
20	2,2 [t=8,12]	-1,1 [t=9,57]	3,3	0,17
21	1,7 [t=0,13]	-0,8 [t=0,36]	2,5	0,17
22	1,3 [t=8,35]	-1,0 [t=9,42]	2,3	0,17
23	2,4 [t=8,51]	-0,9 [t=7,58]	3,3	0,17
24	1,8 [t=3,47]	-0,6 [t=3,28]	2,5	0,17
25	0,7 [t=1,55]	-3,3 [t=0,48]	4,0	0,16
26	1,2 [t=7,45]	-1,1 [t=8,94]	2,3	0,17
27	1,2 [t=6,22]	-2,0 [t=2,67]	3,2	0,17
28	1,4 [t=7,09]	-1,1 [t=6,03]	2,5	0,16
29	0,9 [t=3,20]	-1,6 [t=9,31]	2,5	0,17
30	0,5 [t=6,20]	-1,2 [t=2,64]	1,7	0,16

Č.M..... číslo merania

Y_{MAX_2} maximálna hodnota posudzovaného grafu, v danom časovom okamihu

Y_{MIN_2} minimálna hodnota posudzovaného grafu, v danom časovom okamihu

R_2 variečné rozpätie posudzovaného grafu

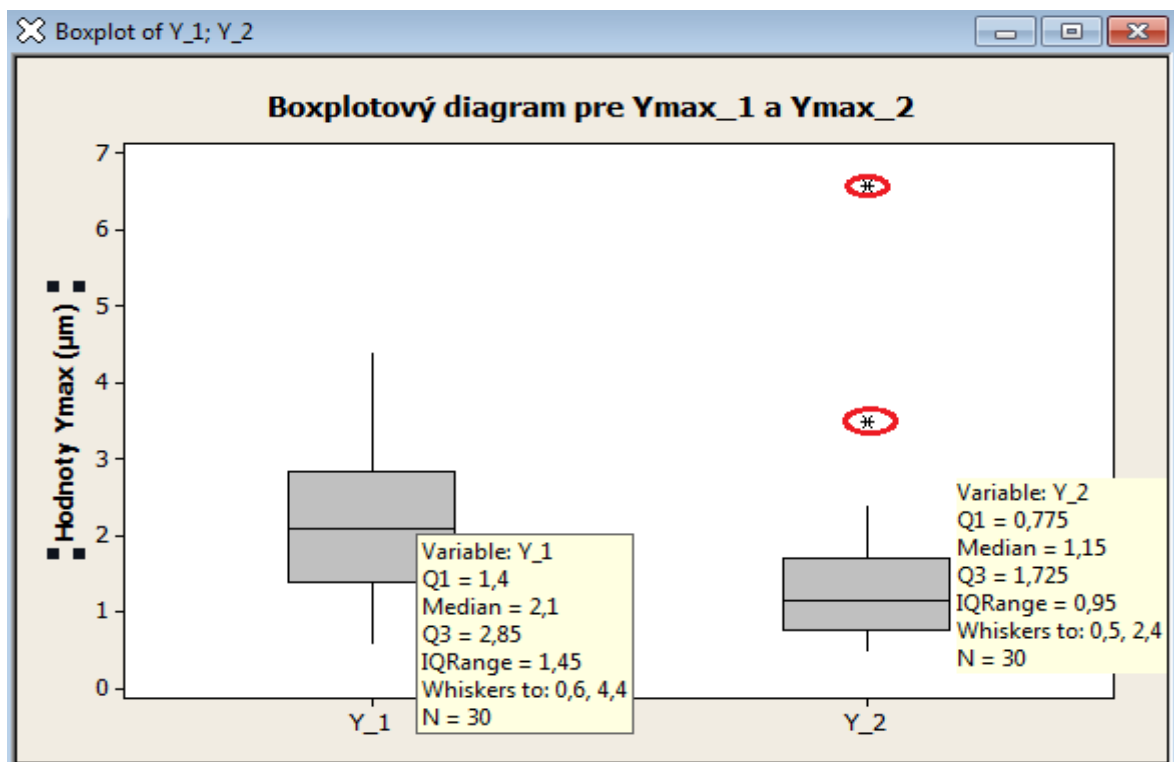
DFT_2 hodnoty získané Fourierovou transformáciou

7 POROVNANIE

7.1 Porovnanie 1. a 2. vyvažovania

7.1.1 Boxplotové diagramy

Hodnoty zaškrtnuté červenou sú vychýlené hodnoty merania. O ich vzniku, ako je spomínané vyššie sa dá len špekulovať. Vychýlené hodnoty neovplyvňujú polohu výsledkov boxplotového diagramu, pretože mediány a kvartilí sú robustné štatistiky.

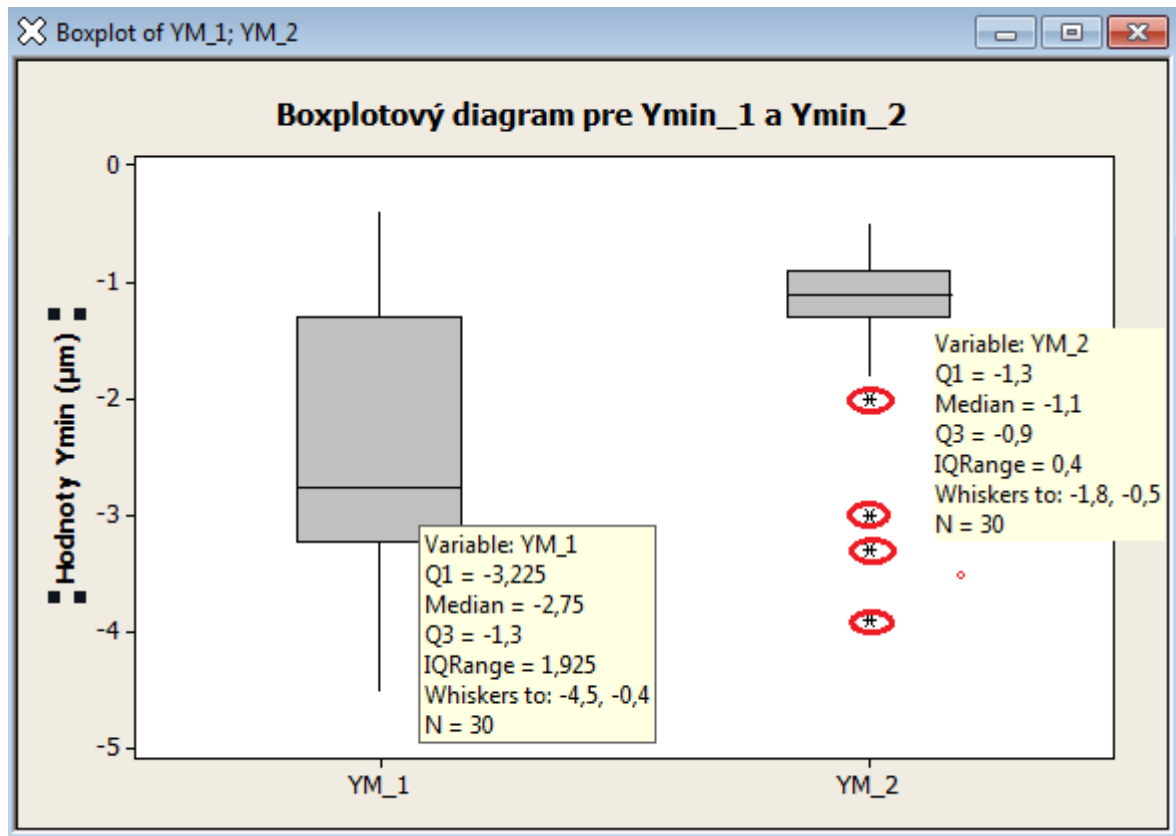


Graf 3. Boxplotový diagram maximálnych hodnôt oboch vyvažovaní

Y_1..... maximálne hodnoty po 1. vyvažovaní

Y_2..... maximálne hodnoty po 2. vyvažovaní

Z boxplotového diagramu je jednoznačne vidieť, že opätovné vyváženie brusného kotúča má zmysel. Rozdiel maximálnych výchylek v prvom a druhom prípade je značný, o približne 1 µm.

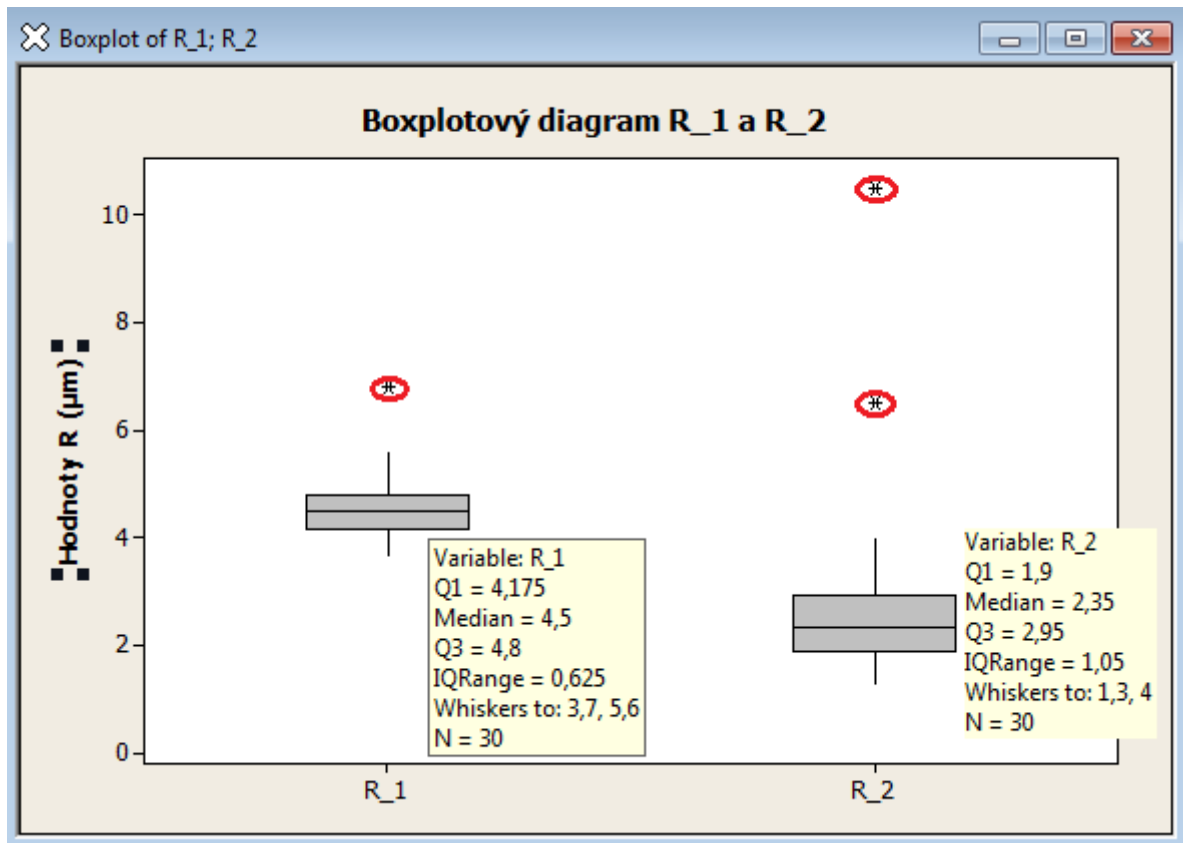


Graf 4. Boxplotový diagram minimálnych hodnôt oboch vyvažovaní

YM_1..... minimálne hodnoty po 1. vyvažovaní

YM_2..... minimálne hodnoty po 2. vyvažovaní

Na grafe s minimálnymi hodnotami je vidieť ešte výraznejšie zlepšenie druhého vyváženía. Minimálne hodnoty po prvom vyvážení majú väčšie rozptyly a po druhom vyvážení je vidieť, ako sa posunuli o 2 μm , čo prispieva k celkovému zlepšeniu používania brúsneho kotúča.

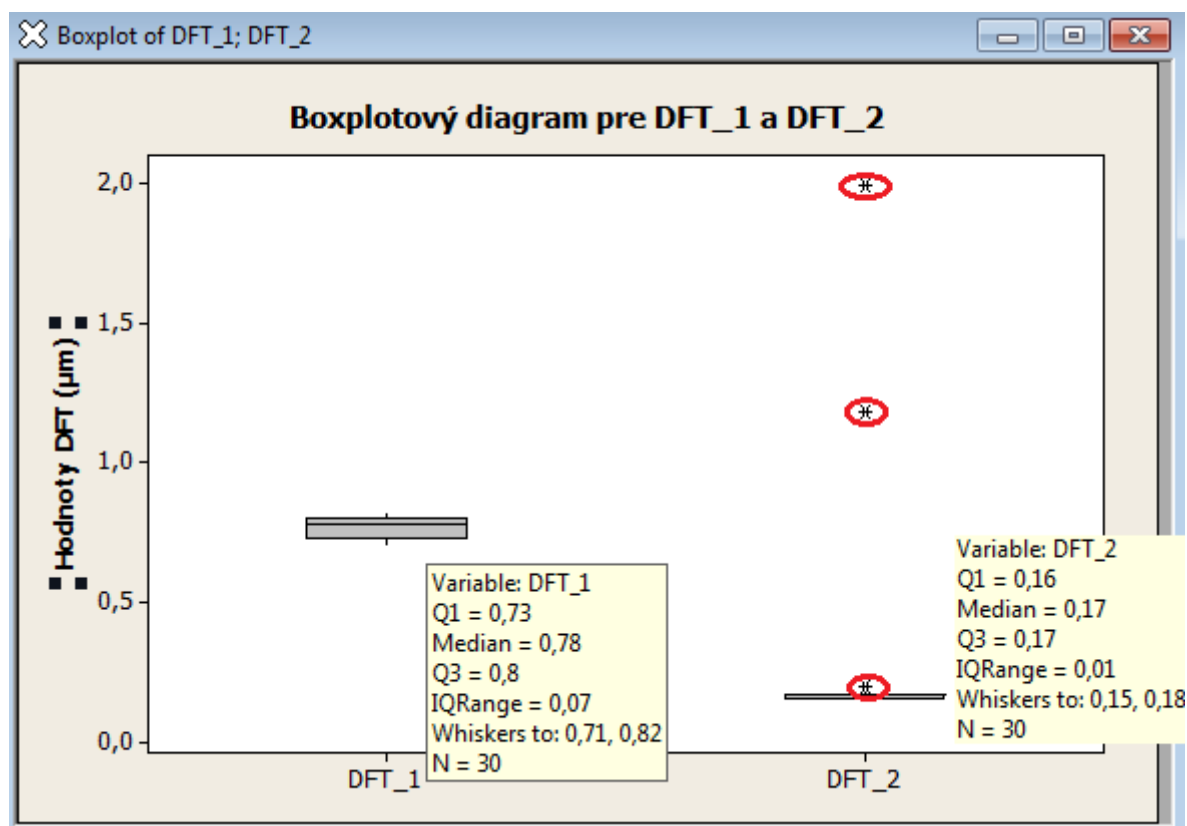


Graf 5. Boxplotový diagram variačných rozpätí oboch vyvažovaní

R_1..... variačné rozpätie po 1. vyvažovaní

R_2..... variačné rozpätie po 2. vyvažovaní

Z grafu je jasné, že finálne preváženie sa stalo výhodným, hodnoty poklesli, variačné rozpätie druhého vyváženia je o 2 μm znížené.



Graf.6 Boxplotový diagram hodnôt FFT transformácie oboch vyvažovaní

DFT_1..... hodnoty získané fourierovou transformáciou po 1. vyvažovaní

DFT_2..... hodnoty získané fourierovou transformáciou po 2. vyvažovaní

Z grafu vyčítame podstatne nižšiu prvú harmonickú vibráciu po 2. vyvažovaní v dôsledku lepšieho vyváženia. Druhé vyvažovanie splnilo svoju úlohu a vibrácie podstatne dosť poklesli a približujú sa k nule.

Po porovnaní grafov a ich preskúmaní môžeme skonštatovať, že opätovné preváženie bolo prevedené úspešne, čo potvrdzujú aj samotné výsledky namerané laserinterferometrom. Podarilo sa dosiahnuť, aby brúsny kotúč vibroval čo najmenej a s tým spojené výhody, ktoré sú pri dobrom vyvážení poznateľné.

7.2 Porovnanie kontaktného a bezkontaktného meraním

Meranie kontaktným spôsobom nie je hlavnou náplňou témy tejto bakalárskej práce, preto sa jej venujem len okrajovo. Meradlo, ktoré bolo použité pri tomto meraní sa volá balatron. Mojou úlohou bolo kontrolovať, či meria správne hodnoty v porovnaní z hodnotami zaznamenanými v počítači.



Obr.17 Zaznamenanie hodnoty na balatrone po prvom vyvážení

Na obrázku je vidieť danú hodnotu, avšak po prvom vyvažovaní a spustení kotúča sa ručička dosť vychýľovala okolo zaznamenatej hodnoty. Bolo zjavné, že vibrácie sú veľké v dôsledku nevyvážky.



Obr.18 Zaznamenanie hodnoty na balatrone po druhom vyvážení

Po druhom vyvážení hodnota podstatne klesla a ručička už nekmitala s veľkým rozsahom. Vibrácie sa znížili, čo sa dalo pozorovať aj na balatrone.

Pri meraní som zistila, že daný balatron meria približne rovnako. Avšak nie je možné s ním zachytiť presné hodnoty ako u lasera. Je to spôsobené menšou zotrvačnosťou ručičky, preto skôr pri ukazovaní hodnôt priemeruje hodnoty a pri meraní nastáva kmitanie ručičky. Je vhodné ho používať na orientačné merania.

ZÁVER

Ciele pre splnenie bakalárskej práce boli splnené. Venovala som sa teoretickým štúdiom vibrodiagnostiky a vyvažovaniu brúsnych kotúčov. Prakticky som vyvažovala brusný kotúč a sledovala ako pôsobí vyvažovanie na vznik vibrácií. Nasledovne som spracovala a vyhodnotila získané informácie z grafov vid'. príloha č.1. Zo zistených informácií vyplýva, že dobré vyváženie kotúča má veľký vplyv na presnosť výroby výrobkov, pre správny chod stroja a jeho dlhej životnosti. Pri meraní vibrácií bol použitý laserový interferometer a hodnoty boli porovnávané s hodnotami na balatrone. Bolo dokázané, že prístroj určený pre kontaktné meranie meria približne rovnako, aj napriek svojej dlhej životnosti a dá sa používať pre orientačné merania. Avšak meranie bezkontaktným spôsobom je nielenže oveľa presnejšie, ale dáva nám možnosť presného záznamu vzniknutých vibrácií na pozorovanom objekte, čo prináša podstatný význam a možnosť sledovania vibrácií a odhalenia závad, ktoré nie sú pozorovateľné voľným okom. Taktiež napomáha k predchádzaniu poškodenia stroja a skorému odhaleniu závad pri ich vzniku. Samotné bezkontaktné meranie je jednoznačne dôležitým prínosom do strojárenského priemyslu. Jedinou prekážkou k jeho už aj tak rozrastajúceho používania je obstarávacia cena prístroja pre bezkontaktné meranie.

Táto bakalárska práca, ktorej som sa venovala splnila moje očakávania. Získala som nové poznatky z oblasti vibračnej diagnostiky, možnosť vidieť ako sa pracuje s laserovým interferometrom a spraviť analýzu zo získaných grafov. Táto skúsenosť ma obohatila o cenné vedomosti a podporila moje rozhodnutie vzdelávať sa a zaoberať riadením kvality.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] *Technická diagnostika* [online], [cit. 2011-19-04], Dostupné z: http://fsi.utc.sk/ktvi/leitner/2_predmety/KTS/Podklady/TD.pdf
- [2] VDOLEČEK, F.: *Spolehlivost a technická diagnostika* [online], [cit. 2011-20-04], skriptum VUTB, 2002
- [3] *Externý systém a analýza výsledkov diagnostiky strojov* [online], [cit. 2011-25-04], Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/akce/2000/KonfFS04/Proceedings/papers/46.pdf>
- [4] KREIDL M., ŠMÍD R., *Technická diagnostika*, Nakladatelství BEN – technická literatura, Praha, 2006, s.398, ISBN 80-7300-158-6
- [5] JANDOVÁ K., *Vibrodiagnostika* [online], [cit. 2011-4-05], Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk.html>
- [6] Michelsonův interferometr. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 12 apríla 2008, last modified on 3 apríla 2011 [cit. 2011-05-02]. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Michelsonův_interferometr.
- [7] CHUDÝ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ M., *Meranie technických veličín*, Slovenská technická univerzita v Bratislave, vydavateľstvo STU Bratislava, 1999, s.678, ISBN 80-227-1275-2
- [8] VASILKO K., BOKUČAVA, *Brúsenie kovových materiálov*, Bratislava, ALFA, 1988, s.235
- [9] ZONGOR J., *Technológia obrábania a montáže*, Slovenská technická univerzita v Bratislave, ALFA vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1986, s.200, 63-734-86
- [10] VALENT O., GALÁD M., KAČMÁR Ľ., *Technická diagnostika 1*, [online], [cit. 2011-04-22], Dostupné z: <http://cmms.cz/>
- [11] *Vibračná diagnostika rotujúcich strojov* [online], [cit. 2011-05-018], Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vibracna-diagnostika-rotujucich-strojov>
- [12] *Meranie a analýza vibrácií* [online], [cit. 2011-05-04], Dostupné z: <http://jan.krivohlavy.cz/mereni-analyza-vibraci>

- [13] BLOG J., CHOVANEC A., KIANICOVÁ M., *Technická diagnostika* [online],
Vydala TNUNI v spolupráci s VOP 027 š.p Trenčín a vydavateľstvom GC Tech,
2002, ISBN 80-88914-66-3
- [14] *Nexus Plus* s.r.o. [online], [cit. 2011-06-09], Dostupné z:
<<http://www.nexusplus.sk/Cinnost/Diagnostika/Vibrodiagnostika/Vibrodiagnostika.htm>>
- [15] Stroje a technológia : Bezdemontážna diagnostika. *Strojárstvo* [online]. 2001, 2, [cit. 2011-04-23]. Dostupný z:
<<http://www.strojarsstvo.sk/inc/index.php?ln=SK&tl=3&tpl=archiv.php&ids=2&cisl o=2/2001&idclan=172>>.
- [16] ČERNOHORSKÝ, Jiří. Technická diagnostika. *AUTOMA* [online]. 2003, 5, [cit. 2011-05-02]. Dostupný z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28810>.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

π	[-]	matematická konštanta
ω	[rad/s]	uhlová rýchlosť
t	[s]	čas
φ	[s]	posunutý začiatok vibrácie
T	[s]	perioda
λ	[m]	vlnová dĺžka
Σ	[-]	suma (súčet)
\int	[-]	integrál
a_0	[-]	koeficient Fourierovec rady
b_0	[-]	koeficient fourierovec rady
$f(t)$	[-]	komplexný časový signál
∞	[-]	nekonečno
$S(f)$	[-]	všeobecná komplexná funkci
f	[Hz]	frekvenci
Δt	[s]	vzorkovací interval
N	[-]	počet vzorkov
P	[-]	zdroj svetelných lúčiv
d	[mm]	polopriepustná sklenená doštička
k_1	[-]	kompenzačná doštička
Z	[-]	zrkadlá
D	[-]	ďalekohlad
$f_{1,2}$	[-]	referenčné lúče
l_1	[-]	neónový laser
n	[-]	index lomu vzduchu
F	[N]	zotrvačná nevyvážená sila

m	[kg]	hmotnosť
l	[cm]	vzdialenosť nevyvážky
H	[cm]	výška kotúča
vk	[m/s]	rychlosť otáčania
g	[m/s]	zemské tiažové zrýchlenie
n	[min ⁻¹]	otáčky kotúča
Y _{max}	[μm]	maximálna hodnota
Y _{min}	[μm]	minimálna hodnota
R	[μm]	variačné rozpätie
DFT	[-]	diskrétna Fourierova transformácia
Q1	[-]	prvý kvartil
Q3	[-]	tretí kvartil

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr.1	Časové priebehy veličín vibrácií a odpovedajúca spektrálna veličina [4].....	20
Obr.2	Popis amplitúdy sínusového časového signálu [5].....	22
Obr.3	Michelsonov interferometer [6].....	26
Obr.4	Laserový interferometer [7].....	27
Obr.5	Znázornenie nevyváženého brúsneho kotúča [8].....	30
Obr.6	Schéma dynamického vyvažovania brusného kotúča [8].....	31
Obr.7	Orovnávanie brusných kotúčov [9].....	33
Obr.8	a) obrusovanie, b) odvaľovanie [8].....	34
Obr.9	Orovnávanie diamantovými kladkami [8].....	35
Obr.10	Dôkaz o vodorovnej polohe statickej vyvažovačky.....	37
Obr.11	Kotúč pripevnený v brúske po prvom vyvážení.....	38
Obr.12	Nastavenie jednotiek.....	39
Obr.13	Amplitúdový časový diagram.....	39
Obr.14	Rozbor amplitúdového časového diagramu v okamžiku maxima.....	40
Obr.15	Rozbor amplitúdového časového diagramu v okamžiku minima.....	40
Obr.16	Kotúč pripevnený v brúske po druhom vyvážení.....	44
Obr.17	Zaznamenanie hodnoty na balatrone po prvom vyváž.....	51
Obr.18	Zaznamenanie hodnoty na balatrone po druhom vyvážení.....	52

ZOZNAM TABULIEK

Tab.1 Výsledky po prvom vyvažovaní kotúča.....43

Tab.2 Výsledky po druhom vyvažovaní kotúča45

ZOZNAM GRAFOV

Graf.1 FFT zobrazující všechny vibrácie.....	41
Graf.2 FFT zobrazující vibráciu nevyvážku.....	42
Graf.3 Boxplotový diagram maximálnych hodnôt oboch vyvažovaní.....	47
Graf.4 Boxplotový diagram minimálnych hodnôt oboch vyvažovaní	48
Graf.5 Boxplotový diagram variačných rozpätí oboch vyvažovaní.....	49
Graf.6 Boxplotový diagram hodnôt FFT transformácie oboch vyvažovaní.....	49

ZOZNAM PRÍLOH

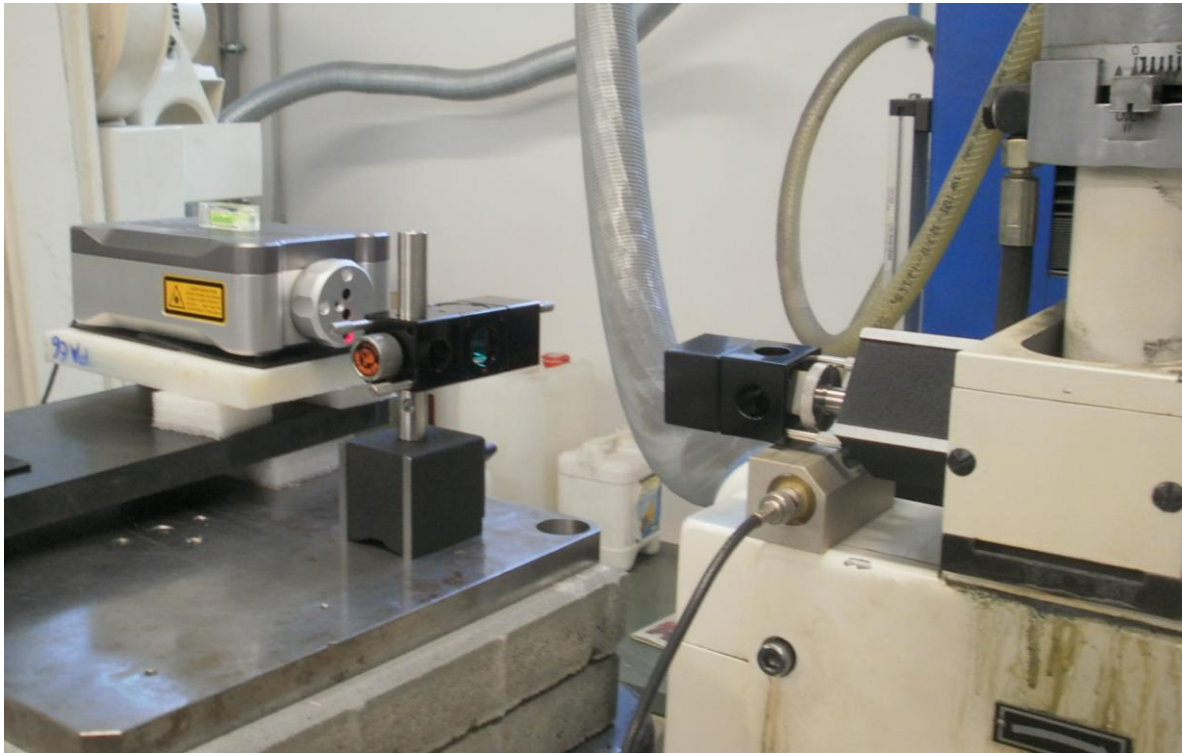
PRÍLOHA P1: MERANIE LASEROVÝM INTERFEROMETROM

PRÍLOHA P2: PREKLADOVÝ SLOVNÍK

PRÍLOHA P3: GRAFY NAMERANÉ PO VYVAŽOVANIACH

PRÍLOHA P4: POŠKODEDIE BRÚSNNEHO KOTÚČA DYNAMICKÝM
VYVAŽOVANÍM

PRÍLOHA P1: MERANIE LASEROVÝM INTERFEROMETROM

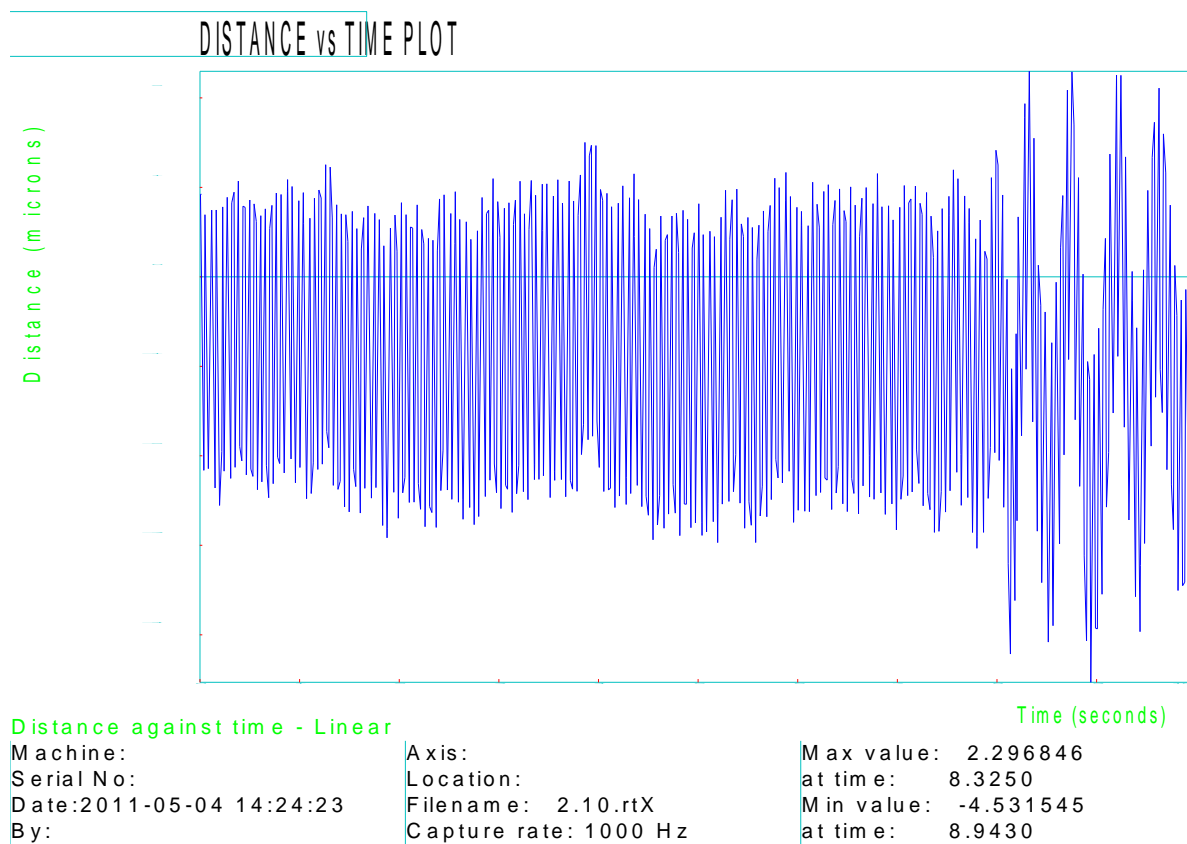


PRÍLOHA P2: PREKLADOVÝ SLOVNÍK

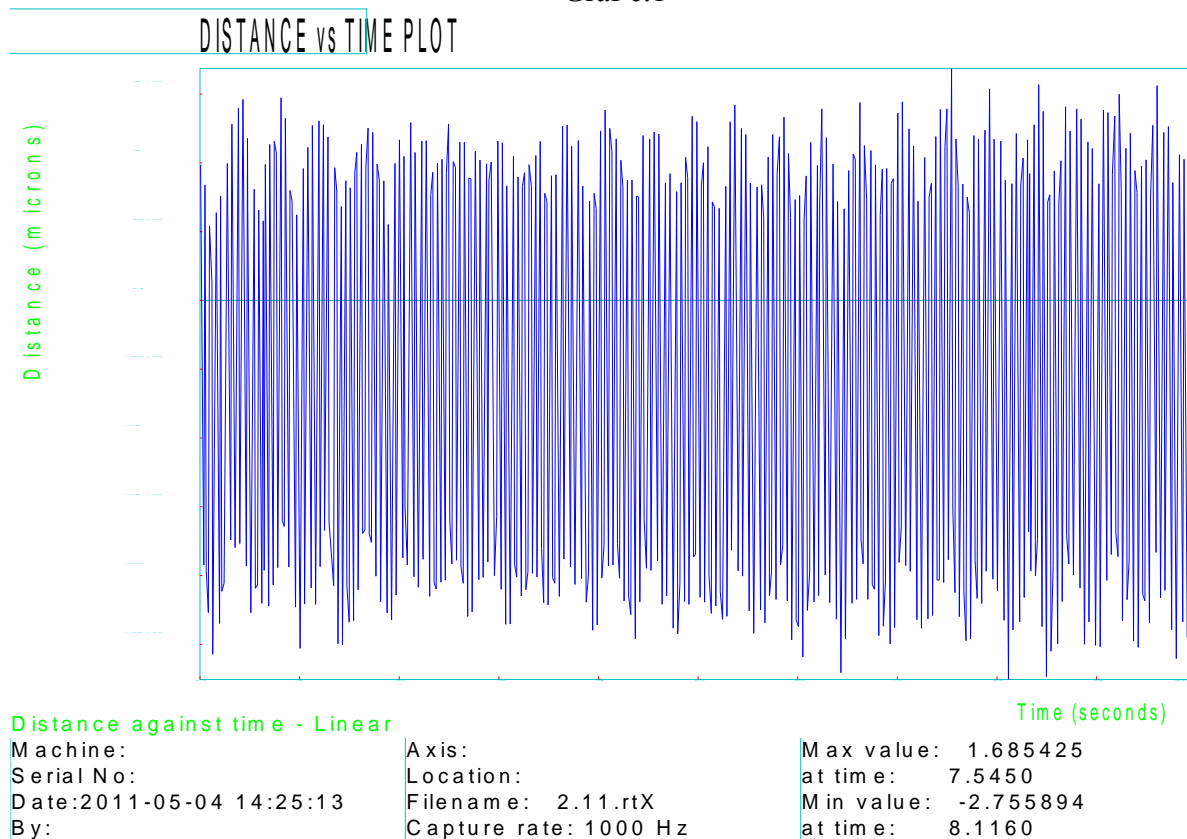
peak	výkmit
peak to peak	variačné rozpätie
average	priemerná hodnota
Root Mean Square	efektívna hodnota
time	čas
frequency	frekvencia
amplitude	amplitúda
cres factor	pribúdajúca zložka
fast fourier transformation	rýchla fourierova transformácia
capture	zachytiť
pre-trigger time	začiatok merania
post-trigger time	koniec merania
all-trigger time	celkový čas
units	jednotky
selection	výber
x axis	osa x
y axis	osa y
seconds	sekundy
minutes	minuty
millimeters	milimetre
microns	mikróny
inches	palce
thousandth	tisíciny
set as default	vníknuté oneskorenie
distance	vzdialenosť
time plot	časový plán
scale	mierka
analysis	analýza

PRÍLOHA P3: GRAFY NAMERANÉ PO VYVAŽOVANIACH

Grafy po prvom vyvážení

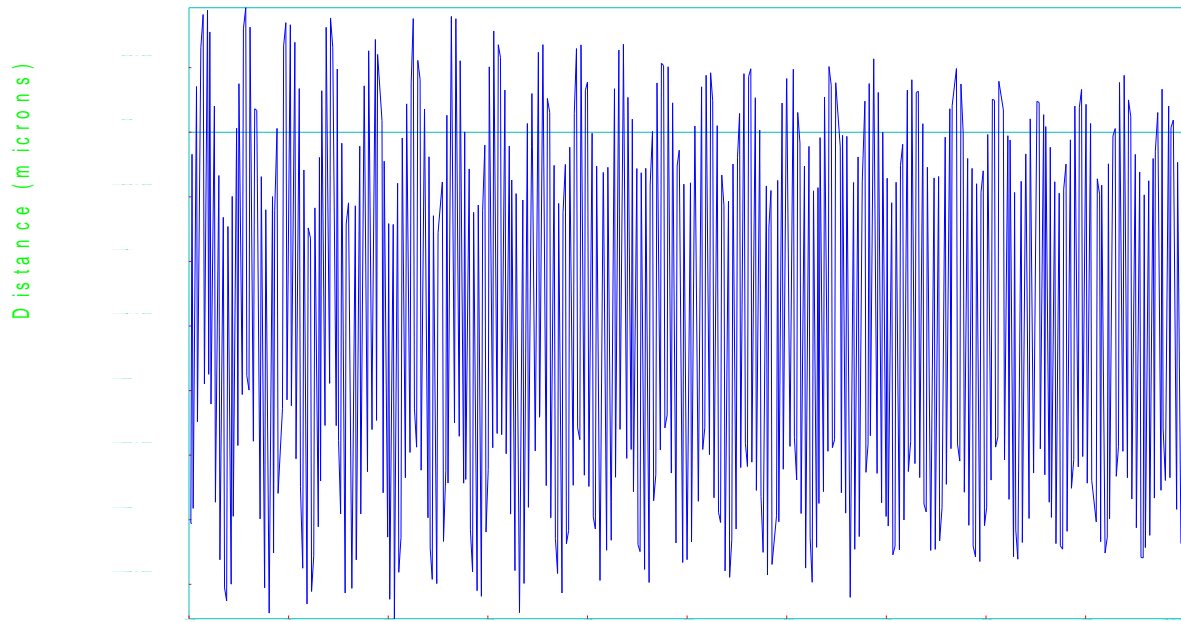


Graf č.1



Graf č.2

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

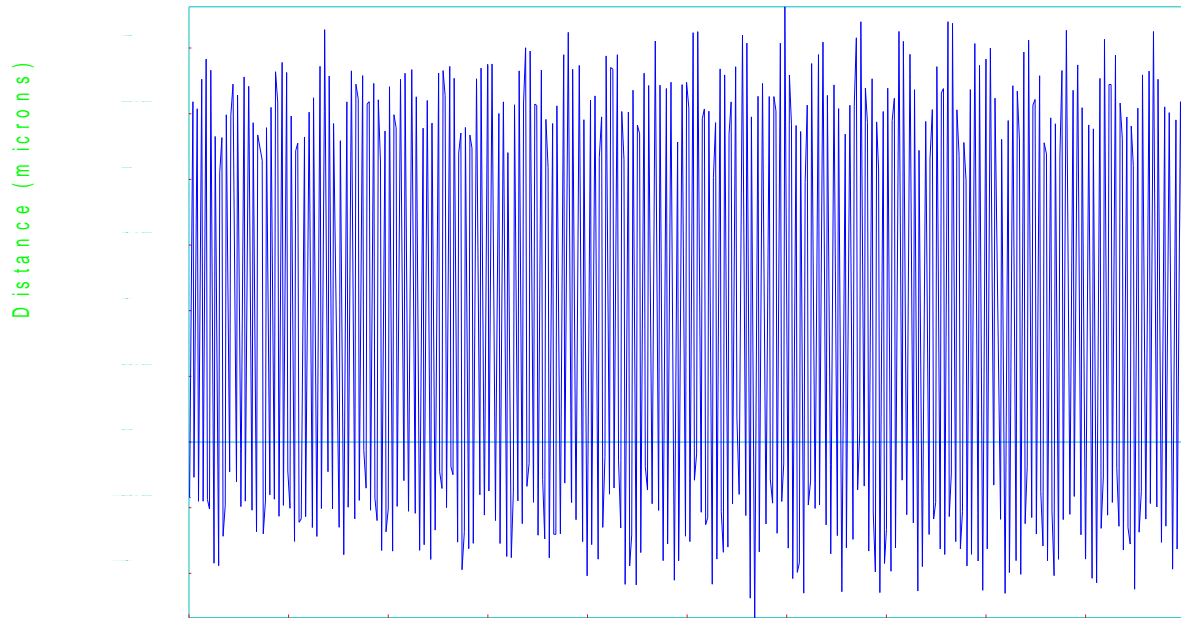
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:25:36
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.12.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.963828
at time: 0.5700
Min value: -3.766728
at time: 2.0620

Graf č.3

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

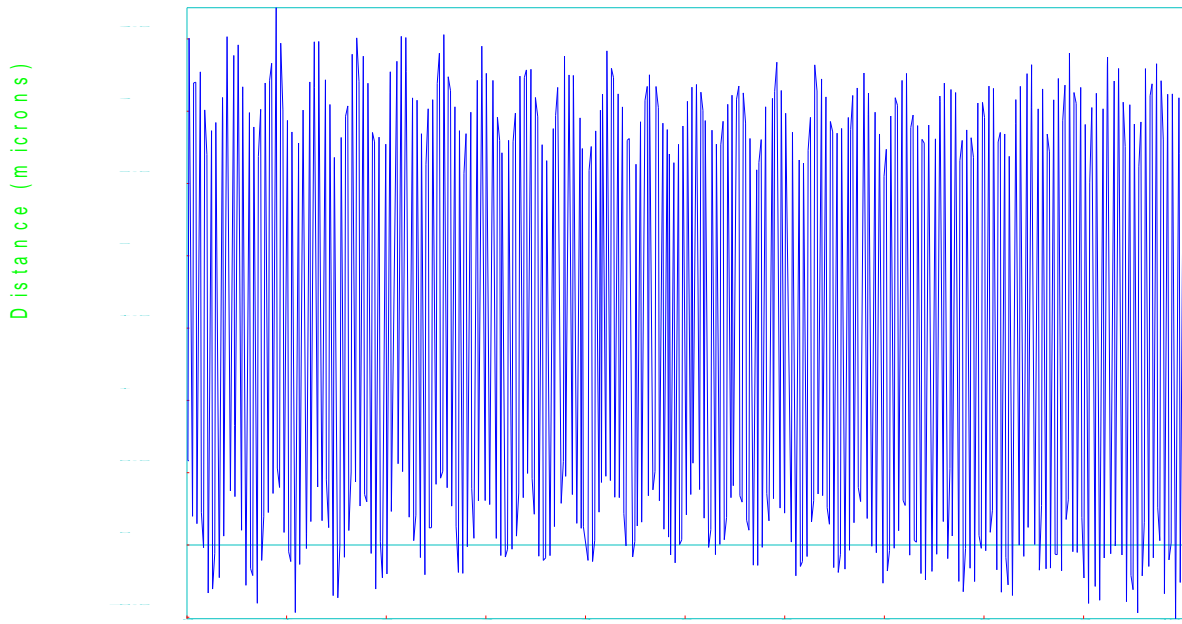
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:26:06
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.13.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 3.313724
at time: 5.9820
Min value: -1.338135
at time: 5.6800

Graf č.4

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

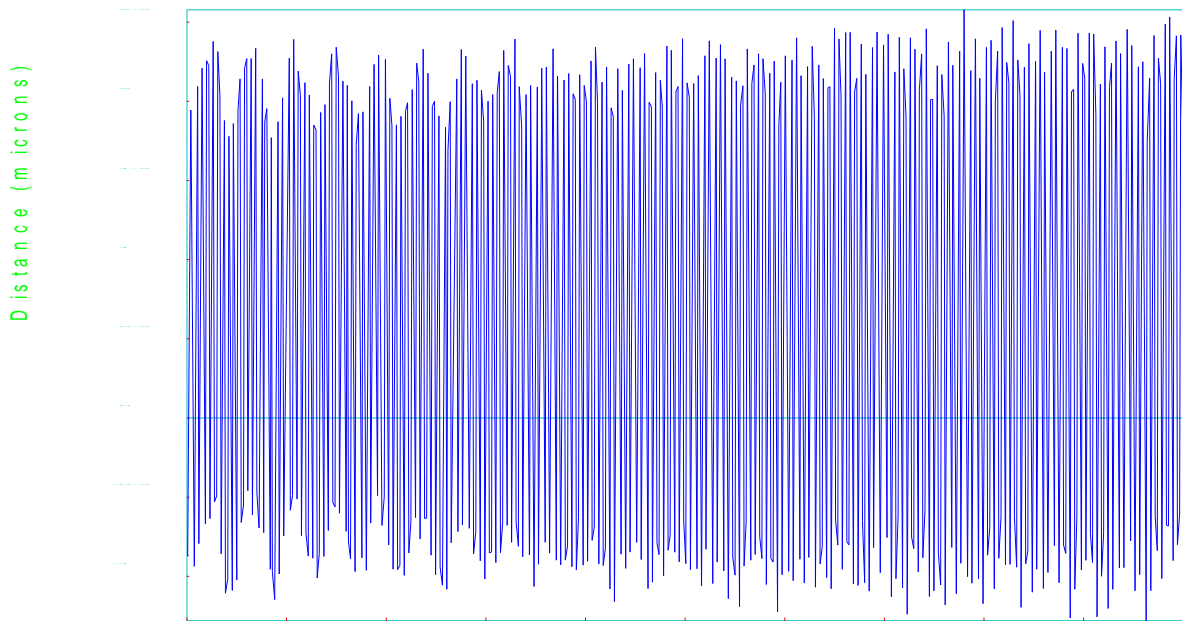
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:26:27
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.14.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 3.715899
at time: 0.8960
Min value: -0.510612
at time: 9.9240

Graf č.5

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

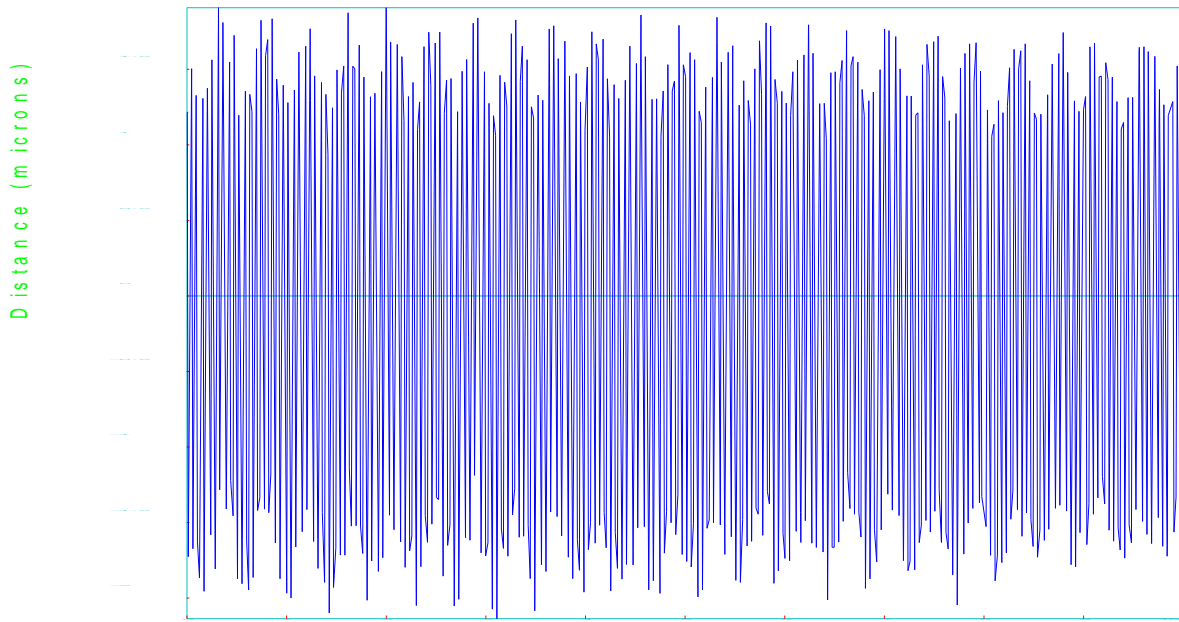
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:26:51
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.15.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.577528
at time: 7.8010
Min value: -1.280663
at time: 9.6290

Graf č.6

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

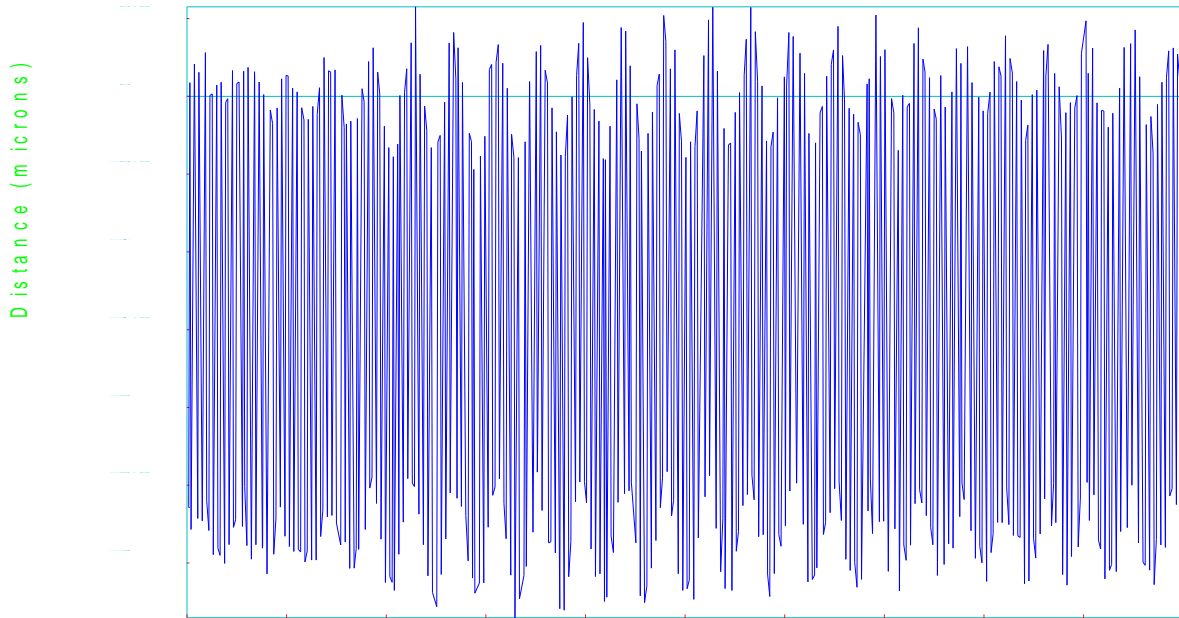
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:27:12
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.16.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 1.907765
at time: 0.3170
Min value: -2.136903
at time: 3.1110

Graf č.7

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

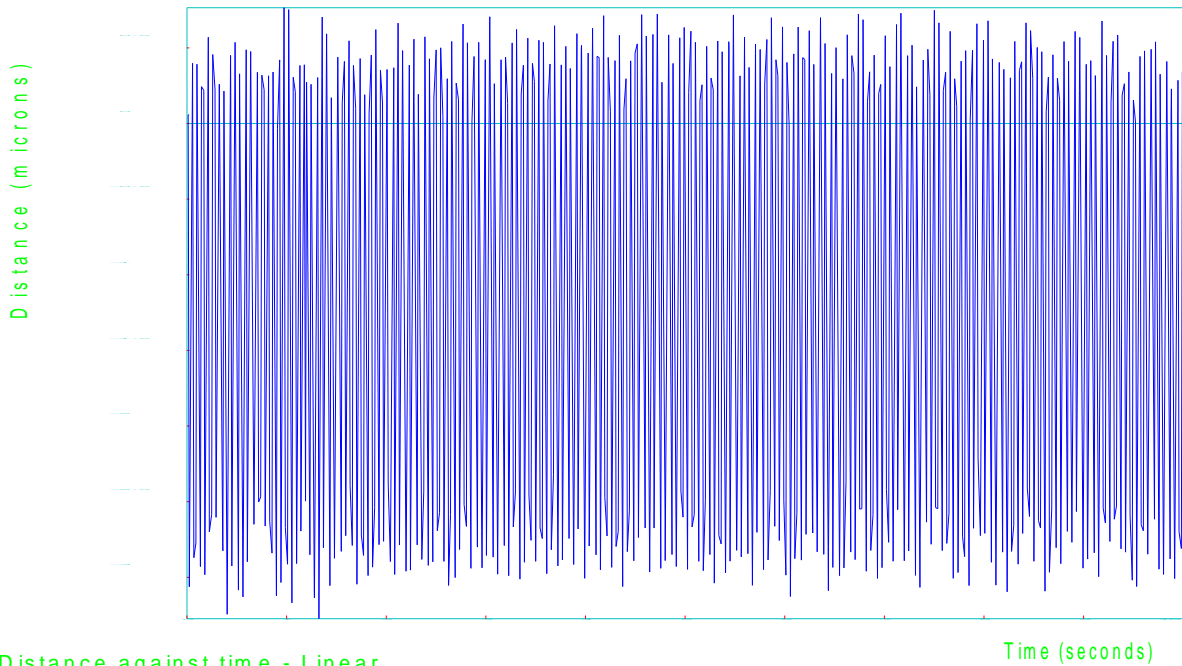
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:27:39
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.17.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 0.575616
at time: 2.2950
Min value: -3.352155
at time: 3.2930

Graf č.8

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

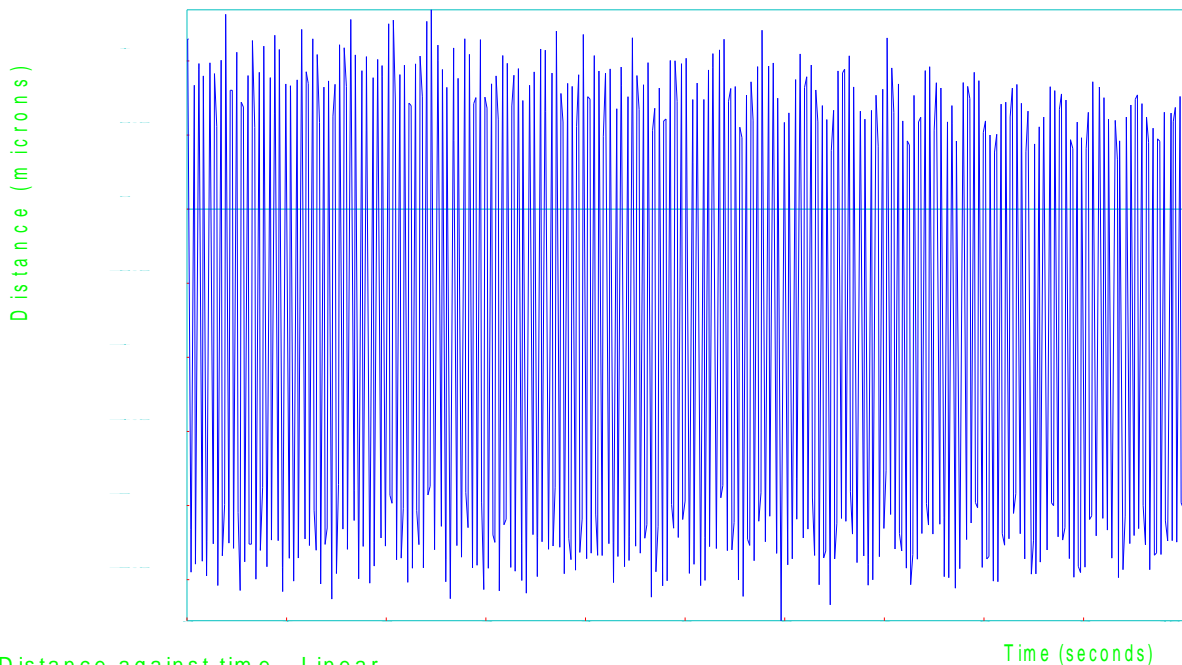
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:28:00
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.18.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.765107
at time: 0.9750
Min value: -3.274038
at time: 1.3250

Graf č.9

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

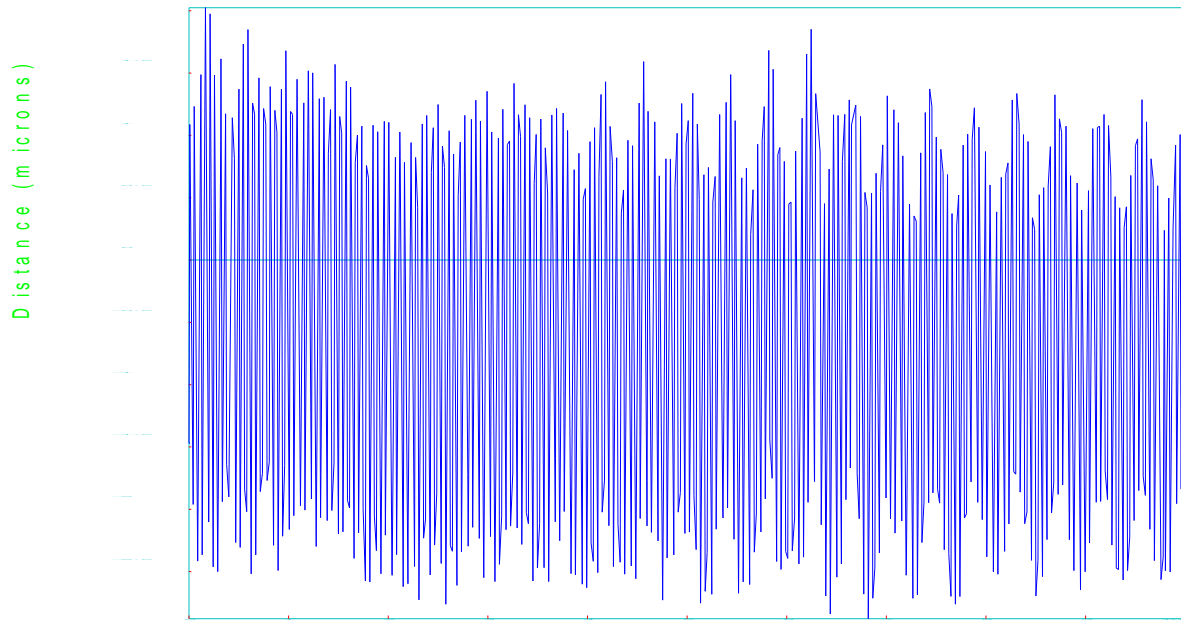
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:28:21
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.19.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.344759
at time: 2.4530
Min value: -2.777427
at time: 5.9640

Graf č.10

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

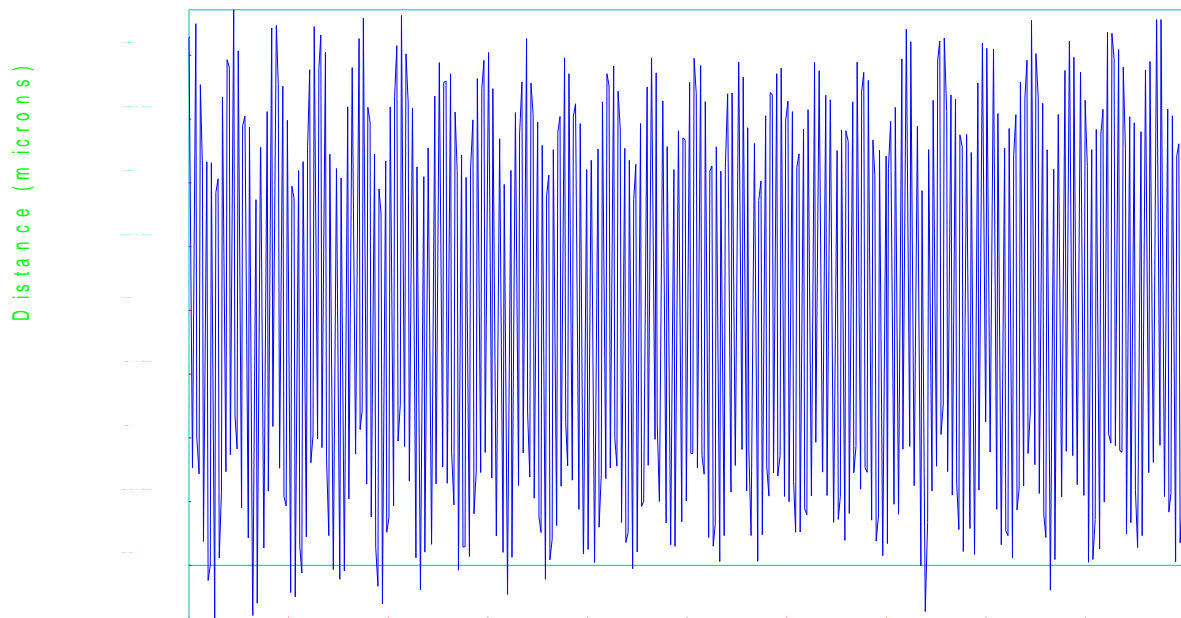
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:37:36
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.20.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.024429
at time: 0.1660
Min value: -2.878623
at time: 6.8190

Graf č.11

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

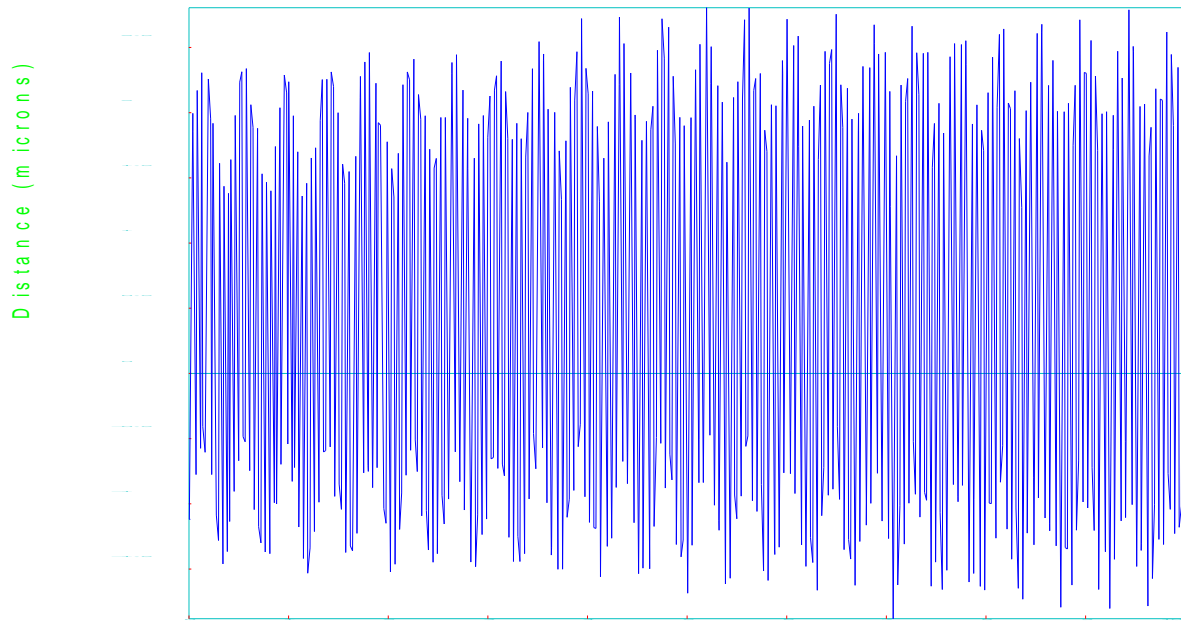
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:29:13
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.21.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 4.356616
at time: 0.4490
Min value: -0.434348
at time: 0.2590

Graf č.12

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

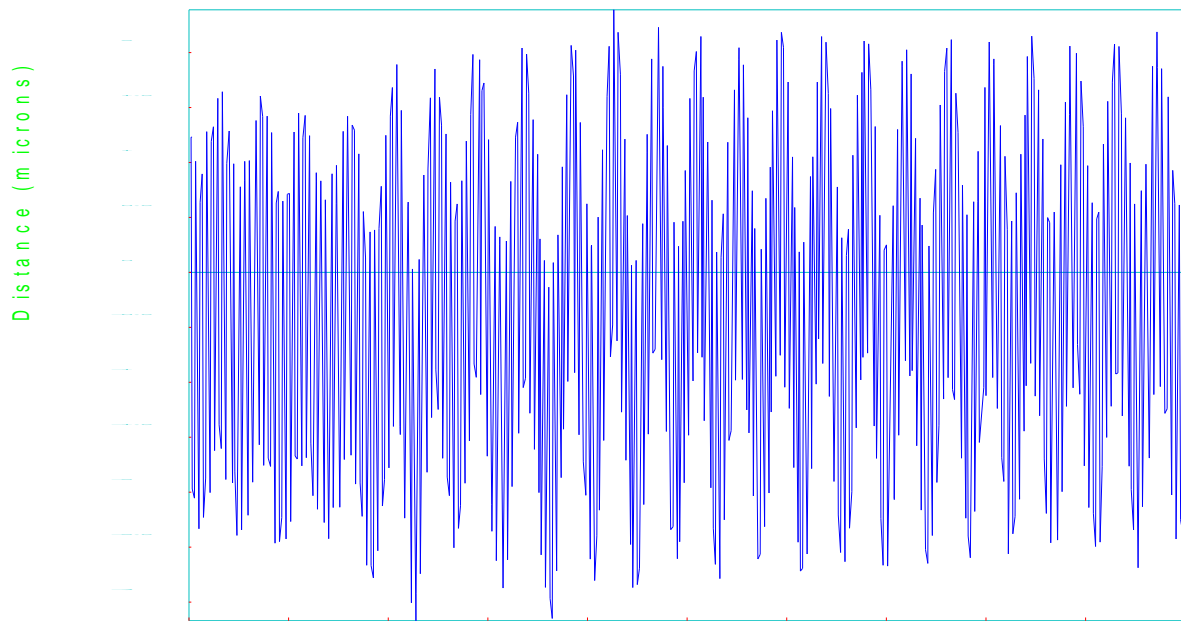
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:29:33
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.22.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.804735
at time: 5.1960
Min value: -1.881636
at time: 7.0690

Graf č.13

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

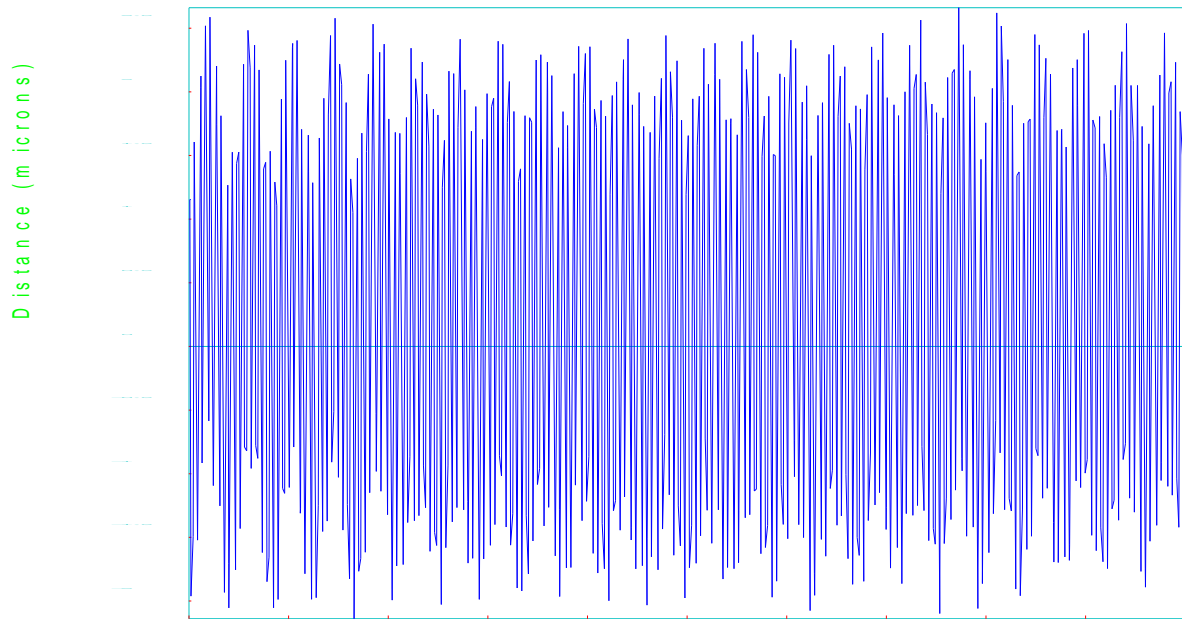
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:30:36
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.23.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.388907
at time: 4.2640
Min value: -3.169386
at time: 2.2790

Graf č.14

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

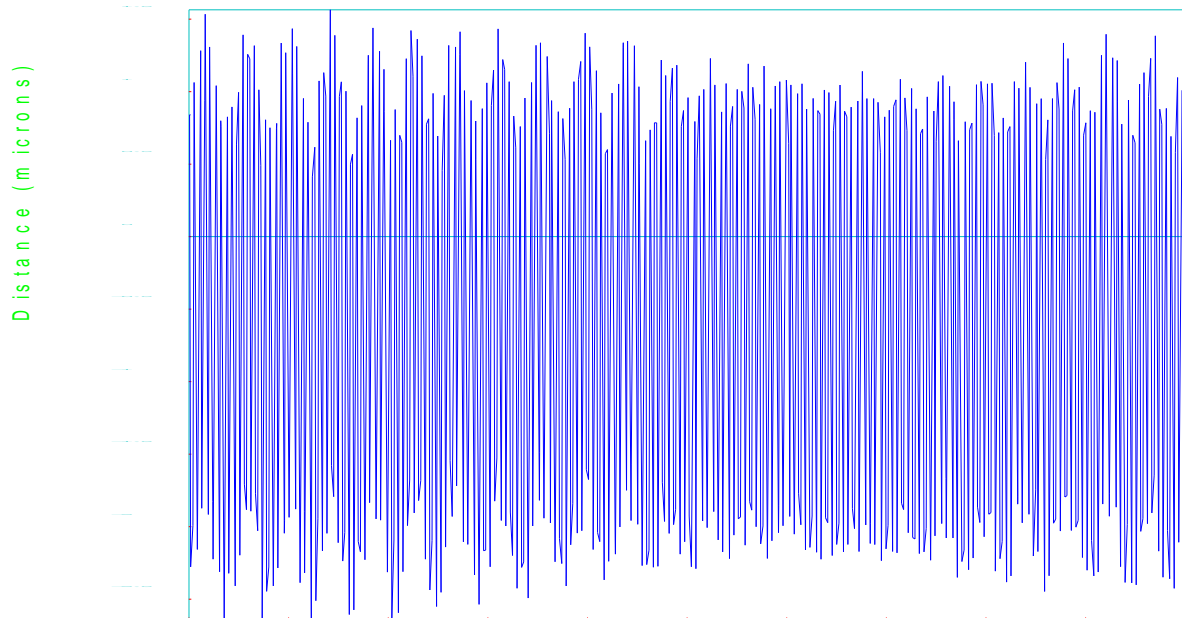
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:31:00
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.24.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.660435
at time: 7.7270
Min value: -2.139356
at time: 1.6570

Graf č.15

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

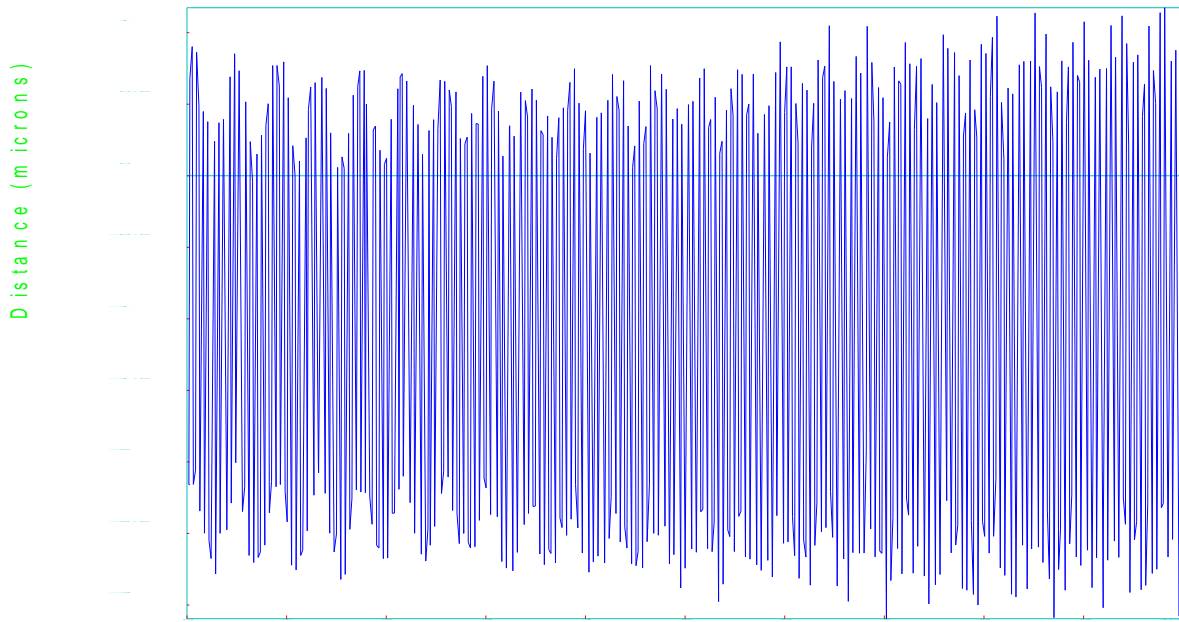
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:31:23
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.25.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.564125
at time: 1.4190
Min value: -2.648944
at time: 0.3540

Graf č.16

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

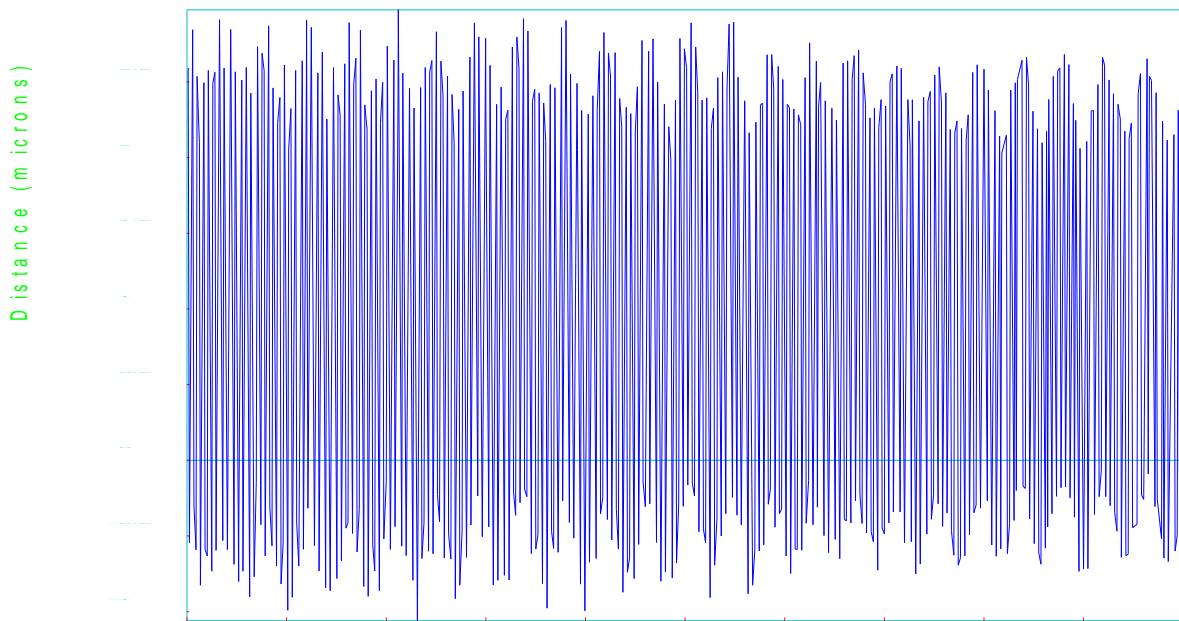
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:31:43
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.26.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 1.174040
at time: 9.8150
Min value: -3.096116
at time: 7.0210

Graf č.17

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

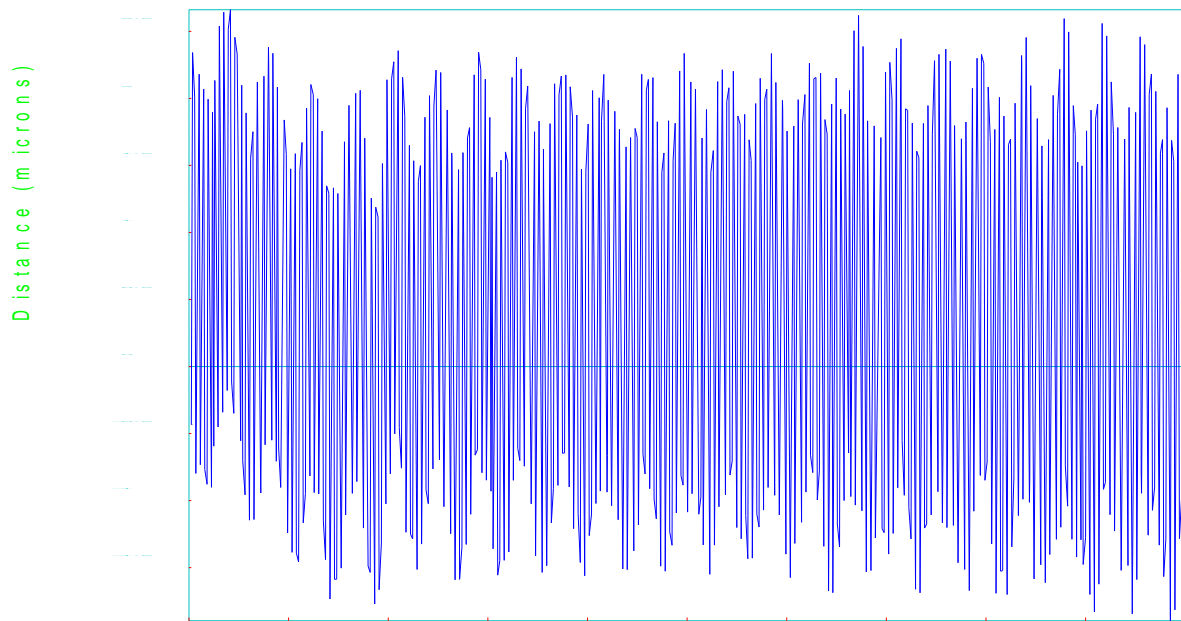
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:32:43
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.27.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 2.975994
at time: 2.1220
Min value: -1.059925
at time: 2.3130

Graf č.18

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

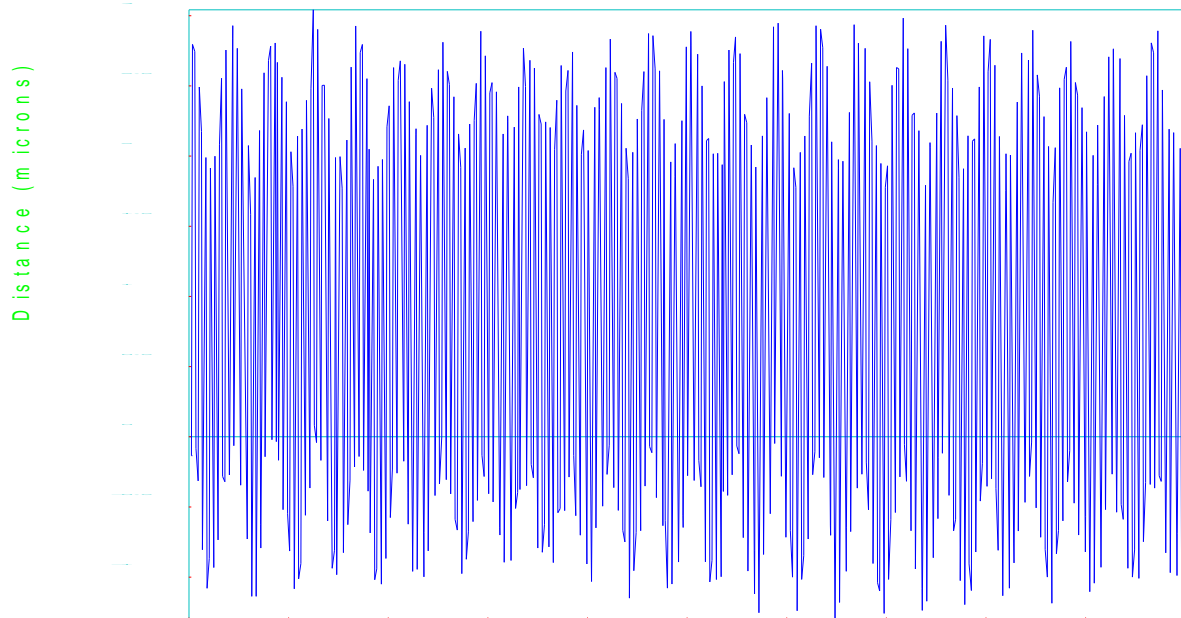
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:33:05
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.28.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.661091
at time: 0.4170
Min value: -1.896332
at time: 9.8520

Graf č.19

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

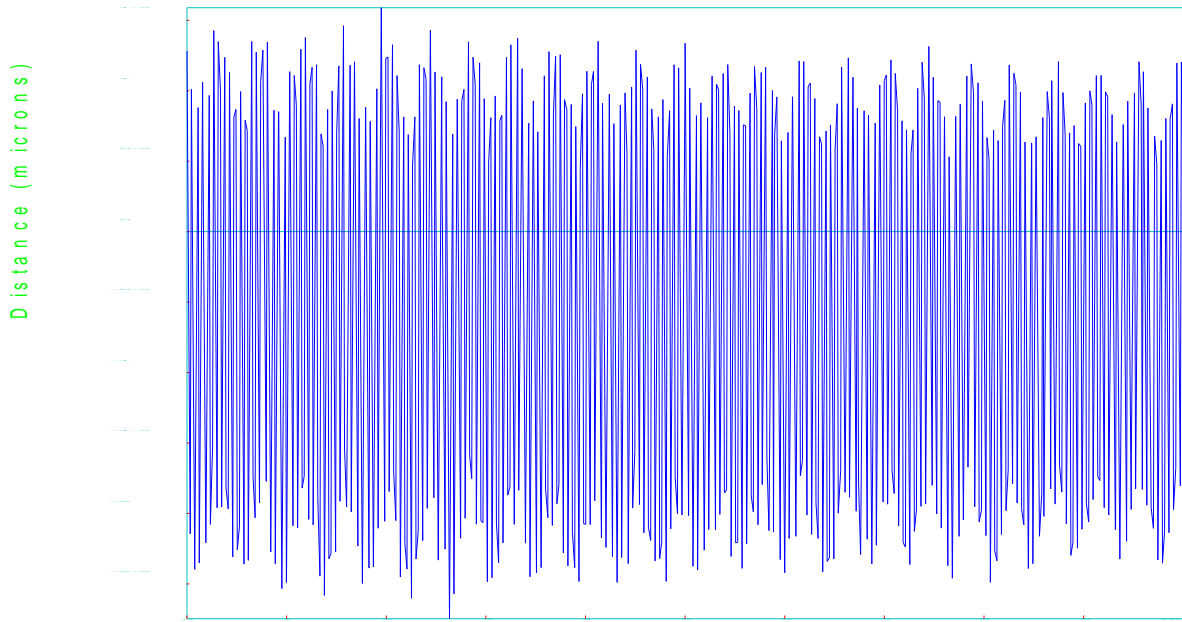
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:33:26
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.29.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 3.041791
at time: 1.2480
Min value: -1.310751
at time: 6.4850

Graf č.20

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

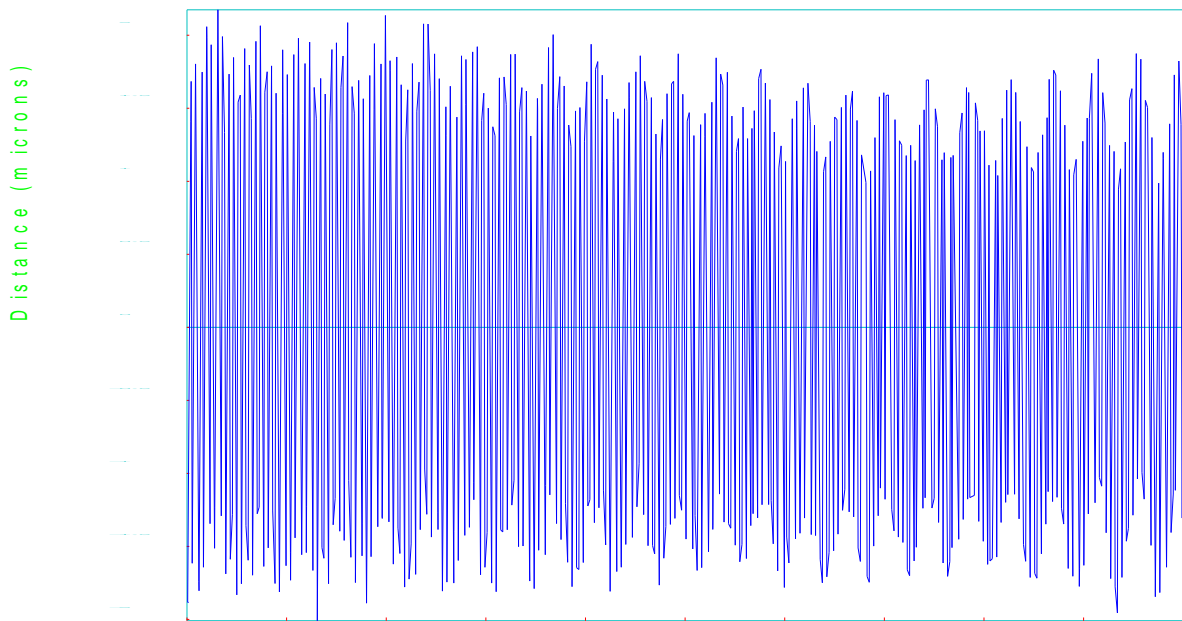
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:33:47
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.30.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.589038
at time: 1.9510
Min value: -2.747320
at time: 2.6360

Graf č.21

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

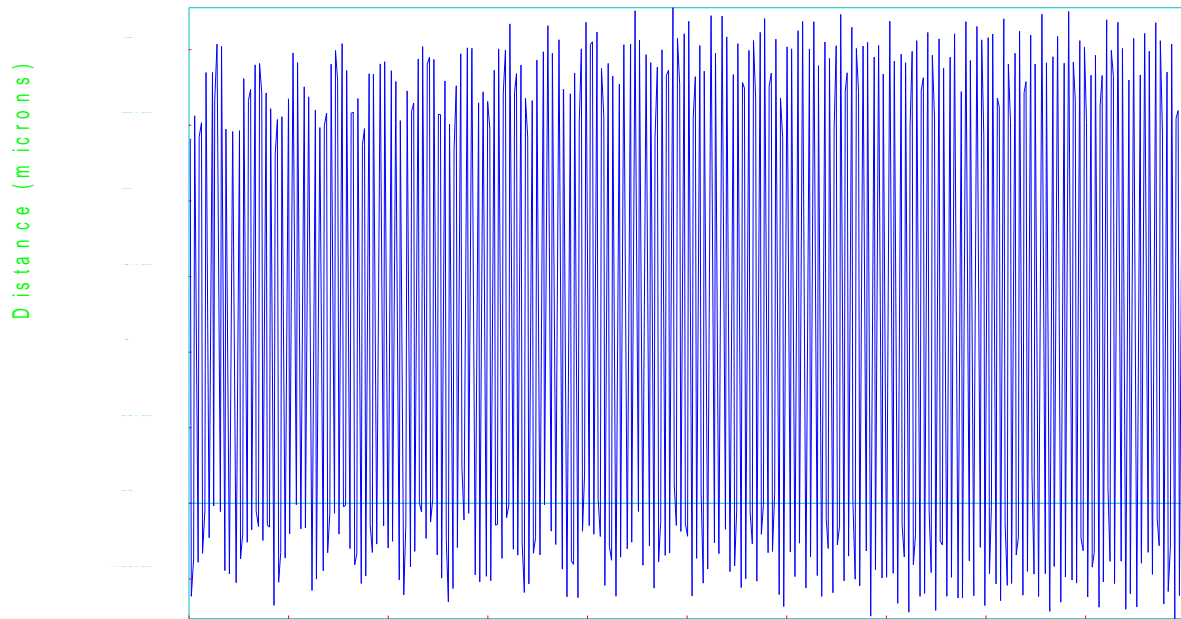
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:34:08
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.31.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.173905
at time: 0.3110
Min value: -2.008922
at time: 1.3090

Graf č.22

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

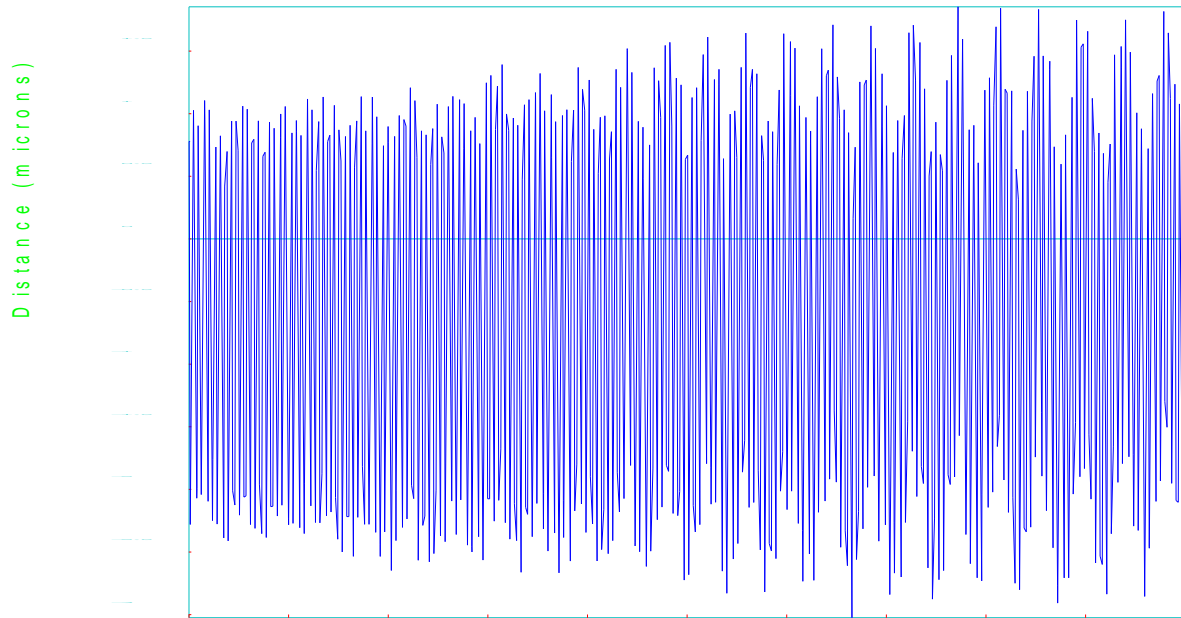
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:34:27
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.32.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 3.277051
at time: 4.8590
Min value: -0.763485
at time: 9.8960

Graf č.23

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

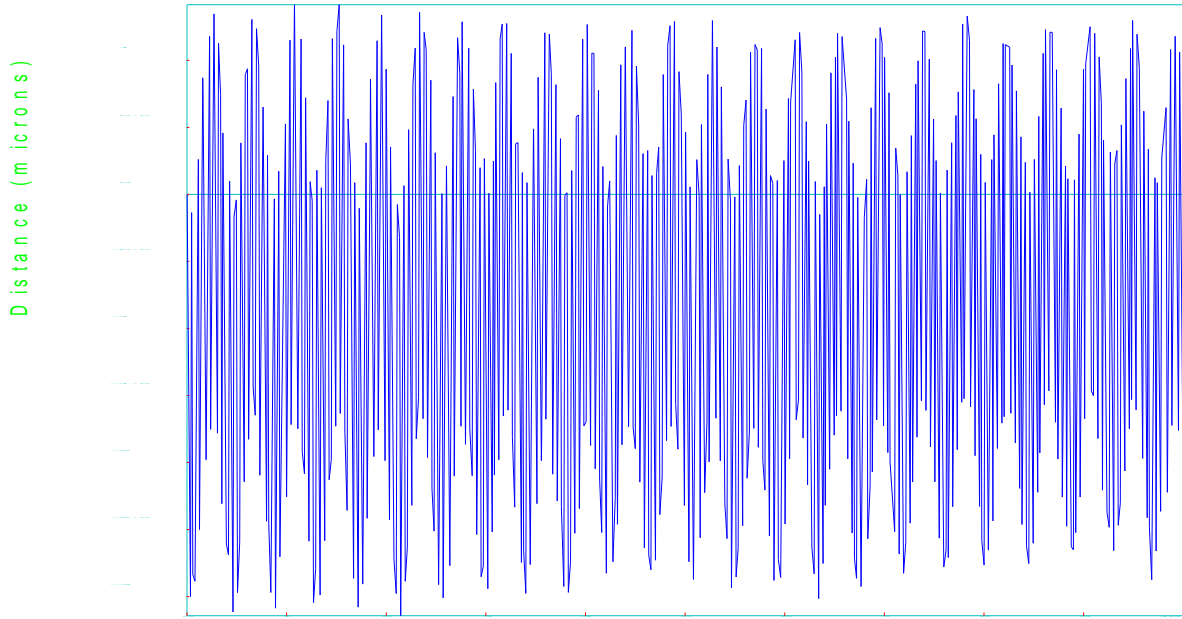
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:34:47
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.33.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.853382
at time: 7.7200
Min value: -3.025144
at time: 6.6550

Graf č.24

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

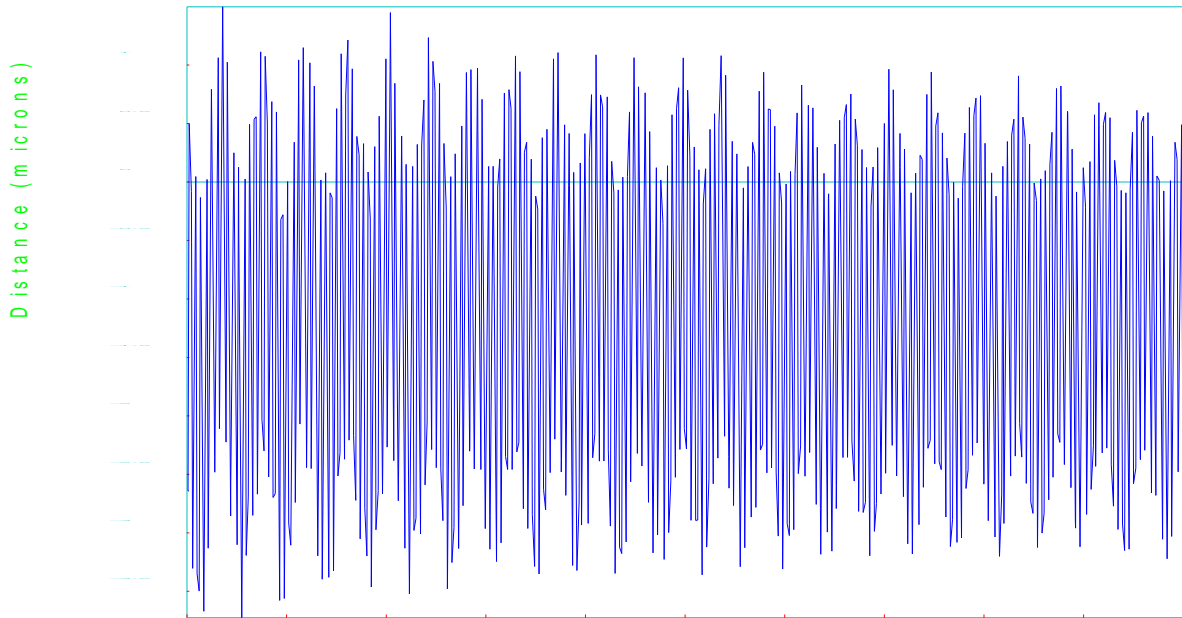
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:35:06
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.34.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 1.414824
at time: 1.5280
Min value: -3.143392
at time: 2.1460

Graf č.25

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

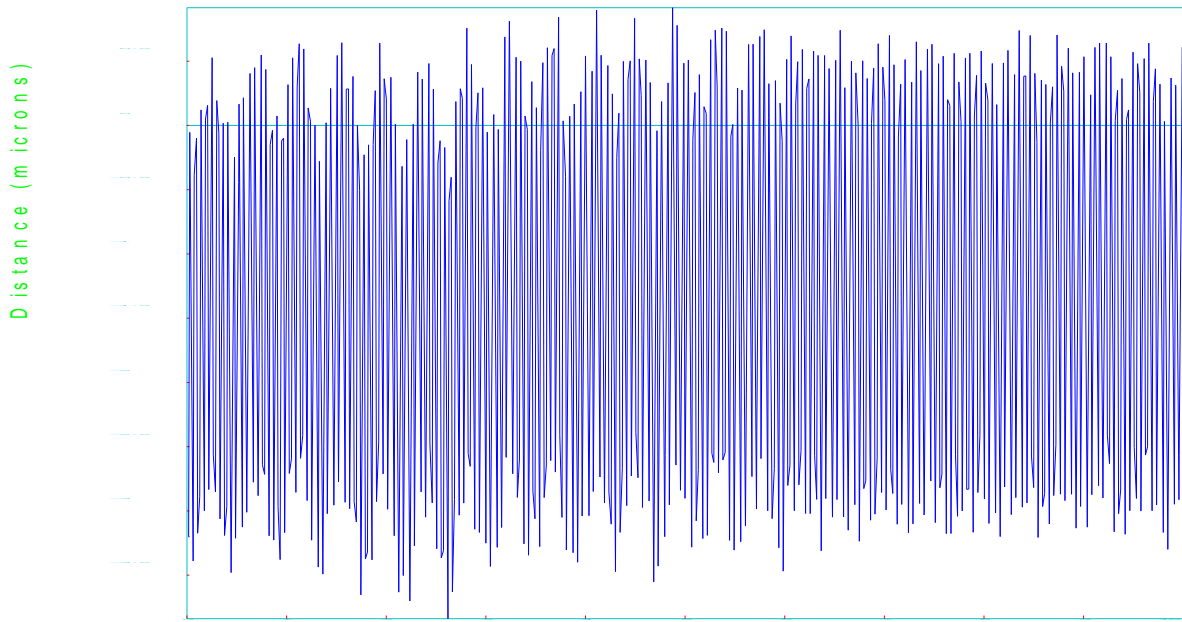
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:35:25
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.35.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 1.497460
at time: 0.3590
Min value: -3.725922
at time: 0.5500

Graf č.26

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

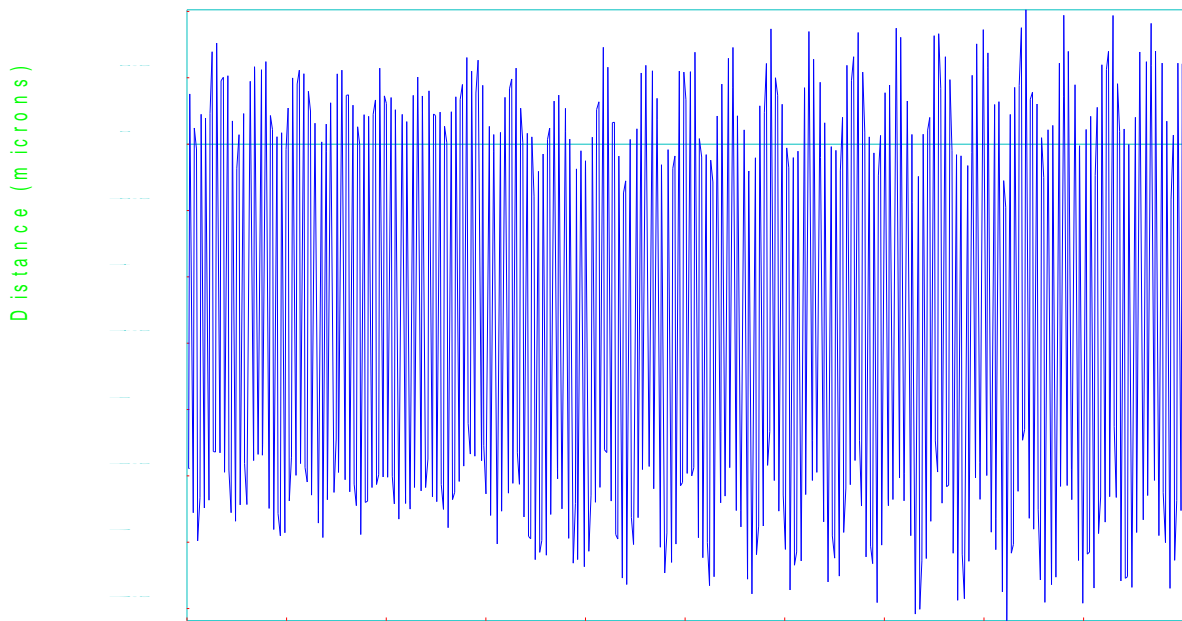
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:36:10
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.36.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.916069
at time: 4.8750
Min value: -3.839168
at time: 2.6200

Graf č.27

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

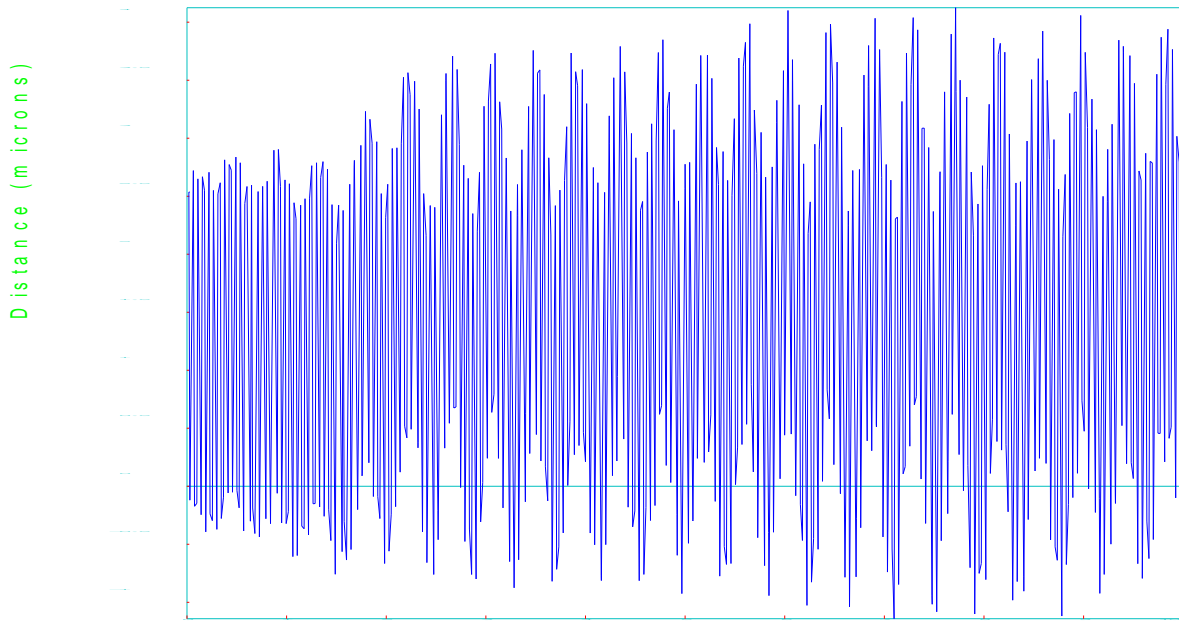
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:36:36
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.37.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.012128
at time: 8.4220
Min value: -3.591973
at time: 8.2300

Graf č.28

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

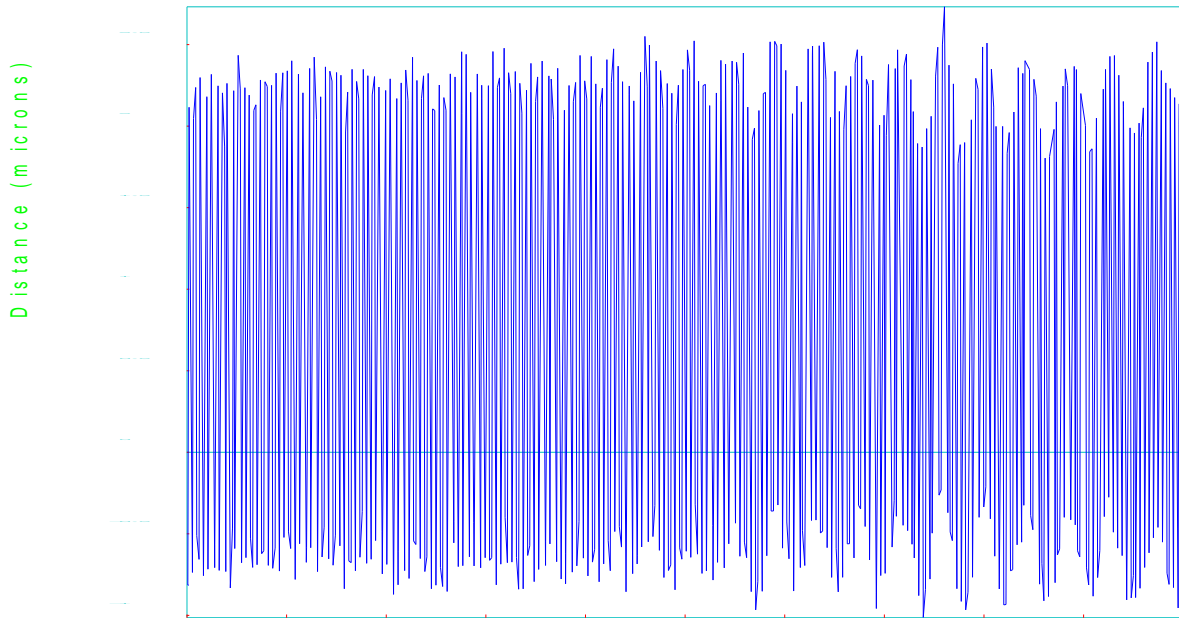
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:36:56
By:

Axis:
Location:
Filename: 2.38.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 4.124639
at time: 7.7160
Min value: -1.142137
at time: 7.0980

Graf č.29

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 14:37:17
By:

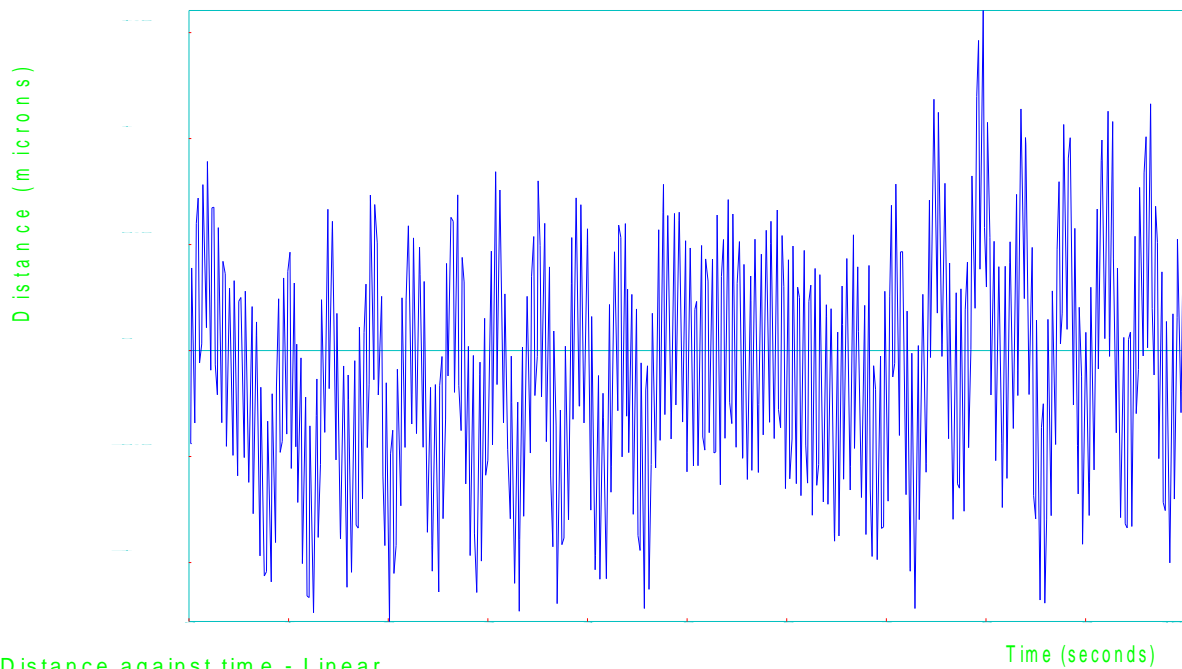
Axis:
Location:
Filename: 2.39.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.731387
at time: 7.6040
Min value: -1.014909
at time: 9.9930

Graf č.30

Grafy po druhom vyvážení

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

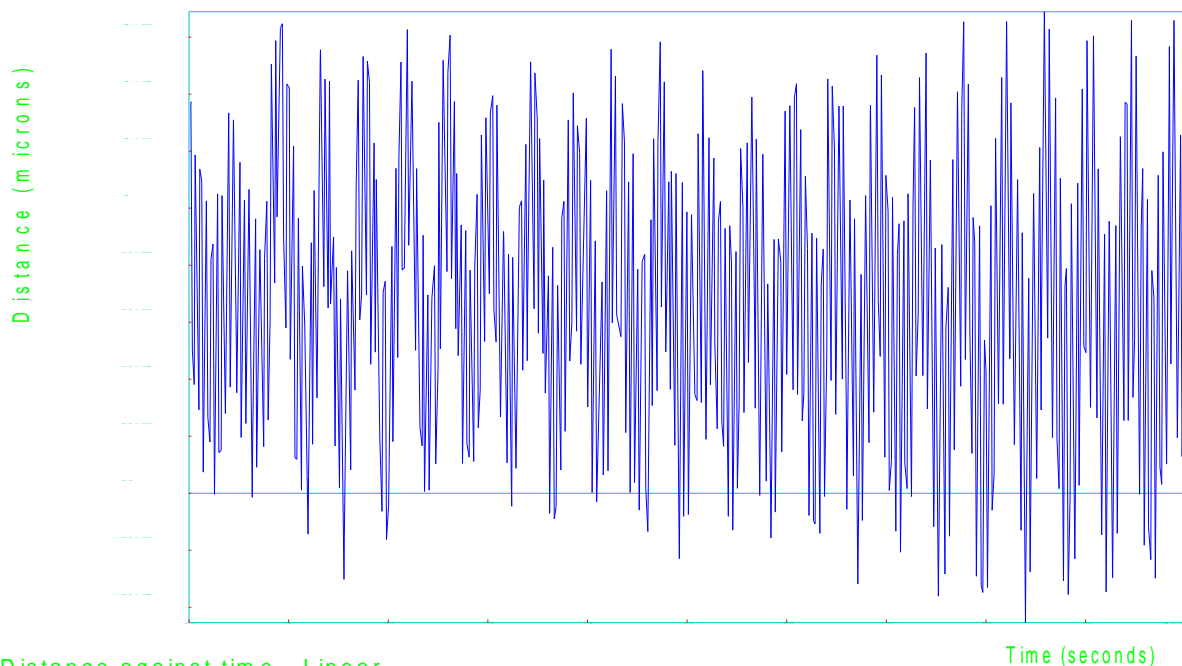
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:34:47
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.10.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.603966
at time: 7.9730
Min value: -1.278287
at time: 2.0130

Graf č.1

DISTANCE vs TIME PLOT



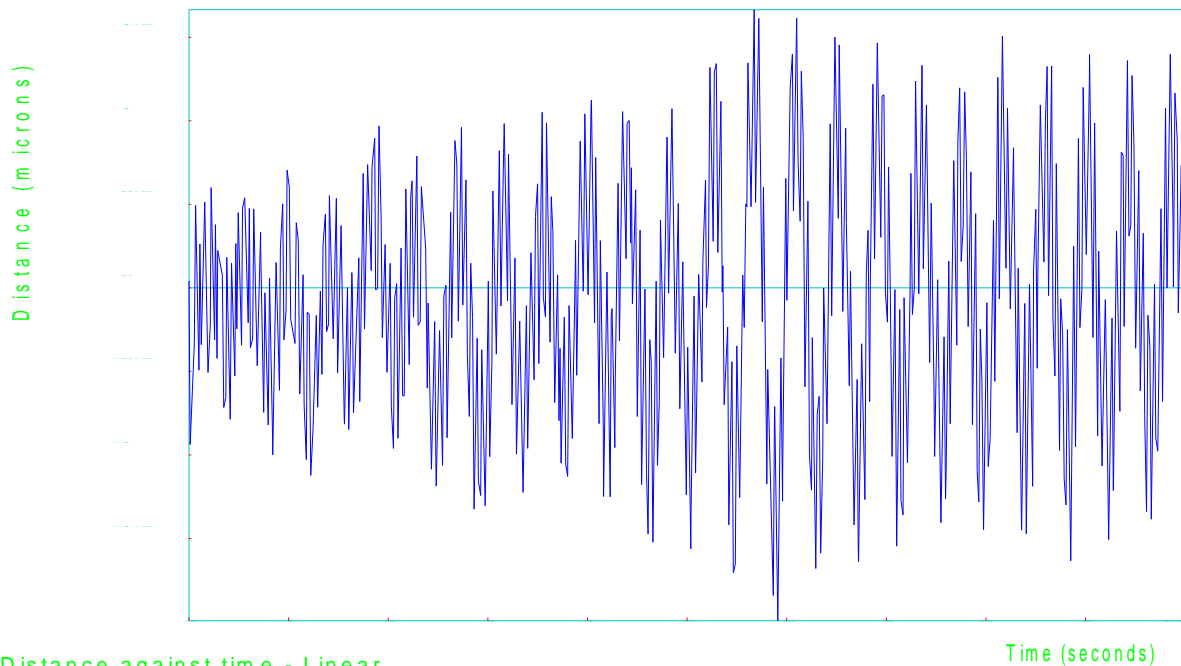
Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:36:19
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.11.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.688959
at time: 8.5870
Min value: -0.454124
at time: 8.3970

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

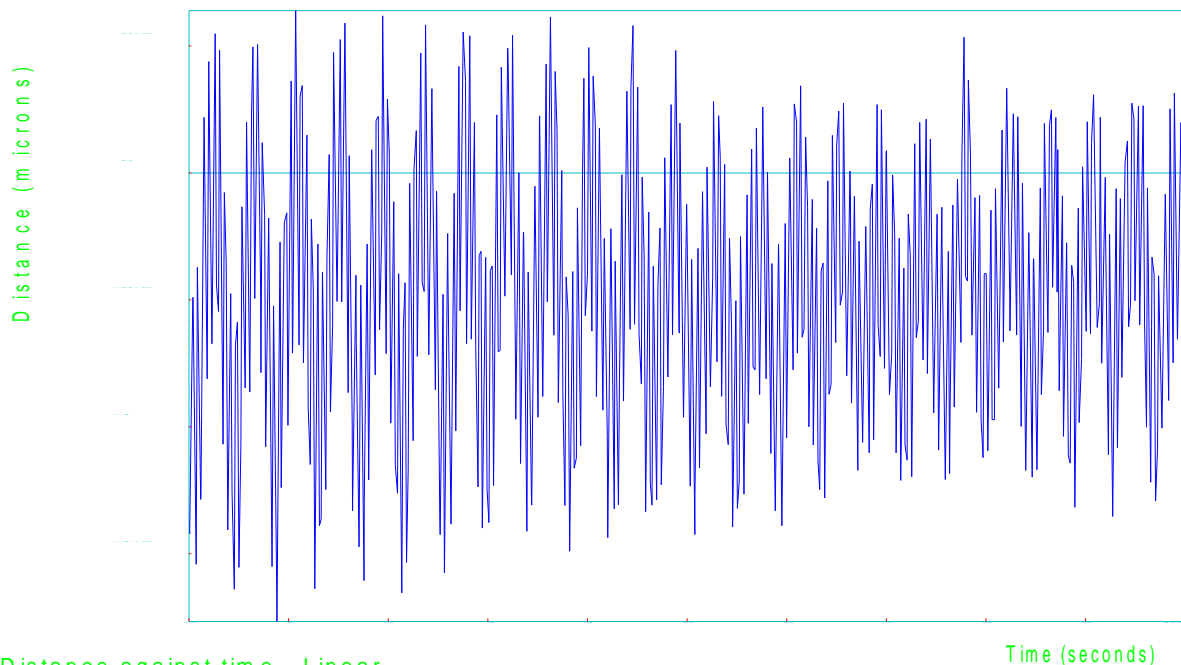
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:36:52
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.12.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.665186
at time: 5.6740
Min value: -1.993047
at time: 5.9110

Graf č.3

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

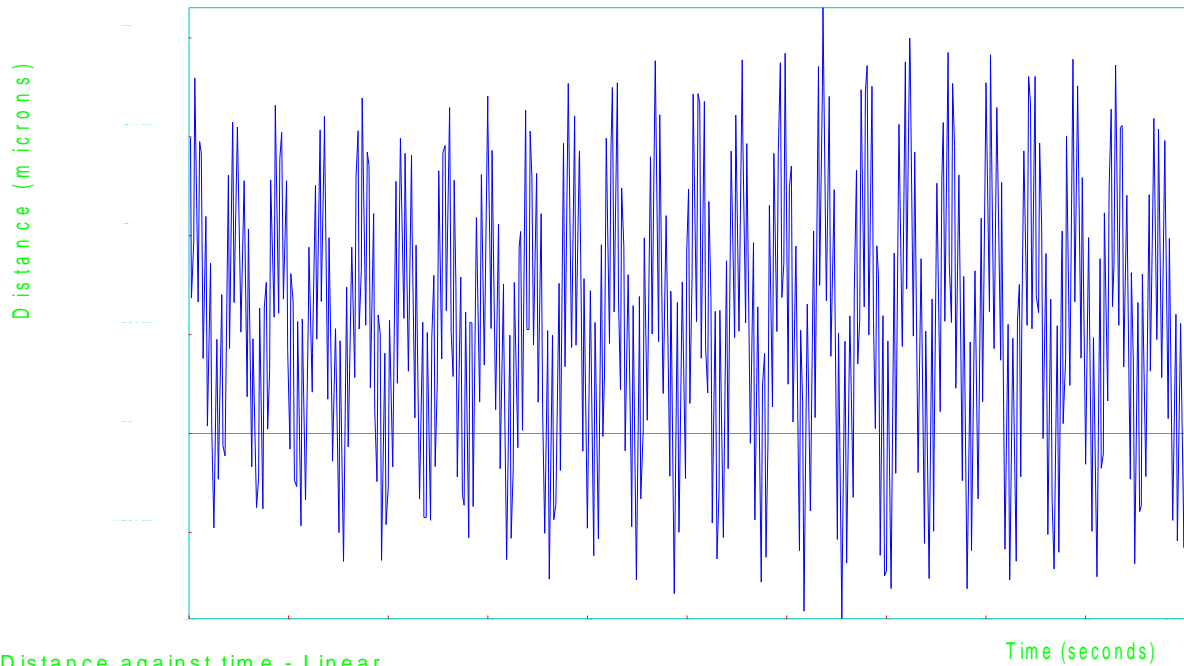
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:37:19
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.13.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.639192
at time: 1.0710
Min value: -1.767173
at time: 0.8830

Graf č.4

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

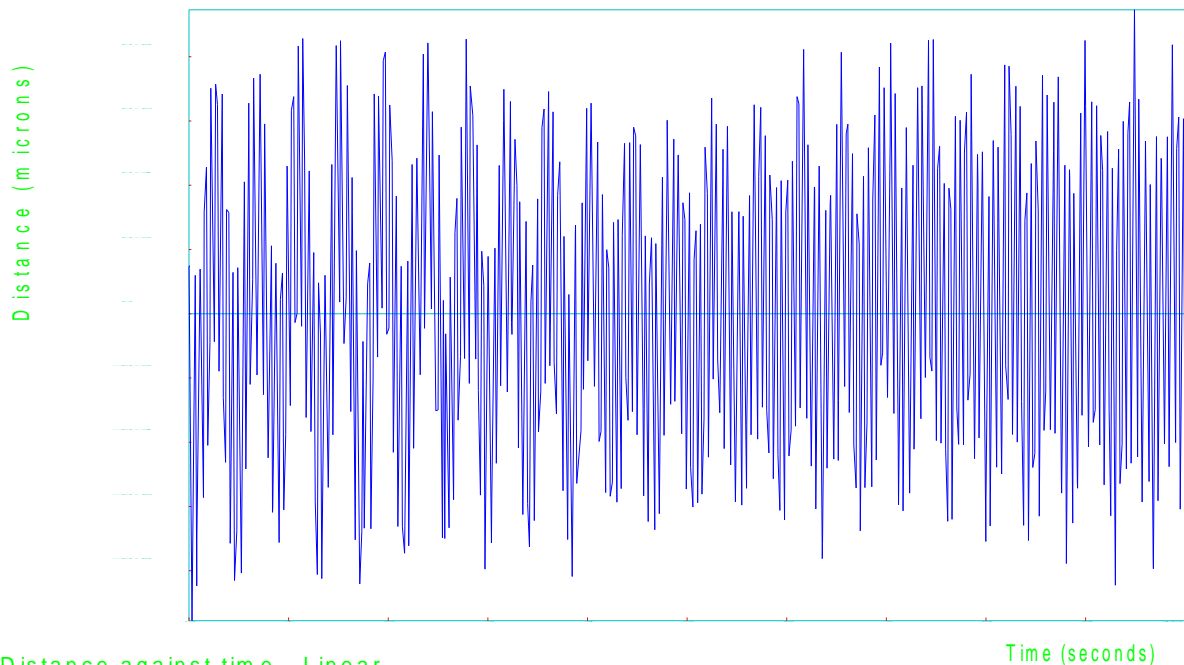
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:37:43
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.14.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.152063
at time: 6.3640
Min value: -0.936405
at time: 6.5540

Graf č.5

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

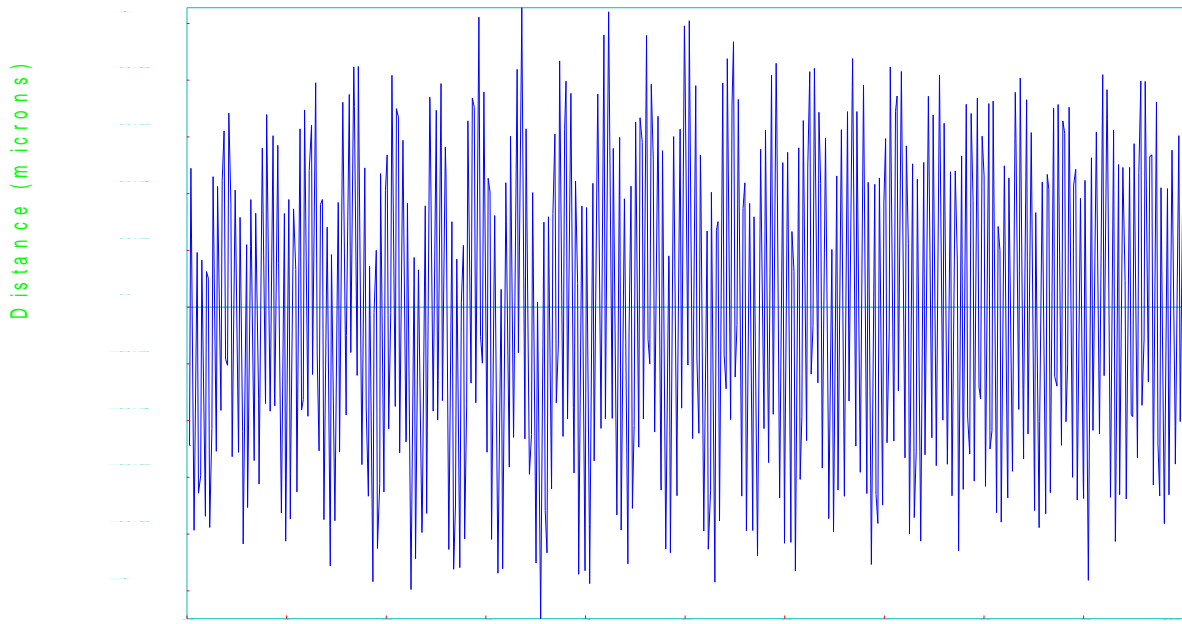
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:38:09
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.15.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.945984
at time: 9.4910
Min value: -0.955640
at time: 0.0310

Graf č.6

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:38:31
By:

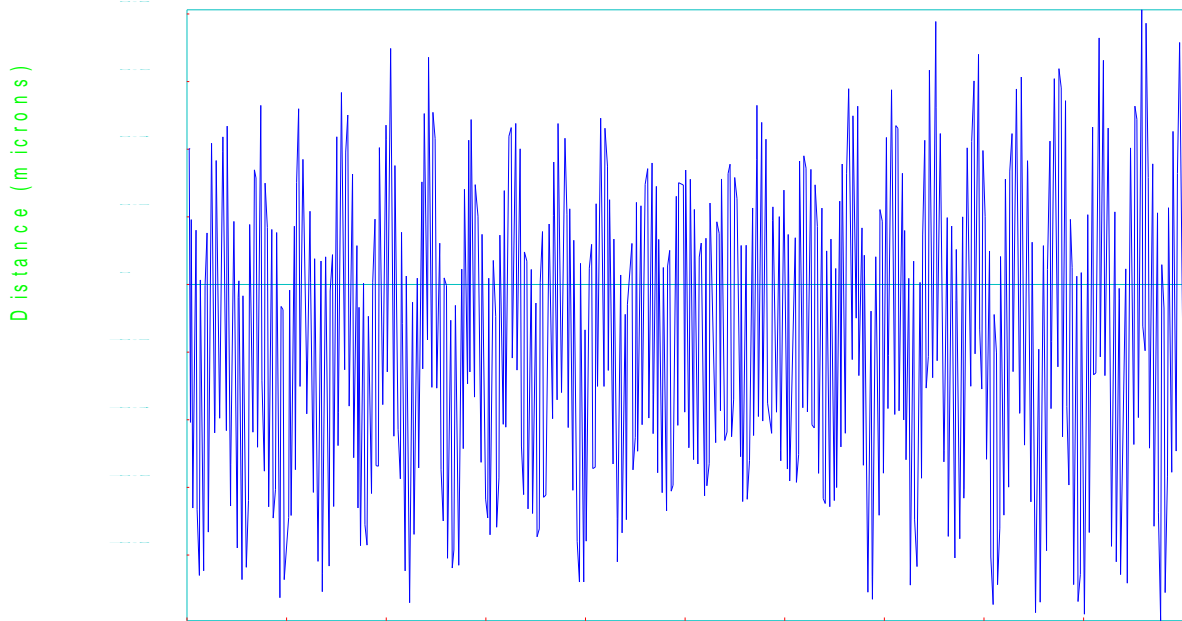
Axis:
Location:
Filename: 1.16.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.055329
at time: 3.3610
Min value: -1.098434
at time: 3.5500

Time (seconds)

Graf č.7

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:38:52
By:

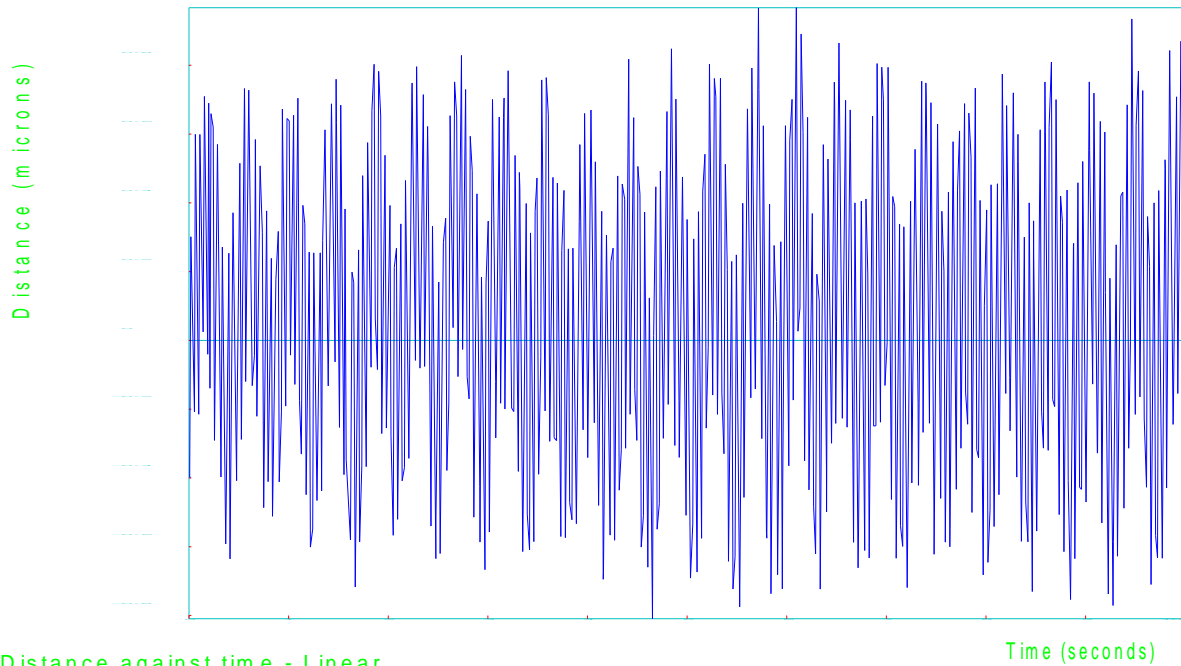
Axis:
Location:
Filename: 1.17.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.812093
at time: 9.5840
Min value: -0.994419
at time: 9.7740

Time (seconds)

Graf č.8

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

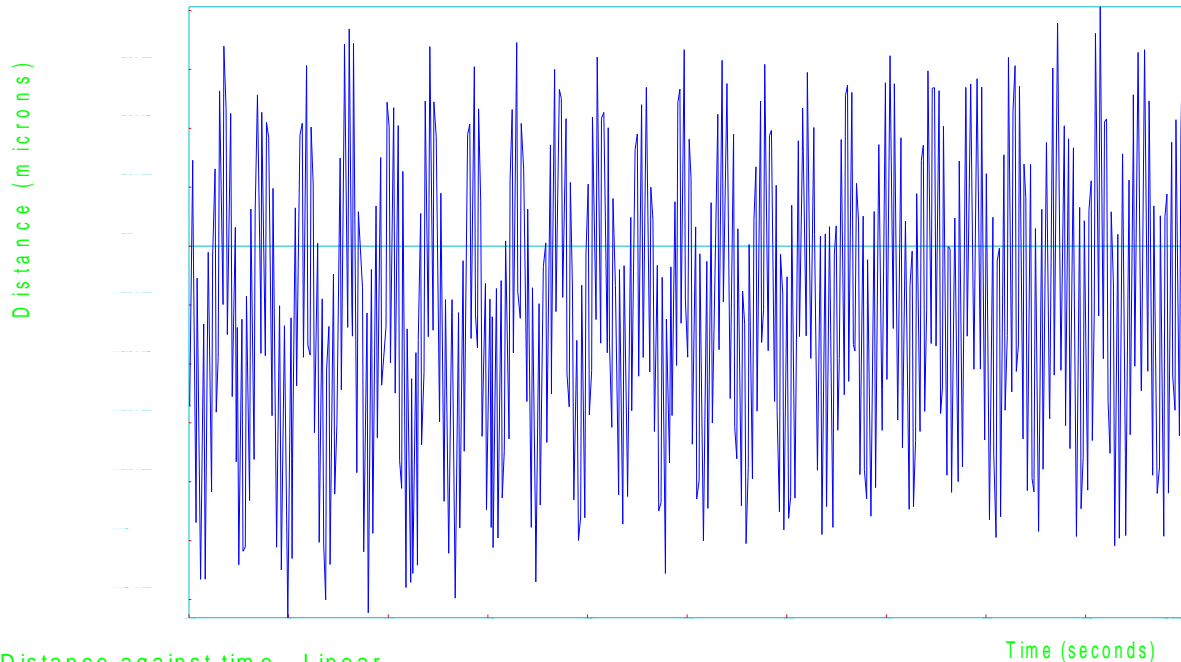
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:39:18
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.18.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.967189
at time: 6.0970
Min value: -0.809351
at time: 4.6530

Graf č.9

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

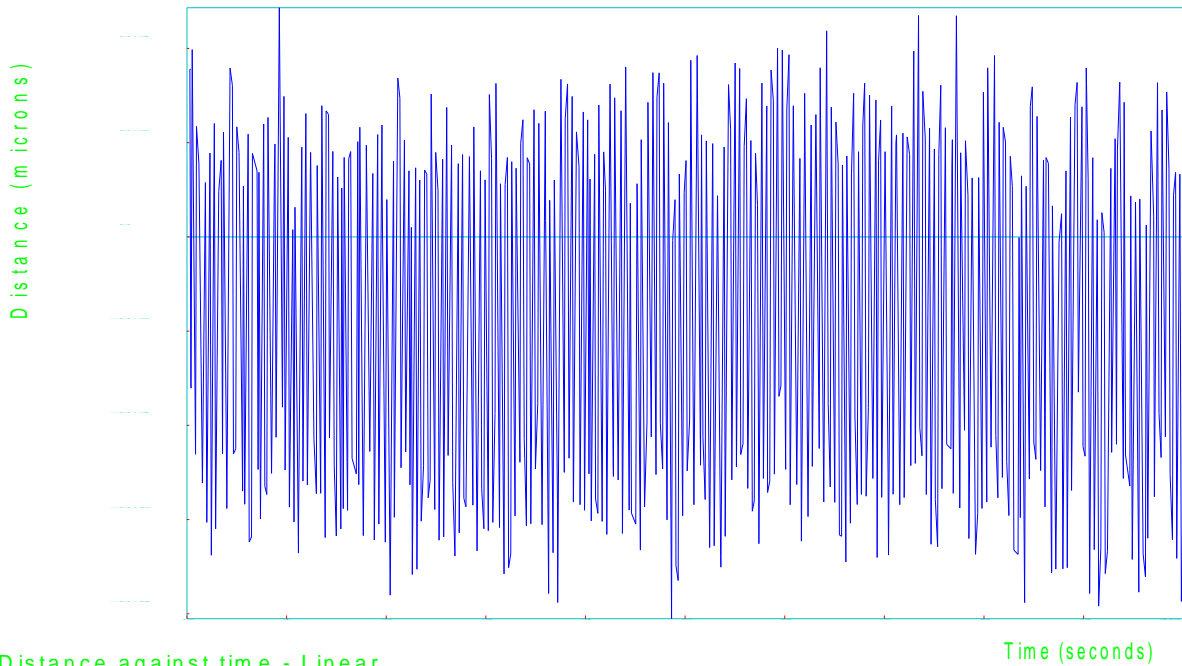
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:39:43
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.19.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.812460
at time: 9.1470
Min value: -1.261988
at time: 0.9930

Graf č.10

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

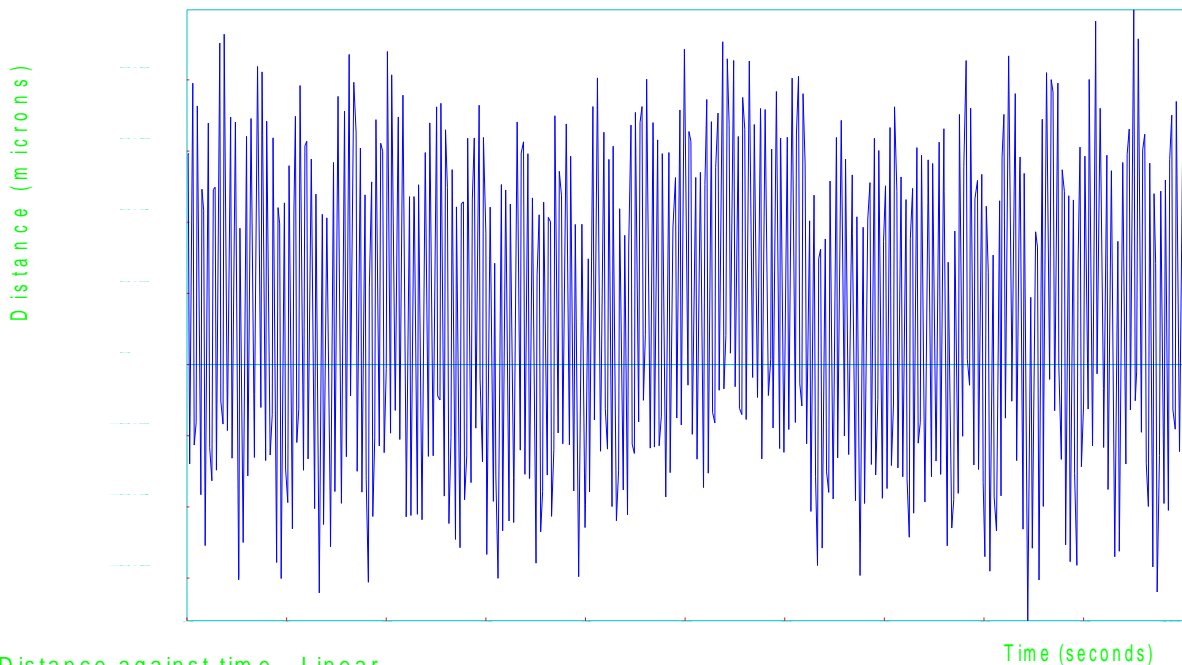
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:40:08
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.20.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.486337
at time: 0.9270
Min value: -0.810567
at time: 4.8650

Graf č.11

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

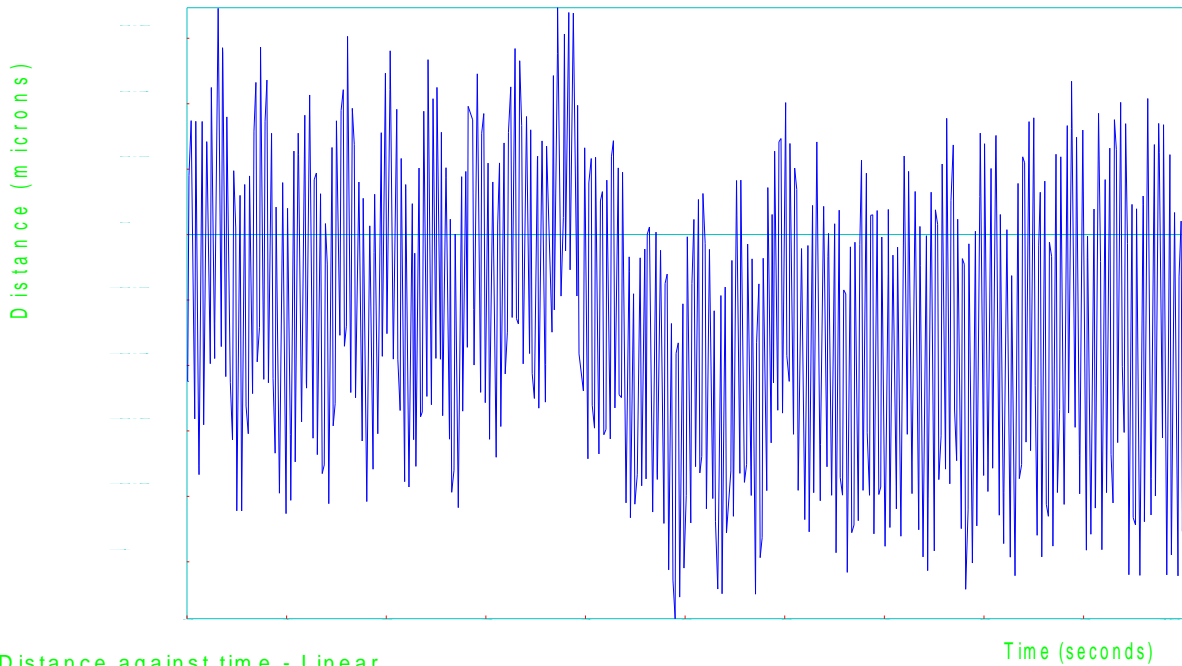
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:40:33
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.21.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.996852
at time: 9.5040
Min value: -0.719974
at time: 8.4400

Graf č.12

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

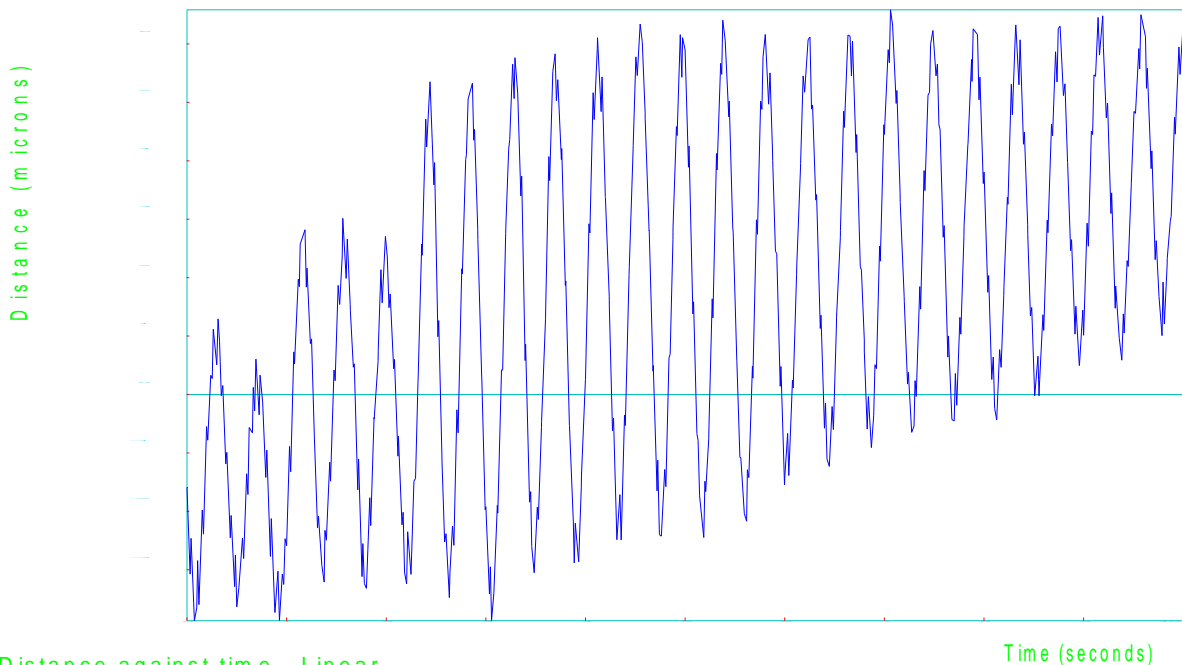
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:41:06
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.22.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.693246
at time: 3.7200
Min value: -1.174060
at time: 4.9010

Graf č.13

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

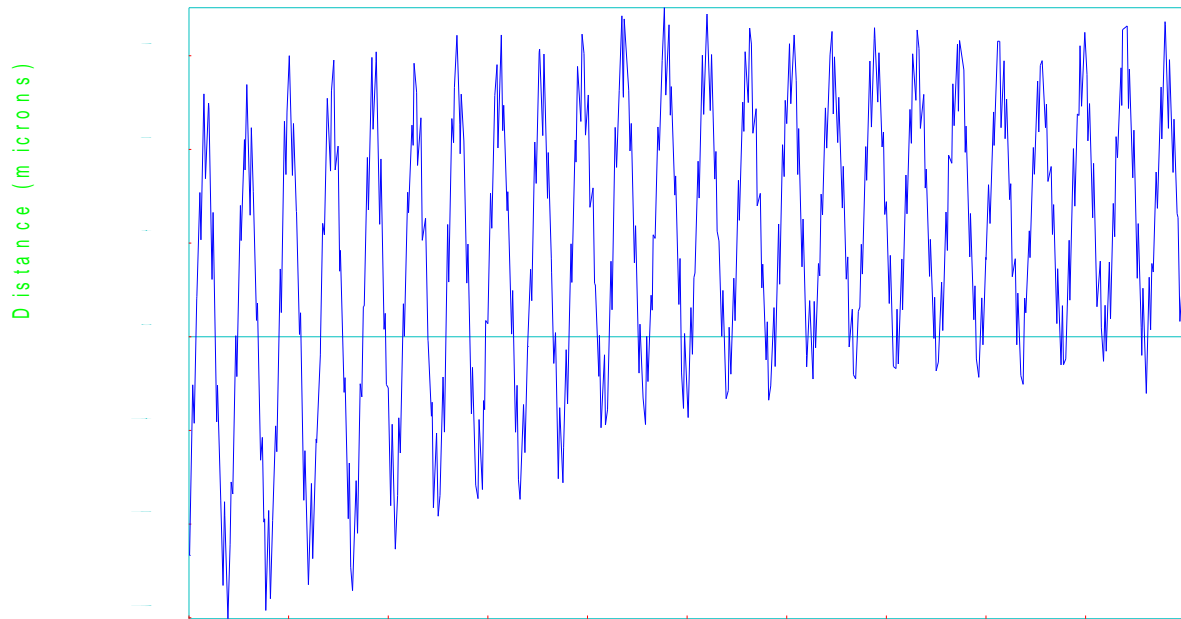
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:41:33
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.23.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 6.584344
at time: 7.0620
Min value: -3.873370
at time: 0.0750

Graf č.14

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

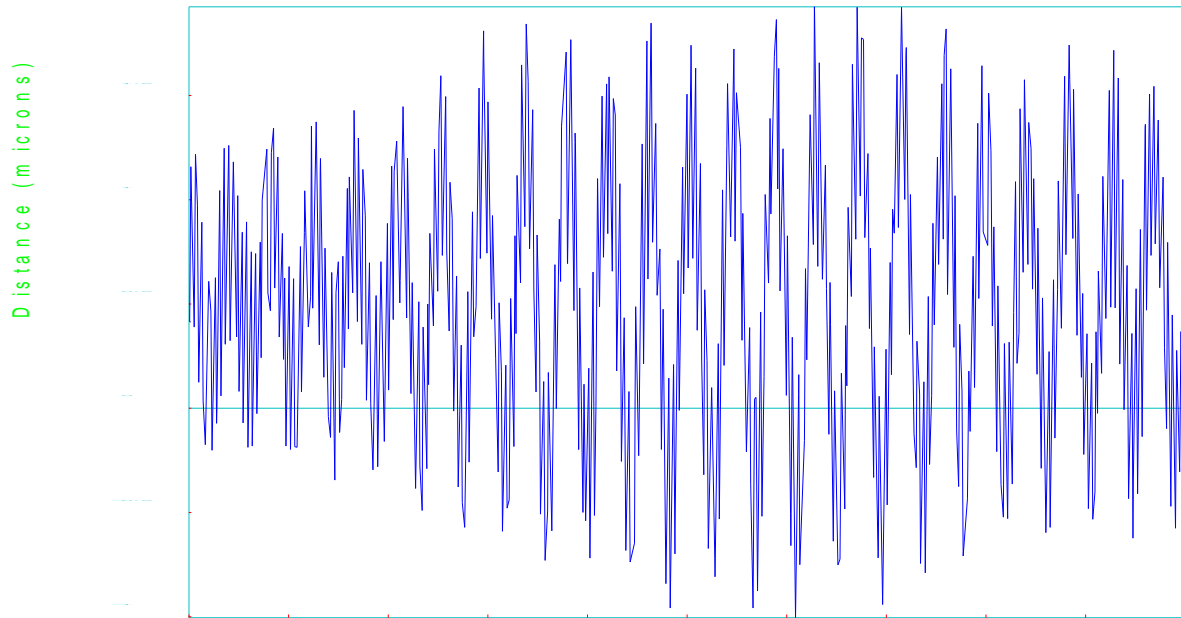
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:43:08
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.24.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 3.512678
at time: 4.7730
Min value: -3.011220
at time: 0.3910

Graf č.15

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

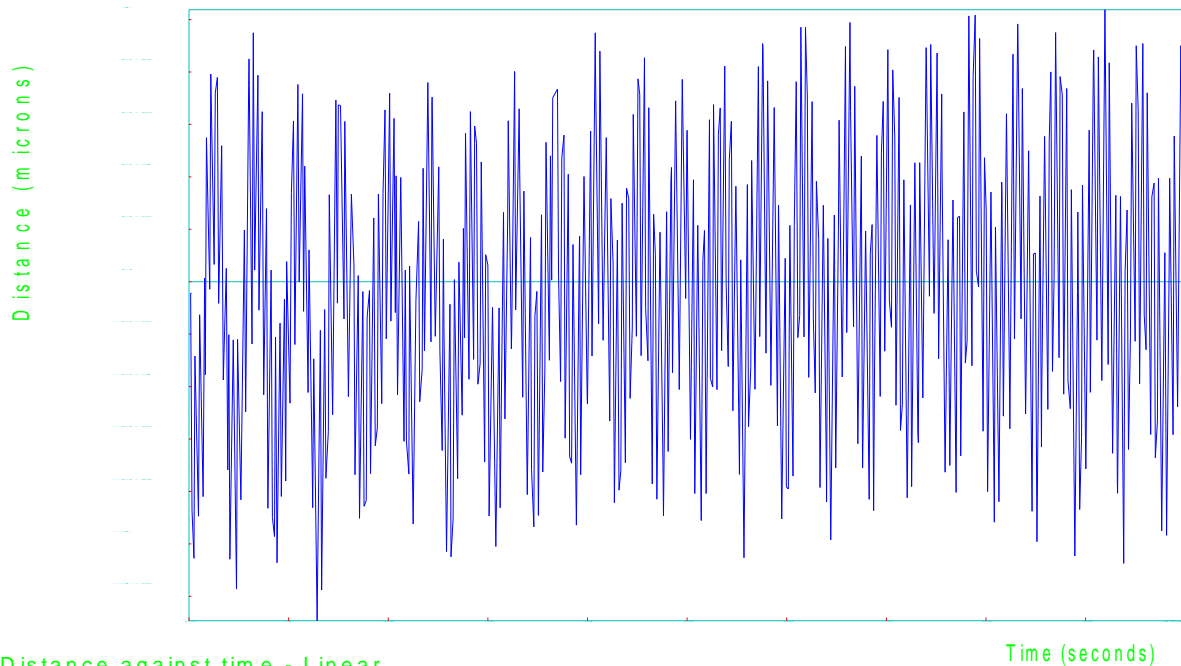
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:43:38
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.25.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.925262
at time: 6.2790
Min value: -1.004751
at time: 6.0890

Graf č.16

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

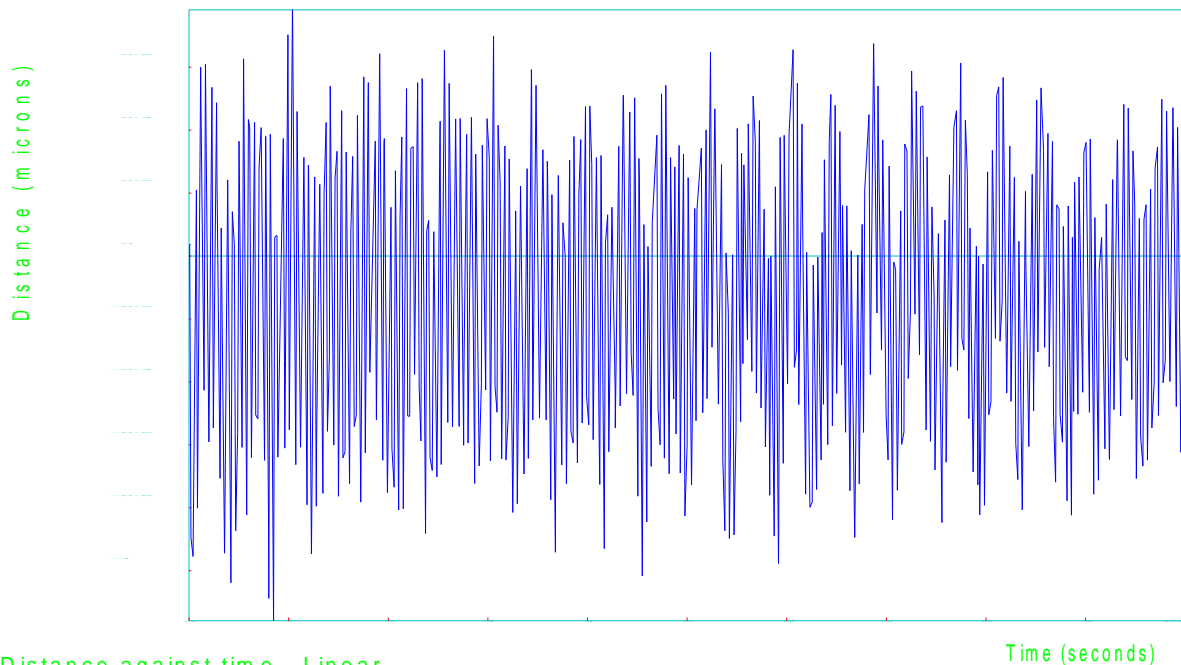
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:44:33
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.26.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.037291
at time: 9.1950
Min value: -1.293119
at time: 1.2870

Graf č.17

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

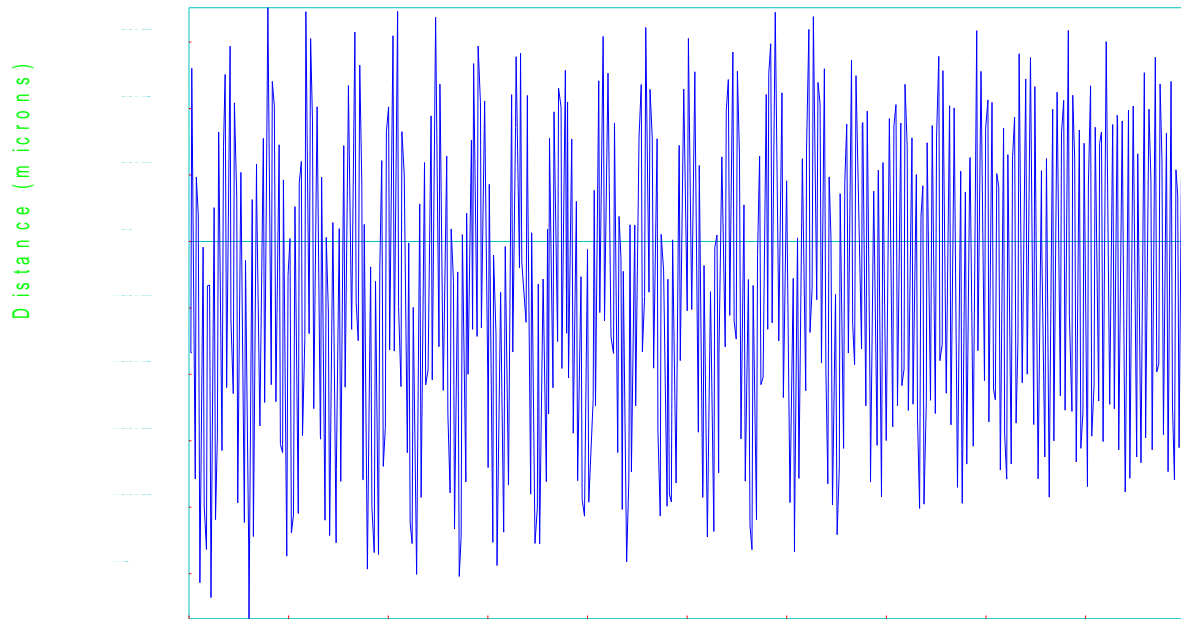
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:51:59
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.27.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.782314
at time: 1.0390
Min value: -1.159035
at time: 0.8490

Graf č.18

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:46:12
By:

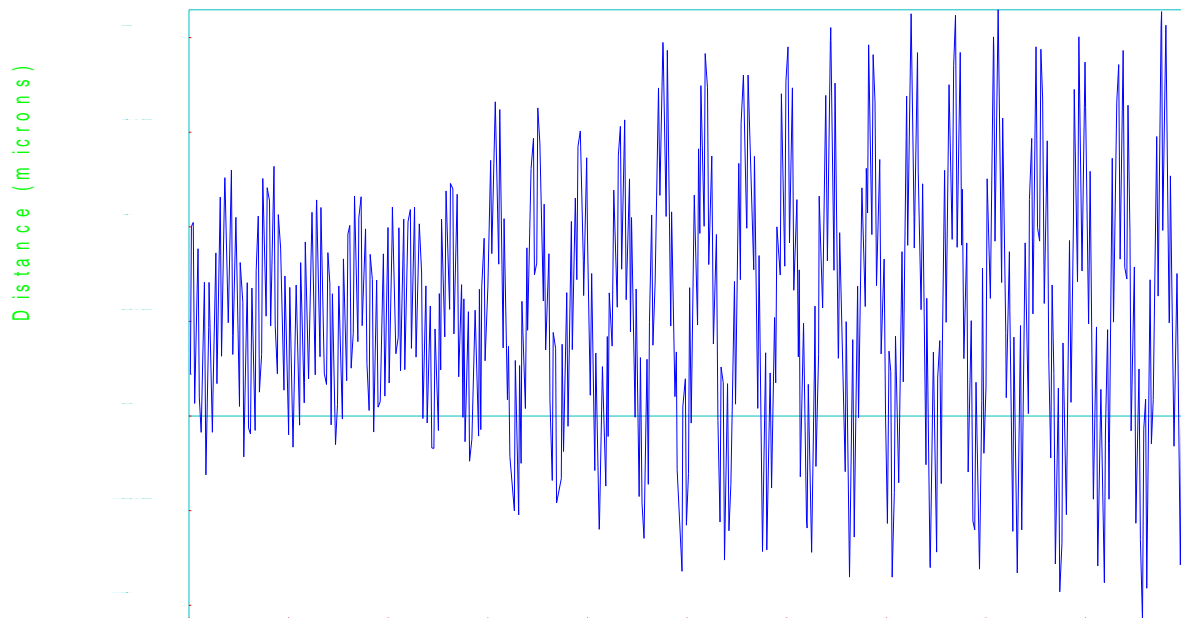
Axis:
Location:
Filename: 1.28.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.703366
at time: 0.7930
Min value: -1.135764
at time: 0.6030

Time (seconds)

Graf č.19

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:46:43
By:

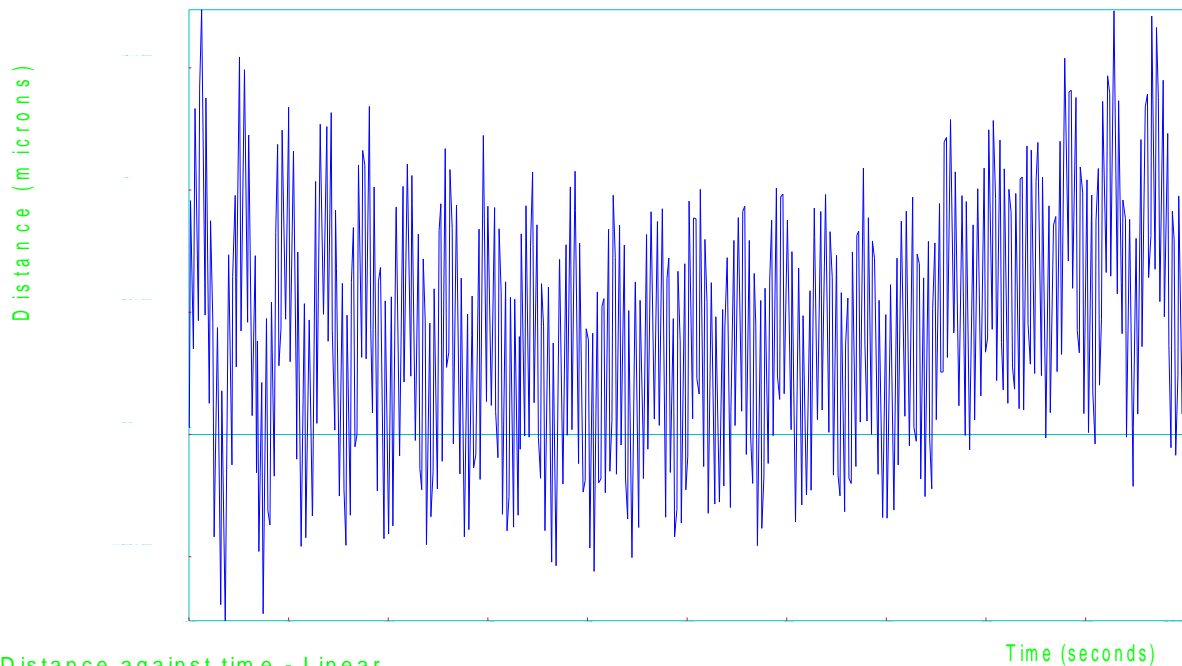
Axis:
Location:
Filename: 1.29.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.146733
at time: 8.1230
Min value: -1.081999
at time: 9.5710

Time (seconds)

Graf č.20

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

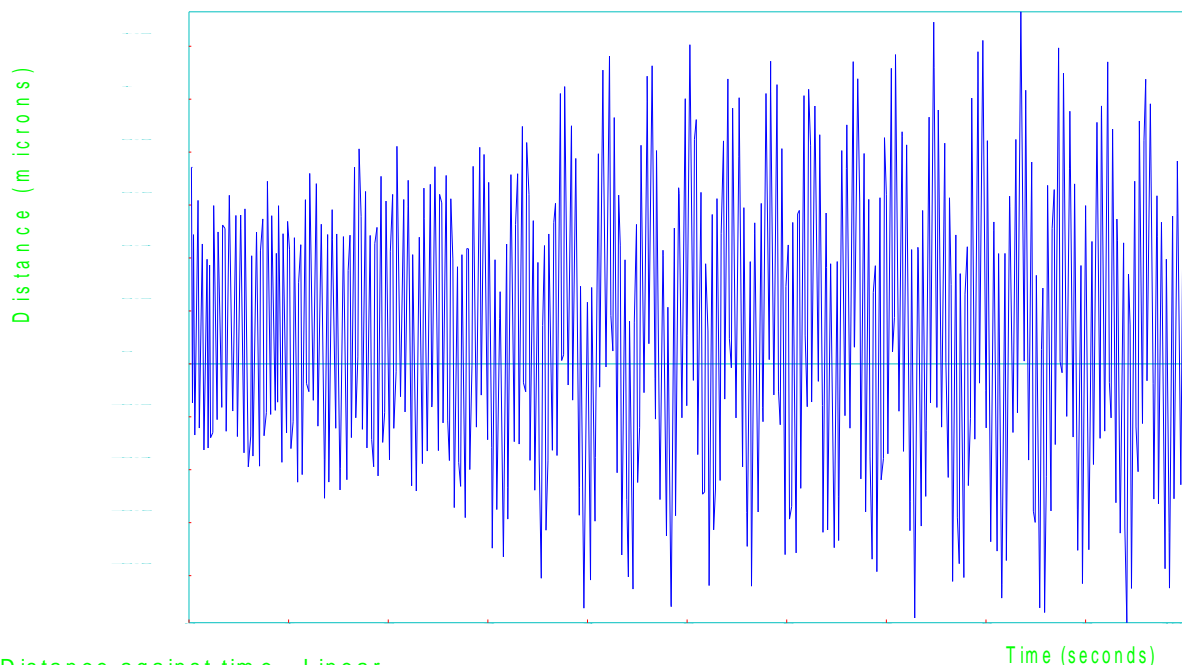
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:47:08
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.30.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.737741
at time: 0.1270
Min value: -0.762036
at time: 0.3640

Graf č.21

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

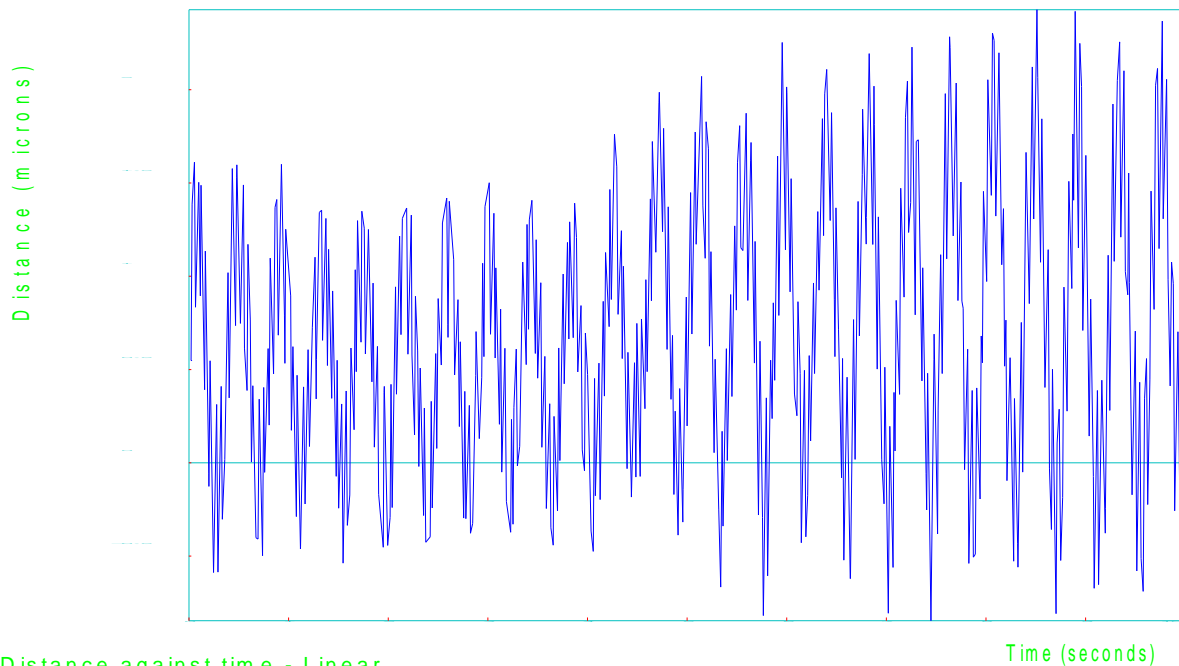
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:47:34
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.31.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.329986
at time: 8.3500
Min value: -0.978119
at time: 9.4150

Graf č.22

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

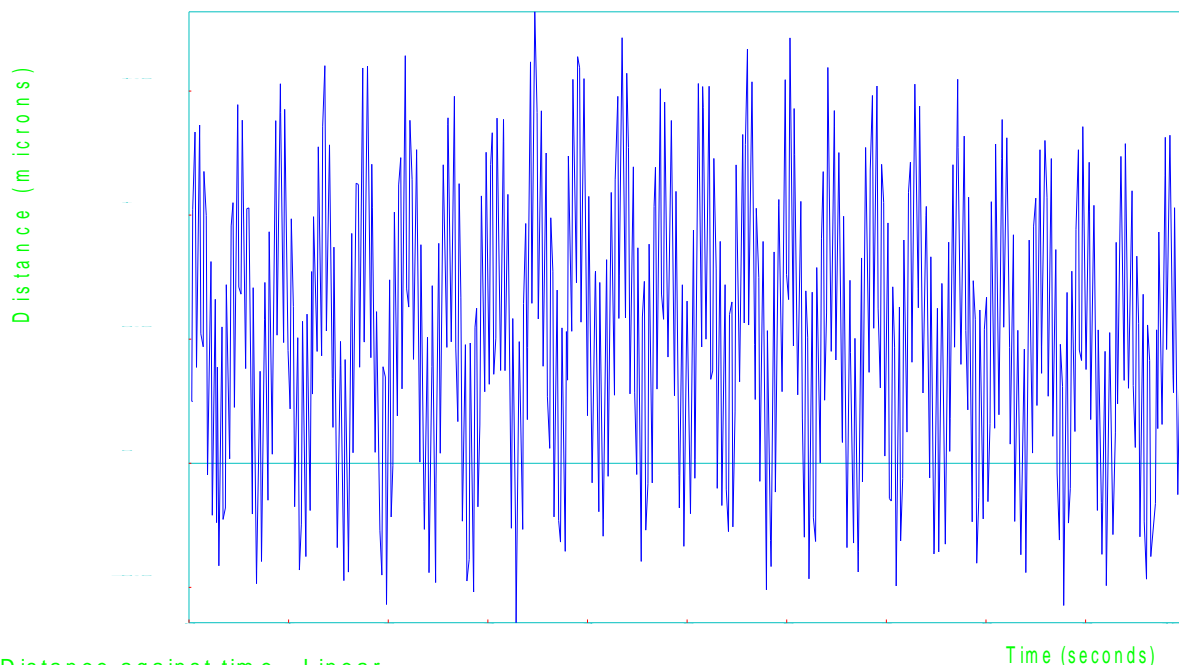
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:48:01
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.32.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 2.428419
at time: 8.5120
Min value: -0.846604
at time: 7.4480

Graf č.23

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

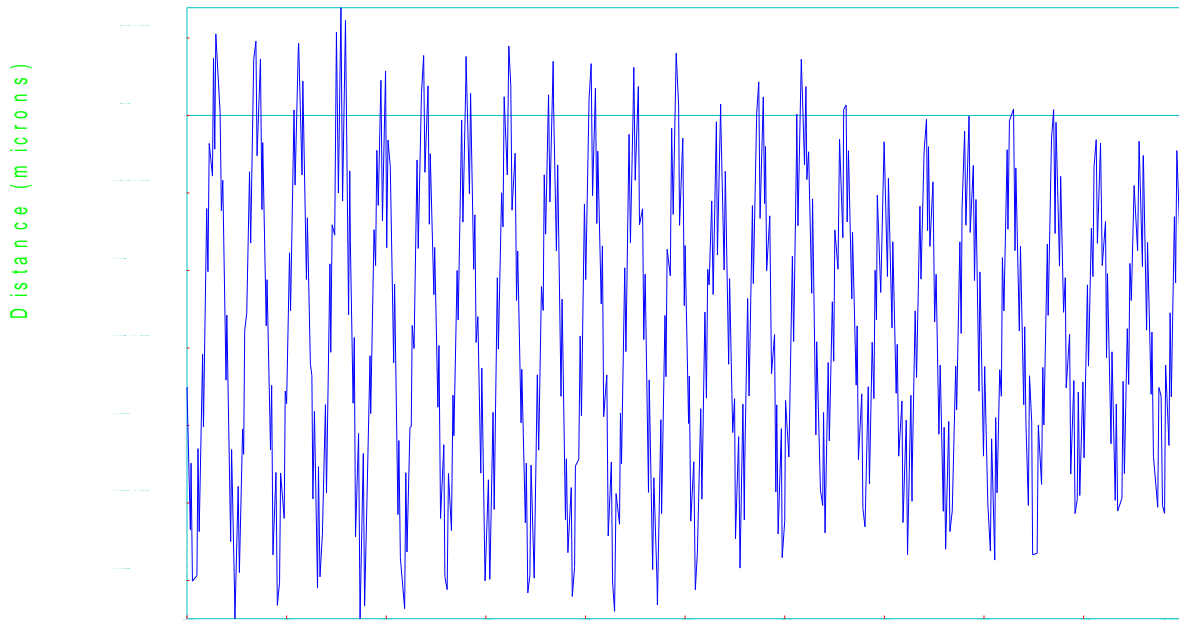
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:48:25
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.33.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.819142
at time: 3.4720
Min value: -0.642649
at time: 3.2840

Graf č.24

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

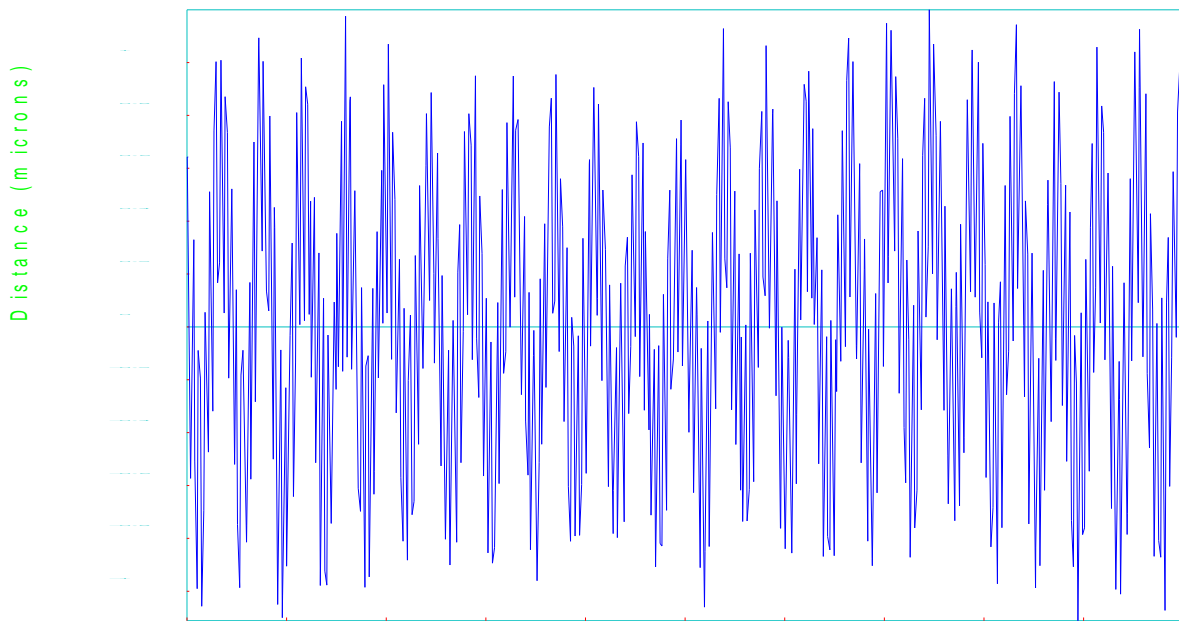
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:49:15
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.34.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 0.694714
at time: 1.5460
Min value: -3.246962
at time: 0.4820

Graf č.25

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

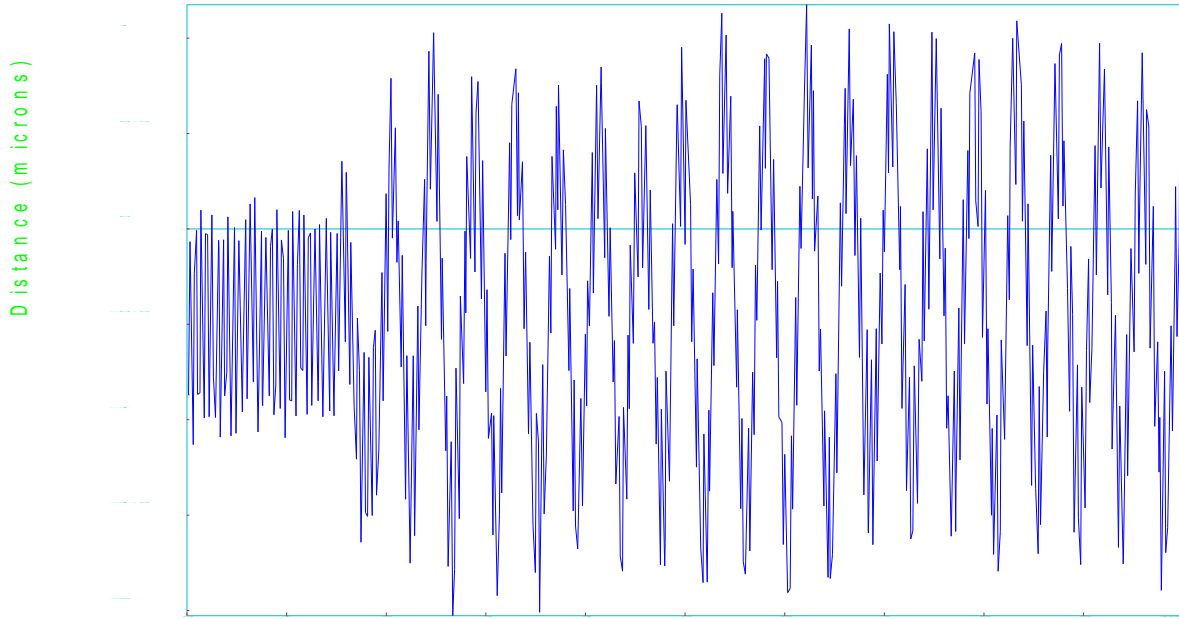
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:49:41
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.35.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Time (seconds)
Max value: 1.199262
at time: 7.4520
Min value: -1.111566
at time: 8.9440

Graf č.26

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

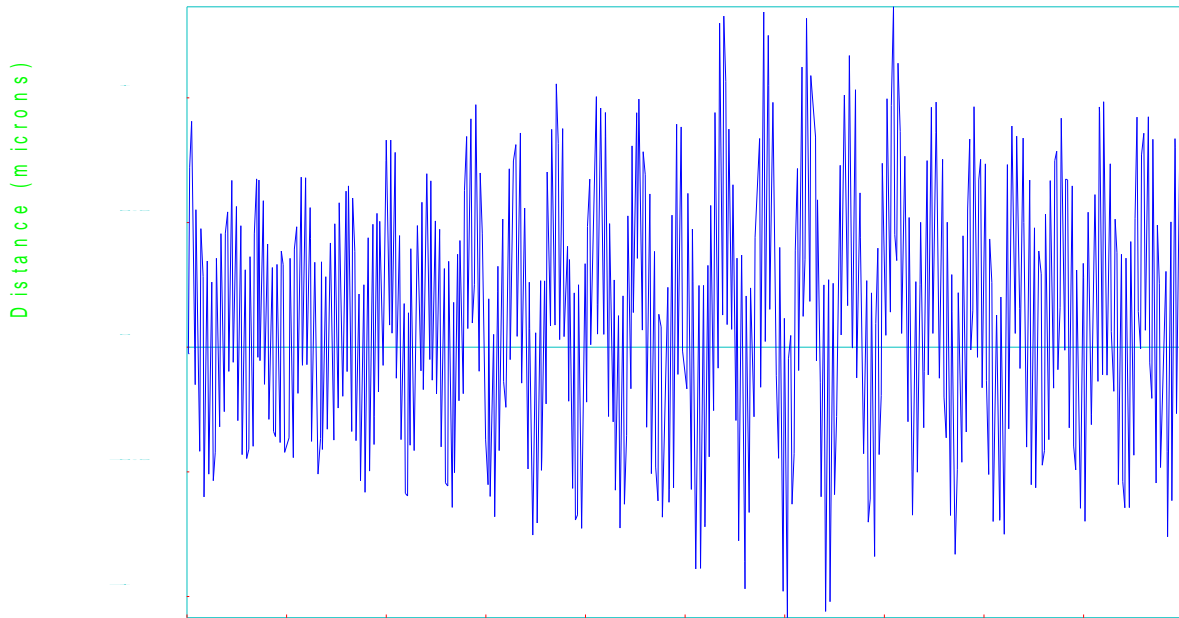
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:50:08
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.36.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.175045
at time: 6.2200
Min value: -2.027519
at time: 2.6680

Graf č.27

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Time (seconds)

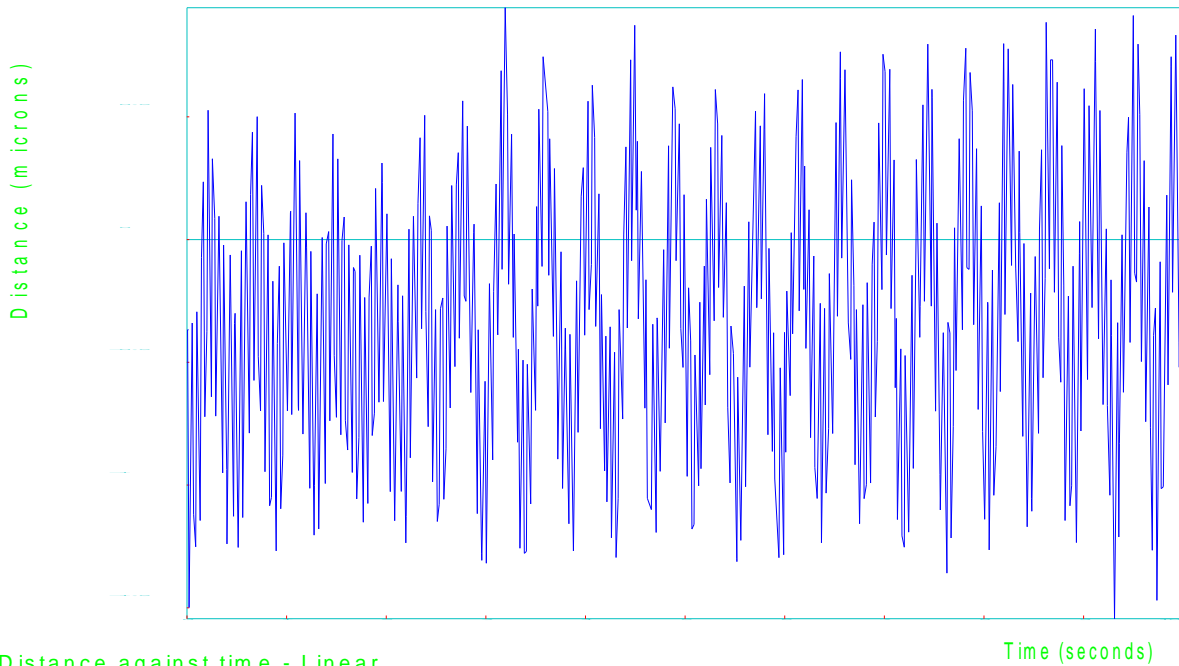
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:50:32
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.37.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 1.365192
at time: 7.0930
Min value: -1.085243
at time: 6.0270

Graf č.28

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

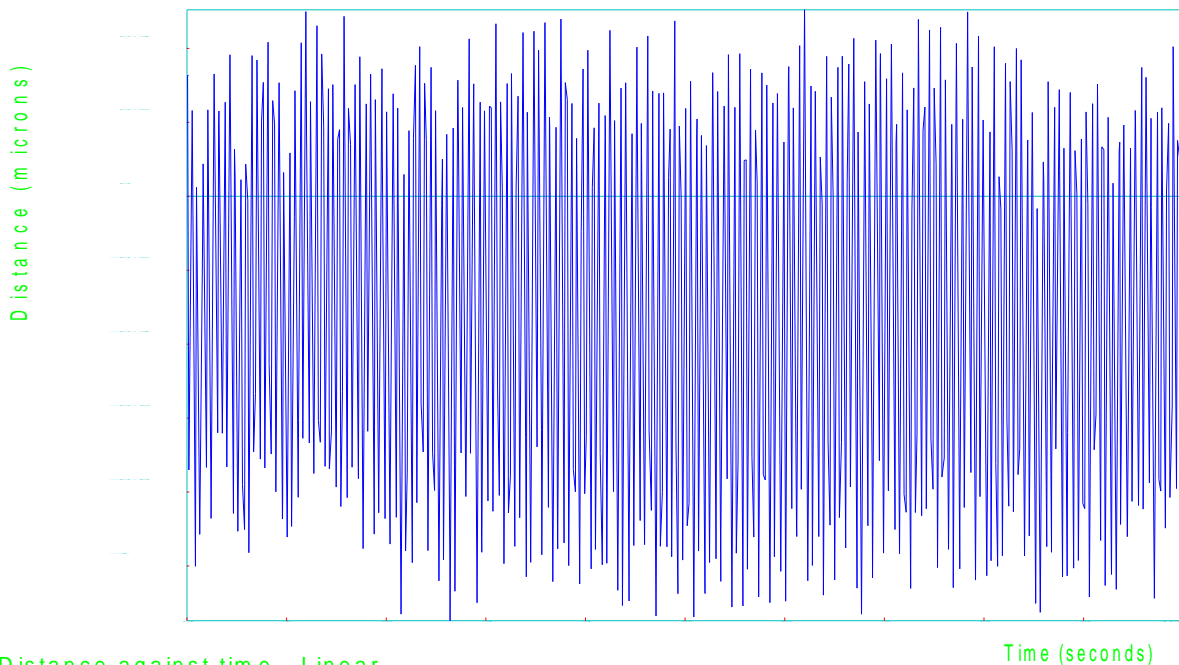
Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:50:58
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.38.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.944265
at time: 3.1950
Min value: -1.544562
at time: 9.3110

Graf č.29

DISTANCE vs TIME PLOT



Distance against time - Linear

Machine:
Serial No:
Date:2011-05-04 13:51:36
By:

Axis:
Location:
Filename: 1.39.rtX
Capture rate: 1000 Hz

Max value: 0.504316
at time: 6.1990
Min value: -1.148124
at time: 2.6410

Graf č.30

**PRÍLOHA P4: POŠKODENIE BRÚSNEHO KOTÚČA DYNAMICKÝM
VYVAŽOVANÍM**

