



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výukové texty

pro předmět

Měřicí technika

(KKS/MT)

na téma

Podklady k principu měření vibrací a tlumicích vlastností

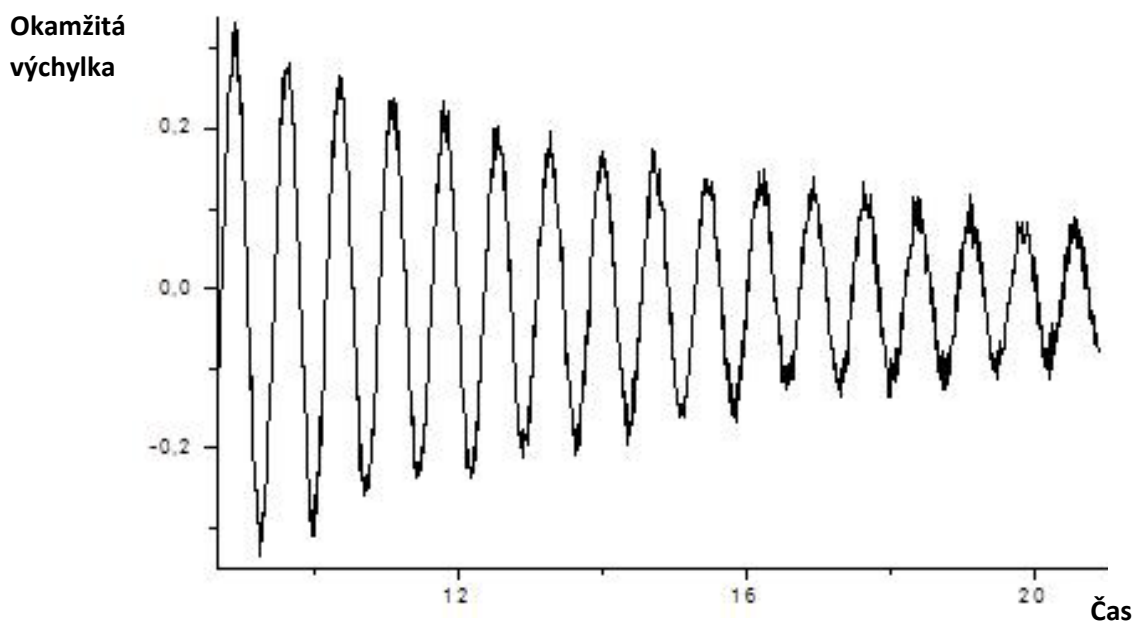
Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podklady k principu měření vibrací a tlumicích vlastností

1) Kmitavý pohyb

Jde o takový pohyb, kdy se těleso pohybuje po úsečce nebo kruhovém oblouku kolem své rovnovážné polohy. Jestliže rovnovážnou polohou prochází v pravidelných časových intervalech, koná tzv. periodický kmitavý pohyb. Takový pohyb vykonává např. těleso zavěšené na pružině, písty v motoru apod. Nejjednodušší kmitavý pohyb je tzv. harmonický pohyb, kdy je okamžitá výchylka z rovnovážné polohy závislá na funkci sinus. Grafem výchylky harmonického pohybu v závislosti na čase je potom sinusoida.



Obr. 1 Základní grafické zobrazení časové závislosti na výchylce (amplitudě) tlumeného kmitání

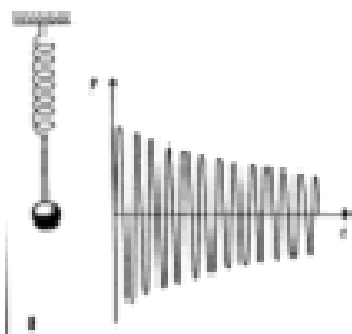
Zařízení, které kmitá bez vnějšího působení, je mechanický oscilátor. Mechanický oscilátor může být závaží zavěšené na pružině, mechanické kyvadlo atd.

K uvedení mechanického oscilátoru do pohybu je nutno jej vychýlit z rovnovážné polohy určitou silou. O stejnou hodnotu se zvýší potenciální energie pružnosti oscilátoru a následně při uvolnění se přeměňuje na kinetickou energii.

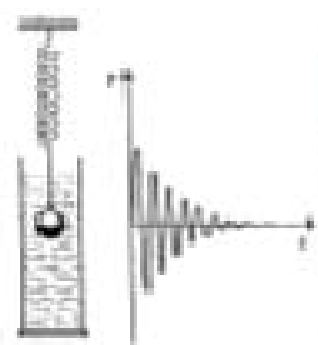
Kmitání, u kterého se zmenšuje amplituda, se nazývá tlumené kmitání. Na velikost tlumení má hlavní vliv prostředí. Při kmitání ve vzduchu (viz obr. 1.1) se amplituda výchylky zmenšuje velmi pomalu (vlivem malého odporu vzduchu), ve vodě (viz obr. 1.2) se amplituda výchylky zmenšuje (utlumuje) rychleji (vlivem odporu kapaliny).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vlastní kmitání je vždy tlumené, neboť vždy dochází ke ztrátám (přeměny mechanické energie oscilátoru na jiné formy energie)



Obr.1.1 Princip tlumeného kmitání ve vzduchu



Obr.1.2 Princip tlumeného kmitání ve vodě

Buzené (nucené) kmitání

Netlumené harmonické kmitání vznikne tehdy, pokud jsou ztráty energie nahrazovány v průběhu celé periody působením vnější síly (přes vazbu), která se mění harmonicky. Při nuceném kmitání kmitá oscilátor s frekvencí vnější síly, která nezávisí na vlastnostech kmitajícího objektu. Nucené kmitání je netlumené.

Když se frekvence budící síly přiblíží nebo je rovna vlastní frekvenci oscilátoru, dojde k „sečtení“ amplitud a tím se amplituda kmitů velmi zvětší. Je-li frekvence síly vyvolávající nucené kmitání přesně rovna vlastní frekvenci oscilátoru, je právě amplituda výchylky největší. Výsledný průběh maxima je tím „ostřejší“ velká intenzita v krátkém časovém úseku, čím méně se tlumí vlastní kmity. Tento jev je tzv. rezonance, tzn. závislost amplitudy nucených kmitů (viz obr. 1.3) na frekvenci nutících kmitů je tzv. rezonanční křivka.

Hlavní význam rezonance spočívá v tom, že umožňuje tzv. rezonanční zesílení kmitů, a to tak, že, malou periodicky působící silou v rezonanční oblasti, lze vybudit kmitání o značné amplitudě (výchylce).



evropský
sociální
fond v ČR

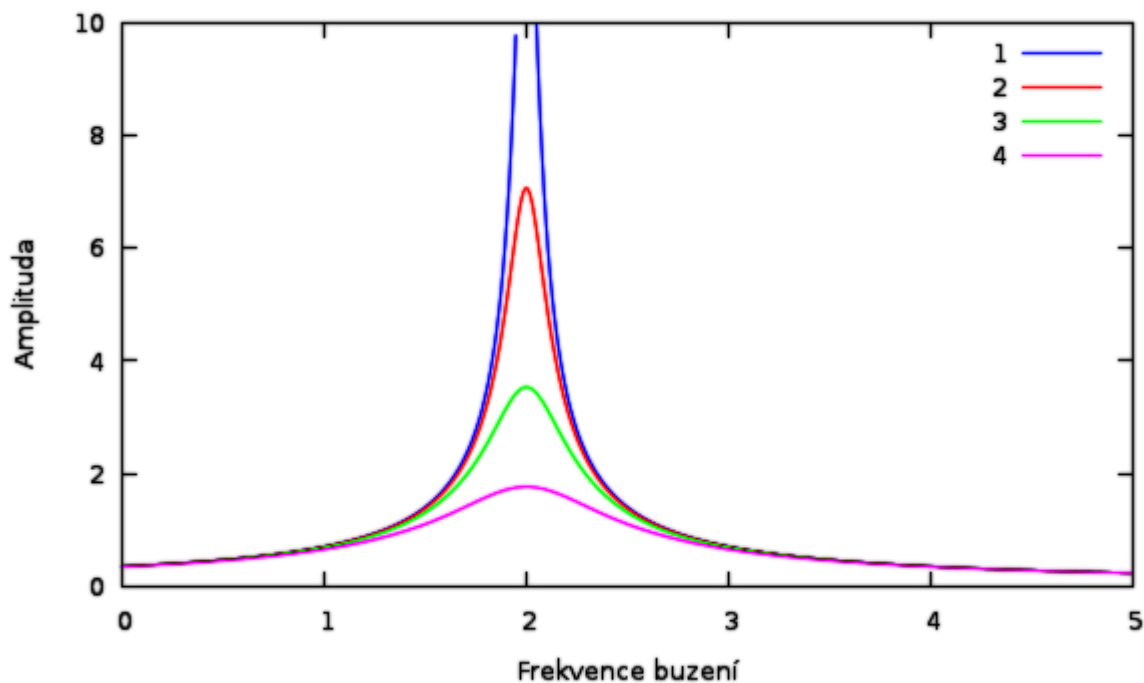


MS
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 1.3 Příklad rezonanční křivky [15]

Rezonance „chtěná a neškodná“ je využita např. u hudebních nástrojů, houpačky, kyvadla hodin apod.

Provoz technického zařízení v rezonancích (v buzených vlastních frekvencích) jsou nevhodné a dochází k poškození strojů při jejich provozu, protože rezonanční zesílení může mít na kmitající soustavu až destruktivní účinky, a to když amplituda kmitů naroste nad mez pevnosti materiálu. Při provozu strojů je nutné se těmto frekvencím vyhýbat a „naladit“ jejich provoz mimo změřené nebo vypočtené hodnoty.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

2) Vibrace a charakteristika veličin

Při sledování vibrací (kmitavého hmotného bodu) v prostředí, lze určit v každém časovém okamžiku jeho výchylku z rovnovážné polohy, rychlost kmitání nebo jeho zrychlení. Proto jsou určujícími veličinami v oblasti vibrací: výchylka, rychlost a zrychlení.

Výchylka

Výchylka kmitání určuje u měřeného objektu jeho vzdálenost nebo polohu vzhledem k referenční (nulové) poloze. Pravidelným, periodickým vychýlením z klidové polohy je vyvoláno tzv. harmonické kmitání, kde výchylkové hodnoty odpovídají v časovém průběhu sinusové funkci. Harmonické vibrace jsou periodické (pravidelné) vibrace, které obsahují pouze jednu frekvenci.

Rychlost

Měří se pohybová rychlost v $[m \cdot s^{-1}]$ a tato rychlost je definována jako rychlost změny výchylky kmitavého signálu. Je to nejnámější způsob měření vibrací objektu. Nejčastěji se používají hojně vyráběné a cenově dostupné snímače zrychlení (tzv. akcelerometry), z nichž se hodnota rychlosti přepočtením (integrováním) zjištěných hodnot zrychlení.

Zrychlení

Zrychlení se měří právě pomocí akcelerometrického snímače (akcelerometru), který obvykle obsahuje jeden nebo více převážně pak tři piezoelektrických krystalů (tj. značení pak jednoosý, tříosý akcelerometr). Rychlost i zrychlení je určeno svou velikostí a směrem. Podle Newtonova zákona je pak toto zrychlení měřítkem síly ($F = m \cdot a$), která na měřený objekt působí. Okamžité zrychlení je dáno časovou změnou rychlosti, a případně odvozené druhou derivací dané výchylky podle času.

Analýza v časové a frekvencí oblasti

Existuje celá řada různých způsobů sledování provozního technického zařízení, které mohou pomoci stanovit, kdy je potřeba oprava dané komponenty, a předejít tak nákladným opravám při destrukci a poškození stroje jako celku.

Analýza v časové oblasti je založena na vyhodnocení parametrů z časových průběhů signálů určujících veličin (výchylky, rychlosti, zrychlení). Metody výpočtů v časové oblasti se snaží popsat vlastnosti signálu.

Frekvenční analýza je nejdůležitější nástroje pro nalezení periodických jevů ve vibračním signálu je, která bývá používána jako hlavní nástroj pro nalezení zdrojů kmitání.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

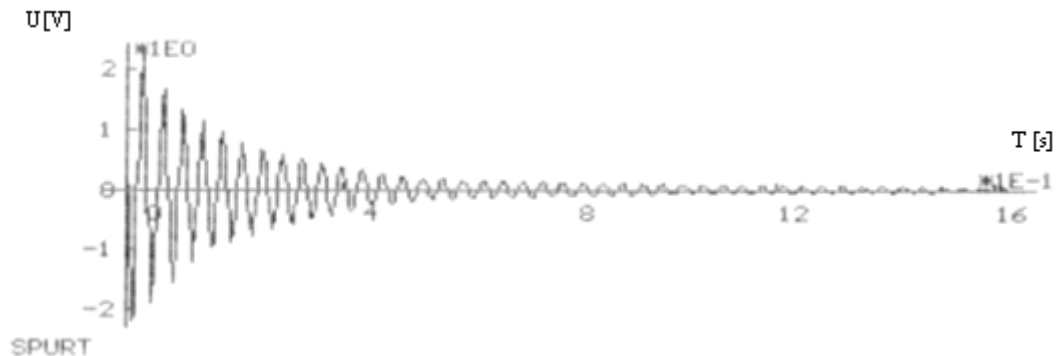


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

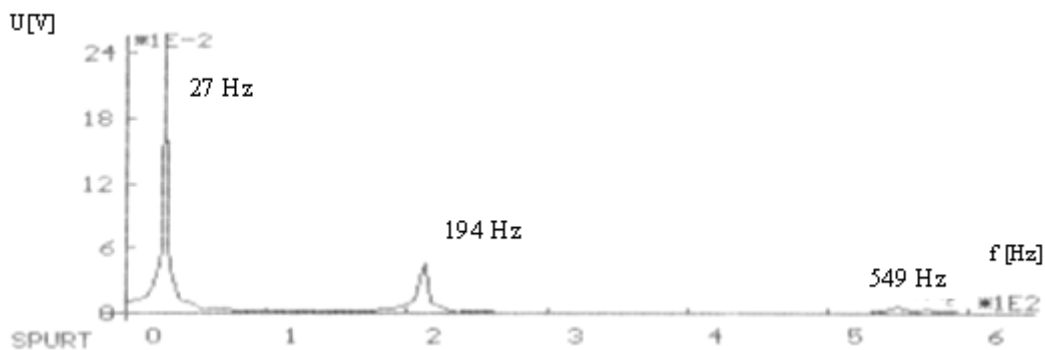
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Spektrální analýza pomocí Fourierovy transformace má za cíl popsat rozložení složek signálu ve frekvenční oblasti a to právě jednotlivých frekvenčních spekter efektivních hodnot.

Časový záznam (časový průběh signálu) a spektrum efektivních hodnot



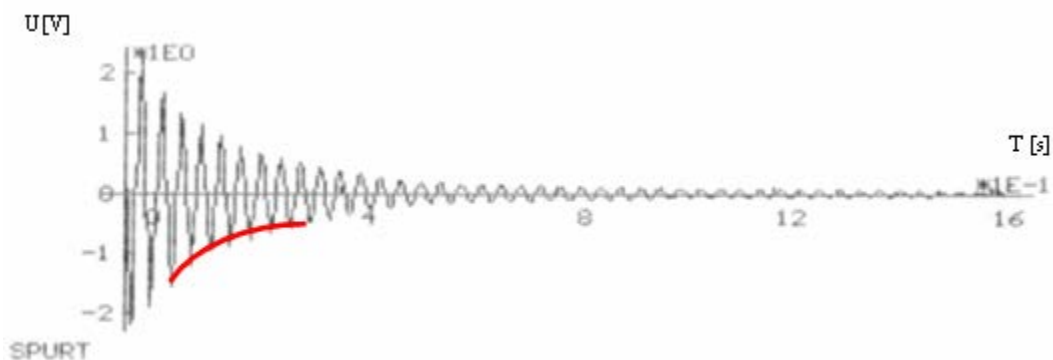
Graf 1 - Časový záznam tj. časový záznam signálu)



Graf 2 - Spektrum efektivních hodnot (spektrální analýza)

Určení koeficientu tlumení

Z grafu časového záznamu (Graf. 1) a z grafu spektra efektivních hodnot (Graf. 2) byl matematicky určen koeficient vlastního materiálového tlumení pro dané frekvence.



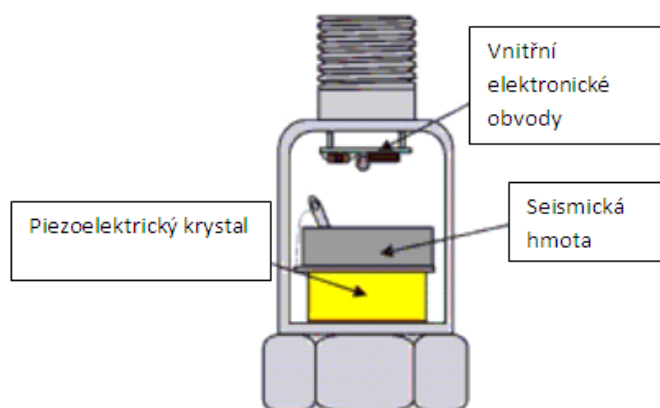
Graf 3 - Časový záznam s vyznačením materiálového tlumení

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3) Měření zrychlení

Snímač zrychlení tj. senzor pro měření statického nebo dynamického zrychlení tzv. akcelerometr přeměňuje toto zrychlení (tj. změnu pohybu) na měřitelný elektrický signál. Tyto snímače jsou proto vhodné nejen pro měření odstředivých a setrvačných sil apod., ale i pro měření vibrací.

Nejnámější princip je piezoelektrický jev tzn. piezoelektrický akcelerometr (PE), který využívá piezoelektrický krystal (přírodní nebo keramický), a tento jev generuje elektrický náboj úměrný působící síle tzv. síle vyvozené přesně definovanou seismickou hmotou umístěnou v tělese snímače, která při zrychlení působí na tento krystal.



Obr. 1.4 Schématické znázornění vnitřní struktury jednoosého akcelerometru

3) Měření vibrací a vibrodiagnostika

Měření vibrací strojních komponent i celých zařízení je nedílnou součástí technické diagnostiky strojních zařízení pro zajištění bezpečného, ekonomického a ekologického provozu. Mezi jednu ze základních metod technické diagnostiky pro stanovení technického stavu strojních zařízení je vibrační diagnostika neboli vibrodiagnostika tzv. měření vibrací jejich složek i velikostí. Využití znalostí a postupů jednotlivých metod vibrodiagnostiky vede k předcházení nečekaných poruch.

Vibrodiagnostika je jednou z možných metod bezdemontážní a nedestruktivní diagnostiky technických zařízení. Měření vibrací, které generuje strojní zařízení v provozu, slouží právě jako zdroj informací o způsobu jeho chování. Vibrodiagnostika je rovněž významným nástrojem moderních prediktivních a proaktivních metod údržby strojních zařízení, protože se údržba strojních zařízení plánuje dle zjištěného skutečného stavu a odpadají tak mnohdy



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

zbytečné preventivní opravy, což vede k nemalým úsporám finančního rázu, náhradních dílů i času potřebného na opravy strojních zařízení. Na pravidelně monitorovaných zařízeních se rovněž prodlužuje perioda odstávek, které je možné plánovat s dostatečným předstihem s tím, že je z výsledků měření je zřejmé, jaká část zařízení bude předmětem oprav.

Základním měřením je zjišťování celkových vibrací, jejich složek, vlastních frekvencí, rezonance atd., které generuje zařízením při provozu. Toto měření je definováno v normách zabývajících se dovolenými mohutnostmi kmitání na daných zařízeních (ČSN 122011 – ventilátory, ČSN 105041 – kompresory, ČSN ISO 10816 – obecná norma pro většinu strojních zařízení). Předmětem měření je rychlost vibrací [$\text{mm}\cdot\text{sec}^{-1}$] v pásmu 10 – 1000 Hz v detekci RMS (všechny uvedené normy jsou vztaženy na tento způsob měření).



Obr. 1.5 Příklad přenosného vibrodiagnostického přístroje [14]

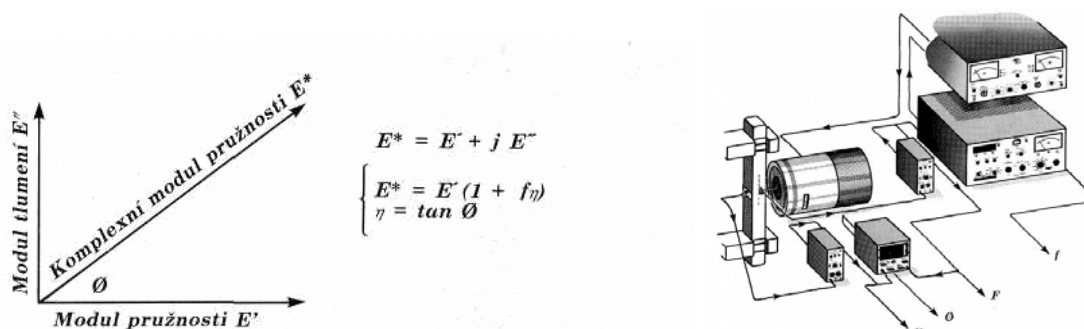
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

4) Další využití měření vibrací - Komplexní modul pružnosti [12]

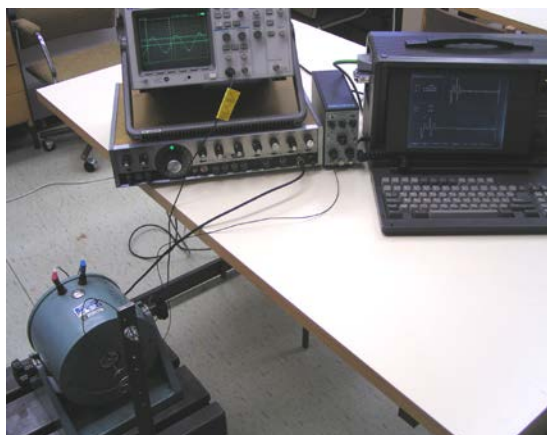
Modul pružnosti je podle definice určen poměrem mechanického napětí k poměrné deformaci. Hodnoty statického modulu pružnosti nezahrnují ztráty působené vnitřním tlumením. Použití statického modulu pružnosti v oblasti dynamiky vede k porušení náležitých fázových vztahů mezi napětími a deformacemi. U materiálů s nezanedbatelným vnitřním tlumením, například u plastických hmot, asfaltu, betonu a jiných viskoelastických materiálů, je nutno brát v úvahu jejich komplexní modul pružnosti.

Komplexní modul pružnosti má reálnou část, představující tuhost materiálu, a imaginární část, vyjadřující ztráty energie při deformaci materiálu, a je určen vektorovým součtem modulu pružnosti a modulu tlumení. Komplexní modul pružnosti má také bezprostřední vztah k činiteli ztrát materiálu, jenž je tangentou ztrátového úhlu, tedy úhlu mezi modulem pružnosti a komplexním modulem pružnosti.

Při určování komplexního modulu pružnosti (obr. 1.6 a 1.7) se zkoumaný objekt (například vzorek materiálu) budí konstantní silou a měří se výchylka mechanického kmitání a fázový úhel mezi signály, úměrnými síle a výchylce.



Obr. 1.6 - Celkové uspořádání pro měření komplexního modulu pružnosti



Obr. 1.7 - Celkové uspořádání pracoviště pro měření komplexního modulu pružnosti



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.

Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9
- [5] Dvořák, R.: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*, MM Průmyslové spektrum, speciální vydání, Praha, 2006, ISSN 1212-2572
- [6] JENČÍK, J., Volf, J. a kol.: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [7] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [8] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [9] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [10] PFEIFER, V.,: *Automatické řízení výrobních strojů*, ZČU v Plzni, Plzeň 1997, ISBN 80-7082-329-1
- [11] FORMÁNEK, J.: Hluk a vibrace strojních zařízení a jejich snižování. *Energetické stroje-termomechanika-mechanika tekutin-2005*, konference s mezinárodní účastí, ZČU, Plzeň, Česká Republika, 2005, s.33-36, ISBN 80-7043-360-4
- [12] Formánek, J.: Zjišťování dynamických vlastností materiálu experimentálními metodami, *Applied Mechanics 2007*, AM2007, VŠB-TU Ostrava, 2007
- [13] Kmitavý pohyb, <http://radek.jandora.sweb.cz/f10.htm>
- [14] Přístroje na vibrodiagnostiku, <http://www.lammb.cz/vibro.php>
- [15] Měření vubrací, <http://vojtahanak.cz/files/edu/kmity/rezonance.html>