

VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ TERMOMECHANICKÝCH NESTABILIT KOTOUČOVÝCH BRZD

J. Šroub, V. Lang

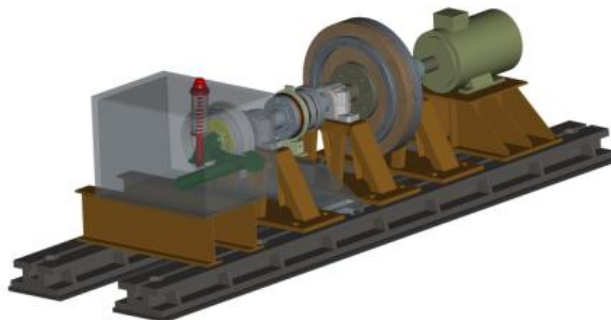
Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - Výzkumné centrum v západočeském regionu

Abstract

V příspěvku je představen měřicí systém pro měření termomechanických nestabilit kotoučových brzd. Je uveden popis systému pro rychlé měření teplotního pole na povrchu kotouče během brzdění, který tvoří hlavní část měřicího systému. Dále je uveden postup vyhodnocení naměřených dat využívající Matlab a uvedeny příklady výsledků.

1 Motivace

Brzdové systémy jsou jednou z důležitých součástí automobilu zajišťující jeho funkčnost a bezpečnost. Experimentální testování brzdových systémů je proto důležitý technický problém, neboť brzdové systémy jsou vystaveny silnému mechanickému a tepelnému zatížení, které může způsobit jejich opotřebení, materiálové a tvarové změny nebo poškození. Testování může probíhat přímo na voze nebo na speciálním testovacím zařízení - brzdovém stavu (obr. 1).



Obrázek 1: Schematické uspořádání brzdového stavu

Během brzdění se na brzdovém kotouči mohou objevit vlivem termomechanických nestabilit, tzv. hotspots. Hotspots jsou více či méně pravidelně rozmístěná místa na brzdovém kotouči s výrazně vyšší teplotou. Tyto nestability jsou velký problém, neboť způsobují během brzdění nestálý kontakt mezi kotoučem a destičkami. Důsledkem je potom vznik nežádoucích vibrací a hluku i snížení účinnosti brzd.

2 Brzdový stav

Brzdový stav vyvinutý na Západočeské univerzitě v Plzni se sestává z pěti základních částí – brzdového systému, měřiče momentu, setrvačnicku, elektromagnetické spojky a elektromotoru. Všechny části jsou umístěny na společné hřídeli, která je uložena ve třech ložiscích. Elektromotor pohání přes spojku hřídel se setrvačnickem, který nahrazuje hmotu vozidla. Setrvačník může měnit svoji hmotnost přidáním či odebráním pomocných obrouč za účelem simulace různých typů automobilů. Když je dosažena požadovaná rychlost, pomocí spojky se odpojí elektromotor a začne brzdění podle definovaného režimu. Ve speciálních případech může být motor připojen i během brzdícího cyklu.

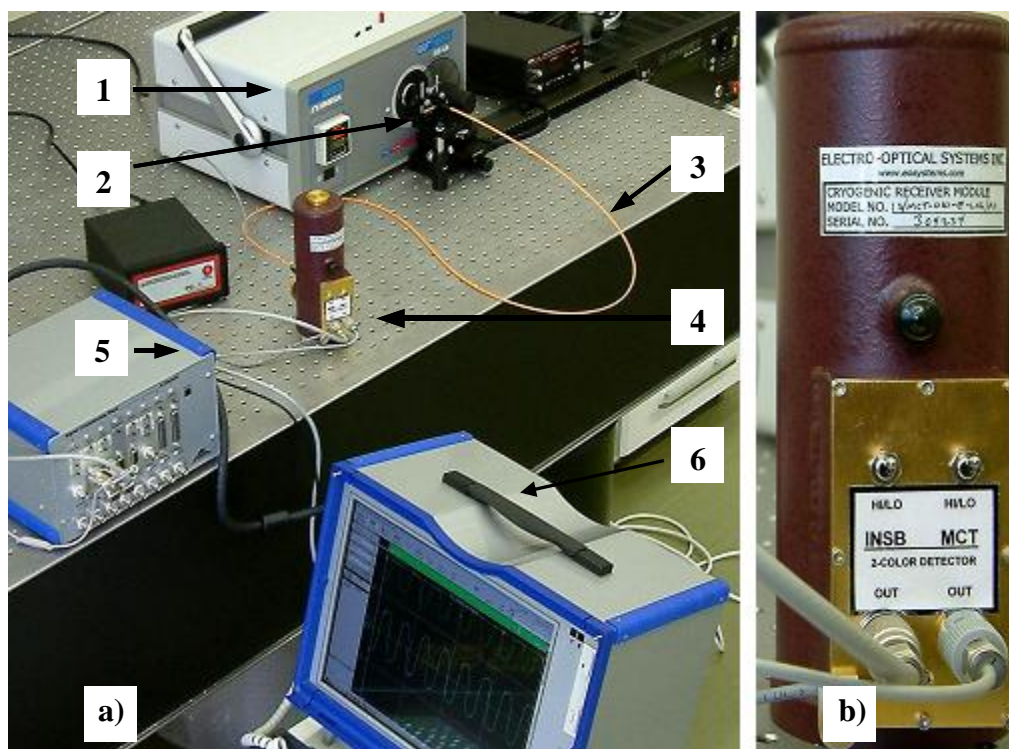
Brzdový stav obsahuje také ventilační systém s filtry, který odvádí znečištěný vzduch. Elektromotor, elektromagnetická spojka, brzdový systém (hydraulika) a ventilace jsou plně řízeny počítačem. Řídicí počítač také zaznamenává základní parametry brzdícího cyklu – teplotu, rychlost otáčení, atd. Speciální měřicí systém je použit pro rychlé kontaktní a bezkontaktní měření teploty, tlaku v brzdové soustavě, hluku, vibrací, rychlosti, momentu, atd.

Brzdový stav umožňuje testovat bubnové a kotoučové brzdy pro automobily od hmotnosti 800 kg do 1800 kg. Elektromotor má výkon 18,5 kW a maximální rychlost 1450 ot/min, která

odpovídá rychlosti 160 km/h, pro kolo o průměru 60 cm. Setrvačnick má hmotnost 175 kg a průměr 80 cm a jeho hmotnost lze zvyšovat přidáním přídatných obručí. Brzdový stav je schopen simulovat statické testy (konstantní rychlost – sjezd z kopce) tak i dynamické testy (měnící se rychlost - zastavování). Řízení brzdového stavu umožňuje různé režimy brzdění – konstantní tlak v brzdové soustavě, konstantní moment, konstantní rychlost nebo definované změny vyjmenovaných parametrů.

3 Měřicí systém

Teploty brzdového kotouče jsou v průběhu brzdění měřeny pomocí rychlých dvoupásmových infračervených fotodetektorů chlazených tekutým dusíkem s optickými vlákny. Detektory měří tepelné vyzařování povrchu kotouče a optická vlákna zajišťují jeho přenos k detektorům. Dále měřicí systém obsahuje induktivní senzor, který měří rychlost otáček kotouče.



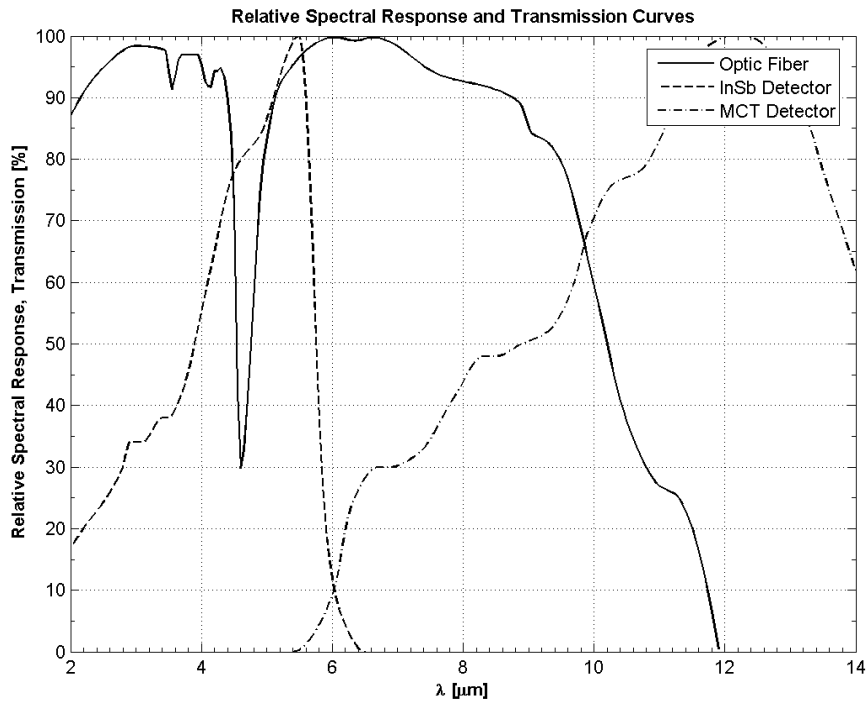
Obrázek 2: (a) kalibrační uspořádání: 1. Černé těleso 2. Přerušovač 3. Optické vlákno 4. IR detektor 5. Multikanálový zesilovač 6. Počítač s měřicí kartou (b) Detail infračerveného detektoru

Dvoupásmový infračervený detektor je vidět na obr. 2b. Detektor se sestává z dvou úrovní. Horní InSb detektor citlivý na krátké infračervené vlnové délky. HgCdTe detektor je citlivý na dlouhé vlnové délky. Přesná specifikace detektoru je v tabulce 1.

Table 1: Specifikace InSb/HgCdTe infradetektoru

Detektor	1 mm dia InSb (Fotovoltaický)	1 mm ² HgCdTe (Fotokonduktivní)
Spektrální rozsah	2 – 5.5 μm, peak ≈ 5.0 μm	5.5 – 14 μm, peak ≈ 12.0 μm
Citlivost	2.5×10^5 V/W	3×10^5 V/W
Šířka pásma	DC – 50 kHz	5 Hz – 50 kHz
Norm. detektivita	1×10^{11} cmHz ^{1/2} /W	3×10^{11} cmHz ^{1/2} /W
Napájení	± 9 – ±15 V DC	± 9 – ±15 V DC

Křivky relativní spektrální citlivosti InSb a HgCdTe detektorů a přenosová křivka pro infračervené vlákno jsou na obr. 3. Přenosová křivka infračerveného vlákna koresponduje s citlivostí infračerveného detektoru a zajišťuje tak minimální ztráty měřeného signálu.

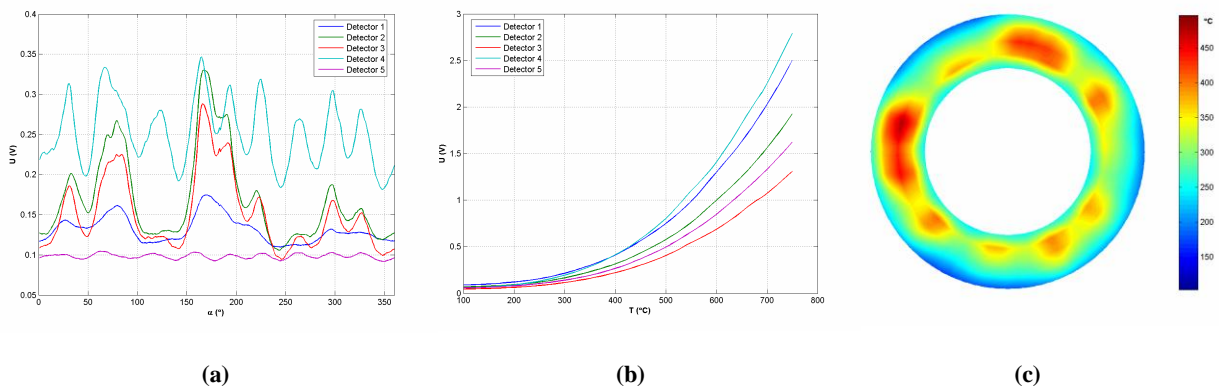


Obrázek 3: Křivky relativní spektrální citlivosti InSb a HgCdTe detektorů a přenosová křivka pro chalkogenidové sklo infračerveného vlákna.

4 Vyhodnocení

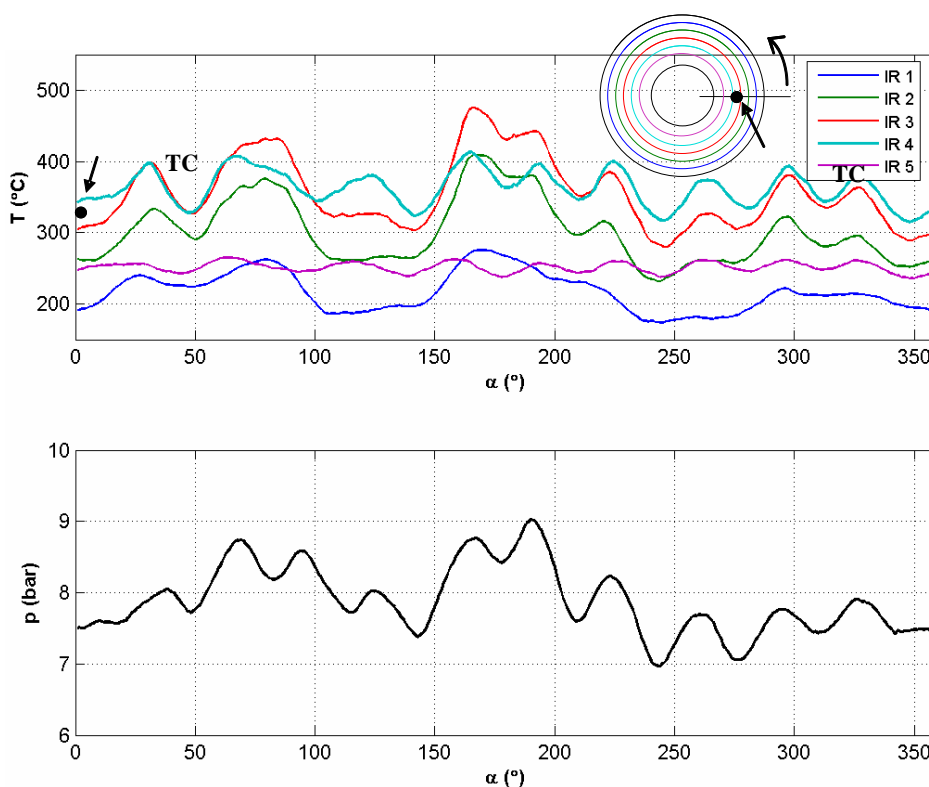
Kompletní vyhodnocení naměřených dat probíhá ve výpočetním prostředí Matlab. Matlab umožňuje rychlou práci s velkými objemy naměřených dat, jejich převod, přeskupování, přepočítání pomocí kalibračních křivek a další úpravy až k finálnímu vykreslení teplotních polí a ostatních grafů (vibrace, tlaky, atd.).

Vyhodnocení teplotního pole probíhá v několika krocích. Nejprve se vybere úsek dat odpovídající jedné otáčce (obr. 4a). Tato data se převedou na teploty použitím kalibračních křivek (obr. 4b) pro jednotlivé senzory. Nakonec se ze získaných dat utvoří matice a ta se vykreslí jako teplotní pole povrchu kotouče, jak je vidět na obr. 4c.



Obrázek 4: Příklad vyhodnocení teplot při bezkontaktním měření: (a) Signál z pěti infračervených detektorů odpovídající jedné otáčce kotouče (b) Kalibrační křivky pro jednotlivé detektory (c) Příslušné povrchové teplotní pole

Dále je vyhodnocován vztah mezi teplotním polem a tlakem. Pokud porovnáme křivky tlaku a teplot během jedné otáčky (obr. 5), zjistíme, že hotspots ovlivňují tlak v brzdové kapalině. Úhel α ($^{\circ}$) na ose x určuje pozici na brzdovém kotouči. Jednotlivé závislosti jsou předmětem dalšího zkoumání.



Obrázek 5: Vztah mezi teplotami a tlakovými změnami během jedné otáčky

5 Závěr

Tento příspěvek představil experimentální zařízení budované na Západočeské univerzitě v Plzni za účelem výzkumu chování brzdových systémů. Měřicí systém, který je součástí brzdového stavu, je možné instalovat přímo do automobilu a měřit tak chování brzdové soustavy přímo v reálných podmínkách v provozu. Měření teplotních polí, tlaků, vibrací a dalších parametrů má přispět k pochopení dynamických dějů při brzdění a tím zvýšit efektivitu, životnost a hlavně bezpečnost brzdových systémů.

Poděkování

Tento článek vznikl za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu č. 2A-1TP1-080.

Ing. Jan Šroub

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - Výzkumné centrum v západočeském regionu, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel.: +420 377 364 722, e-mail: jsroub@ntc.zcu.cz

Ing. Vladislav Lang, Ph.D.

Západočeská univerzita v Plzni, Nové technologie - Výzkumné centrum v západočeském regionu, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, tel.: +420 377 364 717, e-mail: vlang@ntc.zcu.cz