

METODY ELIMINACE NEŽÁDOUCÍCH ELEKTROMECHANICKÝCH INTERAKCÍ ZCELA ODPRUŽENÉHO POHONU DVOJKOLÍ

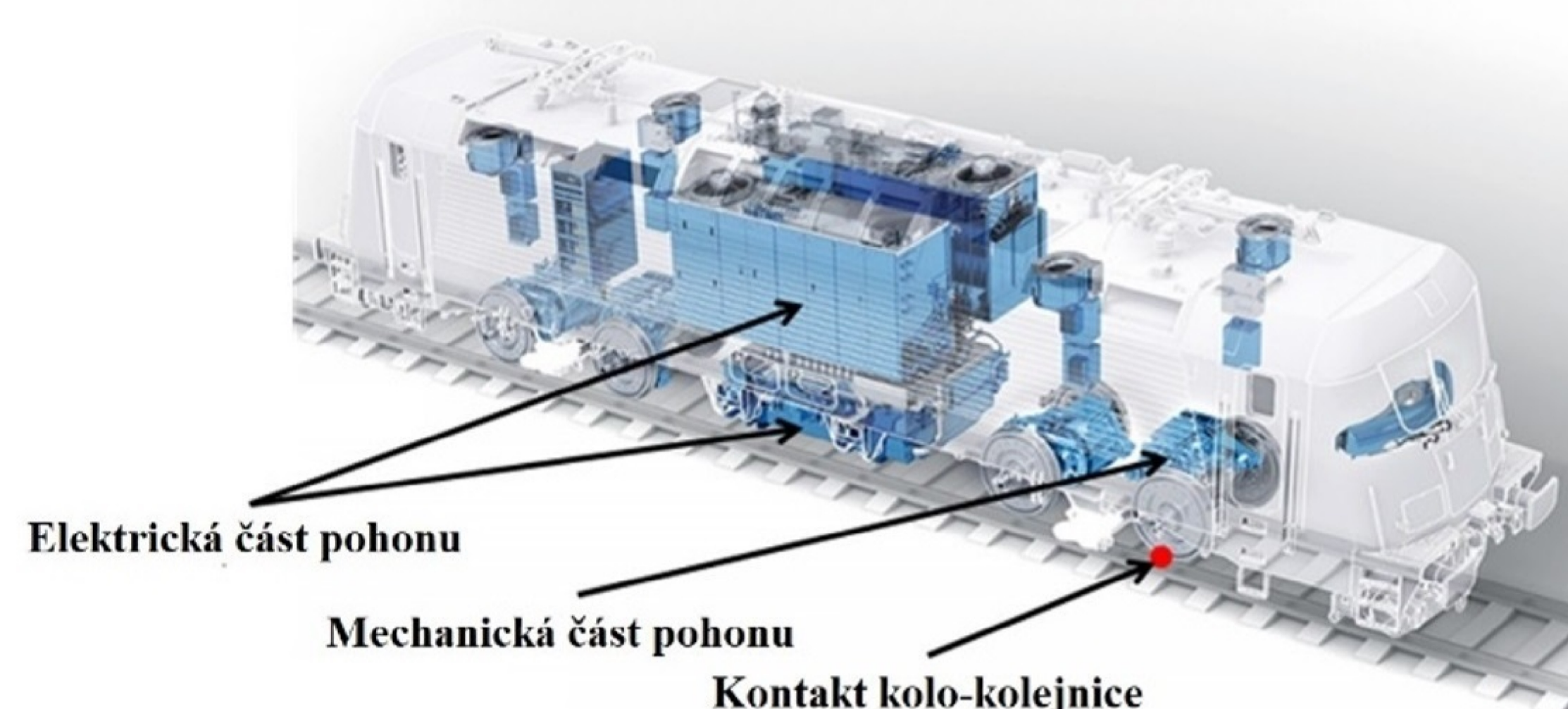
Studijní obor: Dopravní stroje a zařízení

Autor: Ing. Vojtěch Dybala

Školitel: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

ÚVOD

Obecné téma výzkumu zaměřené na přechodové jevy a oscilace v trakčních pohonech kolejových vozidel se v mé disertační práci vyvinulo v analýzu fenoménu torzních vibrací v mechanické části zcela odpruženého individuálního pohonu dvojkolí vysoce výkonné lokomotivy. Cílem mé práce je kvalifikace buzení těchto torzních oscilací od harmonických složek elektromagnetického momentu a stanovení možností jejich eliminace v rámci konstrukce mechanické části trakčního pohonu – torzní soustavy.



Obr. 1 Vizualizace trakční výzbroje a výstroje lokomotivy.

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cíle mé disertační práce stanovují základní body výzkumu, který vedl k popisu a kvantifikaci nežádoucích torzních oscilací a následnému návrhu řešení jejich eliminace. Hlavním nástrojem pro naplnění jednotlivých cílů byly simulační výpočty. V rámci laboratorních měření se experimentální část zaměřila na měření harmonických složek statorových proudů hnacího motoru.

Zaměření mého výzkumu provedeného v disertační práci mohou shrnout těmito čtyřmi cíli:

1. Určení vlivů vzájemného působení elektrické a mechanické části individuálního pohonu dvojkolí z hlediska buzení torzního kmitání. Tyto stavy by mělo být možno navozovat opakovaně pro různé podmínky.
2. Identifikovat projevy vzájemného elektro-mechanického působení v soustavě trakčního pohonu vozidla se zaměřením se na negativní ovlivňování jednotlivých komponent vozidla, např. krátkodobé či dlouhodobé přetěžování – životnost, pevnost.
3. Návrh opatření ke zmírnění nebo výrazné redukci identifikovaných negativních projevů torzního kmitání v pohonné soustavě individuálního pohonu dvojkolí kolejového vozidla.
4. Posouzení možností experimentálního měření zkoumaných zákonitostí na kladkových stenech FS ČVUT za účelem podpory této práce i následného rozšíření možností experimentálních měření začlenitelných do výuky.

K naplnění prvních tří cílů využívám simulačních modelů, které i s určitou mírou idealizace, vycházející ze základní představy o uspořádání modelu – Obr. 1, dostatečně respektují reálné uspořádání a parametry prvků pohonné soustavy kolejového vozidla.

Pro realizaci čtvrtého cíle byla využita z rekonstruovaná starší verze kladkového stavu a model dvounápravového podvozku s hnacími dvojkolími v měřítku 1:3,5.

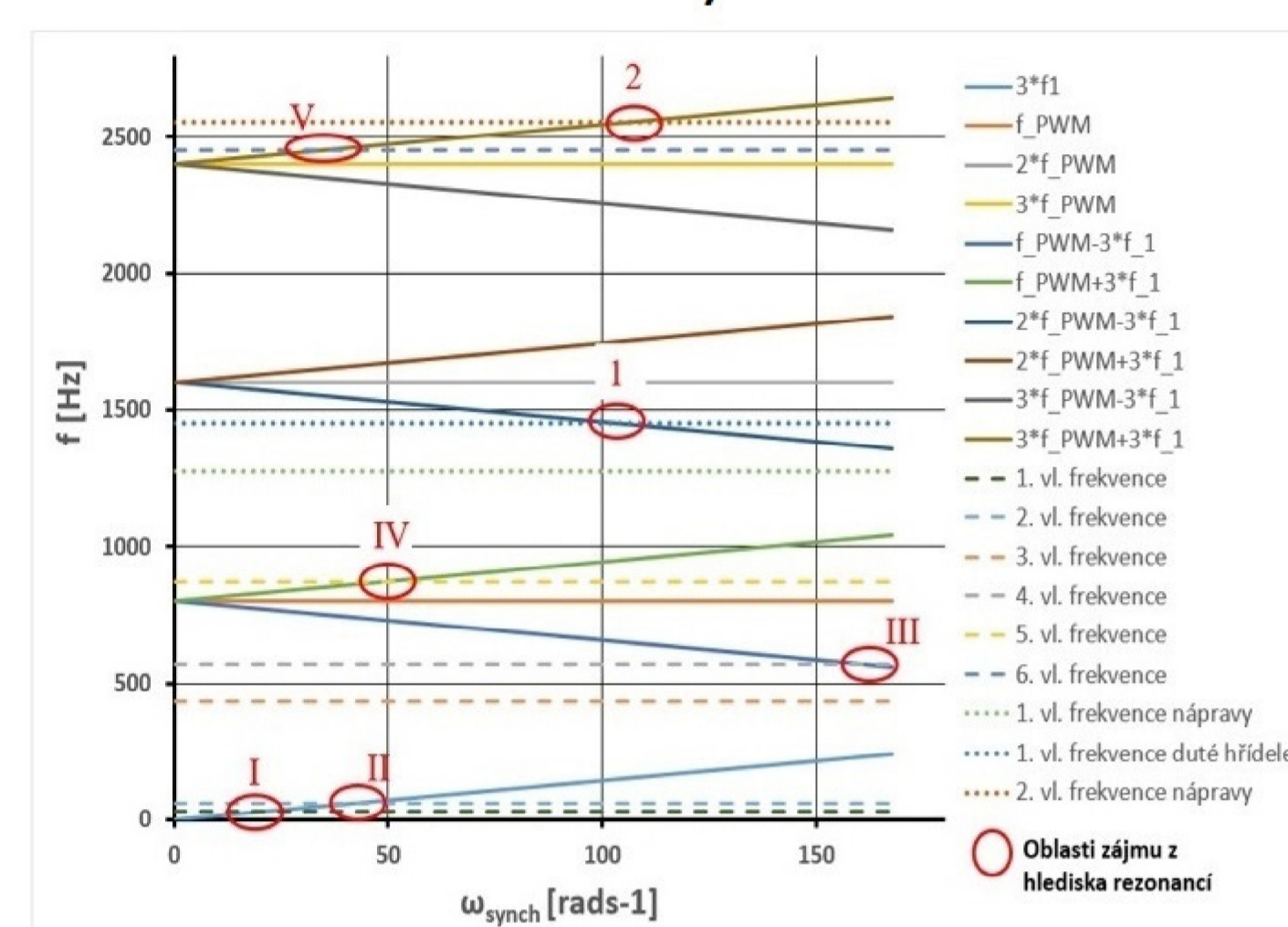
IDENTIFIKACE REZONANCÍ A ZDROJŮ BUZENÍ

Mechanická část zkoumaného pohonu lokomotivy představuje v principu sedmi-hmotovou torzní soustavu, ve které dochází ke vzniku rezonančních stavů. Ty jsou nebezpečné tím, že způsobují přetěžování komponent tohoto pohonu. Z hlediska buzení jsem zkoumal vliv harmonických složek elektromagnetického momentu hnacího asynchronního motoru, které mají svou podstatu v napájení motoru ze střídače. Identifikaci potenciálních rezonančních stavů jsem provedl pomocí Campbellova diagramu (Obr. 2). V něm jsou v závislosti na synchronní úhlové rychlosti elektromagnetického pole motoru vyneseny právě vlastní frekvence soustavy (přerušované čáry) a budící frekvence (plné čáry). Jejich průnik pak identifikuje rezonanční stav. Pro další část výzkumu zabývající se simulacemi a vyhodnocením projevů nebezpečných rezonancí byl také zjišťován vliv promodulování napájecího napětí. Zhoršující se promodulování s rostoucími otáčkami má totiž přími vliv na zvlnění proudů motoru, a tedy na zvětšení amplitud budících harmonických složek elektromagnetického momentu. Tento vliv je prezentován na Obr. 3, kde je vidět, že s rostoucími otáčkami rostou amplitudy harmonických složek, tedy budící signál má větší sílu vybudit rezonanci.

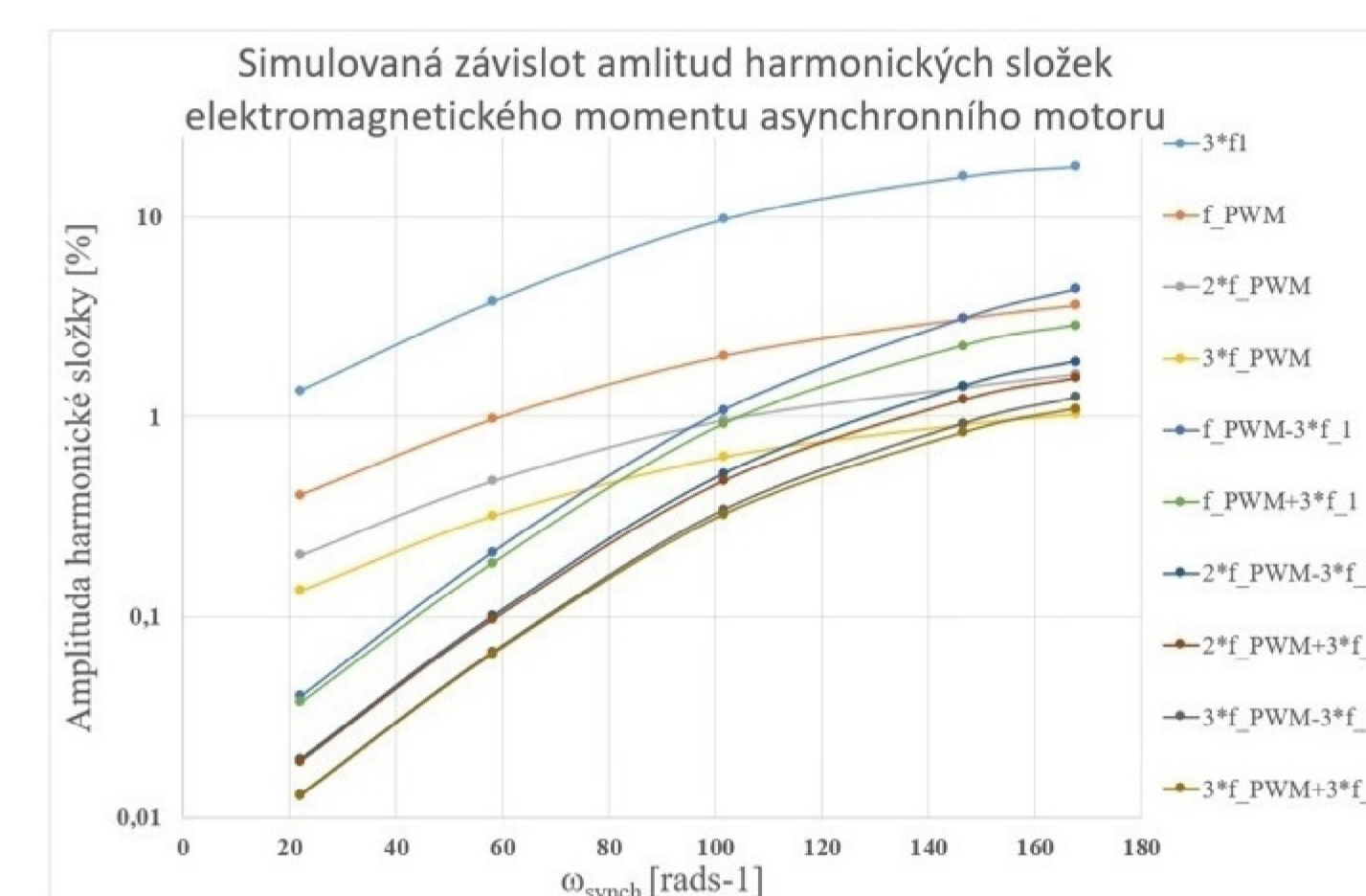
PROJEVY REZONANCÍ A JEJICH ELIMINACE

První série provedených simulací identifikovaly projevy předpokládaného rezonančního stavu III dle Obr. 2. Dle příslušného vlastního tvaru kmitání se jedná o dominantní kmitání malé hmoty pastorku vůči mnohem větší hmotě rotoru motoru. Typickým příkladem projevu této rezonance je enormní rozkmitání momentu zatěžujícího hřídel rotoru na krut, viz Obr. 4. Následně zkoumaný způsob eliminace této rezonance je v principu hledání optimálnější hodnoty torzní tuhosti přetěžované hřídele mezi pastorkem a jhem rotoru. Ať již jejím snižováním nebo zvyšováním. Princip této metody vychází ze znalostí prezentovaných na Obr. 2 a Obr. 3. Tedy, že potenciální rezonanci lze vytlačit mimo pásmo budících frekvencí nebo do nižších

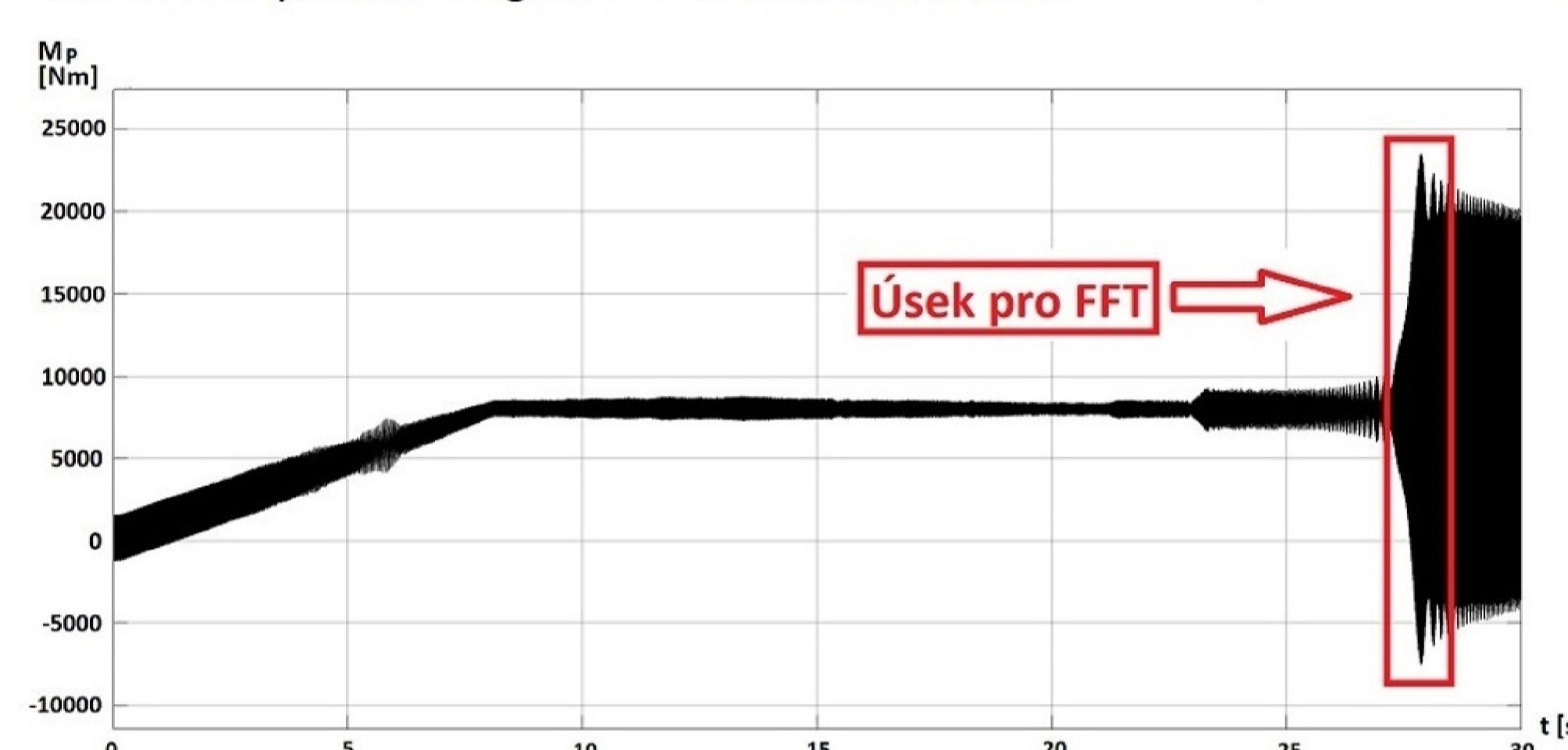
otáček, kde mají budící harmonické složky menší sílu k vybudění rezonance. Ukázka efektivity tohoto přístupu je na Obr. 5, kdy byl rezonanční stav eliminován přesunem do nižších otáček navýšením torzní tuhosti hřídele.



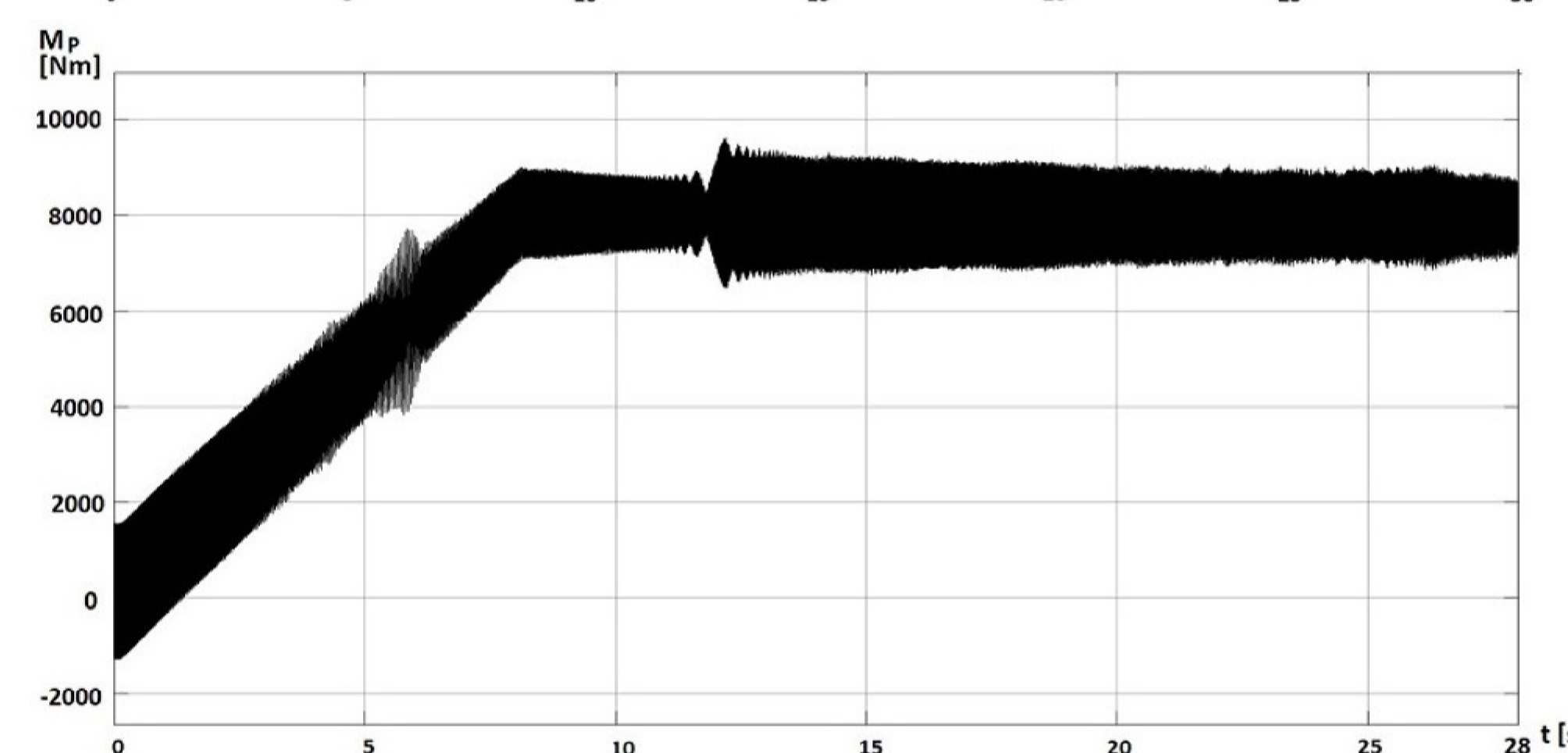
Obr. 2 Campbellův diagram - 7-hmotová soustava



Obr. 3 Závislost amplitudy harmonické složky na synchronní úhlové rychlosti



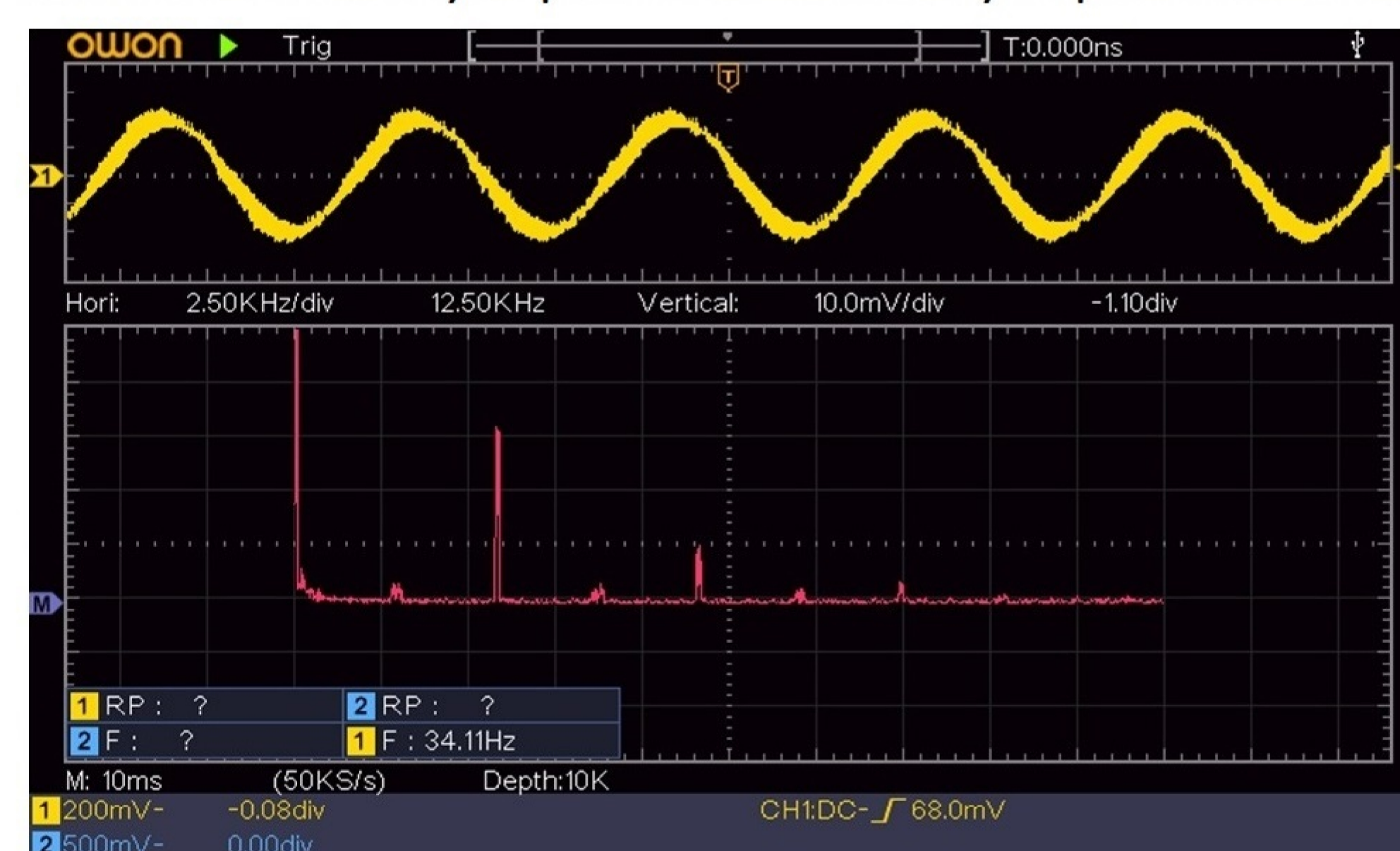
Obr. 4 Průběh signálu hnacího momentu pastorku.



Obr. 5 Průběh signálu hnacího momentu pastorku pro K23.

STENDOVÁ MĚŘENÍ

V průběhu rekonstrukce kladkového stavu v laboratořích na Julisce se podařilo rozšířit možnosti experimentálních měření nízkých součinitelů adheze a vlivu ztráty adheze v kontaktu kolo-kladka. Pro účely zde prezentovaného výzkumu se však nepodařilo realizovat všechny potřebné experimenty z důvodu rozměrové a výkonnostní disproportionality stavu. K tématu vztahující se měření lze příkladně vidět na Obr. 6. Jedná se o měření a frekvenční analýzu statorových proudů hnacího motoru dvojkolí, které de facto potvrzují teoretické předpoklady o harmonických složkách statorových proudů simulovaných pomocí matematických modelů.



Obr. 6 Měření zvlnění fázového proudu hnacího motoru dvojkolí – nahore fázový proud, dole frekvenční analýza.

ZÁVĚR

Pomocí simulací a výpočtů bylo v rámci výzkumu zjištěno, že harmonické složky elektromagnetického momentu trakčního motoru mohou vybudit velmi výrazné torzní oscilace ve zcela odpruženém individuálním pohonu dvojkolí lokomotivy a způsobit tím velmi výrazné přetěžování jeho komponent. Dále se také ukázalo to, že tyto vlivy lze eliminovat nebo alespoň omezit prostřednictvím návrhu modifikací konkrétních komponent, které směřují k přeladění torzní soustavy. V souvislosti s tématem tohoto výzkumu se po rekonstrukci stavu na Julisce v rámci praktické části podařilo realizovat pouze měření statorových proudů hnacího motoru. Tato měření ověřují předpoklady o zastoupení harmonických složek ve statorovém proudu, které byly definovány jako základní předpoklady pro buzení předpokládaných nebezpečných torzních oscilací.