Experimentální Analýza Napětí 2007

THE SIX DEGREES OF FREEDOM PLATFORM
PLOŠINA SE ŠESTI STUPNI VOLNOSTI

Aleš Lufinka[1]

Abstract: *The six degrees of freedom platform is a new unique device which was built on Technical university of Liberec, Department of design of machine elements, Hydrodynamic laboratory. This device can be used for testing of machine elements and systems properties by 3-axial excitation. As excitation in motion, we can use a lot of combinations of periodical signals with different amplitude and frequency or we can use the time record of real measured signal. The maximal care in terms of the design of the platform and its control system was focused on the reliability and safety – the device suits safety requirements of the ČSN EN ISO 13090 standard. It means that the platform can be used for human – mechanic parts interaction testing (for example a car seat with a driver).*

Keywords: *testing of mechanical parts, 3-axial excitation*

1. Úvod

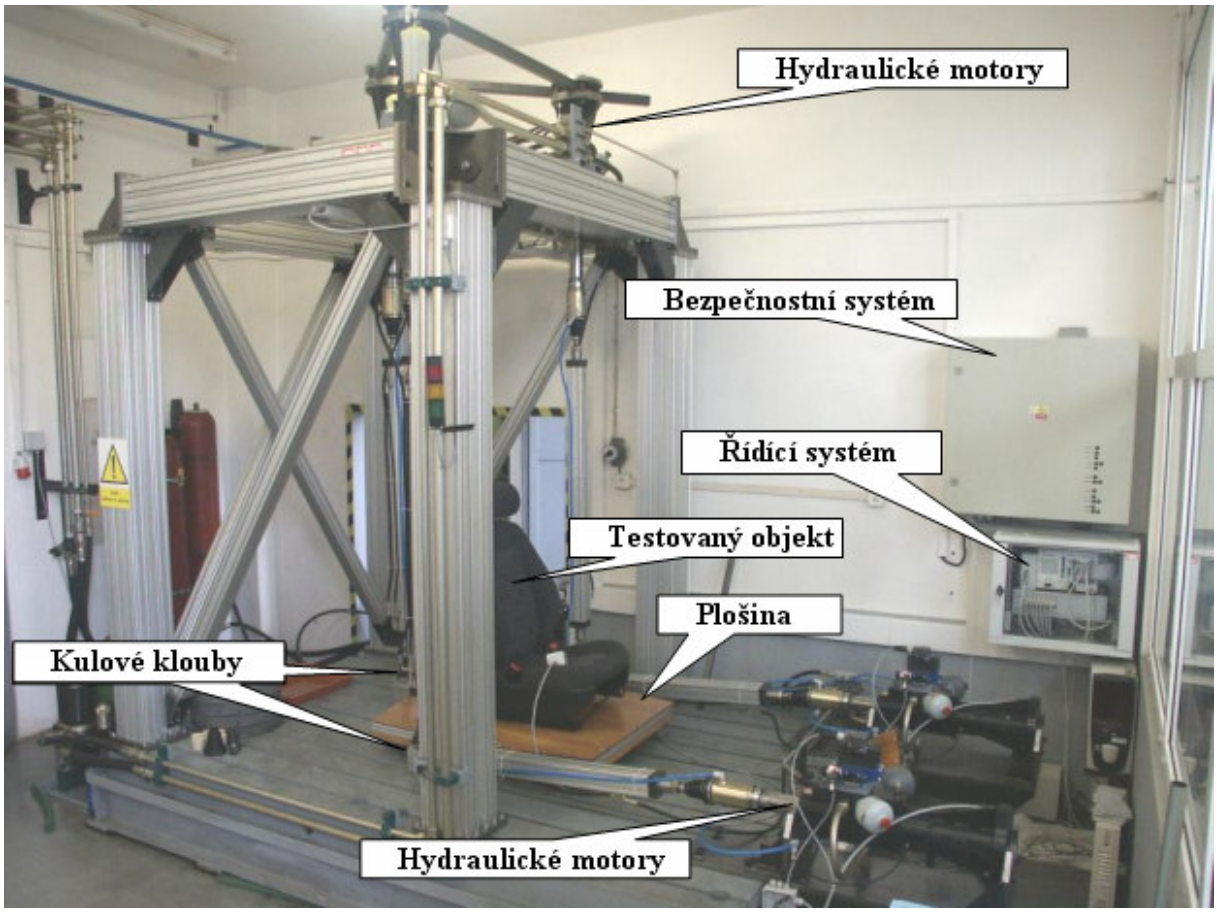
Plošina se šesti stupni volnosti je unikátní testovací zařízení, které bylo uvedeno do provozu v hydrodynamické laboratoři katedry částí a mechanismů strojů Technické univerzity v Liberci. Umožňuje zkoušet a měřit vlastnosti rozličných technických zařízení při obecném prostorovém buzení. Pro buzení lze využít kombinaci harmonických signálů různých frekvencí a amplitud nebo použít budící signál změřený přímo v reálném prostředí. Plošina tak umožňuje při testech buď budit testované zařízení přesně definovanými signály (např. sledování odezvy na jednotkový skok pro stanovení přechodových charakteristik) nebo může simulovat reálné provozní podmínky zkoušeného objektu. Šest stupňů volnosti znamená možnost vyvodit posuvy a rotace ve třech osách a to buď jednotlivě nebo v libovolné kombinaci. Zkoušený objekt tak může vykonávat obecný prostorový pohyb.

Při konstrukci plošiny a jejího řídícího systému byl kladen maximální důraz na spolehlivost a bezpečnost jak jednotlivých komponent, tak i plošiny jako celku. Cílem bylo splnit přísné bezpečnostní požadavky normy ČSN EN ISO 13090-1 pro zkoušky s lidmi. Tato norma předepisuje principy technického zabezpečení zkušebního zařízení tak, aby v případě nějaké nenadálé poruchy (např. výpadku elektrického proudu, utržení kabelu apod.) nemohlo dojít k ohrožení testované osoby. Rovněž předepisuje maximální možné zátěže osoby během testu (velikosti amplitud kmitání a dosahovaného zrychlení po určitou dobu). V době vzniku tohoto článku byly dokončovány poslední úpravy na zařízení, aby mohlo být dáno k posouzení nezávislé odborné technické komisi, která schválí jeho způsobilost pro testy s člověkem. Poté bude možno využít plošinu i pro testování mechanických celků v interakci s člověkem (např. automobilové sedadlo s řidičem). Jednotlivé konkrétní testy s člověkem pak musí schválit ještě etická komise, která však již neposuzuje zkušební zařízení, ale skladbu a průběh konkrétního testu.

[1] Ing. Aleš Lufinka, Katedra částí a mechanismů strojů, Technická univerzita v Liberci, Hálkova 6, 461 17 Liberec 1, tel.: +420 485353318, e-mail: ales.lufinka@tul.cz

2. Popis plošiny

Plošina je elektrohydraulické zařízení. Na pevném rámu je umístěno šest lineárních hydraulických motorů SAVAD 20-200 M019. Tři motory jsou horizontální a tři vertikální. Na pístnicích motorů je přes kulové klouby upevněna vlastní plošina a na ní se pak kotví testovaný objekt. Kombinací pohybů jednotlivých motorů lze docílit libovolného pohybu plošiny a tím i testovaného objektu. Zdroj tlakové hydraulické kapaliny je centrální pro celou laboratoř, plošina je připojena do rozvodné hydraulické sítě laboratoře. Pro servisní účely je možno veškeré přívody uzavřít mechanickými ventily, při běžném provozu se připojení provádí elektricky ovládanými ventily napaječe. Rozsah pohybů je dán mechanickou konstrukcí a vychází z maximálního zdvihu jednotlivých motorů, který je ±100mm. Pro bezpečný provoz však byl stanoven jen rozsah ±70mm, na každé straně tak zbývá 30mm pro dobrždění při eventuelních chybových stavech. Nosnost plošiny je 250 kg a maximálně dosahovaná rychlost pohybů je větší než 1m/s. Pohled na celé zařízení je na obrázku č.1.



Obr. 1. Celkový pohled na plošinu

3. Požadavky normy ČSN EN ISO ISO 13090-1 a jejich řešení

Požadavky normy by se daly rozdělit zhruba do tří kategorií. V první jsou požadavky na celkové uspořádání experimentu. Sem patří např. zajištění jednoduchého přístupu k testované osobě, vizuální i hlasový kontakt osoby s operátorem, znemožnění kontaktu osoby s nebezpečnými částmi zařízení (rotujícími, horkými,..). Druhá kategorie požadavků se týká velikosti, charakteru a doby zátěže testované osoby. Třetí kategorie už přímo klade požadavky na konstrukci řídícího systému. Mimo jiné požaduje i nutnost nezávislého monitorování systému a při překročení předem nastavených limitních hodnot zastavení pohybu a to opět nezávisle na stavu řídícího systému.

Zajištění požadavků první kategorie je plněno celkovým uspořádáním pracoviště. Vizuální kontakt je zajištěn umístěním operátorského stanoviště proti testované osobě, hlasový bezdrátovým komunikačním systémem. V době vzniku článku se právě v této oblasti dokončovaly poslední úpravy (nástupní schůdky, zábradlí, kryty pístnic,…). Řešení požadavků z druhé a třetí oblasti je dáno konstrukcí řídícího systému a je popsáno v následující části.

3.1 Princip řídícího a bezpečnostního systému

Nejdůležitějším požadavkem, který podstatně ovlivnil konstrukci celého systému je požadavek nezávislosti. Bezpečnostní systém musí mít v případě poruchy možnost ovládat plošinu nezávisle na kterémkoliv prvku hlavního systému, protože kterýkoliv z těchto prvků může být právě příčinou poruchy. To by ve své podstatě vedlo na zdvojení celého systému, což je ale mechanicky těžko proveditelné a finančně velmi nákladné. Řešení proto vychází z předpokladu, že v případě poruchy není třeba plošinu dále řídit, ale stačí ji jen definovaným způsobem zastavit. Tím se záložní systém zjednodušuje – při překročení limitních hodnot prostě přerušením přívodu energie zastaví plošinu.

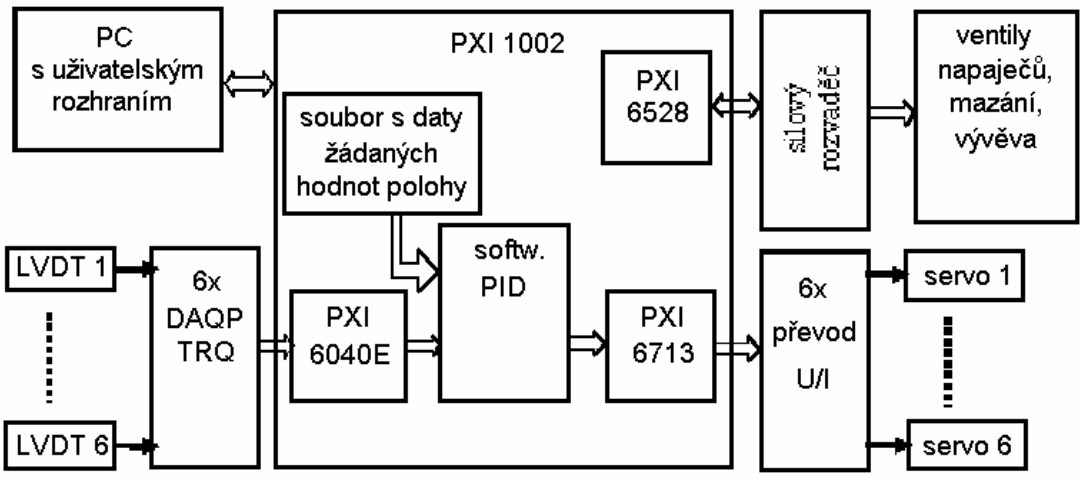
3.2 Řídící systém

Ovládání hydromotorů představuje klasickou polohovou zpětnovazební regulaci. Každý hydromotor je osazen proporcionálním servoventilem Rexroth a uvnitř pístnice má vestavěný indukční snímač polohy. Protože je ale potřeba řídit ne jeden, ale současně šest válců, mohlo by použití šesti samostatných regulátorů působit problémy se vzájemnou synchronizací. Proto je všech šest regulátorů realizováno jedním průmyslovým počítačem PXI 1002. Ten pracuje se speciálním operačním systémem reálného času, který umožňuje přesné časování regulační smyčky. Jeho základní funkcí je tedy realizace šesti číslicových PID regulátorů polohy. Mimo to pochopitelně systém ovládá i všechny další funkce potřebné pro provoz plošiny (elektrické vstupní ventily, odsávání mazacího oleje,…). V rámu PXI 1002 jsou proto osazeny celkem tři vstupně-výstupní karty. Dvě analogové – jedna vstupní pro měření signálů za snímačů polohy a druhá výstupní pro řízení servoventilů. Třetí karta má galvanicky oddělené logické vstupy a výstupy a slouží pro zapínání silových obvodů a monitorování jejich stavu. Před vstupní analogovou kartu je předřazena sada zesilovačů, které zpracovávají signál z LVDT snímačů polohy, na výstupní kartu navazuje sada proudových převodníků pro řízení servoventilů. Pohled na řídící systém a uživatelské rozhraní ovládacího softwaru je na obrázku 2.

Obr.2. Pohled na řídící systém a uživatelský software

Uživatelské rozhraní pro komunikaci s obsluhou běží na dalším počítači – to je již normální PC. Oba systémy spolu komunikují standardním internetem. Oddělením uživatelského rozhraní na jiný PC se „ulehčí“ řídícímu systému. Ten se nemusí starat o zobrazování, sledování myši, klávesnice apod. a může v klidu vykonávat svůj hlavní úkol – PID regulaci polohy šesti válců.

Z důvodů splnění požadavků na dobu expozice a maximální přípustné hodnoty zátěže pro testovanou osobu řídící systém neumožňuje v reálném čase generovat žádný signál. Veškeré budící signály jsou vygenerovány předem a uloženy do souboru. Soubor je nejprve zkontrolován v simulačním programu a teprve pokud vyhoví kritériím normy je uvolněn k použití při testech s člověkem. Signál se dá pak zkontrolovat ještě v reálu spuštěním plošiny bez člověka a poté ho teprve použít k testům. Uložením budících dat do souborů jsou dále úplně eliminovány možné chyby operátora, který by jinak mohl například pouhým přehlédnutím desetinné čárky při nastavování parametrů generace spustit signál z desetkrát větší amplitudou. Na obrázku 3 je blokové schéma řídícího systému.

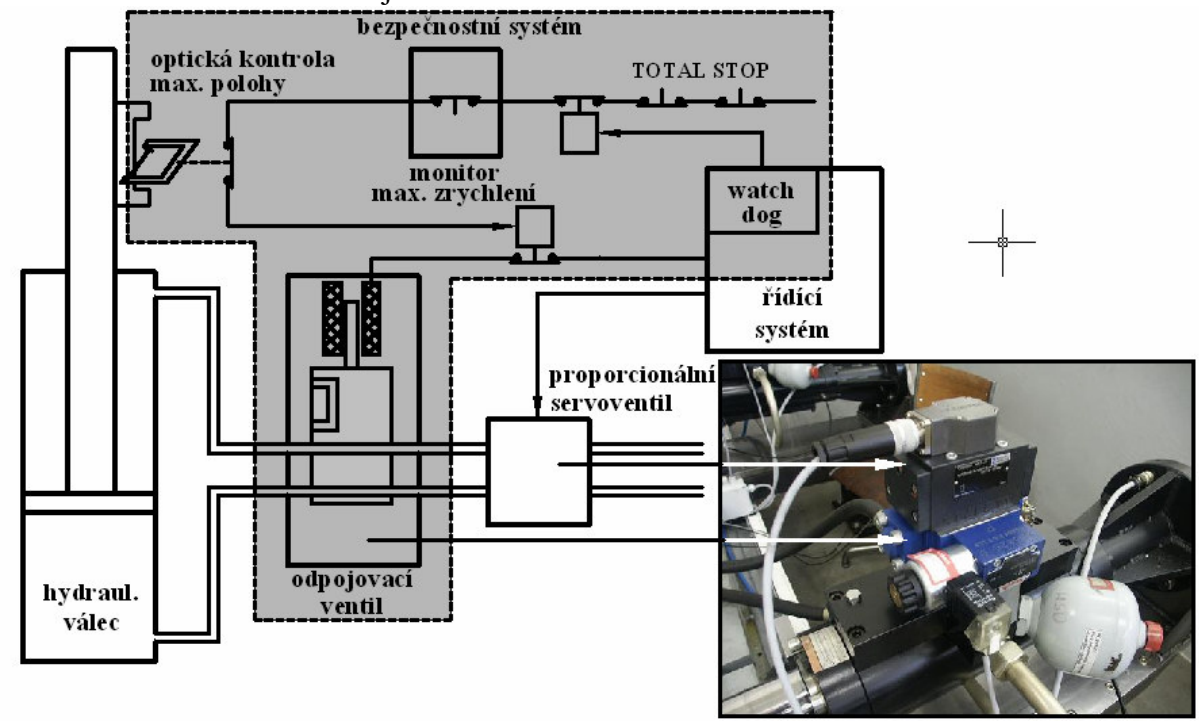


Obr. 3. Blokové schéma řídícího systému

3.3 Bezpečnostní systém

Bezpečnostní systém má za úkol v případě výskytu nějaké poruchy bezpečně zastavit pohyb plošiny. Jeho základní funkcí je proto detekování poruchy. Pro tuto detekci využívá několik obvodů. Prvním z nich je sledování pravidelnosti chodu řídícího systému PXI. Software regulační smyčky generuje řadu impulsů a obvod hlídá jejich pravidelnost. Jakákoliv odchylka od předepsané doby periody tohoto signálu (způsobená softwarem nebo hardwarem) je vyhodnocena jako chybový stav. Takový obvod se nazývá watchdog a tvoří základ bezpečnostního systému, protože dokáže reagovat velmi rychle na jakoukoliv odchylku v časování regulační smyčky. Další systém hlídá překročení maximálního zdvihu válců. Z celkového zdvihu válců ±100mm se využívá jako pracovní jen maximálně ±70mm. Překročení této hranice je hlídáno sadou optických závor. Dále je bezpečnostní systém doplněn o hlídání překročení povoleného zrychlení. Tento obvod využívá jednočipové víceosé snímače zrychlení, jejichž výstupy jsou vyhodnocovány sadou komparátorů. Hlídání zrychlení se dá vyřadit, aby bylo možno provozovat i testy bez člověka, kde mohou být budící signály mnohem razantnější. Vyřazení se provádí vypínačem na klíček a je signalizováno výstražným světlem a informací v okně uživatelského softwaru. Posledním prvkem systému jsou tlačítka TOTAL STOP u operátora a testované osoby. Všechny obvody bezpečnostního systému jsou řazeny sériově, takže reakce kteréhokoliv z nich způsobí okamžité zastavení pohybu plošiny.

Vyřešení konkrétního způsobu, jak plošinu zastavit se nakonec ukázalo jako nejsložitější úkol. Princip byl jasný od začátku – odpojit prostě přívod hydraulické kapaliny do motorů. Uvědomíme-li si však, že píst se může pohybovat rychlostí 1m/s a k poruše by došlo při jedné z krajních poloh pracovního zdvihu, máme při zbývajícím 30mm zdvihu do konce válce maximálně 30ms na detekci poruchy a odpojení kapaliny. Z tohoto důvodu nelze použít hlavní přívodní ventily, jejichž reakční doba je vzhledem k jejich velkému průtoku dlouhá (cca 600ms). Další možností se jevilo použít přímo servoventily na válcích. To však není možné vzhledem k jejich typu – z důvodu plynulé regulace jsou použity servoventily s negativním překrytím hran šoupátka. U tohoto typu serv vlastně neexistuje žádná poloha, kdy je servo úplně uzavřeno. I při odpojení elektrické energie servem protéká kapalina a píst se tedy pohybuje. Použití serv by navíc odporovalo požadavku nezávislosti systémů, protože když by zdrojem poruchy bylo právě servo, nebylo by pohyb pístu čím zastavit. Konečným řešením proto bylo přidání odpojovacího ventilu na každý válec. Tento ventil je dvoustavový, pokud je napájen elektrickou energií, vede, při jejím odpojení uzavře průtok oleje. To odpovídá bezpečnostním pravidlům – při „ukopnutém“ kabelu se ventil zavírá. Vzhledem k menšímu průtoku je ventil i dostatečně rychlý. Blokové schéma bezpečnostního systému s ukázkou montáže obou ventilů je na obrázku 4.



Obr. 4. Blokové schéma bezpečnostního systému

4. Závěr

Konstrukcí plošiny se šesti stupni volnosti se rozrostly možnosti hydrodynamické laboratoře o víceosé buzení testovaných mechanických celků. To umožní komplexnější výzkum a vývoj těchto dílů, protože i v reálném prostředí dochází často k takovému zatěžování. Typickým příkladem je třeba automobilové sedadlo při projíždění terénem. Tím, že plošina splňuje přísné bezpečnostní normy a umožňuje tak i testy s člověkem se dále rozrostl okruh možných zkoušek a laboratorní testování se velmi přiblížilo realitě.

Poděkování: Celý vývoj a konstrukce plošiny se šesti stupni volnosti byl financován z prostředků výzkumného záměru MSM 4674788501. Bez jeho podpory by toto unikátní zařízení nemohlo vůbec vzniknout.