

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na konstrukční návrh přípravku pro měření časování vačkových hřídelí a jejich opotřebení. Po krátkém úvodu a vysvětlení základních pojmů je rozebrána problematika měření geometrie vaček a přehled komerčně nabízených přípravků. Dále je zpracován návrh konstrukce vlastního přípravku, včetně výkresové dokumentace. Je zde popsán postup měření s přípravkem a ukázky vyhodnocení některých měřených dat. V závěru práce jsem celý návrh zhodnotil po konstrukční i ekonomické stránce.

Klíčová slova: vačka, vačkový hřídel, časování, geometrie vaček, kinematické veličiny, elektronické snímače, přípravek, ventil, rozvod,

ABSTRACT

Bachelor's thesis is focused on constructional concept of device for measuring of camshafts timing and its wear-out. After short introduction and definitions of basic concepts there are problems of cams design analyzed and overview of the commercially offered devices is mentioned. Next part focuses on construction of the proper device including design documentation. Procedure of measuring with the device and example of some data evaluation is described. In the conclusion I evaluated constructional and economic aspect the whole concept.

Key words: cam, camshaft, timing, cams design, kinematics values, electronic sensors, device, valve, gear

Bibliografická citace:

JOZÍF, L. *Přípravek pro měření časování vačkových hřídelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 35 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením pana doc. Ing. Ivana Mazúrka, CSc., za použití uvedené literatury.

V Brně dne 16.5.2008

.....
Lukáš Jozíf

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkovat všem, kteří mi pomohli při vzniku mé bakalářské práce, obzvláště panu doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi, CSc. za odborné vedení.

Obsah

Úvod	14
1. Vačkové mechanismy	15
1.1 Základní pojmy	15
1.2 Rozdělení ventilových rozvodů dle typu konstrukce	15
1.3 Hlavní části ventilového rozvodu	16
1.4 Požadavky kladené na rozvodové ústrojí spalovacích motorů	17
2 Návrh a měření tvaru vaček	18
2.1 Návrh vaček	18
2.2 Měření vaček	18
2.2.1 Měření mechanickými měřidly	18
2.2.2 Měření optickými přístroji	20
2.2.3 Měření elektronickými přístroji	20
3 Přehled měřících přístrojů na trhu	21
4 Vlastní návrh měřícího přípravku	23
4.1 Požadavky na měřící přístroj	23
4.2 Popis přístroje	23
4.2.1 Rám přístroje	23
4.2.2 Pohyblivé rameno	24
4.2.3 Deska lineárního snímače	24
4.2.4 Deska rotačního snímače	24
4.2.5 Podpěra	24
4.3 Dodatečné úpravy přípravku	25
5 Snímání měřených veličin	26
5.1 Použité snímače a jejich princip	26
5.1.1 Popis metody snímání polohy	26
5.1.2 Parametry vybraného lineárního snímače:	27
5.1.3 Popis metody snímání úhlu natočení	27
5.1.4. Parametry vybraného indukčního snímače	28
5.2 Zpracování výstupního signálu	28
6 Parametry a oblast použití přípravku	29
7 Ukázka měření s přípravkem	30
7.1 Příprava měření	30
7.2 Postup měření	30
7.3 Vyhodnocení měřených dat	31
7.4 Ukázka naměřených a vyhodnocených dat	31
Závěr	32
Seznam použitých zdrojů	33
Seznam obrázků a tabulek	34
Seznam příloh	35

ÚVOD

Vačkové mechanismy nacházejí uplatnění ve strojích a zařízeních, v nichž umožňují velmi přesně realizovat opakující se pracovní pohyb. Jejich výhody spočívají především v nízkém počtu dílů, při poměrně malých rozměrech. Využívají se především ve strojích pro textilní, obráběcí, dopravní a zemědělský průmysl. V práci se budu konkrétně zabývat typickou aplikací vačkového mechanismu v rozvodu čtyřtakového spalovacího motoru, kde se uplatňuje již více než 100 let. Vzhledem k současnému rozvoji vědy a poznání je více než jisté, že se bude hojně využívat i v nadále. Později si ukážeme, že existují i jiná, nová a modernější řešení ovládní mechanismu rozvodu motoru. Ta jsou ale stále ve fázi vývoje a jejich náročnost na výrobu jim ještě nedovoluje plně nahradit rozvody pomocí vačkových mechanismů.

Je známo, že konstrukce rozvodového mechanismu má zásadní vliv na výkonové parametry spalovacích motorů. Chceme-li tyto motory neustále zdokonalovat a posouvat tím hranice konstruktérských možností, musíme se zabývat pozorováním a zkoumáním vnitřních dějů. Jednou z možností, jak dosáhnout vyspělejších motorů, je pečlivě analyzovat proces rozvodu pracovní látky v motoru. Tímto se během několika minulých let zabývalo nespočet konstruktérů snad všech světových automobilek a světlo světa tak spatřili systémy, které umožňují proměnlivé časování rozvodů i nastavování zdvihu ventilů. Základem těchto Hi-Tech systémů je téměř ve všech případech vačkový mechanismus. Proto je při návrhu rozvodového mechanismu nutné dokonale ovládat princip jeho funkce a mít prostředky k měření a vyhodnocování kvality vačkového mechanismu.

1. VAČKOVÉ MECHANISMY

1

1.1 Základní pojmy

1.1

Vačkový mechanismus

Je mechanismus, který má jediný stupeň volnosti a obsahuje alespoň jednu vačku spojenou s ostatními členy nejméně jednou obecnou kinematickou dvojicí. Nejjednodušší vačkový mechanismus sestává ze tří členů, z rámu, vačky a hnaného členu. Vačka a hnaný člen se spojují s rámem pomocí rotační, nebo posuvné vazby. [1]

Vačka

Vačka je základní člen mechanismu, který pohnutím, své činné plochy vyvozuje prostřednictvím obecné kinematické dvojice pohyb hnaného členu. Vačka bývá obvykle hnacím členem mechanismu [1]. U rozvodových mechanismů spalovacích motorů se rotační pohyb vačkových hřídelí za pomoci vaček přemění v translační pohyb ventilů. Vačky udělují ventilu zdvih, rychlost a zrychlení. Tyto kinematické veličiny je možné znázornit graficky v závislosti na natočení vačkového hřídele viz. Příloha A.

Vačkový hřídel

Nezbytnou součástí všech vačkových rozvodových mechanismů je vačkový hřídel. Je to hřídel osazený vačkami. Pro každý ventil bývá nejčastěji jedna vačka, výjimkou však nejsou ani vačky, které jsou společné pro dva ventily. Vačkový hřídel je poháněn od klikového hřídele převodem 1:2. (otáčky vačkového hřídele jsou dvakrát menší, než klikového), který je běžně konstruován buď pomocí řetězu, nebo řemenu pro vačky uložené v hlavě motoru (OHC), či převodem ozubenými koly u rozvodů s vačkou v bloku motoru (OHV).

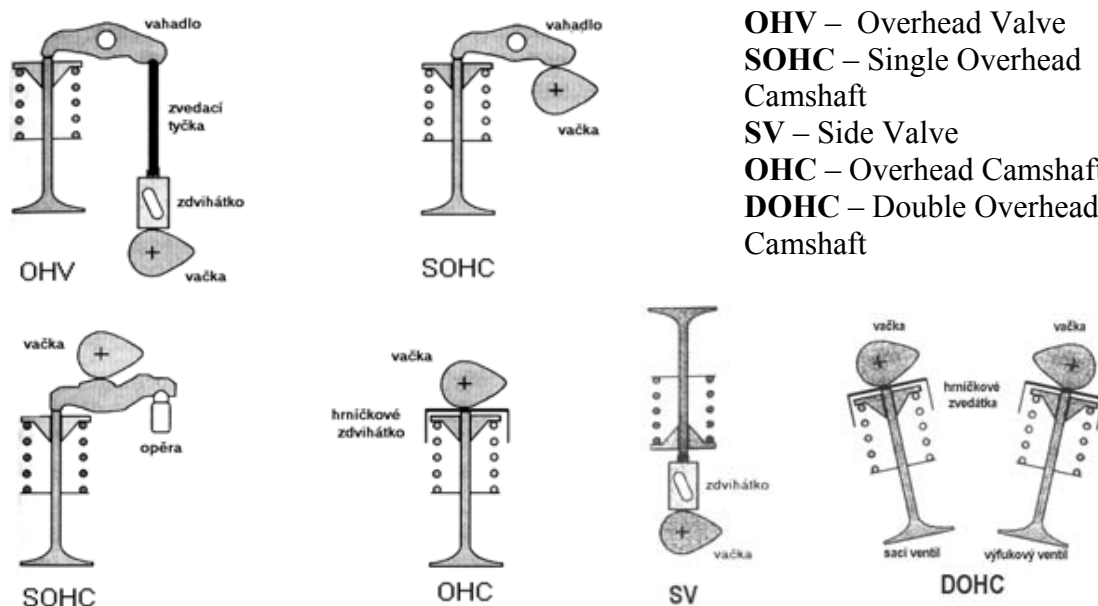
1.2 Rozdělení ventilových rozvodů dle typu konstrukce

1.2

V současnosti se k výměně pracovní látky v čtyřdobém spalovacím motoru používá pouze ventilových rozvodů. Můžeme je dělit podle způsobu ovládání otvírání a zavírání ventilů na:

- *elektromagnetické a hydraulické* - Obě tyto varianty v sobě skrývají asi největší potenciál pro použití v budoucnosti. Umožňují optimalizovat řízení otvírání a zavírání ventilů za pomoci výkonných elektronických řídicích jednotek. Tyto jednotky vyhodnotí údaje v závislosti na otáčkách a zatížení motoru a nastaví vhodný okamžik otevření ventilu a dobu jeho otevření za současné možnosti nastavení libovolného zdvihu a to i pro každý ventil samostatně. Umožňují také dosažení vyšších otáček motoru, než je tomu u mechanického rozvodu. Zatím jsou ve fázi vývoje a zkoušení. Jejich výroba je náročnější a dražší, než u běžně používaného rozvodu vačkovým mechanismem. Proto nacházejí uplatnění v špičkových závodních vozech, především ve Formuli 1.

- *mechanické* - Základem těchto rozvodů je vačkový mechanismus. Jeho nejdůležitější částí je vačkový hřídel, který řídí svým natočením polohu pomocných částí rozvodu a přes ně potom otevření ventilů. Na obr.1-1 je základní rozdělení podle uspořádání rozvodové soustavy. Tyto se označují pomocí zkratk složených z počátečních písmen anglických názvů, charakterizujících uspořádání soustav.



OHV – Overhead Valve
SOHC – Single Overhead Camshaft
SV – Side Valve
OHC – Overhead Camshaft
DOHC – Double Overhead Camshaft

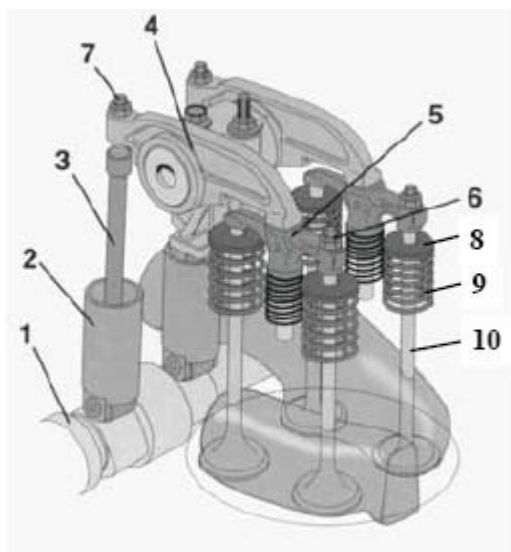
Obr. 1-1 Rozdělení dle uspořádání ventilových rozvodů s mechanickým ovládním [2]

Velmi rozšířeným se stalo OHV uspořádání, a to převážně pro svoji jednoduchou a snadno realizovatelnou konstrukci, s možností rychlého nastavení ventilové vůle. Nevýhodou byla nízká tuhost soustavy a velká hmotnost pohybujících se částí, proto se vývoj ubíral směrem k uspořádání OHC příp. SOHC, který tyto nedostatky odstraňuje. U moderních motorů, které mají z důvodů lepšího plnění čtyři ventily na válec, se používá rozvod DOHC s dvěma vačkami. Reálná provedení ventilových rozvodů mohou kombinovat a různě obměňovat tato základní uspořádání.

Rozvody, jež nepoužívají pro vratný pohyb pružinu, ale vačkový kotouč, se nazývají **Desmodromické**, používané nejčastěji ve Formuli 1 a u motocyklů značky Ducati. Někdy vratný pohyb ventilu zajišťují namísto pružin **pneumatické** systémy. Důvod jejich použití je stejný jako u rozvodů desmodromických - v odstranění náchylnosti k rozkmitání vratné pružiny.

1.3 Hlavní části ventilového rozvodu

Ventilový rozvod s vačkovým mechanismem se skládá z několika různých komponent, sloužících k přenosu kinematických veličin z hnacího členu na hnaný člen. Kromě této funkce musí navíc umožňovat nastavování ventilové vůle. Pro znázornění hlavních komponent mechanismu jsem vybral konstrukci OHV dle obr 1.2, protože je složen z nejběžněji používaných a nejtypičtějších částí.



Obr 1-2 Hlavní části ventilového rozvodu OHV [2]

- 1 – vačkový hřídel
- 2 – zdvihátko
- 3 – zvedací tyčka
- 4 – vahadlo
- 5 – můstek
- 6 – seřizovací šroub můstku
- 7 – seřizovací šroub ventilové vůle
- 8 – miska ventilové pružiny
- 9 – vratná pružina
- 10 – ventil

1.4 Požadavky kladené na rozvodové ústrojí spalovacích motorů

1.4

Úlohou rozvodového ústrojí je řídit cyklickou výměnu pracovní náplně ve válci motoru, tedy to znamená odstranění spalin a naplnění válce motoru čerstvou pracovní látkou. Tou je u zážehových motorů s vnější tvorbou směsi směs paliva se vzduchem, nebo pouze vzduch u vznětových a zážehových motorů s přímým vstřikem paliva do válce motoru. Na rozvodový mechanismus se klade velký důraz, protože má podstatný vliv na dosahované parametry motoru. Především výrazně ovlivňuje objemovou účinnost, a tím i indikovaný výkon. Musí zajistit dokonalé vypláchnutí a naplnění válce s co nejmenšími tlakovými a objemovými ztrátami. Vačka musí zajistit co nejrychlejší otevření a zavření ventilu tak, aby mohlo do válce a ven protéci maximum pracovní látky. Rychlost otevírání a zavírání ventilu je však limitována dynamickým namáháním součástí rozvodů, a to převážně ventilů. Ventily patří k nejvíce namáhaným částem motoru z důvodu značných setrvačných sil při velmi vysokých pracovních teplotách. U výfukových ventilů sahá pracovní teplota běžně nad 800°C, u sacích je to pak méně asi 300 až 500°C. Vlivem takového namáhání může dojít u ventilů k praskání, nejčastěji pak v místě přechodu ventilového sedla a dřívku. Při návrhu vačkového ventilového rozvodu se proto hledí především na volbu vhodného materiálu a návrh co nejméně dynamicky namáhaného ústrojí. Materiál musí vykazovat vysokou únavovou pevnost a odolnost proti tečení - tzv. creep, korozní odolnost, dále dobré klusné vlastnosti a rozměrovou stálost za tepla. Při snižování dynamických účinků na rozvodové ústrojí se snažíme především snížit hmotnost celého mechanismu. Toho můžeme dosáhnout menším počtem částí mechanismu a využitím materiálu na hranici únavové pevnosti, přičemž se nesmí snížit celková tuhost soustavy, která by měla za následek velké deformace a s nimi spojený vznik vibrací. Dynamické namáhání lze ovlivnit především návrhem vhodného tvaru vaček. Je potřeba udělat kompromis nalezením takového tvaru vačky, který umožní co nejrychlejší otevření a zavírání ventilu při požadované životnosti celého ventilového rozvodu.

2 NÁVRH A MĚŘENÍ TVARU VAČEK

2.1 Návrh vaček

Při návrhu ventilového rozvodu si klademe za cíl, aby umožňoval dostat maximální množství pracovní látky do válce a po skončení pracovního zdvihu všechnu použitou pracovní látku opět z válce ven. Toto množství bude tím větší, čím větší bude průtočný průřez ventilem. Samozřejmě jsou zde i další vlivy - především rychlost proudění pracovní látky s její hustotou, ale ponechme je nyní stranou a omezme se pouze na průtočný průřez. Ten je odvozen od velikosti plochy ventilu a jeho zdvihu. Jeho maximum je pak dáno velikostí spalovacího prostoru. Jedinou možností jak lze při návrhu ventilového rozvodu ovlivnit množství látky, která jím projde, je zvyšování rychlosti otevírání a zavírání ventilu. Plocha pod křivkou v grafické závislosti zdvihu na úhlu natočení by měla být co největší. Její zvětšování je vždy doprovázeno rostoucím gradientem zrychlení v místě náběhu vačky, kdy pak zákonitě narůstá i zpomalení v místě vrcholu vačky. Ideální případ by pro nás nastal tehdy, docházelo by k otevření a zavření okamžitě. Plocha by pak měla obdélníkový tvar. To však ve skutečnosti není možné, rychlost i zrychlení by rostly k nekonečným hodnotám, a proto je tento případ pouze modelový a slouží jako měřítko při určování účinnosti plnění. Příliš velká hodnota zrychlení může způsobit destrukci rozvodových komponent, stejně tak jako prudké změny zrychlení způsobují vznik rázů a vytloukání částí rozvodů. Je potřeba udělat kompromis a najít takový tvar vačky který umožní co nejrychlejší otevírání a zavírání ventilu při požadované životnosti celého ventilového rozvodu. Důraz by měl být kladen na spojitost co nejvyššího počtu derivací zdvihové funkce, aby se snížila náchylnost k rozkmitání částí rozvodu, což by značně narušilo jeho časování. Nejméně bývá požadována spojitost do 3 derivace zdvihové křivky.

2.2 Měření vaček

Měření vaček se provádí za účelem zjištění závislosti zdvihu (dráhy) vačky na úhlu natočení vačky. Tato data se dále zpracovávají a lze z nich odvodit např. kinematické veličiny (rychlost, zrychlení), nebo velikost opotřebení. Kinematické veličiny se počítají, derivováním funkce zdvihu. Velikosti a místa opotřebení zjistíme porovnáváním grafů závislosti dráhy na úhlu natočení pro opotřebovanou vačku s týmž grafem pro novou (referenční) vačku.

S těmito měřeními se můžeme setkat například při renovacích poškozených vaček, úpravách vaček pro sportovní účely, návrhu nových tvarů vaček a při kontrole přesnosti jejich výroby.

Geometrie vačky se při návrhu počítají s přesností na tisícinu. Výrobní odchylka pak nesmí přesáhnout 0,01 na 3° pootočení vačky a 0,003 na začátku a konci zdvihu. I malé odchylky od správného tvaru vačky mohou mít za následek velké skoky ve zrychlení. Měřicí přístroje proto musí vykazovat vysokou přesnost, aby byly schopny tyto odchylky zaznamenat.

Možností, jak získat základní data pro vyhodnocení geometrie vaček je hned několik a rozdělil bych je do tří kategorií - *mechanické*, *optické*, *elektronické*.

2.2.1 Měření mechanickými měřidly

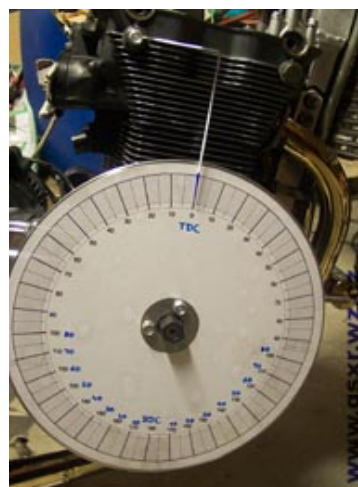
Tím nejběžnějším způsobem je měření pomocí *mechanických* přístrojů. Používá se u toho nejčastěji číselníkového úchylkoměru a úhломěru. Úhломěr se připojí pevně na vačkový hřídel, se kterým jde volně otáčet. K úhломěru se přiloží ručička spojená

s nepohyblivým rámem, takže jde při otočení vačkovou hřídelí odečítat úhel pootočení. Úchylkoměr se také připojí pevně k rámu a měřicí hrot se nastaví tak, aby se dotýkal vačky. Nyní už jen stačí otáčet hřídelí a zapisovat hodnoty natočení a zdvihu vačky. V případě potřeby se nechá úhломěr nahradit optickou dělicí hlavou, a tím dojde ke zpřesnění naměřených hodnot.

Metoda se používá hlavně tam, kde nevadí delší doba měření. Nevýhodou je i velmi nepraktické zpracování dat. Je totiž nutné přepsat všechny změřené hodnoty do počítače, což se v případě měření většího počtu vaček stává nere realizovatelné. Výhody spočívají především ve velmi nízké pořizovací ceně v porovnání oproti jiným dostupným alternativám. Dále navíc lze měřit geometrii přímo na motoru bez nutnosti demontáže vačky, a také není-li nutné znát celou geometrii vačky např. při nastavování časování motoru. Zmíněná metoda se objevuje nejčastěji v dílnách, opravnách, nebo malých podnicích.



a)



b)

obr.2-1 Ukázka měření časování rozvodů na motoru motocyklu Suzuki GSX-R pomocí mechanických měřidel a) uložení úchylkoměru, b) úhломěr připevněný ke klikové hřídeli [6]



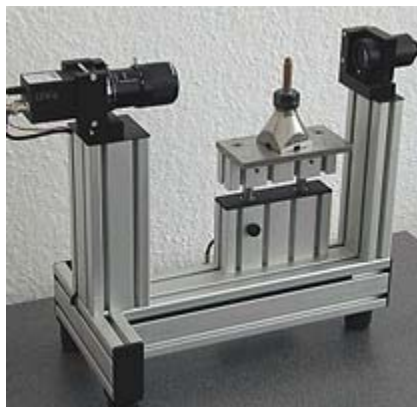
obr.2-2 Měření geometrie vačky přímo na motoru [7]

2.2.2 Měření optickými přístroji

K měření geometrického tvaru vaček *optickou* metodou se používají přístroje zvané profilprojektory. Na obr.2-3 je zobrazen horizontální profilprojektor JT-25. Přístroj umožňuje měření různých tvarů, např. výlisků, vaček, ozubených kol, závitů, tvarových fréz, atd. Měřený vzorek se osvítí a přes optickou soustavu se obraz jeho průmětu zvětší a zobrazí na projekční ploše. Poté ho lze vyhodnotit porovnávací metodou přes průsvitku se vzorovým tvarem, nebo data uložit pomocí softwaru do souřadnic a dále je vyhodnocovat a spravovat na PC. Jiný přístup je vidět u přístroje na obr.3.4. Nahrazuje klasické profilprojektory. Obraz měřené součásti je snímán CCD kamerou a zobrazován na monitoru PC i s ideálním obrysem součásti. Software proloží oba profily na sebe a vyhodnotí odchylky mezi obrazy.



obr.2-3 Klasický profilprojektor JT-25 [8]



obr.2-4 Profilprojektor firmy DEOM a NEOVISION [9]

2.2.3 Měření elektronickými přístroji

Princip měření je totožný jako v bodě 2.2.1. Mechanické snímání veličin je tentokrát však nahrazeno elektronickými snímači. Je použito snímače polohy a snímače úhlového pootočení. Elektronická snímací technika využívá nejčastěji těchto principů - odporový, indukční, kapacitní, laserový, atd. Signál na výstupu snímačů je přiváděn do převodníkové karty. Dle potřeby může být zesilován, filtrován, případně i jinak upravován. Poté se dostává na vstup počítače, který měřená data zaznamenává. Největší výhodou elektronického snímání je snadná digitalizace naměřených dat, následné vyhodnocování a správa dat. Celý proces měření jde snadno automatizovat, tudíž se doba měření se zkracuje na minimum. Snímače se dají připevnit přímo na blok motoru a potom není nutné použití měřícího přípravku.

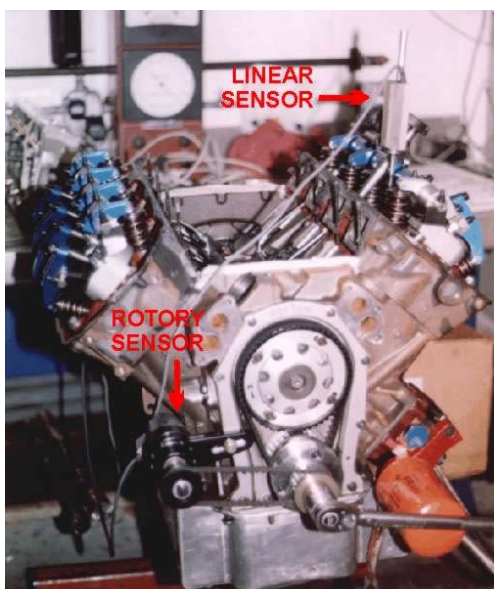
3 PŘEHLED MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ NA TRHU

3

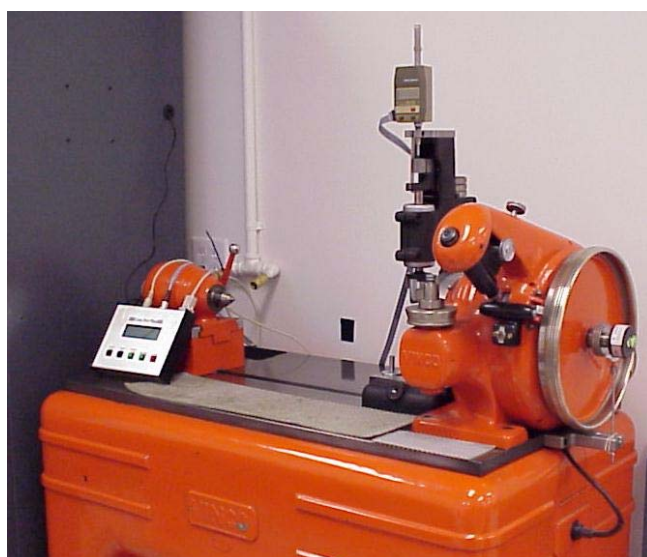
Vzhledem k zadání mé práce se soustředím pouze na měřicí přípravky, jež využívají principu elektronického snímání veličin. Na internetu jsem se pokusil nalézt několik typických zástupců této kategorie, kteří by mi mohli později pomoci při návrhu vlastního přípravku. U každého jsem se pokusil nastínit základní popis funkce, konstrukční řešení, dosahovanou přesnost a cenu zařízení.

www.audietech.com

Americká firma Audie Technology se zabývá výrobou vysoce kvalitního vybavení automobilových dílen, především pak nástrojů a přípravků sloužících pro ladění závodních motorů. Firma dodává na trh soubor nástrojů sloužících k měření geometrie vačkových hřídelí. Součástí balíčku je ovládací modul, rotační a lineární snímač, software pro vyhodnocování měřených dat. Zařízení lze používat dvěma rozdílnými způsoby. Lze ho připojit k tuhému rámu, a tak vytvořit zařízení vhodné k měření samostatných vačkových hřídelí. Druhou možností je připojení snímačů přímo k bloku motoru. Toto uspořádání je výhodné hlavně protože se do výsledků měření započítává geometrie celého rozvodového mechanismu a nemusí se kompenzovat softwarově. Zařízení se připojuje jednoduše přes sériový port počítače. Software umožňuje plně simulovat kompletní rozvodový mechanismus. Má účelné grafické rozhraní, sloužící k zobrazení výsledků, a funkce napomáhající správě velkého množství měřených dat. Ovládací modul je možné používat i samostatně bez nutnosti připojení k PC a použít ho tak s výhodou pro kontrolu časování motoru. Právě mobilita přístroje je jeho velikou předností. Cena kompletního sady je přibližně 50000,- Kč.



obr.3-1 Snímání časování rozvodů přímo na motoru [10]



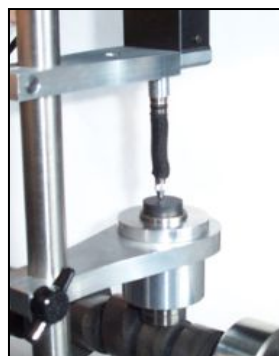
obr.3-2 Přidání zařízení k rámu staršího měřicího stroje [10]

www.performancetrends.com

S mírně odlišným konstrukčním řešením přichází firma Performance Trends Inc. Zvolili Tentýž princip jako konkurenti, tedy užití dvou snímačů - lineárního a rotačního. Signál z nich se přenáší do dekodéru, kde se upravuje a dále se přes sériový port přivádí do počítače, na kterém se měření vyhodnocuje. Oba snímače jsou nastavitelně připojeni k lehkému hliníkovému rámu na podstavci. Vačkový hřídel se vkládá do prizmatických drážek na pohyblivé podpory. Rám se vyrábí ve dvou provedeních, do kterých lze vložit hřídele o délce až 800 mm, nebo až 1100 mm. Přesnost lineárního snímače je 0,001 mm a rotačního 0,036 stupně. Mezi lineární snímač a povrch vačky lze vložit přípravek s vývrtem určeným pro vedení zdvihacího segmentu. Ten slouží k simulování skutečných zdvihacích částí rozvodového mechanismu a lze ho snadno vyrobit pro konkrétní typ motoru. Druhou možností jak dostat výsledky pro reálný mechanismus je jako u předchozího – tedy za pomoci softwaru, který opět dodává firma svůj vlastní. Nejnutnější základ pro vyhodnocování a měření zdvihové závislosti lze zakoupit od 35000,- Kč



obr.3-3 Přístroj pro kontrolu vaček
firmy Performance Trends Inc. [11]



obr.3-4 Vložení přípravku nahrazujícího
skutečné zdvihací části rozvodu [11]

www.andrewsproducts.com

Výrobou a kontrolou nejen vačkových hřídelí ale i ozubených kol se zabývá americká firma s dlouholetou tradicí Andrews Products. V jejich sortimentu se nachází hned několik přístrojů pro měření a kontrolu vaček. Liší se převážně velikostí a robustností konstrukce, které pokrývají širokou škálu vyráběných vačkových hřídelí - od malých pro motocyklové motory o délce do 300mm a hmotnost nepřevyšující 4,5 kg, po rozměrné hřídele o délce do 1,7m a hmotnosti 25kg. Převážná většina modelů je vybavena upínáním mezi hroty a poháněným vřetenem pomocí elektromotoru. Přesnost snímačů levnější varianty se pohybuje od 0,05mm pro lineární a 0,5 stupně pro rotační snímač, až po 0,01 mm a 0,1 stupně u nejpřesnějšího modelu.



obr.3-5 Dvě provedení měřících přípravků
Andrews M26 a M46. [12]



4 VLASTNÍ NÁVRH MĚŘÍČÍHO PŘÍPRAVKU

4

4.1 Požadavky na měřicí přístroj

4.1

Navrhované zařízení bude sloužit v prostorách laboratoří Ústavu konstruování k provedení souboru měření geometrie vaček. Těchto dat se následně využije při výzkumu opotřebení vaček a poté bude přístroj využíván již jen k občasnému měření. Z toho vyplývá, že nebude příliš zatěžován, a proto ho budu navrhovat především s ohledem na cenu a tak aby splňoval žádané parametry dle zadání.

U komerčních přístrojů, sloužících v náročné technické praxi, jsou kladeny hlavní nároky především na přesnost, kvalitní zpracování a pohodu práce. Vysokou přesnost a opakovatelnost měření zaručí použití kvalitních snímačů a tuhá konstrukce rámu. Kvalitním zpracováním je myšlena odolnost proti mechanickému poškození a nečistotám, případně i chemickým látkám. Na dobré pohodě práce, a tedy i na celkové výkonu zařízení, se podílí snadné a rychlé seřízení, uvedení do provozu, výměna měřených vzorků, dále pak dobrá ergonomie a jednoduché ovládání. V neposlední řadě pak bezpečnost práce a vyspělé softwarové vybavení.

S ohledem na použití mnou navrhovaného zařízení v méně náročných podmínkách mohou od některých požadavků upustit a na jejich úkor upřednostnit co nejnižší finanční náklady na výrobu přípravku.

Při návrhu konstrukce jsem se snažil maximálně využít snadno dostupných normalizovaných polotovarů a součástí. Jako nejvhodnější se mi jevilo použití profilových systémů, používaných v automatizaci k výrobě dopravníků, pracovních stolů, výrobních linek atd. Na trhu se jich dá nalézt celá řada od nejrůznějších výrobců, např.: Maytec, Bosch, Systémy MCH, a další. Moje volba padla na zde prvně zmíněnou firmu Maytec. Z jejich sortimentu jsem vybral dva čtvercové profily, které v sobě mají po čtyřech T-drážkách. Ty poslouží k spojování hlavních částí a umožní mezi nimi vzájemný pohyb ve směru drážky. Jako spojovací prvky poslouží pravoúhlé spojky (úhelníky).

Pro většinu součástí zařízení jsem vybral materiál ze slitin hliníku, a to i přes vyšší pořizovací náklady, neboť přináší hned několik výhod - nízkou hmotnost konstrukce, snadno se obrábí, je bez nutnosti povrchových úprav a přináší i líbivý vzhled.

4.2 Popis přístroje

4.2

Základ měřicího zařízení tvoří: rám, pohyblivé rameno, držák lineárního snímače, držák rotačního snímače a dvě podpěry měřeného vzorku. Níže jsou jednotlivé části stručně popsány.

4.2.1 Rám přístroje

4.2.1

Rám je hlavní částí, sloužící k připojování ostatních komponent a jako stabilní pevná základna stroje. Musí umožňovat posuvný pohyb oběma podpěrám i ramenu lineárního snímače. Je vhodné, aby byl co nejtuzší a měl kvalitně a přesně opracovaný povrch. Pro splnění těchto požadavků je vyroben z profilu MAYTEC 45mm x 45mm o délce 700mm. V přední části rámu je pamatováno na uchycení rotačního snímače, k čemuž slouží čtyři otvory se závitem M3.

4.2.2 Pohyblivé rameno

Podobně jako u rámu je použitý hliníkový profil, ten má však menší průřez 40mm x 40mm a délku 250mm. Rameno má jeden stupeň volnosti a to ve směru osy x, čímž umožňuje pojíždění po rámu, které je nutné pro nastavení lineárního snímače nad jednotlivé „palce“ vačkového hřídele. Aby byl zajištěn volný pohyb ramene po celé délce rámu, musí být mezi nimi mezera. Vytvoří se vložení představce mezi rameno a rám. Rameno se připevní k představci šroubem. Tento celek se pak pomocí úhelníku spojí s rámem šroubovými spoji. Aby byla manipulace s ramenem co nejsnazší, je zde použit šroub s velkou rýhovanou hlavou, se kterým jde snadno otáčet rukou a slouží jako aretační šroub.

4.2.3 Deska lineárního snímače

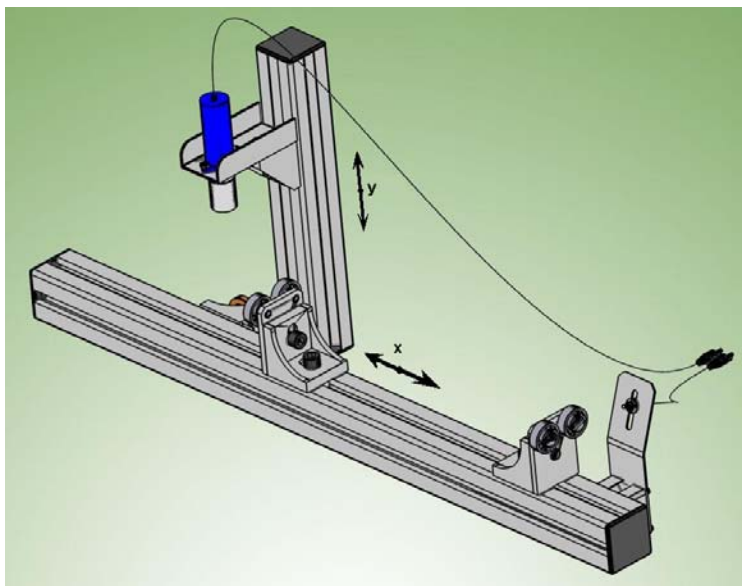
Slouží k upevnění lineárního snímače k pohyblivému ramenu. Je vyrobena z hliníkového profilu U o tloušťce plechu 2 mm. Lineární snímač se vloží do otvoru o průměru 16mm a přichytí se dvojicí šroubů M4. Na druhé straně se deska pevně spojí s úhelníkem a ten je přes T- drážku spojený s ramenem. Deska lineárního snímače umožňuje pohybovat snímačem ve směru osy y. Vzhledem k občasnému nastavování postačí k upevnění úhelníku šrouby s vnitřním šestihranem.

4.2.4 Deska rotačního snímače

Je vyrobena z tenkého duralového plechu, který je přes profilovou podložku pevně přišroubován čtveřicí šroubů M3 k rámu. Plech je vyhnut a v horní polovině je vyfrézovaná drážka pro připevnění indukčního snímače.

4.2.5 Podpěra

Na rámu jsou pomocí T- drážky a úhelníků připevněny dvě podpěry. Jejich úkolem je uložit měřený vačkový hřídel v místech, která slouží jako osazení kluzných ložisek na obou koncích vačkového hřídele a zároveň zajistit volnou rotaci vačkového hřídele kolem jeho osy rotace. K tomu slouží dvě valivá ložiska na každé podpěře. Vnější plochy valivých ložisek a plochy pro kluzná ložiska vačkového hřídele se tečně dotýkají. Valivá ložiska jsou nasunuta na dřík osazených šroubů a pomocí nich je

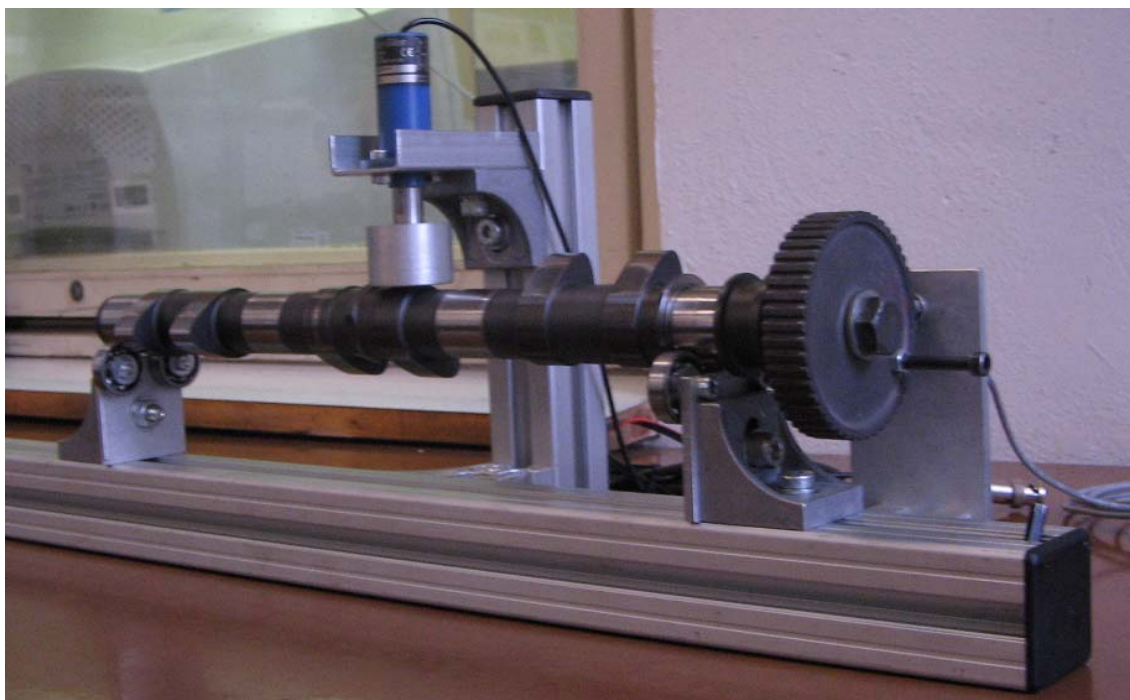


k desce přišroubována podpěra. Polohu podpěr je pak možné vůči rámu seřizovat dle potřeby, pro různě rozměrné hřídele.

obr.4-1 Návrh konstrukce v Autodesk Inventoru

Při navrhování jsem využíval výhod počítačové podpory a v modelovacím prostředí výukové verze programu Autodesk Inventor jsem vytvořil 3D model.

Celkové konstrukční řešení je patrné z výkresové dokumentace, která je vložena v příloze. Pro barvitější představu přikládám navíc ilustrační fotografii přípravku po smontování celé sestavy - obr 4-1. Další fotografie jsou opět součástí přílohy.



obr.4-2 Kompletní sestavený přípravek s vloženou vačkovou hřídelí

4.3 Dodatečné úpravy přípravku

4.3

Po provedení první série měření s přípravkem jsem při vyhodnocování dat narazil na stále stejné opakující se odchylky ve zdvihové závislosti vačky. Na vačkách nic, co by mohlo způsobovat takové odchylky, nebylo. Povrch vaček byl hladký, rovnoměrně oblý, z obou stran symetrický. Podrobnější analýza ukázala, že tyto odchylky se do měření zanášejí působením vnějších sil při manipulaci s přípravkem během měření. Proto jsem navrhl dvě základní opatření - viz obr.4-2 a obr. 4-3.

Prvním bylo přichycení rámu přípravku k pracovnímu stolu pomocí svěrky, čímž jsem dosáhl větší stability a zabránil jsem pohybu po pracovní ploše stolu. Druhou úpravou pak bylo přichycení vačkového hřídele v místě uložení k podpoře pomocí elektroinstalační pásky, a tak vzniklo v rotační vazbě předpětí, které zabraňovalo nadzvedání hřídele z uložení.



obr.4-3 Upnutí rámu k pracovní desce pomocí stolařské svěrky



obr.4-4 Přitáhnutí vačkového hřídele elektroinstalační svorkou

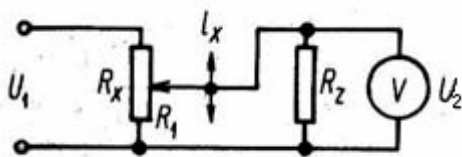
5 SNÍMÁNÍ MĚŘENÝCH VELIČIN

5.1 Použité snímače a jejich princip

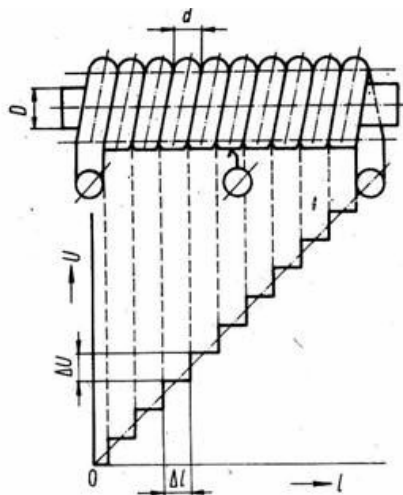
Pro snímání měřených veličin jsem se pokusil vybrat takové typy snímačů, které by splňovaly následující požadavky: malé rozměry, nízké pořizovací náklady, spolehlivost, dostatečnou přesnost. Jako vyhovující jsem zvolil lineární odporový snímač polohy pro měření zdvihu vačky a indukční snímač přiblížení pro určení úhlu pootočení. Principy činnosti a popis parametrů konkrétně použitých snímačů jsou popsány v dalších podkapitolách.

5.1.1 Popis metody snímání polohy

Zdvih vačky se snímá pomocí polohového odporového snímače. Je konstruován jako proměnlivý drátový rezistor, u kterého je poloha jezdce ovládána měřícím hrotem. Nejčastěji se rezistor do obvodu připojuje paralelně. Takto zapojenému rezistoru se říká potenciometr a celý obvod tedy budeme nazývat potenciometrický snímač polohy. Výstupní signálem obvodu je napětí U_2 , jeho velikost je úměrná poloze jezdce, a tedy i měřícího hrotu. Výstupní napětí se nemění spojitě, nýbrž skokově. Velikost skoků odpovídá úbytku napětí na jednom závitě - viz. obr.5-2. Tato nespojitost způsobuje polohovou necitlivost snímače při měření rozměrů menších, než je průměr odporového drátu. Proto se dráha jezdce navrhuje co nejdelší a průměr drátu co nejmenší [13].



obr.5-1 nahoře - Schéma zapojení [13] potenciometrického snímače, R_1 – rezistor snímače, R_z – odpor zátěže, U_1 – vstupní napětí, U_2 – výstupní napětí,



obr.5-2 vpravo - Skutečný průběh výstupního napětí u reálného potenciometru. [13]

5.1.2 Parametry vybraného lineárního snímače:

5.1.2

název: Lineární odporový snímač posunutí

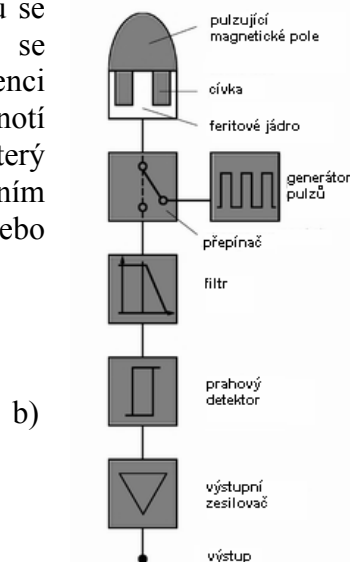
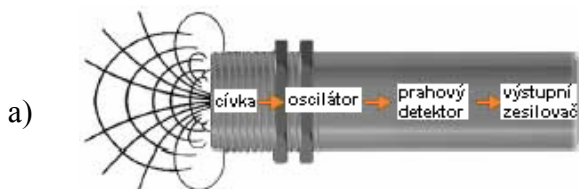
výrobce: Penny + Giles SLS 220/20/0K8

max. zdvih: 20 mm, odpor $0,8k\Omega \pm 10 \%$, linearita 0,5 %, opakovatelnost 0,01mm, pracovní teplota -30 až +100°C, maximální napájecí napětí 17,9V DC, max. osová rychlost 2,5m/s, max. síla 40N.

5.1.3 Popis metody snímání úhlu natočení

5.1.3

Indukční senzor polohy umožňuje bezdotykově měřit přiblížení vodivého materiálu. Základem indukčního senzoru jsou cívka s kondenzátorem, jež spolu vytváří paralelní rezonanční obvod oscilátoru. Z oscilátoru vystupuje vysokofrekvenční proud, který při průtoku cívkou kolem ní vytváří magnetické pole. Nachází-li se v blízkosti tohoto pole feromagnetický materiál, začnou se v něm indukovat vířivé proudy a magnetické pole se zdeformuje. To ovlivní impedanci cívky, a tím i frekvenci oscilátoru. Změnu frekvence kmitání oscilátoru vyhodnotí prahový detektor. Ten řídí klopný obvod přepínače, který ovládá výstup na koncový zesilovač. Různým připojením zátěže na výstup se ovlivní, zda bude výstup napěťový, nebo proudový.

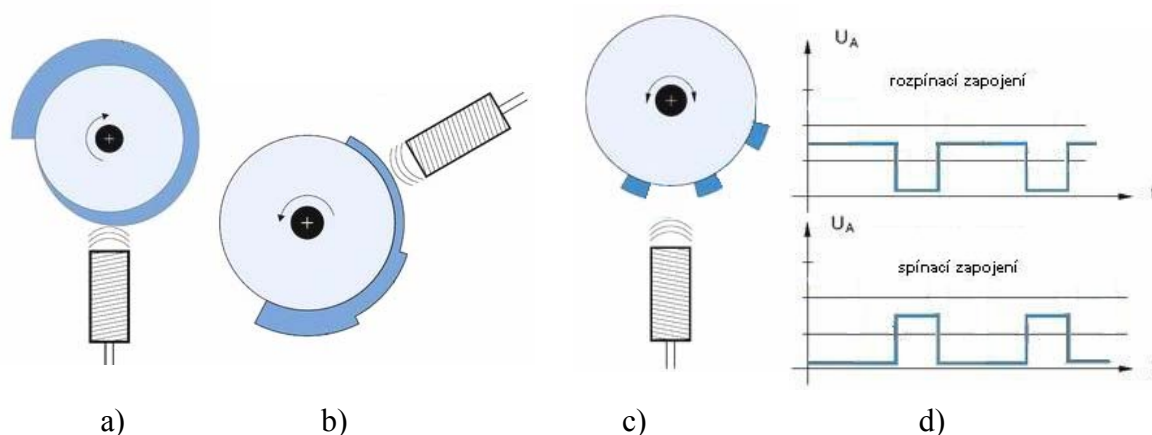


obr.5-3 Indukční snímač přiblížení [14]

- a) Uspořádání uvnitř běžného válcového senzoru
- b) Blokové schéma zapojení indukčního senzoru

Velmi častým se indukční polohové senzory aplikují při měření úhlu natočení rotujících prvků. Při takovémto druhu měření se využívá tvarovaných kovových kotoučů. Jejich nejtypičtější tvary jsou na obr.5-4. Indukční senzory se rozlišují na diskrétní a spojitě (s analogovým výstupem). Spojitými snímači lze měřit přiblížení (vzdálenost), kdežto

diskrétními pouze přítomnost feromagnetického objektu. Příklad aplikace spojitých snímačů je na obr.6-4 a,b, případ c ukazuje použití diskretních snímačů.



obr.5-4 Aplikace indukčních senzorů pro snímání pootočení: a) excentrický kotouč, b) kotouč se schody, c) kotouč s ozubením d) výstupní signál ze snímače pro kotouč s ozubením [15]

Pro účely měření úhlu natočení vačkového hřídele jsem zvolil variantu s diskretním senzorem a jako tvarový kotouč mi posloužilo ocelové ozubené kolo. Kolo se přiloží na čelo vačkového hřídele a zajistí se pomocí šroubu. (Vnitřní otvor se závitem pro šroub mají téměř všechny vačkové hřídele, odlišnosti jsou jen v rozměrech závitu. Proto je potřeba zajistit si předem správnou velikost šroubu.) Indukční senzor se připevní v blízkosti ozubení kola. Pro správnou funkci snímače je nutné co nejpřesněji dodržení vzdálenosti čela indukčního snímače od vrcholu zubů ozubeného kola. Vůle se nejčastěji pohybuje kolem 1mm.

5.1.4. Parametry vybraného indukčního snímače

název: Induktivní senzor přiblížení s diskretním výstupem

výrobce: Carlo Gavazzi typ IA05BSF10NC

jmenovité provozní napětí 10 – 30V DC, pracovní dosah 1mm, vlnění < 10 %, jmenovitý provozní proud < 150mA, proud naprázdno < 10mA, frekvence měřících cyklů 4000Hz, napěťový propad < 2,5V, signalizace výstupu pomocí LED, vyroben z nerezové oceli

5.2 Zpracování výstupního signálu

K záznamu měřených dat jsem využil průmyslový počítač od firmy Dewetron, konkrétně přenosný systém pro sběr dat Dewetron Dewe 2010. Výstupní signál je přenášen kabely od snímačů do měřicího modulu na zadním panelu přístroje. Zadní panel obsahuje digitální I/O konektor a měřicí A/D kartu s 16kanály a 12 bitovým A/D převodníkem. Snímače jsou připojeny na libovolné analogové kanály. Ovládání a sběr dat z kanálů je řízen pod operačním systémem Windows 2000 programem *Data logger*. Program byl vytvořen na Ústavu konstruování pro podobné účely sběru dat.

Před započítáním měření je nutné nejprve nakonfigurovat připojené kanály. Pro ukázkou zde uvedu tabulku s hodnotami nastavení, s níž jsem pracoval.

pořadí kanálu	nastavení filtru napětí / dolní propust'	napájecí napětí	Vzorkovací kmitočet	Počet vzorků
kanál pulsů #1	10V / 100 Hz	12 V	2000 Hz	30000
kanál zdvihu #2	5V / 100Hz	5 V		

Tab.5-1 Nastavení kanálů v programu Data logger

Konfigurace se provádí při spuštění programu Data logger. Po správném nastavení a potvrzení kanálů je do snímačů přiváděno jejich napájecí napětí. Po odstartování měření se rychlostí vzorkovací frekvence odečítá hodnota výstupního napětí na snímačích a tyto hodnoty se ukládají do paměti počítače. Po 15 sekundách se vypne odečítání napětí na snímačích, měření se ukončí a data se uloží do souboru.

6 PARAMETRY A OBLAST POUŽITÍ PŘÍPRAVKU

6

Celkové rozměry sestavy přípravku jsou: délka 656 mm, šířka 125 mm, výška 256 mm. Hmotnost: 3870g. Přípravek díky variabilní rozteče podpěr umožňuje měření hřídelí v délkách od 120 mm do 600 mm. Minimální průměr ložisek vačkových hřídelí je 12 mm a je možné vkládat hřídele až do průměru 60 mm. Použitelné pro maximální zdvih vačky 15mm.

Předpokládané nasazení přípravku je při měření opotřebených vačkových hřídelí. Takové měření se provádí porovnávací metodou mezi dvěma vačkami. Aby byla obě měření srovnatelná, musí být zajištěny rovnocenné podmínky při měření. Budeme-li srovnávat dvě vačky na společném hřídeli, je tato podmínka splněna. Pokud bychom chtěli porovnat vačky dvou různých hřídelí, pak musí být tyto hřídele rozměrově stejné. Na tomto příkladu vidíme, že přípravek není přímo určen k přesnému měření absolutních rozměrů. Při takovém použití by do měření mohlo vstupovat velké množství chybových faktorů, jakými mohou být tuhost rámu, uložení měřeného vzorku, vliv pracovní oblasti lineárního senzoru, deformace vzorku, zdvihátka, rovnoměrnost otáčení ozubeným kolem, atd. Výsledný změřený rozměr by pak nemusel odpovídat skutečnosti. Omezíme-li se však pouze na srovnávací měření, pak tyto chybové faktory eliminujeme. Musíme přitom dodržet pouze jediný předpoklad rovnoměrného otáčení s ozubeným kolem. Při porovnávacím měření pak mohou říci, že přesnost přípravku je velmi blízká přesnostem použitých snímačů. To znamená, že jsem schopen s přístrojem rozlišit 0,01 mm zdvihu na 0,375° úhlu pootočení.

Celkovou cenu zhotoveného přístroje bych odhadem stanovil na 4300,- Kč, přičemž jsou v ní započítány náklady na pořízení indukčního snímače (1900,- Kč) a odporového snímače (1500,- Kč). Zbytek částky připadá na nákup polotovarů a spojovacího materiálu.

7 UKÁZKA MĚŘENÍ S PŘÍPRAVKEM

7.1 Příprava měření

1. Zajistíme uložení přípravku na stabilní rovné ploše a zajistíme v jeho okolí dostatek místa pro obsluhu.
2. Poblíž přípravku uložíme měřicí počítač a na jeho vybrané vstupy připojíme kabely snímačů.
3. Spustíme měřicí program Data logger a nastavíme v něm požadavky z jakých vstupů má snímat měřené veličiny, vzorkovací frekvenci, rozsahy měřených napětí a dobu po kterou se budou data zaznamenávat.
4. Provedeme kalibraci zdvihu. Lineární snímač podložíme pomocí Johansonových měrek do jeho libovolné pracovní polohy. Na monitoru odečteme el. napětí odpovídající tomuto zdvihu. Poté podložíme lineární snímač ještě o něco více další měrkou a znovu odečteme tomuto zdvihu odpovídající napětí na vstupu odporového snímače. Z naměřených hodnot zdvihu a napětí vypočteme dle vztahu $k = \frac{l_1 - l_2}{U_1 - U_2}$ [mm/V] kalibrační konstantu, kde $l_{1,2}$ je zdvih hrotu [mm] snímače a $U_{1,2}$ je el. napětí [V].
5. Na čelo vačkového hřídele přišroubujeme pomocné ozubené kolo.
6. Povolíme šrouby pro nastavování polohy podpěr na rámu a posuneme podpěry tak, aby na ně bylo možné volně položit vačkový hřídel. Hřídel je podložený v místě prvního a posledního čepu kluzného ložiska. Nyní je nutné dodržet aby indukční snímač ležel proti ozubení pomocného kola a to ve vzdálenosti 1-3mm. Poté se mohou podpěry znovu zajistit utažením šroubů.
7. Povolíme stavěcí šroub ramene, které se posune tak, že zdvihátko odporového snímače bude v zákrytu s první měřenou vačkou. Rameno zajistíme.
8. Poslední fází přípravy přístroje je nastavení odporového snímače zdvihu do pracovní polohy. Povolíme šroubu pro nastavování výšky odporového snímače posuneme snímač dolů, aby se dotknul první vačky a mírně (asi 5mm) zajel měřicí hrot se zdvihátkem do snímače. Musí být zajištěna dostatečná rezerva ve zdvihu snímače, neboť by mohlo dojít k najetí do krajní polohy snímače. Nastavovací šroub se zajistí.

7.2 Postup měření

S přístrojem který je nastaven podle předchozího postupu, můžeme přistoupit k samotnému měření

1. Je-li přístroj nastaven dle předchozího postupu, zkontrolujeme znovu otočením hřídele o 360° kolem osy rotace, že odporový snímač nenaráží do krajních poloh. Při pohledu na okno programu Data logger uvidíme odezvu obou snímačů. (Pokud odezvu nevidíme, snímače nejsou připojeny, nebo jsou špatně nastaveny vstupní kanály převodníku).
2. Vybereme místo uložení dat a název souboru. Je vhodné název volit tak, aby bylo později zřejmé, o jaký hřídel a vačku šlo.
3. Spustíme měření a začneme rovnoměrně otáčet hřídeli. Doporučuji provést alespoň 5 otáček, což zvyšuje přesnost měření. Snímání signálu se automaticky ukončí po uplynutí předem zadané doby.

4. Nyní lze povolit aretační šroub ramene a s nadzvednutým zdvihátkem přejet ramenem k druhé vačce. Zdvihátko uvolníme a dotáhneme aretační šroub.
5. Opakujeme postup od bodu 2, až dokud nezměříme data pro všechny vačky na hřídeli.

7.3 Vyhodnocení měřených dat

7.3

Měřená data se ukládají do textových souborů. Soubory obsahují dva sloupce dat. V prvním sloupci jsou hodnoty napětí na indukčním snímači a ve druhém sloupci napětí na odporovém snímači. Ze vzorce $n = f \cdot t$ [-] lze zjistit počet naměřených vzorků n , kde f je vzorkovací frekvence a t čas měření. K vyhodnocování dat jsem používal tabulkového procesoru Microsoft Excel.

Program vytvořený v Excelu převede sloupec hodnot napětí na odporovém snímači vložených z textového souboru pomocí kalibrační konstanty na hodnoty zdvihu vačky. Z hodnot napětí na indukčním snímači se určí počet pulsů. Dle počtu zubů na pomocném kole se každému pulsu přiřadí hodnota úhlu natočení. Hodnoty se dále interpolují a zprůměrnují. Nakonec získáme soubor dat, který obsahuje jednu hodnotu zdvihu vačky pro každý úhel natočení od 0° do 360° po $0,375^\circ$.

Je možné naměřit libovolný počet takových dat pro různé tvary vaček. Takto získaná data lze snadno vykreslovat do grafů a porovnávat. Další možností je proložit data pomocí některé numerické metody polynomickou funkcí, a tak získat funkci zdvihu vačky. Pokud provedeme derivaci této funkce, dostáváme funkci rychlosti resp. druhou derivaci získáme funkci zrychlení. Tyto tři kinematické veličiny lze znázornit v závislosti na úhlu natočení nebo na otáčkách hřídele.

7.4 Ukázka naměřených a vyhodnocených dat

7.4

Pro názornou ukázkou jak mohou vypadat vyhodnocené výsledky jsem vložil do přílohy několik výstupních grafů. Grafy jsou seřazeny do dvojic. První z dvojice ukazuje zdvihovou závislost vačky a druhý znázorňuje opotřebení vačky. Na prvním grafu – příloha B jsou znázorněny závislosti zdvihu na úhlu natočení pro všech šest vaček hřídele. Tento vačkový hřídel byl ve velmi dobrém stavu - nejspíše po renovaci. Na dalším grafu - příloha C, jsou pak porovnány odchylky tvaru vaček od referenční vačky. Velikosti odchylek se pohybují okolo hodnot $0,05\text{mm}$. Jak mohou vypadat tyto grafy pro vačky opotřeбенé, je pak ukázáno na dalších čtyřech obrázcích. Pro názorný příklad byla vybrána vačka s výrazným opotřeбенím na vrcholu svého profilu. Její zdvihová závislost je v příloze D a graf opotřeбенí E. Poslední vačka měla opotřeбенí hlavně na bocích profilu a převážně v místech kde dochází k vymezování ventilové vůle. V příloze F je její zdvihová závislost a v příloze G pak opět velikost opotřeбенí vačky.

ZÁVĚR

V práci jsem se pokusil o navrhnutí přípravku schopného měřit časování vaček pro účely vyhodnocování opotřebení. Při navrhování zařízení jsem se inspiroval především z konstrukce profesionálních komerčně nabízených zařízení. Přípravek snímá pomocí dvojice elektronických senzorů veličiny nutné k určení časování měřené vačky. Způsob tohoto snímání umožňuje snadné zpracovávání a archivaci získaných dat, přičemž navíc velmi urychluje proces měření. Hodnoty časování vaček naměřené přípravkem je možné mezi sebou porovnávat, a tak zjišťovat dostatečně přesně velikost opotřebení. Oproti drahým zařízením určených ke kompletní analýze a kontrole ve výrobě, není tento přístroj určen k přesnému měření absolutních rozměrů vaček. To však ani není při posuzování opotřebení a tvaru vaček nutné. Hlavní předností je díky použití levnějších senzorů a jednoduché konstrukce s velkým podílem normalizovaných součástí sympatické snížení pořizovacích nákladů na pouhý zlomek ceny profesionálního měřidla. Znovu však připomínám, že se nejedná o plnohodnotnou náhradu za tyto špičkové přístroje.

Obdobného principu, na jakém pracuje toto zařízení by bylo možné využít tam, kde bychom potřebovali analyzovat pohyby ve strojních zařízeních pracujících s vačkovými mechanismy jako jsou např. vstřikovací čerpadla, výrobní automaty, textilní stroje.

K vyhodnocování dat získaných při měření s přípravkem slouží program vytvořený v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Konečným výstupem pak je grafické znázornění závislosti zdvihu na úhlu natočení vačky a grafy opotřebení získané porovnáváním zdvihových závislostí.

Součástí bakalářského projektu byla realizace stavby měřidla. Zařízení jsem tak mohl vyzkoušet a přesvědčit se, že splňuje požadavky na něj kladené.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literární zdroje

- [1] – KOLOC, Z., VÁCLAVÍK, M. *Vačkové mechanismy*. 1.vydání. Praha SNTL, 1988. 379s.
- [2] – RAUSCHER, J. *Vozidlové motory*. FSI VUT Brno, 2005. 156 s.
- [3] – KOŽOUŠEK, J. *Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II*. 1.vydání. Praha SNTL, 1983. 488 s.
- [4] – ŠTOSS, M. *Spalovací motory I*. 2.vydání. FSI VUT Brno, 264s.
- [5] – VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, NZV Brno, 2001, 575s.

Internetové zdroje

- [6] - <http://www.gsxr.wz.cz/casovani.htm>
- [7] - http://home.arcor.de/ohf-archiv/ohf_archiv/Motor/Zylinderkopf/Nockenwelle/nockenwelle.html
- [8] - http://www.prag-info.cz/_shop/index_.php?shop=MTQ5MQ==&akce=detail&id=78811
- [9] - <http://www.deom.cz/digprofilprojektor.php>
- [10] - <http://www.audietech.com/CppPics.htm>
- [11] - http://www.performancetrends.com/cam_test_stand.htm
- [12] - http://andrewsproducts.com/Cam_Inspection/ezcam_details.htm
- [13] - <http://www.spszl.cz/modules/wfdownloads/visit.php?cid=8&lid=42>
- [14] - <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART179-indukcni-senzory-priblizeni--obecny-popis.html>
- [15] - <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART276-aplikace-pro-indukcni-senzory-s-analog-vystupem.html>
- [16] - <http://books.google.cz/books?id=m6kelkWZ75UC&pg=PA564&lpg=PA564&dq=andews+products+price+ezcam&source=web&ots=idFns0DYhk&sig=CqhNwZgFJl624V1YKvVO3PvSiP0&hl=cs#PPT1,M1>
- [17] - <http://www.quido.cz/mereni/opticka.htm>
- [18] - <http://www.klz.cz/index.php?str=14&menu=20>
- [20] - <http://www.mesing.cz/>
- [21] - <http://www.ibbtechusa.com/Twinner.htm>
- [22] - <http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=387>
- [23] - <http://www.pronton.cz/hlinik.html?sklik>
- [24] - <http://www.amtek.cz/amtek.php?go=1&lang=CZE&action=katalog&open=300>
- [25] - <http://www.alunet.cz/hlinikove-profil-y-komponenty-alunet.html>
- [26] - <http://62.168.62.45/cze/katalog/search.php?kat=1>
- [27] - http://www.cni.cz./NP/NotesPortalCNI.nsf/key/hlavni_stranka?Open

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

- obr.1-1 – Rozdělení dle uspořádání ventilových rozvodů s mechanickým ovládním
- obr.1-2 – Hlavní části ventilového rozvodu OHV
- obr.2-1 – Ukázka měření časování rozvodů na motoru motocyklu Suzuki GSX-R pomocí mechanických měřidel
- obr.2-2 – Měření geometrie vačky přímo na motoru
- obr.2-3 – Klasický profilprojektor JT-25
- obr.2-4 – Profilprojektor firmy DEOM a NEOVISION
- obr.3-1 – Snímání časování rozvodů přímo na motoru
- obr.3-2 – Přidání zařízení k rámu staršího měřicího stroje
- obr.3-3 – Přístroj pro kontrolu vaček firmy Perfomance Trends Inc.
- obr.3-4 – Vložení přípravku nahrazujícího skutečné zdvihací části rozvodu
- obr.3-5 – Dvě provedení měřících přípravků Andrews M26 a M46.
- obr.4-1 – Návrh konstrukce v Autodesk Inventoru
- obr.4-2 – Kompletní sestavený přípravek s vloženou vačkovou hřídelí
- obr.4-3 – Upnutí rámu k pracovní desce pomocí stolařské svěrky
- obr.4-4 – Přitáhnutí vačkového hřídele elektroinstalační svorkou
- obr.5-1 – Schéma zapojení potenciometrického snímače
- obr.5-2 – Skutečný průběh výstupního napětí u reálného potenciometru.
- obr.5-3 – Indukční snímač přiblížení
- obr.5-4 – Aplikace indukčních senzorů pro snímání pootočení

Tab.5-1 – Nastavení kanálů v programu Data logger

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Grafická závislost kinematických veličin na úhlu natočení vačky.

Příloha B – Zdvihová závislost vačkového hřídele.

Příloha C – Opotřebenění vačkového hřídele.

Příloha D – Zdvihová závislost opotřebené vačky č1.

Příloha E – Opotřebenění vačky č1.

Příloha F – Zdvihová závislost opotřebené vačky č2.

Příloha G – Opotřebenění vačky č2.

Příloha H – Fotografie přípravku – pohled zleva.

Příloha I – Fotografie přípravku – pohled zprava.

Příloha J – Fotografie systému DEWETRON DEWE 2010

Příloha K – Fotografie přípravku – pohled zepředu.

Příloha L – Výkresová dokumentace

- Sestava – Měřicí přístroj – č.v. 2BP – S01/01
- Kusovník – List 1 – č.v. 4BP -K01/01
- Kusovník – List 2 – č.v. 4BP -K02/01
- Výrobní výkres – Podpěra – č.v. 4BP -01/01
- Výrobní výkres – Deska lineárního snímače – č.v. 4BP -02/01
- Výrobní výkres – Deska rotačního snímače – č.v. 4BP -03/01
- Výrobní výkres – Nástavec rotačního snímače – č.v. 4BP -04/01
- Výrobní výkres – Zdvihátko – č.v. 4BP -05/01
- Výrobní výkres – Podložka – č.v. 4BP -06/01
- Výrobní výkres – Rameno – č.v. 4BP -07/01
- Výrobní výkres – Rám – č.v. 4BP -08/01