

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

REGULACE TURBODMYCHADEL

TURBOCHARGER REGULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ STANĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN VANČURA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student (ka): Lukáš Staněk

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Regulace turbodmychadel

v anglickém jazyce:

Turbochargers regulation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je řešerše na téma regulace turbodmychadel systému Wastegate a VNT.

Těžiště práce leží v regulaci při měření mimo testovací celu.

Cíle bakalářské práce:

- Popište obecné ovládací prvky VNT a Waste-gate
- Popište řídicí signály pro aktuátory a REA systémy
- Navrhněte bezpečné řízení regulačních mechanismů při testování (ovládání mimo testovací celu)

Seznam odborné literatury:

- [1] HOFMANN, K. Turbodmyhadla, vozidlové turbíny a ventilátory: Přepřňování spalovacích motorů. 2. vyd. VUT Brno: SNTL, 1985. 134 s.
- [2] HOFMANN, K. Alternativní pohony. Studijní opory, VUT FSI Brno, 2003. 73s.
- [3] BARTONÍČEK, L. Přepřňování spalovacích motorů, Studijní opory, Technická univerzita Liberec, 2004. 76s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Vančura

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24. 11. 2010

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan



ABSTRAKT

Bakalářská práce nastiňuje problematiku použití ovládacích prvků regulace turbodmychadel při vývoji a testování v laboratořích. Stěžejním úkolem je seznámení čtenáře se základními pneumatickými, mechanicko - elektronickými a pneumaticko – elektronickými systémy ovládání VNT (Variable nozzle turbine) a WG (waste gate) turbodmychadel. Dalším bodem zájmu této práce je objasnění zapojení soustavy měřících a ovládacích prvků REA systémů při testování v cele na turbodmychadle případně zátěžových testů REA aktuátorů na pevné základně.

KLÍČOVÁ SLOVA

Turbodmychadlo, CAN - datová sběrnice, VNT – proměnná geometrie turbínových lopatek, REA – elektronicky řízený aktuátor s rotačním mechanismem, SREA – elektronicky řízený aktuátor s rotačním mechanismem a zpětnovazebním řízením, PWM signál, Testovací cela, GAS STAND – plynové testovací zařízení

ABSTRACT

The bachelor's thesis outlines the problem of using the controls of turbochargers regulation in the development and testing in the laboratories. The main task is to acquaint the readers with basic pneumatic, mechanical – pneumatic and pneumatical – electronic systems VNT (Variable Nozzle Turbine) and WG (Waste gate) turbochargers. Another point of this thesis is to clarify the involvement of a system of monitoring and control elements of the REA (Rotary electric actuators) systems on the turbochargers when tested in a cell or the REA stress tests on a strong base.

KEYWORDS

Turbocharger, CAN – Controller Area Network, VNT – Variable nozzle turbine, REA – Rotary electric actuators, SREA – Smart rotary electric actuators, PWM signal, Testing cell, GAS STAND – Specific gas tester for turbochargers



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STANĚK, L. Regulace turbodmychadel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vančura.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Jana Vančury a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2011

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Vančurovi za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Taktéž velice děkuji za odbornou realizaci a psychickou podporu Gas Stand Teamu Honeywell Turbo Technologies – Laboratory: Ing. Lubomíru Holoubkovi, Phd , Ing. Františkovi Čefelínovi a Bc. Filipovi Vojáčkovi.



OBSAH

Úvod	10
1 Vývoj a prvotní účel turbodmychadel	11
1.1 Vliv turbodmychadel na účinnost spalovacích motorů	11
1.2 Ekologická bilance pro budoucnost	12
1.3 Vývoj regulace turbodmychadel	14
1.3.1 Historie produkce	14
1.3.2 Regulace WG klapkou tzv. wastegating	15
1.3.3 Regulace VNT	16
1.3.4 Regulační systém VNTOP	18
1.3.5 Modifikace regulační technologie VNT	20
2 Ovládací prvky pro WG a VNT regulační systémy	22
2.1 Aktuátory	22
2.1.1 Podtlakové WG „-“, aktuátory	23
2.1.2 Přetlakové WG „+“, aktuátory	23
2.1.3 Upgrade materiálu aktuátorů	24
2.1.4 Aktuátory se snímačem polohy	24
2.1.5 Praktická aplikace systému aktuátorů	25
2.2 REA / SREA systémy regulace	26
3 Ovládací signály pro REA / SREA zařízení	28
3.1 Norma CAN – Bosch protokol	28
3.1.1 Historie multiplexní sběrnice CAN	29
3.1.2 Aplikace v automobilovém průmyslu	30
3.1.3 Výhody CAN sběrnice	31
3.1.4 Specifikace CAN sběrnice	32
3.1.5 Typy CAN sběrnice	32
3.1.6 Data v protokolu CAN	32
3.2 PWM signály	33
4 Řídící software pro regulaci pozice REA / SREA zařízení	35
4.1 National Instrument – Measurement & Automatization	35
4.1.1 Využití nástroje Lab VIEW	35
4.2 VECTOR Informatik GmbH	36
4.2.1 Hardwarový nástroj – CAN – Extender	36
4.2.2 Hardwarový nástroj – CAN case XL	37
4.2.3 Softwarový nástroj – CANalyzer / pro	38
4.2.4 Grafický výstup CANalyzeru při řízení regulačního mechanismu REA	39



5	Zapojení ovládacího obvodu s REA / SREA zařízením při testování.....	44
5.1	Blokové schéma zapojení REA zařízení.....	44
5.2	Náhled na elektronickou instalaci REA zařízení	45
5.3	Schéma zapojení REA zařízení při testování.....	46
5.4	Schéma reálného komplexu periférií při testování	46
5.5	Bezpečnost při testování	50
6	Výrobci REA systémů a aktuátorů	52
	Závěr.....	53
	Použité informační zdroje.....	55
	Seznam použitých zkratk a symbolů	58
	Seznam obrázků a tabulek	62
	Seznam příloh.....	64
	Samostatné přílohy	65



ÚVOD

Za posledních deset let došlo k významnému pokroku v technologiích aplikovaných na přeplňování diesellových a převážně benzinových motorů. Postupem času a technologické inovace došlo k aplikaci technických prvků z leteckého průmyslu, a to jak materiálů, tak i způsobu vývoje a testování jednotlivých komponent turbodmychadel. Významným příkladem pokroku je spolehlivost rotující soustavy turbodmychadla i při rychlostech 280 000 ot/min, což v mnoha ohledech překonává proudové letecké motory. S rostoucími parametry co se týče výkonnosti a životnosti je také kladen velký důraz na ekologii celé soustavy spalovacího motoru.[3]

Ekologická bilance spalovacích motorů jde neustále kupředu. Hlavní roli ve snižování emisních parametrů hraje právě způsob regulace kompresorové a turbínové části turbodmychadla. Výkonová a emisní problematika se neustále prolíná s kompletní regulací za pomoci určitých typů termodynamických regulačních systémů. Mezi významné termodynamické regulační systémy turbodmychadel patří systém tzv. závěrné pokličky, čili systém Waste gate. Tento systém byl od prvopočátku průkopníkem řešení obtoku turbínové části turbodmychadla. V dnešní době je nejrozšířenějším regulačním systémem Gasoline turbodmychadel (turbodmychadel pro benzinové motory).

Převratným prvkem v regulaci turbodmychadla jako celku byl příchod systému tzv. variabilní geometrie lopatek VNT v roce 1990. Tento systém byl vyvinut specializovanou firmou Honeywell. Systém VNT je dodnes pod ochrannou známkou Honeywell VNT™. Tento systém dokáže plynule optimalizovat nastavení turbodmychadla jak pro nízké tak i pro vysoké otáčky motoru, maximalizovat výkon a zároveň významně snížit spotřebu pohonných hmot a emisní limity.[4]



Obr. 1 Kompletní turbodmychadlo[7]

Středem zájmu z pozice konstrukce turbodmychadel je oblast aerodynamického designu, což ve spojení s pokrokovým systémem VNT™ umožnilo nárůst účinnosti turbodmychadla až o 15 % a ve smyslu pracovních otáček až o 18%. V oblasti dalších pracovních parametrů je zapotřebí zmínit i teplotní limit, který je dnes již výše než o 100°C. Tento nárůst je odrazem zkvalitnění výroby, virtuální modelace, pokroku v materiálových vědách. Díky novému výrobnímu přístupu došlo k navýšení spolehlivosti turbodmychadla 10 krát.[7]

Tento pokrok by se neobešel bez důsledné a stále se zpřesňující regulace VNT systému za pomoci elektronických a mechanických prvků regulačního mechanismu. Tak jako jde kupředu vývoj turbodmychadla z hlediska termodynamiky a aerodynamiky, tak i regulační systémy musí doplňovat ve smyslu evoluce kvality a technických vlastností současné a budoucí standardy.



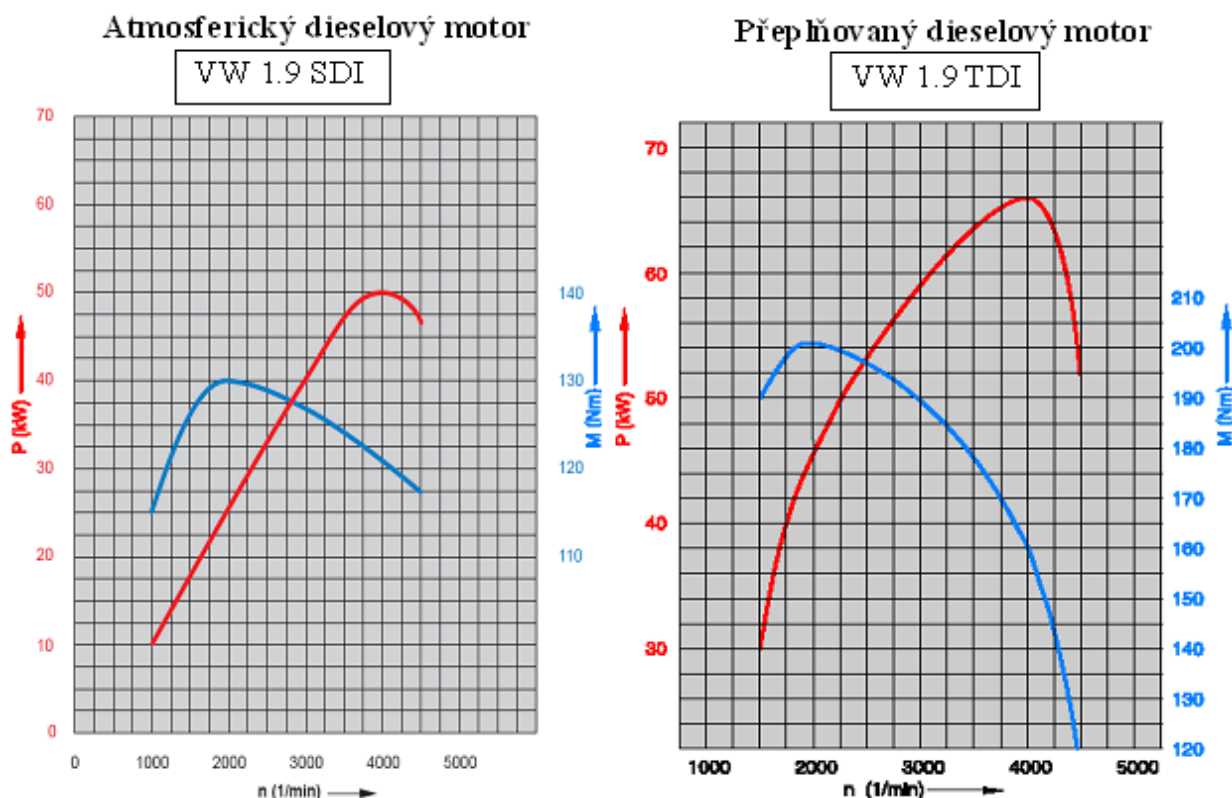
1 VÝVOJ A PRVOTNÍ ÚČEL TURBODMYCHADEL

1.1 VLIV TURBODMYCHADEL NA ÚČINNOST SPALOVACÍCH MOTORŮ

Prvotním záměrem turbodmychadel a obecně přeplňování spalovacích motorů byl záměr snížení hmotnosti motoru a současně zvýšení jeho výkonu. Celé know-how zpočívalo ve snaze vymyslet systém který by nevykonnému pohonnému ústrojí dodal potřebný výkon v co nejširším otáčkovém spektru. Implementace turbodmychadla jako takového, tedy konvenčního systému kompresorového kola a turbínového kola na společné hřídeli, vedlo především k úpravě spalovací jednotky. Jedním ze základních parametrů, které se musely upravit pro možnost aplikace turbodmychadla, byla změna kompresního poměru. S vývojem vstříkacích systémů se muselo docílit souhry plněného objemu vzduchu s množstvím vstříkací dávky, a to pro všechny pracovní situace.

Samozřejmě s postupem času celkový systém spalovacího motoru prodělal značnou modifikaci s příchodem recirkulace výfukových plynů, řízených či neřízených katalyzátorů, aktivních či pasivních filtrů pevných částic. Veškeré tyto a další systémy příznivě ovlivňují výslednou účinnost spalovacího motoru.

Následující obrázek (diagram) poukazuje na výraznou změnu výkonové charakteristiky motoru.



Obr. 2 Výkonové charakteristiky atmosférického a přeplňovaného motoru[6]



Podíváme-li se na systémy přeplňování z pozice motorsportu, pak prvním historickým mezníkem byl rok 1962. V tomto roce byl představen Oldsmobile F85 Jetfire Turbo Rocket. Pohonná jednotka tohoto automobilu byla osazena turbodmychadlem Garrett T05. Smysluplně můžeme tuto ikonu porovnat s dnešním moderním systémem, jenž je implementován do vozu Ford Focus RS. Spalovací motor Fordu je osazen moderním turbodmychadlem Garrett GT2560.[5],[3]

Pokrok technologií se přímo odráží ve výkonových parametrech. Jako příklad mohu zmínit měrný výkon Fordu Focus RS - 107 hp oproti Jetfiru s měrným výkonem – 61 hp. Jak již bylo zmíněno dříve, hlavní roli hrála optimalizace proudění, tlakový poměr turbíny a kompresoru a tím pádem rostoucí účinnost. Samozřejmostí je integrace turbodmychadla do mnohem vyššího teplotního spektra a tím pádem i lepší kompatibilita se systémem řízení Power-train. Podíváme-li se na účinnosti jednotlivých pohonných jednotek, tak již při vývoji Jetfiru došlo k nárůstu účinnosti jeho přeplňované verze oproti původní nepřepřňované o 16%. Dnešní technická inovace v podobě Fordu Focus RS dosahuje převratného nárůstu účinnosti až o 50% oproti jeho staříckému předku, přeplňovanému Jetfiru . [5],[3]

V této tabulce jsou pro dokreslení dané skutečnosti uvedena některá data:

Tab. 1 Srovnání historie a současnosti [3]

	1962	2002
MODEL TYPE	T05	GT2560
CAR MODEL	Oldsmobile Jetfire	Ford RS Focus
ENGINE CYLINDER	V8	4
ENGINE SIZE	3.5L	2L
HP	215	215
PEAK COMPRESSOR EFFICIENCY	58% at 1.5:1 and 12 lb/min	>78% at 2.0:1 and 20 lb/min.
MAXIMUM SPEED	90,000 rpm	146,000 rpm
WEIGHT	25lb	15lb

1.2 EKOLOGICKÁ BILANCE PRO BUDOUCNOST

Z hlediska vývoje, na který čím dál větší měrou tlačí ekologické limity, hrají systémy přeplňování klíčovou roli. V roce 2010 byla zveřejněna převratná studie pohonné jednotky tzv. MultiAir technologie, tedy benzínového spalovacího turbo motoru vyvinutého firmou Fiat Powertrain Technologies ve spolupráci se specialistou na přeplňování, firmou Honeywell Turbo Technologies. Tento převratný systém založený v náhradě běžné mechanické vazby mezi ovládaním ventilů a vačkové hřídele, systémem založeném na ovládaní pneumatickým funkčním členem s možností spojitě regulace časování jednotlivých ventilů v celém pásmu pracovního cyklu.[8]

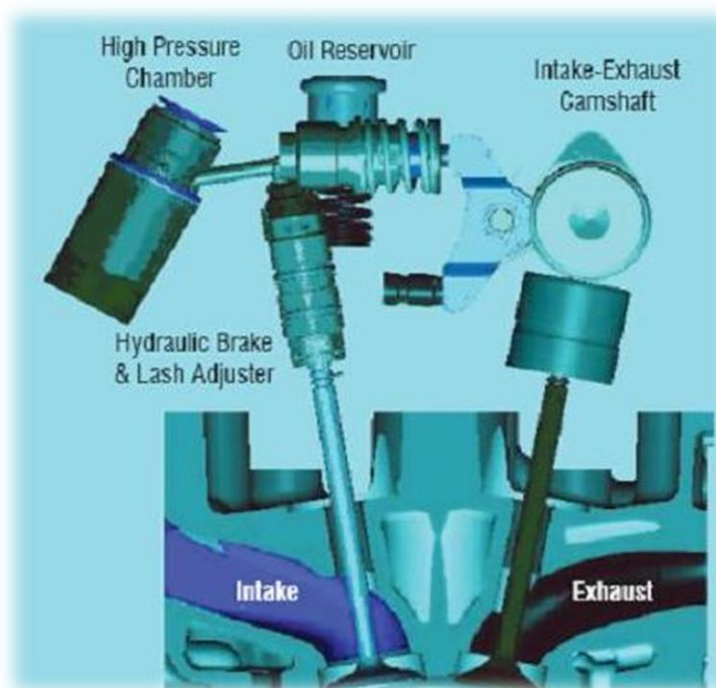
Tato technologie však přinesla spoustu problémů, co se týče přeplňování. Pro tým Honeywell Turbo Technologies byla tato převratná technologie výzvou a byli schopni dodat během krátké doby, o 18 měsíců kratší, dvě varianty přeplňování pro dva výkonově odlišné spalovací MultiAir motory. Nová turbodmychadla prodělala výraznou optimalizaci v oblasti aerodynamického řešení, chlazení CHRA (Central Housing Rotating Assembly) části, a také neopomíjený nový přístup v oblasti materiálového řešení.[8]



Tento systém v porovnání s konvenčními motory, nabízí o 10% vyšší výkon a o 15% vyšší točivý moment. Ekologická bilance šla u takto výkonného motoru bleskově kupředu. Spotřeba pohonných hmot klesla o 10%, emisní hodnoty v podobě CO₂ klesly o 10%, pevné částice byly sníženy o 40% a podíl oxidů dusíku klesl o 60%. [8]



Obr. 3 Náhled na: a) Multiair technologie [9], b) VNT turbodmychadlo [8]



Obr. 4 Detail Multiair technologie [10]



Světovou novinkou v oblasti dieselových motorů pro osobní vozy je užití turbodmychadel s kuličkovými ložisky tzv. Ball Bearing. Vývoj této koncepce se musel zaměřit především na optimalizaci hřídele nesoucího kompresorové a turbínové kolo. Z důvodů vyšších rozměrů kuličkových ložisek se musel snížit průměr tohoto hřídele, avšak bylo třeba zachovat dynamické parametry jako je rychlost otáčení v pracovní fázi, která se pohybuje u turbodmychadel GT20 v maximu 200 000 ot / min a pro GT 45 v maximu 120 000 ot / min. Jistý problém nastal i s vyvážením tohoto mechanismu, kde bylo nutno zavést jiné přístupy a značně se zaměřit na preciznost a kvalitu. Toto do jisté míry nové technické řešení uložení společné hřídele kola kompresoru a turbíny přineslo ve srovnání s konvenčními turbodmychadly vybavenými radiálními kluznými ložisky nárůst mechanické účinnosti a tím pádem nárůst účinnosti turbodmychadla jako celku. Přejížděvací odezva v reakci na otáčkové spektrum motoru, proudění výfukových plynů a samotné rychlosti odezvy na regulaci dle typu a velikosti GT byla snížena v intervalu 20 až 70%. [11]

Výhodou těchto turbodmychadel je výrazně nižší priorita kvality motorového oleje a taktéž výrazně nižší negativní dopad při studených startech. Dalším důležitým parametrem je snížení měrné spotřeby motoru o 2% což z hlediska kvantitativity je poměrně zanedbatelné, ale je dominujícím údajem při srovnání provozních režimů v běžném provozu. Honeywell Turbo Technologies tedy posunul vizi snížení emisí spalovacích motorů o pár kroků kupředu.[11]

Těmito turbodmychadly se nyní vybavují prémiové dieselové motory značky Daimler. Tyto motory jsou určeny do luxusní řady automobilů firmy Mercedes Benz, pro řadu C, E, S a R. Tato nová koncepce turbodmychadel bude v budoucnu dominovat i v malých benzinových i dieselových spalovacích jednotkách.[11]

1.3 VÝVOJ REGULACE TURBODMYCHADEL

Regulace turbodmychadel jako taková bleskově reagovala na technické možnosti a parametry spalovacích motorů, celkový pohled na postupný vývoj je tedy možné zobrazit v několika bodech, jež budou nastíněny níže. V první řadě by bylo dobré ukázat, v jakém časovém odstupu došlo k aplikaci a předchozímu vývoji regulovaných turbodmychadel a její implementaci v jednotlivých automobilových společnostech.

1.3.1 HISTORIE PRODUKCE

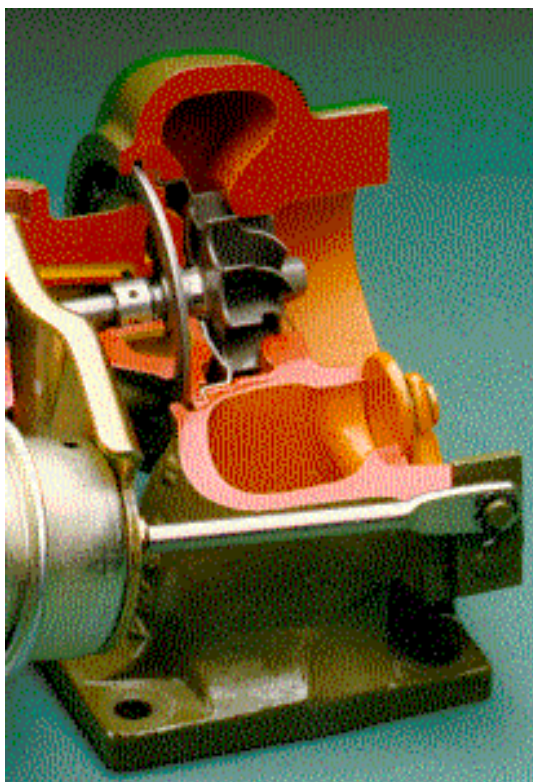
1962: Oddělená wastegate regulace	(T05 – Oldsmobile)
1977: Integrace WG regulace pro osobní vozy	(T3 – Mercedes)
1989: Garrett VNT technologie pro nákladní vozy	(VNT45 – Nissan Diesel)
1990: Garrett VNT technologie pro osobní vozy	(VNT25 – Fiat)
1995: Rápidní nárůst výroby turbodmychadla velikosti FT17 a jeho regulace	
2000: Tlakově řízená regulace DAVNT pro vysoce výkonná turbodmychadla	
2002: AVNT technologie pro lehká a středně těžká nákladní vozidla	

[7]



1.3.2 REGULACE WG Klapkou TZV. WASTEGAITING

Wastegate klapka byla a stále je nejjednodušší formou proměnné efektivní regulace průtoku objemu výfukových plynů turbínou. Ve chvíli kdy je ventil WG otevřen, výfukové plyny jistou formou sniží pracovní tlak vyvozovaný na turbínové kolo a v tuto chvíli dojde ke snížení užitečné práce turbodmychadla. Efektivita turbínové strany a tím pádem účinnost na kompresorové straně je regulována v určitých nelineárních fázích a tím je docíleno pokrytí daného spektra otáček motoru.

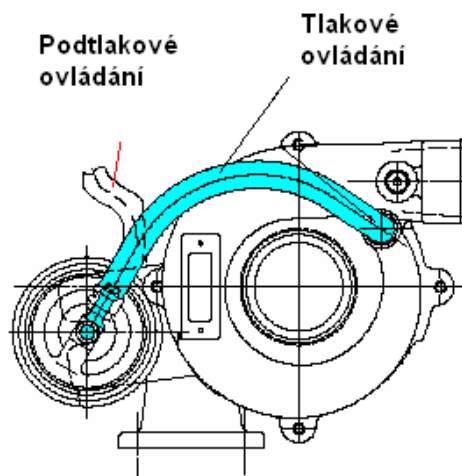


Obr. 5 Řez turbodmychadlem s WG regulací obtoku [7]

V dnešní době stále pokračuje vývoj regulace WG klapkou, dochází k optimalizaci geometrie a umístění tohoto obtoku, harmonizaci proudění a v neposlední řadě optimalizaci materiálů jak WG klapek tak i turbínových skříní pro tuto regulaci určených.

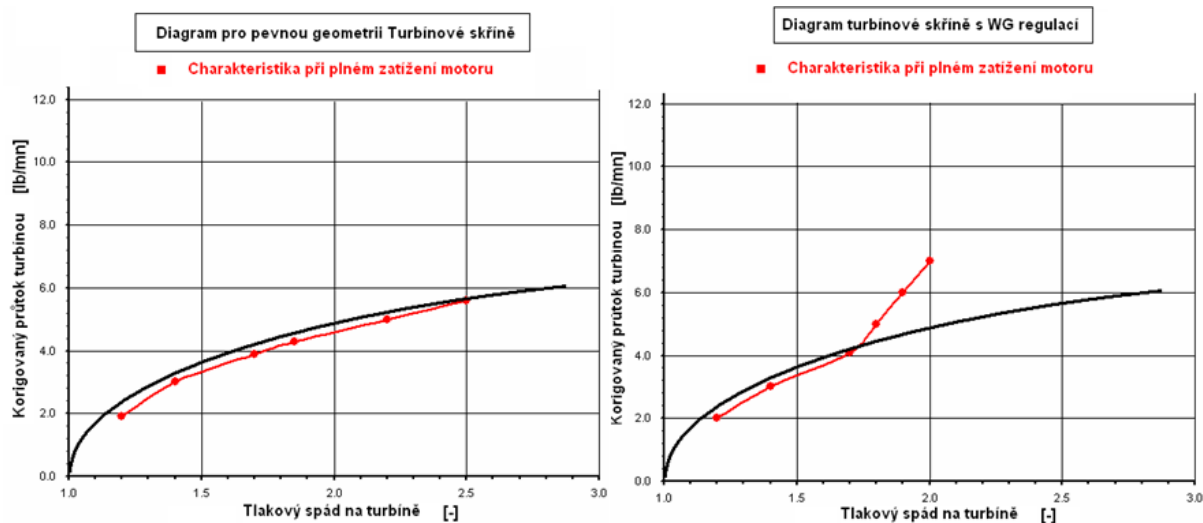


Obr. 6 Možnosti WG regulace [7]



Obr. 7 Schéma umístění aktuátou pro WG regulaci [7]

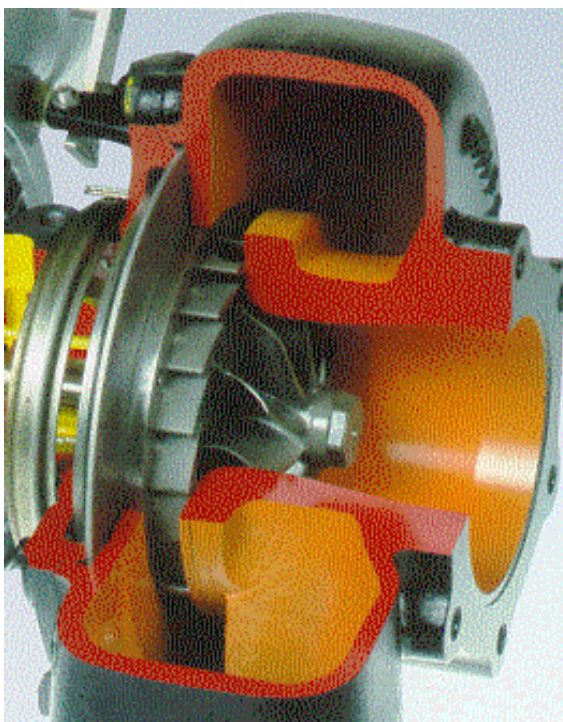
Porovnání závislostí pro pevnou geometrii turbínové skříně a skříně s WG regulací:



Obr. 8 Porovnání turbodmychadla s pevnou geometrií turbínové skříně a s WG regulací [7]

1.3.3 REGULACE VNT

Prioritou VNT regulace bylo zlepšení efektivity turbodmychadla jako celku. Tato technologie umožňuje takřka plynulou změnu průtoku turbínovou skříní a dalším cílem, který se přímo odvíjí od tohoto faktu, je opět vyšší využití otáčkového spektra motoru.

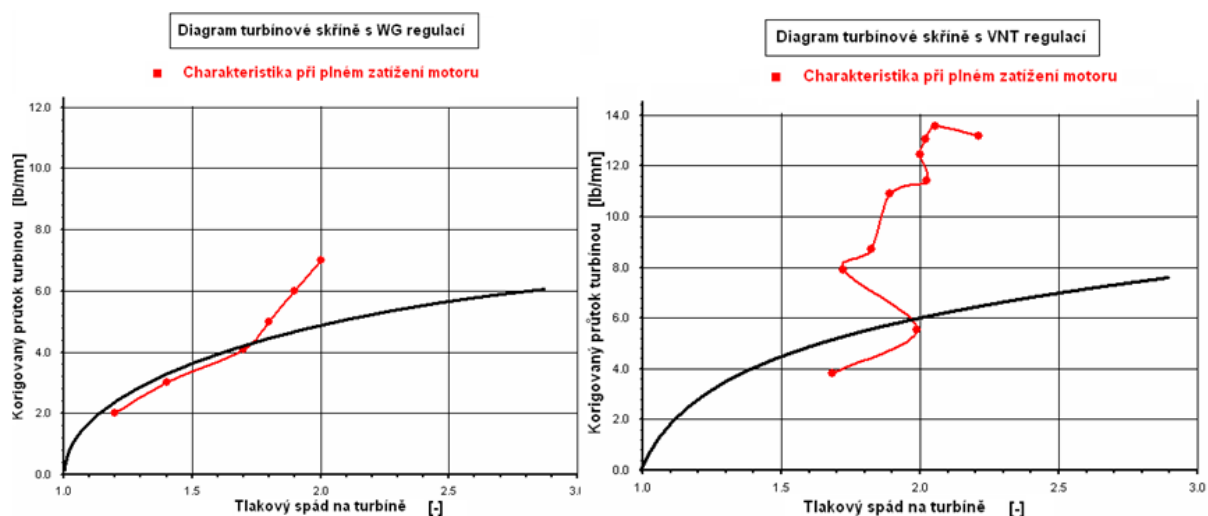


Obr. 9 Řez turbodmychadlem s VNT regulací [7]

VNT regulace má z pozice vývoje obrovský potenciál se neustále zdokonalovat, nalézat nové funkční řešení a optimalizace, mechanickou sofistikovanost a v neposlední řadě významnou roli pro nové emisní standardy.



Obr. 10 Princip změny geometrie turbínové skříně [7]



Obr. 11 Porovnání turbodmychadla s WG regulací a VNT regulací [7]

1.3.4 REGULAČNÍ SYSTÉM VNTOP

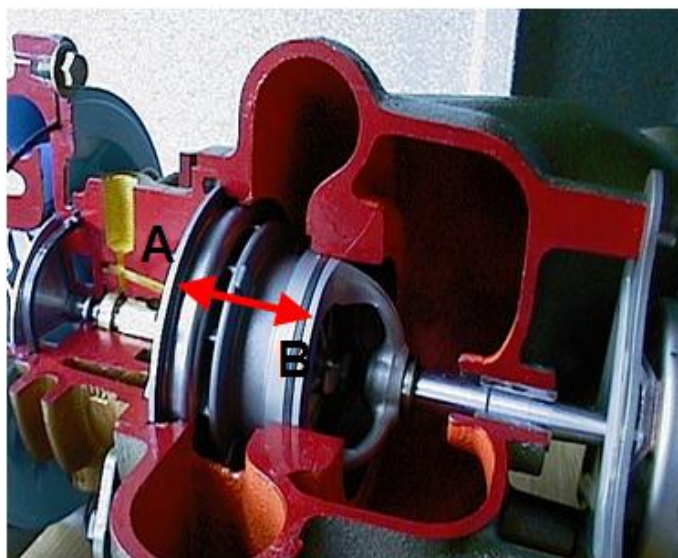


Obr. 12 Holset VGT (Variable Geometry Turbine) [7]

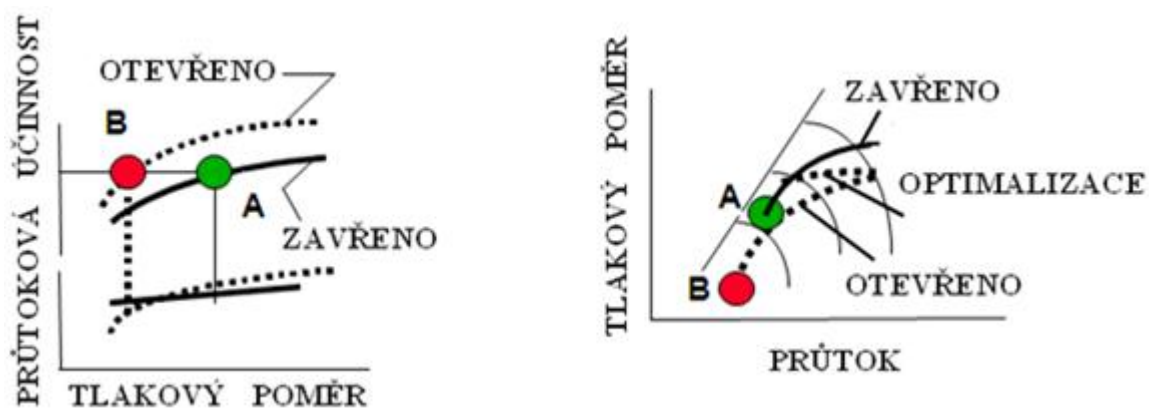
Základní princip VNTOP je stejný jako u VNT technologie, rozdíl je však v otevření obtoku, který je řízen z axiálního směru turbinové skříně. Motivací ve vývoji tohoto systému byl fakt nižších výrobních nákladů. Vývoj se nyní ubírá směrem k aplikaci tohoto systému pro turbodmychadla osobních a nákladních automobilů. Jedním z významných výrobců, kteří aplikují tento systém je firma HOLSET, a to pro verze turbodmychadel HX 55 a modifikované verze HE 300 až velikost HE 500. Tato turbodmychadla jsou vyvíjena pod obchodní značkou HOLSET VGT™. Způsob regulace u firmy HOLSET je založen na pneumatických aktuátorech a taktéž elektronicky řízených REA systémech. CHRA s kompletní regulační mechanikou je chlazena vodou a regulační systém je doplněn o automatickou kalibraci, tím je dosaženo velké a opakovatelné přesnosti a dlouhé životnosti. Výhodou této technologie je minimalizace mechanicky pohyblivých dílů, dokonalejší využití



tlakových poměrů pro přepřívání a integrovaný kontrolní modul tzv. On-Board – Control, který přebírá diagnostiku a základní kalibraci místo řídicí jednotky motoru.[7], [14],[14]



Obr. 13 Řez turbodmychadlem s VNTOP mechanismu regulace [7]



Obr. 14 Mapovací závislost [7]



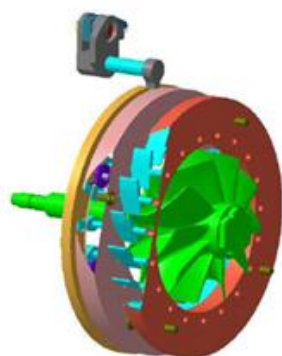
1.3.5 MODIFIKACE REGULAČNÍ TECHNOLOGIE VNT

Technologie VNT regulace se musela postupně rozvinout tak, aby dokázala vyhovět odlišným potřebám jednotlivých kategorií trhu.

ROZDĚLENÍ KATEGORIE TRHU:

Těžká nákladní vozidla a strojní agregáty

DAVNT regulace (Dual Axel Variable Nozzle Turbine)



Zobrazení reálné části DAVNT mechanismu:



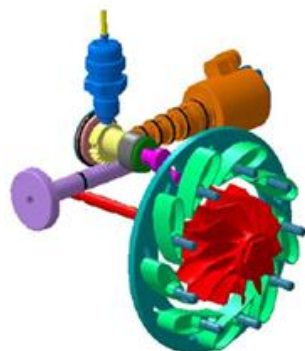
Obr. 15 DAVNT regulace turbodmychadla [7]

Toto technické řešení se využívá pro spalovací motory vyvozuující vstupní tlak na turbíně do 3,5 bar a jsou – li vybaveny dekompresní motorovou brzdou. Dle americké kategorizace se aplikují na nákladní vozidla kategorie „class 8“ [7]

Středně těžká nákladní vozidla a strojní agregáty

DAVNT regulace (Dual Axel Variable Nozzle Turbine)

ADVANCED VNT regulace (3D ovládací mechanika)



Zobrazení reálné části ADVANCED VNT:



Obr. 16 ADVANCED VNT regulace [7]



Pro toto technické řešení se využívá integrovaného elektrohydraulického řídicího motoru. Oproti konvenční VNT a DAVNT regulaci, obsahuje tento systém o poznání méně dílů, jedná se částečně o svařovaný mechanismus. Užití pro nákladní vozidla vybavená výfukovou brzdou, vstupní tlak na turbínu do 2,5 bar. Aplikace pro vozidla dle americké kategorie „class 7“ [7]

Užitková vozidla a osobní automobily

VNT regulace (Variable Nozzle Turbine)

Zobrazení reálné části VNT:



Obr. 17 VNT regulace turbodmychadla [7]

NÁSTUP VNT REGULACE JAKO TAKOVÉ DOKÁZAL OPTIMALIZOVAT:

- ✚ Přesnou regulaci vzduch / palivo v širokém spektru otáček motoru
- ✚ Snížení emisí NO_x a spotřebu PHM
- ✚ Zvýšení točivého momentu motoru při nižších otáčkách
- ✚ Zvýšit výkon při přechodovém zatížení
- ✚ Optimálně zvýšit výkon konkrétního motoru
- ✚ Zvýšit maximální točivý moment motoru
- ✚ Zvýšit brzdou účinnost motoru
- ✚ Snížit reakční dobu motoru při kick-down režimu a z klidu
- ✚ Regulaci výfukových plynů a jejich následnou harmonizaci

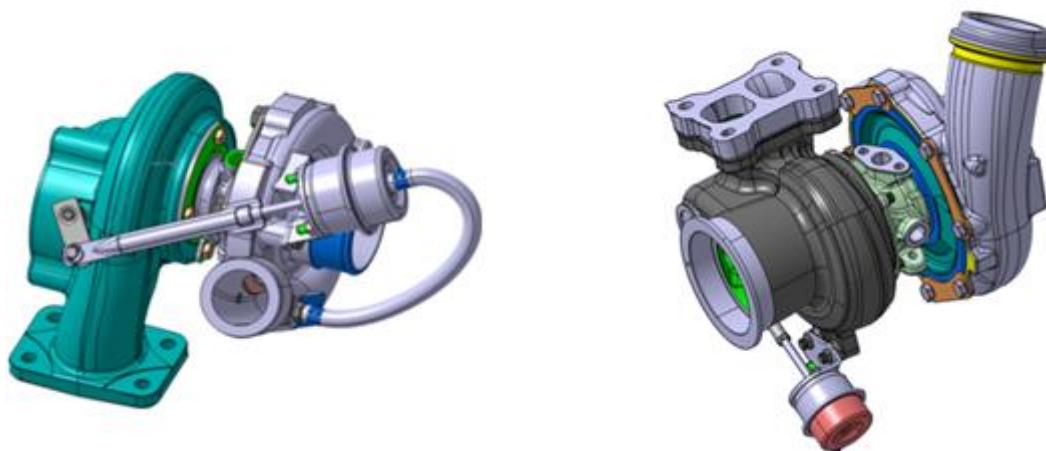
[7]



2 OVLÁDACÍ PRVKY PRO WG A VNT REGULAČNÍ SYSTÉMY

2.1 ACTUÁTORY

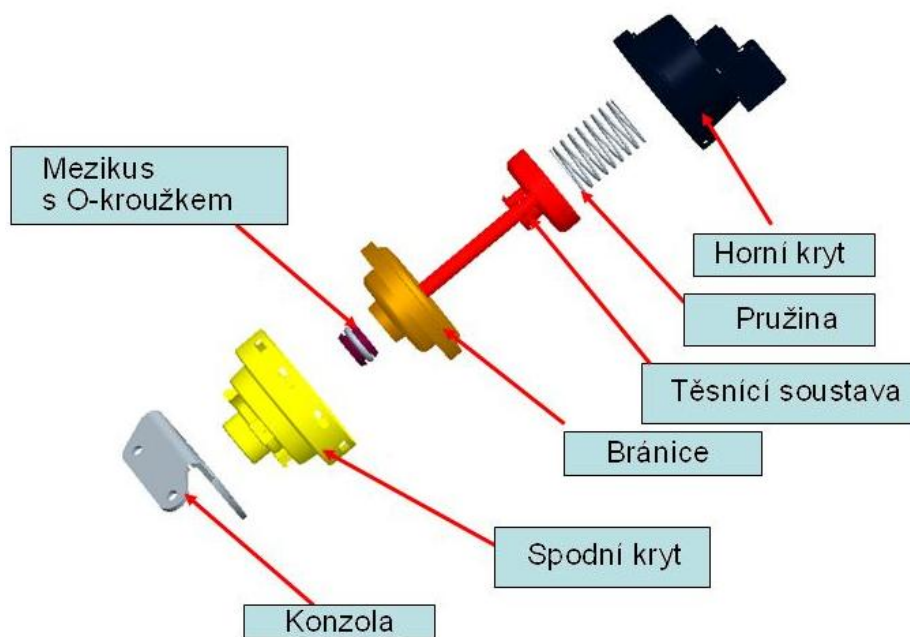
Podtlakové a přetlakové aktuátory byly prvními regulačními systémy implementovanými na regulační okruh Waste-gate (WG). Tento prvek je svým způsobem jednoduchý kinematický mechanismus, avšak s velkým potenciálem na rozličné využití regulace. Aktuátory se postupně rozšířily i na regulaci VNT systémů malých turbodmychadel. Tato sofistikovaná zařízení jsou založena na jedné základní myšlence, vzduchové regulace z vlastního okruhu turbodmychadla. Jsou řízena buď podtlakem, nebo i přetlakem vzduchu. Aktuátory v oblasti testování turbodmychadel, se užívají jednak jako regulační členy přímo pro termodynamický cyklus turbodmychadla ale také, a to hlavně, jako regulační simulátor pro vyvození různých zátěžných cyklů představujících nárazová proudění turbínovou skříní. V praxi se setkávám v podstatě s převahou přetlakem ovládaných aktuátorů WG+ (Waste-gate řízený přetlakem), což pro simulaci zmíněných cyklických změn je z hlediska celkové účinnosti obvodu nejspolehlivější. Přetlakem ovládaný okruh není tolik náchylný na netěsnosti.



Obr. 18 Pohled na umístění aktuátoru [7]

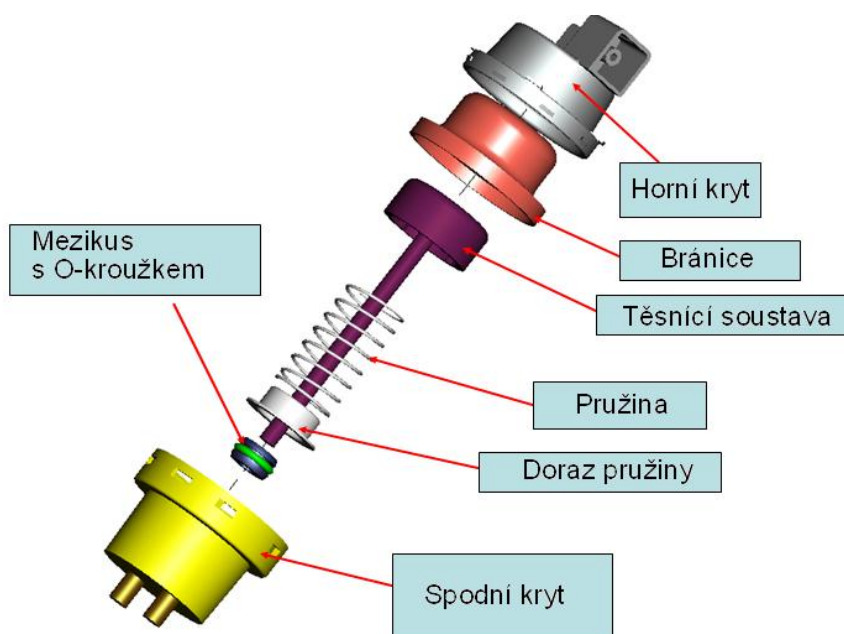


2.1.1 PODTLAKOVÉ WG „-“, AKTUÁTORY



Obr. 19 Konstrukce podtlakového aktuátoru [7]

2.1.2 PŘETLAKOVÉ WG „+“, AKTUÁTORY

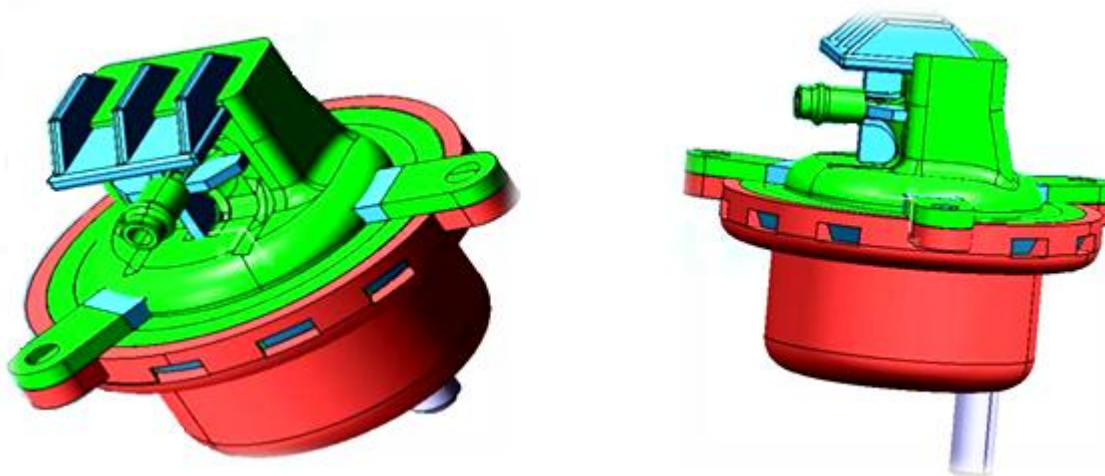


Obr. 20 Konstrukce přetlakového aktuátoru [7]



2.1.3 UPGRADE MATERIÁLU AKTUÁTORŮ

V dnešní době jsou středem zájmu aktuátory vyrobené z plastových materiálů. Tato technologie nám dovoluje minimalizovat velikost a tím tyto produkty lépe zastavět do kompletního řešení turbodmychadla. Dalším přínosem plastových aktuátorů je redukce šumu tlumená vlastností daných materiálů, absolutní odolnost vůči korozi, eliminace sekundárních operací – pokovování lisování a tedy snížení ceny výrobního materiálu, v určitých směrech lepší odolnost v pracovním prostředí. Hlavními otázkami které bylo nutno si položit a následně řešit byly otázky tepelné roztažnosti, odolnosti vůči cyklické únavě, creepu a relaxaci napětí, otěru. Teplotní pracovní rozmezí bylo nutno udržet na hodnotách od -40°C do $+180^{\circ}\text{C}$. [7]



Obr. 21 Model plastového aktuátor [7]

2.1.4 AKTUÁTORY SE SNÍMAČEM POLOHY

Důležitým mezníkem pro užití aktuátorů jakéhokoliv typu, byla nutnost reakce na zpětnou vazbu do řídicí jednotky motoru a tím možnost sofistikovanější regulace celého motoru. Aktuátory jsou tedy pro určité TC vybavovány snímači polohy. Nejjednodušším snímáním je snímání otevřené a zavřené polohy (v desítkové soustavě „1,“ a „0,“). Dnes se můžeme setkat také se snímači, které pracují v celém rozsahu pracovního zdvihu aktuátoru. Elektronické snímání polohy významně přispělo ke kontrole průběhu přepínání, zvýšení efektivní účinnosti turbodmychadla a celkové ekologicky orientované syntéze určitých typů spalovacích motorů.



Obr. 22 Aktuátor s integrovaným snímačem polohy [7]



2.1.5 PRAKTICKÁ APLIKACE SYSTÉMU AKTUÁTORŮ

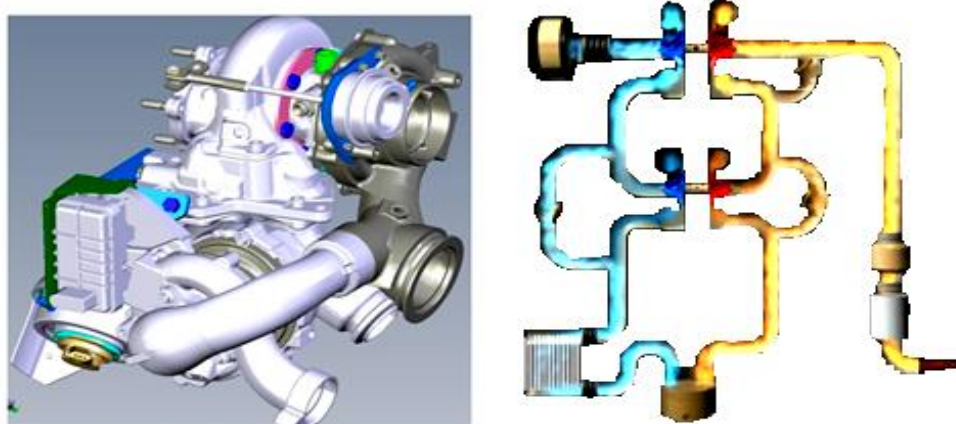
PARALLEL SEQUENTIAL DUAL – STAGE SYSTEM



Obr. 23 Parallel Sequential Dual - Stage System [16]

Za zmínku z pozice vývoje firmou Honeywell Turbo Technology, dále jen HTT, zajisté stojí vývoj, a již dnes zaběhnutý systém, dvoustupňového přeplňování. HTT představila dvě varianty tohoto přeplňování, první z nich byla konfigurace paralelně sekvenčního systému (Parallel Sequential Dual – Stage System) založeného na dvou malých turbodmychadlech, z nichž jedno je určeno pro spektrum nízkých otáček motoru a druhé pro spektrum vysokých otáček motoru. Zajímavostí pro tento systém je ten fakt, že každé turbodmychadlo je poháněno jinou půlkou motoru (myšleno ze symetrie rozložení válců), sací větve je společná.[15]

SERIAL SEQUENTIAL DUAL – STAGE SYSTEM



Obr. 24 Serial Sequential Dual - Stage System [17]



Jako druhý systém je systém sériově sekvenčního přepřínování (Serial Sequential Dual – Stage System). Tento systém opět využívá jedno turbodmychadlo pro spektrum nízkých otáček motoru a druhé turbo pro spektrum otáček vysokých. Při nižších otáčkách motoru užívá primární turbodmychadlo energie výfukových plynů ke zvýšení výkonu, jakmile je dosaženo předem definovaných otáček, přepne regulační ventil (ovládaný aktuátorem WG+ či WG -) větev pro plný průtok sekundárním turbodmychadlem. Tento systém absolutně dovoluje řídit extrémně vysoké tlaky při přepřínování potřebné pro optimalizaci recirkulace výfukových plynů, která je klíčovým faktorem pro kontrolu a snižování emisních standardů.. [15]

2.2 REA / SREA SYSTÉMY REGULACE

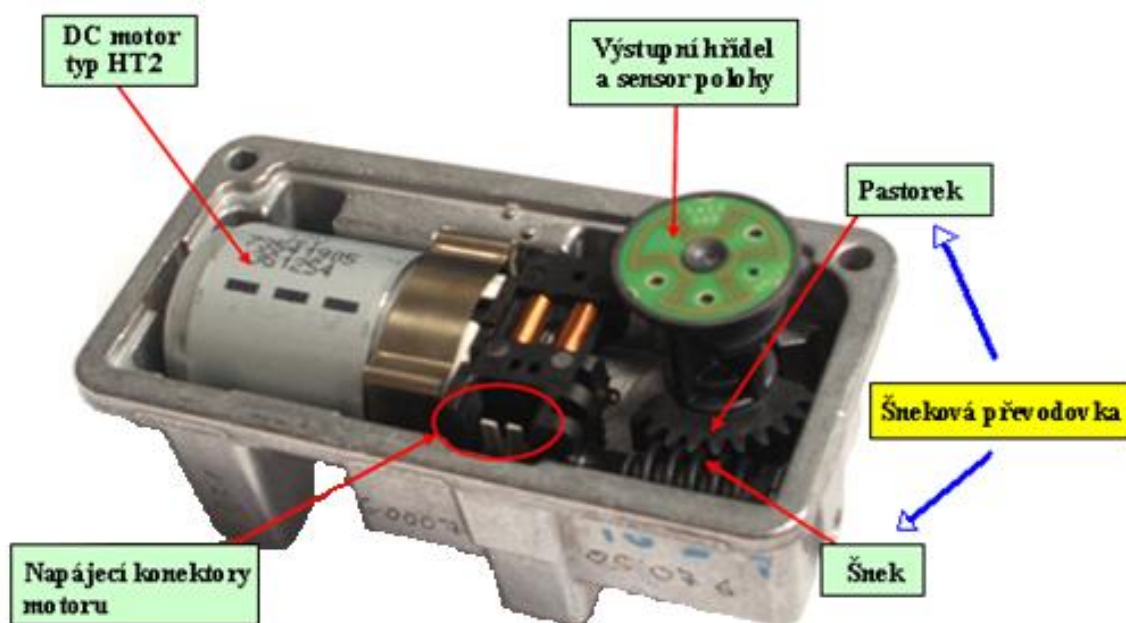
REA či SREA systémy umožnily opět vysoký nárůst přesnosti a efektivity regulace turbodmychadel. Tyto mechanické systémy s poměrně rozsáhlou regulační elektronikou daly nový rozměr pro vývoj zpracování signálu jak příchozího, tedy přímo regulačního, tak i odezvy na dané nastavení. Systém umožňuje přesnou korekci cyklicky pro danou regulaci. REA systémy obecně byly aplikovány na různé typy turbodmychadel, od běžných pro spalovací motory automobilů, tak pro speciální systémy přepřínování určených pro nákladní automobily či těžební stroje. Významnou roli tento systém našel v motorsportu. REA mechanika je založena na stejnosměrném krokovém motoru tzv. DC (Direct current) motoru, zaměřeném na přímou a přesnou aretaci polohy. DC motor byl užit z důvodu malých zástavbových rozměrů, poměru sil vyvozených na ovládací mechanismus, nízké provozní náklady a také na základě praktických zkušeností v automobilovém průmyslu. Prvním designem užitým v REA systému byla kombinace DC motoru s nástrčným šroubem a potenciometrickým snímačem. Druhou vývojovou generací byla REA vybavená větším DC (DC motorem, vratnou pružinou (pro ustavení nulové polohy), rotačním výstupem pro ovládací mechanismus a standardním potenciometrickým snímačem. Zde vývoj samozřejmě nekončí, dnes se pracuje na mnohem sofistikovanějších zařízeních, která by zlepšila rychlost a přesnost regulace ale taktéž snížila výrobní náklady samotného systému. [7]



Obr. 25 REA/SREA regulační systémy [7]



Výhodou REA systémů je především DC motor s vlastní blokáží vyvozenou maximálním točivým momentem motoru, tak šroubové převodovky, integrace inteligentní programovatelné elektroniky přímo do těla zařízení, zabudovanou PID (Proportional - Integral - derivative) logikou pro CAN (Controller Area Network) nebo PWM (Pulse - Width - Modulation) signalizaci polohy, vlastním diagnostickým appletem s výpisem chybových kódů, reakcí změny polohy během 200ms a kvalifikační normou pro vibrační zkoušky ISO 16750. [7]

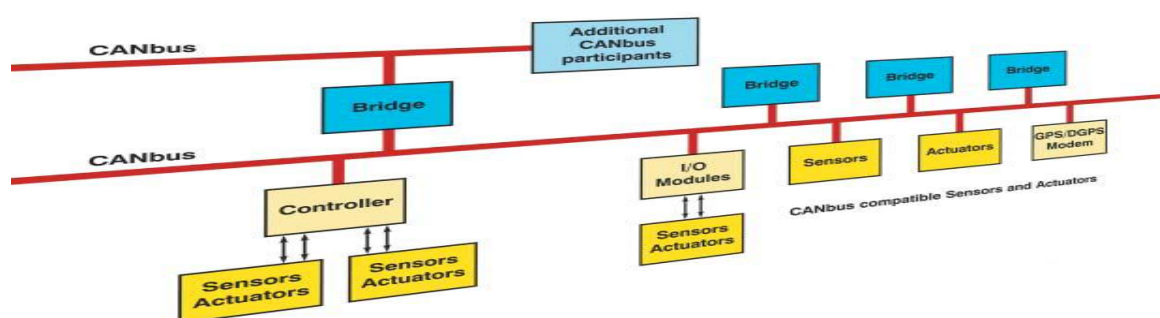


Obr. 26 Vnitřní uspořádání REA zařízení [7]



3 OVLÁDACÍ SIGNÁLY PRO REA / SREA ZAŘÍZENÍ

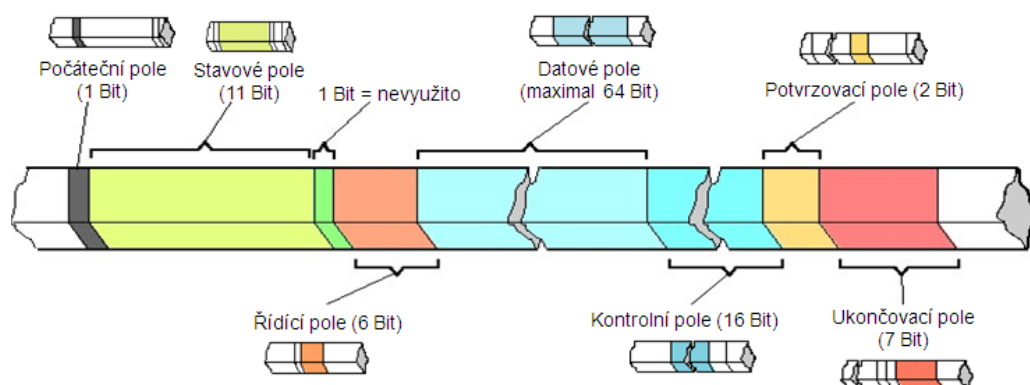
Významným inovativním algoritmem pro řídicí a řízené systémy je sériová datová sběrnice CAN. Datová sběrnice CAN byla vyvinuta před 25 lety firmou Robert Bosch GmbH a představena v únoru 1986 na kongresu Společnosti automobilových inženýrů SAE (Society of Automotive Engineers) v Detroitu jako symetrický nebo asymetrický dvou vodičový obvod, který může být odstíněný či neodstíněný. Podmětem pro vývoj určitého typu datového přenosu, který by dokázal bezchybně přenášet co nejvíce informačních parametrů či datových bloků rozdílné hodnoty, byl rapidní rozvoj elektrotechnických a elektronických systémů a potřeba tyto jednotlivé prvky mezi sebou řídit a kontrolovat. Multiplexní sběrnice CAN byla



Obr. 27 CAN-BUS datový okruh [7]

prvotně vyvíjena pro automobilový průmysl a nyní i po dvou desetiletích je dominantním komunikačním protokolem v tomto průmyslu. Obecné parametry fyzického přenosu jsou detailně specifikovány prvotní normou CAN protokolu ISO 11898. [18]

3.1 NORMA CAN – BOSCH PROTOKOL



Obr. 28 Datový blok [6]



Důležitým, krokem ve vývoji sběrnice CAN byla její standardizace. Stalo se tak v listopadu 1993 po složitých jednáních především s francouzskými výrobci automobilů, prosazující svoji sběrnici VAN (Vehicle Area Network). Vznikla tak již zmíněná norma ISO 11898, která definuje fyzickou a datovou vrstvu sběrnice pro rychlosti přenosu do 1 Mb/s. Zásadní změna této normy přišla v roce 1995, kdy byla specifikace rozšířena o 29bitový intendátor varianty Extended CAN. Extended CAN je jedním z hlavních datových kanálů, který je hojně využíván pro testování simulačních cyklů na REA systémech, je aplikován do známé jednotky od firmy Vector tzv. CAN Extenderu. [18]

Kromě normy ISO 11898 existují ještě například normy ISO 11992, specifikující aplikační vrstvu pro nákladní automobily a návěsové jízdní soupravy, ISO 11783, specifikující totéž pro lesní a zemědělské stroje. Ačkoliv obě normy vycházejí z amerického protokolu J1939, nejsou navzájem kompatibilní. Kromě nich jsou vytvořeny ještě mnohé další standardy a normy pro aplikační vrstvy, testy shody atd., platí však v odlišném spektru aplikací jako např.: železniční technice, robotice apod.[18]

Velkým problémem v oblasti přípravy testování je neshoda jednotlivých hardwarových a taktéž softwarových periférií pro CAN sběrnice jednotlivých výrobců. I když je sběrnice CAN dána obecným ISO normativem, zařízení jednotlivých výrobců nejsou plně kompatibilní.[18]

3.1.1 HISTORIE MULTIPLEXNÍ SBĚRNICE CAN

Následující časový žebříček zobrazuje nejdůležitější mezníky vývoje a rozšíření datové sběrnice CAN:

- 1983** - Firma Bosch zahájila projekt vývoje komunikační sítě pro motorová vozidla.
- 1986** - Vydána oficiální informace k CAN protokolu.
- 1987** - Firmy Philips Semiconductors a Intel uvedly první obvody pro CAN.
- 1991** - Firma Bosch vydala CAN specifikaci 2.0.
 - High-level protokol CAN kinkdom od firmy Kvaser.
- 1992** - Ustanoveno sdružení výrobců a uživatelů CANu CiA (CAN in Automation).
 - CiA zveřejňuje specifikaci protokolu CAL (CAN Application Layer).
 - Firma Mercedes-Benz uvádí první automobil se sběrnici CAN.
- 1994** - První mezinárodní CAN konference (ICC) organizovaná sdružením CiA.
 - Firma Allen-Bradley uvádí high-level protokol Device NET.
- 1995** - Vydán dodatek ISO 11898: Extended Frame Format.
 - Sdružení CiA publikuje specifikaci protokolu CANopen.
- 2000** - Vývoj time-triggered (časově-spouštěného) komunikačního protokolu pro CAN (TTCAN).

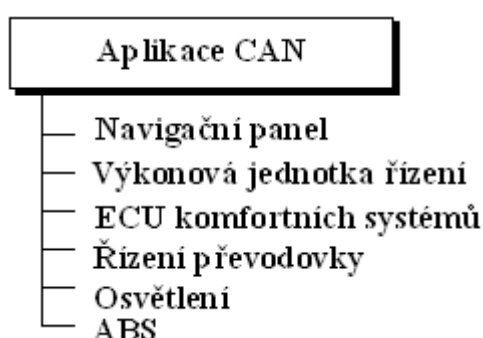
[19]

Norma ISO 11898 specifikuje jen dvě nejnižší vrstvy modelu ISO/OSI. Jak již bylo zmíněno světovým problémem je kompatibilita jednotlivých systémových členů CAN okruhů a to jak na bázi automobilového průmyslu, tak i CAN sběrnice aplikované např.: v medicínských přístrojích nebo testovací technice. V roce 1992 proto Holger Zeltwanger, v té době šéfredaktor časopisu VMEbus, založil skupinu, které dal za úkol být neutrálním sdružením starajícím se o další technický a marketingový rozvoj CAN sběrnice. Tato skupina se jmenuje CAN in Automation (CiA). Již po několika týdnech působení vydala první



dokument, který se týkal fyzické vrstvy sběrnice, doporučila tedy striktně dodržovat prvotní normu ISO 11898. Toto byl významný krok, kdy postupně začali z trhu mizet výrobci CAN technologií založených na úrovni RS – 485. Druhým krokem bylo zavedení standardizace pro aplikační vrstvu tzv. CAN Application Layer (CAL). Dalším krokem bylo zavedení nového projektu firmou Bosch, tzv. CANopen, který se snažil odbourat problémy jednotlivých výrobců splňovat zaváděný standard CAL. Tento projekt mimo jiné zahrnuje i standardizaci různých typů komunikačních rozhraní. V současné době existují dvě standardizované definice dle EN 50325, tzv. DeviceNET a CANopen. DeviceNET je optimalizován pro průmyslovou automatizaci a CANopen je odvíjen pro oblast řídicích strojů a zařízení, mimo jiné i řízení REA systémů pro turbodmychadla a jejich testovací procesy. [18]

3.1.2 APLIKACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU



Obr. 29 Aplikace CAN v automobilovém průmyslu [6]

Začátkem devadesátých let došlo k invazi CAN sběrnice do automobilového průmyslu. Průkopníkem sběrnice CAN byl a stále je Mercedes – Benz, který tuto sběrnici používal pro vozy vyšší třídy. V současnosti je tato sběrnice implementována do celkové produkce a v oblasti luxusních automobilů přechází na inovativní systém optické multiplexní sběrnice CAN-BUS. Mercedes – Benz následovaly další automobilky jako například Volvo, Saab, BMW, Renault, Fiat a Volkswagen.

Právě Volkswagen je druhým velkým gigantem ve smyslu zavádění sběrnice CAN. Ve své praxi jsem se setkal s ucelenou diagnostickou platformou a měl jsem možnost sledovat rozmach této technologie jak z pozice diagnostiky motor - managementu, tak i komfortních systémů. V automobilce Škoda Auto byl CAN potažmo CAN – BUS zaveden do vozidel počínaje první generací Škody Octavie, Škody Fabie a modelu Superb. V těchto verzích byl nastaven do tří segmentů:

- 1) Sběrnice motoru a podvozku
- 2) Sběrnice platformy infotainment
- 3) Sběrnice komfortních systémů

V modelu Škoda Octavia II. byl tento systém inovován po všech směrech. Následující tabulka uvádí užité segmenty v elektronice tohoto vozidla a přiřazení jednotlivých přenosových rychlostí.

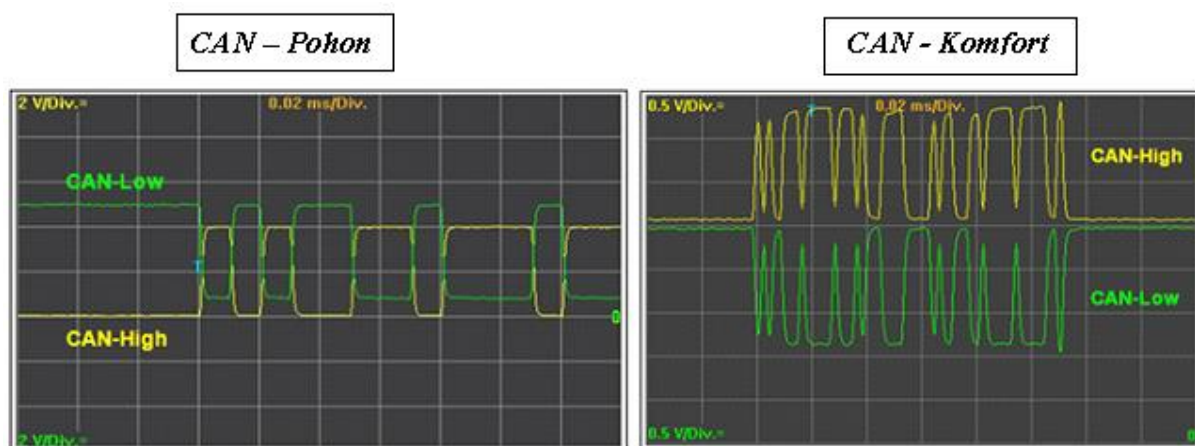


Použité CAN systémy ve vozidlech Škoda

CAN-Pohon	500 kBit/s
CAN-Komfort	100 kBit/s (62,5 kBit/s)
CAN-Infotainment	100 kBit/s
CAN-Panel přístrojů	500 kBit/s
CAN-Diagnostika	500 kBit/s

Obr. 30 CAN systémy pro Škoda Octavia II [6]

Příkladem uvádím grafický výstup CAN - BUS signálu měřený osciloskopem na dvou různých segmentech elektroniky vozidla Škoda Octavia II.



Obr. 31 Grafický výstup CAN signálu [6]

3.1.3 VÝHODY CAN SBĚRNICE

Hlavní výhody datové sběrnice CAN jsou patrné již z výše uvedeného vývojového trendu. Pro přehlednost uvádím nejvýznamnější cílové body, které jsou i nadále zdokonalovány.

- ✚ Velmi rychlý přenos dat mezi řídicími jednotkami
- ✚ Úspora místa díky menším rozměrům řídicích jednotek
- ✚ Menší rozměry svorkovnic elektronického obvodu
- ✚ Snížení počtu poruch v důsledku soustavné kontroly přenášených dat řídicími jednotkami
- ✚ Pro další rozšíření přenosového protokolu stačí upravit řídicí software
- ✚ Celosvětová normalizace CAN sběrnice dovoluje výměnu informací mezi různými typy ECU (v obecném měřítku)



- ✚ Externí diagnostika z jednoho kontrolního místa
- ✚ Výstupní analýza zpětné vazby na daný podmět
- ✚ Snížená problematika s odstíněním vůči ostatním sběrnicím
- ✚ Redukce mechanických komponent elektroniky
- ✚ Testování více akčních členů v jednom a reálném čase
- ✚ Paměť poruch a jejich programovatelná automatická korekce
- ✚ Vysoké zabezpečení přenášených dat například CRC kódem (Cyclic Redundancy Check) [6]
- ✚ Reprodukce jednotlivých datových kroků

3.1.4 SPECIFIKACE CAN SBĚRNICE

V tomto textu následuje výpis specifikace datové sběrnice CAN dle protokolu Bosch. Jednotlivé body zobrazují limitní a běžné přenosové schopnosti a možnosti multiplexní sběrnice CAN jak na bázi teoretické, tak i v praxi.

- ✚ Rychlost přenosu CAN dat až 8 bytů v datovém cyklu
- ✚ Maximální rychlost 1 Mbaud / s
- ✚ Schopnost přenosu na 40 metrů je 1 Mbaud/s
- ✚ Schopnost přenosu na 6 km maximálně 10 kbaud /s
- ✚ Teoretický maximální počet uzlů na sběrnici je 2032
- ✚ V praxi se počet uzlů pohybuje kolem 100 z důvodu možností transceiveru
- ✚ Většina CAN – BUS sběrnic disponuje v datovém režimu 3 až 10 uzly
- ✚ Datové pole je založeno na 11 bitové nebo 29 bitové hladině
- ✚ Každá datová zpráva disponuje na jednotlivé hladině danou prioritou

[7]

3.1.5 TYPY CAN SBĚRNICE

- ✚ Vysokorychlostní CAN
 - Rychlost přenosu nad 1 Mbit/s
- ✚ Nízkorychlostní CAN
 - Rychlost přenosu nad 125 kbaud/s
 - Relativní odolnost proti chybným datovým krokům
- ✚ Jedno vodičova sběrnice
 - Rychlost přenosu až 83,3 kbaud/s
 - Vysoko – napěťový impuls k probuzení periférií v úsporném režimu

[7]

3.1.6 DATA V PROTOKOLU CAN

National Instrument CAN Interface Devices nabízí čtyři typy rozhraní pro CAN datování. Pro ovládací signály potřebné pro regulaci REA zařízení určených pro testování turbodmychadel, simulace termodynamických cyklů či zátěžových testů REA zařízení plně dostačuje. Obdobné rozhraní využívá i CANExtender od firmy VECTOR. Rozhraní je volitelně děleno na jeden nebo dva porty, a to pro vysokorychlostní CAN, nízkorychlostní CAN, softwarově modifikovaný CAN (jedná se v podstatě o virtuální jednotku, která

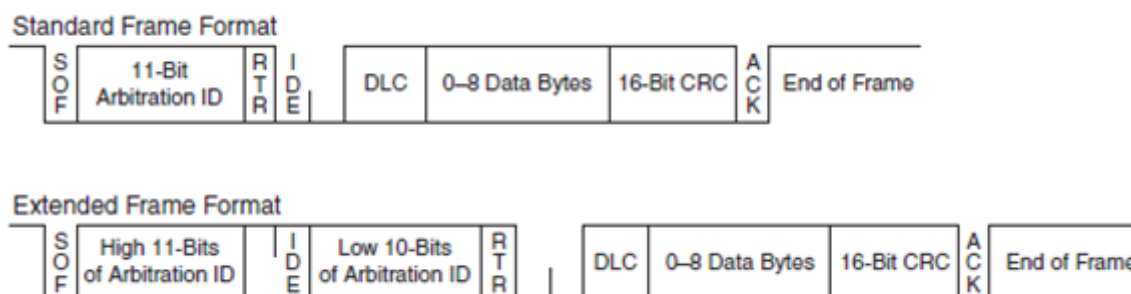


umožňuje přepínat mezi nízkorychlostním, vysokorychlostním či jednovodičovým CANem), a jednovodičový CAN.

Přístroje (jejich komunikační jednotky) mohou odesílat data přes síť CAN v tzv. balíčcích (frames). Typický CAN snímek obsahuje rozhodující prioritní ID (identification date). Toto ID je děleno do čtyř skupin:

- ✚ Datové pole
- ✚ Vzdálený datový rámeček
- ✚ Chybový rámeček
- ✚ Přetížený rámeček

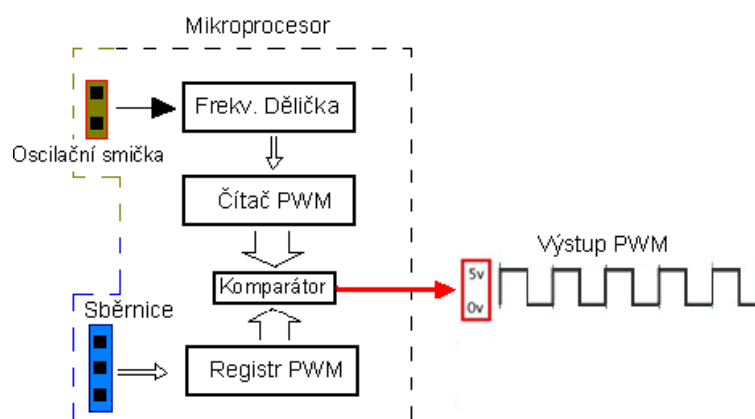
Následující obrázek ukazuje strukturu datového protokolu. Jednotlivé výrazy nebudou překládány, jedná se o standardní specifikaci.



Obr. 32 Struktura datového protokolu [7]

3.2 PWM SIGNÁLY

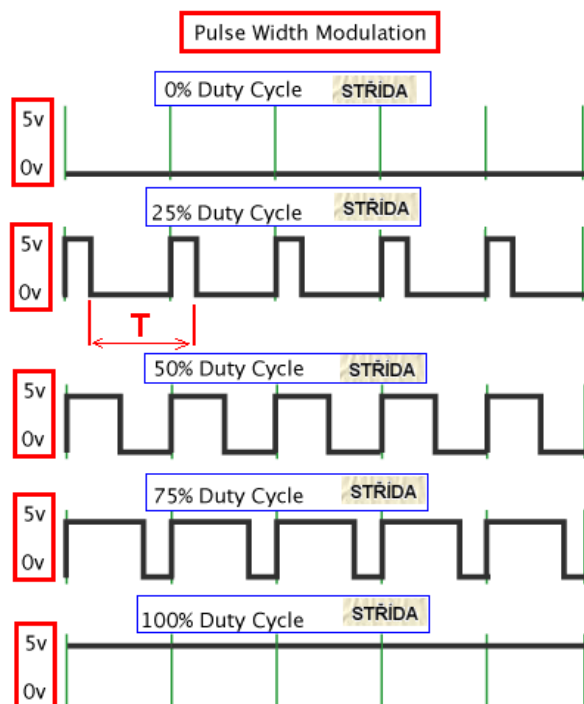
PWM signál (Pulse Width Modulation) tedy pulzně šířková modulace je způsob kódování dat, která se přenášejí z vysílacího zařízení k přijímacímu zařízení zvolenou přenosovou cestou. Pro přenosovou cestu mohou být spojení vedená kabeláží nebo bezdrátovým spojením na základě IR (Infra Radiation) vysílače a přijímače. Tato komunikační platforma je zavedena do mnoha systémů v osobních automobilech, představuje také jednu ze stěžejních komunikačních možností při testování spalovacích motorů a také hraje výraznou roli v regulaci REA zařízení, kde oproti CAN regulaci převažuje. [22]



Obr. 33 Blokové schéma generátoru PWM signálu [22]

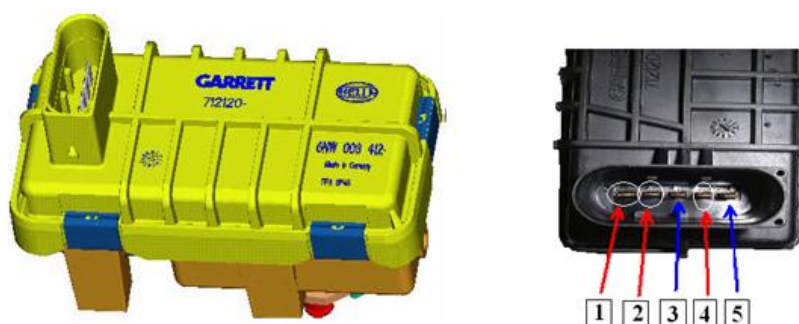


PWM signál je signál s konstantní periodou T , kde se mění šířka střídy. Střída je jinými slovy poměr délky impulsu k délce mezery uvažované v jedné periodě. Střída se uvádí někdy jako poměr např.: 1:1, 2:1, 1:5, kdy je nutné uvést, které číslo představuje impuls a které mezeru. Ve větší míře se však střída vyjadřuje procentuálně (100%, 50%, 0,1%). Sto procent představuje ideální poměr 1:0, 50% poměr 1:1 atd. Poměr délky impulsu ku délce mezery se obecně nazývá Duty Cycle. [22]



Obr. 34 Zobrazení parametrů PWM signálu [21]

Typické REA zařízení ovládané PWM signálem dodává výrobce HELLA. Toto REA zařízení disponuje 5 - ti pólovým konektorem, Pin na pozici jedna (1) je napájecí 12V, Pin na pozici (2) je zem (ground) a pin na pozici (4) je pro PWM signál. Pin (3) a (5) je pro řízení regulace pomocí CAN signálu (CAN High a CAN Low). Délka střídy 10% odpovídá plně zavřené pozici, 90% plně otevřené pozici na cyklice REA zařízení. Délka střídy 100% znamená jistou devastaci řídicí elektroniky REA. Rozsah napětí je 9 – 16 V při frekvenci pro REA 140 až 300 Hz a pro SREA zařízení 1000 Hz. [7]



Obr. 35 REA zařízení, datový konektor [7]

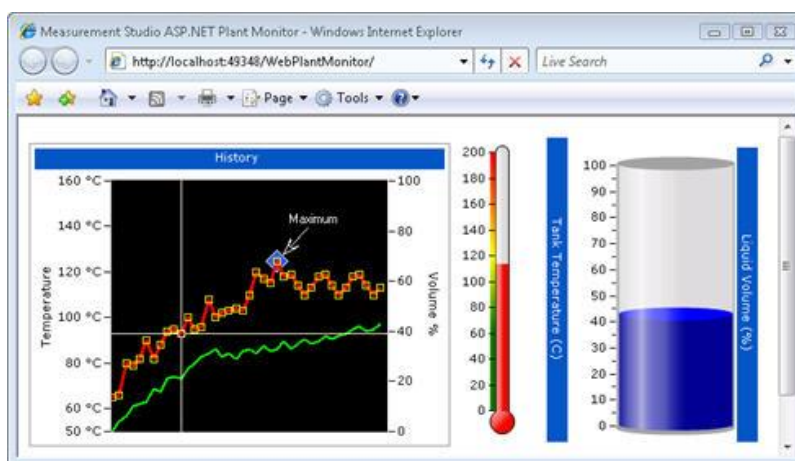


4 ŘÍDÍCÍ SOFTWARE PRO REGULACI POZICE REA / SREA ZAŘÍZENÍ

4.1 NATIONAL INSTRUMENT – MEASUREMENT & AUTOMATIZATION



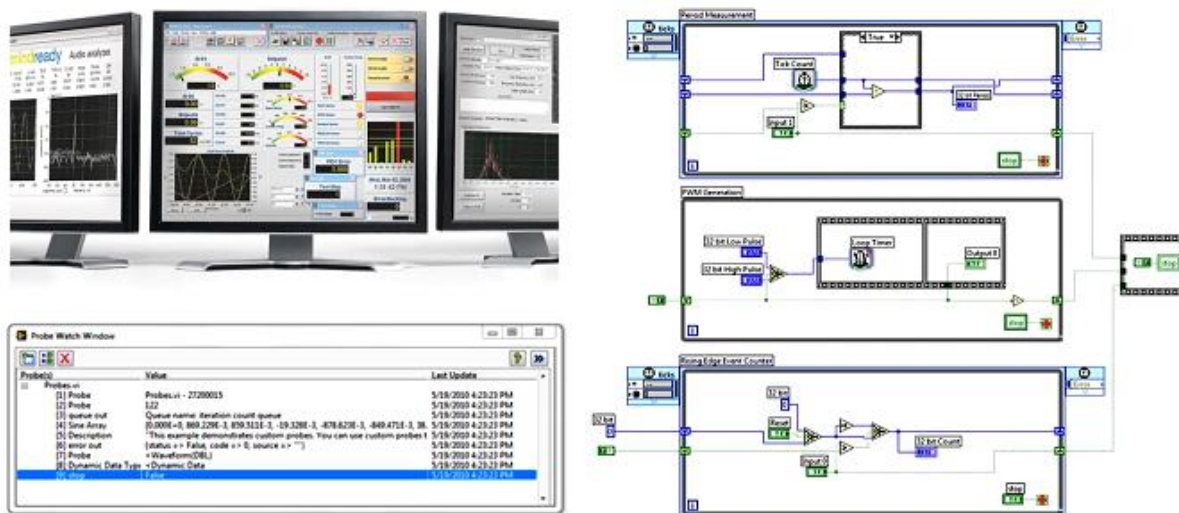
National Instrument (NI) je nejrozšířenější systémová platforma, která umožňuje v oblasti testování a vývoje, vytvářet požadované programové prostředí. Hardwarové řešení je postaveno na myšlence stavebnicového systému, který umožňuje kombinovat různá měřicí, analytická a regulační centra, nezbytná pro vývojové a testovací laboratoře. Software je zaměřen na grafickou interpretaci daného problému, mluvíme-li o LabVIEW, případně Measurement Studio (MS). Tento produktivní nástroj obsahuje nespočet knihoven obsahujících rozličné graficko – analytické nástroje, bodové grafy, digitalizované grafy, různé virtuální ovládací panely, virtuální teploměry, spínače a další. Measurement Studio dále umožňuje webovou prezentaci a tím pádem dálkové monitorování a ovládání aplikací. LabVIEW a MS obsahují nástroje obnovy dat a formátování prostředí, které jsou velmi důležité pro automatickou obnovu systému za běhu programu, testu.



Obr. 36 Measurement Studio [25]

4.1.1 VYUŽITÍ NÁSTROJE LAB VIEW

LabVIEW je inženýrská aplikace kombinující flexibilitu programovacího jazyka s výkonným moderním inženýrským nástrojem. Aplikace dovoluje obsluhovat měřicí a řídicí hardware, analyzovat data, vytvářet programové celky na základě grafického programování. LabVIEW je jedním ze stěžejních programových vybavení nezbytných pro testování turbodmychadel, je pilotním řešením v řízení a regulaci REA zařízení, sběru dat a grafické interpretace měřených či regulovaných veličin. Od roku 1986 je z hlediska testování a měření v inženýrských a vědeckých centrech lídrem na trhu. [26]



Obr. 37 LabView [23], [24]

4.2 VECTOR INFORMATIK GMBH



4.2.1 HARDWAROVÝ NÁSTROJ – CAN – EXTENDER

Toto zařízení nespadá do portfolia hardwaru National Instrument, výrobcem je firma VECTOR Informatik GmbH. Jedná se o programovatelné vstupně / výstupní zařízení, které lze používat tam, kde má být analogový a digitální signál předáván prostřednictvím sběrnice CAN. Pro tento účel CANExtender čte signály v digitální a analogové formě a vyhodnocuje je podle konfiguračního programu vytvořeného uživatelem. Konfigurační program tedy určuje, jakým způsobem a jak často mají být měřené hodnoty přenášeny na CAN sběrnici. [2]



Obr. 38 CAN - Extender – AA [2]

Pomocí konfiguračního softwaru může být CANExtender nakonfigurován a ovládán pomocí rozhraní RS – 232 (Sériové rozhraní pro komunikaci s PC). Software umožňuje konfigurovat různé systémové objekty, proměnné, tzv. timeouty, poznámkové bloky, časovače, integrální časy. CANExtender může pracovat ve dvou různých režimech. Za prvé je to provozní režim určený pro správu daného programu založeného na komunikaci přes



sběrnici RS – 232 s počítačem (PC), a za druhé výkonovým režimem který odpovídá samostatnému řízení a komunikaci s daným zařízením, např.: REA či SREA zařízením, pro sběrnici CAN. [2]

Následující tabulka zobrazuje konektivitu výstupů a vstupů jednotlivých typů CANExtenderů, tedy typu AA a AT, přičemž v našem případě pro ovládání REA zařízení využíváme typu AA.

Tab. 2 Konektivita CAN – Extenderu [1]

CANextender Options

CANextender Option	AA-H	AA-L	AT-H	AT-L
Analog inputs	8	8	8	8
Analog outputs	4	4	-	-
Digital inputs	8	8	8	8
Digital outputs	8	8	8	8
LEDs	8	8	8	8
CAN high-speed 82C251	1	-	1	-
CAN low-speed TJA1054	-	1	-	1
Thermo inputs	-	-	2	2

V příloze 1 je textový blok, *PROGRAM PRO CAN-EXTENDER*, zobrazující výňatek podstatné části konfiguračního programu pro REA/SREA zařízení výrobců MELCO, HELLA a JIDECO. Optimalizace programu pro každého z těchto výrobců je založena na změně šířky datové zprávy v bitech.

4.2.2 HARDWAROVÝ NÁSTROJ – CAN CASE XL

Jedná se o implementor datového rozhraní, obsahující dva nezávislé CAN kanály. Identifikátor je schopný přenášet datové zprávy v 11bitové či 29 bitové formě. Transceiver rozlišuje protokoly pro CAN, LIN, a J1708piggies. Komunikace s PC je založena na datové lince USB 2.0 plně kompatibilní s USB 1.1. CAN case XL je vybaven auto-dagnostikou pro detekci, generování a opravu CAN rámců. Přesnost přenosu je garantována časovým razítkem odpovídajícím 1ms s průměrnou odezvou na signál rovné 300 ms. [27]



a)



b)

Obr. 39 a) CAN case XL [27] b) předřazený odpor [7]

4.2.3 SOFTWAREVÝ NÁSTROJ – CANALYZER / PRO

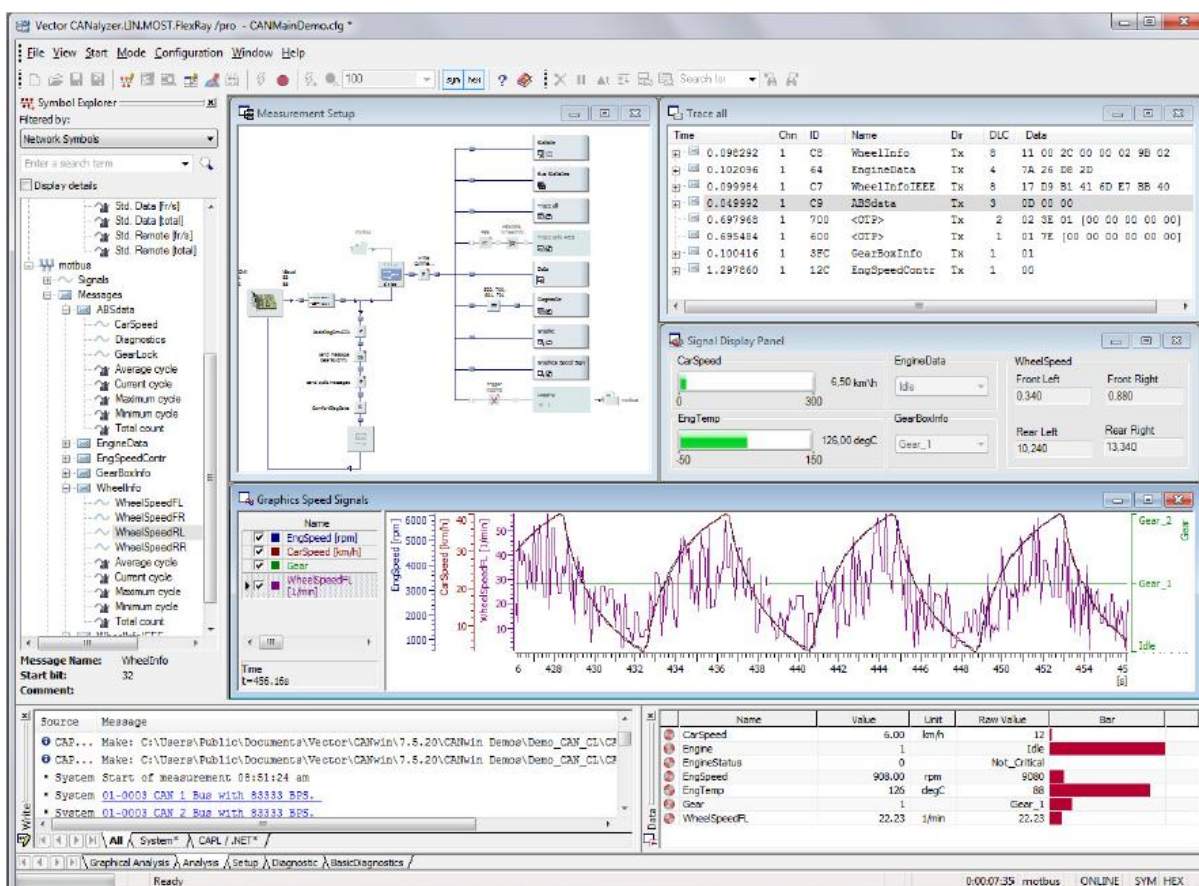
CANalyzer je univerzální analytický nástroj pro ECU (Engine Control Unit) pro různé řídicí systémy. Umožňuje snadno pozorovat, analyzovat a konfigurovat datový provoz pro CAN sběrnice. Software nabízí intuitivní ovládání z grafického blokového schématu, které dokáže znázorňovat tok datovým vedením (BUS) přes PC rozhraní. Uživatel smí dále upravovat nejenom grafický výstup ale i různé filtry signálu, generátor, opakování jednotlivých bloků, nahrávání signálu. CANalyzer přímo komunikuje s CANcaseXL hardwarem a umožňuje správu jeho funkcí. [29]

Softwar umožňuje kombinovat komunikační platformu pro tyto datové protokoly: CAN, LIN, MOST, FlexRay, IP, Ethernet, CANopen, J1939, NMEA 2000, J1587, CANaero a SCOPE. [29]

Mezi hlavní funkce CANalyzeru patří:

- ✚ Sledování provozu datové sběrnice
- ✚ Grafické a textové zobrazení hodnoty signálu
- ✚ Interaktivní posílání předdefinovaných zpráv
- ✚ Zasílání hlavní datové zprávy
- ✚ Statistické pozorování datových zpráv
- ✚ Statistické údaje o chybových a obnovených datových zprávách
- ✚ Ukládání datových zpráv pro opětovné přehrávání a offline vyhodnocení
- ✚ Generátor poruch v datovém vedení BUS

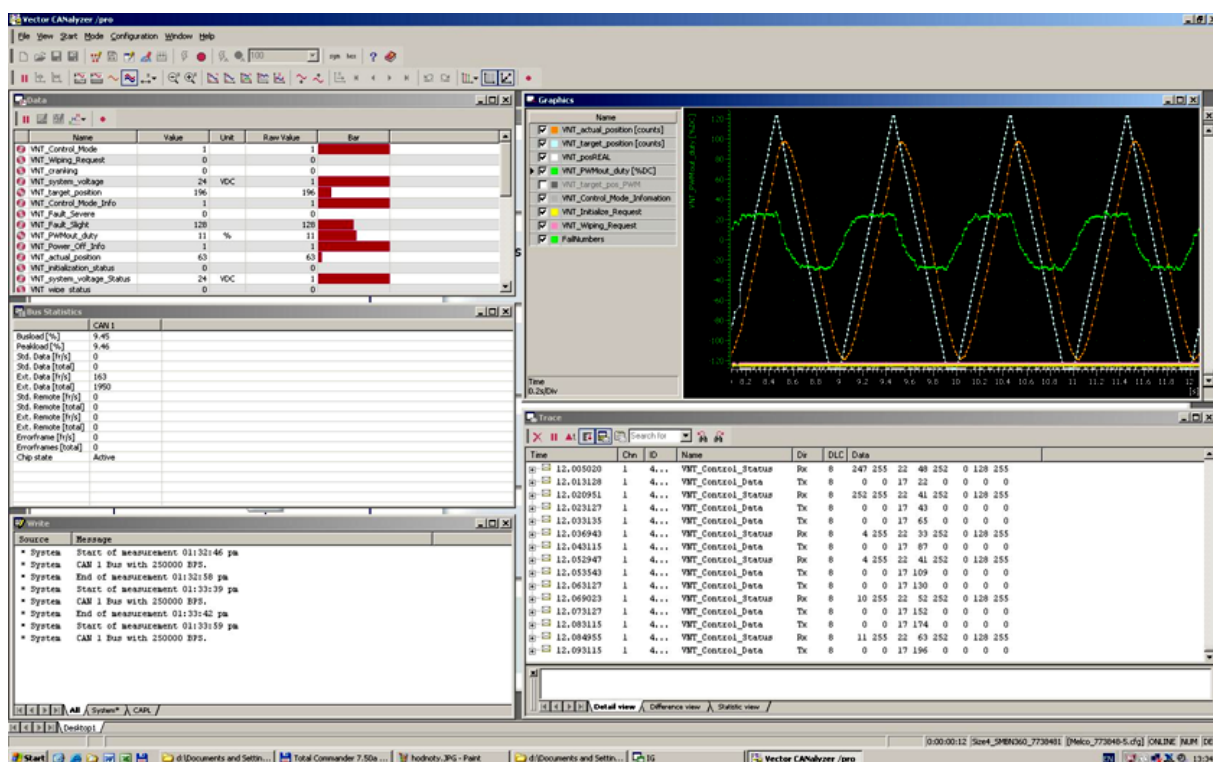
[29]



Obr. 40 CANalyzer [28]

4.2.4 GRAFICKÝ VÝSTUP CANALYZERU PŘI ŘÍZENÍ REGULAČNÍHO MECHANISMU REA

V následujících bodech bakalářské práce bude vyobrazeno zapojení regulační soustavy pro řízení regulace REA mechanismu. V synchronizaci s předchozím bodem (4.2.3.) v této části uvádím několik snímků pracovního prostoru obrazovek grafického výstupu z CANalyzeru zhotovených mým osobním měřením v laboratoři firmy HTT.



Obr. 41 Pohled na klasické rozvržení obrazovky CANalyzeru

Hlavní okno CANalyzeru se skládá z pěti pod-obrazovek a ovládací lišty v záhlaví programu.

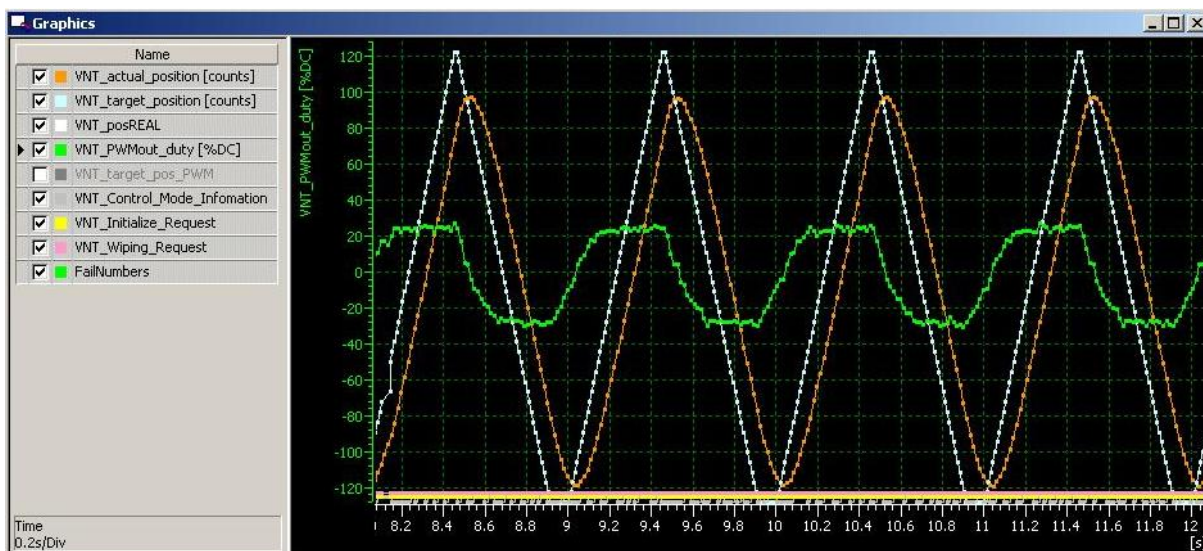
Name	Value	Unit	Raw Value	Bar
VNT_Control_Mode	1		1	[Red Bar]
VNT_Wiping_Request	0		0	[Red Bar]
VNT_cranking	0		0	[Red Bar]
VNT_system_voltage	24	VDC	1	[Red Bar]
VNT_target_position	196		196	[Red Bar]
VNT_Control_Mode_Info	1		1	[Red Bar]
VNT_Fault_Severe	0		0	[Red Bar]
VNT_Fault_Slight	128		128	[Red Bar]
VNT_PWMout_duty	11	%	11	[Red Bar]
VNT_Power_Off_Info	1		1	[Red Bar]
VNT_actual_position	63		63	[Red Bar]
VNT_initialization_status	0		0	[Red Bar]
VNT_system_voltage_Status	24	VDC	1	[Red Bar]
VNT wide status	0		0	[Red Bar]

Obr. 42 Obrazovka „DATA“

V levém sloupci programu se nachází obrazovka **Data**, ta zobrazuje ať už graficky ve sloupcovém dynamickém grafu či numericky, hodnotu základních parametrů ovládacího komplexu pro REA mechanismus. Jedná se především o VNT Controle Mode (zásobník



kapacity předávané zprávy), VNT systeme voltage (vstupní napájení regulačního obvodu a REA mechanismu), VNT target position (poměrná hodnota natočení cyklicky REA z celkového pracovního rozsahu), VNT Control Mode Info (dostupná kapacita zásobníku signálů odezvy), VNT Fault Slight (míra maxima chyby přenosu), VNT PWMout duty (přenesený PWM signál), VNT actual position (aktuální pozice z celkového běhu cyklicky REA mechanismu) atd. Obrazovka **Bus Statistics** má význam statistického zpracování parametrů přenášené informace. **Write** slouží k výpisu aktuálně prováděného bloku operací.



Obr. 43 Obrazovky „GRAPHICS“

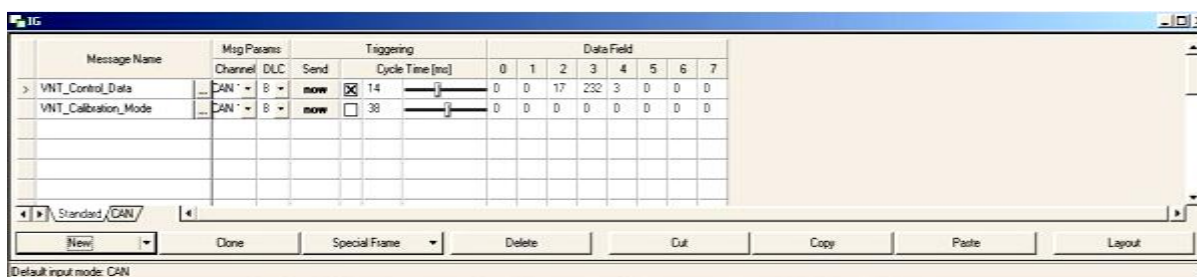
V pravém sloupci je jako první okno **Graphics**, toto okno vypisuje grafickou závislost vytíženosti PWM signálu na čase. Vytíženost je charakterizována několika charakteristikami.

Name	
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_actual_position [counts]	1
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_target_position [counts]	2
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_posREAL	3
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_PWMout_duty [%DC]	4
<input type="checkbox"/> VNT_target_pos_PWM	5
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_Control_Mode_Infomation	6
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_Initialize_Request	7
<input checked="" type="checkbox"/> VNT_Wiping_Request	8
<input checked="" type="checkbox"/> FailNumbers	9

- (1) aktuální pozice cyklicky (signálová, výpočet)
- (2) cílová pozice (nezobrazeno, výpočet)
- (3) reálná pozice cyklicky
- (4) zatížení DC motoru
- (5) cílová informace PWM signálu
- (6) zásobník informačního modulu
- (7) podmět aktuálního informačního toku
- (8) odezva již proběhlého kroku
- (9) chybové pole (odchylka), nezobrazena

Obr. 44 Legenda obrazovky „GRAPHICS“

Poslední obrazovka je **Trace**. Toto okno funguje jako dynamický strom prováděných a již provedených úkonů. Lze zobrazit ve formě statistického zpracování, aktuálního datového toku, v náhledu rozdílů (mezikroků) po sobě jdoucích úkonů.



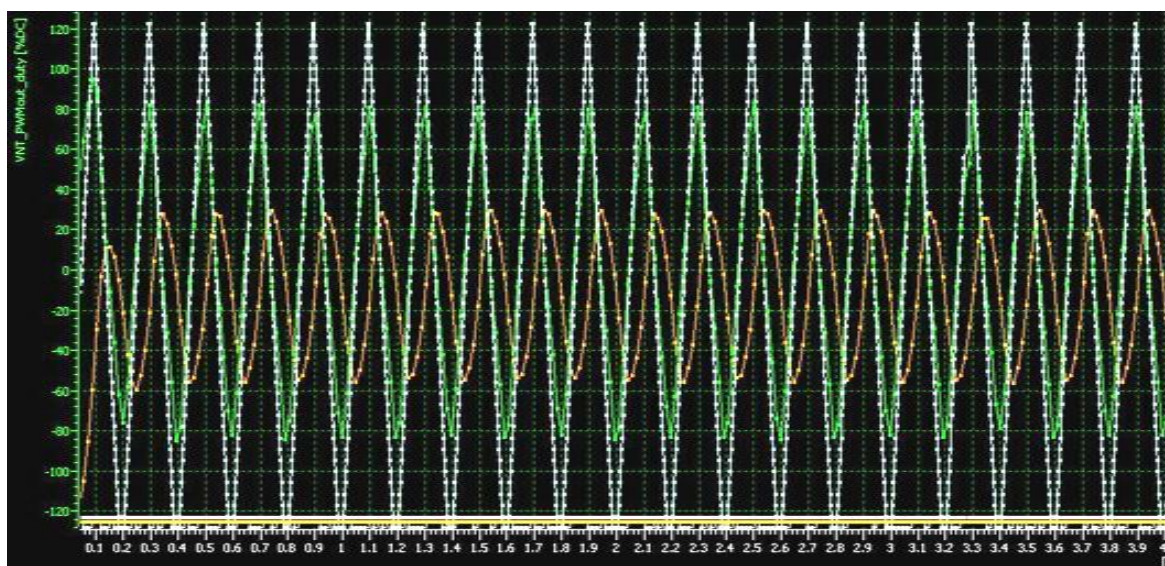
Obr. 45 Obrázovka, „IG“

Výše uvedený ovládací panel umožňuje upravovat parametry běhu cyklicky REA mechanismu. V mém případě jsem pro názornost změny rychlosti pohybu cyklicky upravoval blok hodnot: **Triggering > Cycle time**.

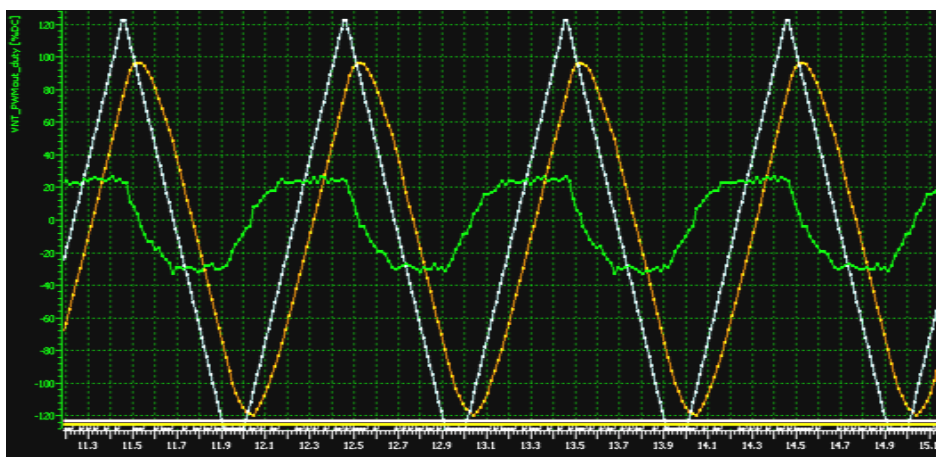


Obr. 46 Ovládání běhu cyklicky v obrazovce, „IG“

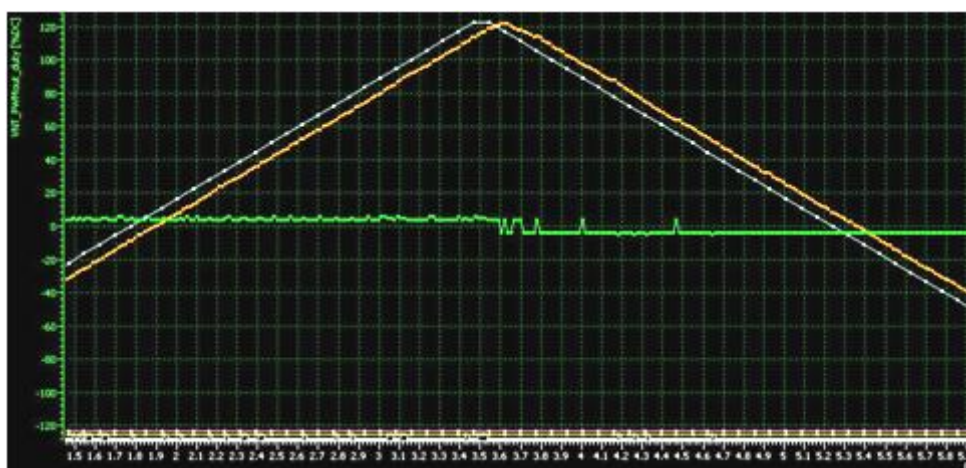
Následující diagramy zobrazují postupné snižování cyklovacího času. Počet cyklů za časový úsek je přibližnou hodnotou. Přesná hodnota, „cycle time“ není uváděna, tato informace není podstatná vzhledem k zaměření této práce.



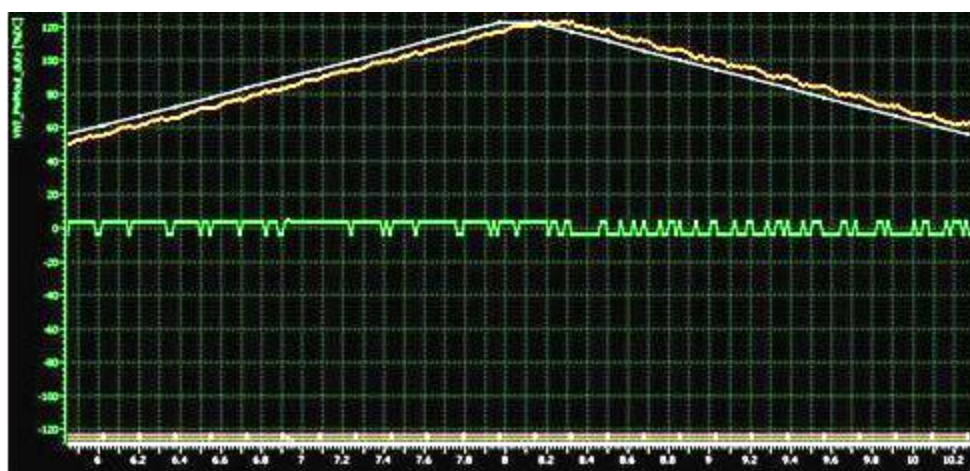
Obr. 47 Grafický výstup CANalyzeru – 20 cyklů/4s



Obr. 48 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/1s



Obr. 49 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/10s



Obr. 50 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/17s

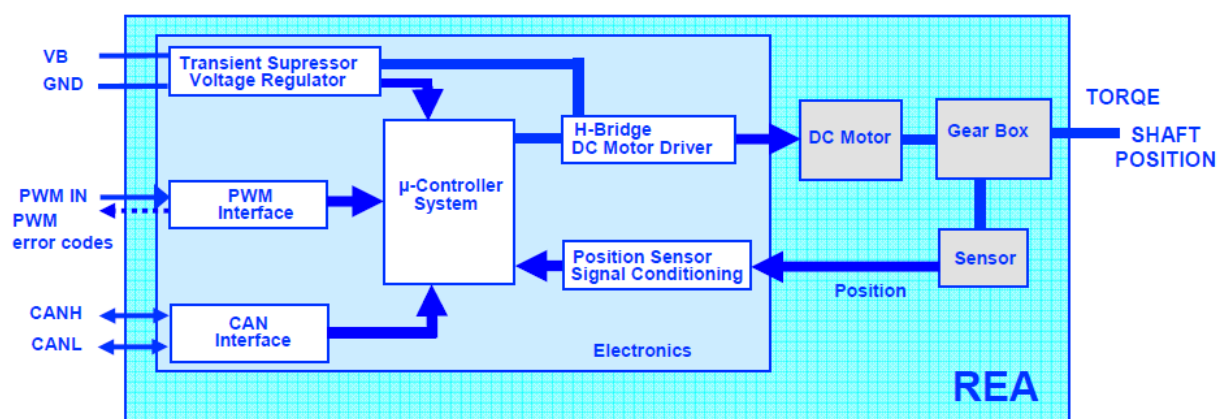


5 ZAPOJENÍ OVLÁDACÍHO OBVODU S REA / SREA ZAŘÍZENÍM PŘI TESTOVÁNÍ

V této části práce bude znázorněno zapojení nejdůležitějších prvků regulačního obvodu. Zapojení regulačního celku bude mít dvě části. V první části se bude jednat o schematický regulační komplex řízený samostatným programem nahraným ve výkonové jednotce VECTOR CAN-Extender. Druhá část znázorní reálný komplex periférií řízený softwarovým vybavením systému VECTOR CANalyzer. Výkonový stupeň CAN sběrnice bude umístěn externě mimo REA zařízení. V poslední části budou znázorněny dva různé typy REA zařízení, z nichž jedna má výkonový stupeň CAN sběrnice implementován přímo do těla. Druhé REA zařízení tento stupeň neobsahuje, a proto bylo nutno použít externího výkonového stupně pro CAN sběrnici.

5.1 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ REA ZAŘÍZENÍ

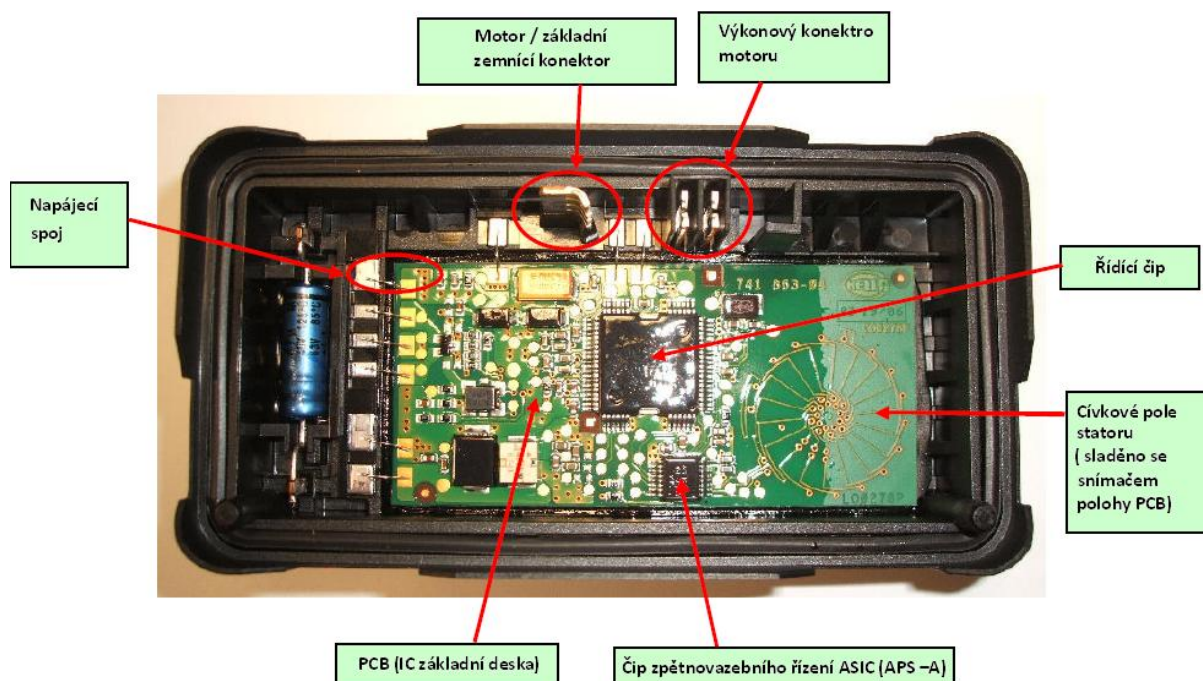
Blokové schéma nebude z důvodu zavedeného anglického popisu překládáno.



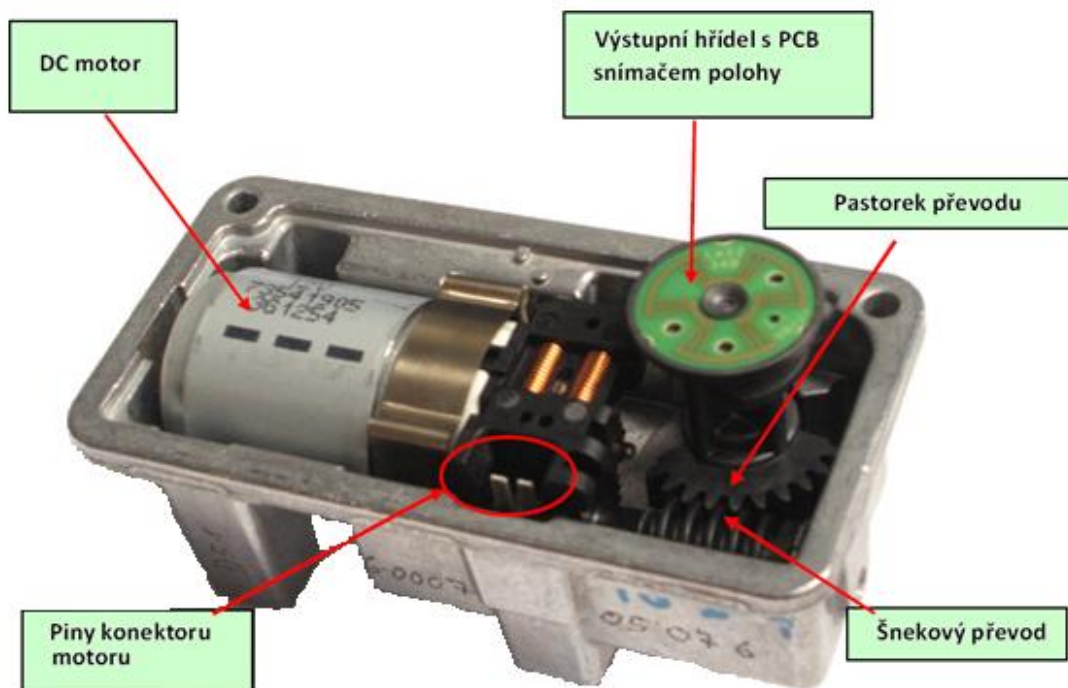
Obr. 51 REA zařízení [7]



5.2 NÁHLED NA ELEKTRONICKOU INSTALACI REA ZAŘÍZENÍ



Obr. 52 Elektronická zástavba REA zařízení [7]



Obr. 53 Mechanická část s elektronickými prvky REA zařízení [7]

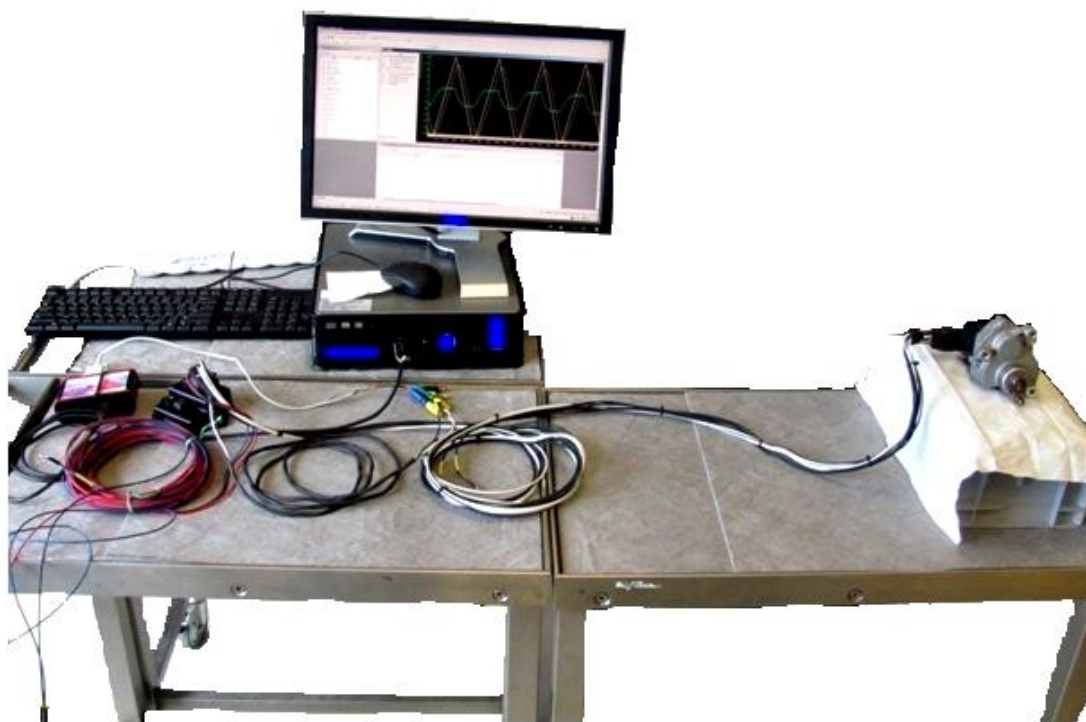


5.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ REA ZAŘÍZENÍ PŘI TESTOVÁNÍ

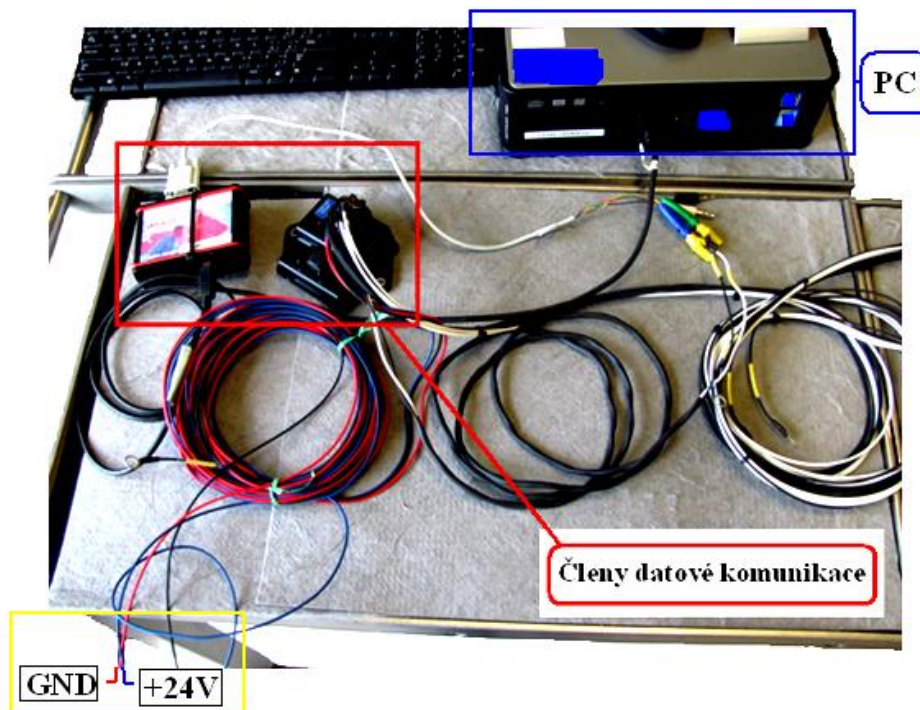
Kompletní výkres CAN EXTENDER BLACK BOX WIRING DIAGRAM pro kapitolu 5.3. Schéma zapojení REA zařízení při testování je přiložen jako samostatná příloha 2. Tohoto zapojení je využíváno při testování ve firmě Honeywell Turbo Technology. Schéma zapojení je postupně optimalizováno dle vývoje technologií, nemusí tedy zcela odpovídat dnes používanému zapojení daných periférií.

5.4 SCHÉMA REÁLNÉHO KOMPLEXU PERIFERIÍ PŘI TESTOVÁNÍ

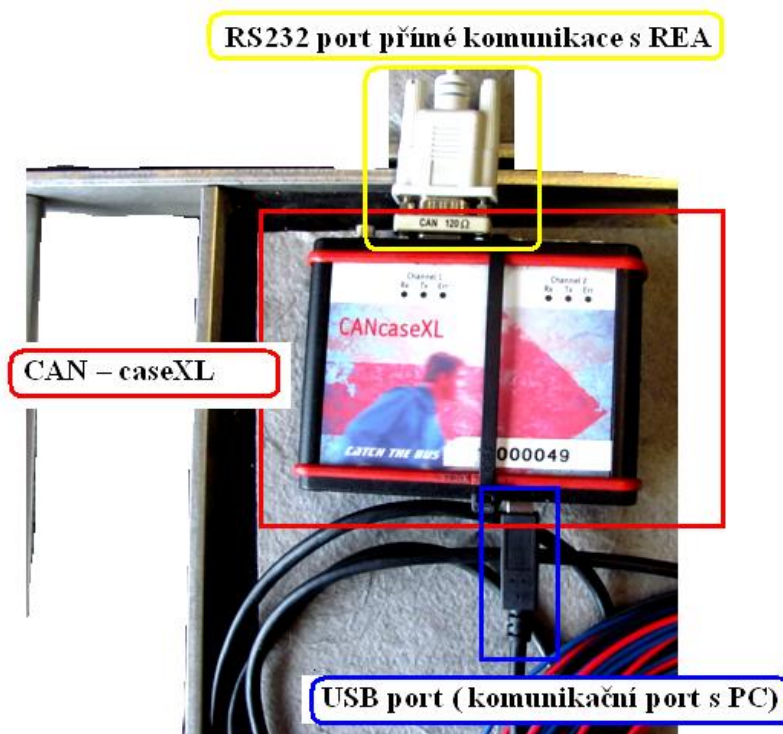
Následující blok obrázků zobrazuje zapojení reálných prvků regulačního obvodu. Akčním členem je zde již zmíněná REA bez výkonového stupně CAN sběrnice. Tento výkonový stupeň je zde zapojen jako externí periferie. Na několika obrázcích bude k vidění i pohled na LCD monitor se softwarem CANalyzer, který již byl zmíněn v bodě 4.2.4. Grafický výstup CANalyzeru v bodu 4.2.4 a pozice obrázků Obr. 47. – Obr. 50, byl měřen právě na níže znázorněném regulačním obvodu. Níže uvedené materiály včetně obrázků, byly vyhotoveny na základě mého osobního měření v laboratoři firmy HTT.



Obr. 54 Přehled reálného zapojení REA komponentů



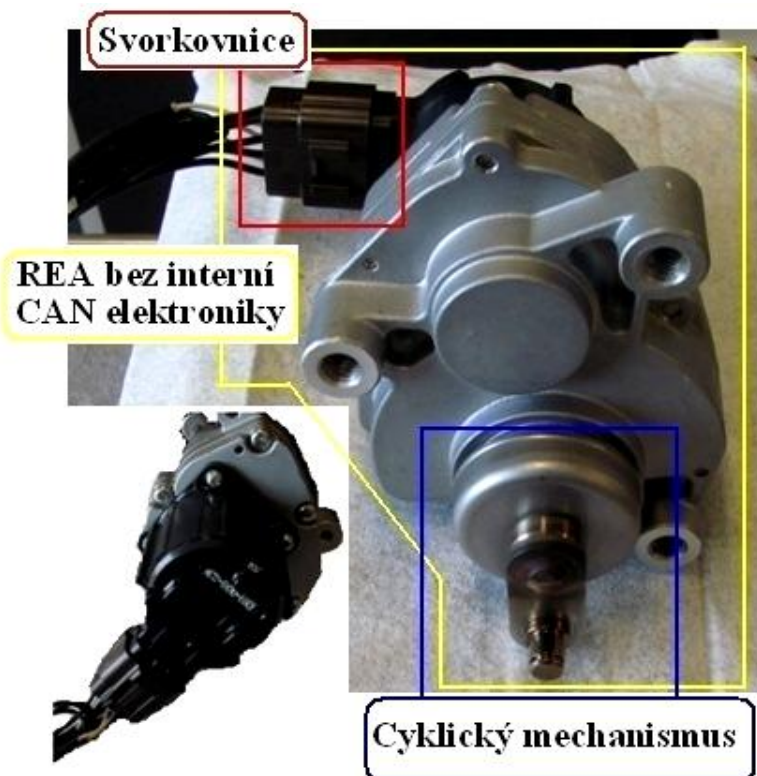
Obr. 55 Členy datové komunikace REA zařízení



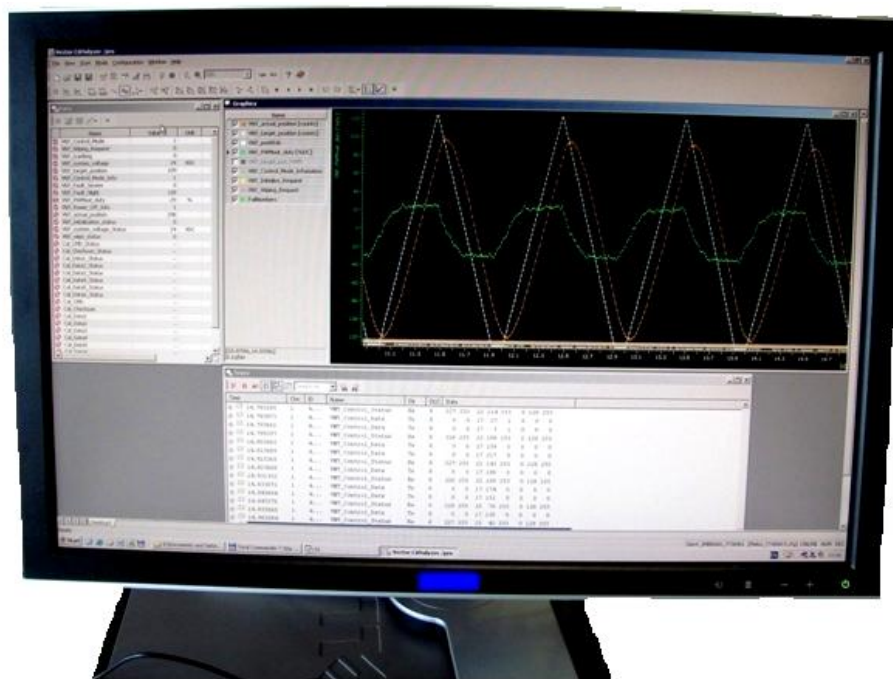
Obr. 56 CAN case XL



Obr. 57 Externí CAN elektronika pro REA zařízení



Obr. 58 REA zařízení



Obr. 59 Grafický výstup CANalyzeru

Následující obrázková příloha vizuálně porovnává dvě prakticky shodná REA zařízení. První z nich má ve svém těle implementován elektronický obvod CAN, druhé z nich je bez tohoto výstupu a je nutno použít externí elektronický CAN obvod, toto zařízení bylo použito do výše zmíněného regulačního obvodu.



Obr. 60 Vizuelní porovnání REA zařízení

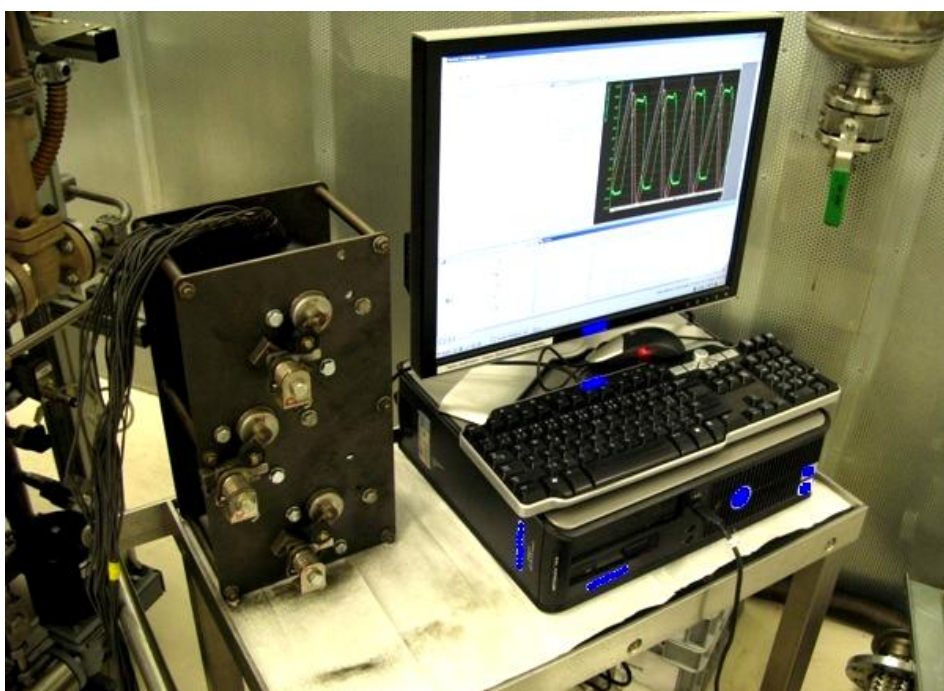


5.5 BEZPEČNOST PŘI TESTOVÁNÍ

Důležitým bodem v oblasti testování turbodmychadel a jejich součástí je bezpečnostní hledisko. Z pozice bezpečnosti je v HTT laboratoři zaveden nespočet standardů. Ve všech případech se dá říci, že jakýkoliv lidský faktor přítomný v testovací cele za běhu turbodmychadla je určitým rizikem, i když je celý systém řešen tak, aby při havarijních stavech byly škody minimalizovány. V některých případech nelze řešit určité korekce nastavení testu z řídicího centra mimo testovací celu a je nutné tato nastavení upravovat přímo na daném TC za stabilizovaného a předem definovaného běhu turbodmychadla.

Jedním z těchto případů, kdy je nutno korigovat určitá nastavení přímo za běhu TC v testovací cele, je nastavení a 100% fixace polohy vanes VNT systému. Věřím, že v budoucnu dojde k takové optimalizaci tohoto procesu, že tento úkon bude ovládán z řídicího centra přes externí počítač. Akčním členem tohoto nastavení na daném TC bude vysoce přesná REA s minimalizací vůlí na cyklice mechanismu, popřípadě dle mé vize soustava dvou REA aktuátorů vřazených do určitého kinematického řetězce. Toto konstrukční řešení by umožnilo vzájemné protisměrné předpětí a tím korekci mechanických vůlí a tedy 100% fixaci požadované polohy VNT mechanismu. Otázkou je, zda li by tento systém, který by dle mého názoru nebyl až tak velký problém realizovat, nevyžadoval extrémně složitý mechanismus, který by bylo možné využít na jakýkoliv design, velikost a modelovou zástavbu turbodmychadla.

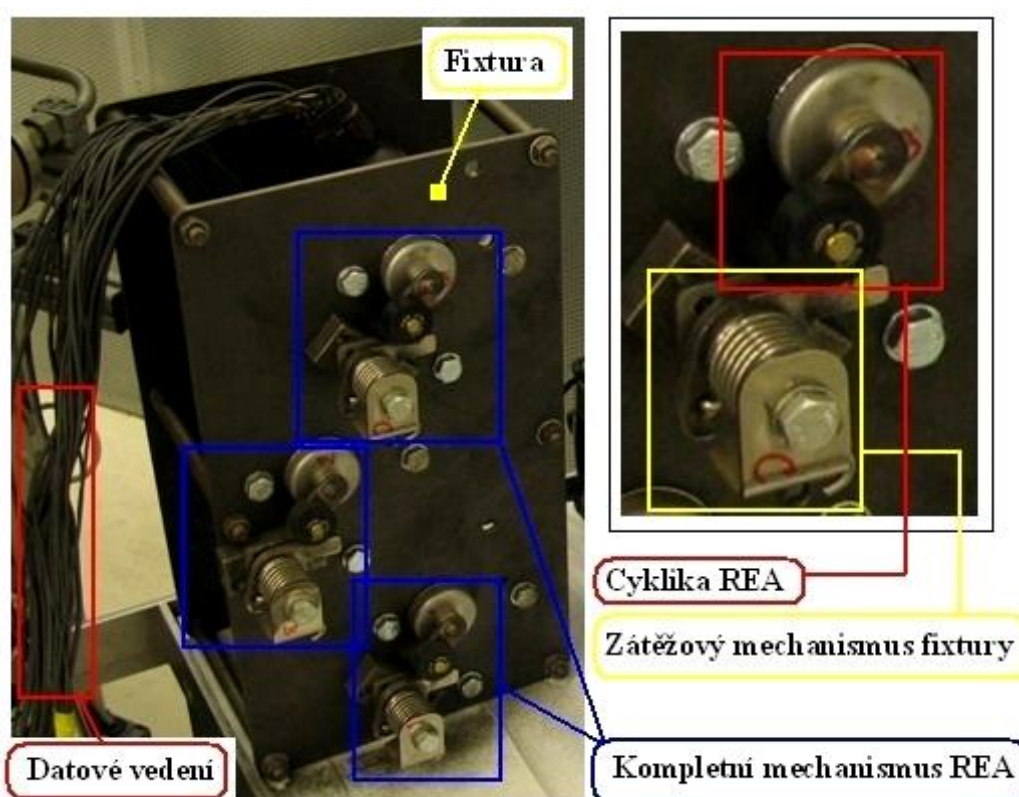
Jedná-li se o vytrvalostní test REA mechanismu umístěného přímo na turbodmychadle a to je podrobeno například cyklickému termodynamickému testu s využitím termo-šoku (nucené nárazové ochlazení turbínové skříně), je řídicí elektronika (počítač s požadovaným softwarem a programem běhu) umístěn mimo testovací celu. Kabeláž je provedena speciální odhlučněnou průchodkou do testovací cely k REA zařízení. Určitá dodatečná elektronika jako je CAN – Extender, CAN – case XL a další se většinou ponechává v testovací cele.



Obr. 61 Zátěžový test REA zařízení [7]



Dalším testem, který je možno provádět na REA zařízeních je zátěžový test kompletního hardwaru REA, nebo se požaduje sledování jen určité právě optimalizované součásti. Tyto testy dosahují i několika milionů cyklů běhu cyklicky mechanismu REA. V těchto případech je testovaný komplex umístěn i s řídicím PC do testovací cely. Následující obrázek právě zobrazuje jeden z testů zatížení REA mechanismu a to jak samotné vnější cyklicky tak i vnitřního převodu a samotného DC motoru. Základová deska (Fixtura) obsahuje tři pod sebou umístěné REA zařízení.



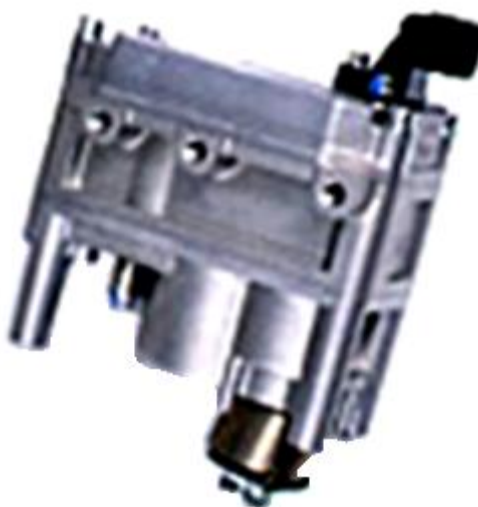
Obr. 62 Fixtura



6 VÝROBCI REA SYSTÉMŮ A AKTUÁTORŮ

Regulační systémy se neustále vyvíjí, rozšiřuje se trh dodavatelů a inteligentní elektronické pohony se aplikují do mnoha odvětví, z nichž právě jedno z nich zahrnuje turbodmychadla. Výrobci turbodmychadel dnes spolupracují s několika dodavateli REA systémů a pneumatických aktuátorů. Nejvýznamnějšími dodavateli REA systémů a pneumatických aktuátorů jsou:

-  Garrett® REA
-  Honeywell Garrett® Hella
-  Melco
-  Mitsuba (Jideco)



Obr. 63 Inteligentní regulační aktuátor firmy Mitsuba [12]



ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámení čtenáře s problematikou regulace turbodmychadel. Práce byla vypracována na základě mojí spolupráce s firmou Honeywell Turbo Technology, která mi poskytuje dlouhodobou praxi v oboru vývoje a testování turbodmychadel v divizi dopravních systémů. Práce byla pojata jako komplexní nástin regulace a ovládání regulačních prvků zajišťujících požadované proudění spalin turbínovou skříní turbodmychadla. V počátku práce byly zmíněny prvotní záměry využití přeplňování počínaje vlivem turbodmychadel na účinnost spalovacích motorů a následnou ekologickou bilanci v podobě emisních standardů pro budoucí vývoj. Další body práce měly za úkol nastínit zavedené fyzické regulační prvky ať už konvenčního charakteru jako jsou Waste-gate, či Garrett VNT, tak i konkurenční řešení VNTOP.

S postupem doby bylo nutno optimalizovat regulaci turbodmychadel. Tato potřeba vyplynula v součinu s vývojem spalovacích motorů, jak dieselových, které v oblasti přeplňování dominují tak i benzínových, které v posledních letech excelují ve vývoji a aplikaci do širokého spektra osobních automobilů. Tato optimalizace byla založena na možnostech elektronických a elektrických součástí užívaných pro zcela odlišné potřeby jako je automatizace a robotika.

Mezi regulační členy, tedy akční členy regulované skupiny patří inteligentní elektronické pohony nazývané jako REA zařízení a dále pneumatické aktuátory. Tento ucelený systém zařízení umožňuje rychlou a přesnou regulaci akčních prvků turbodmychadla a tím lépe využít možností samotných turbodmychadel, ale i samozřejmě optimalizovat výkonnostní, emisní a další aspekty spalovacího motoru. Technologie pneumatických aktuátorů se v současné době zabývají vývojem levnějších materiálů, které umožňují minimalizovat samotná zařízení a tak zlepšit zástavbové podmínky do celku turbodmychadla. Inovace pneumatických aktuátorů tímto však nekončí, dalším podstatným krokem je využití snímačů polohy, které umožňují zkvalitnit tok informací během celého regulačního cyklu. REA zařízení implementovaná do celku turbodmychadla, byla nutnou potřebou k docílení určité přesnosti a spolehlivosti pro specifické typy přeplňování. REA byla z počátku regulovaná klasickým PWM signálem, kterého je hojně využito k řízení různých zařízení v osobních automobilech, s postupem času a vývojem CAN sběrnice v okruhu komfortních systémů automobilu a sekcí řízení motoru a podvozkových skupin, byla tato multiplexní sběrnice aplikována i do samotných inteligentních elektronických aktuátorů. Tento systém datového přenosu je ve většině případů kombinován s PWM signálem a tím je možno zaujmout jedním zařízením větší okruh zástavbových regulačních systémů. V dnešní době se výrobci elektronických příslušenství založených na CAN sběrnici stále snaží tuto sběrnici sjednotit a tak docílit snadné záměny zařízení.

Testování turbodmychadel je ve většině případů vykonáváno bez REA zařízení, najde se však okruh testů, kde je toto zařízení vyžadováno a například v mapování turbodmychadel s VNT systémy by bylo možno, za určitých technologicky přizpůsobených podmínek, tohoto systému využít. Samotné zátěžové testování REA systémů je řízeno několika typy regulačních obvodů, odvíjejících se od typu REA zařízení. Každý z těchto regulačních celků je v dnešní době z hlediska bezpečnosti v testovací laboratoři na velmi dobré úrovni. Řídící program pro jednotlivé testy je vyvíjen dle požadavků testu a dá se implementovat do několika primárních softwarů, není tedy nutné, až na specifické výjimky, ho zvláště optimalizovat.



Přepřování spalovacích motorů bude mít v nadcházejících letech dominantní vliv, a spolu s hybridními systémy bude hnacím motorem automobilového průmyslu. Já osobně jsem trochu skeptický v tom, po jak dlouhou dobu budou systémy přepřování vyvíjeny nezávazně na hybridních systémech. V oblasti motosportu jistě tyto systémy přepřování v kombinaci s hybridními technologiemi budou mít teprve významný debut. Máme se na co těšit.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Catalog Hardware Interfaces and Dataloggers*. [online]
URL:<http://www.vector.com/portal/medien/e_media/en/hardware_catalog/Catalog_Hardware_EN_opf_files/WebSearch/page0054.html > [cit. 2011-04-22].
- [2] *CANextender: the programmable I/O device for CAN*. [online]
URL:<http://www.vector.com/vi_canextender_en.html> [cit. 2011-04-22].
- [3] *Turbos then and now - 100 Years of Turbo - Honeywell TurboTechnologies*. [online]
URL:<http://www.honeywell.com/sites/ts/tt/100Years_Turbo3_C83869114-FF16-C7FE-13F7-7CD478B60F02_H19E431BC-4FA0-863A-10AA-9F8A9E3EA73F.htm> [cit. 2011-04-22].
- [4] *Diesel Technologies – Honeywell Turbo Technologies*. [online]
URL:<http://www.honeywell.com/sites/ts/tt/PassengerCars_LightTruks3_CP3HXNOKPJPUTB8SLO99Q5SFMZIH4MW90812155218387_HBFRTGMKQK64U00ACROYP858GKIH564VY0812155701757.htm> [cit. 2011-04-22].
- [5] *Honeywell Heritage: A Hallmark Throughout Turbo History* << *Booster online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/turbotalk/honeywell-heritage-a-hallmark-throughout-turbo-history/>> [cit. 2011-04-22].
- [6] Školící materiály společnosti Bosch. Integrovaná střední škola automobilní (ISŠA). *CAN-bus základ* [CD-ROM]. Brno, Křižíkova 15, 612 00 Brno, 06/2005 [cit. 27.4.2011]. Adresář: /Skoda-Bosch/elektrika/CAN-bus_zaklad.
- [7] *Interní materiály společnosti Honeywell Turbo Technology - Laboratory*, Honeywell spol. s.r.o. – Global Design Center o.z., Tuřanka 98c, Brno 627 00, Czech Republic
- [8] *Innovation is in the Air* << *Booster online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/booster-stories/innovation-is-in-the-air/>> [cit. 2011-04-22].
- [9] *2010 Alfa Romeo MiTo To Be First To Receive Fiat's Sophisticated MultiAir valvetrain System | Reviews | Prices | Australian specification*. [online]
URL:<<http://www.themotorreport.com.au/22590/flat-to-debut-revolutionary-multi-air-engine-tech-on-alfa-romeo-mito>> [cit. 2011-04-22].
- [10] *The Fiat MultiAir Technology – Engine and Chassis – Auto Focus Asia – Magazine – Issue 2, 2007*. [online]
URL:<http://www.autofocusasia.com/engine_chassis_systems/flat_multi-air_technology.htm> [cit. 2011-04-22].
- [11] *Honeywell Ball Bearing Turbo Debuts in Premium Diesel Cars* << *Booster Online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/booster-stories/honeywell-ball-bearing-turbo-debuts-in-premium-diesel-cars/>> [cit. 2011-04-22].



- [12] *Auto Electrical Systems*. [online]
URL:<<http://www.mitsuba.co.jp/english/products/4wheel.html#engine>>
[cit. 2011-04-22].
- [13] *Www.cummins.com/turbos - Holset HX50-55*. [online]
URL:<http://www.holset.com/mainsite/files/2_1_1_5-Holset%20HX50-55.php>
[cit. 2011-04-22].
- [14] *Www.cummins.com/turbos - Holset HE500*. [online]
URL:<http://www.holset.com/mainsite/files/2_1_2_3-Holset%20HE500.php>
[cit. 2011-04-22].
- [15] *Honeywell Dual-Stage Turbo Technology << Booster Online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/turbotalk/honeywell-dual-stage-turbo-technology/>> [cit. 2011-04-22].
- [16] *Parallel Sequential Dual-Stage System << Booster Online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/turbocast/parallel-sequential-dual-stage-turbocharger/>> [cit. 2011-04-22].
- [17] *Series Sequential Dual-Stage System << Booster Online*. [online]
URL:<<http://www.honeywellbooster.com/turbocast/serial-sequential-dual-stage-turbocharging-technology/>> [cit. 2011-04-22].
- [18] *Atoma:: patnáct let sběrnice CAN*. [online]
URL:<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33717>
[cit. 2011-04-22].
- [19] *CAN bus – sběrnice CAN*. [online]
URL:<<http://www.pp2can.wz.cz/pages/Can.htm>> [cit. 2011-04-22].
- [20] *Pulse-width modulation – Wikipedia, the free encyclopedia*. [online]
URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation> [cit. 2011-04-22]
- [21] *Výsledky obrázků Google pro http://arduino.cc/en/uploads/Tutorial/pwm.gif*. [online]
URL:<http://www.google.cz/imgres?imgurl=http://arduino.cc/en/uploads/Tutorial/pwm.gif&imgrefurl=http://www.upramene.cz/forum/viewtopic.php%3Fp%3D61055%26highlight%3Dgodzilla&usg=__BTd5SMR0G3ZjrtlvMM_WOuc1318=&h=438&w=400&sz=13&hl=cs&start=0&zoom=1&tbnid=jPjQy4sqF4DBmM:&tbnh=167&tbnw=153&ei=VYesTY3fI4XctAbgvrg6&prev=/search%3Fq%3Dpwm%2Bsign%25C3%25A11%26hl%3Dcs%26sa%3DX%26biw%3D1280%26bih%3D655%26tbn%3Disch%26prmd%3Divns&itbs=1&iact=hc&vpx=137&vpy=74&dur=28&hovh=235&hovw=215&tx=136&ty=140&oei=VYesTY3fI4XctAbgvrg6&page=1&ndsp=15&ved=1t:429,r:0,s:0>
[cit. 2011-04-22]
- [22] *Pulsně šířková modulace*. [online]
URL:<<http://www.dhservis.cz/psm.htm>> [cit. 2011-04-22].
- [23] *NI LabVIEW Data Visualization and User Interfase Design*. [online]
URL:<<http://www.ni.com/labview/whatis/user-interface/>> [cit. 2011-04-22].



- [24] *The Benefits of Programming Graphically in NI labVIEW*. [online]
URL:<<http://www.ni.com/labview/whatis/graphical-programming/>> [cit. 2011-04-22].
- [25] *What's New in NI measurement Studio 2010 – National Instruments*. [online]
URL:<http://www.ni.com/mstudio/whats_new.htm> [cit. 2011-04-22].
- [26] *What Is NI LabVIEW?*. [online]
URL:<<http://www.ni.com/labview/whatis/>> [cit. 2011-04-22].
- [27] *CANcaseXL*. [online]
URL:<http://www.vector.com/vi_cancase_xl_en.html> [cit. 2011-04-22].
- [28] *CANalyzer*. [online]
URL:<http://www.vector.com/vi_canalyzer_en.html> [cit. 2011-04-22].
- [29] *Catalog Development of Distributed Systems and ECU Testing*. [online]
URL:<http://www.vector.com/portal/medien/e_media/en/ecutest_catalog/Catalog_ECU_Test_EN_opf_files/WebSearch/page0070.html> [cit. 2011-04-22].



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

	[Mb/s]	Rychlost přenosu datového toku
AA		Typ CAN Extenderu Systém řízení odbrzdování brzděných kol automobilů, norma zavedena automobilkou Volkswagen
ABS	Anti – lock Brake System	Určitý typ VNT systému aplikovaného na spalovací motory středně těžkých nákladních vozidel
Advanced VNT	3D ovládací mechanismus a lopatky	
AT		Typ CAN Extenderu
Ball Bearing		Kuličková ložiska pro turbodmychadla
BUS		Datové vedení, datová linka (CAN-BUS)
CAL	CAN Application Layer	Specifikace protokolu CAN sdružením CiA
CAN	Controller Area Network	Multiplexní datová sběrnice Implementor datového rozhraní pro CAN datové vedení, výrobce firma Vector
CAN case XL		Řídící zařízení pro zpracování analogového a digitálního signálu, výrobce firma Vector
CAN Extender	Controller Area Network	
CAN High	High Controller Area Network	Vysokorychlostní datová sběrnice CAN
CAN Low	Low	Nízkorychlostní datová sběrnice CAN
CANaero		Typ datového protokolu Univerzální analytický nástroj pro zpracování signálů, výrobce firma Vector
CANalyzer		Projekt založený sdružením CiA pro odbourání rozdílů CAN sběrnic jednotlivých výrobců
CANopen		
CiA	CAN in Automotoin	Sdružení výrobců a uživatelů CAN Kategorizace nákladních vozidel dle americké normy
Class	Například: class 8	Bezpečnostní kódování přenášených dat po CAN sběrnici
CRC	Cyclic Redudancy Check	Určitý typ VNT systému aplikovaného na spalovací motory těžkých nákladních vozidel a strojních agregátů
DAVNT	Dual Axle Variable Nozzle Turbine	
DC	Direct current	Stejnoseměrný proud
Device NET		Standardizovaná definice komunikačního rozhraní
Duty Cycle	Střída [%]	Poměr délky impulsu ku délce mezery signálu u PWM
ECU	Electronic Controller Unit	Vestavěný počítač pro řízení automobilových systémů, řídicí jednotka



EN		Normovací evropská značka
f	[Hz]	Frekvence, kmitočet
FlexRay		Typ datového protokolu
Frames		Tzv. balíček datového přenosu po CAN sběrnici
Garrett	Honeywell Garrett Specific gas tester for GAS STAND turbochargers	Výrobce turbodmychadel a příslušenství Plynový hořák s inteligentním řízením a měřením veličin pro testy turbodmychadel
Gasoline		Turbodmychadlo pro benzínové motory Velikost turbodmychadla zavedená firmou Honeywell Garrett
GT		Zkratka uvádějící velikost turbodmychadla výrobce Holset
HE		Zde uveden jako výrobce aktuátorů a REA systémů
Hella		
Holset		Výrobce turbodmychadel
HTT	Honeywell Turbo Technologies	Firma zabývající se vývojem, testováním a výrobou turbodmychadel a příslušenství Zkratka uvádějící velikost turbodmychadla výrobce Holset
HX		Střední nosná část turbodmychadla (ložisek turbodmychadla)
CHRA	Central Housing Rotating Assembly	
I	[A]	proud
ICC		Konference organizovaná sdružením CiA
ID	Identification Date	Identifikační rozlišující faktor
IP		Typ datového protokolu
IR	Infra Radiation	Typ bezdrátového spojení založený na infra záření
ISO		Normovací označení
J1587		Typ datového protokolu
J1939		Typ datového protokolu
Jideco		Výrobce lineárních pohonů a aktuátorů
LabView	Laboratory Virtual InstrumentEngineering Workbench	Programovatelný software pro zpracování signálu, výrobce National Instrument
LCD	Liquid Crystal Display	Technologie zobrazování, typ monitoru
LIN		Typ datového protokolu
Melco		Výrobce lineárních pohonů a aktuátorů
Mitsuba	Mitsuba (Jideco)	Výrobce lineárních pohonů a aktuátorů
MOST		Typ datového protokolu



MS	Measurement Studio	Vizualizační a měřicí zobrazovací prostředí pro zpracování signálu, výrobce National Instrument
MultiAir	Fiat Technology	Systém pneumatického ovládání ventilů
NI	National Instrument	Výrobce automatizační a měřicí techniky
NMEA 2000		Typ datového protokolu
NO _x		Oxidy dusíku
OSI		Normovací označení
PC	Computer	počítač
PHM		Pohonné hmoty
PID	Proportional Integral Derivative	Inteligentní programovatelná elektronika
PIN		Spojovací elektronický prvek (mini zásuvka)
Power-train		Systém řízení, vývoj
PWM	Pulse Width Modulation	Pulzně šířková modulace signálu
REA	Rotary electric actuators	Inteligentní elektronicky řízený pohybový mechanismus zavedený firmou Honeywell Garrett
RS – 232		Sériové datové rozhraní pro komunikaci s počítačem
SAE	Society of Automotive Engineers	Společnost automobilových inženýrů
SCOPE		Typ datového protokolu
SDI	Suction Diesel Injection	Přímovstříkový atmosferický dieselový motor
SREA	Smart rotary electric actuator	Inteligentní elektronicky řízený pohybový mechanismus zavedený firmou Honeywell Garrett
t	[°C]	teplota
TC	Turbocharger	turbodmychadlo
TDI	Turbo Diesel Injection	Přímovstříkový přeplňovaný dieselový motor
TTCAN	Time Triggered Controller Area Network	Časově spustitelný komunikační protokol CAN sběrnice
U	[V]	Napětí
VAN	Vehicle Area Network	Datová sběrnice francouzských výrobců automobilů
Vector		Výrobce automatizačních a měřicích zařízení pro laboratoře a testovací centra
VMEbus		Německý odborný časopis
VNT	Variable Nozzle Turbine	Variabilní změny geometrie lopatek pro turbínovou skříň



VNTOP		Konkurenční systém variabilní změny geometrie lopatek pro turbínovou skříň
VW	Volkswagen	Značka výrobce automobilů
WG	Waste gate	Závěrná klapka obtoku turbínové skříně
WG „-„	Waste gate – vaccume	Označení podtlakového ovládání WG klapky
WG „+ „	Waste gate - pressure	Označení přetlakového ovládání WG klapky



SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Kompletní turbodmychadlo [7]	10
Obr. 2 Výkonové charakteristiky atmosférického a přeplňovaného motoru [6]	11
Obr. 3 Náhled na: a) Multiair technologie [9], b) VNT turbodmychadlo [8]	13
Obr. 4 Detail Multiair technologie [10]	13
Obr. 5 Řez turbodmychadlem s WG regulací obtoku [7]	15
Obr. 6 Možnosti WG regulace [7]	15
Obr. 7 Schéma umístění aktuátou pro WG regulaci [7]	16
Obr. 8 Porovnání turbodmychadla s pevnou geometrií turbínové skříně a s WG regulací [7]	16
Obr. 9 Řez turbodmychadlem s VNT regulací [7]	17
Obr. 10 Princip změny geometrie turbínové skříně [7]	17
Obr. 11 Porovnání turbodmychadla s WG regulací a VNT regulací [7]	18
Obr. 12 Holset VGT (Variable Geometry Turbine) [7]	18
Obr. 13 Řez turbodmychadlem s VNTOP mechanismu regulace [7]	19
Obr. 14 Mapovací závislost [7]	19
Obr. 15 DAVNT regulace turbodmychadla [7]	20
Obr. 16 ADVANCED VNT regulace [7]	20
Obr. 17 VNT regulace turbodmychadla [7]	21
Obr. 18 Pohled na umístění aktuátoru [7]	22
Obr. 19 Konstrukce podtlakového aktuátoru [7]	23
Obr. 20 Konstrukce přetlakového aktuátoru [7]	23
Obr. 21 Model plastového aktuátor [7]	24
Obr. 22 Aktuátor s integrovaným snímačem polohy [7]	24
Obr. 23 Parallel Sequential Dual - Stage System [16]	25
Obr. 24 Serial Sequential Dual - Stage System [17]	25
Obr. 25 REA/SREA regulační systémy [7]	26
Obr. 26 Vnitřní uspořádání REA zařízení [7]	27
Obr. 27 CAN-BUS datový okruh [7]	28
Obr. 28 Datový blok [6]	28
Obr. 29 Aplikace CAN v automobilovém průmyslu [6]	30
Obr. 30 CAN systémy pro Škoda Octavia II [6]	31
Obr. 31 Grafický výstup CAN signálu [6]	31
Obr. 32 Struktura datového protokolu [7]	33
Obr. 33 Blokové schéma generátoru PWM signálu [22]	33
Obr. 34 Zobrazení parametrů PWM signálu [21]	34
Obr. 35 REA zařízení, datový konektor [7]	34
Obr. 36 Measurement Studio [25]	35
Obr. 37 LabView [23], [24]	36
Obr. 38 CAN - Extender – AA [2]	36
Obr. 39 a) CAN case XL [27] b) předřazený odpor [7]	38
Obr. 40 CANalyzer [28]	39
Obr. 41 Pohled na klasické rozvržení obrazovky CANalyzeru	40
Obr. 42 Obrazovka „DATA“	40
Obr. 43 Obrazovky „GRAPHICS“	41
Obr. 44 Legenda obrazovky „GRAPHICS“	41
Obr. 45 Obrazovka „IG“	42
Obr. 46 Ovládání běhu cyklicky v obrazovce „IG“	42



Obr. 47 Grafický výstup CANalyzeru – 20 cyklů/4s	42
Obr. 48 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/1s.....	43
Obr. 49 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/10s.....	43
Obr. 50 Grafický výstup CANalyzeru – 1 cyklus/17s.....	43
Obr. 51 REA zařízení [7].....	44
Obr. 52 Mechanická část s elektronickými prvky REA zařízení [7].....	45
Obr. 53 Elektronická zástavba REA zařízení [7]	45
Obr. 54 Přehled reálného zapojení REA komponentů	46
Obr. 55 Členy datové komunikace REA zařízení.....	47
Obr. 56 CAN case XL	47
Obr. 57 REA zařízení	48
Obr. 58 Externí CAN elektronika pro REA zařízení.....	48
Obr. 59 Grafický výstup CANalyzeru	49
Obr. 60 Vizuelní porovnání REA zařízení	49
Obr. 61 Zátěžový test REA zařízení [7]	50
Obr. 62 Fixtura	51
Obr. 63 Inteligentní regulační aktuátor firmy Mitsuba [12].....	52
Tab. 1 Srovnání historie a současnosti [3].....	12
Tab. 2 Konektivita CAN – Extenderu [1]	37



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: PROGRAM PRO CAN-EXTENDER

I – III



SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY

Příloha 2:	CAN EXTENDER BLACK BOX WIRING DIAGRAM	výkres
Příloha 3:	CD-ROM s bakalářskou prací včetně příloh	CD



```

{*****}
THE PRIMARY DIFFERENCE IS THAT MELCOS AND JIDECOS USE 29bit MSG LENGTH (EXTENDED MSGS)
WHILE HELLAS USE 11bit (STANDARD) MSG LENGTH. INTEL FORMAT IS USED.
PROGRAM WAS WRITTEN FOR CAN EXTENDER-AA.

THE CURRENT PROGRAM, 11.1M.2E.V1 WAS SETUP TO HANDLE:
1 X REA POSITION INPUT COMMAND, TO BE GIVEN TO BOTH ACTUATORS SIMULTANEOUSLY
1 X REA ANALOG (VDC) POSITION FEEDBACK CHANNEL
1 X REA ANALOG (VDC) MOTOR DUTY CHANNEL
1 X MANUAL SWITCH FOR MSG IDS (0x18FF1000 OR 0x0CFF1000)
1 X DIGITAL OUTPUTS TO ENABLE POWER RELAYS TO SELECT BETWEEN 12V AND 24V POWER SUPPLY TO REA
1 X LED OUTPUT TO CONFIRM THAT CAN EXTENDER PROGRAM IS RUNNING
1 X LED OUTPUT TO INDICATE AN ERROR IN THE REAL FEEDBACK MESSAGE

THE ANALOG VOLTAGE INPUT ON ANAIN1 IS CONVERTED TO A POSITION COMMAND, IN 0 TO 1000 COUNTS.

THE POSITION COMMAND IS THEN SENT OUT IN A CAN MESSAGE.

THE CAN TRANSMISSION MSG ID IS ONE OF TWO VALUES, BASED ON A MANUAL SWITCH POSITION.

THE RECEIPT MESSAGE BACK FROM THE ACTUATOR (OR M-EDU) WILL INDICATE WHETHER THE ACTUATOR NEEDS
12V OR 24V POWER SUPPLY. THIS BIT VALUE WILL FLIP A RELAY TO SUPPLY THE APPROPRIATE VOLTAGE
TO THE REA.

THE REA POSITION IS ALSO READ FROM THE CAN RX MSG AND TRANSLATED FROM 0 TO 1000 COUNTS TO
0 TO 5V ON ANAOUT1.

THE SAME GOES FOR THE MOTOR DUTY ON ANAOUT2, ERROR BYTE 6 AND 7(OF 8) ON ANAOUT 3 AND 4
RESPECTIVELY.

THE ACTUATOR USED CAN BE A MELCO SIZE 3 OR 4, OR A JIDECO CAN TYPE.

IF AT FIRST THE ACTUATOR DOES NOT RESPOND, TRY SWITCHING THE MSG ID.

{*****}
SYSTEM

CanOutput          = On
CanTiming          = Timing250k

XmitStdIntelFormat = On

{*****}
CONST

CAN_ID_4_TX = 0x18FF1000      {Melco Size 4 & Jideco Tx: ECU-->M-EDU(REA) Msg ID}
CAN_ID_4_FB = 0x18FF1002      {Melco Size 4 & Jideco Rx: M-EDU(REA)-->ECU Msg ID}
CAN_ID_3_TX = 0x0CFF1000      {Melco Size 3 Tx: ECU-->M-EDU(REA) Msg ID}
CAN_ID_3_FB = 0x0CFF1002      {Melco Size 3 Rx: M-EDU(REA)-->ECU Msg ID}

TxCycleTime       = 16

CMDSPare          = 0[8]
CMDSettings       = 1[8]

{Adjust for input system capability here;}
InputVoltUpLim    = 10
InputVoltLoLim    = 0

{*****}
VAR
{***** BEGIN MELCO SIZE 4 & JIDECO FEEDBACK MSG DEFINITION *****}
MotorDuty4        = XDATA CAN_ID_4_FB [0]          { Motor Duty -100% to 100% }

MelcoHiJidecoLo4 = XDATA CAN_ID_4_FB [1]          {Jideco data values for this
byte are spare and fixed lo (all=0)}
{Melco data values for this byte are spare and fixed hi (all=1)}
StatusByte4       = XDATA CAN_ID_4_FB [2]
CtrlModeEnabled4  = XDATA CAN_ID_4_FB [2 (1)]      { 0 = not active, 1 = active }
PowerOffEnabled4  = XDATA CAN_ID_4_FB [2 (2)]      { 0 = bus will not turn off with no
traffic, 1 = bus will turn off with no traffic }
WipingStat4       = XDATA CAN_ID_4_FB [2 (3)]      { 0 = not active, 1 = active }
VoltageStat4      = XDATA CAN_ID_4_FB [2 (4)]      { 0 = 12V, 1 = 24V supply voltage
needed by actuator }
{**** USE VoltageStat TO THROW A RELAY }

```



```

InitStruct4          = XDATA CAN_ID_4_FB [2 (7)]          { 0 = Initialization not
successful, 1 = init successful }

PosLSByte4 = XDATA CAN ID 4 FB [3]

PosMSByte4 = XDATA CAN_ID_4_FB [4]

ErrorFlags14 = XDATA CAN_ID_4_FB [5]

ErrorFlags24 = XDATA CAN ID 4 FB [6]

{***** END MELCO SIZE 4 & JIDECO FEEDBACK MSG DEFINITION *****)}

{***** BEGIN MELCO SIZE 3 FEEDBACK MSG DEFINITION *****)}
MotorDuty3          = XDATA CAN ID 3 FB [0]              { Motor Duty -100% to 100% }

MelcoHiJidecoLo3   = XDATA CAN_ID_3_FB [1]              {Jideco data values for this
byte are spare and fixed lo (all=0)}
{Melco data values for this byte are spare and fixed hi (all=1)}
StatusByte3        = XDATA CAN_ID_3_FB [2]
CtrlModeEnabled3   = XDATA CAN ID 3 FB [2 (1)]          { 0 = not active, 1 = active }
PowerOffEnabled3   = XDATA CAN ID 3 FB [2 (2)]          { 0 = bus will not turn off with no
traffic, 1 = bus will turn off with no traffic }
WipingStat3        = XDATA CAN_ID_3_FB [2 (3)]          { 0 = not active, 1 = active }
VoltageStat3       = XDATA CAN ID 3 FB [2 (4)]          { 0 = 12V, 1 = 24V supply voltage
needed by actuator }

InitStruct3          = XDATA CAN_ID_3_FB [2 (7)]          { 0 = Initialization not
successful, 1 = init successful }

PosLSByte3 = XDATA CAN ID 3 FB [3]

PosMSByte3 = XDATA CAN ID 3 FB [4]

ErrorFlags13 = XDATA CAN_ID_3_FB [5]

ErrorFlags23 = XDATA CAN ID 3 FB [6]

{***** END MELCO SIZE 3 FEEDBACK MSG DEFINITION *****)}

{*****}
{*** GENERAL VARIABLE DEFINITION ***}
ActPos              = FREE UNSIGNED[16]                  {This is made 12-bit to be compatible with
Analog Output D/A conversion}
DemandInput         = FREE SIGNED[16]                   {** 16bit for input voltage assignemt -
DEFINES VARIABLE FOR LATER CALC **}
Demand_value        = FREE UNSIGNED[16]                  {** 16bit for processed demand_position -
DEFINES VARIABLE FOR LATER CALC **}
ErrorIndicator      = FREE UNSIGNED[16]                  {** used to combine the two error bytes and trip
the error bit switch **}
Voltage_24Hi_12Lo = FREE[1]                             {Dummy variable to allow dual usage of
DigOut2}
LedBlink            = FREE[1]
{*****}
CALC

ActPos = (((POSMSByte4-252)*256+POSLByte4)*4) WHEN (NOT DigIn7 AND MelcoHiJidecoLo4 > 0)
ActPos = (((POSMSByte3-252)*256+POSLByte3)*4) WHEN (DigIn7 AND MelcoHiJidecoLo4 > 0)
ActPos = ((POSMSByte3*256+POSLByte3)*4) WHEN (DigIn7 AND MelcoHiJidecoLo4 = 0)
ActPos = ((POSMSByte4*256+POSLByte4)*4) WHEN (NOT DigIn7 AND MelcoHiJidecoLo4 = 0)

DemandInput = ((AnaIn1-InputVoltLoLim*1000)/(InputVoltUpLim-InputVoltLoLim))

Demand_value = DemandInput WHEN (DemandInput <= 1000)    {assigning demand position to
demand value }
Demand value = 1000 WHEN (DemandInput > 1000)            {limit max value to 100% }
Demand_value = 0 WHEN (DemandInput < 0)                  {limit min value to
0% }

Voltage_24Hi_12Lo = (VoltageStat4) WHEN (NOT DigIn7)
Voltage_24Hi_12Lo = (VoltageStat3) WHEN (DigIn7)

ErrorIndicator = (ErrorFlags14 + ErrorFlags24) WHEN (NOT DigIn7)
ErrorIndicator = (ErrorFlags13 + ErrorFlags23) WHEN (DigIn7)

```



```
{*****}

EVENT
ON CYCLE (500) BEGIN
CALC LedBlink = (NOT LedBlink)
END

{*****}

TRANSMIT

XDATA CAN_ID_4_TX [0 CMDSettings Demand_value CMD Spare 0] CYCLE = TxCycleTime WHEN (NOT
DigIn7)
XDATA CAN_ID_3_TX [0 CMDSettings Demand_value CMD Spare 0] CYCLE = TxCycleTime WHEN (DigIn7)

{*****}

OUTPUT

LED4 = (LedBlink)
LED1 = (DigIn7)
DigOut4 = (ErrorIndicator > 0)           {DigOut4 is HI if there is any error in REA MSG}
DigOut6 = (LedBlink)                     {DigOut6 alternates HI and LO to indicate that the
CAN Extender program is running}

DigOut2 = (Voltage 24Hi 12Lo)

AnaOut1 = [ActPos(11:8) ActPos(7:0)]      {Actuator Feedback, 0 to 4.883V used for 0 to 1000
counts of Actuator Position}

AnaOut2 = (MotorDuty4*16) WHEN (NOT DigIn7) {Motor Duty, scaled from 8 bits to 12, 0 to 5V
used for -100 to 100%}
AnaOut2 = (MotorDuty3*16) WHEN (DigIn7)

AnaOut3 = (ErrorFlags14*16)             {Test Setup, scaled from 8 bits to 12, Look at Binary Value and
software spec}
AnaOut4 = (ErrorFlags13*16)             {Test Setup, scaled from 8 bits to 12, Look at Binary Value and
software spec}

{*****}

END
```