



Agronomická
fakulta

Mendelova
univerzita
v Brně



**Funkční testování komponent s integrovaným CAN
rozhraním**
Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Jakub Pospíšil, DiS.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Funkční testování komponent s integrovaným CAN rozhraním* vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Čuperovi, Ph.D. za vedení práce, ochotu, důležité rady a cenné připomínky.

ANOTACE

Práce přináší náhled do problematiky vozidlové sítě CAN, síťových prvků, jejich funkce a interakce.

Je zde popsán princip generování a odesílání zpráv, struktura sítě, druhy předávaných informací. Práce se zaměřuje na testování CAN komponent, zejména přístrojové desky. Práce definuje strukturu celkové validace nově implementované přístrojové desky do traktoru, která se skládá ze sekvence dílčích testů prováděných laboratorně i provozně v traktoru. Laboratorní testy jsou prováděny jako sekvence hardwarových a softwarových kombinací stavů, které mohou v provozu nastat. Stěžejní bod pro provedení objektivní laboratorní validace je tvorba simulátorů, které umožňují navodit situace v reálném provozu obtížně a nákladně realizovatelné.

Klíčová slova: CAN, vozidlové sběrnice, palubní síť, měření, test, simulace, řídicí jednotka

ANNOTATION

This work provides a preview of CAN network network issues, network elements, their functions and interaction.

It describes the principle of generating and sending messages, the structure of the network, the types of information transmitted. Work focuses on testing CAN components, especially instrument panels. The thesis defines the structure of the overall validation of the newly implemented instrument panel into the tractor, which consists of a sequence of partial tests performed both in laboratory and in the tractor. Laboratory tests are performed as a sequence of hardware and software combinations of states that can occur in operation. A critical point for objective laboratory validation is the creation of simulators that can induce real-life situations which would otherwise be expensive and difficult to achieve in real-life.

Keywords: CAN, vehicle bus, onboard network, measurement, test, simulation, electronic control unit

OBSAH:

1	ÚVOD	- 6 -
1.1	Přehled sběrníkových systémů vozidel	- 8 -
1.2	Přehled typů síťových topologií.....	- 8 -
1.2.1	Sběrnice (bus)	- 8 -
1.2.2	Hvězda (star) - Hub and Spoke	- 9 -
1.2.3	Kruh (ring)	- 10 -
1.2.4	Mřížka (mesh).....	- 11 -
1.3	Vývoj elektronických systémů traktorů	- 12 -
1.4	Aplikace elektronických prvků do traktorů	- 13 -
2	Elektronické řídicí jednotky.....	- 16 -
2.1	Normativní požadavky na elektronické komponenty traktoru	- 26 -
2.2	Výčet typických normativních požadavků	- 26 -
3	Způsoby testování elektronických řídicích jednotek	- 28 -
3.1	Laboratorní test	- 28 -
3.1.1	Základní připojení, kontrola klidového odběru proudu	- 28 -
3.1.2	Test odolnosti vůči extrémům napájecího napětí	- 28 -
3.1.3	Test odolnosti vstupů a výstupů.....	- 31 -
3.1.4	Test dle CAN protokolu.....	- 32 -
3.1.5	Test podle funkční specifikace	- 32 -
3.1.6	Programové prostředí LabVIEW	- 33 -
3.2	Provozní test v traktoru	- 35 -
4	Realizace simulátoru pro přístrojovou desku.....	- 36 -
4.1	Softwarový simulátor CAN	- 36 -
4.1.1	Tvorba diagnostické zprávy DM01	- 37 -
5	ZÁVĚR	- 47 -
6	Seznam zkratk	- 48 -
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	- 51 -
8	SEZNAM TABULEK	- 53 -
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	- 54 -

1 ÚVOD

Dnešní silniční i terénní vozidla s sebou nesou nutnost integrace elektronických prvků, bez kterých v podstatě už není možný jejich provoz. Není tak dávno doba, kdy jediným elektronickým prvkem ve vozidle byl přerušovač směrovek, či regulátor dobíjení a to bylo možné oba tyto prvky realizovat elektromechanicky. V těchto vozidlech byly veškeré ovládací i regulační procesy provedeny mechanicky. To s sebou neslo nesporné výhody ale i značné nevýhody. K výhodám mechanického řešení patří snadná opravitelnost, či spíše snadné chápání funkčního principu širokým spektrem uživatelů. Nevýhodou mechanických regulátorů a aktuátorů jsou jejich složitost výroby a obtížná změna základních parametrů funkčního celku, vyžadující jeho zásadní rekonstrukci.

Postupem času dostala elektronická zařízení nezastupitelnou úlohu při provozu motorových vozidel. Bylo tomu z důvodu klesající ceny elektronických součástek a vzrůstajících požadavků na funkcionalitu těchto zařízení. Aplikace elektronických zařízení se tak rozšířila z původně doplňkových celků na základní funkční celky, jako je řízení motoru, takže při poruše tohoto zařízení se vozidlo stalo nepojízdným. Zároveň však toto zařízení dostalo určitého stupně složitosti, takže na rozdíl od mechanického řešení nebyla případná porucha laickým uživatelem snadno diagnostikovatelná. K diagnostice takovéto aplikace již nestačil všudypřítomný primitivní elektro-diagnostický nástroj v podobě 5W žárovky pro základní zjištění napětového potenciálu. Teprve až s příchodem vozidlové sítě a s ním souvisejícími možnostmi rozšíření palubní diagnostické sítě bylo možné efektivně vozidla nejen navrhovat a provozovat, ale také udržívat a opravovat.

Zemědělství má pro lidskou společnost od jejího počátku prvořadý význam, který se nezmění v žádné etapě jejího vývoje. Ke změnám však dochází ve funkcích, které má pro společnost plnit. Primární úkol, který spočívá v zajištění obživy lidské společnosti, je v současnosti rozšiřován o sekundární obory zemědělské výroby, které se zaměřují na to, aby jejich produkty našly uplatnění v dalších průmyslových oborech. Tento vývoj přinesl do zemědělství mnohá pozitiva, ale v poslední době se projevuje také jedna stinná stránka. S výrazným snížením manuální práce v sektoru zemědělství poklesla také informovanost a celkový zájem lidí o tento obor. V minulosti, kdy průmyslová výroba byla pojmem téměř neznámým, pracovalo v zemědělství až devadesát pět

procent populace. A jak vypadá současný stav? V Evropě je tento počet odhadován na průměrná dvě až čtyři procenta. To také indikuje, že došlo ke snížení podílu výzkumu a vývoje v celém spektru zemědělských věd. Důsledkem tohoto postoje je mimo jiné i zpoždění v uplatňování technických inovací ve výrobě zemědělských traktorů u nás ve srovnání například s produkcí osobních automobilů. Z tohoto nedostatku vyplývá námět této práce. Důvody však nespočívají pouze v charakteru nižší atraktivity kategorie vozidla, resp. stroje, ale lze nalézt také konstrukční limity určitých systémů včetně legislativní restriktce. Posledně jmenovaný faktor přináší i jisté „konkurenční“ výhody. Již před mnoha lety se ve výzkumu automobilů začaly objevovat systémy autonomního řízení, jejich technická úroveň se sice signifikantně zvýšila, ale prozatím společnost nemůže těchto systémů využívat, neboť není pro danou kategorii vozidla přípustná. Zemědělské traktory jako nesilniční vozidla nepodléhají stejným homologačním předpisům, proto se v současnosti lze setkat se systémem navádění bez zásahu obsluhy u všech významných výrobců traktorů. Kupříkladu společnost Fendt nabízí možnost nejen automatického řízení na bázi součinnosti systému GPS a RTK, ale i mnohem sofistikovanější systém spolupráce traktorů či traktoru a jiného stroje. Z pohledu konvenční silniční dopravy se stále jedná o vizi se značnými bezpečnostními riziky a bude trvat ještě dlouhou dobu, než se podobný systém pro silniční dopravu objeví v reálných podmínkách.

Společným rysem, kterým lze propojit výše uvedené možnosti, je vývoj v oblasti mikroelektroniky a informačních a komunikačních technologiích. Počáteční využití mikroprocesorové regulace bylo velmi izolované a bylo řešené separátně pro konkrétní systém, resp. jeho účel. Pro určité aplikace tak bylo nutné tvořit redundantní-nadbytečné signály a takto koncipovaný systém není z dnešního pohledu efektivní. První aplikace elektronické řídicí jednotky byla použita k účelu regulace procesu spalování. Mechanické systémy vstřikování byly postupem doby nahrazeny plně elektronickými proto, aby byly v příslušné době splněny nároky na omezení produkce škodlivin ve spalínách vyžadované legislativou. Po krátké době konsolidace (ustálení) mezi normativy a schopnostmi regulačních systémů došlo do jisté míry k opětovnému zrychlení snižování limitů proto, že výrobci regulačních systémů motoru nebyli připraveni v pokročilých zařízeních redukovat určité složky spalin. Paradoxní je, že se často jedná o totožnou společnost vyrábějící regulační systémy motorů i technická zařízení ke snižování polutantů. Soudobé systémy selektivní katalytické redukce,

kupříkladu u traktorů často užitý Denoxtronic, vyžadují vlastní mikroprocesorové řízení. Přitom nedostačují pouze signály z vlastních senzorů, ale vyžadují se informace o režimu práce spalovacího motoru. Zajistit rychlý a bezpečný přenos informací je úkol stanovený pro komunikační síť vozidla. Paralelu úlohy lze nalézt v sítích osobních počítačů.

1.1 Přehled sběrniceových systémů vozidel

Posledních pět desetiletí představuje prudký nárůst elektronických systémů a síťových prvků v motorových vozidlech. Co do počtu inovací, je naprostá většina elektronického charakteru. Často je prvotním hybatelem legislativa vyžadující implementaci sofistikovaného elektronického systému a s ní související sekundární využití tohoto systému k rozšíření funkcionality, zvýšení komfortu obsluhy a efektivity vozidla.

Aplikace sběrniceového systému řízení, sběru dat a diagnostiky přináší mnohé výhody. Mezi ně patří zvýšení bezpečnosti na základě legislativních požadavků, kvalita a kvantita progresivních funkcí, delší životnost vozidla, jednodušší údržba a diagnostika poruch, nižší hmotnost a cena, snadné rozšíření systému o nové komponenty nebo funkce.

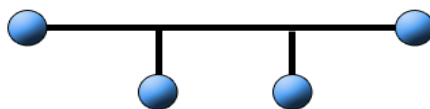
Spojení síťových prvků ve vozidlech je dáno strukturou sítě.

1.2 Přehled typů síťových topologií

Topologie používané v lokálních sítích (LAN) jsou sběrnice, hvězda, kruh a mřížka.

1.2.1 Sběrnice (bus)

Sběrnice byla používána v prvních dobách ethernetu a realizovala se pomocí koaxiálního kabelu a BNC konektorů, na konci musel být vždy terminátor. Všechna zařízení jsou zapojena na společnou sběrnici. V sítích se od této technologie ustoupilo a dnes se používá převážně zapojení do hvězdy.



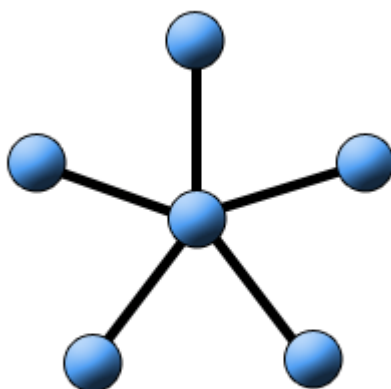
Obr. 1.1 Topologické uspořádání sběrnice (Bouška, 2009 [online])

1.2.2 Hvězda (star) - Hub and Spoke

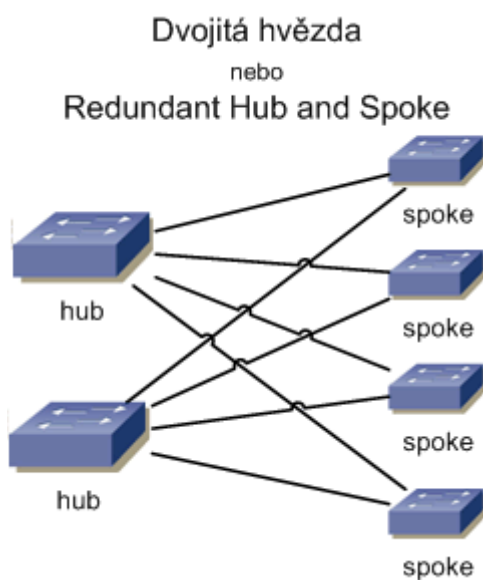
Hvězda je dnes nejpoužívanější topologie pro ethernet. Je zde centrální prvek, který realizuje propojení zařízení, a do něj jsou připojena jednotlivá zařízení. Jako centrální prvek slouží hub nebo switch, ale z jiného pohledu se může jednat i o router.

Obdobná je *Rozšířená topologie hvězda*, která vznikne, když několik samostatných *hvězd* propojíme dohromady přes centrální prvky. V praxi se dnes často používá tří vrstvá topologie (případně dvou vrstvá, kdy se jedna vrstva vynechá) využívající propojení do hvězdy. V nejvyšší vrstvě je jeden nebo dva (pro redundanci) switche, tzv. *jádro* (core). Druhá vrstva obsahuje několik switchů připojených do jádra a zvaných *distribuční* (distributed). Poslední vrstva, připojená do distribuční, je *přístupová* (access) a do ní se připojují stanice a servery. Některé důležité servery se mohou připojit přímo do distribuční vrstvy. Zapojení, kdy zdvojíme centrální prvek, se také označuje jako **Dvojitá hvězda** (Obr. 1.3)

Topologie hvězda se také označuje jako zapojení **Hub and Spoke**. Zde není použit termín **hub** jako aktivní síťový prvek, ale je to odvozeno od označení pro kolo u vozu, kde máme střed (Hub) a paprsky/loukotě (Spoke). Tento termín se používá také u routování nebo VPN, kdy **Hub** je centrála/centrální prvek a **Spoke** jsou pobočky.



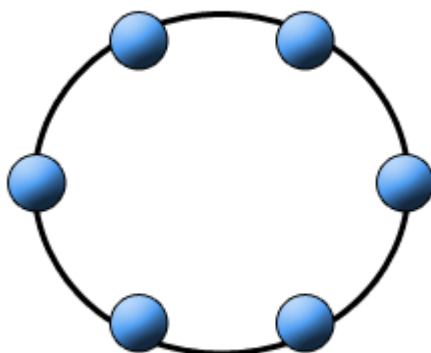
Obr. 1.2 Topologické uspořádání typu hvězda (Bouška, 2009 [online])



Obr. 1.3 Dvojitá hvězda (Bouška, 2009 [online])

1.2.3 Kruh (ring)

V **kruhové topologii** je každý uzel připojen ke dvěma sousedním a dohromady tvoří kruh. Standardně existuje pouze jedna cesta mezi dvěma uzly. Rozšířením je, že komunikace probíhá ve směru i proti směru hodinových ručiček. Používá se pro síťové technologie FDDI a Token Ring.

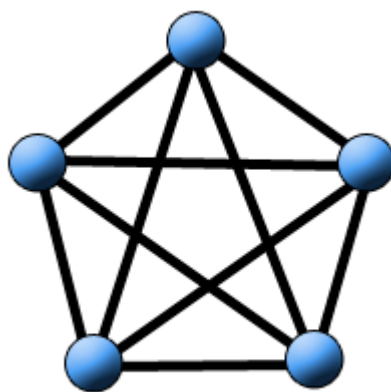


Obr. 1.4 Kruhové uspořádání síťových prvků (Bouška, 2009 [online])

1.2.4 Mřížka (mesh)

V topologii mesh jsou uzly propojeny s více sousedy. Buď se může jednat o **Full Mesh** (plnou mřížku), kdy je každý uzel spojený se všemi ostatními, takže může komunikovat s každým přímo a v případě výpadku nějaké linky může jednoduše nalézt cestu. Ale při více uzlech se jedná o složité a drahé zapojení. Nebo o **Partial Mesh** (částečnou mřížku), kdy některé uzly jsou přímo spojeny (point-to-point) s více jinými uzly.

Logická Full Mesh se používá například pro routování BGP protokolem. Dále se Mesh topologie používá v některých WiFi sítích.



Obr. 1.5 Topologie typu Full Mesh – plná mřížka (Bouška, 2009 [online])

1.3 Vývoj elektronických systémů traktorů

Úloha regulace systémů traktorů je v současnosti nemyslitelná bez algoritmizace v mikroprocesorových jednotkách a jejich elektrického výstupu na akční členy daného systému. Po roce 2000 lze sledovat její značné uplatnění nejen pro řízení spalovacího motoru, ale takřka pro všechny soustavy traktoru. Například uvedením převodovek, které umožňují řazení pod zatížením, byly vytvořeny regulační algoritmy pro řídicí jednotky transmisí. Ty kontinuálně monitorují výši generovaného točivého momentu a otáček motoru, jako primárních proměnných veličin. Nutně tedy potřebují informace ze systému řízení motoru, ale navíc po tomto systému vyžadují i změny provozního režimu motoru. V průběhu změny převodového stupně je nutné krátkodobě v řádu desítek až stovek milisekund snížit točivý moment kvůli enormnímu zatížení lamel spojek planetových převodovek. Vyjma stupňových převodových ústrojí se lze u zemědělských traktorů nemalou měrou setkat i s mnohem sofistikovanějším řešením plynulých převodů zejména na bázi hydrostatického převodníku. Regulace soustavy spalovacího motoru a hydromechanické převodovky je schopna téměř pokrýt i ztrátové plochy ve známém diagramu F-v. Je tedy možné využívat optimálních oblastí točivého momentu motoru bez rizika extrémů na nestabilní části charakteristiky vedoucího například i k zastavení spalovacího motoru. Jiné významné změny se odehrály i v konstrukci podvozků traktorů. Zcela běžně jsou uplatněny různé způsoby odpružení přední nápravy, která je opět řízena vlastním regulátorem a to nejen s analogovým vstupem potenciometru udávajícího polohu nápravy, ale také s hodnotou zrychlení

akcelerometru umístěného nad nápravou. Aktivně lze takto měnit charakteristiku tlumení. Elektronické prvky dramaticky ovlivnily i systémy brzdové soustavy traktoru. Adaptace ABS pro traktor je jednou přenosová soustava, jinými slovy datová síť, palubní síť či jednoduše dle její topologie – sběrnice. Evaluace=vyhodnocení informační hodnoty zpráv, které jsou palubními sítěmi přenášeny lze provést v několika rovinách. Technické aspekty budou podrobně analyzovány z podmínek zvýšení limitu rychlosti jízdy. Je však třeba si uvědomit, že přenášené soustavy z ostatních kategorií vozidel mají svá úskalí. Činnost ABS u traktoru je podmíněna vhodnou volbou dezénu pneumatik, u nákladních či osobních automobilů se jedná o problém spíše marginální=okrajový. Je možné pokračovat ve sledu komponent traktoru regulovaných elektronicky – hydraulická soustava s vnějšími okruhy, automatické navádění, součinnost s připojenými stroji a odběrem výkonu přes PTO aj. Pojítkem mezi těmito systémy je v dalším textu. Existuje však jedno kritérium s interdisciplinárním charakterem – ekonomické. Ve smyslu námětu této práce není explicitně vyjádřen vztah námětu s ekonomickými ukazateli, to bude řečeno ve výsledcích jednotlivých experimentů popsaných dále. Ale i bez detailní znalosti problematiky je zřejmé, že pokud ztráty výkonu u traktoru v polních pracích dosahují podle (Grečenko, 1994) 30% až 50% z výkonu motoru bez zahrnutí hrubých chyb v agregaci traktoru a stroje. Globálně lze vyjádřit i celkovou kalkulaci nákladů na energii pro činnost spalovacích motorů – naftě. Vezmeme-li v úvahu statistická data o spotřebě, je zřejmé, že podíl spotřeby motorové nafty v zemědělství na celkové spotřebě všech odvětví činilo v roce 2010 téměř 11%. Převodem do finančního vyjádření, výše uvedených ztrát se jedná o čísla poměrně vysoká. Každé snížení těchto ztrát i v řádu jednotek procent pak přináší souhrnem značný ekonomický přínos. Stačí k tomu i velmi jednoduché techniky, například pečlivěji sledovaná hodnota prokluzu vyjádřená výpočtem skutečné a teoretické rychlosti z příslušných řídicích jednotek a přenášených například sběrnicí CAN, mohou přinést redukci spotřeby paliva a následně snížení negativních vnějších účinků, jako je environmentální dopad využívání zemědělské techniky (Bauer, 2013).

1.4 Aplikace elektronických prvků do traktorů

Aplikaci elektronicky regulovaných systémů soudobého traktoru je třeba odlišit ve dvou základních částech – hardwarové a softwarové. Integrace jednoduchých elektronických prvků, tedy ekvivalent hardware (hw) z oblasti IT a dále softwarová část (sw), která

obsahuje vlastní regulační smyčky, kontrolní rutiny apod. Ekonomický pohled bez technických aspektů jasně definuje software, byť i velmi účelový jak tomu u zemědělské techniky je, jako produkt bez rozdílu přístupu k jeho „výrobě“ a testování. Součinnost obou částí s naprostou spolehlivostí je zcela zásadní. Nicméně i pro vlastní výrobce traktorů je velmi složitým úkolem validace = ověřování, prověření vzájemné kompatibility sw a hw. Z pohledu funkcí je možné rozdělit sw aplikace do pěti základních skupin:

1. Základní funkce traktoru – obsahují regulaci systémů vstřikování paliva, převodových ústrojí, hydraulických částí zvedacího ústrojí, externích okruhů hydrauliky, aktivaci uzávěrek diferenciálů, připnutí pohonu přední nápravy, připojování PTO, ovládání parkovací brzdy, brzdových asistentů a celou škálu ovládání elektrického příslušenství.
2. Human Machine Interface (HMI, rozhraní člověk-stroj) – interaktivní grafické rozhraní obsahující mnoho funkcí pro obsluhu traktoru. Funkcemi jsou běžně: identifikace obsluhy, načtení uživatelských parametrů pro stroj, diagnostické funkce, kontrolní a nastavovací panely pro jednotlivé systémy traktoru. V současné době je grafické rozhraní řešeno bezdotykovým ovládáním podobně jako v prostředí kancelářských operačních systémů.
3. Automatické funkce – jsou implementovány v souladu s požadavkem racionalizace systémů. V první řadě jsou tyto funkce vztaženy na pohonný agregát a transmise. Jak již bylo psáno v úvodní části, je možné volit režim práce motoru tak, že pracovní bod bude spadat do optimální oblasti měrné spotřeby paliva. Dále existují možné varianty navyšování výkonu ve vztahu k jezdové rychlosti či odběru výkonu přes PTO. Rozšířené funkce jsou spojeny s možností automatického řízení podle GPS/RTK (systém satelitní navigace s pozemní stanicí) a možnosti záznamu operací pro další využití – analýza, opakování operace. Jednou z dalších priorit je vazba managementu traktoru a připojeného nářadí či stroje v uzavřené regulační smyčce. V současné době je realizováno pouze několik málo funkcí, avšak lze očekávat mnohem těsnější vazby. Automatické funkce definují také vztahy mezi vlastním traktorem a sklizňovými stroji, kde bude rozšířena detekce o vlastnosti dané plodiny/materiálu. Následně bude při dopravě traktorem informace předána pro další zpracování v nadřazeném systému.

4. Data management – je souhrnný název pro informační systém, který obvykle zahrnuje část technickou (provozní parametry stroje) a také zpracování dokumentace pro další procesy. V souvislosti s tématem práce je důležitá první část, ve které jsou zahrnuty informace o zatížení stroje, hodiny práce, otáčky, spotřeba, diagnostické parametry aj. Dále jsou obsaženy informace o vykonané práci a procesní údaje o toku materiálu – postřiky aj. Nezbytně jsou ukládány identifikace řidiče a jeho pracovní úkony (čas startu, přestávky, konec práce aj.). V současné době není zajištěna kompatibilita se systémy navzájem, bylo by nanejvýš vhodné vytvořit standardizaci mezi jednotlivými moduly.
5. Servisní a podpůrné systémy – zahrnují funkce palubní diagnostiky, ve které jsou na informačním panelu traktoru zobrazeny informace o chybě v podobě kódu, případně stručný popis závady. Opět tu pro kategorii nesilničních vozidel neexistuje varianta legislativně nařízené varianty protokolu palubní diagnostiky. Přitom neexistují technické obtíže se zavedením obecných protokolů pro jakýkoliv nesilniční stroj. V historii lze nalézt jeden ze způsobů realizace diagnostického rozhraní na protokolu KWP2000, kde jsou navíc zobrazeny dostupné možnosti funkčního testování. Informace servisních funkcí obsahují i informace o výrobě jednotlivých komponent, kalibrační čísla, výsledky testů aj. Tato data mohou být změněna přeprogramováním určitých bloků paměti jednotlivých elektronických řídicích jednotek. Lze je označit jako kódování, kdy se vytváří kód dostupnosti systémů pro konkrétní traktor. Dochází tedy k aktivaci, resp. blokaci funkce v případě, že je či není dostupná pro danou konfiguraci. Další funkce jsou pak založeny na nutnosti přepisu částí, kde byly nalezeny chyby případně došlo ke změně některých funkcí. Pro ilustraci náročnosti analýzy lze uvést počty řádků zdrojových kódů v programovacím jazyce C (jedná se o 90%, zbytek tvoří Assembler aj.): elektronická řídicí jednotka motoru – 120 000 řádků, grafický terminál – 160 000 řádků, grafický terminál s pokročilými funkcemi založený na OS Linux – 50 000 000 řádků vlastní OS a 250 000 řádků aplikace. (Mollenhauer, 2010)

V dalších částech této kapitoly jsou popsány elektronické řídicí systémy a současné systémy distribuce informací v zemědělských traktorech a relevance těchto informací ve vztahu k technickým, resp. i ekonomickým indikátorům provozu traktoru.

2 ELEKTRONICKÉ ŘÍDICÍ JEDNOTKY

Funkce jednotlivých částí traktorů je podmíněna jejich vhodnou regulací, přičemž žádaný stav soustavy je provázen nulovou regulační odchylkou. Prvotní systémy regulace vycházely z jednoduchých projevů elementární fyziky. Příkladem je odstředivá síla v rotační soustavě při regulaci maximálních otáček vysokotlakého řadového vstřikovacího čerpadla apod. Tato regulace však má svoje technické limity dané již principem a nemůže reflektovat další okolnosti, které mohou výsledek regulačního zásahu znatelně změnit. Konkrétně se může jednat o opotřebení vstřikovací soustavy. V současné době je preferována regulace za použití elektronických prvků se zpětnou vazbou. První systémy elektronické regulace byly určeny pro řízení spalovacího procesu motoru. U vznětových motorů docházelo k mírnému zpoždění zavádění do sériové produkce, než tomu bylo například u zážehových motorů osobních automobilů. V průběhu vývoje vstřikovacích soustav pro vznětové motory je patrné, že nárůst začal po roce 1986, v té době ještě u řadových vstřikovacích čerpadel. Zatímco regulace počátku vstřikování a dodávky paliva s blokováním přívodu paliva bylo používáno již od 80. let 20. století. Nově se regulace vztahovala na množství vstřikovaného paliva, a také na řízení recirkulace výfukových plynů. Již v této době byl zřejmý tlak na výrobce, aby traktory splňovaly zpřísnující se požadavky na emise, a lze říci, že dnes je zavádění elektronického řízení u motoru motivováno z velké části požadavky pro splnění homologačních předpisů.

V průběhu let 1994 až 1998 byl uveden do sériové produkce sdružený systém vstřikování (Bosch UIS nebo UPS) a také systém s tlakovým zásobníkem - Common Rail. Regulace těchto systémů byla svěřena pouze elektronické řídicí jednotce (dále označená jako ECU – Electronic Control Unit nebo ECM – Electronic Control Module), která byla společností Bosch komerčně označena jako EDC – Electronic Diesel Control, a která již byla nasazena u rotačních vstřikovacích čerpadel. Výrobci traktorů často používají řídicí jednotky Bosch s označením EDC7, EDC16 (viz tab. 2.1) a nově je použit u traktorů SCR systém řízení EDC17. Srovnání parametrů elektronických řídicích jednotek Bosch EDC7 a EDC16 je uvedeno v tabulce 2.2. Ostatní výrobci, například Motorola označují své systémy řízení jinak, ovšem architektura zůstává víceméně shodná. Mimo zvýšení přesnosti regulace přinesla elektronika zlepšení spolehlivosti, a to zejména v extrémních podmínkách okolí. Dále je schopna pracovat v reálném čase a umožňuje adaptaci pro rozličné snímače a akční členy. (Bauer, 2013)

Tab. 2.1- Přehled řídicích systémů pro motory traktorů

Výrobce ECU	Verze/varianta	Výrobce traktoru
Bosch	EDC7 C1/C2	CASE IH, New Holland
Bosch	EDC7 UC31	CASE IH, New Holland, Fendt, Deutz, Valtra, Landini, McCormik, Same
Bosch	EDC16	CASE IH, New Holland, Fendt, Deutz
Bosch	EDC17	Fendt
Motorola-Cummins	CM554	CASE IH, New Holland, John Deere, JCB
Motorola-Cummins	CM570	CASE IH, New Holland, John Deere
Phoenix	L4-L16	John Deere
Motorola-Cummins	CM850	CASE IH, New Holland, McCormik, JCB
Heinzmann		SAME, Deutz



Obr. 2.1 – Řídicí jednotka převodovky traktoru ZETOR Forterra Classic (Agrozet, 2017 [online])

Tab. 2.2 - Parametry elektronických řídicích jednotek určených pro traktory (Bauer, 2013)

Parametr	Bosch EDC7UC31	Bosch EDC16U40
Určení	Common Rail/Sdružené vstřikovače	Common Rail/Sdružené vstřikovače
Místo instalace	Motor	Rám, kabina
Napájení	12V, 24V	12V, 24V
Ovládání hlavního relé	interní	externí
Max. počet válců	8	6
Master/slave ECU	ano, max. 16 válců	ne
Lambda smyčka	ano	ne
Max. počet vstřiků (CR)	5	5
Platforma	Silver Oak, Green Oak	Silver Oak, Green Oak
RAM	32 kB	32 kB
Flash paměť	2 MB	2 MB
EEPROM paměť	8 kB	8 kB
PWM výstup	7x	4x
Reléové výstupy	15x + 1x interní	10x
Frekvenční výstup	4x	4x
Frekvenční vstupy	6x	5x
Aktivní analogové vstupy	11x	10x
Pasivní analogové vstupy	11x	10x
Digitální vstupy	13x	21x
CAN-BUS	2x (500kb/s, 1Mbps jako option)	2x (500kb/s, 1Mb/s jako option)
K-line (ISO9141)	1x	1x
LIN	1x	ne

U systémů přímého vstřikování nafty (CR, UIS, UPS...) je podstatnou změnou dělení dávky do několika dílčích vstřiků (pilotní, hlavní, dostřik), v současné době se jedná až o sedm otevření trysky v průběhu jednoho cyklu vstřikování (ovšem záleží na zatížení motoru a dalších podmínkách). Regulace vstřikování podléhá nejen základním vstupním parametrům o zatížení, otáčkách motoru, okolních podmínkách, ale je zatížena i ze strany externích systémů, například řízení převodového ústrojí, brzdového systému aj. Výsledkem je pak značné množství proměnných. U řídicích jednotek vznětových

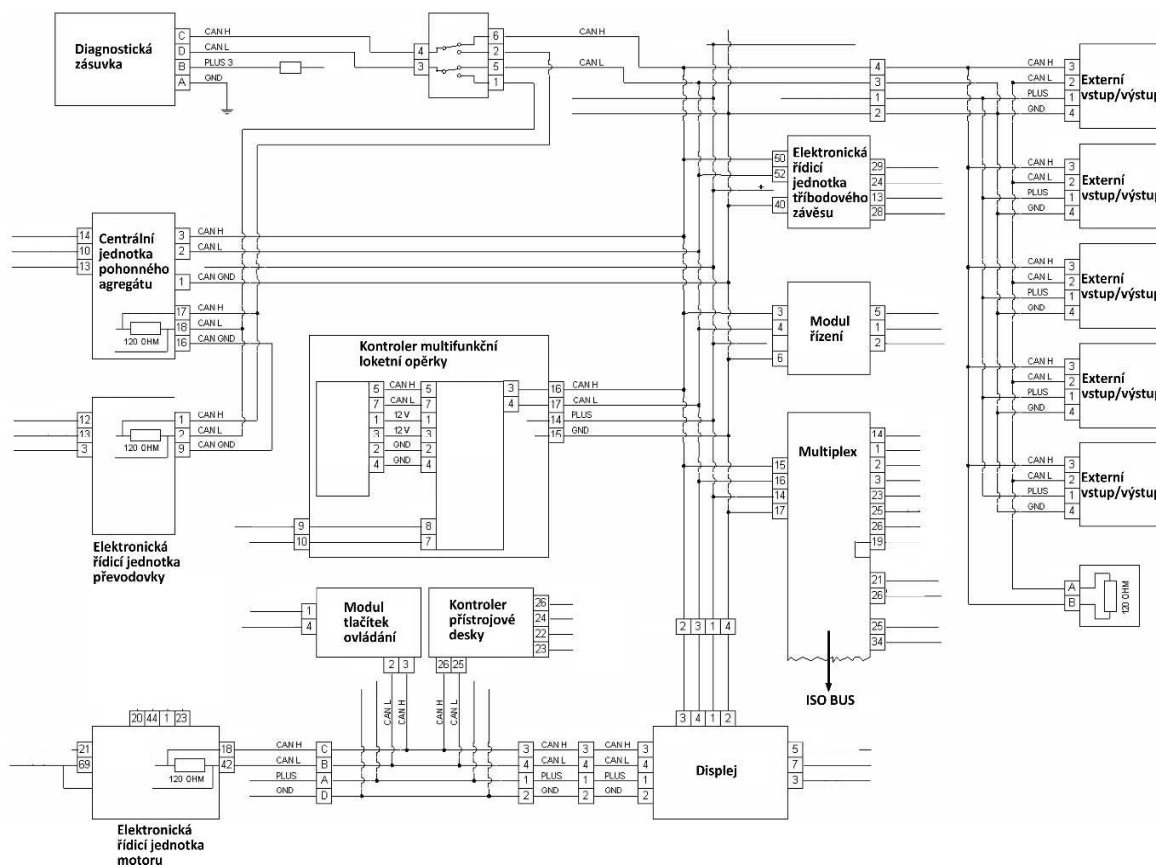
motorů již byla překonána hranice 10 000 parametrů. Takový počet klade poměrně vysoké nároky na výpočetní výkon mikroprocesoru a velikost paměti.

Elektronická řídicí jednotka může být členěna na tři základní části:

1. Vstupní obvody pro senzory, stavové členy a komunikační rozhraní.
2. Vlastní procesorová část obsahující algoritmy regulace.
3. Výstupní obvody pro akční členy (aktuátory), zobrazení a komunikační rozhraní.

Komunikační rozhraní je obousměrné a je součástí systému předávání informací v rámci vozidlové sítě, bude dále popsáno. Procesorová část obsahuje digitální filtraci signálu. Výstupní část obsahuje zejména obvody výkonových členů (ovládání vstřikovačů aj.). Reálně jsou tedy na vstupních obvodech řídicí jednotky určeny výše hodnot například požadavek točivého momentu od pedálu, který vyvolává řidič, dále se určí hodnoty otáček motoru, množství vzduchu pro spalování, teploty vzduchu, teploty chladicí kapaliny motoru, teploty motorového oleje, teploty paliva, rychlosti vozidla aj. Navíc jsou na vstupní straně přijaty požadavky z komunikačních linek o dalších požadavcích, například od brzdové soustavy – retardéru, externích zařízeních a v budoucnu i od stabilizačních systémů (u osobních automobilů komerčně označených jako ESP či ESC). Výpočtem je určen čas otevření trysky vstřikovače (několikanásobně dělený) a hodnoty jsou převedeny zvláštním obvodem pro ovládání vstřikovačů. Mimo zmíněného příkladu jsou přivedeny vstupy také ze systémů tempomatu, ochrany proti odcizení, regulace alternátoru, regulace hydraulických a pneumatických systémů, klimatizace aj.

Interní části elektronické řídicí jednotky jsou uzpůsobeny podmínkám provozu. Principiálně se design jednotky navrhuje pro provoz na deset let (u osobních automobilů je zaručen proběh 250 tis. km). (Bauer, 2013)



Obr. 2.2 Typické rozložení CAN jednotek u současného traktoru

Sběrnici CAN lze charakterizovat ve stručnosti v následujících pěti bodech:

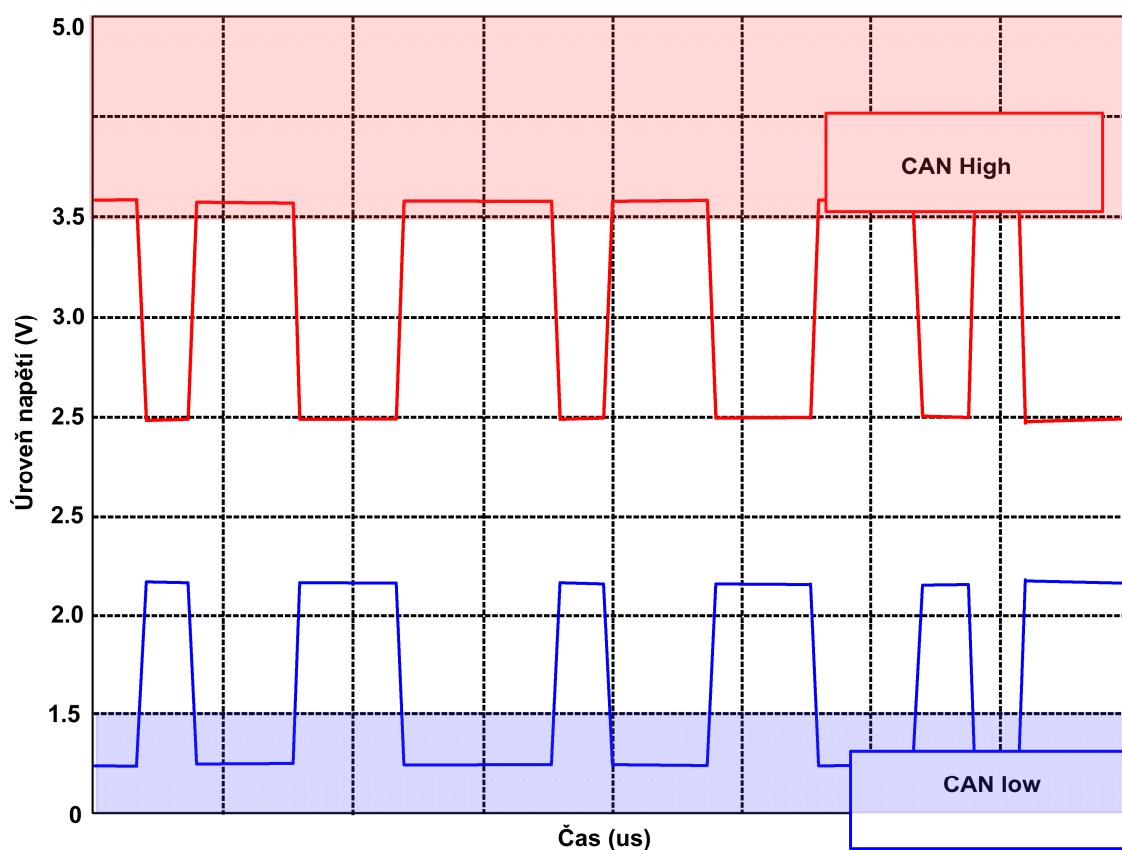
1. Dvouvodičové provedení ve stíněném i nestíněném provedení nejčastěji kroucenou dvojlinkou s definovaným počtem kroucení na metr délky. Toto uspořádání snižuje ovlivnění signálů elektromagnetickým rušením EMI. Spolehlivost přenosu je výrazně zvýšena diferenciálním signálem, kdy jsou signály invertovány a indukce rušení nemění diferenční hodnotu.
2. Síť nemá preferované uzly (neexistuje adresace), ty jsou si rovnocenné, prioritu nese zpráva sama ve své první části zprávy, resp. frame. Všechny uzly na jedné síti však musejí mít shodné časování (komunikační rychlost). Síť je typu multimaster, neexistuje hlavní řídicí jednotka (master) a podružné jednotky (slave).
3. Maximální počet parametrů je závislý na použitém protokolu. Velmi často se implementuje standard SAE J1939 (ISO 11898).

4. Standardizace dle OSI modelu (Open System Interconnect, definice fyzické, linkové, datové aplikační ... vrstvy) je pouze na úrovni linkové vrstvy a podle norem ISO se dělí na low speed CAN s komunikační rychlostí do 125 kb/s a high speed CAN, který umožňuje komunikaci do rychlosti až 1 Mb/s.
5. Spolehlivost sítě je téměř 100%. (SAE J1939-1, 2011)

Propojení mezi sítěmi je řešeno pomocí aktivního síťového prvku. Typicky u traktoru se jedná o propojení sběrnice CAN a ISO-Bus.

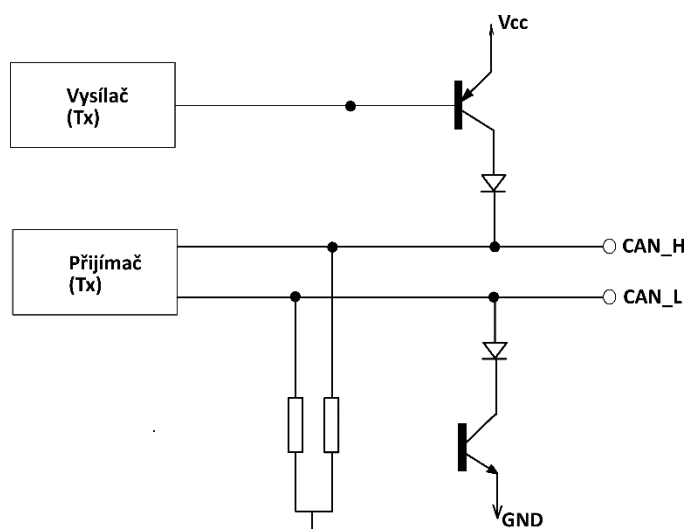
K jednotlivým bodům charakteristiky CAN-Bus:

Ad I. Přenos signálu kroucenou dvojlinkou je ve sdělovací technice obvyklým prostředkem. Poprvé byla tato metoda předvedena Alexandrem Grahamem Bellem v roce 1881. Pár vodičů je u sběrnice CAN rozlišen označením CAN_H a CAN_L (high a low, pozor na záměnu s komunikační rychlostí, CAN_H a CAN_L popisují úroveň signálu) (SAE J1939-15, 2008). Počet zkroucení na jeden metr délky by měl činit 40, ovšem dnes se lze setkat i s kabely, které jsou odolné rušení díky stínění a zejména jsou odolnější mechanickému poškození. Na konci linky se kvůli odrazu nacházejí terminátory (rezistory), které mají nominální ohmický odpor 120 Ω (minimálně 108 Ω , maximálně 132 Ω) (SAE J1939-11, 2006). Specifikace sběrnice uvažuje typické zpoždění přenosu 5 ns na 1 m délky vedení. Digitální komunikace po síti CAN má svoji podobu ve dvou vzájemně invertovaných signálech (viz obr. 2.3).



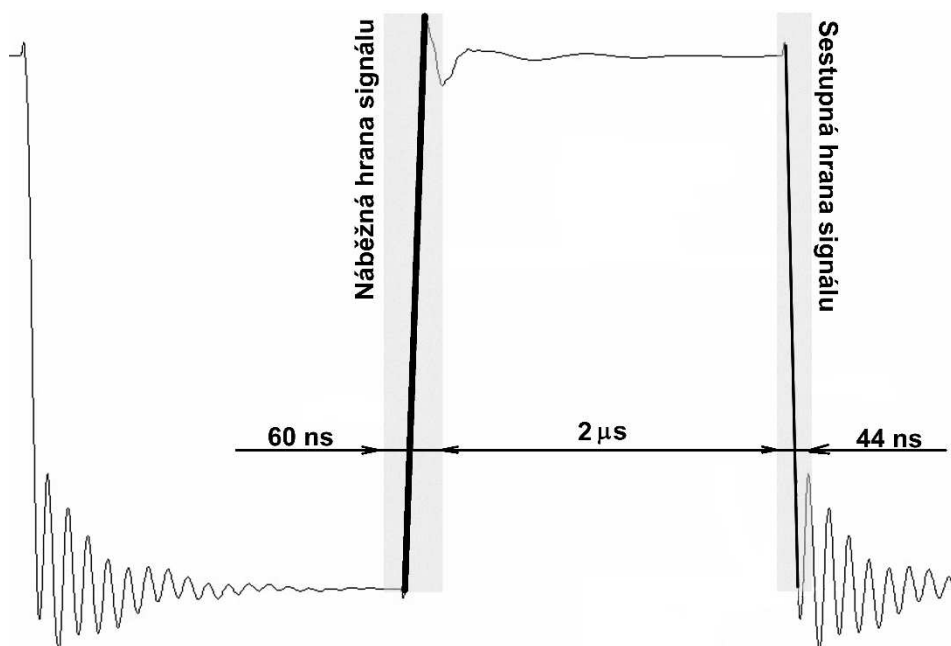
Obr. 2.3 - Průběh napětí na vodičích CAN_H a CAN_L a vyznačení prahových napětí

Z průběhu na obr. 2.3 je patrné, že pokud bude diference mezi vodiči blízká nule, pak je stav označen jako logická 1 a její slovní označení je **recesivní**. Naopak bude-li diference v úrovni 2,5 V, pak se jedná o logickou 0, stav je nazýván jako **dominantní**. Důležité je dbát na rozdíl mezi napětovými úrovněmi a přiřazením k logickým hodnotám, jedná se o napětovou diferenci. Realizace stavu sběrnice recesivní je řešeno většinou zavřenými tranzistory, přičemž nula je zajištěna rezistory tak, že napětí na vodičích, tedy vzájemný potenciál, nepřesáhne práh. Dominantní stav je tvořen stav komplementárních tranzistorů, kdy pro CAN_H se připojí na napájecí napětí a CAN_L na nulu. Na obr. 2.4 je principiálně znázorněno zapojení pro budič sběrnice CAN.



Obr. 2.4 - Schéma obvodu budiče sběrnice CAN (SAE J1939-14, 2011)

Na obr. 2.5 je uvedena doba trvání jednoho bitu s parametry náběžné a sestupné hrany podle SAE J1939-14 (SAE J1939-14, 2011).



Obr. 2.5 - Časové limity pro bit při komunikační rychlosti 500kb/s (Bauer, 2013; SAE J1939-14, 2011)

V tabulce 2.3 jsou uvedeny maximální délky vedení CAN-Bus při různé komunikační rychlosti. Tato hodnota je uvedena pro páteř sběrnice.

Tab. 2.3 - Maximální délka vedení sběrnice CAN při různé komunikační rychlosti (SAE J1939-14, 2011)

Komunikační rychlost	Délka vedení
(kb/s)	(m)
125	530
250	270
500	130
1000	40

Vlastní CAN zpráva se vyznačuje přesně danou strukturou – datovým rámcem.

Jak je zřejmé z obrázku, datový rámeček je složen z několika částí. Ty se liší podle užití specifikace, určitým rozpoznávacím znakem je délka arbitrážního pole. To může mít standardně 11 bitů (Bosch CAN 2.0A – obr. 2.6), nebo 29 bitů (Bosch CAN 2.0B – obr. 2.7) – rozšířené arbitrážní pole.

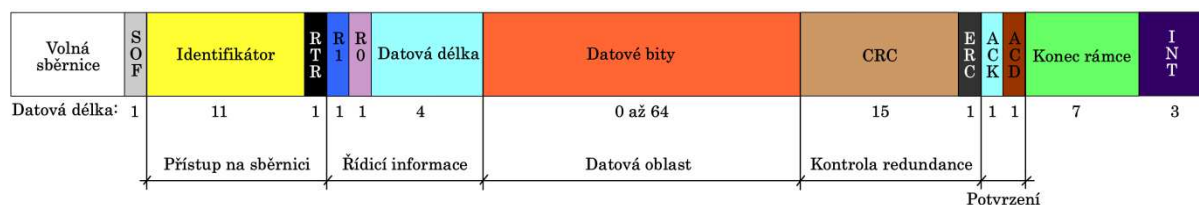
Podle funkce se rámce rozlišují jako:

Datový rámeček (Data Frame) – obsahuje data vysílaná mezi uzly,

Řídící rámeček (Remote Frame) – žádost o vysílání datového rámce se stejným identifikátorem,

Chybový rámeček (Error Frame) – indikace chyby jakéhokoliv uzlu,

Rámeček přetížení (Overload Frame) – umožňuje zastavení komunikace.



Obr. 2.6 Obsah rámce specifikovaného dle Bosch CAN 2.0A

Názvosloví pro rámec specifikace 2.0A:

SOF – Start of frame – určuje začátek zprávy, má úroveň dominant,

Identifikátor – nese v sobě prioritu a dále podle protokolu určuje obsah zprávy,

RTR – Remote Transmission Request – definuje, jedná-li se o datovou zprávu (dominantní) nebo o žádost o data (recesivní),

R1 – rezervovaný bit,

R0 – rezervovaný bit,

Datová délka – DLC – nese počet datových bajtů,

Datové bity – obsahuje data, která se vyměňují mezi řídicími jednotkami,

CRC – kontrola součtu bitové sekvence

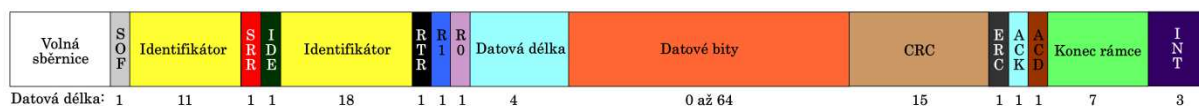
ERC – oddělovač CRC (recesivní),

ACK – Acknowledge Slot – potvrzovací bod,

ACD – Acknowledge Delimiter – oddělovač (recesivní),

Konec rámce (EOF) – ukončení rámce sedmi recesivními bity,

INT – intermission – mezera mezi zprávami.



Obr. 2.7 Obsah rámce specifikovaného dle Bosch CAN 2.0B

Rozdíl mezi specifikací 2.0A (Standard) a 2.0B (Extended) je v oblasti přístupu na sběrnici. Celkově má identifikátor 2.0B 29 bitů, což výrazně rozšiřuje počet adres (tedy i zpráv).

Názvosloví pro rámec specifikace 2.0B:

SRR - Substitute Remote Request – nahrazuje bit RTR a je vždy recesivní, zabránuje kolizi mezi rámci s 11bitovým a 29bitovým identifikátorem.

IDE – Identifier Extended – je recesivní a díky jeho poloze má přednost standardní rámec.

Ostatní pole jsou shodná se specifikací Bosch 2.0 A.

2.1 Normativní požadavky na elektronické komponenty traktoru

Vzhledem k rostoucímu počtu používaných elektronických komponent, z nichž má většina integrované rozhraní CAN je nutné zaručit jejich kompatibilitu jak vzájemnou, tak s budoucími novými prvky.

Problematický může být pro tyto komponenty také vliv okolí, zejména elektromagnetické rušení. Zemědělská vozidla se obecně vyznačují vyšší hladinou zrychlení vibrací, což má výrazný podíl na snižování životnosti elektronických komponent. Taktéž agresivní prostředí v provozech s živočišnou i rostlinnou výrobou nebo při zimní údržbě komunikací ošetřených posypovou solí, kde jsou traktory často nasazovány do provozu, se nepříznivě projevuje v podobě koroze kontaktů konektorů, vodičů a při nedostatečně těsném obalu i samotných desek elektronických jednotek.

2.2 Výčet typických normativních požadavků

Následující souhrn je typický pro elektronické řídicí jednotky traktoru, které musí splňovat následující požadavky:

- ISO 14982 EMC (elektromagnetická kompatibilita)
- 208/2015-EU regulation
- EHK no 10
- ISO 7637-2 severity class 4
- ISO 16750-2 (2012) protection against cranking pulses
- Jednotka musí být odolná vůči přepólování minimálně -15V po dobu minimálně 10min
- Jednotka musí být odolná vůči přepětí (26V po dobu 5 min a 18V po dobu 1h)
- Jmenovité napájecí napětí jednotek je 12 VDC
- Jednotka musí být certifikovaná podle ISO14982 nebo 208/2015EC nebo EHK č. 10

Odolnost elektronické jednotky vůči vibracím dle (ISO 16750-3):

- $57,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, 10 až 1000 Hz, test 32 h na každou osu
- 10 Hz: $18 (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$
- 20 Hz: $36 (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$
- 30 Hz: $36 (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$
- 180 Hz: $1 (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$
- 2000 Hz: $1 (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$

Odolnost proti rázům:

Transportní ráz (IEC 60068-2-27)

$$a = 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}; t = 11 \text{ ms}$$

Na každou osu: x, y, z

3 ZPŮSOBY TESTOVÁNÍ ELEKTRONICKÝCH ŘÍDÍCÍCH JEDNOTEK

3.1 Laboratorní test

Laboratorní testy jsou prováděny jako sekvence hardwarových a softwarových kombinací stavů, které mohou v provozu nastat. Stěžejní bod pro provedení objektivní laboratorní validace je zajištění podmínek, které navozují situace v reálném provozu obtížně a nákladně realizovatelné. Simulace je možné rozdělit na hardwarovou a softwarovou část.

3.1.1 Základní připojení, kontrola klidového odběru proudu

Provádí se při napájení pomocí laboratorního zdroje nastaveného na jmenovité palubní napětí, v případě traktorů Zetor je to 12 V. Při této příležitosti je měřen odebíraný napájecí proud a zejména tzv. klidový odběr proudu. K tomuto odběru dochází ve stavu po vypnutí spínaného napětí (č.15) a časové prodlevě cca 15 s, kdy je jednotka v tzv. *Sleep mode*, nemá tedy v činnosti výstupy k aktuátorům, ale je v činnosti napájecí část a jsou hlídány vstupy vedoucí k plnému zprovoznění jednotky (zpravidla po zapnutí spínaného napětí).

Jednotka v uspaném stavu odebírá zpravidla proud v řádech jednotek mA, pokud by byl odběr vyšší, řádově ve stovkách mA, způsobí tento odběr postupné vybíjení startovacího akumulátoru traktoru. To je kritické v zimních měsících, kdy týdenní odstávka společně se zvýšeným klidovým odběrem a nízkou teplotou způsobující zvýšený vnitřní odpor akumulátoru může znemožnit nastartování traktoru.

Klidové odběry všech elektronických jednotek traktoru jsou specifikovány tak, aby jejich celkový součet nepřesáhl 20 mA.

3.1.2 Test odolnosti vůči extrémům napájecího napětí

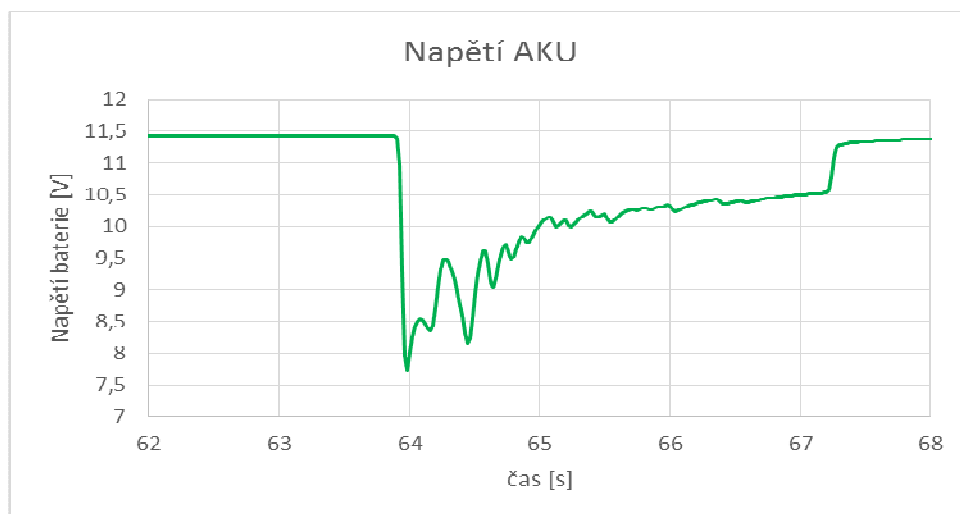
Každá ECU v traktoru je koncipována na jmenovité palubní napětí 12 V. V provozu nastávají značné výkyvy napájecího napětí. Mírné a dlouhodobé odchylky napětí jsou způsobeny činností dobíjecí soustavy, celkovým odběrem spotřebičů, přechodovými odpory kabeláže nebo stavem akumulátoru. Palubní napětí při běžném provozu se

pohybuje v rozmezí 13,6 až 14,4 V, což je více než jmenovité napětí akumulátoru (12 V), běžný, ustálený provoz tak není pro napájecí část ECU kritický.

Výrazně nejkritičtější je naopak těžký start motoru, zpravidla za nízkých okolních teplot. Nízká teplota (např. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) způsobí vyšší viskozitu maziva v motoru a převodovce traktoru, tedy zvýšení pasivních odporů proti otáčení. Dále způsobuje snížení pohyblivosti iontů v elektrolytu olověného akumulátoru. Pokud není velikost regulovaného palubního napětí přizpůsobena teplotě akumulátoru, dochází při dlouhodobém zimním provozu ke snižování stavu nabití (hustoty elektrolytu). V ideálním případě je regulátor buzení alternátoru kompenzován teplotním snímačem umístěným v blízkosti akumulátoru a velikost palubního napětí je tak přizpůsobena teplotě akumulátoru, aby došlo k plnému nabití v zimních měsících a naopak aby nedocházelo k přebíjení v letních měsících.

Při nízkých teplotách navíc stoupá vnitřní odpor akumulátoru, což má v souvislosti s vysokými pasivními odpory za následek výrazný pokles napětí při startu traktoru. Napětí při tomto přechodovém stavu poklesne krátkodobě velmi nízkou, např. na 7 V a to je kritické pro napájecí obvody ECU.

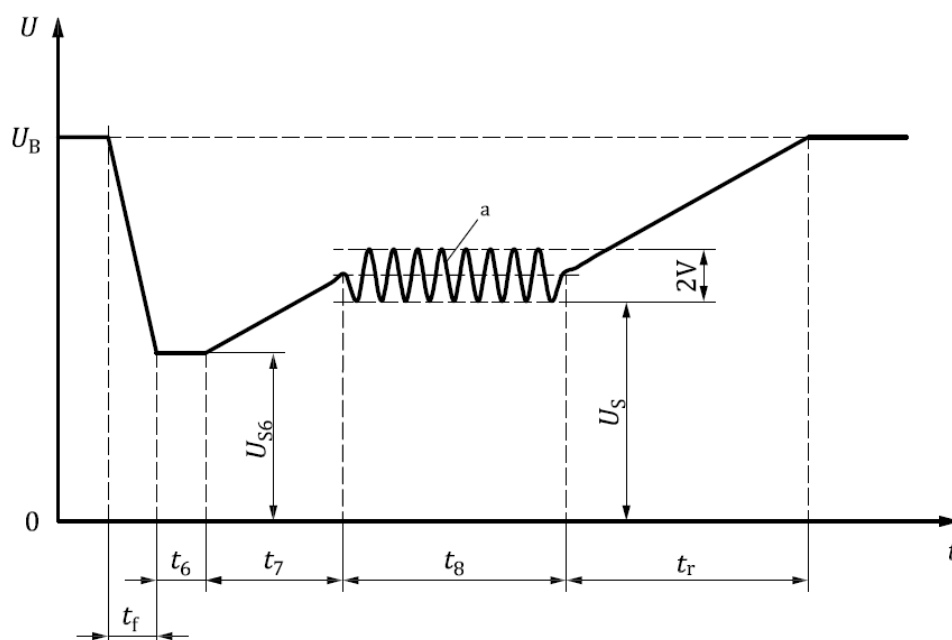
Na obrázku (3.1) je znázorněn průběh svorkového napětí akumulátoru při startu motoru za ztížených podmínek. Těch je dosaženo vybitím akumulátoru na 70 % jmenovitého náboje („kapacity“) a následným podchlazením celého traktoru na teplotu $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 3.1 - Průběh napětí na svorkách akumulátoru při startu motoru Zetor za nízkých teplot

Stejný průběh má tedy i napájecí napětí všech ECU. Pro start jsou klíčové ECU přímo ovládající motor a ECU, které z bezpečnostních důvodů mohou zablokovat start. Pokud by došlo vlivem poklesu napětí k restartu těchto ECU, dojde k neúspěšnému startu, ať už zablokováním ovládání spouštěče nebo nevystavením dávky paliva.

Všechny elektronické jednotky je tedy vhodné vystavit při laboratorním testu stejnému průběhu napájecího napětí, jako při startu traktoru. Průběh napětí při startu motoru je také definován směrnici ISO-16750-2:2012, jak je znázorněno na obrázku níže:



Obr. 3.2 - Průběh napětí palubní sítě při startu motoru dle ISO-16750-2:2012

Napájecí obvody ECU musí být chráněny nejen proti podpětí, ale i proti přepětí. K němu typicky dochází při startování s externím pomocným startovacím zdrojem, zejména při nedodržení správného postupu. Chybou obsluhy může navíc dojít k přepólování svorek akumulátoru. V palubní síti traktoru je připojeno množství spotřebičů induktivního charakteru, které opět způsobují napěťové špičky. Typicky jsou to elektromagnetické ventily či jiné aktuátory, elektromotory, houkačka, relé.

Na všechny tyto prvky se vztahují příslušné normy, které stanovují, jak může být těmito prvky rušeno okolí a naopak, jak musí být elektronický komponent odolný vůči rušení okolí, aniž by byla ovlivněna jeho správná činnost.

K laboratornímu testu extrémů napájecího napětí je nutné specifikovat průběh napájecího napětí, tento implementovat do napájecího zdroje (generátoru), přivést na vstup zkoušené ECU a sledovat její funkcionalitu. Jako zdroj testovacího napětí je možné použít programovatelný laboratorní zdroj s dostatečně rychlým napěťovým přeběhem nebo programovatelný generátor signálu (s výraznou stejnosměrnou složkou signálu) a příslušný výkonový zesilovač.

3.1.3 Test odolnosti vstupů a výstupů

Každá ECU má definovány vstupní a výstupní kanály. Ke vstupům jsou zpravidla připojeny snímače, které jsou v základu definovány dle následujících parametrů:

- Typ signálu: Napěťový, proudový, rezistivní, PWM, digitální, ...
- Rozsah signálu jmenovitý
- Rozsah signálu včetně popsanych poruchových stavů snímače (hodnota mimo rozsah, snímač nepřipojen, ...)

Výstupy, které slouží k ovládání aktuátorů, k napájení snímačů nebo aktuátorů a ke komunikaci jsou zpravidla definovány těmito základními parametry:

- Typ signálu: Digitální x analogový, napěťový x proudový, PWM, stabilizovaný napěťový, ...
- Rozsah signálu jmenovitý
- Rychlost změny signálu
- Proudová zatížitelnost nebo minimální impedance zátěže
- Způsob a hodnota jištění proti nadproudu

V reálném provozu může dojít vlivem poruchy k některému z následujících stavů:

- Zkrat na kostru
- Zkrat na plus (palubní napětí)
- Zkrat na jiný vodič v kabelovém svazku

- Přechodový odpor
- Přerušení vodiče

Při základním, úplném testu HW elektronické jednotky by měly být všechny vstupy i výstupy podrobeny testu výše zmíněných stavů, aby se zamezilo zničení ECU nebo vzniku nebezpečné situace v provozu traktoru (např. samovolné rozjetí traktoru nebo PTO, znemožnění zabrzdění, ...).

Součástí testu odolnosti je i tzv. EMC test – elektromagnetická kompatibilita, který je nutný provést na traktoru se všemi zkompleťovanými kabelovými svazky do kterých se může naindukovat okolní testovací elektromagnetické záření. Jsou známy situace, kdy ECU samotná test EMC splňuje, což zpravidla zajišťuje dodavatel ECU, ale při integraci do kompletní kabeláže vozidla vzniknou problémy s funkčností.

3.1.4 Test dle CAN protokolu

Každá ECU komunikující po sběrnici CAN má definovaný tzv. CAN protokol. To je seznam a specifikace přijímaných zpráv, které má jednotka číst a na které má reagovat a obdobně je specifikován i seznam vysílaných zpráv.

Test zahrnuje odesílání specifikovaných zpráv do ECU s následnou kontrolou reakce ECU a naopak čtení vyslaných zpráv z ECU na CAN.

Tento test je vhodné zautomatizovat, zejména pokud je zpráv větší množství. Vhodným nástrojem je např. LabVIEW od firmy National Instruments v kombinaci s USB/CAN převodníkem.

3.1.5 Test podle funkční specifikace

Funkční specifikace je souhrn činností ECU, který přesně popisuje její funkcionalitu. Bývá ve formě dokumentu, který je stěžejní pro dodavatele ECU, resp. programátora softwaru. Definuje podrobné funkce jednotlivých vstupů a výstupů a strukturalizuje chování programu na základě vstupních podmínek. Informace pro chod programu jsou získávány ze sběrnice CAN nebo přímo ze snímačů na vstupech dané ECU. Tento test je zpravidla zkombinován s testem dle CAN protokolu do jednoho postupu.

Realizace funkčního testu v laboratorním prostředí vyžaduje simulaci okolních komponent. Je nutné simulovat sběrnici CAN dle CAN protokolů ostatních jednotek.

Dále je nutné použít všechny definované snímače nebo aktuátory. Není-li možné tyto periferie připojit přímo, je vhodné generovat elektricky shodné signály. Digitální vstupy se simulují snadno pomocí vypínačů, relé nebo tranzistorů. Analogové signály je možno simulovat pomocí stabilizovaných regulovatelných zdrojů, generátorů nebo v nejjednodušším případě jen pomocí potenciometru. Frekvenční nebo PWM signál je rovněž možno vygenerovat signálovým generátorem.

V případě předpokládaného většího počtu iterací testu je velmi výhodné realizovat kombinovaný generátor všech potřebných signálů. Ten je možné ovládat programově a je tak zajištěna dobrá opakovatelnost testu při současné úspoře času.

3.1.6 Programové prostředí LabVIEW

LabVIEW, v současné verzi 2016SP1, je programovací vývojové prostředí společnosti National Instruments. Patří do stejné kategorie prostředků programování jako prostředí C, resp. C++, Visual Basic, platformě .NET či podobně koncipované systémy vývoje aplikací. Prostředí LabVIEW se však od nich odlišuje v jednom zásadním směru. Ostatní programovací prostředky používají programovací jazyky vystavěné na základech textových příkazů, které pak jsou interpretovány jako zdrojový kód, LabVIEW však používá programovací jazyk G k vytváření programů ve formě blokových diagramů. Vývojové prostředí LabVIEW je dostupné pro operační systémy Microsoft Windows 7/8.1/10, Linux, Mac OS. LabVIEW, stejně jako C nebo Basic, je programovací systém pro obecné použití s rozšiřujícími knihovnami funkcí pro jakoukoliv programovací úlohu. Prostředí LabVIEW obsahuje knihovny pro získávání dat, ovladače měřících přístrojů, prostředky pro analýzu dat, prezentaci dat a pro jejich uchovávání včetně podpory konceptu XML. Obsahuje též klasické programovací nástroje, kterými lze nastavit místa přerušení běhu programu - breakpointy, animovat chod sledu příkazů, aby bylo zřejmé, jak data procházejí programem a krokovat program pro snazší odladování a vývoj. Dále LabVIEW obsahuje vestavěné knihovny pro plug-in DAQ karty a přístroje GPIB, VXI a sériové komunikace RS-232 či USB, stovky přístrojových ovladačů, rozšiřitelnou knihovnu analýz pro zpracování signálů, statistiku a komplexní analýzu, komunikaci s ActiveX, DDE a možnost síťové komunikace přes UDP či TCP/IP nebo bezdrátově pomocí Bluetooth nebo IrDA.

LabVIEW je systém určený pro obecné programovací účely, ale navíc obsahuje také knihovny funkcí a vývojové nástroje navržené speciálně pro získávání dat a ovládání přístrojů. Programy, tvořené v LabVIEW jsou nazývány Virtual instruments (VIs) (virtuální přístroje), jelikož jejich vzhled a činnost připomínají skutečné přístroje. Nicméně, VIs jsou podobné funkcím konvenčních programovacích jazyků. VIs se skládá z interaktivního uživatelského rozhraní, z diagramu dat a ikon/připojení. Uživatelské rozhraní (Front panel) obsahuje otočné knoflíky, tlačítka, grafy a ostatní ovládací a indikační prvky. Jejich rozmístění se provede podle požadavků při návrhu úlohy. Následně se sestavuje diagram dat, který zastupuje zdrojový kód. V tomto diagramu má každý prvek předního panelu své proměnné a tak je zajištěna vazba na uživatele. Abychom mohli vytvořený virtuální přístroj používat hierarchicky v dalších VIs, lze definovat ikonu a konektory s připojenými proměnnými z diagramu dat. Přes tyto konektory se VIs připojuje do diagramu dat vyšší úrovně. S těmito vlastnostmi LabVIEW podporuje a drží se konceptu standardního (modulárního) programování. Takto lze rozdělit aplikaci do sérií úloh, které se pak můžou znovu rozdělit, až se komplikovaná úloha změní v sérii podúloh. Odtud se VI na nejvyšší programovací úrovni skládá ze souboru subVIs, které reprezentují funkce žádané aplikace. Odlaďování je o to jednodušší, jelikož můžete spouštět každé subVI zvlášť, nezávisle na zbytku aplikace. Kromě toho, mnoho že subVIs umí řešit úlohy společné pro několik aplikací najednou, takže si můžete vyvinout vlastní specializovanou sadu VIs. Výsledná aplikace je spustitelná nejen z prostředí LabVIEW, ale po kompilaci je distribuovatelná pomocí instalačního programu, který nese vlastní program, Run-Time modul a další volitelné prostředky. VIs lze portovat na jakoukoliv platformu, pokud není svázána s WinAPI apod.

G je snadný programovací jazyk, na kterém LabVIEW staví. G zjednodušuje vědecké výpočty, monitorování procesů a jejich ovládání a zkušební a měřicí aplikace. Lze jej uplatnit na širokou škálu ostatních aplikací. Pro základní představu je možné uvést přehled nejzákladnějších rysů: VIs - Virtuální přístroje se skládají ze tří hlavních částí: předního panelu, blokového diagramu a ikony/konektoru. Přední panel obsahuje uživatelský interface. Blokový diagram sestává z exekutabilního kódu, který vytváříte pomocí propojek, uzlů a zakončení. Pomocí ikony/konektoru můžete VI použít jako subVI v blokovém diagramu jiného VI.

Smyčky a diagramy - G obsahuje dvě konstrukce pro opakování běhu subdiagramu - smyčky While loop a For loop. Obě tyto konstrukce jsou rámečky umožňující změnu velikosti. Aby subdiagram byl opakován, umístíte jej dovnitř tohoto rámečku. Smyčka While loop běží do té doby, než hodnota připojená k tzv. podmínkovému terminálu nabude hodnoty TRUE. Smyčka For loop běží přesný počet cyklů. Diagramy se užívají pro zobrazování tendencí dat v reálném čase. Nově je ve verzi 7 implementován systém událostí, který podstatně zjednodušuje programování rozsáhlejších aplikací.

Větvící a sekvenční struktury - Struktura větvení je podmíněné větvení, kdy při splnění dané podmínky je uveden v činnost jistý subdiagram. Sekvenční struktura je programová struktura, která uvede v běh své subdiagramy (obsažené v okně sekvence) postupně v číselném pořadí po sobě.

Property nodes - Jsou to zvláštní uzly blokového diagramu, které se používají pro ovládání vzhledu a funkčních charakteristik ovladačů a indikátorů. Každý z prvků předního panelu má několik proměnných, které určují jeho vzhled. Pomocí Property nodes je lze měnit i během vykonávání programu a tak měnit vzhled předního panelu.

Pole, clustery a grafy - Pole je soubor elementů dat stejného typu proměnitelné velikosti. Cluster je soubor elementů dat stejného, nebo rozdílného typu, pevné velikosti. Grafy jsou běžně užívány k zobrazování dat. (Bitter a další, 2001)

3.2 Provozní test v traktoru

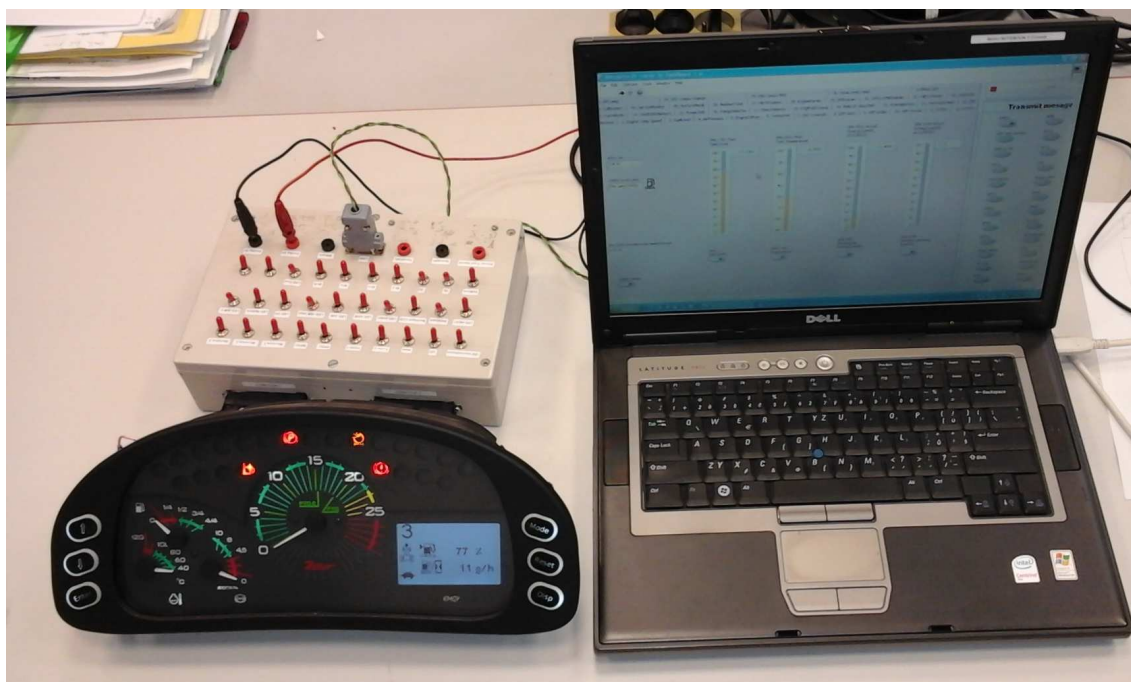
Provozní test elektronických komponent následuje po laboratorním testu a je prováděn s reálnými periferiemi přímo v traktoru. Je vhodné jej provádět proto, že ne vždy je možné laboratorně zajistit podmínky, které se shodují s reálným provozem. Výchozím podkladem pro test je opět funkční specifikace a test je prováděn (konkrétně v případě přístrojové desky) z uživatelského pohledu.

Případná nesrovnalost nebo možná funkční závada je dále diagnostikována a promítnuta do výsledku provozního testu.

4 REALIZACE SIMULÁTORU PRO PŘÍSTROJOVOU DESKU

Ke zkoušce přístrojové desky v laboratorním prostředí je nutné vytvořit okolní podmínky tak, aby byla pro zkoušenou součást navozena stejná situace, jako v reálném provozu. Zároveň musí být umožněno navodit nejružnější kombinace okolních stavů vymykajících se běžnému, bezporuchovému provozu.

Simulátor je nutné rozdělit na dvě části – simulaci CAN sběrnice se všemi ostatními CAN komponenty a simulaci všech hardwarových vstupů. Pro přístrojovou desku traktorů Zetor není nutné vytvářet náhradu aktuátorů, protože k ní nejsou žádné připojeny. Jediný aktivní výstup, který PD obsahuje je buzení alternátoru přes kontrolku dobíjení.



Obr. 4.1 – Přístrojová deska KMGY připojená k simulátoru

4.1 Softwarový simulátor CAN

Výchozími požadavky na funkci CAN simulátoru jsou:

- Přenosová rychlost
- Vysílání všech rámců se správnou periodou a obsahem dle CAN protokolu
- Kontrola diagnostických zpráv

- Kontrola konfigurace
- Kontrola změny SW / FW
- Kontrola a vizualizace vysílaných zpráv

Simulátor je realizován ve formě běžící aplikace na PC, k němuž je připojeno rozhraní USB – CAN. Aplikace je vytvořena v měřicím systému LabVIEW. Jedná se o grafický programovací jazyk, který převádí informace zadané uživatelem do podoby CAN zpráv.

LabVIEW se uživatelsky sestává ze dvou základních částí – *Block diagram* a *Front panel*

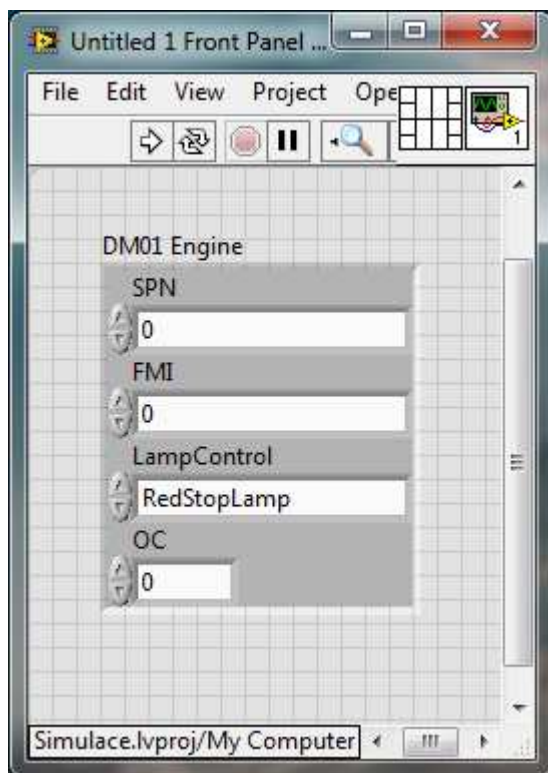
- Block diagram - okno grafické vizualizace samotného programu, slouží pro programování
- Front panel – uživatelský čelní panel – vizualizace a ovládání VI při vlastním běhu programu (VI – Virtual instrument - virtuální přístroj)

4.1.1 Tvorba diagnostické zprávy DM01

Následující příklad představuje postup tvorby diagnostické zprávy DM01. Tato diagnostická zpráva má nastavitelné parametry:

- Zdrojová adresa (SA – Source adress), definuje odesilatele zprávy
- SPN (Suspect parameter number) – číslo specifického parametru
- FMI (Failure mode identifier) – identifikátor typu závady
- Lamp Control – typ kontrolky na PD rozsvícené současně s diagnostickou zprávou
- OC (Occurence count) – počet výskytů závady

Na front panelu byl vytvořen cluster s hodnotami potřebnými pro vytvoření specifické DM01:



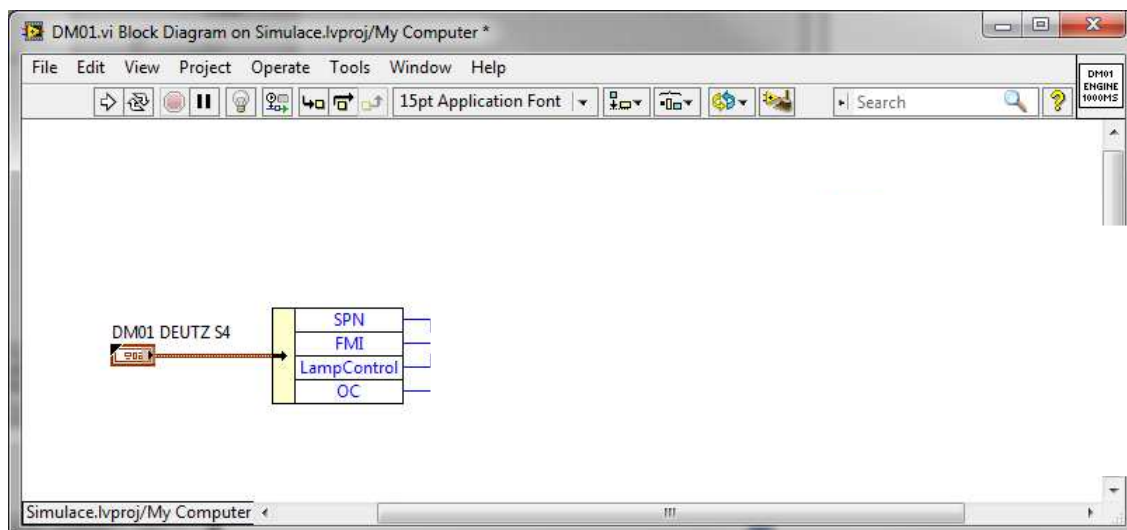
Obr. 4.2 - Front panel VI pro zápis DM01 zprávy z SA 0x00 (Engine)

Zadávací pole použité v clusteru a jejich datový formát:

1. SPN Numeric control „U32“
2. FMI Numeric control „U8“
3. LampControl Enum control „U16“
4. OC Numeric control „U8“

Tento cluster byl uložen jako (Type Def) pro možnost následné optimalizace

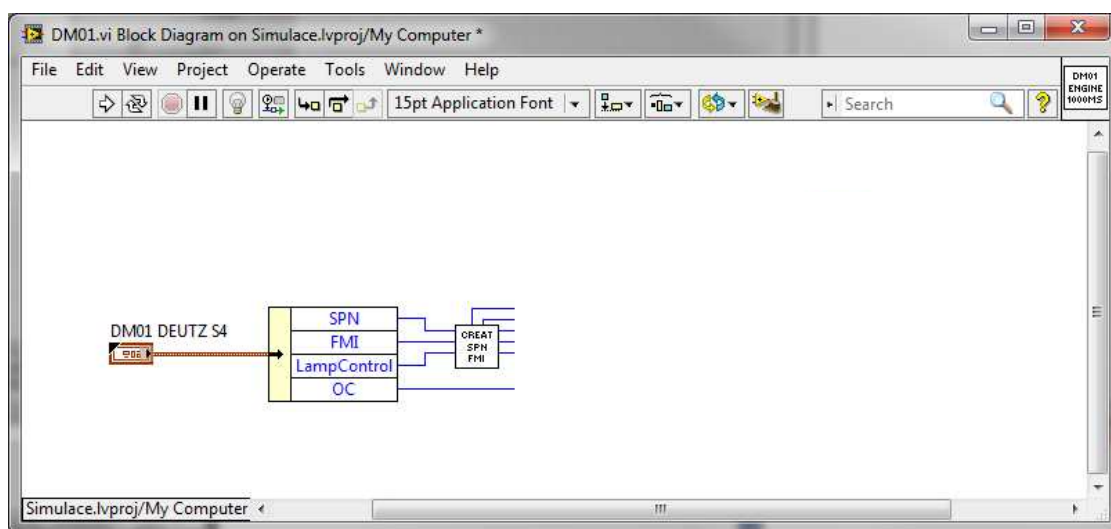
Dále bylo sestaveno v blok diagramu **SubVI (DM01 ENGINE 1000MS)**



Obr. 4.3 – Načtení vstupních hodnot z polí Front panelu

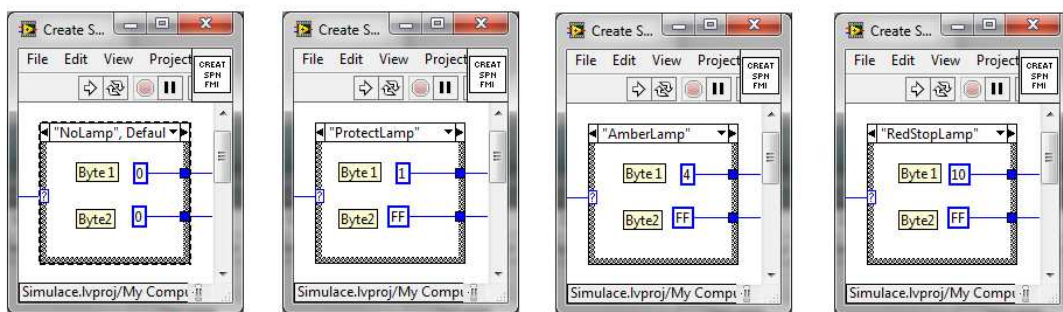
Pomocí funkce **Unbundle by Name** byly rozděleny potřebné vstupní proměnné pro další zpracování. Díky tomu je možné zpracovávat každé pole z clusteru zvlášť.

Hodnoty z clusteru byly rozděleny a bylo sestaveno SubVI (**CREATE SPN FMI**)



Obr. 4.4 – Vložení a připojení SubVI Create SPN FMI

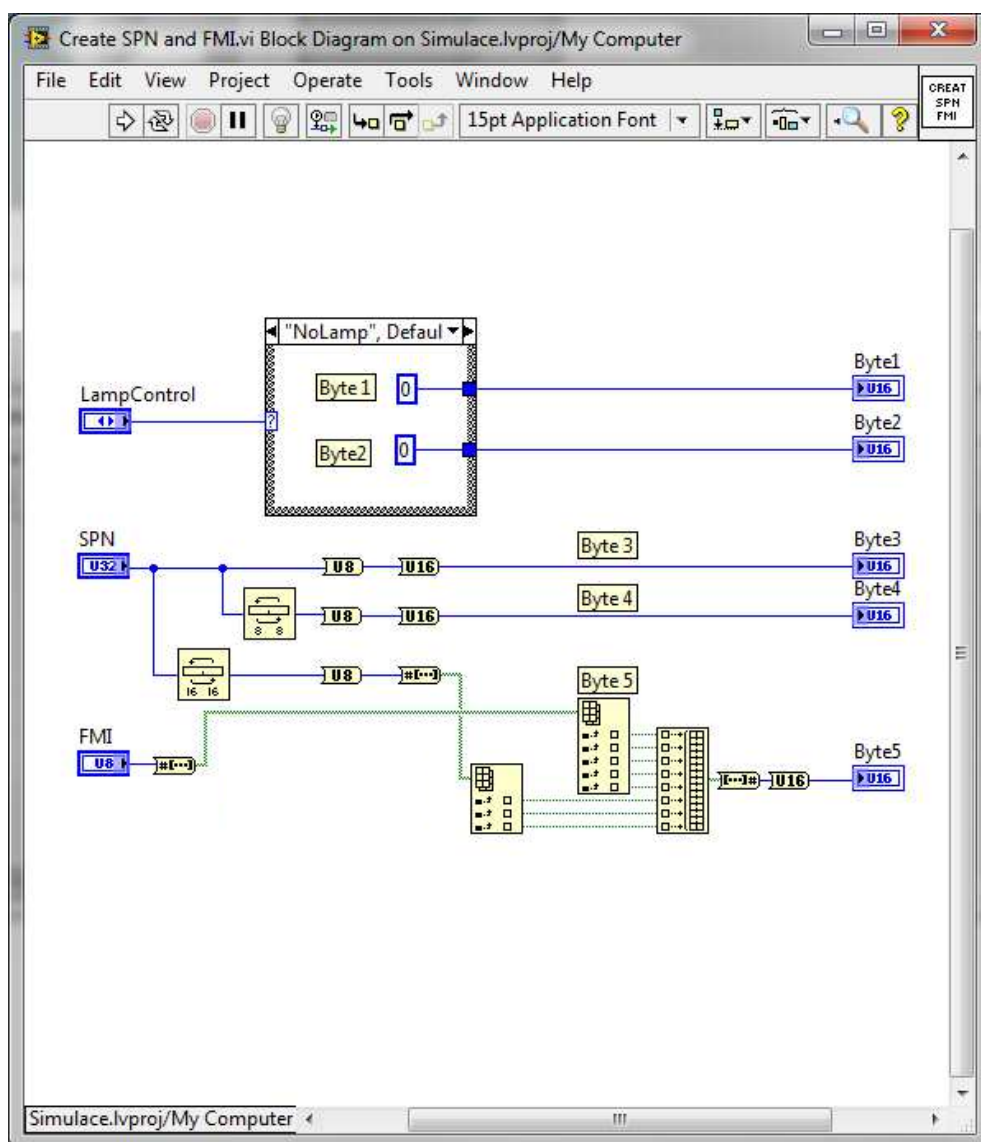
V SubVI (**CREATE SPN FMI**) jsme vytvořili Case Structure pomocí které následně definujeme status diagnostických kontrol v bytu 1. Ve druhém bytu předpřipravujeme status blikání těchto kontrol pro budoucí využití (přístrojová deska v současné době nepodporuje funkci Flash Lamp).



Obr. 4.5 – Varianty inicializace různých diagnostických kontrol v SubVI

Přístrojová deska nepodporuje kontrolku typu Malfunction lamp, proto nebyla tato kontrolka zakomponována.

Dále byly v SubVI převáděny dílčí datové formáty do datových bytů zprávy. J1939 specifikuje zápis SPN do bytu 3, bytu 4 a do posledních tří bitů bytu 5. Hodnota FMI je vložena do bitů 5.6 až 5.8.



Obr. 4.6 – Vložení hodnot SPN a FMI do daných bytů zprávy DM01

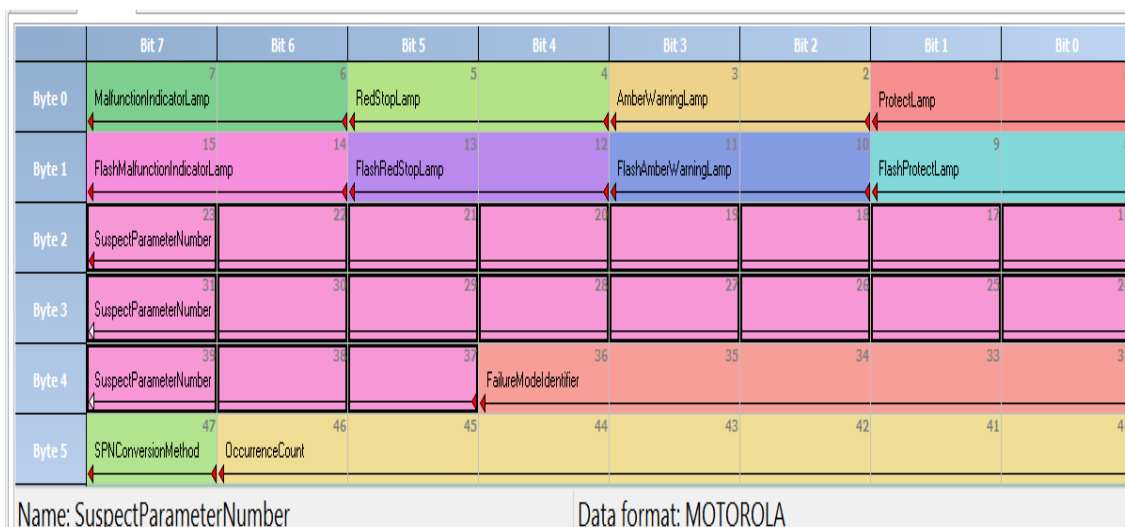
Z obrázku 4.6 je patrné, že bity jsou číslovány od 1.1 do 1.8, atd. jedná se o způsob číslování Little Endian. Na obrázku 4.7 je zobrazena struktura datové oblasti zprávy DM01, ovšem v jiném formátu číslování (adresování) dat a to Motorola. Tento způsob naopak indexuje bity od nuly, tedy bit 0.0 až 0.7. Na rozdílné způsoby indexace bitů je třeba brát zřetel při čerpání z různých dokumentů, které nemusí mít stejný formát.

Vstupní hodnota SPN je načtena z clusteru ve formátu Unsigned Long Integer a je třeba ji rozdělit podle specifikace zprávy do tří bytů. Nejjednodušší situace je u prvního bytu, kde stačí použít funkci konverze na Integer – *Conversion To Unsigned Byte Integer*. Výstupem této funkce je hodnota v rozmezí 0 až 255, tedy prvních 8 bitů parametru SPN.

Pro získání druhého bytu je třeba vybrat dalších 8 bitů parametru SPN k čemuž je možné použít funkci *Swap Bytes*, která umístí druhý byte na místo prvního (ze vstupní proměnné U32) a poté je opět možné vybrat první byte funkcí *Conversion To Unsigned Byte Integer*.

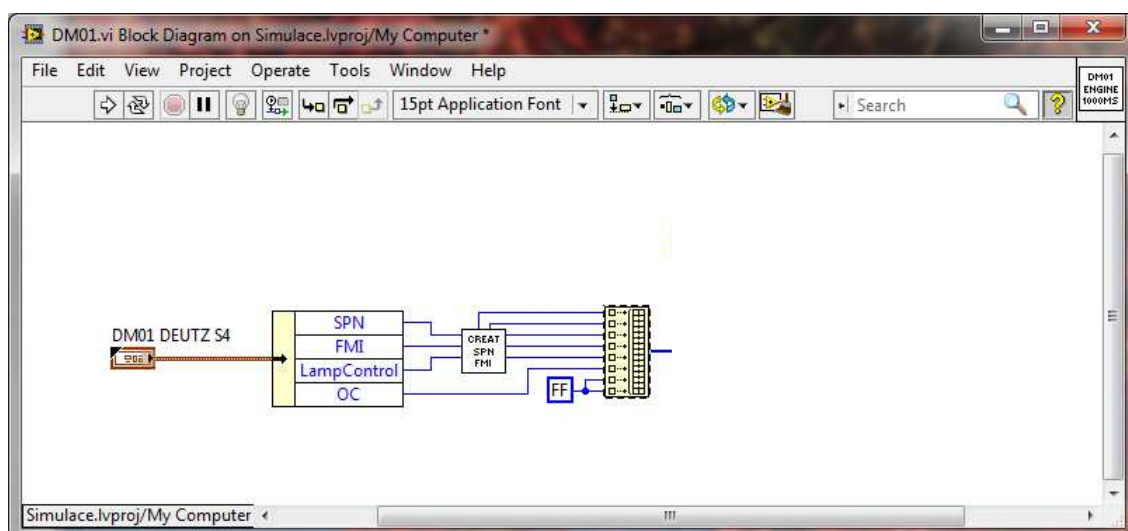
Třetí byte, označen *byte 5* nese informaci části parametru SPN a části FMI. Pro SPN je třeba nejprve rotovat celé slovo funkcí *Swap words*, vybrat první byte a ten převést do binárního formátu funkcí *Number to boolean array*, pro FMI je možné vytvořit booleovské pole přímo, protože je rozsahu do jednoho bytu.

Dále byla vytvořena dvě datová pole o počtu pět a tří míst, která byla spojena do jednoho pole pomocí *Build array*. Takto vytvořený byte v binárním formátu lze převést zpět z booleovských hodnot na číslo pomocí *Boolean array to number*. Pro sjednocení typu datových proměnných v dalším pokračování nadřazeného VI jsou všechny výstupy SubVI CREATE SPN FMI převedeny do datového formátu U16.



Obr. 4.7 – Uspořádání datové oblasti zprávy DM01 dle J1939

Tím je SubVI určeno, k jeho dalšímu využití v nadřazeném VI je potřeba specifikovat pinout (vstupní a výstupní piny, připojovací body) a uložit jej.



Obr. 4.8 – Vytvoření pole datových bytů zprávy DM01

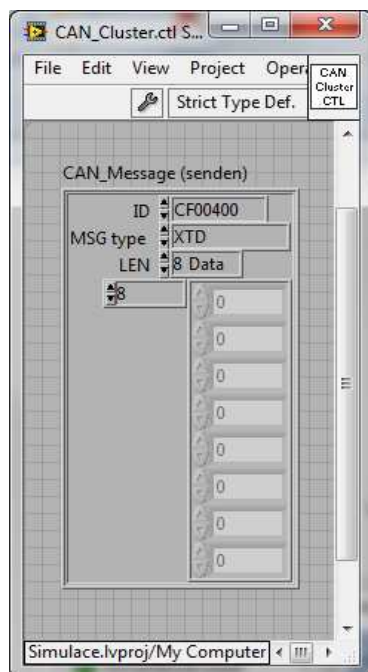
V SubVI (DM01 Engine 1000MS) připojíme SubVI (Create SPN FMI). Na *Build Array* nevyužitému bytu 7 a 8 přidělíme plnou hodnotu 0xFF. Hodnotu parametru OC aplikujeme přímo do datového pole bez úprav.

Simulační program bude použit v součinnosti s USB / CAN převodníkem firmy PeakSystem (Obr. 4.9).



Obr. 4.9 – Převodník USB / CAN pro připojení PC ke sběrnici

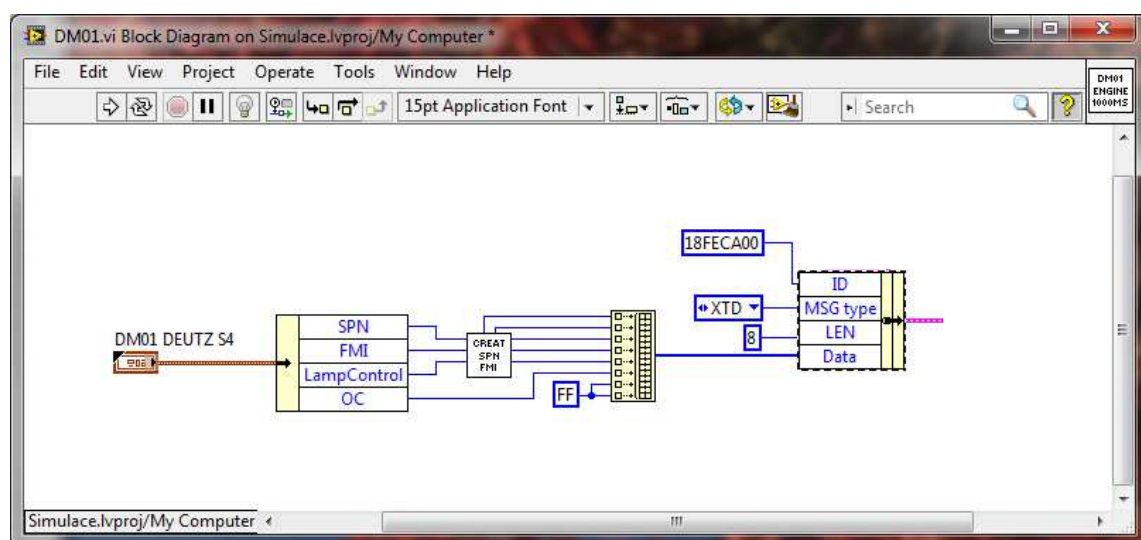
Proto vybereme z TypeDef firmy PeakSystem (*CAN_Message (sender)*)



Obr. 4.10 – Cluster definující identifikaci a datovou délku CAN zprávy

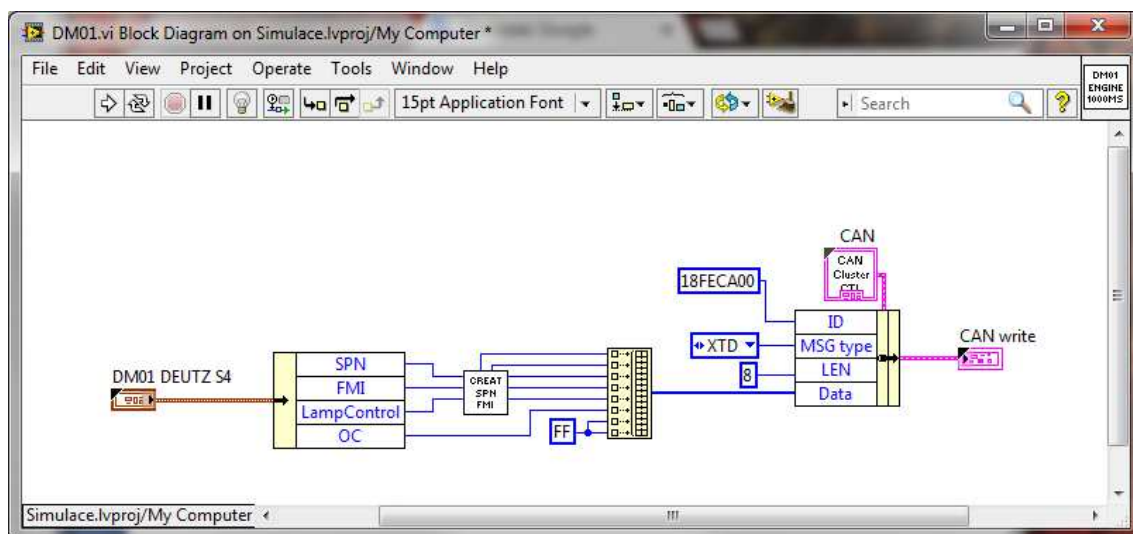
Cluster vložíme do SubVI (DM01 ENGINE 1000MS) jako konstantu na vstup funkce *BundleByName*.

BundleByName rozšíříme na 4 vstupní parametry (ID, MSG type, LEN, Data). Pro parametry (ID, MSG type, LEN) vytvoříme konstanty a k parametru data připojíme dříve vytvořenou datovou řadu.



Obr. 4.11 – Kompletace rámce odesílané zprávy

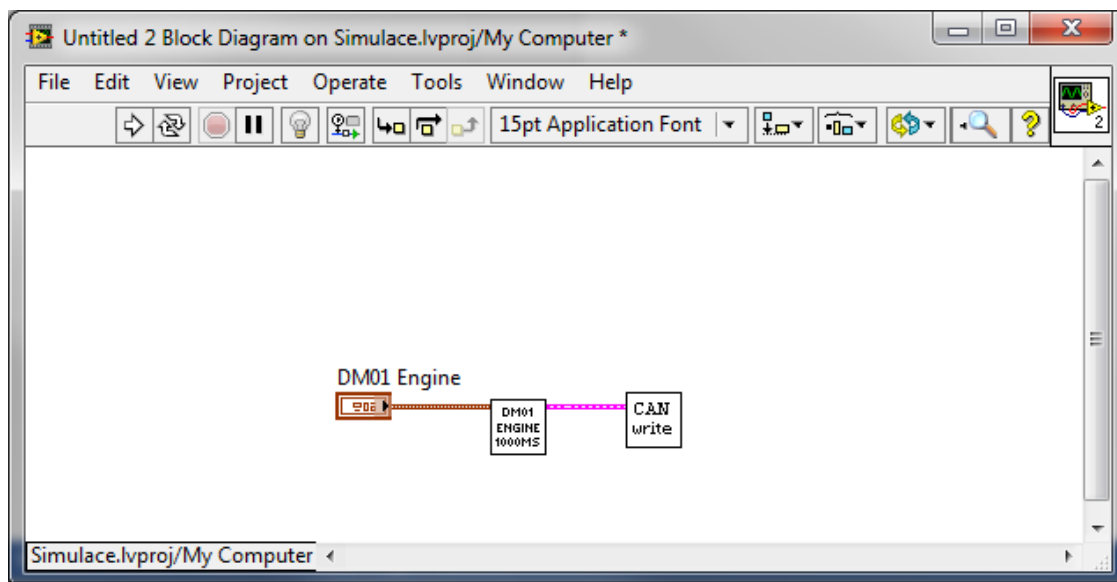
Nyní vytvoříme pouze indikátor našeho výstupního clusteru (*CAN write*) a SubVI uložíme.



Obr. 4.12 – Finální podoba SubVI zprávy DM01

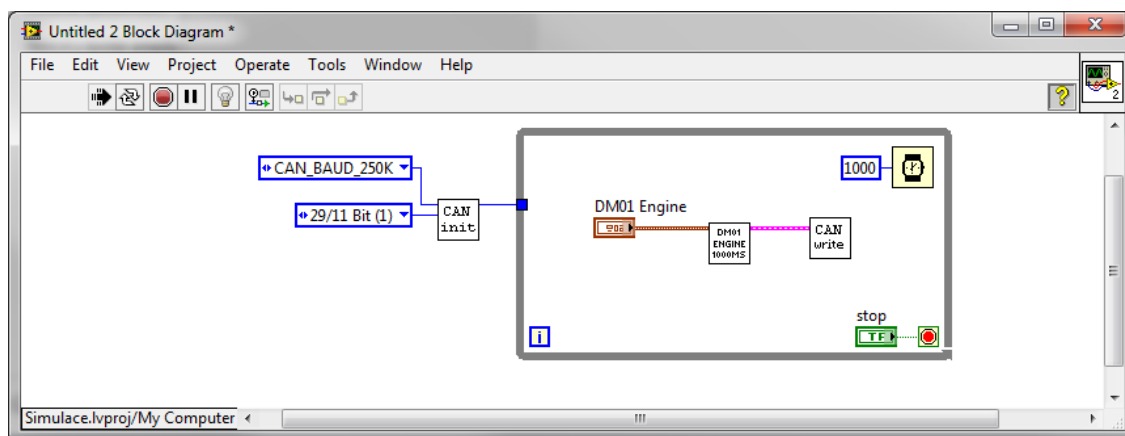
V našem základním block diagramu připojíme dříve vytvořený cluster DM01 Engine k SubVI DM01 Engine 1000MS.

Vybereme ze SubVI PeakSystem (CAN Write) a propojíme s výstupním clusterem SubVI DM01 Engine 1000MS



Obr. 4.13 – Základní uspořádání hlavní větve VI od načtení parametrů po odeslání

Pro korektní simulaci zprávy DM01 na sběrnici přidáme funkcionalitu pro odesílání zpráv se stanovenou periodou 1000 ms. K tomu je vhodné použít smyčku *While loop* se stop tlačítkem a časování pomocí funkce *Wait (ms)*. Konstanta „1000“ uvnitř smyčky *While loop* způsobí prodlevu 1 s při každém opakování. Se stejnou periodou se tedy budou odesílat zprávy na CAN. K základní specifikaci parametrů CAN použijeme funkci *INIT* od PeakSystem s konstantami (viz obr 4.14)



Obr. 4.14 – Kompletní nástroj k odesílání DM01 na CAN

VI je vhodné dále rozšířit např. o error cluster pro ošetření možných chybových stavů.

Obdobně, jako výše popsany postup tvorby zprávy DM01 je možné vytvořit všechny potřebné vysílané CAN zprávy.

5 ZÁVĚR

Záměrem této diplomové práce bylo vytvořit systém testování elektronických komponent. Práce shrnuje možnosti a typy vozidlových sítí, síťových prvků a zejména jejich testování v předvýrobní fázi. Systém je zaměřen konkrétně na elektroniku traktoru coby základního vozidla v zemědělských provozech.

Funkční testování komponent s integrovaným CAN rozhraním můžeme rozdělit v zásadě na dva základní směry. Testování hardwaru a validace softwaru.

Zpravidla je při vývoji těchto komponent vytvořeno několik iterací softwaru, než dojde ke změně hardwaru. Proto je vhodné stanovit si testovací postupy tak, aby test odpovídal charakteru poslední změny, jde-li o opakovaný test. Naopak při validaci nového hardwaru je nutné provést kompletní test.

Z důvodu snadné opakovatelnosti testů je velmi výhodné testy hardwaru i softwaru zautomatizovat tak, aby test technik nemusel vytvářet a ručně odesílat CAN zprávy nebo ručně nastavovat vstupní signály. To je ostatně možné pouze pro pomalé sekvence zpráv nebo statické, jednotlivé signály. Automatizovaný test umožňuje provádět předem nastavené dynamické děje, ať už v podobě CAN zpráv nebo elektrických signálů. Zároveň je výrazně snížena vliv lidského faktoru na test při současné úspoře času potřebného pro dokončení validace.

Vzhledem k trendu neustálého rozšiřování funkcionality i počtu elektronických jednotek v traktoru je nutné provádět jejich validaci stále častěji a ve větším rozsahu. V případě nesrovnalostí ve vývojových fázích je úkolem zkušebny nejen stanovit výsledný status testu, ale i specifikovat závadu, popsat okolnosti, za jakých k ní došlo a nejlépe i navrhnout lepší řešení. Výhodou realizovaného simulátoru je dostatečně rychlá validace testovaných celků v požadovaném rozsahu.

Simulátor umožňuje navodit libovolný provozní stav a vyzkoušet tak chování zkoušené ECU. Díky malým rozměrům je umožněno předvést nestandardní chování softwaru kdekoli mimo traktor, např. u dodavatele. Tato mobilita výrazně urychluje zpětnou vazbu k dodavateli elektronických komponent a výrazně usnadňuje a urychluje celý proces vývoje.

Simulátor byl ověřen ve vývojové zkušebně společnosti ZETOR TRACTORS, a. s. a je využíván pro validační testy přístrojových desek traktorů.

6 SEZNAM ZKRATEK

ABS	Antiblock brake system – brzdová systém proti zablokování kol
ACK Field	Acknowledge – potvrzovací pole
AF	Arbitration field – arbitrační pole
API	Aplication programming interface - programovací rozhraní
BbW	Break by wire – elektronicky řízené brzdy
CAN	Controler area network – dvojvodičová datová sběrnice
CAN H	CAN High – vodič s vyšším napětovým potenciálem
CAN L	CAN Low – vodič s nižším napětovým potenciálem
CF	Control field – kontrolní pole
CPU	Central processor unit – centrální procesorová jednotka
CRC Field	Checksumme, Cyclic redundancy check – kontrolní pole
D2B	Domestic data bus – sběrnice audiovizuálního systému
DbW	Drive by wire - elektronické řízení vodičem
DF	Data field – datové pole
DM	Diagnostic message – diagnostická zpráva
DTC	Diagnostic trouble code – diagnostický kód závady
EBD	Electronic brakeforce distribution – elektronické rozdělení brzdných sil
E-Gas	Elektronische gaspedal – elektronický plynový pedál
EOBD	Euro on-board diagnostic – palubní diagnostika

EOF	End of frame – konec datového rámce
ESP	Electronics stability program – elektronický stabilizační program
FMI	Failure mode identifier – identifikátor typu závady
GPS	Global positioning system – navigační systém
ISO	International standard organisation – mezinárodní organizace pro normalizaci
K-Line	Diagnostická linka
LAN	Local area network – lokální síť
LIN	Local interconnect network – jednovodičová nízkorychlostní sběrnice
LLC	Logical link control – logická linková vrstva
MOST	Media oriented system transport – sběrnice pro multimediální přenos
OBD	On board diagnostic – palubní diagnostika
OC	Occurence count – počet výskytů
PD	Přístrojová deska
PGN	Parameter group number – číslo skupiny přenášených parametrů
Rx	Recieve - čtení dat
SAE	Society automotive engineers – mezinárodní sdružení automobilových inženýrů
SOF	Start of frame – začátek datového pole
SPN	Suspect parameter number – číslo specifického parametru

SubVI	Subroutine virtual instrument – podprogram virtuálního přístroje
Tx	Transmission – vysílání dat
VI	Virtual instrument – virtuální přístroj
X-by-Wire	Systémy řízené elektronicky

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BAUER, F. -- SEDLÁK, P. -- ČUPERA, J. -- POLCAR, A. -- FAJMAN, M. -- ŠMERDA, T. -- KATRENČÍK, J. Traktory a jejich využití. 2. vyd. Praha: Profi Press s.r.o., 2013. 224 s. ISBN 978-80-86726-52-6
2. BITTER, R., MOHIUDDIN, T., NAWROCKI, M.,: LabVIEW Advanced Programming Techniques, CRC Press LLC, 2001
3. BOUŠKA, P. Počítačové sítě - základní topologie In: samuraj-cz.com [cit. 24.4.2017] Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/pocitacove-site-zakladni-topologie/>
4. ČUPERA, J. -- ŠTĚRBA, P. Automobily - Diagnostika motorových vozidel I. 1. vyd. Brno: Avid, s.r.o., Brno, 2007. 195 s. 7. ISBN 978-80-903671-9-7
5. ČUPERA, J. -- ŠTĚRBA, P. Automobily - Diagnostika motorových vozidel I. 1. vyd. Brno: Avid, s.r.o., Brno, 2007. 195 s. 7. ISBN 978-80-903671-9-7
6. GREČENKO, A. Vlastnosti terénních vozidel. V Praze: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-213-0190-2
7. Mollenhauer, Klaus a Tschoeke, Helmut. 2010. Handbook of Diesel Engines. Heidelberg : Springer, 2010. str. 584. ISBN 978-3-540-89082-9.
8. PCAN-USB, CAN interface for USB In: peak-system.com [cit. 24.4.2017] Dostupné z: <http://www.peak-system.com/PCAN-USB.199.0.html?L=1>
9. SAE J1939-1. 2011. On-Highway Equipment Control and Communication Network. SAE J1939. Warrendale, USA : SAE, 5 2011. str. 8.
10. SAE J1939-11. 2006. Physical Layer, 250K bits/s, Twisted Shielded Pair. SAE-J1939-11. Warrendale : SAE, 9 2006.
11. SAE J1939-14. 2011. Physical Layer, 500 Kbps. SAE J1939-14. Warrendale, USA : SAE, 2011. str. 14.
12. SAE J1939-15. 2008. Reduced Physical Layer, 250K bits/sec, UN-Shielded Twisted Pair (UTP). SAE J1939-15. Warrendale, USA : SAE, 8 2008. str. 19.
13. SAE-J1939-71. 2011. Vehicle Application Layer. SAE J1939-71. Warrendale : SAE, 2011.

14. ŠTĚRBA, P. -- ČUPERA, J. Autoelektronika. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2010. 280 s. ISBN 978-80-251-2414-7
15. VLK, F. Diagnostika motorových vozidel: [diagnostické testery, motortestery, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky]. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-7064-X.

8 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1- Přehled řídicích systémů pro motory traktorů.....	- 17 -
Tab. 2.2 - Parametry elektronických řídicích jednotek určených pro traktory (Bauer, 2013).....	- 18 -
Tab. 2.3 - Maximální délka vedení sběrnice CAN při různé komunikační rychlosti (SAE J1939-14, 2011)	- 24 -

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Topologické uspořádání sběrnice (Bouška, 2009 [online]).....	- 9 -
Obr. 1.2 Topologické uspořádání typu hvězda (Bouška, 2009 [online]).....	- 10 -
Obr. 1.3 Dvojitá hvězda (Bouška, 2009 [online]).....	- 10 -
Obr. 1.4 Kruhové uspořádání síťových prvků (Bouška, 2009 [online]).....	- 11 -
Obr. 1.5 Topologie typu Full Mesh – plná mřížka (Bouška, 2009 [online])	- 12 -
Obr. 2.1 – Řídící jednotka převodovky traktoru ZETOR Forterra Classic (Agrozet, 2017 [online])	- 17 -
Obr. 2.2 Typické rozložení CAN jednotek u současného traktoru.....	- 20 -
Obr. 2.3 - Průběh napětí na vodičích CAN_H a CAN_L a vyznačení prahových napětí. - 22 -	
Obr. 2.4 - Schéma obvodu budiče sběrnice CAN (SAE J1939-14, 2011).....	- 23 -
Obr. 2.5 - Časové limity pro bit při komunikační rychlosti 500kb/s (Bauer, 2013; SAE J1939-14, 2011)	- 23 -
Obr. 2.6 Obsah rámce specifikovaného dle Bosch CAN 2.0A.....	- 24 -
Obr. 2.7 Obsah rámce specifikovaného dle Bosch CAN 2.0B	- 25 -
Obr. 3.1 - Průběh napětí na svorkách akumulátoru při startu motoru Zetor za nízkých teplot	- 29 -
Obr. 3.2 - Průběh napětí palubní sítě při startu motoru dle ISO-16750-2:2012	- 30 -
Obr. 4.1 – Přístrojová deska KMGY připojená k simulátoru	- 36 -
Obr. 4.2 - Front panel VI pro zápis DM01 zprávy z SA 0x00 (Engine).....	- 38 -
Obr. 4.3 – Načtení vstupních hodnot z polí Front panelu.....	- 39 -
Obr. 4.4 – Vložení a připojení SubVI Create SPN FMI.....	- 39 -
Obr. 4.5 – Varianty inicializace různých diagnostických kontrol v SubVI	- 40 -
Obr. 4.6 – Vložení hodnot SPN a FMI do daných bytů zprávy DM01	- 41 -
Obr. 4.7 – Uspořádání datové oblasti zprávy DM01 dle J1939.....	- 42 -
Obr. 4.8 – Vytvoření pole datových bytů zprávy DM01	- 43 -
Obr. 4.9 – Převodník USB / CAN pro připojení PC ke sběrnici	- 43 -
Obr. 4.10 – Cluster definující identifikaci a datovou délku CAN zprávy	- 44 -
Obr. 4.11 – Kompletace rámce odesílané zprávy	- 44 -
Obr. 4.12 – Finální podoba SubVI zprávy DM01	- 45 -
Obr. 4.13 – Základní uspořádání hlavní větve VI od načtení parametrů po odeslání- 45 -	
Obr. 4.14 – Kompletní nástroj k odesílání DM01 na CAN	- 46 -