

# Měřicí systém na bázi standardu FlexRay a vývoj diagnostických metod

J. Malinský

Katedra měření, Fakulta elektrotechnická, ČVUT Praha,

Technická 2, 166 27 Praha 6

E-mail : malinsj@fel.cvut.cz

## Anotace:

Tento článek se zabývá vývojem měřicího systému založeném na novém automobilovém komunikačním standardu FlexRay. Dále se zabývá vývojem diagnostických metod pro testování systémů standardu FlexRay. Jeden z cílů je vytvořit FlexRay síť skládající se z několika FlexRay stanic. Každá stanice je vybavena digitálními a analogovými vstupy/výstupy na které je možno, za účelem sběru dat, připojit řadu různých senzorů snímajících jak elektrické tak i neelektrické veličiny. Vytvořená síť slouží jak pro výukové účely, tak i jako dobrý základ pro vývoj diagnostických metod a jejich ověřování.

Článek se dále zaměřuje na jednu vybranou testovací metodu. Jedná se o aktivní metodu založenou na záměrném generování chyb v komunikaci vybraných stanic. Tyto generované chyby simulují skutečné chyby, které by se mohly vlivem rušení, poruchy komunikačního řadiče či budiče v provozu vyskytnout. Tímto se otevírá možnost sledovat chování a reakci FlexRay automobilových jednotek na libovolně uživatelsky vygenerovanou chybu. Práce představuje dva možné směry jak injektování chyb do FlexRay sítě implementovat a uvádí jejich výhody a nevýhody. Článek též analyzuje možnosti vzniku vedlejších účinků této testovací metody (ovlivnění měřeného objektu měřicím přístrojem). Za tímto účelem je vyvíjen model FlexRay sítě pomocí časovaných automatů. Použitím tohoto modelu bude možné předvídat v jaké míře se vedlejší účinky připojeného generátoru chyb v dané síti s danou konfigurací projeví.

## ÚVOD

Společně se současným trendem nárůstu elektronických systémů v automobilech přišel požadavek na nový komunikační standard. Nový standard si vyžádala především technologie x-by-wire, která umožňuje vyřadit z automobilů některé stávající mechanické a hydraulické vazby a nahradit je inteligentními, spolehlivými elektronickými systémy. Jedná se především o následující technologie: steer-by-wire, neboli přenos úhlu natočení volantu na natočení kol elektronickou cestou, break-by-wire poskytující přenos polohy brzdového pedálu na akční zásah brzdového systému elektronickou cestou, drive-by-wire jinými slovy přenos polohy rychlostního pedálu elektronicky. Systémy x-by-wire pro automobily byly převzaty z letadel (systémy fly-by-wire), kde spolehlivě fungují již řadu let. Tyto systémy pokládají základy pro nové inteligentní automobily, kde řídicí systém je informován o úmyslech řidiče (zatočit, zabrzdit, zrychlit atd.) elektronickou cestou a společně s dalšími elektronickými systémy a senzory rozhoduje o bezpečnosti požadavku řidiče a následně, pro větší bezpečnost posádky, může zasáhnout do řízení vozidla. Standard musí být vysoce spolehlivý a musí zde být definovaná doručitelnost zprávy v daném časovém intervalu (například po sešlápnutí brzdového pedálu řidičem musí být bezpodmínečně do určité doby zajištěno doručení tohoto požadavku brzdovému systému). Po léta používaný automobilový komunikační standard CAN (*Communication Area Network*) díky své kolizní přístupové metodě CSMA/CR (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution*) nemusí

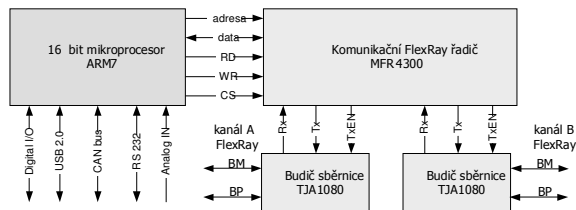
vždy zaručit požadovanou latenci dat a to zejména pro rámce s nižší prioritou (vyšším identifikátorem). Zejména z tohoto důvodu CAN není vhodný pro x-by-wire systémy. Za tímto účelem vzniklo konsorcium FlexRay, jež se sestává z předních společností automobilového a elektronického průmyslu. Toto sdružení vyvinulo nový komunikační standard téhož názvu vhodný pro x-by-wire aplikace do automobilů. FlexRay je založený na přístupové metodě TDMA (*Time Division Multiple Access*). Použitá přístupová metoda dělení do časových slotů není jediná vlastnost kvůli které je FlexRay vhodný pro komunikaci mezi x-by-wire systémy. Standard je vybaven celou řadou zabezpečovacích mechanismů. Jako příklad je možno uvést existenci redundantního komunikačního kanálu nebo zabezpečení rámce dvojím CRC součtem. Pro hlubší studium tohoto nového standardu lze doporučit literaturu [1], [2] a [6] zabývající se popisem nejnovější verze 2.1.

## MĚŘICÍ SYSTÉM

### Vývoj FlexRay stanice

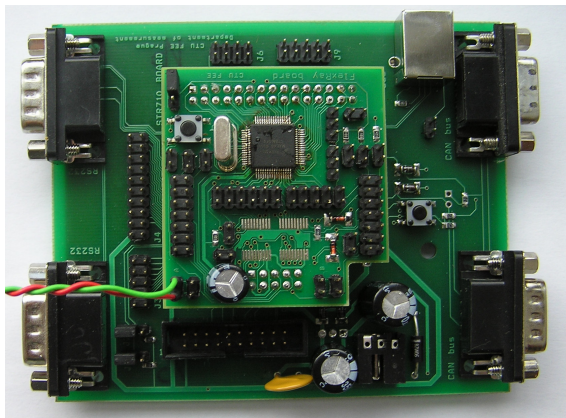
Jako základ pro vývoj a ověřování testovacích metod bylo třeba vyvinout FlexRay stanice a z nich postavit síť. V době vývoje této stanice ještě nebyla na trhu k dispozici žádná stanice ke koupi. Dnes je možno od řady firem zakoupit stanice jako vývojové moduly (hardwarové koncepce: procesor + externí integrovaný řadič, řadič integrovaný přímo v procesoru nebo externí řadič implementovaný v FPGA). Ovšem pro nabytí potřebných a nezbytných zkušeností s fyzickou

a linkovou vrstvou protokolu je nutné i nadále se zabývat vývojem vlastní FlexRay stanice. Bylo zvoleno v té době jediné možné řešení tj. procesor + externí komunikační řadič MFR4300 od společnosti Freescale [9]. Na obr. 1: je blokové schéma této navržené FlexRay stanice. Stanice se skládá z mikrokontroléru STR710 od společnosti ST



Obr. 1: Blokové schéma FlexRay stanice

Microelectronic [11], výše zmiňovaného řadiče a dvou budičů sběrnice TJA 1080 od Philips (též jediných na trhu dostupných). Po zapnutí stanice procesor konfiguruje řadič a poté má funkci zpracování přijatých dat (tzn. tvoří aplikační vrstvu). Konstrukce byla rozdělena do dvou samostatných desek (základní deska a přídatný FlexRay modul). Větší deska je základní deska s procesorem a konektory periférií. Lze ji využít zcela samostatně. Je možno komunikovat přes 1xCAN, 1xUSB a 2x RS232. Základní deska je též vybavena konektory pro spojení procesoru s přídatným FlexRay modulem skládající se z FlexRay komunikačního řadiče a budičů sběrnice s vyvedenými FlexRay kanály A a B. Obě desky spojené dohromady, tvořící jednu FlexRay stanici, jsou zachyceny na obr. 2:



Obr. 2: FlexRay stanice

### Stavba FlexRay sítě

Plánem je vybudovat ze stanic, popsaných v předchozím odstavci, FlexRay síť čítající kolem 10 uzlů. Každá stanice by měla svoji specifickou funkci danou aplikačním softwarem v procesoru. Jedná se o snímání analogových či digitálních výstupů ze senzorů polohy (volant, pedály), zobrazení naměřených údajů pocházejících od jiných stanic a pohybování příslušnými mechanismy. Síť bude

sloužit nejenom pro výukové a demonstrační účely, ale také pro ověřování navržených testovacích metod, které budou předmětem následující kapitoly.

## NAVRŽENÉ TESTOVACÍ METODY

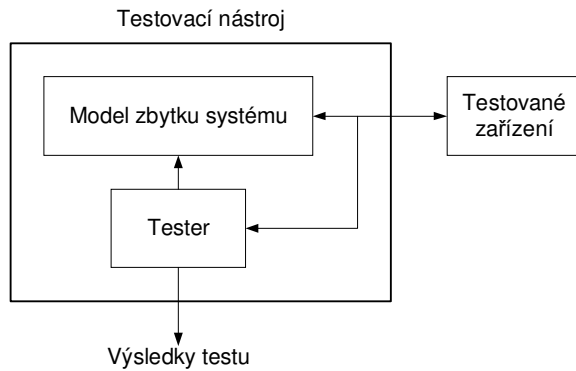
Dnes již existuje na trhu celá řada analyzátorů sběrnice FlexRay. Jedná se ve své podstatě vždy o digitální osciloskopy nebo logické analyzátoři s implementovaným softwarem, jenž umožňuje interpretovat zachycený signál dle standardu FlexRay. Přístroje je možno využít pro časovou i stavovou analýzu, tj. pouze pro pasivní odposlech. Toto ovšem není dostatečné pro plné testování chování zařízení standardu FlexRay, uvážíme-li různé okolnosti, které mohou nastat. Jestliže má FlexRay sloužit pro automobilové aplikace x-by-wire, je nezbytně nutné vyvinout testovací metody a testovací zařízení, které umožní hlubší diagnostiku FlexRay zařízení z hlediska jeho bezpečnosti a robustnosti. Tato práce dále nastiňuje dvě testovací metody, které dosud nejsou dostupné žádnými komerčně nabízenými přístroji a mohly by tak položit základ pro vývoj budoucích nových sofistikovanějších diagnostických nástrojů a metod.

První metoda spočívá v zařízení, jež by umožnilo jakýmkoliv uživatelsky nadefinovaným způsobem pozměnit (poškodit) rámec pocházející od dané stanice (například záměrné poškození CRC součtu nebo vložení dodatečného bitového toku do definovaného místa původního rámce). Účelem je simulovat poruchy na sběrnici či rušení, které by měly za následek stejnou destrukci bitového toku a sledovat reakce ostatních stanic, jež tyto poškozené rámce přijímají. Této metodě generátoru chyb je věnována jedna z následujících podkapitol.

Druhý přístup, dále v textu zmiňovaný, je založen na metodě HIL (*Hardware in the Loop*) [7]. Tato metoda dovoluje testovat FlexRay zařízení, aniž by fyzicky muselo být součástí systému (FlexRay síť automobilu), ve kterém za normálních okolností pracuje. Nezbytnou součástí této metody je i modelování standardu FlexRay pomocí časovaných automatů, jež bylo provedeno s využitím softwarového nástroje UPPAAL [8]. Tato druhá metoda je podrobněji nastiňena v následující podkapitole.

### Metoda HIL (*Hardware in the Loop*)

Filosofie metody HIL (*Hardware in the Loop*) spočívá v testování zařízení, jež je součástí nějakého většího systému, aniž by fyzicky do tohoto systému muselo být zapojeno. Zbytek systému je u této metody reprezentován věrohodným modelem. Na obr. 3: je blokové schéma metody HIL. Tato metoda je realizována pomocí speciálního testovacího nástroje. Tento nástroj umožňuje modelovat zbytek systému, ke kterému bude testované zařízení ve skutečnosti připojeno. Testované zařízení se tak chová a komunikuje s okolím, jako by bylo do



Obr. 3: Testovací metoda HIL

skutečného systému připojeno. Další částí testovacího nástroje je samotný tester, jenž generuje příslušný test prostřednictvím modelu zbytku systému, sleduje reakci testovaného zařízení a vyhodnocuje test. Metoda HIL je často v automobilovém průmyslu využívána. Testované zařízení bývá elektronická řídicí jednotka. Model pak nejčastěji představuje elektromechanickou část automobilu, která je jednotkou řízena. Z pohledu standardu FlexRay systémem rozumíme nějakou síť skládající se z FlexRay stanic. Testované zařízení je pak jedna ze stanic v síti. Testovací nástroj tak modeluje zbytek FlexRay sítě automobilu a provádí uživatelem zadané testy. Model zbytku sítě byl vytvořen a jeho správnost verifikována pomocí softwarového nástroje UPPAAL, jenž umožňuje namodelovat systém pomocí časovaných automatů. Práce se zatím zaměřila pouze na část standardu FlexRay, konkrétně proceduru startu FlexRay sítě. Modelem tohoto procesu vytvořeném v nástroji UPPAAL se zabývá jedna z následujících kapitol.

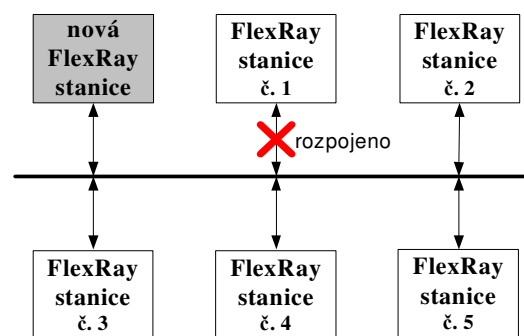
Předpokládá se, že testovací nástroj by měl být realizován pomocí programovatelného hradlového pole FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Model v testovacím nástroji by měl být konfigurovatelný podle parametrů modelované sítě, počtu a typu stanic (stanice se statusem startovní či normální). Jedná se tedy o implementaci vytvořených modelů v UPPAALu do FPGA popisem v jazyce VHDL a to buď ručně nebo automaticky pomocí nějakého vhodného nástroje. Jinými slovy by to tedy mimo jiné vedlo na implementaci FlexRay řadiče jako IP funkce do hradlového pole (model jedné stanice vytvořený v FPGA) včetně tvorby aplikačních vrstev jednotlivých stanic v síti použitých. To je velká nepříjemnost, uvažíme-li velkou složitost linkové vrstvy tohoto standardu a různorodou škálu aplikačních vrstev, které se mohou v automobilové síti vyskytovat.

### Metoda záměrného generování chyb

Tato metoda je založena na myšlence jedné či více stanic v síti, které by byly schopné uživatelským způsobem chybovat ve své komunikaci, tj. generovat FlexRay rámce s jakoukoliv

definovanou chybou. Jsou předpokládány chyby projevující se změnou hodnoty bitu či jeho části a změnou zpoždění. Tyto chyby reprezentují skutečné chyby, které se ve eventuálně mohly vyskytnout buď na fyzické vrstvě vlivem rušení nebo na linkové vrstvě jako chyba v komunikačním řadiči. Cílem je sledovat reakce ostatních stanic na tyto chyby. Otázkou však zůstává, jak přinutit stanici definovaně chybovat ve své komunikaci. To je úloha na první pohled téměř neřešitelná, neboť automobilová FlexRay jednotka bude vesměs kompaktní celek bez možnosti jakéhokoliv zásahu uvnitř. Dokonce i kdyby byl možný bezproblémový přístup do jednotky, tak uvnitř se bude nacházet standardní řadič, který v žádném případě není možno donutit uživatelským způsobem chybovat ve své komunikaci. V podstatě existují dva přístupy jak tuto překážku obejít.

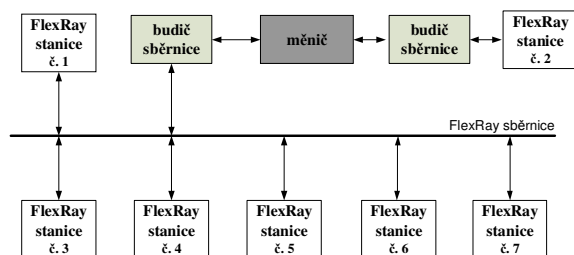
První možností je odpojit FlexRay jednotku u níž požadujeme, aby ve své komunikaci chybovala a tuto jednotku nahradit novou přídatnou stanicí, speciálně za tímto účelem konstruovanou (viz. obr. 4:). U této speciální stanice se předpokládá, že do ní bude umožněn bezproblémový přístup a bude realizována pomocí řadiče v hradlovém poli jako IP funkce. Takový řadič může být vytvořen přesně dle potřeby a tudíž i bez problému definovaným způsobem chybovat ve své komunikaci. Toto řešení má ovšem dvě velké nevýhody. První spočívá ve velké složitosti tvorby kompletního řadiče standardu FlexRay do FPGA. Bylo by třeba implementovat všechny aspekty standardu jako jsou například mechanismus startu sítě či synchronizační algoritmus [1]. Druhou nevýhodou je skutečnost, že by přídatná stanice musela mít implementovanou stejnou aplikační vrstvu jako odpojená stanice nehledě k tomu, že každá stanice v síti má jinou aplikační vrstvu. To jsou dvě stejné obtíže, které byly uvedeny v předchozí podkapitole týkající se metody HIL.



Obr. 4: Náhrada jedné ze stanic

Druhá možnost generování chyb odstraňuje obě nevýhody předchozího řešení. Myšlenka tohoto řešení je zapojit do série mezi danou stanicí, jejíž bitový tok chceme určitým způsobem poškodit, a sběrnici tzv. měnič. Tento měnič by se synchronizoval na bitový tok, který by oběma směry transparentně tímto zařízením procházel. V určitém, uživatelem vybraném, místě tohoto bitového toku by

došlo ke změně daného počtu bitů či vložení přídatné bitové sekvence. Tento přístup nevyžaduje implementaci komunikačního FlexRay protokolu ani aplikační vrstvy konkrétní stanice, jako tomu bylo u první možnosti. Bude zde pouze implementován automat umožňující výše popsanou funkci synchronizace na určitou sekvenci bitů a jejich poškození či časové zpoždění. Stanice, jejichž bitový tok je třeba poškodit, zůstane dále zapojena do sítě na rozdíl od prvního přístupu popsaného v předchozím odstavci. Nebude však připojena přímo, ale přes výše popsané zařízení. Jedinou otázkou zůstává, do jaké míry tento měnič svým zpožděním ovlivní provoz sítě. Podle prvních odhadů by synchronizační mechanismy stanic v síti zapojených měly být schopny se s tímto zpožděním vypořádat do takové míry, že by nemělo dojít ke zhroucení komunikace na síti. Přesto ale, jak bude dále ukázáno, k určitému ovlivnění sítě dojde.



Obr. 5: Zapojení měniče do sítě

Tato kapitola se dále bude věnovat poslední jmenované možnosti, tj. měnič připojeném mezi FlexRay stanicí a sběrnici a schopném definovaně měnit bitový tok. Zapojení takového měniče do sítě je možno sledovat na obr. 5:, kde je naznačena FlexRay síť skládající se ze sedmi stanic. Stanice č.2 je na rozdíl od ostatních připojena právě přes měnič. Na rozhraní měnič – FlexRay stanice a měnič – FlexRay sběrnice je zařazen vždy ještě budič sběrnice z důvodu nekompatibility elektrických FlexRay signálů se signály měniče (FPGA). Včetně budiče obsaženého uvnitř FlexRay stanice jsou na cestě mezi sběrnici a FlexRay řadičem celkem tři budiče. To bude mít za následek větší zpoždění signálu, které by mělo být korigováno synchronizačními mechanismy v řadiči. Počet budičů v cestě by mohl být redukován za předpokladu možnosti připojení měniče přímo do stanice mezi budič a řadič, čímž by došlo k eliminaci dvou externích budičů. Taková možnost bude ale u testovaných stanic (automobilových jednotek) zřejmě málo pravděpodobná pokud se tedy s tímto nepočítalo již při návrhu stanice. Proto je nezbytné se dále zabývat variantou - tři budiče na cestě mezi sběrnici a řadičem a jejími odpovídajícími zpožděními.

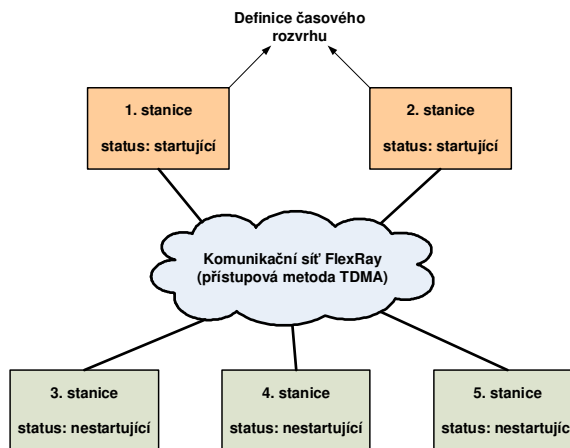
## MODELOVÁNÍ

Testovací metoda záměrného generování chyb, která byla popsána v předchozí kapitole, založená na použití měniče přidává do komunikační sítě přídatné zpoždění. Stejně tak jako každý měřicí přístroj ovlivní měřený objekt, tak i tento měnič svým přídatným zpožděním ovlivní testovanou síť. Při rozboru dopadu tohoto zpoždění je třeba se především zaměřit na ovlivnění startovního a synchronizačního mechanismu jednotlivých stanic. Za účelem odhadování vlivu zpoždění na fungování těchto mechanismů je třeba vytvořit model sítě respektující startovní a synchronizační mechanismus.

### Startovní mechanismus a jeho modelování

Standard FlexRay je založen přístupové metodě TDMA (*Time Division Multiple Access*), kde komunikace probíhá v časových slotech. Z tohoto důvodu zde musí existovat mechanismus umožňující nastartování sítě. Jinými slovy stanice si mezi sebou musí definovat počátek komunikačního cyklu a zkontrolovat stejné rozvržení časového schématu. V této kapitole bude ve stručnosti popsán start FlexRay sítě (tzv. clusteru) od okamžiku vzbuzení jednotlivých stanic, přes jejich integraci do sítě, až po dosažení normálního aktivního stavu. Úplný popis lze nalézt v [1] příp. [12].

Na obr. 6: je zjednodušený pohled na startovní mechanismus v síti FlexRay. Před započítáním startu sítě musí být jednotky nejprve vzbuzeny a následkem toho se nacházejí ve stavu *připraven* (připraven na začlenění se do sítě). V každé FlexRay síti musí existovat dvě stanice, které mají status startující. Tyto dvě stanice nejprve mezi sebou navážou komunikaci



Obr. 6: Zjednodušený pohled na startovní mechanismus

pomocí tzv. startovních rámců. Tím definují časové schéma a ostatní stanice se statusem nestartovní, které jsou startovním stanicím podřízené, se na základě těchto startovních rámců jsou schopny do sítě integrovat. Toto začlenění do komunikace bude pro nestartovní stanici úspěšné pouze pokud má stejné časování jaké nastolily startovní stanice. Pokud vše proběhne korektně, tak se na sběrnici nachází dvojice startovních rámců od obou startovních stanic v každém komunikačním cyklu. Podle těchto rámců,

kteře mají zároveň funkci synchronizační, všechny ostatní nstartovní stanice v síti provedou počáteční synchronizaci svých časových základů. Všechny stanice v síti přejdou do normálního aktivního stavu, čímž je síť nstartována a připravena k provozu. Pokud ovšem některá nstartující stanice bude mít jiné časování, než jaké bylo nastoleno startujícími stanicemi, nikdy se ji nepodaří k síti připojit, čímž se předejde narušení komunikace na běžící síti. V případě, kdy si neodpovídají časová schémata mezi startovními stanicemi, nedojde k nstartování sítě vůbec, a tudíž ani k rozjezdu automobilu.

Vraťme se zpět k měničím zapojeným mezi stanicí a sběrnici. Ten svým zpožděním ovlivní načasování příslušné stanice a tím i start sítě. V extrémních případech by se dokonce mohlo stát, že síť vlivem tohoto měniče nenastartuje vůbec a to zejména v případě, kdy byla načasována na sice ještě akceptovatelné, ale již hraniční hodnotě. Za účelem odhadování vlivu měniče na start sítě bylo třeba vytvořit model sítě respektující startovní mechanismus. Ten byl vytvořen pomocí časovaných automatů v softwarovém nástroji UPPAAL. Software pochází z univerzity Uppsala a slouží k modelování diskretních real-time systémů. Vytvořený model byl následně verifikován příslušnými dotazy. Model umožňuje sestavit síť z libovolného počtu uzlů a každému uzlu je možno nastavit jeho vlastní konfiguraci (časové parametry). Na tento model je možno se ptát dotazy o úspěšnosti či neúspěšnosti startu sítě případně sledovat start sítě v závislosti na čase. Test je třeba rozdělit na dva případy – buď bude zpožděna startovní stanice nebo nstartovní. Podrobný popis tohoto modelu přesahuje rámec tohoto článku. Všechny podrobnosti je možno nalézt v [12].

### Synchronizační mechanismus a jeho modelování

Každý uzel v síti odvozuje časování od své lokální časové základny. Rychlosti těchto časových základů samozřejmě nemohou být přesně stejné a navíc vlivem rušivých veličin, jako je např. teplota, se mění. Následkem toho mají z globálního pohledu různé stanice v síti nstejně trvání nejmenšího časového kvanta (tzv. mikrotiku - uT) odvozeného od časové základny. Ve standardu FlexRay se rozlišují dvě chyby, které mohou vlivem nstejných časových základů nastat. První chyba se nazývá chyba rychlosti a je dána nstejnou dobou trvání jednoho uT. Druhá chyba, dedukovaná chybou rychlosti, je nazývána chyba ofsetu. Díky ní nenastávají začátky komunikačních cyklů pro všechny uzly ve stejný okamžik. Pokud by se síť nechala v běhu bez jakékoli synchronizace, došlo by ke zvýšení chyby ofsetu na hodnotu při které by již časování nevyhovovalo tolerančnímu časovému schématu. Standard FlexRay provádí synchronizaci pomocí tzv. synchronizačních rámců, které jsou v každém komunikačním cyklu vysílány synchronizačními stanicemi. Ostatní stanice tyto rámce přijímají

a počítají rozdíl mezi předpokládaným a skutečným časem příchodu v jednotkách svého lokálního času. Za jeden komunikační cyklus tak každá stanice nasbírá soubor těchto časových rozdílů od všech synchronizačních stanic v síti. Na základě těchto měření je schopna nastavit korekční hodnoty své časové základny. Podrobnější popis toho mechanismu přesahuje rámec tohoto článku. Více podrobností je možno je možno nalézt v [1] příp. [6].

Vložené zpoždění (zařazení měniče) k dané stanici ovlivní korekční hodnoty u všech ostatních uzlů v síti. Problém je třeba rozdělit na dva případy, buď dojde ke zpoždění stanice, které má status synchronizační a nebo se zpozdí stanice se statusem nesynchronizační. Vliv zpoždění bude možno předpovídat pomocí modelu. Model bude, stejně jakou u startovního mechanismu, vytvořen pomocí časovaných automatů s využitím nástroje UPPAAL. Bude tak možno sledovat vývoj korekčních hodnot v závislosti na čase pro model sítě bez vloženého zpoždění a se zpožděním a vzájemně je mezi sebou porovnávat.

## ZÁVĚR

Současná komerčně nabízená testovací technika zařízení standardu FlexRay je založena pouze na pasivním odposlechu sběrnice. To je evidentně nedostačující a tak se tato práce pokusila naznačit cesty, jakými by bylo možno se v budoucnosti vydat při vývoji nových testovacích metod zařízení standardu FlexRay. Součástí práce je též vývoj FlexRay sítě.

Nejprve byla nastíněna metoda „HIL“ a byly ukázány obtíže provádějící její případnou implementaci. Další popsaná metoda „záměrné generování chyb“ by měla umožnit předstírání chybné funkce stanice na úrovni linkové nebo chybné fyzické vrstvy mezi danou stanicí a zbytkem sítě. Metoda bude samostatně použitelná především v případě, kdy je fyzicky k dispozici celý systém (tj. celá testovaná FlexRay síť). V práci bylo pojednáno o implementaci této metody založené na chybovém generátoru, tzv. měničím.

Poslední část tohoto článku analyzovala možný negativní dopad zapojeného měniče na FlexRay síť. Vytvořenými modely je možno tento dopad předpovídat a na základě tohoto učinit rozhodnutí o závažnosti ovlivnění následných testů. Analýza se zaměřuje na startovní a synchronizační mechanismus.

## PODĚKOVÁNÍ

Tato práce je podporována z projektu ministerstva školství č. 1M0568 – Výzkumné centrum spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka

## LITERATURA

- [1] FlexRay Consortium, *FlexRay Protocol Specification V2.1 Rev. A*, 2005.
- [2] FlexRay Consortium, *FlexRay Electrical Physical Layer Specification V2.1 Rev. A*, 2005.
- [3] Malinský, J.: *FlexRay Communication Development*. Proceedings EDS 06 IMAPS CS International Conference Brno, Czech Republic, pp. 34-37. ISBN 80-214-3246-2.
- [4] Malinský, J.: *Measuring System Based on Standard FlexRay and Diagnostics Methods Development*. Applied Electronics 2007, International Conference, Pilsen: University of West Bohemia, pp. 129-132. ISBN – 978-80-7043-537-3.
- [5] Malinský, J.: Referenční systém FlexRay, Realizace.-Prov. org. Výzkumné centrum spalovačích motorů a automobilů Josefa Božka Praha, dat. prov. – zač. 2006-09-01 ukonč. 2006-12-31.
- [6] Malinský, J.: Komunikační standard FlexRay. Přednáška – sběrnice systémy (38SS), březen 2007, FEL ČVUT Praha, Katedra Měření.
- [7] Krákora, J., Hanzálek, Z.: *Testing of Hybrid Real-time System Using FPGA Platform*. IEEE Symposium on Industrial Embedded Systems – IES 2006 [CD-ROM]. Lyon: CNRS-ENS, 2006, ISBN 1-4244-0777-X.
- [8] Přednáškové slide UPPAAL. Katedra řídicí techniky FEL ČVUT Praha.
- [9] Komunikační řadič MFR 4300, datasheet <http://www.freescale.com>
- [10] Rodina 16-bit procesorů MC9S12XF s integrovaným řadičem standardu FlexRay, datasheet <http://www.freescale.com>
- [11] Procesor STR710 (ST Microelectronics) datasheet, <http://www.st.com/stonline>
- [12] Malinský, J.: *Metodika pro základní diagnostiku sběrnice FlexRay*, odborná studie 2007, Katedra měření FEL ČVUT Praha