

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Měření parametrů autorádií v závislosti na průběhu
napájecího napětí**

vedoucí práce: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.

autor: Bc. Tomáš Bambásek

Plzeň 2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš BAMBÁSEK**
Osobní číslo: **E10N0152P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Měření parametrů autorádií v závislosti na průběhu napájecího napětí**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte možnosti ovlivnění parametrů koncového zesilovače s kolísáním napájecího napětí.
2. Navrhněte způsob měření vybraných parametrů zesilovače autorádia v závislosti na změně napájecího napětí.
3. Navrženou měřicí metodu realizujte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**

Katedra technologií a měření

Konzultant diplomové práce: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**

Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Cílem předkládané diplomové práce je navrhnout a v praxi realizovat měřicí metodu, prostřednictvím které bude možné měřit některé parametry koncového stupně zesilovače. Jedná se zejména o parametry, které lze ovlivnit velikostí a průběhem napájecího napětí. Měřicí metoda musí korespondovat s normami společnosti Volkswagen AG, které jsou závazné při vývoji tohoto typu zařízení.

Diplomová práce slouží jako podklad při měření vybraných parametrů nově vyvíjené jednotky autorádia řady MIB Entry ve Škodě Auto a.s..

Klíčová slova

Harmonické zkreslení (THD), jmenovitý výkon zesilovače, autorádio, infotainment, MIB Entry.

Measurement of supply voltage change influence to car radio parameters

Abstract

The aim of this diploma thesis is to propose and to realize in practice the measuring method through which it will be possible to measure some parameters of the power amplifier. This is especially parameters which can be affected by amplitude and progression of voltage. The measuring method has to correspond with norms of Volkswagen AG Company which are mandatory during the development of this type of device.

This Diploma thesis serves as a basis for measuring of selected parameters of the newly developing radio unit of the series MIB Entry at Skoda Auto a.s.

Keywords

Total Harmonic Distortion (THD), nominal output power of amplifier, car radio, infotainment, MIB Entry.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 2.5.2012

Bc. Tomáš Bambásek

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych chtěl touto cestou poděkovat všem pedagogům Západočeské univerzity v Plzni, díky kterým jsem získal odborné znalosti a svým rodičům, kteří mi studium umožnili.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1. Úvod..... | 1 |
| 2. Změny napájecího napětí v síti automobilu..... | 3 |
| 2.1 Funkce „START-STOP“ | 3 |
| 2.2 Norma VW80101..... | 5 |
| 2.2.1 Průběh napájecího napětí během startu motoru dle normy VW80101. | 5 |
| 2.3 Skutečný průběh napájecího napětí při startu motoru | 8 |
| 3. Parametry koncového stupně zesilovače závislé na napájecím napětí..... | 10 |
| 3.1 Podmínky pro měření zvukových parametrů dle normy VW80972..... | 11 |
| 3.2 Maximální výstupní výkon zesilovače | 11 |
| 3.3 Výkon zesilovače v závislosti na proměnném napájecím napětí..... | 12 |
| 3.4 Harmonické zkreslení při statickém napájecím napětí | 13 |
| 3.5 Harmonické zkreslení v závislosti na proměnném napájecím napětí..... | 13 |
| 4. Příprava měřicího stavu | 15 |
| 4.1 Měřicí stav pro měření parametrů koncového stupně zesilovače autorádia ... | 15 |
| 4.1.1 Napájecí zdroj..... | 15 |
| 4.1.2 Řídící jednotka elektroniky sloupku řízení..... | 16 |
| 4.1.3 BCM | 16 |
| 4.1.4 Gateway..... | 17 |
| 4.1.5 Diagnostický nástroj VAS..... | 17 |
| 4.1.6 Zátěž koncového stupně zesilovače..... | 18 |
| 4.1.7 Zvukový analyzátor | 18 |
| 4.1.8 Realizace měřicího stavu | 19 |
| 5. Konfigurace zvukových analyzátorů..... | 21 |
| 5.1 Analyzátor Agilent Technologies U8903A a AudioPrecision APx586 | 21 |
| 5.2 Analyzátor Brüel & Kjaer Pulse | 21 |
| 5.2.1 Vytvoření záznamu pomocí funkce Recorder | 22 |
| 5.2.2 Zpracování záznamu..... | 23 |
| 5.2.3 Konfigurace FFT analýzy..... | 23 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.4 Konfigurace CPB analýzy | 26 |
| 6. Výpočet..... | 28 |
| 6.1 Výpočet prostřednictvím FFT analýzy | 28 |
| 6.2 Výpočet prostřednictvím CPB analýzy | 30 |
| 6.3 Srovnání vypočtených hodnot | 30 |
| 7. Závěr..... | 31 |
| Seznam grafů..... | I |
| Seznam obrázků | I |
| Seznam tabulek | I |
| Použitá literatura | II |
| Seznam příloh na CD..... | III |

Seznam použitých zkratk a termínů

| | |
|---------------------|--|
| Breadboard | V automobilovém průmyslu se tímto výrazem označuje pracovní deska nebo speciální stojan, na kterém jsou rozmístěny testované elektronické komponenty vozidla. Deska či stojan jsou uzpůsobeny tak, aby ulehčovaly přístup ke komponentům a kabeláži a zrychlovaly tak práci. |
| CPB analýza | CPB je zkratka anglického výrazu Constant Percentage Bandwidth, tedy procentuálně konstantní šířka pásma. Analýza je založena na zjišťování úrovně (akustického tlaku, napětí) v jednotlivých pásmech, jejichž střední frekvence je dána typem analýzy (např. 1/3 oktávy) a šířka pásma je dána procentuálním podílem z hodnoty střední frekvence. |
| FFT analýza | FFT je zkratka anglického výrazu Fast Fourier transform, tedy rychlá Fourierova transformace. Algoritmus pro výpočet diskrétní Fourierovy transformace, pomocí které lze získat frekvenční spektrum daného signálu. |
| Gala | Funkce autorádia, která má za úkol eliminovat vnější hluk pronikající do vozidla. Se vzrůstající rychlostí vozidla a otáčkami motoru je postupně zvyšována úroveň hlasitosti. |
| Infotainment | Tento výraz začal být používán koncernem Volkswagen a označuje multimediální výbavu vozidla. |
| Loudness | Funkce autorádia, která reaguje na citlivost lidského ucha na určité frekvence. Při nízké úrovni hlasitosti zvýrazňuje tu část frekvenčního spektra, na kterou je ucho méně citlivé. |
| MIB Entry | Pracovní název autorádií, která jsou v současné době vyvíjena v Technologickém centru Škody auto a.s.. Jedná se o základní model autorádia. |
| Quadlock | Výraz pro nosič svorkovnic, prostřednictvím kterých je jednotka autorádia připojena ke kabeláži vozidla. V tomto nosiči je umístěno několik svorkovnic, jejichž počet je závislý na výbavě vozidla a typu autorádia. Quadlock obsahuje vždy svorkovnici sloužící pro napájení a komunikaci se sběrnici CAN. |
| Soundssystem | Označení pro nadstandardní ozvučení vozidla. Tato výbava obsahuje externí zesilovač audio signálu a větší počet reproduktorů. |
| THD | THD je zkratka anglického výrazu Total harmonic distortion, tedy celkové harmonické zkreslení. Veličina udává procentuální poměr mezi 1. harmonickou a ostatními harmonickými frekvencemi testovaného signálu. Dle normy je počítáno s 1. až 5. harmonickou frekvencí signálu. |

1. Úvod

Cílem této diplomové práce je navrhnout měřící metodu, pomocí které bude možné měřit parametry koncového stupně autorádia ovlivňované změnou napájecího napětí. Mezi tyto parametry patří zejména celkové harmonické zkreslení. Hodnotu harmonického zkreslení lze relativně jednoduše vypočítat například ze spektra výstupního signálu. Přesnost tohoto výpočtu ovlivňuje prakticky jen harmonické zkreslení vstupního signálu a přesnost analyzátoru. To vše platí v případě, kdy lze předpokládat stabilní, případně pomalu měnící se hodnotu harmonického zkreslení na výstupu zesilovače. Problém nastává v situaci, kdy dochází k ovlivňování parametrů zesilovače rychle se měnícími jevy. V případě zesilovače autorádia, který je napájen přímo z napájecí soustavy automobilu, ve které dochází k rychlým změnám velikosti napětí, je měření harmonického zkreslení technicky obtížnější. K největším změnám v síti automobilu dochází při startu motoru. Sestupná hrana napájecího napětí je v tomto případě menší než 1ms. Dříve bylo běžné většinu spotřebičů včetně autorádia po dobu běhu spouštěče vypnout. Dnes, v době kdy jsou do vozidel instalovány systémy typu START-STOP, dochází k častějšímu spouštění motoru, během kterého musí být kromě jiného i jednotka autorádia plně v provozu.

Aby bylo možné otestovat zařízení v podmínkách, ke kterým v běžném provozu dochází, je nutné tyto situace nejprve napodobit v laboratoři. To zaručuje, že testy budou opakovatelné a objektivní. Z tohoto důvodu existují závazné normy, ve kterých je uvedeno, při jakých podmínkách se testy provádějí. Před návrhem měřící metody bylo nutné prostudovat příslušné normy a seznámit se s vlastnostmi daného zařízení. Autorádia, na které bude měřící metoda aplikována, jsou vyvíjena v Technologickém centru Škody auto a.s.. Tyto jednotky jsou označovány názvem MIB Entry. Jedná se o základní variantu ozvučení vozidel, do kterých jsou určeny. Veškeré parametry zařízení zde vyvíjených podléhají normám a specifikacím společnosti Volkswagen AG.

Tato autorádia spadají do skupiny zařízení označovaných jako Infotainment. Tímto názvem je souhrnně pojmenována multimediální výbava vozidla, do které se kromě autorádia řadí navigace, externí zesilovač zvuku či televizní tuner. Všechny tyto komponenty jsou v současné době vyvíjeny společně pro příští generace vozidel koncernu Volkswagen. Pro jednotlivé výrobce vozidel (Volkswagen, Škoda, Seat, Audi)

se jednotlivé varianty liší jen v detailech a to zejména ve způsobu ovládání a designu. Požadavky na elektrické a zvukové parametry jsou shodné.

Před návrhem samotné metody je zapotřebí se seznámit s měřenými parametry. Vysvětlit jejich význam a matematicky vyjádřit jejich vztah k ostatním veličinám. Dále je nutné uvést podmínky, při kterých se dle normy VW daný parametr zkoumá.

Během návrhu měřicí metody je nutné vytvořit v ovládacím softwaru analyzátoru měřicí šablony. Tyto projekty lze později kdykoliv otevřít a měření opakovat.

K ověření správnosti výpočtu je vhodné provést měření několika způsoby. Dále jsou výsledky porovnány s předpokládanými hodnotami. Ty jsou dány např. měřením za podobných podmínek či srovnáním s hodnotami uvedených v příslušné normě.

Z důvodu utajení nemůže být v následujícím textu uveden výrobce a přesné označení jednotky autorádia, na které bylo měření provedeno. Ověření metody proběhlo na jednotce ve fázi vývoje s blíže nespecifikovanou verzí softwaru a hardwaru zařízení.

2. Změny napájecího napětí v síti automobilu

Osobní automobily poháněné výhradně spalovacím motorem obsahují zpravidla jeden či více olověných akumulátorů o jmenovitém napětí 12V. Tento akumulátor slouží jako zdroj elektrické energie v době, kdy energie není dodávána alternátorem. Dříve k tomuto případu docházelo pouze, pokud byl spalovací motor vypnut a vozidlo odstaveno. Snaha o co možná největší úsporu paliva vede k zavádění systému, který spalovací motor vypíná i za jízdy (již při zpomalování, před zastavením vozu), jedná se o systém START-STOP.

V některých případech může alternátor vozidla pracovat v několika režimech, které se liší výkonem, který je dodáván do elektrické sítě automobilu. Tento systém je některými výrobci nazýván jako mikrohybridní technologie. Krajním případem je stav, kdy je spalovací motor sice činný, ale alternátor žádný výkon nedodává. Spotřeba elektrické energie je tak kompletně pokrývána akumulátorem. K opačnému jevu dochází například při jízdě z kopce nebo při brzdění. V tomto případě alternátor pracuje na maximální výkon a využívá tím kinetickou energii vozidla, která by jinak nebyla efektivně využita.

Tyto skutečnosti mají neblahý vliv na průběh napájecího napětí v síti automobilu. U vozidel, která neobsahují podobné systémy, je napětí v síti automobilu při běžícím motoru cca 14,4V. Při vypnutém motoru je napětí závislé na kondici akumulátoru a pohybuje se kolem 12,5V. Většina elektrických spotřebičů (včetně autorádií) je tak v provozu převážně při běžícím motoru, tedy při napětí cca 14,4V. Všechna zařízení musí samozřejmě poskytovat plnou funkčnost i při nižším napětí, ale například u autorádií může být dle specifikací maximální výstupní výkon při vypnutém motoru nižší. U autorádií určených do vozidel se systémem START-STOP je kladen větší důraz na dodržení parametrů, jako je výstupní výkon zesilovače nebo harmonické zkreslení, i při nižším napájecím napětí.

2.1 Funkce „START-STOP“

Tato funkce je v moderních automobilech z důvodu úspory paliva zaváděna poměrně často. Automobily vybavené tímto systémem obsahují obvod monitorující aktuální stav akumulátoru a to především velikost proudu tekoucí z anebo do

akumulátoru. Z této informace příslušná řídicí jednotka vypočítává stav jeho nabití a dále rozhoduje, zda může být funkce START-STOP aktivována. V kladném případě dojde při zastavení vozu (zpravidla už při zpomalování a vyřazené rychlosti) k vypnutí motoru. K jeho nastartování dojde po sešlápnutí spojkového pedálu. Řídicí elektronika systému tedy zabezpečuje, že motor bude vypnut jen v případě, že je kapacita akumulátoru dostatečná pro bezproblémový start motoru a zároveň nedojde ke kritickému poklesu napětí.

V ideálním případě by neměl být provoz systému START-STOP v kabině vozu znatelný. Utlumení vibrací a hluku, které jsou způsobeny sepnutím spouštěče a následným hořením startovací dávky paliva v motoru, je věc mechanická. Během dočasného poklesu napětí může u některých spotřebičů docházet k jejich vypnutí či omezení funkce. U některých spotřebičů je jejich vypnutí nežádoucí a musí být zaručena jejich bezchybná funkce po celou dobu. Mezi tyto spotřebiče patří například osvětlení vozu, osvětlení přístrojů, ventilace či multimediální systémy – infotainment.

V případě, že dojde k poklesu napětí během startu pod 7V nebo v případě, že start motoru trvá déle, než je uvedeno v normě, je výkonová část autorádia zcela odpojena od napájení. U starších automobilů docházelo k vypnutí této části autorádia při každém startu prostřednictvím X-kontaktu. Jedná se o výstup relé, které zajišťuje vypnutí nepotřebných spotřebičů po dobu startu motoru. Část elektroniky autorádia je vždy připojena ke stálému zdroji napětí. Tím je zajištěn korektní běh vnitřních hodin rádia, uložení uživatelských dat (stanice rádia, nastavení zvukových parametrů, průběh v posledně přehrávané skladbě), možnost záznamu dopravního hlášení a další. Nevýhoda tohoto řešení je nutnost zdvojení napájecího vodiče. Častěji je autorádio napájeno trvale jedním vodičem a informace o přepnutí mezi režimy je převzata ze sběrnice CAN. Zpravidla je v autorádiu obsažena logika, která v závislosti na velikosti napájecího napětí může rozhodnout o vypnutí koncového stupně. Ten je vypnut v momentě, kdy je hodnota napětí příliš nízká, případně pokles trvá delší dobu a mohlo by dojít k vysokému zkreslení signálu anebo k výraznému poklesu výkonu. Dle normy VW80101 musí dojít k úplnému vypnutí autorádia (platí i pro jiné řídicí jednotky vyjma jednotek zajišťující bezpečnost vozu) v případě, že napětí klesne pod 8V po dobu delší než 10s. Zároveň musí být tato skutečnost uložena do paměti závad. Stejně tak musí být autorádio vypnuto při přepětí. Jako hraniční je dle normy VW80101 hodnota 15V. Čas, kdy musí být rádio vypnuto je menší než 1s.

2.2 Norma VW80101

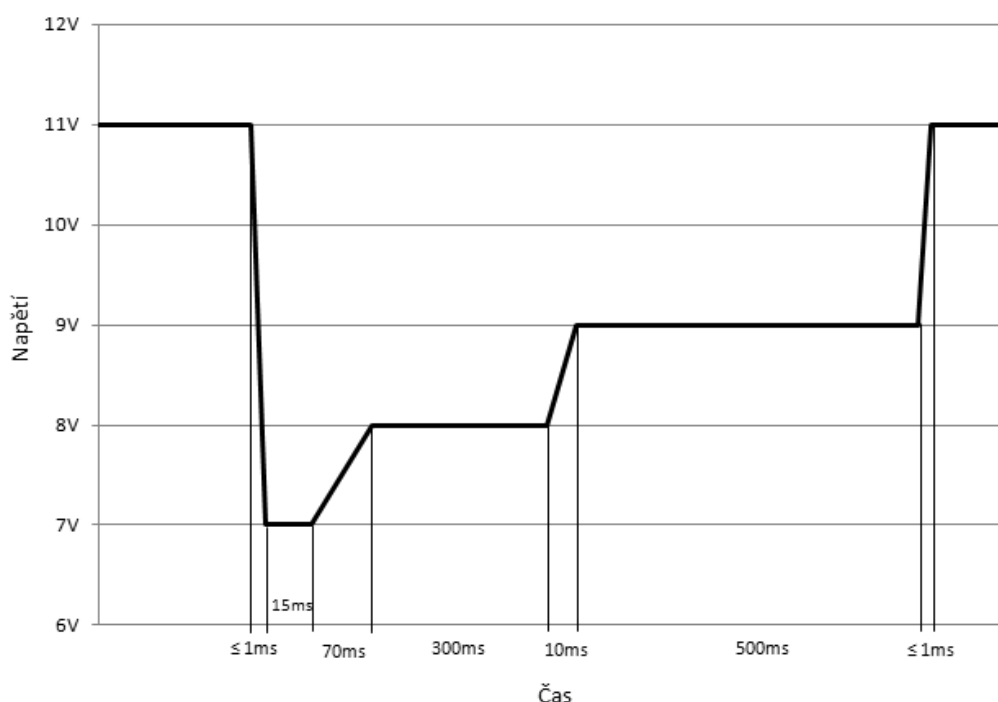
Norma VW80101 specifikuje požadavky na elektrické, elektromechanické a elektronické testy komponent motorového vozidla. Během testování parametrů koncového stupně zesilovače je nutné se řídit následujícím:

- 1) Teplota, při které probíhají testy je $+23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, vzdušná vlhkost se musí pohybovat v rozmezí od 25% do 75%.
- 2) Zařízení se testuje při několika hladinách napájecího napětí. Funkčnost, která je očekávána během běžícího motoru je testována při napětí $14\text{V} \pm 0,1\text{V}$. Během vypnutého motoru je to hodnota $10\text{V} \pm 0,1\text{V}$.
- 3) Infotainment navíc spadá do kategorie zařízení, které musí zůstat funkční i během startu motoru. Test tedy musí proběhnout i při napětí 7V, po dobu startu motoru.
- 4) Norma specifikuje celkem 10 průběhů napájecího napětí během startu motoru. Rozdíly mezi těmito křivkami jsou dány podmínkami, při kterých je motor spouštěn. Parametry koncového stupně autorádií jsou testovány prostřednictvím křivky s nejnižším poklesem napětí. Tím je simulován teplý start motoru, ke kterému dochází i v případě aktivního systému START-STOP.

2.2.1 Průběh napájecího napětí během startu motoru dle normy VW80101

Průběh hodnoty napětí v síti automobilu během startu je závislý na několika faktorech. Patří mezi ně teplota motoru, která je závislá na teplotě okolí a na době, po kterou nebyl motor v činnosti. Dále závisí na aktuální kondici akumulátoru a na jeho stavu nabití. Čím nižší je teplota motoru a nižší hodnota maximálního proudu, který může akumulátor poskytnout, tím déle trvá start motoru. Zároveň napětí klesne na nižší hodnotu. Naopak v případě, kdy je motor spouštěn pomocí systému START-STOP, je ohřátý na provozní teplotu a akumulátor je v takové kondici, aby byl schopen dodat potřebný proud na co možná nejrychlejší start motoru. Aby bylo možné objektivně testovat funkčnost elektrických zařízení automobilu, je v normě VW80101 uvedeno několik průběhů napájecího napětí. Jednotlivé průběhy se liší hodnotou minimálního napětí, dobou po kterou je v elektrické síti automobilu toto napětí, hodnotou napětí

v době otáčení motoru a dobou otáčení motoru. Elektrické komponenty, u kterých je vyžadována plná funkce i za nejméně příznivých podmínek (studený motor, špatná kondice akumulátoru, dlouhý start) jsou testovány pomocí průběhu s největším poklesem napětí a nejdělsí dobou točení motoru. Naopak komponenty, u kterých není vyžadována plná funkčnost za těchto podmínek, jsou testovány pomocí průběhu s menším poklesem, trvajícím kratší dobu. Dle normy spadají jednotky infotainmentu do kategorie zařízení, která jsou testována pomocí průběhu, který je znázorněn v *Grafu 1*.



Graf 1 Průběh napájecího napětí během startu motoru dle normy VW80101

Před počátkem cyklu je dle normy v napájecí síti automobilu napětí $U_B = 11V$. Jedná se o situaci, kdy byl systémem START-STOP motor vypnut, ale elektrické spotřebiče vozidla (autorádio, osvětlení, klimatizace, atd.) jsou aktivní. Na začátku startovacího cyklu klesne napětí na hodnotu 7 V za dobu kratší než 1 ms. Tento pokles napětí znázorňuje sepnutí relé spouštěče a rychlý nárůst proudu v jeho obvodu. Po 15ms začne napětí růst na hodnotu 8V, přičemž tento růst trvá 70ms. Tato část křivky znázorňuje počátek otáčení spouštěče motorem a trvá 300ms. Nyní napětí vzrůstá na hodnotu 9V za čas 10ms, což znázorňuje otáčení spouštěče motorem, které trvá 500ms.

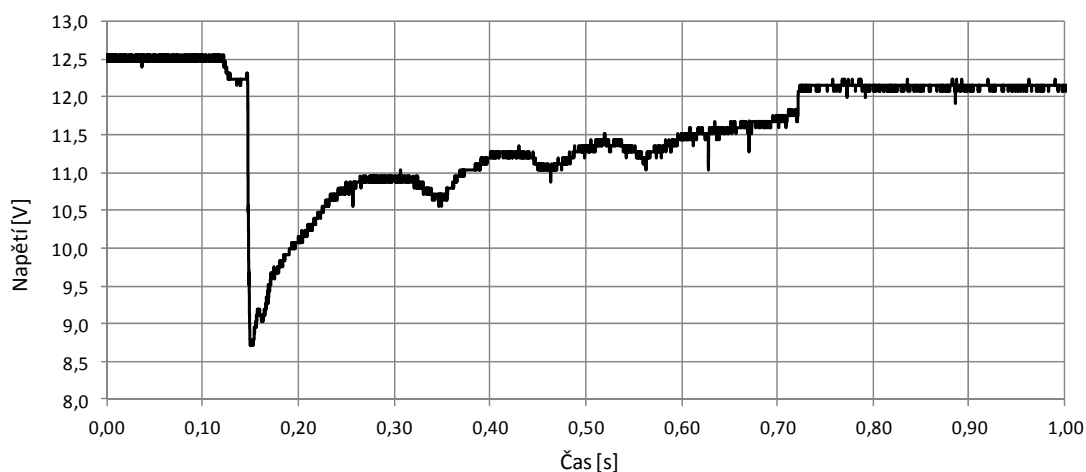
Po uplynutí této doby dochází k růstu napětí na hodnotu 11V, což simuluje naskočení motoru, přičemž doba, po kterou napětí roste, je menší než 1ms.

Při skutečném startu motoru následuje další růst napětí na hodnotu cca 14,4V, což je nominální hodnota napětí alternátoru. Prodleva mezi naskočením motoru a naměřením hodnoty napětí 14,4V je způsobena postupným nárůstem výkonu alternátoru. Tím je zabezpečeno, že nedojde k okamžitému sepnutí, které by způsobilo náhlé zatížení motoru. Výkon alternátoru je navíc regulován dle vnějších podmínek. To znamená, že alternátor bude mít vyšší výkon v situacích, kdy jeho zátěž bude způsobovat minimální zvýšení spotřeby vozidla. Norma předpokládá nejméně výhodnou situaci a to takovou, při které mezi jednotlivými cykly START-STOP systému nezačne alternátor dobíjet vůbec.

Při testování je zařízení připojeno ke zdroji napětí, který je schopen simulovat výše uvedený průběh. Test je prováděn celkem 10x a mezi jednotlivými cykly je vložen úsek dlouhý 5s, při kterém je zařízení napájeno napětím 11V. Během celého testu nesmí zkoumané vlastnosti zařízení překročit limity dané v příslušné normě.

2.3 Skutečný průběh napájecího napětí při startu motoru

Pro porovnání dříve uvedených průběhů s reálným stavem bylo provedeno měření průběhu napětí v napájecí soustavě skutečného vozidla během startu motoru. Průběh napětí byl měřen na prototypu vozidla, do kterého je určena jednotka autorádia s označením Entry. Automobil byl vybaven diesellovým motorem a systémem START-STOP. Akumulátor vozidla byl před měřením plně nabit. K měření byl použit přenosný osciloskop Fluke 199C. Sonda osciloskopu byla připojena na svorkovnici Quadlock, která je určená pro připojení autorádia. Naměřený průběh je znázorněn v *Grafu 2*.



Graf 2 Průběh napětí během startu motoru

Napětí v síti vozidla po zapnutí kontaktu 15, tedy po zapnutí zapalování bylo 12,5V. Nejmenší hodnota napětí byla naměřena po sepnutí relé spouštěče a to 8,7V. Pro srovnání, norma VW80101 dle křivky s názvem „Standard ignition voltage pulse“, což je křivka znázorňující standardní průběh napětí během startu, uvádí, že napětí klesne na hodnotu 4,5V. Poté následuje postupné zvyšování napětí, během kterého je patrné zvlnění, způsobené otáčením motoru. Dle normy je toto zvlnění znázorněno sinusovým průběhem o střední hodnotě 7,5V a amplitudou 1V. Napětí tedy kmitá v rozmezí od 6,5V do 8,5V. Na měřeném průběhu dochází během kmitání také k růstu střední hodnoty napětí. Napětí kmitá v rozmezí od 10,5V do 11,5V. Poté následuje nastartování motoru a zvýšení napětí na hodnotu 12,1V, což je napětí, které ještě stále dodává akumulátor. Teprve po dalších cca 3s dochází navýšení napětí na provozních 14,4V,

v tento moment dodává energii do sítě automobilu alternátor. V normě VW80101 není stanoveno, za jaký časový interval dojde k navýšení napětí na provozní hodnotu 14,4V. Celková délka měřeného startovacího pulsu je menší než 50ms. Dle normy je délka tohoto pulsu 70ms.

Pokud tedy srovnáme startovací puls dle normy VW80101 se skutečným průběhem napětí, dojdeme k závěru, že startovací puls dle normy klade na testované zařízení vyšší nároky než je tomu ve skutečnosti. Zároveň je nutné podotknout, že testované vozidlo obsahovalo akumulátor, který byl v dobré kondici. Jiný průběh bychom naměřili v případě, že by stav akumulátoru byl horší.

Měření bylo prováděno na vozidle, jehož motor měl teplotu 24°C, nejednalo se tedy o teplý start motoru.

3. Parametry koncového stupně zesilovače závislé na napájecím napětí

Aby bylo možné navrhnout metody pro měření parametrů koncového stupně zesilovače, bylo nutné se nejprve seznámit s normou VW80972. Tato norma specifikuje elektrické a akustické parametry, které musí daná část infotainmentu splňovat. Pro potřeby této práce byly vybrány ty parametry, jejichž hodnota je zkoumána při změnách napájecího napětí. Je to jmenovitý výkon [W] a harmonické zkreslení THD [%]. Měření těchto parametrů je prováděno vždy po uvolnění nové verze softwaru případně hardwaru jednotky autorádia. Z tohoto důvodu musí být měření snadno opakovatelné a v rámci možností rychlé.

Koncový stupeň zesilovače je napájen přímo z palubní sítě automobilu. Z tohoto důvodu je hodnota jmenovitého výkonu a harmonického zkreslení závislá právě na velikosti a průběhu napájecího napětí. V aplikacích, kde je požadován konstantní jmenovitý výkon a hodnota harmonického zkreslení, je nutno použít DC/DC měnič. Díky tomu může koncový stupeň pracovat s vyšším a konstantním napětím (např. 32V) a poskytuje tak vyšší a stabilní jmenovitý výkon a zkreslení výstupního signálu. Tyto hodnoty jsou navíc konstantní a nezávislé na aktuálním provozním režimu automobilu. Tohoto řešení se využívá u prémiového ozvučení automobilu, zvaném Soundsystem.

Jedním z aspektů, které ovlivňují jmenovitý výkon, je impedance reproduktorů. Běžně používaná hodnota impedance reproduktorů automobilu je 4Ω . Impedance reproduktoru měřená na svorkovnici autorádia musí dle normy dosáhnout této hodnoty s tolerancí $\pm 10\%$, v tomto případě je to tedy $0,4\Omega$. Do této tolerance je třeba započítat odpor vodičů a přechodové odpory na svorkovnicích. Mezi autorádiem a reproduktorem se nacházejí minimálně 3 svorkovnice a to: svorkovnice Quadlock mezi autorádiem a kabelovým svazkem, dveřní svorkovnice mezi svazkem dveří a svazkem v karoserii a svorkovnice reproduktoru. Využití reproduktorů o impedanci menší než 4Ω (např. 3Ω nebo 2Ω) vyžaduje využití kvalitnějších materiálů pro krimpované spoje případně zmenšení počtu svorkovnic. Naopak při využití reproduktorů o vyšší impedanci (např. 6Ω nebo 8Ω) a současném zachování jmenovitého výkonu je nutné koncový stupeň zesilovače napájet vyšším napětím než palubním. To by vyžadovalo použití DC/DC měniče. Z těchto důvodů se u běžného ozvučení automobilu používají reproduktory o impedanci 4Ω .

3.1 Podmínky pro měření zvukových parametrů dle normy VW80972

Jako zdroj signálu pro měření parametrů koncového stupně zesilovače autorádia dle normy VW80972 je využita mechanika CD. Na nosiči formátu Audio CD je uložen signál se sinusovým průběhem, frekvencí 1kHz a o úrovni -10dB. K výstupům zesilovače jsou připojeny umělé zátěže – rezistory s hodnotou odporu 4Ω simulující připojené reproduktory. Nastavení všech uživatelských korekcí musí být nastaveno na nulovou hodnotu. Funkce gala a loudness jsou deaktivovány. V paměti autorádia musí být uložena plochá ekvalizační křivka. Tyto křivky jsou vytvářeny specializovaným softwarem, který komunikuje s patřičně upravenou jednotkou autorádia. Pomocí tohoto softwaru se provádí konfigurace filtrů autorádia a kompenzují se tak například vlastnosti reproduktorů, interiéru vozu apod.. Vozidlo s koženým interiérem a karoserií combi tak bude mít v jednotce autorádia uloženou ekvalizační křivku s jiným průběhem než vozidlo sedan s látkovým interiérem. Pro potřeby testování a objektivního měření zvukových parametrů byly vytvořeny křivky, které obsahují takovou konfiguraci filtrů, aby výsledná frekvenční charakteristika byla maximálně plochá. Konfigurace filtrů je exportována do souboru, který je dále načten diagnostickým nástrojem VAS a uložen natrvalo do paměti autorádia. Konfiguraci lze změnit pouze uložením jiné ekvalizační křivky.

Před každým testem je provedeno opětovné uložení konfigurace, aby bylo zajištěno, že je v paměti uložena požadovaná křivka. Prostřednictvím diagnostického nástroje VAS je dále provedena kontrola paměti závad a tím ověřeno, že se jednotka nenachází v chybovém režimu.

3.2 Maximální výstupní výkon zesilovače

Dle normy VW80972 je maximální výstupní výkon zesilovače autorádia měřen nejprve pro statické hodnoty napětí 14V a 10,8V. Paralelně k umělým zátěžím, které jsou tvořeny 4Ω rezistory, je připojen 4 kanálový zvukový analyzátor. Po splnění podmínek uvedených v kapitole 3.1 je při konstantním napětí 14V na jednotce autorádia nastavena maximální úroveň hlasitosti. Nyní jsou pomocí analyzátoru odečteny efektivní hodnoty napětí – U_{RMS} pro všechny 4 výstupy zesilovače. Ihned poté je napájecí napětí autorádia sníženo na hodnotu 10,8V a odečet hodnot napětí je opakován.

Po dosazení této měřené hodnoty za neznámou U_{ef} a hodnoty 4Ω za neznámou R_z do vztahu [1] vychází hodnota maximálního výkonu P .

$$P = \frac{U_{ef}^2}{R_z} [W, \frac{V}{\Omega}] \quad [1]$$

Jednotka autorádia není přizpůsobena k trvalému provozu při maximální hodnotě výkonu. Ve finální podobě bude v paměti autorádia uložena taková konfigurace filtrů, která připustí maximální výkon na výstupu zesilovače nanejvýš po dobu několik milisekund.

3.3 Výkon zesilovače v závislosti na proměnném napájecím napětí

Výstupní výkon zesilovače autorádia je také měřen v čase během tzv. teplého startovacího pulsu (*Graf 1*). Toto měření probíhá pro výkony 0,1W, 0,5W, 1W, 2W a 5W. Pro napájení jednotky autorádia je v tomto případě využit zdroj umožňující simulaci startovacího pulsu. Před počátkem měření je jednotka autorádia dle normy VW80101 napájena konstantním napětím 11V. Paralelně k umělé zátěži je připojen pomocný voltmetr měřící hodnotu RMS. Jelikož požadovaný výkon nikdy nelze nastavit přesně, je voličem hlasitosti na autorádiu nastaven výstupní výkon, který je nejbližší požadovanému. Danému výkonu odpovídá hodnota napětí měřená na zátěži dle následující tabulky (*Tabulka 1*). Hodnota napětí RMS je vypočtena dle vztahu [2].

| Výkon | Napětí RMS |
|-------|------------|
| 0,1 W | 0,63 V |
| 0,5 W | 1,41 V |
| 1,0 W | 2,00 V |
| 2,0 W | 2,83 V |
| 5,0 W | 4,47 V |

Tabulka 1 Přepočet výkonu na U_{RMS}

$$U_{RMS} = \sqrt{P * R_z} [V, W * \Omega] \quad [2]$$

Analyzátor, který je připojen alespoň k jednomu z výstupů, musí být schopen zaznamenávat s dostatečnou rychlostí hodnotu napětí na výstupu U_{RMS} . Perioda, kterou je hodnota zaznamenávána, musí být stejná nebo kratší, než je nejkratší časový úsek, na kterém dochází ke změně napájecího napětí.

Druhým způsobem, kterým lze měřit výstupní výkon, je výpočet ze spektra. V případě, že se hodnota harmonického zkreslení nachází v toleranci, lze výkon počítat z napěťové úrovně 1. harmonické frekvence příslušného signálu. Měření spektra je dále popsáno v kapitole 3.5.

3.4 Harmonické zkreslení při statickém napájecím napětí

Dle normy VW80972 je harmonické zkreslení zesilovače autorádia měřeno pro napětí 14V a 10,8V. Napájecí zdroj je nastaven nejprve na vyšší hodnotu napětí, tedy na 14V. Do jednotky autorádia je vloženo CD s testovacím signálem a voličem hlasitosti na autorádiu je nastavena požadovaná úroveň, která je odečítána na pomocném RMS voltmetru. Dle normy je harmonické zkreslení měřeno při výkonech 0,1W, 0,5W, 1W, 2W, 5W a 10W. Nikdy nelze nastavit přesnou hodnotu výstupního výkonu, proto je vždy zvolena nejbližší možná úroveň. Hodnota harmonického zkreslení je odečítána na zvukovém analyzátoru, který tuto funkci umožňuje. Změřené hodnoty zkreslení jsou zaznamenány.

Jelikož v čase nedochází ke změně frekvenčního spektra měřeného na výstupu, je možné uložit jedno frekvenční spektrum a z toho dále vypočítat hodnotu zkreslení. Tento postup je ale časově náročnější a proto je jednodušší využít takový zvukový analyzátor, který zobrazí přímo hodnotu harmonického zkreslení.

3.5 Harmonické zkreslení v závislosti na proměnném napájecím napětí

Stejně jako výkon koncového stupně zesilovače je i harmonické zkreslení měřeno také během tzv. teplého startovacího pulsu. Jednotka autorádia je opět napájena zdrojem, který umožňuje simulaci startovacího pulsu. Měření se provádí při výkonech 0,1W, 0,5W, 1W, 2W a 5W. Nejprve je hodnota napájecího napětí nastavena na 11V. Výstupní úroveň koncového stupně zesilovače je nastavena co neblíže k požadované

Parametry koncového stupně zesilovače závislé na napájecím napětí

hodnotě. Analyzátor, který je paralelně připojen k umělé zátěži musí být schopen s dostatečnou rychlostí měřit frekvenční spektrum výstupního signálu. Perioda, se kterou jsou spektra měřena, musí být stejná nebo nižší než je nejkratší časový úsek, na kterém dochází ke změně napětí.

Změřená spektra musí být dále zpracována tabulkovým editorem, např. Microsoft Excel. Harmonické zkreslení je vypočteno dle následujícího vztahu [3].

$$THD = \frac{U_{RMS,2h}^2 * U_{RMS,3h}^2 * U_{RMS,4h}^2 * U_{RMS,5h}^2}{U_{RMS,1h}^2} * 100[\%, \frac{V}{V}] \quad [3]$$

Kde $U_{RMS,xh}$ je RMS hodnota napětí x. harmonické frekvence daného signálu. Harmonické zkreslení v závislosti na proměnné hodnotě napájecího napětí by bylo možné měřit přímo, tedy ukládat naměřené hodnoty s určitou periodou. Dostupné analyzátory ovšem neumožňovaly ukládání hodnoty THD s dostatečnou rychlostí.

4. Příprava měřicího stavu

Pro vývoj a testování elektronických a elektrických částí vozu slouží tzv. breadboard. Nejčastěji se jedná o panel případně pracovní stůl, na kterém jsou rozmístěny všechny řídicí jednotky vozu včetně připojených senzorů (senzory ABS, senzor otáček motoru, senzor zrychlení atd.) a akčních členů (elektromotory, světla, reproduktory atd.).

Způsob propojení komponent odpovídá zapojení, které bude využito ve finální verzi automobilu. Některé senzory nebo celé řídicí jednotky mohou být nahrazeny HIL simulátorem, prostřednictvím kterého probíhá simulování provozních stavů. Následně jsou kontrolovány výstupy z řídicích jednotek, případně stavy akčních členů. Stav je kontrolován také vyčtením paměti závad prostřednictvím diagnostického nástroje. Paměť závad je označována zkratkou DTC a obsahuje ji každá řídicí jednotka vozidla. Pomocí analyzátorů sběrnice, jako například CANoe (sběrnice CAN) či Optolyzer (optická sběrnice MOST) probíhá kontrola obsahu zpráv, pomocí kterých jednotky komunikují.

Pro potřeby testování jedné konkrétní řídicí jednotky není zapotřebí, aby byla zapojena do kompletního systému automobilu. Postačuje propojení jen s takovými jednotkami, které zaručí funkčnost zařízení nutnou pro testy. Takové uskupení elektroniky vozu je nazýváno měřicí stav.

4.1 Měřicí stav pro měření parametrů koncového stupně zesilovače autorádia

4.1.1 Napájecí zdroj

Základ měřicího stavu je napájecí zdroj, který zastává funkci akumulátoru a alternátoru. Současně je nutné využít zdroj, který je schopen simulovat krátkodobé a dlouhodobé napěťové výkyvy v napájecí soustavě. Pro tuto aplikaci byl vybrán laboratorní zdroj Rohde-Schwarz NGSM32/10. Rozsah výstupního napětí tohoto zdroje je 0V – 32V. Zdroj je schopen při výstupním napětí 12V poskytnout trvale proud 10A, po dobu 5min proud 20A a krátkodobě dokonce 30A (5ms). Dle technického listu výrobce je tento zdroj vhodný pro testování a vývoj komponent elektronické výbavy

vozidla. Kromě jiného totiž umožňuje naprogramování tvaru křivky startovacího pulsu, který odpovídá normě VW80101. Dle této normy musí být zdroj schopen snížit hodnotu napětí z 11V na 7V za čas kratší než 1ms.

4.1.2 Řídící jednotka elektroniky sloupku řízení

Tato řídící jednotka se v automobilu nachází pod volantem na tyči řízení. Jsou k ní vedeny signály ze všech spínačů umístěných v její blízkosti. Mezi tyto spínací prvky patří zejména páčka ovládání směrových světel s integrovaným přepínačem dálková/tlumená (případně ovládání tempomatu), páčka stěračů a spínací skříňka. Posledně jmenovaný spínací prvek rozlišuje několik stavů: vypnuté zapalování, první poloha, poloha start a vypnuté zapalování při vloženém klíčku. Informace o stavu spínačů je jednotkou vyslána na sběrnici CAN komfortu. Tato jednotka je pro funkci prvků infotainmentu důležitá zejména z důvodu generování informace o zapnutém zapalování. V případě, že jednotka autorádia nedetekuje zapnuté zapalování, dochází po určité době k jejímu vypnutí. Tato funkce je zavedena z důvodu ochrany akumulátoru před jeho vybitím. Po vypnutí zapalování a vytažení klíčku totiž lze autorádio zapnout běžným způsobem. V tomto momentě by ale pasažér mohl rádio zapomenout vypnout. K automatickému vypnutí dojde za 20min – 30min (dle typu autorádia).

4.1.3 BCM

Řídící jednotka elektroniky sloupku řízení generuje informaci o stavu spínací skříňky, tu zpracovává jednotka BCM. Na základě těchto informací poté na sběrnici CAN komfort vysílá zprávy o zapnutém kontaktu 15 (klíček zapalování v první poloze), případně o zapnutém S-kontaktu (klíček z první polohy přesunut do vypnutého stavu, ale stále zůstává ve spínací skřínce) a startu motoru (odlehčení pomocí vypnutí nepotřebných spotřebičů během startu – X kontakt). Teprve informace vyslané jednotkou BCM jsou zpracovávány i ostatními jednotkami připojenými na sběrnici CAN. Jednotka BCM dále ovládá relé, prostřednictvím kterého jsou napájeny spotřebiče, které nekomunikují po sběrnici vozidla. Mezi tyto spotřebiče může patřit například rádio, které není dodáváno výrobcem automobilu. K sepnutí relé tedy dojde ve stejném okamžiku, jako je vyslána informace o aktivaci kontaktu 15 na sběrnici.

4.1.4 Gateway

Řídící jednotky automobilu jsou rozděleny do několika funkčních bloků. Se vzrůstající složitostí elektroniky vozu roste logicky i počet těchto bloků. Tyto segmenty jsou do jisté míry samostatně fungující celky. Každá skupina tak může komunikovat s rozdílnou rychlostí a po sběrnici CAN jsou přenášeny jen ty zprávy, které jsou relevantní pro daný blok. Díky tomu nedochází k přetěžování sběrnice. V některých případech je nutné, aby zprávy z jednoho bloku byly přístupné i pro jiný blok. Například informace o rychlosti vozidla, která je prostřednictvím jednotky ABS přenášena po sběrnici CAN pohonu, je užitečná i pro jednotku autorádia, která je připojena do bloku infotainment. Dále je informace o rychlosti zpracovávána jednotkou BCM, která v závislosti na její hodnotě provede například uzamknutí vozidla. Podobně je zapotřebí převést informaci o stavu spínací skříňky do všech funkčních bloků. Mimo jiné i pro tento účel je využívána jednotka zvaná gateway.

Gateway přenáší přesně definované zprávy mezi jednotlivými funkčními celky. Například po otočení klíčku ve spínací skříňce do první polohy je tato informace z řídicí jednotky elektroniky sloupku řízení zpracována jednotkou BCM a vyslána na CAN komfortu. Jednotka gateway tuto informaci přijme a vyšle do ostatních bloků.

Mezi diagnostickou zásuvkou vozidla a jednotkou gateway je tzv. CAN diagnostiky. Jedná se o sběrnici, která je určena pouze pro propojení s diagnostickým přístrojem (např. VAS) a jednotkou gateway. Dle požadavku diagnostického nástroje zprostředkuje gateway komunikaci s libovolnou řídicí jednotkou ve vozidle. V momentě, kdy je komunikace navázána, je možné prostřednictvím diagnostického nástroje s danou řídicí jednotkou plně komunikovat.

4.1.5 Diagnostický nástroj VAS

Pro diagnostiku vozidel koncernu Volkswagen existuje celá řada diagnostických nástrojů. Patří mezi ně např. VAS, ODIS, VAG, VCDS atd.. Pro účel této diplomové práce byl použit diagnostický nástroj VAS. Ten se skládá z osobního počítače (notebook) s operačním systémem Windows XP a nainstalovaným softwarem VAS. K notebooku je pomocí bezdrátového rozhraní bluetooth připojen adaptér, který je připojen do diagnostického konektoru, ze kterého je i napájen.

Pomocí VAS je možné provádět přizpůsobení a kódování řídicích jednotek, kontrola a mazání paměti závad a v neposlední řadě také aktualizace softwaru v jednotkách.

4.1.6 Zátěž koncového stupně zesilovače

Aby bylo možné objektivně ověřit parametry koncového stupně zesilovače autorádia, je nutné na jeho výstup připojit předepsanou zátěž. V případě autorádia typu Entry jsou touto zátěží reproduktory o jmenovité impedanci 4Ω a jmenovitým výkonu 20 W. Dle normy lze tyto reproduktory nahradit rezistory o odporu 4Ω , které jsou dimenzované na jmenovitý výkon zesilovače. Pro měřící stav bylo nutné vyrobít konstrukci, na které jsou rezistory umístěny a která zároveň odvádí vznikající teplo. Na konstrukci jsou dále umístěny konektory, které umožňují paralelní připojení zvukového analyzátoru.

4.1.7 Zvukový analyzátor

Pro analýzu výstupního signálu byly použity celkem tři přístroje. Pro rychlou kontrolu výstupní úrovně a zkreslení byl využit zvukový analyzátor Agilent Technologies U8903A. Jedná se o zařízení, které pracuje zcela samostatně, bez využití PC. Obsahuje barevný displej, pomocí kterého se provádí konfigurace a který slouží pro zobrazování měřených hodnot (jako jsou napětí RMS, THD, atd.). Tento analyzátor sice obsahuje USB konektoru pro připojení externí paměti, ale zpracování výsledných dat v PC je příliš zdlouhavé.

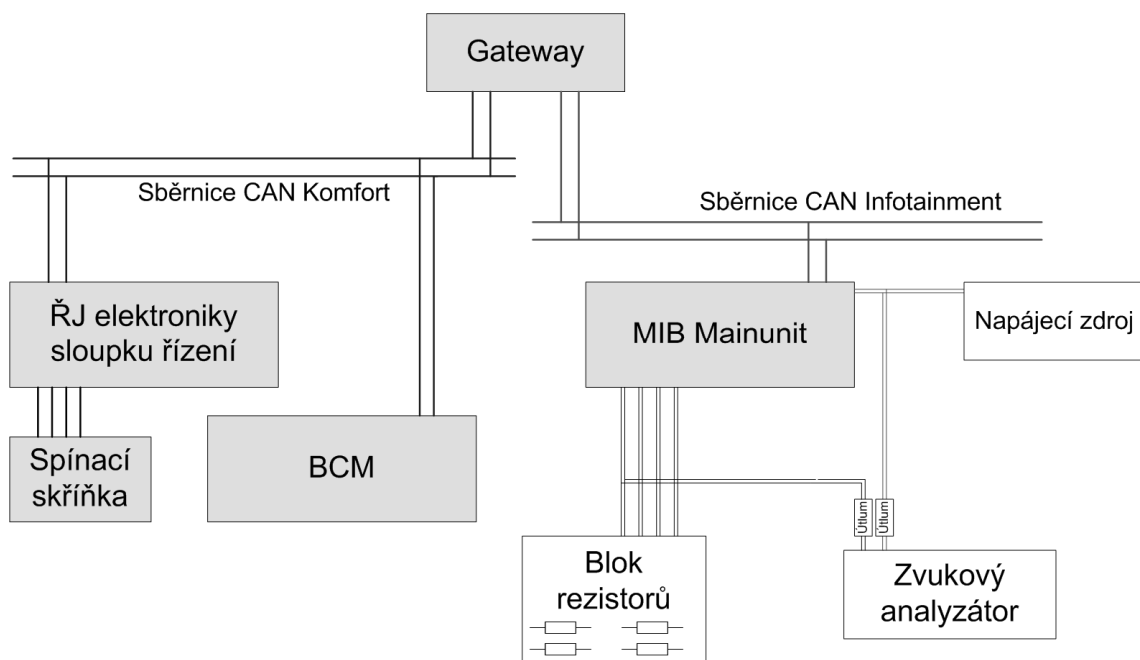
Z tohoto důvodu je pro vlastní měření některých parametrů využit analyzátor Audio Precision APx586. Tento analyzátor pracuje výhradně s připojeným PC, na kterém je nainstalován příslušný software. Pro měření v rámci této diplomové práce byl vytvořen projekt, který využívá 4 vstupy analyzátoru a v reálném čase zobrazuje napěťové úrovně na jednotlivých kanálech a harmonické zkreslení THD. Dále je možné měřit frekvenční charakteristiku testovaného zařízení a vše exportovat přímo do tabulkového editoru k dalšímu zpracování. Nevýhoda tohoto analyzátoru spočívá v měření parametrů měnících se v čase. Maximální rychlost, kterou jsou zaznamenány vzorky, činí 20 hodnot/s. Z tohoto důvodu se analyzátor hodí pouze pro měření

parametrů v případě, že je jednotka autorádia napájena napětím o neměnné hodnotě a nepředpokládají se rychlé změny hodnot.

Pro měření parametrů během startovacího pulsu je nutné využít zvukový analyzátor s rychlejším vzorkováním a s možností podrobnějšího nastavení. Pro tento účel byl vybrán analyzátor od firmy Brüel & Kjaer s označením Pulse. Jelikož je konfigurace tohoto zařízení obtížnější než u předešlých, bude této problematice věnována samostatná kapitola.

4.1.8 Realizace měřicího stavu

Veškeré komponenty měřicího stavu jsou poskládány na typizované hliníkové konstrukci. Na té je také umístěna kabeláž, která vychází ze schémat vozidla. Na následujícím nákresu je zobrazeno blokové uspořádání měřicího stavu. Zvukový analyzátor je v tomto případě připojen pouze k jednomu kanálu koncového stupně autorádia, druhý kanál je využit pro měření průběhu napětí. Toto zapojení je použito v případě měření parametrů při startovacím pulsu. V případě měření parametrů při statickém napětí je hodnota napětí měřena voltmetrem a zvukový analyzátor je připojen k jednotce autorádia čtyřmi kanály.



Obrázek 1 Blokové znázornění měřicího stavu

Pokud je na místo analyzátoru připojen Brüel & Kjaer Pulse, je nutné na vstupy připojit útlumový článek. V žádném případě nesmí dojít k situaci, kdy by byla překročena maximální vstupní úroveň. Vstupní impedance tohoto analyzátoru je ve srovnání s dalšími dvěma analyzátory menší, proto je nutné kontrolovat i hodnotu proudu, tekoucího do analyzátoru. Z tohoto důvodu se doporučuje používat výhradně dodávané útlumové články.

Problém, který nastává při připojení nové jednotky autorádia, je zabezpečení proti jeho krádeži. Jednotky autorádia série MIB fungují ve třech režimech. Nová jednotka, jednotka ONLINE, jednotka OFFLINE. Nová jednotka je téměř nefunkční a je připravena na přepnutí do jednoho z režimů. Přepnutí do režimu je realizováno zadáním příslušného kódu prostřednictvím diagnostického nástroje. Jednodušší je zadat kód typu OFFLINE. V tomto případě není sice jednotka plně funkční, ale to pro potřeby měření parametrů dostačuje. Ve stejném režimu musí být i jednotka gateway. Pokud by tomu tak nebylo, došlo by k zablokování autorádia. V případě, že je vyžadována plná funkčnost, je nutné, aby obě jednotky byly přizpůsobeny ONLINE. K tomu je ale zapotřebí přístup do jednotné databáze společnosti Volkswagen. Přizpůsobení je nutné provádět při každé výměně jednotky. Tento systém slouží jako ochrana proti případné krádeži autorádia. Pokud bude již přizpůsobené autorádio neoprávněně vyjmuta z vozidla, nebude možné ho zprovoznit v jiném vozidle. Jediným způsobem je přizpůsobení prostřednictvím ONLINE kódu, které bude možné pouze v autorizovaném servisu.

5. Konfigurace zvukových analyzátorů

5.1 Analyzátor Agilent Technologies U8903A a AudioPrecision APx586

V případě analyzátoru Agilent Technologies nebyla potřeba žádná speciální konfigurace či složitější nastavení. Měření efektivní hodnoty napětí a případně i měření harmonického zkreslení je dostupné okamžitě po zapnutí přístroje. Jak již bylo řečeno dříve, tento analyzátor je používán pro orientační měření parametrů.

Konfigurace analyzátoru Audio Precision APx586 vyžadovala vytvoření měřicího profilu. Po každém spuštění obslužné aplikace je nutno tento profil otevřít, poté dojde ke konfiguraci vstupů a výstupů analyzátoru a ke změně rozložení ovládací obrazovky.

Pro potřeby měření parametrů koncového zesilovače jednotek Entry bylo zapotřebí v měřicím profilu aktivovat čtyři vstupy a 2 výstupy. Audio precision obsahuje funkci generátoru, který je využíván pro měření parametrů vstupu AUX. Tento vstup slouží pro připojení externího zdroje zvuku. Dle normy byla nastavena úroveň výstupu generátoru na hodnotu $1V_{RMS}$. Je nastaven signál se sinusovým průběhem o frekvenci 1kHz. Dalším používaným signálem je tzv. sweep, což je posloupnost signálů o definovaných frekvencích. Tato posloupnost je využívána pro měření frekvenční charakteristiky. Funkce je využívána v případě, že je zapotřebí ověřit tvar ekvalizačních křivek uložených v jednotce.

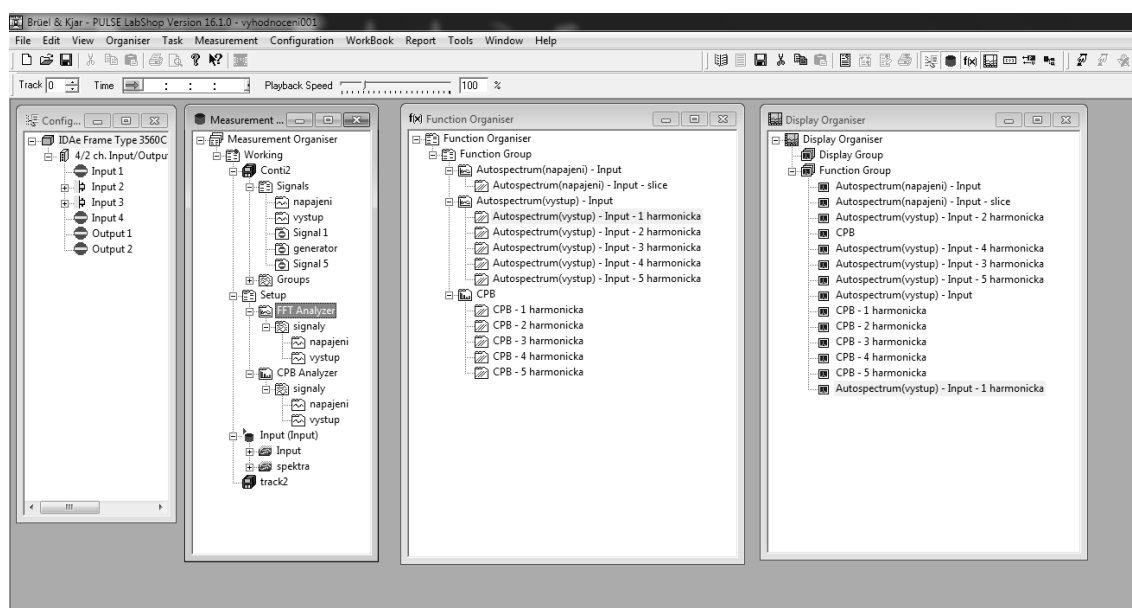
Dle normy probíhá měření úrovně a harmonického zkreslení na pásmu 20Hz - 20kHz. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí aktivovat dolní propust s frekvencí 20kHz a horní propust s frekvencí 20Hz.

Vytvořený měřicí profil umožňuje rychlé měření daných parametrů a zajišťuje snadno opakovatelné podmínky, což je důležité pro objektivní posouzení zjištěných výsledků.

5.2 Analyzátor Brüel & Kjaer Pulse

Analyzátor Puls umožňuje podrobnější nastavení analýzy zvukového signálu než předešlé analyzátorů. Z tohoto důvodu byl pro měření parametrů koncového stupně zesilovače během startovacího pulsu vybrán právě tento analyzátor. Pro výpočet

výstupního výkonu a harmonického zkraslení je nutné nejprve provést spektrální analýzu signálu. To je možné provést pomocí CPB analýzy a rychlé Fourierovy transformace (FFT). Pro ověření správnosti výpočtu maximální hodnoty harmonického zkraslení během startovacího pulsu, byl výpočet proveden pomocí obou metod a s různými parametry. Bylo tedy nutné, aby se vstupní data obou metod nelišily. V první fázi byla využita funkce Recorder, která umožňuje záznam signálu. Ten je pak možné opakovaně zpracovávat stejně, jako by byl zpracován signál v reálném režimu. Výrobce analyzátoru, společnost Brüel & Kjaer, dodává k analyzátoru Pulse software LabShop. Následující postup je platný pro aktuální verzi 16.1.0, nicméně ovládání je shodné i pro předešlé verze. Připravené projekty, které jsou součástí příloh na CD, je možné otevřít pouze ve verzi 16.1.0 a novější. Základní obrazovka programu obsahuje 4 konfigurační okna – organiséry, prostřednictvím kterých probíhá konfigurace analyzátoru. Na *Obrázku 2* je znázorněno pracovní prostředí programu.



Obrázek 2 Pracovní prostředí programu LabShop

5.2.1 Vytvoření záznamu pomocí funkce Recorder

Nejprve byl vytvořen nový projekt, který umožňuje záznam signálu z připojeného zařízení. Pro tento účel byly využity dva vstupy analyzátoru. Pro přehlednost byly vstupy pojmenovány podle své funkce. První pro připojení výstupu z koncového stupně zesilovače autorádia („vystup“) a pomocí druhého byla měřena

úroveň napájecího napětí na svorkovnici autorádia („napajeni“). Na oba vstupy byl nejprve připojen útlumový článek 10dB, který zabraňuje poškození analyzátoru. Při následných výpočtech je nutno brát v potaz hodnotu tohoto útlumu. U každého vstupu byl nastaven maximální rozsah vstupního napětí. Vždy je nejprve nastavena nejvyšší hodnota, která je případně postupně snižována. Používané vstupní signály byly dále vloženy do skupiny signálů s názvem „signaly“, se kterou se dále pracuje. V okně Measurement Organiser byla vložena funkce Recorder. V parametrech této funkce byla nastavena cesta, kam se má výsledný záznam uložit. Dále bylo nutné nastavit maximální délku záznamu. Jelikož jeden startovací puls trvá cca 1s, prodleva mezi pulsy je 5s a měření se opakuje 10 krát, byla zvolena délka záznamu s rezervou 65s. Po aktivaci nastavení a uložení profilu je možné začít ukládání signálu. K ukončení ukládání dojde automaticky nebo po stisku klávesy F6. Projekt s názvem „recorder.pls“ prostřednictvím kterého se záznam provádí je uložen jako příloha na přiloženém CD. Pomocí tohoto projektu je možné později opakovat záznam signálu, který má být dále zpracován.

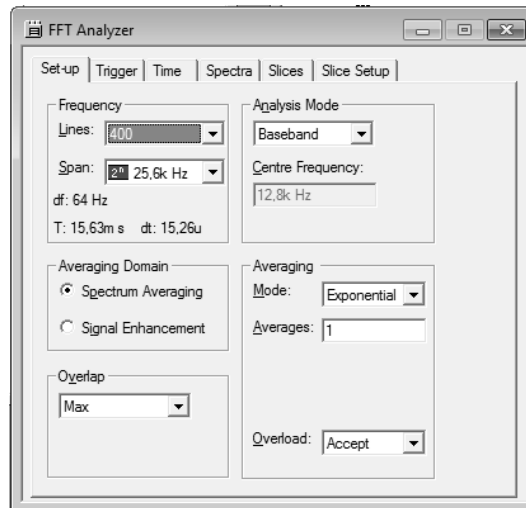
5.2.2 Zpracování záznamu

Projekt s názvem „vyhodnoceni.pls“, který je také součástí příloh na CD, vychází ze dříve jmenovaného. Neobsahuje již funkci Recorder a je určen ke zpracování signálu. Do projektu byla přidána funkce FFT analyzátoru a CPB analyzátoru. Dále v projektu nesmí chybět podpora pro zobrazení výsledku analýz. Prostřednictvím funkce Open Time History v okně Measurement Organiser je otevřen uložený záznam. Nyní je možné jeho zpracování stejným způsobem, jako by byl signál na vstupu analyzátoru.

5.2.3 Konfigurace FFT analýzy

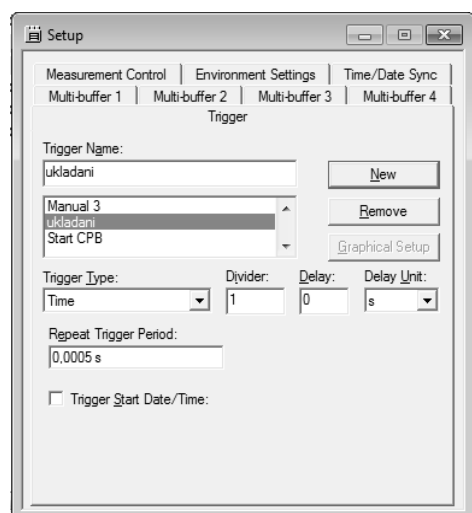
Pomocí FFT analýzy lze zkoumat i stejnosměrnou složku signálu, což je podmínka pro měření úrovně napájecího napětí. Oproti CPB je sice FFT pomalejší, ale lze pomocí ní exportovat do jednoho grafu průběh harmonického zkruslení či výkonu společně s průběhem napájecího napětí se shodnou časovou základnou. V případě, že je vybrána maximální šířka pásma – 25,6 kHz a počet spektrální čar nastaven na 400. Je doba výpočtu jednoho spektra 15,63ms. Abychom byli schopni analyzovat i kratší

časové úseky, byla aktivována funkce Overlap a nastavena na hodnotu Max. To má za následek, že jednotlivé výpočty spekter jsou překrývány. Výsledné časové rozestupy mezi spektry tedy dosahují hodnot menších, než je uváděných 15,63ms. *Obrázek 3* znázorňuje okno, ve kterém se provádí konfigurace FFT analyzátoru.

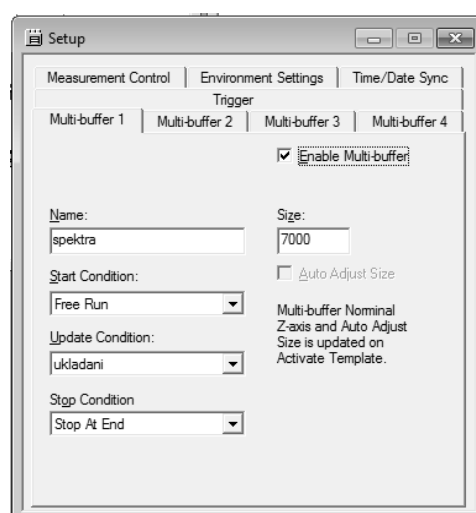


Obrázek 3 Nastavení FFT analyzátoru

V případě, že se zdrojový signál v čase mění, což předpokládáme, využijeme tzv. Multi-buffer. Jedná se o paměť, do které se v pravidelných intervalech ukládají vypočtená spektra signálu. Pro funkci Multi-bufferu je nutné nejprve nastavit parametry Triggeru. Vytvoříme tedy Trigger s názvem „ukladani“ a periodou spouštění 0,5ms. Nejkratší časový úsek ve startovacím pulsu totiž dle normy trvá 1ms, jedná se o sestupnou hranu napětí. Jelikož se jedná o největší pokles napětí, lze předpokládat, že právě zde dojde k největší změně ve výstupním signálu. Abychom tuto změnu mohli pozorovat, nastavíme periodu ukládání spektra právě na polovinu délky trvání sestupné hrany. Nastavení Triggeru je zobrazeno na *Obrázku 4*. Nyní je možné postoupit k nastavení Multi-bufferu, *Obrázek 5*. Multi-buffer 1 pojmenujeme například názvem „spektra“. Ukládat do něj začneme na počátku analýzy s intervalem, který je nastaven v Triggeru „ukladani“. Ukládání bude ukončeno v momentě, kdy bude Multi-buffer plný, tzn. po uložení 7000 spekter. Jelikož je perioda ukládání 0,5ms, znamená to, že do Multi-bufferu budou uložena spektra za dobu 3,5s, tedy průběh signálu během prvního startovacího pulsu.



Obrázek 5 Nastavení Triggeru



Obrázek 4 Nastavení Multi-bufferu

Dle normy VW80101 musí být testované zařízení vystaveno 10 po sobě jdoucích startovacích pulsů. Při této konfiguraci by se jednalo o uložení 120 000 spekter. Výsledné zpracování dat by bylo časově náročné. Z tohoto důvodu je FFT analýzou zkoumán pouze průběh během prvního startovacího pulsu. Následně se celý 65s záznam analyzuje prostřednictvím CPB a srovnají se nejhorší měřené parametry, tzn. největší hodnota harmonického zkreslení. Pokud dojdeme k závěru, že se hodnoty měřené oběma způsoby shodují, lze předpokládat, že parametry signálu jsou shodné během všech startovacích pulsů.

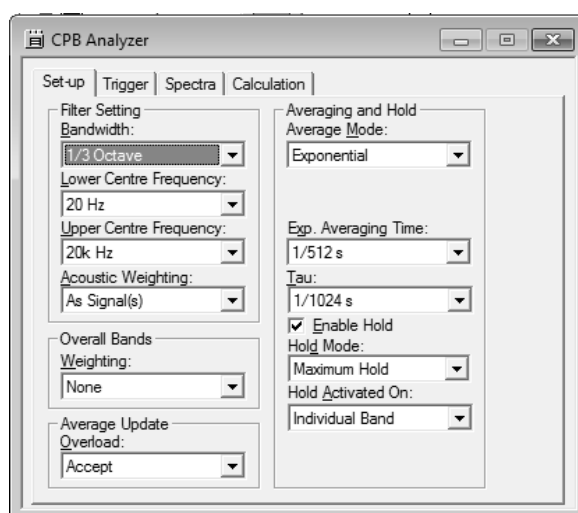
Po spuštění analýzy signálu lze procházet jednotlivá spektra z paměti Multi-bufferu, kde jsou uložena s rozestupem 0,5ms. Pro snazší zpracování dat je vhodné provést další úpravu a odstranění redundantních informací.

Pro výpočet výkonu a harmonického zkreslení sinusového signálu je nutné znát napěťovou úroveň 1. až 5. harmonické frekvence příslušného signálu. Pro zpracování signálu tedy lze využít funkci Slice. Na definovaném rozmezí frekvenčního pásma vypočítá napěťovou úroveň. V případě 1. harmonické frekvence signálu se sinusovým průběhem a frekvenci 1kHz se jedná o rozmezí od 950Hz do 1,05kHz. Jelikož jsou zpracovávány data z Multibu-bufferu, je výstupem funkce Slice křivka, která znázorňuje napěťovou úroveň 1. harmonické frekvence v čase. Pro FFT analýzu je tedy funkce Slice použita pětkrát, pro každou harmonickou frekvenci zvlášť, tedy pro frekvence 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz a 5kHz. V případě signálu o frekvenci 100Hz je nutné frekvenční rozmezí příslušných harmonických frekvencí změnit na hodnoty

100Hz, 200Hz, 300Hz, 400Hz a 500Hz. Jak bylo řečeno dříve, pomocí FFT analýzy je zpracována také úroveň napájecího napětí. Funkce Slice tedy byla využita i ke zpracování tohoto signálu a to tak, že šířka pásma, na kterém se napěťová úroveň sčítá, byla nastavena na maximální rozsah, tedy na 25,6kHz. Tím je zaručeno, že bude měřena nejen stejnosměrná složka napájení, ale i úrovně případných zákrmitů způsobených změnou odebíraného proudu.

5.2.4 Konfigurace CPB analýzy

Při CPB analýze prochází zkoumaný signál přes přesně definovaný počet pásmových propustí, případně přes jednu pásmovou propust s možností rychlého přeladování. Následně je odečtena hodnota efektivního napětí na rozsahu dané pásmové propusti a ta je přiřazena střední hodnotě frekvence propusti. Vstupními parametry je tedy počet pásem a šířka těchto pásem. V okně Measurement Organiser byla přidána položka CPB Analyzer, čímž došlo k přidání analyzátoru, který je třeba následně konfigurovat. Konfigurační okno analyzátoru zobrazuje *Obrázek 6*.

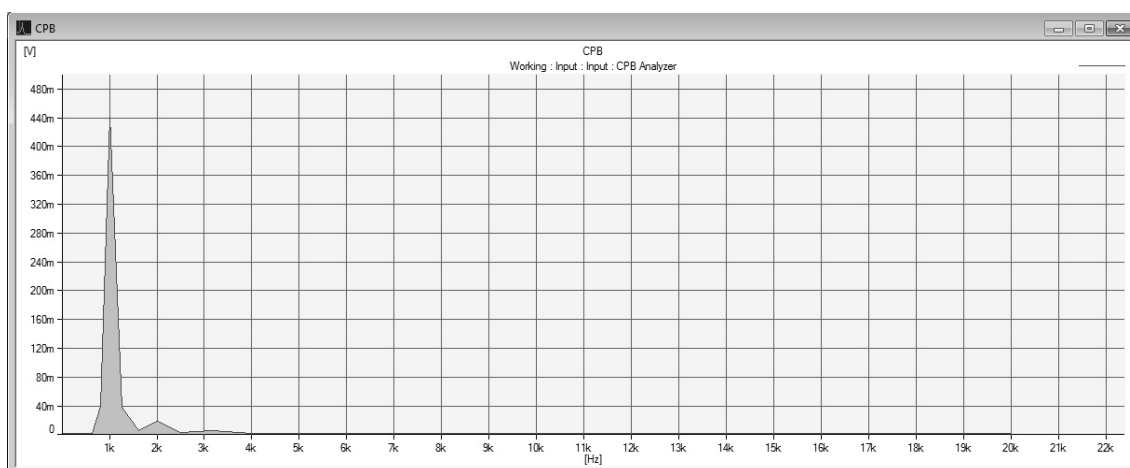


Obrázek 6 Konfigurační okno CPB analyzátoru

V parametrech je nutné nastavit šířku pásma filtru, byla zvolena 1/3 oktávy. Dále měřené pásmo, které je dle normy nastaveno na rozmezí od 20Hz do 20kHz. Dalším parametrem je Tau, tedy interval mezi jednotlivými měřeními spekter v čase. S tím přímo souvisí parametr Averaging Time, kterým se nastavuje doba průměrování měřené úrovně. Maximální hodnota tohoto parametru může nabývat poloviny Tau.

CPB analyzátor oproti FFT obsahuje funkci Hold. Pokud je parametr Hold Mode aktivován a nastaven na Maximum Hold, dojde k následujícímu. Během analýzy signálu měnícího se v čase jsou uloženy jen hodnoty s nejvyšší úrovní napětí v každém pásmu CPB. Výsledkem je tedy jedno spektrum, ve kterém je každé pásmo zastoupeno hodnotou s nejvyšší úrovní v daném průběhu signálu.

Toto spektrum je znázorněno na *Obrázku 7*. Pokud vypočteme harmonické zkreslení výsledného spektra, výsledkem bude hodnota, která je rovna největšímu harmonickému zkreslení v průběhu zaznamenaného signálu. Výhoda analýzy s aktivovaným parametrem Maximum Hold spočívá ve skutečnosti, že tímto způsobem lze analyzovat libovolně dlouhý záznam signálu, aniž by to mělo jakýkoliv vliv na velikost výstupních dat.



Obrázek 7 Spektrum signálu vytvořené funkcí Maximum Hold

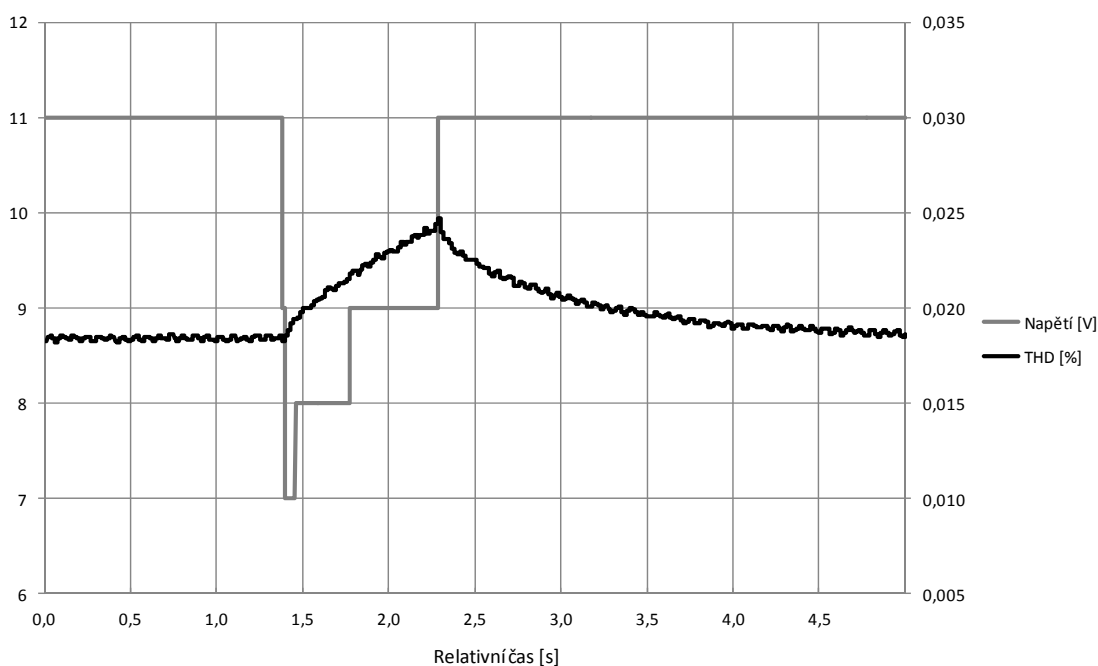
Pro kontrolu je kompletní CPB analýza provedena dvakrát a to pro hodnoty Tau $1/2048s$ a $1/1024s$.

6. Výpočet

Výpočet harmonického zkreslení a průběhu výstupního výkonu je realizován v tabulkovém editoru Microsoft Excel 2007. Následující výsledky a postupy jsou provedeny pro jedno měření a to pro testovací signál 1kHz a výstupní výkon 0,1W.

6.1 Výpočet prostřednictvím FFT analýzy

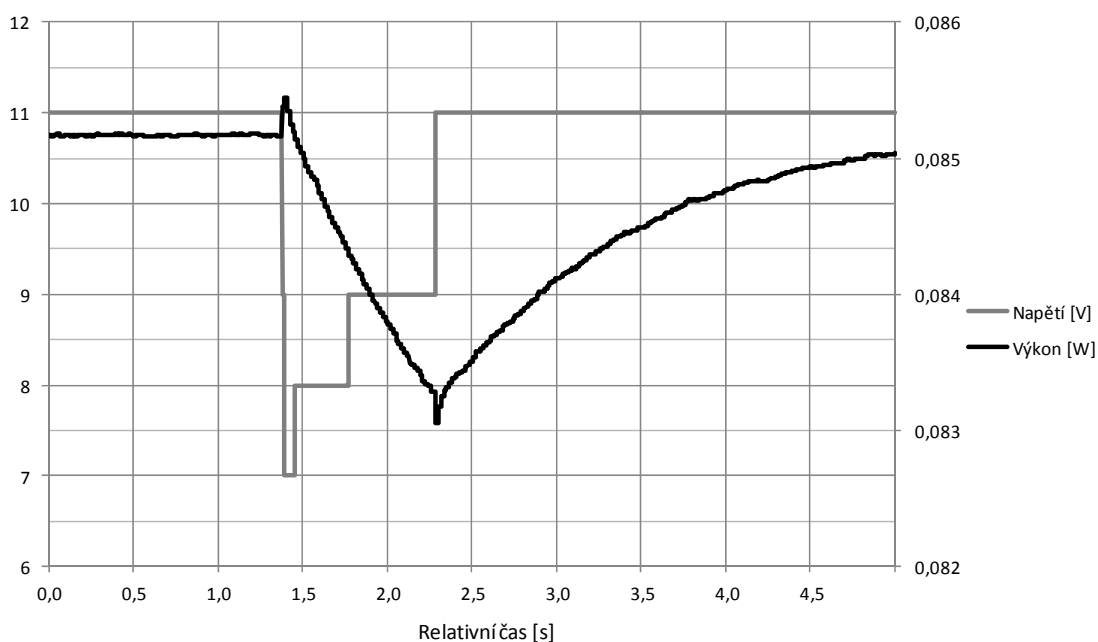
V případě FFT analýzy, která je dále zpracována funkcí Slice, tedy rozdělením frekvenčního pásma na určité oddíly, je výstupem v programu LabShop 6 průběhů (1. až 5. harmonická a průběh napájecího napětí). Na ose X je znázorněn čas a na ose Y napěťová úroveň. Každá z těchto 6 křivek je popsána dvěma řádky dat, kde první řádek je relativní čas a druhý řádek hodnoty napětí. Počet sloupců je roven počtu vzorků, tedy 7000. Data těchto 6 křivek jsou exportována do oddělených listů aplikace Microsoft Excel. Podle vztahů [1] a [3] uvedených na začátku práce je pro stejný počet vzorků vypočteno harmonické zkreslení a výstupní výkon. Průběh harmonického zkreslení v čase společně s průběhem napětí během startovacího pulsu je zobrazen na *Grafu 3*.



Graf 3 Průběh harmonického zkreslení a napájecího napětí v čase

Z grafu je patrné, že k postupnému nárůstu hodnoty harmonického zkreslení dochází okamžitě po poklesu napětí. Z další analýzy dat také vychází skutečnost, že čím nižší je napájecí napětí, tím strměji roste harmonické zkreslení. V momentě, kdy se napájecí napětí vrátí na svou původní hodnotu, začne velikost harmonického zkreslení opět klesat. Na počáteční hodnotu zkreslení, která činí 0,019%, klesne za 2,7s od momentu, kdy je měřena nejvyšší hodnota zkreslení, která činí 0,0247%. Nejvyšší hodnota zkreslení je měřena na konci startovacího pulsu.

Křivka výkonu společně s napájecím napětím je znázorněna na *Grafu 4*. Dle normy probíhalo toto měření při výkonu 0,1W. Ovladačem hlasitosti tedy byla nastavena taková úroveň, aby se výkon měřený na zátěži přibližoval výkonu 0,1W. Měřený výkon při napětí 11V dosahoval hodnoty 0,0852W.



Graf 4 Průběh výstupního výkonu

Při poklesu napětí výkon skokově vzrostl na hodnotu 0,0855W, tedy o 0,33%. Poté následoval pozvolný pokles výkonu. Na konci startovacího pulsu, v momentě kdy se napětí vrátilo na původní hodnotu, došlo ke skokovému poklesu výkonu na hodnotu 0,0831W, oproti původní hodnotě tedy celkově kleslo o 2,49%. Poté následoval pozvolný růst výkonu na původní hodnotu.

Výsledkem FFT analýzy je tedy hodnota maximálního harmonického zkreslení 0,025% a pokles výkonu o 2,49% oproti původní hodnotě.

6.2 Výpočet prostřednictvím CPB analýzy

V případě CPB analýzy s aktivovanou funkcí Maximum Hold je výstupem křivka, která tvoří frekvenční spektrum. Toto spektrum je výsledkem celého 65s záznamu a znázorňuje nejvyšší úrovně, kterých bylo dosaženo během záznamu. Během výpočtu v tabulkovém procesoru tedy pracujeme pouze s tímto jedním spektrem a výstupem je jedna hodnota harmonického zkreslení. Hodnoty, které spektrum tvoří, exportujeme do jednoho listu programu Microsoft Excel. Dále pracujeme s hodnotami úrovní 1. až 5. harmonické frekvence daného signálu. Z těchto hodnot vypočítáme harmonické zkreslení. Jedná se o nejvyšší hodnotu harmonického zkreslení, které bylo dosaženo. Výpočet vychází ze vzorce [3] uvedeného v kapitole 3.5 Harmonické zkreslení v závislosti na proměnném napájecím napětí. Výpočet je opakován dvakrát. Pro hodnotu $\tau = 1/1024\text{s}$ je harmonické zkreslení rovno 0,0246% a pro $\tau = 1/2048\text{s}$ byla vypočtena hodnota 0,0249%.

6.3 Srovnání vypočtených hodnot

Hodnoty harmonického zkreslení, vypočtené FFT analýzou a CPB analýzou jsou uvedeny v následující Tabulce 2.

| Analýza | Výsledek |
|-------------|----------|
| CPB 1/1024s | 0,0246% |
| CPB 1/2048s | 0,0249% |
| FFT | 0,0247% |

Tabulka 2 Srovnání vypočtených hodnot THD

Při zaokrouhlení na 3 desetinná místa, jak je uvedeno v normě, a následném porovnání hodnot, dojdeme k závěru, že výsledky v případě všech tří metod jsou shodné a to 0,025%.

7. Závěr

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnout, realizovat a v praxi otestovat měřící metodu, prostřednictvím které je možné měřit parametry koncového stupně zesilovače autorádia. Během psaní této diplomové práce jsem absolvoval několika měsíční praktikantský pobyt v Technologickém centru Škody auto a.s.. Za tuto dobu jsem se mohl podrobně seznámit s postupy, ale i s problémy, které je nutno během vývoje nových komponent automobilu řešit. Díky tomu jsem také mohl v praxi vyzkoušet funkci všech komponent, které souvisí s funkcí systému infotainment. Během praktikantského pobytu jsem prostudoval příslušné normy a na základě získaných informací jsem začal realizovat měřící metodu. Zabýval jsem se převážně měřením celkového harmonického zkreslení a výstupního výkonu koncového stupně zesilovače autorádia MIB Entry. Poznatky, postupy a výsledky některých měření jsou zdokumentovány ve formě této diplomové práce.

Jak je uvedeno dříve, měření harmonického zkreslení bylo provedeno dvěma postupy. Každý z postupů má své výhody a nevýhody. Výpočet ze spektra získaného pomocí FFT analýzy byl sice časově náročnější, ale umožňuje porovnání průběhu napětí s průběhem harmonického zkreslení. Výpočet prostřednictvím CPB analýzy byl časově méně náročný, ale neumožňuje zpracování hodnoty napájecího napětí. Z tohoto důvodu byla využita pouze funkce Maximum Hold, která umožňuje další zkrácení výpočtu díky menšímu objemu dat a jejím výsledkem je přímo nejvyšší hodnota zkreslení na celém záznamu. Dle normy VW80972 není podstatné, v jaký okamžik je hodnota THD nejvyšší, je podstatná pouze její velikost. Z tohoto důvodu plně vyhovuje metoda výpočtu prostřednictvím CPB analýzy a aktivované funkce Maximum Hold. Oproti tomu metoda založená na FFT analýze poskytuje podrobnější pohled na vzájemný vztah průběhu napájecího napětí a harmonického zkreslení. Díky tomu lze předpovědět, v jaký moment dojde k navýšení hodnoty harmonického zkreslení na nepřípustnou mez.

Seznam grafů

| | |
|--|----|
| Graf 1 Průběh napájecího napětí během startu motoru dle normy VW80101..... | 6 |
| Graf 2 Průběh napětí během startu motoru | 8 |
| Graf 3 Průběh harmonického zkreslení a napájecího napětí v čase..... | 28 |
| Graf 4 Průběh výstupního výkonu | 29 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Blokové znázornění měřícího stavu | 19 |
| Obrázek 2 Pracovní prostředí programu LabShop | 22 |
| Obrázek 3 Nastavení FFT analyzátoru | 24 |
| Obrázek 4 Nastavení Multi-bufferu | 25 |
| Obrázek 5 Nastavení Triggeru | 25 |
| Obrázek 6 Konfigurační okno CPB analyzátoru | 26 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Přepočet výkonu na U_{RMS} | 12 |
| Tabulka 2 Srovnání vypočtených hodnot THD | 30 |

Použitá literatura

- [1] PRCHAL, Josef. *Signály a soustavy*. Praha: SNTL, 1987, 324 s.
- [2] VRATISLAV DAVÍDEK, Pavel Sovka. *Číslicové zpracování signálů a implementace*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1530-0.
- [3] VW80101. *Electrical and Electronic Assemblies in Motor Vehicles: General Test Conditions*. Volkswagen AG, 2008.
- [4] VW80972. *Infotainment Systems: General Functional Requirements*. Volkswagen AG, 2009.
- [5] BRÜEL & KJÆR. *Brüel & Kjaer* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/>
- [6] AUDIO PRECISION. *Audio Precision* [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://ap.com>
- [7] FLUKE. *Fluke* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/czcs/home/>
- [8] AGILENT TECHNOLOGIES. *Agilent Technologies* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.home.agilent.com/>

Seznam příloh na CD

| Název souboru / složky | Popis |
|------------------------|---|
| recorder.pls | Projekt programu LabShop sloužící pro vytvoření záznamu testovaného signálu. |
| vyhodnoceni.pls | Projekt programu LabShop sloužící pro zpracování dříve uloženého záznamu. |
| Vypocet 1 1kHz 0,1W | Složky obsahující exportovaná data z programu LabShop ve formátu *.xlsx s následnými výpočty. |
| Vypocet 2 1kHz 0,5W | |
| Vypocet 3 100Hz 0,1W | |