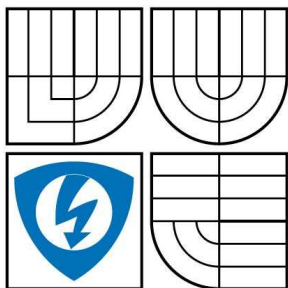


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY S FREKVENČNÍMI PŘESKOKY

DESIGN OF A LABORATORY EXERCISE WITH FREQUENCY HOPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2008

Zadání (oficiální)

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: David Novák

Bytem:

Narozen/a (datum a místo): 8.4.1986, Znojmo

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Návrh laboratorní úlohy s frekvenčními přeskoky

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Novák, D. Brno: Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT Brno, 2008, *Návrh laboratorní úlohy s frekvenčními přeskoky*. Bakalářská práce, vedoucí: Doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc., 35 stran. Bakalářská práce se zabývá návrhem laboratorní úlohy s frekvenčními přeskoky. Teoretická část pojednává o samotné technologii frekvenčních přeskoků. Dále o typech, vlastnostech, způsobu přenosu a reálného využití této technologie. Tato část je tvořena z poznatků získaných z praktické části a z již existující literatury. Praktická část slouží jako podrobný návod k laboratorním cvičením na simulačním systému Emona TIMS. Jde o měření navázání spojení mezi vysílačem a přijímačem technologie frekvenčních přeskoků, rychlosti a kvality spojení. Důraz je kladen na co nejpodrobnější vysvětlení úkolů měření. Bakalářská práce je doplněna o naměřené výsledky těchto měření.

Klíčová slova

Rozprostřené spektrum, modulace a přenosové rychlosti, klíčování kmitočtovým posunem, rámec PLCP, laboratorní úloha, simulační systém Emona TIMS.

Abstract

Novák, D. Brno: Department of Telecommunications, The Faculty of Electrical Engineering and Communication, Brno University of Technology, 2008, *Design of a laboratory exercise with frequency hops*. Bachelor's thesis, supervisor: Doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc., 35 pages. Bachelor's thesis consider about Design of a laboratory exercise with frequency hops. Theoretical part treat about technology of frequency hops. Below about types, properties, method about transfer and practical use of this technology. This event is maked from information acquired from practical part and from literature. Practical part serves such as extended manual to laboratory exercises into simulator system Emona TIMS. Exercises are concerned about measuring connection establishment between transmitter and receiver technology of frequency hops, speed and quality connection. Accent is set to detailed explanation objectives measuring. Bachelor's thesis is complemented about measured out findings, these measurements.

Keywords

Spread spectrum, modulation and signaling rate, frequency-shift keying, PLCP frame, laboratory exercises, simulator system Emona TIMS.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Návrh laboratorní úlohy s frekvenčními přeskoky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

Seznam symbolů, pojmů, zkratek

BER – Bit Error Rate

Bluetooth – Bezdrátová komunikační technologie

CRC – Cyclic Redundancy Check

CLK – Clock

DSSS – Direct Sequence Spread Spektrum

Ethernet – Jeden z typů lokálních sítí

FCC – The Federal Communications Commission

FFH – Fast Frequency Hopping

FH – Frequency Hop

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

FSK – Frequency Shift Keying

GHz – Gigahertz

GND – Ground

HEC – Header Error Check

HomeRF – Home Radio Frequency

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IEEE 802.11 – je Wi-Fi standart s dalšími doplňky pro lokální bezdrátové sítě

ISO – International Organization for Standardization

JAVA – Objektově orientovaný programovací jazyk

LPF – Low Past Filter

ms – Milisekunda

MAC – Media Access Control

Mark signál – logická 1

Mb/s – Megabit za sekundu

MHz – Megahertz

OSI – Open Systems Interconnection

PC – Personal Computer

PLCP – Physical Layer Convergence Protocol

PLW – PSDU Length Word

PN – Pseudonoise

PPDU – Physical Layer Protocol Data Unit

PSF – PLCP Signaling

SFD – Start Frame Delimiter

SFH – Slow Frequency Hopping

Space signál – logická 0

SS – Spread Spectrum

SW – Switch

SWAP – Shared Wireless Access Protocol

TIMS – Telecommunications Instructional Modelling System

TTL – Transistor-Transistor-Logic

VCO – Voltage Controlled Oscillator

WLAN – Wireless LAN

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Proč technologie FHSS?	14
3 Technologie rozprostřeného spektra – Spread Spectrum	14
4 Princip FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum	14
5 Standart FHSS.....	15
6 BER – Bitová chybovost (Bit Error Rate)	15
7 Potlačení rušivého signálu	16
8 Modulace a přenosové rychlosti	16
8.1 FSK– Klíčování kmitočtovým posunem.....	16
9 Vysílač FHSS.....	17
10 Přijímač FHSS	18
11 Přenos.....	18
11.1 Obsah rámce PLCP (PPDU).....	19
11.1.1 Úvodní synchronizační skupina PLCP Preamble	19
11.1.2 Návěští PLCP Header	19
12 Fast Frequency Hopping – (FFH).....	20
13 Slow Frequency Hopping – (SFH)	21
14 Technologie DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum	21
15 Simulační systémy Emona TIMS	22
15.1 Softwarová verze – Emona TutorTIMS™.....	22
15.2 Hardwarová verze – Emona TIMS 301C PC Enabled	23
15.3 EMONA net*TIMS	24
15.4 Způsoby značení v simulačním systému Emona TIMS.....	24
16 Návrh laboratorní úlohy č.1: Základy FHSS a vlastnosti FSK modulace	25
16.1 Cíl měření	25
16.2 Zadání	25
16.3 Teoretický úvod	25
16.3.1 FSK (Frequency-shift keying) – Klíčování kmitočtovým posunem.....	26
16.3.2 Modul TIMS Integrate & Dump	26
16.4 Bloková schémata měření.....	27
16.5 Nastavení modulů	28
16.5.1 Seznam modulů TIMS potřebných pro měření.....	28

16.5.2 Počáteční nastavení modulů TMS pro měření.....	28
16.6 Postup měření	30
16.7 Kontrolní otázky	31
17 Vzorový protokol k laboratorní úloze Základy FHSS a vlastnosti FSK modulace ...	32
17.1 Zadání	32
17.2 Blokové schéma	32
17.3 Naměřené hodnoty	33
17.4 Odpovědi na kontrolní otázky.....	35
17.5 Závěr	36
18 Návrh laboratorní úlohy č.2: Vlastnosti přenosu v technologii FHSS	37
18.1 Cíl měření	37
18.2 Zadání	37
18.3 Teoretický úvod	37
18.3.1 Přenos v technologii FHSS	38
18.3.2 Vysílač v technologii FHSS.....	39
18.3.3 Přijímač v technologii FHSS	39
18.4 Bloková schémata měření	40
18.5 Nastavení modulů	41
18.5.1 Seznam modulů TMS potřebných pro měření.....	41
18.5.2 Počáteční nastavení modulů TMS pro měření.....	41
18.6 Postup měření	41
18.7 Kontrolní otázky	43
19 Vzorový protokol k laboratorní úloze Vlastnosti přenosu v technologii FHSS	44
19.1 Zadání	44
19.2 Blokové schéma	44
19.3 Naměřené hodnoty	45
19.4 Odpovědi na kontrolní otázky.....	46
19.5 Závěr	47
20 Závěr	48
21 Seznam literatury a použitých zdrojů	49

Seznam obrázků

Obr. 1: Průběh modulace FSK	17
Obr. 2: Blokové schéma vysílače pro přenos pomocí FHSS	17
Obr. 3: Blokové schéma přijímače pro přenos pomocí FHSS	18
Obr. 4: Struktura rámce PLCP	20
Obr. 5: Příklad rychlého skákání frekvence v technologii FHSS	20
Obr. 6: Příklad pomalého skákání frekvence v technologii FHSS	21
Obr. 7: Náhled softwarové verze Emona TutorTIMS™	23
Obr. 8: Náhled hardwarové verze Emona TICS 301C PC Enabled	24
Obr. 9: Průběh modulace FSK	26
Obr. 10: Blokové schéma pro měření vlastností FSK modulace	27
Obr. 11: Sestavení blokového schéma na obr. 10 pomocí modulů TICS	27
Obr. 12: Umístění modulu VCO pro nastavení Mark a Space signálu	29
Obr. 13: Blokové schéma pro měření vlastností FSK modulace v protokolu	32
Obr. 14: Datový signál a signál namodulovaný pomocí FSK modulace	33
Obr. 15: Přijatý namodulovaný signál s FSK modulací	34
Obr. 16: Signál na výstupu I&D1 (integrován a ukončován)	34
Obr. 17: Signál na výstupu I&D2 (integrován a držen)	35
Obr. 18: Struktura rámce PLCP v lab.úloze	38
Obr. 19: Blokové schéma vysílače pro přenos v FHSS v lab. úloze	39
Obr. 20: Blokové schéma přijímače pro přenos v FHSS v lab. úloze	39
Obr. 21: Blokové schéma měření vlastností přenosu v FHSS	40
Obr. 22: Sestavení blokového schéma na obr. 21 pomocí modulů TICS	41
Obr. 23: Blokové schéma měření vlastností přenosu v FHSS v protokolu	44
Obr. 24: Různé nosné frekvence vysílače a přijímače FHSS – 100 kHz a 140 kHz	45
Obr. 25: Měření zpoždění vysílače a přijímače FHSS	46

1 Úvod

Tato bakalářská práce pojednává o aktuálně dosti používané technologii rozprostřeného pásma FHSS. Tato technologie slouží k přenosům v domácím prostředí mezi zařízeními Bluetooth a domácími sítěmi SWAP. Úkolem je seznámit čtenáře s touto technologií pomocí teoretické i praktické části. Teoretická část v sobě zahrnuje veškeré vlastnosti a princip FHSS, typy přenosů, modulaci FSK, kterou FHSS využívá, přenosové rychlosti, standarty ve kterých FHSS pracuje. Dále princip výpočtu bitové chybovosti, způsob jakým FHSS potlačuje rušivý signál, a obsah rámce PLCP. Principy, na jakých fungují vysílač a přijímač a celkové výhody a nevýhody technologie FHSS. Teoretická část v sobě obsahuje popis technologie rozprostřeného spektra, srovnání FHSS s DSSS, která také pracuje v rozprostřeném spektru. Detailní popis použitých simulačních systémů TIMS a porovnání hardwarové a softwarové verze TIMS.

V další části je uveden návrh dvou laboratorních úloh. První se zabývá způsobem modulace FSK, která je stěžejní pro pochopení principu FHSS. Jde o přímou simulaci této techniky modulování a úpravou signálu pomocí výstupních filtrů. Úloha obsahuje také měření délky znaků v modulaci FSK. Druhá úloha seznamuje s vysílačem a přijímačem FHSS a jejich vzájemné synchronizaci. Tvoří jednoduchý náhled komunikace v FHSS a představu, za jakých podmínek dochází ke zpoždění při přenosu. Obě úlohy mají detailně popsany teoretický úvod, nastavování modulů TIMS a celkový průběh měření. Doplněny jsou o naměřené grafy, a kontrolní otázky různých obtížností pro snadnější pochopení systému FHSS.

2 Proč technologie FHSS?

Technologie FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) je vlastně jeden ze způsobů řešení fyzické vrstvy bezdrátové lokální sítě. Rozprostření pásma FHSS je zahrnuto v standartu IEEE 802.11¹ (WLAN). V dnešní době je tato technologie využívána v rádiových sítích jako jsou personální síť Bluetooth nebo síť SWAP (Shared Wireless Access Protocol). Tyto typy sítí jsou definovány podle pracovní skupiny HomeRF pro síť v domácnostech. Obě technologie dovolují volně vytvářet rádiové síť v pásmu 2,4 GHz a dovolují jak přenos běžných dat, tak přenos plně duplexních synchronních kanálů digitální telefonie.

3 Technologie rozprostřeného spektra – Spread Spectrum

Nejprve je třeba popsat samotnou technologii rozprostřeného pásma Spread Spectrum, na které je technologie FHSS založena. Jde o způsob rádiového vysílání, ve kterém se používá modulace pseudonáhodným kódem. Ten je nezávislý na přenášených datech. Pro rozprostření energie signálu je šířka pásma několikanásobně větší než šířka pásma pro signál, který nese informaci. V přijímači se vytváří synchronní replika pseudonáhodného kódu, díky čemuž se po přijmutí dat odstraní rozprostření [4], [7].

Pomocí rozprostření spektra lze v přenosové cestě signálu omezit úzkopásmové rušení. Rozprostření spektra se provádí do širokého pásma kmitočtů, takže energie rušení se rozloží na jednotlivé složky spektra.

Oproti standartním rádiovým přenosům, které používají úzkopásmový signál s vysokou úrovní, technologii s rozprostřeným spektrem stačí nižší výkon [3].

4 Princip FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

Technologie FHSS – Rádiový přenos s přeskoky mezi kmitočty v rozprostřeném spektru. Rozprostření spektra pomocí frekvenčního přeskakování je založeno na pseudonáhodné posloupnosti změny kmitočtu generátoru ve vysílači, a zároveň změny kmitočtu generátoru v přijímači, který přijímaný signál převádí na mezifrekvenční kmitočet. Jedná se o pseudonáhodnou frekvenční modulaci rušivého signálu. Spektrum tohoto rušivého signálu se náhodně posouvá po kmitočtové ose a mění se v požadovaný širokopásmový signál [4].

¹ IEEE 802.11 – je Wi-Fi standart s dalšími doplňky pro lokální bezdrátové síť

Aby přenos užitečného signálu byl bez chyb, je třeba zajistit, aby měl po směřování konstantní mezifrekvenční kmitočet. Takže pseudonáhodná změna kmitočtu ve vysílači musí být shodná se změnou kmitočtu ve vysílači.

Zkráceně FHSS vysílá jeden nebo více datových paketů po jednom kmitočtu, pak přeskočí na jiný kmitočet a pokračuje ve vysílání. Na daném kmitočtu vysílá systém jen krátkou chvíli (maximálně 50 ms), tím se minimalizuje rušení a pravděpodobnost, že by došlo ke kolizi.

5 Standart FHSS

FHSS je zahrnuto do standartu IEEE 802.11 (první standart pro WLAN). Standart FHSS vznikl podle požadavku americké komise FCC (The Federal Communications Commission) pro rovnoměrné využití 79 kanálů (z 85ti kanálů možných) o šířce 1 MHz, které jsou k dispozici v pásmu 2,4 GHz a maximálním setrvání na daném kmitočtu 50 ms.

Fyzická vrstva, založená na FHSS, má k dispozici 22 skokových sekvencí, a podle náhodně vybrané sekvence skočí na další frekvenci. Na fyzické vrstvě je také definováno právě 79 kanálů.

Standart stanovuje také konkrétní posloupnosti, a to jak pro státy, které mají pásmo 2,4 GHz až 2,4835 GHz k dispozici v plné šíři, ale také pro státy, které šířku využitelného pásma omezují.

6 BER – Bitová chybovost (Bit Error Rate)

Obecně je BER definována jako poměr chybně přijatých bitů b_E ku celkovému počtu přijatých bitů za určitou dobu měření [3].

Bitová chybovost v FHSS: pokud dochází na více nosných frekvencích k nadměrnému šumu nebo úplné deformaci signálu nazýváme toto částečné pásmové přetížení.

FHSS má výbornou odolnost vůči úzkopásmovému rušení. Když je šum omezený na malou oblast z dostupného spektra, vysílač přeskočí na jinou frekvenci a přijímač synchronně také, pokud jsou i další frekvence zarušeny, opakuje skákání na jiné. Mnoho dokonalých světových systémů má paměť, do které ukládá problémové body ve spektru, dále se pak těchto bodů vyvaruje dokud šum na nich nezmizí.

$$BER = \frac{b_E}{b_C} \quad [-], \quad (6.1)$$

kde b_E je počet chybných bitů, b_C počet celkem přijatých bitů.

$$BER = \frac{b_E}{v_P \cdot t} \quad [-], \quad (6.2)$$

kde b_E je počet chybných bitů, v_P přenosová rychlost v [bit/s], t délka měření v [s].

7 Potlačení rušivého signálu

FHSS se řadí mezi avoidance systémy², tzn. že užitečný signál „uhýbá“ před rušivým signálem [4]. Zřídka se může stát, že rušivý signál projde mezifrekvenčním zesilovačem, ale to jen v případě, že je jeho pseudonáhodný nosný kmitočet roven náhodnému nosnému kmitočtu užitečného signálu. Jinak mezifrekvenčním zesilovačem nemůže projít a tímto způsobem se potlačuje.

8 Modulace a přenosové rychlosti

FHSS má pevně definovanou úvodní synchronizační skupinu (PLCP Preamble) a hlavičku (PLCP Header). Hlavička PLCP Header je vždy vysílána rychlostí 1,6 Mb/s. Přenosová rychlost zařízení, která používají FHSS je maximálně 3 Mb/s. Skutečná maximální přenosová rychlost je ovšem nižší, a to 2 Mb/s [7].

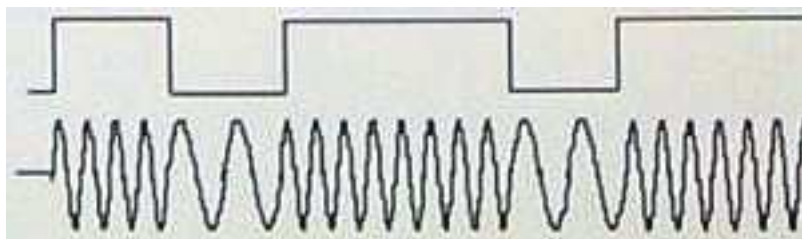
Cílová přenosová rychlost závisí na tom, jaká modulační metoda bude pro přenos dat použita. Dvoustavové frekvenční klíčování 2FSK je používáno pro přenosovou rychlost 1 Mb/s. A dále čtyřstavové frekvenční klíčování 4FSK je používáno pro přenosovou rychlost 2 Mb/s. Nevýhodou je, že tato rychlost je sdílena všemi, kteří komunikují se stejným přístupovým bodem na stejné frekvenci.

8.1 FSK– Klíčování kmitočtovým posunem

Technologie FHSS používá pro modulování signálu klíčování kmitočtovým posunem (Frequency-shift keying). Nejčastěji pak technologii 2FSK. Ta používá dva diskrétní kmitočty pro přenos informací. Nižšímu kmitočtu odpovídá „znak“ - logická 1, vyššímu kmitočtu „mezera“ - logická 0. Znak se nazývá „mark“ kmitočet a mezera „space“ kmitočet. Klíčovány jsou přímo generátory vysílačů. Průběh FSK modulace je znázorněn na obr. 1. První průběh jsou přenášená data – obdélníkový impuls střídajících

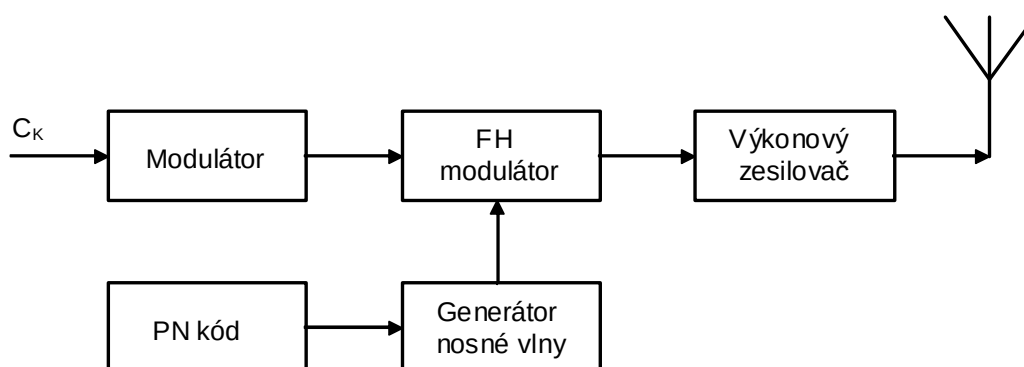
² avoidance systémy - tzn. že užitečný signál „uhýbá“ před případným rušením

se logických 1 a 0. Druhý průběh je již signál namodulovaný pomocí FSK. Při space (mezeře) je opravdu kmitočet vyšší než při znaku (mark) [6].



Obr. 1: Průběh modulace FSK

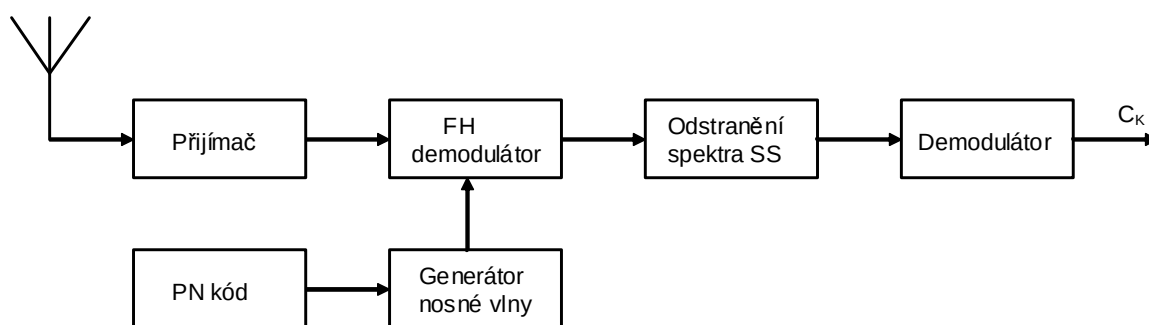
9 Vysílač FHSS



Obr. 2: Blokové schéma vysílače pro přenos pomocí FHSS

C_K je signál na vstupu vysílače FHSS na obr. 2, který chceme přenášet, a který rovněž chceme obdržet na výstupu přijímače FHSS. Na výstupu modulátoru je namodulovaný signál FSK modulací v základním pásmu. PN posloupnost, podle které je vysílač přeladován mezi jednotlivými kanály se vytváří v bloku PN kód. Musí být stejná a generována synchronně s přijímačem. Generátor nosné vlny dle PN posloupnosti generuje nosnou frekvenci na které se budou aktuálně přenášet data. Frekvence musí být synchronní s frekvencí přijímače, pokud nedojde z nějakého důvodu k synchronizaci, nenastane ani odesílání dat. V bloku FH modulátor dochází k rozprostření signálu (spreading), jde vlastně o násobení signálu PN posloupností. Na výstupu výkonového zesilovače je pak zesílený spektrálně rozprostřený signál v základním pásmu [2], [4], [7].

10 Přijímač FHSS



Obr. 3: Blokové schéma přijímače pro přenos pomocí FHSS

Obr. 3 ukazuje blokové schéma přijímače FHSS. Přijímač zde obstarává synchronizaci nosné pomocí PLCP Preamble. PN kód a Generátor nosné vlny pracují naprosto stejně jako ve vysílači, je totiž zapotřebí aby frekvence vysílače a přijímače byly synchronní. Blok PN kód v sobě obsahuje také PN aktivní korelátor, ten slouží k lepší synchronizaci frekvencí vysílače a přijímače. FH demodulátor a Odstranění spektra SS násobí signál PN posloupností (despreading), díky čemuž mění spektrálně rozprostřený signál v základním pásmu na modulovaný signál v základním pásmu. Demodulátor mění pomocí modulace FSK signál zpět na výchozí C_K . Na výstupu přijímače bývají také obsažené různé typy filtrů, podle toho, k čemu bude zařízení sloužit. Tyto filtry odstraňují zbytky rušení, které signál po přenosu obsahuje [5].

11 Přenos

Jak bylo řečeno, je datová zpráva vysílána pomocí mnoha nosných frekvencí – hops. Technologie FHSS dosahuje vysoké spolehlivosti díky tomu, že nepotvrzené, tzn. špatně přenesené rámce jsou vysílány znovu na jiné nosné frekvenci. Umístění více systémů v jednom místě je umožněno použitím různých sekvencí v každém systému. FHSS rovněž umožňuje koexistenci více systémů – Systém Collocation v jedné lokalitě. Počet systémů v koexistenci je teoreticky 26, ovšem prakticky jen kolem 15. Vícecestné šíření signálů se v technologii FHSS potýká s menšími problémy, je na závislosti na kvalitě zařízení, mnohdy totiž tyto systémy nestíhají stejný signál šířit více směry a zároveň na všech směrech pracovat se skákáním frekvencí [5].

Pro přenos po rádiovém kanále je nutno před vlastní rámec MAC vložit tyto informace:

- synchronizaci
- informaci o délce rámce

- informaci o přenosové rychlosti

Přenos se uskutečňuje pomocí rámce PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), nebo také podle normy ISO/OSI rámec PPDU (Physical Layer Protocol Data Unit), který tyto informace obsahuje.

11.1 Obsah rámce PLCP (PPDU)

Rámec PLCP obsahuje:

- **PLCP Preamble** (úvodní synchronizační skupina) – základní funkcí je podpora bitové synchronizace, dále určuje, je-li signál pro přenos dostatečně silný, pokud ano, dává pokyn k doladění frekvence přijímače aby byla shodná s frekvencí vysílače, případně také vybírá anténu.
- **PLCP Header** (návěstí, hlavička) – je vysílána vždy rychlostí 1 Mb/s, ovšem obsahuje v sobě pole, díky kterému může být následná přenosová rychlost až dvojnásobně vyšší. Dále jsou v hlavičce uvedena nejzákladnější data důležitá pro přenos, jako použitý modulační formát, a očekávaná délka datového řetězce.

11.1.1 Úvodní synchronizační skupina PLCP Preamble

Skupina PLCP Preamble se skládá z těchto částí:

- **Sync** – posloupnost 80 Bytů zajišťující synchronizaci přijímače vůči vysílači.
- **SFD** (Start Frame Delimiter) – oddělovač začátku rámce, posloupnost 16 Bytů, která označuje začátek rámce PLCP.

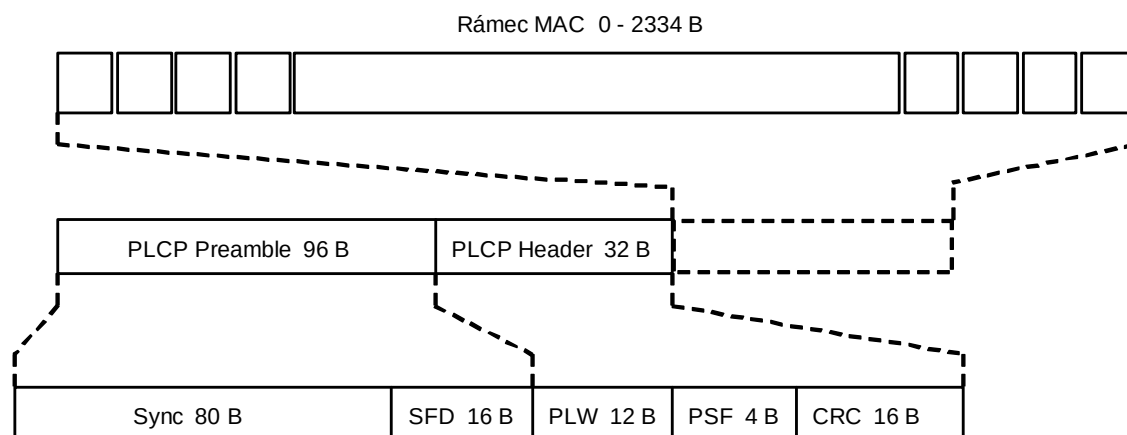
11.1.2 Návěstí PLCP Header

Návěstí PLCP Header v sobě obsahuje tyto části:

- **PLW** (PSDU Length Word) – délka slova, obsahuje informaci o délce přenášeného bloku dat, v PLCP header zabírá 12 Bytů.
- **PSF** – posloupnost o délce 4 Bytů, která určuje přenosovou rychlost, se kterou budou data vysílána.
- **CRC** – detekční kód v poli HEC (Header Error Check) proti možným chybám při přenosu.

Při odesílání je každý blok 32 Bytů navíc doplněn o Byte pro kompenzování stejnosměrné složky. Pro správnou funkci přijímače je výchozí nulová stejnosměrná

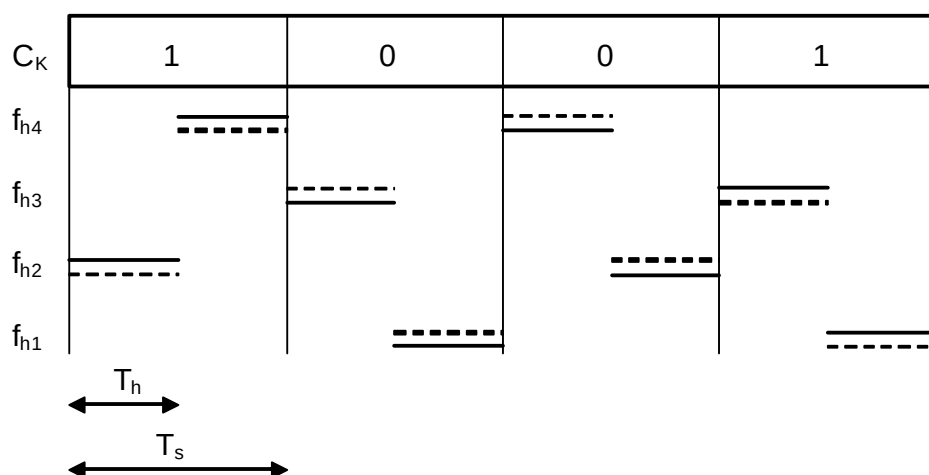
složka, pomocí níž se přijímač automaticky doladuje [7]. Celá struktura rámce PLCP, který je použit v FHSS je znázorněna na obr. 4.



Obr. 4: Struktura rámce PLCP

12 Fast Frequency Hopping – (FFH)

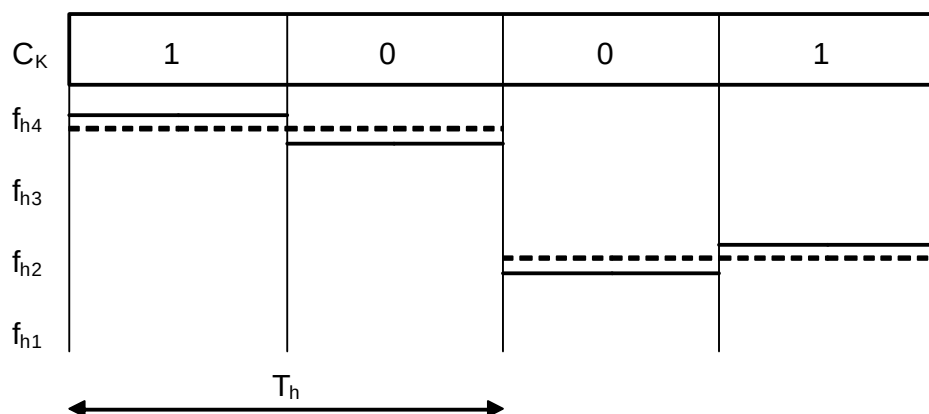
Fast hopping - neboli rychlé skákání má tu vlastnost, že k frekvenčním skokům oscilátoru vysílače signálu dochází i v přenosu jednoho bitu, a to minimálně dvakrát v přenosu jednoho bitu. $T_h < T_s$, kde T_h je doba, jakou setrvá systém FHSS na jedné frekvenci, a T_s je doba, jakou potřebuje k přenesení jednoho bitu [3], [5]. Zobrazeno na obr. 5.



Obr. 5: Příklad rychlého skákání frekvence v technologii FHSS

13 Slow Frequency Hopping – (SFH)

Slow hopping - pomalé skákání přenese minimálně jeden bit než dojde ke změně frekvence oscilátoru vysílače, často se přenese několik bitů než dojde ke změně frekvence. $T_h > T_s$, kde T_h je doba, jakou setrvává systém FHSS na jedné frekvenci, a T_s je doba, jakou potřebuje k přenesení jednoho bitu [3], [5]. Zobrazeno na obr. 6.



Obr. 6: Příklad pomalého skákání frekvence v technologii FHSS

14 Technologie DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

Technologie DSSS – Technologie s přímou modulací kódovou posloupností rozprostřeného spektra. DSSS je vlastně „jediným konkurentem“ FHSS. Je novější a využívá současného přenosu dat díky širokému spektru frekvencí v oblasti jistého frekvenčního rozsahu. Každý bit je nejdříve nahrazen početnější sekvencí bitů – chipů. Na vytváření těchto sekvencí se používají Goldovy nebo Barkerovy kódy³. Přenášena je tato sekvence bitů. Jde o umělé zavedení nadbytečnosti, ta se při přenosech používá k větší spolehlivosti přenosů. A právě toto je výhodou DSSS, dochází k úspoře času, protože nedochází k žádným přeskokům. Velkou nevýhodou naopak je, že pokud dojde k rušení spektra určeného pro přenos dat, technologie přestává zcela pracovat. Přenosová rychlost je maximálně 11 Mbit/s. Reálná využitelná přenosová rychlost je přibližně 6 Mbit/s [2], [6].

³ Goldovy a Barkerovy kódy – vznikají sečtením dvou pseudonáhodných sekvencí

15 Simulační systémy Emona TIMS

Emona TIMS (dále jen TIMS) je produkt firmy Emona Instruments a zkratka znamená Telecommunications Instructional Modelling System (tzn. telekomunikační vzdělávací modelový systém) .

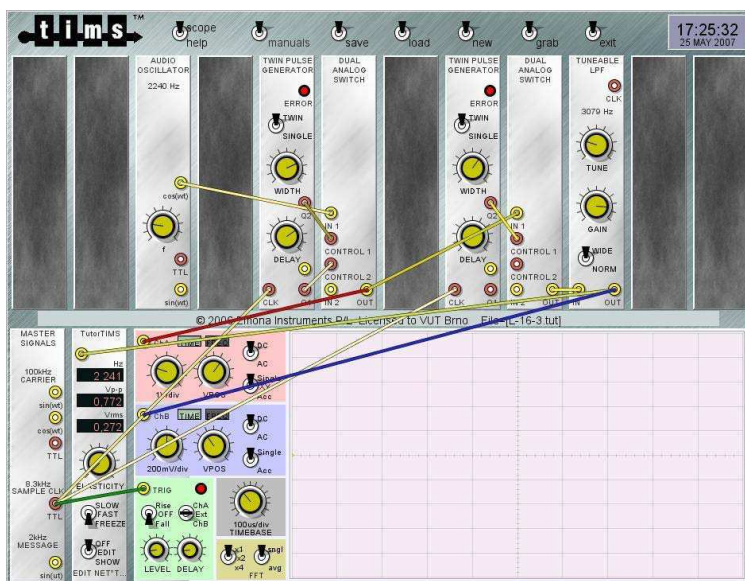
Je založen na systému zásuvných modulů, které jsou potřebné pro aktuální měření. Následuje propojení těchto modulů a výsledek se ihned zobrazí v reálném čase.

TIMS se produkuje ve dvou podobách – v softwarové verzi a v hardwarové verzi. Obě verze jsou navzájem ekvivalentní.

Díky tomuto modelovému systému lze provádět a pochopit velké množství principů telekomunikačních přenosů, modulačních a kódovacích schémat, generování signálů, apod. Výsledné hodnoty v případě hardwarové verze lze zobrazit v reálném čase na připojeném osciloskopu nebo pomocí speciálního programu přímo na obrazovce počítače, kde je možno s naměřenými průběhy a hodnotami dále pracovat. Softwarová verze provádí celou simulaci i zobrazení výsledných průběhů a hodnot na počítači [1].

15.1 Softwarová verze – Emona TutorTIMS™

Jde o simulační software pro instalaci na PC navržený jako matematicko-fyzikální model existujících prvků a jejich chování. Pomocí tohoto programu se vzájemné propojení modulů a následné měření provádí vždy „na obrazovce počítače“. Jedná se o JAVA aplikaci, a je tedy nutné mít nainstalovaný Java runtime V1.4 a vyšší. Tento software je oproti hardwarové verzi skutečně jen simulační a nelze vyloučit chybu programu a nepřesnosti měření. Má ovšem velmi dobře zpracované uživatelské prostředí, které je na „první pohled“ shodné s hardwarovou verzí [1]. Hlavními výhodami je nenáročnost na výkon PC a možnost při zakoupení licence provádět tyto simulace mimo laboratoř. Laboratorní úloha na měření FHSS při použití binární digitální modulace FSK bude měřena na obou verzích TIMS.



Obr. 7: Náhled softwarové verze Emona TutorTIMS™

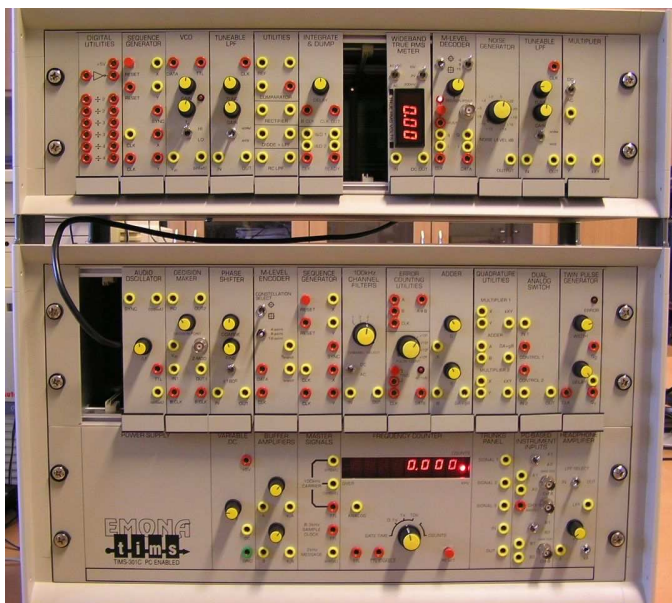
15.2 Hardwarová verze – Emona TIMS 301C PC Enabled

Hardwarová verze je rozdělena na dvě komponenty. První je systémová jednotka (TIMS 301 SYSTEM UNIT). Spodní panel obsahuje pevně vestavěné moduly, jako např. oscilátory, napájecí zdroj, čítače apod. Horní panel je 12ti slotový rám pro zásuvné moduly [1].

Druhou komponentou jsou zásuvné moduly (PLUG-IN MODULES). Zahrnují velkou řadu jednotlivých stavebních bloků, které se použijí podle aktuální potřeby měřené úlohy. Jsou typu Plug-In, stačí mít systémovou jednotku ve vypnutém stavu, zasunout v jakémkoli pořadí na kterékoli místa potřebné moduly a zapnout systémovou jednotku. Žádné nastavování se neprovádí. Po zapojení těchto modulů podle námi měřeného schématu se výsledek pomocí připojení přes paralelní port LPT a speciálního programu např. PicoScope zobrazí na obrazovce PC v reálném čase. Hardwarová verze je znázorněna na obr. 8.

Základní dělení zásuvných modulů podle typu činnosti:

- a) Oscilátory – Signal generation
- b) Zpracování signálů (filtry) – Signal processing
- c) Čítače frekvenční a událostní – Signal measurement
- d) Digitální zpracování signálu – Digital signal processing



Obr. 8: Náhled hardwarové verze Emona Tims 301C PC Enabled

15.3 EMONA net*TIMS

Tato přídatná komponenta rozšiřuje možnosti hardwarové verze Tims 301C PC Enabled. Všechny měřené výstupy z systémové jednotky shromažďuje v reálném čase na výstup Ethernet. Hodnoty a průběhy právě realizovaného měření je pak možno v síti Ethernet i Internet sledovat na PC i mimo laboratoř [1].

15.4 Způsoby značení v simulačním systému Emona Tims

Jednotlivé moduly, jak pevně vestavěné, tak zásuvné, mají v tomto systému barevné odlišení svorek s popisem signálu a uspořádání vstupů a výstupů signálů. Celý systém je tak jednodušší a hlavně přehledný.

Platí dvě pravidla:

- Barevné rozlišení svorek viz tab. 1.
- Levá strana modulu obsahuje vždy svorky pro připojení vstupů signálů a pravá strana svorky pro připojení výstupů signálů.

Tab. 1: Barevné rozlišení v simulačním systému Emona Tims

Barva svorky	Typ signálu
žlutá	analogový
červená	digitální
zelená	zemnicí

16 Návrh laboratorní úlohy č.1: Základy FHSS a vlastnosti FSK modulace

Laboratorní cvičení z předmětu
PŘÍSTUPOVÉ A TRANSPORTNÍ SÍTĚ

ÚVOD DO TECHNOLOGIE ROZPROSTŘENÉHO PÁSMU FHSS (FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM)

ČÁST I. ZÁKLADY FHSS A VLASTNOSTI FSK MODULACE

16.1 Cíl měření

V laboratorní úloze Úvod do technologie rozprostřeného pásma FHSS studenti pomocí moderního simulačního zařízení TMS poznají způsob modulace FSK kterou FHSS využívá, a dále funkci Integrate & Dump modulu. Velké zaměření je věnováno filtrům na výstupu přijímače, které přijatá data převádějí z FSK modulace a rekonstruují přijatý signál. Dle naměřených grafů poznají jednotlivé fáze modulace FSK.

16.2 Zadání

- 1) Seznamte se s ovládáním simulátoru TMS, v příložených návodech prostudujte funkce a možnosti jednotlivých modulů ze kterých se toto měření sestává.
- 2) Realizujte zapojení dle schématu na obr.11, pozornost věnujte rozlišením typů vstupních a výstupních signálů a nastavení modulů.
- 3) Popište jednotlivé naměřené výsledky a zamyslete se nad důvody funkcí této technologie.
- 4) Zodpovězte kontrolní otázky, své odpovědi konzultujte s vedoucím cvičení popř. sami realizujte změnu ve schématu pro pochopení technologie.

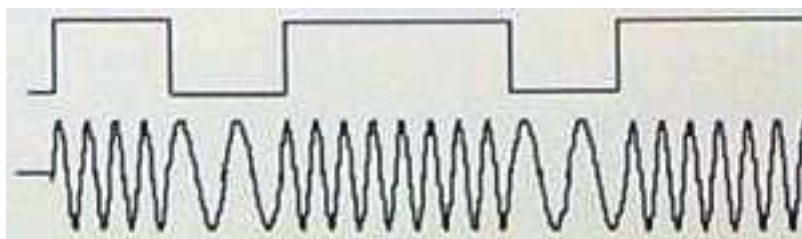
16.3 Teoretický úvod

Technologie FHSS (Rádiový přenos s přeskoky mezi kmitočty v rozprostřeném spektru) je určená pro personální bezdrátové lokální sítě Bluetooth a SWAP (Shared Wireless Access Protocol). Pro tyto druhy sítí je v modelu ISO/OSI fyzickou vrstvou právě technologie FHSS, tzn. udržuje fyzickou komunikaci dat mezi systémy. Tyto typy sítí jsou definovány podle pracovní skupiny HomeRF pro sítě v domácnostech. Obě

technologie dovolují volně vytvářet rádiové sítě v pásmu 2,4 GHz a dovolují jak přenos běžných dat, tak přenos plně duplexních synchronních kanálů digitální telefonie. Rozprostření pásma FHSS je zahrnuto v standartu 802.11, tj. první standart pro WLAN.

16.3.1 FSK (Frequency-shift keying) – Klíčování kmitočtovým posunem

Technologie FHSS používá pro modulování signálu klíčování kmitočtovým posunem. Nejčastěji pak technologii 2FSK. Ta používá dva diskrétní kmitočty pro přenos informací. Nižšímu kmitočtu odpovídá „znak“ – logická 1, vyššímu kmitočtu „mezera“ – logická 0. Znak se nazývá „mark“ a mezera „space“. Klíčování jsou přímo generátory vysílačů. Průběh FSK modulace je znázorněn na obr. 1. První průběh jsou přenášená data – obdélníkový impuls střídajících se logických 1 a 0. Druhý průběh je již signál namodulovaný pomocí FSK. Při space (mezeře) je opravdu kmitočet vyšší než při znaku (mark).



Obr. 9: Průběh modulace FSK

Dvoustavové frekvenční klíčování 2FSK je používáno pro přenosovou rychlost 1 Mb/s. A dále čtyřstavové frekvenční klíčování 4FSK je používáno pro přenosovou rychlost 2 Mbit/s. Někteří výrobci uvádějí u svých zařízení rychlost až 3 Mbit/s, ale zatím ji tyto přístroje nemohou využít. Technologie FHSS spadá do standartu IEEE 802.11, kde je uvedena maximální přenosová rychlost 2 Mbit/s.

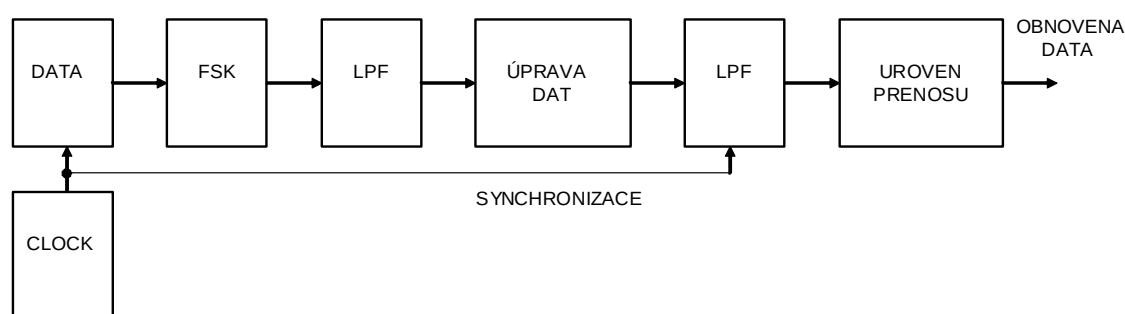
16.3.2 Modul TIMS Integrate & Dump

Tento modul obsahuje několik nastavitelných úprav signálu. Vzorkování a držení, integrování a ukončování, a integrování a držení. Vzorkovací a integrační blok poskytuje dva totožné kanály, které fungují současně se společným CLK signálem. Každý kanál, tj. I&D1 a I&D2, má analogový vstup a analogový výstup. Oba kanály potřebují hodinový signál přivedený na vstup CLK, standartní TTL signál.

Integrate & Hold – Vstupní signál je integrován přes periodu hodinového signálu CLK signálu. Vždy při výskytu kladné hrany signálu CLK, je hodnota z integrátoru přenesena do obvodu držení a zaktualizována hodnota na výstupu. Integrátor je potom ukončený a zahájí se nová integrační perioda.

Integrate & Dump – Vstupní signál je integrován přes periodu hodinového signálu CLK signálu. Vždy při výskytu Ready pulzu, je integrátor ukončený a zahájí se nová integrační perioda. Výstup integrátoru je dostupný v kanálech výstupu na předním panelu.

16.4 Bloková schémata měření



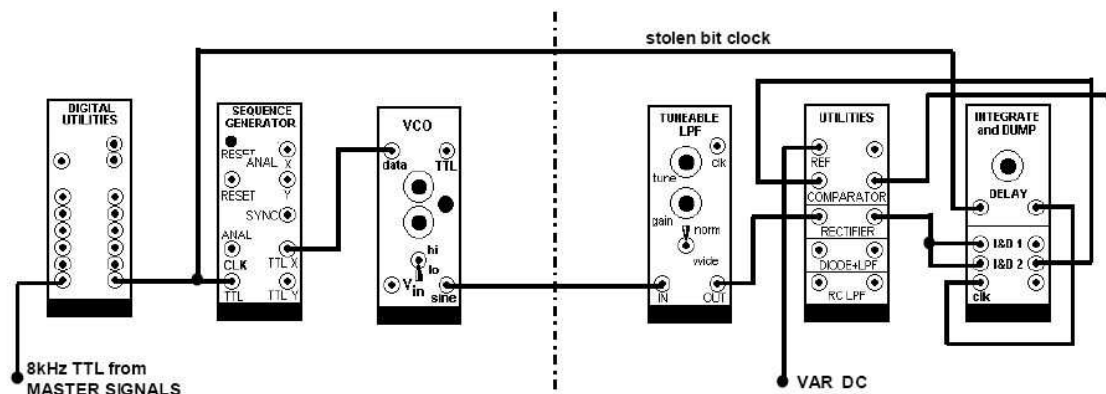
Obr. 10: Blokové schéma pro měření vlastností FSK modulace

Legenda k obr. 10:

DATA – generátor TTL signálu

FSK – blok zajišťující FSK modulování

LPF – low pass filter – nastavitelná dolní propust



Obr. 11: Sestavení blokového schéma na obr. 10 pomocí modulů TIMS

16.5 Nastavení modulů

16.5.1 Seznam modulů TIMS potřebných pro měření

Digital Utilities

Sequence Generator

VCO – Voltage Controlled Oscillator

Tuneable LPF

Utilities

Integrate & Dump

16.5.2 Počáteční nastavení modulů TIMS pro měření

Každý modul nabízí několik možností nastavení pro různá měření. Jumpery, přepínače a trimry jsou umístěny nejen na předním panelu každého z modulů, ale hlavně na desce plošných spojů modulu. Modul je třeba vysunout a opatrně nastavit, poté vsunout zpět do panelu TIMS. Nastavování, vysunování a zasunování modulů do panelu může být prováděno za chodu celého zařízení, není třeba vždy TIMS vypínat.

Digital Utilities

- Juper J2 nesmí být spojen s 1.
- Přepínače SW5 a SW6 musí být nastaveny na + CLK.

Sequence Generator

- Přepínač SW2 musí mít 1, 2 obě na ON.

Voltage Controlled Oscillator

- Na přepínači nastavit FSK.
- Nyní je třeba nastavit různé frekvence pro Mark a Space signál. Modul zasuňte do panelu a vysuňte alespoň tři moduly po jeho levé straně, viz. obr. 12. Toto místo je důležité pro manipulaci s modrými trimry FSK1 a FSK2.



Obr. 12: Umístění modulu VCO pro nastavení Mark a Space signálu

- Nastavování frekvence Mark a Space signálu se musí provádět přímo za provozu a to tímto způsobem:
 - a) Pokud je použit program PicoScope nastavte pro jeden z kanálů (např. kanál A) na měření frekvence: Nastavení -> Měření -> Přidat.
 Měření: Frekvence
 Zdroj: Celá křivka
 Kanál: KanA
 Limity alarmu: nenastavovat
 Ok -> Ok.
 - b) Na vstup DATA modulu VCO připojte + 5V z modulu Variable DC, na výstup $\sin(\omega t)$ připojte osciloskop (v našem případě kanál A).
 - c) Nyní opatrně otáčíme trimrem FSK2 až se podaří nastavit frekvenci přibližně 4,2 kHz. Vámi přesně nastavenou frekvenci zapište do tabulky.
 - d) Na vstup DATA modulu VCO připojte zem (GND) z modulu Variable DC.
 - e) Nyní pomocí trimru FSK1 nastavíme frekvenci 9,7 kHz. Vámi přesně nastavenou frekvenci zapište do tabulky.
 - f) Rozlišení frekvencí Mark a Space signálu je nastaveno. Logická 1 – Mark se bude po FSK modulaci zobrazovat jako sinusoida o frekvenci 4,2 Khz, a logická 0 – Space jako sinusoida o frekvenci 9,7 Khz.
- Na předním panelu natavit frekvenci na LO, trimr Gain a f_0 nastavit přibližně do středu.

Tuneable LPF

- Trimr Tune nastavit naplno (úplně doprava), trimr Gain na střed, a přepínač na Norm. Trimr Tune a Gain nastavují vlastnosti této dolní propusti 7.mého řádu,

nastavení si odzkoušíte později, hlavní je přepínač na Norm, pomocí něj propouští dolní propust signály s frekvencí 900 Hz až 5 KHz a ostatní utlumí o -3 dB, důvod je snížení úrovně Space signálu (v datovém toku, ne v toku modulace FSK!).

Utilities

- Přepínač SW1 nastavit: 1: ON, 2: ON.
- Přepínač SW2 nastavit: 1: OFF, 2: OFF.

Integrate & Dump

- Přepínač SW1 nastavit na I&D1 – č.5.
- Přepínač SW2 nastavit na I&H2 – č.2.
- Přepínač SW3 nastavit: A: OFF, B: OFF.
- Trimr Delay na předním panelu nastavit přibližně na střed.

16.6 Postup měření

- 1) Zkontrolujte počáteční nastavení všech modulů použitých v měření a seznamte se s nimi podrobněji v manuálu TIMS Advanced and Basic Modules User Manual.
- 2) Zapojte schéma podle obr. 11.
- 3) Nyní připojíme osciloskop na TTL červený výstup X modulu Sequence Generator. Použijte kanál A, který nechte zapojený po celou dobu měření. Zobrazí se obdélníkový datový signál, se kterým budete dále pracovat. Nyní použijte kanál B pro zobrazení dalších signálů. Na výstupu sin(wt) modulu VCO je signál namodulovaný pomocí FSK klíčování. Zde změřte dobu trvání nejkratšího znaku MARK a SPACE (vždy jen dobu trvání jedné sinusoidy v znaku MARK a SPACE), zapište do tab. 2, a vypočítejte dle vzorce 16.1 teoretickou dobu trvání těchto signálů. Teoretické a naměřené hodnoty v závěru porovnejte a zdůvodněte.
- 4) Na výstupu Out modulu Tuneable LPF je znázorněno jak vypadá přijatý namodulovaný signál pomocí FSK.
- 5) Osciloskop nechte připojený na výstupu Out Tuneable LPF a nastavujte trimry na VCO a Tuneable LPF, pozorujte změnu signálu, proč a jak tyto moduly ovlivňují výsledný signál?
- 6) V tomto bodě se budeme zabývat úpravami signálu používaných nejen u technologie FSK, modulem Integrate & Dump. Na výstupu I&D1 bude signál

integrován a ukončován, zatímco na výstupu I&D2 bude integrován a držen. Rozdíly mezi těmito funkcemi jsou detailně znázorněny v popisu modulu Integrate & Dump pro pochopení. Oba výstupy postupně připojíme na osciloskop.

- 7) Nyní pomocí trimru Delay na modulu Integrate & Dump modulu nastavíme zpoždění na minimum. Zobrazíme na osciloskopu výstup I&D1. Postupně trimrem Delay zvyšujeme zpoždění. Nyní jde vidět význam integrování přes vhodně umístěnou periodu bitu. To samé provedeme s výstupem I&D2.

Tab. 2: Porovnání teoretických a reálných hodnot trvání znaků Mark a Space

Měření	Hodnota		Poznámka
	teoretická	reálná	
Frek. na FSK1 - signál SPACE (log. 0) [kHz]	4,2		
Frek. na FSK2 - signál MARK (log. 1) [kHz]	9,7		
Doba trvání nejkratšího znaku MARK [ms]			
Doba trvání nejkratší mezery SPACE [ms]			

$$T = \frac{1}{f} \text{ [s] ,} \quad (16.1)$$

kde T je doba trvání jedné periody, a f je frekvence v Hz.

16.7 Kontrolní otázky

Odpovědi na tyto kontrolní otázky naleznete buď v samotném měření a teoretickém úvodu, v manuálech TIMS, nebo na internetu.

Otázka 1. Na které verzi TIMS, softwarové (Tutor TIMS) nebo hardwarové (Emona TIMS) při porovnání měření dochází k lepším výsledkům?

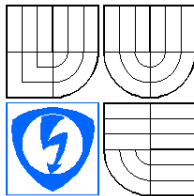
Otázka 2. Jaké funkce má modul Integrate & Dump?

Otázka 3. Na jakém principu funguje frekvenční klíčování FSK?

Otázka 4. Je možné u FHSS dosáhnout větší přenosové rychlosti než 2 Mbit/s ?

Otázka 5. Je technologie rozprostřeného spektra náchylná na úzkopásmové rušení?

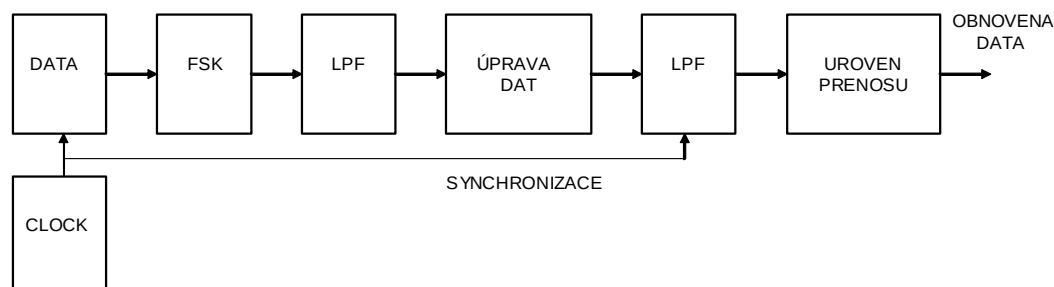
17 Vzorový protokol k laboratorní úloze Základy FHSS a vlastnosti FSK modulace

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		Předmět	Přístupové a transportní sítě		
		Jméno	David Novák		
		Ročník	3.	Studijní skupina	B-TLI
		Spolupracoval		Měřeno dne	15.4.2008
Kontroloval		Hodnocení	Dne		
Číslo úlohy	Název úlohy				
1.	ZÁKLADY FHSS A VLASTNOSTI FSK MODULACE				

17.1 Zadání

- 1) Seznamte se s ovládáním simulátoru TIMS, v příložených návodech prostudujte funkce a možnosti jednotlivých modulů ze kterých se měření skládá.
- 2) Realizujte zapojení dle schématu na obr. 11, pozornost věnujte rozlišením typů vstupních a výstupních signálů a nastavení modulů.
- 3) Popište jednotlivé naměřené výsledky a zamyslete se nad důvody funkcí této technologie.
- 4) Zodpovězte kontrolní otázky, své odpovědi konzultujte s vedoucím cvičení popř. sami realizujte změnu ve schématu pro pochopení technologie.

17.2 Blokové schéma



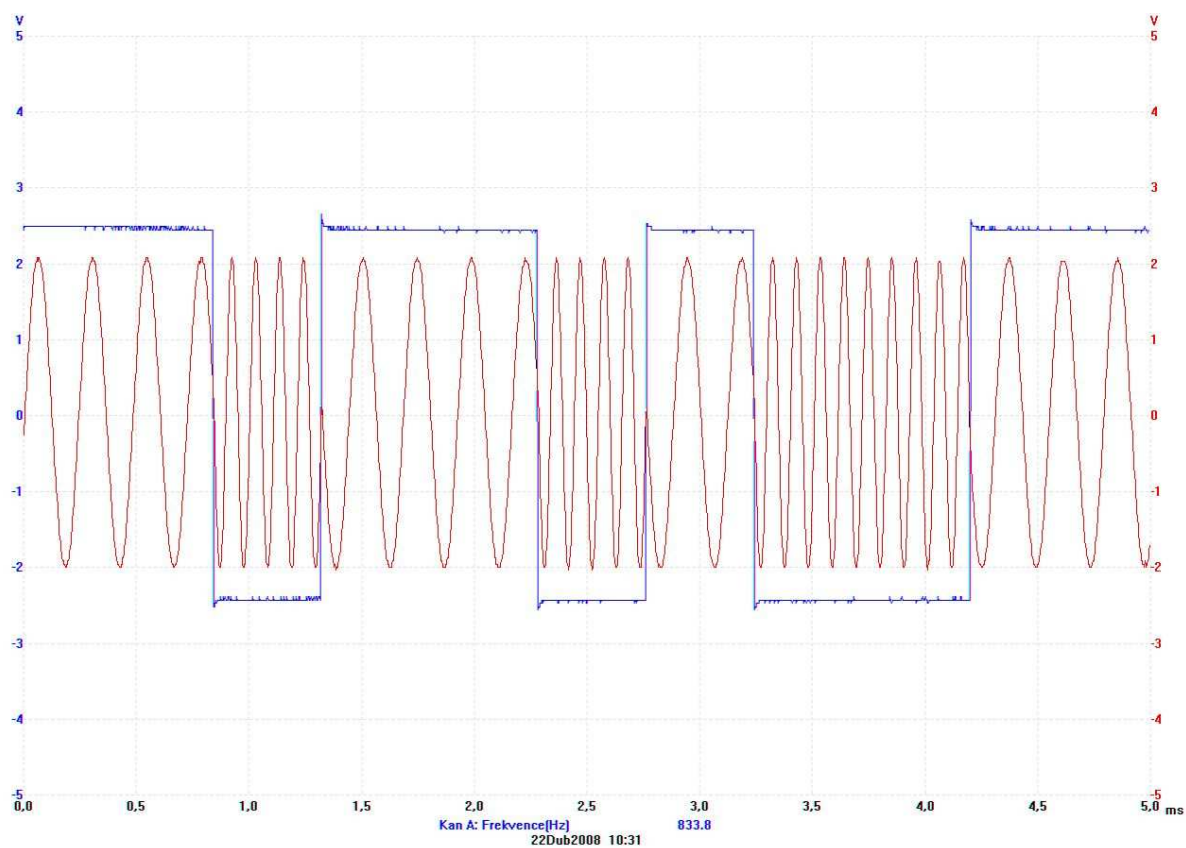
Obr. 13: Blokové schéma pro měření vlastností FSK modulace v protokolu

17.3 Naměřené hodnoty

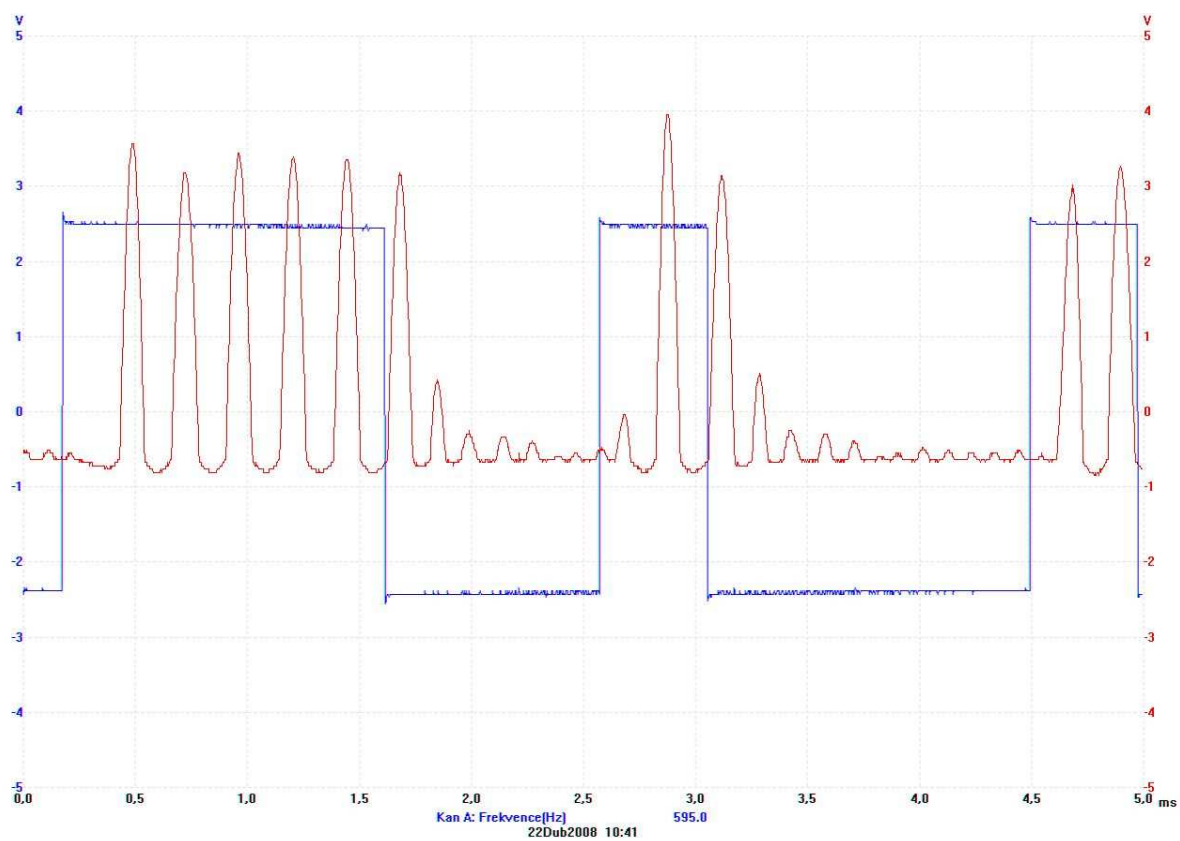
Tab. 3: Porovnání teoretických a reálných hodnot trvání znaků Mark a Space

Měření	Hodnota		Poznámka
	teoretická	reálná	
Frek. na FSK1 - signál SPACE (log. 0) [kHz]	4,2	4,3	
Frek. na FSK2 - signál MARK (log. 1) [kHz]	9,7	9,6	
Doba trvání nejkratšího znaku MARK [ms]	0,23	0,22	
Doba trvání nejkratší mezery SPACE [ms]	0,103	0,104	

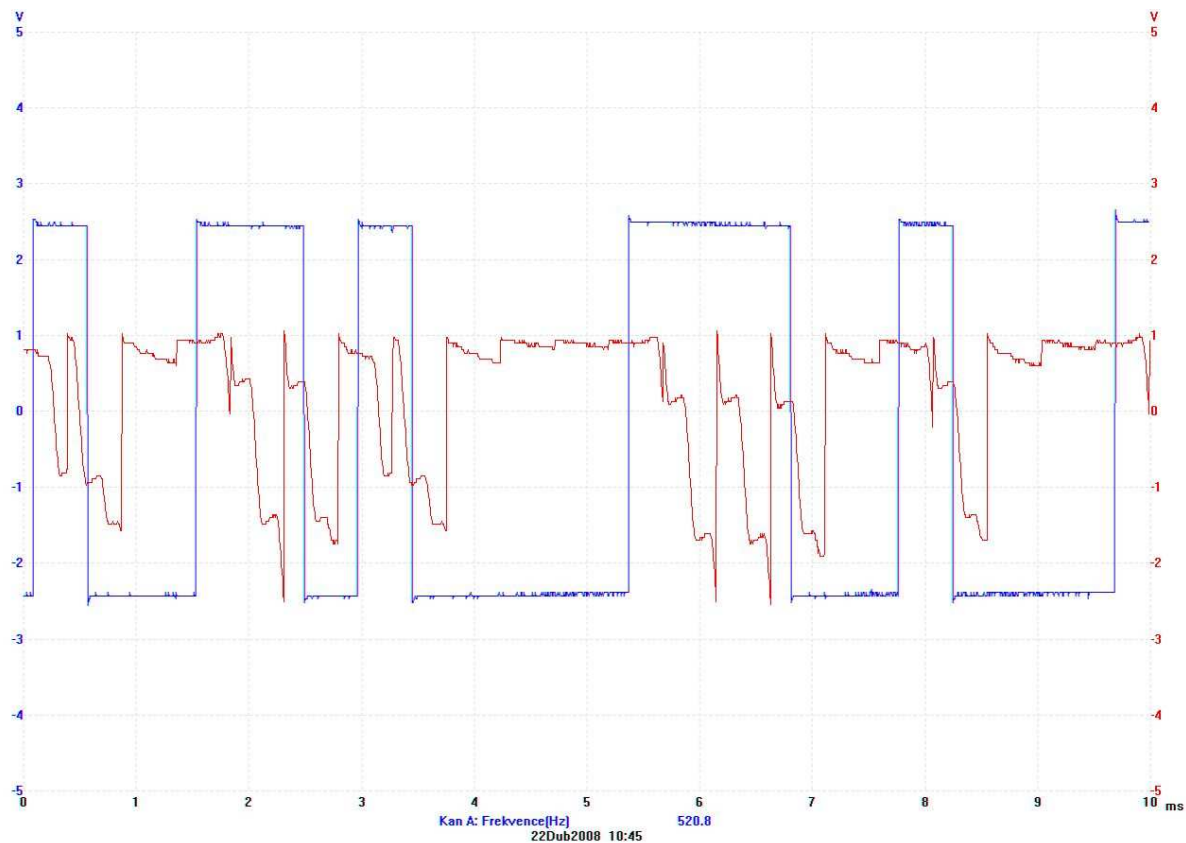
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4200} = \underline{\underline{0,23ms}}$$



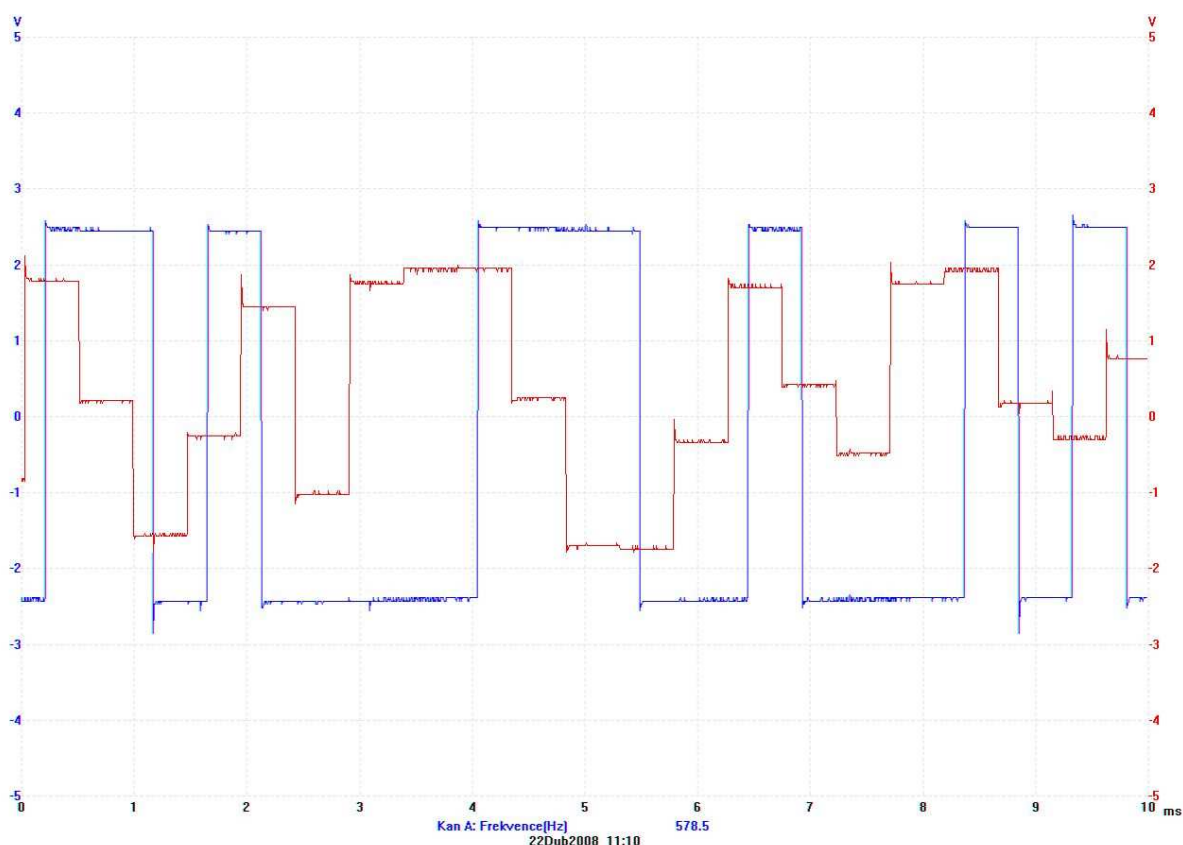
Obr. 14: Datový signál a signál namodulovaný pomocí FSK modulace



Obr. 15: Přijatý namodulovaný signál s FSK modulací



Obr. 16: Signál na výstupu I&D1 (integrován a ukončován)



Obr. 17: Signál na výstupu I&D2 (integrován a držen)

17.4 Odpovědi na kontrolní otázky

Otázka 1. Na které verzi TIMS, softwarové (Tutor TIMS) nebo hardwarové (Emona TIMS) při porovnání měření dochází k lepším výsledkům?

Přesnější výsledky má softwarová verze Tutor TIMS, ovšem výsledné hodnoty jsou opravdu jen nasimulované, jde totiž o matematicko-fyzikální model, oproti tomu hardwarová verze Emona TIMS má výsledky vyplývající z opravdových součástek a komponent.

Otázka 2. Jaké funkce má modul Integrate & Dump?

Tento modul obsahuje několik nastavitelných úprav signálu. Vzorkování a držení, integrování a ukončování, a integrování a držení. Vzorkovací a integrační blok poskytuje dva totožné kanály, které fungují současně se společným CLK signálem.

Otázka 3. Na jakém principu funguje frekvenční klíčování FSK?

Jedná se o spojitou digitální modulaci, nosným signálem je signál s harmonickým průběhem v čase (sinusoida, kosinusoida), a modulačním signálem je digitální signál.

Ve výsledném namodulovaném signálu nižšímu kmitočtu odpovídá „znak“ – logická 1, vyššímu kmitočtu „mezera“ – logická 0. Znak se nazývá „mark“ a mezera „space“. Klíčovány jsou přímo generátory vysílačů.

Otázka 4. Je možné u FHSS dosáhnout větší přenosové rychlosti než 2 Mbit/s ?

V současné době ne. Někteří výrobci uvádějí u svých zařízení rychlost až 3 Mbit/s, ale zatím ji tyto přístroje nemohou využít. Technologie FHSS spadá do standardu IEEE 802.11, kde je uvedena maximální přenosová rychlost 2 Mbit/s. Systém FHSS už byl zrychlen z počátečních 100 kbit/s na 2 Mbit/s. Reálné přenosové rychlosti se pohybují okolo 2 Mbit/s.

Otázka 5. Je technologie rozprostřeného spektra náchylná na úzkopásmové rušení?

FHSS má výbornou odolnost vůči úzkopásmovému rušení. Když je šum omezený na malou oblast z dostupného spektra, vysílač přeskočí na jinou frekvenci a přijímač synchronně také, pokud jsou i další frekvence zarušeny, opakuje skákání na jiné. Mnoho dokonalých světových systémů má paměť, do které ukládá problémové body ve spektru, dále se pak těchto bodů vyvaruje dokud šum na nich nezmizí.

17.5 Závěr

Teoretické a naměřené hodnoty znaků MARK a SPACE v tab. 3 se liší jen řádově setinami milisekund. Simulátor TIMS dosahuje výborné kvality. Přijatý namodulovaný signál s FSK modulací je mírně zpožděn díky složitým úpravám signálu a obsahuje menší zázněje signálu díky rychlým skokům na různé frekvence, které nestačí dolní propust odfiltrovat.

18 Návrh laboratorní úlohy č.2: Vlastnosti přenosu v technologii FHSS

Laboratorní cvičení z předmětu PŘÍSTUPOVÉ A TRANSPORTNÍ SÍTĚ

ÚVOD DO TECHNOLOGIE ROZPROSTŘENÉHO PÁSMU FHSS (FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM)

ČÁST II. VLASTNOSTI PŘENOSU V TECHNOLOGII FHSS

18.1 Cíl měření

V laboratorní úloze „Vlastnosti přenosu v technologii FHSS“ studenti díky simulačnímu zařízení TMS poznají průběh samotného přenosu v FHSS, nastavování vysílače a přijímače, a jejich vzájemnou synchronizaci, situace, které nastanou pokud k synchronizaci nedojde, zpoždění při přenosu v FHSS.

18.2 Zadání

- 1) Pomocí příložených návodů prostudujte funkce a možnosti jednotlivých modulů TMS, ze kterých se měření skládá.
- 2) Realizujte zapojení dle schématu na obr. 22, pozornost věnujte rozlišením typů vstupních a výstupních signálů a nastavení modulů.
- 3) Popište jednotlivé naměřené výsledky a zamyslete se nad důvody funkcí této technologie.
- 4) Zodpovězte kontrolní otázky, své odpovědi konzultujte s vedoucím cvičení popř. sami realizujte změnu ve schématu pro pochopení technologie.

18.3 Teoretický úvod

Rozprostření spektra pomocí frekvenčního přeskakování je založeno na pseudonáhodné posloupnosti změny kmitočtu generátoru ve vysílači, a zároveň změny kmitočtu generátoru v přijímači, který přijímaný signál převádí na mezifrekvenční kmitočet. Jedná se o pseudonáhodnou frekvenční modulaci rušivého signálu. Spektrum tohoto

rušivého signálu se náhodně posouvá po kmitočtové ose a mění se v požadovaný širokopásmový signál [4].

Aby přenos užitečného signálu byl bez chyb, je třeba zajistit, aby měl po směřování konstantní mezifrekvenční kmitočet. Takže pseudonáhodná změna kmitočtu ve vysílači musí být shodná se změnou kmitočtu ve vysílači.

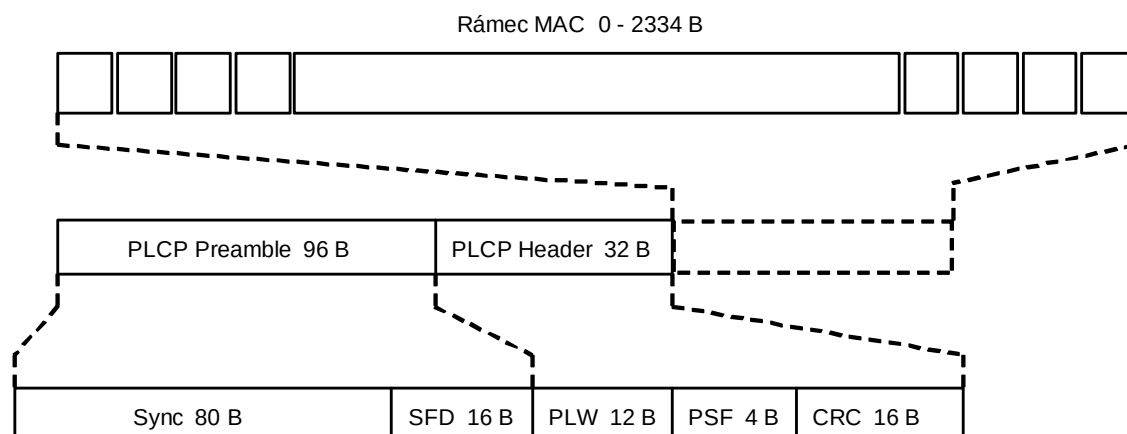
Zkráceně, FHSS vysílá jeden nebo více datových paketů po jednom kmitočtu, pak přeskočí na jiný kmitočet a pokračuje ve vysílání. Na daném kmitočtu vysílá systém jen krátkou chvíli (maximálně 50 ms), tím se minimalizuje rušení a pravděpodobnost, že by došlo ke kolizi.

18.3.1 Přenos v technologii FHSS

Datová zpráva je v FHSS vysílána pomocí mnoha nosných frekvencí – hops. Technologie FHSS dosahuje vysoké spolehlivosti díky tomu, že nepotvrzené, tzn. špatně přenesené rámce jsou vyslány znovu na jiné nosné frekvenci. Umístění více systémů v jednom místě je umožněno použitím různých sekvencí v každém systému. FHSS rovněž umožňuje koexistenci více systémů – Systém Collocation v jedné lokalitě. Počet systémů v koexistenci je teoreticky 26, ovšem prakticky jen kolem 15. Vícecestné šíření signálů se v technologii FHSS potýká s menšími problémy, je na závislosti na kvalitě zařízení, mnohdy totiž tyto systémy nestíhají stejný signál šířit více směry a zároveň na všech směrech pracovat se skákáním frekvencí [5].

Pro přenos po rádiovém kanále je nutno před vlastní rámec MAC vložit tyto informace:

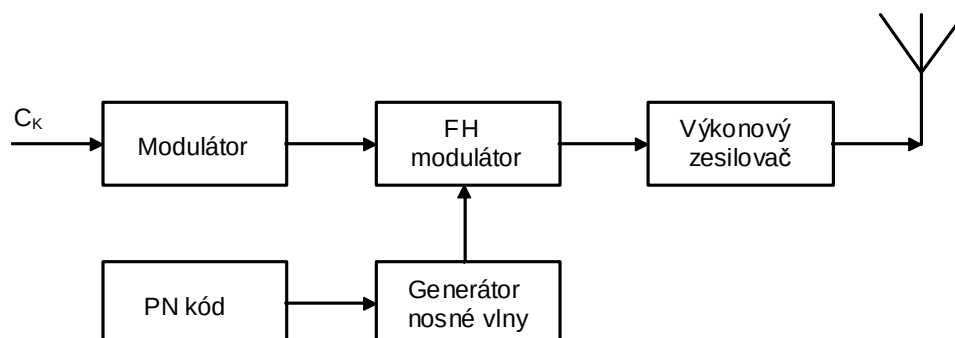
- synchronizaci
- informaci o délce rámce
- informaci o přenosové rychlosti



Obr. 18: Struktura rámce PLCP v lab.úloze

Přenos se uskutečňuje pomocí rámce PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), nebo také podle normy ISO/OSI rámec PPDU (Physical Layer Protocol Data Unit), který tyto informace obsahuje.

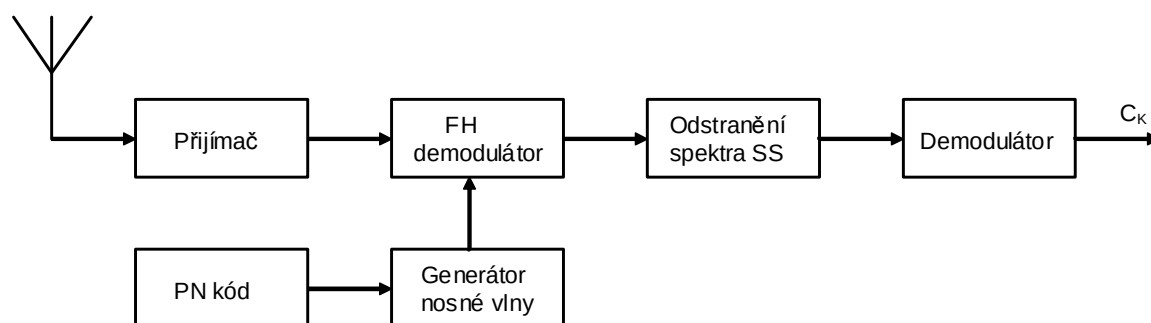
18.3.2 Vysílač v technologii FHSS



Obr. 19: Blokové schéma vysílače pro přenos v FHSS v lab. úloze

C_K je signál na vstupu vysílače FHSS na obr. 19, který je určený pro přenos. Na výstupu modulátoru je namodulovaný signál FSK modulací v základním pásmu. PN posloupnost, podle které je vysílač přeladován mezi jednotlivými kanály se vytváří v bloku PN kód. Musí být stejná a generována synchronně s přijímačem. Generátor nosné vlny dle PN posloupnosti generuje nosnou frekvenci, na které se budou aktuálně přenášet data. Frekvence musí být synchronní s frekvencí přijímače, pokud nedojde z nějakého důvodu k synchronizaci, nenastane ani odesílání dat. V bloku FH modulátor dochází k rozprostření signálu (spreading), jde vlastně o násobení signálu PN posloupností. Na výstupu výkonového zesilovače je pak zesílený spektrálně rozprostřený signál v základním pásmu.

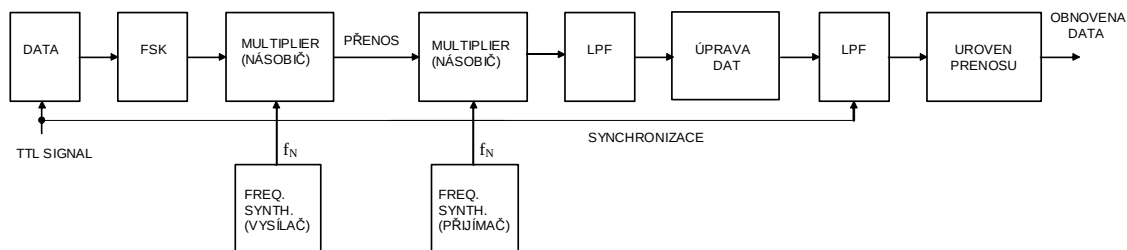
18.3.3 Přijímač v technologii FHSS



Obr. 20: Blokové schéma přijímače pro přenos v FHSS v lab. úloze

Obr. 20 ukazuje blokové schéma přijímače FHSS. Přijímač zde obstarává synchronizaci nosné pomocí PLCP Preamble. PN kód a Generátor nosné vlny pracují naprosto stejně jako ve vysílači, je totiž zapotřebí aby frekvence vysílače a přijímače byly synchronní. Blok PN kód v sobě obsahuje také PN aktivní korelátor, ten slouží k lepší synchronizaci frekvencí vysílače a přijímače. FH demodulátor a Odstranění spektra SS násobí signál PN posloupností (despreading), díky čemuž mění spektrálně rozprostřený signál v základním pásmu na modulovaný signál v základním pásmu. Demodulátor mění pomocí modulace FSK signál zpět na výchozí C_K . Na výstupu přijímače bývají také obsažené různé typy filtrů, podle toho, k čemu bude zařízení sloužit. Tyto filtry odstraňují zbytky rušení, které signál po přenosu obsahuje. V tomto měření se u přijímače zaměříme hlavně na synchronizaci PN kódu s vysílačem a výstupní filtry, které přijímaný signál dále upravují.

18.4 Bloková schémata měření



Obr. 21: Blokové schéma měření vlastností přenosu v FHSS

Legenda k obr. 21:

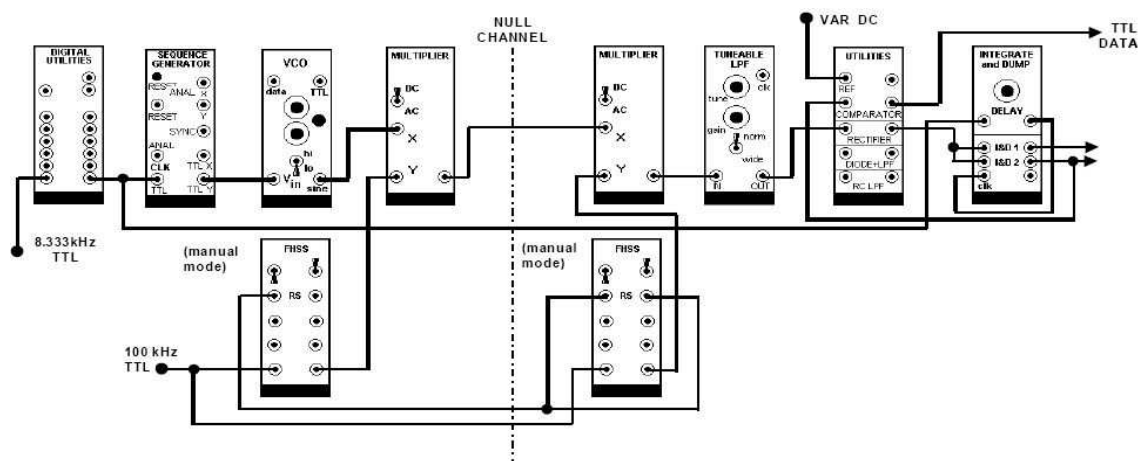
DATA – generátor TTL signálu

FSK – blok zajišťující FSK modulování

MULTIPLIER – násobič, signály $X(t)$ a $Y(t)$ vynásobí na $1/2 \cdot X(t) \cdot Y(t)$

FREQ. SYNTH. – frequency synthesizer – kmitočtový syntetizátor FHSS

LPF – low pass filter – nastavitelná dolní propust



Obr. 22: Sestavení blokového schéma na obr. 21 pomocí modulů TIMS

18.5 Nastavení modulů

18.5.1 Seznam modulů TIMS potřebných pro měření

Digital Utilities

Sequence Generator

VCO – Voltage Controlled Oscillator

Multiplier

FHSS Frequency synthesizer

Tuneable LPF

Utilities

Integrate & Dump

18.5.2 Počáteční nastavení modulů TIMS pro měření

Nastavení modulů je plně shodné s měřením č.1, jelikož se jedná o navazující měření.

FHSS Frequency synthesizer

- Přepínač MODE nastavit na MANUAL.
- Přepínač CONTROL nastavit na NORM

18.6 Postup měření

- 1) Zkontrolujte počáteční nastavení všech modulů použitých v měření a seznamte se s nimi podrobněji v manuálu TIMS Advanced and Basic Modules User Manual.
- 2) Zapojte schéma podle obr. 22. Dva bloky Multiplier nahraďte jedním blokem Quadrature Utilities, oba potřebné multipliery v sobě obsahuje.

- 3) Nyní připojíme vstup osciloskopu A na TTL červený výstup f_N prvního modulu FHSS – vysílače. Na vstup osciloskopu B pak TTL červený výstup f_N druhého modulu FHSS – přijímače. Vysílač a přijímač FHSS nedosáhli společné synchronizace, tudíž se zobrazí dva různé signály.
- 4) Přistoupíme k nastavování různých frekvencí vysílače a přijímače. Vysílač FHSS je připojen k osciloskopu pomocí kanálu A, je-li použit program PicoScope, nastavíme měření frekvence tímto způsobem:
 - a) Nastavení -> Měření -> Přidat
 - b) Měření: Frekvence
 - c) Zdroj: Celá křivka
 - d) Kanál: KanA
 - e) Limity alarmu: nenastavovat
 - f) Ok -> Ok
- 5) Přijímač FHSS připojíme pomocí TTL červeného výstupu f_N k modulu Frequency Counter, umístěného ve spodní části Emona TIMS, který nastavíme na 0,1s. Nyní máme přehled o právě nastavené frekvenci vysílače i přijímače.
- 6) Synchronizace vysílače a přijímače v FHSS. Na přijímači přepínačem CONTROL klikáme do polohy STEP, čímž se mění jeho frekvence, provádíme tak dlouho, až se zobrazí shodné signály se shodnými frekvencemi. Tím dojde k počáteční synchronizaci.
- 7) Nyní budeme synchronizovat ručně na různých frekvencích. Nastavujte různé frekvence na přijímači i vysílači, a sledujte změny v signálu. Odpovězte na otázku č.1.
- 8) Proměřte jednotlivá zpoždění při přenosu mezi vysílačem a přijímačem ve všech nastavitelných frekvencích. Pro měření zpoždění je nutné aby došlo k synchronizaci vysílače a přijímače. Odpovězte na otázku č.2.
- 9) Možnosti úpravy signálu modulem Integrate & Dump. Na výstupu I&D1 bude signal integrován a ukončován, zatímco na výstupu I&D2 bude integrován a držen. Rozdíly mezi těmito funkcemi jsou detailně znázorněny v popisu modulu Integrate & Dump pro pochopení. Oba výstupy postupně připojíme na osciloskop.
- 10) Nyní pomocí trimru Delay na modulu Integrate & Dump modulu nastavíme zpoždění na minimum. Zobrazíme na osciloskopu výstup I&D1. Postupně

trimrem Delay zvyšujeme zpoždění. Nyní jde vidět význam integrování přes vhodně umístěnou periodu bitu. To samé provedeme s výstupem I&D2.

18.7 Kontrolní otázky

Odpovědi na tyto kontrolní otázky naleznete buď v samotném měření a teoretickém úvodu, v manuálech TIMS, nebo na internetu.

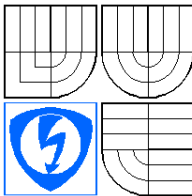
Otázka 1. Kolik různých nosných frekvencí f_N dokáží moduly FHSS TIMS generovat? Vyjmenujte je.

Otázka 2. Má technologie FHSS při přenosu po různých frekvencích také různá zpoždění? Je toto zpoždění ovlivněno právě nastavenou frekvencí? Jakou maximální dobu setrvá systém na jedné frekvenci než přejde na jinou?

Otázka 3. Proč technologie FHSS vlastně mění frekvence? Z důvodu až nastane kolize, nebo tím kolizi předchází?

Otázka 4. Je možné aby v jedné lokalitě bylo umístěno více systémů FHSS a navzájem se nerušily? Je možno v této lokalitě tyto systémy FHSS sloučit (vytvořit koexistenci)? Pokud ano, kolik jich může v koexistenci být?

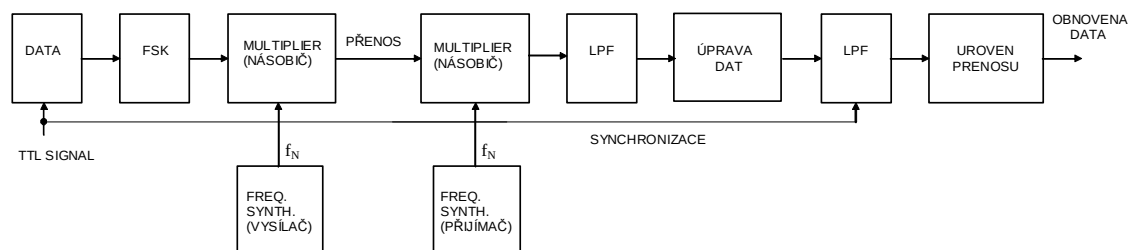
19 Vzorový protokol k laboratorní úloze Vlastnosti přenosu v technologii FHSS

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		Předmět	Přístupové a transportní sítě		
		Jméno	David Novák		
		Ročník	3.	Studijní skupina	B-TLI
		Spolupracoval		Měřeno dne	15.4.2008
Kontroloval		Hodnocení	Dne		
Číslo úlohy	Název úlohy				
2.	VLASTNOSTI PŘENOSU V TECHNOLOGII FHSS				

19.1 Zadání

- 1) Pomocí příložených návodů prostudujte funkce a možnosti jednotlivých modulů TIMS, ze kterých se toto měření skládá.
- 2) Realizujte zapojení dle schématu na obr. 22, pozornost věnujte rozlišením typů vstupních a výstupních signálů a nastavení modulů.
- 3) Popište jednotlivé naměřené výsledky a zamyslete se nad důvody funkcí této technologie.
- 4) Zodpovězte kontrolní otázky, své odpovědi konzultujte s vedoucím cvičení popř. sami realizujte změnu ve schématu pro pochopení technologie.

19.2 Blokové schéma

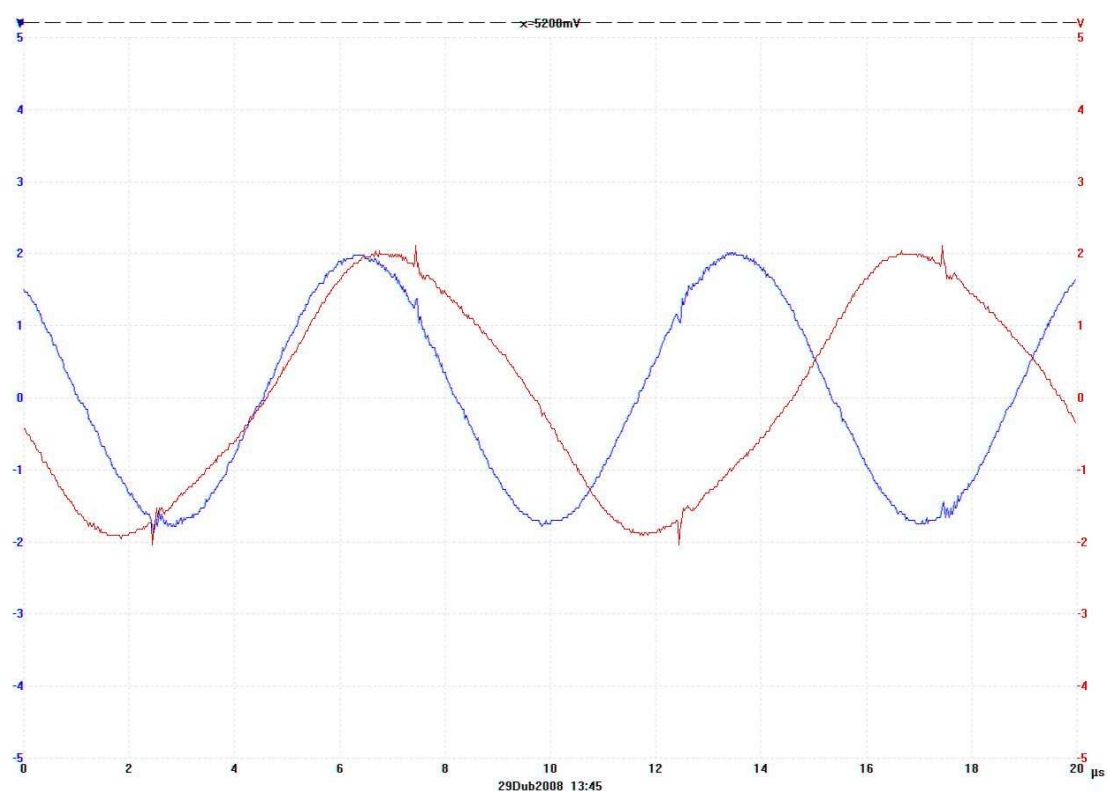


Obr. 23: Blokové schéma měření vlastností přenosu v FHSS v protokolu

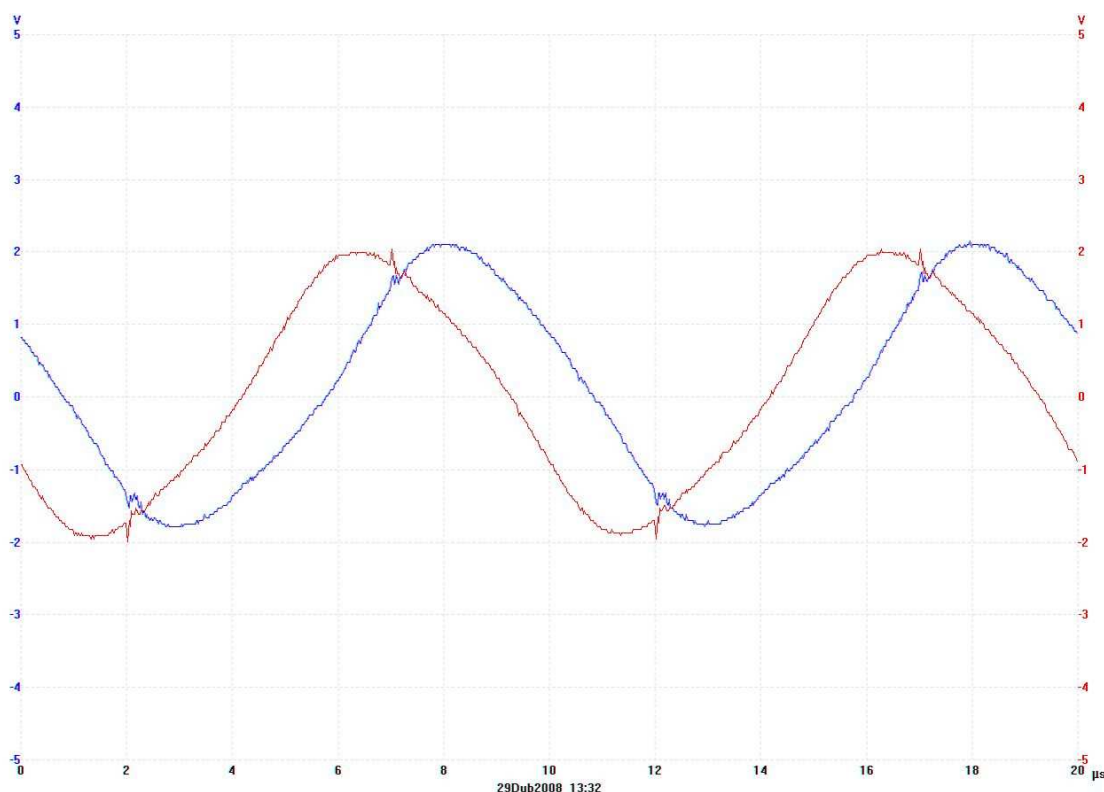
19.3 Naměřené hodnoty

Tab. 1: Porovnání zpoždění vysílače a přijímače při různých f_N

f_N [kHz]	zpoždění vysílače a přijímače [ms]
100	1564
120	1561
140	1566
160	1559
180	1568
200	1564
220	1566
240	1568



Obr. 24: Různé nosné frekvence vysílače a přijímače FHSS – 100 kHz a 140 kHz



Obr. 25: Měření zpoždění vysílače a přijímače FHSS

19.4 Odpovědi na kontrolní otázky

Otázka 1. Kolik různých nosných frekvencí f_N dokáží moduly FHSS TIMS generovat? Vyjmenujte je.

Moduly FHSS TIMS dokáží generovat celkem 8 různých nosných frekvencí. Jsou to: 100 kHz, 120 kHz, 140 kHz, 160 kHz, 180 kHz, 200 kHz, 220 kHz, 240 kHz.

Otázka 2. Má technologie FHSS při přenosu po různých frekvencích také různá zpoždění? Je toto zpoždění ovlivněno právě nastavenou frekvencí? Jakou maximální dobu setrvá systém na jedné frekvenci než přejde na jinou?

Různé frekvence, na kterých technologie FHSS pracuje, neovlivňují chod systému ani dobu zpoždění přenosu signálu. Zpoždění se projevuje jen rušením nebo zatížením systému při koexistenční obsluze mnoha přijímačů, kdy vysílače nestíhají signál šířit mnoha směry a zároveň měnit frekvence. Vysílač FHSS maximálně setrvá na jedné frekvenci maximálně 50 ms, pak frekvenci mění.

Otázka 3. Proč technologie FHSS vlastně mění frekvence? Z důvodu až nastane kolize, nebo tím kolizi předchází?

Technologie FHSS se hlavně snaží pomocí změny (skoku) frekvence na jinou rušení a kolizi předcházet. Má výbornou odolnost vůči úzkopásmovému rušení, a širokopásmovému rušení se snaží „vyvarovat“ právě díky změně frekvence.

Otázka 4. Je možné aby v jedné lokalitě bylo umístěno více systémů FHSS a navzájem se nerušily? Je možno v této lokalitě tyto systémy FHSS sloučit (vytvořit koexistenci)? Pokud ano, kolik jich může v koexistenci být?

Umístění více systémů FHSS v jedné lokalitě je umožněno použitím různých sekvencí v každém systému. FHSS rovněž umožňuje koexistenci více systémů – System Collocation v jedné lokalitě. Počet systémů v koexistenci je teoreticky 26, ovšem prakticky jen kolem 15. Vícecestné šíření signálů se v technologii FHSS potýká s menšími problémy, je na závislosti na kvalitě zařízení, mnohdy totiž tyto systémy nestíhají stejný signál šířit více směry a zároveň na všech směrech pracovat se skákáním frekvencí.

19.5 Závěr

Naměřené hodnoty zpoždění mezi vysílačem a přijímačem FHSS se měnily jen řádově v milisekundách. Tyto změny nejsou ovšem změny způsobené změnou frekvence, ale pouze menší nepřesností v odečítání. Toto dokazuje, že přenos a zpoždění v technologii FHSS nejsou závislé na právě zvolené frekvenci k odesílání. Nastavení vysílače a přijímače probíhá rychlým a přesným způsobem a snadno se vzájemně zesynchronizují.

20 Závěr

Tato bakalářská práce představuje souhrn poznatků o technologii rádiového přenosu se skákáním frekvencí v rozprostřeném spektru. Dále je popsán telekomunikační hardwarový a softwarový simulátor Emona TIMS a Emona Tutor TIMS. Celkové měření je realizováno na hardwarové verzi Emona TIMS, kde veškeré prvky k měření jsou detailně popsány pro snadné a rychlé pochopení. Hlavní přínos spočívá právě ve dvou vytvořených laboratorních úlohách, které dopodrobna popisují technologii FHSS a FSK modulaci, kterou FHSS využívá. Díky přesným a jednoduchým návodům lze snadno a účinně pochopit celou technologii, a vše si ověřit vlastním měřením. Úlohy obsahují teorii, která se opírá o vlastní měření, ale také teorii, která je umístěna navíc. Tato teorie má podávat větší nadhled na danou problematiku a podporuje tak představivost a myšlení jak nad technologií FHSS, tak nad funkcí simulátoru TIMS. Moduly TIMS a jejich nastavení snáze přibližují teorii průběhů signálů, a nastavení různých filtrů, generátorů, násobičů, a dalších. Laboratorní úlohy jsou zaměřené spíše na zobrazování různých průběhů a jejich tvarování, nejedná se o složité výpočty a dlouhé tabulky výsledků. Každá z úloh obsahuje na konci měření souhrn kontrolních otázek. Tyto otázky jsou zaměřeny na teorii k měření, na samotné měření, a na způsoby jakými je FHSS reprezentováno v praxi. Kontrolní otázky upřesňují co je z daného tématu důležité, a vytvářejí tak ucelený souhrn o technologii FHSS.

21 Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] EMONA INSTRUMENTS. Manuál k Telecommunications Learning Environment TIMS. vyd. Camperdown, Australia 2007
- [2] PUŽMANOVÁ, Rita. Moderní komunikační sítě A-Z. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2006. 430 s. ISBN 80-251-1278-0
- [3] ŠKORPIL, Vladislav. Digitální komunikační technologie. Brno: VUT FEKT UTKO, 2002. 133 s. ISBN 80-214-2244-0.
- [4] LASEK, Petr. 802.11 - fyzická vrstva. 2001.
<http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Tutorialy&temaID=115&clanekID=122>
- [5] CHVALOVSKÝ, Karel. Která bezdrátová technologie je nejlepší? 2001.
<http://www.lupa.cz/clanky/ktera-bezdratova-technologie-je-nejlepsi/>
- [6] MCNUTT, Stephanie. DSSS and FHSS - Spread Spectrum modem.
http://www.arcelect.com/DSSS_FHSS-Spead_spectrum.htm
- [7] <http://www.wikipedia.org/>. Frequency-hopping spread spectrum. 2007.
http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-hopping_spread_spectrum