



Fakulta elektrotechnická  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Analýza rozhraní pro přenos obrazu (VGA,DVI,HDMI, atd...) za pomoci  
mikropočítače

Autor práce: Michael Křeček  
Vedoucí práce: Ing. Bedřich Bednář

Plzeň 2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michael KŘEČEK**  
Osobní číslo: **E11B0223P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Analýza rozhraní pro přenos obrazu (VGA,DVI,HDMI, atd...)  
za pomoci mikropočítače**  
Zadávající 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. Popište současně používaná rozhraní pro přenos obrazu.
2. Vyberte vhodný procesor.
3. Analyzujte obrazový signál pomocí mikropočítače.
4. Názorně dokažte správné dekódování obrazu v mikropočítači.



Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Bedřich Bednář**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

# Abstrakt

Předmětem bakalářské práce "Analýza rozhraní pro přenos obrazu (VGA,DVI,HDMI, atd. . .) za pomoci mikropočítače" je popis současných analogových a digitálních rozhraní. Dále výběr vhodného procesoru. Vytvoření programu, jenž analyzuje a názorně dekóduje obrazový signál pomocí mikropočítače.

## Klíčová slova

Analýza obrazových rozhraní, VGA, HDMI, DVI, STM32 Value Line discovery kit,



# Abstract

Křeček, Michael. *Analysis of the interface for video transmission (VGA,DVI,HDMI, ect..) using microcomputers* [Analýza rozhraní pro přenos obrazu (VGA,DVI,HDMI, atd..) za pomoci mikropočítače]. Pilsen, 2014. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Bedřich Bednář

---

Subject of the thesis "Analysis of the interface for video transmission (VGA, DVI, HDMI, etc. ..) using a microcomputers" is a description of the existing analogue and digital interfaces. Select the appropriate processor. Create a program that analyzes and decodes the video signal using microcomputers

## Keywords

Analysis of video interfaces, VGA, HDMI, DVI, STM32 Value Line discovery kit

## Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci 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 závěrečné 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 § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 10. června 2014

Michael Křeček

.....

Podpis

# Obsah

Seznam obrázků	v
Seznam symbolů a zkratk	vii
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Rozhraní pro přenos obrazu</b>	<b>2</b>
2.0.1 CVBS	3
2.0.2 S-Video	4
2.0.3 Komponentní video	4
2.1 Analogové rozhraní	5
2.1.1 SCART	6
2.1.2 VGA	7
2.2 Digitální rozhraní	11
2.2.1 DVI	11
2.2.2 HDMI	15
2.2.2.1 Obrazové a zvukové specifikace	15
2.2.2.2 Komunikačních kanály a jejich protokoly	16
2.2.2.3 Verze HDMI	18
<b>3 Výběr vhodného procesoru</b>	<b>22</b>
3.1 STM32 Value Line Discovery kit	23
3.1.1 Použité periférie	24
3.1.1.1 ADC	24
3.1.1.2 Časovače a PWM	25
<b>4 Měření analogové rozhraní VGA</b>	<b>29</b>
<b>5 Experimentální ověření správné činnosti dekódování analogového rozhraní</b>	<b>34</b>
<b>6 Závěr</b>	<b>37</b>
Reference, použitá literatura	38

# Seznam obrázků

2.1	RCA jack konektor  Převzato z [4]  . . . . .	3
2.2	Mini-DIN konektor [7] . . . . .	4
2.3	Komponentní video konektor  Převzato z [9]  . . . . .	5
2.4	SCART konektor  Převzato z [9]  . . . . .	7
2.5	VGA konektor  Převzato z [9]  . . . . .	7
2.6	Časování VGA [15] . . . . .	9
2.7	Proces vykreslování obrazu VGA [15] . . . . .	10
2.8	DVI konektor  Převzato z [18]  . . . . .	12
2.9	Blokové schéma architektury DVI [17] . . . . .	13
2.10	TMDS vysílač DVI [17] . . . . .	14
2.11	HDMI konektor typu A  Převzato z [26]  . . . . .	15
2.12	Blokové schéma architektury HDMI  Převzato z [2]  . . . . .	17
3.1	STM32 VL Discovery kit  Převzato z [29]  . . . . .	24
3.2	Zjednodušené blokové schéma časovače  Převzato z [30]  . . . . .	26
3.3	Blokové schéma čítače s Capture/Compare registrem  Převzato z [30]  . . . . .	27
3.4	Generování PWM . . . . .	28
4.1	Měření jasů VGA RED . . . . .	30
4.2	Měření symetrických horizontálních pruhů . . . . .	30
4.3	Měření nesymetrických horizontálních pruhů . . . . .	31
4.4	Měření nesymetrických horizontálních pruhů 2 . . . . .	31
4.5	Měření horizontální synchronizace . . . . .	32
4.6	Měření vertikální synchronizace . . . . .	33
5.1	Vývojový diagram . . . . .	35
5.2	Částečné blokové schéma TIM1  Převzato z [28]  . . . . .	36

# Seznam tabulek

2.1	Časování v režimu 640 x 480x při 60 Hz . . . . .	9
2.2	Srovnání funkcí jednotlivých verzí rozhraní HDMI [2] . . . . .	21



# Seznam symbolů a zkratek

3D .....	Three-dimensional, trojdimenzionální, trojrozměrný
AAC .....	Advanced Audio Coding
AC-3 .....	Advanced Codec 3
ADC .....	Analog to Digital Converter
Ambilight .....	Patentovaná technologie televizoru Philips, jenž vytváří jemnou atmosférickou záři okolo obrazovky televizoru, která se přizpůsobuje dění na obrazovce
ARC .....	Archive File Format
AVI .....	Auxiliary Video Information
BNC .....	Bayonet Neill–Concelman
C .....	Chroma
CEA .....	Consumer Electronics Association
CEC .....	Consumer Electronics Control
CRT .....	Cathod Ray Tube
CVBS .....	Composite Video
DAC .....	Digital to Analog Converter
DDC .....	Display Data Channel
DDWG .....	Digital Display Working Group
DFP .....	Digital Flat Panel
DIN .....	Deutsches Institut für Normung
DMA .....	Direct Memory Access
DTV .....	Digital Television
DTS .....	Direct Stream Transfer
DVI .....	Digital Visual Interface
DVI-A .....	Digital Visual Interface – Analog
DVI-D .....	Digital Visual Interface – Digital
DVI-I .....	Digital Visual Interface – Integrated
DVD .....	Digital Versatile Disc
EDID .....	Extended Display Identification Data
EEPROM .....	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
E-DDC .....	Extended Display Data Channel

FCC .....	Federal Communications Commission. Federální komunikační komise.
HD .....	High Definition
HDCP .....	High-bandwidth Digital Content Protection
HDMI .....	High-Definition Multimedia Interface
HDTV .....	High-Definition Television
HEAC .....	HDMI Ethernet Audio Control
HEC .....	HDMI Ethernet Channel
I <sup>2</sup> C .....	Inter-integrated Circuit
ITU .....	Internatioonal Telecommunication Union. Mezinárodní telekomunikační unie.
LCD .....	Liquid Crystal Display
LED .....	Light Emitting Diode
LPCM .....	Linear Pulse Code Modulation
MPEG .....	Moving Picture Experts Group
MPEG-2 .....	Moving Picture Experts Group-version 2
MSB .....	Most Significant Bit
NTSC .....	National Television System Committee
PAL .....	Kaskádní dvojbranová matice.
PCM .....	Pulse-Code Modulation
PS/2 .....	Personal System 2
PLL .....	Phase-Locked Loop
PROM .....	Programmable Read-Only Memory
PWM .....	Pulse-Width Modulation
RISC .....	Reduced Instruction Set Computing
RCA .....	Radio Corporation of America
RGB .....	Red Green Blue
SCART .....	Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et TéléviseursSvaz konstruktérů radiopřijímačů a televizorů.
SDA .....	Serial Data
SDTV .....	Standard-Definition Television
SLC .....	Serial Clock
SPI .....	Serial Peripheral Interface
SRAM .....	Static Random-Access Memory
S-Video .....	Super Video, Separate Video
SWD .....	Serial Wire Debug
TMSD .....	Transition Minimized Differential Signaling
TTL .....	Transistor–Transistor Logic
UHF .....	Ultra High Frequency
USART .....	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

VESA .....	Video Electronics Standards Association
VHS .....	Video Home System
VGA .....	Video Graphics Array
WMA .....	Windows Media Audio
WQUXGA .....	Wide Quad Ultra Extended Graphics Array
WQXGA .....	Wide Quad Extended Graphics Array
WUXGA .....	Wide Ultra Extended Graphics Array
YUV .....	Barevný model pro televizní vysílání (jas + barevné složky)
$YC_B C_R$ .....	Barevný model pro digitální systémy (jas + chromizační signály)
$YP_B P_R$ .....	Barevný model pro analogové systémy (jas + rozdílové signály)

# 1

## Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou rozhraní pro přenos obrazu za pomoci mikropočítače. Aby bylo možné provést kvalitní analýzu, je potřeba nejprve popsat současně používané rozhraní pro přenos obrazu. Této problematice se věnuje první část této bakalářské práce. Nejprve budou popsány druhy videosignálů, poté nastane analýza analogových rozhraní SCART a VGA, kde se dozvíme o přenosových parametrech těchto rozhraní, podporovaném rozlišení a časování videosignálu. Následně proběhne popis digitálních interfaců DVI a HDMI, kde budou vysvětleny principy přenosu digitálního obrazu pomocí TMDS kanálů. Dále se v této kapitole zaměříme na rozbor technologie na ochranu digitálního obsahu HDCP, možnosti potlačení rušení, jenž vzniká při přenosu a popisů protokolů, jenž podporuje převážně multimediální rozhraní HDMI.

V druhé polovině této práce bude prozkoumán trh s mikroprocesory. Definují se parametry, jenž budou muset procesory splňovat. Na základě těchto parametrů se porovná několik cenově dostupných procesorů. A nejvhodnější se zvolí pro analýzu videosignálu přes vybrané rozhraní. Poté bude blíže popsán zvolený mikroprocesor a jeho periférie. V poslední části bude popsána konstrukce navrženého programu pro názorné dekódování videosignálu. Správné dekódování bude detekováno připojením RGB LED diodami na PWM výstupy procesoru. Tyto diody by se měly zbarvovat podle snímaného obrazu. Cílem práce je názorně dokázat správné dekódování obrazu v mikropočítači. Přínos této práce může posloužit jako alternativa k systému Ambilight vynalezený firmou Philips u monitorů s VGA rozhraním.

## 2

# Rozhraní pro přenos obrazu

V dnešní době může být videosignál rozdělen na analogový nebo digitální. Obě tyto velké skupiny se všeobecně používají ve formě vysílací či grafické. Vysílací formou rozumíme signály používané pro televizní techniku. Kdežto grafická forma byla vyvinuta pro potřebu spojení grafické karty počítače a monitoru, aniž by musel být brán ohled na šířku pásma, jak je tomu u televizního vysílání. Vysílací videoformáty jsou často specifikované mezinárodními agenturami jako jsou ITU pro Evropu nebo FCC pro USA. Což má za následek odlišnost používaných šířek pásem nebo použití odlišných standardů v různých částech světa. Z toho plyne, že systémy nejsou vzájemně kompatibilní. Jako příklad můžeme uvést systémy používané pro přenos analogového televizního vysílání NTSC aplikovaného v zemích Severní a Střední Ameriky a systému PAL užívaného většinou evropských a afrických států. Grafické formáty jsou naopak vyvíjeny ve firmách z různých odvětví průmyslu. Takto vyvinuté formáty se stávají firemními standardy, které se používají po celém světě v téměř stejné podobě. Slovem téměř rozumíme různé snímací frekvence obrazu. Ale tyto odlišnosti nejsou znepokojivé. Jelikož většina počítačové techniky je navržena tak, aby uměla zacházet s různými hodnotami snímacího kmitočtu. Tato kompatibilita je hlavní výhodou grafických videosignálů. Zástupce grafického rozhraní používaného v dnešní době je to například standard VGA, který byl vyvinut společností IBM. [1]

Pro porozumění analýzy obrazu je nezbytné nejprve pochopit zákonitosti týkající se použití standardizovaných formátů videosignálů a jejich následného přenosu pomocí rozhraní. Proto se v této kapitole bude zabírat popisem těchto formátů a následným rozborem nejpoužívanějších konektorů, které tyto formáty přenášejí. Před podrobnějším popisem je potřeba jsi uvědomit, že přenos obrazu se neustále vyvíjí již desítky let, což má za následek značný počet druhů videosignálů. Tudíž se jedná o velice obsáhlé téma, jehož podrobný popis by zabral většinu rozsahu této bakalářské práce. Z tohoto důvodu jsou stručněji vysvětleny principy používaných videosignálů, aby se následující kapitoly mohly věnovat podrobnějšímu popisu rozhraní.



## 2.0.1 CVBS

První formát videosignálu nese název kompozitní. Tento analogový videosignál se řadí do skupiny určené pro televizní techniku. Signál se přenáší po jednom vodiči a je hodnocen jako jeden z nejméně kvalitních. Byl vyvinut v padesátých letech z důvodu přidání barevné informace doposud černobílým televizorům televizorů. V praxi tomu bylo tak, že do roku 1947 bylo vysílání videosignálu pouze černobíle, poté se začalo vysílat barevné. Aby byla zachována vzájemná kompatibilita s již zakoupeným a nainstalovaným televizním vybavením uživatelů byla k jasové části signálu přidána pomocí multiplexování i barevná část, tudíž se signál sloučil a byl v vysílán na společném kanále. Jak již bylo řečeno CVBS signál je veden pouze v jednom vodiči, jenž se skládá ze tří YUV videosignálů. YUV nesou společně informace o synchronizaci, jasu (Y) a barevných složkách (U,V), kde U je rozdíl modré složky od jasu(B-Y) a V je rozdíl červené složky od jasu (R-Y). Dohromady všechny tyto analogové prvky jsou nezbytné, proto aby kompozitní videosignál mohl zobrazit dvoudimenzionální obraz na televizoru. CVBS přenáší pouze informaci o obrazu, tudíž se zvuk musí přenášet separátně.[2][3][6]

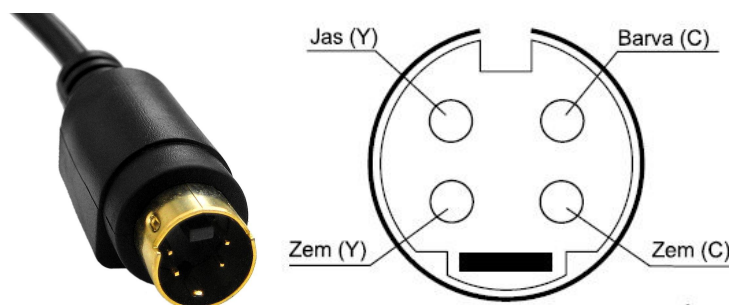
Signál se nejčastěji přenáší pomocí 75 Ohmového koaxiálního kabelu a typicky je zakončen RCA jackem žluté barvy (obr.2.1). Jedná se tedy o jednoduché rozhraní, jenž dokáže přenášet rozlišení až 480i, přičemž je ale kvalita obrazu a ostrost horší než u S-video či RGB. Důvodem je již zmíněná kompozice všech signálů dohromady, což má za následek velkou náchylnost na přeslechy a rušení. Jelikož je téměř nemožné dekodovat kvalitní kompozitní videosignál, aniž by byly potřeba velice drahé systémy na zpracování signálu. I kdyby tak bylo učiněno není zaručeno, že výsledek bude dostačující. CVBS tedy není ideální videoformát, tak i rozhraní pro přenos videosignálu ale díky jeho jednoduchosti byl hojně používán pro propojení kamer a televizorů. V dnešní době se CVBS téměř nepoužívá.[2][5][6]



**Obr. 2.1:** RCA jack konektor |Převzato z [4]|

## 2.0.2 S-Video

Dalším video formátem je S-Video. Můžeme se setkat s různým pojmenováním jako Super-Video, S-VHS-Video, Separated Video či Y/C všechny tyto názvy značí stejný videosignál. S-Video přenáší signál o rozlišení 480i nebo až 576i, stejně jako kompozitní videosignál nepodporuje přenos zvuku. S-Video je kvalitnější než kompozitní videosignál. Hlavním důvodem zlepšení kvality je separátní přenos informace o jas (Y) a barevné složce (C). Oddělení jasu od barvy lépe eliminuje šum a přeslechy a navíc umožní větší šířku pásma pro oba signály. Přenos signálu pro toto rozhraní je typicky zakončen Mini-DIN konektorem o čtyřech pinech (Obr.2.2). S-Video se nejčastěji používá u televizorů, set-top boxů, herních konzolách (Playstation 2) a řady audiovizuálního vybavení. I přes velkou škálu podporovaných zařízení je ve valné většině S-Video vytlačeno SCART konektorem.[2][6][1][3][8]



Obr. 2.2: Mini-DIN konektor[7]

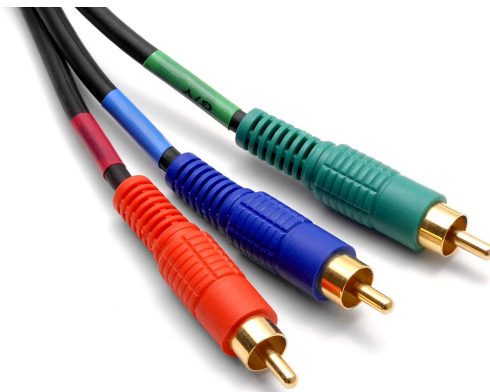
## 2.0.3 Komponentní video

Komponentní video je formát videosignálu, jenž je rozdělen do tří samostatných kanálů. Z hlediska kvality přenosu videosignálu je mezi analogovými rozhraními a video formáty nejkvalitnější. Dokonce dokáže přenášet analogový HDTV signál. Nejčastěji se signál přenáší ve formátu  $YP_B P_R$ . Kde písmeno Y označuje jas,  $P_B$  je rozdíl modré složkové barvy od jasu (B-Y) a  $P_R$  značí rozdíl červené barvy od jasu (R-Y). Můžeme se setkat i s odlišným značením jako  $YC_B C_R$ , YUV či YIQ (I a Q reprezentují barevnou složku). Pro velice používaný videosignál YUV se komponentní video rozdělí na tři samostatné složky, přenášené každé zvlášť. Vodič bývá z pravidla zakončen cinch konektorem zelené, modré a červené barvy. Zelená je určena pro přenos jasové informace Y, modrá pro  $P_B$  a červená označuje  $P_R$ . [1][3][5]

Další možná varianta komponentního videosignálu nese název RGB analog. Jedná se o jednoduchou variantu používanou především v Evropě. Složkové signály červené, zelené a modré barvy jsou přenášeny separátně po třech vodičích. Synchronizace, jenž byla obsažena v jasové složce  $YP_B P_R$  řeší u komponentního analogového RGB několika způsoby:

- kompozitní synchronizace, kde je informace o horizontální a vertikální synchronizaci obsažena v jednom odděleném vodiči (SCART)
- oddělená synchronizace, kde horizontální a vertikální synchronizace mají každá svůj vodič (VGA)
- synchronizace na barvu, kde je kompozitní synchronizace překrývá informaci o červené, zelené či modré barvě (Sony Playstation ,kompozitní synchronizace překrývá zelenou barvu)

Jelikož je kompozitní video analogové rozhraní, které umožňuje přenášet videosignály o vysokém rozlišení je obsažen ve většině audiovizuálních zařízeních jako HDTV a satelitních přijímačů, set-top boxů, televizorů, Blu-ray a DVD přehrávačů a herních konzolích. [2]



Obr. 2.3: Komponentní video konektor |Převzato z [9]|

## 2.1 Analogové rozhraní

I přes postupnou digitalizaci všech zobrazovacích systémů se analogové rozhraní stále uplatňují jak v grafickém, tak ve vysílací formě. Především díky jejich jednoduchosti a velkému počtu podporovaných zařízení bez potřeby instalovaných ovladačů. Například spuštění systému Windows, kde je úvodní obrazovka zobrazována v režimu VGA, před tím než se spustí potřebné ovladače grafické karty. Ovšem analogové rozhraní neumožňuje nekomprimovaný a příliš kvalitní přenos obrazu. Což je hlavní důvod proč jsou vytlačovány rozhraními digitálními.[10]

### 2.1.1 SCART

SCART je analogové víceúčelové standardizované rozhraní, které slouží pro fyzické a elektrické propojení audiovizuálního vybavení. V praxi se nejvíce uplatňuje pro propojení televize k VHS, DVD rekordéru, herním konzolám nebo set-top boxu. Velikou výhodou SCARTu je, že přenášený signál se sloučí do jednoho rozhraní, v němž může přenášet analogový stereofonní zvuk a různé druhy videosignálu s rozlišením až 576i. Tudiž není zapotřebí velkého počtu rozhraní a kabelů pro připojení audiovizuálního vybavení, jak tomu bývalo před zavedením tohoto rozhraní.[2][12]

Tento konektor byl představen roku 1977 ve Francii. Postupně se implementoval do všech nově vyrobených televizorů ve Francii. Roku 1989 se stal standardem dle normy CELENC EN 50049-1. Poté se SCART začal zavádět do všech nově vyrobených televizorů v celé Evropě. Díky jeho velkému využití především v Evropě se začalo SCARTu přezdívat Euroconnector nebo také Péritel (zejména ve Francii).[6][11]

Předtím než byl uveden na trh SCART konektor, každý stát používal odlišné médium pro propojení audiovizuálního vybavení ve Francii to byl RF konektor typu UHF, v sousedním Německu používali konektor typu DIN a ve Spojených státech amerických se používal BNC konektor. Tato rozmanitost konektorů vedla k vzájemné nekompatibilitě mezi zařízeními z odlišných států, jelikož existovalo velké množství konektorů s odlišnými parametry. Tuto nevýhodu eliminoval právě SCART konektor, jelikož byl vyroben za účelem standardizace audiovizuálního vybavení. [6]

Konektor se skládá z 21 pinů a umožňuje sdružený analogový přenos zvukového a obrazového signálu najednou. Jak již bylo řečeno SCART umí přenášet několik druhů videosignálu. Zprvu mohl SCART přenášet RGB a CVBS signál, roku 1980 byl konektor vylepšen o podporu S-video. Signál v konektoru putuje oběma směry, tudíž je možná vzájemná interakce mezi přístroji. Je zde ale výjimka, jelikož složkový RGB signál putuje pouze jako vstupní. Zařízení, která mají více SCART konektorů (DVD, VHS rekordéry) mohou propustit signál nezměněný, pokud jsou vypnuty nebo v neaktivním režimu. Této vlastnosti se využívá pro řetězení několika zdrojů signálu do jedné SCART patice v televizoru. Napěťové úrovně videosignálu se pohybují okolo 1 V, což je hodnota která je v chráněném SCART konektoru odolná vůči zkreslení (šum, přeslechy).[11][2]

Dodě byly jmenovány především výhody SCARTu avšak je zde nemalý počet nedostatků, které zapříčinily, že se od tohoto konektoru v dnešní době upouští. Konektor je na světě v původní podobě již přes 30 let. Což mělo za následek, že v dnešní době není schopný konkurovat kvalitním digitálním rozhraním s vysokým rozlišením. Dále SCART oficiálně nepodporuje komponentní videosignál  $YP_{BR}$ . Další nevýhodou je, že konektor má pouze 2 zvukové kanály, tudíž není možné dosáhnout prostorového ozvučení. Značně nepříjemné je také, že připojený SCART postrádá zámek, nebo jakoukoliv ochranu proti manipulaci. Jelikož SCART je poměrně těžký a tlustý a zároveň velice citlivý na propojení kontaktů konektoru s paticí. Velice často se stává, že při strčení do televize či VHS rekordéru vypadnou barvy nebo celý obraz. [6][12]



Obr. 2.4: SCART konektor [Převzato z [9]]

## 2.1.2 VGA

Další analogovým rozhraním které bude popisováno je standard VGA, sloužící pro připojení zobrazovací periférie k výstupu grafické karty. K propojení s grafickou kartou se používá patnácti pinový D-SUB konektor (obr.2.5). VGA standard byl vyvinut společností IBM a představen roku 1987 společně s osobním počítačem IBM PS/2. Termínem VGA je označován jak již zmíněný standard, tak i rozlišení s maticí 640 x 480 při frekvenci 60 Hz. Toto rozlišení znamená, že obraz je složen ze 480 viditelných řádků a v každém řádku je zobrazeno 640 viditelných bodů (pixelů). Frekvence 60 Hz říká kolikrát za sekundu se obraz překreslí. Z této hodnoty frekvence vyplývá, že obraz se obnovuje každých 16,6 ms. VGA je v nejjednodušším případě tvořeno pěti signály. Tři z nich se používají pro přenos obrazu. Nazýváme je složkovým videosignálem RGB, který vysílá základní barvy Red Green a Blue v bitových hloubkách o hodnotě 8 bitů (256 barev) a o amplitudě 0 - 0,7 V. Další dva signály jsou potřeba pro zajištění synchronizace, aby monitor rozpoznal kde končí řádek a kde daný snímek. Toto zajišťují signály vertikální a horizontální synchronizace.[14][2]



Obr. 2.5: VGA konektor [Převzato z [9]]

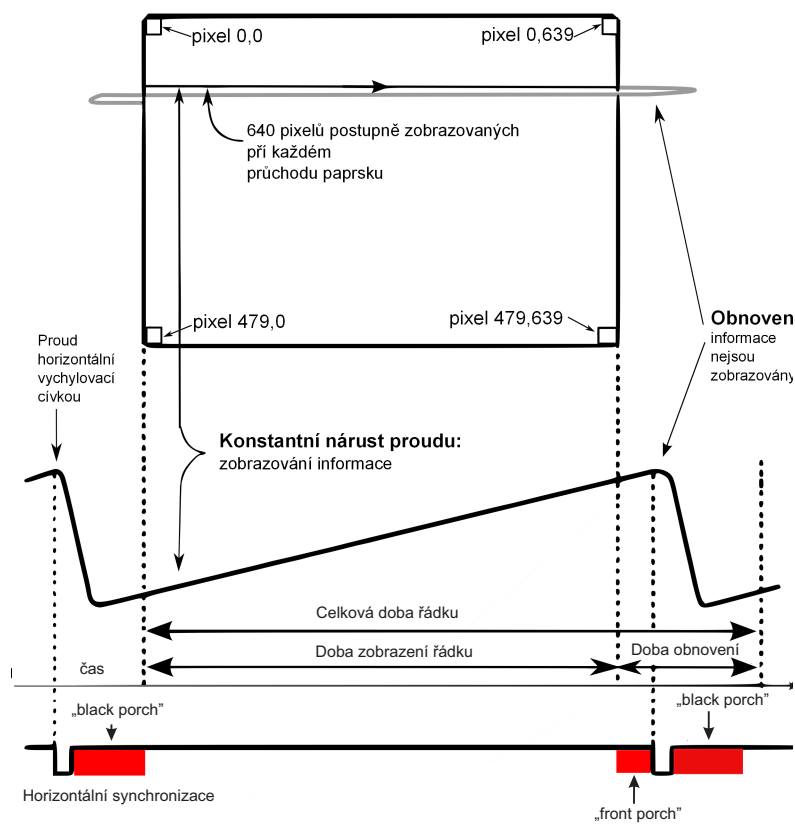
Vykreslení obrazu záleží na typu monitoru. U CTR obrazovky je vykreslení ovlivněno pomocí cívek, které vychylují paprsek z elektronového děla. Kdežto u monitoru typu LCD jsou pixely ovládány tranzistory, které je postupně přepínají. Přepínání



tranzistorů má na starosti grafický řadič, jenž přijímá zakódovanou informaci o barvě a bodu, následně ji dekoduje a na základě této informace řídí spínání tranzistorů. Pro lepší pochopení bude časování vysvětlovat na monitoru typu CRT. Vykreslování obrazu probíhá po řádcích zleva doprava. Začíná se v levém horním rohu, kde se postupně vykresluje bod po bodu, až se dostaneme na konec daného řádku. Poté se signál přesune o řádek níž a celý proces se opakuje než se signál dostane do posledního bodu v pravém dolním rohu, odkud putuje zpět na začátek. [10]

Velmi důležitou částí vykreslování obrazu je časování, které může být rozděleno do dvou fází. První fáze se bude týkat horizontálního synchronizačního signálu (obr). Horizontální synchronizace je tvořena tak, že se nejprve provede synchronizace krátkým impulsem. Pak následuje doba při, které se paprsek přesouvá z konce předešlého řádku na začátek nadcházejícího řádku. Tuto dobu nazýváme řádkový zpětný běh (back porch). Poté následuje doba aktivního videa, která postupně vykresluje body v řádku s frekvencí 25,175 MHz pro režim 640 x 480 60 Hz. Po ukončení této doby, následuje časový interval, ve kterém čekáme na příchod dalšího horizontálního synchronizačního pulsu. Tento interval mezi koncem aktivního videa a horizontální synchronizací nazýváme front porch. Začátkem synchronizačního pulsu se celý děj opakuje. Totožně funguje i vertikální synchronizace, akorát je pomalejší jelikož se mezi dvěma vertikálními synchronizačními impulsy musí vykreslit celý obraz. Obě synchronizace mohou mít různou polaritu. Pro signalizaci se využívá TTL logika, tudíž pro zápornou polaritu volíme hladinu L a pro kladnou hladinu H. Monitor pomocí polarity synchronizací, horizontální a vertikální frekvence pozná v jakém zobrazovacím režimu má pracovat. Pro rozlišení 640 x 480 při horizontální frekvenci 60 Hz a vertikálním kmitočtu 31,46 kHz jsou oba synchronizační impulsy aktivní v úrovni L. [10][6][2]

Doby back a front porch dohromady označujeme jako dobu obnovení paprsku (retrace time). Tato doba společně se synchronizačním impulsem a 8 pixely po okrajích levé a pravé strany aktivního videa tvoří zatemňovací interval. V tomto časovém intervalu má RGB signál nulovou úroveň. Jelikož tato úroveň je referenční pro elektroniku v monitoru. Nenulová úroveň RGB signálu by měla za důsledek chybnou nebo dokonce žádnou interpretaci obrazu. Celkový počet řádku je dán součtem bodů zatemňovacího intervalu a aktivního videa. Z toho plyne, že pro režim 640 x 480 je celkový obraz dán 800 řádkovými body a 525 řádky na obraz. Vše je shrnuto v následující tabulce (2.1).[16][13]

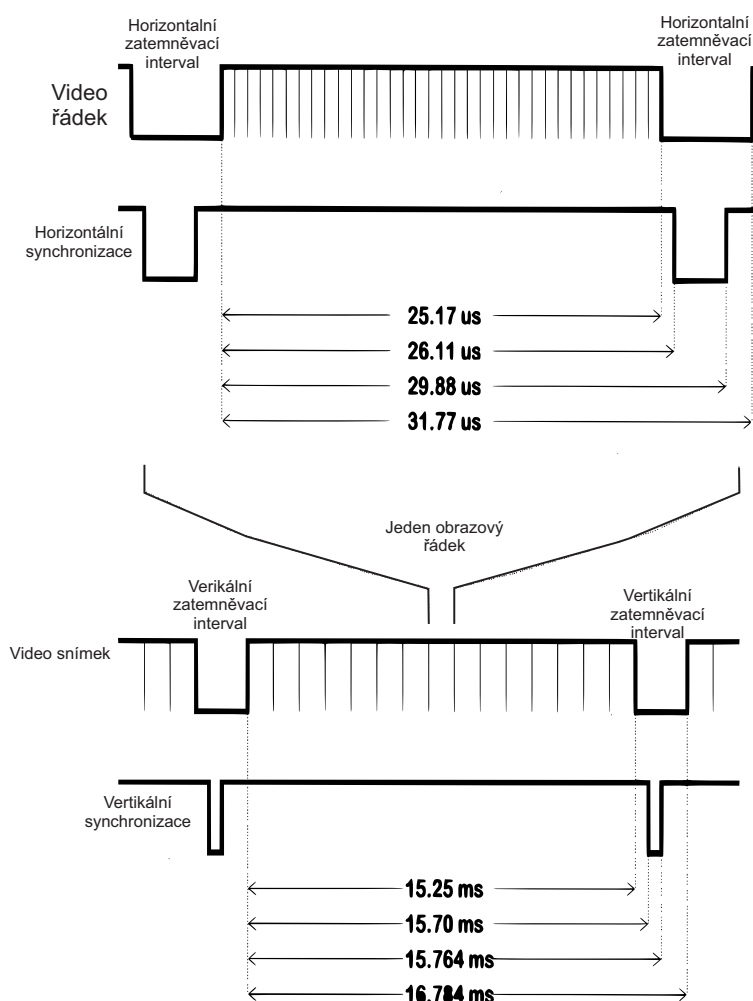


Obr. 2.6: Časování VGA [15]

Tab. 2.1: Časování v režimu 640 x 480x při 60 Hz

Synchronizace	Horizontální	Vertikální
Front porch	8 pixelů	2 řádky
Šířka impulsu	96 pixelů	2 řádky
Back porch	40 pixelů	25 řádků
Okraj obrazu	8+ 8 pixelů	8+8 řádků
Viditelný obraz	640 pixelů	480 řádků
Celkem	800 pixelů	525 řádků

První fáze vykreslování obrazu byla věnována horizontální synchronizaci. Druhá fáze se týká synchronizace vertikální. Tento signál určuje snímkovou obnovovací frekvenci (doba za kterou se vykreslí jeden celý snímek). Tato frekvence se pohybuje mezi 56 až 120 Hz. Ovšem optimální frekvence by měla přesáhnout hodnotu 72 Hz, jelikož od této hodnoty lidské oko nerozeznává vykreslování a tudíž nepocítuje blikání obrazu. Na tomto vjemu se podílí více faktorů jako jsou jas, doba zatemnění a plocha obrazu. Jak již bylo řečeno obě synchronizace jsou principiálně téměř totožné, až na odlišnost kmitočtových signálů. Na obrázku číslo 2.7 je zobrazeno znovu vykreslování obrazu a vzájemná časování obou synchronizací. Samotné zobrazení je potřeba jsi představit jako děj, který se děje sériově. Nikoliv najednou jak bylo již zmíněno výše. [16]



Obr. 2.7: Proces vykreslování obrazu VGA[15]

## 2.2 Digitální rozhraní

Trend zvyšování kvality obrazu i zvuku ve spotřební elektronice, můžeme považovat za jeden z hlavních důvodů stále většího uplatnění digitálních rozhraní. Tyto rozhraní nám umožňují přenášet nekomprimovanou digitální informaci o obrazu a zvuku. Přenos dat je podstatně rychlejší, lépe zpracovatelný, odolnější vůči různým druhům rušení a neposlední řadě velice kvalitní. Všechny tyto faktory jsou pádným důvodem, proč se digitální rozhraní hojně využívají a od analogových se postupně upouští. Následující kapitola se bude zabývat popisem nejpoužívanějších digitálních rozhraní

### 2.2.1 DVI

Prvním digitálním standard, jenž se bude popisovat se jmenuje Digital Visual Interface (DVI). Jedná se o rozhraní, které přenáší pouze obraz, takže jako o VGA se musí zvuk přenášet separátně. Předchůdcem DVI bylo rozhraní DFP, jehož vylepšením vznik tento standard, jenž byl vyvinut seskupením firem pod zkratkou DDWG roku 1999. Hlavním důvodem vyvinutí DVI byl přenos nekomprimovaného digitálního obrazu velkého rozlišení (velká šířka pásma), kompatibilita s analogovými signály a zároveň podpora různorodých zařízení jako jsou LCD či CRT monitor, televizor, projektor, herní konzole atd.[2]

Zejména podpora LCD a CRT monitorů je klíčová vlastnost pro rozhraní DVI. Jak již bylo řečeno výše, vykreslování obrazu u CRT monitorů je čistě analogové (proudem elektronů), ale grafická karta vytváří informaci o obrazu pouze digitálně. Tudíž je potřeba informaci o obrazu převést. Nejjednodušším způsobem je informaci konvertovat přímo v grafické kartě pomocí DAC a již analogovou informaci posílat do monitoru. Ovšem s nástupem LCD monitorů, které jsou řízeny digitálně (pomocí grafického řadiče) se informace musela opět překonvertovat z analogové podoby na digitální. U prvních LCD monitorů se tato konverze řešila uvnitř monitoru pomocí ADC. Tento způsob řešení pomocí dvojí konverze signálů nejdříve z digitálního na analogový (v grafické kartě), následného přenosu analogového signálu do monitoru a poté opět zpětná přeměna analogového signálu na digitální (v LCD monitoru), má za následek zhoršení obrazové informace, jelikož v rozhraní vznikají přeslechy, šum a chyby při vzorkování převodníků. Proto výrobci DVI vyvinuly sériové číslicové rozhraní, které eliminuje obě konverze. Takže signál zůstává digitální celou dobu. Což má za následek nekomprimovaný přenos obrazového signálu velice vysoké kvality. Dále je snížena cena o převodníkové komponenty a zároveň díky jejich nepřítomnosti je zjednodušen přenos signálu. [6] [17]

Dále standard DVI definuje šířku pásma datového spoje (tzv. "link") na hodnotu 165 MHz, čili maximální hodnota rozlišení je 2,75 megapixelů, což odpovídá rozlišení 1920 x 1200 (WUXGA) při vertikální frekvenci 60 Hz. Pro představu přenášená rychlost dat při 165 MHz odpovídá 3,7 GB/s. Pro potřebu přenášet informace rychlosti větší

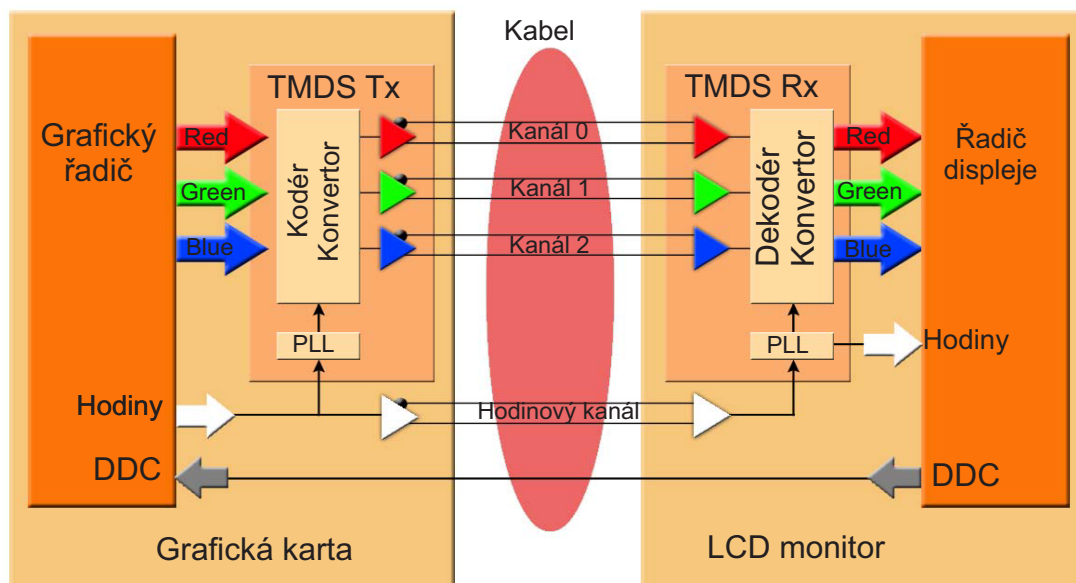


**Obr. 2.8:** DVI konektor [Převzato z [18]]

než 165 MHz je v rezervě další datový spoj (Dual Link), který zdvojnásobuje šířku pásma (330 MHz) a zvětšuje přenosovou rychlost. Rychlost přenosu a maximální rozlišení je limitováno kvalitou vodiče (především šířkou pásma), kterým je signál přenášen. Příkladem rozlišení, jenž používá technologii Dual Link je WQXGA (2560 x 1600 při 60 Hz ). Nastává zde otázka jestli je Dual Link se svým velice vysokým podporovaným rozlišením není poněkud zbytečný, jelikož Single Link konfigurace bezproblémově přenese Full HD rozlišení (1920 x 1080 při 60 Hz), což je rozlišení, jenž je maximální u valné většiny monitorů na trhu. Důvodem implementace Dual Linku je především kvůli tomu, že zajišťuje výrobcům grafický karet a monitorů jednoduchou cestu k vylepšení rozlišení obrazu, aniž by museli čekat na uvedení nové technologie, která by se musela testovat a poté standardizovat. Při vývoji DVI standardu, měl tento cíl DDWG v úmyslu. [2] [20]

Architektura DVI standardu se fyzicky skládá ze čtyř hlavních částí. První dvě jsou TMDS vysílač a přijímač, další jsou DVI konektor a kabel. Tyto části jsou nezbytné pro řízení LCD monitoru přes rozhraní DVI (obr.2.9 ) Single Link tak Dual Link. Činný je jeden nebo dva spoje. Aktivace Dual Linku závisí na požadovaném rozlišení, tudíž na rychlosti komunikace mezi grafickou kartou a monitorem. TMSD vysílač je integrován v grafické kartě. Z grafického řadiče přijímá 24 bitová data o červené, zelené a modré barvě (8 bitů pro každou složku) paralelně, které připravuje na přenos, tím že je kóduje a sériově seřadí. Celkově se přenášejí čtyři TMDS kanály, tři jsou určeny pro barvy RGB a poslední pro hodinový signál. Je nutno podotknout, že kanály jsou přenášeny separátně přes dvojici vodičů. TMSD přijímač přijme sériová data včetně hodin, které dekóduje a paralelně je pošle do grafického řadiče v monitoru. Ten přijímá informaci o barvě bodu a na základě této informace řídí zobrazení monitoru. [20]

Nyní budou stručně popsány funkce dalších komponentů DVI standardu. První je fázový závěs(PLL), ten má za úkol generování synchronizace. Navíc má schopnost zesynchronizovat s kmitočtem přiváděným externě. Další částí je zobrazovací datový kanál(DDC), jenž umožňuje přenést z displeje do grafického adaptéru specifikaci mo-

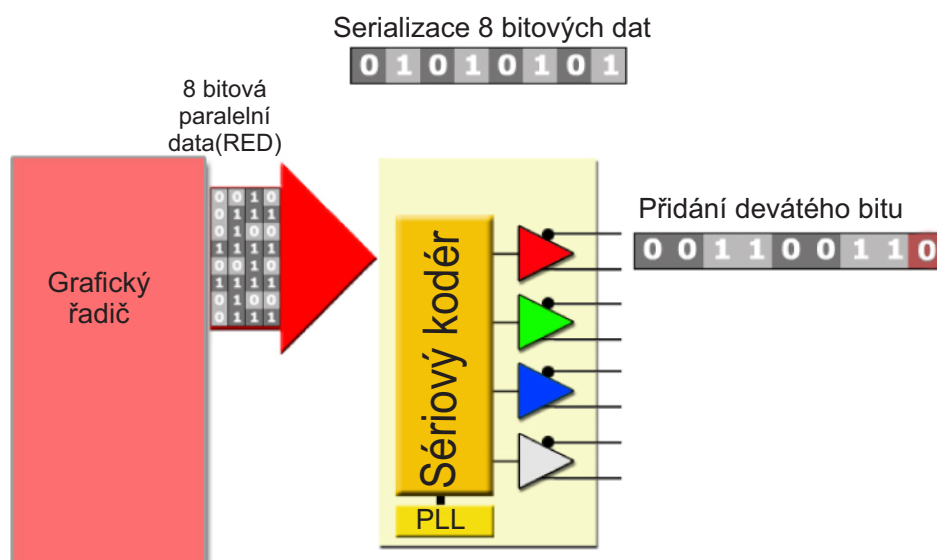


Obr. 2.9: Blokové schéma architektury DVI[17]

nituru. Ta je uložena v paměti PROM či EEPROM. Díky DDC počítač zjistí jaký je k němu připojen monitor. Existuje i DDC verze 2 také označovaná jako DDC2. Tato verze je tvořena sběrnicí I<sup>2</sup>C (inter-integrated circuit), po které se posílají informace v datovém formátu EDID. I<sup>2</sup>C slouží pro připojení více prvků typu bus master. Skládá se ze dvou signálových vodičů. První se používá pro obousměrná sériovou komunikaci (SDA - serial data), druhý přenáší hodinový signál (SCL - serial clock). Formát EDID je definovaný organizací VESA a obsahuje informace jako jsou jméno výrobce, typ monitoru, rozměry obrazovky, údaje o časování podporované výrobcem atd. [6][20]

Velice důležitou vlastností DVI rozhraní přenos dat a jejich následný způsob kódování. Datový formát, který se používá pro DVI se nazývá PanelLink. Jedná se o sériový formát vynalezený firmou Silicon Image. PanelLink používá pro kódování technologii TMDS. TMDS je pokročilý kódovací algoritmus, který transformuje 8 bitový kód na 10 bitový, jenž má nulovou stejnosměrnou složku a je u něj minimalizován přechod mezi jedničkami a nulami či naopak. Pro minimalizování přechodu je následováno několik kroků. První z nich je, že se pošlou 8 bitová paralelní data barvy do TMDS vysílače. Druhý krok je serializace paralelních dat ve vysílači. Poté jsou data minimalizována a je přidán 9. bit, který říká že data (8 bitů) jsou překódovaná. Za ním následuje přidání 10. bitu, jenž nám vyrovnává stejnosměrnou složku signálu. Tento postup zobrazen na obrázku číslo 2.10, kde nám grafická karta posílá 8 bitovou informaci o červené barvě paralelně. [17] [19]

Na první pohled se může TMDS jevit jako kontraproduktivní kódování, jelikož zvětšujeme datový kanál a přitom v něm nepřenášíme žádné informace navíc. Ve skutečnosti tento algoritmus vytváří speciální 10 bitovou sekvenci. Takto optimalizovaný signál je



Obr. 2.10: TMDS vysílač DVI[17]

daleko odolnější proti elektromagnetickému rušení, což umožňuje rychlejší přenos dat se zvýšenou přesností, i při použití dlouhých levných měděných vodičů.[17]

Rok poté co byla uvolněná specifikace DVI, společnost Intel představila ochranu HDCP. Tato ochrana vznikla na základě obav provozovatelů vysílání a filmových studiích z možného porušení autorského zákona, jelikož zde byly prostředky pro doručování obsahu o velké šířce pásma a vysokém rozlišení. Tudíž by kdokoliv mohl vyrobit perfektní kopii materiálu, který podléhá autorskému právu. HDCP je navrženo aby poskytlo šifrovaný zabezpečený přenos, jenž umožňuje ochranu vůči kopírování mezi DVI obrazovým vysílačem a přijímačem nebo zobrazovacím zařízením. Kódování funguje tak že, se zdroj dat před přenesením signálu do monitoru zašifruje obsah a monitor musí přeposlat soubor klíčů, jenž odemknou šifrování a umožní zobrazit digitální obsah. Důležité je zmínit, že pro správnou funkčnost systém vyžaduje HDCP podporovaný hardware na obou stranách spojení.[17]

Na rozdíl od analogových rozhraní DVI disponuje několika konektory(OBRXX). Hlavními důvody byly umožnit kompatibilitu s analogovým rozhraním VGA a dále poskytnout možnost k jejich nahrazení. Pro tento důvod vznik první konektor DVI-A, jenž umožňuje aby na jeho výstupu byla analogová obrazová informace. Tento typ konektoru se využívá především ke spojení grafické karty a CRT monitoru, na jehož vstupu je D-sub konektor pro analogové rozhraní VGA. Druhý druh konektoru je DVI-D, který poskytuje přenos pouze digitální obrazové informace. Signál může být přenášen v jednom datovém spoji (Single Link) či ve dvou (Dual Link). Nejčastěji se používá k připojení počítače s LCD monitorem. Poslední typ konektoru se nazývá DVI-I. Ten může přenášet digitální či analogovou informaci o obraze. Stejně jako DVI-D poskytuje možnost přenášet signál v single nebo dual-lik módů. Mezi DVI-I a DVI-D funguje kompatibilita. Tudíž můžeme zapojit konektor DVI-D do samice DVI-I, ale ne naopak.

[2] [19]

DVI rozhraní je v průmyslu široce používaný digitální standard, jenž umožňuje přenos nekomprimovaných obrazových dat všech používaných formátů až po vysoká rozlišení (WQXGA). Podpora přenosu analogových signálů z DVI dělají velice všestranné rozhraní, jenž postupně vytlačuje především VGA. Nevýhodou zůstává absence přenosu zvuku a omezená délka přívodního kabelu DVI. Která by neměla kvůli útlumu a zašumění (vede k rozhození vertikální či horizontální synchronizace) přesáhnout 12 metrů. [6]

## 2.2.2 HDMI

Dalším standardem, jehož popisem se bude tato práce zabývat je HDMI. Toto rozhraní přenáší nekomprimovanou digitální informaci o obrazu a zvuku. Obrazová data lze přenášet od standardního rozlišení (480p) až po vysoké 4K (4000 pixelů) rozlišení, k tomu se současně přenáší až třiceti dvou kanálové audio. Hlavní cílem vzniku HDMI bylo vytvoření standardu jenž by přenášel zvukovou i obrazovou informaci v jednom konektoru a byl zpětně kompatibilní s DVI rozhraním. Vzájemnou spoluprací firem Panasonic, Hitachi, Philips, Sony, Toshiba, Thomson RCA, Silicon Image se to podařilo a roku 2002 bylo uvedeno HDMI verze 1.0. Postupem času se z HDMI stalo rozhraní, jenž se celosvětově používá pro připojení HD spotřební elektroniky a velké škály multimediálních zařízení jako jsou herní konzole, notebooky, Blu-ray a DVD rekordéry, tablety a další. Rozhraní prochází neustálým vývojem, což má za následek několik verzí HDMI. Nejnovější verze podporuje rozlišení až 4096 x 2160, 3D video, ethernet a může přenášet až 32 kanálový audio signál.[6] [22]



**Obr. 2.11:** HDMI konektor typu A |Převzato z [26]|

### 2.2.2.1 Obrazové a zvukové specifikace

Specifikace stanovují podobu signálů, protokolů, elektrických rozhraní a mechanických požadavků HDMI standardu. Maximální šířka pásma pro verzi 1.0 je 165 MHz, což je dostatečná hodnota pro podporu přenosu rozlišení 1080p a WUXGA (1920 x 1200 při 60 Hz). HDMI verze 1.3 zvýšila šířku pásma až na 340 MHz. Tato šířka pásma dovolila ještě větší rozlišení (WQXGA 2560 x 1600). Stejně jako DVI rozhraní i HDMI



může disponovat jedním datovým kanálem ( obsažen v konektoru typu A a C) či dvěma ( konektor typu B). Pro obrazovou frekvenci od 25 MHz do 340 MHz se používá zapojení single link. Pokud bychom potřebovali frekvenci převyšující pásmo single linku, můžeme využít až do 680 MHz dual link zapojení. [2] [19]

Pro schopnost součinnosti a vzájemné spolupráce systémů HDMI využívá standard EIA/CEA-861 vyvinutý asociací spotřební elektroniky (Consumer Electronics Association). Tento standard je DTV specifikaci pro nekomprimované vysokorychlostní digitální rozhraní ( DVI, LDI), používaný například u digitálních televizorů, satelitních či terestrických set-top boxů. Standard EIA/CEA-861 má několik verzí, u HDMI 1.0 až 1.2 se používá EIA/CEA-861-B, který je stejný i pro DVI. HDMI verze 1.3 využívá EIA/CEA-861-D a pro HDMI 1.4 je to EIA/CEA-861-E. Nejnovější HDMI 2.0 používá EIA/CEA-861-F. Tyto normy definují protokoly a požadavky pro přenos nekomprimovaného videa pomocí digitálního rozhraní. Určují např. videoformát, kolorimetrii, kvantování, dále požadavky na časování videa a InfoFrame paket, jenž slouží pro vytváření nových digitálních rozhraní pro DTV monitory či digitální televize. Z důvodu, že u rozhraní nejsou blíže uvedené specifikace je každého nově vyvinutého rozhraní aplikován standard VESA E-EDID, což je datová struktura uložená v digitálních displejích. Tato data zahrnují informaci o výrobci ,typu zařízení, časování, jasu a formátech, které daný displej podporuje. [23] [24]

Pro přenos digitálního zvuku je nezbytná podpora základního audio formátu - nekomprimované stereo PCM<sup>1</sup>. Již od verze 1.0 HDMI podporuje až osmikanálové nekomprimované 24-bitové audio (LPCM<sup>2</sup>) o vzorkovací frekvenci od 32 - 192 kHz. HDMI podporuje standardy IEC 60958 a IEC 61937, jenž se skládají z formátů MPEG audio, MPEG-2, WMA, AAC, AC-3, Dolby Digital a DTS. Vyšší verze HDMI disponují podporou formátu jako DTS-HD Master Audio či Dolby TrueHD. [2] [24]

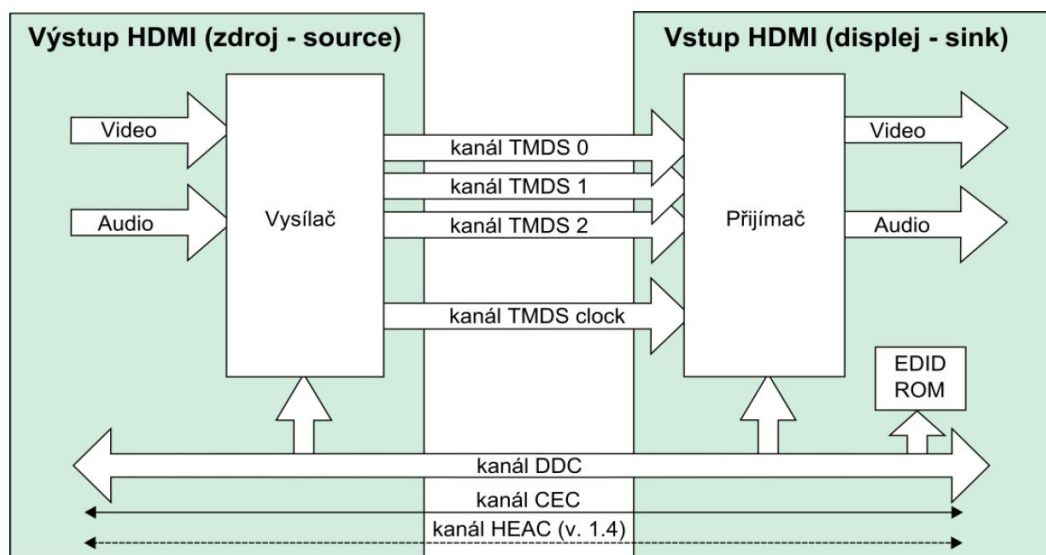
### 2.2.2.2 Komunikačních kanály a jejich protokoly

Na obr. vidíme architekturu HDMI, můžeme jsi povšimnou značné podobnosti s DVI standardem. Důvodem této podobnosti ve struktuře byla především zpětnovazební kompatibilita s DVI na kterou byla dána velká zřetel při vývoji. Ke komunikaci se využívají tři separátní kanály TMDS, DDC, CEC a od verze HDMI 1.4 byly přidány kanály HEC a ARC (HEAC). Následující text se bude zabírat popisem těchto kanálů a jejich protokolů.[6]

Jak již bylo výše řečeno, valná část struktury HDMI vychází z DVI standardu, tudíž některé technologie pro přenos využívá identicky jako DVI. Proto se nebude zabírat popisem HDCP, jenž jsme vylíčili v kapitole 2.2.1. TMDS technologie se kvůli podpoře audio signálu v HDMI standardu lehce pozměnila. V HDMI rozhraní funguje ve třech

<sup>1</sup>Pomocí pulzně kódová modulace převádíme analogový audio signál do digitální podoby.

<sup>2</sup>PCM s lineárním kvantováním o vzorkovací frekvencí 44,1 kHz a rozlišením 16 bitů. Používá se u Stereo Audio CD.



Obr. 2.12: Blokové schéma architektury HDMI |Převzato z [2]|

režimech pod názvy Data Island Period, Video Data Period a Control Period. V režimu Data Island period se přenáší audio společně s podpůrnými pakety, tento režim je aktivní v horizontálních a vertikálních zatemňovacích intervalech. Video Data period je doba, během níž se přenášejí pixely aktivního řádku videa. Pokud není potřeba přenášet informace o obrazu, zvuku či pomocná data využívá se režim Control Period.[22]

DDC je komunikační kanál jenž je tvořen sběrnicí I<sup>2</sup>C, jenž byl popsán v kapitole 2.2.1. HDMI pro svojí komunikaci vyžaduje nastavbu tohoto kanálu pod názvem E-DDC (Enhanced Display Data Channel). E-DDC slouží pro vzájemnou komunikaci mezi zdrojovou a výstupní (displejovou) částí HDMI. Zdrojová část, má za úkol číst data z E-EDID a podle nich dodávat na výstup podporované formáty obrazu a zvuku. Povinností vstupní části je detekce paketu InfoFrame, ten se v HDMI vyskytuje ve dvou formách: Auxiliary Video Information InfoFrame (AVI) a Audio InfoFrame. V AVI InfoFrame paketu jsou uloženy pomocné informace o videu, např poměr stran, RGB či  $Y_P B_P R_P$ , kolorimetrie atd. Audio InfoFrame nám přenáší informace o zvuku jako typ kódování, vzorkovací frekvence a počet kanálů.[22]

Consumer Electronics Control (CEC) je vlastnost HDMI navržená k umožnění ovládní až patnácti audiovizuálních zařízení (musí podporovat CEC protokol) propojené pomocí HDMI a při tom používat pouze jeden dálkový ovladač (např. ovládat DVD přehrávač, set-top box a televizor pouze ovladačem od TV). Tento protokol poskytuje víceúrovňové řízení mezi A/V přístroji v uživatelském režimu. Víceúrovňové řízení poskytuje automatizaci, jenž je dosažena díky tomu že CEC umožňuje zařízením komunikovat, přikazovat a ovládat se samostatně mezi sebou a to bez zásahu uživatele. Jako příklad můžeme uvést přehrávání DVD, kde uživatel stiskne tlačítko pro přehrávání. A DVD přehrávač se zapne, poté A/V reciver vybere vhodný vstup. Následně se automaticky zapne televizor, který vybere vhodné vstupy a začne přehrávání DVD

záznamu. [22]

Od HDMI verze 1.4 jsou v rozhraní dostupné dva kanály pod názvem HDMI Ethernet Channel (HEC) a Audio Return Channel (ARC). Data obou kanálů se přenáší v jednom diferenciálním páru vodičů pod názvem HEAC (HDMI Ethernet Audio Control). HEC kanál poskytuje obousměrnou komunikaci se sítí pomocí 100 Mbps ethernetu. Této vlastnosti HDMI se hojně využívá u multimediálních zařízení (herní konzole, laptopy, promítačky), jelikož není potřeba každé zařízení samostatně připojovat k síti. Stačí aby pouze jedno zařízení bylo připojeno k internetu (nejčastěji ethernetem) a pomocí HEC protokolu se následně sdílí internetové připojení do všech připojených zařízení skrz HDMI (obrXX). ARC kanál slouží k zpětnému přenosu informací o zvuku mezi televizorem a A/V receiverem či ovladačem reproduktorového systému. Byl vyvinut s myšlenkou nahradit další kabelové spojení mezi TV a A/V receiverem. Představme si že máme televizor s domácím kinem (reproduktorový systém), oba jsou připojeni přes HDMI verze 1.4. Díky ARC můžeme přenést zvuk zpět z televizoru do ovladače domácího kina a poslouchat audio z televize přes soustavu domácího kina, aniž bychom museli zapojovat další kabel mezi televizor a soustavou domácího kina. [22] [19]

### 2.2.2.3 Verze HDMI

Jak již bylo výše několikrát zmíněno s HDMI rozhraním se můžeme setkat v různých verzích. První specifikace 1.0 byla uvedena roku 2002, přičemž poslední verze pod označením 2.0 byla vydána roku 2013. Každá verze specifikace HDMI používá stejný druh kabelu (měděný vodič), ale zvětšuje se šířka pásma nebo se rozšiřují možnosti přenosu nových signálů přes kabel. U některých verzí se dokonce dějí obě vylepšení jak šířky pásma, tak rozšíření možnosti přenosu zároveň. Pokud máme produkt HDMI určité verze, neznamená to že tento produkt má všechny specifikace dané verze, jelikož některé možnosti jsou volitelné (barevná hloubka, rozšířený gamut). [21]

Popsání jednotlivých verzí by bylo poněkud zdlouhavé a nepřehledné. Pro efektivnější porovnání a lepší představu o jednotlivých verzích, byla níže vytvořena tabulka 2.2, jež porovnává jednotlivé funkce HDMI

[25]

Pro správný přenos signálu přes vodič v kabelu je potřeba zavést potřebné normy, které budou výrobci dodržovat. Z tohoto důvodu byla založena organizace HDMI Licensing LLC, jež se zabývá definováním těchto norem pro vodiče kabelu, které podporují HDMI rozhraní. Od verze HDMI 1.3 se kabely certifikují na dvě kategorie, jež musí úspěšně přenést signál u určité šířce pásma. Kategorie 1 certifikovaných kabelů (standardní kabely) je testována na přenos šířky pásma o 74,5 MHz a rychlost přenosu 2,25 Gbps, což odpovídá rozlišení video signálu 720p@60 či 1080i@60. [6]

Kabely druhé kategorie (vysokorychlostní kabely) jsou testovány na přenos šířky pásma 340 MHz a rychlost 10,2 Gbps. To odpovídá rozlišení 1080p@60 a 2160p@30. Jako materiál pro vodiče se používá měď. Důležitá je zmínit že specifikace určují pouze

požadavek na výkon kabelu, ale nikoliv na délku kabelu. S větší délkou kabelu se zvyšuje útlum a zhoršují se přenosové vlastnosti. Doporučená maximální délka závisí na kvalitě materiálů a jeho konstrukčním provedení. Pro levné materiály materiály by délka neměla přesáhnout pěti metrů. U kvalitnějších materiálů může kabel dosáhnout až délky patnácti metrů, aniž by se zhoršovali přenosové vlastnosti kabelu.[2]

Od verze HDMI 1.4 se změnilo značení kabelů a nyní jsou označovány jako:

- standardní HDMI kabel, pro rozlišení až 720p @60 a 1080i @60
- standardní HDMI kabel s Ethernetem
- automobilový HDMI kabel
- vysokorychlostní HDMI kabel, podpora rozlišení 1080p @60, 4K a technologií 3D, Deep Color<sup>TM</sup>(barevná hloubka až šestnácti bitů jednoho TMDS kanálu, oproti původním osmi bitům )
- vysokorychlostní HDMI kabel s Ethernetem

Stejně jak DVI rozhraní i HDMI specifikace má několik druhů konektorů. Nyní HDMI standard disponuje pěti typy konektorů: A, B, C, D, E. Typy A a B jsou definovány od verze 1.0, typ C je specifikován od verze 1.3 a D s E konektorem zavedla verze 1.4. [19] [24]

Typ A je definován od verze 1.0 má devatenáct pinů a šířku pásma (165 Mhz) pro podporu všech módů standardních rozlišení (SDTV) až po vysoké rozlišení (HDTV). Dále je kompatibilní s DVI-D single link. Tento typ konektoru je používán většinou zařízeními podporujícími HDMI. Rozměry konektoru jsou 13,9 x 4,45 mm.[19] [24]

Typ B obsahuje dvacet devět pinů. Důvod zvýšení počtu pinů je podpora TMSD dual linku, čili přenáší dvojnásobnou šířku pásma než konektor typu A. Dual link se skládá z šesti párů TMDS kanálů, což umožňuje přenos velmi vysokého rozlišení (WQUXGA 3840 x 2400). Dále je konektor kompatibilní s DVI-D dual link a jeho rozměry jsou 21,2 x 4,55 mm. Tento typ konektoru doposud nebyl použit v komerční sféře.[19] [24]

Typ C se často označuje jako "mini". Jeho hlavním účelem je implementace HDMI do menších rozměrů, tak aby mohlo být realizováno na přenosných zařízeních (nejčastěji videokamery). Tento konektor přenáší stejný signál jako typ A a přes redukci je s ním kompatibilní. Obsahuje devatenáct pinů jako typ A, akorát jak již bylo řečeno jeho rozměry jsou menší (10,42 x 2,42 mm).[19] [24] [25]

Typ D se používá pro kapesní přenosná mobilní zařízení jako jsou mobilní telefony, tablety a fotoaparáty. Můžeme se setkat s označením "mikro", jeho rozměry jsou oproti typu C poloviční (5,83 x 2,2 mm). Počte pinů a funkce jsou totožné s konektorem typu A.[19] [24]

Typ E je konektor určen pro automobilový průmysl. Společně s automobilovým HDMI kabelem umožňuje video přenos ve vysokém rozlišení např. do monitoru zakotvením v opěrkách sedadla. Jedná se silný konektor, jenž je vybaven zámkem, který funguje jako ochrana proti vibracím, způsobené jízdou automobilem. Dalším prvkem ochrany je schránka, jenž brání prachu, vlhkosti a špíně aby se dostali do konektoru a znehodnocovali tak signál. Konektor podporuje standardní formáty jako typ A a co se rozměrů týče má 21,9 x 9,8 mm. [2]

Díky HDMI rozhraní jsme v současné době schopni přenášet nejkvalitnější digitální obraz a velice kvalitní zvukový doprovod. Díky jeho univerzalitě a velké škále podporovaných funkcí, které s každou nově vydanou verzí přibývají se z HDMI stalo nejrozšířenější digitální rozhraní mezi spotřební elektronikou na světě.

**Tab. 2.2:** Srovnání funkcí jednotlivých verzí rozhraní HDMI [2]

Verze HDMI	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0
Barevný model sRGB	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Barevný model YCBCR	OK	OK	OK	OK	OK	OK
LPCM audio, 8 kanálů, 192 kHz, 24 bit	OK	OK	OK	OK	OK	OK
HDTV video formáty (720p, 1080p, 1080i)	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Protokol CEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK
MPEG, DTS, Dolby Digital 5.1	OK	OK	OK	OK	OK	OK
MP3, WMA	OK	OK	OK	OK	OK	OK
DVD Audio, AC3	X	OK	OK	OK	OK	OK
DSD audio formát (Super Audio CD - SACD)	X	X	OK	OK	OK	OK
DST audio formát (SACD)	X	X	X	OK	OK	OK
Dolby TrueHD	X	X	X	OK	OK	OK
DTS-HD Master Audio™	X	X	X	OK	OK	OK
Lip Sync (synchronizace audia a videa)	X	X	X	OK	OK	OK
Barevný model xvYCC (x.v.Color)	X	X	X	OK	OK	OK
Deep Color™ (barevná hloubka videa až 48 bit)	X	X	X	OK	OK	OK
Rozšířená podpora CEC protokolu	X	X	X	OK	OK	OK
Barevný model sYCC601	X	X	X	X	OK	OK
Barevný model Adobe RGB, Adobe YCC601	X	X	X	X	OK	OK
Content type (nastavení obrazu podle typu obsahu)	X	X	X	X	OK	OK
Ethernetový a zpětný audio kanál	X	X	X	X	OK	OK
Ultra vysoké rozlišení 4k x 2k při 30 Hz	X	X	X	X	OK	OK
3D video	X	X	X	X	OK	OK
Ultra vysoké rozlišení 4k x 2k při 60 Hz	X	X	X	X	X	OK
Podpora 32 kanálového audia	X	X	X	X	X	OK
YCbCr 4:2:0	X	X	X	X	X	OK
1536 kHz audio	X	X	X	X	X	OK
Podpora dvou video toků	X	X	X	X	X	OK

## 3

# Výběr vhodného procesoru

Výběr vhodného procesoru závisí na značném počtu faktorů. Prvním krokem jenž se musí uskutečnit je definice aplikace, kterou chceme pomocí mikrokontroléru řešit. V případě této bakalářské práce, kde je úkolem analýza rozhraní pro propojení monitoru bylo potřeba rozhodnout zda se bude pracovat s analogovým nebo digitálním rozhraním. Digitální rozhraní je bohužel velice složité, jejich rychlost je v rozmezí 4,95 - 18 Gbps a navíc je přenos prováděn pomocí kanálů TMDS, jenž jsou většinou zabezpečené HDCP technologií. Tudíž by pro analýzu musely použít signálové procesory, jejichž hodinová frekvencí dosahuje několika GHz. Ale daleko závažnější problém je, že pokud zařízení používá HDMI rozhraní je potřeba, aby bylo HDMI certifikované, zejména pokud chce umožnit podporu HDCP. Jestli zařízení tento certifikát nemá, jedná se o porušení zákona. Je důležité dodat, že certifikát je nesmírně drahý. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto pro analýzu analogového VGA rozhraní, kde se obraz vykresluje převážně o frekvencí 60 Hz a řádky v desítkách kHz (velikost frekvencí závisí na rozlišení). Takovéto frekvence je již valná většiny procesorů na trhu schopna zpracovávat. Další výhodou je přenos RGB složkového videosignálu, kde je u VGA každá složka přenášena v separátním kanálu, tudíž se signál snadněji čte.

Vhodný procesor pro aplikaci této práce musel obsahovat A/D převodník na převod analogového VGA signálu. Dále bylo potřeba, aby zvládal číst frekvence horizontální synchronizace VGA (desítkách kHz). A v neposlední řadě umožnil PWM výstup k ovládání jasu LED diod. Jelikož v dnešní době téměř každý procesor na trhu splňuje tyto kritéria, nebyl výběr procesoru limitován parametry. I přes volný výběr procesoru, musíme brát ohled na další velice důležitý parametr, jímž je cena. Pokud mluvíme o ceně musíme si pod tímto pojmem představit nejen cenu procesoru, ale i to jestli jsou dostupná vývojová prostředí volně šiřitelná či zpoplatněná. Pro realizaci této práce proběhl výběr mezi rodinami procesorů AVR (Advanced Virtual RISC) a ARM (Advanced RISC Machine). AVR je označení pro rodinu 8 bitových mikrokontrolérů s architekturou RISC (Reduced Instruction Set Computing) od firmy ATMEL. Mikročipy AVR se relativně jednoduše nastavují, dále je o nich velké množství publikací i v českém jazyce a na internetu jsou velice rozsáhlá fóra o programování těchto mikrokontrolérů. Tyto

mikročipy jsou velice rozšířené a oblíbené mezi domácími nadšenci pro elektroniku, jenž tvoří velké množství návodů jak pro začátečníky, tak pro pokročilé. Typickým zástupcem této platformy je mikročip ATmega.[27]

Druhá rodina procesorů je ARM. Jedná se velmi výkonné 32 bitové RISC mikroprocesory. Jejich výhodou je vysoký výpočetní výkon, díky němu můžeme zpracovávat poměrně velké toky dat. Tyto procesory jsou oproti AVR mladší, tudíž je méně publikací a i internetová fóra nejsou tak rozsáhlá jako je tomu u AVR. ARM procesory jsou také komplexnější, což má za následek poněkud složitější konfiguraci periférii. Veliké využití těchto procesorů se nachází v Embedded<sup>1</sup> systémech, které jsou implementovány inteligentních mobilních telefonech (např. Samsung Galaxy S III používá ARM s jádrem Cortex<sup>TM</sup>-A9), tabletech a další spotřební elektronice. I přes složitější strukturu a těžší konfiguraci bylo rozhodnuto pro tuto práci použít procesor z rodiny ARM, z důvodu pracovat s moderním kvalitním procesorem. [29] [30]

### 3.1 STM32 Value Line Discovery kit

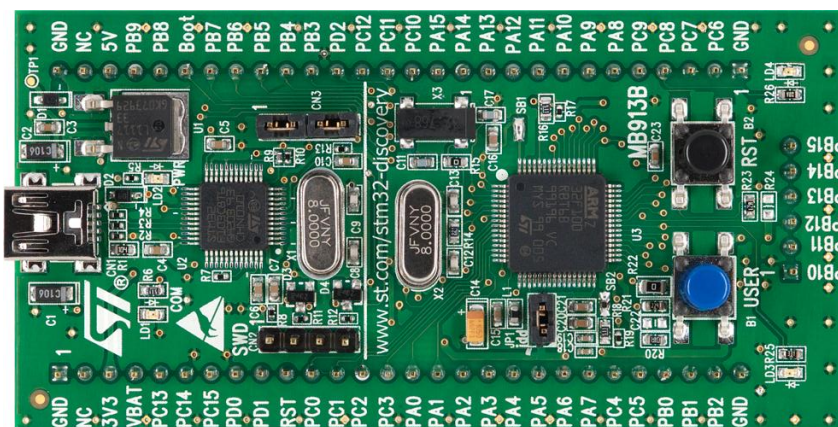
Jak již bylo zmíněno výše, pro analýzu VGA videosignálu byl vybrán procesor platformy ARM. Při výběru vhodného vývojového kitu s ARM procesorem mě zaujala nabídka výrobce mikrokontrolérů STMicroelectronics. Tato firma uskutečnila lákavý marketingový tah, kde představila optimalizovanou sadu procesorů z linie STM32 s přívlastkem Value Line, jenž se dají pořídit za velice nízké ceny (cca 100-400 Kč). ST takto cíleně oslovuje domácí nadšence pro elektroniku či potenciálními uživatele, kteří se chtějí seznámit s jejich výrobkem za velice příznivou cenu. Jeden z kitů jenž ST takto podporuje nese název STM32 Value Line Discovery (OBRAAAZEK XX), jehož pořizovací cena se pohybuje okolo 250 Kč. Tento kit osazen 32 bitovým ARM mikroprocesorem z řady Value Line.

STM32 VL je složen z horní a dolní části. Spodní část kitu obsahuje procesor, resetovací tlačítko a LED diody a v horní části kitu se nachází programátor, který slouží i jako debugger. Vývojový kit komunikuje s PC pomocí USB mini konektoru, ze kterého je i napájen (napájení může být realizováno i externě z 5 V nebo 3,3 V zdroje). Pro propojení programátoru s procesorem slouží SWD, jenž slouží pro programování procesoru. Podrobnější informace můžeme nalézt v datasheetu discovery kitu uvedeného v literatuře [28]

Procesor jenž se obsažen ve STM32 VL discovery kitu nese název STM32F100RBT6. Jedná se o 32 bitový procesor s jádrem ARM Cortex<sup>TM</sup>-M3. Maximální frekvence jádra je 24 MHz. Velikost paměti je 128 kB u Flash a 8 kB u SRAM. Dále disponuje rozsáhlým počtem periférii a I/O pinů připojených ke dvou APB sběrnicím. Co se týče

<sup>1</sup>Jedná se o systémy, jenž jsou autonomní, čili schopny plnit funkce bez zásahu člověka a to v průběhu dlouhého časového intervalu. V dnešní době se vyžívají téměř všude, kde je zastoupen mikroprocesor např. mp3 přehrávače, digitální hodinky atd.





Obr. 3.1: STM32 VL Discovery kit [Převzato z [29]]

komunikačních rozhraních procesor disponuje podporou: jednoho HDMI CEC, dvou I<sup>2</sup>C a SPI a tří USARTů. Další vlastnosti procesoru jsou:

- PLL pro CPU hodny, je možné připojit k procesoru krystal a díky PLL jsi nastavit frekvenci
- 7- DMA kanálů
- 12-bitový A/D převodník (16 vstupních kanálů)
- 2 x 12-bitový D/A převodník (dva vstupní kanály)
- 51 x I/O pinů
- 2 x 16-bitové časovače

Bylo zde zmíněno pouze několik základních vlastností procesoru. Pro detailnější popis je doporučeno prostudovat referenční manuál uvedený v literatuře [28]

### 3.1.1 Použité periférie

V této části kapitoly se budeme věnovat popisu periférií procesoru STM32F100RBT6, jenž jsou využity v programu pro analýzu VGA rozhraní.

#### 3.1.1.1 ADC

Analogově digitální převodník (ADC), jak již název napovídá převádí vstupní analogový na digitální hodnotu. Procesor STM32F100RBT6 disponuje jednou ADC periférií. ADC má schopnost generovat diskrétní řadu napětí a následně je porovnat s navzorkovaným vstupním napětím. Jedna z možností jak takto generovat a porovnávat napětí je postupná aproximace. ADC s postupnou aproximací používá řečneme R-2R žebřík na generování analogového signálu a začíná od MSB, kde nahodí nejvyšší bit, který má

v podstatě hodnotu poloviny napětí. Porovná to se vzorkovaným signálem, pokud je vzorkovaný signál menší, MSB je nula, pokud ne, MSB je jednička a poté se pokračuje o bit níž. Takhle se projede všech 12 bitů a hotovo. Pro dvanácti bitovou přesnost aproximace procesoru trvá alespoň čtrnáct hodinových cyklů ADC ( polovina systémových hodin tj. 12 MHz). Dva hodinové cykly navíc jsou způsobeny vzorkováním (nabíjení vnitřního C). S dvanácti MHz frekvencí hodin ADC () je převodník schopen provést převod každou  $1,17\mu$  sec.[28] [30]

Základní architekturu převodníku můžeme vidět na obrázku XXXX. Ačkoliv má procesor pouze jeden ADC, může přenášet více analogových signálů. U discovery kitu mohou být piny PA0 až PA7, PB0 až PB1 a PC0 až PC5 použity jako analogové vstupy, které mohou být multiplexovány do ADC. Převodník může být nastaven k vzorkování jakékoliv podmnožiny těchto vstupů. ADC má dva základní módy převodu: jednočlenný (single) a kontinuální (continuous). Jakmile je při jednočlenném převodu spuštěn ADC, tak převede jeden vstup a výsledek uloží do data registru (DR). Spuštění ADC může být realizováno pomocí softwaru nebo signálem z časovače. V kontinuálním módu převodník začne další převod jakmile skončí předchozí. Dále je možné aby ADC pracovalo ve snímacím módu pro automatickou konverzi vybraného počtu kanálů, kde je množina vstupů určená ke skenování na tento mód nastavena. Tento mód funguje tak že, jedna konverze se provádí postupně pro každý z konfigurovaných vstupů. Snímané vzorky mohou být i kontinuální ve smyslu, tak že nové skenování začne jakmile je jedno dokončeno. Převodník disponuje pouze jedním data registrem, takže když snímá několik analogových vstupů je nezbytné aby se informace četly mezi snímáním. Toto může být dosaženo přerušením, DMA či sledováním proměnné softwarem. Přičemž přerušením a DMA může být spuštěno na konci každé konverze. Pro podrobnější informace odkazují na kapitolu deset referenčního manuálu.[28]

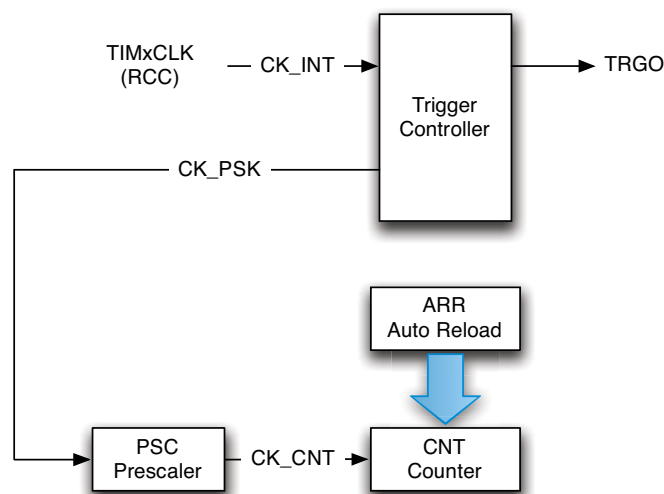
### 3.1.1.2 Časovače a PWM

Jádro Cortex<sup>TM</sup>-M3 obsahuje celkem dvanáct časovačů. V literatuře se označují slovem TIM + číslo časovače. Časovače se liší především počtem funkcí a režimů ve kterých jsou schopny pracovat. Některé jsou i specializované jako příklad můžeme uvést trojici TIM2, TIM3 a TIM4, které můžeme vzájemně zasynchronizovat, tudíž je možné generovat celkem dvanáct vzájemně závislých výstupních signálů. Obecně časovače disponují několika základními parametry, které jsou:

- 16-bitový znovu nahrávací čítač s inkrementujícím či dekrementujícím počítáním
- 16-bitový programovatelná dělička používaná pro dělení frekvence hodin čítače v rozmezí 1 až 65535 ( $2^{16}$ )
- až čtyři nezávislé kanály pro:
  - vstupní zachycení

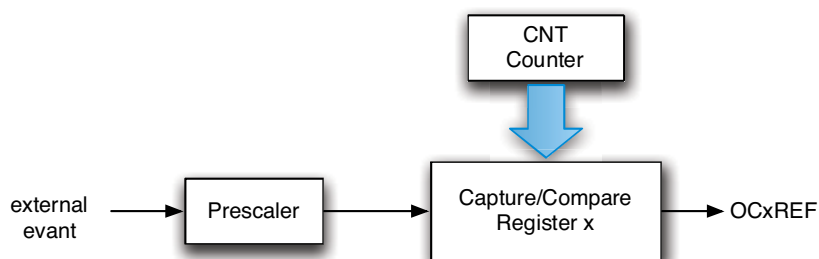
- výstupní porovnání
- generace PWM (hranově a středově zarovnané módy)
- jedno pulzní výstupní mód

Časovač 3.2 se skládá ze čtyř hlavních komponentů: spouštěcího kontroléru, děličky, znovu nahrávacího (auto-reload) registru a čítače. Hlavním prvkem časovače je 16-bitový čítač, jenž může být nastaven pro čítání vzestupně či sestupně v jednom cyklu. Čítač je připojen na zdroj hodinového taktu, který mu je zajištěn pomocí děličky. Funkce děličky je rozdělit referenční hodinový signál na nižší frekvenci. Dělička je 16-bitová a může dělit hodinový signál v rozsahu 1 až 65535, dle toho jak rychlé čítání potřebujeme. Jako příklad můžeme uvést STM32F100RBT6, jehož hodinový signál má hodnotu 24 MHz. Pokud bychom chtěli čítat frekvencí 1 MHz, museli bychom nastavit děličku na hodnotu 23 (0 až 23 = 24 hodnot). S čítačem je svázán znovu nahrávací (auto-reload) registr, do něhož můžeme vložit hodnotu, která bude do čítače vždy znovu nahrána po přetečení čítače (tzv. update event). Časovač generuje tzv. output event (TGRO), který může být nastaven, aby nastal při výskytu update eventu nebo při zapnutí čítače. Důležité je zmínit že z čítače, znovu nahrávacího registru a děličky můžeme číst nebo zapisovat pomocí softwaru a to i při běhu. [28] [30]



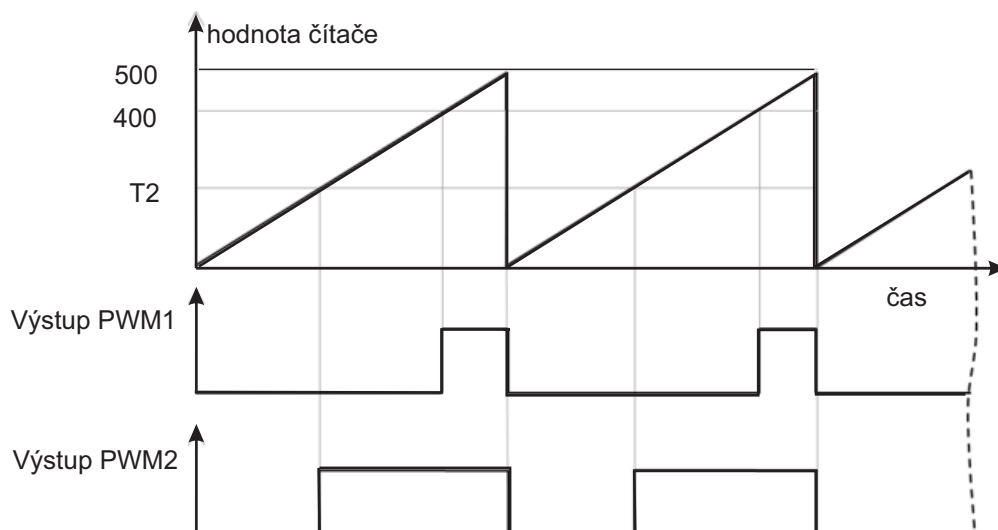
**Obr. 3.2:** Zjednodušené blokové schéma časovače [Převzato z [30]]

Velice často je základní modul časovačů rozšířen o počítačí kanály, jak je zobrazeno na obr.3.3. Písmeno x označuje číslo kanálu. Časovače mnohdy podporují několik kanálů. Důležitá vlastnost těchto kanálů je, že dokáží generovat přesně načasované pulzy.



**Obr. 3.3:** Blokovové schéma čítače s Capture/Compare registrem [Převzato z [30]]

Existují dvě možnosti jak těchto kanálů využít: jedno pulzní mód, kde je vytvořen jeden impuls nebo pulzně šířková modula, ve které je generovaná řada impulsů s periodou čítače. Šířka pulzu PWM je řízena pomocí registru načti/porovnej (Capture/Compare Register-CCR). Celý proces generování PWM funguje tak, že čítač čítá od nuly do zvolené hodnoty (hodnota v auto reload registru), která řídí u PWM periodu. V PWM módu časovač ovládá výstup jednoho či více kanálů. Když v čítači dosáhne hodnoty maxima, nuly nebo porovnávací hodnoty (která je stanovena pro každý kanál) změní se hodnota výstupních kanálů. Celý proces je pro lepší představu zobrazen na OBRXX. PWM se často používá pro ovládání motorů, elektromagnetů či jasu. V této práci využíváme PWM právě pro ovládání jasu LED diod. O tom jak jasně dioda bude svítit nám rozhoduje střída. Jedná se poměr mezi časem kdy je signál aktivní a jeho celkovou periodou. Tato veličina se udává v procentech, čili 60% střída znamená že signál je 60% aktivní a 40% neaktivní. Čím větší hodnotu střída nabývá tím více LED dioda září. Je nutné dodat, že toto platí pro LED aktivní v log 1. Pokud by byla aktivní v 0 je znamenalo by to, že se zvětšující se střídou se jas LED snižuje.



Obr. 3.4: Generování PWM

## 4

# Měření analogové rozhraní VGA

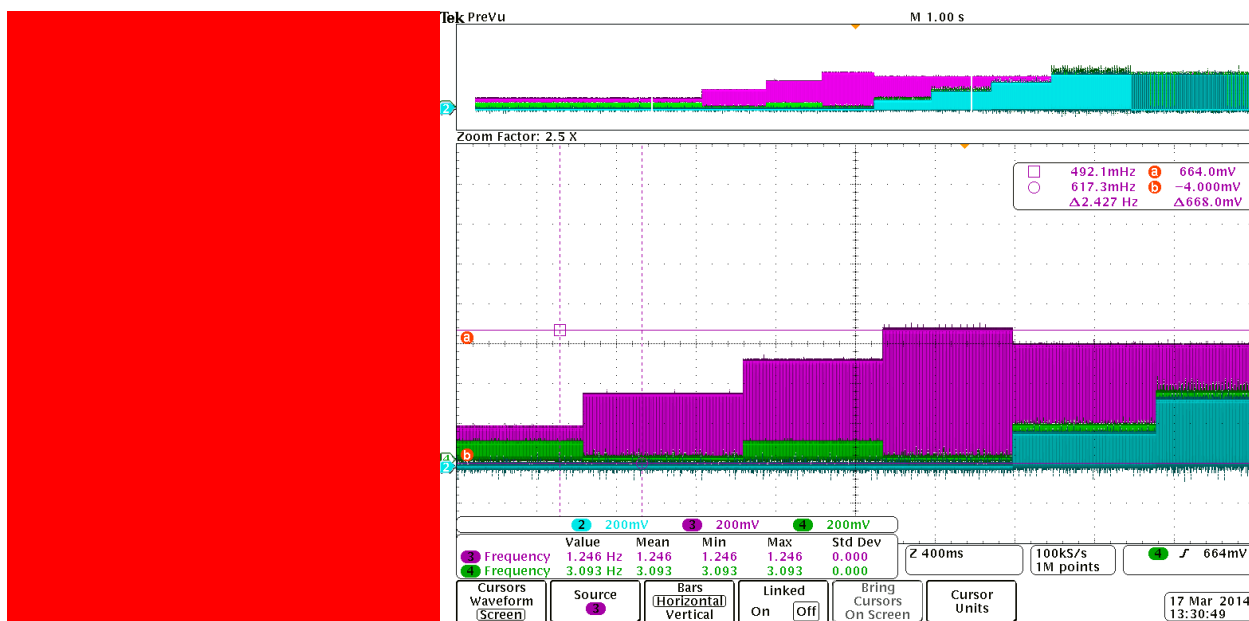
Velice výhodné je před navržením algoritmu pro analýzu rozhraní VGA naměřit. Díky měření VGA výstupu můžeme ověřit platnost zákonitostí přenosu signálu popsané v teoretické části (ODKAZ na VGA kapitolu). Dalším přínosem je rozbor chování signálu v reálných podmínkách, kde lze zjistit jestli signál dodržuje časování, popřípadě jak je čistý či zašuměný. Měření bylo realizováno VGA konektorem, jehož RGB výstupy (piny 1,2 a 3) jsou uzemněny  $75 \Omega$  rezistorem. Tato hodnota odporu je typická při připojení monitoru, tudíž můžeme takto ošálit grafickou kartu, která si bude myslet, že je připojen monitor. Nyní stačí konektor připojit k laptopu či počítači a nastavit zrcadlení obrazovky. Nakonec připojíme sondy na RGB výstupy a na osciloskopu můžeme vidět pořadový VGA signál.

Pro měření byly připravené vzorové obrazce, jež se promítaly na celé ploše monitoru o rozlišení 1366 x 768 při horizontální frekvenci 60 Hz. Co se týče vzorových obrázků, jejich barevná hloubka je osmi bitová (256 barev) a pro jejich tvorbu bylo použito aditivního míchání barev.

V prvním měření se zaměřilo na to, jak se mění napětí červeného složkového signálu s jeho barevnou intenzitou. Byl vytvořen vzorek, kde byla zastoupena pouze červená složka o maximální hodně (255), jež povoluje osmi bitová barevná hloubka. Pro maximální intenzitu je na VGA RED výstupu napětí 664 mV. Dále proběhly další tři měření se sníženou intenzitou pro 75%, 50% a 25%. Zde hodnoty odpovídaly napětí 512 mV pro 75% intenzitu, 344 mV pro 50% a 172 mV pro 25% intenzitu. Z těchto hodnot vyplývá, že s zvyšující se intenzitou složkového signálu roste jeho napětí. Měření pro 100% je zobrazen na obrázku 4.1, kde na levé straně vidíme měřicí vzorkový obrázek a v pravé části výsledek na osciloskopu.

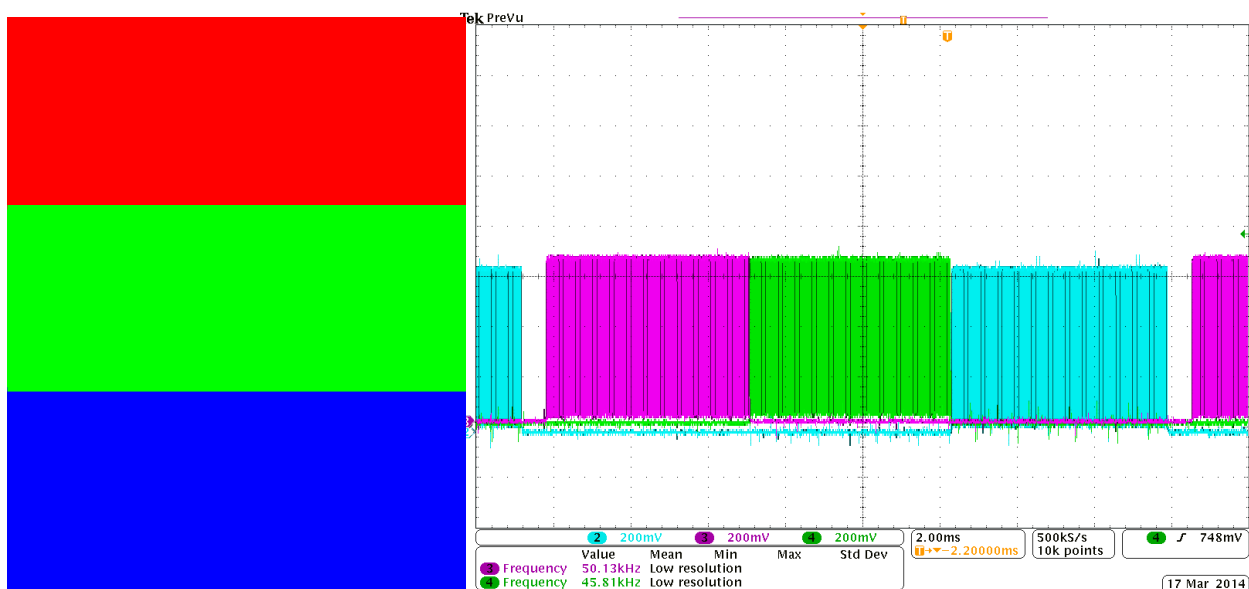
Druhém měření obr.4.2 se zaměřilo na vykreslování signálu, kde se vzorový obraz skládá ze tří horizontálně symetrických barevných pruhů. Zde bylo ověřeno, že obraz je vykreslován od levého horního rohu do pravého postupně po řádcích.

V dalšího měřicího vzorku obr.4.3 byla změněna velikost barevných pruhů. Měřilo se pomocí kurzorů a časový interval pro vykreslené jednoho obrazu, vyšel 16 ms (62,50 Hz). Dále jsi můžeme všimnou dvou vertikálních zatemňovacích intervalů(obsahuje



Kanál 3 - připojen na výstup VGA RED

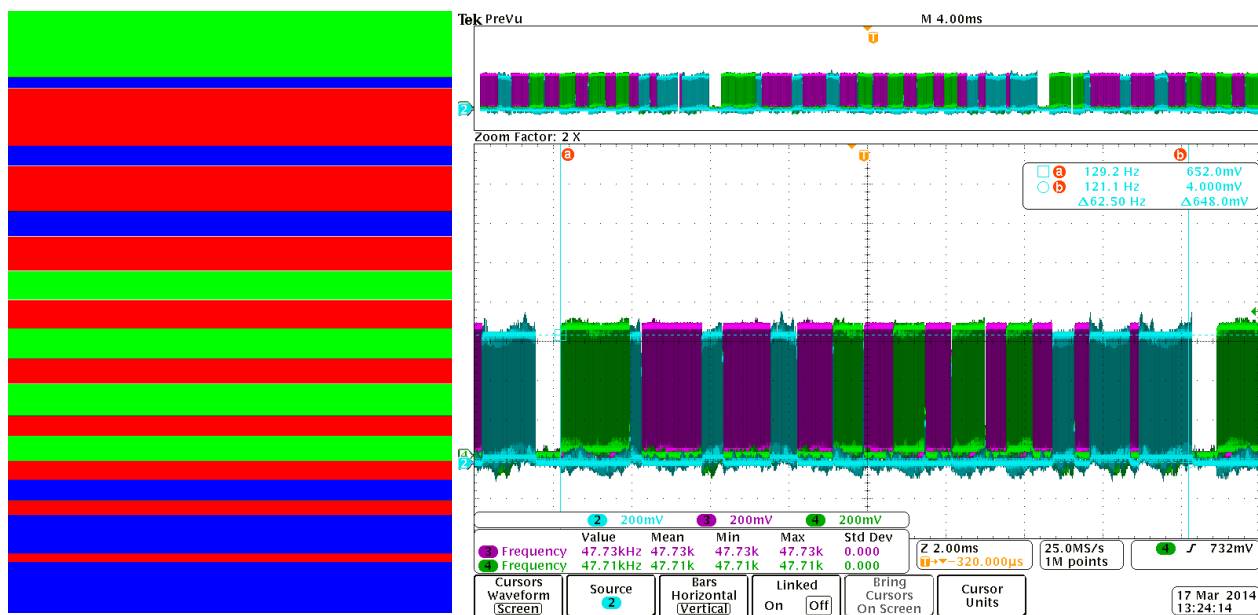
Obr. 4.1: Měření jasu VGA RED



Kanál 2 - připojen na výstup VGA BLUE  
 Kanál 3 - připojen na výstup VGA RED  
 Kanál 4 - připojen na výstup VGA GREEN

Obr. 4.2: Měření symetrických horizontálních pruhů

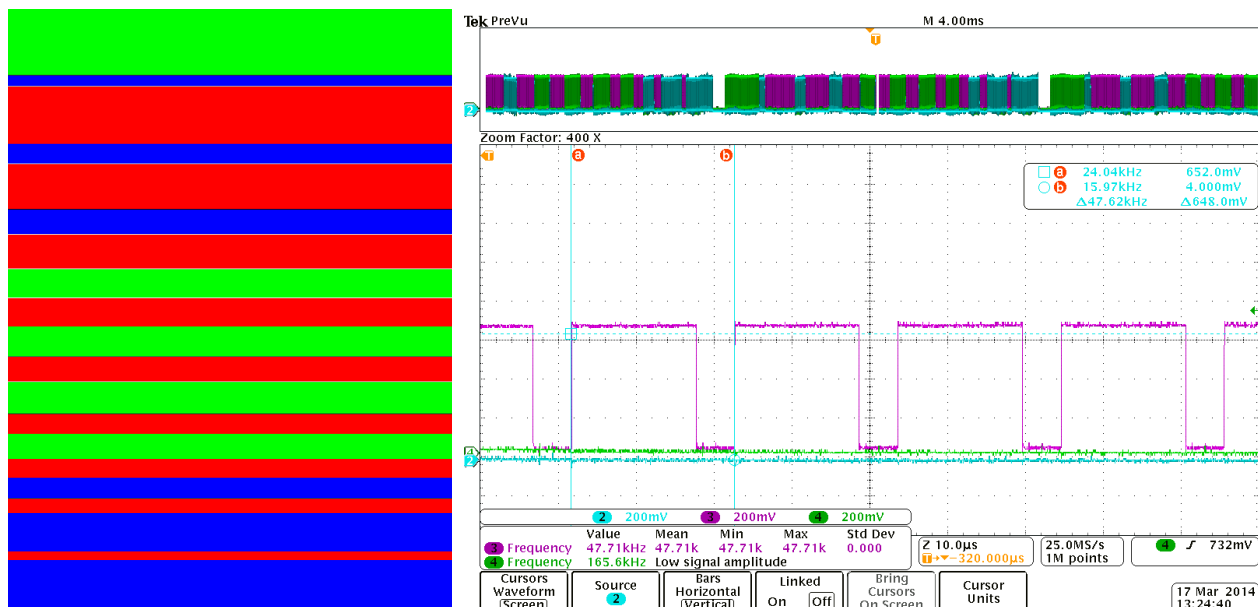
synchronizaci a back porch ), kde je hodnota RGB složek nulová.



Kanál 2 - připojen na výstup VGA BLUE  
 Kanál 3 - připojen na výstup VGA RED  
 Kanál 4 - připojen na výstup VGA GREEN

Obr. 4.3: Měření nesymetrických horizontálních pruhů

Pro stejný vzorový obraz, byla rozšířena na osciloskopu časová základna a změřena frekvence pro vykreslení jednoho řádku. Naměřená hodnota vyšla 47,62 kHz.



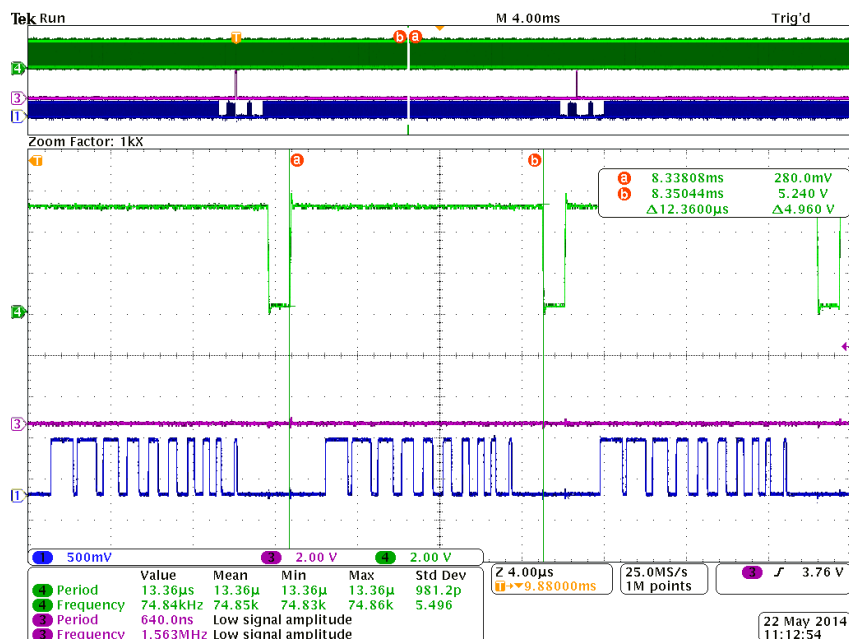
Kanál 2 - připojen na výstup VGA BLUE  
 Kanál 3 - připojen na výstup VGA RED  
 Kanál 4 - připojen na výstup VGA GREEN

Obr. 4.4: Měření nesymetrických horizontálních pruhů 2



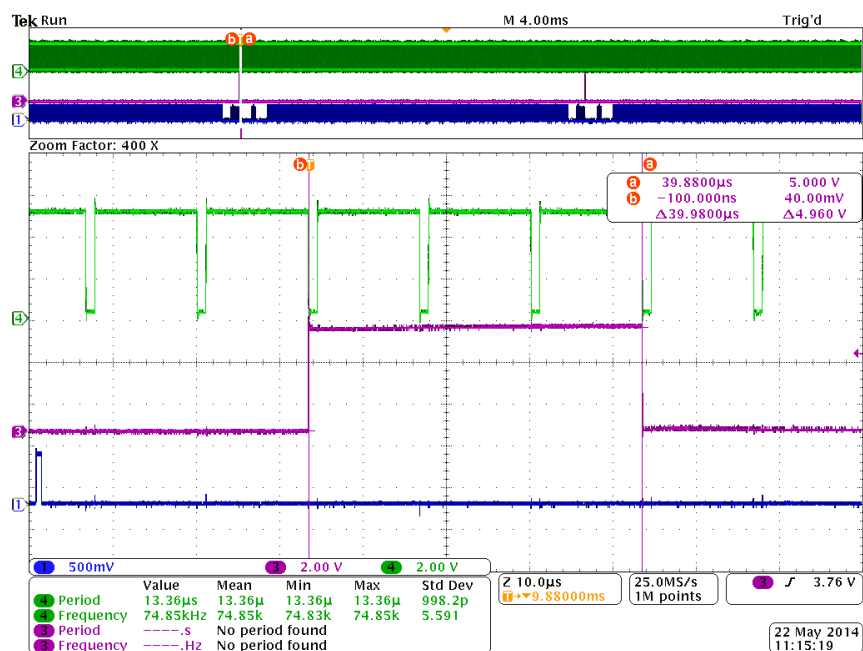
Posledním signálům jenž byla věnovaná pozornost při měření byla doba trvání vertikální a horizontální synchronizace. Jejichž průběh je zobrazen níže. Pro horizontální synchronizaci bylo naměřena šířka pulzu 12,36  $\mu\text{s}$  (obr. 4.5) a 39,98  $\mu\text{s}$  pro šířku vertikálního synchronizačního impulzu (obr.4.6). Z těchto hodnot vyplývá, že frekvence pro horizontální synchronizaci činí 74,84 kHz (perioda je 13,36  $\mu\text{s}$ ). Pro vertikální synchronizaci frekvence nabývá hodnotu 62,5 Hz.

Jako měřicí vzorek byl použit červený obrázek o barevné hloubce osmi bitů, jenž byl použit při prvním měření obr.4.1.



Kanál 2 - připojen na výstup VGA RED  
 Kanál 3 - připojen na výstup VGA VSYNC  
 Kanál 4 - připojen na výstup VGA HSYNC

Obr. 4.5: Měření horizontální synchronizace



Kanál 2 - připojen na výstup VGA RED  
 Kanál 3 - připojen na výstup VGA VSYNC  
 Kanál 4 - připojen na výstup VGA HSYNC

Obr. 4.6: Měření vertikální synchronizace

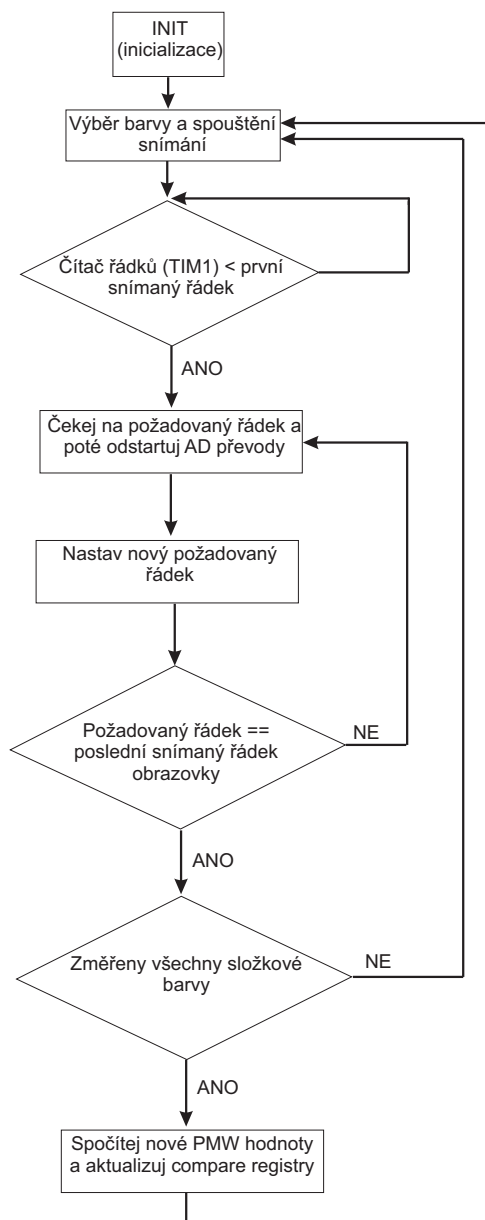
## 5

# Experimentální ověření správné činnosti dekódování analogového rozhraní

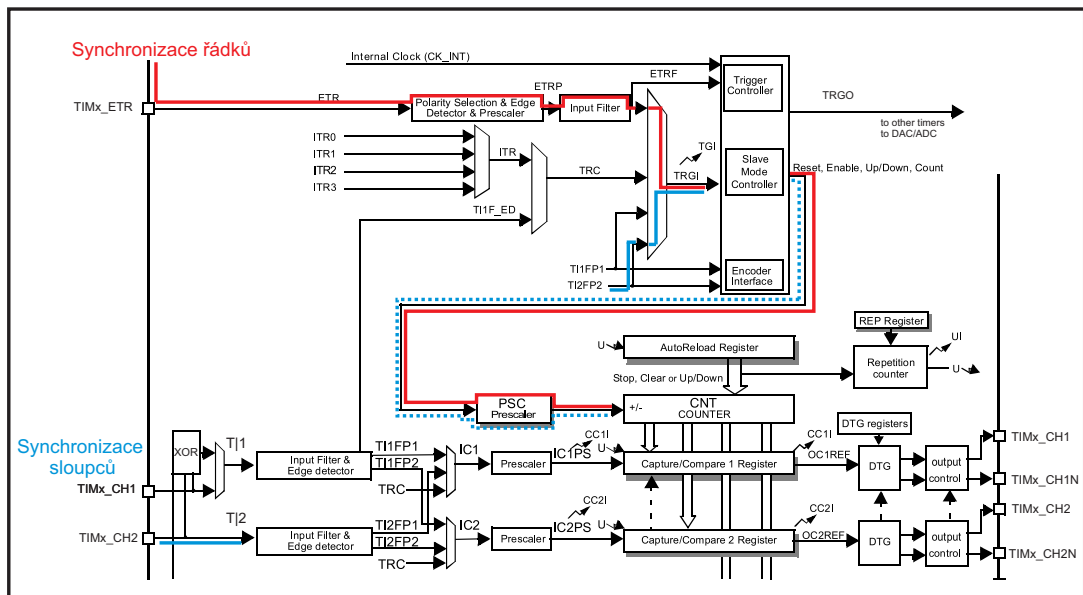
Pro ověření správného dekódování byl vypracován program, který je obsažen na CD, jenž je přiložené k bakalářské práci. Aby byla funkce programu lépe k pochopení, byl vytvořen vývojový diagram (obr.5.1), jenž popisuje chod programu. Hlavním důvodem zvolení vývojového diagramu, bylo již zmíněné lepší pochopení programu jako celku a větší přehlednost než úryvky kódu s komentáři.

Program funguje tak že, čítač TIM1 slouží jako ukazatel aktuálního vykreslovaného řádku obrazovky. Je ovládaný pomocí synchronizačních impulsů z VGA sběrnice. Synchronizační pulzy řádků (H'sync) inkrementují hodnotu čítače a synchronizační pulzy obrazovky (V'sync) resetují hodnotu čítače do nuly. V programu se hodnota čítače porovnává s hodnotou řádku, který je potřeba sejmout. Pokud se tyto hodnoty rovnají, odstartuje se AD převod a měří se hodnoty, dokud se nedojde k dalšímu řádku. Po každé naměřené hodnotě se skočí do přerušení, kde se spustí nový převod a stará naměřená hodnota se uloží do měřených dat. Pokud se dojde k dalšímu řádku, nový AD převod už se nespustí, místo toho se nastaví nová hodnota požadovaného řádku pro snímání, v závislosti na tom, kolik bodů obrazovky je potřeba sejmout. Snímání obrazovky probíhá pouze pro jednu barvu, proto je potřeba tento průběh opakovat třikrát.

Na obr.5.2 je část blokového schématu čítače TIM1, kde je ilustrovaná cesta signálu do čítače. Červený signál inkrementuje čítač s každým synchronizačním pulzem řádků. Modrý signál resetuje hodnotu čítače do nuly s každým snímkovým synchronizačním pulzem. Hodnota čítače tedy ukazuje aktuální vykreslovaný řádek. Červený signál se šíří, tak jak je to na obrázku zobrazeno, ale toto nelze tvrdit o modrém signálu. Pro názornost je signál veden stejně jako červený přes děličku (prescaler), ale ve skutečnosti tomu tak není, jelikož v tomto schématu bohužel nejsou zobrazeny všechny propojky, přes které se signál dostane k čítači. Kvůli této skutečnosti je modrá čára přerušovaná.



Obr. 5.1: Vývojový diagram



Obr. 5.2: Částečné blokové schéma TIM1 [Převzato z [28]]

Program bez problému rozeznává sloupce, kde je frekvence daná vertikální synchronizací, jejíž hodnota se pohybuje v okolí 60 Hz. Obtížnější je to s rozpoznáváním řádku, kde je rychlost daná horizontální synchronizací jenž je 74,84 kHz. Což vyžaduje daleko rychlejší čtení A/D převodníku, který vyžaduje ladění a zpřesnění konkrétního pixelu. Můžeme konstatovat, že analýza obrazového signálu a jeho následného dekódování proběhla úspěšně.

## 6

# Závěr

Bakalářská práce se zabývá analýzou VGA rozhraní za pomoci mikropočítače. První část je nejobsáhlejší úsek práce, kde jsou popsány současné rozhraní pro přenos obrazu. Nejprve jsou stručně vylíčeny druhy videosignálu, jenž se používají u analogových rozhraních. Dále jsou popsány analogové konektory SCART a VGA, kde se popisuje jejich konstrukce, rozlišení, využití, vykreslování obrazu a v neposlední řadě konkurence schopnost s digitálními rozhraními. Poté následuje rozbor zaměřen na digitální interface DVI, u něhož je popsána jeho architektura, princip přenosu pomocí TMDS kanálů, šířka datového spoje (tvz. linku), ochrana digitálního obsahu HDCP a kompatibilita s VGA. Posledním popisovaným rozhraním je HDMI, kde byl obsah zaměřen na rozbor protokolů CEC, HEC, ARC a kompatibilitu s DVI rozhraním. Dále byly porovnány jednotlivé verze HDMI, typy konektorů a kabelů, jenž se uplatňují v nejrůznějších odvětvích.

Druhá polovina práce byla nejprve zaměřena na porovnání rozhraní HDMI a VGA, z hlediska výhod a nevýhod pro analýzu obrazu pomocí mikroprocesoru. Z důvodu potřeby HDMI certifikátu pro jakékoliv zařízení, které používá rozhraní HDMI a výpočetní náročnosti byl pro analýzu přenosu obrazu vybrán interface VGA. Další postup v této práci byla volba vhodného procesoru, kde byl zvolen vývojový kit STM32 Value Line, který obsahuje 32 bitový ARM procesor STM32F100RBT6 s jádrem Cortex<sup>TM</sup>-M3. Po zvolení mikroprocesoru následoval vývoj programu, jehož cílem bylo analyzovat obrazový signál z rozhraní VGA a poté ho dekódovat. Experimentálně bylo ověřeno, že dekódování obrazového signálu bylo úspěšné. Program bez problému rozeznává sloupce, kde je frekvence daná vertikální synchronizací (60 Hz). Obtížnější je to s rozpoznáváním řádku, kde je rychlost daná horizontální synchronizací jenž je 74,84 kHz. Což vyžaduje daleko rychlejší čtení A/D převodníku. Pro přesné čtení konkrétního pixelu v řádku je potřeba velmi rychlý A/D převod. Do budoucna je v plánu zpřesnit rozeznávací schopnost a dekódovat více bodů po okrajích obrazu, což zaručí větší divácký zážitek z přehrávané video scény. Dále použít DMA přenos, jelikož by se díky němu nemuselo v programu skákat do přerušování, což by ušetřilo výpočetní výkon procesoru. V neposlední řadě je plánováno umožnit automatické detekování rozlišení.

# Literatura

- [1] TUTORIAL 734 Video Basics. Maxim Integrated [online]. 2002, s. 12 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN734.pdf>
- [2] MAJOR, Jakub. *HDMI propojovací systém pro multimediální techniku*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [3] Understanding Analog Video Signals. Maxim Integrated [online]. 2002 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1184>
- [4] Composite video. Wikipedia [online]. 2014 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Composite-video-cable.jpg>
- [5] What is Composite Video?. Wise geek [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-composite-video.htm>
- [6] ANALOG ELECTRICAL and DIGITAL VIDEO FORMATS and CONNECTORS. ANALOG ELECTRICAL and DIGITAL VIDEO FORMATS and CONNECTORS [online]. 2011 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <https://soma.sbcc.edu/users/davega/filmpro170/FILMPRO170ReferenceNotes/VideoForm>
- [7] S-Video. Wikipedia. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/S-Video>
- [8] S-video. About.com [online]. 2013 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://desktopvideo.about.com/od/s/g/svideo.htm>
- [9] Komponent Video. Wikipedia [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Component\\_video](http://en.wikipedia.org/wiki/Component_video)
- [10] Standard VGA (Video Graphics Array). Moodle dce fel [online]. 2011 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: [https://moodle.dce.fel.cvut.cz/pluginfile.php/317/mod\\_page/content/25/Jak\\_funguje\\_VGA.pdf](https://moodle.dce.fel.cvut.cz/pluginfile.php/317/mod_page/content/25/Jak_funguje_VGA.pdf)
- [11] The SCART conector. JS-technology [online]. 2001 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.js-technology.com/store/info/avguides/scartconnector.pdf>

- [12] What Is a SCART Connector?. Wise geek [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-scart-connector.htm>. didyouknowout
- [13] VGA ZOBRAZOVACÍ ZAŘÍZENÍ S MIKROKONTROLE-REM [online]. Brno, 2008 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/MIA/2009/polasek/BBCE'xpolas13.pdf>. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [14] Firmware / VGA rozhraní. Merlin fit [online]. 2009 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://merlin.fit.vutbr.cz/FITkit/docs/firmware/fpga'vga.html>
- [15] Video Display Interface (VGA). Ucy [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.eng.ucy.ac.cy/theocharides/Courses/ECE664/VGA.pdf>
- [16] D/A PŘEVODNÍK PRO GENEROVÁNÍ VIDEO SIGNÁLU POMOCÍ OBVODU FPGA [online]. Brno, 2008 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www'base/zav'prace'soubor'verejne.php?file'id=18649>. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [17] Digital Visual Interface and TMDS Extensions. Silicon image [online]. 2004 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.siliconimage.com/docs/SiI-WP-007-A.pdf>
- [18] DVI conector. Startech [online]. 2006 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://sgcdn.startech.com/005329/media/products/gallery'large/DP2DVI2MM6.B.jpg>
- [19] Digitální rozhraní používaná v televizní a multimediální technice. Digizone [online]. 2011 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://digiroom.digizone.cz/clanky/digitalni-rozhrani-pouzivana-v-televizni-technice/>
- [20] Popis rozhraní DVI. Fit vutbr [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://web.fit.vutbr.cz/study/courses/IPZ/public/texty/dvi/dvi'predn.pdf>
- [21] HDMI (High-Definition Multimedia Interface). Pcplus [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <https://www.pcplus.cz/zkratky.asp?ZKR=21>
- [22] High-Definition Multimedia Interface Specification. Hdmi[online]. 2003 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.hdmi.org/pdf/HDMISpecInformationalVersion.pdf>
- [23] CEA-861-F (ANSI). A DTV Profile for Uncompressed High Speed Digital Interfaces. USA: R4.8 DTV Interface Subcommittee, August 30, 2013. Dostupné z: <http://www.ce.org/Standards/Standard-Listings/R4-8-DTV-Interface-Subcommittee/CEA-861-E.aspx>



- [24] FAQ. [Http://www.hdmi.org](http://www.hdmi.org) [online]. 2014 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.hdmi.org/learningcenter/faq.aspx>
- [25] Tisíc podob HDMI. TV freak [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.tvfreak.cz/tisic-podob-hdmi/3666>
- [26] Fuji Depot 10 ft Gold Plated High Speed 1080p HDMI to HDMI cable. Fujidepotinc [online]. 2010 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: [http://www.fujidepotinc.com/index.php?main\\_page=product\\_info&path=18&products\\_id=57&zenid=58f7da780b696a9d820d089069298b](http://www.fujidepotinc.com/index.php?main_page=product_info&path=18&products_id=57&zenid=58f7da780b696a9d820d089069298b)
- [27] ATmega128. ATMEL. Fujidepotinc [online]. 2011 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2467.pdf>
- [28] RM0041 Reference manual. ATMEL. St [online]. 2011 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: [http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference\\_manual/CD00246267.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/reference_manual/CD00246267.pdf)
- [29] STM32 VL DISCOVERY. St [online]. 2014 [cit. 2014-06-09]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/FM116/SC959/SS1532/PF250863>
- [30] [Http://www.cs.indiana.edu/~geobrown/book.pdf](http://www.cs.indiana.edu/~geobrown/book.pdf) [online]. 2014 [cit. 2014-06-09]. ISBN CC BY-NC-SA 3.0). Dostupné z: <http://www.cs.indiana.edu/~geobrown/book.pdf>
- [31] LaTeX pro začátečníky. BRNO: Nakladatelství KONVOJ, spol. s r. o, 1999. ISBN 80-7302-049-1.