

David Matoušek

**GENEROVÁNÍ ZVUKŮ
POMOCÍ MIKROKONTROLÉRŮ
PIC16F628A + ATMEGA8**

Praha 2015



David Matoušek

Generování zvuků pomocí mikrokontrolérů

Recenzent Bohumil Brtník

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© David Matoušek, 2015

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

David Matoušek: Generování zvuků pomocí mikrokontrolérů

BEN – technická literatura, Praha 2015

1. vydání

ISBN 978-80-7300-528-3 (tištěná kniha)

ISBN 978-80-7300-529-0 (elektronická kniha v PDF)

Předmluva

Kniha se věnuje problematice generování zvuků pomocí mikrokontrolérů, je určena široké odborné veřejnosti včetně začátečníků. Série příkladů určených pro mikrokontroléry **PIC16F628A** a **ATmega8A** (resp. **ATmega16A**) vysvětluje jednotlivé možnosti generování zvuků počínaje jednoduchými obdélníkovými impulzy a konče přehráváním zvukových souborů typu WAV a MP3 z SD karty na kodeku **VS1053b**.

Pro lepší pochopení je doplněna řada aplikací určených pro Windows, které analyzují zvukové soubory nebo vytvářejí zvuky na zvukové kartě počítače.

Velká pozornost je rovněž věnována rozhraní digitálních hudebních nástrojů (MIDI). Kromě jiného je realizována **MIDI klaviatura** a **MIDI syntezátor**.

Předpokládá se, že čtenář má znalosti programovacího jazyka C a orientujete se v základních pojmech mikroprocesorové techniky. Pro zájemce je text doplněn odkazy na další literaturu, kde lze dohledat doprovodné informace.

První kapitola vysvětluje **základní pojmy** spojené se zvukem a uvádí principy generování zvuku pomocí mikrokontroléru (jednoduché obdélníkové impulzy, použití PWM, použití D/A převodníku). Dále je řešeno buzení reproduktoru a piezoměniče.

Druhá kapitola je **stručným popisem mikrokontrolérů PIC16F628A a ATmega8A**, které jsou v knize používány pro realizaci jednotlivých příkladů. Též jsou uvedeny konstrukce vývojového kitu **PKIT627** a kitu **COM644KIT** včetně redukce pro ATmega8A. Uvedené typy mikrokontrolérů byly vybrány s ohledem na poměr výkon : cena a patří k „nejoblíbenějším“ mikrokontrolérům řad PIC a ATMEL.

Třetí kapitola předvádí **generování jednoduchých obdélníkových impulzů** pomocí mikrokontrolérů PIC16F628A a ATmega8. Nejdříve je vysvětlena funkce jednotky Timer2, přerušovacího systému, vstupně/výstupních vývodů a konfigurace fuses (propojek). Poté je realizován první příklad ve vývojovém prostředí **MPLAB X** s použitím překladače **XC8** (pro případ PIC16F628A) resp. **Atmel Studio 6.1** s použitím překladače **GCC** (pro případ ATmega8A). Příklad je označen jako **PROG_01**.

Čtvrtá kapitola je věnována **generování jednoduchých zvukových efektů** pomocí mikrokontrolérů PIC16F628A a ATmega8. Nejdříve jsou vysvětleny principy generování přerušovaného tónu, střídání dvou tónů různé výšky a plynulé změny výšky tónu. Příklad je označen jako **PROG_02**.

Pátá kapitola ukazuje možnost **přehrávání jednoduchých melodií** pomocí mikrokontrolérů PIC16F628A a ATmega8. Nejdříve jsou připomenuty pojmy z hudební nauky nutné pro správné pochopení problematiky (temperované ladění, kmitočty jednotlivých tónů). Následně je pomocí piezoměniče (s využitím přerušovací časovače) přehrána krátká melodie. Příklad je označen jako **PROG_03**.

Šestá kapitola je věnována problematice **harmonické syntézy** (vytváření tónů různých barev skládáním harmonických složek různých kmitočtů, fází a amplitudy). S ohledem na výpočetní náročnost generování zvuku tímto způsobem v reálném čase, je realizace předvedena pomocí zvukové karty PC a ovládací program je napsán pro Windows. Aplikace je označena jako **GENER**.

Sedmá kapitola se zabývá detaily **vlnového zvuku**. Nejdříve je podrobně popsán formát souboru **WAV**. Pomocí Windows aplikace **WAVEINFO** je předvedena pokročilejší práce s vlnovými zvuky včetně přehrávání na zvukové kartě PC ale také extrakce zvukových dat pro mikrokontroléry řady PIC nebo ATMEL.

Osmá kapitola ukazuje **přehrávání vlnového zvuku** pomocí jednoduchého přípravku **MWAVEOUT** (obsahuje 12bitový D/A převodník a výkonový zesilovač) na mikrokontrolérech PIC16F628A a ATmega8. Jeden nebo více zvuků je uloženo v programové Flash. Vzhledem k nízké kapacitě paměti Flash se jedná pouze o krátké zvuky, které tvoří například reakci na stisk tlačítka (kliknutí). Příklad je označen jako **PROG_04**.

Devátá kapitola je nazvána **Úvod do MIDI**. Po úvodním popisu hardware MIDI a přenosu zpráv je věnována pozornost systému MIDI z úrovně programování pod Windows. Výsledkem je pak Windows aplikace **MIDITEST**, která slouží pro úvodní seznámení s rozhraním MIDI. Tato aplikace přehrává jednoduché tóny a také akordy na zvukové kartě PC.

Desátá kapitola představuje realizaci klaviatury MIDI nazvané **MIDIKBD**. Klaviatura je postavena na mikrokontroléru ATmega16A, obsahuje 25 kláves (rozsah dvě oktávy) a lze ji připojit jako běžné MIDI zařízení nebo přes sériovým port k počítači. Displej zobrazuje navolený MIDI program (hudební nástroj), který lze měnit pomocí tlačítek. Pokud nemáte MIDI syntezátor (nebo počítač vybavený konektorem MIDI-IN), můžete klaviaturu připojit k počítači pomocí sériového portu a použít jednoduchou Windows aplikaci **MIDIKBD**, která přijímá MIDI zprávy přes sériový port a přehrává tóny na zvukové kartě PC.

Jedenáctá kapitola je věnována úvodnímu popisu **hardwarového kodeku VS1053b** a vývojovému kitu **MP3 click**. Kodek VS1053b podporuje rozličné zvukové formáty (včetně WAV a MP3) a také je schopen v reálném čase zpracovávat zprávy rozhraní MIDI. Je tedy stručně popsána funkce, dále jednotlivé vývody, rozhraní SDI a SCI, registry SCI a základní operace. Dále je pozornost věnována kitu MP3 click, který obsahuje osazený obvod VS1053b včetně podpůrných součástek. Kit je realizován tak, aby jej bylo možné zasunout například do běžného kontaktního pole. Na závěr je popsána konstrukce přípravku **MVS1053B**, který slouží pro připojení uvedeného kitu k mikrokontrolérům řady AMTEL a PIC.

Dvanáctá kapitola ukazuje **ovládání kitu MP3 click** (resp. kodeku VS1053b) **pomocí mikrokontroléru ATmega8A**. Příklad **PROG_05** přehrává vlnový zvuk uložený v programové Flash přímo na kodeku VS1053b. Pro konverzi souboru WAV do formy zdrojového souboru je vytvořena aplikace **KONVATMEL**. Příklad **PROG_06** provede programové přepnutí kodeku do režimu run-time MIDI. Následně je možné odesílat na kodek klasické MIDI zprávy a kodek dané zprávy zpracovává v reálném čase. Kodek lze pak použít jako základ pro realizaci MIDI syntezátoru.

Ve třinácté a čtrnácté kapitole jsou stejné příklady **PROG_05** a **PROG_06** (tedy přehrávání vlnového zvuku z paměti Flash a zpracování MIDI zpráv v reálném čase) převedeny na mikrokontrolér **PIC16F628A**. Vzhledem k absenci jednotky SPI u tohoto mikrokontroléru jsou nejdříve programy realizovány přímým programovým řízením SPI linek (s nízkou přenosovou rychlostí). Varianty označené jako **PROG_05A** a **PROG_06B** používají přípravek **MVS1053BPIC** s upraveným rozložením vývodů, kdy je místo jednotky SPI použita jednotka USART, pracující v synchronním režimu. Použití této jednotky vyžaduje navíc přepnutí kodeku do odlišného SPI režimu.

V patnácté kapitole je na základě kodeku VS1053b realizován **MIDI syntezátor MIDISYNT**. Mikrokontrolér **ATmega8A** realizuje spojení se vstupním konektorem MIDI-IN a přeposílání přijatých zpráv na kodek VS1053b. Mikrokontrolér dále obsluhuje tlačítko s funkcí MUTE (vypnutí/zapnutí zvukového výstupu) a rotační spínač (enkodér) pro plynulé nastavení hlasitosti zvukového výstupu. LCD slouží pro grafické znázornění nastavené hlasitosti.

Šestnáctá kapitola **popisuje SD kartu a její ovládání**. SD kartu lze využít pro uložení delších zvukových souborů (souborů, jejichž délka neumožňuje, aby byly uloženy v paměti Flash). Nejdříve je detailně popsán souborový systém **FAT32**, který se standardně používá pro ukládání souborů na paměťová média. Pro lepší pochopení a konkrétní představu je doplněna Windows aplikace **DISKINFO**, která rozkládá obsah kopie SD karty na jednotlivé složky (MBM, BPB) a předvádí obsah datové oblasti a tabulky FAT a dále dovoluje extrahovat soubor uložený na SD kartě. Následně je stručně popsáno ovládání SD karty na hardwarové úrovni a předvedena realizace programové jednotky **SD** (určena pro ATmega8A) pro základní operace s SD kartou: inicializace, vykonání příkazu a přečtení jednoho sektoru.

Sedmnáctá kapitola logicky završuje celou knihu. Spojuje dříve uváděné poznatky do příkladů **PROG_07** a **PROG_08**, které **přehrávají zvukové soubory WAV a MP3 načítané z SD karty na kodeku VS1053b**. Příklady jsou určeny pouze pro mikrokontrolér ATmega8A, protože je nutné použít SPI jednotku jak pro komunikaci s kodekem, tak i pro komunikaci s SD kartou.

V příloze naleznete schémata jednotlivých přípravků a podklady pro jejich výrobu. Seznamy součástek jsou uvedeny jednak v opisné formě (vhodné například pro začátečníky) a dále ve formě značení součástek v katalogích firem GM electronic a TME. Jedná se o přípravky: **PKIT627** (vývojový kit pro PIC16F628A-I/P), **COM644KIT** (levný vývojový kit pro ATmega644, nová verze ovládacího programu zajišťuje podporu i pro mikrokontroléry ATmega8, ATmega16, ATmega32), **REDMEGA8** (redukce pro použití 28vývodového mikrokontroléru ATmega8A ve 40vývodové patici vývojového kitu COM644KIT), **MSVORKY** (univerzální přípravek se

svorkovnicí a kolíkovou lištou), **MLED SW verze 2** (LED a spínače), **MPIEZO** (piezoměnič), **MWAVEOUT** (přehrávání vlnového zvuku pomocí D/A převodníku MCP4921 a výkonového zesilovače LM386), **MIDIKBD** (MIDI klaviatura s 25 klávesami – 2 oktávy), **MVS1053B** (modul pro připojení kitu MP3 click), **MVS1053BPIC** (optimalizované rozložení vývodů pro připojení kitu MP3 click na PIC16F628A), **MIDISYNT** (MIDI syntezátor s kitem MP3 click), **MAMP3SD** (modul pro připojení mikro SD karty a kitu MP3 click). Na závěr je popsána konstrukce propojovacích kablíků pro připojování přípravků.

Přehled uváděných příkladů pro mikrokontroléry:

- **PROG_01** – generování obdélníkových impulzů kmitočtu 440 Hz (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_02** – generování zvukových efektů: přerušovaný tón, přepínání dvou tónů různé výšky, plynulá změna výšky tónu (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_03** – přehrávání jednoduché melodie (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_04** – přehrávání krátkých vlnových zvuků z paměti Flash pomocí přípravku **MWAVEOUT** (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_05** – přehrávání vlnových zvuků z paměti Flash pomocí kodeku **VS1053b** (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_06** – zpracování **MIDI** zpráv pomocí kodeku VS1053b v reálném čase (PIC16F628A, ATmega8A).
- **PROG_05A** – upravený příklad **PROG_05** pro jednotku USART (PIC16F628A).
- **PROG_06A** – upravený příklad **PROG_06** pro jednotku USART (PIC16F628A).
- **PROG_07** – přehrávání zvukových souborů WAV a MP3 z SD karty na kodeku VS1053b (ATmega8A).
- **PROG_08** – upravený příklad **PROG_07**, volba přehrávaného souboru stiskem tlačítka.

Přehled uváděného firmware:

- **MIDIKBD** – MIDI klaviatura (ATmega16A).
- **MIDISYNT** – MIDI syntezátor (ATmega8A).

Přehled uváděných aplikací pro Windows:

- **GENER** – harmonická syntéza pomocí zvukové karty PC.
- **WAVEINFO** – získání informací o vybraném vlnovém zvuku (souboru WAV), přehrávání a extrakce zvukových dat pro mikrokontroléry PIC nebo ATMEL.
- **MIDITEST** – jednoduchá Windows klaviatura přehrávající tóny generované pomocí MIDI na zvukové kartě PC.
- **MIDIKBD** – jednoduchá Windows aplikace pro příjem MIDI zpráv pomocí sériového portu. Tóny generované pomocí MIDI přehrává na zvukové kartě PC.
- **KONVATMEL** – převádí soubor vlnového zvuku (WAV) na výstupní soubor ve formátu odpovídající zdrojovému textu s definicí pole zvukových dat (používá se pro programování mikrokontrolérů).
- **DISKINFO** – předvedení práce se souborovým systémem FAT32 na kopii obsahu SD paměti.

Doprovodný ZIP archiv

Tento archiv je možné si stáhnout z domovské webové stránky knihy (viz tiráž).

Obsah doprovodného ZIP archivu je graficky znázorněn na následující straně.

Adresář **COM644KIT_v2** obsahuje aplikaci **COM644KIT.EXE** pro ovládání vývojového kitu COM644KIT. Dále je zde konfigurační soubor **COM644KIT.INI** (výběr čísla sériového portu pro připojení kitu k počítači). Soubor **COM644KIT.HEX** slouží pro naprogramování řídicího mikrokontroléru AT89C2051 (viz přílohu A.2). Nová verze aplikace COM644KIT.EXE podporuje nejen mikrokontrolér ATmega644, ale i typy ATmega8, ATmega16, ATmega32.

Adresář **FIRMWARE** obsahuje programy pro výše uvedená zařízení MIDIKBD a MIDISYNT.

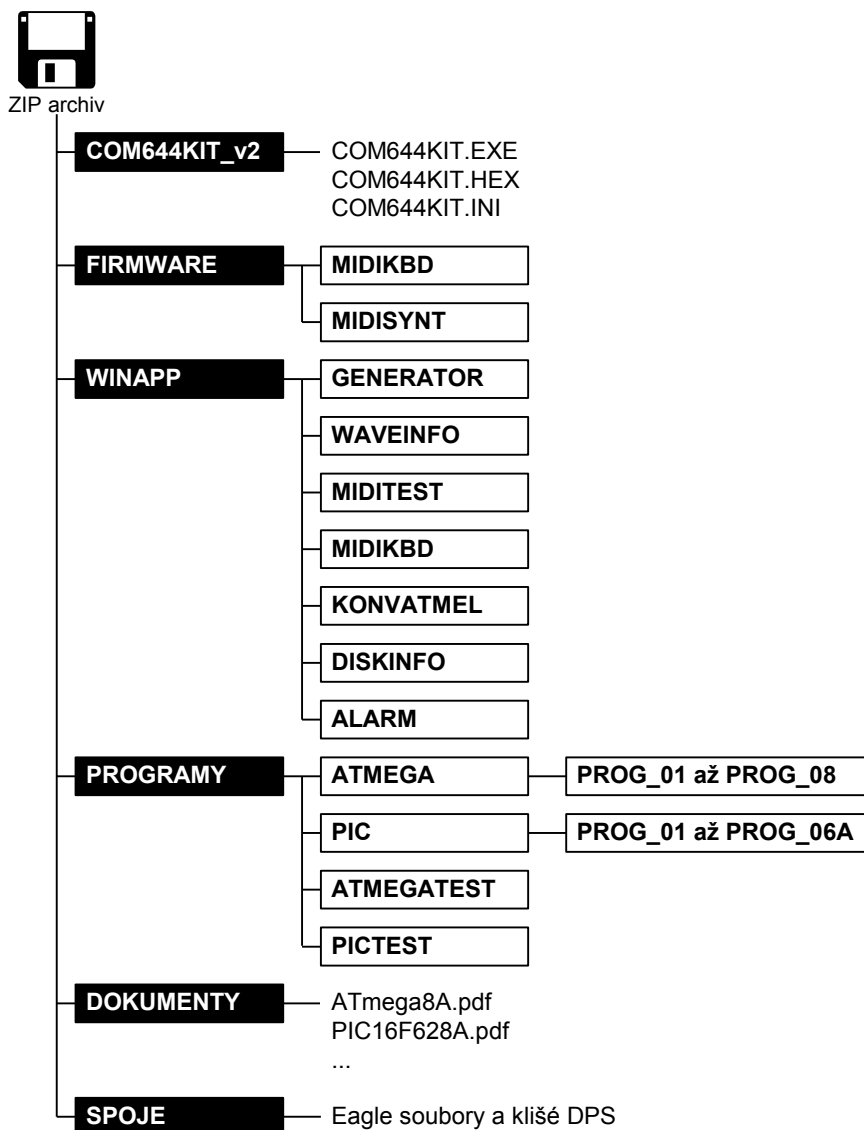
GENEROVÁNÍ ZVUKŮ POMOCÍ MIKROKONTROLÉRŮ

Adresář **WINAPP** obsahuje výše popsané aplikace pro Windows. Dále je zde ještě aplikace **ALARM**, která slouží pro vytvoření krátkých vlnových zvuků (ALARM.WAV, SINUS.WAV, NARUST.WAV).

Adresář **PROGRAMY** obsahuje v podadresářích **ATMEGA** resp. **PIC** jednotlivé programy **PROG_01** až **PROG_08** resp. **PROG_01** až **PROG_06A**. Dále jsou zde adresáře **ATMEGATEST** a **PICTEST**, které obsahují jednoduché programy pro otestování funkce vývojového kitu (jedná se o „legendární“ program běžící světlo).

Adresář **DOKUMENTY** obsahuje katalogové listy (datasheety) použitých obvodů, případně další informace k doplnění problematiky.

Adresář **SPOJE** obsahuje soubory návrhového systému Eagle (SCH a BRD) a klišé plošných spojů jednotlivých přípravků.



Schematické znázornění obsahu doprovodného ZIP archivu

Obsah

1	Základní pojmy a principy	1-1
1.1	Obecné principy generování zvuku pomocí mikrokontroléru	1-2
1.2	Buzení reproduktoru a piezoměniče	1-5
2	Mikrokontroléry PIC16F628A a ATmega8A	2-1
2.1	Mikrokontrolér PIC16F628A	2-1
2.2	Mikrokontrolér ATmega8A	2-3
3	Generování jednoduchých obdélníkových impulzů	3-1
3.1	Mikrokontrolér PIC16F628A	3-1
3.2	Mikrokontrolér ATmega8A	3-15
4	Generování jednoduchých zvukových efektů	4-1
4.1	Principy	4-1
4.2	Přípravek MLEDSW – tlačítka a LED	4-3
4.3	Režimy zvukových efektů	4-4
4.4	Realizace s mikrokontrolérem PIC16F628A	4-4
4.5	Realizace s mikrokontrolérem ATmega8A	4-10
5	Přehrávání jednoduchých melodií	5-1
5.1	Temperované ladění	5-1
5.2	Realizace s mikrokontrolérem ATmega8A	5-2
5.3	Realizace s mikrokontrolérem PIC16F628A	5-6
6	Harmonická syntéza	6-1
6.1	Základní principy	6-1
6.2	Harmonická syntéza na zvukové kartě PC	6-2
6.3	Ověření funkce	6-10
7	Vlnový zvuk	7-1
7.1	Základní principy	7-1
7.2	Formát souboru WAV	7-2
7.3	Aplikace WAVEINFO	7-3
7.4	Příklad exportu zvukových dat	7-7
8	Přehrávání vlnového zvuku	8-1
8.1	Přípravek MWAVEOUT – přehrávání vlnového zvuku	8-1
8.2	Přehrávání pomocí mikrokontroléru ATmega8A	8-3
8.3	Přehrávání pomocí mikrokontroléru PIC16F628A	8-10
9	Úvod do MIDI	9-1
9.1	Základní vlastnosti MIDI	9-1
9.2	MIDI systém z pohledu Windows API	9-3
9.3	Aplikace MIDITEST	9-5
10	MIDIKBD – MIDI klaviatura	10-1
10.1	Přípravek MIDIKBD – MIDI klaviatura	10-1
10.2	Firmware pro MIDIKBD	10-2
10.3	Aplikace MIDIKBD	10-12
11	Kodek VS1053b a kit MP3 click	11-1
11.1	Kodek VS1053b	11-1
11.2	Kit MP3 click	11-6
11.3	Přípravek MVS1053B – modul kodeku VS1053b	11-8
12	Ovládání kodeku VS1053b pomocí ATmega8A	12-1
12.1	PROG_05 – přehrávání vlnového zvuku	12-1
12.2	PROG_06 – přehrávání melodie pomocí MIDI	12-7
13	Ovládání kodeku VS1053b pomocí PIC16F628A	13-1
13.1	PROG_05 – přehrávání vlnového zvuku	13-1
13.2	PROG_06 – přehrávání melodie pomocí MIDI	13-4

14	MVS1053BPIC – úprava desky MVS1053B pro PIC	14-1
14.1	Přípravek MVS1053BPIC	14-1
14.2	PROG_05A – přehrávání vlnového zvuku	14-1
14.3	PROG_06 – přehrání melodie pomocí MIDI	14-5
15	MIDISYNT – MIDI syntezátor	15-1
15.1	Přípravek MIDISYNT – MIDI syntezátor	15-1
15.2	Firmware pro MIDISYNT	15-2
16	SD karta a její ovládání	16-1
16.1	Souborový systém FAT32	16-1
16.2	Ovládání SD karty	16-10
16.3	Přípravek MAMP3SD – SD karta a modul MP3 click.....	16-15
17	Přehrávání zvuků z SD karty pomocí ATmega8A	17-1
17.1	Popis některých dalších SCL registrů kodeku VS1053b.....	17-1
17.2	PROG_07 – přehrávání souborů z SD karty	17-2
17.3	PROG_08 – řízené přehrávání souborů z SD karty.....	17-14
A.	Příloha – podklady pro výrobu přípravků	A-1
A.1	PKIT627 – vývojový kit pro PIC16F627A-I/P	A-1
A.2	COM644KIT – vývojový kit pro ATmega.....	A-4
	Ovládací program	A-7
A.3	REDMEGA8 – redukce pro ATmega8-PU.....	A-8
A.4	MSVORKY – univerzální přípravek se svorkovnicí a kolíky.....	A-11
A.5	MLED SW verze 2 – spínače a LED.....	A-13
A.6	MPIEZO – jednoduchý přípravek s piezoměničem.....	A-15
A.7	MWAVEOUT – modul pro přehrávání vlnového zvuku	A-17
A.8	MIDIKBD – modul MIDI klávesnice + KLAV moduly	A-19
A.9	MVS1053B – modul kodeku VS1053B	A-24
A.10	MVS1053BPIC – úprava desky MVS1053B pro PIC16F628A	A-26
A.11	MIDISYNT	A-28
A.12	MAMP3SD – SD karta a modul MP3 click.....	A-32
A.13	Konektory kabely	A-35