

# Narzędzia sprzętowe i programowe wspomagające projektowanie i uruchamianie systemów z mikrokontrolerami

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

1

## Narzędzia programowe

- Języki programowania (niskiego poziomu, wysokiego poziomu i języki graficzne, interpretery i kompilatory)
- Programy ładujące (bootloader)
- Monitory programowe
- Programy śledzące (debuggers)
- Symulatory programowe
- Biblioteki podstawowych procedur, obsługi zewnętrznych urządzeń
- Disasemblery,
- Zintegrowane środowiska projektowo-diagnostyczne (IDE integrated development environment)
- Programy do obsługi programatorów pamięci wewnętrznej,
- Programy do obsługi urządzeń diagnostycznych JTAG,

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

2

## Narzędzia sprzętowe

- Symulatory sprzętowe (emulatory ICE in circuit emulators)
- Interfejsy programowo-diagnostyczne (JTAG)
- Wewnętrzne układy śledzące (background mode debugging)
- Analizatory stanów logicznych
- Analizatory szybkości pracy systemu
- Generatory przebiegów (magistral), (pattern generator)
- Programatory pamięci
- Emulatory pamięci ROM
- Oscyloskopy
- Sondy logiczne
- Multimetry (woltomierz, amperomierz, omomierz)

## Narzędzia sprzętowe

- Zestawy uruchomieniowe, (Start Kits, evaluation board)
- Zestawy edukacyjne
- Próbki układów
- Dokumentacja techniczna
- Noty aplikacyjne
- Zasoby internetowe

## Oprogramowanie do projektowania układów i urządzeń elektronicznych

- Symulatory do układów elektronicznych analogowych i cyfrowych, mikroprocesorowych
- Programy do rysowania schematów elektronicznych (edytory schematów)
- Programy do projektowania płytek drukowanych (PCB)
- Programy do symulowania i sprawdzania tzw. integralności sygnałów na płycie drukowanej (opóźnienia sygnałów, wpływ sygnałów na siebie)
- Programy do analizy kompatybilności elektromagnetycznej EMC układów elektronicznych (emisja zakłóceń, wpływ zewnętrznych zakłóceń)
- Programy do analizy termicznej układów elektronicznych 2D, 3D
- Programy do projektowania urządzeń, elektryczno-mechaniczne 2D i 3D
- Programy wspomagające proces produkcyjny modułów, urządzeń elektronicznych

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

5

## Wybór języka programowania

- Każdy mikroprocesor interpretuje wyłącznie kod maszynowy - ciąg liczb binarnych, nieczytelny dla człowieka
- Każdy inny program - assembler, C, Pascal, Ada, Java - musi zostać przetłumaczony do postaci kodu maszynowego.
- Aby programować systemy wbudowane potrzebne są instrukcje bezpośredniego dostępu do elementów sprzętowych.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

6

Position Jan 2011	Position Jan 2010	Delta in Position	Programming Language	Ratings Jan 2011	Delta Jan 2010	Status
1	1		<a href="#">Java</a>	17.773%	+0.29%	A
2	2		<a href="#">C</a>	15.822%	-0.39%	A
3	4		<a href="#">C++</a>	8.783%	-0.93%	A
4	3		<a href="#">PHP</a>	7.835%	-2.24%	A
5	7		<a href="#">Python</a>	6.265%	+1.81%	A
6	6		<a href="#">C#</a>	6.226%	+0.46%	A
7	5		<a href="#">(Visual) Basic</a>	5.867%	-1.49%	A
8	12		<a href="#">Objective-C</a>	3.011%	+1.63%	A
9	8		<a href="#">Perl</a>	2.857%	-0.71%	A
10	10		<a href="#">Ruby</a>	1.784%	-0.69%	A
11	9		<a href="#">JavaScript</a>	1.589%	-1.12%	A
12	11		<a href="#">Delphi</a>	1.287%	-1.10%	A
13	18		<a href="#">Lisp</a>	1.109%	+0.53%	A
14	17		<a href="#">Pascal</a>	0.919%	+0.29%	A
15	-		<a href="#">Assembly</a>	0.864%	+0.86%	A--
16	14		<a href="#">SAS</a>	0.771%	-0.04%	A--
17	30		<a href="#">Transact-SQL</a>	0.758%	+0.38%	A
18	33		<a href="#">RPG (OS/400)</a>	0.717%	+0.40%	A-
19	20		<a href="#">MATLAB</a>	0.706%	+0.17%	A--
20	28		<a href="#">Ada</a>	0.679%	+0.29%	B

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

## Najbardziej popularne języki programowania

stan 01.2011  
<http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>

7

## Wybór języka programowania

- Konieczne jest, aby dla nowych projektów wykorzystywać elementy oprogramowania już opracowane wcześniej – tworzenie bibliotek funkcji.
- Wybrany język powinien ułatwiać przejście pomiędzy różnymi platformami sprzętowymi.

### Zalety języka C

- Posiada zalety ‘wysokiego poziomu’ - struktury,
- funkcje i ‘niskiego poziomu’ - dostęp do sprzętu,
- jest bardzo efektywny,
- jest popularny, dobrze udokumentowany,
- kompilatory dostępne dla wszystkich platform - od 8 bitowych do 64 bitowych.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

8

# Systemy IDE

## (Integrated Development Environment)

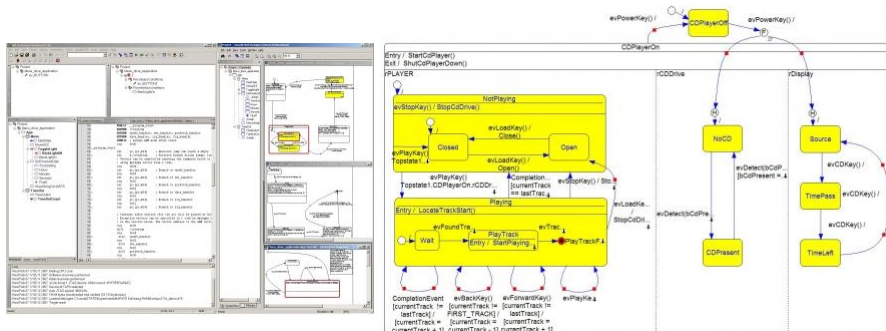
Zintegrowane systemy uruchomieniowe zawierają:

- program zarządzający plikami,
- edytor tekstu,
- assembler,
- kompilator języka C, C++
- linker,
- debugger, symulator programowy,
- symulator programowy,
- monitor współpracujący z debugerem,
- program do tworzenia własnych bibliotek,
- biblioteki programowe,
- dodatkowe programy,
- biblioteki systemu RTX (RTOS).
- programy do obsługi programatorów i układów diagnostycznych JTAG.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

9

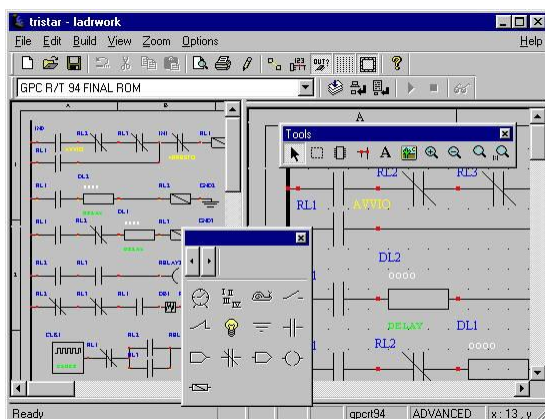
## Język graficzny - IAR State machines and IAR visualSTATE



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

10

## Język drabinkowy dla mikrokontrolerów



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

11

## Środowiska uruchomieniowe typu IDE

- [American Raisonance, Inc.](#): Assemblers/ANSI C Compilers/Simulators/ IDE/Post link Optimizer
- [Archimedes Software](#): C Compiler/Assembler/IDE
- [Avocet Systems](#): C Compiler/Assembler/IDE
- [Hi-Tech Software](#): C Compiler/Assembler/IDE
- [IAR Systems](#): 8052-related tools
- [Keil Software](#): C Compiler/Assembler/IDE
- [KSC Software Systems](#): Pascal & C Compilers/Simulators/IDE
- [Microshadow Research](#): Ladder Compiler
- [Monterey Tools, Inc.](#): Assemblers/ANSI C Compilers/Simulators/ IDE/Post link Optimizer
- [Raisonance Development Tools](#): C Compiler/Assembler/IDE
- [RistanCASE GmbH](#): Development assistance for Keil, Rasionance, Tasking 'C'
- [Systronix](#): Basic Compiler
- [TASKING](#): C Compiler/Assembler/IDE

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

12

## Narzędzia sprzętowe

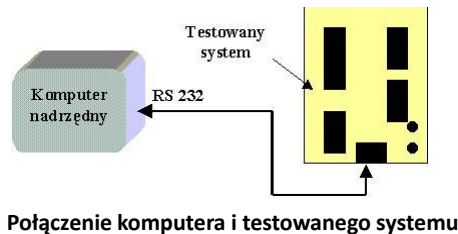
Jest kilka narzędzi wspomagających uruchamianie systemów z mikroprocesorami, które bardzo ułatwiają weryfikację działania programu w układzie rzeczywistym. Do takich narzędzi zaliczymy:

- **emulator sprzętowy mikrokontrolera**
- **emulatora sprzętowy pamięci programu**
- **programy ładujące**
- **monitor programowy i program śledzący**

## Program ładujący - bootloader

- **Program ładujący** ma za zadanie przesłanie programu z komputera nadrzędnego do wewnętrznej lub zewnętrznej pamięci programu mikrokontrolera i uruchomienie tego programu w systemie.
- Najczęściej wykorzystuje się do tego celu złącze szeregowo mikrokontrolera i złącze szeregowo (COM- RS232, USB) komputera nadrzędnego.
- Sam program ładujący jest np. umieszczony w wewnętrznej pamięci programu mikrokontrolera. W komputerze nadrzędnym jest uruchomiony tzw. program terminalowy, który służy do wysyłania plików poprzez złącze szeregowo lub poprzez prostą komendę COPY (np. w systemie DOS) można wysłać program (plik \*.HEX) do zewnętrznej pamięci programu.
- Na czas testowania systemu i programu dla mikrokontrolera, zewnętrzną pamięcią programu staje się pamięć typu RAM (SRAM), w której swobodnie można zmieniać zawartość. W takim układzie występuję wspólna przestrzeń adresowa pamięci programów i pamięci danych.
- Dzięki takiemu połączeniu można bardzo szybko przysłać kolejne wersje skompilowanego programu do pamięci mikrokontrolera. Niektóre mikrokontrolery np. typu 8051 lub ARM mają już wbudowany taki program ładujący.

## Program ładujący - bootloader



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

15

## Monitor programowy wraz z programem śledzącym

- **Monitor programowy wraz z programem śledzącym** (tzw. *debugger*) jest rozwinięciem programu ładującego.
- Programy te są najprostszymi, najtańszymi i jednocześnie najszerzej stosowanymi narzędziami wspomagającymi uruchamianie systemów z mikroprocesorami i mikrokontrolerami.
- Program monitor jest instalowany w zewnętrznej lub wewnętrznej pamięci programu mikrokontrolera, natomiast program śledzący pracuje w komputerze nadrzędnym.
- Oba te urządzenia połączone są ze sobą za pomocą łącza szeregowego, przeważnie w standardzie RS232.
- Zestaw funkcji monitora i debugera zależy od jego typu, producenta i rodzaju zastosowanego mikrokontrolera.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

16



## Monitor programowy i program śledzącym

Do podstawowych możliwości monitora wraz z programem śledzącym należy:

- ładowanie programu z pliku HEX do pamięci
- uruchamianie programu
- krokowe wykonywanie programu
- śledzenie działania programu, zatrzymywanie wykonywanego programu tzw. pułapki
- modyfikowanie zawartości pamięci danych, wewnętrznej i zewnętrznej mikrokontrolera
- modyfikowanie zawartości rejestrów mikrokontrolera wraz z rejestrami specjalnymi
- dokonywanie prostych zmian w programie bez konieczności ponownej asemblacji

## Monitor programowy i program śledzącym

- W typowym programie śledzącym na ekranie monitora komputera nadrzędnego jest pokazywana zawartość wszystkich rejestrów mikrokontrolera, pamięci danych, pamięci programu itp.
- Mamy do dyspozycji jakby cały obraz wewnętrzny i zewnętrzny mikrokontrolera. Program śledzący może być wyposażony w prosty asembler i disassembler.
- Zaletą prostych monitorów i debuggerów jest łatwość obsługi i niska cena. Podstawową wadą jest fakt, że narzędzia te nie pozwalają na prześledzenie pracy systemu w czasie rzeczywistym i w warunkach identycznych jakie będą w układzie rzeczywistym.
- Monitor zainstalowany w systemie zajmuje część jego zasobów, np. pamięć programu, pamięci danych, port szeregowy, linię przerwań. W trakcie testowania oprogramowania i całego urządzenia musi to być uwzględnione.

## Programatory stacjonarne



Klasyczne programatory umożliwiają programowanie:

- Równoległych pamięci typu PROM, EPROM, EEPROM, Flash
- Szeregowych pamięci typu EEPROM, Flash
- Układów programowalnych np. typu PAL, GAL
- Mikrokontrolerów
- Testowanie układów cyfrowych
- Niektóre modele mogą pracować jako emulatory pamięci ROM

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

19

## Programatory w systemie (ISP - In-System Programming)



- Jest to obecnie najbardziej popularny i najtańszy sposób programowania mikrokontrolerów, które mają taką możliwość.
- Układy muszą być wyposażone w odpowiedni interfejs i oprogramowanie do programowania wewnętrznej pamięci programu i wewnętrznej nieulotnej pamięci danych np. typu EEPROM.
- Do tego celu mogą być zastosowane wybrane końcówki mikrokontrolera lub jeden z portów szeregowych mikrokontrolera (UART lub SPI).
- Aby zaprogramować mikrokontroler w systemie należy posiadać programator i program na komputer PC, który obsługuje dany typ mikrokontrolera i dany typ programatora.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

20

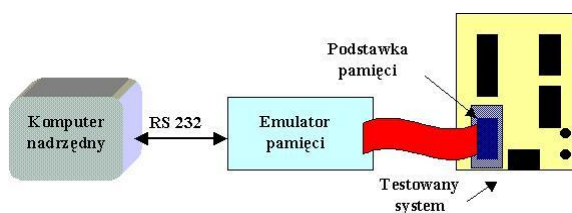
## Emulator sprzętowy pamięci

- **Emulator sprzętowy pamięci** programu jest to w większości przypadków pamięć typu RAM (SRAM), do której wpisuje się program z komputera nadrzędnego np. za pomocą łącza szeregowego lub równoległego.
- Emulator pamięci jest wyposażony w sondę zakończoną adapterem dopasowanym do podstawki pamięci programu w systemie rzeczywistym.
- Emulator nadaje się tylko do systemów gdzie możliwa jest praca mikrokontrolera z zewnętrzną pamięcią programu. Emulatory pamięci są w miarę możliwości tanim rozwiązaniem.
- Wiele rozwiązań układowych emulatorów pamięci EPROM i EEPROM można znaleźć w czasopiśmiech elektronicznych. Emulator pamięci nie umożliwia śledzenia zawartości np. rejestrów mikrokontrolera.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

21

## Emulator pamięci



Połączenie komputera, emulatora pamięci i testowanego systemu

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

22

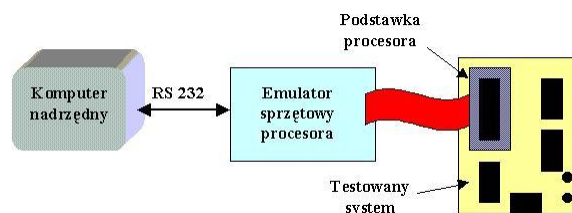
## Emulator sprzętowy procesora

- **Emulator sprzętowy mikroprocesora, mikrokontrolera** - jest najlepszym i jednocześnie najdroższym narzędziem do uruchamiania systemów z mikroprocesorami lub mikrokontrolerami.
- Zasada ich pracy polega na zastąpieniu mikrokontrolera w uruchamianym urządzeniu przez sondę zakończoną adapterem dopasowanym do podstawki mikrokontrolera.
- Dobre emulatory zastępują pracę mikrokontrolera w najdrobniejszych szczegółach z zachowaniem relacji czasowych między wszystkimi sygnałami wejściowymi i wyjściowymi.
- Najczęściej emulator jest podłączony za pomocą łącza szeregowego (USB, RS232) lub równoległego (LPT) do komputera nadrzędnego np. klasy PC
- Dzięki takiemu połączeniu emulator wraz z komputerem umożliwia dokładne śledzenie pracy mikrokontrolera w układzie rzeczywistym.

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

23

## Emulator sprzętowy procesora



Połączenie komputera, emulatora procesora i testowanego systemu

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

24

## Emulator sprzętowy mikroprocesora



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

25

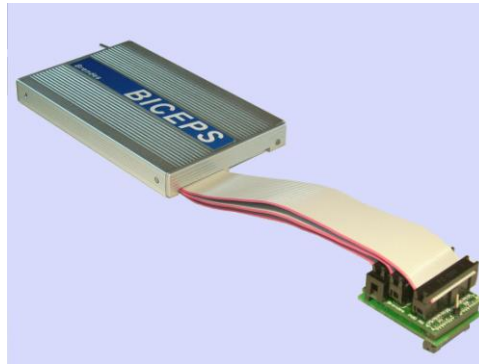
## Professional Real-Time-Trace-Emulator for 8051 microcontrollers



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

26

## The BICEPS real-time trace memory



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

27

Executed assembler opcode

Executed source line

Conditional instruction not executed (grey)

Trace memory

Index	Time	Address	Instruction
148282	0*563.682,7 µs	0x4000082C	MOV R0,R3
		0x40000830	CBP R0,#00000003
		0x40000834	BL5 0x40000734
		0x40000838	BL5 0x40000734
148283	0*563.683,2 µs	0x40000734	MOV R0,R3
		0x40000738	CBP R0,#0x00000001
		0x4000073C	MOV R0,R3
		0x40000740	MOV R0,R3
		0x40000744	CBP R0,#0x00000003
		0x40000748	BL5 0x4000073C
148283	0*563.683,2 µs	0x4000074C	MOV R1,#0x01000000 // set LED 5
		0x40000750	LDR R0,[PC,#0x00FC]
		0x40000754	STR PL,[R0]
148283	0*563.683,2 µs	0x40000758	delay(0x4000064C) // Delay
		0x4000075C	BL5 0x4000073C
148294	0*563.685,8 µs	0x40000764	INCLR1 = 0x00F00000 // Turn off LEDs 5-8
		0x40000768	MOV R1,#0x0F000000
		0x4000076C	LDR R0,[PC,#0x00F0]
		0x40000770	STR R1,[R0]
148294	0*563.685,8 µs	0x40000768	B 0x40000788
		0x4000076C	B 0x40000788
148295	0*563.685,9 µs	0x40000771	switch: (
		0x40000778	MOV R0,R3
		0x4000077C	CBP R0,#0x00000001
		0x40000780	MOV R0,R3
		0x40000784	STR R0,#0x00000002
		0x40000788	STR R0,#0x00000002
		0x4000079C	CBP R0,#0x00000000
		0x400007A0	BEQ 0x4000080C
148296	0*563.686,3 µs	0x40000808	INSTR1 = 0x00000000 // set LED 4
		0x4000080C	MOV R1,#0x00000000
		0x40000810	LDR R0,[PC,#0x003C]
		0x40000814	STR R1,[R0]
148282	0*563.682,7 µs		

Trace memory index

Time stamp

Collapsed function (subroutine delay traced but not displayed)

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

28

## Złącza programująco- testujące Standard JTAG

Złącze JTAG pozwala na:

- Programowanie wewnętrznej pamięci procesora w systemie docelowym (In-System Programming)
- Uruchamianie i testowanie oprogramowania w układzie docelowym (In-Circuit Debugging)
- Śledzenie w czasie rzeczywistym (Real Time Tracing)
- Testowanie urządzenia w standardzie Boundary-Scan IEEE 1149.1
- Programowanie zewnętrznych pamięci Flash i struktur PLD w układzie (In-System Programming)

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

29

## USB JTAG



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

30

## JTAG

- Norma IEEE 1149.1 definiuje standard Boundary-Scan jako technologię testowania skomplikowanych pakietów elektronicznych na zasadzie szeregowego połączenia wyprowadzeń układów scalonych na płytce w łańcuch i wysterowania oraz odczytania ich stanu metodą rejestru przesuwanego.
- Aby ta technologia mogła być zastosowana w urządzeniu (na płytce drukowanej lub w pojedynczym układzie scalonym) muszą być układy scalone wyposażone w mechanizm Boundary-Scan.
- Najczęściej takim układem jest mikrokontroler. Mechanizm B-S z punktu widzenia pojedynczego układu pozwala buforować tzn. odłączać/przyłączać wyprowadzenia od/do struktury układu i konfigurować je w rejestr szeregowy z wejściem TDI i wyjściem TDO.
- Każdy układ na pakiecie wyposażony w B-S jest identyfikowany poprzez ID i może być włączony w łańcuch testowy na pakiecie. Przy czym w trakcie testów poszczególne układy mogą być pomijane w łańcuchu poprzez rejestr BYPASS.

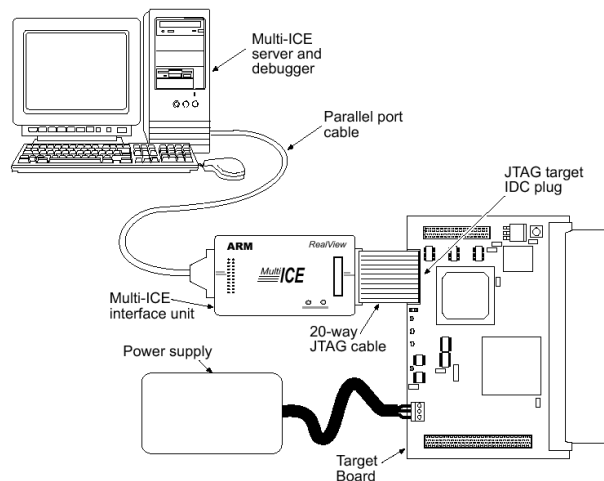
## JTAG

Aby zastosować możliwości złącza JTAG należy:

- posiadać urządzenie JTAG obsługujące dany typ mikrokontrolera
- program na komputer PC, który obsługuje dany typ mikrokontrolera i dany typ złącza JTAG
- na czas testowania/programowania wybrane końcówki mikrokontrolera nie mogą być używane do innych celów



## Podłączenie urządzenia do PC za pomocą złącza JTAG

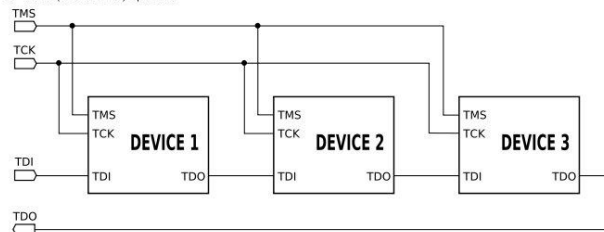


Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

33

## Połączenie poszczególnych układów za pomocą złącza JTAG

1. TDI (Test Data In)
2. TDO (Test Data Out)
3. TCK (Test Clock)
4. TMS (Test Mode Select)
5. TRST (Test ReSeT) optional.



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

34

## Elektroniczny sprzęt pomiarowy

- Multimetry (woltomierz, amperomierz, omomierz, pomiar spadku na złączu n-p,)
- Sonda logiczna – wykrywa stan „0” i stan „1”, lepsze wykrywają zbocze narastające lub opadające, fale prostokątną, stan wysokiej impedancji
- Oscyloskop
  - Analogowy
  - Analogowo-cyfrowy
  - Cyfrowy
  - Cyfrowy z analizatorem stanów

Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

35

## Analizatory logiczne



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

36

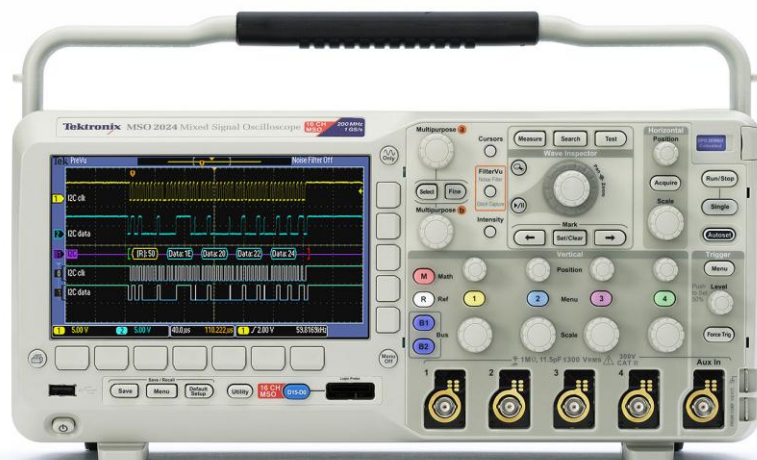
## Analizator logiczny wraz z pattern generator



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

37

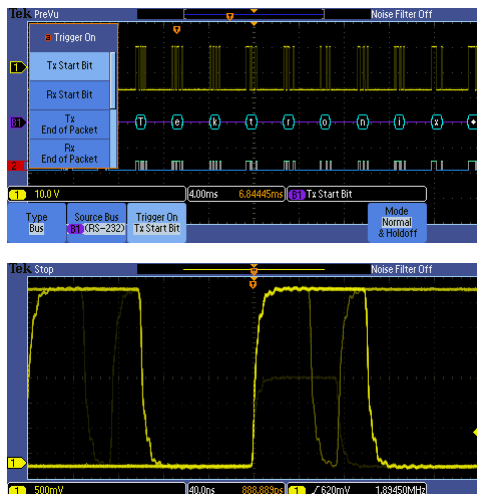
## Oscyloskop cyfrowy z analizatorem logicznym



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

38

## Podgląd złącza szeregowego za pomocą nowoczesnego oscyloskopu cyfrowego



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

39

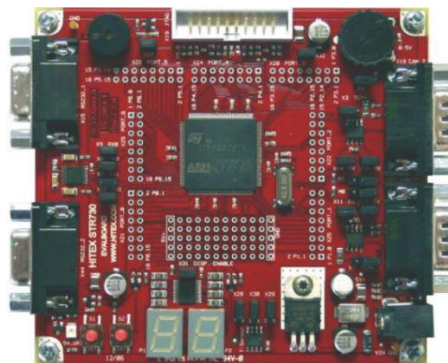
## Podgląd złącza szeregowego za pomocą nowoczesnego oscyloskopu cyfrowego



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

40

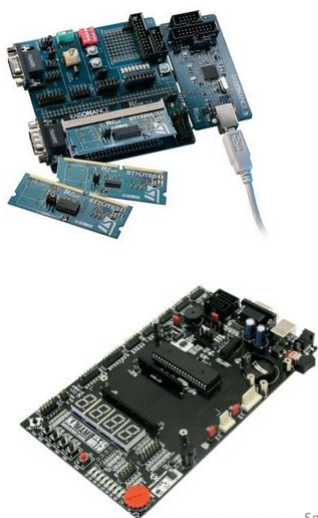
## Płyty ewaluacyjne – zestawy uruchomieniowe



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

41

## Płyty ewaluacyjne – zestawy uruchomieniowe



Semestr zimowy 2009/2010 WIEIK

42