



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

# Rendszerarchitektúrák házi feladat

DOKUMENTÁCIÓ

*Készítette*  
Horváth Dániel  
Kalocsai Kristóf  
Uzseka Dániel

*Konzulens*  
Fehér Béla

2017. május 10.

# Tartalomjegyzék

<b>Kivonat</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>1. Bevezetés</b>	<b>1</b>
1.1. AMBA-APB . . . . .	1
1.2. I2C . . . . .	2
<b>2. Áttekintés</b>	<b>4</b>
2.1. A perifériaillesztő modul felépítése . . . . .	4
2.2. mod_top . . . . .	5
2.3. mod_apb . . . . .	5
2.4. mod_i2c . . . . .	5
<b>3. Tesztelés</b>	<b>8</b>
<b>Ábrák jegyzéke</b>	<b>9</b>
<b>Táblázatok jegyzéke</b>	<b>10</b>
<b>Irodalomjegyzék</b>	<b>11</b>
<b>Függelék</b>	<b>12</b>
F.1. mod_top.v . . . . .	12
F.2. macros.vh . . . . .	13
F.3. mod_APB.v . . . . .	14
F.4. mod_I2C.v . . . . .	15
F.5. tb_top.v . . . . .	18

# Kivonat

Jelen dokumentum egy diplomaterv sablon, amely formai keretet ad a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végző hallgatók által elkészítendő szakdolgozatnak és diplomatervnek. A sablon használata opcionális. Ez a sablon  $\LaTeX$  alapú, a *TeXLive*  $\TeX$ -implementációval és a PDF- $\LaTeX$  fordítóval működőképes.

# Abstract

This document is a  $\LaTeX$ -based skeleton for BSc/MSc theses of students at the Electrical Engineering and Informatics Faculty, Budapest University of Technology and Economics. The usage of this skeleton is optional. It has been tested with the *TeXLive*  $\TeX$  implementation, and it requires the PDF- $\LaTeX$  compiler.

# 1. fejezet

## Bevezetés

Féléves munkánk során egy perifériaillesztő modult valósítottunk meg System Verilog nyelven. Az illesztő az ARM<sup>TM</sup>Ltd. AMBA<sup>TM</sup>-APB rendszerbusza, és az I2C busz között teremt kapcsolatot. Ezen két buszt ismertetjük a továbbiakban.

### 1.1. AMBA-APB

Az Advanced Microcontroller Bus Architecture egy nyílt szabvány, amely chipen belüli kommunikációs összeköttetéseket definiál. Ennek a szabványnak része az Advanced Peripheral Bus (APB), amely alacsony sávszélességű, kis komplexitású, és minimális fogyasztású.

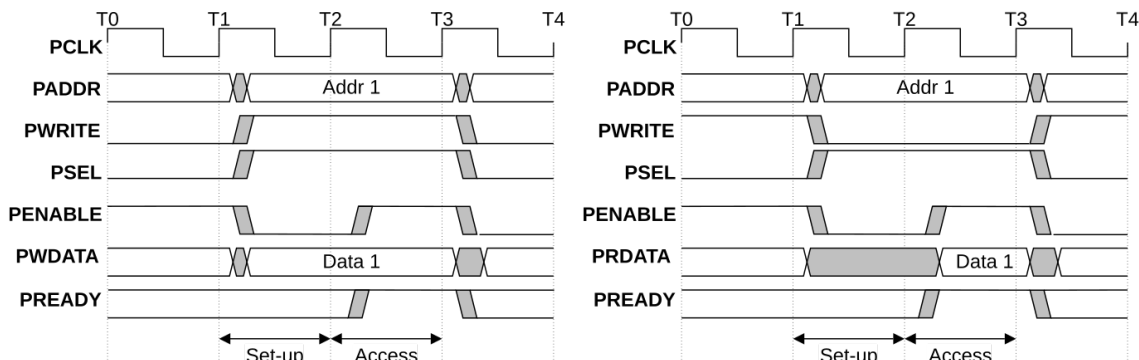
<b>PCLK</b>	Órajel, felfutó éle időzíti az összes átviteli ciklust.
<b>PRESETn</b>	Reset, aktív-alacsony.
<b>PADDR</b>	Címbusz, maximum 32 bit széles.
<b>PSELx</b>	Slave-select, minden egységhez tartozik egy. Kiválasztja az adott slave egységet.
<b>PENABLE</b>	Engedélyező jel, az átviteli ciklus második szakaszát jelzi.
<b>PWRITE</b>	Írányjelző, magas értéke írást, alacsony értéke olvasást jelent.
<b>PWDATA</b>	Adatbusz, maximum 32 bit széles, mindig a perifériabusz bridge hajtja.
<b>PRDATA</b>	Adatbusz, maximum 32 bit széles, a slave egység hajtja az olvasási ciklusban.

**1.1. táblázat.** Az APB busz jelei.

A busz jeleinek áttekintése után nézzünk egy írási ciklust a buszon. Minden átviteli ciklus két szakaszból áll, egy *setup* és egy *access* fázisból, ezen fázisok PCLK felfutó élére kezdődnek, ahogy az az 1.1 ábrán megfigyelhető. A setup fázisban a híd eszköz (APB master) a PADDR buszra kiadja a címzett periféria címét, a PWRITE jelet az írásnak megfelelően magas értékre állítja. A slave-hez tartozó PSEL vonalat is magas értékre állítja be, továbbá a PWDATA buszra kapuzza az írni kívánt adatot. Ebben a fázisban PENABLE alacsony értékű, így a slave

eszköznek lehetősége van felkészülni az átvitelre. PCLK következő felfutó élére a PENABLE vonalat logikai 1 értékre állítja, és ezzel a buszciklus végéig bezárólag a slave eszköz mintát vesz a PWDATA buszról, amivel lezárul az átvitel, PSEL, PWRITE és PENABLE visszaállításra kerül a master által.

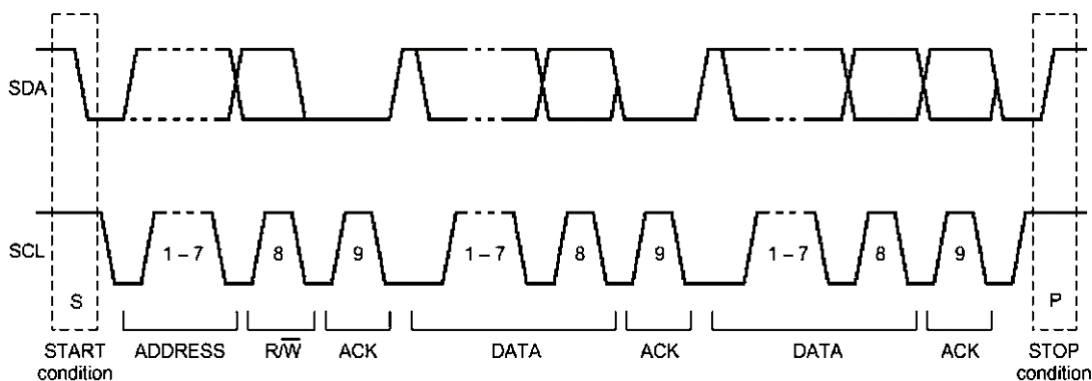
Az olvasás ciklus a vezérlőjeleket tekintve csak PWRITE értékében tér el. Ha az APB master olvasási ciklust kezdeményez, a PWRITE jelet logikai alacsony értékre állítja a setup fázisban. Az access fázisban szintén kiadja a PENABLE jelet, mire a slave eszköz a megcímzett regiszterét a PRDATA buszra kapuzza. Az előzőekhez hasonlóan, a master vezérlőjeleket visszaveszi a ciklus befejeztével.



1.1. ábra. Egy írási és olvasási ciklus időzítési viszonyai az APB buszon.

## 1.2. I2C

Az Inter-Integrated Circuit (vagy I2C, I<sup>2</sup>C, esetleg IIC) egy multi-master, multi-slave, single-ended, félduplex soros kommunikációs busz. Két, nyitott kollektoros (open-drain) vezetéket használ a kétirányú kommunikációhoz, ezek az SDA adatvonal és SCL órajelvezeték. Fizikai kialakításból adódóan a vezetékeket ellenállásokon keresztül magas logikai (3V3, 5V, 1V8 stb.) feszültségre kell felhúzni. A buszra csatlakozó eszközök a vezetékeket "kényszeríteni" tehát csak lefelé tudják. Ez teszi lehetővé a multi-master struktúrához szükséges kiválasztást és arbitrációt, továbbá mivel különálló kiválasztó jelek (slave-select) nem állnak rendelkezésre, így az üzeneteket címezni kell. Egy üzenet felépítése látható az 1.2 ábrán.



1.2. ábra. Az I2C busz időzítési diagrammja.

Az SCL órajelet mindig a *master* szolgáltatja a buszra csatlakozó eszközöknek.

Minden üzenet a *START* feltétellel (az SCL magas értéke mellett SDA lefutó éle) kezdődik és a *STOP* feltétellel (az SCL magas értéke mellett SDA felfutó éle) végződik. Ezek speciális feltételek, az üzenet belsejében nem fordulhatnak elő, mivel SDA csak SCL alacsony értéke mellett változhat.

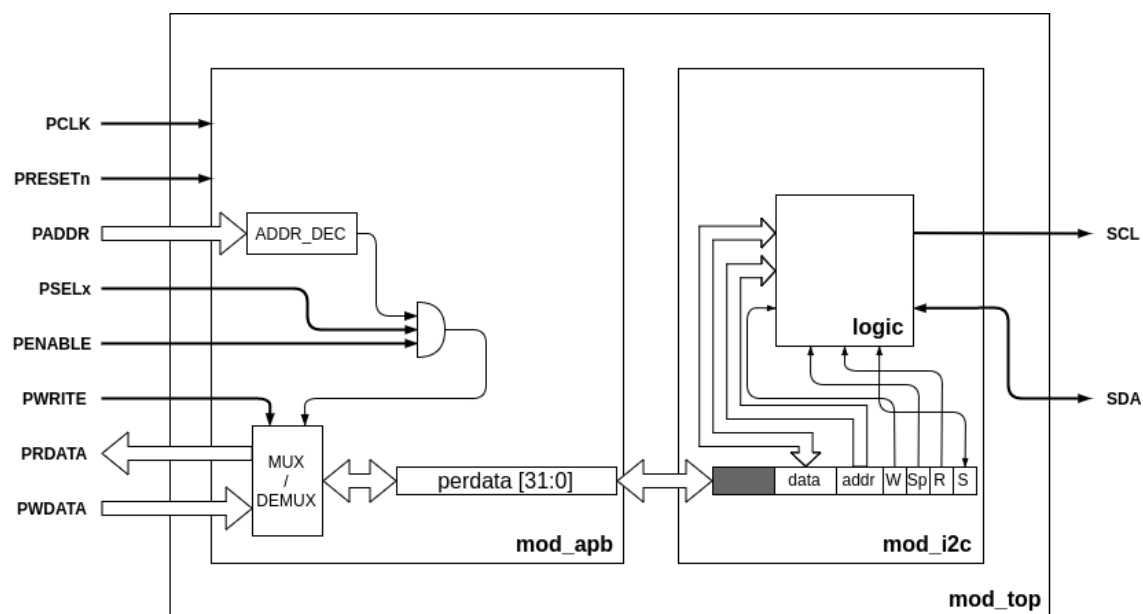
A startbitet követi egy 7 bites címmező, amely a címzettet azonosítja, és egy  $R/\bar{W}$  bit, amely írás esetén alacsony, olvasás esetén magas értékű. Ezután a küldő "elengedi" az adatbuszt, és a vevő, ha sikeres volt az átvitel, az adatbuszon a következő bit idejéig egy alacsony logikai értékű *ACK* nyugtázó jelet ad az SDA vonalra. Ha ez megtörtént, a master további 8 órajelciklus alatt egy byte-nyi adatot kapuz az adatbuszra. Újabb nyugtázás esetén a byte átvitele befejeződött, és sikeres. A masternek lehetősége van további byteokat küldeni, szintén minden 8 bit adat után egy bit nyugtázással. Ha lezajlott a kívánt mennyiségű adat átvitele, a master kiadja a stopfeltételt, amely az üzenet végét jelenti.

## 2. fejezet

# Áttekintés

### 2.1. A perifériaillesztő modul felépítése

Mint az a 2.1 ábrán is látszik, modulunk (*mod\_top*) 2 almodult tartalmaz, a feladatkiírásnak megfelelően: egy *mod\_apb* modulból, ami közvetlenül az APB buszra csatlakozik, és egy *mod\_i2c* modulból, ami a soros kommunikáció vonalaival van összeköttetésben.



2.1. ábra. A modul magas szintű áttekintő ábrája.

Az APB modul a rendszerbusz vezérlőjeit dekódolja, és továbbítja a szükséges adatokat az I2C modulnak. Az I2C modul a rendelkezésére bocsátott adatokból lefolytatja soros kommunikációt.

A továbbiakban tekintsük át részletesebben az almodulok felépítését. A modulokhoz, és a későbbiekben a tesztek kapcsolódó forráskódok a dokumentum végén, a függelékben találhatóak.



## 2.2. mod\_top

## 2.3. mod\_apb

### Ki és bemenetek

Mivel ez a modul közvetlenül az APB buszra csatlakozik, bemenetei megegyeznek a busz jeleivel, eltekintve a PREADY és PSLVERR jelektől, melyeket nem használunk. Továbbá tartalmaz egy darab 32 bites ki-bemeneti regisztert, amely tartalmazza az I2C modul számára küldött, illetve attól fogadott összes releváns adatot. A pontos tartalmat lásd az I2C modul tárgyalásánál.

### Reset

A modul szinkron resetet valósít meg, az órajel felfutó élére mintát vesz a PRESETn jelből, amelynek alacsony értéke mellett nullára állítja a belső állapotregiszterét, illetve az APB és I2C felé menő kimeneteit.

### Állapotok

Ez az almodul 4 belső állapotot különböztet meg az APB vezérlőjelek alapján, ahol *X* az érdektelent (Don't Care), *1* a logikai magasat (illetve helyes címet), *0* pedig ennek ellenkezőjét jelöli. Az alábbi táblázat szemlélteti az állapotokat:

Állapot	PADDR	PSELx	PENABLE	PWRITE
IDLE	X	0	0	X
SETUP	X	1	0	X
READ	1	1	1	0
WRITE	1	1	1	1

### Logika

A vezérlőjelek dekódolása alapján, READ állapotban a ki-bemeneti regiszterét a PRDATA buszra kapuzza, WRITE állapotban a PWDATA busz tartalmát betölti ugyanebbe a regiszterbe.

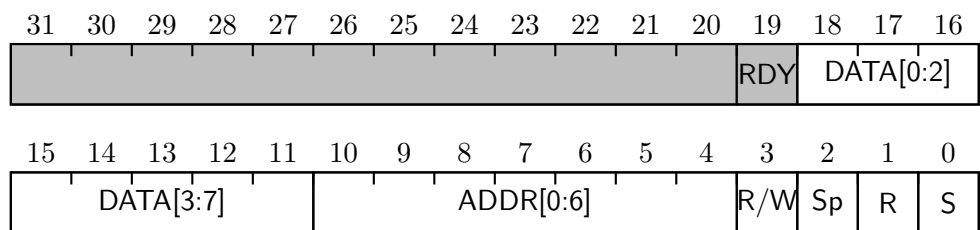
## 2.4. mod\_i2c

### Ki és bemenetek

Ez a modul közvetlenül az I2C buszra csatlakozik, így rendelkezik egy kétirányú, háromállapotú SDA porttal, mely a nyitott-kollektoros működést valósítja meg, illetve egy SCL órajel kimenettel. Továbbá csatlakozik a mod\_apb modulhoz egy 32 bit széles regiszteren keresztül. Ez a regiszter tartalmaz minden információt a modul számára az I2C kommunikáció kezdeményezéséhez. A regiszter tartalmát lásd a 2.2 ábrán.

### Reset

Ez az almodul is szinkron resetet valósít meg, az órajel felfutó élére vizsgálja a PRESETn vonalat és a regiszterének második bitjét ( `regData[1]` ). Ha ezek közül PRESETn-t 0-nak, a bitet pedig 1-nek találja, elengedi az SDA és SCL vonalakat, és belső állapotváltozóit és számlálóit alaphelyzetbe állítja.

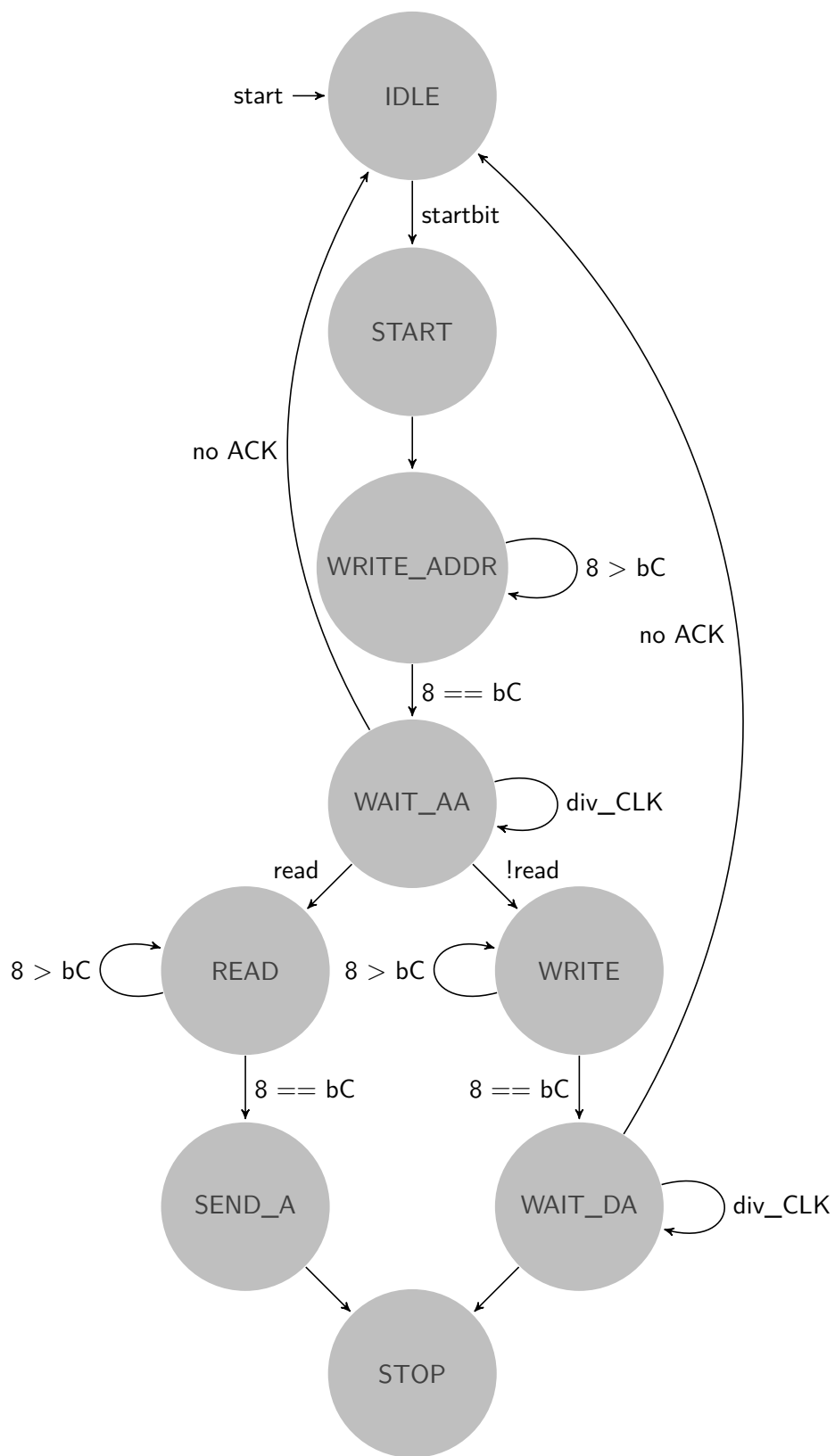


2.2. ábra

### Állapotok

Állapot	PADDR	PSELx	PENABLE	PWRITE
IDLE	X	0	0	X
START	X	1	0	X
STOP	1	1	1	0
WRITE_ADDR	1	1	1	1
READ	1	1	1	1
WRITE	1	1	1	1
WAIT_ADDR_ACK	1	1	1	1
WAIT_DATA_ACK	1	1	1	1
SEND_ACK	1	1	1	1

### Logika



**2.3. ábra.** Az I2C modul állapotátmenetei

### **3. fejezet**

## **Tesztelés**

# Ábrák jegyzéke

1.1.	Egy írási és olvasási ciklus időzítési viszonyai az APB buszon. . . . .	2
1.2.	Az I2C busz időzítési diagrammja. . . . .	2
2.1.	A modul magas szintű áttekintő ábrája. . . . .	4
2.2.	. . . . .	6
2.3.	Az I2C modul állapotátmenetei . . . . .	7

# Táblázatok jegyzéke

1.1. Az APB busz jelei. . . . .	1
---------------------------------	---

# Irodalomjegyzék

# Függelék

## F.1. mod\_top.v

```
'timescale 1ns / 1ps
//
//
// Company:
// Engineer:
//
// Create Date:    07:42:55 04/07/2017
// Design Name:
// Module Name:    mod_top
// Project Name:
// Target Devices:
// Tool versions:
// Description:
//
// Dependencies:
//
// Revision:
// Revision 0.01 – File Created
// Additional Comments:
//
//
//
//

#include "macros.vh"

module mod_top
(
    input          PCLK,          // The rising edge of PCLK is used
                                to time all transfers on the APB.
    input          PRESETn,       // The APB bus reset signal is
                                active LOW and this signal will normally be connected directly to the
                                system bus reset signal.
    input  ['addrWidth-1:0]      PADDR,    // This is the APB address
                                bus, which may be up to 32-bits wide and is driven by the
                                peripheral bus bridge unit.
    input          PSELx,         // A signal from the secondary
                                decoder, within the peripheral bus bridge unit, to each peripheral
                                bus slave x. This signal indicates that the slave device is
                                selected and a data transfer is required. There is a PSELx signal
                                for each bus slave.
    input          PENABLE,       // This strobe signal is used to
                                time all accesses on the peripheral bus. The enable signal is used
                                to indicate the second cycle of an APB transfer. The rising edge of
                                PENABLE occurs in the middle of the APB transfer.
    input          PWRITE,        // When HIGH this signal indicates
                                an APB write access and when LOW a read access.
    output ['dataWidth-1:0]      PRDATA,   // The read data bus is
                                driven by the selected slave during read cycles (when PWRITE is LOW
                                ). The read data bus can be up to 32-bits wide.
)
```



```

        input  ['dataWidth-1:0] PWDATA // The write data bus is
        driven by the peripheral bus bridge unit during write cycles (when
        PWRITE is HIGH). The write data bus can be up to 32-bits wide.
    );

    // apb_mod

    // Outputs
    wire ['dataWidth-1:0] prdata;
    wire startbit;
    wire resetbit;
    wire it_enable;
    wire ['dataWidth-1:0] per_addr; //azert datawith nem pedig addrwith
    mert ez az i2c periferiaira vonatkozik
    wire ['dataWidth-1:0] per_data;

    apb_mod apb_instance (
        .clk(PCLK),
        .reset(PRESETn),
        .addr(PADDR),
        .pwwdata(PWDATA),
        .prdata(PRDATA),
        .pwrite(PWRITE),
        .psel(PSELx),
        .penable(PENABLE),
        .startbit(startbit),
        .resetbit(resetbit),
        .it_enable(it_enable),
        .per_addr(per_addr),
        .per_data(per_data)
    );

    // Instantiate the module
    mod_i2C instance_name (
        .SDA(SDA),
        .SCL(SCL),
        .command(command),
        .address(address),
        .data(data),
        .clk(clk),
        .rst(rst),
        .ready(ready)
    );

    /*reg [31:0] cntr;

    always @ (posedge PCLK) begin
        if (!PRESETn)
            cntr <= 0;
        else if (PENABLE)
            if (PSELx)
                cntr <= cntr + 1;
            else
                cntr <= cntr - 1;
    end*/

    assign PRDATA = prdata;

    endmodule

```

## F.2. macros.vh

```

//
// //////////////////////////////////////
// Company:
// Engineer:
//
// Create Date:    08:52:53 04/29/2017
// Design Name:
// Module Name:    macros

```



```

reg [1:0] apb_status;
integer i;

reg ['dataWidth-1:0] mem ['addrWidth-1:0];

always @ (posedge clk or negedge reset) begin
    /*clk_counter <= clk_counter + 1;
    prdata <= clk_counter;*/
    if (reset == 0) begin
        apb_status = 0;
        prdata <= 0;
        for (i=0; i<='addrWidth; i=i+1) begin
            mem[i] = 0;
        end
    end
    else
        if (psel == 0)
            apb_status = 0;
        else
            if (penable == 0)
                apb_status = 1;
            else
                if (pwrite == 0)
                    apb_status = 2;
                else
                    apb_status = 3;

            if (apb_status == 2)
                prdata = mem[addr];
            else if (apb_status == 3)
                mem[addr] = pwdata;

            startbit = mem[0];
            resetbit = mem[1];
            it_enable = mem[2];
            per_addr = mem[3];
            per_data = mem[4];

            /* $display("Status is: %d", apb_status);
            //$display("int: %d", addr_int);

            for (i=0; i<addrWidth; i=i+1)
                $display("Mem %d: %d", i, mem[i]);
            $display("-----");*/

            $display("startbit: %d", startbit);
            $display("resetbit: %d", resetbit);
            $display("it_enable: %d", it_enable);
            $display("per_addr: %d", per_addr);
            $display("per_data: %d", per_data);
            $display("-----");

end

endmodule

```

## F.4. mod\_I2C.v

```

`timescale 1ns / 1ps
//
//
// Company:
// Engineer:
//
// Create Date:    10:43:24 04/27/2017
// Design Name:
// Module Name:    mod_I2C
// Project Name:
// Target Devices:
// Tool versions:

```



```

        //set the speed of the communication
        if (command[3] == SPEED_100kBPS)
            begin
                div <= 2; //16Mbps to 100kbps (x2) - 80
            end
        else
            begin
                div <= 1; //16Mbps to 400kbps (x2) - 20
            end

            cnt <= 0;
            states <= START;
        end
    end

START :
begin
    rSDA = 0; //pull down the wire

    if (cnt == div) //divided clock -> toggle the scl
    begin
        cnt <= 0;

        rSCL <= ~rSCL; //pull scl down

        states = WRITE_ADDR; //go to the next state
    end
    else
    begin
        cnt <= cnt + 1;
    end
    end

WRITE_ADDR :
begin
    if (cnt == div) //divided clock -> toggle the scl
    begin
        cnt <= 0;

        rSCL <= ~rSCL; //pull scl down
    end
    else
    begin
        cnt <= cnt + 1;
    end
    end
    if (i2c_clk_haf)
    begin
        if (0 == scl_monitor)
        begin
            end
        end
    end
end

endcase

$display("state: %d",states);

end

// Open Drain assignment
assign SDA = rSDA ? 1'bz : 1'b0;
assign SCL = rSCL;
//assign SCL = rSCL ? 1'bz : 1'b0;
// assign i2c_clk = (cnt == div);

endmodule

```

## F.5. tb\_top.v

```
'timescale 1ns / 1ps

//
//
// Company:
// Engineer:
//
// Create Date:    08:42:21 04/07/2017
// Design Name:    mod_top
// Module Name:    F:/RSZA/HW/tb_top.v
// Project Name:    HW
// Target Device:
// Tool versions:
// Description:
//
// Verilog Test Fixture created by ISE for module: mod_top
//
// Dependencies:
//
// Revision:
// Revision 0.01 - File Created
// Additional Comments:
//
//
//

'include "macros.vh"

module tb_top();
    // Inputs
    reg PCLK;
    reg PRESETn;
    reg ['addrWidth-1:0] PADDR;
    reg PSELx;
    reg PENABLE;
    reg PWRITE;
    reg ['dataWidth-1:0] PWDATA;

    // Outputs
    wire ['dataWidth-1:0] PRDATA;

    // Instantiate the Unit Under Test (UUT)
    mod_top uut (
        .PCLK(PCLK),
        .PRESETn(PRESETn),
        .PADDR(PADDR),
        .PSELx(PSELx),
        .PENABLE(PENABLE),
        .PWRITE(PWRITE),
        .PRDATA(PRDATA),
        .PWDATA(PWDATA)
    );

    initial begin
        // Initialize Inputs
        PCLK = 0;
        PRESETn = 1;
        PADDR = 0;
        PSELx = 0;
        PENABLE = 0;
        PWRITE = 0;
        PWDATA = 0;

        // Wait 100 ns for global reset to finish
        #50;

        // Add stimulus here
    end
endmodule
```

```

//reset
#10 PRESETn = 0;
#80 PRESETn = 1;

// 1-es (resetbit) cimbe 1 bersa
#40 PADDR = 1; PWDATA = 1;
#5 PWRITE = 1;
#10 PSELx = 1;
#25 //penable csak kovetkezo ciklusban!
#10 PENABLE = 1;
#50

//to idle
#10 PENABLE = 0; PSELx = 0;

#40

//
// 4-es (per_data) cimbe 144 bersa
#10 PADDR = 4;
#10 PWDATA = 144;
#10 PSELx = 1;
#10 PENABLE = 1;

#40

//to idle
#10 PENABLE = 0;
#10 PSELx = 0;

#40

//kilvasas
#10 PWRITE = 0;
#10 PSELx = 1;
#10 PENABLE = 1;

#100

//to idle
#10 PENABLE = 0;
#10 PSELx = 0;

#50

#100 PRESETn = 1;

end

always begin
#25 PCLK = ~PCLK;
end

endmodule

```