

Ugradbeni računalni sustavi

USART



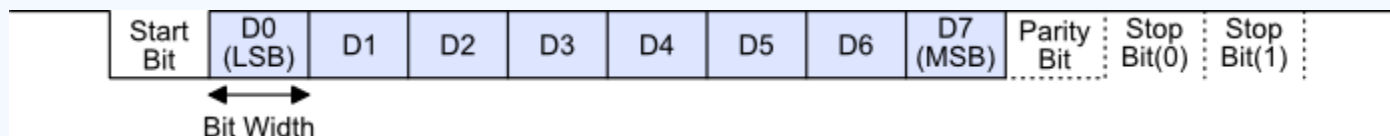


- USART = Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter
- Koristi se za sinhronu i asinhronu komunikaciju
 - Sinhrona/asinhrona?
- Serijska komunikacija: bit po bit
- UART/USART serijsko sučelje
 - Široko dostupno
 - Full-duplex komunikacija
 - Tipična primjena: *one-to-one* komunikacije

Asinhrona komunikacija

10101

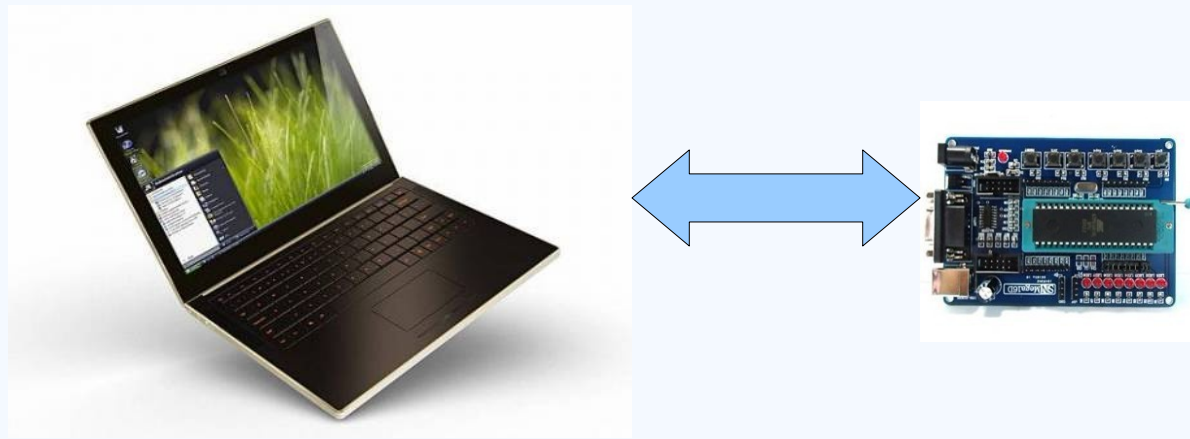
- Nema direktne sinhronizacije
- Podaci se šalju u okvirima
- Svaki okvir ima:
 - 1 start bit
 - 5, 6, 7, 8 ili 9 data bitova
 - 1 ili 2 stop bita
 - Opcionalno paritetni bit



Asinhrona komunikacija

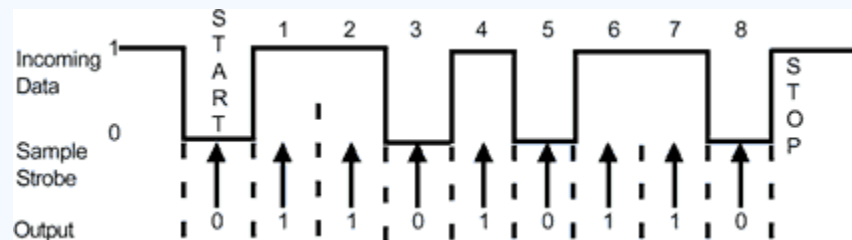
10101

- Kako dva asinhrona uređaja mogu komunicirati?



Problemi

10101

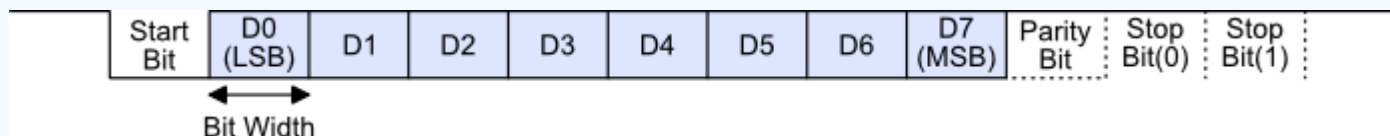


- Kako primatelj zna
 - Gdje su početak i kraj bita
 - Gdje je start bit
 - Gdje je kraj okvira
- Što je potrebno znati da bi odgovorili na ta pitanja?

Parametri komunikacije

10101

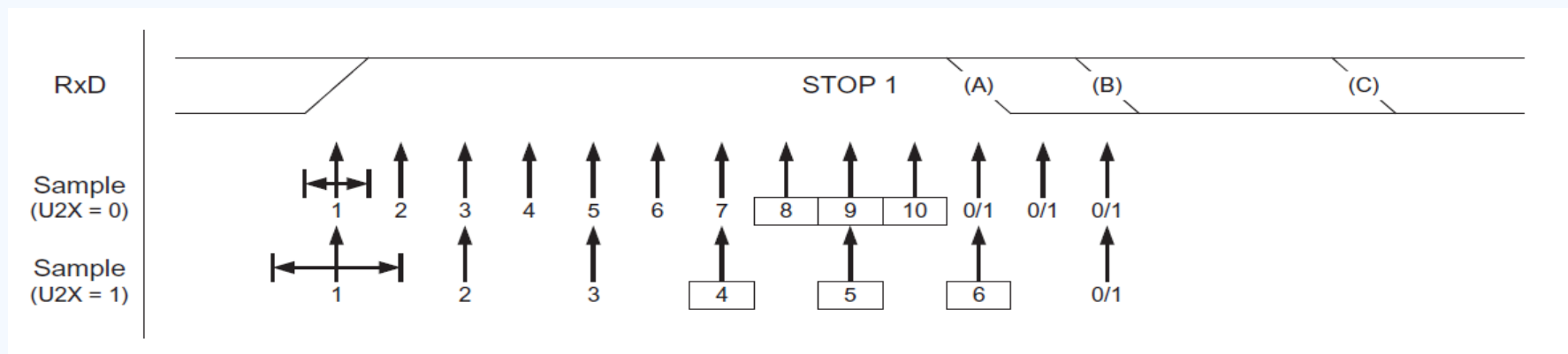
- Parametri komunikacije moraju biti jednaki na oba uređaja:
 - Brzina slanja bitova
 - Početak start bita → padajući brid
 - Broj data bitova
 - Postojanje paritetnog bita
 - Broj stop bitova



Sinhronizacija i uzorkovanje

10101

- Frekvencija uzorkovanja 16 puta viša od frekvencije slanja bitova (ili 8 puta u Double Speed načinu rada)
- Idle stanje – logička 1
- Start bit – padajući brid
- Vrijednost bita – pravilo većine od srednja tri uzorka
- Potvrđeni start bit → sinhronizacija
- Novi frame odmah po detekciji stop bita



Clock



10101

- Prijemnik i predajnik koriste (**približno**) isti clock
- USART clocks dobiva se od CPU clocka
- Brzine komunikacije nisu čiste potencije broja 2
 - Moguća pojava pogreški bit ratea
- Korišćenje oscilatora s “čudnim” frekvencijama
- Gubitak sinhronizacije?

Clock

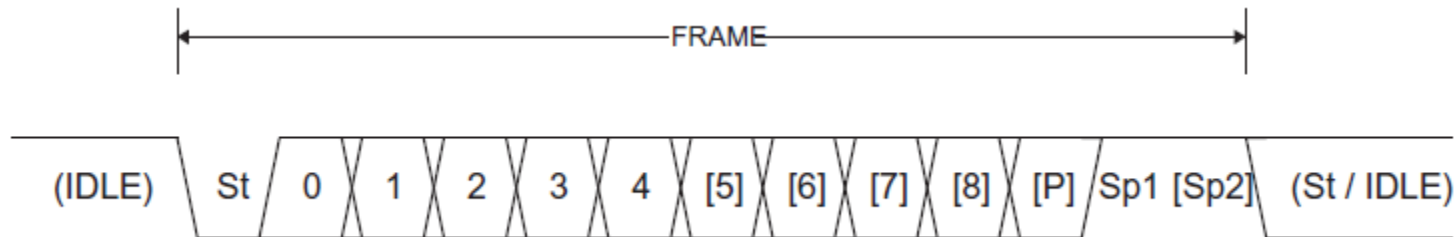
10101

Baud Rate (bps)	$f_{osc} = 8.0000 \text{ MHz}$				$f_{osc} = 7.3728 \text{ MHz}$			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	207	0.2%	416	-0.1%	191	0.0%	383	0.0%
4800	103	0.2%	207	0.2%	95	0.0%	191	0.0%
9600	51	0.2%	103	0.2%	47	0.0%	95	0.0%
14.4k	34	-0.8%	68	0.6%	31	0.0%	63	0.0%
19.2k	25	0.2%	51	0.2%	23	0.0%	47	0.0%
28.8k	16	2.1%	34	-0.8%	15	0.0%	31	0.0%
38.4k	12	0.2%	25	0.2%	11	0.0%	23	0.0%
57.6k	8	-3.5%	16	2.1%	7	0.0%	15	0.0%
76.8k	6	-7.0%	12	0.2%	5	0.0%	11	0.0%
115.2k	3	8.5%	8	-3.5%	3	0.0%	7	0.0%
230.4k	1	8.5%	3	8.5%	1	0.0%	3	0.0%
250k	1	0.0%	3	0.0%	1	-7.8%	3	-7.8%
0.5M	0	0.0%	1	0.0%	0	-7.8%	1	-7.8%
1M	–	–	0	0.0%	–	–	0	-7.8%
Max ⁽¹⁾	0.5 Mbps		1 Mbps		460.8 kbps		921.6 kbps	

Detekcija pogreške

10101

- Paritetni bit
 - XOR data bitova
 - Parni i neparni paritet
 - Parni: $d_0 \text{ XOR } d_1 \text{ XOR } d_2 \text{ XOR } \dots \text{ XOR } d_n$
 - Neparni: $1 \text{ XOR } d_0 \text{ XOR } d_1 \text{ XOR } d_2 \text{ XOR } \dots \text{ XOR } d_n$
 - Uz podatak: 0b01101001
 - Parni: 0 \rightarrow 0b011010010
 - Neparni: 1 \rightarrow 0b011010011



AVR Detekcija pogreške

10101

- Frame error – greška u okviru
 - Prijemnik ne nalazi stop bit gdje ga očekuje
 - Naziva se i pogreška u sinhronizaciji
 - Okvir se mora ponovo poslati
- Data overrun error
 - Podaci u ulaznom spremniku nisu pročitani na vrijeme te su prepisani novim podacima

Veza s PC računalom

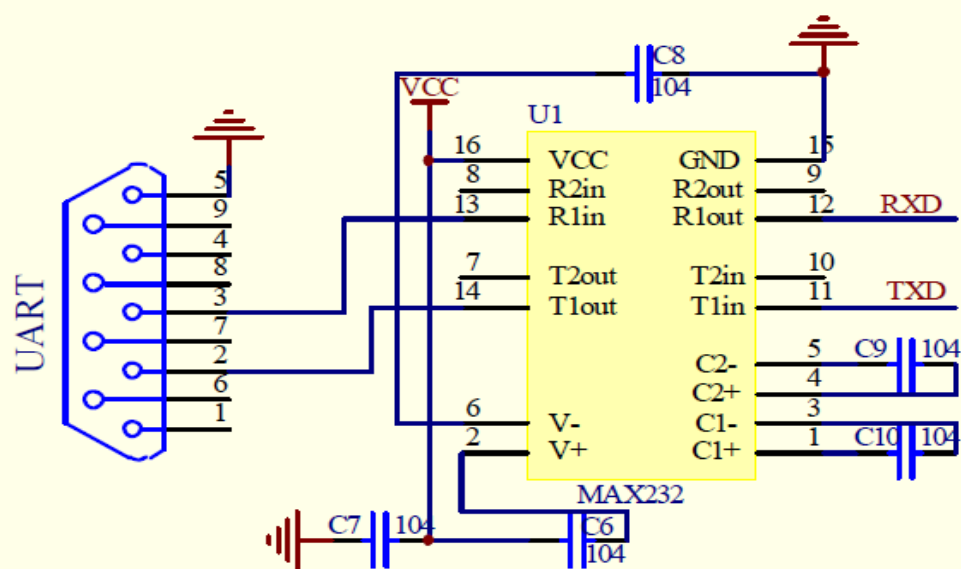
10101

- RS-232 standard
 - Komunikacija: $\pm 3V \rightarrow \pm 15V$
 - Uobičajeno: $\pm 5V$, $\pm 10V$, $\pm 12V$, $\pm 15V$
 - Idle: max 25V
- Invertirano sučelje:
 - $\leq -3V \rightarrow 1$ ili *mark*
 - $\geq +3V \rightarrow 0$ ili *space*
- Direktna veza s mikrokontrolerom?

RS232 transceiver

10101

- Razvojna pločica koristi MAX232 transceiver
- Standardni DB9 connector
- USB to serial cable



Pinovi i registri

10101

- Pinovi:
 - RXD: PD0 → primanje podataka
 - TXD: PD1 → slanje podataka
- UCSRA, UCSRB, UCSRC – kontrolni i status registri
- UBRRH i UBRRL
 - Zajednički se koriste kao UBRR
 - Postavljanje baud ratea
- UDR – 8-bitni registar za čitanje (primanje) i pisanje (slanje) podataka

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	UCSRA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	1	0	0	0	0	0	

- RXC – receive complete → 1 ako ulazni spremnik sadrži podatak
- TXC – transmit complete → 1 ako je cijeli podatak iz posmačnog registra poslan
- UDRE – data register empty → spremno za prihvrat novog podatka
- FE/DOR/PE – Frame/Data Overrun/Parity error
- U2x – udvostručenje brzine
- MPCMP – Multi-Processor Communication Mode
 - Način rada u kojem se može koristiti adresiranje više uređaja

UCSRB

10101

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- RXCIE/TXCIE/UDRIE – Receive/Transmit/UDR empty interrupt enable
- RXEN/TXEN – Receive/Transmit enable
- UCSZ2 – broj podatkovnih bita u okviru (zajedno s UCSZ1 i UCSZ0)
- RXB8/TXB8 – 9. bit, ako se koristi 9 data bita

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	0	0	0	0	1	1	0	

- URSEL – određuje da li se pristupa UBRRH (0) ili UCSRC registru (1)
 - UBRRH i UCSRC koriste istu adresu
- UMSEL – 0/1 asinhroni/sinhroni način rada
- UPM1:0 – paritet
- USBS – stop bitovi
- UCSZ2:0 – podatkovni bitovi
- UCPOL – polaritet clocka – samo u sinhronom načinu rada

- UBRR ne sadrži apsolutnu vrijednost bps
- Potrebno je koristiti tablice ili formulu

$f_{osc} = 7.3728 \text{ MHz}$			
U2X = 0		U2X = 1	
UBRR	Error	UBRR	Error
191	0.0%	383	0.0%
95	0.0%	191	0.0%
47	0.0%	95	0.0%
31	0.0%	63	0.0%
23	0.0%	47	0.0%
15	0.0%	31	0.0%
11	0.0%	23	0.0%
7	0.0%	15	0.0%
5	0.0%	11	0.0%
3	0.0%	7	0.0%
1	0.0%	3	0.0%
1	-7.8%	3	-7.8%
0	-7.8%	1	-7.8%
–	–	0	-7.8%
460.8 kbps		921.6 kbps	

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal Mode (U2X = 0)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master Mode	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$



- Baud rate – broj simbola u sekundi
- Bit rate – broj bita u sekundi
- USART: bit rate=baud rate≠data rate
- Npr. 115.2Kbps, 8N1
 - Okvir: 1 start bit, 8 data bitova, 1 stop bit
 - Iskoristivost: 80%
 - Data rate:
 - $115.2 * 0.8 = 92.16 \text{ kbps} = 11.52 \text{ kBps}$

Primjer: primanje/slanje

10101

```
unsigned char USART_getc( void )
{
    // Wait for data to be received
    while ( !(UCSRA & _BV(RXC)) );

    // Get and return received data from buffer
    return UDR;
}
```

```
void USART_putc( unsigned char data )
{
    // Wait for empty transmit buffer
    while ( !( UCSRA & _BV(UDRE)) );

    // Put data into buffer, i.e., send the data
    UDR = data;
}
```


Prekidni vektori

- USARTRXC_vect: Receive complete
- USARTTXC_vect: Transmit complete
- USARTUDRE_vect: UDR Empty

Primjer

- Unaprijediti temperaturni kontroler na način da se ostvari kontrola i logiranje preko računala
- Za spajanje koristiti terminalni program (TeraTerm, HyperTerminal)
- Pritiskom na tipku:
 - 1 – grijalica/ventilator se uključuje
 - 0 – grijalica/ventilator se hladi
 - l – logiranje - temperatura se šalje na računalo
 - n – isključivanje logiranja

Koraci

- Inicijalizirati USART
- Uspješno poslati bilo koji znak na računalo
- U prekidnom potprogramu uspješno primiti neki znak
- Realizirati potrebne funkcije tipki