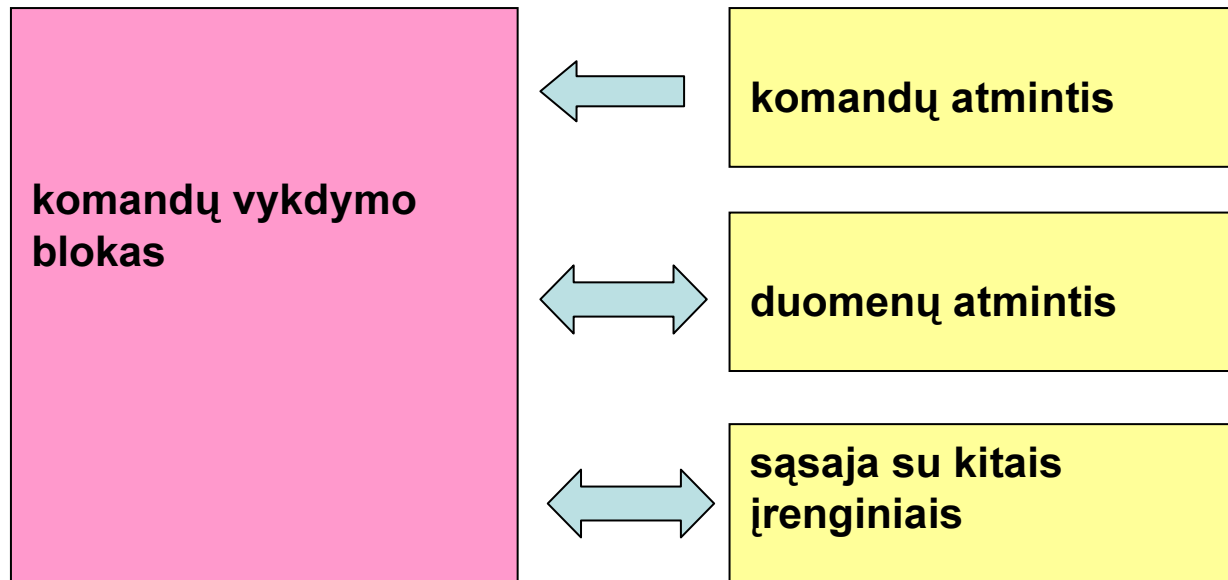


Mikrovaldikliai

**Parengė: Vytautas Jonkus
Vilnius 2013**

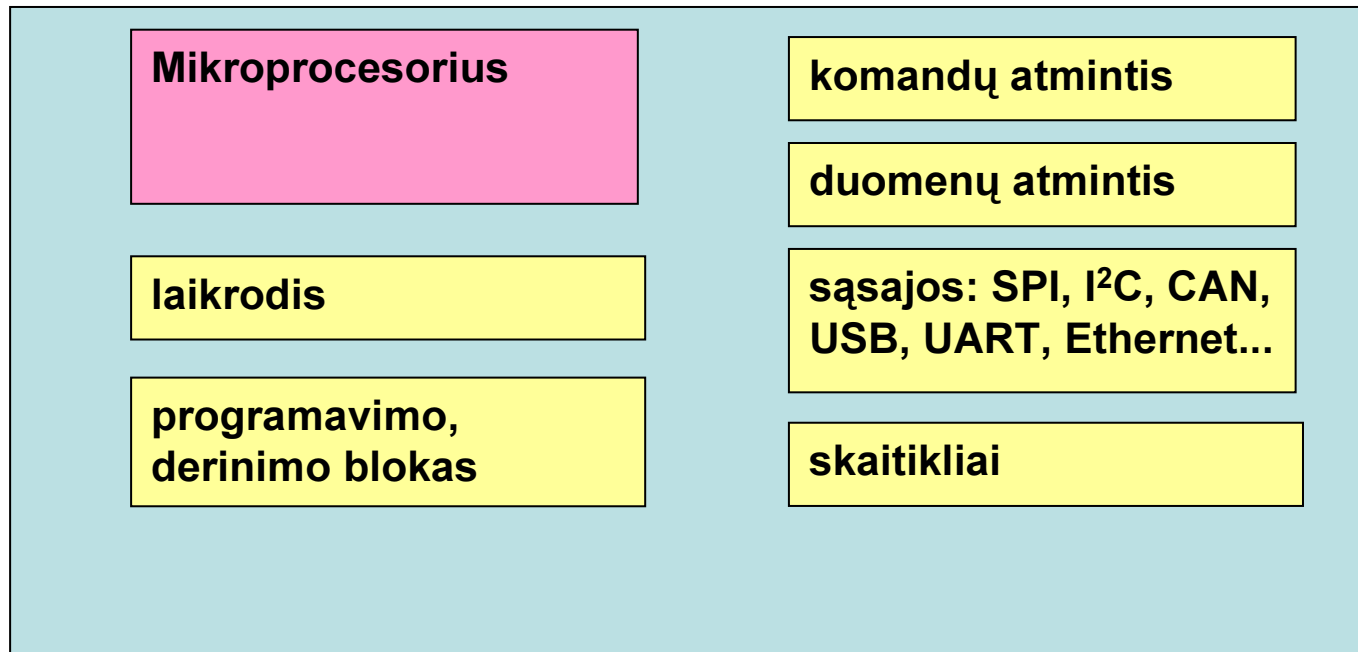
Mikroprocesorius

- Pirmasis 4 bitų mikroprocesorius: Intel 4004, 1971m.



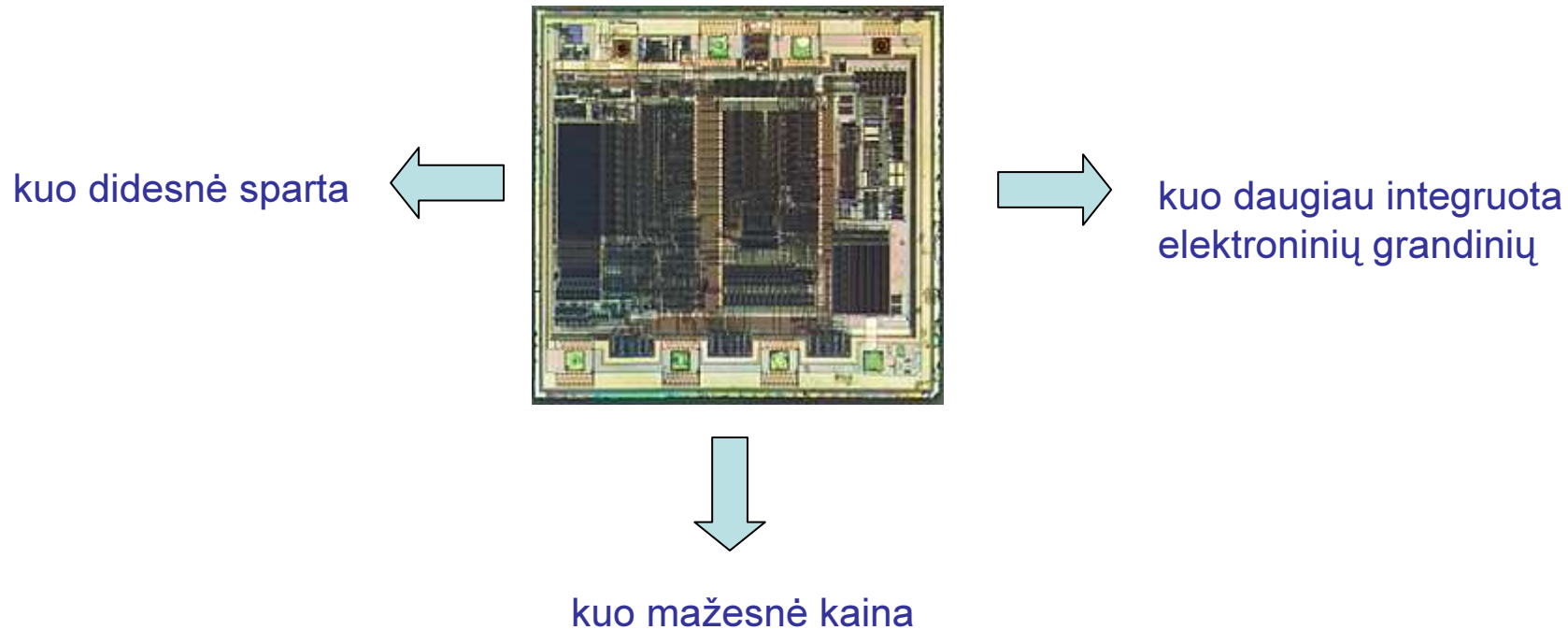
Mikrovaldiklis

- Pirmasis mikrovaldiklis: Texas Instruments TMS1000, 1971m.



Mikrovaldiklio idėja

- mikrovaldiklio idėja: mikrovaldiklio lustas savyje turi talpinti kuo daugiau elektroninių grandinių, kad galutinėje įrenginio konstrukcijoje reiktų kuo mažiau papildomų elementų;



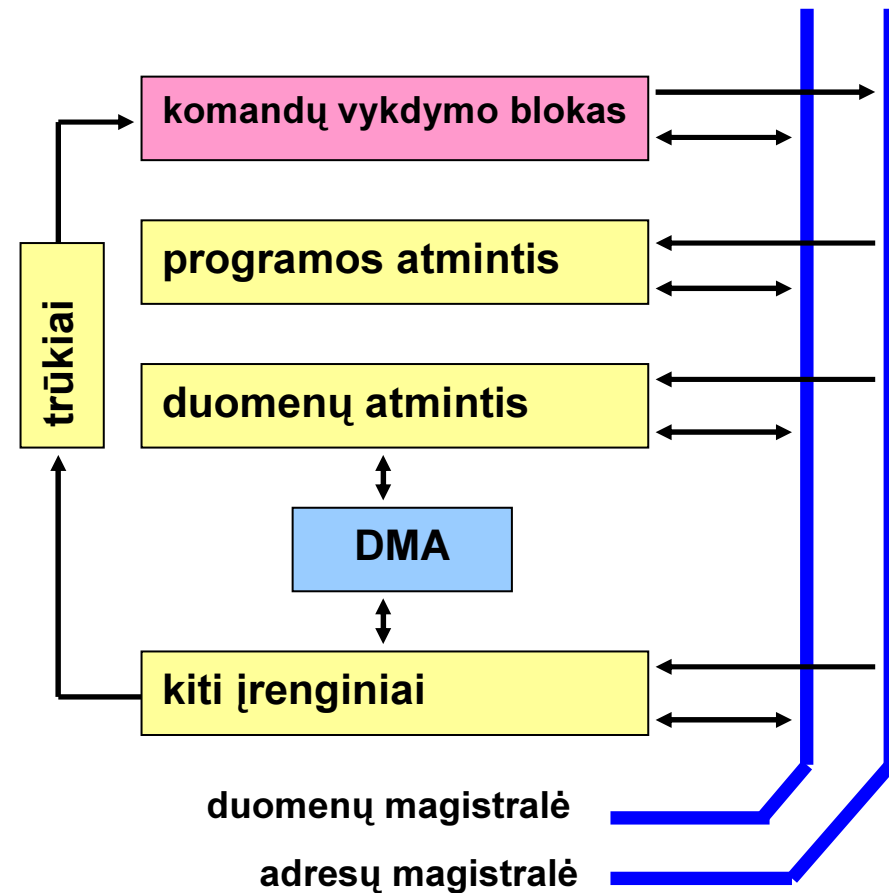
Mikrovaldiklio ypatybės

Mikrovaldiklio ypatybės:

- kompiuteris viename luste, įlituotas į elektroninę plokštę;
- vykdo tik vieną programą (paprastai, įrašytą vidinėje Flash atmintyje);
- mažai vartojantis elektros energijos;
- pigus;
- dirba plačiame temperatūrų diapazone;
- lėtas;

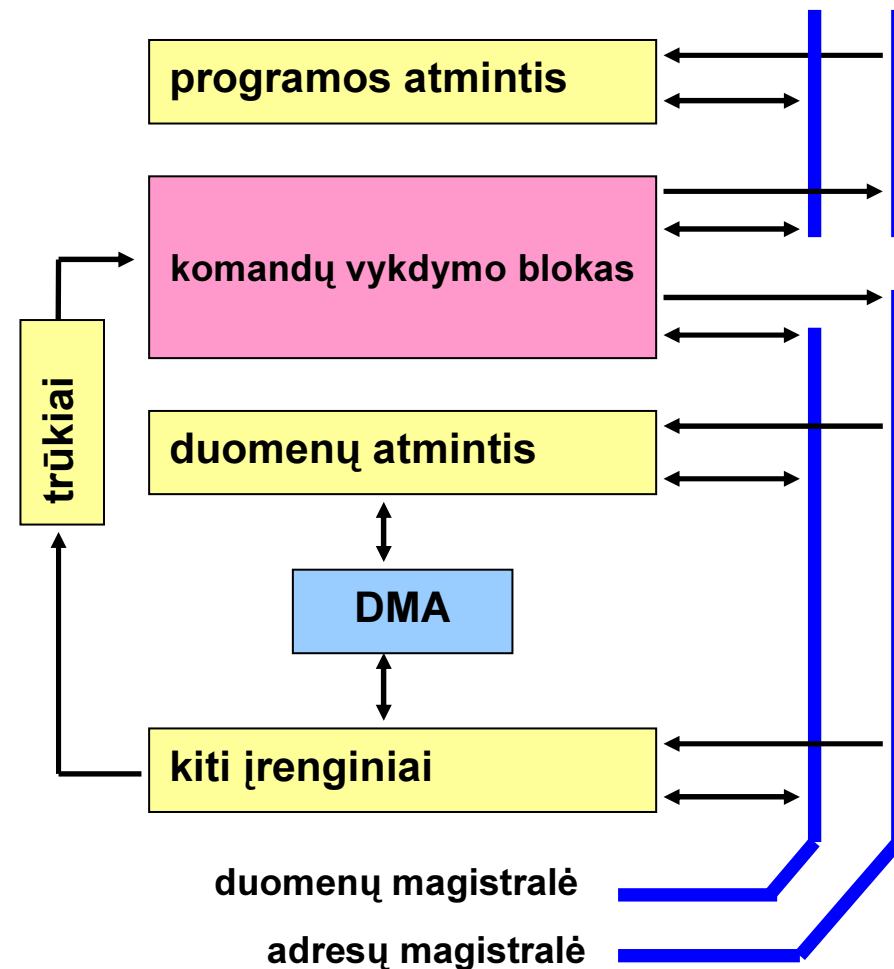
Noimano architektūra

Noimano (Von Neumann) architektūra: programos ir duomenų atmintis bei kitų įrenginių valdymas yra toje pačioje adresų erdvėje, t.y. duomenų mainai vyksta rašant/skaitant į/iš unikalų adresą.



Harvardo architektūra

Harvardo architektūra: yra atskira magistralė programos atminčiai. Lengva suderinti skirtingos spartos ir skirtingo pločio programos ir duomenų atmintis, lengva įgyvendinti sekančios instrukcijos užkrovimą kol vykdoma kita instrukcija (pipelining).

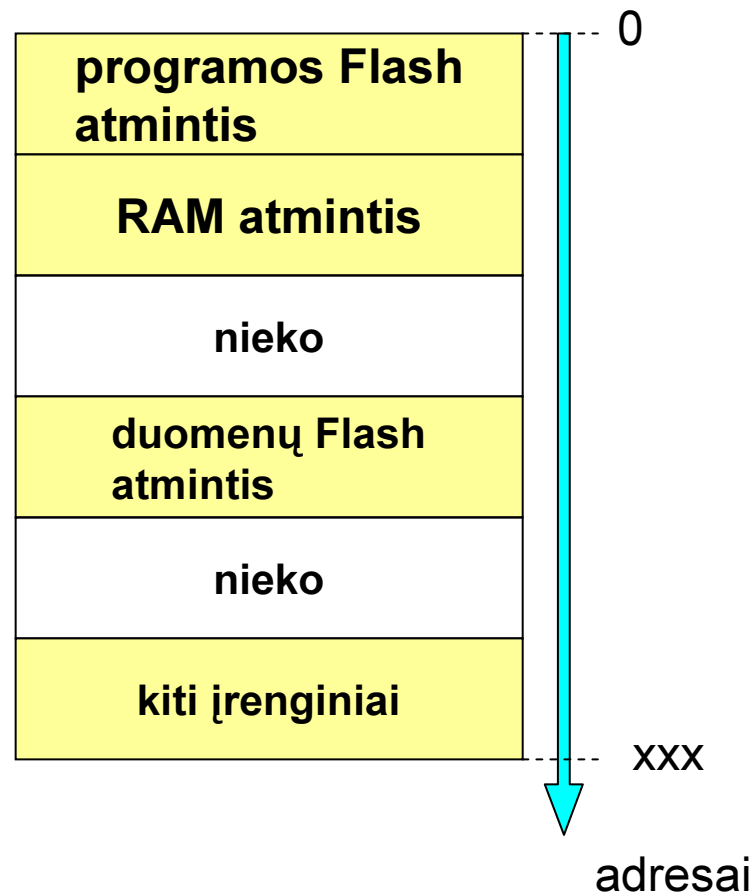


CISC ir RISC

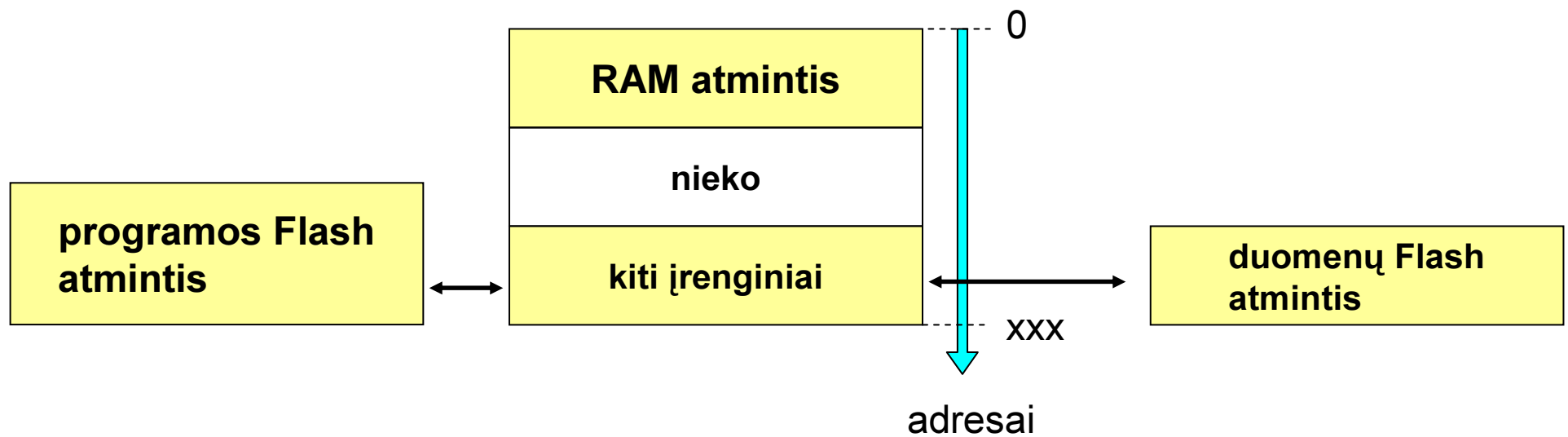
Komandų sistemos:

- CISC (Complex Instruction Computers)
 - yra daug komandų;
 - komanda turi daug argumentų (iš kur paimamas rezultatas, kur talpinamas ir t.t.);
 - komanda įvykdoma per daug taktų;
- RISC (Reduced Instruction Set Computers)
 - yra mažai komandų;
 - operacija vykdoma tik su procesoriaus registru ir atminties ląstele;
 - komanda įvykdoma per vieną taktą;

Atmintis. Noimano architektūra



Atmintis. Harvardo architektūra



Programavimo kalbos

```
...  
MOV W,$55  
INCR W  
...
```

ASSEMBLER

```
...  
for(i=0; i<=1; i++) a[i] = 3*i;  
m.px = 3;  
...
```

C/C++

```
...  
main_loop:  
  high RST  
  b0 = $AA  
  gosub shift  
...
```

BASIC

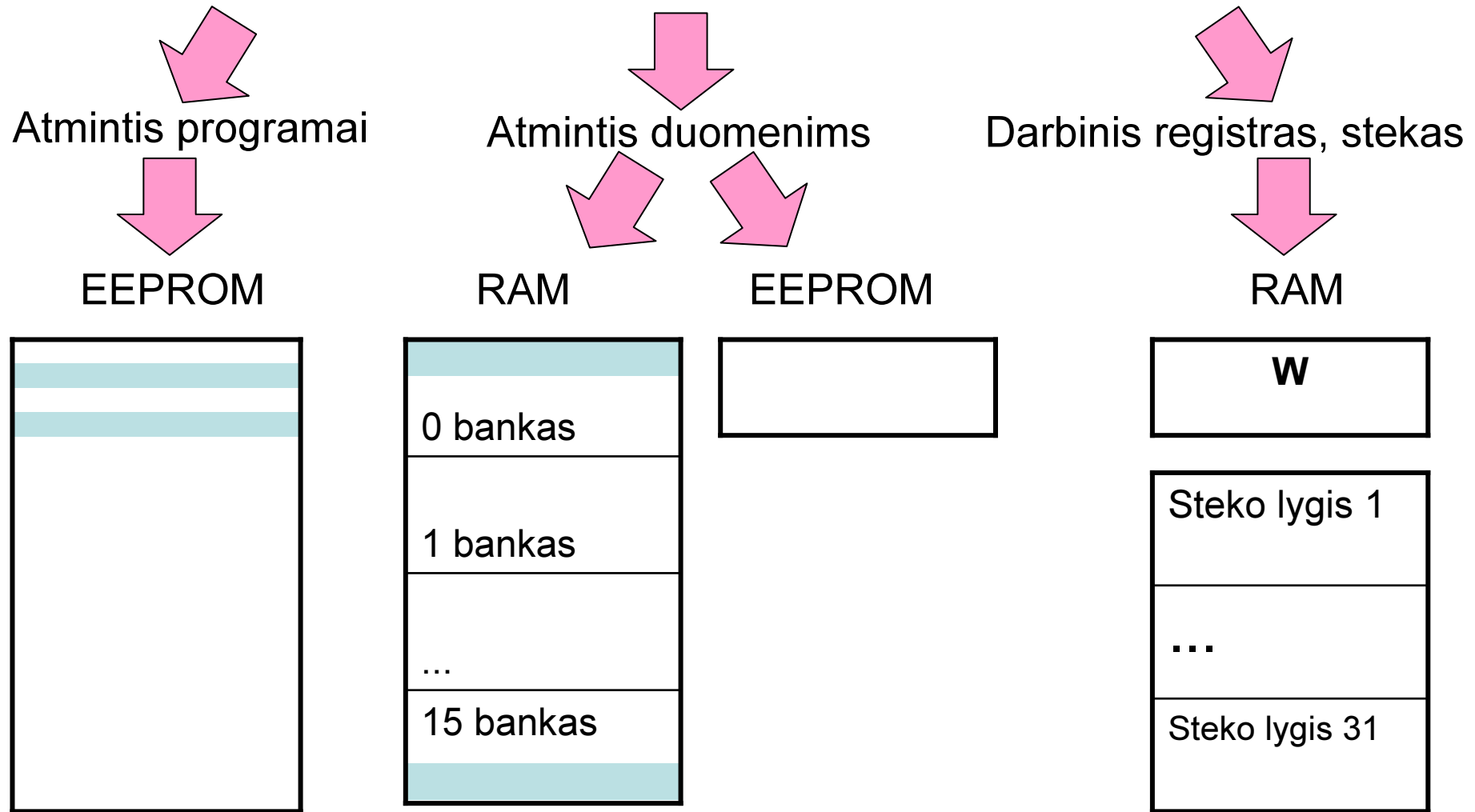
Mikrovaldikliu gamintoju ir architekturu įvairovė

Architektūra	Mikrovaldiklis	Gamintojas
ARM (ARM7, ARM7TDMI, StrongARM, ARM9TDMI, ARM9E, Cortex, ...)	LPC2xxx, AT83xxx, AT87xxx, CC2xxx, ML67xxx, S3C4xxx, LH754xx, ST10Fxxx, STR7xx, STR9xx	Analog Devices, Cirrus Logic, Atmel, Freescale, Fujitsu, Infineon, Philips, STMicroelectronics, OKI, Samsung, Sharp, ...
AVR	ATMega8xxx, ...	Atmel
C166, XC166, XE166	C16x, XC16x, XE16x	Infineon
ColdFire	MCF5xxx, ...	Freescale
HCS12	68HC9xx, MC9S12xxx	Freescale
H8S, H8/300H		Renesas
M16C, M8C, M32C, R32C		Renesas
M Core	MC68xxx, MMC2xxx	Freescale
MIPS32		AMD, Microchip, NEC, LSI Logic, Sunplus, Broadcom, Toshiba
MK5		Sharp
PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24	PIC16Fxxx, PIC18Fxxx, ...	Microchip
SuperH		Hitachi
SAM8	S3Cxxxx, S3Fxxxx	Samsung
V850		NEC
78K0	QB78K0Sxxx, ...	NEC
8051, 8052		Analog Devices, Atmel, Chipcon, Cypress, Honeywell, Infineon, Intel, Philips, OKI, STMicroelectronics, Sharp, Triscend, ...
...

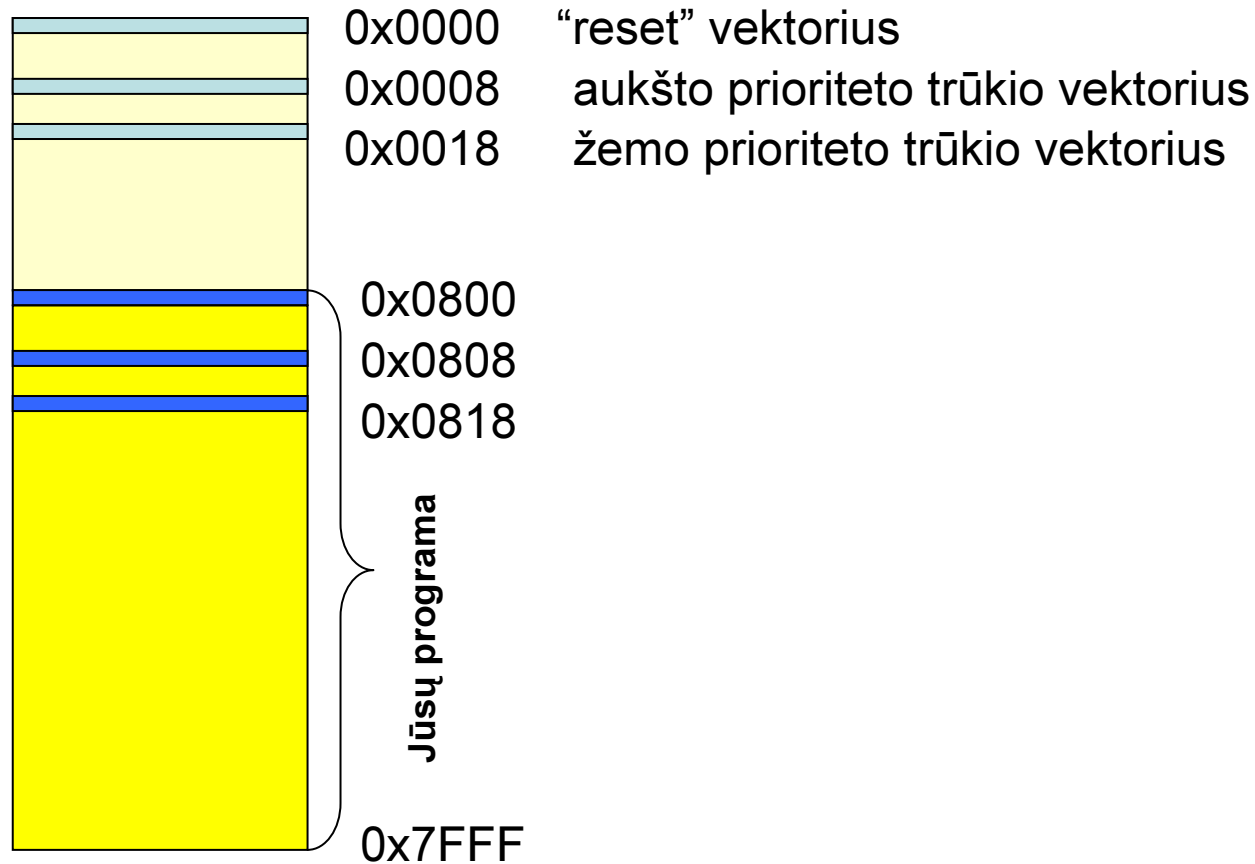
PIC18 šeimos mikrovaldikliai

- Taktinis dažnis 0-40MHz (48MHz modeliuose su USB);
- Harward architektūra, magistralė 8 bitų;
- Komanda įvykdoma per 4 taktus;
- Aparatūrinė 8x8 daugyba;
- Flash atmintis programai iki 128kB;
- Flash atmintis duomenims iki 2kB;
- RAM atmintis iki 32kB;
- Dviejų prioritetų trūkiai, du trūkių vektoriai;
- Periferija: 4 skaitikliai, UART, PWM, ADC, komparatorius, CCP modulis, SPI, I2C, CAN, LIN, USB, Ethernet.

PIC18 procesorių atmintis



Atmintis programai



PIC18 mikrovaldiklių išvadai

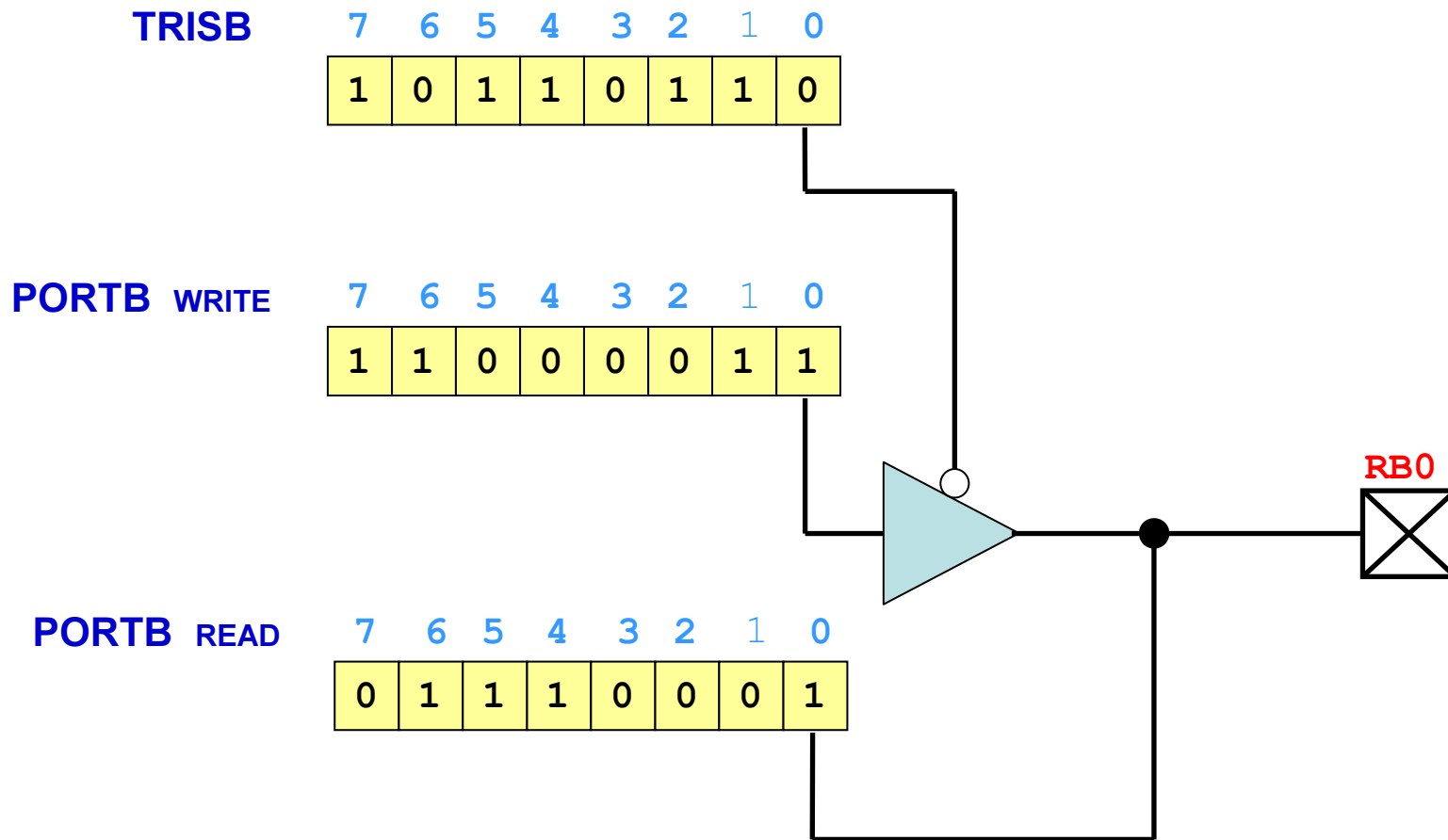
PIC18 mikrovaldiklio galimos išvadų funkcijos:

1. Skaitmeninis įėjimas,
2. Skaitmeninis išėjimas,
3. Dar kažkas.

Po “Reset” signalo PIC18 mikrovaldiklio išvadų funkcijos:

- Visi mikrovaldiklio išvadai yra nustatyti kaip įėjimai;
- RA0-RA3, RA5 yra analoginiai įėjimai; RA4 yra skaitmeninis įėjimas;
- RB0-RB7 yra skaitmeniniai įėjimai;
- RC0-RC7 yra skaitmeniniai įėjimai;
- RD0-RD3 yra analoginiai įėjimai; RD4-RD7 yra skaitmeniniai įėjimai;
- RE0-RE2 yra skaitmeniniai įėjimai.

Skaitmeniniai išėjimai/įėjimai



Mikrovaldiklio išvado kaip skaitmeninio įėjimo ar išėjimo nustatymas

Išvado kaip skaitmeninio įėjimo konfigūravimas:

- Išjungti trečiąją išvado funkciją, jei ji yra įsijungusi po “reset” signalo;
- TRISx registre atitinkamą bitą padaryti “1”;
- Įtampa ant išvado atspindima PORTx tam tikrame bituke: 0/1 reiškia 0V/5V įtampa;
- Pvz.: nuskaitoma ant RB0 išvado esanti įtampa:

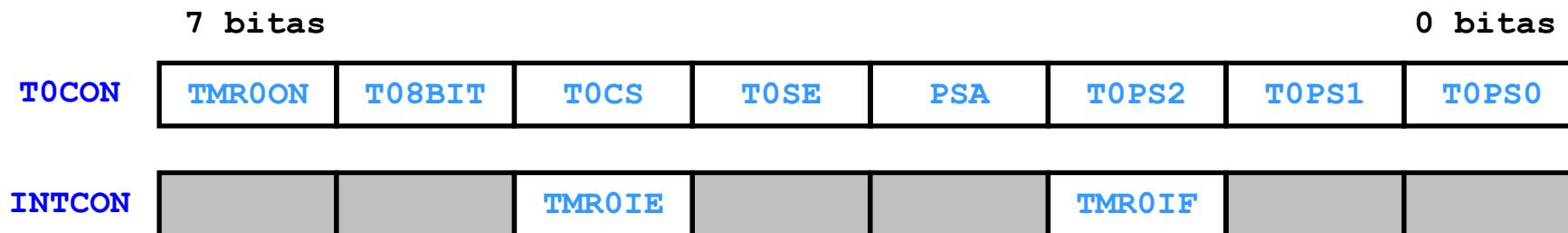
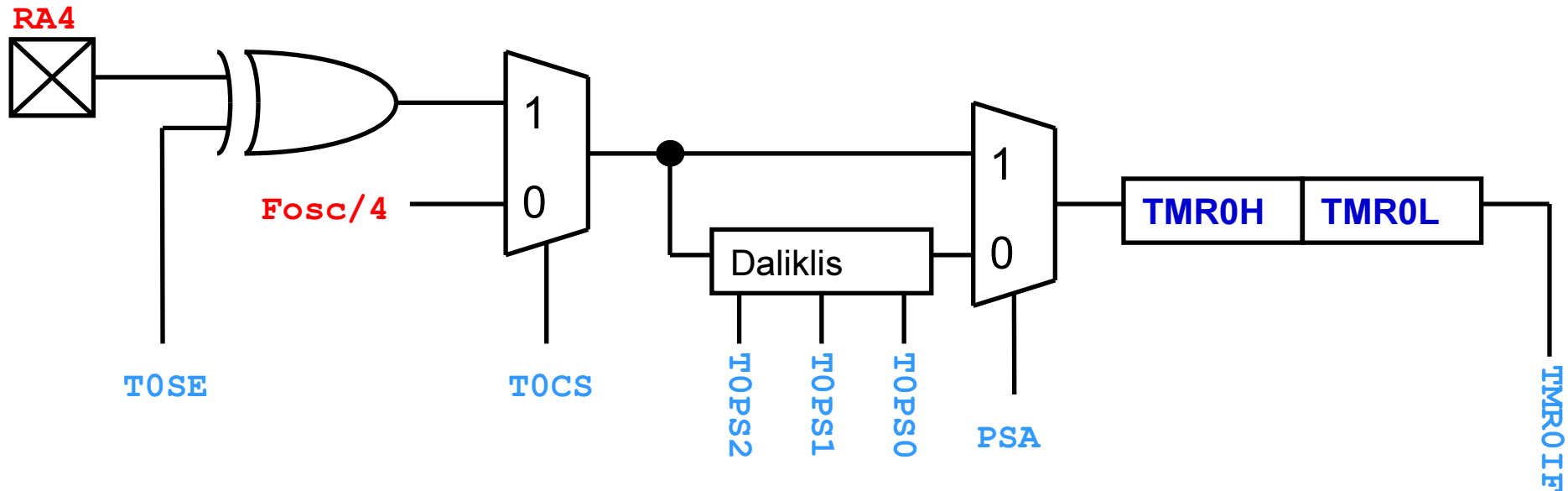
```
TRISB |= 0x01;  
if(PORTB & 0x01) itampa = 5;  
else itampa = 0;
```

Išvado kaip skaitmeninio išėjimo konfigūravimas:

- Išjungti trečiąją išvado funkciją, jei ji yra įsijungusi po “reset” signalo;
- TRISx registre atitinkamą bitą padaryti “0”;
- Įtampą ant išvado nustatome PORTx tam tikrame bituke įrašę 0 ar 1.
- Pvz.: ant RB0 išvado nustatoma 5V įtampa:

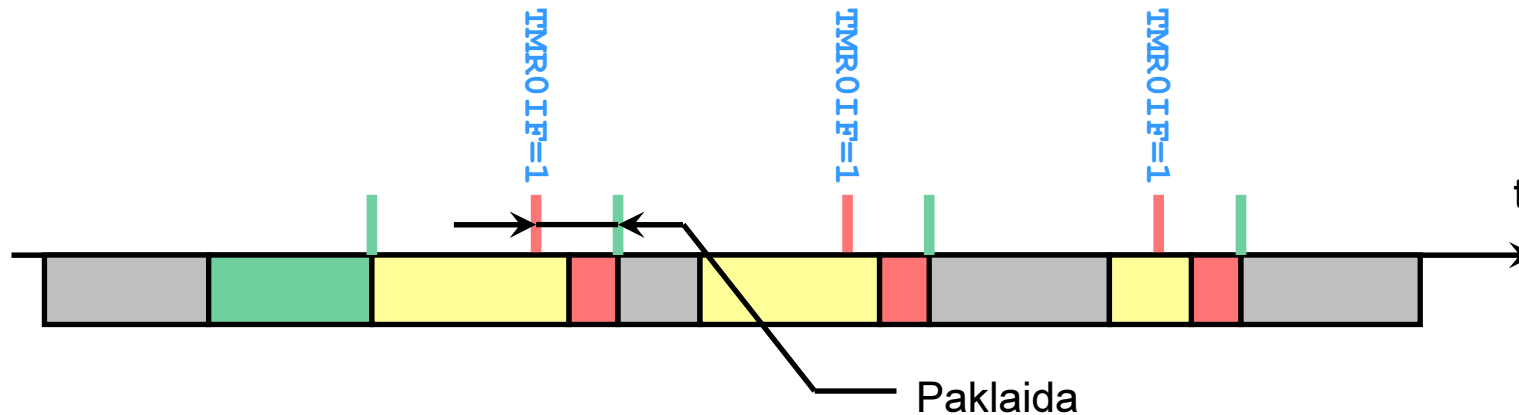
```
TRISB &= ~0x01;  
PORTB |= 0x01;
```





Timer0 skaitiklis



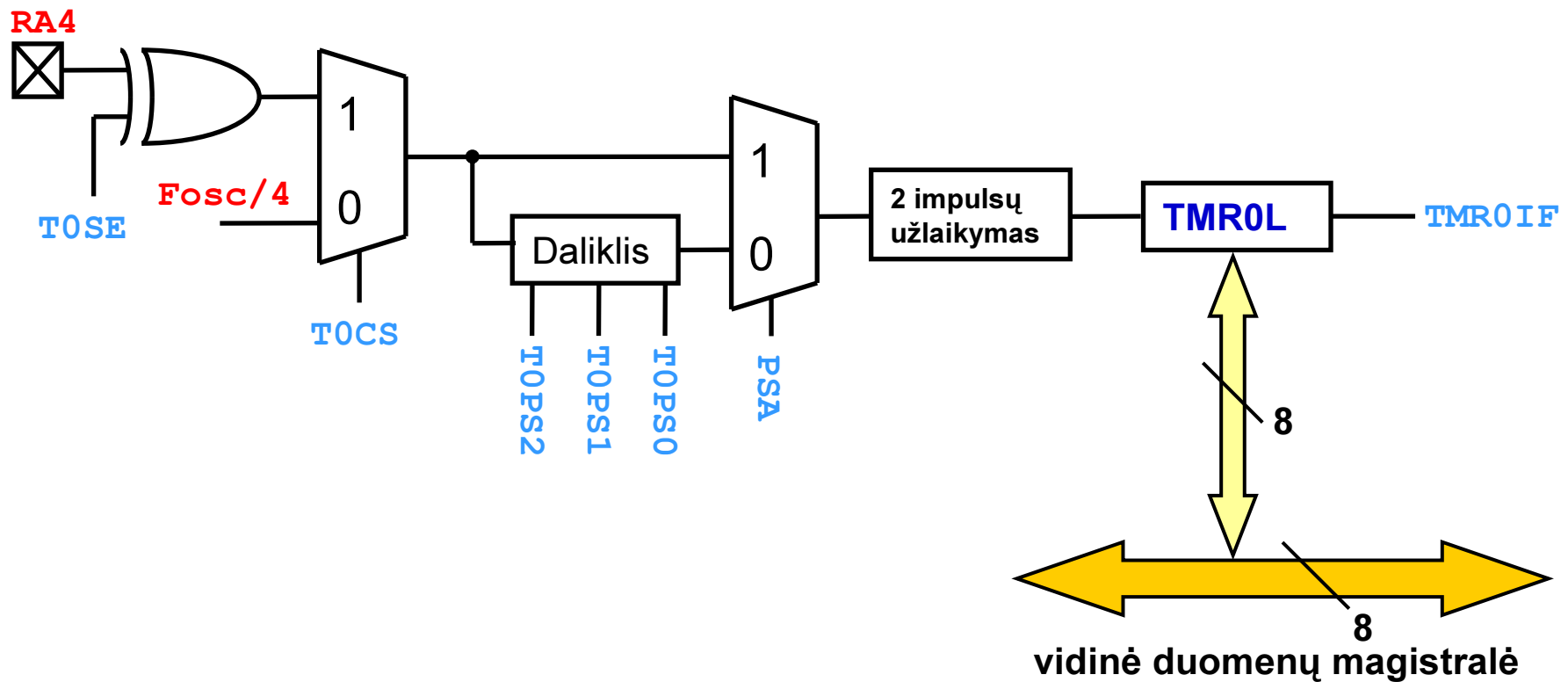
Užlaikymas, kai T08BIT = 0, T0CS = 0, PSA = 0 : $T = 4 / F_{osc} * D * (0xFFFF - TMR0 + 1)$

Tikslūs laiko intervalai su **Timer0** skaitikliu

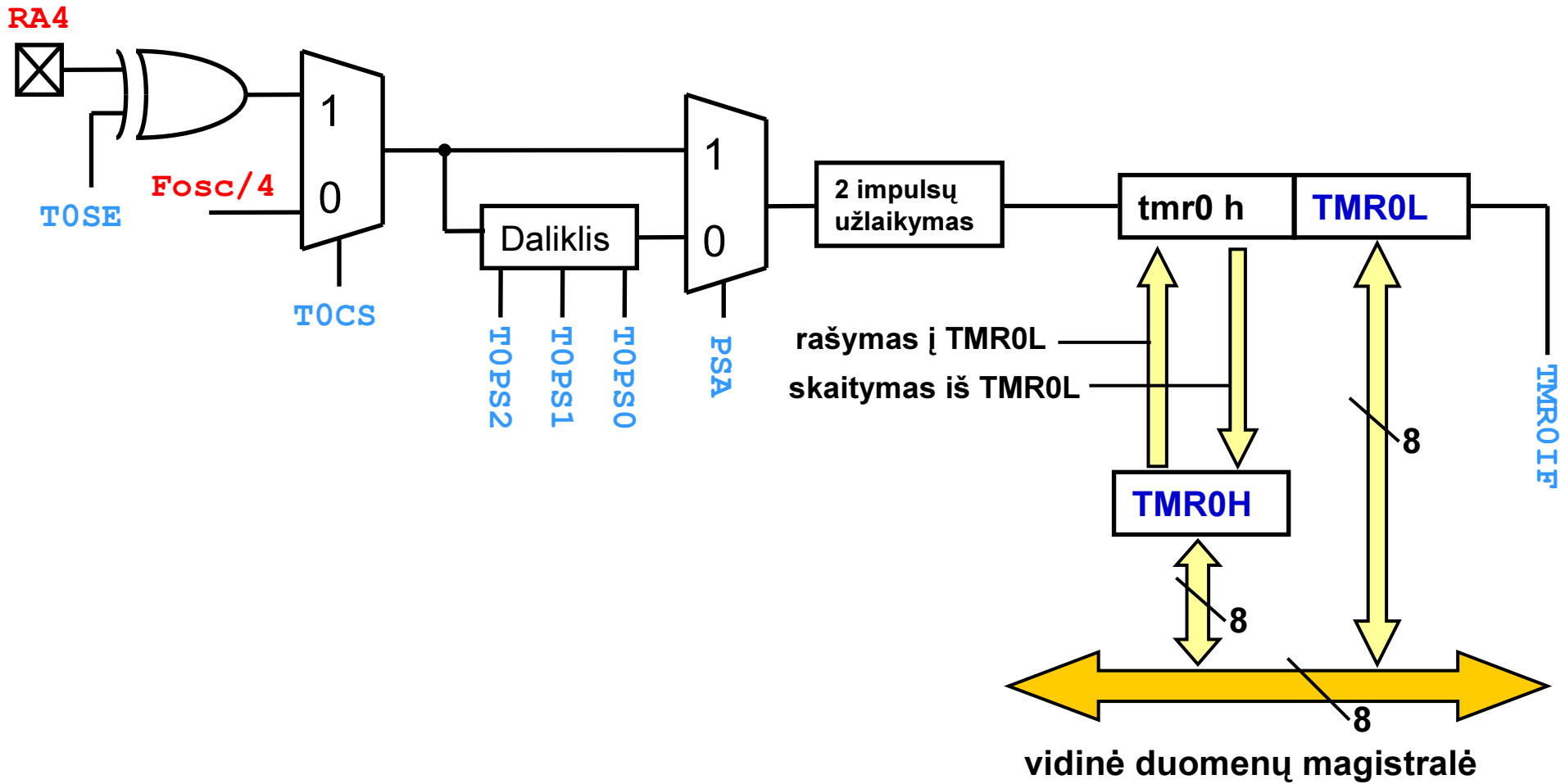


-  Pradinė skaitiklio inicializacija.
-  Programa laukia požymio **TMR0IF** atsiradimo.
-  Programa ištrina **TMR0IF** ir į **TMR0H**, **TMR0L** registrus įrašo pradinę skaitiklio vertę.
-  Programa kažką veikia.

Timer0 skaitiklis: 8 bitų

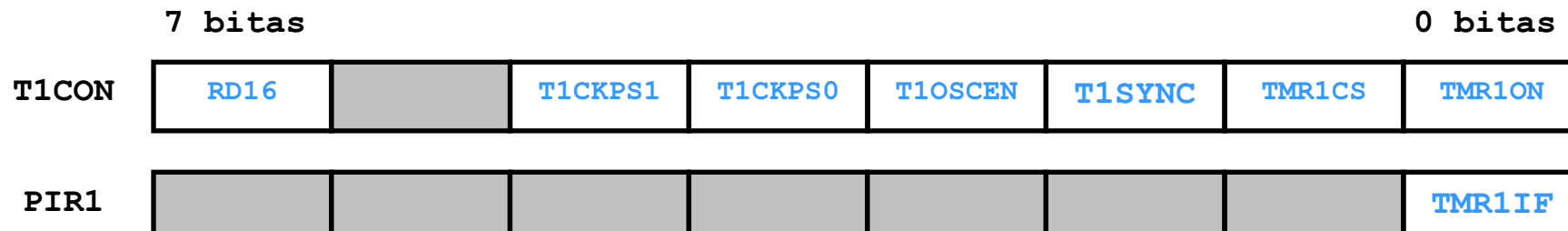
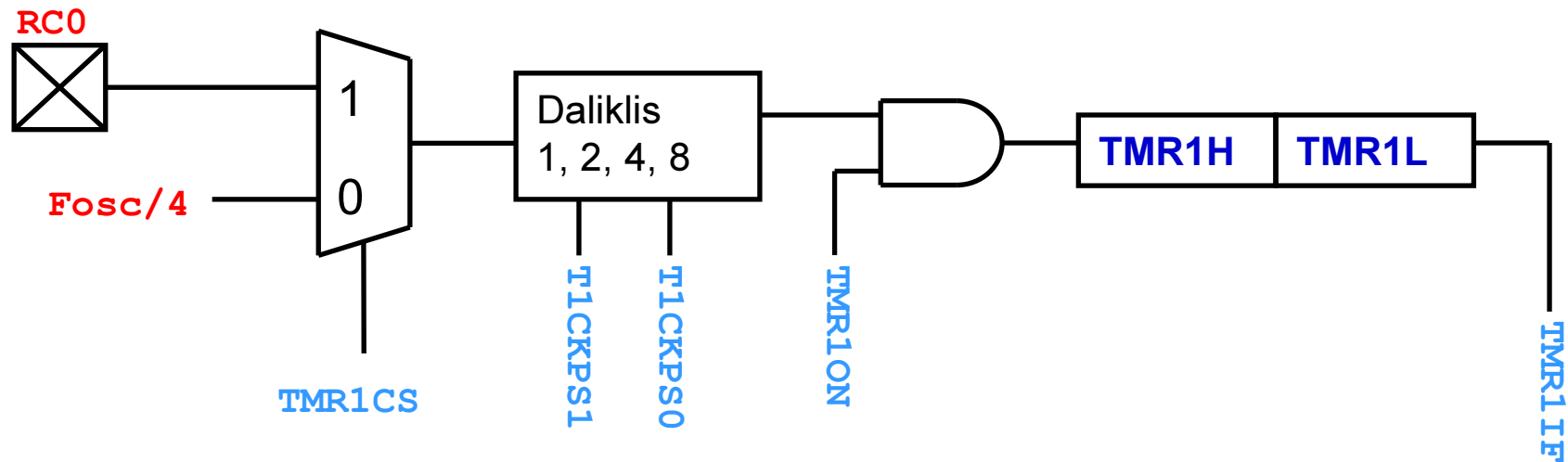


Timer0 skaitiklis: 16 bitų



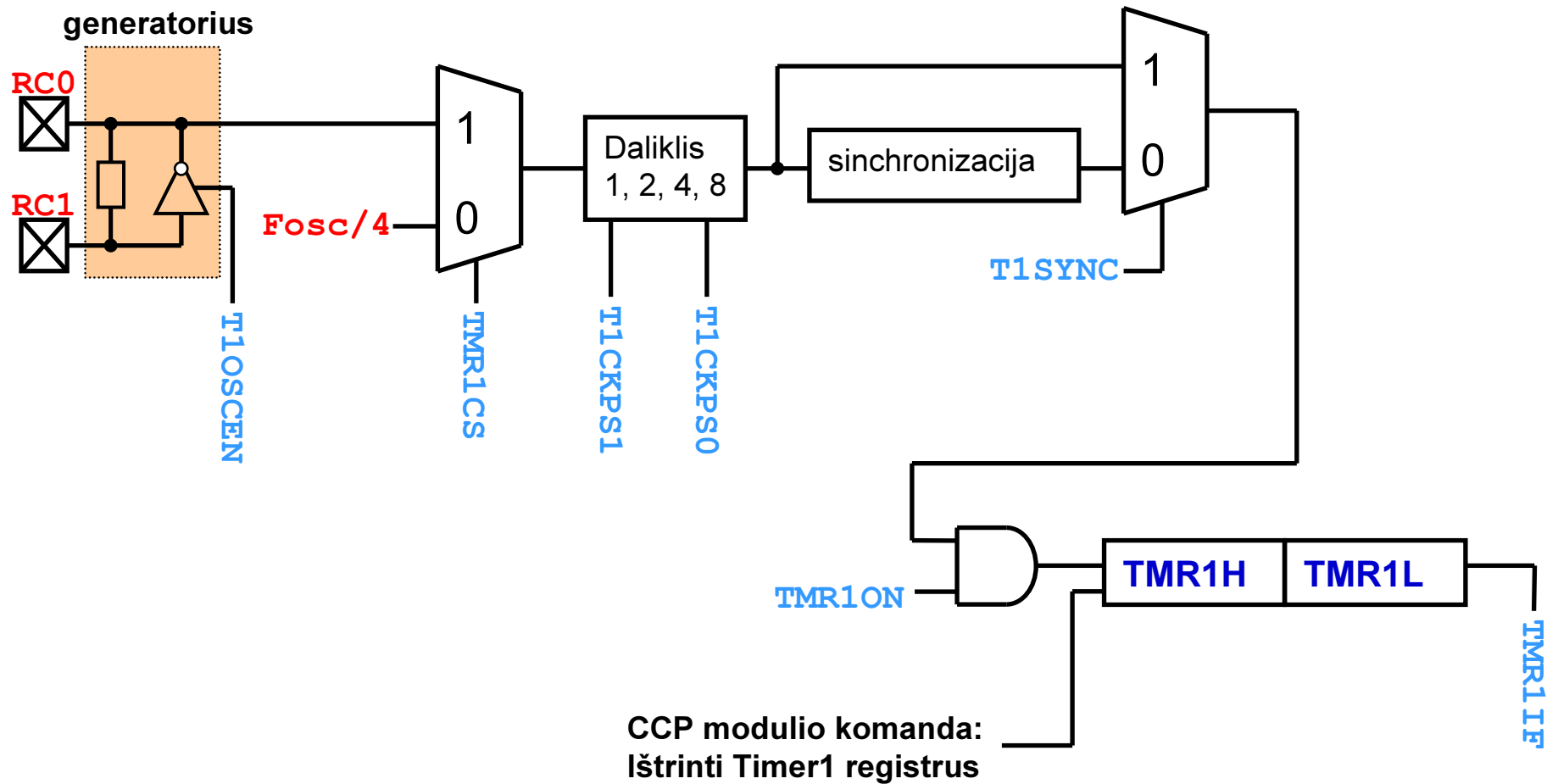
Timer1 skaitiklis.

Supaprastinta schema

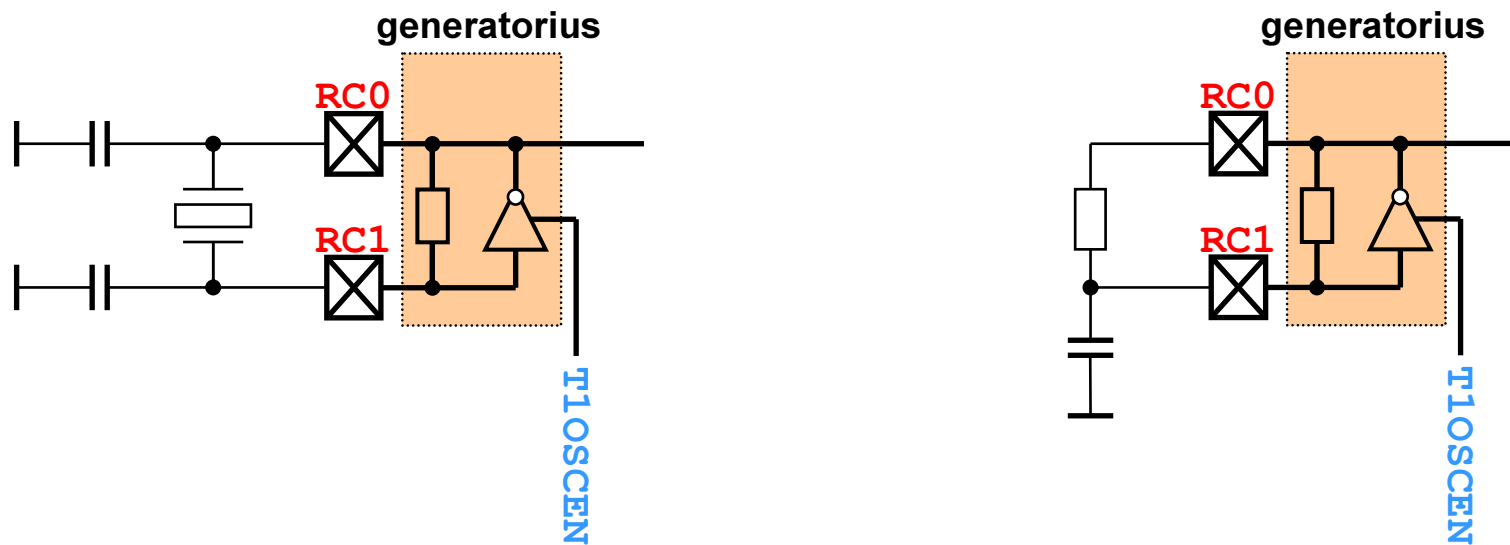


Timer1 skaitiklis.

Supaprastinta schema



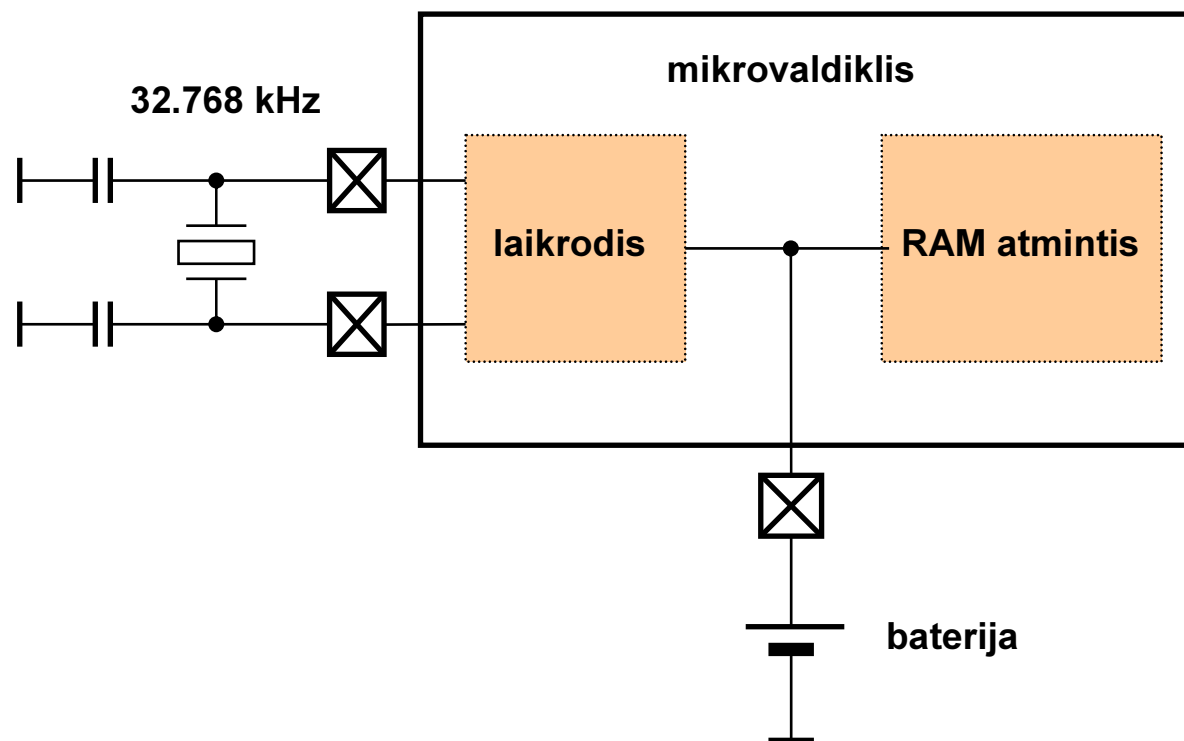
Timer1 skaitiklis: generatorius



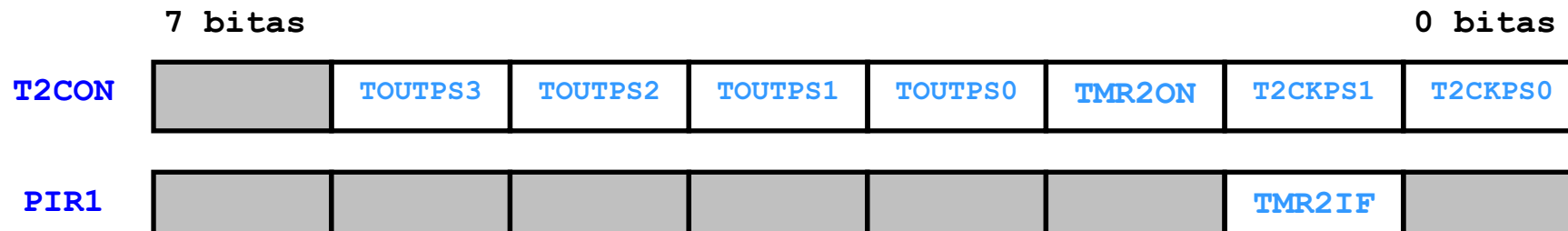
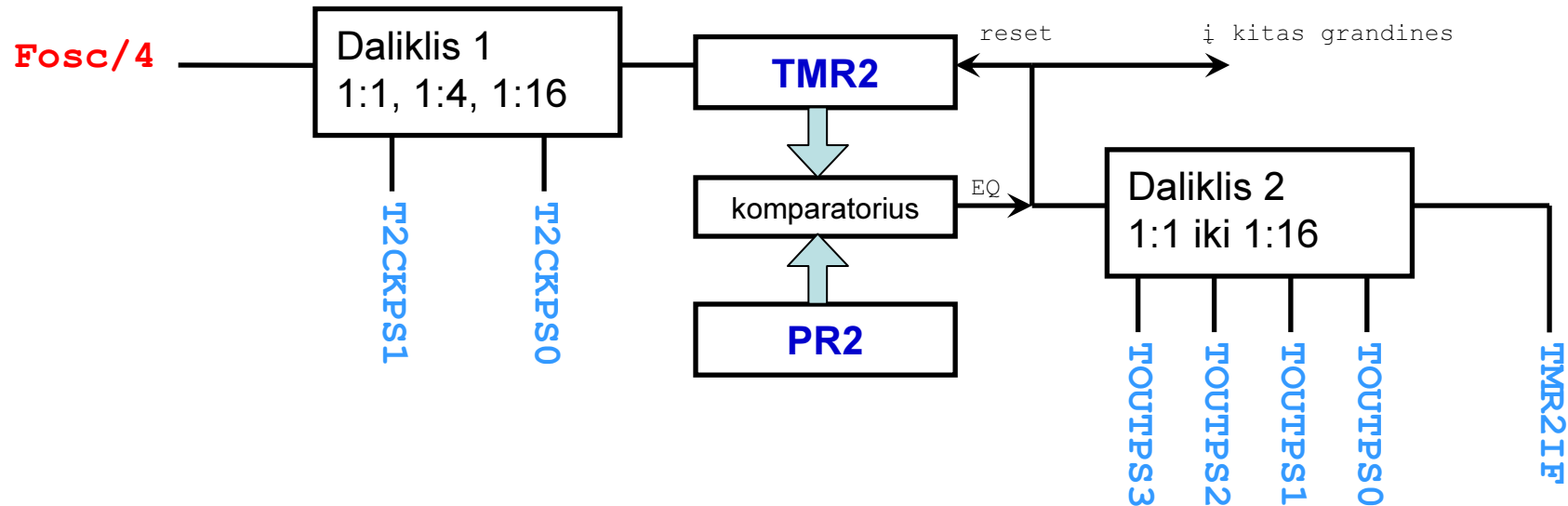
Timer1 skaitiklio ypatybės:

- gali skaičiuoti impulsus tiek iš išorės, tiek iš vidinio taktinio generatoriaus;
- gali būti taktinių impulsų šaltinis procesoriaus branduoliui;
- gali kartu veikti su **CCP** moduliui;
- galima realizuoti laikrodį.

Laikrodis mikrovaldikliuose

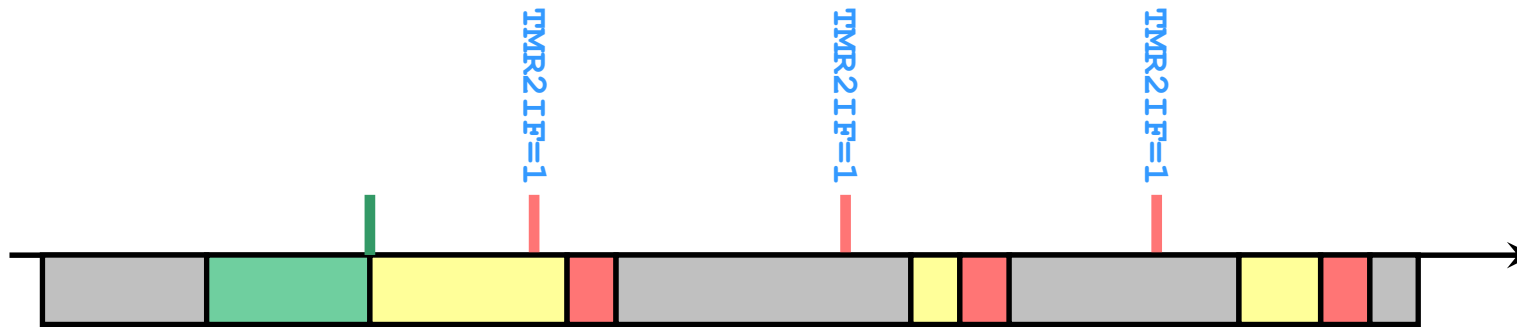






Timer2 skaitiklis



Užlaikymas: $T = 4 / F_{osc} * D1 * D2 * (PR2 + 1)$

Tikslūs laiko intervalai su **Timer2** skaitikliu



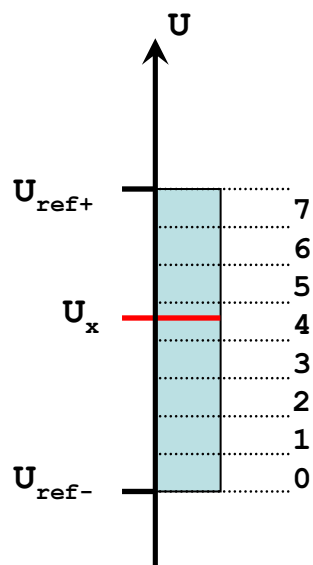
-  Pradinė skaitiklio inicializacija.
-  Programa laukia požymio **TMR2IF** atsiradimo.
-  Programa ištrina **TMR2IF**.
-  Programa kažką veikia.

Analoginiai – skaitmeniniai keitikliai

Analoginių-skaitmeninių keitiklių parametrai:

- skyra (bitų skaičius): 8, 10, 12, 16, 18, 20, 24;
- darbo sparta: 100 .. 10⁶ matavimų per sekundę;
- architektūra:
 - nuoseklaus artėjimo (angl. SAR – Successive Approximation Register);
 - dvigubo integravimo (angl. Dual Slope);
 - lygiagretūs (angl. Flash);
 - Δ – delta
 - $\Delta\Sigma$ – sigma-delta
 - ...

3 bitų keitiklis



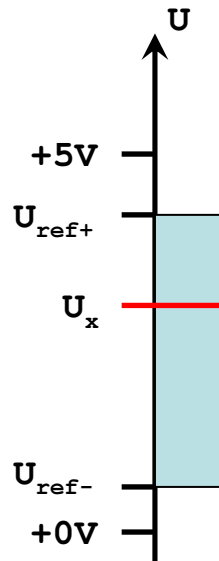
Keitiklio rezultatas

→ 4

PIC18 analoginis – skaitmeninis keitiklis

PIC18 mikrovaldiklių vidinis keitiklis:

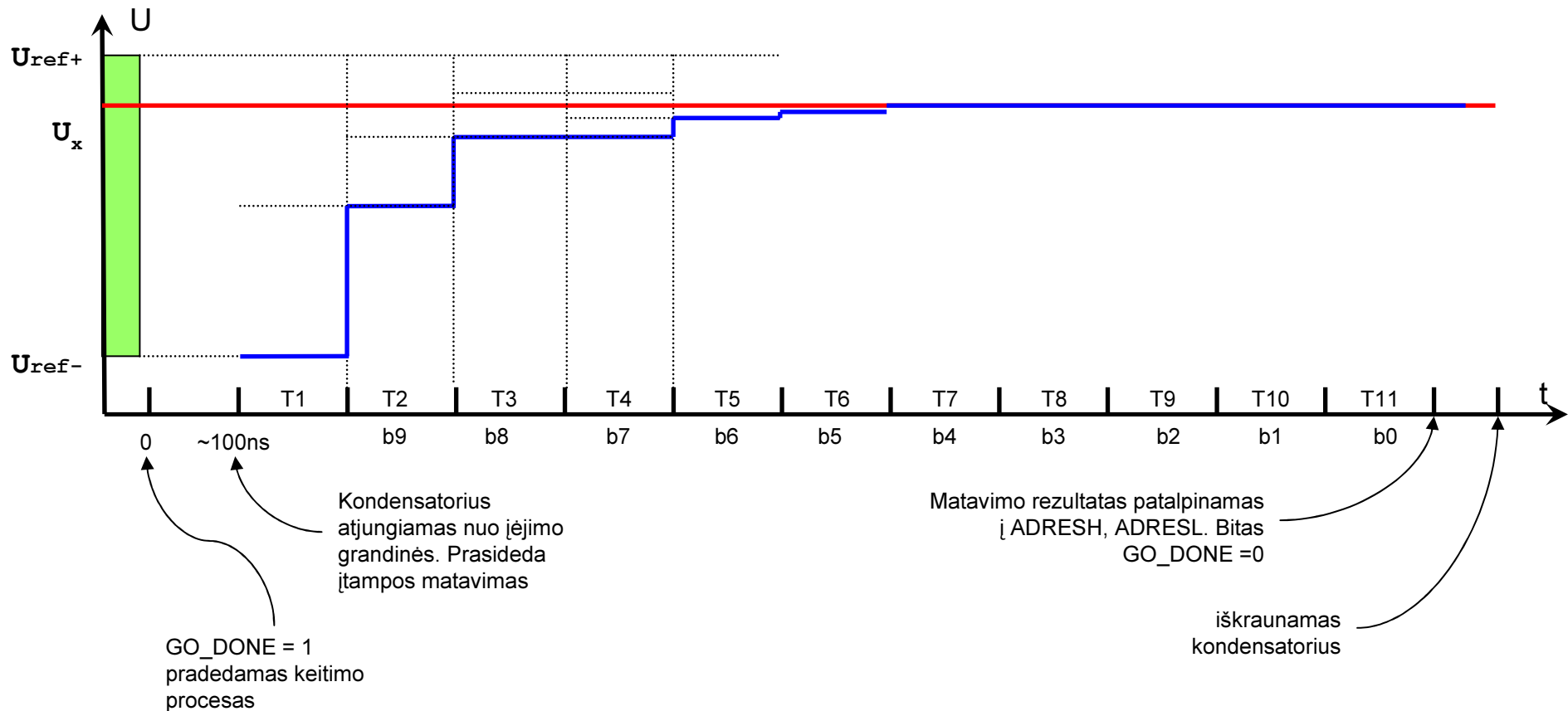
- 10 bitų
- nuoseklaus artėjimo
- minimalus matavimo laikas 29μs



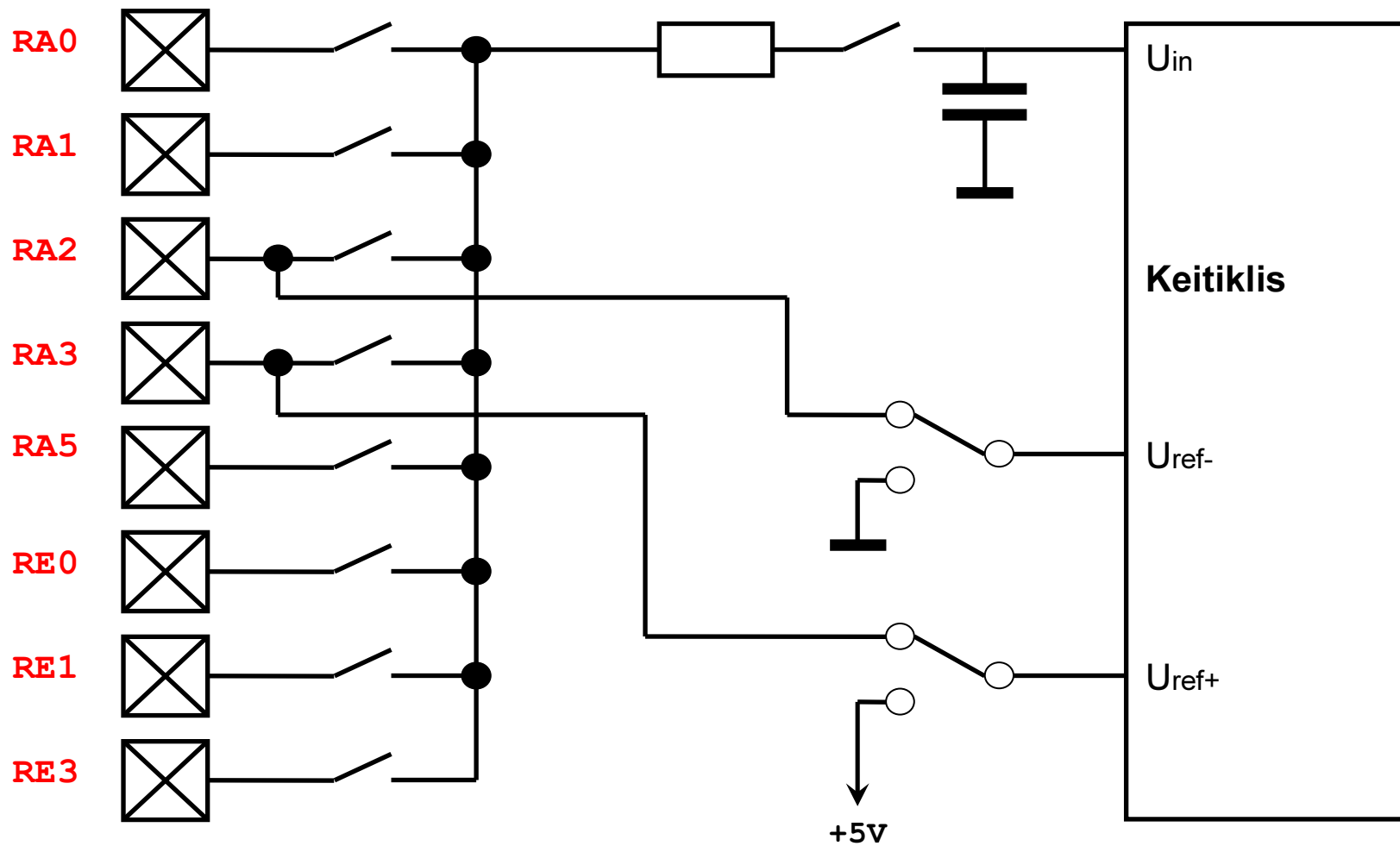
$$U_x = U_{\text{ref-}} + \frac{U_{\text{ref+}} - U_{\text{ref-}}}{2^n - 1} \cdot s$$

U_x – matuojama įtampa
 n – keitiklio skyra (bitu skaičius)
 s – keitiklio išmatuotas skaičius

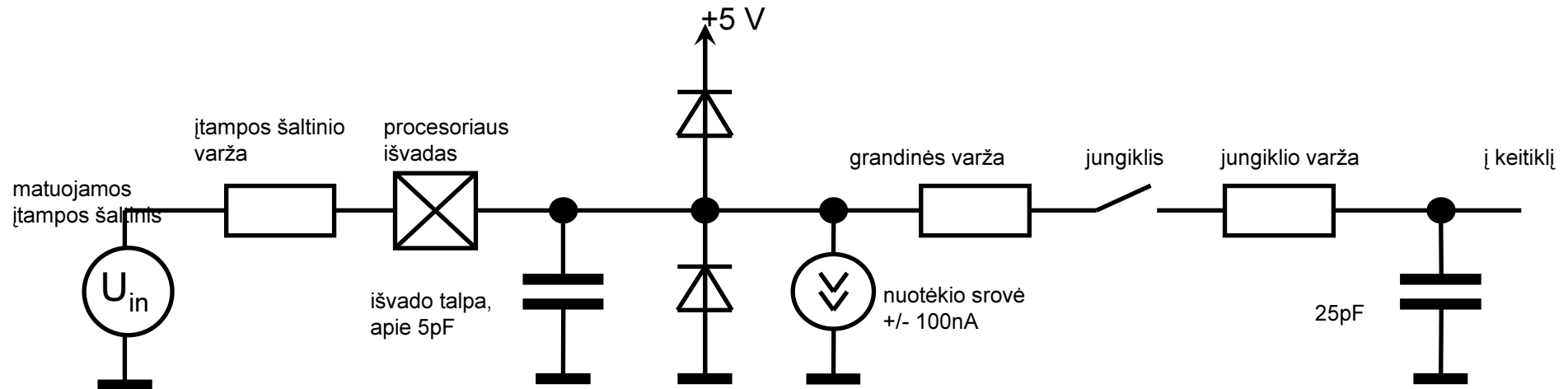
Keitiklio darbo laikas



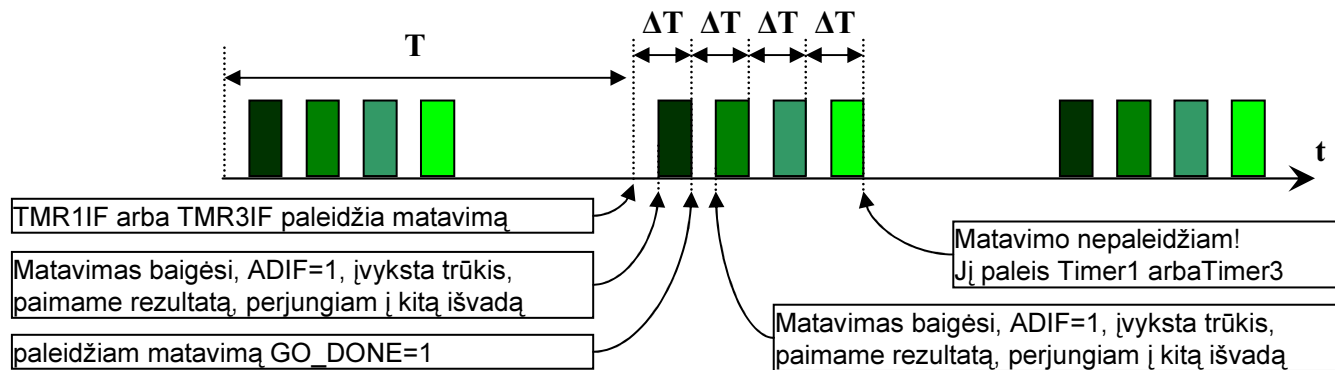
PIC18 analoginis-skaitmeninis keitiklis



Keitiklio įėjimo grandinė

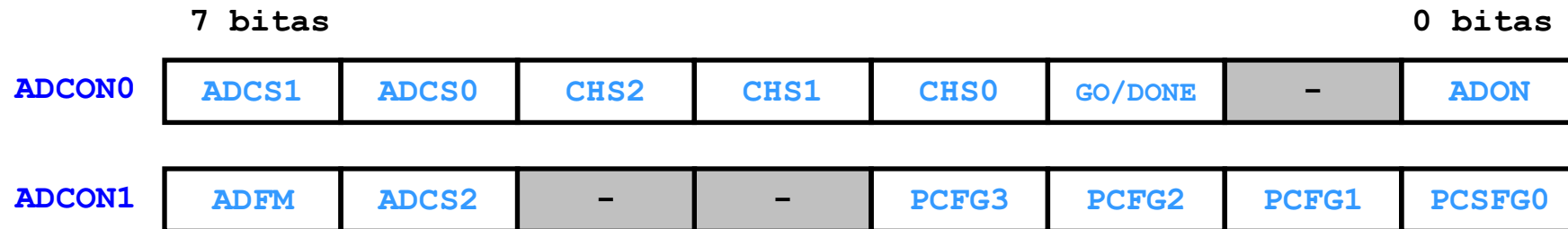


Daugelio įtampų matavimas vienodais laiko intervalais

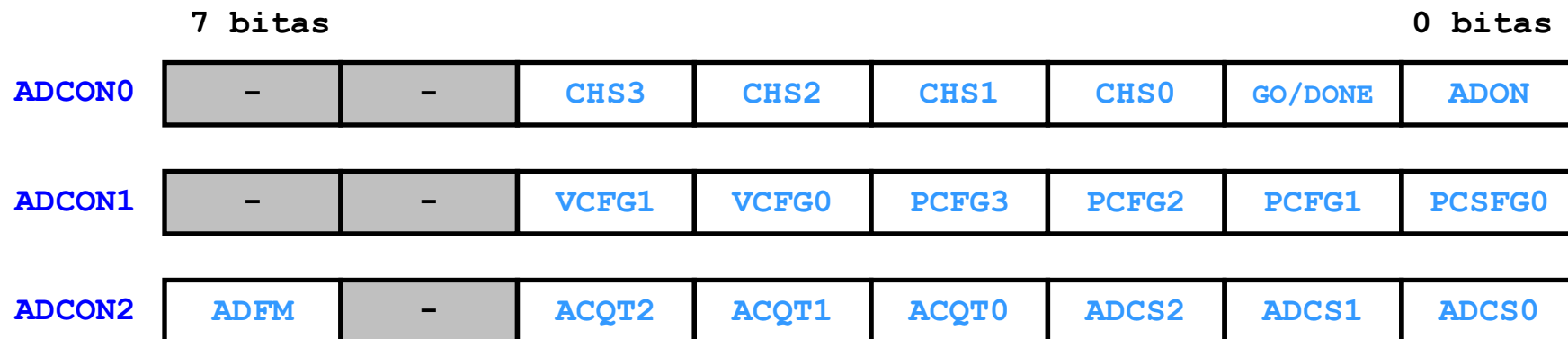


Keitiklio darbą valdantys registrai

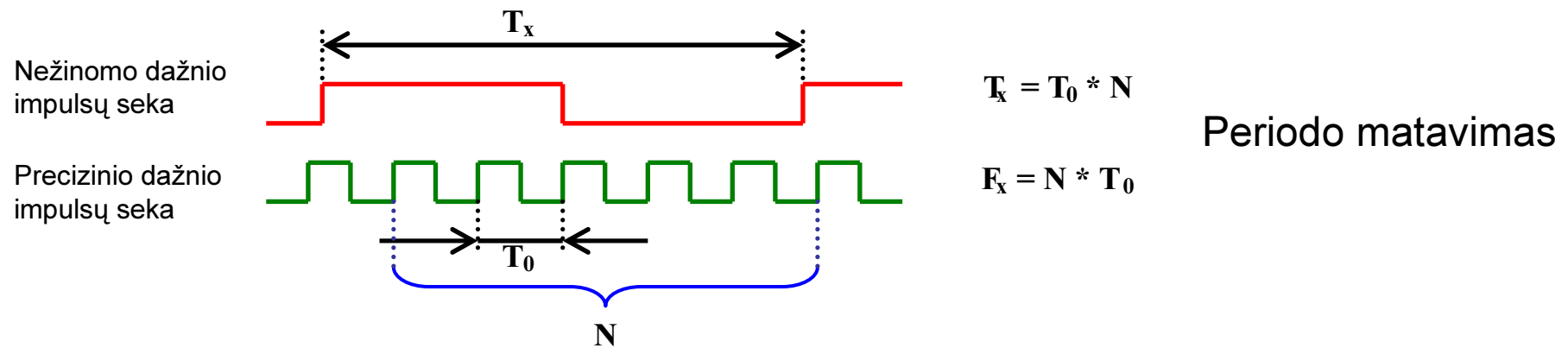
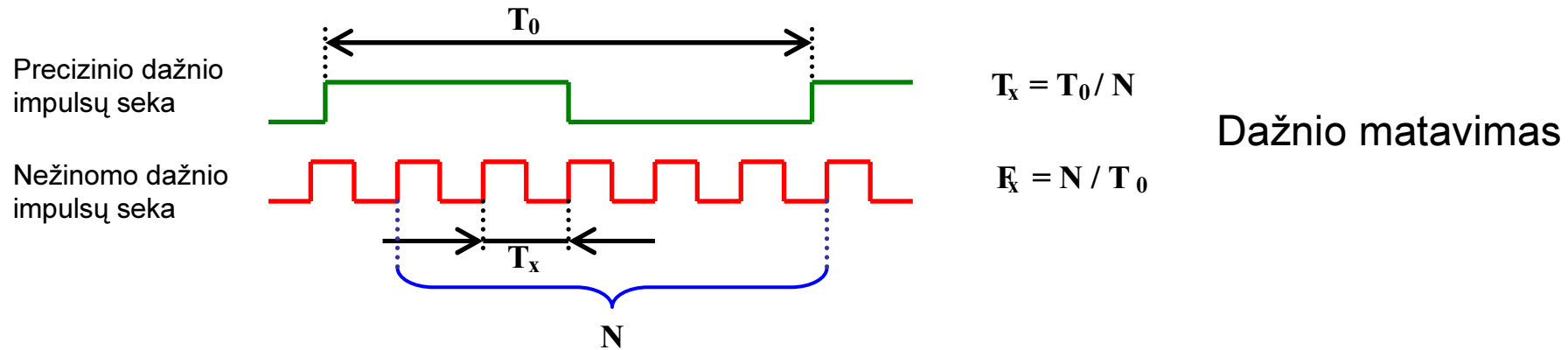
PIC18Fxxx mikrovaldiklių



PIC18Fxxxx mikrovaldiklių



Dažnio ir periodo matavimas



Dažnio matavimas

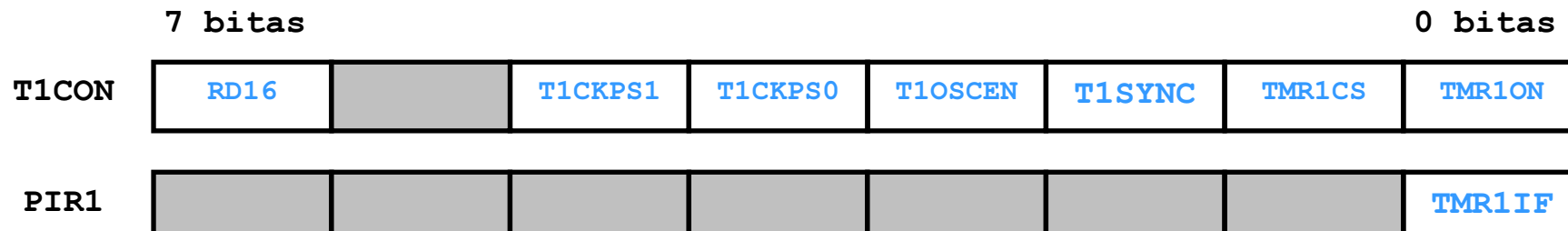
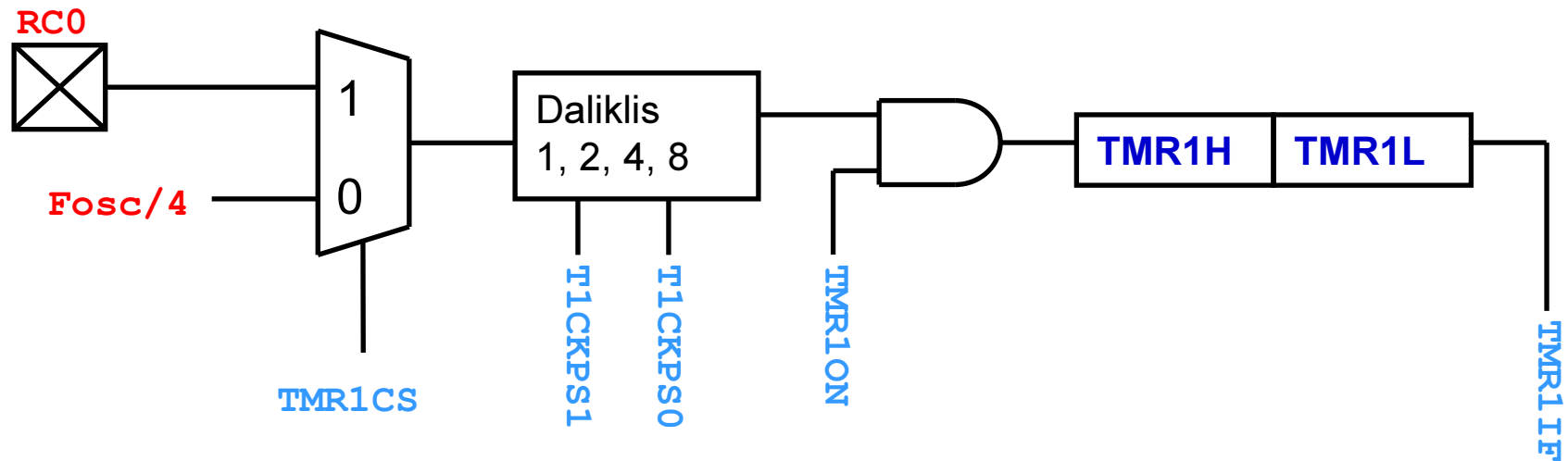
Pagal apibrėžimą, impulsinio signalo dažnis – impulsų skaičius per laiko vienetą. Jei impulsus skaičiuojate 1s, tuomet suskaičiuotų impulsų skaičius ir yra signalo dažnis Hz. Kuo ilgesnį laiko tarpą yra skaičiuojami impulsai, tuo didesniu tikslumu yra išmatuojamas dažnis.

Dažnio matavimui gali būti panaudoti:

- kaip impulsus skaičiuojantys skaitikliai: **TIMER0, TIMER1, TIMER3**
- precizinio laiko intervalui generuoti: bet kuris skaitiklis.

Timer1 skaitiklis.

Supaprastinta schema



Periodo matavimas

Nežinomo dažnio impulsų sekos periodo matavimui reikia skaičiuoti precizinio, aukštesnio dažnio impulsus, kai nežinomo dažnio impulsai paleidžia arba sustabdo skaičiavimą.

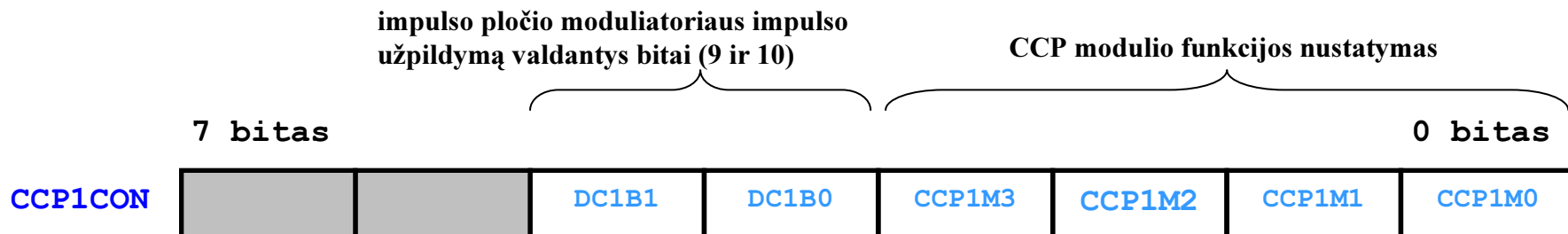
Periodo matavimui naudojamas CCP (capture, compare, PWM) arba ECCP modulis ir **TIMER1** arba **TIMER3** skaitiklis. Praktiškai periodo matavimas vyksta tokiu būdu: paleidžiate **TIMER1** arba **TIMER3** skaitiklį ir nustatote CCP modulį, kad jis, esant matuojamų impulsų kylančiam frontui, kopijuotų skaitiklio parodymus. Taigi, praėjus visam matuojamų impulsų periodui, būna du kylantys impulso frontai ir jūs turite dvi skaitiklio kopijas. Šių dviejų skaitiklio verčių skirtumas ir yra precizinio dažnio impulsų skaičius, tereikia jį padauginti iš precizinio dažnio impulsų periodo ir gausite matuojamų impulsų periodą.

CCP modulis

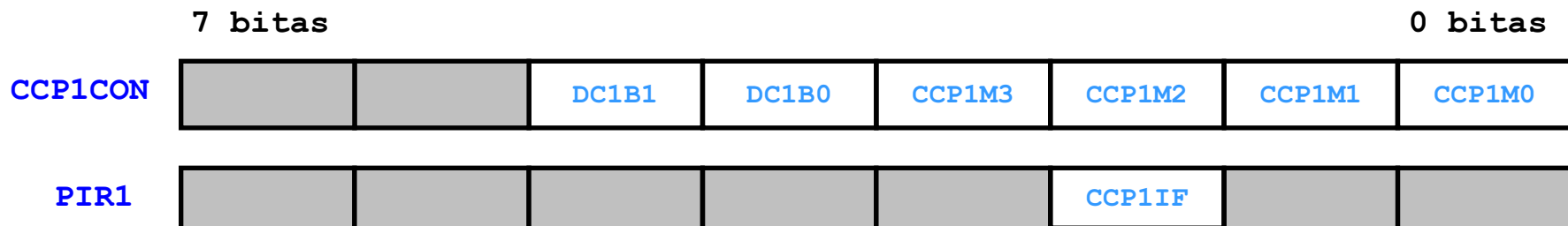
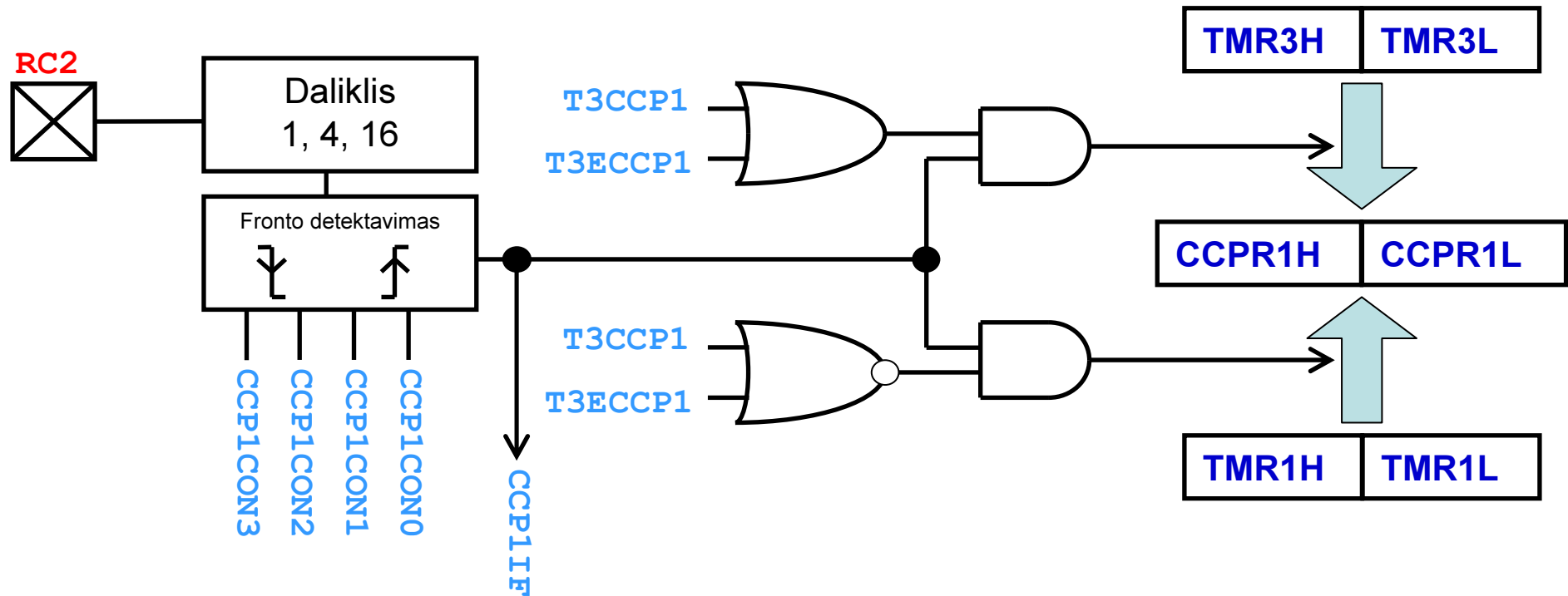
CCP – Capture Compare PWM

Funkcijos:

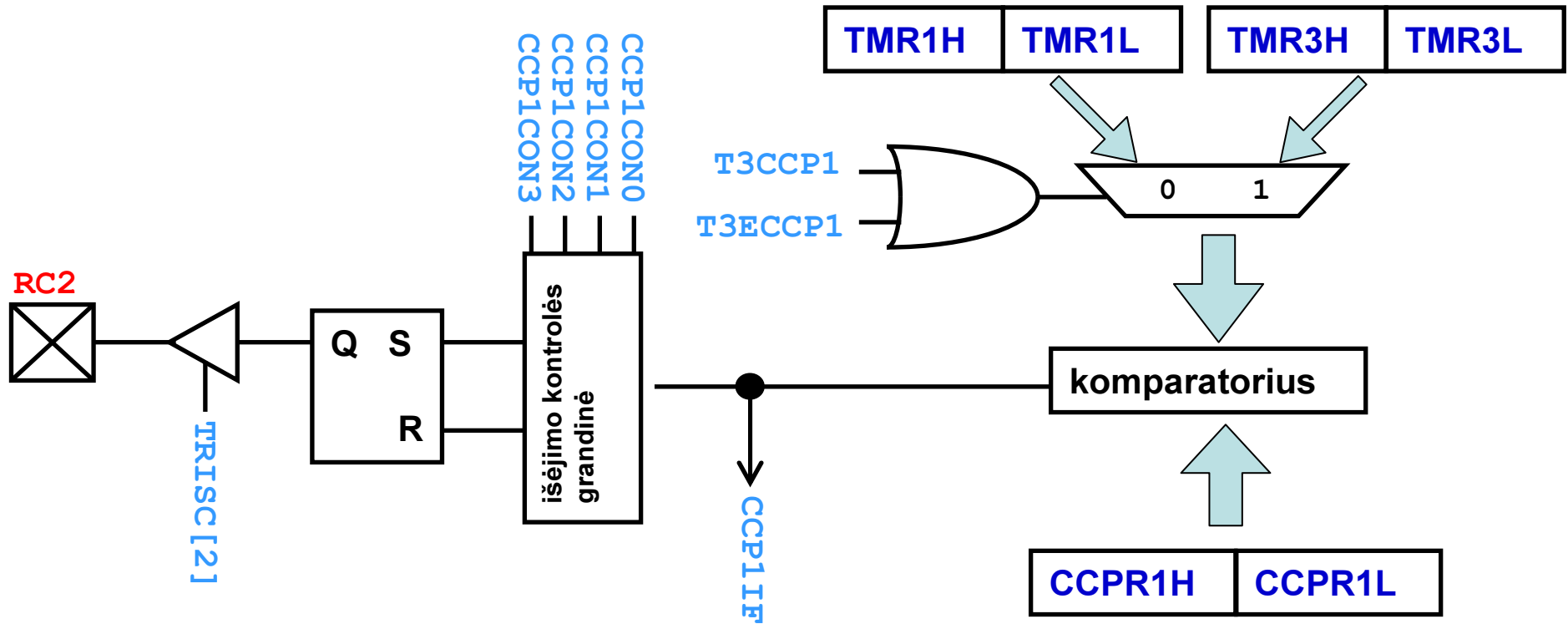
- “įsiminimas” (angl. **capture**), įsimenama Timer1 arba Timer3 skaitiklio vertė;
- “lyginimas” (angl. **compare**), lyginama Timer1 arba Timer3 skaitiklio vertė;
- Impulso pločio moduliacija (angl. **PWM – pulse width modulation**);



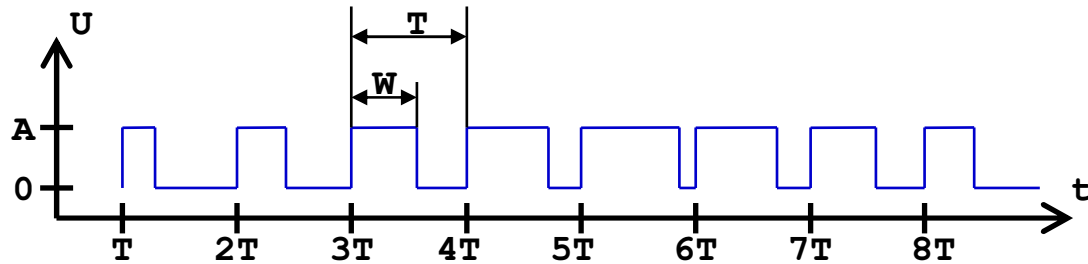
CCP modulis. Skaitiklio vertės kopijavimas



CCP modulius. Skaitiklio vertės lyginimas



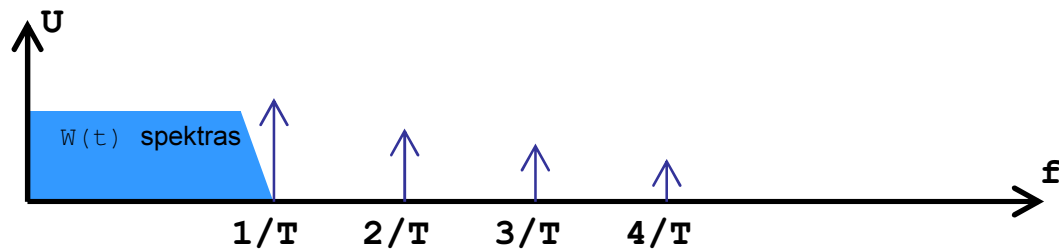
Impulso pločio moduliacija



Įtampos laikinė priklausomybė

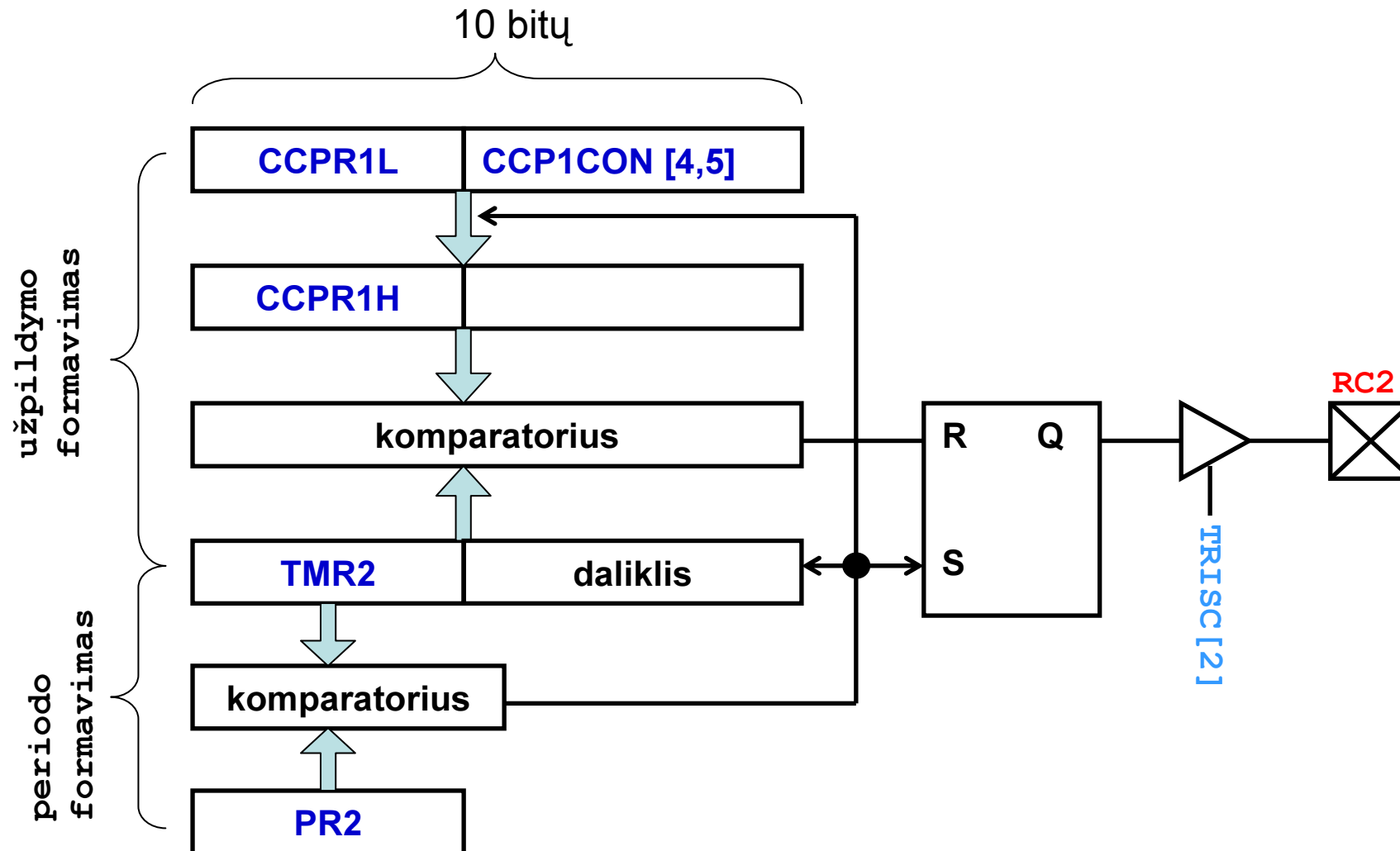
$$U(t) = A \begin{cases} 1, & nT \leq t < nT + W(t) \\ 0, & nT + W(t) \leq t < (n+1)T \end{cases}$$

T – impulso periodas;
W – impulso užpildymas;

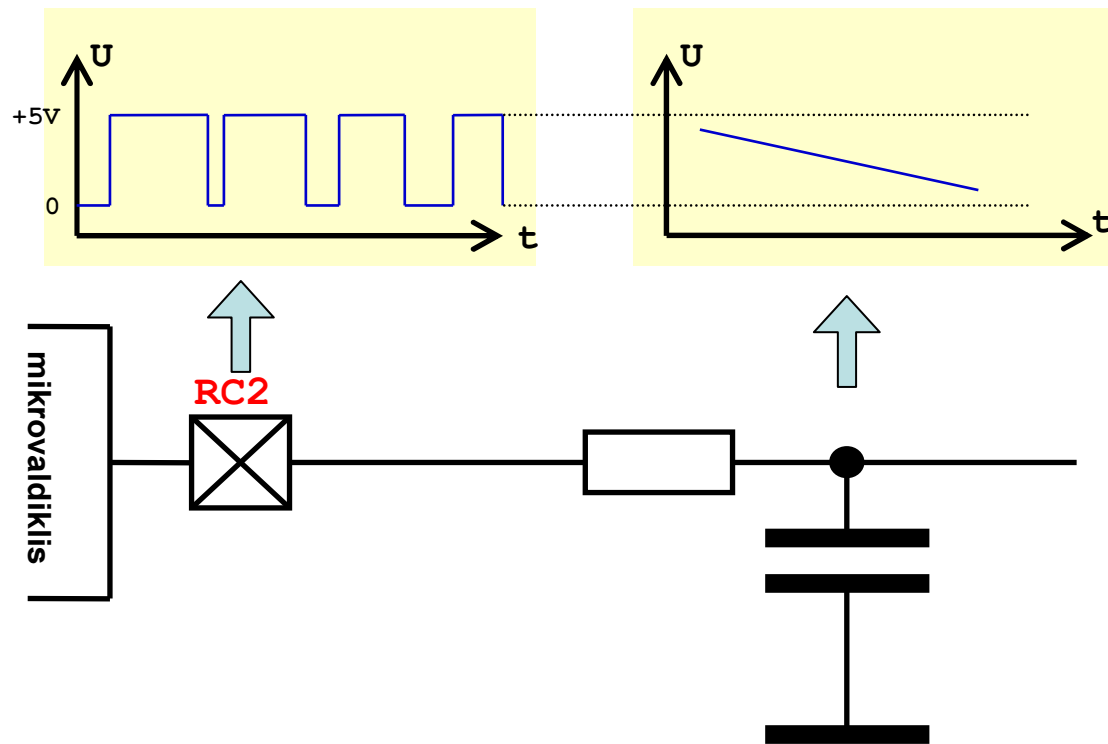


Signalų spektras

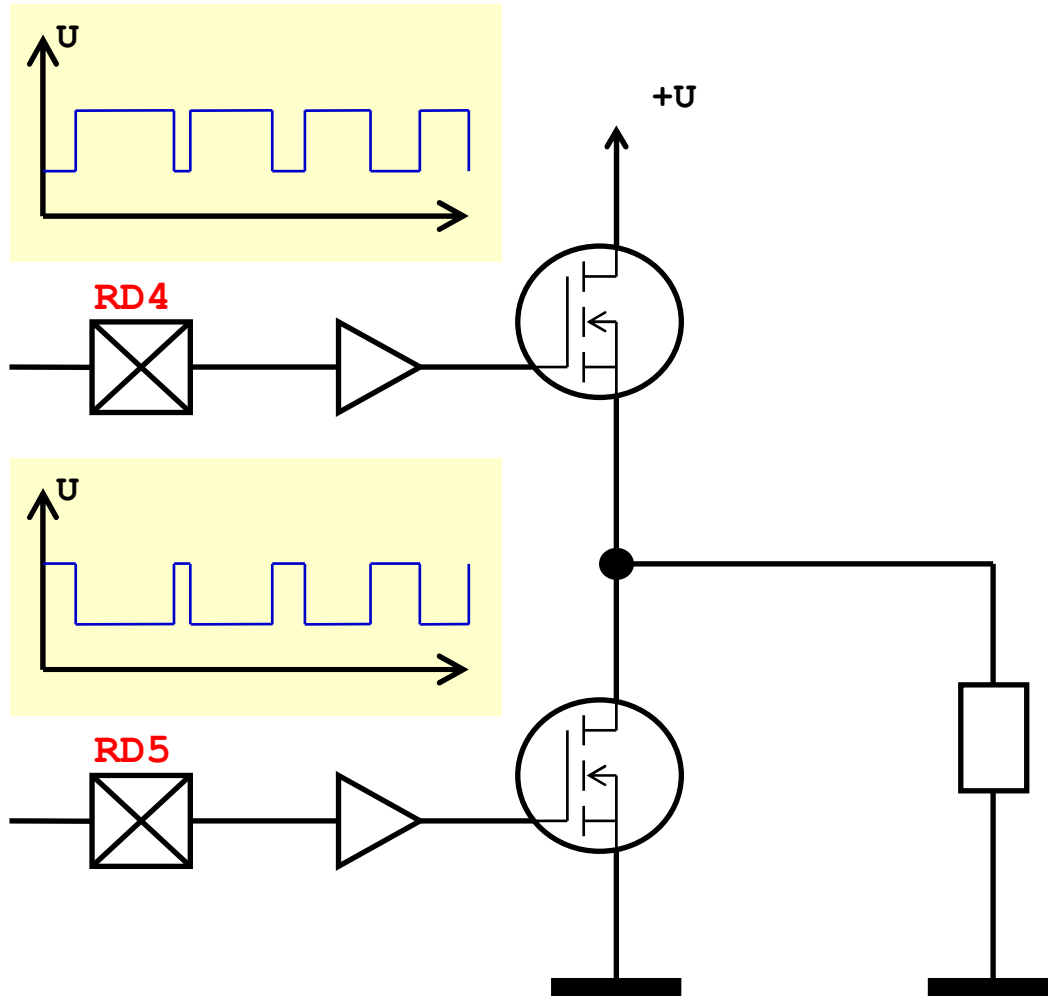
CCP modulio. Impulso pločio moduliacija



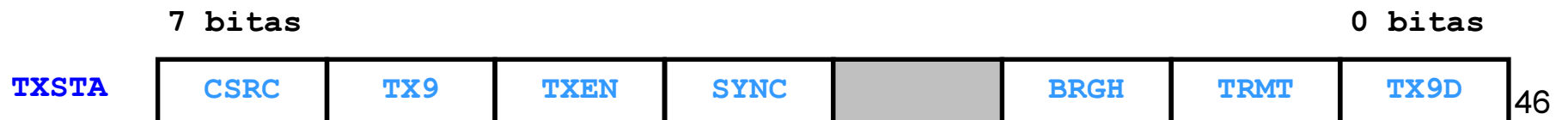
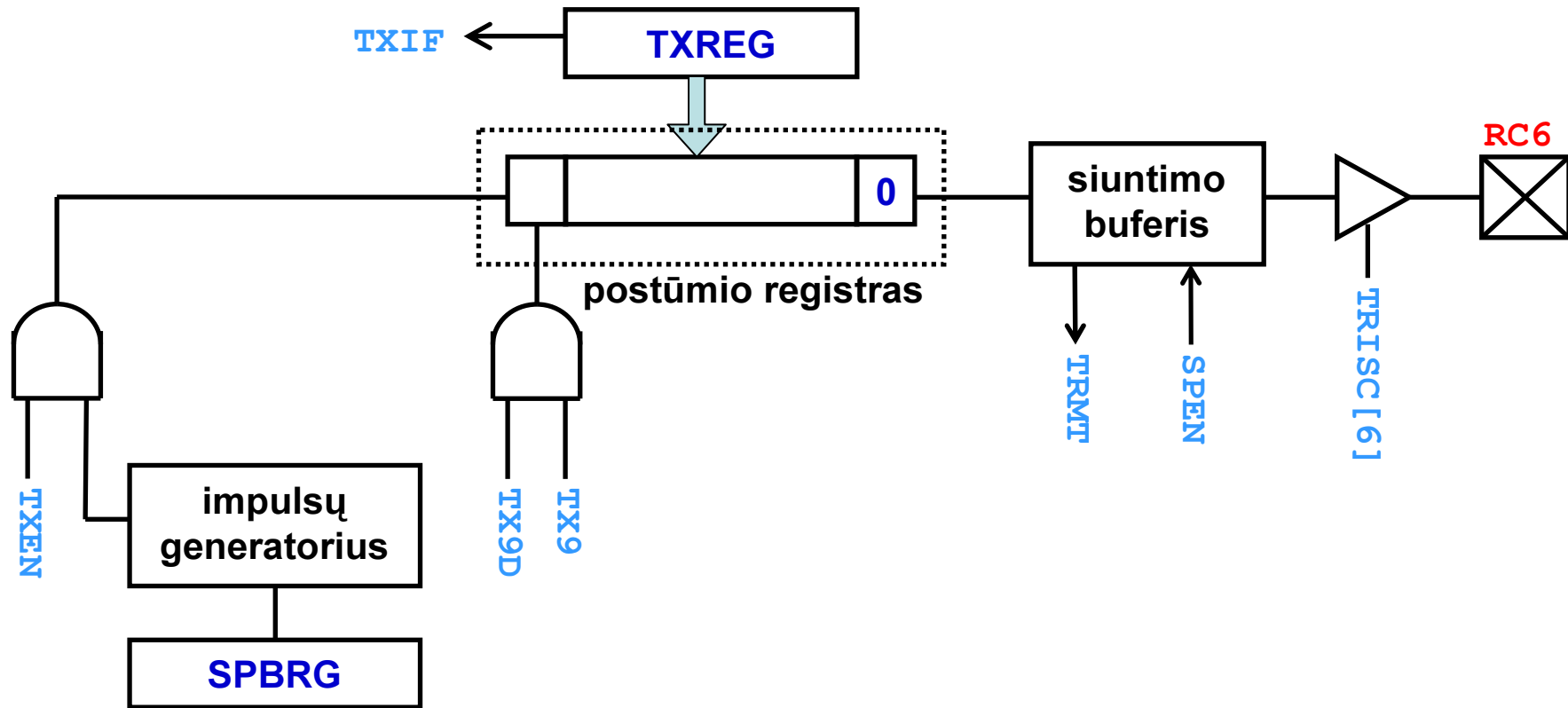
Analoginio signalo formavimas



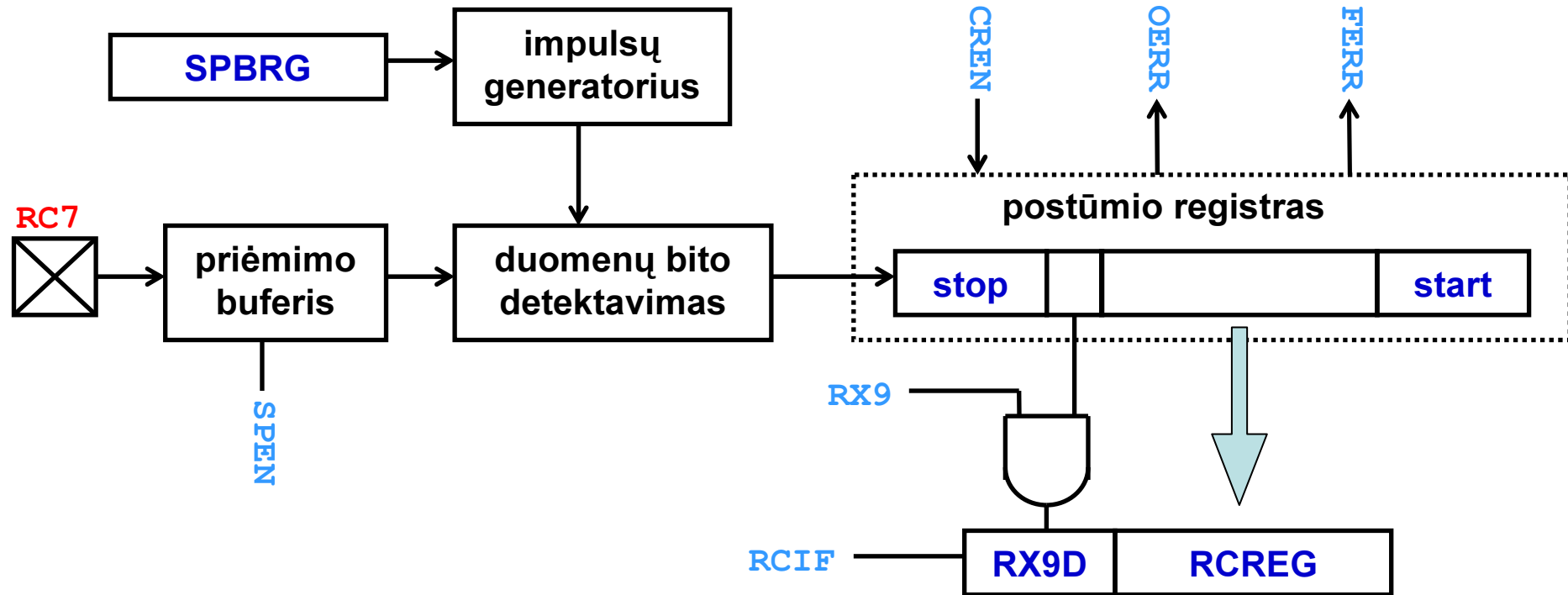
Tranzistorinio rakto valdymas



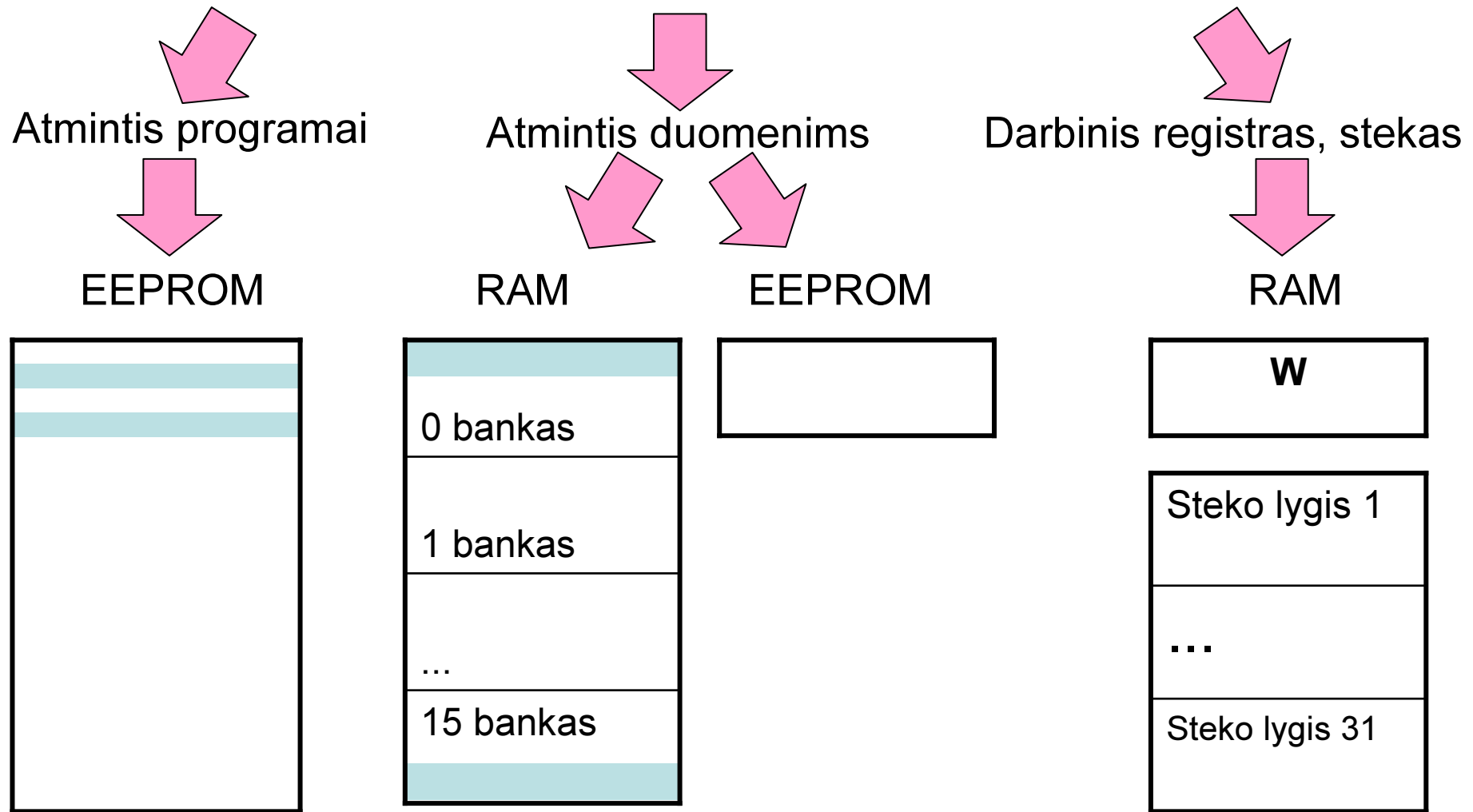
USART modulis. Siuntimas



USART modulis. Priėmimas



PIC18 procesorių atmintis



“Flash” atmintis

PIC18 “flash” atmintis

- **atmintis duomenims**
 - 256 baitai;
 - 1 mln. rašymo / skaitymo ciklų;
 - duomenys rašomi / skaitomi po 1 baitą;
 - rašant, baito trynimas vykdomas automatiškai;
- **atmintis programai**
 - 32kb (16kb instrukcijų), adresai 0-0x7FFF;
 - 0.1 mln. rašymo / skaitymo ciklų;
 - duomenys trinami 64 baitų blokais;
 - duomenys rašomi 32 baitų blokais;
 - duomenys skaitomi po 1 baitą;
- **atmintis konfigūraciniams bitams**
 - konfigūraciniai bitai: 0x300000-0x30000D;
 - procesoriaus ID: 0x3FFFFFFE-0x3FFFFFFF;
 - vartotojo ID: 0x200000-0x200007;

Duomenų atminties rašymas/ skaitymas

Skaitymas:

- įrašyti adresą į **EEADR** registrą,
- nustatyti **EEPGD** ir **CFGS** bitukus;
- nustatyti **RD** bituką į "1";
- paimti rezultatą iš **EEDATA** registro.

Rašymas:

- įrašyti adresą į **EEADR** registrą,
- įrašyti vertę į **EEDATA** registrą,
- nustatyti **EEPGD** ir **CFGS** bitukus,
- nustatyti **WREN** bituką į "1",
- įrašyti skaičių 0x55 į **EECON2** registrą,
- įrašyti skaičių 0xAA į **EECON2** registrą,
- nustatyti **WR** bituką į "1",

EEADR – duomenų ląstelės, kuri yra skaitoma ar rašoma, adresas

EEDATA – vertė, kuri yra rašoma, arba vertė, kuri yra nuskaityta

EECON2 – rašymo kodas



Programos atminties skaitymas

Skaitymas:

- įrašyti adresą į **TBLPTRU**, **TBLPTRH**, **TBLPTL** registrus,
- įvykdyti komandą **TBLRD***,
- paaimti rezultatą iš **TABLAT** registro.

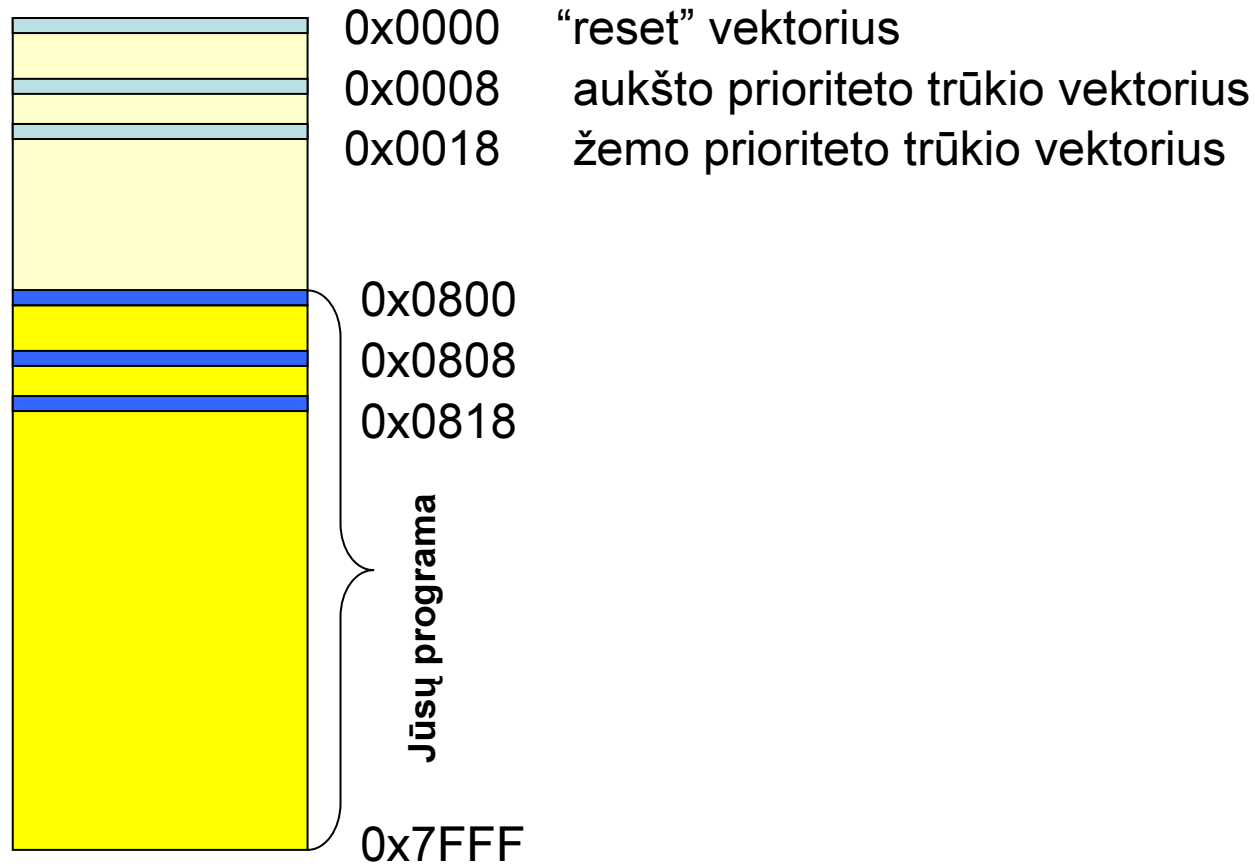
TBLPTRU – programos atminties ląstelės, kuri yra skaitoma ar rašoma, adreso 16-21 bitai

TBLPTRH – adreso 8-15 bitai

TBLPTL – adreso 0-7 bitai

TABLAT – atminties ląstelės nuskaityta vertė

Atmintis programai

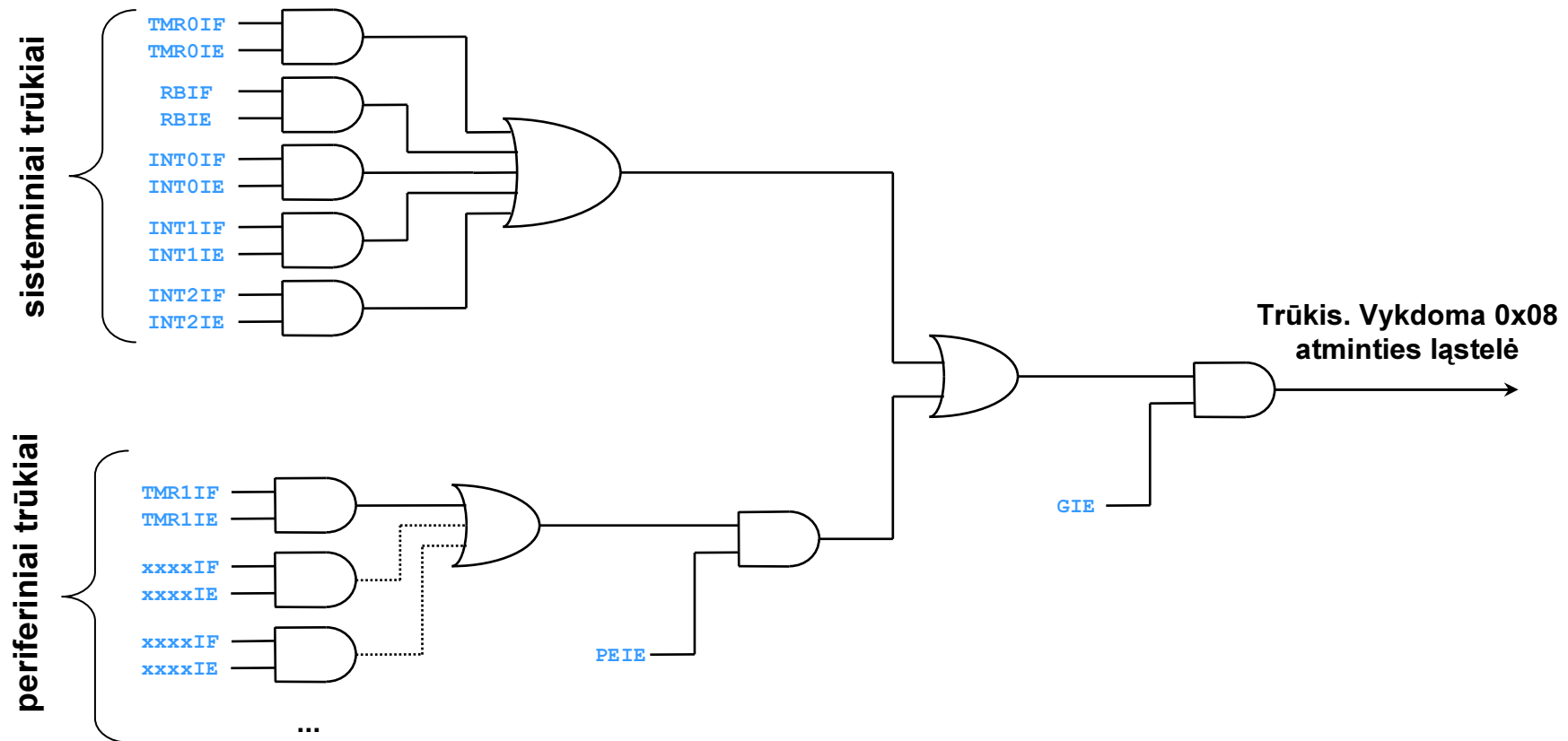


Trūkiai

PIC18 trūkių ypatumai:

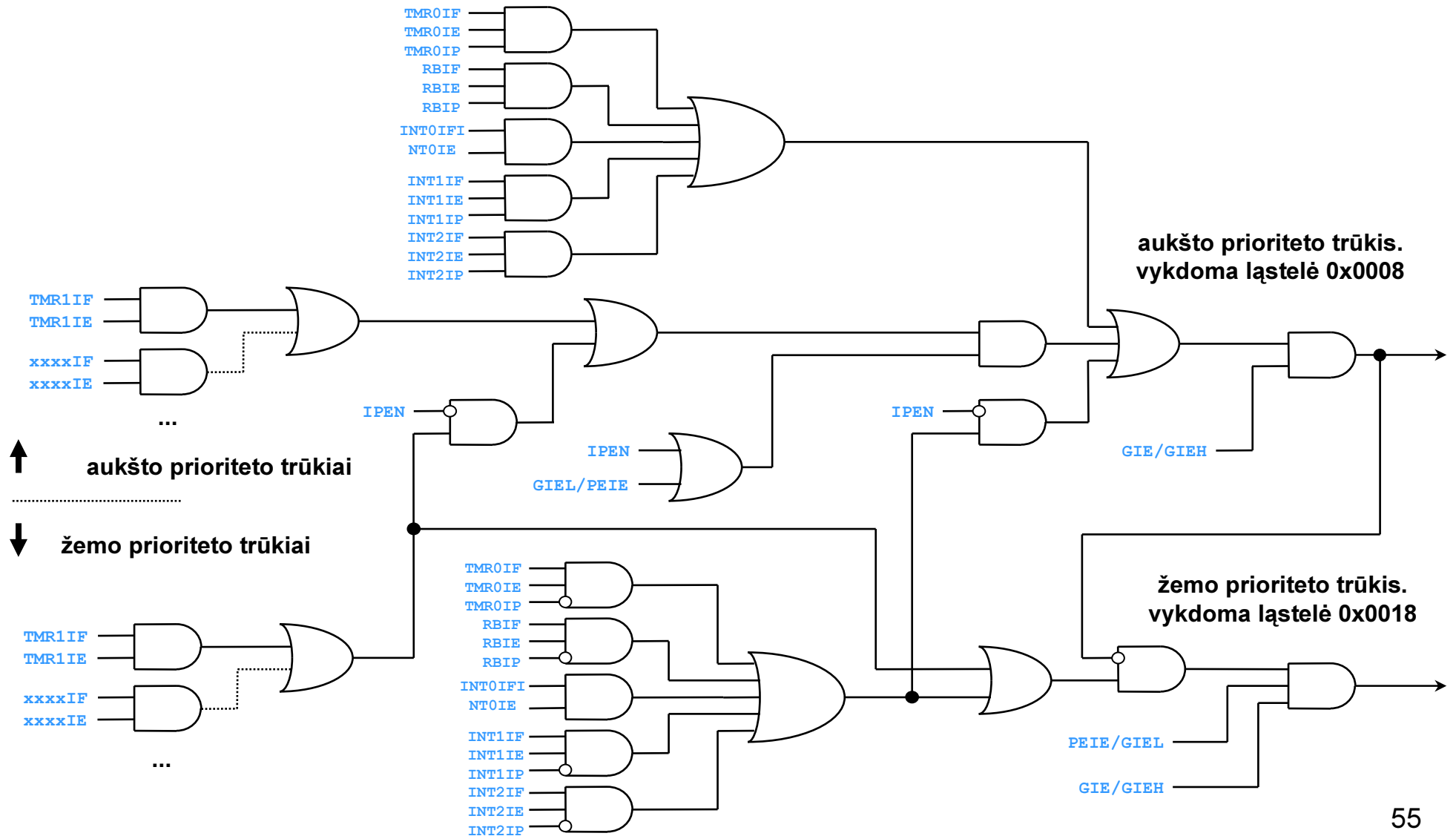
- Bet kuriam trūkiui įvykus, procesorius vykdo tą pačią atminties ląstelę (jei neįjungti trūkių prioritetai) arba vieną iš dviejų atminties ląstelių (jei yra įjungti trūkių prioritetai);
- Trūkių vektoriai (t.y. atminties ląstelės) yra fiksuoti. Jų adresai yra
 - **0x008** aukšto prioriteto trūkis arba trūkis be prioriteto,
 - **0x018** žemio prioriteto trūkis.
- **xxxIF** įvykio bituką įjungia elektroninė grandinė;
- **xxxIE** trūkio laidimo bitukas, kurį įjungia programa;
- **xxxIP** prioriteto bitukas, jei 1 – aukšto prioriteto trūkis.
- Kadangi atminties **0x000 – 0x800** dalį užima rezidentinė dalis, kuri užkrauna jūsų programą nuo **0x800** ląstelės, todėl trūkių vektoriai yra peradresuoti į **0x808** ir **0x818** ląsteles.

Trūkiai be prioriteto



xxxxIE – trūkio leidimo bitukas. Įjungia programa.
xxxxIF – įvykio bitukas. Įjungia elektroninis modulis.

Trūkiai su prioritetu



Trūkiai

```
void high_isr(void);
void low_isr(void);

#pragma code low_vector=0x818
void goto_to_low_interrupt(void)
{
    _asm
        goto low_isr
    _endasm
}

#pragma code high_vector=0x808
void goto_to_high_interrupt(void)
{
    _asm
        goto high_isr
    _endasm
}

#pragma code

#pragma interrupt high_isr
void high_isr(void)
{
    // aukšto prioriteto trūkio paprogramė
}

#pragma interrupt low_isr
void low_isr(void)
{
    // žemo prioriteto trūkio paprogramė
}
```

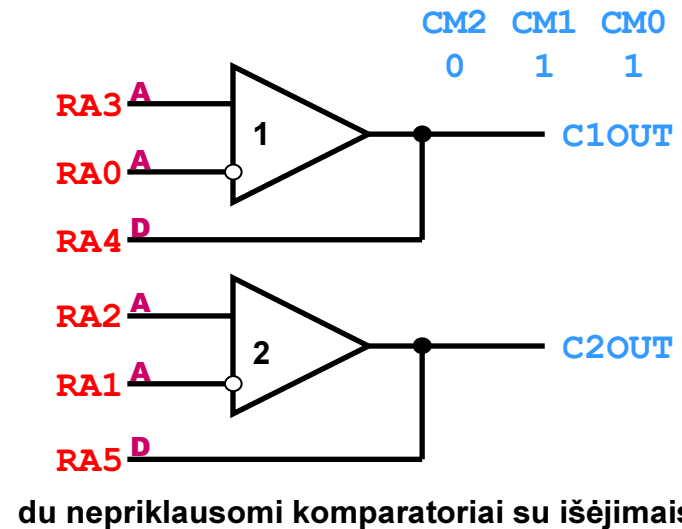
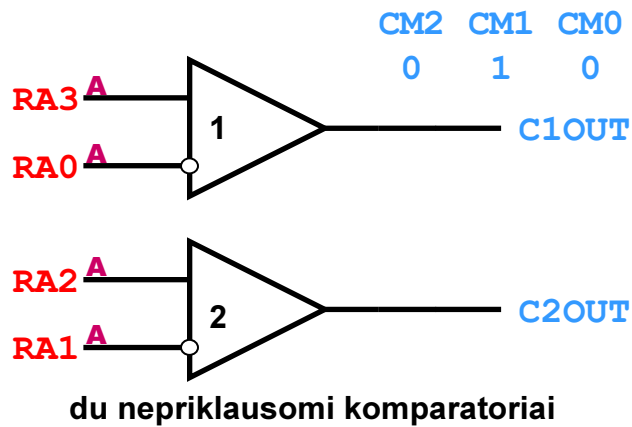
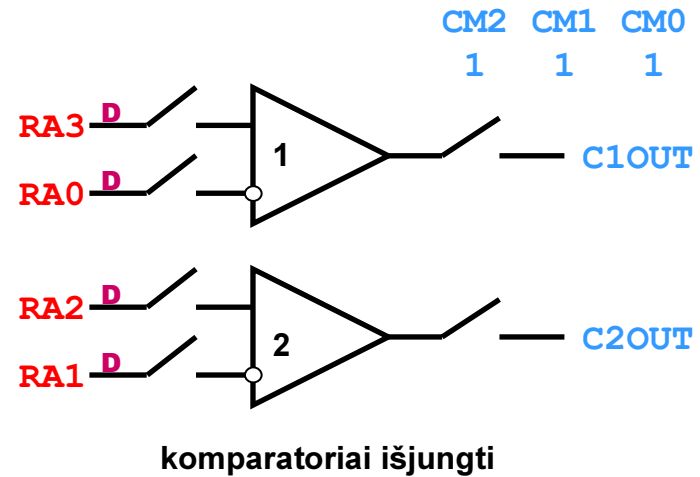
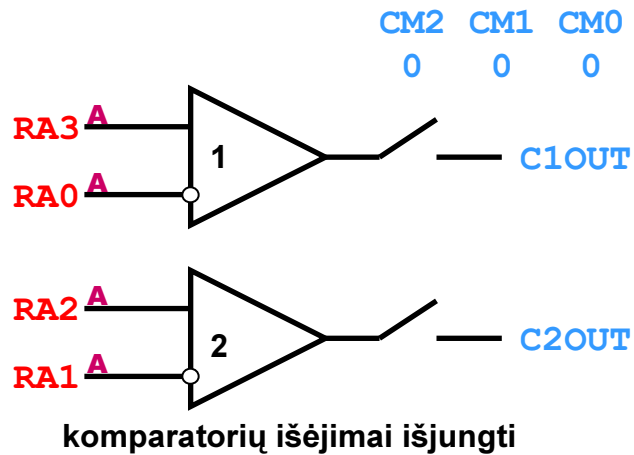
Trūkiai PIC18 mikrovaldikliuose gali būti aukšto arba žemo prioriteto, jiems aptarnauti yra du trūkių vektoriai. T.y. įvykus trūkio sąlygai, procesorius vykdo **0x8** arba **0x18** ląstelę. Kadangi šios ląstelės yra programos pradžioje kur yra rezidentinio užkroviklio sritis (bootloader), **0x8** ir **0x18** ląstelėse yra **goto 0x808** ir **goto 0x818** komandos.

Norėdami parašyti trūkio apdorojimo paprogramę, C kompiliatoriui turite nurodyti su **#pragma interrupt**, kad tai yra trūkio apdorojimo paprogramė ir į **0x808** arba **0x818** ląstelę patalpinti **goto** komandą su nuoroda į savo paprogramę.

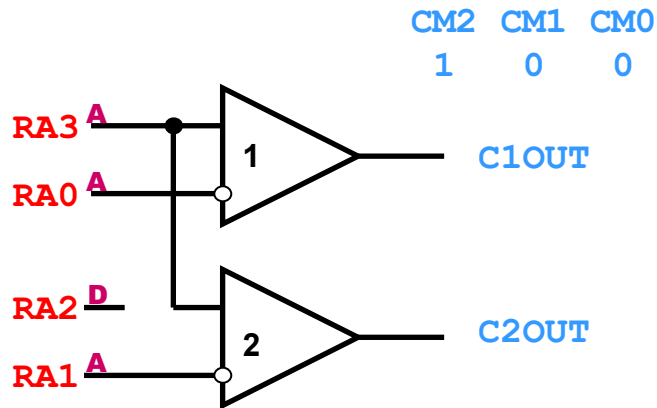
Ijungus maitinimą, visi trūkiai yra išjungti, trūkių prioritetai irgi yra išjungti. Jei nėra įjungti trūkių prioritetai, esant trūkio sąlygai, vykdoma aukšto prioriteto trūkio paprogramė.

Trūkio paprogramė negali gražinti rezultato, tačiau gali turėti lokalius kintamuosius. Duomenų mainai su pagrindine programa vyksta per globalius kintamuosius. Šie kintamieji turi turėti **volatile** modifikatorių, kuris informuoja kompiliatorių, kad kintamojo vertė gali bet kada pakisti ir draudžia kompiliatoriui šiam kintamajam taikyti optimizaciją.

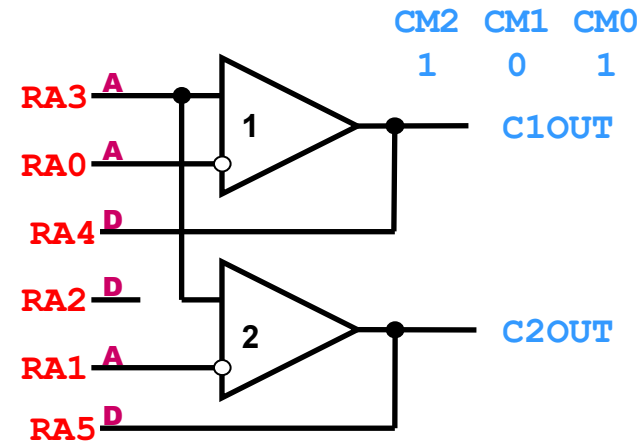
Komparatoriai (PIC18F4550) 1



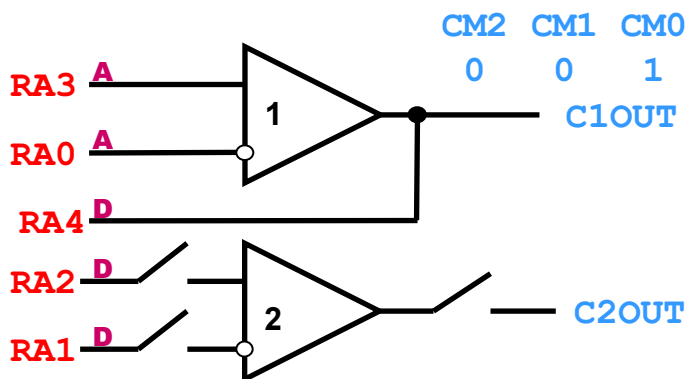
Komparatoriai (PIC18F4550) 2



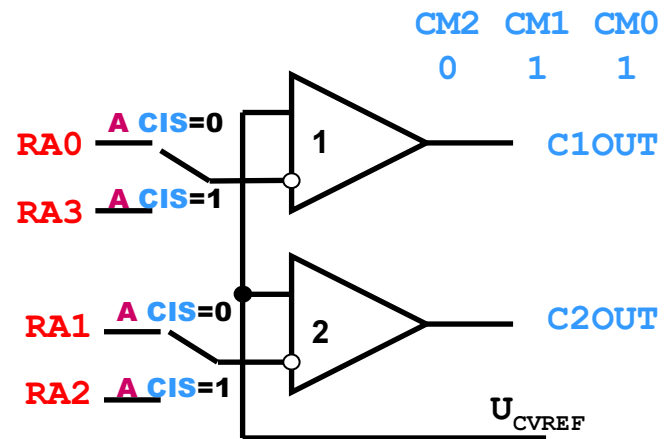
du komparatoriai su bendru įėjimu



du komparatoriai su bendru įėjimu ir išėjimais

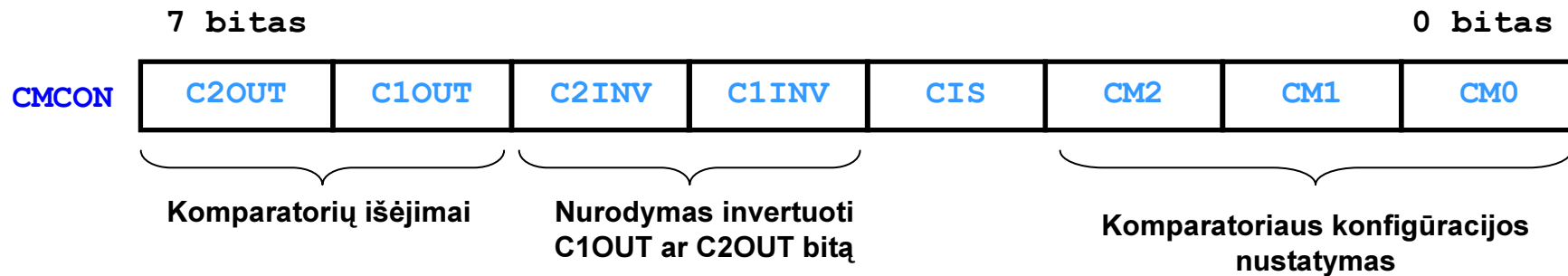


vienas komparatorius su išėjimu

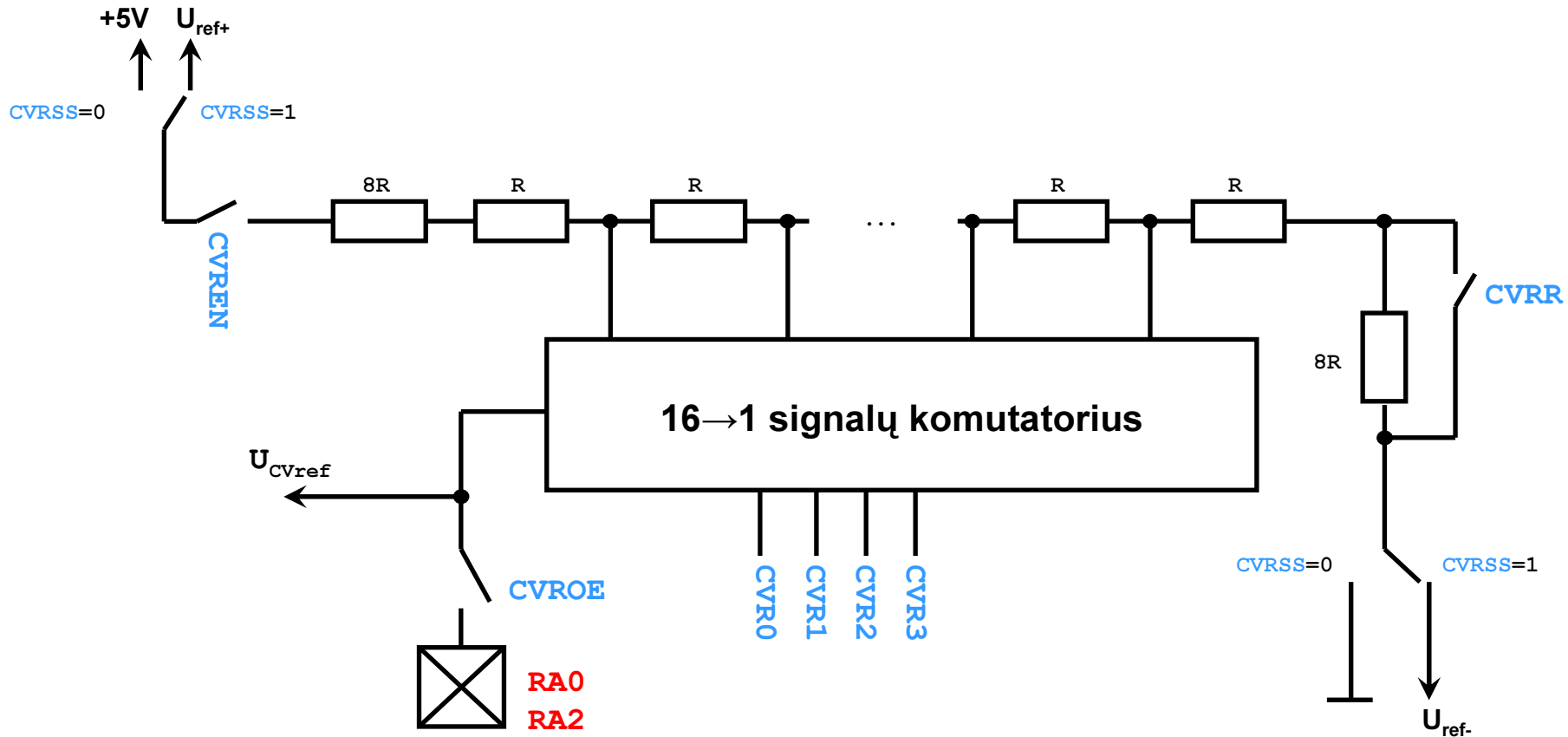


du nepriklausomi komparatoriai su išėjimais

Komparatorius valdantis registras



Atraminės įtampos šaltinis komparatoriams



$$CV_{ref} = U_0 * CVR / 24, \text{ jei } CVRR = 1$$

$$CV_{ref} = U_0 / 4 + U_0 * CVR / 32, \text{ jei } CVRR = 0$$

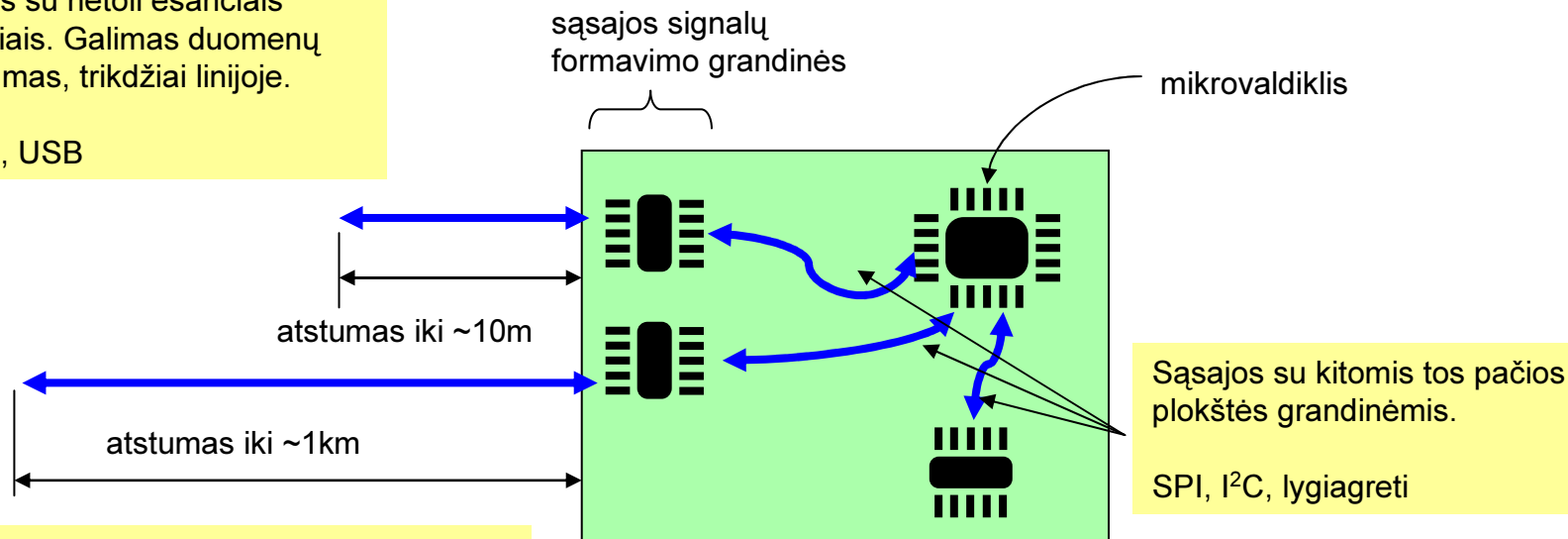
$$U_0 = U_{ref+} - U_{ref-}, \text{ jei } CVRSS = 1$$

$$U_0 = 5V - 0V, \text{ jei } CVRSS = 0$$

Laidinės sąsajos

Sąsajos su netoli esančiais įrenginiais. Galimas duomenų praradimas, trikdžiai linijoje.

RS232, USB



Sąsajos su toli esančiais įrenginiais. Trikdžiai linijoje yra labai tikėtini. Būtina galvaninė izoliacija

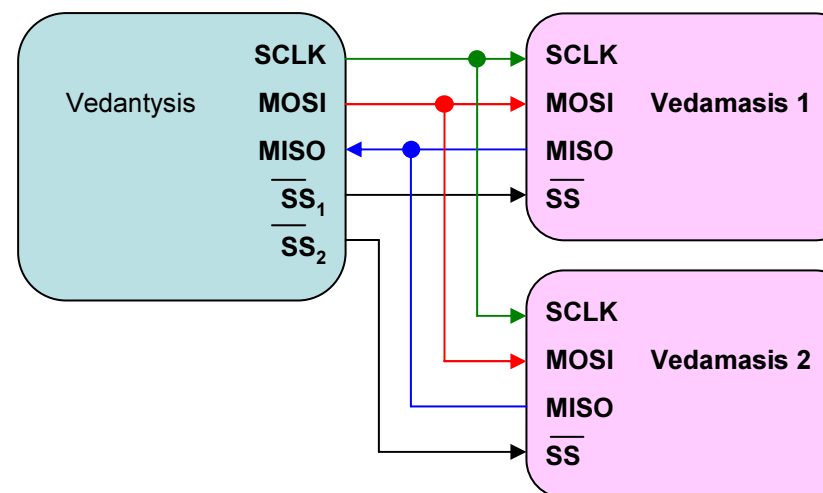
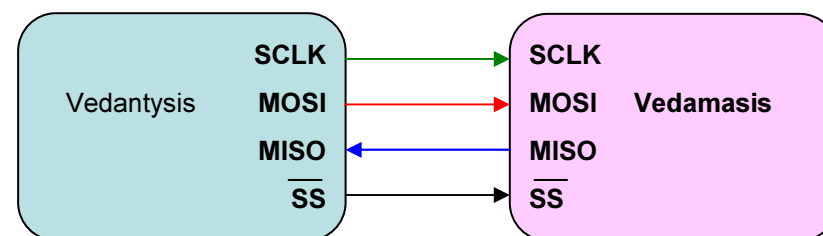
Ethernet, CAN, RS485

Sąsajų palyginimas

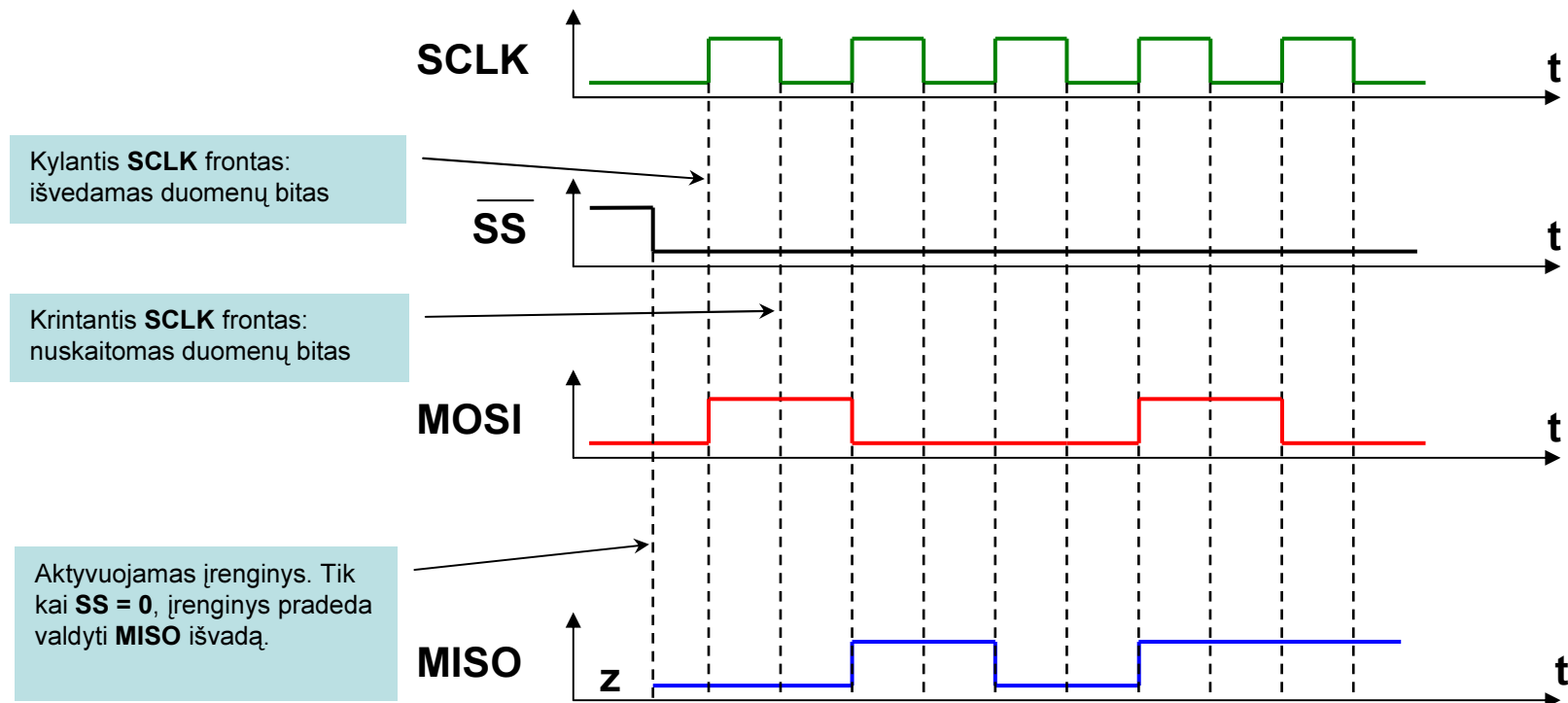
sausaja	duomenų perdavimo greitis	įrenginių skaičius segmente	kabelio ilgis
ethernet	10/100/1000 Mb/s	2	100m, iki 4 kartotuvų, tuomet ilgis iki 500m (5 segmentai)
RS232	0.24 - 115.2 kb/s	2	15m (pagal standartą), realiai ~100m
RS485	0.24 – 1000 kb/s	32, 64	1.3km kai 64kb/s su kartotuvai žymiai daugiau
CAN	10-1000 kb/s	~128	1km kai 40 kb/s 40m kai 1 Mb/s
USB	1.5/12/480 Mb/s	2 128 su USB hub	5m Iki 6 kartotuvų, tuomet ilgis iki 35m (7 segmentai)

SPI sąsaja

- **SPI** – serial peripheral interface
- Sukurta Motorola korporacijos
- Duomenų mainai vyksta pagal vedantysis-vedamasis bendravimo logiką. Gali būti vienas vedantysis ir keli vedamieji įrenginiai
- **SPI** – nuosekli sąsaja. Tuo pačiu metu gali būti perduodami duomenys iš vedančiojo į vedamąjį ir atvirkščiai.
- Naudojami 4 signalai: **SS** – vedamojo aktyvavimas, **SCLK** – taktiniai impulsai, ir **MOSI**, **MISO** – duomenų perdavimas, priėmimas
- Nėra patvirtinimo, kad duomenys gauti; negalima valdyti duomenų srauto
- Greitis iki 4Mb/s

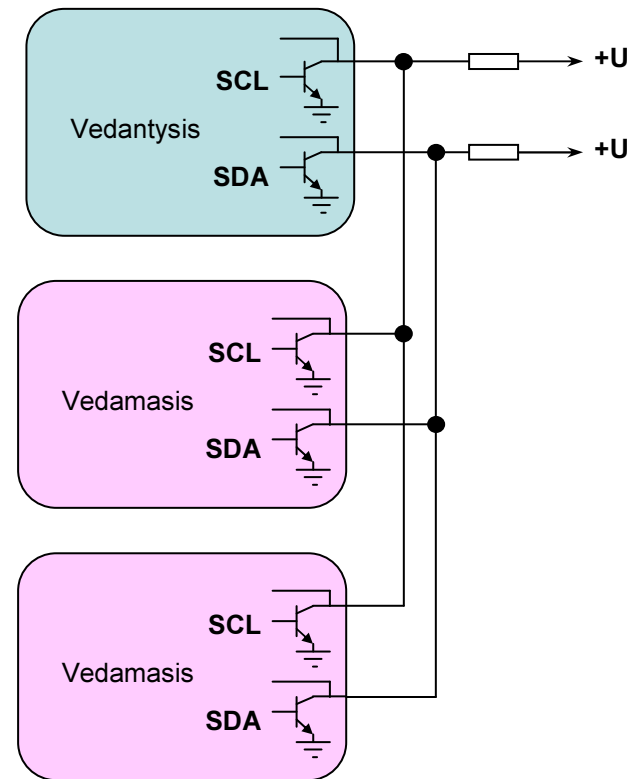


SPI sąsaja

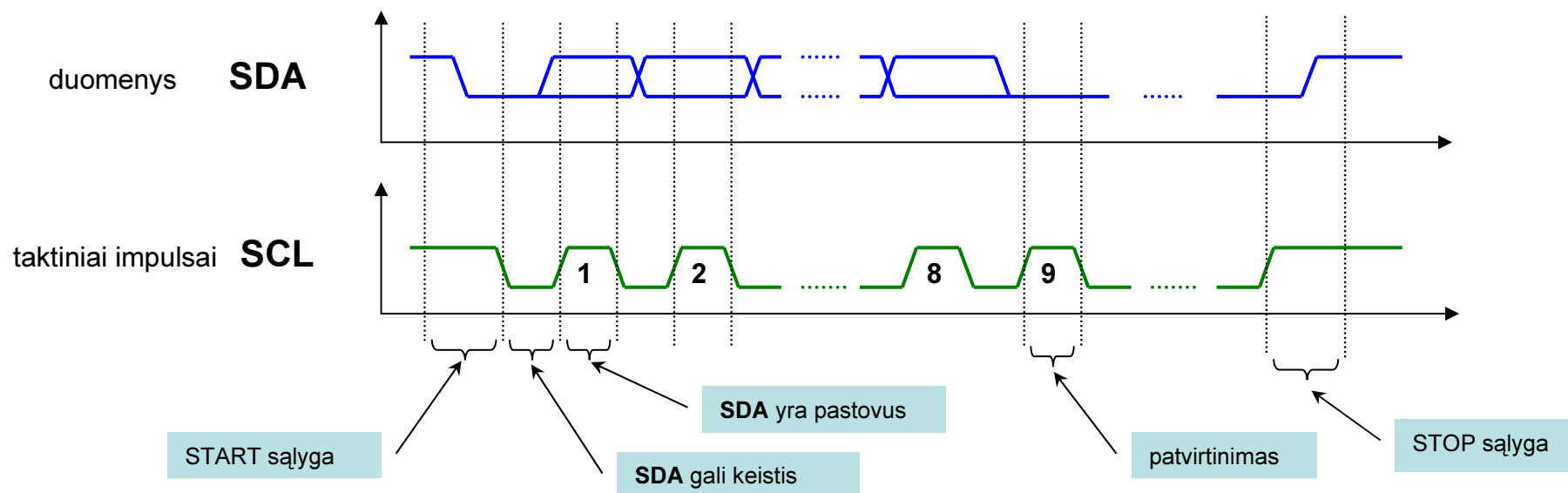


I²C sąsaja

- I²C – inter-integrated circuit
- 1992 m. sukūrė Philips kompanija
- duomenų mainai vyksta pagal vedantysis-vedamasis bendravimo logiką. Naudojama įrenginių adresacija;
- I²C – nuosekli sąsaja, duomenys abiejomis kryptimis perduodami tuo pačiu laidu;
- naudojami 2 signalai: **SCL** (taktiniai impulsai) ir **SDA** (duomenys). Abu išvadai yra atviro kolektoriaus (atviros santakos) tipo;
- įrenginiai adresuojami 7 arba 10 bitų adresu;
- gali būti daugiau nei vienas vedantysis;
- greitis: iki 100kb/s, iki 400kb/s, iki 3.4Mb/s;



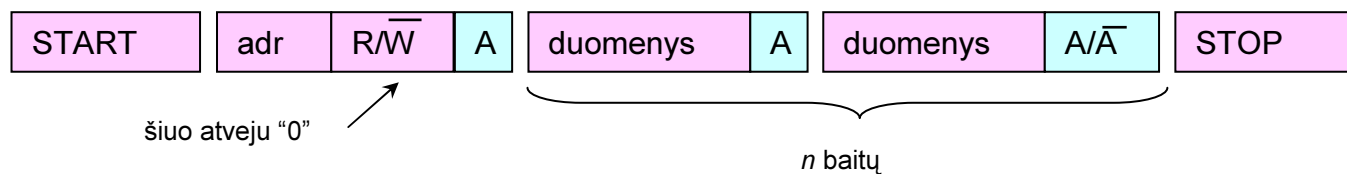
I²C sąsaja



- duomenys **SDA** linijoje gali keistis tik kai **SCL** yra žemo lygio. Dvi išimtys reiškia duomenų perdavimo pradžią ir pabaigą;
- duomenys yra perduodami baitais. 9 bitukas naudojamas sėkmingo priėmimo patvirtinimui;
- pirma perduodamas vyriausias bitas;
- duomenų kiekis tarp SART ir STOP nėra ribojamas.

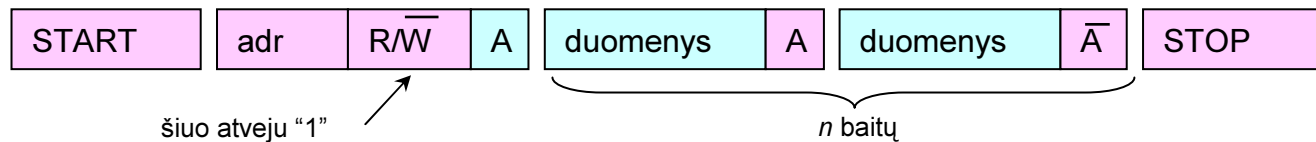
I²C sąsaja. Duomenų perdavimo scenarijai

I²C tinklą valdantis įrenginys perduoda duomenis valdomam įrenginiui. Duomenų perdavimo kryptis nesikeičia

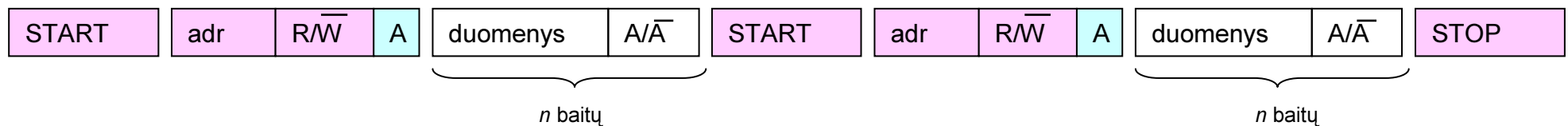


adr – 7 bitų adresas;
R/W – rašymo / skaitymo bitas:
0 – rašymas
1 – skaitymas
A – patvirtinimo bitas, "0"
Ā – patvirtinimo nėra, "1"

Valdantysis įrenginys priima duomenis po pirmojo patvirtinimo



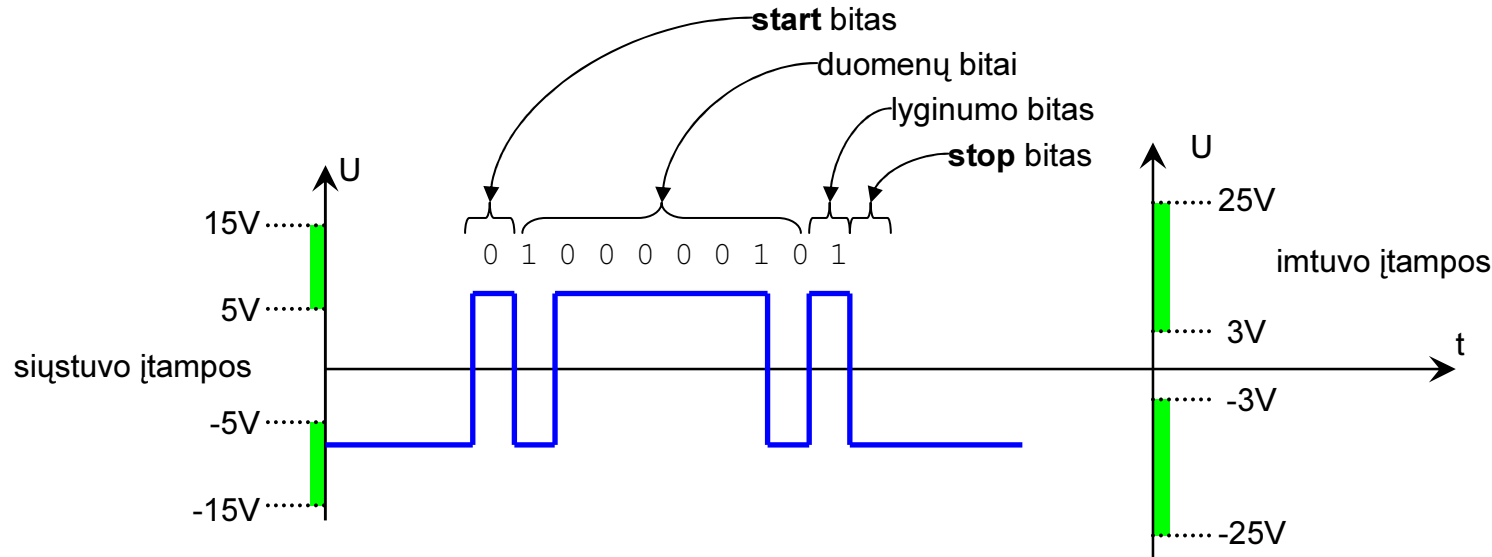
Kombinuotas formatas. Duomenys yra ir perduodami ir priimami



RS232C sąsaja

- Sukurtas 1962m, buvo paplitęs PC kompiuteriuose iki atsirandant **USB** sąsajai;
- Standartas numatė iki 20kb/s greičius ir maksimalų kabelio ilgį 15m (arba maksimalią 2700pF kabelio talpą), tačiau praktiškai yra naudojami ir žymiai didesni greičiai (iki ~4Mb/s, PC integruotas **RS232** palaiko iki 115.2kb/s), ir žymiai ilgesni kabeliai;
- Praktiškai pasiekiami greičiai ir kabelio ilgiai su UTP CAT-5 kabeliu (5pF/m):
 - 19,2 kb/s – 15m
 - 9.6 kb/s – 150m
 - 4.8 kb/s – 300m
 - 2.4 kb/s – 900m
- **RS232C** yra asinchroninė nuosekli sąsaja, kuria duomenys gali būti iš karto perduodami abejomis kryptimis;
- **RS232C** sąsaja gali būti sujungti tik du prietaisai;
- Be duomenų linijų, **RS232C** sąsajoje yra dar sinchronizacijai skirtos linijos, kuriomis vienas įrenginys informuoja kitą apie pasiruošimą priimti / perduoti duomenis;

RS232C sąsajos įtampos



RS232C sąsajos duomenų paketas yra sudarytas:

- “start” bitas (ilgis T), loginis ‘0’; šiuo bitu žymima paketo pradžia, pagal šį bitą sinchronizuojasi imtuvas;
 - 7 arba 8 duomenų bitai (ilgis $7T$ arba $8T$);
 - lyginumo bitas (ilgis T); naudojamas papildyti duomenis, kad galutinis skaičius būtų lyginis arba nelyginis, t.y. klaidų kontrolė;
 - “stop” bitas (ilgis T , $1.5T$, arba $2T$), loginis ‘1’; šiuo bitu žymima paketo pabaiga;
- ‘T’ yra vieno bito perdavimo laikas, pvz., jei duomenų perdavimo yra 115.2kb/s,**
 $T=1/115.2[\text{kb/s}]=8.68[\mu\text{s}]$

RS232C trūkumai ir privalumai

Trūkumai:

- Mažas atsparumas triukšmams. Siųstuvas loginį '1' ar '0' detektuoja lygindamas signalinio laido įtampą bendro laido atžvilgiu, o bendro laido potencialas, esant ilgam kabeliui, siųstuve ir imtuve gali stipriai skirtis;
- **RS232C** skirtas sujungti tik du įrenginius, sujungti daugelį įrenginių į tinklą negalima;
- Mažas duomenų perdavimo greitis;
- Mažas duomenų perdavimo atstumas;

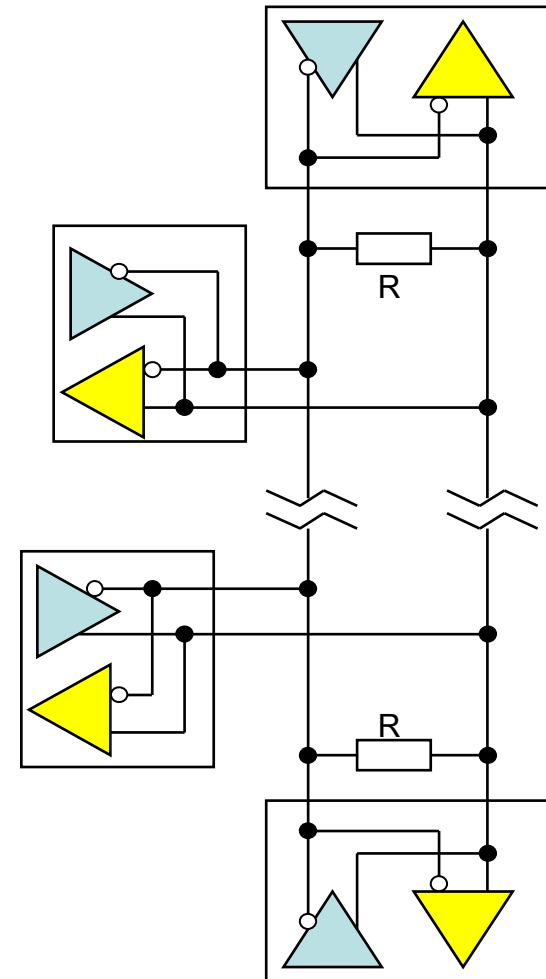
Privalumai:

- Labai paprastas naudoti (programuotojo požiūriu);
- Iki atsirandant USB buvo plačiai paplitęs ir integruojamas į visus kompiuterius;

RS232C trūkumai buvo taisomi **RS422**, **RS423**, **RS485** sąsajose.

RS485 sąsaja

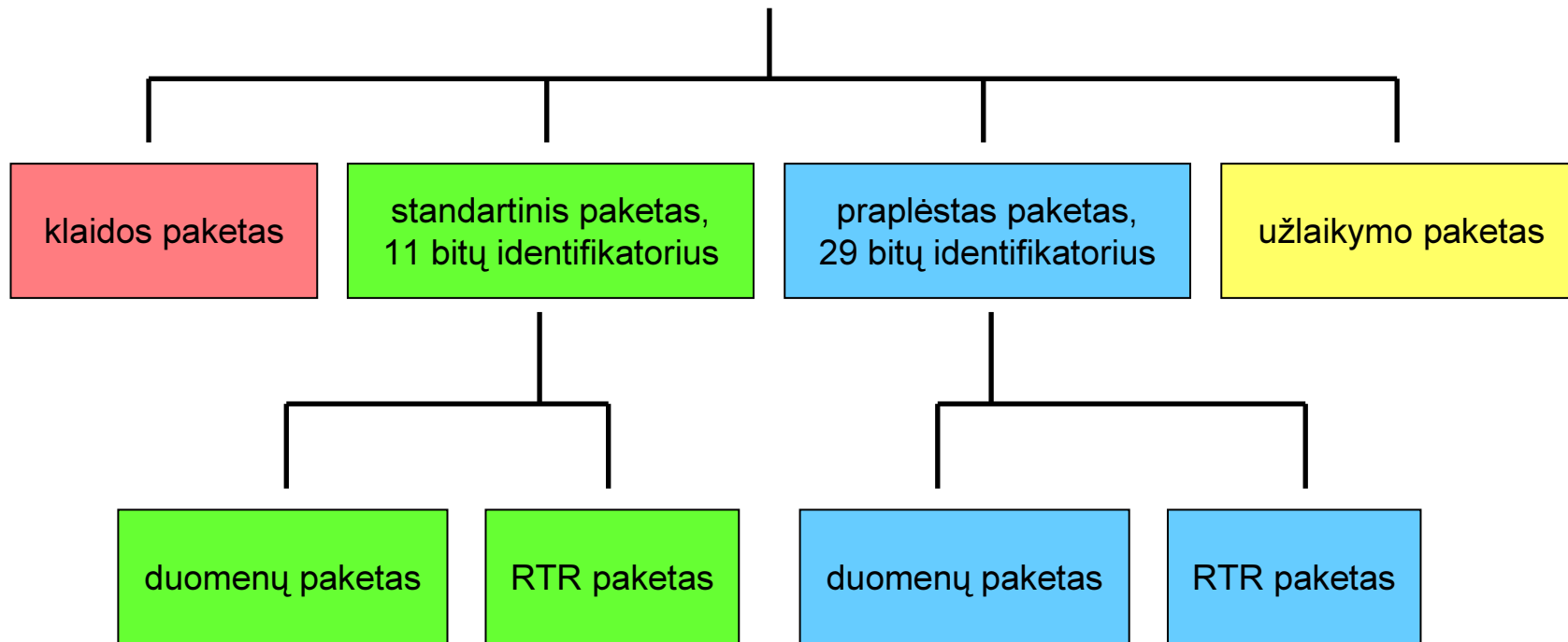
- **RS485** yra asinchroninė diferencialinė nuosekli sąsaja;
- Įrenginiai yra jungiami į tinklą, todėl duomenų perdavimas yra įmanomas tik iš vieno įrenginio visiems kitiems tinklo įrenginiams;
- Maksimalus duomenų perdavimo greitis priklauso nuo kabelio ilgio ir yra nuo 100kb/s (kai kabelio ilgis 1.2km) iki 35Mb/s (12m kabelis);
- Maksimalus įrenginių skaičius priklauso nuo imtuvo jėgimo varžos. Daugumos imtuvų ji yra 12kΩ, tuomet tinkle gali būti 32 įrenginiai;
- Programuotojo požiūriu, **RS485** yra identiškas **RS232** sąsajai. Papildomi sunkumai iškyla programuojant duomenų perdavimo aukštesnįjį protokolą: kai daugelis įrenginių gali pradėti duomenų perdavimą, yra kolizijos galimybė; dėl šios priežasties turi būti patikimas klaidų aptikimo algoritmas. Šias ir kitas **RS485** sąsajos duomenų perdavimo problemas sprendžia visuotinai pripažinti "Profibus" ir "Modbus" protokolai.



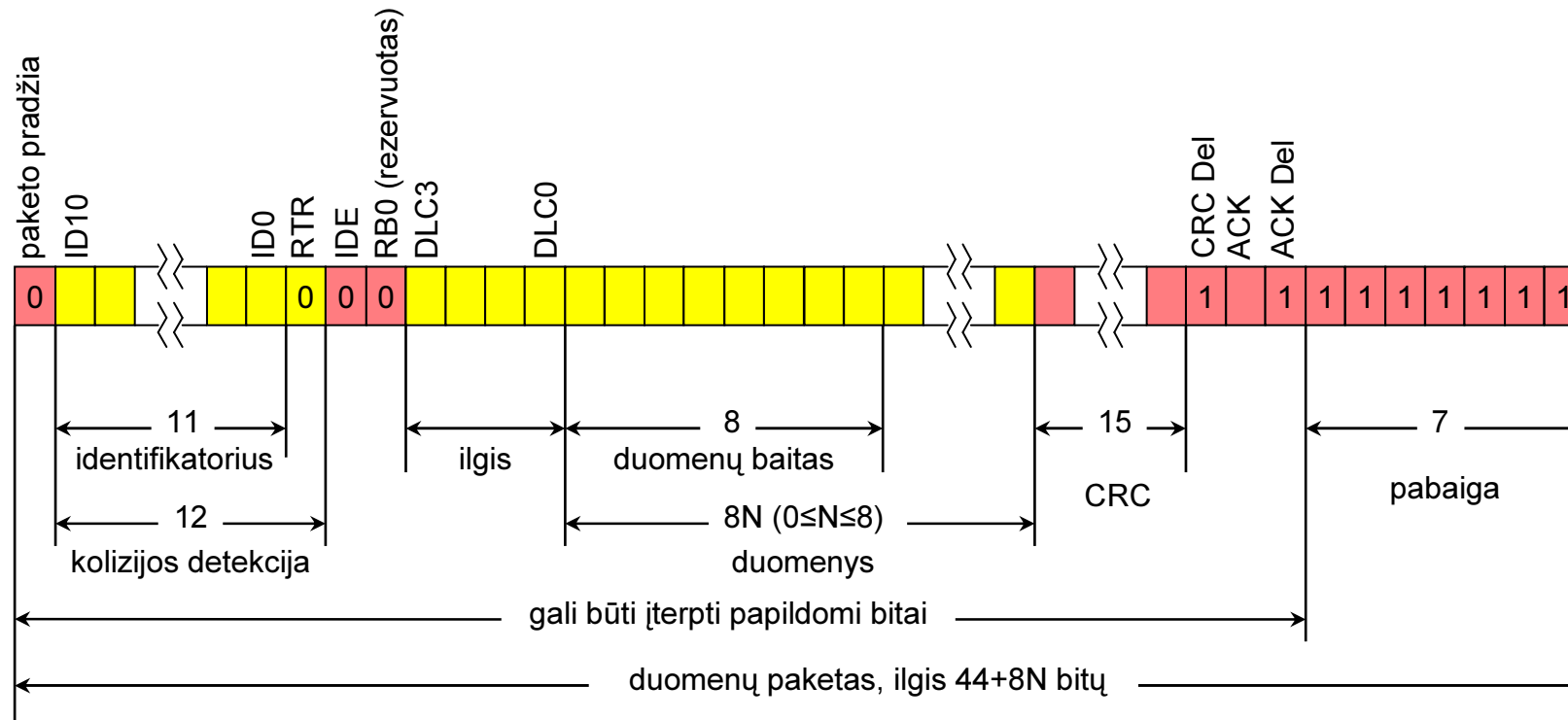
CAN sąsaja

- Istorija: CAN sąsaja 1980m. sukūrė R.Bosh automobiliams;
- Naudojamas: automobilių elektronikoje, automatizavimui skirtoje elektronikoje, medicinos įrangoje, matavimo įrangoje, aviacijoje;
- Ypatybės:
 - CAN sąsajoje duomenys yra siunčiami paketais, kuriuos sudaro identifikatorius (11 arba 29 bitų) ir duomenys (0-8 baitai);
 - yra standartai trims fiziniams CAN duomenų perdavimo būdams, plačiausiai yra paplitęs ISO 11898-2 standartas CAN duomenų perdavimui vytos poros kabeliu (greitis iki 1Mb/s);
 - kolizijos detekcija aparatiname lygmenyje;
 - paketo siuntimo kartojimas (esant klaidai) realizuotas aparatiname lygmenyje
- Trūkumai:
 - yra įmanomas CAN tinklo įrenginio gedimas, kai vienas CAN tinklo įrenginys gali užblokuoti duomenų perdavimą visame CAN tinkle;
 - mikrovaldiklių su CAN sąsaja yra pastebimai didesnė kaina;
 - būtinas kvarcinis rezonatorius (dėl griežtų reikalavimų laikinėms charakteristikoms), todėl neįmanoma realizuoti sensoriaus su CAN sąsaja viename luste;

CAN paketų tipai

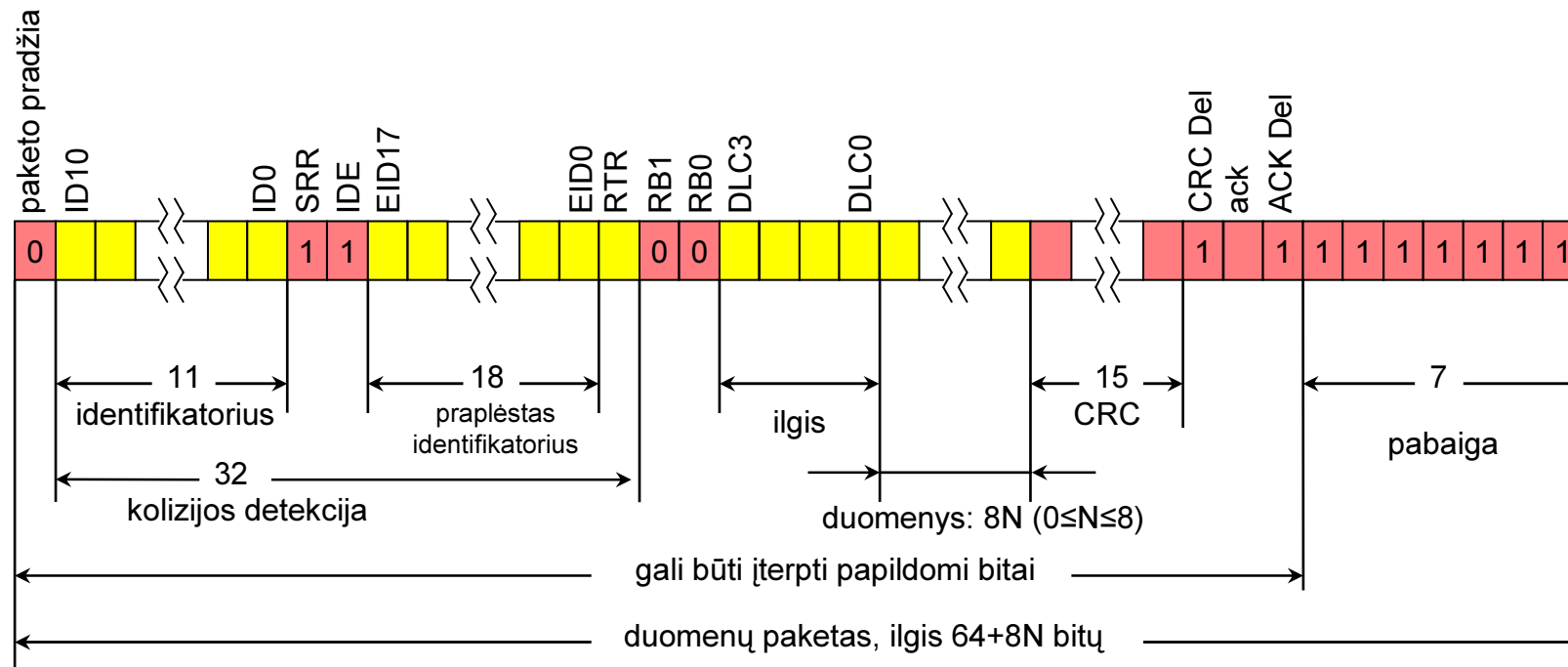


Standartinis (11 bitų) **CAN** paketas



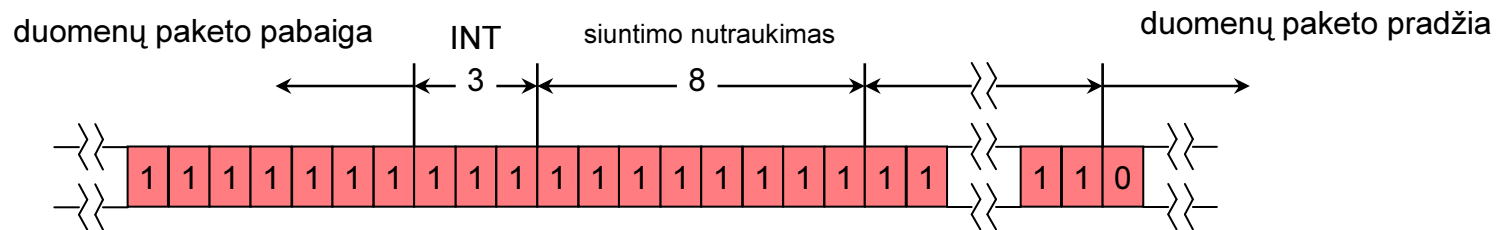
RTR – (remote transmit request) duomenų užklauskimas;
 IDE – jei 0, standartinis paketas, jei 1 – išplėstas paketas;
 ACK – visi CAN prietaisai, kurie priėmė paketą, išstato '0';

Praplėstas (29 bitų) **CAN** paketas



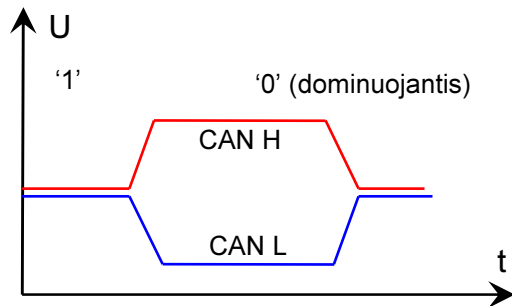
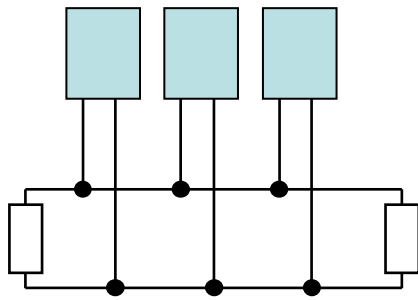
CAN duomenų bitas perduodamas, naudojant NRZ (non return to zero) būdą, t.y. bitas yra koduojamas pastoviu įtampos lygmeniu. Jei iš eilės eina penki vienodi bitai, tuomet, sinchronizacijos sumetimais, papildomai yra įterpiamas priešingas bitas.

Tarpas tarp **CAN** paketų



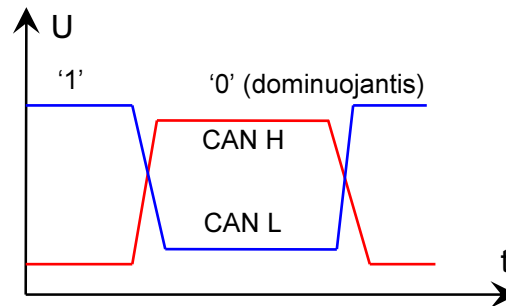
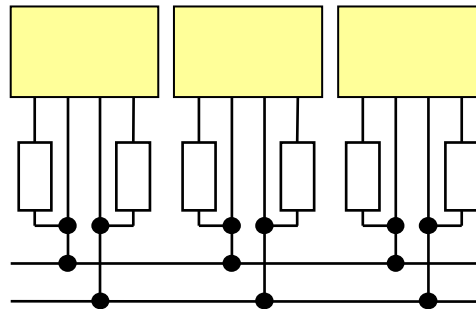
CAN sąsajos fizinis ryšys

ISO 11898-2



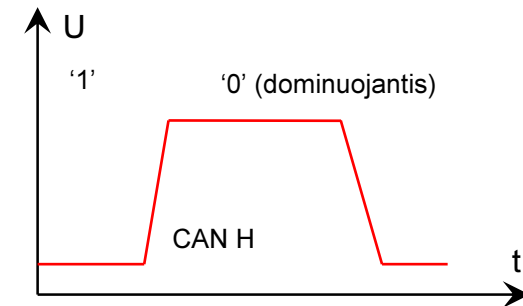
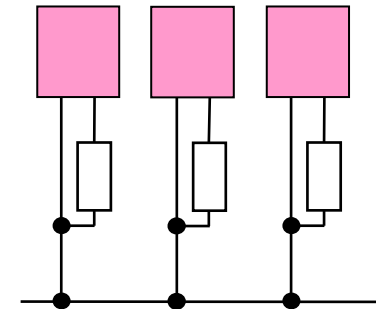
- vytos poros kabelis;
- greitis iki 1Mb/s;

ISO 11898-3



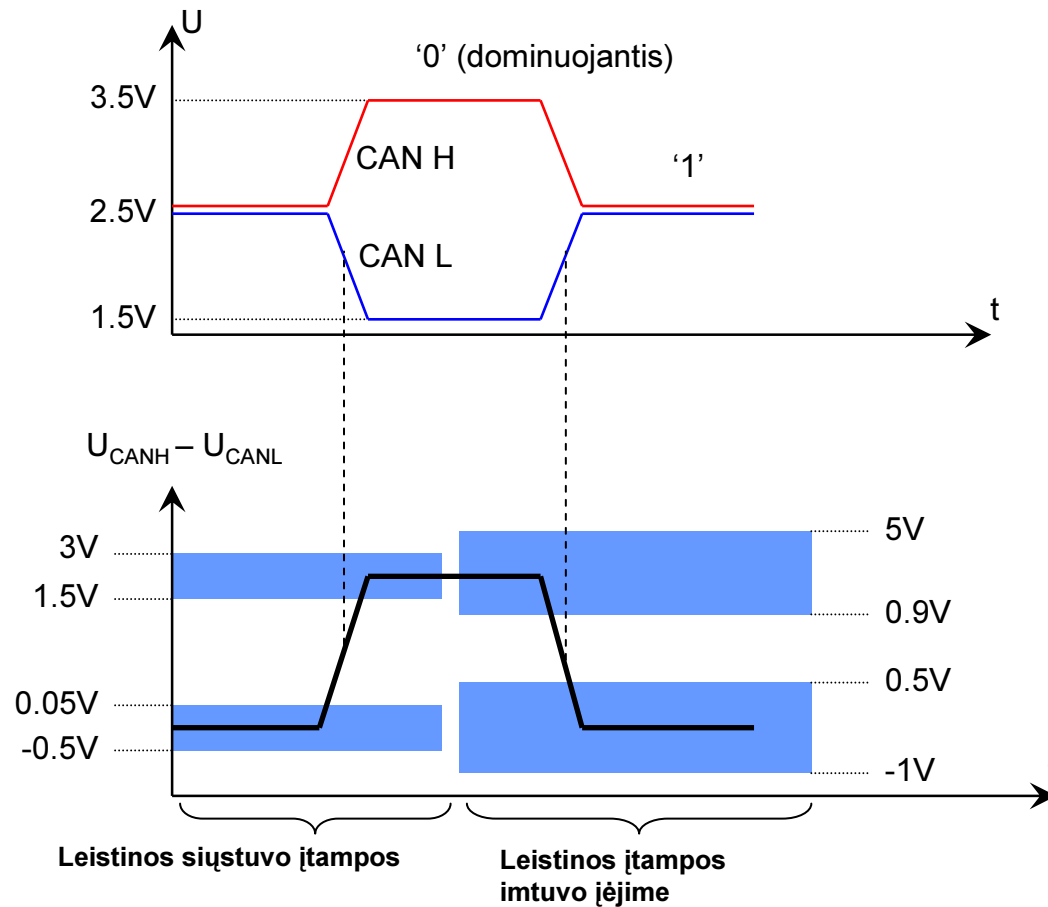
- 2 laidų trumpas kabelis, atspindžiai nuo kabelio galų nesvarbūs;
- greitis iki 125kb/s;
- Vieną iš laidų užtrumpinus, ryšys nenutrūksta;

SAE/J2411

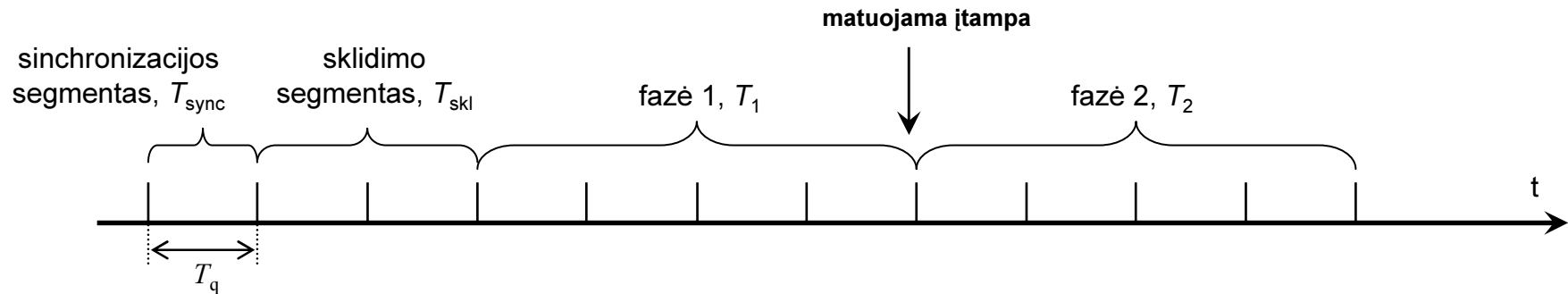


- 1 laido trumpas kabelis;
- greitis iki 41.6kb/s;

ISO 11898-2 **CAN** įtampos

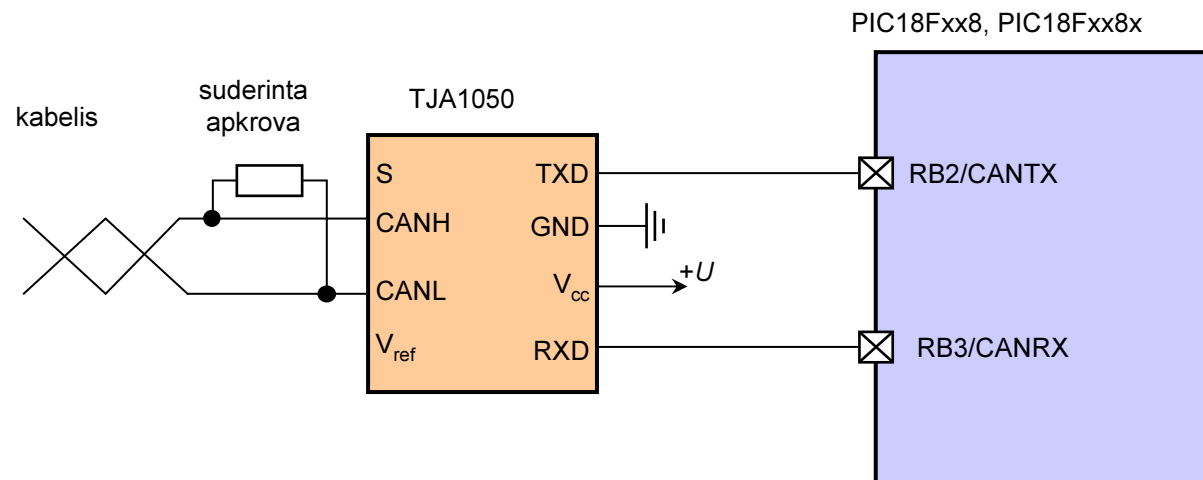


1 bitas CAN sąsajoje

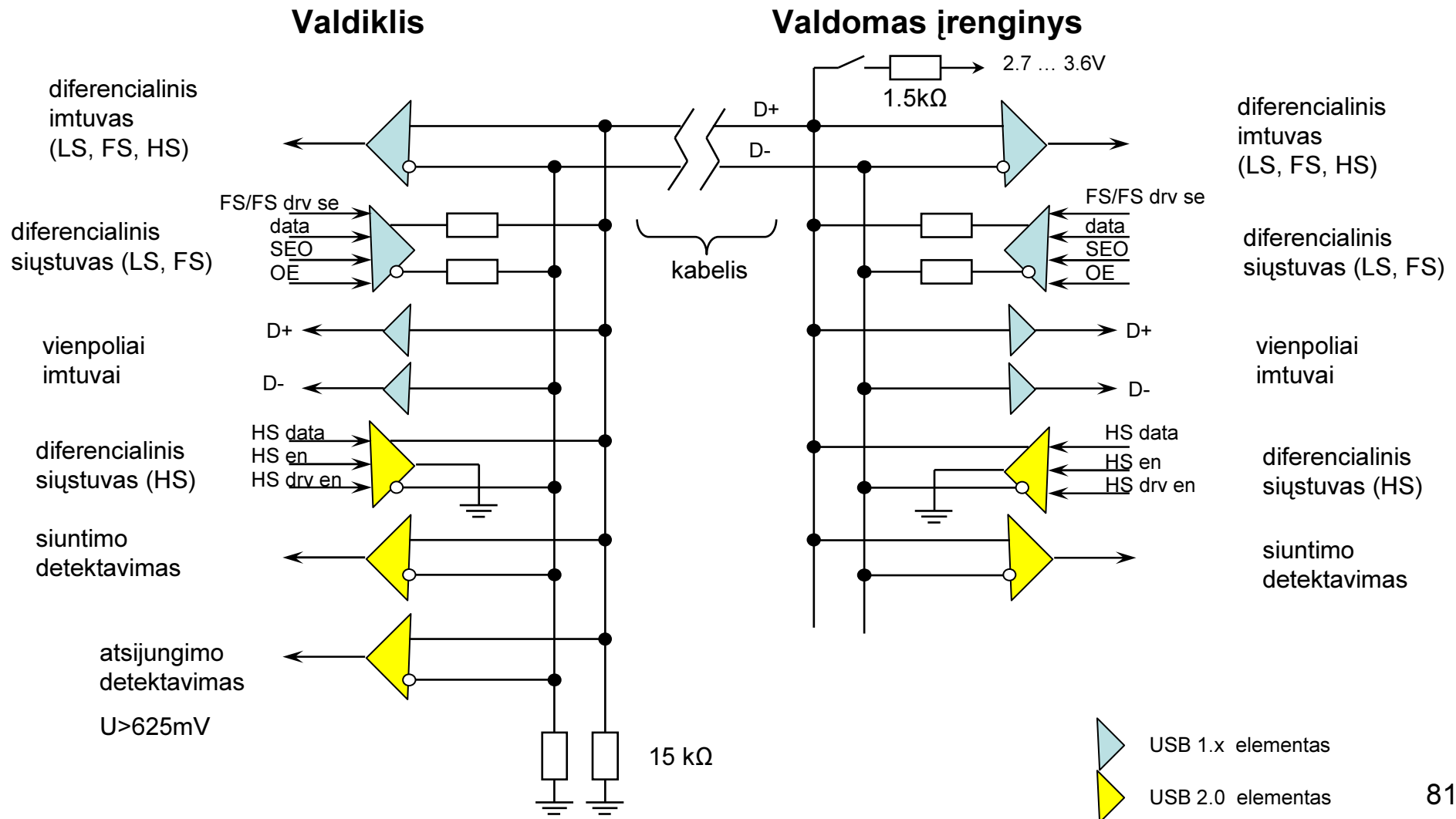


- impulso frontas turi būti trumpesnis už sinchronizacijos segmento ilgį;
- sklidimo segmentas skirtas kompensuoti signalo vėlavimą dėl baigtinio sklidimo laiko;
- fazių 1,2 segmentai skirti impulso fronto paklaidoms kompensuoti;
- įtampa magistralėje matuojama laiko momentu tarp 1 ir 2 fazių;

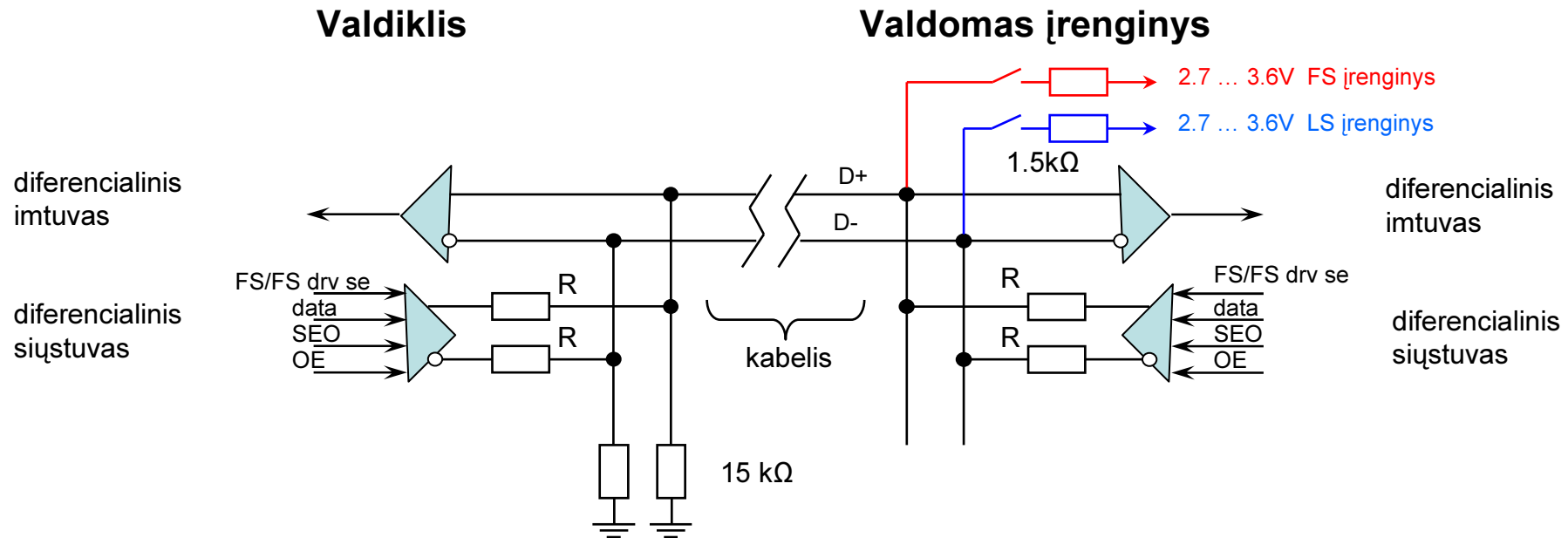
Mikrovaldiklio jungimas prie **CAN** sąsajos



USB sąsaja

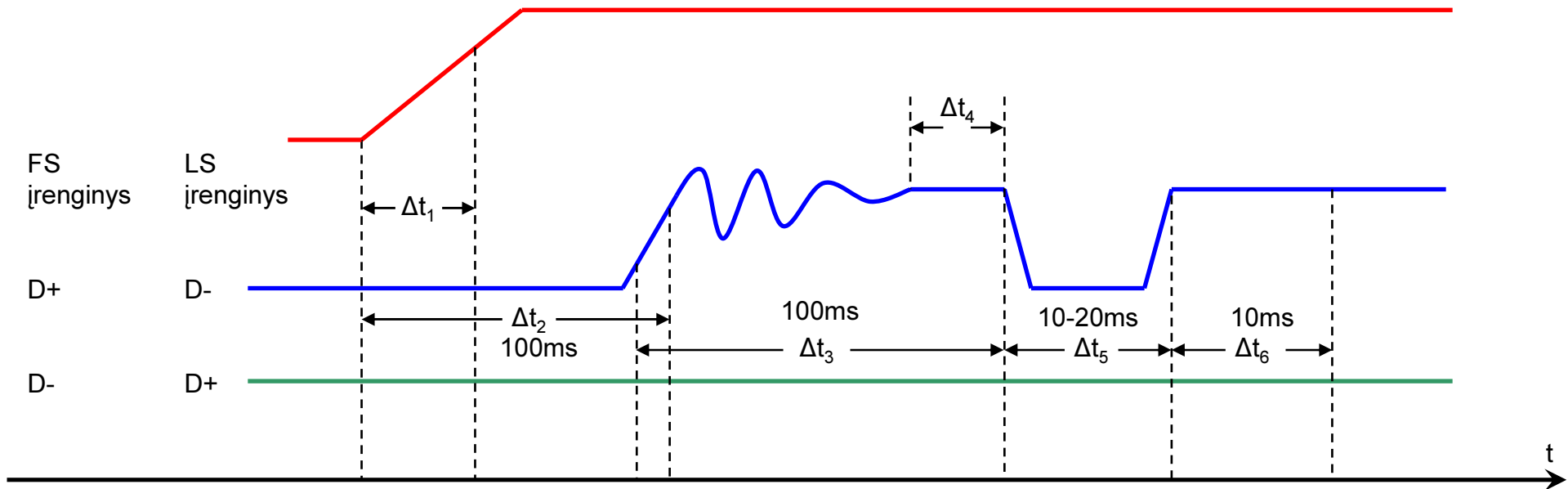


LS ir FS **USB** įrenginiai



- '1' – kai $U_{D+} - U_{D-} > 200\text{mV}$ ir $U_{D+} > V_{IHmin}$
- '0' – kai $U_{D+} - U_{D-} < 200\text{mV}$ ir $U_{D+} > V_{IHmin}$
- LS įrenginiams signalo frontas turi būti 75 ... 300ns;
- FS įrenginiams naudojamas 90Ω kabelis iki 5m ilgio;
- FS įrenginiams signalo frontas turi būti 4 ... 20ns;
- FS įrenginiuose $R=27\Omega$, suderinta varža sudaryta iš dviejų nuosekliai sujungtų rezistorių, kurių kiekvienas turi būti 28Ω - 44Ω, (5Ω – 15Ω yra CMOS buferio išėjimo varža);

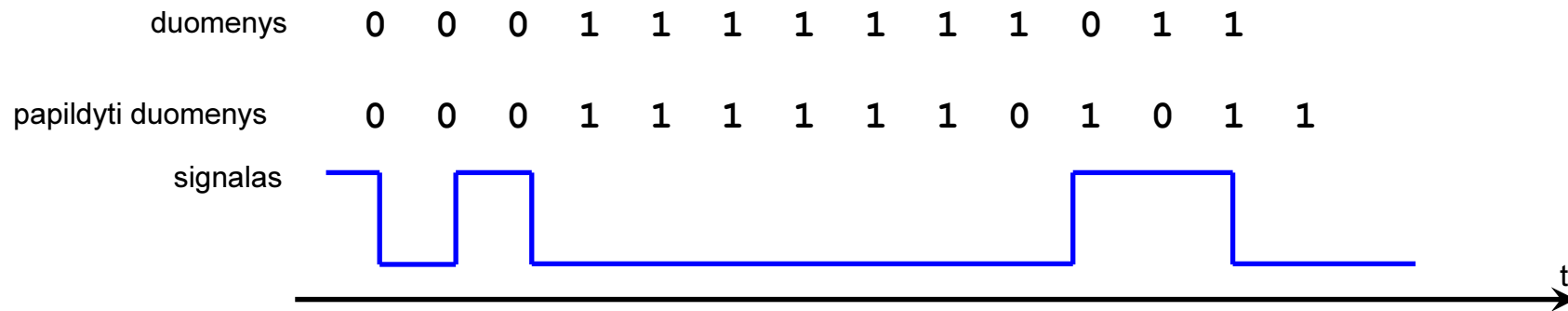
USB įrenginio prijungimas



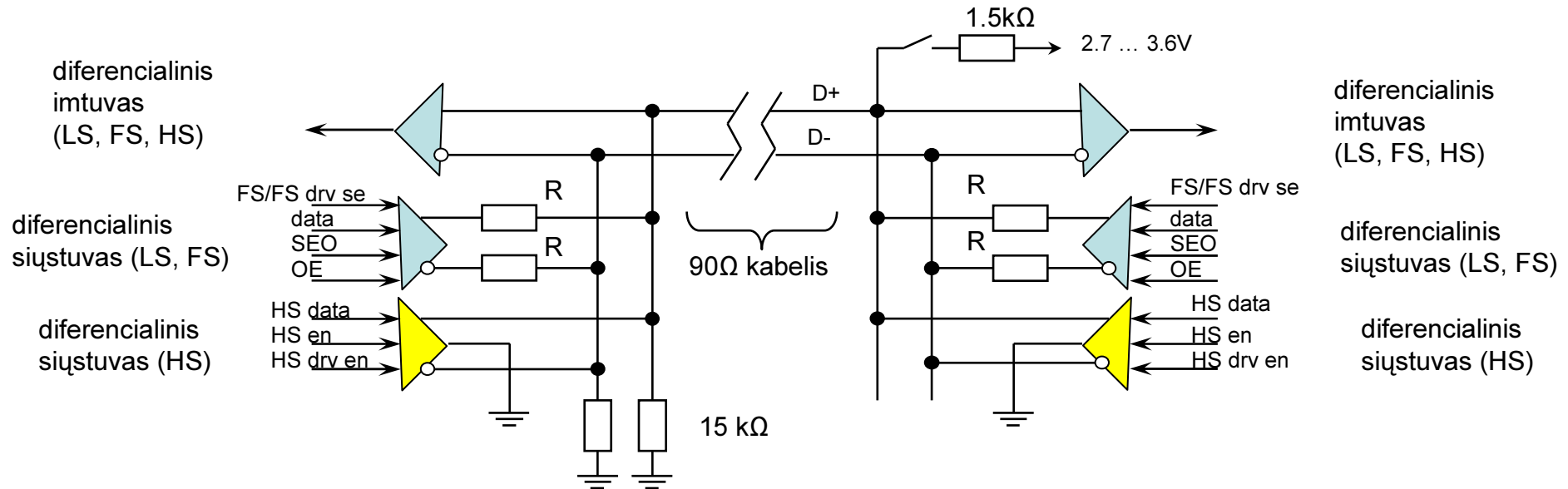
- Δt_1 – įjungiamą įtampa valdikliui, įtampa pakyla iki darbinio lygio;
- Δt_2 – praėjus šiam laikui, įjungiamas valdiklio imtuvas;
- Δt_3 – programinės įrangos užduodamas laiko tarpas, per kurį turi baigtis kontaktų elektrinis susijungimas;
- Δt_4 – kontaktų elektrinis susijungimas įvyko, laukiama kol baigsis Δt_3 laiko tarpas;
- Δt_5 – “reset” signalas;
- Δt_6 – pasiruošimas darbui po “reset” signalo.

Duomenų kodavimas **USB** sąsajoje

- duomenys USB sąsajoje yra koduojami **NRZI** (Non-Return to Zero, Inverted) metodu;
- duomenų '0' yra koduojamas signalo lygio pokyčiu;
- duomenų '1' – signalo lygio pokyčio nėra;
- jei yra iš eilės eina šeši duomenų '1', yra papildomai įterpiamas signalo pokytis;

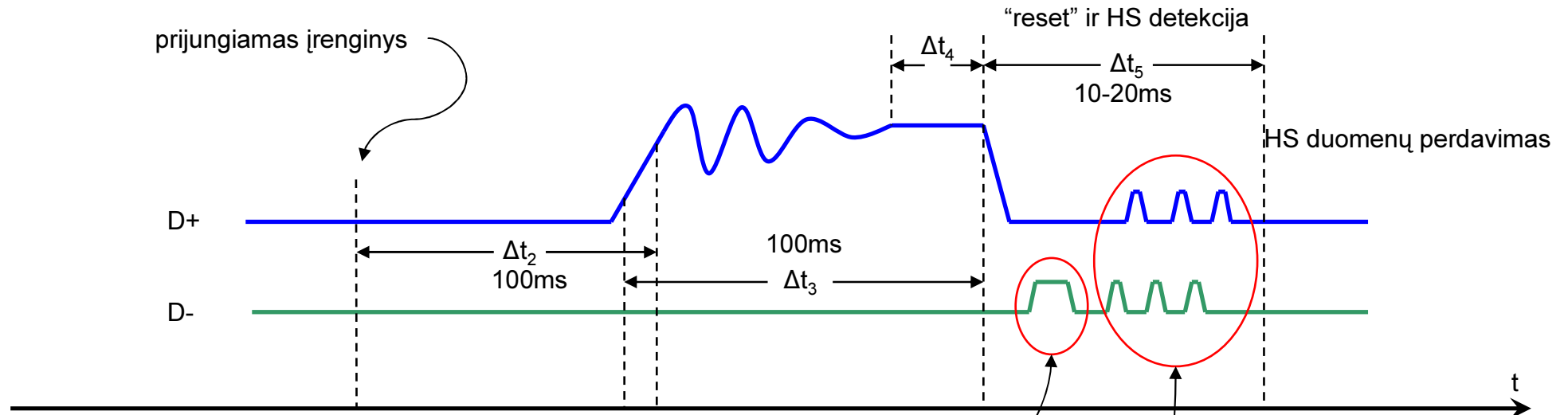


HS USB įrenginiai



- naudojamas **90Ω** kabelis;
- Suderintos apkrovos yra rezistoriai $R = 45\Omega \pm 10\%$ HS greičiui;
- HS siųstuvas generuoja **17.78mA** srovės impulsus į **D+** (**J** signalas) arba **D-** (**K** signalas) liniją;
- Imtuvo pusėje **17.78mA** srovė tekėdama per **22.5Ω** apkrovą sukuria apie $\pm 400\text{mV}$ įtampą;
- '0' – kai $|U| < 100\text{mV}$, '1' – kai $|U| > 150\text{mV}$; **U** ženklas reiškia **J** arba **K** signalą;

HS įrenginio prijungimas



Kai nėra duomenų perdavimo, D+ ir D- lygiai yra žemi. Prietaiso išjungimas aptinkamas pagal atspindį nuo nesuderintos apkrovos: prie valdiklio siųstuvo įtampos amplitudė beveik padvigubėja, atjungus įrenginį. Įrenginio atjungimas tikrinamas kiekvieno MicroSOF paketo pabaigoje.

Generuoja įrenginys

Valdiklis patvirtina, kad palaiko HS.

Įrenginys, priėmęs šią impulsų seką, pereina į HS duomenų perdavimo/priėmimo būseną, išjungia 1.5k rezistorių.

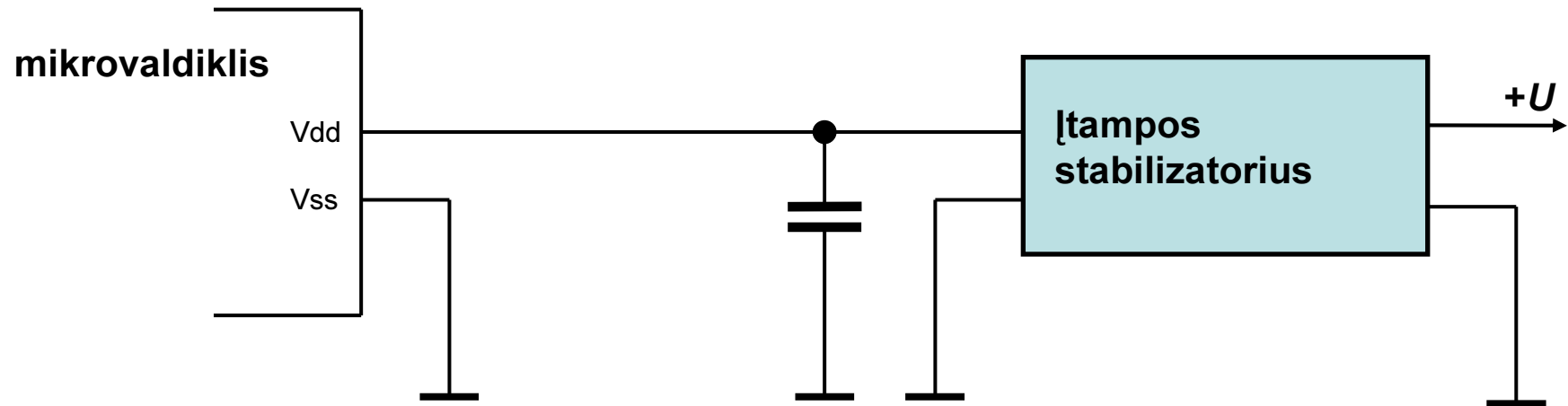
USB įrenginių klasės

- **Audio** įrenginių klasė. Šie įrenginiai siunčia ar priima realaus laiko audio duomenis;
- **CDC (Communication Device Class)** įrenginių klasė. Modemai, AT komandomis valdomi įrenginiai;
- **Content Security**. Nustato mechanizmus duomenims saugiai perduoti per USB sąsaja;
- **HID (Human Interface Device)** įrenginių klasė. Vartotojo – kompiuterio sąsajos prietaisai, pvz.: klaviatūros, pelytės ir pan.;
- **Image Device Class**. Prietaisai, kurie perduoda nufotografuotus / nuskanuotus vaizdus;
- **IrDA Class**. IR ryšio siųstuvai ir imtuvai;
- **MSDC (Mass Storage Device Class)**. Įrenginiai, kurie talpina ir perduoda didelius informacijos kiekius, pvz.: išoriniai kieti diskai, flash diskeliai;
- **Monitor Class**. Monitoriaus parametrų reguliavimas.
- **PID (Physical Interface Device Class)**.
- **Power Device Class**. Įrenginiai, kurie tiekia ar valdo energijos tiekimą, pvz.: UPS;
- **Printer Device Class**. Spausdintuvai ir panašių funkcijų turintys įrenginiai.

Mikrovaldiklio jungimas į elektroninę grandinę

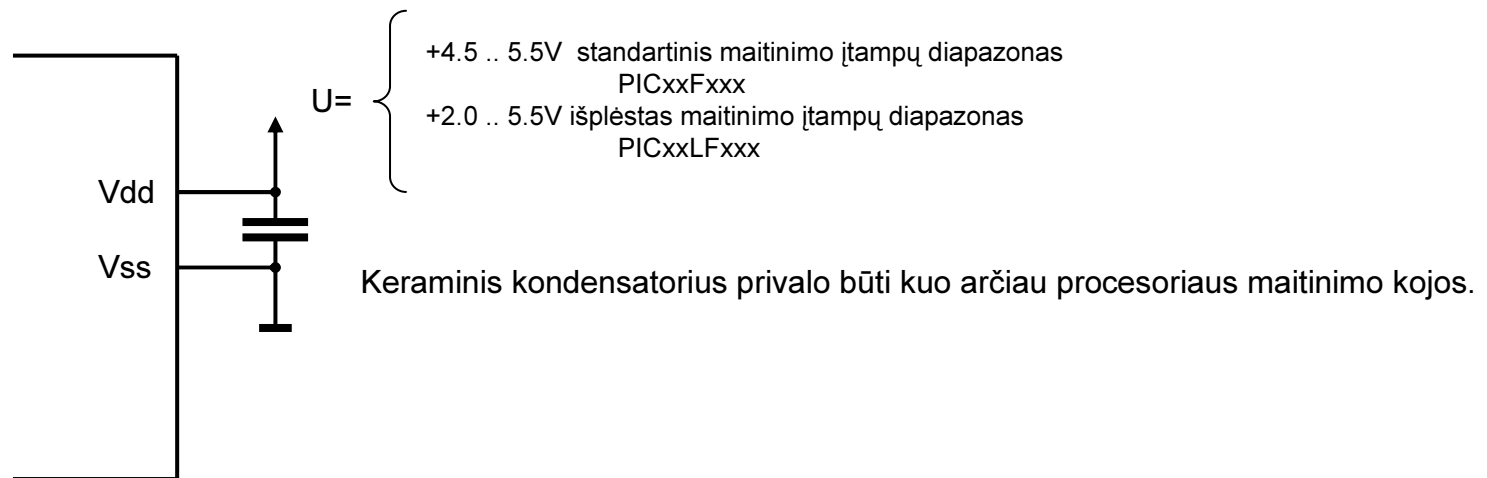
- Maitinimas
- Taktinių impulsų šaltinis
- “Reset” signalas

Maitinimo šaltinis

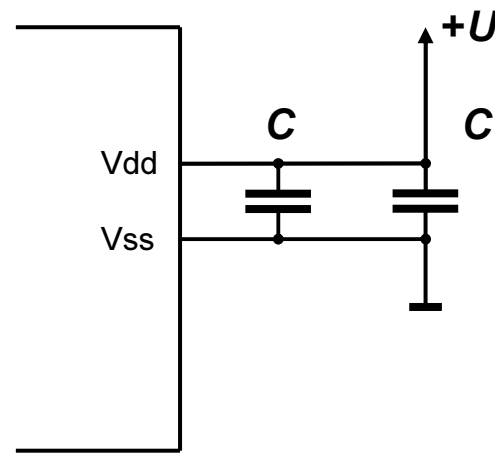
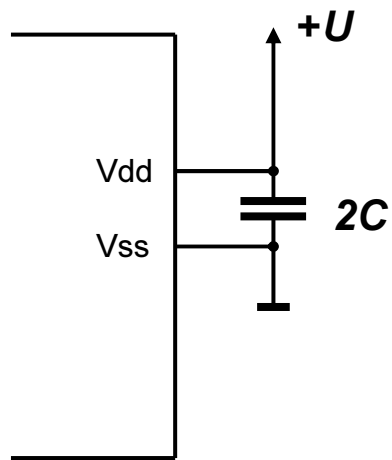


- Tiesiniai įtampos stabilizatoriai kompensuoja iki 10KHz srovės suvartojimo kitimus;
- Impulsiniai įtampos stabilizatoriai kompensuoja 25KHz srovės suvartojimo kitimus (jei stabilizatorius dirba 50KHz dažniu);

Maitinimas

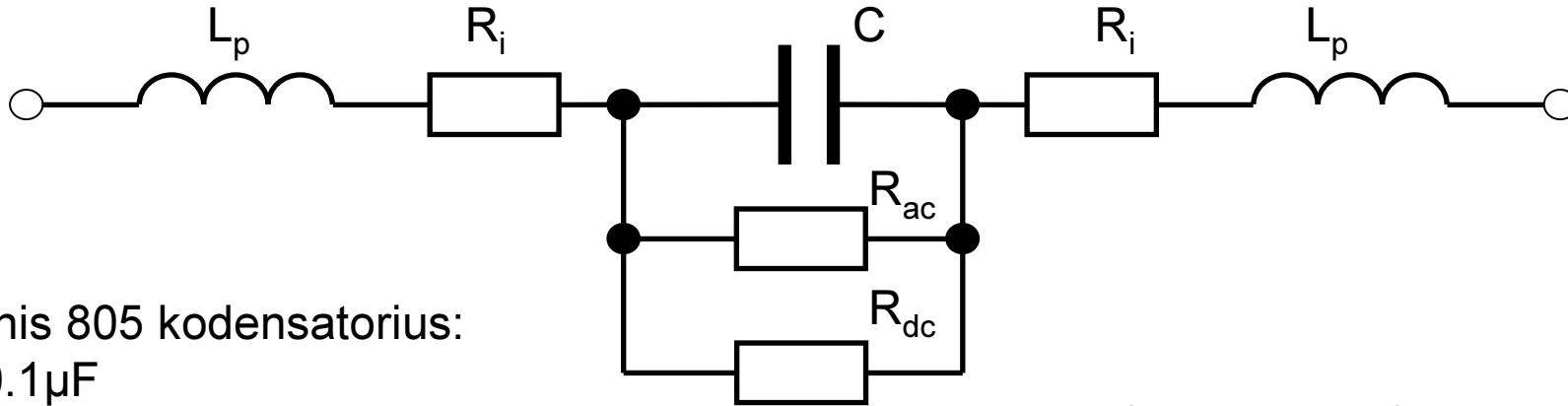


Vienas ir du kondensatoriai



Šie kondensatorių jungimo variantai nėra ekvivalentiški!

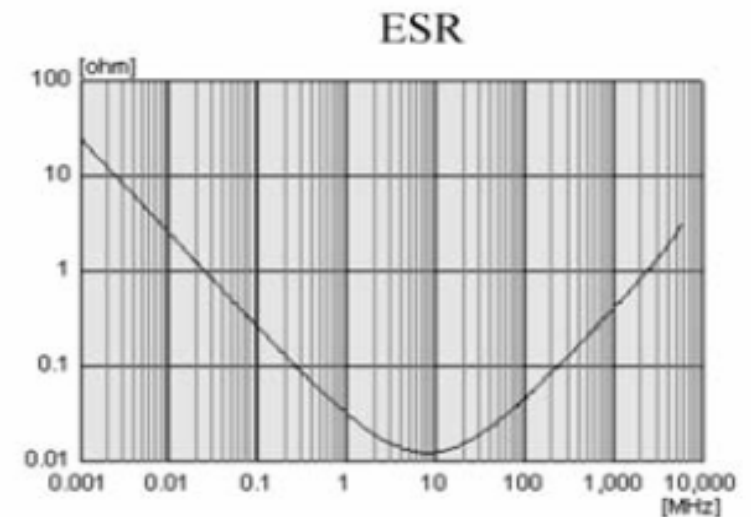
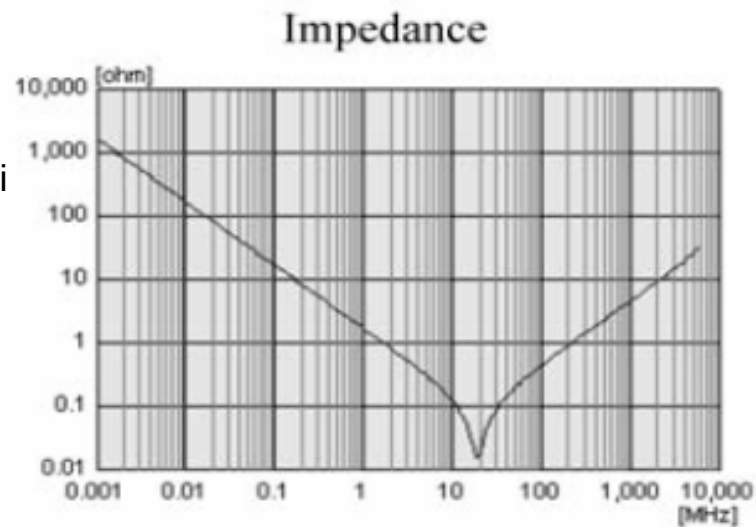
Realus kondensatorius



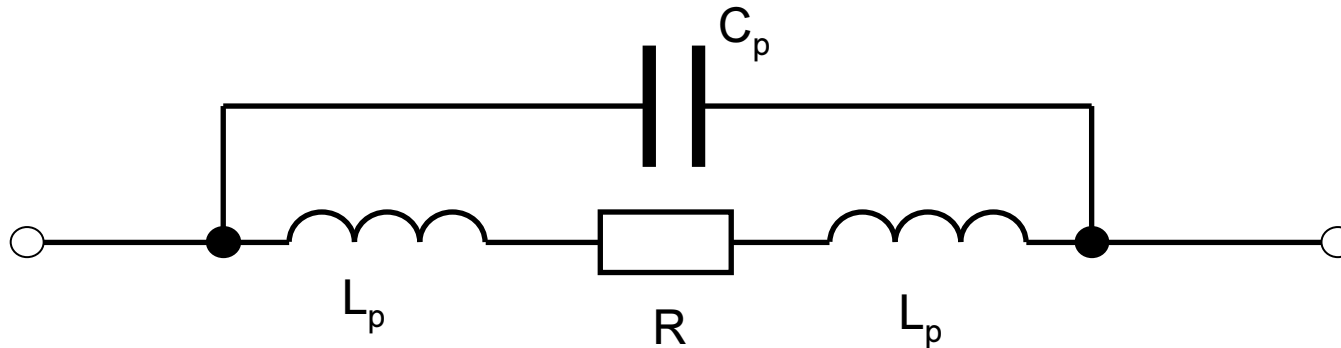
Tipinis 805 kodensatorius:
 $C=0.1\mu\text{F}$
 $L_p=0.73\text{nH}$

ESR - Equivalent Series Resistance

SMD nuo 603 iki 1210
korpuso kondensatoriai
turi 0.750nH ...
 1.250nH induktyvumą



Realus rezistorius



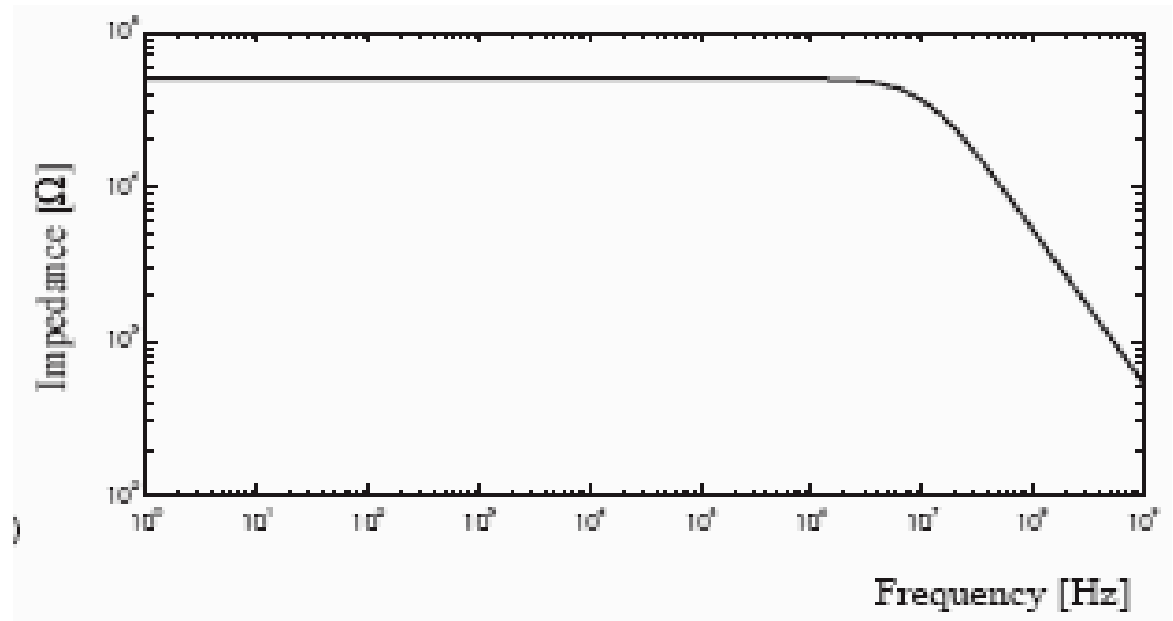
Tipinis rezistorius su išvadais:

$R=50\text{k}\Omega$

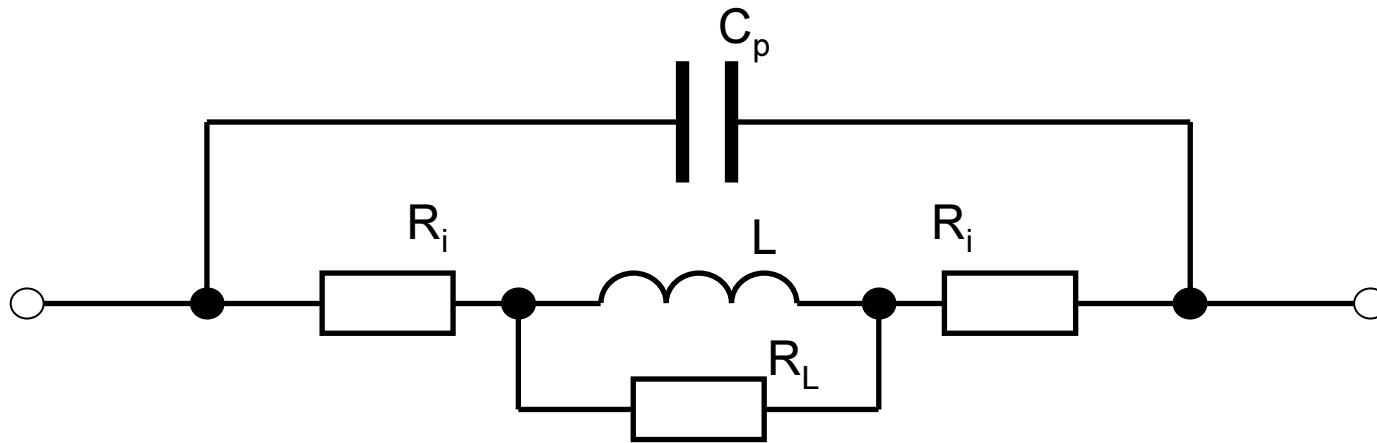
$C_p=0.3\text{pF}$

$L_p=8\text{nH}$

Rezistorius su išvadais pasižymi $4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ termoelektrine evj dėl nichromo ir lydinio 180 sandūros (lydinys 180: 77% varis 33% nikelis).



Realus droselis



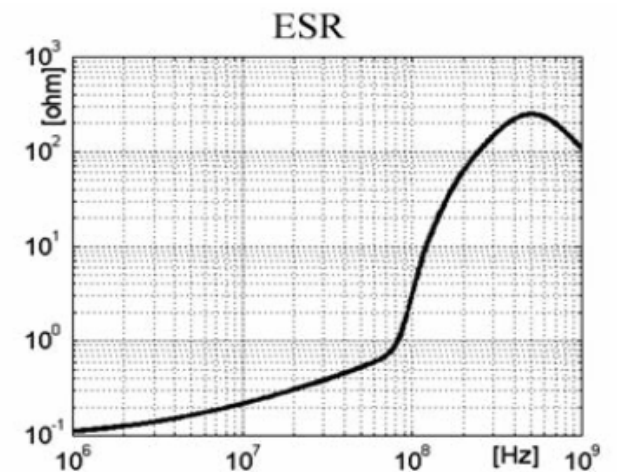
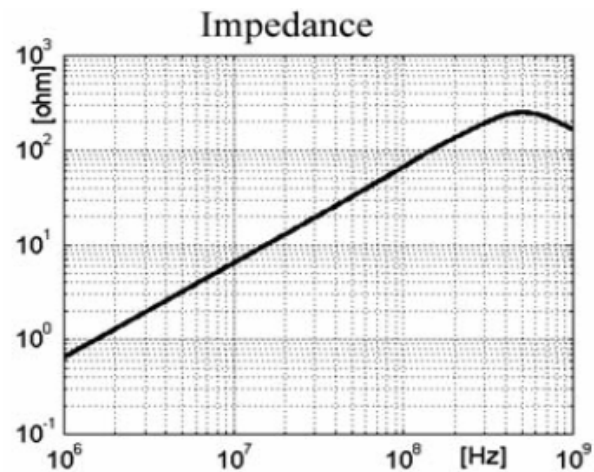
Tipinis paviršinio montažo droselis:

$$L=100\text{nH}$$

$$C_p=1\text{pF}$$

$$R_{dc}=0.26\Omega$$

ESR žymiai išauga dėl nuostolių feritinėje šerdyje. Rezonansinis dažnis apie 500MHz.



Reali elektroninė plokštė

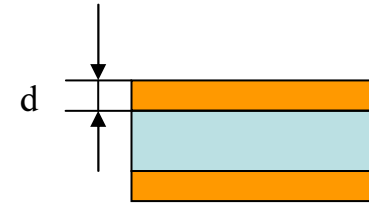
Tipinė dvipusė spausdintinė plokštė:

Vario sluoksnio storis 0.038mm

Vario savitasis laidumas $\rho = 1.724 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ (prie 25°C)

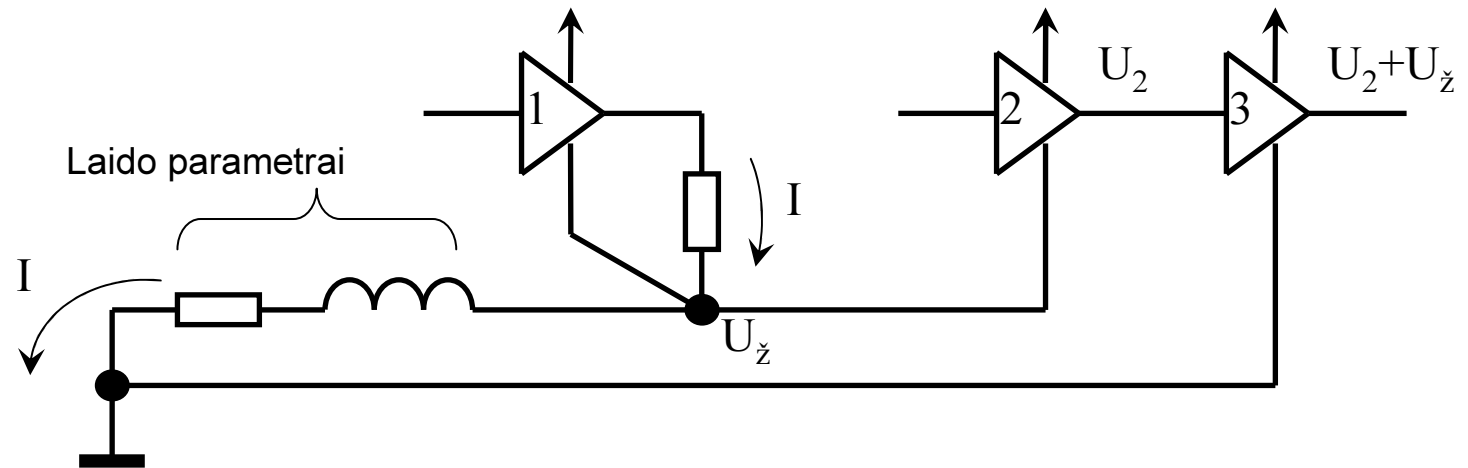
Fotolitografijos skiriamoji geba 0.2mm

0.25mm pločio takelio varža 18 m Ω /cm



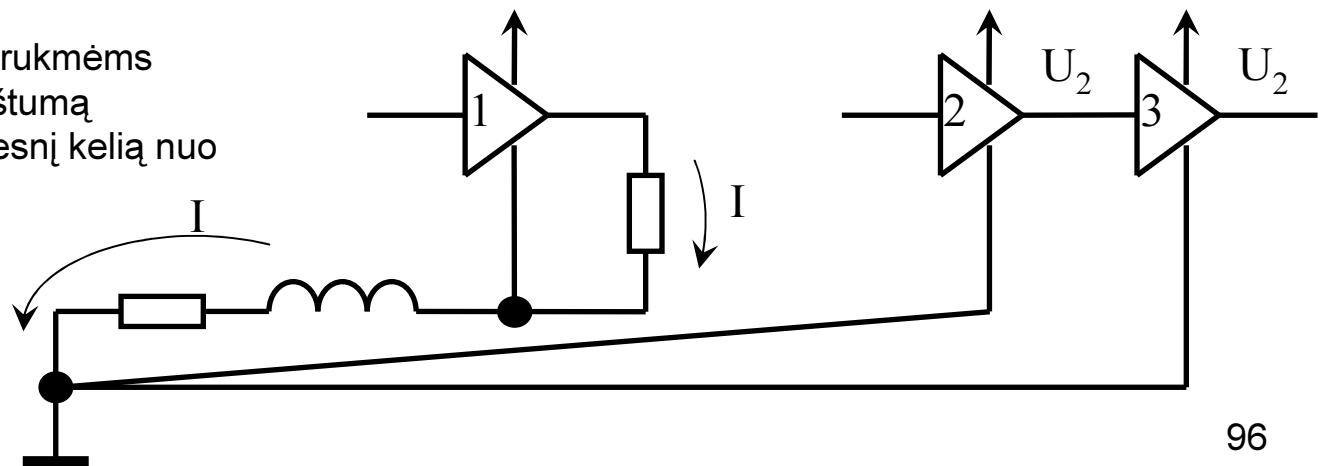
Jei 16 bitų AS keitiklis turi 5k Ω įėjimo varžą ir yra prijungtas 5cm ilgio takeliu prie matuojamos įtampos šaltinio, paklaida dėl įtampos kritimo takelyje yra 0.09 Ω /5000 Ω =0.0018% tai viršija 1LSB (0.0015%)

Bendra žemė

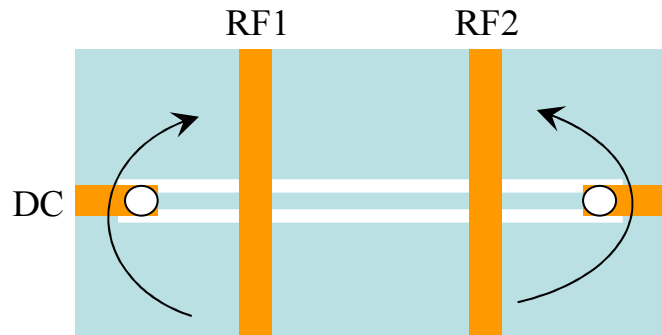


Žemuose dažniuose bendros žemės problemų galima išvengti maitinimo laidus sujungiant viename taške. Tai tinka iki 1MHz

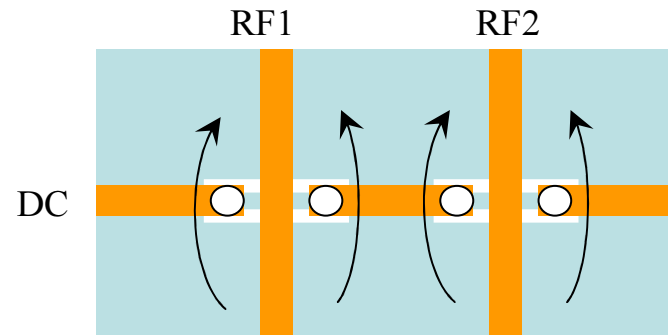
Esant 5MHz dažniui arba 5ns frontų trukmėms patartina naudoti bendrą žemės plokštumą spausdintinėje plokštėje ir kuo trumpesnią kelią nuo elemento kojos iki žemės



Žemė ir RF linijos



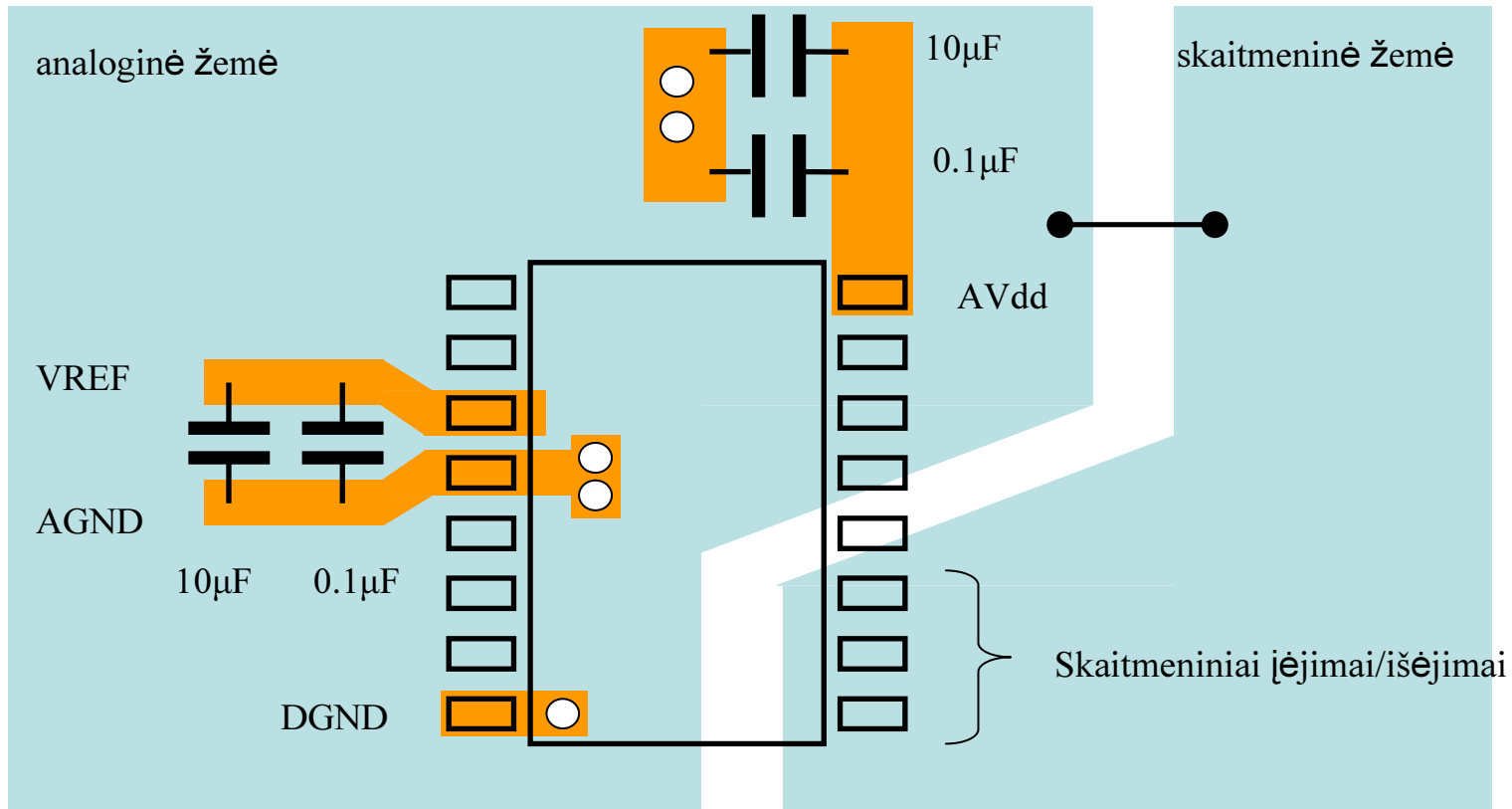
blogesnis variantas



geresnis variantas

Pavyzdys, kai dvi RF linijos kryžiuojasi su dc įtampos takeliu. Geresnis variantas yra tas, kur trumpesnis RF srovės kelias žemės plokštumoje.

Analoginio lusto jungimas

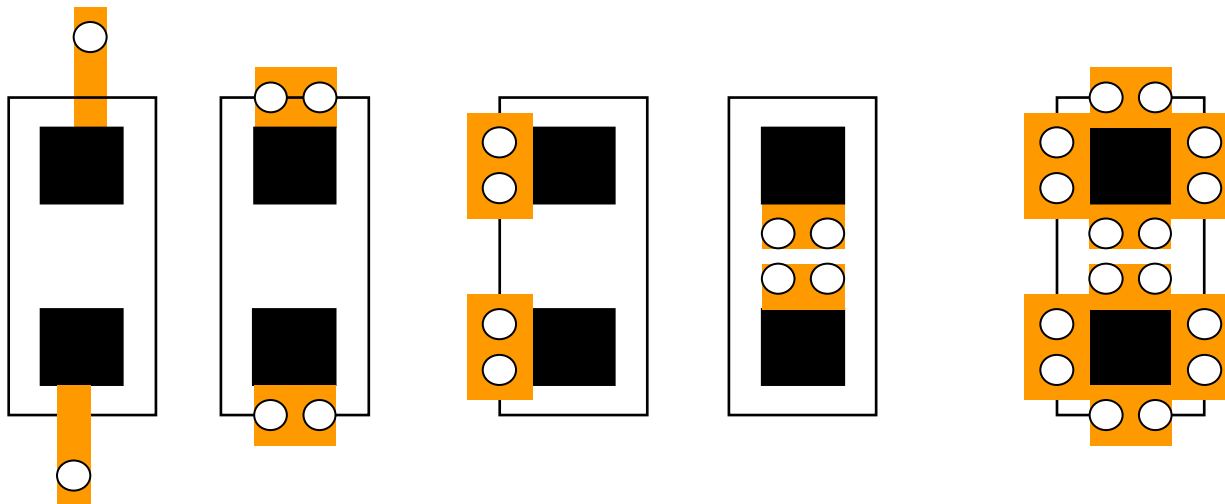


- analoginė ir skaitmeninė žemės turi būti sujungtos viename taške;
- Kondensatoriai prie maitinimo išvadų turi būti išdėstyti kuo toliau nuo skaitmeninių įėjimų/išėjimų ir kuo trumpesniais takeliais;

Kondensatoriai prie maitinimo linijos

blogesnis variantas

geresnis variantas

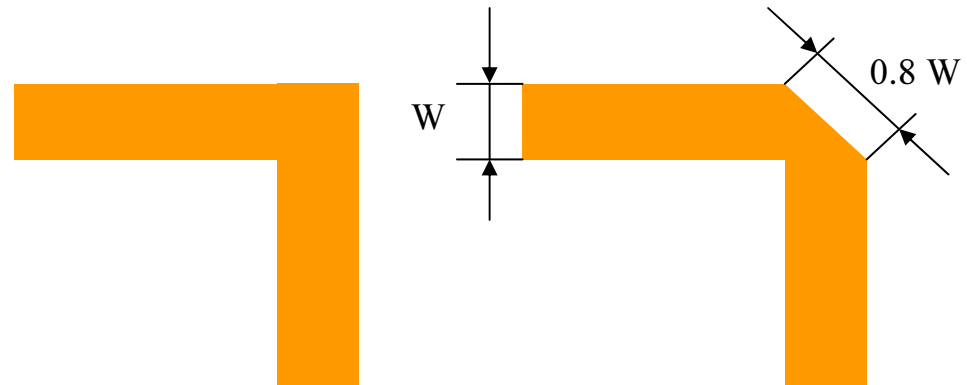


Pavyzdžiai kaip galima prijungti kondensatorių prie maitinimo linijos ir žemės plokštumos. Trumpi, platūs takeliai su keliomis skylėmis sąlygoja mažesnį induktyvumą.

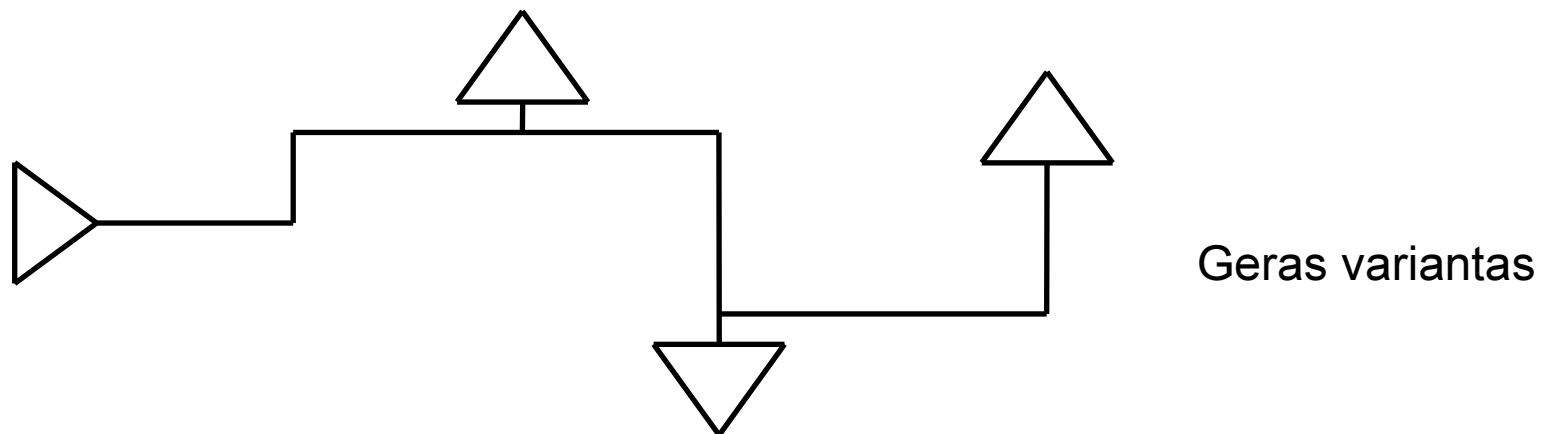
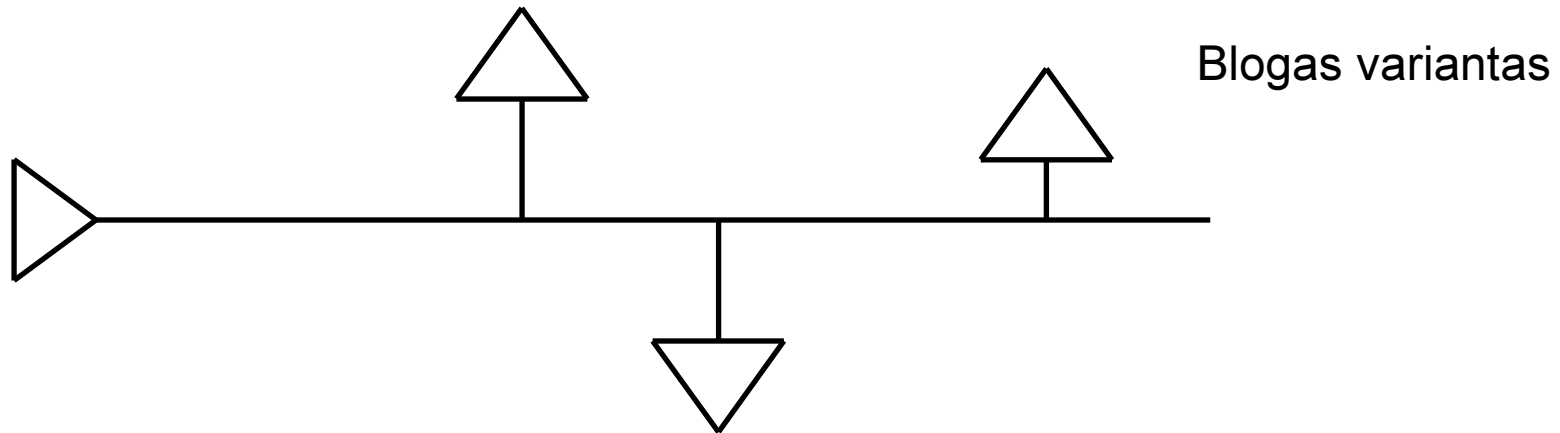
Statūs kampai tarp takelių

Kokią įtaką turi status kampas tarp takelių spausdintinėje plokštėje?

Status kampas įneša talpą ir gali veikti kaip antena, tačiau iki ~1GHz šis efektas labai mažas. Status kampas padidina talpą nuo 0.001pF iki 0.2pF.

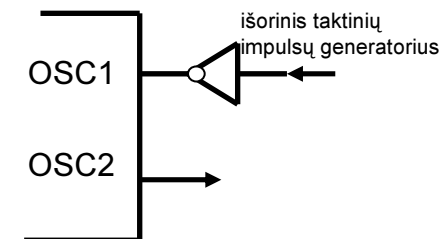


Magistralè

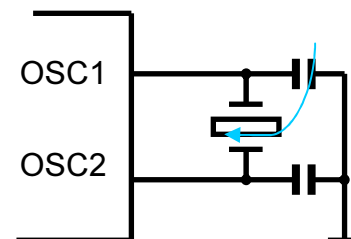


Taktinis generatorius

- Microchip firmos mikrovaldikliai turi keletą elektroninių grandinių taktiniams impulsams formuoti. Taktinio generatoriaus grandinė pasirenkama ir įjungiama įrašant atitinkamą informaciją į konfigūracinį registrą.
- Taktinio generatoriaus rūšys:
 - **LP** – žemo dažnio kvarcinis rezonatorius (0 – 200kHz), įjungiama energija taupanti generatoriaus grandinė;
 - **XT** – kvarcinis rezonatorius (200kHz – 4MHz);
 - **HS** – aukšto dažnio kvarcinis rezonatorius (4 – 20MHz);
 - **RC** – generatoriaus dažnį užduoda rezistoriaus ir kondensatoriaus grandinė;
 - Vidinis RC generatorius. Nereikia jungti jokių išorinių detalių, procesoriui taktinius impulsus generuoja vidinis generatorius.



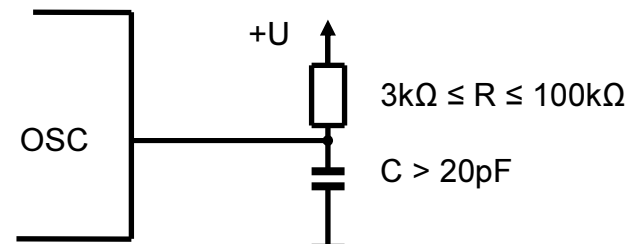
Įjungta **LP**, **XT** arba **HS** generatoriaus grandinė



Įjungta **LP**, **XT** arba **HS** generatoriaus grandinė

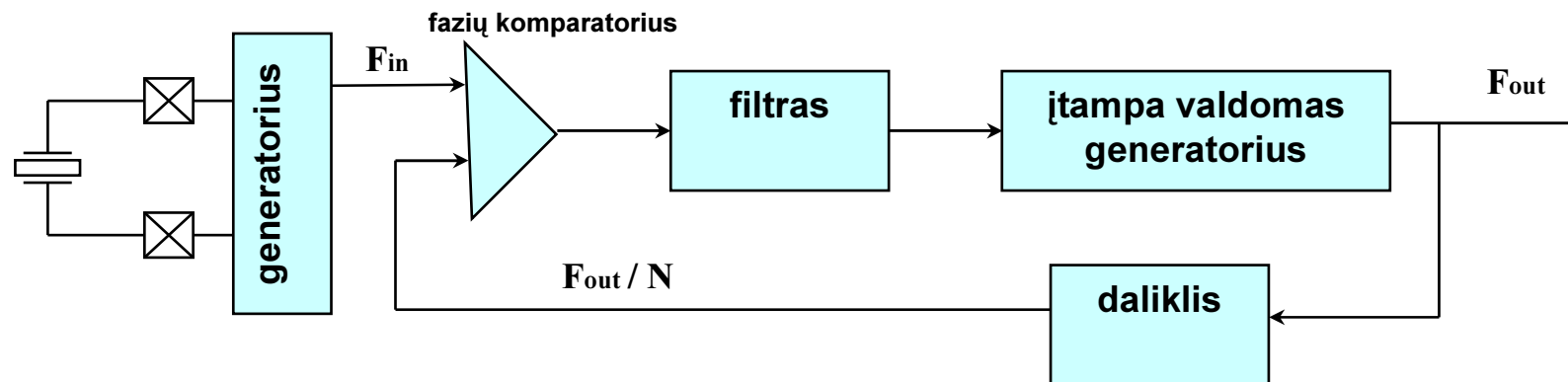
Kvarcinis arba keraminis rezonatorius

Kondensatoriai (10 – 60pF) reikalingi tam, kad impulsų generacija būtų stabili. Didesnė kondensatorių talpa užtikrina didesnę generatoriaus stabilumą, bet suvartojama daugiau energijos ir generacija, įjungus maitinimą, prasideda vėliau.

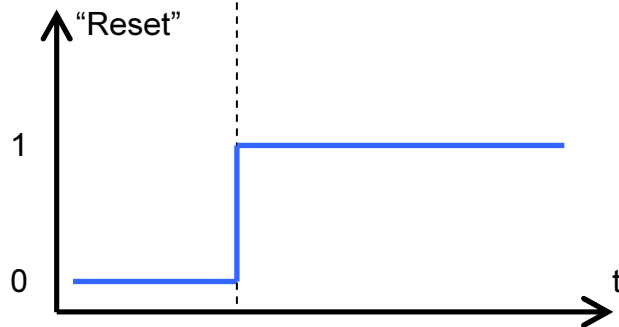
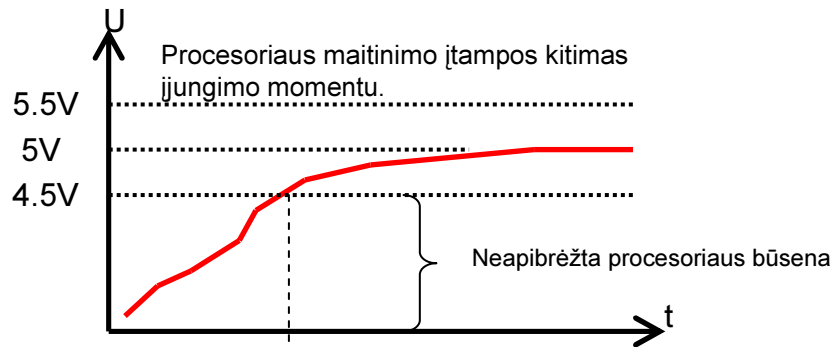


Įjungta **RC** generatoriaus grandinė

Dažnio dauginimas



“RESET” signalas

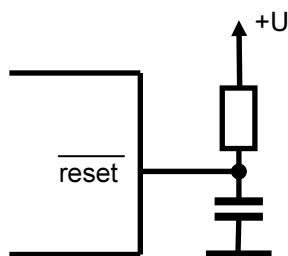


“Reset” signalas procesoriui leidžia pradėti dirbti tik tuomet, kai maitinimo įtampa pasiekia reikalingą lygį.

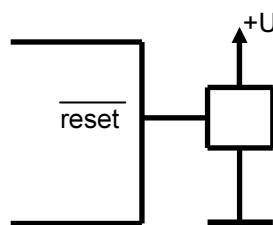
- Reikalingas nustatyti procesorių į pradinę būseną
- “Reset” signalą galima įjungti bet kuriuo laiko momentu
- Mikrovaldikliuose “Reset” signalas beveik visada būna invertuotas, t.y. mikrovaldiklis pervedamas į pradinę būseną esant “0” signalo lygiui.

“RESET” signalas MICROCHIP mikrovaldikliuose

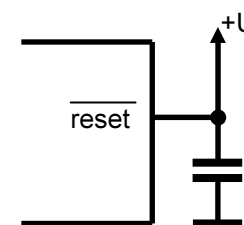
- “Reset” signalo koja MICROCHIP mikrovaldikliuose vadinama **MCLR**
- **MCLR** naudojamas ir mikrovaldikliui pervesti į programos įrašymo būseną
- Kai kuriuose mikrovaldiklių modeliuose MCLR koja gali turėti dar ir kitokią paskirtį
- Dažniausiai, mikrovaldiklyje jau yra elektroninė grandinė Reset signalui formuoti, reikia tik ją įjungti programuojant konfigūracinius bitus.



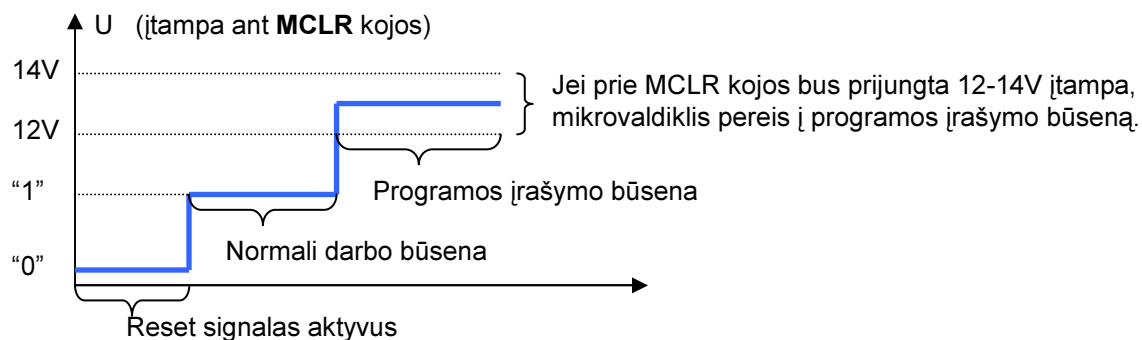
RC grandinė - paprasčiausia “reset” signalo formavimo grandinė



Jeigi mikrovaldiklis neturi savyje grandinės “Reset” signalui formuoti, reikia prijungti išorinę grandinę šiam signalui formuoti.

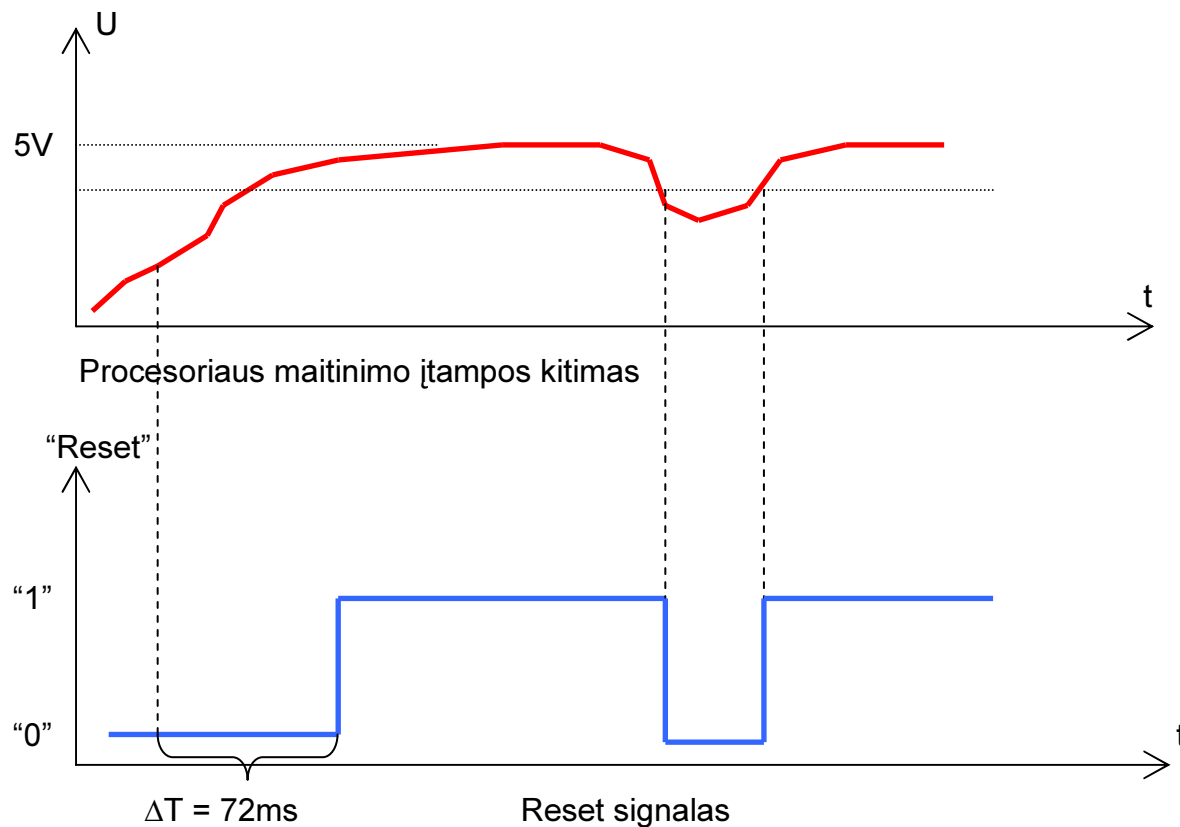


Jeigi mikrovaldiklis viduje turi grandinę “Reset” signalui formuoti, normaliam mikrovaldiklio darbui užtenka **MCLR** koja prijungti prie maitinimo įtampos.

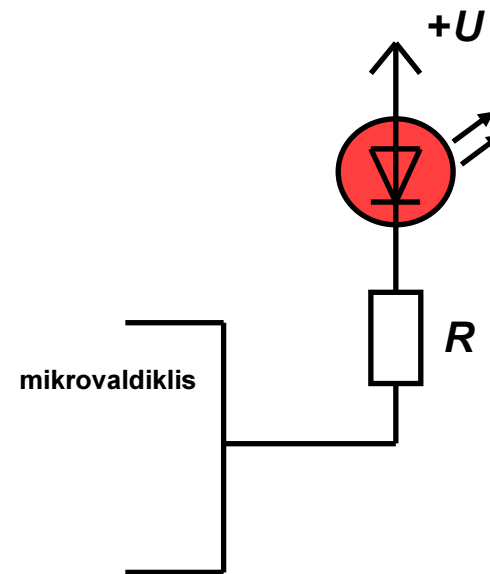
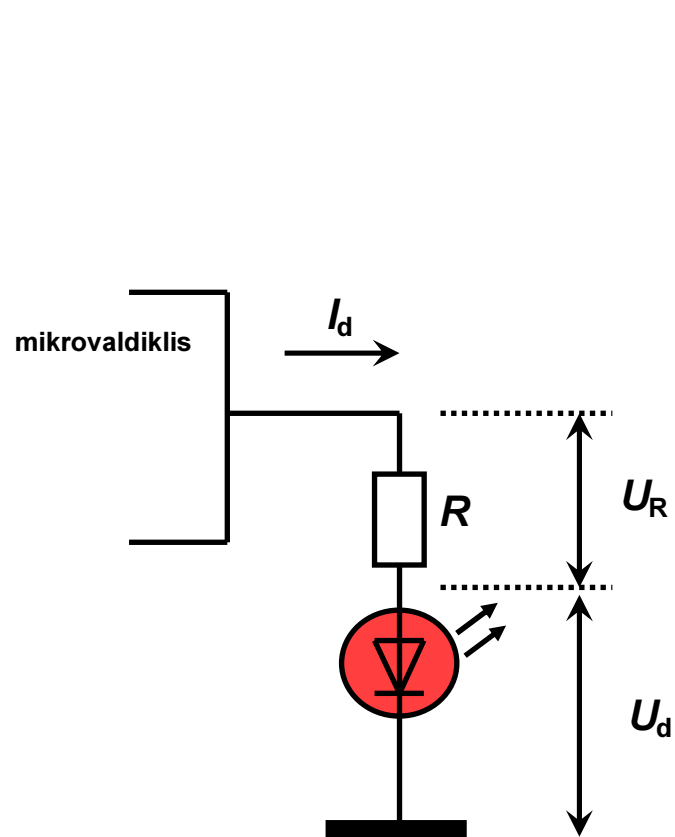


Maitinimo įtampos sekimo elektroninės grandinės

- Reset signalas generuojamas 72ms laikotarpiui kai maitinimo įtampa pakyla virš 1.2 .. 1.7V
- Reset signalas generuojamas kai maitinimo įtampa nukrinta žemiau nustatyto lygio. Šis lygis nustatomas konfigūraciniuose bituose

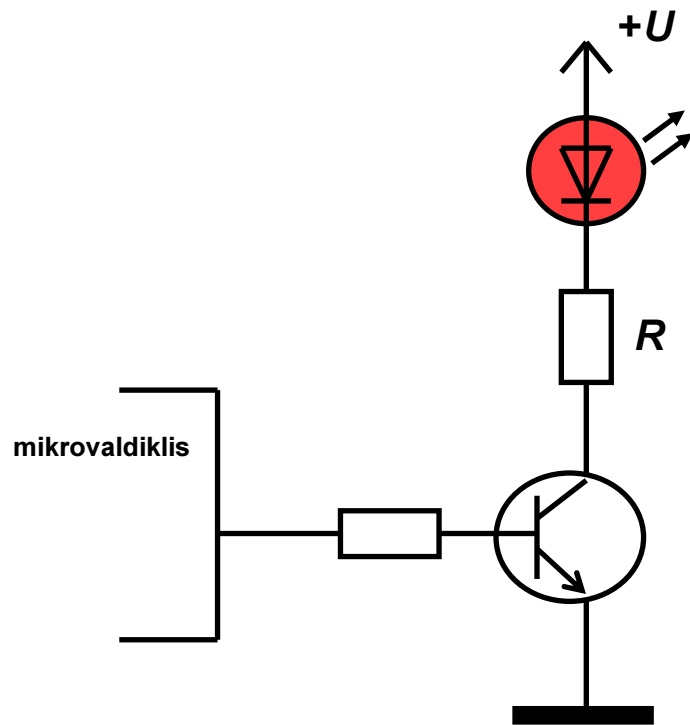


Šviesos diodo jungimas prie mikrovaldiklio išvadų



$$R = \frac{U_R}{I_d} = \frac{U - U_d}{I_d}$$

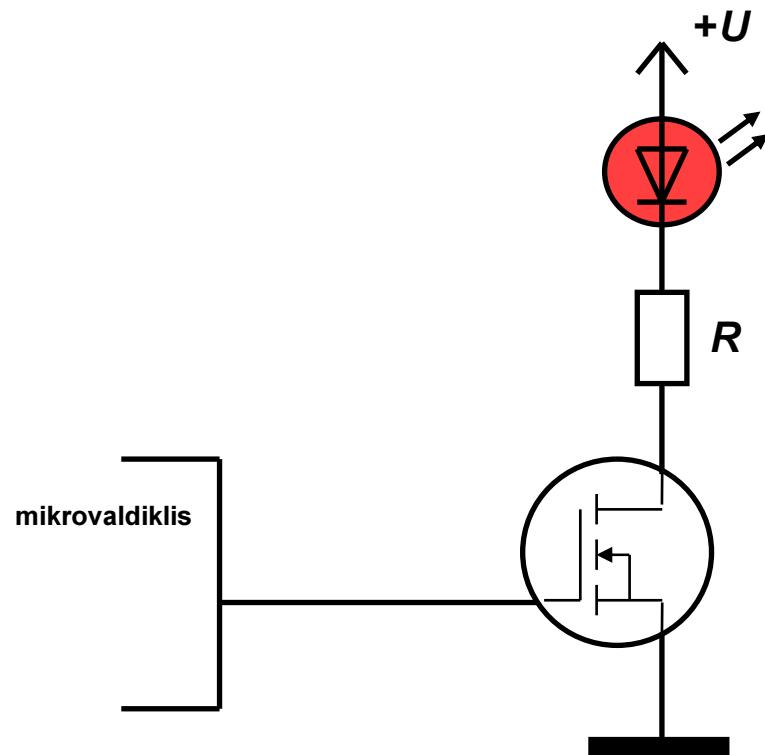
Apkrovos su NPN tranzistoriumi jungimas



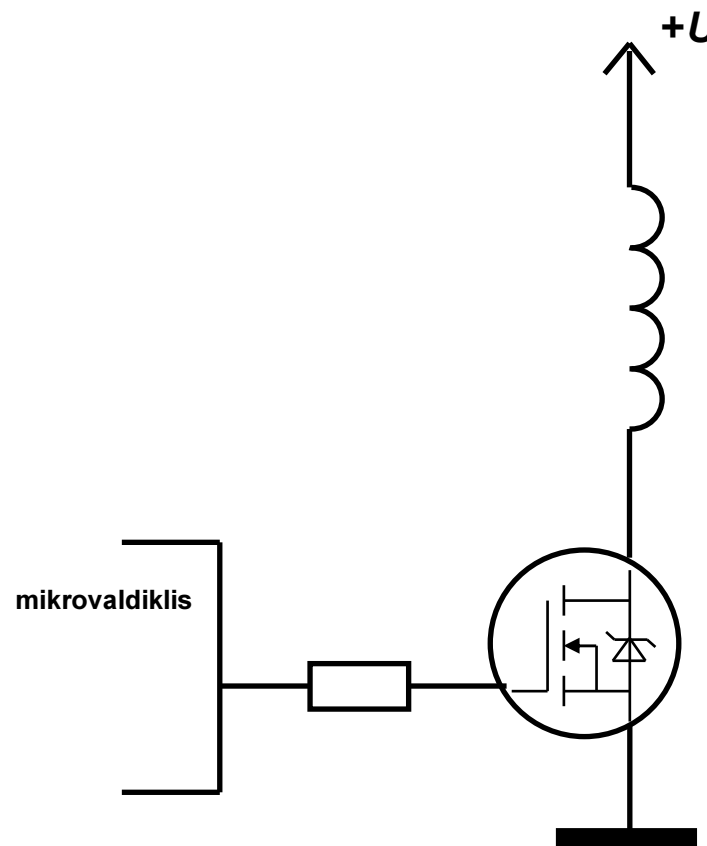
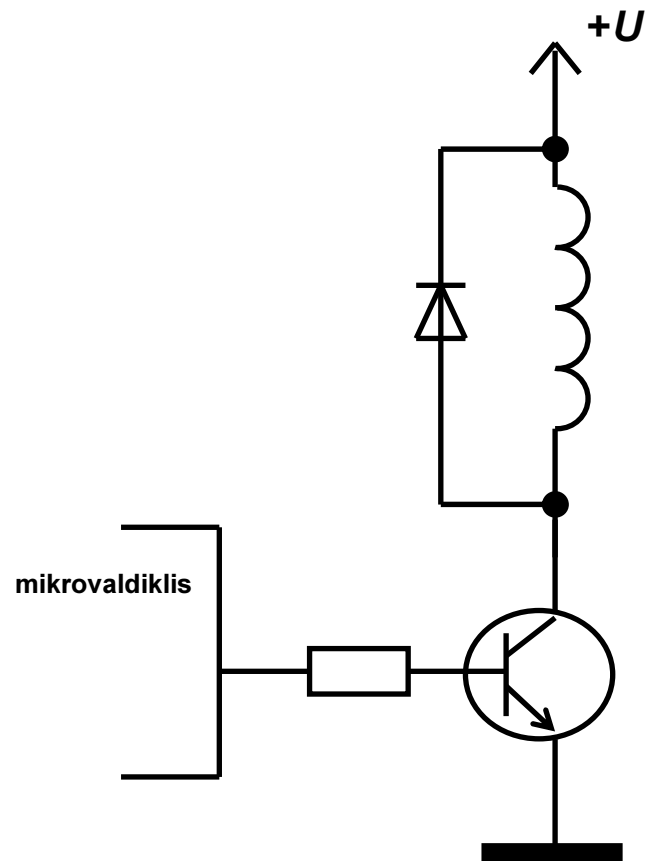
$$I_k = \beta I_b$$

$$I_b > \frac{I_k}{\beta}$$

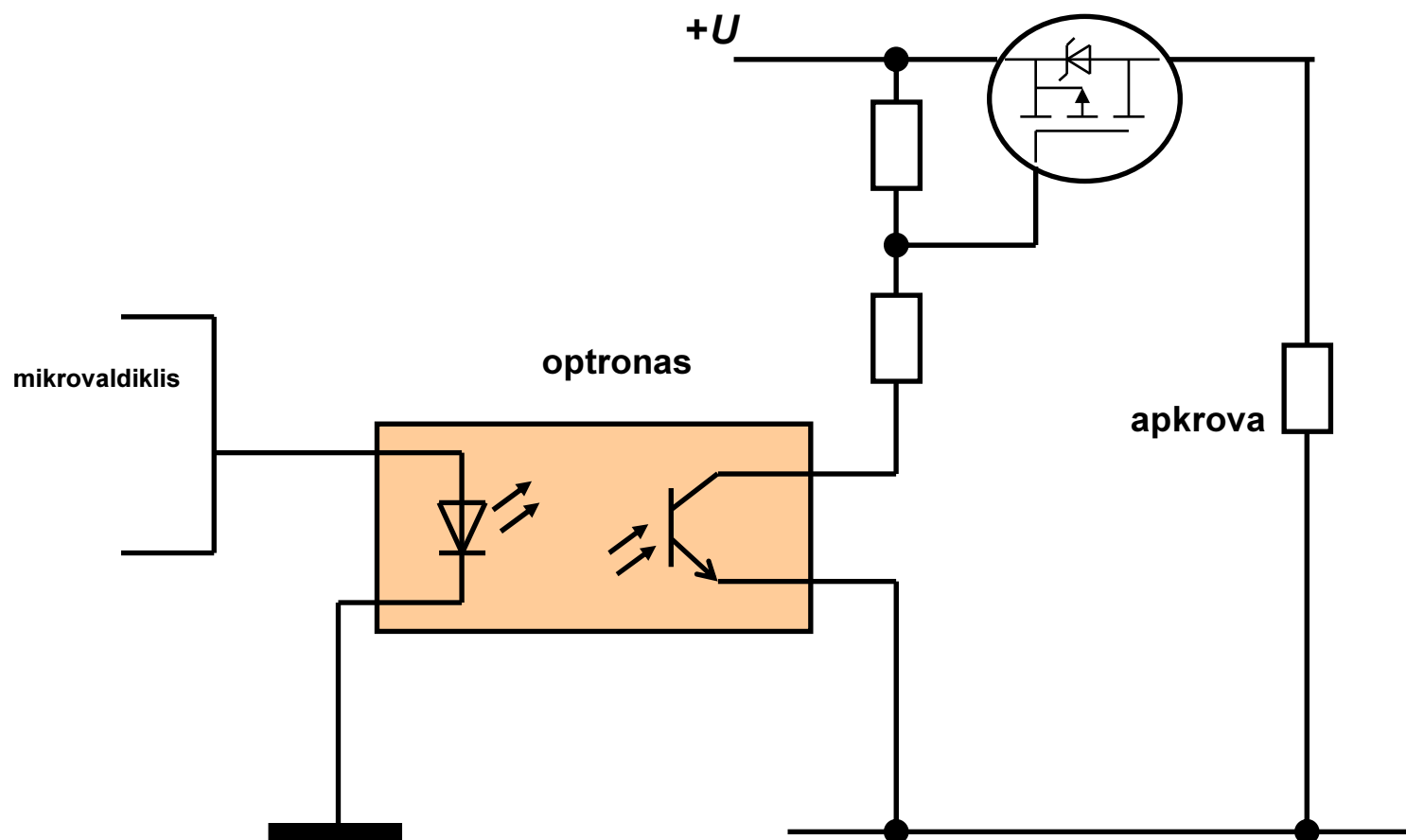
Apkrovis su n-MOSFET jungimas



Induktyvinė apkrova

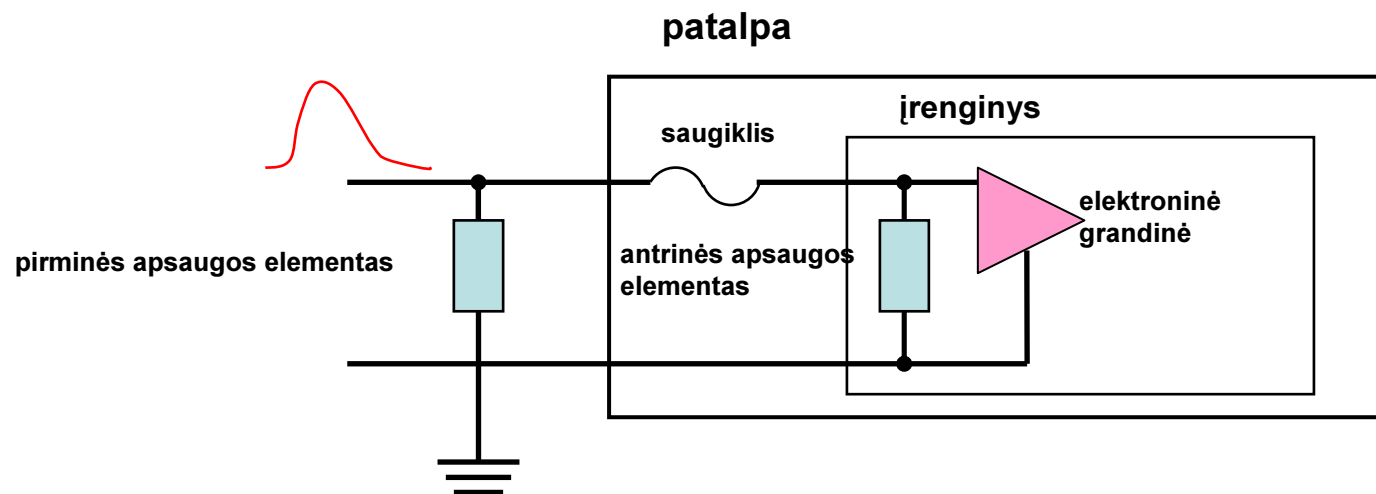


Apkrovos jungimas su galvanine izoliacija ir p-MOSFET

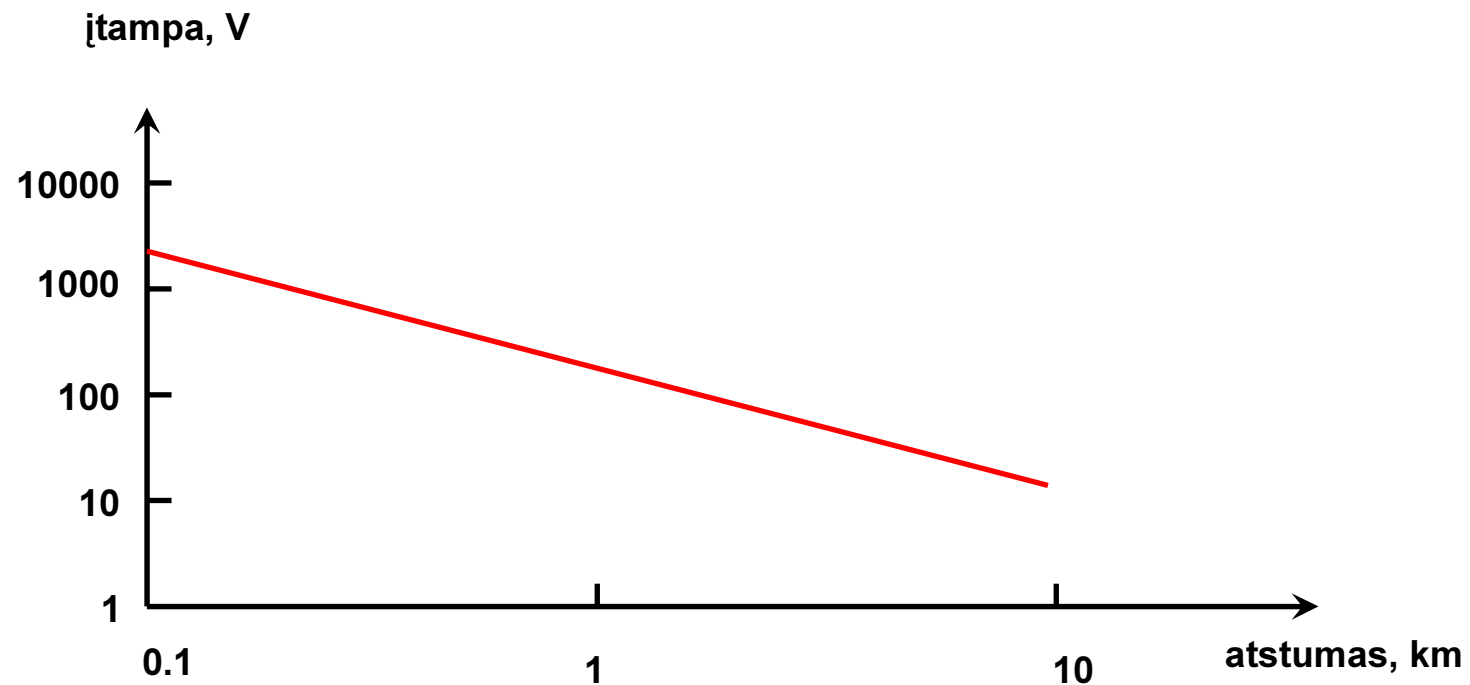


Apsauga nuo įtampos šuolio

- Pirminė
- Antrinė



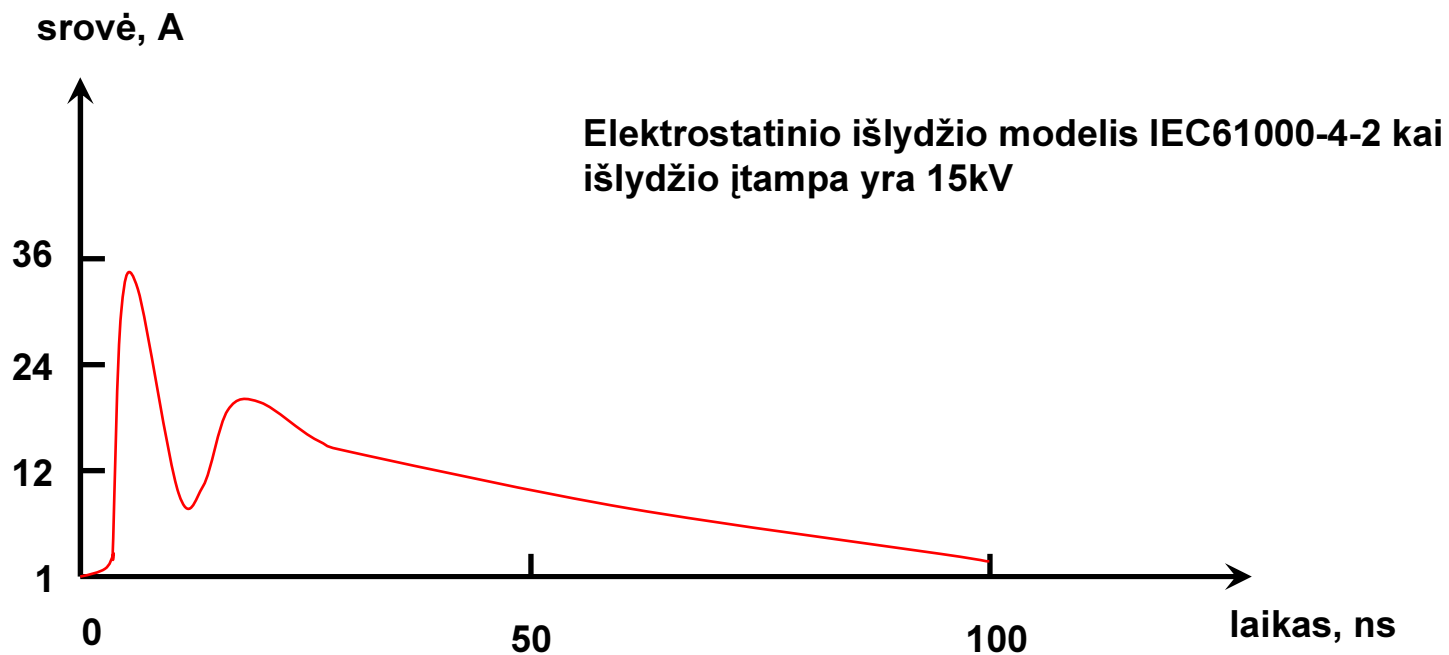
Žaibų sukeltas įtampos šuolis



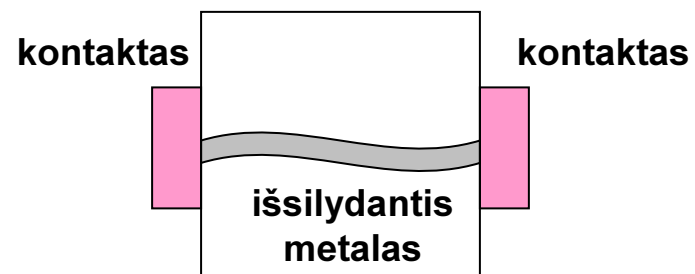
Žaibo indukuota įtampa 1m laide

ESD modeliai

ESD – Electrostatic Discharge

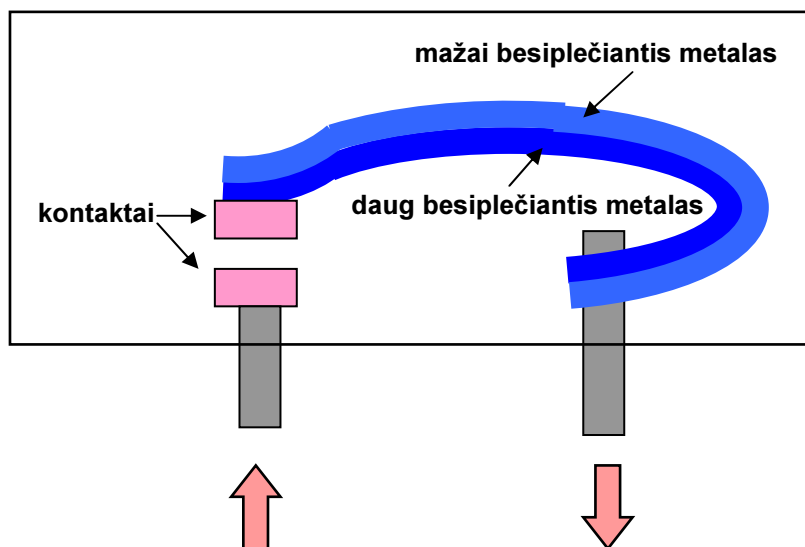


Vienkartiniai saugikliai



Atsistatantys saugikliai

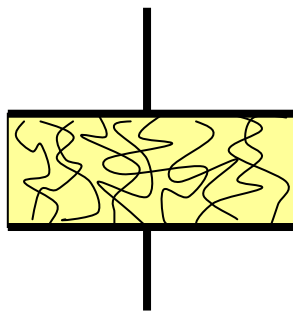
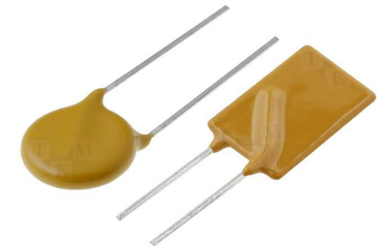
- Automatiškai atsistatantys
- Rankiniu būdu įjungiami



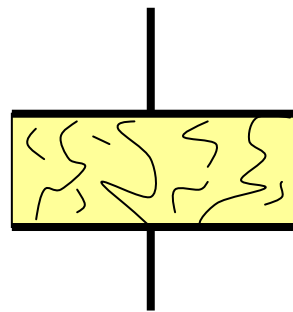
PTC rezistoriai

PTC – Positive Temperature Coefficient

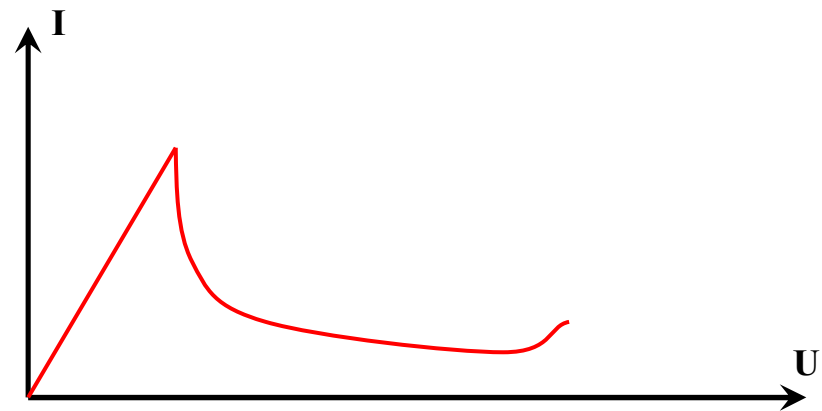
PTC rezistorius yra sudarytas iš polimere įterptų anglies dalelių. Normalioje būsenoje anglies dalelės besiliesdamos praleidžia srovę. Kai polimeras įkaista, jis išsiplečia ir anglies dalelės nutolsta viena nuo kitos. PTC rezistorius atsistato kai polimeras atvėsta.



normali būseną



įkaitęs polimeras

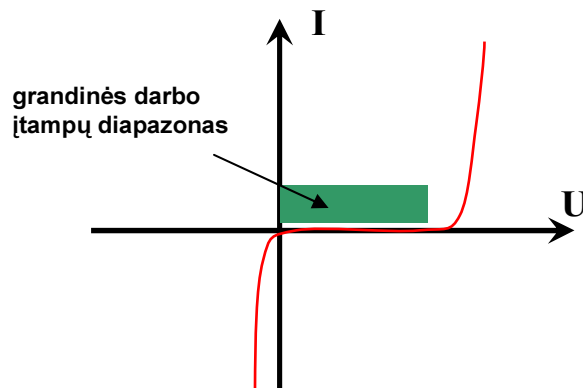
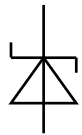
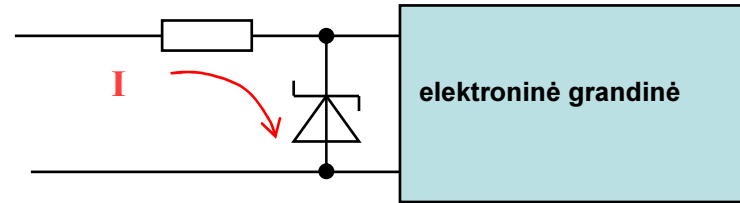


PTC rezistoriaus voltamperinė charakteristika

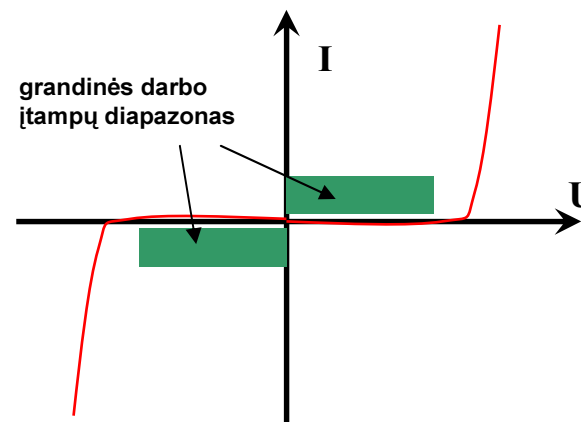
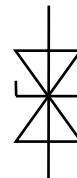
Apsauginiai diodai

TVS – Transient-Voltage Suppressors

- trumpą laiką gali tekėti labai didelė srovė;
- reakcijos laikas yra kelios ps, t.y. jį riboja takelių ir korpuso induktyvumas;
- diodo galia yra proporcinga pn sandūros plotui;
- maža pn sandūros talpa;
- nedegraduoja kol įtampos ir srovės neviršija numatytų verčių;



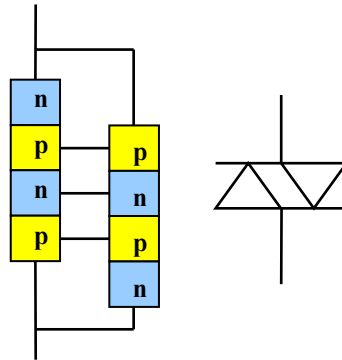
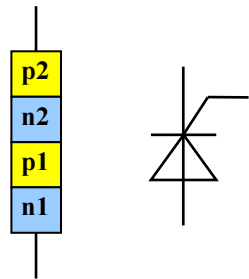
Vienpusis apsauginis diodas



Dvipusis apsauginis diodas

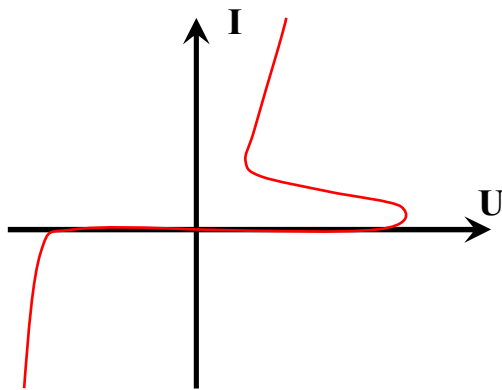
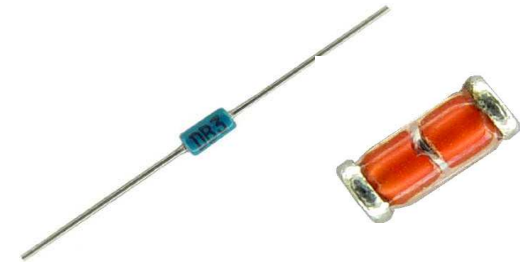


Tiristorius ir simistorius

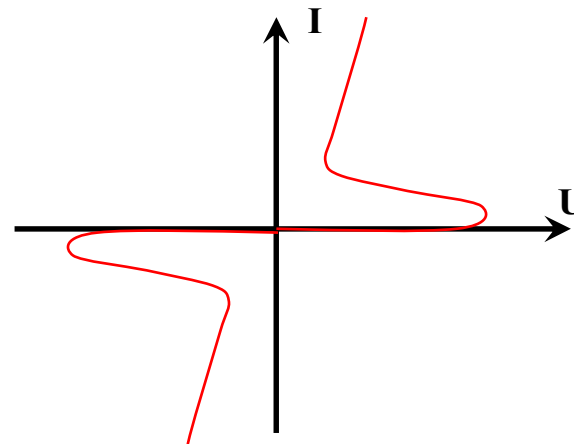


DIAC – Diode for Alternating Current

- reakcijos laikas yra žymiai didesnis nei apsauginių diodų;
- ilgą laiką gali tekėti didelės srovės
- nedegraduoja kol įtampos ir srovės neviršija numatytų verčių;



Tiristoriaus voltamperinė charakteristika



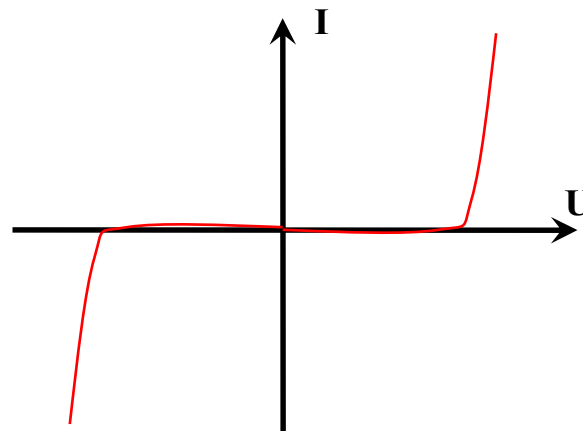
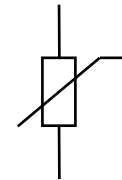
Simistoriaus voltamperinė charakteristika

Varistorius

MOV – Metal Oxide Varistor

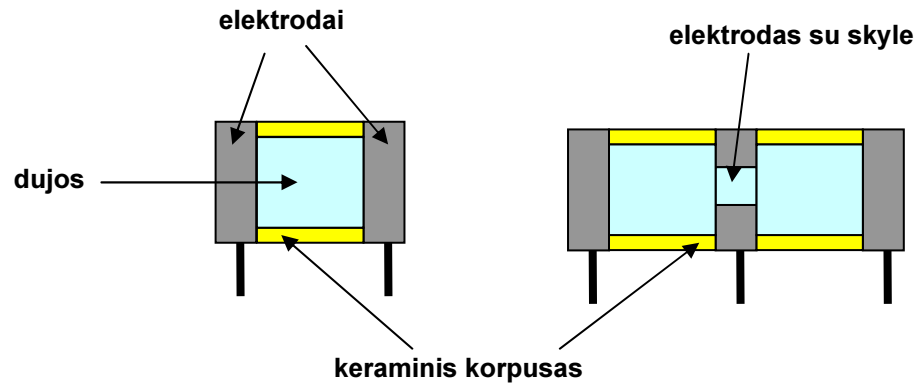
Varistorių sandara: keramika, sudaryta iš cinko oksido kristalų, apsuptų kitos rūšies metalų oksido. Cinko oksido kristalaitai su juos supančia medžiaga sudaro diodus. Keramikoje yra daugybė diodų sujungtų lygiagrečiai ir priešingomis kryptimis.

- reakcijos laikas yra žymiai didesnis nei apsauginių diodų;
- ilgą laiką gali tekėti didelės srovės;
- degraduoja;



Varistoriaus voltamperinė charakteristika

Dujinio išlydžio vamzdeliai



Dujinio išlydžio vamzdeliai yra užpildyti neono ir argono dujų mišiniu. Kai įtampa tarp elektrodų pasiekia kritinę vertę (apie 75V), prasideda išlydis.

- labai lėti;
- gali tekėti labai didelės srovės;
- degraduoja;