

# Číslicová elektronika

Pavol Galajda, KEMT, FEI, TUKE

Pavol.Galajda@tuke.sk

## Základné vlastnosti, parametre, aplikácia pasívnych a polovodičových prvkov, modely prvkov a ich využitie pri analýze a syntéze jednoduchých elektronických obvodov.

*Elektronikou* rozumieme odvetvie fyziky, ktoré sa zaoberá vedením elektrického prúdu a príbuznými javmi v tuhých látkach - kovoch, polovodičoch, dielektrikách, v kvapalinách a v ionizovaných plynoch. Do elektroniky ďalej zahŕňame časť techniky, ktorá sa zaoberá využitím týchto javov pri návrhu a konštrukcii elektronických prvkov a obvodov.

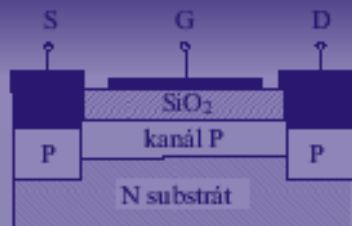
Rozvoj techniky sa začal v druhej polovici 19. storočia. Hlavná pozornosť sa vtedy zamerala na mechanizmy vedenia elektrického prúdu v zriedených plynoch. Toto štúdium viedlo k objavu katódových lúčov (1859). Ďalší výskum ukázal, že katódové lúče sú rýchlo sa pohybujúce záporne nabité častice, ktoré sa začali približne od roku 1900 nazývať *elektrónmi*.

I keď v prvej etape elektroniky dominovali vákuové elektrónky, rozvíjali sa postupne aj elektronické prvky z tuhých látok.

Dôležitým medznikom v polovodičovej elektronike bol objav tranzistora. Koncom roku 1947 to bol hrotový tranzistor, ktorý objavil J. Barden a W. H. Brattain. V priebehu ďalších mesiacov W. Shockley sformuloval koncepciu *plošného tranzistora* s využitím vlastností *priechodov PN* (pri jeho činnosti sa vyžadujú obidva druhy nosičov náboja - elektróny a diery a preto patrí medzi *bipolárne súčiastky*). Nie je bez zaujímavosti, že hrotový a plošný tranzistor sa objavili ako dôsledok experimentov, cieľom ktorých bolo získať *unipolárne súčiastky*. Keďže tieto súčiastky využívajú efekt poľa, nazývajú sa *tranzistory ovládané elektrickým poľom* a označujú sa FET (Field Effect Transistor).

Spoločne s *integráciou* pokračovala aj *miniaturizácia* súčiastok a polovodičová technika vyústila tak do svojej súčasnej etapy - *mikroelektroniky*. Polovodičové súčiastky a obvody okrem špeciálnych aplikácií (napr. obrazovky) nahradili elektrónky.

Ale o tom až neskôr...

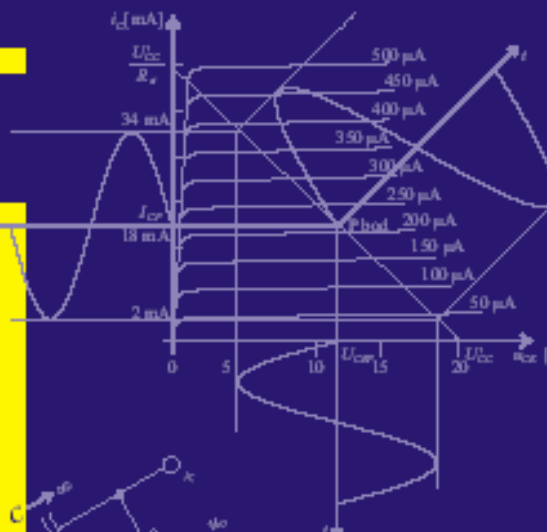
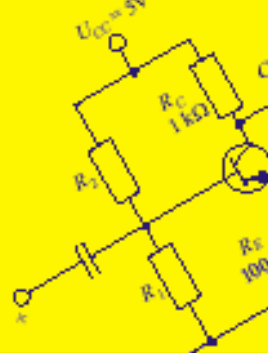
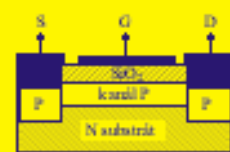


ISBN 80-89061-51-6



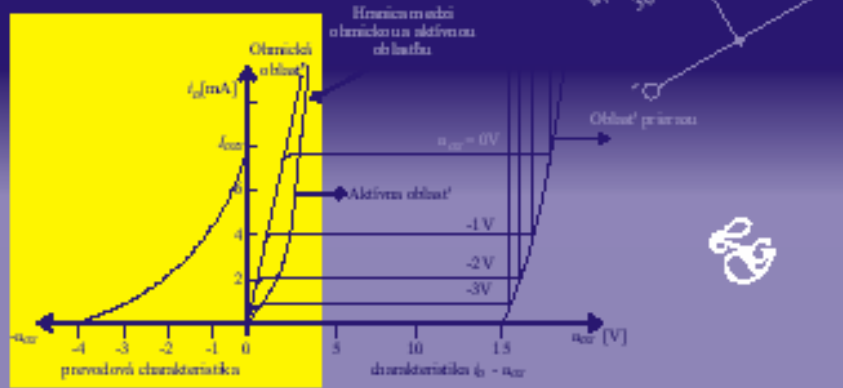
## Elektronické prvky

Pavol Galajda  
Rastislav Lukáč



## Elektronické prvky

## Galajda - Lukáč



# Prečo práve S.O.S Electronic

Široký výber zariadení,  
príslušenstvo Vašich počítačových...

Viac ako 7000 typov súčiastok  
priamo na záložni sklade...

Rýchle dodávky  
transistórií...



Vždy máme pre Vás  
prípravené riešenie...

Široký výber paradižníkov,  
vyškolený personál,  
váženie služby...

Kvalitná služba pre Vás  
- ISO certifikát...

ISBN 80-89061-59-1



Online Shop -  
aktuality ceny a dostupnosť  
príslušenstva...

Novinky, zapísanosti, úspechy...

kompletné informácie...

4 a máme ďalších...

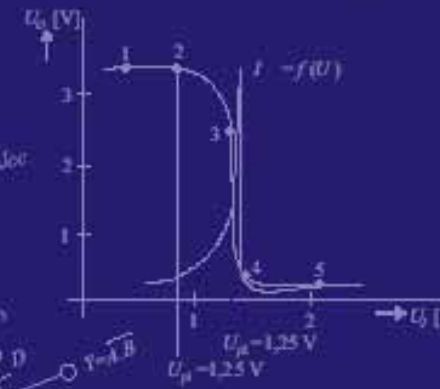
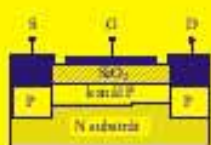
[www.soselectronic.sk](http://www.soselectronic.sk)

S.O.S. electronic, Záhorská 72, 04001 Košice, tel. 053/623 40 00-4, fax. 053/623 40 07, e-mail info@sos.sk



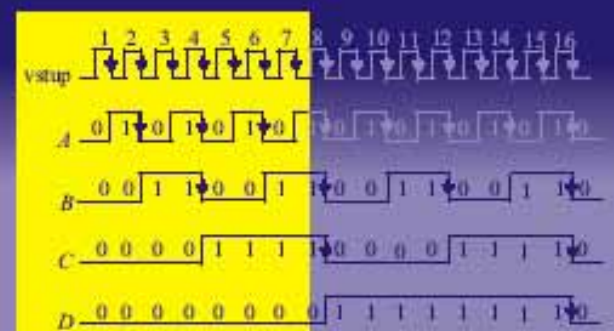
## Elektronické obvody

Pavol Galajda  
Rastislav Lukáč



## Elektronické obvody

## Galajda - Lukáč



# 5 Sekvenčné obvody

---

## ■ 5.1 Klopné obvody

- 5.1.1 *RS klopný obvod*
- 5.1.2 *D klopný obvod*
- 5.1.3 *T klopný obvod*
- 5.1.4 *JK klopný obvod*

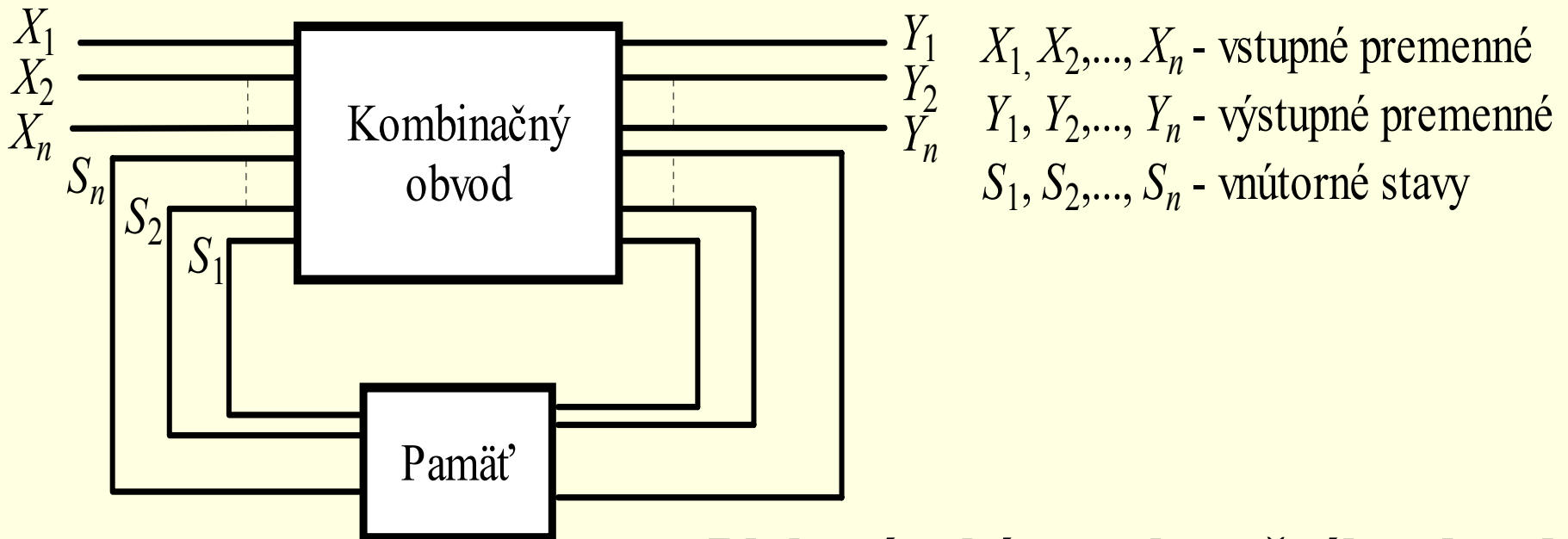
## ■ 5.2 Čítače

- 5.2.1 *Asynchrónne čítače*
- 5.2.2 *Synchrónne čítače*

## ■ 5.3 Posuvné registre

- 5.3.1 *Typy posunov*
- 5.3.2 *Realizácia posuvných registrov*

# 5 Sekvenčné obvody

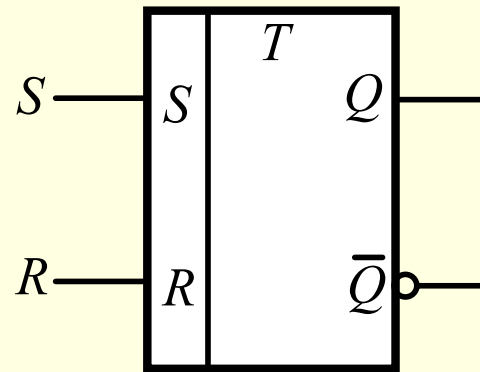


**Bloková schéma sekvenčného obvodu**

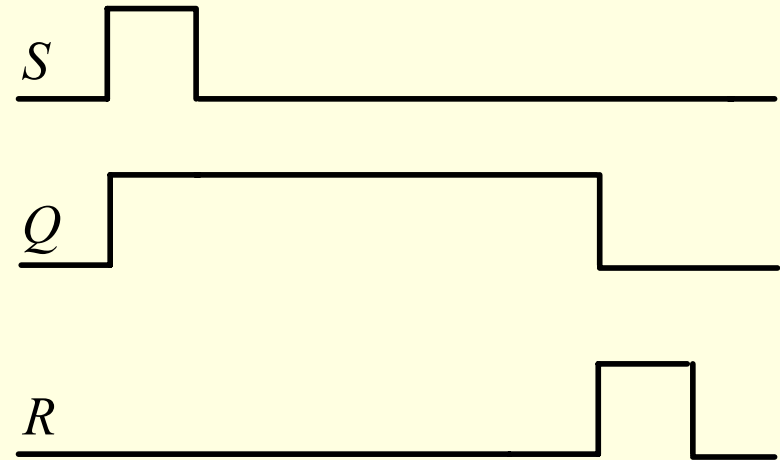
Sekvenčné obvody s oneskorovacími členmi nazývame *sekvenčné zotrvačné obvody*. Sekvenčné obvody realizované aj na báze klopných obvodov, ktoré sa vyznačujú neobmedzenou dobou pamätania nazývame *sekvenčnými pamäťovými obvodmi*.

# 5.1 Klopné obvody

RS klopný obvod

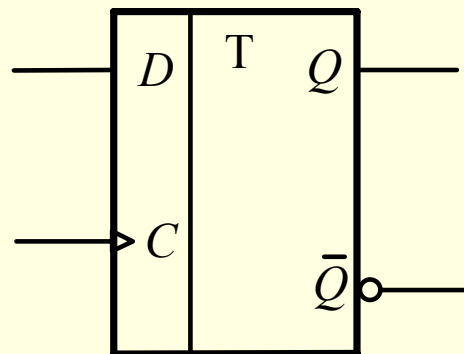


a)

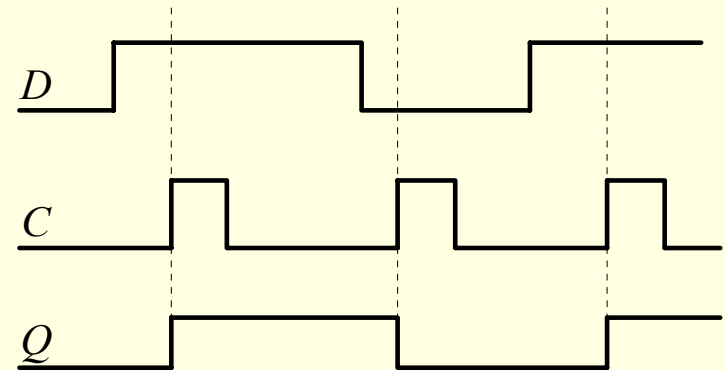


b)

D klopný obvod



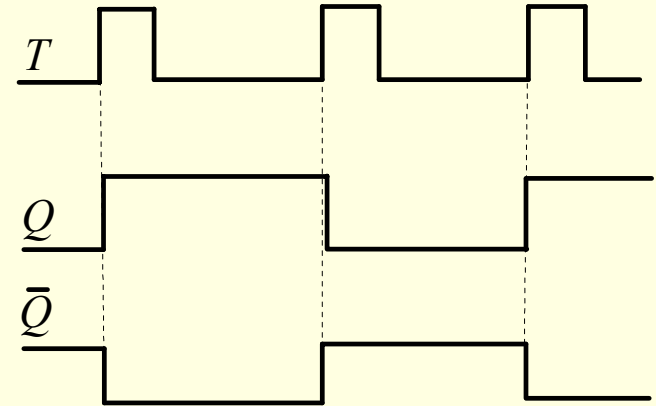
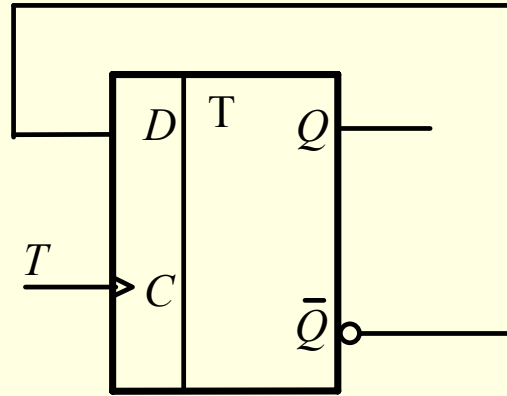
a)



b)

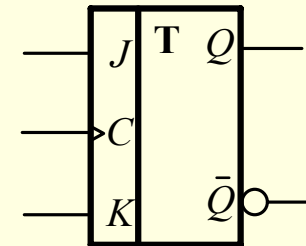
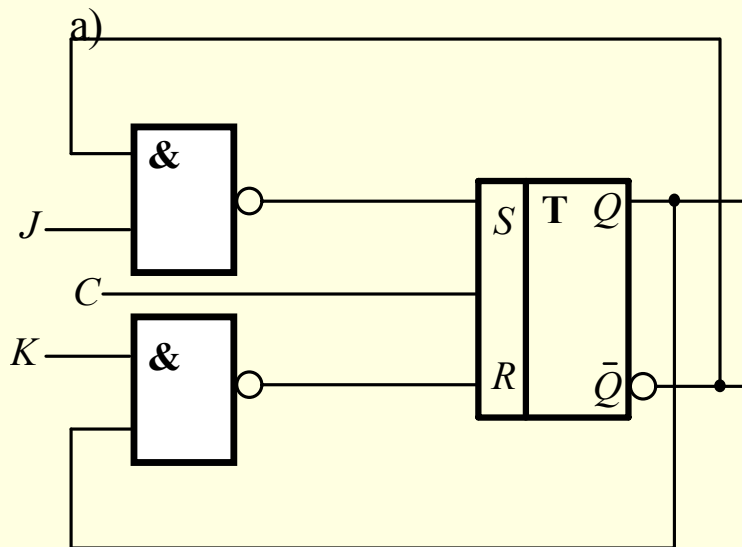
# 5.1 Klopné obvody

## T klopný obvod



## JK klopný obvod

Vstup		Výstup
$J$	$K$	$Q_{n+1}$
0	0	$Q_n$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_n$



a)

b)

## 5.2 Čítače

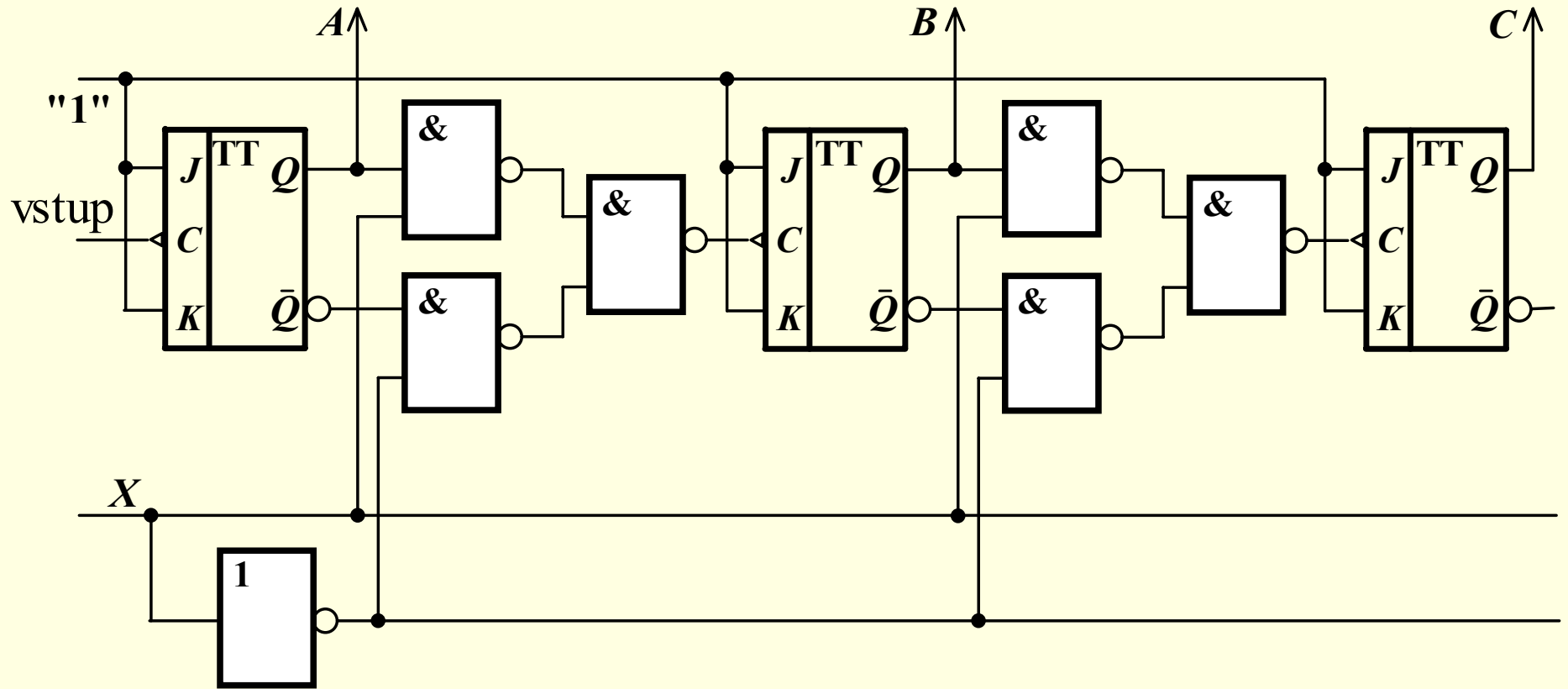
**Čítače možno rozdeliť podľa viacerých hľadísk:**

- podľa spôsobu preklápania klopných obvodov:
  - *asynchrónne čítače,*
  - *synchrónne čítače,*
- podľa smeru počítania:
  - *čítači vpred,*
  - *čítači vzad,*
  - *reverzné čítače,*
- podľa kódu počítania:
  - Johnsonov,
  - Aikenov.

$$N = \log_2 n$$



# 5.2 Čítače



Realizácia asynchrónneho reverzného čítača na báze JK klopných obvodov pre  $n=16$

$$N = \log_2 n$$

# 5.3 Posuvné registre

## 5.3.1 Typy posunov

- operácie so slovami (skupinami bitov),
- operácie s jedným bitom.

**Číslicovú informáciu môžeme posúvať troma základnými spôsobmi:**

- logickým posunom,
- aritmetickým posunom,
- sčítaním.

# 5.3 Posuvné registre

## *5.3.2 Realizácia posuvných registrov*

- ❑ posuvné registre so sériovým vstupom údajov a sériovým výstupom údajov,
- ❑ posuvné registre s paralelným vstupom údajov a sériovým výstupom údajov,
- ❑ posuvné registre so sériovým vstupom údajov a paralelným výstupom údajov,
- ❑ posuvné registre s paralelným vstupom údajov a paralelným výstupom údajov,
- ❑ posuvné registre vratné.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

---

- **6.1 Základné pojmy**
- **6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí**
  - 6.2.1 *Technológia výroby*
  - 6.2.2 *Spôsob prevádzky*
  - 6.2.3 *Spôsob záznamu a čítania dát*
  - 6.2.4 *Spôsob prístupu k zaznamenaným dátam*
- **6.3 Pamäte RWM**
  - 6.3.1 *Statické pamäte RWM*
  - 6.3.2 *Dynamické pamäte MOS RWM*
- **6.4 Pamäte ROM**

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.1 Základné pojmy

**Základné parametre polovodičových pamätí sú:**

- ❑ kapacita,
- ❑ organizácia,
- ❑ vybavovacia doba.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.1 Základné pojmy

*Pamäť* je zložitý systém, ktorý umožňuje zapamätať informáciu a vo vhodnom čase ju poskytnúť na ďalšie spracovanie. V číslicových systémoch sa uplatnili najmä *polovodičové pamäte*, ktoré využívajú vlastnosti polovodičových prvkov.

Základné parametre polovodičových pamätí sú:

- kapacita,
- organizácia,
- vybavovacia doba.

*Kapacita* pamäte sa udáva v bitoch a vzťahuje sa obvykle na pamäť umiestnenú na jednom čipe.

*Organizácia* pamäte je parameter, ktorý udáva spôsob, akým je kapacita pamäte rozdelená vo vzťahu k zápisu, resp. čítaniu informácie. Jednému údaju, ktorý sa zapíše resp. vyčíta, hovoríme *slovo*. Napr. pamäť s kapacitou 1024 bitov môže byť organizovaná viacerými spôsobmi:  $1024 \times 1$ ,  $512 \times 2$ ,  $256 \times 4$  atď. V prvom prípade možno do pamäte zapísať a vyčítať 1-bitové slovo. V druhom prípade 2-bitové, v treťom 4-bitové, atď.

*Vybavovacia doba* je parameter, ktorý charakterizuje rýchlosť pamäte. Je to čas, ktorý uplynie od okamihu adresovania informácie uloženej v pamäti do okamihu, kedy sa požadovaná informácia objaví na výstupe pamäte. Tento parameter ovplyvňuje najmä použitá technológia výroby pamätí.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

Polovodičové pamäte je možné rozdeliť z viacerých hľadísk, ktoré rešpektujú ich vlastnosti a použitie. V zásade je možné pamäte rozdeliť podľa:

- ❑ **druhu technológie výroby:**
  - *bipolárne,*
  - *unipolárne,*
- ❑ **spôsobu prevádzky:**
  - *statické,*
  - *dynamické,*
- ❑ **spôsobu záznamu a čítania dát:**
  - *s meniteľným obsahom dát- RWM,*
  - *so stálym obsahom dát- ROM,*
- ❑ **spôsobu prístupu k zaznamenaným dátam:**
  - *s ľubovoľným prístupom- RAM,*
  - *so sériovým prístupom- FIFO, LIFO,*
  - *so špeciálnym prístupom- CAM.*

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

### 6.2.1 *Technológia výroby*

Podľa použitej technológie výroby pamäte rozdeľujeme ich na *bipolárne* a *unipolárne*.

*Bipolárne* pamäte sa vyznačujú malou dobou prístupu, menšou hustotou integrácie a často vyššou cenou. Medzi bipolárne technológie, ktoré sa najčastejšie používajú patria technológie TTL, ECL a technológia I<sup>2</sup>L.

*Unipolárne* pamäte sa vyznačujú väčšou dobou prístupu, ale väčším stupňom integrácie, ktorá je dosiahnutá tým, že na rozdiel od bipolárnych tranzistorov sa MOS tranzistory nemusia vzájomne izolovať. Existuje veľa druhov a modifikácii unipolárnych technológií, ktoré sa používajú na výrobu pamätí. Základnými sú PMOS, NMOS, resp. CMOS, ale v súčasnosti sa používajú ich zdokonalené modifikácie BICMOS.

Použité technológie ovplyvňujú okrem iných tieto základné parametre:

- oneskorenie resp. dobu prístupu,
- stratový výkon,
- hustotu integrácie.

Medzi týmito parametrami existuje vzájomný vzťah, zvlášť medzi:

- rýchlosťou a výkonom,
- rýchlosťou a hustotou integrácie.



# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

### 6.2.2 Spôsob prevádzky

Podľa spôsobu prevádzky rozlišujeme pamäte statické a dynamické.

Základom *statických pamätí* je bistabilný klopný obvod s dvoma stabilnými stavmi, ktoré zabezpečujú uchovanie dvoch úrovní  $H$  a  $L$ . Statické pamäte sa môžu vyrábať na báze ľubovoľnej polovodičovej technológie. Vyznačujú sa väčšou spotrebou oproti dynamickým pamätiam, pretože pamäťový klopný obvod odoberá príkon pri ľubovoľnom stave a menším stupňom integrácie, pretože na realizáciu jednej pamäťovej bunky je potrebný väčší počet tranzistorov.

Na zapamätanie informácie využívajú *dynamické pamäte* náboj na parazitných kapacitách. Najčastejšie sa vyrábajú ako unipolárne pamäte a využívajú kapacitu riadiacej elektródy voči substrátu. Dynamické pamäte sa vyznačujú menšou spotrebou, pretože príkon sa zo zdroja odoberá len pri čítaní, zápise, resp. obnovovaní informácie, ktoré je pri dynamických pamätiach nutné a dosahuje sa pri nich väčší stupeň integrácie, ktorý vyplýva z toho, že dynamická pamäťová bunka vyžaduje menší počet tranzistorov.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

### 6.2.3 *Spôsob záznamu a čítania dát*

Podľa tohto kritéria rozlišujeme pamäte

- s meniteľným obsahom dát,
- so stálym obsahom dát.

*Pamäte s meniteľným obsahom dát* sú pamäte, do ktorých je možné informáciu zapisovať aj vyčítavať, teda sú to pamäte typu "čítaj/píš" (Read/Write). Označujú sa nie celkom správne skratkou RAM (Random Access Memory – t.j. pamäte s ľubovoľným prístupom), čo vystihuje skôr spôsob prístupu k informácii uloženej v pamäti, preto je vhodnejšie označenie RWM (Read Write Memory).

*Pamäte so stálym obsahom dát* sa bežne označujú ako pamäte typu "čítaj", resp. ROM (Read Only Memory – t.j. pamäte "iba čítaj"). Tieto pamäte slúžia na uchovávanie dát, ktoré sa nemajú meniť, napr. tabuľky, konštanty a pri mikropočítačoch hlavne programy po odladení, atď.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

### 6.2.4 *Spôsob prístupu k zaznamenaným dátam*

Podľa spôsobu prístupu k zaznamenaným dátam rozlišujeme pamäte

- s ľubovoľným prístupom,
- so sériovým prístupom,
- so špeciálnym prístupom.

*Pamäte s ľubovoľným prístupom* umožňujú počas jedného pracovného cyklu (čítanie/zápis) prístup k ľubovoľnej pamäťovej bunke a doba prístupu je konštantná pre každú uloženú informáciu. Označujú sa RAM\*. Je potrebné si uvedomiť, že aj pamäť ROM môže byť pamäť s ľubovoľným prístupom.

*Pamäte so sériovým prístupom* sa vyznačujú tým, že informácie uložené do tejto pamäte sa môžu čítať iba v určitom poradí, ktoré je obvykle závislé od porada vloženia do pamäte. Rozlišujeme pamäte typu

- FIFO (first in, first out)
- LIFO (last in, first out)

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.2 Klasifikácia polovodičových pamätí

- FIFO (first in, first out)
- LIFO (last in, first out)

*Pamäť typu FIFO* je pamäť so sériovým prístupom, kde informácia sa číta v rovnakom poradí, v akom bola vložená, t.j. prvá sa číta informácia, ktorá bola prvá vložená. Typickým príkladom je sériový posuvný register.

*Pamäť typu LIFO* je pamäť, pri ktorej sa informácie čítajú v opačnom poradí, než boli vkladané, t.j. prvá sa číta informácia, ktorá bola vložená posledná. Používajú sa najmä pri realizácii zásobníkovej pamäte.

Medzi *pamäte so špeciálnym prístupom* patria pamäti CAM (Content Addressable Memory), t.j. pamäte adresované podľa obsahu. Vyznačujú sa tým, že informácie sa nevyberajú na základe adresy, ale podľa určitého aspektu informácie.

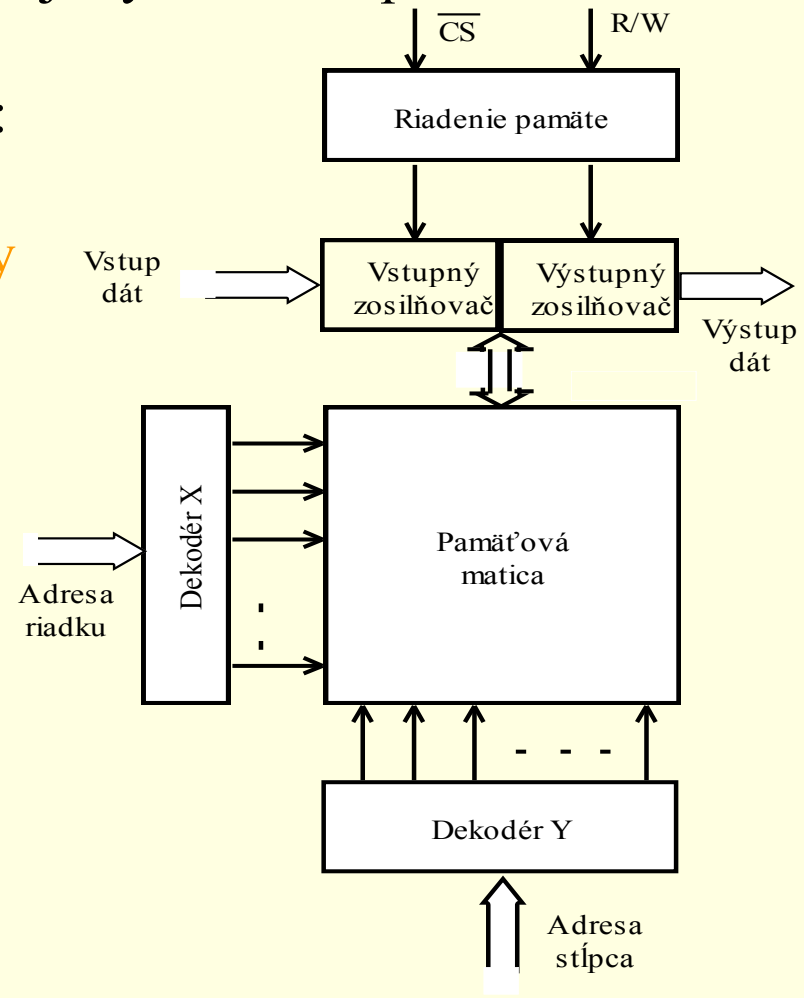
# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte RWM

Pamäte typu RWM sú pamäte typu čítaj/píš a vyrábajú sa ako bipolárne statické pamäte, resp. unipolárne statické aj dynamické pamäte. Bloková schéma pamäte RWM je na Obr.

Pamäť je tvorená týmito základnými blokmi:

- obvodmi adresovania pamäťovej bunky
- pamäťovou maticou
- obvodmi pre vstup resp. výstup dát
- obvodmi riadenia



# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte RWM

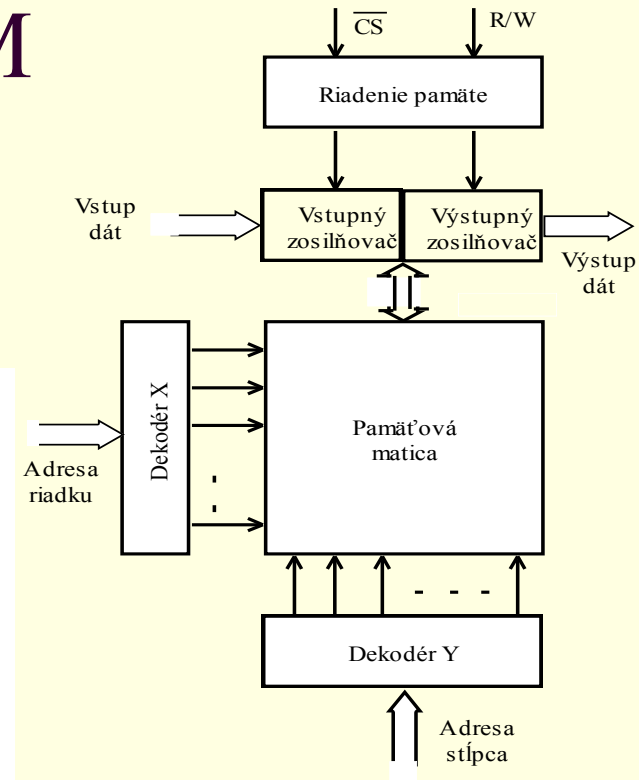
*Obvody adresovania* slúžia na vybranie pamäťových buniek, do ktorých sa má uložiť vstupné slovo (pri zápise), resp. z ktorých sa má vyčítať výstupné slovo (pri čítaní).

*Pamäťová matica* je tvorená pamäťovými bunkami a obvykle má rozmer  $n \times n$ . Napr. pri organizácii 1024 bitov má rozmer  $32 \times 32$  buniek. Pri dimenzii slova väčšej ako 1 je možné si pamäťovú maticu predstaviť ako niekoľko matic zaradených paralelne, pričom počet je zhodný s počtom bitov vo vstupnom slove.

*Obvody pre vstup, resp. výstup dát* sú v podstate prevodníky úrovni, ktoré slúžia na prevod logických úrovni.

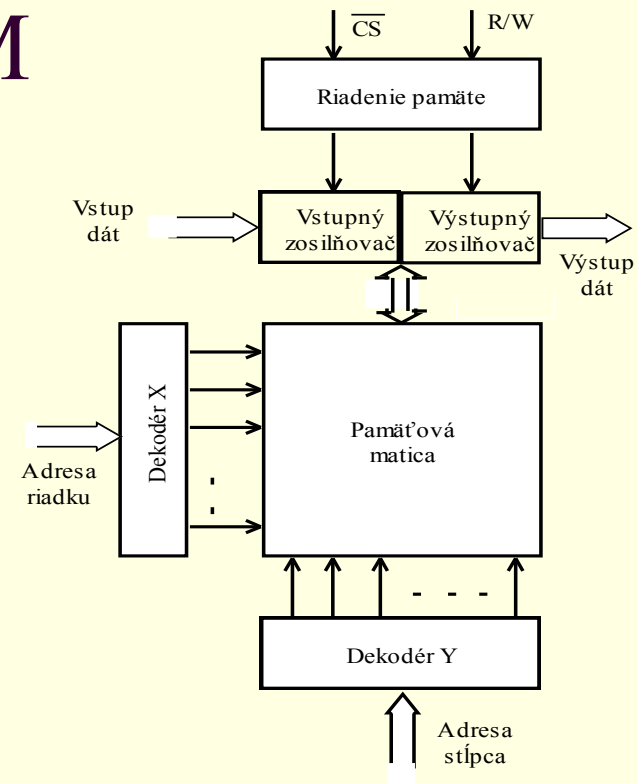
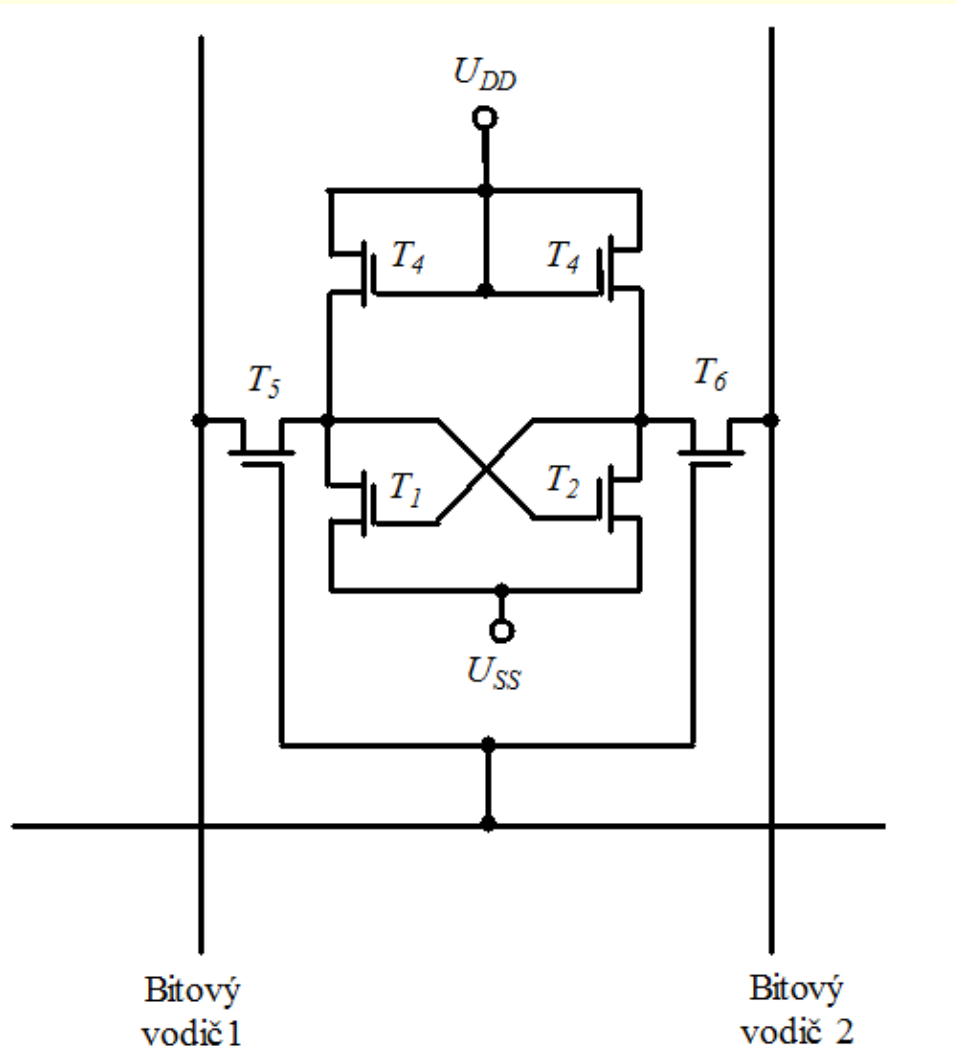
*Obvody riadenia* pamäte slúžia na ovládanie režimu pamäte, t.j. musia obsahovať signál na prepínanie režimu čítaj/píš, ktorý je označený ako signál R/W.

Ďalším typickým signálom riadenia je signál pre aktivovanie čipu pamäte, označovaný ako CS (chip select), resp. CE (chip enable), ktorým sa aktivizuje príslušné puzdro pamäte. Pri neaktívnej úrovni tohto signálu sú výstupy pamäte v stave vysokej impedancie a pamäť sa správa ako odpojená od vonkajších obvodov. Signál pre aktivovanie čipu môže byť využitý na realizáciu pamätí s rôznou organizáciou kapacity.



# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

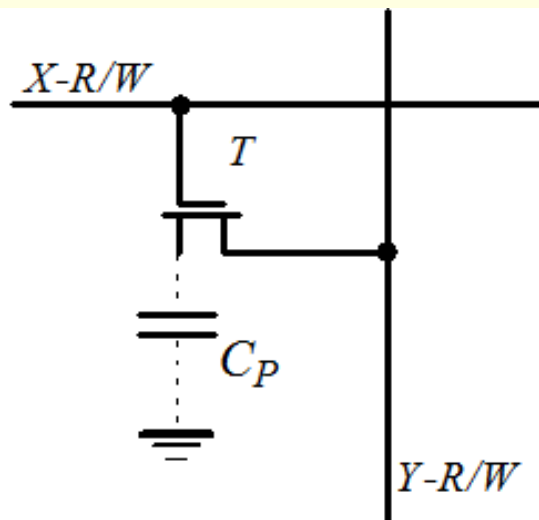
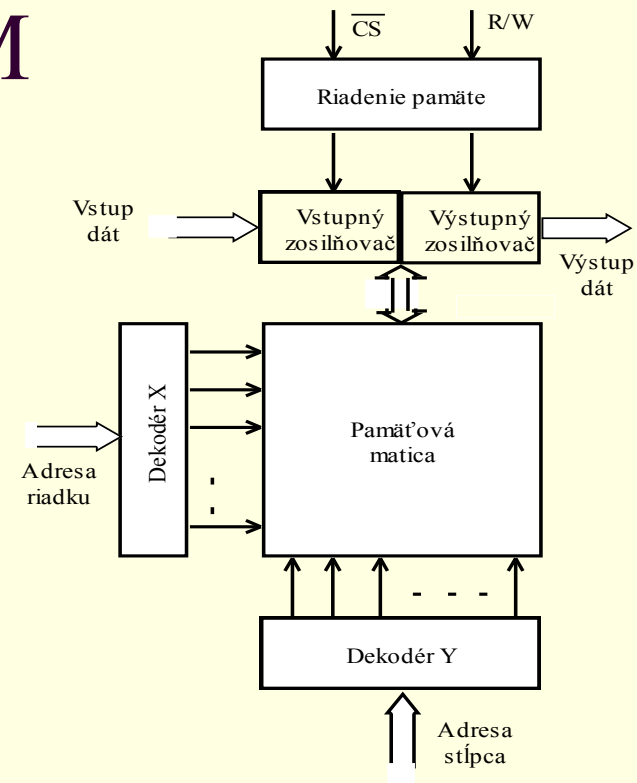
## 6.3 Pamäte RWM



Obr. 6.5 Statická pamäťová bunka MOS so 6 tranzistormi

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte RWM



Obr. 6.8 Dynamická pamäťová bunka s 1 tranzistorom



# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte ROM

Pri výrobe pamätí ROM sa využívajú unipolárne aj bipolárne technológie. Podľa spôsobu ukladania dát pamäte ROM rozdeľujeme na tieto druhy:

- ❑ ROM programovateľné v technologickom procese (ROM).
- ❑ ROM elektricky programovateľné (PROM).
- ❑ ROM elektricky reprogramovateľné (EPROM).

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte ROM

- ROM programovateľné v technologickom procese (ROM).

Tento druh pamäti sa programuje už pri výrobe pamäti, t.j. v technologickom procese, obvykle poslednou maskou, preto sa im tiež hovorí, že sú to pamäti programovateľné maskou (masked ROM). Je zrejme, že ide o zákaznícky obvod, ktorý definuje jeho obsah. Pamäti ROM v tejto verzii je ekonomické vyrábať len pre veľké série. V zásade je možné pamäte ROM tohto typu vyrobiť unipolárnou a bipolárnou technológiou.

Podstata pamäti MOS ROM spočíva v tom, že sa vytvorí pamäťová matica MOS tranzistorov s uzemneným emitorom pričom v poslednej fáze sa hradlá MOS tranzistorov buď vyleptajú a teda MOS tranzistor sa vyleptá úplne, alebo nevyleptajú a MOS tranzistorov sa nevytvorí.

Pri vypočítavaní dát sa adresový vodič pre výber slova uvedie do aktívneho stavu a v mieste, kde sa tranzistor vytvoril, je jeho výstup na nízkom potenciáli (0 V) (tranzistor je otvorený a emitor je uzemnený). V mieste, kde sa MOS tranzistor nevytvoril, je MOS tranzistor zatvorený a na jeho výstupe (kolektor) je potenciál napájacieho napätia ( $U_{DD}$ ). Tieto dve úrovne určujú dva stavy H a L.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte ROM

- ROM elektricky programovateľné (PROM).

Nevýhodou pamätí ROM programovateľných v technologickom procese je, že sa musia programovať už vo výrobe a dodávajú sa ako hotové výrobky, t.j. zákaznícke obvody.

Vývoj pamätí ROM smeroval k *užívateľsky programovateľným pamätiam* PROM, kde obsah pamätí určuje zákazník (užívateľ) sám. Spôsob programovania sa deje elektrickou cestou, preto týmto pamätiam hovoríme *elektricky programovateľné pamäte*, ktoré majú charakter pamätí ROM, t.j. slúžia len na čítanie informácií.

Užívateľ dostane od výrobcu pamäť nenaprogramovanú, resp. celá pamäť obsahuje napr. iba informáciu L a tie bunky, ktoré majú mať obsah H, sa preprogramujú. Môžu sa vyrábať unipolárnou aj bipolárnou technológiou, ale častejšie sa využíva bipolárna technológia.

Programovanie bipolárnych pamätí PROM sa zakladá na tom, že elektrickým impulzom sa preruší *programovateľná spojka*, čím sa zmení obsah pamäťovej bunky.

V prípade unipolárnych pamätí PROM sa pri programovaní posúva prahové napätie MOS tranzistorov, ktoré sú pre tento účel špeciálne vyvinuté.

# 6 Pamäťové prvky číslicových obvodov

## 6.3 Pamäte ROM

- ROM elektricky reprogramovateľné (EPROM).

Značnou nevýhodou pamätí ROM a PROM je to, že vložená informácia sa nedá meniť, t.j. proces programovania nie je vratný. V praxi však je niekedy nutné meniť vložené informácie.

Vývoj pamäti dospel k mazateľným pamätiam, v ktorých je možné informáciu vymazať. Tieto pamäte sa označujú ako pamäte typu EPROM (Erasable and Electrically Reprogramable ROM).

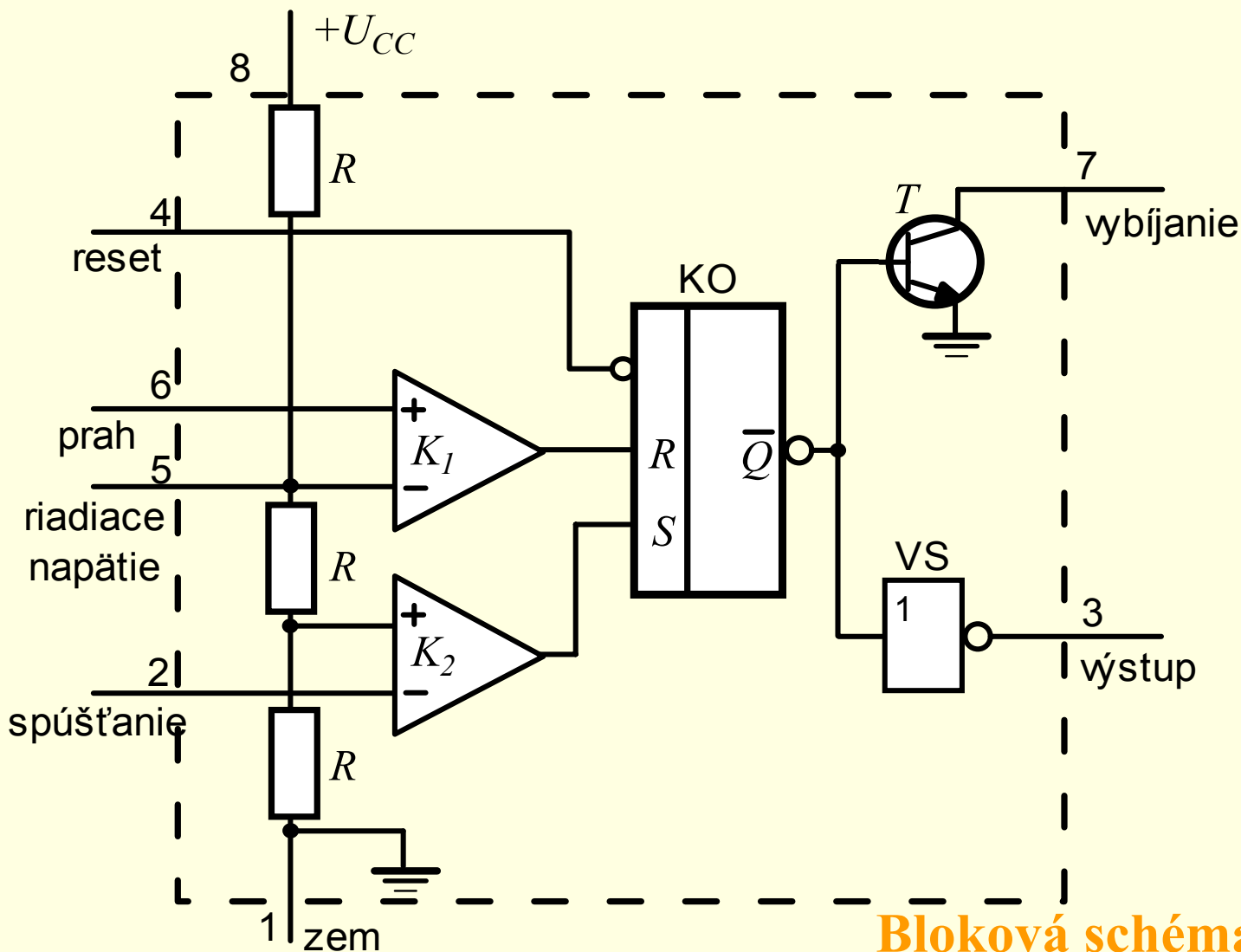
# 7 555- Univerzálny IO

---

- **7.1 Stručný prehľad vlastností a funkcií časovača 555**
- **7.2 Zapojenie časovača 555**
- **7.3 Základné druhy činnosti časovača 555**
  - 7.3.1 *Monostabilný mód činnosti*
  - 7.3.2 *Astabilný mód činnosti*
  - 7.3.3 *555 v móde "časovača,"*
- **7.4 Nomogramy pre 555**

# 7 555- Univerzálny IO

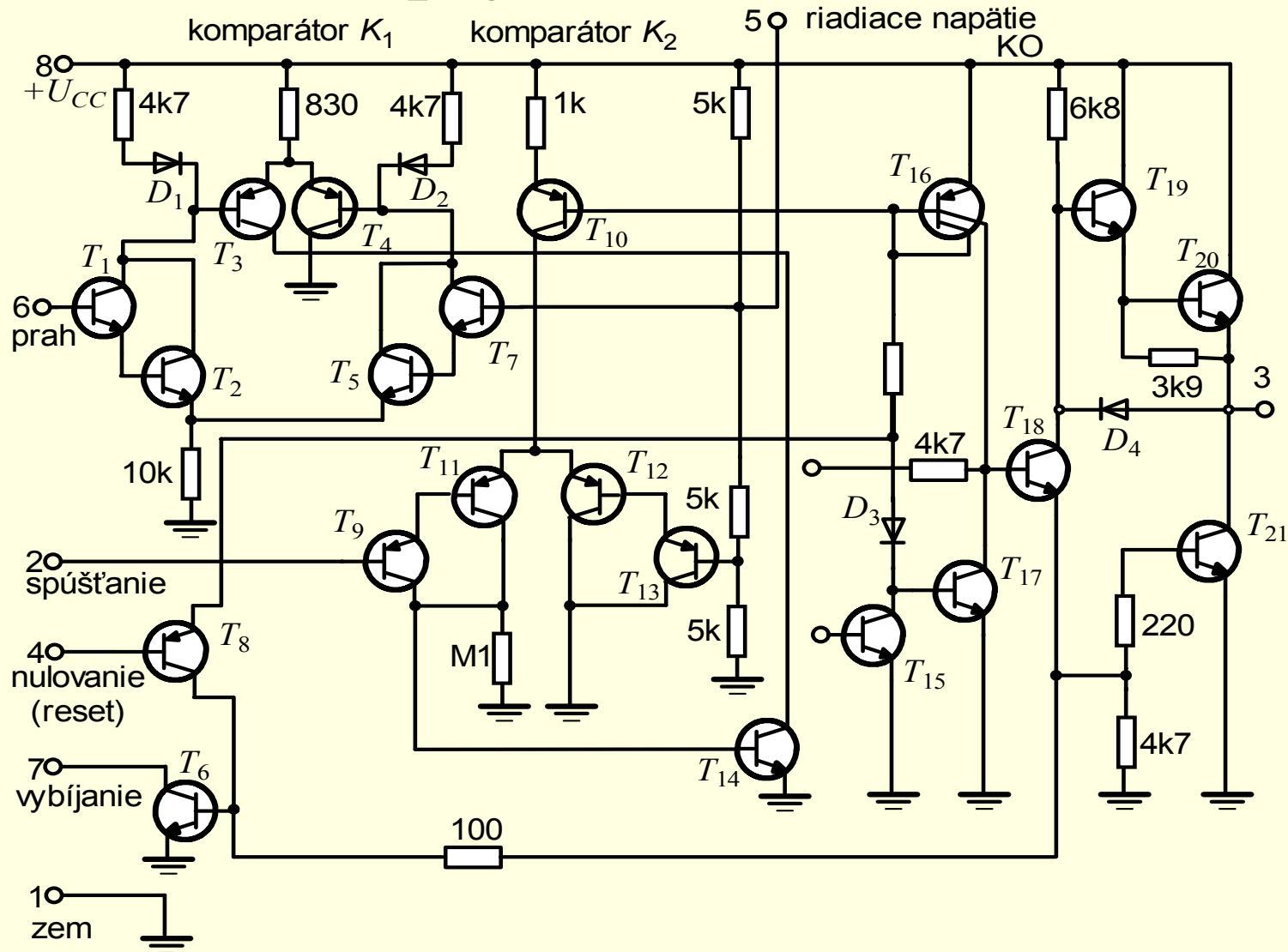
## 7.1 Vlastnosti a funkcie časovača 555



**Bloková schéma časovača 555**

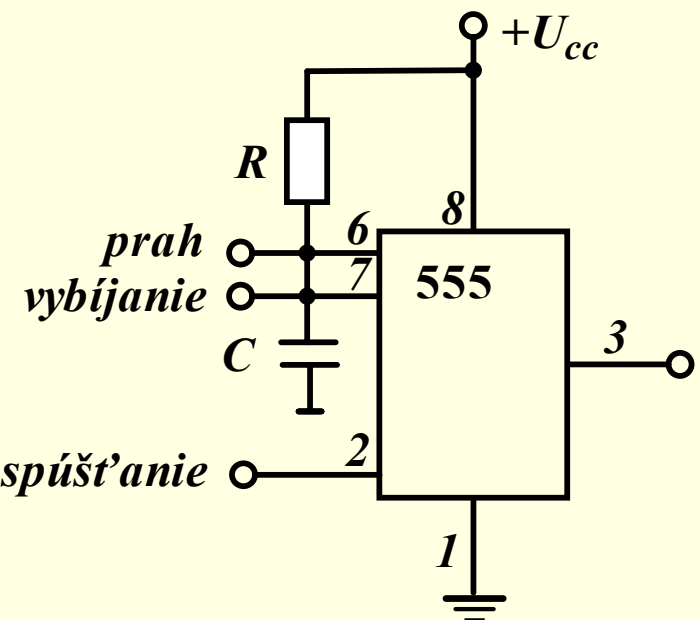
# 7 555- Univerzálny IO

## 7.2 Zapojenie časovača 555

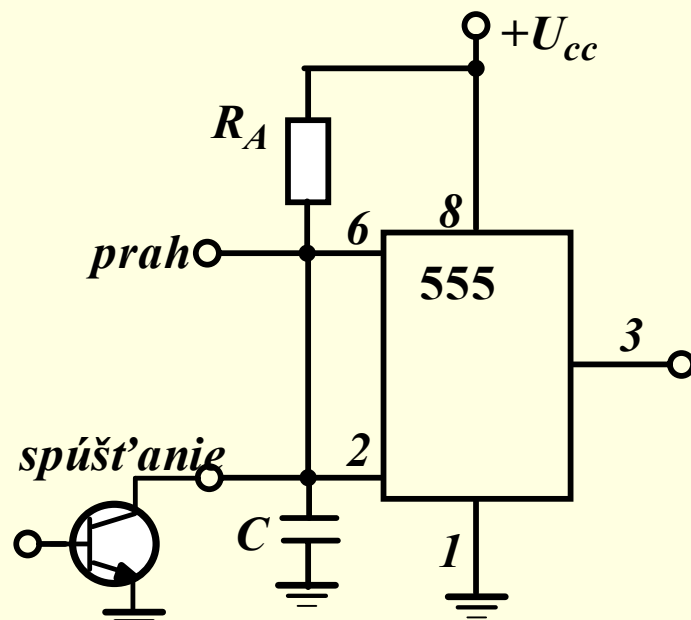


# 7 555- Univerzálny IO

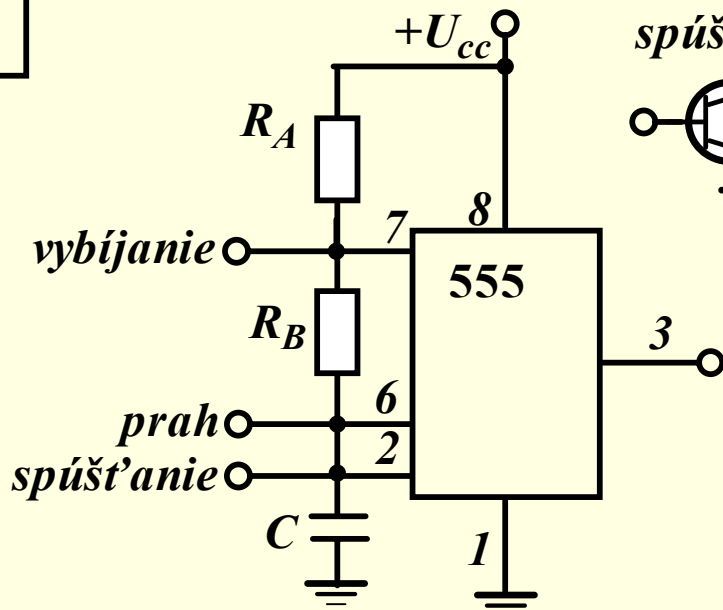
## 7.3 Základné druhy činnosti časovača 555



*Monostabilný obvod*



*Time delay- časovač*

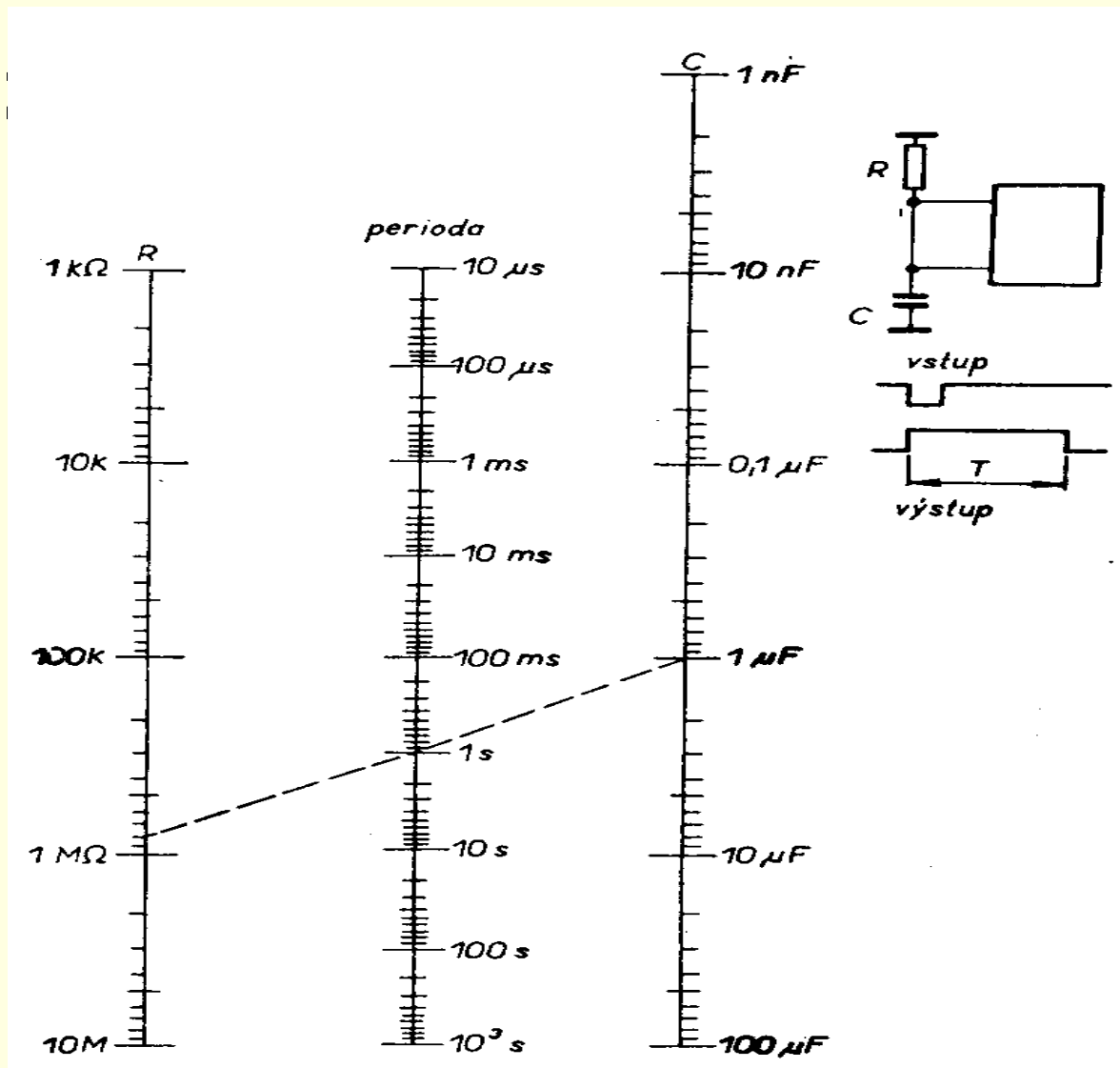


*Astabilný obvod*



# 7 555- Univerzálny IO

## 7.4 Nomogramy pre 555



Nomogram pre IO 555  
v monostabilnom móde