

Digitaalelektronika

V loeng

loogikalülitused KMOP
transistoridega



meeldetuletus

- loogikalülitused TTL baasil
 - baaslülitus
 - inverteri tunnusjooned ja hilistumine
 - LS lülitus
 - kolme olekuga TTL ja avatud kollektoriga TTL
- ECL





V loengu sisu

- KMOP
 - n- ja p-kanaliga MOP transistor võtmelülituses
 - KMOP-ga inverteeriv võtmelülitus
 - loogikalülitused KMOP transistoridel
 - KMOP transistori sisend- ja väljundpinged, ajadiagrammid, hilistus, voolutarve
 - integraalse KMOP transistori ehitus
- KMOP ja TTL võrdlus

3/23/2009

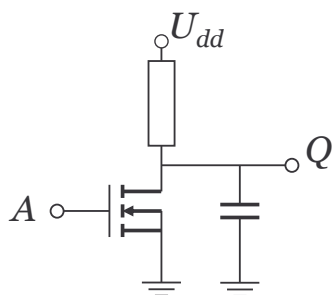
3

n ja p kanaliga transistoridega võtmelülitused

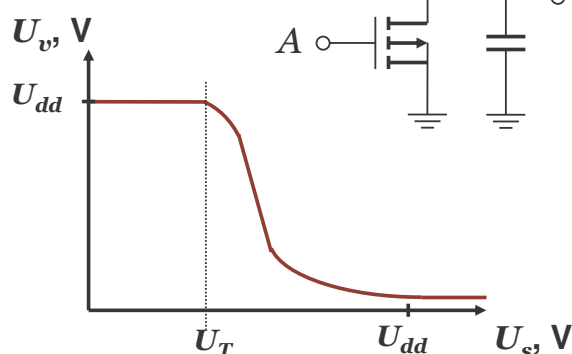
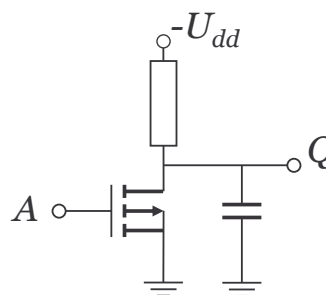


lihtsaimad väljatransistoridega realiseeritud lülitused analoogsed RTL-ga

inverter – n-MOSFET



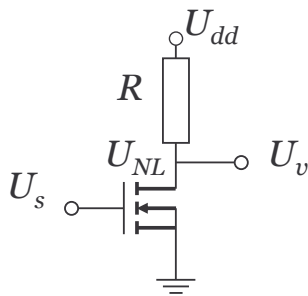
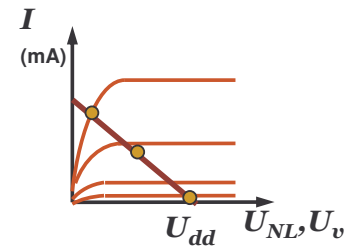
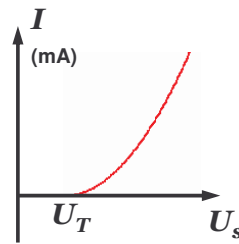
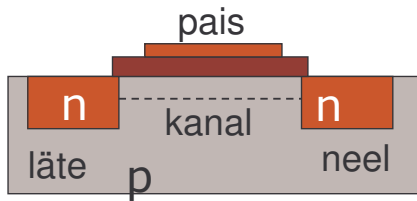
inverter – p-MOSFET



3/23/2009

4

n kanaliga transistor



$$I_D = 0, \text{ kui } U_s < U_T$$

$$I_D = \frac{K}{2} [2(U_s - U_T)U_{NL} - U_{NL}^2], \text{ kui } U_s > U_T$$

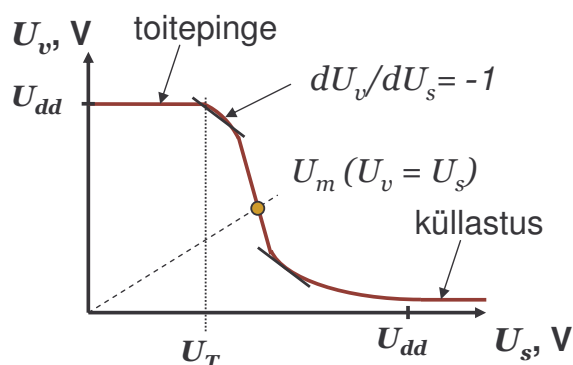
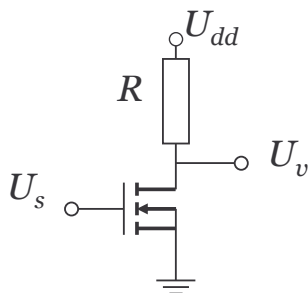
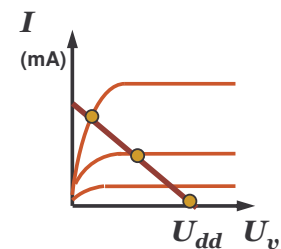
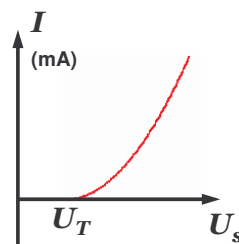
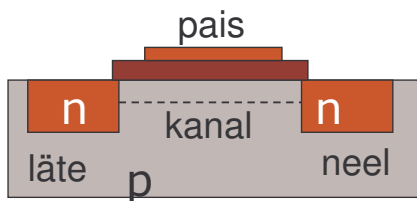
$$U_{NL} < U_s - U_T$$

$$I_D = \frac{K}{2} [U_s - U_T]^2, \text{ kui } U_s > U_T$$

$$U_{NL} > U_s - U_T \quad 5$$

3/23/2009

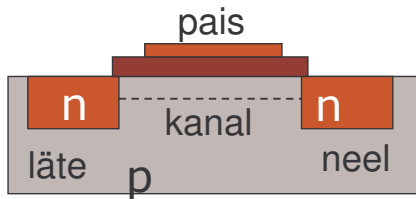
n kanaliga transistoriga võtmelülitus



3/23/2009

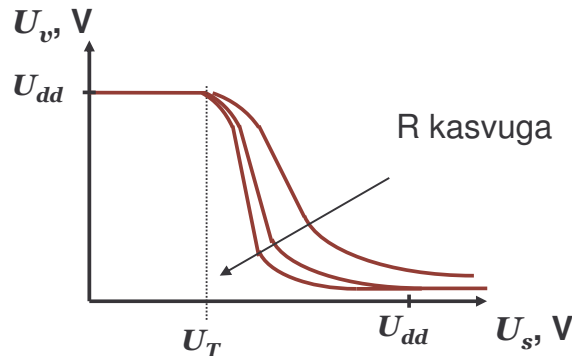
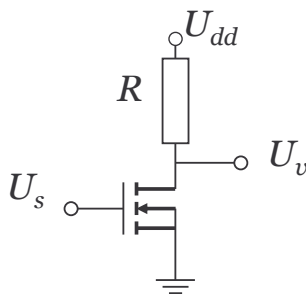
6

n kanaliga transistoriga võtmelülitus



suurema võimendusega järsem lülitus

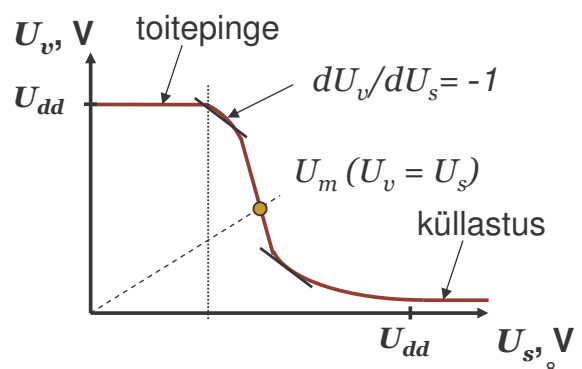
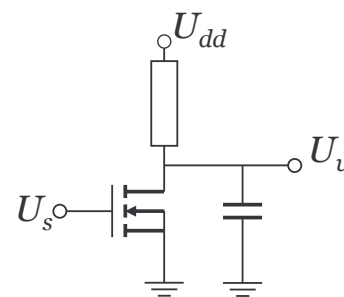
$$\frac{dU_v}{dU_s} = -g_m R$$



Erinevused RTL-ga ja puudused

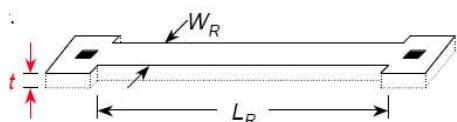


- väljundite arv (fan-out) palju suurem
- U_T väärtuse saab valida
- U_m võiks olla u. $U_{dd}/2$, kuna siis müratundlikus suurim
- U_v küllastuses väike aga märgatav
- suurema takistusega
 - kitsam lülitusvahemik e. parem müratundlikus
 - lülituse kiirus väiksem
- vool $U_v = 0$ korral suur





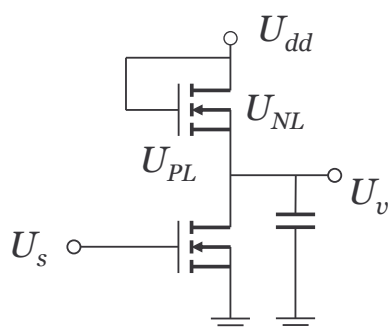
Takisti integraallülitustes



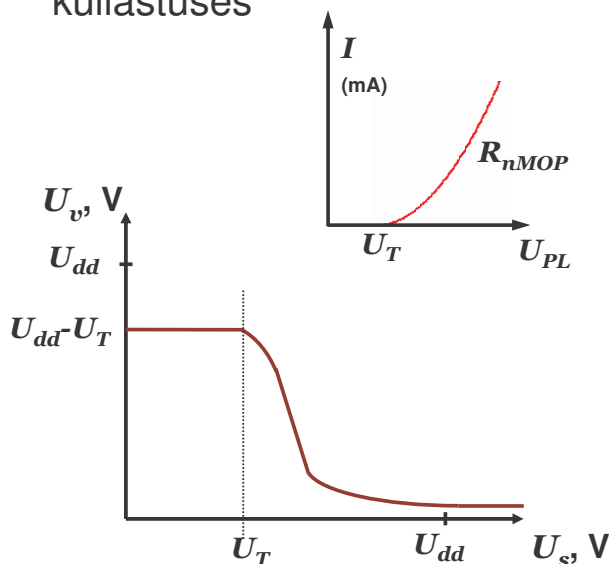
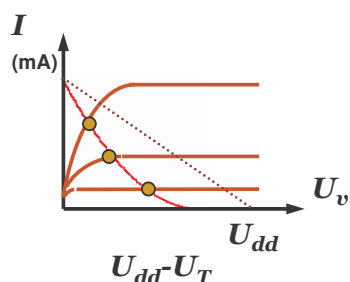
$$R = \left(\frac{\rho}{t}\right)\left(\frac{L_R}{W_R}\right) = R_S\left(\frac{L_R}{W_R}\right)$$

- sobivalt legeritud pooljuht
- teistest seadmetest isoleeritakse pn-siirdega
- R_S – joontakistus
 - 100Ω
- pikkus L_R on probleem
 - $W_R = 1 \mu\text{m}$
 - $R = 50 \text{ k}\Omega$
 - $L_R - ?$

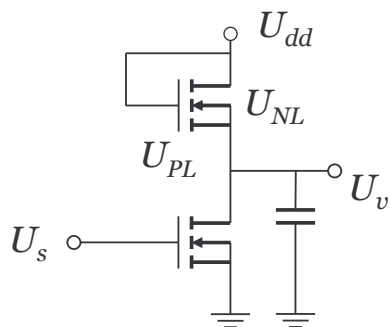
kahe transistoriga n-MOP inverter



- takistit asendab n-MOP transistor
- alati avatud ($U_{PL} = U_{NL}$) ja küllastuses



kahe transistoriga n-MOP inverter

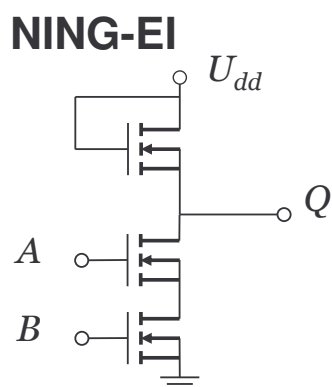


- võtab vähem ruumi kui takisti
- $U_v = 0$ korral voolutarve endiselt suur
- madalast seisundist kõrgele lülitumine aeglane
- kõrgele seisundile vastav väljundpinge madalam kui U_{dd}

3/23/2009

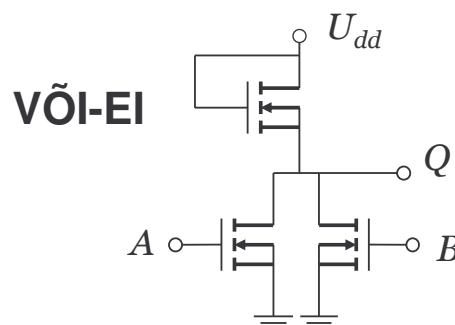
11

kahe transistoriga n-MOP (p-MOP) inverter



- loogikalülitused lihtsalt sooritatavad
- inverteri abiga NING ja VÕI
- algselt palju kasutusel, kuid nüüd KMOP eelistatud

8080 ja 8086 protsessorid



3/23/2009

12

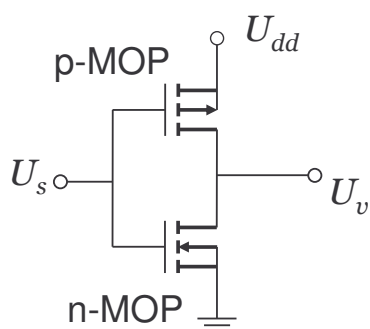
KMOP



3/23/2009

13

KMOP inverteeriva lülitusena



Kaasaegsete mikroprotsessorite ehituskivi

indutseerkanaliga MOP transistor:
 $U_{PL} = 0$ korral suletud

stabiilses olekus üks transistor alati suletud

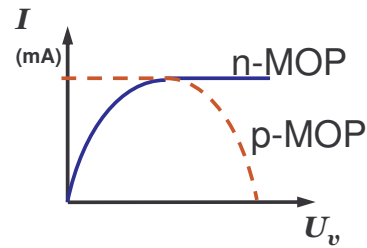
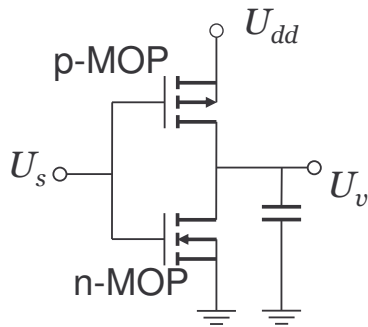
vool vaid ümberlülitamise hetkel

väljund ühendatud kas maa või toitega

3/23/2009

14

KMOP inverteeriva lülitusena



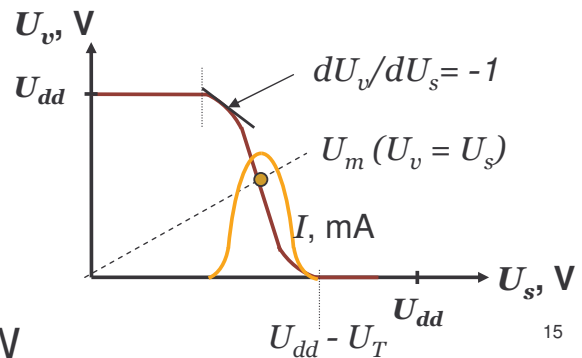
avatud kanali takistus u. 200 Ω

$$I_{max} = K(U_{dd}/2 - U_T)^2$$

$$K = \mu \cdot C \cdot Z / L$$

3/23/2009

$$I_{max} \approx 0,2 \text{ mA}, P \approx 1 \text{ mW}$$

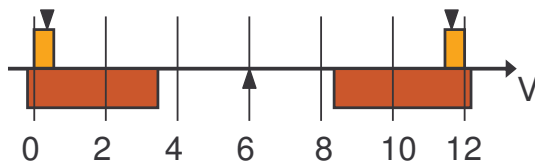
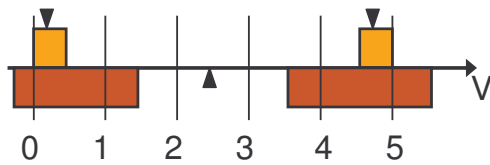


15

KMOP – sisend ja väljundpinged



4000 või 74C, $U_{cc} = +5 \pm 5 \% V$



74HC, $U_{cc} = +5 \pm 5 \% V$



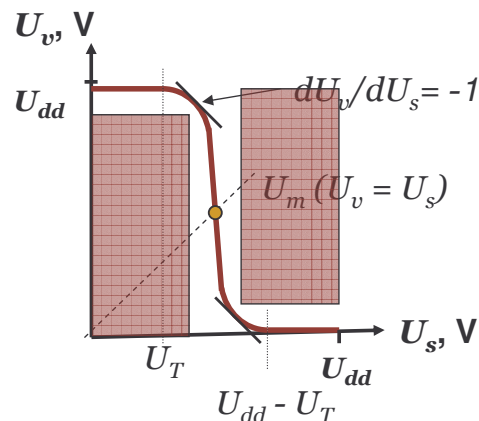
3/23/2009

■ – väljundpinge

■ – sisendpinge

▼ – tüüpiline tegelik väärtus

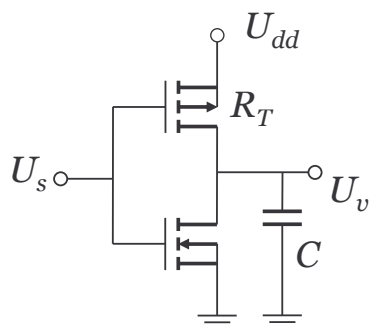
▲ – tüüpiline lävepinge



16



KMOP hilistusaeg



$$\tau \sim C/K(U_{dd} - U_T)$$

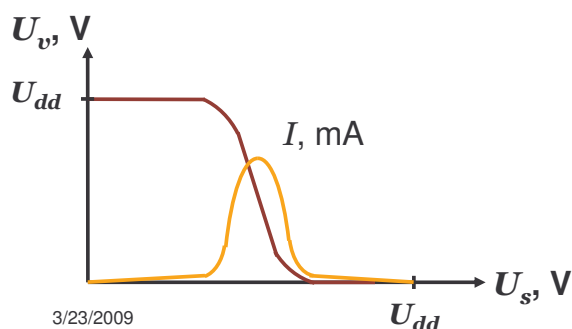
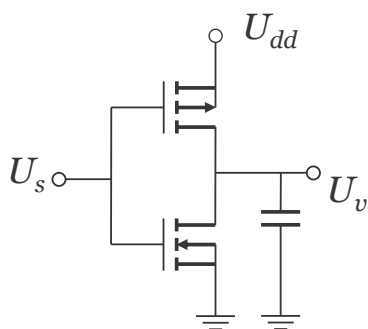
3/23/2009

$$K = \mu \cdot C \cdot W/L$$

- paisuoksiidi, siirete ja viikude mahtuvused: C
- avatud transistori takistus R_T
- ajakonstant laengute liigutamiseks
 - $\tau = CR_T$
 - moodustab olulisima osa hilistusajast t_p
- $R_T = 1/[2K(U_{dd} - U_T)]$
- hilistusaega saab vähendada
 - suurendades K -d
 - vähendades U_T -d
 - vähendades C -d

17

KMOP võimsuse hajumine



3/23/2009

- lülitamise käigus laengute ümber liigutamine
 - paisuoksiidi laengud
 - $P = CU_{dd}^2f$
- lülitamise ajal mõlemad transistorid avatud
 - $I \sim K(U_{dd}/2 - U_T)^2$
 - lülitamine võimalikult kiiresti
- mõõtmete vähenemisel lekkevool staatilises olekus üha olulisem

18

KMOP lülitusaja ja võimsuse dilemma



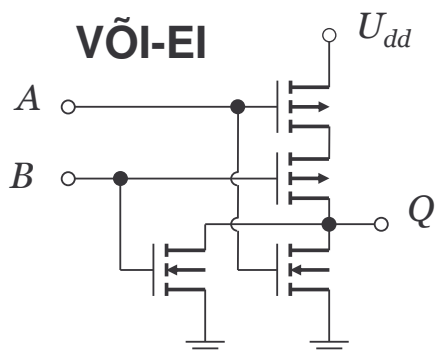
- lülitusaeg väheneb kui K suureneb
- maksimaalne vool ja võimsuse hajumine suureneb, kui K suureneb
- $t_p \cdot P$ samade mõõtmete korral ligikaudu konstant
- vähendades C -d vähenevad mõlemad (tegelikult küll ka K)
- mõõtmete vähenemisel kasvab seega kiirus ja väheneb võimsustarve

KMOP transistori omadused



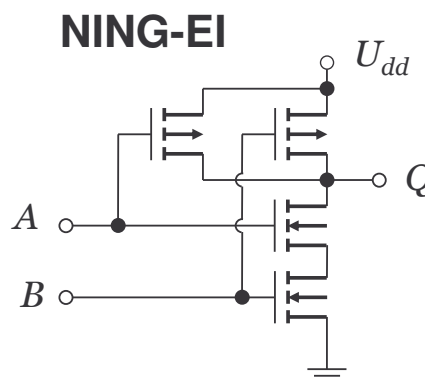
- 74HC (“high-speed CMOS” ehk kiire KMOP)
 - tööpinged 2 – 6 V
 - 74HC - väga väikse võimsustarve korral kiirus sama mis 74LS TTL-l
 - 1.5 mW ühe lülituse korral
 - hilistusaeg 8 ns
- mida suurem taktsagedus, seda suurem võimsustarve $P \sim f$
- kuna sisend voolu ei tarbi saab rohkem lülitusi juhtida
- **kardab staatilist elektrit !!!**

KMOP loogikalülitused



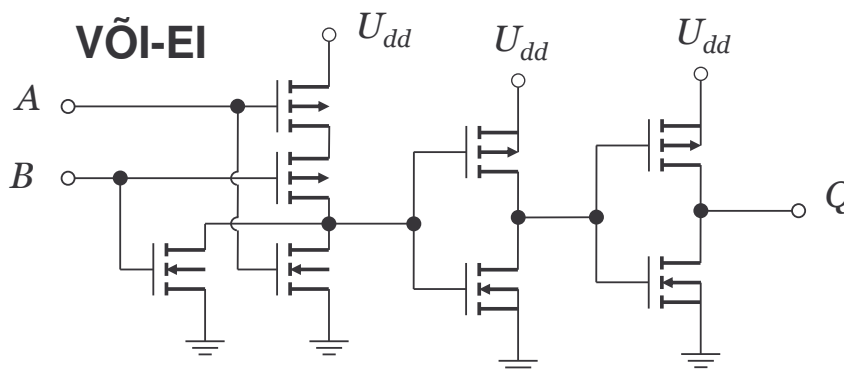
- sümmeetria
 - VÕI-EI – maa juures VÕI, toite juures NING
 - NING-EI – toite juures VÕI, maa juures NING

- realiseeritav kahe inverteriga
- tuleb vaid juhtmed teisiti ühendada
- takistused ($> 100 \Omega$) liituvad ja seetõttu üle 4 sisendi ei kasutata

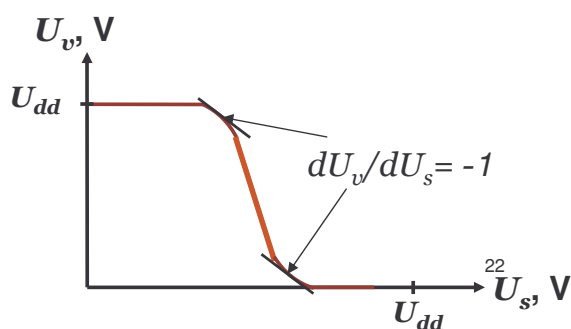


3/23/2009 NING-EI korral n-MOP transistorid jadamisi ja seega eelistatud 21

puhverdatud KMOP transistor

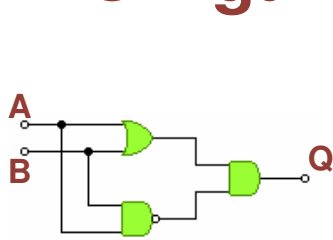


- paisuoksiidi mahtuvus suur, seega lülitus aeglane
- tõus üleminekupiirkonnas kiire
- puhver võimendina kiirendab väljundi lülitamist – B-klassi lüliti

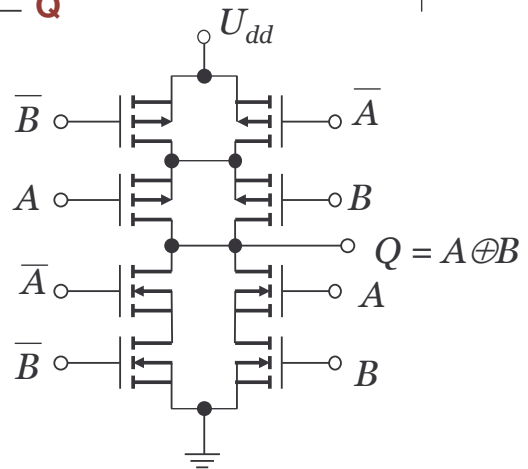
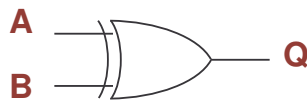


3/23/2009

välistav või (XOR) lülitus KMOP-ga



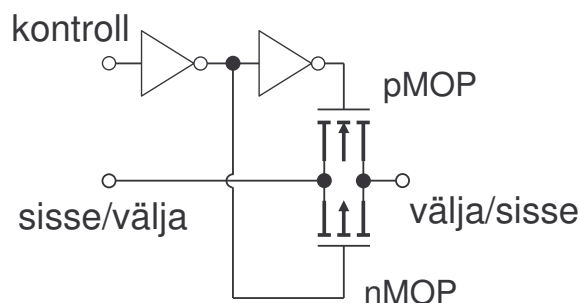
VÕI – 6 transistori
 NING – 6 transistori
 NING-EI – 4 transistori
 kokku 16 transistori



alolevale lisaks 4 transistori, et sisendeid pöörata
 seega kokku 12 transistori
 välistav-või-ei lülitus sama, vaid teised sisendid tuleb ümber pöörata

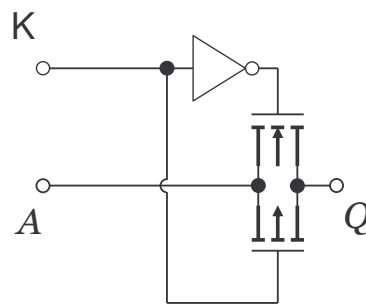
23

KMOP kahesuunalise puhvrina



- transistorid on sümmeetrilised
- neelu ja lätte viigud võib ära vahetada
- saab mõlemat korruga sisse ja välja lülitada
- kontrollida saab ka analoogsignaali

KMOP kontrollitava puhvrina

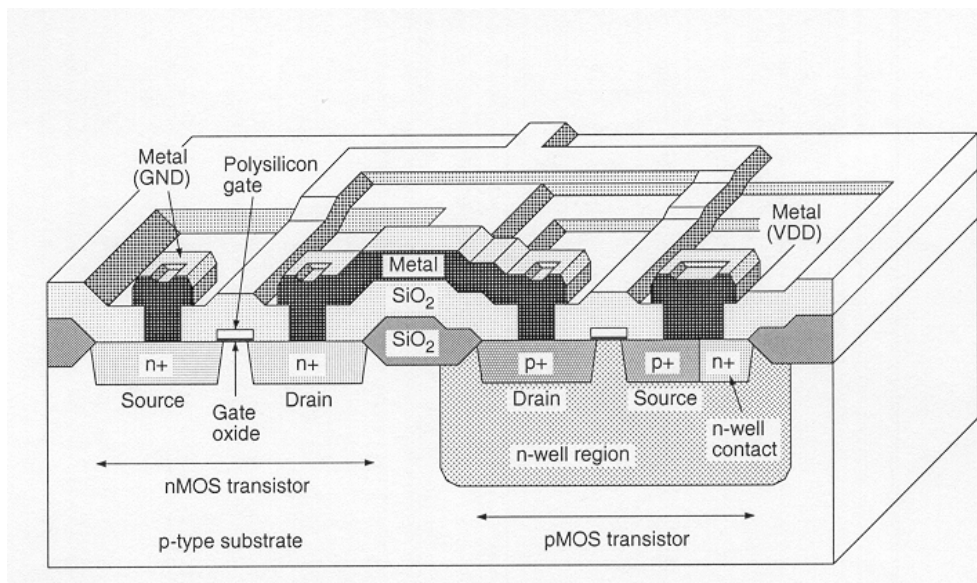


- kui $K = 0$, siis $Q = \bar{A}$?
- kui $K = 1$, siis $Q = A$

KMOP transistoride valmistamine



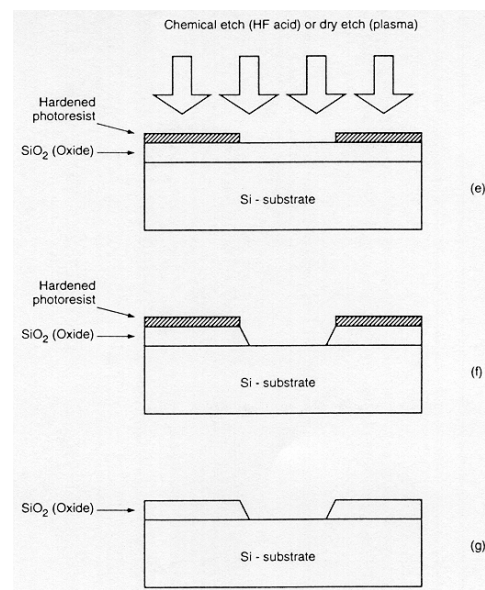
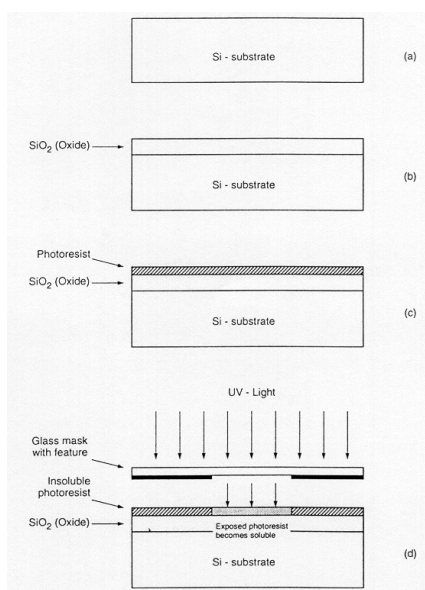
KMOP füüsiline ehitus



3/23/2009

27

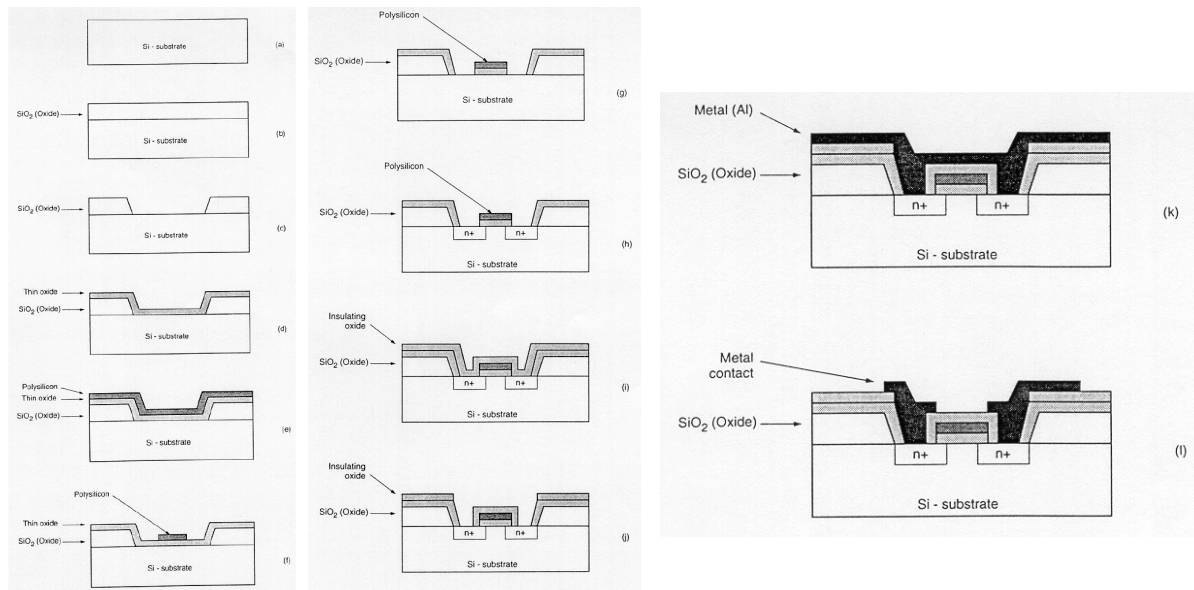
KMOP valmistamine



3/23/2009

28

KMOP valmistamine



3/23/2009

29

KMOP mõõtmete vähendamine



- mõõtmete vähendamine aitab omadusi parandada
- kõiki parameetreid peab koos vähendama
 - laius ja pikkus (L, Z): $1/K$
 - vertikaalsed suurused (d, x_i): $1/K$
 - lisandite kontsentratsioon: K
 - pinge, vool: $1/K$
 - voolutihedus: K
 - mahtuvustihedus: K
 - juhtivus: 1
 - **hilistumine**: $1/K$
 - **võimsuse hajumine**: $1/K^2$
 - võimsustihedus: 1
 - **võimsuse ja hilistumise korrutis**: $1/K^3$

3/23/2009

30

Erinevate loogikasüsteemide võrdlus



3/23/2009

31

TTL ja KMOP võrdlus



- KMOP lihtsam
 - vajab vähem transistore
 - takisteid ei ole üldse vaja
- KMOP mõõtmeid saab rohkem vähendada
- KMOP toite ja lävepingeid saab suuremas vahemikus muuta
- KMOP on mürakindlam
- TTL eelised
 - NING-EI saab olla suurema arvu jalgadega
 - avatud kollektoriga ja kolme olekuga lülitus
 - väljundvoolud suuremad ja väliste ahelate lülitamine kiirem

3/23/2009

32

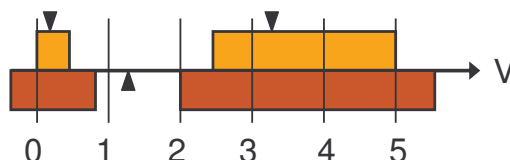
Pingetasemed erinevates loogikasüsteemides



Lubatud pingetasemed sisenditele ja väljunditele, mis vastavad "0" ja "1"

BJT TTL

$U_{cc} = +5 \pm 5\% V$

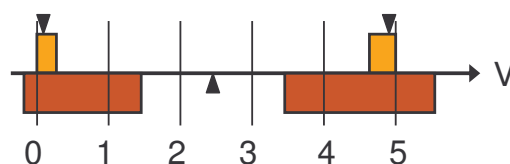


▼ – tüüpiline tegelik väärtus

▲ – tüüpiline lävepinge

CMOS

$U_{cc} = +5 V$

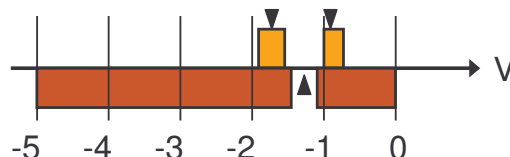


— väljundpinge

— sisendpinge

ECL

$U_{cc} = -5,2 \pm 5\% V$



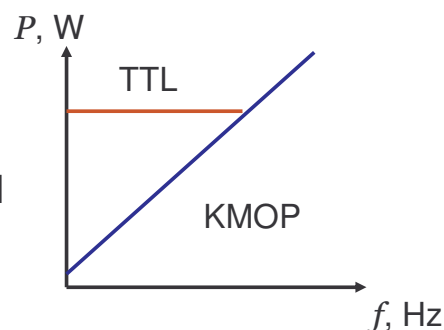
3/23/2009

33

Kiirus ja võimsus



- TTL tarbib voolu ka siis, kui stabiilses seisundis
- KMOP voolutarve praktiliselt 0 kui stabiilses seisundis
- KMOP voolu tarve kasvab lülitustel ja sagedusega ning on suurtel sagedustel lähedane TTL-ga
- üldiselt KMOP võimsus ja voolutarve siiski väiksem
- GaAs ja GeSi baseeruvad ECL lülitused ka üle 200 GHz-i
- ka KMOP edaspidi GaAs või GeSi



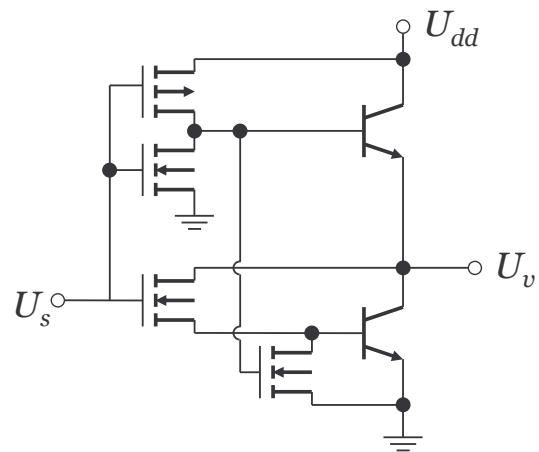
3/23/2009

34

BiCMOS



- KMOP väga väikse voolutarbega
- TTL kiiremad lülitused ja suuremad voolud
- loogikaelement KMOP, väljund TTL
- valmistamine keerukam
- eelis kadus, kui KMOP $U_{dd} > 1,8 \text{ V}$
- RF ja wireless seadmetes omab potentsiaali



3/23/2009

35

Erinevate loogikasüsteemide sobitamine

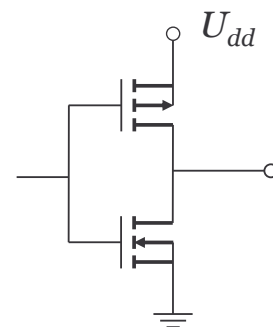
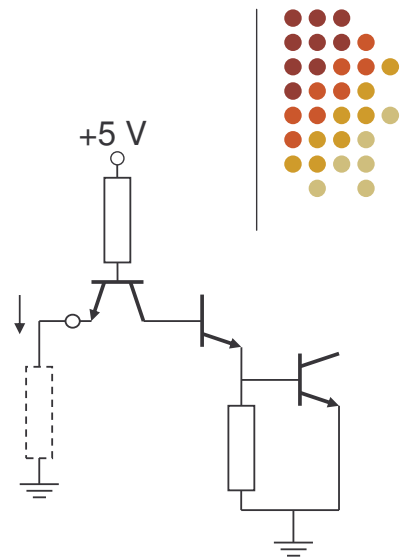


3/23/2009

36

Sisendid

- madalas seisundis TTL sisend on vooluallikaks eelmise astme väljundile
- Kuna TTL väljund sobib väga hästi voolu juhtimiseks, ei ole see probleem, kui koos on TTL lülitused
- kõrges seisundis TTL sisend on voolu tarbija
- KMOP sisend voolu ei tarbi ega ole ka allikas
- KMOP on tundlik staatilisele!!! kasutamata väljundid kas maha või toitesse

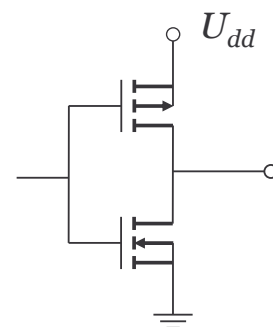
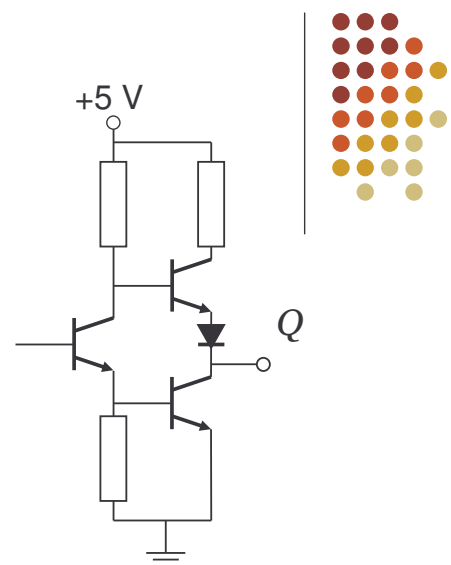


3/23/2009

37

Väljundid

- TTL väljundis on küllastuses transistor madala seisundi ja tavaline transistor või Darlingtoni paar kõrge seisundi korral
 - pingelang mõne diodi lävepinge ulatuses
- KMOP korral on väljund sisselülitatud MOP transistor nii madala kui kõrge seisundi korral
 - pingelang minimaalne



3/23/2009

38



KMOP ühendamine TTL-ga

- KMOP-ga TTL tüürimine pole probleem
- TTL-ga KMOP tüürimisel lävepinge probleem
 - TTL väljund on madalam, kui U_{dd}
 - KMOP sisend ei tohi olla "õhus"
 - vajadusel saab KMOP lävepinget muuta
 - TTL väljundisse võib lisada takisti (avatud kollektoriga TTL)

