

5. Homogeensed struktuurid

Loogikaseadmete koostamiseks kasutatakse peale põhielementide (NING, VÕI, EI) ka **universaalseid loogikalülitusi**. Need on loogilised polüfunktsionaalsed ehk mitmeotstarbelised lülitused, mille abil realiseeritakse suvalisi binaarloogika funktsioone. Universaalseteks loogikalülitusteks on kommutaatorid, programmeeritavad loogilised maatriksid (*PLM – programmable logic matrix* või *PLA – programmable logic array*) ja mälud. Ühetaolise ja korrapärase ehituse tõttu nimetatakse neid ka homogeenseteks pooljuhtstruktuurideks. Üldjuhul nimetatakse homogeenseks polüfunktsionaalsetest elementidest koosnevat ühesuguste korduvate (iteratiivsete) sidemetega struktuuri. Polüfunktsionaalseteks nimetatakse elemente, mis realiseerivad mitmeid loogikafunktsioone. Soovitava funktsiooni valikuks peab polüfunktsionaalset elementi saama häälestada. Häälestamine toimub mitmeti: nii vajalike elementidevaheliste ühenduste lisamisega kui ka olemasolevate ühenduste katkestamisega. Näiteks olgu püsिमälud ja programmeeritavad loogilised maatriksid (*PLM*). Samuti on olemas ümberprogrammeeritavad püsिमälud ja loogilised maatriksid.

Struktuurielementide ühetaolisus on tehnikaseadmete oluline näitaja, see võimaldab lihtsustada seadmete valmistamist, suurendada nende töökindlust ning alandada hinda. Lihtsatest ühetaolistest elementidest valmistatud regulaarsete sidemetega süsteemid lahendavad väga keerulisi ülesandeid. Homogeense struktuuriga pooljuhtlülitusi kasutatakse arvutustehnikas laialt.

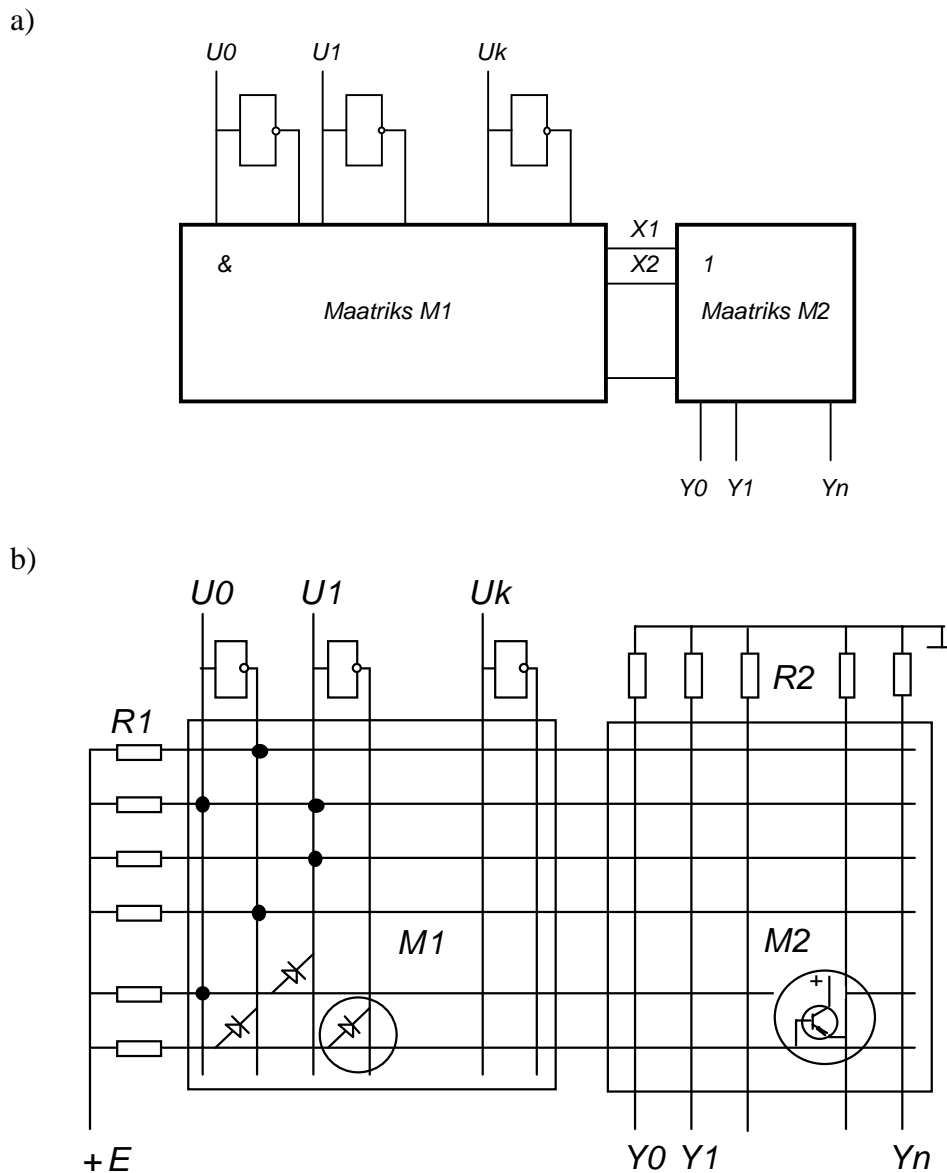
5.1. Loogikamaatriksid

Loogikafunktsioone esitatakse enamasti nn **disjunktiiisel normaalkujul**, s. t funktsioon avaldatakse loogiliste korrutiste loogilise summana, mis ei sisalda sulgusid. Niisuguste loogikafunktsioonide realiseerimiseks kasutatakse **loogilisi maatrikseid**, mille struktuuriskeem on joonisel 1.22, a, põhimõtteskeem joonisel 1.22, b. Antud lülituses jagunevad maatriksid omakorda NING- ja VÕI-maatriksiteks. Mõlemat liiki maatriksid kujutavad endast ristuvate siinide süsteemi, kus üksikjuhtmeid saab ristumiskohal omavahel ühendada või vastupidi olemasoleva ühenduse katkestada. Joonisel 1.22, b on rõht- ja püstjuhtmete ühenduskohad tähistatud punktiga. Tegelik ühendamine toimub aga pooljuhtelementidega, millest sagedamini kasutatakse diode. Seepärast nimetatakse diodidel põhinevaid maatrikseid **diodmaatriksiteks**.

Joonisel 5.1 näidatud maatriks *MI* realiseerib NING-funktsiooni ja selle töö toimub järgmiselt. Sisendsignaalid $u_0 \dots u_k$ saavad maatriksi *MI* püstjuhtmetele. Loogiliste EI-elementide abil leitakse nende signaalide inversioonid. Maatriksi *MI* rõhtjuhtmeid toidetakse takistite kaudu alalispingega $+E$. Kui sisendsignaaliga püstjuhe on diodi kaudu ühenduses rõhtjuhtmega, nagu näidatud joonisel 1.22, b, siis kõrge sisendpotentsiaali ehk loogilise 1 korral jääb diod suletuks ning kõrge potentsiaal säilib ka rõhtjuhtmetes. Kui sisendisse saabub madala potentsiaaliga signaal ehk loogiline 0, siis läbib diodi vool, takistil tekib pingelang ning maatriksi rõhtjuhtme potentsiaal langeb samuti loogilise 0 tasemeni.

Kui ühe rõhtjuhtmega on samaaegselt ühendatud mitu sisendsignaalidega püstjuhet, siis säilib rõhtjuhtmes kõrge, s. o loogilisele 1 vastav potentsiaal vaid juhul, kui kõigis püstjuhtmetes on

samuti kõrge potentsiaal. Vastupidisel juhul, kui kas või ühes neist on madal potentsiaal, langeb rõhtjuhtme potentsiaal samuti 0. Seega realiseerib iga rõhtjuhe loogilist NING-funktsiooni, mille sisendite arv vastab püstjuhtmetega ühendatud diodide arvule. Maatriksi erinevate võimalike NING-funktsioonide arv vastab aga rõhtjuhtmete arvule. Nagu jooniselt näha, saab suhteliselt lihtsa maatriksiga, mil on homogeenne struktuur, asendada suurt hulka diskreetseid loogikaelemente.



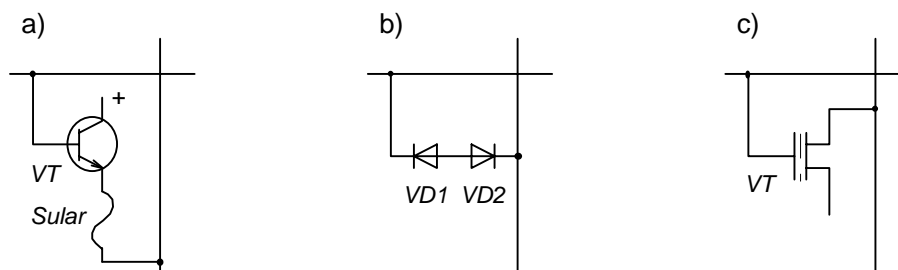
Joonis 5.1. Programmeeritav loogiline maatriks (PLM):
 a) struktuuriskeem, b) põhimõtteskeem

Maatriksi $M1$ väljundsignaalideks on konjunktsioonid, mis on omakorda disjunktiivse ehk VÕI-maatriksi $M2$ sisendsignaaliideks. Maatriksis $M2$ kasutatakse rõht- ja püstjuhtmete ristumiskohtadel ühenduselementidena transistore, mille kollektorid on ühendatud toiteallika plussklemmiga, baasid maatriksi rõhtjuhtmetega ja emitterid püstjuhtmetega. Püstjuhtmed on takistite kaudu ühenduses ka toiteallika 0-klemmiga. Juhul kui maatriksi $M1$ väljundist saabub transistori baasile kõrge potentsiaaliga signaal 1, siis transistor avaneb ja toiteallika

plussklemm ühendatakse läbi transistori maatriksi $M2$ püstjuhtmega. Takistit $R2$ läbib vool, mis tekitab takistil pingelangu. Pingelang takistil ongi maatriksi $M2$ väljundsignaaliks. Järelikult, kui kas või üks maatriksi püstjuhtmetega ühenduses olevatest transistoridest on avatud, tekib väljundis kõrge potentsiaaliga enk loogilisele 1 vastav signaal. See tähendab, et maatriksi $M2$ iga püstjuhe realiseerib loogilist VÕI-funktsiooni, mille maksimaalne võimalike sisendite arv vastab rõhtjuhtmete arvule. Maatriksi $M2$ poolt realiseeritavate erinevate VÕI-funktsioonide arv võrdub aga püstjuhtmete arvuga. Kasutatavate sisendite arv ning funktsioonide sisu valitakse maatriksite häälestamisel, s. o vastavate ühenduste tegemisega diodide ja transistoride ahelates. Seega saab loogiliste maatriksite abil lihtsalt realiseerida suure sisendite arvuga disjunktiivsel normaalkujul esitatud loogilisi funktsioone, kusjuures üleminek ühelt funktsioonide hulgalt teisele on suhteliselt lihtne.

Tehnoloogiliselt saab maatrikseid valmistada mitmeti. Kasutatakse maatrikseid, mille loogikafunktsioonid on ühenduselementide paigutusega fikseeritud juba maatriksi valmistamise käigus. Samuti on olemas maatriksid, kus loogikafunktsioone määravad ühendused teeb maatriksi kasutaja. Niisuguses maatriksis on potentsiaalsed võimalused suvalise loogikafunktsiooni realiseerimiseks, kui muutujate arv ei ületa maatriksi sisendjuhtmete arvu. Kasutamise lihtsustamiseks on maatriksis olemas ka kõik ühenduselemendid. See, kuidas on tehtud vajalikud ühendused, sõltub maatriksi valmistamise tehnoloogiast.

Üksikelementidest koostatud maatriksi ühendusi saab teha näiteks pistikutega kommutatsiooniväljas. Valdav osa loogilisi maatrikseid toodetakse integraallülitustena ning oma ehituselt sarnanevad need pooljuhtpüsimalule. Vajalikud ühendused tehakse maatriksi programmeerimisel, milleks kasutatakse spetsiaalseid arvutitega juhitavaid programmeerijaid. On olemas nii ühekordselt programmeeritavaid kui ka ümberprogrammeeritavaid maatrikseid. Maatriksite ja püsimalude tüüpilised elemendid on näidatud joonisel 1.23, *a, b, c*.



Joonis 5.2. Ümberprogrammeeritavates püsimaludes ja maatriksites kasutatavaid elemente:

- a) sular emitteriahelas, b) elektrilise läbilöögiga lühistatav pn -siire,
- c) laengukandjaga MOS -transistor

Ühenduselemendina võib kasutada transistori (joonis 5.2, a), mille emitteriahelas on sular. Loogilise maatriksi programmeerimisel põletatakse sular läbi ning ühendus katkeb. Allesjäänud ühendused tagavad maatriksi programmikohase töö. Ühenduse läbipõletamisvool on 20...30 mA.

Vajalikke elektrilisi ühendusi saab tekitada ka joonisel 5.2, b näidatud kahe vastulülituse diodiga. Normaalses olukorras selline diodipaar voolu ei juhi. Ühenduse tekitamiseks antakse juhtmele kõrgendatud pinge, mille tulemusena diodi $VD2$ pn -siire lüüakse elektriliselt läbi ning rõht- ja püstjuhtmete vahel tekib diodi $VD1$ kaudu ühendus. Mõlemal

juhul on tegemist ühekordselt programmeeritavate maatriksitega, sest ühenduselementide taastamine pole võimalik.

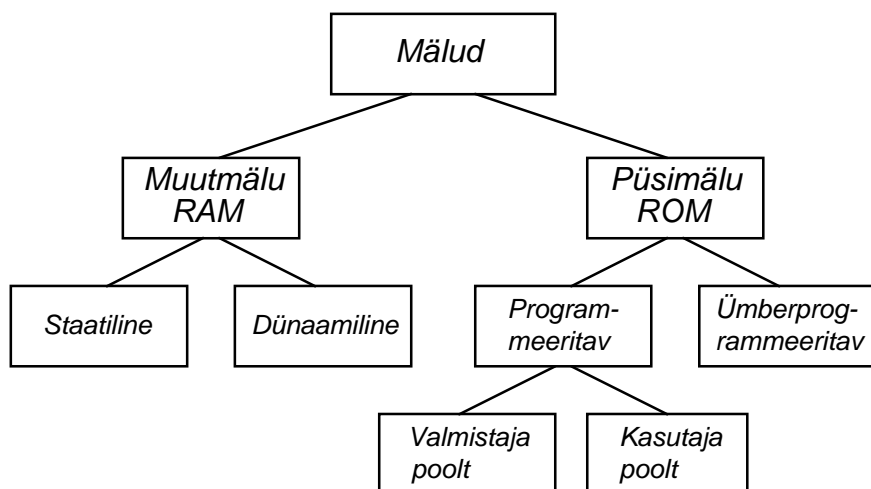
Ümberprogrammeeritavates maatriksites kasutatakse ühenduselemendina ujuvpaisuga MOS-transistore (joonis 5.2, c). Ujuvpaisul elektriline ühendus puudub ning see on ette nähtud laengu säilitamiseks. Transistori pais on ühendatud rõhtjuhtmega, suue püstjuhtmega ning läte toiteallika miinusklemmiga. Lähteolekus läbib paisu ergastamisel transistori vool. Programmeerimisel antakse püstjuhtmele 25...50 V pingepulss, mille tulemusena ujuvpais saab negatiivse laengu. Ujuvpais säilitab laengu ning transistori avamiseks tuleb paisule anda tavalisest märksa kõrgemat pinget. Hariliku juhtpinge korral jääb transistor suletuks ja vool transistori ei läbi. Transistori algolek taastub, kui tema siirdeid kiiritada 30...100 sekundit ultraviolettkiirgusega. Selleks on maatriksi või püsimalu integraallülituse keres ultraviolettkiirgust läbilaskev ava.

Programmeeritavad maatriksid võimaldavad realiseerida nii disjunktiivsel normaalkujul esitatud loogikafunktsioone kui ka keerukamaid näiteks sulgusid sisaldavaid avaldisi. Sel juhul realiseeritakse maatriksiga kõigepealt sulgudes olev funktsioon ning antakse sellele vastav väljundsignaal tagasi maatriksi vabasse sisendisse, kus edasi koos teiste sisendsignaalidega moodustatakse lõplik väljundsignaal. Põhimõtteliselt saab nii realiseerida ka mitmekordsete sisemiste sulgudega loogikafunktsioone.

5.2. Mälud

Mäluks nimetatakse informatsiooni salvestamiseks (kirjutamiseks), säilitamiseks ja lugemiseks ettenähtud seadmeid. Mälu iseloomustab mälu maht Kbitides, Mbitides või Ksõnades, infosõna pikkus bittides või baitides ning mälu töökiirus, s.t mälu poole pöördumise aeg mikrosekundites. Mälusid liigitatakse sõltuvalt tööpõhimõttest ning kasutusviisist. Üks võimalikke mälude liigitusi on joonisel 5.3 [1].

Muutmälu on seade informatsiooni (programmide, lähte- ja vaheandmete ning tulemite) lühiajaliseks salvestamiseks, säilitamiseks, otsinguks ning lugemiseks. Muutmälud jagunevad staatilisteks ja dünaamilisteks muutmäludeks.



Joonis 5.3. Pooljuhtmälude liigitus

Püsimälu kasutatakse programmide ning andmete pikaajaliseks säilitamiseks ja lugemiseks. Püsimälud jagunevad ühekordselt programmeeritavateks ja ümberprogrammeeritavateks püsimäludeks. Ühekordselt programmeeritavaid mälusid liigitatakse sõltuvalt sellest, kas need programmeeritakse tehases mälukiibi valmistaja poolt või programmeerib neid kiibi kasutaja. **Ümberprogrammeeritavaid püsimälusid** saab kasutaja vajaduse korral kustutada ja uuesti programmeerida.

Muut- ja püsimälude töökiirus peab olema võimalikult suur.

Muutmälude (*RAM - random access memory*) põhiliigiks on pooljuhtmälud, mis koosnevad triggeritest või muudest mäluelementidest. Muutmälud on toitepingest sõltuvad ning jagunevad kahte liiki, staatilisteks ja dünaamilisteks.

Staatilises muutmälus kasutatakse iga infobiti salvestamiseks ühte triggerit, mis säilitab infot seni, kuni säilib toitepinge. Kuna staatilises mälus säilib salvestatud informatsioon ka pärast mälust lugemist, püsesid seal toitepinge olemasolu korral kui tahes kaua, siis nimetatakse niisugust mälu staatiliseks.

Lihtsaima staatilise muutmälu struktuur on joonisel 5.4. Mälul on 1024 aadressi ja tema kogumaht on 1024 bitti ehk 1024 pesa. Iga bitt on salvestatud triggerisse ning trigger valitakse rea- ja veerudekoodri abil. Mälu juhtimiseks kasutatakse järgmisi signaale:

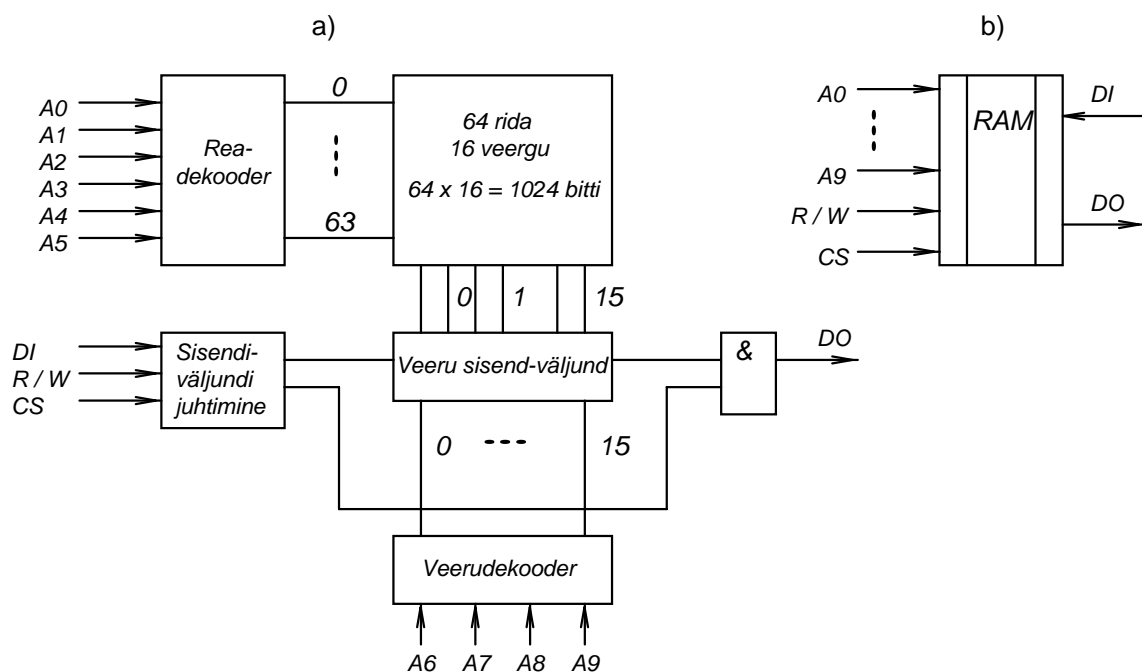
$R/W = 1$, (*read/write*) määrab ära lugemisrežiimi;

$R/W = 0$, määrab ära kirjutusrežiimi;

$CS = 0$, (*chip select*) lubab mälukiibist bitti lugeda (*DO*) või sellesse kirjutada (*DI*);

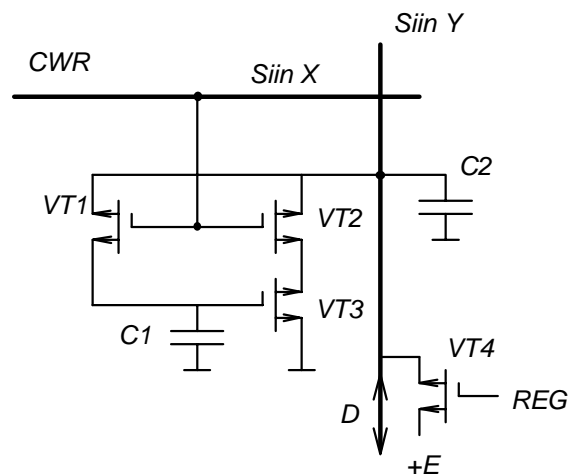
$CS = 1$, mäluelement on süsteemi tööst välja lülitatud ning ei reageeri aadressi $A_9...A_0$ koodile ega signaalile R/W .

Staatilise muutmälu struktuur ja kiibi tähis on joonisel 5.3. Andmesõna pikkuseks on tavaliselt 8, 16, 32 jne bitti. Vastavalt andmesõna pikkusele valitakse ka mäluelementide ühendamisviis.



Joonis 5.4. Staatiline muutmälu: a) struktuuriskeem, b) kiibi tähis

Dünaamilises muutmälus säilib info *MOSFET*-transistori paisu mahtuvuse elektrilaenguna. Tavaliselt säilib see laeng lekkevoolu tõttu väga lühikest aega. Seepärast tuleb info säilitamiseks laengut perioodiliselt näiteks iga 2 ms järel uuendada (regeneereida). Dünaamiline muutmälu on staatilise mälu võrreldes lihtsama ehitusega (ühe biti salvestamiseks läheb vaja umbes kaks korda vähem elemente), suurema toimekiirusega ning tarvitab tööks vähem energiat. Dünaamilise muutmälu elemendi skeem on joonisel 5.5.



Joonis 5.5. Dünaamilise mälu elemendi skeem

Mäluna toimib transistori *VT2* paisuahela mahtuvus *C1*. Info kirjutatakse mällu ja loetakse sealt siini *Y* kaudu (signaal *D*). Enne info lugemist antakse signaal *REG*, mis avab transistori *VT4*, ning mahtuvus *C2* (siini *Y* parasiitmahtuvus) laetakse allikast *+E*. Seejärel antakse siinile *X* kirjutuse/lugemise sünkrosignaali *CWR*, mis avab transistori *VT3*, kuid ei saa avada transistori *VT2*.

Kui mälu element säilitab olekut 1, siis on mahtuvus *C1* laetud ja transistor *VT2* on avatud. Sel juhul tühjeneb mahtuvus *C2* läbi avatud transistoride *VT2*, *VT3* ja signaali *D* 0-nivoo näitab, et mälu säilitati signaali 1 (inversne väljund). Kui mälu element säilitab olekut 0, siis on mahtuvus *C1* tühjenenud, *VT2* suletud ja signaal *CWR* ei põhjusta mahtuvuse *C2* tühjenemist. Signaali *D* kõrge nivoo näitab, et mälu säilitati olekut 0 (inversne väljund).

Dünaamilisi muutmälusi regeneereatakse harilikult regeneereerimissignaali *REG* ja koos sellega toimub mälu kõigi ridade järjestikune adresseerimine. Tavaline lugemine ega kirjutamine pole regeneereerimise ajal võimalik, samuti ei saa regeneereerimist alustada lugemise ega kirjutamise tsükli ajal. Regeneereerimishetke kindlaksmääramine, kõigi rea-aadresside etteandmine, lugemise ja kirjutamise blokeerimine jms operatsioonid teevad dünaamiliste pooljuhtmälude kasutamise võrreldes staatiliste mälu de ga keeruliseks, sest nad nõuavad lisaelemente. Dünaamiliste muutmälude eeliseks on väike hind ja võimsustarve. Neid saab valmistada väga suure integratsiooniastmega, mis võimaldab toota suure mälumahuga kiipe. Seepärast ehitatakse arvutite ja mikroprotsessorsüsteemide suuremad mäluseadmed tavaliselt dünaamilistest mälukiipidest.

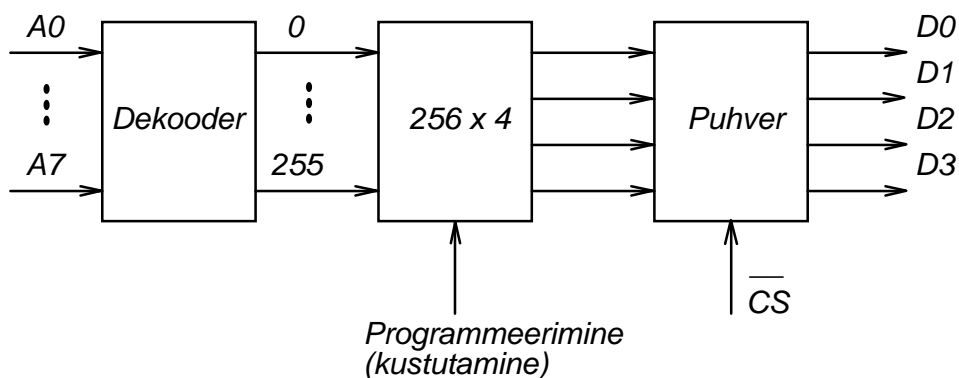
Kõigi muutmälude üheks oluliseks puuduseks on salvestise hävinemine toitepinge väljalülitumisel. Selle puuduse vältimiseks kasutatakse avariitoidet (katkematu toite allikaid) ning muid mäluseadmeid, kus informatsioon säilib teatud aja ka ilma toitepingeta.

Püsिमälu (*ROM - read only memory*) on mõeldud korduvaks informatsiooni lugemiseks. Info on salvestanud püsिमällu kas pooljuhtmälukiibi valmistaja või kasutaja. Info salvestamist püsिमällu nimetatakse püsिमälu programmeerimiseks. Püsिमälude tähtsamad alaliigid on järgmised:

1) programmeeritav püsिमälu (*PROM - programmable read only memory*), 2) ümberprogrammeeritav püsिमälu (*EPROM - erasable programmable read only memory*); 3) elektriliselt kustutatav ümberprogrammeeritav püsिमälu (*EEPROM - electrically erasable programmable read only memory*).

Programmeeritavat püsिमälu programmeeritakse kas tehases integraallülituse valmistamise käigus vastavate tehnoloogiliste maskidega või mikroprotsessorsüsteemi koostaja poolt spetsiaalsete programmaatorite abil. Esimest liiki *PROM* on tavaliselt masstode, sest tehases salvestatakse sinna enamkasutatavad püsимälud nagu standardkoodide teisendustabelid, keerukamate funktsioonide tabelesitused jms. Tarbija salvestab püsिमällu tarbijaprogramme või juhtseadme mikroprogramme.

Ümberprogrammeeritava püsिमälu (joonis 5.6) programmeerib kasutaja programmaatoriga, kuid salvestatud informatsiooni on võimalik hiljem kustutada ning püsिमälu uuesti ehk ümber programmeerida. Mälu kustutatakse kas elektriliselt või ultraviolettkiirguse abil. Püsिमäludes kasutatakse samu elemente kui ümberprogrammeeritavates loogilistes maatriksites. Vaatamata sellele et *EPROM*-i sisu saab hiljem muuta, on püsिमälu ümberprogrammeerimine tülikas ning seepärast tuleb püsिमäluprogramme hoolikalt kontrollida ja siluda ning alles siis salvestada.



Joonis 5.6. Ümberprogrammeeritava püsिमälu struktuuriskeem