

12. PERIFERNA INTEGRIRANA VEZJA

Videli smo, da vsebujejo mikroračunalniki poleg CPU-ja oz. mikroprocesorja še RAM pomnilnik (včasih tudi ROM oz. EPROM), binarne vhodno/izhodne enote, komunikacijsko enoto, nekateri celo A/D pretvornike ali pomožne procesne enote (npr. TPU pri MC68332 ali matematični koprocessor). Pri reševanju določenega problema moramo pogosto vključiti dodatna digitalna in analogna vezja. V tem poglavju si bomo skozi praktične primere ogledali nekaj integriranih vezij, ki jih uporabljamo za regulacijo procesov v realnem času.

12.1 Pomnilniki

O pomnilnikih smo že govorili v 2. poglavju. Tukaj bomo pokazali nekaj standardnih čipov ter na kratko opisali t.i. flash pomnilnike.

12.1.1 EPROM

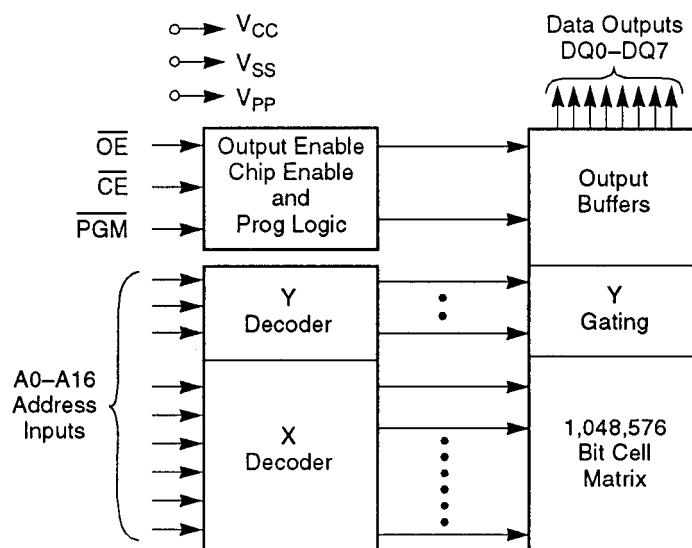
Na sliki 12-1 je prikazana blokovna shema 128 Kbytnega EPROM pomnilnika. Na čipu se poleg podatkovnih nožic (DQ7 - DQ0) nahaja še 17 naslovnih nožic (A16-A0). Čip napajamo z napetostjo $V_{CC} = 5\text{ V}$, za programiranje je zadolžena napetost na nožici V_{PP} , masa pa je označena z V_{SS} (glej tudi sliko 12.2) Poleg tega so na čipu tudi trije krmilni signali¹:

- CE (E) - izbira čipa (angl. chip enable) poznamo že kot CS vhod.
- OE (G) - sprostitelj izhodov (angl. output enable) omogoča čitanje podatkov iz EPROMA. Povežemo ga z nožico R/W računalnika. Ob neaktivnem OE je podatkovno vodilo v stanju visoke impedance.
- PGM (P) - omogočanje programiranja (angl. program enable).

Opis osnovnih operacij:

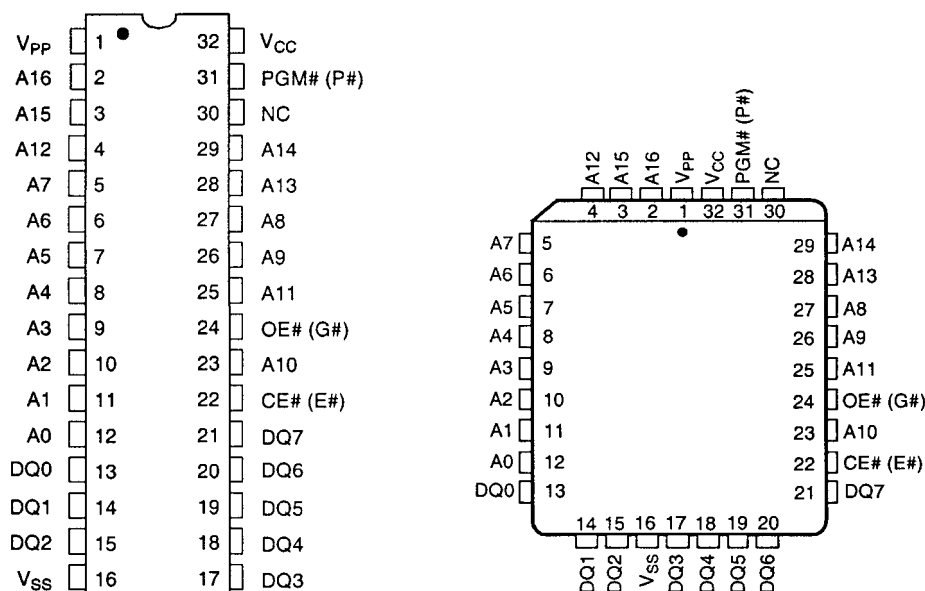
1. Brisanje vsebine EPROM-a dosežemo z ultravijoličasto svetlobo (valovna dolžina 253,7 nm, osvetljenost $12000\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$ v trajanju 15-20 minut - velja za Am27x010). Po brisanju se vsi biti v EPROM-u postavijo na "1".
2. Za programiranje (vpisovanje) nove vsebine je potrebno pripeljati 12,75 V na nožico V_{PP} , aktivirati CE in PGM ter deaktivirati OE. Novi podatki prihajajo po podatkovnem vodilu. Po programiranju je možno naloženo vsebino preveriti, kar nam omogoča poseben EPROM programator.
3. Normalno obratovanje: čip je nameščen v ciljnem računalniku in deluje kot običajno bralno pomnilniško vezje.

¹ V oklepajih so zapisane oznake po JEDEC nomenklaturi.



Slika 12.1: Blokovna shema EPROM-a Am27x010 (1 Mbit - 128 K x 8 bit) s dostopnim časom 50 ns

Slika 12.2 kaže obliki ohišij EPROM-a Am27x010. **DIP** (Dual In-Line Package) je trenutno najpogostejša izvedba ohišij. Nožice (maksimalno število 48) so postavljene navpično na površino čipa. Razmik med nožicami je 0,1 inča (2,54 mm). **PLCC** (Plastic Leaded Chip Carrier) ohišje je bistveno primernejše za čipe z veliko nožicami, saj so le-te rasporejene ob vseh straneh čipa. Nožice so zavahane navznoter, čip se pa namesti na posebno podnožje.



Slika 12.2: DIP in PLCC ohišja z oznakami nožic

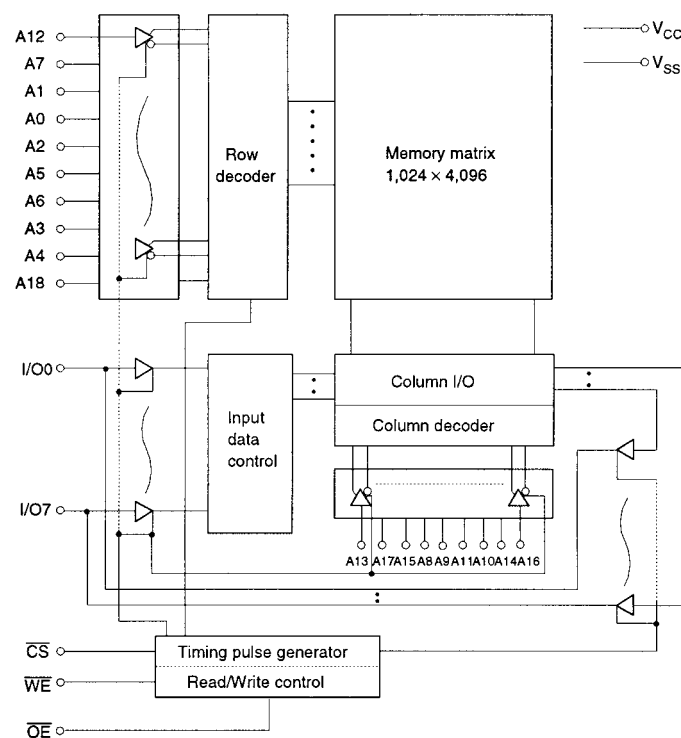
12.1.2 RAM

Slika 12.3 kaže primer RAM-a z veliko kapaciteto. Večino nožic smo že spoznali pri EPROM pomnilniku. Razlike:

- nožice podatkovnega vodila so označene z I/O (input/output), saj je pretok podatkov dvosmeren,
- WE omogoča branje RAM-a (povežemo ga z R/W izhodom mikroračunalnika).

Z različnimi kombinacijami krmilnih nožic izberemo načine obratovanja:

<u>WE</u>	<u>CS</u>	<u>OE</u>	način	podatkovno vodilo
x	1	x	ni izbran	visoka impedanca
1	0	1	izhod neaktiven	visoka impedanca
1	0	0	branje	izhodni podatki
0	0	1	vpisovanje	vhodni podatki
0	0	0	vpisovanje	vhodni podatki



Slika 12.3: RAM pomnilnik Hitachi HM628512AI (512 Kbyte) s časom dostopa 70 ns

12.1.3 Flash EPROM pomnilniki

Flash EPROM je poseben primer *permanentnih pomnilnikov* (angl. non-volatile memory). V bistvu gre za EEPROM, ki ga enostavno brišemo in reprogramiramo kar s samim mikroračunalnikom.

Flash pomnilniki (npr. Texas Instruments TMS28F400) se vse pogosteje pojavljajo v računalniških, komunikacijskih in industrijskih aplikacijah. Ponavadi vsebujejo BIOS (angl. Basic Input/Output System: najosnovnejši vmesnik k perifriji in nadzor samozagona - angl. bootstrap), pri perifernih enotah, kot so npr. tiskalniki, pa so v flash-u shranjeni tipografija (fonti) in formati. Ta tip pomnilnika se uveljavlja zlasti pri prenosnih elektronskih napravah, kot so mobilni telefoni, digitalne kamere, kjer jih uporabljamo za shranjevanje podatkov, pošiljanje in sprejemanje faksov ter za shranjevanje digitalnih avdio in video zapisov. Značilnosti teh aplikacij so zahteve po čim večji gostoti informacij na pomnilnik. Zaradi baterijskega napajanja so nekateri tipi pomnilnika grajeni za specifične napajalne napetosti in majhno porabo.

Na trgu trenutno najdemo flash pomnilnike kapacitete 2 Mbit, 4 Mbit in 8 Mbit z dostopnimi časi od 100 ns do 60 ns, kar je le nekoliko več od dostopnega časa RAM pomnilnikov. Tipične napajalne napetosti (V_{PP} in V_{CC}) so 3,3 V (za baterijsko napajane naprave), 5 V in 12 V.

Tukaj bomo na kratko opisali flash s t.i. "boot block arhitekture". Pomnilnik lahko obratuje v treh režimih: ERASE (brisanje²), WRITE (vpisovanje) ali READ (branje).

V flash-u ni mogoče brisati posameznih pomnilniških lokacij. Boot block arhitektura omogoča brisanje samo posameznih različno velikih blokov pomnilnika (glej tudi sliko 12.4). Možnost ločenega brisanja podaljšuje življenjsko dobo pomnilnika. Pri operacijah pisanja in branja lahko naslavljamo posamezne lokacije. Poseben "boot" blok pomnilnika je namenjen za shranjevanje programa, ki je potreben za osnovno začetno delovanje naprave z vgrajenim pomnilnikom. Zaradi tega je njegovo nenamerno brisanje onemogočeno s hardversko zaščito in ga lahko opravimo le s povišano napetostjo. "Boot" blok je običajno na začetku ali na koncu naslovljivega področja flash-a, npr. za RISC procesorje [27].

Tukaj si bomo ogledali flash EPROM MT28F400B3xx-xxB firme Micron. Nekatere osnovne značilnosti:

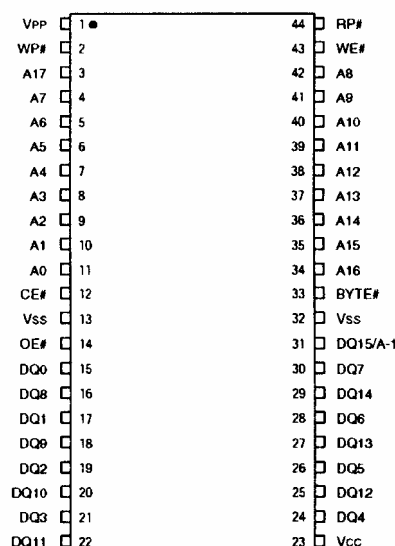
- Kbyte/8 Kword boot blok,
- dva 8 Kbyte/4 Kword parametrska bloka,
- dva bloka glavnega pomnilnika,
- čas dostopa 60 ns/80 ns,
- možnost 100 000 brisanj,
- možnost organizacije bytnega ali besednega formata.

Sliki 12.4 in 12.5 kažeta pomnilniško mapo in razporeditev nožic v SOP izvedbi.

² Brisanje pomeni postavljanje dela ali celotnega pomnilnika v vnaprej določeno stanje.

besedni naslovi (HEX)	
1fff	128 Kbyte glavni blok
10000	
0fff	96 Kbyte glavni blok
04000	
03fff	8 Kbyte parametrski blok
03000	
02fff	8 Kbyte parametrski blok
02000	
01fff	16 Kbyte boot blok
00000	

Slika 12.4: Pomnilniška mapa MT28F400B3xx-xxB



Slika 12.5: SOP izvedba čipa

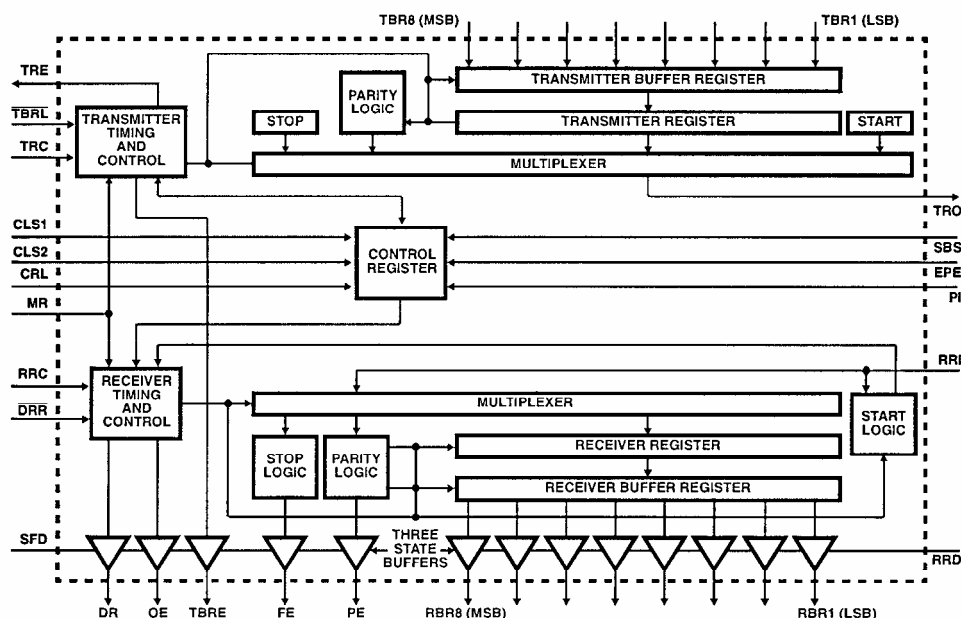
Poleg že znanih nožic vsebuje ta pomnilnik še vhoda RP (Reset/Power Down), WP (Write Protect) ter VPP (napajalna napetost za pisanje in brisanje). Posamezne operacije izbiramo z ustrezno nastavitvijo krmilnih in napajalnih nožic ter s setiranjem ustreznih bitov na podatkovnem vodilu.

Veliko proizvajalcev mikroprocesorskih komponent ponuja mikrokrmilnike, ki na čipu poleg perifernih enot vsebujejo tudi flash pomnilnik.

12.2 Komunikacijski vmesniki in gonilniki

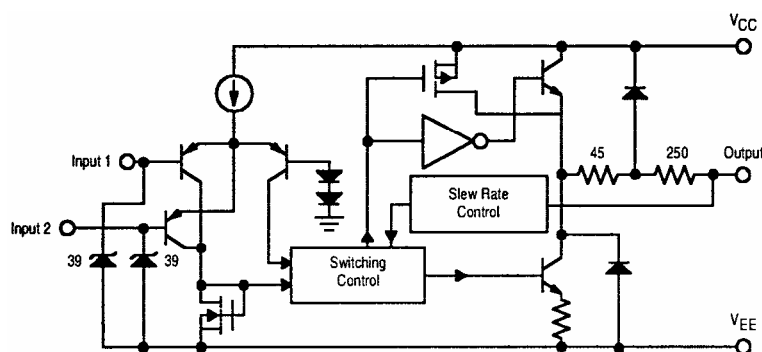
O funkciji asinhronskega zaporednega vmesnika (UART), ki je del mikrokrmilnikov, smo govorili že v prejšnjih poglavjih. Na sliki 12.6 je prikazan primer UART-a Intersil CDP6402 s hitrostjo prenosa do 200 Kbps pri 5 V. Izhodne podatke iz mikroračunalnika pripeljemo prek

8-bitnega vodila na vhode TBR8 - TBR1 (serijski izhod TRO), vhodne serijske podatke v mikroračunalnik pa dobimo na nožicah podatkovnega vodila RBR8 - RBR1 (serijski vhod RRI). Parametre prenosa (število podatkovnih bitov, tip in število paritetnih bitov ter število STOP bitov) določamo s postavitvijo bitov CLS2, CLS1, PI, EPE in SBS v predhodno določena stanja. Parity error bit (PE) v stanju 1 označuje napako pri prenosu.



Slika 12.6: UART CDP6402

Izhodni signali iz mikroprocesorja imajo TTL nivoje (0 V - 5 V, pozitivna logika). Po drugi strani smo pri EIA-232 standardu govorili o drugačnih napetostnih nivojih (v tem primeru ± 5 V do ± 15 V, negativna logika). Za usklajevanje teh dveh različnih tipov napetostnih območij potrebujemo posebna vezja, kot je linijski gonilnik Motorola MC14C88B (slika 12.7). V tem primeru lahko pripeljemo štiri signale TTL nivoja (INPUT), ki jih vezje prilagodi nivojem standarda EIA-232 (OUTPUT). Na MC14C88B lahko pripeljemo tudi signale CMOS nivoja, temu ustrezno pa moramo prilagoditi napajanja na nožicah V_{EE} in V_{CC} .



Slika 12.7: Linijski gonilnik MC14C88B

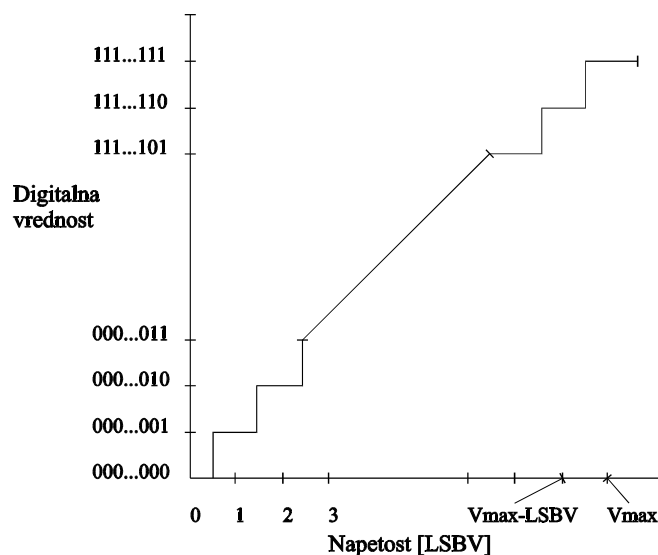
V primeru zajemanja signalov v obratni smeri potrebujemo gonilnik MC14C89B ali podobno vezje.

12.3 Digitalno/analogni in analogno/digitalni pretvorniki

Digitalno/analogni (D/A) in analogno/digitalni (A/D) pretvorniki so ene najbolj pogostih vhodno/izhodnih enot procesnih mikroračunalnikov. Njihova naloga je prilagajanje digitalne informacije v mikroračunalniku zunanji analogni napetosti ali toku ali ibratno. Pri izbiri ustreznega pretvornika izhajamo iz naslednjih kriterijev:

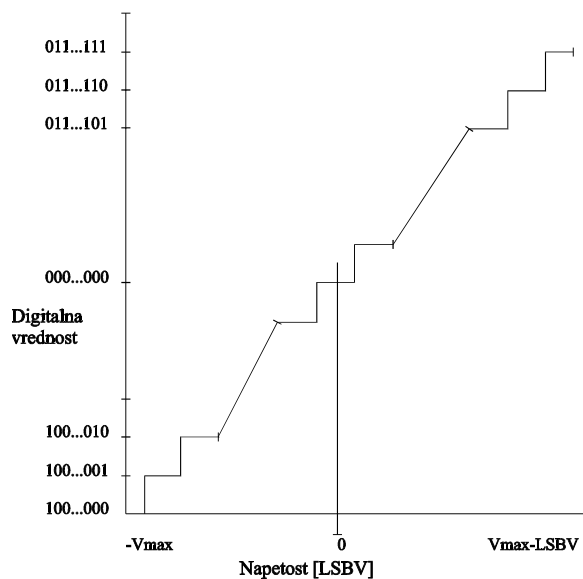
- **Ločljivost (digitalno območje):** pri sistemih, ki ne zahtevajo velike natančnosti prikaza analogne vrednosti, običajno izberemo 8-bitne pretvornike (ločljivost 1/256), pri zahtevnejših pa vsaj 10- (ločljivost 1/1024) ali 12-bitne pretvornike (ločljivost 1/4096). Večje ločljivosti pri hitrih regulacijskih sistemih navadno ne pridejo v poštev zaradi neskladja z ostalimi kriteriji.
- **Hitrost pretvorbe:** ta je pri D/A pretvornikih nekaj μ s, pri A/D pretvornikih pa nekoliko večja.
- **Število kanalov na čipu:** proizvajalci ponujajo čipe z enim, dvema ali štirimi analognimi kanali (izjemoma tudi več).
- **Cena** komponent narašča v odvisnosti od zgoraj opisanih lastnosti in je za kvalitetne pretvornike lahko celo višja od cen mikroprocesorjev. Zato se odločamo za kompromis med ceno in lastnostmi.
- **Analogno območje** je odvisno od zahtev procesa: pri analognih vhidih od izhodne napetosti merilnikov, pri izhodih od ojačevalnikov. Običajna območja so ± 10 V, ± 5 V, (*bipolarni pretvorniki*) oz. 0 V - 2,5 V, 0 V - 4,096 V, 0 V - 5 V (t.i. *unipolarni pretvorniki*). Večina novjših pretvornikov omogoča spremembo notranje reference ali priključitev zunanje referenčne napetosti. S tem dosežemo fleksibilno določanje limitnih vrednosti.
- **Tip prenosa digitalnih podatkov** znotraj mikroračunalnika: **serijski prenos** zahteva manj povezav, zato pa so hitrosti prenosa manjše kot pri pretvornikih s **paralelnim prenosom**, **ti pa imajo** bistveno večje število povezav. Serijski prenos postaja vse zanimivejši zaradi povečanja hitrosti prenosa in enostavnosti vgradnje v že obstoječi mikroračunalnik (glej pogl. 6.2.1).

Unipolarnost ali bipolarnost (sliki 12.8 in 12.9) je zelo pomembna pri tolmačenju digitalnega ekvivalenta analogne vrednosti ter njegovem prilagajanju logiki dvojiškega komplementa. Na slikah je V_{max} maksimalna vrednost, LSBV pa ločljivost napetosti oz. napetost, ki ustreza enemu bitu. Za prvi primer velja $LSBV = 5 \text{ V} / 4096 = 1,22 \text{ mV}$ pri $V_{ref} = 5 \text{ V}$ in 12-bitnem pretvorniku.



Slika 12.8: Unipolarna karakteristika

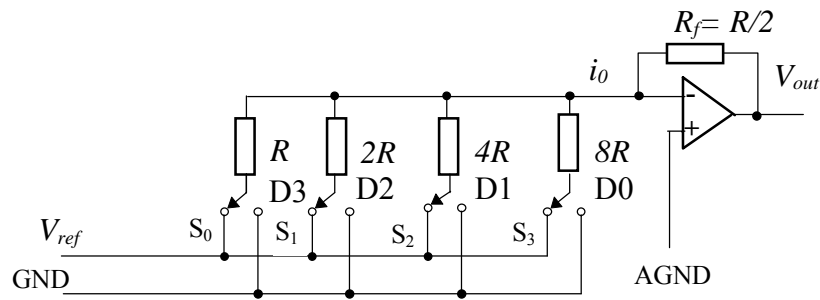
V drugem primeru sta z $+V_{\max}$ in $-V_{\max}$ označeni maksimalni vrednosti. Pri $V_{\text{ref}} = 5 \text{ V}$ in 12-bitnem pretvorniku velja $\text{LSBV} = 2 \cdot 5 \text{ V} / 4096 = 2,44 \text{ mV}$. Ponovno lahko opazimo nesimetrijo med pozitivno in negativno napetostjo, ki jo poznamo že iz obravnave dvojiškega komplementa.



Slika 12.9: Bipolarna karakteristika

12.3.1 Digitalno/analogni pretvorniki

Princip delovanja D/A pretvornika bomo zaradi enostavnosti prikazali na primeru 4-bitnega pretvornika (slika 12.10).



Slika 12.10: Principialna zgradba 4-bitnega D/A pretvornika

Pretvornik je sestavljen iz paralelno vezanih uporov z različnimi težami (vsak naslednji je dvakrat večji od predhodnega) in operacijskega ojačevalnika. Podatkovni biti na digitalni strani (D3-D0) prožijo stikala, ki vežejo ustrezne upore na neko referenčno napetost ali maso (odvisno od stanja 1 ali 0). Skupni tok pretvornika je

$$i_0 = \frac{V_{ref}}{R} D3 + \frac{V_{ref}}{2R} D2 + \frac{V_{ref}}{4R} D1 + \frac{V_{ref}}{8R} D0 =$$

$$= \frac{2V_{ref}}{R} \left(\frac{D3}{2^1} + \frac{D2}{2^2} + \frac{D1}{2^3} + \frac{D0}{2^4} \right) = \frac{2V_{ref}}{R} D,$$

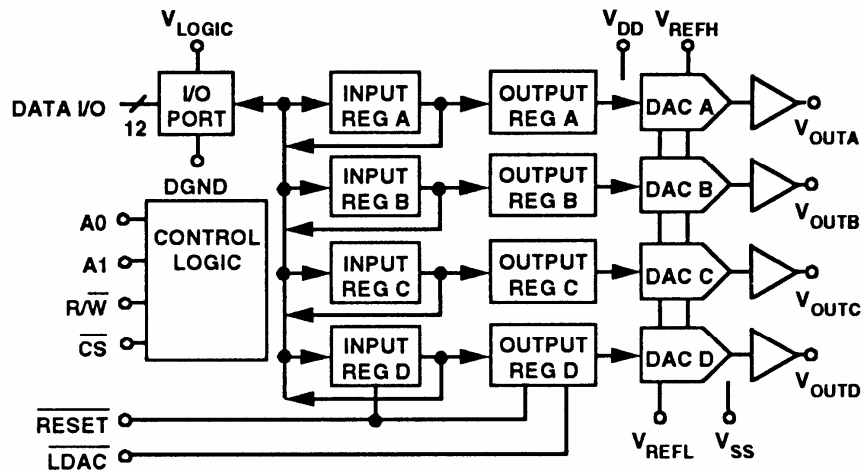
kjer je z D označen izraz

$$D = \frac{D3}{2^1} + \frac{D2}{2^2} + \frac{D1}{2^3} + \frac{D0}{2^4}, Dn = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}.$$

Izhodna napetost z ozirom na analogno maso (AGND) je

$$v_{out} = -i_0 R_f = -V_{ref} D.$$

Konkretna serijska D/A in A/D pretvornika smo si ogledali v poglavju 6.2.1, primer paralelnega D/A pretvornika pa kaže slika 12.11. DAC8412/DAC8413 firme Analog Devices je 12-bitni D/A pretvornik s štirimi izhodi. Spodnjo in zgornjo mejo referenčne napetosti določata nožici V_{REFL} in V_{REFH} . Za izbiro izhoda uporabljamo naslovna vhoda A0 in A1 ($2^2 = 4$), izbiro čipa pa opravimo z vhodom CS. Poleg povezave s podatkovnim vodilom (DATA I/O) mora procesor poskrbeti za signal za pisanje/branje (R/W). Podatki iz vmesnih vhodnih registrov se na izhode prenesejo ob aktivnem signalu LDAC.



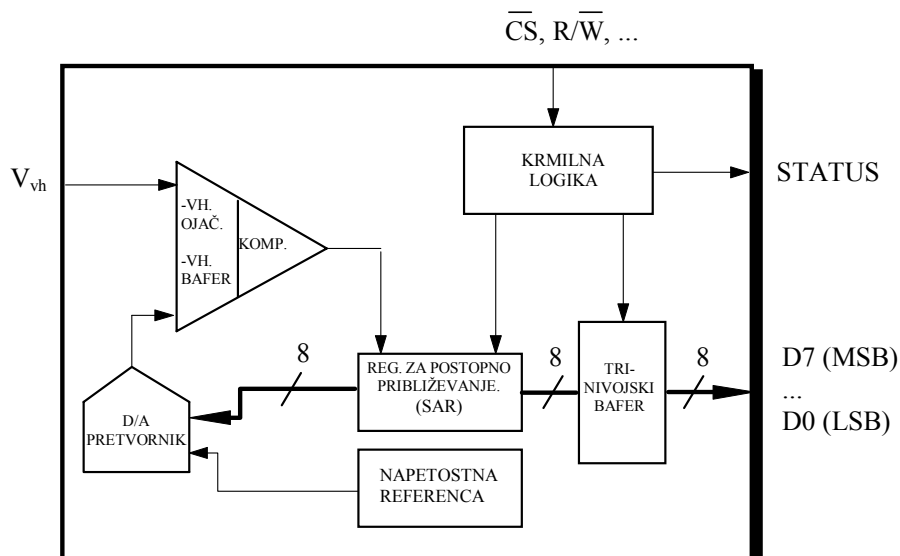
Slika 12.11: Blokovna shema D/A pretvornika DAC8412/8413 firme Analog Devices

Nekatere značilnosti DAC8412/8413:

- napetostno območje od $[0, +5]$ do $\pm 15V$,
- unipolarno ali bipolarno obratovanje,
- štiri izhodi (naslavljamo jih z A0 in A1),
- možnost branja stanja registrov,
- čas pretvorbe 6 μs .

12.3.2 Digitalno/analogni pretvorniki

Tukaj si bomo ogledali le primer A/D pretvornika, ki uporablja metodo postopnega približevanja (slika 12.12).

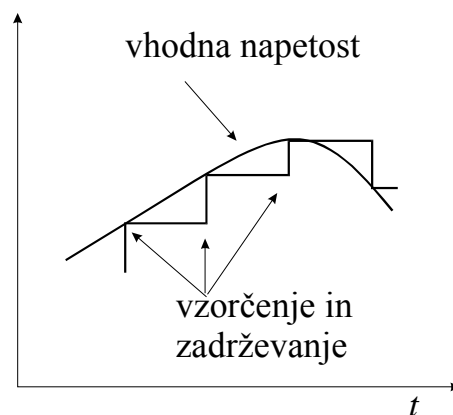


Slika 12.12: Blokovna shema 8-bitnega A/D pretvornika

Vhodno analogno napetost primerjamo z napetostjo iz internega D/A pretvornika. V odvisnosti od predznaka razlike se v posebnem registru (SAR - angl. Successive Approximation Register) postavi digitalna vrednost po metodi postopnega približevanja. Le-to peljemo na D/A pretvornik, s čimer je zanka zaključena. Vsebina SAR-a se bo spreminjala, dokler obe napetosti na vhodu primerjalnika ne bosta enaki. Takrat je vrednost v SAR-u digitalni ekvivalent analogne napetosti.

Trajanje postopka postopnega približevanja je odvisno od ločljivosti pretvornika, načeloma se pri pretvornikih srednjega razreda giblje okrog nekaj μs .

Seveda se med postopkom iskanja digitalnega ekvivalenta vhodna napetost ne sme spreminjati (slika 12.13). Za to poskrbi vzorčevalno-zadrževalno vezje (S&H - angl. sample and hold).



Slika 12.13: Vzorčenje in zadrževanje vhodne napetosti

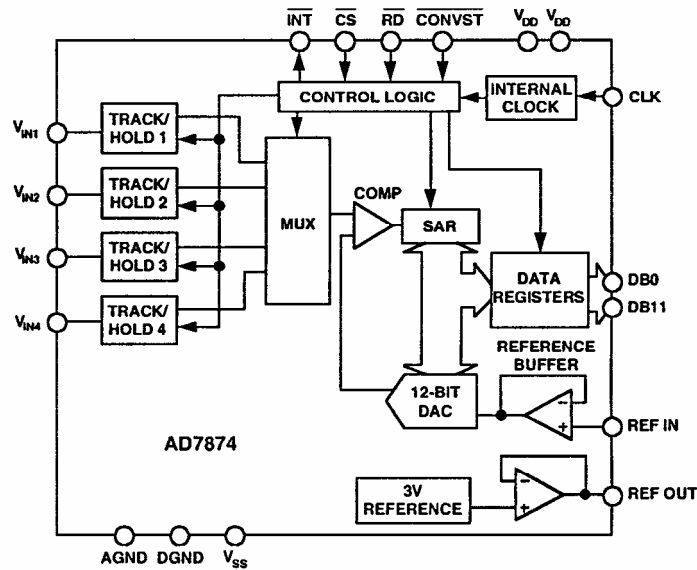
Slika 12.14 kaže primer 12-bitnega A/D pretvornika Analog Devices AD7874. Njegove značilnosti so:

- vhodno napetostno območje $\pm 10\text{ V}$,
- hkratno vzorčenje in zadrževanje vrednosti vseh kanalov ($2\text{ }\mu\text{s}$),
- čas pretvorbe je $8\text{ }\mu\text{s}$ po kanalu.

Opis nekaterih nožic:

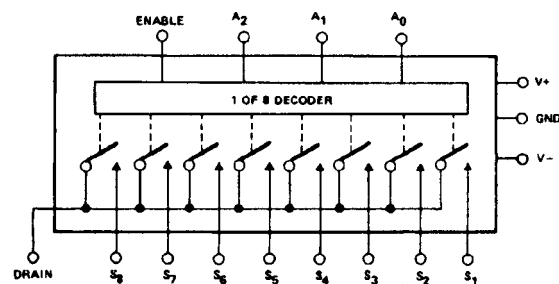
- CONVST (angl. conversion start) - vzorčenje in zadrževanje napetosti ter začetek pretvorbe,
- RD - branje digitalnega ekvivalenta,
- INT - inidikacija prvega branja.

Omenimo tukaj še posebnost AD7874. Čeprav ima pretvornik štiri vhodne kanale, na njem ne najdemo nožic za njihovo izbiro, kot so to na primer A0 in A1 pri DAC8412 (slika 12.11). Pri AD7874 se namreč ob vsakem branju (signal RD aktiven) naslovi naslednji vhodni kanal: V_{IN1} , V_{IN2} , V_{IN3} , V_{IN4} , V_{IN1} , ...



Slika 12.14: A/D pretvornik AD7874

V primerih, ko obstaja potreba po zajemanju več analognih signalov kot je na voljo A/D pretvornikov, si lahko pomagamo z analognimi multiplekserji, kot je npr. MUX-08 firme Analog Devices (slika 12.15).



Slika 12.15: Analogni multiplekser MUX-08

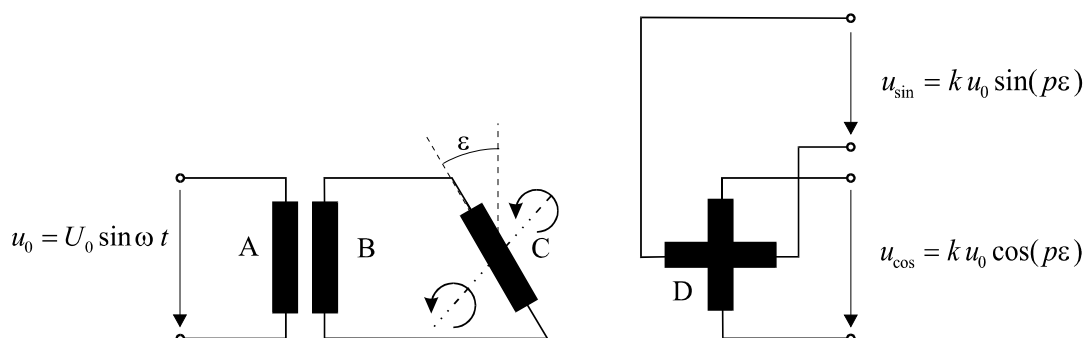
Multiplekser poveže enega izmed vhodnih kanalov $S_8 - S_1$ z nožico DRAIN ob aktivnem vходу ENABLE. Za izbiro kanala so zadolžene nožice $A_2 - A_0$.

12.4 Integrirana vezja za ugotavljanje kota zasuka in kotne hitrosti

V rotacijskih sistemih, ki jih krmili ali regulira mikroračunalnik, se največkrat pojavlja potreba po merjenju kota zasuka (pozicije) ali njegovega odvoda - kotne hitrosti. Večinoma gre za merilne elemente, ki so sestavljeni iz fiksnega in vrtečega se dela. Prvi je mehansko povezan s statorjem motorja, drugi pa je pritrjen na rotor motorja. Zaradi majhnih dimenzij in mase (majhne vztrajnosti) taki merilniki ne vpivajo na mehanske lastnosti merjenca. Tukaj bomo prikazali dva tipa rotacijskih merilnikov ter posebna integrirana vezja za povezavo med merilnikom in mikroračunalnikom.

12.4.1 Resolverski digitalni pretvornik

Resolverje uporabljamo za natančno meritev kota rotorja. Eno od inačic kaže slika 12.16 [2]. V bistvu gre za miniaturni generator z enim navitjem na rotorju (C) ter dvema za 90° premaknjenima sekundarnima navitjima na statorju (D)³.



Slika 12.16: Principialna zgradba resolverja (p je število polovih parov resolverja)

Primarno navitje napajamo z referenčno sinusno napetostjo visoke frekvence (npr. 20 kHz):

$$u_0 = U_0 \sin \omega t.$$

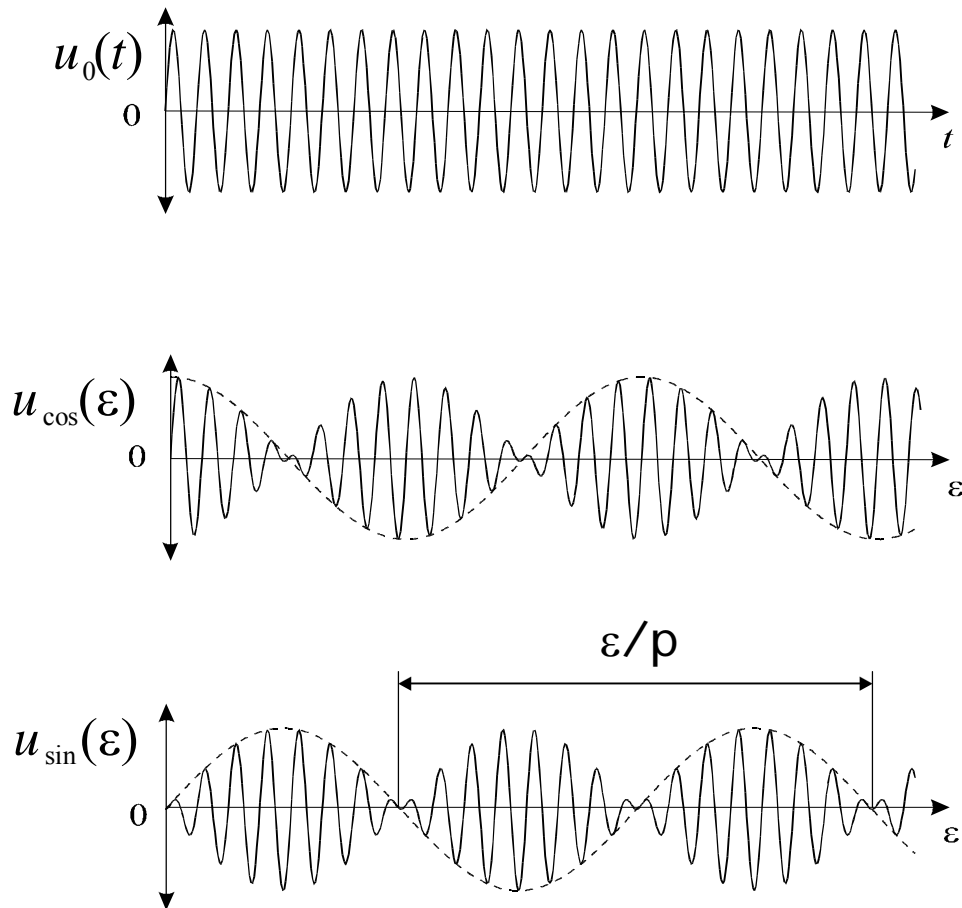
V statorskih navitjih se inducirata napetosti, ki sta odvisni od kota zasuka ε , kar je razvidno tudi s slike 12.17 (p je število polovih parov resolverja):

$$\begin{aligned} u_{\sin} &= k u_0 \sin(p\varepsilon) = k U_0 \sin(\omega t) \sin(p\varepsilon) \\ u_{\cos} &= k u_0 \cos(p\varepsilon) = k U_0 \sin(\omega t) \cos(p\varepsilon). \end{aligned}$$

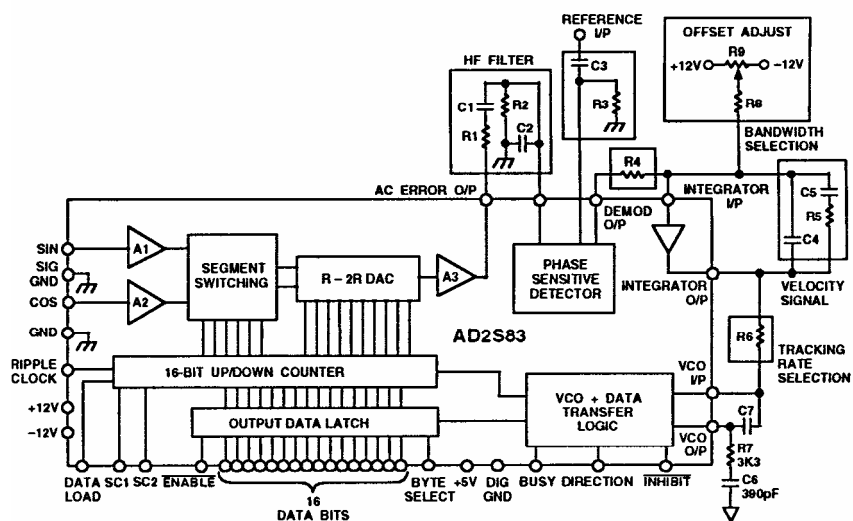
Pri merjenju kota ε je treba ugotoviti trenutni amplitudi moduliranih signalov (ovojnici na sliki 12.17), ki sta sinusna in kosinusna funkcija kota, nato pa dejanski kot. Za reševanje te zahtevne naloge lahko uporabimo posebna integrirana vezja, kot je AD2S83 firme Analog Devices (slika 12.18). Na ta način se izognemo dodatni aparaturi opremi ter prihranimo dragoceni mikroprocesorski čas.

Vezje potrebuje trojno napajanje (+12 V, -12 V, +5 V). Frekvenca referenčnega signala je največ 20 kHz, njegova medtemenska vrednost 8 V (od pozitivne do negativne amplitude), tipična efektivna vrednost moduliranih signalov pa je 2 V.

³ Resolverji in inkrementalni dajalniki vedno generirajo signala premaknjena za 90° . Dva signala sta potrebna za ugotavljanje smeri vrtenja, kar je razvidno iz zaporedja generiranih signalov.



Slika 12.17: Oblike referenčnega in dveh izhodnih signalov (sinusnega in kosinusnega) iz resolverja ob spreminjanju kota zasuka



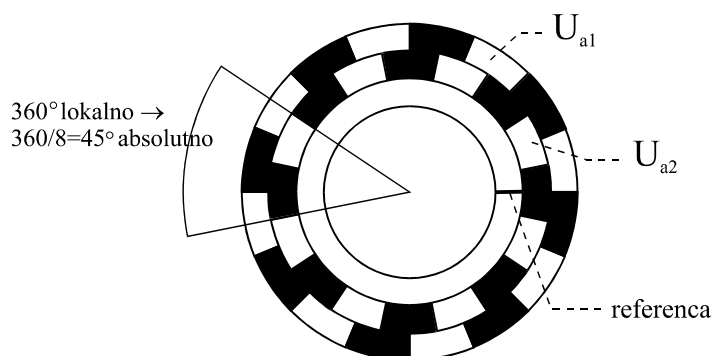
Slika 12.18: Blokovna shema resolverski digitalnega pretvornika AD2S83

Vezje AD2S83 vključuje tudi A/D pretvornik in števec in skrbi za ponazoritev kota v digitalni obliki. Na ta način je možna neposredna povezava z mikroprocesorskim sistemom. S pomočjo dveh binarnih vhodov (SC1 in SC2) lahko izberemo ločljivost 10, 12, 14 ali 16 bitov, kar je odvisno od dinamike posameznega merjenca⁴. Stanje binarnega izhoda DIR (angl. direction - smer) je odvisno od smeri vrtenja.

Integrirano vezje vsebuje tudi signal, ki je proporcionalen kotni hitrosti (izhod INTEGRATOR O/P).

12.4.2 Vezja za zajemanje signalov iz inkrementalnega dajalnika

Inkrementalni dajalnik je najpogostejši merilni člen za zajemanje kota zasuka motorjev [2]. Osnovni deli dajalnika so delno zasenčeni stekleni disk znotraj kolobarjev ter izvora in detektorja svetlobe (slika 12.19). Svetlobno občutljiva senzorja zaznavata prehod svetlobe skozi nezatemnjena področja. Rezultat sta dva za 90° premaknjena vlaka pulzov (slika 12.20). Tretji signal je kratkotrajni pulz, ki se pojavi enkrat na polni obrat. Tudi tukaj je zaporedje pulzov odvisno od smeri vrtenja.

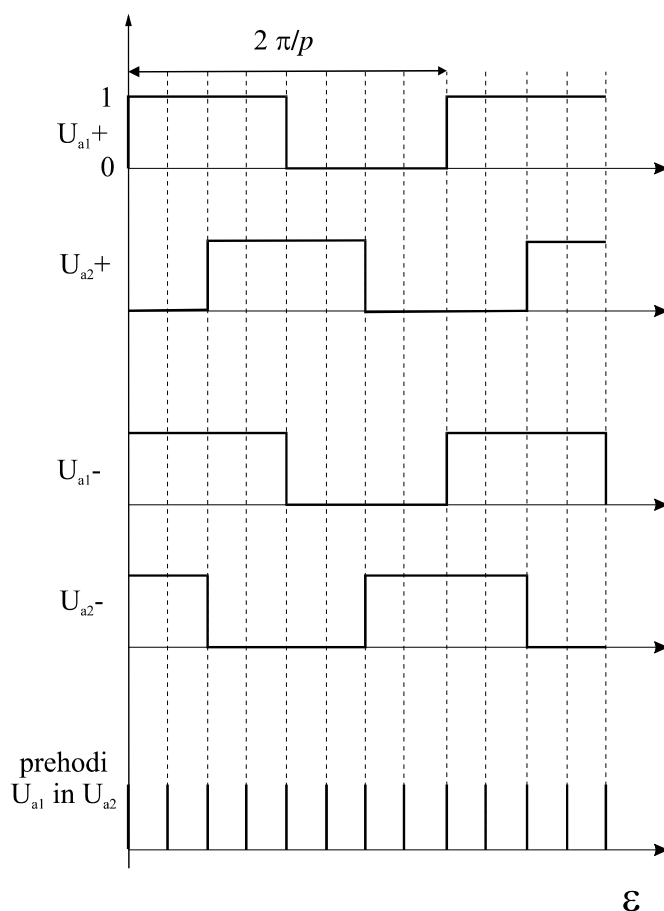


Slika 12.19: Nameščenost zasenčenih polj na stekleni plošči inkrementalnega dajalnika

Trenutni kot zasuka ugotavljamo s prištevanjem ali odštevanjem pulzov od nekega referenčnega kota (odvisno od smeri vrtenja). Tak števec mora zadovoljiti naslednje zahteve:

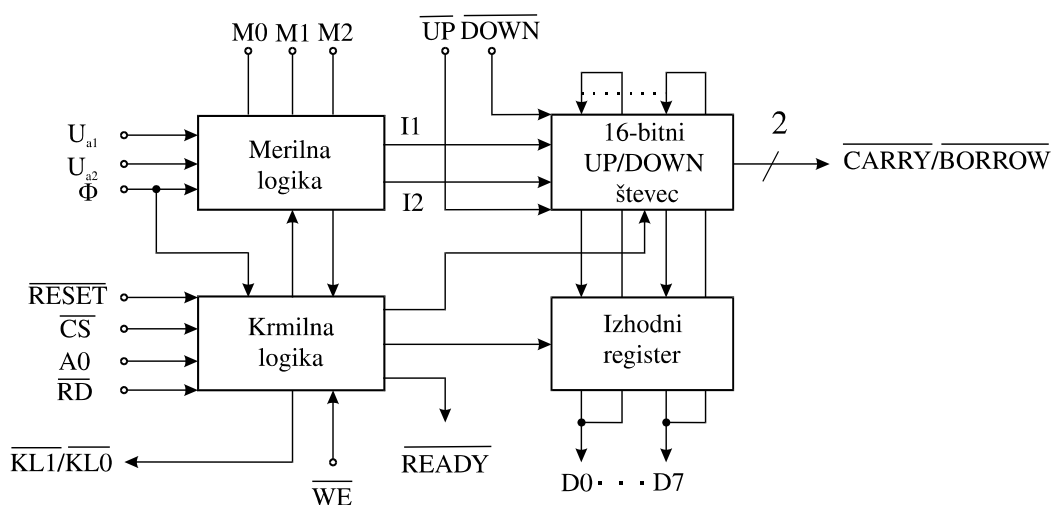
- Mora imeti možnost štetja vseh prehodov na obeh vloh (slika 12.20). Na ta način se ločljivost dajalnika poveča za štirikrat.
- Ugotavljanje spremembe smeri vrtenja.
- Možnost prednastavitve začetnega stanja.

⁴ Ob ločljivosti 10 bitov je maksimalna možna izmerjena kotna hitrost $1040 \cdot 2\pi \text{ s}^{-1}$, pri šestnajstih bitih pa $16,25 \cdot 2\pi \text{ s}^{-1}$.



Slika 12.20: Oblike signalov iz inkrementalnega dajalnika

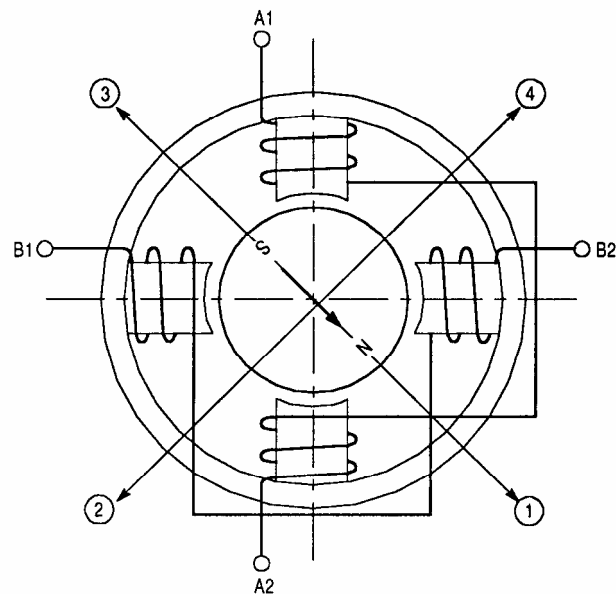
LS2000 firme Texas Instruments je eno starejših vezij za ugotavljanje kota zasuka iz inkrementalnega dajalnika (slika 12.21). Vsi sodobni mikrokrmilniki za krmiljenje in regulacijo elektromotorskih pogonov imajo takšne inteligentne števne module že vgrajene (npr. MC68332, TMS320F240).



Slika 12.21: Integrirano vezje LS2000

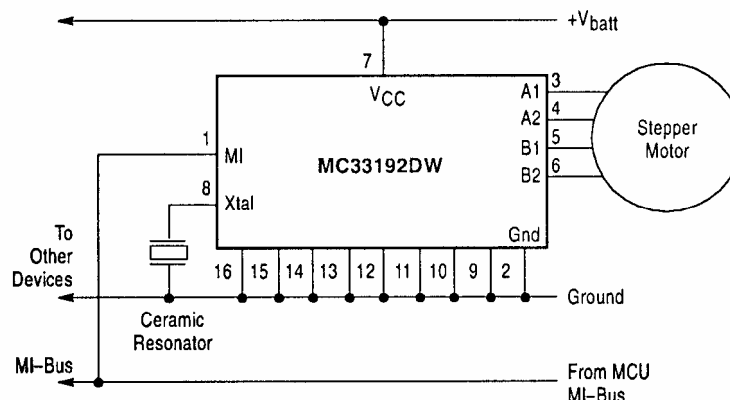
12.5 Krmilniki za motorje

Koračne motorje pogosto zasledimo v pogonih manjših moči, kjer sta osnovni zahtevi nizka cena in enostavnost krmiljenja. Primera takšnih aplikacij sta dvigovanje stekel ali pogon brisalnikov v avtomobilih. Značilnost teh motorjev je koračno spreminjanje kota v odvisnosti od vlakov pravokotnih pulzov na navitjih A in B (slika 12.22). Oblika napajalnih napetosti je podobna signalom iz inkrementalnega dajalnika, njihovi nivoji pa so odvisni od načina obratovanja (polni korak ali polovični korak). Večina sodobnih krmilnikov (npr. MC68332 in TMS320F240) že vsebujejo podmodule, ki so sposobni generirati zahtevano obliko pulzov, ostali mikroračunalniki pa lahko uporabijo vezja, kot je MC33192 firme Motorola (slika 12.23).



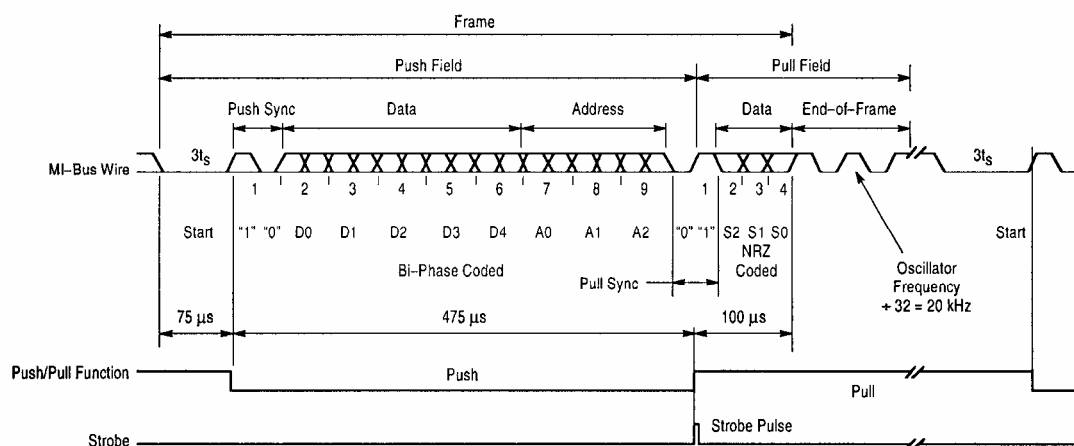
Slika 12.22: Koračni motor

MC33192 je zanimiv tudi kot primer vezja, s katerim mikroračunalnik komunicira po posebnem serijskem vodilu MI-Bus. Na to vodilo je možna priključitev do osmih MC33192, kar ustreza številu motorjev, ki jih lahko krmili en mikroračunalnik. Sponke A1, A2, B1 in B2 priključimo na navitja motorja.



Slika 12.23: MC33192 Krmilnik koračnih motorjev

Serijski podatki za MC33192 prihajajo na vhod MI. Vsak paket je sestavljen iz treh področij (slika 12.24): podatkovni biti (D4-D0), statusni biti (S2-S0) in naslovni biti (A2-A0).

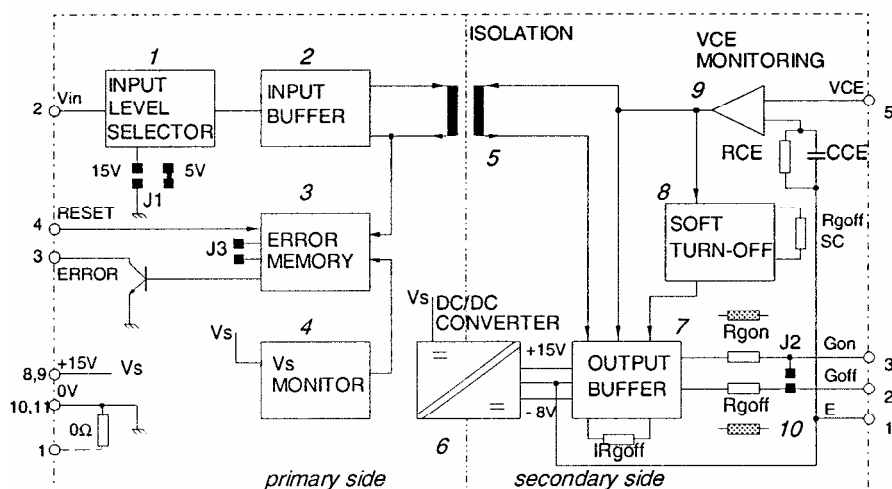


Slika 12.24: Časovni diagram vodila MI

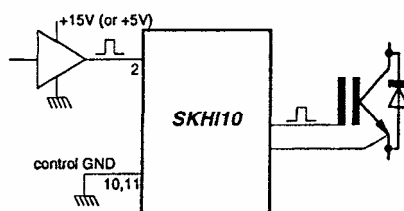
Podatkovni biti določajo sekvence vklopjanja tranzistorjev na gonilniku (angl. driver) izhodnega mostiča za napajanje motorja. Statusni biti določajo trenutno stanje pogona. Tak primer je preobremenitev čipa, ko njegova temperatura preseže 150°C. Z naslovnimi biti izbiramo posamezni čip MC33192 na vodilu MI.

12.6 Gonilnik močnostnih IGBT-jev

Vezja močnostne elektronike so pogosto sestavljena iz IGBT tranzistorjev, ki potrebujejo posebne gonilnike. Takšen gonilnik je tudi SKHI10 firme Semikron (slika 12.25). Vhodni signal je zeleno stanje tranzistorja (vklopljen/izklopljen), ki ga narekuje mikroprocesorski sistem, izhodne signale pa večemo neposredno na IGBT (slika 12.26).



Slika 12.25: Gonilnik za IGBT Semikron SKHI10



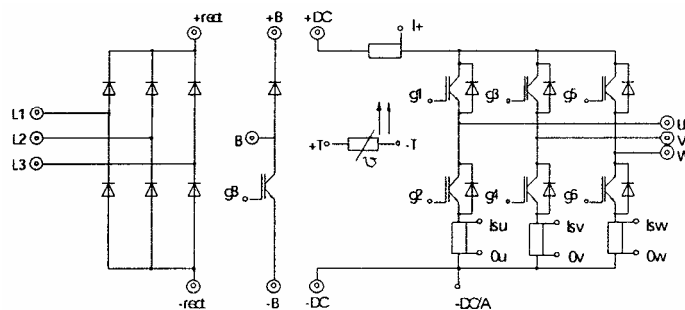
Slika 12.26: Vezava SKHI10

Nekatere lastnosti SKHI10:

- CMOS/TTL (HCMOS) kompatibilni vhodi,
- zaščita pred kratkim stikom,
- galvanska ločitev primar/sekundar preko transformatorjev,
- maksimalna vrednost napajalne napetosti (V_S): 18 V,
- maksimalna vrednost vhodnega signala (V_{IH}): $V_S + 0,3$ V,
- maksimalni izhodni tok ($I_{outPEAK}$): ± 8 A,
- maksimalna merjena napetost kolektor-emitor (V_{CE}): 1200 V ali 1700 V,
- zakasnitev izhodnega vklopnega in izklopnega pulza z ozirom na vhodna pulza: 1,4 μs .

12.7 Integrirani mostiči

Močnostna mostična vezja so sestavni del večine naprav močnostne elektronike (npr. električni pogoni, resonančni pretvorniki, sistemi za brezprekinitveno napajanje itd.). Razvoj mikroelektronike omogoča uporabo inteligentnih integriranih mostičnih modulov, ki so preirejeni za montažo na tiskana vezja. Primera takšnih integriranih vezjih sta seriji SKiiP ali Mini SKiiP firme Semikron (slika 12.27).



Slika 12.27: Mini SKiiP 2

Sestavni deli mostiča so homogeni IGBT tranzistorji z protiparalelnimi CAL-diodami. Nekatera vezja vsebujejo tokovne merilnike, ki jih razen za nadtokovno zaščito in zaščito

pred kratkim stikom lahko uporabimo kot povratno informacijo v regulacijski tokovni zanki. Temperaturni senzor je standardni del vsakega vezja, pri nekaterih vezjih pa je dostopna tudi normirana napetost enosmernega vmesnega tokokroga. V primerih, ko delamo v okolju, ki generira motnje, ali pa ko so razdalje med krmilnim (mikroprocesorjem) in močnostnim delom velike, lahko uporabimo inačico vezja z optičnim prenosom krmilnih signalov.