

Mikro-ohjelmoitavan tietokoneen toimintoja ohjaa viisivaiheinen kello, joka antaa pulssin syklistä kuhunkin viiteen johtoon, jotka aktivoivat mikrokäskyrekisterin MIR bitit seuraavasti:

Ohjausbitit

- kello 1
 - c1 rekisterin A sisältö kirjoitetaan väylään 2
 - c2 rekisterin B sisältö kirjoitetaan väylään 2
 - c3 rekisterin C sisältö kirjoitetaan väylään 2
 - c4 rekisterin D sisältö kirjoitetaan väylään 2
 - c5 luku 1 kirjoitetaan väylään 1
 - c6 rekisterin MDR sisältö kirjoitetaan väylään 1
 - c7 väylän 1 sisältö muunnetaan vastaluvukseen (vähennyslaskua varten)
 - c8 yhteenlaskun tulosta (väylä 3) siirretään 1 bitti vasemmalle
- kello 2
 - c9 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin A
 - c10 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin B
 - c11 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin C
 - c12 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin D
 - c13 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin MDR
 - c14 väylän 3 sisältö luetaan rekisteriin MAR
- kello 3
 - c15 rekisterin MAR osoittaman päämuistin muistipaikan sisältö luetaan rekisteriin MDR
 - c16 rekisterin MDR sisältö kirjoitetaan rekisterin MAR osoittamaan päämuistin muistipaikkaan
- kello 4
 - c17 luku 1 kirjoitetaan väylään 1
 - c18 rekisterin MIR 8 eniten merkitsevää bittiä kirjoitetaan väylään 1
 - c19 luku 1 kirjoitetaan väylään 1, jos rekisterin A sisältö on nolla, muutoin kirjoitetaan luku 2 väylään 1
 - c20 väylään 1 kirjoitetaan luku 1, jos rekisterin A eniten merkitsevä bitti on 1, muutoin luku 2
 - c21 rekisterin MDR 4 eniten merkitsevää bittiä kirjoitetaan väylään 1
 - c22 rekisterin MPC sisältö kirjoitetaan väylään 2
- kello 5
[Ei ohjausbittejä]

Mikro-ohjelmoitavan koneen toiminnot symbolisella 'kielellä':

Kussakin kellon vaiheessa suoritetaan jokin tälle vaiheelle tyypillinen toimenpide:

Kello 1: yhteenlaskulaitteen syötteen (mitä lasketaan).

- 1 tai MDR \rightarrow DC1 (jos ei laiteta mitään, väylässä DC1 on 0)
- A, B, C tai D \rightarrow DC2 (jos ei laiteta mitään, väylässä DC2 on 0)
- 7 • DC1 \rightarrow -DC1 (väylän 1 sisältö vastaluvukseen)
- 8 • yhteenlaskun tulosta väylällä DC3 siirretään 1 bitti vasemmalle (ns. shiftleft-operaatio).

Kello 2: mihin tulos. Yhteenlaskun tulos väylältä 3 viedään johonkin rekisteriin eli DC3 \rightarrow A, B, C, D, MDR tai MAR.

Siis kello 1 & 2: Voidaan suorittaa tietyn tyyppinen **asetusoperaatio**, jota merkitään: DC1+DC2 \rightarrow DC3, missä DC1=MDR, 0 tai 1, DC2=A, B, C, D tai 0, DC3=MAR, MDR, A, B, C tai D.

- Lisäksi DC1:n sisältö voidaan ensin muuttaa vastaluvukseen, jota merkitään asettamalla miinusmerkki eteen. Esimerkiksi merkintä $(-1+B) \rightarrow B$ tarkoittaa, että väylään 1 viedään luku 1 ja muutetaan se vastaluvukseen sekä väylään 2 siirretään rekisterin B:n sisältö, jotka viedään yhteenlaskulaitteeseen, jonka tulos $(=B-1)$ tulee väylälle 3, joka siirretään rekisteriin B. Siis B:n arvo vähenee yhdellä.
- Lisäksi DC3:lle voidaan suorittaa shiftleft-operaatio, jolloin bittejä siirretään yhden verran vasemmalle. Tämä vastaa kahdella kertomista, joten sitä merkitään $\times 2$. Esimerkiksi merkintä $(0+A) \times 2 \rightarrow A$ tarkoittaa, että väylälle 1 ei viedä mitään (jolloin se pysyy tilassa 0), väylään 2 viedään A:n sisältö ja näiden summalle $(=A)$ tehdään shiftleft-operaatio, jonka tulos viedään rekisteriin A eli lopputuloksena: rekisterille A tehdään shiftleft-operaatio.

Kello 3: Päämuistin käsittely (kellon vaiheissa 1 ja 2 MAR:iin tulee tallentaa se päämuistin osoite, johon tallennus/lukeminen halutaan kohdistaa; datan tulee 'kulkea' aina MDR:n kautta).

- 16 • Tallennus päämuistiin: MDR:n sisältö kirjoitetaan rekisterin MAR osoittamaan paikkaan päämuistissa, jota merkitään MDR \rightarrow (MAR)
- 15 • Kopioiminen päämuistista MDR:ään: MAR:in osoittaman muistipaikan sisältö päämuistista viedään MDR:ään, jota merkitään (MAR) \rightarrow MDR.

Kello 4: Ohjelman kontrolli: mikä mikro-ohjelman käsky suoritetaan seuraavaksi eli tulee asettaa MPC:n arvo. MPC:n haluttu uusi arvo viedään väylään 3 yhteenlaskulaitteen kautta, josta se kellon vaiheessa 5 siirtyy MPC:hen.

- 17, 22 • Suoritetaan seuraava käsky: Sillon MPC:tä tulee kasvattaa yhdellä, mikä saadaan aikaan siirtämällä luku 1 väylään 1 ja MPC:n sisältö väylään 2, jota merkitään: $1 + \text{MPC} \rightarrow \text{MPC}$.
- 22 • Ehdollinen yhden lauseen ylilyhyys: Rekisterin A sisältöä voidaan tutkia kahdella tavalla: onko $A=0$ tai onko $A<0$. Jos ehto on totta, voidaan asettaa $1 \rightarrow \text{DC1}$ ja muulloin $2 \rightarrow \text{DC1}$. Jälkimmäisessä tapauksessa saadaan aikaan toiminto $2 + \text{MPC} \rightarrow \text{DC3}$ eli hyppy yhden lauseen yli. Näitä testejä merkitään $(A=0) + \text{MPC} \rightarrow \text{MPC}$ (toiminta: jos $A=0$, niin MPC kasvaa yhdellä ja muuten se kasvaa kahdella) ja $(A<0) + \text{MPC} \rightarrow \text{MPC}$.
- 1...8 • Ehdoton hyppy (mielivaltaiseen) kohtaan x: ensin asetetaan kellon vaiheessa 1 biteiksi $c_1 \dots c_8$ x:n binääriesitys, jonka jälkeen kellon vaiheessa 4 voidaan siirtää ko. luku (eli MIR:in 8 ylintä bittiä) väylään 1, jolloin kaiken kaikkiaan väylään 3 tulee $x+0$ eli x. Tätä merkitään esim. $100_2 \rightarrow \text{MPC}$, jolloin mikro-ohjelmakoodissa tulee asettaa $c_6=c_{18}=1$ ja kaikki muut c_i :t nolliksi. Tällöin ei voi tehdä mitään muuta.

Kello 5: MPC saa uuden arvon DC3:sta, ja MPC:n osoittama mikro-ohjelman käsky siirretään MIR-rekisteriin (tämä - aina sama - toiminto ei näy mikro-ohjelmassa).

$c_{21}=1$: MDR:n neljä ylintä bittiä DC1:een (tarvitaan operaatiokoodin 'irrottamiseen' tulkkiohjelmassa)

MPC : microprogram counter
 MPM : — " — memory
 MIR : microinstruction register
 MDR : memory data register
 MM : main memory
 MAR : memory address register

Liite 1. Mikro-ohjelmoitavan tietokoneen rakenne.

