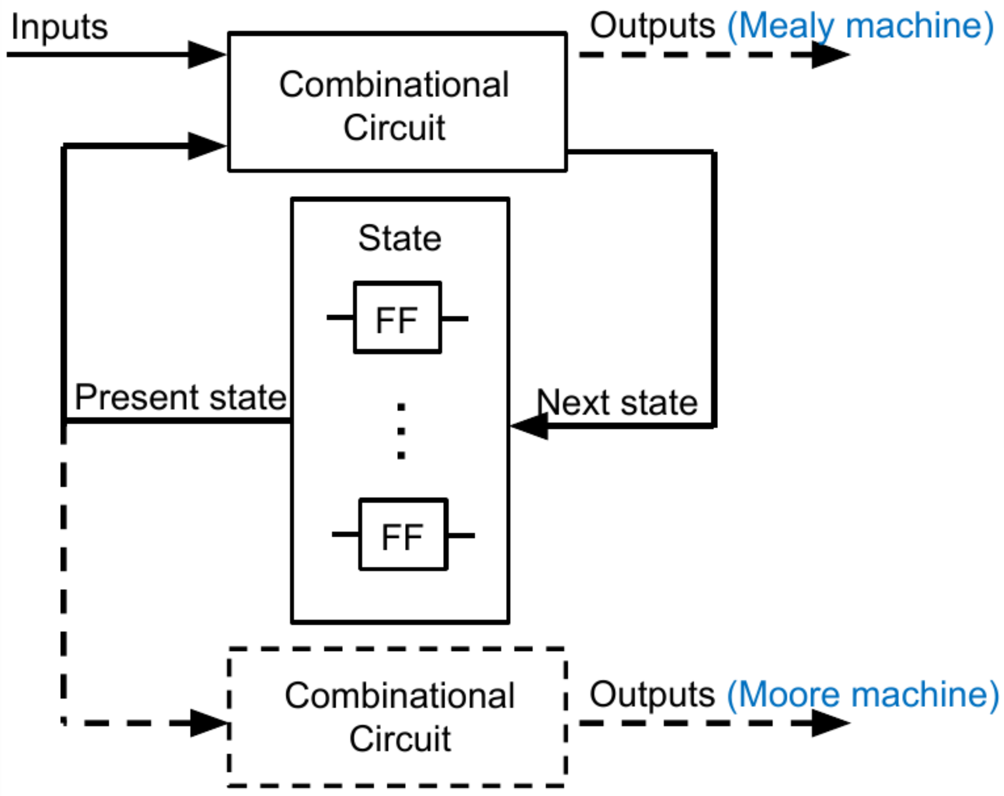
Tutorat 4

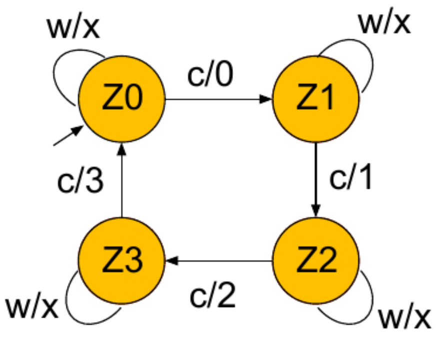
Zustandsdiagramme, DMA

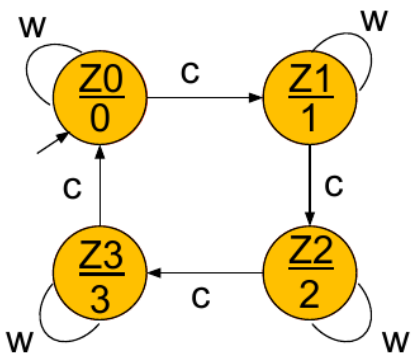
Vorbereitung

Vorbereitung

Mealy und Moore







Source: https://earth.informatik.uni-freiburg.de/uploads/es-2122/03_finitestate.html

Vorbereitung

Mealy und Moore

- **Primäre Eingänge:** Bekommen Werte *„von außen“*.
- **Primäre Ausgänge:** Liefern Werte *„nach außen“*.
- **Sekundäre Eingänge:** Sind mit den Datenausgängen der Flipflops im Register verbunden. Auf diese Weise kann der aktuelle Zustand des Schaltkreises in den *Übergangs- und Ausgabefunktionen* berücksichtigt werden.
- **Sekundäre Ausgänge:** Sind mit den Dateneingängen der Flipflops verbunden. Durch sie wird der *nächste Zustand* des Schaltkreises spezifiziert.

Vorbereitung

Mealy und Moore

Beispiel Erweiterte RETI (Aufgabe 1 Übungsblatt)

- **Eingabevektor:** $i = (/mreg, /mw, a31)$ (*= Primäre Eingänge*)
- **Ausgabevektor:** $o = (/SMack, /SDdoe, /SMw)$ (*= Primäre Ausgänge*)
- **Zustandsvektor:** $z = (z_0, z_1, z_2)$
- **Übergangsfunktion:** $\delta : Z \times I \rightarrow Z$
- **Ausgabefunktion (Mealy):** $\lambda : Z \times I \rightarrow O$
  - auf den Kanten stehen *Inputsymbole* und *Outputsymbole*, dafür stehen in den Zuständen nur die Zustandsbezeichnungen
- **Ausgabefunktion (Moore):** $\lambda : Z \rightarrow O$
  - auf den Kanten stehen *Inputsymbole*, dafür stehen in den Zuständen *Zustandsbezeichnungen* und *Outputsymbole*

Vorbereitung

Anzahl Formeln

- **Anzahl Zeilen in Wahrheitstabelle:** $2^{\#\text{ Variablen}}$
- **Anzahl Aussagenlogische Formeln:** $2^{\#\text{Zeilen}} = 2^{\left(2^{\#\text{Variablen}}\right)}$
  - bei 3 **Aussagenlogischen Variablen** gibt es $2^3 = 8$ Zeilen in der Wahrheitstabelle und damit $2^{(2^3)} = 256$ verschiedenen Aussagenlogische Formeln, da man diese 2^3 Zeilen auch nochmal auf **exponentiell** $2^{\#\text{Zeilen}}$ viele verschiedene Arten belegen kann

a	b	$a \cdot b$	$\overline{a \cdot b}$	$a + b$	$\overline{a + b}$	$\overline{a}$	$\overline{b}$	$\overline{a} + \overline{b}$	$\overline{a} \cdot \overline{b}$
0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0

Vorbereitung

Minterme und Maxterme

- **16 mögliche Logikfunktionen für 2 Aussagenlosche Variablen:**

a	b	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

- $f1$, $f2$, $f4$ und $f8$ sind **Minterme** (für genau eine *Variation* der Eingabewerte den Wert 1)
- $f7$, $f11$, $f13$ und $f14$ sind **Maxterme** (für genau eine *Variation* der Eingabewerte den Wert 0)

Vorbereitung

Minterme und Maxterme

- die 4 **Minterme** können als **Konjunktionen** dargestellt werden: $m_0(a,b) = \bar{a} \cdot \bar{b}, m_1(a,b) = \bar{a} \cdot b, m_2(a,b) = a \cdot \bar{b}, m_3(a,b) = a \cdot b$
- die 4 **Maxterme** können als **Disjunktionen** dargestellt werden: $M_0(a,b) = \bar{a} + \bar{b}, M_1(a,b) = \bar{a} + b, M_2(a,b) = a + \bar{b}, M_3(a,b) = a + b$
- **Vergleich:**

a	b	$\neg a \cdot b$	$a + \neg b$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	1

- $\neg(\neg a \wedge b) = a \vee \neg b$: "alles außer" $\neg a \wedge b$ ist 1 ➞ $(a = 0, b = 1)$ ist als einziges 0

Vorbereitung

DNF und KNF

- aus drei **Basistypen** (Disjunktion, Konjunktion oder Negation) lassen sich alle anderen **Logikfunktion** erzeugen
- Jede Logikfunktion $f : B^2 \to B$ lässt sich in **disjunktiver Normalform (DNF):**
  $f(a, b) = f(0,0) \cdot \bar{a} \cdot \bar{b} + f(0,1) \cdot \bar{a} \cdot b + f(1,0) \cdot a \cdot \bar{b} + f(1,1) \cdot a \cdot b$
- Und auch in **konjunktiver Normalform (KNF):**
  $f(a, b) = (f(0,0) + a + b) \cdot (f(0,1) + a + \bar{b}) \cdot (f(1,0) + \bar{a} + b) \cdot (f(1,1) + \bar{a} + \bar{b})$
- man möchte **Logische Funktion** (Wertetabelle) mit möglichst wenig Schaltelementen realisieren ➞ schauen, ob **DNF** oder **KNF** kürzer ist, je nachdem, ob die Logische Funktion (Menge an Formeln) mehr oder weniger **Modelle** besitzt, also mehr oder weniger Variationen aus Aussagenlogischen Variablen besitzt, die 1 ergeben

Vorbereitung

DNF und KNF

A	B	C	Ergebnis	Klausel
0	0	0	0	$A \lor B \lor C$
0	0	1	0	$A \lor B \lor \neg C$
0	1	0	1	$\neg A \land B \land \neg C$
0	1	1	1	$\neg A \land B \land C$
1	0	0	0	$\neg A \lor B \lor C$
1	0	1	1	$A \land \neg B \land C$
1	1	0	0	$\neg A \lor \neg B \lor C$
1	1	1	1	$A \land B \land C$

DNF: $(\neg A \land B \land \neg C) \lor (\neg A \land B \land C) \lor (A \land \neg B \land C) \lor (A \land B \land C)$

KNF: $(A \lor B \lor C) \land (A \lor B \lor \neg C) \land (\neg A \lor B \lor C) \land (\neg A \lor \neg B \lor C)$

https://de.wikipedia.org/wiki/Disjunktive_Normalform#/media/Datei:Knf+dnf.svg

Vorbereitung

DNF und KNF

- **Beispiel:** "**höchstens** 2 wahre aussagenlogische Variablen"
  - **DNF:** $(\neg a \cdot \neg b \cdot \neg c) + (\neg a \cdot \neg b \cdot c) + (\neg a \cdot b \cdot \neg c) + (\neg a \cdot b \cdot c) + (a \cdot \neg b \cdot \neg c) + (a \cdot \neg b \cdot c) + (a \cdot b \cdot \neg c)$
  - **KNF:** $(\neg a + \neg b + \neg c)$

Vorbereitung

Klauseln, Literale, Klausel Normalform

- **Atom:** *Atomare Formel* (=Formel, die nur aus einer einzigen *Aussagenlogischen Variable* besteht)
- **Literal:** (möglicherweise *negierte*) *atomare Formel*
- **Klausel:** *Disjunktion* von *Literalen*
- **Klausel Normalform:** Formel in *konjunktiver Normalform (KNF)*, bei der die *Konjunktionen* jeweils in *Mengenschreibweise* zusammengefasst sind
  - $((a \lor b) \land (b \lor c) \land (a \lor \neg d \lor \neg e) \land d)$ ➞ $\{\{a, b\}, \{b, c\}, \{a, \neg d, \neg e\}, \{d\}\}$
  - $\{\neg(P \lor (\neg(P \land Q) \land \neg R))\}$ ➞ $\{\{\neg P\}, \{\neg(\neg(P \land Q) \land \neg R)\}\}$ ➞ $\{\{\neg P\}, \{\neg\neg(P \land Q), \neg\neg R\}\}$ ➞ $\{\{\neg P\}, \{(P \land Q), R\}\}$ ➞ $\{\{\neg P\}, \{P, R\}, \{Q, R\}\}$

Vorbereitung

Binärepräfixe

- Speicher wird in **Byte** = 8 **Bit** angegeben
- **Dezimalpräfixe:** Kilobyte [kB], Megabyte [MB], Gigabyte [GB], Terabyte [TB], Petabyte [PB], Exabyte [EB]
- **Binärpräfixe:** Kibibyte [KiB], Mebibyte [MiB], Gibibyte [GiB], Tebibyte [TiB], Pebibyte [PiB], Exbibyte [EiB]
- **Einheit umrechnen:**

$$\texttt{1 000 000 000 kB} \xLeftarrow{\cdot 1000} \texttt{1 000 000 MB} \xLeftarrow{\cdot 10^3} \texttt{1 000 GB} \xLeftarrow{\cdot 10^3} \texttt{1 TB}$$

$$\Downarrow \cdot 10^3$$

$$\texttt{1 000 000 000 000 B}$$

$$\Downarrow : 2^{10}$$

$$\texttt{976 562 500 KiB} \xRightarrow{: 1024} \texttt{953 674,32 MiB} \xRightarrow{: 2^{10}} \texttt{931,32 GiB} \xRightarrow{: 2^{10}} \texttt{0,91 TiB}$$

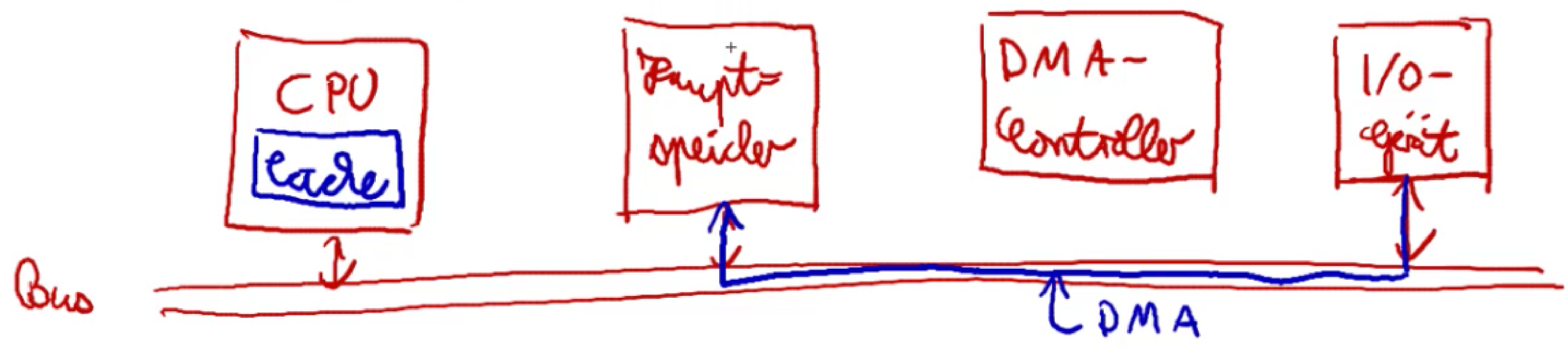
Vorbereitung

Binärepräfixe

- $1 \cdot 2^{10} B = 1KiB, 1 \cdot 2^{20} = 1MiB, 1 \cdot 2^{30} = 1GiB$ etc.
- $1 \cdot 10^{3} B = 1KB, 1 \cdot 10^{6} B = 1MB, 1 \cdot 10^{9} B = 1GB$ etc.
- **Windows** verwendet GiB, schreibt aber GB hin, einige **Linux Distributionen** auch, der **Manjaro Installer** aber z.B. GiB
- wird von **Festplattenherstellern** genutzt, um $100GB$ draufzuschreiben, was viele fälschlicherweise als GiB interpretieren, aber nur $(100 \cdot 1000 \cdot 1000 \cdot 1000)/1024/1024/1024 \approx 93.13GiB$ tatsächlich zu liefern
- **Unterschied** wird immer größer, z.B. zwischen GB und GiB sind es $7,4\%$
- bei **SD-Karten** wird in GiB angegeben (512GiB)
- **Arbeitsspeicher** wird in GiB angegebn (8 GiB Arbeitsspeicher)

Vorbereitung

DMA (Direct Memory Access)



- direkt ohne **Umweg** über **CPU**
- Funktioniert nur, wenn CPU Daten im **Cache** findet. Wenn sie an den **Hauptspeicher** gehen muss, dann gibts **Buskonflikt**
- Bevor eine **Adresse** über **Adressbus** an **Hauptspeicher** geht, geht Adresse zunächst an den **Cache**. Cache meldet zurück, es gibt nen **Cache Hit** → man kann direkt liefern

Übungsblatt

Übungsblatt

Aufgabe 1

Vorgehen für Übergangsfunktion

- für z_x schaue, wo z_x in der Spalte 1 ist und notiere diese *Zustände* des Zustandsdiagrams
- gehe zu diesen *notierten Zuständen* z_x und notiere die *Conditions* und die *adjazenten Vorgängerzustände* z'_x, die auf den *eingehenden Kanten* stehen bzw. über sie erreichbar sind
- bilde *Disjunktive Normalform* für *nächsten Zustand* z'_x aus *Conditions* und *der Kodierung der adjazenten Vorgängerzustände* $(z_0, \tilde{z}_1, \tilde{z}_2)$
- (*Minimieren*)

Übungsblatt

Aufgabe 1

Vorgehen für Moore Ausgabefunktion

- schaue welche *Zustände* z_x das *Outputsignal* $/S_i$ haben und notiere diese *Zustände* des Zustandsdiagrams
- bilde *Disjunktive Normalform* für Outputsignal $/S_i$ aus der *Kodierung der notierten Zustände* $(\tilde{z}_0, z_1, z_2)$

Übungsblatt

Aufgabe 1

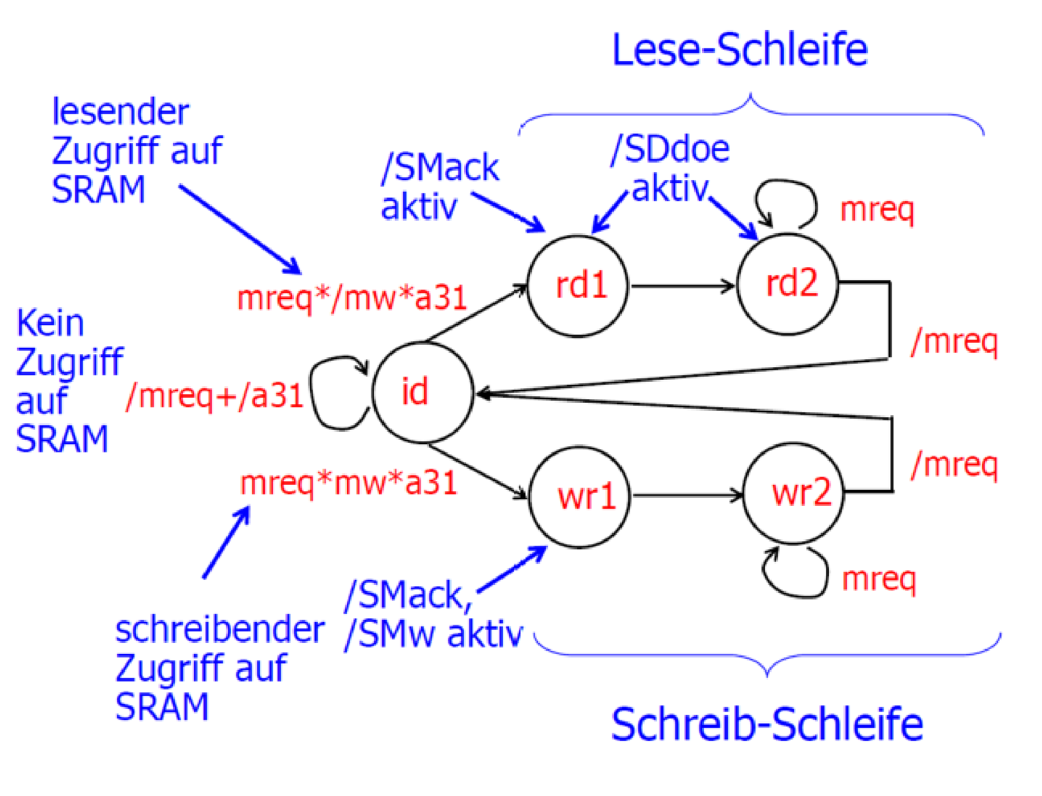


Tabelle 1: Zustandskodierung SRAM-Controller

Zustand	z_0	z_1	z_2
id	1	0	0
rd1	0	0	0
rd2	0	0	1
wr1	0	1	0
wr2	0	1	1

- $mreq$ bedeutet, dass das Eingangssignal $/mreq = 0$ entspricht

Übungsblatt
Aufgabe 1

- $z_0' = (z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2 \land /mreq) \lor (z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2 \land /a31) \lor (\neg z_0 \land \neg z_1 \land z_2 \land /mreq) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land z_2 \land /mreq)$
- $z_1' = (z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2 \land mreq \land mw \land a31) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land \neg z_2) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land z_2 \land mreq)$
- $z_2' = (\neg z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land \neg z_2) \lor (\neg z_0 \land \neg z_1 \land z_2 \land mreq) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land z_2 \land mreq)$
- $/SMack = \neg((\neg z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2) \lor (\neg z_0 \land z_1 \land \neg z_2))$
- $/SDdoe = \neg((\neg z_0 \land \neg z_1 \land \neg z_2) \lor (\neg z_0 \land \neg z_1 \land z_2))$
- $/SMw = \neg(\neg z_0 \land z_1 \land \neg z_2)$
- Weil die **Ausgangssignale** alle **active-low** sind, müssen deren **DNF** die zu 1 führen komplett **negiert** werden

Übungsblatt

Aufgabe 2a) - Umsetzung mit Interrupt

- Taktrate des Prozessors = $8 \cdot 10^8 \frac{1}{s}$
- Datenübertragungsrate der Festplatte = $8 \cdot 2^{20} \frac{B}{s}$

```
|8*32Bit=32Byte|1000Takte____|____________|eine Übertragung
|1*2^(-18)s____|1,25*10^(-6)s|____________|einzelne Zeitdauern
|20*2^(-18)s______________________________|Gesamtdauer
```

Übungsblatt

Aufgabe 2a) - Umsetzung mit Interrupt

Zeit der Festplatte (Dauer der 32Byte Übertragung)

$$1s \mathrel{\hat{=}} 8 \cdot 2^{20} B$$
$$\Downarrow \cdot 2^{-18}$$
$$1 \cdot 2^{-18} s \mathrel{\hat{=}} 8 \cdot 2^{2} B = 32B$$

Gesamtdauer

$$1 \cdot 2^{-18} s \mathrel{\hat{=}} 5\%$$
$$\Downarrow \cdot 20$$
$$20 \cdot 2^{-18} s \mathrel{\hat{=}} 100\%$$

Übungsblatt

Aufgabe 2a) - Umsetzung mit Interrupt

Zeit des Prozessors (Dauer der 1000 Takte)

$$1s \stackrel{\wedge}{=} 8 \cdot 10^{8} Takte$$
$$\Downarrow \cdot 1,25 \cdot 10^{-6}$$
$$1,25 \cdot 10^{-6} s \stackrel{\wedge}{=} 1000 Takte$$

Anteil der CPU-Zeit

$$\frac{1,25 \cdot 10^{-6} s}{20 \cdot 2^{-18} s} = 0.01638 \approx 1,64\%$$

Musterlösung

$$0.05 \cdot \frac{2^{18} \cdot \frac{1}{800000}\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{s}} = \frac{2^{18}}{16000000} = 0.016384$$

Übungsblatt

Aufgabe 2b) - Umsetzung mit DMA

- Taktrate des Prozessors = $8 \cdot 10^8 \frac{1}{s}$
- Datenübertragungsrate der Festplatte = $8 \cdot 2^{20} \frac{B}{s}$

```
|1500Takte|16KB|500Takte______|__________|eine Übertratung
|1500+500Takte_____|16KiB_____|__________|eine Übertratung zusammengefasst
|0.25*10^(-5)s_____|1*2^(-9)s_|__________|einzelne Zeitdauern
|20*2^(-9)s______________________________|Gesamtdauer
```

Übungsblatt

Aufgabe 2b) - Umsetzung mit DMA

Zeit der Festplatte (Dauer des 16KiB Block)

$$1s \mathrel{\hat{=}} 8 \cdot 2^{20} B$$
$$\Downarrow \cdot 2^{-9}$$
$$1 \cdot 2^{-9} s \mathrel{\hat{=}} 8 \cdot 2^{11} B = 16KiB$$

Gesamtdauer

$$1 \cdot 2^{-9} s \mathrel{\hat{=}} 5\%$$
$$\Downarrow \cdot 20$$
$$20 \cdot 2^{-9} s \mathrel{\hat{=}} 100\%$$

Übungsblatt

Aufgabe 2b) - Umsetzung mit DMA

Zeit des Prozessors (Dauer der 2000 Takte)

$$1s \mathrel{\hat{=}} 8 \cdot 10^8 Takte$$
$$\Downarrow \cdot 0,25 \cdot 10^{-5}$$
$$0,25 \cdot 10^{-5} s \mathrel{\hat{=}} 2 \cdot 10^3 Takte$$

Anteil der CPU-Zeit

$$\frac{0,25 \cdot 10^{-5} s}{20 \cdot 2^{-9} s} = 0.000064 = 0.0064\%$$

Musterlösung

$$0.05 \cdot \frac{2^9 \cdot \frac{1}{400000}\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{s}} = \frac{2^9}{8000000} = 0.000064$$

Übungsblatt

Aufgabe 3

- Interrupts mit **verschiedenen Prioritäten**
- Verwendung **Interrupt Controller**
- Signal Int → Interrupt Controller **signalisiert** dem Prozessor, dass **Interrupt anliegt**, der Prozessor **unterbrechen** darf
  - wenn **keine ISR** auf Prozessor **aktiv** ist
  - wenn an Interrupt-Controller anliegender Interrupt **höhere Priorität** hat als aktuell auf Prozessor laufende ISR
- Signal $/INTA$ → nach **Abarbeiten von Interrupt** signalisiert Prozessor dem Interrupt Controller, dass ISR **beendet** wurde
- max. 255 **Hardware Interrupts** mit Prioritäten 0 bis 254
- Solange Interrupt INT_j **nicht verarbeitet** darf I/O-Gerät j **keinen** weiteren Interrupt auslösen

Übungsblatt

Aufgabe 3a)

> “ Methode überlegen, wie **Interrupt Controller** feststellen kann, ob auf dem Prozessor aktuell gerade **keine ISR** läuft ”

- **8-Bit-Zähler**
  - Signale **up** und **down**, (up=1, down=0) → Zähler zählt bei steigender Flanke **hoch**, (up=0, down=1) → Zähler zählt bei steigender Flanke **runter**

Lösungsweg

- mit $/reset$ Signal **Zähler** mit 0 initiliasieren
- INT → Zähler **inkrementieren**
- $/INTA$ (Interrupt Acknowledge) → Zähler **dekrementieren**
- wenn $\text{Zähler} = 0$ → **Controller** weiß, dass **keine** ISR auf der CPU läuft

Übungsblatt

Aufgabe 3b)

> Ausreichend, um **Interrupt Controller** zu implementieren? Lösung entwerfen, wo Interrupt Controller **Signal** INT **immer korrekt** setzt.

- Interrupt Controller hat Internen Speicherbereich mit 256 **Speicherzellen**
  - über 8-Bit **Adressen** angesprochen, **Speicherzellen** mit **8-Bit Wortbreite**
- **8-Bit Zähler** aus a) weiterverwendbar
- **Interrupt-Controller** speichert **Nummer** des anliegenden **Interrupts** mit der **höchsten Priorität** in Register `IVN` und **Priorität** in einem Register `PR` (also **Priorität** des Interrupts, der der CPU übergeben wird)

Übungsblatt

Aufgabe 3b)

Lösungsweg

- **Szenario:**
  - mehr als ein **Interrupt** ($\text{Zähler} > 1$) gleichzeitig in **ISR angefangen** (INT_i von INT_j mit **höherer Priorität** unterbrochen)
  - vor Eintreffen von INT_k min. eine **ISR** (INT_j) **beendet** (und INT_i fortgesetzt → sobald INT_k eintrifft, weiß Controller **nicht**, ob aktuell ausgeführte ISR **höhere Priorität** hat)
- **Idee:** Speicher als Stack für Historie über die übergebenen Interrupts
  - oben auf dem Stack liegt immer die **Priorität** des aktuell in der CPU abgearbeiteten Interrupts, welche immer die **höchste Priorität** aller **schon gestarteten** aber noch **nicht beendeten** ISR hat

Übungsblatt

Aufgabe 3b)

Lösungsweg

- bei **Senden** von INT → Inhalt von Register PR auf Stack des Controllers
  - **Stack** des **Controllers** ist nicht der **Stack** der **CPU**!
- bei **Empfangen** von $/INTA$ → oberster Eintrag vom Stack **entfernt**
- durch **Vergleich** von **PR** mit **obersten Eintrag des Stacks** wird bestimmt, ob ankommender INT_l an CPU weitergeleitet wird
  - **Zähler** aus a) für die **Adressierung des Stacks** genutzt, da **kein** eigenes Stackpointer Register gegeben

Quellen

Quellen

Wissenquellen

- https://de.wikipedia.org/wiki/Klausel-Normalform

Quellen

Bildquellen

- Von WikiBasti 21:12, 21. Jan. 2011 (CET) und JensKohl - Datei:KNF+DNF.png, CC-by-sa 2.0/de, https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=5947670

Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!