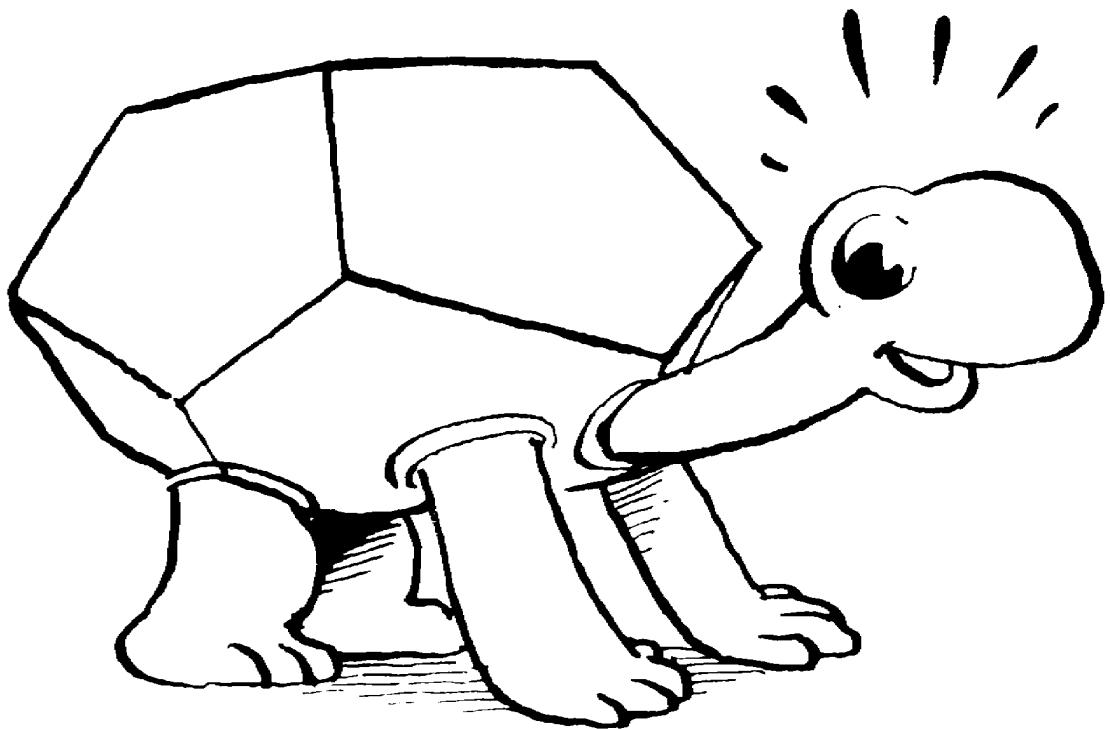


# Design, opbygning, og afprøvning af styreelektronik til skildpadde-AGV



Anders Stengaard Sørensen

1. April 1993 — 1 November 1993

# Indholdsfortegnelse

<b>1 Forudsætninger</b>	<b>6</b>
1.1 Opgaveformuleringen . . . . .	6
1.2 Det materielle udgangspunkt . . . . .	6
1.2.1 Skildpadden . . . . .	6
1.2.2 Afstandsmålere . . . . .	7
1.2.3 Passiv Infra-Rød sensor . . . . .	7
1.2.4 Servomotor . . . . .	7
1.3 Primære krav . . . . .	7
1.4 Sekundære krav . . . . .	8
<b>2 Planlægning</b>	<b>9</b>
2.1 Overordnet opdeling af skildpadden . . . . .	9
2.1.1 Energiforsyning . . . . .	9
2.1.2 Kontrol . . . . .	10
2.1.3 Sensorer . . . . .	10
2.1.4 Motor . . . . .	10
2.1.5 Kommunikation . . . . .	10
<b>3 Design, opbygning og afprøvning af elektronik</b>	<b>11</b>
3.1 Den generelle fremgangsmåde . . . . .	11
3.2 Fremstilling af prototype . . . . .	11
3.3 Mekanisk opbygning . . . . .	12
3.4 Beskrivelse af konstruktionsforløbet . . . . .	12
<b>4 Strømforsyning</b>	<b>13</b>
4.1 Valg af akkumulatore . . . . .	13
4.2 Afbryder og sikringer . . . . .	13
4.3 Krav til spændingsforsyningen . . . . .	13
4.4 Overordnet design af spændingsforsyningen . . . . .	14
4.4.1 Negativ forsyningsspænding . . . . .	14
4.4.2 Reference spændinger . . . . .	14
4.5 Kommentarer til detail design af spændingsforsyningen . . . . .	15
<b>5 Kontrol datamat</b>	<b>16</b>
5.1 Krav til den centrale del af datamaten . . . . .	16
5.2 Overordnet design af datamatens centrale del . . . . .	16
5.2.1 Kredsløbenes opgaver . . . . .	16
5.3 Kommentarer til detail-designet . . . . .	17
5.3.1 RESET kredsløbet . . . . .	18
5.3.2 BUS ERROR generatoren . . . . .	18

5.3.3	Interrupt styringen . . . . .	18
5.3.4	Adresse-dekodningen . . . . .	18
5.3.5	ROMen . . . . .	18
5.3.6	RAMen . . . . .	19
5.3.7	DTACK generator . . . . .	19
5.4	Hvordan <i>wait-states</i> undgås ved tilgang til RAM/ROM . . . . .	19
5.5	Montering og afprøvning af komponenter . . . . .	20
5.6	Fejl og uhensigtsmæssigheder ved datamatens centrale del . . . . .	20
5.7	Den perifere del af datamaten . . . . .	21
5.8	Overordnet design af de perifere kredsløb . . . . .	21
5.8.1	Adressedekodning . . . . .	21
5.8.2	Interrupt-styring . . . . .	21
5.8.3	MC68230 . . . . .	21
5.8.4	MC68681 . . . . .	21
5.8.5	MC6840 . . . . .	21
5.8.6	A/D omsætter . . . . .	21
5.8.7	74HCT374 . . . . .	22
5.9	Kommentarer til detail-designet af datamatens perifere del . . . . .	22
5.9.1	Adressedekodningen . . . . .	22
5.9.2	Interruptstyringen . . . . .	22
5.9.3	MC68681 og MC68230 . . . . .	22
5.9.4	MC6840 . . . . .	23
5.9.5	A/D omsætter . . . . .	23
5.9.6	74HCT374 latch . . . . .	23
5.10	Fejl og uhensigtsmæssigheder ved datamatens perifere del . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Motorstyring</b>	<b>24</b>
6.1	Stepmotorerne . . . . .	24
6.2	Krav til stepmotor-styringen . . . . .	24
6.3	Overordnet design af stepmotor-styringen . . . . .	24
6.4	Kommentarer til stepmotorstyringens detail design . . . . .	25
6.4.1	Driver kredsløbene . . . . .	25
6.4.2	De digitale kredsløb . . . . .	25
6.5	Fejl og uhensigtsmæssigheder ved stepmotorstyringen . . . . .	26
6.5.1	Driver kredsløbene . . . . .	26
6.5.2	De digitale kredsløb . . . . .	26
<b>7</b>	<b>Sensorer</b>	<b>27</b>
7.1	Beskrivelse af afstandsmålerne . . . . .	27
7.2	Krav til afstandsmåler-interfacet . . . . .	27
7.3	Overordnet design af afstandsmåler-interfacet . . . . .	27
7.3.1	Multipleks . . . . .	28
7.3.2	Tidtagning . . . . .	28
7.4	Detail-designet af afstandsmålerinterfacet . . . . .	29
7.4.1	Multipleks . . . . .	29
7.4.2	Tidtagning . . . . .	30
7.5	Fejl og uhensigtsmæssigheder i afstandsmålerinterfacet . . . . .	30
7.6	Valg af kollisionsdetektor . . . . .	30
7.7	Krav til kollisionsdetektor-interfacet . . . . .	31
7.8	Overordnet design af kollisionsdetektor-interfacet . . . . .	31

7.9 Kommentarer til detail-designet af kollisionsdetektor-interfacet . . . . .	31
<b>8 Nærhedsfølere</b>	<b>33</b>
8.1 Krav til nærhedsfølerne . . . . .	33
8.2 Principper for nærhedsføling . . . . .	33
8.3 Valg af metode . . . . .	34
8.4 Design af en reflektiv optisk sensor . . . . .	34
8.4.1 Valg af lyskilde og lyssensor . . . . .	34
8.5 Overordnet design af nærhedsføleren . . . . .	35
8.5.1 Senderen . . . . .	35
8.5.2 Modtageren . . . . .	35
8.6 Kommentarer til detail-designet . . . . .	35
8.6.1 Senderen . . . . .	35
8.6.2 Modtageren . . . . .	36
8.7 Mekanisk opbygning . . . . .	36
8.8 Anvendelse af nærhedsfølerne . . . . .	36
8.9 Afprøvning af sensoren . . . . .	37
<b>9 Afprøvning af den færdige skildpadde</b>	<b>38</b>
9.1 Test proceduren . . . . .	38
9.1.1 Opstarten . . . . .	39
9.1.2 Hovedmenuen . . . . .	39
9.2 Resultat af afprøvningen . . . . .	39
9.2.1 Trådløs kommunikation . . . . .	40
9.2.2 Lyden . . . . .	40
9.2.3 Stepmotorerne . . . . .	40
9.2.4 Afstandsmålerne . . . . .	40
<b>10 Konklusion</b>	<b>41</b>
10.1 De primære krav . . . . .	41
10.2 Sekundære krav . . . . .	41
10.3 Sammenfatning . . . . .	41
<b>A Strømforsyning II</b>	<b>42</b>
A.1 Krav til omskiftere . . . . .	42
A.2 Overordnet design af omskiftere . . . . .	42
A.3 Kommentarer til detail-designet af omskifteren . . . . .	42
A.4 Fejl og uhensigtsmæssigheder i omskifteren . . . . .	43
A.5 Krav til ladeelektronikken . . . . .	43
A.6 Overordnet design af ladeelektronikken . . . . .	43
A.7 Kommentarer til detail-designet af ladeelektronikken . . . . .	44
<b>B Motorer II</b>	<b>45</b>
B.1 Beskrivelse af servo-motoren . . . . .	45
B.2 Krav til servomotorstyringen . . . . .	45
B.3 Overordnet design af servomotor-styringen . . . . .	45
B.4 Kommentarer til detail-designet . . . . .	45
B.5 Fejl og uhensigtsmæssigheder i servomotor-styringen . . . . .	46
B.6 Beskrivelse af tusch-motoren . . . . .	46
B.7 Krav til tuschmotor-styring . . . . .	46
B.8 Overordnet design af tuschmotor-styring . . . . .	46

B.9	Kommentarer til tuschmotor-styringen . . . . .	47
B.10	Fejl og uhensigtsmæssigheder i tuschmotor-styringen . . . . .	47
<b>C</b>	<b>Sensorer II</b>	<b>48</b>
C.1	Beskrivelse af PID11 . . . . .	48
C.2	Krav til interfacet . . . . .	48
C.3	Overordnet design af interfacet . . . . .	49
C.4	Detail-designet af interfacet . . . . .	49
<b>D</b>	<b>Kommunikation</b>	<b>50</b>
D.1	Krav til RS232-C interfacet . . . . .	50
D.2	Kommentarer til detail-designet af RS232-C interfacet . . . . .	50
D.3	Krav til trådløs seriell kommunikation . . . . .	50
D.4	Overordnet design af trådløs kommunikation . . . . .	50
D.5	Kommentarer til detail-designet af trådløs kommunikation . . . . .	51
D.6	Krav til lyddelen . . . . .	51
D.7	Overordnet design af lyddelen . . . . .	51
D.8	Kommentarer til detail-designet af lyddelen . . . . .	51
D.9	Fejl og mangler i lyddelen . . . . .	51
D.10	Linkadapter . . . . .	52
D.11	Overordnet design af linkadapter-interface . . . . .	52
D.12	Kommentarer til detail-designet ad linkadapter-interface . . . . .	52
D.13	Afprøvning af link-adapteren . . . . .	53
D.14	Fejl og uhensigtsmæssigheder i linkadapter-interfacet . . . . .	53
<b>E</b>	<b>Mekanisk beskrivelse</b>	<b>54</b>
E.1	Mekanisk beskrivelse af skildpaddens ydre . . . . .	54
E.2	Skildpaddens indre . . . . .	55
E.2.1	Strømforsyning . . . . .	55
E.2.2	Servomotoren . . . . .	55
E.2.3	Tusch-motoren . . . . .	55
E.2.4	Lyden . . . . .	55
<b>F</b>	<b>Brugervejledning</b>	<b>56</b>
F.1	Opbevaring . . . . .	56
F.2	Tilslutning af service-kassen . . . . .	56
F.3	Det trådløse interface . . . . .	56
F.4	Programmering af skildpadden . . . . .	57
F.4.1	Det praktiske . . . . .	57
F.4.2	Opstart . . . . .	57
F.4.3	Memory-map . . . . .	57
F.4.4	A/D omsætter . . . . .	58
F.4.5	Strømforsyningen . . . . .	58
F.4.6	Stepmotorer . . . . .	58
F.4.7	Servomotor . . . . .	59
F.4.8	Tusch-motor . . . . .	59
F.4.9	Afstandsmålere . . . . .	59
F.4.10	Kollisions detektorer . . . . .	59
F.4.11	PIR sensor . . . . .	59
F.4.12	Nærhedsfølgere . . . . .	59
F.4.13	Serielpoort . . . . .	59



# Indledning

## Forløberen til projektet

I August 1992 deltog jeg, sammen med ca. 20 andre, i et 0.3 semesters valgfrit sommerkursus, der blev holdt af Niels Juel Jacobsen, fra LCAM<sup>1</sup>. Kursets formål var at bygge et selvstyrende køretøj, en såkaldt AGV, der skulle kunne navigere rundt i et kortlagt område med ikke kortlagte forhindringer.

AGVen skulle styres af en T800 INMOS transputer, og den skulle i det væsentligste udstyres med følgende:

- En række ultralyds afstandssensorer, til at danne sig et billede af omgivelserne med.
- En doppler radar sensor, til at registrere bevægelser med.
- En passiv infrarød detektor, til at registrere menneskers kropsvarme med.
- En D/A konverter, 20W forstærker, og højttaler; til at gengive *samplet* lyd med.
- Mikrofon, og A/D konverter, til at optage lyd med, med henblik på talegenkendelse.
- Drejelig platform, til montering af diverse sensorer.

Kursets udgangspunkt var at selve køretøjet og kontrolcomputeren, blev leveret til os i færdig tilstand. Vores opgave var så at bygge den elektronik der var nødvendig for at koble computeren til motorer og sensorer, samt at skrive de nødvendige programmer.

Transputeren blev aldrig leveret. Kørertøjet blev først leveret sidst i August, og en del af den elektronik der også skulle anvendes blev leveret endnu senere, og var fyldt med fejl.

Alle disse fortrædeligheder, og flere til; var årsag til at kurset trak længere og længere ud, uden at AGVen kom til at fungere. Samtidigt forsvandt flere og flere af deltagerne i kurset, da alle forlængst havde brugt mere end 0.3 semestre, og gerne ville passe andre fag. En lille håndfuld studerende fortsatte imidlertid, og til sidst var det eneste der forhindrede AGVen i at køre: Motorstyringen, der desværre aldrig kom til at fungere tilfredsstillende.

AGV kurset blev formelt afsluttet i November, uden at AGVen kom til at virke. Siden dengang er der imidlertid blevet opbygget en ny motorstyring, på LCAM's værksted, og en enkelt studerende er i gang med et bachelor projekt, hvor AGVen anvendes.

## Formålet med AGV kurset

Der er flere grunde til at der blev holdt et AGV kursus. En af dem er at en ihærdig gruppe mennesker forsøger at introducere nogle praktiske islæt i den del af IMADA's aktiviteter, der

<sup>1</sup>LCAM = Lindø Center for Anvendt Matematik. LCAM er den gruppe af speciale-, og forsker-studerende, fra Institut for matematik og datalogi, der under ledelse af professor John Perram, samarbejder med Odense Stålskibsvæft (Lindø værfet), om udvikling af robotstyring.

har med robotteknologi at gøre. Det var meningen at den færdige AGV skulle kunne bruges til at afprøve forskellige kontrol og navigations strategier. Den skulle kunne bruges til praktiske øvelser i robotrelaterede fag. Den skulle være en platform, hvorpå forskellige sensorer kunne afprøves. Den skulle anvendes i forbindelse med bachelor-, og speciale-projekter, inden for robot teknik.

## Ideen til skildpadde–projektet

Undervejs i AGV projektet kom jeg tilfældigt i besiddelse af et fjernstyret køretøj, en såkaldt skildpadde/*turtle*, der oprindeligt var beregnet til at illustrere *turtle*-grafik i folkeskolen. Jeg begyndte at fundere over det morsomme i at udstyre den med en computer, så den kunne fungere som en slags 'lillebror' til AGVen.

Efterhånden som det blev klart at AGV projektet var ved at løbe ud i sandet, blev min ide mere aktuel. Jeg mente at det ville være muligt at bygge den relativt lille skildpadde om til en AGV, med næsten de samme egenskaber som den store skulle have haft. Den ville ovenikøbet være mere velegnet til undervisning end den store AGV der, pga. sin størrelse, ville have yderst vanskeligt ved at navigere fornuftigt i et almindeligt lokale.

Niels Juel Jacobsen, og flere ansatte på IMADA, syntes godt om iden, og med deres hjælp lykkedes det at få realiseret den som et bachelor–projekt.

## Projektets omfang

Normalt ville min ide' blive realiseret ved at købe det meste af den nødvendige *hardware* færdigt, montere det på skildpadden, og afprøve om det virkede. Denne fremgangsmåde burde indeholde stof nok til et bachelor–projekt, der jo kun 'fylder' 0.3 semestre. Den nævnte fremgangsmåde kan desværre ikke bruges i mit projekt. De to hovedårsager er: Plads og penge. Jeg regner med at det bliver meget svært at finde en færdig datamat, der er hurtig nok, og har de nødvendige I/O faciliteter, til at styre en AGV; samtidigt med at den er så lille at den rent faktisk kan monteres på skildpadden.

Skulle man endelig finde en egned datamat, vil den formentligt være så dyr at den sprænger mit budget mange gange.

**Alternativet** til at købe færdige løsninger, er som bekendt at gøre det selv. Det eneste problem forbundet med selvbygger–løsningen, er at mange flere ting kan gå galt, og at projektet bliver en del større end et normalt bachelorprojekt.

Jeg er på forhånd klar over at der ville være utroligt meget arbejde forbundet med at genneføre projektet, og jeg var parat til at ofre en del af min fritid på det.

## Mine forudsætninger

For overhovedet at forvente at kunne bygge styreelektronikken op fra grunden, inden for et overskueligt tidsrum, kræver det visse forudsætninger.

**Datateknologi–** studiet indeholder alle fag der er nødvendige for at klare projektet. Har man fulgt undervisningen ordentligt burde man altså have de faglige forudsætninger i orden.

I dette projekt er det imidlertid ikke nok at have de faglige forudsætninger. Alt hvad jeg designet, skal jeg selv bygge, — og det skal helst virke problemfrit første gang, hvis projektet skal holde tidsplanen og budgettet.

At designe og bygge elektronik der virker første gang, kræver en baggrundsviden og erfaring, man ikke får tilstrækkeligt af ved at følge undervisningen på uddannelsen. Jeg er heldigvis i den situation at jeg har haft en interesse i mange af uddannelsens fagområder, længe før jeg begyndte på uddannelsen. Det har betydet at jeg ved siden af studierne har brugt meget tid på at arbejde med praktiske anvendelser af, især elektronikfagene, så jeg har bygget videre på den praktiske viden jeg havde i forvejen.

Eftersom projektet er meget stort, er det vigtigt at besidde en tilsvarende stor lyst til at gennemføre det. Jeg vil ikke lægge skjul på at jeg syntes det er sjovt at anvende min viden i praksis, og at det er spændende at bygge relativt avanceret elektronik. En anden væsentlig grund til at gennemføre projektet er, at jeg meget gerne ser at der bliver oprettet flere robotrelaterede fag, med et praktisk islæt.

## Projektets vision

På længere sigt er det meningen at dette projekt skal rive andre med sig. Den AGV der kommer ud af mit projekt, er i sig selv ikke særligt interessant, da den ikke er programmeret til noget. Det er mit håb at dette projekt bliver den første del i en udvikling, der medfører at skildpadden kan bruges som et let tilgængeligt undervisnings- og demonstrationsredskab, inden for robotrelaterede fag. — Nøjagtigt som det var meningen med AGVen fra sommerkurset.

At nå dette mål forudsætter at skildpadden kan programmeres i et højniveausprog, så derfor blev der startet et andet bachelor-projekt, sideløbende med mit. Målet for dette projekt er at udvikle et udviklings-system, så skildpadden kan programmeres i C.

## Næste skridt

Det næste skridt i udviklingen vil formentligt være at skildpadden bliver anvendt i et projekt, der har til formål at koordinere skildpaddens bevægelser med sensoraflæsningerne. F.eks. kunne man forstille sig at skildpadden skulle kortlægge et lokale, eller finde vej gennem en labyrinth.

## Om projektet

Som data teknologi-studerende, kan jeg gennemføre mit bachelorprojekt på Institut for matematik og datalogi, på Fysisk institut, eller på Odense Teknikum

Projektet bliver gennemført på: Institut for Matematik og Datalogi. Selv om de fag jeg primært benytter mig af er taget fra Odense Teknikum's elektronik-retning.

Grundende til dette er:

- Skildpadden skal senere anvendes til projekter og måske kurser, indenfor datalogi/robotteknologi. Sådanne projekter og kurser, vil kun blive afholdt på IMADA.
- Eftersom jeg kommer til at anvende en stor del af min fritid på projektet, er det ikke tilstrækkeligt at have adgang til værksted og udstyr inden for Odense Teknikums åbningstid. Specielt har jeg behov for at kunne anvende weekender og ferier, hvor Odense Teknikum er lukket. På IMADA har jeg derimod ubegrænset adgang til et veludstyret elektronikværksted, som jeg stort set er alene om at bruge.

## Om rapporten

Rapportens funktion er at dokumentere det arbejde jeg har lavet; ikke kun med henblik på vejleders og censors bedømmelse, men også for at tjene som dokumentation overfor de næste brugere af skildpadden.

**Projektet** er primært et konstruktionsprojekt, hvor jeg skal tage beslutninger om alt, fra den overordnede virkemåde, til modstandsværdier, og placering af skruer.

For at begrænse rapportens omfang tilstræber jeg, at give en overordnet beskrivelse af hvad der er konstrueret — hvorfor — og hvordan. Detaljerne i den konstruerede elektronik er dokumenteret i form af diagrammer<sup>2</sup>, der kun er kommenteret i rapporten i det omfang det skønnes nødvendigt for at kunne forstå dem.

Selv ved denne fremgangsmåde bliver rapporten længere end tilladt. Frem for at fjerne væsentlig dokumentation, er dokumentationen over de ting der ikke er strengt nødvendige for at projektet opfylder opgaveformuleringen, placeret bagerst i rapporten, i form af appeniks. Kun kapitlerne før appendiks skal bedømmes.

## Tak til

I forbindelse med dette projekt vil jeg gerne rette en tak til alle der har været behjælpelige med at få det oprettet, og med at løse praktiske problemer hen ad vejen.

Specielt vil jeg gerne takke: Claus Derlien, Michael Djørby, Peter Favrholt, Flemming Hansen, Jytte Hansen, Einar Hougs, Niels Juel Jacobsen, og Arne Madsen. De har hver især udvist interesse for projektet, og hjulpet mig på forskellig vis.

---

<sup>2</sup>Vedlagt som bilag

# Kapitel 1

## Forudsætninger

I dette kapitel fortolkes opgaveformuleringen med henblik på at specificere konkrete krav. Kravene deles op i primære og sekundære krav. Kravene formuleres i lyset af de økonomiske ressourcer og materialer der var til rådighed.

De primære krav er dem skildpadden mindst skal opfylde, for at leve op til opgaveformuleringen. De sekundære krav er dem skildpadden, ifølge min overbevisning, yderligere skal opfylde for at blive attraktiv at arbejde med.

### 1.1 Opgaveformuleringen

Projektets opgaveformulering er gengivet her:

Formålet er at udvikle en lille AGV (Autonomous Guided Vehicle), som kan bruges til demonstration og undervisning. Konkret skal en fjernstyret skildpadde ombygges til en potentieligt selvstyrende ved at udstyre den med sensorer og erstatte fjernstyringdelen med en datamat. Dette skal, afhængigt af den aktuelle programmering, sætte skildpadden i stand til at navigere i mere eller mindre kendte omgivelser, men der skal ikke udvikles software, som koordinerer motorstyringen med sensorafslæsningen. Design og konstruktion af AGV'ens mikrodatamat (baseret på en MC68008 processor) er en del af projektet.

### 1.2 Det materielle udgangspunkt

Projektet skulle realiseres for et budget på 5400kr. og følgende materialer var til rådighed ved projektets start:

- 1 Skildpadde.
- 3 Afstandsmålere.
- 1 Passiv infrarød sensor.
- 1 Servomotor.

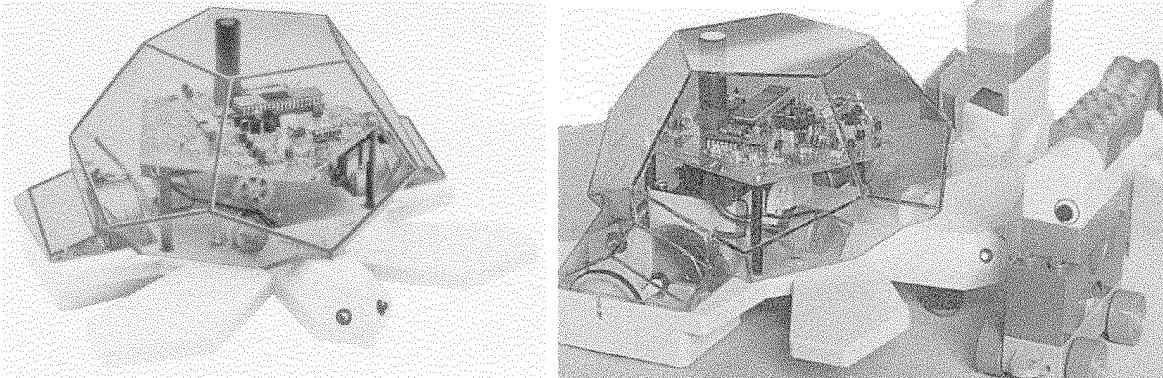
#### 1.2.1 Skildpadden

Den skildpadde, der refereres til gennem hele dette projekt, er et lille køretøj, der oprindeligt blev brugt til EDB undervisning i folkeskolen, se figur 1.1. Skildpadden består af et plasticfundament, hvorpå der er monteret to stepmotorer, der via en simpel gearing står i forbindelse med dens to hjul. Den har et tredie støttepunkt i form af en fritdrevende stålkugle. De små hjul, og stålkuglen gør den i stand til at foretage meget præcise manøvrer. Midt imellem hjulene har den en holder til en tusch, der kan hæves og sænkes ved hjælp af en almindelig jævnstrøms-motor.

De mekaniske dele og styreelektronikken er beskyttet af et 'skjold' lavet af grønt acryl. Plastic fundamentet og skjoldet er udformet, så hele køretøjet ligner en rigtig skildpadde, med ben, hals og hoved. Øjnene består af to røde lysdioder.

Skildpadden var oprindeligt beregnet til fjernstyring. Den var forsynet med en enkelt printplade, der

indeholdt en single-chip-computer, driver-IC<sup>1</sup>er til stepmotorene, nogle passive komponenter, og en hel serie infrarøde modtager-dioder. Skildpadden var forsynet med strøm fra 10stk. NiCd<sup>2</sup> akkumulatorer. Se iøvrigt [1] og [2]



Figur 1.1: Den oprindelige skildpadde.

### 1.2.2 Afstandsmålere

Afstandsmålerne virker vha. sonar<sup>3</sup>. De aktuelle afstandsmålere er fremstillet af firmaet Polaroid, der påstår at de kan måle afstande fra 16cm. til 10m, med en nøjagtighed på 1% [5].

### 1.2.3 Passiv Infra-Rød sensor

PIR<sup>4</sup> sensorer er beregnet til at måle ændringer af intensiteten af den langbølgede infrarøde stråling, der udsendes af legemer nær stuetemperatur. Den aktuelle sensor er en PID11 fra firmaet SIEMENS [26].

### 1.2.4 Servomotor

Den aktuelle servomotor er en positions-servo, af en type der ofte anvendes i forbindelse med fjernstyrede modeller. Motoren er ikke helt komplet, idet den ikke er koblet til et reguleringsssystem [27, Side 767].

## 1.3 Primære krav

For at leve op til opgaveformuleringen skal følgende krav opfyldes:

- Der skal designes og konstrueres en MC68008 baseret mikrodatamat, der skal monteres på skildpadden.
- Datamaten skal kunne styre skildpaddens to stepmotorer uafhængigt af hinanden.
- Skildpadden skal udstyres med forskellige sensorer, der skal give datamaten mulighed for at skaffe sig tilstrækkelige oplysninger om skildpaddens omgivelser, til at skildpadden kan udgå forhindringer.
- Skildpadden skal medbringe sin egen energiforsyning i form af batterier.

<sup>1</sup>IC = Integrated Circuit.

<sup>2</sup>Nikkel-Cadmium

<sup>3</sup>Sound navigation ranging

<sup>4</sup>PIR = Passiv Infra Rød

## 1.4 Sekundære krav

- For at kunne anvende relativt omfattende programmer og datatyper skal datamaten udstyres med mindst 128KBytes<sup>5</sup> RAM<sup>6</sup>.
- For at tage højde for senere brugeres eventuelle ønsker om tilslutning af flere sensorer, og anvendelse af større programmer/datatyper, skal det være muligt at udvide datamaten med ekstra I/O<sup>7</sup> muligheder og ekstra RAM.
- For at gøre programmeringen af datamaten lettere, skal skildpaddens datamat kunne kommunikere med en stationær datamat/terminal, med henblik på at overføre data og programmer til skildpadden. Denne to-vejs-kommunikation tænkes at foregå via et kabel, der afmonteres når de relevante oplysninger er udvekslet<sup>8</sup>.
- For at have en form for kontrol med skildpadden under kørslen, skal det være muligt at give skildpaddens datamat simple 'order', uden at den er fysisk forbundet til den stationære datamat. F.eks. via nogle få taster på skildpadden.
- For at kunne følge med i hvad skildpaddens program laver, skal skildpaddens datamat kunne afgive simple statusmeddelelser under kørslen, f.eks. gennem kontrollamper eller via et lille display.
- For at udnytte den givne mekanik fuldt ud, må skildpaddens bevægelser kun begrænses af mekanikken (motorer og gearing), ikke af styreelektronikken.
- Skildpaddens tusch-holder skal kunne hæves og sænkes af datamaten.
- For ikke at blive begrænset af fastmonterede sensorer, skal skildpadden forsynes med en drejelig platform, hvorpå der kan monteres sensorer.
- For at kunne anvendes til demonstration og undervisning, skal skildpaddens batterier kunne forsyne elektronikken og motorerne med strøm i mindst en halv time.
- For at gøre skildpadden brugervenlig, skal dens batterier kunne lades op, uden at det er nødvendigt at afmontere dem.
- For at kunne arbejde med skildpadden, uden at anvende batterierne, skal den via et kabel kunne forsynes med strøm fra en ekstern strømforsyning.
- For at undgå at uforvarende personer træder på skildpadden, og for at give skildpadden et humoristisk aspekt, skal den kunne afspille både simple advarsels-lyde, og digitaliseede (samplede) lyde. Lydkvaliteten er ikke vigtig, man skal blot kunne forstå evt. afspillet tale.

---

<sup>5</sup>Det er umuligt at argumentere for en bestemt mængde RAM. 128KBytes blev valgt udfra en vurdering om hvad der pladsmæssigt ville være realistisk.

<sup>6</sup>RAM = *Random Access Memory* (se ordforklaringen). Hukommelse hvori der både kan læses og skrives.

<sup>7</sup>I/O = Input/Output

<sup>8</sup>Den mest primitive måde at programmere datamaten på, er at overføre programmer/data til den vha. en udskifteligt PROM (Programmable Read Only Memory, se ordforklaringen).

# Kapitel 2

## Planlægning

I dette kapitel deles projektet op i mindre delopgaver, og det specificeres hvordan hver enkelt del skal leve op til sine krav.

### 2.1 Overordnet opdeling af skildpadden

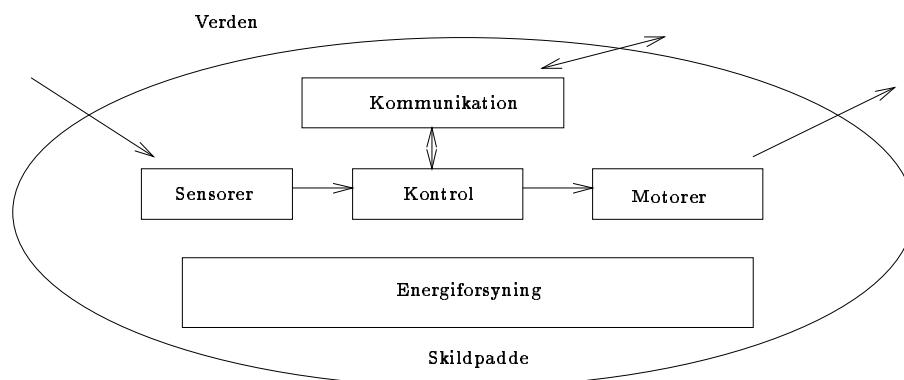
Som vist på figur 2.1 deles skildpadden op i følgende dele:

- Energiforsyning.
- Kontrol.
- Sensorer.
- Motorer.
- Kommunikation.

#### 2.1.1 Energiforsyning

Energiforsyningen opbygges omkring et antal NiCd akkumulatorer. Forsyningen skal udstyres med en 'omskifter', der kan vælge om der tages strøm fra akkumulatorene, eller fra en ekstern forsyning (via et kabel). Forsyningen udstyres med elektronik, der gør det muligt at lade akkumulatorene op uden at afmontere dem, og uden at slukke for strømmen til skildpaddens elektronik.

I kapitel 4 beskrives valget af akkumulator, og hvordan de nødvendige spændinger genereres. I Appendix A beskrives omskifteren og ladeelektronikken.



Figur 2.1: Skildpaddens elektroniske grundbestanddele.

## 2.1.2 Kontrol

Skildpadden kontrolleres af en MC68008 baseret mikrodatamat. MC68008 blev valgt fordi en stor del af IMADA<sup>1</sup>'s computere er MC68XXX baserede, og fordi MC68008 er den MC68XXX processor der er mest velegnet til fysiske små applikationer, idet den kræver få eksterne komponenter for at fungere.

I afsnit 5 beskrives hvordan datamaten er designet og konstrueret.

## 2.1.3 Sensorer

De tre afstandsmålere og PIR sensoren anvendes til at undersøge området foran skildpadden. For ikke at gøre skildpadden 'blind' til siderne og bagud, udstyres den med kollisionsdetektorer og nærhedssensorer på strategiske steder.

I 7 beskrives hvordan afstandsmålerne kobles til datamaten, hvilke kollisionsdetektorer der vælges, og hvordan de kobles til datamaten.

PIR sensoren behandles i appendiks C.

I kapitel 8, beskrives udviklingen af en reflektiv optisk nærhedsføler.

## 2.1.4 Motor

Ud over de to stepermotorer udstyres skildpadden med en servomotor, til at styre den drejelige platform. For at få endnu et humoristisk aspekt ind i skildpadden bibringes dens tusch-holder, hvis motor skal styres af datamaten.

I 6 beskrives hvordan stepermotorerne kobles til datamaten. I B beskrives hvordan servomotoren og tusch-motoren kobles til datamaten.

## 2.1.5 Kommunikation

For at kommunikere med en stationær datamat-terminal, udstyres skildpadden med et 'skrabet' RS232-C interface. Med 'skrabet' menes at kun RXD og TXD anvendes<sup>2</sup>.

For at kunne afgive statusmeddelelser og modtage kommandoer under kørslen, udstyres skildpadden med et interface til trådløs to-vejs halv duplex<sup>3</sup> kommunikation. Rækkevidden skal være 1 meter, og overførselshastigheden skal være mindst 75bps<sup>4</sup>.

I D beskrives hvordan de to former for kommunikation, samt lydgengivelsen realiseres.

---

<sup>1</sup> Institut for MAtematik og DAatalogi, Odense universitet

<sup>2</sup> RS232-C standarden er beskrevet i [28, side 76-77].

<sup>3</sup> Der kan ikke sendes og modtages samtidigt.

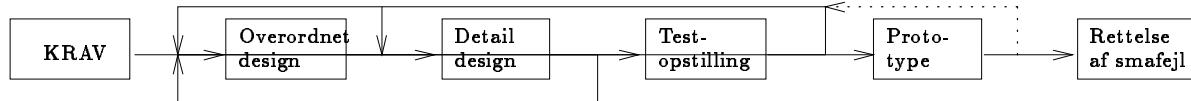
<sup>4</sup> bps, forkortelse for bits pr. sekund.

# Kapitel 3

## Design, opbygning og afprøvning af elektronik

I dette kapitel beskrives fremgangsmåden for konstruktion af skildpaddens elektronik.

### 3.1 Den generelle fremgangsmåde



Figur 3.1: Fremgangsmåden ved konstruktion af elektronik.

Figur 3.1 Viser en grafisk fremstilling af konstruktionsforløbet. De enkelte dele beskives i det følgende.

**Krav:** Hvert delkredsløb skal opfylde visse krav.

**Overordnet design:** Ud fra kredsløbets kravspecifikation udarbejdes et forslag til kredsløbets overordnede virkemåde.

**Detail design:** Det planlægges hvilke komponenter der skal anvendes, og hvordan de skal kobles sammen, for at realisere det overordnede design. Udover det funktionelle tages der hensyn til komponenternes: Strømforbrug, pladsforbrug, pris, og leveringsmuligheder.

I denne fase kan det vise sig at det overordnede design er upraktiskt, og bør ændres.

**Test opstilling:** Det kan være nødvendigt at afprøve forskellige dele af detail designet<sup>1</sup>. Testopstillingen kan vise at kredsløbet ikke virker som beregnet, og at der derfor skal ændres i designet.

**Prototype:** Når man er tilfreds med sit design, opbygges en prototype, der afprøves. Hvis prototypen ikke virker som forventet, kan det være nødvendigt at lave drastiske ændringer i designet, og bygge en ny prototype.

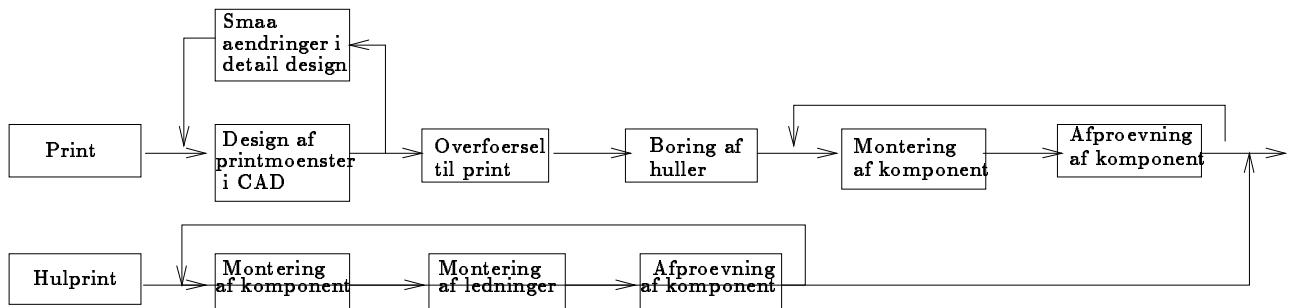
**Rettelser af småfejl:** Prototypen kan være behæftet med småfejl. Enten designfejl der er så små at det ikke er nødvendigt at bygge en ny prototype, eller mekaniske fejl, som glemte forbindelser etc. Småfejl rettes typisk ved en kombination af at: Afbryde printbaner, forbinde komponenter vha. lus<sup>2</sup>, og montere komponenter på bagsiden af printet.

### 3.2 Fremstilling af prototype

Figur 3.2 illustrerer fremstillingsforløbet for en prototype. Figuren er forklaret i det følgende.

<sup>1</sup> Denne fase klares, i industrien, i stigende grad af computersimulationer.

<sup>2</sup>Lus : fagudtryk for korte forbindelse ledninger.



Figur 3.2: Fremgangsmåden ved fremstilling af prototype

**Valg af printtype:** Komplekse opstillinger opbygges på almindelig print/trykt-kredsløb, mens simple opstillinger opbygges på hulprint.

**Design af print i CAD:** <sup>3</sup> Printmønsteret tegnes vha. et CAD program. Det tilstræbes at følge de generelle retningslinier fra [24, afsnit 11]. Undervejs i designet af printmønsteret kan det vise sig praktisk/nødvendigt at lave små ændringer eller tilføjelser i detail-designet.

**Overførsel til print:** Udskriften af printmønsteret overføres til printet via en række fotografiske processer.

**Montering og afprøvning af komponent:** Komponenterne monteres lidt efter lidt, og deres funktion i kredsløbet afprøves undervejs. Metoden er langvarig og besværlig, men til gengæld findes alle fejl undervejs, og man sparer en omfattende og mere besværlig fejlsøgning senere.

### 3.3 Mekanisk opbygning

Elektronikken opbygges hovedsageligt på tre printplader, der fremover refereres som: Effekt kortet, CPU-kortet, og I/O kortet. Effekt-kortet monteres på de afstandsstykker der fastholdt den oprindelige elektronik. Effekt-kortet udstyres med et stativ, hvorpå CPU-kortet og I/O kortet kan monteres.

Effekt-kortet udførtes så dets fysiske form, og komponentplacering<sup>4</sup> passer til skildpaddens form.

CPU-kortet og I/O kortet udførtes som rektangulære, 10cm brede print, der henholdsvis er 12 og 13 cm lange.

Den elektronik der ikke opbygges på et af disse tre print, opbygges på små stykker hulprint, der placeres hvor der er plads.

### 3.4 Beskrivelse af konstruktionsforløbet

Det er for omfattende en opgave at give en detaljeret beskrivelse af alle faser i konstruktionsforløbet, for alle skildpaddens kredsløb.

Det vælges at beskrive kravspecifikationen og det overordnede design, for hver del af skildpadden. For eksemplets skyld, beskrives detail-designet/implementationen for enkelte delkredsløb, men resten af kredsløbene detail-design/implementation kommenteres kun i det omfang der skønnes nødvendigt.

Det beskrives på hvilket print/hulprint hvert delkredsløb er opbygget, og specielle detaljer ved printmønsteret kommenteres. For større kredsløb gives en kort, overordnet beskrivelse af rækkefølgen komponenterne monteres og afprøves i.

Det beskrives hvilke fejl der findes ved hvert kredsløb, og hvordan de rettes.

<sup>3</sup>CAD = Computer Aided Design

<sup>4</sup>For at udnytte pladsen bedst muligt, monteres printet med komponenterne nedad, hvilket stiller krav til placeringen af høje komponenter.

# Kapitel 4

## Strømforsyning

I dette kapitel beskrives valget af akkumulatore, og den elektronik der genererer de nødvendige spændinger.

### 4.1 Valg af akkumulatore

Det skønnes at den digitale elektronik, der skal forsynes med 5V, får et strømforbrug på 1A...2A, svarende til et maksimalt effektforbrug på 10W.

Den analoge elektronik, der primært skal forsynes med 12V...15V, skønnes at få et strømforbrug på 100mA...200mA, svarende til et maksimalt effektforbrug på 3W.

De motorer skildpadden primært vil anvende, er stepmotorerne, der skønnes at bruge ca. 3W.<sup>1</sup>

**Skildpaddens** indbyggede batterikasser har plads til 12 stk. størrelse AA<sup>2</sup> elementer. NiCd akkumulatorer har en polspænding på ca. 1.2V, og de bedste akkumulatore i størrelse AA har en kapacitet på 800mAh. Tolv akkumulatore i serie vil afgive en spænding på 14.5V, og vil rumme ca. 12Wh<sup>3</sup>. Med en ideel spændingsomformere (14.4V til 5V) vil 12 AA akkumulatore kunne drive elektronik og stepmotorer i 45 min.

De bedste spændingsomformere, det er praktiskt muligt at fremstille, har en effektivitet på 70%...80%, hvilket bringer køretiden ned til ca. 35 minutter.

I stedet for at satse på kun at anvende 12 AA akkumulatore og en relativt kostbar spændingsomformer, vælges det at forsyne den digitale elektronik med strøm fra 4 stk størrelse A akkumulatore, der afgiver en spænding på i alt 4.8V, og har en kapacitet på 2.2Ah. Akkumulatorene rummer ca. 10Wh, og kan derfor forsyne den digitale elektronik i mindst en time. De 4 akkumulatorer placeres under skildpaddens to 'forben'.

Af økonomiske årsager har de 12 akkumulatorer i batterikasserne, *kun* en kapacitet på 750mAh, svarende til et energi-indhold på 10.8Wh. De kan altså forsyne den analoge elektronik og motorerne med strøm i ca. 100 minutter. Da motorerne ikke vil blive anvendt hele tiden, vil der formentlig være strøm til mindst to timers forbrug.

### 4.2 Afbryder og sikringer

Skildpaddens indbyggede topolede omskifter anvendes som afbryder for de to sæt batterier. 14.4V forsyningen udstyres med en 750mA<sup>4</sup> flink sikring, og 4.8V forsyningen udstyres med en 2A flink sikring.

### 4.3 Krav til spændingsforsyningen

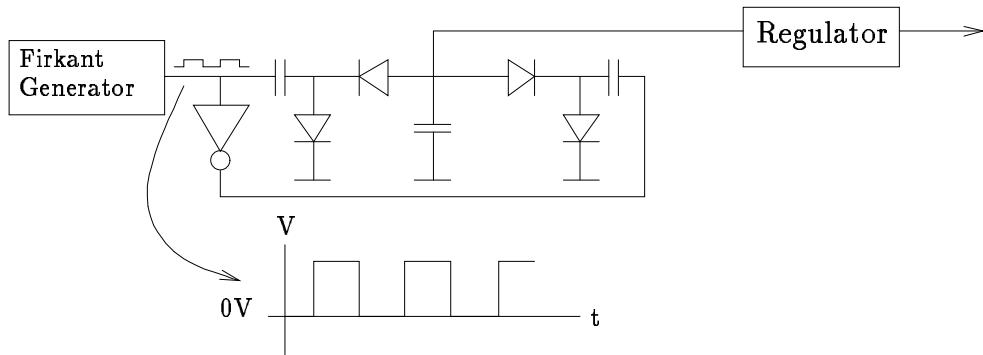
Den digitale elektronik anvender spændingen fra de fire 2.2Ah akkumulatore direkte.

<sup>1</sup> Stepmotorerne forsynes med 12V...18V, og bruger ca 100mA hver ved normal kørsel.

<sup>2</sup> Elementer i størrelse AA er cylindriske, 50mm lange, og 14mm i diameter.

<sup>3</sup>  $12 \times 1.2V \times 800mAh = 11.52 Wh$ . (1Wh = 3600J)

<sup>4</sup> Det skal være muligt at anvende såvel stepmotorerne som servo- og tusch-motoren samtidigt.



Figur 4.1: Principdiagram over spændings-venderen.

Den analoge elektronik har brug for flere forskellige forsyningsspændinger og reference-spændinger:

**Positiv forsyningsspænding:** Den analoge elektronik skal forsynes med en spænding på 12V...15V, og der skal kunne bruges op til 200mA.

**Negativ forsyningsspænding:** Der skal anvendes negative spændinger til forskellige kredsløb i skildpadden. Den negative forsyningsspænding skal være under -6V, og der skal kunne bruges op til 30mA.

**5V reference:** I forbindelse med D/A omsættere og andre kredsløb, skal der bruges en reference-spænding på 5V. Nøjagtigheden er ikke afgørende, det betyder mere at spændingen er stabil. Da der anvendes 8-bits D/A og A/D omsættere, bør referencespændingen ikke variere mere end:  $\frac{1}{2 \times 2^8} \approx 0.2\%$ <sup>5</sup>, hvis omsætterne skal udnyttes optimalt.

**-5V reference:** I forbindelse med den anvendte A/D omsætter skal der bruges en negativ reference-spænding, med samme karakteristika som 5V referencen.

**Den halve forsyningsspænding:** I forbindelse med servo- og jævnstrømsmotorerne, samt i forbindelse med audio-forstærkeren anvendes den halve positive forsyningsspænding som 'nulpunkt'.

**Den halve forsyningsspænding + 5V** I forbindelse med servomotoren anvendes summen af 5V referencen og den halve forsyningsspænding.

## 4.4 Overordnet design af spændingsforsyningen

Den digitale elektronik kobles direkte til 2.2Ah akkumulatorerne (gennem afbryder og sikring).

Forsyningsspændingen til den analoge elektronik tages direkte fra de tolv 750mAh akkumulatore (gennem afbryder og sikring).

### 4.4.1 Negativ forsyningsspænding

Principdiagrammet for den elektronik der genererer den negative forsyningsspænding er vist på figur 4.1

Den negative forsyningsspænding genereres vha. en dobbelt diodepumpe. For at fjerne *ripple*<sup>6</sup> støj stabiliseres den resulterende spænding vha. en spændingsregulator.

### 4.4.2 Reference spændinger

Der anvendes en integreret spændingsreference til at generere 5V referencen. Den halve forsyningsspænding genereres vha. en spændingsdeler, og en OP-AMP<sup>7</sup>. Alle andre referencespændinger genereres ud fra disse to vha. OP-AMPs og passive komponenter.

<sup>5</sup> Opløsningen på en 8-bits A/D omsætter

<sup>6</sup> Se [25, afsnit 13-10]

<sup>7</sup> OP-AMP = Operational AMPlifier, på dansk: Operationsforstærker, se ordforklaringen.

## 4.5 Kommentarer til detail design af spændingsforsyningen

Hele strømforsyningen er opbygget på effekt-kortet. Diagrammet over effekt-kortet er gengivet på bilag 3a

**Diodepumpens** aktive del (U1) er en LM556, hvis ene halvdel er koblet som oscillator (ca. 30kHz, 50% duty cycle). Den anden halvdel er koblet som en *inverter*, hvis udgang er i modfase med oscillatoren udgang.

For at forhindre støj fra diodepumpen i at forplante sig til resten af kredsløbet er U1 afkoblet med C7, L3 og C13.

**Spændingsregulatorens** aktive del består af T6 og T7, der styres af D8

# Kapitel 5

## Kontrol datamat

Konstruktionen af kontroldatamaten er den del af projektet der har krævet mest tid. Designet er grundlæggende overført fra [13], [14], og [15], men der er foretaget ændringer og modifikationer ved stort set alle kredsløb.

**Beskrivelsen** af datamaten deles i to logiske dele: Den centrale del, og den perifere del.

Den centrale del af datamaten består af en CPU<sup>1</sup>, RAM, ROM, og et antal hjælpekredsløb (reset, clock-generator etc.).

Den perifere del består af de kredsløb der danner interfacet imellem CPUen og sensorer, motorer, etc. I dette kapitel beskries kun de dele der er koblet direkte til CPUen.

**Datamaten** er fysisk opbygget på to printplader: CPU-kortet, og I/O kortet. CPU-kortet indeholder datamatens centrale del, samt nogle enkelte perifere kredsløb. I/O kortet indeholder resten af de perifere kredsløb, samt styre-elektronikken til stepmotorerne, og afstandsmålerne.

De to printplader er forbundet med et 50 polet fladkabel, der overfører alle nødvendige adresse, data, og kontrolliner.

### 5.1 Krav til den centrale del af datamaten

- Datamaten skal anvende Motorolas MC68008 mikroprocessor som CPU.
- For at udnytte CPUen optimalt skal den styres af en clockfrekvens på 10MHz<sup>2</sup>.
- For at udnytte CPUen optimalt skal dens adgang til RAM/ROM kunne foregå uden *wait-states*<sup>3</sup>.
- Datamaten skal udstyres med 128KBytes RAM, og 32KBytes<sup>4</sup> ROM.

### 5.2 Overordnet design af datamatens centrale del

En stor del af det overordnede design er taget fra [13]. De eneste drastiske afvigelser herfra er RAMen og DTACK generatoren. Figur 5.1 viser en skitse af datamatens centrale del.

#### 5.2.1 Kredsløbenes opgaver

**RESET** kredsløbet har samme opgave som i [13], og der henvises dertil for detaljer.

**Clock generatoren** skal generere et 10Mhz signal, der overholder kravene i [8].

**BUS ERROR** kredsløbet har samme opgave som i [13], og der henvises dertil for detaljer.

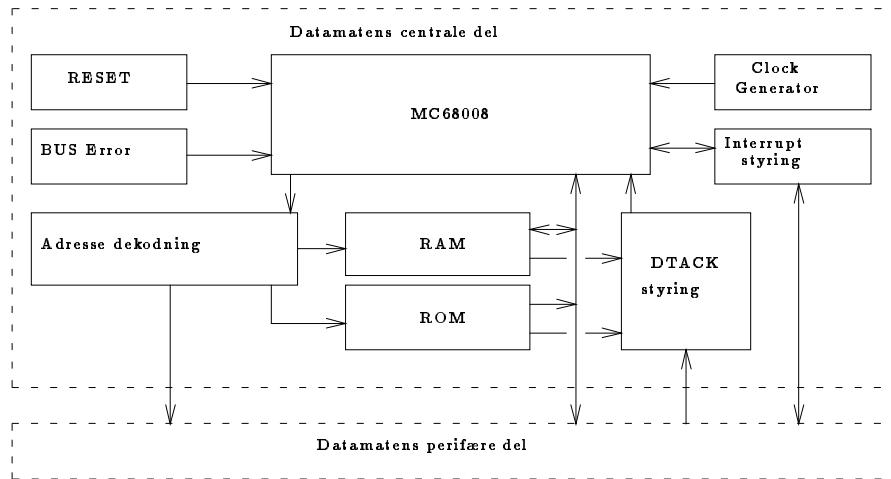
---

<sup>1</sup>CPU = Central Processing Unit.

<sup>2</sup>MC68008 fås i 8- og 10-Mhz versioner.

<sup>3</sup>*wait-states* = Pauser der kan indsættes i CPUens *timing*, for at vente på langsomme enheder.

<sup>4</sup>Størrelsen af ROM er fastlagt ud fra en vurdering om hvad der er rimeligt.



Figur 5.1: Skitse af datamatens centrale del.

**Interrupt styringen** har samme opgave som i [13], og der henvises dertil for detaljer.

**Adresse dekodningen** skal dekode den adresse CPUen skriver på sine adresselinier, og derudfra vælge hvilken hukommelses- eller periferi-enhed der skal adresseres. Hukommelsen deles op som vist i tabel 5.1.

Adresseområde (hexadecimalt)	Størrelse	Anvendelse
00000 – 1FFFF	128KBytes	RAM
20000 – F3FFF	848KBytes	Reserveret til udvidelse af RAM
F4000 – F7FFF	16KBytes	Reserveret til perifere kredsløb
F8000 – FFFFF	32KBytes	ROM

Tabel 5.1: Opdelingen af MC68008P's 1MByte adresseområde.

RAMen placeres først, for at kunne programmere CPUens *exception vectors* dynamisk.

Adresse dekoderen skal dele hukommelsen op i mindre stykker end vist i tabel 5.1, men det vendes der tilbage til.

**RAMen** skal lagre data og programmer. Der anvendes statisk RAM, der er nemmere at anvende<sup>5</sup> end dynamisk.

**ROMen** skal lagre data og programmer. Der anvendes EPROM<sup>6</sup>, der kan programmeres og slettes flere gange.

**DTACK styringen**<sup>7</sup> skal generere et DTACK signal til CPUen når RAMen, ROMen, eller de perifere kredsløb er klar til at udveksle data med CPUen.

### 5.3 Kommentarer til detail–designet

Datamatens centrale del er, sammen med nogle få perifere kredsløb, opbygget på det print der kaldes: CPU-kortet. Diagrammet over CPU-kortet er gengivet på bilag 1a. Der henvises til diagrammet i resten af afsnit 5.3

<sup>5</sup>Tilkoblingsmæssigt

<sup>6</sup>EPROM = Erasable Programmable Read Only Memory. EPROMer slettes vha. ultraviolet lys, og programmeres vha. en EPROM brænder.

<sup>7</sup>DTACK = Data Transfer ACKnowledge

Signal	Adresseområde (Hex)	Betinget af
<u>INTERN RAM</u>	00000 – 1FFFF	$\overline{IACK\ CYCLE} \cdot AS$
<u>EXTERN RAM</u>	20000 – F3FFF	$\overline{IACK\ CYCLE} \cdot (DS + \overline{R}/W)$
<u>INTERN I/O</u>	F4000 – F41FF	$\overline{IACK\ CYCLE} \cdot DS$
<u>EXTERN I/O</u>	F4200 – F7FFF	$\overline{IACK\ CYCLE} \cdot DS$
<u>ROM</u>	F8000 – FFFFF	$\overline{IACK\ CYCLE} \cdot AS$

Tabel 5.2: Chip select signaler genereret af U6

### 5.3.1 RESET kredsløbet

RESET kredsløbet er bygget op omkring en LM555 timer (U11). U11 er koblet så den afgiver en puls på ca. 300ms når der tændes for strømmen, eller når der trykkes på RESET knappen.

### 5.3.2 BUS ERROR generatoren

BUS ERROR generatoren er som i [13] opbygget af en 74LS175 (U8). Bemærk at  $\overline{AS}$  inverteres af U7.

### 5.3.3 Interrupt styringen

Interruptstyringen er opbygget efter samme princip som i [13], men der anvendes programmerbar logik (U7), fremfor standard TTL-kredse. Programmeringen af U7 er gengivet på bilag 11b.

Bemærk at  $IACK_2$  og  $IACK_5$  er aktive høje, mens  $\overline{IACK_7}$  er aktiv lav. Bemærk også at U7 inverterer  $\overline{IACK\ CYCLE}$ .

### 5.3.4 Adresse-dekodningen

Adresse dekodningen er, som i [13], opbygget vha. programmerbar logik, men dekodningen er gjort mere 'findelt', ved at lade flere adresseliner indgå i dekoderens betingelser.

Adresse dekoderen opbygges så den genererer CS<sup>8</sup> signaler, der kan kobles direkte til de aktuelle hukommelses-/pereferi-kredse.

Den del af dekodningen der har betydning for datamatens centrale del, behandles af U6<sup>9</sup>, der dekoder  $A_{9..19}$ ,  $\overline{IACK\ CYCLE}$ ,  $AS$ ,  $\overline{DS}$ , og  $R/\overline{W}$ . Ud fra disse signaler genererer U6 et antal CS signaler, der er gengivet i tabel 5.2. U6' er programmeret så INTERN RAM 'omdirigeres' til ROM, når MAP indgangen er aktiv. MAP styres af U9, og er aktiv under de første otte *BUS-cycles* efter RESET, så CPUen indlæser sine opstarts vektorer fra ROMens adresse 0 til 7.

De fem CS signaler aktiveres ved forskellige betingelser. Fælles er at  $\overline{IACK\ CYCLE}$  skal være passiv (høj). De første 128KBytes RAM, og ROMen aktiveres så snart CPUen indikerer at adressebussen er stabil ( $AS$  lav). Begge I/O områder aktiveres når CPUen indikerer at databussen er klar til dataoverførslen ( $\overline{DS}_{lav}$ ), og CS til evt. RAM udvidelser aktiveres når CPUen er klar til dataoverførsel, eller når CPUen indikerer at den vil skrive ( $R/\overline{W}$  lav).

De forskellige betingelser er motiveret af ønsket om at undgå *wait-states* for RAM og ROM, samtidigt med at det skal være muligt for CPUen at udføre *read-modify-write cycles* i alle områder af hukommelsen. For en dybere forståelse af denne problematik henvises til [8] og [9].

### 5.3.5 ROMen

Der anvendes en 27256 EPROM (U5), der kobles til CPUen på samme måde som i [13]. Bemærk at ben 1 er koblet til  $A_{15}$ , så det er muligt at anvende en 27512, 64KBytes EPROM ved at omprogrammere addreddedeoderen (U6). Det er muligt at anvende 27128 (16KBytes) og 2764 (8KBytes) uden videre, de vil blot spejle sig henholdsvis to og fire gange i 32KBytes området.

Bemærk at addreddedeoderen tillader at der skrives til ROMen, men at ROMens  $\overline{OE}^{10}$  indgang kun aktiveres ved læsning.

<sup>8</sup>CS = Chip Select.

<sup>9</sup>U6's program er gengivet på bilag 11a

<sup>10</sup>OE = Output Enable

### 5.3.6 RAMen

Der anvendes en 628128-70 (128KBytes, 70ns) statisk RAM (U4), der kobles til CPUen på samme måde som ROMen. Den eneste forskel er at RAMen har en  $\overline{WE}^{11}$  indgang, der kobles til  $R/\overline{W}$  fra CPUen.

Bemærk at indholdet af RAMen ikke går tabt når datamaten genstartes med *reset* knappen.

### 5.3.7 DTACK generator

I [13] samles  $\overline{DTACK}$  fra alle enheder af en integreret AND gate. I dette design forudsættes det at alle enheder der genererer  $\overline{DTACK}$  signaler har en *open collector* eller lignende udgang. Under denne forudsætning kan alle  $\overline{DTACK}$  signaler kobles sammen, og trækkes høj af en *pullup* modstand (R5).

$\overline{DTACK}$  fra de første 128KBytes RAM, og ROMen, genereres vha. en DS1000-100 delay line (U10). U10's indgang får et signal ( $\overline{DELAY}$ ) fra U6 når der skal genereres et  $\overline{DTACK}$  signal<sup>12</sup>. U10 forsinket signalet 20, 40, 60, 80, eller 100ns, alt efter hvilken af de 5 udgange der forbinderes vha. J1. Hvor meget det er nødvendigt at forsinke signalet afhænger af hvor hurtige RAM og ROM kredse der anvendes<sup>13</sup>. U10 har ikke *open collector* udgange, men ved at forbinde den valgte udgang til CPUens  $\overline{DTACK}$  indgang via D1, og ved at forbinde *pullup* modstanden til U10's udgang i stedet for 5V, opnås samme effekt. Bemærk at D1 er en shottky diode, der kun har et spændingsfald i lederetningen på 0.3V.

## 5.4 Hvordan *wait-states* undgås ved tilgang til RAM/ROM

Dette afsnit er et eksempel på de overvejelser der er foretaget i forbindelse med detail-designet af datamaten. Det er ikke nødvendigt, for den generelle forståelse af datamaten, at læse dette afsnit.

Gennem hele afsnittet refereres til *timing-diagrammerne* i [8], samt til diagrammet over CPU-kortet.

Med den planlagte addreddedekodeering vil RAM og ROM få deres *Chip Select* ca. 20ns<sup>14</sup> efter  $\overline{AS}$  går lav. Det samme gælder  $\overline{DELAY}^{15}$ , der dog kommer op til 10ns<sup>16</sup> senere ved skrivning.

For at undgå *wait states* skal  $\overline{DTACK}$  komme senest 10ns<sup>17</sup> før *state 5*.  $\overline{AS}$  kan komme så sent som 50ns<sup>18</sup> efter *state 2*. Der må altså maksimalt gå 150ns – (10ns + 50ns) = 90ns<sup>19</sup> fra  $\overline{AS}$  til  $\overline{DTACK}$ , hvis *wait-states* skal undgås.

Ved læsning skal hukommelsen have data klar senest 65ns<sup>20</sup> efter  $\overline{DTACK}$ , hvilket betyder at RAM og ROM har 65ns + 90ns – 20ns = 130ns<sup>21</sup> fra *Chip Select* til *Data valid*, ved læsning.

Ved skrivning er det lidt simplert. Hvis  $\overline{DTACK}$  kommer så tidligt at *wait states* undgås, vil  $\overline{AS}$  og dermed *Chip Select* være aktiv i mindst 195ns<sup>22</sup>. Adresselinierne er stabile i hele dette tidspunkt, og pga. forsinkelsen i addreddedekodeeringen vil  $R/\overline{W}$  også være lav i hele *Chip Select* tidsrummet. Datalinierne vil være stabile i min 125ns<sup>23</sup>, sidst i *Chip Select* perioden. RAMen har altså 195ns fra *Chip Select* til *end of write*, og 125ns fra *data valid* til *end of write*.

Både RAMer og ROMers hastighed angives som tiden fra *Chip Select* til *Data Valid* ved læsning. Der skal anvendes RAM/EPROM der er hurtigere end 130ns, hvis *wait states* skal undgås ved læsning.

Der er flere parametre der gør sig gældende mht. skrivehastigheden i en RAM. Men pga. den relativt lange tid fra *Data valid* til *end of write*, vil det være længden af *Chip Select* der er afgørende. En 195ns RAM vil normalt opfylde tidskravene ved skrivning. RAMens hastighed skal altså vælges ud fra tidskravene ved læsning.

<sup>11</sup> WE = Write Enable

<sup>12</sup>  $\overline{DELAY}$  er betinget af:  $\overline{IACK CYCLE} \cdot (DS + \overline{R}/\overline{W})$

<sup>13</sup> Se afsnit 5.4

<sup>14</sup> Forventet forsinkelse i U6.

<sup>15</sup>  $\overline{DELAY}$  er det signal U6 genererer til U10.

<sup>16</sup> 20A (Parameter nr. 20A i [8, side 3-50]).

<sup>17</sup> Parameter nr. 47 i [8, side 3-50].

<sup>18</sup> Parameter nr. 9 i [8, 3-50].

<sup>19</sup> Det antages at clock signalet er symmetrisk, og at 3-states derfor tager 150ns.

<sup>20</sup> Parameter nr. 31 i [8, side 3-50].

<sup>21</sup> Den forventede forsinkelse i addreddedeoderen er 20ns. De andre tider er dem der netop er redegjort for.

<sup>22</sup> 14

<sup>23</sup> 26+14A

$\overline{DTACK}$  fra RAM og ROM, genereres som tidligere omtalt, af en DS1000-100 *delay line* (U10), der har fem udtag, hvorfaf et vælges vha. J1.

Ved læsning kommer DS1000's indgangssignal ( $\overline{DELAY}$ ) samtidigt med *Chip Select* til RAM/ROM. Ved skrivning vil det være op til 10ns forsinket, da  $\overline{DELAY}$  ikke genereres ud fra de samme betingelser som *Chip Select*. Det er op til DS1000 at generere et  $\overline{DTACK}$  signal, der tidligst kommer 65ns før *data valid* ved læsning. Hvis der anvendes 120ns RAM/EPROM, må  $\overline{DTACK}$  altså tidligst komme  $120\text{ns} - 65\text{ns} = 55\text{ns}$  efter *Chip Select*/ $\overline{DELAY}$ . Skal *wait states* undgås skal  $\overline{DTACK}$  desuden komme senest 90ns efter  $\overline{AS}$ , hvilket svarer til  $90\text{ns} - 20\text{ns} = 70\text{ns}$  efter *Chip Select*/ $\overline{DELAY}$ .

$\overline{DTACK}$  kan ikke komme for tidligt ved skrivning, hvis man bruger en RAM der er hurtigere end 195ns, men hvis *wait states* skal undgås, må den ikke komme senere end 90ns efter  $\overline{AS}$ , hvilket svarer til  $90\text{ns} - 20\text{ns} - 10\text{ns} = 60\text{ns}$  efter  $\overline{DELAY}$ .

Det tidsrum  $\overline{DTACK}$  skal aktiveres i er altså 55ns til 60ns efter  $\overline{DELAY}$ , ved skrivning, og 55ns til 70ns ved læsning.

Ved at vælge udtag nr. 3 (ben 6) på DS1000 opnås en forsinkelse på  $60\text{ns} + 3\text{ns} = 57\text{ns} \dots 63\text{ns}$ <sup>24</sup> pga. tolerancen i DS1000-100, er der altså en mulighed ved skrivning for at der alligevel opstår *wait states*.

Anvendes hurtigere RAM/EPROM kredse, bliver den nederste grænse for det tilladte tidsrum tilsvarende mindre. Øges hastigheden på RAM/EPROM til 100ns kan udtag nr. 2 på DS1000 anvendes. Udtag nr. 2 giver en forsinkelse på  $38\text{ns} \dots 42\text{ns}$ , der sikrer at *wait states* undgås både ved læsning og skrivning.

[21] viser at 628128-120<sup>25</sup>, som forventet, opfylder kravende til både læsning skrivning.

Da EPROMen formentligt bliver skiftet ud konstant, vil det være forkert at påstå at der anvendes en bestemt EPROM-type. Skal *wait-states* undgås, skal der dog mindst anvendes en 120ns EPROM.

Bemærk at DS1000-100's fem udgange passer til EPROM/RAMer med *access* tider fra 80ns til 160ns, med 20ns spring.

## 5.5 Montering og afprøvning af komponenter

Den overordnede rækkefølge kredsløbene monteres og afprøves i, er som følger:

1. Reset kredsløb.
2. Clock generator.
3. CPU.
4. Adressedekoder.
5. DTACK generator.
6. ROM.
7. RAM.
8. Interrupt-styring.

## 5.6 Fejl og uhensigtsmæssigheder ved datamatens centrale del

Under print-designet var R13 blevet glemt. Den blev loddet på printets bagside.

Under print-designet viste det sig, at det var særligt vanskeligt at finde plads til de tre *pullup* modstande til  $\overline{IRQ2}$ ,  $\overline{IRQ5}$ , og  $\overline{IRQ7}$ . Disse tre modstande blev derfor udeladt fra CPU-kortet, og placeret på I/O-kortet.

Bliver det senere aktuelt at anvende CPU-kortet alene, må de tre modstande loddes på bagsiden eller placeres på CPU-kortets udvidelsesstik.

U10's udgang kunne ikke levere strøm nok til at trække  $\overline{DTACK}$  høj hurtigt nok. Problemet blev løst ved at forbinde en modstand på  $1\text{k}\Omega$  fra  $\overline{DTACK}$  til forsyningsspændingen.

<sup>24</sup>Se [20, side 59]

<sup>25</sup>-120 henviser til hastigheden.

## 5.7 Den perifere del af datamaten

Den perifere del af datamaten består af følgende:

- En addreddedekoder der genererer *Chip Select* signaler til de perifere kredse. Adressedekoderen bygger videre på addreddedekodningen i datamatens centrale del.
- En interrupt styring, der tillader at mere end en interrupt-genererende enhed kobles på IRQ/IACK linien. Interruptstyringen er en overbygning på den interruptstyring der er tilknyttet datamatens centrale del.
- To styk MC68230 *Peripheral Interface / Timer (PI/T)*, der hovedsageligt sørger for datamatens digitale udgange.
- En MC68681 *DuAal Asynchronous Receiver/Transmitter (DUART)*, der sørger for datamatens to serielle ind/udgange.
- En A/D omsætter, der kan aflæse otte indgange.
- To styk MC6840, der anvendes til stepmotor-styringen.
- Tre styk 74HCT374 latch, der anvendes som 8-bits digitale indgange.

## 5.8 Overordnet design af de perifere kredsløb

### 5.8.1 Adressedekodning

Adressedekodningen skal dele det område den centrale addreddedekoder stiller til rådighed til perifere kredsløb op i mindre områder, og generere *chip Select* signaler til de forskellige perifere kredsløb, når deres område adresseres.

### 5.8.2 Interrupt-styring

Interruptstyringen skal kæde de enheder, der skal genererer interrupts på et bestemt niveau, sammen i et såkaldt *daisy chain* (se [15]).

### 5.8.3 MC68230

De to MC68230 kredse skal give datamaten ekstra digitale udgange og timere. Den ene MC68230 anvendes som interrupt-interface til kollisions-sensorerne, og til afstandsmålerne. Begge MC68230 kan generere både *peripheral-* og *timer-interrupts* (se [10]), og skal tilsluttes interruptstyringen.

### 5.8.4 MC68681

MC68681 udstyrer datamaten med to asynkrone serielle ind/ud-gange. Kredsen kobles til interruptstyringen.

### 5.8.5 MC6840

De to MC6840 anvendes af stepmotor-styringen og er koblet til CPUen, hvorved det er muligt at adressere dem synkront (se [8, side 3-43]), og [14, figur 7]). De to MC6840 skal være fælles om at generere niveau 7 interrupts.<sup>26</sup>

### 5.8.6 A/D omsætter

A/D omsætteren kobles direkte til CPUens datalinier, så den kan aflæses direkte af CPUen. A/D omsætteren skal kunne måle spændingen på en ud af otte indgange.

---

<sup>26</sup>Da det er vitalt for skildpaddens præcision, at den standser når tælleren indikerer at den programmerede distance er kørt, vælges niveau 7 interrupts.

Adresseområde	Placering	Anvendelse
F4000 – F403F	CPU-kort	MC68230-A.
F4040 – F407F	CPU-kort	MC68681.
F4080 – F41FF	(CPU-kort)	ikke besat (se D.10).
F4200 – F423F	I/O-kort	6840-A.
F4240 – F427F	I/O-kort	6840-B.
F4280 – F42BF	I/O-kort	A/D omsætter.
F42C0 – F42FF		ikke besat.
F4300 – F433F	I/O-kort	74HCT374, der aflæser kollisions sensorerne.
F4340 – F437F	I/O-kort	De to 74374 der aflæser ultralydssensoren.
F4380 – F43BF	I/O-kortet	MC68230-B.
F43CO – F7FFF		ikke besat.

Tabel 5.3: Oversigt over periferiområdets opdeling.

### 5.8.7 74HCT374

De tre 74HCT374 latche udgør tre simple 8-bits indgange. De må kun adresseres ved læsning.

## 5.9 Kommentarer til detail–designet af datamatens perifere del

De perifere kredsløb er opbygget på to forskellige printplader, hvilket sætter sit præg på elektronikkens logiske opbygning. Den ene MC68230, og MC68681 er placeret på CPU kortet, der således kan bruges som selvstændig datamat. For at kunne fungere selvstændigt er en del af addresseedekodningen, og en del af interruptstyringen placeret på CPU-kortet, mens resten er placeret på I/O kortet.

### 5.9.1 Adressedekekodningen

U6 på CPU-kortet deler det adresseområde der er beregnet til perifere kredsløb op i to dele: En intern og en ekstern. Den interne del anvendes af CPU-kortets periferikredse, mens en del af det eksterne område anvendes af I/O kortets periferikredse. U7 på CPU-kortet deler det interne periferi-område op i tre mindre områder: Et til MC68681, et til CPU-kortets MC68230 (fremover MC68230-A), og et til en udvidelse af CPU-kortet (Se D.10). U1 på I/O kortet 'beslaglægger' de første 512 Bytes i det eksterne periferiområde. Området deles op i otte områder, hvoraf seks benyttes til: I/O kortets MC68230 (fremover MC68230-B), de to MC6840 (MC6840-A og MC6840-B), de to 74HCT374 der anvendes til afstandsmåler-interfacet, A/D omsætteren, og den 74HCT374 der anvendes til aflæsning af kollisionssensorerne. Programmeringen af U6 og U7 på CPU-kortet og U1 på I/O kortet er vist i bilag 11. Opdelingen af periferi-området er vist i tabel 5.3:

### 5.9.2 Interruptstyringen

Der er opbygget tre *daisy-chains* til sammenkobling af de enheder der genererer interrupts. De tre *daisy-chains* er opbygget som vist i [15]. Både *peripheral-* og *timer-interrupts*, fra MC68230-A, og *peripheral-interrupt* fra MC68230-B er koblet til niveau 5. MC68681 og *timer-interrupt* fra MC68230-B er koblet til niveau 2, og interrupts fra de to MC6840 er koblet til niveau 7. Bemærk at MC6840 anvender *autovectored interrupts*, styret af U1 og U3 på I/O kortet (U1's  $\overline{TIM\ IACK}$  indgang styrer U1's  $6800DEV$  udgang).

### 5.9.3 MC68681 og MC68230

Alle tre 68XXX periferikredse er koblet til CPUen efter samme princip som anvendt til MC68681 i [13], og MC68230 i [14]. Bemærk at  $A_0$  ikke anvendes for at bevare muligheden for at konstruere den samme datamat med en MC68000 processor, uden at skulle ændre programmerne.

## 5.9.4 MC6840

CPUen skal anvende synkron adressering med 6800 timing, når de to MC6840 adresseres. Dette opnås vha. opstillingen vist i [8, side 3-44 figur 4]. I/O kortets U1 genererer signalet:  $6800DEV$  når en af de to MC6840 adresseres, og synkroniseringen til  $E$  og  $CLK$  foretages af U3.

## 5.9.5 A/D omsætter

Hele A/D omsætteren er opbygget på I/O kortet.

A/D omsætteren implementeres i form af en ZN449 8-bits succesiv approksimerende A/D omsætter. ZN449 er ikke specielt nøjagtig, men til gengæld er den billig<sup>27</sup>. A/D omsætteren er koblet direkte på databussen, og den aflæses ved at CPUen læser i en af de adresser der er reserveret til den. A/D omsætteren adresseres synkront, på samme måde som de to MC6840. A/D omsætteren påbegynder en konvertering når der skrives til den. Konverteringen tager ca. 10-20  $\mu s$ , og A/D omsætterens status kan aflæses på MC68230-B's H3 indgang (høj = BUSY). ZN449's indbyggede oscillator styres af pladshensyn af en kondensator (C10).

Selve A/D omsætteren er koblet som foreslået i [29]. Komponenterne er valgt så A/D omsætteren kan aflæse spændinger i området: 0V...5V.

Indgangssignalets styrke kan justeres på R25, og det kan offsetjusteres på R22. U21 er en 8-1 analog multiplekser, der vælger 1 ud af 8 indgange. Hvilken indgang der vælges bestemmes af MC68230-B's C<sub>0..2</sub> udgange.

U21, C8, og U20-B udgør et *sample/hold* kredsløb, der fastholder indgangsspændingen under en konvertering. Sample/hold kredsløbet er ikke nær så godt som færdigkøbte integrerede S/H<sup>28</sup> forstærkere, men det er anvendeligt til dette formål. Bemærk at printbanen der forbinder U21's ben 3, med C8, og U20-B er omgivet af en bane med samme potentiale, for at begrænse lækstrømme gennem printpladen.

## 5.9.6 74HCT374 latch

Alle tre 74HCT374 (U12, U13, og U22) er placeret på I/O-kortet.

De to 74HCT374 der anvendes i forbindelse med afstandsmålerne (U12 og U13) deler det samme adresserum. Den ene adresseres når CPUen adresserer en lige adresse, og den anden når CPUen adresserer en ulige. De 16-bits U12 og U13 indeholder kan således aflæses som et *word*.

De tre 74HCT374 aflæses med almindelige asynkrone *BUS-cycles*, og  $DTACK$  genereres af U1, når de adresseres.

De tre 74HCT374 kan kun adresseres ved læsning, og der opstår en BUS-ERROR hvis der skrives i deres adresseområde.

## 5.10 Fejl og uhensigtsmæssigheder ved datamatens perifere del

Det har vist sig at det, med henblik på udvikling af en multiprogrammerings-kerne, er uheldigt at der anvendes interrupts på niveau 7, da de ikke kan deaktiveres af CPUen. Problemets løsning ved at afbryde forbindelsen til ben 3 og 4 på I/O kortets U2. De to  $\overline{IRQ}$  udgange fra MC6840-A og -B forbindes til MC68230-B's H2 indgang, så MC68230-B kan programmeres til at generere interrupts på niveau 5, når en af de to MC6840 aktiverer sin  $\overline{IRQ}$  udgang. Bemærk at afbrydelsen er skabt ved at bøje U2's ben istedet for at afbryde printbaner. Tilsvarende er forbindelsen skabt ved at montere en stiv monteringsledning i det sokkelben hvor U2's ben 3 skulle have været monteret. Den anden ende af ledningen er forbundet til H2, via det dertil indrettede stik. Ændringen er foretaget så 'skånsomt' over for printet, i tilfælde af at den ikke bliver permanent.

<sup>27</sup>Det vurderes at en nøjagtighed på ca. 1%, svarende til 6-bits er tilstrækkeligt i denne sammenhæng.

<sup>28</sup>S/H = Sample/Hold

# Kapitel 6

## Motorstyring

I dette kapitel beskrives stepmotorstyringen. Styring af servo- og tusch-motoren er beskrevet i appendiks B.

### 6.1 Stepmotorerne

De to identiske stepmotorer er begge unipolare, med fire faser, hvilket betyder at de indeholder fire spoler. Den ene tilledning på hvert spolesæt er ført ud til en terminal, og den anden tilledning på alle spolesættene er koblet sammen, og ført til en fælles terminal. Det vides ikke hvor mange *steps* der er på en omdrejning. Motorerne er beregnet til drift ved 12V, og hvert spolesæt har en indre modstand på ca.  $150\Omega$ .

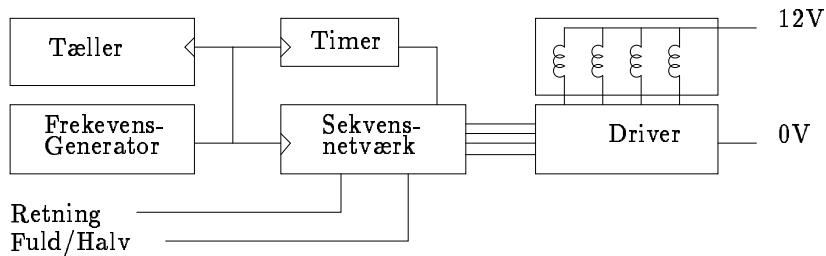
**Motorerne** drives rundt ved at magnetisere de fire spolesæt sekventielt. Hver gang magnetiseringen 'flyttes' fra et spolesæt til det næste, drejer motoren et *step*. Motoren kan drejes et halvt *step*, ved at magnetisere to nabospolesæt samtidigt.

### 6.2 Krav til stepmotor-styringen

- Motorerne skal kunne drives rundt med både halve og hele *steps*
- For at spare strøm, skal motorstyringen automatisk afbryde strømmen igennem spolerne når motorerne ikke anvendes.

### 6.3 Overordnet design af stepmotor-styringen

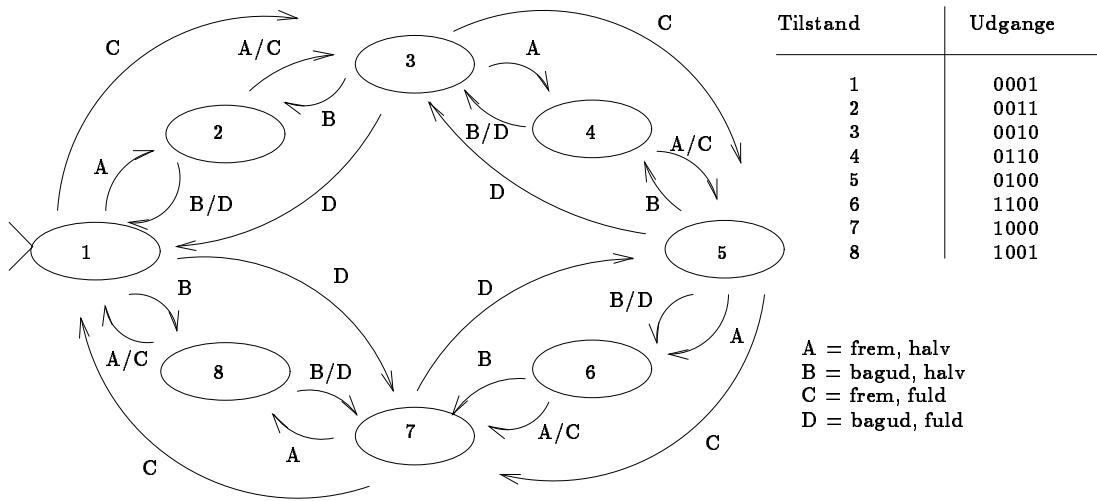
Figur 6.1 viser principdiagrammet for stepmotorstyringen.



Figur 6.1: Principdiagram over stepmotorstyringen.

Strømmen igennem hver af motorens spoler tændes og slukkes af en 'driver', der essentielt virker som fire kontakter, styret af fire digitale signaler fra et sekvensnetværk<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Et sekvensnetværk er en elektronisk tilstandsmaskine, se [7, kapitel 5 og 6].



Figur 6.2: Tilstandsgraf over stepmotorstyringens sekvensnetværk.

Sekvensnetværket opbygges så det fungerer som vist i figur 6.2. Hver gang frekvensgeneratoren genererer en puls skiftes tilstand, og motoren vil dreje et helt eller halvt *step*, den ene eller anden retning, alt efter tilstanden på de to indgange.

Timerens opgave er at tvinge sekvensnetværket til at slukke for strømmen igennem alle motorspolerne ca. 0.5 sekund efter frekvensgeneratorens sidste puls. Når frekvensgeneratoren genererer en ny puls tillader timeren sekvensnetværket at tænde for strømmen igen. Ved frekvenser over ca. 2Hz vil strømmen være tændt konstant.

Frekvensgeneratoren skal kunne programmeres af CPU'en og kunne generere frekvenser fra ca. 1Hz til ca. 1000Hz. Den skal kunne aktiveres/deaktiveres. Ved at programmere frekvensgeneratoren kan CPU'en kontrollere stepmotorens hastighed.

Tællerne holder rede på hvor langt motoren har kørt. Den skal kunne aflæses af CPU'en, og den skal kunne programmeres til at generere et interrupt når den har talt et bestemt antal pulser. Der skal mindst anvendes en 16-bits tæller.

## 6.4 Kommentarer til stepmotorstyringens detail design

Driver kredsløbene er placeret på effekt-kortet, mens de digitale kredsløb er placeret på I/O kortet. Diagrammet over effekt-kortet er gengivet på bilag 3a, og diagrammet over I/O kortet er gengivet på bilag 2a.

### 6.4.1 Driver kredsløbene

Stepmotorernes strømforsyning er afkoblet med L5, C30, og C31. Hver af de transistore der åbner/lukker for strømmen igennem et spolesæt er afkoblet med en 30V zenerdiode for at beskytte transistoren mod den transiente ændring i spændingen, der forekommer når transistoren åbnes eller lukkes.

### 6.4.2 De digitale kredsløb

Frekvensgeneratorerne og tællerne implementeres som MC6840 *timer/counters* (U7 og U8). Der bruges en MC6840 til hver motor. MC6840 indeholder tre tællere, og i begge tilfælde bruges tæller nummer 3 som frekvensgenerator. Tæller nummer 1 og 2 kan begge anvendes til at tælle hvor mange pulser tæller nummer 3 genererer. U7 og U8 kobles så de kan generere *auto-vectorized interrupts* på niveau 7.

Timeren der skal afbryde motorstrømmen efter 0.5 sekund implementeres som en 4528 *dual retriggerable monostable multivibrator* (U6), der virker som timer til begge stepmotorstyringer.

Sekvensnetværket implementeres som programmerbar logik (U4 og U5), hvis programmering er gengivet i bilag ???. Bemærk at U4 og U5 også opfylder andre funktioner på I/O kortet. Motorernes

omløbsretning styres uafhængigt af hinanden, mens valget mellem hele eller halve *steps* er fælles for de to motorstyringer.

## 6.5 Fejl og uhensigtsmæssigheder ved stepmotorstyringen

### 6.5.1 Driver kredsløbene

Pga. uheldigt printlayout opstod der interferens fra den ene stepmotor-driver til audioforstærkeren. Fejlene blev rettet ved at parallel-forbinde den printbane der forbinder emitteren på T15-18, med en tyk ledning til emitterene på T19-22.

### 6.5.2 De digitale kredsløb

Når strømmen tændes er de to timere i U6 ca. 5 sekunder om at bede sekvensnetværket om at afbryde strømmen igennem motorerne, hvilket resulterer i et kraftigt strømforbrug de første 5 sekunder.

Fejlen kan rettes ved at forbinde U6's to RESET indgange til datamatens RESET signal. Fejlen er ikke rettet idet den ikke har praktisk betydning.

# Kapitel 7

## Sensorer

I dette kapitel beskrives tilkoblingen af afstandsmålerne, samt valget af og tilkoblingen af kollisionsdetektorerne.

### 7.1 Beskrivelse af afstandsmålerne

Afstandsmålerne fra Polaroid består af et såkaldt *sonar ranging module*, der er et lille printkort. Printet til modulet er forbundet til en elektrostatisk transducer, der er beregnet på at sende og modtage lydbølger ved 50kHz. Modulet skal forsynes med en spænding mellem 4.5V og 6.8V. Brugerinterface består af tre digitale (TTL kompatible) indgange og tre digitale (TTL kompatible) udgange, som vist i tabel 7.1. Læseren opfordres til at studere [5] for mere detaljerede oplysninger om *ranging* modulet, da det er en forudsætning for at kunne sætte sig ind i de følgende afsnit. Den elektrostatiske transducer er beskrevet i [6].

INIT en måling.	Indgang	Får sensoren til at udsende 16 lydsvingninger ved 49.4kHz, og derved
BINH	Indgang	Kan tvinge sensorens <i>blanking</i> periode til at være kortere end de normale 2.38ms.
BLNK måling af flere ekkoer.	Indgang	Kan nulstille sensorens ECHO udgang under en måling, og derved muliggøre
ECHO	Udgang	Går høj når sensoren under en måling modtager et ekko.
OSC	Udgang	Skifter i takt med sensorens indbyggede oscilator.

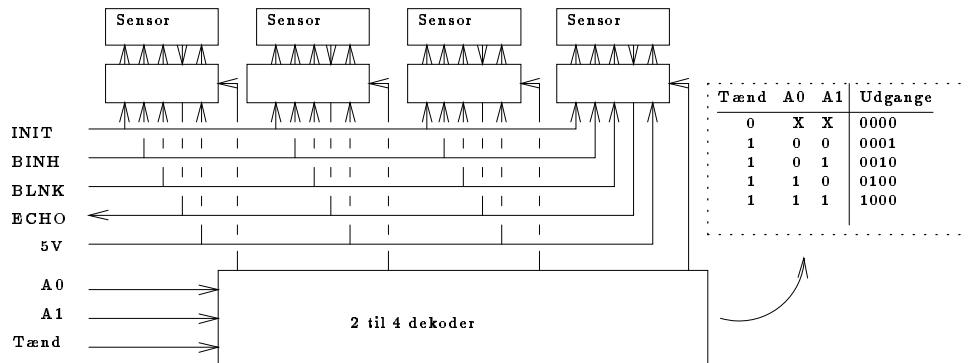
Tabel 7.1: Signalerne til og fra POLAROID's ultralydssensor.

### 7.2 Krav til afstandsmåler-interfacet

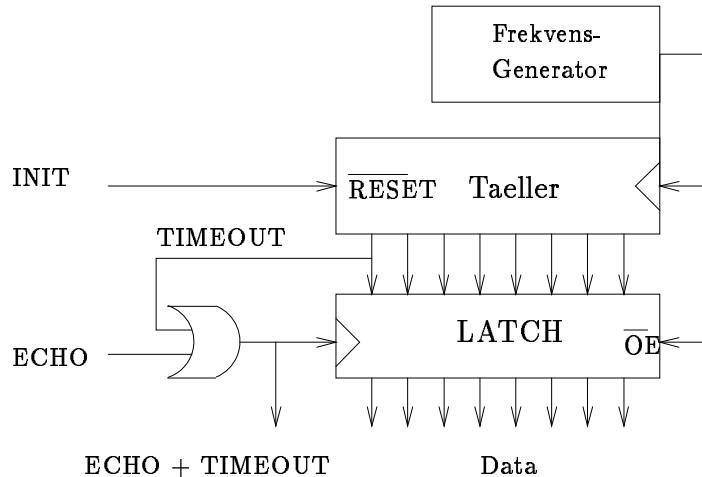
- Interfacet skal sætte datamaten i stand til at anvende fire afstandsmålere.
- Interfacet skal give mulighed for at udnytte afstandsmålernes evne til at måle afstande helt ned til 16 cm, samt detektøre flere ekkoer.
- For at spare på energien, skal interfacet give mulighed for at slukke afstandsmålerne når de ikke anvendes.

### 7.3 Overordnet design af afstandsmåler-interfacet

Interfacet består af to dele: En multiplekser, der vælger hvilken af de fire afstandsmålere der anvendes; og et kredsløb der mäter hvor lang tid det tager fra lyden udsendes, til ekkoet modtages.



Figur 7.1: Principdiagram over multiplekser-delen



Figur 7.2: Principdiagram over tidtagnings-delen.

### 7.3.1 Multiplekser

Figur 7.1 viser et principdiagram over multiplekser-delen. De fire signaler til/fra hvert modul, og hvert moduls 5V forsyning er gennem fem styrede 'kontakter' koblet til fem fællesledninger. De fire grupper styrede 'kontakter' styres af en 2 til 4 dekoder, der kan 'tænde' en gruppe 'kontakter' ad gangen. Alle 'kontakter' kan 'afbrydes' vha. tænd signalet. INIT, BINH, og BLNK, A0, A1, og tænd styres af seks digitale udgange fra skildpaddens datamat, der dermed har fuld kontrol over afstandsmålerne.

### 7.3.2 Tidtagning

Figur 7.2 viser et principdiagram over tidtagnings-delen.

Frekvensgeneratoren genererer en fast frekvens. Den binære tæller holdes nulstillet sålænge INIT er lav, men når en afstandsmåling startes ved at INIT går høj, begynder tælleren at tælle pulser fra frekvensgeneratoren, og dermed måler tiden.

Når afstandsmåleren detekterer et ekko, eller når den sidste udgang på tælleren går høj, sættes (ECHO + TIMEOUT) signalet højt, hvilket får *latch'en* til at registrere tallet på tællerens udgange, på det tidspunkt ECHO skiftede fra lav til høj. (ECHO + TIMEOUT) forbinder til en *handshake* indgang på en af datamatens MC68230 periferikredse, så datamaten kan registrere at der er detekteret et ekko, eller at der er gået for lang tid. Datamaten kan skelne imellem de to hændelser ved at kontrollere den øverste af de indlæste bits, der kun vil være sat ved *timeout*.

## 7.4 Detail–designet af afstandsmålerinterfacet

For at give et eksempel på tilblivelsen af et kredsløbs detail–design, gives en beskrivelse af afstandsmålerinterfacets detail–design, der er mere dybtgående end sædvanligt.

Hele interfacet er opbygget på I/O kortet, hvis diagram er gengivet på bilag 2a. Der henvises til diagrammet i hele afsnit 7.4, og 7.5

### 7.4.1 Multiplekser

2-4 dekoderen implementers som U4-B, der er en del af en PEEL 16CV10 programmerbar logik kreds. En del af kredsen programmeres som en 2-4 dekoder (U4's program er gengivet på bilag ??).

De fire grupper af fem styrede 'kontakter' implementeres vha. *3-state buffere* og transistore. 'Kontakterne' der skal tænde og slukke for strømmen til sensorerne implementeres som T1, T2, T3, T4 der alle er BD678 PNP-darlington effekt transistore. For at opnå den ønskede virkning kobles transistorene som *Open collector invertere*.

Ved normal drift trækker sensorerne maksimalt 250mA. Ved denne strøm er en basisstrøm på -0.5mA nok til at drive transistorene i mætning, med et spændingsfald fra collector til emitter på ca. 0.8V<sup>1</sup>.

Sensorerne skal forsynes med en spænding fra 4.5V - 5.8V. For at få transistorens emitterspænding højt nok op, forsynes collektor med 6V fra U24, der er en LM7806 6V regulator, med indbygget strømbegrænsning, og temperatursikring. Hvis ultralydssensorene bruges uafbrudt, vil LM7806 skulle leve en gennemsnitlig strøm på ca. 250mA. Spændingsfaldet over U24 vil være på  $15V - 6V = 9V$ , så den afsatte effekt bliver  $9V \cdot 250mA = 2.25W$ . For at forhindre regulatoren i at blive varm monteres den med en lille køleplade. C5 og C6 er almindelige 100nF sibatit afkoblingskondensatore.

De fire transistors basisstrømme skal styres af U4-B's fire udgange. For at forhindre at der løber en basisstrøm før den pågældende udgang er lav, anvender jeg D1, D2, D3, og D4, der alle er 3.3V zenerdioder. De sikrer at spændingen på udgangen skal under  $6V - 2 \cdot 0.6V - 3.3V = 1.5V$  før der begynder at løbe en strøm. For at begrænse basisstrømmen til lidt over<sup>2</sup> -0.5mA, anvendes R8, R9, R10, og R11, der alle er  $1500\Omega$  modstande. Spændingen på en lav udgang på U4 vil ligge mellem 0.1V og 0.45V<sup>3</sup>. Spændingen over modstandene vil være mellem 1.05V og 1.35. Basisstrømmen vil derfor være mellem -0.7mA og -0.9mA

Da transistorene (T1 - T4) normalt enten er i mætning, eller slukket, vil den afsatte effekt ikke blive større end ca.  $0.8V \cdot 250mA = 0.2W$  ved kontinuert drift af en enkelt sensor, køling er derfor unødvendig.

Ved transmission af en lydpuls vil sensorene trække op til 3A. Med en basisstrøm på -0.9mA vil transistorene ikke længere være i mætning, og deres collectorspænding vil falde til under sensorens minimale forsyningsspænding.

For at imødekommme sensorens strømforbrug ved transmission af en lydpuls (op til 3A i ca.  $350\mu s$ ), uden at spændingen falder under de tilladte 4.5V, monteres en kondensator over VCC og GND på selve *sonar ranging* modulet. Kondensatoren monteres direkte på modulet, dels for at unga spændingsfald over tilledningerne, men også fordi der ikke er plads til så store kondensatore på I/O kortet.

Kondensatorens værdi er givet ved:  $\Delta V = 5.2V - 4.5V = 0.8V^4$ ,  $\Delta t \approx 350\mu s$ ,  $I_C \approx 3A$ . Forholdet mellem  $C$ ,  $I_C$ ,  $\Delta V$  og  $\Delta t$  er givet ved:  $C = \frac{I_C \cdot \Delta t}{\Delta V}$ , hvilket medfører at kondensatoren skal være på mindst  $\frac{3A \cdot 350\mu s}{0.8V} \approx 1400\mu F$  for at forhindre spændingen i at falde under 4.5V. Der anvendes den nærmeste større kondensator i standardrækken, som er på  $1500\mu F$ .

De 'kontakte' der skal tænde og slukke for INIT, BINH, BLNK, og ECHO; er implementeret som to styk 74HCT244 buffere (U10 og U11). Det er nødvendigt at bruge kredse med CMOS udgange, da *ECHO* signalet falder ca. 0.6V over D6. Efter signalet har passeret dioden skal det drive en TTL indgang høj. Det kræver en spænding på minimum 2.0V. En TTL udgang er ikke garanteret til at gå længere op end 2.4V. Da det er nødvendigt med minimum 2.6V for at kompensere for spændingsfaldet gennem D6 bruges en CMOS udgang, der uden problemer går op til minimum 3.5V. Det er nødvendigt at anvende kredse med TTL kompartible indgange, da U23 ikke er CMOS kompatibel.

<sup>1</sup>Baseret på en vurdering af bilag 15d–figur 12.

<sup>2</sup>nummerisk

<sup>3</sup>Bilag 15b.

<sup>4</sup> $V_{CE,sat}$  vurderes til  $-0.8V$  ved  $ICE = -250mA$ . Sensorene forsynes derfor med  $6V - 0.8V = 5.2V$  ved normal drift. De 4.5V refererer til sensorene minimale forsyningsspænding.

### 7.4.2 Tidtagning

Den binære tæller implementeres som to styk 74HCT4040 12-bits *ripple-counters* (U14 og U15). Bemærk at deres *Master Reset* indgange styres af INIT, der inverteres af U16-B.

U14 og U15 er kaskadekoblede så de tilsammen danner en 24bits binær tæller. Tælleren er koblet til CPU'ens clockfrekvens på 10MHz (det er pga. den relativt høje clockfrekvens, at der anvendes HCT kredse frem for almindelige CMOS). Tællerens første fem bits anvendes som *prescaler* for at generere en frekvens på  $\frac{10\text{Mhz}}{2^5} = 312\text{kHz}$  til den resterende del.

Bit 4 på tælleren anvendes til at synkronisere *ECHO + TIMEOUT* med. *ECHO + TIMEOUT* synkroniseres til den opadgående flanke på bit 4. Der anvendes to flip-flops i synkroniseringskredsløbet for at reducere sansynligheden for synkroniseringsfejl[7, side 538-544]. Synkroniseringen er nødvendig fordi der anvendes *ripple-counters*<sup>5</sup>, og fordi ECHO signalet kan komme på vilkårlige tidspunkter, og dermed mens tællerens udgange er ved at skifte tilstand. *Ripple-counters* har den egenskab at deres udgange ikke skifter synkront. Ved at synkronisere *ECHO + TIMEOUT* til den opadgående flanke på bit 4 sikres at alle efterfølgende bits er stabile når synkroniseringskredsløbets udgang *SYNC-ECHO* skifter tilstand. Der anvendes et simpelt *diode-OR* kredsløb til at udføre ELLER operationen på *ECHO* og *TIMEOUT*. For at tage højde for spændingsfaldet over D5 og D6 skal U10, U11, og U15 have CMOS udgange, mens U16 skal have TTL kompartible indgange. U16 skal desuden have højimpedante indgange, så R12 kan trække U16-A's D-indgang lav.

U12 og U13 implementeres som latche af typen 74HCT374. CMOS teknologien anvendes her udelukkende pga. det lave strømforbrug. U12 og U13 kobles direkte til CPUens datalinier, så de kan aflæses som selvstændige perekredse.

**Synkroniseringskredsløbet** vil bevirkе at tællernes tilstand bliver indlæst i latchen, med en lille forsinkelse. Forsinkelsen svarer til den tid det tager tællerens bit 4 at gå høj to gange, nemlig  $3.2\mu\text{s}$ . Den anvendte ultralyd har en periodetid på ca.  $20\mu\text{s}$ , så der er ingen grund til at bekymre sig om fejlmålinger pga. forsinkelsen.

*TIMEOUT* går høj efter  $2^{15} \cdot 3.2\mu\text{s} \approx 105\text{ms}$ , svarende til at lyden bevæger sig ca. 35m. Timer kredsløbet kan altså måle afstande op til 17m, hvilket må være rigeligt til skildpadden. Som nævnt er timerens opløsning noget finere end lydens bølgelængde, hvilket betyder at det er sensoren der sætter begrænsninger for nøjagtigheden, ikke elektronikken.

## 7.5 Fejl og uhensigtsmæssigheder i afstandsmålerinterfacet

Da *TIMEOUT* er den sidste anvendte udgang på de to tællere, vil alle udgange have stabiliseret sig når den går høj. Det er altså ikke nødvendigt at sende *TIMEOUT* gennem synkroniseringskredsløbet. Diode-OR kredsløbet D5, D6 og R12 kunne altså have været sparet, ved f.eks. at forbinde *TIMEOUT* til PR indgangen på U9-A, og forbinde *ECHO* direkte til D-indgangen på U16-A.

*SYNC-ECHO* forbliver høj efter et ekko, selv om målingen afbrydes ved at lægge *INIT* lav. Dette skyldes at U14 vil blive holdt nulstillet når *INIT* er lav, og der kommer derfor ikke to opadgående flanker på U14's O<sub>4</sub> før en ny måling påbegyndes.

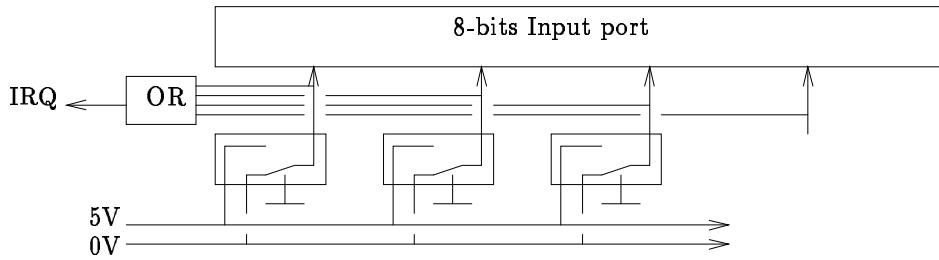
Denne uhensigtsmæssighed kan udbedres ved at forbinde *INIT* fra U16-B til CLR indgangen på U9-A, og forbinde *INIT* til *CLR* indgangen på U16-A. Begge flip-flops vil så blive nulstillet når *INIT* går lav. Uhensigtsmæssigheden er ikke udbedret, da det er nemt at skrive programmer der ikke generes af den.

## 7.6 Valg af kollisionsdetektor

Følgende sensor typer var under overvejelse:

**Microswitches** er den simpleste form for kollisionsdetektor. Når presset på kontaktfladen bliver tilpas stort skabes eller afbrydes en elektrisk forbindelse der kan registreres.

<sup>5</sup> *Ripple counters* er beskrevet i [7, side 451-452].



Figur 7.3: Principdiagram over kollisionsdetektorernes tilkobling til datamaten

**Force sensing resistors** er et piezo-resistivt halvledermateriale, der i form af en tynd folie er placeret mellem to ledere indkapslet i kunststof. Materiale har, upåvirket en modstand i  $M\Omega$  området, men påvirkes det af et let pres, falder modstanden helt ned i  $k\Omega$  området. Modstandene forhandles i alle mulige størrelser og former. Af special interesse var en 1cm. bred strimmel, som kunne klippes ud i passende længder, og placeres rundt omkring på skildpadden.

**Piezo elektrisk koaxialkabel** er et almindeligt tyndt koaxialkabel, hvor isolatoren består af et piezoelektrisk materiale. Spændingen over lederen og skærmen vil være proportional med ændringen i presset på kablet. Et sådant kabel vil være ideelt til at registrere stød med, men det kan ikke registrere en statisk påvirkning.

Det var meningen at der skulle anvendes *force sensing resistors*, men de var noget dyrere end *microswitches*, og der skulle konstrueres et passende analogt interface for at anvende dem. For at spare tid, plads og penge anvendes *microswitches*.

## 7.7 Krav til kollisionsdetektor-interfacet

- Der skal kunne skelnes imellem signaler fra otte detektorer, eller grupper af detektorer.
- Der skal kunne genereres et interrupt når en af de otte signaler fra detektorerne aktiveres.

## 7.8 Overordnet design af kollisionsdetektor-interfacet

Figur 7.3 viser et principdiagram over kollisionsdetektorerne og deres tilkobling til datamaten.

Hver *microswitch* virker som en omskifter. Den ene terminal kobles til 0V, den anden til 5V, og midtudtaget forbinderes til den indgang der skal aflæse stød-detektorerne. Forbindelserne laves så midtudtaget er forbundet til 0V, når detektoren ikke påvirkes. Der udføres en logisk ELLER operation på de otte signaler, og det resulterende signal bruges til at generere et interrupt.

## 7.9 Kommentarer til detail-designet af kollisionsdetektor-interfacet

De otte *microswitches* placeres forskellige steder på skildpadden, og diagrammet der viser deres tilkobling er gengivet på bilag 4.

For at undgå kortslutninger indsættes en  $470\Omega$  modstand i serie med 5V forsyningen til dem. ELLER operationen foretages vha. dioder. Der placeres en 1N4001 ensretterdiode, på midt-udtaget for hver *microswitch*. Alle diodernes katoder kobles sammen, og ledes til H4 indgangen på I/O kortets MC68230. Indgangen vil gå høj, hvis bare en af støddetektorerne påvirkes.

De otte digitale indgange implementeres som en 74HCT374 latch (U22 på diagrammet over I/O kortet).

De otte signaler indlæses i latchen når  $\overline{AS}$  går høj. Dette sikrer at latchen har minimum 105ns<sup>6</sup> til at komme ud af en metastabil tilstand, før latchen aflæses.

Latchen udlæser de otte bits, når addressedekoderen aktiverer U22's  $\overline{OE}$  indgang, ved læsning fra latchens tildelte adresseområde.

---

<sup>6</sup>  $\overline{AS}$  Width negated [8]s3-50 til 3-52, signal 15<sup>2</sup>.

# Kapitel 8

## Nærhedsfølere

I dette kapitel gennemgås konstruktionen af nærhedsfølere.

### 8.1 Krav til nærhedsfølerne

- Sensorerne skal sætte skildpadden i stand til at opdage forhindringer der er tæt på, uden at berøre dem.

### 8.2 Principper for nærhedsføling

Følgende principper til nærhedsføling blev overvejet:

**Induktive** nærhedsfølere er baseret på at en spoles selvinduktion ændrer sig i nærheden af elektriske ledere. For visse metaller skyldes dette i overvejene grad metallets magnetiske permeabilitet<sup>1</sup>, men i de fleste tilfælde skyldes det de inducerede hvirvelstrømme, der forsøger at modvirke det af spolen påtrykte magnetfelt. Dette ændrer naturligvis spolens egenskaber. Målespolen indgår ganske simpelt som primærspolen i en transformator, hvor sekundærspolen er den pågældende leder.

Disse sensorer kan kun føle tilstedeværelsen af gode elektriske ledere, og følsomheden er normalt ret lav. De sensorer der kan fås i handelen skal som regel have objektet inden for 1cm for at virke.

**Kapacitive** nærhedsfølere er baseret på opstillinger hvor det målte objekt indgår som elektrode eller dielektrikum i en kondensator. Kapaciteten af denne kondensator måles så på en af de sædvanlige måder. Den eneste metode der er brugbar i denne sammenhæng er en konfiguration hvor de to elektroder er monteret ved siden af hinanden, og man bruger det målte objekt, eller luften, som dielektrikum.

Denne sensortype skal have det målte objekt ret tæt på ( $< 3\text{cm}$ ), for at virke tilfredsstillende. til gengæld kan den så måle tilstedeværelsen af stort set alt, der har andre dielektriske egenskaber end luft. Man skal blot huske at målingen afhænger af materialet såvel som af afstanden.

**Soniske** nærhedsfølere er oftest baseret på ultralyd. Soniske følere baserer sig på at måle den tid det tager for en lyd at bevæge sig fra det målte objekt til modtageren, eller evt. begge veje. Dette gøres enten ved, som ved de anvendte afstandsmålere, at sende en kortvarig lydpuls afsted, og måle ventetiden for et eller flere ekkoer. En anden metode består i at udsende en kontinuert, moduleret bærebølge. Samtidigt opfanges og demoduleres den reflekterede lyd, og man mäter hvor meget modulationssignalet af den modtagne lyd, er blevet fasedrejet i forhold til modulationssignalet for den udsendte lyd. Da fasedrejningen er proportional med tidsforsinkelsen kan man således måle afstande. Man skal være opmærksom på at der ved den sidste metode kan opstå 'spejlinger', således at et objekt der måles til at være  $\frac{1}{x}$  modulations-bølgelængde væk, godt kan være  $n + \frac{1}{x}$ ,  $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$  modulationsbølgelængder væk.

---

<sup>1</sup>F.eks. jern.

Denne sensor types oplosning afhænger af bærebølgefrekvensen. Man kan købe færdige sensorer der sender med 215kHz, med en oplosning på ca. 1mm. Disse sensorer er velegnede til at løse opgaven, bortset fra at deres vægt og pris overstiger det tilladelige for dette projekt.

#### Optiske

Avancerede optiske sensore måler lysets forsinkelse når det bevæger sig fra sender til modtager. Metoden kaldes for laserinterferometri, og går i korte træk ud på at udsende monokromatisk lys, som moduleres med en frekvens, hvis bølgelængde ved lysets hastighed er af samme størrelsesorden som de afstande man vil måle. Ved hjælp af sinrige optiske systemer sammenlignes fasen af det reflekterede lys, med fasen af det udsendte lys. Derigennem fås en afstandsmåling, præcist som beskrevet for soniske sensorer. Forskellen er blot at ved laserinterferometri kan opnås en oplosning der svarer til bølgelængden af det anvendte lys, altså under  $1\mu m$ .

Mere primitive sensorer baserer sig på en trianguleringsmetode. En smal lystråle sendes afsted fra et punkt på sensoren, og giver anledning til en punktformet lysplet på det målte objekt. Modtageren skal være i stand til at opfatte små afvigelser i vinklen af det indfaldende lys. F.eks. ved at anvende en CCD chip, med passende optik. Hvis sender og modtager er drejet en anelse imod hinanden vil vinklen mellem modtageren og lyspletten være afhængig af afstanden, der på denne måde kan måles. Afhængigt af de anvendte materialer kan denne sensor type måle afstande med en oplosning i millimeter området. Den er ikke være særligt afhængig af det reflekterende objekt, så længe lyspletten kan registreres tydeligt.

Endnu mere primitive sensorer baserer sig på at måle lysintensiteten af reflekteret lys. Metoden har mindst to ulemper: Det reflekterede lys er ikke lineær med afstanden, og afhænger således også af reflektiviteten af det reflekterende objekt. Den eneste fordel er at metoden er billig.

Mekanisk kontakt Den simpleste nærhedsføler man kan forestille sig er naturligvis en almindelig kontakt.

I denne sammenhæng kan den kun klassificeres som nærhedsføler hvis den ikke giver anledning til en kollision. Dette kan undgås ved at kontakten realiseres som et blødt elastisk medium i stil med et insekts følehorn. Skildpadden ville så ikke blive hæmmet i sine bevægelser selv om sensoren har mekanisk kontakt med en forhindring. Man kan forestille sig mange forskellige måder at realisere sådanne følehorn på. Lige fra kontakter med fjedre på, til elektrisk ledende gummistænger. En af de interessante metoder er at anvende en special type koaxialkabel, hvor isolatoren består af et elastisk piezoelektrisk materiale. Kablet afgiver en spænding der er proportional med ændringen af deformationen.

### 8.3 Valg af metode

Ud fra en funktionel, og økonomisk betragtning, vælges det at anvende reflektive optiske sensorer.

De umiddelbart største ulemper ved denne sensor type er at intensiteten af det reflekterede lys afhænger ulineært med afstanden til måleobjektet. Man må også regne med at forskellige objekter har forskellig reflektivitet, og intensiteten af det reflekterede lys ikke afhænger af afstanden alene.

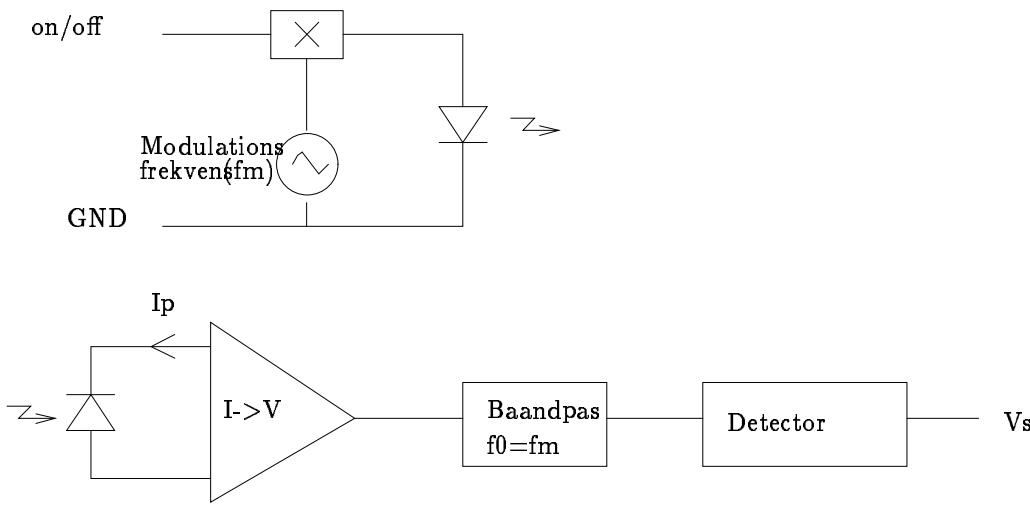
### 8.4 Design af en reflektiv optisk sensor

Man kan få flere forskellige færdige sensore af denne type i handelen, men da principperne for denne sensor type er ret simple, foretrækkes det at designe og opbygge den selv.

#### 8.4.1 Valg af lyskilde og lyssensor

Det bedste bud på lyskilden er en LASER diode, hvis lys kan betragtes som en meget tynd stråle uden spredning. Dette betyder, at den oplyste 'plet' på måleobjektet kan betragtes som en punktformet lyskilde, hvis intensitet afhænger af objektets reflektivitet, laserens effekt, og vinklen mellem lysstrålen og objektets overflade. Intensiteten af det reflekterede lys vil aftage med kvadratet på afstanden til lyspletten.

LASER dioder er desværre for dyre. Det næstbedste bud er en almindelig lysdiode, med høj intensitet, og lille spredning. Som lyssensor anvendes en fotodiode.



Figur 8.1: Principdiagram over nærhedsføler

## 8.5 Overordnet design af nærhedsføleren

Figur 8.1 viser et principdiagram over nærhedsføleren.

### 8.5.1 Senderen

For at fjerne påvirkninger fra baggrundsbelysningen (solskin, lamper, etc.) anvendes infrarødt lys (950nm), der moduleres ved 2.4kHz. Modulationsfrekvensen vælges til 2.4kHz, fordi den ligger næsten midt imellem 100Hz og 38kHz, på en logaritmisk skala. 38kHz anvendes til trådløs kommunikation, og glødelamper og lysstofrør 'blinker' med 100Hz. Ved 2.4kHz er mulighederne for at filtrere begge dele fra bedst.

For at spare på energien kan senderen tænde og slukke for lysdioden.

### 8.5.2 Modtageren

En betingelse for at fjerne interferens fra varierende baggrundsbelysning, er at fotodioidens overføringsfunktion er lineær. I følge [3] er der en næsten lineær sammenhæng imellem en fotodiodes lækstrøm og lysintensiteten. Fotodioden placeres i en opstilling der mäter lækstrømmen og omsætter den til en spænding. Signalet sendes igennem et 'smalt' 2.4kHz båndpasfilter, for at undertrykke alle uønskede frekvenser. Anvendes et ideelt båndpasfilter, vil det eneste signal der slipper igennem, være et 2.4kHz sinussignal, hvis amplitude er proportionalt med intensiteten af det reflekterede lys.

Signalet forstærkes med en passende faktor<sup>2</sup>, og sendes igennem en amplitude detektor, der vil generere en DC spænding som er proportional med intensiteten af det reflekterede lys. Denne spændings størrelse kan aflæses direkte af datamatens A/D omsætter.

## 8.6 Kommentarer til detail-designet

### 8.6.1 Senderen

Modulationsfrekvensen på 2.4kHz genereres af den samme quartz-styrede frekvensgenerator, der genererer 38.4kHz til den trådløse kommunikation. Der anvendes en quartz-styret generator for at undgå problemer pga. drift i sendefrekvensen.

Frekvensgeneratoren er placeret på et hulprint, hvis diagram er gengivet på bilag 5. Diagrammet over resten af sende-kredsløbet er gengivet på bilag 6

<sup>2</sup>Forstærkningen fastlægges eksperimentelt.

## 8.6.2 Modtageren

Diagrammet over modtageren er gengivet på bilag 6

Modtagerkredsløbet er opbygget omkring en TL074, en fire-dobbel operationsforstærker med J-FET indgange (U1). Det er vigtigt at anvende højimpedante indgange til det kredsløb der måler fotodiodes lækstrøm.

Der anvendes et aktivt båndpasfilter, opbygget omkring U1-B. Komponenterne er valgt så filteret har en forstærkning på: ca 100 gange En Q-værdi på: ca 10, og centerfrekvens der kan justeres til 2.4kHz.

R3 anvendes til at justere centerfrekvensen til 2.4kHz<sup>3</sup>. Når R3 justeres påvirkes Q-værdien og egenforstærkningen. Q-værdien er ikke specielt kritisk, men egenforstærkningen skal gerne være ens for alle afstandsmålere. Derfor kan forstærkningen af signalet fra amplitudedekturen justeres vha. R8<sup>4</sup>.

## 8.7 Mekanisk opbygning

Ved projektets afslutning foreligger der en fungerende prototype af nærhedsføleren. Prototypen er opbygget på et hulprint, og fylder så meget at den er uegnet til montage på skildpadden.

Det er meningen at der skal opbygges et antal nærhedsfølere på små printkort, der kan placeres rundt om på skildpadden. For at gøre disse print så små som mulige skal der anvendes SMD<sup>5</sup> komponenter, der er væsentligt mindre end standard-komponenter.

## 8.8 Anvendelse af nærhedsfølerne

Man kan ikke beregne afstanden til et objekt på basis af intensiteten af det lys der reflekteres fra det.

Det eneste man kan gøre er tilsyneladende, at vedtage en tærskelværdi, og krydse finger for at uforudsete forhindringer vil reflektere lys nok til at tærskelværdien bliver overskredet, inden skildpadden kolliderer med objektet.

Der er visse situationer hvor man har mulighed for at vide noget om det objekt sensoren kigger på.

Hvis skildpadden f.eks. ved den er tæt på en væg, kender sin vinkel til væggen, og kender væggens optiske egenskaber; har den mulighed for at beregne intensiteten af det reflekterede lys, som funktion af afstanden til væggen, og dermed måle afstanden.

En anden måde at få mere information ud af sensoren på, er at udnytte sammenhængen mellem afstand og reflekteret lys, som er en ulinear monoton aftagende funktion. Målinger på nærhedssensoren indikerer at sammenhængen mellem afstand og reflekteret lys er givet ved en potensfunktion:  $f(x) = \alpha \cdot x^\beta$ , hvor  $\alpha$  afhænger af det reflekterende objekts reflektivitet (farve) og vinkel; og  $\beta$  afhænger af objektets størrelse, form og mathed. De få målinger der blev foretaget indikerede at objekter uden abnorme geometriske egenskaber<sup>6</sup> ville give anledning til en værdi for  $\beta$  imellem -2.3 og -3.5<sup>7</sup>.

Der kan opnås en tilnærmet måling af differentialkvotienten for sammenhængen imellem afstand og reflekteret lys, ved at foretage to målinger i to forskellige afstande.  $f'(x)$  er givet ved:  $f'(x) = \alpha \cdot \beta \cdot x^{\beta-1}$ . Kendes både  $f(x)$  og  $f'(x)$  er  $x$  givet ved:  $x = \beta \cdot \frac{f'(x)}{f(x)}$ . Hvis det kan ettersiges, at  $\beta$  tilhører et bestemt interval for alle objekter skildpadden kan risikere at møde; kan afstanden til det objekt der reflekterer lyset bestemmes med en nøjagtighed der svarer til intervallets størrelse.

En bedre måling af differentialkvotienten kan opnås, ved at montere to fotodioder på hver sensor. Fotodioderne monteres f.eks. en centimeter forskudt, og forskellen på det lys de modtager forstærkes vha. en differentialforstærker. På denne måde behøver skildpadden ikke flytte sig for at måle differentialkvotienten, og differentialkvotienten kan måles med bedre opløsning, idet A/D omsætterens fulde dynamikområde kan udnyttes hvis forskellen behandles som et separat signal.

<sup>3</sup>Det er nødvendigt at lave en mulighed for at justere centerfrekvensen, da de faste komponenter har en vis tolerance. Når den korrekte værdi af R3 er fastlagt kan den erstattes af en fast modstand.

<sup>4</sup>Når den korrekte værdi for R8 er fundet eksperimentelt, erstattes den af en fast modstand.

<sup>5</sup>SMD = Surface Mounted Design

<sup>6</sup>Hulspejle og lignende.

<sup>7</sup>Anvendes en lyskilde uden spredning (LASER), vil et mat objekt teoretisk give anledning til  $\beta = -2$

## **8.9 Afpøvning af sensoren**

Da sensoren ikke er monteret på skildpadden ved projektets afslutning, afprøves den separat.

Afpøvningen foretages ved at slutte sensorens sendedel til en 2.4kHz frekvensgenerator, og overvåge spændingen på sensorens udgang med et voltmeter.

Det konstateres at sensorens udgang holder sig i spændingsintervallet mellem -0.6V og 5.6V, og at spændingen aftager ulineært med afstanden til det reflekterende objekt.

# Kapitel 9

## Afprøvning af den færdige skildpadde

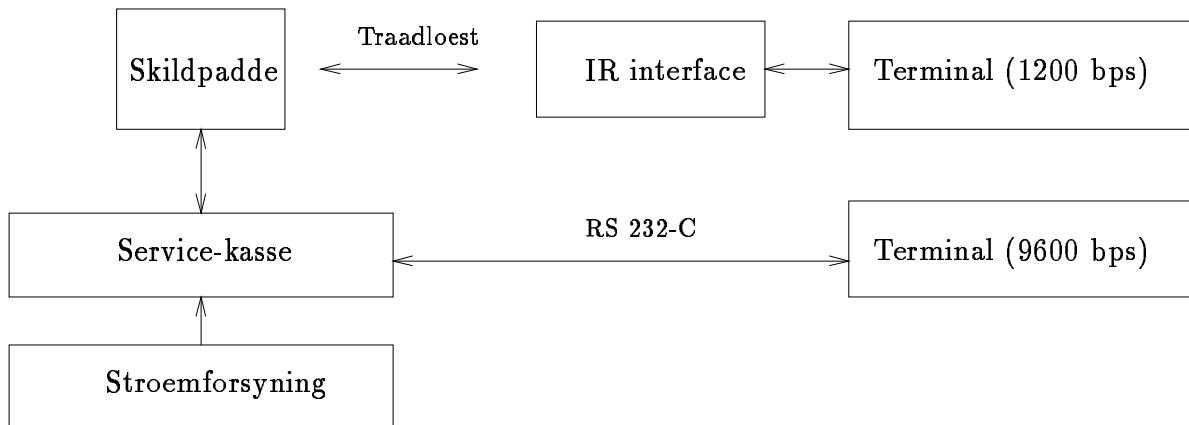
Som forklaret i kapitel 3, udføres den grundlæggende afprøvning af elektronikken under konstruktionen. Al den anvendte elektronik er således afprøvet, og fundet i orden (efter småfejl er blevet rettet).

Formålet med den afprøvning der refereres her, er at demonstrere at alle de forskellige kredsløb arbejder sammen som planlagt, og at den færdige skildpadde overholder de funktionelle krav, der blev stillet i kapitel 1.

Afprøvningen foregår med et enkelt menu-styret testprogram. Programmet er skrevet i assemblér, og udskriften er gengivet i bilag 12. Programmet ligger på den vedlagte diskette, under navnet: testprogram/test.asm

### 9.1 Test proceduren

Testprogrammet brændes i en EPROM (se kapitel F)<sup>1</sup>, der placeres i CPU-kortets EPROM-sokkel.



Figur 9.1: Skildpaddens forbindelser under afprøvning

Skildpadden forbindes, via service-kassen, til en RS232-C kompatibel terminal, der indstilles til 9600 baud, 8 bits, og ingen paritet.

Det trådløse IR interface forbindes til en terminal, der indstilles til 1200 baud, 8 bits, og ingen paritet.

Service kassen forbindes til de korrekte strømforsyninger (se afsnit F).

EPROMen med testprogrammet monteres, og skildpadden tændes.

<sup>1</sup>Filen testprogram/test.s indeholder testprogrammet i S-format, der kan sendes direkte til EPROM-brænderen

### 9.1.1 Opstarten

Det første testprogrammet gør, er at kalde en initialiseringsroutine, der initialiserer DUARTen, tester RAMen, initialiserer de vigtigste *exception-vectors*, tester *BUS-error* funktionen, initialiserer de to MC68230, og de to MC6840. Undervejs udskriver programmet statusmeddelelser på både RS232-C forbindelsen, og den trådløse forbindelse. Initialiseringsrutinen ligger i filen: lib/init.asm, der er genget på bilag 12

### 9.1.2 Hovedmenuen

Hvis opstarten gik vel, vil programmet udskrive en hovedmenu på den terminal der er forbundet til den trådløse forbindelse. I hovedmenuen kan man vælge undermenuer, der gør det muligt at teste:

- Kommunikationen, herunder:
  - Test af RS232-C forbindelsens sende- og modtageevne, ved 9600 baud og 19200 baud.
  - Test af Den trådløse forbindelses sende- og modtage-evne (ved 1200 baud).
  - Test af MCC68681's evne til at generere interrupts.
  - Test af lyddelen (afspilning af digitaliseret lyd).
- Motorerne, herunder:
  - Stepmotorernes evne til at få skildpadden til at køre frem, baglæns, dreje til højre og til venstre.
  - Stepmotor-styringens evne til at generere interrupts.
  - Servomotoren.
  - Tush-motoren.
- Sensorerne, herunder:
  - De fire ultralydssensorer (der anvendes forkortet *blanking*, og der aflæses to ekkoer)<sup>2</sup>.
  - PIR sensoren (spændingen fra sensoren aflæses og udskrives 500 gange).
  - Kollisions detektorerne, og deres evne til at generere interrupts.
- Strømforsyningen, herunder:
  - Strømforsyningens evne til at skifte mellem intern og ekstern energiforsyning.
  - Strømforsyningens evne til at tænde og slukke for ladestrømmen til akkumulatorerne.
  - Evnen til at aflæse akkumulatorernes temperatur, og polspænding, samt evnen til at aflæse spændingerne fra den eksterne strømforsyning.

Alle menupunkter afprøves, mens skildpadden står klodset op, og er forbundet til strømforsyningen, og RS232-C terminalen.

For at teste skildpadden uden kabel, sikrer man sig at skildpadden anvender strøm fra sine akkumulatorer, afmonterer kablet til service-kassen, og sætter skildpadden ned på gulvet. Al kommunikation med skildpadden foregår over den tråd løse forbindelse, så man kan stadig anvende det menu-styrede program.

Når skildpadden står på gulvet afprøves alle menupunkter igen.

## 9.2 Resultat af afprøvningen

Afprøvningen viser at skildpadden virker som forventet. I det følgende er enkelte dele af testresultaterne kommenteret

---

<sup>2</sup>Se [5].

## 9.2.1 Trådløs kommunikation

Den trådløse kommunikation virker bedre end forventet. Forbindelsen har en rækkevidde på mindst 1 meter, selv om vinklen mellem skildpaddens sender/modtager's længdeakse og den ekstene sender/modtager bliver helt op til  $70^\circ$ . Inden for en vinkel på ca.  $20^\circ$  er rækkevidden op til 3 meter.

Den trådløse forbindelse er følsom over for glødelamper, som forstyrrer kommunikationen hvis skildpadden eller IR-interfacet blyses direkte.

Kraftig baggrunds-belysning reducerer den maksimale rækkevidde.

## 9.2.2 Lyden

Som forventet leverer skildpadden ikke HiFi lyd, men lydkvaliteten er faktisk overraskende god, i betragtning af hvor lidt der er gjort for den.

## 9.2.3 Stepmotorerne

Afprøvningen viser at 10000 *half-steps* svarer til 1.74 meter. Skildpadden kører altså 0.174 millimeter/*half-step*. Afprøvningen viser også at stepmotorerne ikke kan 'følge med' styreelektronikken, ved høje hastigheder. Skildpaddens tophastighed er ca. 12 cm/sekund, men elektronikken kan generere styresignaler der svarer til 100 gange så høje hastigheder.

## 9.2.4 Afstandsmålerne

Under afprøvning af afstandsmålerne viste det sig at objekter der var gode til at reflektere ultralyd kunne give anledning til falske ekkoer, i den dobbelte afstand. Fænomenet opstår kun ved relativt korte afstande (under 1 meter), og skyldes at den lyd objektet reflekterer sendes tilbage til skildpadden, der igen reflekterer den, og på denne måde i realiteten udsender en ny lydpuls. Den nye lydpuls vil reflekteres fra objektet, og modtages af sensoren, der tror at der findes et objekt i den dobbelte afstand. Viser dette sig at være et alvorligt problem, kan det blive aktuelt at ændre afstandsmålernes følsomhed (se [5]). Bortset fra dette lever afstandsmålerne helt op til forventningerne.

# Kapitel 10

## Konklusion

### 10.1 De primære krav

- Rapporten dokumenterer at der er opbygget en MC68008 baseret datamat til skildpadden, og afprøvningen viser at den udfører testprogrammet korrekt.
- Afprøvningen viser at skildpaddens motorer styres uafhængigt af hinanden, og at skildpaddens medbragte batterier forsyner den med energi.
- Det vurderes at afstands-målerne, kollisions detektorerne, og PIR-sensoren tilsammen kan skaffe datamaten tilstrækkelige informationer om skildpaddens omgivelser, til at forhindringer kan undgås.

Alle primære krav opstillet i kapitel 1 er hermed opfyldt.

### 10.2 Sekundære krav

- Rapporten og bilagene dokumenterer at de tekniske krav til datamaten, angående RAM og udvidelsesmuligheder, er opfyldt.
- Afprøvningen viser at kravene til kommunikation mht. stationær datamat, kommandogivning, statusmeddelelser, og lydgengivelse er opfyldt.
- Afprøvningen viser at kravene om drejelig platform og styring af tusch-holderen er opfyldt.
- Afprøvningen viser at kravene til strømforsyningen er opfyldt.

Alle sekundære krav er hermed opfyldt.

### 10.3 Sammenfatning

Den fremstillede skildpadde/AGV overholder opgaveformuleringen. At det er lykkedes at overholde de sekundære krav, såvel som de primære, gør at skildpadden er blevet attraktiv at arbejde med, og dermed velegnet til undervisning og demonstration.

# Appendiks A

## Strømforsyning II

I dette appendiks beskrives omskifteren, og ladeelektronikken.

### A.1 Krav til omskifter

- Skiftet mellem batteridrift og ekstern strømforsyning skal styres af datamaten.
- Der skal ikke kunne skiftes væk fra batteridrift hvis den eksterne strømforsyning ikke er tilsluttet.

### A.2 Overordnet design af omskifter

Da spændingen fra de fire 2200mAh akkumulatore kun er på 4.8V, og da digital–elektronikken skal have mindst 4.75V, skal der være et meget lille spændingsfald over omskifteren. Dette udelukker anvendelsen af bipolare transistore. Valget står mellem et relæ, og *power-MOSFET* transistore. Det vælges at anvende et relæ, da det er billigere end de MOSFET transistore der ellers skulle anvendes.

Når relæet skifter stilling, er der et kort tidsrum hvor elektronikken reelt ikke er forbundet til hverken akkumulatorene eller den eksterne strømforsyning. Det er derfor nødvendigt at afkoble relæet med et par store kondensatore, der kan holde spændingen, indtil relæet er skiftet.

Det kan desværre ikke garanteres at den digitale elektronik's spændingsforsyning holder sig over de 4.75V, der kræves for at kredsene overholder sine specifikationer. Spændingen fra akkumulatorene kan kun lige akkurat holde spændingen oppe over 4.75V (4.8V), og hvis relæet bare afbryder strømmen i 1ms, mens elektronikken bruger 1A, skal der anvendes en kondensator på  $20000\mu F$  for at forhinde spændingen i at falde mere end 0.05V. Der er ganske simpelt ikke plads til en så stor kondensator, så det kan altså ikke garanteres at computeren ikke 'går ned' når relæet skifter. Sansynligheden for at computeren 'går ned' vil dog ikke være så stor, idet de digitale kredsløb i praksis fungerer fint selv om spændingen falder lidt under 4.75V.

Da spændingen fra den eksterne strømforsyning aldrig vil være den samme som fra akkumulatorene, vil der ske et 'spring' i spændingen, og løbe en kortvarig – stor strøm<sup>1</sup>, når relæet skifter. Disse effekter er naturligvis uønskede, og skal begrænses af et passende filter.

### A.3 Kommentarer til detail–designet af omskifteren

Diagrammet over strømforsyningen er gengivet på bilag 3a

Der anvendes et lille 2.5A relæ (RL1), til selve omskifteren. Den ene terminal på relæets spole er forbundet til den eksterne 15V forsyning. Spolen kan altså ikke magnetiseres hvis der ikke er tilkoblet en ekstern strømforsyning. Den anden terminal er forbundet til *collector* på T5, der kan trække strøm gennem spolen til GND. T5 kan styres af MC68230-A<sup>2</sup>'s port C, bit 0.

<sup>1</sup>Til op-/af-ladning af kondensatorer.

<sup>2</sup>MC68230-A er placeret på CPU-kortet.

For at begrænse spændingsfaldet mens relæet skifter anvendes C5 og C6 ( $4700\mu F$ ).

Det filter der skal begrænse de strøm-/spændingspulser, der opstår når relæet skifter, er opbygget som identiske LC filtre. Spolerne (L1 og L2) er begge  $50\mu H$  toroide<sup>3</sup>-spoler, med meget lav indre modstand. Kondensatorene er dem der også anvendes til at begrænse spændingsfaldet (C5, og C6). C5 og C6 er elektrolyt-kondensatorer, der har en relativ stor impedans ved høje frekvenser. Derfor tilsluttes to  $100nF$  sibatit-kondensatore (C3 og C4) parallelt med C5 og C6.

C1 og C2 skal, sammen med L1 og L2, forhindre at højfrekvent støj fra skildpaddens elektronik forplanter sig videre ud i den eksterne strømforsyning.

## A.4 Fejl og uhensigtsmæssigheder i omskifteren

Det viste sig at der i design-fasen ikke var taget højde for, at datamaten ikke kunne skifte til ekstern strømforsyning hvis de akkumulatore der leverer strøm til den er afladede. Problemet blev løst ved at lodde en ledning på T5's collector. Relæet kan tvinges til at skifte til ekstern strømforsyning ved at forbinde ledningen (*FORCE EXTERNAL POWER*) til GND.

Kondensatorene: C5 og C6, burde være monteret efter afbryderen, så deres lækstrøm ikke fremskynder afladningen af akkumulatorene, når skildpadden er slukket. Denne uhensigtsmæssighed er ikke rettet, da det vil kræve omfattende indgreb i effekt-kortet.

## A.5 Krav til ladeelektronikken

- Ladeelektronikken skal kunne regulere ladestrømmen trinløst, fra vedligeholdelsesladning<sup>4</sup> til lynladning<sup>5</sup>.
- For at forhindre beskadigelse af skildpaddens elektronik, må ladeelektronikken ikke tilslutte ladestrøm til akkumulatorene hvis skildpaddens elektronik bruger strøm fra dem.

## A.6 Overordnet design af ladeelektronikken

Ladeelektronikken består af et sæt 'kontakter', der styret af datamaten kan tænde og slukke for ladestrømmen til de to sæt akkumulatore. For at kunne aflæse temperaturen ved akkumulatorerne anvendes desuden to temperaturfølere, der omsætter temperaturen til en spænding der kan aflæses af datamatens A/D omsætter.. Polspændingen på akkumulatorerne kan aflæses direkte af datamatens A/D omsætter.

For at gøre lynladning mulig, forudsættes det at den eksterne strømforsyning genererer to strømme, der svarer til den maksimale tilladte ladestrøm for hvert sæt akkumulator.

Hvis skildpadden skal lynlades, skal ladeelektronikken blot tænde for strømmen, og lade den være tændt i det tidsrum der er nødvendigt for at lade akkumulatorerne op, eller indtil akkumulatorenes temperatur stiger drastiskt.

Skal der ikke lynlades, skal ladeelektronikken tænde og slukke for ladestrømmen et par gange i sekundet. Den gennemsnitlige strøm der løber, bestemmes af hvor lang tid strømmen er tændt i forhold til hvor lang tid den er slukket.

Ved at lade skildpaddens computer styre ladeelektronikken, kan opladningen styres fuldstændigt trinløst. Man kan forestille sig at skildpadden udstyres med et program, der spørger brugeren hvor lang tid der skal bruges til opladningen, og derefter styrer ladeelektronikken så denne tid overholdes. Programmet skal afbryde ladningen hvis en temperaturstigning indikerer at akkumulatorerne er fuldt opladede, og at den tilførte energi omdannes til varme.

<sup>3</sup>Ringkerne spole.

<sup>4</sup>Vedligeholdelsesladning af en akkumulator foregår med 1/100 af akkumulatorenes kapacitet (7.5mA og 22mA for de anvendte akkumulatore).

<sup>5</sup>Lynladning af en akkumulator foregår med 1/1 af akkumulatorens kapacitet (750mA og 2.2A for de anvendte akkumulatore).

## A.7 Kommentarer til detail–designet af ladeelektronikken

Diagrammet over ladeelektronikken er en del af diagrammet over strømforsyningen, der er gengivet på bilag ??

Selv 'kontakterne' implementeres som T1 og T2 (BD678). T1 og T2 er PNP darlington–transistore. De er koblet så de kan styres af T3 og T4.

T3 og T4 styres af to digitale signaler. De kan enten være åbne eller lukkede. T3 og T4 kan kun trække en basisstrøm ud af T1 og T2, hvis T5 er åben<sup>6</sup>, for at få skildpadden til at anvende den eksterne strømforsyning.

Hvis skildpadden er sat til at bruge den eksterne strømforsyning, kan de to digitale signaler styre om T3 og T4 skal trække en basisstrøm ud af T1 og T2. Er T3/T4 lukkede vil der ikke gå en basisstrøm, T1/T2 er derfor lukket, og ladestrømmen vil være afbrudt. Hvis T3/T4 er åben, vil der gå en basisstrøm på mindst ????, der får T1/T2 til at gå i mætning, og dermed tilslutte ladestrømmen.

**Diagrammet** over temperaturfølerne er en del af diagrammet gengivet på bilag 7 NTC<sup>7</sup> modstandende er monteret tæt på de to sæt akkumulatore, og de indgår i identiske uafhængige måleopstillinger.

---

<sup>6</sup>eller *FORCE EXTERNAL POWER* er lagt lav.

<sup>7</sup>Negative Temperature Coifcient.

# Appendiks B

## Motorer II

I dette appendiks beskrives styreelektronikken til servo- og tusch-motor.

### B.1 Beskrivelse af servo-motoren

Den servomotor som var til rådighed var som nævnt ikke komplet, idet den ikke havde et reguleringssystem. Selve motoren var en 6V jævnstrømsmotor, der via en kraftig udveksling, stod i forbindelse med en aksel der kunne drejes  $180^\circ$ . Akslen var forbundet direkte til et  $5\text{k}\Omega$  potentiometer, der således kunne måle akslens vinkel.

### B.2 Krav til servomotorstyringen

- Styringen skal indeholde et reguleringssystem, der får motoren til at virke som en positionsservo.
- Akslens vinkel skal styres af datamaten, med en oplosning på mindst  $5^\circ$ .

### B.3 Overordnet design af servomotor-styringen

Motorens ene terminal holdes fast på den halve forsyningsspænding, så motoren kan bringes til at dreje i begge retninger, ved at lade spændingen på den anden terminal stige eller falde over eller under den halve forsyningsspænding. Den halve forsyningsspænding bruges som nulpunkt i hele kredsløbet.

Regulerings-systemet består af en simpel P<sup>1</sup>-regulering, med en forstærkning på 100 gange<sup>2</sup>. Regulerings-systemets indgangsspænding ligger i intervallet: 0V...5V. Motoren begynder at dreje ved en spænding på ca. 2V, og reguleringssystemet vil derfor dreje motoren hvis akslens aktuelle vinkel afgiver mere end ca.  $0.7^\circ$ <sup>3</sup> fra den ønskede.

Styrespændingen til reguleringssystemet genereres af en D/A<sup>4</sup> omsætter, der styres af MC68230-A's port A. For at opnå den ønskede oplosning på  $5^\circ$ , er det nødvendigt at D/A omsætteren har en oplosning på mindst seks bits<sup>5</sup>.

### B.4 Kommentarer til detail-designt

Diagrammet over servomotor-styringen er en del af diagrammet over Effekt-kortet, som er gengivet på bilag 3a

Der anvendes en 8-bits D/A omsætter (U6), der har en strøm-udgang. Strømmen omsættes til en spænding af U4-C, R24A og R24B. R41 giver mulighed for at foretage en offset justering af servomotoren.

<sup>1</sup>P-regulering = Proportional regulering.

<sup>2</sup>Forstærkningen er fastlagt eksperimentelt.

<sup>3</sup> $\frac{2V \cdot 180^\circ}{100 \cdot 5V}$ .

<sup>4</sup>D/A = Digital til Analog

<sup>5</sup>Antallet af bits er givet ved:  $\log_2 \frac{180^\circ}{5^\circ} \approx 5.1$ , der rundes op til 6 bits.

Det aktive element i reguleringssystemet er U5-C, der er koblet som differentialforstærker med 100 ganges forstærkning. U5-D, T8 og T9 er koblet som et udgangstrin, der kan levere den nødvendige strøm til motoren. U5A, T10 og T11 er et tilsvarende udgangstrin, der holder spændingen på den halve forsyningsspænding.

Dioderne D9...D12 beskytter udgangstrinnene mod *transienter*<sup>6</sup> fra motorene.

## B.5 Fejl og uhensigtsmæssigheder i servomotor-styringen

Ved en ubetænksomhed var T8...T11 oprindeligt underdimensionerede. Fejlen blev rettet ved at udskifte dem med 'større' transistore, der desværre ikke havde samme benforbindelser som dem printet blev designet til.

**D/A** omsætteren og strøm/spændings omsætteren blev oprindeligt designet til at give en spænding i intervallet: 0V...5V. Dette viste sig at være upraktiskt, da det blev umuligt at *offset* justere motoren. Fejlen rettes ved at gøre R24 mindre. Frem for at udskifte den oprindelige modtsand (R24A), er den parallel forbundet med R24B.

Den spænding der anvendes til *offset* justering af servomotoren genereres, vha. R39, R40 og R41, ud fra den positive forsyningsspænding. Servomotorens retning vil derfor blive afhængig af forsyningsspændingen. Dette giver sig udslag i at servomotoren drejer en smule når der skiftes mellem batteridrift og ekstern strømforsyning.

Fejlen kan rettes ved at forbinde R40 til den referencespænding der er 5V over den halve forsyningsspænding ( $\frac{V_A}{2} + V_{REF}^+$ ), i stedet for forsyningsspændingen. Fejlen er ikke rettet, da den ikke har praktisk betydning.

## B.6 Beskrivelse af tusch-motoren

Den motor der hæver og sænker skildpaddens tusch, er en alm. 3V jævnstrømsmotor<sup>7</sup>. Gennem en gearing kan motoren dreje en pal, der hæver tuschen, hvis den drejes den ene vej, og tillader tyngdekraften at sænke den hvis den drejes den anden vej. Palen kan ikke drejes hele vejen rundt, men blokkes ved de to yderpunkter.

## B.7 Krav til tuschmotor-styring

- Datamaten skal med en enkelt digital udgang styre om tuschen er hævet eller sænket.

## B.8 Overordnet design af tuschmotor-styring

Som ved servomotoren holdes den ene af motorens terminaler på den halve forsyningsspænding. Spændingen på den anden terminal styres af et aktivt højpasfilter, med en forstærkning på ca. tre gange. Højpasfilteret skal have en tidskonstant  $\tau$  på ca. 1 sekund, og dets indgang kobles til den digitale udgang på datamaten.

Når den digitale udgang skifter, vil højpasfilterets aktive del gå i mætning i ca. 1 sekund, og spændingen på udgangen vil være 6V over eller under den halve forsyningsspænding, alt efter om den digitale udgang skifter til høj eller lav. Efter et sekund vil udgangen hurtigt stabilisere sig på den halve forsyningsspænding<sup>8</sup>.

For at forhindre motoren i at reagere for kraftigt på de 6V, serieforbindes den med en modstand.

<sup>6</sup> Transienter ≈ Fagudtryk for kortvarige høje spændinger.

<sup>7</sup> Det vurderes at det drejer sig om en 3V motor, men der forefindes intet datablad.

<sup>8</sup> Højpasfilteret konstrueres så dets nulpunkt ligger på den halve forsyningsspænding.

## B.9 Kommentarer til tuschmotor–styringen

Diagrammet over tuschmotor–styringen er en del af diagrammet over effekt-kortet, der er gengivet på bilag 3a.

**Højpasfilteret** er bygget sammen med et udgangstrin, der minder om dem der anvendes i servomotorstyringen, der er blot ingen tilbagekobling.

Det udgangstrin der holder spændingen på den halve forsyningsspænding er fælles med servomotorstyringen.

## B.10 Fejl og uhensigtsmæssigheder i tuschmotor–styringen

Transistorene i udgangstrinnet (T12 og T13) var i lighed med transistorene i servomotor–styringen under-dimensionerede, og udskiftet med en anden type.

# Appendiks C

## Sensorer II

I dette appendiks beskrives interfacet mellem SIEMENS PID11 PIR sensor, og datamatens A/D omsætter.

### C.1 Beskrivelse af PID11

PID11 er bygget op omkring et pyroelektrisk element, der omsætter varmestråling til et elektrisk signal. Elementet er forbundet til en forstærker, og det er forsynet med optik der filtrerer kortbølget lys fra, og som giver sensoren et synsfelt på ca.  $10^\circ$ .

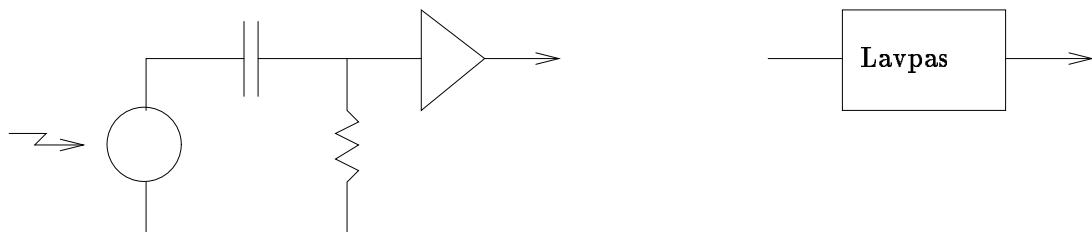
PID11 skal forsynes med GND og 5V på ben 1 og 2, og den genererer en spændingsforskål mellem ben 3, og 4, der er proportional med signalet fra det pyroelektriske element. Ben 4 er en fast reference-spænding, og spændingen på ben 3 ligger i intervallet: 0...5V.

Pyroelektriske elementer er kapacitive, og de genererer en ladningsforskydning der er proportional med elementets temperaturlagring. Det pyroelektriske element vil have en vis lækstrøm, og den efterfølgende elektronik vil have en indgangsimpedans. Den ladnings-, og dermed spændings-forskål der forekommer ved temperaturlagring, vil derfor med tiden forsvinde med tidskonstant:  $\tau$ . Et pyroelektrisk element med forstærker kan modelleres som vist i figur C.1. Generatoren laver en spænding der er proportional med effekten af det lys der rammer sensoren. Kondensatoren og modstanden virker som højpasfilter, med tidskonstant:  $\tau_{HP} = \tau$ . Modellen tager ikke højde for at sensoren virker ved fysisk opvarmning af et pyroelektrisk materiale med en vis varmecapacitet. Denne effekt kan bygges ind i modellen ved at indføre et lavpasfilter med tidskonstant:  $\tau_{LP}$ .

Målinger på PID11's steprespons, viser at  $\tau_{LP} \approx 0.1s$ , og  $\tau_{HP} \approx 5s$ .

### C.2 Krav til interfacet

- Interfacet skal tilpasse PID11's udgangssignal til A/D omsætterens spændingsinterval.



Figur C.1: Model af en pyroelektrisk sensor med forstærker.

## C.3 Overordnet design af interfacet

Interfacet til PID11 er meget simpelt. Det består af en strømforsyning, og en forstærker.

Strømforsyningen skal generere en støjsvag spænding på 5V til PID11. Forstærkeren skal omsætte PID11's differentielle udgangssignal, til et signal der refererer til GND. Forstærkeren skal sørge for at begrænse udgangsspændingen til intervallet:  $-0.7V \dots 5.7V$ , for ikke at ødelægge A/D konverterens indgang. Udgangsspændingen skal være 2.5V, når der ikke er spændingsforskæl på PID11's differentielle udgang, så både positive og negative ændringer af IR strålingen kan registreres. Forstærkeren skal have justerbar forstærkning, så følsomheden kan reguleres.

## C.4 Detail-designet af interfacet

Opstillingen opbygges på et hulprint, hvis diagram er gengivet på bilag 8

Hele opstillingen designes omkring en  $4 \times$  OP-AMP IC: U1, der forsynes vha.  $V^+$  og  $V^-$ . 5V forsyningen laves ved at koble U1-A, R1, og C1 som lavpasfilter med:  $A_0 = 1\times$ ,  $f_{3dB} = 0.35Hz$ . Indgangen på filteret lægges til  $V_{ref}^+$ , der er en 5V reference spænding. Filteret fjerner den højfrekvente støj der måtte være på  $V_{ref}^+$ , så udgangen leverer en støjsvag spænding på 5V. Dioden D1 skal forhindre at PID11 tager skade hvis der af en eller anden grund opstår for høj spænding på U1-A's udgang. R12's funktion er at beskytte D1 mod for store strømme, og at virke som sikring<sup>1</sup>.

U1-B, R2 og R3 bruges til at generere en 2.5V referencespænding, der skal bruges i forstærkerkredsløbet.

U1-C, R4, R5, R6, og R7 er koblet som differentialforstærker, med en forstærkning på  $1\times$ . Spændingsforskellen mellem 2.5V referencespændingen, og U1-C's udgang er lig spændingsforskellen mellem REF og SGNL på PID11.

J1 forsynes med en lus, og da udgangsimpedancen på U1-C er meget mindre end R6, kan R6 ignoreres. U1-D, R9, og R10 er koblet som en ikke inverterende forstærker, med en forstærkning der kan varieres mellem  $1\times$ , og  $5.5\times$ . R11 og D2 forhindrer at spændingen kommer under  $-0.7V$ , og over  $5.6V$ . Operationsforstærkeren har en indbygget strømbegrænsning, der begrænser en evt. zenerstrøm, og derved beskytter både U1 og D2. R11 skal udelukkende forhindre at der afsættes mere end  $1.3 W$  i D2 hvis strømbegrænsningen svigter. I dette tilfælde vil udgangen på U1-D maksimalt komme op på  $V^+$ . Spændingsfaldet over R11:  $V_{R11} = V^+ - V_{z2}$ , strømmen gennem R11 og D2:  $I_{R11} = I_{D2} = \frac{V_{R11}}{R11} = \frac{V^+ - V_{z2}}{R11}$ . Effekten i D2:  $P_{D2} = V_{z2} \cdot I_{D2} = V_{z2} \cdot \frac{V^+ - V_{z2}}{R11}$ . Effekten i R11:  $I_{R11} \cdot V_{R11} = \frac{V^+ - V_{z2}}{R11} \cdot V^+ - V_{z2}$

For den givne opstilling gælder der :

$$V_{max}^+ = 15V$$

$$V_{z2} = 5.6V$$

$$V_{R11,max} = 15V - 5.6V = 9.4V$$

$$I_{R11,max} = I_{D2,max} = \frac{9.4V}{56\Omega} = 168mA$$

$$P_{D2,max} = 168mA \cdot 5.6V = 0.94W$$

$$P_{R11,max} = 168mA \cdot 9.4V = 1.6W$$

R11 er kun beregnet til  $0.25W$ , og den vil derfor brænde op, og derved virke som en ildelugtende sikring, før der er fare for D2.

**R12** tjener samme formål som R11, og de samme udregninger og samme konklusion gælder for R12 og D1.

---

<sup>1</sup> Se beskrivelsen af R11's funktion.

# Appendiks D

## Kommunikation

I dette appendiks gennemgås RS232-C interface, trådløst serielinterface, lydgengivelsen, og linkadapteren.

### D.1 Krav til RS232-C interfacet

- Interfacet skal tilpasse et sæt af MC68681's TTL-kompatible ind/udgange til spændingsniveaueret foreskrevet af RS232-C standarden.

### D.2 Kommentarer til detail-designet af RS232-C interfacet

RS232-C interfacet er opbygget på et hulprint, sammen med en frekvensgenerator. Diagrammet er gengivet på bilag 5

**TXD** tilpasses med en LM311 *comparator* (U3), der sammenligner MC68681 TXD udgang med en spænding på ca. 1 V. D1 og D2 sørger for at spændingen på udgangen ikke kommer uden for intervallet: -11V...11V, men da opstillingens negative forsyningsspænding er på ca. -7V, vil udgangsspændingen snarere være imellem -6V...11V.

Opstillingens udgangsimpedans er bestemt af R5, på  $4.7\text{k}\Omega$ . Så høj udgangsimpedans kan give problemer med støj. Hvis sådanne problemer opstår, er det en god ide' at placere et lavimpedant udgangstrin efter U3's udgang.

**RXD** tilpasses vha. en simpel transistor-inverter. T1 vil kun være åben når *RS232RXD* er over ca. 2V, ellers er den lukket. Opstillingens indgangsimpedans er bestemt af R4 ( $10\text{k}\Omega$ ), og den høje indgangsimpedans kan give problemer med støj. Hvis sådanne problemer opstår bør der forbindes en passende modstand fra *RS232RXD* til GND.

### D.3 Krav til trådløs seriel kommunikation

- Rækkevidden skal være mindst en meter.
- Transmissionshastigheden skal være mindst 75bps.

### D.4 Overordnet design af trådløs kommunikation

Den trådløse kommunikation anvender den ene kanal på CPU-kortets MC68681 DUART.

**Senderen** Består af en frekvensgenerator, hvis udgang moduleres med DUARTens TXD signal, og bruges til at styre en infrarød lysdiode.

**Modtageren** består af en fotodiode, og en demodulator, der genskaber det signal der modulerede det modtagne lys. Det genskabte signal forbindes til DUARTens RXD indgang.

## D.5 Kommentarer til detail-designet af trådløs kommunikation

Frekvensgeneratoren er opbygget på et lille hulprint, der også rummer RS232-C interfacet. Diagrammet er gengivet på bilag 5

Der anvendes en modulationsfrekvens på 38.4 kHz. Frekvensgeneratoren genererer også 2.4 kHz til nærhedsfølerne.

Modulatoren, de to IR lysdioder og modtageren er placeret på et andet hulprint, hvis diagram er gengivet på bilag 9

Modulatoren består af to transistore (T2 og T3), der begge skal være åbne, før lysdioderne lyser. Bemærk at TXD fra DUARTen inverteres af T1 og R1.

Modtageren består af en IS1U60 (U1), der både indeholder fotodiode, forstærker og demodulator. U1 har en enkelt digital udgang, der uden videre forbindes til DUARTens RXD indgang.

## D.6 Krav til lyddelen

- Lyddelen skal kunne gengive forståelig digitaliseret tale, samt advarselslyde.
- Lydstyrken skal være så høj at man ikke kan undgå at høre skildpadden (med normal menneske hørelse).

## D.7 Overordnet design af lyddelen

Lyddelen består af en D/A omsætter, med en oplosning på mindst 6 bits<sup>1</sup>, et antialiasing-filter, en effektforstærker, og en højttaler.

## D.8 Kommentarer til detail-designet af lyddelen

Lyddelen er opbygget på Effekt-kortet, hvis diagram er gengivet på bilag 3a

Der anvendes en DAC 08, 8 bits D/A omsætter (U7), der forbindes til en af datametens 8-bits digitale udgange. DAC 08 genererer en strøm, der omsættes til en spænding af U4-B. R22 fungerer som volumenkontrol.

Anti-aliasing-filteret er et simpelt første ordens filter, opbygget af R51 og C29. Den forventede *sample*-frekvens er 8kHz, så filteret er konstrueret med en 'skærefrekvens' på ca 4 kHz. Da der kun anvendes et første ordens lavpasfilter, vil man tydeligt kunne høre den højfrekvente alias-støj, men lydkvaliteten bliver acceptabel til formålet.

Der anvendes en TDA1011 integreret 2W...6W effektforstærker (U8), der er beregnet til  $4\Omega$  højttalere.

Bemærk at den halve forsyningsspænding anvendes som nulpunkt gennem hele den analoge del af opstillingen, og at dette *offset* fjernes af C25, der sidder i serie med højttalerne.

## D.9 Fejl og mangler i lyddelen

Det viste sig at der var en del interferens fra motorene, til lyddelen. En stor del af problemet skyldtes at forsyningsspændingen, og dermed den halve forsyningsspænding varierer når motorerne bruges. Da den halve forsyningsspænding bruges som nul-potentiale i lyddelen, vil støj fra motorerne koble sig ind ad denne vej.

Fejlen blev rettet, ved at afbryde den printbane der ledte den halve forsyningsspænding til ben 5 på U4. Lede den halve forsyningsspænding til ben 5 gennem en modstand på  $470\text{k}\Omega$ , og afkoble ben 5 til

<sup>1</sup>En oplosning på 6 bits svarer til et dynamikområde på:  $20 \cdot \log_{10}(2^6) \approx 36\text{dB}$ .

GND med en kondensator på  $10\mu F$ . Den halve forsyningsspænding anvendes stadig som nulpunkt, men alle 'højfrekvente'<sup>2</sup> ændringer bliver effektivt undertrykt.

## D.10 Linkadapter

Der anvendes standard  $10\text{cm} \times 16\text{cm}$  printplader til at opbygge elektronikken på, men der var kun plads i skildpadden til at CPU-kortet kunne være  $12\text{cm}$  langt.

Der næres håb om at CPU-kortet kan finde andre anvendelser end som kontroldatamat til skildpadden, så derfor udnyttes de sidste fire centimeter til et kredsløb der kan være nyttigt i andre sammenhænge.

Forskellige muligheder blev overvejet, men valget faldt på en INMOS link-adapter, der fungerer som interface til INMOS transputere. Begrundelsen for valget er at der satses på at anvende transputerne til styring af robotter, i det robotprojekt IMADA samarbejder med Odense stålskibsværft om. Transputerne er ikke velegnede til at styre sensorer og motorer direkte, og CPU-kortet fra dette projekt kan måske vise sig at udgøre et passende interface mellem transputerne og robotter.

## D.11 Overordnet design af linkadapter-interface

INMOS C012 linkadapter kobles til CPUen som en normal perefrikreds, men da den ikke har en  $\overline{DTACK}$  generator, genereres  $\overline{DTACK}$  ud fra *Chip select* til kredsen<sup>3</sup>. Linkadapterens to IRQ udgange kobles til to af MC68230-A's *handshake* indgange.

## D.12 Kommentarer til detail-designet ad linkadapter-interface

Opstillingen er opbygget på de fire centimeter der saves af CPU-kortet, og diagrammet over den er gengivet på bilag 1b

**Clock** frekvensen på  $5\text{Mhz}$ , skal være meget nøjagtig, og genereres derfor af en særskilt oscillator, med de fornødne toleranceværdier.

**Bufferne** (U3) anvendes for at beskytte link adapteren mod kortslutninger, overspændinger, transienter, mm. Men også for at kunne sende signalet gennem længere kabler uden tab af data. R2, R3, R4, og R5 er beregnet til at dæmpe signalreflektioner. Værdierne af disse modstande er fastlagt eksperimentelt af Michael Djørby, gennem hans arbejde på AGV-projektet. Bemærk at der anvendes 74F- kredse til bufferne.

Kredsløbet opbygges på printet, med hensyntagen til de højfrekvente, følsomme signaler der arbejdes med:

Der anvendes et stort *ground plane* for at skærme af for interferens med den omgivende elektronik. Der anvendes brede lederbaner til højfrekvente signaler, for at minimere banernes selvinduktion, og maksimere deres overflade<sup>4</sup>. Alle baner der overfører højfrekvente signaler er, så vidt muligt, placeret mellem GND eller VCC baner, for at skærme af mod interferens med andre signaler.

Det undgås at baner med høje frekvenser signaler krydser andre signalbærende baner, idet der derved vil opstå en kapacitiv kobling imellem banerne.

Der anvendes afkoblingskondensatore med lav selvinduktion på alle IC'er. Afkoblingskondensatorene placeres så tæt på IC'erne som muligt, og der anvedes brede lederbaner til spændingsforsyningen.

Alle ben i stikket, der ikke anvendes er forbundet til GND. Kappen på stikket forbindes ikke til noget, men bør senere forsynes med en lavimedant forbindelse til GND på strømforsyningen.

Da det er en prototype der arbejdes på, er alle IC'er monteret i sokler, selv om det giver anledning til ekstra reflektioner af signalet. Hvis der opstår transmissionsfejl bør det undersøges om soklerne giver anledning til problemer, og de skal i givet fald fjernes.

<sup>2</sup>Det introducerede lavpasfilter har en skærefrekvens på  $\frac{1}{2\pi \cdot 470\text{k}\Omega \cdot 10\mu F} \approx 0.03\text{Hz}$ .

<sup>3</sup>Kredsen er hurtig nok til at følge med en *BUS-cycle* uden *wait-states*.

<sup>4</sup>Ved høje frekvenser vil et signal bevæge sig i de ydre lag af en leder, det kaldes strømfortrængning.

## D.13 Afprøvning af link-adapteren

Som alle andre kredsløb, blev denne opstilling afprøvet trinvis. Den mest gennemgribende test gik ud på at forbinde linkadapteren til en transputer, igennem et 2meter langt kabel, og skrive et program til CPU-kortet som sendte alle modtagne bytes tilbage igen. Transputeren blev sat til at sende 256000 bytes<sup>5</sup> til linkadapteren, som via cpu'en sendte de samme byte tilbage igen.

**Afprøvningen** viste at linkadapteren fungerede upåklageligt.

## D.14 Fejl og uhensigtsmæssigheder i linkadapter-interfacet

Basismodstanden til T1 (R1), var glemt på printpladen, så en printbane måtte skæres over, og modstanden loddes på.

---

<sup>5</sup> Sekvensen: 1, 2, 3, ..., 255; 1000 gange.

# Appendiks E

## Mekanisk beskrivelse

I dette appendiks gives en mekanisk beskrivelse af den færdige skildpadde, og det eksterne udstyr der er udviklet til den.

### E.1 Mekanisk beskrivelse af skildpaddens ydre

Beskrivelsen tager udgangspunkt i den oprindelige skildpadde, der er afbilledet i kapitel 1, og i [1], og [2].

Skildpaddens skjold er delt i en overdel og en underdel, for at få plads til elektronikken. De to dele er adskilt med tre metal-afstandsstykker. På den fremadrettede facet af skjoldets overdel er der placeret en servomotor. Servomotorens aksel danner en platform, hvorpå PIR sensoren og en ultralydstransducer er monteret. Der er monteret en ultralydstransducer på hver af de skræt fremadrettede facetter på skjoldets overdel. De tre *sonar-ranging modules* der hører til de tre transducere er skruet fast på indersiden af skjoldets overdel.

Der er placeret to styk 5cm højttalere på de skræt fremadrettede facetter på skjoldets nederste del.

**Elektronikken** er opbygget på tre printplader, og tre hulprint der er placeret inden i skildpaddens skjold. Printpladerne er monteret med 'effekt-kortet' nederst, 'I/O-kortet' i midten, og 'CPU-kortet' øverst. I/O-kortet og CPU-kortet er forbundet med et 50-polet fladkabel, der er langt nok til at tilkoble endnu et print. Det hulprint der rummer frekvensgenerator og RS232-C interface er placeret i højre side. Hulprintet der rummer den elektronik der kan aflæse akkumulatorenes polspænding og temperatur er placeret i venstre side. Hulprintet der rummer opstillingen til trådløs kommunikation, er placeret på den bagudrettede øverste del af skjoldet.

Rundt om på skildpadden er monteret syv *microswitches*, der anvendes som kollisionsdetektorer.

De tolv NiCd akkumulatorceller der danner 15V forsyningen er placeret i skildpaddens to batterikasser, mellem hjulene. De fire akkumulatorceller, der danner 5V forsyningen er placeret under skildpaddens 'forben'.

Skildpadden forbindes til en stationær datamat, og til strømforsyninger gennem et 15 polet sub-D stik placeret bagerst på skjoldet. Dette stik kan forbindes til en 'service-kasse' med et fladkabel. Stikkets benforbindelser er gengivet på bilag 10.

Service-kassen har fem bananstik, beregnet til tilslutning af ekstern 15V og 5V strømforsyninger, samt to strømgeneratorer til at oplade akkumulatorerne (Se brugervejledningen). Service-kassen er forsynet med en kontakt der kan tvinge skildpaddens 'omskifter' til at anvende strøm fra de eksterne strømforsyninger, i tilfælde af at akkumulatorerne er så afladede at datamaten ikke selv kan sørge for dette.

Service-kassen er forsynet med et 25-polet sub-D stik, beregnet til tilkobling af en RS232-C kompatibel terminal eller datamat. Kun RXD, TXD, og GND er anvendt. Sub-D stikkets benforbindelser er gengivet på bilag 10

For at kunne anvende skildpaddens trådløse serielforbindelse, er der konstrueret en sender/modtager, der kan kobles til en RS232-C kompatibel terminal/datamat. Sender/modtageren er opbygget i en plastic-kasse, der er forsynet med fire IR sende-dioder, og en integreret IR modtager i den ene ende. I den anden ende er der placeret et 25-polet sub-D stik, beregnet til tilkobling af en RS232-C kompatibel terminal/datamat (kun RXD, TXD, og GND er forbundet). Sender/modtageren drives af et almindelig

9V batteri, placeret inde i kassen, men kan forsynes af en ekstern strømforsyning igennem et DC-adapterstik, ved siden af sub-D-stikket. Sender/modtageren er forsynet med en tænd/sluk kontakt, og en rød lysdiode der indikerer om den er tændt. Benforbindelserne til sender/modtagerens stik er gengivet på bilag 10

## E.2 Skildpaddens indre

I dette afsnit beskrives hvordan skildpaddens printplader/hulprint er koblet sammen. Kun de forbindelser der ikke direkte kan aflæses af printpladernes/hulprintenes diagrammer er gengivet.

### E.2.1 Strømforsyning

Strømforsyningen er placeret på effekt-kortet.

Strømforsyningen styres af tre digitale signaler: *Extern POWER*, *LAD 5V*, og *LAD 15V*. De tre signaler er forbundet til MC68230-A, port C, henholdsvis bit 0, 1, og 2. Strømforsyningens *FORCE EXTERNAL POWER* er gennem det 15-polede sub-D stik forbundet til service-kassens kontakt.

### E.2.2 Servomotoren

Elektronikken der styrer servomotoren er placeret på effekt-kortet. Servomotoren styres af en 8-bits D/A omsætter. De 8 bits tages fra MC68230-A's port A. Signalerne overføres vha. et 8-polet fladkabel.

### E.2.3 Tusch-motoren

Elektronikken der styrer tusch-motoren er placeret på effekt-kortet. Tusch.motoren styres af et digitalt signal; MC68230-A's Port C, bit 4. Signalet overføres af en enkelt ledning.

### E.2.4 Lyden

Skildpaddens lyd gengives af to parallelkoblede  $8\Omega$  højttalere. Elektronikken der genererer deres signal er placeret på effekt-kortet. Lyden genereres af en 8-bits D/A omsætter. De 8 bits tages fra MC68230-A's port B. Signalerne overføres vha. et 8-polet fladkabel.

# Appendiks F

## Brugervejledning

I dette appendiks gives en kortfattet brugsanvisning til skildpadden.

### F.1 Opbevaring

Da skildpadden blev noget tungere end den var oprindeligt, bør den placeres på en klods når den ikke bruges. Så hviler den nemlig på batterikasserne i stedet for på hjulene. For at beskytte den mod støv, bør den opbevares i en kasse, eller tildækkes på anden måde.

### F.2 Tilslutning af service-kassen

Service kassen tilsluttes en 5V forsyning (Rødt bananstik), og en 15V forsyning (Gult bananstik). Det er **meget vigtigt** at sikre sig at spændingsforsyningerne er tilsluttet og indstillet korrekt, idet der ikke er taget tilstrækkelige forholdsregler til at sikre skildpaddens elektronik mod overspændinger.

Med henblik på at lade akkumulatorerne tilsluttes servicekassen to strømgeneratorer, der er indstillet til at generere de ønskede ladestrømme (75mA til det blå bananstik, og 220mA til det grønne; med mindre der lynlades eller anvendes 'smarte' lade-programmer).

Service kassens 25-polede sub-D stik står i forbindelse med skildpaddens RS232-C interface. Skildpaddens TXD er forbundet til ben 2, RXD til ben 3, og GND til ben 7.

Det 25-polede sub-D stik kan tilsluttes en RS232-C kompatibel terminal eller datamat, vha. et 'nulmodem-kabel'.

Skildpadden kan tilsluttes service-kassen i både tændt og slukket tilstand. Hvis skildpadden tilsluttes når den er tændt, skal man sikre sig at hverken skildpadden selv, eller kontakten på service-kassen er indstillet til ekstern strømforsyning, i det øjeblik det 23-polede sub-D stik monteres. Først når stikket er monteret korrekt kan der skiftes. Hvis stikket afmonteres mens skildpadden er tændt, skal skildpadden anvende akkumulatorerne i frakoblings-øjeblikket.

### F.3 Det trådløse interface

Sender/modtageren til den trådløse forbindelse er forsynet med et 25-polet sub-D stik, med samme benforbindelser som det på service-kassen. Sender/modtageren er batteridrevet, fra et 9V batteri placeret inden i kassen, men der er mulighed for at tilslutte en DC adapter (9V...12V), i det hertil indrettede stik. DC adapterens stik skal have plus underst og minus yderst. (Der er sikret mod polvending vha. en diode.)

For at kommunikationen skal fungere skal sender/modtageren være placeret bagved, og over skildpadden, og pege imod skildpaddens sender/modtager.

Adresseområde	Anvendelse
00000 – 1FFFF	RAM
20000 – F3FFF	Reserveret til RAM udvidelser
F4000 – F403F	MC68230-A *
F4040 – F407F	MC68681 *
F4080 – F41FF	Reserveret til I/O udvidelser på CPU-kortet
F4200 – F423F	MC6840-A *
F4240 – F427F	MC6840-B *
F4280 – F42BF	A/D omsætter
F42C0 – F42FF	Reserveret til I/O udvidelser
F4300 – F433F	Kollisions detektor (Kan kun læses)
F4340 – F437F	Afstandsmåler (kan kun læses)
F4380 – F43BF	MC68230-B *
F43C0 – F7FFF	Reserveret til I/O udvidelser
F8000 – FFFFF	ROM

Tabel F.1: Datamatens hukommelse-opbygning.

## F.4 Programmering af skildpadden

### F.4.1 Det praktiske

Programmeringen af skildpadden foregår på den simplest tænkelige måde, nemlig ved at programmere EPROMer, der monteres i datamatens EPROM sokkel. Programmeringen af EPROMen sker vha en EPROM-brænder.

De programmer der overføres til EPROMen udvikles vha. en MC68000 assemblér. Til dette projekt anvendes A68k, der er en *Public domain* assemblér til AMIGA computere. A68k kan udlæse resultatet af assembleringen i motorolas S-format, der kan overføres direkte til IMADA's PROMAC EPROM-brænder. A68k assembleren med dokumentation ligger på den vedlagte diskette.

### F.4.2 Opstart

Idet datamatens ROM område løber fra adresse  $F8000_{16}$  til  $FFFFF_{16}$ , skal de programmer der skrives til skildpadden skrives så de ligger i dette område.

Det første *longword* i ROMen (adresse F8000), skal indeholde den værdi der skal indlæses i MC68008's stack-pointer ved opstart. Det andet *longword* (adresse F8008) skal indeholde startadressen på det program der skal kaldes ved opstart. I A68k syntaks ser konstruktionen således ud:

```

ORG      $F8000 ; assembleren lægger koden i adresse F8000 og opefter
          DC.l    1000   ; stackpointeren sættes til adresse 1000 ved opstart
          DC.l    program ; adressen på programmet
program  jmp     program ; programmet består som eksempel af en uendelig løkke.

```

Når programmet overføres til EPROM-brænderen er det nødvendigt at indstille den til at trække  $F8000_{16}$ , fra alle adresser, så koden placeres i adresse 0 i EPROMen, der jo svarer til adresse  $F8000_{16}$ , når EPROMen placeres i datamatnen.

### F.4.3 Memory-map

Skildpaddens datamat kan adressere 1MByte, der er opdelt som vist i tabel F.1

Symbolet '\*' markerer at periferikredsens fortløbende adresser er placeret på hver anden adresse i CPUens adresserum. F.eks er MC68230-B's første register placeret i adresse F4380, mens det andet register er placeret i adresse F4382, og så fremdeles.

Bit-5	Bit-4	Bit-3	Måling af:
0	0	0	Polspændingen på 5V akkumulatorerne.
0	0	1	Polspændingen på 15V akkumulatorerne (Delt med 3.1).
0	1	0	Spændingen på den eksterne forsynings 5V tilslutning.
0	1	1	Spændingen på den eksterne forsynings 15V tilslutning (Delt med 3.1).
1	0	0	Temperaturen ved 5V akkumulatorerne.
1	0	1	Temperaturen ved 15V akkumulatorerne.
1	1	0	Intet signal.
1	1	1	Intet signal.

Tabel F.2: Sammenhængen imellem batteri og akkumulatorerne.

#### F.4.4 A/D omsætter

A/D omsætteren kan aflæse spændingen på en ud af otte indgange. Hvilken indgang (0...7) der anvendes styres af MC68230-B's port C bit 0,1, og 2. Bitmønsteret på de tre bits må ikke ændres under en konvertering.

En A/D konvertering startes ved at skrive til et register i A/D omsætterens adresseområde. Hvilken værdi der skrives er uden betydning, det er skrivningen i sig selv der er afgørende.

A/D omsætterens tilstand kan aflæses på MC68230-B's H3 indgang, så længe A/D omsætteren er i gang med konverteringen er H3 høj. Konverteringen tager 10 til 20 mikrosekunder, så det kan næppe betale sig at lade MC68230-B generere et interrupt når H3 går lav. Når H3 går lav er konverteringen færdig, og resultatet kan aflæses ved at læse i et af registrene i A/D omsætterens adresseområde. Der kan læses vilkårligt mange gange, men CPU'en adresserer A/D omsætteren synkront, og dermed tager det relativt lang tid at aflæse den. Det anbefales kun at aflæse værdien en gang, og kopiere den til et CPU-register hvis den skal anvendes flere gange.

#### F.4.5 Strømforsyningen

Der anvendes tre bits fra MC68230-A's port C til at styre strømforsyningen.

Bit-0 vælger mellem intern og ekstern strømforsyning. Er udgangen høj vælges den eksterne strømforsyning. Er der ikke tilkoblet en ekstern strømforsyning forsynes skildpadden stadig fra akkumulatorerne.

Bit-1 tænder for ladestrømmen til 5V akkumulatorerne, hvis den er høj, og hvis skildpadden forsynes fra den eksterne strømforsyning.

Bit-2 tænder for ladestrømmen til 15V akkumulatorerne hvis den er høj, og hvis skildpadden forsynes fra den eksterne strømforsyning.

For at aflæse batteritemperatur, polspænding eller forsyningsspænding, skal A/D omsætterens indgang 7 anvendes. Hvilken af de seks værdier der aflæses bestemmes af MC68230-B's port A's bit 3..5.

Spændingen som funktion af temperaturen ved temperaturmålingerne er en ulineær monoton voksende funktion. Hvilken spænding der svarer til hvilken temperatur må fastlægges eksperimentielt.

#### F.4.6 Stepmotorer

MC6840-A styrer motoren i venstre side, og MC6840-B styrer motoren i højre side. For at få en motor til at køre skal MC6840's tæller nummer 3 programmeres den til at generere frekvensen motorerne skal *steppe* med. Både MC6840's E indgang og C3 indgang er koblet til en frekvens på 1MHz. Både C1 og C2 indgangene er koblet til O<sub>3</sub> udgangen, og tæller nummer 1 og 2 kan begge anvendes til at holde rede på hvor mange pulser der er genereret. En typisk anvendelse er at programmere tæller 3 til at generere en bestemt frekvens, og programmerere en af de andre tællere til at generere et interrupt når der er genereret et bestemt antal pulser.

Hvilken retning der køres i, bestemmes af MC68230-B's port B, bit 6 og 7. Bit 6 styrer retningen på motoren i venstre side, og bit 7 styrer retningen på motoren i højre side. Skal der køres fremad skal den pågældende bit sættes høj.

Om der anvendes *fullsteps* eller *halfsteps* bestemmes af MC68230-B's port C bit 4. Lav svarer til *halfsteps*. Motorerne har mindre drejningsmoment ved *fullsteps*, og kan derfor ikke køre nær så stærkt som ved *halfsteps*. Til gengæld vil de bruge mindre strøm ved *fullsteps*.

#### F.4.7 Servomotor

Servomotoren styres af et reguleringssystem, der indstiller akslen i den ønskede vinkel. Den ønskede vinkel bestemmes af MC68230-A's port A. Servomotoren er justeret så den stiller sig i midten når MC68230-A's port A sættes til  $0111111_2 = 127_{10}$ .

#### F.4.8 Tusch-motor

Tusch-motoren styres af MC68230-A's port C bit 4. Når bit 4 skifter fra lav til høj, hæves tuschen, og omvendt.

#### F.4.9 Afstandsmålere

Afstandsmålerne styres af MC68230-B's port B bit 0...5.

Bit 0 og 1 vælger hvilken af de fire afstandsmålere der anvendes. Bit 2 bestemmer om den pågældende afstandsmåler er tændt eller slukket. For at tænde sensoren, skal bit 2 sættes høj.

Sensorens INIT, BINH, og BLNK signaler styres af henholdsvis bit 3, 4 og 5. Hvordan disse signaler skal styres er forklaret i [5]. Bemærk at der skal ventes et øjeblik fra strømmen ændres til INIT kan aktiveres.

Når afstandsmåleren modtager et ekko, vil den tid der er gået fra INIT til ekkoet blive indlæst i et 16-bits register, og MC68230-B's H1 indgang vil gå høj. Det tal der indlæses i 16-bits registeret svarer til antallet af tidsintervaller på  $6.4\mu s$  der er gået fra INIT til ekkoet blev modtaget. Registeret kan aflæses ved at læse i det adresseområde der er afsat til formålet. Registeret består af to bytes, der ligger på fortløbende adresser, som kan aflæses med instruktionen: mow.e F4340,d0. Registeret indeholder kun pålidelige informationer når MC68230-B's H1 indgang er høj.

At H1 går høj når der modtages et ekko, betyder at MC68230-B kan programmeres til at generere et interrupt når der modtages et ekko.

Hvis der ikke er modtaget et ekko efter ca. 0.1 ??? sekund, vil afstandsmåler-interfacet generere et *TIMEOUT* signal, der har samme virkning som et ekko, men bit 15 i 16-bits registeret vil være sat for at indikere at den tilladte tid er udløbet.

#### F.4.10 Kollisions detektorer

Kollisions detektorerne aflæses ved at læse i det adresseonråde der er tildelt dem. Hvilken adresse der læses i er underordnet, det er det samme 8-bits register der læses under alle omstændigheder. Hvis bare en af kollisions detektorerne er påvirket, vil MC68230-B's H4 indgang blive sat høj. Dette kan udnyttes til at gøre aflæsningen af kollisionsdetektorerne interrupt-styret.

#### F.4.11 PIR sensor

PIR sensoren aflæses vha. indgang 7 på A/D omsætteren.

#### F.4.12 Nærhedsfølere

Når nærhedsfølerne monteres, skal de aflæses vha. indgang 6 på A/D omsætteren. Hvilken nærhedsføler der anvendes, skal bestemmes af MC68230-B's port A, bit 0, 1, og 2.

#### F.4.13 Serielpart

MC68681's serielle port A anvendes til kommunikation med en RS232-C kompatibel enhed. Skildpaddens elektronik er testet til transmissionshastigheder på op til 19200bps, men det er ikke umuligt at der kan anvendes højere transmissionshastigheder.

Port B anvendes til den trådløse serielle kommunikation. Der kan opnås transmissionshastigheder på op til 4800bps, men da de anvendte modtage-kredsløb kræver at der etableres en 'bærebølge' før der kan transmitteres, er det lettest at anvende hastigheder på 1200bps, og derunder, da start bit'en er tilstrækkeligt til at etablere bærebølgen ved disse hastigheder. Skal der anvendes højere hastigheder kan bærebølgen f.eks etableres ved at lade MC68681 sende et *break*.

Der anvendes ingen former for hardwaremæssigt *handshake* ved seriell transmission, men MC68681's digitale ind-/ud-gange kan om nødvendigt senere anvendes til det formål.

#### F.4.14 Lyd

Lyden genereres af en 8-bits D/A omsætter. Lyddelens anti-alias-filter er konstrueret med en skære-frekvens på ca. 4kHz, og lyddelen er således beregnet på *sample*-frekvenser på 8kHz, og derover. De otte bits til D/A omsætteren tages fra MC68230-A's port B.

Lyddelen er AC-koblet, så den bedste lyd opnås hvis den digitaliserede lyd varierer omkring et 'nulpunkt' midt mellem 0 og FF<sub>16</sub>, f.eks 7F<sub>16</sub>.

# Bilagsliste

1. Dokumentation af CPU-kortets implementation. Placeret i diagrammappen, index 1
  - (a) Diagram og komponentliste over CPU-kortet.
  - (b) Diagram og komponentliste over Linkadapter-delen af CPU-kortet.
  - (c) Oversigt over komponentplaceringen på CPU-kortet (inklusiv linkadapter-delen).
  - (d) CPU-kortets printlayout.
2. Dokumentation af I/O-kortets implementation. Placeret i diagrammappen, index 2
  - (a) Diagram og komponentliste over I/O kortet.
  - (b) Oversigt over komponentplaceringen på I/O-kortet.
  - (c) I/O kortets printlayout.
3. Dokumentation af effekt-kortets implementation. Placeret i diagrammappen, index 3
  - (a) Diagram og komponentliste over effekt-kortet.
  - (b) Oversigt over komponentplaceringen på Effekt-kortet.
  - (c) Effekt-kortets printlayout.
4. Diagram over kollisionssensorenes tilkobling. Placeret i diagrammappen, index 4
5. Diagram over det hulprint der rummer RS232 interface og frekvensgenerator. Placeret i diagrammappen, index 5
6. Diagram over prototypen til nærheds sensoren. Placeret i diagrammappen, index 6
7. Diagram over det kredsløb der sætter A/D omsætteren i stand til at måle batteri-temperatur, og polspænding. Placeret i diagrammappen, index 7
8. Diagram over interfacet til PIR sensoren. Placeret i diagrammappen, index 8
9. Diagram over iden trådløse sender/modtager på skildpadden. Placeret i diagrammappen, index 9
10. Benforbindelser på skildpaddens 23-polede sub-D stik. Placeret i diagrammappen, index 10
11. Udskrifter af programmerne til de anvendte PEEL kredse. Placeret i bilagsmappen, index 1
  - (a) CPU-kortets U6
  - (b) CPU-kortets U7
  - (c) I/O kortets U1
  - (d) I/O kortets U4
  - (e) I/O kortets U5
12. Programudskrifter. Placeret i bilagsmappen, index 2
  - (a) Udskrift af test.asm der indeholder hovedprogrammet.
  - (b) Udskrift af kom.asm, der indeholder rutiner til at teste kommunikationen.
  - (c) Udskrift af power.asm der indeholder rutiner til at teste strømforsyningen.

- (d) Udskrift af motor.asm der indeholder rutiner til at teste motorerne.
- (e) Udskrift af sensor.asm der indeholder rutiner til at teste sensorerne.
- (f) Udskrift af lib/memory.asm der indeholder adresse definitioner.
- (g) Udskrift af lib/declarations.asm der indeholder diverse definitioner.
- (h) Udskrift af lib/serial.asm der indeholder rutiner til anvendelse af serielportene.
- (i) Udskrift af lib/init.asm der initialiserer datamaten og pereferikredsene.

13. Artikler og *application notes*

- (a) 68008 Minimum configuration system. Placeret i bilagsmappen, index 4
- (b) Designing with the MC68008. Placeret i bilagsmappen, index 5
- (c) A Discussion of interrupt for the MC68000. Placeret i bilagsmappen, index 6

14. Datablad over POLAROID's *sonar ranging module* Placeret i: bilagsmappen, index 7

15. Datablade på nogen anvendte komponenter.

- (a) Datablad over MC68008 processoren. Placeret i bilagsmappen, index 3
- (b) Datablade over PEE1 kredse. Placeret i bilagsmappen, index 8
- (c) Datablad over ZN449 A/D omsætter. Placeret i bilagsmappen, index 9
- (d) Datablad over BD678. Placeret i bilagsmappen, index 10

# Bibliografi

- [1] Anthony Ginn, *PENUP*.  
Valiant design's ltd. 1984
- [2] Valiant design's ltd. *VALIANT TURTLE USER GUIDE*  
Valiant design's ltd. 1984
- [3] SIEMENS *General IR and photodetector information, Applicationnote 37*  
SIEMENS SEMICONDUCTORS
- [4] Johann Borenstein & Yoram Koren *Histogramic In-Motion Mapping for Mobile Robot Obstracle Avoidance*  
University of Michigan
- [5] Polaroid ultrasonics *POLAROID 6500 SERIES SONAR RANGING MODULE PID # 615077*  
Polaroid.  
Vedlagt som bilag.
- [6] POLAROID *Ultrasonic ranging system handbook*
- [7] John F. Wakerly *Digital design principles and practices*  
Prentice-Hall International Editions.
- [8] Motorola *Datablad over 68008 Processoren*  
Vedlagt som bilag.
- [9] Motorola *Beskrivelse af 68008 processorens virkemåde*.
- [10] Motorola *Datablad over 68230 PI/T*
- [11] Motorola *Datablad over 68681 DUART*
- [12] Motorola *Datablad over 68901 MFP*
- [13] Geoffrev Brown & Kyle Harber *AN897: MC68008 minimum configuration system*  
MOTOROLA Semiconductor Products Inc.  
Vedlagt som bilag.
- [14] A.J. Barth *Designing with the 68008 microprocessor*  
Wireless World, Marts & April 1984.  
Vedlagt som bilag.
- [15] Mitchell B. Taylor *A discussion of interrupts for the MC68000*  
MOTOROLA Semiconductor Products Inc.  
Vedlagt som bilag.
- [16] PHILIPS *TTL Logic series 1984*
- [17] HILIPS *Liniar products*
- [18] ational Semiconductors *CMOS logic databook*
- [19] OTOROLA semicounductors *Microprocessors data manual 1982*
- [20] DALLAS Semiconductors *Datablad over DS1000 serien*
- [21] HITACHI *Datablad over HM628128 Statisk RAM*

- [22] INTEL *Datablad over 27256 EPROM*
- [23] A. Bruce Carlson *Communication systems* 3. edition  
McGraw-Hill International editions.
- [24] Analog devices *Mixed-signal design seminar*
- [25] Stephen R. Fleeman *Electronic Devices*  
Prentice Hall.
- [26] Ny elektronik *Passiv alarm*  
Ny elektronik nr. 3 – 1987.
- [27] Conrad Electronic *Electronic hauptkatalog 91*
- [28] Andrew S. Tannenbaum *Computer Networks* Second edition  
Prentice-Hall International Editions.
- [29] Farranti *datablad over ZN449 A/D omsætteren*  
Vedlagt som bilag.
- [30] im Kink and Brian Knight *Programming the MC68000* 2. edition  
Bejamin Cummings.