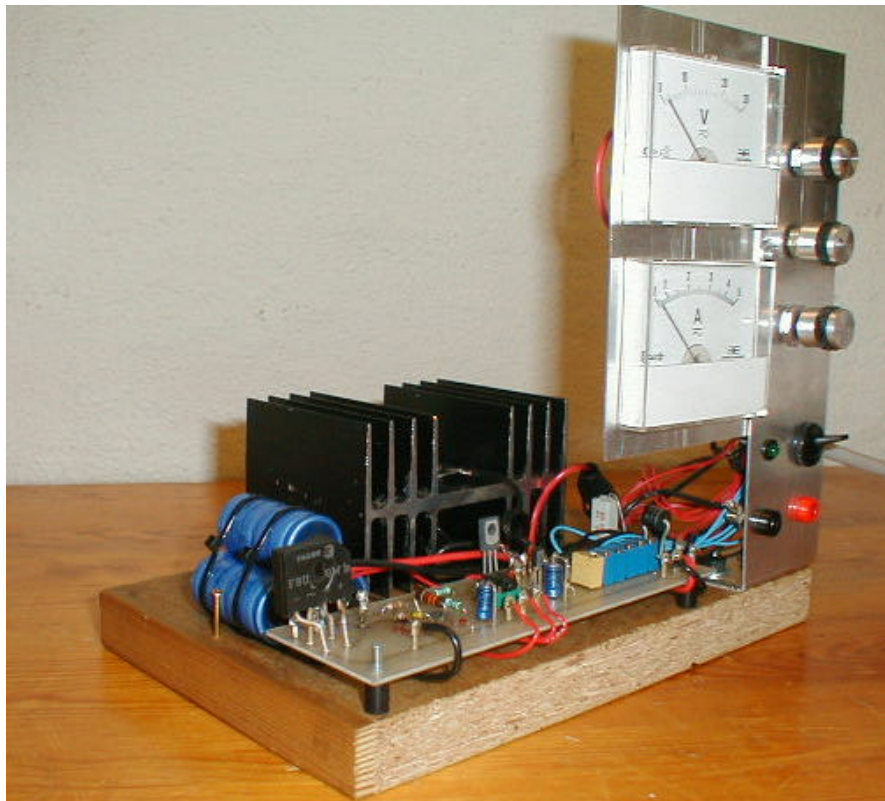


Lineær strømforsyning

– Modellering og fremstilling



Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet

Aalborg Universitet



Basisuddannelsen

TITEL: Lineær strømforsyning - Modellering og fremstilling

TEMA: Modellernes Virkelighed

PROJEKTPERIODE: P2, 1. februar - 23. maj, 2000

PROJEKT GRUPPE:

9933 gruppe 230

GRUPPEMEDLEMMER:

Sune Holm Christensen
Steffen Præstholt
Kenneth Wosylus
Johnny Jensen
Lars Dissing Overballe
Michael Pedersen

HOVEDVEJLEDER:

Henrik Elmer

BIVEJLEDER:

Lars Høst Johansen

OPLAG: 10

SIDER: 102

BILAG: 14

AFSLUTTET: 23. maj 2000

SYNOPSIS:

Denne rapport omhandler opbygningen og produktudvikling af en laboratoriestrømforsyning. Der er lagt vægt på forståelse af de enkelte komponenter, for at få en forståelse af den efterfølgende dimensionering. Udfra dimensioneringen er der lavet to matematiske modeller, hvoraf den ene er overført til Matlab. Desuden er der fremstillet en prototype. Målinger på prototypen viser en virkningsgrad mellem 10% og 60%, herudover viser teori og praksis at der er problemer med tilstrækkelig nedkøling af visse komponenter. Disse problemer førte til udarbejdelsen af alternative løsninger, af hvilke switch mode strømforsyningen er den mest oplagte.

Forord

Denne rapport er udarbejdet på elektroniklinjen på Aalborg Universitets basisuddannelse. Vi forsøger nu på 2. semester at få grundlæggende viden om elektronik, så vi er bedre rustet til 3. semester. Et af formålene med rapporten er derfor at få kendskab til gængse elektroniske komponenter. Rapporten henvender sig til andre basisstuderende, der kun har meget lidt kendskab til elektronik, og som ønsker at forstå opbygningen af en linær strømforsyning.

Gennem rapporten er der sat firkantede parenteser: []. Disse parenteser refererer til kildehenvisningen bagest i rapporten.

Tak til Gert Espersen og Kristian Salling fra universitetets elektroniklokale, for bestilling af komponenter og rådgivning under forløbet.

Sune Holm Christensen

Kenneth Wosylus

Lars Dissing Overballe

Steffen Præstholm

Johnny Jensen

Michael Pedersen

Indhold

1	Indledning	8
1.1	Initierende problem	9
1.2	Problemanalyse	9
1.2.1	Markedsundersøgelse	10
1.2.2	Egne krav	11
1.2.3	Lovkrav og sikkerhed	13
1.2.4	Stærkstrømsloven	13
1.2.5	Lavspændingsdirektivet	13
1.2.6	EMC betegnelser	14
1.2.7	Krav	15
1.2.8	CE-mærkning	15
1.3	Problemformulering	15
2	Komponenter	18
2.1	Modstand	19
2.1.1	Potentiometer	20
2.2	Kondensator	20
2.2.1	Kondensatoren ved DC	22
2.3	Transformer	23
2.3.1	Transformerens fysiske grundlag	24
2.3.2	Transformerens opbygning og virkemåde	25
2.4	Dioder	27
2.4.1	Diode	27
2.4.2	Zenerdiode	28
2.4.3	Lysdiode	30

2.5	Transistor	31
2.5.1	Opbygning og virkemåde	31
2.5.2	Transistoren som kontakt	33
2.6	Operationsforstærker	34
2.6.1	Inverterende forstærker	36
2.6.2	Ikke-inverterende forstærker	36
3	Diagramdimensionering	38
3.1	Strømregulering	39
3.1.1	Komponenter	40
3.2	Spændingsregulering	41
3.2.1	Komponenter	43
3.3	Ensretning og stabilisering	44
3.3.1	Komponenter	46
3.4	Transformeren	48
3.5	Beregning af køleplade	49
4	Modellering	52
4.1	Linearisering	52
4.1.1	Diode og zenerdiode	52
4.1.2	Transistor	53
4.2	Model af udgangssignal over kondensator	54
4.2.1	Udledninger	55
4.3	Model for udgangsripple	57
4.3.1	Beregning af strømmen til kredsen	60
4.3.2	Beregninger på kredsen	61

5	Sammenligning af model og produkt	63
5.1	Virkningsgrad	63
5.2	Rippel efter kondensatoren	64
5.3	Rippel på udgangen	65
6	Produktudvikling	66
6.1	Afgrænsning	69
6.2	Produktionsforberedelse	69
6.2.1	Salgsforberedelse	69
6.2.2	Produktionsforberedelse	71
6.3	Miljømæssige forhold	72
6.3.1	Konstruktionsprincipper og data	72
6.3.2	Energiforbrug	74
6.3.3	Deponi, genindvinding og forbrænding	75
6.3.4	Formidling til konstruktører, offentlige-, privat- og professionelle indkøbere	76
6.3.5	Miljømærkning til husholdningerne	76
7	Teknologivurdering	78
7.1	SWOT-analyse	78
7.2	Vurdering	81
8	Alternative løsninger	82
8.1	Brug af flere transistorer	82
8.2	Transformerskift	83
8.3	Effektelektronik	83
8.3.1	Switch mode princippet	84
8.3.2	Step-down eller Buck-konverteren	85
9	Konklusion	87

<i>INDHOLD</i>	<i>7</i>
A EMC opdeling	90
B Standardrækker	91
C Diagram	92
D Datablad	94
E Kildekoder	95
F Miljødatablade	98
G Råstoffer	99
H Forsøgsbeskrivelse	100
H.1 Beskrivelse af opbygningen	100
H.1.1 Printet	100
H.2 Samling	100
H.3 Komponentliste	102

Kapitel 1

Indledning

Hvis vi her i år 2000 ser tilbage på det sidste århundrede, ser vi tilbage på et århundrede, hvor der er sket en eksplosiv udvikling i vores samfund. Vi har fået et samfund hvor højteknologiske produkter spiller en vigtig rolle i hverdagen. Det er en udvikling, som til stadighed fortsætter og det betyder at der hele tiden udvikles nye og mere avancerede produkter. Et af de områder hvor der sker en sådan udvikling, er elektronikområdet.

Strømforsyningen er et af de produkter, hvor nye modeller hele tiden udvikles. Formålet med strømforsyningen er at skabe et bindeled mellem det landsdækkende elnet og elektriske kredse, som ikke direkte kan gøre brug af netværket. Problemet ligger i at netværket forsyner brugeren med 230V vekselspænding, så hvis der er brug for jævnspænding, eller en større eller mindre spænding, er det nødvendigt med en strømforsyning som bindeled. Strømforsyningen bruges i mange forskellige sammenhænge, og skal tilpasses disse. En slags strømforsyning er laboratoriestrømforsyningen som denne rapport vil omhandle. Mange elektronikvirksomheder bruger denne type strømforsyninger i det daglige arbejde. De bruger den f.eks. til, at teste dele af deres produkter for at se om forbindelserne er i orden, inden hver del sættes sammen til det færdige produkt. Strømforsyningen kan også bruges i forbindelse med fejlfinding på elektriske apparater. Her er det meget vigtigt at strømforsyningen er 100% i orden. Kvaliteten skal være god, og spændingen skal være jævn. Der må ikke være svingninger i spændingen, den såkaldte ripple-spænding. Er strømforsyningen ikke i orden, kan det resultere i fejlmålinger på produktet. Det medfører at komponenten måske kasseres som udelig, selvom fejlen måske kan rettes. Det kan også resultere i at strømforsyningen ødelægger komponenten pga. svingninger i spændingen. For virksomheden er det også nødvendigt, at strømforsyningen er udstyret med en indikator for, hvor stor spænding, der leveres. Er dette ikke tilfældet er det ikke muligt at se om strømforsyningen leverer den ønskede spænding. Et andet sted der findes strømforsyninger er i en computer. Her er det ikke vigtigt, at brugeren af computeren kan se, hvor stor spænding strømforsyningen leverer. Til

gengæld er der sat nogle bestemte krav til, hvordan strømforsyningen skal levere spændingen. Generelt findes strømforsyningerne over alt. Mange af de elektriske apparater som findes i de danske hjem kræver, en eller anden form for jævnspænding, hvilket betyder at de kræver en strømforsyning.

1.1 Initierende problem

Er det muligt at udvikle en strømforsyning, der opfylder visse krav fundet på baggrund af egne interesser, samt krav stillet på baggrund af en undersøgelse af markedet for strømforsyninger. Kan det fundne produkt sælges.

1.2 Problemanalyse

Produktudvikling er ikke kun et spørgsmål om, at få en god ide. Ideen er kun det første skridt. Det er f.eks. ikke nok kun at have en idé om at man vil lave en miljørigtig bil. Hvis bilen fremstilles alene på baggrund af ideen, kan resultatet nemt blive, at man står med en bil, som ingen vil købe. Bilen har den fordel frem for andre biler, at den er miljørigtig, men hvis den på de fleste andre punkter har problemer med at leve op til de gældende standarder, vil den ikke rigtig sælge. Heraf ses det, at det er nødvendigt at overveje, hvilke krav en køber vil stille, når et produkt skal udvikles eller sagt på en anden måde, det er nødvendigt at undersøge sit marked.

Det er heller ikke nok at sige, at bilen skal være miljørigtig, det er nødvendigt at finde ud af hvordan den skal være miljørigtig. Det kan være at den skal have god benzinøkonomi, eller at den skal køre på et alternativt brændstof. Her er det en selv, der må sætte nogle krav, alt efter hvad man ønsker at arbejde med.

En tredje form for krav som stilles til produktet, er de krav som stilles af samfundet som helhed. Hvis bilen er 3 m bred, så vil den ikke opfylde det danske samfunds krav, da det ved lov er bestemt, at en bil ikke må være så bred. Under udviklingen af produkter er det også nødvendigt at tage krav stillet ved lovgivning i betragtning.

Det er ikke nok kun at kigge på produktet i produktudviklingen. Det er også nødvendigt at se på produktionen. Hvis der skal tjenes penge, er det nødvendigt med en velfungerende produktion. Hvis den miljørigtige bil skal fremstilles på et lille værksted med få ansatte, vil der ikke blive lavet særlig mange biler. Det betyder, at den fortjeneste der skal hentes hjem, skal hentes

på salget af nogle få biler, hvilket medfører at stykprisen pr. bil, bliver høj. Producers bilen derimod på en fabrik hvor produktionen er automatiseret, vil der blive produceret flere biler, som den søgte fortjeneste kan fordeles på, og dermed vil prisen på bilen falde. Det betyder at der er flere, der har råd til bilen, og der er dermed større chance for at sælge den. Eksemplet er meget forenklet og skal vise, at produktionen skal afpasses produktet for at få et optimalt resultat.

1.2.1 Markedsundersøgelse

Udgangspunktet for dette projekt er at lave en strømforsyning. Ved nærmere undersøgelse har det vist sig, at der findes mange forskellige typer og modeller. Denne undersøgelse foregik ved at gennemse diverse kataloger, som blev rekvireret hos et firma, der sælger strømforsyninger. For at finde ud af hvilken type strømforsyning, der skal laves, er det en god ide at lave en markedsundersøgelse. En markedsundersøgelse kan foregå på følgende måde: Der tages kontakt til nogle af de firmaer, som anvender et bestemt produkt, hvorefter der fås en mere eller mindre detaljeret forklaring på, hvilke krav det aktuelle firma stiller til produktet. Disse kan eksempelvis være pris, funktionalitet, kvalitet og om produktet er miljørigtigt ved fremstilling og ved afskaffelse. Ud fra de kravspecifikationer de pågældende firmaer stiller, er det muligt at danne sig et indtryk af, hvilke krav der skal være opfyldt, for at produktet kan finde sin anvendelse på et marked omfattet af lignende firmaer.

Som udgangspunkt vælges en laboratoriestrømforsyning¹. Valget skal ses i lyset af et ønske om at fremstille en prototype, et ønske som kan realiseres med valget af en laboratoriestrømforsyning.

Første deltager i markedsundersøgelsen, var firmaet (GREAN A/S), som anvender stort set alle typer strømforsyninger i deres daglige virke. De blev spurgt, hvilke krav de stiller til en laboratoriestrømforsyning for, at de kan anvende den. De stiller følgende krav:

- Den skal kunne levere fra 0 til 30V og 0 til 3A.
- Indeholde strømbegrænser.
- Strømbegrænsere skal kunne justeres i trin, da det derved er muligt at kalibrere trinene, og på den måde opnå et stabilt output.

¹Typen kendes fra et fysiklaboratorie.

Angående mere specifikke krav blev der henvist til deres grossist (BLICHFELD).

Grossisten fortalte, at det ikke er muligt at opstille generelle krav til en strømforsyning (strømforsyninger generelt), da anvendelsesområdet er stort, idet strømforsyninger kan leveres i størrelser, hvor output varierer fra 0A til 1500A, og hvor præcision er et temperamentspørgsmål, idet rippelværdi, reguleringstolerance og støj kun afhænger af den enkelte strømforsynings anvendelsesområde. Ved laboratoriestrømforsyninger er det muligt at opstille nogle retningslinier, som er gode at følge.

Strømforsyningen skal:

- Være stabil.
- Være trinreguleret.
- Have overskueligt betjeningspanel.
- Have et rent outputsignal.
- Kunne erhverves til en rimelig pris.
- Overholde diverse direktivers krav om sikkerhed og fremstilling.

Retningslinierne medfører ikke en begrænsning i udvalget af laboratoriestrømforsyninger. Der findes mange varianter, hvor den største model kan levere 20A. Signalkvaliteten afhænger af prisen, som varierer fra 1.000 til 10.000 kr. Det største salg af denne type er til elektronikvirksomheder, som reparerer TV, radio, computere og andre elektroniske brugsgenstande. Elektronikmarkedet er meget stort, og det forventes at blive større, idet de danske hjem får flere og flere elektroniske apparater. Derfor er elektronikvirksomhederne også et marked, der er værd at satse på. I tabel 1.1 ses tekniske data på en strømforsyning, som sælger godt². Den opfylder de krav, som en almindelig elektronikvirksomhed stiller, og prisen på denne model er 2.550 kr.

1.2.2 Egne krav

Der blev i det forgående afsnit set på nogle af de krav, som stilles af de virksomheder, der til daglig anvender og sælger laboratoriestrømforsyninger. For at gøre denne analyse så dækkende som muligt, har gruppen, der besidder en

²Oplysninger givet af "BLICHFELD"

Ved konstant spænding:	
Udgang	0-30V DC
Regulering	0,01% ved 0-100% belastning
Rippel	0,8mV eff.
Ved konstant strøm:	
Udgang	0-3A DC
Regulering	0,03% ved 0-30V
Rippel	1 mA eff.
Driftsspænding	230V AC
Omg. temperatur	Max 45 °C

Tabel 1.1: *Tekniske data fra serieproduceret strømforsyning. Taget fra BLI-CHFELD.*

smule kendskab til elektronik, og derved kan se nogle anvendelsesmuligheder med en sådan, selv opstillet en række krav til en strømforsyning. De krav der er stillet, kan ses i tabel 1.2.

Ved konstant spænding:	
Udgang	0-30V DC
Regulering	0,01% ved 0-100% belastning
Rippel	0,4mV eff.
Ved konstant strøm:	
Udgang	0-5A DC
Regulering	0,03% ved 0-30V
Rippel	0,5 mA eff.
Driftsspænding	230V AC
Omg. temperatur	Max 45 °C

Tabel 1.2: *Tekniske krav stillet af gruppen.*

Udover de tekniske krav, som ses i tabel 1.2, stilles der ligeledes nogle andre betingelser, som skal være opfyldt, for at strømforsyningen er optimal ved salg og daglig brug.

Disse betingelser er følgende:

- Skal overholde gældende regler i forbindelse med sikkerhed.
- Skal være miljørigtig ved fremstilling.
- Skal være miljørigtig ved afskaffelse.

- Skal være konkurrencedygtig ved sammenligning med tilsvarende produkter.
- Have enkelt og funktionelt design.
- Strømbegrænser med 5 fastindstillede trin og et trin der bruges til variabel strømbegrænser.

1.2.3 Lovkrav og sikkerhed

De samfundsmæssige krav vedrørende sikkerhed for en strømforsyning kan findes i "stærkstrømsbekendtgørelsen". Heri står stærkstrømsloven, samt de relevante direktiver der gælder for en strømforsyning. Kravene der stilles her er lovkrav, og skal derfor være opfyldt, hvis strømforsyningen skal sælges i Danmark.

1.2.4 Stærkstrømsloven

I §10 findes det væsentlige vedrørende sikkerhedskrav til elektrisk materiel. §10 siger at elektrisk materiel skal være fremstillet så det ikke udgør nogen sikkerhedsmæssig risiko, forudsat det er installeret, vedligeholdt og anvendt i overensstemmelse med dets formål. Relevante oplysninger om hvordan materiellet bruges, skal være anbragt tydeligt på det elektriske materiel eller medfølge som vejledning. Desuden skal materiellet være fremstillet i overensstemmelse med relevante direktiver og fælleseuropæiske normer ([1], s.21).

Relevante direktiver er i dette tilfælde Lavspændingsdirektivet og EMC (Electro-Magnetic Compatibility) direktivet.

1.2.5 Lavspændingsdirektivet

I Lavspændingsdirektivet står, at elektriske produkter skal være CE-mærket. Desuden står der at:

- Der ikke må være fare ved direkte eller indirekte berøring.
- Der må ikke opstå temperaturer, lysbuer eller udstråling der kan fremkalde fare.
- Isolering skal tilpasses forudseelige påvirkninger.

- Der må ikke opstå fare ved forudseelige påvirkninger af det elektriske materiel.

([1] s. 61 og 73-74)

1.2.6 EMC betegnelser

EMC er en betegnelse for elektroniske og elektriske apparaters og instrumenters evne til, at kunne virke i nærheden af hinanden uden påvirkning. Omkring de fleste elektriske apparater er der elektriske og magnetiske felter i et frekvensområde, som er udsendt af apparatet. Disse felter kan gennem ledninger eller luft påvirke andre apparater på en utilsigtet måde. Der kan for eksempel opstå støj eller forvrængning, som kan påvirke for eksempel en pc, der givetvis vil ændre dens beregninger (emission). Da visse apparaters funktion er at udsende radiobølger (for eksempel en mobiltelefon), må u hensigtsmæssige påvirkninger på andre apparater afhjælpes ved at begrænse deres følsomhed over for denne stråling (immunitet).

EMC direktivet

Direktivet for EMC er et fælles rammedirektiv, der skal forbedre og sikre fri bevægelse af handelsvarer indenfor EU, det vil sige ved en opnået godkendelse fra direktivet for EMC, er det muligt at sælge frit til alle EU lande, som er ca. 400 mio. mennesker. Dette afsnit er taget fra Jyske EMC [8]. Det er muligt for private, men ikke for offentlige erhverv, at opstille strammere krav til et produkt, end de krav direktivet stiller. Ses der på tiden før direktivet for EMC blev etableret, skulle der ved salg af et produkt fra Danmark til Tyskland udføres specielle tests, som ofte var meget dyre. Ved efterfølgende salg af produktet til eksempelvis Frankrig, skulle en liggende test udføres. Idet de to lande ikke vægtede de samme krav, var det ikke muligt at opstille en generel test af produktet. For at få sit produkt godkendt hos direktivet for EMC, skal produktet overholde gældende regler, som er udarbejdet af direktivet for EMC, det vil sige at produktets elektromagnetiske udstråling ikke må overstige den grænseværdi, som direktivet har sat for dette produkt. Regler udskrevet af direktivet for EMC er i korte træk omhandlet af apparatets emission og immunitet, og de dertil hørende grænseværdier.

Det er stort set alle elektriske apparater, der er underlagt denne lovgivning. Der er visse elektroniske anlæg, som ikke skal være EMC godkendt, f.eks. mobiltelekommunikation m.m. For nemhedens skyld er der opstillet 4 punkter (Se bilag A på side 90) som kort beskriver en måde at klassificere om

eller hvordan et produkt skal EMC godkendes. Firmaerne skal selv påtrykke en eventuel EMC godkendelsesmærkning (CE-mærkning) på deres produkt, hvilket betyder at der ofte florerer produkter med godkendelsesmærkningen, uden at overholde den specifikke grænseværdi, som er sat af direktivet.

1.2.7 Krav

De to direktiver har følgende krav til strømforsyningen:

- Strømforsyningen skal være afskærmet i et kabinet, hvorfra det ikke er muligt at få stød.
- Hvis der er komponenter, der har tendens til at overophede ved brug, skal disse køles.
- Strømforsyningen skal opfylde kravene for CE-mærkning.
- Udsendelsen af og modtageligheden overfor støj skal afpasses forholdende på en virksomhed.

1.2.8 CE-mærkning

CE-mærkningen (Se figur 1.1) opnås ved at lave en overensstemmelseserklæring for strømforsyningen. Med overensstemmelseserklæringen erklæres det at strømforsyningen lever op til de krav, der er stillet i henholdsvis lavspændingsdirektivet og EMC-direktivet. Direktivkravene opfyldes ved, at følge relevante standarder og normer. I tilfældet med strømforsyningen er der ikke nogle relevante standarder/normer i forhold til lavspændingsdirektivet. De standarder/normer der findes handler om enkeltkomponenter, der indgår i strømforsyningen og da disse købes færdigfremstillet vil kravene være opfyldt.

1.3 Problemformulering

Vi vil i dette projekt forsøge, at fremstille en variabel strømforsyning. På baggrund af problemanalysen er der foretaget en prioritering af egenskaber ved strømforsyningen. Denne prioritering er anskueliggjort ved produktmatricen (Se tabel 1.3).



Figur 1.1: CE-mærket. Mærket skal være udformet som på figuren.

	Høj	Middel	Lav
Funktionalitet	x		
Pålidelighed	x		
Brugervenlighed		x	
Sikkerhed		x	
Miljø		x	
Pris		x	
Vedligeholdelse			x
Design			x

Tabel 1.3: Produktmatrice med gruppens prioritering af egenskaber ved strømforsyningen.

Prioriteringen er lavet hovedsageligt på baggrund af egne interesser, da markedsundersøgelsen ikke ligger op til en prioritering. Grossisten "BLICHFELD" angav funktionalitet og pålidelighed som vigtige parametre. Dette stemmer godt overens med gruppens egne krav, hvilket medfører, at disse prioriteres højt. Brugervenlighed, sikkerhed, miljø og pris prioriteres middel, da gruppen har valgt, at lægge hovedvægt på det tekniske i denne rapport. Disse parametre blev heller ikke fremhævet af hverken grossist eller firmaet "GREAN A/S". Vedligeholdelse og design er prioriteret lavt, da det er gruppens mening, at de ikke har nogen betydning for en strømforsyning, der er beregnet til en elektronikvirksomhed. Strømforsyningen er et arbejdsredskab, og prislejet for den ligger, så det formentlig er billigere, at udskifte den fremfor at vedligeholde den.

Ud fra problemanalysen kan vi lave følgende kravsspecifikation (Se tabel 1.4). Hovedvægten er igen lagt på egne krav. Disse er dog i høj grad i overensstemmelse med markedsundersøgelsens krav.

Nogle af disse krav er meget omfattende, og på grund af projektets omfang har gruppen derfor valgt, at afgrænse arbejdet med dem. Afgrænsningen vil

Konstant spænding:	
Udgang	0-30V DC
Regulering	Fri regulering
Rippel	0,2mV
Konstant strøm:	
Udgang	0-5A DC
Regulering	5 trin
Driftsspænding	230V AC
Omg. temperatur	Max 45 °C
Brugervenlighed	Enkel
Sikkerhed	Lovkrav
Miljø	Miljørigtig fremstilling
Pris	Konkurrencedygtig hvis mulig

Tabel 1.4: *Kravspecifikation. Krav til strømforsyningen.*

ske indenfor sikkerhed, hvor der kun vil blive set på, om strømforsyningen opfylder lovkravene stillet ved lavspændingsdirektivet.

Kapitel 2

Komponenter

For at opnå den fulde forståelse af et elektrisk kredsløb, og derved at dimensionere et sådant, er det nødvendigt at se på de enkelte komponenter, som er repræsenteret i kredsløbet, idet komponenterne har specifikke egenskaber, i kraft af den strøm og spænding der påtrykkes. Ligeledes er komponentens placering i kredsløbet meget væsentlig. Inden en detaljeret forklaring af komponenter, vil det være naturligt at omtale ledeevne og de to strømtyper AC og DC, da det er disse forhold, komponenternes specifikke egenskaber afhænger af. Dette kapitel er skrevet med udgangspunkt i Analog teknik [5].

Elektrisk ledeevne gennem et kredsløb og diverse komponenter kan opdeles i 3 kategorier.

Ledere er stoffer med god elektrisk ledeevne svarende til lille specifik modstand, hvilket typisk er aluminium, kobber eller sølv, eksempelvis anvendes ledere som baner på printplader.

Isolatorer er stoffer med ringe elektrisk ledeevne, svarende til meget stor specifik modstand. Typiske isolatorer er glimmer, ebonit og porcelæn. Modstande kan eksempelvis anvendes som isolatorer.

Halvledere er en gruppe af stoffer, der normalt ikke er ledende, men som ved påvirkning af varme, lys, tryk eller spænding bliver ledende, en halvleder kan eksempelvis være en diode.

Strømmen gennem et kredsløb og dets komponenter kan ligeledes opdeles i to kategorier, vekselstrøm (AC) og jævnstrøm (DC), hvor AC ofte forbindes med stærkstrøm og DC med svagstrøm.

Vekselstrøm og vekselspænding repræsenteres som et sinussignal der er udtrykt ved ligning 2.1

$$A \sin(\omega t + \varphi) \tag{2.1}$$

Ved vekselstrøm skiftes polariteten konstant.

Jævnstrøm og jævnspænding vises i et kredsløb med symbolerne $\oplus$ og $\ominus$, hvor spændingen har konstant polaritet. Ved jævnspænding får den elektriske strøm konstant retning, fra plus til minus.

2.1 Modstand

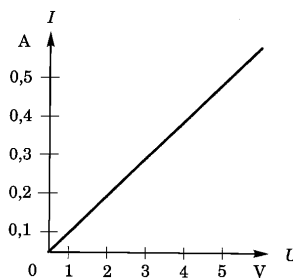
Modstanden er nok den bedst kendte komponent. Derfor vil introduktionen af modstanden blive kort. I denne rapport vil modstanden blive repræsenteret ved symbolet vist i på figur 2.1.



Figur 2.1: *Symbol for modstanden.*

Derudover kan modstanden beskrives ved Ohms lov samt dens U - I karakteristik (Se ligning 2.2 og figur 2.2).

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.2)$$



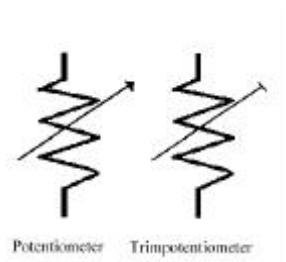
Figur 2.2: *U - I karakteristisk for en modstand (her er $R = 10\Omega$).*

Af ligning 2.2 fremgår det, at modstanden er lig spænding delt med strøm. Dette gælder både ved AC og DC. Karakteristikken (Se figur 2.2) viser, at der er proportionalitet mellem spænding og strøm, hvor det ses af ligning 2.2,

at modstanden er lig proportionalitetsfaktoren. Modstanden måles i enheden ohm (Ω).

2.1.1 Potentiometer

Et potentiometer er det samme som en variabel modstand. Dvs. at det er muligt at ændre modstanden i kredsen ved hjælp et potentiometer. Ellers svarer potentiometeret til en fast modstand af samme størrelse som potentiometerindstillingen. Symbolet for et potentiometer samt et trimpotentiometer ses på figur 2.3. Trimpotentiometeret er et potentiometer, som bruges til finindstillinger af en kreds. Det indstilles en gang for derefter at stå urørt.



Figur 2.3: *Symbol for potentiometre.*

2.2 Kondensator

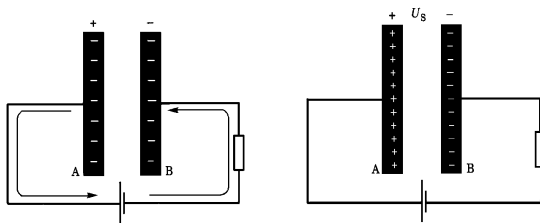
Kondensatoren er en af de meget brugte komponenter indenfor elektronik, og tilhører gruppen af passive komponenter. Symbolet for en kondensator kan ses på figur 2.4. Som symbolet for kondensatoren antyder, består den af to



Figur 2.4: *Diagramsymbol for kondensatoren.*

plader, der er isoleret fra hinanden. Den kan opfattes som et slags lager af elektrisk energi, og den beskrives ved dens kapacitet (C). Rent praktisk sker der følgende: Når kondensatoren forbindes med den ene plade til + (plus) og den anden til - (minus), vil der blive tilført elektroner til den plade, der er

forbundet til minus, mens pladen der er forbundet til plus, vil afgive nogle elektroner. Elektronerne bliver flyttet fra den ene plade over til den anden gennem kredsen. Det bevirker at der går en strøm i kredsen. Princippet kan ses på figur 2.5.



Figur 2.5: Kondensatorens virkemåde. Der går en strøm af elektroner fra plade A til spændingskilden og fra spændingskilden til plade B. Når spændingen over pladerne svarer til forsyningsspændingen vil strømmene ophøre.

Denne transport af elektroner medfører, at der opstår et spændingsfald over kondensatoren. Spændingsfaldet er styret af kondensatorens kapacitet (C). Dette ses af formelen for sammenhængen mellem spænding og strøm (Se ligning 2.3).

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (2.3)$$

Hvor I er strømmen, C er kapacitansen for kondensatoren, og U er spændingen over kondensatoren. Ved AC indføres i og u istedet for U og I , hvor i og u står for øjebliksværdier af strømmen og spændingen.

Spændingen over kondensatoren kan maksimalt opnå en størrelse, svarende til den spændingskilde den er tilsluttet. Opnåes denne spænding, vil der ikke løbe nogen strøm og det vil betyde, at kondensatoren efter at være opladet, vil lukke af for jævnstrøm. Årsagen kan findes på figur 2.6. En elektrisk kreds¹ vil altid indeholde en modstand. Spændingen over modstanden plus spændingen over kondensatoren er lig forsyningsspændingen. Hvis spændingen over kondensatoren er lig forsyningsspændingen, må spændingen over modstanden være lig nul. Dvs. at strømmen gennem modstanden, og dermed også gennem kondensatoren er nul. Af ligning 2.3 ses, at spændingsændringen derfor også er nul. Koblet kan ligning 2.3 og det faktum, at $U_{\text{kondensator}}$ har en maksimal værdi, forklare C 's betydning. Jo større C des mindre bliver ændringen af

¹I dette tilfælde en lukket kreds.

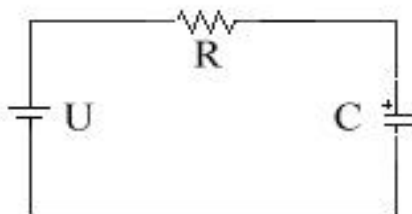
spændingen pr. tid, og der går derfor længere tid, før kondensatoren er fuldt opladet. Herfra ses, at ved stor værdi for C kan en stor ladningsmængde opbevares², mens en lille værdi for C betyder, at kun en lille ladningsmængde kan opbevares.

2.2.1 Kondensatoren ved DC

Bliver kondensatoren påtrykt en spænding vil den langsomt lades op. For at finde ud af hvor lang tid opladningen tager, er det nødvendigt at finde τ (tau). τ er givet ved ligning 2.4.

$$\tau = R \cdot C \quad (2.4)$$

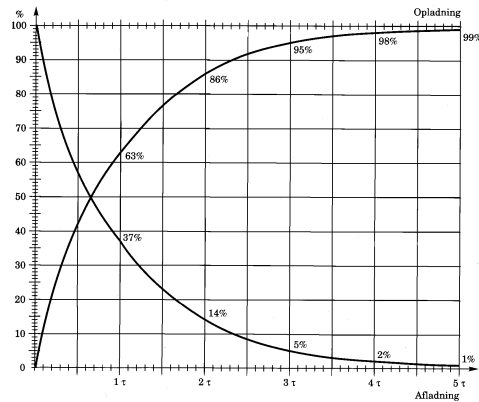
R er modstanden og C er kapaciteten. Se kredsen på figur 2.6.



Figur 2.6: RC -kreds.

En τ er den tid det tager at oplade kondensatoren til 63% af maksimalspænding, mens maksimalspændingen regnes for at være opnået efter 5 τ (99%). I realiteten vil kondensatoren aldrig opnå 100% af maksimalspændingen, men vil være gående mod maksimalspændingen, for tiden gående mod uendelig. Kondensatoren kan på et hvilket som helst tidspunkt aflades igen ved at parallelforbinde en modstand. Ved afladning vil kondensatoren være 99% afladt efter 5 τ og 63% afladt efter en τ . Standard op- og afladnings kurverne, ses på figur 2.7.

²Længere opladningstid medfører større mængde elektroner, der bliver flyttet ved en konstant forsyningsspænding.



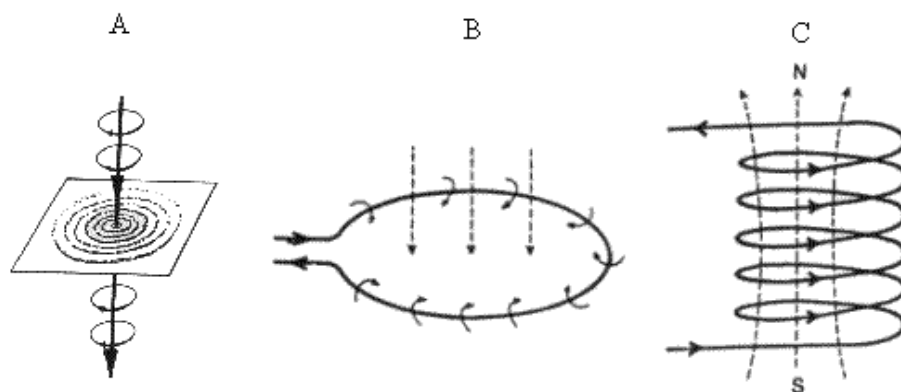
Figur 2.7: Generel op- og afladningskurve for kondensatoren. Ud af førsteaksen ses tiden målt i τ og ud af andenaksen ses op- og afladningen målt i procent

2.3 Transformer

Indenfor elektronik og elektroteknik anvendes transformere til at ændre spændinger fra et niveau til et andet, og for at sikre en galvanisk adskillelse mellem to spændinger. Desuden bruges transformere i forbindelse med tilpasninger af impedanser i elektroniske kredse. Figur 2.8 viser eksempler på forskellige transformere.



Figur 2.8: Eksempler på transformere.



Figur 2.9: Figuren viser, hvordan magnetfeltet opfører sig når en leder opdannes til en spole. A viser magnetfeltet omkring lederen. B viser magnetfeltet omkring en ringformet leder. C viser magnetfeltet omkring en ringformet spole.

2.3.1 Transformerens fysiske grundlag

Magnetfelt omkring en leder

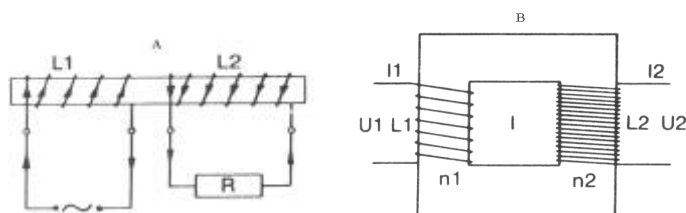
Sendes en elektrisk strøm gennem en leder, vil der dannes et magnetfelt omkring denne leder. Feltets retning kan findes udfra proptrækkerreglen: Skruet en højreskåret proptrækker frem gennem lederen i strømmens retning, vil feltet have samme retning som proptrækkerens rotation (Se figur 2.9A).

Bøjes denne leder i cirkelform, som på figur 2.9B, vil magnetfeltet omkring lederen danne et resulterende felt vinkelret på lederens plan. Denne virker som en flad magnet.

Hvis lederen istedet vikles som en spole, som på figur 2.9C, vil felterne fra hvert plan understøtte hinanden og danne en lang stavformet magnet.

Udsættes denne spole-formede leder istedet for et vekslende magnetfelt vil der induceres en spænding i spolen, der forsøger at modvirke ændringer i magnetfeltet. Dvs. hvis spolen udsættes for et stigende magnetfelt, vil spolen danne en spænding, der genererer et felt modsat rettet vekselfeltet. Med et faldende felt, vil spolen istedet forsøge at danne et felt, der understøtter vekselfeltet.

Sættes to spoler på fælles jernkerne (jernstang) som på figur 2.10.A, hvor den ene spole påtrykkes en sinusformet spænding, mens den anden spole sættes i serie med en modstand, opnås dels en forbedret overførsel af magnetfeltlini-



Figur 2.10: To spoler med fælles kerne. Magnetfeltet fra den ene spole overføres til den anden. Kernen sørger for en bedre overførsel. Kernen på figur B giver den bedste overførsel.

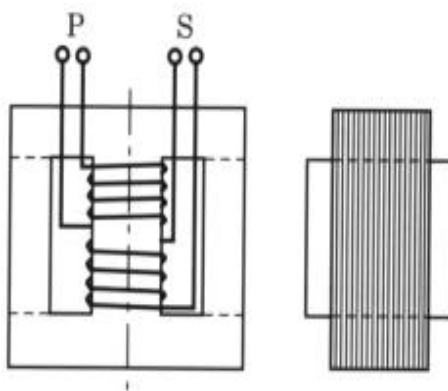
erne og dels dannes der en strøm i spolen L_2 , der netop vil søge at forhindre ændringer i det omkringliggende magnetfelt.

En transformer kan betragtes som 2 spoler på en fælles jernkerne, blot er jernstangen udskiftet med en mere hensigtsmæssig udformet "jernring" (Se figur 2.10.B).

2.3.2 Transformerens opbygning og virkemåde

Mekaniske opbygning

En transformer består af en kerne, hvorpå der sidder to eller flere viklinger (Se figur 2.11).



Figur 2.11: Transformen er opbygget som en E-I kerne med en primær- og en sekundær spole.

Symbolet for en transformer er vist på figur 2.12.



Figur 2.12: *Symbol for en transformer.*

Jernkernen er opbygget af tynde udstansede jernplader, sammensat til en jernkerne med isolering mellem pladerne. Dette er gjort for at mindske hvirvelstrømstabene i transformeren, og dermed transformerens tab (Se figur 2.11). Transformerens tab og virkningsgrader er ikke inkluderet i denne rapport.

Viklingerne består af isolerede kobbertråde. Viklingen, der tilføres forsyningspændingen, kaldes primærviklingen, hvorimod viklingen, hvor der aftages spænding/strøm, kaldes sekundærviklingen.

Elektriske egenskaber

Tilføres vekselspænding til primærsiden, opstår der en vekslende magnetisme i jernkernen, som inducerer en vekselspænding på sekundærsiden. Belastes sekundærsiden med en impedans, vil der løbe en strøm afhængig af spændingen og impedansens størrelse.

Primærstrømmen danner et magnetfelt, som vil fremkalde en spænding i sekundærviklingen. Da sekundærviklingen og primærviklingen gennemløbes af det samme magnetfelt, genereres den samme spænding pr. viking på sekundærsiden som på primærsiden.

Omsætningsforhold

Ses der bort fra transformerens tab, er der direkte proportionalitet mellem transformerens vindingsforhold og de tilførte og afgivne spændinger. Forholdet mellem primærspændingen og sekundærspændingen kaldes transformerens omsætningsforhold (N) (Se ligning 2.5).

$$N = \frac{U_p}{U_s} \quad (2.5)$$

Hvor U_p er primærspændingen, U_s er sekundærspændingen.

Kendes transformerens strømme, kan omsætningsforholdet udregnes efter ligning 2.6.

$$N = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.6)$$

Omsætningsforholdene bruges senere til at bestemme, hvilke data den ønskede transformer bør have.

2.4 Dioder

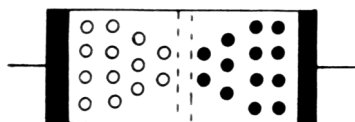
2.4.1 Diode

Dioden er karakteriseret ved lav modstand i gennemgangsretning og høj modstand i spærreretning. Symbolet for dioden er vist på figur 2.13.



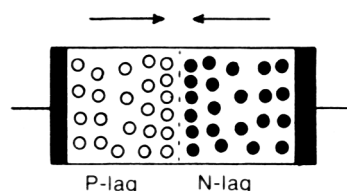
Figur 2.13: *Symbol for diode.*

Den høje modstand i spærreretningen holder sig nogenlunde konstant ved spændinger indenfor diodens arbejdsområde, men idet spærrespændingen øges vil diodens modstand på et tidspunkt falde til næsten nul. Denne type spænding benævnes som gennembrudsspænding eller zenerspænding. Hvis denne grænse passeres, vil dioden givetvis ødelægges, men der er fremstillet dioder, der kan tåle at arbejde ved vedvarende zenergennembrud uden at blive ødelagt (Afsnit 2.4.2). En diode dannes ved, en P-halvleder og en N-halvleder grænser op mod hinanden, denne grænse benævnes som PN-overgang. På figur 2.14 ses virkemåden for en diode.



Figur 2.14: *Virkemåde. Dioden er delt i et P- og et N lag. De to lag er delt af et spærrelag. Spærrelaget lukker for strømmen gennem dioden.*

Der findes mange metoder til fremstilling af dioder, her forklares metoden for en enkelt type, som er følgende: En rensset halvlederskive belægges i den ene ende af dioden med indium og i den anden ende med antimon. Derefter udsættes krystallen for en stor varme, hvilket medfører at de to forureningsstoffer trænger ind i krystallen. Ved grænsen mellem P-laget og N-laget vil der nu, på grund af krystallens varmebevægelser, fra den førmtalte varmepåvirkning, trænge frie elektroner fra N-laget ind i P-laget og huller fra P-laget ind i N-laget, denne proces benævnes *diffusion*. Derigennem mister området på begge sider af PN-overgangen sine frie ladningsbærere, idet hullerne optager elektronerne, denne proces benævnes *rekombination*. Det område som nu er tømt for frie ladningsbærere, virker uden pålagt spænding som et isolationsstof, og dette benævnes som *spærrelaget*. Spærrelaget har en tykkelse på ca. 0,01 mm. Tilsluttes jævnspænding til dioden med plus på P-laget og minus på N-laget, vil det medføre, at den pålagte spænding driver elektroner fra N-laget og huller fra P-laget ind i spærrelaget. Herved nedbrydes spærrelaget, idet der stadig er rekombination til stede. Denne metode ses på figur 2.15.



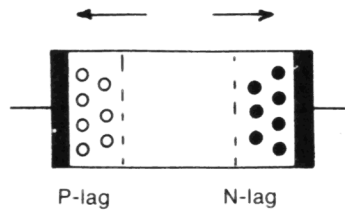
Figur 2.15: *Gennemgang. Ved forspænding i lederretningen nedbrydes spærrelaget. Der kan gå strøm gennem dioden.*

Dioden har gennemgang, dvs. dens modstand er meget lille. Tilsluttes pluspolen derimod til N-laget og minuspolen til P-laget, vil det medføre at der bliver trukket flere huller og elektroner ud af krystallen, og spærrelaget gøres derved bredere. Når dioden er spærret, vil modstanden i den være uendelig stor. Denne metode ses på figur 2.16.

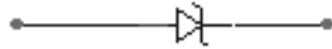
2.4.2 Zenerdiode

En zenerdiode er en siliciumdiode, som er fremstillet med større tilsætninger af forureningsstoffer end almindelige dioder, på figur 2.17 ses symbolet for en zenerdiode.

Karakteristikken (Se figur 2.18) viser, hvorledes zenerdioden åbner for ca.

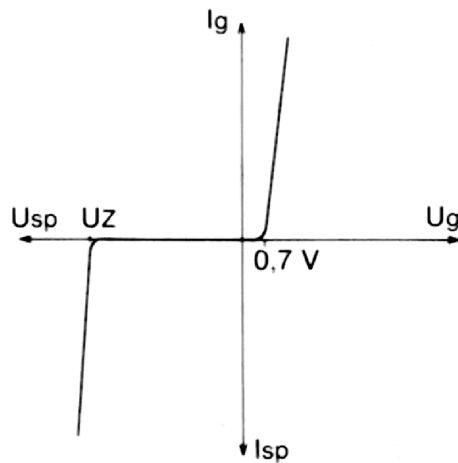


Figur 2.16: *Spærring. Ved forspænding i spærreretning vil spærrelaget blive større. Der er lukket for strømmen.*



Figur 2.17: *Symbol for en zenerdiode.*

0,7V i gennemgangsretningen, som ved en almindelig siliciumdiode. Desuden åbner den i sin spærreretning ved zenerspændingen (U_z).

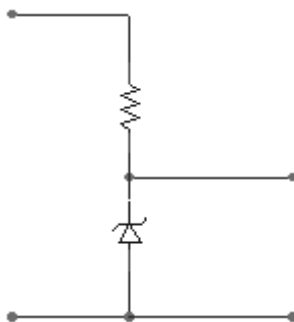


Figur 2.18: *U - I karakteristisk for zenerdioden.*

To vigtige data for en zenerdiode er zenerspænding (U_z) og maksimaleffekten (P_{tot}).

Zenerdiodens særlige egenskaber lader sig udtrykke til stabilisering af en jævnstrøm. Den tilsluttes og forbindes i sin spærreretning, i serie med en formodstand til en jævnspænding, større end zenerspændingen. Formodstanden skal sikre, at effektudviklingen i zenerdioden ikke overskrider den maksimale

tilladte værdi P_{tot} . De to komponenter danner tilsammen en spændingsdeler, hvor den afgivende spænding vil være lig med zenerspændingen U_z . Opstillingen ses på figur 2.19.



Figur 2.19: *Spændingen over zenerdioden kan anses for at være konstant.*

Zenerdiodens arbejdsområde ligger mellem to yderværdier i strøm I_{zmax} og I_{zmin} .

$$I_{zmax} = \frac{P_{tot}}{U_z} \quad (2.7)$$

$$I_{zmin} = I_{zmax} \cdot 0,1 \quad (2.8)$$

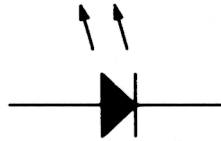
Zenerdioden skal have $5mA$ for at holde konstant spænding. Zenerdioden kan stabilisere både variationer i den tilførte spænding, og variationer i den afgivne strøm.

2.4.3 Lysdiode

En LED³-diode er en diode, som udsender et lys, når der går en strøm i lederretningen. LED-dioden benævnes normalt lysdiode.

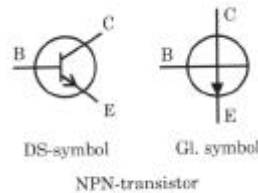
Alle halvlederdiode vil udsende en eller anden form for stråling, når de gennemløbes af en elektrisk strøm. Strålingens frekvens og dermed farve er bestemt af det stof, som dioden er opbygget af. Almindelige germanium- og siliciumdiode udsender deres effekttab som varmestråling, også kaldet infrarøde stråler. Ved strømstyrker fra $10mA$ til $30mA$ er det muligt at se lyset. Levetiden for en lysdiode er ca. 100.000 timer. Dioden skal anvendes i forbindelse med en formodstand, idet formodstanden skal begrænse strømmen gennem dioden.

³Light emitting diode.

Figur 2.20: *LED (Light Emitting Diode)-diode.*

2.5 Transistor

Transistoren har et meget bredt anvendelsesområde da de findes i mange forskellige elektriske kredse lige fra computere til microbølgeovne og meget mere. Symbolet for transistoren ses på figur 2.21.

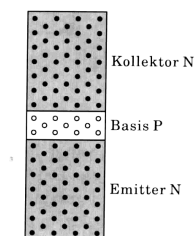
Figur 2.21: *Symboler fra transistoren.*

2.5.1 Opbygning og virkemåde

Transistoren har på samme krystal tre dopede områder ved siden af hinanden (Se figur 2.22). På denne måde kan der bygges to forskellige transistortyper: NPN-transistoren og PNP-transistoren. N-laget har et overskud af elektroner, mens P-laget har et underskud af elektroner. Der er dermed skabt mulighed for en elektronvandring fra N-laget til P-laget.

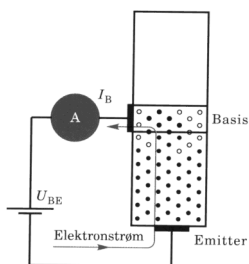
De tre lag i NPN transistoren er:

- Kollektor (modtager).
- Basis (grundlaget for styringen af transistoren).
- Emitter (udsender).



Figur 2.22: *Opbygning af en transistor. NPN-transistoren er opbygget af et N, et P og et N lag.*

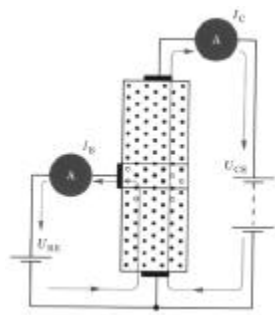
Forspændes basis emitterstrækningen i lederretningen med plus på P-laget og minus på N-laget, vil der opstå en elektronstrøm fra N-laget til P-laget lignende forhold omkring en almindelig diode (Se figur 2.23).



Figur 2.23: *Spændingsforhold omkring basis og emitter. Ved at forspænde basis-emitterdelen i lederretningen vil denne del åbne for gennemgang af strøm.*

Øges basis-emitterspændingen, vil strømmen mellem basis og emitteren stige. Det negative potentiale fra spændingskilde U_{BE} vil give de frie elektroner en energiforøgelse, der får de frie elektroner til at bryde gennem NP-overgangens spærrelag og ind i basislaget. Den overvejende del af elektronerne vil blive tiltrukket af kollektorens positive spænding. En del elektroner vil fortsat vandre fra emitter til basis, dvs. der er et forhold mellem basis strømmen og kollektorstrømmen. Dette forhold kaldes strømforstærkningen (h_{fe}) (Se figur 2.24).

Strømforstærkningen kan findes som forholdet mellem basisstrømmen og kollektorstrømmen (Se ligning 2.9).



Figur 2.24: *Strømforstærkning. Transistoren forspændes over kollektor-emitter og over basis-emitter. Strømmen fra kollektor til emitter er h_{fe} gange større end strømmen gennem basis-emitter.*

$$h_{fe} = \frac{I_c}{I_b} \quad (2.9)$$

Ligning viser 2.10 at summen af basisstrømmen og kolektorstrømmen er lig med emitterstrømmen.

$$I_E = I_B + I_C \quad (2.10)$$

Ligning 2.10 kan i de fleste tilfælde sammenfattes til ligning 2.11.

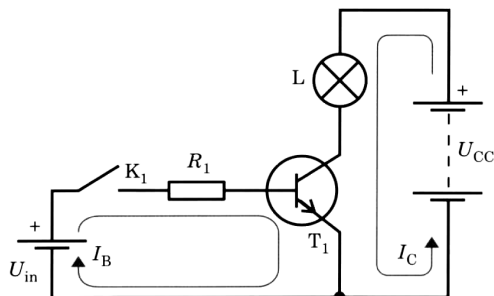
$$I_E \simeq I_C \quad (2.11)$$

For $I_b \ll I_c$ gælder:

2.5.2 Transistoren som kontakt

Transistoren forsynes fra to batterier, u_{ind} og u_{cc} (Se figur 2.25).

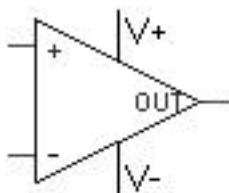
Med sluttet kontakt (k_1) vil der gå en basisstrøm. Basisstrømmen forårsager, at der går en strøm gennem kollektoren til emitter, hvorved der opstår et spændingsfald henover lampen L, og denne lyser. Brydes kontakten k_1 vil basisstrømmen mindskes til 0A, og kollektor-emitter strømmen ligeledes mindskes til 0A. Transistoren kan hermed bruges som variabel modstand fra ca. 0Ω til $\infty\Omega$, ved at styre på basisstrømmen.



Figur 2.25: *Transistoren som kontakt. Transistoren vil kun lede, hvis der ligger en spænding over basis-emitter.*

2.6 Operationsforstærker

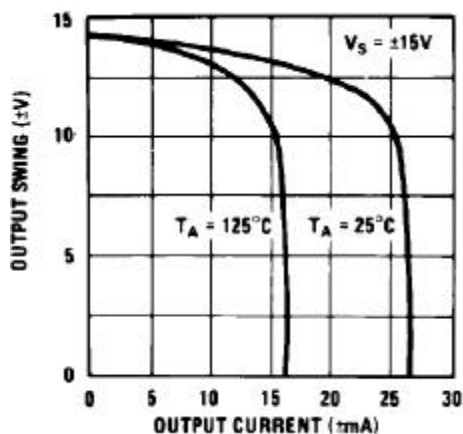
De forgående komponenter har alle været det, der kaldes diskrete komponenter, dvs. simple komponenter der kan betragtes som enkelte byggekoldser. Nu introduceres et lineært integreret kredsløb, en IC (Integrated Circuit), der er opbygget af disse byggeklodser. Den indeholder mange diskrete komponenter, såsom modstande, transistorer osv. Disse er bygget på samme siliciumplade og fylder ikke ret meget. Operationsforstærkeren er en IC, der her behandles som en enhed. På figur 2.26 ses symbolet for en operationsforstærker.



Figur 2.26: *Symbol for en operationsforstærker.*

Som det fremgår af figur 2.26, har operationsforstærkeren to indgange, en inverterende (minus) og en ikke-inverterende (plus). $V+$ og $V-$ er forsyningspænding, og OUT er udgangen (normalt er der kun en). Operationsforstærkerens primære opgave er at forstærke spændinger. Den måler spændingsforskellen på de to indgange, og forstærker denne spænding op til 100.000 gange, alt efter hvordan den kobles. Den kan ikke give højere spænding på udgangen end dens forsyningspænding. Der ses bort fra indgangsstrømmen,

idet indgangsmodstanden er meget stor. Udgangsmodstanden, også kaldet udgangsimpedansen, skal ideelt set gå imod 0Ω . I så fald vil udgangsspændingen ikke blive påvirket af belastningens størrelse. Men udgangsimpedansen afhænger af, hvor stor strøm der trækkes ud fra operationsforstærkeren. Dette er illustreret på figur 2.27.



Figur 2.27: Udgangsimpedansen på en operationsforstærker. Ud af førsteaksen er udgangsstrømmen, ud af andenaksen er udgangsspændingen. Ud fra grafen kan udgangsimpedansen findes. Figuren er fundet i en operationsforstærkers datablad.

For at beregne udgangsimpedansen, bruges Ohms lov. Her er givet 3 eksempler på udgangsimpedansen (Aflæst fra figur 2.27):

$$R = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

$$I_{out} = 0 - 5mA \Rightarrow R = \frac{0,5V}{5mA} = 100\Omega$$

$$I_{out} = 20 - 25mA \Rightarrow R = \frac{2,5V}{5mA} = 500\Omega$$

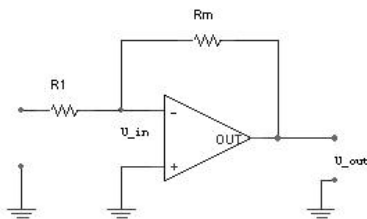
$$I_{out} = 26 - 27mA \Rightarrow R = \frac{10V}{1mA} = 10K\Omega$$

Når operationsforstærkeren ikke belastes, vil udgangsimpedansen således gå mod 0Ω , og når operationsforstærkeren belastes går udgangsimpedansen mod uendelig.

For at bruge operationsforstærkeren som forstærker, skal dens store råforstærkning nedbrosles ved hjælp af en modkobling, hvilket er en tilbagekobling til indgangen fra udgangen gennem en modstand. Når operationsforstærkeren modkobles, vil den forsøge at sætte spændingen på de to indgange lig med hinanden.

2.6.1 Inverterende forstærker

Ved en inverterende kobling er plus sat til stel, og der sidder en modstand R_m fra udgangen til minus, sammen med indgangssignalet der går gennem en modstand R_1 (Se figur 2.28).



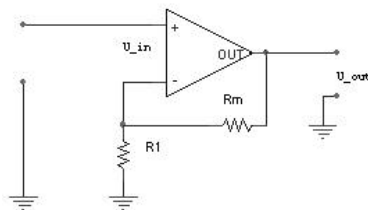
Figur 2.28: *Inverterende kobling. Operationsforstærkerens udgang er koblet tilbage til den inverterede indgang.*

Operationsforstærkeren prøver at sætte minus til 0V, dvs. at hele batterispændingen vil ligge over R_1 . Strømmen gennem R_1 vil da være at bestemme ud fra Ohms lov. Denne strøm skal så gennem R_m , idet indgangsmodstanden i operationsforstærkeren er uendelig stor, vil der ingen strøm gå ind i operationsforstærkeren hvilket betyder, at der vil opstå et spændingsfald over R_m , der også kan bestemmes ud fra Ohms lov. Spændingen på udgangen vil altså være lig med spændingsfaldet over R_m , så forstærkningen (A_u) bestemmes direkte af forholdet mellem R_m og R_1 , se ligning 2.12.

$$A_u = -\frac{R_m}{R_1} \quad (2.12)$$

2.6.2 Ikke-inverterende forstærker

I den ikke-inverterende kobling føres indgangssignalet direkte ind på den ikke-inverterende indgang (+). Det modkoblede signal føres igen gennem modstanden R_m til den inverterende indgang (-), denne gang sidder R_1 fra minus til stel. Se figur 2.29. De to modstande udgør en spændingsdeler.



Figur 2.29: Ikke-inverterende kobling. Operationsforstærkerens udgang er koblet tilbage til den ikke-inverterende indgang.

Operationsforstærkeren vil her forsøge at sætte spændingen på de to indgange til samme værdi. Dvs. at spændingsfaldet over R_1 vil være lig med indgangsspændingen på plus. Altså kan strømmen gennem R_1 regnes ud fra Ohms lov. Denne strøm skal også her gennem R_m , hvilket medfører at spændingsfaldet over R_m kan regnes ud, hvilket vil være udgangsspændingen på operationsforstærkeren. I modsætning til den inverterende kobling vil denne forstærkning altid være større end 1, uanset valg af modstandsværdier, idet indgangssignalet altid vil overføres til udgangen. Forstærkningen vil så være bestemt af spændingen gennem modstandene $+1$ (Se ligning 2.13).

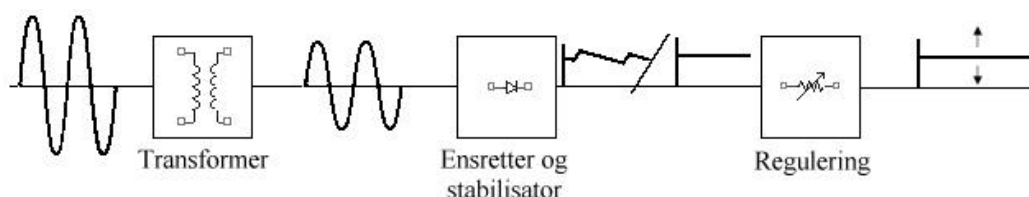
$$A_u = \frac{R_m}{R_1} + 1 \quad (2.13)$$

Kapitel 3

Diagramdimensionering

Dette afsnit indeholder forklaringer og udregninger til diagrammet over selve opbygningen af strømforsyningen. Diagrammet kan ses i bilag på figur C.1 på side 92. Først gives en kort forklaring til princippet i opbygningen af diagrammet, dernæst en dybere forklaring og begrundelse for valg af komponenter.

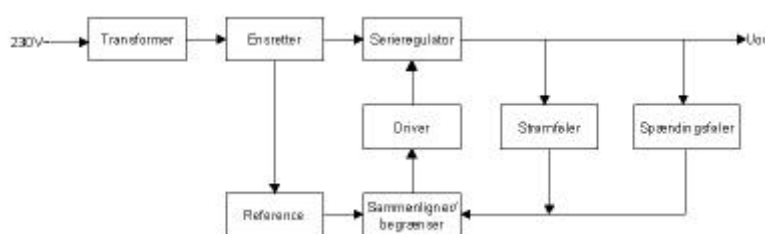
Strømforsyningen dimensioneres til at være variabel i spændingsområdet 0V til 30V, samt at indeholde en variabel strømbegrænser, der kan begrænse strømmen i området 0A til 5A. Figur 3.1 er en overordnet model af opbygningen af strømforsyningen.



Figur 3.1: På figuren ses et AC-signals vej gennem hovedblokkene i strømforsyningen. Nedtransformeringen, ensretning, stabilisering og regulering.

Den første kasse er en transformer, der transformerer 230V AC ned til den ønskede spænding. Dernæst sidder en ensretterbro og en kondensator, der omformer vekselspænding til jævnspænding med rippel. Til sidst sidder reguleringsdelen, som består af strøm- og spændingsregulering. Reguleringsdelen sørger for, at der er den rigtige strøm og spænding på udgangen af strømforsyningen.

Det er mest hensigtsmæssigt at begynde dimensioneringen bagfra, fordi de ønskede slutværdier kendes på forhånd. Det vil også være en god ide at se diagrammet på figur C.1 på side 92 igennem først. På figur 3.2 ses ensretterkassen, samt en opsplitning af reguleringsdelen. Denne figur vil ligge til grund for den videre forklaring.



Figur 3.2: Blokdiagram over de funktioner strømforsyningen er opbygget af.

3.1 Strømregulering

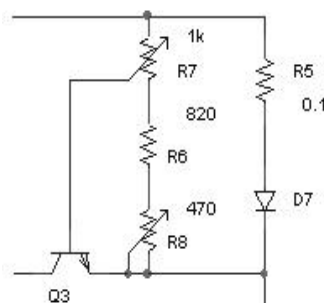
Strømføleren har den funktion, at sende et signal til strømbegrænseren hvis strømmen på udgangen når en bestemt størrelse. Denne størrelse kan indstilles efter behov.

Strømbegrænseren modtager signalet fra strømføleren. Når signalet modtages, slår strømbegrænseren til, og sørger for at strømmen til udgangen ikke overstiger den strøm, hvorved strømføleren sender et signal.

På figur 3.3 ses strømføleren opbygget ved komponenter.

Uddybning af strømregulering

Der tages igen udgangspunkt i strømføleren. Strømføleren består af modstandene R_5 , R_6 , R_7 , R_8 , transistoren Q_3 og dioden D_7 . Når transistoren Q_3 får en spænding mellem basis og emitter (U_{BE}) der overstiger $0,6V$, vil den åbne. Spændingsfaldet U_{BE} er bestemt af modstandene R_5 , R_6 , R_7 , R_8 , dioden D_7 og strømmen gennem disse. Dvs. at modstandene kan indstilles, så transistoren åbner ved en bestemt strøm. Ved at åbne sender transistoren et signal til strømbegrænseren om at begrænse strømmen.



Figur 3.3: Opbygning af strømføleren ved komponenter.

Strømbegrænseren udgøres af en operationsforstærker. For at forklare strøm-begrænserens virkemåde, indstilles strømføleren, til at reagere ved $1A$ og strømforsyningens udgangsspænding, sættes til $5V$. Nu belastes udgangen med en modstand på en 1Ω . Dvs. at modstanden vil prøve at trække $5A$ ifølge Ohms lov.

Strømføleren reagerer ved $1A$, og åbner for transistoren Q_3 . Når Q_3 åbner, vil den begynde at trække strøm fra operationsforstærkerens udgang.

Det betyder, at spændingsfaldet over operationsforstærkerens udgangsimpedans vil stige (Se afsnit 2.6).

Under afsnittet om spændingsregulatoren vil det vise sig at, hvis strømbegrænseren træder i kraft, vil spændingen før udgangsimpedansen på operationsforstærkeren fast være $36V$. Det betyder, at jo mere strøm Q_3 trækker, jo lavere vil udgangsspændingen fra operationsforstærkeren være.

På et tidspunkt vil spændingen over darlingtonkoblingen¹ være så lav, at den ikke trækker nogen strøm. Det er darlingtonkoblingen, som forsyner udgangen og spændingsføleren med strøm. Det betyder, at Q_3 vil lukke, og så stiger udgangsspændingen på operationsforstærkeren igen, indtil darlingtonkoblingen åbner. Når dette sker vil strømføleren igen få strøm, Q_3 vil åbne, og sådan vil systemet stå og svinge, hvilket foregår indenfor få milliampere. Udgangsstrømmen vil aldrig blive højere end $1A$, og udgangsspændingen vil derfor falde fra de indstillede $5V$ til $1V$.²

3.1.1 Komponenter

For at kunne bygge strømforsyningen, er det nødvendigt, at kende størrelsen af de enkelte komponenter.

Strømføleren dimensioneres, så der er et spændingsfald over R_5 og D_7 på $1,2V$,³ når strømføleren skal reagere ved den maximale strøm på $5A$. Diodens eneste funktion er at skabe et spændingsfald på ca. $0,7V$. R_5 bestemmes så spændingsfaldet ved $5A$ er ca. $1,2 - 0,7 = 0,5V$ (Se ligning 3.1):

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R_5 = \frac{0,5[V]}{5[A]} = \underline{\underline{0,1\Omega}} \quad (3.1)$$

Med en strøm på $5A$ gennem en modstand, vil der afsættes stor effekt, hvilket betyder at en almindelig modstand ikke kan bruges. Derimod skal der bruges

¹Omtales under spændingsreguleringen.

²Spændingen vil svinge sammen med strømmen.

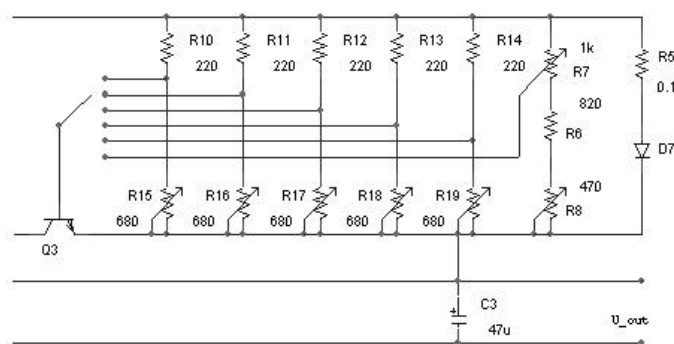
³Størrelsen $1,2V$ er ikke valgt ud fra nogen specielle kriterier.

en effektmodstand. Effekten der afsættes kan regnes ud fra ligning 3.2:

$$P = U \cdot I \Rightarrow P_{R5} = 0,5[V] \cdot 5[A] = \underline{\underline{2,5W}} \quad (3.2)$$

Spændingen over R_5 og D_7 vil også ligge over spændingsdeleren bestående af de tre modstande R_6 , R_7 og R_8 . Det er denne spændingsdeler, der bestemmer, hvor stor basisspændingen er på Q_3 . R_8 er et trimpotentiometer på ca. 470Ω , der skal finindstille kredsløbet, da der altid vil være små unøjagtigheder i komponenterne. R_6 er en modstand på 820Ω . R_7 bestemmer, hvordan spændingen over spændingsdeleren skal deles. Den kan varieres mellem 0Ω og $1K\Omega$, indstillingen af R_7 bestemmer ved hvilken strøm Q_3 åbner. Q_3 er en BC547B transistor.

Det er vanskeligt, at foretage en præcis justering af strømføleren med R_7 . Derfor indættes en omskifterkontakt, der til hvert trin har en bestemt indstillet værdi, som strømføleren reagerer på, f.eks. $1A$ (Se figur 3.4). Trinene udgøres af $R_{10} - R_{14}$, der er faste modstande på 220Ω , og $R_{15} - R_{19}$ der er trimpotentiometre på ca. 680Ω , som kun skal indstilles en gang. $R_{15} - R_{19}$ skal være større end $R_{10} - R_{14}$, så potentiometerene kan stilles til mellem $1A$ og $5A$. Et af trinene på omskifterkontakten er den variable strømføler. De fem andre er de fastindstillede trin.



Figur 3.4: Opbygning af trinreguleringen.

3.2 Spændingsregulering

Med udgangspunkt i figur 3.2 forklares spændingsføleren.

Spændingsføleren har til opgave, at undersøge hvor stor spænding der er på udgangen af strømforsyningen. Spændingsføleren sender et signal til sammenligneren, så den ved, hvor stor udgangsspændingen er.

Referencen er det signal, sammenligneren skal have at sammenligne signalet fra spændingsføleren med.

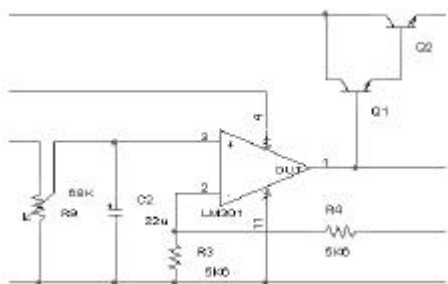
Sammenligneren tager referencesignalet og signalet fra spændingsføleren og sammenligner dem. Hvis der er forskel, sender den et signal til driveren for at få forskellen på de to signaler mindsket.

Driveren tager det lille signal fra sammenligneren, forstærker det og sender det så videre til serieregulatoren.

Serieregulatorens opgave er på baggrund af det signal den får fra sammenligneren gennem driveren, at sørge for at udgangen får så stor en strøm at spændingen på udgangen holdes på det ønskede niveau.

Uddybning af spændingsreguleringen

Det ligger nu fast, hvilke funktioner spændingsreguleringen er opbygget af. Det næste skridt er at se på, hvordan de enkelte funktioner er opbygget, og hvordan de mere konkret fungerer sammen. På figur 3.5 ses spændingsreguleringsdelen.



Figur 3.5: *Opbygning af spændings reguleringen ved komponenter.*

Spændingsføleren består af modstandene R_3 og R_4 , som udgør en spændingsdeler⁴. Modstandene sidder over udgangen, og spændingen over dem vil derfor være udgangsspændingen. Hvis udgangsspændingen ændrer sig, sender spændingsføleren et signal til sammenligneren (operationsforstærkeren). I praksis sørger R_3 og R_4 for, at operationsforstærkeren får halvdelen af udgangsspændingen ind på den inverterende indgang. Dvs. at en lavere spænding på udgangen betyder en lavere spænding til sammenligneren. Parallelt over spændingsdeleren sidder en kondensator (C_3) der skal fjerne evt. støj.

Referencesignalet svarer til spændingen over en del af den variable modstand

⁴ R_3 og R_4 er lige store.

R_9 i parallelforbindelse med kondensatoren C_2 . R_9 fungerer som en spændingsdel, der sørger for at referencespændingen kan indstilles. C_2 bruges til at fjerne evt. støj.

Sammenligneren består af operationsforstærkeren. Operationsforstærkeren vil tage det signal den får ind på den ikke-inverterende indgang, og sammenligne det med det den får ind på den inverterende indgang. Forskellen på de to signaler vil den forstærke ca. 100.000 gange, og sende ud som sin udgangsspænding før udgangsimpedansen. Der vil så være et spændingsfald over udgangsimpedansen, som sørger for at operationsforstærkeren udsender en lille strøm. Denne strøm vil blive sendt til driveren.

Driveren svarer her til transistoren (Q_1), der er den første transistor i darlingtonkoblingen⁵. Transistoren forstærker den basisstrøm den får fra operationsforstærkeren.

Den anden transistor (Q_2) i darlingtonkoblingen udgør serieregulatoren. Den forstærker udgangsstrømmen fra Q_1 . Denne strøm går så til udgangen.

Funktionaliteten af spændingsreguleringen illustreres med et eksempel. Strømforsynings udgangsspænding sættes til $10V$ og udgangsbelastningen til 5Ω , dvs. at serieregulatoren skal forsyne udgangen med $2A$. Systemet er i ligevægt ved en udgangsspænding på $10V$. Nu sættes udgangsbelastningen ned til 2Ω . Det betyder, at udgangsspændingen vil falde til $4V$, hvilket medfører at spændingen på den ikke-inverterende indgang på operationsforstærkeren falder, og forskellen på de to indgange stiger. Så vil operationsforstærkerens udgangsspænding før udgangsimpedansen stige sammen med spændingsfaldet hen over udgangsimpedansen. Det medfører en lidt større signalstrøm fra operationsforstærkeren til driveren videre til serieregulatoren. Serieregulatoren vil så sende mere strøm til strømforsynings udgang, og udgangsspændingen vil igen stige til $10V$ og ligevægten er genetableret.

I det øjeblik strømbegrænseren træder i kraft, vil udgangsspændingen ikke kunne stige mere, og forskellen på operationsforstærkerens to indgange vil forblive stor. Det medfører at operationsforstærkeren vil gå i mætning, altså sætte udgangsspændingen før udgangsimpedansen til maksimum.

3.2.1 Komponenter

R_3 og R_4 er valgt til $5,6K\Omega$. Den høje modstand skal sørge for, at der ikke løber nogen særlig strøm gennem de to modstande, og de er valgt lige store

⁵En darlingtonkobling er en kobling af to transistorer, der skaber en højere forstærkning end ved brug af en enkelt transistor.

for at få en pæn sammenhæng mellem strømforsyningens udgangsspænding og referencespændingen til operationsforstærkeren. Operationsforstærkeren kobles som tidligere nævnt som ikke-inverterende. Herved bliver forstærkningen af referencespændingen, som nævnt i kapitel 2.6:

$$A_u = 1 + \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow A_u = 1 + \frac{5,6[K\Omega]}{5,6[K\Omega]} = 2 \quad (3.3)$$

Potentiometeret R_9 kan justeres, så referencespændingen går fra $0V$ til $15V$, og derved bliver udgangsspændingen på strømforsyningen $0V$ til $30V$. De to kondensatorer C_2 og C_3 er valgt små, da de kun skal bruges til at fjerne støj. Transistorene er valgt, så den samlede forstærkning medfører, at signalstrømmen fra operationsforstærkeren ligger på nogle få milliampere. Hvis udgangsstrømmen er på $5A$, vil forstærkningen være ca. 10,5 for Q_1 , en 2N3053 transistor og ca. 150 for Q_2 , en 2N5686 transistor. Se datablad på figur D.1 på side 94 i bilag. Udgangsstrømmen fra operationsforstærkeren kan findes ved følgende udregninger.

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{h_{fe}} \quad (3.4)$$

$$I_{B_{Q_2}} = \frac{5[A]}{150} = \underline{33mA} \quad (3.5)$$

$$I_{B_{Q_1}} = \frac{33[mA]}{10,5} = \underline{3,2mA} \quad (3.6)$$

Derudover er Q_2 forsøgt valgt, så den kan holde til, at der bliver afsat en stor effekt i den. Ifølge databladet for transistoren skal den kunne holde til $250W$. I afsnit 3.5 vil størrelsen af kølepladen til effekttransistoren blive udregnet. Her vil det fremgå, at de $250W$ skal tages med forbehold.

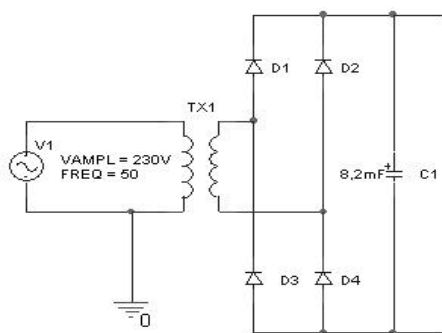
3.3 Ensretning og stabilisering

Ensretning og stabilisering foretages for, at strømforsyningen kan levere et stabiliseret DC-signal.

Ensretningen er det første skridt fra en vekselspænding mod en jævnspænding. Ensretningen sørger for at et sinussignal laves om til et absolut sinus-signal (Se figur 3.8). Dette signal sendes videre til stabiliseringen.

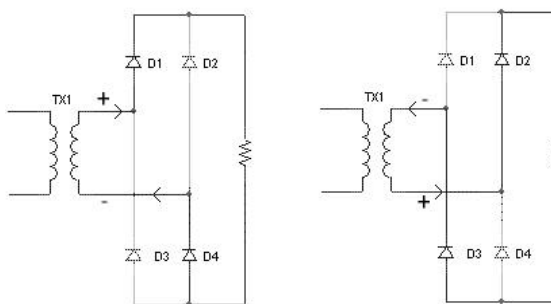
Stabiliseringen søger for at det absolutte sinussignal udjævnes til et jævnt signal. Dette signal sendes videre til reguleringskredsen.

Uddybning af ensretning og stabilisering. Ved ensretning anvendes fire dioder i en brokobling som vist på figur 3.6.



Figur 3.6: Opbygning af ensretter med komponenter.

Strømmen går gennem dioderne som vist på figur 3.7.

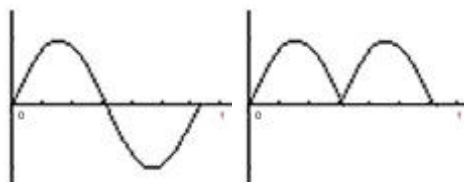


Figur 3.7: Strømmen gennem diodebroen. I den ene retning vil strømmen gå ind gennem D_1 , gennem modstanden og ud gennem D_4 . Når retningen skifter vil strømmen gå ind gennem D_2 , gennem modstanden og ud gennem D_3 . Dvs. at signalet gennem modstanden altid vil have samme retning, selvom indgangssignalet varierer.

Med denne kombination omdannes vekselspænding i form af sinuskurven til en kurve der er den numeriske værdi af sinuskurven (Se figur 3.8).

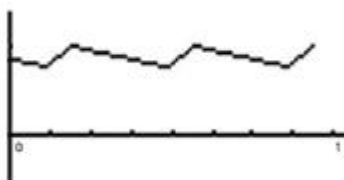
Den spænding der opnås ved ensretning kan ikke kaldes jævnspænding. Det er derfor nødvendigt med en stabilisering for at få en jævnspænding.

Stabiliseringen foretages i første omgang ved at koble en ladekondensator efter diodebroen, som vist på figur 3.6, herved udjævnes kurven. Det sker, fordi



Figur 3.8: *Spændingskurve før ensretning (tv.) og efter ensretning (th.).*

kondensatoren oplades, når spændingen er i top, og aflades når spændingen er nul. Der fremkommer en mere jævn spænding, men der vil stadigvæk være ujævnheder, den såkaldte rippelspænding (Se figur 3.9). Spændingen gøres helt jævn ved brug af zenerdioder (Se afsnit 2.4.2).



Figur 3.9: *Figuren viser en rippelspænding.*

3.3.1 Komponenter

Diodebroen er en KBU8M, denne er valgt, da den kan klare 5A. Dimensioneringen af resten af komponenterne tager sit udgangspunkt i rippelen. Rippelspændingen er afhængig af kondensatorens størrelse, og kan beregnes af følgende formel.

$$U_{rip} = \frac{I_{DC} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{C} \quad (3.7)$$

I_{DC} er den maksimale strøm.

C er kondensatorens kapacitet i Farad.

$8 \cdot 10^{-3}$ er en afladningskonstant for kondensatoren [5].

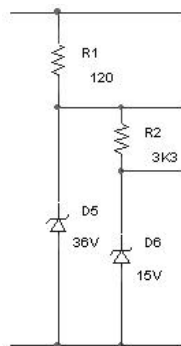
For at zenerdioden kan holde den konstante spænding, må rippelspændingen ikke være så stor, at spændingen kommer under zenerspændingen. Derfor vil spændingen i starten af kredsløbet være højere end de 30V, der skal være på udgangen. Operationsforstærkerens forsyningsspænding skal være højere end udgangsspændingen, som er på 32V da der foruden de 30V på

udgangen, vil være et spændingsfald over modstanden R_5 og dioden D_7 (Se diagram i bilag på figur C.1 på side 92). Zenerdioder fås efter E24 rækken (Se bilag B på side 91). Den zenerdiode der passer bedst, er på $36V$. For at holde forsyningsspændingen på $36V$, må spændingen over zenerdioden ikke blive mindre end $36V$. Ved at vælge en spænding på $41V$ i starten af kredsløbet, må der være en rippelspænding på maksimalt $(41 - 36) = 5V$. Med disse oplysninger kan kondensatorens størrelse nu bestemmes ud fra ligning 3.7. Da strømforsyningen skal kunne levere $5A$, og der bruges strøm til styringen, regnes her med $5,1A$.

$$C = \frac{5,1[A] \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{5[V]} = 8,16mF$$

Der vælges en værdi, der er større for ikke at få for stor rippelspænding, kondensatorer fås efter E12 rækken, så her vælges $8,2mF$.

Efter kondensatoren sidder zenerdioden D_5 på $36V$, der som tidligere omtalt sørger for forsyningsspændingen til operationsforstærkeren (Se figur 3.10).



Figur 3.10: *Spændningen stabiliseres med zenerdioder.*

Foran zenerdioden D_5 sættes en modstand R_1 , der har den funktion at bestemme, hvor meget strøm der løber til zenerdioderne og operationsforstærkeren. For at bestemme modstandens størrelse, er det vigtigt at vide hvor meget strøm komponenterne skal bruge for at virke, samt hvor meget de kan holde til. Der bruges zenerdioder på $500mW$, hvilket giver en maksimal strøm gennem D_5 på:

$$I = \frac{P_z}{U} \Leftrightarrow I_{D5} = \frac{500[mW]}{36[V]} = \underline{\underline{14mA}}$$

Ligeledes sidder modstanden R_2 foran D_6 , og den har præcis samme funktion som R_1 . Den maksimale strøm gennem D_6 :

$$I_{D6} = \frac{500[mW]}{15[V]} = \underline{\underline{33mA}}$$

Zenerdioderne skal bruge mindst $5mA$ for at holde konstant spænding, og operationsforstærkeren skal have lidt mere, end den skal give ud, hvilket er $25mA$. Der vælges en strøm på $35mA$. Spændingsfaldet over R_1 er $41 - 36 = 5V$, og modstanden regnes ud efter Ohms lov:

$$R = \frac{U}{I} \Rightarrow R_1 = \frac{5[V]}{35[mA]} = 135\Omega \approx \underline{\underline{120\Omega}} \quad (3.8)$$

Zenerdioden D_6 er valgt efter E24 rækken og holder et spændingspotentiale på $15V$, hvilket er referencespændingen. Over R_2 er spændingsfaldet $36 - 15 = 21V$, og der går lidt strøm gennem R_9 (Se diagram i bilag på figur C.1 på side 92), så strømmen gennem R_2 sættes til $6mA$.

$$R_2 = \frac{21[V]}{6[mA]} = 3,5K\Omega \approx \underline{\underline{3,3K\Omega}} \quad (3.9)$$

3.4 Transformeren

Transformeren har til opgave at transformere netspændingen ned til en spænding som resten af strømforsyningen kan arbejde med.

Dimensionering af AC-spændingen efter transformeren beregnes ud fra ligning 3.10 (Se afsnit 2.3):

$$U_{AC} = \frac{U_{DC} + 1,4}{\sqrt{2}} \quad (3.10)$$

1,4 er spændingsfaldet over dioderne ($2 \cdot 0,7$).

U_{AC} er den effektive spænding efter transformeren.

U_{DC} er den ønskede jævnspænding.

I dette tilfælde fås ligning:

$$U_{AC} = \frac{41[V] + 1,4[V]}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{30V}}$$

Omsætningsforholdet i transformeren findes som:

$$\frac{230[V]}{30[V]} = 7,7 \Rightarrow \underline{\underline{1 : 7,7}} \quad (3.11)$$

Dvs. der vælges en transformer med det ønskede omsætningsforhold.

3.5 Beregning af køleplade

Når der regnes på køleplader til elektroniske komponenter, sædvanligvis effektt transistorer, sammenlignes det med at regne på termiske kredsløb (Se figur 3.11). I dette kredsløb indgår følgende faktorer:

Den afsatte effekt findes som:⁶ $P = I_C \cdot U_{CE}$, måleenheden er Watt [W]. Effekten kan associeres med en varmestrøm der løber fra junction⁷ til omgivelserne.

Termisk modstand (R_{th}) leder varmen væk fra junction. Dette medfører, at den termiske modstand skal være så lille som mulig. Måleenheden for den termiske modstand er grader pr. Watt [$\frac{^\circ C}{W}$], og findes som databladsværdi for komponenter og køleplader.

Temperaturen (T) er forskellig alt efter hvor i kredsløbet den måles. Den højeste temperatur er junction temperaturen (T_j). Laveste temperatur er omgivelsestemperaturen (T_{amb}) og regnes for en konstant, da omgivelserne er meget store i forhold til komponenten. Måleenheden for temperaturen er grader Celcius [$^\circ C$].

Opfattes effekten som strøm, den termiske modstand som en ohmsk modstand og temperaturen som spændingsforskel, kan følgende formel for Ohms lov for termik opstilles:

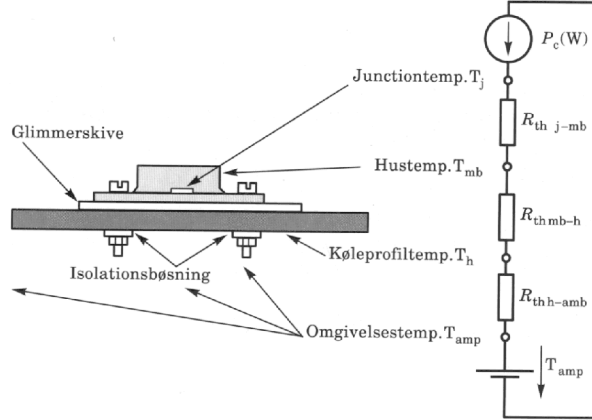
$$\Delta T = P \cdot R_{th} \Leftrightarrow T_j - T_{amb} = P \cdot R_{th} \quad (3.12)$$

Yderlig forklaring til forkortelserne på figur 3.11 ses herunder:

$R_{th\ j-mb}$ er den termiske modstand der forbinder junction med transistorhusets ydre(mb = mounting base).

⁶Beregningsen er for en transistor.

⁷Junction er betegnelsen for selve siliciumkrystallet.



Figur 3.11: Her ses det fysiske (transistor og køleplade) kontra det teoretiske (det termiske kredsløb).

$R_{th\ mb-h}$ er modstanden i overgangen fra mb til kølepladen.

$R_{th\ h-amb}$ er modstanden mellem køleplade og luft.

R_{th} er den samlede modstand.

Beregning af køleplade til 2N5686

Effekten i transistoren er findes af:

$$P_{max,2N5686} = 40[V] \cdot 5[A] = 200W$$

De følgende oplysninger kommer fra databladet for effekttransistoren (2N5686).

$$R_{th\ j-mb} = 0,584 \frac{^{\circ}C}{W}, R_{th\ mb-h} = 0,3 \frac{^{\circ}C}{W}, T_{amb} = 25^{\circ}C$$

$$T_{j\ max} = 200^{\circ}C, P = 200W$$

Ud fra ligning 3.12 ønskes $R_{th\ h-amb}$ fundet:

$$T_j - T_{amb} = P \cdot (R_{th\ j-mb} + R_{th\ mb-h} + R_{th\ h-amb}) \Updownarrow$$

$$R_{th\ h-amb} = \frac{T_j - T_{amb}}{P} - (R_{th\ j-mb} + R_{th\ mb-h}) \Downarrow$$

$$R_{th\ h-amb} = \frac{200[^{\circ}C] - 25[^{\circ}C]}{200[W]} - (0,3[\frac{^{\circ}C}{W}] + 0,584[\frac{^{\circ}C}{W}]) = -0,009 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Beregningerne viser, at der skal bruges en køleplade på en negativ modstandsværdi, hvilket ikke kan lade sig gøre. En realistisk størrelse på en køleplade ligger i bedste fald på $0,1 \frac{^{\circ}C}{W}$. Monteres transistoren på en køleplade med en værdi på f.eks. $1,5 \frac{^{\circ}C}{W}$, kan den maksimal afsatte effekt i transistoren regnes ud til:

$$P = \frac{200[^{\circ}C] - 25[^{\circ}C]}{0,584[\frac{^{\circ}C}{W}] + 0,3[\frac{^{\circ}C}{W}] + 0,7[\frac{^{\circ}C}{W}]} = 110,48W$$

En måde, at løse problemet på kan være at benytte en bedre køleplade eller at parallelkoble transistorer, således går halvdelen af strømmen gennem hver af transistorerne. Disse løsninger og andre vil blive nærmere beskrevet i kapitel 8.

Kapitel 4

Modellering

4.1 Linearisering

Dette afsnit er skrevet med udgangspunkt i kilde [10]. Under udarbejdelsen af en matematisk model for et kredsløb kan der opstå problemer med visse komponenter som f.eks. dioder, transistorer osv. Problemerne opstår, fordi disse komponenter ikke er lineære¹. Dette kan løses, ved at lave en linearisering af de ulineære komponenter. En sådan linearisering kan foretages på flere måder, men her vil der kun blive set på den stykvise linearisering, som er en grafisk linearisering.

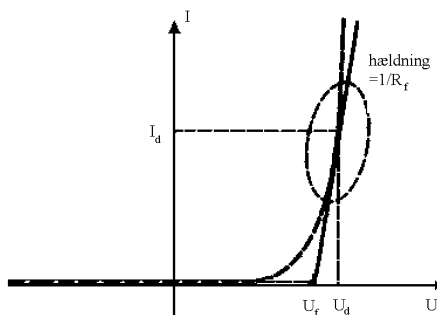
4.1.1 Diode og zenerdiode

Ved linearisering af dioder og zenerdioder ses der på U-I karakteristikken for den enkelte komponent. Udfra denne kan komponenten lineariseres. Som eksempel vil proceduren blive gennemgået for en diode. På figur 4.1 ses den grafiske linearisering vha. U-I karakteristikken.

Proceduren er som følger:

- Først vælges et arbejds punkt på karakteristikken. Dvs. der vælges en spænding, som ligger midt imellem den maksimale og den minimale spænding dioden udsættes for. Udvælgelsen kan også foretages ved at kigge på strømmen fremfor spændingen. På figur 4.1 er punktet (U_d, I_d) valgt som arbejds punkt.
- Herefter indtegnes tangenten til karakteristikken i arbejds punktet.

¹Komponenten er lineær, hvis to forskellige indgangssignaler med hver deres udgangssignal lægges sammen, og deres samlede udgangssignal er lig de individuelle udgangssignaler lagt sammen.



Figur 4.1: Dioden lineariseres ud fra U - I karakteristikken.

- Dernæst findes hældningen på tangenten. Hældningen på tangenten svarer til den reciproke af modstanden $(R_f)^2$, hvor R_f er den modstand, som dioden repræsenterer. R_f kan findes vha. ligning 4.1 (Den reciproke hældning). I praksis bruges ΔU og ΔI frem for dU og dI .

$$R_f = \frac{\Delta U}{\Delta I} |_{(U_d, I_d)} \quad (4.1)$$

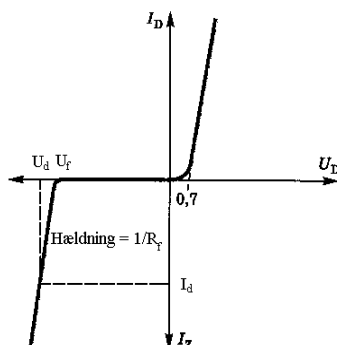
- Det sidste der skal findes er tangentens skæringspunkt (U_f) med U -aksen. Dette skæringspunkt kan direkte aflæses (Se figur 4.1). U_f svarer til et batteri, hvor plus er forbundet til plus og minus til minus (et spændingsfald).

Ved at følge disse punkter kan dioden repræsenteres ved et batteri og en modstand. Både batteriet og modstanden er lineære, og dermed er dioden lineariseret. lineariseringen gælder kun indenfor det valgte arbejdsområde. Zenerdioden lineariseres ud fra samme principper. Forskellen er, at den ikke er forspændt i lederretningen (Se karakteristik med linearisering på figur 4.2)

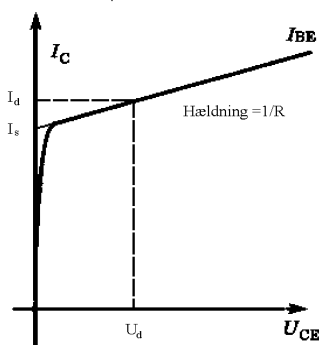
4.1.2 Transistor

Transistoren lineariseres ud fra de samme principper som dioden. Her tages udgangspunkt i U - I karakteristikken for kollektor-emitter spændingen (U_{ce}) og kollektorstrømmen (I_c). For enhver basisstrøm (I_b) findes der en U_{ce} - I_c karakteristik, dette ses af figur 4.3. Det betyder, at det skal afgøres, hvilken

² R_f , hvor f står for forward (dioden er forspændt i lederretningen).



Figur 4.2: Zenerdioden lineariseres ud fra U - I karakteristikkene.



Figur 4.3: Transistoren lineariseres ud fra U_{ce} - I_c karakteristikkene.

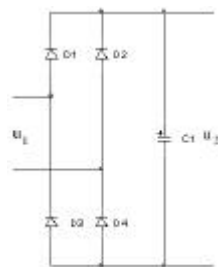
basisstrøm transistoren forventes at modtage. Herefter vælges der som ved dioden et arbejds punkt. Tangenten til dette arbejds punkt indtegnes og hældningen bestemmes. Modstandsværdien kan findes vha. ligning 4.1 på samme måde som ved dioden. Herefter findes tangentens skæring med strøm-aksen, punktet I_s . Skæringen svarer til en repræsentation af transistoren ved en ideel strømkilde, der altid giver en strøm af samme størrelse som I_s . Transistoren kan altså ækvivaleres med en modstand og en ideel strømkilde.

4.2 Model af udgangssignal over kondensator

Dette afsnit er skrevet med udgangspunkt i kilde [9].

4.2.1 Udledninger

Ensretterbroen består af 4 ens sammenbyggede dioder i et fælles hus. Fælles for dioderne gælder, at forwardvoltage sættes til 0,7 volt og R_f sættes til 0,01 Ω , se figur 4.4



Figur 4.4: Diodebro med kondensator.

Ensretterbroens udgangsspænding u_2 beregnes som:

$$\begin{aligned}
 |u_1| &> 2 \cdot \text{forwardvoltage} : \\
 &\Downarrow \\
 u_2 &= |u_1| - (2 \cdot \text{forwardvoltage})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |u_1| &< 2 \cdot \text{forwardvoltage} : \\
 &\Downarrow \\
 u_2 &= 0
 \end{aligned}$$

Hvor u_1 er kredsens indgangsspænding, og forwardvoltage (U_f) er det faste spændingsfald over dioden. Hvor

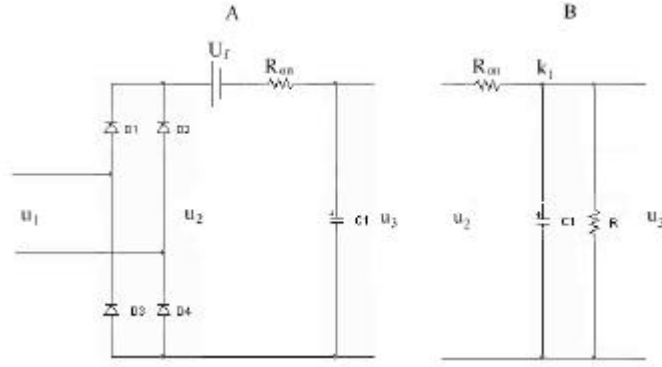
$$R_{on} = 2 \cdot R_f$$

benyttes i forbindelse med beregningerne på den belastede RC-kreds. Hermed er opstillingen ændret til opstillingen på figur 4.5A.

Kredsens udgangsspænding (u_3), kan dermed findes ud fra figur 4.5B).

For at kunne opstille et matematisk udtryk for kredsen på figur 4.5B, er følgende relationer nødvendige.

$$u = i \cdot R \quad (4.2)$$



Figur 4.5: A: Diodebro med kondensator. Diodebroen er lineariseret med forward voltage (U_f) og modstanden (R_f). B: Belastet RC-kreds.

$$i = C \frac{du}{dt} \quad (4.3)$$

$$i_1 + i_2 + \dots + i_n = 0 \quad (4.4)$$

De tre relationer er i rækkefølge: Ohms lov, Kondensatorformlen og Kirchhoffs 1. lov. På figur 4.5B betragtes strømmene til og fra knudepunktet (k_1). Herved fås ligning 4.5:

$$i_c + i_R = i_{on} \quad (4.5)$$

Ud fra strømbetragtningen kan følgende differentialligning opstilles (Ligning 4.6).

$$C \cdot \dot{u}_3 + \left(\frac{1}{R} \right) \cdot u_3 = \frac{1}{R_{on}} \cdot (u_2 - u_3) \quad (4.6)$$

Her repræsenterer første led strømmen til kondensatoren, andet led er strømmen gennem modstanden (R), og det sidste led er strømmen gennem R_{on} . Dette udtryk kan der arbejdes videre med, som det ses herunder:

$$C \cdot \dot{u}_3(t) + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_{on}} \right) \cdot u_3(t) = \frac{1}{R_{on}} \cdot u_2(t)$$

$\Downarrow$

$$C \cdot \dot{u}_3(t) = \frac{1}{R_{on}} \cdot u_2(t) - \left(\frac{1}{R_{on}} + \frac{1}{R} \right) \cdot u_3(t)$$

$$\Downarrow$$

$$\dot{u}_3(t) = \frac{1}{C \cdot R_{on}} \cdot u_2(t) - \left(\frac{1}{C \cdot R_{on}} + \frac{1}{C \cdot R} \right) \cdot u_3(t)$$

Nu kan Eulers backward approximation³ tages ibrug. Differentialligningen ændres til:

$$\frac{u_3(t) - u_3(t - \Delta t)}{\Delta t} = \frac{1}{R_{on} \cdot C} \cdot u_2(t) - \left(\frac{1}{R_{on} \cdot C} + \frac{1}{R \cdot C} \right) \cdot u_3(t - \Delta t)$$

$$\Downarrow$$

$$u_3(t) - u_3(t - \Delta t) = \frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} \cdot u_2(t) - \left(\frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} + \frac{\Delta t}{R \cdot C} \right) \cdot u_3(t - \Delta t)$$

$$\Downarrow$$

$$u_3(t) = \frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} \cdot u_2(t) - \left(\frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} + \frac{\Delta t}{R \cdot C} \right) \cdot u_3(t - \Delta t) + u_3(t - \Delta t)$$

$$\Downarrow$$

$$u_3(t) = \frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} \cdot u_2(t) + \left(1 - \left(\frac{\Delta t}{R_{on} \cdot C} + \frac{\Delta t}{R \cdot C} \right) \right) \cdot u_3(t - \Delta t)$$

Den sidste ligning overføres til Matlab. I Matlab opbygges modellen⁴. I bilag på E.1 på side 97 findes et flowdiagram, der illustrerer opbygningen af modellen i Matlab, samt kildekoden. På figur 4.6 ses et eksempel på en graf fra Matlabmodellen. Modellen er belastet med 5Ω .

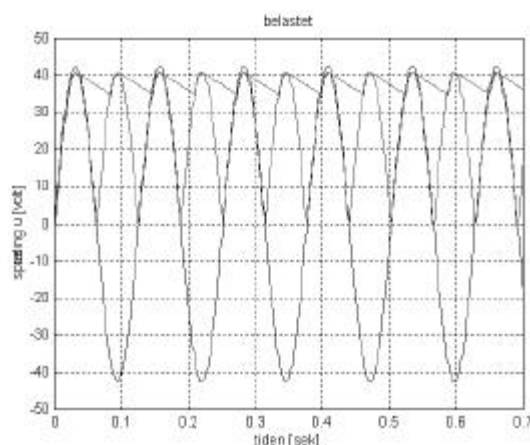
4.3 Model for udgangsripple

Afsnittet er skrevet med udgangspunkt i kilde [9]. Spændinger og strømme vil i denne model blive betegnet med henholdsvis u og i da der ses på øjebliksværdier.

Et af kravene i kravsspecifikationen omhandler rippelspændingen på udgangen af strømforsyningen. For at få en ide om, hvor stor denne ripple bliver i praksis, kan der laves en model af strømforsyningen. Målet med denne model er ikke at give et fuldstændigt billede af rippelspændingen, men derimod

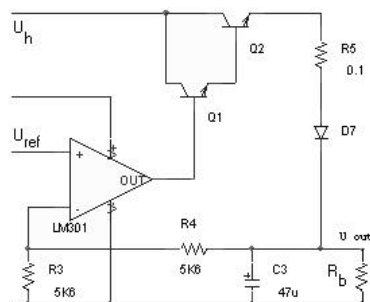
³Yderligere oplysninger kan findes i kilde [9].

⁴Der er her tale om en one step predictor.



Figur 4.6: *Eksempel på udgangsspænding over kondensatoren ifølge model.*

at give et overslag over, hvor stor den er ved forskellige belastninger og ved forskellige referencespændinger. For at denne model ikke skal blive for detaljeret, i forhold til det den skal bruges til, og de informationer den skal bygges på, er det nødvendigt at gøre visse antagelser og lave visse afgrænsninger. Til at starte med afgrænses det samlede diagram til det diagram, der ses på figur 4.7. Det forudgående har kun relevans, hvis det antages at hovedspændingen (u_h) og referencespændingen (u_{ref}) kendes.



Figur 4.7: *Afgrænset diagram til brug for rippelmodel.*

I denne model vil rippelen opstå over darlingtonkoblingen. Spændingen over transistorerne vil variere, hvilket medfører at strømmen gennem transistorerne vil variere en lille smule. Dette vil brede sig til resten af kredsen, hvor kondensatoren (C_3) og operationsforstærkeren vil prøve at udligne denne rippel. Modellen begrænses yderligere ved at gøre følgende antagelser og tilnærmelser:

- Komponenterne i kredsen regnes for at være ideelle, og det antages, at omgivelsestemperaturen ligger på ca. 25°C . Detaljeringsgraden vil blive for stor, hvis komponenterne ikke regnes for at være ideelle, og ved varierende temperatur vil komponenterne måske ændre egenskaber, hvilket også ville gøre modellen meget kompliceret.
- Det antages, at strømbegrænseren ikke på noget tidspunkt slår til. Hvis strømbegrænseren skal med i modellen, vil denne blive for kompliceret.
- Ved en bestemt referencespænding til operationsforstærkeren vil udgangsspændingen på operationsforstærkeren være konstant. Dette antages for at gøre modellen mindre kompliceret.
- Transistoren⁵ (Q_1) anses for at have konstant forstærkning (h_{fe1}) på 10,5. Dette er en god tilnærmelse, da forstærkningen vil variere mellem 10 og 11 for basisstrømme på 1mA til 4mA , hvilket dækker det område som transistoren vil arbejde indenfor. Ved linearisering vil Q_1 ikke have nogen modstandsværdi i arbejdsområdet. Modstandsværdi og forstærkning kan aflæses af u_{ce}/i_c karakteristikken for transistoren (Se bilag D på side 94).
- Hovedstrømmen⁶ (i_h) antages, at være to gange referencespændingen delt med belastningsmodstanden (Se ligning 4.7).

$$i_h = 2 \cdot \frac{u_{ref}}{R_b} \quad (4.7)$$

Denne ligning fås fra afsnit 3.2.1, samt brug af Ohms lov. I virkeligheden vil en lille del af hovedstrømmen gå gennem modstandene R_3 og R_4 . Denne del vil være i nogle få milliamperer, hvilket betyder at den ikke har nogen betydning. Kondensatoren regnes for opladet, så der går ingen strøm til den.

Med disse antagelser kan modellen yderligere afgrænses til, at omfatte en beregning af strømmen (i_{in}) efter transistoren (Q_2) og beregninger på kredsen på figur 4.8. Denne kreds vil få tilført en strøm af samme størrelse, der beregnes efter transistoren (Q_2). Det betyder at udgangsrippelen findes ved beregninger på den afgrænsede kreds.

⁵En 2N3053 transistor.

⁶Strømmen til belastningsmodstanden når der ses bort fra rippel.

4.3.1 Beregning af strømmen til kredsen

Hovedstrømmen (i_h) findes ved ligning 4.7. For at få i_h vides det fra afsnit 3.2.1 at udgangsstrømmen (i_{op}) fra operationsforstærkeren findes som hovedstrømmen delt med forstærkningen ($h_{fe1} \cdot h_{fe2}$) fra de to transistorer (Ligning 4.8).

$$i_{op} = \frac{i_h}{h_{fe1} \cdot h_{fe2}} \quad (4.8)$$

h_{fe1} er konstant, mens h_{fe2} afhænger af i_h . Med udgangspunkt i strømmen i_{op} kan strømmen i_{in} nu findes. Der arbejdes med kredsen på figur 4.7. i_{op} svarer til basisstrømmen til den første transistor (Q_1) i darlingtonkoblingen. Q_1 forstærker strømmen 10,5 gange. Denne strøm vil Q_2 få tilført som basisstrøm. Q_2 er lineariseret ud fra principperne beskrevet i afsnittet om linearisering (Se afsnit 4.1). Herved fås at Q_2 kan lineariseres med følgende udtryk:

$$i_{ce2} = i_s + \frac{u_{ce2}}{R_f} \quad (4.9)$$

Strømmen i_s og modstanden R_f er afhængige af basisstrømmen til Q_2 (Se afsnit 4.1). U_{ce2} er givet ved følgende udtryk:

$$u_{ce2} = u_h - i_h \cdot R_5 - 0,7[V] - 2 \cdot u_{ref} \quad (4.10)$$

Her er $i_h \cdot R_5$ spændingsfaldet hen over modstanden R_5 , og 0,7 V er spændingen over dioden D_7 . Spændingen over R_5 er en tilnærmet værdi, idet der ses bort fra at spændingsfaldet over modstanden varierer. u_h er hovedspændingen og det vides fra afsnit 2 og 3.3.1 at den er:

$$u_h = 2,5 \sin(\omega t)[V] + 38,5[V]$$

$2,5 \sin(\omega t)$ repræsenterer rippelen i u_h , mens de 38,5V repræsenterer jævnspændingsdelen. i_{ce2} findes nu udfra ligning 4.11:

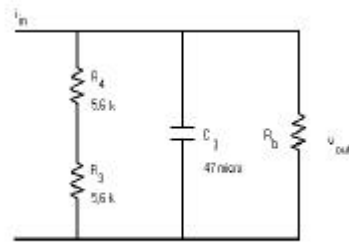
$$i_{ce2} = \frac{2,5[V]}{R_f} \sin(\omega t) + \frac{38,5[V] - i_h \cdot R_5 - 0,7[V] - 2 \cdot u_{ref}}{R_f} + i_s \quad (4.11)$$

Det kun er størrelsen af rippelspændingen, som søges. Det betyder, at det kun er sinussignalet der er interessant. Med denne afgrænsning og ved ligning 4.11, findes ligning 4.12.

$$i_{in} = \frac{2,5[V]}{R_f} \sin(\omega t) \quad (4.12)$$

4.3.2 Beregninger på kredsen

På figur 4.8 ses den kreds, som er bestemmende for udgangsrippelen, når i_{in} er fundet.



Figur 4.8: *Kreds til beregning af rippelspænding.*

Kredsen består af spændingsføleren R_3 og R_4 , kondensatoren C_3 og udgangsbelastningen R_b , som er forbundet parallelt. Indgangssignalet til kredsen er strømmen (i_{in}), og udgangssignalet er spændingen (u_{out}). For at lave modellen skal følgende relationer bruges:

$$\begin{aligned} i &= C \frac{du}{dt} \\ i_1 + i_2 + \dots + i_n &= 0 \\ u &= R \cdot i \end{aligned}$$

Den første relation er kondensatorformlen, den anden er Kirchhoffs 1. lov og den sidste er Ohms lov. Med disse relationer er det muligt, at opstille følgende differentiaalligning for kredsløbet (Ligning 4.13):

$$i_{in} = \frac{u_{out}}{R_3 + R_4} + C_3 \frac{du_{out}}{dt} + \frac{u_{out}}{R_b} \quad (4.13)$$

Hvor første led i summen er strømmen gennem spændingsføleren, andet led er strømmen til kondensatoren og sidste led er strømmen gennem belastningsmodstanden. Denne differentiaalligning kan Laplacetransformeres og herved fremkommer ligning 4.14:

$$i(s) = \frac{u(s)}{R_3 + R_4} + C s u(s) + \frac{u(s)}{R_b} \quad (4.14)$$

Ved omskrivning af ligning 4.14 og derefter se på frekvensresponsen fås ligning 4.15.⁷

$$u(j\omega) = i(j\omega) \cdot \frac{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)^{-1}}{\left(\frac{C_3 j\omega}{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)} + 1\right)} \quad (4.15)$$

$$h(j\omega) = \frac{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)^{-1}}{\left(\frac{C_3 j\omega}{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)} + 1\right)} \quad (4.16)$$

Dette er et førsteordens system, hvor $h(j\omega)$ er en kompleks overføringsfunktionen. For et førsteordenssystem findes amplitudeforstærkningen af indgangssignalet som modulus for $h(j\omega)$ (Se ligning 4.17).

$$|h(j\omega)| = \frac{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)^{-1}}{\sqrt{(\omega)^2 \cdot \left(\frac{C}{\left(\frac{R_3+R_4+R_b}{(R_3+R_4) \cdot R_b}\right)}\right)^2 + 1}} \quad (4.17)$$

Størrelsen af rippelspændingen findes ved at gange amplituden af sinussignalet i_{in} med forstærkningen (Ligning 4.18).

$$Rippel = Amplitude(i_{in}) \cdot |h(j\omega)| \quad (4.18)$$

Desværre har det ikke været muligt at fremskaffe de nødvendige data, for at lave en linearisering af transistoren (Q_2). Derfor vil modellen ikke blive brugt yderligere. Modellen skal ses, som en principiel modellering af udgangsrippelspænding.

⁷s udskiftes med $j\omega$. For yderligere oplysninger om frekvensrespons se kilde [9].

Kapitel 5

Sammenligning af model og produkt

Dette afsnit indeholder sammenligninger af målinger på produktet med resultater fra modellen. Hvordan produktet er fremstillet ses i bilag H på side 100. Desuden vil der også blive foretaget vurdering af målingerne og resultaterne, samt en forklaring af disse.

Målingerne på produktet er lavet med et multimeter og et oscilloskop, samt en skydemodstand på udgangen, der fungerer som belastning. Resultater af modellen er fundet ved hjælp af Matlab. Målinger ved 5A er undladt, da transistoren (Q_2) på figur C.1 på side 92 bliver for varm pga. manglende køling i henhold til afsnit 3.5.

5.1 Virkningsgrad

Virkningsgraden fortæller, hvor stor effekt (P_{out}) der fås ud i forhold til, hvor meget kredsløbet forsynes med (P_{in}) (Ligning 5.1).

$$Virkningsgrad = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Effekten findes ved: $P = U \cdot I$.

Ved at måle indgangsspænding (U_{in}) og indgangsstrøm (I_{in}), samt udgangsspænding (U_{out}) og udgangsstrøm (I_{out}) ved forskellige belastninger, kan virkningsgraden for strømforsyningen beregnes.

Ud af måleresultaterne (Tabel 5.1) ses, at virkningsgraden er lavest, når der på udgangen af strømforsyningen er en lav spænding. Dette skyldes, at spændingsfaldet over transistoren er meget høj. Der afsættes en stor effekt i transistoren (Q_2), der forsvinder i form af varme. Virkningsgraden ved høje udgangsspændinger er tilsvarende god, hvilket skyldes, at der næsten ingen

	1Ω	6Ω	100Ω	$1K\Omega$
$U_{in}(V)$	30	30	30	30
$I_{in}(A)$	5.3	3.9	0.5	0.2
$U_{out}(V)$	4.1	19	30	30
$I_{out}(A)$	4.1	3.3	0.3	0.03
$P_{in}(W)$	159	117	15	6
$P_{out}(W)$	16,8	62,7	9	0,9
Virkningsgrad(%)	10,6	53,6	60	15

Tabel 5.1: Måleresultater for virkningsgrad. Strømforsyningens virkningsgrad ved forskellige belastninger.

effekt afsættes i transistoren. Hvad angår det sidste måleresultat ved $1K\Omega$, så er virkningsgraden kun 15%. Dette skyldes tildels, at I_{out} kun er $0.03A$, hvilket medfører at lækstrømmene gennem hele kredsløbet får en større betydning i det samlede strømforbrug.

5.2 Rippel efter kondensatoren

Der er blevet foretaget målinger på rippelen over ladekondensatoren, disse ses på tabel 5.2. Så det er muligt at sammenholde det fysiske produkt med modellen for rippelen efter kondensatoren C_1 (Se diagram i bilag på figur C.1 på side 92).

	1A	2A	3A	4A	5A
1Ω	$1.0 V_{pp}$	$1.8 V_{pp}$	$2.5 V_{pp}$	$3.0 V_{pp}$	-
5Ω	$1.2 V_{pp}$	$1.8 V_{pp}$	$2.3 V_{pp}$	$2.3 V_{pp}$	-

Tabel 5.2: Måleresultater for rippel over kondensatoren.

På tabel 5.2 ses, at rippelværdierne over kondensatoren ikke varierer meget fra 1Ω til 5Ω . Dette skyldes, at kondensatoren har en konstant effektiv spænding på ca. 39-40 V. Det er stort set kun strømmen gennem kredsløbet til udgangen af strømforsyningen, der har en betydning for rippelen over kondensatoren.

Hvis resultaterne fra tabel 5.2 sammenlignes med tabel 5.3, ses at værdierne i tabellerne stemmer overens. Af dette kan det konkluderes, at modellen stemmer overens med det praktiske produkt.

1A	2A	3A	4A	5A
$0.9 V_{pp}$	$1.6 V_{pp}$	$2.4 V_{pp}$	$3.1 V_{pp}$	$4.0 V_{pp}$

Tabel 5.3: Resultater fra modellen på rippel over kondensatoren.

5.3 Rippel på udgangen

Der er foretaget målinger af rippel på udgangen af strømforsyningen. Disse kan ses i tabel 5.4.

	1A	2A	3A	4A	5A	-
1Ω	$89 mV_{pp}$	$100 mV_{pp}$	$135 mV_{pp}$	-	-	-
5Ω	$95 mV_{pp}$	$130 mV_{pp}$	$700 mV_{pp}$	$1.2 V_{pp}$	-	-
	5V	10V	15V	20V	25V	30V
100Ω	$6 mV_{pp}$	$7.1 mV_{pp}$	$7.1 mV_{pp}$	$7.1 mV_{pp}$	$7.1 mV_{pp}$	$7.1 mV_{pp}$
$1K\Omega$	$20 mV_{pp}$	$20 mV_{pp}$	$20 mV_{pp}$	$22 mV_{pp}$	$22 mV_{pp}$	$22 mV_{pp}$

Tabel 5.4: Måleresultater for rippel på udgangen.

Da det ikke er muligt, at holde målingerne op imod en model for rippel på udgangen, vil der blive foretaget en vurdering af rippelværdierne i tabel 5.4. Rippelværdierne målt ved 5 – 30V, 100Ω og $1K\Omega$, kan anses for at være støj, da værdierne først har betydning ved meget lave spændinger. De høje værdier for rippel målt ved 1 – 5A, 1Ω og 5Ω skyldes strømbegrænsere, da transistorerne i darlingtonkoblingen åbner og lukker, når strømbegrænsere træder i kraft. Det ses, at så længe strømbegrænsere ikke træder i kraft, vil udgangsrippelen ligge under eller lige omkring den værdi for udgangsrippel, der er sat i kravsspecifikationen.

Kapitel 6

Produktudvikling

En produktudvikling er et forløb, der foregår i forbindelse med udvikling af et nyt produkt i et firma eller en organisation. Produktudviklingen spænder vidt indenfor emner som brainstorm, kravspecifikation, markedsføring, miljøvurdering, kundekrav samt konstruktion og produktionsmetoder frem til markedsføring og salg. De ting der bør overvejes i forbindelse med en produktudvikling, kan beskrives i et antal faser, beskrevet nedenfor¹. De enkelte faser er efterfølgende forklaret hver for sig. Kapitlet er skrevet udfra Integreret produktudvikling [6] og Elektronik udvikling [7].

Fase 0, Behovserkendelse

Denne fase er opstartsfasen, hvor alle ideerne skal frem uden begrænsninger. Hvis der ikke findes nogle oplagte ideer, er der metoder, der kan tages i brug. En metode er en slags ideskabende spørgeteknikker, hvor der opstilles ideer med mere eller mindre bundne udgangspunkter.

Outputet fra denne fase er en række behovserkendelser, som kan bearbejdes i næste fase.

Fase 1, Behovsundersøgelse

Behovsundersøgelsen kan deles op i tre underfaser:

- Fastlæggelse af principielt behov.
Med dette forstås, om der er behov for det pågældende produkt uden hensyntagen til markedsmekanismer. F.eks. kan konstellationen, at der er skidt i tagrender, føre til ideen om en "tagrenderenser", men det giver ikke sikkerhed for at nogen ville købe og bruge denne. Dette skal der ikke tages stilling til her, så det principielle behov bliver af formen:

¹Dette er kun en af mange fremgangsmåder i forbindelse med produktudvikling.

- Tagrender + skidt = tagrenderenser
- Tennisbaner + regn = vandfjerner
- Produkttype fastlæggelse.
Herved forstås fastlæggelse af produktet ved dets brugsproces, dette kan fastlægges på forskellige niveauer, f.eks.
 - Strømforsyning
 - Variabel strømforsyning
 - Variabel strømforsyning med strømregulering
- Procestype overvejelser.
Ved dette forstås meget principelle overvejelser vedrørende produktfremstilling: Egen produktion, lease, leje osv.

Outputtet fra denne fase er et specificeret behov udtrykt ved produkttype og procestype.

Fase 2, Produktprincip

- Brugsundersøgelse.
Brugsundersøgelsens mål er at afklare og specificere brugssituationen i alle produktets livsfaser: Etablering, drift, vedligeholdelse og desstruktion. Vigtige metoder til dette er konkurrentanalyse, resourcevurdering og konsekvensvurdering.
- Principkonstruktion.
I principkonstruktionsfasen fastlægges produktets funktioner, hvorefter løsninger til hver delfunktion opsøges og kombineres til en totalløsning. I denne fase er det vigtigt at få et overblik over løsningsmulighederne, og fastlægge hvor konkurrenterne befinder sig teknisk set.
- Produktionstypefastlæggelse.
De principper der frembringes i principkonstruktionsfasen, fastlægger produkttyperne, dvs. afklaring af spørgsmål som: Er der tale om elektronik eller mekanikproduktion? Kræves der nye produktionsformer? Er produktets produktionslayout fornuftigt?

Outputtet fra denne fase er et produkt, hvor alle principper er fastlagt og dets funktioner er belyst.

Fase 3, Produktudformning

- Markedsfastlæggelse.
Her skal afklares ting som produktspecifikationer, fastlæggelse af salgskanaler, prispolitik og lancering. Desuden kan den første priskalkulation finde sted på baggrund af produktudformningsfasen, se næste punkt.
- Produktudformning.
I denne fase fastlægges produktets design, og de indledende overvejelser vedrørende produktets fremstilling. Det er også i denne fase, produktets funktionsduelighed eftervises på basis af udviklingen af en prototype.
- Produktionsprincipfastlæggelse.
Produktionsprincipfastlæggelsen sker sideløbende med de indledende overvejelser til fremstillingen. Denne fase er især vigtig, hvis produktets realisering afhænger af nye fremstillingsteknikker. Hvis dette er tilfældet, da fastlæggelsesprincipperne for et sådant udstyr også i denne fase.

Outputtet fra denne fase er et totaltspecificeret produkt, hvor funktionen er eftervist og desuden er der oprettet et prisskøn.

Fase 4, Produktionsforberedelse

- Salgsforberedelse.
I salgsforberedelsen etableres bl.a. salgsprognoser, detailplanlægning, brochurer og annoncering.
- Produktmodning.
Her fastlægges en detaljeret fremlæggelse af produktets komponenter baseret på fastlagt fremstilling og montage. Ud fra dette beregnes produktets værkstedsomkostninger.
- Produktionsforberedelse.
Der foretages en fastlæggelse af produktionssystemet, materialeindkøb. Der køres en nulserie for at eftervise produktets produktionsduelighed.

Outputtet fra denne fase er et produktionsspecificeret produkt med fastlagt pris, salgskanaler er etableret, og produktets produktionsduelighed er eftervist.

Fase 5, Realisering

- Salg.
Under salg ligger ting som salgsstart, vedligeholdelse af salgsapparat, styring osv.
- Produkttilpasning.
Produkttilpasning består i rettelser af produkt og produktion, som produktopdatering og produktændringer.
- Produktion.
Denne fase omfatter alle aktiviteter vedrørende etablering og opretholdelse af produktionen.

Outputtet fra denne sidste fase er et produkt, der kan sælges.

6.1 Afgrænsning

Alle de ovenstående faser, idet der ses bort fra den indledende fase 0, kan deles op i tre grupper:

- Marked
- Produkt
- Produktion

Da det ikke tidsmæssigt er muligt, at gennemgå de tre grene på alle niveauer (faser), er der valgt at afgrænse det til modellen på figur 6.1. Fase 4 for produktionsudvikling bliver bearbejdet udfra et ønske om kendskab til økonomiske forhold, med henblik på produktion af strømforsyningen.

Desuden vil der blive fokuseret på den miljømæssige side af produktet. Hvor de generelle miljømæssige tiltag indenfor elektronikområdet vil blive gennemgået.

6.2 Produktionsforberedelse

6.2.1 Salgsforberedelse

I denne fase skal der udarbejdes endelige markedsførings- og salgsaktiviteter i form af udarbejdelse af salgsmateriale m.m. Nyeste oplysninger fra kunder

Fase	0	1	2	3	4	5
Marked						
Produkt						
Produktion						

Figur 6.1: *Afgrænsning*

eller potentielle kunder skal fremskaffes, for at få deres vurdering af produktet, så eventuelle tilpasninger stadig kan ske. Det er meget u hensigtsmæssigt og meget dyrt med større ændringer sent i udviklingsfasen, så dette bør undgås. Det kan dog blive nødvendigt i praksis, hvis testarbejdet viser svagheder på produktet. Det er også i dette stadie, en endelig pris for produktet skal fastlægges, hvor der tages højde for materialeudgifter, produktionsudgifter og lønninger. Følgende punkter bør overvejes:

- Indkøb og leverandørvalg
 - Leverandørvalg
 - Udarbejdelse af indkøbsspecifikationer
- Udarbejdelse af manualer (installation og brug)
- Udførelse af test
 - Test i samarbejde med produktionsteknikeren
 - Pålidelighedsprøvning
- Opfølgning
 - Evaluering af service- og brugervenlighed
 - Afklaring af udestående problemer fra tidligere produkttest
 - Evaluering i forhold til de gældende specifikationer (kundens og egne)

Relateret til projektforsløbet kan det komme til at ligne følgende, dog er de fleste udgifter fiktive, da det ikke er muligt at fremskaffe tal for de enkelte procedurer, der stemmer overens med virkeligheden. En endelig pris for produktet skal fastsættes, denne pris skal gerne være konkurrencedygtig i forhold til tilsvarende produkter på markedet. Prisen for materialer til prototypen

ligger i nærheden af 1200 kr., prisen for den masseproducerede strømforsyning bliver væsentlig mindre, på grund af de rabatter, der kan fremskaffes ved større indkøb. Det viser sig efter undersøgelse hos nogle store elektronik leverendører, at materialeprisen vil blive ca. 40-50% mindre ved en produktion på 1000 eksemplarer. Materialeprisen kommer altså ned i nærheden af 600 kr. Dertil kommer lønninger og brug af maskiner, hvor der ved produktion andetsteds, vil blive givet et tilbud for produktion af strømforsyningen. I dette eksempel antages at der fås et tilbud for produktionen på 300 kr. pr. strømforsyning. Dvs. at den samlede pris for strømforsyningen bliver ca. 900 kr. Endvidere skal ting som emballage og evt. salgskampagner lægges oven i prisen.

6.2.2 Produktionsforberedelse

Under denne fase er formålet at fremstille et godt produktionsgrundlag, således at en senere prøveproduktion kan gennemføres under praktiske og realistiske omstændigheder.

Der skal ske en detaljeret fastlæggelse af produktionssystemet, f.eks. skal det afgøres om, der skal bruges underleverendører. Gennem projektforløbet er der udarbejdet en prototype af en strømforsyning, og det er denne som ligger til grund for en evt. masseproduktion. Men før en egentlig masseproduktion kan begynde, er der mange ting der bør overvejes. Der er flere måder, at få produceret et produkt på. Det hele kan foregå ved egen produktion, eller der kan vælges at få produceret strømforsyningen kun dele andetsteds. Hvis det som i dette tilfælde kun drejer sig om et produkt, vil det være urealistisk at producere hele strømforsyningen selv, idet afsætningen af strømforsyninger er begrænset. Det vil ikke være økonomisk muligt, da der her ikke er tale om et allerede opstartet firma, dvs. at et evt. indkøb af maskiner vil løbe op i flere millioner. Her vil det være mest fordelagtigt/realistisk at få strømforsyningen produceret hos et allerede eksisterende firma.

Hvis der vælges at få strømforsyningen produceret andetsteds, er der mange ting der skal kordineres, f.eks. skal strømforsyningen tilpasses firmaets produktionsudstyr. Produktionsdueligheden for print, kabinet og instrumenter, skal eftervises.

En væsentlig del der også skal afklares inden produktion er, hvorledes strømforsyningen opfylder de sikkerhedsmæssige krav, der er stillet i svagstrømsbekendtgørelsen. F.eks. skal kølepladen indkapsles hvis den bliver for varm. I dette tilfælde blev disse krav allerede stillet i kravspecifikationen. Et af de krav, der stilles til strømforsyningen, er hvorledes den påvirker andre pro-

dukter, dette er beskrevet i afsnittet omkring EMC (Se afsnit 1.2.6).

Alle de fejl eller problemer der måtte være med prototypen skal rettes. Desuden skal det endelige design fastlægges.

6.3 Miljømæssige forhold

Dette afsnit giver et overblik over de mange nye miljøtiltag, der er sket indenfor elektronikområdet. Desuden vil der også være en kortfattet forklaring af disse nye tiltag.

Tiltagene indenfor elektronikområdet kan opdeles i følgende punkter:

- Konstruktionsprincipper og data (f.eks. komponentvalg)
- Energiforbrug (f.eks. standbyforbrug)
- Deponi, genindvinding og forbrænding
- Formidling til konstruktører, offentlige-, privat- og professionelle indkøbere
- Miljømærkning

Disse forskellige tiltag indenfor elektronikområdet er taget, fordi der er sket en rivende udvikling indenfor dette område. Denne udvikling medfører, at der kommer flere elektroniske produkter på markedet. Herved bruges stadig flere råstoffer, mere elektricitet og der kommer mere skrot på lossepladserne. Tallene for denne udvikling ses i tabel 6.1.

Med stigninger på henholdsvis 17% og 27% og en udvikling der stadig går i den forkerte retning, er det klart, at der skal tages en del tiltag, for at sikre en fornuftig og miljørigtig udvikling indenfor elektronikområdet. Grunden til faldet indenfor radio og telekommunikation kan skyldes, at der sendes elektronisk post i stedet for at bruge telefon og fax.

6.3.1 Konstruktionsprincipper og data

De forskellige faser, der skal gennemgås, før et elektronikprodukt er færdigt, er illustreret på figur 6.2.

Figuren skitserer flere forskellige stadier af produktet. Men i dette afsnit vil der kun blive omtalt de første par stadier, som vedrører brug og forarbejdning

Husholdningerne	Tons i 1994	Tons i 1999	Stigning i %
Legetøj, spil og musikinstrumenter	2.200	2.300	
Audio og videoapparater	11.000	13.000	
Kontorudrustning	2.000	2.500	
Radio og telekommunikation	400	400	
I alt	15.600	18.200	ca. 17%
Offentlige og erhverv			
Kontorudrustning	10.000	15.000	
Radio og telekommunikation	6.000	4.600	
Styring, regulering og overvågning	4.100	6.300	
Medicinsk brug og laboratorier	1.300	2.000	
Øvrigt udstyr	2.800	2.500	
I alt	24.200	30.400	ca. 26%

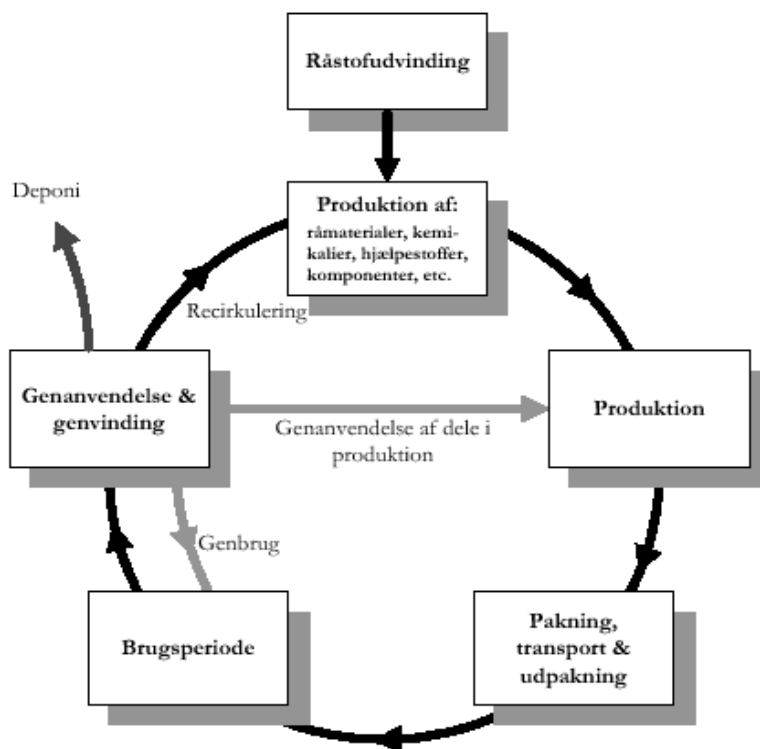
Tabel 6.1: *Elektronikaffald fra 1994-99 [2].*

af råstoffer. I de nuværende elektronikprodukter findes der mange forskellige metaller og plastiktyper. Derudover er mange af disse stoffer på listen over uønskede stoffer. Hvis de elektriske komponenter skal gøres mere miljørigtige, skal der laves nogle tiltag imod følgende punkter:

- Udvælgelse af komponenter indeholdende ingen/få farlige stoffer
- Minimering/optimering af anvendte råstoffer
- Brug af materialer der kan genanvendes eller er genanvendt

De ovenstående punkter kan f.eks. opnås ved at designerne af de forskellige komponenter, bliver pålagt at udfærdige udførlige miljødatablade (Se i bilag på figur F.1 på side 98) på farlige stoffer, antal af forskellige metaller og plastiktyper, muligheder for genvinding og fremstilling. Desuden er brugen af de meget kendte metaller såsom jern, kobber og bly kritiske, da de naturlige resurser ikke kan holde mere end 20-120 år (Se i bilag på figur G.1 på side 99).

Ved hjælp af de omtalte miljødatablade vil det være nemmere, at konstruere et miljørigtigt produkt i produktionsfasen. Det vil sige, at produktet kan sammensættes uden farlige stoffer, med hensynstagen til naturlige resurser og med henblik på genindvinding af sit produkt.



Figur 6.2: *Produktets livscyklus: "Den forarbejdning råstofferne skal gennemgå for at blive til det færdige produkt". Taget fra kilde [3].*

6.3.2 Energiforbrug

Dette afsnit omhandler den fase, der kaldes brugsperiode (Se figur 6.2). Dette skyldes at produkterne bruger væsentligt mere energi (elektricitet) i levetiden på 5-15 år, end der bruges ved fremstillingen. Dermed ikke sagt, at energiforbruget (varme, el, ventilation og produktionsmaskiner) på fabrikkerne skal negligeres. Det største problem de produkter, som findes på markedet i dag, er typisk deres standbyforbrug. Nogle typiske eksempler for en dansk husholdning kan være følgende produkter²:

- Sony forstærker + Prosonic cd
 - standby 11 W
 - i brug 30 W

²Målingerne foretaget med energimåler.

- Fjernsyn SABA 14"
 - standby 9 W
 - i brug 20 W
- Fjernsyn Prosonic 28"
 - standby 16 W
 - i brug 25 W

Det kan undersøges, hvor meget det bliver til på 1 år, hvor produkterne som minimum står på standby. Hvis energiforbruget beregnes for produkterne ovenfor, giver det mellem 79-140 kWh på et år. Når der sammenlignes med produkterne i brug er det ikke halvt så meget, da de her bruger 140-260kWh. Ydermere findes der i dag effektelektronik, som muliggør et årsforbrug nede omkring 9-26 kWh. Der er meget at hente på nedbringelse af energiforbruget. Især hvis der medregnes, at der i de fleste danske husstande er 5-10 af disse produkter, der står standby. Mindre energiforbrug medfører yderligere besparelser på materialer, pga. mindre transformere/spoler og køleplader. Den lavere driftstemperatur giver desuden længere levetid og større pålidelighed.

6.3.3 Deponi, genindvinding og forbrænding

Elektronikaffaldsmængden er opadgående, som det ses af tabel 6.1. Lige meget hvor gode vi bliver i Danmark til at lave miljørigtige produkter, kan der ikke ses bort fra problemet med affaldet, da størstedelen af de elektroniske produkter kommer fra udlandet. Spørgsmålet er, hvordan affaldet behandles. Det er mest fornuftigt at prioritere afskaffelsesmulighederne på følgende måde:

- Genindvinding (denne metode giver anledning til at genbruge nogle af råstofferne)
- Forbrænding (fjerner affaldet - men har tendens til udledning af forurenende gasser, dog udnyttes energien i produktet, hvis det har en brændværdi)
- Deponi (opmagasinering af affaldet giver intet udbytte og anses for den absolut sidste udvej)

Problemet er, at der ikke kan genindvindes 100%, hvilket også gælder ved forbrænding. Men eksisterende genindvindingsanlæg kan forbedres, eller der kan laves nye. Genindvindingen på de eksisterende anlæg er 50-60%, der menes imidlertid at der kan opnås genindvinding på helt op til 90% [2]. Desuden kan de produkter, der er let adskildelige også hjælpe genindvindingsprocenten.

6.3.4 Formidling til konstruktører, offentlige-, privat- og professionelle indkøbere

Med hensyn til konstruktørerne er det vigtigt, at fabrikanterne bringer følgende budskab - at de ønsker miljørigtige komponenter med tilhørende miljødatablade (Nævnt i afsnit 6.3.1). Således der kan konstrueres miljørigtigt udfra disse datablade.

De offentlige indkøbere kan styres direkte af staten, således der sikres at det offentlige i fremtiden går foran og viser vejen for den almindelige forbruger.

Private indkøbere (forbrugere) skal sættes i stand til hurtigt, at vurdere om et produkt der skal købes, er mere eller mindre miljøvenligt. Det kan f.eks. gøres med diverse miljømærkninger, hvilket vil blive omtalt i det efterfølgende afsnit. Men bliver det dyrere for forbrugerne, bliver købet mindre attraktivt. Så der skal være en balance mellem miljø og penge. En anden løsning kan også være statstilskud.

Vedrørende professionelle indkøbere, handler det i første omgang om at gøre dem opmærksomme på, at der findes miljørigtige produkter på markedet. Dette kan opnås ved at få lavet udførlige informationer om produkternes miljøegenskaber. Dette stiller store krav til fabrikkerne om udførlig dokumentation af deres produkts miljøegenskaber. Disse skal så kontrolleres ved forskellige tests af produkter, så der er garanti for at informationerne er korrekte.

6.3.5 Miljømærkning til husholdningerne

Der findes forskellige former for miljømærkninger. De findes som negative (miljøadvarsler), positive (miljøfordele) eller neutrale (beskriver alle produktes miljøaspekter uden at tage stilling til godt og dårligt) mærkninger.

I det internationale standardiseringsarbejde arbejdes der med tre typer, to positive og en neutral:

- Type I: Positiv mærkning der laves udfra test på produktet med fast-

satte kriterier.

- Meningen er at kun ca. 30% af en produkttype, skal have mærkningen, da det kun skal være de absolut bedste produkter der får denne mærkning. Meningen er desuden, at kriterierne skal revurderes hvert 3. år. Eksisterende mærker af den type, er det nordiske miljømærke - Svanen og EU's miljømærke - Blomsten.
- Type II: Positiv mærkning med enkelte påskrifter, ingen test påkrævet.
 - F.eks. kan et påskrift lyde som følgende "embalagen er PVC-fri", "ingen miljøfarlige stoffer", "miljørigtig" og "naturvenlig". Disse påstande må ikke påføres produkter, uden der er tilstrækkelig dokumentation for påstandene. Denne dokumentation skal være i form af grundig udregning på produktes livscyklus. Denne skal vise, at produktet belaster miljøet mindre end andre lignende produkter. Denne type mærkninger er derfor ikke så sikker som type I, da der ikke foretages eksterne tests udenfor virksomheden til at verificere dokumentationen.
- Type III: Neutral mærkning med livscyklusvurdering (LCA)³ som dokumentation, kaldet miljødeklaration.
 - Kravene til dokumentation er en fuld LCA-rapport, som bliver gennemgået af en uafhængig expert på området. Der skal være ens grundlag i disse miljødeklarationer, så det er muligt at sammenligne produkterne på et bredt grundlag og herudfra lave sin egen bedømmelse, af hvilket produkt man mener er bedst. Fordelen ved denne type mærkning er, at alle produkter kan sammenlignes, da der ikke er nogle specifikke krav der skal opfyldes for at opnå en mærkning ligesom ved type I og II.

Det største problem ved nogle af disse mærkninger er, at den tid det tager at udfærdige dem overstiger levetiden på visse elektriske produkter.

Et eksempel på en af disse mærkninger, som er let at overskue for forbrugeren, er mærkningen af køleskabe. Her er der tale om type I mærkning, nemlig en mærkning der knytter sig til energiforbruget af køleskabet. Mærkningen er angivet med A, B, C, D eller E, hvor A er det køleskab med laveste energiforbrug. Denne ordning er ved at blive lavet til andre typer produkter såsom: PC, fjernsyn og andre produkter der har stort standbyforbrug.

³Life Cycle Assessment.

Kapitel 7

Teknologivurdering

Teknologivurderingen er et middel til at vurdere egnetheden af et produkt. En sådan vurdering er god at lave på prototype, for at se, om det er det endelige produkt, eller om der skal laves nogle justeringer. Hvis analysen og vurderingen først bliver lavet, når produktet er sendt på markedet, og det så viser sig at det har nogle uheldige egenskaber, vil det blive dyrere og mere besværligt at få rettet disse fejl. Derfor må teknologianalysen og teknologivurderingen siges at være processer, som et produkt helst skal udsættes for under produktudviklingen.

7.1 SWOT-analyse

Et af de værktøjer der kan bruges i en teknologianalyse og teknologivurdering, er SWOT-analysen. Det er et værktøj, der giver et overblik over styrker, svagheder, muligheder og trusler for et produkt, samt hvilke udviklingsstrategier der evt. kan tages i brug for videreudvikling. Produktet er her en lineær strømforsyning og for at give et større overblik udføres SWOT-analysen vha. en SWOT-matrix. I tabel 7.1 ses SWOT-matricen for den lineære strømforsyning.

De interne styrker:

- Strømforsyningen er opbygget af simpel teknik, hvilket medfører at teknikken er let tilgængelig og ikke særlig dyr.
- Fremstillingen forventes at være forholdsvis billig, da komponenterne er billige og produktionen udføres som en masseproduktion (jvf. afsnit 6.2).
- Strømforsyningen er trinreguleret. Dvs. at disse trin kan kalibreres nøjagtigt, hvilket er et af kravene i markedsundersøgelsen (Afsnit 1.2.1).

	Interne styrker: • Opbygget af simpel teknik. • Billig at fremstille. • Trinreguleret. • Lav rippel når strømbegrænseren ikke er slået til. • Brugervenlig.	Interne svagheder: • Lav virkningsgrad. • Kan ikke klare alle kombinationer af 0 – 30V og 0 – 5A. • Opfylder ikke alle lovkrav. • Rippel når strømbegrænseren slår til.
Eksterne muligheder: • Stort marked for strømforsyninger.	Maxi-Maxi strategi.	Mini-Maxi strategi.
Eksterne trusler: • Den voksende bevidsthed for energirigtige produkter. • Andre producenter af linærestrømforsyninger. • Producenter af switch mode strømforsyninger.	Maxi-Mini strategi.	*Mini-Mini strategi.*

Tabel 7.1: SWOT-matrix over styrker, svagheder, muligheder og trusler.

- Rippelspændingen er stort set nul, når strømbegrænseren ikke er slået til. Der findes kun en smule støj.
- Strømforsyningen er brugervenlig. Den er udformet enkelt og overskueligt med de nødvendige funktioner og måleinstrumenter.

De interne svagheder.

- Strømforsyningen har en lav virkningsgrad ved visse spændinger og belastninger. Det betyder, at der er et stort energitab i strømforsyningen. Et energitab der konflikter med den samfundsmæssige holdning til energirigtige produkter. Hvis flere apparater tages i brug, kan det også betyde noget rent forbrugsmæssigt.
- Kan ikke klare alle kombinationer af $0 - 30V$ og $0 - 5A$. I afsnit 3.5 viste det sig, at en af transistorene ikke kan klare de effekter, den kan blive udsat for. Det betyder, at strømforsyningen ikke opfylder de krav, der er stillet til den.
- Opfylder ikke alle lovkrav. Prototypen er ikke afskærmet godt nok. Det er muligt, at komme til kølepladen selvom den kan blive meget varm.

De eksterne muligheder.

- Stort marked for strømforsyninger. Markedsundersøgelsen viser at der er et stort marked for strømforsyninger.

De eksterne trusler.

- Den voksende bevidsthed for energirigtige produkter. Som det ses af de interne svagheder, er strømforsyningen ikke særlig miljørigtig. Derfor vil et voksende samfundsmæssigt ønske om mere energirigtige produkter være en trussel.
- Producenter af lineære strømforsyninger. Andre producenter forsøger at tage så stor en del af markedet som muligt og dermed udelukke alle andre.
- Producenter af switch mode¹ strømforsyninger. Producenterne af switch mode strømforsyninger vil forsøge at overtage markedet fra de lineære strømforsyninger.

Af SWOT-matricen ses, at det vil være naturligt at følge Mini-Mini strategien. Det vil være naturligt, fordi de interne svagheder vejer noget tungere end de interne styrker. Strømforsyningen opfylder f.eks. ikke kravsspecifikationen. Desuden er de eksterne trusler vigtigere end de eksterne muligheder.

¹Switch mode vil blive forklaret i afsnit 8.3.

For at kunne gøre brug af markedet, er det nødvendigt, at have et produkt der er lige så godt eller bedre end konkurrenternes, og produktet skal leve op til de samfundsmæssige forventninger, for at kunne konkurrere.

Mini-mini strategien går på at minimere interne svagheder og eksterne trusler. Den kan indeholde følgende punkter:

Miljømæssige tiltag kan gøre produktet mere konkurrencedygtigt i forhold til andre virksomheder. Der skal altså ses på de forskellige miljøbelastninger, som produktet kan medføre. Et af disse problemer er den lave virkningsgrad ved en kombination af lave spændinger og høje strømme på udgangen. Desuden er der også problemer med afskaffelsen, hvis produktet fremstilles på den traditionelle måde. Der kan laves tiltag i retning af et lettere adskilleligt produkt. Omkostningerne ved disse tiltag må ikke overstige fordelene, da dette vil gøre produktet urentabelt.

Funktionsmæssige tiltag vil være nødvendige, hvis produktet skal klare sig på markedet. Produktet skal videreudvikles, dette kan gøres ud fra nogle af de alternativer, der omtales i kapitel 8, hvor et af alternativerne er at gå væk fra den lineære strømforsyning og istedet lave en switch mode. Strømforsyningen skal også indbygges i et ordentligt kabinet, så lovkravene er opfyldt.

Mini-Mini strategien er hovedstrategien, men den skal ikke stå alene. Det store marked skal selvfølgelig udnyttes samtidig med, at de interne styrker skal bibeholdes eller evt. forbedres.

7.2 Vurdering

Vurderingen af den nuværende prototype ud fra SWOT-analysen er, at produktet ikke lever op til de forventninger, der var sat med kravsspecifikationen. Det vil kræve en videreudvikling ud fra Mini-Mini strategien, før produktet kommer til at opfylde de stillede krav.

Kapitel 8

Alternative løsninger

Som det fremgår i afsnit 3.5, har strømforsyningen et problem med den afsatte effekt. Dette medfører, at den med stor belastning over længere tid vil brænde den ene af transistorerne i darlingtonkoblingen af. Denne overophedning skyldes, at der bliver afsat en stor effekt i transistoren, fordi der ved stor belastning vil være en lille spænding på udgangen, som medfører et stort spændingsfald over transistoren. Som eksempel beregnes spændningerne ved en belastning på 1Ω , med strømforsyningen sat på $5A$:

$$U_{Out} = I_{Out} \cdot R_{Load} = 5[A] \cdot 1[\Omega] = 5V$$

Spændningen over transistoren (U_{CE}) bliver forskellen mellem forsynings-spændningen fra brokoblingen (U_{In}), som er ca. $40V$, og udgangsspændningen (U_{Out}). Spændningen over transistoren bliver:

$$U_{CE} = U_{In} - U_{Out} = 40[V] - 5[V] = 35V$$

På denne måde bliver der afsat en effekt i transistoren på:

$$P = U_{CE} \cdot I_{Out} = 35[V] \cdot 5[A] = 175W$$

Denne effekt kræver en stor transistor og en stor køleplade. Desuden forringer det virkningsgraden, at der bliver afsat så stor effekt i strømforsyningen. Der er flere måder at løse dette problem på, der er efterfølgende et par eksempler.

8.1 Brug af flere transistorer

Ved at parallelkoble flere transistorer på udgangen i darlingtonkoblingen, vil den afsatte effekt blive fordelt jævnt på de anvendte transistorer. Denne løsning giver ikke en bedre virkningsgrad, da den samlede effekt afsat i strømforsyningen bliver den samme. Det betyder, at der kan anvendes mindre transistorer og mindre køleplade, da effekten bliver fordelt mellem de anvendte

transistorer. Ved brug af tre transistorer vil effekten i den enkelte transistor blive som ligning 8.1, ved brug af samme belastning som ovenstående eksempel:

$$P = U_{CE} \cdot \frac{I_{out}}{3} = 35[V] \cdot \frac{5[A]}{3} = 58,3W \quad (8.1)$$

8.2 Transformerskift

En løsning som hjælper på virkningsgraden, vil være transformerskift, hvor der er to forsyningsspændinger at skifte mellem, dvs. at der er to udtag på transformeren. I denne strømforsyning kan der vælges forsyningsspændinger på henholdsvis $U_{Lille} = 20V$ og $U_{Stor} = 40V$, hvor U_{Lille} vil bruges på spændinger, der ligger under $20V$ og U_{Stor} på spændinger over $20V$. Indsat i førnævnte eksempel giver det ligning 8.2

$$\Delta U = U_{Lille} - U_{Out} = 20[V] - 5[V] = 15V \quad (8.2)$$

Dette giver en afsat effekt på (Ligning 8.3:)

$$P = \Delta U \cdot I_{Out} = 15[V] \cdot 5[A] = 75W \quad (8.3)$$

Hvilket er under halvdelen af den effekt der før blev afsat, dette hæver virkningsgraden og medfører, at der kan anvendes mindre transistorer.

8.3 Effektelektronik

En anden måde at fremstille en strømforsyning på er med effektelektronik. Nemlig en såkaldt **Switch Mode Power Supply** (SMPS) som hurtigt vinder frem på markedet. Grunden til at denne slags strømforsyninger vinder frem er, at der i reguleringsdelen på en lineær strømforsyning (LS) er et meget stort effekttab. Effektiviteten for SMPS er ca. 70-80% mens det er ca. 30% for en LS. Dette afsnit er skrevet ud fra Analog Teknik, bind 2 [5].

Grundprincippet i SMPS har været brugt i mange år til bla. DC-AC konvertering af en 12V DC akkumulator til 230V AC.

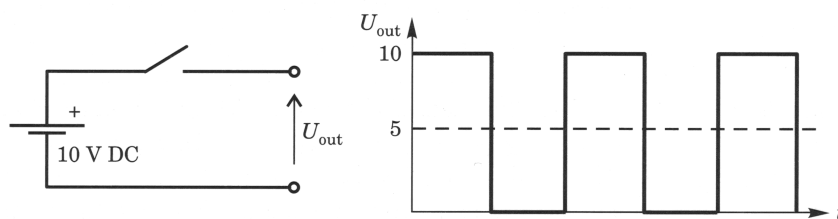
Sammenlignes SMPS med LS findes følgende fordele og ulemper:

- Fordele
 - Større effektivitet
 - Mindre størrelse
 - Vejer mindre
 - Mulighed for højere udgangsspænding (U_{ud}) end indgangsspænding (U_{ind})
- Ulemper
 - Ofte mere komplicerede
 - Laver mere elektrisk støj på udgangen og nettet

Det siges, at fordelene er større end ulemperne ved en effekt på over $20W$ eller ved et stort reguleringsområde på udgangen. Dette vil sige, at den lineære strømforsyning med fordel kan være bygget på disse principper pga. den store effekt på $150W$ på udgangen.

8.3.1 Switch mode princippet

På figur 8.1 ses at der med sluttet kontakt, kommer $10V$ på udgangen, mens der kommer $0V$ på udgangen, hvis kontakten er afbrudt. Er kontakten afbrudt og sluttet i lige lang tid, vil middelværdien på udgangen blive $5V$. I Switch mode bruges tiden til at regulere udgangsspændingen med.



Figur 8.1: *Regulering ved hjælp af tiden (switch mode). Spændingen på udgangen tilsluttes og afbrydes med tidsintervaller, så den ønskede middelværdi for udgangsspændingen opnås.*

Ligning 8.4 beskriver reguleringen af udgangsspændingen.

$$U_{ud} = U_{ind} \cdot \frac{t_{puls}}{T} \quad (8.4)$$

t_{puls} er tiden transistoren leder.
 T er den samlede tid.

Af ligningen 8.4 ses at hvis der f.eks. ønskes 9V på udgangen, så skal kontakten være sluttet i 90% af tiden.

Udgangsspændingen skal gennem et filter, der består af en spole og en kondensator for at blive udglattet. Når der bruges en høj frekvens til at slutte og afbryde kredsløbet, kan der bruges små spoler og kondensatorer.

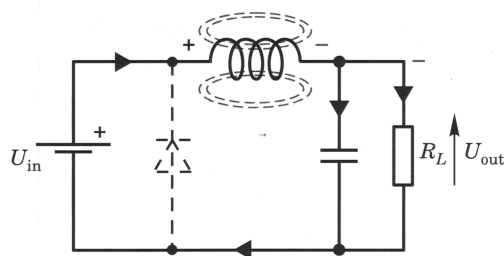
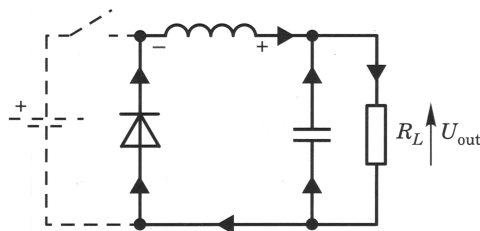
- Grundlæggende findes der 2 typer switch mode.
 - **Buck** princippet, også kaldet step-down. Kan kun levere spændinger under indgangsspændingen.
 - **Boost** princippet, også kaldet step-up. Kan levere spændinger højere end indgangsspændingen.
- Disse to typer kan kombineres til en tredje type switch mode.
 - **Fly-back** eller **Buck-Boost**. Kan regulere op og ned på udgangsspændingen i forhold til indgangsspændingen og vende polariteten.

Det er kun Buck-konverteren, der vil blive forklaret, da principperne grundlæggende er de samme i de forskellige typer. Desuden ligger hovedvægten ikke på effektelektronikken i dette projekt.

8.3.2 Step-down eller Buck-konverteren

På figur 8.2 ses, at kredsløbet består af en spole, en kondensator og en modstand, når kontakten er sluttet. Strømmen løber igennem spolen, kondensatoren og modstanden. Spolen inducerer et magnetisk felt, som er dens måde at gemme energi på. Kondensatoren bliver ladet op og gemmer sin energi på denne måde. I modstanden afsættes der også energi i form af varme, men denne gemmes ikke.

Figur 8.3 viser, at kredsløbet består af en spole, en kondensator, en modstand og en diode, når kontakten er afbrudt. Spolen vil inducere en spænding med modsat polaritet for at vedligeholde det magnetiske felt. Kondensatoren vil

Figur 8.2: *Step-down kredsløbet med sluttet kontakt.*Figur 8.3: *Step-down kredsløb med afbrudt kontakt*

også afgive sin energi til modstanden, hvilket er nærmere beskrevet i kapitel 2.2.

Kondensatoren og spolen vil modtage energi med sluttet kontakt og afgive energi med afbrudt kontakt. Dette gør at der fås en udglattet jævnspænding på udgangen. Det der forbedrer virkningsgraden fra den lineære strømforsyning til switch mode strømforsyningen, er det fænomen, at spolen og kondensatoren kan optage og afgive energi. I den lineære strømforsyning går energien over transistoren til spilde i form af varme.

Istedet for kontakten benyttes en speciel transistor, der har den egenskab, at den enten leder eller spærrer. Denne transistor skal bruge et styresignal, der afgør hvor lang tid den leder og spærrer.

Kapitel 9

Konklusion

Projektet har resulteret i dimensionering og konstruktion af en lineær variabel strømforsyning. Desuden er der lavet matematiske modeller af dele af strømforsyningen.

Dimensioneringen er blevet inddelt i tre faser.

- **Blokmodel:**
I denne fase opdeles strømforsyningen i generelle funktionsblokke. Blokmodellen kan ses figur 3.2 på side 39.
- **Komponent definition:**
I anden fase defineres de elektriske komponenter, der skal bruges i de enkelte blokke, så blokkene kan udføre deres funktion i den samlede kreds.
- **Komponent dimensionering:**
På baggrund af kravsspecifikationen (Tabel 1.4 i problemanalysen) dimensioneres de enkelte komponenter i kredsen. De komponenter der bruges ses i bilag i afsnit H.3 på side 102.

Denne metode giver en udmærket forståelse af det færdige kredsløb. Strømforsyningen er konstrueret på et print, hvilket giver et pænt og overskueligt resultat.

Der er lavet matematiske modeller over to dele af det elektriske kredsløb. Den ene model viser udgangssignalet efter kondensatoren C_1 (Se diagram i bilag på figur C.1 på side 92), og den anden model viser rippelspændingen på udgangen. Modellen over udgangssignalet efter kondensatoren (Afsnit 4.2 på side 54) er foretaget vha. Eulers backward metode. Denne metode bruges til one-step prediction. Resultaterne fra modellen (Figur 4.6 på side 58) har vist sig at stemme overens med de praktiske målinger. I modellen over rippelspændingen på udgangen er der gjort brug af Laplacetransformationer.

(Afsnit 4.3 på side 57). Fordelen ved Laplacetransformationen er, at der fås et matematisk udtryk, der kan bruges til simulering.

For at vurdere produktet, er der lavet en teknologivurdering (Se kapitel 7 på side 78). Teknologivurderingen er bygget op omkring en SWOT-analyse. SWOT-analysen er et værktøj, der giver overblik over produktets styrker, svagheder og hvilke trusler der er mod produktet, samt hvilke muligheder der er for produktet. På baggrund heraf vurderes det, hvilken strategi der skal ligges for produktet.

Spænding

Den konstruerede strømforsyning har vist sig ikke, at leve op til de stillede krav, idet strømforsyningens reguleringsområde er mindre end ønsket, bl.a. på grund af den afsatte effekt i den ene transistor i darlingtonkoblingen. Ved små udgangsspændinger og store udgangsstrømme, er effekttabet større end tilladeligt. Dvs. udgangsspændingen ikke kan reguleres fra $0V$ til $30V$ DC i alle tilfælde.

Strømforsyningens udgangsripple holder sig under de $20mV$, der var sat som krav. Dette gælder dog kun, når strømbegrænseren ikke er aktiveret. Her vil ripple stige væsentlig.

Spændingsreguleringen er opbygget trinløst.

Strøm

Som det ses af det ovenstående, kan udgangsstrømmen heller ikke i alle tilfælde reguleres i det kravsspecificerede område ($0A$ til $5A$).

Reguleringen af strømmen kan foretages i trin eller variabelt.

Generelt

Som driftspænding anvendes $230V$ AC.

Strømforsyningen kan godt anvendes ved $45^{\circ}C$, men den vil få svært ved, at komme af med den afsatte effekt i den ene transistor i darlingtonkoblingen, hvilket medfører at transistoren nemmere bliver for varm, og kan derfor ikke holde til samme effekttab.

Strømforsyningen er enkel og brugervenlig.

På nuværende tidspunkt overholder strømforsyningen ikke gældende krav og grænseværdier for, at kunne opnå en CE-mærkning. Dvs. at den ikke opfylder de danske lovkrav.

Det har ikke været muligt, at konkludere om strømforsyningen er miljørigtig. På et punkt har det vist sig, at den ikke er miljørigtig, da virkningsgraden ligger mellem 10% og 60%.

Det har ikke været muligt, at fastsætte en pris på strømforsyningen.

Litteratur

- [1] Elektricitetsrådet: *Stærkstrømsbekendtgørelsen*, afsnit 1.
- [2] Elektronikpanelet: *Handlingsplan*, 1999.
- [3] Elektronikindustrien: *Håndbog i miljøledelse for elektronikvirksomheder*, afsnit 1, 1999, www.ei.dk
- [4] Miljøstyrelsen: *Miljøprojekt nr. 319*, Retningslinier for bæredygtigt elektronik, 1996, www.mst.dk
- [5] Egon Rasmaussen: *Analogteknik*, Udgave 1, 1998 (2 bind)
- [6] Lars Hein og M. Myrup Andreassen: *Integreret produktudvikling*, Industriens Arbejdsgivere, 1990.
- [7] Jørgen Biegel: *Elektronik udvikling*, Aalborg Universitetsforlag, 1998.
- [8] Jyske EMC: *How to do dit og dat*, Jyske EMC, 1998.
- [9] Finn Haugen: *Regulering av dynamiske systemer*, Tapir Forlag, 1994.
- [10] C.R. Paul, S.A. Nasar & L.E. Unnewehr: *Introduction to Electrical Engineering*, McGraw-Hill, Inc., 1986.

Bilag A

EMC opdeling

Apparat: Et apparat defineres som en samlet enhed med indbygget selvstændig eller væsentlig funktion. Det kan for eksempel være en kompressor, der findes i et køleskab. Kompressoren sælges som en enkelt enhed, dette apparat er omfattet af direktivet for EMC.

Komponent: Komponenter der skal anvendes ved professionelle erhverv som modstande, kondensator, halvleder m.m. er som udgangspunkt ikke underlagt direktivet. Men idet der opbygges et kredsløb til for eksempel styring af en motor, bliver kredsløbet betegnet som en del af et apparat og er dermed underlagt direktivet og skal opfylde deres krav.

Systemer: Et system defineres som en sammensætning af flere apparater, der skal udføre en speciel opgave, dette system sælges til slutbrugeren. Systemet kan for eksempel være en PC, bestående af et tower med indbygget hardware, en skærm og et tastatur. Dette system repræsenteres af 3 apparater, og da det sælges som et system, skal det samlet overholde direktivets krav, det er ikke nok at de 3 apparater hver især overholder kravene. Ved salg af komplette systemer er det leverandøren, der er pålagt ansvaret.

Installation: En installation defineres som en sammensætning af apparater eller systemer, der skal opfylde en bestemt opgave, men må ikke blive sat på markedet som en samlet enhed. Det vil sige, at det kun må anvendes i en specifik opgave, da det ikke er muligt at forudse interne konfigurationer, blandt tilfældigt sammensatte systemer eller apparater. De enkelte systemer og apparater skal overholde direktivernes krav. Ved eventuelle forstyrrelser fra installationen kan installatøren betegnes som ansvarshaver.

Bilag B

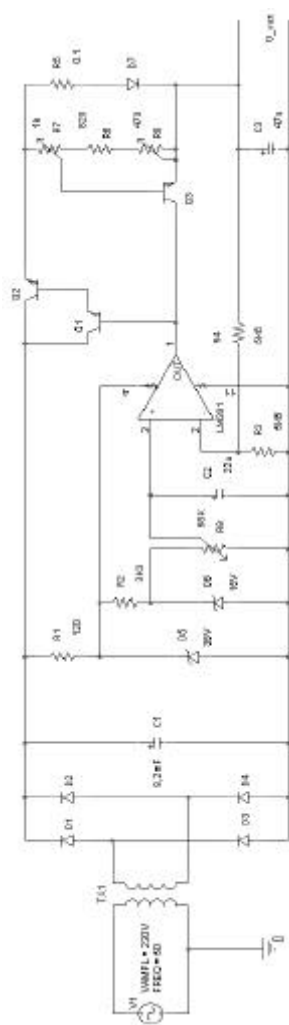
Standardrækker

Der er ikke behov for alle størrelser af komponenter, idet der altid vil være en tolerance. Derfor er der lavet standardrækker. Tabel B.1 viser de to mest benyttede rækker. Alle værdier findes ved at multiplicere med 0,01; 0,1; 10; 100; 1000 osv.

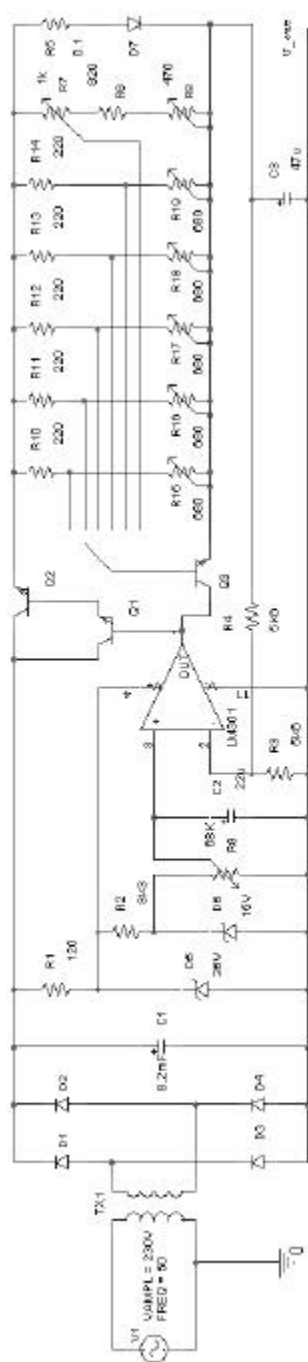
E-12 tolerance $\pm 10\%$	E-24 tolerance $\pm 5\%$
10	10
	11
12	12
	13
15	15
	16
18	18
	20
22	22
	24
27	27
	30
33	33
	36
39	39
	43
47	47
	51
56	56
	62
68	68
	75
82	82
	91

Tabel B.1: *Standardrækkerne E-12 og E-24 [5].*

Diagram



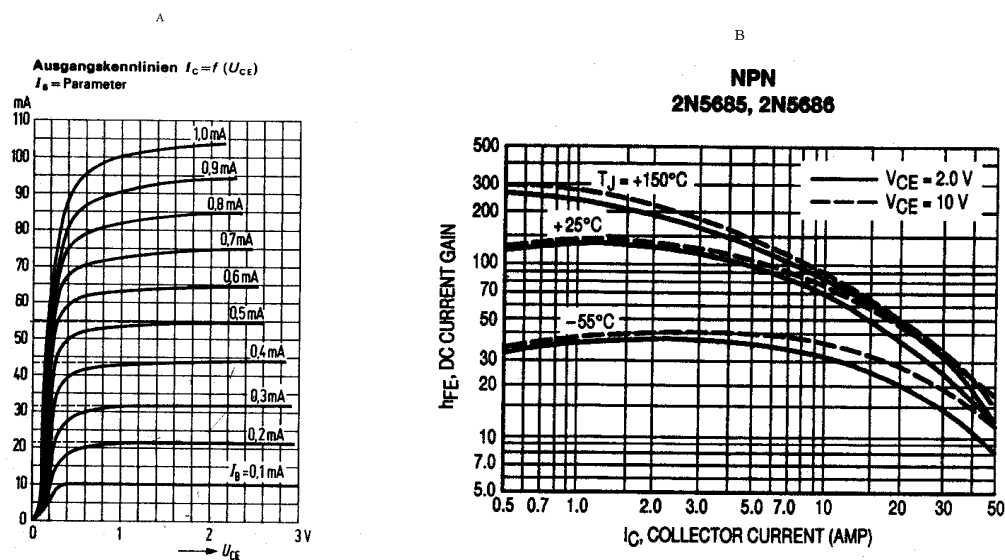
Figur C.1: *Diagram over strømforsyningen uden trinregulering.*



Figur C.2: *Samlet diagram over strømforsyningen.*

Bilag D

Datablad



Figur D.1: Figur A viser u_{ce}/i_c karakteristikkene for 2N3053 transistoren. På karakteristikkene er der lavet en grafisk linearisation. Figur B viser forstærkningen for 2N5686 som funktion af kollektorstrømmen (I_C).

På figur D.1.A er der foretaget en grafisk linearisation af 2N3053 transistoren, for de anførte basisstrømmen fra 5 mA og derunder. Det ses, at modstandsdelen er uendelig stor, og transistoren virker derfor kun som en strømkilde. Denne strømkilde vil ca. være 10,5 gange så stor som basisstrømmen. Ved 1 mA er det 10 gange, og ved 5 mA er det 11 gange. Det betyder, at transistoren også kan opfattes som en ren forstærkning af basisstrømmen. Det aflæses på figur D.1.B at forstærkningen for 2N5686 transistoren er 150 gange ved 5 A.

Bilag E

Kildekoder

```
clear all                % renser hukommelsen for ældre data
close all                % lukker forudgående grafer



---


final = 0.3;             % slut tid [sekunder]
delta = 0.001;           % skridtlængde
frekvens = 50;           % frekvens
Upp = 60;                % indgangsspændingen



---


%diodedata

fv = 0.7;                % fv, belastnings-uafhængigt spændingsfald over diodebro
fv_2stk = 2 * fv;        % strømvejen vil altid være gennem to dioder
Ron = 0.01;              % diodens belastningsafhængige spændingsfald
Ron_2stk = Ron * 2;      % strømvejen vil altid være gennem to dioder



---


%kondensator data

C = 6600 * 10e - 6;



---


%belastning på kredsen som modstande

R_belast = 100;          % strømforsyningens eksterne belastning

R_regul = 330;           % reguleringskredsens belastning på systemet

R = ((R_belast)(-1) + (R_regul)(-1))(-1);
% beregnes som to parallelle modstande



---


```

```

a = (delta/(Ron_2stk * C)); % hjælpefunktion der minimerer senere kildekoder
b = (delta/(R * C)); % hjælpefunktion der minimerer senere kildekoder

```

```

%initialiseringer

```

```

u1(1) = 0;
u2(1) = 0;
u3(1) = 0;
tid(1) = 0;

```

```

fork = 2 : final/delta

```

```

tid(k) = k * delta;
u1(k) = Upp * sin(frekvens * tid(k));
% hjælpefunktion der afgør om indgangsspændingen er større end forward voltage
u_aux(k) = ((u1(k) > fv_2stk) * (u1(k) - fv_2stk)) +
((u1(k) < -fv_2stk) * (u1(k) + fv_2stk));
u2(k) = abs(u_aux(k));

```

```

——-betinget matlab struktur

```

```

x1 = u2(k) > u3(k - 1); % u2 større end u3 medføre opladning af kondensator
x2 = u2(k) < u3(k - 1); % u2 mindre end u3 medføre u3 er konstant

```

```

——-betinget matlab struktur

```

```

u3(k) = x1 * (a * u2(k - 1) + (1 - (a + b)) * u3(k - 1)) +
(x2 * (1 - delta/(R * C)) * u3(k - 1));

```

```

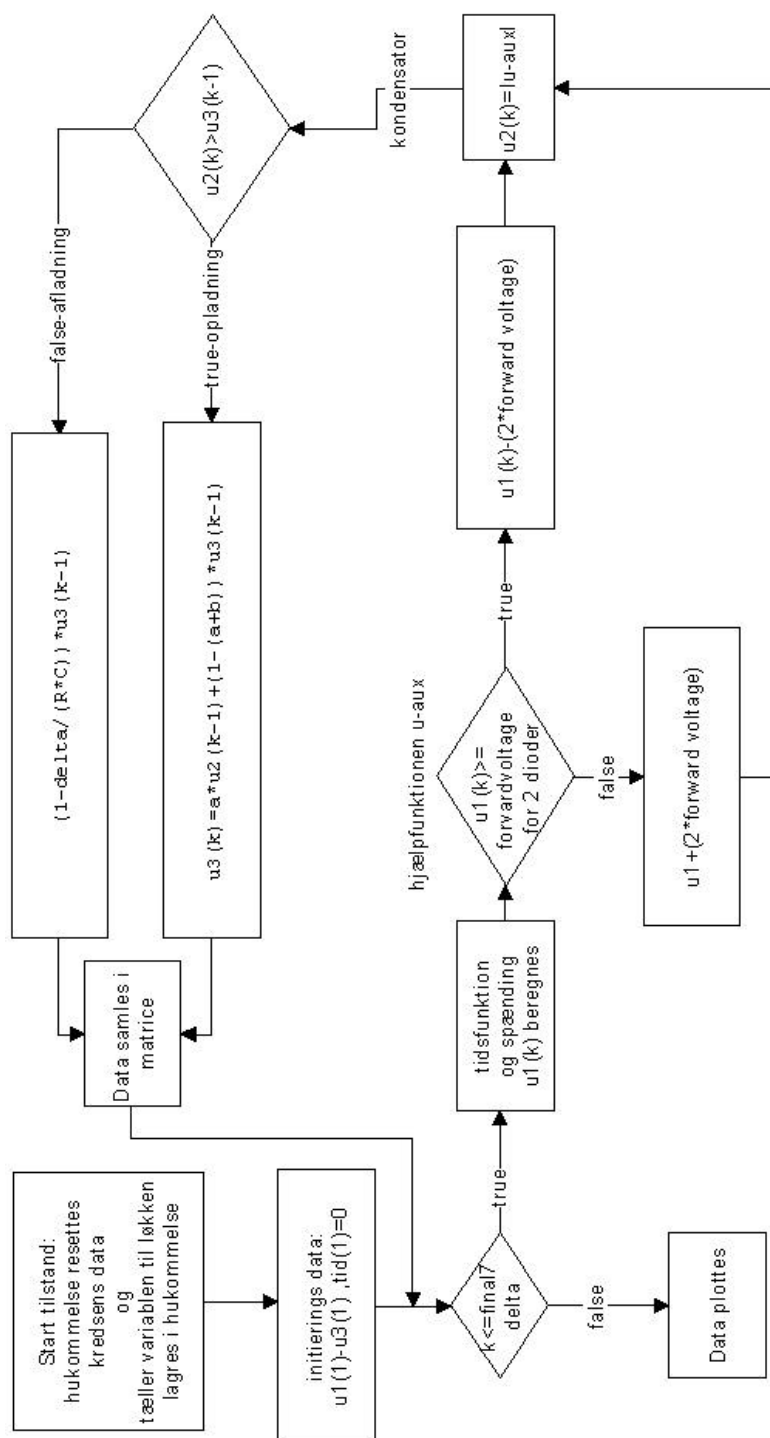
end

```

```

plot(tid,u1,tid,u2,tid,u3);grid,xlabel('tiden [sek]'),
ylabel('spænding u [volt]'),title('belastet')

```



Data flow diagram
for matlab model

Figur E.1: Flowdiagram.

Bilag F

Miljødatablade

# 02200202122	Informationsblad
KOMPONENTER	DIODE, SMD
RETNINGSLINJER	Forlang altid en materialespecifikation fra leverandøren. Komponenter med indhold af PbO undgås.
Generelt	Komponenten indeholder metaller med kort forsyningshorisont. Metaller med kort forsyningshorisont er mærket med stjerne under råvarer. Kun en del af disse kan genvindes med traditionel teknologi. Komponenten indeholder kun små mængder af stoffer, der giver anledning til alvorlige miljøpåvirkninger.
Specifikt for virksomheden	...
RÅVARER	Dioden indeholder 70 % metal og 30 % keramik. Metaldelen er FeNi, kobber* og tin*-bly* legering. Den keramiske del er hovedsageligt glas (SiO ₂ med oxider af Ba, bly*, K, Sb*, Al) samt silicium og TiO ₂ .
FORARBEJDNING	Ingen oplysninger.
FREMSTILLING	Monteres ved speciel lodning.
BORTSKAFFELSE	Genvinding anses for den bedste bortskaffelsesmetode.
Genvinding	Jern samt Ba, Sb, Al og Ti går tabt ved traditionel genvinding.
Forbrænding	Afgivelse af Ba og bly ved forbrænding. <i>Forbrænding frarådes som bortskaffelsesmetode.</i>
Deponi	Ingen oplysninger.

Figur F.1: Et eksempel på hvordan et simpelt miljødatablad kan udformes [4].

Bilag G

Råstoffer

Råstof	Udvinding/år [t · 1000]	Kendte reserver [t · 1000]	Life Index [år]
Aluminium	17.900	3.488.000	200
Bly	3.400	70.000	20
Jern	544.300	64.648.000	120
Kobber	8.800	321.000	36
Mangan	9.500	812.800	86
Nikkel	940	49.000	50
Tin	200	5.900	27
Zink	7.300	144.000	20
Brunkul	1.342.200	519.116.000	390
Olie	3.132.500	135.400.000	43
Stenkul	3.038.300	521.413.000	170
Naturgas [$10^6 m^3$]	2.019.600	124.000.000	60

Tabel G.1: *Livsindex for visse metaller og fossilt brændsel [3].*

Bilag H

Forsøgsbeskrivelse

I dette afsnit beskrives hvordan selve strømforsyningen er bygget, herunder hvordan printet er fremstillet, og hvordan monteringen er foregået. Formålet med at bygge strømforsyningen er at finde ud af, om dimensioneringen har været god nok, samt at se hvor tæt modelleringen stemmer overens med det praktiske.

H.1 Beskrivelse af opbygningen

H.1.1 Printet

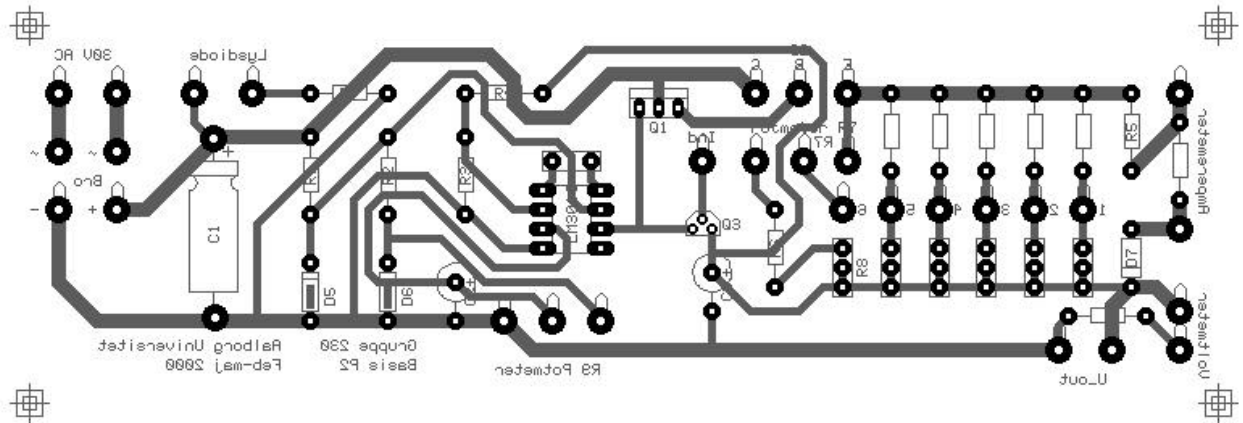
Ud fra diagrammet på figur C.2 er printet tegnet manuelt i et program, kaldet "Boardmaker". Printet er forsøgt opbygget enkelt, og således at komponenterne er placeret nogenlunde de samme steder som på diagrammet, det gør det nemmere at fejlfinde, hvis det skulle være aktuelt. Printet ses på figur H.1.

På printet er noget af teksten spejlvendt, det er den tekst der vil stå på selve printet. Den anden tekst er til hjælp når komponenterne isættes.

H.2 Samling

Først loddes de små komponenter på printet. Aluminiumspladerne bukkes, således der kan monteres knapper o.l. og skrues derefter fast på træpladen. Derefter monteres printet og kølepladen på træpladen. Nu kan der så trækkes ledninger fra printet til de komponenter, der ikke sidder på printet, hvilke er:

- De to potentiometre
- Drejekontakt på 6 trin



Figur H.1: *Printudlæg i forholdet 1:1.*

- Lysdiode
- Afbryder
- De to udtag
- Voltmeter og Amperemeter
- Transistoren: 2N5686
- Kondensatoren: $8m2F$

Disse komponenter på nær de to sidste sidder på aluminiumspladen, så disse kan betjenes fra denne. Transistoren sidder på kølepladen, og kondensatoren sidder på træpladen. Komponentlisten i afsnit H.3 viser en komplet liste over de brugte komponenter.

H.3 Komponentliste

R1:	120R
R10-R14:	220R
R6:	820R
R20:	1K8
R2:	3K3
R3,R4:	5K6
R5:	R10, 3W
R7:	1K Potentiometer
R9:	68K Potentiometer
R8:	470R Trimpotentiometer
R15-R19:	680R Trimpotmeter
C4:	30pF
C2:	22 μ F
C3:	47 μ F
C1:	8m2F
Diodebro:	KBU8M
D7:	P600
D6:	15V zener, 500mW
D5:	36V zener, 500mW
D8:	Grøn LED
Q3:	BC547B
Q1:	2N3053
Q2:	2N5686
Op-amp:	LM301A
Voltmeter:	0-30V analog
Amperemeter:	0-5A analog
Sikring	5A
Printspyd	26 stk.
Udtag	2stk.
Sikringsholder	
Ledningsaffaster	
Omskifterkontakt	6 trin
Printet	
Køleplade	1,5°C/W
Ledning	
Aluminiumsplade	
Træplade til montering	