

# "Robustness van microcontroller schakelingen met een toepassing in telescoop aandrijving

Eerste ervaringen bij het ontwerpen van een schakeling voor gebruik door anderen.

EMSE, 15 oktober 2013

# Onderwerpen:

- Veranderingen bij het ontwerpen voor anderen
- Stappenmotordriver tbv aandrijving telescoop ter compensatie aardrotatie
- Koepelaansturing: koepel van telescoop kan middels electromotor verdraaid worden. Handbediening (linksom, stop, rechtsom) uitbreiden met op PC commando verdraaien tot opgegeven aantal graden azimuth.
- Synchrone enkeldraads seriële uitgang tbv debuggen low-end, low-pincount microcontrollers
- Van het lab naar het veld: Microcontroller werkt op het lab, wat is nodig om daarbuiten betrouwbaar te blijven werken? (onder voorbehoud)
- Conclusie
- Demonstratie
- Vragen

# Ontwerpen voor anderen

Als je hobbymatig electronica ontwerpt

## Situatie van voor dit project:

- Schakeling worden alleen door jezelf gebruikt
- Schakeling wordt in “huiskamer”-omstandigheden gebruikt.
- Betrouwbaarheid geen ontwerpeis
- Onderhoud/reparatie doe je zelf
- Schakelingen blijven in ontwikkelingsstadium
- Inbouwen stel je uit tot later
- Altijd toegang tot je schakeling
- Documentatie in je hoofd of in klad

## Schakeling tbv sterrenwacht

- Schakeling worden meestal door anderen gebruikt
- Wordt in onverwarmde ruimte gebruikt, kans op condens
- Moet in hoge mate betrouwbaar werken
- Moet onderhouden/gerepareerd kunnen worden door anderen
- Moet uitontwikkeld zijn
- Moet veilig ingebouwd zijn
- Is alleen toegankelijk indien ander erbij is en je toegang verschaft
- Documentatie voor iedereen leesbaar

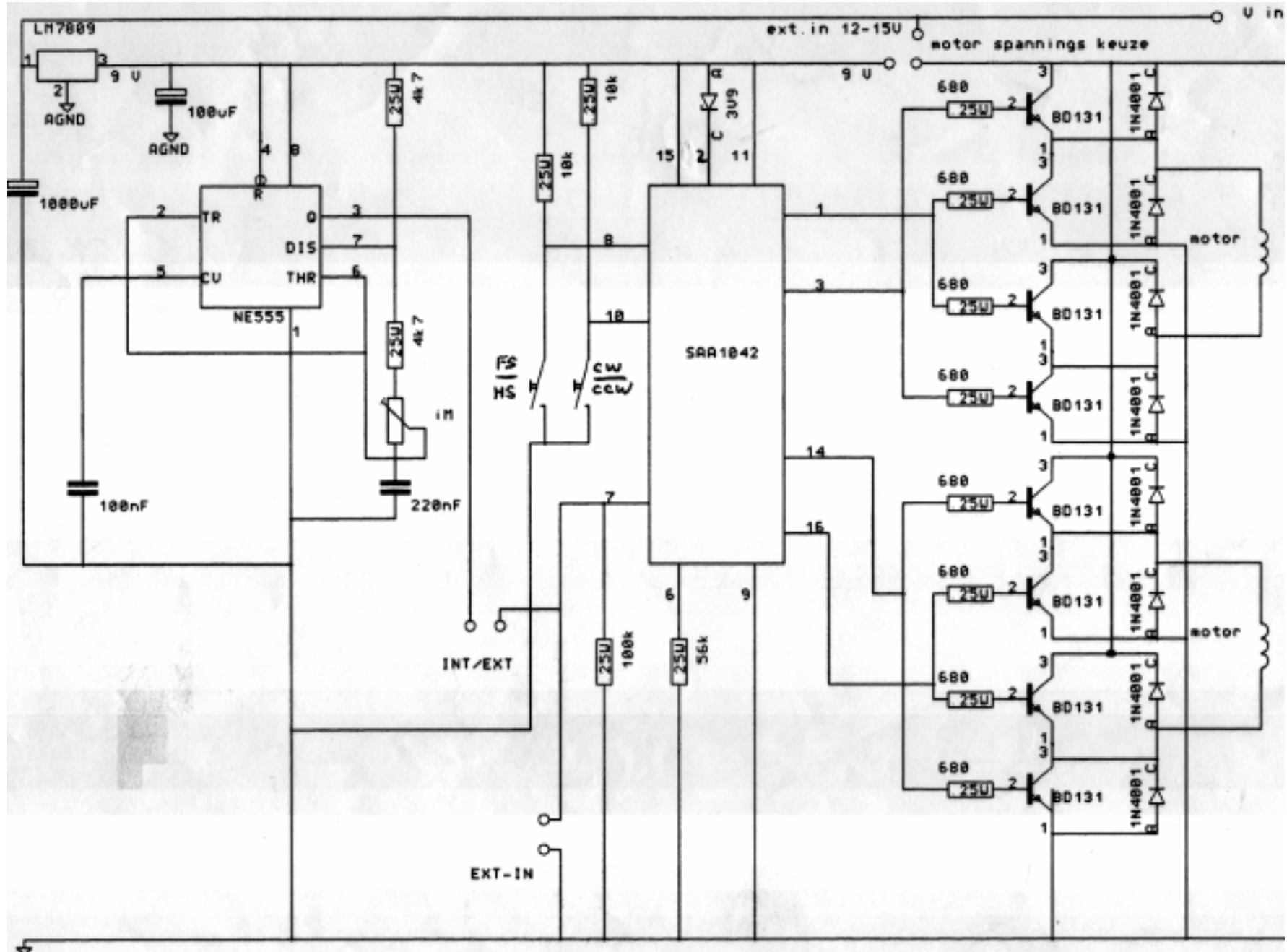
# Geschiedenis sterrenwacht Eindhoven

- 1938 door Philips aan stad Eindhoven geschonken
- Telescoopbuis 3.2 meter lang x 0.5m diameter, 1800 kg vloerbelasting
- Moet om aardrotatie te compenseren om 1 as aangedreven worden
- Tempo 1 omwenteling in 23 uur 56 minuten = “siderische snelheid”
- Tijdgever is slinger met elektromagnetische ondersteuning
- 2 ”Naaimachine” motoren voor aandrijving (1/8 pk 110V, koolborstels)
- 1 ervan dient voor “correctie” als ster niet gecentreerd,
- de ander constant toerental
- Differentieel+2 traps wormvertraging geeft factor 64000 reductie
- PLL systeem houdt toerental 1 elektromotor synchroon met slinger
- Instellen vergt zwarte magie, contacten slinger branden in (schakelen 110V DC)
- 1980 ombouw naar stappenmotor resp 12V DC motor+worm voor correctie
- 1x schakelvoeding + 3x trafo (50Hz signaal, stappenmotor, DC motor, 35V relais 4x om) PLL, kristal, dipswitches tbv toerentalkeuze, netfrequentie als backup beschikbaar
- Aanpassing nodig: flexible koppeling ingebouwd ivm stappenmotoras krom
- Heeft jarenlang gewerkt

# Zand tussen de raderen

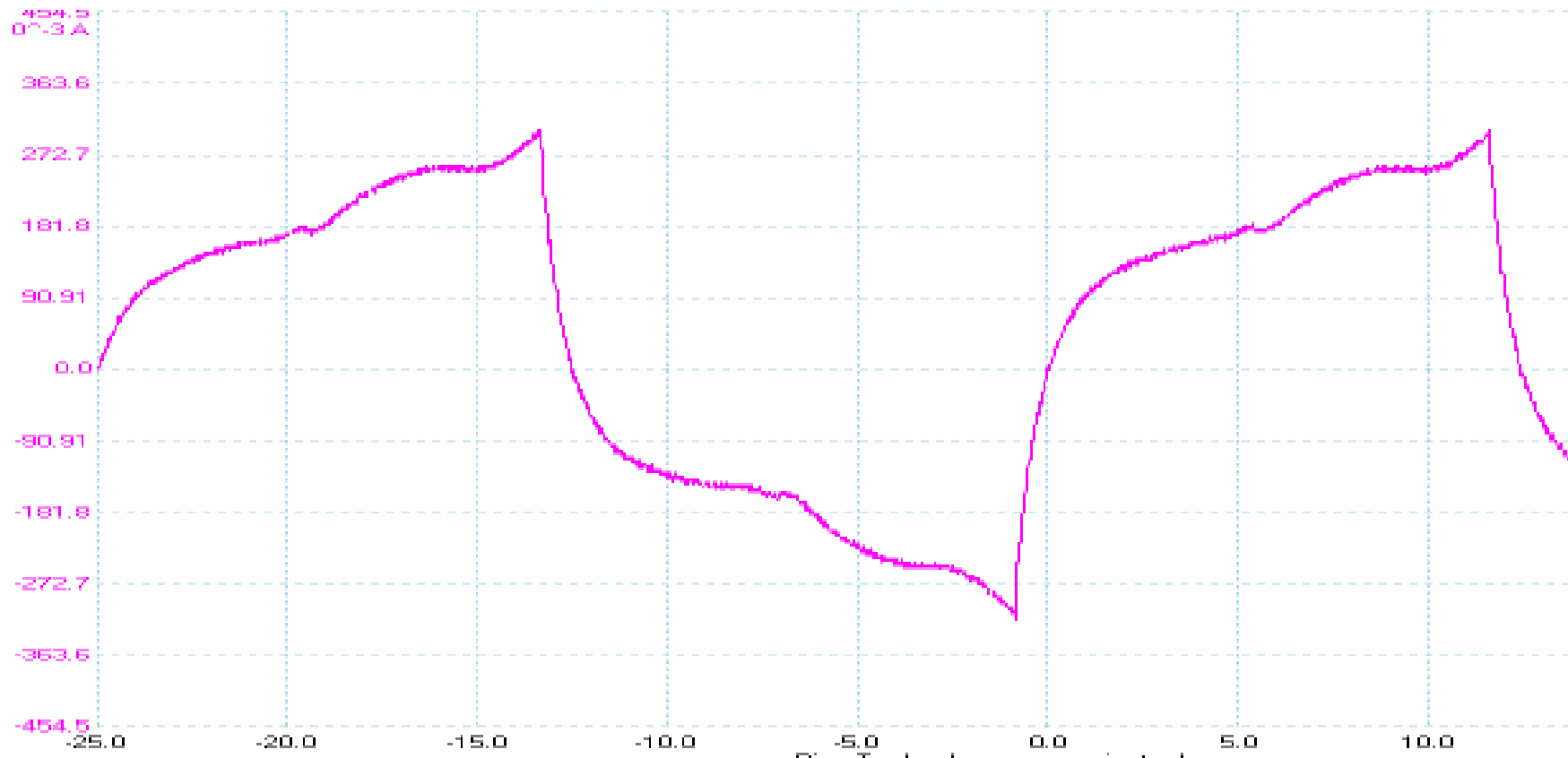
- Aandrijving telescoop stond af en toe stil
- Telescoop in onbalans?
- Meer wrijving door dikkere olie tgv kou?
- Storing electronica?
- Stappenmotor wordt niet warm
- Af en toe vreemd motorgeluid (sweep omhoog) voorafgaand storing
- Vliegwiel om motoras met diameter 4cm tussen duim+vinger tegen te houden
- Wordt motor wel tot maximum aangestuurd?
- Hoeveel stroom te verwachten gezien het schema?
- Stroom door windingen meten

# Schema motordriver oude electronica



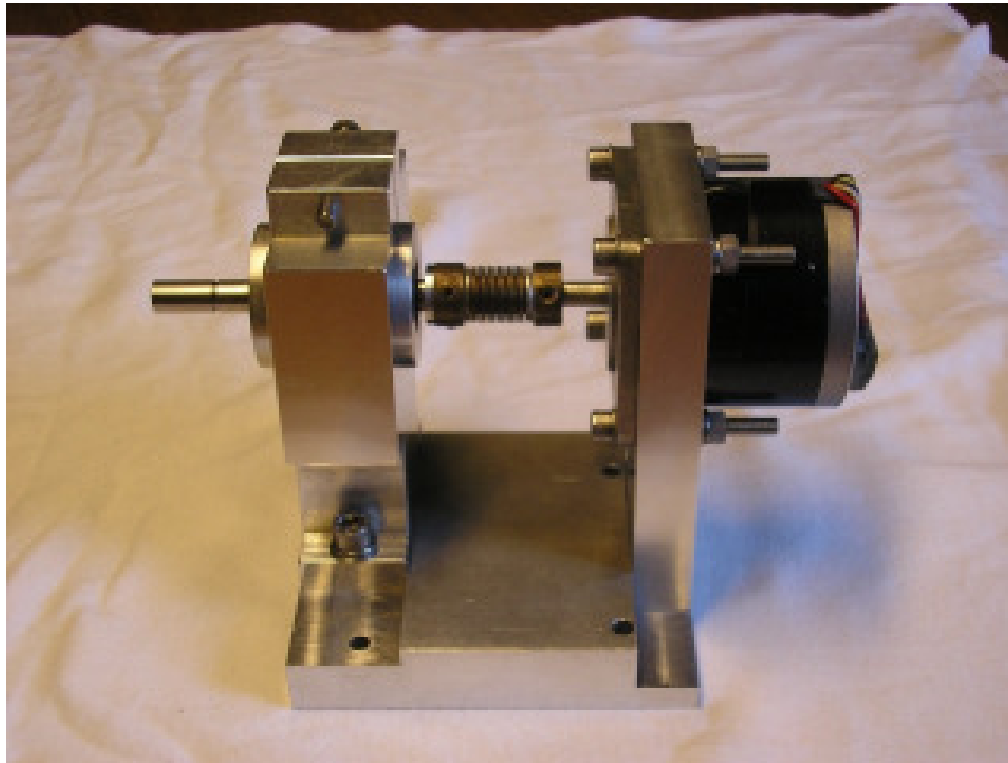
## Bepalen stappenmotorstroom

- Opschrift stappenmotor 5.1V 1.1A, unipolair aangesloten
- Uit schema blijkt dat motorspanning stuk lager dan voedingsspanning tgv basisweerstand en 2x basis-emitter spanningsval
- Voedingsspanning op print maar 9V?
- Motorstroom met scope gemeten, piek 300, gemiddeld 185mA
- Twee windingen in serie aangesloten, dus tov 1.1A gemiddeld 0.37 A



## Stappenmotor sterk genoeg indien optimaal aangestuurd?

- Thuis simulatie om gevoel te krijgen hoe sterk opgegeven koppel is
- Berekening benodigde vermogen indien alle mechanica wrijvingsloos
- Motor moet sterk genoeg zijn, maar aansturen met meer stroom





# Nieuwe electronica ontwerpen

- Ontwerpprobleem: ca 15 vrijwilligers gebruiken paar keer jaar installatie, dus liefst geen wijzigingen aan bediening!
- In situ testen lastig, sleutel vragen, begeleider nodig, koud, geen meetapparatuur ter plaatse.
- Gelukkig reserve stappenmotor beschikbaar identiek motor in werking
- Eerste idee: zo veel mogelijk elektronica hergebruiken:
- 12V voeding, bekabeling, kast, aansturing handbedieningskastje
- Motordriver maken met 12V ingang,
- moet stappenmotor maximum stroom kunnen leveren, microstepping, langzaam aanlopen,
- twee snelheden, kristalgestuurd, nauwkeuriger dan eerst.
- Enige ingang is logisch signaal om te kiezen uit sterren- of maanvolgsnelheid
- Driver IC gevonden, SPI ingang, stroom per fase instelbaar in 63 stappen+polariteit,
- PWM, max 1.5A / fase, max 50V ingang. DIL behuizing, bipolair
- vergt alleen paar weerstanden en condensatoren!
- Stepup converter nodig om van 12V ingang 24V te maken
- Opgebouwd op gaatjeprint, slooponderdelen, mosfet wordt erg heet!
- Gatedriver aangepast-> Werkt
- Rendement meten, belasting nodig met stroominstelling, eerst maken
- Slooponderdelen TV monitor gebruikt, potmeter, BC549, weerstand, Mosfet op koelvin

# Dual DMOS Full-Bridge Microstepping PWM Motor Driver

---

## Features and Benefits

- $\pm 1.5$  A, 50 V Continuous Output Rating
- Low  $R_{DS(on)}$  DMOS Output Drivers
- Optimized Microstepping via 6-Bit Linear DACs
- Programmable Mixed, Fast, and Slow Current-Decay Modes
- 4 MHz Internal Oscillator for Digital Timing
- Serial-Interface Controls Chip Functions
- Synchronous Rectification for Low Power Dissipation
- Internal UVLO and Thermal Shutdown Circuitry
- Crossover-Current Protection
- Precision 2 V Reference
- Inputs Compatible with 3.3 or 5 V Control Signals
- Sleep and Idle Modes

**Package: 24-pin DIP with 4 fused leads (suffix B)**



*Not to scale*

## Description

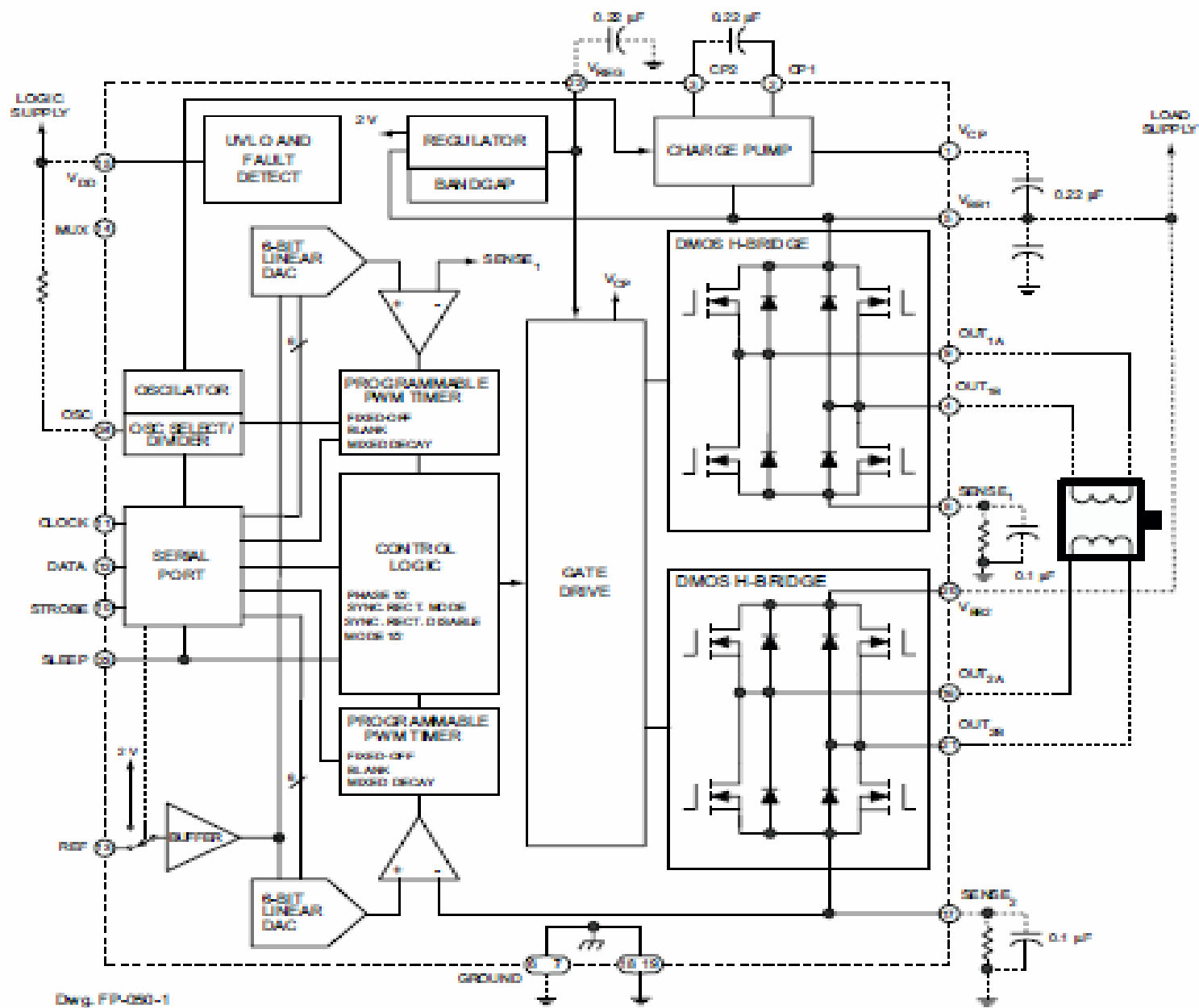
Designed for pulse-width modulated (PWM) current control of bipolar microstepping stepper motors, the A3972 is capable of continuous output currents to  $\pm 1.5$  A and operating voltages to 50 V. Internal fixed off-time PWM current-control timing circuitry can be programmed via a serial interface to operate in slow, fast, and mixed current-decay modes.

The desired load-current level is set via the serial port with two 6-bit linear DACs in conjunction with a reference voltage. The six bits of control allow maximum flexibility in torque control for a variety of step methods, from microstepping to full-step drive. Load current is set in 1.56% increments of the maximum value.

Synchronous rectification circuitry allows the load current to flow through the low  $R_{DS(on)}$  of the DMOS output driver during the current decay. This feature will eliminate the need for external clamp diodes in most applications, saving cost and external component count, while minimizing power dissipation.

Internal circuit protection includes thermal shutdown with hysteresis, transient-suppression diodes, and crossover-current protection. Special power-up sequencing is not required.

The A3972SB is supplied in a 24-pin plastic DIP with two barwing power tabs (suffix 'B'). The power tabs are at ground potential and need no electrical isolation. The device is lead (Pb) free with 100% matte tin leadframe plating.



# Meer ontwerp

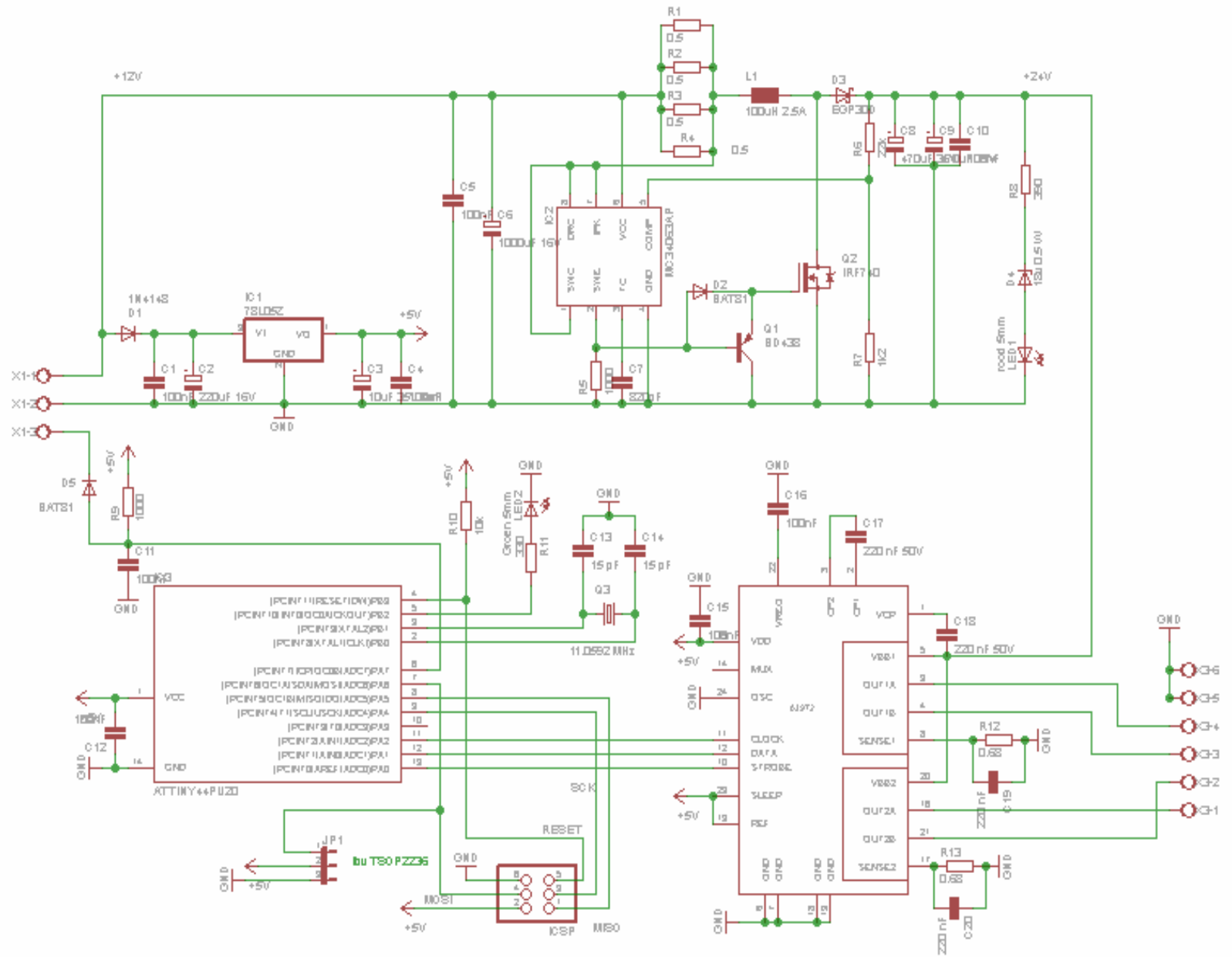
- ATtiny 8 bit processor als controller, maar handjevol digitale I/O nodig
- Kristal + deeltal zoeken om stappenmotorfrequentie zo dicht mogelijk te benaderen
- Vergt 9 ipv 8 microstappen/stap, 11.0592 MHz, dan 3ppm afwijking :-)
- Interrupt routine snel genoeg? Ja, maar alleen optellen, aftellen en schuiven :-)
- Langzaam aanlopen programmeerbaar?
- Hoe snelheid lineair laten stijgen met alleen instelbare deler?
- Berekening deeltal middels delen duurt te lang!
- Prescaler van processor maar beperkt aantal keuzes, deler maar 16 bits...
- Tijdrovend rekenen in hoofdroutine doen
- Simulatie rekenroutine op PC met Python

# Nog meer ontwerp

- Hoe software testen, moet commandos naar processor kunnen sturen, maar paar pennen ongebruikt?
- RC5 afstandbediening, maar 1 ingang nodig, galvanische scheiding
- Tweede interrupt routine op 9600 Hz:
  - bemonsteren IR sensor,
  - zet niveau en tijdsduur tussen twee veranderingen in ringbuffer
  - laat knipperende statusled aangeven maan of sterrensnelheid
  - kan seriële uitgang verzorgen ( processor heeft geen UART!)
- Hoofdroutine laat periodiek ringbuffer decoderen
- Code zo aangepast dat stappenmotor tot 4500 rpm aangestuurd kan worden, normaal: 48 rpm
- Nog steeds maar in 1 draairichting.

# Print ontwerpen

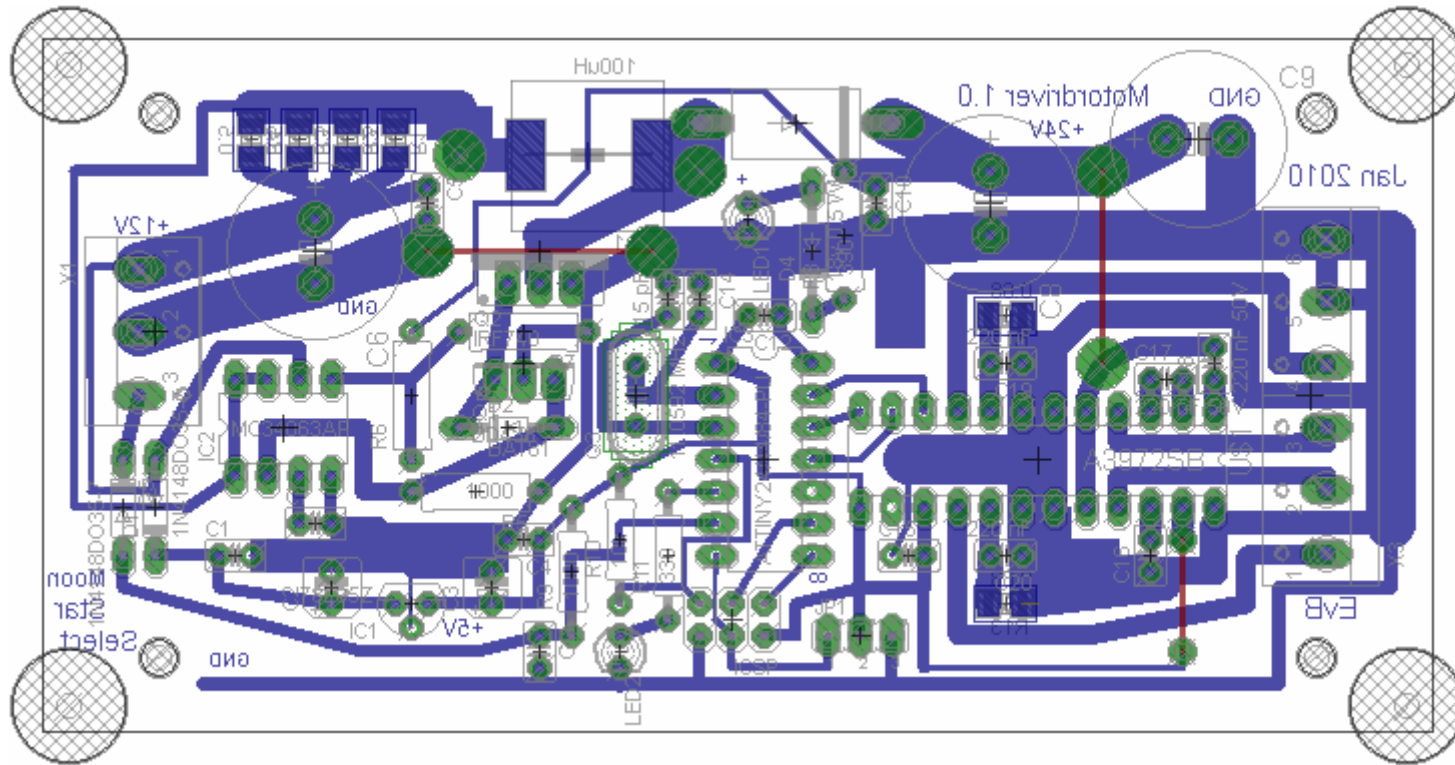
- EAGLE downloaden en leren gebruiken
- Motordriver IC zit niet in bibliotheek, leren hoe component aan bibliotheek toevoegen
- Kastje zoeken, afmetingen print aanpassen aan kastje.
- Enkelzijdige print met paar draadbruggen, automatisch berekende sporen handmatig optimaliseren.
- IC-voeten wel gemakkelijk maar te grote kans op slecht contact, is dodelijk voor driver-IC, dus alleen processor in voetje



# Hoe print maken?

- Toner-transfer procede lijkt wel geschikt.
- Na diverse pogingen hoop op succes opgegeven.
- Klassieke manier: transparant maken, print belichten en etsen.
- Lijnen op transparant niet erg zwart
- Gezichtbruiner als UV lichtbron, fotogevoelig printmateriaal inkopen
- Zoutzuur+waterstofperoxide als etsmiddel.
- Paar pogingen nodig, dunne sporen onderetst, op tientallen plaatsen draad overheen gesoldeerd.
- Ontwerpfout bij condensatoren naar kristal
- Componentenopdruk zou handig zijn...
- Transparante folie voorzien van opdruk, CNC snijmachine tbv gaten voor onderdelen
- Alle zware onderdelen vastgelijmd met 2 componenten epoxylijm





Print motordriver

# Inbouw in sterrenwacht.

- Besturingkast voorzien van extra connector tbv
  - 12V voedingsspanning uitgang
  - uitgang met signaal maan/sterren
- Werkt een paar weken en dan...
- Publiek op sterrenwacht, aandrijving laat het weer afweten...
- Relais van oude electronica maken geen goed contact meer, plastic is vervormd nabij contacttongen
- Dan maar alle electronica uit die kast vervangen.



- Twee drukknoppen en twee leds tbv keuze/weergave stand sterren of stand maan
- Na inschakelen altijd stand sterren
- Potmeter die draairichting en snelheid van DC vertragingmotor bepaalt
- Middenstand (zie foto) geeft stilstand correctie motor
- Verbonden via 15 aderige kabel/sub-D connector met hoofdkast etage lager

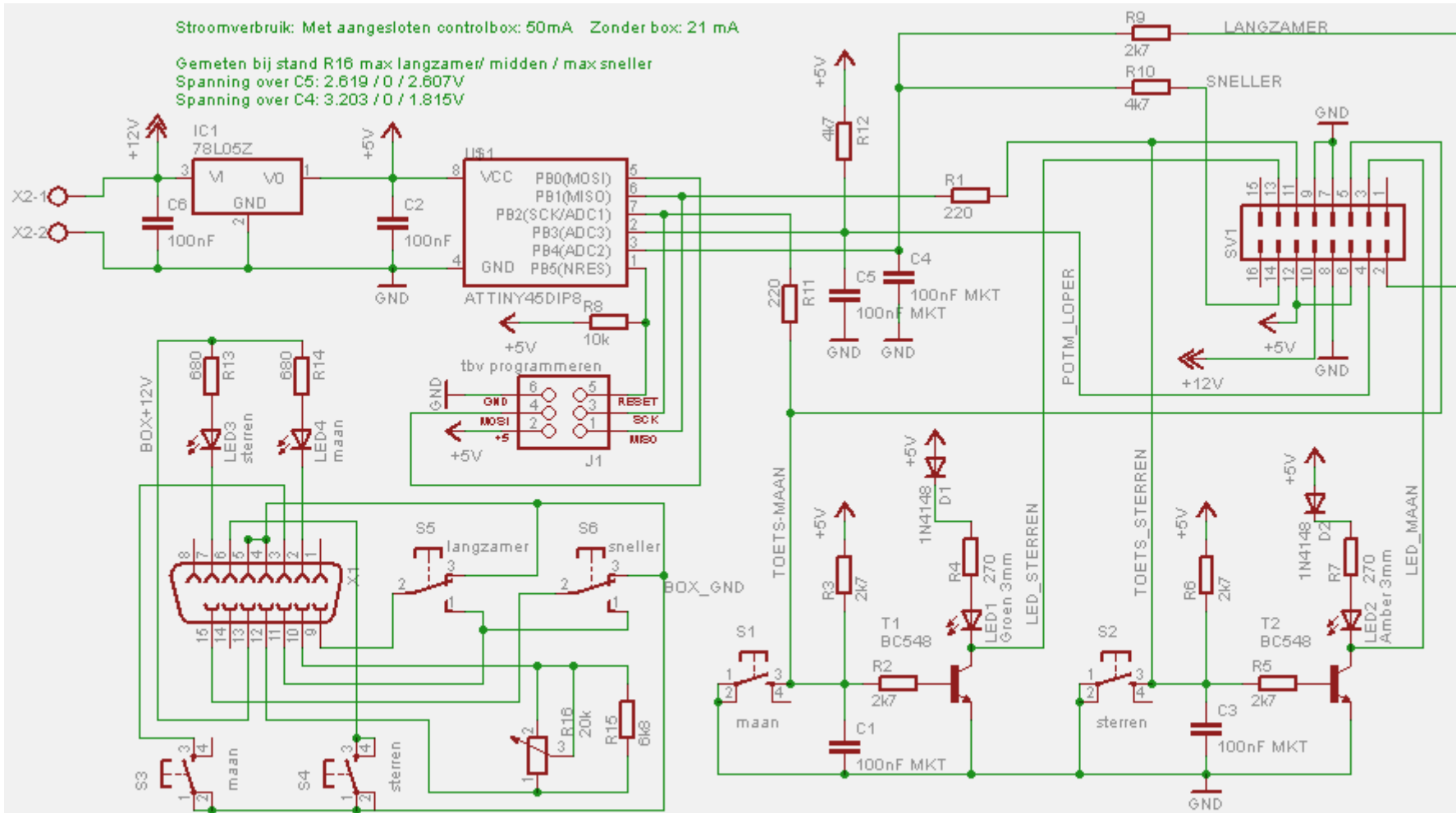
Handbedieningskastje

# Ontwerp uitlezen handbediening

- AtTiny13 was beschikbaar, 8 pennen, vergt creatief ontwerp anders meer pennen nodig
- RC oscillator gebruiken ivm benodigde pennen
- Reset pin onbruikbaar anders niet programmeerbaar met beschikbare programmer
- Twee drukknoppen en twee leds uitlezen/aansturen met maar 2 pennen door afwisselend in/uitgang
- Twee schakelaars uitlezen met 1 analoge ingang
- 1 potmeter inlezen met analoge ingang.
- 1 uitgang stuurt gesimuleerd RC5 afstandsbedieningssignaal
- Potmeter voorzien van shuntweerstand, combinatie daarvan heeft pullup
- Met rekenwerk weerstandwaarde potmeter achterhalen
- Alle digitale ingangen ongevoelig voor signalen sneller dan mensenhand kan opwekken
- 50Hz brom uitmiddelen van potmeter
- Zo vaak mogelijk status doorsturen om storing op seriële verbinding in tijd te beperken
- Storing op SPI bus in tijd beperken door zo vaak mogelijk herladen van registers driver IC
- Motordriver programmeren om zowel linksom als rechtsom kunnen draaien, toerental via seriële verbinding instelbaar
- 12V schakelvoeding gemaakt door ombouw/reparatie defecte adapter HP printer
  - (van 5V geregeld naar 12V geregeld)
- Bedieningskastje blijft in sterrenwacht, kopie nagebouwd tbv testen prototype.
- Tweede print motordriver via medelid sterrenwacht, zelf geboord en opgebouwd.
- Inbouw in satellietontvanger kastje kringloop, oude electronica nog steeds als backup bruikbaar

Stroomverbruik: Met aangesloten controlbox: 50mA Zonder box: 21 mA

Gemeten bij stand R16 max langzamer/ midden / max sneller  
 Spanning over C5: 2.619 / 0 / 2.607V  
 Spanning over C4: 3.203 / 0 / 1.815V



Controlbox

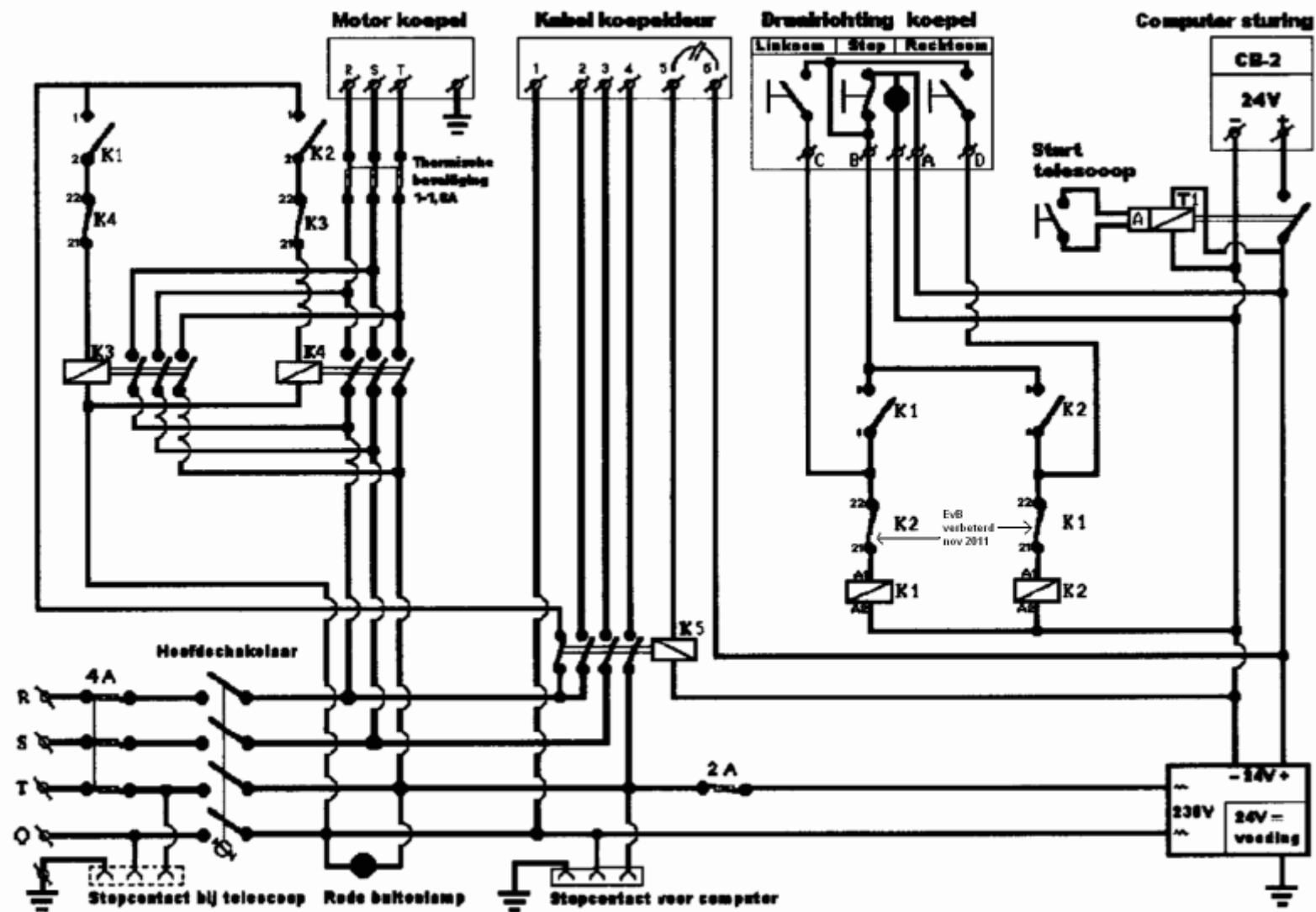
R16 is nul ohm in de middenstand, naar beide eindstanden stijgt dit lineair naar 20k  
 R16 is mechanisch gekoppeld aan S5 en S6, in de middenstand zijn S5 en S6 onbediend  
 Uit het midden is of S5 of S6 bediend, afhankelijk van de helft waar de looper staat

## Ter afsluiting

- Laatste ontwikkeling: frequentiesynthese middels fase-accumulator
- Tegenwoordig 32bits ARM processor beschikbaar voor dit soort werk.
- Op de markt beschikbare stappenmotordriver overwegen? Pololu?
- nog te doen: differentieel vervangen door tandriemvertraging 1:2

## Huidige situatie

- Koepel diam. 4m kan met driefasen vertragingsmotor gedraaid worden
- Niet erg snel: 1 x rond duurt 2 minuten
- Binnenkant koepel van vertanding voorzien middels vastgelaste ketting
- Aangedreven kettingwiel wordt met veerkracht tegen ketting geduwd
- Handbediening met drie drukknoppen, Links, Stop, Rechts:
  - Drukknop **Links** start motor linksom, blijft lopen tot **Stop** ingedrukt wordt
  - Drukknop **Rechts** start motor rechtsom, blijft lopen tot **Stop** ingedrukt wordt
- 2 x 24VDC relais tbv geheugenfunctie
- 2 x 3 fasen 380V relais schakelen motorwindingen





# Hoe koepelpositie meten?

- Magnetisme gebruiken ivm betrouwbaarheid, vuilbestendigheid
- Tand van kettingwiel gebruiken om magneetveld te onderbreken
- Supersterke magneet uit oude harde schijf gebruikt
- 2x Hall-sensor geven kwadratuur uitgang (ca 15Hz)
- Nulpositie wordt gemeten met 10cm lang stuk blik als vaan
- Onderbreekt magneetveld naar Reed-contact
- Risico handbeklemming tussen vaan en sensor
- Opgelost doordat sensor kan wegklappen

# Probleempunten

- Koepel draait nog paar cm door na uitschakelen motor
- Koepel heeft ca 1 sec nodig om op snelheid te komen
- Handbediening moet ook nog werken als electronica uitvalt (koepel kan alleen met motor verdraaid worden)
- Schakelkast staat in onverwarmde goed geventileerde ruimte
- Soms zo koud dat condensvorming op kan treden
- Netspanning wordt afgeschakeld bij afwezigheid
- Op locatie testen erg omslachtig ivm reistijd
- Na druk op stoptoets moet motor stoppen en commando afgebroken worden

# Ontwerp

- Koepel heeft twee posities waar hij vaak ingezet moet worden:
- 1x daags parkeerstand (HOME) bij verlaten gebouw
- 2x daags kabelaanluitstand (KABEL) ivm kabel luikmotor
- Hoe zijn huidige knoppen uit te breiden met functie naar een van beide standen gaan en dan stoppen?
  
- Oplossing: Altijd koepel laten stoppen bij bereiken een van beide standen
- 2 x indrukken zelfde richtingsknop resulteert in stoppen bij 2e bereikte stand
- 3 x indrukken zelfde richtingsknop resulteert in koepel helemaal rond (gebruik stopknop)
  
- indrukken richtingsknop tegengesteld aan huidige beweging stopt koepel na loslaten knop

## Meer ontwerp

- Arduino-pro-mini (ATmega328 5V 16MHz)
- Hoe periodieke interrupt opwekken?
- Andermans code werkte niet
- Digitale pin 50% PWM laten opwekken @490 Hz
- Zelfde pin werkt op iedere flank een interrupt op
- Pin onaangesloten laten
- Reed sensor en Hall sensoren ontdenderen ivm torsie kettingwielas
- Beide flanken van HOME sensor benutten
- Per motorstop bijhouden hoelang motor uitloopt
- Zoveel mogelijk doel proberen te bereiken met maar 1 motorstart:
  - Korte verplaatsing vergt 2 motorstarts: langere verplaatsing en dan weer terugdraaien
  - Pas Home zoeken indien gebruiker commando geeft
  - Als na inschakelen koepel in HOME gebied is, ZONDER stoppen naar doel draaien

## Details electronica

- Optocoupler met mosfetuitgang gebruiken tussen CPU en 24V relais
- 24VDC ingangen via normale optocouplers inlezen
- Levensduur led optocoupler stopknop een probleem?
- Probleem condensvorming:
  - Electronica voorzien van verwarmingselement?
  - Electronica ingieten?
  - Hoe is bescherming bestaande electronica in koepel gerealiseerd?
- Hoe testen? Thuis met simulator voor koepelgedeelte

# Simulator voor bestaande koepelaandrijving en sensors

- Arduino duemillanova gebruikt (ATmega328 16MHz)
- Twee digitale ingangen voor richtingen en aan/uit motor
- Twee uitgangen quadratuursignaal encoder
- Een uitgang HOME positie sensor
- Motorsnelheid accelereert met vaste  $dv/dt$
- Gesimuleerde positie via seriële poort in te stellen
- Drie keer per seconde statusregel via seriële uitgang

# Synchrone simplex seriële verbinding

- Gemaakt om low-end low-pincount AtTiny controllers te helpen debuggen
- RC-clock ervan vaak niet erg precies
- Te veel parameters in controller bepalen uiteindelijk de baudrate
- Niet alle ATtiny's hebben UART
- Soms bepalen van CPU-clock al uitdaging
- Maar 1 pin gebruiken voor verbinding (plus massa), liefst elke pin bruikbaar
- Gebruik maken van feit dat I/O pin drie toestanden kan hebben:
  - Hoog, Floating(input) en Laag.
- Logische 1 versturen door Floating, Hoog, Floating reeks
- Logische 0 versturen door Floating, Laag, Floating reeks
- 9 clocks nodig voor elk byte, startbit 1 nodig per byte
- 9 achtereenvolgende verstuurde nullen synchroniseren ontvanger

# Eigenschappen

- Met jumper te gebruiken icm 3.3V of 5V voedingsspanning van processor
- Vergt USB ingang in PC
- 1 megabit/seconde doorvoer gehaald
- Elke I/O van processor bruikbaar die van in- naar uitgang schakelbaar is
- ca 20 regels C-code nodig in processor, soms paar nop's nodig bij te snelle processor
- geen UART nodig in processor
- Kloksnelheid van processor onbelangrijk, mag continue veranderen
- Geen baudrate-instelling nodig
- Nadeel: voordat gesynchroniseerd is kunnen wat random bytes ontvangen worden



# Ontwerp

- Extern pin op halve voeding houden middels twee weerstanden (afkeurenswaardige methode, hierdoor gaat een ingang het stroomverbruik van de processor nodeloos verhogen)
- Snelle comparator vergelijkt spanning met grenzen op  $1/3$  en  $2/3$  voedingsspanning
- Uitgangen comparator naar S/R flipflop voor bepalen welk databit ontvangen
- 9 bits schuifregister gemaakt met HC595 en  $1/2$  HEF4013
- De eerste 1 die negende positie bereikt wekt strobepulse op
- Klokt byte in 8 bits brede ingangsregister van FTDI FT245
- Fractie van microseconde later wordt schuifregister gewist
- RC delay gemaakt met ingangscapaciteit logische poort en serieweerstand
- Nog doen: voeding met mosfet uitschakelen als USB naar sleep gaat
- Drama om smd FT245 met hand via “dead bug” techniek te bedraden

