



# Super-servo-tester

voor vier servo's – stand-alone of in-system



*Figuur 1. De quadcopter waarvoor de super-servotester is ontworpen.*

Olivier Croiset (Frankrijk)

Ik heb de hier gepresenteerde super-servotester ontwikkeld omdat de drone waar ik aan werk tijdens testvluchten soms een onaangename geur van gebraden elektronica en verschroeiide koperlak verspreidt. Ik had een tester nodig om het probleem te lokaliseren en me te helpen begrijpen wat er aan de hand was.

Op internet zijn veel servotesters te vinden waarmee een enkele servo getest kan worden. Daarmee kun je controleren of de servo die je net hebt gekocht goed werkt. De hier voorgestelde tester gaat een paar stapjes verder. Je kunt er niet alleen tot vier servo's tegelijk mee testen, maar ook de Electronic Speed Control-eenheid (ESC) of flight controller samen met servo's in diverse configuraties.

De drone waarvoor ik de super-servotester nodig had, is afgebeeld in **figuur 1**. Hij is gebaseerd op [1].

## Servosignalen voor beginners

Ter herinnering: een servo wordt aangestuurd door een PWM-sigitaal met een frequentie (of pulsherhalingsfrequentie, PRR) van 50 Hz. De breedte van de puls (de

tijd dat het signaal hoog is) moet tussen één en twee milliseconden liggen, de rest van de tijd is het signaal laag. De servo staat in zijn middenpositie als de puls 1,5 ms duurt. Als de puls korter is, draait de servo in de ene richting (bijvoorbeeld linksom); als hij langer is, draait hij in de andere richting (bijvoorbeeld rechtsom). In een typisch (vliegend) systeem moeten vijf parameters worden gecontroleerd: de duur van de vier servo-commandopulsen (aandrijving, roll, pitch en yaw) en de voedingsspanning. In het geval van een complex ontwerp, bijvoorbeeld de ontwikkeling van een flight controller (van een drone of een ander RC-model) of wat voor een pulsmixer dan ook kan met deze tester het resultaat van de mixer worden bekeken.

Merk op dat in het vervolg van dit artikel de term 'servo' kan worden vervangen door ESC of elk ander apparaat dat servosignalen produceert en/of herkent.

## Functies en mogelijkheden

De super-servotester (SST) meet de duur van de stuurpulsen van maximaal vier servosignalen en geeft informatie over de kwaliteit van de voeding. Hij kan tussen de ontvanger van de afstandsbediening en de servo's worden geplaatst, tussen de ontvanger en de flight controller van de drone, of tussen de flight controller en de servo's. De **figuren 2 tot en met 6** tonen de mogelijke configuraties.

## Bedieningsmodi

De SST heeft twee bedrijfsmodi die met een (schuif) schakelaar gekozen kunnen worden:

- > **manual:** in deze modus genereert de SST de pulsen voor vier servo's of voor de flight controller. De breedte van de pulsen wordt bepaald met vier potentiometers. In deze modus is het de SST die de servo's (of de ESC) van stroom voorziet en mag de voeding van het model op geen enkele servo aangesloten zijn. De voedingsspanning van de SST moet tussen 7,5 VDC en 12 VDC liggen.
- > **inputs:** in deze modus wordt de lengte gemeten van de pulsen die van de ontvanger of controller komen. De signalen worden ook doorgestuurd naar de uitgangen van de SST om de servo's (of de flight controller) aan te sturen. In deze modus worden de SST en de servo's (of ESC's) gevoed door de voeding van het model. Die mag niet hoger zijn dan 7,49 V en de SST mag niet op zijn eigen voeding worden aangesloten. Ook moeten alle vier de ingangskanalen aangesloten zijn, anders geven de LED en de zoemer van de SST een foutmelding.

## Displaymodi

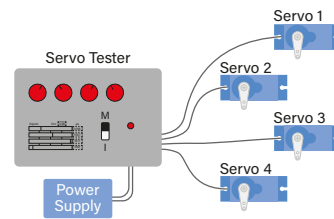
Het display geeft de duur van de pulsen grafisch weer in vier staafdiagrammen, samen met de numerieke waarde in microseconden (van 1000  $\mu$ s tot 2000  $\mu$ s). De staafdiagrammen beperken zich tot het bereik van 1000...2000  $\mu$ s, maar de numerieke waarden niet. Wanneer een waarde buiten de grenzen valt, wordt om die waarde een kader getekend. In dat geval gaat ook de LED branden en zal de zoemer piepen als die is ingeschakeld.

Het display toont ook de waarde van de voedingsspanning van de servo's in beide bedrijfsmodi (*manual* of *inputs*). De kwaliteit van de voeding van het model is namelijk belangrijk voor de flight controller en voor de veiligheid van de piloot en de mensen die zijn/haar vliegkunsten bewonderen. De gemeten voedingsspanning wordt omkaderd wanneer die lager is dan 4,5 V. De LED zal ook oplichten en de zoemer zal piepen, zodat je niet de hele tijd naar de tester hoeft te kijken.

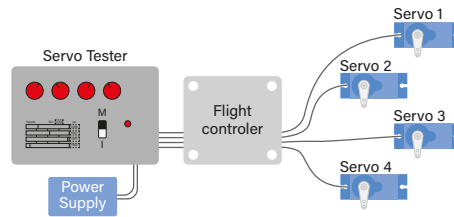
De SST heeft twee weergavemodi, *stack* en *square* (zie **figuur 7**). De tweede modus is beter geschikt voor een quadcopter. De stand van potentiometer P4 bij het inschakelen bepaalt de displaymodus. Als P4 helemaal naar links is gedraaid voor het inschakelen, gebruikt de SST het *stack*-display. Door potentiometer P4 voor het inschakelen naar rechts te draaien, wordt het *square*-display geselecteerd wanneer de tester wordt ingeschakeld.

## De schakeling

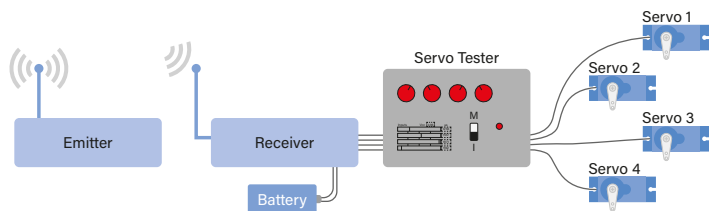
Nu we weten hoe we de tester moeten gebruiken, werpen we eens een blik op de schakeling. Deze is getekend in



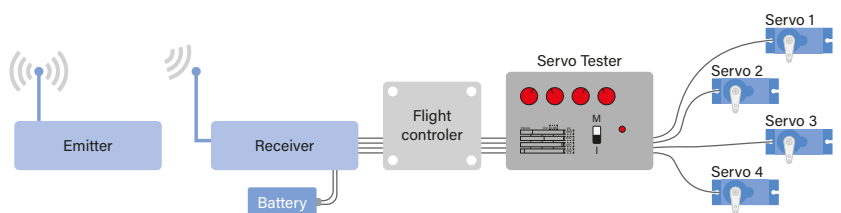
Figuur 2. Configuratie 1 – eenvoudige test van vier servo's (manual modus), maakt het mogelijk vier servo's tegelijk te testen. De servo's worden gevoed door de tester en aangestuurd via de potentiometers.



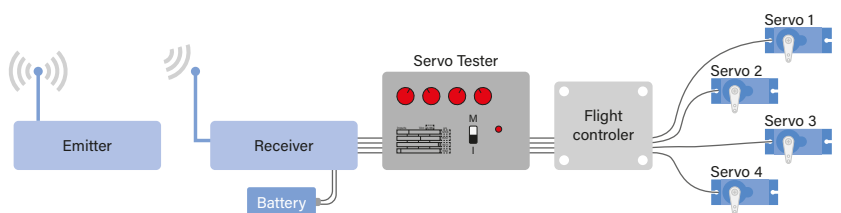
Figuur 3. Configuratie 2 – flight controller-test (manual modus), maakt het mogelijk de flight controller (van een drone) te testen zonder zender of ontvanger. De servo's en de flight controller worden gevoed door de tester en aangestuurd via de potentiometers.



Figuur 4. Configuratie 3 – test van de zender en de ontvanger (inputs modus) om de zender en de ontvanger te controleren. De tester, servo's en flight controller worden gevoed door de batterij van de ontvanger.

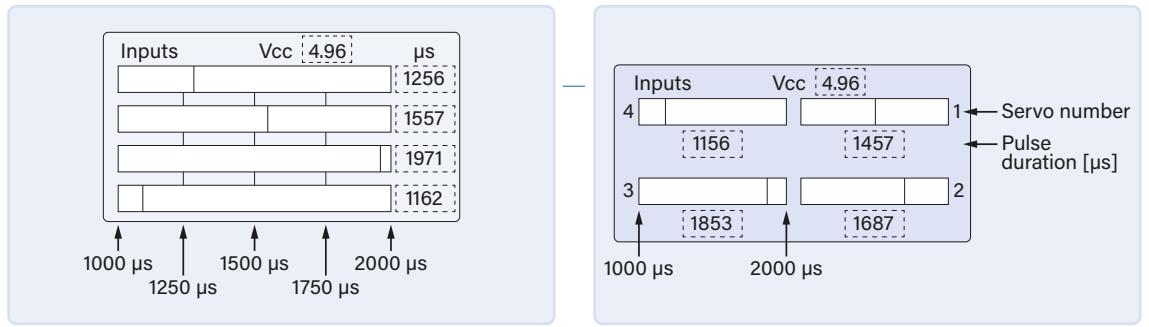


Figuur 5. Configuratie 4 – zender, ontvanger en flight controller test (inputs modus), dient om de goede werking van de zender en de ontvanger met de flight controller te controleren (in het geval van een drone). De tester, servo's en flight controller worden gevoed door de batterij van de ontvanger.



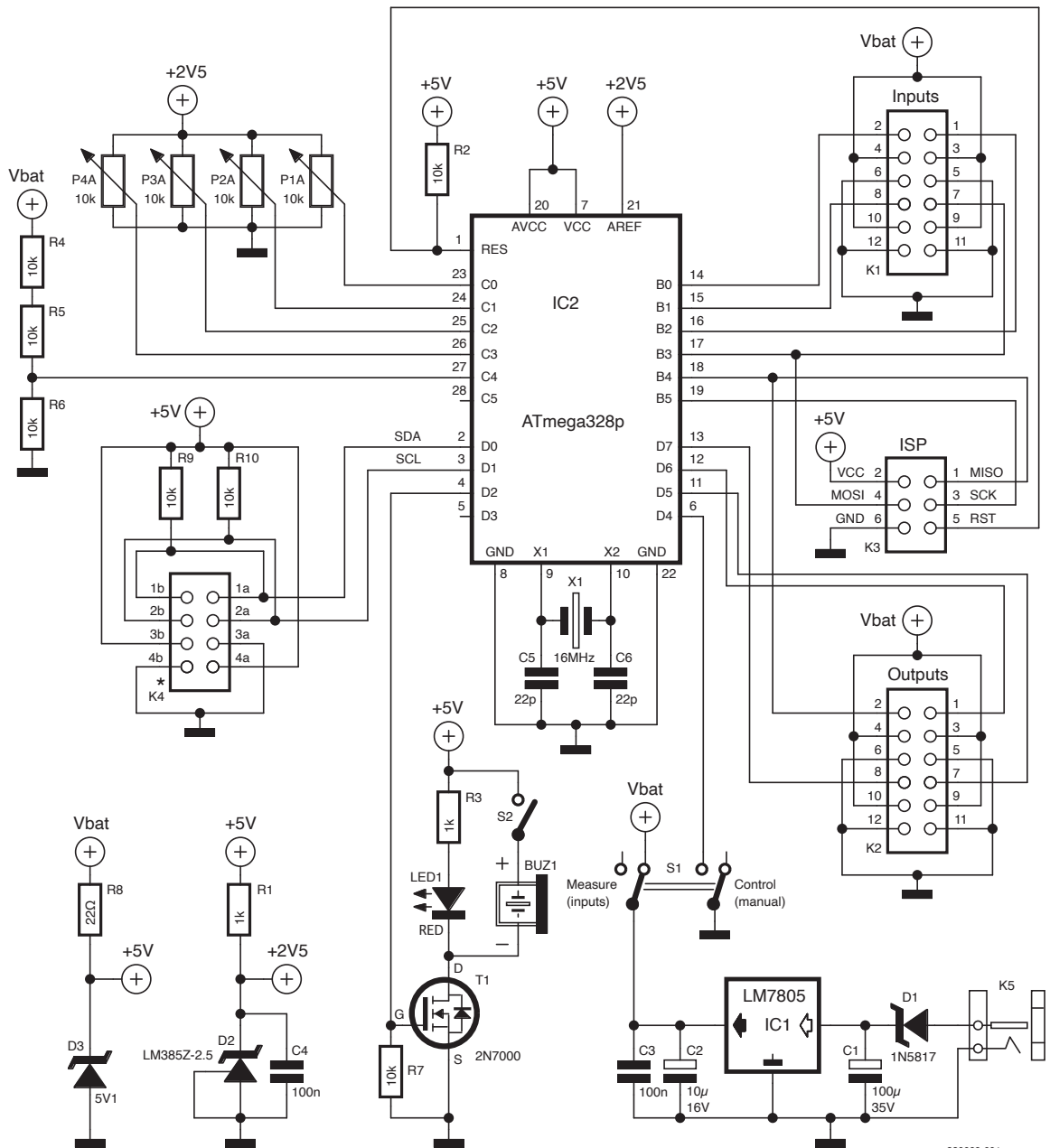
Figuur 6. Configuratie 5 – test van zender en ontvanger (inputs modus), maakt het mogelijk de flight controller te testen met de zender en de ontvanger. De tester, servo's en flight controller worden gevoed door de batterij van de ontvanger.

Figuur 7. Het display toont de met schakelaar S1 geselecteerde bedrijfsmodus (inputs of manual), de spanning  $V_{BATT}$  (als Vcc) en een staafdiagram met numerieke waarden voor elk van de vier servo's. Met behulp van drie markers kan de waarde van de ontvangen pulsen snel worden geschat.

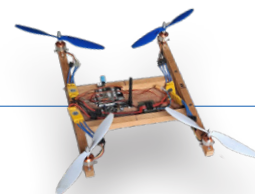


figuur 8. Het is niet al te ingewikkeld, want het bestaat voor een groot deel uit connectoren. Het hart van de schakeling is een ATmega328P microcontroller, dezelfde als op de Arduino UNO. Zijn klokfrequentie wordt bepaald door X1, een 16MHz-kwartskristal, met ondersteuning van C5 en C6.

Vier van zijn GPIO-poorten (PB0...PB3) zijn verbonden met de servo-siginaalingangen op K1. De servo-siginaaluitgangen (PD5, PD6, PD7 en PB4) zijn aangesloten op K2. Deze twee connectoren zijn zo bedraad dat standaard servokabels rechtstreeks kunnen worden aangesloten. Met andere woorden, de pintripletten 1-3-5, 2-4-6, 7-9-11



Figuur 8. Bij de super-servotester is het ATmega328P-brein omringd door een groot aantal connectoren.



en 8-10-12 corresponderen alle met een servo-aansluiting. Voor deze aansluitingen wordt vaak een oranje-rood-bruine kleurcode gebruikt. Oranje (puls signaal) wordt aangesloten op pin 1 (of 2 of 7 of 8), rood ( $V_{CC}$ ) op pin 3 (of 4 of 9 of 10) en bruin (GND) op pin 5 (of 6 of 11 of 12). Natuurlijk zijn er uitzonderingen op deze regel, dus controleer dat eerst voordat je iets aansluit.

## Analoge ingangen

De vier potmeters zijn verbonden met de analoge ingangen van de MCU op PC0...PC3. De voedingsspanning wordt via een spanningsdelers (R4, R5 en R6) aangesloten op analoge ingang PC4. De verhouding tussen (R4+R5) en R6 moet 2:1 bedragen, maar de absolute waarden zijn niet kritisch. Het gebruik van drie weerstanden van dezelfde waarde vereenvoudigt de selectie van zo goed mogelijk gelijke exemplaren.

Om de voedingsspanning van de microcontroller te meten is een andere referentiespanning dan de voedingsspanning zelf nodig voor de analoog/digitaal-omzetter (ADC). De ATmega328P heeft een ingebouwde referentie van 1,1 V, maar die waarde is wat laag. Ik heb daarom D2, een LM385-2,5, gebruikt als externe 2,5V-referentie. Deze component is nauwkeuriger dan een eenvoudige zenerdiode met twee aansluitingen, wat de kwaliteit van de meting van de servo-voedingsspanning ten goede komt: 1...2% in plaats van ongeveer 5% voor een gewone zenerdiode.

Merk op dat D2 wordt geleverd in een hoge behuizing. Om de tester compact en laag te houden, kan hij naar de printplaat worden gebogen. Aan de andere kant is het ook mogelijk om hem als steun voor het display te gebruiken. De te meten de voedingsspanning mag niet hoger zijn dan 7,49 V, aangezien de maximale ingangsspanning van de MCU 5 V bedraagt. Daarom mag de voeding van de ontvanger en de servo's deze waarde nooit overschrijden.

## Display-problemen

Het op de SSD1306 gebaseerde I<sup>2</sup>C OLED-display is aangesloten op connector K4. De I<sup>2</sup>C-poort van het display is niet verbonden met de I<sup>2</sup>C-poort van de MCU, maar met PD0 en PD1. De I<sup>2</sup>C-bus wordt in software geëmuleerd. De reden is dat op de ATmega328 de I<sup>2</sup>C-bus gedeeld wordt met analoge ingang PC4, die al gebruikt wordt voor het meten van de voedingsspanning. Daarom kan de ingebouwde I<sup>2</sup>C-periferie hier niet worden gebruikt. R9 en R10 zijn pull-ups voor de I<sup>2</sup>C-bus. Officieel zouden ze een waarde moeten hebben van om en nabij de 4,7 k $\Omega$ , maar 10 k $\Omega$  werkt ook en spaart een regel in de onderdelenlijst, omdat de meeste andere weerstanden ook een waarde van 10 k $\Omega$  hebben.

Merk op dat K4 is getekend als een tweerijige 8-polige connector, maar op de PCB moet je een eenrijige 4-polige connector monteren in positie 'A' of 'B', niet allebei. De positie hangt af van je display. Deze displays hebben de GND- en VCC-pinnen op pin 3 en 4, maar niet altijd in

dezelfde volgorde. Met K4A en K4B kun je beide typen gebruiken. Het gebruik van een dubbele footprint in plaats van (soldeer)jumper kost minder printruimte en bespaart twee (soldeer)jumper. Het nadeel is natuurlijk dat de positie van de displayopening in de behuizing afhankelijk is van het display, omdat K4A en K4B niet op dezelfde plaats zitten. Ook kunnen de afmetingen van dit display per fabrikant verschillen. Daarom moet je je display kiezen voordat je de behuizing op maat gaat maken.

## Keuze van de bedrijfsmodus

Schuifschakelaar S1, een dubbelpolig tweestanden-exemplaar (DPDT), selecteert de bedrijfsmodus van de super-servotester. In de *manual*-modus wordt de 5V-voedingsspanning naar de servo-connectoren doorgeschaakeld. In de *inputs*-modus is de voedingsspanning van de SST  $V_{BATT}$ , dus zijn eigen 5V-voeding moet worden losgekoppeld om conflicten te voorkomen. Eigenlijk zou je de voeding van de SST in deze modus zelf moeten uitschakelen, maar om het zekere voor het onzekere te nemen, doet S1 dat voor je. Zenerdiode D3 zorgt er samen met R8 voor dat de voeding voor de rest van de schakeling (afkomstig van  $V_{BATT}$ ) de maximale waarden die voor de andere componenten gelden, niet overschrijdt. De positie van S1 wordt gelezen door PD4, zodat de MCU de corresponderende bedrijfsmodus kan kiezen.

Strikt genomen hoeft S1 geen schuifschakelaar te zijn, maar hij moet wel in staat zijn het door maximaal vier servo's opgenomen vermogen te verwerken en zelfs meer als er ook een ESC of flight controller op de uitgangen is aangesloten. Geschikte DPDT-schuifschakelaars zijn vaak goedkoper dan dubbelpolige wip-schuifschakelaars, wat verklaart waarom we hier een schuifschakelaar gebruiken.

## Diversen

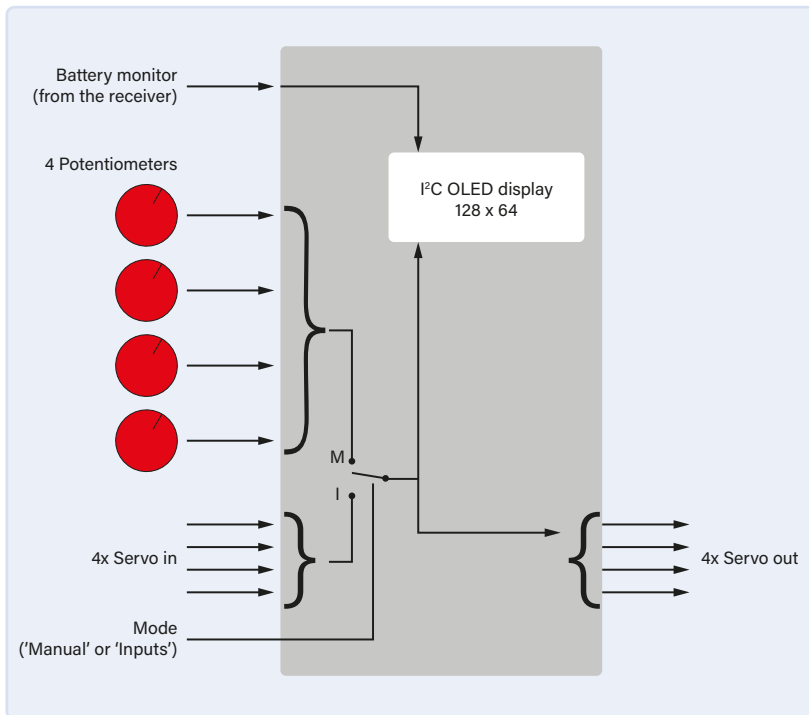
GPIO-poort PD2 van de MCU bestuurt de alarm-LED en de zoemer. Omdat deze parallel zijn geschakeld, zorgt MOSFET T1 voor wat extra puf om ze allebei aan te sturen zonder de MCU te zwaar te belasten. Met schuifschakelaar S2 kan de zoemer worden uitgeschakeld, omdat diens wat geluid soms irritant kan zijn. Deze schakelaar is een klein type voor geringe vermogens.

De 5VDC-voeding voor de SST in manual-modus wordt verkregen uit een klassieke lineaire spanningsregelaar van het type 7805 (IC1). Je moet hiervoor een TO220-type gebruiken, want hij moet maximaal vier servo's van stroom voorzien. Om de tester zo laag mogelijk te houden, kunnen C1 en C2 liggend worden gemonteerd.

Tenslotte is connector K3, een 'boxed' type, beschikbaar voor het in-circuit programmeren van de microcontroller. Hij is op dezelfde manier bedraad als de Arduino ICSP-connector.

## Enkele woorden over de software

Voor dit project heb ik de Arduino IDE gebruikt, wat bewijst dat deze ook voor complexe projecten geschikt is.



Figuur 9. High-level overzicht van wat er in de microcontroller gebeurt.

Ik bouwde eerst een proof-of-concept met een Arduino UNO op breadboard. Toen alles naar behoren werkte, laadde ik het programma in het definitieve apparaat via de ICSP-connector. Merk op dat bij het programmeren van de microcontroller via de ICSP-connector K3, niets mag worden aangesloten op connectoren K1 en K2, aangezien deze connectoren elk een signaal delen met K3. Alle voor het project benodigde bibliotheken zijn opgenomen in de download [3], behalve de servo-bibliotheek, omdat die deel uitmaakt van de Arduino IDE. Het project is georganiseerd in drie bestanden: *Display.ino*, *Inputs.ino* en het hoofd-sketchbestand. De namen van de bestanden maken vrij goed duidelijk wat ze bevatten. Het hoofd-sketchbestand bevat de functies `setup()` en `loop()`, maar ook de interrupt-routines die worden gebruikt om de ingangspulsen te timen. Niveauperanderingen in de ingangssignalen veroorzaken pin-change interrupts. Zo kan de functie `micros()` worden gebruikt om de lengte van de pulsen te meten. De gemeten pulsbreedtes worden gekopieerd naar de uitgang en doorgegeven aan de displayfuncties voor weergave. **Figuur 9** geeft een high-level overzicht van de signaalflow in de microcontroller.

### Gebruik van de OLED\_I2C bibliotheek

Zoals eerder opgemerkt, wordt het OLED-display aangestuurd via een I<sup>2</sup>C-bus. Op de ATmega328P wordt deze bus gedeeld met de ADC. PC4 kan zowel de SDA-pin als de analoge ingang A4 zijn. Om dit te omzeilen wordt de I<sup>2</sup>C-bus in software geëmuleerd. De OLED\_I2C bibliotheek van Rinky-Dink Electronics [2] doet dit en stelt ons in staat elke GPIO-poort voor de I<sup>2</sup>C-bus te gebruiken. Ik moest het bestand *OLED\_I2C.cpp* van deze bibliotheek enigszins wijzigen omdat een onjuiste `include`-opdracht de compilatie ervan verhinderde. Vervang regel 25:

```
#include "hardware/avr/HW_AVR.h"
```

door

```
#include "HW_AVR.h"
```

Ook heb ik in het bestand *HW\_AVR.h*, in de functie `OLED::update()`, regel 24 uitcommentarieerd, zoals hieronder:

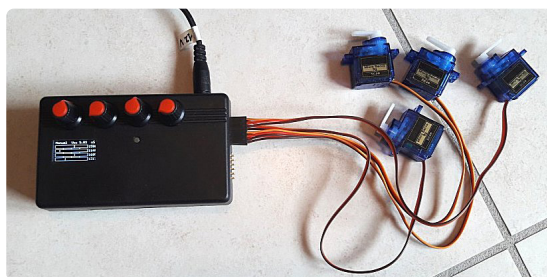
```
//noInterrupts();
```

Dit is nodig omdat interrupts door de Servo-bibliotheek worden gebruikt voor het genereren van de 50-Hz PWM-signalen op de uitgangen van de SST. Ze moeten ook ingeschakeld blijven voor het meten van binnenkomende pulsen.

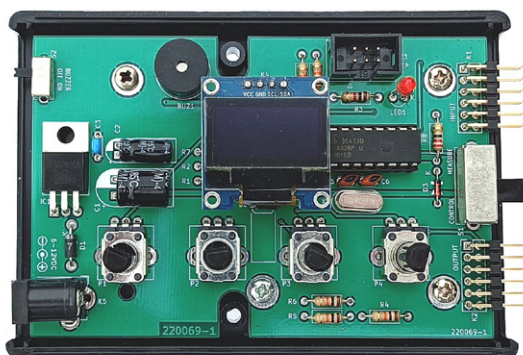
### Voor het inschakelen

Als potentiometer P1 bij het inschakelen in de minimumstand staat (naar links gedraaid), geeft het scherm een wit

Figuur 10. Het prototype van de auteur bestuurt vier servo's in manual modus.

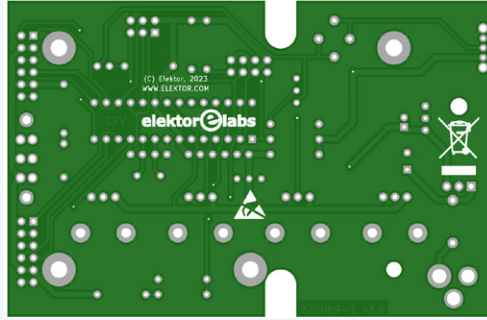
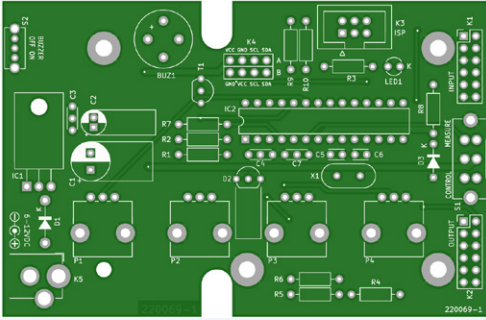


Figuur 11. Het Elektor Labs-prototype in zijn behuizing gemonteerd.





## ONDERDELENLIJST



### Weerstanden (THT, 0,25 W, 5%):

R1,R3 = 1 k  
 R2,R4,R5,R6,R7,R9, R10 = 10 k  
 R8 = 22 Ω  
 P1,P2,P3, 4 = 10 k lineair, verticaal

### Condensatoren (THT):

C1 = 100 μ/35 V, 8 mm diam., steek 3,5 mm  
 C2 = 10 μ/16 V, 5 mm diam., steek 2 mm  
 C3,C4,C7 = 100 n, steek 2,5 mm of 5 mm  
 C5,C6 = 22 p, steek 2,5 mm

### Halfgeleiders (THT):

D1 = 1N5817  
 D2 = LM385Z-2.5, TO-92  
 D3 = BZX79-C5V1  
 IC1 = 7805, TO220  
 IC2 = ATmega328-P  
 LED1 = LED, 3 mm, rood  
 T1 = 2N7000, TO-92

### Diversen:

BUZ1 = Piëzo-zoemer met oscillator, 12 mm diam,  
 steek 6,5 mm of 7,6 mm  
 K1,K2 = 2-rijige, 12-polige pinheader, raster 2,54 mm, haaks  
 K5 = voedingsconnector  
 K4\* = 4-polige busstrip, raster 2,54 mm (monteer A of B  
 afhankelijk van display)  
 K3 = 2-rijige 6-polige boxed pinheader, raster 2,54 mm  
 S1 = schuifschakelaar DPDT, haaks (bijv. MFS201N-16-Z)  
 S2 = schuifschakelaar SPDT, haaks (bijv. OS102011MA1)  
 X1 = kristal, 16 MHz, HC-49S (laag profiel)

OLED-display, 0,96", 128 x 32 pixels, 4-polig I2C  
 (bijv. [www.elektor.nl/18747](http://www.elektor.nl/18747))

Elektor PCB 220069-1

aanbevolen behuizing: Hammond 1593N

\* = zie tekst

kader weer. Dit helpt om de uitsparing voor het scherm te positioneren en maakt het mogelijk om de opening in de behuizing zo nodig aan te passen. Niet iedereen heeft thuis een CNC-machine. Draai P1 naar het midden om terug te keren naar de normale werking.

Als P4 bij het inschakelen in de minimumstand staat, gebruikt het display de *stack*-modus. Als P4 bij het inschakelen in de maximale stand staat, wordt de *square* displaymodus geactiveerd. Dit laatste geval houdt in dat de op uitgang 4 aangesloten motor bij het opstarten op volle snelheid draait.

### Tijd om op te stijgen

De super-servotester was leuk om te ontwerpen en te ontwikkelen en is een nuttig instrument om in de buurt te hebben als je je bezighoudt met drones en quadcopters of RC-modellen in het algemeen. Dit project heeft me niet alleen geholpen om mijn programmeervaardigheden te

vergroten, maar ik kan nu ook eindelijk mijn drone tevoorschijn halen, die ongeduldig wacht om op te stijgen!

220069-03

### Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via [redactie@elektor.com](mailto:redactie@elektor.com).



### Gerelateerde Producten

- > **Arduino Uno R3 (SKU 15877)**  
[www.elektor.nl/15877](http://www.elektor.nl/15877)
- > **0,96" 128x64 I2C OLED Display (SKU 18747)**  
[www.elektor.nl/18747](http://www.elektor.nl/18747)

### WEBLINKS

- [1] Joop Brokking's drone-website: [http://www.brokking.net/ymfc-al\\_main.html](http://www.brokking.net/ymfc-al_main.html)
- [2] OLED\_I2C bibliotheek: <http://www.rinkydinkelectronics.com/index.php>
- [3] Project-downloads op Elektor Labs: <https://www.elektormagazine.com/labs/super-servo-tester>

