

# Onrust op de markt voor test- en meetapparatuur

## kleine spelers innoveren



**Stuart Cording (Elektor)**

Er is niets bevredigender dan een lab volgestouwd te zien met test- en meetapparatuur. Het is een teken dat dingen op de juiste manier worden gedaan. De kosten van traditionele instrumenten kunnen echter te hoog zijn voor start-ups, kleinere bedrijven en studenten. Wat wordt er gedaan om de meetdrempel voor het grote publiek te verlagen?

Als u de hallen en stands van een elektronicabeurs zoals *elektronica* of *embedded world* afstruint, raakt u gemakkelijk enthousiast over de rijen test- en meetapparatuur (T&M) van 's werelds belangrijkste fabrikanten. Kleurendisplays, gladde en zachte knoppen die een geruststellend gevoel geven bij het bedienen, stralen kwaliteit, betrouwbaarheid en meetnauwkeurigheid uit. Maar dat alles heeft zijn prijs. Zelfs bij 'instap'-oscilloscopen met een bandbreedte van 50 MHz van de grote namen, zoals Rohde & Schwarz of Keysight, blijft er van 1000 euro niet veel wisselgeld over. Signaalgeneratoren en spectrumanalyzers beginnen bij ongeveer 2000 euro. En als u mobieler wilt zijn, misschien met een handheld, wordt het nog veel duurder.

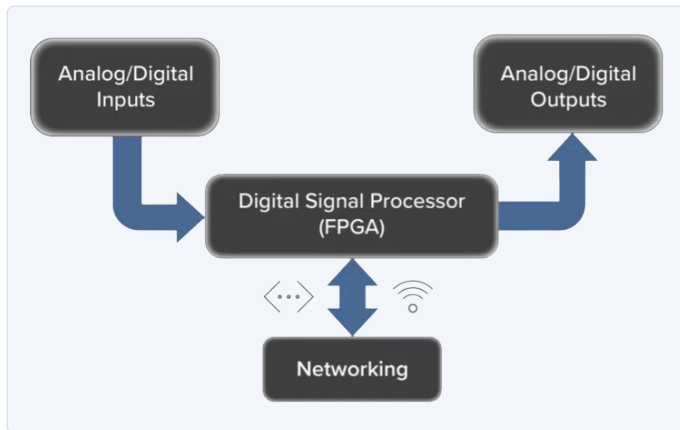
De druk op het budget wordt snel duidelijk wanneer het gaat om de uitrusting van laboratoria. Dit wordt nog verergerd door de gebruiksomstandigheden in een typische onderwijs- of R&D-omgeving. Een student of ingenieur kan de hele dag aan het werk zijn, maar de diverse test- en meetinstrumenten worden niet allemaal even vaak gebruikt. Sommige apparatuur kan de hele dag in gebruik zijn, terwijl andere misschien eenmaal per week wordt gebruikt. Oscilloscopen en spectrumanalyzers zijn vaak ook lomp en zwaar, waardoor ze niet gemakkelijk verplaatst kunnen worden. Aangezien de complexiteit van toepassingen voortdurend toeneemt, wordt T&M-apparatuur tijdens de ontwikkelfase regelmatig opgenomen in automatische testsystemen. In dergelijke gevallen kan een bepaald instrument dagen- of wekenlang in een opstelling zitten waardoor anderen het niet kunnen gebruiken.

De traditionele T&M-leveranciers liggen al enige tijd onder vuur van onruststokers. Start-ups en veteranen uit de elektronica-industrie, gefrustreerd door de complexiteit van traditionele instrumenten, het saaie uiterlijk en de ondermaatse gebruikersinterfaces, hebben een aantal uitstekende alternatieven ontwikkeld die uitzonderlijke mogelijkheden bieden voor een fractie van de prijs van een benchtop-alternatief. Dit heeft de manier veranderd waarop ingenieurs hun laboratoria inrichten, en het verandert ook de manier waarop studenten leren.

### Lab in een doos

Traditioneel waren voor de aanschaf van een oscilloscoop, voeding, spectrumanalyzer, golfvormgenerator en voltmeter een stevig budget en een nog steviger tafel nodig, waarbij elk onderdeel als een op zichzelf staand apparaat werd geleverd. In de loop der jaren, en gekoppeld aan de groei van geautomatiseerde testsystemen, hebben leveranciers zoals National Instruments modulaire hardware-T&M-oplossingen ontwikkeld, zoals PXI. Deze bestaan uit een chassis waarin een reeks meetkaarten kan worden gestoken, zodat instrumentatieoplossingen op maat kunnen worden gecreëerd. Maar wat als de hardware hetzelfde zou blijven en alleen de software de meetmogelijkheden zou bepalen?

Dat is de vraag die de vijf oprichters van Liquid Instruments zich stelden, een bedrijf dat net ten noorden van San Diego (Californië) is gevestigd. Deze groep wetenschappers, die had meegewerkt aan experimentele fysica en onderzoek naar zwaartekrachtgolven,



Figuur 1. De Moku-familie maakt gebruik van een instrument-op-chip (IoC)-benadering, met zeer krachtige analoge componenten gekoppeld aan een herconfigureerbare FPGA om de verschillende ondersteunde functies te implementeren (bron: Liquid Instruments).



Figuur 2. De Moku:Go is het instapmodel van de draagbaar test- en meetinstrumenten van Liquid Instruments (bron: Liquid Instruments).

vond het bestaande T&M-aanbod weinig flexibel en niet schaalbaar genoeg. De beschikbaarheid van krachtige system-on-chip (SoC) field-programmable gate arrays (FPGA's) wekte het gevoel dat er een basis was voor de ontwikkeling van een gemeenschappelijk hardwareplatform dat op veel verschillende manieren kon worden gebruikt (**figuur 1**). Ze stelden zich ten doel om gebruikers in staat te stellen meetoplossingen te bouwen waar zelfs het team zelf nog niet aan had gedacht.

Het resultaat van hun inspanningen is de Moku-reeks van software-gedefinieerde T&M-oplossingen. Aan de onderkant van het prijspectrum bevindt zich de Moku:Go (**figuur 2**), een technisch platform dat zo is ontworpen dat het gemakkelijk in de rugzak van een student of ingenieur past. Met afmetingen van slechts 24 × 13 cm en een hoogte van slechts 3,8 cm beschikt het over twee 12 bit, 125 MSa/s analoge ingangskanalen, heeft het een bandbreedte van 30 MHz en een ingangsbereik van ±25 V. Aan de uitgangszijde zijn er twee 12 bit, 125 MSa/s analoge uitgangen met een bandbreedte van 20 MHz en een ±5V-bereik, plus 16 digitale I/O-kanalen. Vier voedingsuitgangen met een bereik van 150 mA tot 1 A en -5 V tot 16 V (afhankelijk van het model) ronden de functionaliteit van het apparaat af.

### Pak uw tablet

Zoals gebruikelijk bij dit soort instrumenten, is het voor de grafische gebruikersinterface (GUI) afhankelijk van andere apparatuur. Laptops en PC's hebben toegang tot de GUI via een browser, maar Moku is geoptimaliseerd voor gebruik met het aanraakscherm van een iPad. WiFi zorgt voor de connectiviteit van de Moku:Go M0 en M1, terwijl de M2 ook over een Ethernet-poort beschikt. Dankzij de zorgvuldige aandacht voor het GUI-ontwerp ziet de interface er strak uit en is hij intuïtief te bedienen.

Zo uit de doos is de Moku:Go [1] bruikbaar als 11 verschillende instrumenten, waaronder een oscilloscoop, standaard en willekeurige golfvormgeneratoren, logic en spectrum analyzer. Daarnaast zijn er geavanceerde instrumenten, zoals een

FIR-filterconstructor, data logger, 20 MHz lock-in versterker en multi-input/output PID regelaar [2]. Dit laatste instrument toont de mogelijkheden van dergelijke apparatuur, waarmee tot twee PID-regelaars kunnen worden geïmplementeerd, geconfigureerd en bewaakt. De interactieve Bode-plot biedt real-time besturing en configuratie van PID-constructors met meerdere secties voor een ongekend inzicht in de werking ervan, ideaal voor wie regelsystemen bouwt of onderwijst.

Michi Yoneda, een van de teamleden van Liquid Instruments, vertelt dat de Moku-reeks vaak een plaatsje vindt in universiteitslaboratoria en onderzoeksinstituten. Daar wordt hij gebruikt voor alles van fotonica en LiDAR tot spectroscopie en quantumcomputing. De mogelijkheid om tijdens het meten van instrument te veranderen, plus de programmeerbare interface, maken hem tot een waardevol alternatief voor kostbare, traditionele T&M-apparatuur. Gebruikers kunnen ook hun eigen instrumenten ontwikkelen, zelfs zonder toegang tot traditionele FPGA-ontwikkeltools. Dankzij het Cloud Compile-platform [3] kunnen mensen die ervaring hebben met VHDL, zelf de vereiste bitstream creëren. Momenteel is deze mogelijkheid beperkt tot de high-end Moku:Pro, maar er is een kans dat de functie beschikbaar komt voor de rest van de reeks.

Een punt van zorg bij dergelijke instrumenten is de nauwkeurigheid. Ze zijn zeker geschikt om een algemeen beeld te krijgen van signalen op een print, maar kan ik beloftes aan een klant baseren op de gemeten waarden? Yoneda verzekert mij dat dit inderdaad mogelijk is, dankzij een derde partij die kalibratie samen met een certificaat aanbiedt.

### Van frustratie tot logic analyzer

Nadat u probes aan een seriële interface hebt gehangen en een geschikte decoder hebt gevonden op uw logic analyzer, is een van de meest frustrerende dingen de ontdekking dat u daarvoor een betaalde licentie nodig hebt. De hardware is immers al geschikt voor de taak, en u hebt betaald voor het instrument. En andere keren is het gewoon een gebrek aan toegang tot betaalbare testapparatuur



*Figuur 3. Het instapmodel Logic 8 van Saleae heeft acht kanalen voor het vastleggen van mixed signalen in een piepkleine, machinaal bewerkte aluminium behuizing van slechts 5,3 cm breed (bron: Saleae).*

dat leidt tot het ontstaan van bedrijven zoals Saleae, de ontwikkelaar en fabrikant van de populaire USB-gebaseerde logic analyzers. Mark Garrison, Vice President of Engineering bij Saleae, legt uit dat de initiële impuls om hun tools te ontwikkelen kwam toen zijn broer aan een embedded ontwerp werkte. In die tijd was een benchtop logic analyzer financieel niet haalbaar, zelfs niet gebruikt op eBay, dus schafte hij een USB-gebaseerd apparaat aan. Het enige probleem was dat dit instrument meer debugging nodig had dan het apparaat dat hij aan het bouwen was.

In de loop der jaren heeft het portfolio logic analyzers zich uitgebreid; het aanbod begint met de Logic 8 (figuur 3) [4]. Deze

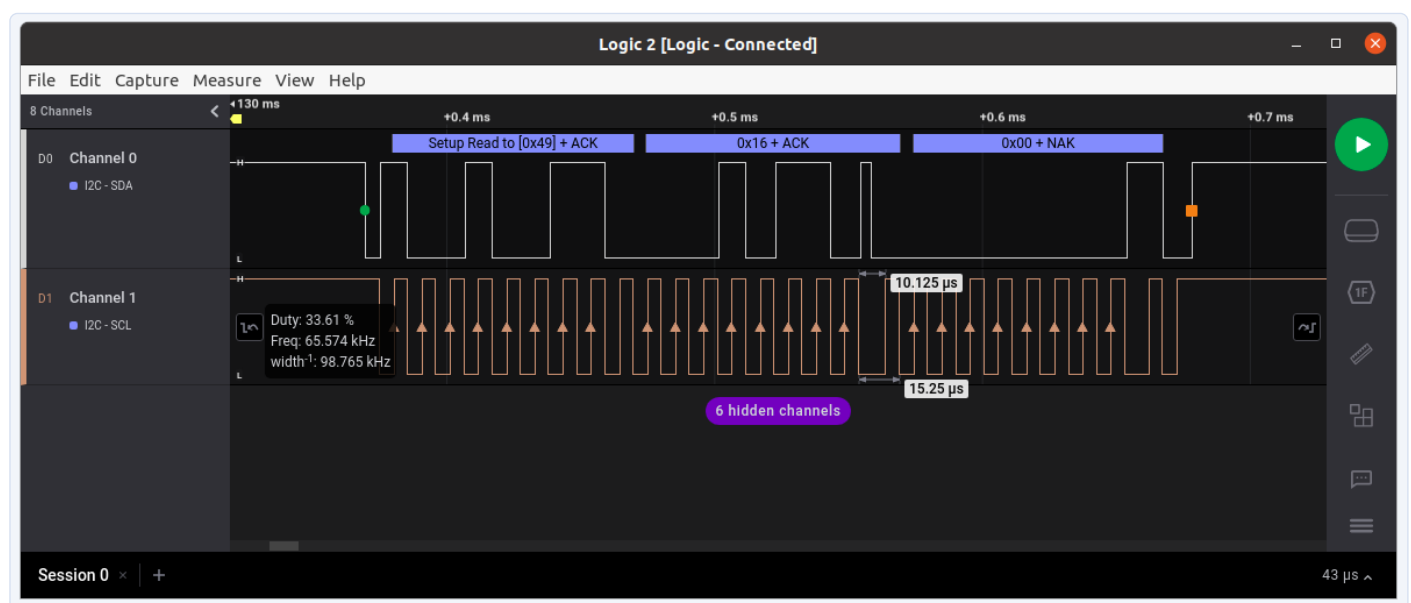
heeft acht mixed-signal ingangen die digitaal, analoog of beide kunnen registreren. Met een digitale bemonsteringsfrequentie van 100 MSa/s (en 10 MSa/s voor analoog) dekt hij het grootste deel van de gebruikssituaties in onderzoekslaboratoria en het onderwijs.

### Soepele interface

Wat echt opvalt is de Logic 2-software (figuur 4), de gebruikers-interface van het instrument die draait onder Windows, Linux en Mac OSX. De GUI is intuïtief en stelt de gebruiker in staat kanalen in en uit te schakelen en ze een naam te geven; de gebruikte kleurcodering heeft betrekking op de kleuren van de aansluitkabels van het instrument. De decodering van standaard seriële protocollen wordt ook ondersteund, van I<sup>2</sup>C, SPI en UART tot MIDI, Modbus RTU en zelfs de HD44780-interface die wordt gebruikt bij alfanumerieke LCD's. Het apparaat wordt ook vaak gebruikt voor data-logging, waarbij ontwikkelaars de Python Application Programming Interface (API) gebruiken.

Maar vergeleken met een traditionele benchtop is het gemak waarmee signalen in de software kunnen worden bestudeerd, wat de gebruiker echt verstoelt doet staan. Garrison legt uit dat het gebruiksgemak van de gebruikersinterface van Google Maps als inspiratie diende bij de aanvankelijke ontwikkeling. De GUI maakt het mogelijk opeenvolgende flanken in de datastroom gemakkelijk te vinden, zelfs als die ver uit elkaar liggen. Door de datastroom naar links of rechts te 'vegen' scrollt de logische uitvoer tot deze uiteindelijk tot stilstand komt (als hij niet eerder wordt gestopt). Dit is een enorme verbetering ten opzichte van de knoppen en toetsen van traditionele testapparatuur.

Tegenwoordig gaat ongeveer 80% van de verkoop naar professionele engineeringteams, van wie velen de hoge resolutie-gegevensopname van dit bescheiden apparaat waarderen. De overige



*Figuur 4. Logic 2 is de gebruikersinterface voor de tools van Saleae. Het is uitzonderlijk gebruiksvriendelijk en maakt het mogelijk snel signaalfanken te lokaliseren en seriële interfaces te decoderen.*

klanten zijn makers en hobbyisten, het onderwijs en start-ups, die blij zijn dat ze over dit soort tools tegen aanvaardbare prijzen kunnen beschikken. Dit wordt weerspiegeld in een actief gebruikersforum [5], waar de community elkaar helpt en ondersteunt, zowel met het tool als met vragen van ontwikkelaars. Ze maken ook extensies, een reeks Python-gebaseerde packages die statistieken kunnen leveren over de vastgelegde gegevens zoals signaaljitter, of analyses op hoger niveau kunnen uitvoeren bij gedecodeerde gegevensstromen.

### Lab in de schooltas

Terwijl onderwijsinstellingen uitstekend hebben ingespeeld op de golf van belangstelling voor alles wat digitaal is door embedded programmeurs en app-ontwikkelaars af te leveren, is het enthousiasme voor analoge elektronica onder studenten sterk gedaald. Dat was de ervaring van Robin Getz, Director of Systems Engineering bij Analog Devices, in een gesprek met een professor aan het MIT, tien jaar geleden. In die tijd richtten slechts een stuk of vier van de 200 techniekstudenten zich op analoog; de rest richtte zich op software en digitaal. Dit inzicht leidde tot de ontwikkeling van een verzameling goedkope Active Learning Module-platforms, ontworpen om gemakkelijk toegang te bieden tot zowel analoge als RF-technologie.

De reeks begint met de ADALM1000 [6] (ook bekend als de M1K), een autonoom instrument waarmee studenten de relatie tussen stroom, spanning en impedantie kunnen onderzoeken (figuur 5). Het instrument wordt gevoed en geconfigureerd via USB en biedt twee kanalen voor het genereren van signalen en meting van zowel spanning als stroom. De 16-bit, 100 kSa/s oscilloscopen en functiegeneratoren zijn meer dan voldoende voor zelfs gevorderde studie van analoge concepten. Ondersteunend is de eenvoudig te gebruiken, open-source PixelPulse 2-software [7] die draait onder Windows en Mac OSX. Linux-gebruikers kunnen de applicatie zelf bouwen. Een meer traditionele gebruikersinterface wordt geleverd met het softwarepakket ALICE [8].

De prestaties zijn nog beter bij de ADALM2000 [9] (ook bekend als de M2K, figuur 6). Twee analoge ingangen (100 SPS, 25 MHz) en twee analoge uitgangen (150 MSPS, 30 MHz) worden gecompleteerd door twee variabele voedingen (0 tot  $\pm 5$  V bij 50 mA). Er zijn ook 16 digitale I/O's en twee digitale triggers. Dit instrument maakt gebruik van Scopy [10], een instrument-GUI met alles erop en eraan en die draait onder Windows, Mac OSX en Linux (figuur 7). De software draait ook op Android, waarbij het instrument via een OTG-adapter op een tablet wordt aangesloten.

### Meting met laptop en tablet

De ondersteuning voor Android-tablets is bewust, zegt Getz. "We merken dat leerlingen ons practicummateriaal op hun laptop volgen terwijl ze in de VS de M2K met hun tablet gebruiken. In Azië hebben de meeste studenten echter



Figuur 5. De ADALM1000 (M1K) geeft studenten elektrotechniek een volledige labervaring in hun studentenwoning of thuis (bron: Analog Devices).



Figuur 6. De ADALM2000 (M2K), tegenwoordig standaarduitrusting voor de FAE's van Analog Devices, omvat een oscilloscoop, functiegenerator, logic analyzer en patroongenerator (bron: Analog Devices).



Figuur 7. De GUI is van cruciaal belang voor het succes van elk 'headless' meetinstrument. Scopy biedt heldere toegang tot de functies en instellingen onder alle besturingssystemen en op Android-tablets.

alleen een tablet." Studenten krijgen een schat aan leermateriaal op de website van het Engineering University Program [11]. In plaats van te kiezen voor het curriculum van één enkel opleidingsinstituut, heeft het team zich gericht op het creëren van een mix van alle lesmaterialen die instituten behandelen wanneer zij technische studenten de basisbeginselen van elektronica en componenten bijbrengen. In de VS verrichten de studenten die de Analog Devices-gereedschappen gebruiken, het laboratoriumwerk doorgaans thuis in plaats van in het lab en bespreken zij de resultaten en eventuele afwijkingen met de staf van hun hogeschool of universiteit. Ze kunnen ook gebruik maken van LTspice [12] om simulaties te vergelijken met praktijkresultaten. Tijdens de beperkingen die door Covid zijn opgelegd, heeft dit ervoor gezorgd dat het leren kon doorgaan. Maar het roept natuurlijk ook de vraag op wanneer studenten de gelegenheid krijgen om kennis te maken met 'echte' testapparatuur.

"Benchtop-apparatuur is op een gegeven moment nog steeds nodig," zegt Getz. "Wij zien onszelf als een opstapje om te begrijpen hoe je moet meten en testen."

Studenten besteden ook meer tijd aan het bestuderen van de stof. Bij degenen die de M1K en een voorraad componenten van Analog Devices aan de universiteit van Limerick (Ierland) gebruikten, bleek dat studenten meer betrokken waren en meer tijd besteedden aan het valideren van de concepten die in de cursus aan de orde kwamen. Professor Hayes, het hoofd van de faculteit Elektronica en Informatica, zei dat hij studenten sneller experts ziet worden, gewoon door 'te leren hoe ze een labomgeving kunnen nabootsen' door hun praktische werk [13].

### Testen&Meten voor altijd veranderd?

Benchtop T&M zal niet snel verdwijnen. De industrie heeft behoefte aan gestandaardiseerde, gekalibreerde COTS-apparatuur (commercial off-the-shelf) die gemakkelijk kan worden geïntegreerd met gangbare software-programmeertools zoals LabVIEW van National Instruments of MATLAB van MathWorks. Maar als het aankomt

op opleiding, prijs en draagbaarheid, bieden de instrumenten die door deze 'onruststokers' worden aangeboden, massa's hoogwaardige meetmogelijkheden tegen een fractie van de prijs voor gelijkwaardige T&M-apparatuur van de 'grote' merken. Getz van Analog Device benadrukt ook dat hun Field Applications Engineers (FAE's) allemaal zijn uitgerust met hun instrumenten. Zolang zij binnen de beperkingen van de tools blijven, is er een groot aantal ontwerpuitdagingen waarvoor ze geen angst hoeven te hebben wanneer ze klanten in het veld ondersteunen. En, merkt hij op, een timmerman heeft ook niet slechts één hamer en één zaag, dus waarom zouden FAE's uitsluitend benchtop-testapparatuur gebruiken? 

220201-01

### Vragen of opmerkingen?

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



### GERELATEERDE PRODUCTEN

- > **PicoScope 2204A (10 MHz) (SKU 17303)**  
[www.elektor.nl/17303](http://www.elektor.nl/17303)
- > **ScanaQuad SQ200 Logic Analyzer & Signal Generator (SKU 18103)**  
[www.elektor.nl/18103](http://www.elektor.nl/18103)

### WEBLINKS

- [1] Moku:Go productpagina: <https://bit.ly/35tKNmz>
- [2] "Multiple-Input Multiple-Output PID Controller," Liquid Instruments: <https://bit.ly/3NF3Zin>
- [3] "Moku Cloud Compile: A Getting Started Guide," Liquid Instruments, September 2021: <https://bit.ly/35tWR7m>
- [4] Saleae Logic Analyzers productpagina: <https://bit.ly/3qWyt62>
- [5] Saleae gebruikersforum: <https://bit.ly/376dAyf>
- [6] ADALM1000 productpagina: <https://bit.ly/3tXoFdE>
- [7] Pixelpulse-software: <https://bit.ly/3NRfdkj>
- [8] ALICE Active Learning Interface (for) Circuits (and) Electronics Software: <https://bit.ly/3tYFi96>
- [9] ADALM2000 productpagina: <https://bit.ly/36G6laZ>
- [10] Scopy-software: <https://bit.ly/3Jcj2Nr>
- [11] Analog Devices Engineering University Program: <https://bit.ly/3LE3OCt>
- [12] LTspice productpagina: [www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html](http://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html)
- [13] "UL and Analog Devices partner on digital learning tool to recreate lab environment at home," University of Limerick, December 2020: <https://bit.ly/3uOZVDB>