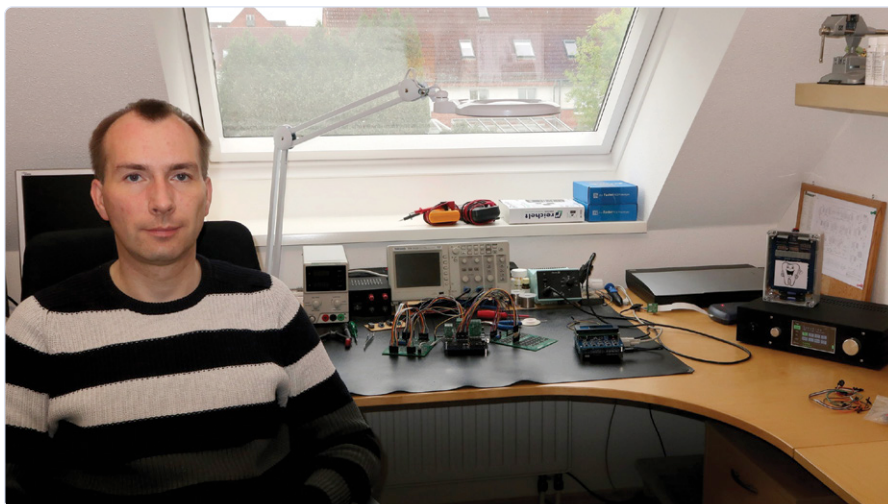


Oost West Lab Best

een blik in het allerheiligste,
waar interessante projecten worden geboren

Dennis Kuschel (Duitsland)

Moderne microcontrollers maken het mogelijk om een heleboel functionaliteit in een uiterst klein volume te stoppen – zaken waarvoor we vroeger een hele zak vol chips nodig hadden, kunnen nu probleemloos met één enkel IC'tje worden gerealiseerd. Natuurlijk moet zo'n microcontroller nog worden geprogrammeerd, en dat gebeurt meestal met behulp van een hogere programmeertaal. Maar dat brengt het nadeel met zich mee dat de ontwerper het contact kan verliezen met wat er eigenlijk in zo'n controller op poort- of transistorniveau gebeurt.



Figuur 1. Dennis Kuschel in zijn thuislab. De inrichting kan bijna Spartaans worden genoemd.

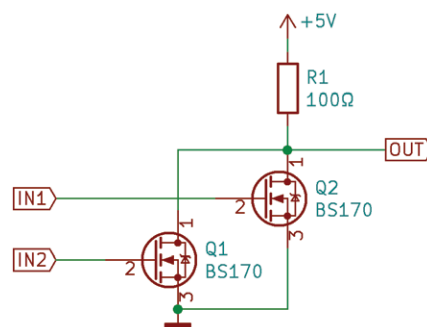
Dat was ook de gedachte van Dennis Kuschel toen hij zich aan het werk zette om een discreet met 'losse' logische IC's een microcontroller te bouwen – dat zouden we dan eigenlijk een 'macrocontroller' moeten noemen. Laten we Dennis aan het woord:

"Figuur 1 toont mijn werkplek thuis. Ik bezit slechts weinig meetapparatuur – een oscilloscoop en twee digitale multimeters. Meer heb ik niet nodig en eigenlijk mis ik niets. Op de werktafel ziet u een exemplaar van de MyNOR-computer waar ik 10 IC's door discrete transistorschakelingen heb vervangen (de vrolijk gekleurde jumperdraden)."

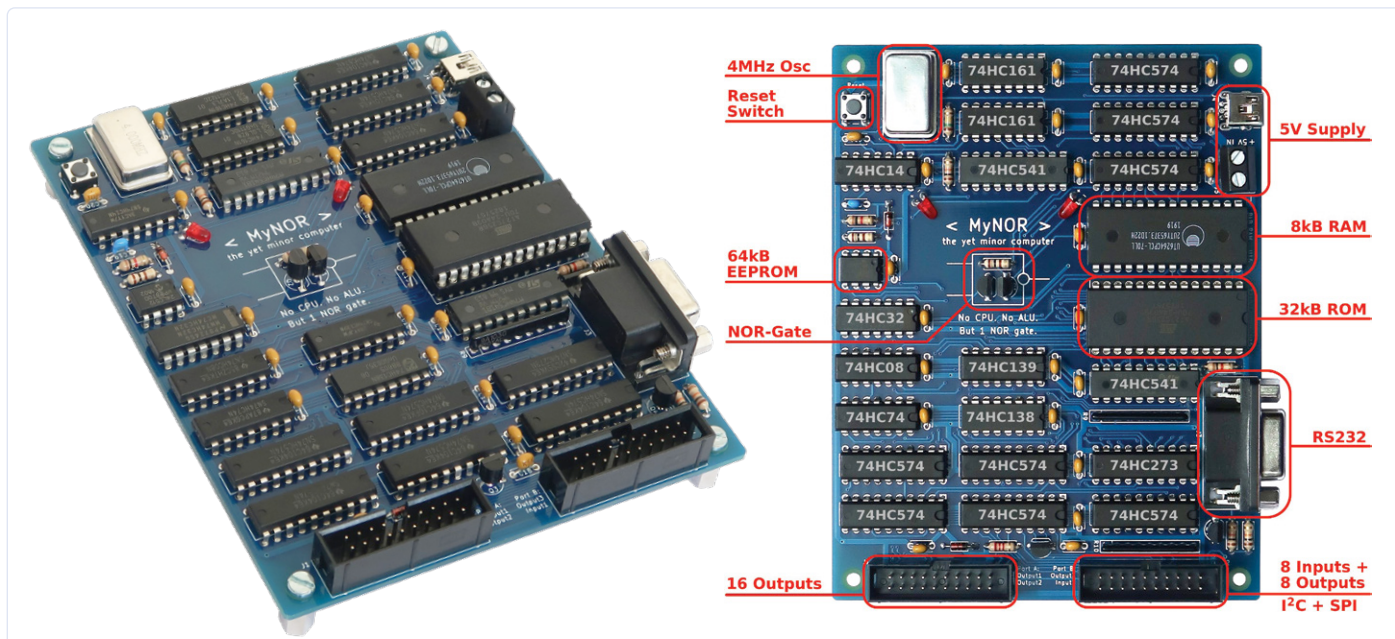
"In 1989 kreeg ik met Kerstmis mijn eerste eigen computer: een Commodore 64. Al snel wilde ik meer dan alleen spelletjes spelen – ik wilde liever mijn eigen programma's schrijven, en weten hoe zo'n ding eigenlijk werkt. Vier jaar later (ik was toen 17) heb ik met de onderdelen van een gesloopte C64 een nieuwe computer gebouwd, die ik in assembler programmeerde. Tijdens mijn studie elektrotechniek, in de jaren '90, kreeg ik het idee om met eenvoudige logische poorten en -IC's een CPU te bouwen. Een paar jaar later was MyCPU [1] geboren – een uit vele tientallen logische IC's uit de 74-CMOS-reeks opgebouwde computer – waarop een C64-Basic-versie draait."

"Op computerfestivals en hobbybeurzen oogstte deze MyCPU veel belangstelling, maar veel geïnteresseerden schrikten voor nabouw terug omdat de complete MyCPU plus periferie toch al gauw zo'n

1000 euro moest kosten. Daarom besloot ik (na inmiddels 20 jaar) tot een nieuw project: een zo eenvoudig en goedkoop mogelijke computer – natuurlijk weer geheel discreet opgebouwd. Deze moest aan twee voorwaarden voldoen. In de eerste plaats moest hij het zonder ALU (Arithmetic Logic Unit) stellen – om de eenvoudige reden dat de vroeger veel gebruikte ALU-chip 74LC181 niet meer verkrijgbaar is en alternatieven te ingewikkeld worden. En in de



Figuur 2. Dit is het hart van de MyNOR-computer: één enkele discreet opgebouwde NOR-poort.



Figuur 3. De uiteindelijke versie van MyNOR. De plattegrond rechts bewijst dat zelfs de nodige periferie voorhanden is.

tweede plaats moest hij genoeg nemen met één enkel programmeerbaar geheugen-IC (EPROM)."

"Mijn nieuwe computer gebruikt slechts één enkele NOR-poort om te rekenen – een wel uiterst simpele Logic Unit waarvoor ik heb gekozen omdat die heel eenvoudig met twee MOSFET-transistoren en een weerstand kan worden opgebouwd (figuur 2). Alle rekenkundige bewerkingen (zoals AND, OR, EXOR, optellen en aftrekken) worden softwarematig uit vele afzonderlijke NOR-operaties samengesteld."

"Vanwege de centrale NOR-poort heb ik mijn nieuwe computer MyNOR gedoopt [2]. Het totale aantal onderdelen is zo gering dat het geheel op een print van 10 x 13 cm past. In figuur 3 ziet u links een statieportret van MyNOR, terwijl de foto rechts laat zien wat waar op de print zit. Die bevat ook de nodige periferie: een 64kB-EEPROM als 'massageheugen', terwijl 8 digitale ingangen

en 24 digitale uitgangen de communicatie met de buitenwereld verzorgen. Via deze 32 I/O's worden (softwarematig) ook de gebruikelijke interfaces gerealiseerd: RS232, I²C en SPI."

"Met deze kleine enkelkaartcomputer kan verrassend veel worden gedaan. In het besturingssysteem heb ik bijvoorbeeld een eenvoudige rekenmachine ingebouwd die via de RS232-interface bediend kan worden. Deze rekenmachine dient vooral als bewijs dat drijvende-komabberekeningen met een enkele NOR-poort uitgevoerd kunnen worden! Bovendien bevat het besturingssysteem een eenvoudig monitorprogramma waarmee assembler-instructies kunnen worden ingevoerd. Zo kan men eigen assemblerprogramma's direct in MyNOR programmeren en in EEPROM opslaan (dat is een beetje in C64-stijl). Maar het is natuurlijk ook mogelijk om een compleet programma te uploaden. Dat gaat via een tekstbestand dat het binaire programma in een speciaal formaat bevat. Een beetje geduld is nodig want de verbinding is met 2400 baud niet echt flitsend snel."

"Het wordt werkelijk spannend wanneer deze enkelkaartcomputer ook zonder de navelstreng naar een PC gebruikt kan worden. Daartoe heb ik twee uitbreidingskaarten ontwikkeld. De eerste bevat slechts 20 druktoetsen, een LED, acht 7-segment-displays en de voor de aansturing daarvan vereiste transistoren. Displays en druktoetsen worden op de gebruikelijke manier gemultiplext. Ik gebruik een op deze manier opgebouwde 'zakrekenmachine' dagelijks op mijn werk."

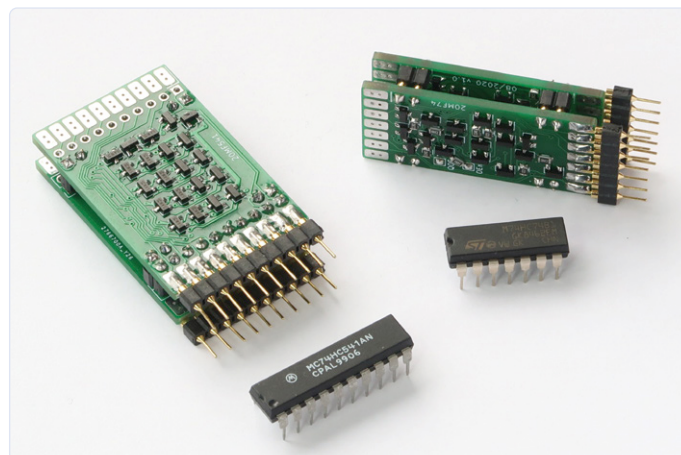
"De tweede uitbreidingskaart maakt van MyNOR een echte kleine computer. Deze kaart bevat naast de gebruikelijke druktoetsen ook een 4x20-LCD, een luidsprekertje, een batterijgebufferde real-time klok en een temperatuursensor. Wanneer MyNOR met deze kaart wordt uitgebreid, ontstaan eindeloos veel mogelijkheden: ik heb al een paar spelletjes (mijnneveger, tetris) een keukentimer, een musicbox en een I²C-busscanner geprogrammeerd. Beide uitbreidingskaarten zijn te zien in figuur 4."



Figuur 4. Links de zakrekenmachine en rechts de MyNOR met toetsenbord(je) en display.



Figuur 5. Deze tandenpoetstimer bestaat uit MyNOR v1.0 plus de 7-segment-print v1.0. Het apparaat onder de timer is overigens een high-end receiver (FM en DAB+) met geïntegreerde 11-band equalizer en aanraakbediening, die die Dennis vorig jaar heeft gebouwd.



Figuur 6. Twee met losse transistoren nagebouwde IC's. De originele IC's liggen er ter vergelijking bij (74HC541 en 74HC74).

WORDT VERVOLGD?

Wilt u meer weten over deze of andere zelfbouw-CPU's? Laat het ons weten via redactie@elektor.com; wellicht wijden we er dan later een uitgebreider artikel aan.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur of naar de redactie van Elektor, via redactie@elektor.com.

“De eerste versie van MyNOR op een ‘echte’ print was nog niet helemaal perfect. Niettemin heeft dit exemplaar (inclusief 7-segment-uitbreiding) nog lang niet uitgediend: ik heb MyNOR v1.0 omgebouwd tot een tandenpoetstimer voor mijn kinderen (figuur 5).”

“Op dit moment ben ik bezig met een nog verdere ‘discretisering’ van de computer. Omdat de hele MyNOR-computer uit slechts 22 IC's bestaat, is het een aardige uitdaging de 19 logische IC's door discrete transistorschakelingen te vervangen. Eerste experimenten

in deze richting zijn veelbelovend verlopen. **Figuur 6** toont twee met losse transistoren nagebouwde IC's.”

“Overigens ben ik niet de enige die zich met zelfbouw-CPU's bezighoudt. Velen hebben zich verenigd in de ‘Homebrew CPU Webring’; een bezoekje aan hun website [3] loont zeker de moeite.”

200552-01

Over de auteur

Dennis Kuschel kwam voor het eerst met elektronica in aanraking toen hij op zesjarige leeftijd met een klasgenootje een zak snoepjes ruilde tegen een defecte transistorradio. Tot grote verbazing van zijn ouders kreeg hij die radio korte tijd later weer aan de praat. Momenteel werkt Dennis als hardware-ontwikkelaar bij een Duitse cameraproducent. Daar ontwerpt hij schakelingen en 10-laags Starrflex-HDI printen en programmeert hij complexe IP-kernels voor FPGA's. Privé gaat hij graag in de andere richting: “Keep it simple” is zijn credo – hoe minder elektronica voorhanden is, des te minder kan er kapot gaan...

Een bijdrage van

Tekst en foto's: **Dennis Kuschel (Duitsland)**
Redactie: **Eric Bogers**
Layout: **Giel Dols**

WEBLINKS

- [1] MyCPU: www.mycpu.eu
- [2] MyNOR: www.mynor.org
- [3] Zelfbouw-CPU's: www.homebrewcpuring.org