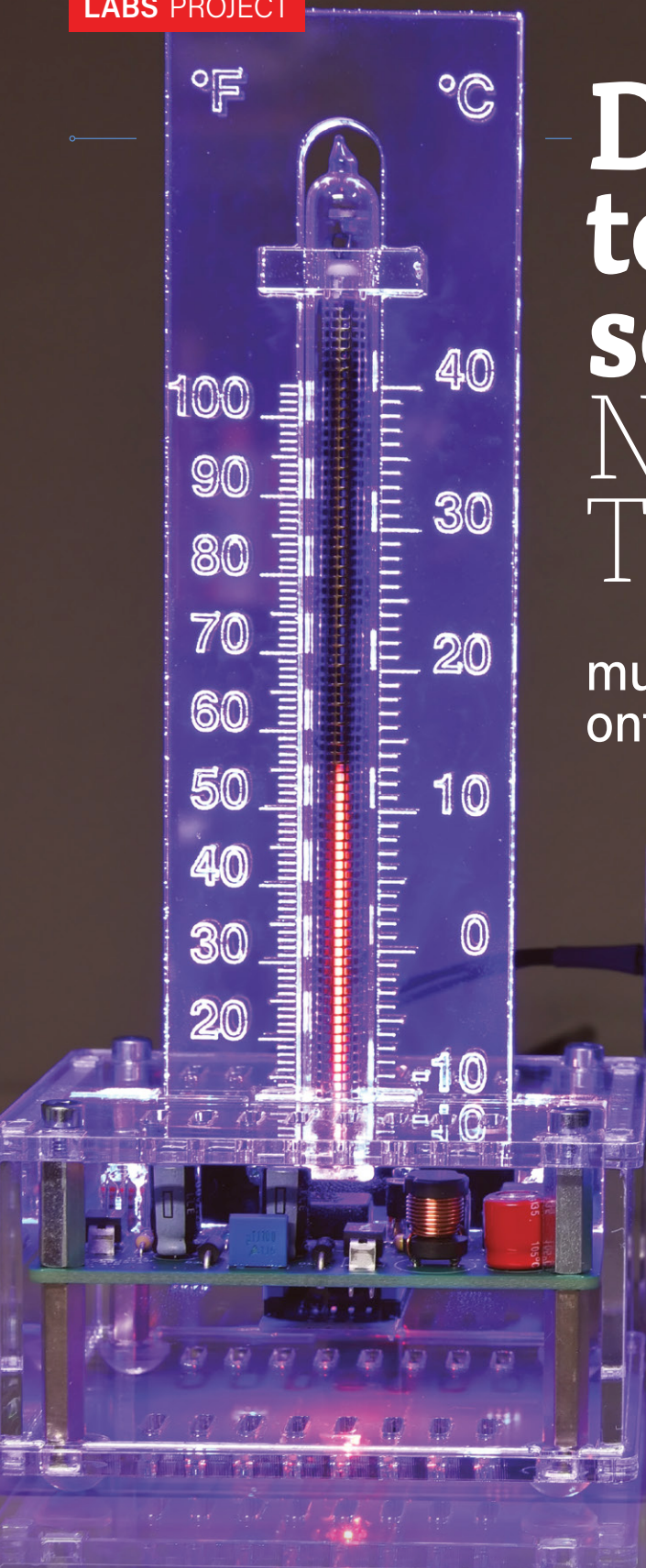
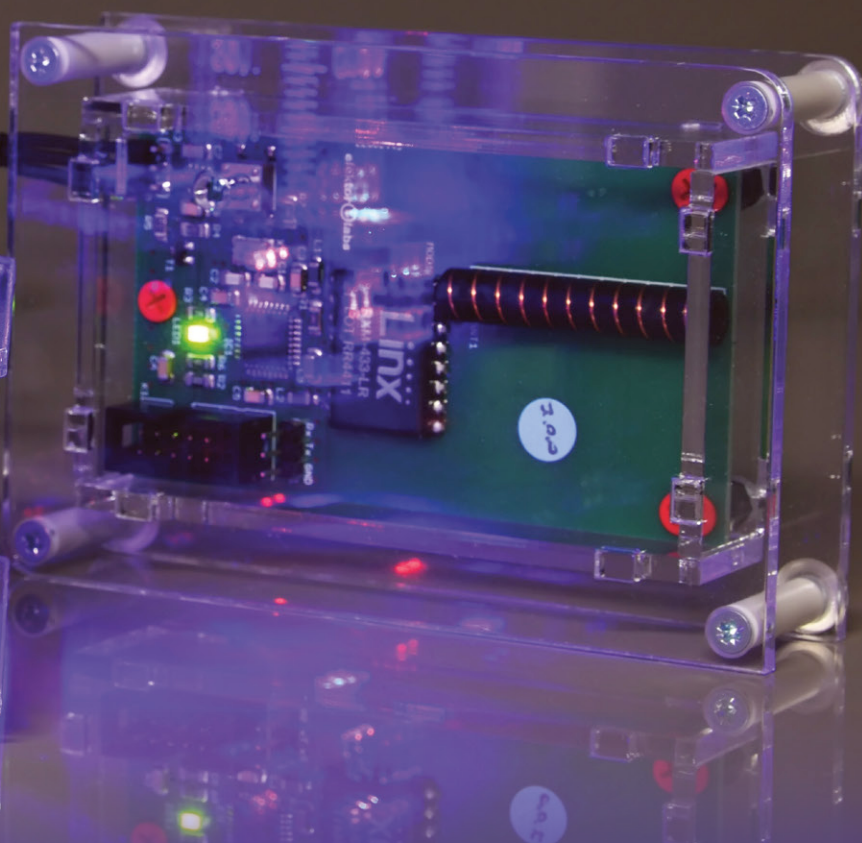




Draadloze temperatuur-sensor voor Nixie Bargraph Thermometer

multifunctionele oplossing met ontwerptruc



Ilse Joostens (België)

Na het lezen van het Nixie Bargraph Thermometer-artikel [1] in Elektor, merkte een lezer uit de Midwest van de Verenigde Staten op dat de temperaturen in zijn regio probleemloos meer dan zes maanden boven de 29 °C (85 °F) uitkwamen. In die omstandigheden is het oorspronkelijke bereik (50...85 °F, 10...30 °C) van onze thermometer onhandig, zo niet nutteloos. Als reactie en zoals het goede ontwerpers betaamt hebben we het bereik uitgebreid tot 15...105 °F (-10...+40 °C) en omdat we toch bezig waren, hebben we de thermometer ook maar meteen draadloos gemaakt. Lees verder!

Aanvankelijk dachten we dat het moeilijker zou worden om de temperatuur op de uitgebreide schaalverdeling af te lezen, omdat de uitlezing van de IN-9 bargraph-buis zo lekker onnauwkeurig is. In de praktijk valt het echter best mee. Zo'n uitgebreide schaalverdeling op de Nixie Bargraph Thermometer [1] is ook handig om de buitentemperatuur weer te geven als u in een regio woont met een wat meer gematigd klimaat dan onze Amerikaanse correspondent, vandaar het idee om draadloze connectiviteit toe te voegen aan de temperatuursensor.

Draadloze ontvanger- en zendermodules

Tegenwoordig zijn er talloze kant-en-klare draadloze ontvanger- en zendermodules verkrijgbaar voor prijzen variërend van een paar tot enkele tientallen euro's voor een complete set (ontvanger (RX) en zender (TX)). Omwille van de eenvoud en om een redelijke afstand tussen de zender en de ontvanger te kunnen overbruggen, hebben we gekozen voor 433MHz-modules (met typegoedkeuring, dus licentievrij gebruik).

Om de prijs van het eindproduct zo laag mogelijk te houden, hebben we eerst de beruchte Chinese FS1000A- en MX-RM-5V-modules getest. We hebben drie paar modules op eBay gekocht en maakten vervolgens proto-PCB's voor een testopstelling. Uiteindelijk werkten de modules, maar het bereik was op zijn best beperkt. De belangrijkste problemen waren:

- de zender heeft 9...12 V nodig om voldoende vermogen aan de antenne te leveren;
- de ontvangermodule is extreem gevoelig voor ruis op de voedingsrail.

Vervolgens hebben we andere (Chinese) HF-modules bekeken en ontdekt dat de meeste daarvan simpele ASK- of OOK-modulatie (amplitude shift keying / on-off keying) gebruiken en afkomstig waren van obscure fabrikanten, zonder enige garantie dat die op langere termijn beschikbaar zouden zijn. Een andere optie was om transceivermodules met een SPI-interface te gebruiken, maar dan hadden we de firmware moeten herschrijven die op dat moment bijna klaar was.

Na nog meer pech met 433-MHz FM-modules, die goed werkten maar "niet meer voor nieuwe ontwerpen werden aanbevolen" (nota bene: ruimschoots na orderbevestiging en levering!), vonden we uiteindelijk het TXM-433-LR/RXM-433-LR-paartje van Linx Technologies.

PROJECT-INFO

Tags

433 MHz, Linx, LPR, 1-wire, Manchester, Nixie, sensoren

Niveau

beginners – gevorderden – experts

Tijd

ca. 1,5 uur

Gereedschap

laboratoriumgereedschap, soldeerbout

Kosten

ca. € 75

SPECIFICATIES

- Voeding 3,3...5 V (ontvanger)
- Voeding 3 V (zender, CR2450-batterij)
- 433,92 MHz licentievrije radioverbinding (USA/CAN: 315 MHz)
- TX-aan interval ca. 2 minuten (instelbaar)
- Geïntegreerde halve-golf spiraalgewonden PCB-antenne
- DS2438Z temperatuursensor
- Bruikbaar temperatuurbereik: -20 °C tot +70 °C (nauwkeurigheid ± 2 °C)
- Linx Technologies OOK/ASK RX- en TX-modules
- RX emuleert DS18B20 1-wire temperatuursensor, maar dan tot 2,4 V
- Voorgemonteerde RX- en TX-printen

Dit zijn misschien niet de goedkoopste modules die er zijn, maar ze zijn goed verkrijgbaar in grotere aantallen en u bespaart geld op batterijen omdat met name de zender zeer energiezuinig is. De Linx HF-modules zijn ook verkrijgbaar in versies voor 315 MHz en 418 MHz, zodat ze kunnen worden gebruikt in de VS, Canada en andere regio's waar voor deze banden een ISM-toewijzing (industriële/wetenschappelijk/medisch) geldt.

tuursensoren bestaan die het goed doen bij voedingsspanningen beneden 3 V, prefereerden we een 1-wire component omdat die een uniek 64-bit serienummer heeft. Dit nummer wordt gebruikt als identificatiecode voor de zender, waardoor de ontvanger alleen kan worden gekoppeld aan één specifieke zender. We kozen uiteindelijk voor het DS2438Z+ 1-wire batterijmonitor-IC met geïntegreerde temperatuursensor die nog functioneert bij



Truc: DS2438Z+ =
DS18B20 tot 2,4 V!



Zender: de hardware

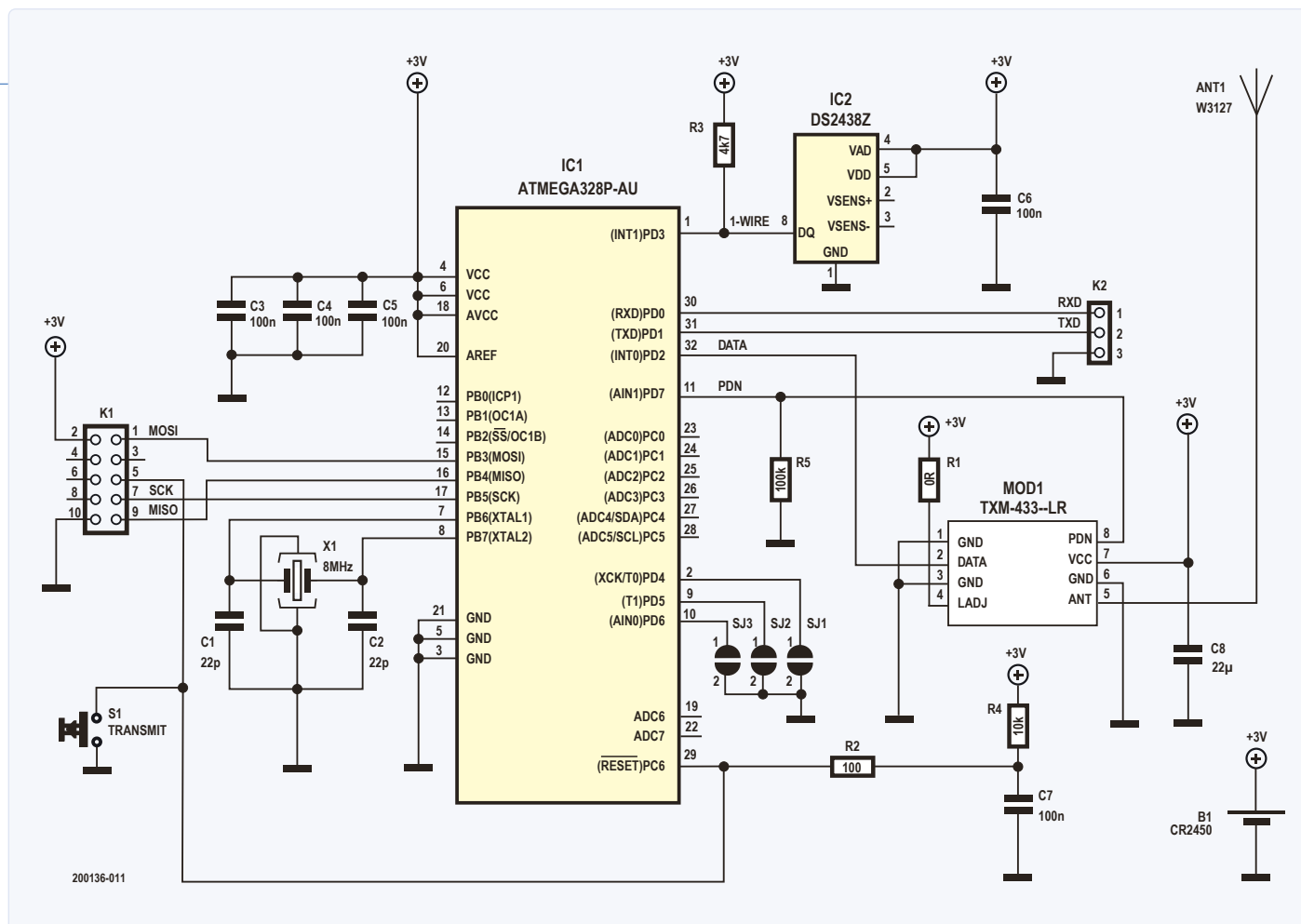
In het stralende middelpunt van het zenderschema van **figuur 1** zit een ATMEGA328P-AU microcontroller die op 8 MHz draait met een kristaloscillator. En ja, dat is precies dezelfde microcontroller die veel wordt gebruikt op Arduino Uno en Nano-boards.

In eerste instantie dachten we dat we een 1-wire DS18B20 temperatuursensor zouden gebruiken, maar dat bleek geen goede kandidaat voor een 3V-batterijgevoede schakeling, aangezien de minimale voedingsspanning van de sensor volgens de datasheet uitgerekend 3 V is [2]. Hoewel er tal van andere tempera-

voedingsspanningen van 2,4 V.

Met een maximale afwijking van ± 2 °C lijkt de temperatuurmeting van de DS2438Z+ op het eerste gezicht minder nauwkeurig dan van de DS18B20. In de praktijk blijken de temperatuurmetingen echter heel acceptabel.

De HF-zendermodule is het eerder genoemde type TXM-433-LR van Linx Technologies [3]. Intern bestaat hij uit een VCO die is vergrendeld door een frequentiesynthesizer met als referentie een uiterst nauwkeurig kristal. De VCO-uitgang wordt versterkt en gebufferd door een interne eindversterker die in staat is om +10 dBm



Figuur 1. Schema van de temperatuurzender. Een sensor van het type DS2438Z+ emuleert een DS18B20, zodat het circuit tot 2,4 V blijft werken.

(dat wil zeggen 10 mW) te leveren in een belasting van 50 Ω . Op maximaal vermogen met een zend-duty cycle van 50% bedraagt het stroomverbruik ongeveer 5 mA, niet veel in vergelijking met soortgelijke RF-modules. Behalve een antenne zijn geen externe HF-componenten vereist. We gebruikten een spiraalgewonden halve-golf printantenne die loodrecht op het grondvlak wordt gemonteerd. Het afgestraalde vermogen is instelbaar met weerstand R1. Standaard is een weerstand van 0 Ω gemonteerd voor maximaal uitgangsvermogen, maar het kan nodig zijn om het HF-vermogen te verminderen om te voldoen aan de lokale voorschriften. Raadpleeg de datasheet van de TXM-433-LR voor meer informatie. De andere componenten op de zenderprint:

- een resetknop;
- programmeerconnector K1;
- (seriële) debugconnector K2;
- soldeerbruggen SJ1, SJ2, SJ3;
- een CR2450-batterij om de schakeling te voeden.

De connectoren K1 en K2 worden bij normaal gebruik niet gebruikt en zijn niet gemonteerd. Met de soldeerjumper SJ1, SJ2, SJ3 kan het zendinterval worden ingesteld tussen 2 m 8 s en 3 m 4 s. Dit vermindert het risico dat meerdere zenders tegelijkertijd gegevens verzenden, wat in een gegevensbotsing kan resulteren.

We kozen voor een CR2450-lithiumbatterij omdat deze (bij iets hogere kosten, op eBay) meer capaciteit (mAh) heeft dan de gebruikelijker CR2032. Bij ons prototype bedroeg de accuspanning na zes maanden continu gebruik nog steeds 2,991 V. Tijdens een gegevensoverdracht bleek deze kort te dalen tot ongeveer 2,93 V. Het zendinterval bedroeg daarbij 2 minuten en 24 seconden.

Zender: de software

Meestal bevindt de microcontroller zich in de power down-modus terwijl de watchdog-timer loopt. Deze is ingesteld op de maximale time-out van ongeveer 8 seconden. Als de time-outperiode verstrijkt, genereert de watchdog-timer een interrupt om de micro-

controller te wekken. Een teller in RAM wordt dan met één verlaagd en als de waarde nog niet gelijk aan nul is, wordt de watchdog-timer opnieuw gestart en keert de microcontroller terug naar de power down-modus. Dit proces neemt ongeveer 20 instructies in beslag. Als de teller nul bereikt na een watchdog-interrupt worden de temperatuurregisters en het 64-bits serienummer van de DS2438Z+ uitgelezen. Als dat niet lukt, probeert de software de DS2438Z+ nog vier keer uit te lezen. De software ondersteunt ook de sensoren DS18B20, de DS18S20 en DS1822. Dat kan van pas komen als de zender wordt gevoed uit 3,3 V in plaats van met CR2450-lithiumbatterij. Als de DS2438Z+ is gemonteerd, wordt de 1-wire familiecode gewijzigd zodat deze overeenkomt met de familiecode van een DS18B20. De CRC wordt ook herberekend en komt dan met de nieuwe familiecode. Het 64-bit serienummer met de nieuwe familiecode, temperatuurwaarde en CRC worden vervolgens twee keer verzonden via de HF-module, voorafgegaan door een preamble. De HF-modules gebruiken OOK/



ONDERDELENLIJST

Zender

Weerstanden

R1 = 0 Ω, 1206 *
 R2 = 100 Ω, 1206
 R3 = 4k7, 1206
 R4 = 10 k, 1206
 R5 = 100 k, 1206

Condensatoren

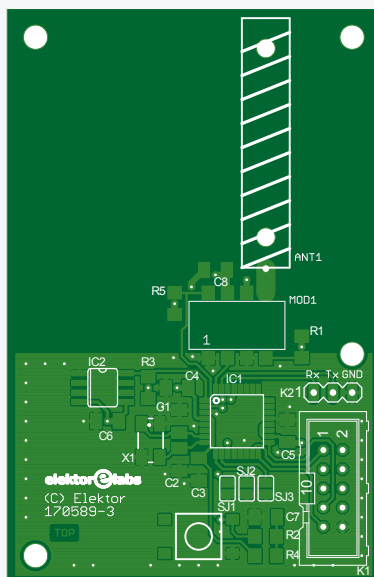
C1,C2 = 22 p, C0G/NP0, 1206
 C3...C7 = 100 n, X7R, 1206
 C8 = 22 μ, X5R, 10 V, 1206, Kemet
 C1206C226M8PACTU

Halfgeleiders

IC1 = ATMEGA328P-AU, geprogrammeerd
 IC2 = DS2438Z+
 MOD1 = TXM-433-LR, Linx Technologies
 (alternatief VS/Canada: TXM-315-LR)

Diversen

ANT1 = 433 MHz spiraalgewonden PCB-
 antenne, Pulse Electronics type W3127
 (alternatief VS/Canada: W3126)
 B1 = CR2450-batterijhouder, Renata type SMTU
 2450N-1-LF, met CR2450 lithium-knoopcel
 K1 = 10-polige (2x5) boxheader, steek 2,54 mm



(optioneel)
 K2 = 3-polige pinheader, verticaal,
 steek 2,54 mm (optioneel)
 S1 = druktoets, SMT, TE Connectivity type
 FSM6JSMA
 X1 = 8 MHz kristal, Abracon-type ABMM2-
 8.000MHZ-E2-T of Würth Elektronik #
 830055663



* zie tekst

Let op: een onderdelenkit voor de zender is
 verkrijgbaar in de Elektor-shop.



ONDERDELENLIJST

Ontvanger

Weerstanden

R1 = 10 Ω, 1206
 R2 = 100 Ω, 1206
 R3 = 220 Ω, 1206
 R4,R5 = 4k7, 1206
 R6,R7 = 10 k, 1206

Condensatoren

C1,C2 = 22 p, C0G/NP0, 1206
 C3...C6 = 100 n, X7R, 1206
 C7,C8 = 1 μF X7R, 1206
 C9 = 22 μ, X5R, 10 V, 1206, Kemet
 C1206C226M8PACTU

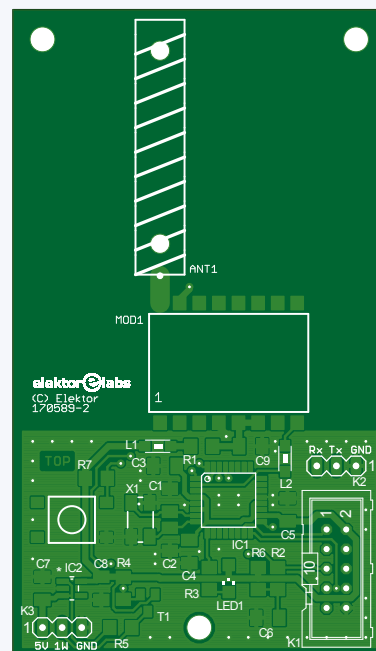
Halfgeleiders

LED1 = groen, 1206, Broadcom Limited type
 HSMG-C150
 IC1 = ATMEGA328P-AU, geprogrammeerd
 IC2 = LD39015M33R
 MOD1 = RXM-433-LR, Linx Technologies
 (alternatief VS/Canada: RXM-315-LR)
 T1 = BSN20

Diversen

ANT1 = 433 MHz spiraalgewonden PCB-
 antenne, Pulse Electronics type W3127
 (alternatief VS/Canada: W3126)
 K1 = 10-polige (2x5) boxheader, steek 2,54 mm
 (optioneel)
 K1 = 3-polige pinheader, verticaal,
 steek 2,54 mm (optioneel)
 K3 = 3-polige pinheader, haaks, steek 2,54 mm,
 plus female terminalbehuizing # 61900311621
 en 3 stuks pre-primed kabel # 619100126015
 (Würth Elektronik)
 L1,L2 = ferrietkraal, Fair-rite-type 1206
 2512067007Y3
 S1 = druktoets, SMT, TE Connectivity type
 FSM6JSMA
 X1 = 8 MHz kristal, Abracon-type ABMM2-
 8.000MHZ-E2-T of Würth Elektronik #
 830055663

Let op: een onderdelenkit voor de ontvanger is
 verkrijgbaar in de Elektor-shop.



tie met een bidirectionele logische niveau-omzetter rond MOSFET T1.

Wanneer de ontvanger wordt gebruikt met een 3,3-V 1-wire bus zoals bij de Elektor/Axiris IV-22 VFD-klok [7], is de spanning 'achter' de regelaar nog steeds hoog genoeg om het circuit goed te laten functioneren.

Naast de (standaard niet gemonteerde) programmeer- en debug-connectoren zijn een LED en een drukknop aangesloten op de microcontroller. Telkens wanneer een datapakket wordt ontvangen, verandert de LED van status. Zo kunt u controleren of de zender nog functioneert. De knop wordt gebruikt om de ontvanger te koppelen aan een zender.

Ontvanger: de software

Tot voor kort was de 1-wire-bus van Dallas Semiconductors (nu Maxim) een zeer populair communicatiebussysteem om bijvoorbeeld MicroLAN-netwerken te bouwen voor gebruik in domotica-systemen. Door het toenemende gebruik van draadloze oplossingen raakt 1-wire in toenemende mate in onbruik. Desondanks worden sommige 1-wire componenten zoals de DS18B20 (en soortgelijke temperatuursensoren) nog steeds veel toegepast. Ze zijn goedkoop, nauwkeurig, gemakkelijk op een microcontroller aan te sluiten en worden geleverd in gemakkelijk te solderen TO-92- behuizing!

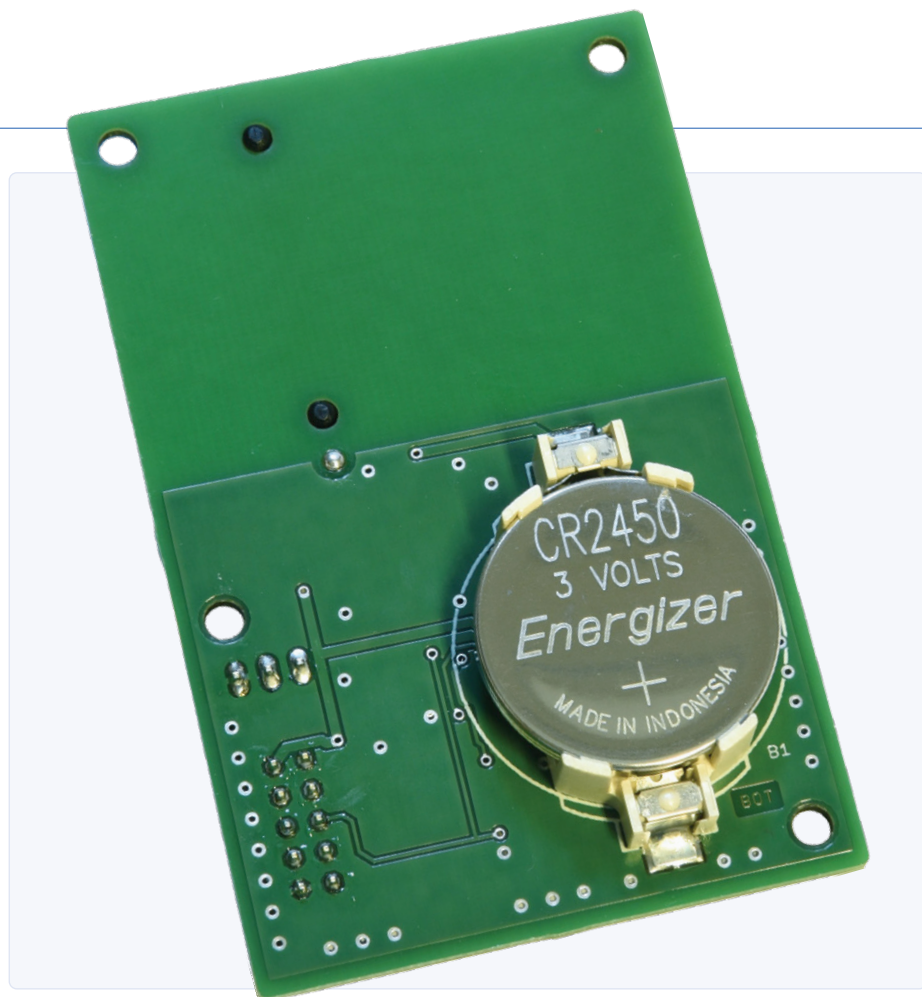
Dit waren de belangrijkste redenen om ze te gebruiken in de Nixie Bargraph Thermometer en de IV-22 VFD-klok, en om een DS18B20 te simuleren bij onze zendermodule. Aangezien de oorspronkelijke 1-wire patenten zijn afgelopen, mogen we dit legaal doen – zelfs in de brandende hitte van de Midwest...

De software luistert naar de HF-ontvangermodule en de 1-wire bus. Wanneer een datapakket bij de ontvanger aankomt, worden de gecodeerde gegevens gedecodeerd en op geldigheid gecontroleerd. Als het een geldig datapakket betreft, wordt daarna het ontvangen 1-wire serienummer vergeleken met het 1-wire serienummer dat is opgeslagen in de EEPROM van de microcontroller. Wanneer de twee overeenkomen, wordt het scratchpad (met onder andere de temperatuurbytes) van de gesimuleerde DS18B20-temperatuursensor bijgewerkt; zo niet, dan wordt het datapakket verwijderd.

De gesimuleerde 1-wire slave ondersteunt de volgende 1-wire commando's (dat wil zeggen ROM- en DS18B20-functieopdrachten):

- > [Read Rom](#) [33h]
- > [Match Rom](#) [55h]
- > [Search Rom](#) [F0h]
- > [Convert T](#) [44h]
- > [Write Scratchpad](#) [4Eh]
- > [Read Scratchpad](#) [BEh]
- > [Copy Scratchpad](#) [48h]
- > [Recall E2](#) [B8h]
- > [Read Power Supply](#) [B4h]

Hierin betekent 'Rom' natuurlijk 'ROM' – dit voor de Pietjes Precies onder u. Het is niet mogelijk om de ontvangermodule 'parasitair' te voeden. De opdracht [Read Power Supply](#) retourneert altijd 'externally powered'. Houd er rekening mee dat de 1-wire slave-functies van de ontvangermodule voorrang hebben op de HF-functies. Als een 1-wire buscommunicatie wordt geïnitieerd terwijl een datapakket wordt ontvangen en gedecodeerd, wordt de HF-dataontvangst afgebroken. Omdat zowel de thermometer als de VFD-klok slechts één keer per minuut de temperatuurwaarde aflezen, is de kans dat dit regelmatig gebeurt relatief klein. Daarom



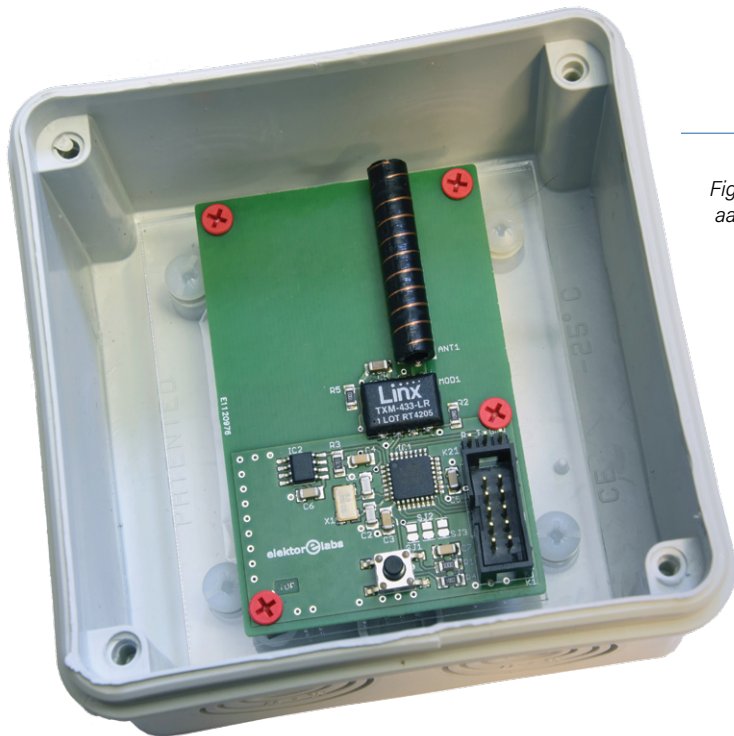
Figuur 3. Een 3 V lithium-knoopcel van het type CR2450 is aanbevolen voor voeding van de zender. De '2450 is iets duurder dan de CR2032, maar heeft een grotere capaciteit.

overigens bedraagt het kortste transmissie-interval van de zender 2 minuten en 8 seconden en geen 'ronde' 2 minuten.

Constructie en gebruik

De zender- en ontvangermodule worden beide voorgemonteerd en getest geleverd via de Elektor-shop. De componentenopstellingen en de bijbehorende onderdelenlijsten zijn hier omwille van de volledigheid afgedrukt, en om een zekere mate van *open engineering* mogelijk te maken voor diegenen die de onderdelen zelf willen bestellen en solderen. Om dezelfde reden kunnen de Gerber-bestanden van de PCB's en de ATmega-firmware voor ontvanger en zender worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [8].

Er is wat werk nodig om de voorgemonteerde TX- en RX-kaarten aan de praat te krijgen. Monteer K3, een 3-polige haakse header (raster 2,54 mm) en schuif de drie *pre-crimped* achterlangs in de 3-polige female connector totdat ze op hun plaats klikken. Voer de draden door de opening in de zijkant van de



Figuur 4. Voor gebruik buitenshuis is de zender ontworpen om in een aansluitdoos te passen.

behuizing en soldeer de andere kant aan de pinheader op de ontvangerprint. Werk het geheel af met krimpkous.

Zorg ervoor dat de GND-, DQ- en 5V-aansluitingen correct zijn en match ze op de thermometer. Monteer nu de ontvanger in de behuizing, sluit hem aan op de thermometer en schakel de thermometer in. Er zal een volle-schaal uitlezing verschijnen, aangezien de gesimuleerde DS18B20 een reset-tem-

peratuurwaarde van 85 °C heeft, net als de 'echte' DS18B20. Als de ontvanger nog niet eerder aan een zender is gekoppeld, bevat de EEPROM mogelijk geen 1-wire serienummer. In dat geval worden de 1-wire slave-functies onderbroken, waardoor er niets op de IN-9-buis te zien is.

Plaats nu een CR2450-lithiumknoopcel in de batterijhouder aan de achterkant van de zender (figuur 3). Leg de zender op een

paar meter afstand van de ontvanger. Druk op de knop van de ontvanger; de groene LED begint te knippen om aan te geven dat de ontvanger zich nu in de leermodus bevindt. Druk nu op de knop van de zender; als alles goed gaat, houdt de LED op de ontvanger op met knippen, wat aangeeft dat een goede temperatuurwaarde wordt ontvangen en dat de ontvanger nu is gekoppeld aan de zender. Aangezien de thermometer de 1-wire sensor eenmaal per minuut uitleest, kan het even duren voordat de werkelijke temperatuurwaarde wordt weergegeven. Monteer de zender voor gebruik buitenshuis in een waterdichte behuizing samen met een zakje silica-gel om hem droog te houden. Een goedkope oplossing is het gebruik van een elektrische IP65-aansluitdoos (figuur 4).

Telkens wanneer u de thermometer inschakelt, kan het een paar minuten duren voordat de temperatuurwaarde wordt ontvangen en weergegeven. Gedurende die tijd geeft de thermometer een volle-schaal uitlezing.

Het is mogelijk om meerdere zenders en ontvangers tegelijk te gebruiken. Aangezien de zender de familiecode van de DS2438Z+ verandert in die van een DS18B20, is er een kleine kans dat het serienummer van de gesimuleerde DS18B20 niet uniek is bij gebruik van één of meer ontvangers in een 1-wire netwerk met andere (echte) DS18B20 temperatuursensoren.

Ten slotte merkten we bij praktisch gebruik dat sommige Arduino Nano-kaarten meer storing (RFI) veroorzaken dan andere. Deze storing kan, net als bouwmaterialen en metalen constructies tussen TX en RX, het effectieve bereik beïnvloeden. ❏

200136-04



SHOPPING LIST

➤ Ontvangermodule met herziene acrylschaal en kabel

www.elektor.nl/170589-72

➤ Zendmodule met batterij en waterdichte behuizing

www.elektor.nl/170589-73

➤ Nixie Bargraph Thermometer (Kit) (origineel ontwerp)

www.elektor.nl/nixie-bargraph-thermometer-170589-71

➤ VFD-klok met ESP32 DevKit-C incl. acryl-behuizing

www.elektor.nl/vfd-tube-clock-with-esp32-devkit-c-170537-71

WEBLINKS

- [1] Nixie Bargraph Thermometer, Elektorlabs juli/augustus 2018: www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201807/41705
- [2] DS2438 Smart Battery Monitor – Datasheet: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS2438.pdf>
- [3] Linx LR Series Transmitter Module Data Guide: www.linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/txm-fff-lr.pdf
- [4] Manchester Data Encoding for Radio Communications: www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/3/3435.html
- [5] RadioHead Packet Radio library voor embedded microprocessors: www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/
- [6] Linx LR Series Receiver Module Data Guide: www.linxtechnologies.com/wp/wp-content/uploads/rxm-fff-lr.pdf
- [7] VFD-klok met ESP32, Elektorlabs mei/juni 2018: www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201805/41518
- [8] Projectpagina bij dit artikel: www.elektormagazine.nl/200136-04