

FOCUS OP

Prototyping,
Productie &
Componenten

VREEMDE

ONDERDELEN

ongebruikelijke IC's



**Andonstar
AD409 Pro-ES HDMI
digitale microscoop**
hij is groot en heeft
een endoscoop



Een ESP32-project
maken met een
inleiding voor beginners



Word lid van de Elektor Community



Neem nu een
lidmaatschap!



- ✓ Toegang tot het compleet web-archief t/m 1960!
- ✓ 8x Elektor Magazine (Print)
- ✓ 8x digitaal (PDF)
- ✓ 10% korting in de Elektor Store, en exclusieve aanbiedingen
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



Ook verkrijgbaar

Het digitale
lidmaatschap!



- ✓ Toegang tot het compleet web-archief
- ✓ 10% korting in de Elektor Store
- ✓ 8x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Toegang tot meer dan 5000 Gerberfiles



www.elektormagazine.nl/abo



IN DIT NUMMER

- 3 **Voorwoord**
- 4 **Een ESP32-project maken met een inleiding voor beginners**
- 12 **Vreemde onderdelen**
ongebruikelijke IC's
- 14 **EMC-conformiteit bereiken met EMI-afscherming**
- 19 **De perfecte tool voor elke elektronicaliefhebber**
eindeloze mogelijkheden met Red Pitaya en 1.000+ Click Boards™
- 20 **HDI in het midden**
een nieuwe kosteneffectieve PCB-poolingservice voor kleine BGA's
- 22 **Andonstar AD409 Pro-ES HDMI digitale microscoop**
hij is groot en heeft een endoscoop

De gedrukte editie-
Het september/oktober-nummer 2024 van ElektorMag is verkrijgbaar aan kiosken en in de Elektor Store.



C. J. Abate

Content Director, Elektor

Meer prototyping en productie

Welkom bij de november/december bonuseditie van ElektorMag! Nu we het jaar 2024 afsluiten, zijn we verheugd om dit digitale bonusnummer aan te bieden, boordevol extra content om onze wereldwijde elektroniegemeenschap te inspireren en te informeren. Deze editie bevat een verscheidenheid aan artikelen, stuk voor stuk bedoeld voor serieuze elektroniekmakers, studenten en professionele ingenieurs. Binnenin vindt u een diepgaande duik in het creëren van een ESP32-project met PlatformIO, een krachtige ontwikkelomgeving die embedded programmeren stroomlijnt en het beste in IoT-ontwerp naar boven haalt. We verkennen ook de groeiende wereld van open-source tools, van antennesimulators tot essentiële hulpprogramma's voor componentenbeheer en berekeningen, waardoor het eenvoudiger dan ooit wordt om een nieuw project te starten. Voor degenen die geïnteresseerd zijn in benchtop tools, bespreken we de Andonstar AD409 Pro-ES HDMI Digitale Microscoop, een veelzijdig instrument dat perfect is voor een close-up inspectie van je nieuwste creaties. Of je nu op zoek bent naar nieuwe ontwerpinzichten, praktische gereedschappen of de nieuwste tech-reviews, deze bonuseditie heeft voor ieder wat wils. Veel leesplezier en op een inspirerende en innovatieve afsluiting van het jaar!

Ons team

Internationaal hoofdredacteur: Jens Nickel | **Content Director:** C.J. Abate | **Internationale redactie:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristram Williams | **Vaste medewerkers:** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Vormgeving & Layout:** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Directeur:** Erik Jansen | **Technische vragen:** redactie@elektor.com

COLOFON

64^e jaargang nr. 691B
november/december 2024 bonus editie

Elektor verschijnt acht keer per jaar
en is een uitgave van

Elektor International Media B.V.
Postbus 11, 6114 ZG Susteren (Nederland)
Tel.: +31 (0)46 4389444

www.elektor.nl | www.elektormagazine.nl

Voor al uw vragen: service@elektor.nl

Lid worden: www.elektormagazine.nl/abo

Advertenties

Raoul Morreau
Tel. +31 (0)6 4403 9907 – raoul.morreau@elektor.com
www.elektormagazine.nl/adverteren

Auteursrecht

© Elektor International Media B.V. - 2024

Niets uit deze uitgave mag vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De auteursrechtelijke bescherming van Elektor strekt zich mede uit tot de illustraties met inbegrip van de printed circuits, evenals de ontwerpen

daarvoor. In verband met artikel 30 van de Rijksvoortrooiwet mogen de in Elektor opgenomen schakelingen slechts voor particuliere of wetenschappelijke doeleinden vervaardigd worden en niet in of voor een bedrijf. Het toepassen van de schakelingen geschiedt buiten de verantwoordelijkheid van de uitgever. De uitgever is niet verplicht ongevraagd ingezonden bijdragen, die hij niet voor publicatie aanvaardt, terug te zenden. Indien de uitgever een ingezonden bijdrage voor publicatie aanvaardt, is hij gerechtigd deze op zijn kosten te (doen) bewerken. De uitgever is tevens gerechtigd een bijdrage te (doen) vertalen en voor haar andere uitgaven en activiteiten te gebruiken tegen de daarvoor bij de uitgever gebruikelijke vergoeding.

Een ESP32- project maken met

een inleiding voor beginners



Riccardo Medda (Italië)

PlatformIO biedt in combinatie met Visual Studio Code een krachtige, flexibele en gebruiksvriendelijke omgeving voor de ontwikkeling van firmware voor microcontrollers. De combinatie van configuratiegemak, brede platformondersteuning, geavanceerde ontwikkeltools en een grote community maakt deze opzet een uitstekende keuze voor degenen die net beginnen op het gebied van embedded programmeren. In dit artikel beschrijven we een voorbeeld van de integratie van PlatformIO en VSC om een ontwerp te maken voor het uitlezen van vochtigheids- en temperatuurwaarden met een digitale sensor en een ESP32-module.

PlatformIO is een open-source geïntegreerde ontwikkelomgeving (Integrated Development Environment, IDE) die steeds meer wordt gebruikt in de hobbysector, maar vooral ook door professionals. Een geïntegreerde ontwikkelomgeving is software die ontwikkelaars voorziet van een uitgebreide toolset voor het schrijven, testen en debuggen van softwarecode.

Een IDE integreert een aantal essentiële tools en functies om het software-ontwikkelproces te vereenvoudigen, de productiviteit te verbeteren en een consistente omgeving te bieden voor de hele levenscyclus van een project. Zo'n IDE bevat meestal:

- een geavanceerde teksteditor die de syntaxis van de gebruikte programmeertaal ondersteunt, met functies zoals syntax highlighting, automatisch aanvullen en inspringen;
- tools voor het compileren van broncode naar uitvoerbare machinetaal;
- een ingebouwde debugger om fouten in de code op te sporen en te corrigeren tijdens het uitvoeren van het programma;
- een systeem dat het toevoegen, beheren en bijwerken van bibliotheken en project-afhankelijkheden vergemakkelijkt;
- een gecontroleerde uitvoeringsomgeving om de software tijdens de ontwikkeling te testen;
- systemen voor integratie met versiebeheerprogramma's (zoals SVN, Git, Mercurial enzovoort), functies voor projectbeheer en een eenvoudige en intuïtieve gebruikersinterface.

Een populaire IDE en veelgebruikte is bijvoorbeeld Visual Studio Code (VSC).

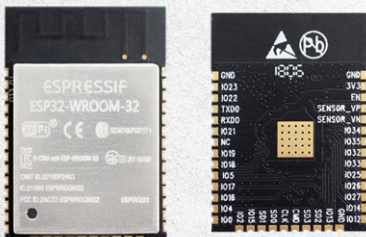
PlatformIO is eigenlijk geen echte stand-alone IDE, maar veeleer een plugin (dat wil zeggen add-on software) die kan worden geïntegreerd in verschillende ontwikkelomgevingen, waaronder Visual Studio Code (VSC), Atom en Eclipse. Op dit moment is Visual Studio Code de belangrijkste IDE die wordt ondersteund door PlatformIO, en waarschijnlijk ook de IDE waaraan de meeste professionele ontwikkelaars de voorkeur geven.

De ESP32-module

De ESP32 is een low-power microcontroller ontwikkeld door Espressif Systems, en staat bekend om zijn veelzijdigheid en rekenkracht. Gebaseerd op de Xtensa LX6-architectuur van Tensilica, integreert de ESP32 verschillende geavanceerde functies die hem ideaal maken voor een breed scala aan toepassingen voor het Internet of Things (IoT) en embedded computing.

In het oog springende features van de ESP32 zijn:

- Dual-Core architectuur: de ESP32 heeft twee Xtensa LX6-kernen, die parallelle bewerkingen mogelijk maken en de systeemprestaties als geheel verbeteren.
- Hoge klokfrequentie: met klokfrequenties tot 240 MHz biedt de ESP32 een hoge verwerkingskracht voor complexe toepassingen.
- Draadloze connectiviteit: geïntegreerde WiFi- en Bluetooth-connectiviteit, waardoor draadloze communicatie met andere apparaten en netwerken moeiteloos verloopt.
- Ingebouwd flashgeheugen: de ESP32 heeft voldoende geheugenruimte voor het laden van firmware en gegevens.
- Talrijke gevarieerde I/O-periferie, zoals GPIO-, UART-, I²C-, SPI- en PWM-poorten, voor eenvoudige interactie met andere apparaten.
- Signaalprocessor (DSP): de ESP32 is uitgerust met een DSP die de verwerkingsmogelijkheden voor audio- en signaalverwerkingstoepassingen verbetert.
- Low-power modus: ondersteunt energiezuinige modi om de levensduur van de accu/batterij te verlengen in betreffende apparaten ('deepsleep').



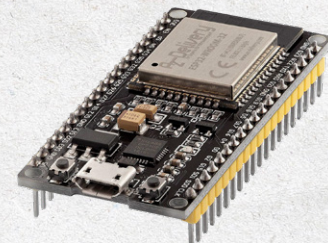
Figuur A (bron: Elettronica In).

- Open-source ontwikkelomgeving: Espressif ondersteunt een open-source ontwikkelomgeving via het gebruik van frameworks zoals Arduino en PlatformIO, wat het programmeer- en ontwikkelproces vereenvoudigt.
- Beveiliging: de ESP32 bevat geavanceerde beveiligingsfuncties, waaronder hardware-encryptie, waardoor hij geschikt is voor projecten die een hoger beschermingsniveau vereisen.

Vanwege deze eigenschappen wordt de ESP32 veel gebruikt voor het ontwikkelen van IoT-projecten, slimme sensoren, domotica-applicaties en meer. De ESP32 is een processor die, althans voor onze doeleinden, een extra elektronisch onderdeel nodig heeft dat de juiste voeding levert en een interface maakt met een USB-poort op een computer, zodat hij geprogrammeerd kan worden (dat wil zeggen de firmware die geschreven en gecompileerd wordt op PlatformIO overbrengen naar het interne geheugen) en ermee kan communiceren via de seriële poort (via de console van de seriële monitor van PlatformIO).

Figuur A maakt duidelijk dat de module niet zonder meer kan worden gebruikt. Maar gelukkig bestaan er onder de naam NodeMCU kleine kaarten die naast de ESP32-microprocessor de eerder genoemde elektronica bevatten. Dergelijke kaarten hebben connectoren waarmee ze kunnen worden aangesloten op de externe omgeving (sensoren, actuatoren en verschillende apparaten).

Dit artikel is gebaseerd op het NodeMCU ESP32-board van **figuur B**, waarin de microprocessor, de periferie en de aansluitingen met de buitenwereld duidelijk te zien zijn.



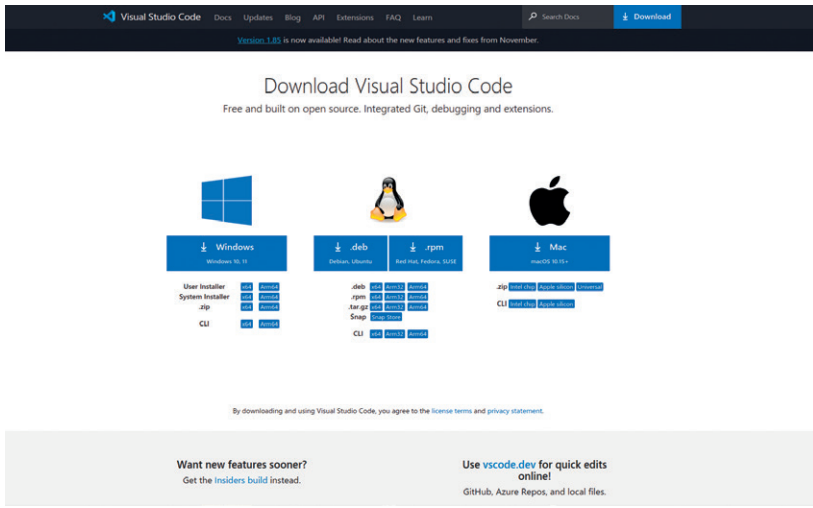
Figuur B (bron: Elettronica In).

De DHT22-sensor

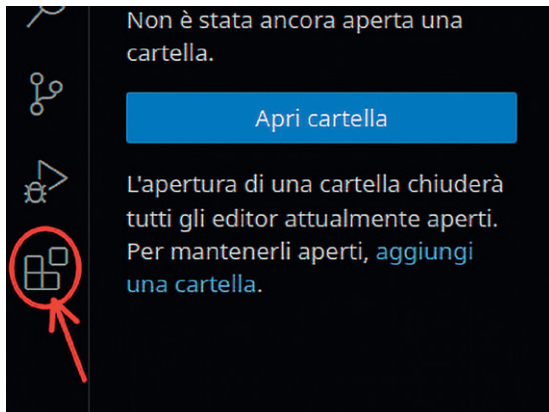
Omdat we hem in dit miniproject gebruiken, zullen we een paar woorden wijden aan deze sensor, die overigens bij insiders enige bekendheid geniet. De DHT22, ook bekend onder de naam AM2302, is een digitale temperatuur- en vochtigheidssensor die een betrouwbare en nauwkeurige oplossing biedt voor het monitoren van omgevingscondities. Deze sensor wordt veel gebruikt in domotica-projecten, omgevingsbewaking en weerapplicaties. De DHT22-sensor gebruikt een capacitieve sensor om de relatieve vochtigheid te meten en een thermistor om de temperatuur te meten. Enkele van de belangrijkste technische kenmerken zijn:

- Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid: de DHT22 biedt een hoge nauwkeurigheid bij zowel temperatuur- als vochtigheidsmeting.
- Ruim meetbereik: de sensor kan temperaturen in een bereik van $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en relatieve vochtigheid in het bereik van 0...100% detecteren.
- Digitaal signaal: de DHT22 verzendt direct digitale signalen via één pin, wat het interfaceren met microcontrollers zoals Arduino of ESP32 vereenvoudigt, die dan geen analog signaal hoeven te bemonsteren en te digitaliseren.
- Snelle reactietijd: de sensor staat bekend om zijn snelle reactietijd van ongeveer 2 seconden.
- Hoge resolutie: de sensor levert gegevens met een resolutie van $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ voor temperatuur en 0,1% voor vochtigheid, wat uiterst nauwkeurige metingen mogelijk maakt.
- Hoge ongevoeligheid voor ruis: dankzij de capacitieve meettechnologie is de sensor relatief ongevoelig voor externe interferentie.

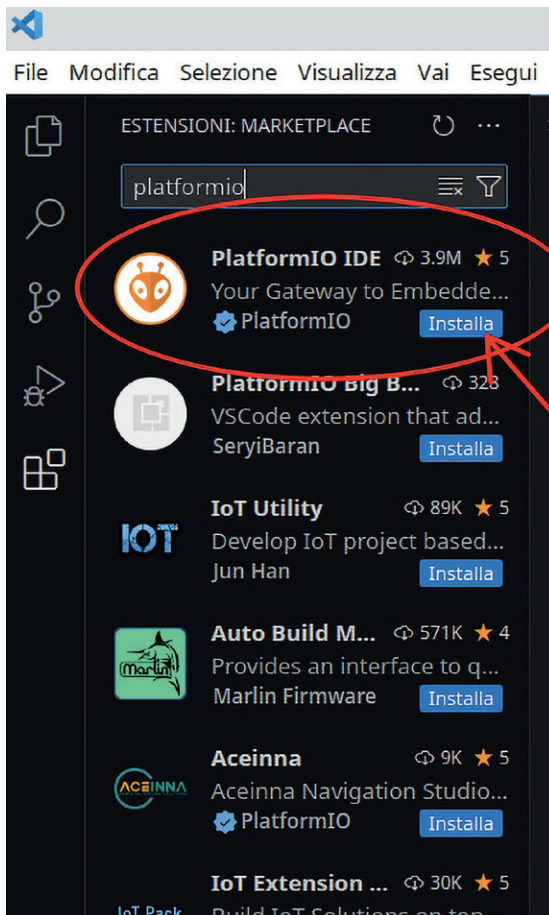
Interfacing met de DHT22 is over het algemeen eenvoudig en vereist alleen een microcontroller en een speciale bibliotheek.



Figuur 1. Visual Studio Code downloadpagina (bron voor alle afbeeldingen, tenzij anders aangegeven: Visual Studio Code, <https://code.visualstudio.com/>).



Figuur 2. De Visual Studio Code-knop om plugins te zoeken ("Apri cartella" = map openen).



Figuur 3. De knop om PlatformIO te installeren.

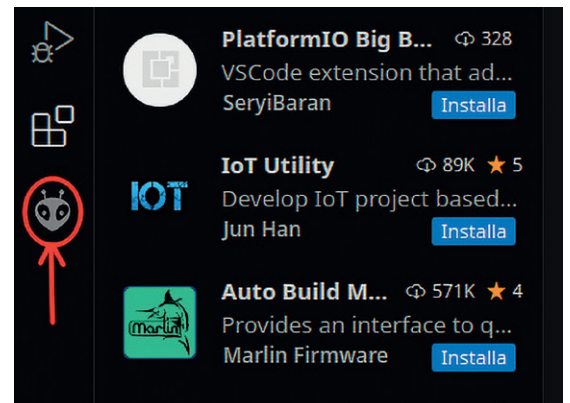
Door PlatformIO te integreren in Visual Studio Code kunnen ontwikkelaars profiteren van verschillende functies; PlatformIO is in feite ontworpen om het ontwikkelproces van microcontroller-firmware te vereenvoudigen en te verbeteren. Het ondersteunt een groot aantal verschillende microcontrollers-typen, waaronder de verschillende Arduino-versies, maar ook andere microcontrollers en ESP8266/ESP32-gebaseerde boards.

In essentie is een van de onderscheidende kenmerken van PlatformIO de compatibiliteit met verschillende platforms, waaronder Arduino, Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF) en vele andere. Hierdoor kunnen ontwikkelaars het platform kiezen dat het beste past bij hun behoeften, terwijl ze (en dat is niet onbelangrijk) altijd dezelfde IDE gebruiken.

Het ondersteunt verschillende programmeertaalopties, zoals C, C++ en Python en is compatibel met bibliotheken die al voor Arduino zijn gemaakt. PlatformIO vereenvoudigt het beheer van projectafhankelijkheden en de verschillende versies van bibliotheken (zowel zelfgemaakt als van derden) die kunnen worden opgenomen in aanzienlijke mate, en biedt geavanceerde compilatietools. Zo kunnen ontwikkelaars gemakkelijk externe bibliotheken in hun projecten opnemen zonder zich zorgen te hoeven maken over installatiedetails.

Verder ondersteunt PlatformIO het versiebeheer van bibliotheken, waardoor het ontwikkelproces robuuster (en tegelijk eenvoudiger) wordt. De IDE biedt uitgebreide ondersteuning voor debugging alsmede geavanceerde tools voor apparaatbewaking en -controle tijdens het uitvoeren van firmware. Samenvattend biedt PlatformIO een uniforme, flexibele, intuïtieve en relatief eenvoudig te beheersen omgeving die het ontwikkelproces vereenvoudigt en bijdraagt aan efficiënter projectbeheer.

In dit artikel zullen we zien hoe we een PlatformIO-gebaseerd project kunnen maken en beheren, specifiek voor de ESP32-microcontroller, die zal worden gecombineerd met een DHT22 sensor om realtime waarden voor omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid te detecteren en deze weer te geven op de PlatformIO-console.



Figuur 4. Het pictogram van het nieuw geïnstalleerde PlatformIO.

Installatie van Visual Studio Code en PlatformIO

Zoals al opgemerkt, is PlatformIO een plugin voor de Visual Studio Code IDE, dus de eerste stap is om die IDE te installeren. De directe link naar de downloadpagina is te vinden op [1]. Zoals te zien in **figuur 1**, is die software beschikbaar voor de belangrijkste besturingssystemen (Windows, verschillende distributies van Linux, macOS). Zodra we het juiste bestand voor ons eigen OS hebben gedownload, installeren we het.

Welke versie u ook kiest, er verschijnt een welkomspagina zodra het programma start. Als u die sluit, verschijnt de hoofdpagina van de IDE in de linkerkolom met knoppen (waaronder de rood gemarkeerde knop in **figuur 2**). Die wordt gebruikt om de gewenste plugins (extensies) voor VSC te zoeken en te installeren. Door erop te klikken wordt het zoekvenster in de linkerkolom geopend.

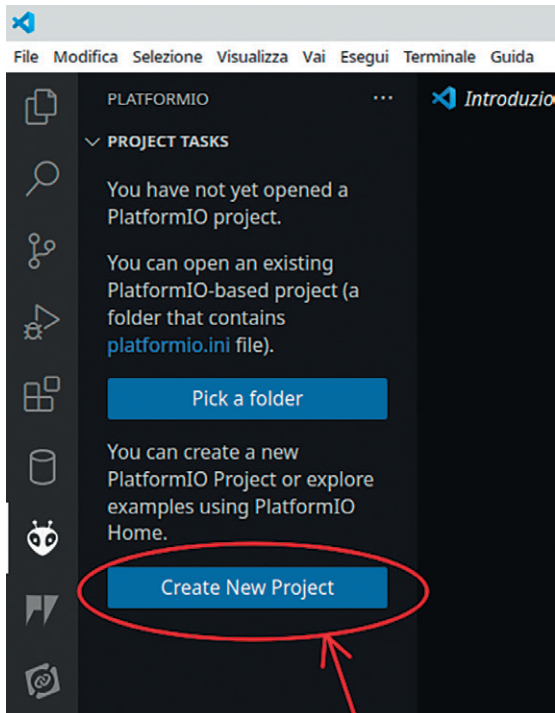
Om een plugin te vinden, vult u de naam in het rechthoekige vak linksboven in. Als u *platformio* intypt, verschijnt de plugin in de lijst. Het enige wat we hoeven te doen, is op de knop *Install* van de PlatformIO plugin klikken, zoals in **figuur 3**. Binnen een paar minuten is de plugin geïnstalleerd en wordt deze aangegeven door een klein nieuw pictogram in de linkerkolom (**figuur 4**). PlatformIO is nu geïnstalleerd en klaar voor gebruik.

Een project op PlatformIO maken

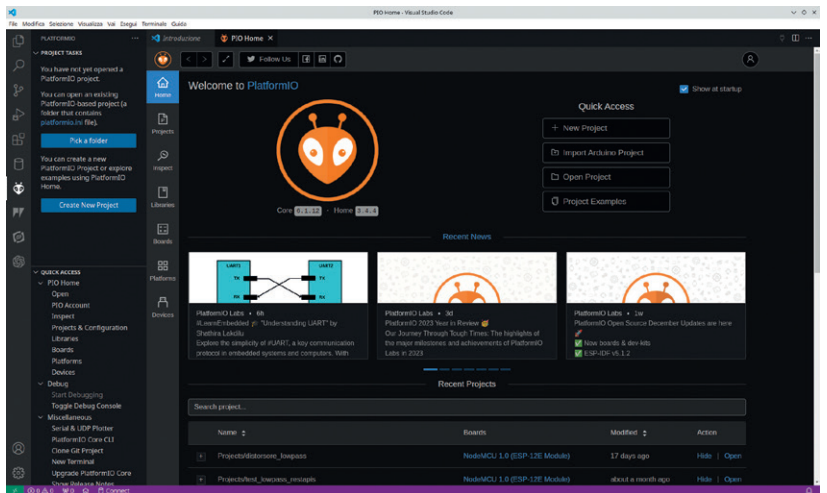
Als het VSC is opgestart, moeten we eerst op het *PlatformIO*-pictogram klikken. De hoofdpagina wordt geopend, waar we op de knop *Create New Project* klikken (**figuur 5**). Er wordt een nieuwe welkomspagina geopend (**figuur 6**), waar we de knop *+ New Project* aanklikken. Dit opent een eenvoudige projectwizard die ons vraagt om de naam van het project, het platform en het gebruikte framework in te voeren (**figuur 7**).

U kunt een willekeurige projectnaam kiezen (bijvoorbeeld *testESP32*), terwijl de keuze van het type board natuurlijk afhangt van het board dat we gaan gebruiken. Als u *ESP32* typt in het tekstvak *Board*, verschijnt er een lijst met alle beschikbare ESP32-gebaseerde boards. In dit geval hebben we gekozen voor het *AZ-Delivery ESP-32 Dev Kit C V4* board. Als framework laten we *Arduino* staan. Met het selectievakje *Location* geeft PlatformIO aan of de standaardmap gebruikt moet worden als werkmap of dat er een andere map gebruikt moet worden. We gebruiken hier de standaardmap.

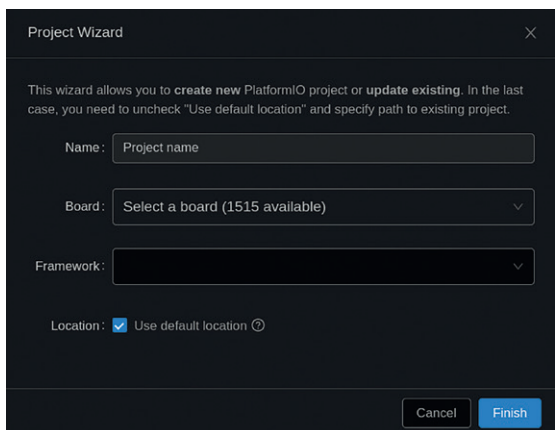
Het resultaat van deze keuzes is te zien in **figuur 8**. Door op de knop *Finish* te klikken wordt het project aangeemaakt. Na een paar seconden verschijnt het scherm van **figuur 9**. PlatformIO toont links de boomstructuur van het project, terwijl in de werkruimte het bestand *platformio.ini* wordt getoond (ook onderdeel van het project) waarin de projectinstellingen worden verzameld. Op dit moment zijn dit de enige instellingen die worden meegegeven bij het compileren van de wizard.



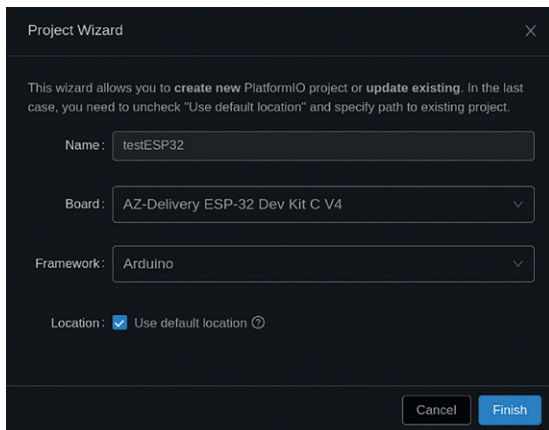
Figuur 5. PlatformIO-knop voor het maken van een nieuw project.



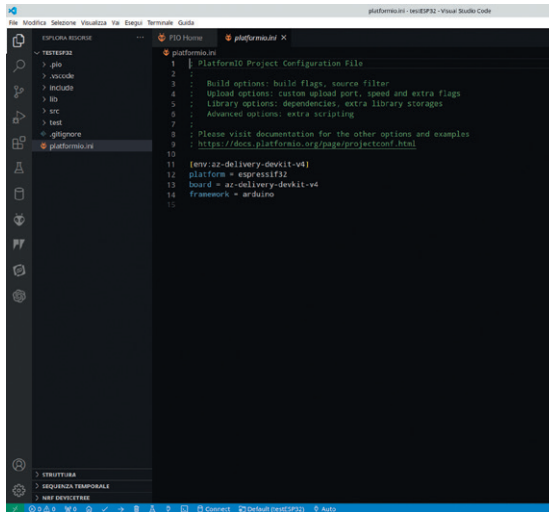
Figuur 6. PlatformIO-welkomspagina.



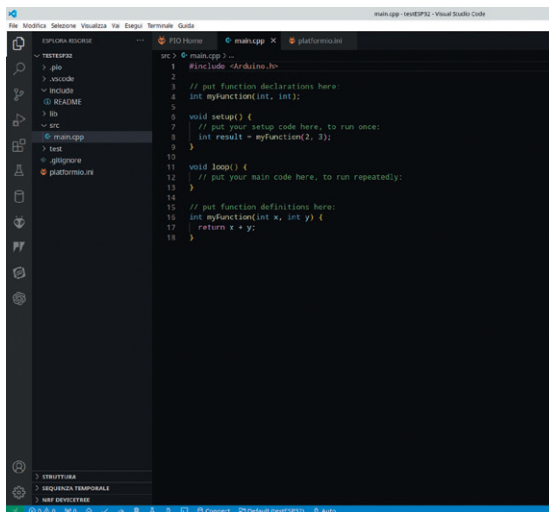
Figuur 7. PlatformIO-projectwizard.



Figuur 8. De projectwizard is ingesteld.



Figuur 9. Het project is aangemaakt.



Figuur 10. Het default main.cpp-bestand.

In de projectstructuur (de 'boom' aan de linkerkant) zien we enkele mappen. Een daarvan heet *includes* en is momenteel leeg. De functie ervan is het verzamelen van alle bestanden die in het project moeten worden opgenomen (meestal *.h*-bestanden). Een andere map heet *src* en bevat het bestand *main.cpp* dat het hoofdbestand van de sketch wordt, dat wil zeggen, het bestand waar het programma terechtkomt.

Figuur 10 toont de inhoud van dat bestand. Merk op dat hier de twee belangrijkste functies die worden gebruikt in sketches voor Arduino verschijnen: *setup* en *loop*. Het project is georganiseerd in een bestandssysteem als in figuur 11.

Opmerking: bij het schrijven van dit artikel hebben we Linux als besturingssysteem gebruikt. Het is mogelijk dat op Windows en macOS de organisatie van de bestanden in het bestandssysteem anders is. Maar de interface van PlatformIO zal altijd hetzelfde zijn, ongeacht het gebruikte besturingssysteem.

Bibliotheken aan het project toevoegen

Het toevoegen van bibliotheken aan het project is vrij eenvoudig. Stel dat we de *DHT sensor library for ESP* willen toevoegen (die wordt gebruikt om de gegevens te lezen die worden verzonden door de DHT22 temperatuur- en vochtigheidssensor). Eerst moeten we in de linkerkolom van de IDE op het *PlatformIO*-pictogram klikken. Dit opent de hoofdpagina van PlatformIO, waar de sectie *QUICK ACCESS* beschikbaar wordt. Een van de items daar is *Libraries*. Door hierop te klikken wordt het zoekvenster voor bibliotheken geopend (figuur 12). Als we DHT22 in het zoekvak typen, verschijnen er meerdere resultaten. We kiezen voor de *DHT sensor library for ESPx* van Bernd Giesecke (figuur 13). Door die aan te klikken wordt de bibliotheekpagina geopend (figuur 14).

Om de bibliotheek te installeren, klikt u op de knop *Add to Project*, selecteert u in de volgende wizard het gewenste project (in ons geval *testESP32*) zoals in figuur 15 en klikt u op de knop *Add*. PlatformIO zal de bibliotheek automatisch downloaden in de projectmap. De bibliotheek wordt ook toegevoegd aan het *platformio.ini*-configuratiebestand (figuur 16).

Dit is de standaardprocedure voor het toevoegen van een bibliotheek aan het project. Een alternatieve procedure is om het bestand *platformio.ini* direct te bewerken door de regel *lib_deps* = toe te voegen, gevolgd door de lijst met bibliotheken die toegevoegd moeten worden. In ons geval zou het voldoende zijn geweest om deze regel toe te voegen:

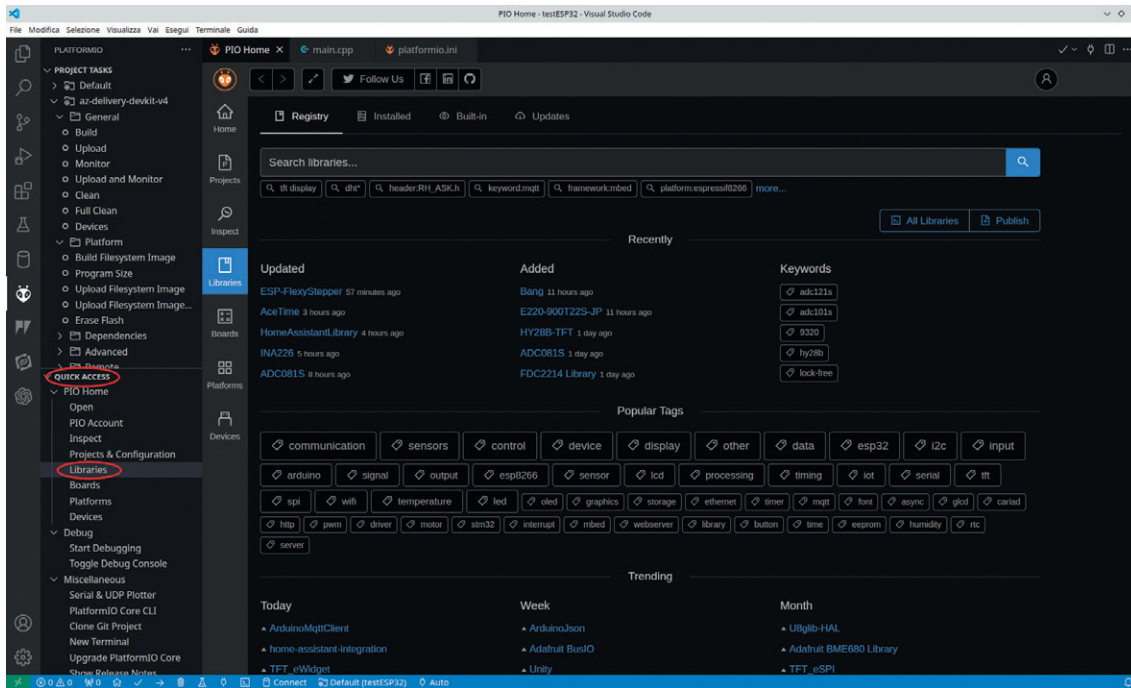
```
lib_deps=beegee-tokyo/DHT sensorbibliotheek voor ESPx@1.19
```

Samenvattend kunnen bibliotheken worden toegevoegd met de zoekpagina of rechtstreeks aan het bestand *platformio.ini* als u de naam en het pad kent. Om de zojuist aan het project toegevoegde bibliotheek te gebruiken, moet deze bijvoorbeeld worden opgenomen in het bestand *main.cpp*, door de regel *#include „DHTesp.h“* direct na de regel *#include „Arduino.h“* toe te voegen. Aan het bestand *platformio.ini* voegen we bovendien de volgende regels toe:

```
monitor_speed = 115200
upload_speed = 921600
```

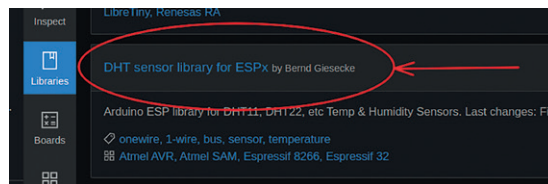


▲
 Figuur 11. Het bestandssysteem van het project.

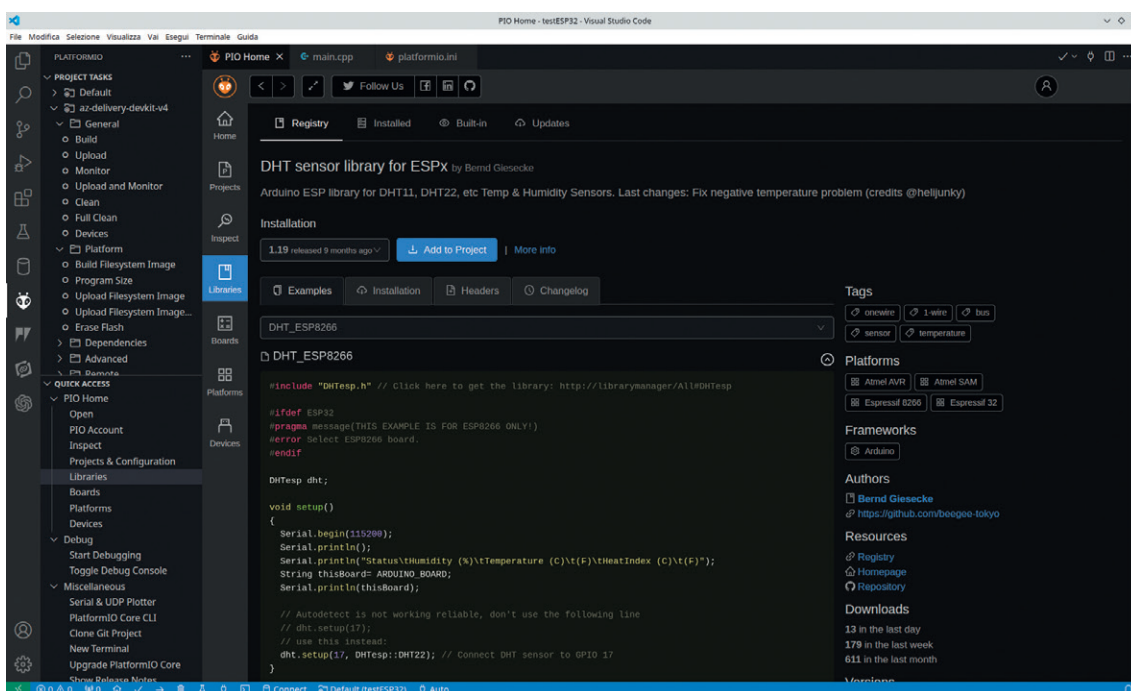


Figuur 12. De bibliotheek-zoekpagina van PlatformIO.

zodat het eruitziet als in **figuur 17**. Deze beide commando's worden gebruikt om de snelheid van de seriële poort in te stellen voor communicatie met de computer en de snelheid waarmee de sketch in het geheugen van de microcontroller wordt geladen.

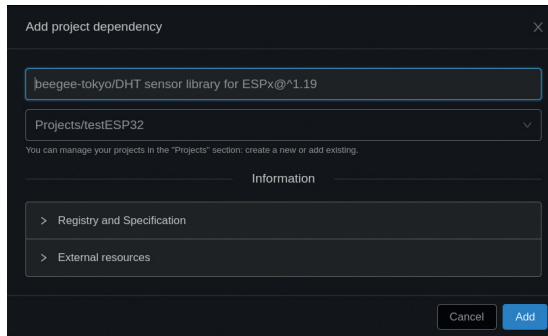


▲
 Figuur 13. Deze bibliotheek hebben we voor het sensorbeheer gekozen.

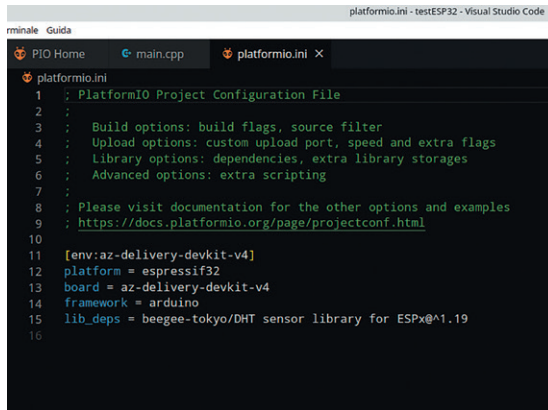


▲
 Figuur 14. De pagina van de DHT sensor library for ESPx van Bernd Giesecke.

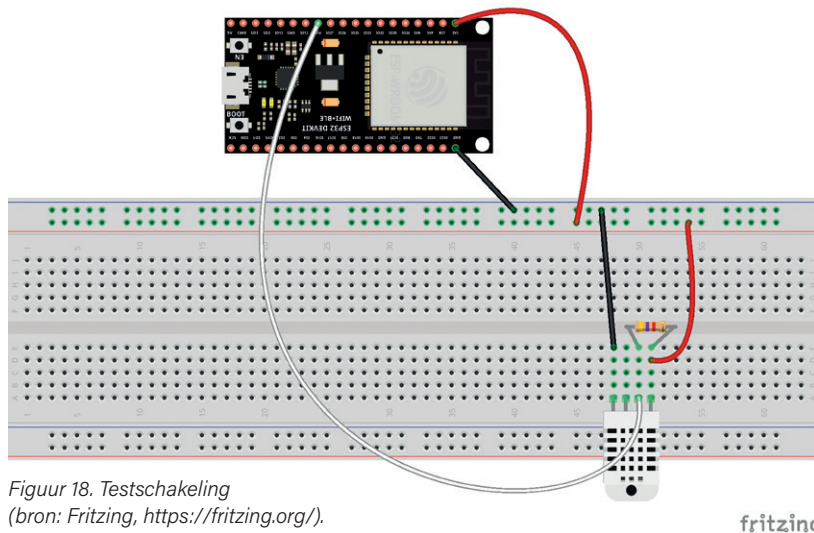
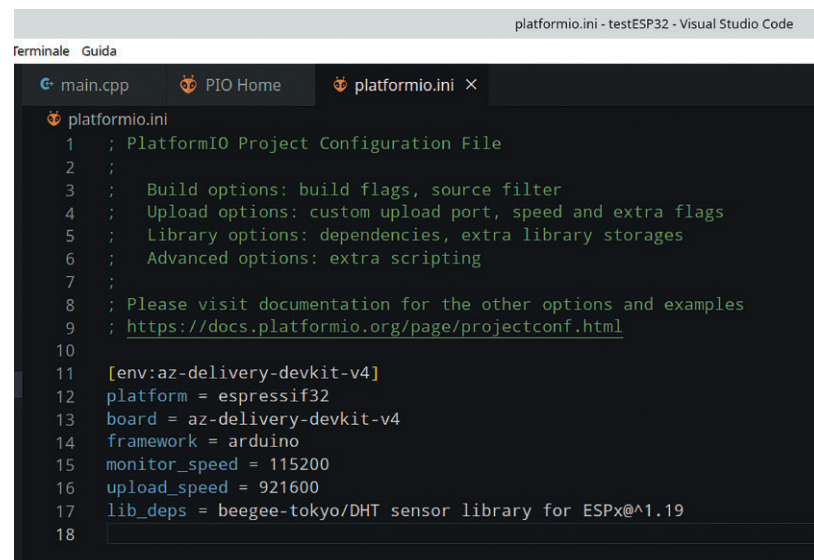
Figuur 15. Bibliotheek add-on.



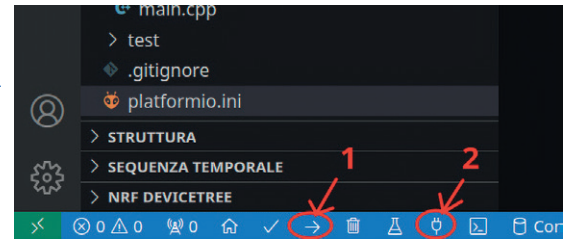
Figuur 16. Het platformio.ini-bestand met de bibliotheek toegevoegd.



Figuur 17. Nieuwe versie van platformio.ini-bestand.



Figuur 18. Testschakeling (bron: Fritzing, <https://fritzing.org/>).



Figuur 19. De knop Compile and load sketch en de knop om de seriële monitor te activeren.

Het project testen

Om een werkend voorbeeld te krijgen van het nieuw aangemaakte (en dus nog lege) project, gebruiken we een DHT22-sensor, lezen we de gemeten waarden van de omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid in realtime uit en geven deze via de seriële monitor van PlatformIO weer. Naast de microcontroller en de sensor hebben we daarvoor een breadboard, een weerstand van 4,7 kΩ en wat draden nodig om de eenvoudige schakeling van **figuur 18** op te bouwen. U ziet dat het helaas niet mogelijk was om de ESP32 NodeMCU op het breadboard te plaatsen zodat die ernaast ligt.

De sketch

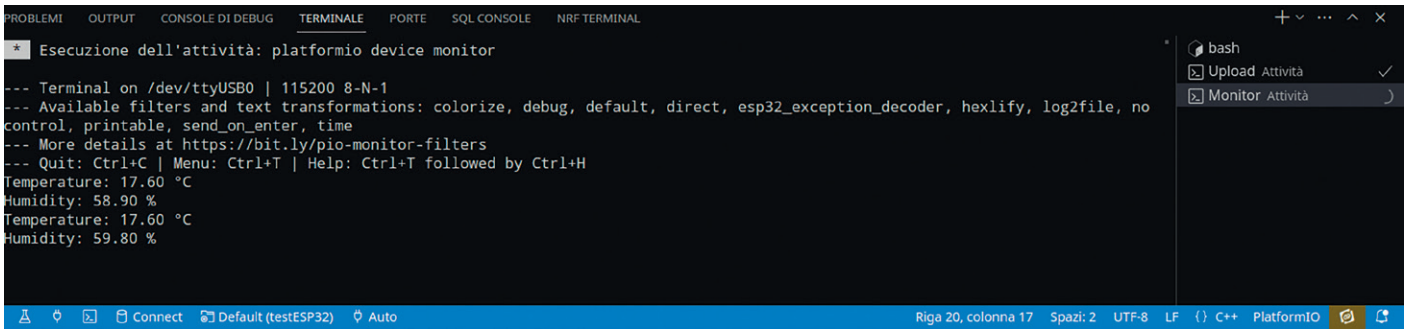
Listing 1 maakt deel uit van het bestand *main.cpp*. De sketch begint met het toevoegen van de benodigde bibliotheken. Vervolgens wordt het `dht`-object van het type `DHTesp` geïnstantieerd, dat wordt gebruikt om de sensor aan te sturen. Vervolgens wordt de GPIO van de ESP32 toegewezen die de gegevens van de sensor zal inlezen (in ons geval 14).

Er worden variabelen gedefinieerd die de meetwaarden bevatten en variabelen die de timing van de metingen regelen (in dit geval vinden de metingen elke 3 s plaats). Het zou goed zijn om niet onder deze waarde te gaan, omdat de DHT22 er ongeveer 2 s over doet om een meting uit te voeren.

Vervolgens komt de `printData()`-functie, die de temperatuur- en vochtigheidsvariabelen uitleest en afdruckt naar de seriële monitor van PlatformIO, met minimale opmaak. De `setup`-functie initialiseert de seriële poort (waardoor naar de seriële monitor wordt geprint) en verbindt GPIO 14 met de sensor.

Tot slot detecteert de `loop`-functie elke `measureDelay` ms de metingen die door de sensor worden gedaan en slaat ze op in de twee variabelen `Temperature` en `Humidity`. Vervolgens wordt de functie `printData()` aangeroepen om de resultaten af te drukken. Dit gebeurt allemaal cyclisch. Om de sketch in het board te laden, klikt u op de knop met het cijfer **1** in **figuur 19**.

De sketch wordt eerst gecompileerd en vervolgens, als er geen compilatiefouten optreden, geladen in het interne geheugen van de ESP32-microcontroller. Om de resultaten te visualiseren, moet de seriële monitor worden geactiveerd door op de knop met het cijfer **2** (nog steeds in **figuur 19**) te klikken. **Figuur 20** toont de resultaten die worden afgedrukt naar de seriële monitor.



Figuur 20. De resultaten worden naar de seriële monitor geprint.

Klaar om te gaan coderen?

U ziet dat het creëren van een project met PlatformIO en het toevoegen van eventuele bibliotheken al met al een vrij eenvoudige en gestandaardiseerde operatie is. PlatformIO combineert gebruiksgemak met uitgebreide functionaliteit, die hier niet aan bod komen omdat dit niet het doel van dit artikel is.

Geavanceerd bibliotheekbeheer en eenvoudige installatie van afhankelijkheden vereenvoudigen het ontwikkelproces nog verder, waardoor u zich meer kunt richten op het creëren van het project in plaats van op het configureren van de omgeving. Daarnaast biedt de ingebouwde integratie met Arduino en zijn grote gemeenschap van ontwikkelaars extra voordelen, waardoor toegang wordt verkregen tot een uitgebreid ecosysteem van gedeelde resources en oplossingen.

Het gebruik van PlatformIO voor ESP32 betekent een belangrijke stap naar een efficiënter, beter georganiseerd, schaalbaar en professioneler ontwikkelproces. Het platform biedt de tools die nodig zijn om innovatieve ideeën te verkennen, complexe ontwerpen te maken en de ontwikkelcyclus te versnellen, waardoor de programmeerervaring soepeler verloopt en dus meer voldoening geeft. ◀

240370-03



Gerelateerde producten

- > Joy-IT NodeMCU ESP32 Development Board
www.elektor.nl/19973
- > Joy-IT Sensor Kit X40
www.elektor.nl/18124



Listing 1. Programmalus voor het lezen en printen van sensordata.

```
#include <Arduino.h>
#include "DHTesp.h"

DHTesp dht;
#define DHT22_PIN 14

float temperature;
float humidity;
unsigned long measureDelay = 3000; // NOT LESS THAN 2000!!!!
unsigned long lastTimeRan;

void printData() {
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" °C");
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(humidity);
    Serial.println(" %");
}

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor
    // without blocking if none is found
    delay(1500);
    dht.setup(DHT22_PIN, DHTesp::DHT22);
    // Connect DHT sensor to GPIO 14
}

void loop() {
    //put your main code here, to run repeatedly:
    if (millis() > lastTimeRan + measureDelay) {
        humidity = dht.getHumidity();
        temperature = dht.getTemperature();
        printData();
        lastTimeRan = millis();
    }
}
```

WEBLINKS

- [1] Visual Studio Code-downloadpagina:
<https://code.visualstudio.com/download>

VREEMDE

ONDERDEELLEN

ongebruikelijke IC's

David Ashton (Australië)

Laten we de fascinerende evolutie van geïntegreerde schakelingen (IC's) in de loop van de decennia eens bekijken, van unieke en eigenaardige vroege ontwerpen tot de compacte, gestandaardiseerde behuizingen van vandaag.

Tegenwoordig zijn geïntegreerde schakelingen (IC's) ondergebracht in steeds kleinere behuizingen, maar daarvan zijn slechts een paar standaardtypes in omloop – SMD-types (*surface mount device*) met steeds kleinere afstand tussen de aansluitingen ('pootjes'), en en BGA-types (*ball grid arrays*) waarbij de aansluitingen zich allemaal onder het IC bevinden. De oudere through-hole types – geliefd bij hobbyisten zonder specialistische apparatuur – zijn er weliswaar nog steeds, maar worden steeds zeldzamer.

Vroeger (ik geef mijn leeftijd hier prijs) bestonden er veel meer IC-behuizingen, sommige mooi, sommige lelijk, maar allemaal merkwaardig vergeleken met de IC's van vandaag.

Through-hole IC's en grotere behuizingen

Tegenwoordig is de kans niet erg groot dat u through-hole IC's tegenkomt in een behuizing met meer dan 40 pinnen of een breedte van meer dan 0,6 inch. Alles wat groter is, is tegenwoordig SMD. Maar vroeger waren behuizingen met tot 64 aansluitingen niet ongewoon. Dit is er zo een – een 64-pins HD68450 DMA IC voor Motorola's 68000-serie microprocessors (**figuur 1**). Dit specifieke IC heeft bovendien een keramische behuizing; ik denk dat keramische substraten een betere thermische stabiliteit hadden dan die van plastic, maar ze waren meestal duurder.



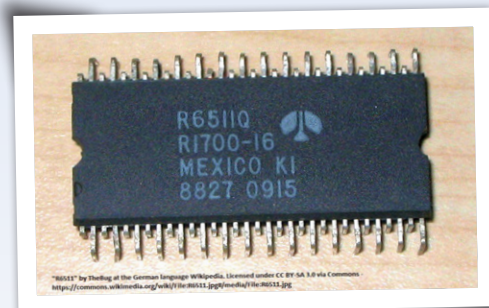
Figuur 1. HD68450 DMA-IC voor de 68000-serie microcomputers van Motorola, in een keramische behuizing.

Uit hetzelfde tijdperk stammen de EPROM's – *erasable, programmable read-only memory* (**figuur 2**). Ze werden geleverd in min of meer standaard 24- tot 40-pins behuizingen, maar hadden een kwartsvensterje aan de bovenkant van de behuizing. U programmeerde ze elektrisch, maar om ze te wissen en opnieuw te gebruiken, moest u ze blootstellen aan UV-licht via dat kleine venstertje. De 'die' zelf verstrooide het licht onder de juiste hoek en toonde de mooiste kleuren.



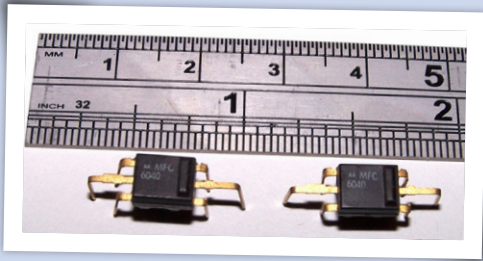
Figuur 2. Enkele EPROM's.

Een truc die fabrikanten gebruikten om meer pinnen op een kleiner oppervlak te krijgen, was het gebruik van quad-in-line behuizingen, waarbij de pinnen twee rijen gaten aan elke kant van de chip gebruikten. Hierdoor konden fabrikanten de aansluitingen dichter bij elkaar plaatsen zonder kleinere soldeereilandjes op de print nodig te hebben. Een groot exemplaar is te zien in **figuur 3**.



Figuur 3. Quad-in-line RS6511-IC (bron: Guido Körber / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0).

Vreemd genoeg werd dezelfde techniek gebruikt voor veel kleinere IC's – Motorola leverde de MFC6040 (een elektronische verzwakker) in een 6-pins behuizing (**figuur 4**). Waarom ze deze niet in een gewone 8-DIL behuizing onderbrachten, weet ik niet...



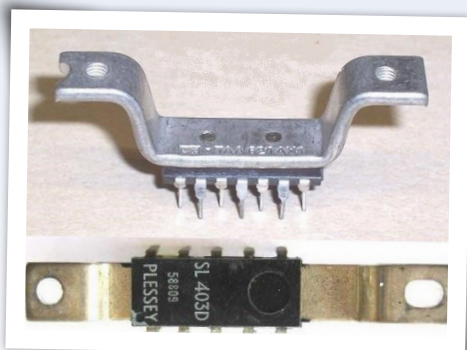
Figuur 4. Zespolige quad-in-line MFC6040-verzwakker.

Voordat er DIL-IC's waren, hadden we natuurlijk de ronde TO-99 behuizingen voor opamps en zelfs sommige oude digitale IC's. De vroege 709- en 741-opamps werden vaak in deze behuizing geleverd. Ze werden TO-99 genoemd als ze 8 of 10 pinnen hadden (ik heb TO-74 gebruikt zien worden voor 10-pins exemplaren) en TO-5 of TO-39 als het gewoon transistoren met drie aansluitingen waren. Het is verrassend wat er allemaal in deze oude ronde behuizingen te vinden is – ik heb zelfs een paar 555-timers in die behuizing. Een verzameling IC's van dit type is te zien in **figuur 5**. Dit was de gebruikelijke behuizing voor vroege IC's ongeacht het type.



Figuur 5. TO-99 8- en 10-pins IC's.

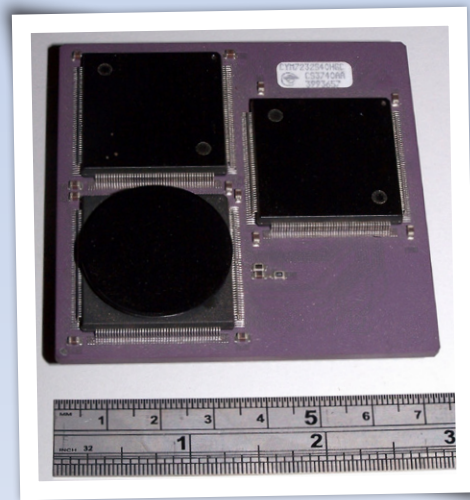
De koeling van kleine audioversterkers is altijd een probleem. Versterkers met een hoger vermogen kunnen in zo'n behuizing met koelvin worden ondergebracht, zoals we die van spanningsregelaars en eindtransistoren kennen, maar er zijn enkele pogingen gedaan om dat ook voor kleinere (zo'n 5 W) versterkers te doen. De resultaten zien er niet uit (**figuur 6**). De TAA621 had een quad-in-line pinout, waarbij het koellichaam op een plastic IC was geplakt, en de Plessey SL403D was een 10-pins DIL-IC waarbij de chip daadwerkelijk op het koellichaam was gemonteerd. Maar deze beide versterkers waren berucht om hun onbetrouwbaarheid....



Figuur 6. Audioversterkers met koellichaam. Een quad-in-line TAA621 (boven) en een Plessey SL403D (onder).

Groot, groter, grootst

Ik heb het beste tot het laatste bewaard! Dit monster (**figuur 7**) bestaat uit een vierkante keramische drager met een zijde van bijna 3 inch, waarop drie afzonderlijke, grote SMD-IC's zijn gemonteerd, samen met een paar SMD-condensatoren en een weerstand. Technisch gezien is het dus een hybride schakeling, geen IC op zich, maar het ziet er wel indrukwekkend uit. Op een van de IC's is een rond koellichaam gemonteerd, als een 'helipad'. Het is een CYM7232S40HGC 32-bit DRAM-accelerator, afkomstig van een server uit vroege negentiger jaren. Hij had 371 pinnen (ik kan me vertellen hebben) en een enorme voet.



Figuur 7. DRAM-accelerator-IC uit het begin van de jaren '90.

Dit is zeker niet alles wat er over eigenaardige IC-behuizingen uit het verleden te vertellen is. Als ik denk aan de QFP-, QFN- en BGA-behuizingen van tegenwoordig, weet ik niet zeker of het leven er gemakkelijker op is geworden, vooral voor ons hobbyisten! ◀

240417-03



Over de auteur

David Ashton is geboren in Londen, groeide op in Rhodesië (nu Zimbabwe), woonde en werkte in Zimbabwe en woont nu in Australië. Hij is al geïnteresseerd in elektronica sinds hij 'drie turven hoog' was. Rhodesië was niet bepaald het centrum van het elektronica-universum, dus aanpassen, vervangen en onderdelen bij elkaar scharrelen waren vaardigheden die hij al vroeg aanleerde (en waar hij nog steeds trots op is). Hij heeft een elektronicalab gerund, maar heeft voornamelijk in de telecommunicatie gewerkt.

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.

EMC-conformiteit bereiken met EMI-afscherming

Mark Patrick (Mouser Electronics)

In dit artikel bespreken we het belang van afscherming tegen elektromagnetische interferentie (EMI) voor het bereiken van conformiteit voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC), met name in de context van moderne technologieën zoals 5G en het Internet of Things (IoT). In dit artikel onderzoeken we ook diverse EMI-afschermingstechnieken, -materialen en -strategieën die ingenieurs in het ontwerpproces kunnen toepassen om interferentie tegen te gaan en de betrouwbaarheid van het product te garanderen.

Technologische ontwikkelingen, zoals de uitdijende beschikbaarheid van 5G en de groeiende populariteit van het Internet of Things (IoT), vergroten de noodzaak tot afscherming tegen elektromagnetische interferentie (EMI). EMC-conformiteit bereiken en EMI-bronnen vroeg in de ontwerp-fase verminderen zijn van cruciaal belang om inefficiëntie te elimineren, kostbare herontwerpen te vermijden en vertragingen bij de productlancering te voorkomen. In elk ontwerpelement of subsysteem – van behuizing over module tot printplaat ('pcb' of 'printed circuit board') – kan EMI-afscherming ingebouwd worden.

Ingenieurs hebben de keuze uit een uitgebreide reeks afschermingsopties voor elke fase van het ontwerpproces in haast alle mogelijke toepassingen, van commerciële toepassingen in energie-infrastructuur en defensie tot auto's. Dit artikel wil ingenieurs enig inzicht geven in de technologische ontwikkelingen die een uitdaging vormen voor bestaande EMI-afschermingstechnieken en een overzicht geven van de verkrijgbare materialen.

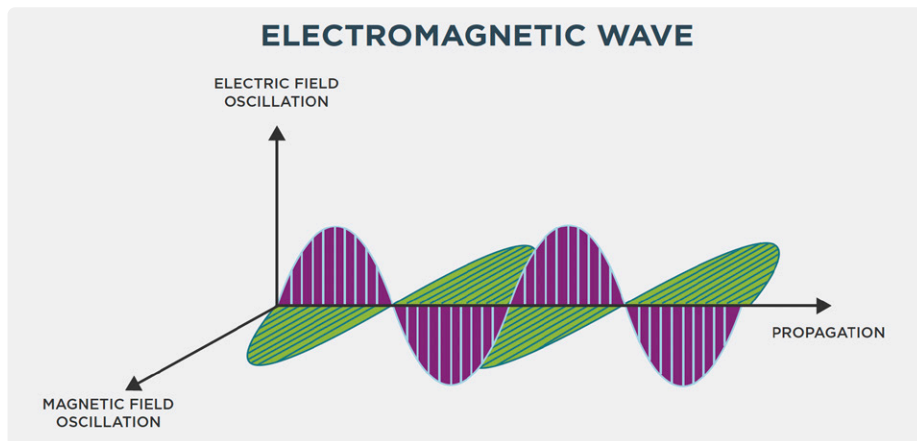
Elektromagnetische interferentie is overal

Elektromagnetische velden treden in zo goed als elke schakeling op. Wisselstroom die door een draad of printspoor loopt, wekt rondom zijn pad oscillerende elektrische velden en magnetische fluxlijnen op (**figuur 1**). Worden die velden

geïnduceerd of versprongen ze naar een ander circuit of een andere verbinding, dan worden ze ongewenste ruis of interferentie. Die ongewenste ruis, aangeduid met de algemene term EMI, kan de werking van dat andere circuit verstoren of ermee interfereren.

Een elektrostatische ontlading (ESD of electrostatic discharge) is een andere vorm van EMI. Elektrostatische ontladingen vertonen eerder een wisselende frequentie, terwijl EMI doorgaans constant is. Elke kortstondige transiënte overspanning ('high dV/dt') kan een slechte werking van of permanente schade aan gevoelige elektronische systemen veroorzaken. De meeste elektronische systemen, zoals klokschakelingen, snelle digitale schakelaars, DC/DC-converteren en draadloze interfaces wekken onbedoelde EMI op.

Die EMI-emissies vinden via geleiding of straling hun weg in andere schakelingen. Zo kunnen kloksignalen die via een printspoor worden getransporteerd straling uitzenden, vaak op meer dan 10 MHz, omdat zo'n printspoor als antenne werkt. De achterlig-



Figuur 1. De magnetische en elektrische velden van een elektromagnetische golf (bron van alle figuren: Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity).

gende gedachte van EMC is dat een circuit of systeem immuun moet zijn voor EMI (**figuur 2**).

Marktdynamiek en -trends

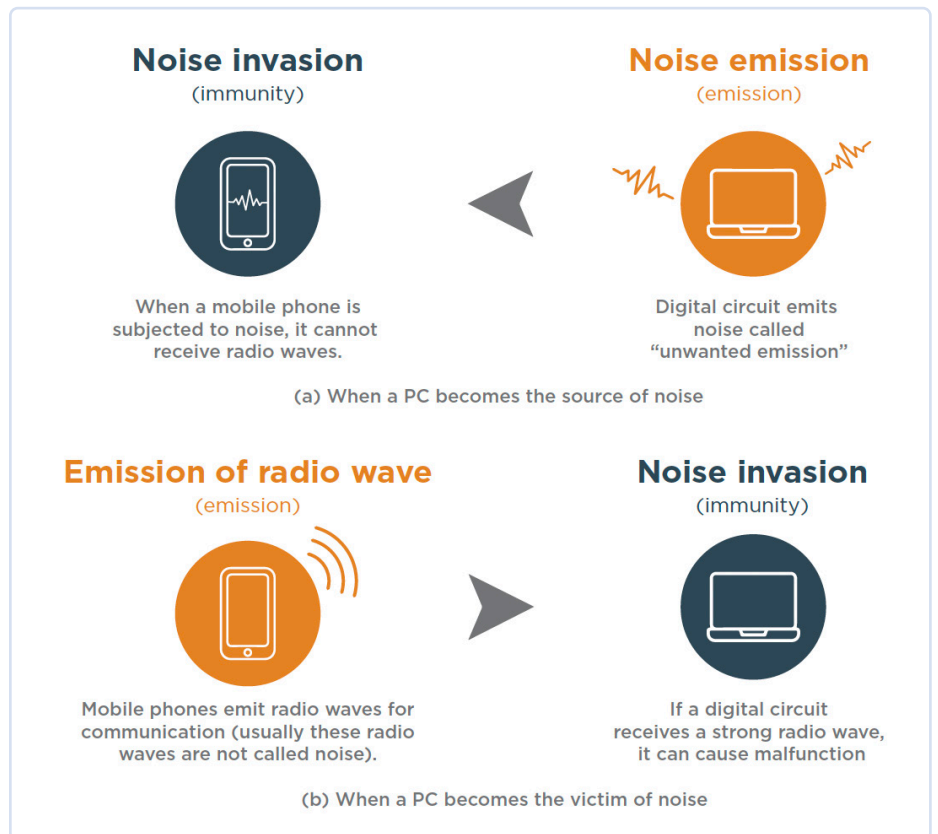
Permanente connectiviteit is alomtegenwoordig geworden. Onze samenleving vond nooit eerder zoveel baat bij een betrouwbare en veerkrachtige communicatie-infrastructuur als nu, en dit zowel thuis, onderweg, op het werk als in de auto. De opkomst van het IoT en zijn industriële tegenhanger, het IIoT (Industrial Internet of Things), en de groei van mobiele communicatie hebben onze behoefte aan en onze afhankelijkheid van draadloze communicatie vergroot, die omgekeerd helaas gevoelig voor en een potentiële bron van EMI is. De uitrol van draadloze 5G-infrastructuur die gebruikmaakt van een voorheen onbenut ultrahoogfrequent radiospectrum maakt het optreden van EMI des te waarschijnlijker. Daarom is het nu belangrijker dan ooit om producten immuun tegen EMI te maken.

Normen voor elektromagnetische compatibiliteit

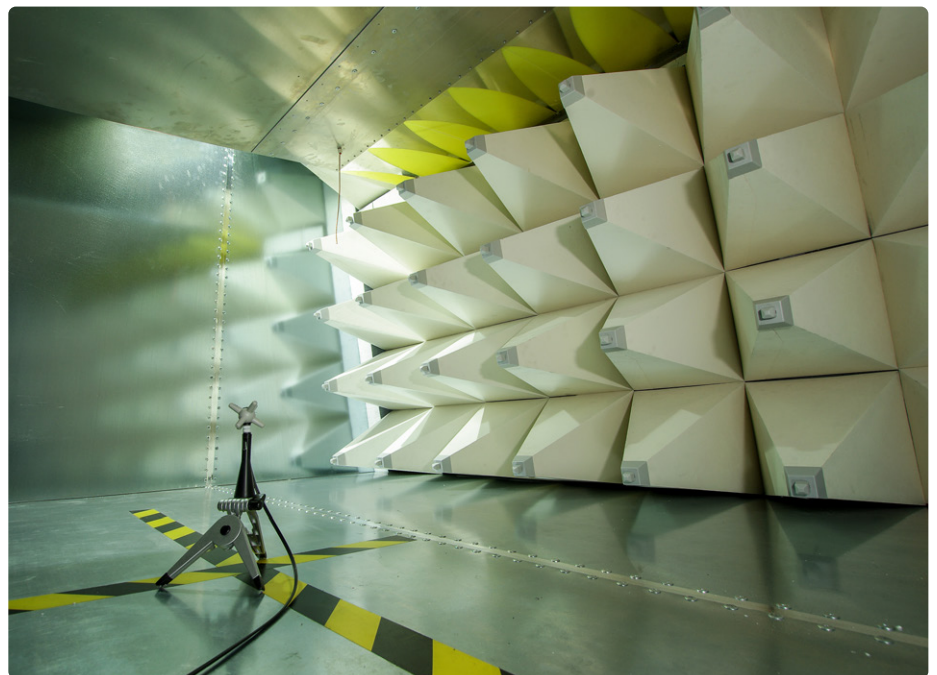
Nationale en regionale EMC-normen, die doorgaans in overeenstemming zijn met internationaal erkende EMC-normen (**figuur 3**), leggen specificaties vast waaraan producten moeten voldoen voordat ze worden verkocht. De normen stipuleren de maximaal toegestane emissies voor een ontwikkeld product en de immuuniteit of gevoeligheid ervan voor uitgestraalde of geleide emissies. Bij elke nieuwe productontwikkeling doen ontwerpingenieurs er goed aan bij de prototypingfase al rekening te houden met het inbouwen van potentiële maatregelen tegen EMI en voor EMC in plaats van als nagedachte. Een degelijk begrip van de toepasselijke EMI- en EMC-normen, plausibele emissiebronnen en de kringen die wellicht gevoeliger zijn voor EMI-ruis is van eminent belang (zie **tabel 1**).

EMC-certificering behalen

Hoewel een geaccrediteerde EMC-testinstelling alleen de EMC-certificering mag uitvoeren, kan het technische team op heel wat punten zelf onderzoek uitvoeren voordat het product naar het testlaboratorium wordt



Figuur 2. Immuuniteit tegen EMI-emissies staat centraal voor het bereiken van EMC-conformiteit.



Figuur 3. Tests voorafgaand aan de conformiteitstests op EMI-emissies.

Tabel 1. Populaire EMI- en EMC-normen per sector en toepassing.

Application / Industry	EMC Standard
Aerospace, Defense and Marine equipment	DEF STAN 59-411 MIL-STD-461 MIL-STD-704 MIL-STD-1275 MIL-STD-1399
Automotive components	IEC CISPR 25 ISO 11451 ISO 11452 ISO 7637 SAE (multiple numbers)
Commercial equipment	FCC Part 15 class B IEC 61000-6-1 (generic) IEC 61000-6-3 (generic)
Industrial devices	FCC Part 15 class A IEC 61000-6-2 (generic) IEC 61000-6-4 (generic)
Medical devices	IEC 60601-1-2
Power station and substitution equipment	IEC 60000-6-5
Power station and measurement equipment (<1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 61326-1
Switch gears and control gears (1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 60947-1

IEC: International Electrotechnical Commission
ISO: International Organization for Standards
SAE: Society of Automotive Engineers
FCC: Federal Communications Commission

(Bron: Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity)

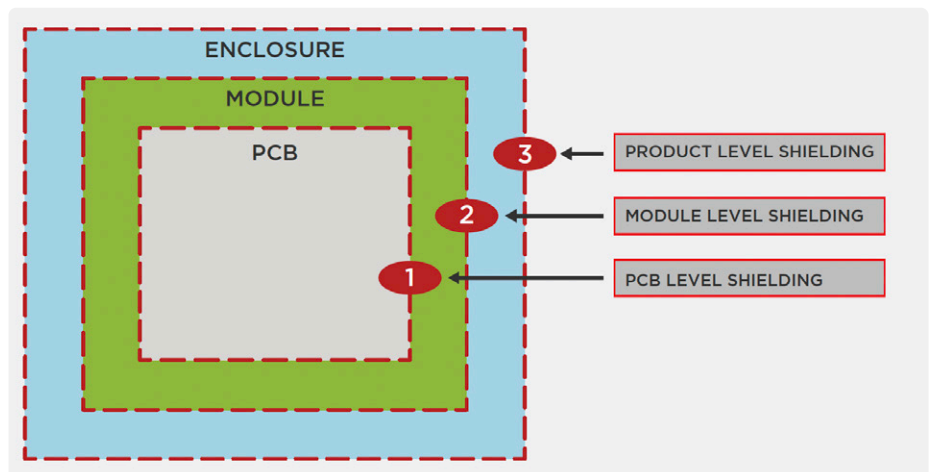
gebracht. Basismetingen van uitgestraalde en geleide emissies met een spectrumanalyse-instrument of een EMI-ontvanger uitgerust met de passende H- en E-veldsondes zullen aanwijzingen geven over de noodzaak tot verdere tests of EMI-tegenmaatregelen. Voor een klein productontwerpteam is dit dure testapparatuur in de aanschaf, maar gespecialiseerde verhuurbedrijven voor EMI-test- en -meetapparatuur bieden een voordelig alternatief. Tests voorafgaand aan de conformiteitstests zijn stellig aanbevolen, want hiermee kan het ontwerpteam potentiële bronnen van storing lokaliseren en technieken inzetten om EMI te verminderen, zoals afscherming, aardvlakken en ontkoppeling. Een product blootstellen aan EMI-emissies is eveneens belangrijk.

EMI-afschermingsklassen

EMI verminderen en de werking van schakelingen immuun maken voor EMI

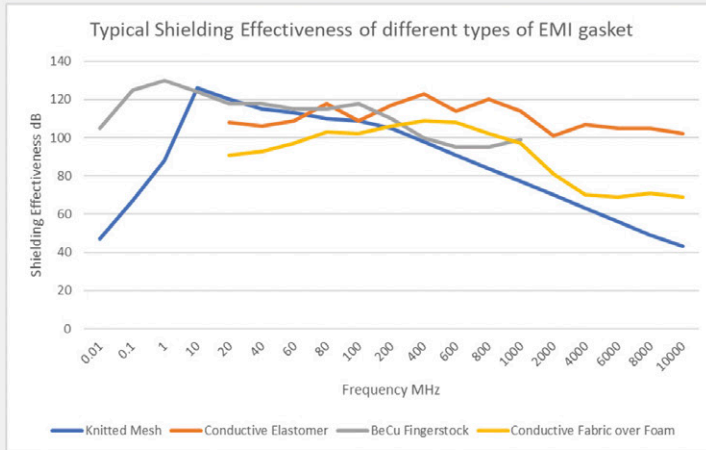
vergt een systematische benadering in alle stappen van het productontwerpproces. Dit laatste behelst aspecten van het printontwerp, de integratie van aardvlak-

ken en het scheiden van sterk ruis producerende schakelingen van gevoelige analoge signaalketens. Afschermingscomponenten, -modules en functionele onderdelen



Figuur 4. De driedelige aanpak bij de implementatie van EMI-afscherming.

SHIELDING EFFECTIVENESS



KNITTED WIRE MESH
H field (magnetic) shielding 62dB @ 10Khz achievable. SE falls off after 1GHz

CONDUCTIVE ELASTOMERS
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

FABRIC OVER FOAM
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

BERYLLIUM COPPER FINGERS
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

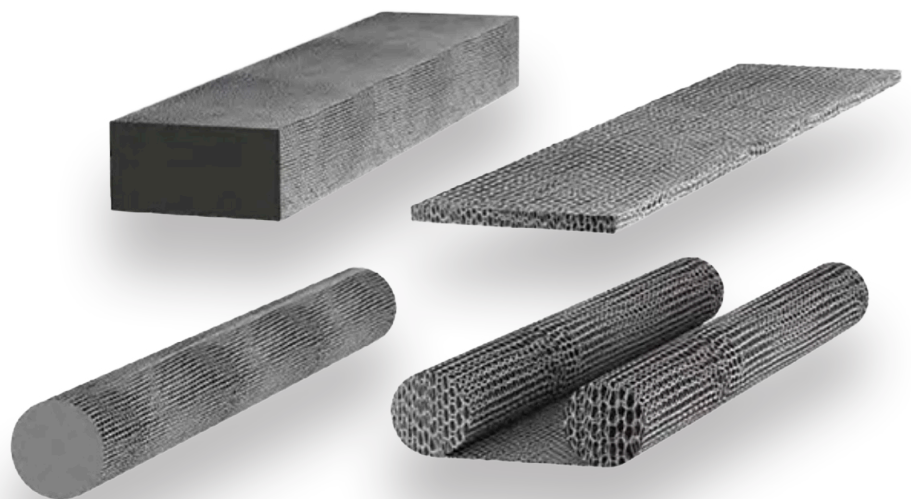
Figuur 5. De EMI-dempende karakteristieken van vier afschermingsmethoden als functie van de frequentie.

bieden voor veel toepassingen een praktische aanpak op basis van een driedelige methodiek, namelijk gericht op behuizing, module en print (**figuur 4**).

Uitgestraalde emissies worden afgeschermd door rondom de EMI-bron een kooi van Faraday te bouwen. Een afscherming op het niveau van de behuizing vermindert het binnendringen en ontsnappen van alle mogelijke bronnen van storing. Sommige circuitfuncties vergen echter extra niveaus van bescherming om de inwerking van interne EMI op de werking van andere circuits te voorkomen. Afscherming op module-niveau is nuttig en wordt doorgaans toegepast rond draadloze modules, schakelende DC/DC-omvormers en LC-displays. Een afscherming op print-niveau kan noodzakelijk zijn voor gevoelige componenten, zoals een ADC-IC. Afscherming is ook van belang voor alle soorten verbindingen; vergeet dus zeker niet om uitgestraalde emissies via kabelwartels, stekkers en pluggen tegen te gaan.

Materialen voor EMI-afscherming

EMI-afschermingscomponenten zijn onder meer omhullingen van draadgaas, elektrisch geleidende elastomeren, elektrisch geleidende weefsels en metalen vingerpakkingen. Elk type materiaal vertoont enigszins andere EMI-dempende



Figuur 6. De Kemtron-draadgaaspakkingen van TE Connectivity zijn verkrijgbaar per strekkende meter en in specifieke maten.

eigenschappen en is bedoeld voor specifieke gebruikssituaties. **Figuur 5** illustreert het frequentiedempende vermogen van deze vier soorten afscherming.

Draadgaas: meerdere lagen geweven draad op een spons- of buisvormige kern (vervaardigd van verschillende gaasmaterialen) vormt een effectieve EMI-oplossing en biedt galvanische compatibiliteit. Met de weeftechniek kan de afscherming aangepast worden aan complexe vormen

en verbindingen met draagmaterialen die bescherming bieden tegen binnendringen van storing. Afscherming met gaas is geschikt in diverse gebruikssituaties, zoals kastdeuren, deksels en afneembare afdekkappen. De effectiviteit van de afscherming neemt doorgaans af boven 1 GHz, tenzij er extra lagen worden aangebracht. Een voorbeeld is het Kemtron-portfolio draadgaas-pakkingen van TE Connectivity (**figuur 6**), verkrijgbaar op lengte gesneden of als kant-en-klare pakking [1].



Figuur 7. Elektrisch geleidende elastomeren van Kemtron/TE Connectivity bieden een dempend vermogen tot 100 dB bij 10 GHz.

Elektrisch geleidende elastomeren: deze zijn verkrijgbaar van diverse materialen en vormen bij Kemtron Ltd, nu onderdeel van TE Connectivity (**figuur 7**). Ze bieden een demping van meer dan 100 dB tot 10 GHz [2]. Mogelijke vulmaterialen zijn verzilverd aluminium en vernikkeld grafiet; opties voor bindmiddelen omvatten siliconen of fluorsiliconen. Tot de populaire vormen behoren vellen, platte pakkingen en O-ringen. 'Jam nut' O-ringpakkingen zijn expliciet vervaardigd voor RF EMI-afschermingsdoeleinden en zijn beschikbaar in de meest populaire connectorformaten [3].

Honingraat-ventilatieafdekking: voor toepassingen van geforceerde koeling met een ventilator biedt de ventilatieopening een directe uitgang voor storing om uit de anderszins EMI-dichte behuizing te ontsnappen. Een honingraat-ventilatieaf-

dekking van Kemtron/TE Connectivity kan dit beletten. Deze bieden naast EMI-demping een toereikend luchtdebiet dankzij de gelamineerde, enkellaags honingraat-celconstructie van aluminiumfolie. De ventilatieafdekkingen zijn verkrijgbaar in alle populaire ventilatorformaten van 40 mm tot 120 mm [4].

EMC-conformiteit bereiken met EMI-afschermingen

EMI ten gevolge van ongewenste emissie vanuit apparatuur verstoort de betrouwbare werking van systemen. EMC bereiken is een wettelijke verplichting en een noodzaak om onvoorspelbaar systeemgedrag te voorkomen. Dit korte artikel belichtte een aantal afschermingsmethoden die ingenieurs kunnen inzetten om de EMI-immuniteit te verbeteren. ◀

240531-01



Over de auteur

Als Director of Technical Content voor EMEA bij Mouser Electronics is Mark Patrick verantwoordelijk voor het creëren en verspreiden van technische content binnen de regio. Content die essentieel is voor de strategie van Mouser om engineers te ondersteunen, te informeren en te inspireren. Voordat Mark leiding gaf aan Technical Content, maakte hij deel uit van Mouser's EMEA Supplier Marketing-team en speelde hij een cruciale rol bij het opbouwen en ontwikkelen van relaties met belangrijke productiepartners. Marks eerdere ervaring omvat praktische technische functies, technische ondersteuning, technische verkoop van halfgeleiders en verschillende marketingfuncties. Mark is een 'hands-on' engineer in hart en nieren en heeft een eerstegraads Honours Degree in Electronics Engineering van Coventry University. Hij heeft een passie voor vintage synthesizers en Britse motorfietsen die hij zelf onderhoudt en repareert.

WEBLINKS

- [1] Draadgaas: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-knitted-wire-mesh-gaskets/>
- [2] Elektrisch geleidende elastomeren: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-emi-connector-gaskets/>
- [3] Jam Nut Seals: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-jam-nut-seals/>
- [4] Honingraat-ventilatieafdekkingen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-honeycomb-air-vents/>

De perfecte tool voor elke elektronicaliefhebber

eindeloze mogelijkheden met Red Pitaya en 1.000+ Click Boards™

Een bijdrage van Red Pitaya

Voor elke elektronicaontwikkelaar die projecten naar een hoger niveau wil tillen is een Red Pitaya-board het perfecte hulpmiddel. Dit revolutionaire open-source platform combineert meerdere instrumenten in één compact apparaat, waardoor het een must-have is voor ingenieurs, hobbyisten en onderzoekers. Het Red Pitaya-board wordt ook wel het Zwitserse zakmes van de elektronica genoemd en vervangt een scala aan laboratoriumapparatuur zoals oscilloscopen, signaalgeneratoren en spectrumanalyzers en levert daarbij krachtige functionaliteiten in een compact en betaalbaar pakket ter grootte van een creditcard. Met een open-source ontwerp bevordert het ook de innovatie door gebruikers in staat te stellen eigen applicaties te ontwikkelen en deze te delen, waardoor het de ultieme alles-in-één oplossing is voor elektronica-projecten.

Waarom Red Pitaya?

- > **Veelzijdigheid op zijn best:** een Red Pitaya-board kan worden aangepast aan een breed scala aan toepassingen, van signaalverwerking en telecommunicatie tot robotica en IoT-projecten. Dankzij een modulair ontwerp kunt u het altijd aanpassen aan uw specifieke behoeften.
- > **Kosteneffectieve innovatie:** zeg vaarwel tegen dure, gespecialiseerde apparatuur. Een Red Pitaya-board biedt deze hoogwaardige functionaliteit voor

een aanvaardbare prijs waardoor deze geavanceerde elektronica voor vrijwel iedereen toegankelijk is.

- > **Draagbaar en gemakkelijk:** het creditcardformaat van het Red Pitaya-board betekent dat u uw lab overal mee naartoe kunt nemen. In het veld of aan de werkbank: Red Pitaya is uw trouwe metgezel.
- > **Open-source community:** sluit aan bij een wereldwijd netwerk van enthousiastelingen en professionals die toepassingen, tutorials en ideeën delen. Met de uitgebreide documentatie en ondersteuning zult u zich nooit verloren voelen.

Maak kennis met het Red Pitaya Click Shield: eindeloze mogelijkheden

Alsof Red Pitaya nog niet veelzijdig genoeg was, tilt het nieuwe Red Pitaya Click Shield het systeem naar een geheel nieuw niveau. Met dit innovatieve uitbreidingsboard kunt u meer dan 1.000 verschillende Click-boards™ van MikroElektronika verbinden, waardoor een wereld aan mogelijkheden wordt geopend. Deze reeks plug-and-play modules omvat bijna alles, van sensoren en communicatie-interfaces tot motorcontrollers en displays. Met het Red Pitaya Click Shield is het integreren van nieuwe functionaliteiten in projecten eenvoudiger dan ooit tevoren.

Wat is het Red Pitaya Click Shield?

Het Red Pitaya Click Shield fungeert als brug tussen Red Pitaya en het uitgebreide assortiment Click boards™. Het maakt naadloze integratie mogelijk zonder dat complexe bedrading of diepgaande technische kennis nodig is. Bevestig gewoon het Click Shield aan Red Pitaya, sluit de gekozen Click boards™ aan en u bent klaar om te innoveren.

Hoe Red Pitaya Click Shield bij uw projecten helpt

- > **Grenzeeloos maatwerk:** stelt u zich voor dat u met minimale inspanning vrijwel elke functionaliteit toevoegt die nodig is. De omgeving monitoren, motoren aansturen of draadloze communicatie implementeren? Voor alles bestaat een Click board™!
- > **Gebruiksgemak:** het Red Pitaya Click Shield is ontworpen voor naadloze integratie en elimineert ingewikkelde instellingen. Niet solderen of ingewikkelde bedrading aanleggen, sluit gewoon het Click board™ aan en begin met innoveren.
- > **Kosteneffectief:** breid de mogelijkheden van Red Pitaya uit zonder te investeren in prijzige gespecialiseerde apparatuur. Het Red Pitaya Click Shield is een budgetvriendelijke manier om de reikwijdte van projecten uit te breiden.
- > **Gebruikersgemeenschap:** met een grote gebruikersgemeenschap en uitgebreide documentatie beschikt u over alle middelen om te slagen. Deel ideeën, doe inspiratie op en krijg hulp wanneer dat nodig is. ◀

vertaling: Adrie Kooijman — 240590-03

Bezoek ons op de electronica 2024 beurs, stand A3/572!

We verheugen ons om onze Red Pitaya boards en het nieuwe Red Pitaya Click Shield te kunnen presenteren op de komende **electronica, van 12 tot 15 november in München**. Of u nu een doorgewinterd engineer bent of nieuw bent in de elektronica, dit is de kans om uit de eerste hand te zien hoe dit veelzijdige platform projecten naar een hoger niveau kan tillen.



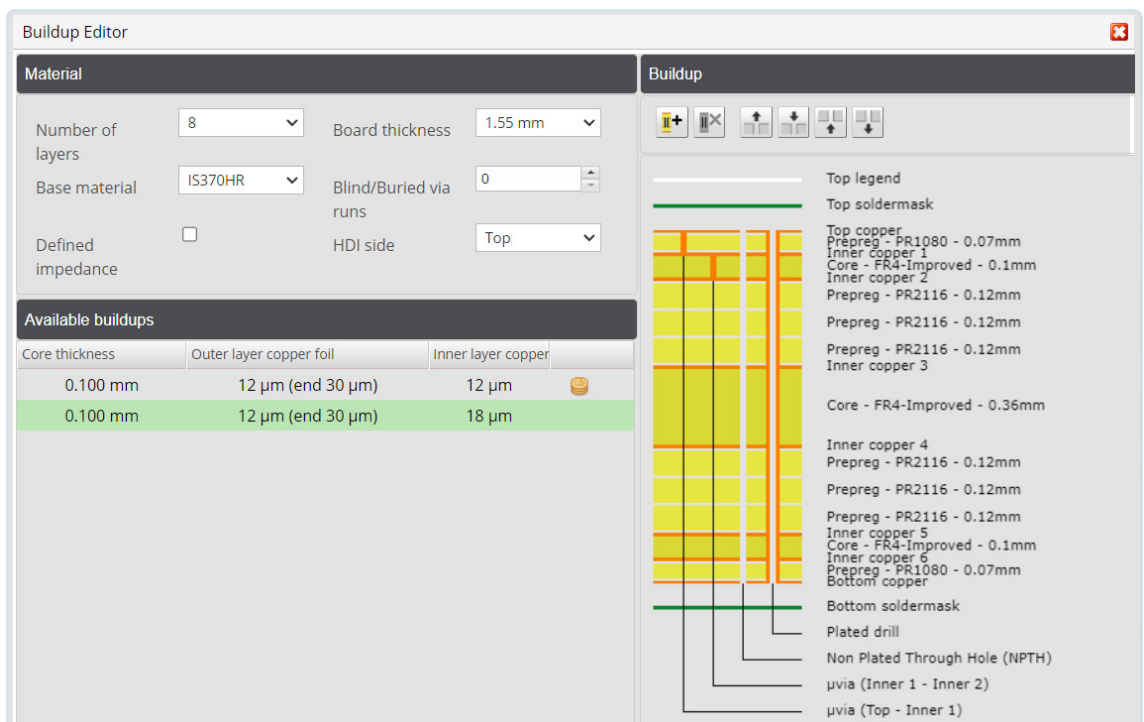
H in het midden

een nieuwe kosteneffectieve PCB-poolingservice voor kleine BGA's

Een bijdrage van Eurocircuits

Soms is er een onderdeel dat we echt nodig hebben, maar is het alleen beschikbaar in een 'fine pitch' BGA-behuizing – het gebruik ervan zou ons ontwerp over de grens van 'standaard PCB-technologie' duwen, richting HDI. HDI betekent technisch 'high density interconnect', en in de praktijk betekent het dat we kunnen ontwerpen met kleinere isolatieafstanden en dunnere sporen. En we kunnen 'microvias' gebruiken: via's met kleinere pads en kleinere boorgaten dan normaal mogelijk is met mechanisch boren.

HDI maakt miniaturisatie mogelijk, wat geweldig is, maar het kan vervelend zijn als het ons 'opgedrongen' wordt door een enkel klein onderdeel, waardoor de print als geheel te duur wordt. Bij Eurocircuits hebben we de oplossing – 'in het midden' – die onze klanten kan helpen om zowel de ergernis als de kosten aan te pakken. Onze HDI-pool (**figuur 1**), een 8-laags opbouw, behoudt de 'standaardtechnologie' patroonclassificaties zoals ze zijn, en voegt microvias toe tussen lagen 1-2 en 2-3 of tussen 8-7 en 7-6. Dit stelt onze klanten



The screenshot shows the 'Buildup Editor' software interface. On the left, the 'Material' section includes settings for 'Number of layers' (8), 'Board thickness' (1.55 mm), 'Base material' (IS370HR), 'Blind/Buried via runs' (0), and 'HDI side' (Top). Below this is a table of 'Available buildups' with columns for 'Core thickness', 'Outer layer copper foil', and 'Inner layer copper'. The selected row shows a core thickness of 0.100 mm, an outer layer copper foil of 12 µm (end 30 µm), and an inner layer copper of 18 µm.

On the right, the 'Buildup' section displays a 'Top legend' and a layer stack diagram. The legend lists the following layers from top to bottom: Top soldermask, Top copper, Prepreg - PR1080 - 0.07mm, Inner copper 1, Core - FR4-Improved - 0.1mm, Inner copper 2, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Inner copper 3, Core - FR4-Improved - 0.36mm, Inner copper 4, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Prepreg - PR2116 - 0.12mm, Inner copper 5, Core - FR4-Improved - 0.1mm, Inner copper 6, Prepreg - PR1080 - 0.07mm, Bottom copper, Bottom soldermask, Plated drill, Non Plated Through Hole (NPTH), µvia (Inner 1 - Inner 2), and µvia (Top - Inner 1).

Figuur 1. Onze 8-laags HDI-poolopbouw.

Pattern and hole size classification (µm)

Revision 20242808-1

Pattern classification

		7	8	9
Copper clearance, any layer	≥	125	100	90
Pad diameter, outer layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+300	+300
Pad diameter, inner layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+350	+300
Clearance from PTH, inner layers From hole edge	≥	250	250	250
Clearance from NPTH, inner layers From hole edge	≥	200	200	200
HDI microvia pad diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	≥	280	230	210
HDI microvia diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	=	100	100	100

Hole diameter classification

		A	B	C	D	E
Plated through-hole (PTH) diameter	≥	500	350	250	150	100
Non-plated through-hole (NPTH) diameter	≥	600	450	350	250	200
Max PCB thickness (mm)	=	3.20	3.20	2.40	2.00	1.60



in staat om te ontwerpen met die 'fine pitch' BGA's, waarbij de kosten beheersbaar blijven, omdat de 'HDI' beperkt blijft tot slechts een klein gebied en tot twee microvia-'runs'.

In de praktijk

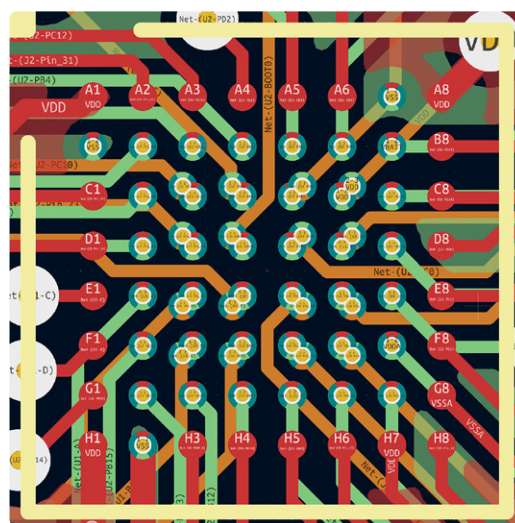
Wat betekent dit in de praktijk? Laten we kijken naar patroonklasse 7 met boorklasse E (**figuur 2**), waar de kleinste paddiameter 0,45 mm is (0,1 + 0,35 mm); dat past niet in de meeste 'fine pitch' BGA-pad-diameters. Wanneer we echter dezelfde classificatie samen met de HDI-pool gebruiken, wordt de kleinste diameter 0,28 mm, wat wel past! Dit stelt ontwerpers in staat om via's in het midden van BGA-pads te plaatsen zonder de pads groter te hoeven maken dan de aanbevelingen van de fabrikant. De kleinere microvia-pads betekenen ook dat het gebruik van dogbone-patronen een mogelijkheid wordt.

Het is uiteraard onmogelijk om alle BGA-pinafstanden en hun aansluitpatronen te onderzoeken om te bepalen welk onderdeel routeerbaar is en welk niet. We hebben echter onze poolparameters zo geconfigureerd dat 8x8 arrays volledig routeerbaar zouden moeten zijn voor BGA's tot 0,4 mm pitch (**figuur 3** toont een voorbeeld van een volledig uitgerold 8x8 0,4mm-pitch -onderdeel.) Maar natuurlijk zijn grotere arrays ook mogelijk, en het hangt allemaal af van de grootte van de array, de pinconfiguratie en hoe die pinnen worden gebruikt. In veel behuizingen zijn

er 'no connect'-pinnen, en in de meeste ontwerpen worden niet alle pinnen van een microcontroller of processor gebruikt, wat het routen van grote BGA-arrays met slechts twee microvia-'runs' kan vereenvoudigen.

Wat nu? We nodigen u uit om uw ontwerpen te uploaden naar onze Visualizer [1] en ze te controleren op maakbaarheid. Zoals altijd verwelkomen we uw feedback over hoe deze service uw fabricageproblemen kan oplossen. ◀

240593-03



Figuur 2. De parameters van onze patroonklassen waarvoor de HDI-pool beschikbaar is (let op dat patroonklasse 9 niet poolbaar is.)

Figuur 3. Een voorbeeld van een fan-out van een STM32F412 in een WLCSF64 0,4mm-pitch-behuizing. De eerste BGA-'ring' krijgt zijn aansluitingen op de bovenste laag (rood), de tweede ring op de tweede laag (groen) met L1-L2 microvias in het midden van de pads, en de derde en vierde ringen sluiten we aan op de derde laag (oranje) met tussen L1-L2 en L2-L3 verspringende via's.

WEB LINK

[1] <http://be.eurocircuits.com/shop/orders/configurator.aspx?loadfrom=web&service=hdipool&deliverycountry=nl&invcountry=nl&country=nl&lang=nl>



Andonstar AD409 Pro-ES HDMI digitale microscoop

hij is groot en heeft een endoscoop

Clemens Valens (Elektor)

De Andonstar AD409 Pro-ES is wat ze noemen een HDMI digitale microscoop. Hij heeft een 10" HDMI-scherm en een camera waaraan een lange lens is gemonteerd. Dit geheel is gemonteerd op een verstelbaar statief, waardoor hij nauwkeurig gepositioneerd kan worden. Met de microscoop kunt u bijvoorbeeld elektronische printen en andere niet te grote zaken inspecteren.

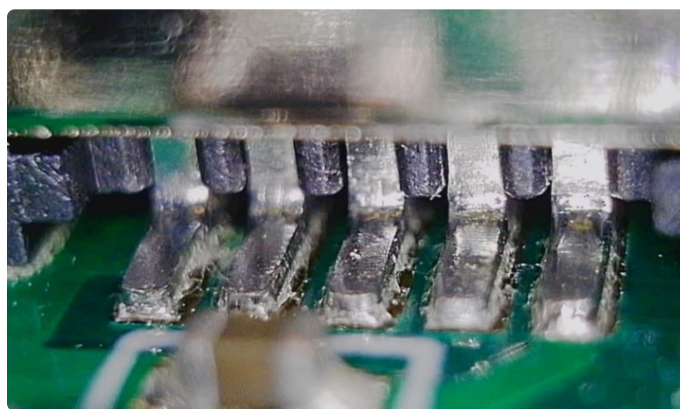
Deze microscoop is niet erg geschikt voor medische of biologische toepassingen, omdat de maximale vergrotingsfactor 300 keer is. Dat is niet genoeg voor het bestuderen van cellen en dergelijke. De vergrotingsfactor is echter meer dan voldoende voor het inspecteren van printen en andere elektronica.

HDMI verwijst niet alleen naar het display van de microscoop. Het betekent ook dat het apparaat een HDMI-uitgang heeft die kan worden aangesloten op een ander (groter) beeldscherm. Er kan altijd maar één beeldscherm tegelijk actief zijn, dus u moet kiezen tussen het display van de AD409 en het externe beeldscherm.

Foto's en video's vastleggen en exporteren met de Andonstar AD409

Naast gewoon kijken kan de microscoop ook video's opnemen (MP4, vier resoluties van UHD 2.880×2.160 @ 24 fps tot HD 1.280×720 @ 120 fps) en foto's maken (met een resolutie tot 5.600×4.200 pixels), zoals te zien in **figuur 1**. De microscoop slaat deze op een microSD-kaart op (tot 64 GB), maar de bestanden zijn ook toegankelijk via USB. Daarom kunnen ze eenvoudig worden geëxporteerd naar de bijbehorende PC-toepassing waar de beelden verder geanalyseerd kunnen worden.

Met het PC-hulpprogramma (alleen voor Microsoft Windows) kunt u aantekeningen maken bij een afbeelding en allerlei precisie-metingen doen aan details in de afbeelding. Het heeft ook een paar



Figuur 1. Een resolutie van 5.600×4.200 pixels zorgt voor veel detail.

basisfuncties voor beeldverbetering en kan sommige functies van de microscoop op afstand bedienen.

Vier AD409-versies

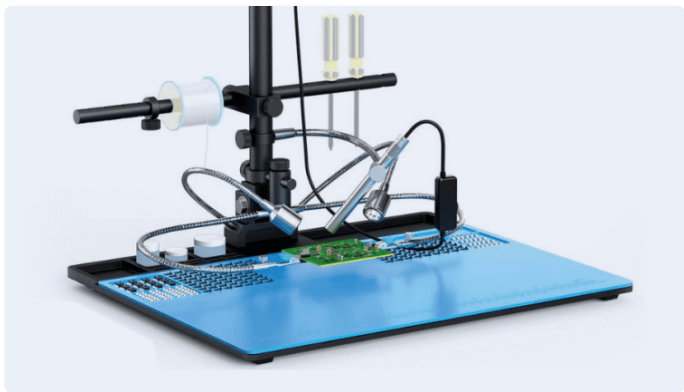
De AD409 is verkrijgbaar in vier versies: AD409, AD409 Pro, AD409 Max Pro en AD409 Pro-ES. Het optische/camera/display-systeem is voor alle vier identiek – de verschillen zitten in de meegeleverde opties. In een ander artikel [1] heb ik de AD409 eens al onder de loep genomen; daarom ga ik niet nog eens in op deze details.

Hogere standaard met meer functionaliteit

Vergeleken met de AD409 hebben de AD409 (Max) Pro en AD409 Pro-ES een andere, hogere en uitgebreidere standaard (**figuur 2** en **figuur 3**). Bij de AD409 is dit slechts een korte kolom, terwijl de (Max) Pro en Pro-ES daar een beugel aan toevoegen. Hiermee kan de microscoop verticaal omhoog en omlaag en horizontaal naar de gebruiker toe en van de gebruiker af worden bewogen. De microscoop kan ook 360° om de middelste kolom draaien. De kolom zelf kan naar achteren en naar voren kantelen en biedt dus veel bewegingsvrijheid voor de camera. Een verstelbare ring die langs de kolommen omhoog en omlaag schuift, kan dienen als voorinstelling voor de hoogte of als bescherming tegen te diep zakken van de microscoop.

Voldoende vrije ruimte

Ik heb gemeten dat er maximaal 25,3 cm ruimte is tussen de lens en de grondplaat (7,7 cm voor de AD409). Als u de camera 90° naar



Figuur 2. De AD409 Max Pro heeft een grote basisplaat met siliconenlaag, een gereedschapshouder en flexibele armen om een print of ander object vast te houden.

links of rechts draait, komt daar nog eens 12 mm bij (maar pas op dat het instrument niet omvalt). Dit is niet alleen genoeg ruimte voor grote objecten, maar ook voor uw handen – inclusief gereedschap. Het betekent ook dat de microscoop meer dan 50 cm hoog is en een beetje kan wiebelen als u tegen de tafel stoot.

De AD409 Pro-ES heeft een endoscoop aan boord

De AD409 Pro-ES is het topmodel van de reeks HDMI digitale microscopen en bevat naast het Pro statief ook een endoscoop. Die endoscoop is een penvormige camera met een diameter van bijna 13 mm. Hij wordt geleverd met een flexibele arm die aan de kolom kan worden bevestigd (in hoogte verstelbaar). Hij vergroot niet, maar er is wel een dimbare witte LED-ring ingebouwd om het onderwerp te verlichten of binnenin te kijken (figuur 4).

Het HDMI-display kan schakelen tussen de microscoopcamera en de endoscoop. Er is ook een modus waarbij het endoscoopbeeld over een kwart van het camerabeeld wordt gelegd, zodat u tegelijkertijd twee verschillende weergaven van hetzelfde onderwerp krijgt.

Nader bekeken

Het feit dat de endoscoop niet vergroot is geen probleem, omdat u hem heel dicht bij het onderwerp kunt plaatsen. Op deze manier worden zelfs kleine details groot zichtbaar, zoals moge blijken uit figuur 5. De endoscoop is uitstekend voor het bekijken van bijvoorbeeld soldeerverbindingen onder USB-connectoren. De focus is instelbaar met een ring aan de achterkant van het apparaat. Zorg ervoor dat u de flexibele armgreep van de endoscoop goed vastzet, anders kan de camera verdraaien terwijl u de scherpsstelling aanpast. Hoewel de flexibele arm praktisch is, mist hij wat stabiliteit tijdens het aanpassen van de focus, waardoor het beeld beweegt. Merk op dat het aanpassen van de focus van de microscoopcamera een soortgelijk effect heeft, maar dat is niet zo'n groot probleem.



Figuur 4. Met de endoscoop plus ingebouwde LED-ring kunt u details vanuit een andere hoek bekijken. Hij kan ook in objecten kijken.



Figuur 3. De Andonstar AD409-Pro (ES) is een hele kop groter dan de AD409.

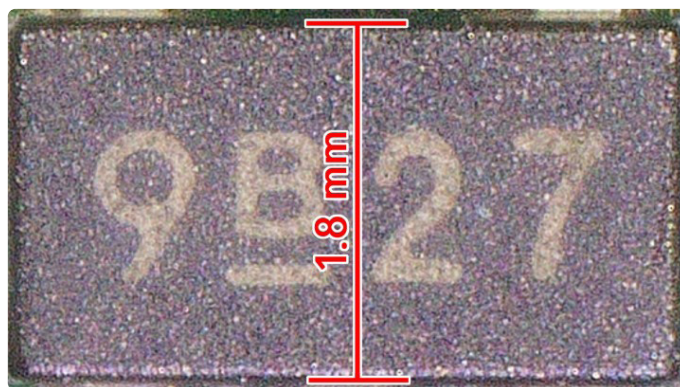
Om de hoek kijken

Het typische gebruik van een endoscoop is om binnenin objecten en leidingen te kijken, en hiervoor wordt hij geleverd met een paar praktische accessoires die over de cameratip schuiven. Zo maakt een zijspiegel er een soort periscoop van, waardoor u om de hoek of achter een object kunt kijken. Met twee andere spiegeltjes kunt u gaten met een kleinere diameter dan de endoscoop inspecteren. Tot slot is de LED-ring van de endoscoop handig als derde lichtbron voor de camera van de microscoop.

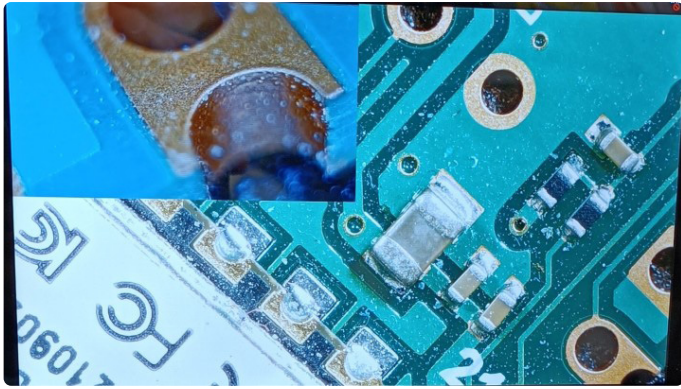
Ik heb geen technische specificaties van de endoscoop gevonden, dus ik weet niet wat de resolutie is en of hij dezelfde videokwaliteit biedt als de microscoopcamera. Om daar achter te komen, probeerde ik foto's en video's te maken. Dit leverde een aantal problemen op.

De AD409 Pro-ES en problemen met de SD-kaart

Volgens de handleiding accepteert de AD409 64-GB klasse-10 microSD-kaarten. Ik had er toevallig een die ik op mijn PC had geformatteerd. Foto's maken werkte, maar een video opnemen gaf een foutmelding. Daarom gebruikte ik de microscoop om de SD-kaart opnieuw te formatteren, maar dat hielp niet. Het vervangen van de SD-kaart door een type van 8 GB loste het probleem op. Nu kon ik video's en foto's opnemen. Maar nadat ik de videoresolutie had ingesteld op UHD P24 (de hoogste resolutie), werkte het niet meer. Het werd onmogelijk om video's op te nemen of foto's te nemen en de menuknop op de afstandsbediening werkte ook niet meer. Alle andere functies werkten wel normaal. Opnieuw opstarten van de microscoop loste het probleem op, omdat de microscoop niet (alle) instellingen (lijkt te) bewaren verschillende malen opstarten.



Figuur 5. Hoogwaardige beeldregistratie maakt nauwkeurige metingen mogelijk.



Figuur 6. Picture-in-picture display dat tegelijk endoscoop- en microscoopbeelden toont.

Video opnemen van twee camera's tegelijk

Het duurde even voordat ik wist hoe ik de camera moest selecteren die wordt gebruikt voor het opnemen van een video. Het blijkt dat dit gebeurt wanneer u de videoresolutie instelt. Als u het videoresolutie-menu opent, krijgt u een lijst met mogelijkheden te zien. Er zijn twee opties die een beetje vreemd lijken: *HD P30+HD P30* en *FHD P30+FHD P30*. Als u een van deze opties kiest, zal de microscoop van beide camera's tegelijk opnemen (**figuur 6**) (wat best cool is, vind ik). Op de SD-kaart vindt u dan twee bestanden, één met een naam die eindigt op 'A' (microscoop) en de andere op 'B' (endoscoop). Alle andere videoresoluties zijn alleen van toepassing op de microscoopcamera.

Werkt ook voor het maken van foto's

Foto's worden altijd met beide camera's tegelijk gemaakt, ongeacht de resolutie. Foto's maken met de hoogste resolutie (5.600×4.200) is dus mogelijk met beide camera's (hoewel ik er niet van overtuigd ben dat de endoscoop echt zoveel pixels heeft). Net als bij videobestanden komen foto's met bestandsnamen die eindigen op 'A' overeen met de microscoop, terwijl bestandsnamen die eindigen op 'B' zijn gemaakt door de endoscoop.

Krachtig instrument

De Andonstar AD409 Pro-ES HDMI digitale microscoop is een zeer geschikt instrument voor visuele inspectie van kleine objecten en details (**figuur 7**). Met zijn vergrotingsfactor van 300 maal is hij misschien niet geschikt voor medisch gebruik, maar hij is wel perfect om bijvoorbeeld soldeerverbindingen en piepkleine SMT-componenten van dichtbij te bekijken.

De endoscoop van de 'ES'-versie is geweldig om het onderwerp van interesse vanuit een andere hoek te bekijken dan van bovenaf, van heel dichtbij of zelfs van binnenuit. Als u hem niet nodig hebt als camera, is hij nog steeds handig als derde verstelbare spot.

Hoogwaardige beeldregistratie met de AD409 Pro-ES

Zowel de microscoop als de endoscoop kunnen tegeliktijd worden gebruikt voor het opnemen van video's van hoge kwaliteit of voor het maken van fotos. Alleen de microscoop kan echter video's in UHD P24-resolutie opnemen.



Figuur 7. De Andonstar AD409 Pro-ES heeft ook een afstandsbediening.

De extra hoge kolom biedt voldoende ruimte om het onderwerp en/of uwe handen te bewegen zonder het risico te lopen tegen de camera te stoten. Met de onafhankelijke horizontale en verticale positieregeling kunt u de microscoop op vrijwel elk punt op het onderwerp richten zonder dat te hoeven bewegen.

De Andonstar AD409 Pro-ES HDMI digitale microscoop is een uitstekende aanvulling voor elke elektronica-werkplek en elk lab, maar ook voor andere toepassingen waarbij kleine details nauwkeurig moeten worden geïnspecteerd. ◀

240453-03

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.



FEATURED TOPIC

Visit our **Prototyping & Production page** for articles, projects, news, and videos.

www.elektormagazine.com/prototyping-production





Gerelateerde producten

- **Andonstar AD409 10.1" HDMI Digital Microscope**
www.elektor.nl/19681
- **Andonstar AD409 Pro-ES 10.1" HDMI Digital Microscope (incl. Endoscope)**
www.elektor.nl/20427
- **Andonstar AD409 Max-ES 10.1" HDMI Digital Microscope (incl. Endoscope)**
www.elektor.nl/20852
- **Andonstar AD210 10.1" Digital Microscope**
www.elektor.nl/20802

WEBLINK

[1] C. Valens, "Get Precise with the Andonstar AD409 Digital Microscope," elektormagazine.com, mei 2021:
<https://elektormagazine.com/news/get-precise-with-the-andonstar-ad409-digital-microscope>

MAZZELAAR!



GRATIS
DOWNLOAD

Een e-zine abonnee mist nooit het maandelijkse 'reverse project'

Nog geen abonnee? Schrijf je in voor onze gratis e-zine op elektormagazine.nl/ezine-24

