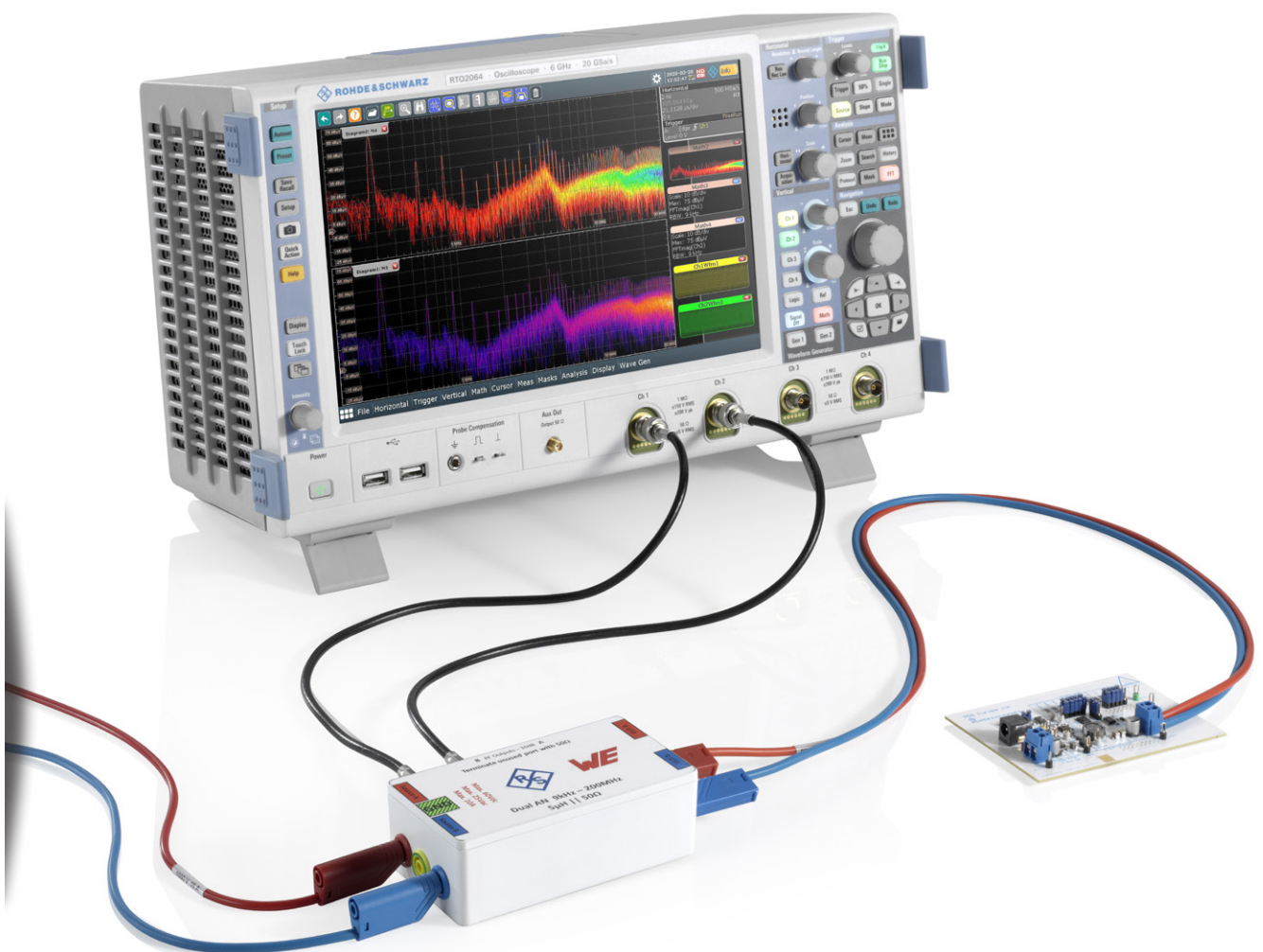


# EMC Pre-Compliance Test voor uw DC-gevoed project (deel 2)

De hardware en het gebruik ervan

Robert Schillinger (Würth Elektronik) en Ton Giesberts (Elektor)



Vorige keer hebben we de LISN (*Line Impedance Stabilization Network*) die Elektor en Würth Elektronik aanbieden in de Elektor Store aan u voorgesteld. Dit keer gaan we kijken naar de hardware en het gebruik van de LISN voor het testen van de EMC pre-compliance van elektronische apparaten.

Een LISN is een laagdoorlaatfilter, dat tussen een AC- of DC-voeding en een EUT (*Equipment Under Test*) wordt aangesloten om te zorgen voor een bekende impedan-

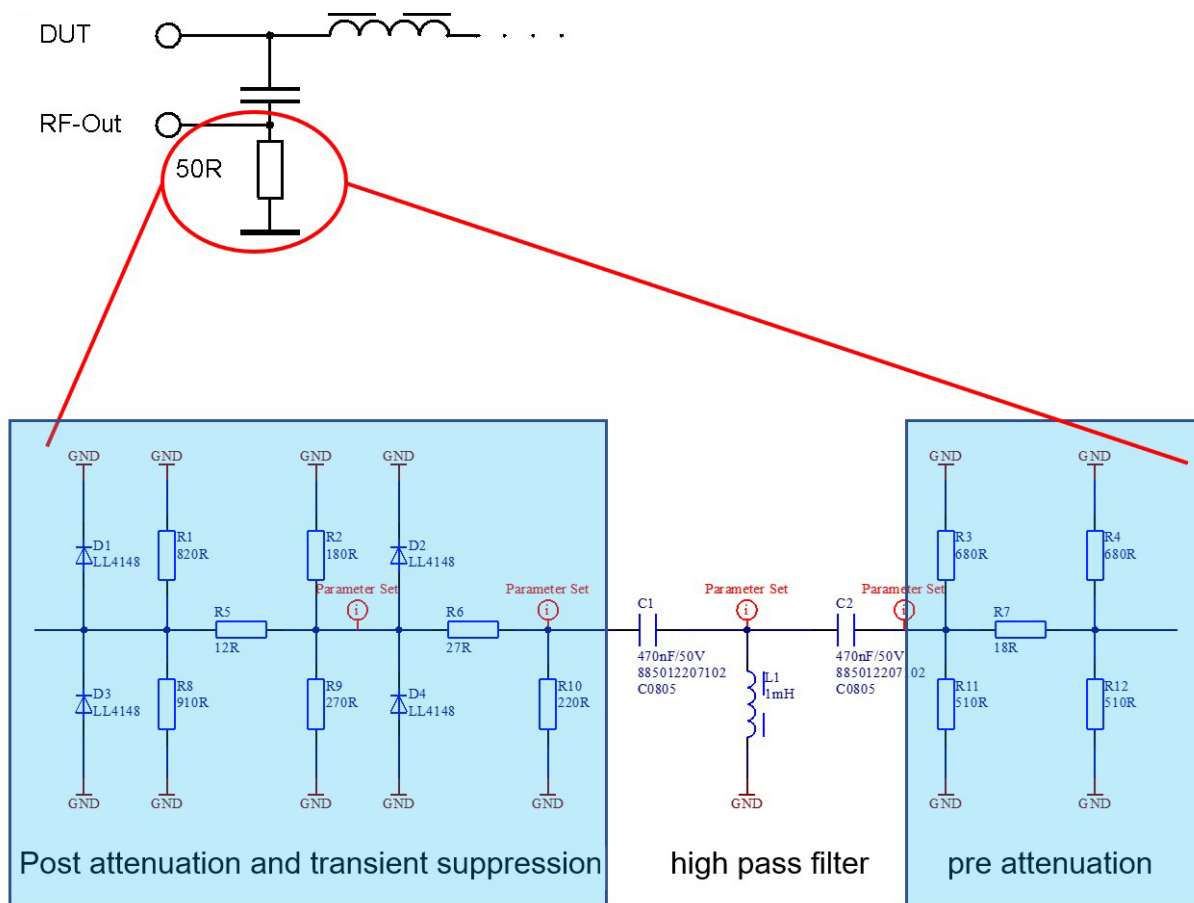
tie en het meten van de HF-storing via een meetaansluiting. Het houdt ook ongewenste HF-signalen uit de voeding tegen. Verder kunnen LISN's worden gebruikt voor het voorspellen van geleide storing voor diagnostiek en pre-compliance-tests [1].

De hier gepresenteerde dubbele DC-LISN dient voor het meten van de geleide storing van een testobject in het frequentiebereik van 150 kHz tot 200 MHz. Hij werkt volgens de CISPR 25/ISO 7637-standaard voor automotive elektrische systemen. Hij meet de HF-storingen op beide kanalen van het te testen systeem met behulp van blokkerende inductanties van 5  $\mu$ H; deze waarde is karakteristiek voor LISN's voor automotive apparaten. Het ontwerp is gebaseerd op een application note (DC2130A) van Analog Devices (voorheen Linear Technology [2]).

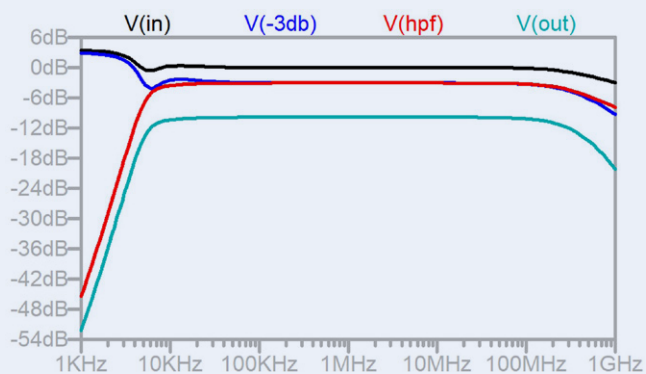
De gebruiker kan hiermee storing meten in differential mode (DM) en in common mode (CM).

### Schema van het LISN

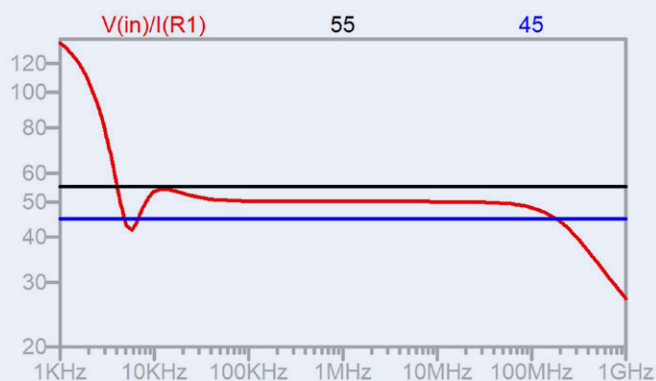
Het bovenste deel van **figuur 1** toont het basisschema voor alle LISN-ontwerpen: een spoel blokkeert de HF-storing, een condensator blokkeert gelijkspanning op de HF-output en een 50 $\Omega$ -weerstand bepaalt de uitgangsimpedantie van de meetpoort. In de praktijk is die laatste impedantie veel ingewikkelder dan een eenvoudige weerstand. Onderin deze afbeelding ziet u dat het kan worden onderverdeeld in drie trappen: voorverzwakking, hoogdoorlaatfilter en naverzwakking. We gaan ze alle drie meer in detail bekijken. De getoonde curves zijn het resultaat van computersimulaties van de schakelingen.



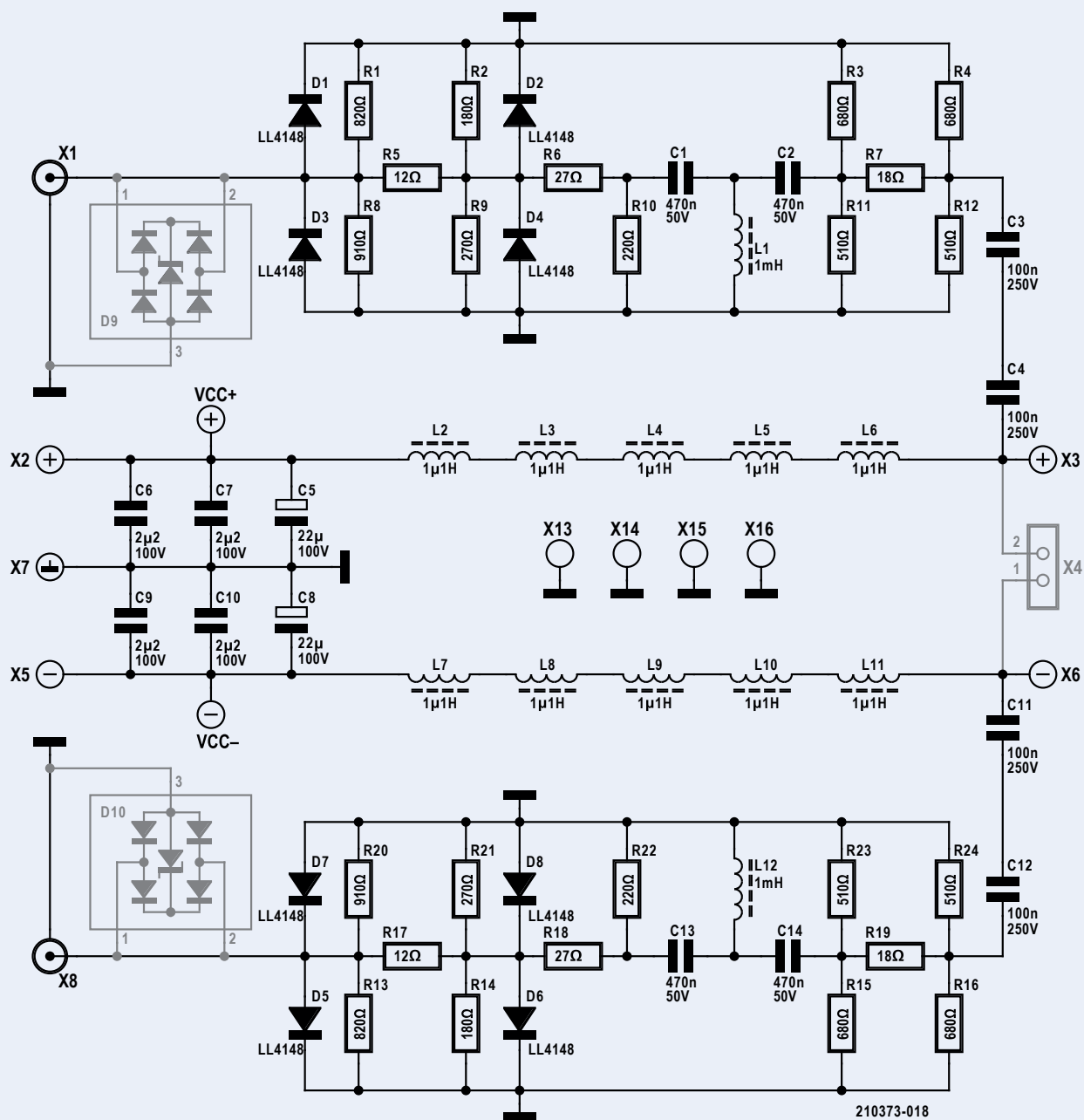
Figuur 1: De HF-uitgangstrappen in detail.



Figuur 2: Karakteristieken van het LISN.



Figuur 3: Impedantiecurve.



Figuur 4: Het complete schema van ons LISN.

## EMC-Webinar: Onderzoek aan een flyback-ontwerp

Ons komende webinar bespreekt basisbegrippen over een flyback-ontwerp met behulp van een oscilloscoop en welke extra apparatuur daarbij nodig is. We geven een dieper inzicht in schakelende voedingen, hun storingsbronnen en wat voor filtering nodig is om aan EMC-compliantietests te voldoen. Na dit webinar weet u het onderscheid tussen DM (differential mode) en CM (common mode) storing en begrijpt u hoe u de dominante modus kunt bepalen.

Dit webinar vindt plaats op 2 december 2021, om 16:00 uur CET. Zie voor meer informatie [www.elektormagazine.com/webinars](http://www.elektormagazine.com/webinars).

Elektronik-portfolio in serie. Deze keuze is onder meer gemaakt vanwege de maximale stroom: we hebben ongeveer 5  $\mu\text{H}$  bij 10 A nodig. Dit type spoel is klein en heeft een hoge resonantiefrequentie, en dus minder parasitaire capaciteit, wat een goed inductie/stroom-rendement oplevert (minder afname van de inductie over een stroomgebied tot 10 A). In de meeste commerciële LISN's worden luchtspoelen gebruikt, maar die zijn groter en zijn niet verkrijgbaar als standaard componenten.

## Kopen of bouwen?

Een complete kit voor deze LISN, gesponsord door Würth Elektronik, is verkrijgbaar in de ElektorShop [3]. Omdat alle SMD-componenten zijn voorgemonteerd, hoeft u alleen nog de connectors te solderen en de print in de voorgeboorde en -gefreesde behuizing te monteren.

Voor de dapperen onder onze lezers zijn de Gerber-files voor het bestellen van uw eigen print met 4 lagen beschikbaar op de ElektorLab-pagina van dit project [4] (zie **figuur 5**). De gedetailleerde onderdelenlijst wijst u de weg naar de componenten voor het bouwen van uw eigen LISN.

Nu volgt een beschrijving van het verzwakkingsnetwerk, behalve de koppelcondensatoren C3/C4 en C11/C12. Deze condensatoren begrenzen het frequentiegebied aan de lage kant tot de standaard 150 kHz (afsnijfrequentie is ca. 64 kHz; bij 125 kHz, is de damping ongeveer -1 dB).

### Voorverzwakking:

In de eerste trap ziet het stoorsignaal een PI-filter [V(-3dB)] met -3 dB bij 50  $\Omega$  om de amplitude te reduceren. De blauwe curve in **figuur 2** is de verzwakking als functie van de frequentie.

### Hoogdoorlaatfilter:

De tweede trap is een derde-orde hoogdoorlaatfilter [V(HPF)] met een afsnijfrequentie van 5,5 kHz (-3 dB) om het frequentiegebied te beperken tot 9 kHz tot 200 MHz (de rode curve in **figuur 2**). Deze trap filtert alleen frequenties beneden 6 kHz en is niet absoluut noodzakelijk om de 10 dB damping van het signaal te bereiken. Het zou mogelijk zijn om deze trap weg te laten.

### Naverzwakking:

De laatste trap brengt de verzwakking naar -10 dB [V(out)] (blauwgroen in **figuur 2**). Dit is een typische waarde voor een LISN en moet worden gecompenseerd door het meetapparaat (bijvoorbeeld met een interne versterking van 10 dB) of door nabewerking van de data in een Excel-sheet.

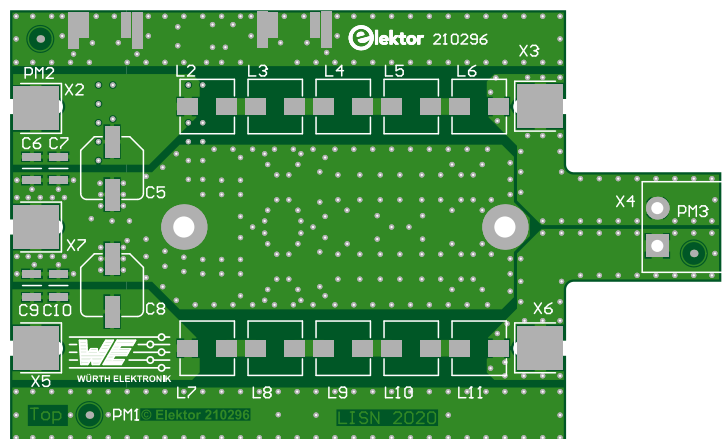
De smoorspoelen van 5  $\mu\text{H}$  blokkeren het pad terug naar de voeding voor de door de EUT geproduceerde ruis over het hele frequentiegebied. 5  $\mu\text{H}$  is een typische waarde die in CISPR25 wordt gebruikt. Voor een CISPR22-meting moet u kijken naar frequenties beneden 400 kHz. Vanwege de lage inductantie (minder wisselstroomonderdrukking bij lagere frequenties) zult u lagere niveaus meten.

De afnemende impedantie boven 100 MHz (**figuur 3**) ontstaat door de parasitaire capaciteit van de clampdiodes. Deze diodes zijn belangrijk om hoge spanningspieken op de HF-outputs te voorkomen. Als u een oscilloscoop met minder gevoelige, intern beschermde inputs gebruikt voor de pre-compliantietest, kunt u de diodes

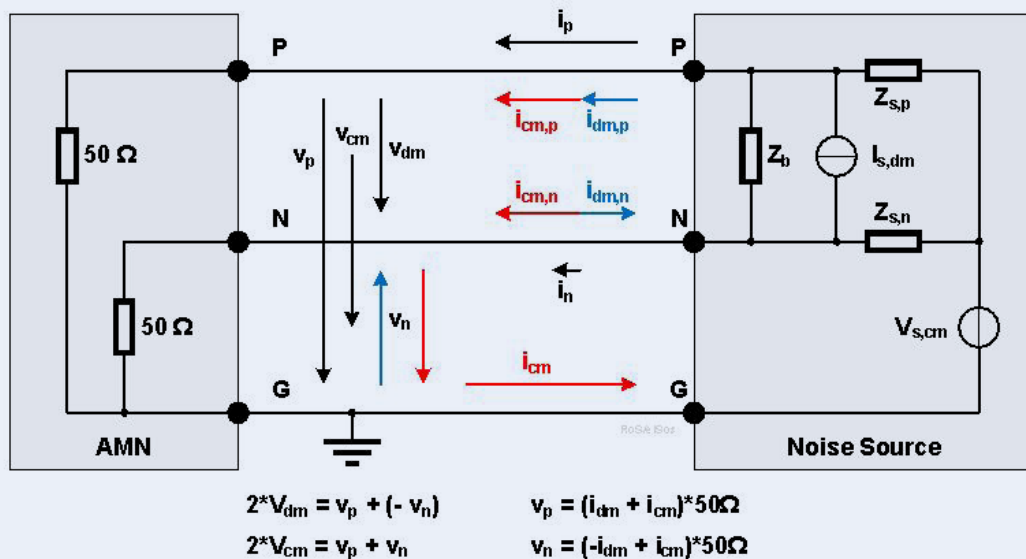
weglaten.

In **figuur 4** ziet u het complete schema van onze dubbele DC-LISN. De beschreven HF-uitgangscircuits zijn gemakkelijk te herkennen; X1 en X8 zijn de HF-outputs voor het meten van de geleide storing. De DC-voeding (met extra massaverbinding) wordt aangesloten op X2, X5, en X7. De voedingslijnen van het te testen apparaat (output) worden verbonden met X3 en X6 (of X4, die niet in onze LISN-kit zit).

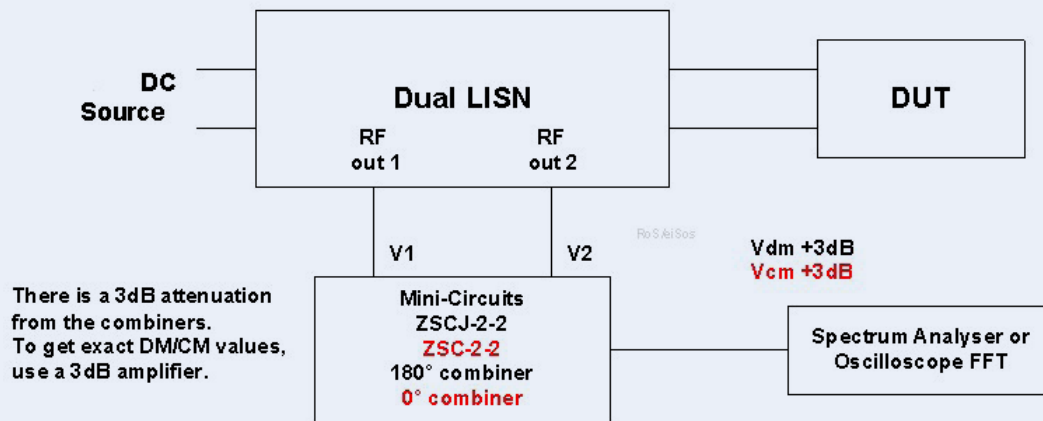
De 5  $\mu\text{H}$ -spoelen zijn in dit ontwerp geïmplementeerd met behulp van vijf standaard 1,1  $\mu\text{H}$ -spoelen uit het Würth



Figuur 5: Printlay-out.



Figuur 6: CM- en DM-spanningen en -stromen.



Figuur 7: Meetopstelling met (of zonder) Mini-Circuit combiners.

De SMD-componenten op de bovenzijde van de printplaat, C5-C10 en L2-L11, zijn te solderen in een reflow-oven. Het solderen van de spoelen met een heteluchtstation of een soldeerbout met een kleine punt is lastig, zo niet onmogelijk, want de soldeereilanden van de spoelen zijn bijna niet te bereiken. Bovendien is dit een print met vier lagen en is veel soldeervermogen nodig om de pads te verhitten, zeker als ze verbonden zijn met een voedingsvlak.

De componenten op de onderkant van de print, zoals de kleine 0603-weerstanden, de condensatoren en twee kleine spoelen, zijn wel te solderen met hete lucht. Een 0603-weerstand is meestal wel te solderen met een kleine soldeerbout, maar er vloeit veel hitte in de vier lagen. Als u soldeert met hete lucht, zet de luchtstroom dan in een lage stand, anders blaast u die kleine componenten van hun plaats.

De female SMA-connectors (X1, X8) zijn met hete lucht te solderen. Breng eerst wat soldeerpasta aan op alle aansluitpunten van de eerste connector, schuif hem op de print en zet de luchtstroom wat harder om de connector aan beide kanten te solderen. Soldeer eerst de middelste pen en dan de massacontacten aan beide kanten van de print. Let erop dat de middelste pen in het midden van het soldeervlak zit.

De veercontacten (contactvingers) zijn ook te solderen met behulp van hete lucht en soldeerpasta. Breng wat pasta aan op de soldeereilanden (X13-X16) en plaats het contact rechtop. Stop als alle soldeerpasta vloeit en het contact duidelijk op zijn plaats komt.

De diodes in MiniMELF-behuizing zijn te solderen met een bout met een kleine beetelvormige tip en zeer dun soldeer-

draad, bijvoorbeeld 0,35 mm. Breng eerst wat soldeer aan op een vlakje, bij voorkeur het massavlak, want het kan even duren, voordat de soldeer vloeit op die pads. Plaats dan de MiniMELF. Het andere contact is gemakkelijker te solderen. Gebruik een pincet, plaats de MiniMELF en soldeer één kant. Let goed op of de diode in het midden van het soldeervlak komt te zitten. Bij elk paar diodes komen één kathode (zwarte ring) en de anode van de andere aan massa. Soldeer dan het andere einde en verhit daarna de eerste verbinding opnieuw en breng wat extra soldeer aan.

Als alle onderdelen op beide kanten van de print zijn gesoldeerd, kunt u de banaan-sockets in de behuizing plaatsen, met de contacten verticaal. Schuif de print in de behuizing met de SMA-socket voor de juiste gaten. Let op dat de veercontacten aan de

onderkant van de print niet krombuigen door de rand van de behuizing.

Druk de print aan en plaats de ringen en moeren op de SMA-connectors. Soldeer dan de contacten van de banaanconnectors aan de soldeereilanden (X2, X3, X5, X6, X7), terwijl u de print op zijn plaats houdt. Plaats het deksel op de behuizing en de LISN is klaar voor gebruik.

### Gebruik van de LISN

In **figuur 6** ziet u de spanningen en stromen die van belang zijn bij het meten van twee soorten geleide storing.

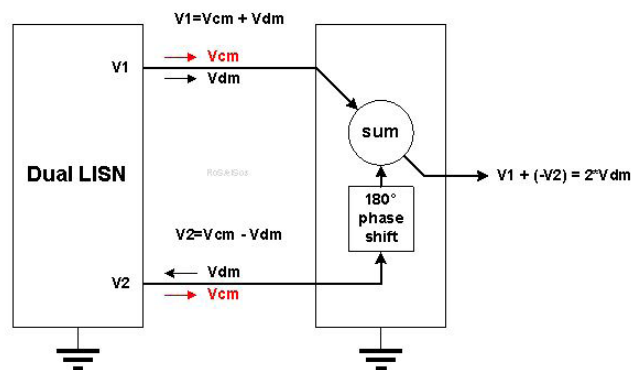
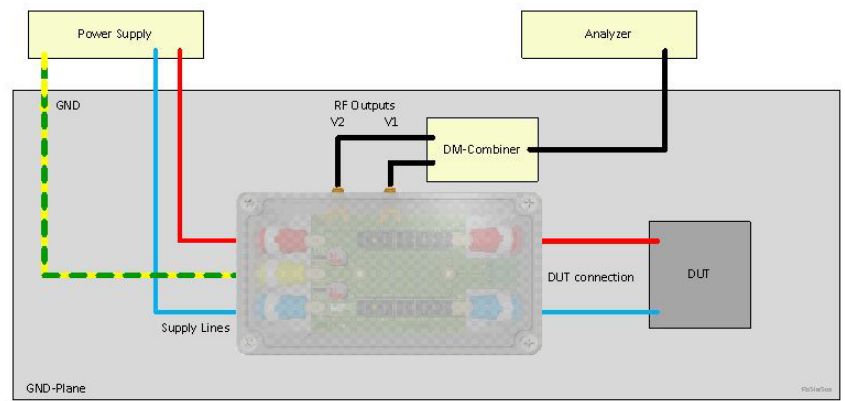
Bij de differentiële modus loopt de stroom van de bron naar de belasting en gaat terug via de andere lijn. De aarde is in dit geval niet belangrijk. De differentiële spanning wordt berekend als  $V_{dm} = 0.5 \cdot (V_p - V_n)$ .

Bij de common mode loopt de stroom op beide lijnen in dezelfde richting en gaat terug via de massa terug naar de bron. Deze retourstroom kan ook door parasitaire koppelingseffecten worden geleid. De common mode-spanning wordt berekend als  $V_{cm} = 0.5 \cdot (V_p + V_n)$ .

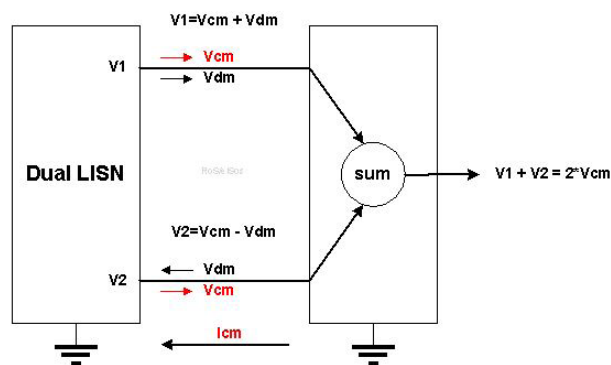
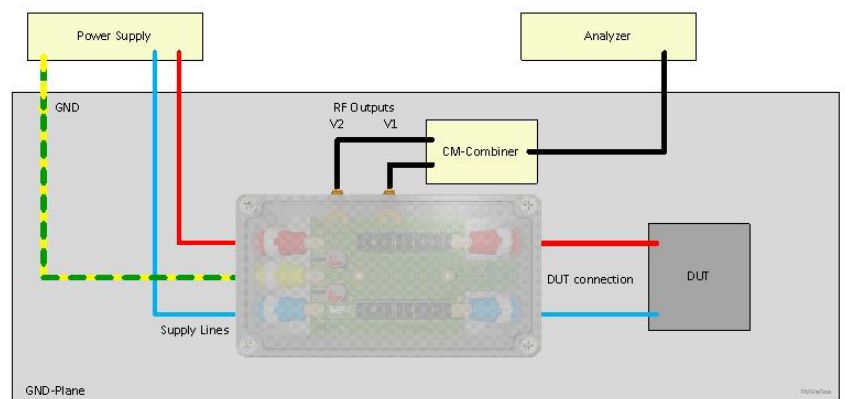
Er zijn twee manieren om de differential en common mode-storing te meten met onze LISN (zie **figuur 7**). De eerste werkt met een zogenaamde combiner, die verkrijgbaar is bij Mini-Circuits [5], om de beide HF-outputs op te tellen (met of zonder 180° fase draaiing), en de meting en berekening voor DM/CM uit te voeren.

De tweede manier werkt met een tweekaanaals digitale oscilloscoop met ingebouwde wiskundige functies (optelling en FFT). In dit geval hebben we geen combinators nodig: V1 en V2 worden rechtstreeks verbonden met de inputs van de oscilloscoop.

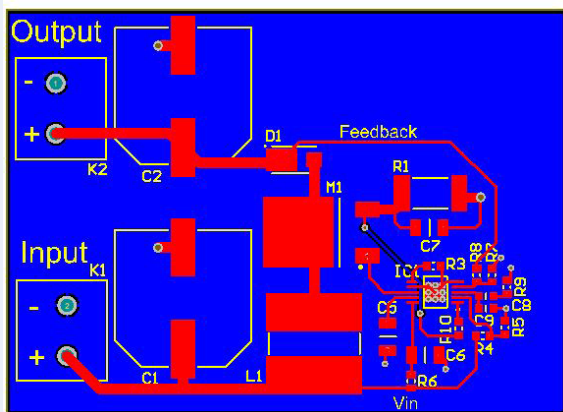
Wees voorzichtig: sluit de analyzer pas aan als de voeding van het LISN is ingeschakeld om uw meetinstrument te beschermen. Ontkoppel uw analyzer van het LISN voordat u de voeding uitschakelt of afkoppelt. Sluit ongebruikte outputs af met 50 Ω.



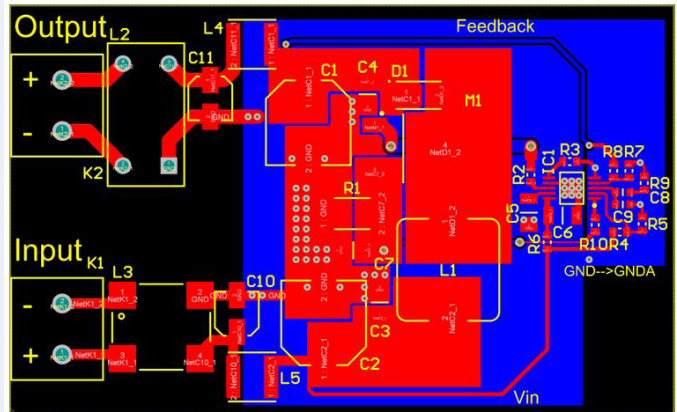
Figuur 8: Meetopstelling voor differentiële modus.



Figuur 9: Meetopstelling voor common mode.

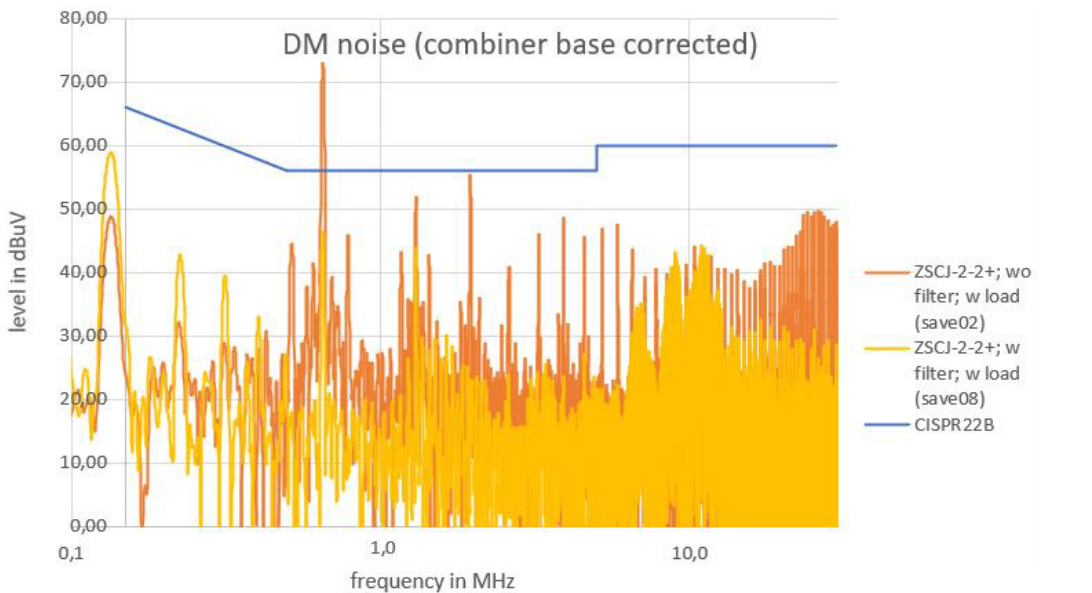


Figuur 10a: Eerste layout, non-compliant.

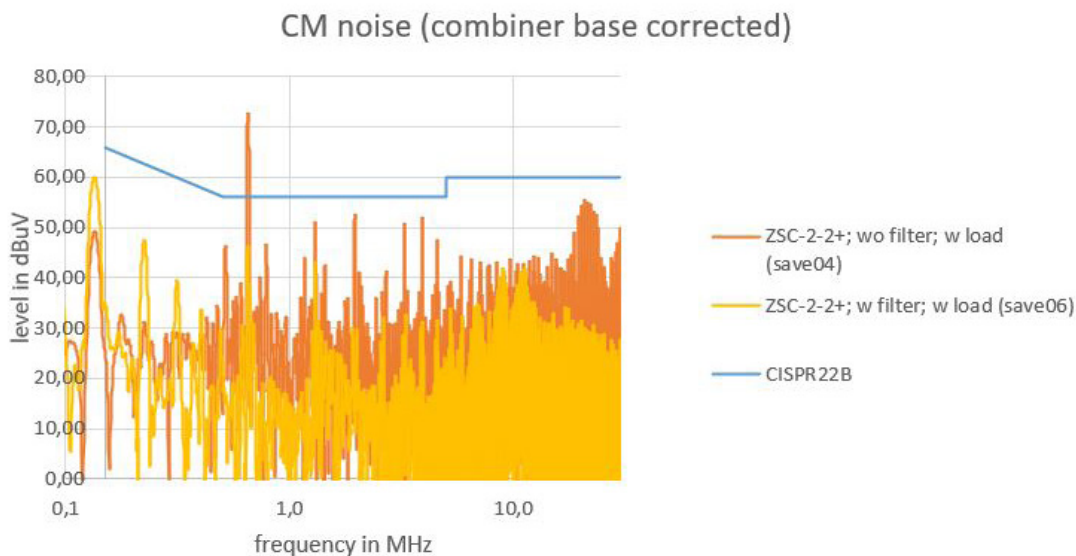


Figuur 10b: Verbeterde layout en filtering, CISPR22B-compliant.

Figuur 10: Twee versies van een print voor een schakelende voeding.



Figuur 11a: Differential mode.



Figuur 11b: Common mode.

Figuur 11: Storing als functie van de frequentie voor beide versies van de printen:

In **figuur 8** kunt u zien hoe de metingen in differentiële modus worden gedaan. De beide uitgangsspanningen van de LISN worden opgeteld, waarbij één van de twee 180° wordt gedraaid vóór het sommeren. Als het goed is, heffen de common mode-signalen elkaar daarbij op, terwijl het differentiële niveau wordt verdubbeld. Om het juiste niveau te krijgen, moet er dus 6 dB van de gemeten waarde worden afgetrokken. Omdat de combiner -3 dB verzwakking oplevert, moeten we ook die meenemen in de berekening. Samen met de -10 dB van de LISN wordt de correctie dus als volgt:

-6 dB + 3 dB + 10 dB = 7 dB (met combiner)  
 -6 dB + 10 dB = 4 dB (zonder combiner)

In **figuur 9** is de common mode-meting weergegeven. In het ideale geval levert het optellen van V1 en V2 tweemaal de common mode-spanningscomponent, terwijl de differentiële component wegvalt. Als we dus een gelijke common mode-spanning hebben op beide geleiders, met exact dezelfde fase, dan krijgen we tweemaal de spanning, of 6 dB meer dan de waarde op elke lijn.

### Voorbeeld: Testen van een schakelende voeding

Om het gebruik bij pre-compliantietesten te demonstreren, hebben we twee schakelingen doorgemeten met onze LISN. De ene print (**figuur 10a**) is een eerste, ruwe lay-out van een schakelende voeding. De andere (**figuur 10b**) is de verbeterde versie van dezelfde schakeling na een pre-compliance. Met deze eerdere metingen van hetzelfde ontwerp in een professioneel laboratorium konden we de EMC-niveaus van ons eigen LISN en meetapparatuur in ons laboratorium corrigeren. Dit is een goede oplossing voor pre-compliance of vergelijkingsmeting om thuis een ontwerp te onderzoeken.

De testresultaten van de common mode- en differentiële meting zijn weergegeven in **figuur 11**. In beide gevallen voldoet het tweede ontwerp, met verbeterde print layout en extra filtering, aan de eisen van CISPR22B.

Beide zijn gemeten van 150 kHz tot 30 MHz,

## Technische eigenschappen

### HF-pad

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| Kanalen:             | 2 (met clampdiodes)      |
| Bandbreedte:         | 200 MHz                  |
| Inductantie:         | 5 $\mu$ H    50 $\Omega$ |
| Interne verzwakking: | 10 dB                    |

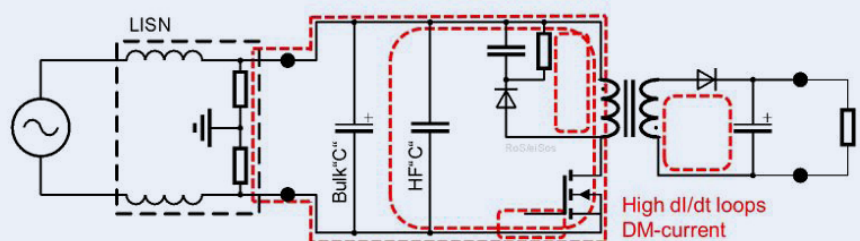
### DC-pad

|                  |                                               |
|------------------|-----------------------------------------------|
| Max. stroom:     | < 10 ADC                                      |
| Max. spanning:   | < 60 VDC                                      |
| DC-weerstand:    | < 2 x 70 m $\Omega$                           |
| Printafmetingen: | 121 mm x 66 mm x 35 mm (exclusief connectors) |

### Geleide storing

Er zijn twee soorten geleide ruis, en beide zijn te meten met deze LISN.

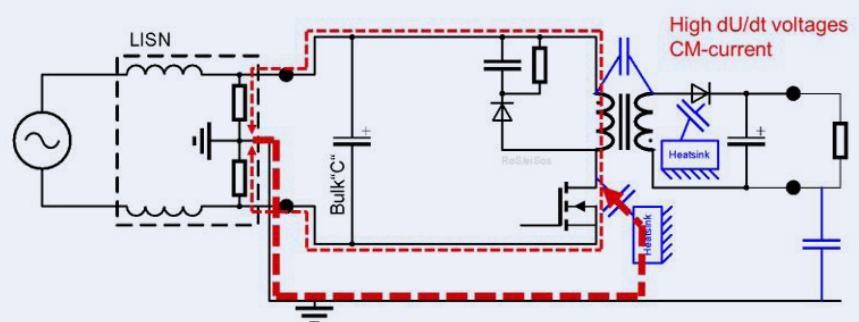
#### Differential mode



wordt veroorzaakt door een grote di/dt; schakelingen werken als lusantennes of magnetische dipolen.

- > Stroompad als in het schema; vrij gemakkelijk te identificeren
- > Retourpad van de stroom zeer nabij
- > Relatief grote stromen
- > di/dt is de dominante factor
- > Te filteren met LC-,  $\pi$ - of T-topologie

#### Common Mode



veroorzaakt door grote  $\Delta V/\Delta t$ ; schakelingen werken als elektrische dipool- en monopool-antennes.

- > Onverwachte parasitaire stroompaden
- > Groot retourpad voor de stroom
- > Relatief kleine stromen (micro-ampères)
- > dV/dt is de dominante factor
- > Te filteren met CMC en Y-caps

het frequentiebereik dat voor CISPR22-compliance van belang is. Bij hogere frequenties wordt de uitgestraalde storing gemeten met behulp van antennes. De oranje curves zijn de meetresultaten van de kaart zonder filter. Bij 650 kHz ziet u de schakelfrequentie van de voeding met een niveau van 72 dBμV. We zien ook enkele harmonischen bij 1,3 MHz, 1,95 MHz enzovoort. De blauwe lijn geeft de CISPR22 Class B-grenswaarde aan. De geleide ruis zou daar ongeveer 10 dB onder moeten blijven. De hoge piek bij de schakelfrequentie (650 kHz) moet met 22 dB worden gereduceerd!

Door de layout te verbeteren en filters toe te voegen is in het tweede ontwerp de vereiste reductie bereikt. De gele curves tonen het nieuwe resultaat van 45 dBμV bij 650 kHz.

Door de resultaten van de EMC-test bij een gecertificeerd laboratorium te vergelijken met die van onze eigen LISN, konden we de meetopstelling perfectioneren, zodat uw eigen metingen een goede indicatie zullen zijn van de EMC-compliance van uw elektronische producten. 

210373-03



## RELATED PRODUCTS

> **Dual DC LISN kit (SKU 19869)**  
[www.elektor.com/19869](http://www.elektor.com/19869)

> **STEMlab 125-14 Starter Kit (SKU 17939)**  
[www.elektor.com/17939](http://www.elektor.com/17939)

## Een bijdrage van:

Idee en ontwerp: **Robert Schillinger (Würth Elektronik)**

Tekst: **Robert Schillinger, Ton Giesberts**

Illustraties: **Robert Schillinger, Patrick Wielders**

Redactie: **Luc Lemmens, Stuart Cording**

Layout: **Harmen Heida**

Vertaling: **Evelien Snel**

## Vragen of opmerkingen?

Als u technische vragen of opmerkingen hebt over dit artikel, stuur dan een email naar de redacteur via

[luc.lemmens@elektor.com](mailto:luc.lemmens@elektor.com) of neem contact op met Elektor via [editor@elektor.com](mailto:editor@elektor.com).

## WEBLINKS

[1] Wikipedia over LISN's:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Line\\_Impedance\\_Stabilization\\_Network](https://en.wikipedia.org/wiki/Line_Impedance_Stabilization_Network)

[2] DC2130A Analog Devices application note: <https://bit.ly/2SST8dc>

[3] Dual DC LISN kit: <http://www.elektor.nl/19869>

[4] Projectpagina bij Elektor Labs: <https://bit.ly/2V9zBpJ>

[5] Mini-Circuits for Combiners: <https://bit.ly/3CrVzWg>



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden (alle SMD 0603)

R1,R13 = 820 Ω 1%

R2,R14 = 180 Ω 1%

R3,R4,R15,R16 = 680 Ω 1%

R5,R17 = 12 Ω 1%

R6,R18 = 27 Ω 1%

R7,R19 = 18 Ω 1%

R8,R20 = 910 Ω 1%

R9,R21 = 270 Ω 1%

R10,R22 = 220 Ω 1%

R11,R12,R23,R24 = 510 Ω 1%

### Condensatoren

C1,C2,C13,C14 = 470 nF 50 V SMD 0805 X7R  
 (Würth Elektronik 885012207102)

C3,C4,C11,C12 = 100 nF 250 V SMD 1206 X7R  
 (Würth Elektronik 885342208004)

C5,C8 = 22 μF 100 V SMD WCAP-ASLL  
 (8x10.5) (Würth Elektronik 865060853003 of  
 865080853006)

C6,C7,C9,C10 = 2,2 μF 100 V SMD 1210 X7R  
 (Würth Elektronik 885012209071)

### Spoelen

L1,L12 = 1 mH 200 mA SMD WE-LQS 5040  
 (Würth Elektronik 74404054102)

L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8,L9,L10,L11 = 1,1 μH  
 15000 mA SMD WE-HCI 7050 (Würth  
 Elektronik 744314110)

### Halfgeleiders

D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8 = LL4148 100 V 100  
 mA, SMD MiniMelf (SOD-80)

D9,D10 = TVS-diode, niet geplaatst

### Verder

X1,X8 = female SMA 9.52, 5 pennen 180° (end  
 launch), voor 1,6mm-print (Würth Elektronik  
 60312242114510)

X2,X3 = veiligheidssocket voor banaanstekker,  
 paneelmontage, 24 A, 1 kV, vergulde  
 contacten, rood (Staubli 23.3000-22)

X5,X6 = veiligheidssocket voor banaanstekker,  
 paneelmontage, 24 A, 1 kV, vergulde  
 contacten, blauw (Staubli 23.3000-23)

X7 = veiligheidssocket voor banaanstekker,  
 paneelmontage, 24 A, 1 kV, vergulde  
 contacten, groen/geel (Staubli 23.3000-20)

X13,X14,X15,X16 = WE-SECF SMD EMI-  
 contactveer, 7x2,5x13mm (Würth Elektronik  
 331161702513)

X4 = niet gemonteerd

Behuizing = 1590N1 aluminium spuitgietwerk  
 121,1x66x35,3 mm Hammond MFG

Print 210296-1 V1.0

Optioneel (om het LISN te verbinden met de  
 STEMlab 250-14)

4 SMA male / BNC-adapters bij gebruik van  
 2 standaard BNC-kabels of 2 SMA-kabels  
 (male-male)