



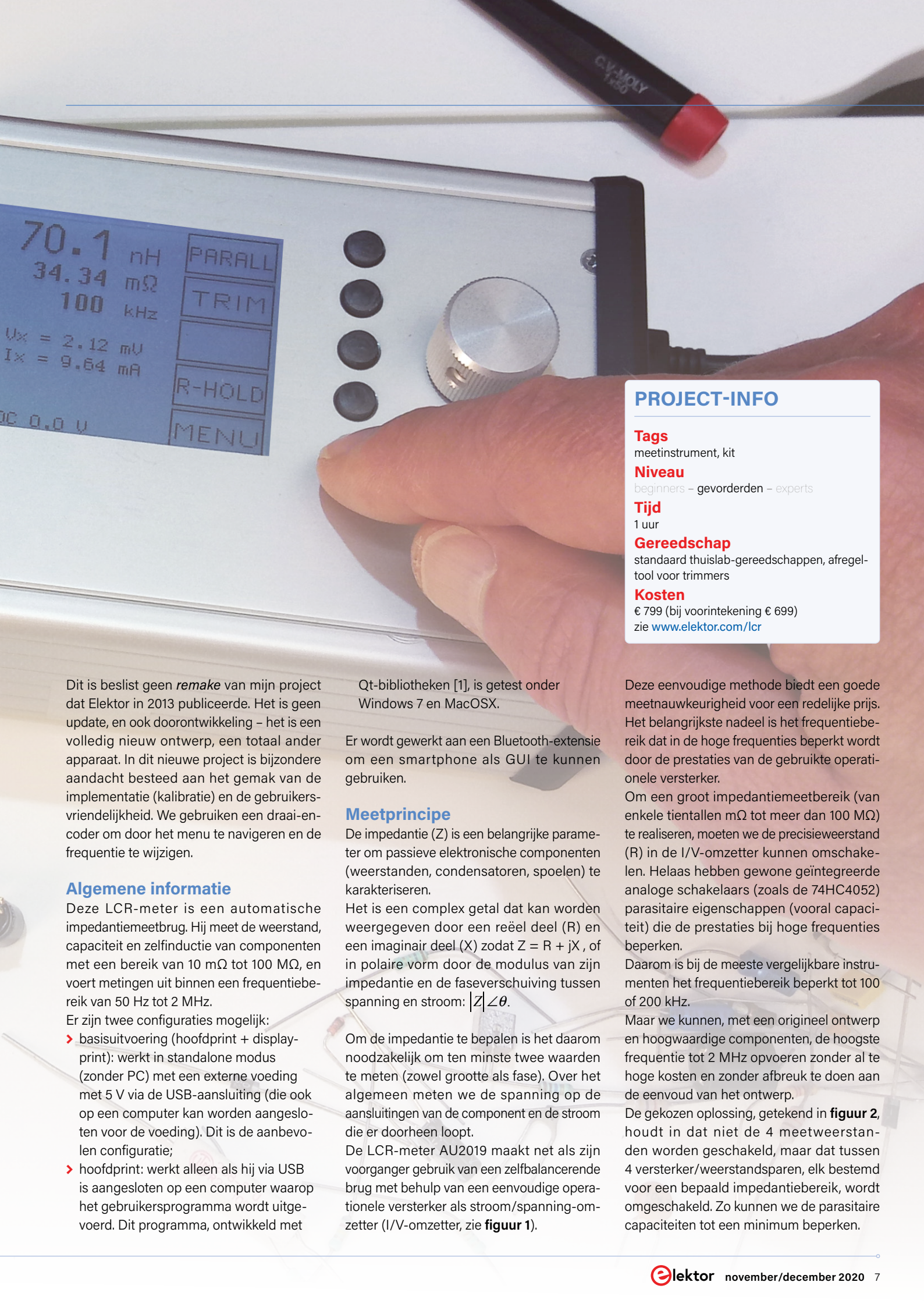
Nieuwe LCR-meter

50 Hz – 2 MHz

automatische impedantiemeetbrug meet weerstand, capaciteit en zelfinductie van componenten met een impedantie van 10 mΩ tot 100 MΩ

Jean-Jacques Aubry (Frankrijk)

Meer dan 7 jaar geleden publiceerde Elektor mijn 500ppm LCR-meter. Sindsdien heb ik een volledig nieuwe LCR-meter ontwikkeld, waarbij ik de uiterste nauwkeurigheid heb opgeofferd aan een uitgebreide functionaliteit: testfrequenties van 50 Hz tot 2 MHz, vier mogelijke testspanningen (100 mV, 200 mV, 500 mV en 1 Vrms), en extra DC-offset tot 5 V voor condensatoren en 50 mA voor spoelen.



PROJECT-INFO

Tags

meetinstrument, kit

Niveau

beginners – gevorderden – experts

Tijd

1 uur

Gereedschap

standaard thuislab-gereedschappen, afregeltool voor trimmers

Kosten

€ 799 (bij voorintekening € 699)

zie www.elektor.com/lcr

Dit is beslist geen *remake* van mijn project dat Elektor in 2013 publiceerde. Het is geen update, en ook doorontwikkeling – het is een volledig nieuw ontwerp, een totaal ander apparaat. In dit nieuwe project is bijzondere aandacht besteed aan het gemak van de implementatie (kalibratie) en de gebruikersvriendelijkheid. We gebruiken een draai- en coder om door het menu te navigeren en de frequentie te wijzigen.

Algemene informatie

Deze LCR-meter is een automatische impedantiemeetbrug. Hij meet de weerstand, capaciteit en zelfinductie van componenten met een bereik van 10 mΩ tot 100 MΩ, en voert metingen uit binnen een frequentiebereik van 50 Hz tot 2 MHz.

Er zijn twee configuraties mogelijk:

- basisuitvoering (hoofdprint + display-print): werkt in standalone modus (zonder PC) met een externe voeding met 5 V via de USB-aansluiting (die ook op een computer kan worden aangesloten voor de voeding). Dit is de aanbevolen configuratie;
- hoofdprint: werkt alleen als hij via USB is aangesloten op een computer waarop het gebruikersprogramma wordt uitgevoerd. Dit programma, ontwikkeld met

Qt-bibliotheken [1], is getest onder Windows 7 en MacOSX.

Er wordt gewerkt aan een Bluetooth-extensie om een smartphone als GUI te kunnen gebruiken.

Meetprincipe

De impedantie (Z) is een belangrijke parameter om passieve elektronische componenten (weerstand, condensatoren, spoelen) te karakteriseren.

Het is een complex getal dat kan worden weergegeven door een reëel deel (R) en een imaginair deel (X) zodat $Z = R + jX$, of in polaire vorm door de modulus van zijn impedantie en de faseverschuiving tussen spanning en stroom: $|Z| \angle \theta$.

Om de impedantie te bepalen is het daarom noodzakelijk om ten minste twee waarden te meten (zowel grootte als fase). Over het algemeen meten we de spanning op de aansluitingen van de component en de stroom die er doorheen loopt.

De LCR-meter AU2019 maakt net als zijn voorganger gebruik van een zelfbalancerende brug met behulp van een eenvoudige operationele versterker als stroom/spanning-omzetter (I/V-omzetter, zie **figuur 1**).

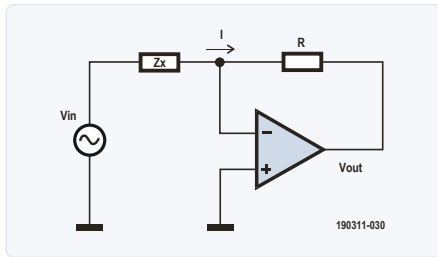
Deze eenvoudige methode biedt een goede meetnauwkeurigheid voor een redelijke prijs. Het belangrijkste nadeel is het frequentiebereik dat in de hoge frequenties beperkt wordt door de prestaties van de gebruikte operationele versterker.

Om een groot impedantiemeetbereik (van enkele tientallen mΩ tot meer dan 100 MΩ) te realiseren, moeten we de precisieweerstand (R) in de I/V-omzetter kunnen omschakelen. Helaas hebben gewone geïntegreerde analoge schakelaars (zoals de 74HC4052) parasitaire eigenschappen (vooral capaciteit) die de prestaties bij hoge frequenties beperken.

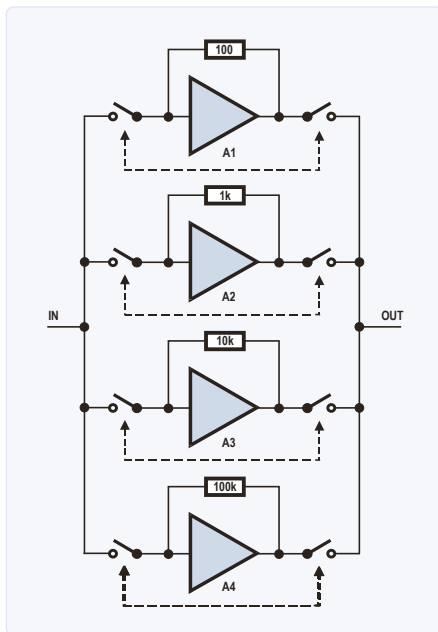
Daarom is bij de meeste vergelijkbare instrumenten het frequentiebereik beperkt tot 100 of 200 kHz.

Maar we kunnen, met een origineel ontwerp en hoogwaardige componenten, de hoogste frequentie tot 2 MHz opvoeren zonder al te hoge kosten en zonder afbreuk te doen aan de eenvoud van het ontwerp.

De gekozen oplossing, getekend in **figuur 2**, houdt in dat niet de 4 meetweerstand worden geschakeld, maar dat tussen 4 versterker/weerstandsparen, elk bestemd voor een bepaald impedantiebereik, wordt omgeschakeld. Zo kunnen we de parasitaire capaciteiten tot een minimum beperken.



Figuur 1. De zelfbalancerende brug-methode maakt gebruik van een eenvoudige operationele versterker als stroom/spannings-omzetter.



Figuur 2. Vier I/V-schakelingen, één voor elk meetbereik.

De gebruikte operationele versterkers (AD8099 van Analog Devices) hebben een kantelfrequentie van ongeveer 200 MHz bij een uitgangsspanning van $2 V_{tt}$ en hebben een sturingang om de uitgang af te schakelen (mute), precies wat we hier nodig hebben. De schakelaars zijn PhotoMOS solid state-relais van Panasonic met een zeer laag product van ON-weerstand maal uitgangscapaciteit. Een ander belangrijk punt is de keuze van de manier waarop de testfrequentie wordt gegenereerd. Tegenwoordig is het eenvoudig en goedkoop om hiervoor DDS-componenten (Direct Digital Synthesis) te gebruiken, met het voordeel dat elke frequentie in een bereik van 50 Hz tot 2 MHz kan worden gegenereerd. Bovendien is het eenvoudig om voor de synchroon detector een signaal te genereren met dezelfde frequentie, maar met een verschuifbare relatieve fase, dankzij een tweede DDS-schakeling die gesynchroniseerd is met de eerste.

Blokschema

In het blokschema van **figuur 3** is te zien uit welke delen de hardware van de LCR-meter is opgebouwd en hoe die delen met elkaar samenwerken. Die blokken worden verderop nader besproken.

De gebruikersinterface komt op een aparte print, waarbij het aantal bedieningselementen zoveel mogelijk is beperkt:

- 240 x 128-pixel grafisch LC-display;
- 5 drukknoppen;
- 1 draai-encoder met hulpcontact.

Hoewel ik dat niet aanbeveel, kunt u deze

bedieningsprint weglaten en de LCR-meter met behulp van een geschikt PC-programma, bedienen via de USB-interface. Op dit moment biedt mijn PC-programma niet dezelfde mogelijkheden als de standalone-versie. Ik vind nog steeds dat een standalone-meetapparaat de beste keuze is. Fysieke knoppen zijn makkelijker en sneller te bedienen! En er is geen update nodig telkens wanneer het besturingssysteem van de PC verandert. De LCR-meter wordt gevoed via een mini-USB-connector, u kunt een smartphone-lader gebruiken, een externe 5V-powerbank (voor smartphone) of hem aansluiten op een computer (via de USB-verbinding kunnen we ook de firmware updaten).

Beschrijving van de hoofdprint

Analoge ingangsectie (figuur 4)

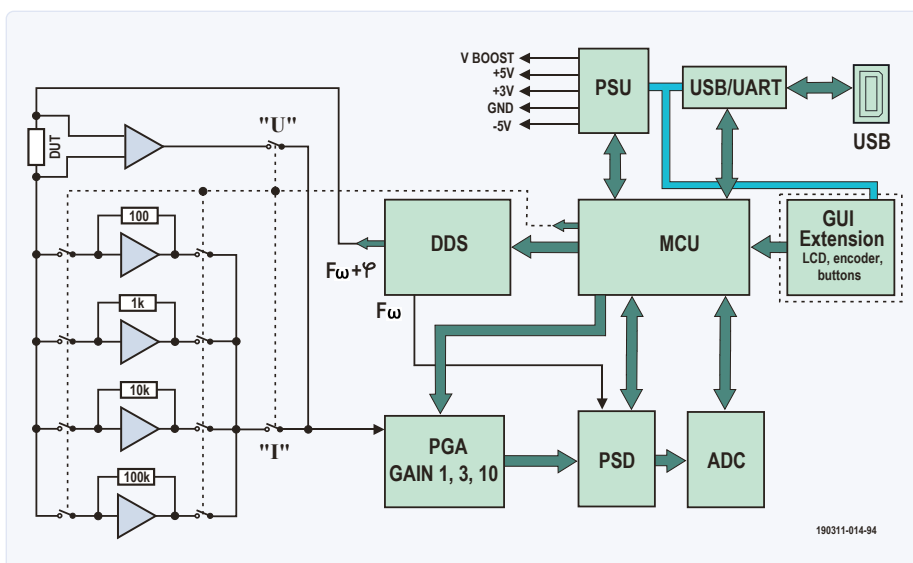
De meting wordt uitgevoerd met een vijfdrads-configuratie [2] om de invloed van de meetkabels te minimaliseren. De connectoren J4 (High Drive) en J7 (Low Drive) voeden het DUT (Device Under Test) terwijl we via J5 (High Sense) en J6 (Low Sense) zo dicht mogelijk bij de component meten. Als er een offsetspanning wordt toegepast, zijn J4 en J5 de positieve klemmen.

De PhotoMOS solid state-relais U54 tot en met U57, die de operationele versterkers U9... U12 schakelen, hebben een ON-weerstand van ongeveer 1Ω , de spanning moet worden gemeten bij de DUT-aansluitklemmen en niet ten opzichte van de massa. Dit is de taak van de differentiaalversterker die rond U7A, U7B, U7C is gebouwd. De common mode reject ratio (CMRR) moet hoog zijn over het gehele frequentiebereik van de LCR-meter. Daarom is een aanpassing noodzakelijk, met R31 voor lage frequenties (10 kHz) en met C44 voor hoge frequenties (1 MHz).

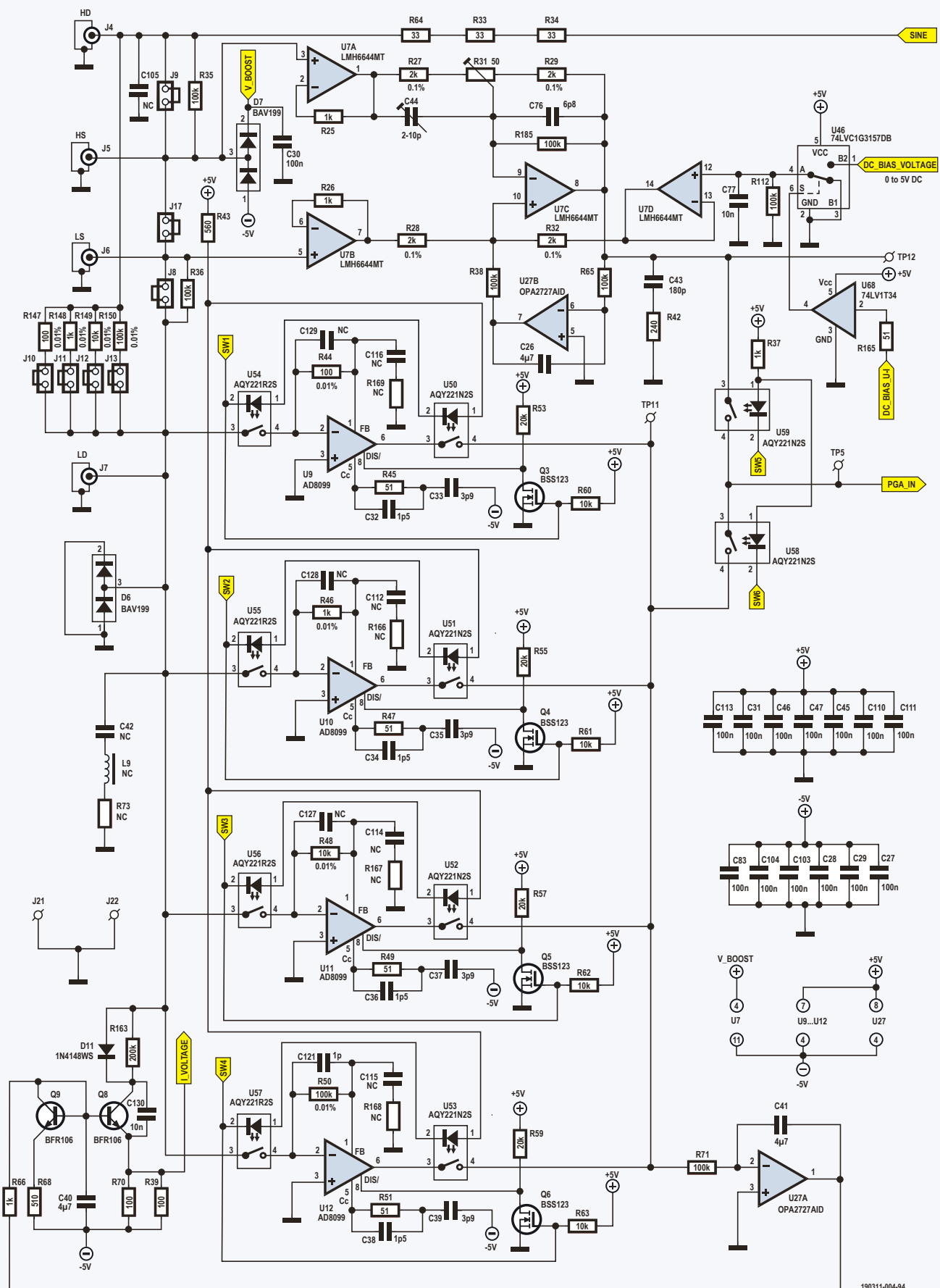
De rond U27B opgebouwde integrator maakt een automatische aanpassing van de offset mogelijk.

Afhankelijk van het meetbereik wordt één van de operationele versterkers U9 tot U12 geselecteerd. De DIS/-pen moet logisch hoog zijn en de bijbehorende PhotoMOS-relais (ingang U54 tot U57 en uitgang U50 tot U53) moeten worden ingeschakeld door een van de signalen SW1...SW4 van de MCU. De signalen SW5 (U59-regeling) en SW6 (U58-regeling) worden gebruikt om de U7C-uitgangsspanning (DUT-spanning) of de uitgangsspanning van de I/V-omzetter (DUT-stroom) door te schakelen naar het meetcircuit.

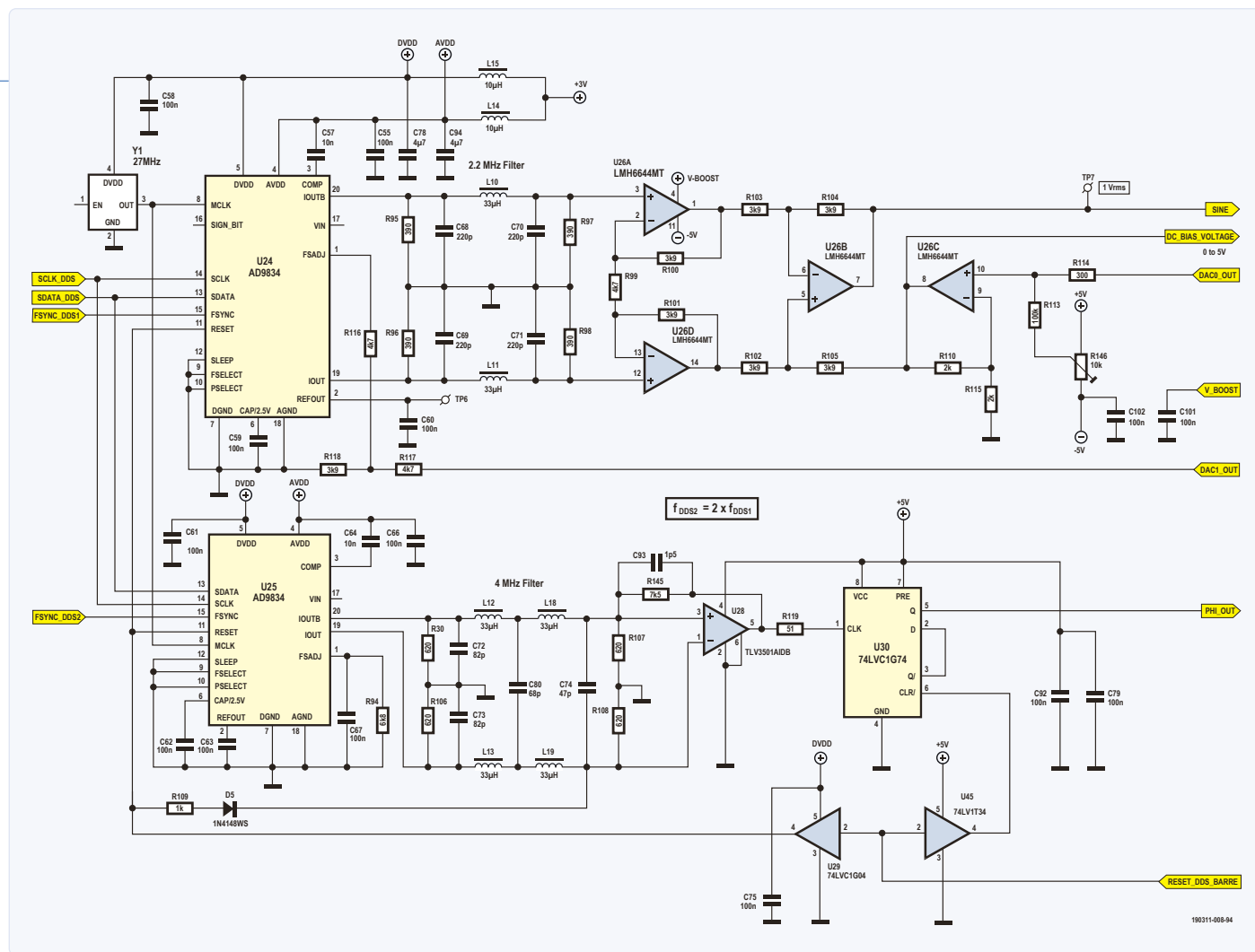
Als een DC-offset op het DUT wordt gezet,



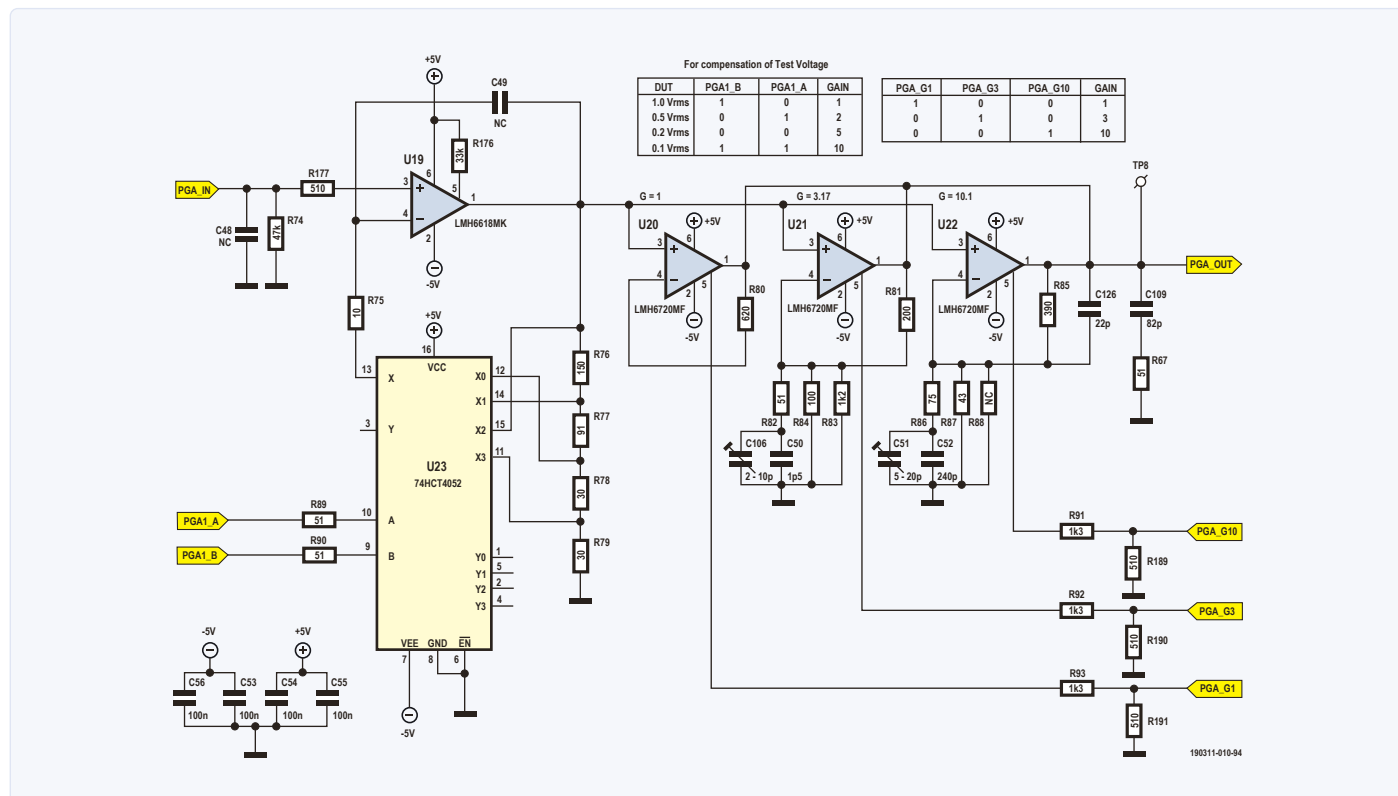
Figuur 3. De verschillende onderdelen van de LCR-meter en hoe ze met elkaar verbonden zijn.



Figuur 4. De analoge ingangstrappen. Vier impedantiebereiken kunnen door de microcontroller worden geselecteerd.



Figuur 5. Twee DDS-IC's genereren de testsignalen.



Figuur 6. Versterker met programmeerbare versterking en frequentiecompensatie.

zorgt de sinusgenerator voor een verschuiving van de offset tussen 0 en 5 V. Omdat er een weerstand van 100 Ω in serie wordt gezet met de uitgang van deze generator, zal dit overeenkomen met een stroom van 0 tot 50 mA als het (inductieve) DUT een geringe serieweerstand heeft. Voor metingen met een spanning op een condensator zorgt U7D voor een voorcompensatie op de ingang van de spannings-differentiaalversterker. Bij metingen met een stroom door een spoel wordt de stroom geabsorbeerd door de gelijkstroombron rond Q8 en Q9. De met U27A opgebouwde integrator houdt de gelijkspanningsuitgang van de I/V-omzetter in de buurt van 0 V.

Voor kalibratiedoeleinden kunnen met jumpers (J10 tot J13) precisieweerstanden worden aangesloten, die identiek zijn aan die van de I/V-omzetters.

Sinusgolfgenerator (figuur 5)

De generator is opgebouwd rond IC U24, een AD9834 DDS-chip van Analog Devices. De 27MHz-klok wordt geleverd door oscillator Y1. De uitgang (twee signalen in tegenfase) wordt gefilterd en versterkt door U26A, U26B en U26D. De versterker U26C maakt het mogelijk om een spanningsverschuiving toe te passen. De offset

van het sinussignaal (gemeten op TP7) zonder verschuiving is in te stellen met R146.

Voor de gebruikte fasedetector is een kwadratuursignaal met precies dezelfde frequentie nodig, waarvan de relatieve fase kan worden gevarieerd. Dit wordt bereikt met U25 (ook een DDS AD9834) die op de dubbele frequentie werkt en gevolgd wordt door een snelle comparator (U28) die een tweedeler aanstuurt (flipflop U30).

PGA (programmeerbare versterker) (figuur 6)

Een eerste versterkertrap, bestaande uit U19 en U23, heeft een instelbare versterking van 1, 2, 5 of 10 en compenseert de verzwakking van het bruikbare signaal als de amplitude van het testsignaal afneemt. Omdat de versterking tijdens een meetcyclus niet wordt gewijzigd, is de frequentieresponsie niet bijzonder belangrijk.

De volgende fase is ofwel U20 met een versterking van 1, U21 met een versterking van 3 (3,17 om precies te zijn), of U22 met een versterking van 10 (10,1). U21 wordt in frequentie gecompenseerd met C108, en U22 met C51. De kalibratieprocedure houdt rekening met de werkelijke respons van deze PGA voor elk van de gebruikte frequenties.

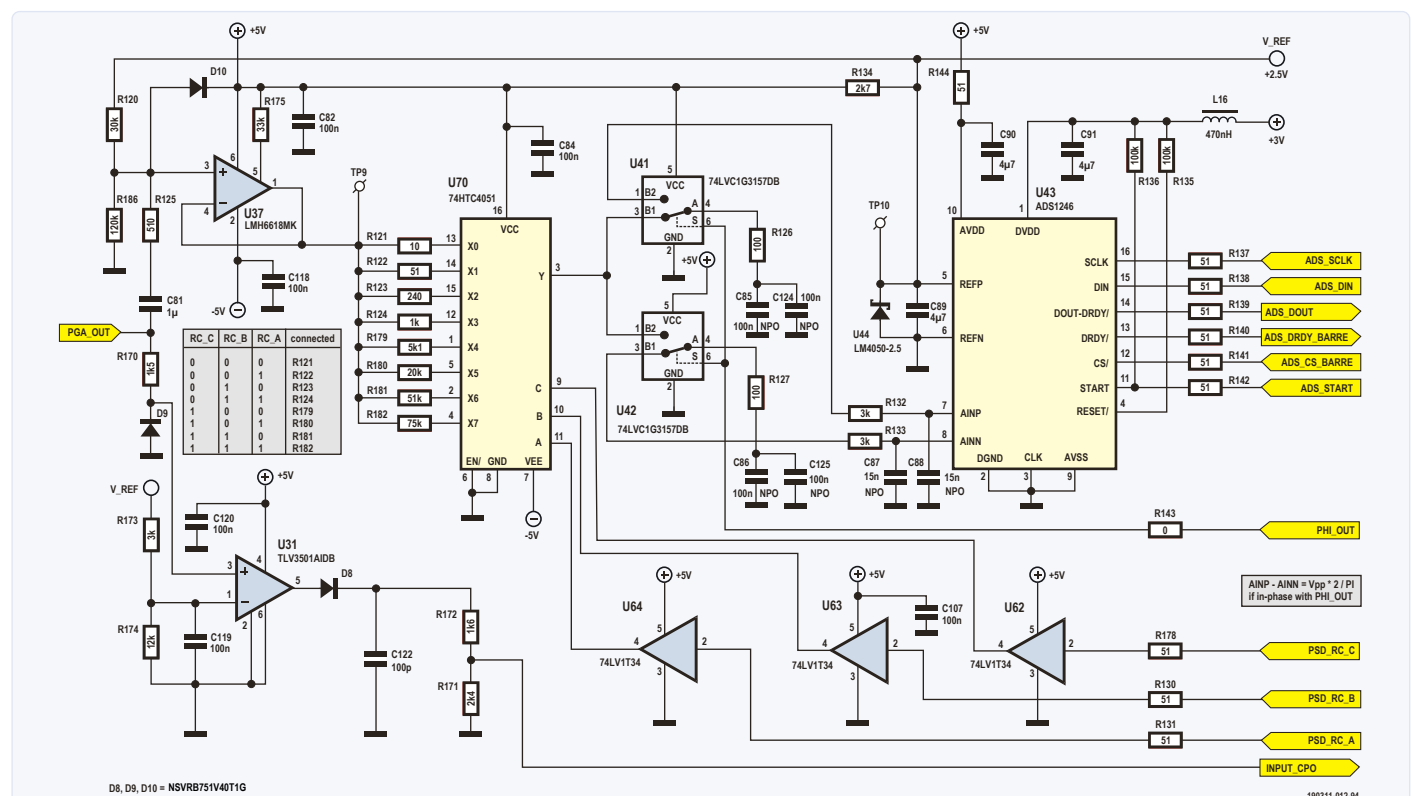
PSD (fasegevoelige detector) (figuur 7)

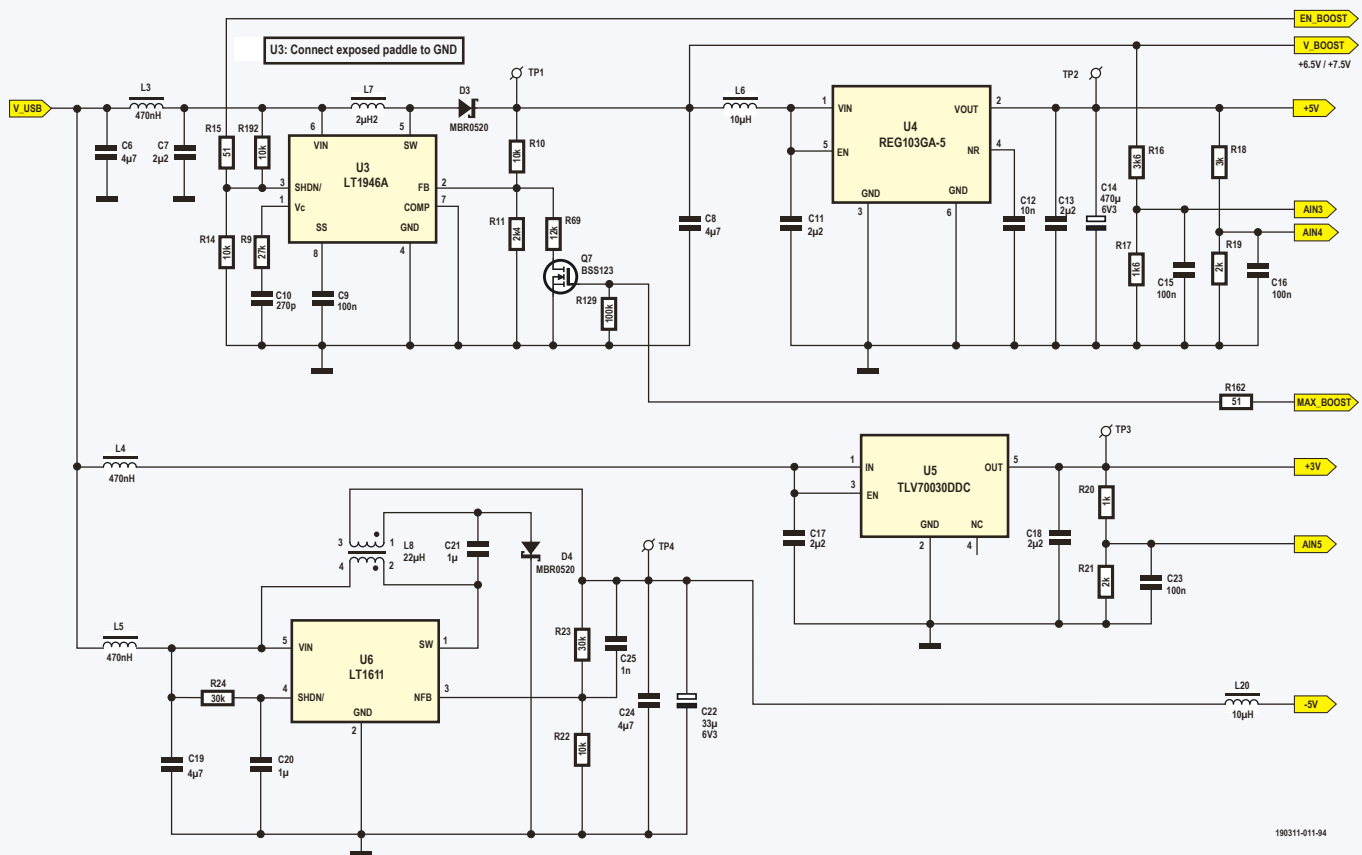
Deze schakeling is opgebouwd rond de analoge schakelaars U41 en U42 waarmee gedurende een halve periode een resonantiecondensator op het ingangssignaal kan worden aangesloten, en op een integratiecondensator gedurende de andere halve periode. De beide schakelaars werken in tegenfase om een dubbele differentiaalspanning te verkrijgen voor de A/D-omzetter U43.

De relatieve fase van het schakelsignaal ten opzichte van de sinusgolf van de generator maakt het mogelijk om metingen te verrichten aan de fase- of kwadratuurcomponenten van het ingangssignaal van deze PSD.

De tijdconstante voor de resonantiecondensator wordt aangepast aan de meetfrequentie: acht waarden zijn mogelijk door, met U70, één van de weerstanden R121, R122, enzovoort te kiezen. Op de ingang van U37 wordt een DC-offset van 2 V aangelegd zodat het signaal binnen het constante weerstandsbereik van de analoge schakelaars blijft (lineariteitsprobleem van deze PSD).

Bij het zoeken naar optimale meetcondities detecteert de snelle comparator U31 elke signaalpiek boven de 2 V en stuurt deze informatie naar de MCU (start van een interruptroutine).





Figuur 10. Op de hoofprint worden vier spanningsregelaars gebruikt.

ties te signaleren:

- geen aangesloten interface op J14 en geen communicatie via USB: de LED knippert continu ½ s aan en ½ s uit;
- stroomtestfout: naast de melding van het foutnummer knippert de LED ½ s aan en 1 s uit.

U66 en U67 verzorgen de synchronisatie van de sinus met de spanning- en stroommeting. Een jumper op J16 informeert de bootloader over een onvoorwaardelijke firmware-update. Drukknop K1 (RESET) is optioneel (deze wordt alleen tijdens de ontwikkelfase gebruikt).

USB-controller en voedingsspanningen (figuur 9)

Een FT232RL (U2) van FTDI dient als USB/UART-interface. Normaal gesproken komt de voeding via USB-connector J1, maar het is ook mogelijk om de jumper op J3 te plaatsen tussen 1 en 2 in plaats van 2 en 3 en de schakeling te voeden via connector J2. Er zijn vier spanningen nodig om alle onder-

delen van stroom te voorzien (figuur 10):

- een V_BOOST-spanning van +6,5 V of +7,5 V (afhankelijk van het MAX_BOOST-niveau) die wordt geleverd door de step-up regelaar U3 in combinatie met L7 en D3;
- een spanning van +5 V geleverd door de lineaire regelaar U4;
- een spanning van +3 V geleverd door de lineaire regelaar U5;
- een spanning van -5 V geleverd door de schakelende regelaar U6 in combinatie met L8 en D4.

Al deze spanningen worden bij het opstarten door het programma gecontroleerd met behulp van de 12bit-ADC en multiplexer in de MCU.

Displayprint (figuur 11)

Een flatcable op J1 verbindt deze print met de hoofprint.

De vijf drukknoppen K1...K5 en de draai-encoder SW1 zijn als matrix geschakeld zodat

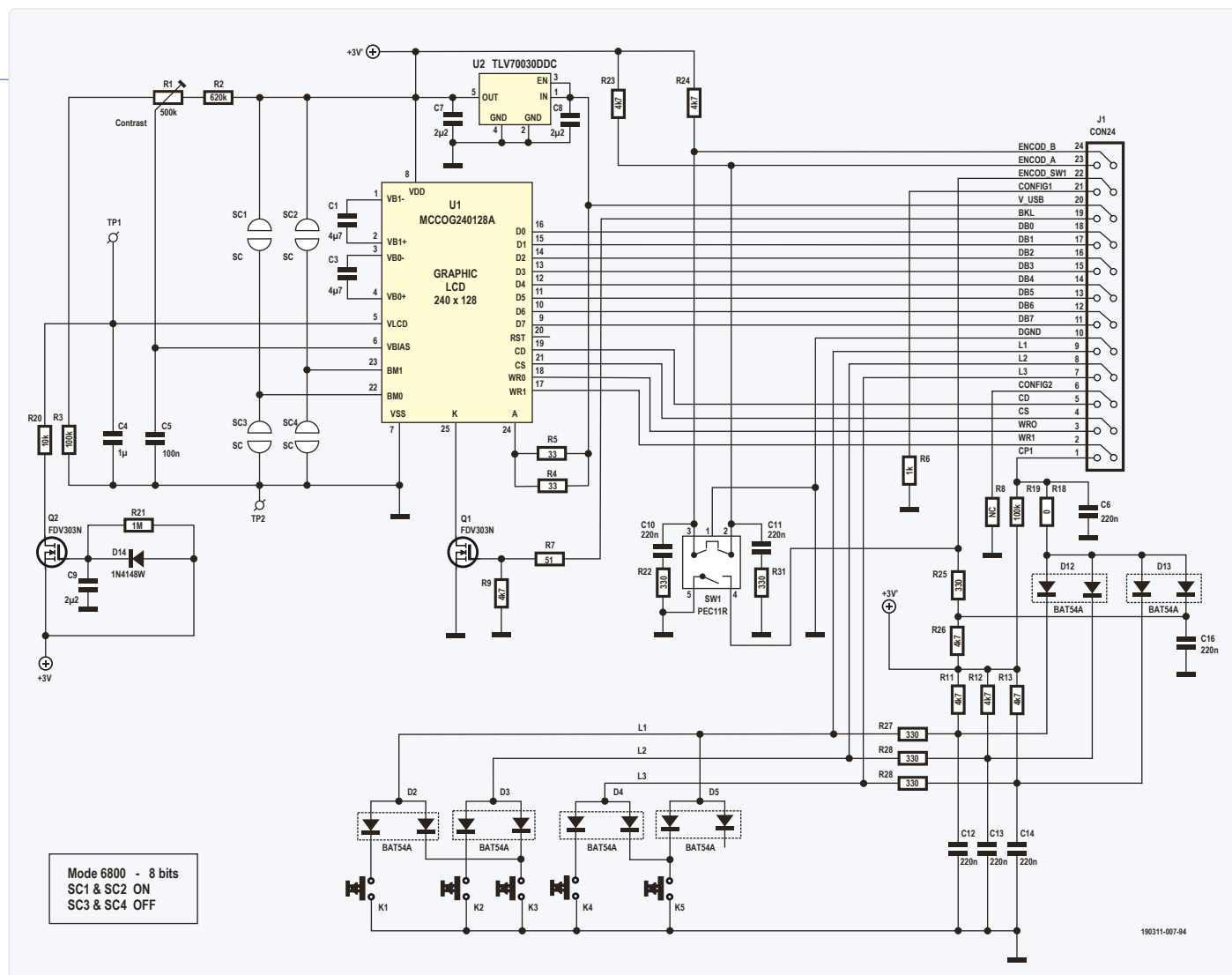
slechts 3 IO-lijnen van de MCU nodig zijn om ze uit te lezen. De draai-encoder gebruikt nog twee andere poortlijnen.

RC-netwerkjes zorgen voor een eerste denderonderdrukking, wat het softwarematig filteren vergemakkelijkt. Diodes D12 en D13 informeren het programma via een interrupt als er op een knop wordt gedrukt.

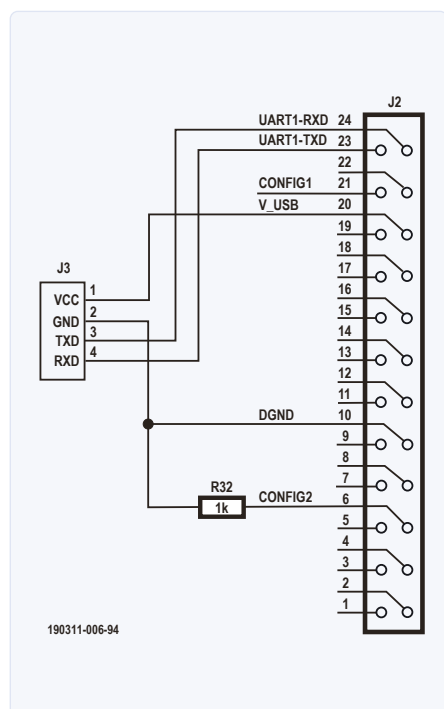
Het grafische display U1 wordt gevoed met +3 V (via lineaire regelaar U2) uit de gefilterde USB-voedingsspanning. De achtergrondverlichting wordt geregeld door transistor Q1; transistor Q2 zorgt, als het apparaat wordt uitgeschakeld, voor een snelle ontlading van de intern gegenereerde V_{LCD} -spanning, om onaangename visuele effecten te vermijden. De displayprint wordt bij het opstarten herkend door de aanwezigheid van een weerstand naar massa (R7 in serie met R9) op pin 19 (BKL) van J1.

BLE-interface (figuur 12)

Een uitbreidingskaart met een BLE-module (Bluetooth Low Energy) module is in ontwik-



Figuur 11. De print achter het frontpaneel met knoppen, LCD en draai-encoder.



Figuur 12. De LCR-meter kan via een Bluetooth-interface worden bediend.

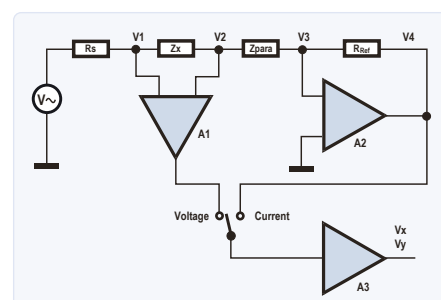
keling. Deze wordt geïdentificeerd via pen 6 (CONFIG2) van J1 door een weerstand van 1 kΩ naar massa.

Software-kalibratie (figuur 13)

De zelfbalancerende brugmethode met een eenvoudige operationele versterker (A2) heeft bij hoge frequenties een belangrijk nadeel: de virtuele massa (zie **figuur 13**, spanning V3) wordt niet op nul gehouden vanwege het beperkte frequentiebereik van deze versterker. De meeste eenvoudige berekeningen van de compensatie van de parasitaire elementen (OPEN/SHORT-compensatie), waarbij wordt aangenomen dat de spanning V3 een virtuele massa is, zijn daarom niet meer van toepassing bij hoge frequenties. Dan moeten meer geavanceerde compensatiemethoden worden gebruikt, zoals de zogenaamde OPEN/SHORT/LOAD-compensatie. Wie geïnteresseerd is in de theorie over dit onderwerp, verwijs ik naar het artikel "Test Fixture Compensation Techniques in Impedance Analysis" in [4]. Het kalibreren van het apparaat gebeurt in

verschillende stappen:

- > voor elke voorgedefinieerde frequentie en voor een PGA-versterking (A3) van 3 en 10;
- > LOAD, voor elk van de vier bereiken met $Z_x = R_{ref}$ voor elke voorgedefinieerde frequentie;
- > OPEN TRIM (zonder aangesloten component), voor elke vooraf gedefinieerde frequentie;
- > SHORT TRIM (kortgesloten ingang), voor elke voorgedefinieerde frequentie.



Figuur 13. Vereenvoudigd schema van het meetcircuit.

De opgeslagen waarden worden gebruikt om de correcties te berekenen die moeten worden toegepast op de ruwe meetwaarden.

Na aanpassing van de gemeten DUT-waarden om rekening te houden met de versterking (complexe waarde) van A3, zowel voor de 'CURRENT'- als de 'VOLTAGE'-meting, wordt de uiteindelijke waarde berekend volgens de formule:

$$Z_x = R_{ref} \frac{(Z_{xm} - Z_{short})(Z_{open} - Z_{stdm})}{(Z_{stdm} - Z_{short})(Z_{open} - Z_{xm})}$$

Al deze waarden zijn complex:

- Z_{xm} is de gemeten waarde
- Z_{stdm} is de gemeten waarde van R_{ref} tijdens de LOAD-fase.
- Z_{short} is de gemeten waarde tijdens de SHORT TRIM-fase.
- Z_{open} is de gemeten waarde tijdens de OPEN TRIM-fase.

Tijdens het gebruik is het mogelijk om de beide TRIM-operaties te herhalen ([TRIM]-knop) met de huidige frequentie, als bijvoorbeeld een andere probe is aangesloten.

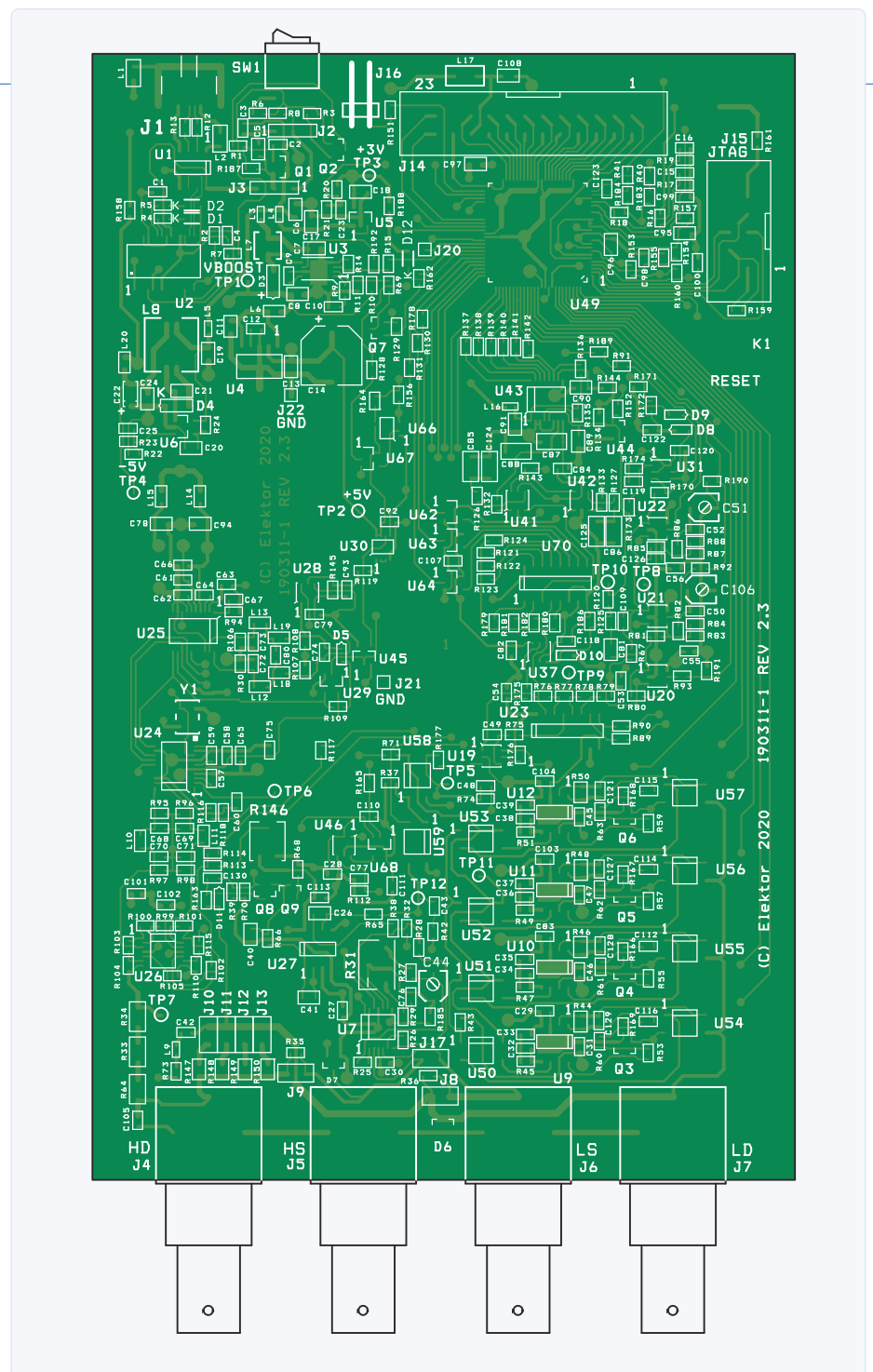
Bij het selecteren van een 'eigen' frequentie worden de correcties uitgevoerd door interpolatie tussen de 2 nabijgelegen voorgedefinieerde frequenties.

Printen (figuren 14a...c)

De print-layouts kunnen van de projectpagina bij dit artikel worden gedownload [3]. Gezien de complexiteit van deze printplaten (de hoofdprint heeft vier lagen!) zijn ze niet geschikt om zelf te etsen. Zelfbouw is werkelijk alleen iets voor doorgewinterde soldeerartiesten met veel ervaring en met de juiste gereedschappen. Met geduld en een zeer vaste hand, een loep en/of (stereo)microscop kan de klus worden geklaard met een zeer fijne soldeerbout, maar dit is niet ideaal voor de onderdelen met een 'exposed pad', een soldeerverbinding die niet direct toegankelijk is met de soldeerbout. Wij raden u aan om soldeerpasta te gebruiken met een geschikte dispenser of stencils en een hete lucht-soldeerbout of reflow-oven. Als u twijfelt of u deze klus wel kunt klaren... BEGIN ER DAN NIET AAN.

De Gerber-bestanden voor de printen (voor wie de PCB's zelf wil bestellen) kunnen ook worden gedownload, evenals de boor- en freestekeningen voor de Hammond-behuizing die we voor deze LCR-meter hebben gebruikt [3].

Op dit moment loopt er een 'project pledge' op de Elektor Labs-pagina <https://www.elektor-magazine.com/labs/remake-lcr-meter> met reeds 40% van de beoogde 150 toezeggin-



Figuur 14a. Layout van de hoofdprint, alle onderdelen zijn aan de bovenzijde gemonteerd.

gen om voorgeassembleerde PCB's voor dit project te bestellen (figuur 14d). Mis uw kans niet om mee te doen!

Accessoires

Het apparaat wordt gevoed (5 VDC) via de mini-USB type B-connector. U hebt dus een USB-kabel nodig die compatibel is met de mini-USB type B (male) connector aan de apparaatzijde en waarschijnlijk USB type-A (male) aan de voedingszijde (die van een smartphone is geschikt).

Omdat de meting wordt uitgevoerd in een

5-draadsconfiguratie [2] om de invloed van de meetkabels te minimaliseren, zijn er vier BNC-connectoren: van links naar rechts voor: HD, HS en LS, LD (H voor hoog, L voor laag, D voor drive en S voor sense). Voor dit soort metingen moeten speciale probes worden gebruikt. Een *Kelvin Clip for LCR Meter with 4 BNC Plug Test Wires* (figuur 15a) is de meest betaalbare oplossing (ongeveer € 10 op eBay). Het is aan te raden om de kabels zoveel mogelijk in te korten. De *TH26001A 4 terminal test fixture* (figuur 15b) is duurder (ongeveer € 55 op eBay), maar heeft het voordeel van een zeer



ONDERDELENLIJST HOOFDPRINT 190311-1 V2.3

Weerstanden (SMD 0603 1% 100ppm tenzij anders vermeld):

R1,R4,R5,R8,R20,R25,R26,R37,R66,R109,R124,
R164,R188 = 1k
R2,R7,R10,R14,R22,R60,R61,R62,R63,R151,R187,
R192 = 10k
R3,R35,R36,R38,R65,R71,R112,R113,R129,R135,
R136,R160,R183,R184,R185 = 100k
R6,R15,R45,R47,R49,R51,R67,R82,R89,R90,R119,
R122,R128,R130,R131,R137,R138,R139,R140,R141,
R142,R144,R162,R165,R178 = 51Ω
R9 = 27k
R11,R171 = 2k4
R12,R13 = 27Ω
R16 = 3k6
R17,R172 = 1k6
R18,R132,R133,R173 = 3k
R19,R21,R110,R115 = 2k
R23,R24,R120 = 30k
R27,R28,R29,R32 = 2k 0,1% 25ppm
R30,R80,R106,R107,R108 = 620Ω
R31 = 50Ω instelpot (Bourns 3266W)
R33,R34,R64 = 33Ω 100ppm 1206
R39,R70,R84,R126,R127 = 100Ω
R40,R41 = 110k
R42,R123 = 240Ω
R43 = 560Ω
R44,R147 = 100Ω 0,01% 50ppm 0805
R46,R148 = 1k 0,01% 10ppm 0805
R48,R149 = 10k 0,01% 10ppm 0805
R50,R150 = 100k 0,01% 10ppm 0805
R53,R55,R57,R59,R180 = 20k
R68,R125,R177,R189,R190,R191 = 510Ω
R69,R174 = 12k
R73,R88,R166,R167,R168,R169 = NC
R74 = 47k
R75,R121,R153,R161 = 10Ω
R76 = 150Ω
R77 = 91Ω
R78,R79 = 30Ω
R81 = 200Ω
R143 = 0Ω
R83 = 1k2
R85,R95,R96,R97,R98 = 390Ω
R86 = 75Ω
R87 = 43Ω
R91,R92,R93 = 1k3
R94 = 6k8
R99,R116,R117,R154,R155,R159 = 4k7
R100,R101,R102,R103,R104,R105,R118 = 3k9
R114 = 300Ω
R134 = 2k7
R145 = 7k5
R146 = 10k instelpot (Vishay TS53YJ)
R152 = 47Ω
R156,R170 = 1k5
R157 = 56k
R158 = 160k
R163 = 200k

R175,R176 = 33k
R179 = 5k1
R181 = 51k
R182 = 75k
R186 = 120k

Spoelen:

L1,L2 = ferrietkraal Murata BLM21AG102SN1D
L3,L4,L5,L16 = 470nH TDK MLZ1608DR47DT
L6,L14,L15,L20 = 10μH TDK MLZ2012M100WT
L7 = 2,2μH Coilcraft 1008PS-222KLB
L8 = 22μH Cooper Bussmann DRQ73
L9 = NC
L10,L11,L12,L13,L18,L19 = 33μH TDK
MLZ2012M330WT
L17 = 22μH Taiyo Yuden CBC3225T220MR

Condensatoren (0603 tenzij anders vermeld):

C1,C2,C3,C4,C9,C15,C16,C23,C27,C28,C29,C30,C
31,C45,C46,C47,C53,C54,C55,C56,C58,C59,C6
0,C61,C62,C63,C65,C66,C67,C75,C79,C82,C83,
C84,C92,C98,C99,C100,C101,C102,C103,C104,
C107,C110,C111,C113,C118,C119,C120,
C123 = 100n 50V 10% X7R
C5,C6,C8,C19,C24,C26,C40,C41,C78,C89,C90,C91,
C94,C108 = 4μ7 10V 10% X7R 0805
C7,C11,C13,C17,C18 = 2μ2 10V 10% X7R 0805
C10 = 270p 50V 5% NPO
C12,C57,C64,C77, C130 = 10n 50V 10% X7R
C14 = 470μ 6,3V EEEFP0J471AP PANASONIC
(alu-elco)
C20,C21,C81,C95,C96,C97 = 1μ 25V 10% X7R
0805
C22 = 33μ 6,3V CASE-A (vast tantaal)
C25 = 1n 50V 5% NPO 0603
C32,C34,C36,C38,C50,C93 = 1p5 50V 0.25pF
NPO
C33,C35,C37,C39 = 3p9 50V 0.25pF NPO
C42,C48,C49,C105,C112,C114,C115,C116,C127,
C128,C129 = NC
C43 = 180p 50V 5% NPO
C44,C106 = 2-10p trimmer
(Knowless Voltronics JZ100)
C51 = 4,5-20p trimmer
(Knowless Voltronics JZ200)
C52 = 240p 50V 5% NPO
C68,C69,C70,C71 = 220p 50V 5% NPO
C72,C73,C109 = 82p 50V 5% NPO
C74 = 47p 50V 5% NPO
C76 = 6p8 50V 0.25pF NPO
C80 = 68p 50V 5% NPO
C85,C86,C124,C125 = 100n 50V 5% NPO 1206
C87,C88 = 15n 50V 5% NPO 1206
C121 = 1p 50V 0.25pF NPO 0603
C122 = 100p 50V 5% NPO 0603
C126 = 22p 50V 5% NPO 0603
C112, C114, C115, C116, C127, C128, C19 = NC

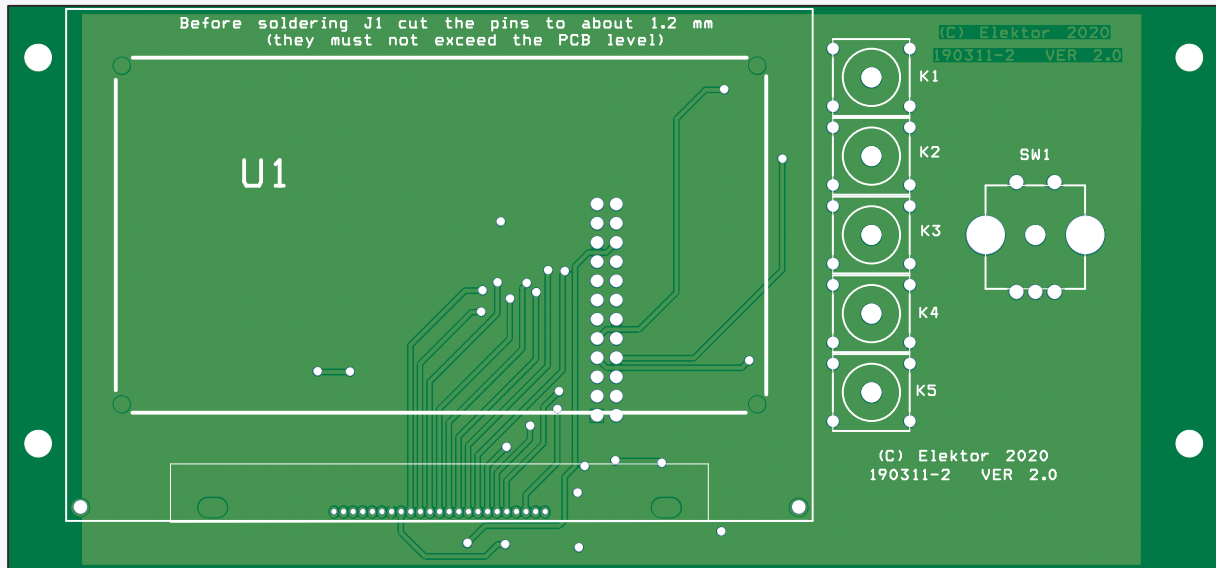
Halfgeleiders:

D1,D2,D12 = LED rood, low power 0805

D3,D4 = Schottky-diode MBR0520
D5,D11 = diode 1N4148WS
D6,D7 = dubbeldiode BAV199 LT1G
D8,D9,D10 = Schottky-diode NSVRB751V40T1G
Q1 = P-kanaal MOSFET IRLML6402
Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7 = N-kanaal MOSFET
BSS123
Q8,Q9 = RF NPN BFR106
U1 = USB6B1 ESD-protectie
U2 = FT232RL USB/UART
U3 = LT1946A DC/DC schakelende regelaar
U4 = REG103GA-5 lineaire regelaar 5V 500mA
U5 = TLV70030DDCR lineaire regelaar 3V
200mA
U6 = LM2611AMF buck-converter
U7,U26 = LMH6644MT quad opamp
U9,U10,U11,U12 = AD8099ARDZ opamp
U19,U37 = LMH6618MK OPAMP SOT23_6
U20,U21,U22 = LMH6720MF opamp SOT23_6
U23 = 74HCT4052D analoge multiplexer
U24,U25 = AD9834BRUZ DDS-IC
U27 = OPA2727AID precisie-versterker
U28,U31 = TLV3501AIDB analoge comparator
U29 = 74LVC1G04DBVT inverter
U30,U66 = 74LVC1G74DCTR flipflop
U41,U42,U46 = 74LVC1G3157DBVR analoge
schakelaar
U43 = ADS1246IPW 24-bit ADC
U44 = LM4050CIM3-2.5 spanningsreferentie
2,5V
U45,U62,U63,U64,U67,U68 = 74LV1T34DBVR
buffer
U49 = 8-bit MCU C8051F120-GQ
U50,U51,U52,U53,U58,U59 = AQY221N2S solid
state-relais
U54,U55,U56,U57 = AQY221R2S solid
state-relais
U70 = 74HCT4051D analoge multiplexer

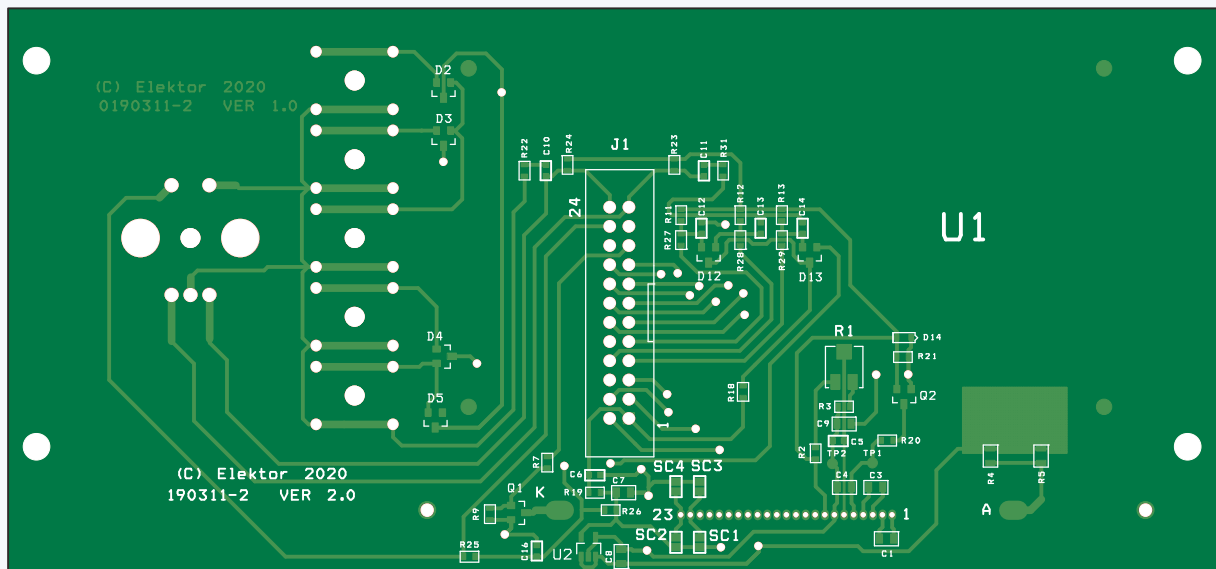
Diversen:

J1 = USB_B_Mini (TE Connectivity 1734035-2)
J2,J3 = 3-polig SIL 2,54mm
J4,J5,J6,J7 = BNC printmontage (TE
Connectivity 1-1337543-0)
J8,J9,J17,J10,J11,J12,J13,J16 = 2-polig SIL haaks
2,54mm
J14 = 24-polige boxheader
J15 = 10-polige boxheader
J20,J21,J22 = testpunt
K1 = optionele 6mmdruknop (Omron
BF3-1020)
SW1 = tuimelschakelaar Nidec Copal
AS1D-5M-10-Z
Y1 = 27MHz oscillator Epson X1G0044510005
SG5032CAN 27 MHz TJGA
print 190311-1 v2.3



Figuur 14b. Layout van de displayprint, onderzijde. ⬆

Figuur 14c. Layout van de displayprint, bovenzijde. ⬆



korte en stevige verbinding tussen DUT en LCR-meter.

Opmerking: De markeringen HIGH en LOW op deze module zijn verwisseld, vergeleken met die van de LCR-meter!

Nauwkeurigheid

De feitelijke nauwkeurigheid hangt vooral af van

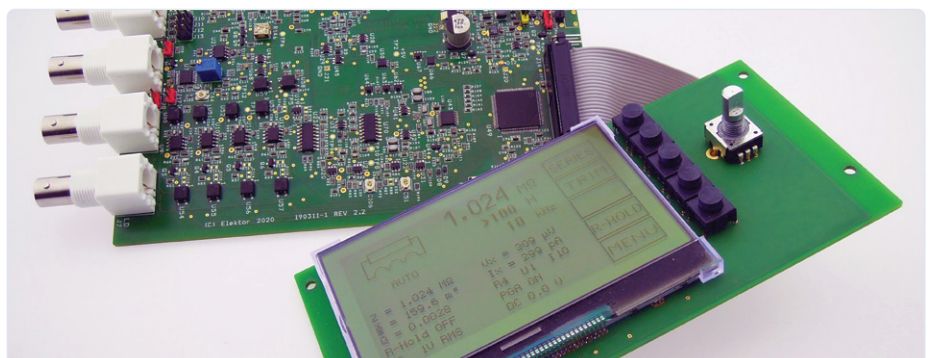
- wat voor onderdeel getest wordt (L, C of R) en de waarde ervan;
- de testfrequentie, die voor de component geschikt moet zijn;
- het testinstrumentarium (Kelvin-clips, test fixture...), ook weer afhankelijk van de testfrequentie;
- de zorg die is besteed aan de kalibratie (te herhalen als de temperatuur aanzienlijk is veranderd).

De impedantie Z van de component bepaalt

het meetbereik (keuze van de I/U-converter) en het al dan niet activeren van de PGA. De nauwkeurigheid is maximaal (0,1%) voor $50 \Omega < Z < 330 \text{ k}\Omega$ en afhankelijk van het bereik voor frequenties $< 100 \text{ kHz}$.

Voor extreme waarden dient de nauwkeurigheid ongeveer 1% te zijn.

Voor frequenties $> 1 \text{ MHz}$ neemt de nauwkeurigheid iets af tot 3%.



Figuur 14d: Hoofd- en displayprint, aangesloten voor testdoeleinden.



DISPLAYPRINT 190311-2 V2.0 EN BEHUIZING

Weerstanden (SMD 0603 tenzij anders vermeld):

R1 = 500k
R2 = 620k
R3, R19 = 100k
R4, R5 = 33Ω SMD 0805
R7 = 51Ω
R6, R8 = NC
R9, R11, R12, R13, R23, R24, R26 = 4k7
R18 = 0Ω
R20 = 10k
R21 = 1M
R22, R25, R27, R28, R29, R31 = 330Ω

Condensatoren:

C1, C3 = 4μ7 10V 10% X7R 0805
C4 = 1μ 25V 10% X7R 0805
C5 = 100n 50V 10% X7R 0603

C6, C10, C11, C12, C13, C14, C16 = 220n 50V 10% X7R 0603
C7, C8, C9 = 2μ2 10V 10% X7R 0805

Halfgeleiders:

D2, D3, D4, D5, D12, D13 = dubbeldiode BAT54A SOT23
D14 = diode 1N4148WS SOD323
Q1, Q2 = N-kanaal digital MOSFET FDU303N SOT23
U1 = display MCOG240128A6W-FPTLW (MIDAS)
U2 = TLV70030DDCR lineaire regelaar 3V 200mA SOT23-5

Diversen:

J1 = 24-polige boxheader (T821 series Amphenol)

SW1 = draai-encoder PEC11R-4115F-S0018 (BOURNS)
print 190311-2 v2.0

behuizing: HAMMOND 1455N1601
4 x afstandsbus hex female/female M3 7mm
1 x afstandsbus hex female/female M3 6mm
1 x sluitring staal 3mm
5 x bout/verzonken kop M3 16mm
5 x sluitring M3
5 x moer M3

2 x IDC socket 24-polig (AMPHENOL T81214A101CEU)
24-aderige flatcable 15cm
draaiknop aluminium (bijv. MENTOR 507.61)
4 x jumper 2.54mm verguld



Figuur 15a: Kelvin-kabels, verkrijgbaar voor een acceptabele prijs.



Figuur 15b. TH26001A 4-terminal test fixture (duurder).



Figuur 16. Twee screenshots van het kalibratiemenu, waarvan we in het tweede deel van dit artikel de vele subtiele opties zullen ontdekken. De eenvoud van de kalibratie is een van de belangrijkste troeven.

Tot slot (voor nu)

In het tweede deel van dit artikel, dat in het volgende nummer van Elektor zal verschijnen, zullen de belangrijkste onderwerpen zijn:

- > standalone-modus en PC-modus (in deze displayloze configuratie communiceert u met het apparaat via uw PC-monitor);
- > kalibratie, eerste gebruik met een lege microcontroller en software-updates;
- > weerstands-, capaciteits- en inductiemetingen;
- > en natuurlijk de beschrijving van de configuratie- en kalibratiemenu's (figuur 16). De zes screenshots van figuren 17 en 18 geven een indruk van enkele typische meetsituaties;
- > en we zullen ook antwoord geven op de vragen die dit eerste deel zeker zal oproepen.

Geïnteresseerde lezers kunnen nu al de documentatie (bestaande uit twee handleidingen) en alle projectbestanden (inclusief Gerber) downloaden.

Vergelijkende test

In het volgende nummer presenteren we vergelijkende metingen die zijn gemaakt met de nieuwe AU2019 LCR-meter en met referentie-instrumenten zoals HP 4263B-1 4263B-2, Hameg HM8118 en Keysight (Agilent) U1732A.

190311-04

GERELATEERDE PRODUCTEN

- > **Elektor "Kickstarter" Project:**
kit incl. hoofd- en displayprint + alle onderdelen
www.elektor.com/lcr



Een bijdrage van

Idee, ontwerp, tekst en illustraties:
Jean-Jacques Aubry

Schema's: **Kurt Diedrich**

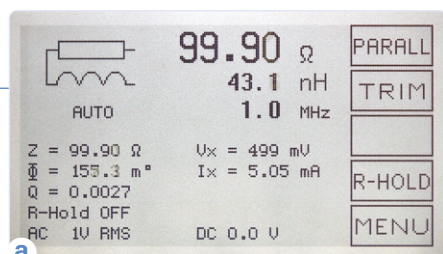
Redactie: **Luc Lemmens, Denis Meyer**

Vertaling: **Evelien Snel**

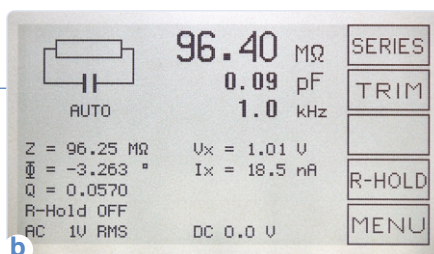
Layout: **Giel Dols**

Vergelijkende metingen:

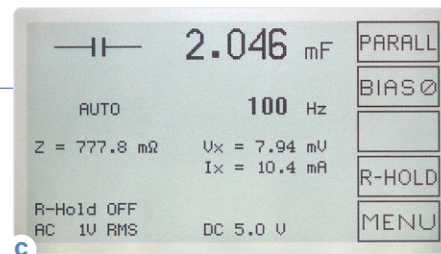
Alfred Rosenkränzer



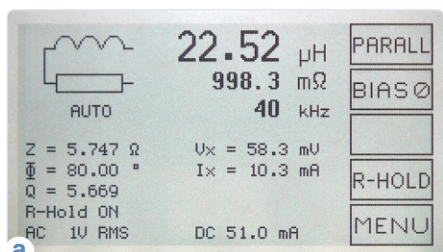
Figuur 17a. Het meten van een weerstand met een kleine waarde (100 Ω), waarvan de parasitaire inductie (43,1 nH) bij hoge frequenties wordt onthuld!



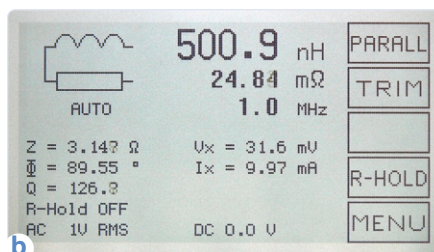
Figuur 17b. Meten van een grote weerstand (100 MΩ) waarvan de parasitaire capaciteit (0,09 pF) bij lage frequenties wordt onthuld!



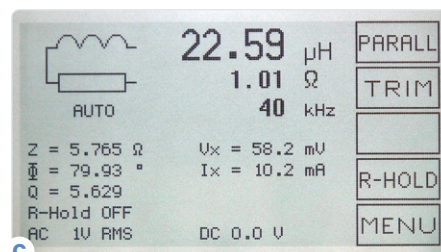
Figuur 17c. Meten van een grote condensator bij lage frequentie met een 5VDC-offset.



Figuur 18a. Meten van een spoel met offsetstroom



Figuur 18b. Met meten van een spoel op een hogere frequentie.



Figuur 18c. Meten van een spoel zonder offsetstroom.

WEB LINKS

- [1] Qt: <https://www.qt.io/>
- [2] The Impedance Measurement Handbook (2003 – Agilent Technologies Co. Ltd) Fig. 3.4 § 3.1.4: https://wiki.epfl.ch/carplat/documents/rci_agilent.pdf
- [3] Volledige download (Gerber, drill&mill, BOM, ...): <http://www.elektormagazine.nl/190311-04>
- [4] Test Fixture Compensation Techniques in Impedance Analysis: <http://www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/11206/5939>
- [5] Operation Manual (nieuwste versie): <http://www.elektormagazine.nl/190311-04>
- [6] User Manual (nieuwste versie): <http://www.elektormagazine.nl/190311-04>
- [7] Nieuwe LCR-meter op Elektor Labs: <https://www.elektormagazine.com/labs/remake-lcr-meter>
- [8] Precisie-LCR-meter (deel 1) – Elektor maart 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201303/20332>
- [9] Precisie-LCR-meter (deel 2) – Elektor april 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201304/20032>
- [10] Precisie-LCR-meter (deel 3) – Elektor mei 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201305/20544>
- [11] LCR-meter vergelijking – Elektor juni 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201306/20692>
- [12] Precisie-LCR-meter (deel 4) – Elektor juli/augustus 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201307/20813>
- [13] Precisie-LCR-meter (deel 5) – Elektor november 2013: <https://www.elektormagazine.nl/magazine/elektor-201311/23887>

Vragen of opmerkingen?

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

Advertentie

**HAMMOND
MANUFACTURING®**

1455 geëxtrudeerde behuizingen

Leer meer: hammfg.com/1455

Meer dan 5000 verschillende soorten behuizingen.
hammfg.com/small-case
eusales@hammfg.com • +44 1256 812812

