ON4CRD

Deel 70

De NE555 en zijn toepassingen voor radioamateurs



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Deel 70 · 64 pagina's

Juridische vermeldingen

Deel 70 · De NE555 en zijn toepassingen voor radioamateurs

Website-uitgever : Radio Club Durnal ON4CRD

Publicatiemanager : Comité van Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Juridische vermeldingen

Intellectueel eigendom

Teksten, afbeeldingen, documenten, logo's en materialen gepubliceerd op de site blijven eigendom van hun respectieve auteurs of van de club. Bij elke reproductie of hergebruik moeten de bron, de toepasselijke rechten en eventuele toestemming van de auteur gerespecteerd worden.

Aansprakelijkheid

De club werkt aan het publiceren van nuttige en geverifieerde informatie, maar garandeert niet de afwezigheid van fouten, weglatingen of onderbrekingen. Technische of regelgevende informatie moet worden gecontroleerd aan de hand van officiële bronnen wanneer deze een besluit ondersteunt.

Illustraties gemaakt met ondersteuning van kunstmatige intelligentie.

Een klein doosje, een groot idee



Lucas keert terug naar de club met zijn notitieboekje: “Voor de open dag wil ik graag dat bezoekers morsecode horen!”



Henri legt een klein zwart onderdeel op tafel: “Dit is de NE555. Acht pinnen, veel ideeën.”



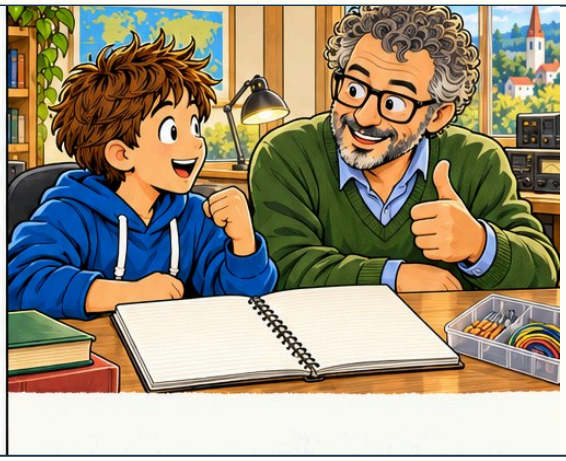
"Kan het met een ander station praten?" Henri lacht: “Laten we beginnen met een geluid, hier in de clubruimte.”



Er wacht een morsesleutel bij de luidspreker. Hun uitdaging: een apparaat bouwen dat bezoekers helpt leren.



Lucas tekent een kastje met drie bedieningselementen: aan/uit, toonhoogte en volume. Het project krijgt vorm.



“Wat als het niet werkt?” — "We zullen leren hoe we erachter kunnen komen waarom. Dat hoort bij het avontuur!"

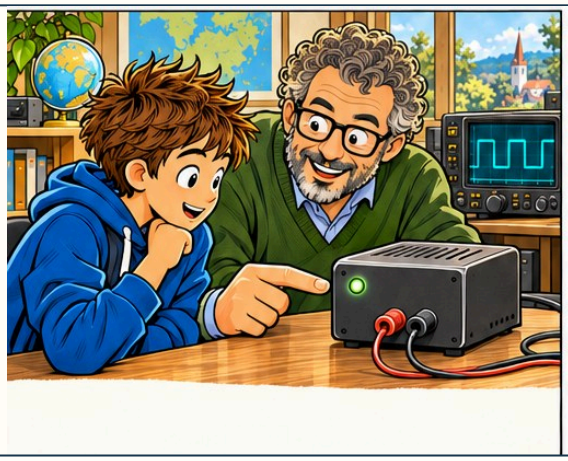
De projectwensenlijst



Lucas wil graag een prettig geluid, een makkelijk te gebruiken toets en voldoende volume voor een kleine werkplaatstafel.



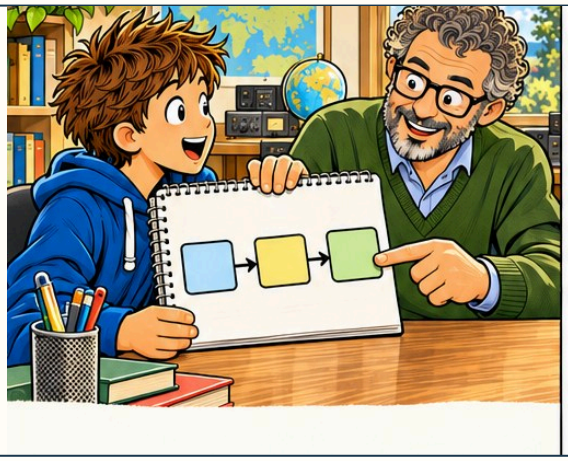
"En er is geen antenne nodig", voegt Henri toe. Hun apparaat wordt een akoestische morsetrainer zonder radio-uitzendingen.



Ze kiezen voor een 5 V gereguleerde voeding en beperken de stroom tijdens de eerste tests.



Henri maakt een werkgebied vrij. Elektronische componenten en gereedschappen hebben elk hun plaats.



In zijn notitieboekje onderscheidt Lucas drie functies: de toon opwekken, schakelen en versterken.



"We gaan elke functie testen", besluit hij. Om het hele apparaat te laten werken, gaan ze in kleine stapjes te werk.

Kennismaken met de 555



Henri opent het datablad van de fabrikant: "Een bekende naam vervangt niet de documentatie voor het daadwerkelijke onderdeel."



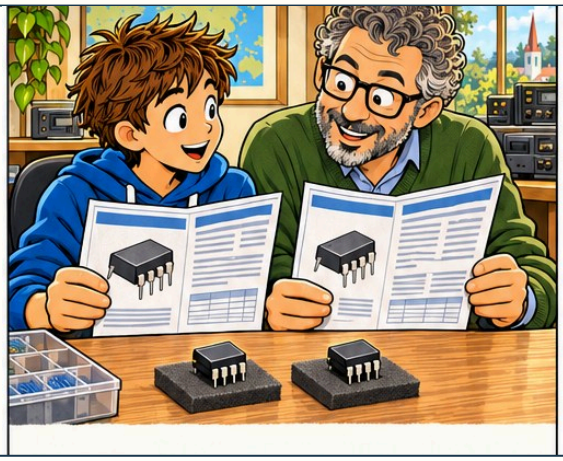
De NE555 is een bipolaire timer. Weerstanden en een condensator zorgen voor zijn ritme.



Afhankelijk van de schakeling kan de timer een puls produceren, oscilleren of een toestand vasthouden. Lucas beeldt die drie functies uit.



"Dus het doet alles?" – "Het is erg handig, maar er zijn ook spannings- en stroomlimieten."



Ze controleren of het gekozen type bij 5 V werkt. Een vergelijkbare CMOS-versie heeft niet noodzakelijk dezelfde grenzen.



Lucas legt het gegevensblad bij de onderdelen: "Dit hoort in onze gereedschapskist."

Acht pinnen, één leesrichting



Voordat ze iets aansluiten, kijken ze naar het acht-pins DIP-pakket, van bovenaf gezien.



Met de inkeping bovenaan bevindt pin 1 zich linksboven; een kleine stip kan het ook identificeren.



Links tel je van 1 naar 4 naar beneden. Rechts tel je van 5 naar 8 naar boven: de nummering loopt rond de behuizing.



“Als ik hem omdraai, klopt mijn tekening niet meer!” Lucas vergelijkt het onderdeel opnieuw met het bovenaanzicht.



Henri vraagt hem om aan elke kant vier pinnen te tekenen en vervolgens de inkeping. Ze hebben nog niets aangesloten.

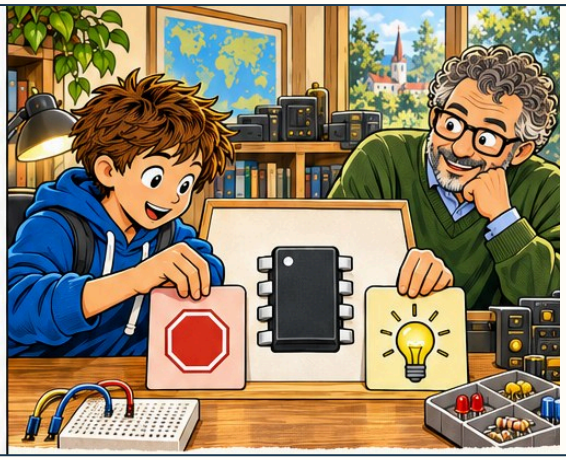


Ze houden deze oriëntatie zichtbaar in het notitieboekje en controleren de markering voordat ze het onderdeel plaatsen.

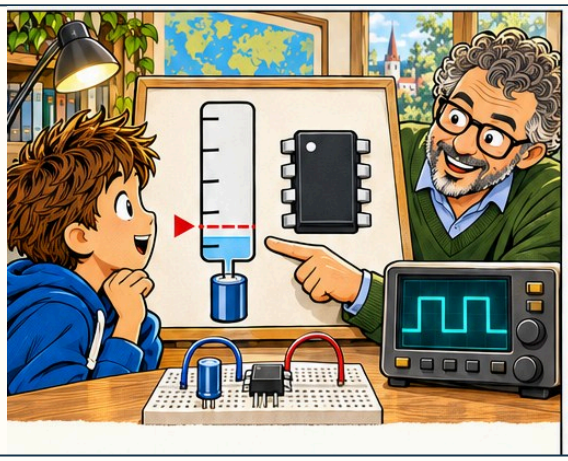
Voor elke pin een rol



Lucas identificeert de functies: 1, aarde; 8, positieve voeding. Deze twee pinnen voeden het circuit.



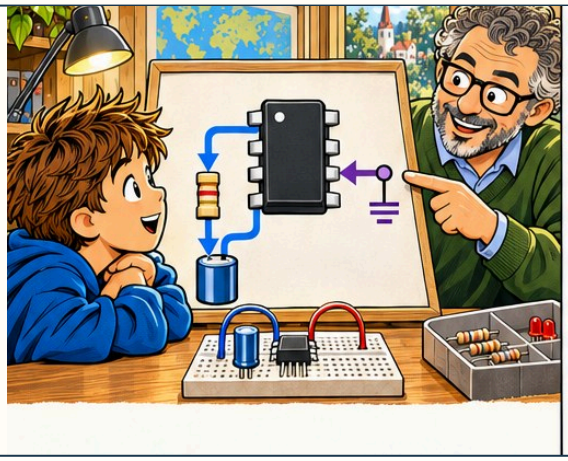
Pin 3 is de uitvoer. Pin 4, RESET forceert het circuit tot reset wanneer het laag wordt gehouden.



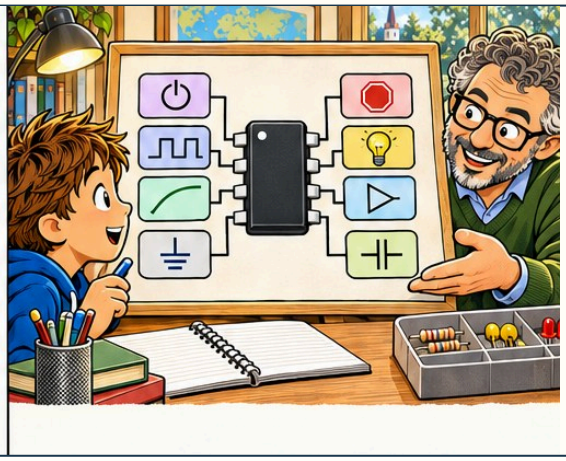
Pin 2, TRIG, detecteert een spanning die onder ongeveer een derde van de voedingsspanning valt.



Pin 6, THRES, bewaakt de bovenste drempel, ongeveer tweederde van de voedingsspanning in het gebruikelijke circuit.



Pin 7, DISCH, wordt gebruikt om de condensator te ontladen. Pin 5, CONT, biedt toegang tot de interne referentie.

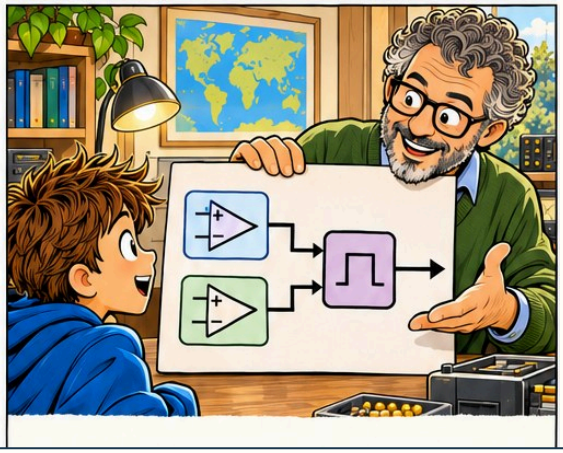


“Acht verschillende rollen, geen acht verwisselbare terminals!” Lucas koppelt elke functie aan de tekening.

Een klein team binnen



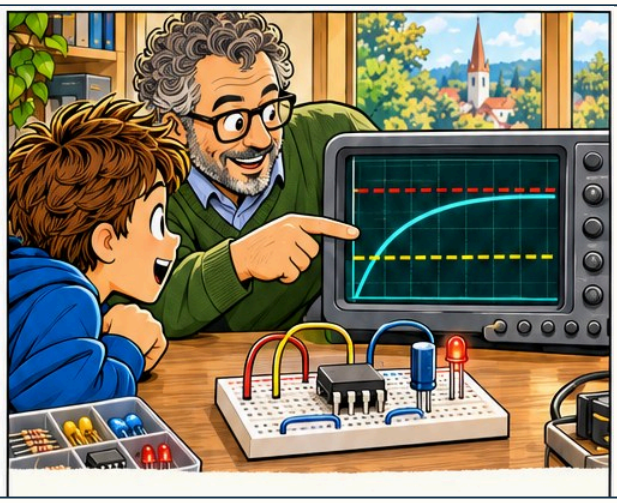
Henri tekent twee comparatoren: elk vergelijkt een spanning met een referentie.



Een interne geheugenschakeling onthoudt het laatste commando. De uitgang en de ontladingstransistor volgen die toestand.



“De één start ermee, de ander stopt ermee?” – “Dat is een bruikbaar beeld, op voorwaarde dat we hun bedrijfsomstandigheden respecteren.”



In het gebruikelijke circuit liggen de interne referenties dicht bij VCC/3 en 2VCC/3.



RESET kan een reset forceren. Lucas begrijpt waarom deze invoer niet zwevend mag blijven.



Met zijn potlood volgt Lucas de pijlen: meten, beslissen, onthouden, handelen. De behuizing wordt minder geheimzinnig.

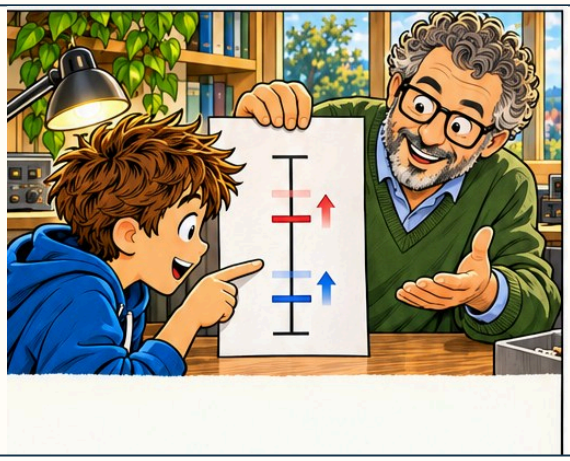
Een derde en twee derde



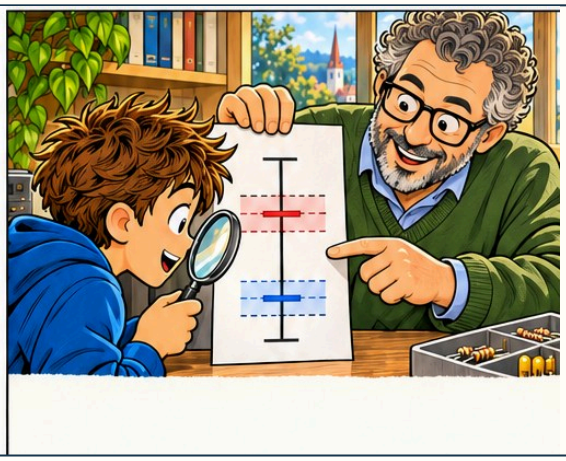
Bij VCC = 5 V liggen de theoretische drempels rond 1,67 V en 3,33 V.



“Dit zijn dus niet twee vaste spanningen voor alle voedingen”, merkt Lucas op.



Henri verandert een papieren schaalverdeling: de twee markeringen volgen de voedingsspanning.



Werkelijke waarden hebben toleranties. In de technische fiche staan de voorwaarden en eventuele afwijkingen vermeld.



De condensatorspanning zal tussen deze niveaus stijgen en dalen. Deze reis bepaalt een timinginterval.



Lucas tekent een kleine elektrische schommel: “Misschien is een ritme een verhaal over drempels.”

Een plan vóór de draden



"Zullen we het aansluiten?" Henri legt eerst een blad neer: "Laten we beslissen wat elke draad moet verbinden."



Ze kiezen voor een astabiel circuit: het oscilleert uit zichzelf zolang de RESET het toelaat.



Twee weerstanden, RA en RB, en een condensator C zullen bij benadering de oscillatiefrequentie instellen.



Een indicatielampje toont eerst de werking. Het geluid komt na de eerste controles.



Lucas tekent het timingcircuit en de toekomstige audioketen afzonderlijk. Hij laat ruimte voor metingen.



"We hebben een plan om op voort te bouwen en bekijken het vervolgens met frisse ogen", zegt hij terwijl hij het notitieboekje gereedmaakt.

Vijf volt goed voorbereid



Ze gebruiken een gereguleerde, geïsoleerde 5 V-voeding, afgesteld en gecontroleerd voordat het circuit wordt aangesloten.



De stroombegrenzer wordt voor de eerste test laag ingesteld en vervolgens volgens de instructies aangepast aan het circuit.



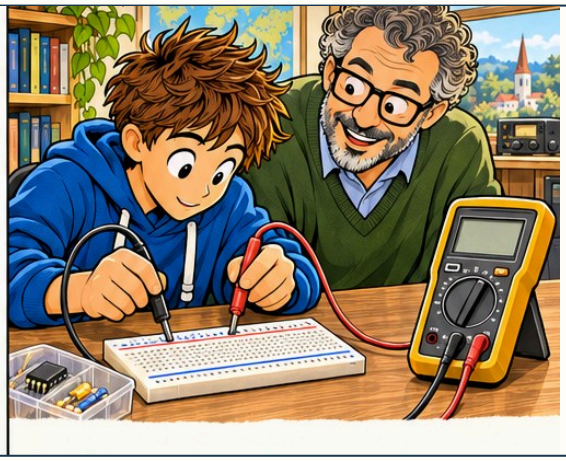
De positieve draad wordt aangesloten op de voedingsrail van de +5 V; de retourdraad wordt aangesloten op de aarde van het circuit. Lucas controleert de polariteit.



“Een batterij is niet automatisch een geschikte voeding voor de 5 V”, herinnert Henri hem eraan, wijzend op hun labels.



Ze ontkoppelen de voeding voordat er bedradingswerkzaamheden worden uitgevoerd. Niets in deze werkplaats is rechtstreeks op het elektriciteitsnet aangesloten.



Lucas meet de onbelaste voedingsrails met de multimeter, schakelt vervolgens de stroom uit en gaat verder.

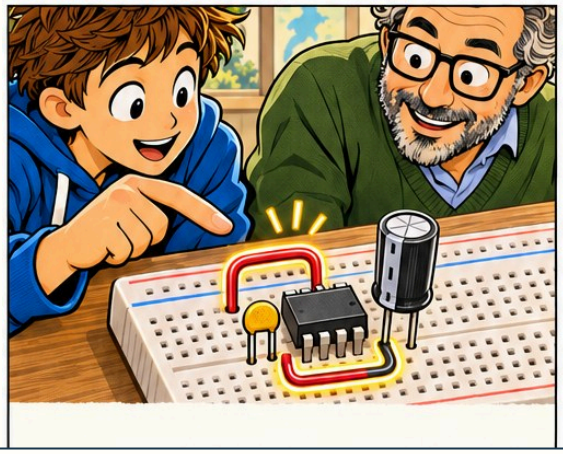
Een lokale energiereserve



Henri plaatst 100 nF tussen pinnen 8 en 1, met korte verbindingen, zo dicht mogelijk bij de NE555.



Een condensator van 10 µF vult de ontkoppeling tussen +5 V en massa aan; ze respecteren de polariteit.



De 555-uitgang kan korte stroompieken veroorzaken. Deze lokale energiereserves helpen de stroomvoorziening te stabiliseren.



In deze schakeling ligt 10 nF tussen pin 5 en massa. Die condensator bepaalt niet de hoofdtoonhoogte.



“Twee kleine condensatoren, twee verschillende taken”, merkt Lucas op, die ze in zijn tekening onderscheidt.



Ze controleren de waarden opnieuw. Goede bedoelingen alleen kunnen een zeer lange stroomkabel niet compenseren.

Het kiezen van de juiste componenten



Lucas selecteert de componenten RA = 10 kΩ, RB = 100 kΩ en C = 10 nF. Deze waarden zorgen voor een begintoon.



Voor de timingcondensator kiezen ze op basis van de datasheet een geschikt, stabiel onderdeel.



Een LED heeft een serieweerstand van 2,2 kΩ. Henri zal hem niet rechtstreeks tussen uitgang en aarde aansluiten.



De luidspreker blijft in de tas: er is een geschikt audioversterkercircuit nodig om hem aan te sturen.



Ze bereiden een potentiometer, korte draden en de morsesleutel voor. Elke waarde komt op de componentenlijst.



“Een doos met componenten is nog geen circuit”, lacht Lucas. Het plan laat zien hoe u ze kunt aansluiten.

Kleuren vertellen een waarde



Lucas leest de kleurbanden en meet vervolgens de weerstanden buiten het circuit met een multimeter.



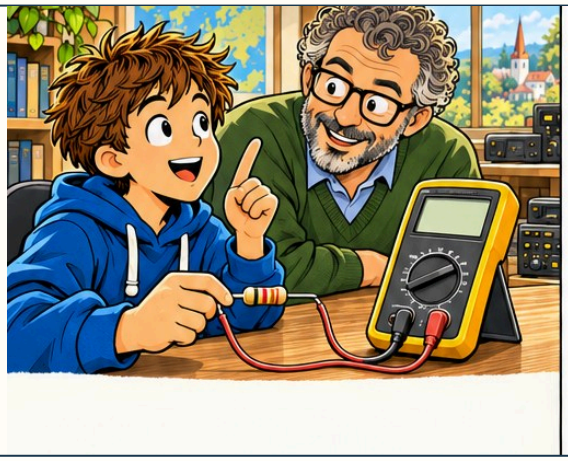
10 kΩ is 10 000 Ω; 100 kΩ is 100 000 Ω. Een vergeten nul zou de toon enorm veranderen.



De laatste kleurring kan de tolerantie aangeven. Een nominale waarde garandeert geen exact gelijke meetwaarde.



"Deze is geen 100 Ω-weerstand!" Hij plaatst het gelijkaardig uitziende onderdeel terug in het compartiment.



Henri laat hem de waarde noemen voordat hij op de multimeter kijkt. Het instrument bevestigt zijn redenering.



Lucas bevestigt een kleine waardekaart aan zijn soldeerloze breadboard. Hij heeft zojuist zijn eerste fout voorkomen.

Tien nanofarads, niet tien microfarads



Op de timingcondensator vindt Lucas de code 103: 10 000 pF of 10 nF.



10 nF zijn gelijk aan 0,01 µF. Een 10 µF-condensator zou duizend keer groter zijn.



"Dan zou ons fluitje een heel langzaam ritme worden!" Henri waardeert deze voorspelling.



De hier gekozen 10 nF-condensator is niet-gepolariseerd. De 10 µF-reservoircondensator moet met de juiste polariteit worden gemonteerd.



Ze vergelijken de markeringen met de gegevensbladen van de componenten. Uiterlijk alleen is niet genoeg.



Lucas schrijft de eenheid naast elk cijfer: "Kleine letters kunnen een groot verschil maken."

De verborgen aansluitingen van het breadboard



Voordat ze de 555 plaatsen, markeren ze met de multimeter de interne aansluitingen van het soldeerloze breadboard.



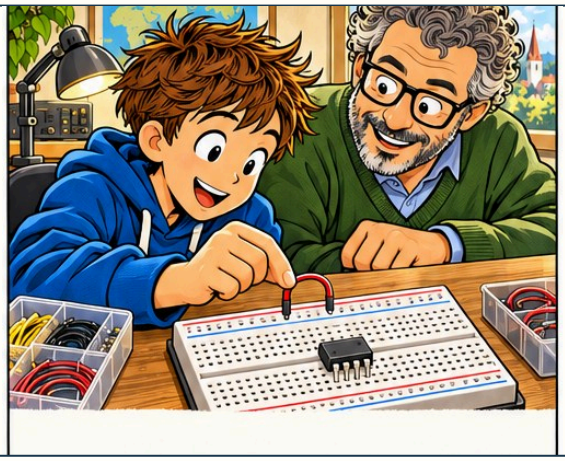
Het pakket bevindt zich over de centrale opening: de twee rijen pinnen blijven elektrisch gescheiden.



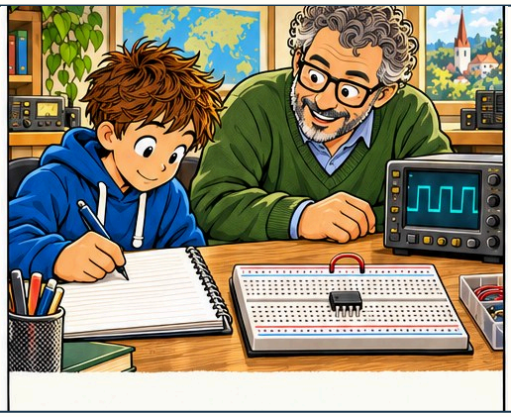
De kleine groepen gaten sluiten in een specifieke richting aan. Lucas test in plaats van te raden.



Sommige aanvoerrails hebben een breuk in het midden; ze controleren hun eigen soldeerloze breadboard.



Een korte doorverbindingsdraad verbindt de benodigde segmenten. Geen enkele draad mag per ongeluk een onderdeel vervangen.



Henri verandert de tekening zodat deze overeenkomt met de oriëntatie van het soldeerloze broodbord. Lucas controleert één verbinding tegelijk.

De eerste bedrading



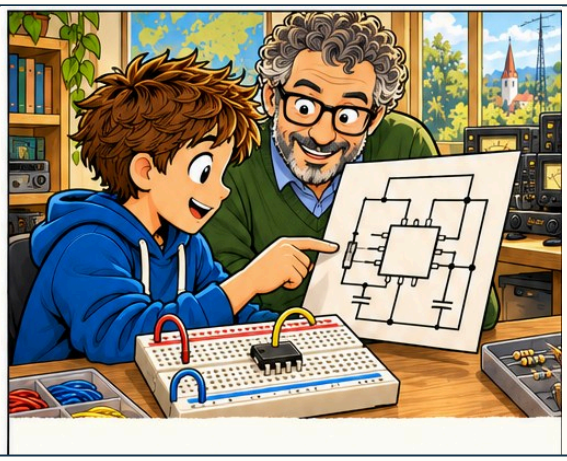
Als de stroom is uitgeschakeld, verbinden ze pin 1 met aarde en pin 8 met +5 V.



Voor deze eerste continue test wordt pin 4, RESET verbonden met +5 V. De ingang heeft nu een gedefinieerde status.



100 nF verbindt 8 met 1; 10 µF ontkoppelt de rails; de 10 nF-condensator op pin 5 wordt aangesloten op aarde.



Lucas controleert elke verbinding op het plan, zonder de timingweerstanden nog aan te sluiten.



Ze controleren de inkeping, de rails en de afwezigheid van kortsluiting tussen voeding en aarde.



“Het hart van het timingcircuit ontbreekt nog steeds”, kondigt Henri aan. Lucas bereidt condensator C voor.

Een bescheiden indicator



Uitgang 3 wordt aangesloten op een weerstand van 2,2 kΩ en vervolgens op de LED-anode; de kathode zal naar aarde gaan.



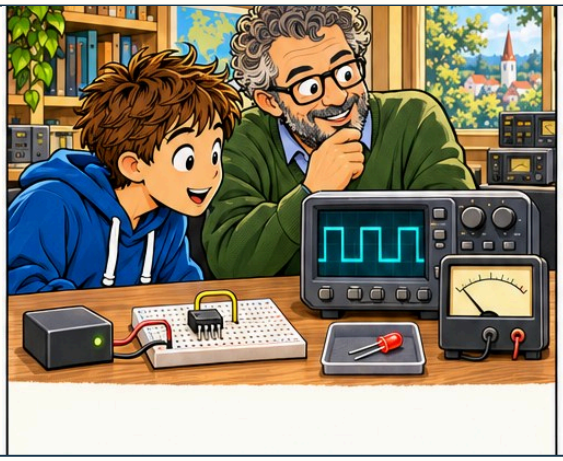
Henri helpt bij het identificeren van de anode en kathode met behulp van het LED-gegevensblad en vervolgens de diodemodus van de multimeter.



“Met ongeveer 2 V over de LED zou zelfs 5 V aan de uitgang de stroom tot ongeveer 1,4 mA beperken.”



De werkelijke output van de bipolaire NE555 gaat niet noodzakelijkerwijs helemaal naar de positieve rail. De stroom kan lager zijn.



Deze LED is een indicator, geen zware belasting. Nauwkeurig meten doen ze met de multimeter en de oscilloscoop.



Lucas laat de LED zichtbaar aan de soldeerloze broodplankrand. Het zal hem helpen begrijpen wat de uitvoer doet.

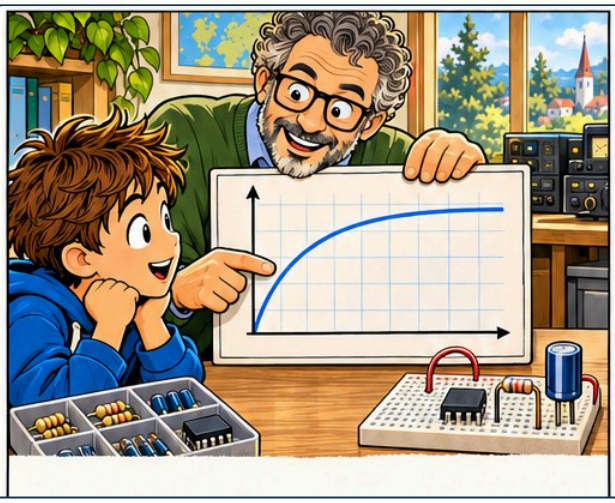
Een spons voor de tijd



Henri vergelijkt de condensator met een klein reservoir dat via een weerstand wordt gevuld.



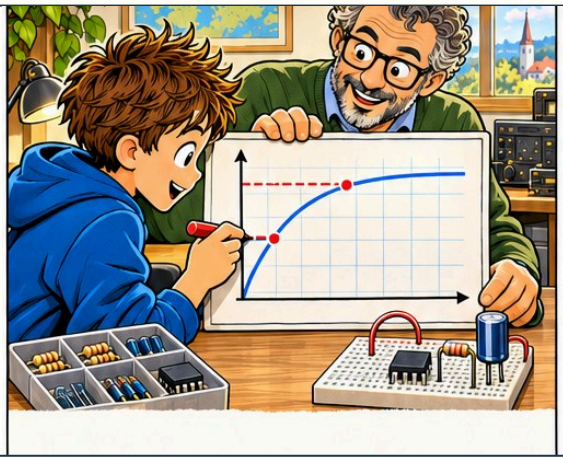
Hoe groter de weerstand, hoe langzamer het opladen. Hoe groter C is, hoe meer lading er nodig is.



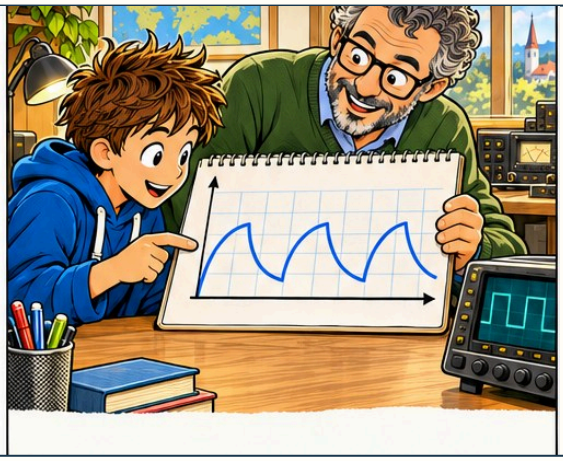
De spanning stijgt niet in een rechte lijn: de laadcurve buigt richting de voedingsspanning.



"En hoe loopt hij leeg?" Henri toont het ontladingspad dat wordt bestuurd door pin 7.



Lucas verbindt deze curve met de twee drempels. De 555 wacht niet tot de condensator helemaal vol is.



Hij voorspelt een stijging, een daling en dan nog een stijging. Hun ritme begint vorm te krijgen.

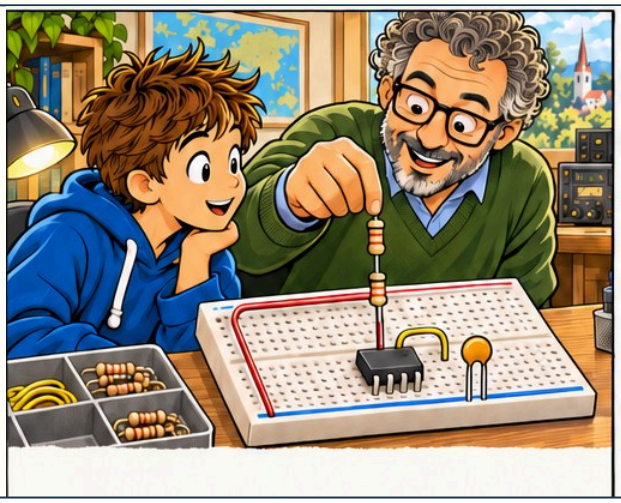
Het herhalende circuit



Ze verbinden de pinnen 2 en 6 met elkaar. Dit gemeenschappelijke knooppunt is verbonden met één terminal van C = 10 nF.



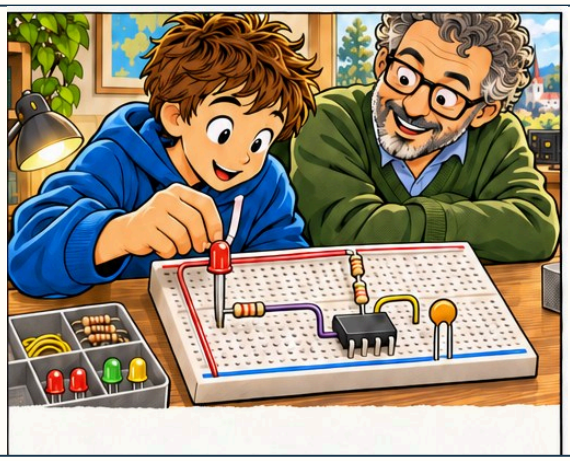
De andere aansluiting van C is verbonden met aarde. De twee comparatoren bewaken de condensatorspanning.



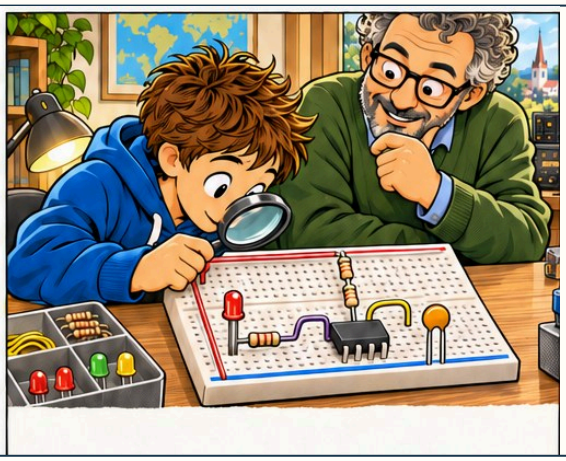
RA = 10 kΩ verbindt +5 V met pin 7. RB = 100 kΩ verbindt pin 7 met knooppunt 2–6.



“Via RA en vervolgens RB om op te laden; via RB om te ontladen”, vat Henri samen, terwijl hij de draden op het plan volgt.



Uitgang 3 blijft gereserveerd voor de indicator en metingen. Het is niet rechtstreeks verbonden met condensator C.

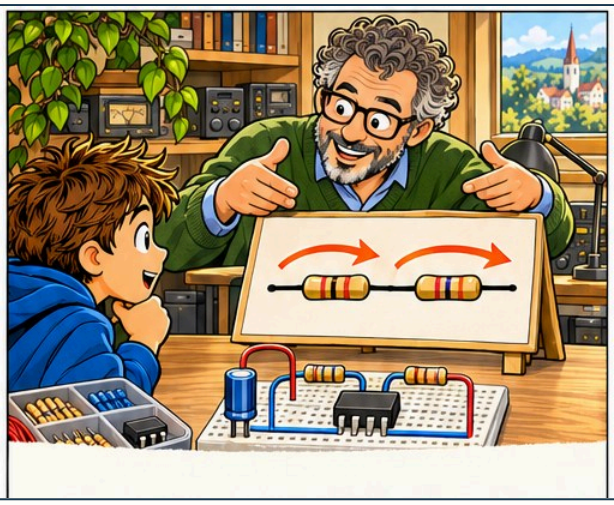


Lucas beoordeelt de gehele keten. Elke draad vindt zijn plaats vóór de eerste keer opstarten.

Het opladen start de cyclus



Bij het opstarten heeft C weinig lading. Een spanning onder de onderste drempel zorgt normaal gesproken voor een hoge output.



De interne ontladingstransistor is dan uitgeschakeld. C laadt op via RA en RB.



De spanning overschrijdt ongeveer een derde van de VCC en blijft stijgen. Het interne geheugen behoudt zijn status.



“Het verandert niet elk moment van gedachten!” Lucas volgt de curve richting de bovenste drempel.



Wanneer de spanning ongeveer tweederde van VCC bereikt, zorgt de drempelvergelijker voor schakelen.

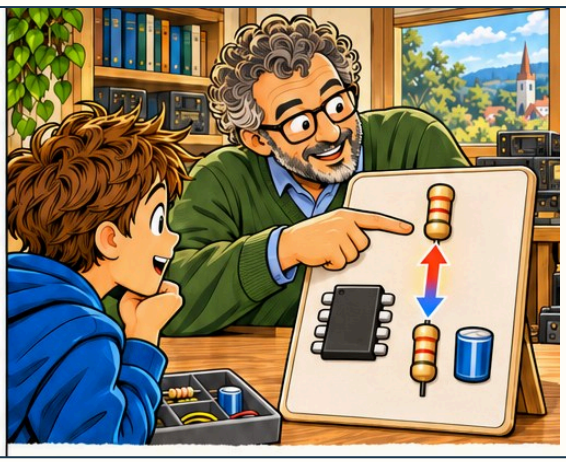


De uitgang wordt laag en het ontladingspad begint te geleiden. De tweede helft van de reis begint.

Door te ontladen wordt de kringloop gesloten



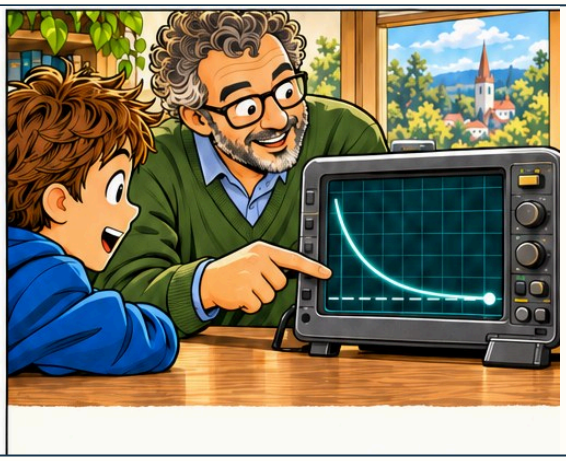
De condensator ontlaadt nu via RB en de interne transistor die op pin 7 is aangesloten.



RA beperkt de stroom tussen +5 V en pin 7 wanneer die pin tot dicht bij massa wordt getrokken.



"Dus zeker geen simpele draad in plaats van de RA!" Lucas onderstreept deze beperking.



Door onder ongeveer een derde van VCC terug te keren, veroorzaakt de spanning van C een nieuwe start.



De uitgangsspanning wordt hoog, de ontlading stopt en C laadt opnieuw op naar de bovenste drempelwaarde. De cyclus herhaalt zich.

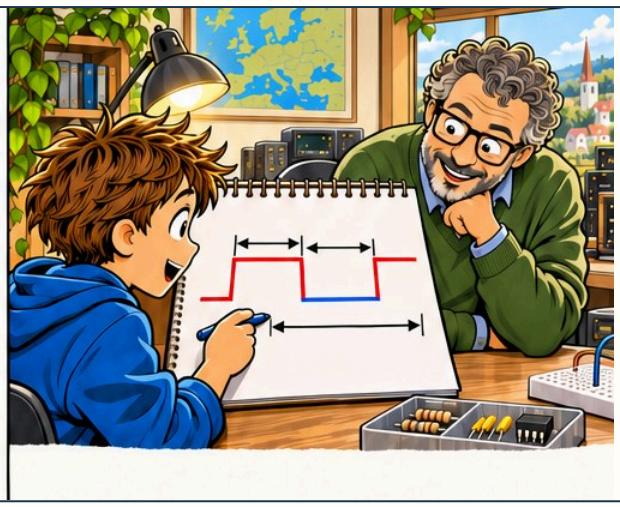


Aan de uitgang staat een rechthoekige golf; over C afgeronde stijgingen en dalingen. Twee vormen bij hetzelfde ritme.

Drie timingformules



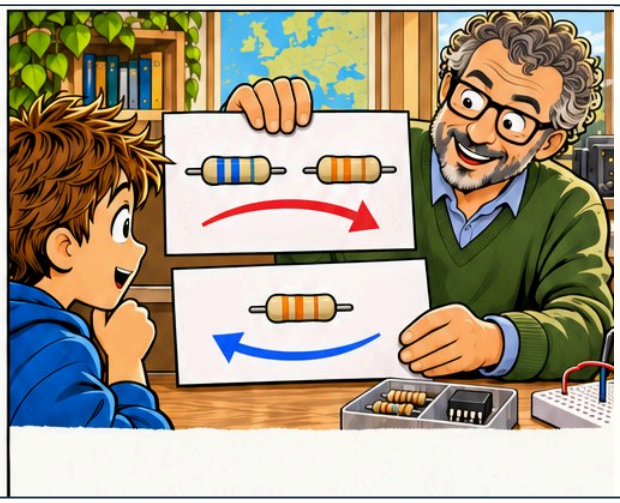
Henri schrijft de benaderingen: tH = 0,693 × (RA + RB) × C; tL = 0,693 × RB × C.



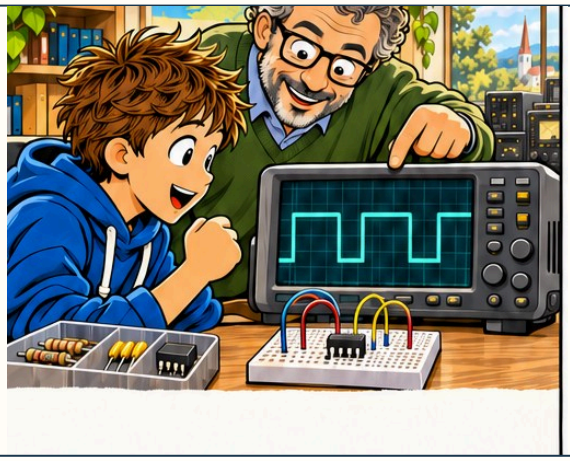
De duur van een cyclus is T = tH + tL. De oscillatiefrequentie is f = 1/T.



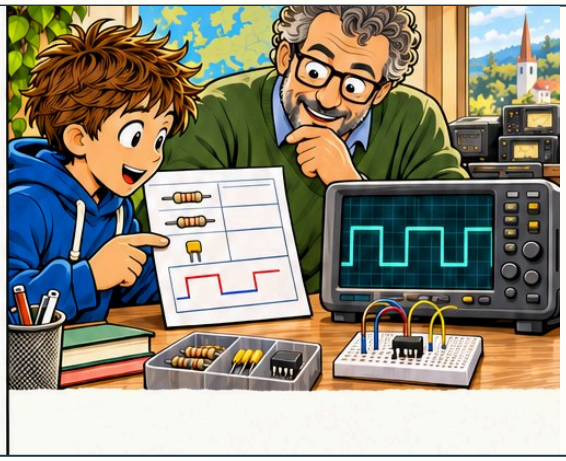
Wij gebruiken ook f ≈ 1,44 / [(RA + 2RB) × C]. De weerstanden zijn in ohm, C in farads.



“Waarom de RB verdubbelen?” Lucas vindt RB bij het opladen en ontladen.



In deze klassieke astabiele schakeling duurt de hoge toestand langer dan de lage: de dutycycle is niet precies 50 %.



De berekening voorspelt de nominale werking. Toleranties en feitelijke circuits zullen de meting bepalen.

Een toon dichtbij de 700 hertz



Voor RA = 10 kΩ, RB = 100 kΩ en C = 10 nF vinden ze tH ≈ 0,762 ms.



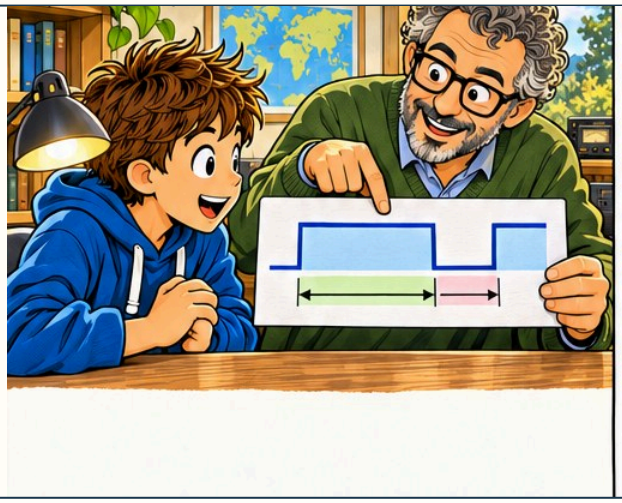
Het lage interval is ongeveer 0,693 ms. De periode ligt daarom dicht bij 1,46 ms.



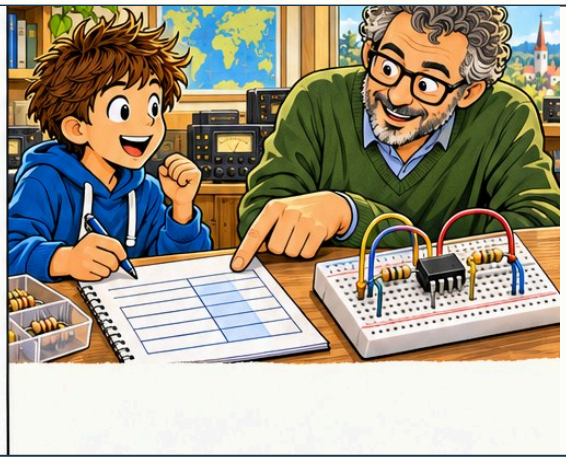
De formule met 1,44 geeft ongeveer 686 Hz; met behulp van de afgeronde timingcoëfficiënten, ongeveer 687 Hz: vergelijkbare resultaten.



“We mikten op ongeveer 700 Hz, niet op een gegarandeerde toon tot op de hertz nauwkeurig”, herinnert Henri hem.



De nominale dutycycle is (RA + RB)/(RA + 2RB), dus ongeveer 52,4 %.



Lucas houdt de eenheden en afrondingen zichtbaar. Hij zal deze voorspelling vergelijken met het daadwerkelijke circuit.

De eerste power-up



Ze installeren het gereedschap, controleren het plan nogmaals en zetten de stroom aan met de geplande stroombegrenzing.



Het indicatielampje lijkt continu te branden: in de buurt van 700 Hz kan het oog geen enkele puls onderscheiden.



“Het knippert niet!” - "Je oog is langzamer dan dit circuit. Laten we op zoek gaan naar ander bewijs."



Henri verbindt de massa van de meetprobe met de schakelmassa, bij deze gecontroleerde, geïsoleerde voeding.

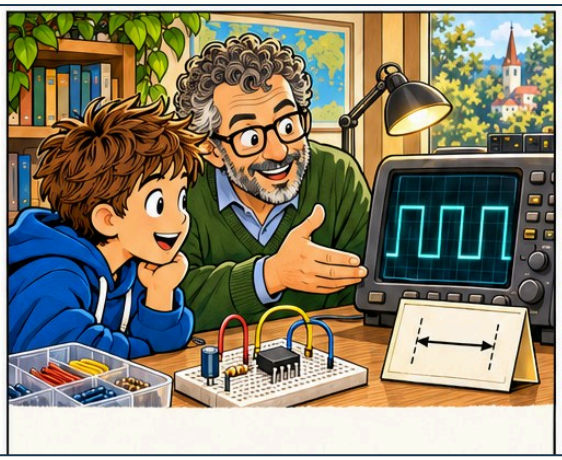


De sondepunt gaat naar uitgang 3. De oscilloscoop geeft rechthoekige pulsen weer: de oscillator werkt.



Lucas lacht: “Het licht gaf me een aanwijzing, maar niet het hele antwoord.”

Twee verschillende spanningen observeren



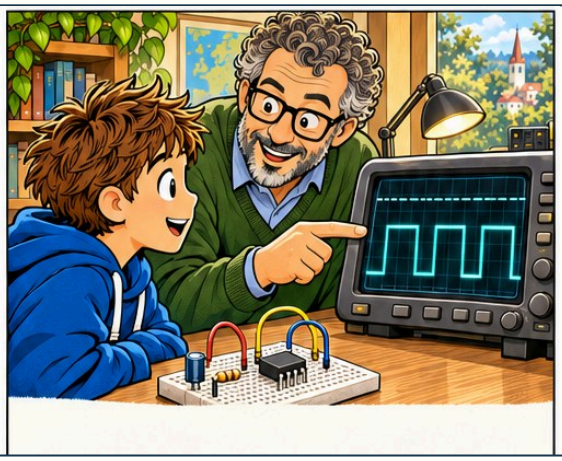
Bij uitgang 3 observeren ze de hoge en lage intervallen. De gemeten oscillatiefrequentie blijft dicht bij de berekening.



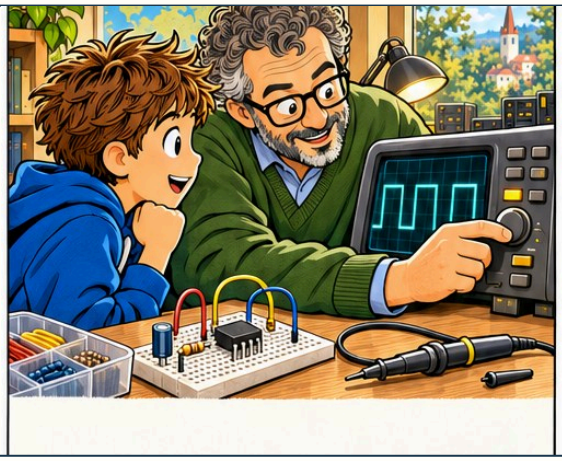
Op condensator C stijgt en daalt de spanning tussen de twee verwachte drempelwaarden.



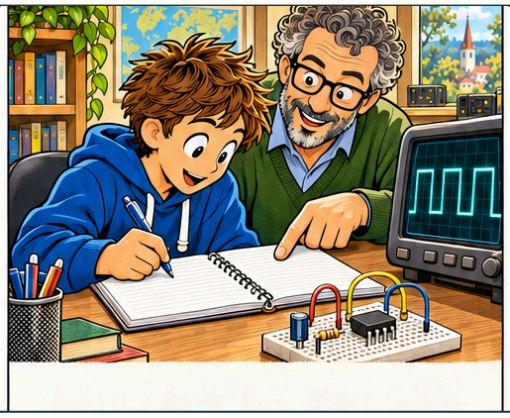
De twee sporen zijn verschillend. Lucas controleert altijd welk punt zijn sonde meet.



De bipolaire uitgang bereikt onder belasting niet altijd 5 V. Ze onderscheiden een logisch niveau van een ideale spanning.

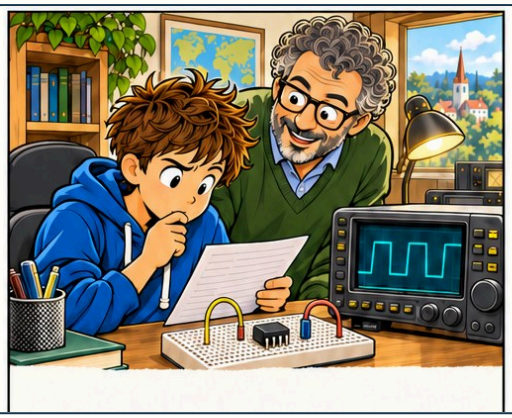


De sonde en het instrument kunnen de gemeten spanning beïnvloeden; Henri selecteert geschikte meetinstellingen.



Het notitieboekje biedt plaats aan een aparte voorspelling en observatie. Geen enkele waargenomen waarde wordt vooraf bedacht.

Waarom meten verschilt van berekenen



"Ik had precies de berekende oscillatiefrequentie verwacht!" Henri wijst op de weerstands- en condensatortoleranties.



Een iets grotere C vertraagt de oscillatie. Componentfouten kunnen worden gecombineerd.



Drempels, lekstromen en temperatuur hebben ook invloed. De formules blijven bruikbare benaderingen.



Als de stroom is uitgeschakeld, veranderen ze één parameter tegelijk en schakelen ze vervolgens weer in om te meten.



Lucas vergelijkt twee geïdentificeerde condensatoren. Hij beschrijft de waargenomen trend zonder aanspraak te maken op fictieve nauwkeurigheid.



"Het is beter om de kloof te begrijpen dan een willekeurig getal te corrigeren", besluit hij, terwijl hij het notitieboekje dichtslaat.

Een knop om de toon te kiezen



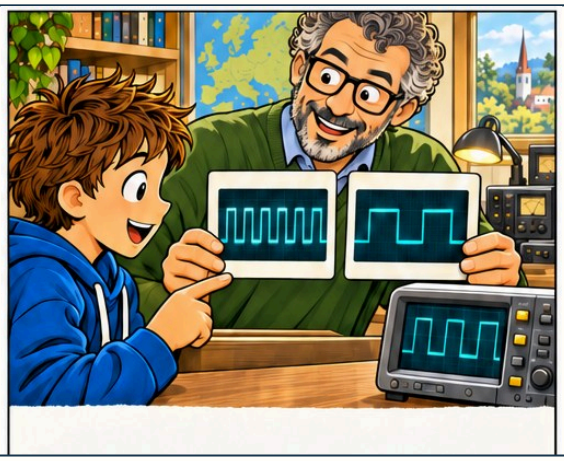
Om de toon aan te passen vervangen ze RB door 47 kΩ in serie met een potentiometer van 100 kΩ.



De loper wordt verbonden met de gebruikte eindaansluiting: de potentiometer is als variabele weerstand aangesloten.



De vaste weerstand van 47 kΩ handhaaft een minimale weerstand. RA blijft 10 kΩ.



Met C = 10 nF varieert de nominale oscillatiefrequentie ongeveer van 474 Hz tot 1 385 Hz.



“Een nuttige instelling, geen magische knop.” Ze schakelen de voeding uit om de bedrading te wijzigen.



Na het inschakelen kiest Lucas een aangename toon. Hij markeert een begininstelling op het frontpaneel.

Dan plotseling geen ritme meer



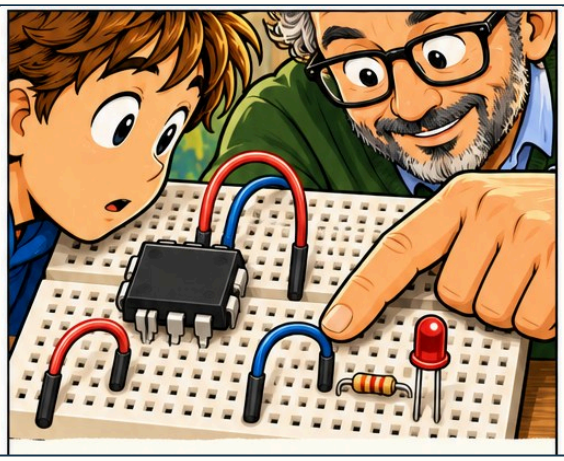
Wanneer Lucas het soldeerloze breadboard beweegt, verdwijnt de golfvorm van de oscilloscoop. De indicator blijft uit.



"Is de 555 dood?" Henri stelt voor om te beginnen met wat ze kunnen waarnemen.



Ze schakelen de stroom uit en vergelijken de werkelijke bedrading met hun plan, zonder willekeurig onderdelen te vervangen.



Een verbindingsdraad is een rij te ver geschoven. Pin 4 is niet meer verbonden met het beoogde hoge niveau.



Lucas ziet de link tussen RESET en de uitgang: een ongedefinieerde ingang kan de werking van het circuit stopzetten.



Ze repareren de verbinding en bereiden zich vervolgens voor op een nieuwe test. De storing heeft eindelijk een verifieerbare verklaring.

Probleemoplossing in de juiste volgorde



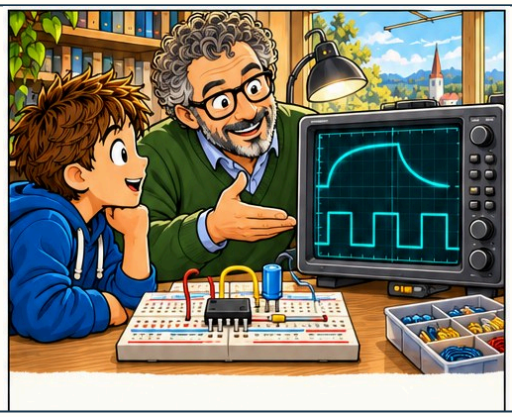
Henri geeft een volgorde: voeding, massa, oriëntatie van de behuizing, RESET, tijdsbepalende onderdelen en uitgang.



Lucas controleert eerst de spanning tussen 8 en 1. Een meting elders kan een slechte verbinding maskeren.



Ze inspecteren gespleten rails, losse draden en de positie van elke pin.



Zodra ze de spanning over C hebben waargenomen, kunnen ze beter bepalen of de fout in de oscillator zit of in een later stadium.

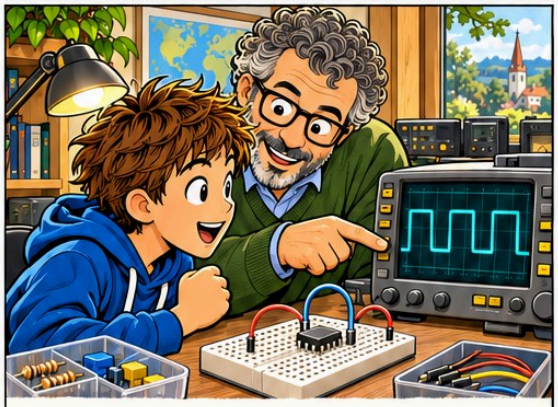


Ze corrigeren verbindingen met de voeding uit. Metingen bereiden ze voor voordat ze de voeding weer inschakelen.



Lucas tekent een diagnostisch pad: elke vraag moet het aantal mogelijke oorzaken verminderen.

Een fout wordt een les



Na de correctie heeft pin 4 het gedefinieerde niveau. De schakeling produceert weer rechthoekige pulsen.



“We hadden een hypothese, een controle en een reparatie”, vat Lucas samen. Henri laat hem het uitleggen.



Ze trekken voorzichtig aan de verbindingsdraden, terwijl de stroom is uitgeschakeld, om losse verbindingen te identificeren.



Lucas ruimt te lange draden op en maakt de meetpunten beter bereikbaar.



Het notitieboekje registreert de storing en de oorzaak ervan. Een bezoeker kan van dit incident leren zonder het te herhalen.



Het ritme is terug. Nu moeten ze het hoorbaar maken zonder de NE555 te vragen de luidspreker rechtstreeks aan te sturen.

Een luidspreker is geen LED



Lucas beweegt de luidspreker naar uitgang 3. Henri houdt hem rustig tegen: “Laten we eerst de elektrische belasting bekijken.”



Een kleine luidspreker met lage impedantie heeft stroom nodig die dit circuit niet rechtstreeks zou moeten leveren.



De NE555 bepaalt hier het ritme; een audiovoersterkermodule die compatibel is met 5 V levert de geluidsenergie.



Ze kiezen een module waarvan de ingang dit signaal accepteert na koppeling en aanpassing van het niveau, volgens de instructies.



De luidspreker komt op de daarvoor bestemde moduleklemmen. Sommige uitgangen mogen niet met massa worden verbonden.



Lucas herontwerpt drie blokken: oscillator, niveauregeling, versterker. Elk element heeft zijn taak.

Het pad van geluid



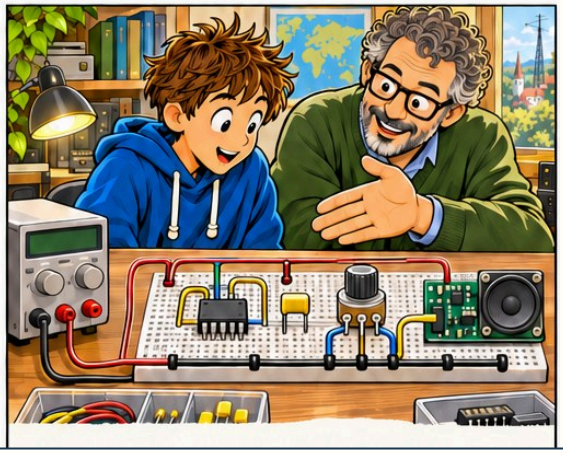
Als de stroom is uitgeschakeld, wordt de uitgang 3 aangesloten op een niet-gepolariseerde 100 nF-koppelcondensator.



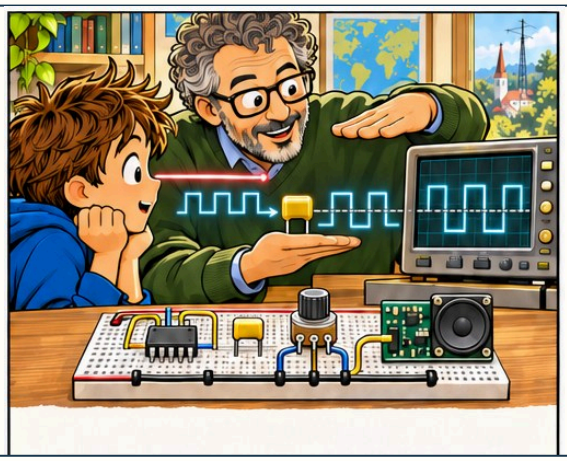
De andere aansluiting gaat naar de bovenkant van een 47 kΩ-potentiometer; de onderkant gaat naar de gemeenschappelijke massa.



De loper gaat naar de hoogohmige ingang van de gekozen audiomodule. De handleiding bevestigt deze verbinding.



De module en de NE555 delen dezelfde massa; de module krijgt voeding volgens zijn documentatie.



De koppelcondensator blokkeert de DC-component van de uitgang en laat audiovariaties door.



Ze zetten het volume vóór de eerste poging op het minimum. Lucas heeft nog geen hoofdtelefoon aangesloten.

Eindelijk het eerste geluid



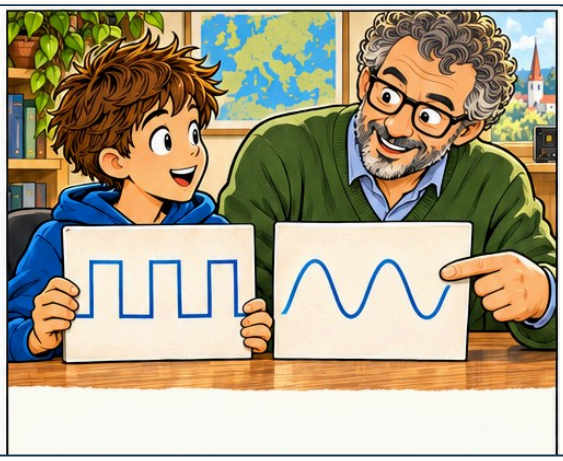
Wanneer de stroom weer wordt ingeschakeld, verhoogt de Lucas het volume langzaam. Een heldere audiotoon vult het kleine hoekje van de werkplaats.



“Het zingt!” Henri vraagt hem om het geluid dat hij hoort te vergelijken met de golfvorm op de oscilloscoop.



Ze passen eerst de oscillatiefrequentie aan en vervolgens het audioniveau. Twee knoppen, twee verschillende effecten.



De rechthoekige golfvorm bevat harmonischen: deze heeft niet de klankkleur van een zuivere sinusgolf.



Het volume blijft comfortabel voor de tafel. Ze sluiten een hoofdtelefoon niet rechtstreeks aan op de uitgang van de 555.



Lucas sluit even zijn ogen: de kleine curve in zijn notitieboekje is een hoorbare ervaring geworden.

De morsesleutel moet de toon schakelen



De toon klinkt continu. "De sleutel moet hem tijdens het indrukken inschakelen", zegt Lucas terwijl hij de voeding uitschakelt.



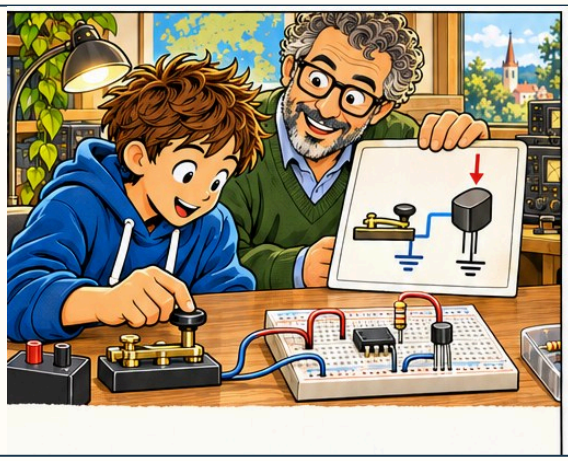
Ze verwijderen de directe verbinding van RESET naar +5 V. Een weerstand van 4,7 kΩ verbindt nu RESET, pin 4, met +5 V.



Bij een NPN 2N3904 ligt de collector aan RESET en de emitter aan massa; ze controleren de werkelijke aansluitvolgorde.



Een 10 kΩ-weerstand verbindt de basis met de +5 V. In rust vloeit er stroom door de NPN, die de RESET laag houdt: stilte.



De morsesleutel verbindt de basis met massa: bij indrukken spert de NPN; RESET wordt hoog en de toon klinkt.

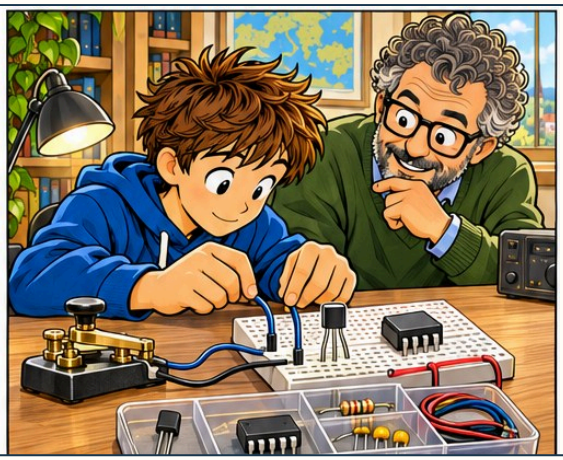


"De transistor keert het toetscommando om!" Ze traceren beide toestanden op het diagram voordat ze gaan testen.

Eén druk, één audiotoon



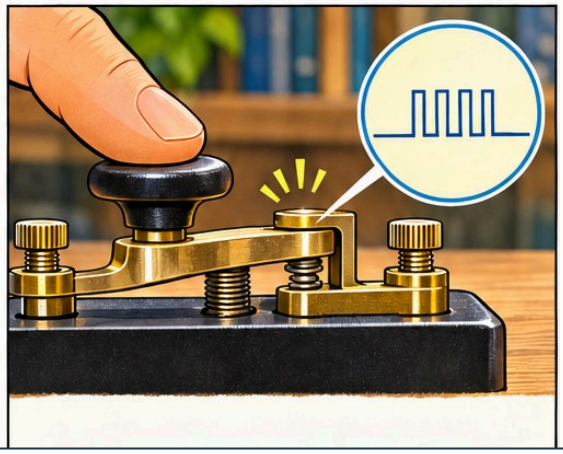
De morsesleutel blijft gescheiden van elke radiozender. Zijn twee aansluitingen dienen alleen voor deze laagspanningssturing.



Eén draad gaat naar de NPN-basis, de andere naar massa. Lucas controleert de klemmen en de pull-upweerstand.



Ze schakelen in: eerst stilte. Lucas drukt de morsesleutel in: de toon klinkt. Hij laat los: de toon stopt.



“Het volgt mijn beweging!” Mechanische contacten kunnen echter stuiteren en kleine klikjes produceren.



Henri houdt de draden kort. De kabel van de morsesleutel mag geen grote lus vormen die storingen oppikt.

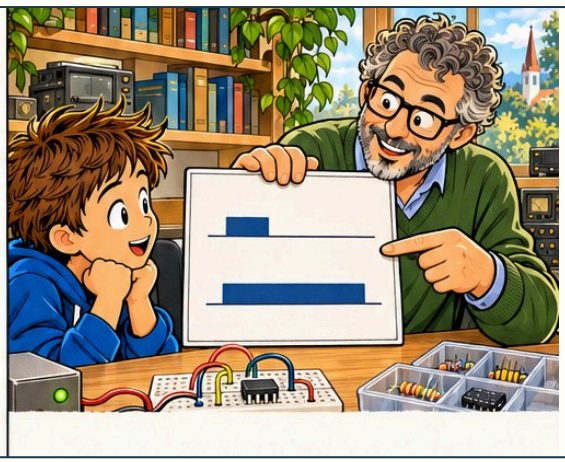


Lucas herhaalt langzaam drie keer drukken. Voor het eerst reageert het circuit op zijn vinger.

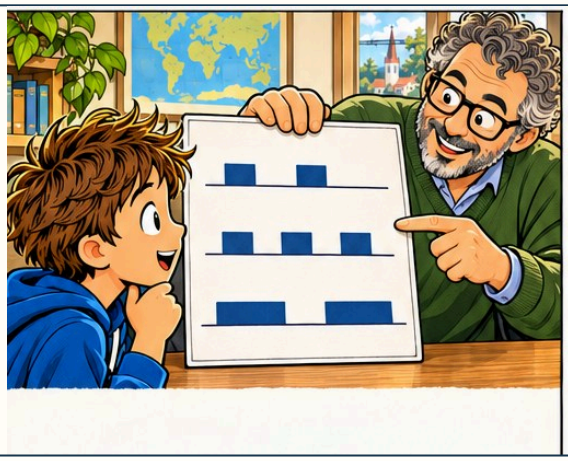
Morsecode is ook stilte



Lucas seint te snel en haalt alles door elkaar. Henri stelt voor om te vertragen en naar de pauzes te luisteren.



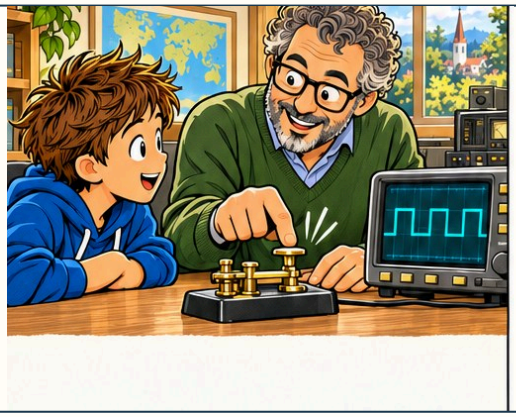
Een punt duurt één eenheid, een streep drie. Tussen de elementen van hetzelfde teken blijft één eenheid stilte.



Tussen twee tekens duurt de pauze drie eenheden; tussen twee woorden zeven eenheden in het referentieritme.



“Dus stilte is onderdeel van de boodschap!” Lucas tekent een strook met geluiden en pauzes.



Henri kiest voor een gestaag tempo in plaats van een snelheidswedstrijd. De trainer kan de bewegingen van de operator niet zelf corrigeren.



Ze gebruiken een kort patroon. Nu hoort Lucas waar het ene teken eindigt voordat het volgende begint.

Samen leren



Henri speelt een klein patroon; Lucas probeert het te reproduceren. Vervolgens wisselen ze van rol.



Een aarzelende reactie lokt een glimlach uit, geen oordeel. Ze zoeken naar de passage die verkeerd is begrepen.



Lucas ontdekt dat het veranderen van de toon het luisteren aangenamer kan maken zonder de Morse-timing te veranderen.



Volume vervangt aandacht of een duidelijk ritme niet. Ze houden het laag genoeg om rustig te kunnen praten.



Het notitieboekje bevat een korte sessie en pauzes. De open dag moet bezoekers aanmoedigen om het te proberen.

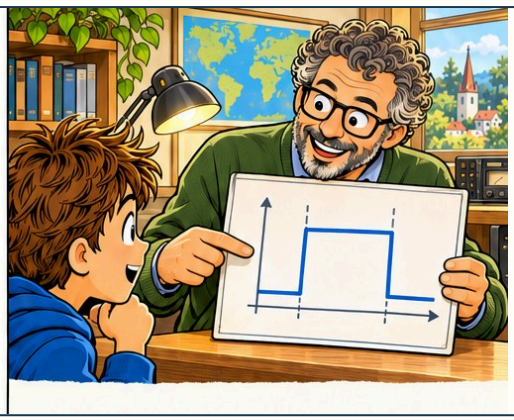


“Ik zal je eerst laten zien hoe je moet luisteren”, besluit Lucas. Henri herkent een les uit hun eerste avontuur.

Een kleine klik tussen de noten



Wanneer het geluid begint, horen ze een kleine klik. “De omschakeling is abrupt”, legt Henri uit.



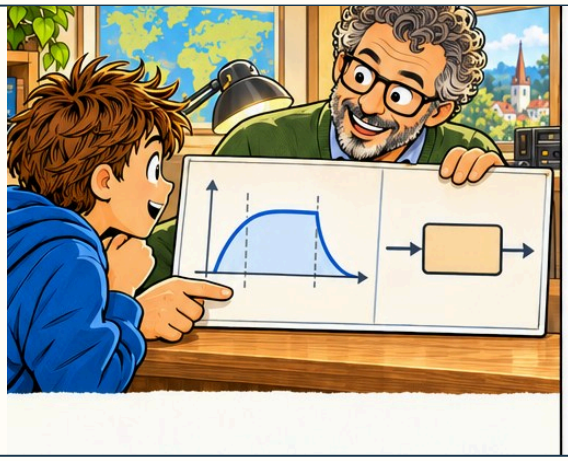
Het signaal start en stopt zonder geleidelijke amplitude-omhullende. De audiokoppeling verwijdert niet al deze transiënten.



Lucas controleert ook of de module niet verzadigt: een te hoog niveau kan het geluid onaangenaam maken.



Ze verlagen het niveau en observeren het signaal. Het veranderen van meerdere dingen tegelijk zou de diagnose verwarren.



Een geleidelijke regeling van de amplitude-omhullende vraagt een extra trap die apart wordt onderzocht en getest.

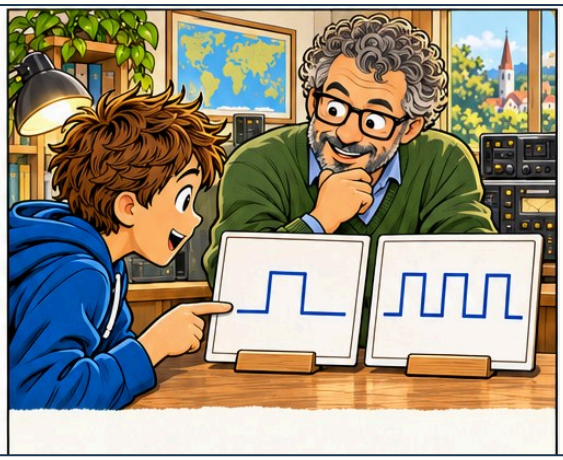


Bij deze trainer hanteren ze een comfortabele setting en vermelden deze limiet eerlijk in de instructies.

Een tweede experiment: een enkele puls



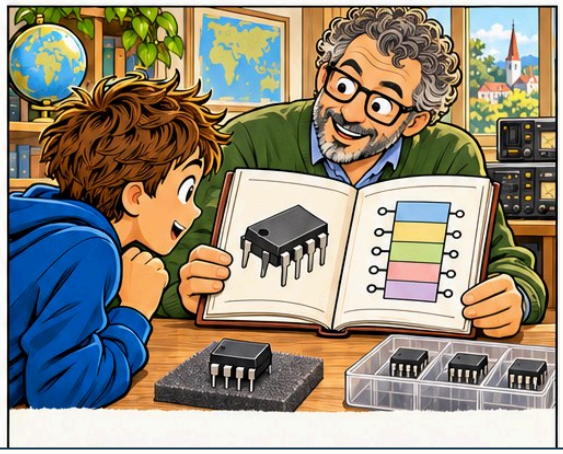
Lucas stelt zich een licht voor dat na een druk op de knop kort blijft branden. Henri suggereert een monostabiel circuit.



In tegenstelling tot de astabiele wacht hij op een trigger, produceert een puls en keert dan terug naar rust.



Ze bereiden nog een soldeerloze broodplank voor om de Morse-trainer intact te houden. De twee experimenten blijven gescheiden.



Dezelfde NE555 kan deze functie uitvoeren met verschillende bedrading. Lucas haalt het pinoutdiagram eruit.



De nominale duur hangt voornamelijk af van een weerstand R en een condensator C: T ≈ 1,1 × R × C.



“Continu geluid of een enkel interval: hetzelfde pakket, een ander verhaal!” Hij bereidt een nieuwe test voor.

Het monostabiele schakelschema



Op dit tweede soldeerloze breadboard: 1 naar aarde, 8 en 4 naar +5 V; dezelfde voorzorgsmaatregelen voor ontkoppeling zijn van toepassing.



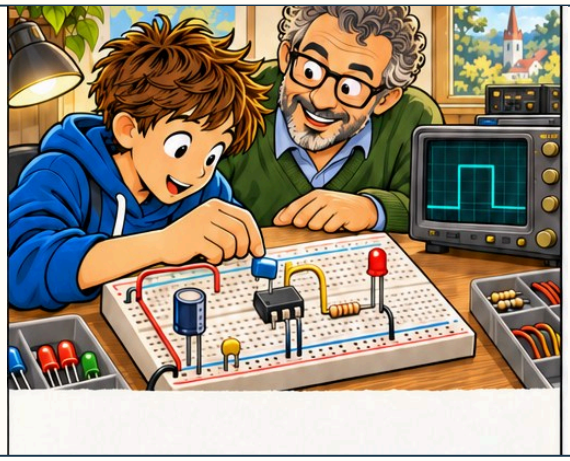
Pins 6 en 7 zijn verbonden met hetzelfde knooppunt. R = 100 kΩ verbindt dit knooppunt met +5 V.



C = 10 µF verbindt dit knooppunt met aarde, met de positieve pool aan de 6 – 7-zijde voor het gekozen onderdeel.



Pin 2 krijgt een pull-upweerstand van 10 kΩ naar +5 V en een testdrukknop naar massa.



Tussen pin 5 en massa ligt 10 nF; uitgang 3 stuurt een LED via een serieweerstand van 2,2 kΩ.



Lucas onderscheidt dit diagram van het astabiele circuit. “Hier is 2 niet verbonden met 6!” Hun controle voorkomt verwarring.

Een korte druk om de puls te activeren



In rust is pin 2 hoog en de uitvoer laag. De timingcondensator is ontladen.



Een korte druk brengt de TRIG onder een derde van de VCC; de output wordt hoog en C begint op te laden.



Lucas laat de knop onmiddellijk los. De trigger moet eindigen vóór het beoogde timinginterval.



Als TRIG laag blijft, is het einde-pulsgedrag niet langer dat van een correct voorbereide korte trigger.



“Het knopje ingedrukt houden is dus geen goede manier om T te meten!” Met een korte druk beginnen ze opnieuw.



Voor een automatische invoer is een schoon triggersignaal nodig dat compatibel is met de datasheetlimieten.

Ongeveer een seconde, geen klok



Met R = 100 000 Ω en C = 0,000 010 F, T ≈ 1,1 × 100 000 × 0,000 010 = 1,1 s.



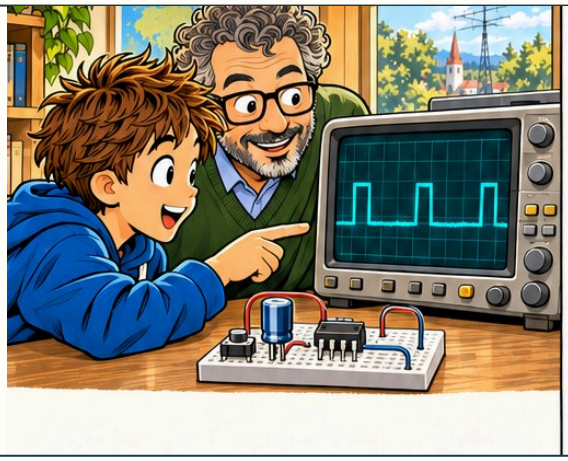
Lucas activeert de timer één keer en ziet vervolgens hoe het indicatielampje aan- en uitgaat.



De condensator van 10 µF heeft tolerantie en lekstroom. De werkelijke tijd kan van de nominale berekening afwijken.



Voor lange en nauwkeurige tijdsduren is deze eenvoudige RC-schakeling niet altijd de beste keuze.



Ze meten meerdere pulsen met een geschikt instrument, zonder hun tests om te zetten in een garantie voor nauwkeurigheid.



Lucas schrijft: "Een actie timen, ja; een referentieklok vervangen, nee."

Besturing van een demonstratierelais



Henri suggereert een klein relais met een 5 V-spoel die ongeveer 20 mA verbruikt, om indirecte controle aan te tonen.



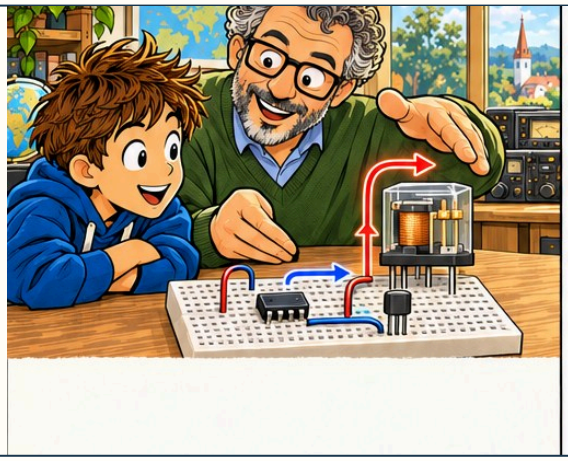
Uitgang 3 wordt aangesloten op de basis van een geschikte NPN-transistor via 1 kΩ; een weerstand van 10 kΩ verbindt basis met emitter.



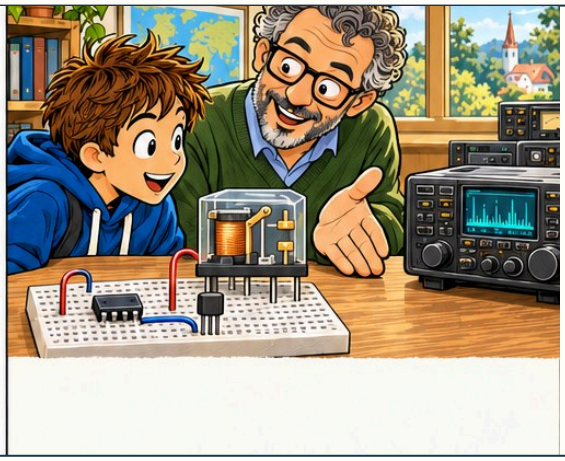
De emitter van de transistor gaat naar massa; de collector naar één spoelaansluiting; de andere spoelaansluiting naar +5 V.



Ze controleren de werkelijke pinout en toegestane stroom van de transistor in de datasheet: NPN-apparaten zijn niet allemaal identiek.



De uitgang van de 555 drijft de basis aan, terwijl de transistor de spoelstroom schakelt.



Tijdens deze test blijven de relaiscontacten onbelast. Er is geen PTT-ingang van een radiozender aangesloten.

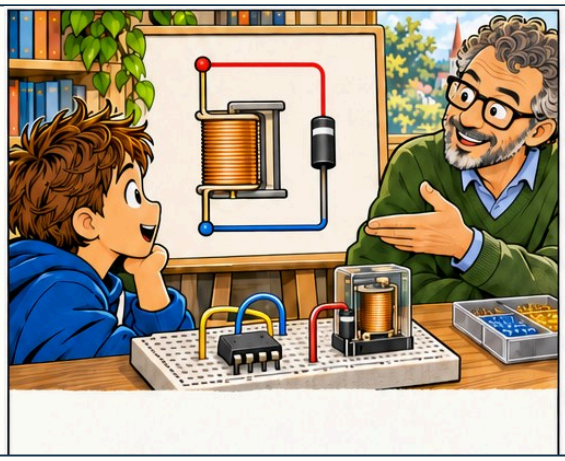
De diode die de spoel beschermt



"Er ontbreekt een onderdeel naast de spoel", zegt Henri. Het onderbreken van een inductieve stroom kan een spanningspiek veroorzaken.



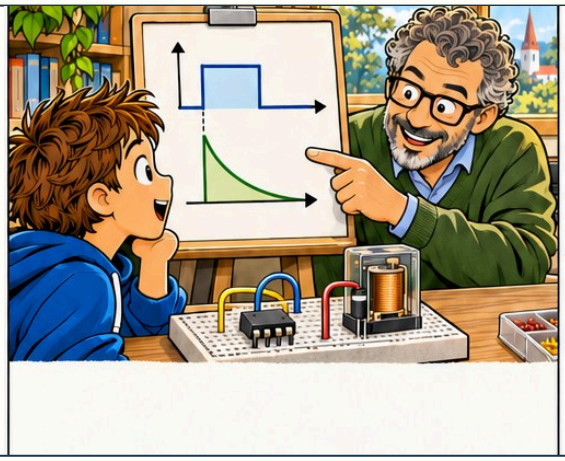
Een 1N4007-diode wordt parallel op de spoel geplaatst: kathode naar +5 V, anode naar de collector.



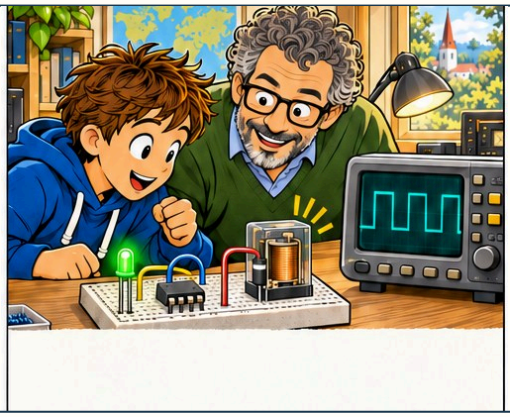
Tijdens normaal bedrijf is de diode in sperrichting ingesteld. Bij het uitschakelen biedt het een pad voor de spoelstroom.



Lucas markeert de kathodering voordat deze wordt aangesloten. Een omgekeerde diode zou een fout zijn, geen bescherming.



Dit vrijlooppad vertraagt ook het afvallen van het relais. De juiste beveiliging hangt van de toepassing af.

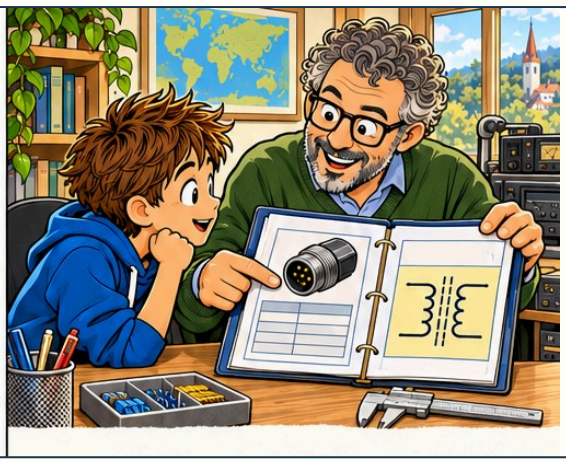


Ze controleren de bedrading terwijl de stroom is uitgeschakeld en activeren vervolgens de monostabiel. De kleine mechanische klik volgt de indicator.

Een radio-idee, met zijn interface



Lucas denkt aan de timing van een stationaccessoire. Henri vraagt hem eerst de instructies te lezen.



Voor een PTT-bediening of -accessoire zijn mogelijk zeer specifieke isolatie, polariteit en niveaus vereist.



Het demonstratierelais wordt geen universele interface. Contacten hebben ook grenzen.



Ze tekenen alleen een timingfunctie, gescheiden van het station door een interfaceblok om te bestuderen.



“We gaan het niet op een station uitproberen om te kijken wat er gebeurt”, besluit Lucas, terwijl hij de kabel opbergt.



Hun proef toont een sturingsprincipe. Een echte toepassing vraagt een eigen ontwerp en validatie.

Contacten die stuiteren



Lucas neemt onregelmatige details waar wanneer de toets wordt ingedrukt. Een mechanisch contact kan meerdere keren stuiteren.



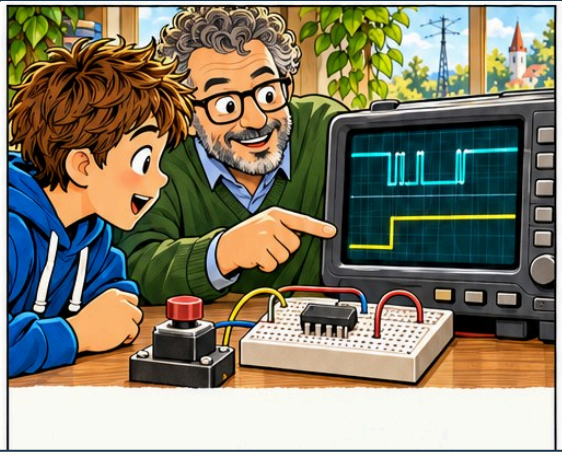
“Eén beweging geeft niet altijd één elektrische flank”, legt Henri uit met een golfvorm.



Een 555 kan helpen bij contactontdendering, maar een willekeurige monostabiele schakeling lost niet ieder probleem op.



Het geselecteerde interval, de triggergolfvorm en de opstartstatus moeten geschikt zijn voor de toepassing.

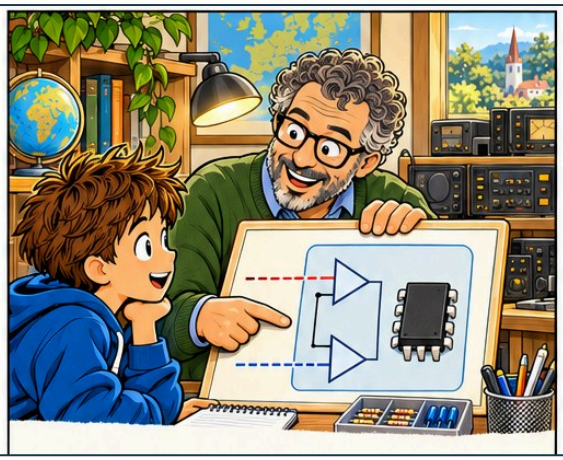


Ze observeren input en output samen voordat ze het resultaat beoordelen. Alleen de indicator kan details verbergen.



Lucas voegt een vraag toe aan zijn dossier: “Welk signaal komt werkelijk mijn circuit binnen?”

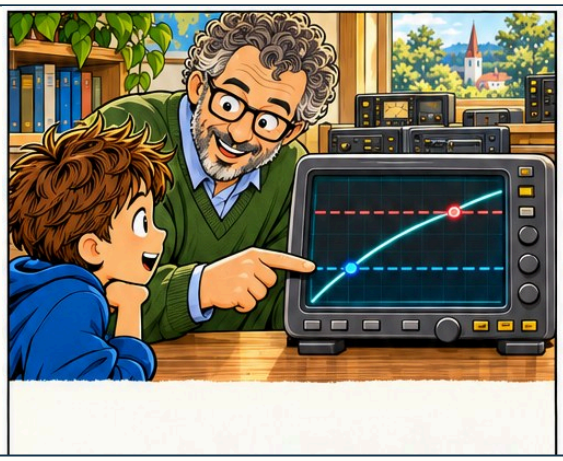
Twee drempels om aarzeling te voorkomen



Henri verbindt pinnen 2 en 6 om een Schmitt-trigger te introduceren met behulp van de 555.



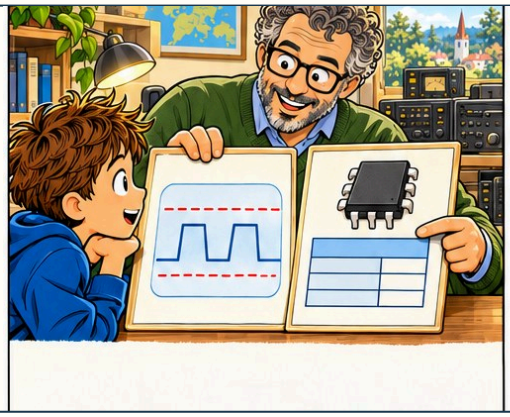
Deze keer bestuurt een geschikte testspanning dit knooppunt; pin 7 wordt niet gebruikt in de demonstratie.



Bij een waarde onder ongeveer VCC/3 bestuurt de ingang een hoge output. Door boven 2VCC/3 uit te stijgen, wordt het laag.



Tussen de twee drempels blijft de vorige toestand behouden. Deze hysteresis vermijdt bepaalde aarzelende schakelingen.



De aangelegde spanning moet binnen de toegestane grenzen blijven. Een willekeurig signaal kan niet rechtstreeks worden aangesloten.



Lucas volgt een langzame stijging en vervolgens een afdaling in de tekening. Hij begrijpt waarom beide drempels ertoe doen.

Een toestand onthouden: de bistabiele schakeling



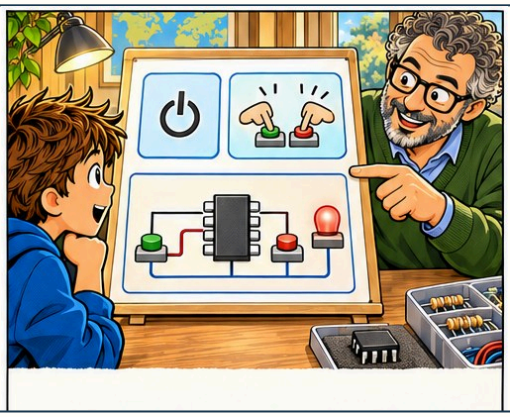
Lucas suggereert een waarschuwingslampje dat blijft branden tot een stopcommando. Henri introduceert bistabiele werking.



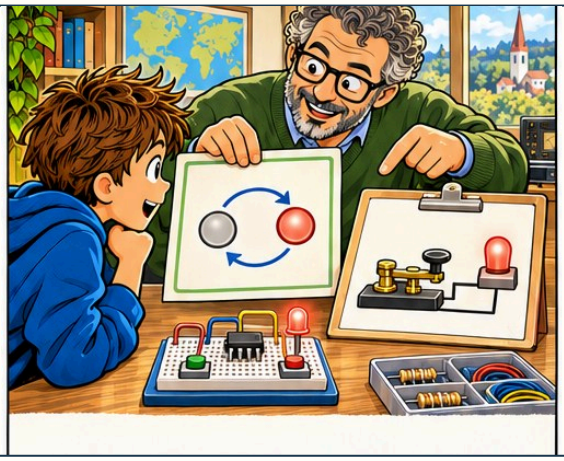
In een geschikt circuit bestuurt TRIG de hoge status; RESET kan de lage status forceren.



Ingangen moeten gedefinieerde niveaus behouden. THRES mag geen onbedoelde schakeling veroorzaken.



Er moet rekening worden gehouden met opstartgedrag en gelijktijdige commando's: een geheugencircuit kan de bedoeling niet raden.



Ze houden deze applicatie in de blokdiagramfase, zonder deze toe te voegen aan hun Morse-trainer.

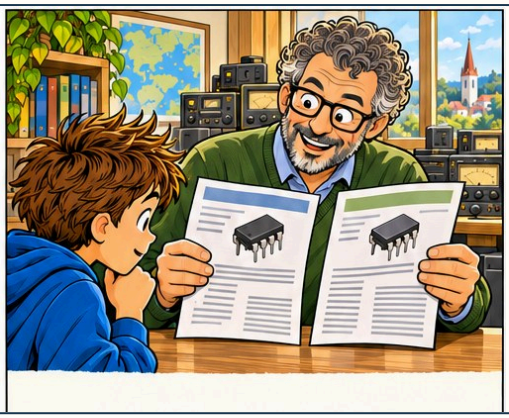


“Oscilleren, een tijd bepalen, onthouden: nu zie ik het verschil”, zegt Lucas naast zijn drie kaarten.

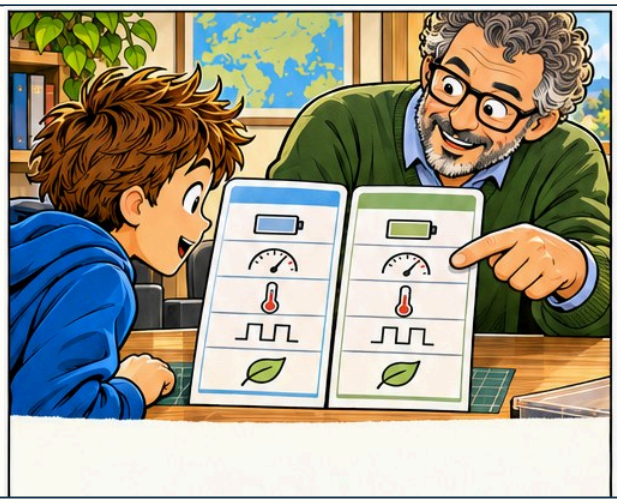
De CMOS-verwanten



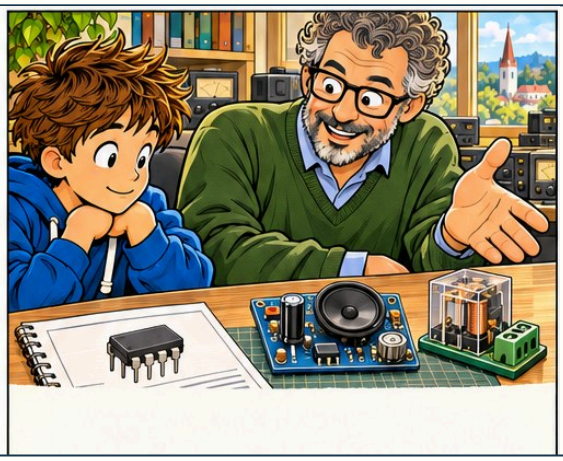
Op een ander pakket leest Lucas TLC555. “Hetzelfde getal: precies hetzelfde onderdeel?”



Henri vergelijkt de datasheets: sommige CMOS-versies verbruiken minder ruststroom en accepteren verschillende voedingsbereiken.



Uitgangsstromen, gegarandeerde drempels en absolute limieten kunnen verschillen.



Een pin op dezelfde locatie garandeert niet hetzelfde gedrag bij onze audiomodule of relais.



De ontkoppelingsaanbevelingen en ingangskarakteristieken moeten nog worden geverifieerd voor de gekozen referentie.



Ze behouden de gekozen NE555 in het apparaat. Lucas weet nu hoe hij een verstandige vervanging kan beoordelen.

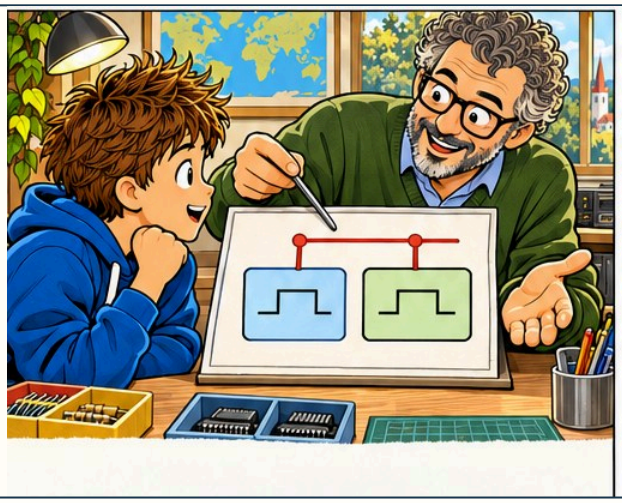
Twee timers in één NE556



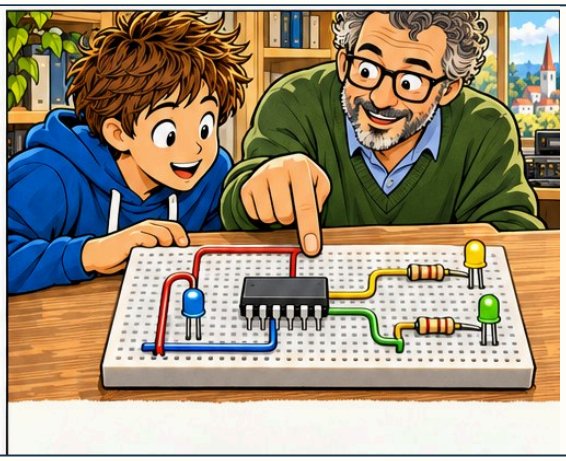
De NE556 bevat twee timers in één behuizing. Lucas stelt zich aparte toon- en tijdfuncties voor.



Henri toont de aansluitingen: deze veertienpolige behuizing mag je niet uit gewoonte bedraden als twee NE555.



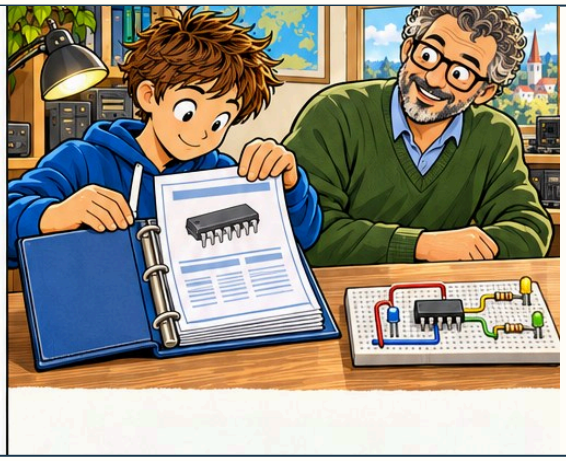
Elke sectie heeft zijn eigen in- en uitgang. De twee secties delen de stroomvoorziening.



Zorgvuldige ontkoppeling en routering helpt voorkomen dat de ene sectie de andere verstoort.



Ze schetsen een educatieve sirene uit twee blokken, terwijl de opbouw van dit album gericht blijft op hun huidige project.



“Voor meer functies zijn ook meer controles nodig”, merkt Lucas op terwijl hij het NE556-blad opbergt.

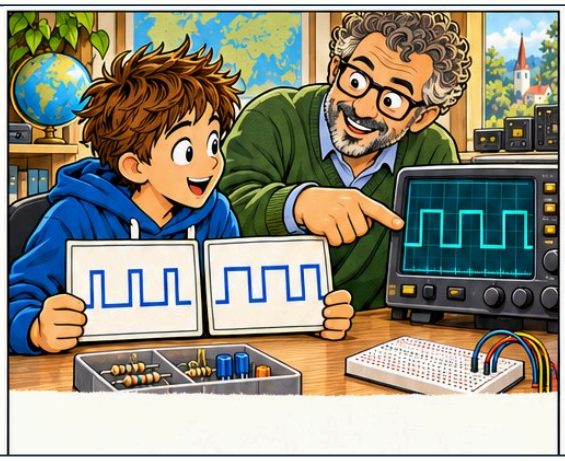
Pin 5 en het idee van modulatie



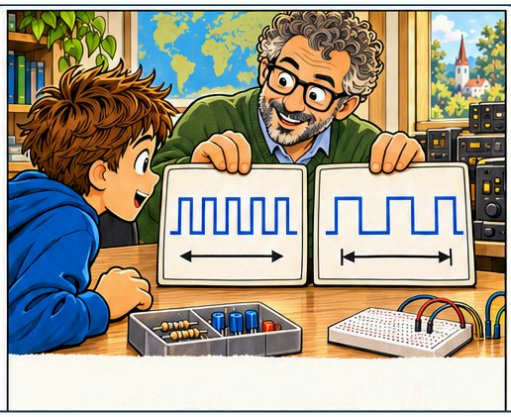
Lucas keert terug naar CONT, pin 5. “Kunnen we het gedrag van het circuit variëren?”



Henri legt uit dat een geschikte stuurspanning de interne referenties verplaatst.



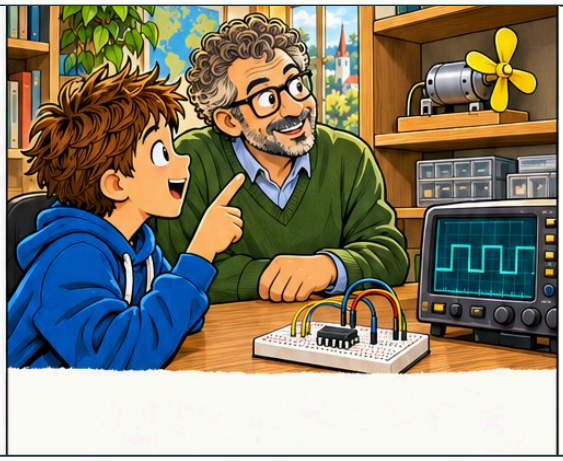
Afhankelijk van het circuit kan dit de pulsbreedte moduleren of de oscillatiesnelheid variëren.



In deze eenvoudige astabiele versie kan het wijzigen van de referenties ook de oscillatiefrequentie veranderen: PWM is niet automatisch onafhankelijk.



Een geschikte PWM-regelaar wordt gekozen en op de belasting afgestemd, met een passende vermogenstrap.

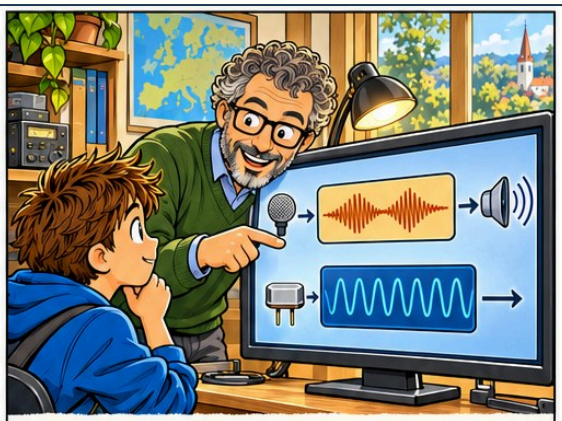


Ze bewaren dit principe voor later onderzoek. Op uitgang 3 komt geen motor of zware belasting.

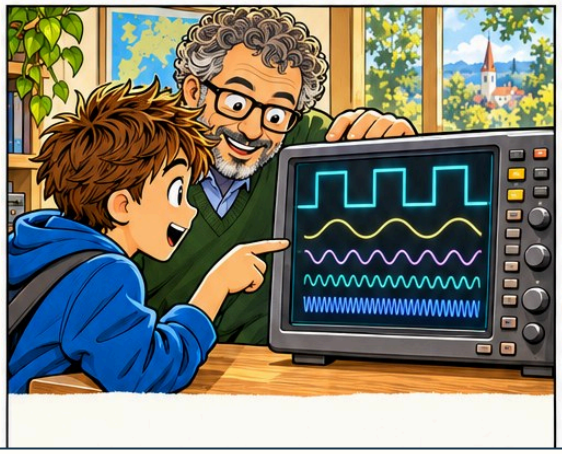
De valstrik van de universele radiogenerator



"Wat als onze 555 een zender zou worden?" Henri onderscheidt audio-oscillatiefrequentie en stabiele radiodraaggolf.



De NE555 is hier geschikt voor toon- en tijdvertragingen. De RC is geen exacte RF-referentie.



Het rechthoekige signaal bevat harmonischen; een te lange draad kan storingen veroorzaken.



Een laboratoriumoscillator wordt geen geschikte zender door alleen maar een antenne toe te voegen.



Een radio-experiment zou een ontwerp nodig hebben dat stabiliteit, impedantie-aanpassing, filtering en toegestaan gebruik omvat.



Lucas laat de antenne daarom buiten beschouwing: hun toestel levert al een echte service door een lokale trainer te blijven.

Wanneer de oscillator de ontvangst verstoort



Terwijl ze op de club luisteren, merken ze een geluid op dat verandert als de trainer wordt ingeschakeld.



“Een toeval?” Ze vergelijken meerdere keren aan en uit, zonder de ontvangerinstellingen te veranderen.



Herhaalde vergelijkingen geven een aanwijzing, maar identificeren nog niet elk interferentiepad.



Ze verplaatsen het geheel verder weg, verkorten de verbindingen en controleren de ontkoppeling voordat ze opnieuw vergelijken.



Henri onderscheidt het nuttige geluid in de luidspreker van ongewenste interferentie die uit het circuit ontsnapt.



Lucas vindt een regel uit volume 1: het delen van het spectrum betekent ook zorgen voor wat we bouwen.

Vergelijk om te begrijpen



Ze veranderen maar één ding: de positie van de audiokabel. Vervolgens vergelijken ze aan en uit.



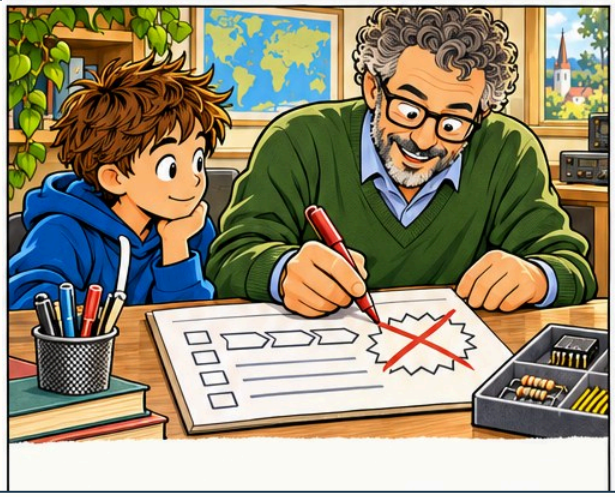
Lucas registreert de afstand, bedrading en gebruikte voeding. Zonder deze details zou de volgende test moeilijk te vergelijken zijn.



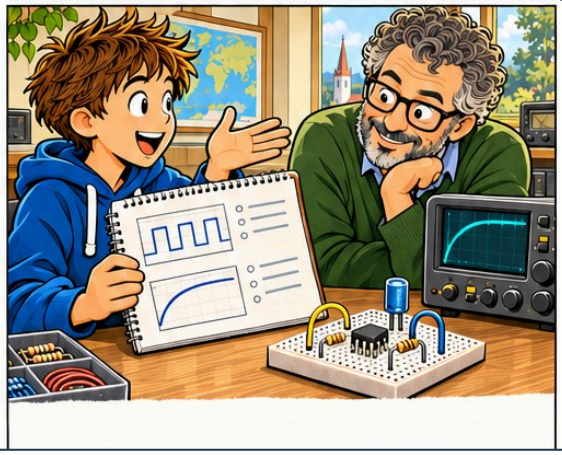
Een lokale verbetering bewijst niet dat het hele spectrum schoon is. Hun ontvanger is geen compleet laboratorium.



Een compacte en correct ontkoppelde eindmontage verdient de voorkeur boven het prototype verspreid over lange draden.



Ze claimen geen conformiteit of metingen die ze niet hebben aangetoond.



“Ik kan uitleggen wat ik heb geprobeerd en wat nog moet worden geverifieerd”, zegt Lucas. Henri keurt zijn methode goed.

Hoe zit het met de werking op batterij?



Lucas droomt ervan de trainer mee te nemen naar de tuin. Ze beginnen met het schatten van het totale verbruik.



De audiomodule, volume-instelling en luidspreker zijn net zo belangrijk als de timer bij het inschatten van de levensduur van de batterij.



De accu moet een geschikte regelaar voeden om de gespecificeerde 5 V te behouden; zij volgen de documentatie ervan.



Een bron die veel stroom kan leveren, vereist een geschikte beveiliging tegen kortsluiting.



Henri stelt voor eerst de versie met geïsoleerde voeding af te maken. Draagbaar gebruik wordt afzonderlijk gedocumenteerd.

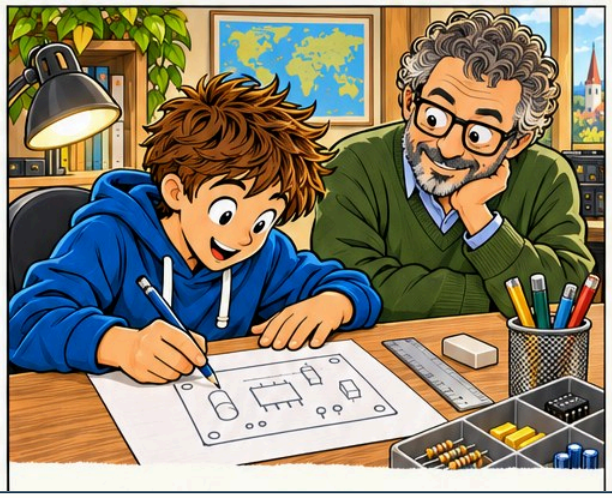


“De levensduur van de batterij kan niet worden beloofd op basis van de capaciteit die alleen op een batterij staat vermeld”, concludeert Lucas.

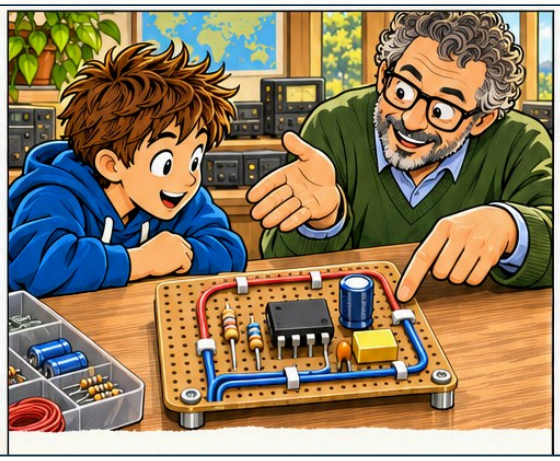
Een duurzame montage voorbereiden



Het soldeerloze breadboard was nuttig. Voor de open dag moeten ze voorkomen dat verbindingsdraden loskomen.



Ze plannen een compacte opbouw met toegang tot de bediening en de meetpunten.



Ontkoppeling blijft dichtbij de 555; audio-retourstromen mogen geen omweg maken door het timingcircuit.



De toets- en luidsprekerkabels zijn voorzien van trekontlasting. Verbindingen mogen niet de trekkracht van een kabel dragen.



Henri houdt toezicht op de fabricage met behulp van geschikt gereedschap en bescherming, buiten deze leesworkshop.

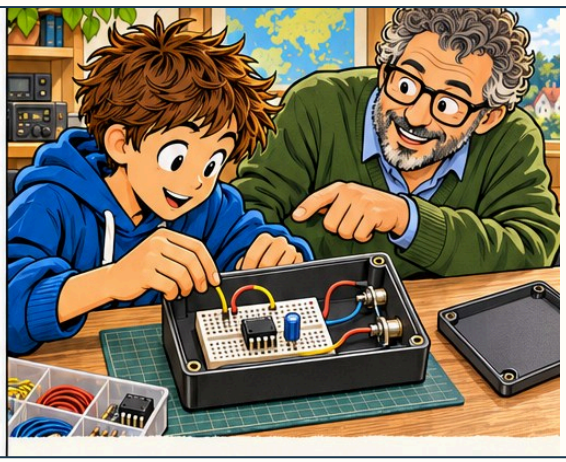


Lucas controleert vervolgens de continuïteit, polariteiten en het diagram voordat de stroom wordt hersteld.

Een elektronicabehuizing die het gebruik ervan uitlegt



Lucas kiest een eenvoudig frontpaneel met duidelijke aanduidingen: aan/uit, toonhoogte, volume en morsesleutelaansluiting.



De schakeling zit vast in een geschikte doos; geen blanke draad raakt een geleidend onderdeel.



Kabelgeleiding is beschermd. Ze controleren of het draaien aan een knop niet aan de aansluitingen trekt.



De beoogde stroomvoorziening en de polariteit ervan worden aangegeven in de instructies en bij de juiste connector.



De sleutel stuurt alleen deze trainer. Een gelijkende aansluiting geeft geen toestemming om een radiozender aan te sluiten.



Lucas probeert het apparaat zonder uitleg. De bedieningselementen moeten duidelijk zijn voor de volgende bezoeker.

Instructies voor de volgende beginner



In de instructies leggen ze het doel uit: het morseritme leren met een lokaal geluid, zonder te zenden.



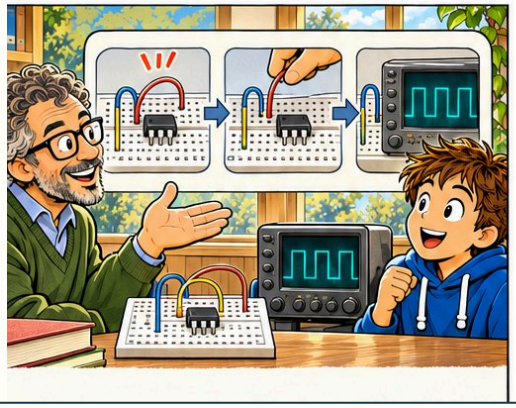
Het schema toont de pinnen, componentwaarden, voedingsaansluitingen en de twee toestanden van de sleutel.



De componentenlijst maakt onderscheid tussen timing-, koppel- en ontkoppelcondensatoren.



Ze voegen nominale berekeningen, beperkingen, componentreferenties en meetpunten toe.



Een korte pagina beschrijft de zoekgeraakte verbindingsdraad en de methode voor probleemoplossing. Fouten horen ook in het verhaal.



Lucas herleest de instructies alsof hij de club voor de eerste keer bezoekt. Hij vereenvoudigt nog een zin.

De generale repetitie



De dag voor de open dag neemt Henri de plaats van een bezoeker in. Lucas presenteert zijn workshop.



"Eerst luisteren. Probeer het dan. En leg tenslotte uit wat er verandert als je aan deze knop draait."



Hij onderscheidt toon, volume en ritme. Henri stelt een opzettelijk eenvoudige vraag.



Lucas toont de drie blokken in het notitieboekje en laat zijn repetitiebezoeker vervolgens de toets bedienen.



Er ontbreekt een audiotoon in het midden van het patroon. Ze wisselen een blik: het apparaatje heeft nog een verrassing in petto.



Lucas blijft kalm en verlaagt het volume. Hij is zojuist teruggekeerd naar zijn rol als onderzoeker.

Het laatste mysterie



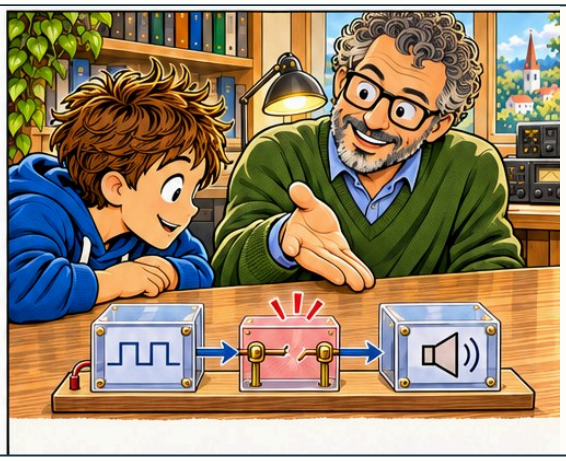
Deze keer werkt het ritmecircuit nog steeds: uitgang 3 toont pulsen wanneer de toets wordt ingedrukt.



Lucas controleert de voeding en vervolgens de audioketen. Hij vervangt de NE555 niet als reflex.



Met de voeding uit ontdekt hij een losse draad aan de loperaansluiting van de volumepotentiometer.



“Het ritme was er; het geluid bereikte de versterker niet meer!” De scheiding in blokken leidde hem.



Ze repareren de verbinding en controleren of deze vastzit. Een andere test produceert een constante toon.



Henri neemt weer plaats op zijn bezoekersstoel. Lucas voegt een connectorcontrole toe aan zijn voorbereidingen.

Open dag



's Morgens wacht de kleine elektronicabehuizing op een overzichtelijke tafel. Lucas zorgt voor een zacht volume en een comfortabele toon.



Hij begint met het spelen van een patroon. Henri ziet hoe hij iedereen de tijd geeft om het te begrijpen.



De bezoeker probeert de morsesleutel. Na een pauze en nogmaals luisteren wordt de aarzelende reeks gelijkmatiger.



Lucas opent zijn notitieboekje: "NE555 maakt de audiotoon; het is jouw gebaar dat er een ritme aan geeft."



Hij laat de spanning van de condensator stijgen en dalen en keert dan terug naar het geluid dat ze horen. Theorie ontmoet ervaring.



Een glimlach is genoeg om te zeggen dat de werkplaats werkt. Henri laat nu Lucas de ontdekking begeleiden.

Wat acht pinnen ons hebben geleerd



Na de workshop vindt Lucas de drie kaarten terug: oscilleren, een tijd bepalen en onthouden.



Hij voegt de transistor toe die helpt een belasting aan te drijven en de diode die de spoel beschermt bij uitschakeling.



Henri vraagt wat hem het meest zal bijblijven. Lucas kijkt naar zijn notitieboekje met berekeningen en storingen.



“Controleer de pinnen. Bewaar de eenheden. Meet op het juiste punt. En begrijp het voordat je iets vervangt.”



Ook laat hij de instructies zien: een idee wordt bruikbaar als iemand anders het kan oppakken zonder te raden.



Ze hebben de ongebruikte onderdelen opgeborgen. Het kleine zwarte pakje heeft ritme gegeven aan een hele dag vol ontmoetingen.

Het volgende ritme zal het jouwe zijn



De plaats hervindt zijn rust. Lucas drukt nog een laatste keer op de toets: een korte geluidstoon, daarna stilte.



Hij herinnert zich zijn aankomst bij de club en het advies van Henri: luister, zoek en deel.



“Hebben we alles geleerd over de 555?” – “Genoeg om te weten hoe je betere vragen kunt stellen.”



De trainer, het diagram en de instructies blijven klaar voor de volgende beginner. Hun avontuur past in een echte doos.



Lucas sluit het notitieboekje en opent het vervolgens opnieuw om een nieuw idee te tekenen. Henri overhandigt hem een potlood.



Buiten tekenen antennes zich af tegen de hemel. Binnen hebben acht kleine pinnen de zin om te experimenteren gewekt.