ON4CRD

Zväzok 70

NE555 a jeho rádioamatérske aplikácie



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Zväzok 70 · 64 strán

Právne upozornenia

Zväzok 70 · NE555 a jeho rádioamatérske aplikácie

Vydavateľ webovej stránky : Radio Club Durnal ON4CRD

Manažér publikácie : Výbor Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Právne upozornenia

Duševné vlastníctvo

Texty, obrázky, dokumenty, logá a materiály zverejnené na stránke zostávajú majetkom ich príslušných autorov alebo klubu. Akákoľvek reprodukcia alebo opätovné použitie musí rešpektovať zdroj, príslušné práva a akékoľvek povolenie autora.

Zodpovednosť

Klub pracuje na zverejňovaní užitočných a overených informácií, ale nezaručuje absenciu chýb, opomenutí alebo prerušení. Technické alebo regulačné informácie musia byť porovnané s oficiálnymi zdrojmi, keď podporujú rozhodnutie.

Ilustrácie vytvorené s pomocou umelej inteligencie.

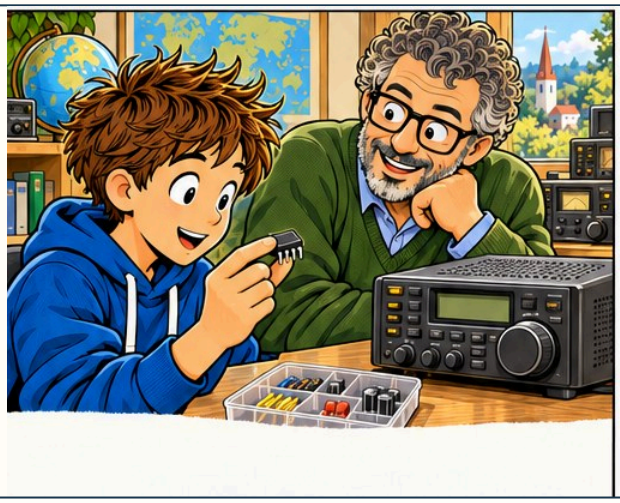
Malá krabička, veľký nápad



Lucas sa vracia do klubu so svojím zápisníkom: „Na deň otvorených dverí by som chcel, aby návštevníci počuli morzeovku!“



Henri položí na stôl malý čierny balíček: "Toto je NE555. Osem kolíkov, veľa nápadov."



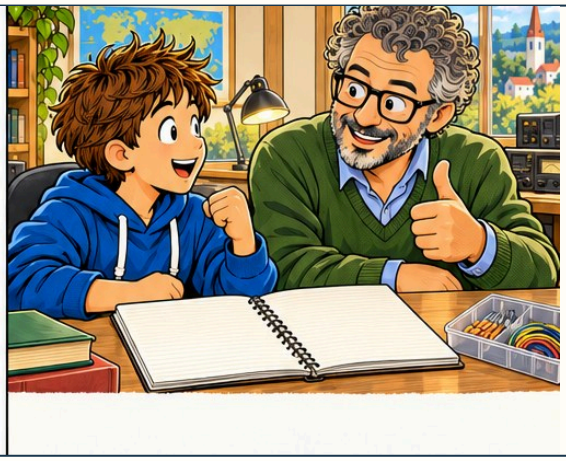
"Môže to hovoriť s inou stanicou?" Henri sa usmieva: "Začnime zvukom tu v klubovni."



V blízkosti reproduktora čaká Morseov kláves. Ich výzva: vytvoriť zariadenie, ktoré pomáha návštevníkom učiť sa.



Lucas kreslí krabicu s tromi ovládacími prvkami: napájanie, tón a hlasitosť. Projekt sa formuje.



"Čo ak to nebude fungovať?" — "Naučíme sa, ako zistiť prečo. To je súčasť dobrodružstva!"

Zoznam prianí projektu



Lucas by chcelo príjemný zvuk, jednoducho ovládateľnú klávesu a dostatočnú hlasitosť na malý dielenský stôl.



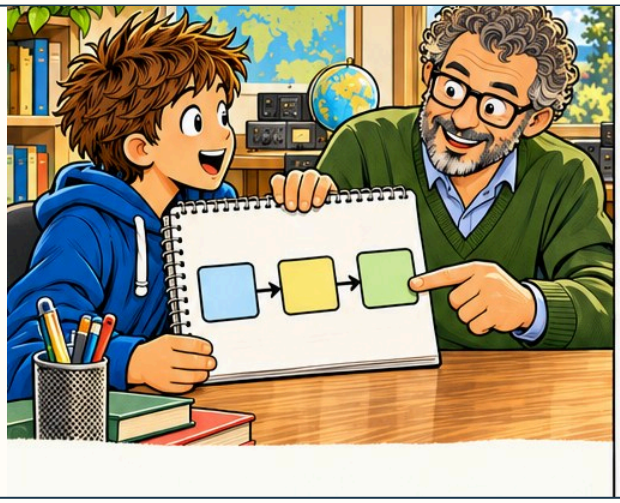
„A nie je potrebná anténa," dodáva Henri. Ich zariadením bude zvukový trenažér Morse, bez rádiových emisií.



Vyberú si regulovaný zdroj napájania 5 V a pri prvých testoch obmedzia prúd.



Henri vyčistí pracovnú oblasť. Každý z elektronických komponentov a nástrojov má svoje miesto.



V notebooku Lucas oddeľuje tri funkcie: produkciu tónu, jeho ovládanie a zosilnenie.



"Otestujeme každú funkciu," rozhodol sa. Aby celé zariadenie fungovalo, budú postupovať po malých krokoch.

Zoznámenie sa so 555



Henri otvára údajový list výrobcu: „Známe meno nenahrádza dokumentáciu skutočného komponentu.



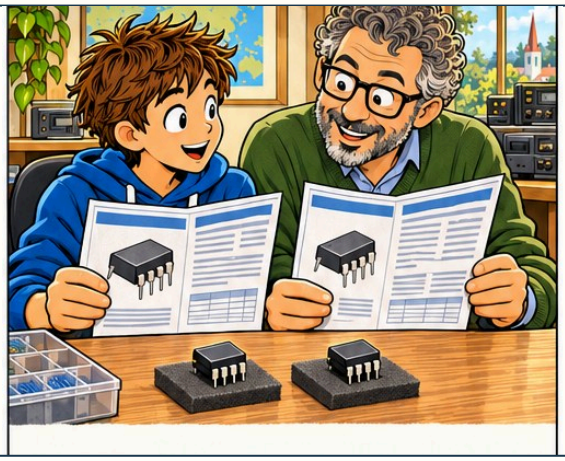
NE555 je bipolárny časovač. Rytmus mu dávajú rezistory a kondenzátor.



V závislosti od obvodu môže produkovať impulz, oscilovať alebo udržiavať stav. Lucas vykonáva tieto tri funkcie.



"Takže robí všetko?" - "Je to veľmi užitočné, ale má aj limity napätia a prúdu."



Overujú, že ich referencia funguje na 5 V. Susedná verzia CMOS nemusí mať nevyhnutne rovnaké limity.



Lucas ukladá údajový list s komponentmi: "Toto patrí do našej sady nástrojov."

Osem kolíkov, jeden smer čítania



Pred zapojením čohokoľvek sa pozerajú na osemkolíkový DIP balík pri pohľade zhora.



So zárezom navrchu je kolík 1 vľavo hore; môže ho identifikovať aj malá bodka.



Vľavo odpočítajte od 1 do 4. Vpravo počítajte od 5 do 8: číslovanie prebieha okolo balíka.



"Ak to otočím, moja kresba sa už nezhoduje!" Lucas opäť porovnáva komponent s pohľadom zhora.



Henri ho požiada, aby nakreslil štyri kolíky na každú stranu a potom zárez. Zatiaľ nič nespojili.

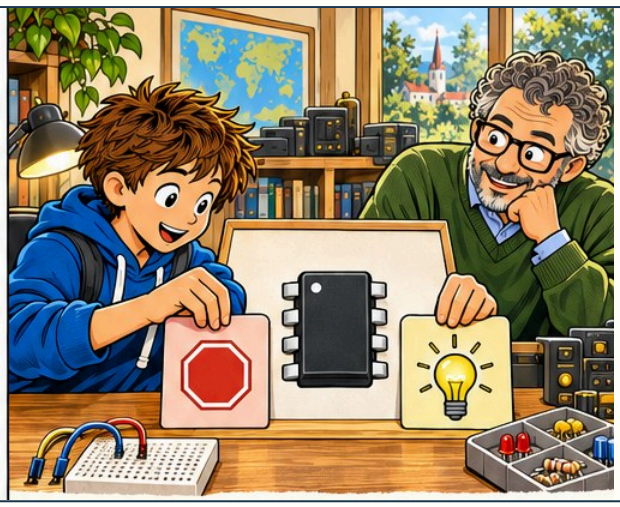


Udržujú túto značku viditeľnú na notebooku a pred umiestnením komponentu kontrolujú označenie.

Rola pre každý špendlík



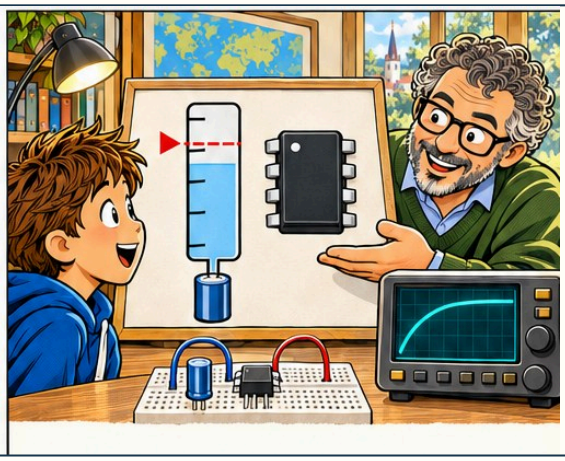
Lucas identifikuje funkcie: 1, zem; 8, kladné napájanie. Tieto dva kolíky napájajú obvod.



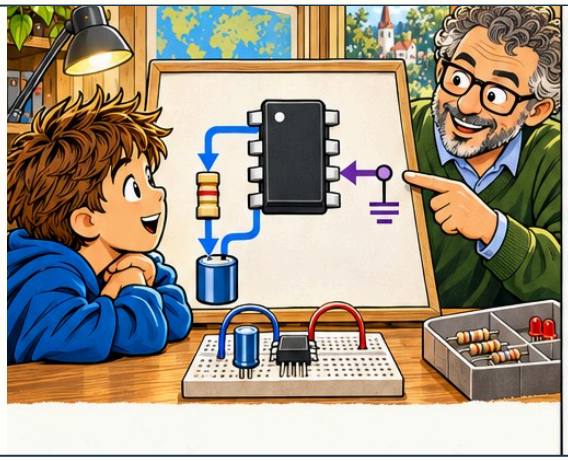
Pin 3 je výstup. Pin 4, RESET vynúti reset obvodu, keď sa drží na nízkej úrovni.



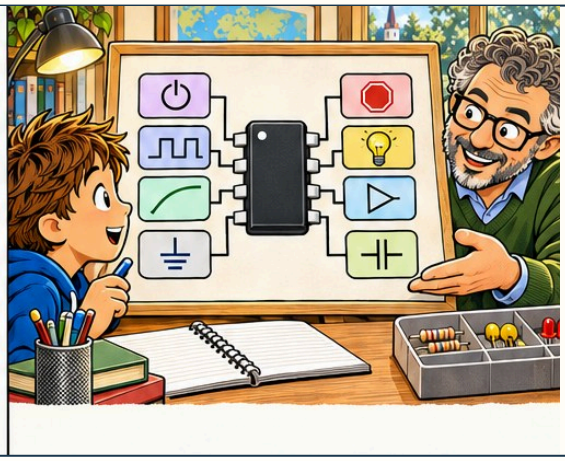
Pin 2, TRIG, detekuje napätie klesajúce pod približne jednu tretinu napájacieho napätia.



Pin 6, THRES, monitoruje horný prah, približne dve tretiny napájacieho napätia v bežnom obvode.



Pin 7, DISCH, slúži na vybíjanie kondenzátora. Pin 5, CONT, poskytuje prístup k internej referencii.

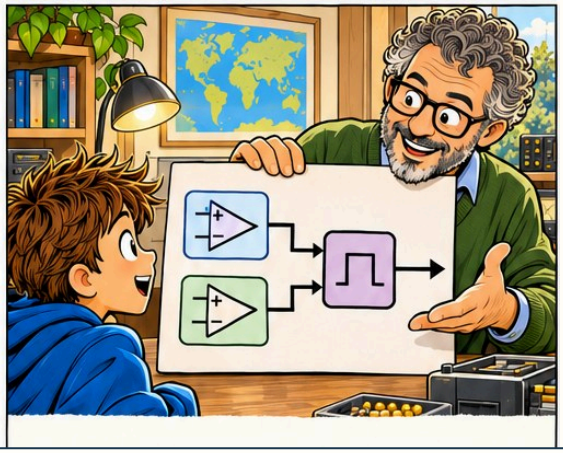


"Osem rôznych rolí, nie osem vymeniteľných terminálov!" Lucas priraďuje každú funkciu k výkresu.

Malý tím vo vnútri



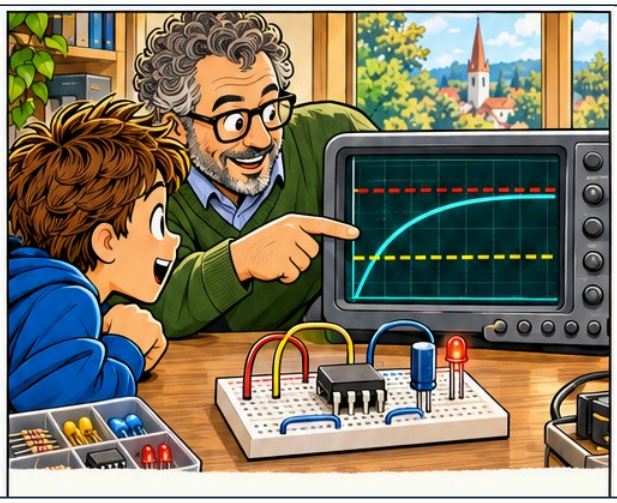
Henri kreslí dva komparátory: každý porovnáva napätie s referenciou.



Vnútorná západka si pamätá posledný príkaz. Výstup a vybíjací tranzistor sledujú tento stav.



"Jeden to začne, druhý to zastaví?" — „To je užitočný obraz za predpokladu, že rešpektujeme ich prevádzkové podmienky."



V bežnom obvode sú interné referencie blízke VCC/3 a 2VCC/3.



RESET môže vynútiť reset. Lucas chápe, prečo tento vstup nesmie zostať plávajúci.

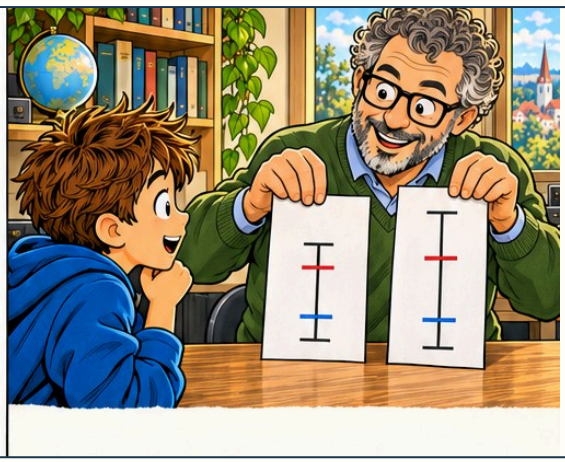


Ceruzkou sleduje šípky: merať, rozhodovať, pamätať, konať. Balíček sa stáva menej tajomným.

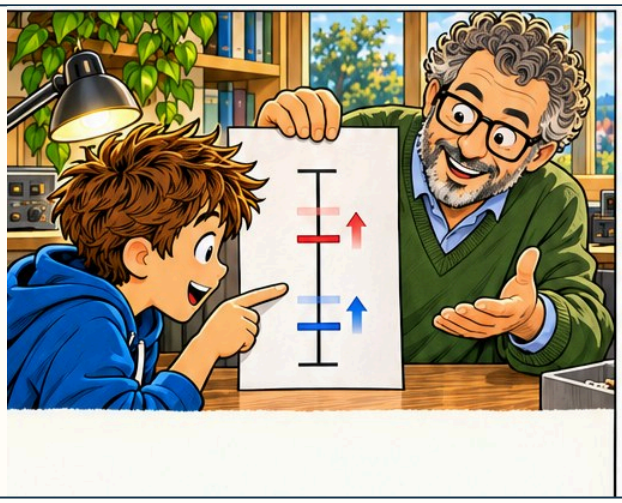
Jedna tretina a dve tretiny



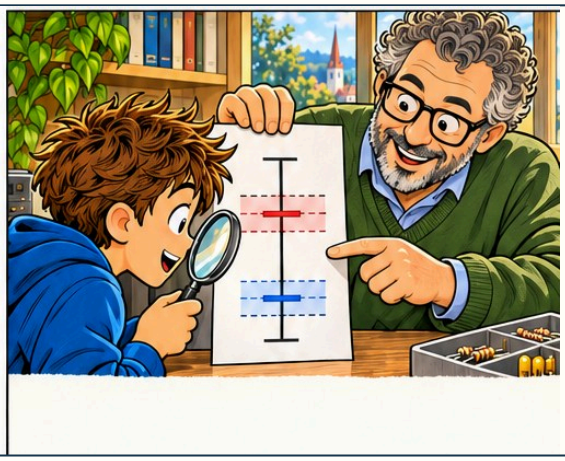
Pri VCC = 5 V sa teoretické referenčné hodnoty stanú približne 1,67 V a 3,33 V.



„Takže toto nie sú dve pevné napätia pre všetky napájacie zdroje," poznamenáva Lucas.



Henri mení mierku papiera: dve značky sledujú napájacie napätie.



Skutočné hodnoty majú tolerancie. V technickom liste sú uvedené podmienky a možné odchýlky.



Napätie kondenzátora bude medzi týmito úrovňami stúpať a klesať. Táto cesta určuje časový interval.



Lucas nakreslí malý elektrický švih: „Rytmus je možno príbehom o prahoch."

Plán pred drôtmi



"Spojíme to?" Henri najprv položí hárok: "Rozhodnime sa, čo musí každý kábel pripojiť."



Vyberú si stabilný obvod: osciluje sám od seba, pokiaľ to RESET umožňuje.



Dva odpory, RA a RB, a kondenzátor C približne nastavia frekvenciu oscilácií.



Aktivitu najskôr zobrazí kontrolka. Zvuk sa ozve po ovládacích prvkoch.



Lucas kreslí časovací obvod a budúci audio reťazec oddelene. Necháva priestor na merania.



„Budeme mať plán, z ktorého budeme stavať, potom ho skontrolujeme novými očami," hovorí, keď si pripravuje zápisník.

Päť voltov dobre pripravené



Používajú regulované, izolované napájanie 5 V, nastavené a skontrolované pred zapojením obvodu.



Prúdový obmedzovač sa pri prvom teste nastaví na nízku hodnotu, potom sa prispôsobí obvodu podľa pokynov.



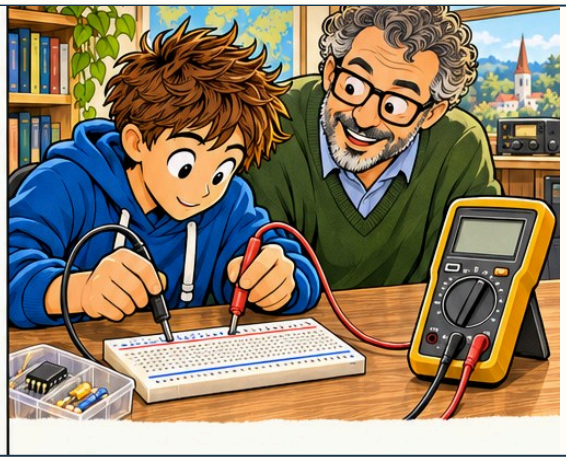
Kladný vodič sa pripája k napájacej lište +5 V; spätný vodič sa pripája k uzemneniu obvodu. Lucas kontroluje polaritu.



„Batéria nie je automaticky vhodným zdrojom pre 5 V," pripomína mu Henri a ukazuje na ich štítky.



Pred akoukoľvek elektroinštaláciou odpoja napájanie. Nič v tejto dielni sa nepripája priamo k elektrickej sieti.



Lucas meria nezaťažené napájacie lišty pomocou multimetra, potom pred pokračovaním vypne napájanie.

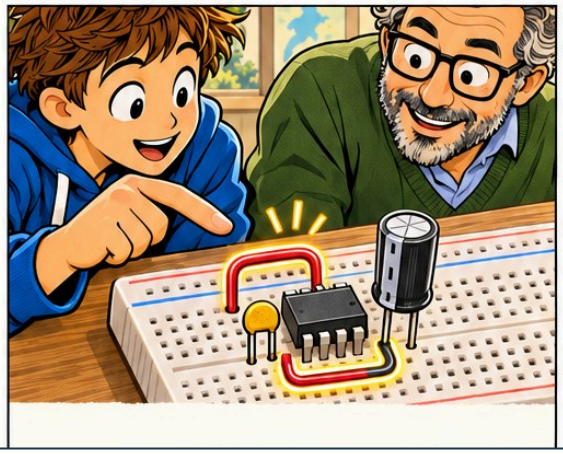
Miestna energetická rezerva



Henri umiestni 100 nF medzi kolíky 8 a 1 s krátkymi spojeniami čo najbližšie k NE555.



Kondenzátor 10 µF dokončuje oddelenie medzi +5 V a zemou; rešpektuje sa jeho polarita.



Výstup 555 môže spôsobiť krátke prúdové špičky. Tieto miestne zásoby energie pomáhajú stabilizovať zásobovanie energiou.



Pin 5 prijíma 10 nF k zemi v tomto obvode. Tento kondenzátor nenastavuje hlavný tón.



„Dva malé kondenzátory, dve rôzne úlohy," poznamenáva Lucas, ktorý ich vo svojom výkrese odlišuje.



Znovu skontrolujú hodnoty. Samotné dobré úmysly nedokážu kompenzovať veľmi dlhý napájací kábel.

Výber správnych komponentov



Lucas vyberá komponenty RA = 10 kΩ, RB = 100 kΩ a C = 10 nF. Tieto hodnoty poskytnú počiatočný tón.



Pre časovací kondenzátor vyberú vhodný, stabilný komponent pomocou jeho datasheetu.



LED bude mať sériový odpor 2,2 kΩ. Henri ho nepripojí priamo medzi výstup a zem.



Reproduktor zostáva v taške: na jeho pohon bude potrebný vhodný obvod zosilňovača zvuku.



Pripravia si potenciometer, krátke vodiče a Morseovu klávesu. Každá hodnota sa nachádza v zozname komponentov.



„Krabica komponentov ešte nie je obvod," smeje sa Lucas. Plán ukáže, ako ich spojiť.

Farby hovoria o hodnote



Lucas načíta farebné pásy a potom pomocou multimetra zmeria odpory mimo obvodu.



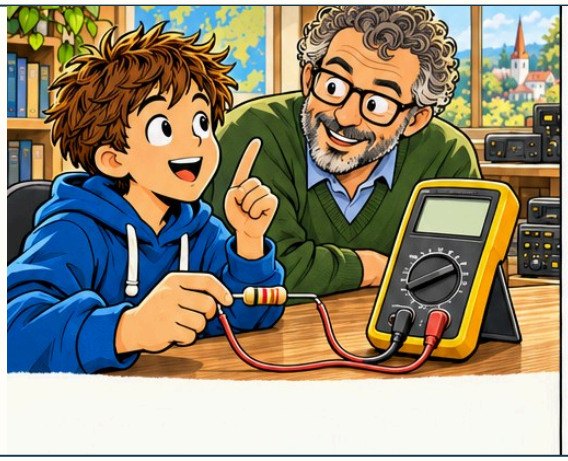
10 kΩ je 10 000 Ω; 100 kΩ je 100 000 Ω. Zabudnutá nula by veľmi zmenila tón.



Konečné pásmo môže špecifikovať toleranciu. Nominálna hodnota nesľubuje presne zodpovedajúce meranie.



"Toto nie je odpor 100 Ω!" Podobne vyzerajúci komponent vráti do jeho priehradky.



Henri mu umožňuje uviesť hodnotu pred pohľadom na multimeter. Nástroj potvrdzuje jeho úvahy.



Lucas priloží kartičku malej hodnoty k svojej nepájkovanej doske. Práve zabránil svojej prvej chybe.

Desať nanofarád, nie desať mikrofarád



Na časovacom kondenzátore Lucas nájde kód 103: 10 000 pF alebo 10 nF.



10 nF sa rovnajú 0,01 µF. Kondenzátor 10 µF by bol tisíckrát väčší.



"Potom by sa naša píšťalka stala veľmi pomalým rytmom!" Henri oceňuje túto predpoveď.



Tu vybraný kondenzátor 10 nF je nepolarizovaný. Zásobný kondenzátor 10 µF musí byť namontovaný so správnou polaritou.



Porovnávajú označenia s katalógovými listami komponentov. Samotný vzhľad nestačí.



Lucas píše jednotku vedľa každého čísla: "Malé písmená môžu urobiť veľký rozdiel."

Skryté spojenia doštičky



Pred vložením 555 označia interné spoje nespájkovanej doštičky s multimetrom.



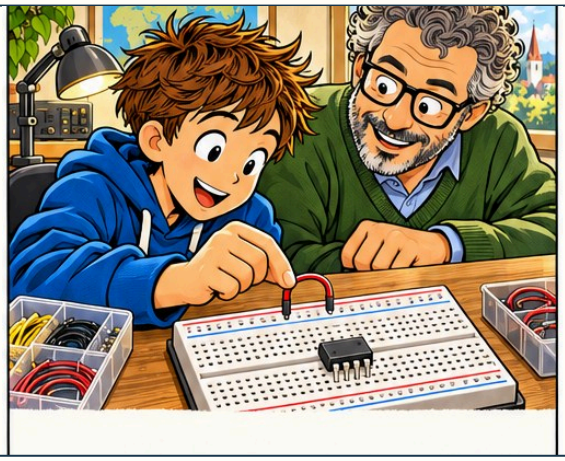
Balenie presahuje stredovú medzeru: jeho dva rady kolíkov zostávajú elektricky oddelené.



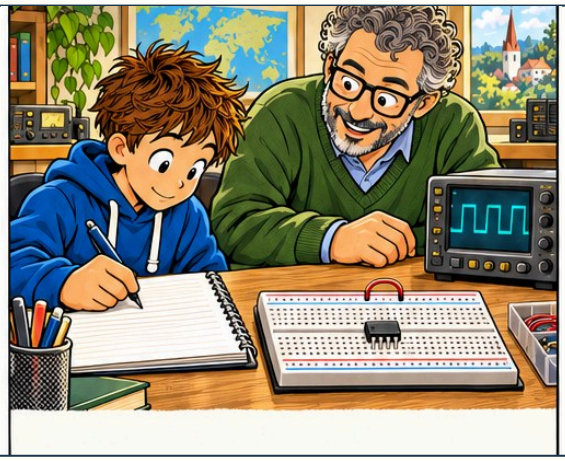
Malé skupiny otvorov sa spájajú v určitom smere. Lucas testuje namiesto hádania.



Niektoré zásobovacie koľajnice majú v strede prestávku; kontrolujú svoju vlastnú nepájkovú dosku.



Krátky prepojovací kábel spojí potrebné segmenty. Žiadny drôt by nemal náhodne nahradiť komponent.



Henri otočí výkres tak, aby zodpovedal orientácii nepájkovej dosky. Lucas kontroluje jedno pripojenie naraz.

Prvá elektroinštalácia



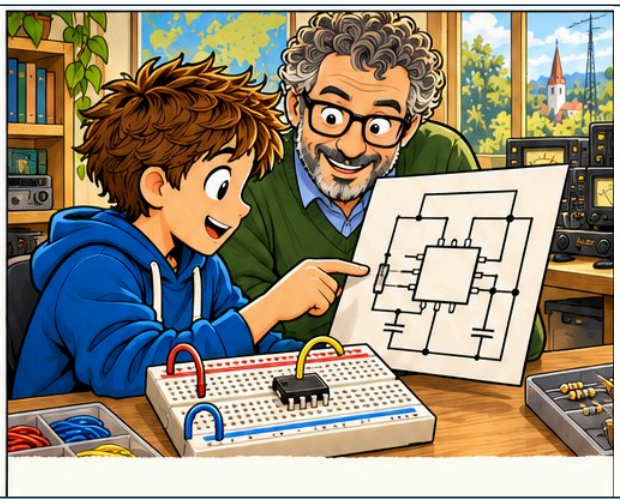
Pri vypnutom napájaní pripoja kolík 1 k zemi a kolík 8 k +5 V.



Pre tento prvý nepretržitý test sa kolík 4, RESET pripojí k +5 V. Vstup má teraz definovaný stav.



100 nF pripája 8 k 1; 10 µF odpája koľajnice; kondenzátor 10 nF na kolíku 5 sa pripája k zemi.



Lucas kontroluje každé pripojenie na pláne, zatiaľ bez zapojenia časovacích odporov.



Kontrolujú zárez, koľajnice a absenciu skratu medzi napájaním a zemou.



„Srdce rozvodového okruhu stále chýba," oznamuje Henri. Lucas pripravuje kondenzátor C.

Skromný ukazovateľ



Výstup 3 sa pripojí k rezistoru 2,2 kΩ, potom k anóde LED; jeho katóda pôjde k zemi.



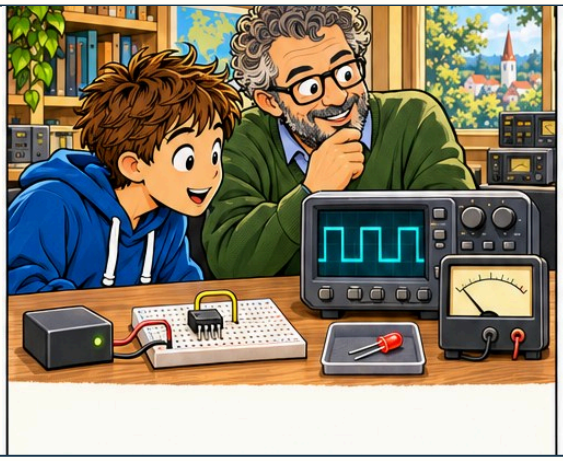
Henri pomáha identifikovať anódu a katódu pomocou údajového listu LED a potom režimu diódy multimetra.



"S približne 2 V v LED by aj 5 V na výstupe obmedzil prúd na približne 1,4 mA."



Skutočný výstup bipolárneho NE555 nemusí nevyhnutne ísť až po kladnú koľajnicu. Prúd môže byť nižší.



Tento LED je indikátor, nie ťažký náklad. Presné merania nechávajú na multimeter a osciloskop.



Lucas necháva LED viditeľný na okraji nepájkovej dosky. Pomôže mu to pochopiť, čo výstup robí.

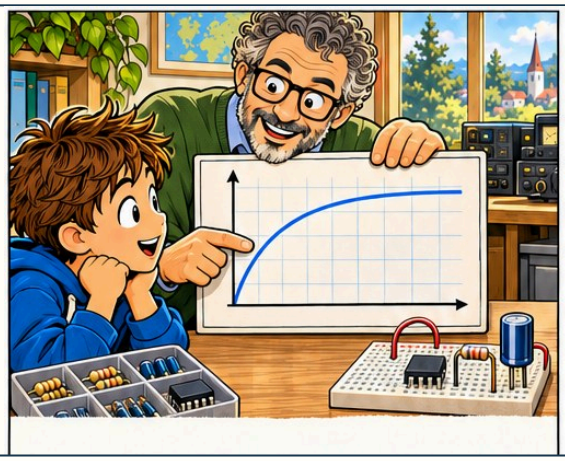
Špongia na čas



Henri porovnáva kondenzátor s malým zásobníkom, ktorý sa plní cez odpor.



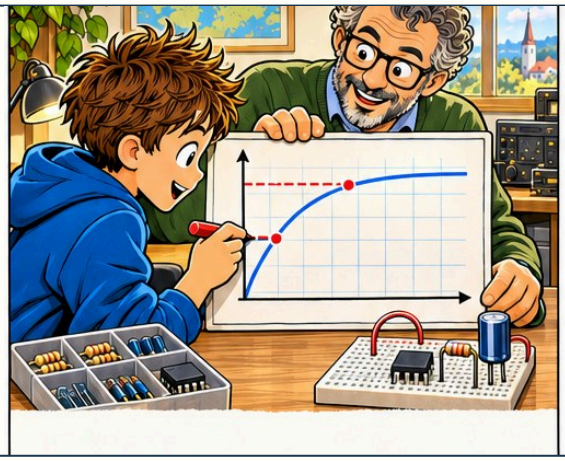
Čím väčší odpor, tým pomalšie nabíjanie. Čím je C väčšie, tým je potrebný väčší náboj.



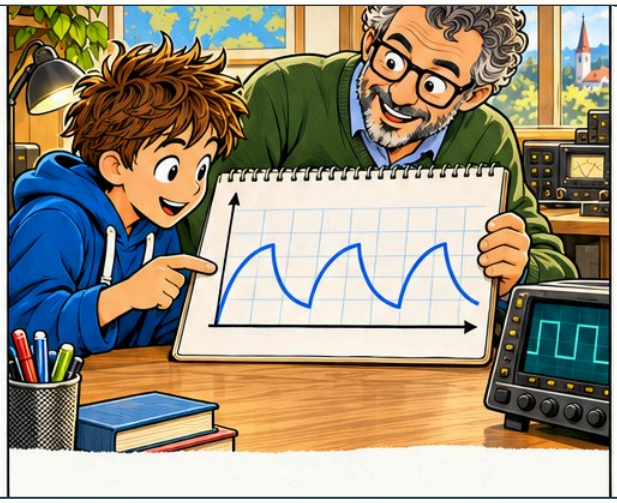
Napätie nestúpa priamočiaro: krivka nabíjania sa ohýba smerom k napájaciemu napätiu.



"A ako sa vyprázdňuje?" Henri zobrazuje dráhu výboja riadenú kolíkom 7.



Lucas spája túto krivku s dvomi prahovými hodnotami. 555 nebude čakať, kým bude kondenzátor úplne zaplnený.



Predpovedá vzostup, pád, potom ďalší vzostup. Ich rytmus sa začína formovať.

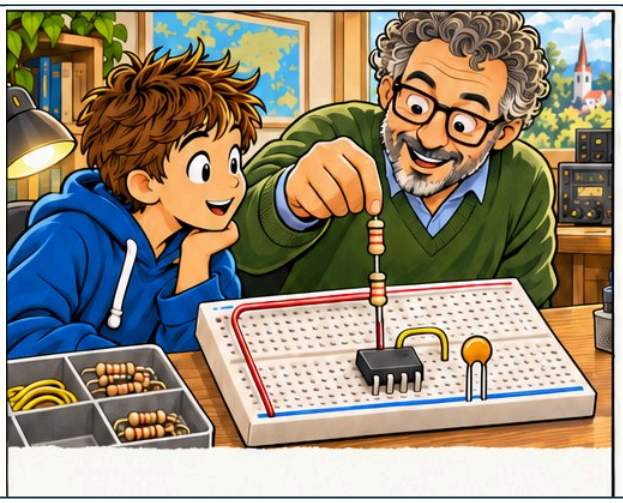
Opakujúci sa obvod



Spájajú kolíky 2 a 6 dohromady. Tento spoločný uzol sa pripája k jednej svorke C = 10 nF.



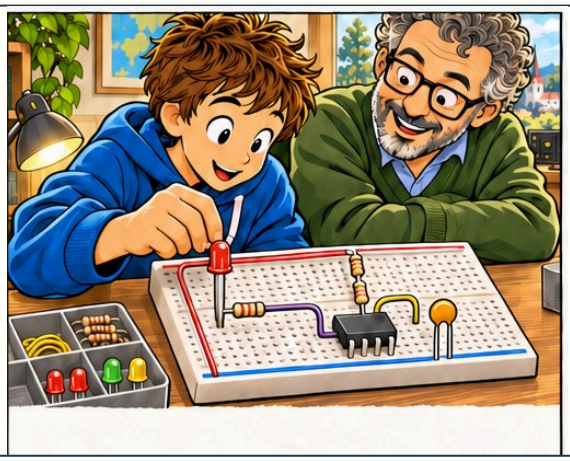
Druhá svorka C sa pripája k zemi. Dva komparátory monitorujú napätie kondenzátora.



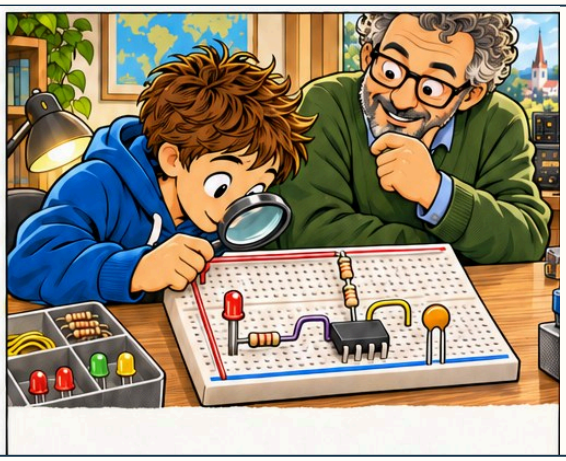
RA = 10 kΩ spája +5 V s kolíkom 7. RB = 100 kΩ spája kolík 7 s uzlom 2–6.



„Cez RA, potom RB na nabíjanie; cez RB na vybíjanie," sumarizuje Henri a sleduje káble na pláne.



Výstup 3 zostáva vyhradený pre indikátor a merania. Nepripája sa priamo ku kondenzátoru C.

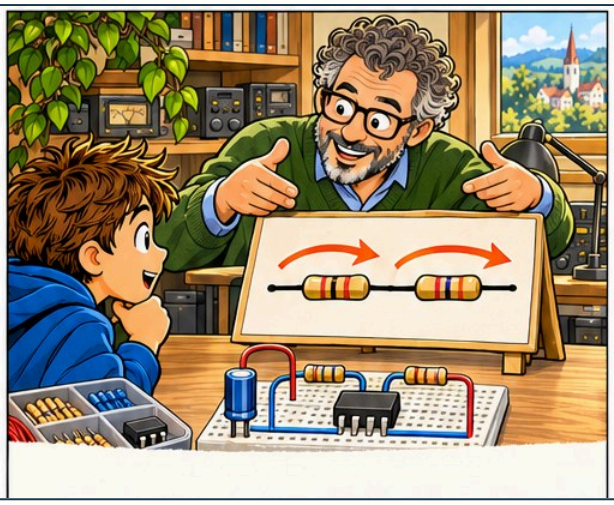


Lucas hodnotí celý reťazec. Každý drôt si nájde svoje miesto ešte pred prvým spustením.

Nabíjanie spustí cyklus



Pri štarte má C malý náboj. Napätie pod dolnou hranicou normálne vedie k vysokému výkonu.



Interný vybíjací tranzistor je potom vypnutý. C sa nabíja cez RA a RB.



Jeho napätie prekročí asi tretinu VCC a stále stúpa. Interná pamäť si zachováva svoj stav.



"Nemení svoj názor v každom okamihu!" Lucas sleduje krivku smerom k hornej hranici.



Keď napätie dosiahne približne dve tretiny VCC, prahový komparátor spôsobí prepnutie.

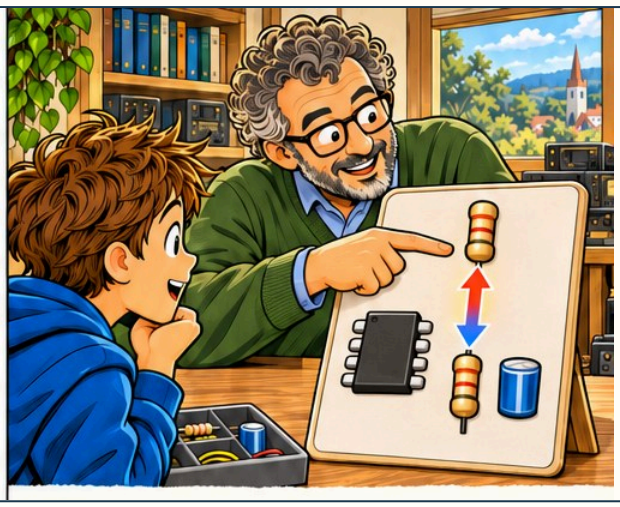


Výstup sa zníži a cesta výboja začne viesť. Začína sa druhá polovica cesty.

Vybitie uzatvára slučku



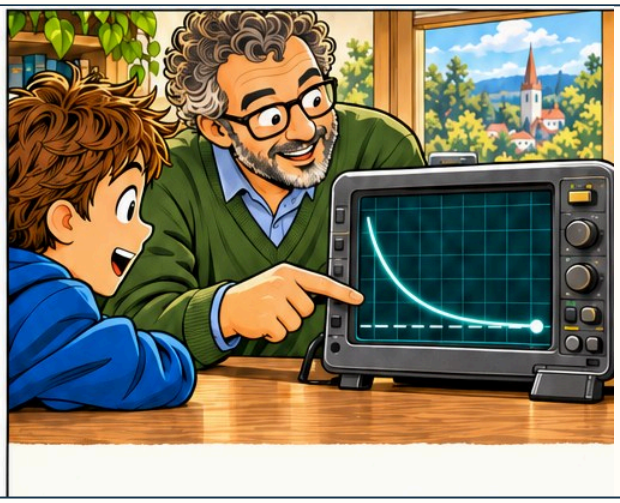
Kondenzátor sa teraz vybíja cez RB a interný tranzistor pripojený na kolík 7.



RA obmedzuje prúd medzi +5 V a kolíkom 7 pri pritiahnutí k zemi.



"Takže určite nie jednoduchý drôt namiesto RA!" Lucas zdôrazňuje toto obmedzenie.



Pri návrate pod približne tretinu VCC napätie C spustí nový štart.



Výstupné napätie je vysoké, vybíjanie sa zastaví a C sa opäť nabíja smerom k hornej hranici. Cyklus sa opakuje.

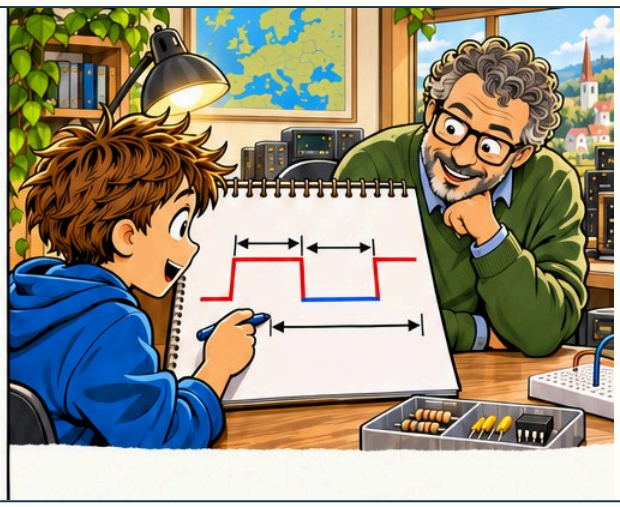


Na výstupe obdĺžnikový tvar vlny; cez C, zakrivené stúpania a klesania. Dva tvary pre rovnaký rytmus.

Tri vzorce časovania



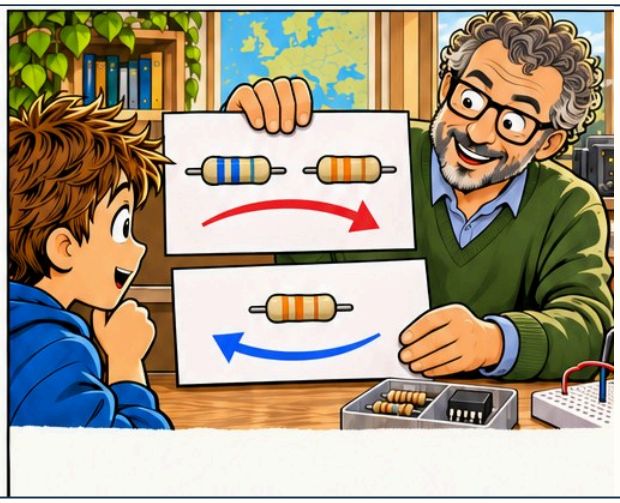
Henri zapisuje aproximácie: tH = 0,693 × (RA + RB) × C; tL = 0,693 × RB × C.



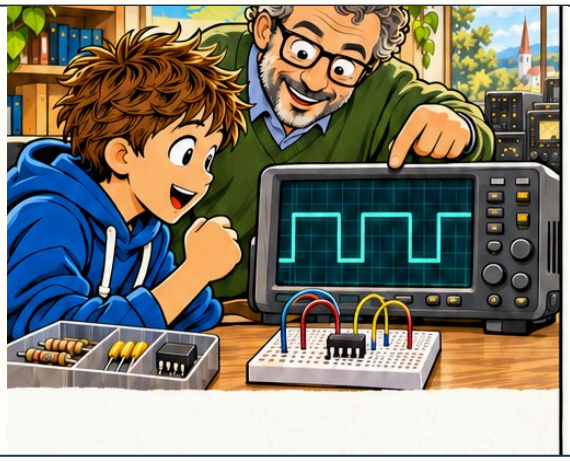
Trvanie cyklu je T = tH + tL. Frekvencia oscilácií je f = 1/T.



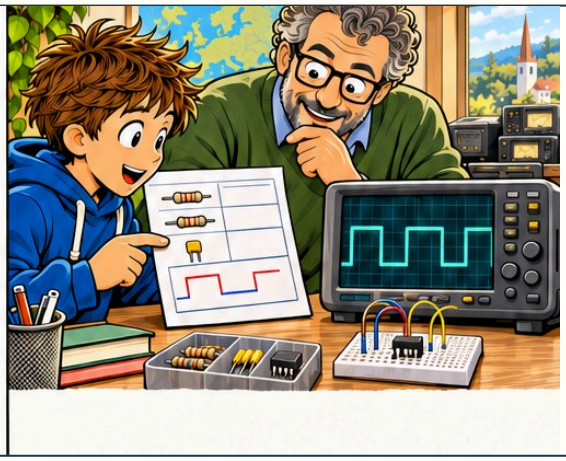
Používame tiež f ≈ 1,44 / [(RA + 2RB) × C]. Odpory sú v ohmoch, C vo faradoch.



"Prečo dvojitý RB?" Lucas nájde RB pri nabíjaní a vybíjaní.



V tomto klasickom astabilnom obvode vysoký interval presahuje nízky interval: nie je to presne 50 %.



Výpočet predpovedá nominálnu prevádzku. O meraní rozhodnú tolerancie a skutočné obvody.

Tón blízky 700 hertzom



Pre RA = 10 kΩ, RB = 100 kΩ a C = 10 nF nájdu tH ≈ 0,762 ms.



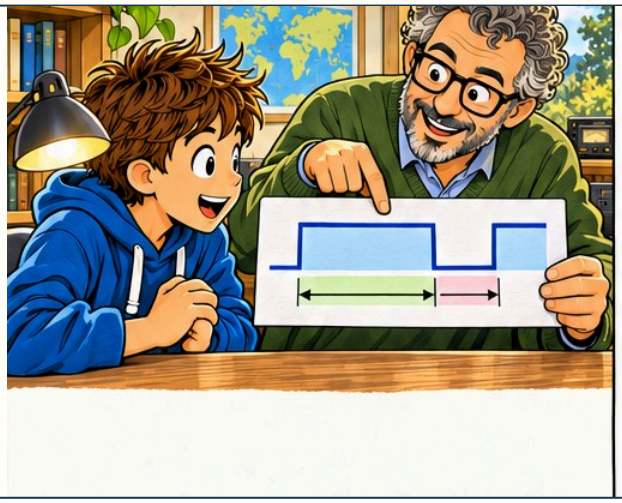
Nízky interval je približne 0,693 ms. Obdobie je teda blízko 1,46 ms.



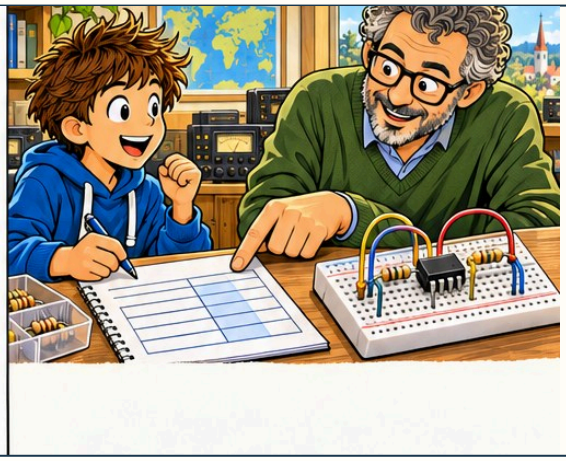
Vzorec používajúci 1,44 dáva približne 686 Hz; pomocou zaokrúhlených časových koeficientov, približne 687 Hz: podobné výsledky.



„Naším cieľom bolo približne 700 Hz, nie zaručený zvukový tón s presnosťou na najbližší hertz," spomína Henri.



Nominálny pracovný cyklus je (RA + RB)/(RA + 2RB) alebo približne 52,4 %.



Lucas udržuje jednotky a zaoblenie viditeľné. Túto predpoveď porovná so skutočným okruhom.

Prvé napájanie



Nainštalujú nástroje, znova skontrolujú plán a zapnú prúd s plánovaným obmedzením prúdu.



Zdá sa, že indikátor svieti nepretržite: v blízkosti 700 Hz oko nedokáže rozlíšiť každý impulz.



"Nebliká!" - "Vaše oko je pomalšie ako tento okruh. Poďme hľadať iné dôkazy."



Henri spája uzemnenie sondy so zemou zostavy na tomto overenom izolovanom napájacom zdroji.

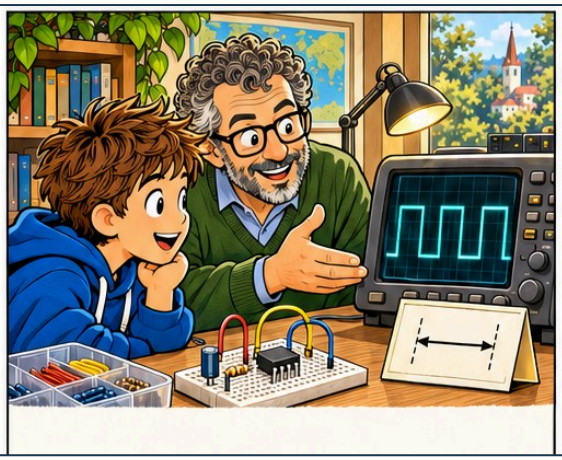


Hrot sondy ide na výstup 3. Osciloskop zobrazuje pravouhlé impulzy: oscilátor pracuje.



Lucas sa usmieva: "Svetlo mi dalo vodítko, ale nie celú odpoveď."

Pozorovanie dvoch rôznych napätí



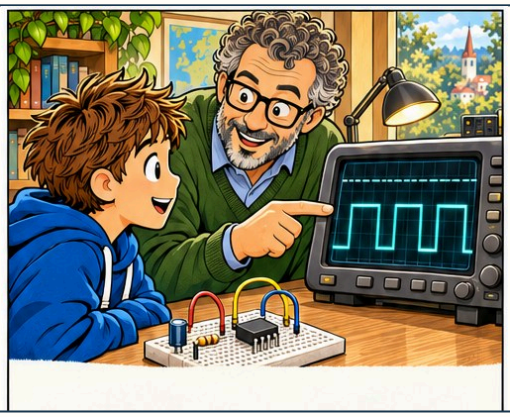
Na výstupe 3 sledujú vysoké a nízke intervaly. Nameraná frekvencia kmitov zostáva blízka výpočtu.



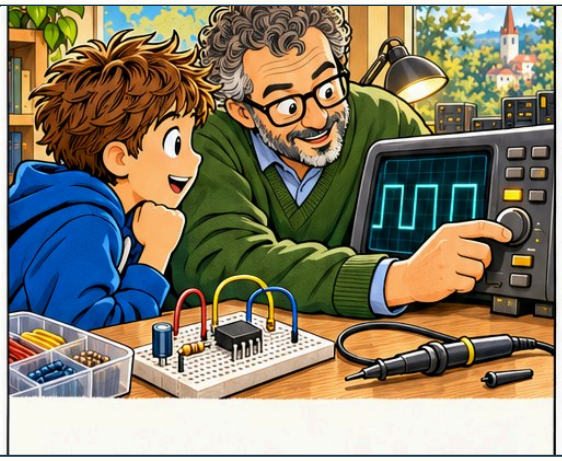
Na kondenzátore C napätie stúpa a klesá medzi dvoma očakávanými prahmi.



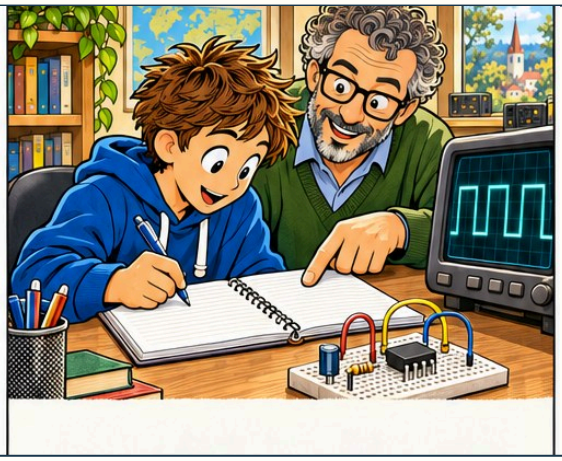
Tieto dve stopy sú odlišné. Lucas vždy kontroluje, ktorý bod jeho sonda meria.



Bipolárny výstup nemusí nevyhnutne dosiahnuť 5 V pri zaťažení. Vyhýbajú sa mätúcej logickej úrovni a dokonalému napätiu.



Sonda a prístroj môžu ovplyvniť merané napätie; Henri vyberá vhodné nastavenia merania.



Notebook obsahuje samostatnú predpoveď a pozorovanie. Žiadna pozorovaná hodnota nie je vopred vymyslená.

Prečo sa meranie líši od výpočtu



"Očakával som presne vypočítanú frekvenciu oscilácií!" Henri poukazuje na tolerancie odporu a kondenzátora.



O niečo väčšie C spomaľuje kmitanie. Chyby komponentov je možné kombinovať.



Prahové hodnoty, únik a teplota pridávajú svoje účinky. Vzorce zostávajú užitočnými aproximáciami.



Pri vypnutom napájaní zmenia jeden parameter po druhom a potom sa znova zapnú, aby merali.



Lucas porovnáva dva identifikované kondenzátory. Opisuje pozorovaný trend bez nároku na fiktívnu presnosť.



„Pochopiť medzeru je lepšie ako opravovať náhodné číslo," uzatvára a zatvára notebook.

Gombík na výber tónu



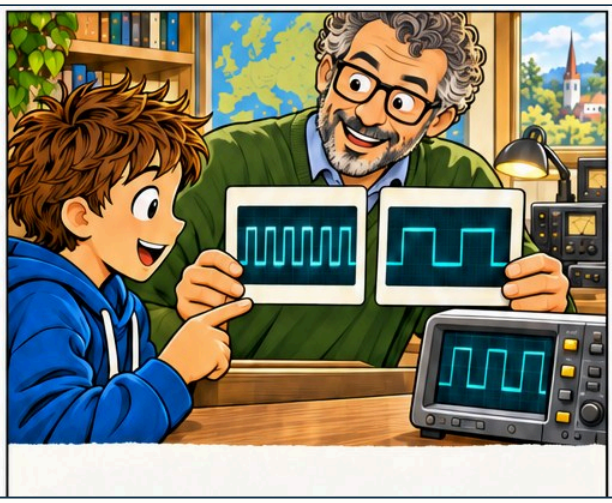
Na úpravu tónu nahradia RB za 47 kΩ v sérii s potenciometrom 100 kΩ.



Posuvník potenciometra sa pripája k použitej koncovej svorke: potenciometer je zapojený ako variabilný odpor.



Pevný odpor 47 kΩ udržuje minimálny odpor. RA zostáva na 10 kΩ.



Pri C = 10 nF sa menovitá frekvencia oscilácií pohybuje približne od 474 Hz do 1 385 Hz.



"Užitočné nastavenie, nie magické tlačidlo." Prerušili prúd, aby vymenili rozvody.



Po opätovnom zapnutí zvolí Lucas pohodlný tón. Na prednom paneli označí počiatočné nastavenie.

Potom zrazu už žiadny rytmus



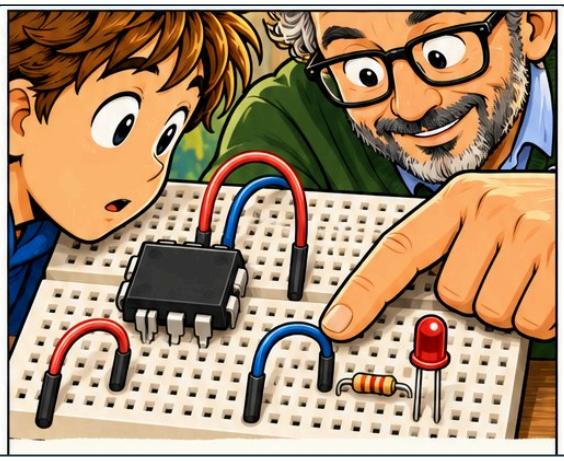
Keď Lucas pohne nespájkovanou doskou, krivka zmizne z osciloskopu. Indikátor zostane vypnutý.



"Je 555 mŕtvy?" Henri navrhuje začať tým, čo môžu pozorovať.



Vypnú napájanie a porovnajú skutočnú kabeláž so svojím plánom bez náhodnej výmeny dielov.



Prepojovací kábel skĺzol o jeden rad príliš ďaleko. Pin 4 už nie je pripojený k zamýšľanej vysokej úrovni.



Lucas vidí prepojenie medzi RESET a výstupom: nedefinovaný vstup môže zastaviť činnosť obvodu.



Opravia spojenie a potom sa pripravia na ďalší test. Porucha má konečne overiteľné vysvetlenie.

Riešenie problémov v správnom poradí



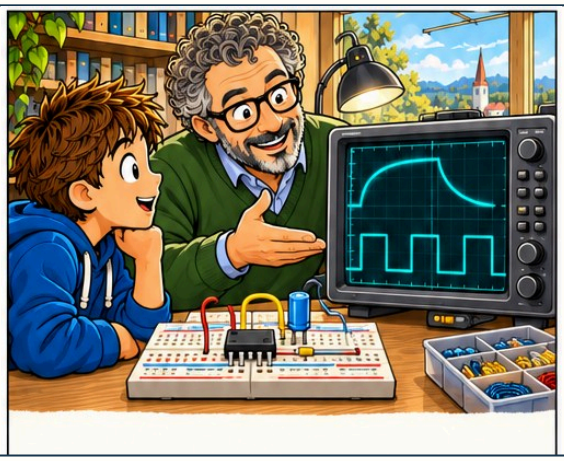
Henri navrhuje rutinu: napájanie, uzemnenie, orientácia obalu, RESET, komponenty časovania a výstup.



Lucas najprv skontroluje napätie medzi 8 a 1. Meranie inde by mohlo maskovať slabé spojenie.



Kontrolujú delené koľajnice, uvoľnené drôty a polohu každého kolíka.



Keď spozorujú napätie na C, môžu lepšie povedať, či je chyba v oscilátore alebo v neskoršom štádiu.



Pripojenia sú opravené po vypnutí. Merania sa pripravujú pred obnovením napájania.



Lucas nakreslí diagnostickú cestu: každá otázka musí znížiť počet možných príčin.

Chyba sa stáva lekciou



Po korekcii má pin 4 svoju definovanú úroveň. Obvod opäť vytvára pravouhlé impulzy.



„Mali sme hypotézu, kontrolu a opravu," sumarizuje Lucas. Henri mu to nechá vysvetliť.



Pri vypnutom napájaní jemne potiahnu za prepojovacie káble, aby identifikovali uvoľnené spojenia.



Lucas ukladá príliš dlhé vodiče a uvoľňuje prístup k meracím bodom.



Zápisník zaznamenáva poruchu a jej príčinu. Návštevník sa bude môcť z tohto incidentu poučiť bez toho, aby ho opakoval.



Rytmus je späť. Teraz to musia urobiť počuteľným bez toho, aby požiadali NE555 o priame ovládanie reproduktora.

Reproduktor nie je LED



Lucas posúva reproduktor smerom k výstupu 3. Henri ho jemne zastaví: "Skontrolujeme náklad, ktorý predstavuje."



Malý reproduktor s nízkou impedanciou potrebuje prúd, ktorý by tento obvod nemal dodávať priamo.



NE555 tu udáva rytmus; zvukovú energiu dodáva modul audio zosilňovača kompatibilný so 5 V.



Vyberú si modul, ktorého vstup akceptuje tento signál po spojení a nastavení úrovne podľa jeho pokynov.



Reproduktor sa pripojí ku konektorom poskytnutým modulom. Niektoré výstupy nesmú byť uzemnené.

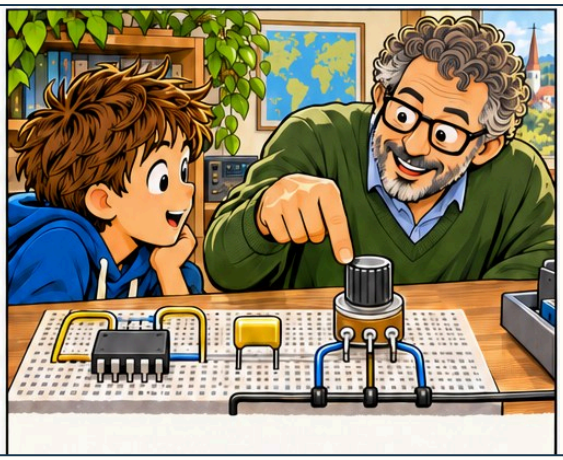


Lucas prerába tri bloky: oscilátor, nastavenie úrovne, zosilňovač. Každý prvok má svoju úlohu.

Cesta zvuku



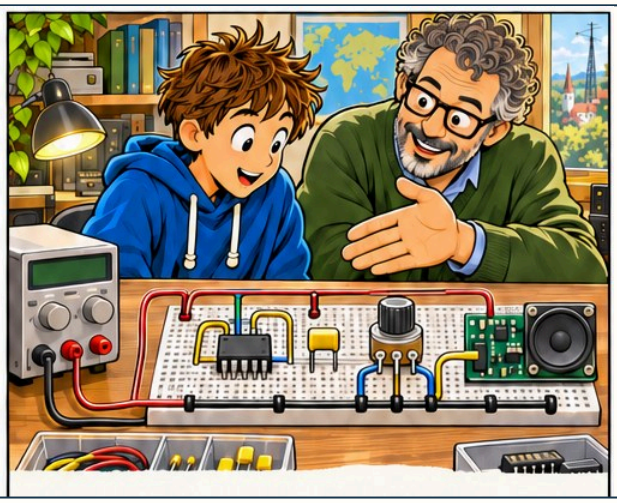
Pri vypnutom napájaní sa výstup 3 pripája k nepolarizovanému väzbovému kondenzátoru 100 nF.



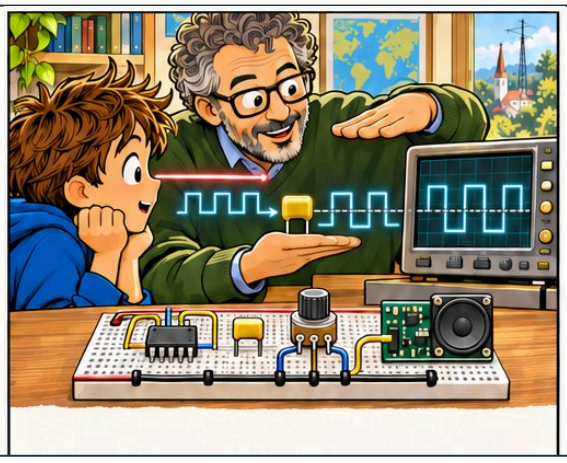
Druhá svorka sa pripája k hornej časti potenciometra 47 kΩ; jeho spodok sa pripája na spoločnú zem.



Posuvník potenciometra sa pripája k vysokoimpedančnému vstupu zvoleného audio modulu. Jeho pokyny potvrdzujú toto spojenie.



Modul a NE555 zdieľajú spoločnú zem; modul je napájaný podľa svojej dokumentácie.



Spojovací kondenzátor blokuje výstupný jednosmerný prúd a zároveň umožňuje prechod zvukových variácií.



Pred prvým pokusom znížia hlasitosť na minimum. Lucas zatiaľ nepripojil žiadne slúchadlá.

Konečne prvý zvuk



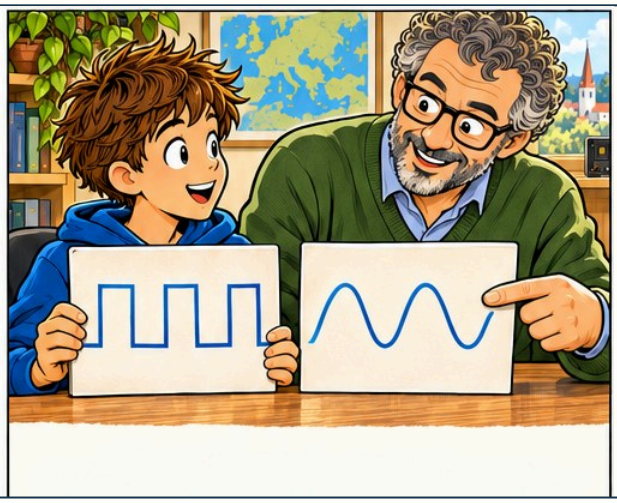
Po opätovnom zapnutí napájania Lucas pomaly zvyšuje hlasitosť. Čistý zvukový tón vyplní malý kútik dielne.



"Spieva!" Henri ho požiada, aby porovnal zvuk, ktorý počuje, s priebehom na osciloskope.



Najprv upravia frekvenciu oscilácií a potom úroveň zvuku. Dve tlačidlá, dva rôzne efekty.



Obdĺžnikový tvar vlny obsahuje harmonické: nemá farbu čistej sínusovej vlny.



Objem zostáva pohodlný pre stôl. Nepripájajú slúchadlá priamo do výstupu 555.



Lucas na chvíľu zavrie oči: malá krivka jeho notebooku sa stala zážitkom, ktorý počuje.

Kľúč musí ovládať zvuk



Zvuk je nepretržitý. „Tlačidlo to musí aktivovať, keď je stlačené," navrhuje Lucas, keď vypína napájanie.



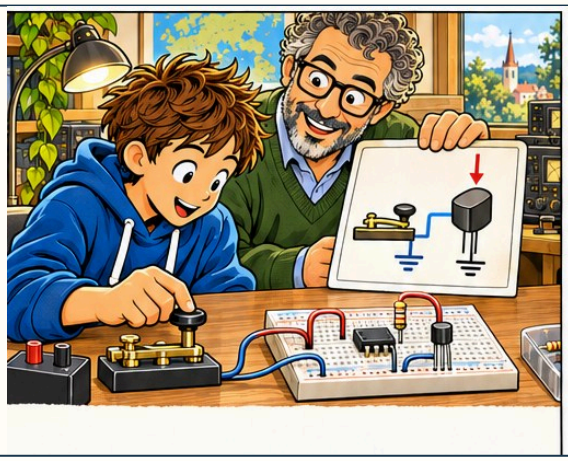
Odstránia priame spojenie zo RESET na +5 V. Rezistor 4,7 kΩ teraz spája RESET, kolík 4, k +5 V.



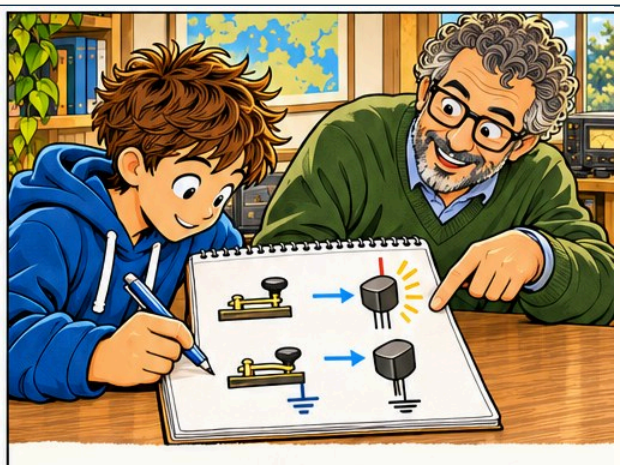
NPN 2N3904 má kolektor pripojený k RESET a jeho vysielač k zemi; skontrolujú jeho skutočný pinout.



Rezistor 10 kΩ spája základňu so +5 V. V pokoji preteká prúd cez NPN, ktorý drží RESET na nízkej úrovni: ticho.



Kláves spája základňu so zemou: jeho stlačením sa NPN vypne; RESET ide vysoko a tón sa spustí.

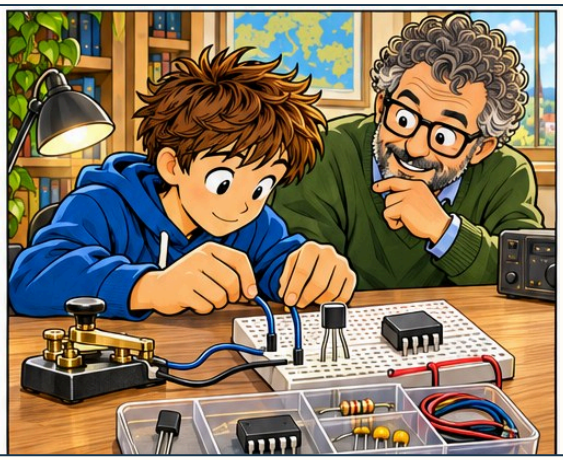


"Tranzistor invertuje kľúčový príkaz!" Pred testovaním sledujú oba stavy na diagrame.

Jedno stlačenie, jeden zvukový tón



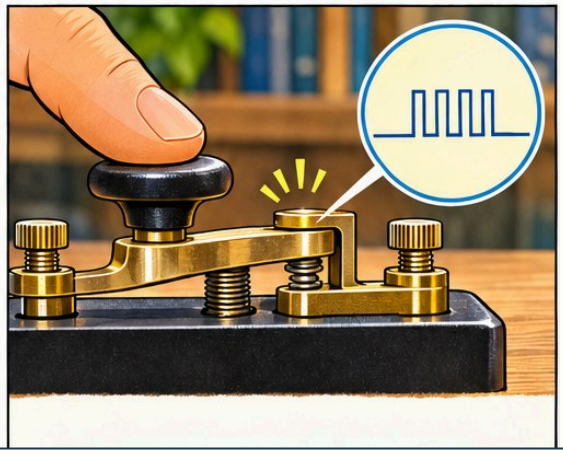
Kľúč zostáva izolovaný od akejkoľvek rozhlasovej stanice. Jeho dve svorky slúžia len na naše nízkonapäťové ovládanie.



Jeden vodič smeruje k základni NPN, druhý k zemi. Lucas kontroluje svorky a pull-up rezistor.



Zapínajú sa: ticho v pokoji. Lucas stlačí Morseovu klávesu: spustí sa tón. Pustí kľúč: zastaví sa.



"Nasleduje môj pohyb!" Mechanické kontakty sa však môžu odraziť a spôsobiť malé kliknutia.



Henri udržuje káble krátke. Kábel kľúča by sa nemal stať veľkou slučkou, ktorá zachytáva rušenie.

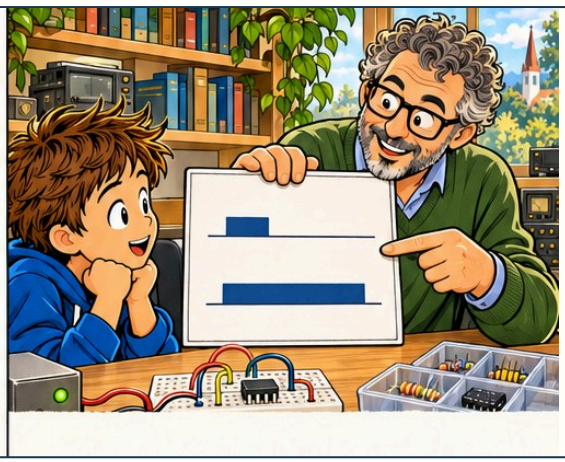


Lucas pomaly opakuje tri stlačenia. Prvýkrát obvod reaguje na jeho prst.

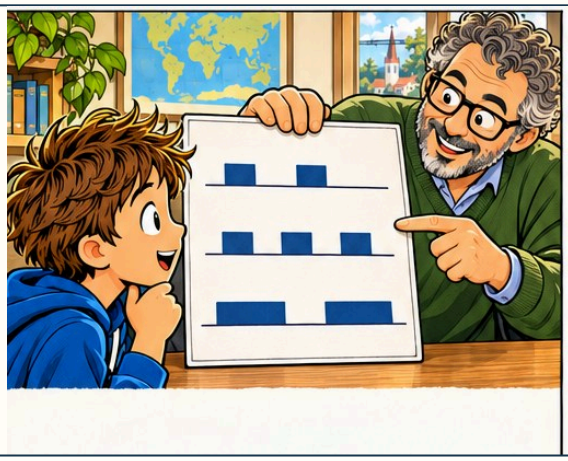
Morzeovka je tiež ticho



Lucas klepe príliš rýchlo a všetko zamieša. Henri navrhuje spomaliť a počúvať priestory.



Bodka trvá jednu jednotku; pomlčka trvá tri. Ponechajte jednu jednotku medzi prvkami rovnakého znaku.



Medzi dvoma znakmi má medzera hodnotu troch jednotiek; medzi dvoma slovami, sedem jednotiek v referenčnom rytme.



"Takže ticho je súčasťou posolstva!" Lucas nakreslí pás so zvukmi a pauzami.



Henri volí stabilné tempo namiesto rýchlostnej súťaže. Trenažér nemôže sám korigovať pohyby operátora.



Používajú krátky vzor. Tentoraz Lucas počuje, kde jeden znak končí skôr, ako začína ďalší.

Spoločné učenie



Henri hrá malý vzor; Lucas sa ho pokúša reprodukovať. Potom si vymenia úlohy.



Váhavá odpoveď vyvoláva úsmev, nie súd. Hľadajú pasáž, ktorá bola zle pochopená.



Lucas zisťuje, že zmena tónu môže spríjemniť počúvanie bez zmeny Morseovho časovania.



Hlasitosť nenahrádza pozornosť ani čitateľný rytmus. Držia ho dostatočne nízko na to, aby hovorili pokojne.



Zápisník obsahuje krátku reláciu a prestávky. Deň otvorených dverí by mal návštevníkov povzbudiť k vyskúšaniu.

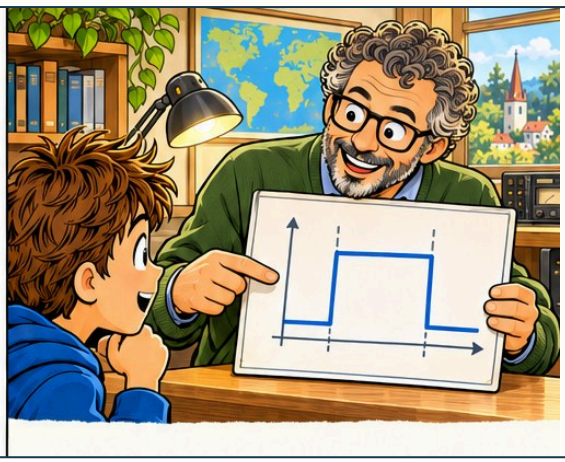


„Najprv vám ukážem, ako počúvať," rozhodne sa Lucas. Henri pozná lekciu z ich prvého dobrodružstva.

Malé kliknutie medzi poznámkami



Keď zvuk začne, počujú malé cvaknutie. „Prepínanie je náhle," vysvetľuje Henri.



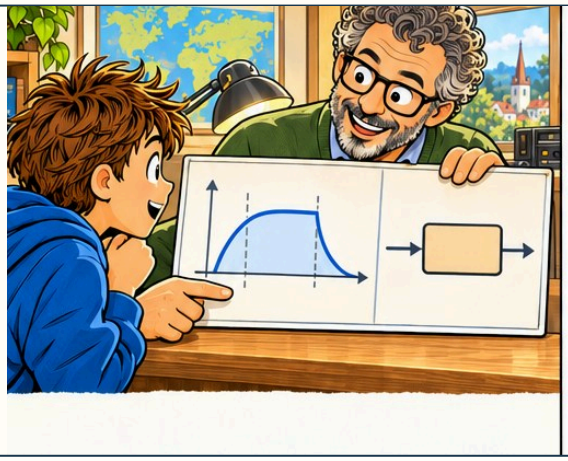
Signál sa spustí a zastaví bez zmäkčenej obálky. Zvuková väzba neodstráni všetky tieto prechodné javy.



Lucas tiež kontroluje, či sa modul nezasýti: príliš vysoká úroveň môže znepríjemniť zvuk.



Znižujú úroveň a pozorujú signál. Zmena viacerých vecí naraz by zamotala diagnózu.



Postupná kontrola obálky by si vyžadovala ďalšiu fázu, ktorá by sa študovala a testovala samostatne.

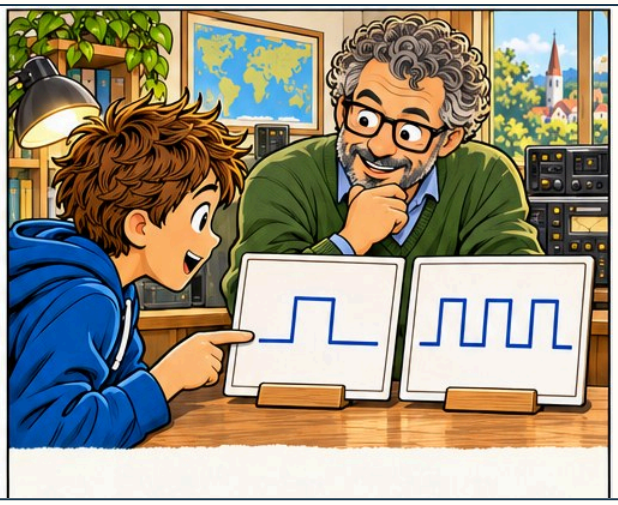


U tohto trenažéra používajú komfortné nastavenie a tento limit poctivo hlásia v návode.

Druhý experiment: jediný impulz



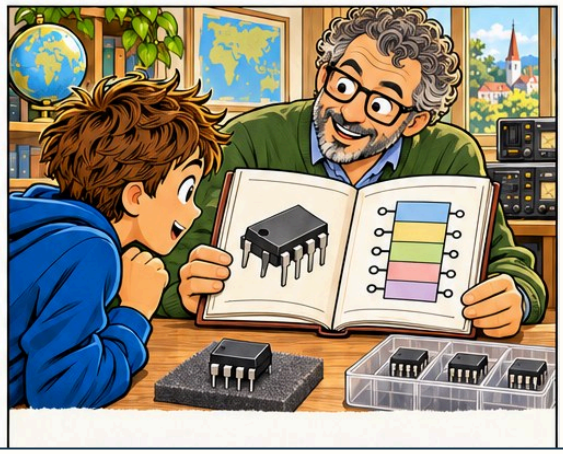
Lucas si predstavuje svetlo, ktoré po stlačení zostane krátko svietiť. Henri navrhuje monostabilný obvod.



Na rozdiel od astabilného čaká na spúšť, vytvorí pulz a potom sa vráti do pokoja.



Pripravia ďalšiu bezspájkovú dosku, aby udržali Morseov trenažér neporušený. Tieto dva experimenty zostanú oddelené.



Rovnaký NE555 môže vykonávať túto funkciu s iným zapojením. Lucas vyberie svoj pinout diagram.



Menovitá doba trvania závisí hlavne od odporu R a kondenzátora C: T ≈ 1,1 × R × C.



"Nepretržitý zvuk alebo jeden interval: rovnaký balík, iný príbeh!" Pripraví nový test.

Monostabilná schéma zapojenia



Na tejto druhej nepájkovej doske: 1 na zem, 8 a 4 na +5 V; platia rovnaké opatrenia na oddelenie.



Piny 6 a 7 sú pripojené k rovnakému uzlu. R = 100 kΩ spája tento uzol so +5 V.



C = 10 µF spája tento uzol so zemou s kladnou svorkou na strane 6–7 pre vybraný komponent.



Pin 2 má pull-up rezistor 10 kΩ až +5 V a testovacie tlačidlo na zem.



Pin 5 prijíma 10 nF k zemi; výstup 3 riadi LED cez svoj rezistor 2,2 kΩ.



Lucas odlišuje tento diagram od astabilného obvodu. "Tu, 2 nie je pripojený k 6!" Ich kontrola zabráni zámene.

Krátkym stlačením spustíte pulz



V pokoji je kolík 2 vysoký a výstup je nízky. Časovací kondenzátor je vybitý.



Krátke stlačenie stiahne TRIG pod jednu tretinu VCC; výstup sa zvýši a C sa začne nabíjať.



Lucas okamžite uvoľní tlačidlo. Spúšťač musí skončiť pred zamýšľaným časovým intervalom.



Ak TRIG zostane nízka, koniec impulzu už nebude zodpovedať správne pripravenej krátkej spúšti.



„Držanie tlačidla preto nie je dobrý spôsob na meranie T!“ Krátkym stlačením začnú znova.



Automatický vstup by potreboval čistý spúšťací signál kompatibilný s limitmi údajového listu.

Asi sekundu, nie hodiny



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



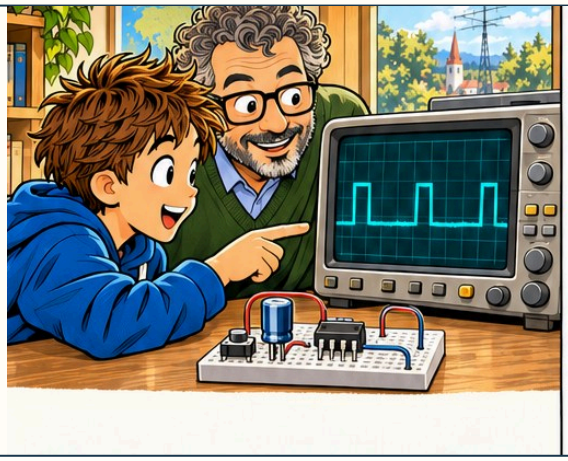
Lucas raz spustí časovač a potom pozoruje, ako sa kontrolka rozsvieti a zhasne.



Kondenzátor 10 µF má toleranciu a únik. Skutočný interval sa môže líšiť od nominálneho výpočtu.



Pre dlhé a presné trvanie nie je tento jednoduchý RC nevyhnutne tou najlepšou voľbou.



Meria niekoľko impulzov pomocou vhodného prístroja bez toho, aby svoje testy premenili na záruku presnosti.



Lucas píše: "Načasovanie akcie, áno; výmena referenčných hodín, nie."

Ovládanie demonštračného relé



Henri navrhuje malé relé s cievkou 5 V, ktorá spotrebuje približne 20 mA, aby sa demonštrovalo nepriame riadenie.



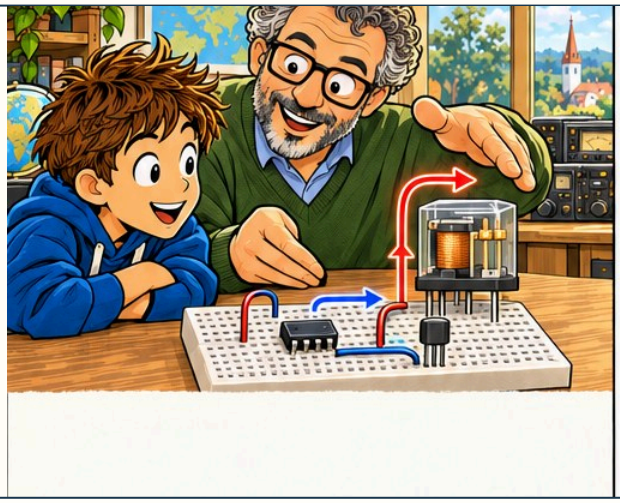
Výstup 3 sa pripája k základni vhodného tranzistora NPN cez 1 kΩ; rezistor 10 kΩ spája základňu s emitorom.



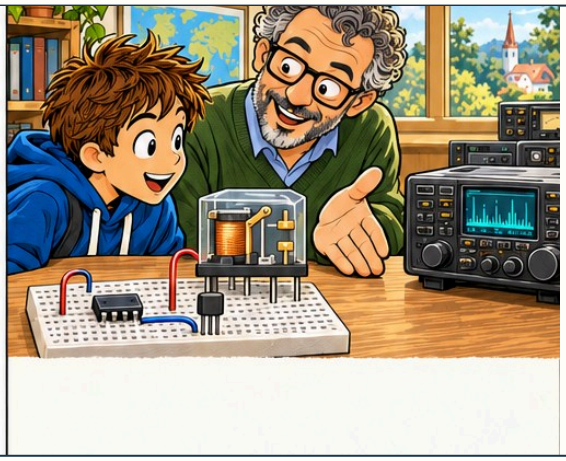
Tranzistorový emitor ide na zem; kolektor na jednu svorku cievky; druhú svorku cievky na +5 V.



Kontrolujú skutočný pinout tranzistora a prípustný prúd v jeho údajovom liste: Zariadenia NPN nie sú všetky identické.



Výstup 555 poháňa bázu, zatiaľ čo tranzistor spína prúd cievky.



Kontakty relé zostanú počas tohto testu nezaťažené. Nie je pripojený žiadny rádiový vstup PTT.

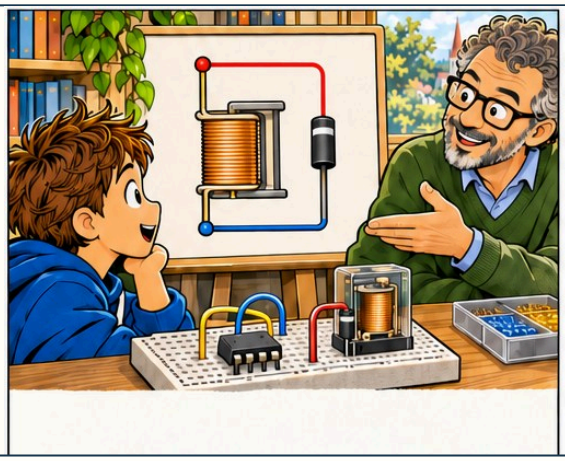
Dióda, ktorá chráni cievku



„Vedľa cievky chýba komponent," hovorí Henri. Prerušenie indukčného prúdu môže spôsobiť napäťové špičky.



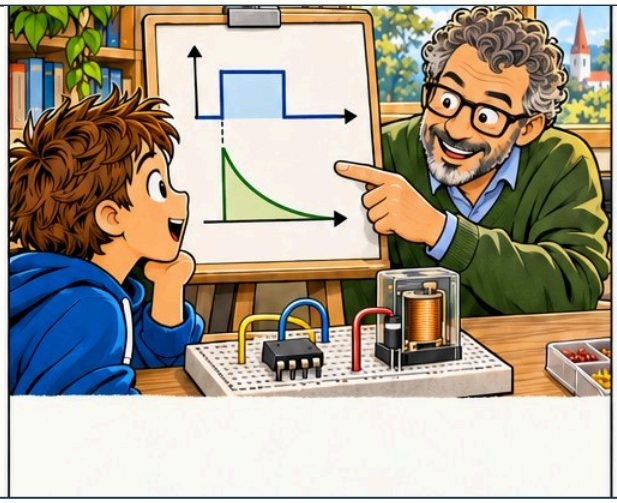
Na cievke je paralelne umiestnená dióda 1N4007: katóda k +5 V, anóda ku kolektoru.



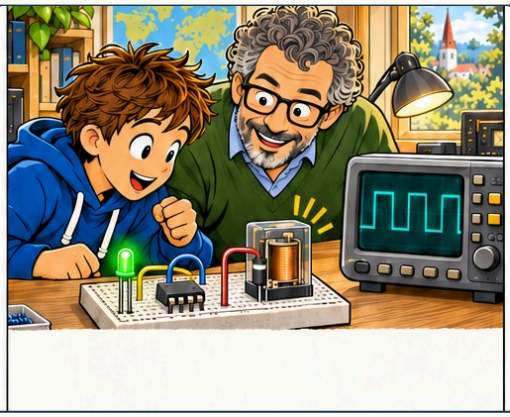
Počas normálnej prevádzky je dióda spätne predpätá. Pri vypnutí poskytuje cestu pre prúd cievky.



Lucas označuje katódový krúžok pred zapojením. Obrátená dióda by bola chybou, nie ochranou.



Táto voľná dráha tiež spomaľuje uvoľnenie relé. Výber ochrany závisí od aplikácie.

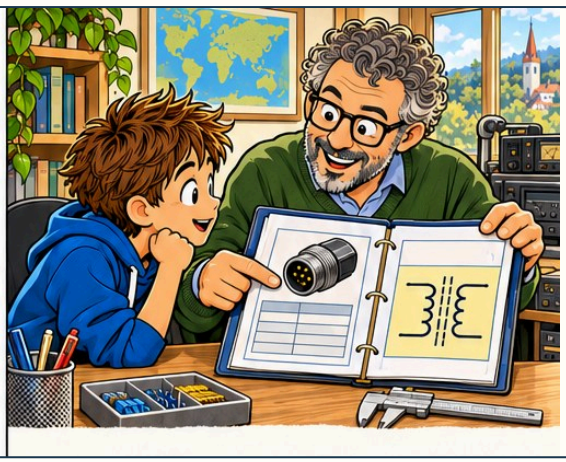


Kontrolujú zapojenie pri vypnutom napájaní a potom spúšťajú monostabilný. Malé mechanické cvaknutie nasleduje po indikátore.

Rádio nápad s jeho rozhraním



Lucas myslí na načasovanie príslušenstva stanice. Henri ho najskôr požiada, aby si prečítal jeho pokyny.



Ovládač PTT alebo príslušenstvo môže vyžadovať veľmi špecifickú izoláciu, polaritu a úrovne.



Demonštračné relé sa nestáva univerzálnym rozhraním. Kontakty majú tiež svoje limity.



Kreslia iba funkciu časovania, oddelenú od stanice blokom rozhrania na štúdium.



„Nebudeme to skúšať na stanici, aby sme videli, čo sa stane," rozhodne sa Lucas a odloží kábel.



Ich test demonštruje princíp ovládania. Skutočná aplikácia bude potrebovať svoj vlastný dizajn a overenie.

Kontakty, ktoré poskakujú



Lucas po stlačení klávesu pozoruje nepravidelné detaily. Mechanický kontakt môže niekoľkokrát odskočiť.



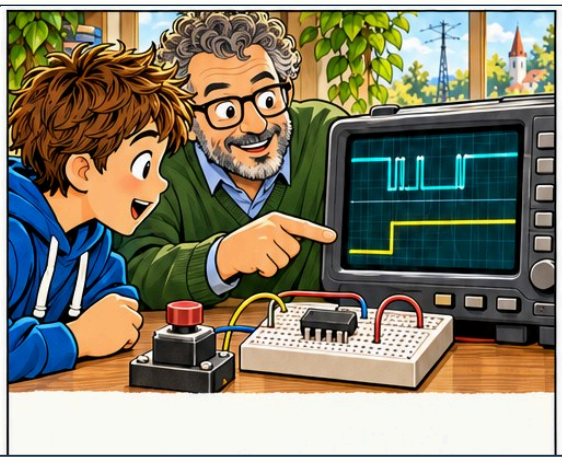
„Jeden pohyb nie vždy vytvára jednu elektrickú hranu," vysvetľuje Henri pomocou tvaru vlny.



555 môže pomôcť s odskokom, ale ľubovoľná monostabilná neodstráni každý problémový prípad.



Zvolený interval, priebeh spúšťania a stav spustenia musia vyhovovať aplikácii.

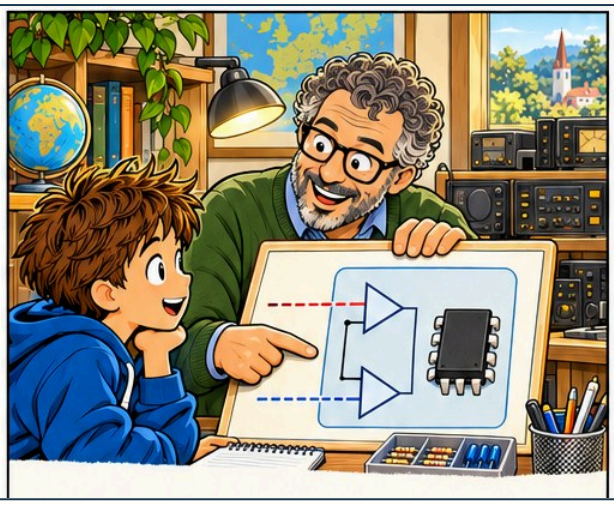


Spoločne pozorujú vstup a výstup predtým, ako posúdia výsledok. Samotný indikátor môže skryť detaily.



Lucas pridáva do svojho súboru otázku: "Aký signál skutočne vstupuje do môjho obvodu?"

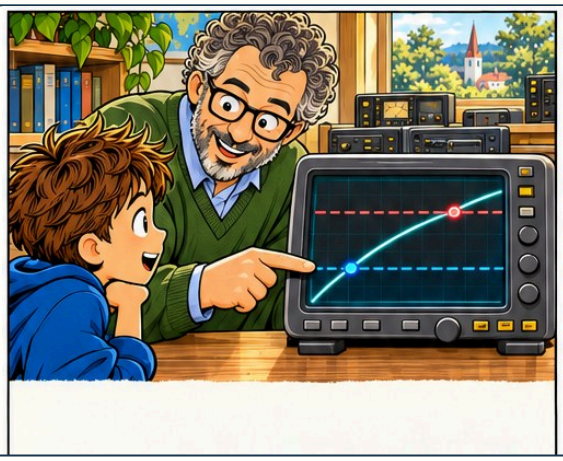
Dva prahy, aby sa predišlo zaváhaniu



Henri spája kolíky 2 a 6 na zavedenie Schmittovej spúšte pomocou 555.



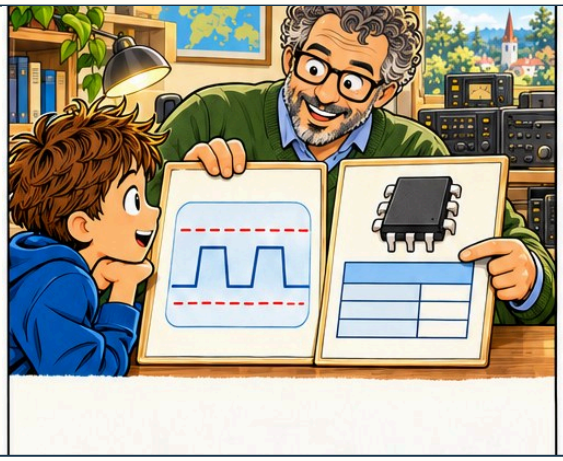
Tentoraz tento uzol riadi vhodné testovacie napätie; pin 7 sa v demonštrácii nepoužíva.



Vstup pod približne VCC/3 ovláda vysoký výstup. Tým, že stúpa nad 2VCC/3, znižuje ho.



Medzi dvoma prahmi sa zachová predchádzajúci stav. Táto hysterézia zabraňuje určitému váhavému spínaniu.



Použité napätie musí zostať v rámci povolených limitov. Ľubovoľný signál nemožno pripojiť priamo.



Lucas nasleduje pomalý vzostup a potom klesanie v kresbe. Chápe, prečo na oboch prahoch záleží.

Spomienka na stav: bistabilný



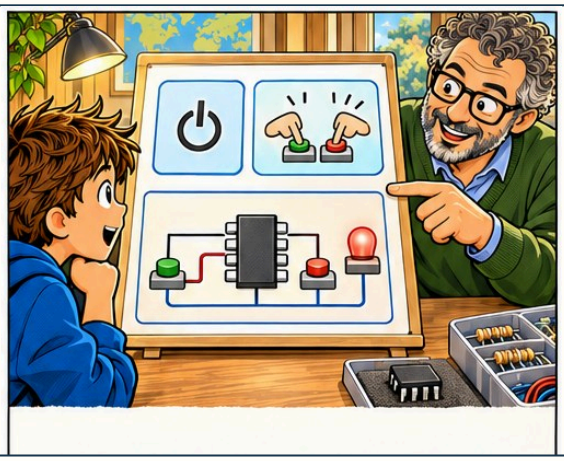
Lucas navrhuje výstražné svetlo, ktoré zostane svietiť až do príkazu na zastavenie. Henri zavádza bistabilnú prevádzku.



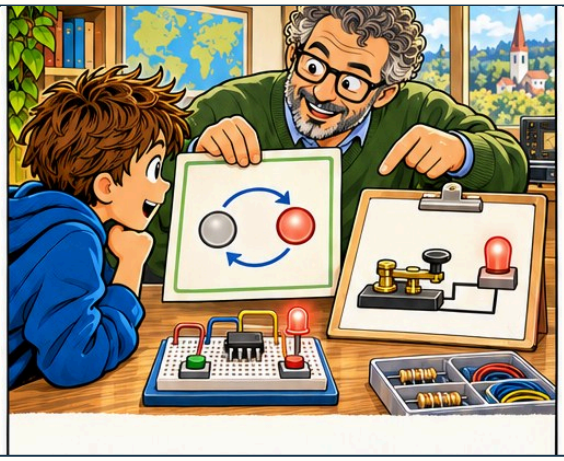
Vo vhodnom obvode TRIG riadi vysoký stav; RESET môže vynútiť nízky stav.



Vstupy musia udržiavať definované úrovne. THRES nesmie spôsobiť neúmyselné prepnutie.



Je potrebné zvážiť správanie pri spustení a simultánne príkazy: pamäťový obvod nedokáže uhádnuť zámer.



Ponechajú túto aplikáciu vo fáze blokového diagramu bez toho, aby ju pridali do svojho trénera Morse.

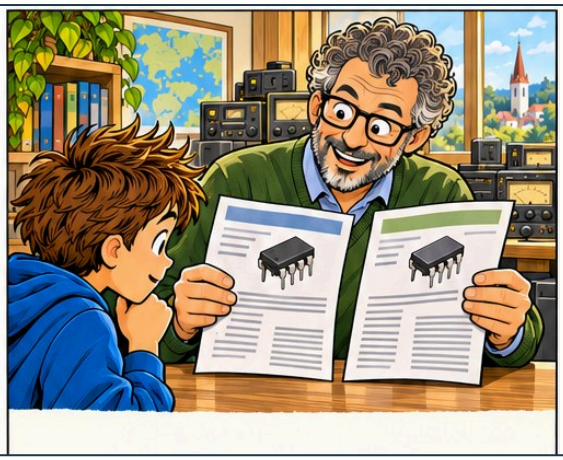


„Oscilácia, načasovanie, zapamätanie: konečne vidím rozdiel," hovorí Lucas vedľa svojich troch kariet.

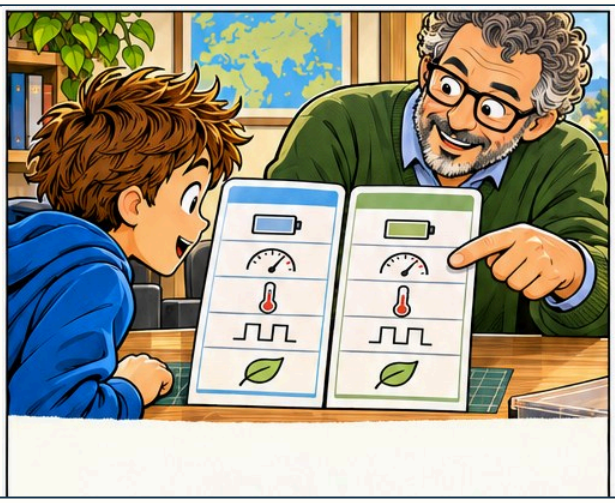
Bratranci CMOS



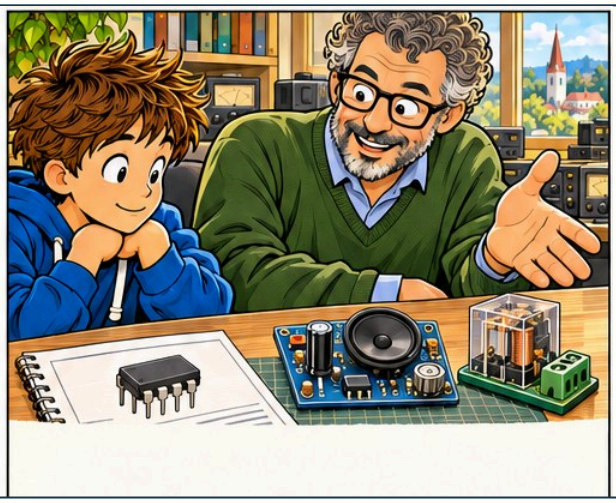
Na inom balíku Lucas číta TLC555. "Rovnaké číslo: presne ten istý komponent?"



Henri porovnáva katalógové listy: niektoré verzie CMOS odoberajú menej pokojového prúdu a akceptujú rôzne rozsahy napájania.



Výstupné prúdy, garantované prahové hodnoty a absolútne limity sa môžu líšiť.



Pin na rovnakom mieste nezaručuje rovnaké správanie s naším audio modulom alebo relé.



Odporúčania na oddelenie a vstupné charakteristiky je potrebné overiť pre vybranú referenciu.



V zariadení uchovávajú špecifikované NE555. Lucas teraz vie, ako posúdiť rozumnú náhradu.

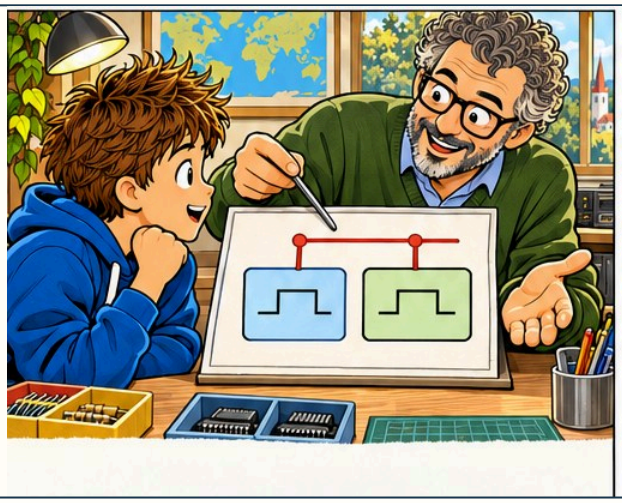
Dva časovače v jednom NE556



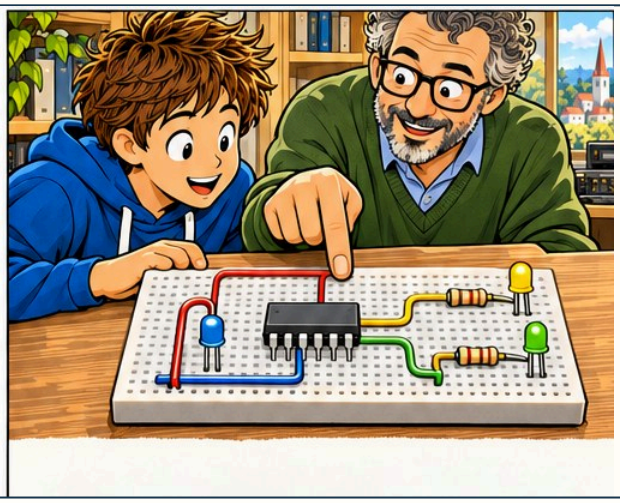
NE556 kombinuje dva časovače v jednom balení. Lucas si predstavuje samostatné funkcie tónu a časovania.



Henri zobrazuje pinout: tento štrnásťpinový balík nesmie byť zapojený ako dva NE555 z pamäte.



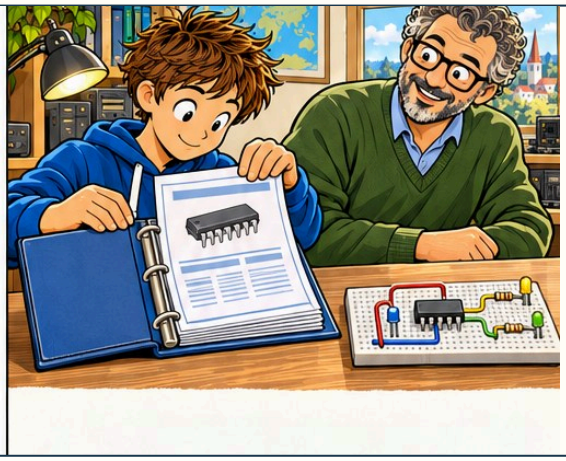
Každá sekcia má svoje vlastné vstupy a výstupy. Obe časti zdieľajú napájanie.



Starostlivé oddelenie a smerovanie pomáha zabrániť tomu, aby jedna sekcia rušila druhú.



Načrtli vzdelávaciu dvojblokovú sirénu, pričom sa zostava tohto albumu sústredila na ich aktuálny projekt.



„Viac funkcií si vyžaduje aj viac kontrol," poznamenáva Lucas pri odkladaní hárku NE556.

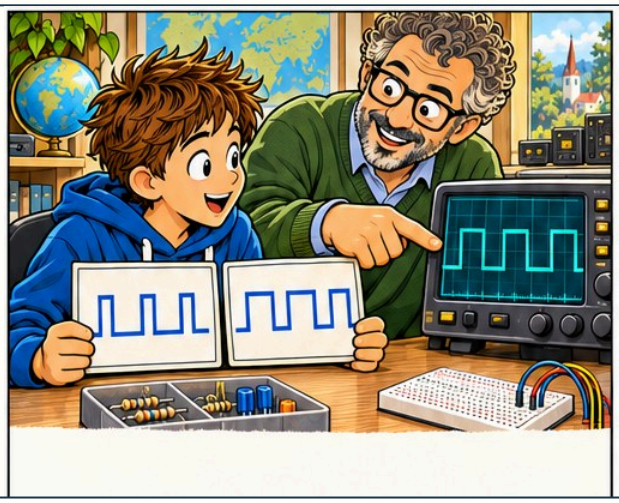
Pin 5 a myšlienka modulácie



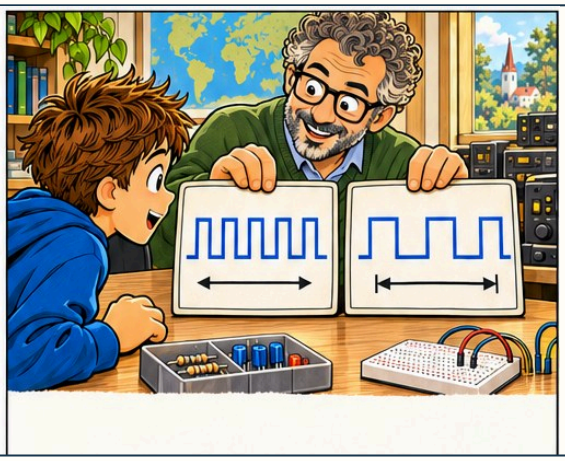
Lucas sa vráti na CONT, kolík 5. "Môžeme zmeniť správanie okruhu?"



Henri vysvetľuje, že vhodné riadiace napätie posúva interné referencie.



V závislosti od obvodu to môže modulovať šírku impulzu alebo meniť rýchlosť oscilácie.



V tomto jednoduchom astabilnom režime môže zmena referencií zmeniť aj frekvenciu oscilácií: PWM nie je automaticky nezávislý.



Vyberie sa a navrhne sa správny ovládač PWM pre jeho zaťaženie s vhodným výkonovým stupňom.



Tento princíp si ponechávajú na ďalšie štúdium. Na výstup 3 nie je pridaný žiadny motor ani veľké zaťaženie.

Pasca univerzálneho rádiového generátora



„Čo keby sa náš 555 stal vysielačom?“ Henri rozlišuje frekvenciu oscilácií zvuku a stabilný rádiový nosič.



NE555 je tu vhodný pre tónové a časové oneskorenia. Jeho RC nie je presnou referenciou RF.



Obdĺžnikový signál obsahuje harmonické; príliš dlhý drôt môže prenášať rušenie.



Laboratórny oscilátor sa nestane vhodným vysielačom len pridaním antény.



Rádiový experiment by potreboval dizajn pokrývajúci stabilitu, impedančné prispôsobenie, filtrovanie a povolené použitie.



Lucas preto necháva anténu bokom: ich zariadenie už poskytuje skutočnú službu tým, že zostáva miestnym trénerom.

Keď oscilátor ruší príjem



Pri počúvaní v klube si všimnú hluk, ktorý sa po zapnutí trenažéra mení.



"Náhoda?" Niekoľkokrát porovnávajú zapnutie a vypnutie bez zmeny nastavení prijímača.



Opakované porovnania poskytujú vodítko, ale ešte neidentifikujú každú interferenčnú cestu.



Pred opätovným porovnaním posunú zostavu ďalej, skrátia spoje a skontrolujú oddelenie.



Henri odlišuje užitočný zvuk v reproduktore od nežiaduceho rušenia unikajúceho z obvodu.



Lucas nachádza pravidlo zo zväzku 1: zdieľanie spektra znamená aj starať sa o to, čo budujeme.

Porovnajte, aby ste pochopili



Menia len jednu vec: polohu audio kábla. Potom znova porovnávajú zapnutie a vypnutie.



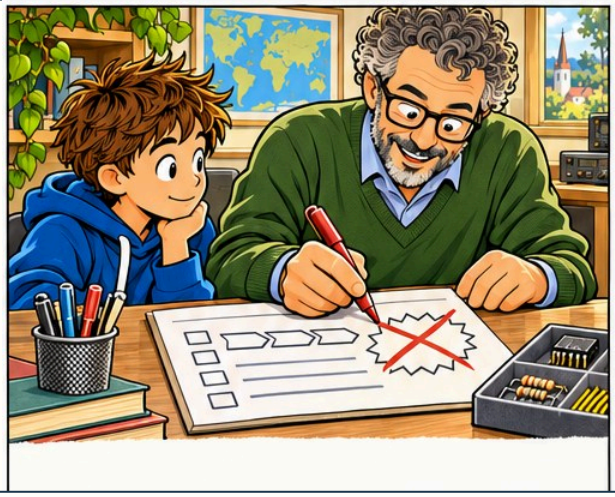
Lucas zaznamenáva vzdialenosť, kabeláž a použité napájanie. Bez týchto detailov by bol ďalší test ťažko porovnateľný.



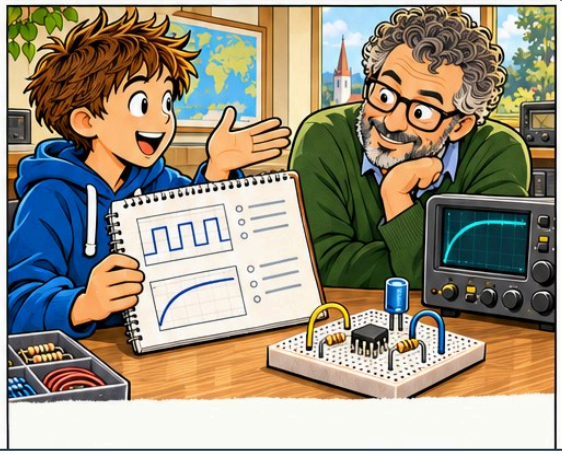
Lokálne zlepšenie nedokazuje, že celé spektrum je čisté. Ich prijímač nie je úplné laboratórium.



Kompaktná a správne oddelená koncová zostava bude vhodnejšia ako prototyp natiahnutý na dlhé drôty.



Nenárokujú si súlad alebo merania, ktoré nestanovili.



„Môžem vysvetliť, čo som skúšal a čo ešte treba overiť," hovorí Lucas. Henri schvaľuje jeho metódu.

A čo prevádzka na batériu?



Lucas sníva o tom, že si vezme trenažér do záhrady. Začínajú odhadom celkovej spotreby.



Audio modul, nastavenie hlasitosti a reproduktor sú pri odhadovaní výdrže batérie rovnako dôležité ako časovač.



Batéria musí napájať vhodný regulátor, aby sa zachovala špecifikovaná hodnota 5 V; riadia sa jej dokumentáciou.



Zdroj schopný dodať veľa prúdu vyžaduje vhodnú ochranu proti skratu.



Henri navrhuje najskôr dokončiť izolovanú verziu zdroja. Požiadavka na prenosnosť bude zdokumentovaná samostatne.

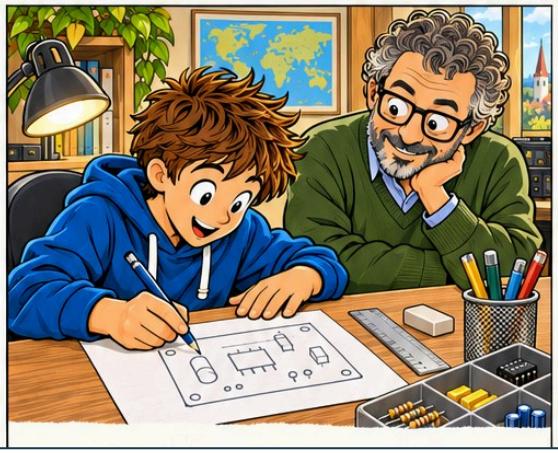


„Životnosť batérie nemožno sľúbiť len od kapacity vytlačenej na batérii," uzatvára Lucas.

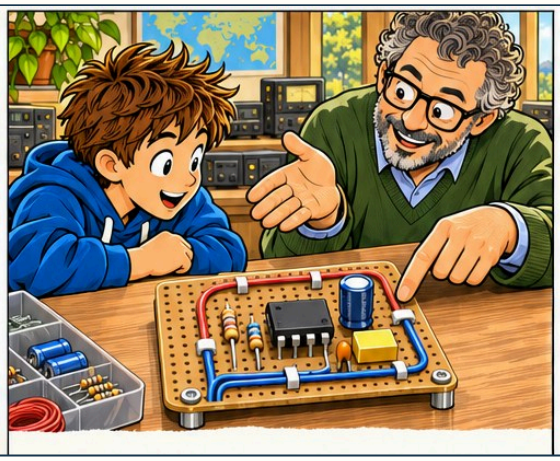
Príprava odolnej zostavy



Užitočná bola nepájková doska. Počas dňa otvorených dverí sa musia vyhnúť uvoľneniu prepojovacích káblov.



Pripravia kompaktný plán rozloženia s prístupom k ovládacím prvkom a testovacím bodom.



Decoupling zostáva blízko 555; zvukové spätné prúdy sa nesmú obchádzať cez časový obvod.



Káble kľúčov a reproduktorov majú odľahčenie ťahu. Spojenia nesmú ťahať za kábel.



Henri dohliada na výrobu pomocou vhodných nástrojov a ochrany mimo tejto čítacej dielne.

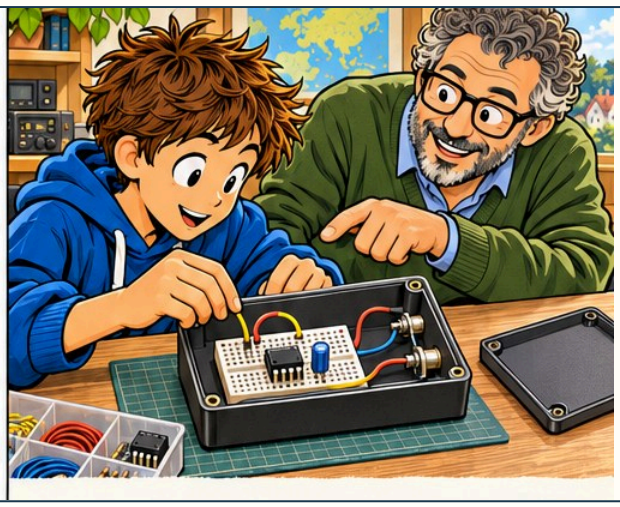


Lucas potom pred obnovením napájania skontroluje kontinuitu, polaritu a diagram.

Skriňa elektroniky, ktorá vysvetľuje jej použitie



Lucas si vyberá jednoduchý predný panel: jasne identifikované napájanie, tón, hlasitosť a zásuvka na tlačidlá.



Obvod je upevnený vo vhodnej krabici; žiadny holý drôt sa nedotýka vodivej časti.



Vedenie káblov je chránené. Kontrolujú, či otáčanie gombíka neťahá za spoje.



Predpokladaný napájací zdroj a jeho polarita budú uvedené v pokynoch a v blízkosti príslušného konektora.



Kľúč ovláda iba tento trenažér; podobne vyzerajúca zásuvka neoprávňuje pripojenie k rádiovej stanici.



Lucas skúša zariadenie bez vysvetlenia. Ovládacie prvky by mali byť pre ďalšieho návštevníka zrejmé.

Pokyny pre budúceho začiatočníka



V návode vysvetľujú cieľ: naučiť sa morseovku s lokálnym zvukom, bez vysielania.



Schéma ukazuje kolíky, hodnoty komponentov, pripojenia napájacieho zdroja a dva stavy kľúča.



Zoznam komponentov rozlišuje časovacie, väzbové a oddeľovacie kondenzátory.



Pridávajú nominálne výpočty, obmedzenia, referencie komponentov a meracie body.



Krátka strana popisuje nesprávne umiestnený prepojovací kábel a spôsob ich riešenia. K príbehu patria aj chyby.



Lucas znovu číta pokyny, ako keby bol na návšteve klubu prvýkrát. Zjednodušuje ďalšiu vetu.

Skúška šiat



Deň pred dňom otvorených dverí sedí Henri na mieste návštevníka. Lucas predstavuje svoj workshop.



"Najprv počúvajte. Potom to skúste. A nakoniec vysvetlite, čo sa zmení, keď otočíte týmto gombíkom."



Rozlišuje tón, hlasitosť a rytmus. Henri kladie zámerne jednoduchú otázku.



Lucas ukáže tri bloky v notebooku a potom nechá svojho návštevníka skúšky ovládať kľúč.



V strede vzoru chýba zvukový tón. Vymieňajú si pohľady: malé zariadenie má stále pripravené prekvapenie.



Lucas zachová pokoj a zníži hlasitosť. Práve sa vrátil k úlohe vyšetrovateľa.

Posledná záhada



Tentoraz rytmický obvod stále funguje: výstup 3 zobrazuje impulzy po stlačení klávesu.



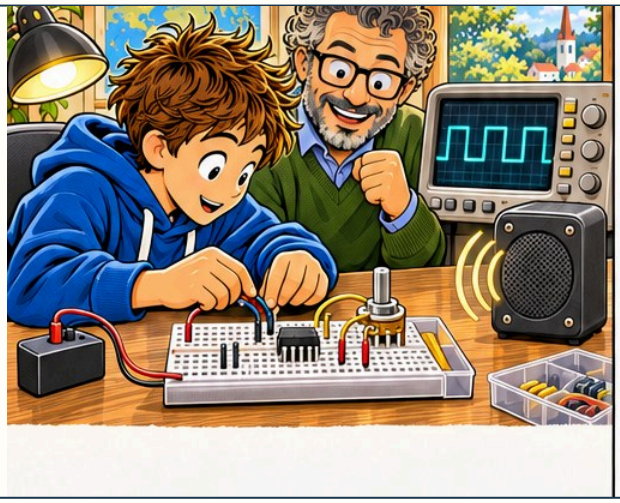
Lucas skontroluje napájanie a potom zvukový reťazec. Nenahrádza NE555 ako reflex.



Pri vypnutom napájaní nájde uvoľnený vodič v spojení s posúvačom potenciometra hlasitosti.



"Rytmus tam bol, zvuk sa už nedostal k zosilňovaču!" Viedlo ho oddelenie do blokov.



Opravia spoj a skontrolujú, či drží. Ďalší test vytvára stabilný tón.



Henri opäť sedí na svojom mieste návštevníka. Lucas pridáva do svojich príprav kontrolu konektorov.

Deň otvorených dverí



Ráno čaká malá skriňa elektroniky na prehľadnom stole. Lucas nastavuje jemnú hlasitosť a pohodlný tón.



Začína hraním vzoru. Henri sleduje, ako dáva každému čas na pochopenie.



Návštevník skúša kľúč. Váhavá sekvencia sa po pauze a ďalšom počúvaní stane stabilnejšou.



Lucas otvára svoj zápisník: „NE555 vytvára zvukový tón; je to vaše gesto, ktoré mu dáva rytmus.“



Ukazuje, že napätie kondenzátora stúpa a klesá, potom sa vráti k zvuku, ktorý počujú. Teória sa stretáva so skúsenosťou.



Úsmev stačí povedať, že dielňa funguje. Henri teraz umožňuje Lucas viesť objav.

Čo nás naučilo osem kolíkov



Po workshope Lucas opäť nájde tri karty: osciláciu, časovanie a zapamätanie.



Pridáva tranzistor, ktorý pomáha riadiť záťaž a diódu, ktorá chráni cievku pri vypnutí.



Henri sa ho pýta, čo si bude najviac pamätať. Lucas sa pozerá do svojho zápisníka výpočtov a rozpisov.



"Skontrolujte kolíky. Ponechajte si jednotky. Zmerajte správny bod. Pred výmenou pochopte."



Ukazuje tiež pokyny: nápad sa stáva užitočným, keď ho iná osoba môže vyzdvihnúť bez uhádnutia.



Nepoužité komponenty odložia. Malý čierny balíček dal rytmus celému dňu stretnutí.

Ďalší rytmus bude váš



Miesto opäť nadobudne pokoj. Lucas stlačí kláves poslednýkrát: krátky zvukový tón a potom ticho.



Pamätá si svoj príchod do klubu a radu Henri: počúvajte, hľadajte a zdieľajte.



"Dozvedeli sme sa všetko o 555?" - "Dosť na to, aby som vedel klásť lepšie otázky."



Trenažér, jeho schéma a pokyny zostávajú pripravené pre ďalšieho začiatočníka. Ich dobrodružstvo zapadá do skutočnej škatuľky.



Lucas zatvorí notebook a potom ho znova otvorí, aby nakreslil nový nápad. Henri mu podáva ceruzku.



Vonku stoja antény proti oblohe. Vo vnútri osem malých špendlíkov inšpirovalo túžbu experimentovať.