

Voorwoord

Net als in de afgelopen jaren is er ook in 2016 weer een Conrad-elektronica-kalender met 24 experimenten voor de 1ste tot en met de 24ste december. Het thema is de digitale elektronica. Het gaat om een digitale teller met de CMOS-bouwsteen 4060. Deze IC bevat 14 digitale verdeler-flipflops en aanvullend een veelzijdig inzetbare klok-oscillator. Het maakt zeer verschillende en zeer veelzijdige gebouwen mogelijk, die niet alleen leerzaam zijn, maar ook leuk. Aan het einde staat een circuit dat al voorstelling van een houtvuur en vallende sterren aan de kerstboom gehangen kan worden.

Er zijn verschillende manieren om de elektronica-kalender te gebruiken. De één wil misschien eenvoudig alles precies volgens het plan opbouwen en genieten van het resultaat, terwijl de ander het precies wil begrijpen. De beschrijvingen van de proef moeten voor beiden toegankelijk zijn. Daarom worden de opbouw en de functie steeds slechts bondig beschreven, zoals nodig voor een succesvolle opbouw. Daarna worden de technische achtergronden in korte vorm toegelicht. Zo vindt men de beslissende aanwijzingen, waarmee men ook op zoek kan naar verdere informatie. De experimenten zijn trouwens het leukst wanneer men er met anderen aan werkt. Ouders en grootouders kunnen misschien waardevolle ervaring doorgeven en de interesse van het kind en jongeren wekken.

Met de beschikbare onderdelen kunnen nog veel meer circuits gebouwd worden dan hier worden getoond. Wie de vastgestelde proeven met interesse doorwerkt, vindt snel verdere circuitvarianten en soortgelijke gebouwen. En er kunnen ook geheel nieuwe circuits worden ontwikkeld. Uw vindingrijkheid kent geen grenzen!

Wij wensen u veel plezier en een vrolijke kersttijd!

1 De LED-test

De eerste proef van de advent zal een LED laten oplichten. Een LED mag nooit direct aan een spanningsbron worden gelegd, men heeft altijd een voorweerstand nodig. Zonder deze weerstand wordt de LED door te veel stroom vernield. De LED moet in de juiste richting worden ingebouwd. Hij heeft twee verschillende aansluitingen. De korte draad is de minpool (kathode K), de langere draad is de pluspool (anode A). De bredere onderste rand is aan de zijde van de kathode afgevlakt. Bovendien is bij alle LEDs in deze kalender de grotere houder binnenin de LED met de kathode verbonden.

Achter het eerste deurtje vindt u een rode LED en een daarbij behorende weerstand. Bovendien hebt u een 9V blokbatterij nodig. De eerste proef moet bijzonder voorzichtig worden uitgevoerd. Let op, kijk niet direct in een brandende LED van geringe afstand van minder dan één meter. Felle LEDs kunnen schade aan het netvlies veroorzaken. Voorkom dat steeds beide LED-aansluitingen gelijktijdig de batterijaansluiting aanraken! De weerstand moet steeds in serie worden aangesloten, anders brandt de LED door. Houdt de beide onderdelen aan de batterij, zoals aangegeven in de tekening. De LED licht helder op.

Elektronische circuits worden overzichtelijk weergegeven in circuitafbeeldingen. Er is een symbool voor elk onderdeel. De LED bestaat uit een driehoek voor de anode en een rechte streep voor de kathode. Dat duidt de stroomrichting aan. Twee korte pijlen naar buiten staan voor het afgegeven licht. De weerstand wordt als rechthoekig kastje weergegeven. Elke weerstand heeft een bepaalde weerstands-

waarde. Hier zijn het 10.000 Ohm = 10 Kilo-ohm (10 kΩ, in de circuitafbeelding kort 10 k). Het werkelijke onderdeel wordt gekenmerkt met een gekleurde ring (bruin, zwart, oranje voor 10.000 en goud voor mogelijke afwijkingen tot +/-5 %).

De circuitafbeelding toont een serieel circuit. De stroom vloeit door batterij, weerstand en LED. De weerstand heeft daarbij de opgave om de stroomsterkte op een zinvolle waarde te begrenzen. Hoe groter de weerstand, hoe kleiner de stroomsterkte. Bij 10 kΩ wordt de LED weliswaar nog ver onder de maximaal toegestane stroom bedreven, maar licht toch al voldoende helder op.

2 Batterijverbinding

Het tweede deurtje verbergt een batterijclip voor de 9V batterij. Bouw de proef van de eerst dag nog eens iets anders op. Gebruik de batterijclip en let erop dat de zwarte verbindingsdraad van de minpool is en de rode van de pluspool. Voorkom beslist een kortsluiting van de batterij, dus een directe verbinding van de beide polen. Daarbij kan de batterij zeer heet worden en bij een langer aanhoudende kortsluiting kan deze in een extreem geval zelfs exploderen. Bovendien verkorten kortsluitingen de levensduur van de batterij.

De weerstand van 10 kΩ definieert de stroom door de LED. In dit geval kan men ervan uitgaan dat er ongeveer 2V op de LED ligt, en dus nog 7V op de weerstand. Daaruit ontstaat een stroom van slechts 0,7 mA. Ter vergelijking: LEDs worden meestal voor stromen van 20mA uitgelegd. Deze rode LED heeft echter al genoeg aan minder dan 1mA, om duidelijk zichtbaar licht te leveren.

3 Gekoppelde opbouw

Open het derde deurtje en neem een insteekprintplaat uit het vak. Daarmee vereenvoudigd zich de opbouw van gecompliceerde circuits. De insteekprintplaat met in totaal 270 contacten in het 2,54 mm rooster (0,1 inch) zorgt voor een zekere verbinding van de onderdelen.

De insteekprintplaat heeft in het middelste bereik 230 contacten, die steeds door verticale strepen met vijf contacten leidend zijn verbonden. Bovendien zijn er aan de rand 40 contacten voor de voeding, bestaande uit twee horizontale contactveer-strepen met elk 20 contacten. Het insteekveld beschikt daarmee over twee onafhankelijke voedingsrails, die hier gebruikt worden voor de pluspool en de minpool van de batterij.

Het inzetten van onderdelen vereist relatief veel kracht. Daarom buigen de aansluitdraden gemakkelijk om. Het is belangrijk dat de draad exact van boven wordt ingevoerd. Daarbij help een pincet of een kleine tang. Een draad wordt mogelijk kort over de insteekprintplaat aangepakt en loodrecht naar beneden gedrukt. Op deze manier kunnen zelfs de gevoelige aansluitdraden, zoals de vertinde uiteinden van de batterijclips, worden gebruikt zonder knikken.

Bouw de schakeling uit de eerste proef nog eens op de insteekprintplaat op. Het gaat hier weer om een seriële schakeling met weerstand en LED. De circuitafbeelding toont hetzelfde circuit, maar met een iets andere opstelling van de onderdelen, die vergelijkbaar is met de werkelijke proef.

4 Lampschakelaars

Achter het vierde deurtje vindt u de voor alle volgende proeven benodigde draad. Bouw een LED-lamp met schakelcontact. Snij een gewenst stuk draad van 4 cm lang en verwijder aan de uiteinden de isolatie op een lengte van ongeveer 5 mm. Deze draad moet als verbinding met de LED worden ingebouwd. Een kortere draad van 2 cm lengte wordt als trekontlasting ingebouwd om de zwakke verbindingdraden te beschermen. De batterijclip moet altijd verbonden blijven, zodat de aansluiting niet overmatig wordt versleten.

De eenvoudige schakelaar bestaat uit twee blanke stukken draad, die met één vinger aangeraakt kunnen worden. Snij daarvoor draadstukken van 2 cm lengte af en verwijder de isolatie volledig.

5 Een veiligheidsdiode

U vindt nog een rode LED achter deurtje nummer 5. Bouw deze tweede LED in de stroomkring in. Daarbij moet de richting kloppen, anders vloeit er geen stroom. Wanneer alles juist werd opgebouwd, lichten de beide LEDs op. En ofwel nu twee LEDs in serie liggen, is de helderheid van de eerste LED bijna gelijk gebleven.

De nieuwe LED heeft een belangrijke functie voor de volgende proeven. Deze dient als veiligheidsdiode en moet een valse polariteit van de batterij voorkomen. Het onderdeel dat morgen gebruikt wordt reageert namelijk zeer gevoelig op een valse polariteit en moet tegen mogelijke fouten worden beschermd. Tegelijkertijd is de LED een eenvoudige stroomindicator, waarmee men de juiste functie van een circuit kan identificeren.

6 Digitaal schakelcircuit

Open het deurtje nummer 6. Daarachter vindt u het belangrijkste onderdeel van deze kalender, de CMOS-IC 4060. Deze IC met 16 aansluitbeentjes bevat in totaal 14 verdeler-flipflops en een veelzijdige oscillatorschakeling. De aansluitingen 1 en 16 liggen aan de linker zijde en worden gekenmerkt door een inkerving. Het opschrift, dat men van de onderste rij (pen 1 tot pen 8) kan uitlezen, biedt een aanvullende aanwijzing. Voor het eerste gebruik van de ICs moeten de aansluitingen parallel uitgericht worden, omdat ze na de productie nog iets te ver naar buiten staan. Druk alle beentjes van een zijde samen op een hard tafelblad om ze juist uit te richten. Zet de IC dan juist op de insteekprintplaat. Let op, wanneer hij er verkeerd om wordt ingezet, zijn de aansluitingen 8 (GND, min) en 16 (VCC, plus) omgedraaid, zodat de bedrijfsspanning omgekeerd is aangesloten en de IC wordt verwoest. In dat geval helpt ook de veiligheidsdiode op de pluspool niets, want deze beschermt alleen tegen een verkeerd om aangesloten batterij.

De eerste proef gebruikt een deel van de oscillatorschakeling op de aansluitingen 10 en 11. De ingang OSC1 wordt aan GND (minpool, logische nul) gelegd. Aan de uitgang OSC2 ligt de LED met zijn voorweerstand.

Wanneer alles juist werd opgebouwd, licht de LED op. De IC heeft ook de spanning aan de uitgang uitgeschakeld (logische één) en heeft daarmee de ingangstoestand omgekeerd. Voor de meeste proeven met de 4060 moet aanvullend de reset-ingang (RES) aan GND gelegd worden. De rode LED aan de VCC-aansluiting toont de bedrijfsspanning en beschermt de IC. Wanneer alles correct is branden beide LEDs even helder.

7 Een open ingang

Open het zevende deurtje en neem een weerstand eruit. Deze heeft 22 M Ω (22 mega-ohm, rood, rood, blauw) en wordt in de volgende proeven altijd weer in het oscillatorcircuit gebruikt. De weerstand wordt slechts eenzijdig aan de ingang OSC1 aangesloten. Daarmee heeft men een »open ingang«. Het is onbestemd of één of nul is aangesloten, de LED is aan of uit. Het resultaat is toevallig en kan worden beïnvloed door naderen met de vinger. Reeds binnen een afstand van enkele centimeters kan de toestand van het poortje veranderen. De statische ladingen en de daarmee verbonden elektrische velden zijn daarvoor verantwoordelijk.

Door kort aantikken met de vinger kan de uitgang in- of uitgeschakeld worden. Wanneer deze is ingeschakeld lichten de beide LEDs op, is deze uitgeschakeld, dan kunnen beide LEDs uit zijn. De IC heeft dan zelf praktisch geen stroom meer nodig. Er kunnen zich echter toestanden voordoen waarbij de uitgang weliswaar nog uit is, maar de IC desondanks toch een zekere stroom nodig heeft. Dat is het geval wanneer de ingangsspanning noch bij nul noch bij de bedrijfsspanning ligt, maar ergens tussen deze spanningen. Zolang de ingang wordt aangeraakt, kan zich ook een halve helderheid voordoen waarbij de LEDs daadwerkelijk zeer snel knipperen. Dit komt door de 50 Hz wisselvelden van het elektriciteitsnet, doe ertoe leiden dat het eigen lichaam een kleine wisselspanning voert.

8 Terugkoppeling

Een weerstand met 10 k Ω (bruin, zwart, oranje) vindt u achter het deurtje nummer 8. Deze wordt ditmaal als veiligheidsweerstand aan de ingang van de ICS gebruikt. De 22 M Ω weerstand verbindt de tweede uitgang met de ingang van het oscillatorcircuit. De LED is aan of uit, dat is vooraf niet te zeggen. Een bestaande toestand blijft willekeurig lang behouden. U kunt de toestand echter veranderen wanneer u de vrije aansluiting aan de ingang nu eens aan de plus en dan weer aan de min houdt. Bovendien kunt u met een beetje geluk de LED in- of uitschakelen, wanneer u de weerstand eenvoudig alleen met de vinger aantikt of met een stuk draad aanraakt, dat u in de hand houdt.

In dit circuit liggen twee omzetters achter elkaar. Een ingangstoestand nul wordt na de eerste omzetter een toestand één en na de tweede omzetter weer nul. Via de terugkoppeling blijft men dan de nul-toestand ook behouden bij de ingang. Omgekeerd verschijnt een één-toestand bij de uitgang weer als één en blijft bestaan. Wanneer de ingang echter ook slechts heel kort in de andere toestand wordt gebracht, kipt het circuit om. Daarvoor is een toevallige impuls die ontstaat bij aanraking terwijl u elektrisch geladen bent vaak voldoende. Men noemt een dergelijk circuit ook tijdbasischakeling of flipflop. het circuit is daarmee tegelijkertijd een digitale opslag met de opslagcapaciteit 1 bit. Wanneer u de rechter LED aan de uitgang OSC3 uit het circuit neemt, is het circuit ook in één-toestand praktisch

stroomloos. De linker LED is dan eveneens langdurig uit. Alleen tijdens het omschakelmoment vloeit er stroom. Wanneer u de ingang aanraakt, kan de linker LED oplichten.

9 Een LED-knipperlicht

Achter het negende deurtje vindt u een keramische schijfcondensator met de capaciteit 100 nF. Het opschrift luidt 104 en staat voor 100.000 pF (picofarad), dus 100 nF (nanofarad). Met de condensator kan men een oscillator bouwen, dus een circuit dat zelfstandig altijd weer de toestand wisselt. In dit geval ontstaat een langzaam knipperlicht. De hoogohmige weerstand met 22 M Ω ligt deze keer tussen OSC1 en OSC2 en bouwt een tegenkoppeling. De weerstand van 10 k Ω bouwt samen met de condensator van 100 nF de terugkoppeling.

De snelheid wordt hoofdzakelijk door de condensator met 100 nF en de weerstand met 22 M Ω vastgelegd. Beide onderdelen samen hebben een tijdsconstante van $0,1 \mu\text{F} * 22 \text{ M}\Omega = 2,2 \text{ s}$. En elke stabiele toestand duurt daadwerkelijk ongeveer twee seconden. In een minuut is de uitgang daarom ongeveer 15 maal aan en 15 maal uit. Wanneer u beide aansluitingen van de 22-M Ω -weerstand met de vingers aanraakt, schakelt u de huidweerstand in de grootte-orde van 1 M Ω parallel en vermindert daarmee de tijdsconstante. Hoe steviger u de draad beetpakt, hoe sneller het knipperen zal zijn.

Aan de bescherm-LED kan men herkennen dat er vaak reeds voor het omschakelen in de aan-toestand stroom begint te vloeien. Dit is een indicatie dat er medium spanningen op de ingang zijn aangesloten. Ook wanneer u de rechter LED van de uitgang verwijderd, kunt u het regelmatig toenemen van de stroom zien.

10 Snel flakkeren

Achter deurtje nummer 10 vindt u een weerstand met 100 k Ω (bruin, zwart, geel). Deze moet nu de eerdere weerstand van 22 M Ω in het oscillatorcircuit vervangen. Het knipperen wordt daarmee zo snel dat het een voortdurend licht lijkt. Wanneer de het hele circuit echter heen en weer schudt, ziet u lichtstrepen met onderbrekingen. Men kan hetzelfde effect bereiken wanneer men de opbouw bekijkt door een bewogen spiegel.

De tijdsconstante bedraagt ditmaal $100 \text{ k}\Omega * 100 \text{ nF} = 10 \text{ ms}$. De uitgang is 10 ms lang aan en 10 ms lang uit. Dit resulteert in een totale duur van 20 ms en een frequentie van 50 Hz, dus in de grootte-orde van de netfrequentie. Tot 16 Hz kan men nog als flakkeren herkennen. Daarboven ziet men meestal alleen nog een voortdurend licht.

11 Verdeler door 16

Achter het elfde deurtje verbergt zich een condensator met 10 nF (opschrift 103). Deze krijgt een

helpfunctie en ligt tussen de pluspool en de minpool van de batterij. Dit is een gebruikelijke maatregel bij alle digitale circuits en helpt stoorsignalen te voorkomen. De oscillator wordt opnieuw omgezet naar een lage frequentie en de tweede LED wordt nu met een voorweerstand aangesloten op de uitgang Q4. De LED is afwisselend ongeveer 30 s aan en 30 s uit.

Anders dan voorheen is de IC nu direct op de batterij aangesloten. Omdat alles tot nu toe correct heeft gewerkt, kunt u nu het risico nemen te experimenteren zonder beveiliging tegen omgekeerde polariteit. De tweede LED is daarom vrij voor de eigenlijke proef en toont de gedeelde frequentie. Tussen de oscillator en Q4 liggen de vier verdelerfasen, die de frequentie van het kloksignaal steeds door twee delen. In totaal komen dus 16 kloksignalen op één uitgaande puls. De tijdsperiode bedraagt vier seconde op de oscillator en ongeveer één minuut op uitgang Q4.

12 Teller van nul tot drie

Achter het twaalfde deurtje bevindt zich nog een weerstand met 10 k Ω (bruin, zwart, oranje), die in de oscillator wordt ingezet. De frequentie wordt weliswaar weer op met ongeveer 50Hz verhoogd, maar ditmaal is er een LED aangesloten op de uitgang Q5 die het kloksignaal door 32 deelt. Daarom ziet men op de beide LEDs een sneller en langzamer knipperen. Men kan beide signalen samen als 2 bit binair getal lezen.

De teller telt dus altijd weer van nul tot drie. Dan komt een overloop en gaat het verder met nul. Meer specifiek tonen de LEDs een veelvoud van 8, dus 0, 8, 16 en 24 ingangspulsen van de oscillator. De eerst drie verdelerfasen werken als voorverdeler door 8 en leveren een kloksignaal van ongeveer 6 Hz dat met de ogen nog goed te zien is. Wie de teller langzamer wil zien, kan de 22 M Ω weerstand gebruiken in het circuit. De tellerstand wisselt dan met ongeveer een halve minuut van ritme, zodat men een eenvoudige digitale klok gebouwd heeft.

13 Drie bit teller tot zeven

Achter deurtje nummer 13 vindt u een gele LED. Daarmee kan de teller met drie bit worden uitgebreid. Er zijn nu in totaal acht verschillende tellerstanden tussen 000 (nul) en 111 (zeven). De beide rode LEDs op de uitgangen Q5 en Q6 delen een gemeenschappelijke voorweerstand. Het knipperen met de geringste frequentie ontstaat op Q6.

Een weerstand voor twee LEDs is mogelijk, maar leidt tot een bijzonder effect. De rode LED op Q6 toont twee helderheidsfasen. Zolang Q5 en Q6 zijn uitgeschakeld, wordt de stroom door de voorweerstand verdeeld over twee LEDs. Bij de eerste proeven worden met opzet relatief grote LED-voorweerstand van 10 k Ω gebruikt. Daarmee verkrijgt men slechts een gematigde helderheid en kan men experimenteren, zonder verblind te worden. Bovendien wordt er energie bespaard, zodat de batterij het mogelijk uithoudt tot het einde van de proeven.

14 Driekwartsmaat

U vindt nog een weerstand met $10\text{ k}\Omega$ (bruin, zwart, oranje) achter het 14de deurtje. Deze wordt nu tussen VCC en RES ingebouwd. Vervolgens worden twee LEDs van Q5 en Q6 verbonden met de Reset-ingang. Maar let op, ditmaal worden de kathoden verbonden met de uitgangen. Het resultaat is een heel bijzonder knipperlicht, dat drie toestanden aanneemt - knipperen in driekwartsmaat!

Tot nu toe konden ingangsimpulsen altijd alleen door twee worden gedeeld. Zo zijn dus verdelerverhoudingen van 16, 32, 64 enz. tot maximaal 16.384 mogelijk op uitgang Q14. Wanneer men echter de Reset-ingang en aanvullende diodes gebruikt, kan bijna elke gewenste verdeler worden bereikt. Een weerstand probeert om de Reset-ingang omhoog te trekken. Echter, de aangesloten diodes houden de spanning klein, zolang nog minstens één van de gebruikte uitgangen op nul ligt. In dit geval loopt de teller zolang tot Q5 en Q6 opschakelen. Dan wordt er onmiddellijk een reset uitgevoerd en wordt de teller weer op nul gezet. Voor de beide uitgangen betekent dit dat er slechts drie toestanden mogelijk zijn: 00, 01 en 10. Zo ontstaat een driekwartsverdeler. Met deze methode kunnen ook andere vrijwel willekeurige verdelerverhoudingen worden gegenereerd. Met twee diodes kan men bijvoorbeeld een verdeler door 5 of door 9 bouwen.

15 Gestopte teller

Het 15de deurtje brengt een drukknopschakelaar aan het licht. Let op de inbouwrichting. Het schakelcontact ligt vaak tussen twee naast elkaar liggende beentjes. De drukknop wordt nu gebruikt om de oscillator te stoppen. Een teller met drie uitgangen kent acht verschillende toestanden. Het is nu de taak om de teller altijd precies in te schakelen op het moment dat precies alle drie de LEDs aan zijn.

Ditmaal wordt de kleinere condensator met 10 nF in de oscillator gebruikt. De frequentie wordt daarmee tien keer hoger en de taak wordt overeenkomstig moeilijker. De drukknopschakelaar legt in gesloten toestand de volledige bedrijfsspanning op de oscillator-ingang en voorkomt daarmee verdere schommelingen. Zodra het contact wordt geopend, start de oscillator opnieuw.

16 Highspeed-dobbelsteen

Achter deurtje nummer 16 vindt u een weerstand met $4,7\text{ k}\Omega$ (geel, violet, rood). De oscillator wordt nu opnieuw omgebouwd en zal zo snel worden, dat men de individuele flietsen niet meer kan onderscheiden. Het resultaat is dan puur toeval - zoals bij een echte dobbelsteen. Wanneer men op de toets drukt, blijft de dobbelsteen op één van acht mogelijke toestanden staan. Anders dan bij een echte dobbelsteen mogen de toestanden 000 (nul) en 111 (zeven) niet worden geteld. alle overige resultaten staan voor de getallen 1 tot en

met 6. Bij het werpen kan men dus gelijk ook nog het binaire getallensysteem leren:

1 = 001b, 2 = 010b, 3 = 011b, 4 = 100b, 5 = 101b, 6 = 110b

Een oscillator zonder de condensator, dat kan verrassend lijken. Er is echter een zeer kleine condensator aanwezig. Twee naast elkaar liggende contactstrepen van in insteekprintplaat bouwen een condensator met ongeveer 4pF (4 picofarad). Met de weerstand van 22 M Ω ontstaat daarmee een klokfrequentie van ongeveer 5 kHz. Op Q6 verschijnt de door 64 gedeelde frequentie met ongeveer 80 Hz. Het menselijke oog kan deze snelle wisseling niet meer waarnemen. De Oscillator wordt nog sneller met een weerstand van 100 k Ω . Hij loopt dan met ongeveer 600 kHz en kan zelfs met een nabijgelegen AM-radio worden opgemerkt. De oscillator van de CD4060 functioneert met de onderdelen van de kalender in een groot bereik tussen 0,25 Hz en 600 kHz. Daarnaast kunt u door het direct aanraken van de ingang meestal een nauwkeurige 50 Hz klok maken. Het resultaat van deze proef is dat het flitsen duidelijk langzamer is.

17 Lichtsensor

Er gaat nog een gele LED schuil achter deurtje nummer 17. Met de beide gele LEDs samen kan nu een lichtsensor worden gebouwd. Wanneer er veel licht op de gele LEDs valt, dan zullen de rode LEDs snel knippen. In het donker wordt het knippen zeer langzaam.

De oscillator werkt weer met de extreem kleine condensator van twee contacten van de insteekprintplaat. Zelfs met een grote weerstand van 22 M Ω resulteerde dit in een hoge frequentie. De beide gele LEDs vormen echter een nog veel grotere weerstand, die bovendien afhankelijk is van de omgevingshelderheid. Beide LEDs zijn zo in serie geschakeld dat altijd één van beiden in tegengestelde richting wordt aangestuurd. Er kan dus eigenlijk geen stroom vloeien. Wanneer er echter licht op het glas van de LED valt, gedraagt de LED zich als een fotodiode. Nu vloeit er ook in de tegengestelde richting een kleine stroom. Hoe meer licht er op de LEDs valt, hoe groter deze stroom wordt en hoe hoger de oscillatorfrequentie wordt.

18 Drukknopteller

Achter het 18de deurtje bevindt zich een weerstand met 4,7 k Ω (geel, violet, rood). Daarmee kan nu nog een LED met grotere helderheid worden bediend. In totaal vier LEDs tonen vier bits van een binair getal. Daarmee kunnen 16 getallen van 0 tot en met 15 worden weergegeven. De teller loopt nu echter niet alleen, in plaats daarvan wordt de klok door de drukknopschakelaar geproduceerd.

Na steeds acht keer indrukken van de knop moet er een niveauwisseling worden waargenomen op Q4. De wisselingen zijn echter wezenlijk vaker. Meestal zijn drie of vier toetsaanslagen voldoende voor een verandering aan de uitgangen. Dat ligt aan de contactterugslag van de schakelaar, waarvan de contacten bij het sluiten meervoudig terugslaan. Met een handeling produceert men dus een korte reeks impulsen, die allen worden geteld.

19 Toets debouncen

Het deurtje nummer 19 brengt een weerstand met 2,2 k Ω (rood, rood, rood) aan het licht. Daarmee hebt u nog een weerstand voor een grotere helderheid. De wezenlijke wijziging van de proef is een aanvullende condensator parallel aan de ingang OSC1. Deze dient voor het debouncen van de toets. Daarmee wordt nu met elk indrukken van de toets precies één impuls geteld. Na steeds acht impulsen wijzigt de uitgang Q4. En steeds na 128 impulsen bereikt de teller weer zijn uitgangstoestand. Daarmee heeft men een betrouwbare gebeurtenisteller.

De 4060 kan impulsen tellen, die korter zijn dan een microseconde. De condensator van 100 nF heeft samen met de weerstand van 10 k Ω een duizend keer langere tijdsconstante van één milliseconde. Zo lang duurt het dus tot de condensator zich na het openen van het contact heeft ontladen. Hoewel het bouncen van de toets wezenlijk sneller is, herkent de teller steeds slechte één impuls. Deze betrouwbare 4 bit teller kan ook grotere getallen weergeven, wanneer men de hoogwaardige uitgangen gebruikt. In totaal moet de toets 16.384 keer worden ingedrukt tot alle uitgangen inclusief Q14 weer hun uitgangspositie bereiken.

20 Meerdere flitspatronen

open het deurtje nummer 20 en neem een weerstand met 1 k Ω (bruin, zwart, rood) eruit. Daarmee hebt u de juiste weerstand voor maximale helderheid. Ditmaal zal er een zeer bijzonder flitspatroon ontstaan. Elke gele LED knippert vier keer achter elkaar en pauzeert dan; in deze pauze knippert de andere LED. De beide rode LEDs knipperen vaak één keer en maken dan een langere pauze.

Het bijzondere flitspatroon ontstaat, omdat de LEDs slechts in één richting stroom leiden. De onderste gele LED licht slechts op wanneer Q7 net is uitgeschakeld en Q4 net is ingeschakeld. Zo kan men met LEDs op verdere uitgangen zeer verschillende patronen produceren. overigens is het in dit geval toegestaan om LEDs ook zonder weerstand direct tussen twee uitgangen te schakelen. De uitgangstransistoren van de 4060 hebben bij een bedrijfsspanning van 9 V een on-weerstand van ongeveer 300 Ω . Beide uitgangen samen hebben daarmee een weerstand van 600 Ω . Daaruit ontstaat een LED-stroom van rond 10 mA, die nog duidelijk onder de toegestane 20 mA ligt.

21 Vier helderheidsfasen

Er bevindt zich een bijzonder felle groene LED achter deurtje nummer 21. Deze moet tijdens deze proef in fasen feller worden. Er zijn vier helderheidsfasen, 0, 1, 2 en 3, die na elkaar worden doorlopen. De rode LED geeft gelijktijdig de maat aan.

De functie van het circuit komt overeen met een digitaal-analoogomvormer, die digitale getallen omzet in analoge spanningen of stromen. Q7 schakelt een grote stroom door de 1 k Ω weerstand in en uit. Daarmee ontstaat een grote helderheidsfase. Daarnaast schakelt Q6 een kleinere stroom door de 2,2 k Ω weerstand in en uit, die wordt toegevoegd aan de grotere stroom. Zo ontstaan in totaal vier helderheidsfasen.

22 Gekleurd knipperlicht

Achter deurtje nummer 22 komt een elektrolytische condensator (elco) met $100 \mu\text{F}$ (microfarad) tevoorschijn. Deze heeft een duizend keer groter capaciteit dan de tot nu toe gebruikte schijfcondensator met 100 nF . Zo bereikt men grote laadstromen, die zichtbaar zijn als LED-lichtflitsen. Hier ontstaan afwisselend groen en gele lichtflitsen met een lange afstand. Elke flits sterft weg in ongeveer een halve seconde. De kleine condensator met 10 nF wordt in de oscillator ingebouwd, zodat men niet te lang op de flits moet wachten. De rode LED toont het onderverdeelde kloksignaal.

Er moet gelet worden op de inbouwrichting van de elco. De minpool is gemarkeerd met een witte streep. Wanneer men de elco voor langere tijd verkeerd om op de spanning aansluit, kan deze stuk gaan en in het ergste geval zelfs exploderen. Hier is de pluspool verbonden met Q12, waar de spanning afwisselend $+9 \text{ V}$ en 0 V is. Er moeten twee LEDs in tegengestelde richting worden aangesloten, zodat de elco afwisselend kan laden en ontladen.

23 Vierkwartsknipperlicht

Achter het 23ste deurtje vindt u een witte LED. Vier LEDs zullen nu na elkaar zo knipperen dat er nooit twee LEDs gelijktijdig aan zijn. Desondanks worden daarvoor slechts twee telleruitgangen gebruikt. De uitgangen Q12 en Q13 produceren een zeer langzame wisseling. Opdat het niet te lang duurt, wordt de oscillator weer met de kleinere condensator van 10 nF op een hogere klokfrequentie ingesteld.

Het circuit vormt een 1-uit-4-decoder, die enkele toestanden uit vier mogelijk binaire getallen op twee uitgangen decodeert. Daarvoor heeft men normaal gesproken verdere logische circuits, die hier echter niet voorhanden zijn. Het circuit werkt alleen met een truc en is gebaseerd op het feit dat de verschillende LEDs werken op verschillende spanningen. De rode LEDs lichten op bij minder dan $1,8 \text{ V}$, de groene en de witte LED hebben daarentegen duidelijk meer dan 2 V nodig. Wanneer Q13 is ingeschakeld, levert de $10 \text{ k}\Omega$ voorweerstand stroom voor de groene LED. Bevindt Q12 zich echter gelijktijdig in de nul-toestand, dan ligt de rode LED praktisch parallel aan de groene LED en leidt de stroom wegens de geringe LED-spanning volledig weg. Q12 bepaalt daarmee of de groene of de onderste rode LED oplicht. In de één-toestand van Q13 licht daarentegen hetzij de witte of de bovenste rode LED op.

24 Vuurgloed en vallende sterren

Achter het laatste deurtje vindt u een weerstand met 1 k Ω (bruin, zwart, rood). Deze wordt gebruikt voor een feestelijk licht, dat aan het einde van de proef de kerstboom kan versieren. Twee rode en twee gele LEDs staan voor een houtvuur, dat een relatief gelijkmatig licht produceert en slecht zwak knippert. Soms wordt de nacht een kort moment verlicht door een vallende ster, vertegenwoordigd door een groen of een witte LED.

De fundamentele helderheid van de rode en gele LEDs wordt door twee weerstanden met 1 k Ω voorgegeven. Grotere weerstanden met 4,7 k Ω en 10 k Ω schakelen kleinere stromen van verschillende telleruitgangen erbij en zorgen voor een zwak en schijnbaar onregelmatig flikkeren. Het heeft een rustgevende werking en er kan langere tijd naar gekeken worden. De zeldzame lichtflitsen worden geproduceerd met de uitgang Q10 en een elco van 100 μ F. Veranderingen zijn eenvoudig mogelijk. Experimenteer met andere telleruitgangen en gewijzigde weerstanden en bouw uw geheel eigen kerstlicht.

Bijlage

Onderdelen in de kalender:

1 LED rood + weerstand 10 k Ω

2 batterijclip

3 insteekprintplaat

4 draad

5 LED rood

6 CD4060

7 weerstand 22 M Ω

8 weerstand 10 k Ω

9 condensator 100 nF

10 weerstand 100 k Ω

11 condensator 10 nF

12 weerstand 10 k Ω

13 LED geel

14 weerstand 10 k Ω

15 drukknopschakelaar

16 weerstand 4,7 k Ω

17 LED geel

18 weerstand 4,7 k Ω

19 weerstand 2,2 k Ω

20 weerstand 1 k Ω

21 LED groen

22 elco 100 μ F

23 LED wit

24 weerstand 1 k Ω