

Digitale elektronische decimale teller

door prof.ir. Klaas Robers

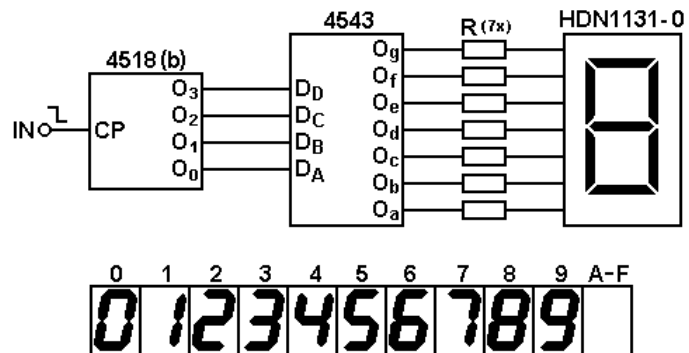
Inleiding

Met twee IC's en een 7-segments LED-display is een decimale teller te bouwen. Deze telt pulsjes van 0 tot 9. Hiermee kan bijvoorbeeld het aantal produkten dat een bepaald punt op een produktielijn passert geteld worden. De teller is te cascaderen tot een willekeurig groot decimaal getal.

Schema

Het totale schema bestaat uit een BCD-teller, een 7-segments-decoder en een 7-segments LED-display.

De teller zit in een C-MOS IC van het type 4518. Het bevat twee 10-tellers, a en b. Zij tellen elk binair van 0000 tot 1001 en keren dan weer terug naar 0000. We gebruiken maar één (b) van de twee. Print voor meer gegevens de data sheets van dit IC uit.



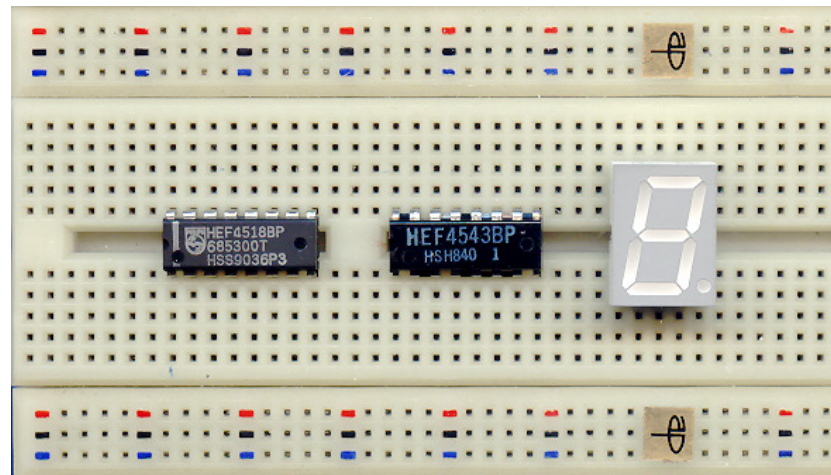
De 7-segments decoder zit in het CMOS IC 4543. Dit IC maakt van een binair getal van 0000 t/m 1001 zeven nullen en enen, zodanig dat ze op een display het in de balk getoonde cijfer tonen. Print ook van dit IC de data sheets uit.

Het LED-display HDN1131 (print de data sheets uit) heeft voorschakelweerstand R nodig om de stroom in elke diode te begrenzen. Die moet voor dit type ongeveer 2 mA zijn.

Bouwen op een prikbordje

Het is niet onverstandig om je schakeling eerst op een prikbordje te bouwen. Dat is gemakkelijk uitproberen. Nadeel is dat je beperkt bent in de lay-out, waardoor het snel nogal onoverzichtelijk wordt. Maar als het op het prikbordje werkt, kun je het alsnog over bouwen op gaatjesprint om een handzaam geheel te maken.

Onder een raster van gaatjes op een steek van 0,1 inch (dat is de afstand van de pootjes van IC's) zitten klemmetjes waarin je draadjes en penntjes van onderdelen kunt steken. De klemmetjes zijn op vrij logische wijze met elkaar doorverbonden. Met een paar draadjes en de ohmmeter kun je **uitzoeken hoe de gaatjes met elkaar doorverbonden zijn**. Doe dat voordat je begint. Het is beter dan om het van iemand anders te horen en voor waar aan te nemen.



Maak van geïsoleerd montage-draad (z.g. Schelledraad) korte stukjes draad die aan beide zijden aangestript zijn. Wellicht dat zij op het practicum al aanwezig zijn. Met deze stukjes draad maak je de verbindingen van penntje naar penntje van de IC's. Weerstanden, diodes en transistoren kun je er direct in steken.

Vergeet niet de aarde en de voedingsspanning van de IC's (penntje 8 resp. 16) aan te sluiten. Het is een goed idee om bij te houden op een schema wat je al gedaan hebt. Je zult zien dat je anders in korte tijd het overzicht verliest.

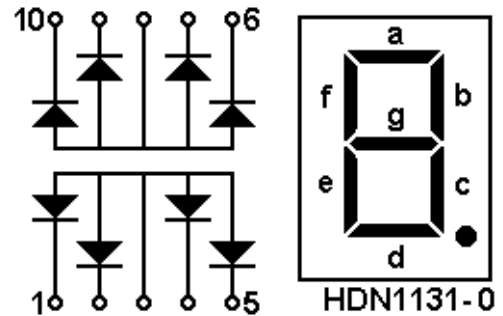
Men heeft veel moeite gedaan om de contacten van de klemmetjes zo zeker mogelijk te maken. Maar contacten zijn nog steeds de minst betrouwbare punten van elektronische schakelingen. Wees daar op verdacht. Het is een slecht idee om schakelingen op een prikbordje voor permanent gebruik te bestemmen.

Het LED-display

Bouw stap voor stap en controleer na elke stap of wat je gebouwd hebt nog doet wat je er van verwacht. In dit geval is bouwen van achteren naar voren het verstandigst, omdat je dan van het begin af aan het display hebt als controlemiddel. Begin dus met het LED-display.

Zoek eerst de aansluitingen uit van de HDN1131. Dat kan vanaf papier, maar je bent zekerder van je zaak als je dat "echt" doet. Een universeelmeter is daarvoor een prima hulpmiddel.

In het schema hiernaast staat de rondlopende nummering van de pennen gegeven, van bovenaf gezien. Pen 3 en pen 8 zijn de "Common Anodes". Met de universeelmeter op $\Omega \times 100$ (de stroom met de pennen tegen elkaar is dan 1,5 mA) kun je de verschillende LEDs laten oplichten. Let op, de zwarte meetpen is de plus! Op de blauwe schaal LV kun je zien hoeveel spanning er over de diode blijft staan.



Maak een overzicht van de aansluitpennen en welke segmenten daarop aangesloten zijn. Gebruik daarvoor de internationaal gebruikelijke aanduiding a t/m g, zoals in het schema is aangegeven. Bepaal ook of de twee CA-pennen met elkaar doorverbonden zijn of niet. Zo niet, dan moet je ze straks allebei aansluiten.

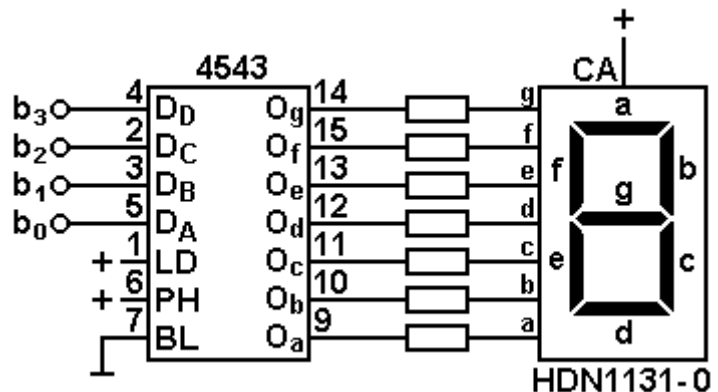
Nu kun je ook de optimale waarde van de voorschakelweerstand R berekenen. Ga maar eens uit van een voedingsspanning van 5 volt en houd rekening met de spanning over de diode bij een stroom van 2 mA. Neem de dichtsbijzijnde standaardwaarde en probeer het even uit met losse draadjes en 5 volt uit een voedingsapparaat. Meet eventueel de stroom om helemaal zeker van jezelf te zijn.

De 7-segments decoder

Het C-MOS IC 4543 bevat een 7-segments decoder. Op de ingangen $b_3...b_0$ kan een binair getal worden aangebracht en op de uitgangen $O_g...O_a$ verschijnt een bitpatroon zodat op het display het overeenkomstige cijfer wordt afgebeeld.

Er is een ingang BL (blanking). Wordt die 1 gemaakt, dan gaat het display uit.

Met ingang PH (phase) bepaal je of de uitgangen $O_g...O_a$ een 1 of een 0 moeten geven voor een oplichtend segment op het display. In dit geval, voor een Common Anode display, moeten ze 0 zijn daarvoor. Dat is zo als je ingang PH op 1 aansluit, dus op de voedingsspanning. Deze ingang is erg belangrijk voor het aansturen van LCD's. Lees meer hierover in de data sheets.



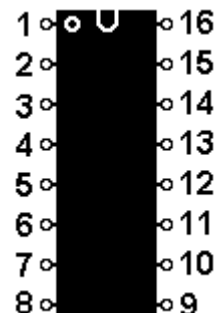
Bovendien zit er een 4-bits register (latch) in het IC. Als ingang LD (load) nul wordt gemaakt, dan wordt de stand van $D_D...D_A$ "ingevroren" zoals die op dat moment is. Zo kan rustig een bepaalde stand worden uitgelezen op een niet veranderend display. Wordt LD weer 1 gemaakt, dan volgt het display de stand van $b_3...b_0$ weer. Zet ingang LD eerst maar eens op 1, zoals in het schema aangegeven.

Aansluiten

Let op de nummering van de pootjes van het IC's. Deze loopt, net als bij het display, rond tegen de klok in, als je het IC van boven bekijkt.

Pootje 1 wordt soms aangegeven door een stip op het IC, maar altijd is er uitsparing in U-vorm tussen pen 1 en pen laatst. Als het IC minder (14, 8 of 6), of meer (20, 24, 28, 32 of 40) pootjes heeft loopt de nummering precies zo. Van de onderkant, daar waar je de draadjes soldeert als je op een printje bouwt, is dat dus andersom. Laat je niet in de luren leggen!

Dit soort IC's heeft bijna altijd zijn "aarde" (V_{SS}) links onder, hier dus op pen 8 en zijn voedingsspanning (V_{DD}) rechts boven, hier dus op pen 16.



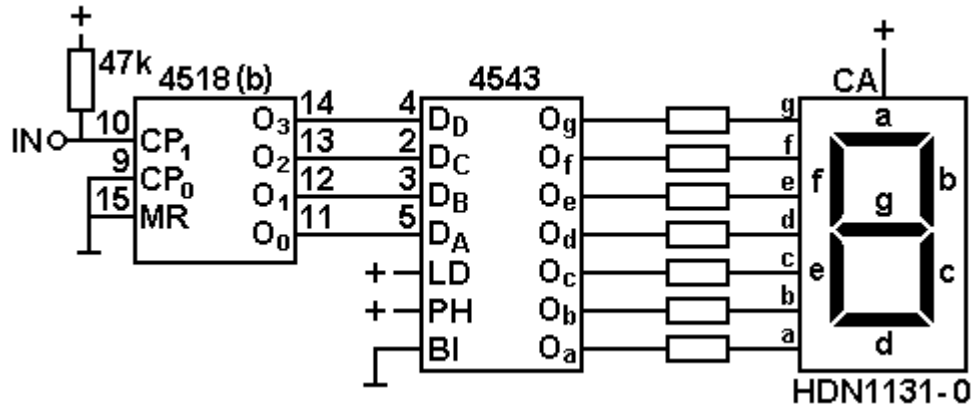
Begin met het aansluiten van de aarde en de voedingsspanning, anders vergeet je die straks. Zet ook een condensatortje van 0,1 μF van de voedingsspanning naar aarde. Dit is de ont koppeling.

Sluit de data-ingangen $b_3 \dots b_0$ eerst maar eens aan op 0 (aarde). Als je de voedingsspanning inschakelt moet er een 0 op het display verschijnen. Probeer dan ook de andere combinaties van nullen en enen op de ingangen.

Let op! De ingangen zijn zeer hoog-ohmig: de geïsoleerde gate van een veldeffecttransistor. Een niet aangesloten ingang kan elke waarde tussen 0 en 1 aannemen. Er gebeuren dan onverwachte dingen.

De teller

In het C-MOS IC 4518 zitten twee tellers die tot tien tellen. De ene teller (a) is aangesloten op de pennen 1...7, de andere (b) op 9...15. We gebruiken om te beginnen alleen teller (b).



Elke teller heeft een ingang MR (master reset), die als hij 1 is de teller op 0000 zet en vast houdt in deze stand, totdat MR weer 0 wordt.

Elke teller heeft twee ingangen CP (clock pulse).

- Zolang CP_0 hoog is (1) of CP_1 laag is (0) is de andere ingang geblokkeerd.
 - Als CP_1 hoog is telt de teller op een opgaande flank op CP_0 (van 0 naar 1).
 - Als CP_0 laag is telt de teller op een neergaande flank op CP_1 (van 1 naar 0).
- Zó gaan we hem gebruiken.

Aansluiten

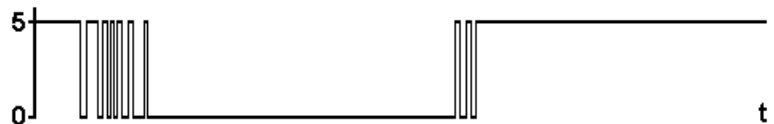
Breid de reeds gemaakte schakeling uit met de teller. Sluit ook weer eerst de aarde en de voedingsspanning aan. Klokpulsingang CP_1 zit met een weerstand van 47k aan de +. Als we hem met een los draadje even aan "aarde" verbinden geven we een telpuls.

Teller (a) mag onaangesloten blijven, maar sluit wel MR van deze teller (pen 7) aan op de + (een 1). De teller is dan continu ge-reset en kan geen gekke dingen doen.

Tellen

Als je de voedingsspanning inschakelt moet er een cijfer op het display verschijnen. Als je nu de ingang even nul maakt zal het cijfer veranderen. Tik maar eens met een draadje dat aan "aarde" zit tegen de juiste kant van de weerstand van 47k. Merk op dat het display naar een schijnbaar willekeurig ander cijfer springt....

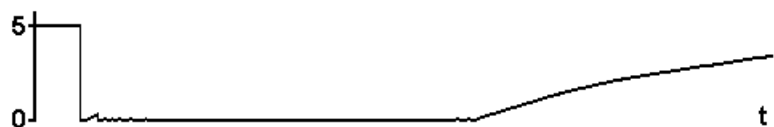
Het teller-IC is zó snel dat onderbrekingen van 0,1 μsec , dat is een tienmiljoenste seconde, al lang genoeg zijn om te tellen. Wrijf maar eens met het aarddraadje over het draadje van de weerstand. Het cijfer verandert onzichtbaar snel en vaak.



En ja, schakelaars doen dit ook, de één nog erger dan de ander; ook schakelaars die "klik" zeggen. Er is zelfs een woord voor: "contact-denderen". Nee, zó kunnen wij niet netjes tellen.

Ingangsfiler

Verbind een condensatortje van 0,1 μF van de telleringang naar aarde. De condensator wordt tot 5 volt opgeladen via de weerstand van 47k. Met het kortsluitdraadje wordt hij wel heel snel ontladen, maar het opladen duurt relatief lang. Reken de RC-tijd daarvan maar eens uit. Nu kun je wel netjes tellen.



Experimenteren

Experimenteer eens met de blanking-input, de load-input en de phase-input. Vooral deze laatste geeft onverwachte resultaten, waarover je even moet nadenken voordat je het begrijpt.

Cascaderen

Je kunt twee of meer van deze tellers in cascade zetten, bijvoorbeeld samen met die van de burens op het practicum. Sluit dan de andere teller (zonder ingangs-C, maar de weerstand van 47k mag blijven zitten) aan op O_3 (pen 14) van de eerste teller. Vergeet niet de "aardes" door te verbinden, anders werkt het niet. Ook kun je beide tellers op dezelfde voeding aan sluiten.

Wanneer de eerste teller van 9 naar 0 gaat, telt de tweede teller met één op. Je kunt nu tellen van 0 t/m 99.

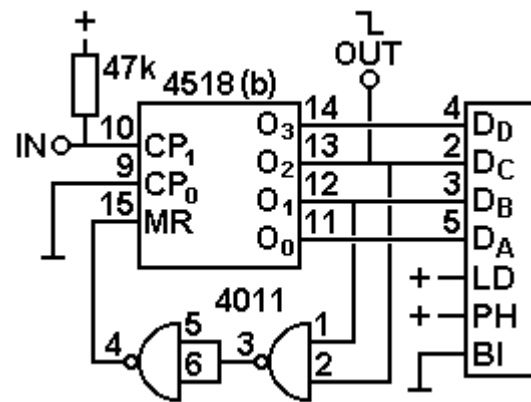
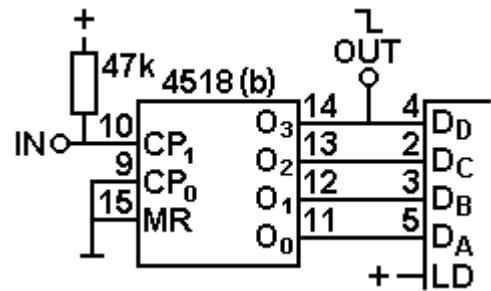
Zo kun je er meer in cascade zetten. Als het geven van pulsjes je te lang gaat duren, vraag dan op het practicum om een pulsgenerator. Die dingen zijn daarvoor en ze kunnen het razend snel.

Andere deeltallen

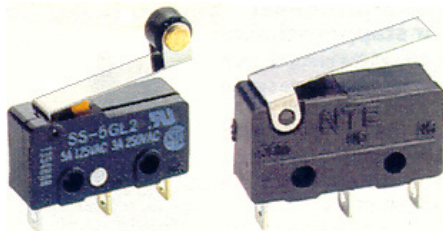
Zo met een paar cijfers ben je al een eind op weg naar het maken van een digitale klok. Pulsjes van 1 sec en je hebt een secondenteller. Maar seconden gaan niet tot 99, maar tot 59. Het achterste cijfer is wel goed, maar hoe dwingen wij het voorste cijfer na een 5 terug naar 0?

Daarvoor is een simpele en betrouwbare, maar wat smerige oplossing. We laten de deler gewoon naar 6 tellen, dat detecteren we (6 is 0110, twee enen in het midden) en met de MR zetten we hem schielijk weer op nul. Zo snel, je ziet het niet.

Twee NAND's uit een 4011 "AND-en" de twee middelste bits en het resultaat gaat naar de MR. O_3 gaat nooit meer naar 1, een output moet nu worden aangesloten op O_2 .



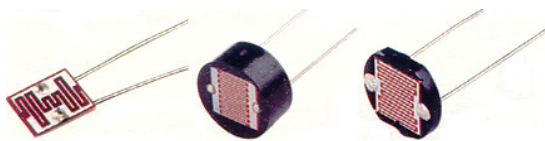
Pulsgevers



Zo met draadjes tegen elkaar tikken lijkt wel aardig, maar we hebben straks toch iets beters nodig. De microswitch (zie hiernaast) dankt zijn naam niet aan zijn afmetingen, maar aan de zeer kleine verplaatsing die het uitstekende pennetje nodig ($\frac{1}{2}$ mm) heeft om te schakelen. Zij zijn doorgaans uitgerust met een hefboompje, al of niet met rolletje, om wat minder gevoelig te zijn voor mechanische onnauwkeurigheden.

Het zijn "omschakelaars" met een contact dat in rust gesloten is (NC, Normal Closed) en een dat in rust open is (NO, Normal Open). De schakelcontacten zeggen duidelijk "klik" bij het omschakelen, maar zij denderen wel degelijk.

Een ander heel bruikbaar soort schakelaar is het reedcontact (reed switch). In een glazen buisje met een inert gas zitten twee ijzeren contactjes ingegoten, zo dat zij elkaar net niet raken. Houden we er een magneetje bij dan worden zij magnetisch en trekken elkaar aan. Het contact sluit zich. Op deze manier werkt ook de sensor voor een fietscomputer. En ja, ook een reedcontact heeft last van denderen.

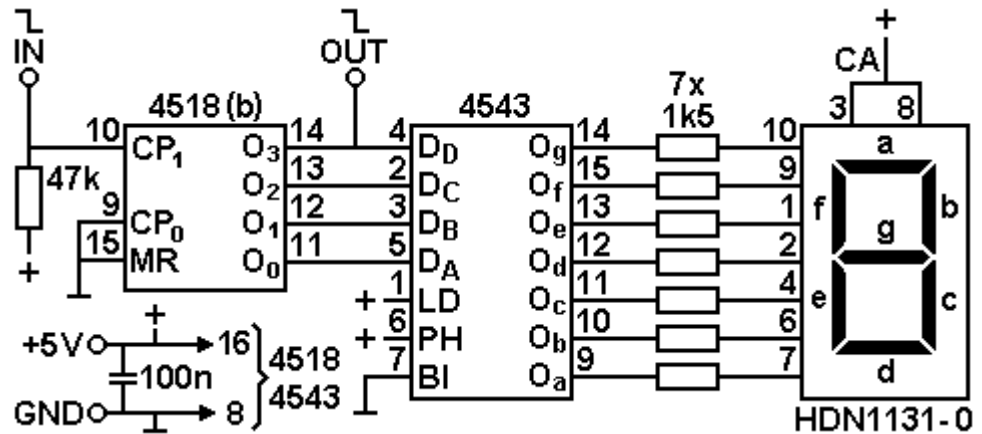


Een nog andere mogelijkheid is tellen door het onderbreken van een lichtstraal. Een LDR (Light Dependent Resistor) is hiervoor een bruikbare component. De weerstandswaarde daarvan wordt lager als hij wordt belicht. Met de ohmmeter kun je de waarde meten bij de lichtintensiteit die je als omschakelpunt tussen 0 en 1 wilt gebruiken, zeg maar voor $\frac{1}{2}$. De weerstand van 47k aan de ingang moet je dan vervangen door een weerstand met een waarde die gelijk is aan die gemeten $\frac{1}{2}$ -waarde.

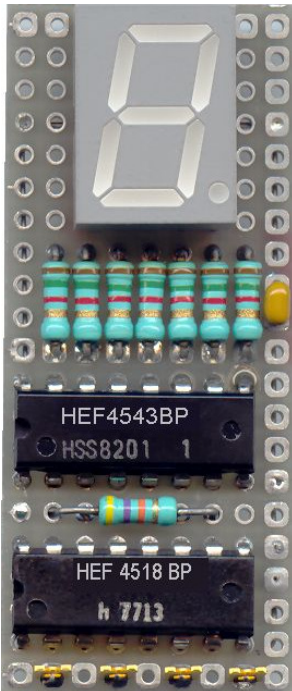
De weerstand van 47k aan de ingang moet je dan vervangen door een weerstand met een waarde die gelijk is aan die gemeten $\frac{1}{2}$ -waarde.

Bouwen op gaatjesprint

Een schakeling op een prikbordje is leuk om te experimenteren, maar de verbindingen zijn te onbetrouwbaar om het langere tijd in deze vorm te gebruiken. De schakeling bouwen op gaatjesprint is een veel beter idee. Als je het netjes doet is dit bedrijfszeker voor jaren ongestoord bedrijf.



Lay-out



Overdenk van tevoren hoe je de componenten tenopzichte van elkaar positioneert. Dat is voor een prototype niet zo belangrijk, maar als je het onhandig doet betekent dat veel en lange bedrading, waardoor je het overzicht verliest. Dat is lastig als het onverhoopt niet werkt.

Teken tevoren op een vel ruitjespapier hoe de IC's naast elkaar zouden kunnen zitten en hoe dan de onderlinge bedrading verloopt. Na een paar pogingen heb je een redelijk optimale opstelling. Deze korte voorbereiding scheelt je veel tijd bij het bouwen.

Bedraden

Begin met bedrading die je met blank ongeïsoleerd draad kunt leggen. Dat zijn bijvoorbeeld de aarddraad (GND of V_{SS}) en de voedingsspanning (+ 5V of V_{DD}). Sommige verbindingdraden kunnen als het handig uitgezocht is ook met blank draad gelegd worden. Zorg weer voor een condensatorpje van de + 5 naar aarde voor de ont koppeling van de voedingsspanning.

Ook de aansluitdraden van weerstanden en condensatoren kunnen, alweer als het handig is uitgezocht, onder op de print worden omgebogen en op de juiste lengte afgeknipt, direct aan de IC-pennetjes worden vastgesoldeerd. Werk haast overdreven netjes hierbij en je krijgt een resultaat dat gezien mag worden. De afgeknipte eindjes draad kunnen zelfs weer gebruikt worden voor verbindingen tussen IC-pennetjes die toevallig dicht bij elkaar liggen.

Gebruik voor de "wilde" bedrading z.g. "Wire Wrap" draad. Dit is heel dun draad met Teflon (PTFE) isolatie. Voordeel is dat PTFE niet smelt als je er per ongeluk met de soldeerbout tegenaan komt. Nadeel is dat de kunststof hard en stug is, waardoor de isolatie lastig te verwijderen is. Maar met de speciale truc uit het blok hier naast is dit heel beheerst te verwerken.

Steek het gestripte uiteinde naast het IC-pennetje in het gaatje en soldeer ze samen vast. Het soldeer dat capillair in het gaatje kruipt zorgt voor een zeer betrouwbare verbinding. Leid dan de draad naar het punt waar het heen moet, knip het 2 mm "te lang" af en behandel het uiteinde net zo. Keurig.

Volgorde

Bouw ook nu weer van achteren naar voren en test tussendoor, zo vaak als kan, wat je al gebouwd hebt. Gebruik voor de aansluitingen "naar buiten" soldeeroogjes. Zo kun je deze bedrading later meer dan eens los solderen en weer opnieuw aansluiten.

Strippen van draad met Teflon isolatie

Doe het zo:

- plet de laatste twee millimeter met een plat tangetje,
- de isolatie splijt en vormt twee "pluisjes" (inzet),
- knip de pluisjes met een klein scherp tangetje af,
- een nagelknippertje is hiervoor bij uitstek geschikt.

