

Draaitol met dis

toont geprogrammeerde tekst tijdens het tollen

Michael Bragard

Als je een ronde print met daarop een rijtje LED's ronddraait, dan zie je lichtringen. Het wordt een stuk spannender als je met behulp van een microcontroller de illusie van een stilstaand beeld weet op te wekken, waarmee je letters en cijfers kunt laten zien. Dit artikel laat ook zien hoe je met eenvoudige middelen het aardmagnetische veld kunt gebruiken om het beeld stil te zetten. De toepassingen lopen van rondeteller tot kompas.

Herinnert u zich nog het vak natuurkunde op de middelbare school? Waarschijnlijk kunt u zich vast nog wel de volgende proef herinneren: een in een schommel opgehangen draadbrug hangt in het magneetveld van een hoefijzermagneet. Nu laat de docent kort een gelijkstroom door de draadbrug lopen. Als door toverkracht schommelt de draadbrug uit de ruststand en weer terug. Zo werkt een elektromotor in principe, wordt er dan uitgelegd.

Heeft u dit met enige verwondering bekeken, dan krijgt u bij de volgende natuurkundeles weer een verrassing. Het effect is ook omkeerbaar, volgens de docent. Hij beweegt nu de draadbrug door het magneetveld heen en weer. In plaats van de stroombron heeft hij een gevoelige draaispoelmeter aangesloten. Elke beweging van de draadbrug veroorzaakt ook een uitslag van de wijzer van het instrument. Het lesuur wordt dan afgesloten met de woorden: "en dit is dan het principe van een dynamo!"

Nu zult u zich afvragen wat deze zogenaamde dynamo met onze LED-tol te maken heeft. Laten we nog even teruggaan naar het vervolg van de proef: een spoel wordt nu tussen de

hoefijzermagneet gedraaid en op het scherm van een scoop wordt dan een sinusvormige spanning over de spoel gemeten.

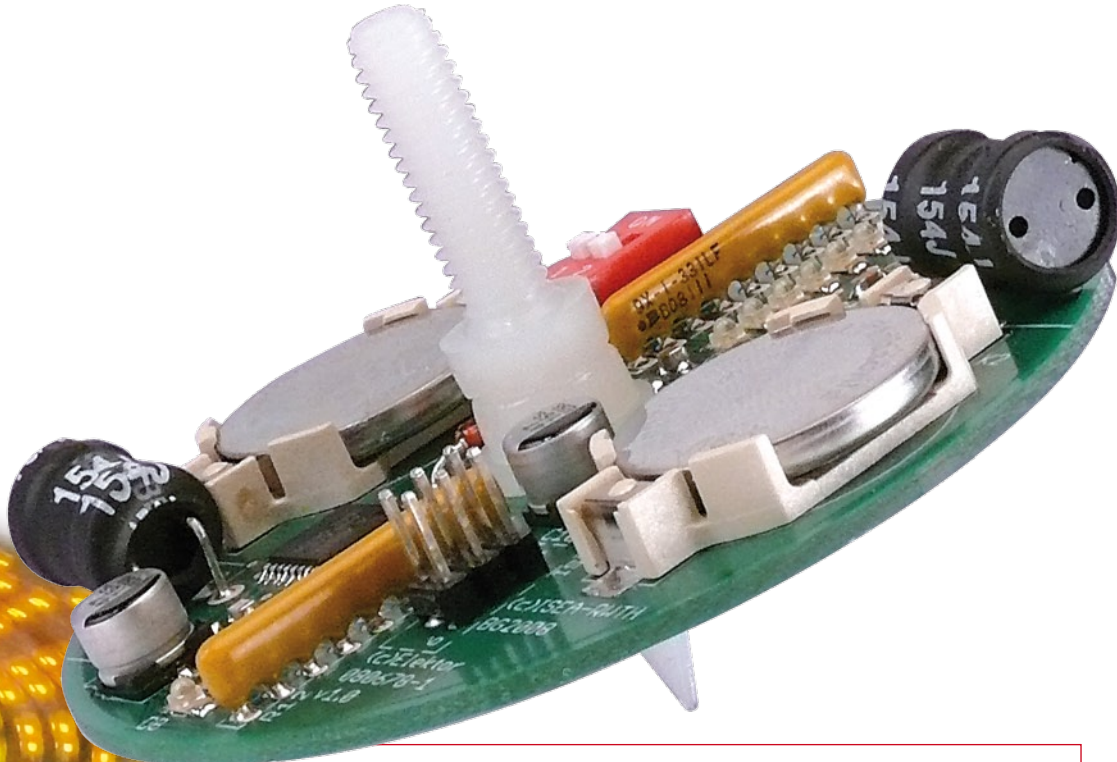
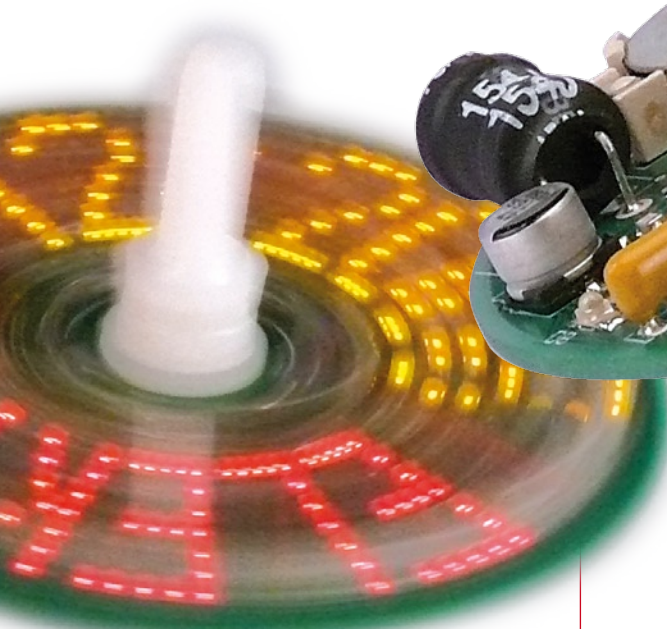
Ook in de tol die we hier bespreken zit een kleine spoel. In plaats van het magneetveld van een hoefijzermagneet wordt het aardmagnetische veld gebruikt. Nauwkeuriger gezegd: door de draaiing van de tol wordt een spoel rondgedraaid in de horizontale component van het aardmagnetische veld. Bij een constante rotatie wordt in de spoel een sinusvormige spanning geïnduceerd, het gaat hier dus weer om een dynamo. Natuurlijk is het aardmagnetische veld zeer zwak, de bruikbare horizontale component bedraagt in midden-Europa amper $20 \mu\text{T}$. De spanning die daarmee kan worden opgewekt is afhankelijk van het oppervlak van een winding en het aantal windingen. Deze parameters zijn beide naar boven toe begrensd, omdat de spoel op een handzame tol moet passen. Om langdradig spoelen wikkelen te vermijden wordt een kant en klare spoel gebruikt. De opgewekte spanning is ook evenredig met het toerental en daarmee ook van de bedrevenheid van de gebruiker. De spoelspanning die wordt opgewekt ligt in de grootteorde van ongeveer $50 \mu\text{V}$.

Idee

Snel aangestuurde bewegende LED's zijn de laatste jaren relatief populair geworden. Ook in Elektor waren al voorstellen voor de bouw van apparaten die middels roterende LED's een tekst of een logo in de ruimte laten zien [1]. Dit werkt volgens hetzelfde principe als een monitor met een beeldbuis. Zoals een elektronenstraal beweegt over een fluorescerend beeldscherm, net zo beschrijven LED's een oppervlakte in de ruimte. Beide systemen maken gebruik van de traagheid van het menselijke oog. De nalichttijd van de afzonderlijke beeldpunten en de voortdurende snelle herhaling schepden de illusie van een samenhangend stilstaand beeld. Bij de systemen met roterende LED's is er meestal sprake van vaste opstellingen. Hierbij zijn er in principe twee hordes die echter wel te overkomen zijn. De eerste is de overdracht van energie naar het roterende deel, de andere is het opwekken van een geschikt synchronisatiesignaal. Het probleem van de energieoverdracht wordt vaak met een zelfgewikkelde transformator opgelost, waarbij een wikkeling op de stator zit en de ander op de rotor. Bij onze tol is dat geen probleem omdat er geen vast



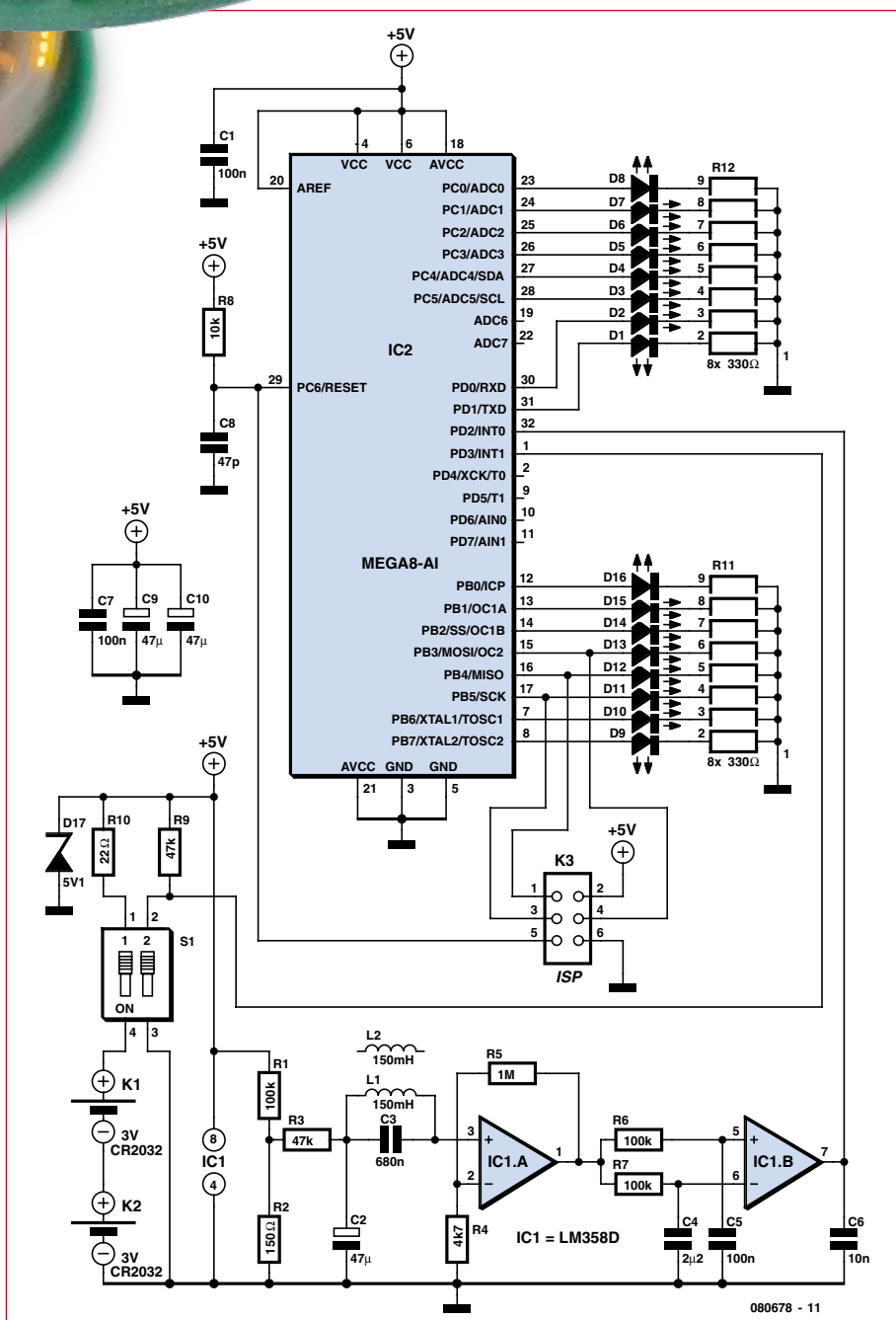
play



deel is. De voeding gaat met twee batterijen op de cirkelvormige print die symmetrisch rond de draaiingsas gemonteerd zijn en meedraaien.

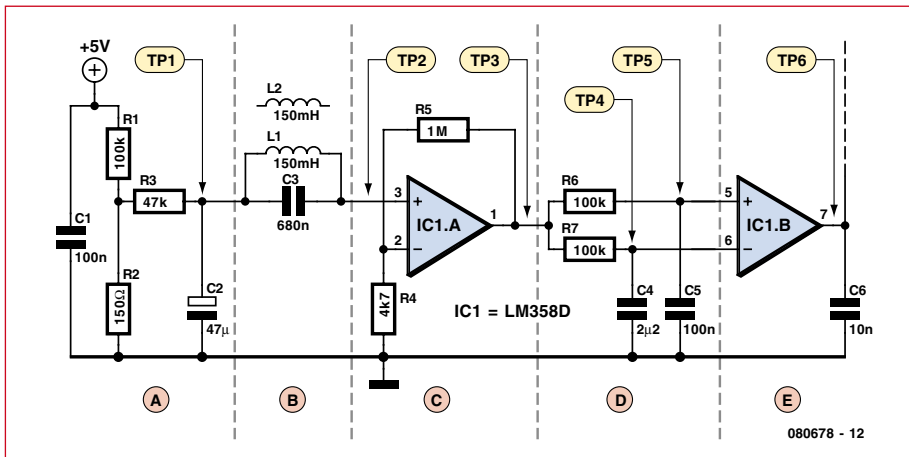
Ten behoeve van de synchronisatie moet herkend worden wanneer de tol een volledige omwenteling heeft gemaakt. Dat is essentieel voor het weergeven van stilstaande beelden. Bij de gebruikelijke oplossingen met een vast opgesteld gedeelte wordt er een impuls per omwenteling gegenereerd met een IR-lichtsluis of een Hall-sensor. Dat is zeer nauwkeurig en eenvoudig op te bouwen. Bij een tol die geen vast ankerpunt heeft, is dat een stuk moeilijker. Ook met dure versnellings- en hoekverdraaiingsmeters kom je niet veel verder.

Zoals eerder beschreven gebruikt onze tol als sensor een goedkoop spoeltje dat in een lokaal homogeen veld rondtolt. Dit magneteveld kan bijvoorbeeld het aardmagnetische veld zijn. Houdt men een permanente mag-



Figuur 1.

De schakeling van de LED-tol bestaat in feite uit een ATmega8-microcontroller van Atmel met een opamp-schakeling voor het genereren van de synchronisatiesignalen.



Figuur 2. Het analoge deel van de schakeling is hier voor een beter begrip in vijf functionele eenheden (A tot E) opgesplitst. De ingetekende testpunten (TP1 tot TP6) corresponderen met de signalen in de figuren 3 tot 5.

neet naast de tol, dan werkt dat echter ook. Door voldoende versterking en een fasevergelijking met het in fase verschoven signaal kan uit de zeer kleine sinusspanning een blokvormig signaal gewonnen worden voor het genereren van een interrupt voor de microcontroller.

Schakeling

De schakeling van de LED-tol in **figuur 1** bestaat in wezen uit een ATmega8-

microcontroller van Atmel in verbinding met een analoge schakeling voor het opwekken van het synchronisatiesignaal. De controller (IC2) stuurt twee LED-arrays met elk acht SMD-LED's rechtstreeks aan. Deze zijn voorzien van weerstandsnetwerken die voor de stroombegrenzing zorgen. Het overige digitale deel van de schakeling is de standaardopbouw rond een Atmel-AVR-controller met power-on-reset-netwerk (R8/C8) en ISP-bus K3 voor het laden van de software in de con-

troller. Buffercondensator C1 voorkomt HF-problemen in het analoge deel. De voeding van de schakeling is heel eenvoudig gehouden: De serieschakeling van de twee CR2032-cellen geeft een spanning van rond 6 V. Deze wordt met R10/D17 (5,1 V zener) op een voor de controller geschikte waarde gebracht. De batterij wordt optimaal benut omdat de schakeling net zo lang werkt totdat de controller het bij ongeveer 3 V laat afweten. Het bufferen van de voedingspanning gaat met ongeveer 100 μF in de vorm van de parallelschakeling van C9 en C10. Het gebruik van twee elco's zorgt voor een gelijkmatige verdeling van de massa (balancering) op de roterende print.

Voor een beter begrip is het analoge deel van de schakeling in **figuur 2** nog eens weergegeven en in vijf functieblokken (A tot E) onderverdeeld. Deel A zorgt voor een gelijkspanning van 7,5 mV uit de spanningsdelers R1 en R2. Deze spanning wordt via R3 door C2 gebufferd en op de linker aansluiting van spoel L1 (TP1) gezet. In deel B zit nog een buffercondensator evenals de eigenlijke spoel L1 waarin de spanning wordt opgewekt. De draaiing in het aardmagnetische veld wekt met de typische parameters van

Listing

Hoofdprogramma voor omwenteling-herkenning van de LED-tol

```
ISR (INT0_vect)
{
    // rising edge of the sensor pulse
    current_round_time = current_round_time_zaehl;

    // counts the duration of the last round in ms
    // is starting a new round realistic?
    // (80% of the time of the last round)
    if (current_column > (column_number*8)/10) {
        // here: adopt lap time for new column
        // timing, Timer1 runs with 1MHz
        timer1_startvalue =
            1000/column_number*current_round_time;
        current_column = 0;
    }
    #ifdef ROTATION_COUNTER
        if (game_status == GAME_ONGOING)
            number_of_turns++;
    #endif // ROTATION_COUNTER
}

// clear elapsed time meter for the
// time in ms between two rising edges
current_round_time_zaehl = 0;
}
```

```
ISR (TIMER0_OVF_vect)
{
    // this routine should be called
    // every millisecond
    TCNT0 = 255 - 125;

    // increment the cyclic counter
    // (without overflow)
    if (current_round_time_zaehl < 255) {
        current_round_time_zaehl++;
    } else {
        current_round_time_zaehl = 255;
    }
}

ISR (TIMER1_OVF_vect)
{
    // calling time is based upon the
    // actual speed
    TCNT1H = 255 - (timer1_startvalue >> 8);
    TCNT1L = 255 - (timer1_startvalue & 255);

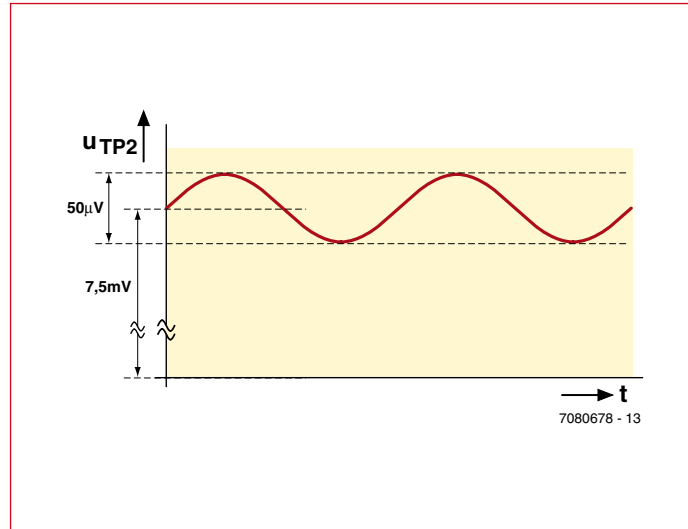
    // next column, or missed synchronization
    // condition, then new start:
    // time-controlled
    if (current_column < column_number) {
        current_column++;
    } else {
        current_column--;
    }
}
```

de spoel een sinusvormige inductiespanning op met een amplitude van ongeveer $50 \mu\text{V}$. Op meetpunt 2 (TP2) staat een gelijkspanning van $7,5 \text{ mV}$ met daarop gesuperponeerd de geïnduceerde wisselspanning van $50 \mu\text{V}$ (figuur 3). Spoel L2 is niet aangesloten en zit er alleen in als tegengewicht.

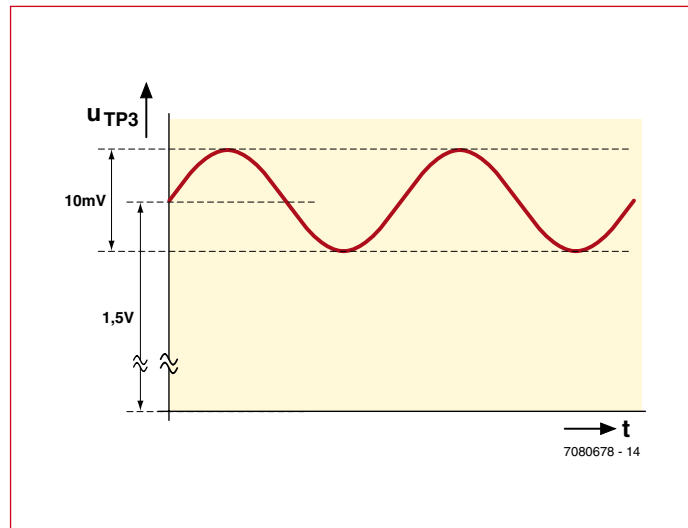
Het derde deel (C) van het analoge gedeelte bestaat uit opamp IC1.a die met R4 en R5 als niet-inverterende versterker met een versterkingsfactor van 200 is geschakeld. Aan de uitgang van deze opamp (pen 1 van de LM358 = TP3) staat een sinusvormige spanning met een amplitude van 10 mV gesuperponeerd op een gelijkspanning van $1,5 \text{ V}$ (figuur 4).

Deze spanning dient als ingangsignaal voor deel D van de schakeling. Deze sectie bestaat uit twee passieve laagdoorlaatfilters (R6/C5 en R7/C4). Deze filters zorgen aan de ene kant voor een vermindering van HF-stoorsignalen die onvermijdelijk voorkomen in de buurt van pc's. Aan de andere kant zorgen de verschillende tijdconstanten (C4 is veel groter dan C5) voor een faseverschuiving tussen de uitgangssignalen van de filters op TP4 en TP5. Dit is grafisch weergegeven in figuur 5.

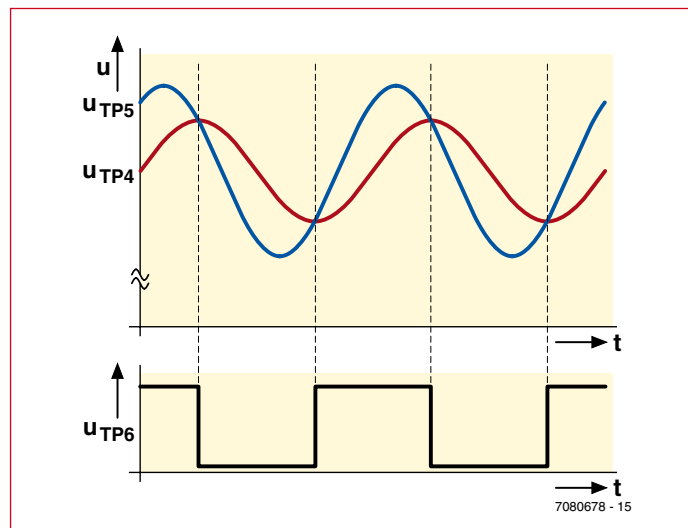
In deel E komen beide sinusignalen op de ingangspennen 5 en 6 van IC1.b. Deze opamp heeft geen tegenkoppeling en werkt daarmee in open loop als comparator en vergelijkt de twee in fase verschoven sinussignalen op de ingangen, die praktisch dezelfde amplitude hebben. Dit levert aan de uitgang een hoog niveau als de spanning aan de niet-inverterende ingang van de opamp (TP5) groter is dan die aan de inverterende ingang (TP4). Dat is steeds het geval voor een halve sinusperiode – en daarmee voor een halve



Figuur 3. De inductiespanning die door het aardmagnetische veld in spoel L1 wordt geïnduceerd, is slechts ongeveer $50 \mu\text{V}$.



Figuur 4. Het signaal dat door opamp IC1.a is versterkt.



Figuur 5. Uit de door het RC-netwerkje in fase verschoven signalen maakt comparator IC1.b een pulsiformig signaal voor het leveren van interrupts aan de microcontroller.

omwenteling van de tol. De uitgang van deze opamp wordt rechtstreeks aangesloten op de interrupt-ingang van de Atmega8 (IC2) en geeft daarmee bijvoorbeeld bij elke opgaande flank een nieuwe omwenteling aan.

Opbouw

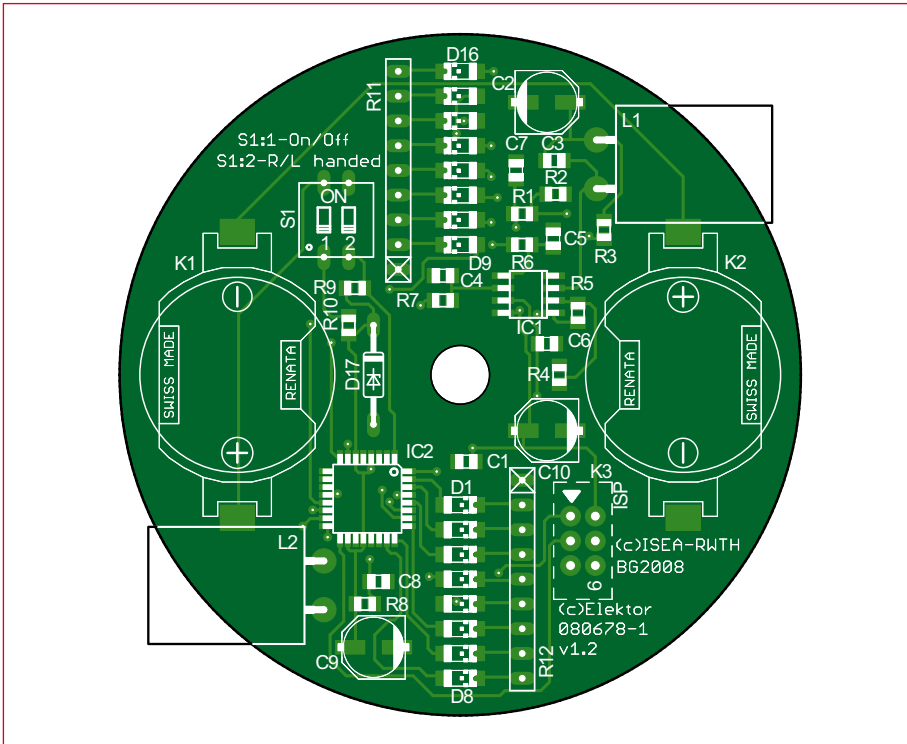
Het opbouwen van de cirkelvormige print (figuur 6 en figuur 7) is heel eenvoudig als het in de Elektor-shop verkrijgbare bouw pakket wordt gebruikt. Alle SMD's zijn dan namelijk al gemonteerd, zodat het solderen zich beperkt tot de onderdelen met aansluitdraden. Door een kleine aanpassing van de positie van de onderdelen met aansluitdraden is de verdeling van de massa over de print nog wat te variëren (uitbalanceren) om een zo rond mogelijke gang van de tol te verkrijgen

Maakt u geen gebruik van de kant-en-klaar bestuikte SMD-print, houd dan de polariteit van de SMD-LED's goed in de gaten (datasheet bestuderen en de LED in noodgevallen met een 1-k-weerstandje in serie testen op een 9-V-batterij). Natuurlijk is de juiste polariteit ook belangrijk bij alle normale onderdelen met een polariteit.

Als tol-as bleken twee M6 kunststofschroeven van polyamide goed te voldoen. Deze worden met de kop aan elkaar gelijmd zodat er een as ontstaat. De tolprint wordt op de onderste schroef tussen twee ringen met een moer vastgeschroefd. Het is daarbij nog aan te bevelen om het uiteinde van de onderste schroef met een puntenslijper wat aan te scherpen zodat de wrijving wat minder wordt en de tol langer blijft draaien.

Software

De software voor de LED-tol werd geschreven in AVR-Studio [2] dat door Atmel via het



Figuur 6. De cirkelvormige print van de tol is bij Elektor verkrijgbaar in een versie waarbij alle SMD's al zijn gemonteerd.

internet gratis ter beschikking wordt gesteld. De C-code werd gecompileerd met de cross-compiler GCC. Via de ISP-aansluiting op de print werd de code in de Atmega8 geladen. De code is in

hoofdzaak interrupt-gestuurd. Na de initialisering en de opbouw van het displayveld wordt in het hoofdprogramma voortdurend gekeken of de startvoorwaarde nog geldig is. Deze is

Onderdelenlijst

Weerstanden:

(SMD 0805, 1 %, tenzij anders vermeld)
 R1,R6,R7 = 100 k
 R2 = 150 Ω
 R3,R9 = 47 k
 R4 = 4k7
 R5 = 1 M
 R8 = 10 k
 R10 = 22 k
 R11,R12 = 8 x 330 Ω, weerstandsnetwerk, 9-polig (SIL09)

Condensatoren:

C1,C5,C7 = 100 n (SMD 0805)
 C2,C9,C10 = 47 μ/16 V (SMD-elco)
 C3 = 680 n (SMD 0805)
 C4 = 2,2 μ/16 V (SMD 0805)
 C6 = 10 n (SMD 0805)
 C8 = 47 p (SMD 0805 NPO)

Spoelen:

L1,L2 = 150 mH vaste spoel, $Q_{min} = 50$, RM5 (12x16 mm), bijv. Fastron 11P-154J-50

Halfgeleiders:

D1...D8 = LED rood 628 nm, SMD 1206 met lens, bijv. Kingbright KPTD-3216SURC
 D9...D16 = LED geel 588 nm, SMD 1206

met lens, bijv. Kingbright KPTD-3216SYC
 D17 = zenerdiode 5,1 V/1,3 W (ZD 5,1, BZV85-C5V1)
 IC1 = LM358 (SMD SO8)
 IC2 = ATmega8-16AU (Atmel), SMD TQFP-32 (geprogrammeerd, EPS 080678-11)

Diversen:

S1 = DIP-schakelaar, 2-polig (MULTICOMP MCDS02 DIL04)
 K1, K2 = CR2032 SMD-batterijhouder (Renavita SMTU-2032-1-LF, SMTU-2032-1)
 K3 = 6x2-pens header, steek 2,54 mm (Tyco-AMP 1241050-3 AMP)
 Kunststof bout (polyamide) M6x20 met moer en 2 ringetjes
 BAT1, BAT2 = lithium-knoopcelbatterij CR2032
 Print 080678-1 (layout gratis te downloaden van www.elektor.nl)

Ook verkrijgbaar:

Complete onderdelenkit met voorge-monteerde SMD's (EPS 080678-71, zie Elektor-shop)

geldig als de tijd voor een omwenteling onder een waarde ligt die met een constante kan worden ingesteld.

In het volgende wordt in het kort het basis-algoritme voor de rotatieherkenning uit de doeken gedaan. Deze is in de listing weergegeven en bestaat uit drie interrupt-routines, waarbij de hardware-interrupt door twee timer-interrupts wordt ondersteund. De rest van het programma verklaart zich zelf door het uitgebreide commentaar.

De hardware-interrupt-routine wordt actief als op pin INT0 een opgaande flank wordt herkend. Na het optreden van deze interrupt wordt in de ISR(INT0_vect) routine eerst getest of de rondetijd van de laatste omwenteling realistisch is. Een omwenteling is realistisch als de vorige ronde minstens 80 % van de rondetijd van de nieuwe ronde geduurd heeft.

Aansluitend wordt met timer1, die op 1 MHz loopt, de exacte tijd voor een pauze (tijd tussen de puntjes) bepaald. Deze tijd moet voortdurend worden aangepast omdat de tol gedurende de looptijd steeds langzamer gaat draaien en daarmee de pauze voor elke ronde iets langer wordt. De variabele akt_spalte wordt op nul gezet en daarmee begint de opbouw van het beeld weer vanaf de eerste positie van het displayveld.

De variabele akt_rundenzeit_zaehl telt middels timer0 de tijd tussen twee opgaande flanken voor de analyse van de plausibiliteit en wordt hier eveneens weer op nul gezet. De routine voor timer-interrupt ISR(Timer0_OVF_vect) wordt tijdgestuurd iedere milliseconde opgeroepen en verhoogt zonder overflow de teller voor de duur van de actuele omwenteling (akt_rundenzeit_zaehl).

Timer1 met de routine ISR(Timer1_OVR_vect) dient voor het tellen van de pauzes in het displayveld. Vervolgens wordt in deze timer de tijd tot de volgende aanroep (dat wil zeggen de afstand tussen twee pauzes) voortdurend geactualiseerd, zodat hij aan het actuele toerental van de tol wordt aangepast. Als niet aan de synchronisatievoorwaarde wordt voldaan (de hardware-interrupt komt niet ongeveer op het verwachte tijdstip), kan hier geheel tijdgestuurd een nieuwe ronde gestart worden.

De praktijk wijst echter uit dat dit niet nodig is en zodoende wordt hier alleen

maar overflow van de variabele akt_spalte voorkomen.

De volledige broncode is beschikbaar op de Elektor-website, kijk bij dit artikel onder de maand december. IN deze code kan men zeer eenvoudig de weergegeven tekst in een string in de header naar eigen behoefte aanpassen. Het geheel wordt met de algemene compiler GCC vertaald en dan via ISP in de tol geladen. De fuse-bits in de Atmega8 blijven onveranderd op de standaard instelling (interne klok op 1 MHz).

Bij de onderdelenkit die door Elektor wordt geleverd is de microcontroller al voorgeprogrammeerd, zodat de tol het meteen na de opbouw doet en een demo-tekst laat zien. U kunt dit programma echter te allen tijde via de ISP-aansluiting vervangen door zelf gecompileerde code.

Toepassingen

Natuurlijk is het aan de gebruiker welke tekst de tol laat zien – van “Hello World” via de firmaam tot een kort gezegde – alles is mogelijk. Met “happy birthday” en de naam van de ontvanger is de tol zeker een gegarandeerd uniek verjaardagscadeau.

Hier kan men in de periode voor de Kerst nog veel verder gaan. Met de extra programmering van een tijdbasis in de ATmega is het bijvoorbeeld mogelijk om een kleine adventskalender te programmeren. Op die manier kan de tol elke dag in de adventsperiode een aardig gezegde of het trefwoord voor een kleine verrassing prijsgeven. Er werd ook een softwareversie met een rondenteller ontwikkeld, waarmee de tol ‘live’ het aantal bereikte omwentelingen laat zien. In de vorm van een wedstrijd kan men dan strijden om de beste ‘toldraaier’. Meerdere tollen met deze software zijn

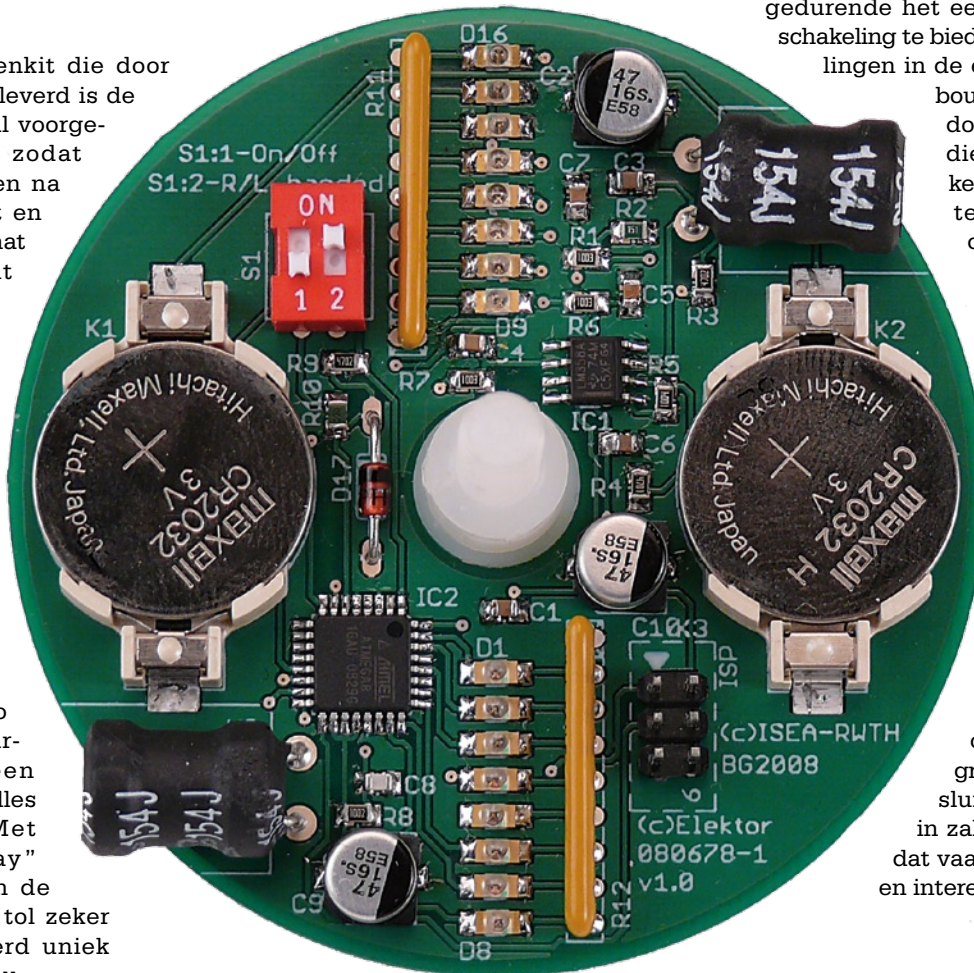
gebruikt op de Elektor-stand tijdens de pas gehouden Electronica-beurs in München. Honderden omwentelingen zijn zonder meer te bereiken en de winnaar van de dag onder de ‘meester-toldraaiers’ won natuurlijk een LED-tol...

Het opslaan van resultaten in het interne EEPROM is ook een mogelijke uitbreiding. Naast het aantal omwentelingen kan ook de hoeksnelheid

Tot besluit

Toen Michael Faraday in 1831 de basis van de inductiewetten onderzocht, had hij vermoedelijk niet een toepassing in een LED-tol voor ogen. Ook de natuurkundedocent van de middelbare school zal deze associatie vermoedelijk niet hebben. De tol werd ontwikkeld voor de studenten van een knutselgroep bij het Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe van de RWTH in Aken [3] met het doel de studenten gedurende het eerste semester een schakeling te bieden die ook beginnelingen in de elektronica kunnen

bouwen en functioneel doorgronden. Bovendien moest de schakeling door de studenten na het bouwen ook mee naar huis genomen kunnen worden en daar zonder extra apparatuur (netvoeding, solderbout, pc) een voor iedereen begrijpelijke functie demonstreren. Als dan nog de theoretische inhoud van de lessen (over de inductiewet, de niet-inverterende opamp tot het programmeren in C) aansluiten op een project in zakformaat, dan leidt dat vaak tot enthousiasme en interesse in meer.



Figuur 7. Bovenkant van de tolprint. Slechts een van de twee spoelen in de schakeling wordt daadwerkelijk gebruikt, de andere dient alleen maar als tegengewicht.

of een andere afleidbare grootte getoond worden. Een ander effect dat tevens het basisprincipe van de schakeling verduidelijkt, kan men bereiken door de letters ‘WZON’ met wat spaties daartussen te tonen. Dan heb je een kompas dat de richting van het momentele magneetveld laat zien. Voor expedities in de wildernis zijn er waarschijnlijk geschiktere en eenvoudigere apparaten, maar zeker niet met het onovertrefbare ‘aha-effect’ dat ons tol-kompas te bieden heeft...

Links en literatuur:

- [1] Steffen Sorge: Vliegende letters, draaiend LED-display met AVR-controller, Elektor 12/2006
- [2] AVR-Studio: www.atmel.com/avrstudio
- [3] ISEA: www.isea.rwth-aachen.de