

Alles over de asynchrone RS-232-C seriële interface

H. J. C. OTTEN

In reclamefolders komen we veel de volgende kreet tegen: „De aansluiting is overeenkomstig RS-232-C“. Daarbij wordt gesuggereerd dat het aansluiten van apparatuur volgens RS-232-C is gestandaardiseerd en zonder problemen zal verlopen.

Dat de communicatie volgens de RS-232-C inderdaad is gestandaardiseerd is correct, alleen blijkt de standaard vrij uitgebreid te zijn en een degelijke kennis en ervaring te vereisen. Omdat deze vorm van communicatie ook bij personal- en hobbycomputers veelvuldig wordt toegepast is het zinvol de achtergronden van de RS-232-C-standaard en de mogelijke problemen in de praktijk samen te vatten. De RS-232-C-standaard is overigens van Amerikaanse oorsprong, het Europese equivalent heet CCITT V.24 en is vrijwel identiek.

In dit artikel worden achtergrond en praktisch gebruik van de RS-232-C-interface met asynchrone communicatie toegelicht.

Achtergrond van RS-232-C en V.24

We kunnen al vrij lang berichten overbrengen via een elektrische draadverbinding. De telegraaf is in de vorige eeuw uitgevonden en tot op heden in gebruik.

De huidige telecommunicatie heeft nog steeds veel eigenschappen, die terug te voeren zijn op de telegraaf: verbindingen over lange afstanden worden tot stand gebracht met één of twee aders en de berichten worden in digitale vorm overgebracht. Bij de telegraaf wordt het morse-schrift gebruikt om communicatie tussen zender en ontvanger te onderhouden. Dat dit niet voor een wijde verspreiding in aanmerking komt ligt voor de hand.

Een niet-digitale vorm van communicatie is de eveneens in de vorige eeuw, door Graham Bell, uitgevonden telefoon.

Met de telefoon is een veel minder omslachtige methode voor communicatie tussen mensen tot stand gekomen omdat aan beide zijden wordt gewerkt met een verstaanbaar geluidssignaal. De telefoon is juist daarom de best verspreide vorm van communicatie geworden.

Sinds de sterke opkomst van computers in allerlei vormen is er echter een grote behoefte ontstaan aan communicatie tussen dit soort apparatuur.

Helaas werkt de overal beschikbare telefoon met een analogo geluidssignaal en we willen juist transport van digitale gegevens.

Om het telefoonnetwerk toch te kunnen gebruiken voor datacommunicatie is in de laboratoria van de Amerikaanse telefoonmaatschappij Bell Laboratory de modem ontwikkeld. Modem is een samentrekking van de woorden modulator en demodulator. Digitale informatie wordt gemoduleerd (in de vorm van piepjes) aangeboden aan de telefoon en aan de andere zijde weer gedemoduleerd tot een digitaal signaal. Op deze slimme manier werd en wordt het telefoonnetwerk ook geschikt voor datacommunicatie. Indirect heeft het ook geleid tot het ontstaan van de RS-232-C-standaard. De mensen van Bell Laboratory hebben deze modems namelijk voorzien van een connector waarop de nu in de RS-232-C-standaard voorkomende signalen worden aangeboden. De RS-232-C-standaard beschrijft dus de interface tussen modems (officieel Data Communications Equipment of kortweg DCE) en bijvoorbeeld terminals (Data Terminal Equipment of kortweg DTE).

De RS-232-C-standaard is ontwikkeld door de Amerikaanse organisatie EIA (Electronic Industries Association) en in vrijwel gelijke vorm overgenomen door de internationale vereniging van PTT-bedrijven: CCITT onder de naam V.24.

RS-232-C en V.24 nu

Verbindingen volgens de RS-232-C-standaard zijn op het moment het meest in gebruik. Het

gebruik is echter wel beperkt tot vrij korte verbindingen (ongeveer 15 meter bij 9600 baud) tussen de apparaten zonder tussenkomst van modems en lage snelheden (tot 20000 bits per seconde). We komen verbindingen volgens RS-232-C tegen tussen computers en computers, computers en randapparatuur zoals terminals en printers en natuurlijk traditioneel toegepast tussen terminals en modems en tussen computers en modems. Wat we voornamelijk in de praktijk tegenkomen is een asynchroon gebruik van de verbinding. De standaard zelf legt geen beperkingen aan wat de getransporteerde bits betekenen op karakterlengte, karakterset, synchroon of asynchroon enz., maar het is wel een serieel datatransport. We beperken ons in dit artikel tot die aspecten van de verbindingen volgens RS-232-C die van belang zijn bij asynchroon gebruik.

Asynchrone datacommunicatie

De RS-232-C-standaard laat zowel synchroon als asynchroon gebruik van de verbinding toe. In de praktijk komen we voornamelijk asynchroon gebruik tegen. Een kleine toelichting is op zijn plaats. Voor zowel synchroon als asynchroon gebruik van de verbinding is het doel het overbrengen van gegevens. Omdat een telefoonverbinding het niet toelaat om bits parallel te vervoeren, is het transport gedwongen serieel. Bij elkaar behorende bits in een groepje (meestal een karakter verpakt in 7 of 8 bits) worden achtereenvolgens een bepaalde tijd op de zendlijn gezet. Het groepje wordt bij asynchroon

Tabel 1 Samenvatting van de elektrische eigenschappen van een RS-232-C verbinding.

Logische niveau van zender met belasting van 3 tot 7 kΩ:	15 V > V _{oh} > 5 V -15 V > V _{ol} > -5 V
Zenderuitgang onbelast:	V _j < 25 V
Kortsluitstroom van zender:	I _j < 0,5 A
Slew rate van zender:	dV/dt < 30 V/μs
Ingangsimpedantie van ontvanger:	3 kΩ < R _{in} < 7 kΩ
Open ontvanger:	MARK
Ontvanger > +3 V:	SPACE
Ontvanger < -3 V:	MARK
+5 tot +15 V	SPACE, CONTROL ON
-5 tot -15 V	MARK, CONTROL OFF
-3 tot -5 V en +3 tot +5 V	signaal-ruisafstand
-3 tot +3 V	overgangsg gebied

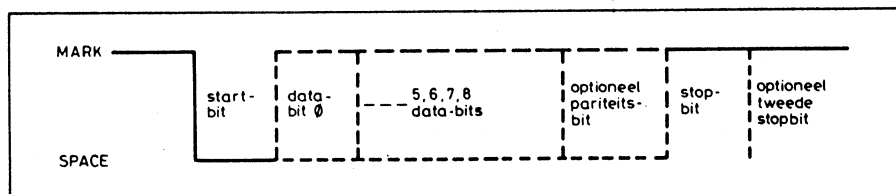
gebruik voorafgegaan door een zogenoemd startbit en afgesloten met één of twee stopbits. Afb. 1 geeft hiervan een indruk. Tussen zender en ontvanger moeten natuurlijk goede afspraken bestaan over de tijd dat een bit geldig op de lijn te vinden is (de baudrate), het aantal bits in een groepje en het eventueel ter controle aanwezige pariteitsbit. In principe is een asynchrone verbinding niet te verwezenlijken als zender en ontvanger niet beide dezelfde afspraken hanteren.

Elektrische eigenschappen

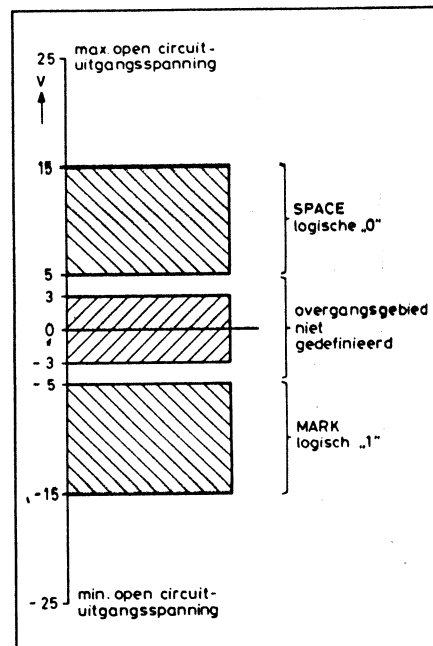
De RS-232-C-standaard beschrijft de functie en de elektrische eigenschappen van de signalen die de verbinding tussen twee apparaten vormen. De signalen zijn alle digitaal van vorm. De elektrische eigenschappen van de zenders en ontvangers voor een verbinding volgens RS-232-C zijn samengevat in afb. 2 en tabel 1. Kortweg zijn de volgende punten van belang. Een spanning tussen -5 en -25 V wordt gezien als logische één, een spanning tussen +5 en +25 V als logische nul. Spanning

tussen +3 en -3 V zijn niet toegestaan. De negatieve toestand wordt meestal MARK genoemd en de positieve toestand SPACE. De vrij hoge spanningen zijn gekozen om een goede signaal-ruisafstand te verkrijgen. Ook het verschil tussen het verboden gebied en het toegestane gebied van 3 tot 5 V geeft een betrouwbare verbinding die redelijk ongevoelig is voor bijvoorbeeld aard-potentiaalverschillen en geïnduceerde storing. Gebruik van afgeschermd kabels is daarom voor korte afstanden (tot 15 meter volgens de standaard) niet nodig, maar kunnen wel nodig zijn voor grotere af-

Afb. 1 Karaktersamenstelling bij asynchrone transmissie.



Afb. 2 Definities van spanningsniveaus bij RS-232-C.



standen. In de praktijk kan tot honderd meter zonder veel problemen worden overbrugd, de standaard laat dit eigenlijk niet toe.

De zender moet tegen kortsluitingen zijn bestand. Als de ontvanger op de zender is aangesloten, moet de zender de spanning tussen 5 en 15 V (positief of negatief) weten te houden. De ontvanger zal daartoe een belasting tussen 3000 en 7000 Ω vertonen.

Om de signalen om te zetten van RS-232-C-niveaus naar de in computers gebruikte TTL-niveaus en omgekeerd en om aan de eisen van RS-232-C te voldoen zijn er IC's met verschillende typenummers te verkrijgen, zoals de types 1488 en 1489. In afb. 3 en 4 zijn de aansluitingen getoond van deze IC's. In afb. 5 is een voorbeeld van zender en ontvanger gerealiseerd met deze IC's.

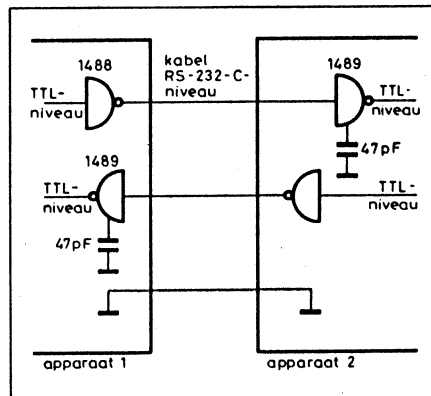
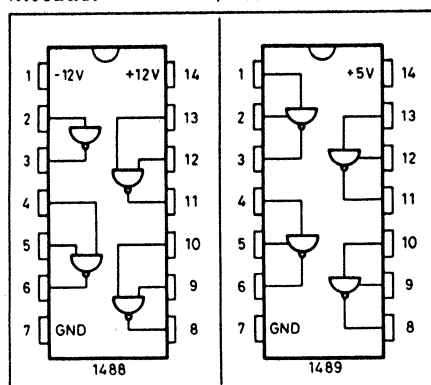
Een voedingsspanning van +12 en -12 V is in de praktijk het meest in gebruik en voldoet uitstekend.

RS-232-C-lijnen

Op de RS-232-C-connector komen we een groot aantal lijnen tegen. De eerste grove indeling is als volgt: datasignalen, massaverbindingen en besturingslijnen.

Afb. 3 Betekenis van de pennen van het IC 1488, geschikt voor het omzetten van TTL-niveaus naar RS-232-C-niveaus.

Afb. 4 Betekenis van de pennen van het IC 1489, geschikt voor het omzetten van RS-232-C-niveaus naar TTL-niveaus.



Afb. 5 Gebruik van de IC's 1488 en 1489 als zender en ontvanger volgens RC-232-C tussen twee apparaten.

Bij de volgende beschrijving is het nuttig tabel 2 te raadplegen. Deze tabel bevat naast elkaar de meest gebruikte naam voor een signaal, de naam in de RS-232-C-standaard, de naam in de CCITT V.24-standaard, de normale toestand (MARK/SPACE of CONTROL OFF/ON) en een korte beschrijving. De tabel bevat allereerst de voor asynchrone gebruik benutte signalen, evenals de vol-

gende beschrijving. Vervolgens worden alle in de standaard genoemde signalen ter referentie genoemd. De massaverbindingen spreken voor zich. Er is een altijd aanwezige signaalaarde en een optionele chassisverbinding. Bij V.24 ontbreekt de laatste overigens. Tabel 2 toont bijvoorbeeld ook de betekenis van de signalen op deze lijnen. Let overigens in tabel 2 erop welk type apparaat (DTE of DCE) de zender of de ontvanger van een signaal is.

De besturingslijnen leveren in de praktijk de meeste problemen op. Niet omdat ze niet goed zijn gedefinieerd, maar omdat een aantal optioneel zijn en soms ook naar willekeur door de fabrikant worden gehanteerd.

Hieronder volgt een beschrijving van de bij asynchrone gebruik van belang zijnde signalen.

Datalijnen, TxD, RxD

Er zijn twee datalijnen, die gelijktijdig transport in beide rich-

Tabel 2 Betekenis van de RS-232-C lijnen en plaats in de connector.

Pen	Naam	EIA	CCITT	Bron	Toestand en opmerkingen
1		AA	n.v.t.	n.v.t.	chassis-aarde, optioneel
2	TxD	BA	103	DTE	datalijn, MARK in rust
3	RxD	BB	104	DCE	datalijn, MARK in rust
4	RTS	CA	105	DTE	ON om zenden door DCE toe te staan
5	CTS	CB	106	DCE	ON om zender door DTE toe te staan
6	DSR	CC	107	DCE	ON als DCE gereed staat
7	GND	AB	102	n.v.t.	signaalaarde
8	DCD	CF	109	DCE	draaggolf gedetecteerd als ON
20	DTR	CD	108	DTE	ON als DTE gereed staat
12	SDCD	SCF	122	DCE	secondary draaggolf gedetecteerd
13	SCTS	SCB	121	DCE	secondary clear to send
14	STxD	SBA	118	DTE	secondary datalijn
15	TC	DB	114	DCE	zenderklok of transmission signal element timing
16	SRxD	SBB	119	DCE	secondary datalijn
17	RC	DD	115	DCE	ontvangerklok of receiver signal element timing
19	SRTS	SCA	120	DTE	secondary request to send
21	SQ	CG	110	DCE	signaalkwaliteit
22	RI	CE	125	DCE	ringindicator (telefoonbel)
23		CH	111	DTE	datasnelheidsselectie
23		CI	112	DCE	datasnelheidsselectie
24	(TC)	DA	113	DTE	zenderklok (extern) of transmitter signal element timing
9	n.v.t.			DCE	positieve testspanning
10	n.v.t.			DCE	negatieve testspanning

tingen van gegevens toelaten. TxD is afkomstig van de DTE (bijvoorbeeld een beeldscherm) en RxD van een DCE (bijvoorbeeld een modem).

Zoals in tabel 2 is aangegeven spreken we bij de datalijnen over de toestanden MARK en SPACE. In rust is een datalijn in de MARK-toestand, volgens tabel 1 is dit een negatieve spanning.

Request to sent, RTS

RTS, afkomstig van de DTE, is in de toestand ON als de DCE mag zenden. Bij half-duplex verbindingen geeft de toestand ON aan dat de DCE mag zenden en de DTE niet.

Clear to send, CTS

CTS, afkomstig van de DCE, geeft in de toestand ON aan dat de DTE mag zenden. Meestal, en altijd bij half-duplex verbindingen, volgt CTS met enige vertraging RTS.

RTS en CTS zijn dynamische signalen die vaak worden gebruikt om een zogenoemde „handshake” tussen DTE en DCE tot stand te brengen.

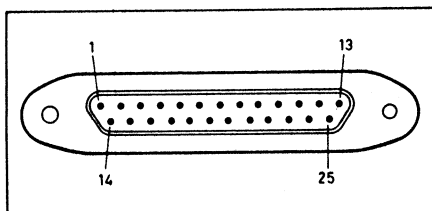
Data Set Ready, DSR

DSR is afkomstig van de DCE en geeft in de toestand ON aan dat de DCE aanwezig is en in staat is om te ontvangen.

Data Carrier Detect, DCD

DCD geeft in de toestand ON aan voor een modem dat een acceptabel draaggolfsignaal wordt ont-

Afb. 6 25-polige D-connector zoals die voor RS-232-C-verbindingen wordt gebruikt.



vangen. DCD wordt ook wel Received Line Signal Detector genoemd.

Data Terminal Ready, DTR

DTR, afkomstig van de DTE, geeft aan dat de DTE aanwezig is als DTR in de toestand ON is.

Connector voor RS-232-C

Voor RS-232-C en V.24 (aanbeveling V.28) wordt vrijwel altijd een 25-pens connector gebruikt, zoals in afb. 6 is te zien. Voor ongeveer de helft van de pennen is een internationaal geaccepteerde bestemming (zie ook „Data Communication-25 pin DTE/DCE Interface connector and Pin Assignment” (ISO/DIS 2110)).

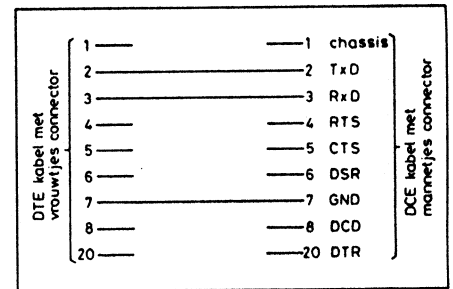
Deze afspraak is in tabel 2 opgenomen. Merk op dat al deze signalen hierboven zijn besproken. De resterende pennen hebben geen vaste bestemming en vele fabrikanten gebruiken deze pennen helaas naar willekeur. Zo vinden we hier testpunten voor de voeding, maar soms ook een interface voor een 20mA-communicatie. Het beste is in een dergelijk geval de documentatie van het apparaat te bestuderen en er in ieder geval voor te zorgen dat alleen de gedefinieerde pennen in de verbindingkabel zijn opgenomen.

De connector wordt door vele fabrikanten gefabriceerd, meestal als equivalent van het type Cannon DP-25P en Cannon DP-25S (mannelijke en vrouwelijke).

Data Terminal Equipment (terminals en computers) zijn van een mannetjesconnector voorzien, Data Communication Equipment (modems) van een vrouwtjesconnector.

Kabels voor RS-232-C

Nu we weten welke signalen er aanwezig kunnen zijn op de eveneens besproken connectoren, kan het verbinden van de



Afb. 7 Minimaal aantal aders in een kabel voor RS-232-C.

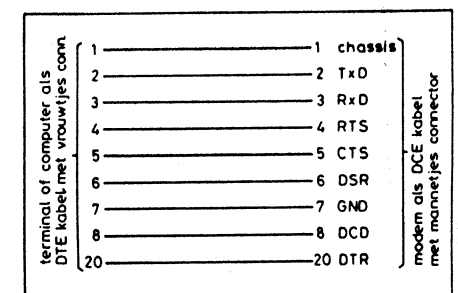
twee apparaten met speciale kabels aan bod komen. Allereerst bespreken we de volgens de standaard mogelijke verbinding tussen een DCE en een DTE. Verbindingen tussen twee DTE's zijn ook mogelijk met de hierna beschreven „null-modem”.

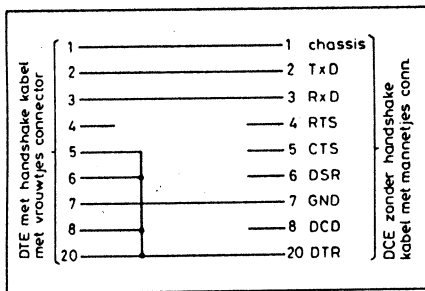
Een minimale RS-232-C-verbinding bestaat uit een kabel met drie aders: signaal-aarde, TxD en RxD. Afb. 7 geeft van een dergelijke kabel een indruk. Deze kabel is alleen bruikbaar als beide apparaten geen prijs stellen op enige besturingslijnen.

De kabel die nodig is voor een verbinding volgens RS-232-C met een volledig benutten van de besturingslijnen is in afb. 8 te zien. Dit is een goed voorbeeld van een verbinding tussen een beeldscherm als DTE en een modem als DCE.

Moeilijker wordt het als een van de twee apparaten wel prijs stelt op besturingslijnen en het andere apparaat deze niet aanbiedt op de connector. Dit soort informatie behoort door de fabrikant van de apparaten te worden gegeven. In principe is het toch mogelijk in dit soort situaties een

Afb. 8 Kabel voor RS-232-C met alle besturingssignalen voor bijvoorbeeld een modem.

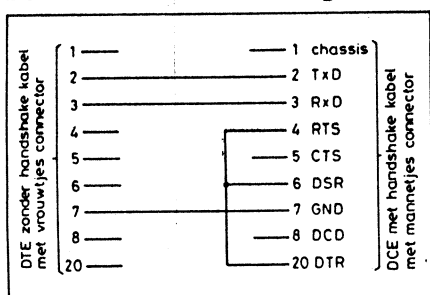




Afb. 9 Kabel voor RS-232-C waarbij de DTE wel besturingssignalen vereist en de DCE ze niet opwekt. DTR wordt daartoe als bron gebruikt.

geschikte kabel te produceren, maar wel ontbreekt dan de besturing waarvoor de besturingssignalen zijn bedoeld! De oplossing wordt in dit soort situaties meestal gevonden door het apparaat dat besturingssignalen verlangt voor de mal te houden met de besturingssignalen die het zelf genereert. Daarvoor komen bijvoorbeeld in aanmerking DTR voor een DTE en DSR voor een DCE. Deze statische signalen zijn meestal in de CONTROL-ON-toestand als het apparaat aan staat. Door deze signalen op de connector door te verbinden met besturingssignalen zoals RTS, CTS of DCD is aan de wens van het apparaat voldaan. Afb. 9 geeft een indruk van een kabel voor een verbinding tussen een DTE met behoefte aan besturingsslijnen en een DCE die geen besturingssignalen afgeeft. Het DTR-signaal wordt gebruikt om CTS, DSR en DCD van hetzelfde apparaat in de ON-toestand te brengen.

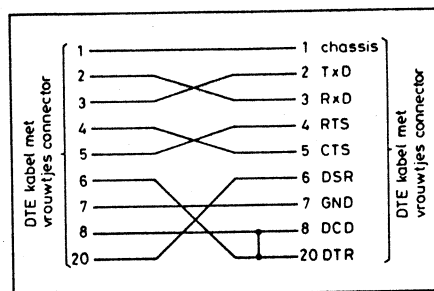
Afb. 10 Kabel voor RS-232-C waarbij de DCE besturingssignalen vereist en de DTE ze niet opwekt. DSR wordt daartoe als bron gebruikt.



Voor een DCE kan bijvoorbeeld DSR worden gebruikt om RTS en DTR in de ON-toestand te brengen. Afb. 10 geeft daar een indruk van.

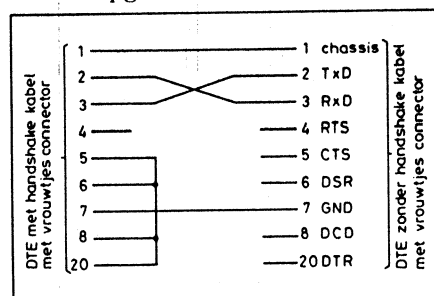
Null-modem

Volgens RS-232-C zijn de te verbinden apparaten verdeeld in DTE- en DCE-types. Als nu een verbinding tussen twee DTE-types moet worden gelegd ontstaat er een probleem. Zo is een terminal, maar ook een computer, een DTE-type. Het probleem zit in de betekenis van de pennen op de connectoren: identiek voor beide apparaten en dat beide connectoren van hetzelfde type (mannetje) zijn. De oplossing wordt dan gevonden in een speciale kabel met de op de oorsprong van RS-232-C wijzende naam „null-modem”. De kabel moet dezelfde rol vervullen die in een verbinding van terminal naar computer wordt vervuld door de combinatie van twee modems en een telefoonverbinding. De null-modem wordt aan beide



Afb. 11 Null-modem voor RS-232-C met alle besturingssignalen.

Afb. 12 Null-modem voor RS-232-C waarbij de DTE besturingssignalen vereist die niet door de DCE worden opgewekt.



zijden voorzien van een 25-polige connector (vrouwje) en diverse verbindingen tussen pennen worden omgewisseld. Afb. 11 geeft een indruk van een null-modem voor een asynchrone verbinding met alle besturingssignalen. In afb. 12 is een null-modem te zien zonder besturingssignalen voor een van de DTE's.

Praktische aanwijzingen

Helaas weet niet iedere fabrikant goed om te gaan met de RS-232-C-standaard. Dat kan in de praktijk ondanks de boven gegeven beschrijving leiden tot een schijnbaar onoplosbaar probleem. Een tweede bron van problemen kan onvolledige of toevallig op dat moment niet aanwezige documentatie zijn. Dan blijft niets anders over dan door metingen te verrichten, vergelijkingen met de RS-232-C-standaard en experimenten toch tot een goede verbinding te komen. Als er documentatie aanwezig is, dan begint elke verbinding natuurlijk met het nauwkeurig bestuderen van de beschrijvingen voor beide apparaten. Een onmisbaar meetapparaat bij dit soort zoekacties is een speciaal voor RS-232-C-verbindingen ontworpen testkastje, ook wel „breakout box” genoemd. In principe is een breakout box een kabel met 25 aders met daaraan verbonden de mogelijkheden om experimenten met de verbinding uit te voeren door naar wens aders te verwisselen, te onderbreken en de signalen te meten. Op deze manier kan worden uitgezocht hoe de gewenste kabel er uit moet zien.

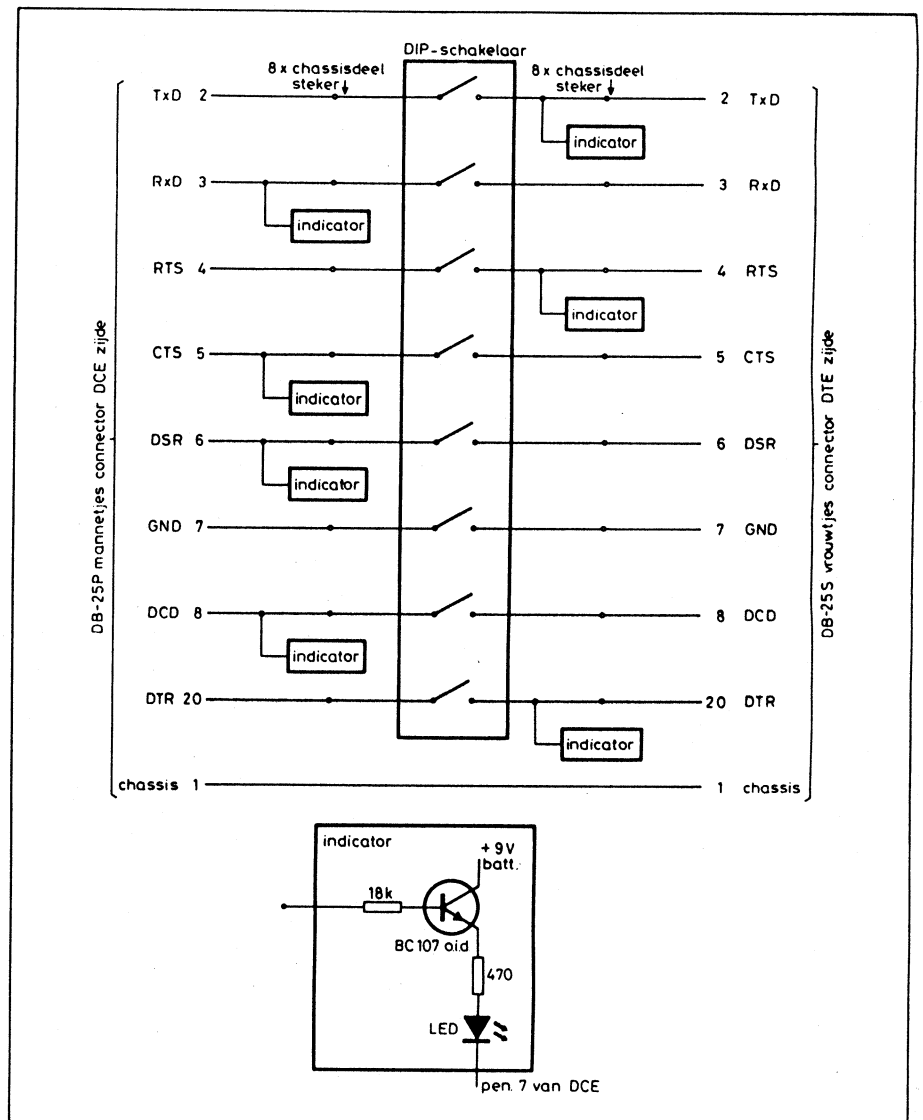
Er is een ruime keuze aan kant en klare breakout-kastjes. Ze hebben alle gemeen dat er twee 25 polige D-connectoren aanzitten en de mogelijkheid om met schakelaars of met draadbruggen verbindingen te leggen of juist open te laten. De elektronica die verder toegevoegd is geeft minimaal de mogelijkheid om de toestand van enige pennen te

controleren en bij de duurdere exemplaren kan de meting van de spanning op een pen zeer uitgebreid zijn. Ook is soms de mogelijkheid aanwezig de overgestuurde seriële gegevens zichtbaar te maken of met de breakout box zelf te injecteren.

Het is niet moeilijk zelf een eenvoudige en goedkope breakout te bouwen die prima geschikt is voor asynchrone verbindingen zoals die in gebruik zijn tussen computers en beeldschermen, computers en modems en computers en printers. Daarbij is een beperkt aantal signalen in gebruik (TxD en RxD, RTS en CTS, DSR en DTR en DCD) zodat we maar een beperkt aantal lijnen behoeven te kunnen schakelen en meten. Afb. 13 geeft het prinscipeschema van een goedkope, maar goed bruikbare breakout box. De LED's gaan branden als op de pen een positieve spanning aanwezig is. Voor RS-232-C betekent dit of SPACE voor de datalijnen of CONTROL ON voor de besturingslijnen.

Een meting begint door de breakout box tussen de twee apparaten aan te brengen met alle schakelaars open en geen draadverbindingen. Eerst moet worden uitgezocht (eventueel met een voltmeter) welke pennen van beide apparaten ingangen of uitgangen zijn en wat de spanning in rust is. In principe hebben DTE-apparaten een mannetjes connector en DCE-apparaten een vrouwtjes connector, maar niet iedere fabrikant houdt zich daaraan. Vaak krijgen we zo ook al een indruk van de aanwezige besturingssignalen. Als een apparaat een aantal besturingssignalen opwekt zal dat apparaat waarschijnlijk ook besturingssignalen verwachten.

Als het apparaat bijvoorbeeld RTS opwekt als DTE, dan zal waarschijnlijk CTS voor dat apparaat in de ON-toestand moeten zijn om te werken. Vooral printers werken vaak op deze manier, met CTS wordt aangegeven dat de printerbuffer bijna vol



Afb. 13 Prinscipeschema van een eenvoudige breakout box voor RS-232-C.

is en er even geen nieuwe karakters mogen worden gestuurd. Voor echter het juiste gedrag van de besturingssignalen wordt uitgezocht is het verstandig eerst met een lage herhalingsnelheid gegevens over de lijn te sturen. Alleen de datalijnen en de signaalende behoeven daarbij te worden doorverbonden. Pas als dit met succes is gerealiseerd kan worden begonnen met de besturingssignalen en de eventuele daarmee gerealiseerde handshake te bestuderen.

Versturen van gegevens met alleen datalijnen en open besturingslijnen is bijna altijd mogelijk omdat bij RS-232-C (zie tabel 1) een open ingang een CON-

TROL ON-toestand vertegenwoordigt. Problemen die nog wel kunnen optreden zijn verschillen in baudrate, aantal bits per karakter, verschillende karaktersets (standaard ASCII, EBCDIC of afgeleiden) en pariteitsbit. De breakout box geeft met de zeven LED's een uitstekend inzicht in het dynamisch gedrag van de verbinding. Let wel op met de hier gepresenteerde eenvoudige schakeling: alleen positieve spanningen boven ongeveer 3 V worden zichtbaar gemaakt, negatieve spanningen, massapotentiaal en verboden spanningen worden niet zichtbaar gemaakt. In negen van de tien gevallen voldoet deze schakeling echter uitstekend.

Literatuur

De volgende literatuur kan worden geraadpleegd om de officiële standaard te leren kennen en ook andere vormen van datacommunicatie te bestuderen:

1. „Interface between Data Terminal Equipment en Data

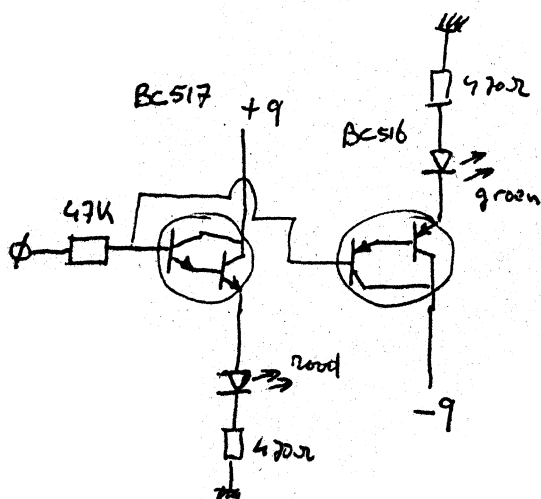
Communications Equipment employing serial data Interchange”, uitgegeven door Electronic Industries Association.

2. „Application notes for EIA standard RS-232-C”, Industrial Electronics Bulletin number 9, uitgegeven door Elec-

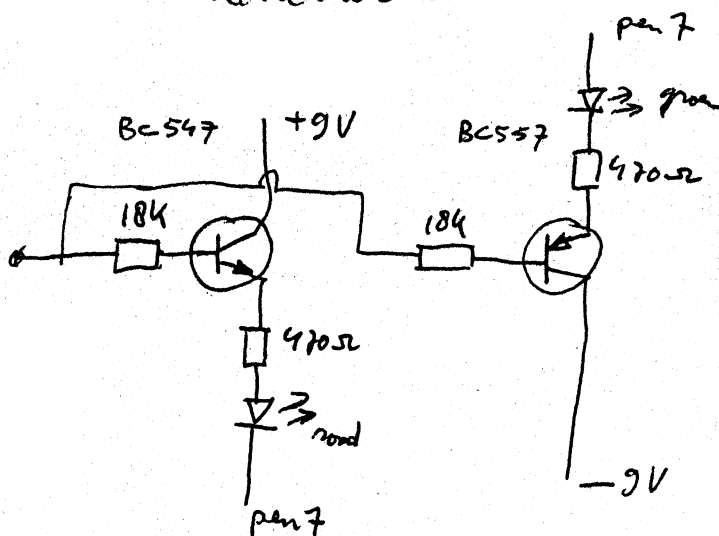
tronic Industries Association.

3. „Technical Aspects of Data Communication”, ISBN 0-932376-18-5, second edition, geschreven door J. E. McNamara, uitgegeven door Digital Press, Digital Equipment Corporation.

indicator 1



indicator 2



3

