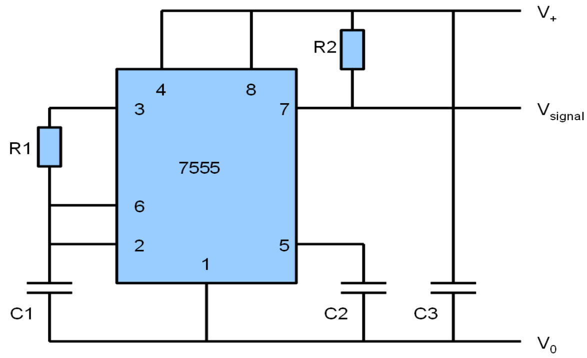
Timer 7555 som A/D konverter

I visse situationer kan man have behov for at få et målesignal på digital form, men en egentlig A/D konvertering er måske lige i overkanten eller støj på signalet kan være et problem. Da er det værd at overveje at benytte en timer af 555-typen til at generere et frekvenssignal, der er kontrolleret af måleværdien.

En typisk situation kan være at man har en sensor placeret et sted langt fra resten af elektronikken, hvorfor der er lange ledninger ud til sensoren med risiko for at opsamle støj. Hvis det er muligt at få plads til en 555-kreds og nogle få passive komponenter i nærheden af sensoren, så kan målesignalet blive omdannet til et frekvenssignal. Det vil sige måleværdien udtrykkes ved at frekvensen varierer. Risikoen for at et frekvenssignal bliver forstyret er meget mindre end risikoen for at et svagt analogt signal bliver forstyrret.

Til denne slags anvendelser er det bedst at benytte en CMOS version af 555-timeren, da den bruger mindre strøm, mindre spænding og ikke selv genererer støj sådan som den oprindelige bipolære udgave.



Dette kredsløb vil skabe en symmetrisk firkantspænding, idet kondensatoren C1 skiftevis oplades og aflades gennem modstanden R1.

Formlen for opladning af en kondensator er:

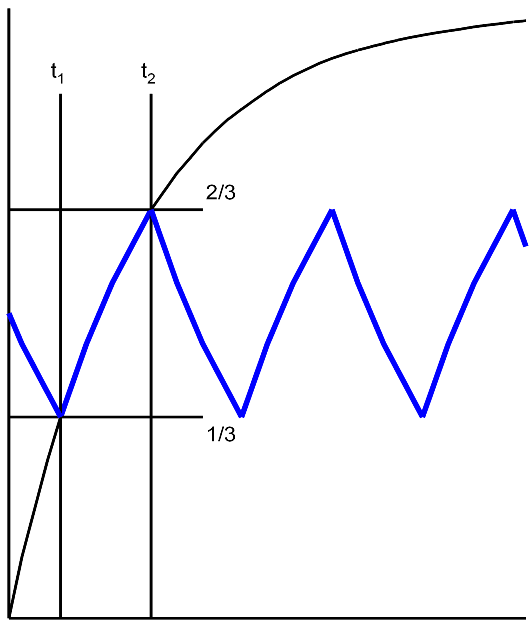
$$U = U_0 \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{R \cdot C}}\right)$$

<=>

$$t = R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{U_0}{U_0 - U}\right)$$

For 7555-timeren gælder, at spændingen på ben 3 skifter mellem V_+ og V_0 samt at trigger niveauerne for de to indgange ben 2 og ben 6 ligger på henholdsvis 1/3 og 2/3 af V_+.

Det vil sige, at forholdene er ens (symmetriske) under opladning af C_1 og under afladning af C_1 og tiden fra spændingen over C_1 er lig med trigger niveauet på ben 2 til den er lig med trigger niveauet på ben 6 (opladning) er den samme som tiden det tager at aflade fra trigger niveauet på ben 6 til trigger niveauet på ben 2. Vi kan altså nøjes med at regne den ene tid ud.



Hvis vi bruger formlen ovenfor, så kan vi beregne tiden fra niveau 2 til niveau 6 som tiden fra 0 til niveau 6 minus tiden fra 0 til niveau 2:

$$t = t_2 - t_1 = R_1 \cdot C_1 \cdot \ln\left(\frac{V_+ - \frac{1}{3} \cdot V_+}{V_+ - \frac{2}{3} \cdot V_+}\right) = R_1 \cdot C_1 \cdot \ln(2)$$

Idet niveau 6 = 2/3 og niveau 2 = 1/3 af V_+.

Kredsløbet genererer altså et signal med frekvensen:

$$F = \frac{1}{2 \cdot t} = \frac{1}{2 \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \ln(2)}$$

Hvis nu R_1 varierer, så får vi en frekvens, der varierer. Det kunne for eksempel være smart, hvis R_1 var følsom for lys eller temperatur eller fugt. I de fleste tilfælde vil sammenhængen mellem måleværdien (lys eller temperatur eller fugt) og frekvensen godt nok ikke være lineær, men det er nemt for at en µprocessor at bestemme størrelsen af frekvensen og så udføre et tabelopslag til bestemmelse af måleværdien.

I nogle tilfælde er det faktisk også muligt at opnå en lineær sammenhæng med enkle midler. Det følgende er et eksempel på dette.

Linearisering af NTC modstand

En NTC modstand er en modstand, hvis værdi falder ved stigende temperatur. Sammenhængen mellem temperatur og modstandsværdi er meget ulineær. I første tilnærmelse kan man skrive:

$$R_T = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

Her er R_0 og B konstanter, der karakteriserer modstanden og T er temperaturen målt i Kelvin. Som regel sælges denne slags komponenter med angivelsen af deres modstandsværdi ved 25°C og så følger der en tabel med over modstandsværdierne ved en række andre temperaturer.

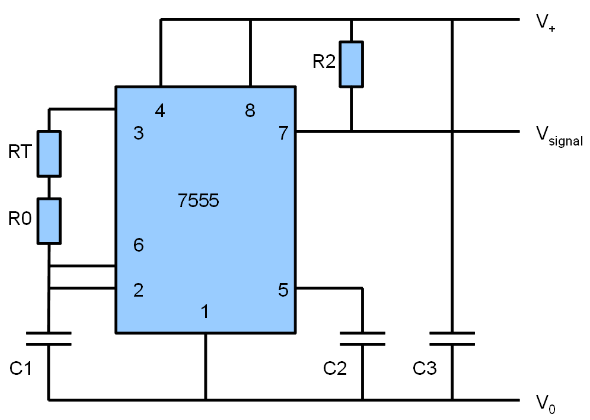
Vi ser, at modstanden vokser ved lavere temperaturer. Hvis vi erstattede R_1 i timerkredsløbet med R_T så ville frekvensen altså falde ved lavere temperaturer og stige ved højere temperaturer. Det kunne være smart, men er det lineært? Næppe.

Formlen for frekvensen som funktion af temperaturen bliver:

$$F(T) = \frac{1}{2 \cdot C_1 \cdot \ln(2) \cdot R_0 \cdot e^{\frac{B}{T}}} = \frac{K}{R_T}$$

Hvis man prøver at indsætte tabelværdier for en virkelig NTC-modstand viser det sig, at ved stigende temperaturer aftager modstand for hurtigt (=> frekvensen stiger for meget). Det kunne måske afhjælpes ved at sætte R_T i serie med en fast modstand?

Den nemmeste måde at undersøge funktionen af dette kredsløb er, at oprette et regneark med NTC-modstandens tabelværdier og så indtroducere nogle ekstra variable, man kan justere på, indtil der fremkommer noget tilfredstillende.



Ofte har man ikke behov for at benytte en NTC-modstand over hele dens måleområde, og det gør det nemmere at etablere en kompensering af dens ulinearitet, som er tilstrækkelig god indenfor et begrænset temperaturområde.

Den funktion, vi vil forsøge at gøre så lineær som muligt indenfor et passende interval er altså:

$$F(T) = \frac{K}{R_T + R_0} - R_{Offset}$$

R_{offset} er medtaget i forventning om, at der bliver behov for en nulpunktsjustering.

Nu kan vi sætte regnearket op til for hver værdi af T at udregne F(T) og endvidere at udregne forskellen mellem T og F(T). Vi behøver ikke tage det så nøje, at der nok bliver behov for en skalering senere, det vil ikke berøre lineariseringen:

De gule felter er tabelværdier taget direkte fra et datablad for en 10k NTC modstand. Bemærk at værdien ved 25 grader Celcius er netop 10.000 ohm.

Nu tænker jeg at anvende denne modstand i intervallet mellem 5 grader og 35 grader, så det er i dette område jeg er mest interesseret i at linearisere.

I første forsøg var R_0 = 0 og K = 100000.

Offset værdien er sat til at være differensen mellem værdien ved 20 grader af 3. kolonne og så temperaturen. Derved opnås, at lineariseringen altid vil passe i punktet 20 grader, som er midt mellem 5 og 35 grader.

Resultatet af denne første iteration var ikke godt nok, men antydede dog, at ideen kunne holde.

Derefter ændrede jeg R_0 til 10000 ohm. Det var bedre, men stadig ikke godt nok.

Efter lidt flere justeringer af både R_0 og K blev resultatet som vist. I intervallet mellem 5 og 35 grader kan vi opnå en fejlvisning på under 0.2 grad.

Det vil sige, at frekvensen fra kredsløbet kan følge værdierne i kolonne 3. I praksis skal frekvensen naturligvis være højere end 5 til 25Hz, men det er blot et spørgsmål om at vælge en passende værdi af C_1.

Linearisering af NTC modstand via 7555-timer

	R0	K		Offset	
	9650,0	900000		20,64	
NTC tabelværdier					
T	Rtabel	F = K/(Rtabel + Rs)	Delta F	F - Offset	(F - Offset) - T
0	32650,8	21,28		0,6	0,6
1	31030,4	22,12	0,85	1,5	0,5
2	29500,1	22,99	0,86	2,3	0,3
3	28054,2	23,87	0,88	3,2	0,2
4	26687,6	24,77	0,90	4,1	0,1
5	25395,5	25,68	0,91	5,0	0,0
6	24172,7	26,61	0,93	6,0	-0,0
7	23016,0	27,55	0,94	6,9	-0,1
8	21921,7	28,51	0,95	7,9	-0,1
9	20855,2	29,50	1,00	8,9	-0,1
10	19903,5	30,45	0,95	9,8	-0,2
11	18973,6	31,44	0,99	10,8	-0,2
12	18092,6	32,44	1,00	11,8	-0,2
13	17257,4	33,45	1,01	12,8	-0,2
14	16465,1	34,46	1,01	13,8	-0,2
15	15714,0	35,48	1,02	14,8	-0,2
16	15001,2	36,51	1,03	15,9	-0,1
17	14324,6	37,54	1,03	16,9	-0,1
18	13682,6	38,57	1,03	17,9	-0,1
19	13052,8	39,64	1,07	19,0	0,0
20	12493,7	40,64	1,00	20,0	0,0
21	11943,3	41,68	1,04	21,0	0,0
22	11420,0	42,71	1,04	22,1	0,1
23	10922,7	43,75	1,03	23,1	0,1
24	10449,9	44,78	1,03	24,1	0,1
25	10000,0	45,80	1,03	25,2	0,2
26	9572,0	46,82	1,02	26,2	0,2
27	9164,7	47,83	1,01	27,2	0,2
28	8777,0	48,84	1,01	28,2	0,2
29	8407,7	49,84	1,00	29,2	0,2
30	8056,0	50,83	0,99	30,2	0,2
31	7720,9	51,81	0,98	31,2	0,2
32	7401,7	52,78	0,97	32,1	0,1
33	7097,2	53,74	0,96	33,1	0,1
34	6807,0	54,69	0,95	34,0	0,0
35	6530,1	55,62	0,94	35,0	-0,0
36	6266,1	56,55	0,92	35,9	-0,1
37	6014,2	57,46	0,91	36,8	-0,2
38	5773,7	58,35	0,90	37,7	-0,3
39	5544,1	59,23	0,88	38,6	-0,4
40	5321,9	60,11	0,88	39,5	-0,5
41	5115,6	60,95	0,84	40,3	-0,7
42	4915,5	61,79	0,84	41,1	-0,9
43	4724,3	62,61	0,82	42,0	-1,0
44	4541,6	63,42	0,81	42,8	-1,2
45	4366,9	64,21	0,79	43,6	-1,4
46	4199,9	64,98	0,77	44,3	-1,7
47	4040,1	65,74	0,76	45,1	-1,9
48	3887,2	66,48	0,74	45,8	-2,2
49	3741,1	67,21	0,73	46,6	-2,4
50	3601,0	67,92	0,71	47,3	-2,7

Hvis vi for eksempel vælger C1 = 10nF, så bliver frekvensen ved 20°C:

$$F(20) = \frac{1}{2\cdot t_{20}} = \frac{1}{2\cdot(12493{,}7+9650{,}0)\,\mathrm{ohm}\cdot 10\mathrm{nF}\cdot\ln(2)} = 3257{,}6\,\mathrm{Hz}$$

Ved 5°C og ved 35°C bliver frekvenserne:

$$F(5) = \frac{1}{2\cdot t_{5}} = \frac{1}{2\cdot(25395{,}5+9650{,}0)\,\mathrm{ohm}\cdot 10\mathrm{nF}\cdot\ln(2)} = 2058{,}3\,\mathrm{Hz}$$

$$F(35) = \frac{1}{2\cdot t_{35}} = \frac{1}{2\cdot(6530{,}1+9650{,}0)\,\mathrm{ohm}\cdot 10\mathrm{nF}\cdot\ln(2)} = 4458{,}2\,\mathrm{Hz}$$

Da vi forventer en lineær sammenhæng mellem temperatur og frekvens, det var jo det hele øvelsen gik ud på, så kan vi altså skrive:

$$F(t) = A_0 + A_1\cdot t$$

Ved at udnytte, at vi kender flere sammenhørende sæt af værdier for F og t kan vi bestemme de to konstanter:

$$F(5) = A_0 + A_1\cdot 5^{\circ}\mathrm{C}$$

$$F(35) = A_0 + A_1\cdot 35^{\circ}\mathrm{C}$$

To ligninger med to ubekendte, det giver:

$$A_0 = \frac{7\cdot F(5) - F(35)}{6} = 1658{,}3\,\mathrm{Hz}$$

$$A_1 = \frac{F(35) - F(5)}{30^{\circ}\mathrm{C}} = 80{,}0\,\mathrm{Hz}/^{\circ}\mathrm{C}$$

Altså, for temperaturer mellem 5°C og 35°C kan vi med god tilnærmelse skrive:

$$F(t) = 1658{,}3\,\mathrm{Hz} \;+\; t\cdot 80{,}0\,\mathrm{Hz}/^{\circ}\mathrm{C}$$

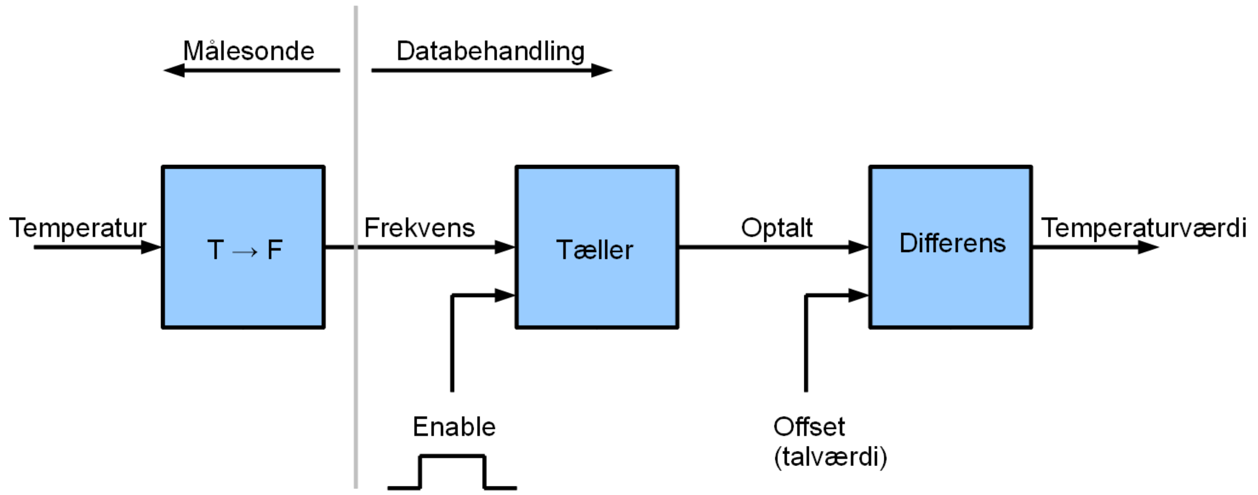
På den måde har vi med et simpelt kredsløb opnået at digitalisere en temperaturmåling. Godt nok ikke til et binært tal, men til en frekvens, som er nemmere at overføre gennem en måleledning.

Display af et frekvenskodet signal

Når det frekvenskodede signal skal anvendes, så må frekvensen måles. Det gøres nemmest med en tæller, som startes og stoppes igen efter et veldefineret tidsrum. Hvis tælleren for eksempel tæller i præcist 1 sekund, vil antallet af pulser, den når at tælle, være lig med frekvensen af signalet. Hvis tælletiden er længere eller kortere svarer dette blot til at indføre en multiplikationsfaktor.

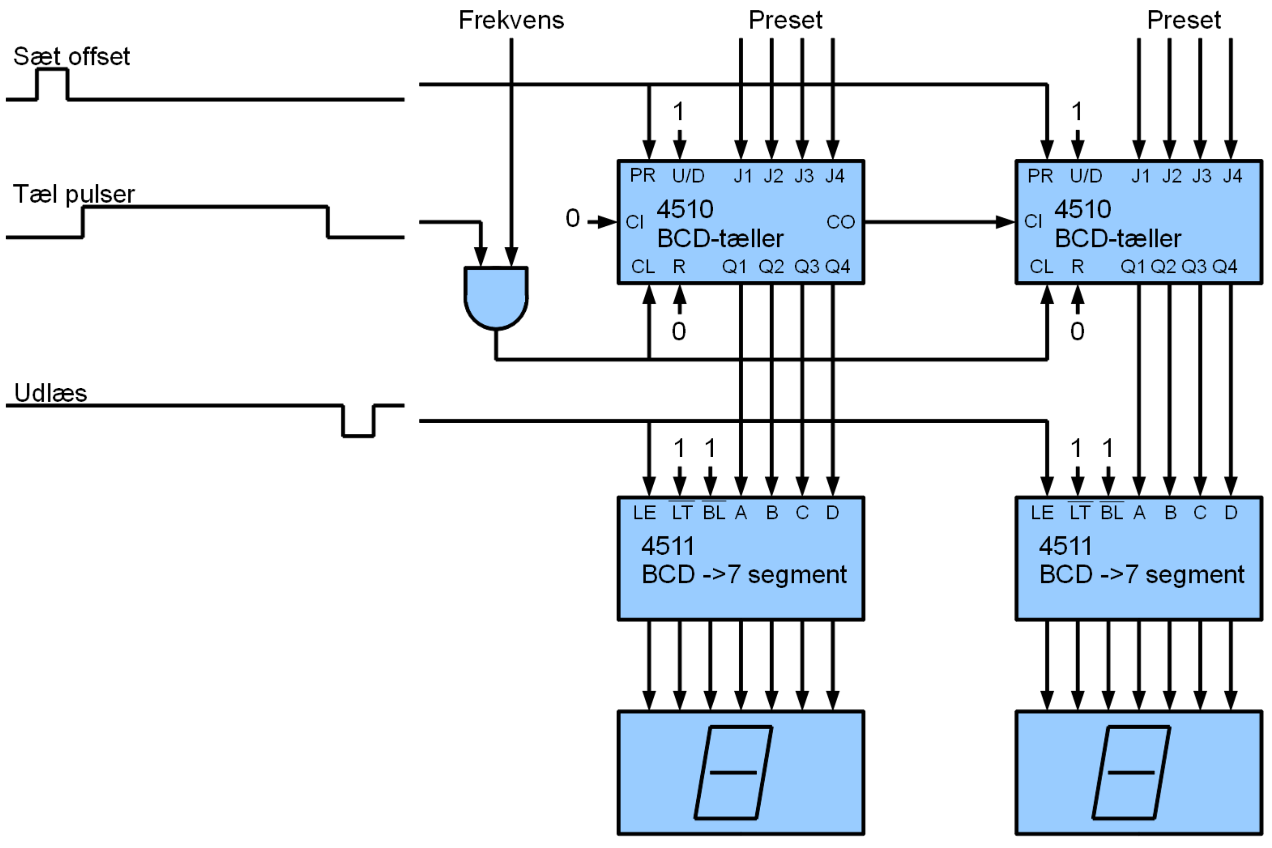
Der vil altid være tale om en afvejning mellem tælletiden og den ønskede opløsning af resultatet. I det foregående eksempel har vi en følsomhed på 80Hz/°C, så hvis vi tæller i 1 sekund vil vi kunne registrere temperaturen med en opløsning på 1/80°C hvilket er mere præcist end vi kan regne med at kunne måle i virkeligheden. Der er derfor ingen grund til at tælle i et helt sekund. Hvis vi i stedet blot tæller i 0,125 sekund kan vi stadig opløse temperaturen i tiendedele, hvilket er rigeligt.

Konstanten A_0 er lidt til besvær. Den betyder, at hver gang vi har talt for at måle frekvensen, så må vi trække en konstant fra, før vi har temperaturen. Vi skal altså bruge en tæller, som kan startes og stoppes, og vi skal kunne trække noget fra. Desuden skal vi bruge et styresignal til at starte og stoppe tælleren:



Al databehandlingen til højre for den lodrette streg kan ganske nemt implementeres i en µprocessor.

Imidlertid er det faktisk heller ikke så vanskelligt at implementere disse funktioner uden brug af en µprocessor. Det kan gøres med en ekstra 555-kreds, nogle få tællere og nogle cifferdisplays. For eksempel således:



Til at styre dette display kredsløb behøves blot tre styresignaler. Disse kan konstrueres med brug af en 555, en 4017 og nogle gates eller lignende. Det eneste, som er vigtigt, er at det skal være muligt at variere frekvensen på den klokgenerator, som driver det hele.

I det viste eksempel udnytter vi, at 4510-tælleren kan preloades, det vil sige at tælleren ikke starter fra 0 men fra en anden værdi, som er læst ind i forvejen.

Vi har tidligere regnet ud, at frekvenssignalet kan skrives som:

$$F(t) = 1658{,}3\,\mathrm{Hz} + t \cdot 80{,}0\,\mathrm{Hz}/^{\circ}\mathrm{C}$$

Ud fra dette udtryk kan vi bestemme størrelsen af det offset, der skal benyttes, udtrykt i grader:

$$\mathrm{Offset} = \frac{A_0}{A_1} = \frac{1658{,}3\,\mathrm{Hz}}{80{,}0\,\mathrm{Hz}/^{\circ}\mathrm{C}} = 20{,}73^{\circ}\mathrm{C}$$

I eksemplet regner vi kun med hele grader (to cifre) og runder derfor op til 21°C. Hver gang tælleren har talt en værdi, skal vi altså trække 21 fra. Det kan vi gøre meget elegant ved at starte med at lægge (100 – 21) til. Så starter tælleren ved 79 og tæller blot op forbi 100 og videre fra 0. Resultat er, at vi har trukket 21 fra resultatet som ønsket. Preset-værdien skal altså være 79, 7 på den ene tællerkreds og 9 på den anden.

Da vi tæller hele grader, skal tælletiden være så kort, at 1 puls svarer til 1 grad, det vil sige 1/80 sekund. I praksis kan komponenttolerancerne betyde, at tiden må være lidt anderledes. Det er derfor klokgeneratoren, der laver styresignalerne skal kunne varieres lidt. Så kan man trimme kredsløbet ved at sætte en kendt modstandsværdi ind i stedet for NTC-modstanden og justere klokgeneratoren indtil displayet viser den rigtige temperatur.

Brug en kombination af en fast modstand og en variabel og tag et ohmmeter til hjælp til at indstille præcist 12493,7ohm. Sæt derefter denne modstand ind i stedet for NTC-modstanden og justér klokgeneratoren indtil displayet viser 20°C.

Hvis NTC-modstanden er ukendt

Har man ikke en tabel for NTC-modstanden er det nødvendigt indledningsvis at udmåle NTC-modstanden. Brug et ohmmeter, et vandbad og et referencetermometer og mål i det mindste ved tre temperaturer: Mindste temperatur, højeste temperatur og temperaturen midt imellem. Derefter kan disse tal indsættes i et regneark som beskrevet og R_0 og K kan bestemmes hvorefter proceduren er som gennemgået.

Links

Her findes mere om NTC-modstande:

http://www.meas-spec.dk/onnetkopi/betathermkatalog/teoridel.pdf

http://www.meas-spec.dk/onnetkopi/betathermkatalog/rtkarakteristik.pdf