

## HET THERMISCH GEDRAG VAN ELEKTRONISCHE ONDERDELEN TIJDENS HET SOLDEREN

Ir. R. J. Klein Wassink

*De warmtehuishouding van kleine onderdelen als weerstanden en condensatoren tijdens het zacht-solderen kan wetenschappelijk gesproken weinig nieuws opleveren. Toch is een overzichtelijke behandeling ervan, zoals het onderstaande artikel die geeft, wel van praktisch belang. Het vergaand geautomatiseerd solderen in de moderne massaproductie heeft natuurlijk alleen zin wanneer de betrouwbaarheid ervan vaststaat en de toegepaste verwarming geen noemenswaardig functieverlies van de onderdelen veroorzaakt. In de gehele industriële wereld worden ruw geschat, wel zo'n  $10^{12}$  onderdelen per jaar zacht gesoldeerd. Dit artikel is eerder verschenen in Philips techn. T.38, 101-108 1978/79 No 3/4*

### Solderen en massaproductie

De meeste soldeerverbindingen werden vroeger met de hand gemaakt, ook in de elektronische industrie. De enorme vergroting van de productiebehoeften heeft ertoe geleid dat het handwerk tegenwoordig nagenoeg volledig is vervangen door sterk gemechaniseerde en geautomatiseerde werkwijzen. Grote aantallen – honderden – onderdelen als weerstanden en condensatoren kunnen gelijktijdig door één automatische bewerking worden verbonden met b.v. de gedrukte bedrading op een montagepaneel. De laatste tijd schenkt men ook veel aandacht aan het solderen in hybride schakelingen die met behulp van de zg. dikkelaagtechniek worden vervaardigd<sup>[1]</sup>. In dit artikel beperken we ons tot het solderen op montagepanelen.

Van de ervoor gebruikte werkwijzen noemen we hier eerst het dompelsolderen, waarbij de te solderen draadvormige uitsteeksel (de 'uitlopers') van de onderdelen tegelijkertijd in een stilstaand bad soldeer worden gedompeld, zodanig dat de onderzijde van het montagepaneel juist het soldeer raakt. De tweede werkwijze is het zgn. golfsolderen, waarbij een golf soldeer, omhoog gepompt als in een fontein, met de uitlopers en de onderzijde van het montagepaneel in aanraking komt (fig. 1). De beide soldeermethodes hebben betrekking op het zacht-solderen, waarvoor de temperatuur ter plaatse gedurende enige seconden 240 à 270 °C moet zijn. Om het werk te versnellen – en ook om andere redenen – past men dikwijls een voorverwarming van de te solderen onderdelen toe. We komen daar aan het eind van dit artikel nog op terug.

De gevolgde soldeermethode dient volkomen betrouwbaar te zijn, dat wil zeggen dat alle gewenste soldeerverbindingen ook inderdaad tot stand komen. De betrouwbaarheid kan goed worden verwezenlijkt, door alleen onderdelen te gebruiken waarvoor geldt dat de eigenschappen ervan en de verschillende omstandigheden en gegevens die kenmerkend zijn voor de soldeermethode, goed met elkaar overeenstemmen. Men dient daarbij te letten op de keuze van materialen, de soldeerbaarheid der diverse metalen, de keuze van soldeer en vloeimiddel, alsmede de maten van de onderdelen en hun uitlopers, en ook van de montagepanelen. Wat de montagepanelen betreft, onderscheidt men de enkelzijdige – met geleidende sporen op de onderzijde – en de dubbelzijdige – met sporen op onder- én bovenzijde.

Bij de laatstgenoemde montagepanelen gebeurt het solderen in gaten met een gemetalleerde wand, over de volle dikte van het paneel. Dit 'doorsolderen' wordt vooral in professionele apparatuur vaak geprefereerd.

In dit artikel komt de thermische kant van de betrouwbaarheid

aan de orde. Het gaat dan over twee eisen, die op het eerste gezicht tegen elkaar in lijken te gaan. De eerste is dat de uitlopers van de onderdelen een zo hoge temperatuur verkrijgen dat zij door het soldeer worden bevochtigd. De tweede eis is dat de condensator of weerstand tijdens het solderen niet een zo hoge temperatuur bereikt dat zijn gebruikswaarde ontoelaatbaar wordt aangetast. Voor ieder onderdeel blijkt een werkgebied te bestaan, een gebied van waarden voor de soldeerbaddtemperatuur en voor de soldeertijd (= dompelduur) waarmee aan de beide genoemde eisen kan worden voldaan. Voor onderdelen van verschillende aard moeten de werkgebieden elkaar goed overlappen. Het eenvoudigste middel daarvoor blijkt het aanpassen van de lengte der uitlopers te zijn.

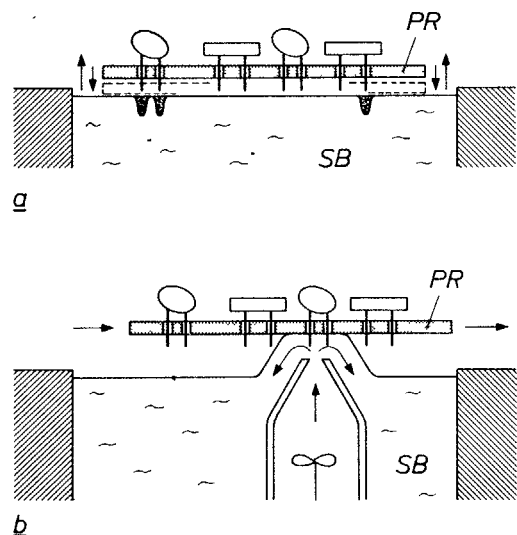


Fig. 1. Het principe van dompelsolderen (a) en golfsolderen (b). PR montagepaneel met elektronische onderdelen, zoals condensatoren en weerstanden. Elk onderdeel heeft twee draadvormige uitlopers, die moeten worden verbonden met geleidende sporen op de onderzijde van het montagepaneel. SB soldeerbath. Bij het dompelsolderen worden alle uitlopers gelijktijdig gedurende enige seconden in het soldeer gedompeld, door een verticale beweging van PR. Bij het golfsolderen worden de uitlopers achtereenvolgens gesoldeerd. Een pomp stuwt het soldeer omhoog. Het montagepaneel voert een horizontale beweging uit.

In het volgende hoofdstuk bespreken we een elektrische schakeling die het thermische gedrag van een onderdeel tijdens het solderen kan simuleren, zij het enigszins benaderend. De erop gefundeerde rekenmethode heeft ertoe geleid dat de gezochte soldeerbadtemperaturen en soldeertijden gemakkelijk langs grafische weg kunnen worden bepaald. Omgekeerd kan de rekenmethode ook met vrucht worden gebruikt voor het ontwerpen van nieuwe onderdelen die geschikt dienen te zijn voor een bepaald soldeermethode. Vervolgens behandelen we in hoeverre het model algemeen geldig is. Tot besluit passen we het gekozen model in twee gevallen toe, waarbij wordt ingegaan op een aantal praktische zaken, zoals het gebruik van koperdraad of ijzerdraad voor de uitlopers en het voorverwarmen.

**Het model en het temperatuur-tijd-diagram**

De elektrische schakeling die als eenvoudigste analogon dient voor de berekening van het thermische gedrag van een onderdeel, is afgebeeld in fig. 2<sup>[2]</sup>. Het onderdeel bestaat uit een lichaam en een uitloper, die door een opening in een enkelzijdig montagepaneel is gestoken. (De warmtehuishouding van het 'doorsolderen' bij een dubbelzijdig montagepaneel vereist een ingewikkelder elektrische analogon, waarop we in het hoofdstuk over de geldigheid van het model terugkomen.) Het dompelen in het soldeerbad komt in het model overeen met het sluiten van de batterijschakelaar. Door het sluiten wordt een stapvormige potentiaalsprong aan de schakeling toegevoegd. Het daaropvolgende stijgen van de potentiaal op de verschillende punten in de schakeling correspondeert met het stijgen van de temperatuur op de overeenkomstige plaatsen. De capaciteit van de condensator in de schakeling komt overeen met de warmtecapaciteit van het lichaam. Eenvoudigheidshalve is ondersteld dat binnen het lichaam geen temperatuurgradiënten optreden, zodat de temperatuur ervan overal dezelfde is. Voor de berekening van het gedrag van de potentiaal als functie van de tijd kan in het geval van fig. 2 worden volstaan met het oplossen van een gewone differentiaalvergelijking van de eerste orde. Men pleegt dan ook het hier gebruikte model wel als 'van de eerste orde' te klassificeren. Het oplossen van de differentiaalvergelijking verschaft  $T_w(t)$ , de temperatuur van de uitloper ter hoogte van de onderzijde van het montagepaneel (na dompeling), en tevens  $T_b(t)$ , de temperatuur van het lichaam, beide als functie van de tijd. Deze twee temperaturen moet men kennen om te kunnen beoordelen of het solderen met succes is verlopen. Het beginmoment van het dompelen is gekozen als het tijdstip  $t = 0$ . Voor de temperatuur  $T_b(t)$  vindt men als oplossing:

$$T_b(t) = T_{pre} + \{1 - \exp(-t/RC)\} \times \left[ \frac{T_{sol} - T_{amb}}{1 + (R_s + R_w)/R_b} - (T_{pre} - T_{amb}) \right]. \quad (1)$$

Voor de substitutieweerstand  $R$  geldt:

$$1/R = 1/R_b + 1/(R_s + R_w),$$

de uitdrukking voor een parallelschakeling van de warmteweerstand  $R_b$  en  $R_s + R_w$ . De betekenis van de verschillende temperaturen in verg. (1) vindt men in fig. 2.

Voor de temperatuur  $T_w(t)$  is de oplossing:

$$T_w(t) = T_{sol} - \frac{R_s}{R_s + R_w} \{T_{sol} - T_b(t)\}. \quad (2)$$

Het komt er dus op neer dat de temperatuur van de uitloper, die tussen de (hoge) soldeerbadtemperatuur en de lichaamstemperatuur in ligt, uit een eenvoudige 'potentiaaldeling' in fig. 2 volgt. Bij deze deling zijn alleen de warmteweerstand  $R_s$  en  $R_w$  betrokken, en zij geldt onafhankelijk van het tijdstip.

De met behulp van verg. (1) en verg. (2) berekende temperaturen zijn in fig. 3 uitgezet voor een bepaald onderdeel, waarvan de kenmerkende gegevens in tabel I staan. De tijd in fig. 3 is uitgedrukt in eenheden  $RC$ , de karakteristieke tijdconstante van het betrokken onderdeel.

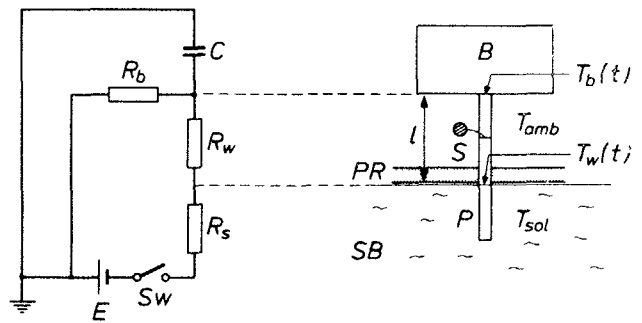


Fig. 2. Een elektrische simulatieschakeling (links) voor het thermische gedrag van een elektronisch onderdeel (rechts), bestaande uit een lichaam ( $B$ ) met een uitloper ( $P$ ), tijdens het solderen op een enkelzijdig montagepaneel ( $PR$ ).  $SB$  soldeerbad.  $R_s$  overgangswaerstand tussen soldeerbad en uitloper.  $R_b$  overgangswaerstand tussen lichaam ( $B$ ) en lucht.  $C$  warmtecapaciteit van  $B$ .  $l$  soldeersfstand ('vrije' lengte) van de uitloper.  $S$  doorsnede van de uitloper.  $T_w(t)$  temperatuur van de uitloper, als functie van de tijd.  $T_b(t)$  temperatuur van het lichaam, als functie van de tijd.  $T_{sol}$  temperatuur van het soldeerbad.  $T_{amb}$  temperatuur van de omgevingslucht. Het sluiten van de schakelaar  $Sw$  komt overeen met het dompelen in het soldeerbad op  $t = 0$ . In het geval van voorverwarming is de lichaamstemperatuur (en ook de uitloper temperatuur) op  $t = 0$  gelijk aan  $T_{pre}$ .

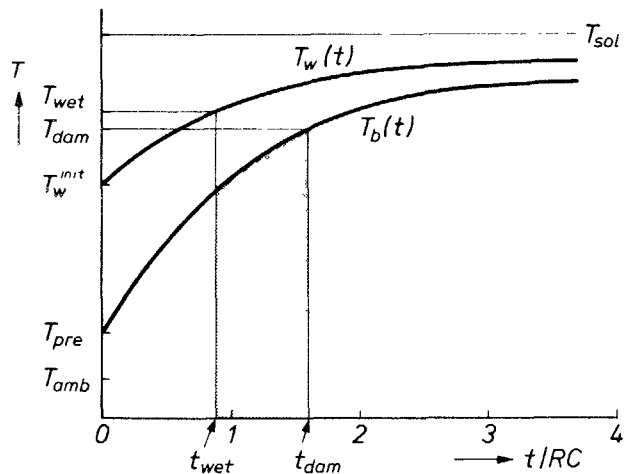


Fig. 3. Een berekend temperatuur-tijddiagram voor het solderen van een elektronisch onderdeel (fig. 2). De gebruikte getalwaarden staan in tabel I. De temperaturen  $T_b(t)$  en  $T_w(t)$ , resp. van het lichaam en van de uitloper, zijn beide uitgezet als functie van de tijd die verlopen is sedert het beginmoment van het dompelen van de uitloper in het soldeerbad.  $T_{pre}$  temperatuur die lichaam en uitloper bezitten op het tijdstip  $t = 0$ , ten gevolge van voorverwarming.  $T_{amb}$  temperatuur van de omgevingslucht.  $T_{sol}$  temperatuur van het soldeerbad.  $T_w^{init}$  bevochtigingstemperatuur van de uitloper.  $T_{dam}$  beschadigingstemperatuur van het onderdeel. In het model wordt de warmtecapaciteit van de uitloper verwaarloosd, waardoor deze gelijktijdig met het begin van het dompelen de temperatuur  $T_w^{init}$  aanneemt.  $RC$  is de karakteristieke tijdconstante van het onderdeel (zie verg. (1)). De grenswaarden  $t_{wet}$  en  $t_{dam}$  voor de soldeertijd volgen uit de voor het onderdeel geldende waarden van  $T_{wet}$  en  $T_{dam}$ .

[2] Ontleend aan H. J. Verbeek, DVS-Ber. 40, 35, 1976.

Als voor het onderdeel de beschadigingstemperatuur  $T_{dam}$  en de bevochtigingstemperatuur  $T_{wet}$  van zijn uitloper eveneens bekend zijn, kan men uit fig. 3 de bijbehorende tijdsduren  $t_{dam}$  en  $t_{wet}$  afleiden. Deze stellen de grenswaarden voor waartussen de soldeertijd moet worden gekozen.

Fig. 4 is een temperatuur-tijddiagram, dat uit fig. 3 is afgeleid door de coördinaten zo te kiezen dat de curven voor  $T_b(t)$  en  $T_w(t)$  rechte lijnen worden. Aangezien in plaats van de temperatuur ook een dimensieloze grootheid ( $T^*$ ) is uitgezet, is nog de zg. conversierechte in het diagram getekend. Deze maakt het mogelijk de temperatuur  $T$  af te lezen die behoort bij  $T^*$ , waarbij  $T^*$  gelijk is aan  $(T - T_{pre}) / (T_{sol} - T_{pre})$ .

Het gelineariseerde diagram geldt natuurlijk, evenals fig. 3, alleen voor onderdelen waarvan de kenmerkende gegevens (temperaturen en warmte weerstanden) met die in tabel I overeenstemmen. Uitgaand van de beschadigingstemperatuur  $T_{dam}$  van 145 °C en de bevochtigingstemperatuur  $T_{wet}$  van 183 °C, moet men allereerst de corresponderende dimensieloze temperaturen op de verticale schaal opzoeken. Met behulp daarvan en de twee temperatuurlijnen vindt men vervolgens op de dimensieloze tijdas de grenzen  $\tau_{dam}$  en  $\tau_{wet}$  voor de dompelduur. Elke waarde tussen de genoemde grenzen geeft, na vermenigvuldiging met de tijdconstante  $RC$ , een voor het betrokken onderdeel bruikbare soldeertijd.

De omzetting van fig. 3 in een grafiek waarin uitsluitend rechten voorkomen, berust op het volgende. Uit verg. (1) valt direct af te leiden dat  $\{T_b(t) - T_{pre}\}$  evenredig is met  $\{1 - \exp(-t/RC)\}$ . Men kan dus de krommen van fig. 3 in rechten transformeren door langs de tijdschaal niet  $t$  lineair uit te zetten, maar  $\{1 - \exp(-t/RC)\}$ .

In het in de praktijk veel voorkomende geval dat  $R_b \gg R_s + R_w$  is, is de evenredigheidsfactor gelijk aan  $(T_{sol} - T_b)$ , zodat  $T^*$  dan van 0 naar 1 gaat als  $t$  van 0 naar  $\infty$  gaat. Als  $(R_s + R_w)$  niet geheel te verwaarlozen is ten opzichte van  $R_b$ , is  $T^*$  op  $\tau = \infty$  iets kleiner dan 1. Voor  $T_w(t)$  geldt een soortgelijke beschouwing. De waarden van  $T_b^{max}$  en  $T_w^{init}$  kunnen worden berekend met de formules die in tabel I staan.

temperatuur (°C)		warmte weerstand (°C/W)	
$T_{pre}$	50	$R_w$	15
$T_{sol}$	250	$R_s$	15
$T_{amb}$	20	$R_b$	315
$T_b^{max}$	230 ←	$\frac{T_b^{max}}{T_{sol}} = \frac{1 + (1 + R_s/R_w)R_w T_{amb}/R_b T_{sol}}{1 + (1 + R_s/R_w)R_w/R_b}$	
$T_w^{init}$	150 ←	$\frac{T_w^{init}}{T_{sol}} = \frac{1 + R_s T_{pre}/R_w T_{sol}}{1 + R_s/R_w}$	
$T_{dam}$	145		
$T_{wet}$	183	de eutectische temperatuur van tin-lood	

Tabel I. De waarden van de thermische grootheden die gelden voor het onderdeel dat, als voorbeeld, aan fig. 3 en fig. 4 ten grondslag ligt.  $T_b^{max}$  maximale temperatuur van het lichaam van het onderdeel, welke na oneindig lange tijd zou optreden.  $T_w^{init}$  temperatuur van de uitloper, ogenblikkelijk na het dompelen in het soldeer. De waarden van deze temperaturen zijn berekend met de formules in de tabel. Deze formules zijn afgeleid uit de vergelijkingen (1) en (2). Zie fig. 2 voor de overige grootheden.

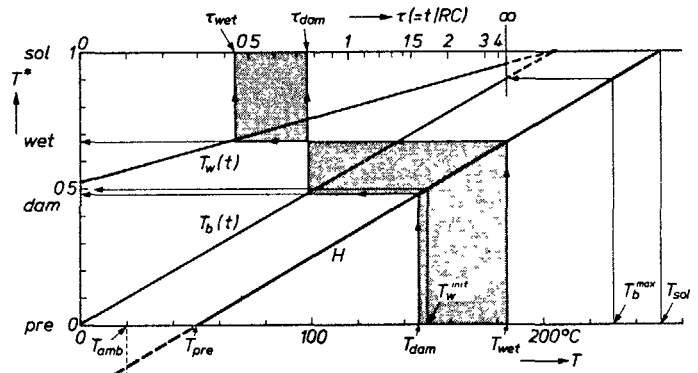


Fig. 4 Het temperatuur-tijddiagram van fig. 3, met getransformeerde coördinaatassen, waardoor de krommen tot rechten zijn geworden.  $H$ , conversierechte, voor het omzetten van de temperatuur  $T$  (°C) in een dimensieloze grootheid  $T^*$ . De dimensieloze tijdas bevindt zich bovenaan; de eenheid van tijd is de constante  $RD$  van het betrokken onderdeel. De temperatuurkrommen voor het lichaam en voor de uitloper van het onderdeel zijn resp. de rechte  $T_b(t)$  en de rechte  $T_w(t)$ ; deze rechten zijn gevonden met behulp van de berekende  $T_b^{max}$  en  $T_w^{init}$ . Uit 145 °C en  $T_{wet} = 183$  °C, als gegevens van het betrokken onderdeel en het gekozen soldeer, kunnen de tijdgrenzen  $\tau_{dam}$  en  $\tau_{wet}$  voor goed solderen worden afgelezen.

**De voornaamste thermische grootheden in het model**

*De warmtecapaciteit en de warmte weerstanden*

De warmtecapaciteit  $C$  van een onderdeel is gelijk aan  $V\rho c$ , waarin  $V$  het volume van het lichaam is,  $\rho$  zijn dichtheid en  $c$  zijn soortelijke warmte. In tabel II is voor verschillende materialen het product  $\rho c$ , alsmede de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$ , opgenomen. Het is opvallend dat het product  $\rho c$  voor de diverse materialen ongeveer dezelfde waarde heeft, maar  $\lambda$  niet.

materiaal	$\rho c$ (J/cm <sup>3</sup> °C)	$\lambda$ (W/m °C)
ijzer	3,7	75
koper	3,5	370
aluminium	2,4	230
fernico	3,7	16
messing	3,3	100
kunststoffen	ca. 2	ca. 0,2
hardpapier	2	0,2
glas	2	1
soldeer (eutectisch tin-lood)	1,7	50

Tabel II. Het product van de dichtheid  $\rho$  en de soortelijke warmte  $c$ , benevens de warmtegeleidingscoëfficiënt  $\lambda$  van enige metalen, legeringen en materialen voor montagepanelen.

De warmte weerstand  $R_w$  van de uitloper kan worden berekend met de formule voor de geleidingsweerstand die zegt dat  $R_w$  gelijk is aan  $l/\lambda S$ , waarin  $l$  de zg. soldeerafstand (of 'vrije' lengte) is van de uitloper en  $S$  zijn doorsnede (fig. 2). Voor uitlopers van koper, aluminium en ijzer is de geleidingsweerstand, gerekend per mm lengte en bij de veel gebruikte diameter van 0,6 mm, respectievelijk gelijk aan 10, 16 en 50 °C/W.

De warmte weerstanden  $R_s$  en  $R_b$  zijn overgangsweerstanden, de eerste tussen het soldeer en het ondergedompelde deel van de uitloper, de tweede tussen het lichaam en de omringende lucht. De berekening geschiedt met de algemene formule  $1/hA$ , waarin  $h$  de betrokken warmtedoorgangscoefficiënt voorstelt en  $A$  de contactoppervlakte. De warmte weerstand  $R_s$  is nogal met onzekerheden behept – we komen daarop terug in het hoofdstuk over

de geldigheid van het model. Bij een contactoppervlakte van 10 mm<sup>2</sup> mag als orde van grootte voor  $R_s$  wel 10 °C/W worden gerekend, waarbij  $h$  op 10 kW/m<sup>2</sup> °C is gesteld.

De voor  $h$  vermelde waarde is redelijk goed in het geval van golfsolderen. Bij dompelsolderen moet een lagere waarde worden gebruikt, ongeveer 6 kW/m<sup>2</sup> °C; de warmteweerstand  $R_s$  komt dan op 15 à 20 °C/W. De deelfactor  $R_s/R_w$  heeft derhalve in het geval van dompelsolderen een wat ongunstiger waarde, hetgeen zich uit in een vergroting van de tijd die nodig is voor het bevochtigen. De stijging van  $R_s$  beïnvloedt de temperatuur van het lichaam hoofdzakelijk via de toeneming van de tijdconstante  $RC$ . Als de vrije lengte van de uitlopers echter niet al te klein is, blijkt de temperatuur van het lichaam na golfsolderen slechts enkele procenten hoger te zijn dan na dompelsolderen (gedurende dezelfde tijd). Metingen en berekeningen stemmen op dit punt volkomen overeen.

Bij het lichaam is de contactoppervlak ca. 100 mm<sup>2</sup>. De warmte-doorgangscoefficiënt  $h$  voor het warmtetransport van het lichaam naar de lucht is ongeveer 10 W/(m<sup>2</sup> °C). De warmteweerstand  $R_b$  bedraagt dus ongeveer 10<sup>3</sup> °C/W, een factor honderd hoger dan  $R_s$ , zodat het in rekening brengen van een oneindig hoge warmteweerstand tussen het lichaam en de lucht als benadering acceptabel is.

#### De beschadigingstemperatuur

Bij de bespreking van het model is reeds enige malen de beschadigingstemperatuur  $T_{dam}$  als een gegeven naar voren gekomen. In feite ligt  $T_{dam}$  niet vast, ook niet per type onderdeel. De beschadigingstemperatuur kan men het beste opvatten als de temperatuur waarbij bepaalde eigenschappen van het betrokken onderdeel meer dan een geoorloofd percentage zijn veranderd.

Dit geoorloofde percentage wordt bepaald door de toepassing. Het in feite optredende veranderingspercentage hangt niet alleen van de temperatuur af, maar ook van de tijd gedurende welke de temperatuur optreedt.

We gaan hier niet nader op in; de gegevens over deze kwestie zijn schaars, ook al omdat meestal het beschadigingsonderzoek wordt beperkt tot een test bij één standaardcombinatie van tijd en temperatuur, b.v. 10 seconden en 260 °C.

#### De geldigheid van het model

Het beschreven model bevat een aantal vereenvoudigingen die enige toelichting behoeven. Zo is ondersteld dat de warmtecapaciteit van de uitloper verwaarloosbaar klein is. Dit is natuurlijk toelaatbaar wanneer de capaciteit van de uitloper aanzienlijk kleiner is dan die van het lichaam. In het algemeen doet zich die situatie wel voor, al zijn er uitzonderingen, b.v. bij de kleine keramische condensatoren. De van nul verschillende warmtecapaciteit van de uitloper leidt ertoe dat de begintemperatuur  $T_w^{mit}$  van de uitloper niet sprongsgewijs bij het dompelen optreedt. Er treedt een vertraging op die de orde van grootte van 0,1 s heeft. Dit betekent dat dan de lichaamstemperatuur in het begin ook wat minder snel stijgt dan verg. (1) aangeeft. Een verschijnsel dat hier tegenin werkt, is de invloed die de warmtecapaciteit van het soldeer zelf rondom het uitlopereinde heeft. De aanwezigheid van het montagepaneel heeft effectief nauwelijks gevolgen voor de warmtehuishouding, hoewel in principe het montagepaneel de thermische traagheid vergroot. Bij de enkelzijdige montagepanelen komt de onderzijde, waarop zich de geleidende sporen bevinden, in aanraking met het oppervlak van het soldeerbud, zodra de dompelings begint. Berekening leert dat de temperatuur, op de onderzijde, die oorspronkelijk b.v. 20 °C was, dan in een fractie van een seconde de bevochtigingstemperatuur zal kunnen overschrijden; zie fig. 5. Deze tijd is zó kort, dat er niet van noemenswaardige beïnvloeding van de warmtehuishouding sprake is, zodat het beschreven model in dit opzicht geheel acceptabel is.

Bij de dubbelzijdige montagepanelen, waar de soldering over de gehele paneeldikte plaatsvindt, is het model óók bruikbaar – zij het met meer reserve. In deze situatie wordt extra warmte

getransporteerd door de gemetalliseerde wand van het gat in het montagepaneel, en bovendien brengt het opstijgende soldeer zijn eigen warmte mee. De elektrische schakeling die dan als analogon zou kunnen dienen, bevat een groter aantal weerstanden en condensatoren dan die in fig. 2.

Met behulp van computer-programma's is het gedrag van de uitgebreide schakeling nagerekend, maar ten aanzien van de thermische betrouwbaarheid kwamen er nauwelijks andere resultaten uit. Ook in dit geval verdient dus het doorrekenen met het oorspronkelijke model de voorkeur. Aangezien nu bevochtiging aan de bovenzijde van het montagepaneel vereist is, moet men voor de temperatuur van de uitloper de positie aan de bovenzijde (in plaats van de onderzijde) kiezen, waardoor men bij het gebruik van verg. (2) de 'potentiaaldeling' moet aanpassen. Het komt erop neer dat de warmteweerstand  $R_w$  in verg. (2) dient te worden verminderd met de correctieterm  $\Delta/\lambda S$  waarin  $\Delta$  de dikte van het montagepaneel voorstelt. De onderbroken curve in fig. 5 is de berekende tijd die nodig is om de bovenzijde op de bevochtigingstemperatuur te brengen, waarbij de aanwezigheid van de gaten verwaarloosd is. De bevochtigingstemperatuur zal in feite veel sneller worden bereikt, doordat de gemetalliseerde wand van de gaten óók warmte geleidt. In dit geval geschiedt ook de opwarming van het lichaam sneller dan het model aangeeft.

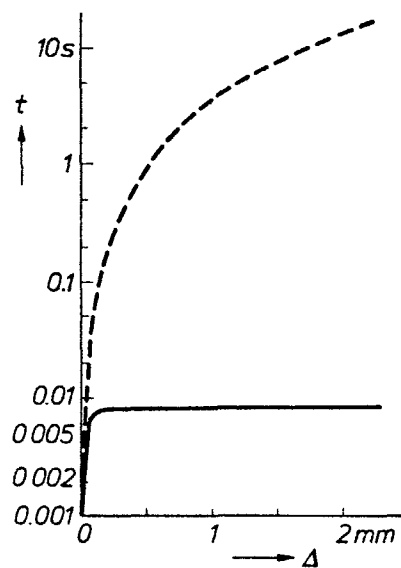


Fig 5. De getrokken curve stelt de berekende tijd voor die montagepanelen nodig hebben om, na contact met een soldeerbud (240°C), aan hun onderzijde 183°C te bereiken, als functie van de paneeldikte  $\Delta$ . De verwarming geschiedt doordat op het tijdstip  $t = 0$  de onderzijde van de montagepanelen, die dan de omgevingstemperatuur (20°C) hebben, in aanraking komt met het soldeerbud. De onderbroken curve geeft de overeenkomstige resultaten voor de bovenzijde van de montagepanelen. (De warmte-doorgangscoefficiënt is op 10 kW/m<sup>2</sup> °C gesteld. De aanwezigheid van gaten in de panelen is niet in rekening gebracht.)

De laatste factor die de geldigheid van het model beperkt, is de variatie van de warmteweerstand  $R_s$ . In de uitdrukking  $1/hA$  voor die weerstand zijn noch  $A$  noch  $h$  constant. De coëfficiënt  $h$  varieert doordat de temperatuur op het grensvlak van uitloper en soldeer sterk varieert; bovendien wordt de warmte-overdracht beïnvloed door de aanvankelijk nog aanwezige lagen oxide en vloeimiddel, en ook door het oplosmiddel dat verdampst uit het vloeimiddel voor het solderen. De oppervlakte  $A$  is niet constant door het 'klimmen' van de soldeerspiegel; juist na het dompelen staat de meniscus van het soldeer naar beneden gebogen; op het eind, bij volledige bevochtiging, is er een naar boven gebogen

meniscus (fig. 6). Bij een uitloper met een diameter van 0,6 mm kan het bedoelde hoogteverschil wel 0,9 m bedragen. De soldeerafstand van de uitloper is dus bij volledige bevochtiging met (max.) ca. 1 mm verminderd, waardoor de opwarmingsnelheid van het lichaam iets groter wordt dan het model voorspelt.

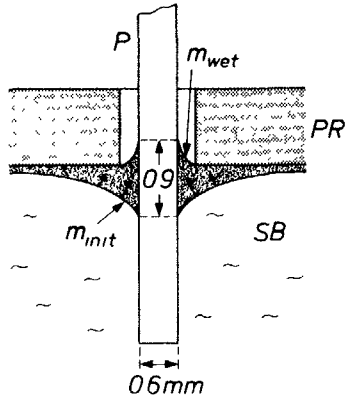


Fig. 6 Het 'klimmen' van soldeer langs een uitloper tijdens het solderen. Juist na het dompelen van de uitloper (P) in het soldeerbad (SB) heeft het oppervlak een gebolde vorm ( $m_{init}$ ). Zodra de soldeermeniscus de holle vorm ( $m_{wet}$ ) heeft aangenomen, is de uitloper volledig bevochtigd. PR montagepaneel. De diameter van het gat in het montagepaneel is ter wille van de duidelijkheid te groot getekend.

**Berekeningen met het model aan condensatoren**

Als voorbeeld is met het model fig. 2 het thermische gedrag van twee zeer verschillende condensatoren berekend. De daarbij gebruikte gegevens zijn opgesomd in tabel III; de soldeerafstand van de uitlopers is gevarieerd van enige mm tot 10 mm. Deze parameter, die veel invloed heeft op het thermische gedrag, verschaft in het algemeen de eenvoudigste mogelijkheid verschillende onderdelen aan te passen bij het gekozen soldeerprocédé. De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in fig. 7 en fig. 8. Iedere kromme bestaat in principe uit twee takken, een min of meer horizontale en een ongeveer verticale tak. Van de bovenste vier krommen in fig. 8 valt de verticale tak geheel of gedeeltelijk in het temperatuurgebied beneden 200 °C. In het gebied links van de verticale tak is de soldeerbadtemperatuur te laag, zodat geen bevochtiging kan optreden; in het gebied boven de horizontale tak is de soldeertijd te lang, zodat beschadiging van het onderdeel optreedt. Tussen de beide takken ligt het gebied met de goede combinaties van soldeerbadtemperatuur en soldeertijd, bevochtiging treedt dan wel op en beschadiging niet. Aangezien de takken, zoals gezegd, ongeveer horizontaal en verticaal zijn, kunnen voor de praktijk van het solderen twee regels worden geformuleerd:

**Tabel III.** De gegevens voor het berekenen van het thermische gedrag van een elektrolytcondensator (C1) en van een microcondensator (C2).

onderdeel	C (J/°C)	$R_w/l$ (°C/W mm)	$R_a$ (°C/W)	$R_b$ (°C/W)	$T_{dam}$	$T_{wet}$ (°C)	$T_{amb} = T_{pre}$
C1	0,28	10	20	$\infty$	85	183[*]	20
C2	0,055	41,5	20	$\infty$	114	183[*]	20

[\*] eutectische temperatuur van soldeer (tin-lood)

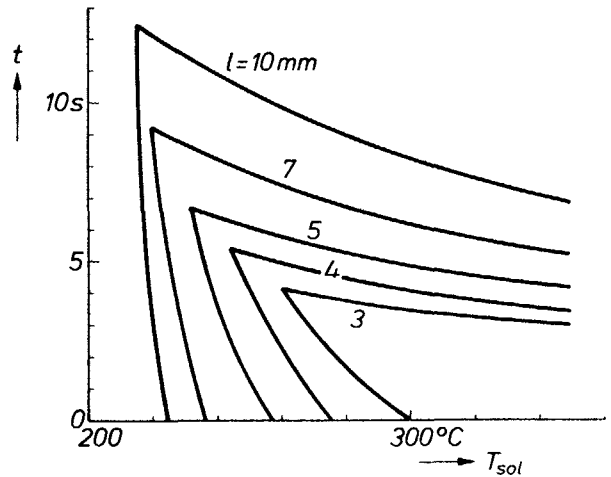


Fig. 7. De berekende thermische gedragsprofielen van de elektrolytcondensator C1, bij het dompelsolderen (zie ook tabel III). Verticaal is de soldeertijd uitgezet, uiteengezet, horizontaal de soldeerbadtemperatuur  $T_{sol}$ . Bij de 'horizontale' tak van ieder profiel staat de soldeerafstand  $l$  van de uitloper waarvoor de curve geldt (zie fig. 2). Volledige bevochtiging van de uitloper zonder beschadiging van de condensator treedt alleen op bij combinaties van  $t$  en  $T_{sol}$  die rechts van de 'verticale' tak liggen en tegelijkertijd onder de 'horizontale' tak van het betrokken profiel. Links van een verticale tak is de bevochtiging onvoldoende, boven een horizontale tak wordt de condensator beschadigd.

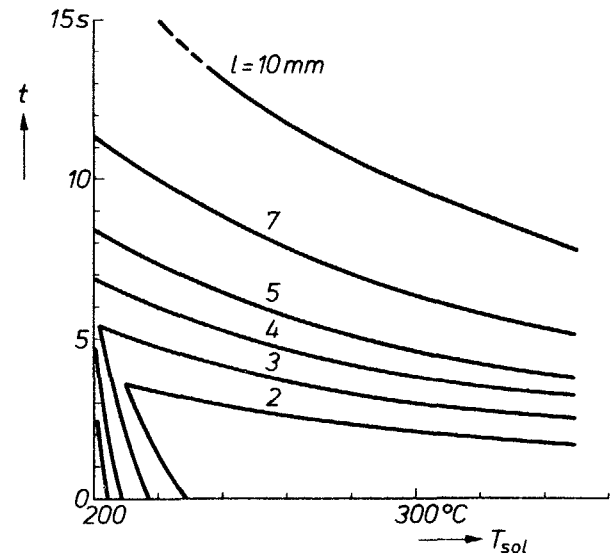
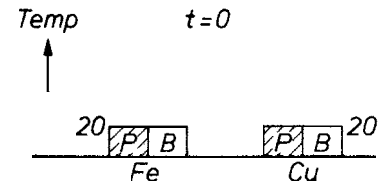
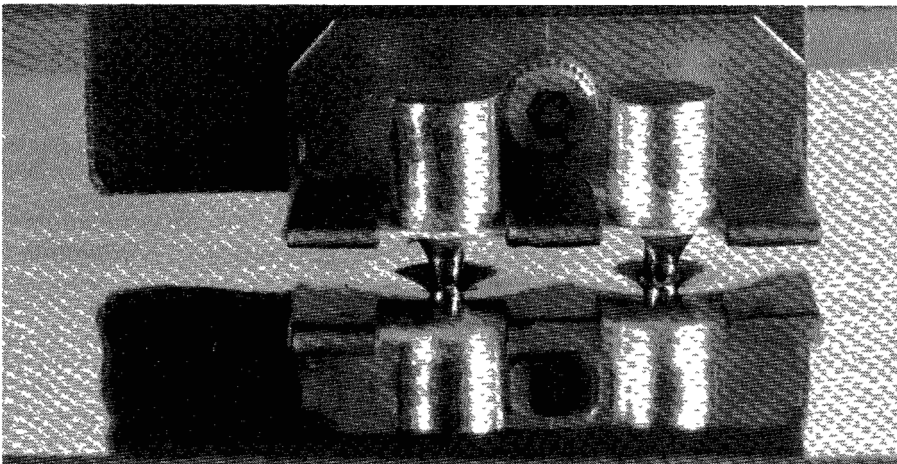
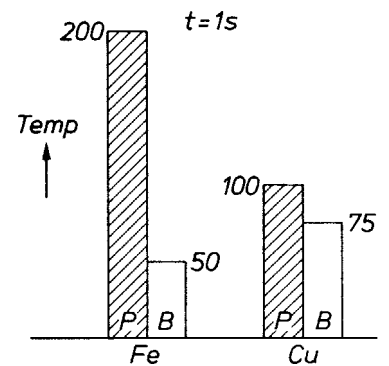
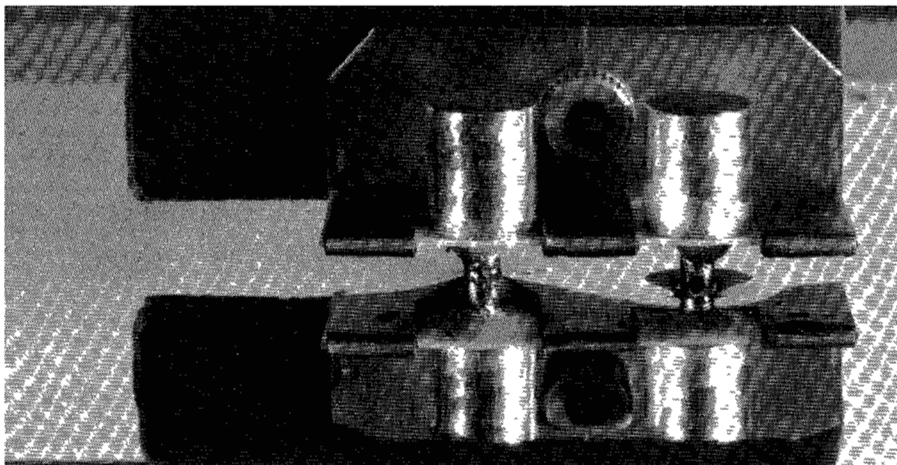


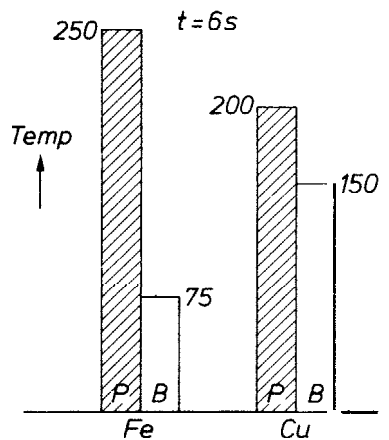
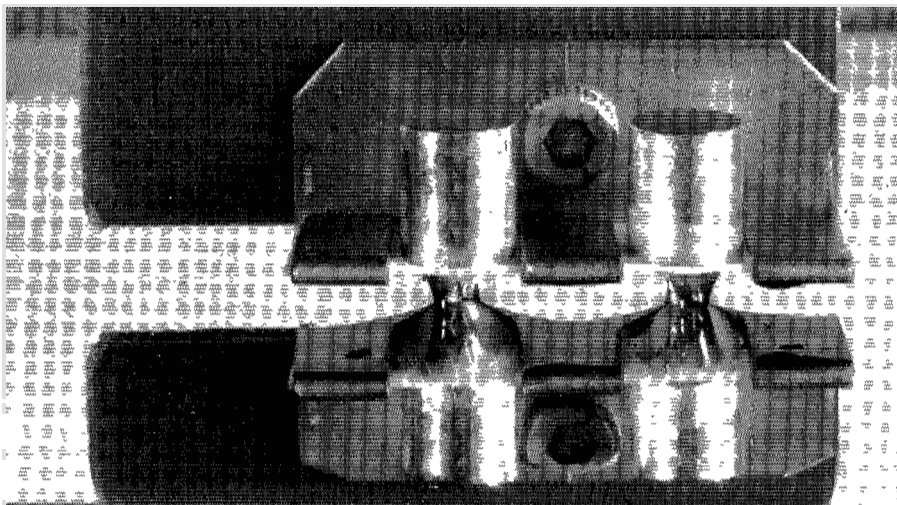
Fig. 8. De berekende thermische gedragsprofielen voor de microcondensator C2, bij het dompelsolderen (zie ook tabel III). Voor verdere toelichting zie men het onderschrift van fig. 7. De 'verticale' tak van een aantal profielen ligt bij deze condensator links van de verticale as ( $T_{sol} = 200$  °C) en is derhalve niet getekend. Indien op een bepaald paneel behalve een condensator C2 ook een condensator C1 (fig. 7) moet worden gesoldeerd, kan gemakkelijk een voor beide condensatoren acceptabele soldeertijd en soldeerbadtemperatuur worden gevonden door de lengte  $l$  te variëren.



a



b



c

Fig. 9. Een vergelijking van het gedrag van ijzeren uitlopers (links in de foto's) en koperen uitlopers (rechts in de foto's). a) Op  $t = 0$  zijn beide uitlopers in het soldeer gedompeld. De meniscus staat in beide gevallen naar beneden gebogen (vgl. fig. 6). b) Na 1 seconde is de ijzeren uitloper volledig bevochtigd (meniscus naar boven gebogen). De meniscus bij de koperen uitloper staat nog steeds naar beneden gebogen. c) Na 6 seconden is nu ook de koperen uitloper volledig bevochtigd. De histogrammen geven de corresponderende temperaturen  $T_w$  van de uitlopers en de lichaamstemperaturen  $T_b$ , in °C. P uitloper. B lichaam.

– indien bij een soldeerprocédé de uitlopers niet worden bevochtigd, verhoog men bij voorkeur de temperatuur van het soldeerbad;

– indien bij een soldeerprocédé het lichaam van een onderdeel beschadigd wordt, verklein men bij voorkeur de soldeertijd.

In beide gevallen zou de andere wijziging (vergroting van de soldeertijd, resp. verlaging van de temperatuur van het soldeerbad) relatief veel groter moeten zijn, wil een goede soldering tot stand kunnen komen.

Er is ook nog nagegaan in hoeverre de keuze van materiaal voor de uitlopers de thermische traagheid beïnvloedt. Ijzer en koper zijn vergeleken (fig. 9). Bij ijzeren uitlopers is de bevochtigings-tijd ongeveer een factor zes kleiner dan bij koperen uitlopers, onder overigens gelijke omstandigheden. De temperatuur van een lichaam met een ijzeren uitloper is zelfs op het tijdstip dat correspondeert met bevochtiging van een koperen uitloper, duidelijk lager dan die van het betrokken lichaam met de koperen uitloper.

Het zij hier nadrukkelijk opgemerkt dat het voordeel van ijzeren uitlopers in soldeertechnisch opzicht niet het enige punt van overweging is bij het kiezen van het materiaal. Op die discussie zal hier echter niet worden ingegaan.

#### Het voorverwarmen

We komen nu terug op het reeds in het begin vermelde voorverwarmen, dat nogal eens ter discussie staat. Het zal duidelijk zijn dat voorverwarmen het tijdstip van bevochtiging vervroegt. De door ons uitgevoerde berekeningen, die veel lijken op die van de voorbeelden in het vorige hoofdstuk, wijzen uit dat de tijdsduur tussen dat tijdstip van bevochtiging en het tijdstip waarop het lichaam de beschadigingstemperatuur bereikt, *onafhankelijk* van het voorverwarmen is. Het tijdstip waarop de beschadiging begint, schuift derhalve in dezelfde mate naar voren, zodat voorverwarmen géén grotere speling geeft.

Wanneer het soldeerprocédé onder zodanige condities verloopt dat bij het dompelen de uitloper ogenblikkelijk wordt bevochtigd, heeft het voorverwarmen alleen een vervroegend effect op het begin van de beschadiging. Onder die omstandigheden verkleint het voorverwarmen dus de beschikbare soldeertijd.

In fig 10 is een aantal berekende (dimensieloze) soldeertijden tegen de voorverwarmingstemperatuur uitgezet. De kenmerkende gegevens van het gekozen geval zijn bij de figuur vermeld. De onderste kromme is de zg. bevochtigingslijn, de andere krommen zijn zgn. beschadigingslijnen. De onderstelde beschadigingstemperatuur staat als parameter bij de krommen. Dat de tijdsduur tussen bevochtigen en beschadigen constant is, althans bij voorverwarmingstemperaturen lager dan ca. 50°C, blijkt ook uit het evenwijdige verloop der krommen in fig. 10. Tot slot merken we op dat het voorverwarmen nog op andere gronden dan alleen warmtetechnische geschiedt; in het bijzonder gebeurt het om het toegepaste vloeimiddel de gewenste viscositeit te geven.

warmteweerstand (°C/W)	temperatuur (°C)
$R_w = 25$	$T_{sol} = 240$
$R_s = 10$	$T_{wet} = 183$
$R_b = 1000$	$T_{amb} = 20$
$R \approx 34$	
$R = \frac{R_b(R_s + R_w)}{R_b + R_s + R_w}$	warmtecapaciteit $C$ VRIJ TE KIEZEN

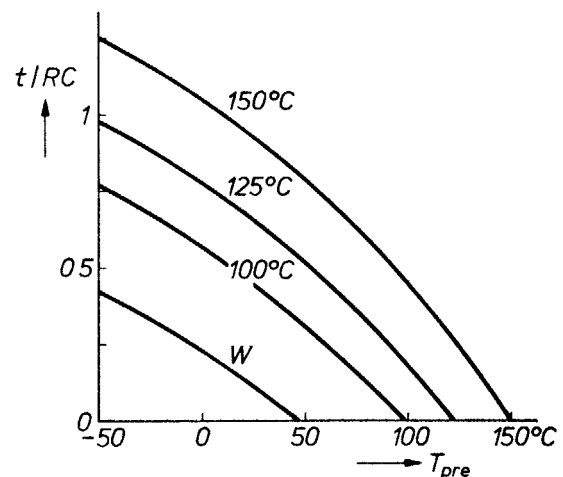


Fig. 10. De invloed van voorverwarmen op solderen. Verticaal is de berekende (dimensieloze) soldeertijd uitgezet, horizontaal de voorverwarmingstemperatuur  $T_{pre}$ . De voorverwarmingstemperatuur is de temperatuur waarop het lichaam van het betrokken elektronische onderdeel en zijn uitloper zijn gebracht nog voordat aan het solderen is begonnen.  $W$  bevochtigingslijn; deze geeft de minimale tijd die nodig is voor het bevochtigen van de te solderen uitloper (fig. 2). De drie andere curven zijn beschadigingslijnen; de erbij geplaatste parameter is de beschadigingstemperatuur. De acceptabele soldeertijden liggen tussen de betrokken beschadigingslijn en de bevochtigingslijn  $W$ . Bij voorverwarmingstemperaturen beneden ca. 50°C is de tijd tussen het optreden van bevochtiging en beschadiging ongeveer constant, bij hogere temperaturen wordt deze tijd korter. Naast de figuur staan de gegevens die gebruikt zijn bij de berekening (fig. 2).

*De redactie van Mikroniek en het bestuur van Mikron wensen u prettige kerstdagen en een voor-spoedig en gelukkig 1980*