

VEB Kombinat Elektronische Bauelemente Teltow
Arbeitsausschuß Kondensatoren der Kammer der Technik

VERÖFFENTLICHUNGEN

zur

2. TAGUNG

„Roh- und Werkstoffe für Kondensatoren“

22. bis 24. 3. 1983

Herausgegeben von

Doz. Dr. sc. nat. H.-D. Langer

Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt

Sektion Physik/Elektronische Bauelemente

TANTALCHIPKONDENSATOREN

Dipl.-Ing. J. Barthel, VEB Kondensatorenwerk Freiberg

Dr.rer.nat. B. Hannemann, VEB Forschungszentrum Elektronik
Teltow

Dr.sc.nat. H.-D. Langer, TH Karl-Marx-Stadt

1. Stand und Anwendungsgebiete

Die Entwicklung der Chip-Bauelemente im internationalen Maßstab ergab sich Anfang der 70er Jahre aus den Möglichkeiten und Forderungen der Dünn- und Dickschichttechnik, womit es möglich war, durch rationelle und "miniaturfreundliche" Verfahren Netzwerke passiver elektronischer Bauelemente herzustellen.

Zur Herstellung voll funktionstüchtiger elektronischer Baugruppen mußten diskrete aktive und spezielle passive Bauelemente entwickelt werden, die in Schaltungen bzw. Substrate der Dünn- und Dickschichttechnik zu integrieren waren. Aus diesem prinzipiellen Erfordernis leiten sich auch die Anforderungen an aufsetzbare Elektrolytkondensatoren ab.

Ein sprunghafter Bedarfsanstieg stellte sich gegen Ende der 70er Jahre ein als die Anforderungen der automatischen Bestückung beliebiger Verdrahtungsträger voll zum Tragen kamen, die zum Teil wesentlich neue Aspekte beinhalteten und die Entwicklung verbesserter Konstruktionsvarianten initiierten. Dieser bisher noch nicht abgeschlossene Trend wirkte sich ganz besonders auf dem Verarbeitungssektor des Bauelementeherstellers aus, indem neue Werkstoffe und Verfahren praxiswirksam wurden und die Bauelementetechnologie mehr und mehr in den Kompatibilitätsbereich der Mikroelektronik rückte.

Die spezifischen Anforderungen an Ta-Chipkondensatoren sollen nachfolgend zusammengefaßt werden (vgl. auch /1/):

- kleinstmögliche Abmessungen:

Die Abmessungen werden aus Gründen der Vereinheitlichung des topologischen Schaltungsentwurfs in IEC-Empfehlungen als maximale Werte mit Vorgaben für die Kontaktflächen fixiert. Dies betrifft solche bisher angebotenen Typen wie "Nacktchip", "Kappenchip", "Domino-Chip" (s. Abschn. 2).

- speziell gestaltete Anschlußelemente:

Es soll eine breite Anwendung von Montagetechnologien und Verdrahtungsträgern gesichert sein. Zu den wichtigsten Montageverfahren gehören

- . Lötcolbenmontage (verbreitet bei Kleinserienfertigung der Hybridtechnik),
- . Reflow-Verfahren (Großserienfertigung der Hybridtechnik),
- . Schwallötung (insbesondere bei der Leiterplattenmontage, z. B. MELF-Technik),
- . Bondtechniken (bisher nur in Sonderfällen eingesetzt).

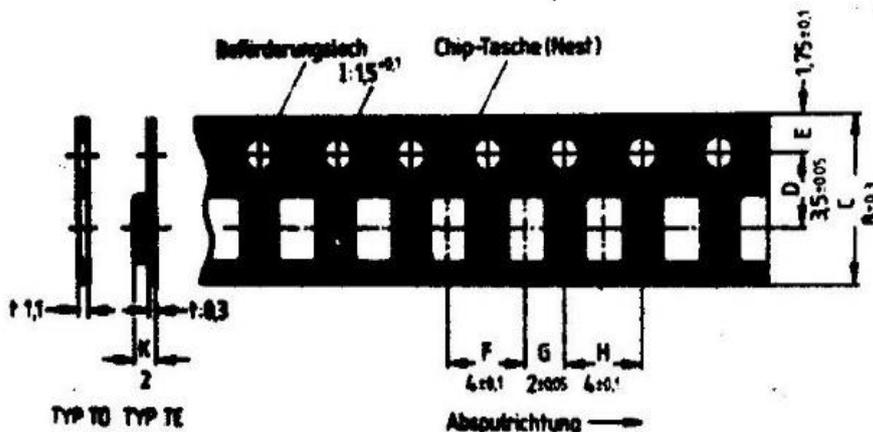


Bild 1: Chipabmessungen für automatische Bestückung entsprechend internationalen bzw. US-amerikanischen Vorstellungen /2/

- Bestückung von Hand bzw. durch Bestückungsautomaten:

Für die Bestückungsautomaten müssen die Bauelemente eindeutig positionierbar bzw. die Position muß für den Automaten erkennbar sein. Eine Selbstpositionierung beim Reflow-Löten kann nur minimale Positionierungstoleranzen kompensieren. Wichtig ist auch die polungsrichtige Ablage der gepolten Festelektrolytkondensatoren (FEK) auf den Kontaktflächen.

Bild 2 zeigt einen mit Ta- und Keramik-Chipkondensatoren bestückten Herzschrittmacher-Hybridschaltkreis. Darunter wurde zur Veranschaulichung der geometrischen Verhältnisse ein mit Leiterbahnen und Kontaktflächen versehenes, unbestücktes Keramik-Substrat angeordnet.

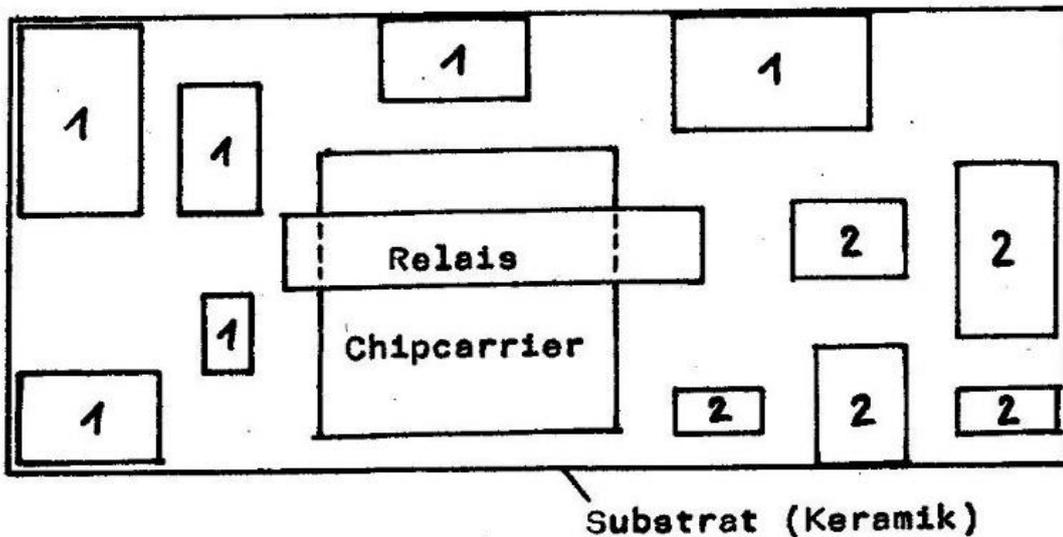


Bild 2: Herzschrittmacher-Schaltkreis der 2. Generation mit Chipbauelementen

- automatisierungsgerechte Konfektionierung:

Zur Gurtung bzw. Magazinierung der Bauelemente gibt es ebenfalls bereits IEC-Entwürfe bzw. US-Standards.

Bild 3 zeigt einen Gurtstreifen im Super-8-Format zur Aufnahme von Rechteck-Chips der Typen A und B gemäß Bild 1.

Aus speziellen Anwendungsfällen mit höchsten Zuverlässigkeitsanforderungen, z. B. Raumfahrt, Medizintechnik, resultieren weitgehende Bedingungen, die sich nur durch strenge Selektion und protokollierte Fertigung realisieren lassen:

- Fehlerrate kleiner 0,01 % pro 1000 h gemäß MTL-C-55365 (Prüfung bei oberer Anwendungstemperatur, Nennspannung) /3/,
- extrem niedrige Restströme (nA-Bereich; Batteriebelastung bei Herzschrittmachern!),
- Einsatz von Spezialwerkstoffen (z. B. Edelmetall zur Erhöhung der Kontaktsicherheit).

IEC-Entwurf		EIA-1-Standard	
B	A	B	A
		1,8 ± 0,2	2,0 ± 0,2
1,25 ± 0,15	2,0 ± 0,15	1,25 ± 0,2	2,0 ± 0,2
1,8 ± 0,15	3,2 ± 0,15	1,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2
3,2 ± 0,15	4,5 ± 0,15		

Bild 3: Gurtstreifenabmessungen im Super-8-Format entsprechend IEC-Entwurf für Rechteckchips /2/

Die Leiterplattentechnik stellt ebenfalls typische Bedingungen, die teilweise weniger streng ausfallen:

- geringere Forderungen an Minimalabmessungen und -toleranzen,
- Reflow-Lötbarkeit mit niedrig- und hochschmelzenden Loten im Falle einer beidseitigen Montage,
- Schwallötbarkeit unter der Leiterplatte direkt im Lötswall (typisch für MELF-Technik),
- Bevorzugung von mechanisch robusteren Ausführungen, wie z. B. der "Domino"-Form oder anderer vollständig umhüllter Varianten.

Als internationale Hauptanwendungsgebiete für Tantal-Chipkondensatoren bei hohen Zuwachsraten kristallisieren sich heraus /4/:

- Daten- und Bürotechnik,
- Luft- und Raumfahrt, militärische Geräte,
- Nachrichtentechnik,
- Meß-, Steuer-, Regeltechnik,
- Automobilelektronik,
- Medizinelektronik.

Entsprechend den Möglichkeiten und Notwendigkeiten werden sich in den kommenden Jahren in der DDR ähnliche Einsatzgebiete ergeben, wobei auf minimierten Einsatz an Tantal-Rohstoff bzw. -Bauelementen auf der Basis von Einsatzfreigabeverfahren zu orientieren ist.

2. Konstruktionsvarianten

Die Tabelle 1 enthält die wesentlichsten konstruktiven Varianten für nackte und umhüllte Chips. Bei den Beispielen 1 - 5 handelt es sich um gegenwärtig auf dem Markt angebotene Chipkondensatortypen.

Variante 1a entspricht dem SIEMENS-Typ B 45 194 (Maximalabmessungen $8 \times 4,5 \times 3,8$ (mm) bei $60 \mu\text{F}/4 \text{ V}$ bzw. $4,7 \mu\text{F}/35 \text{ V}$) /5/ und dem in der SU produzierten Typ K 53-22 /6/. Bei Variante 1b /7/ sind auch andere Formen des Anodenanschlußbügels möglich.

Die Variante 2a und b, (2c im Schnitt) stellen den "Domino 193D" der Fa. Sprague dar (Maximalabmessungen $8,13 \times 4,57 \times 4,95$ ohne Anschlußschienen bei $100 \mu\text{F}/3 \text{ V}$ bzw. $10 \mu\text{F}/35 \text{ V}$) /8/.

Bei Variante 3 handelt es sich um den SU-Typ K 53-15 /6/.

Mit geschlossenen Kappen versehen ist Beispiel 4, der Typ "Midget 1940" bzw. "394 D" der Fa. Sprague (Maximalabmessungen $7,24 \times 3,81 \times 2,79$ bei $100 \mu\text{F}/4 \text{ V}$ bzw. $4,7 \mu\text{F}/50 \text{ V}$) /9/.

Die Verbindung Anodendraht-Anodenkappe ist durch Schweißen hergestellt.

Eine Variante mit U-förmigen Anschlußkappen stellt der unter 5. dargestellte Typ "Blue Chip" der Firma MEPCO/Electra, Inc., dar /3/.

In den folgenden Beispielen handelt es sich um im wesentlichen aus der Patentliteratur bekannten konstruktiven Lösungen.

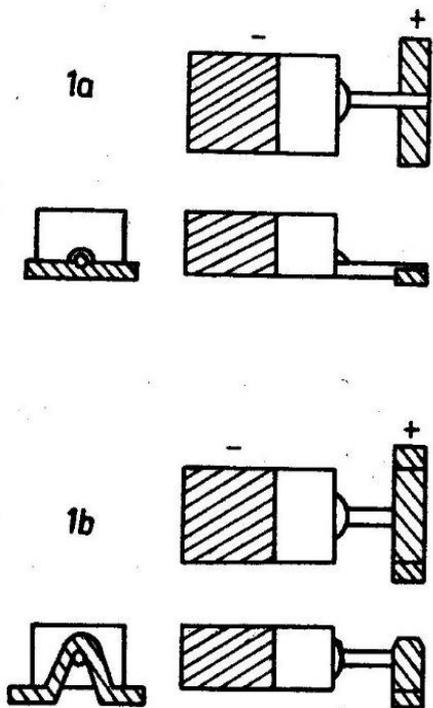
Bei dem Beispiel 6, das äußerlich dem Typ "Midget" (Beispiel 4) nahekommt, wird die Verbindung zwischen Anodendraht und Anodenkappe durch einen Leitkleber hergestellt /10/.

Eine gemeinsame Bearbeitung der an einem Steg direkt befestigten Sinteranoden führte zu Beispiel 8 /12/. Dabei wurden die Anoden erst nach erfolgter Umhüllung vom Steg getrennt.

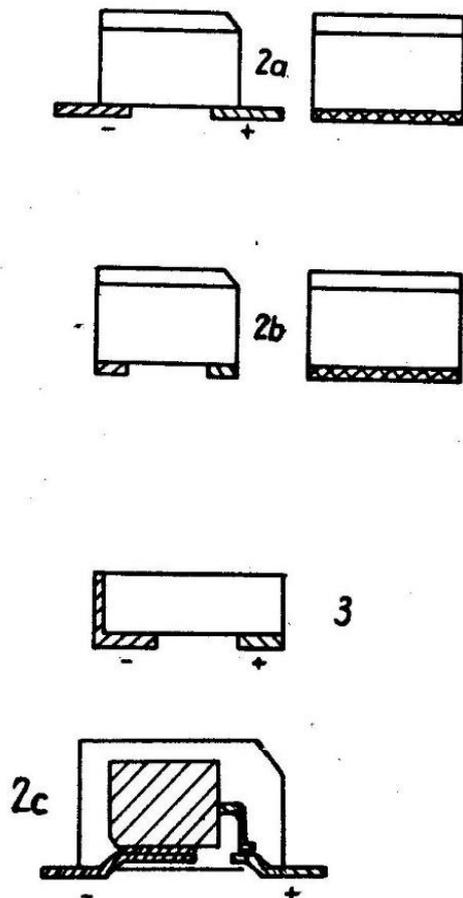
Eine Ausführungsform für die Flip-Chip-Technik stellt Beispiel 9 dar /12/.

Tabelle 1: Konstruktionsvarianten von Ta-Chipkondensatoren

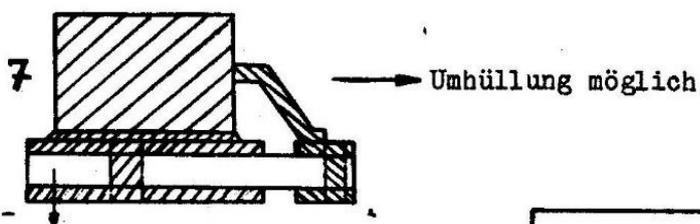
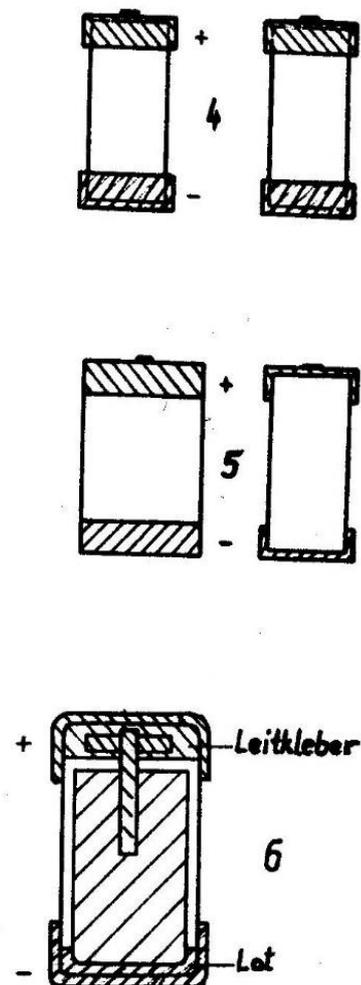
Nacktchips



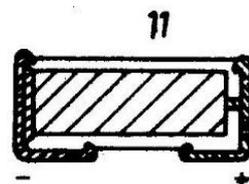
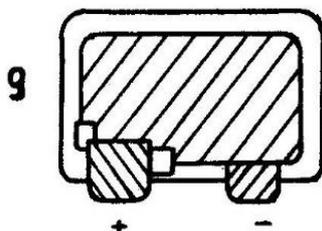
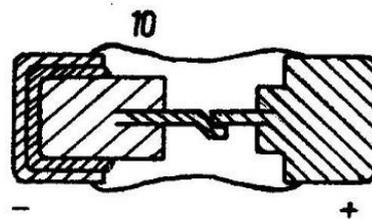
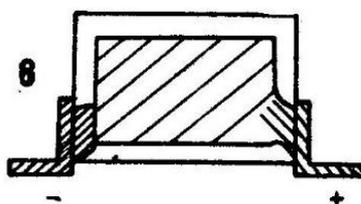
umhüllte Chips
mit anoden- u. katodenseitigen
schienenförmigen Anschlüssen



mit anoden- u. katodenseitigen Metall-
kappen

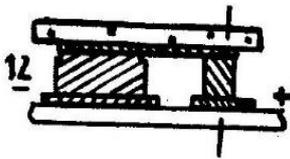


Leiterplatte, beidseitig beschichtet und durchkontaktiert



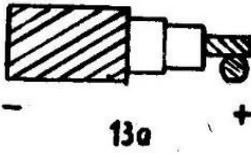
Zu Tabelle 1

Keramikplatte
mit Ta-Folie

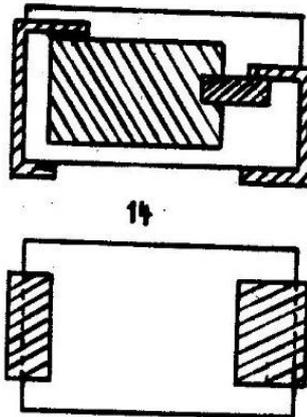
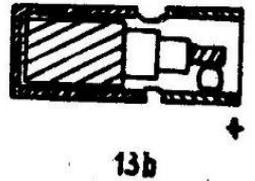


Umhüllung bei durch-
kontaktierter Leiterplatte
möglich

Montageleiterplatte



Umhüllung möglich



Über einen Cu-Block erfolgt die Anodenkontaktierung nach Beispiel 10 /13/, während I-förmige Anschlußkappen das Charakteristikum der Variante nach Beispiel 11 sind /14/.

In "powder on foil"-Technik hergestellt wurde Beispiel 12 /15/. Als Unterlage diente eine mit Ta-Folie versehene Keramikplatte. Eine Umhüllung ist möglich bei einer durchkontaktierten Anschlußleiterplatte oder bei entsprechender Gestaltung der aus der Vergußmasse herausragenden Anoden- und Katodenanschlüsse. Nackte und bekappte, umhüllte Ausführungsformen sind nach /16/ (Beispiel 13a und b) möglich. Variante 14 schließlich stellt eine teilweise bekappte, gut im Stegverband herstellbare Form eines Chipkondensatoren dar /17/. Die Trennung der einzelnen Bauelemente erfolgt dabei erst nach erfolgter Umhüllung. Ein entsprechendes Herstellungsverfahren ist auch für die Beispiele 11 und 13b anzusetzen.

3. Elektrische Bauelementeeigenschaften

Wichtige Nennparameter-Bereiche im Sinne von Garantiewerten der Prospektliteratur lauten wie folgt:

- Kapazität: 0,1 bis 100 μF
 - Kapazitätstoleranz: ± 5 bis ± 20 %
 - Betriebsspannung: 3 bis 50 V
 - Verlustfaktor (120 Hz): 4 bis 12 %
 - Reststrom (oberer Grenzwert): $I_R = k C_N U_N$ mit
 - $k = 0,02$ bei $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$
 - $= 0,2$ bei $(85 \pm 3) ^\circ\text{C}$
 - $= 0,34$ bei $(125 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$
- (I_R in μA , C_N in μF , U_N in V)

Dabei gibt es Unterschiede hinsichtlich der verfügbaren Parameterbereiche und der Garantiewerte bei den verschiedenen Herstellern. Die Differenzen treten am deutlichsten hervor beim Vergleich von Sortimenten für niedrigere und höhere Anforderungen. Eine gesteigerte applikative Bedeutung hat das Impedanz-Frequenz-Verhalten /18/, /19/, das durch die

konstruktive Auslegung des Chipkondensators (kleine Abmessungen, induktivitätsarme Anschlußelemente, gezielte Anodenporosität) bestimmt wird. Den Vergleich erlaubt die grafische Darstellung in Bild 4 am Beispiel diverser Bauformen von Elektrolytkondensatoren des Typs $2,2\mu\text{F}/10\text{V}$ (bzw. $1\mu\text{F}/10\text{V}$) unterschiedlicher Hersteller.

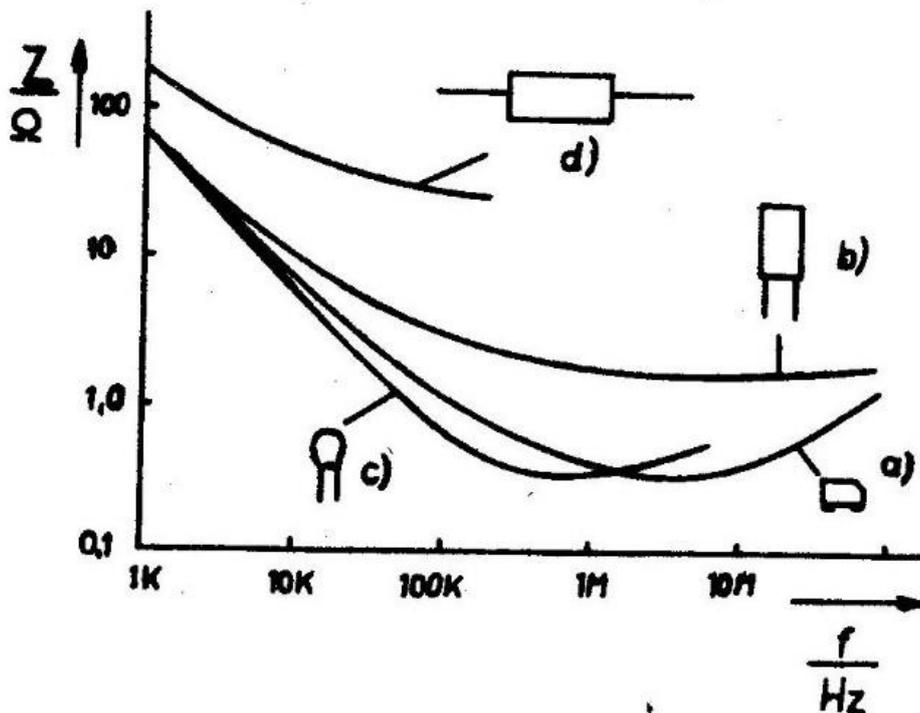


Bild 4: Vergleich der Impedanz-Frequenz-Abhängigkeit von Elektrolytkondensatoren des Typs $2,2\mu\text{F}/10\text{V}$ (Abmessungen maßstabgerecht)

- a) Domino-Chip (Sprague, Variante 2b in Tabelle 1)
- b) Ultra-Miniatur-Ausführung, radial (Sprague)
- c) Tropfenkondensator (ITT, Bauform TAM)
- d) Al-Elektrolytkondensator, flüss. Elektrolyt, axial (Telefunken, Typ: $1\mu\text{F}/10\text{V}$)

Je nach Sortimentauslegung erfolgt eine differenzierte Zuverlässigkeitsgarantie der elektrischen Parameter.

4. Bemerkungen zur Zuverlässigkeit

Der internationale Stand kennt bei Tantal-Chipkondensatoren eine Reihe wesentlicher Ausfallkriterien, die sich aufgrund ihrer konstruktiven und applikativen Besonderheiten ergeben haben:

- Stabilität bei hohen und tiefen Temperaturen:
 - 55 ° bis +85 °C ohne Spannungsminderung
 - 55 ° bis +125 °C mit Spannungsminderung
 (Die Anwendung bei 55 °C und 85 °C erfolgt nur in seltenen Ausnahmefällen.)
- Isolationsfestigkeit:

Es treten die bei konventionellen Ta-Kondensatoren bekannten Ausfallphänomene Reststromdrift und Totalausfall durch Kurzschluß auf. Auch die Stoß-, Über- und Umkehrspannungsempfindlichkeit sowie die Zerstörung durch unzulässig hohe überlagerte Wechselspannungen bzw. -ströme sind zu beachten. Mängel der Isolationsfestigkeit stellen wie bisher die häufigste Ausfallursache dar.
- Lötbarkeit und Lötwärmebeständigkeit:

Hierbei sind die eingesetzten Kontaktier-Werkstoffsysteme und Lötbedingungen (Verfahren, Lote, Löthilfsmittel) sowie die Lagerbedingungen maßgebend.
- Feuchte- und Klimabeständigkeit

Hermetisch dichte Bauformen bieten hierfür die besten Voraussetzungen. Allerdings wurde bei Chipkondensatoren der Weg über die Weiterentwicklung von Kunststoff-Umhüllwerkstoffen (Siliconlack, Fluor-Silicon-Lack) und Umhülltechnologien gewählt. Die hermetische Bauform bleibt aus Kostengründen Anwendungsausnahmen vorbehalten. Kostengünstiger ist die hermetisch dichte Verpackung des gesamten Schaltkreises.
- mechanische Beständigkeit:

Bereits bei der Montage kommt es auf fest sitzende Anschlußelemente an, doch steigen die Anforderungen in Richtung Hochfrequenz-Schwingungsfestigkeit sowie Stoß- und Beschleunigungsbelastbarkeit zunehmend (z.B. MIL-C-55365A).

Eine gute Substrathaftung ist deshalb von fundamentaler Bedeutung, wobei nicht immer der Bauelementehersteller die Verantwortung trägt.

Der Vorteil der drahtlosen Konstruktion (höhere Resonanzfrequenz!) wird teilweise dadurch kompensiert, daß die Drahtdurchkontaktierung fehlt.

- thermische Schockbeständigkeit (z. B. 5 Zyklen $-65^{\circ}\text{C}/125^{\circ}\text{C}$ gemäß o.g. MIL-Standard)

Trotz der zahlreichen Ausfallmöglichkeiten weisen Chipkondensatoren bei Zuverlässigkeitsprüfungen eine bemerkenswerte Stabilität auf. Als Beispiel zeigt Bild 5 nach /20/ die Kapazitäts-, Verlustfaktor- und Reststromtrends des Typs 194D ($1\mu\text{F}/20\text{ V}$) der Fa. Sprague, USA, die bei Lebensdauertests (Nennspannung, $+85^{\circ}\text{C}$ und $+125^{\circ}\text{C}$) ermittelt worden sind.

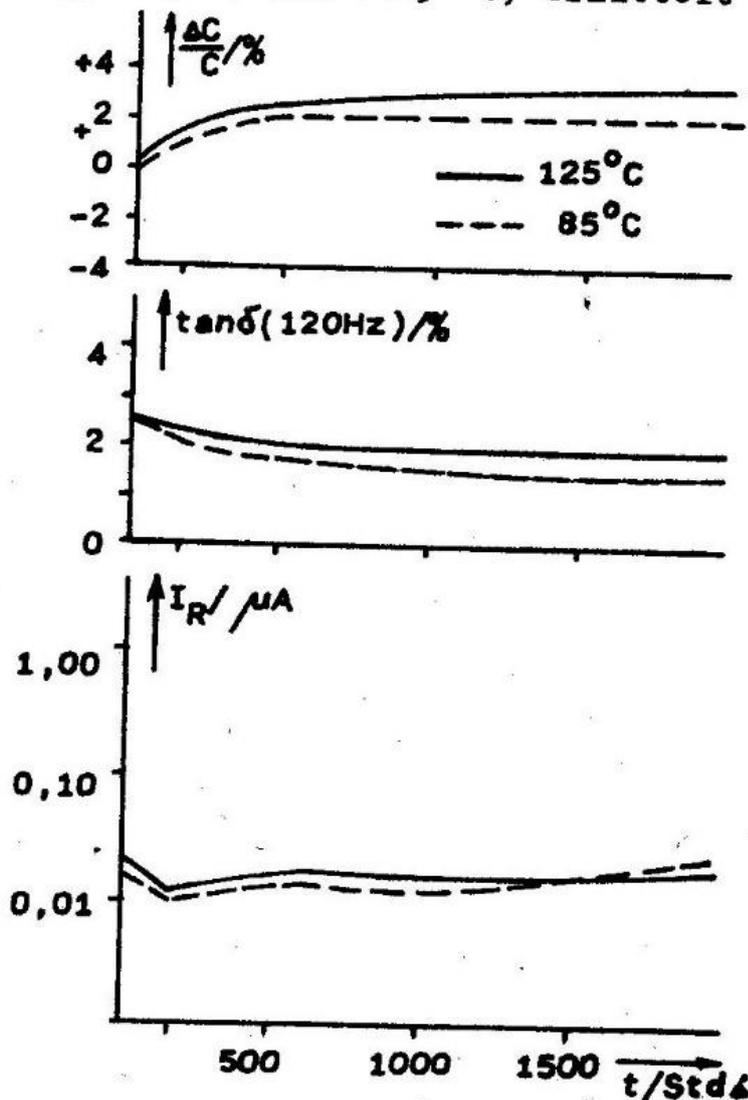
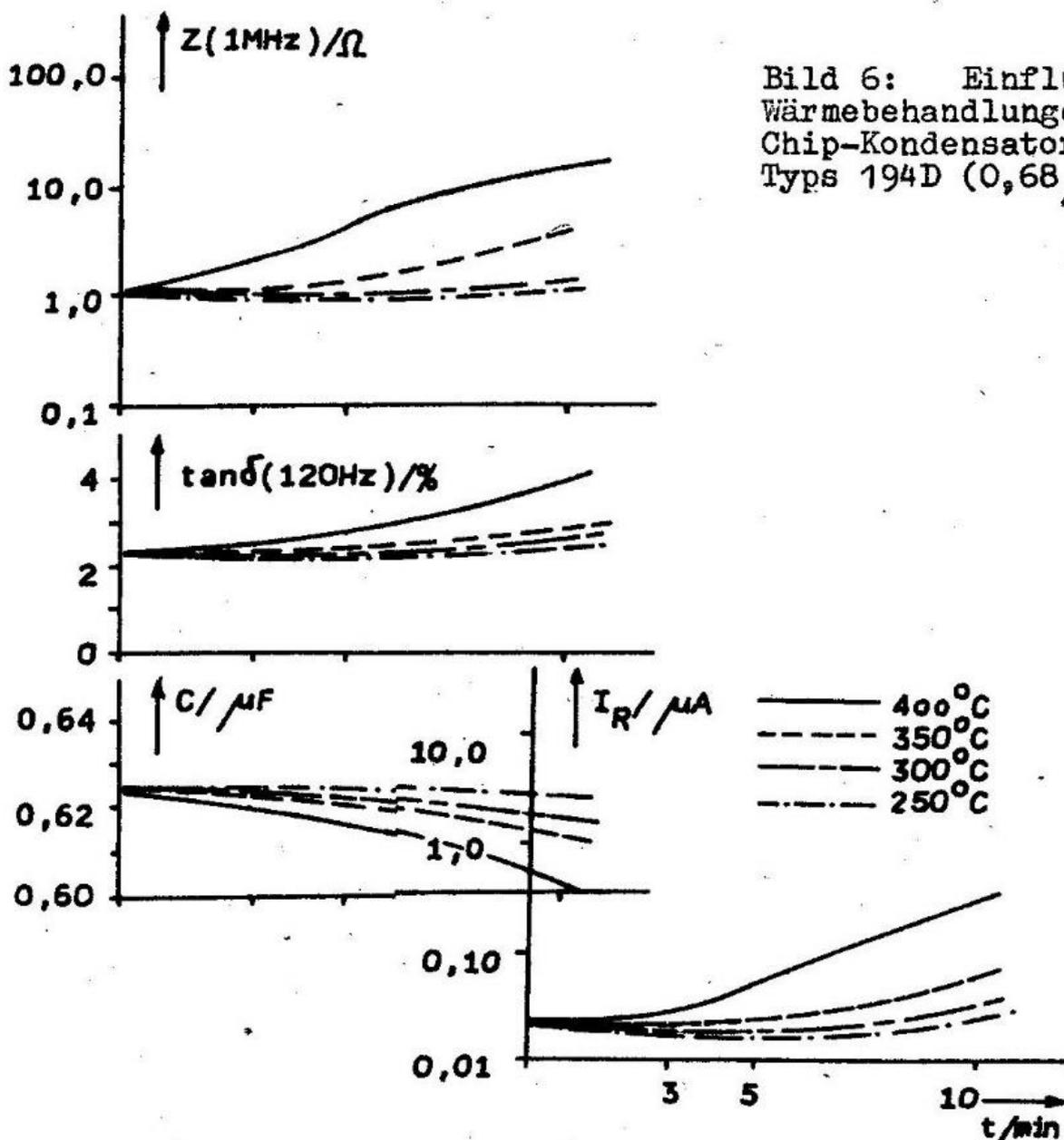


Bild 5: Ergebnisse von Lebensdauertests an Ts-Chipkondensatoren des Typs 194D ($1\mu\text{F}/20\text{ V}$)

Gegenüber konventionellen Ta-Kondensatoren muß man der Lötbeständigkeit der Chipbauelemente größte Aufmerksamkeit schenken, da gerade diese Eigenschaft durch die automatische Bestückung hart gefordert wird. Die schärfsten Beanspruchungen verursachen das Schwallöten mit direktem Lötdurchgang des Bauelementes und mehr noch das Reflow-Löten mit beidseitiger Substratmontage (z. B. 270° bis 320°C , bis zu 3 min). In diesem Temperaturbereich treten beachtliche Degradationserscheinungen im Kontaktiersystem auf. Zum thermischen Verhalten der elektrischen Parameter des Bauelementetyp 194D ($0,68\ \mu\text{F}/25\text{V}$) liegen Veröffentlichungen vor /20/, die auszugsweise aus Bild 6 ersichtlich sind. Demzufolge nimmt die störende Parameterdrift mit steigender Temperatur stark zu.



5. Bewertung der Chipvarianten für den Anwender

5.1. Nacktchips

Dem minimierten Aufwand beim Hersteller steht ein hoher Aufwand beim Anwender gegenüber, da wegen der leicht möglichen mechanischen Beschädigung eine automatische Bestückung nicht möglich ist. Die Umbüllung des gesamten Schaltkreises ist anzustreben. Ein Einsatz der Nacktchips ist vorteilhaft, wenn Bauelementeherstellung und -verarbeitung ohne wesentliche Transport- und Lagerprozesse möglich sind und nur kleine Serien mit geringen Anforderungen an die Zuverlässigkeit benötigt werden. Die Kontaktierung der Chips kann durch Kleben, Hand-, Tauch- und Reflow-Löten oder Einbau im DIL-Gehäuse erfolgen.

5.2. Umbüllte Chips

Allen Formen gemeinsam ist ein guter Klima- und Umweltschutz sowie eine hohe mechanische Stabilität. Es sind alle Arten der Konfektionierung (Magazin, Gurt usw.) realisierbar. Damit sind sie für die automatische Bestückung geeignet. Der Aufwand beim Hersteller ist zur Zeit für bekappte Chips höher als für solche mit schienenförmigen Anschlüssen. Dies trifft nicht auf die manuelle Bestückung zu. Für höchste Zuverlässigkeitsanforderungen zeigen gegenwärtig bekappte Chips die beste Eignung. Zur Kontaktierung sind Klebe- und Lötverfahren am besten geeignet. Kondensatoren mit überstehenden Anschlußelementen (Variante 2a in Tabelle 1) sind für die manuelle Leiterplattenbestückung gut geeignet.

6. Literatur

- /1/ Langer, H.-D.: Ausgewählte Beiträge der Technologieforschung zur Weiterentwicklung von Kondensatoren, Vortr., Manuskript in diesem Berichtsband
- /2/ Elektronik 21(1981)113
- /3/ Datenblatt "Blue Chip" 49 BC MEPCO/Electra, Inc.
- /4/ Paulmann, K.: Siemens Components 20(1982)6,188
- /5/ Siemens-Datenbuch, Tantal-Elektrolytkondensatoren (1974/75)
- /6/ Bocarova, V.T.: Elektron. Techn., Radiodetali i Radiokompon. 6(1979)3
- /7/ electronic engg. 53(1981)30
- /8/ Datenbuch Tantal-Kondensatoren, Sprague (1978)
- /9/ Sprague Engg. Bulletin 3534(1975)
- /10/ DE OS 26 55 659
- /11/ DE OS 29 32 294
- /12/ DE OS 27 03 846
- /13/ DE OS 30 13 610
- /14/ DE OS 29 27 011
- /15/ US PS 4090 231
- /16/ DE OS 27 25 137
- /17/ US PS 4288 842
- /18/ Langer, H.-D.: Festkörperelektrolytkondensatoren, Akademie-Verlag, Berlin (1982)
- /19/ Döring, H.-U.:
Langer, H.-D.: Nachrichtentechnik/Elektronik, im Druck
- /20/ Thompson, D.G.:
Gunnala, S.: High temperature properties of tantalum chip capacitors, Sprague Electric Comp., Techn. Paper Nr. TP-76-3