

Einsatzkriterien von Chipkondensatoren

Teil 1

Dr. sc. nat. HANS-DIETER LANGER

Mitteilung aus der Sektion Physik/Elektronische Bauelemente der TU Karl-Marx-Stadt

Mit der Aufnahme der Produktion von Keramik-Vielschicht-Chipbauelementen im VEB Elektronik Gera wurde ein erster Schritt zur Schaffung einer nationalen Basis bei SMD-gerechten Kondensatoren getan. Damit erfuhr zugleich das Spektrum der aus eigenem Aufkommen verfügbaren Bauelemente und Schaltkreise für die Oberflächenmontage eine bedeutsame Erweiterung in Richtung auf eine vereinheitlichte Bestückungstechnologie, wovon derzeit vor allem die Hybrid- und die Feinstleiterplattentechnik profitieren.

Im Gefolge des VLSI-Niveaus der Halbleitertechnologie und wegen des ökonomisch wirkenden Zwanges zur automatischen Bestückung, nicht nur bei hohen Verdrahtungsträgerstückzahlen, sowie durch die Entwicklung billiger, zuverlässiger, leiterplattengerechter Chiptypen wird derzeit die Substitution der „unhandlichen“ bedrahteten Bauelemente zugunsten beträchtlich miniaturisierter Komponenten vorangetrieben.

Die Steigerungsrate der Ablösung bedrahteter durch unbedrahtete Bauelemente beträgt derzeit in Japan etwa 5 % jährlich bei einem gegenwärtigen Gesamtstand von etwa 50 %. Obgleich international auch bei Kondensatoren nahezu alle wesentlichen Typen betroffen sind, herrscht noch die Gemischbestück-

Die sich schnell verbreitende Aufsetztechnologie für die Bauelementemontage (SMT, Surface-Mounted Technology) erfordert neue Bauformen der verwendeten Bauelemente und modifizierte Verbindungstechniken. In diesem Beitrag werden die gegenwärtig international verbreiteten Chipkondensatoren unterschiedlicher Bauform und Anwendung vorgestellt und diskutiert.

kung (s. Bild 1a) vor, doch der Trend geht eindeutig zu den unbedrahteten SMDs (Surface Mounted Devices) und damit zum einheitlich bestückten Verdrahtungsträger, wie er im Bild 1b veranschaulicht ist. Mehr noch, es zeichnen sich bereits weitergehende Fortschritte ab. Die Integration von Schichtkondensatoren – in der Hybridtechnik mit ihren anorganischen Verdrahtungsträgern (Glas, Keramik) seit Jahren Stand der Technik – wird auch vor der Leiterplatte nicht Halt machen, und die Nutzung der keramischen Chip-Carrier (SMD-gerechte Gehäuse für hochintegrierte monolithische IS) zum direkten Einbau von keramischen Vielschicht-Kondensatoren, wie im Bild 1c schematisch dargestellt ist, liegt auf der Hand.

Da auch in der DDR ein steigender Bedarf an Chipkondensatoren zu verzeichnen ist, scheint es angezeigt, den Nutzer mit den Einsatzbedingungen und den Ausfallmechanismen umfassender vertraut zu machen. Schließlich besteht auch ein berechtigtes Interesse an den Unterscheidungsmerkmalen gegenüber den äquivalenten bedrahteten Vorgängertypen.

In diesem Beitrag werden applikative Aspekte, neue Bestückungsanforderungen und neue Bauformen und Technologien näher betrachtet. In Folgeartikeln wird dann auf die Kennwerte von Chipkondensatoren, auf Ausfallphänomene und auf die Ausfallursachen eingegangen werden.

1. Applikative Aspekte

Einige wenige Anwendungsbeispiele sollen zeigen, daß die Haupttypen von Kondensatoren auch als Chipkondensatoren perspektivisch dringend gebraucht werden:

1.1. Keramik-Chipkondensatoren

Typische Anwendungsfälle sind die Siebung und Entkopplung der Stromversorgungsleitungen und die verzögerungsfreie Leistungsverorgung im Schaltzustand von digitalen Schaltkreisen. Die Anforderungen sind durch Gatterschaltzeiten im Bereich von 50...150 ns bei Stromstärkespitzen von 150 mA, Zykluszeiten um 0,5 μ s und Betriebsspannungen im Bereich 5...12 V charakterisiert. Dies ist die Domäne von Keramikkondensatoren im Nennkapazitätsbereich 10...220 nF.

Bild 2 zeigt eine mögliche Beschaltung von dRAM-Schaltkreisen in den Speicherniveaus von 4 Kbit und 16 Kbit.

Bei einem derzeitigen Bedarf von mehr als $2 \cdot 10^9$ dRAMs jährlich werden nach Literatur-

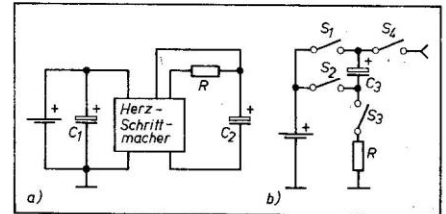


Bild 3: Schaltbeispiele für Tantal-Chipkondensatoren in Herzschrittmachern. a) Puffer- und Glättungsschaltung (C_1 = Pufferkondensator, C_2 = Glättungskondensator); b) Spannungsverdopplerschaltung (S = Transistorschalter, C_3 = Ladekondensator)

einschätzungen allein für diesen Anwendungsfall etwa 10^9 Keramikchips benötigt. Das Fehlen der Anschlußdrähte – damit ist eine drastische Reduzierung der Beträge parasitärer Parameter wie Streukapazität, Eigeninduktivität, Bahnwiderstand verbunden – macht die Chipkondensatoren für die HF-Anwendung und die Digitaltechnik (kleinere Lauf- und Schaltzeiten, höhere Impulsformstabilität) attraktiver. So konnte der Eigenresonanzbereich von NDK-Keramikchips (NDK, Keramik mit niedriger Dielektrizitätskonstante) bis in den Gigahertzbereich erhöht werden, was z. B. für den Einsatz in Tunern interessant ist.

1.2. Tantal-Chipkondensatoren

Ein niedriger Reststrom bei hoher Volumenkapazitätsdichte und extrem hohe Betriebslebensdauer (Ausfallrate $< 10^{-7}/h$) sind die Anforderungen, die implantierbare hybride Herzschrittmacher-IS an Elektrolytkondensatoren für die Betriebsspannungspufferung, -glättung bzw. -verdopplung stellen. Bild 3 zeigt hierzu zwei Schaltbeispiele. Diese Anwendung mit erhöhten Anforderungen ist charakteristisch für Tantal-Festelektrolytkondensatoren mit ihrem spezifischen Eigenschaftskomplex, zu dem leider der relativ hohe Stückpreis gehört. Obgleich eine hervorragend für die Massenproduktion geeignete Basistechnologie entwickelt worden ist, werden die Kosten durch den hohen Rohstoffpreis des im Weltmaßstab sehr begrenzt verfügbaren Tantals und die aufwendige Spezialpulvermetallurgie bestimmt [1].

1.3. Aluminium-Elektrolytkondensatoren

Die fortgeschrittene Videotechnik benötigt den Al-Chipkondensator (hier vor allem in feinststrukturierten Leiterplatten) für die Glättung und Siebung in Netzteilen sowie für

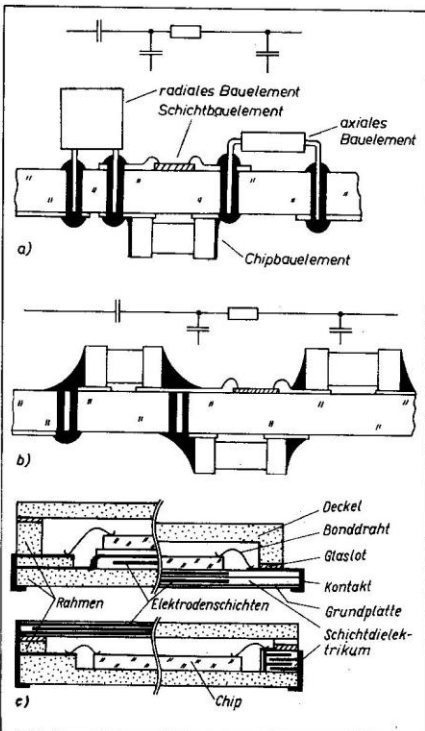
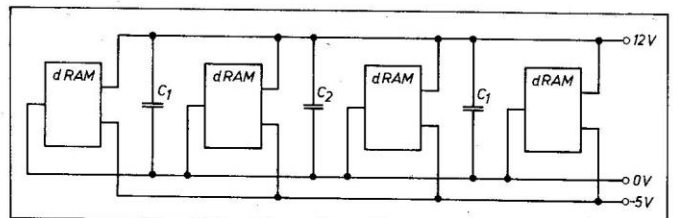


Bild 1: Entwicklungen von Verdrahtungsträgern. a) Gemischt bestückte Leiterplatte; b) SMD-bestückter Verdrahtungsträger mit integriertem Schichtwiderstand; c) gehäusegestützte Dickschicht-Multilayer- bzw. Keramik-Vielschichtkondensatoren (keramisches Chip-Carrier-Gehäuse für IS)

Bild 2: Beschaltung von dRAMs (C_n = Entkoppel- bzw. Stützkondensatoren)



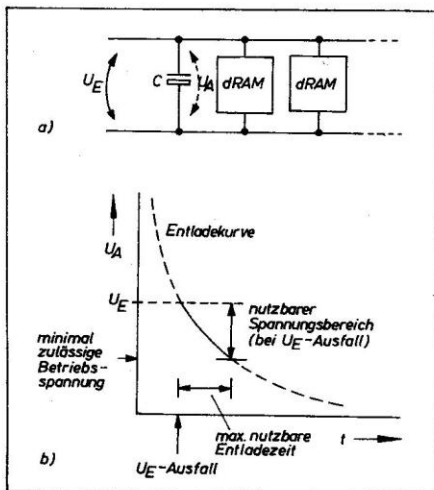


Bild 4: Betriebsspannungspufferung mit höchstkapazitiven Kondensatoren. a) Schaltung; b) Kennlinie

die Wechselspannungskopplung von Verstärkerstufen in Signalflußrichtung. Ein weites Anwendungsfeld stellt auch die Zeitkonstantenrealisierung dar.

Höchste Volumenkapazitäten machen den Al-Chipkondensator attraktiv für Spannungsversorgungsschaltungen zur Überbrückung von Netzausfällen, z. B. für den temporären Datenerhalt. (Unter anderem für diesen Anwendungsfall wird die Entwicklung des extrem hochkapazitiven Doppelschichtkondensators vorangetrieben.)

Bild 4 erläutert die genannte Applikation anhand einer Schaltung und der Entladekurve des Pufferkondensators.

1.4. Kunststoff-Chipkondensatoren

In der Rundfunk- und Fernsehetechnik und in vielen anderen Anwendungsbereichen werden die hervorragenden Wechselspannungseigenschaften der selbstheilfähigen Kunststoffkondensatoren geschätzt, was sie auch als oberflächenmontierbares Bauelement unverzichtbar macht. Die dem Kunststoff inhärente begrenzte thermische Stabilität (Löt-wärmebeständigkeit) bremste zunächst die Entwicklung zuverlässiger Bauelemente auf dem SMD-Sektor. Das Problem wurde jedoch international inzwischen zufriedenstellend gelöst.

2. Neue Bestückungsanforderungen

Die neuen Anforderungen berücksichtigen vor allem den weitaus höheren Automatisierungsgrad der Bestückung.

2.1. Verpackung

Für die automatengerechte, standardisierte und toleranzarme Verpackung gebührt der Gurtung der Vorrang gegenüber der Magazinierung, vor allem dann, wenn es um flexible, softwaregesteuerte Kleinbestückungsautomaten geht, die für Leiterplatten mittlerer bis kleiner Abmessung und nicht zu hohe Bauelementestückzahl je Leiterplatte sowie für Hybridschaltkreise besonders geeignet sind.

2.2. Flächenbedarf

Wegen des geringen Flächenbedarfs und der Kompatibilität mit den Bauformen und Abmessungen der übrigen Chipbauelemente auf dem Verdrahtungsträger wird die quaderförmige Bauform bevorzugt. Bei einer maximalen Bauhöhe von etwa 5 mm bewegt sich der Flächenbedarf der meisten Chipkondensatoren im Bereich 2,5...75 mm².

2.3. Baugruppenmontage

Eine fehlerarme Baugruppenmontage erzielt man durch geeignete, in den Bestückungsprozeß integrierte, rechnergestützte Meß- und Regelungstechnik. Zur Erleichterung bzw. Ermöglichung der entsprechenden Meßwertaufnahme bzw. Sensorik (das geht bis hin zu den Fragen der automatischen Bilderkennung, Korrektur und Reparatur) muß schon beim Bauelemente- bzw. Verdrahtungsträgerentwurf eine entsprechende konstruktive Anpassung erfolgen (Identität, Polung, Platzierung, Toleranzeinhaltung, Lötstellenqualität, Bauelemente- und Schaltkreisfunktion). Es wird z.B. bei beliebig vorgegebener Winkellage des Bauteils eine Positioniertoleranz von ±0,02 mm gefordert. Die Bedingungen für den Umgang mit SMDs sind eine außerordentliche Herausforderung an den Präzisions-Spezialmaschinenbau. Vorzugsweise arbeiten die Bestückungsköpfe mit Vakuumpipetten (geringe Leckluft) und Zangenausrichtung. Seitens der Bauteile sind ein geringes Vertauschungs- und Blockierisiko, eine gute Polaritätskennzeichnung (ggf. automatische elektrische bzw. optische Erkennung), kleine Richttoleranzen (Positionierung) und Bodenabstandschwankungen (Kleberdosierung) erwünscht. Neben den Keramik-

Chipkondensatoren hat sich die plastumspritzte Bauform als die robusteste herauskristallisiert.

2.4. Design und Kennzeichnung

Ein gutes äußeres Design gilt international schon immer als Maßstab des gegenseitigen Produktionsvertrauens zwischen Anbieter und Käufer.

Das Problem der Kennzeichnung ist bei nicht plastumspritzten Konfigurationen teilweise noch nicht befriedigend gelöst. Zu kleine bzw. unebene Oberflächen schränken den Informationsgehalt bzw. die Machbarkeit eines Stempelaufdrucks erheblich ein. In jedem Falle müssen Umhüllung und Kennzeichnung beständig gegen Kleber, Lote, Fluß- und Waschmittel sein.

2.5. Zuverlässigkeit

Bereits im Entwurfsstadium sind beim Hersteller bestimmte physikalisch-applikative Aspekte wie elastische Anpassung (die Differenz der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Bauelement und Verdrahtungsträger fällt nach Wegfall der Anschlußdrähte viel stärker ins Gewicht.), wärme- (Löt-wärme) und diffusionsstromhemmende Konstruktionsmaßnahmen (gegen Feuchte und korrodierende Stoffe) zum Schutz des aktiven Kondensatorkörpers, hohe Langzeit-Lagerfähigkeit (unveränderte Lötbarkeit, keine Selbstdegradation) durch eine optimierte werkstoffliche Ausführung, Maßnahmen gegen die Entflammbarkeit (z. B. zusätzliche Flammenschutzmittel in der Umhüllung), volle Ausschöpfung der miniaturisierten Bauform im Hinblick auf minimierte parasitäre elektrische Parameter (rechnergestützter Entwurf der Bauelementefunktion) zu berücksichtigen.

Die höchste Produktqualität wird durch eine hochgradig automatisierte Herstellungstechnologie, einschließlich der Kontrolltechnologie, in Verbindung mit Selektionsmaßnahmen erreicht. Die Kontaktierung und das Plastumspritzen sind im Montageprozeß besonders kritische Verfahrensschritte, die der besonderen Aufmerksamkeit des Herstellers bedürfen, um eine unnötige Erhöhung des Ausfallrisikos zu vermeiden.

2.6. Lötbarkeit und Wärmebeständigkeit

In der Tafel 1 sind einige Aspekte hierzu zusammengestellt. Es sind herstellungsseitig Kompromisse zu schließen, um ein Bauelement für alle Lötvarianten zuzulassen. Ein-

Tafel 1: Lötvarianten für die automatische SMD-Bestückung

	Reflowlöten	Schwalllöten	Heizstempellöten	Kolbenlöten
Lot und Flußmittel	Lotpaste, mit Flußmittel versetzt	erst Flußmittelauftrag, dann Schwall	Lotpaste mit Flußmittel versetzt	lotplattierte bzw. tauchverlötete Anschlüsse auf dem Verdrahtungsträger; Flußmittel separat zuführen
Fixierung des Bauelementes auf dem Verdrahtungsträger	durch Lot- und Flußmittelpaste (teilweise, d. h. mit Ausnahme großer Bauformen, selbstjustierend)	durch wärmebeständigen Einkomponentenkleber (Wenden der Leiterplatte notwendig)	durch (separaten) Stempelndruck	durch Kolbenandruck (von Hand ausgeübt)
Lötwärmezuführung	Kondensationswärme einer Transferflüssigkeit (Gasphasenlöten) Heißluftkonvektion Heizplatte Infrarotstrahlung	Lotschwall (ggf. Doppelschwall bzw. spezielle Wellenform, Vorwärmen und Lötstopmmaske notwendig)	Heizpatrone (ggf. Impulsbetrieb)	Heizkolben (von Hand geführt)
Lötwärmebelastung (Löttemperatur und -dauer)	250 °C bei 1...5 min, bei zweiseitiger Bestückung ist eine um etwa 30 K erhöhte zweite Löttemperatur nötig	≈ 250 °C, < 1 min	250 °C, ≈ 1 min	≤ 250 °C, ≈ 1 min

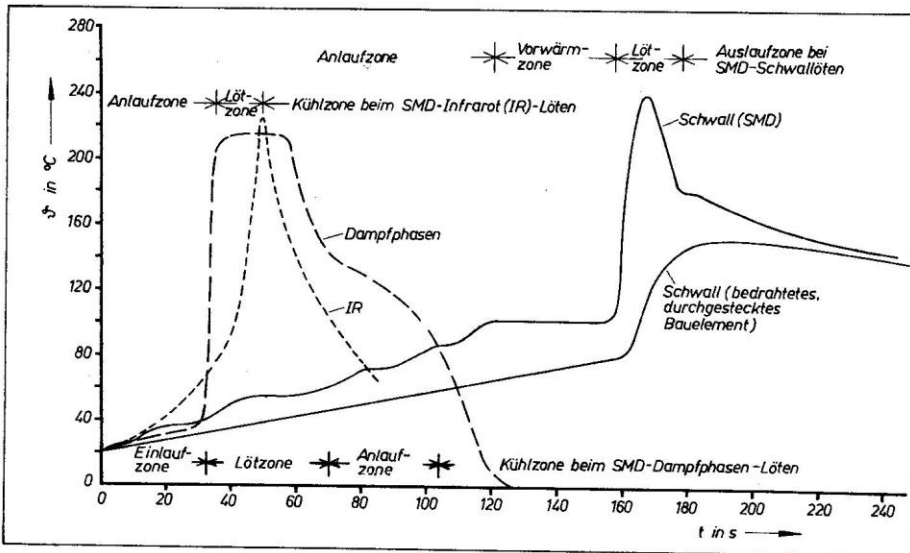


Bild 5: Temperatur- und Zeitabhängigkeiten unterschiedlicher Lötverfahren

schränkende Festlegungen des Herstellers sollten beim Anwender unbedingt beachtet werden. Als schärfste Belastung gilt das Schwalllötverfahren, da hier das Bauelement den größten Wärmeschock erfährt. Es wird unmittelbar vom Lot benetzt und erreicht dabei auch eine wesentlich höhere Temperatur als ein durchsteckbares Bauteil, dessen Anschlußdrähte die Wärme übertragen. Die sehr unterschiedlichen thermischen Verhältnisse nach [2] sind im Bild 5 dargestellt. Zum Vergleich sind die Temperatur-Zeit-Verläufe angegeben, die beim Infrarotdurchlauf- und beim Dampfphasenlötverfahren auftreten [3]. Die von Hand ausgeführte Kolbenlötung

dürfte aufgrund subjektiver Einflußgrößen in der Praxis ebenfalls eine kritische Belastung darstellen. Exakte Layouts und enge Toleranzgrenzen rücken die automatische Lötstelleninspektion (z. B. Laserscanning mit automatischer Bilderkennung) und Reparatur (z. B. Laserlötten) in den Bereich des Möglichen.

Bild 6a zeigt ein mögliches Prinzip der lasergestützten Fehleranalyse und -korrektur. Das Lötstellenschnittbild (s. Bild 6b) macht deutlich, daß verdeckte Lotböschungen der Inspektion (auch der visuellen) schwer zugänglich sind. In der Praxis wird man weniger als 100%, aber nicht weniger als 70...80% Kon-

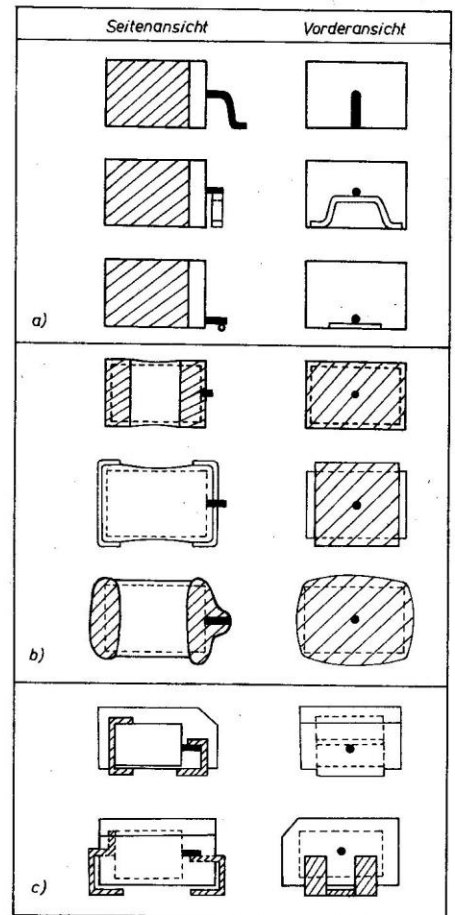


Bild 7: Typische Konstruktionen von Festelektrolyt-Chipkondensatoren (s. a. Tafel 2). a) Nacktchip; b) unverhüllter Kappenchip; c) Gehäusechip

taktfächenbenetzung tolerieren müssen (vergl. Bild 6c).

Ein Maß für die Lötwärmebeständigkeit ist die Ablegierfestigkeit der Kontaktiermetalle. Die Auflösungsrate des Sn-Pb-Lotes bei 260°C betragen für Silber bzw. Gold bis zu 2 µm/s bzw. 4 µm/s.

3. Neue Bauformen und Technologien

Wie bei bedrahteten Kondensatoren konkurrieren bei den Chipbauformen vor allem quaderförmige und zylindrische. Das hat weniger etwas mit der Packungsdichte, sondern vielmehr mit der automatischen Bestückung zu tun. Zylindrische Formkörper lassen sich sehr zuverlässig in Führungsröhren mit kreisförmigem Querschnitt transportieren, während quaderförmige in entsprechenden Transportbehältern viel mehr zum Verkleben neigen. Dies hat bei der automatischen Schüttgutbestückung, von der mit über 250000 Stück/h die höchsten Bestückungsraten bekannt geworden sind, klar zugunsten der zylindrischen Bauform entschieden.

Wie die Übersicht der verschiedenen Konstruktionen in der Tafel 2 zeigt, sind keramische Rohrcondensatoren für diesen Zweck besonders gut geeignet. Ihre robuste Bauweise macht ein zusätzliches Gehäuse überflüssig.

Bei allen anderen wichtigen Typen wird die Robustheit am besten durch Plastumhüllung in Spritzformen erreicht. Eine Ausnahme bilden die in der Tafel 2 dargestellten Schichtbauformen, deren Stabilität durch das starre Substrat gewährleistet ist. Zur Schutzumhüllung dienen Lack-, Harz-, Glasbeläge und andere.

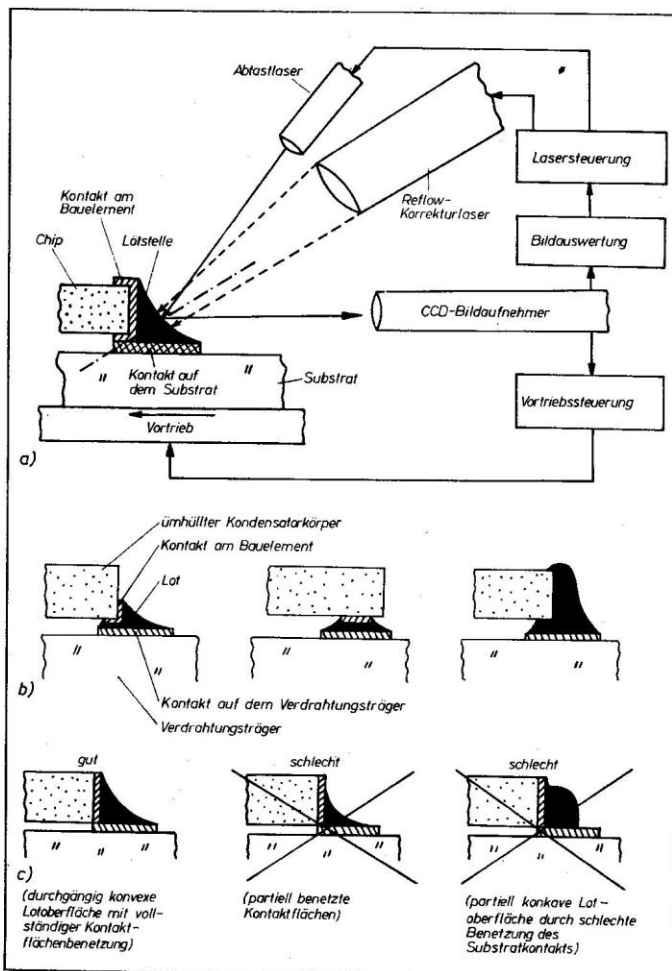
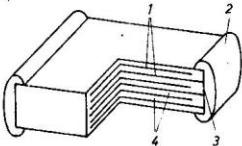
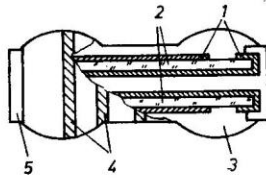
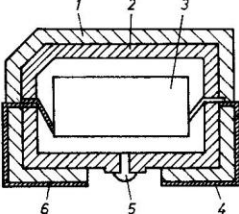
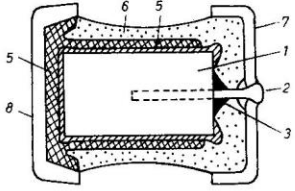
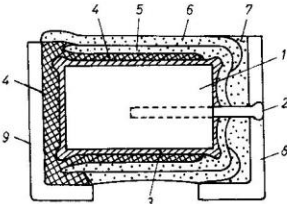
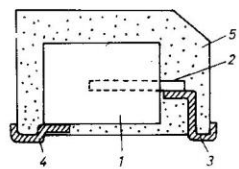
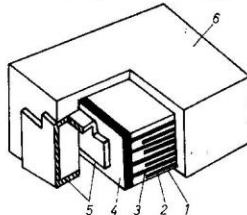
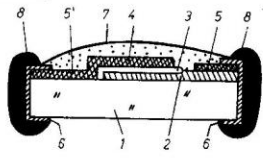
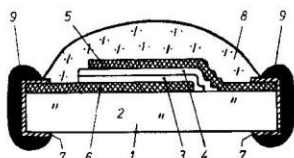


Bild 6: Zur visuellen und automatischen Lötstelleninspektion. a) Lasergestützte Fehleranalyse und -korrektur; b) schematisierte Varianten von Lötverbindungen; c) gute und schlechte Lötverbindungen mit guter automatischer Erkennbarkeit

Tafel 2: Beispiele für Konstruktionen von Chipkondensatoren

Typ	Konstruktion und Konstruktionselemente
Keramik	 <p>Vielschicht-Monoblock (Tekelec, Frankreich) 1 Elektroden, 2 Tauchlotbelag, 3 lötfähige Stirnflächenkontaktschicht, 4 Keramik-Dielektrikum</p>
	 <p>Rohrbauform (zylindrische MELF-Ausführung, MELF = Metal Electrode Faced) (Matsushita, Japan) 1 Elektroden, 2 Keramikdielektrikum (Rohr), 3 Schutzumhüllung, 4 Farbkode, 5 Endkappen</p>
	 <p>Foliewickel (mit Flüssig- oder Festelektrolyt) (NEC, Japan) 1 duroplastische Hülle, 2 thermoplastische Hülle, 3 Kondensatorelement (Wickel, Stapel, Sinterkörper), 4 Katodenanschlusselement, 5 Überdrucksicherung, 6 Anodenanschlusselement</p>
Elektrolyt	 <p>Red Chip (Sprague, USA) 1 Sinterkörper (Ta; Ta₂O₅-MnO₂-beschichtet), 2 Anodenanschußdraht (Ta), 3 Anodendrahtstabilisierung (Harz), 4 äußerer Katodenbelag (MnO₂), 5 Leitkleber-Kontakt (Ag), 6 Passivierung und Anodenkappenfixierung (Harz), 7 Anodenkappe (lötfähig; verschweißt mit 2), 8 Katodenkappe</p>
	 <p>Blue Chip (Valvo, BRD) 1 Sinterkörper, 2 Anodenanschußdraht, 3 äußerer Katodenbelag, 4 Leitkleberkontakt, 5, 6, 7 Passivierung (mehrschichtig) und Anodenkappenfixierung, 8 Anodenkappe (lötfähiger Wickel)</p>
	 <p>Beispiel plastumspritzter Typen (NEC, Japan) 1 Sinterkörper, 2 Anodenanschußdraht, 3 Anodenkontaktbügel (lötfähig; mit 2 verschweißt), 4 Katodenkontaktbügel (lötfähig; mit Kontaktierbelag verlötet bzw. leitend geklebt), 5 Plastspritzgehäuse</p>
Kunststoff	 <p>Folienpaket (metallisiert) im Plastspritzgehäuse (Siemens, BRD) 1 Wickel- bzw. Stapelpaket, 2 Elektroden (Al-Dünnschicht), 3 Dielektrika (Polyäthylenterephthalat-Folien), 4 Stirnflächenkontaktierung (Schoopbelag), 5 Kontaktbügel (CuNiSn), 6 Umhüllung (Polyphenylensulfid)</p>
Schicht	 <p>Dünnschichtchip (mögliche Aufbauvariante) 1 Substrat (Glas), 2 Ventilmetall-Grundelektrode (β-Ta), 3 anodisches Oxiddielektrikum (Ta₂O₅), 4, 5 Gegenelektrode und Leitbahn (Ti/Pd/Au), 6 tauchlötfähige Kontaktierschicht (NiCr/NiCu), 7 Passivierung (Silikonkautschuk), 8 Tauchlot (PbSn-Paste)</p>
	 <p>Dickschichtchip (mögliche Aufbauvariante) 1 Substrat (Al₂O₃-Keramik), 2, 5, 6 Grund-, Deckelektrode, Leitbahn (Au-Paste), 3, 4 erste bzw. zweite Dielektrikumsschicht (BaTiO₃-Paste), 7 Kontaktierschicht (Au-Paste), 8 Passivierung (Glas), 9 Lot (PbSn-Paste)</p>

Bei keramischen Vielschichtkondensatoren besteht ein sicherer Schutz durch die beiden äußeren Keramiklagen, was im Hinblick auf mechanische, chemische bzw. klimatische Belastungen auch auf Kunststoffchips zutrifft, sofern man den aktiven Kondensatorkörper (Wickel, Stapel) mit äußeren Kunststofffolienlagen versieht.

Obgleich Nackchipvarianten naturgemäß die höchsten Volumenkapazitäten aufweisen, ist ihre Bedeutung vorerst entschieden zurückgegangen, da sie mit den hohen Anforderungen der automatischen Bestückung nicht kompatibel sind. Bei der Nackchipversion von Schicht- bzw. Rohrkondensatoren entfällt einfach die Umhüllung. Kunststoff- bzw. Flüssigelektrolyt-Nackchips sind technisch nicht vertretbar (fehlende Lötwärmebeständigkeit bzw. Elektrolytverluste). Auch das kommerzielle Angebot von Festelektrolyt-Nackchips ist zugunsten umhüllter Formen zurückgegangen, obgleich ihre einfache Bauweise besticht.

Einige charakteristische Konstruktionsmerkmale der Festelektrolyt-Chipkondensatoren sind im Bild 7 zusammengestellt. Man erkennt gerade anhand der konstruktiven Mannigfaltigkeit dieses Bauelementes die große Problematik einer international verbindlichen Standardisierung. Obgleich – auch aufgrund der immer noch beachtlichen Innovationsrate – bis heute noch viele Probleme auf diesem Sektor ungelöst sind, wurden beachtliche Normungsfortschritte erzielt, die die Verarbeitungsvorschriften (u.a. Kennzeichnung, Verpackung, Bestückung, Messung und Prüfung), die Bauformen (u.a. Abmessungen, Anschlüsselemente, Umhüllung) und die Bauelementeparameter (u.a. Typen, Anwendungsklassen, Betriebszuverlässigkeiten) betreffen.

Wird fortgesetzt

Fortsetzung von Seite 80

stände in den geforderten Toleranzbereich. Die Kontaktierung der Außenanschlüsse wird durch Klemmarmaturen realisiert. Das abschließende Umhüllen der Substrate mit Silikonkautschuk sichert alle aufgetragenen Komponenten.

Bild 12 zeigt die konstruktiven Daten der Schaltkreise in SIL-Bauform. Zur optimalen Volumenauslastung im Schaltkreis wurde auf ein großes Höhen-Längen-Verhältnis Wert gelegt. Schaltkreisentwurf, Prüftechnik und Herstellung der Schaltkreise wurden durch das Bauelementelabor des Forschungszentrums realisiert.

Literatur

- [1] Drechsler, E.: Patentschrift 130825: Anordnung zur Hilfsspannungserzeugung für Fluß- und Sperrwandler