



Alle Bilder: Intertec Components

# MLCCs richtig messen

*Selbst erfahrene Messtechniker können bei der Messung von MLCCs mit Klasse-2-Dielektrikum verzweifeln. Denn Messspannung und -frequenz, Temperatur und Alterung können die Ergebnisse stark beeinflussen. Praxisbeispiele sollen verdeutlichen, was zu beachten ist und welche Messgeräte sich eignen.*

Robert Braun  
Chief Technical Officer bei Intertec Components

**K**lasse-2-Dielektrika, wie sie in Vielschicht-Keramikkondensatoren (MLCCs) verwendet werden, besitzen eine hohe Permittivität. Denn die Kapazitätswerte der Bauteile diffe-

rieren in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke (Spannung), Temperatur und Frequenz.

Durch diese Eigenarten werfen diese Bauteile einige Probleme bei den korrekten Messungen der Kapazität und des

Verlustfaktors DF (Dissipation Factor) auf. Dies geschieht immer dann, wenn die herstellereitig spezifizierten Mess- und Umgebungsbedingungen nicht eingehalten werden. Weiterhin spielt die Alterung der Bauteile eine Rolle, und zwar umso mehr, je mehr Zeit zwischen Herstellung und Messung vergangen ist. In der Praxis – etwa in der Wareneingangskontrolle – führt das mitunter zu fehlerhaften Ergebnissen. Dies kann dazu führen, dass die Ware fälschlicherweise als »gut« oder »schlecht« qualifiziert wird.

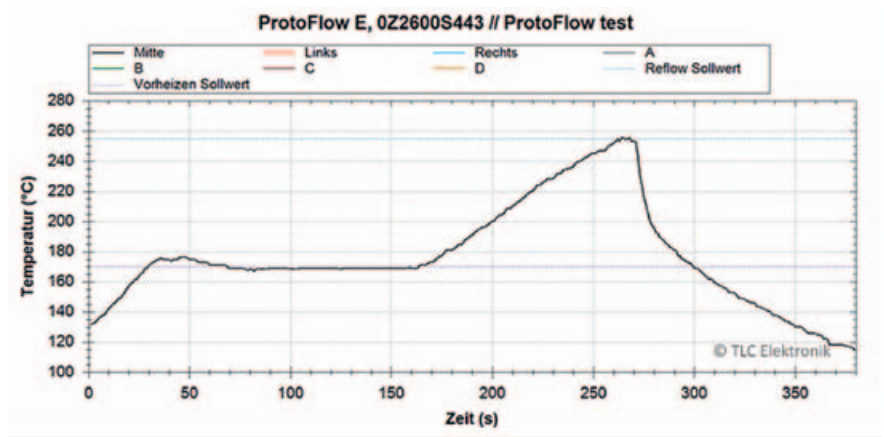
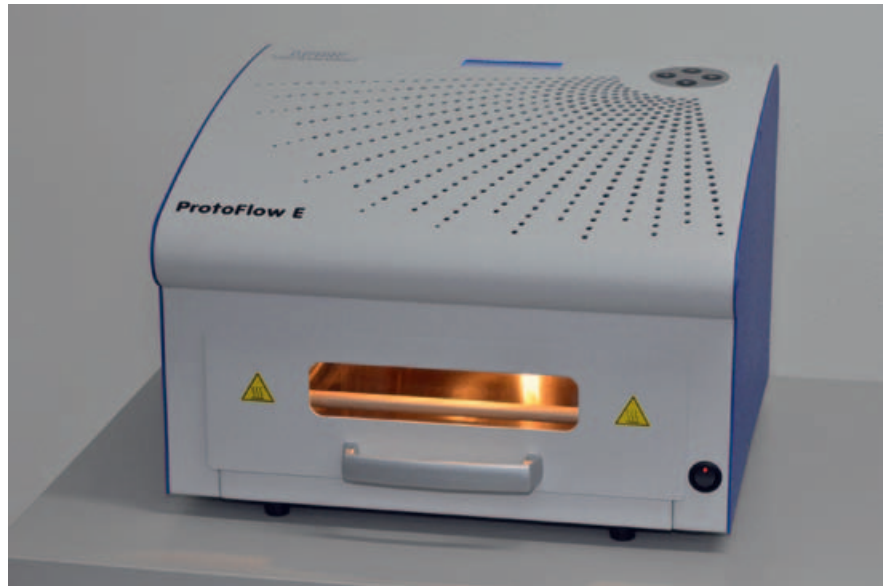
Genau vor diesen Problemen stand auch Intertec Components. Daher wollte das Unternehmen eine standardisierte und zuverlässige Messtechnik entwickeln. Dafür haben die Mitarbeiter alle bisherigen Erfahrungen ausgewertet und ein entsprechendes Messverfahren mit detaillierten Messanleitungen erarbeitet. Dieser Praxisbericht soll zeigen, wie MLCCs richtig gemessen werden, welches Messwerkzeug benötigt wird und worauf dabei zu achten ist.

Bild 1: Reflow-Laborofen (oben), Standard-Lötprofil für bleifreies Lötten (unten).

## Einfluss der Alterung

MLCCs aus einem Klasse-2-Dielektrikum basieren in aller Regel auf Bariumtitanat ( $\text{BaTiO}_3$ ). Dieses Ferroelektrikum kristallisiert in zwei polymorphen Gitterstrukturen, namentlich dem hexagonalen Gittertyp und der Perowskit-Struktur. Physikalisch bedingt ist kurz nach dem Herstellungsprozess die elektrische Kapazität am größten, nimmt jedoch durch interne Alterungseffekte im Laufe der Zeit ab. Diesem Alterungsprozess beugen Hersteller meist durch eine etwas größere Ausgangskapazität vor, sodass nach etwa eintausend Stunden die deklarierte Kapazität vorhanden sein sollte. Dennoch nimmt die Kapazität mit der Zeit weiter stetig ab.

MLCCs mit einem Klasse-1-Dielektrikum dagegen altern eher sehr langsam. Nach 10.000 Betriebsstunden liegt der Kapazitätsverlust meist deutlich unter einem Prozent oder ist sogar zu vernachlässigen. Über die gleiche Zeitspanne fällt die Kapazität bei Klasse-2-Typen je nach Dielektrikum um 8 % bis 25 %. Das Problem dabei ist, dass der Kapazitätsschwund keineswegs nur im Betrieb auftritt, sondern schon in der Originalverpackung. Liegen beispielsweise sechs Monate zwischen Herstellung und Anlieferung beim verarbeitenden Kunden, dann ist die Kapazität bereits um



rund 3,5 % bis 11 % gefallen. Dies wirkt sich entsprechend auf die Messwerte bei der Eingangsprüfung aus. Vor allem länger

gelagerte Teile können dadurch eine offenbar zu geringe Kapazität aufweisen und als »fehlerhaft« deklariert werden.

Anzeige



**GEYER**  
quartz technology

**Just in time.**

Schwingquarze und Oszillatoren



Erleben Sie die schnelle Verfügbarkeit von über 5.000 Spezifikationen nach den neuesten Maßstäben – und Ihre Produktion läuft nach Plan.

Fordern Sie Ihre kostenlosen Muster an.

**GEYER ELECTRONIC**

Tel. +49 89 546868-10 info@geyer-electronic.de

Messgerät	Messfrequenz	Messspannung	Messstrom	Kapazität	Verlustfaktor DF
Hameg HM8118	120 Hz	1000 mV	7,996 mA	10,535 $\mu$ F	0,06149
Hameg HM8118	120 Hz	500 mV	3,651 mA	9,7158 $\mu$ F	0,05741
Hameg HM8118	120 Hz	250 mV	1,689 mA	8,9589 $\mu$ F	0,04718
Hameg HM8118	1 kHz	500 mV	29,54 mA	9,3683 $\mu$ F	0,05313
Hameg HM8118	1 kHz	785 mV*	49,08 mA*	9,9871 $\mu$ F	0,05921
Agilent U1733C	120 Hz	450 mV*	3,101 mA	9,430 $\mu$ F	0,050
Agilent U1733C	1 kHz	84 mV*	4,070 mA*	7,618 $\mu$ F	0,021

Tabelle 1: Die verschiedenen Frequenz- und Spannungseinstellungen zeigen die Auswirkungen auf die gemessenen Werte für Kapazität und Verlustfaktor. (\*Technisch limitiert durch das Messgerät selbst.)

Die gute Nachricht: Dieser Alterungsprozess ist reversibel. Erwärmt man die Bauteile eine definierte Zeitspanne über deren Curie-Punkt, der meist bei +125 °C liegt, und lässt sie im Anschluss langsam abkühlen, so stellt man die ursprüngliche physikalische Gitterstruktur wieder her und die Kapazität entspricht dem Neuzustand. Danach kann man eine erneute Kontrollmessung vornehmen. Im Datenblatt steht, wie lange bei welcher Temperatur die Bauteile »entaltert« (De-Aging) werden müssen und welche Lagerzeit der Hersteller im Anschluss daran empfiehlt.

Soll es schneller gehen, funktioniert das Entaltern auch über einen (simulierten) Lötprozess. Am einfachsten gibt man die Teile lose in einen Reflow-Laborofen und unterzieht diese einem Standard-Lötprofil (Bild 1).

### ■ Einfluss des Messverfahrens

Zu Beginn ein alltägliches Beispiel: Ein Kunde erhält eine Lieferung von Klasse-2-MLCCs mit einer Nennkapazität von 10  $\mu$ F und  $\pm 10$  % Toleranz. Beim Wareneingang werden zehn Stück einer Kontrollmessung unterzogen, wobei zwei Bauteile mit gemessenen Kapazitätswerten von 7,618  $\mu$ F und 8,166  $\mu$ F deutlich außerhalb des zulässigen Toleranzfensters sind.

Laut Datumscode wurde die Ware erst vor sechs Wochen produziert und ist damit nur rund eintausend Stunden alt. Eine alterungsbedingte Kapazitätsabnahme kommt also nicht in Betracht. Auf eine Entalterung mittels Temperaturzyklus wird folgerichtig verzichtet. Demzufolge wird die gesamte Ware beim Lieferanten reklamiert und retourniert.

Der Lieferant wiederum ist sich der einwandfreien Qualität seiner Ware sicher und beauftragt ein neutrales Messlabor mit einer Überprüfung. Diese fällt 100 % positiv aus. Gemäß Prüfprotokoll liegt kein einziger Kapazitätswert unterhalb 10  $\mu$ F. Der Kunde argumentiert, sein zur Messung eingesetztes LCR-Meter wäre erst kürzlich kalibriert worden und sei daher technisch in Ordnung. Auch sei die Messung laut Datenblatt des Herstellers mit der vorgeschriebenen Frequenz von 1 kHz durchgeführt worden, die Messwerte deshalb korrekt.

Wie sind derart unterschiedliche Testergebnisse möglich? Die Ursache liegt bei der verwendeten Messhardware. Ein qualitativ sehr gutes Handheld-LCR-Meter erzielt zwar bei Prüfungen diverser anderer Kondensatoren und MLCCs stets gute Ergebnisse. Für diese Art von Mes-

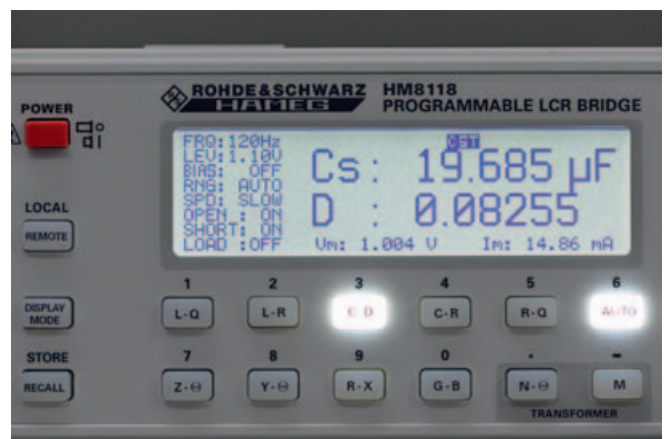
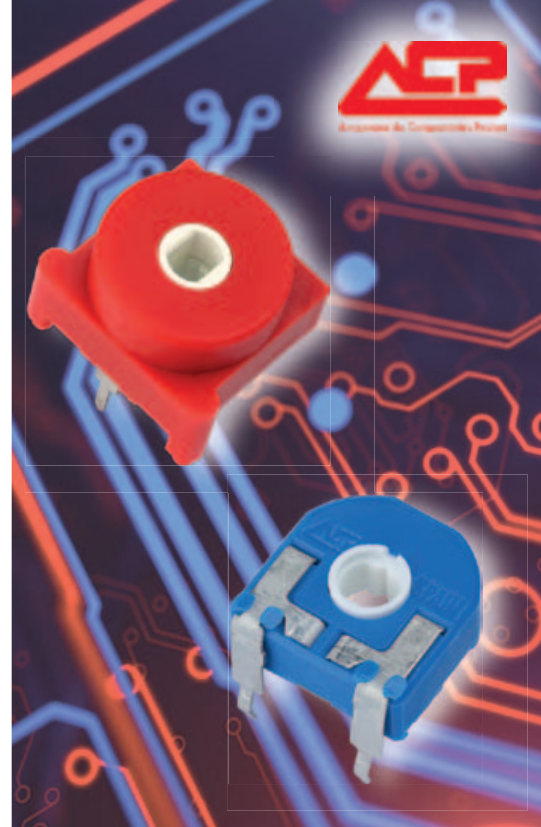


Bild 2: Ein Klasse-2-MLCC mit dem Sollwert 20  $\mu$ F, geprüft bei 120 Hz mit zwei verschiedenen LCR-Messgeräten. Auch hier kommt es, bedingt durch die bei 20  $\mu$ F zu geringe Prüfspannung des Handheld-Testers zu gravierenden Messabweichungen nach unten (links). Dagegen ermittelt die LCR-Mesbrücke korrekte Werte (rechts).





## QJ16 Potentiometer

Mit Federvorspannung als Alternative zu Taktschaltern und Impulsgebern

- ⚡ linear
- ⚡ Rotationswinkel +/-45°
- ⚡ Verfügbar als SPDT Ausführung

## CAR14 / CER14 / RSR14

Platzsparende Alternative zu CA14 / CE14 / RS14

- ⚡ Potentiometer mit runden Konturen
- ⚡ Erhältlich als Cermet oder Carbon
- ⚡ Rotationssensor Version (RSR14) mit bis zu 1 Mio. Zyklen lieferbar



**Wir liefern elektronische und elektromechanische Bauelemente führender Hersteller**

**Sofort ab Lager**

**WWW.GUDECO.DE**

GUDECO Elektronik Handelsgesellschaft mbH  
Daimlerstraße 10 | D-61267 Neu-Anspach | +49 6081 4040

Berlin +49 30 29369777 | Nürnberg +49 911 5399230 | AUT +43 1 2901800

✉ [info@gudeco.de](mailto:info@gudeco.de)

sung eignen sie sich jedoch nicht. Keramikkondensatoren besitzen einen sehr kleinen elektrischen Scheinwiderstand. In der Praxis ist dies zwar oft erwünscht, wirkt bei Messungen aber Probleme auf. Wie eingangs erwähnt, ist die Kapazität von Klasse-2-MLCCs nicht nur frequenz- und temperaturabhängig, sondern auch von der angelegten (Mess-)Spannung.

Sehen wir uns das Ganze am Beispiel eines MLCCs mit einem X5R-Dielektrikum und den beiden verschiedenen Messgeräten an. Der Kunde führt die Messung mit dem Handheld-LCR-Meter vom Typ U1733C von Agilent durch, das Prüflabor mit der LCR-Messbrücke Hameg HM8118 von Rohde & Schwarz. Der Kunde hat – gemäß Datenblatt des Herstellers – eine Messfrequenz von 1 kHz gewählt. Das Prüflabor entscheidet sich für 120 Hz bei einer Prüfspannung von 1 V.

Betrachtet man die letzte Zeile in *Tabelle 1* näher, wird schnell klar, warum der Kunde derart geringe Kapazitätswerte misst: Das Agilent U1733C liefert – wie übrigens auch andere Handheld-Geräte – lediglich einen maximalen Messstrom im Bereich von einigen wenigen Milliampere. Durch den niedrigen Scheinwiderstand des MLCCs bei 1 kHz bricht die Messspannung deshalb auf einen Wert von nur noch 84 mV ein – deutlich zu wenig, um den geforderten 1000 mV ± 200 mV gerecht zu werden.

Bei dieser geringen Wechselspannung ist die elektrische Feldstärke schwach, die Dielektrizitätszahl deshalb gering. In der Folge misst das Gerät eine erheblich zu niedrige Kapazität (*Bild 2*). Der Verlustfaktor DF dagegen wird deutlich besser dargestellt, als er tatsächlich ist; dadurch könnten potenzielle Toleranzüberschreitungen unbemerkt bleiben.

### ■ Auswahl des richtigen Messverfahrens

Zu jedem MLCC existiert ein zugehöriges Datenblatt, in dem die anzuwendenden Messverfahren detailliert beschrieben sind. Es ist wichtig, sich bei der Prüfung solcher Bauteile daran zu halten sowie ein geeignetes Messgerät einzusetzen.

Auch bei handelsüblichen LCR-Messbrücken ist irgendwann der Punkt erreicht, ab dem das Gerät nicht mehr den notwendigen Strom liefern kann, um eine Messspannung von beispielsweise 1000 mV aufrechtzuerhalten. Je nach MLCC-Typ wird man bei heute gebräuchlichen Ge-

räten in aller Regel bei etwa 10 µF an die Grenze stoßen, bei der eine Messfrequenz von 1 kHz bereits eine zu geringe Messspannung liefert. Solche Komponenten sollten dann besser bei 120 Hz, dafür aber mit der vorgeschriebenen Spannung gemessen werden. Die Messabweichungen fallen damit erheblich geringer aus. Bei MLCCs mit Kapazitäten oberhalb von 10 µF berücksichtigt dies ohnehin die entsprechende Prüfvorschrift des Herstellers – oft in Kombination mit einer anzuwendenden Prüfspannung von nur 500 mV.

Besitzt das Messgerät eine Funktion, um die Messspannung konstant zu halten (z. B. ALC, CST o. ä. genannt), sollte diese aktiviert werden. Dadurch minimieren sich Spannungsschwankungen, die durch den Innenwiderstand und unterschiedliche Kapazitäten der Prüflinge bedingt sind. In jedem Fall ist zu Beginn jeder Messreihe sicherzustellen, dass der erforderliche Messspannungsbereich eingehalten wird, um fehlerhafte Ergebnisse zu vermeiden.

Besitzt das LCR-Prüfgerät keine integrierte Spannungsanzeige, eignet sich als Kontrollanzeige ein parallelgeschaltetes Multimeter. Im Normalfall ist die Parallelkapazität des Multimeters und dessen Messleitung bei größeren Kapazitätswerten des MLCCs kein Problem. Sicherheitshalber sollte man immer prüfen, ob und wie sehr sich der Messwert auf der Anzeige des LCR-Meters beeinflussen lässt. Gegebenenfalls ist die Spannungseinstellung an der LCR-Messbrücke einmalig vorzunehmen, nachdem der Offset zwischen eingestellter und tatsächlich anliegender Spannung ermittelt wurde – anschließend das Multimeter samt Messleitungen für die eigentliche Serienmessung abtrennen.

### ■ Störende Fremdeinflüsse

Bei Keramikkondensatoren werden die elektrischen Spezifikationen fast immer für eine Umgebungstemperatur von +25 °C ausgewiesen. Nun wird, zumindest in den Wintermonaten, kaum jemand seinen Prüfplatz auf konstante +25 °C heizen. Betrachtet man die Temperaturcharakteristik von MLCCs näher, erkennt man, dass sowohl Kapazität als auch Verlustfaktor temperaturabhängig sind. Im alltagsüblichen Temperaturbereich am Arbeitsplatz ist allerdings nicht davon auszugehen, dass bei geringen Abweichungen zu den idealen + 25 °C größere Messfehler auftreten. Jedoch ist darauf zu achten, dass sich eben angelieferte oder aus dem Lager



**Bild 3:** SMD-Testadapter und Messpinzette; ein Nullabgleich ist wichtig für präzise Messungen.

entnommene Ware vor der Messung an die Raumtemperatur angleichen kann.

Viele LCR-Messgeräte besitzen eine Bias-Funktion, also die Möglichkeit, parallel zur AC-Messfrequenz eine DC-Vorspannung an den Prüfling anzulegen. Dies ist beispielsweise bei der Messung von Elektrolytkondensatoren wichtig. Bei MLCCs führt diese Vorspannung allerdings zu erheblichen Messfehlern. Deshalb sollte man stets zu Beginn der Messung kontrollieren, ob die Bias-Funktion wirklich abgeschaltet ist.

LCR-Messbrücken werden meist mit speziellen Testvorrichtungen ausgestattet, in denen der MLCC zwischen zwei Prüfspitzen eingelegt und durch Federkraft gehalten wird (*Bild 3*). Diese Messadapter sind regelmäßig direkt an der LCR-Messbrücke abzugleichen, um Messwertverfälschungen durch Übergangswiderstände und die Eigenkapazität zu kompensieren. Gleiches gilt bei Verwendung von Messpinzetten und anderen Prüflösungen.

### ■ Fazit

Um Klasse-2-MLCCs zu messen, eignen sich Handheld-LCR-Meter nur eingeschränkt, da sich deren Messspannung selten auf die jeweils erforderlichen Werte einstellen lässt. Zudem liefern sie nicht den erforderlichen

Strom zur korrekten Messung von höherkapazitiven Kondensatoren im Mikrofarad-Bereich. Die Messspannung sinkt dadurch auf deutlich zu niedrige Werte, wodurch fälschlicherweise zu geringe Kapazitätswerte gemessen werden. Auch Temperatur und relative Luftfeuchte am Messplatz müssen innerhalb der zulässigen Werte liegen, um Fehlmessungen zu vermeiden.

Nicht empfehlenswert sind Multimeter mit Kapazitätsmessfunktion, da sie keinerlei Einstellmöglichkeiten für Messspannung und -frequenz bieten. Das Messverfahren ist zudem – je nach Typ und Hersteller – oft völlig unterschiedlich. Bei Klasse-2-MLCCs kommt es häufig zu starken Messfehlern (*Bild 4*).

Liegt die gemessene Kapazität eines Klasse-2-MLCCs außerhalb der spezifizierten Toleranz und unterhalb des Sollwerts, kann man durch eine definierte Erwärmung oder einen simulierten Lötprozess (Reflow) die Ursprungskapazität wiederherstellen und dann erneut messen.

Letztlich ist es wichtig, bei der Auswahl des passenden MLCC den alterungsbedingten Kapazitätsverlust einzukalkulieren. Das heißt, die geplante Lebensdauer der Schaltung berücksichtigen und eine ausreichende Ausgangskapazität wählen.

Wer diese Hinweise und Tipps beherzigt, wird belastbare und reproduzierbare Messergebnisse erhalten. (rh)



**Bild 4:** Der gleiche 20-µF-MLCC aus Bild 2 mit der Kapazitätsmessfunktion eines Digitalmultimeters gemessen. Die Abweichung zum tatsächlichen Kapazitätswert ist hier noch einmal größer.