

Das CZ-Produkt : eine neue Kennzeichnung für das Temperatur- und Frequenzverhalten von Elektrolyt-Kondensatoren

Autor(en): **Boone, S. / Bügel, R.D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **54 (1963)**

Heft 9

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916473>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Das CZ-Produkt, eine neue Kennzeichnung für das Temperatur- und Frequenzverhalten von Elektrolyt-Kondensatoren

Von S. Boone und R. D. Bügel, Eindhoven

621.319.45

Der Anwendungsbereich der Elektrolyt-Kondensatoren hat sich in letzter Zeit erheblich erweitert und dürfte noch mehr anwachsen. Dementsprechend wird es immer wichtiger, die Eigenschaften dieser Kondensatoren in breitem Temperatur- und Frequenzbereich zu kennen und auf einfache Weise kennzeichnen zu können.

Als ein wichtiges Hilfsmittel bei der Wahl von Elektrolyt-Kondensatoren und beim Vergleich verschiedener Typen miteinander dürfte sich das CZ-Produkt erweisen, das sich durch Multiplikation des Wertes der Nennkapazität (oder der tatsächlichen Kapazität bei z. B. 50 Hz und 20°C) mit der tatsächlichen Impedanz bei der betrachteten Temperatur und Frequenz ergibt. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass die CZ-Produkte von Elektrolyt-Kondensatoren verschiedener Kapazität und gleicher Betriebsspannung gleich sind.

An Hand von Messungen wird das CZ-Produkt logisch eingeführt und gezeigt, dass es den Vergleich verschiedener Elektrolyt-Kondensatoren sehr vereinfacht. Auch lässt sich der Verlauf der Eigenschaften von Elektrolyt-Kondensatoren in Abhängigkeit von der Lebensdauer unter Zuhilfenahme des CZ-Produktes leichter charakterisieren.

Au cours de ces dernières années, le domaine d'application des condensateurs électrolytiques s'est considérablement étendu et, probablement, se développera encore d'avantage. Dans cette situation, la connaissance des propriétés de ces condensateurs dans une large gamme de températures et de fréquences et, simultanément, la possibilité de les exprimer d'une façon simple, deviennent toujours plus importantes.

Le produit CZ pourrait constituer un précieux appoint lors du choix de condensateurs électrolytiques et de la comparaison de différentes exécutions. Le produit CZ résulte de la multiplication de la capacité nominale (ou de la valeur effective de capacité, mesurée, par exemple, à 50 Hz et à 20°C) par l'impédance, mesurée à la température et à la fréquence considérées. $\frac{1}{4}$ s'est en effet révélé que les produits CZ de condensateurs électrolytiques de capacité différente mais de même tension de service étaient identiques.

Sur la base de nombreuses mesures, le produit CZ a été introduit systématiquement et a rendu sensiblement plus simple la comparaison de différents modèles de condensateurs électrolytiques. En outre, le produit CZ permet de caractériser plus aisément l'évolution des propriétés de ces condensateurs au cours de leur emploi.

1. Einleitung

In den letzten zehn Jahren hat sich der Elektrolyt-Kondensator viele neue Anwendungsbereiche erobert. Während früher solche Kondensatoren hauptsächlich in Glättungskreisen für Gleichrichter von Rundfunkgeräten und anderen elektronischen Apparaten zur Anwendung gelangten, sind sie seit Erfindung des Transistors in Schaltungen vorgedrungen, die mit einem Glättungsteil gar nichts mehr zu tun haben.

Tatsächlich ist der grosse Aufschwung, den die sog. Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren mit Kapazitäten von z. B. 1...500 μ F und Spannungen von 2,5...100 V erfahren haben, vor allem ihrer Anwendung in transistorisierten Schaltungen zu verdanken.

Auch hinter den jüngsten Neuentwicklungen im Bereich der Elektrolyt-Kondensatoren wie etwa Tantal-Nass- und -Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren oder Aluminium-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren stand der Wunsch nach Elektrolyt-Kondensatoren, die besser als die vorher üblichen Aluminium-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren in Transistorgeräten verwendet werden konnten.

Es liegt wohl auf der Hand, dass man sich nunmehr, da der Elektrolyt-Kondensator im Verhalten von Schaltungen eine Rolle zu spielen beginnt, nicht mehr mit den summarischen Angaben begnügen kann, die früher über die Eigenschaften von Glättungs-Elektrolyt-Kondensatoren bekanntgegeben wurden.

Glättungskondensatoren wurden hauptsächlich für Gleichspannungen mit einer überlagerten Wechselspannung von 50 oder 100 Hz benützt. Es genügte deshalb zu wissen, dass sie einen bestimmten Toleranzbereich hatten und dass Reststrom und Verlustwinkel nicht zu hoch waren. Ausserdem kamen noch die beiden folgenden Anforderungen hinzu:

a) Die Impedanz darf bei einer Frequenz von 50 oder 100 Hz und bei einer bestimmten angenommenen niedrigen Temperatur, nämlich bei -10 oder -25°C , nur um einen bestimmten Prozentsatz höher sein als bei $+20^{\circ}\text{C}$, damit auch bei der tiefen Temperatur noch eine ausreichende Glättung übrigbleibt [1]¹⁾.

b) Bei 500 kHz darf die Impedanz einen bestimmten Wert nicht überschreiten [1], damit die in Fernmeldeanlagen verwendete Zwischenfrequenz einwandfrei entkoppelt wird.

Weil die Impedanz von Elektrolyt-Kondensatoren sehr frequenz- und temperaturabhängig ist, zeichnet sich in den Veröffentlichungen der Hersteller immer deutlicher die Tendenz ab, auf die eine oder andere Weise mehrere Daten über das Verhalten der Kondensatoren in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz zu geben, und dabei beschränken sie sich auf die Impedanz, die ja für den Kunden der wichtigste Wert ist [3].

Die Einführung des CZ-Produktes, das man durch Multiplikation der Nennkapazität mit der tatsächlichen Impedanz bei der betrachteten Temperatur und Frequenz erhält, kann bei der Ermittlung und beim Vergleich der Daten für verschie-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

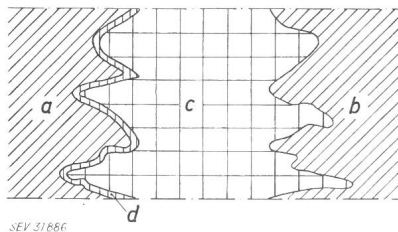


Fig. 1
Detailquerschnitt eines
Elektrolyt-Kondensators
a Anode
b Kathode
c elektrolytgetränktes
Papier
d Oxydschicht

dene Arten von Elektrolyt-Kondensatoren nützlich sein. Deshalb soll in dem vorliegenden Artikel:

- An Hand von Messergebnissen der Begriff des CZ-Produktes logisch erläutert und eingeführt werden;
- Ebenfalls auf Messungen gestützt gezeigt werden, wie es mit Hilfe von CZ-Produkten möglich wird, das Verhalten verschiedener Elektrolyt-Kondensator-Typen miteinander zu vergleichen;
- Einige Bemerkungen über den Verlauf der Eigenschaften in Abhängigkeit von der Lebensdauer gemacht werden.

2. Das CZ-Produkt

2.1 Messungen

Um zu zeigen, wie man zu dem Begriff des «CZ-Produktes» gelangt, werden in den Fig. 4...12 einige Ergebnisse von Messungen an Elektrolyt-Kondensatoren wiedergegeben.

Es wurden die Kapazität C und der $\text{tg } \delta$ der Elektrolyt-Kondensatoren bei 100 und 1000 Hz und die Impedanz Z bei 10000 und 100000 Hz bei Temperaturen von -40 , -20 , 0 , $+20$, $+40$ und $+70^\circ\text{C}$ (Fig. 5...12) gemessen, ferner die Kapazität und der äquivalente Serienwiderstand eines Kondensators von $10 \mu\text{F}$, 25V , bei 20°C und 100, 200, 500, 1000, 2500, 5000 und 10000 Hz. Die Ergebnisse der Kapazitäts- und $\text{tg } \delta$ -Messungen sind in den Fig. 5, 7, 9 und 11 und die Impedanzen in den Fig. 6, 8, 10 und 12 verzeichnet, die auch die berechneten Impedanzwerte bei 100 und 1000 Hz enthalten.

Zur Ermittlung der Kapazität, des $\text{tg } \delta$ und des äquivalenten Serienwiderstandes wurden notwendigerweise Brückenmessungen vorgenommen, während für die Impedanzmessungen ein Verfahren zur Anwendung gelangte, bei dem ein ca. 100facher Widerstand mit der zu messenden Elektrolyt-Kondensator-Impedanz in Serie geschaltet und über diese Serienschaltung eine konstante Spannung angelegt wurde. Dabei bestimmten also die Grösse der Spannung und der Wert des vorgeschalteten Widerstandes den Strom.

An dem zu messenden Elektrolyt-Kondensator wurde sodann mit einem Röhrenvoltmeter die Teilspannung ermittelt, aus der sich zusammen mit dem bekannten Stromwert die Impedanz rechnerisch ermitteln lässt.

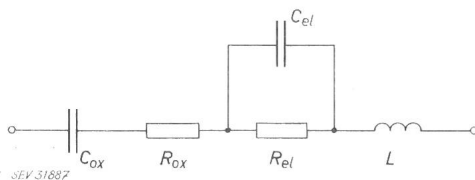
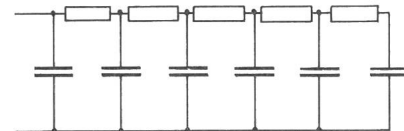
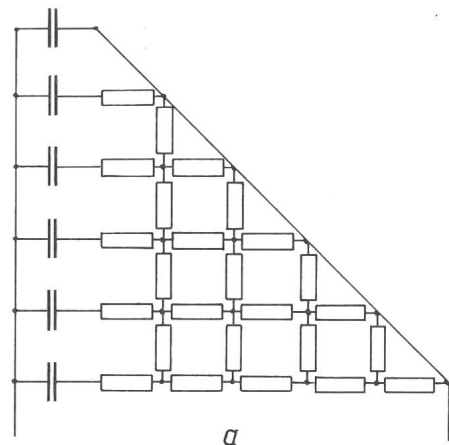


Fig. 2
Ersatzschaltbild eines Elektrolyt-Kondensators

- C_{ox} Kapazität der Oxydschicht
- R_{ox} Widerstand des Oxyddielektrikums
- R_{el} Widerstand des elektrolytgetränktes Papiers
- L Selbstinduktion des Wickels und der Anschlüsse
- C_{el} Kapazität der elektrolytgetränktes Papiers



SEV 31888

Fig. 3

Ersatzschaltbilder a und b von Kapazität und Widerstand einer Pore in einer geätzten und mit einer Oxydschicht bedeckten Anode eines Elektrolyt-Kondensators

2.2 Ersatzschaltbild von Elektrolyt-Kondensatoren

Alle hier zur Rede stehenden Elektrolyt-Kondensatoren (übrigens auch nahezu alle sonstigen Niedervolt-Elektrolyt-Kondensatoren aus Aluminium) bestehen aus einer Aluminium-Anodenfolie mit durch Ätzen vergrößerter Oberfläche, die mit dem aus einer auf elektrolytischem Wege angebrachten Aluminiumoxydschicht bestehenden Dielektrikum bedeckt ist, und einer ebenfalls geätzten Aluminium-Kathodenfolie, die als Stromzuführung mit niedrigem Widerstand dient. Zusammen mit einem zwischen den Folien befindlichen porösen Abstandshalter (Papier) sind sie zu einem Wickel aufgerollt. Das Papier ist mit einem ziemlich zähflüssigen Elektrolyten getränkt; dieser und die Al-Anodenfolie bilden zusammen die beiden Elektroden des Al-Oxyd-Dielektrikums. Fig. 1 zeigt einen Detailquerschnitt und Fig. 2 ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines solchen Elektrolyt-Kondensators.

2.3 Allgemeines Verhalten eines Elektrolyt-Kondensators in Abhängigkeit von der Frequenz und der Temperatur

Betrachtet man die Fig. 5 und 9, so wird es klar, dass die Kapazität bei 100 und auch bei 1000 Hz mit abnehmender Temperatur sinkt und dass der $\text{tg } \delta$ zunimmt.

Das Wachsen des $\text{tg } \delta$ lässt sich leicht erklären. Der Widerstand der Elektrolytflüssigkeit nimmt mit sinkender Temperatur stark zu, was einen Anstieg von R_{el} bedeutet, der sich in einer Zunahme des $\text{tg } \delta$ äussert. Die Kapazitätssenkung wird von dem sog. Poreneffekt verursacht. Er beruht auf der Tatsache, dass der Widerstand, der die Teilkapazität im unteren Teil einer Pore mit der Kathode verbindet, infolge des geringen Durchmessers der Pore viel grösser ist als der Widerstand, der die gleiche Teilkapazität im oberen Teil der Pore mit der Kathode verbindet. Deshalb darf die Kapazität eines Elektrolyt-Kondensators eigentlich nicht durch eine einzige Kapazität mit einem einzigen Widerstand dargestellt werden; vielmehr müsste man sich statt dessen eines Netzwerkes mit Teilkapazi-

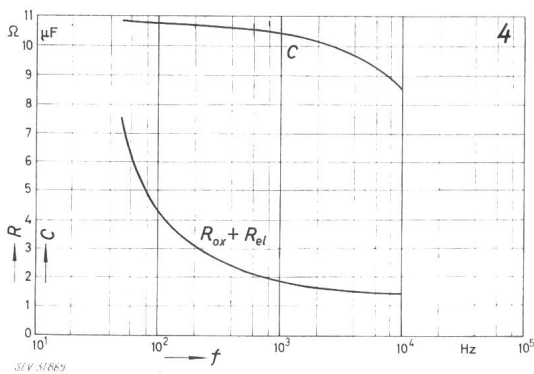


Fig. 4
Kapazität C und äquivalenter Serienwiderstand R eines Elektrolyt-Kondensators von $10 \mu\text{F}$, 25 V , in Abhängigkeit von der Frequenz f bei 20°C

täten und Teilwiderständen bedienen. Für ein solches Netzwerk sind verschiedene Schaltbilder vorgeschlagen worden, von denen zwei in Fig. 3 aufgeführt sind. Beide geben das Verhalten der Kapazität und des $\text{tg } \delta$ nicht in allen Einzelheiten, aber doch in grober Näherung wieder. In beiden Fällen tritt jedoch, wenn man die Widerstände mit einem gleichen Faktor multipliziert (d. h. = den Elektrolytwiderstand erhöht), bei konstanter Messfrequenz eine Kapazitätsverminderung auf.

Bei rückläufiger Temperatur bewirkt der wachsende Widerstand des Elektrolyten also auch eine Senkung der Kapazität des Elektrolyt-Kondensators. Aus Fig. 4 ist zu entnehmen, dass bei gleichbleibender Temperatur und ansteigender Frequenz, die Kapazität und auch der äquivalente Serienwiderstand zurückgehen.

Der Kapazitätsabfall beruht wiederum auf dem bereits erwähnten Poreneffekt. Allerdings werden nun die Widerstände des Netzwerkes nicht vergrößert; vielmehr sinken die Impedanzen der Teilkapazitäten bei steigender Frequenz, so dass das Verhältnis zwischen der Impedanz der Teilkapazität und dem vorgeschalteten Serienwiderstand immer ungünstiger wird. Das äussert sich auch in einer Senkung der totalen gemessenen Kapazität.

Die Abnahme des Serienwiderstandes, der aus der Serienschaltung von R_{ox} und R_{el} besteht, wird durch die Veränderung von R_{ox} mit der Frequenz verursacht. Die Verluste der Oxydschicht sind nämlich über einen grossen Frequenzbereich nahezu konstant, so dass R_{ox} umgekehrt proportional zur Frequenz abnehmen muss.

Wenn die Frequenz hoch genug ist, kann R_{ox} gegenüber R_{el} vernachlässigt werden; dann ist der gemessene Serienwiderstand gleich R_{el} , d. h. gleich dem Widerstand der elektrolytgetränkten Papierschicht.

Dieser Widerstand ist gleich $R = p \frac{l}{d} a$ worin p der spezifische Widerstand des Elektrolyten, l die Dicke der Papierschicht, d die Oberfläche der Anoden- bzw. Kathodenfolie und a ein von der Papiersorte abhängiger Faktor ist.

Für verschiedene Papiersorten ist a unterschiedlich und gibt das Verhältnis Widerstand von Elektrolyt + Papier zu Widerstand des Elektrolyten bei gleicher Dicke und gleichem Querschnitt der Schicht wieder.

Der vorerwähnte R_{el} -Wert wird im allgemeinen bei ca. 100 kHz erreicht. Bei höheren Frequenzen beginnt die Selbstinduktion L eine Rolle zu spielen, wodurch wieder ein Impedanzanstieg eintreten kann. Bei hohem Widerstand der Elektrolyt-

flüssigkeit (bei niedriger Temperatur) kann sich der Einfluss von C_{el} geltend machen, wodurch die gemessene Impedanz niedriger wird als die berechnete.

2.4 Diskussion der Messergebnisse

In Fig. 5 und 9 sind die Kapazität und der $\text{tg } \delta$ des Elektrolyt-Kondensators von $32 \mu\text{F}$, $6,4 \text{ V}$, bzw. des Elektrolyt-Kondensators von $10 \mu\text{F}$, 25 V , bei 100 und 1000 Hz dargestellt. Die Fig. 6 und 10 zeigen für beide Elektrolyt-Kondensatoren die aus Kapazität und $\text{tg } \delta$ berechneten Impedanzen und die gemessenen Impedanzen bei 10000 und 100000 Hz. Auf entsprechende Weise sind in Fig. 7 und 11 die Kapazität und der $\text{tg } \delta$ für die Elektrolyt-Kondensatoren von $160 \mu\text{F}$, $6,4 \text{ V}$, bzw. $50 \mu\text{F}$, 25 V , bei 100 und 1000 Hz aufgetragen, und ergänzend dazu geben die Fig. 8 und 12 Aufschluss über die berechneten Impedanzen bei 100 und 1000 Hz und die gemessenen Impedanzen bei 10000 und 100000 Hz.

Betrachtet man die Impedanzkurven der Fig. 6, 8, 10 und 12, so kann festgestellt werden, dass sie alle ein übereinstimmendes Bild zeigen, nämlich:

a) Bei abnehmender Temperatur steigt die Impedanz; bei den höheren Frequenzen ist der Anstieg am stärksten ausgeprägt. Die Ursache dafür ist in der Kombination aus Kapazitätssenkung und Zunahme des Flüssigkeitswiderstandes zu suchen. Dieser Effekt wirkt sich bei den höheren Frequenzen, bei denen die Impedanz praktisch ganz vom Flüssigkeitswiderstand bestimmt wird, am stärksten aus. Tatsächlich hat die Impedanz bei 100 kHz, in Abhängigkeit von der Temperatur, den gleichen Verlauf wie der Widerstand des Elektrolyten in Abhängigkeit von der Temperatur.

b) Bei gleichbleibender Temperatur wird die Abnahme der Impedanz mit zunehmender Frequenz immer kleiner (man vergleiche den Impedanzrückgang von 100 auf 1000 Hz mit dem von 10000 Hz auf 100 kHz). Auch hier ist die Ursache der Elektrolytwiderstand, der bei zunehmender Frequenz einen immer stärkeren Einfluss auf die Impedanz entfaltet. Hier ist das Minimum bei ca. 100 kHz erreicht.

c) Bei der niedrigsten Temperatur (-40°C) unterscheiden sich die Impedanzen bei verschiedenen Frequenzen praktisch nicht mehr, weil in diesem Bereich die Impedanz fast ausschliesslich vom Widerstand der Elektrolytflüssigkeit bestimmt wird.

2.5 Das CZ-Produkt

Obwohl schon mehrfach versucht worden ist, das Verhalten von Elektrolyt-Kondensatoren bei niedrigen Temperaturen zu charakterisieren, etwa durch Festlegung des Impedanzverhältnisses bei $+20^\circ\text{C}$ und -25°C oder bei -40°C (siehe z. B. [1]), reichen die daraus abzuleitenden Informationen für viele Benutzer nicht aus, um die Voraussetzungen zu richtiger Anwendung zu schaffen. Dies ist vor allem auf den Umstand zurückzuführen, dass es infolge der Ausweitung des Frequenzgebietes, in dem Elektrolyt-Kondensatoren heute zur Anwendung gelangen, unbedingt notwendig ist, diese Verhältnisse für mehrere Frequenzen anzugeben. Ferner kann man sich nicht mit einem festen Verhältnis dieser Impedanzen begnügen, weil es auch noch von der Betriebsspannung abhängt (siehe z. B. Fig. 6 und 10; [1]). Dennoch steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem die Impedanzen von Elektrolyt-Kondensatoren auf allgemeinere Weise gekennzeichnet werden können. Es ergibt sich folgerichtig aus dem Verhalten der Elektrolyt-Kondensatoren und ihrem mechanischen Aufbau.

Weil bei Elektrolyt-Kondensatoren von gleicher Betriebsspannung die Kapazität der verschiedenen Elektrolyt-Kondensatoren der Anodenoberfläche proportional ist (wobei auch der Oberflächen-Vergrößerungsfaktor der gebeizten Anodenfolie gleich sein muss), sind nicht nur ihre Impedanzen bei

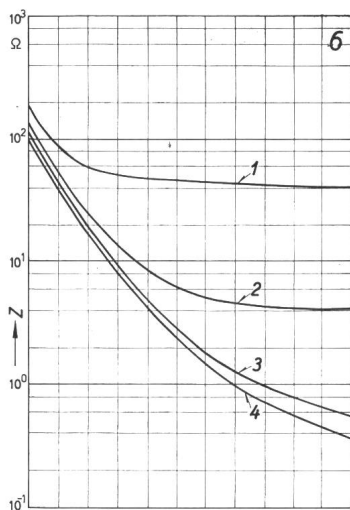
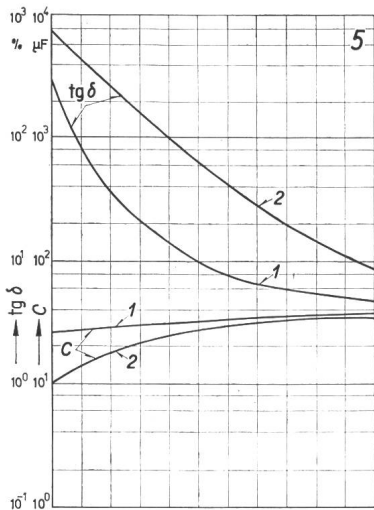


Fig. 5 und 6
 Kapazität: 32 μF
 Betriebsspannung: 6,4 V
 Abmessungen: 6,4 mm ϕ \times 18 mm

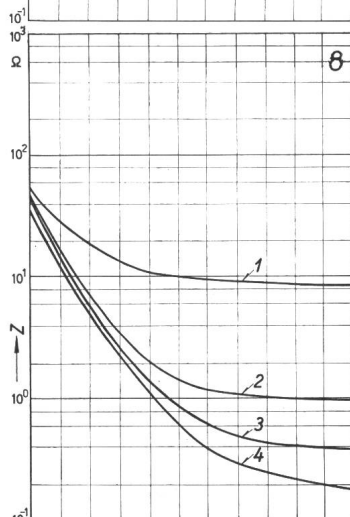
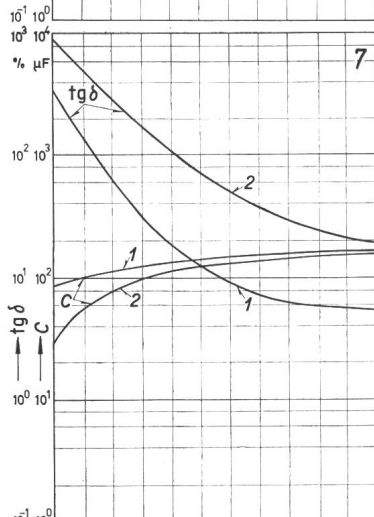


Fig. 7 und 8
 Kapazität: 160 μF
 Betriebsspannung: 6,4 V
 Abmessungen: 9 mm ϕ \times 30 mm

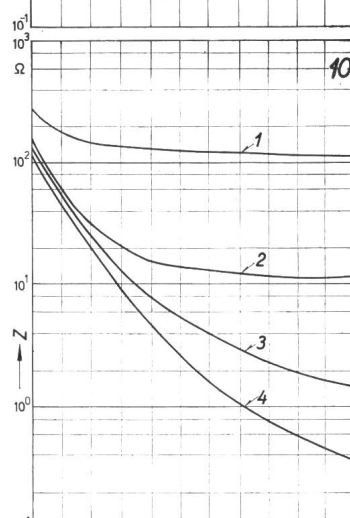
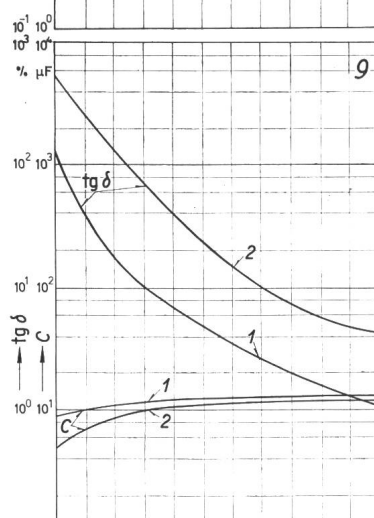


Fig. 9 und 10
 Kapazität: 10 μF
 Betriebsspannung: 25 V
 Abmessungen: 6,4 mm ϕ \times 18 mm

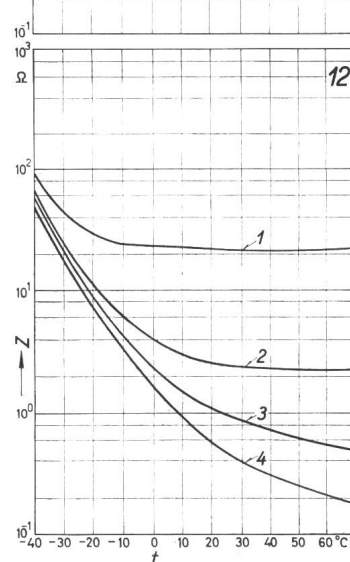
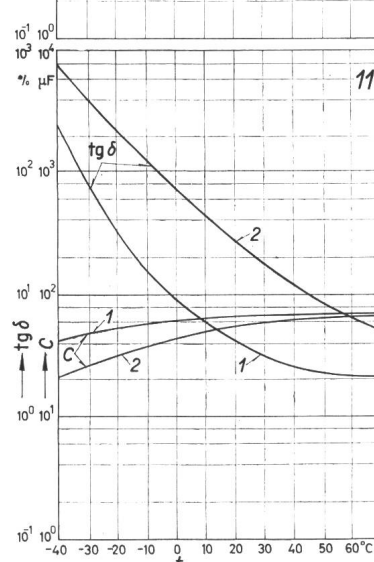


Fig. 11 und 12
 Kapazität: 50 μF
 Betriebsspannung: 25 V
 Abmessungen: 9 mm ϕ \times 30 mm

Fig. 5...12
 Kapazität C, Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ und Impedanz Z von
 Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren in Abhängigkeit
 der Temperatur t
 Gemessen bei: 1 100 Hz; 2 1 kHz; 3 10 kHz;
 4 100 kHz

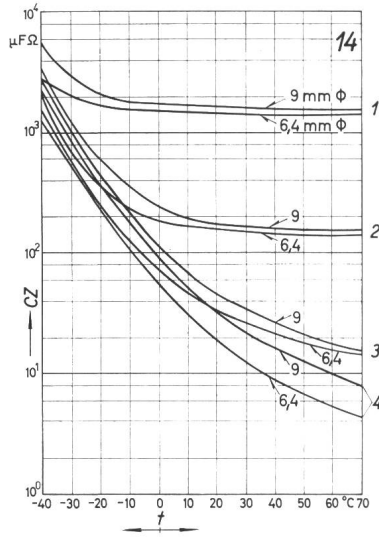
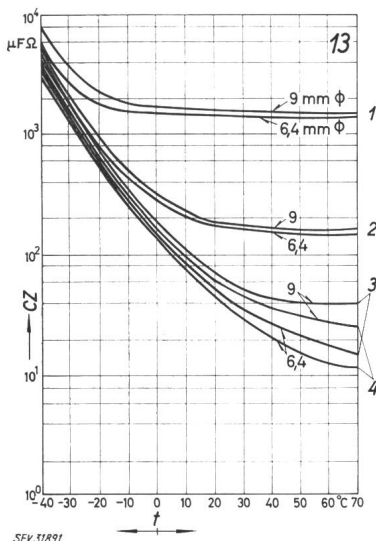


Fig. 13
CZ-Produkte zweier Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren von 32 μF , 6,4 V (Abmessungen 6,4 mm $\phi \times 18$ mm) und 160 μF , 6,4 V (Abmessungen 9 mm $\phi \times 30$ mm) in Funktion der Temperatur t
Gemessen bei: 1 100 Hz; 2 1 kHz; 3 10 kHz; 4 100 kHz

Fig. 14
Wie Fig. 13, aber bei 10 μF , 25 V (Abmessungen 6,4 mm $\phi \times 18$ mm) und 50 μF , 25 V (Abmessungen 9 mm $\phi \times 30$ mm)
Gemessen bei: 1 100 Hz; 2 1 kHz; 3 10 kHz; 4 100 kHz

100 Hz ($Z = 1/\omega C$) ihren Kapazitäten umgekehrt proportional, sondern das gleiche gilt auch für die 100-kHz-Impedanzen, vorausgesetzt dass Papier von gleicher Dicke und Qualität benützt worden ist. (Siehe Abschnitt 3, in dem erläutert wurde, dass die Impedanz bei 100 kHz praktisch gleich dem Elektrolytwiderstand ist, der seinerseits der Anodenoberfläche umgekehrt proportional ist.) Das gleiche gilt für die Impedanzen bei anderen Temperaturen und Frequenzen.

Dies bedeutet, dass man bei Elektrolyt-Kondensatoren gleicher Betriebsspannung, deren gemessene Impedanzen bei allen Temperaturen und Frequenzen mit der Kapazität bei einer bestimmten Temperatur und Frequenz (z. B. 20°C und 100 Hz) multipliziert werden, bei gleichen Frequenzen und Temperaturen gleiche Produkte erhält. Dies ist in Fig. 13 für Elektrolyt-Kondensatoren von 32 μF , 6,4 V, und 160 μF , 6,4 V, und in Fig. 14 für solche von 10 μF , 25 V, und 50 μF , 25 V, durchgeführt worden. Aus den Figuren ist deutlich ersichtlich, dass die CZ-Produkte dieser kapazitätsmäßig unterschiedlichen Elektrolyt-Kondensatoren gleicher Betriebsspannung innerhalb der Fertigungs- und Messgenauigkeit miteinander übereinstimmen. Es muss also möglich sein, für Elektrolyt-Kondensatoren gleicher Betriebsspannung eine Serie von Impedanzkurven aufzustellen und daraus durch Berechnung die Eigenschaften eines Elektrolyt-Kondensators bestimmter Kapazität zu bestimmen.

Indem man das gegebene CZ-Produkt bei der gewünschten Temperatur und Frequenz durch die Kapazität bei 100 Hz und 20°C dividiert, findet man dann den gesuchten Wert. Natürlich ist die Wahl der Kapazität bei 100 Hz und 20°C völlig willkürlich; sie lag im Rahmen dieses Artikels nahe, weil alle Messungen darauf basiert sind.

Grundsätzlich können diese Diagramme auch in Tabellenform veröffentlicht werden, wobei dann die Zahlenwerte der CZ-Produkte bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen aufzuführen sind.

Dieser Weg wurde in [2] eingeschlagen; die Veröffentlichung enthält für verschiedene Spannungsgruppen die CZ-Produkte bei +20, 0 und -25°C und bei Frequenzen von 50, 120, 1000 Hz und 100 kHz, wobei C die Nennkapazität und Z die gemessene Impedanz bei der jeweiligen Temperatur und Frequenz sind.

Die Verfasser gehen von der Annahme aus, dass ein in seinen Eigenschaften den veröffentlichten Werten entsprechen-

der Elektrolyt-Kondensator bei den genannten Temperaturen und Frequenzen CZ-Produkte aufweisen muss, die unterhalb der bekanntgegebenen Zahlen liegen.

Allerdings können CZ-Produkte nicht unbegrenzt verwendet werden, denn dem steht ein begrenzender Faktor im Wege.

Wie aus Fig. 13 ersichtlich wird, ist das CZ-Produkt der zu den Messungen herangezogenen 6,4-V-Elektrolyt-Kondensatoren bei +70°C und 100 kHz ca. 20 $\mu\text{F}\cdot\Omega$. Das bedeutet, dass ein solcher Kondensator von 100 μF bei 100 Hz und 20°C bei 100 kHz und 70°C eine Impedanz von 0,2 Ω hat. Ein Elektrolyt-Kondensator von 10000 μF wird aber bei 100 kHz und 70°C bestimmt eine Impedanz von mehr als 0,002 Ω aufweisen, weil der Widerstand der Anoden- und Kathodenfolie und der Anschlussorgane schon viel höher ist. Deshalb muss festgelegt werden, dass die durch Berechnung aus den veröffentlichten CZ-Produkten ermittelten Werte nur so lange bindende Gültigkeit haben, bis sie über einem bestimmten Mindestwert von beispielsweise 0,05...0,1 Ω liegen.

3. Vergleich der für verschiedene Elektrolyt-Kondensator-Typen ermittelten CZ-Produkte in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz

Um zu zeigen, wie leicht man mit Hilfe des CZ-Produktes das Verhalten verschiedener Elektrolyt-Kondensator-Typen bei unterschiedlichen Temperaturen und Frequenzen miteinander vergleichen kann, wurden für 5 Elektrolyt-Kondensator-Typen mit dicht beieinander liegenden Kapazitäten und Betriebsspannungen die Kapazität und der $\text{tg } \delta$ bei 100 Hz und 1000 Hz und die Impedanz bei 10 und 100 kHz bei Temperaturen von -40, -20, 0, +20 und +70°C gemessen.

Es handelte sich um folgende Kondensatoren:

- Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren für allgemeine Verwendung bei 70...85°C
 - 32 μF , 6,4 V Abmessungen 6,4 mm $\phi \times 18$ mm
 - 10 μF , 25 V Abmessungen 6,4 mm $\phi \times 18$ mm
- Langlebensdauer-Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren mit einer Betriebstemperatur von 70°C
 - 20 μF , 6,4 V Abmessungen 8 mm $\phi \times 22$ mm
 - 6,4 μF , 25 V Abmessungen 8 mm $\phi \times 22$ mm

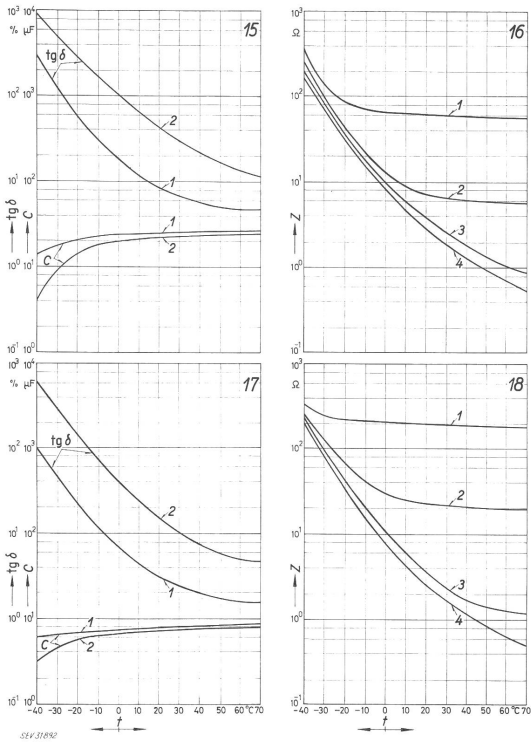


Fig. 15...18

Wie Fig. 5...12, aber für Langlebensdauer-Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren

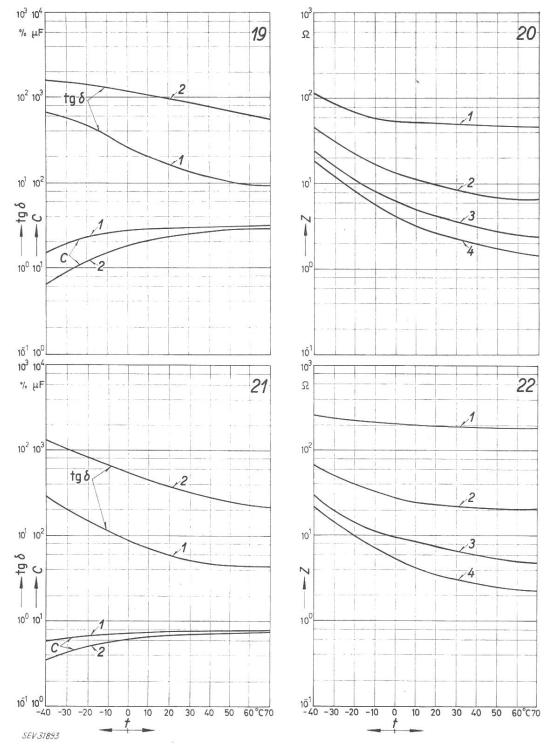


Fig. 19...22

Wie Fig. 5...12, aber für Miniatur-Tantal-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren

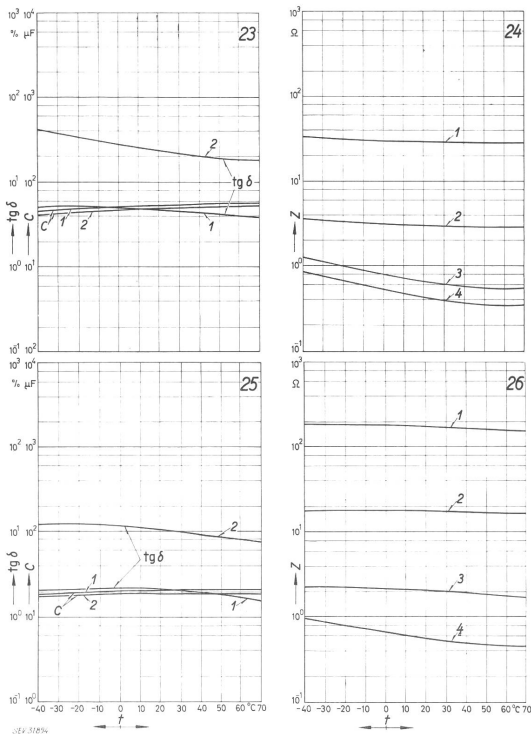


Fig. 23 und 24
Kapazität: 56 μF
Betriebsspannung: 6 V
Abmessungen: 4,5 mm $\phi \times 11$ mm

Fig. 27 und 28
Kapazität: 25 μF
Betriebsspannung: 6,4 V
Abmessungen: 6,4 mm $\phi \times 20,5$ mm

Fig. 25 und 26
Kapazität: 10 μF
Betriebsspannung: 20 V
Abmessungen: 4,5 mm $\phi \times 11$ mm
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 5...12

Fig. 29 und 30
Kapazität: 6,4 μF
Betriebsspannung: 25 V
Abmessungen: 6,4 mm $\phi \times 20,5$ mm

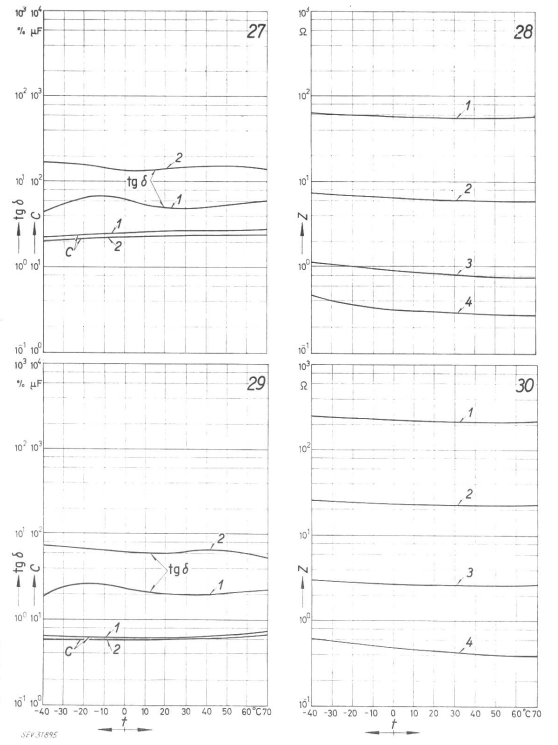


Fig. 27...30

Wie Fig. 5...12, aber für Aluminium-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren

Fig. 23...26

Wie Fig. 5...12, aber für Tantal-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren

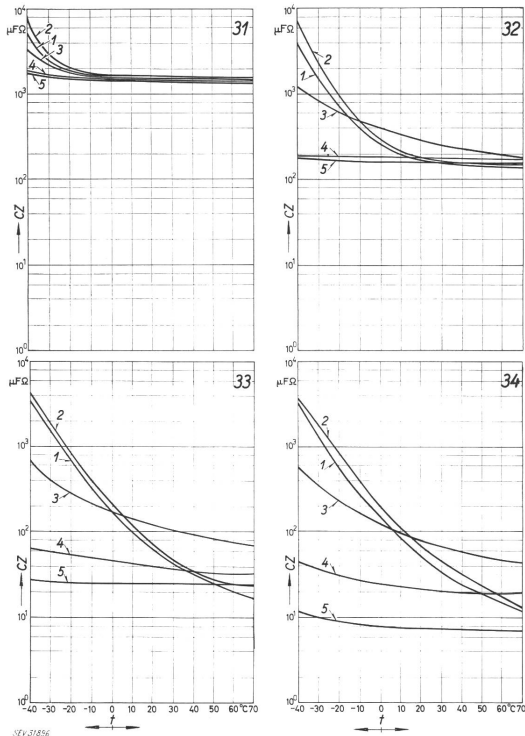


Fig. 31
Gemessen bei 100 Hz

Fig. 32
Gemessen bei 1 kHz

Fig. 33
Gemessen bei 10 kHz

Fig. 34
Gemessen bei 100 kHz

Fig. 31...34
CZ-Produkte von 5 Elektrolyt-Kondensatortypen von 6,4 (bzw. 6) V
in Abhängigkeit von der Temperatur *t*

- 1 Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren
- 2 Langlebensdauer-Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren
- 3 Miniatur-Tantal-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren
- 4 Tantal-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren
- 5 Aluminium-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren

Fig. 35
Gemessen bei 100 Hz

Fig. 36
Gemessen bei 1 kHz

Fig. 37
Gemessen bei 10 kHz

Fig. 38
Gemessen bei 100 kHz

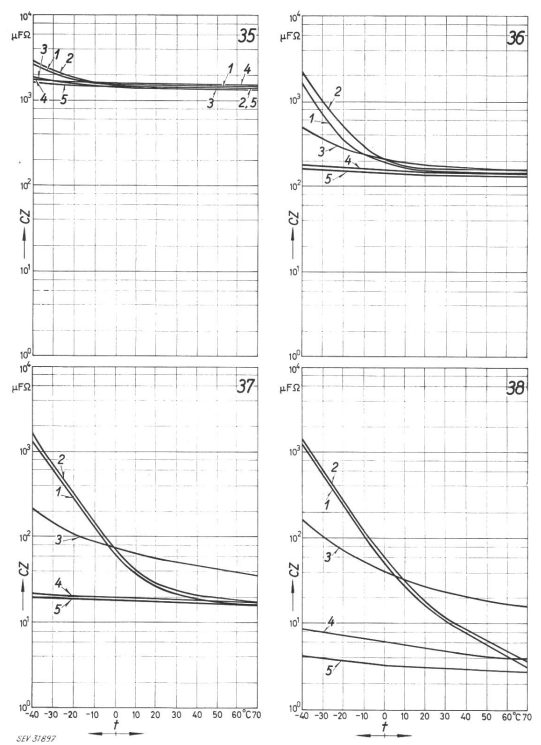


Fig. 35...38

Wie Fig. 31...34, aber bei 25 (bzw. 20) V Betriebsspannung

- c) Miniatur-Ta-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren mit einer Betriebstemperatur von 50...60°C
 16 μ F, 6,4 V Abmessungen 3,2 mm \varnothing \times 9 mm
 4 μ F, 25 V Abmessungen 3,2 mm \varnothing \times 9 mm
- d) Ta-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren für professionelle Anwendung bei max. 125°C
 56 μ F, 6 V Abmessungen 4,5 mm \varnothing \times 11 mm
 10 μ F, 20 V Abmessungen 4,5 mm \varnothing \times 11 mm
- e) Al-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren für professionelle Anwendung bei max. 85°C
 25 μ F, 6,4 V Abmessungen 6,4 mm \varnothing \times 20,5 mm
 6,4 μ F, 25 V Abmessungen 6,4 mm \varnothing \times 20,5 mm

Die Kurven der Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren für allgemeine Verwendung sind in den Fig. 5, 6, 9 und 10 verzeichnet und wurden in den vorstehenden Ausführungen bereits erläutert.

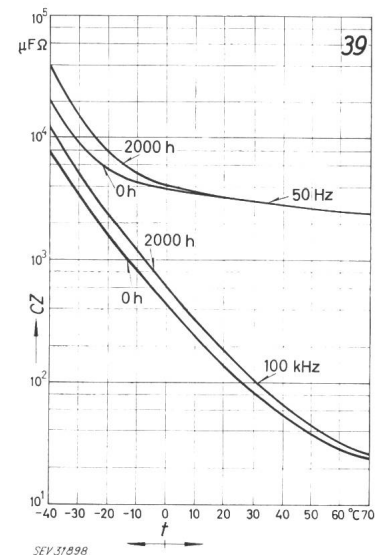
Die Kurven der Langlebensdauer-Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren sind aus den Fig. 15, 16, 17 und 18 ersichtlich und weisen in grossen Zügen das gleiche Bild auf wie die Kurven der Miniatur-Elektrolyt-Kondensatoren für den allgemeinen Gebrauch. In den Fig. 19, 20, 21 und 22 sind die Kurven der Tantal-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren dargestellt. Streng genommen, dürfte man aus diesen Kurven keine CZ-Produkte ableiten, weil die Anode bei diesen Elektrolyt-Kondensatoren aus einem Zylinder aus porösem Tantal besteht, wobei R_{el} durch den Flüssigkeitswiderstand zwischen der Anode und der Innenseite des Bechers gebildet wird. Bei Vergrösserung der Kapazität (proportional zum Volumen der Anode) ändert sich der Widerstand R_{el} somit nicht umgekehrt proportional zur Kapazität.

Weil man bei den Tantal-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren einen Elektrolyten mit viel niedrigerem spezifischem Widerstand verwenden kann als bei den Aluminium-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren, sind der Kapazitätsabfall und die Zunahme des $\text{tg } \delta$ bei niedrigen Temperaturen viel geringer als bei den Aluminium-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren, was sich auch in einem sehr viel flacheren Verlauf der Impedanzkurven äussert.

Die Kurven der Tantal-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren, die ebenfalls eine aus porösem Tantal bestehende zylindrische Anode haben und bei denen die Theorie der CZ-Produkte genau genommen auch nicht aufgeht, sind in den Fig. 23, 24, 25 und 26 dargestellt. Bei diesen Elektrolyt-Kondensatoren befindet sich auf dem Dielektrikum an Stelle einer Elektrolytflüssigkeit ein fester Halbleiter, MnO_2 [4]. Da sowohl der spezifische Widerstand als auch der negative Temperaturkoeffizient dieses Halbleiters sehr niedrig sind, ergeben sich für den Kapazitätsfall und die Zunahme des $\text{tg } \delta$ bei niedrigen Temperaturen ebenfalls sehr geringe Werte, und folglich nimmt auch die Impedanz bei niedrigen Temperaturen bei allen Frequenzen nur sehr wenig zu. Da ausserdem der Kapazitätsfall bei hohen Frequenzen und R_{el} sehr klein sind, ist im Gegensatz zu den Aluminium-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren der Impedanzfall bei zunehmender Frequenz für alle Temperaturen ziemlich gross. Dementsprechend wird auch bei diesen Elektrolyt-Kondensatoren die Mindestimpedanz bei ca. 100 kHz noch nicht erreicht.

Schliesslich sind in den Fig. 27, 28, 29 und 30 die Kurven von Aluminium-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren verzeichnet. Da ihre Bauweise jener der Miniatur-Nass-Elektrolyt-Kondensatoren für den allgemeinen Gebrauch [5] entspricht, die Elektrolytflüssigkeit zwischen Anode und Kathode jedoch

Fig. 39
 CZ-Produkte eines Elektrolyt-Kondensators von 100 μ F, 4 V, in Abhängigkeit von der Temperatur bei 50 Hz und 100 kHz zu Beginn und bei Beendigung einer Lebensdauerprüfung von über 2000 h bei 60°C



durch den, bei den Tantal-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren zur Anwendung gelangenden Halbleiter ersetzt ist, können hier gegen den Gebrauch von CZ-Produkten keinerlei Einwände erhoben werden. Die elektrischen Eigenschaften ändern sich gleichfalls nur geringfügig.

Die Kurven der Impedanz als Funktion der Temperatur bei verschiedenen Frequenzen verlaufen somit ähnlich wie bei den Tantal-Trocken-Elektrolyt-Kondensatoren.

Um die Eigenschaften der Elektrolyt-Kondensatoren besser miteinander vergleichen zu können, sind in Fig. 31, 32, 33 und 34 die CZ-Produkte aller Typen mit 6 (bzw. 6,4) V Betriebsspannung bei 100 bzw. 1000, 10000 und 100 000 Hz dargestellt. Die Fig. 35, 36, 37 und 38 geben Auskunft über die entsprechenden Daten für die Elektrolyt-Kondensatoren von 25 (bzw. 20) V Betriebsspannung.

4. Der Verlauf des CZ-Produktes in Abhängigkeit von der Lebensdauer

Bisher wurde das Verhalten der Eigenschaften von Elektrolyt-Kondensatoren bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen zu Beginn ihrer Lebensdauer besprochen. Bekanntlich ändern sich aber während des Gebrauchs sowohl die Kapazität als auch der $\text{tg } \delta$ und der Flüssigkeitswiderstand.

Bisher hat man sich damit begnügt, die Veränderung der Kapazität und des $\text{tg } \delta$ bei z. B. 50 Hz und 20°C nach einem bestimmten Zeitraum anzugeben. Das ist jedoch für viele Anwendungszwecke unzureichend, zumal kleine Veränderungen dieser Werte mit grossen Veränderungen bei niedrigen Temperaturen und hohen Frequenzen einhergehen können. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass die durch den Reststrom der Elektrolyt-Kondensatoren verursachte Elektrolyse im Elektrolyt eine Steigerung ihres spezifischen Widerstandes bewirkt, die sich in einem erhöhten R_{el} des Elektrolyt-Kondensators äussert.

Bei langfristigem Gebrauch und bei hohen Restströmen kann diese Veränderung ein recht beträchtliches Ausmass annehmen und dazu führen, dass die Impedanz bei niedrigen Temperaturen und bei hohen Frequenzen erheblich steigt, ohne dass sich die Kapazität bei 50 Hz und 20°C nennenswert ändert.

Als Beispiel sind in Fig. 39 für einen Elektrolyt-Kondensator von 100 μ F, 4 V, die CZ-Produkte in Abhängigkeit von der Temperatur bei 50 Hz und 100 kHz angegeben, und zwar zu Beginn und bei Beendigung einer Lebensdauerprüfung von 2000 h

bei 60°C. Während bei 50 Hz und 20°C noch keine Änderung des CZ-Produktes sichtbar ist, sind bei 100 kHz alle CZ-Produkte nach oben verschoben; das gleiche gilt für die CZ-Produkte bei tiefen Temperaturen und 50 Hz.

Eine Kennzeichnung der Eigenschaften während der Lebensdauer von Elektrolyt-Kondensatoren unter Verwendung von CZ-Produkten bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen dürfte sich als eine willkommene Ergänzung zu den heute üblichen Angaben über Kapazitäts- und tg- δ -Veränderungen bei z. B. 50 Hz und 20°C erweisen.

Literatur

- [1] Recommendations for aluminium electrolytic capacitors for general purposes, IEC publication 103, first edition 1959, Abschn. 244 und 210.

- [2] Specification for aluminium electrolytic capacitors for general purpose application and for extended life capacitors, first draft 40(Secretariat)112, May 1962. International Electrotechnical Commission.
- [3] Mennerich, W., und Kampczyk, W.: Über das Verhalten des Elektrolytkondensators in breitem Frequenz- und Temperaturbereich.
- [4] MacLean, D. A., und Power, F. S.: Proc. Inst. Radio Eng. 44, 872 (1956).
- [5] Hendriks, H.: Trockene Elektrolyt-Kondensatoren auf Aluminiumbasis. Bulletin des SEV 54(1963)2, S. 43...47.

Adressen der Autoren:

S. Boone und R. D. Bügel, N. V. Philips Gloeilampenfabrieken, Entwicklungslaboratorium für Elektrolytkondensatoren der H. I. G. Icoma, Ceintuurbaan 15, Zwolle (Niederland).

Nachwuchsfragen in der Elektrotechnik

Von A. Imhof, Zürich

621.3 : 331.69.373.632

Das Problem des Nachwuchsmangels besteht auch in den elektrotechnischen Betrieben aller Art. Der Verfasser weist auf die verschiedenen Bestrebungen, Abhilfe zu schaffen, hin, wie Neugründungen und Erweiterungen von Techniken, Aufklärungsschriften und -vorträge über die technischen Berufe und auf die fortschrittliche Entwicklung des Stipendienwesens. Angedeutet wird ein gewisser Abfall des Leistungswillens, verursacht durch das grosse Stellenangebot und mannigfaltige Freizeitablenkungen. Schliesslich befasst sich der Aufsatz mit den heutigen Problemen des Ausbildungswesens an den techn. Hochschulen und den Techniken. Die rasch zunehmende Ausweitung der Technik ruft einerseits in der industriellen Praxis einer verfeinerten Spezialisierung, andererseits zur Konzentration auf die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen. Vergleiche mit ausländischen technischen Hochschulen werden gemacht. Der Verfasser warnt davor, den Ingenieur zu einer Art praktischen Physiker zu erziehen und ihn dadurch den eminent ingenieurmässigen Aufgaben zu entfremden.

Le problème de la relève professionnelle se pose également dans les entreprises électriques de tous genres. L'auteur indique ce que l'on peut faire dans ce but: création et extension de techniciens, publications et conférences au sujet des professions techniques, développement progressif des bourses d'études. Il signale une certaine diminution de l'ardeur au travail, due au grand nombre d'offres de places et aux multiples occasions de distractions. Il traite des problèmes actuels de l'enseignement dans les écoles polytechniques et les techniciens. L'extension rapide de la technique exige d'une part une spécialisation plus poussée dans la pratique industrielle et, d'autre part, une concentration dans le domaine de la science appliquée. Des comparaisons sont faites avec des écoles polytechniques de l'étranger. Enfin, l'auteur attire l'attention sur le fait qu'il faut éviter que l'ingénieur ne devienne en quelque sorte un physicien pratique et ne soit ainsi tenu écarté des tâches essentielles de la profession d'ingénieur.

Die Nachwuchsfragen in der Elektrotechnik¹⁾ stellen einige Probleme, die für den technischen Nachwuchs mehr oder weniger allgemein gelten, wenn sie auch nicht ohne Besonderheiten für jede Fachrichtung — und so auch für die Elektrotechnik — sind:

1. Seit schon etwa 20 Jahren besteht ein ausgesprochener Mangel an fachlich geschultem Personal, angefangen beim Berufsarbeiter und sich fortsetzend bis zum Hochschulingenieur.

2. Infolge des ausserordentlich grossen Stellenangebotes, den vielen Freizeitablenkungen und dem verhältnismässig guten Einkommen wächst die Gefahr eines Absinkens des durchschnittlichen Leistungswillens und des Könnens.

3. Das Ausbildungswesen begegnet schwierigen Problemen, weil einerseits der Lehrstoff unerhört rasch in eine schwer beherrschbare Breite und Vielfalt gewachsen ist, andererseits aber grundlegende Wissens- und Konstruktionselemente so den Gesamtlehrstoff durchwirken, dass man am Vorteil der Spezialisierung zweifelt.

Das Mangelproblem ist das ernsteste unter den dreien. Wenn es hier nicht in aller Ausführlichkeit dargelegt wird, so deswegen, weil es bereits schon reichlich diskutiert wurde. Die einstigen Krisenperioden tragen daran eine ihnen nachwirkende Schuld: Unter ihrem Eindruck begannen Industrie und Schule zu spät, die jahrzehntelange Stagnation der Zahl der Technikums- und Hochschulstudienplätze zu beheben und Eltern wie Jugend den Beruf des Technikers und Ingenieurs empfehlend nahezulegen. Die Berufsverbände übten

in Erinnerung der Krisenzeiten ihrerseits Zurückhaltung. Untersuchungen, die auch im Ausland [1]²⁾ vorgenommen wurden, kamen zu dem übrigens plausiblen Resultat, dass die Zahl der benötigten Techniker und Ingenieure etwa proportional mit dem Energiebedarf wächst. Dieses Wachsen erfolgte längst nach wesentlich steileren Kurven als das Wachsen der Diplomanzahl technischer Schulen.

Es gibt noch andere Gründe, die den Mangel entstehen liessen: Die Zahl der Berufe aller Art wuchs immerfort, nicht zuletzt infolge der technischen Entwicklungen. Unter ihnen sei nur das drastische Beispiel der Dienstleistungen im Automobilgewerbe genannt. Als dann der Mangel an geschultem Personal akut wurde, setzte ein grosses Werben für den Beruf ein. Die bestehenden Schulen wurden vergrössert, neue Schulen wurden gegründet und andere sind im Entstehen, ein Entwicklungsprozess, der noch in vollem Gange ist. Bei sämtlichen neuen Technikumsgründungen wurde der Elektrotechnik die nötige Beachtung geschenkt: Das Technikum Luzern führt eine Klasse, das Technikum beider Basel plant zwei parallele Klassen, das Technikum des Kantons Aargau in Brugg und das Technikum Rapperswil tun dasselbe. Die Abendtechniken St. Gallen und Bern führen je eine elektrotechnische Klasse. Unter den «alten» Techniken hat dasjenige von Winterthur von 2 auf 3 Parallelklassen erweitert.

¹⁾ Siehe Bull. SEV 47(1956)15, S. 671...675.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.