

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 62 (1971)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Kapazität und Verlustwinkel von Kondensatoren bei tiefen Temperaturen  
**Autor:** Goldschmidt, R. / Ohayon, D.H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915841>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

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

## Kapazität und Verlustwinkel von Kondensatoren bei tiefen Temperaturen

Von R. Goldschmidt und D. H. Ohayon, Lausanne

621.319.4:621.317.374:536.48  
(Übersetzung)

### 1. Einleitung

In vorliegender Arbeit wird untersucht, wie sich Kondensatoren üblicher Fabrikation bei sehr tiefen Temperaturen bezüglich Kapazität und Verlustwinkel verhalten. Der untersuchte Temperaturbereich ging von etwa 290 bis 90 °K und wurde für einige Untersuchungen nach unten bis fast 1 °K, nach oben bis 350 °K ( $\approx 80$  °C) erweitert.

### 2. Die benutzten Einrichtungen

Für die Messungen bis etwa  $-180$  °C ( $\approx 90$  °K) wurde ein Dewargefäß benutzt, das selbst noch durch eine Verpak-

kung aus Zellulärplastik thermisch isoliert war. Die Abkühlung der Kondensatoren erfolgte schrittweise, und zwar erst durch gefrorene Kohlensäure und dann durch flüssigen Stickstoff. Diese Einrichtung war im Laboratorium für Materialuntersuchungen des elektrotechnischen Instituts der EPFL aufgebaut.

Für die Messungen in der Nähe des absoluten Nullpunktes standen die Einrichtungen des Kältelaboratoriums der Abteilung für experimentale Physik der Universität Lausanne zur Verfügung. Die Versuche wurden dort in einem Dewardoppelgefäß ausgeführt, dessen äusserer Raum mit flüssiger Luft, der innere mit flüssigem Helium gefüllt war.

Tabelle I

| Nr. | Typ                               | C<br>Nennwert<br>nF | U<br>Nennwert<br>V | Abmessungen<br>mm |      |      | Gewicht<br>g |
|-----|-----------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------|------|--------------|
|     |                                   |                     |                    | L                 | D    | E    |              |
| 1   | Papier                            | 100                 | 250                | 50,3              | 21,3 |      | 26,3         |
| 2   | Papier                            | 360                 | 500                | 80,3              | 93,1 | 53,4 | 693          |
| 3   | Metallisiertes Papier             | 500                 | 180                | 32                | 14   |      | 9,25         |
| 4   | Polystyren                        | 30                  | 350                | 40                | 15,5 |      | 10,5         |
| 5   | Polystyren                        | 10                  | 125                | 20,4              | 8,1  |      | 1,33         |
| 6   | Polystyren                        | 6,04                | 300                | 16                | 6    |      | 1,25         |
| 7   | Polystyren                        | 6,34                | 300                | 16                | 6    |      | 1,25         |
| 8   | Plastikfolie, metallisiert        | 1 000               | 160                | 35,4              | 12,3 |      | 6,2          |
| 9   | Polyesterfolie, metallisiert      | 220                 | 400                | 27                | 13   | 7    | 4,05         |
| 10  | Polycarbonatfolie<br>metallisiert | 18                  | 63                 | 10                | 5    |      | 0,7          |
| 11  | Polycarbonatfolie<br>metallisiert | 5,6                 | 63                 | 10                | 5    |      | 0,7          |
| 12  | Polycarbonatfolie<br>metallisiert | 330                 | 63                 | 15                | 9    |      | 1,4          |
| 13  | Glimmer                           | 0,400               | 300                | 15                | 10   | 3    | 1,1          |
| 14  | Glimmer                           | 0,886               | 300                | 15                | 10   | 3    | 1,0          |
| 15  | Glimmer                           | 0,338               | 300                | 15                | 10   | 3    | 1,0          |
| 16  | Tantal                            | 1 000               | 6                  | 3,8               | 1,8  |      | 0,08         |
| 17  | Tantal                            | 2 200               | 10                 | 5,5               | 2,2  |      | 0,1          |
| 18  | Tantal                            | 22 000              | 35                 | 17,2              | 7,3  |      | 4,04         |
| 19  | Tantal                            | 220 000             | 6                  | 19,4              | 9,1  |      | 6,65         |
| 20  | Tantal                            | 1 000               | 6                  | 6,4               | 3,2  |      | 0,5          |
| 21  | Tantal                            | 1 000               | 25                 | 6,4               | 3,2  |      | 0,5          |

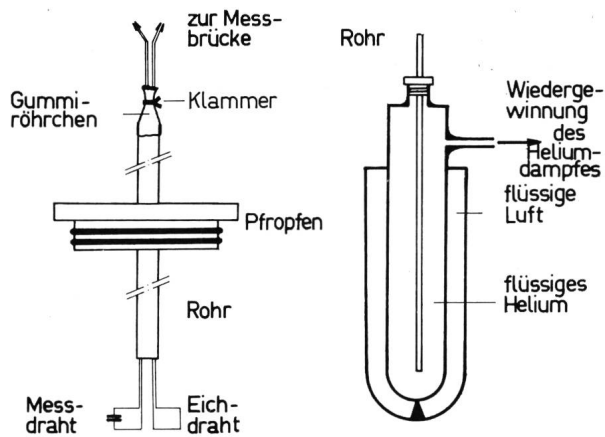


Fig. 1  
Messeinrichtung für sehr tiefe Temperaturen

Ein eloxiertes Aluminiumrohr (Durchmesser  $\approx 1$  cm) führte in den heliumgefüllten Raum. Auf dem Rohr glitt ein Kupferpfropfen, der mit Dichtungsringen versehen war, und gestattete, den Heliumraum des Dewargefäßes dicht abzuschliessen. Die sich bildenden Heliumdämpfe wurden abgepumpt und das Helium so zurückgewonnen. Im Rohr lagen die Leitungsdrähte, die die Verbindung mit den Kondensatoren herstellten. Mit einer Gruppe von 4 Drähten konnten im gleichen Versuch 3 Kondensatoren gemessen werden; je ein Draht führte zu je einem Pol der Kondensatoren, die anderen Pole wurden gemeinsam an den vierten Draht angeschlossen. Mit 3 Versuchen pro Tag konnten so 9 Kondensatoren bei

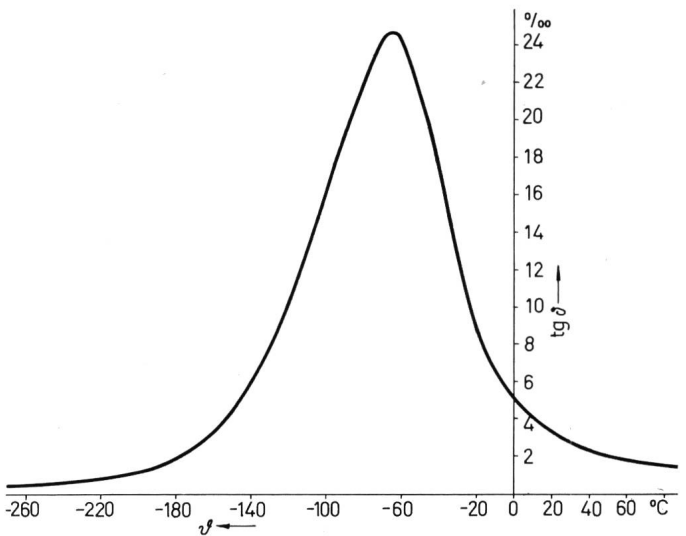
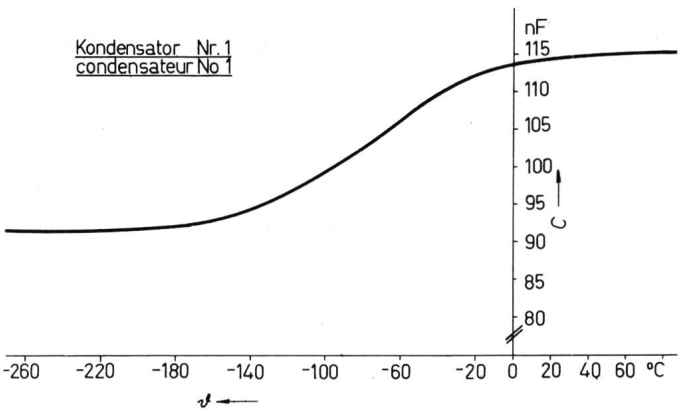


Fig. 3  
Kapazität  $C$  und Verlustfaktor  $\text{tg } \delta$  bei 1600 Hz, 2 V in Abhängigkeit von Temperatur, Papierkondensator  $C_n = 100$  nF

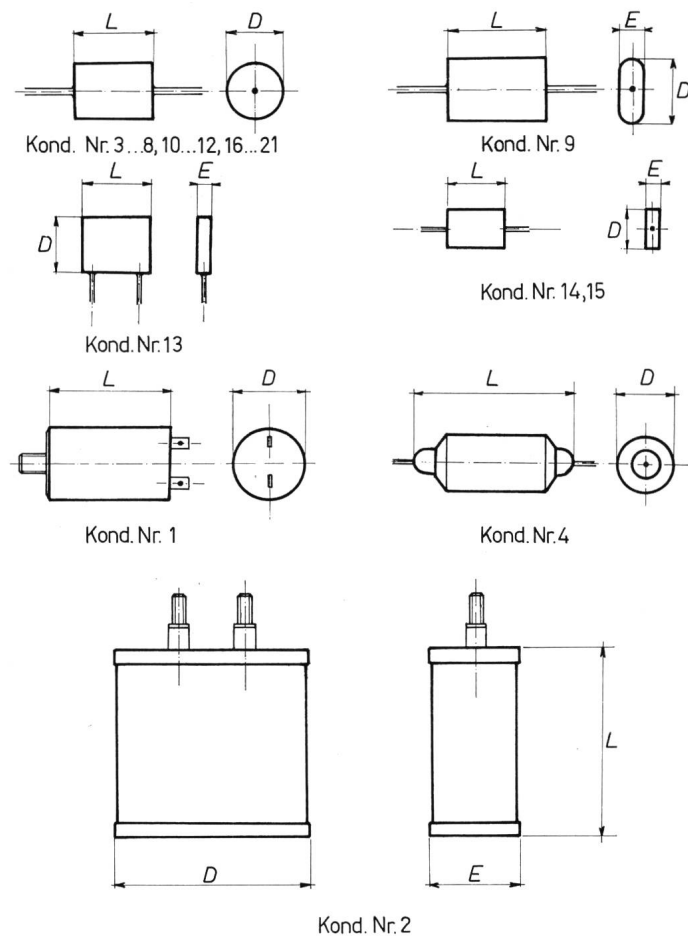


Fig. 2  
Kondensatortypen

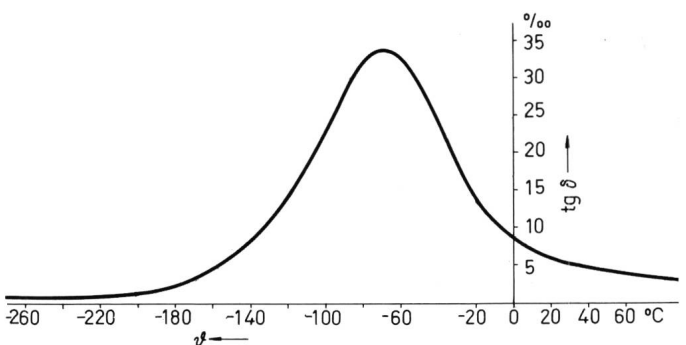
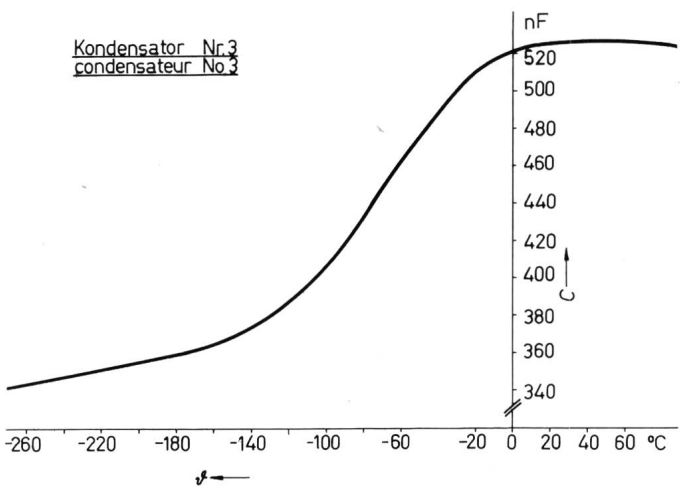


Fig. 4  
Gleich wie Fig. 3, aber mit Metallpapierkondensator  $C_n = 500$  nF

Tabelle II

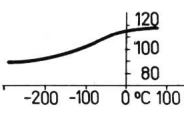
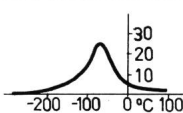
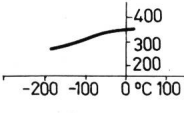
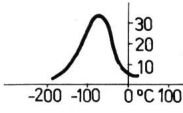
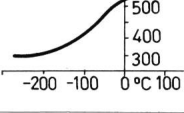
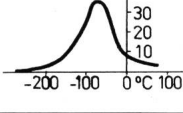
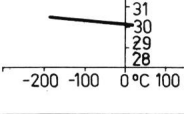
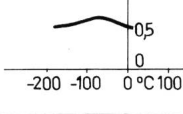
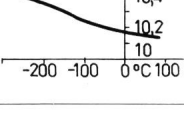
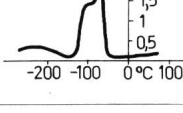
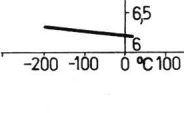
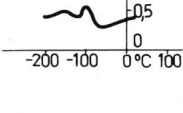
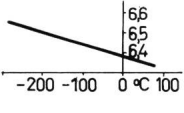
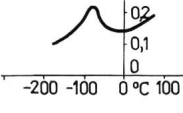
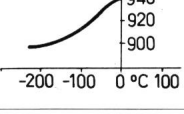
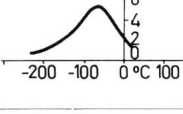
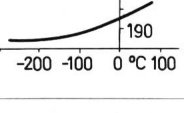
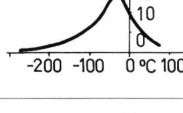
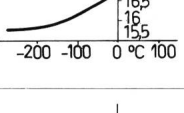
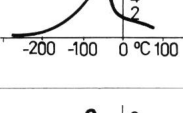
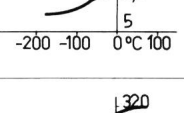
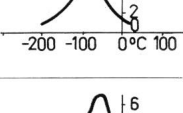
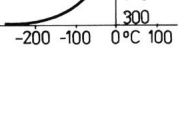
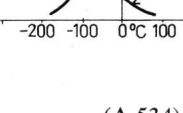
| Nr. | $C_{20}$<br>nF | $C_{-180}$<br>nF | $\frac{\Delta C}{C_{20}}$<br>‰ | $C$<br>nF                                                                          | $\operatorname{tg} \delta_{20}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta_{-180}$<br>‰ | $\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta_{20}}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta$<br>‰                                                      |
|-----|----------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 113,60         | 92,04            | — 189,7                        |   | 3,31                                 | 1,65                                   | — 500                                                                        |   |
| 2   | 357            | 273              | — 230                          |   | 4,78                                 | 3,17                                   | — 337                                                                        |   |
| 3   | 525,29         | 360,84           | — 314                          |   | 6,36                                 | 2,32                                   | — 630                                                                        |   |
| 4   | 30,15          | 30,69            | + 18                           |   | 0,516                                | 0,513                                  | — 1,7                                                                        |   |
| 5   | 10,12          | 10,32            | + 19,4                         |   | 0,110                                | 0,240                                  | + 1180                                                                       |   |
| 6   | 6,17           | 6,32             | + 24,3                         |  | 0,40                                 | 0,42                                   | + 50                                                                         |  |

Tabelle III

| Nr. | $C_{20}$<br>nF | $C_{-180}$<br>nF | $\frac{\Delta C}{C_{20}}$<br>‰ | $C$<br>nF                                                                           | $\operatorname{tg} \delta_{20}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta_{-180}$<br>‰ | $\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta_{20}}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta$<br>‰                                                       |
|-----|----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 7   | 6,37           | 6,505            | + 20,5                         |  | 0,1336                               | 0,0944                                 | — 300                                                                        |  |
| 8   | 938,9          | 898,3            | — 43,3                         |  | 1,22                                 | 1,26                                   | + 31,6                                                                       |  |
| 9   | 204,75         | 179,91           | — 122                          |  | 5,76                                 | 0,65                                   | — 886                                                                        |  |
| 10  | 16,776         | 15,891           | — 53                           |  | 1,68                                 | 0,48                                   | — 714                                                                        |  |
| 11  | 5,45           | 5,25             | — 36,7                         |  | 1,19                                 | 1,70                                   | + 428                                                                        |  |
| 12  | 318,5          | 300,8            | — 55,6                         |  | 1,37                                 | 0,54                                   | — 607                                                                        |  |

etwa 77 und 4 °K gemessen werden. Als Verbindungsdrähte wurden dünne, lackisolierte Drähte (etwa 0,2 mm  $\phi$ ) gewählt. Der geringe Drahtdurchmesser gestattete, das Aluminiumrohr durch einen zusammengequetschten kurzen Gummischlauch genügend dicht abzuschliessen. Die 4 Drähte waren von Hand mit einem Schritt von ungefähr 6 mm zu einem Vierer verseilt. Ausser diesem Messvierer befand sich im Rohr noch ein Drahtpaar aus gleichen Drähten. Dieses wurde als Testpaar zur Bestimmung des Widerstandes der Schleife und der Kapazität zwischen den Drähten benutzt (Fig. 1). So wurde gemessen:

|              |                        |                      |
|--------------|------------------------|----------------------|
| bei + 20 °C  | $R_{Cu} = 1,30 \Omega$ | $C = 0,3 \text{ nF}$ |
| bei - 180 °C | $R_{Cu} = 0,94 \Omega$ | $C = 0,3 \text{ nF}$ |
| bei - 270 °C | $R_{Cu} = 0,94 \Omega$ | $C = 0,3 \text{ nF}$ |

Diese Beträge wurden von den an den Kondensatoren bestimmten Werten in Abzug gebracht. Die Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunkts wurden durch barometrische Messungen bestimmt.

Die Versuche bei Temperaturen zwischen 20 und 80 °C wurden in einem Wärmeschrank mit Luftumwälzung und automatischer Temperaturregelung durchgeführt.

### 3. Die Messungen

Alle Messungen in Abhängigkeit von der Temperatur wurden mit der Frequenz 1600 Hz und der Spannung 2 V durchgeführt. Jedoch wurden in einem Vorversuch die Kon-

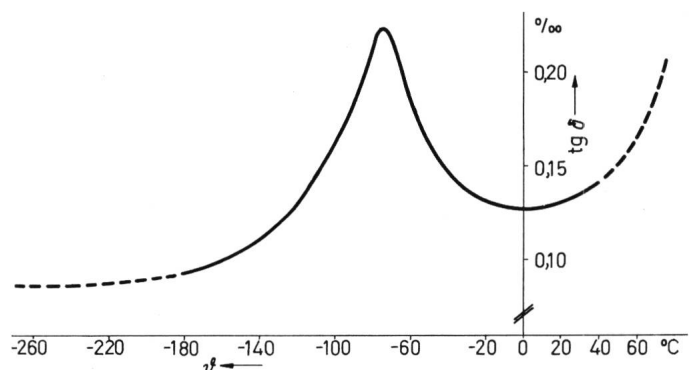
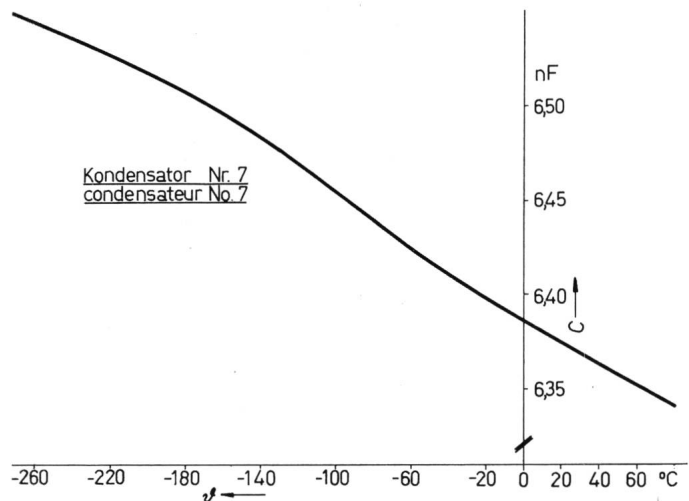


Fig. 6

Gleich wie Fig. 3, aber mit Polystyrenkondensator  $C_n = 6,34 \text{ nF}$

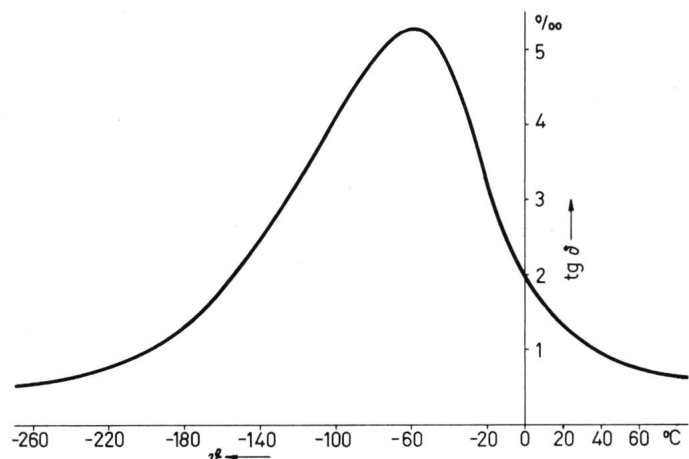
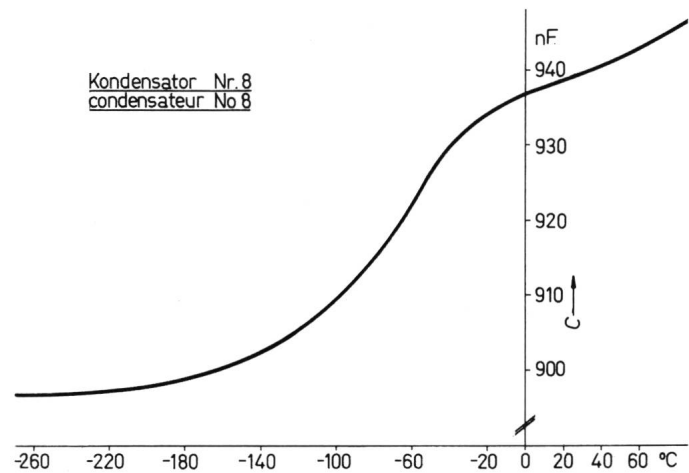


Fig. 7

Gleich wie Fig. 3, aber mit Metall-Kunststoffkondensator  $C_n = 1000 \text{ nF}$

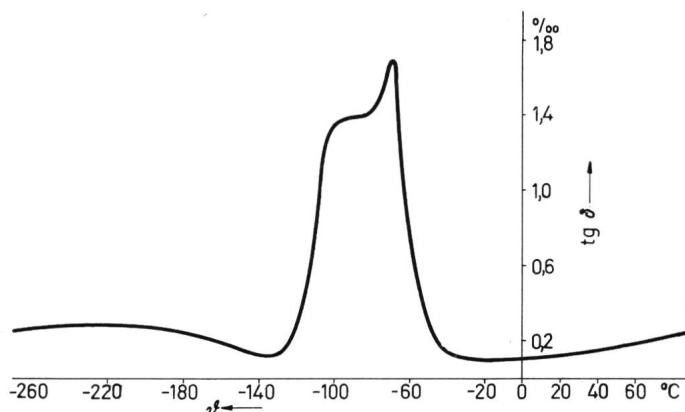
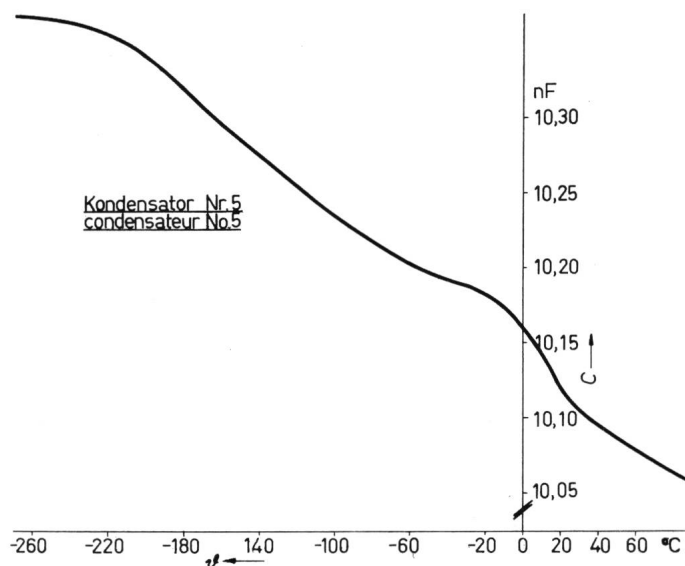


Fig. 5

Gleich wie Fig. 3, aber mit Polystyrenkondensator  $C_n = 30 \text{ nF}$

Tabelle IV

| Nr. | $C_{20}$<br>nF | $C_{-180}$<br>nF | $\frac{\Delta C}{C_{20}}$<br>‰ | $C$<br>nF | $\operatorname{tg} \delta_{20}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta_{-180}$<br>‰ | $\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta_{20}}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta$<br>‰ |
|-----|----------------|------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 13  | 0,500          | 0,522            | 42                             |           | 0,80                                 | $\approx 0$                            | — 1 000                                                                      |                                 |
| 14  | 0,845          | 0,832            | — 15,4                         |           | 0,845                                | $\approx 0$                            | — 1 000                                                                      |                                 |
| 15  | 0,312          | 0,305            | — 22,4                         |           | 0,80                                 | $\approx 0$                            | — 1 000                                                                      |                                 |
| 16  | 642,7          | 368,9            | — 42,6                         |           | 279                                  | 1253                                   | 3 500                                                                        |                                 |
| 17  | 2 492          | 1 179            | — 528                          |           | 126                                  | 1940                                   | 18 000                                                                       |                                 |
| 18  | 21 033         | 16 491           | — 216                          |           | 84,2                                 | 1113                                   | 12 250                                                                       |                                 |

densatoren bei Raumtemperatur mit 2 bis 6 V und im Tonfrequenzband (200 bis 3400 Hz) gemessen. Es zeigte sich, dass diese geringe Spannungsänderung bei allen Kondensatoren praktisch mit keiner Änderung der Kapazität und des Verlustwinkels verbunden war.

Im angegebenen Frequenzband ergab sich:

| Typen                                 | Kapazität       | Verlustwinkel  |
|---------------------------------------|-----------------|----------------|
| Plastikfolien und Mica                | konstant        | konstant       |
| Plastikfolien metallisiert und Papier | geringe Abnahme | Zunahme        |
| Tantal                                | Abnahme         | starke Zunahme |

Hierauf soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

Die Messbrücke war eine gleicharmige Wienbrücke, die Vergleichsnormale ein Präzisionsdekadenkondensator in

Reihe mit einem Präzisionsdekadenwiderstand. Die Kapazität konnte also direkt abgelesen werden, während der Verlustwinkel aus der Beziehung

$$\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon} = R_x \omega C_x$$

bestimmt wurde. Für Verlustwinkelwerte von  $\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon} > 0,1 = 100 \text{ ‰}$  muss der Kapazitätswert dann noch wie folgt umgerechnet werden:

$$C = \frac{C_{\text{gemessen}}}{1 + (\operatorname{tg} \delta_{\varepsilon})^2}$$

Tantalkondensatoren wurden ohne überlagerten Gleichstrom gemessen.

Tabelle V

| Nr. | $C_{20}$<br>nF | $C_{-180}$<br>nF | $\frac{\Delta C}{C_{20}}$<br>‰ | $C$<br>nF | $\operatorname{tg} \delta_{20}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta_{-180}$<br>‰ | $\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta_{20}}$<br>‰ | $\operatorname{tg} \delta$<br>‰ |
|-----|----------------|------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 19  | 166 800        | 166 800          | 0                              |           | 300                                  | 8000                                   | 59 000                                                                       |                                 |
| 20  | 1 030          | 880              | — 145                          |           | 35                                   | 270                                    | 6 700                                                                        |                                 |
| 21  | 1 035          | 910              | — 120                          |           | 30                                   | 210                                    | 6 000                                                                        |                                 |

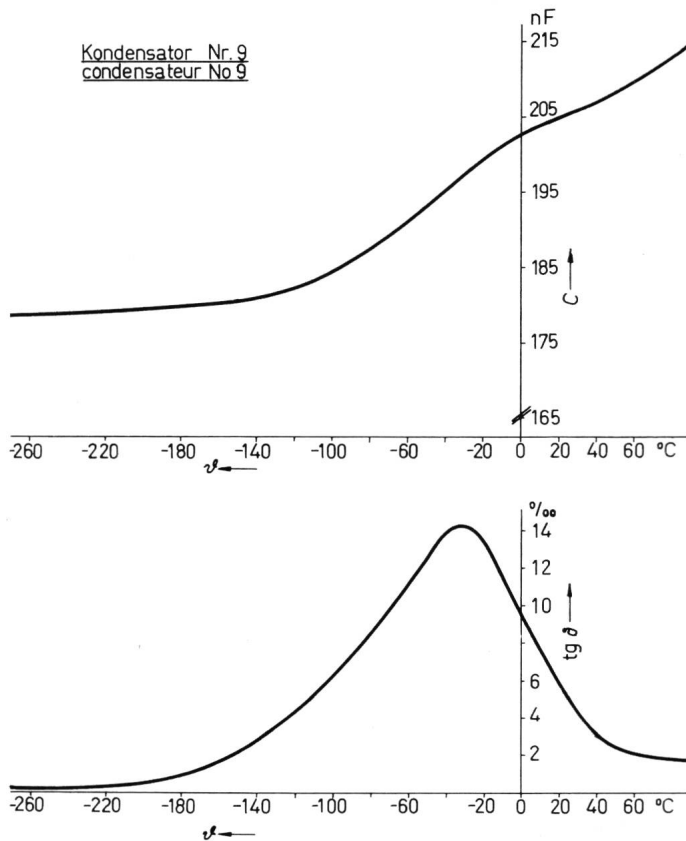


Fig. 8

Gleich wie Fig. 3, aber mit Metall-Kunststoffkondensator  $C_n = 220$  nF

#### 4. Die untersuchten Kondensatoren

Die untersuchten Kondensatoren waren Papier-, Plastik-, Mika- und Tantalkondensatoren. Ihre Nennwerte und Abmessungen sind in Tabelle I und Fig. 2 angegeben.

#### 5. Messergebnisse

##### 5.1 Messungen zwischen $+20$ und $-180$ °C

Die Messergebnisse — Kapazität und Verlustwinkel bei  $+20$  ° und  $-180$  °C sowie deren relative Änderungen zwischen diesen Temperaturen — sind in den Tabellen II...V zahlenmässig und graphisch dargestellt.

##### 5.2 Messungen zwischen $+80$ und $-270$ °C

Je ein Kondensator jedes Typs wurde noch in diesem erweiterten Temperaturbereich gemessen.

Tabelle VI enthält die Messergebnisse für  $+20$ ,  $+80$  und  $-270$  °C, während der Kurvenverlauf für Kapazität und

Verlustwinkel in den Figuren 3...11 graphisch dargestellt ist.

In Tabelle VII sind dann noch die Werte für Kapazität und Verlustwinkel eingetragen, die bei  $\approx 20$  °C vor, 24 Stunden und 30 Tage nach dem Versuch bei tiefster Temperatur ( $\approx 4$  °K) gemessen wurden. Mit Ausnahme des Kondensators Nr. 1 — Isolation imprägniertes Papier in Aluminiumbecher, der beim Herausnehmen aus dem Kryostaten aufplatzte und seine Imprägniermasse verlor — haben alle Kondensatoren die starke Abkühlung gut vertragen.

#### 6. Schlussfolgerungen

1. Die Messungen bei Zimmertemperatur nach den verschiedenen thermischen Versuchen zeigen, dass Kapazitäten und Verlustwinkel praktisch wieder dieselben Werte aufweisen wie vor den Versuchen. Das Dielektrikum und der Aufbau der Kondensatoren hat also keine irreversiblen Änderungen erfahren.

2. Die Versuche zeigen, dass für fast alle Kondensatoren die Kapazität mit der Temperatur abnimmt. Dies ist allerdings nicht für die Polystyrenkondensatoren der Fall, deren

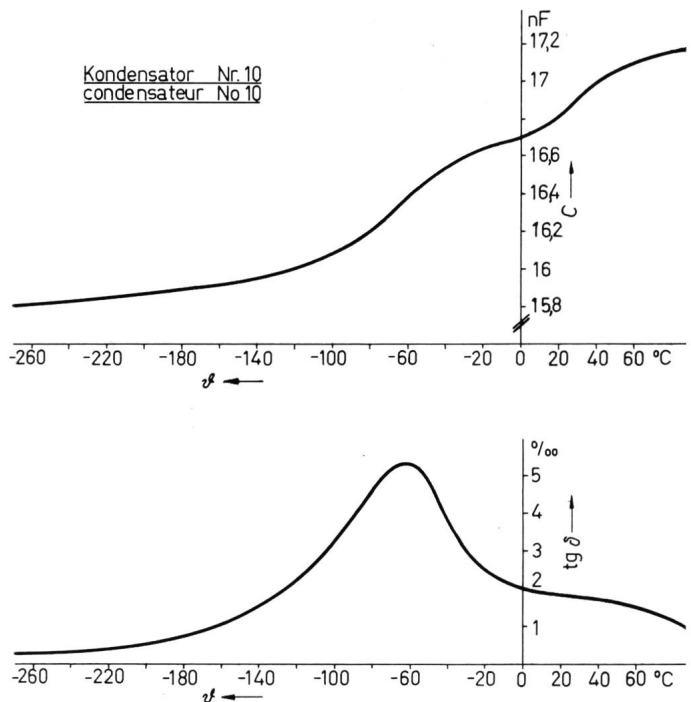


Fig. 9

Gleich wie Fig. 3, aber mit Metall-Kunststoffkondensator  $C_n = 18$  nF

Tabelle VI

| Nr. | $C_{20}$<br>nF | $C_{80}$<br>nF | $C_{-270}$<br>nF | $\frac{C_{80}}{C_{20}}$<br>% | $\frac{C_{-270}}{C_{20}}$<br>% | $\text{tg } \delta_{20}$<br>‰ | $\text{tg } \delta_{80}$<br>‰ | $\text{tg } \delta_{-270}$<br>‰ | $\frac{\text{tg } \delta_{80}}{\text{tg } \delta_{20}}$<br>% | $\frac{\text{tg } \delta_{-270}}{\text{tg } \delta_{20}}$<br>% |
|-----|----------------|----------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1   | 113,60         | 115,40         | 91,50            | 101,5                        | 80,5                           | 3,31                          | 1,50                          | 0,40                            | 45,3                                                         | 12,1                                                           |
| 3   | 525,29         | 505,70         | 342,10           | 96,4                         | 65,1                           | 6,36                          | 3,00                          | 0,50                            | 47,1                                                         | 7,9                                                            |
| 5   | 10,12          | 10,07          | 10,37            | 99,6                         | 102,5                          | 0,11                          | 0,22                          | 0,26                            | 200                                                          | 236                                                            |
| 7   | 6,37           | 6,34           | 6,55             | 99,5                         | 102,5                          | 0,113                         | 0,210                         | 0,086                           | 186                                                          | 7,6                                                            |
| 8   | 938,90         | 945,75         | 897,23           | 100,5                        | 95,6                           | 1,22                          | 0,63                          | 0,51                            | 51,6                                                         | 41,8                                                           |
| 9   | 204,75         | 212,75         | 176,50           | 103,9                        | 86,2                           | 5,76                          | 1,80                          | 0,20                            | 31,3                                                         | 3,5                                                            |
| 10  | 16,77          | 17,16          | 15,80            | 102,2                        | 94,2                           | 1,68                          | 1,10                          | 0,30                            | 65,4                                                         | 17,8                                                           |
| 12  | 318,50         | 320,20         | 300,20           | 100,5                        | 94,3                           | 1,37                          | 0,60                          | 0,10                            | 43,8                                                         | 7,3                                                            |
| 16  | 642,7          | 707            | 145              | 110                          | 22,5                           | 279                           | 280                           | 4600                            | 100,4                                                        | 1650                                                           |

| Nr. | Vor dem Versuch |                            | Nach dem Versuch |                            | nach 38 Tagen |                            |
|-----|-----------------|----------------------------|------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
|     | $C_1$<br>nF     | $\text{tg } \delta_1$<br>‰ | $C_2$<br>nF      | $\text{tg } \delta_2$<br>‰ | $C_3$<br>nF   | $\text{tg } \delta_3$<br>‰ |
| 1   | 113,93          | 2,55                       | 96,75            | 2,54                       | 107,35        | 12,45                      |
| 3   | 525,10          | 6,97                       | 507,87           | 3,50                       | 507,53        | 8,14                       |
| 5   | 10,09           | $\approx 0$                | 9,93             | $\approx 0$                | 9,90          | $\approx 0$                |
| 7   | 6,42            | $\approx 0$                | 6,39             | $\approx 0$                | 6,37          | 1,27                       |
| 8   | 948,74          | 1,80                       | 939,23           | $\approx 0$                | 948,19        | 2,75                       |
| 9   | 206,19          | 5,52                       | 207,07           | 5,48                       | 205,22        | 5,77                       |
| 10  | 16,83           | 1,68                       | 16,82            | 1,78                       | 16,74         | 1,81                       |
| 12  | 319,83          | 1,32                       | 320,06           | $\approx 0$                | 319,43        | 4,18                       |
| 16  | 692,67          | 320                        | 654,53           | 296                        | —             | —                          |

Kapazität quasi linear mit abnehmender Temperatur zunimmt.

3. Die stärksten Kapazitätsänderungen zeigen, wie zu erwarten war, die Tantalkondensatoren:

Tabelle VIII

| Nr. | $C_1 - C_3$<br>nF | $\frac{C_1 - C_3}{C_1}$<br>% | $\frac{\text{tg } \delta_3}{\text{tg } \delta_1}$<br>— |
|-----|-------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|
|     |                   |                              |                                                        |
| 3   | 17,57             | 3,34                         | 1,17                                                   |
| 5   | 0,19              | 1,88                         | —                                                      |
| 7   | 0,05              | 0,84                         | —                                                      |
| 8   | 0,55              | 0,06                         | 1,52                                                   |
| 9   | 0,97              | 0,47                         | 1,04                                                   |
| 10  | 0,09              | 0,53                         | 1,08                                                   |
| 12  | 0,40              | 0,12                         | 3,14                                                   |

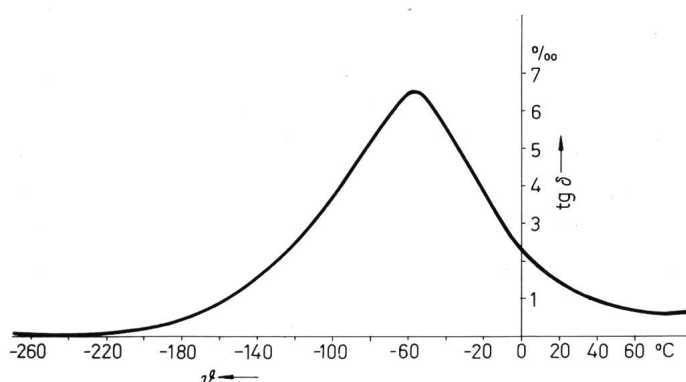
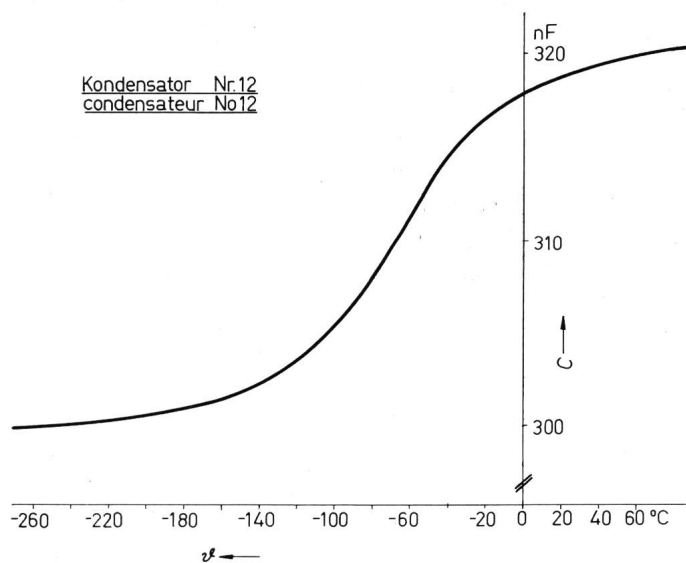


Fig. 10

Gleich wie Fig. 3, aber mit Metall-Kunststoffkondensator  $C_n = 330$  nF

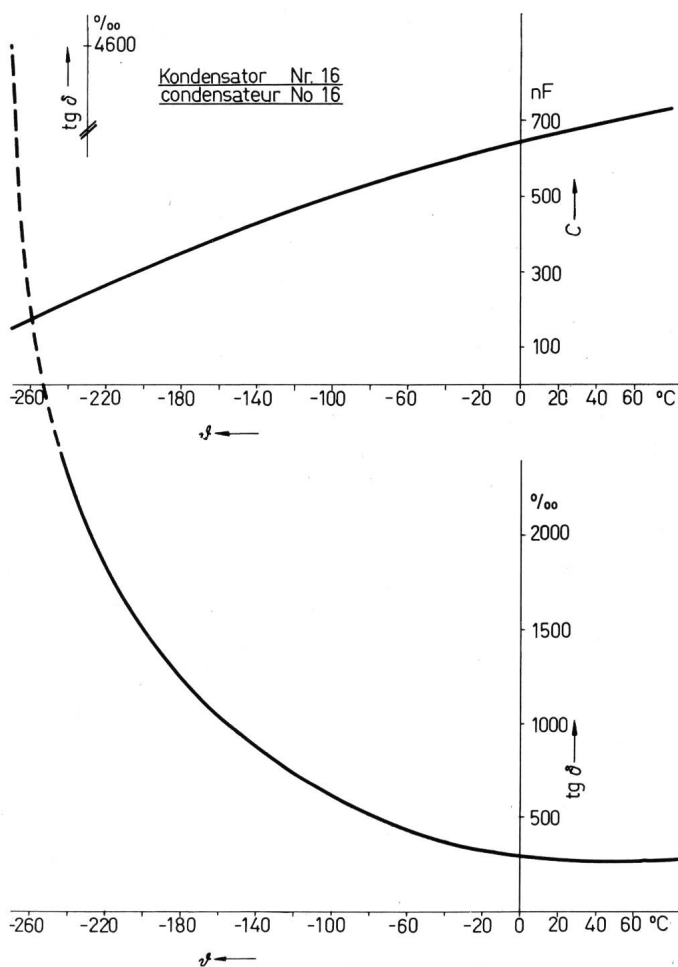


Fig. 11

Gleich wie Fig. 3, aber mit Tantalkondensator  $C_n = 1000$  nF

4. Die Kondensatoren mit Papier- oder Plastikisolation zeigen für den Verlustwinkel ein Maximum bei etwa  $-80$  °C, wonach der Verlustwinkel mit fallender Temperatur stark abnimmt.

5. Der bereits bei Zimmertemperatur kleine Verlustwinkel der Glimmerkondensatoren nimmt mit fallender Temperatur noch stark ab und ist unterhalb  $-100$  °C nicht mehr messbar ( $\text{tg } \delta_e < 0,01$  ‰).

6. Der Verlustwinkel der Tantalkondensatoren nimmt wie bekannt bei fallender Temperatur stark zu und erreicht sehr hohe Werte (reelle Komponente wesentlich grösser als imaginäre,  $\text{tg } \delta_e > 1$ ).

#### Adresse der Autoren:

Prof. R. Goldschmidt und D. H. Ohayon, Chaire des Télécommunications de l'EPF-L, 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.