

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 56 (1965)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Anwendung gedruckter Elemente in der Nanosekunden-Impulstechnik  
**Autor:** Fassini, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916327>

### **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:** 30.01.2025

**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)

## Anwendung gedruckter Elemente in der Nanosekunden-Impulstechnik

Von M. Fassini, Zürich

621.3.049.75 : 621.374

*Es werden die Möglichkeiten und Vorteile für die Anwendung gedruckter Komponenten in der Nanosekunden-Impulstechnik untersucht. Gedruckte Induktivitäten und Kapazitäten werden mit Hilfe der konformen Abbildungen dimensioniert, praktisch aufgebaut und ausgemessen. Die Eigenschaften von verschiedenen Basismaterialien werden in Beziehung zu dem Gütefaktor der gedruckten Elemente verglichen.*

*On discute les possibilités et les avantages de l'emploi d'éléments imprimés dans la technique des impulsions de nanosecondes. Des inductances et capacités sont dimensionnées, constituées pratiquement et mesurées à l'aide des représentations conformes. Les propriétés de diverses matières de base sont comparées au point de vue du facteur de qualité des éléments imprimés.*

### 1. Vorbemerkungen

Der Frequenzinhalt der Nanosekunden-Impulse gehört dem GHz-Bereich an; man kann daher Schaltungen für solche Impulse mit Hilfe der Methoden der Mikrowellentechnik behandeln. Deshalb ist es interessant, Anwendung und Eigenschaften gedruckter Schaltungen zu diskutieren; insbesondere, ob koaxiale Elemente durch gedruckte Komponenten ersetzt werden können. Man könnte das Problem unter einigen vereinfachenden Annahmen so verstehen, dass man besondere Ausführungen von gedruckten Leitungen sucht, die mit den Maxwell'schen Gleichungen beschrieben werden können. Die Technik wird dann auf die Entwicklung passiver Elemente, wie Induktivitäten, Widerstände und Kapazitäten ausgedehnt.

Auf diese Weise werden die Bauelemente zum Teil einer gedruckten Verdrahtung. Daher ist der Umgang mit verteilten Parametern von Interesse.

Vergleiche mit Koaxialelementen zeigen, dass die Anwendung gedruckter Schaltungen in der Nanosekunden-Impulstechnik zulässig ist. Die bestehenden Vorteile sind: die guten elektrischen Eigenschaften und das günstige Fabrikationssystem.

Der Güte-Faktor einer gedruckten Schaltung hängt von jenem der Grundmaterialien ab und der Einbau der Komponenten erlaubt eine optimale Verbindung.

Die Reproduzierbarkeit und die Herstellung gedruckter Elemente werden durch ein Photoverfahren bestimmt; die mechanischen Arbeiten sind viel einfacher als bei Koaxialelementen.

In den gedruckten Schaltungen können die passiven Elemente mit der Verdrahtung «zusammenwachsen», somit werden die Streuparameter verkleinert und die elektrischen Eigenschaften der Schaltungen verbessert.

### 2. Induktivitäten

Induktivitäten von einigen  $\mu\text{H}$  können in Spiral-Konfigurationen gemäss Fig. 1 geätzt werden. Der Güte-Faktor ist in erster Linie von folgenden ermittelten Faktoren abhängig:

- Grosse Leitfähigkeit  $\gamma$  der Leiter;
- Stärke der Leiter. Diese muss viel grösser als die Eindringtiefe der HF sein;

- Passende geometrische Anordnung;
- Kleiner Verlustfaktor des Dielektrikums.

Der Wert der gedruckten Induktivitäten wird mit Hilfe einiger experimentell ermittelter Formeln aus der Literatur berechnet.

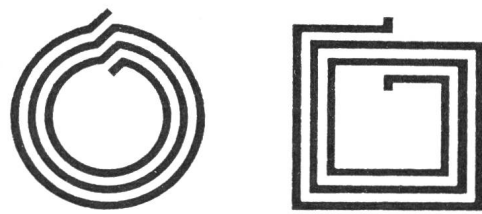


Fig. 1

Gedruckte Induktivitäten

### 3. Widerstände

Bei gedruckten Schaltungen nehmen die Widerstände die Form von Filmen an, welche durch Verdampfen von Graphit oder andern Materialien von hohem spezifischen Widerstand hergestellt werden. Die Dicke des Materials ergibt den Widerstand pro Flächeneinheit.

Im Handel existieren dünne Kunststoff-Filme mit einem aufgedampften Graphit-Strich. Den gewünschten Widerstand erhält man, wenn man einen Film mit bestimmten Abmessungen auf der Schaltung befestigt.

### 4. Kapazitäten

Es gibt zwei Herstellungsarten für gedruckte Kapazitäten: auf zwei Seiten einer kupferkaschierten Platte, oder auf einer Seite einer einseitig kupferkaschierten Platte. Die erste Ausführung ist wegen der grossen leitenden Flächen und des enormen Ätzprozesses von kleinerem Interesse. Die Kapazitäten der zweiten Art sind dagegen wegen der guten elektrischen und mechanischen Eigenschaften sehr vorteilhaft.

Durch eine günstige Geometrie sind der Verlustfaktor  $\text{tg } \delta$  und der induktive Anteil bei UHF kleiner als dies bei den konventionellen Bauteilen der Fall ist. Die Kondensatoren werden dabei direkt zu einem Teil der Verdrahtung. Ihre gute Reproduzierbarkeit beruht auf einem Photoverfahren.

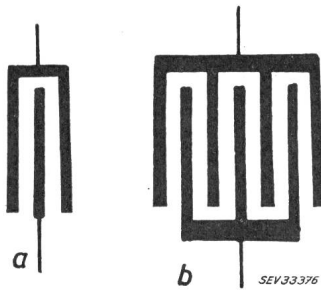


Fig. 2  
Gedruckte Kapazitäten  
a ein Element; b Parallelschaltung  
von drei Elementen

Der Kapazitätswert pro Längeneinheit eines Elementes hängt hauptsächlich von der Geometrie des Leiters und von den Eigenschaften des Basismaterials ab. Die Berechnung der Kapazität wird mit konformen Abbildungen und elliptischen Integralen ausgeführt; die Dimensionierung wird mittels praktischer Kurven und Formeln vorgenommen.

Die am besten geeignete geometrische Anordnung, die den Erfordernissen hinsichtlich eines geringen Platzbedarfs, niedrigen Verlustfaktors und hoher Kapazität pro Flächeneinheit entspricht, zeigt Fig. 2a. Um höhere Kapazitätswerte zu erhalten, können mehrere Elemente parallel geschaltet werden (Fig. 2b). In den meisten Fällen sind die Abmessungen kleiner als 2 cm<sup>2</sup>, die Kapazität beträgt 3...4 pF/cm pro Element, mit einer Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  des Basismaterials in der Größenordnung von 3...4. Diese Werte können bei Verwendung eines Grundmaterials von grösserem  $\epsilon$  verbessert werden. Die Abmessungen der gedruckten Kondensatoren sind durch das Photoätzverfahren beschränkt.

### 5. Berechnung der Kapazität

Die Berechnung der Kapazität eines gedruckten Kondensators lässt sich zurückführen auf die Ermittlung der Potentialverteilung zwischen zwei leitenden Streifen von der Breite  $b$ , im Abstand  $d$ , auf einem Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  und der Dicke  $s$ . Dabei werden die folgenden vereinfachenden Annahmen gemacht:

- Die Dielektrizitätskonstante des Basismaterials ist viel grösser als eins;
- Der Querschnitt der Leiter ist zu vernachlässigen;
- Die Geometrie des Systems ist symmetrisch;
- Der Einfluss der umgebenden Luft ist zu vernachlässigen.

Diese Annahmen sind tatsächlich sehr grob; Experimente und praktische Messungen bestätigen jedoch ihre Gültigkeit in einem weiten praktischen Anwendungsbereich.

Fig. 3 zeigt den Querschnitt, in einer komplexen  $z = x + jy$  Ebene, eines gedruckten Kondensators, zusammen mit den Feld- und Äquipotentiallinien. Die Kapazität befindet sich

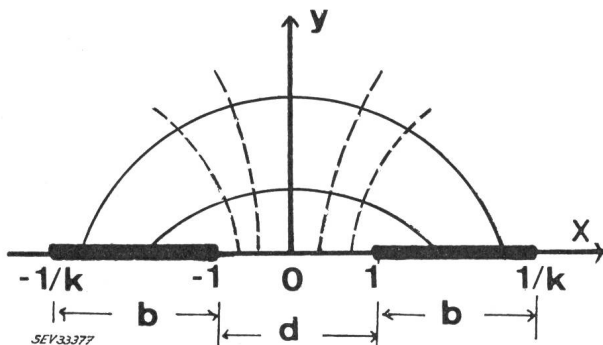


Fig. 3

Querschnitt in der  $z = x + jy$  Ebene eines gedruckten Kondensators  
 $b$  Breite der Leiter,  $d$  Abstand zwischen zwei Leitern;  $k$  Modul des elliptischen Integrals erster Ordnung  
— Feldlinien — — — Äquipotential-Linien

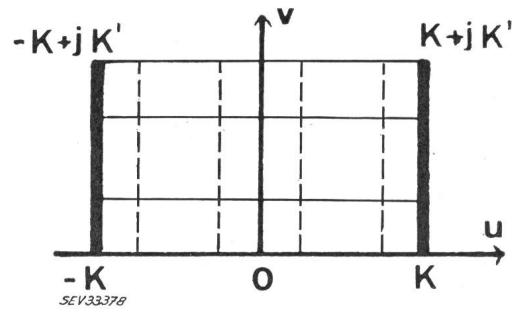


Fig. 4

Abbildung der  $z$ -Ebene von Fig. 3 zur  $w = u + jv$ -Ebene  
— Feldlinien — — — Äquipotential-Linien  
 $K, K'$  Werte der elliptischen Integralen erster Ordnung  
Die Feld- und Äquipotential-Linien sind parallel zu den Achsen

zwischen den zwei parallelen Leitern  $-1/k, -1; 1, 1/k$  von gleicher Breite  $b$ , im Abstand  $d$ , und mit einer Potentialdifferenz  $U$ .

Bei den erwähnten Annahmen kann man nur die Halbebene, in der das Dielektrikum ist, in Betracht ziehen.

Um die Kapazität zu berechnen, führt man das Potential als eine komplexe Funktion ein und transformiert mit Hilfe einer konformen Abbildung die ursprüngliche geometrische Anordnung in eine andere, womit das Problem vereinfacht wird (Fig. 4). Die elliptische Funktion von *Jacobi*  $z = \sin(w, k)$  bildet das Innere des Rechteckes  $\pm K, \pm K + jK'$  in der komplexen  $w = u + jv$  Ebene von Fig. 4 auf die obere Hälfte der komplexen  $z = x + jy$  Ebene von Fig. 3 ab. Die Leiter  $-1/k, -1; 1/k, 1$  in der  $z$ -Ebene werden auf die vertikalen Strecken  $-K, -K + jK'; K, K + jK'$  in der  $w$ -Ebene abgebildet. Dabei sind  $K$  und  $K'$  die vollständigen elliptischen Integrale erster Ordnung; ihre Werte sind als Funktion der Module  $k, k'$  in mathematischen Tafeln enthalten.

Die Feld- und Äquipotentiallinien, die in der ursprünglichen  $z$ -Ebene durch konfokale Kegelschnitte mit den Brennpunkten  $\pm 1/k, \pm 1$  dargestellt sind, werden in der  $w$ -Ebene als gerade Linien parallel zu den Achsen abgebildet.

In der  $w$ -Ebene stellt  $u$  das Potential und  $v$  das elektrische Feld dar. Die entsprechenden Wertepaare für diese Transformation sind:

$$\begin{aligned} z = 0, 0 & \quad w = 0, 0 \\ z = \pm 1, 0 & \quad w = \pm K, 0 \\ z = \pm 1/k, 0 & \quad w = \pm K + jK' \end{aligned} \quad (1)$$

Die Berechnung der Kapazität zwischen den beiden leitenden Streifen von Fig. 3 ist damit zurückgeführt auf die Berechnung der Kapazität des aus zwei parallelen Platten bestehenden Kondensators in Fig. 4. Die Potentialdifferenz zwischen den Leitern ist  $2K$  und  $\Delta v$  zwischen den Feldlinien, welche das System einschliessen, ist  $K'$ .

Die Ladung  $Q$  auf den Leitern ist:

$$Q = \frac{1}{4\pi} \Delta v = \frac{1}{2\pi} K' \quad (2)$$

Wegen den erwähnten Annahmen wird das Dielektrikum im Innern des Rechteckes  $\pm K, \pm K + jK'$  bleiben.

Es folgt die Kapazität  $C = \text{Ladung/Potentialdifferenz}$  als:

$$C = \frac{K'}{4\pi K} \quad (3)$$

Der Modul  $k$  wird durch die geometrische Anordnung in der  $z$ -Ebene bestimmt. Aus Fig. 3 findet man:

$$d/2 = 1 \quad b = 1/k - 1 \quad (4)$$

Daraus folgt:

$$k = \frac{1}{1 + 2b/d} \quad (5)$$

Wenn angenommen wird, dass die ganze obere Hälfte der  $z$ -Ebene mit einem Material von der Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  ausgefüllt sei, dann erscheint in der  $w$ -Ebene das Rechteck  $\pm K, \pm K + jK'$  mit dem gleichen Material ausgefüllt.

Gl. (3) wird dann:

$$C = \frac{\epsilon K'}{4\pi K} \quad (6)$$

## 6. Experimentelle Ergebnisse

Die praktischen Messungen wurden bei einer Frequenz von 400 MHz mit einer UHF-Brücke ausgeführt. Die benützte Brücke ist ein direkt ablesbares Instrument, welches die Messung durch Vergleich mit bekannten Elementen ausführt.

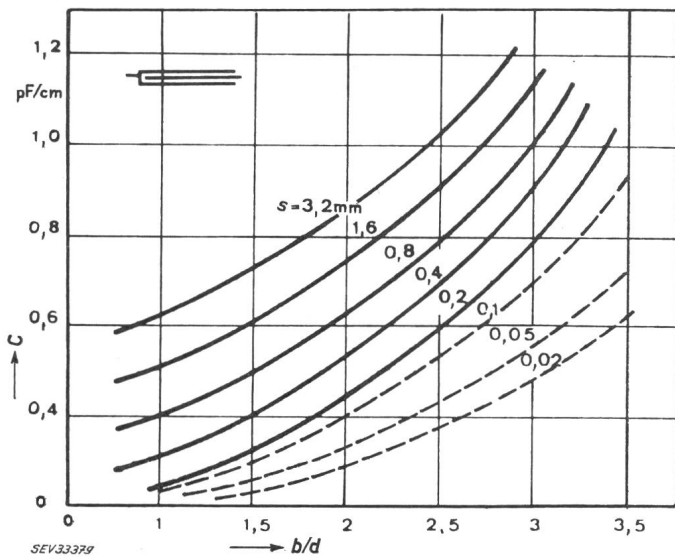


Fig. 5

Kapazität eines gedruckten Kondensators von 1 cm in Funktion des Verhältnisses  $b/d$

— Glasfaser/Epoxyd-Harz    - - - Polyesterfolie  
 $s$  Dicke des Dielektrikums

Man erhält dadurch die Real- und Imaginärteile einer Admittanz, ausgedrückt als Leitwert  $G$  und Suszeptanz  $B$ . Die Werte der Kapazität in Fig. 5 beziehen sich auf Muster von 1 cm Länge und sind gegeben in Funktion des Verhältnisses  $b/d$  zwischen der Länge der Leiter und ihrer Distanz.

Die verwendeten Dielektrika sind aus Glasfaser/Epoxydharz und Polyesterfolie; die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  ist in der Größenordnung von 3,5 und die Dicke von 0,02...3 mm.

## 7. Schlussfolgerungen

Die gedruckten Komponenten zeigen in ihrer Anwendung im UHF-Bereich verschiedene Vorteile gegenüber den konventionellen Komponenten, nämlich:

- Die Komponenten können leichter hergestellt werden und ihre Reproduzierbarkeit ist besser.
- Das Element ist ein integrierter Bestandteil der Verdrahtung und die Streufaktoren werden dadurch auf ein Minimum beschränkt.
- Der Gütefaktor hängt in erster Linie von den Eigenschaften des Basismaterials ab.
- Die Abmessungen werden kleiner.

Ein weiteres Resultat, die Herstellung von Schaltungen nach einem neuen Gesichtspunkt ist von grosser Wichtigkeit bei Schaltungen mit aktiven Komponenten. In naher Zukunft werden neue gedruckte Elemente entwickelt, und die Technik wird in Richtung einer noch engeren Verbindung der Schaltung mit ihren aktiven Komponenten gehen.

## Literatur

- [1] F. Oberhettinger, W. Magnus: Anwendung der elliptischen Funktionen in Physik und Technik, Springer 1949.
- [2] Erdélyi, Magnus, Oberhettinger, Tricomi: Higher Transcendental Functions — Vol 2 — Mc Graw Hill 1953.
- [3] P. Byrd, M. Friedman: Handbook of Elliptic Integrals for Engineers and Physicists, Springer 1954.
- [4] J. Dukas: Printed Circuits, Mc Donald 1961.
- [5] B. Palmer: The Capacitance of a Parallel-Plate Capacitor by the Schwartz-Christoffel Transformation. Proc. A. I. E. E., Mar. 1937.
- [6] R. Barret: Etched Sheets Serve as Microwave Components Electr., Jun. 1952.
- [7] C. Snow: Formulas for Computing Capacitance and Inductance N. B. S. Circ. 544, Sept. 1954.

Adresse des Autors:

Dr. M. Fassini, Institut für technische Physik an der ETH, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.

## Neue Haushalt-Apparatesteckvorrichtungen

Vom Sekretariat des SEV (A. Tschalär)

621.316.541

Über diesen Gegenstand sind unter dem gleichen Titel zu früheren Zeitpunkten im Bulletin des SEV Abhandlungen erschienen<sup>1)</sup>. Wie darin schon erwähnt, handelt es sich um die Einführung der von der Internationalen Kommission für Regeln zur Begutachtung Elektrotechnischer Erzeugnisse (CEE) aufgestellten neuen Dimensionsnormen für Haushalt-Apparatesteckvorrichtungen, wie sie in der kürzlich erschienenen CEE-Publikation 22 festgelegt sind. Die neuen Steckvorrichtungen, soweit sie bisherige Typen ersetzen, weisen die beim alten System bestehenden baulichen Mängel, insbesondere die Anordnung der Schutzkontakte aussen an der Apparatesteckdose, nicht mehr auf; ferner werden sie handlicher und leichter bedienbar sein als die alten. Die neuen

<sup>1)</sup> Siehe Bull. SEV 52(1961)9, S. 349...352 und 54(1963)22, S. 935...936.

Normen erstrecken sich zum erstenmal auch auf Apparatesteckvorrichtungen für die in neuerer Zeit aufgekommenen Apparate der Klasse II mit Sonderisolierung, womit eine sehr spürbar gewordene Lücke geschlossen wird.

Wie in den früheren Abhandlungen geht es auch jetzt darum, die schweizerischen Interessenten mit den Absichten des SEV betreffend die Aufnahme der neuen Dimensionsnormen in die schweizerischen Sicherheitsvorschriften bekanntzumachen und zu einer Stellungnahme zu veranlassen. Während zur Abhandlung von 1961 keinerlei Bemerkungen eingegangen waren, wurden zu derjenigen von 1963 von Seiten der Hersteller Bedenken wegen der Vielzahl der vorgesehenen Typen und wegen Abweichungen gegenüber den CEE-Entwürfen geäussert. Daraufhin befasste sich das Fachkollegium 208, Steckvorrichtungen, des Schweiz. Elektro-