

Diss. ETH 5663

**Digitale Berechnung der Längsimpedanz zylindrischer
Mehrleiter- und Mehrphasensysteme mit beliebigen
Leiterquerschnitten bei tiefen Frequenzen
unter Berücksichtigung von Skin- und Proximityeffekt**

ABHANDLUNG

zur Erlangung

der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

WERNER SCHNIDER

dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 18. 3. 1945

von Benken (SG) und Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. H. Baggenstos, Referent

Prof. Dr. P. Henrici, Korreferent

aku-Fotodruck

Zürich

1976

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird eine Berechnungsmethode vorgestellt, welche die Bestimmung der Impedanz zylindrischer Mehrleiter- und Mehrphasensysteme auf dem Computer erlaubt. Auf Grund der zylindrischen Form der Leiter (unendliche Ausdehnung in z-Richtung angenommen) lässt sich das Problem in der Ebene lösen. Diese Ebene muss für die numerische Berechnung in Maschen (quadratische, dreieckige etc.) eingeteilt werden, wobei durch die Verwendung der Integralgleichung für die Stromdichte nur innerhalb der Leiterquerschnitte Maschen gelegt werden müssen. Bei der Diskussion der Lösungsmöglichkeiten zeigt es sich, dass die Verwendung der Schmidt-Hilbert'schen Operatorentheorie gute Dienste leistet. Insbesondere lassen sich die aufwendigen Rechnungen völlig frequenzunabhängig berechnen. Die Bestimmung der Impedanz in Funktion der Frequenz lässt sich dann mit der Schmidt'schen Reihe durchführen.

Bei Einzeleleitern mit Rückleiter im Unendlichen lässt sich nur eine innere Induktivität definieren. Diese innere Induktivität lässt sich nicht aus der Impedanz allein berechnen, weshalb dafür eine spezielle Berechnung nötig ist.

Bei der Berechnung von Mehrleiter- oder Mehrphasensystemen benötigt man sehr grosse Matrizen, welche viel Speicherplatz beanspruchen. Möchte man nur den schnell zugreifbaren Zentralspeicher verwenden, so lassen sich die einzelnen Leiter nur ungenügend diskretisieren. Aus diesem Grund wurde eine neue Methode entwickelt, welche weniger Speicherplatz benötigt. Von jedem Leiter (oder eine Gruppe von Leitern) werden zunächst verschiedene charakteristische Grössen, unabhängig von den übrigen Leitern, berechnet. Anschliessend werden Kopplungskoeffizienten bestimmt, welche den Einfluss der übrigen Leiter berücksichtigen. Alle diese Grössen sind frequenzunabhängig und müssen somit nur einmal berechnet werden. Mit Hilfe der Schmidt-Hilbert'schen Theorie

lässt sich die Impedanz als eine Reihe darstellen und für jede Frequenz sehr einfach bestimmen. Theoretisch kann in beliebig viele getrennte Gebiete eingeteilt werden, praktisch genügen drei Gebiete (3-Phasensysteme). Die Methode der getrennten Gebiete lässt sich auch auf die Netzwerkanalyse anwenden. In diesem Fall hat man keine symmetrischen Matrizen mehr, weshalb die Lösung in einer allgemeineren Form zu erfolgen hat. Das Netzwerk wird in diesem Fall in Teilnetzwerke gegliedert. Die Berechnung für den quasistationären Fall erfolgt dann ganz analog.

Abstract

The numerical computation of the impedances of multiple straight transmission lines with arbitrary shape can be carried out by solving a Fredholm-type integral equation of second order for the current density. This integral equation is valid because low frequency behaviour of the system is considered. The current density distribution can be determined by the Schmidt-Hilbert orthogonalization process. However for multiple conductors the numerical computations will result in handling large matrices which cannot be stored in the central memory of a digital computer. In this case the solution is given by partitioning of the integration region. This procedure will not have additional disadvantages but the numerical computations can be carried out using the fast-accessible central memory of a digital computer. The impedances which are affected by skin- and proximity-effect are then determined from the current distribution.