

Diss. ETH Nr. 8689

**Experimentelle Bestimmung
der frequenzabhängigen Quellenimpedanz
im Niederspannungsnetz**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der technischen Wissenschaften

der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH**

vorgelegt von

MARTIN MEYER

Dipl. El. Ing. ETH

geboren am 30. Mai 1957

von Birmenstorf, Kanton Aargau

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. R. Zwicky, Referent

Prof. Dr. W. Schaufelberger, Korreferent

1988

ADAG Administration & Druck AG

5. Dez. 1988

R. Zwicky

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der messtechnischen Ermittlung des Frequenzganges der Quellenimpedanz von Energienetzen. Diese Grösse ist ein Mass für die Resistenz des Netzes gegenüber den negativen Auswirkungen von nichtlinearen Verbrauchern. Deren stark zunehmende Verbreitung begründet das grosse Interesse an der Kenntnis der Netzimpedanz, welche rechnerisch nur sehr aufwendig ermittelt werden kann.

Ziel der Arbeit ist die Realisierung eines im Niederspannungsnetz praktisch einsetzbaren Messverfahrens. Dies bedingt, dass die bereits heute erhältliche Technologie angewandt wird und dass das Gerät hinsichtlich Grösse, Kosten und Einfachheit in der Anwendung in einem vernünftigen Rahmen bleiben muss.

Vorerst werden in einer Problemanalyse die generellen Aspekte betrachtet. Es wird ein lineares, aber zeitvariantes Ersatzschaltbild des Energienetzes hergeleitet. Danach wird die prinzipielle Messmethode erläutert, welche auf zwei Messungen bei verschiedenen Netzzuständen beruht. Diese werden durch eine zum Messgerät gehörende Last erzeugt, welche als steuerbar zeitvariante Störquelle das Netz beeinflusst. Der interessierende Frequenzbereich und die Frequenzauflösung werden abgesteckt und die Möglichkeiten der Messwerterfassung aufgezeigt. Daraus kann ein grobes Anforderungsprofil für das Messverfahren formuliert werden.

In einer Übersicht werden mögliche und zum Teil auch schon angewandte Messverfahren erläutert und verglichen. Dabei wird auch die Mittel- und Hochspannungsebene betrachtet. Die Bewertung der Verfahren aufgrund der Ergebnisse der Problemanalyse, der theoretischen Gegebenheiten und der Realisierbarkeit führt auf zwei Messverfahren für das Niederspannungsnetz, wobei das eine im Frequenzbereich bis 20 kHz und das andere von 20 kHz bis 150 kHz angewandt werden kann.

Das erste Verfahren basiert auf der Korrelationsanalyse und ist Gegenstand der weiteren Untersuchung. Das Anregungssignal wird mit einer geschalteten Last erzeugt, welche mit einem pseudozufälligen Schaltmuster gesteuert wird. Dies stellt eine ideale Kombination zwischen Anregungs- und Auswerteverfahren dar. Mit den heutigen Halbleiterleistungsschaltern und Rechnern kann dieses Prinzip elegant realisiert werden.

Es handelt sich um ein breitbandiges Messverfahren. Als grosser Vorteil ergibt sich daraus eine sehr kurze Mindestmesszeit. Mit mehreren Messungen lassen sich den Messsignalen überlagerte Rauschanteile ausmitteln. Damit kann die Messstrategie dem jeweiligen Messort angepasst werden. Das gewählte Auswerteverfahren erlaubt auch eine Abschätzung der Vertrauenswürdigkeit der ermittelten Messkurven.

Das Messprinzip geht von Voraussetzungen aus, die in einer Untersuchung des Netzverhaltens überprüft wurden. Aus dieser Untersuchung lassen sich anwendungsspezifische Randbedingungen ableiten. Nach der eingehenden Betrachtung der theoretischen Aspekte kann das vollständige Anforderungsprofil aufgestellt werden.

Das vorgeschlagene Messverfahren ist in einem Laborgerät realisiert worden. Es wird eine Beschreibung des Gerätes gegeben, welches auf Flexibilität und nicht auf Kompaktheit optimiert wurde. Es könnte aber durchaus auch in einer durch eine einzige Person transportierbaren Version aufgebaut werden.

Schliesslich wird die Tauglichkeit des Verfahrens anhand von Messergebnissen belegt. Dazu wurden auch Messungen am leistungsstärksten Anschlusspunkt des Niederspannungsnetzes durchgeführt. Einige Hinweise für die Interpretation der Messkurven runden die Arbeit ab.

Summary

The object of this thesis is the measurement of the frequency-dependent source impedance of power distribution networks. This quantity is a measure for the immunity of a power line network against the negative influence of nonlinear loads. The spread of the latter causes an increasing interest in the knowledge of the mains impedance, which cannot easily be obtained by a calculation.

The aim of the work is to realize a measuring method, practically applicable in the low voltage power network. This implies, that the measuring system has to remain within a limited scale concerning largeness, costs and ease of operation.

The first part of the thesis analyzes the main problem and some related aspects. A linear but time variant model of the power distribution network is derived. Then the measuring method is explained. It is based on two measurements with different load configurations. The two load configurations are achieved by a controllable time variant and nonlinear load, which is part of the measuring system. The frequency range of interest and the frequency resolution are discussed and the possible signal sensors are compared. A list of the requirements of the measuring system is given.

An overview explains and compares the possible methods, which in part have already been used. The medium and high voltage networks are covered as well. Considering all the theoretical and technological aspects, two methods can be derived. One of them is working in the frequency range below 20 kc/s, and the other one from 20 kc/s up to 150 kc/s.

The first of the two methods is based on the correlation analysis and is inspected in detail. A pseudo random binary sequence, generated by a switched load, is used as a disturbance signal. The stimulation and evaluation method form an ideally matched pair, which can easily be

realised with the semiconductor power switches and computers available today.

The measuring concept is based on wide-band signals. This results in the benefit of a very short duration of the measuring procedure. With longer measurements, noise can be eliminated. Therefore, the strategy of the measurement can be tailored to the specific conditions at the measurement point. Furthermore, the reliability of a measurement can be calculated.

The method makes some assumptions about the statistical behavior of the power distribution network. These assumptions have been verified. Therefrom, all the application specific parameters can be derived. An exact analysis of the theoretical aspects completes the list of requirements for the measurement system.

The proposed principle has been realized in a laboratory version, which has been designed for maximum flexibility. A brief description of the system is given. A redesigned version could easily fit into a hand-held unit.

Measurements even at the most powerful connection points show the performance of the described measuring system. Finally, the obtained impedance plots are discussed.