

Diss ETH 6369

BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER AUS-  
BREITUNG UND STATISTISCHEN UEBER-  
LAGERUNG VON STROMRICHTER-OBER-  
SCHWINGUNGEN IM  $16\frac{2}{3}$  Hz BAHNNETZ

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

HEINZ BURTSCHER

Dipl.El.-Ing. ETH

geboren am 14.Juli 1953

von Oesterreich

Angenommen auf Antrag von

Prof.Dr.R.Zwicky, Referent

Prof.Dr.M.Mansour, Korreferent

1979

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Analyse der Oberschwingungen, die im  $16^{2/3}$  Hz Bahnnetz durch Triebfahrzeuge mit netzgeführten Stromrichtern verursacht werden. Untersucht wird die Ausbreitung der Harmonischen entlang der Leitung sowie deren Ueberlagerung beim Betrieb mehrerer Fahrzeuge im gleichen Netz.

Zur Gewinnung der gewünschten Resultate werden

- Messungen, die im Netz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) durchgeführt wurden, ausgewertet.
- Modelle für Lokomotive und Leitungssystem auf kleinem Leistungsniveau im Labor aufgebaut, die dann auf einfache Weise verschiedene Experimente ermöglichen.
- theoretische Berechnungen zum Uebertragungsverhalten der Fahrleitung sowie zur Untersuchung der Superposition angestellt.

Die drei Wege -Messungen auf der Strecke, theoretische Berechnungen sowie Modelluntersuchungen- werden parallel verfolgt. Ein ständiger Vergleich der Ergebnisse gibt laufend Kontroll- und Verbesserungsmöglichkeiten.

Für alle Untersuchungen werden Fahrzeuge des Typs RABDe 8/16 der SBB verwendet, die mit einer vierstufigen, halbgesteuerten Brückenschaltung ausgestattet sind. Der betrachtete Netzabschnitt besteht aus einer einseitig gespeisten Fahrleitung. Daneben wird das speisende Unterwerk sowie die Hochspannungs-Speiseleitung bis zur nächsten Sammelschiene mitberücksichtigt. Diese Konfiguration wurde auch im Modell nachgebildet.

Für eine Lokomotive werden zunächst Mittel- und Maximalwertspektren sowie die Häufigkeitsverteilungen von Amplituden und Phasen der Oberschwingungen bestimmt. Ausserdem wird untersucht, in welchen Betriebszuständen welche Harmonischen besonders stark auftreten.

Von den Eigenschaften des Leitungssystems haben vor allem die stark ausgeprägten Resonanzerscheinungen eine wesentliche Bedeutung. Sie führen in den Unterwerken zu zum Teil wesentlich grösseren Störströ-

men, als auf der Lokomotive selbst gemessen werden. Da diese Resonanzen bereits bei Frequenzen von einigen hundert Hz auftreten, werden sie noch stark angeregt.

Zur Untersuchung der Superpositionerscheinungen werden folgende Wege beschritten:

- Messungen mit ein, zwei und vier Lokomotiven auf der Strecke werden ausgewertet.
- Im Labormodell kann ein Mehrzugbetrieb nachgebildet werden.
- Aus Messungen an einer Lokomotive werden die Häufigkeitsverteilungen von Amplituden und Phasen bestimmter Harmonischer berechnet. Daraus wird dann mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation auf die Verteilungen bei mehreren Zügen geschlossen. Daneben werden zwei Grenzfälle behandelt, die unter Annahme gleichverteilter, bzw. konstanter Phasen entstehen.

Damit stehen Instrumente zur Verfügung, um Aussagen über die zu erwartenden Störampplituden beim Betrieb mehrerer Züge in Abhängigkeit von der Frequenz und der Anzahl Züge machen zu können.

#### SUMMARY

The object of this thesis is the analysis of harmonics, caused by thyristor-controlled locomotives in the  $16\frac{2}{3}$  Hz railway supply networks. The investigations concern the propagation of harmonics along the line and their superposition, when a number of vehicles are used together in the same supply network.

To get the desired results

- measurements, recorded in the sub-stations and on the locomotive are evaluated
- models for supply network and locomotive have been built up in the laboratory, where experiments can be made
- theoretical calculations concerning the transmission

of the harmonics on the line and their superposition are made

Always a locomotive equipped with a four stage bridge is used. The network segment regarded here consists of a single fed contact line section, a sub-station and about 25 km of high-voltage transmission line. This configuration is also simulated in the model.

For one locomotive the average-and peakhold spectra and the probability distributions of amplitudes and phases are calculated.

From the characteristics of the line system the resonances are of main importance. They cause much greater disturbing currents in the substation, than measured on the locomotive itself. As they occur at frequencies of only a few hundred Hz, they are strongly excited.

To study the superposition-phenomena, the following methods are used:

- measurements with one, two and four locomotives are compared
- the laboratory model is used to simulate the operation with a number of trains
- from measurements with one locomotive the frequency-distributions of amplitudes and phases of certain harmonics are calculated. With these results and the use of a Monte-Carlo-method the distributions for N locomotives are derived. Beside that two extreme-cases, assuming constant or equally distributed phases are regarded.

The results, gained by these methods give informations about the disturbances in function of frequency and number of trains, that have to be expected.