

Diss. ETH Nr. 6614

ENTSTEHUNG, AUSBREITUNG UND OPTIMALE BEDAEMPFUNG
VON STROMRICHTEROBERSCHWINGUNGEN IM 16 2/3 Hz-BAHNNETZ

A B H A N D L U N G

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

GEORGIOS LEKKAS

Dipl.El.-Ing. ETH

geboren am 9. November 1943

von Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. R. Zwicky, Referent

Prof. Dr. M. Mansour, Korreferent

ZUSAMMENFASSUNG

=====

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Problemkreis der Oberschwingungen, die im 16 2/3 Hz-Bahnnetz durch Triebfahrzeuge mit netzgeführten Stromrichtern verursacht werden. Die Untersuchungen bilden im wesentlichen zwei Schwerpunkte:

- Entstehung und Ausbreitung der Oberschwingungen
- Berechnung von optimalen Dämpfungsgliedern (ortsfest) zur Unterdrückung der Oberschwingungen

Zunächst wird durch Simulation auf dem Digitalrechner die Entstehung und Ausbreitung der Harmonischen behandelt. Dazu wird das elektrische Netzwerk, bestehend aus der Stromrichterschaltung, der Fahrleitung und der 66 kV-Speiseleitung, durch Differentialgleichungen beschrieben.

Alle Untersuchungen beziehen sich auf Fahrzeuge des Typs RABDe 8/16 der SBB. Diese sind mit einer vierstufigen, halb-gesteuerten Brückenschaltung ausgestattet.

Die Stromrichterschaltung wird mit der Methode der variablen Netzwerktopologie behandelt. Zu jeder Netzwerktopologie gehört ein Satz von Differentialgleichungen. Einen zentralen Punkt bei der Netzwerkanalyse bildet die Untersuchung der Kommutierungsvorgänge, insbesondere für den Fall stark verzerrter Netzspannung.

Die simultane Integration der Differentialgleichungen liefert den zeitlichen Verlauf der Ströme und Spannungen entlang der Fahrleitung.

Das erstellte Simulationsprogramm stellt ein flexibles Instrument dar, mit dem u.a. die Erzeugung und Ausbreitung der Oberschwingungen, sowie der Einfluss von Dämpfungsgliedern, untersucht werden kann.

Im weiteren wird versucht, durch den Einsatz von ortsfesten Dämpfungsgliedern die Uebertragungseigenschaften der Fahrleitung zu verbessern. Dabei kommt den Resonanzüberhöhungen besondere Bedeutung zu, denn sie führen im Unterwerk zu wesentlich grösseren Störströmen, als sie von der Lokomotive erzeugt werden.

Zur Optimierung der Dämpfungsglieder wird in der vorliegenden Arbeit eine Zielfunktion vorgeschlagen. Sie entsteht aus der Formulierung der Forderungen an die Dämpfungsglieder. Zur Berechnung der Zielfunktion wird ein Programmpaket entwickelt.

Die Computerprogramme erlauben sowohl für die einseitig als auch für die zweiseitig gespeiste Fahrleitung, Dämpfungsglieder zu optimieren.

Die Optimierungsergebnisse sind vielversprechend. Mit einem Aufwand von $P' \leq 0.3 \text{ kW/km}$ und $Q' \leq 6 \text{ kvar/km}$ wird der psophometrisch bewertete Störstrom auf etwa 33% reduziert. Gleichzeitig wird die Resonanzüberhöhung in der Stromübertragung der Fahrleitung eliminiert.

Schliesslich werden die Untersuchungen mit Messungen an einem Labormodell abgerundet.

Dieses Labormodell zur Nachbildung des Netzes und der Lokomotive (auf kleinem Leistungsniveau) erlaubt auf einfache Weise die Durchführung verschiedener Experimente. Damit werden einerseits die Optimierungsergebnisse verifiziert, andererseits neue Problemstellungen wie Unterbruch in der Fahrleitung, Betrieb mit mehreren Zügen u.s.w., untersucht.

Mit den entwickelten Programmen und dem Labormodell wurden optimale Dämpfungsglieder dimensioniert und deren Einfluss im Betrieb untersucht.

SUMMARY

=====

The object of this thesis is the analysis of the harmonics, caused by thyristor controlled locomotives in the 16 2/3 Hz railway supply networks.

The work consists of two main parts:

- Cause of appearance and propagation of those harmonics
- Calculation of optimal damping circuits installed along the line for the suppression of the harmonics.

Firstly appearance and propagation of the harmonics are analysed by means of simulation on a digital computer. This was achieved by modelling the electrical supply network, which consists of a thyristor circuit, a 66 kV power supply line and a contact line, through differential equations.

The investigation is restricted to locomotives of the type RABDe 8/16 of the SBB. This type of locomotive is equipped with a four stage thyristor bridge.

The thyristor circuit is analysed by means of variable network topology. Each topology is associated with a set of state equations. An important point is the examination of commutation processes, especially for the case of highly distorted line voltage.

The integration of the differential equations produces the voltages and the currents as functions of time at every point of the contact line.

The simulation program used constitutes a flexible instrument allowing the investigation of creation and propagation of the harmonics, as well as influence of the dampers.

In a second part, the transfer characteristics of the contact line are improved by means of dampers. The resonance characteristics are of major importance in this analysis, since they lead to disturbance currents at the substation which are much larger than those caused by the locomotive.

For the optimization of the dampers, a performance index has been proposed which was derived from the conditions the dampers must satisfy. The optimization is done by means of a program package, developed for this purpose. The results are optimal dampers for single or double end fed contact lines.

The dampers obtained are very promising. With $P' \leq 0.3$ kW/km and $Q' \leq 6$ kvar/km, the perturbation current is reduced to 33% of its original value. Moreover, the previously encountered resonance effects are entirely eliminated.

Finally, a laboratory model was constructed which allows the realization of different experiments in a simple manner. By means of this hardware model, the results of the optimization study have been verified. Furthermore, it allowed to examine experimentally additional problems, i.e. several locomotives on one contact line, breakage of the contact line, etc.