

Diss. ETH Nr. 7030

UNTERSUCHUNG DER NICHTCHARAKTERISTISCHEN OBERSCHWINGUNGEN
IN DEN NETZSTROEMEN EINER BIFREQUENTEN KURZKUPPLUNG BEI
NICHTIDEALER GLAETTUNG DES ZWISCHENKREISSTROMES

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

UELI BETSCHAT

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 7. Januar 1950
von Nürens Dorf (Kt. Zürich)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. R. Zwicky, Referent
Prof. Dr. M. Mansour, Korreferent

1982

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit der Analyse der Oberschwingungen, die in einer Netzkupplung auftreten, wenn die induktive Glättung im Zwischenkreis als nicht ideal angenommen wird. Die netzgeführten Stromrichter beeinflussen über den Gleichstromzwischenkreis gegenseitig die Spektren der Phasenströme. Es treten dadurch zusätzliche nichtcharakteristische Spektrallinien auf, deren Grösse von folgenden Faktoren beeinflusst werden:

- Phasenlage der beiden Netze
- Zwischenkreisstrom
- Glättung des Zwischenkreisstromes
- Zündwinkel bei Gleich- und Wechselrichterbetrieb

Um möglichst umfassende Aussagen über diese Zusammenhänge zu erhalten, werden die Untersuchungen auf die nachfolgend beschriebenen drei Arten durchgeführt:

a) Simulation

Mit einer Simulation, welche nach dem Prinzip der variablen Netzwerktopologie arbeitet, und bei der sämtliche bei Normalbetrieb auftretenden Netzzustände mitberücksichtigt werden, können die verschiedenen Abhängigkeiten der nichtcharakteristischen Spektrallinien erfasst werden.

b) Messungen

Durch Messungen an einem Labormodell einer sechspulsigen Netzkupplung können die Resultate der Simulation überprüft werden. Der Einbau einer Phasenregelung erlaubt es, an der Anlage Messungen bei genau bestimmten, variierbaren Phasenlagen der beiden Netze vorzunehmen.

c) Mathematische Herleitung

Da die Simulation sowie auch die Messungen wohl Resultate

liefern, jedoch nichts über die Entstehung der erwähnten Abhängigkeiten der nichtcharakteristischen Spektrallinien auszusagen vermögen, wird eine mathematische Herleitung dieser Zusammenhänge vorgenommen. Bei dieser Analyse wird die Glättungswirkung der Kommutierungsinduktivität mitberücksichtigt, der Kommutierungsvorgang selbst jedoch vernachlässigt.

Die Resultate zeigen, dass ohne Glättungsdrossel im Zwischenkreis zahlreiche nichtcharakteristische Spektrallinien in den beiden Phasenströmen auftreten. Besonders störend wirken sich bei sechspulsigen Anlagen ein unsymmetrisches Gleichstromglied auf der 60 Hz-Seite und eine 10 Hz-Subharmonische auf der 50 Hz-Seite aus. Auch bei zwölfpulsigen Anlagen treten störende Spektrallinien auf, wie zum Beispiel eine 70 Hz-Komponente auf der 50 Hz-Seite und alle ungeraden Harmonischen auf der 60 Hz-Seite. Da ein Betrieb ohne Unterdrückung der nichtcharakteristischen Spektrallinien als nicht sinnvoll erscheint, werden neben der Methode der Glättung mit einer Induktivität im Zwischenkreis zwei weitere Möglichkeiten zur Reduktion der störenden Oberschwingungen untersucht.

Es werden verschiedene Zwischenkreisfilter auf ihre Verwendbarkeit überprüft. Die Filter liefern gute Resultate, lassen jedoch kaum finanzielle Einsparungen erhoffen.

Mit regelungstechnischen Massnahmen und im Speziellen mit Zündwinkelverschiebungen lassen sich gezielt besonders störende Oberschwingungen, wie zum Beispiel das Gleichstromglied und die 10 Hz-Subharmonische, unterdrücken. Da diese Zündwinkelverschiebungen wiederum zusätzliche Oberschwingungen verursachen und zudem nur einen Betrieb mit stark vergrössertem Blindleistungsbedarf zulassen, kann auch diese Lösungsmöglichkeit nicht als Ersatz für eine Glättungsdrossel verwendet werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Verzicht auf eine gute induktive Zwischenkreisglättung zwar durchaus möglich ist; die notwendigen Massnahmen zur Unterdrückung der auftretenden, zahlreichen neuen Spektrallinien sind jedoch nicht unproblematisch und ergeben kaum einen vorteilhaften Einfluss auf den Gesamtaufwand.

SUMMARY

The subject of this thesis is the analysis of harmonics which occur in direct current links taking into account a non-infinite smoothing reactor on the direct current side. The converters of a 50 Hz/60 Hz direct current link cause harmonics on the dc side. These harmonics give rise to additional harmonics in the currents on the ac side. They are called non-characteristic harmonics and they depend on:

- relative phase between the two networks
- level of the direct current
- smoothing of the direct current
- firing angle of rectifier and inverter

To get the best informations about these relations, the research has been performed using the three following methods:

a) Simulation

A simulation program, based on the principle of the variable network topology, and which includes all network conditions in normal operation, evaluates numerically the different dependencies of the noncharacteristic spectral lines.

b) Experimental research

A laboratory size six-pulse direct current link is used for experimental works. A special phase controller enables the performance of measurements in defined, variable relative phase position of the two ac systems.

c) Mathematical analysis

To find out the laws which govern the behaviour of the non-characteristic harmonics, a mathematical analysis was performed in complement to the numerical simulation. In this analysis the commutation is not considered.

The results show that, without a smoothing reactor in the dc link, numerous noncharacteristic spectral lines will occur in the ac currents. Typically a nonsymmetrical dc component on the 60 Hz side and a 10 Hz subharmonic on the 50 Hz side will appear as specially disturbing spectral lines in the six-pulse plant. In a twelve-pulse plant, a 70 Hz component on the 50 Hz side and all odd harmonics on the 60 Hz side will occur.

Besides the classical method of smoothing with a reactor, methods with filters for the reduction of the harmonics are investigated. Several types of filters have been tested with good results, but probably no economical benefits can be expected.

With non-symmetrical phase angle control it is possible to suppress defined harmonics, for example the dc component on the 60 Hz side and the 10 Hz subharmonic on the 50 Hz side. As this method produces additional harmonics and leads to an operation with increased reactive power requirements, its application is problematic.

The different methods investigated show possible ways to suppress the noncharacteristic harmonics but they probably wont lead to cheaper overall systems.