



Thomas FRANZ

Diplomand	Thomas FRANZ
Examinator	Prof. Dr. Jasmin Smajic
Experte	Dr. Bogdan Cranganu Cretu, ABB Schweiz AG, Dättwil AG, AG
Themengebiet	Energy and Environment
Projektpartner	Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau, EKT AG, Arbon TG

# Mitschwingender Einschaltstrom bei Leistungstransformatoren

## Elektromagnetische Transienten in Energiesystemen

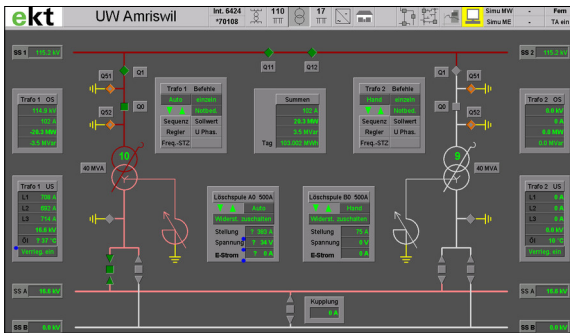


Abbildung 1: Übersicht von dem Unterwerk in Amriswil

**Einleitung:** Das Phänomen der Einschaltströme bei Leistungstransformatoren ist weit bekannt und kann schon seit Jahrzehnten mit guter Genauigkeit berechnet werden. Ein Transformator der eingeschaltet wird, erzeugt jedoch nicht nur in sich selbst hohe Einschaltströme, sondern kann parallel geschaltete Transformatoren ebenfalls in Sättigung bringen. In dem Transformator, welcher sich vorher bereits in Betrieb befand, werden damit ebenfalls Stromspitzen erzeugt. Das gekoppelte System erfährt dadurch den Effekt der sogenannten mitschwingenden Einschaltströme (engl. Sympathetic Inrush Current). In den Unterwerken der EKT befinden sich jeweils zwei parallel geschaltete Transformatoren. Beim Einschalten des einen Transformators werden bei dem zweiten, bereits belasteten Transformator, Spannungseinbrüche aufgezeichnet. Diese Spannungseinbrüche können ein Ausmass erreichen, dass sogar die Erdschlusserkennung eine Alarmmeldung auslöst. Auch Endkunden wie zum Beispiel das Stadtwerk Amriswil bemerken diese Spannungsschwankungen und das führt zu Rückfragen. Die Vermutung liegt nahe, dass die mitschwingenden Einschaltströme die Hauptursache für dieses Problem sind.

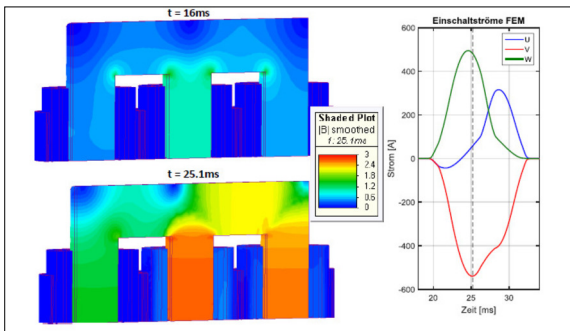


Abbildung 2: Ergebnisse der FEM-Simulation mit magnetischer Flussdichte und den zugehörigen Stromverläufen

**Vorgehen:** Für die Analyse der mitschwingenden Einschaltströme wird ein detailliertes Simulationsmodell von dem Unterwerk Amriswil in EMTP-ATP implementiert. Die wichtigste Komponente in diesem Modell sind die beiden Unterwerkstransformatoren. Darum wird zuerst die Modellierung dieser Transformatoren vertieft betrachtet. Für die Evaluierung der wichtigsten Trafoparameter werden unter anderem FEM-Simulationen mit einer kommerziellen Software für magnetische Feldberechnungen (MagNet) durchgeführt. Die transienten Einschaltstromströme werden ebenfalls mit dem FEM-Programm berechnet, um die Entstehung der Stromspitzen aufgrund Kernsättigung zu zeigen und zu verstehen. Ein stetiger Vergleich mit Messdaten soll die Simulationsmodelle in EMTP-ATP und MagNet verifizieren.

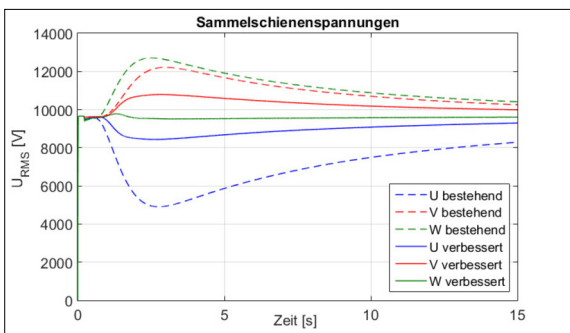


Abbildung 3: Simulationsergebnisse der Sammelschienenspannungen auf der Mittelspannungsseite

**Ergebnis:** Im wesentlichen wird in dieser Arbeit gezeigt, dass die Einstellung der Erdschlusslöschspule den stärksten Einfluss auf die sekundärseitigen Spannungsschwankungen des Transformators hat. Wenn die Erdschlusslöschspule nahe am Resonanzpunkt betrieben wird, ruft das die Spannungseinbrüche hervor, wie sie in der Aufgabenstellung beschrieben sind. Wie vermutet, ist der Grund für dieses Phänomen der mitschwingende Einschaltstrom. Des Weiteren konnte mit Simulationen gezeigt werden, dass mit Hilfe des Stufenschalters am Transformator die Einschaltströme gedämpft werden können, um damit die Spannungsschwankungen auf der Mittelspannungsseite zu minimieren. Aufgrund der Ergebnisse ist es zu empfehlen, die Erdschlusslöschspule nicht mit den vorgeschlagenen 2% Überkompensation zu betreiben, sondern eher mit den ursprünglichen 5% Überkompensation. Falls es möglich ist, sollte der einzuschaltende Transformator zuerst in die höchste Schaltstufe gebracht werden, weil damit das mitschwingende System kleinere Einschaltströme erfährt. Wenn man beide Empfehlungen kombiniert, wird der Effekt der Spannungsschwankungen minimiert aber nicht gänzlich eliminiert. Das Simulationsergebnis ist in Abbildung 3 gezeigt.