



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 26. November 2010

Verluste von Frequenzumformern im Motorenbereich

Potenzialabschätzung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Schnyder Ingenieure AG
Bösch 23
CH-6331 Hünenberg
www.schnyderingenieure.ch

Autoren:

Dr. Gilbert Schnyder, Schnyder Ingenieure AG, gilbert.schnyder@sing.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153975 / 103066

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Abstract

Im laufenden Berichtsjahr sind die Projektaktivitäten für die Bestimmung der Auswirkungen von Netzrückwirkungen von Frequenzumrichter auf die Verteilnetze im Bereich der Messungen fortgeführt worden. Aufgrund einer ersten Besprechungssitzung mit Prof. Kolar vom Institut für Leistungselektronik der ETH Zürich hat sich herauskristallisiert, dass als wesentliche Grundlage für die Projektarbeiten zur Bestimmung von Verlusten im Verteilnetz, bedingt durch die Rückwirkungen von Frequenzumformern, konkrete Messungen erforderlich sind.

In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule HESSO in Sitten und der Lonza AG in Visp konnten in einem Industriebetrieb Messungen von Netzrückwirkungen von Frequenzumformern in Industrienetzen durchgeführt werden. Erste Abschätzungen von Verlusten sind durchgeführt worden, wobei die erzielten Ergebnisse im Detail nicht verifiziert werden konnten.

Daher ist in Abstimmung mit dem Bundesamt für Energie festgelegt worden, dass in einer weiteren Phase der Zusammenarbeit mit der HESSO und der Lonza AG die Übertragungsverluste im Industriennetz zu verifizieren sind. Dieser nächste Arbeitsschritt ist aufgrund der verfügbaren Ressourcen bei der HESSO für das Jahr 2011 vorgesehen.

Aus den Ergebnissen ist anschliessend mittels einer Potenzialanalyse ein mögliches Einsparpotenzial Schweiz-weit zu bestimmen.

Kurzbeschrieb

Zur Erhöhung der Effizienz bzw. für die Reduktion von Betriebskosten von Antriebssystemen mit elektrischen Motoren werden Frequenzumrichter eingesetzt. Die heute eingesetzten Frequenzumrichter (FU) bestehen aus leistungselektronischen Anschnitt-Steuerungen, die Quellen von Oberschwingungen darstellen. Sofern die Oberschwingungen nicht mit Zusatzeinrichtungen im FU gefiltert werden, bewirken diese im speisenden elektrischen Verteilnetz Verluste. Diese Verluste schmälern die durch den FU angestrebten Effizienzsteigerungen. Nicht alle eingesetzten FU weisen Aktivfilter aus, die zur praktisch gänzlichen Reduktion der Oberschwingungen führen.

Ein vermehrter Einsatz von Frequenzumformern führt daher im schweizerischen Stromverteilnetz zu einem erhöhten Blindleistungsfluss und damit zu zusätzlichen Verlusten auf den Verteilnetzen.

Die übergeordnete Zielsetzung des Projektes ist die Quantifizierung des Potentials der Blindleistungsreduktion, das durch konsequente Anwendung effizienter Massnahmen gegen Netzrückwirkungen bei Frequenzumformern erzielt werden kann.

Als Resultat der Arbeiten werden Empfehlungen für die Beschaffung von FU für Antriebssysteme verschiedener Leistungsklassen erarbeitet. Dabei ist aufzuzeigen:

- welche Kosten für den Investor durch den Einsatz von Oberschwingungs-optimierten FU entstehen
- wie über Vorschriften und/oder Förderbeiträge der Einsatz von optimalen FU gesteigert werden kann

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Für die Bestimmung von Grundlagendaten für die Potenzialabschätzung sind Messungen an der Netzseite von Frequenzumformern verschiedener Leistungsklassen in der Laborumgebung der HESSO und im Industriennetz der Lonza AG durchgeführt worden. Dabei sind verschiedene Messorte mit unterschiedlichen Konstellationen von Frequenzumrichtern/Antriebssystemen berücksichtigt worden.

Beispielsweise sind Messungen an den Zuleitungen der Felder mit der Summation der Störungen von mehreren Einzelgeräten ausgeführt worden. Bei den Eingangsgleichrichtern von USV-Anlagen sowie auf der Hochspannungsseite des Trafos, wo nur ein Frequenzumformer angeschlossen ist, wurden ebenfalls Messungen durchgeführt.

Mit Hilfe der Messdaten sind erste Rückschlüsse auf die Netzimpedanz gezogen worden, damit in einer Grobanalyse die durch harmonische Oberschwingungsströme verursachten Verlustleistungen, bezogen auf das Werk Visp der Lonza AG, abgeschätzt werden konnten.

Anhand der Messungen war ersichtlich, dass die durch Frequenzumformer verursachten Netzrückwirkungen kein lokales Problem darstellen. Die Störspannungen gehen über die Sammelschienen und beeinflussen parallel angeschlossene Geräte, welche am gleichen Trafo angeschlossen sind. Ebenfalls können sich die Störungen bei gleichen Frequenzen von verschiedenen Geräten addieren.

Aufgrund der Form des zeitlichen Verlaufes des Netzstroms konnten Rückschlüsse auf die Art der eingesetzten Filter gezogen werden. Dabei sind mehrheitlich DC-Drosseln sowie Netzfilter im Einsatz. Die DC-Drosseln wirken bei höheren Frequenzen und filtern die 5. und 7. harmonischen Oberschwingungen schlecht. Netzdrosseln sind für den Betrieb bei Nennlast ausgelegt. Läuft die Anlage nur unter Teillast, können die Messergebnisse der Messgeräte verfälscht werden. Dies war bei einigen Messungen der Fall. Frequenzumformer mit aktiven Netzfiltern oder aktivem Gleichrichter sind in der Lonza AG keine im Einsatz. Anlagen mit aktiven Filtern, so genannte Low Harmonic-Systeme, sind 50 bis 80% teurer als herkömmliche Frequenzumformer. Die Gleichrichter der USV-Anlagen waren mit einer PFC-Stufe ausgerüstet. Diese funktioniert unter Teillast ebenfalls nicht optimal.

Im Spektrum des Netzstromes sind die Harmonischen der Ordnungen 5 bis 11 relativ hoch. Diese Störungen werden meist nicht genügend gefiltert. Die gemessenen Werte könnten Probleme bereiten, wenn z.B. eine Rundsteuerung auf einer Frequenz zwischen 400Hz und 750Hz arbeitet.

Da das Netz der Lonza AG relativ stabil ist, also eine tiefe Impedanz besitzt, bewirken die Stromstörungen praktisch keine Spannungsabfälle. Die Spannung ist bei jeder Messung innerhalb des durch die Norm EN 50160 vorgegebenen Grenzwerts.

Bei allen Frequenzumformern der Lonza AG ist das Motorkabel abgeschirmt, wobei der Schirm auf dem Motor und beim Frequenzumformer geerdet ist. Zusätzlich dazu ist bei einigen Geräten ein Ausgangsfilter angeschlossen. Die Ableitströme werden damit stark minimiert. Die Motorkabel sind im Durchschnitt zwischen 50 und 70m lang. Der angeschlossene Asynchronmotor in Teillast verursacht eine relativ hohe Blindleistung, welche über der Motorleitung weitere Verluste erzeugt.

Mit der Division des gemessenen Spannungssignals durch das Stromsignal der jeweiligen Frequenzen konnte ein grobes Modell der Netzimpedanz aufgestellt und mit dem berechneten Modul ein Trend bis 50kHz ermittelt werden. Dies ist jedoch nur möglich, falls definierte Spannungs- und Stromsignale vorhanden sind. Bei Frequenzen, wo dies nicht der Fall ist, ergibt die berechnete Impedanz ein Rauschen. Dabei folgte der Trend meist annäherungsweise dem Rauschen des berechneten Signals. Interessant dabei ist, dass anhand von Störungen auf dem Netz Rückschlüsse bezüglich der Netzimpedanz möglich sind. Diese Erkenntnis könnte für die Netzüberwachung weiter verfolgt werden, da immer irgendwelche Störungen auf dem Stromnetz vorhanden sind.

Die Messergebnisse der einzelnen Frequenzumformer wurden mit den Grenzwerten bezüglich der Norm EN 61000-3-2 für Geräte bis 16A und EN 61000-3-4 für Geräte ab 16A verglichen. Dabei war nur ein Gerät innerhalb der zulässigen Grenze gemäss der Norm EN 61000-3-2. Alle anderen Frequenzumformer erfüllen diese Normen nicht. So musste eine Analyse des Systems gemäss der Norm EN 61800-3 durchgeführt werden. Es wird von einem gemeinsamen Kopplungspunkt auf der Niederspannungsseite des Trafos aus gemessen. Aufgrund der vorhandenen Messwandler mussten die Messungen auf der Primärseite durchgeführt werden. Dabei arbeiten die Mehrheit der Systeme innerhalb der zulässigen Grenzwerte der Norm EN 61800-3.

In neueren Produktionsbetrieben der Lonza AG ist eine verhältnismässig grosse Anzahl von Frequenzumformern installiert. Diese bewirken, dass die 5. und 7. Harmonische des Netzstromes ausserhalb der zulässigen Grenze gemäss der Norm EN 61800-3 liegen. Insbesondere ist festgestellt worden, dass ein einzelner Frequenzumformer ABB ACS800, welcher an einem separaten Trafo angeschlossen ist, die Vorschriften der Norm EN 61800-3 ebenfalls nicht erfüllt. Hier wird jedoch von Seiten Lonza AG mit einer geplanten Neuinstallation die

Pulszahl von 6 auf 12 erhöht, was das System bezüglich der Netzrückwirkungen erheblich verbessern wird.

Die harmonischen Stromoberschwingungen der niederen Ordnungen bewirken Verluste auf der Versorgungsleitung. Anhand eines vereinfachten Netzmodells wurden die Verluste, welche durch die 5. und 7. Stromharmonische verursacht werden, auf das gesamte Werk Visp der Lonza AG hochgerechnet.

Für die 65kV-Ebene ergibt dies Verluste im Promillebereich, bezogen auf die total aufgenommene Leistung. Auf der 400V-Ebene steigen diese Werte in Bereiche zwischen 10 und 20% für Einzelgeräte. Die Verluste sind abhängig von der Betriebsdauer und der Belastung der einzelnen Frequenzumformer und können massive Kosten bewirken.

Aufgrund des starken Netzes der Lonza AG stören die Netzrückwirkungen von Frequenzumformern andere Geräte nur bedingt. Jedoch werden Verluste verursacht, welche sich auf das gesamte Werk summieren. Um diese Verluste besser abschätzen zu können, müsste die technische Umgebung der Geräte und des Stromnetzes näher untersucht werden. Es muss eine genauere Kostenabschätzung durchgeführt werden um zu entscheiden, ob sich die Neuinstallation von zusätzlichen Filtern lohnt.

Annähernd 40% der Verluste durch Stromoberschwingungen, welche noch auf dem 65kV-Netz ersichtlich sind, werden durch neuere Anlagen verursacht. Da in neuen Betrieben die Anzahl installierter Frequenzumformer relativ hoch ist, werden in Zukunft die Netzrückwirkungen zunehmen. Dadurch werden die Störungen und die durch Oberschwingungsströme verursachten Verluste weiter ansteigen, wenn keine entgegenwirkenden Massnahmen getroffen werden.

Nationale Zusammenarbeit

Die mit der ETH Zürich geplante Zusammenarbeit für die Erarbeitung von Modellen konnte aufgrund fehlender Messdaten und fehlender Ressourcen bisher nicht etabliert werden.

In Zusammenarbeit mit der HESSO in Sitten und der Lonza AG in Visp sind im Rahmen einer Semester-/Diplomarbeit Messungen der Netzrückwirkungen von FU mit Antriebssystemen getätigten worden.

Internationale Zusammenarbeit

Auf internationaler Ebene haben im Berichtsjahr keine Aktivitäten stattgefunden.

Bewertung 2010 und Ausblick 2011

Neben einer ersten im 2010 durchgeföhrten Semester-/Diplomarbeit zur Ermittlung von Daten zu Netzrückwirkungen von Frequenzumrichter gesteuerten Motor-/Antriebssystemen ist eine zweite Semester-/Diplomarbeit zur Ermittlung der Verluste im 2011 vorgesehen bzw. geplant.

Auf Basis der Resultate der Messungen der Netzrückwirkungen verschiedener FU in diversen Einsatzgebieten sind die Verluste im Verteilnetz zu schätzen.

Aufgrund vorhandener Statistiken über den Einsatz bestehender elektrischer Antriebssysteme und deren Ausrüstung mit Frequenzumrichtern in der Schweiz ist in einer ersten Phase das Einsparpotenzial in GWh/Jahr durch vermehrten Einsatz von FU zu ermitteln.

Dabei erfolgt eine Abschätzung der Antriebssysteme im Dauerlauf, die keinen Einsatz eines FU erfordern und dem verbleibenden Potenzial für einen Einsatz der FU. Beim verbleibenden Potenzial von Antriebssystemen ist eine weitere Unterteilung in wirtschaftlicher/nichtwirtschaftlicher Einsatz eines FU vorzunehmen.

In einer weiteren Phase sind je nach erreichten Zwischenergebnissen Empfehlungen für die Beschaffung von FU für Antriebssysteme verschiedener, zu definierender Leistungsklassen zu erarbeiten.