Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 18

Artikel: Wenn Trafos leiser werden sollen : aktive Geräuschdämmung von Leistungstransformatoren mit Gegenlärm

Autor: Brungardt, Kurt / Vierengel, Jim / Weissmann, Karen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902107

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Beim Betrieb von Leistungstransformatoren entstehen Geräusche, die insbesondere in der Nähe von Wohngebieten als störend empfunden werden. Zunehmend strengere Lärmschutzverordnungen erfordern daher Massnahmen, um die Emissionen zu reduzieren. Die passive Dämpfung dieses «Brummens» durch Bauten ist oft mit hohen Kosten verbunden und bereitet Schwierigkeiten bei der Umsetzung. Für Abhilfe sorgt jetzt ein neuartiges System der Quiet Power Inc. und ABB Sécheron SA, einer Tochtergesellschaft der ABB Schweiz. Es heisst ATQ 100 und reduziert das Transformatorengeräusch umweltfreundlich und kostengünstig. Neuartige, durch adaptive Algorythmen gesteuerte Aktuatoren dämpfen das störende Geräusch direkt am Trafo selbst. Das erste ATQ-System in Europa wurde in diesem Jahr in Südschweden erfolgreich in Betrieb genommen.

Wenn Trafos leiser werden sollen

Aktive Geräuschdämmung von Leistungstransformatoren mit Gegenlärm

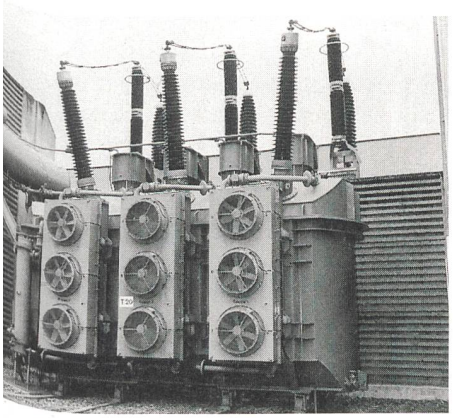


Bild 1 Transformator mit Lärmschutzwand.

Kontaktadresse
ABB Schweiz
Bereich Kommunikation CH-K
5401 Baden

Autoren
Kurt Brungardt, Jim Vierengel
und *Karen Weissmann*, New York/USA
Gottfried Schemel und *Pierre Lorin*
ABB Sécheron SA
Rue des Sablières 4-6
1211 Genève

Das Programm «Active Transformer Quieting» wurde von ABB Sécheron und Quiet Power in Zusammenarbeit mit der EPFL Lausanne entwickelt. Es wurde von folgenden Institutionen unterstützt:
- Kommission für Technologie und Innovation, Bern
- Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft, Zürich
- Chambre romande de l'énergie électrique, Lausanne

■ Kurt Brungardt, Jim Vierengel, Karen Weissmann, Gottfried Schemel und Pierre Lorin

Verschiedene Möglichkeiten

In der Vergangenheit hatten Energieversorgungsunternehmen die Wahl zwischen drei verschiedenen Möglichkeiten, um den Geräuschpegel von Transformatoren im Umkreis eines Unterwerkes zu reduzieren: Sie konnten das Werk in grösserem Abstand zum betroffenen Wohngebiet aufstellen, den meist älteren Transformator durch einen neuen, geräuscharmen ersetzen oder eine Lärmschutzwand bzw. -umbauung des Transformators errichten.

Das weiter entfernte Bauen bzw. die Erweiterung des Grundstücks scheitert in der Regel an den hohen Kosten oder an der Unverkäuflichkeit des Geländes. Den Transformator zu ersetzen, ist aus finanziellen Gründen wenig sinnvoll. Eine Lärmschutzwand zu errichten oder eine Umbauung des Transformators waren daher bis vor kurzem der einzige realisierbare Lärmschutz. Wände und Umschliessungen behindern jedoch den Zugang für Wartungsarbeiten. Hinzu kommt, dass schallisolierende Bauwerke, und die daraus resultierende Beeinträchtigung der Kühlung, die Leistung des Transformators verringern können.

Der entscheidende Nachteil ist jedoch: Das Dämpfen niedriger Frequenzen, wie sie beim Transformatorengeräusch vorherrschen, ist mit Wänden weitgehend ohne Wirkung. Das völlige Einschliessen des Transformators (Bild 1) ist wirksamer, aber auch erheblich teurer. Daher suchte Quiet Power Inc. und ABB Sécheron SA nach anderen Möglichkeiten, um das Problem preisgünstig zu lösen.

Erfolgreiche Installation in Schweden

Der erste Versuch, aktive Gegengeräuschquellen zur Dämpfung von Transformatorenlärm anzuwenden, fand Ende der 80er Jahre statt [1]. Mittels Lautsprecher wurde damals Gegenlärm erzeugt. So konnte der Lärm im Umkreis eines Transformators an verschiedenen Empfangspunkten neutralisiert werden. Mit diesem System wurde der 120-Hz-Ton (das Doppelte der USA-Netzfrequenz) sporadisch ausgelöscht. Allerdings traten innerhalb der untersuchten Region starke Schwankungen auf [2, 3]. Hinzu kam, dass die Geräuschminderung an Transformatoren in Betrieb weitaus geringer war als Berechnungen, Computersimulationen und Laborversuche erwarten liessen. Das unbefriedigende Ergebnis wurde auf die unzureichende Verarbeitung der Signale durch die Auswerteeinrichtung und auf Windeffekte an den Erfassungsmikrofonen zurückgeführt.

1992 schloss sich die Firma Quiet Power mit Noise Cancellation Technologies

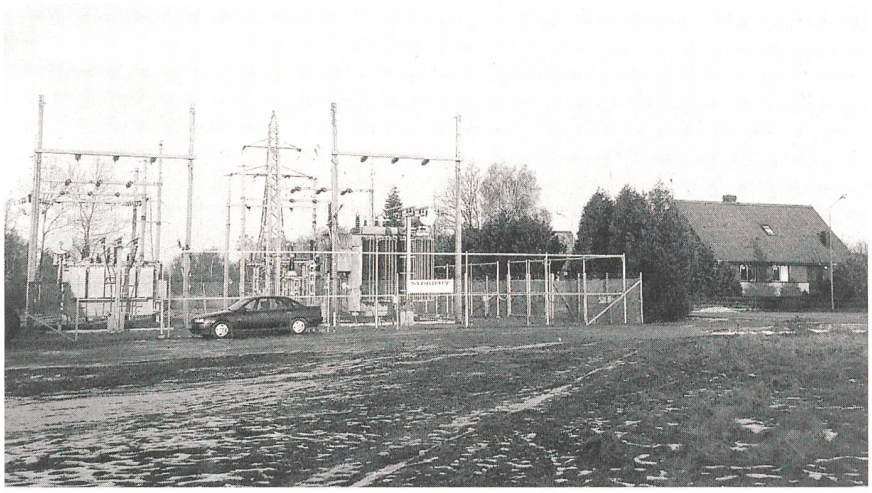


Bild 2 Umspannwerk der Sydkraft in der Nähe von Malmö (Schweden).

Inc., Manitoba Hydro und Baltimore Gas and Electric zusammen, um ein kommerzielles System zur Geräuschreduzierung von Leistungstransformatoren zu entwickeln. Ende 1995 hatte Quiet Power Prototypen von aktiven Transformator-Geräuschdämmungssystemen (Active Transformer Quieting = ATQ) an neun Transformatoren in fünf Unterwerken in Nordamerika erfolgreich in Betrieb. Dies führte zum ersten kommerziellen ATQ-System, das gegenwärtig in Nordamerika und Europa auf dem Markt erhältlich ist.

ABB Sécheron SA als Partner von Quiet Power vertreibt und installiert dieses System in Europa und ist auch für dessen Service verantwortlich. Das erste ATQ-System in Europa wurde an die Sydkraft AB nach Südschweden geliefert und ist seit Februar 1998 in Betrieb. Das schwedische Elektrizitätsunternehmen hat sich für das neue Lärmschutzsystem entschieden, weil bauliche Massnahmen nicht den gewünschten Erfolg gebracht haben. Die Erfahrungen beim Werk in der Nähe von Malmö sind denn auch durchwegs positiv: Messungen haben ergeben, dass die Lärmemission stark reduziert werden konnte (Tabelle I). Dies bestätigen auch die Anwohner, die das Brummen der Transformatoren nicht mehr als Belästigung empfinden.

Ein Feld vieler Lärmquellen

Transformatorenlärm besteht hauptsächlich aus niedrigfrequenten Tönen. Die meisten Lärmprobleme sind auf die Magnetostriktion zurückzuführen, die ein Schwingen des Kerns erzeugen. Zusätzlich sorgen die stromdurchflossenen Wicklungen für radiale und axiale Schwingungen. Diese Schwingungen werden auf den Transformatorkessel übertragen, der den Lärm an die Umgebung abgibt. Bei Transformatoren setzt sich der Lärm aus Tönen mit ausgeprägten Frequenzen zusammen, die einem geradzahligen Vielfachen der Netzfrequenz entsprechen. Zur Reduktion des Geräuschpegels genügt es daher, zwei oder drei Oberwellen des Geräusches unterhalb von 500 Hz zu unterdrücken.

Für Anwohner in der Nähe eines Umspannwerkes (Bild 2) sind ausgeprägte Lärmfrequenzen störender als Breitbandlärm der gleichen Intensität. Darüber hinaus reicht niedrigfrequenter Lärm weiter und durchdringt Lärmschutzwände leichter als hochfrequenter Lärm. Deshalb hören die Anwohner das niedrigfrequente Brummen eines Transformators wahrscheinlich auch dann, wenn sie sich im Inneren ihres Hauses aufhalten und Türen und Fenster geschlossen halten.

Der Transformatorkessel ist eine komplexe Lärmquelle: Versteifungsstreben auf dem Kessel unterteilen die Fläche in viele einzelne Lärmquellen, so dass sowohl die Schwingungen einzelner Felder wie auch Schwingungen des ganzen Kessels zum Geräusch beitragen. Der meiste Lärm wird durch Schwingungen der Kesselwände verursacht. Aber auch Geräusche, die vom Deckel und der Unterseite des Kessels ausgehen, müssen berücksichtigt werden. Das Akustikproblem ist ein komplexes Feld von betriebsbedingten Schwingungen des Kessels, die ein uneinheitliches Geräuschfeld erzeugen. Zur Lösung dieses Problems ist die Verarbeitung zahlreicher Inputs, die Ansteuerung zahlreicher Outputs und genaueste Kenntnisse der Geräuschemission erforderlich. Die Empfindlichkeit des Menschen und die physikalischen Gegebenheiten sind der Anlass für verschiedene Bewertungsverfahren und Grenzwerte. Daher sind die Lärmschutzverordnungen der einzelnen Länder auch unterschiedlich.

ATQ: Überwachung von Mehrfachquellen

Das ATQ-System unterscheidet sich in wesentlichen Punkten von früheren Versuchen zur Bekämpfung des Transformatorenlärms. Ein Schlüsselelement ist die Anpassung der Gegenquelle an die Geräuschquelle. Während frühere Systeme die aktive Gegengeräuschquelle in einiger Entfernung von der Ursprungsquelle anbrachten, sendet das ATQ-System das «Antilärm»-Signal so nah wie möglich an der Geräuschquelle aus, um einen möglichst hohen Grad der Anpassung zu erreichen. Dies ist Teil eines patentierten Verfahrens zur maximalen Unterdrükkung der Geräusche in allen Richtungen mit einem Minimum an Gebern.

Die Schwingungsüberprüfung ist ein weiterer entscheidender Unterschied zu früheren Anlagen. Wenn immer möglich wird die Aufnahme der Strukturschwingung direkt auf dem vibrierenden Transformatorkessel durchgeführt. Ein weiteres Schlüsselmerkmal ist die Verwendung mehrerer Input- und Output-Kanäle, die die umfassende Überwachung ermöglicht. Die Verwendung fortschrittlicher, schneller DSP-Technologie und die Online-Identifizierung von Transferfunktionen sind ebenfalls neue Schlüsselkomponenten des Systems.

Die Systemkomponenten

Das ATQ-Geräuschreduzierungssystem für Transformatoren besteht aus folgenden Hardwarekomponenten (Bild 3):

Geräuschsensoren

Electret-Mikrofone liefern den Input für das ATQ-System. Sie werden im Unterwerk an Orten mit repräsentativem Lärm plaziert. Ihr Standort befindet sich üblicherweise an der Grenze des beschallten Bereichs im Unterwerk. Sie ermöglichen es, das System den Veränderungen von Wetter und Transformatorleistung anzupassen. Die Mikrofone werden elektrisch abgeschirmt, um eine Verzerrung der Signale zu vermeiden.

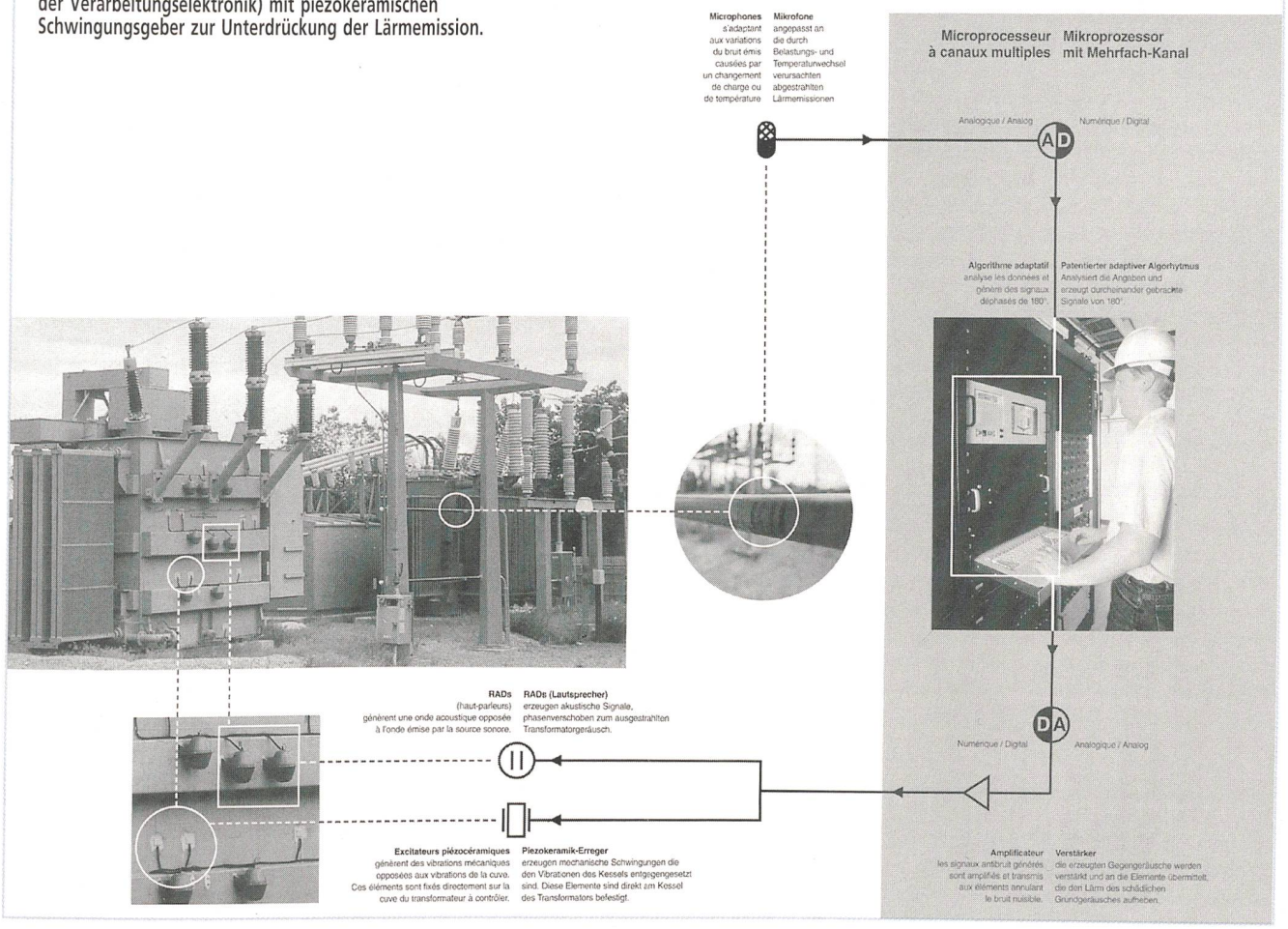
Schwingungssensor

Die Messeinrichtungen liefern digitale Signale. Zur Lärm- und Schwingungsdämpfung werden mit diesen Signalen die nachstehend beschriebenen, speziell entwickelten Schwingungsgeber angesteuert.

Piezokeramische Geber

Wenn immer möglich, werden zur Unterdrückung der Lärmemission Schwingungsgeber (Bild 3) eingesetzt. Bei der

Bild 3 Geräuschreduzierungssystem (Zentraleinheit der Verarbeitungselektronik) mit piezokeramischen Schwingungsgeber zur Unterdrückung der Lärmemission.



Verwendung von piezokeramischem Material unterdrückt das ATQ-System den Lärm, bevor er überhaupt entsteht. Dieses einzigartige Verfahren erfordert ausführliche Schwingungsmessungen. Dabei werden die tatsächlichen Biegeformen und die theoretischen Schwingungsbilder verglichen. Voraussetzung für die volle Funktionsfähigkeit des Systems ist, dass die genauen Standorte der piezokeramischen Geber vorher festgelegt werden, um die Schwingungsbeeinflussung über den gesamten Schwingungsbereich optimieren zu können. Damit ist es möglich, bei geeigneter Ortswahl Beschleunigungen auf der Kesselwand von bis zu 4 m/s² mit einem einzigen Geber aktiv zu unterdrücken. Die Leistung dieser Geber muss der Schalleistung oder der Beschleunigung der einzelnen Geräuschquellen des Transformatorkessels entsprechen.

Akustikgeber (Resonant Acoustic Device)

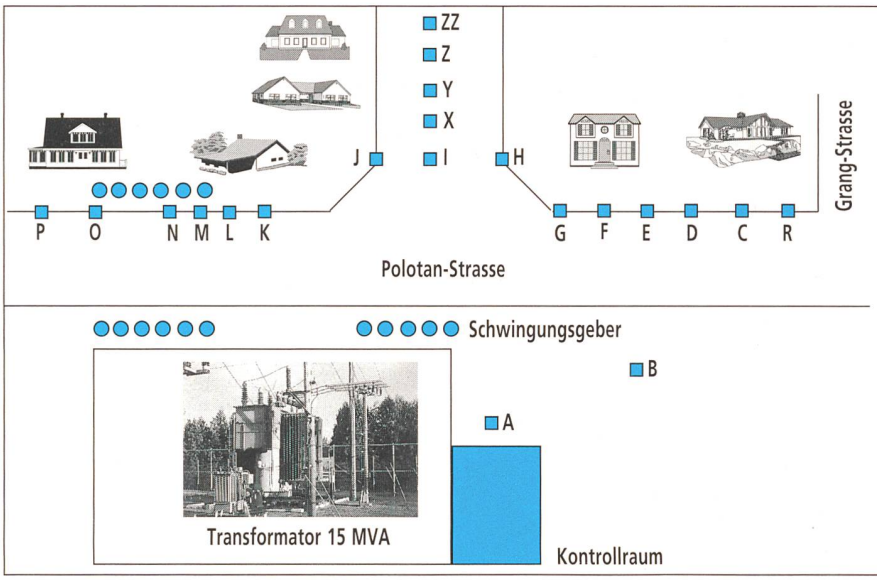
Die akustischen Geber wurden für eine Resonanz im Frequenzbereich zwischen 100 und 400 Hz entwickelt. Die Leistungen dieser Geber müssen bei der doppelten Netzfrequenz 1100 dB erreichen, mit einer harmonischen Gesamtverzerrung unter 3%. Sie werden unmittelbar an der Oberfläche der Transformatorkesselwand angebracht und bieten eine wirksame Neutralisierung von Tönen mit Frequenzen, die dem geradzahligen Vielfachen der Netzfrequenz entsprechen. Die schwingenden Akustikgeber werden dann eingesetzt, wenn für die Unterdrükkung der Geräuschquellen mehr Energie benötigt wird, als durch piezokeramische Geber aufgebracht werden kann.

Verarbeitungselektronik

Das eigentliche Gehirn des Systems besteht aus handelsüblichen Hardwarekomponenten: Sie sind mit der Verarbeitungs-Software durch eine einfache Schleife mit nur einem Ein- und Ausgang verbunden. Die Zentraleinheit kann bis zu 64 Eingangskanäle und 48 Ausgangskanäle verarbeiten. Die verwendeten Algorythmen sind selbstjustierend und passen sich automatisch den Veränderungen des Geräuschpegels und der Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit, die die Geräuschausbreitung beeinflussen, an. Das modulare System kann für eine umfassende oder richtungsbezogene Geräuschbekämpfung an einem oder mehreren Transformatoren verwendet werden.

Rund um die Uhr in Betrieb

Das ATQ-System eignet sich am besten für Standorte, wo die vom Transformator ausgehenden niedrigfrequenten Oberwellen vorherrschen. Existieren Oberwellen über 500 Hz oder eine zusätzliche Lärmquelle innerhalb oder ausserhalb des Standorts, kann dies die Lärmreduktion beeinträchtigen. Die Hardware und die Verarbeitungsalgorythmen sind standardisiert. Die Auslegung des Systems einschliesslich der vorher festgelegten Geräuschreduzierung sowie die Plazierung der Geber und Mikrofone sind standortabhängig. Um das System an den Standort anzupassen, sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich. So werden im Rahmen einer eintägigen Standortanalyse die Anforderungen des Kunden und die Art des Lärms exakt erfasst. Zudem muss vor Ort geprüft werden, ob das Problem mittels aktiver Lärmbekämpfung gelöst werden kann.



Points (on/off)	100 Hz (dBA)	200 Hz (dBA)	Overall (dBA)
P (off)	33	31	44
P (on)	28	24	39
M (off)	31	47	49
M (on)	24	41	44
I (off)	43	52	53
I (on)	31	35	44
E (off)	39	49	50
E (on)	24	34	41
R (off)	32	29	42
R (on)	20	33	41
X (off)	42	51	52
X (on)	34	33	42
Z (off)	34	45	46
Z (on)	24	36	41

Tabelle I Messwerte an verschiedenen Standorten; Lageplan.

Der nächste Schritt ist die Untersuchung des Transformatorkessels als Geräuschquelle. Diese erfolgt durch Beschleunigungsmessungen und Aufzeichnen der Eigenschwingungsform der Kesselwand. Die Messungen am Standort nehmen im Normalfall weniger als eine Woche in Anspruch. Durch die Beschleunigungsmessungen werden die Schalleistung und die Geräuschintensität an verschiedenen Abschnitten des Transformatorkessels ermittelt.

Anschliessend erfolgt die technische Auslegung des Systems. Dabei werden die Gehäuseabschnitte als Lärmquellen eingeteilt. Es wird ein System-Layout entwickelt, in dem die Geber so plaziert werden, dass eine optimale Anpassung an die Geräuschquellen erreicht wird. Das installierte System ist rund um die Uhr in Betrieb. Mittels Online-Regulierung werden die Transferfunktionen zwischen den Gebern und Sensoren ständig aktualisiert. Die Wartung ist minimal. Die Überwachung, Wartung und Diagnose des Systems übernimmt ABB Sécheron SA in Genf.

Überzeugende Ergebnisse

Die Wirksamkeit des ATQ-Systems wurde in den USA für vier Oberwellen (bis 480 Hz) des Transformatorengeräusches getestet. Die Wirkung war dabei weitaus höher als beim Einsatz von Schallschutzwänden. Die kostengünstigsten Dämmeffekte erreichte das System bei Geräuschen der doppelten Netzfrequenz. Je höher die Frequenz, desto grösser die Kosten, um zum gleichen Ergebnis zu gelangen. Im allgemeinen reduziert das System den Ton mit der doppelten Netzfrequenz um etwa 15 dB, wobei aber auch Reduktionen von bis zu 20 dB ermittelt wurden. Bei der vierfachen Netzfrequenz reduzieren sich die Geräusche um 10 bis 12 dB. Bei der sechs- und achtfachen Netzfrequenz liegen die Ergebnisse bei 6 bis 8 dB.

Die gesamte Geräuschverringerung hängt von der Intensität der Oberwellen und vom Hintergrundlärm innerhalb eines bestimmten Lärmspektrums ab. Gesamtreduktionen von 12 bis 15 dB können erreicht werden, wenn ein guter Signal-Lärm-Koeffizient vorhanden ist und niedrigfrequente Oberwellen überwiegen. Generell können Lärmdämmungen zwischen 6 und 20 dB erreicht werden. Durch seinen modularen und flexiblen Aufbau kann es für einen oder mehrere Transformatoren innerhalb des gleichen Umspannwerks eingesetzt werden.

Das System für die Unterdrückung von Transformatorenlärm durch aktive Gegenlärmquellen wurde bisher an 14 Transformatoren in 6 Umspannwerken in Nordamerika eingesetzt. Im Februar 1998 wurde in Südschweden das erste ATQ-System in Europa erfolgreich in Betrieb genommen. Bei einer Oberwelle von 100 Hz wurde eine Lärmreduktion von bis zu 23 dB gemessen (Tabelle I). Mit einer Lärmschutzmauer würde lediglich eine Reduktion von 9 dB erreicht. Die Kosten der schwedischen Pilotanlage beliefen sich auf 130 kFr. Bei einer nächsten ähnlichen Anlage kämen die Kosten auf rund 80 kFr. zu stehen. Weitere Installationen sind geplant oder bereits im Bau. Die Kosten des aktiven Lärmschutzsystems ATQ 100 von Quiet Power/ABB Sécheron SA sind weit unter den Kosten für passive Lärmschutzmassnahmen zu veranschlagen.

Literatur

[1] *Wright, S.E:* Aktive Lärmneutralisierung von Transformatoren. EPRI-Forschungsprojekt 27441, Achter technischer Fortschrittsbericht, Angevine Acoustical Consultants, Inc., September 1989.

[2] Aktive Lärmneutralisierung von Transformatoren. EPRI-Forschungsprojekt 2744-1, Protokoll der Überarbeitungssitzung, Palo Alto, CA, 25. September 1989.

[3] Aktive Lärmneutralisierung von Transformatoren. EPRI-Forschungsprojekt 2744-1, Protokoll der Überarbeitungssitzung, Buffalo, NY., 28. Nov. 1989.

Diminution active du bruit des transformateurs par un contre bruit

Le fonctionnement de transformateurs de puissance est bruyant, ce qui est considéré comme gênant, en particulier aux abords de zones résidentielles. Des réglementations sur la protection contre le bruit de plus en plus sévères exigent des mesures visant à réduire les émissions de bruit. La diminution passive du bourdonnement des transformateurs de puissance par des constructions appropriées est souvent liée à des coûts élevés et des difficultés de réalisation. Les firmes Quiet Power Inc. et ABB Sécheron SA, filiale d'ABB Suisse, proposent ici un système moderne. Intitulé ATQ 100, ce système réduit le bruit des transformateurs à un niveau respectant l'environnement et à des coûts avantageux. Des excitateurs commandés par des algorithmes adaptatifs abaissent le bruit directement sur le transformateur. Le premier système ATQ européen a été appliqué avec succès cette année en Suède.