

# Ein Verfahren zur Datenübertragung über das Energieverteilnetz

Autor(en): **Bär, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **80 (1989)**

Heft 13

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903693>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Ein Verfahren zur Datenübertragung über das Energieverteilnetz

Hp. Bär

**Die Netzspannung mit ihren Oberwellen, transiente Störer sowie die Dämpfung der Signale beeinträchtigen die Datenübertragung über das elektrische Verteilnetz. Das vorgestellte Verfahren trägt diesen nicht-idealen Kanaleigenschaften Rechnung, indem die Signalleistung zwischen zwei Harmonischen konzentriert und Sendefrequenzen tiefer als 5 kHz verwendet werden. Zum Einsatz kommen digitale Verfahren zur Signalerzeugung im Sender und zur Signalverarbeitung im Empfänger.**

**La tension du réseau et ses harmoniques, des perturbations transitoires ainsi que l'amortissement important des signaux gênent la transmission d'informations par ces réseaux. Le procédé décrit s'adapte aux propriétés du canal en concentrant la puissance du signal entre les harmoniques et en utilisant des fréquences inférieures à 5 kHz. Pour produire le signal et pour sa détection des procédés digitaux sont utilisés.**

Das elektrische Verteilnetz wird schon seit Jahrzehnten für die Signalübertragung verwendet. Als Paradebeispiel dafür sei an dieser Stelle die Rundsteuerung erwähnt, welche in unseren Breitengraden aus der Energieverteilung nicht mehr wegzudenken ist. Mit der Rundsteuerung werden bekanntlich von einer zentralen Kommandoanlage aus gezielt eine Vielzahl von Lasten im Niederspannungsnetz ein- und ausgeschaltet sowie an Zählern Tarifumschaltungen vorgenommen. Beinahe so alt wie diese Rundsteueranwendungen ist der Wunsch nach einer Zweiwegverbindung. Gewünscht wird also nicht nur eine Verbindung von einem zentralen Punkt zur Peripherie des Verteilnetzes, sondern zusätzlich auch in Gegenrichtung, d.h. z.B. vom Energiebezüger zurück zum Elektrizitätsverteilunternehmen. Typische Anwendungen von solchen Zweiwegsystemen umfassen die Netzführung in der Mittel- und Niederspannungsebene sowie die Zählerfernablesung.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Problematik des Rückmeldepfades. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das als Zusatz zu einer bestehenden Rundsteueranlage die sichere Datenübertragung im Niederspannungsnetz, also vom Abonnement bis zum Verteiltransformator, ermöglicht.

## Systemkonzept

Ein System zur Datenübertragung über das elektrische Verteilnetz muss harte Anforderungen erfüllen und ist auch vielen Nebenbedingungen unterworfen. Die wichtigste Anforderung ist natürlich die Gewährleistung einer sicheren Verbindung zwischen Sender und Empfänger, wobei zu beachten ist, dass die Kostenproblematik dem möglichen Realisierungsaufwand, vor allem bei den Sendern, Grenzen setzt, sollen doch in Zukunft diese in grosser

Stückzahl im Netz eingesetzt werden. Gleichzeitig ist aber hinlänglich bekannt, dass es sich beim elektrischen Verteilnetz um alles andere als um einen idealen Kanal für die Datenübertragung handelt. Schliesslich wurde das Verteilnetz auch nicht für diesen Zweck konzipiert. Die Netzspannung mit ihren Oberwellen sowie stochastische Störer erschweren die sichere Übertragung. Als besonders problematisch erweist sich die zeitvariante Charakteristik des Übertragungskanals, welche durch den ständigen Wechsel der Belastung des Netzes durch die unterschiedlichen Lasten geprägt ist. Mitbestimmt wird die Kanalcharakteristik auch durch die elektrischen Eigenschaften der einzelnen Netzkomponenten wie Freileitungen und Kabel, Transformatoren, Phasenschieberkondensatoren sowie der eigentlichen Netzlasten. Untersucht man die für eine Datenübertragung relevanten Aspekte eingehender, so stösst man bald auf die bekannte Grundregel, dass in tieferen Frequenzbereichen, also bis etwa 5 kHz, mit hoher Störleistung (v.a. Netzspannung und Oberwellen) gerechnet werden muss. Hingegen darf man in diesem Bereich, wie auch die Erfahrung mit der Rundsteuerung zeigt, von einer relativ geringen Signaldämpfung zwischen Sender und Empfänger ausgehen. Gerade umgekehrt sind die Verhältnisse bei höheren Frequenzen, wo die Störleistung geringer ist, dafür aber die Signaldämpfung zum dominierenden Problem wird.

Das in diesem Beitrag vorgestellte Verfahren ist ein System, welches bei tiefen Frequenzen mit schmalbandigen Signalen und einer Mehrfachübertragung mit unterschiedlichen Trägerfrequenzen arbeitet. Folgende Gedanken prägten die Werte der Systemparameter: Zur Sicherstellung der guten Signalausbreitung im Verteilnetz werden Trägerfrequenzen kleiner als 5 kHz ge-

### Adresse des Autors

Hanspeter Bär, Dr. sc. techn., Zellweger Uster, Wilstrasse, 8610 Uster.

wählt. Damit sind die Netzharmonischen die entscheidenden Störfaktoren. Diesen bekannten Störern weicht das System aus, indem schmalbandige, konventionell modulierte Sendesignale zwischen zwei Netzharmonischen gelegt werden. Als zusätzlicher Schritt zur Verbesserung der Übertragungssicherheit erfolgt eine sequentielle Übertragung der Information auf mehreren Trägerfrequenzen. Beim Signal selbst handelt es sich um einen Strom, der, vereinfacht ausgedrückt, von sich aus den Weg vom Sender zum Empfänger findet, sitzt doch der Empfänger beim Verteiltransformator, also beim Punkt der tiefsten Netzimpedanz des jeweiligen Netzabschnittes. Gleichzeitig kann man zeigen, dass, unter vereinfachten Annahmen, für den Strom in Rückwärtsrichtung dieselben Dämpfungswerte gelten wie für Spannungssignale (z.B. Rundsteuersignale) in umgekehrter Richtung. Damit verfügt man dank dem jahrzehntelangen weltweiten Einsatz der Rundsteuerung solide Erfahrungswerte über das zu erwartende Ausbreitungsverhalten der Signale. Mehrere Trägerfrequenzen werden eingesetzt, um auch bei kurzzeitigen frequenzselektiven Störern oder Dämpfungseffekten die Aufrechterhaltung der Verbindung sicherstellen zu können.

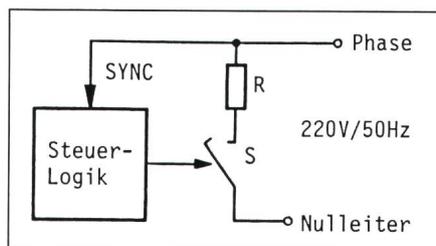
Sehr viel Gewicht wurde während des gesamten Projektes auf die möglichst günstige Realisierung von Sender und Empfänger gelegt. Insbesondere wurde eine rein digitale Version des Senders angestrebt, um neben der vereinfachten Herstellung auch noch eine möglichst grosse Anpassungsfähigkeit durch softwaremässige Einstellung von Systemparametern zu erreichen.

## Beschreibung des Übertragungssystems

Das Übertragungssystem in einem bestimmten, durch einen Verteiltransformator gespeisten Niederspannungsnetz besteht einerseits aus Sendern, die zum Beispiel mit abzulesenden Elektrizitätszählern verbunden sind, und andererseits aus dem Empfänger, der beim Verteiltransformator lokalisiert ist und mittels eines Stromwandlers das Signal aus dem Nulleiter des Niederspannungsnetzes auskoppelt.

### Sender

Die Figur 1 zeigt das Blockschaltbild des Senders, bei dem als Lei-



Figur 1 Blockschaltbild des Senders

stungsteil ein Widerstand  $R$  über einen Schalter  $S$  zwischen Phase und Nulleiter des Niederspannungsnetzes geschaltet wird. Als Schalter drängt sich in dieser Realisierung ein Power-MOS-Feldeffekttransistor auf, der durch eine digitale Logikschaltung angesteuert wird. Mit Hilfe dieser einfachen Konfiguration soll nun ein geeignetes trägerfrequentes Signal mit einer Frequenz grösser als 50 Hz erzeugt werden.

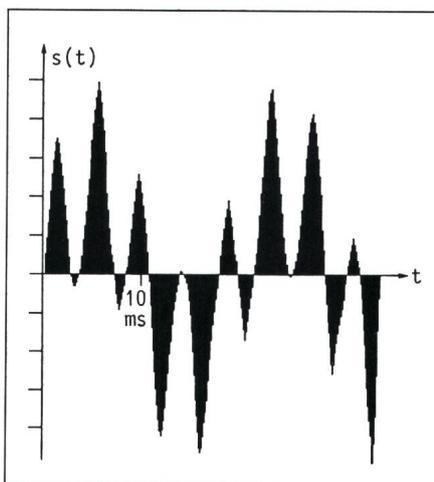
Ein Beispiel für ein solches Trägerfrequenzsignal  $s(t)$  mit einer Frequenz von 225 Hz ist in Figur 2 dargestellt. Aus technischen Gründen (Verbesserung des Wirkungsgrades der realisierten Sendestufe) wird dem eigentlichen Träger noch ein Anteil der Netzfrequenz überlagert, so dass sich das theoretisch optimale Sendesignal  $s(t)$  aus der Addition von zwei sinusförmigen Signalen bei 50 und 225 Hz zusammensetzt. Es gilt nun, dieses ideale Signal mit Hilfe der in Figur 1 dargestellten Schaltung möglichst genau zu approximieren.

Die einzige Einflussmöglichkeit, welche die Schaltung zulässt, ist die Wahl der Schaltzeitpunkte. Bei geschlossenem Schalter fliesst ein Strom, dessen Amplitude durch den Momen-

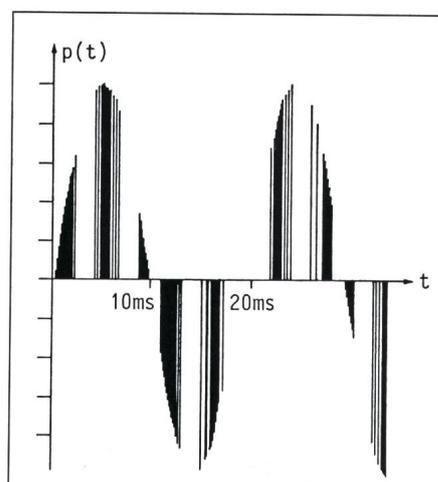
tanwert der Netzspannung und durch den Wert des Widerstandes  $R$  gegeben ist. Bei Vorgabe des idealen Signales  $s(t)$  gemäss Figur 2 produziert nun der Algorithmus im Sender einen Strom  $p(t)$  gemäss Figur 3, wobei die schwarzen Flächen den bei geschlossenem Schalter fliessenden Strom charakterisieren. Das ideale Signal  $s(t)$  wird also durch eine Sequenz  $p(t)$  von Impulsen mit sinusförmiger Enveloppe (als Folge der Netzspannung) bestmöglich angenähert (vergl. die Figuren 2 und 3).

Natürlich weist das Spektrum des Signales  $p(t)$  gemäss Figur 3 ein theoretisch unendlich breites Spektrum auf, setzt sich doch dieses im Zeitbereich aus kurzen Stromimpulsen zusammen. Eine genaue Analyse des Spektrums von  $p(t)$  zeigt aber sofort, dass die beiden dominanten Komponenten bei der gewünschten Trägerfrequenz von 225 Hz sowie bei der Netzfrequenz, also bei den durch das ideale Signal  $s(t)$  vorgegebenen Frequenzen, liegen. Die stärksten Nebenlinien treten systematisch um jeweils  $\pm 100$  Hz gegenüber der Trägerfrequenz verschoben auf und sind um mehr als 12 dB schwächer als der Träger. Alle weiteren Nebenlinien weisen einen Abstand von mindestens 18 dB gegenüber der Trägeramplitude auf.

Von grosser Bedeutung für die Form des Spektrums ist die Wahl der Schaltzeitpunkte des Schalters  $S$  und somit Zeitpunkt und Dauer der einzelnen Stromimpulse in  $p(t)$ . Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass die optimalen Anfangs- und Endzeiten der Impulse in  $p(t)$  von der aktuellen Phase des gewünschten Trägers sowie von der Phase der Netzspannung abhängig sind. Die erste Phase repräsentiert das zu approximierende ideale Trägerfre-



Figur 2 Theoretisch optimales Signal  $s(t)$



Figur 3 Sendesignal  $p(t)$

quenzsignal, die zweite bestimmt die Amplitude des bei geschlossenem Schalter resultierenden Stroms. Die beiden obengenannten Phasen werden deshalb in der Steuerlogik des Senders laufend berechnet und bei der Schalteransteuerung berücksichtigt. Das SYNC-Signal in Figur 1 liefert dabei die Information über die aktuelle Phase der Netzspannung. Bei bekannten Phasenwerten erfolgt die Ansteuerung des Schalters z.B. über den Einsatz von geeigneten Algorithmen, welche die Stromimpulse laufend derart plazieren, dass die gewünschte optimale Approximation an das Vorgabesignal resultiert. Eine technisch einfachere Variante ist die Abspeicherung von vorgängig optimierten Ausschnitten von Schaltsequenzen in Tabellen. Für die aktuellen Werte der Phasen von idealem Träger und Netzspannung wird dann laufend der zugeordnete Ausschnitt der Schaltsequenz aus der Tabelle ausgelesen und zur Ansteuerung des Schalters *S* verwendet.

Das vorgestellte Verfahren eignet sich sowohl für eine Frequenzmodulation (FSK) wie auch für eine Phasenmodulation (PSK) des Trägers. Dennoch resultiert bei diesem Verfahren eine Senderstruktur, die sich deutlich von derjenigen konventioneller Sender unterscheidet. Üblicherweise besteht ein Sender aus Netzteil, Signalgenerator, Verstärker und Kopplungsnetzwerk. Die Sendeleistung wird also zunächst dem Netz entnommen, gewandelt und wieder dem Netz zugeführt. Nachteilig wirkt sich bei diesen konventionellen Strukturen für die diskutierte Anwendung die Signalverformung durch die Ankopplungsnetzwerke aus, die der Trennung der Verstärkerstufe von der Netzspannung dienen. Das vorliegende Verfahren ist charakterisiert durch die direkte Umwandlung der Netzspannung in ein geeignetes, leistungsstarkes Sendesignal, ohne Umweg über Netzteil und Verstärker.

### Empfänger

Wie bereits erwähnt worden ist, verarbeitet der Empfänger den mittels eines Stromwandlers direkt beim Verteiltransformator gemessenen Nullleiterstrom. Auch beim Empfänger spielen digitale Verfahren eine grosse Rolle. Sie erlauben die Implementierung von Empfängerstrukturen mit praktisch optimalen Eigenschaften, so dass auch tiefe Signalpegel und hohe Störanteile sauber getrennt und verar-

**Tabelle I**  
Systemparameter  
des Testsystems

Trägerfrequenzen	325 Hz, 675 Hz, 1175 Hz, 1925 Hz, 3075 Hz
Modulationsverfahren	FSK, Frequenzhub $\pm 6,25$ Hz
Baudrate	12,5 Bd
Signalamplituden	150 mA ... 600 mA

beitet werden können. Zudem ermöglicht wiederum die Digitaltechnik die Realisierung der geforderten identischen Empfängercharakteristik bei allen Empfangsfrequenzen sowie die Reproduzierbarkeit und Stabilität der Verarbeitung.

Die Flexibilität des Empfängers bezüglich der zu verarbeitenden Frequenzen ist von grosser Bedeutung für das vorgeschlagene System, muss doch mit einer grossen Anzahl von Signalen unterschiedlicher Trägerfrequenzen, die alle von demselben Empfänger verarbeitet werden müssen, gerechnet werden. Die unterschiedlichen Trägerfrequenzen können daher rühren, dass in benachbarten Netzbereichen jeweils unterschiedliche Trägerfrequenzen zum Einsatz kommen. Durch Netzumschaltungen resultiert eine teilweise Durchmischung dieser Strukturen. Damit muss ein einzelner Empfänger kurzfristig auch Signale aus anderen Netzbereichen und damit mit anderen Trägerfrequenzen verarbeiten können.

Der Empfänger besteht im wesentlichen aus 4 Stufen: Die Eingangsstufe begrenzt das Spektrum des zu verarbeitenden Signals auf den interessierenden Frequenzbereich. Die zweite Stufe sorgt mittels einer periodischen Kammfilterstruktur für eine Eliminierung der Harmonischen. Die dritte Stufe enthält den eigentlichen Demodulator, bei dem eine digitale Version des sog. Noncoherent-Matched-Filters gewählt worden ist. Diese Stufe wurde mit einem Standardmikroprozessor realisiert. Die vierte und letzte Stufe schliesslich dient der Datenverarbeitung. Im Testsystem erfolgte eine Zwischenspeicherung von vorverarbeiteten Daten auf einer Magnetbandkassette. Die detaillierte Auswertung der Daten erfolgte dann off-line und erlaubte eine aussagekräftige Fehleranalyse.

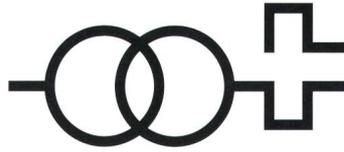
### Feldversuche

Ziel der Feldversuche war die Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Verfahrens in typischen Verteilnetzen sowie unter Extremsituationen. Das Testsystem bestand aus jeweils 5 Sendern sowie einem Empfänger. Die Sy-

stemparameter hatten in einem Fall die Werte der Tabelle I. Gemäss einem durch die Rundsteuerung einmal pro Tag synchronisierten Ablauf setzte jeweils alle zwei Minuten einer der 5 Sender eine bestimmte Datensequenz ab, die im Empfänger nach der Signalverarbeitung mit der korrekten Sequenz verglichen wurde. Alle 10 Minuten meldete sich somit ein bestimmter Sender mit einer vordefinierten Datensequenz, welche aus 10 Byte von je 8 Bit bestand. Dabei wurde diese Sequenz zunächst mit der Trägerfrequenz 325 Hz übertragen, dann folgte die Wiederholung auf 675 Hz, dann auf 1175 Hz usw. Damit verfügte der Empfänger über 5 Schätzwerte für die 80 Bit (je einen Schätzwert pro Trägerfrequenz). Der Vergleich der einzelnen geschätzten Sequenzen mit der korrekten Datensequenz ergab das Fehlermuster eines bestimmten Übertragungspfades für die einzelnen Frequenzen zu den betreffenden Tageszeiten. Zudem liess sich auch die resultierende Fehlerrate für eine Datensequenz ermitteln, die mittels eines bitweisen Mehrheitsentscheidens aus den 5 Schätzwerten abgeleitet worden ist.

### Schlussfolgerungen

In den Feldversuchen konnte gezeigt werden, dass selbst in bekannt schwierigen Netzen (extreme Störanteile) mit Sendesignalpegeln um 500 mA und ohne weitere Fehlerkorrekturverfahren die Datenübertragung über 24 Stunden praktisch ohne Fehler aufrechterhalten werden konnte. Die Resultate lassen darauf schliessen, dass eine drei- statt fünffache Wiederholung der Daten auf unterschiedlichen Frequenzen genügt. Die Versuche haben ebenfalls die Annahme bestätigt, dass bei den gewählten Trägerfrequenzen keine signifikante Beeinträchtigung der Übertragungsqualität durch die Signaldämpfungen zu erwarten sind. Damit scheint das Verfahren für den Aufbau von Datenübertragungssystemen geeignet zu sein, welche bei geringer Systemkomplexität und tiefen Herstellkosten eine sichere Datenübertragung gewährleisten.



## **TRAFOSUISSE informiert...**

### **... zum Betriebsverhalten von bestehenden Verteiltransformatoren bei der neuen Netz-Nennspannung von 400 V**

(siehe SEV/ASE 3426.1989)

*Die Erhöhung der Netz-Nennspannung von 380 V auf 400 V, welche bis zum Jahre 2003 auch in der Schweiz eingeführt werden muss (Norm SEV 3426/1, 1989), hat Auswirkungen auf das Betriebsverhalten bei bestehenden Verteiltransformatoren bzw. führt dort zu Änderungen der ursprünglichen elektrischen Werte oder kann zum vorzeitigen Ausscheiden von Trafos zwingen.*

Es wird angenommen, dass diese Spannungserhöhung entweder durch Hochregelung des speisenden Mittelspannungs-Netzes erreicht wird oder aber – bei gleichbleibender Speisespannung – durch den Betrieb des Verteiltransformators an einer bis zwei Stufen tieferen Anzapfung.

#### **Auswirkungen bei bestehenden TRAFOSUISSE-Transformatoren**

Die dem kürzlich neu gegründeten Branchenverband TRAFOSUISSE – TRAFOSWISS angeschlossenen Schweizer Transformatoren-Hersteller ABB Sécheron SA, Moser-Glaser & Co. AG sowie Rauscher & Stoecklin AG haben nun ihr bisher erarbeitetes Informationsmaterial zu rund 40 000, seit Mitte der 60er Jahre ausgelieferten Verteiltransformatoren bezüglich Konsequenzen aus dieser Spannungserhöhung untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass – je nach heutiger Auslegung der Transformatoren (d.h. sekundäre Leerlaufspannungen von 412 bis 395 V) – die Eisenverluste um 5 bis 20 Prozent und die Geräusche um 1 bis 4,5 dB ansteigen. Die Kupferverluste und die Kurzschluss-Spannung sinken um je 4 bis 12 Prozent. Beim Parallelbetrieb von Transformatoren mit grosser unterschiedlicher Kurzschluss-Spannung ist diese Veränderung speziell zu berücksichtigen.

#### **Erhöhte Spannung schon jetzt berücksichtigen**

Der Verband TRAFOSUISSE – TRAFOSWISS empfiehlt den Betreibern, sich möglichst rasch auf die neue internationale Netz-Nennspannung von 400 V einzustellen und den künftigen Bedarf an Verteiltransformatoren generell mit einer Leerlaufspannung von 420 V bei gleichbleibendem Übersetzungs-Verhältnis zu decken.

*Eine ausführliche Information zum dargestellten Problem erhalten Interessenten kostenlos bei: Sekretariat TRAFOSUISSE, Postfach 158, 4010 Basel, Telefon 061/23 71 17 oder bei einem der drei genannten Transformatorenhersteller.*

## **TRAFOSUISSE informe...**

### **... sur le comportement des transformateurs de distribution actuellement en service face à la nouvelle tension nominale du réseau de 400 V**

(voir ASE/SEV 3426.1989)

*L'augmentation de la tension du réseau de 380 V à 400 V, dont l'année d'entrée en vigueur en Suisse est fixée en 2003 (Norme ASE 3426/1, 1989) entraînera des conséquences sur le comportement des transformateurs de distribution existants et une modification des données électriques voir éventuellement une mise hors service prématurée.*

On admet que cette augmentation de la tension sera obtenue, soit par un réglage surélevant la moyenne tension d'alimentation ou soit en maintenant cette tension inchangée mais en ajustant le commutateur de prises du transformateur de distribution de un ou deux échelons vers le bas.

#### **Répercussions sur les transformateurs de distribution TRAFOSUISSE existants**

Les membres de l'association des fabricants Suisses de transformateurs récemment constituée, ABB Sécheron SA, Moser-Glaser & Co. AG ainsi que Rauscher & Stoecklin AG ont examiné sur la base de leurs informations quelles seront les conséquences de cette augmentation de tension quant aux quelques 40 000 transformateurs de distribution livrés à partir du milieu des années 60. Cette analyse a montré que, d'après l'exécution actuelle des transformateurs, (c.à d. pour une tension secondaire variant de 412 à 395 V) les pertes à vide augmenteront de 5 à 20%, le niveau de bruit de 1 à 4,5 dB (A). Les pertes en charge et la tension de court-circuit baisseront chacune de 4 à 12%. Lors de la marche en parallèle de transformateurs dont les tensions de court-circuit diffèrent notablement il faut tenir compte de ce changement.

#### **Augmentation de la tension dès maintenant**

L'association des fabricants Suisses de transformateurs TRAFOSUISSE recommande aux utilisateurs de s'adapter le plus rapidement possible à la nouvelle tension nominale internationale du réseau de 400 V et de prescrire pour toute nouvelle acquisition de transformateurs de distribution une tension à vide de 420 V tout en conservant le même rapport de transformation.

*Une information détaillée sur ce problème peut être obtenue gratuitement par les intéressés auprès de TRAFOSUISSE, Case postale 158, 4010 Bâle, Tél. 061/23 71 17 ou des trois fabricants de transformateurs mentionnés.*