Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 59 (1968)

Heft: 12

Artikel: Die qualitative Bewertung der Elektrizität als öffentliche Dienstleistung

Autor: Pages, Jean / Gaussens, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916053

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: 10.07.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

14. Kongress der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE)

Die qualitative Bewertung der Elektrizität als öffentliche Dienstleistung

von *Jean Pages* und *Pierre Gaussens,* Paris

Zusammenfassung

Die Elektrizität wird, wie jede andere Ware auch, durch gewisse technische Eigenschaften gekennzeichnet (wie beispielsweise die mehr oder weniger konstante Spannung und Frequenz, die Dauer der Unterbrechungen usw.). Die Art jedoch, in welcher diese Energie der Allgemeinheit zugänglich gemacht wird, bildet ebenfalls ein Merkmal dieses Kundendienstes.

Die wirtschaftliche und technische Qualität dieses öffentlichen Dienstes wird in diesem Bericht unter verschiedenen Gesichtspunkten untersucht. Das Ergebnis dieser Betrachtungen definiert gewissermassen das gegenseitige Verhältnis zwischen Verbraucher, Energieverteiler und Geräteherstellern.

1. Einführung

Die elektrische Energie ist eine Ware. In einem Lexikon wird der Begriff «Ware» als ein «handelsfähiger Gegenstand» aufgefasst; diese Ware wird in bestimmten Einheiten gemessen und im allgemeinen ebenfalls durch einen bestimmten Einheitspreis gekennzeichnet. Nun ist aber die Elektrizität eine recht eigenartige Ware, deren Anwendung vorerst eine Umwandlung in Licht, Wärme oder Antriebskraft usw. erfordert.

Die Lieferung elektrischer Energie wird somit meistens als eine Art «Dienstleistung» aufgefasst, da sie ihre Nützlichkeit ja gerade in dieser Weise am eindrücklichsten offenbart.

Wird im Zusammenhang mit der elektrischen Energie von Qualität gesprochen, so soll dieser Begriff stets im Sinne der «Qualität der Dienstleistung» ergänzt werden, denn die technischen Eigenschaften der Stromlieferung (konstante Spannung, ununterbrochene Versorgung usw.) werden ja schliesslich als Qualität der Dienstleistung nach erfolgter Umwandlung in Licht, Wärme oder Kraft usw. bewertet.

Wenn die Energieverteiler von Qualität der Dienstleistung sprechen, so denken sie in erster Linie an die technischen Eigenschaften ihrer Stromlieferungen. Diese rein «technische», und übrigens äusserst wichtige Qualität bildet den Gegenstand des grössten Teiles dieses Berichtes.

Trotz der fundamentalen Bedeutung der technischen Eigenschaften darf aber nicht vergessen werden, dass bei der Elektrizität wie bei jeder anderen verkäuflichen Ware noch andere Gesichtspunkte eine nicht unbedeutende Rolle spielen, wie beispielsweise die Gestaltung, die Aufmachung, die Tarifierung, welche sich auf den «wirtschaftlichen» Qualitätsbegriff beziehen. Dabei handelt es sich freilich nicht um eine Ware, deren physische Beschaffenheit dem Käufer oder dem Benützer ohne weiters sinnfällig ist, woraus nun ersichtlich ist, dass den wirtschaftlichen Eigenschaften ebenfalls eine gewisse Bedeutung beigemessen werden muss.

2. Die wirtschaftliche Qualität der Dienstleistung

2.1 Die Elektrizitätswerke haben schon längst die Notwendigkeit einer *guten Information* der Verbraucher erkannt. Mangels genügender technischer Kenntnisse ist dieser oft nicht in der Lage, die vielfältigen Möglichkeiten der elektrischen Energie vollständig auszunützen; die optimalen Anwendungsbedingungen sind ihm oft nicht genügend bekannt, oder sein Verhalten wird oft von bestimmten Vorurteilen beeinflusst (so z. B., dass die Elektrizität eine kostspielige Energie sei). Diese Einstellung ist bei den Haushaltverbrauchern recht stark verbreitet, doch man findet sie auch nicht selten unter den Kaufleuten und den Industriellen. Gerade der Fabrikant ist oft geneigt, seine eigene Technik zu verbessern und es ist ihm möglich, die Vorteile der elektrischen Energie für seine spezifischen Aufgaben gebührend zu würdigen.

Diese Umstände veranlassten die Elektrizitätswerke, zuhanden der privaten Verbraucher einen regelrechten Infor-

mationsdienst aufzubauen, in welchem «Haushaltsberater» die Hausfrauen über die vielfältigen Möglichkeiten einer zweckmässigen Anwendung der ihnen zur Verfügung stehenden elektrischen Energie orientieren. Auch auf dem industriellen Gebiete bemühen sich die Elektrizitätswerke immer mehr, ihren Abonnenten durch spezialisierte Ingenieure, die in den Fragen der Antriebskraft, der Heizung und der Automation bewandert sind, eine Aufklärung über die diesbezüglichen Lösungen mit Hilfe von elektrischer Energie zu bieten.

2.2. Nun genügt es freilich nicht, einen solchen Informationsdienst aufzubauen; dieser Dienst muss auch vom Abonnenten beansprucht werden. Aus diesem Grunde bemühen sich auch die Elektrizitätswerke um die Pflege von besten Beziehungen mit dem von ihnen bedienten Publikum.

Solche gute Beziehungen sind ja übrigens für sämtliche Verbindungen des Verbrauchers mit dem Energielieferanten unerlässlich, sei es anfänglich beim Abschluss des Abonnementsvertrages oder in der Folge bei sämtlichen Ereignissen während der Vertragsdauer. Besonders die Organisation eines permanenten Störungsdienstes bildet dabei einen wichtigen Faktor der Qualität und Dienstleistung.

2.3. So überraschend dies auch in erster Sicht erscheinen mag, bildet die Tarifierung — oder wenigstens deren Gestaltung — ebenfalls einen Bestandteil der Qualität der Dienstleistung. Ein guter Tarif soll in erster Linie einfach und für den Abonnenten leicht erfassbar sein, da der Kunde ja gewöhnlich kein Techniker ist und er der ihm schleierhaften Sprache der Ingenieure nur mit Widerwillen und Argwohn begegnet. Eine zweckmässige Tarifierung muss selbstverständlich verschiedene Elemente enthalten; ihre Anzahl muss jedoch begrenzt bleiben, während die Bedeutung jedes Begriffes dem Laien leicht fasslich erklärt werden soll. Ohne nun zur biblischen Einfachkeit der seinerzeit durch die ersten Elektrizitätswerke praktizierten Pauschaltarife zurückzukehren, müssen komplizierte Formulierungen — besonders für private Abonnenten, welche meistens überwiegen — vermieden werden und die logische Strenge zugunsten der Einfachheit geopfert werden. Klare, übersichtliche Rechnungen, bequeme Zahlungsbedingungen zugunsten der Verbraucher, kompetente und bereitwillige Aufklärung, alle diese Umstände bestimmen ebenfalls die Qualität einer Dienstleistung, welche vom Kunden sicher sehr geschätzt wird.

2.4. Als letztes, aber ebenfalls sehr bedeutendes Element der wirtschaftlichen Qualität der Versorgung sei noch die Organisation des Störungsdienstes erwähnt. Selbst bei vorzüglicher Bedienung passiert es doch wieder ab und zu, dass der Kunde — und wäre es auch aus Selbstverschulden — eine Panne erleiden muss. Heute bezieht sich ja die elektrische Energie auf dermassen viele Anwendungen, dass die Unterbrechung der Lieferung mit recht mannigfaltigen Nachteilen verbunden ist. Wir dürfen diesbezüglich noch beifügen, dass in Ländern mit hochentwickelter Technik die Verteilungsbedingungen der elektrischen Energie eine genügend hohe Vollkommenheit erreicht haben, so dass viele wichtige Dienste die Sicherheit ihres Betriebes auf die kontinuierliche Elektrizitätsversorgung stützen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die immer selteneren Betriebsunterbrechungen auch immer rascher zu beheben. Mit diesem Problem müssen sich zwangsläufig sämtliche Energieverteiler auseinandersetzen, und die Art und Weise, wie sie die Aufgabe lösen, beeinflusst in starkem Masse die Qualität der Dienstleistung.

2.5. Dies sind nun die bedeutendsten Aspekte der sogenannten «wirtschaftlichen» Qualität der Dienstleistung. In diesen Aufzeichnungen wurde sie allerdings nur knapp umrissen, da sich dieser Bericht ja hauptsächlich mit der «technischen» Qualität der Dienstleistung befassen soll. Es schien uns aber notwendig, diese Tatsachen in Erinnerung zu rufen und bei dieser Gelegenheit auf die durch den wissenschaftlichen Fortschritt bedingte, immer grössere gegenseitige Abhängigkeit der menschlichen Tätigkeit hinzuweisen.

3. Die technische Qualität der Dienstleistung

3.1. Wie stellt sich die Frage der technischen Qualität der Dienstleistung?

Die Gestaltung der elektrischen Verteilnetze soll der stets wachsenden Nachfrage derAbonnenten genügen.

Selbst unter schwierigen Bedingungen sollen die Netze somit ständig entwicklungsfähig bleiben, da der steigende Verbrauch und die neuen Abonnenten auf lokaler Ebene eine noch ungewissere Erscheinung als beispielsweise auf nationaler Ebene bilden. Bestände eine absolute Verpflichtung, jeden neuen Verbraucher unverzüglich und bestens zu bedienen, so müsste in der gesamten Gegend ein sehr feinmaschiger Raster von Leitern und Kabel erstellt werden.

Abgesehen von ganz aussergewöhnlichen Fällen wird man sicher nie soweit gehen, da man das ja als reine Verschwendung betrachten könnte, aber in welcher Beziehung?

Sicher nicht zum Nachteil des Energielieferanten, der dann zur Ausgleichung seines Budgets und zur Vermeidung des Konkurses die Kapitalkosten auf seine Verkaufspreise abwälzen müsste. Benachteiligt wären aber die Benützer und das allgemeine Interesse, da bedeutende Kapitalien und Produktionsmittel dadurch anderen, zweifellos nützlicheren Vorhaben entzogen würden.

Soll man da gleich in das andere Extrem fallen und nur einige bevorzugte Abonnenten in unmittelbarer Nähe der Energiequellen bedienen, sofern diese Anlagen überhaupt existieren, d. h., dass man sich überhaupt entschlossen hat, Geld dafür auszugeben?

Je nach der Auffassung der verantwortlichen Direktoren der elektrischen Netze, ihrem Interesse an der Bedienung der Abonnenten (vorausgesetzt, dass diese tatsächlich bedient werden), sowie nach der unterschiedlichen Qualität der Versorgung können hier offensichtlich diametral entgegengesetzte Lösungen in Betracht gezogen werden.

Um diese Schwierigkeit wenigstens auf rechtlichem Wege zu lösen, wurden von den Regierungen, welche die Verteilung elektrischer Energie bewilligen, gewisse Bestimmungen über den Anschluss neuer Verbraucher und ihrer Bedienung erlassen. So wurden beispielsweise eine konstante Spannung in bestimmten Grenzen und auch, zwar seltener, die zulässige maximale Dauer der jährlichen Störungen gesetzlich festgesetzt.

In diesem Sinne ist dann das Problem für den Energieverteiler genau festgelegt: *er ist zur Deckung des bestehenden und künftigen Verbrauches verpflichtet.* Die dazu erforder-

lichen Anlagen müssen unterhalten, abgeändert und ständig ausgebaut werden, damit die im Pflichtenheft vorgeschriebene Qualität der Versorgung in allen Punkten eingehalten wird. Zu diesem Zweck muss jeweilens die wirtschaftlich vorteilhafteste Lösung benützt werden, oder genauer umschrieben, die Lösung mit den geringsten aktualisierten Werten der Ausrüstungs- und Betriebskosten.

Es dürfte aber unter diesen Umständen offensichtlich sein, dass die in diesem Sinne definierte Lösung von den Bedingungen des Pflichtenheftes abhängt und natürlich um so kostspieliger ausfallen wird als die Vorschriften strenger sind.

Wie kann man sich nun überzeugen, dass das Pflichtenheft tatsächlich dem Interesse der Allgemeinheit entspricht, d. h. den Energieverteiler anregt, dem Verbraucher genau die Güte der Dienstleistung zu bieten, welche er tatsächlich benötigt?

Zu diesem Zweck nehmen wir einmal an, dass man dem Kunden die elektrische Energie zu unterschiedlichen Versorgungsqualitäten liefern kann.

Man könnte beispielsweise gesetzten Falles eine konstante Spannung recht gut durch zahlreiche Lastenregler, durch Leitungen mit grossem Querschnitt und durch naheliegende Transformatorstationen gewährleisten. Doppelte Speisungen und vielfältige Schutzvorrichtungen würden einen ausgezeichneten, unterbrechungslosen Betrieb ermöglichen, während eine solche Energielieferung selbstverständlich recht kostspielig würde. Solche Kosten dürfen sich lediglich Abonnenten leisten, welche der Qualität der Versorgung eine ganz grundlegende Bedeutung zumessen, beispielsweise gewisse Industrien, für welche ein Spannungsabfall oder eine Störung recht schwerwiegende Auswirkungen auf die Fabrikation zeitigt (Glasindustrie, gewisse Textilindustrien usw.).

In einer zweiten Alternative würde man eine qualitativ weniger gute, dafür aber entsprechend billigere Energie anbieten, welche den normalen industriellen und auch privaten Bedürfnissen durchaus angemessen wäre.

In einer dritten Variante würde man schliesslich über eine Energie von normaler Qualität verfügen, welche sämtlichen anderen häuslichen Bedürfnissen genügen dürfte.

Nehmen wir nun weiter an — obschon dies wahrscheinlich nur bei gewissen Industriebetrieben, doch kaum bei anderen Verbrauchern zutreffen würde —, dass die Kunden bewusst und genau die für ihre Bedürfnisse am besten geeignete Energiequalität beziehen möchten; nach welchen Kriterien könnten sie diese Wahl überhaupt treffen? Sie würden entsprechende Massnahmen ergreifen um die qualitativ bessere Energie zu einem niedrigeren Mehrpreise zu beziehen und um die wirtschaftlichen Nachteile zu vermeiden, die ihrer Fabrikation oder Tätigkeit durch die normale statt der besseren Energiequalität erwachsen würden.

Solche Überlegungen werden übrigens von gewissen Verbrauchern angestellt, welche sich mit der einfachen Speisung der klassischen Pflichtenhefte nicht begnügen wollen und den Mehrpreis eines doppelten Anschlusses gerne in Kauf nehmen, sofern es ihnen wirtschaftlich vorteilhafter erscheint, das Risiko einer Stromunterbrechung in ihren Anlagen praktisch auszuschliessen, oder wenn sie sich gegen die unvermeidlichen Spannungsschwankungen des Netzes durch individuelle Spannungsregler schützen.

Die Berechnung der optimalen Bezugsbedingungen kann durch eine graphische Darstellung veranschaulicht werden (Fig. 1). Die Abszisse bezieht sich auf die Qualitätsmängel I der elektrischen Energie, und die Ordinate einerseits auf den erforderlichen Aufwand, also den Preis P, den der Verbraucher für den Bau und den Betrieb von Netzen dieser Güte auslegen muss, und anderseits die Einbusse, die der Abonnent durch Störungen in seiner Fabrikation infolge einer nicht unendlich guten Energiequalität erleidet. (Aus der Kurve A ist einerseits ersichtlich, dass für eine unendlich gute Energiequalität ($I=0$) ein sehr hoher Preis ausgelegt werden muss. Anderseits beweist die Kurve B, dass der Abonnent bei einer perfekten Energiequalität überhaupt keinen Schaden erleidet).

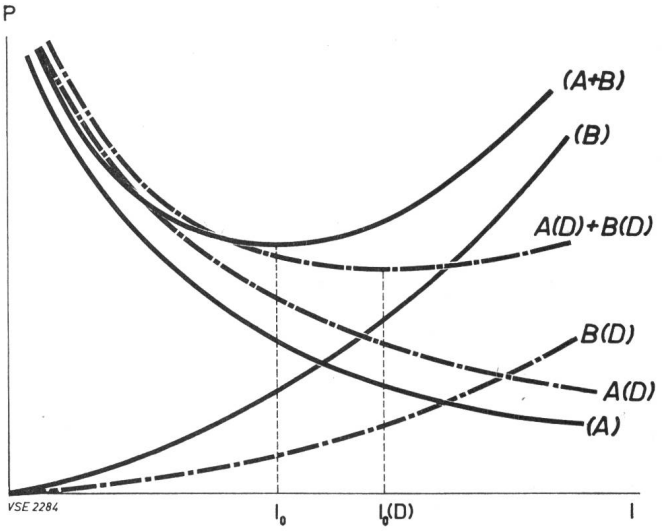

Fig. 1

Vom rein wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet muss der Verbraucher trachten, die ihm vom Energieproduzenten geforderte Summe, wie auch seine Verluste infolge Betriebsstörungen möglichst niedrig zu halten. Demzufolge wird er eine Energie mit der Fehlerhaftigkeit I_0 verlangen, welche in der Fig. 1 der Summe beider Kurven A und B entspricht. In der Tat sind aber die wenigsten Verbraucher in der Lage, eine derartige Untersuchung der Wirtschaftlichkeit durchzuführen. Ausserdem ist es vielen Abonnenten nicht ersichtlich, wie man ihnen qualitativ unterschiedliche Energien zur Verfügung stellen sollte: die Abonnenten, die an einer gleichen Leitung angeschlossen sind, erleiden ja auch zwangsläufig die gleichen Verluste. Aus diesem Grunde kann man — von seltenen Spezialfällen abgesehen — höchstens einen mittleren optimalen Wert bestimmen der für sämtliche Benützer des gleichen Netzes Gültigkeit besitzt.

Die vorgehenden Ausführungen beweisen, dass dieses Optimum tatsächlich besteht und es ist das Ziel des Pflichtenheftes, den Energieverteilern und den Konsumenten Bedingungen aufzuerlegen, die eine weitmöglichste Annäherung an diesen idealen Wert erlauben.

Eine Erweiterung dieser Analyse unter Einbezug der Hersteller elektrischer Apparate führt nun zu weiteren interessanten Ergebnissen. Es ist nämlich durchaus möglich, die Qualitätsmängel der Versorgung durch weniger empfindliche Geräte auszugleichen. Solche Geräte werden wahrscheinlich

teurer sein, aber die wirtschaftlichen Einbussen infolge bestimmter Unregelmässigkeiten in der Versorgung werden dadurch stark reduziert.

Vorausgesetzt, die Kurve *(A)* der Fig. 1 beziehe sich auf die Kosten, welche die Verbraucher sowohl dem Energieverteiler wie auch den Herstellern der Apparate mit einem Unempfindlichkeits-Grad D entrichten müssen, so erhält man für jeden Unempfindlichkeitswert D durch die Übertragung der Kurve A nach oben eine Kurve $A(D)$, und schliesslich durch die Umformung der Kurve B eine Kurve $B(D)$ die oberhalb der Kurve B verläuft. Die Summe dieser Kurven ergibt ein Minimum $I_0(D)$. Wie ersichtlich erhält man für einen bestimmten Wert D_0 von D einen absoluten Minimalwert, der die optimalen Bedingungen sowohl für die Energieproduzenten, wie auch für die Konsumenten und die Apparatehersteller, also für die Gemeinschaft sämtlicher Beteiligten darstellt.

Aus diesen Angaben kann der noch zulässige Betriebs-Unregelmässigkeitsgrad, welchen der Energieverteiler nicht überschreiten darf, entnommen werden, wie auch der Unempfindlichkeitsgrad der Apparate, welcher von den Herstellern erreicht werden soll.

Die Behörden verfügen damit über die logischen Grundlagen der für die Konzession erforderlichen Pflichtenhefte, während gleichzeitig auch die Qualitätsnormen des elektrischen Materials gegeben sind.

Beide verfolgen schliesslich einen gemeinsamen Zweck, nämlich die Wahrung der öffentlichen Interessen.

Alle diese Bestrebungen sind selbstverständlich gar nicht so einfach. So wurde besonders der Begriff der Unregelmässigkeit der Versorgung in quantitativer Beziehung angewendet. Nun müssen aber die verschiedenen Aspekte dieser Unregelmässigkeit näher untersucht werden und dafür ein entsprechender Maßstab festgelegt werden. [1])

3.2. Die Elemente der Qualität der Dienstleistung

Von diesen Faktoren wurde bereits die unterbruchslose Energielieferung, oder die Dienstbeständigkeit, sowie die Gleichmässigkeit der Spannung erwähnt.

Bezüglich der Spannung kann man diesen Faktoren noch die Verzerrungsfreiheit der Spannungswelle beifügen, und in mehrphasigen Systemen die Abwesenheit von Unsymmetrien.

Schliesslich muss ebenfalls auf konstante Frequenz genügend Wert gelegt werden.

Es ist leicht nachweisbar, dass die oberwähnte allgemeine Analyse der gegenseitigen Beziehungen zwischen den Energielieferanten, den Verbrauchern und den Apparateherstellern auf jede beliebige Qualität der Versorgung bezogen werden kann. Wir werden dies in der Folge nicht unterlassen, freilich in abgekürzter Form, ausser für den Faktor «Spannungsbeständigkeit». In diesem letzten und äusserst wichtigen Fall werden wir die Möglichkeit einer genauen quantitativen Erfassung näher erläutern.

3.2.1. Konstante Frequenz

Im Bereiche des Nennwertes bleiben geringfügige Schwankungen für den Verbraucher völlig belanglos, sofern dieser die Netzfrequenz nicht als Referenzwert benutzt. Starke Schwankungen dagegen stören den Betrieb vieler Apparate, doch ereignen sie sich nur bei ernsthaften Zwischenfällen (Unterbrechung des Synchronismus, die Unterteilung des Netzes in mehrere autonome Gruppen zur Folge hat); sie bilden dann nur einen besonderen Aspekt des Problemes der unterbruchslosen Versorgung.

Unter diesen Umständen sehen sich die Produzenten elektrotechnischer Geräte genötigt, ihre Apparate nach folgenden Gesichtspunkten zu gestalten:

— unter der Annahme, dass die Netzfrequenz nicht als Eichfrequenz benützt werden kann;

— im Hinblick darauf:

a) dass gewisse Netze selbst nach einem Verlust des Synchronismus weiterhin gespiesen werden können, jedoch mit einer stark von 50 Hz abweichenden Frequenz, also z. B. 48 und 51 Hz;

b) dass bei einem Verzicht auf diese Möglichkeit frequenzempfindliche Relais bei Netzstörungen die Apparate durch Unterbrechung des Stromkreises ausschalten.

Wahrscheinlich kann man durch diese Massnahmen keine allgemeinen Optimalwerte erzielen, doch würde es dem öffentlichen Interesse widersprechen, den Stromlieferanten zu einer Frequenzregelung mit einer Genauigkeit von beispielsweise 1/1000 zu verpflichten, um dadurch die Konstrukteure vom Einbau von Vorrichtungen zu dispensieren, die (z. B. durch Quarz gesteuert) die erforderliche Normfrequenz erzeugen.

3.2.2. Verzerrungsfreiheit der Spannungswelle

Die zur Speisung eines elektrischen Verteilnetzes eingesetzten Generatoren sind derart konstruiert, dass sich die von ihnen erzeugte elektromotorische Kraft weitgehend einer rein sinusförmigen Zeitfunktion nähert. Gewisse Oberwellen dieser Grundfrequenz lassen sich allerdings nicht ganz vermeiden (Feldverzerrung, Verzahnungsoberwellen). Diese Generatoren liefern also nicht nur eine elektromotorische Kraft, die die Grundfrequenz besitzt, sondern ebenfalls eine elektromotorische Kraft für die Oberwellen. Nun sind aber diese Oberwellen verhältnismässig schwach und dürften, falls keine weiteren Einwirkungen vorhanden sind, kaum merkliche Störungen verursachen.

Stellt man sich nun an irgend einen beliebigen Punkt des Netzes, so wird man in der Spannung wie auch im Strom Oberwellen von nicht vernachlässigbarem Ausmasse feststellen können. Dies beruht auf dem Einfluss der im Netze befindlichen Apparate, wie z. B. gesättigte magnetische Kreise, Quecksilbergleichrichter usw. Die derart erzeugten Oberwellen können ausserdem in den Netzen oder Netzteilen durch Resonanzerscheinungen verstärkt werden. In vielen Fällen machen sie sich bemerkbar: beispielsweise in den Leitern durch Jouleschen Effekt, durch Erwärmung der Dämpferwicklungen der Synchronmaschinen, durch dielektrische Verluste der Kondensatoren und durch Resonanzerscheinungen. Die Oberwellen erzeugen ebenfalls Störungen in den mit Quecksilbergleichrichtern, Thyratron, usw. ausgerüsteten Stromkreisen usw.

In gewissen Fällen kann sich somit die Anwesenheit von Oberwellen bei 50 Hz-Netzen nachteilhaft auswirken. In dieser Beziehung ist die Lage in den Netzen vorderhand noch

[1]) Es wurden bereits Anstrengungen unternommen, Messgeräte zur Bestimmung einiger Qualitätsmerkmale der Versorgung zu bauen. Im Anhang I wird dieses Thema behandelt.

ziemlich zufriedenstellend. Der Oberwellenanteil der Spannungsoberwellen 5., 7. und 11. beträgt gewöhnlich nicht mehr als 5, bzw. 2 und 1 % der Grundwelle. Der Oberwellenanteil der dritten Harmonischen hängt von der Transformatorenschaltung ab, ist aber meistens kleiner als 10 %. Höhere Oberwellen sind — von Einzelfällen abgesehen — völlig unbedeutend. Trotzdem sollte man keine Apparate anschliessen, welche zu viele Oberwellen erzeugen: zur Wahrung des öffentlichen Interesses sähe man sich veranlasst, trotz der unvermeidlichen Preiserhöhung solche Apparate weniger störanfällig zu gestalten. Dagegen sollte man auch nicht an allen erdenklichen Netzstellen zusätzliche Sperrkreise gegen die Oberwellenströme einschalten, um durch diese Massnahme nur einige seltene und sehr empfindliche Geräte vor Störungen zu schützen; diese sind ja vorteilhafter mit eigenen Sperrkreisen auszurüsten.

3.2.3. Unsymmetrie in den mehrphasigen Systemen

Der Anschluss der einphasigen, oder allgemeiner, einer unsymmetrischen Last an ein Dreiphasennetz verursacht zwischen den Spannungen dieses Netzes Verschiebungen; diese offenbaren sich durch die Erscheinung einer entgegengesetzten Komponente, wenn eine einphasige Last an zwei Phasenleiter angeschlossen wird, und durch eine entgegengerichtete Komponente im Nulleiter, wenn der Anschluss zwischen einem Phasenleiter und dem Nulleiter erfolgt. Grössere Verbraucher werden gewöhnlich zwischen den Phasen angeschlossen.

In diesem Zusammenhang möchten wir daran erinnern, dass die Anwesenheit einer entgegengesetzten Spannungskomponente eine Doppelwirkung verursacht:

— In rotierenden Drehstrommaschinen erzeugt die entgegengesetzte Spannung einen entsprechenden Strom und ein Gegenfeld; dies bewirkt bei den Asynchronmotoren eine Erhöhung der Verluste und eine Reduktion des Wirkungsgrades. Bei den mit Dämpferwicklungen ausgerüsteten Wechselstromgeneratoren wird im Dämpfer ein Strom erzeugt, welcher die Erwärmung erhöht.

— Bei den einphasigen Anwendungen (wie dies ja bei den meisten Abonnenten der Fall ist) wirkt sich die Gegenkomponente durch eine Änderung des Spannungswertes aus. Der arithmetische Mittelwert der drei Phasenspannungen bleibt unverändert, aber die drei Spannungen sind gegenseitig verschieden.

Die Erscheinung einer Gegenkomponente bewirkt wechselseitig einen Spannungsabfall in den Netzen, deren Belastung gerade durch einen bestimmten zulässigen Spannungsabfall begrenzt ist (was ja meistens in sämtlichen Netzen zutrifft). Die Leistung wird also stark vermindert: diese Unsymmetrien erfordern eine vorzeitige Verstärkung der bestehenden Verteilnetze.

Da die einphasigen Anwendungen gegenwärtig eine immer grössere Verbreitung finden, muss dieser Frage heute eine grössere Beachtung gewidmet werden. In diesem Zusammenhang könnte man speziell die Schweissmaschinen in den Niederspannungsnetzen erwähnen, sowie die einphasige Zugsförderung, die durch einfache einphasige Transformatoren oder Scott-Transformatoren unmittelbar von den Hochspannungsnetzen gespiesen wird.

Sollte man nun bei hohen Leistungen zur Erreichung einer qualitativ besseren Versorgung nur dreiphasige Apparate zulassen, die oft bedeutend kostspieliger als nur einphasige Geräte sind und ausserdem die Netze durch eine Vermehrung der dreiphasigen Anschlüsse verteuern, oder soll man sich mit einer geringeren Versorgungsqualität begnügen und weniger spannungsempfindliche Geräte benützen?

3.2.4. Unterbruchsfreie Versorgung

Die statistische Erfassung der Stromunterbrüche hat sich bisher als beste Methode zur Definition dieses Begriffs erwiesen, sofern bei jeder Panne folgende Daten registriert werden: die Dauer, die Anzahl der davon betroffenen Abonnenten, die beim Störungsausbruch abgeschaltete Leistung und die in dieser Zeitspanne nicht verkaufte Energiemenge. Zur Erfassung dieser drei oder vier Faktoren könnte man eine geeignete Formel aufstellen und ausserdem den durch diese Störung betroffenen Kundenkreis durch einen Faktor gewichten. Ein Stromunterbruch würde dann durch eine solche Formel in einen numerischen Wert umgewandelt.

In Frankreich berücksichtigt man als einziges Kriterium die nicht verkaufte Energie. Der Quotient dieser Energie durch die vom Netz gelieferte mittlere Leistung ergibt die mittlere Dauer der Unterbrechung, welche die Qualität der Versorgung kennzeichnet.

Dieses Verfahren wird übrigens praktisch auf den Verteil- und Übertragungsnetzen angewendet, wobei kontinuierliche Aufzeichnungen die erforderliche statistische Auswertung gewährleisten. In den Mittelspannungsnetzen ersetzt man dagegen die nicht verteilte Energie durch das Produkt der von den Abonnenten bezogenen Leistung und der Dauer der Unterbrechung. Wird dieses Produkt durch die Summe der geforderten Leistung dividiert, so erhält man die mittlere Unterbrechungsdauer.

Bei der Niederspannung wird für die Berechnung schliesslich die geforderte Leistung durch die Zahl der betroffenen Abonnenten ersetzt und das dadurch erhaltene Produkt durch die Gesamtzahl der Abonnenten dividiert.

Die Betriebssicherheit kann durch den Energieproduzenten hauptsächlich durch Notstromkreise und Verwendung von zuverlässigem Material erhöht werden.

Die Konstrukteure können dagegen lediglich, sofern dies nicht zu kostspielig ist, ihre Apparate gegen kurzfristige Stromunterbrechungen unempfindlicher gestalten (d. h. für Zeitspannen einiger Zehntelsekunden, welche zur Wegschaltung kurzfristiger Störungen durch die Schutzvorrichtungen des Netzes erforderlich sind).

3.2.5. Konstante Spannung

Die Spannungsschwankungen des Netzes sind hauptsächlich auf die vom Kunden verursachten Leistungsänderungen zurückzuführen, welche ihrerseits von der Tageszeit abhängig sind.

Man kann folgende Änderungen unterscheiden:

— Äusserst rasche, sprunghafte Änderungen. Sie werden oft durch das Einschalten der Apparate (Lampen, elektrische Heizkörper usw.) verursacht, sowie durch den unstabilen Betrieb gewisser Geräte (Lichtbogenöfen, Schweissapparate usw.), oder sie sind auf das Einwirken der Regelvor-

richtungen des Netzes zurückzuführen (Stufenschalter der Transformatoren).

Weniger rasche oder sogar langsame Schwankungen:

— infolge veränderter Betriebsverhältnisse gewisser Apparate (Anlaufen der Motoren usw.);

— oder als Ergebnis einer Reihenfolge von plötzlichen, aber fast unendlich kleinen oder grösstenteils gleichgerichteten Schwankungen. So wird beispielsweise die Einschaltung des Backofens eines Elektroherdes beim Benützer dieses Apparates und noch in einer gewissen Umgebung einen schroffen Spannungssprung erzeugen. Um die Mittagszeit wird nun die Einschaltung einer grossen Anzahl von Backöfen aller elektrischer Kochherde an sämtlichen Stellen des Netzes einen langsamen Spannungsabfall bewirken. Dieser Spannungsabfall wird nicht nur von einer kleinen Anzahl starker Spannungssprünge infolge der Einschaltung der nahegelegenen Apparate verursacht, sondern auch durch viele kleine Spannungssprünge der Elektroherde, die sich gar nicht in unmittelbarer Nähe befinden.

Die schroffen Spannungsänderungen oder Flimmereffekte

Unter den Nachteilen, welche unmittelbar durch den Flimmereffekt verursacht werden, müssen an erster Stelle die von den Benützern der elektrischen Beleuchtungsanlagen erlittenen starken Beleuchtungsschwankungen angeführt werden, ferner die Funktionsstörungen bei Fernsehgeräten. Ebenfalls erwähnenswert ist noch der Einfluss auf die Motoren, der sich in einer beschleunigten Abnützung auswirkt, sowie die nachträgliche Einwirkung auf die radiographischen und photographischen Anlagen, die Radaranlagen, die elektronischen Datenverarbeitungsanlagen usw.

Gemäss allen vorausgehenden Ausführungen bilden die Amplitudengrenzen der zulässigen raschen Spannungsänderungen der Netze einen Kompromiss zwischen den für die Reduktion der Empfindlichkeit der Apparate aufgewendeten Mitteln einerseits und dem Aufwand für die Verminderung der Amplituden dieser Schwankungen anderseits. Die Amplitudenverminderung kann entweder durch eine Reduktion der Impedanz der Netze erzielt werden, oder durch Umgestaltung der störenden Apparate und schliesslich indem auf den Anschluss gewisser Apparate verzichtet wird, deren wirtschaftlicher Vorteil dadurch verlorengeht.

Auf rasche Spannungsschwankungen unempfindliche Apparate können künftig konstruiert werden. Es scheint aber notwendig, dass ihre Gestaltung so weitgehend als möglich — und ohne Beeinträchtigung der Benützer — rasche Spannungsschwankungen zulässt, deren Amplitude über dem Bereich der gegenwärtig in den Netzen zulässigen Grenzwerte liegt. Studien über die Unempfindlichkeit dieser Apparate sind ja in der Tat viel wirtschaftlicher als eine spätere Abänderung der Apparate odere der Netze, die zu ihrer Speisung dienen. Die gleichen Überlegungen gelten selbstverständlich auch für neue Geräte, die Störungen verursachen können. Das nachfolgende Beispiel erläutert den Vorteil dieses Verfahrens: Die ersten Haushalt-Kompressorkühlschränke wurden mit langsamlaufenden Kompressoren ausgerüstet (5 bis 10 Verdichtungen pro Sekunde) und erzeugten einen recht unangenehmen Flimmereffekt, wenn sie vor den Stichleitungen angeschlossen wurden. Aus verschiedenen Gründen (Geräusch, Schwingungen, kompakte Bauart usw.) wurde dann die Verdichtungsfrequenz der Kompressoren erheblich gesteigert (30 bis 50 pro Sekunde); diese neuen Apparate erzeugen während ihres Betriebes überhaupt keine Störungen. Hätten die Verordnungen über rasche Spannungsschwankungen damals schon existiert oder wäre der Flimmereffekt besser bekannt gewesen, so hätten die Fabrikanten schon bei der Produktionsaufnahme Anlagen mit höheren Verdichtungsfrequenzen hergestellt.

Alle Mittel zur Behebung des Flimmereffektes durch eine Veränderung der Netze erfordern eine Verringerung der Impedanz des Netzes am Anschlusspunkt des störenden Apparates.

Zu diesem Zweck kann man entweder den Querschnitt der Leiter verstärken (bei Niederspannung ist meistens nur diese Lösung möglich), oder den Apparat an eine höhere Spannung anschliessen. Schliesslich verbleibt noch zur Verminderung der Impedanz die Möglichkeit, Kondensatoren in Reihenschaltung an das Netz anzuschliessen.

Die langsamen Spannungsänderungen

Die Untersuchung dieses Aspektes der Versorgungsqualität war der Gegenstand des Berichtes V.4, der anlässlich des Kongresses von 1961 in Baden-Baden vorgelegt wurde.

Aus diesen Angaben darf geschlossen werden, dass der Betrieb und die Lebensdauer der Verbrauchergeräte ebenfalls durch Spannungsänderungen nachteilig beeinflusst werden, falls die vom Konstrukteur festgelegten Werte über- oder unterschritten werden.

Diese Nachteile sind für geringe Spannungsschwankungen verhältnismässig bedeutungslos und dürfen oft vernachlässigt werden. Sie werden dagegen sehr bedeutungsvoll, wenn die Spannung allzu stark vom optimalen Werte abweicht, so dass die Benützung der Geräte unmöglich wird.

Über diese Erscheinung kann man sich sofort ein Bild machen, wenn man überschlägig rechnet, dass der Nachteil infolge der Abweichung der Spannung V von ihrem optimalen Wert ja dem Quadrat dieser Abweichung proportional ist. Da nun die Konstrukteure als optimalen Wert der Betriebsspannung die meist verbreitete Betriebsspannung des Netzes wählen (welche als Netzspannung V_0 bezeichnet werden kann), entspricht der Nachteil der Spannungsänderung $(V—V_0)^2$ oder auch dem Quadrat der prozentualen Abweichung:

$$\frac{V-V_0}{V_0} = v\,[\%]$$

Für einen gegebenen Wert v verändern sich die Folgen der Spannungsänderungen je nach dem Gerätetyp und wachsen mit der Anzahl der Geräte, welche diesen Störungen unterworfen sind.

Ist in einem Punkt i des Netzes und zu einem Zeitpunkt t die Betriebsleistung der Geräte vom Typ «k» durch $P_{ik}(t)$ gegeben, so entspricht der zu berechnende Nachteil während einer infinitesimalen Zeitspanne dt somit $\alpha_k P_{ik}(t)\, v_i^2(t)\, dt$, worin $v_i(t)$ den Wert der relativen Abweichung (in %) be-

zeichnet. α_k entspricht dem wirtschaftlichen Wert des Nachteiles und wird somit in Fr. pro (%)^2 kWh ausgedrückt.

Bezüglich der Versorgungsqualität können die Spannungsänderungen den Gegenstand einer gleichen Analyse bilden, wie wir sie bereits vorgehend benutzten, um auf die Notwendigkeit einer Verständigung zwischen Energieproduzenten, Verbrauchern und Geräteherstellern hinzuweisen.

Da man nun diesen Spannungsänderungen einen sehr genauen wirtschaftlichen Wert beimessen kann, werden wir in der Folge als Beispiel beweisen, dass diese gegenseitige Verständigung die Erzielung eines Optimalwertes gestattet, welcher den Interessen sämtlicher Beteiligten entspricht.

3.3. Die Existenz eines Optimalwertes der Versorgungsqualität

Betrachten wir einmal ein elektrisches Netz, das zur Versorgung einer genau begrenzten Gegend dient, und berechnen wir die Kosten, welche die «Gemeinschaft» in seinen Bau, seinen Betrieb und seine Nutzbarmachung für eine gewisse Zeitspanne investiert hat.

Dabei ergeben sich folgende Kosten:

1. Auslagen für den Bau, die Renovation, den Unterhalt, den Betrieb, die Verwaltung, d. h. für gewisse Faktoren, welche nur von der Ausdehnung der Anlage abhängen, wobei diese Ausdehnung selbstverständlich in Funktion der Zeit aufgefasst werden muss (erforderliche Erweiterungen und Verstärkungen zur Deckung einer erhöhten Energienachfrage).

2. Produktions- und Transportkosten für die Energieübertragung bis zum Verbraucherzentrum. Diese Auslagen sind praktisch unabhängig von den Ereignissen innerhalb dieser Gegend und bilden für die «Gemeinschaft» einen konstanten Wert. (Die Abonnenten dieser Gegend sind zum Bezug der für sie erforderlichen Energie berechtigt.) Dieser Faktor wird also in der Folge nicht berücksichtigt werden.

3. Auslagen für die Herstellung und den Ersatz der Verbrauchergeräte (Motoren, Lampen, Elektroherde usw.).

4. Kosten der wirtschaftlichen Nachteile, die dadurch entstehen, dass Verbrauchergeräte wegen der unregelmässigen Versorgung nicht unter optimalen Betriebsbedingungen eingesetzt werden können (im vorliegenden Falle infolge langsamer Spannungsschwankungen).

Es werden folgende Bezeichnungen eingeführt:

— Für den Entwicklungsstand des Netzes die Raum-Zeit-Variable x und F^0 (x) für den im Referenzzeitpunkt aktualisierten Wert sämtlicher Baukosten usw. (siehe 1. oben) während einer vorbestimmten Zeitspanne T;

— für den aktualisierten Wert der Gerätekosten vom Typ k (siehe 3. oben) die Bezeichnung $H^0{}_k$. Diese Kosten sind allerdings abhängig von der Unempfindlichkeit der Geräte gegenüber den langsamen Spannungsschwankungen. Der Unempfindlichkeitsgrad beeinflusst seinerseits den vorgehend definierten Faktor α_k; $H^0{}_k$ ist also eine Funktion von α_k und somit $H^0{}_k(\alpha_k)$;

— für die Abweichung der Spannung im Punkte i des Netzes dieser Gegend gegenüber dem gemeinsamen optimalen Wert sämtlicher Geräte der Faktor $v_i(x)$. Diese Abweichung hängt natürlich von der Entwicklung x des Netzes ab (siehe Punkt 4. oben);

— für die während dieser Zeit im Punkt i für ein Gerät der Type «k» benötigte Leistung den Faktor p_{ik} (t).

Der aktualisierte Wert des wirtschaftlichen Nachteils sämtlicher Geräte der Type «k» infolge der langsamen Spannungsschwankungen wird folgendermassen ausgedrückt:

$$\alpha_k \sum_i \int_T e^{-\lambda t} \sum_i p_{ik}(t)\, v^2(i, x)\, dt$$

worin λ der gewählte Aktualisierungssatz ist. Man bezeichnet diesen Ausdruck mit $\alpha_k T^0{}_k(x)$.

Die aktualisierten Gesamtkosten zu Lasten der «Gemeinschaft» sind somit:

$$\boxed{F^0(x) + \sum_k \alpha_k T^0{}_k(x) + \sum_k H^0{}_k(\alpha_k)}$$

Diese wirtschaftliche Belastung soll auf ein Minimum reduziert werden.

In der Annahme, dass k im Gesamtwert K(kεK) enthalten ist und α den Vektor der Komponente α_k bildet, erhält man den Minimalwert des betreffenden Ausdruckes für einen bestimmten Wert von α, wenn man den Differentialquotienten nach x gleich Null setzt. Der berechnete Wert wird mit $\hat{x}$ (α) bezeichnet.

Das bedeutet nun, dass wir die optimale Entwicklung des Netzes für eine Gesamtheit von Verbrauchergeräten gefunden haben, welche durch die Gerätehersteller angeboten wurden.

Der Faktor α kann selbstverständlich derart gewählt werden, dass:

$$F^0[\hat{x}(\alpha)] + \sum_k \alpha_k T^0{}_k[\hat{x}(\alpha)] + \sum_k H^0{}_k(\alpha)$$

durch Nullsetzung seiner Differentialquotienten zu den Komponenten von α ein Minimum ergibt; der resultierende Wert sei $\hat{\alpha}$.

Dies bedeutet nun, dass wir die *Spezifizierungen* (im Verhältnis zur Unempfindlichkeit gegenüber den langsamen Spannungsschwankungen) ermittelt haben, also die Spezifizierungen, denen die Verbrauchergeräte entsprechen sollten.

Nun ist es selbstverständlich Aufgabe der Konstrukteure, diese Spezifizierungen mit den geringsten Materialkosten zu erreichen.

Man wird feststellen, dass gerade durch die im Interesse der Allgemeinheit ausgeführten Optimierung die Spannungsabweichung in jedem Punkte i des Netzes durch $v_i[\hat{x}(\hat{\alpha})]$ gekennzeichnet wird und der aus den Spannungsschwankungen erfolgende Nachteil folgendermassen ausgedrückt werden kann:

$$\hat{T}^0{}_i = \int_T e^{-\lambda t} \sum_k \alpha_k p_{ik}(t) \qquad [\hat{x}(\hat{\alpha})]\, dt$$

Der Hut ^ auf dem $T^0{}_i$ bedeutet, dass dieser Nachteil im Interesse der «Allgemeinheit» zu Lasten des Verbrauchers i fällt.

Was bedeutet dann die im Pflichtenheft zur Konzessionserteilung gesetzlich vorgeschriebene Begrenzung der Span-

nungsschwankungen bei jedem Verbraucher? Diese Vorschrift bedingt, dass die zeitabhängige Funktion $v_i[\hat{x}(\hat{\alpha})]$ nicht alle beliebigen Werte annehmen kann und dass diese Werte, insbesondere unter Berücksichtigung der traditionellen Auffassungen[1]), einen bestimmten Bereich nicht übertreten dürfen.

Auf den ersten Blick scheint diese Forderung im Gegensatz zum Interesse der «Allgemeinheit» zu stehen, ist aber an sich gar nicht überraschend, da die Gesetzgebung auch in ihrer bescheideneren Gestaltung in der Form des Pflichtenheftes einen Ausgleich zwischen den kollektiven und den persönlichen Interessen anstreben muss.

Aus den vorgehenden Ausführungen ist ersichtlich, dass innerhalb der vom Gesetzgeber umrissenen Grenzen Differenzen in der Bedienung der Abonnenten leider unvermeidlich sind. In gleicher Weise beweist die Existenz eines Optimalwertes ganz eindeutig, dass dieses Optimum je nach den betreffenden Netzen recht unterschiedlich ausfallen kann. Nun ist es eben Aufgabe des Gesetzgebers, darüber zu wachen, dass bestimmte Abonnentengruppen nicht zum Vorteil anderer stark benachteiligt werden. Es ist ja immer möglich, die Kosten einer Abweichung vom absoluten Optimalwert zu ermitteln, während der Gesetzgeber anderseits befugt ist, als Schiedsrichter zwischen den Gemeinschaften und Gruppengemeinschaften unter Berücksichtigung der Kosten einzugreifen.

Die vorgehenden Ausführungen beweisen offensichtlich und eindeutig die gegenseitige Abhängigkeit der an den elektrischen Verteilnetzen angeschlossenen Benützer, der Energieproduzenten und der Hersteller der Verbrauchergeräte.

Auf technischem Gebiete konnte die Rolle des Gesetzgebers hervorgehoben werden sowie die Pflichten der Energieverteiler und der Gerätehersteller und schliesslich noch die Begrenzung der Ansprüche der Verbraucher.

Die allgemeingültigen Richtlinien, welche dem Konzessionsinhaber eines öffentlichen Dienstes auferlegt werden, verpflichten ihn im Rahmen der durch den Gesetzgeber erlassenen Bedingungen, die individuellen Bedürfnisse des Verbrauchers zu befriedigen unter gleichzeitiger Einschränkung der von der «Allgemeinheit» geforderten Auslagen (wobei dem Wort «Allgemeinheit» ein mehr oder weniger ausgedehnter Sinn beigemessen wird).

Anhang

1. Statistisches Voltmeter

Das Prinzip dieses Gerätes wurde bereits im Bericht IV.1, der am Kongress von 1955 in London vorgelegt wurde, erläutert.

Zwei industrielle Ausführungen konnten seither in Serie hergestellt werden.

Betrachtet man die prozentuale Spannungsabweichung $v(t)$ in einem bestimmten Punkt des Netzes als eine unbestimmte, dauernde Veränderliche, die innerhalb einer Periode T an ein Wahrscheinlichkeitsgesetz gebunden ist, so kann

[1]) Man könnte sich vorstellen, dass der Gesetzgeber nur die Einhaltung von mittleren oder statistischen Werten fordert (mittlerer Spannungswert, typische Abweichung usw.).

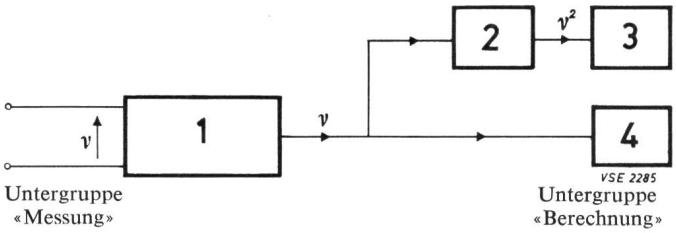

Fig. 2
Statistisches Voltmeter, Funktionsschema
1. Ermittlung der reduzierten Abweichung v
2. Berechnung von v^2
3. Integration von v^2
4. Integration von v

dieses Gesetz für verschiedene Faktoren, besonders die beiden ersten Faktoren — Mittelwert und Variabilität — ermittelt werden, welche dann durch folgende Formeln ausgedrückt werden:

$$\text{Mittelwert } m = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt$$

$$\text{Variabilität } V = \frac{1}{T}\int_0^T (v(t)-m)^2\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T v^2(t)\,dt - m^2$$

Der statistische Voltmeter dient somit:

— in jedem Moment zur Messung von $v(t)$ (Untergruppe der Messungen);

— zur Integration auf 3 Zählern (Untergruppe der Berechnungen)

  — der reduzierten Abweichung

  — ihres Quadrates

  — der Zeit
  (siehe Funktionsschema des Gerätes in der Fig. 2).

Infolge der Schwierigkeiten:

— das Quadrat einer analogen Grösse zu bilden und

— eine solche Grösse fehlerlos zu integrieren

wurden folgende Massnahmen ergriffen:

— Die gemessene Grösse (Spannungsabfall) wurde quantitativ erfasst und das Quadrat dieser Werte durch eine numerische Methode (Steckeinheit) ermittelt.

— Die Integrale wurden in den oben erwähnten Formeln durch Summen ersetzt: der Spannungsabfall in einer festen Frequenz gemessen und die Ergebnisse der Messung und der Berechnung werden nach jeder ausgeführten Messung aufgespeichert.

Dadurch wurde ein Gerät geschaffen, das alle Minuten:

— die Abweichung von der Netzspannung, an welche es angeschlossen ist, misst;

— den Wert v dieser Abweichung einem Rechenwerk mit drei Zählern übermittelt: dem Zählwerk für die *Einheiten*, dem Zählwerk für die *Quadrate* und dem Zählwerk für die Anzahl der ausgeführten Messungen.

Das Rechenwerk muss nun die Werte folgendermassen ergänzen:

— der Zahl M des Zählwerkes für die linearen Glieder muss der Faktor v beigefügt werden;

— v^2 muss mit der Zahl C des Zählwerkes für die quadratischen Glieder ergänzt werden;

— die Zahl N des Zählwerkes für die Anzahl der Messungen muss durch 1 ergänzt werden.

Als Zeitgeber für den Ablauf der Messungen und der Berechnungen dient ein Synchronmotor. Die Spannungsabweichungen werden durch das Messgerät in ganzen Zahlen ausgedrückt und in der Rechenanlage arithmetisch verwertet.

Bisher wurden 200 solcher Apparate hergestellt.

Ihre Anwendung gestattete uns die wissenschaftliche Analyse verschiedener technischer Betriebsprobleme ohne Mithilfe weiterer Rechenanlagen, da das Gerät an sich ja in dieser Beziehung bereits autonom ist.

Unter diesen Problemen sei noch die lastabhänige Spannungsregelung der Mittelspannungsnetze erwähnt sowie die genaue und vergleichsmässige Erfassung der Netzspannungen, insbesondere der Niederspannungen zur

— Festlegung der Leerlaufspannung der Mittel- und Niederspannungstransformatoren nach einer korrekten Regelung des Mittelspannungsnetzes;

— anderseits zur Unterteilung der Netze in Abhängigkeit ihres Spannungsabfalls, um damit das Programm der künftigen Verstärkungs- und Erweiterungsarbeiten festzulegen.

*

Gegenwärtig wird ein vereinfachtes Modell dieses Apparates entwickelt, welches nicht nur billiger und unempfindlicher sein wird, sondern den laufenden Betriebsbedürfnissen auch besser entspricht (Reduzierung des Messbereiches, Möglichkeit einer einzigen Messung innert 10 Minuten statt in jeder Minute, Messungen einer einzigen Phase, während der Apparat bisher die Phasen auf jede Einheit automatisch umschaltete usw.).

Im gleichen Sinne wird ebenfalls an einem Voltmeter mit β-Strahlen experimentiert, das auf einem äusserst einfachen Prinzip aufgebaut ist: Am Ende des Messzeigers eines Voltmeters sendet eine kleine Menge radioaktives Strontium β-Strahlen aus.

Dieser Zeiger bewegt sich nun vor einer lichtempfindlichen Platte. Die mehr oder weniger stark ausgeprägte Schwärzung, welche sich bei der Entwicklung an irgendeiner Stelle dieser Platte ergibt, gibt Aufschluss über die Aufenthaltsdauer des Zeigers an dieser Stelle. Eine Analyse der Platte mit Hilfe eines optischen Mikrodensitometers gestattet die Ermittlung der Häufigkeitsverteilungskurve der Spannung für den betreffenden Messpunkt. Eine solche Kurve, welche ausserdem den Vorteil einer Veranschaulichung der statistischen Häufigkeit der Spannung am Messpunkte bietet, ermöglicht die Bestimmung des Mittelwertes der Veränderung durch einfache Berechnung, genau so einfach wie mit Hilfe eines statistischen Voltmeters.

Allerdings muss gleichzeitig auch erwähnt werden, dass ein so einfacher Apparat zu seiner Bedienung zwei zusätzliche Hilfsmittel erfordert, nämlich:

— ein Laboratorium zur Entwicklung der belichteten Platte,

— ein optisches Mikrodensitometer.

Dieses Gerät kann somit nicht für eine unmittelbare Verwertung der Ergebnisse benutzt werden.

Die gegenwärtigen Versuche erstrecken sich noch auf andere statistische Geräte, welche sich hauptsächlich auf gewisse Bereiche beschränken und dadurch eine erste überschlägige Berechnung einer unbestimmten Veränderlichen gestatten.

2. Gerät zur Messung des Flimmereffektes, Flimmerphotometer

Das bei Glühlampen auftretende Flimmern hängt einerseits von der Grösse der Spannungsschwankungen ab und anderseits von der Frequenz dieser Schwankungen.

Die experimentelle Erforschung dieser Erscheinung ergibt, dass der gesamte Komplex Glühlampe-Auge des durchschnittlichen Beobachters sich zu diesen Schwankungen wie ein Filter verhält und damit die Aufzeichnung dieser Kurve in Abhängigkeit der Frequenz ermöglicht. Der Höchstwert dieser Kurve wird bei einer Frequenz von 10 Hz erreicht. Diese tatsächlich vorhandenen Störungen können übrigens durch eine sinusförmige Spannungsmodulation mit einer Frequenz von 10 Hz ersetzt werden, welche während der gleichen Zeit die gleiche lästige Empfindung wie das wirkliche Flimmern verursacht. Anderseits wurde festgestellt, dass diese Störung durch die Formel

$$G = \int_0^T a^2 \, dt$$

ausgedrückt werden kann, worin a der Grösse der sinusförmigen Spannungsmodulation bei 10 Hz entspricht und T der Dauer des Flimmerns. Dieser Ausdruck G wird Flimmerdosis genannt und kennzeichnet das Ausmass des bestehenden Flimmerns. Als Dosiseinheit wurde die $(\%)^2$/Minute einer sinusförmigen Schwankung bei einer Frequenz von 10 Hz eingesetzt.

Mit Hilfe dieser Versuchsdaten konnte ein Messgerät gebaut werden, das die durch irgendeine Spannungsstörung verursachte Flimmerdosis anzeigt.

Dieses Gerät (Fig. 3) umfasst:

— einen Zweiweggleichrichter,

— ein Filter zur Aussiebung der 50 Hz-Frequenz, dessen Antwortfunktion bei sehr niedriger Frequenz der des Komplexes Auge-Lampe entspricht. Am Ausgang dieses Filters besteht eine Spannung, deren Schwankungen die Hüllkurve der Scheitelwerte der Netzspannung bilden. Die Hüllkurve ist durch Antwortfunktion des Filters korrigiert;

— einen Verstärker für die Ausgangsstufe, zu welchem parallelgeschaltet werden:

  — eine Vorrichtung zur Ermittlung der Amplitude eines 10 Hz entsprechenden Flimmerns; diese Grösse kann mittels Milliampèremeter abgelesen werden;

  — eine Quadrierungs- und Integrierungsvorrichtung zur Ermittlung der Grösse $\int_0^T a^2 \, dt$ Die Integrierungsvorrichtung ist ein OK-Zähler, dessen Anzeige einerseits durch direkte Ablesung auf einer Skala erfolgt und anderseits durch elektrische Impulse, die auf ein Registriergerät vom Typ «Maxiprint» übertragen werden. Alle 10 Minuten ermittelt dieses Integriergerät die Summe der erhaltenen Impulse.

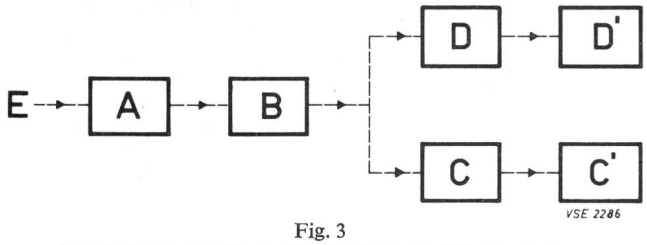

Fig. 3
Schematische Anordnung der Messkette des Flimmermessers

A Gleichrichter + Filter
B Verstärker
C' Milliampèremeter
D Quadriervorrichtung
D' OK-Zähler
E Eingabe

Die Anwendung des Registriergerätes «Maxiprint» bietet zwei Vorteile:

— Einerseits kann die Flimmerdosis für jede Minute ermittelt werden und damit die Flimmerkurve in Abhängigkeit der Zeit während der gesamten Störungsdauer T aufgezeichnet werden. Damit wird es nun möglich, den Einfluss der verschiedenen Betriebsphasen der Störquelle auf die Bedeutung des verursachten Flimmerns zu erkennen.

— Anderseits wird die Flimmerdosis, welche der Zeitspanne einer Minute entspricht, auf dem Papierstreifen des Registriergerätes sowohl verschlüsselt wie auch klar gedruckt. Die verschlüsselten Werte werden durch eine mit einer Photozelle ausgerüsteten Vorrichtung auf eine Lochmaschine übertragen, welche automatisch Lochkarten herstellt; die Lochkarten ermöglichen die Übertragung dieser Daten in eine arithmetische Rechenmaschine. Auf diese Weise wird jeder manuelle Eingriff zwischen dem Messinstrument und der durch die Rechenmaschine direkt ermittelten Flimmerkurve ausgeschaltet.

In dieser Weise kann eine grosse Anzahl von Daten des Messinstrumentes verwertet werden, da die Rechenanlage auf dem gleichen Diagramm mehrere Kurven aufzeichnen kann (siehe Fig. 4). Diese Möglichkeit erweist sich als äusserst nützlich, wenn man die Flimmerdosis entweder statistisch untersuchen will oder dann den Einfluss einer einzigen Störquelle an verschiedenen Stellen des Netzes bzw. verschiedener Störquellen an einem einzigen Punkte des Netzes ermitteln will.

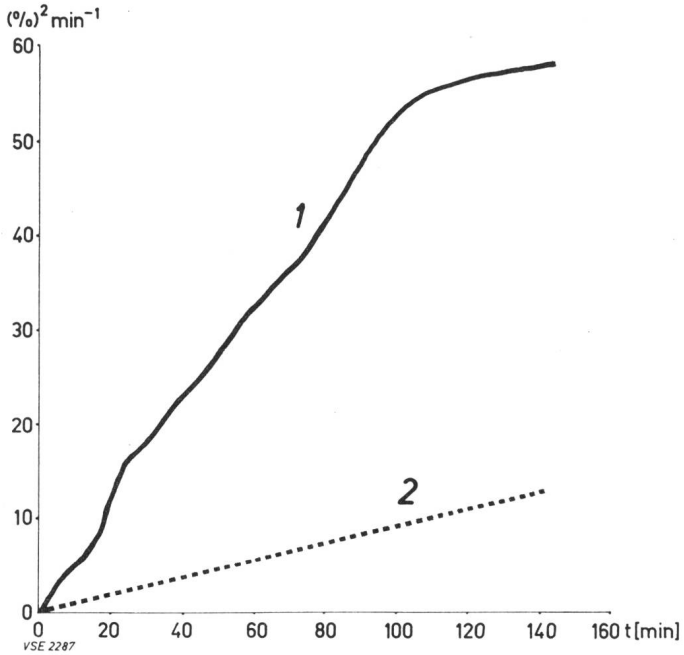

Fig. 4

1 Messung
2 Schwelle

Adressen der Autoren:
Jean Pages, Directeur de la Distribution, *Pierre Gaussens,* Directeur adjoint de la Direction des Etudes et Recherches, Electricité de France, Paris.

Aus dem Kraftwerkbau

Betriebseröffnung des Versuchsatomkraftwerkes Lucens

Die Erprobung des Versuchsatomkraftwerkes Lucens, die programmgemäss 6 bis 7 Monate in Anspruch nahm, konnte jetzt durch einen ununterbrochenen zehntägigen Versuch abgeschlossen werden. Dieser wurde mit einer thermischen Leistung von 21 Megawatt (MW) durchgeführt, wobei die Leistung mehrmals kurzzeitig erhöht wurde, im Maximum bis zu 26,4 MW. Dies entspricht 95 % der im Projekt aus dem Jahr 1962 vorgesehenen Leistung. Gestützt auf diese Ergebnisse hat die Arbeitsgemeinschaft Lucens, die die Projektierung, die Bauleitung und die Erprobung des Werkes besorgte, der Nationalen Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA) den Antrag gestellt, das Werk als betriebsbereit zu erklären.

Aufgrund eines positiven Gutachtens ihrer Übernahmekommission konnte das Werk hierauf der S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) als Betriebsinhaber übergeben werden. Der Betrieb erfolgt nach einem zwischen der NGA und der EOS abgeschlossenen und vom Bundesrat kürzlich genehmigten Vertrag. *NGA*

Kongresse und Tagungen

Der Arbeitskreis Bodensee bei der EDF

Im «Arbeitskreis Bodensee» sind eine kleine Anzahl von Fachleuten aus den Ländern Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Österreich und Schweiz zusammengeschlossen, um unter sich aktuelle Probleme aus der Elektrizitätswirtschaft zu besprechen und Erfahrungen auszutauschen. Den Anstoss zur Bildung dieses Arbeitskreises gab ein Gedankenaustausch, der nach der Boilertagung vom 13. Oktober 1965 in Zürich zwischen einigen Herren aus Deutschland und der Schweiz stattgefunden hatte.