

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 11

Artikel: 3. Der Betriebsstandpunkt
Autor: Wettstein, M. / Aemmer, F. / Aeberhard, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059847>

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: 03.04.2026

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

Heizleiter ungünstig. Also auch bei freiliegenden Heizleitern ist das Einhalten kleinerer Spannungsgrenzen von wesentlichem Vorteil für die Lebensdauer und damit auch für den Ruf der Elektrowärmegeräte.

Eine weitere Erscheinung, die möglichst kleine Spannungsschwankung wünschbar macht, sei erwähnt, nämlich jene, die sich bei der automatischen Temperaturregelung elektrisch beheizter Geräte zeigt. Die für die Temperaturregelung benützten Regler besitzen alle ein Temperaturfühlerorgan und eine Konstruktion, die mit diesem zusammenhängt. Es ist nicht ohne weiteres ausreichend, dass der Temperaturregler für die richtige Temperatursteuerung äusserst empfindlich ist, denn trotz grösster Empfindlichkeit wird die Schalttemperatur immer anders sein, je nachdem, ob mit grösserer oder kleinerer Belastung gearbeitet wird, ob beispielsweise das Kochgefäss mehr oder weniger gefüllt oder der Fassungsräum mehr oder weniger besetzt ist. Man darf nämlich nicht vergessen, dass das Temperaturfühlerorgan und die übrigen Konstruktionsteile mitaufzuheizen sind, was je nach der Belastung und Konstruktion, wie auch der Beschickung mehr oder weniger rasch vor sich geht; somit entstehen Temperaturdifferenzen, die vom Temperaturleit-

fähigkeitskoeffizienten, also von der Masse, der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme usw. abhängig sind. Man sieht also, dass auch hier Spannungsschwankungen eine genügend exakte Temperatursteuerung direkt verunmöglichen können, besonders bei solchen Apparaten, an die bezüglich Temperatureinhaltung grosse Anforderungen gestellt werden.

Die Vorschriften über den Bau der elektrischen Geräte sind immer schärfer und die Aufgaben für den Konstrukteur immer schwieriger geworden, was nicht verbilligend auf die Produkte wirkt. Die in den letzten Jahren durchgeführte, aus anderen, wichtigeren Gründen allgemein sehr wünschbare Erhöhung der Gebrauchsspannung infolge der Spannungsnormalisierung hat diese Verhältnisse ebenfalls ungünstig verschärft. Jede Massnahme, die geeignet ist, die Spannungsschwankungen innerhalb geringerer Grenzen als bisher zu halten, ist daher lebhaft zu begrüssen, denn sie wird dazu führen, den guten Ruf der elektrischen Beheizung von Geräten jeder Art zu steigern und ihre Ausbreitung zu fördern. Sollten die Verbesserungen in der Spannungsregulierung so weit gehen, dass die jetzigen Prüfbedingungen als übersetzt gelten könnten, so wäre diese Entwicklung für den Konstrukteur von Wärmeapparaten sehr erfreulich.

3. Der Betriebsstandpunkt.

Referat von *M. Wettstein*, Oberbetriebsleiter der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.

Einleitung.

Herr Direktor Howald hat in seinem Vortrag auf die verschiedenen Möglichkeiten der Spannungsregulierung hingewiesen und gezeigt, in welcher Weise die Spannungsregulierung in einem städtischen Netz vorgesehen und teilweise auch ausgeführt worden ist. Ich möchte ausführen, wie die Spannungsregulierung in einem grösseren Ueberlandwerk, d. h. in den Anlagen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) durchgeführt wird. Ferner hat Herr Howald einige Diskussionsfragen aufgeworfen. Zu einem Teil dieser Fragen mussten die EKZ bei ihrer Spannungsregulierung ebenfalls Stellung nehmen. Ich werde das Resultat der betreffenden Ueberlegungen bekanntgeben.

Damit die Spannungsregulierung in den EKZ-Netzen verständlich wird, muss ich zuerst auf das Verteilungssystem eingehen. Die EKZ erzeugen die Energie nur zum kleinsten Teil selbst. Den Hauptteil beziehen sie aus dem 45-kV-Netz der Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK), und zwar in neun Unterwerken. In diesen Unterwerken wird die Energie von 45 auf 8 kV transformiert, dann über die 8 kV-Leitungen weitergeleitet und schliesslich in den Ortstransformatorenstationen auf Niederspannung transformiert. Ein Hochspannungsnetz wird vom Kraftwerk Eglisau der NOK aus direkt mit 8 kV gespiesen. Die verschiedenen an einzelnen Unterwerken angeschlossenen 8 kV-Netze sind untereinander zusammenschaltbar. Sie werden aber normalerweise getrennt betrieben. Ebenso sind Leitungsringe, die von Leitungen des gleichen Unterwerkes gebildet werden, im normalen Betriebszustand geöffnet.

Im gleichen Sinne werden auch die Niederspannungsleitungen stets als offene Leitungen betrieben, obschon vielfach Leitungen verschiedener Transformatorstationen zusammenschliessbar sind und oft auch Leitungen der gleichen Station zu Ringen zusammengeschlossen werden können. Diese Betriebsanordnung ist besonders deshalb getroffen worden, weil bei einer Betriebsstörung auf einer einzelnen Leitung der örtliche Umfang der Störung bedeutend kleiner ist als beim Betrieb der Leitung in geschlossenen Ringen oder beim Betrieb mit parallel geschalteten Speisepunkten. Nur die eigenen Energieerzeugungsanlagen arbeiten im Parallelbetriebe mit von den NOK gespiesenen Unterwerken.

A. Grundsätze bezüglich der Spannungsregulierung.

Die EKZ regulieren bis jetzt die Spannung für die Niederspannungsnetze ausschliesslich in den 8-kV-Verteilpunkten, also in den 8-kV-Schaltanlagen der Unterwerke, und zwar auch in denjenigen Fällen, wo ein eigenes Kraftwerk mit einem Unterwerk parallel arbeitet. Im Kraftwerk wird dann nicht die Spannung, sondern der Leistungsfaktor der erzeugten

Energie reguliert. Für diese Spannungsregulierung wurden folgende Grundsätze aufgestellt:

Die Spannung an den Klemmen der Motoren bei den Energiebezüglern soll im allgemeinen nicht um mehr als $\pm 10\%$ von der Nennspannung abweichen. In besondern Fällen, z. B. bei landwirtschaftlichen Motoren, werden mit Rücksicht auf die geringe Benützungsdauer der Motoren und mit Rücksicht auf die wirtschaftliche Seite auch Spannungsabweichungen bis 15% zugelassen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Motoren bei solchen Spannungsabweichungen im allgemeinen noch einwandfrei arbeiten. Für die Beleuchtung wird dagegen nur eine Abweichung von der Nennspannung von $\pm 5\%$ als zulässig erachtet, und zwar deshalb, weil sowohl die Lebensdauer der Glühlampen als auch der Lichtstrom in sehr hohem Masse von der Betriebsspannung abhängig sind. Die zulässigen Spannungsgrenzen noch enger zu ziehen, würde sich dagegen wirtschaftlich sehr ungünstig auswirken. Für kalorische Anschlussobjekte, besonders für die elektrische Küche, wird bei den EKZ ebenfalls eine Spannungsabweichung von nicht mehr als $\pm 5\%$ angestrebt. Diese vielleicht etwas enge Begrenzung wurde mit Rücksicht auf die Leistung der Kochplatten, bzw. auf die Kochzeit so gewählt. Bekanntlich ändert sich die elektrische Leistung und damit auch die Kochzeit mit dem Quadrat der Spannung.

Mit diesen von den EKZ als zulässig erachteten Spannungsabweichungen sind wahrscheinlich nicht alle andern Werke, vielleicht auch nicht alle Fabrikanten elektrischer Maschinen und Apparate einverstanden. Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn auf Grund der heutigen Diskussion später einmal Richtlinien über die Spannungshaltung aufgestellt werden könnten, damit die Werke wissen, welche Abweichungen ganz allgemein als zulässig anerkannt werden, die Fabrikanten aber auch wissen, mit welchen Abweichungen gerechnet werden muss.

Die von den EKZ angewendete Spannungsregulierungsmethode bedingt ferner, dass die Spannungsverluste in den Niederspannungsleitungen nicht grösser sind als die bei den Anschlussobjekten zugelassenen Abweichungen von der Nennspannung. Dementsprechend müssen die Niederspannungsleitungen so dimensioniert sein, dass

1. für Leitungen, die der allgemeinen Versorgung mit Licht, kalorischer und mechanischer Energie dienen, kein grösserer Spannungsverlust als 5% auftritt;
2. bei reinen Kraftleitungen der Spannungsverlust nicht mehr als 10% beträgt, und
3. bei Leitungen, die rein landwirtschaftlichen Betrieben dienen und bei denen die Betriebszeit der Motoren auf die Zeit der Tageshelle beschränkt ist, die Spannungsverluste 15% nicht übersteigen.

Sofern die zuletzt genannten Leitungen auch für die Speisung der Beleuchtung dienen, dürfen die Spannungsverluste

während der Beleuchtungszeit selbstverständlich ebenfalls 5 % nicht übersteigen.

Diese an die Niederspannungsnetze gestellten Anforderungen und die als zulässig erachteten Spannungsabweichungen bei den Anschlussobjekten bedingen eine derartige Spannungsregulierung in den Unterwerken, dass an den Niederspannungsklemmen der Transformatoren die Nennspannung nicht unterschritten und nicht um mehr als 5 % überschritten wird. Dabei ist allerdings noch zu berücksichtigen, dass bei schwacher Belastung der Spannungsabfall in den Niederspannungsnetzen auch keine 5 % mehr beträgt. Bei diesen Belastungszuständen darf dementsprechend die Transformator-klemmspannung auch etwas unter der Nennspannung liegen. Für die Spannungsregulierung der EKZ wurde angenommen, dass zur Zeit der minimalen Belastung der Spannungsabfall im Niederspannungsnetz 2 % nicht übersteige und dementsprechend die Spannung an den Sekundärklemmen 3 % unter der Nennspannung liegen dürfe. Damit sind die nötigen Grundlagen für die Spannungsregulierung genannt und ich kann dazu übergehen, die Reguliermethode näher zu erläutern.

B. Erläuterung der Spannungsreguliermethode.

Da die Spannung ausschliesslich in den Hochspannungsverteilpunkten (Unterwerken) reguliert wird, muss durch die Spannungsregulierung sowohl der Spannungsabfall in den Hochspannungsleitungen als auch derjenige in den Ortstransformatoren ausgeglichen werden. Besitzen alle Ortstransformatoren ein gleiches Uebersetzungsverhältnis, so ist der maximal zulässige Spannungsabfall in den Hochspannungsleitungen gegeben, denn die für die Niederspannungsseite der Ortstransformatoren genannten Spannungsgrenzen müssen sowohl bei den Ortstransformatoren, die in der Nähe des Speisepunktes, als auch bei denjenigen, die am Ende einer Hochspannungsleitung angeschlossen sind, eingehalten werden. Einerseits darf mit Rücksicht auf die in der Nähe der Unterwerke angeschlossenen Ortstransformatoren die Spannung nur so hoch reguliert werden, dass an den Niederspannungsklemmen keine Ueberspannung von mehr als 5 % entsteht und andererseits muss an den Niederspannungsklemmen der am Ende einer Hochspannungsleitung angeschlossenen Transformatoren mindestens noch die Nennspannung vorhanden sein. Daraus ergibt sich, dass nur ein Spannungsabfall von 5 % ausreguliert werden kann. Eine solche Spannungsregulierung genügt seinerzeit auch. Mit dem Ausbau der Netze und dem Steigen des Energieumsatzes mussten dagegen Mittel gesucht werden, um die Spannungsregulierung leistungsfähiger zu machen. Als geeignetes Mittel erwies sich die Anpassung der Transformatoren-Uebersetzungsverhältnisse an die örtlichen Spannungsverhältnisse. Um dabei aber die Parallelschaltbarkeit der Transformatoren unter sich und die Auswechselbarkeit zu wahren, wurden nicht für jeden Ort Transformator mit besondern, den örtlichen Spannungsverhältnissen angepassten Uebersetzungsverhältnissen verwendet, sondern es erhielten alle Transformatoren die gleichen Uebersetzungsverhältnisse und für die jeweilige örtliche Anpassung wurden die Primärwicklungen mit Anzapfungen ausgerüstet. Mit Rücksicht auf die Zusammenschaltbarkeit mit den ältern Transformatoren musste aber das Uebersetzungsverhältnis einer Anzapfung mit demjenigen der alten Transformatoren übereinstimmen. Da die neue Spannungsregulierung eine Erhöhung der Primärspannung (Ausgleich eines grösseren Spannungsabfalles) erforderte, wurden zur Vermeidung einer Erhöhung der Eisenverluste die Primär- und Sekundärspannungen der neuen Transformatoren bei gleichbleibendem Uebersetzungsverhältnis ungefähr dem Spannungsabfall der Transformatoren entsprechend erhöht. Es wurden drei Anzapfungen gewählt, wobei bei Anschluss an die mittlere das Uebersetzungsverhältnis demjenigen der alten Transformatoren entsprach. Mit den beiden andern Anzapfungen können Abweichungen von + und - 4 % erzielt werden. Diese Anzapfungen sind entweder an besondern Klemmen herausgeführt oder können mit Schalter von aussen gewählt werden (Nullpunktsschalter). Die Anzapfungen ergeben folgende Leerlauf-Uebersetzungsverhältnisse:

erste Anzapfung	8570/393/227 V
zweite »	8240/393/227 V
dritte »	7910/393/227 V

und da die Spannungserhöhung ungefähr dem Spannungsabfall entspricht, so ergeben sich folgende Vollast-Uebersetzungsverhältnisse:

8570	} 380/220 V
8240	
7910	

Werden die Transformatoren in der Nähe der Unterwerke an die erste Anzapfung angeschlossen (8570/393/227), so kann zur Zeit der Höchstbelastung die Spannung in den Unterwerken bis auf 9000 V hinauf reguliert werden, ohne dass dabei die zulässige Spannungsabweichung an den Niederspannungsklemmen der Ortstransformatoren von + 5 % überschritten wird. Dabei darf die Spannung am Ende einer Hochspannungsleitung bis auf 7910 V sinken. Es kann also ein Spannungsabfall von 12 % ausreguliert werden. Bei der Wahl der Anzapfungen ist an den einzelnen Orten zu beachten, dass für Spannungen zwischen 9000 und 8570 V die erste, zwischen 8650 und 8240 V die zweite, zwischen 8300 und 7910 V die dritte Anzapfung anzuschliessen ist. Diese Anzapfungen müssen aber auch bei der minimalen Belastung der Leitung noch Sekundärspannungen ergeben, die innerhalb den zulässigen Grenzen von + 5 und - 3 % liegen. Hiefür kommen für die einzelnen Anzapfungen folgende Spannungsbereiche in Betracht:

erste Anzapfung	8700 ... 8050 V
zweite »	8360 ... 7720 V
dritte »	8050 ... 7450 V

Diese Spannungsgrenzen zeigen, dass bei vollständig unbelasteter Leitung die Spannung im Unterwerk bis auf die unterste zulässige Grenze für Transformatoren, die an der ersten Anzapfung angeschlossen sind, herabreguliert werden muss, damit an Transformatoren, die am Ende der Leitung angeschlossen sind, die obere Spannungsgrenze nicht überschritten wird.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass sich die Sekundärspannungen nur dann innerhalb den vorgeschriebenen Grenzen bewegen, wenn sich die Belastung der Transformatoren sinn-

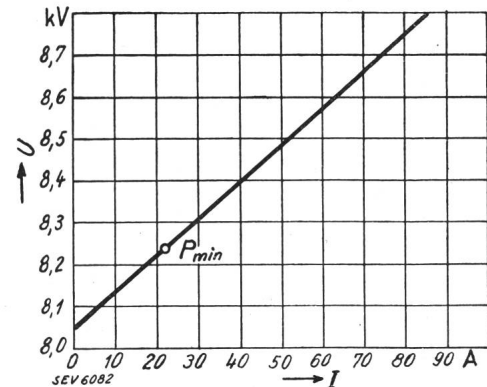


Fig. 1.

Spannungsregulierkurve: Regulierte Spannung U in Funktion der Leitungsbelastung I .

gemäß mit der Belastung der Hochspannungsleitung ändert. Da dies nicht immer der Fall ist, wird bei den EKZ der Regulierbereich im Unterwerk nie voll ausgenützt. Im Grenzfall wird die Spannung nur von 8100 bis 8800 V reguliert, und es wird für die Hochspannungsleitungen nur ein Spannungsabfall von 10 und nicht von 12 % zugelassen.

Wie sich diese Spannungsregulierung in der Praxis auswirkt und wie weit die als zulässig erachteten Grenzwerte der Sekundärspannung unter den angedeuteten ungünstigen Umständen überschritten werden, kann am besten an Hand eines Beispiels gezeigt werden, bei dem die Spannungsregulierung voll ausgenützt werden muss und der Spannungsabfall der Leitung bei der Höchstbelastung den maximalen Betrag von 10 % annimmt. Die in Betracht gezogene Leitung hat eine Länge von 20 km. Ihre maximale Belastung beträgt 85 A. Die Spannungsregulierung erfolgt nun so, dass die Spannung entsprechend der Belastung von 8050 V bei vollständig unbelasteter Leitung bis auf 8800 V bei maximaler Belastung reguliert wird. Die hiefür massgebende Regulier-

kurve ist in Fig. 1 dargestellt. Die minimale Belastung der Leitung beträgt 22 A; hiefür muss die Spannung gemäss Regulierkurve auf 8240 V eingestellt werden. Die tatsächliche Spannungsregulierung erfolgt also zwischen 8240 und 8800 V. Den Spannungsverlauf längs der Leitung für die minimale und maximale Belastung zeigt Fig. 2. Aus dieser Darstellung können die für die längs der Leitung angeschlossenen Transformatoren in Betracht kommenden Anzapfungen bestimmt werden. Betrachtet man zuerst den Spannungsverlauf bei maxi-

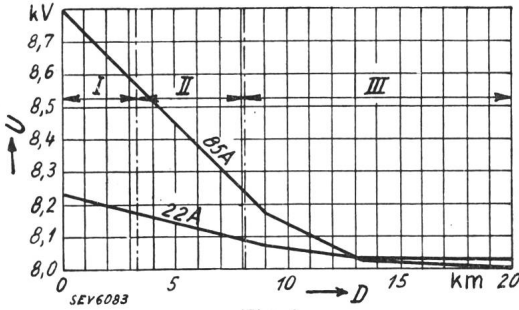


Fig. 2.

Spannungsverlauf auf der Leitung bei minimaler (22 A) und maximaler (85 A) Belastung.

Spannung U in Funktion der Distanz D vom Unterwerk.

- I Bereich der Anzapfung I.
- II Bereich der Anzapfung II.
- III Bereich der Anzapfung III.

maler Belastung und berücksichtigt man, dass für die Transformatoren, die an die erste Anzapfung angeschlossen werden, ein Spannungsbereich von 8570 bis 9000 V in Frage kommt, so sieht man, dass diese Anzapfung bis auf eine Distanz von 3,2 km in Betracht kommt. Von hier ist bis zu einer Distanz von 8,1 km die zweite Anzapfung zu benutzen (bis 8240 V) und von da bis am Ende der Leitung sind alle Ortstransformatoren an die dritte Anzapfung anzuschliessen. Nun ist aber noch zu untersuchen, ob diese Anschlüsse auch bei der minimalen Belastung zweckmässig sind. Für die erste Anzapfung muss die Spannung mindestens noch 8050 V, darf aber höchstens 8700 V betragen; es ist dies der Fall. Für die zweite Anzapfung kommen Spannungen zwischen 7720 und 8360 V in Frage. Sie liegen zwischen 8180 und 8090 V. Der Anschluss ist ebenfalls zweckmässig. Für die dritte Anzapfung

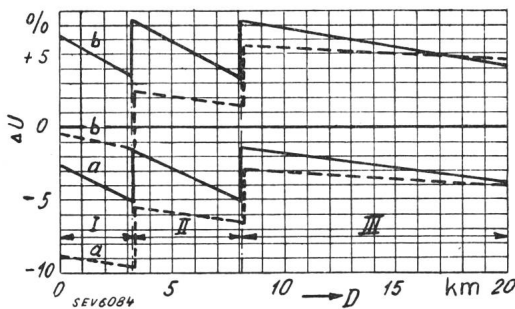


Fig. 3.

Abweichung ΔU der Spannungen in den Niederspannungsnetzen von der Nennspannung bei verschiedenartiger Belastung.

— Maximalbelastung. - - - Minimalbelastung.

- a für vollbelastete Transformatoren und 5% Spannungsabfall im Niederspannungsnetz.
- b für leerlaufende Transformatoren ohne Spannungsabfall im Niederspannungsnetz.

- I Bereich der Anzapfung I.
- II Bereich der Anzapfung II.
- III Bereich der Anzapfung III.

darf die Spannung nicht über 8050 V liegen. Fig. 2 zeigt, dass diese Spannung bei 8,1 km Distanz etwas zu hoch wäre, wenn die hier angeschlossenen Ortstransformatoren keinen Spannungsabfall aufweisen würden.

Fig. 3 zeigt die Spannungsabweichungen von der Nennspannung für alle Transformatoren, die längs der Leitung angeschlossen sind, und zwar für Transformatoren, deren Belastung sich im gleichen Sinne ändert wie die Belastung der Leitung und für solche, deren Belastung nicht mit der Be-

lastung der Leitung übereinstimmt. Ferner zeigt dieses Bild die mit der Aenderung der Belastung zusammenhängende Aenderung der Spannung in den Niederspannungsnetzen. Die ausgezogene Kurve *a* stellt die Spannungen an den Enden einer Niederspannungsleitung dar, wobei die betreffenden Transformatoren als vollbelastet und die Niederspannungsleitung mit einem Spannungsabfall von 5% behaftet gedacht ist. Diese Kurve zeigt, dass bei diesem einen Grenzfall die an die Regulierung gestellten Anforderungen erfüllt sind. Die ausgezogene Kurve *b* zeigt den andern Grenzfall, nämlich die Sekundärspannung eines leerlaufenden Transformators. Diese Kurve zeigt, dass in einem solchen Fall die zulässige Spannung an einzelnen Orten bis zu 2½% überschritten würde.

Es ist aber kaum anzunehmen, dass während der Höchstbelastungszeit einzelne Transformatoren ganz leer laufen. Die Ueberschreitung wird deshalb sehr selten sein. Für die minimale Belastung der Hochspannungsleitung zeigen die gestrichelten Kurven die Spannungsverhältnisse, und zwar zeigt die Kurve *b* die Sekundärspannung eines vollständig unbelasteten Transformators. Diese Kurve bewegt sich praktisch innerhalb den zulässigen Grenzen. Die Kurve *a* zeigt wiederum die Spannung am Ende einer mit 5% Spannungsabfall behafteten Sekundärleitung, wobei auch der in Betracht kommende Transformator als vollbelastet gedacht ist. In einem solchen Fall würde allerdings eine beträchtliche Ueberschreitung der zulässigen Grenzen erfolgen. Ein solcher Zustand dürfte aber ebenfalls äusserst selten vorkommen.

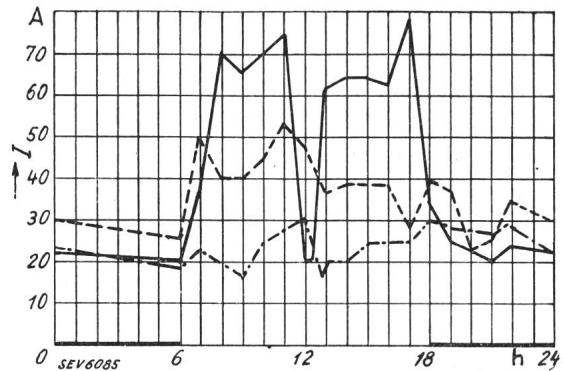


Fig. 4.

Gleichzeitige Belastungen verschiedener 8-kV-Leitungen eines Speisepunktes.

Aus dem Verlauf der ausgezogenen Kurve *a* und der gestrichelten Kurve *b* sind die täglichen Spannungsänderungen für jeden einzelnen Ort bestimmt. Diese Änderungen sind am Ende der Hochspannungsleitung am grössten und betragen dort ca. ± 5%.

Nun erfolgt aber die Spannungsregulierung in den Unterwerken für alle 8-kV-Leitungen gemeinsam durch eine einzige Reguliereinrichtung, und zwar wird in der Regel die Spannung nach der Belastung derjenigen Leitung reguliert, die den grössten Spannungsabfall aufweist. Die Darstellung Fig. 3 trifft deshalb streng genommen nur für diejenige Leitung zu, nach welcher reguliert wird und für andere Leitungen nur insofern, als sich deren Belastung mit der Belastung der ersten Leitung sinngemäss ändert. Diese Voraussetzung ist leider nicht immer erfüllt. Ein Beispiel hiefür zeigt Fig. 4, die den Belastungsverlauf von 3 vom gleichen Unterwerk ausgehenden 8-kV-Leitungen zeigt. Die Belastungen der drei Leitungen sind sehr verschieden. Ausserdem ist zu beachten, dass für die Spannungsverhältnisse nicht nur die Belastung, sondern auch die Dimensionen der Leitung mitbestimmend sind. Um nun trotz der Verschiedenheiten eine befriedigende Spannungsregulierung zu erhalten, gehen die EKZ folgendermassen vor: Sie ermitteln zuerst die Regulierkurve für diejenige Leitung, die den grössten Spannungsabfall aufweist, und berechnen dann bei der maximalen und minimalen Belastung dieser Leitung, unter Umständen auch noch bei weiteren Belastungspunkten, die gleichzeitigen Spannungsverhältnisse auf den übrigen Leitungen. Diese Spannungszustände geben dann Anhaltspunkte für die Wahl der Anzapfung aller angeschlossenen Transformatoren. Dabei kann es allerdings

vorkommen, dass für den einen Belastungspunkt die eine und für einen andern Belastungspunkt die andere Anzapfung zweckmässig wäre. Die Wahl erfolgt dann so, dass während der Hauptbeleuchtungszeit die Spannung im Niederspannungsnetz innerhalb den zulässigen Grenzen liegt, und nimmt in den Kauf, dass ausserhalb dieser Zeit die als zulässig erachteten Grenzen etwas überschritten werden. Nachdem die Spannungsregulierung festgelegt und die Ortstransformatoren an die berechneten Anzapfungen angeschlossen sind, werden besonders die kritischen Punkte durch Spannungsmessungen kontrolliert und allfällig zweckmässig scheinende Aenderungen der Anzapfungen noch vorgenommen.

C. Resultate der Spannungsregulierung.

Auf die geschilderte Weise wird eine im allgemeinen befriedigende Spannungsregulierung erzielt, was durch gelegentliche Kontrollmessungen immer wieder bestätigt wurde. Besonders eine Ende des letzten Jahres in grösserem Umfang vorgenommene Kontrollmessung erbrachte den Beweis einer zweckmässigen Spannungsregulierung. Diese Messungen erfolgten in 25 Niederspannungsnetzen, die an ganz verschiedenen 8-kV-Leitungen und an Leitungen mit den verschiedenartigsten Belastungsverhältnissen angeschlossen sind. In den einzelnen Netzen wurden die Spannungen mindestens an drei Punkten, und zwar in der Ortstransformatorenstation, ungefähr im Belastungsschwerpunkt und am Ende einer Niederspannungsleitung gemessen. Im ganzen wurden 80 Messungen vorgenommen. Die Messungen erfolgten zum Teil mit sogenannten Spannungsmittlern der Osram¹⁾ und zum Teil mit Registriervoltmetern. Der Mittelwert aller Messungen ergab ziemlich genau die Nennspannung. In den auf die Einheitsspannung von 380/220 V umgebauten Ortsnetzen betragen die maximalen Abweichungen von der Nennspannung + 5,4 % und - 4,5 %; in älteren, noch nicht umgebauten 250/145-V-Netzen betragen diese Abweichungen + 3,7 % und - 8,6 %. Dabei ist zu beachten, dass Ueberschreitungen der zulässigen Grenzen von ± 5 % bei den 80 Messungen jedoch nur zweimal vorgekommen sind. 97,5 % aller Messungsergebnisse lagen also innerhalb der angesetzten Toleranz.

D. Spannungsreguliereinrichtungen.

Die Spannungsregulierung in den Speisepunkten (Werken, Unterwerken) erfolgt zum Teil mit Induktionsreglern, zum Teil mit Stufentransformatoren und an einem Ort mit Regulatortransformatoren.

Mit Rücksicht darauf, dass mit diesen Reguliereinrichtungen nicht nur die Spannung entsprechend der Belastung einreguliert werden muss, sondern dass auch die Variation der ankommenden Spannung ausgeglichen werden muss, wurden die Reguliereinrichtungen für eine Spannungsregulierung von ± 7 % gewählt. Ausserdem sind die Oberspannungstransformatoren ebenfalls mit Anzapfungen versehen, die eine gewisse Anpassung an die Spannungsverhältnisse überspannungsseitig gestatten. Bei der Entscheidung über die Art der Reguliereinrichtung gab ursprünglich eine gewisse Betriebsunsicherheit der Schaltapparate der Stufentransformatoren Veranlassung zur Anschaffung von Induktionsreglern. Später, als die Regulierapparate sich besser bewährten, war jeweils der Preis ausschlaggebend; so wurden dann je nachdem das eine Mal Stufentransformatoren, dann wieder Induktionsregler angeschafft. Die Stufenspannung der Stufentransformatoren beträgt 1 bis 1,3 %.

Die Reguliereinrichtungen in den Unterwerken der EKZ waren ursprünglich nur für Handregulierung eingerichtet. Da die Unterwerke in der Spätnacht und zeitweise auch Samstags und Sonntags nicht bedient werden, eine Spannungsregulierung jedoch auch während diesen Zeiten wünschbar wurde, begannen die EKZ ihre Reguliereinrichtungen für den automatischen Betrieb umzubauen. Bis heute wurden allerdings erst drei Induktionsregler mit automatischer Steuerung versehen. Die Ansprechempfindlichkeit der Steuerorgane wurde zu 0,5 % gewählt. Diese automatische Steuerung der Regler hat sich bis jetzt gut bewährt.

E. Spannungsregulierung mit Kondensatoren.

Mit der Aufstellung von Kondensatoren für die Verbesserung des Leistungsfaktors in der Energieübertragung entstand ein weiteres Mittel für die Spannungsregulierung. Bekanntlich bedingt ein kapazitiver Strom in einer Leitung eine Spannungserhöhung, und zwar ist diese angenähert gleich dem Produkt aus Kapazitätsstrom und induktivem Widerstand der Leitung. Schliesst man also Kondensatoren am Ende einer bereits belasteten Leitung an, so verringert sich der Spannungsabfall um einen ganz bestimmten Betrag. Da die Spannungserhöhung durch die Kondensatoren von der übrigen Belastung der Leitung unabhängig ist, so tritt auch bei unbelasteter Leitung eine solche auf. Bei einer Spannungsregulierung mit Kondensatoren müssen den Kondensatoren Schalter zugeordnet werden, die an denjenigen Orten, wo keine Bedienung vorhanden ist, automatisch gesteuert werden. Von dieser Art der Spannungsregulierung machten die EKZ in weitgehendem Masse Gebrauch. Sie bevorzugten deshalb bei der Aufstellung der Kondensatoren ganz besonders Orte, die am Ende von Hochspannungsleitungen mit grossem Spannungsabfall liegen.

Mit einer zusätzlichen Spannungsregulierung mit Kondensatoren können zwei Ziele erreicht werden. Einmal können die Spannungsverhältnisse von Leitungen mit verschiedenartigen Belastungsverhältnissen einander mehr oder weniger angeglichen werden und zum andern kann der Regulierbereich einer bestehenden Anlage wesentlich erhöht werden, wie folgendes Beispiel zeigt.

Die EKZ speisen von einem Unterwerk aus eine 30 km lange Leitung, auf der infolge der Belastungsvermehrung der Spannungsabfall bei der Höchstbelastung bis auf 14 % angestiegen ist. Da mit der Reguliereinrichtung nur ein Spannungsabfall von 10 % ausreguliert werden kann, so hätte die Leitung verstärkt werden müssen. Nun wurden aber an dieser Leitung, und zwar in der Hauptsache in den am Ende der Leitung liegenden Transformatorstationen, Kondensatoren mit einer Gesamtleistung von 530 kVar angeschlossen. Diese Massnahme bewirkte eine Verminderung des Spannungsabfalles um 490 V, also um 6 %. Dadurch wurde die Spannungsregulierung wieder einwandfrei, ohne dass die Leitung verstärkt werden musste.

Werden die Kondensatoren auf der Niederspannungsseite der Transformatoren angeschlossen, so ist zu beachten, dass der Spannungsabfall der Transformatoren mehr oder weniger aufgehoben wird. Wird z. B. die Kondensatorenleistung gleich gross gewählt wie die Transformatorenleistung, so entsteht auf der Niederspannungsseite eine dauernde Spannungserhöhung, die ungefähr gleich gross ist wie der induktive Spannungsabfall des Transformators bei Vollast. Es resultieren also Spannungserhöhungen von 3...4 %. Ist diese Spannungserhöhung unerwünscht, so kann sie bei Transformatoren, die Anzapfungen für eine Veränderung des Uebersetzungsverhältnisses besitzen, durch Umzapfen des Transformators wieder aufgehoben werden. Selbstverständlich kann auch in Niederspannungsnetzen eine Spannungsregulierung mit Kondensatoren bewerkstelligt werden. Die EKZ machten hievon ebenfalls an verschiedenen Orten Gebrauch, und zwar an einzelnen Orten, um Spannungsverluste, die infolge der Anschlussvermehrung die zulässige Grenze überschritten hatten, auszugleichen und an einem Ort, um die Spannung für besonders spannungsempfindliche Objekte konstant zu halten. Für die Regulierung im zuletzt genannten Fall wurden mehrere verhältnismässig kleine Kondensatoren aufgestellt und für die Regulierung mit Schaltern ausgerüstet.

In gewissem Sinne wäre die Spannungsregulierung im Niederspannungsnetz mit Kondensatoren eine ideale Lösung, weil dabei nicht nur die Spannungsverluste im Niederspannungsnetz, sondern gleichzeitig diejenigen in den Transformatoren und in den Hochspannungsleitungen beeinflusst werden. Wollte man jedoch die Spannungsregulierung einzig und allein mit Kondensatoren durchführen, so müssten die Kondensatoren automatisch gesteuert werden, was eine wesentliche Verteuerung zur Folge hätte und es würden dann wahrscheinlich aus wirtschaftlichen Gründen wieder andere Reguliermittel in den Vordergrund treten. Ausserdem würde eine solch rein kapazitive Spannungsregulierung neue Anforderungen an die Spannungsregulierung der Generatoren der

¹⁾ Siehe Bull. SEV 1935, Nr. 15, S. 418.

Kraftnetze stellen. Im Einzelfall angewendet wird aber die Spannungsregulierung mit Kondensatoren sicher stets gute Dienste leisten.

F. Zur Spannungsregulierung im Niederspannungsnetz im allgemeinen.

Von den seit einiger Zeit angebotenen Stufentransformatoren, Induktionsreglern und dergleichen für die Spannungsregulierung in Niederspannungsnetzen machten die EKZ bis

jetzt noch nirgends Gebrauch. Sie sind auch überzeugt, dass eine allgemeine Anwendung dieser Einrichtungen aus wirtschaftlichen Gründen in Ueberlandnetzen nicht in Frage kommen kann. Dagegen wird ihre Anwendung in Einzelfällen ähnlich wie diejenige der Kondensatoren, sicher gute Dienste leisten. Die Anwendung der Niederspannungsregulierung wird besonders dort in Frage kommen, wo spannungsempfindliche Objekte angeschlossen sind, oder wo mit der allgemeinen Spannungsregulierung keine guten Resultate erzielt werden.

Referat von F. Aemmer, Betriebsleiter der Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen.

Ich möchte mir erlauben, die Ausführungen der beiden Herren Referenten zu ergänzen durch die Beschreibung eines Verteilsystems, das die Eigentümlichkeit aufweist, dass eigentliche Regulierorgane zur Spannungshaltung in den Verteilleitungen gar nicht vorhanden sind, und ich möchte an Hand dieses Beispiels speziell auf den Einfluss der Netzgestaltung auf das Problem der Spannungshaltung hinweisen. Es handelt sich dabei um die Methode der Energieverteilung mit Hilfe eines Niederspannungsmaschennetzes¹⁾, und zwar im besondern um das Netz im zentralen Teil der Stadt New York, mit dem ich mich während meiner mehrjährigen Tätigkeit bei der New York Edison Co. vertraut machen konnte.

Fig. 1 zeigt einen Plan von New York. Das betrachtete Netz liegt in Manhattan. Es besitzt eine Länge von ca. 15 km und eine Breite von ca. 3 km. Die Energieversorgung er-

teten Kraftwerke produzieren hauptsächlich 25periodige Energie, die in Gleichstrom umgeformt wird.

Das Netz liefert die Energie in Form von Drehstrom 120/208 V, Frequenz 60/s, und zwar sowohl für Licht als auch für Kraft. Es ist gebildet durch die beidseitig aller Strassen angeordneten Niederspannungsverteiler, in der Regel aus je drei Einleiterkabeln von je 108 mm² Querschnitt bestehend (Fig. 3). An jeder Strassenkreuzung treffen sich somit 8 Verteiler, die alle ohne Einbau irgendwelcher Sicherungen verspleisst sind, so dass das ganze Netz ursprünglich als engmaschiger Kupferrost von 15 km Länge und 3 km mittlerer Breite geplant war. Es hat sich dann allerdings in dieser Ausdehnung nicht vollständig bewährt, so dass das Netz später in 3 Teile aufgetrennt wurde. Die Gründe dieser Aenderung haben mit der Spannungsregulierung nichts zu tun, und ich will deshalb darauf nicht eingehen. Die totale Be-

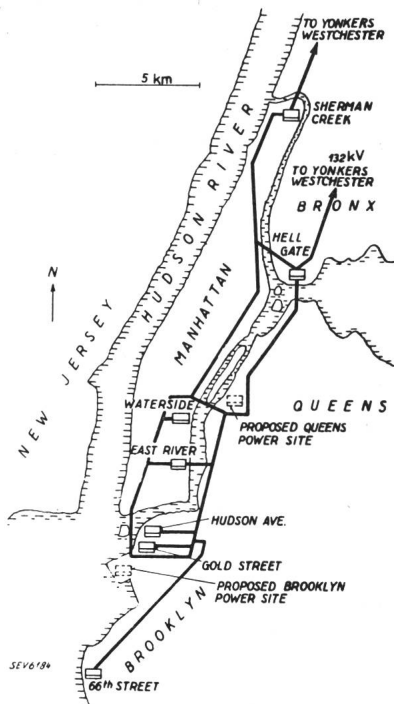


Fig. 1.

Die Elektrizitätsversorgung von New York. Nirgends in der Welt ist soviel Leistung unter derselben Diktion konzentriert wie in New York.

Kraftwerke	kW
66th Street	65 000
Gold Street	122 000
Hudson Ave.	340 000 (später 670 000 kW)
East River	280 000 (später 1 240 000 kW)
Waterside	364 000
Hell Gate	605 000
Sherman Creek	141 000
Totale Leistung	1 917 000

folgt hauptsächlich durch die Kraftwerke Hell Gate, Sherman Creek und Hudson Avenue. Hell Gate und Hudson Avenue besitzen eine Leistung von je über 500 000 kW, Sherman Creek 140 000 kW; die übrigen in Fig. 1 angedeu-

¹⁾ Bull. SEV 1931, Nr. 2, S. 44.

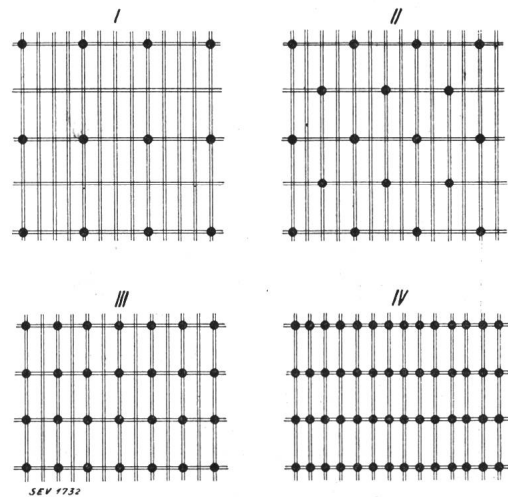


Fig. 2.

Anordnung der Verteiltransformatoren für verschiedene Belastungsdichten.

Die Linien bedeuten Verteiler 120/208 V (beidseitig der Strassen), die Punkte Transformatorstationen von 500 kVA.

I	8 Block pro Transformator,	2500 kVA/km ²
II	4 » » » »	5800 kVA/km ²
III	2 » » » »	11500 kVA/km ²
IV	1 » » » »	21000 kVA/km ²

lastung dieser 3 Teilnetze betrug Ende 1932 total etwa 200 000 kW.

Fig. 2 zeigt schematisch die Darstellung des Maschennetzes für verschiedene Belastungsdichten des Absatzgebietes. Die Rechtecke stellen die einzelnen Strassenblocks dar, die Linien die Verteiler und die schwarzen Punkte die Verteiltransformatoren von je 500 kVA Leistung, überlastbar kurzzeitig auf 750 kVA (Belastungsdichten: 2500, 5800, 11 500, 21 000 kVA pro km²). Das Bild zeigt auch die grosse Anpassungsfähigkeit des Maschennetzes an die zunehmende Belastung. Es können jeweils einfach weitere Transformatoren in das Netz eingefügt werden, um dieses höheren Belastungsdichten anzupassen. Selbstverständlich ist diese Darstellung nur schematisch aufzufassen; in Wirklichkeit werden Abweichungen der Transformatorstandorte entsprechend der Verteilung der stark konzentrierten Belastungen von Geschäftshäusern, Theatern usw. vorkommen.

Das Maschennetz dehnt sich nicht nur in horizontaler, sondern auch in vertikaler Richtung aus, indem sich nicht nur die 120/208 V-Verteilungen bis in die obersten Stockwerke der Wolkenkratzer erstrecken, sondern indem auch die Transformatorstationen auf verschiedene Stockwerke solcher Gebäude verteilt sind. Fig. 4 zeigt eine Fantoman-sicht des Chryslergebäudes, dessen Anschlusswert 3100 kW für Beleuchtung und ungefähr ebensoviel für Motoren, hauptsächlich zum Antrieb der Aufzüge, beträgt. Die Transformatoren sind im Keller, im 30., im 60. und im 72. Stockwerk untergebracht. Die total installierte Transformatorleistung beträgt 3600 kVA und die Spitzenbelastung ungefähr 2500 kW. Die Transformatorstation im 72. Stockwerk dient vorwiegend der Lichtbestrahlung des Gebäudes zu Reklamezwecken.

Die Speisung dieser vielen Verteiltransformatoren erfolgt durch Hochspannungskabel von 13 800 V und 27 600 V, die direkt von den Sammelschienen der Kraftwerke Hell Gate,

denen zeitweise die minimale Spannung von 118 V auftritt, in der Regel nicht der maximalen Spannung von 126 V ausgesetzt sein. Die Spannungsvariation beim einzelnen Abnehmer ist also wesentlich kleiner, als der von Herrn Howald in seiner Umfrage bei den Werken gefundene Betrag von 8%. Sie beträgt hier weniger als 6,5%. Bei Ausserbetriebsetzung einer Speiseleitung kann die Spannung allerdings vorübergehend um zusätzliche 4 V sinken, also bis auf 114 V; doch ist dies ein Ausnahmezustand, der nicht länger als einige Stunden andauern soll.

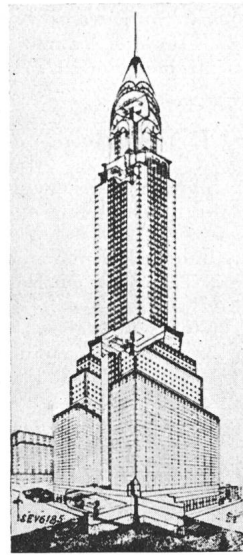


Fig. 4.

Das Chrysler-Gebäude mit über 6000 kW totalen Anschlusswert. Installierte Transformatorleistung 3600 kVA. Gemessene Spitzenleistung 2500 kW.

Die Spannungsregulierung des Niederspannungsnetzes innerhalb der erwähnten Grenzwerte erfolgt *ausschliesslich durch Aenderung der Generatorspannung in Abhängigkeit der Belastung, so dass weder Induktionsregler noch Stufentransformatoren benötigt werden.* Dabei schwankt die Spannung an den Kraftsammelschienen zwischen 14 000 V während der Spitze und 13 200 V während der Nachtbelastung, also um etwa 6%. Die Länge der einzelnen Speiseleitungen darf bei 13 800 V bis 10 km betragen, was selbst bei den dort vorkommenden Distanzen ausreichend ist. Bis zu dieser Kabellänge ist es möglich, den Spannungsabfall im Kabel durch die bei den Transformatoren an den Primärwicklungen angebrachten Anzapfungen (feste Einstellung, kein Stufenschalter) zu kompensieren. Bei grösseren Kabellängen wäre die Verwendung von Induktionsreglern oder Stufentransformatoren nötig, die am besten in der Mitte des Kabels eingebaut würden, um so das Spannungsgefälle längs des Kabels

angebrachten Anzapfungen (feste Einstellung, kein Stufenschalter) zu kompensieren. Bei grösseren Kabellängen wäre die Verwendung von Induktionsreglern oder Stufentransformatoren nötig, die am besten in der Mitte des Kabels eingebaut würden, um so das Spannungsgefälle längs des Kabels

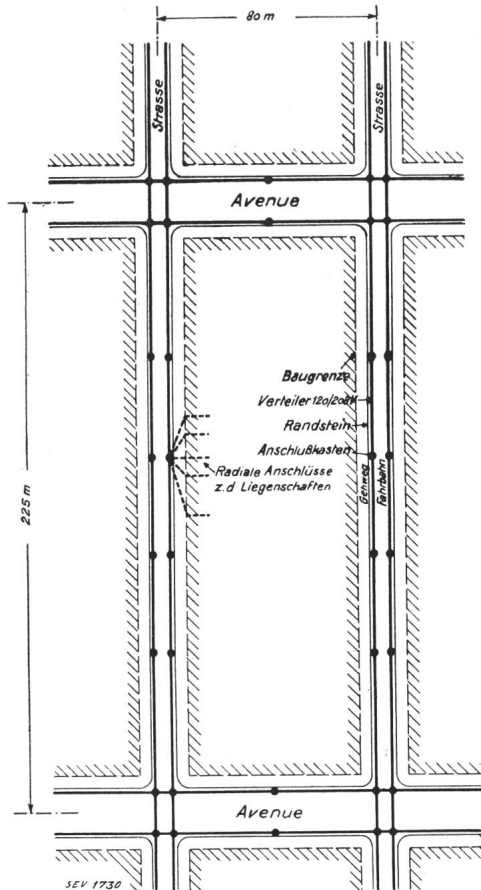


Fig. 3.

Anordnung der Niederspannungsverteiler für einen typischen Strassenblock.

Sherman Creek und Hudson Avenue ausgehen (Fig. 5). Die Belastbarkeit dieser Speiseleitungen beträgt über die Belastungsspitze 8500 kVA, bzw. 12 000 kVA, so dass eine einzige Leitung 20...30 Verteiltransformatoren zu je 500 kVA speist. Dabei werden benachbarte Transformatoren nicht an die gleiche Leitung angeschlossen, sondern durch weitgehende zyklische Vertauschung der Hochspannungsleitungen wird erreicht, dass bei Ausserbetriebsetzung einer solchen der dadurch entstehende Energieausfall sich auf eine grosse Fläche verteilt und von möglichst vielen benachbarten Leitungen gemeinsam aufgenommen wird.

Für die Spannungshaltung hat man sich bei der Projektierung dieses Netzes das Ziel gesetzt, dass an keinem Zähler im Normalbetrieb eine Spannung von 126 V je überschritten oder eine Spannung von 118 V je unterschritten werden soll. Für den einzelnen Bezüger wird die Spannungsvariation in kleineren Grenzen bleiben, da diejenigen Abnehmer, die die maximale Spannung von 126 V erhalten, in der Regel nie auf die minimale Spannung von 118 V kommen werden. Umgekehrt werden diejenigen Abnehmer, bei

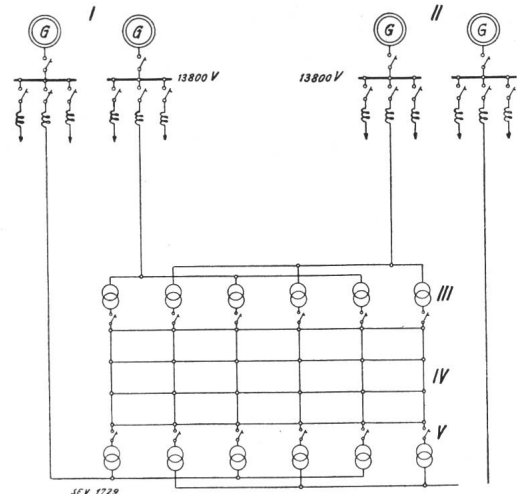


Fig. 5.

Vielfach gespeistes Wechselstrom-Niederspannungsnetz.

- I Kraftwerk A.
- II Kraftwerk B.
- III Verteiltransformatoren.
- IV 120/208-V-Verteilnetz.
- V Netzschalter.

zu verkleinern. Bei den 27 000 V-Leitungen sind sogar Kabellängen bis zu 13 km erreichbar, ohne dass Anzapfungen an den Transformatoren benötigt werden.

Mit diesen Ausführungen wollte ich zeigen, dass der alten und einfachen Methode der Spannungsregulierung durch Regulierung der Klemmenspannung der Generatoren immer noch eine grosse Bedeutung zukommt, wurde doch Ende 1932 im beschriebenen Netz eine Spitzenbelastung von etwa

200 000 kW nach dieser Methode mit vollständig befriedigender Spannungshaltung reguliert. Wie weit diese Belastung seither angestiegen ist, weiss ich nicht; doch ist mir bekannt, dass auch in andern Stadtteilen New Yorks und in andern amerikanischen Städten zahlreiche weitere Maschennetze vorhanden sind, die nach der gleichen Methode arbeiten.

Gleichzeitig wollte ich auf den grossen Einfluss der Netzgestaltung auf die Spannungshaltung hinweisen, denn nur durch die starre Vermaschung der Niederspannungsverteiler und die Vermischung (zyklische Vertauschung) der Hochspannungsleitungen gelang es, die Verschiedenheit der Belastungsverhältnisse der einzelnen Abnehmer soweit auszugleichen, dass sie auf die Spannungshaltung nicht mehr störend wirkt. Es muss zugegeben werden, dass im beschriebenen Netz einfache Verhältnisse vorhanden sind, deshalb, weil die Kraftwerke unmittelbar bei der Belastung, d. h. in der Stadt liegen. Anstelle von Kraftwerksammelschienen könnte es sich aber ebenso gut um die Verteilschienen eines Unterwerkes handeln, das von einer entfernten Wasserkraftanlage gespeist wird. Versorgt die Wasserkraftanlage nur ein ein-

ziges Unterwerk, so kann die Spannungsregulierung auch in diesem Falle durch Aenderung der Klemmenspannung der Generatoren bewirkt werden; nur muss dann entweder ein Fernvoltmeter oder ein kompensiertes Voltmeter zu Hilfe gezogen werden, d. h. eine Einrichtung, welche die Spannung der Verteilschiene des Unterwerkes im Kraftwerk anzeigt. Versorgt hingegen die Wasserkraftanlage mehrere Verteilschienen, so kann sie nicht alle Wünsche bezüglich Spannungsregulierung befriedigen. Dann wird es nötig sein, in den ankommenden Leitungen der Unterwerke Spannungsreguliereinrichtungen einzubauen.

Damit soll nicht etwa die Erstellung von Maschennetzen in der Schweiz befürwortet werden, denn die Verhältnisse bei uns sind von den amerikanischen stark verschieden. Die Belastungsdichten sind viel kleiner. Es müsste vorerst ein wirtschaftlicher Vergleich dieses Verteilsystemes mit den bei uns üblichen Methoden durchgeführt werden. Hiezu hatte ich keine Gelegenheit, und deshalb enthalte ich mich in der Frage der Wirtschaftlichkeit von Maschennetzen für unsere schweizerischen Verhältnisse eines Urteils.

Referat von F. Aeberhard, Betriebsleiter der Licht- und Wasserwerke Langenthal.

Jeder Werkleiter kennt die üblichen Klagen der Abnehmen, wie z. B.: die Lampen halten nicht lang, meine Radioröhren gehen zu rasch defekt, das Licht ist schlecht, das Kochen geht zu lang usw. Oft sind die Klagen nur blosses Gerede; in vielen Fällen sind sie berechtigt. Geht man der Sache auf den Grund und nimmt man sich die Mühe, gründliche Spannungsmessungen zu machen, so wird man bald feststellen, dass die Spannung mehr Variationen aufweist, als man sich allgemein vorstellt. Ist z. B. die Spannung in der Hauptbelastungszeit um 225 V, so wird sie in Zeiten schwacher Belastung, d. h. mittags, abends zwischen Fabrikschluss und Beleuchtungszeit, vom Samstag mittag bis Montag früh, in der Regel zu hoch sein, und zwar sofort um 10 bis 14 V, in Einzelfällen noch mehr.

Mit der Verbesserung der Glühlampen in Richtung grösserer Lichtausbeute wurden diese auch gegen die Ueberspannungen empfindlicher und so kommt es vor, dass in Netzteilen, wo die genannten Ueberspannungen auftreten, die Lampen schon nach sehr kurzer Zeit defekt gehen. Die neue Dekalumenlampe ist ja nun ganz besonders empfindlich und sie wird nach und nach zur Spannungsregelung in den Niederspannungsnetzen zwingen. Die Klagen wegen ungebührlich hohem Glühlampenverbrauch und Defekt der Radiolampen führten uns dazu, die Niederspannungsregelung zu probieren¹⁾. Das Ergebnis war so befriedigend, dass wir nun fast das ganze Netz sekundär regulieren, was die Abonnenten sehr schätzen. Ab Transformatorstation geben wir 231 Volt $\pm 1\%$ ab; die Glühlampen werden für 230 V gekauft. Damit kommen Ueberspannungen nicht mehr vor und die Leute rühmen alle, wie gut die Lampen nun plötzlich geworden seien. Die anfangs genannten Spannungsdifferenzen wird man immer mehr oder weniger ausgeprägt haben, denn auch bei guten Querschnitten ändert sich die Abgabespannung des Transformators mit der Belastung. Die geregelte Sekundärspannung trägt viel dazu bei, den guten Namen der Ware «Elektrizität» zu heben. Für die Durchführung und die Förderung des elektrischen Kochens ist gute Spannungshaltung Grundbedingung, denn die erzeugte Wärme ist proportional dem Quadrat der Spannung. Oft hörte ich folgende Aussprüche: «...ich will nicht elektrisch kochen; diesen Sommer waren wir in X. in den Ferien und hatten elektrische Küche, es war aber sehr langweilig, das Kochen ging furchtbar langsam...» Diese Erfahrung machte ich selbst vor zwei Jahren in einem Ferienort; anstatt 125 V hatte man noch etwa 100 V Netzspannung; dass dabei die elektrische Küche nicht mehr zur Zufriedenheit funktionieren kann, ist selbstverständlich.

Die Glühlampenfabrikanten machen Anstrengungen, die Lampen nur noch für eine einzige Spannung, 225 oder 220 V zu bauen; das gehe in Deutschland und daher könne es auch

hier gehen. Diese Auffassung ist nicht richtig, denn bei der starken Belastung der schweizerischen Netze für Licht, Küche, Heisswasserspeicher usw. muss man doch, selbst bei ganz reichlichen Querschnitten, einen gewissen Spannungsabfall zulassen, sagen wir einmal im Maximum 5%; dann wird eben in der Station 231 V abgegeben, damit der letzte Abnehmer im ungünstigsten Fall noch die Nennspannung von 220 V erhält. In der Regel wird die Spannung dann am Leitungsende ca. 225 V betragen; nur in Ausnahmefällen kann sie auf 220 V herabgehen. Der Lampenfabrikant wird einwenden, dass eine 230-V-Lampe bei 225 V oder gar 220 V eine geringere Lichtausbeute hat. Das stimmt, aber der Abonnent nimmt die geringere Lichtausbeute viel eher in Kauf als die zu kurze Lebensdauer der Glühlampe. Das Ideale wäre ja, den Abonnenten, je nach der Entfernung ihrer Wohnhäuser von der Transformatorstation, Lampen mit verschiedener Spannung zu verkaufen, d. h. denen, die bei der Station wohnen, für 230 V, denen in der Leitungsmitte für 225 V und denen am Leitungsende für 220 V. Wir haben das einmal probiert; das Resultat war ganz gut. Nur ist die Durchführung nicht so einfach; es liesse sich aber doch ein Weg finden, der diese Verschiedenheit in der Lampenspannung beim Verkauf der Lampen berücksichtigen könnte. Es ist aber heute nicht mehr nötig, denn die Spannung sinkt bei uns in der Regel von den 231 V ab Station nur auf 225 V, in den meisten Fällen sogar nur auf 227 bis 228 V.

Ich hätte nun noch einen Wunsch an die Adresse der Glühlampenfabriken. Diese haben in entgegenkommender Weise für die Strassenbeleuchtung eine besondere Lampe mit langer Brenndauer, 2000 Stunden, hergestellt, aber nur für die Spannung von 220 V. Das erachte ich als falsch, denn in den Netzen mit der Einheitsspannung 220/380 V wird wohl in den weitaus meisten Fällen die Abgabespannung ab Transformatorstation 231 V betragen, so dass dann diese Lampen von 220 V einer zu grossen Ueberspannung ausgesetzt sind und eigentlich auch nicht viel länger halten als eine gewöhnliche Lampe von 230 V. Diese Strassenlampe sollte unbedingt auch für die Spannung von 230 V erhältlich sein, denn sonst verfehlt sie ihren Zweck, weil es jedenfalls kein Netz mit 220 V Nennspannung gibt, das nur 220 V abgibt, so dass im allgemeinen eben alle 220-V-Strassenlampen Ueberspannung abbekommen und rasch defekt gehen.

Die Spannungsregelung in den Sekundärnetzen kann mit verschiedenen Apparaten erfolgen, mit stufenlosen Reglern oder mit Stufenreglern mit kleinen Stufen. Eine Bedingung muss man aber an jedes Fabrikat stellen: unbedingte Zuverlässigkeit und praktisch keine Wartung. Es sollte genügen, ihn nun alle 2...3 Jahre zur gründlichen Revision auszubauen. An die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit der Regler muss man daher sehr hohe Anforderungen stellen; es darf einfach kein Teil daran defekt gehen. In den letzten Jahren sind von den Reglerfabrikanten in dieser Richtung grosse Fortschritte erzielt worden.

¹⁾ Bull. SEV 1925, Nr. 22, S. 623.