

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 6 (1915)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Über die Verwendung von Synchronmotoren zur Spannungsregulierung am Fernleitungsende  
**Autor:** Bauer, Bruno  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056328>

### **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:** 10.01.2026

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

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

## ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich mit den Jahres-Beilagen „Statistik der Starkstromanlagen der Schweiz“ sowie „Jahresheft“ und wird unter Mitwirkung einer vom Vorstand des S. E. V. ernannten Redaktionskommission herausgegeben.

Alle den Inhalt des „Bulletin“ betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat

des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins,  
Neumühlequai 12, Zürich 1 - Telefon 9571

Alle Zuschriften betreffend Abonnement, Expedition und Inserate sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.,  
Hirschengraben 80/82 Zürich 1 Telefon 6741

Publié sous la direction d'une Commission de Rédaction nommée par le Comité de l'A. S. E.

Ce bulletin paraît mensuellement et comporte comme annexes annuelles la „Statistique des installations électriques à fort courant de la Suisse“, ainsi que l'„Annuaire“.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la matière du „Bulletin“ au

Secrétariat général

de l'Association Suisse des Electriciens  
Neumühlequai 12, Zurich 1 - Téléphone 9571

Toutes les correspondances concernant les abonnements, l'expédition et les annonces, doivent être adressées à l'éditeur:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.  
Hirschengraben 80/82 Zurich 1 Téléphone 6741

Abonnementspreis  
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft und Statistik:  
Schweiz Fr. 15.—, Ausland Fr. 25.—.  
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 1.50 plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire et la Statistique, Fr. 15.— pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.  
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 1.50, port en plus.

VI. Jahrgang  
VI<sup>e</sup> Année

Bulletin No. 5

Mai  
Mai 1915

## Ueber die Verwendung von Synchronmotoren zur Spannungsregulierung am Fernleitungsende.

Von *Bruno Bauer*, dipl. Ingenieur, Zürich.

Die gewohnte Aufstellung von phasenkompensierenden Synchronmotoren im Konsumgebiet eines Kraftwerks ist meist im Sinne einer Verbesserung des durch das Verbraucher-Netz gegebenen Leistungsfaktors, d. h. einer wirtschaftlicheren Ausnützung der Generator- und Verteilanlage gedacht. Ihre Wirkungsweise ist kurz dadurch charakterisiert, dass sie bei Uebererregung die generatorische Anlage mit einer wattlos voreilenden Stromkomponente belasten, die je nach der Grösse des Motors die vom Netz benötigte wattlos nacheilende Stromkomponente ganz oder teilweise zu kompensieren vermag. Durch jeweilige Anpassung der Motorerregung an die veränderliche Netzbelastung kann so der Leistungsfaktor am Aufstellungsort des Motors dauernd auf dem gewünschten günstigsten Wert gehalten werden.

Die bei gegebener Netzbelastung aus der Kompensation resultierende geringere Strombelastung der vor dem Synchronmotor liegenden Fernleitung und Generatoranlage muss aber notwendigerweise auch eine Verkleinerung des Spannungsabfalls zur Folge haben, so dass bei konstant gedachter Spannung im Kraftwerk die Spannung am Fernleitungsende nach Massgabe der aufgewendeten Kompensation variiert. Es ist daher durch die Verwendung solcher Synchronmotoren zugleich ein Mittel gegeben, die Betriebsspannung an deren Aufstellungsort bei konstanter Netzbelastung innerhalb gewisser Grenzen zu verändern, bzw. bei veränderlicher Belastung konstant zu halten.

Die Betriebsmöglichkeit des Synchronmotors als Spannungsregler wäre wirtschaftlich von geringer Bedeutung, liesse sie sich nicht mit seiner Eigenschaft als Phasenverbesserer vereinen. Indessen muss den nachfolgenden Erörterungen gleich vorweg genommen werden, dass dies für die gegebene Anlage nur für ein gewisses Bereich der veränderlichen Netzbelastung zutrifft, indem der als Spannungsregler gesteuerte Synchronmotor nicht über sein ganzes Arbeitsbereich im Sinne einer Verbesserung des Leistungsfaktors wirkt. Die



die Neigung der Zentrale  $\overline{O_1 O_2}$  zum festen Vektor  $V_2$  ergibt sich zu  $(90 - \alpha)$  Grad, wobei  $\alpha$  nur von der Fernleitung abhängig

ist:  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{r_0}{x_0}$ . In

Fig. 2 ist das Verhältnis  $m=1$  gewählt worden. Die genannten Beziehungen zwischen den beiden Ortskreisen sind durch die Verfolgung der Konstruktion des Diagramms ohne weiteres erläutert, so dass sich hier ein weiterer Beweis erübrigt. Wir kommen später auf die Anwendung dieser Beziehungen zurück.

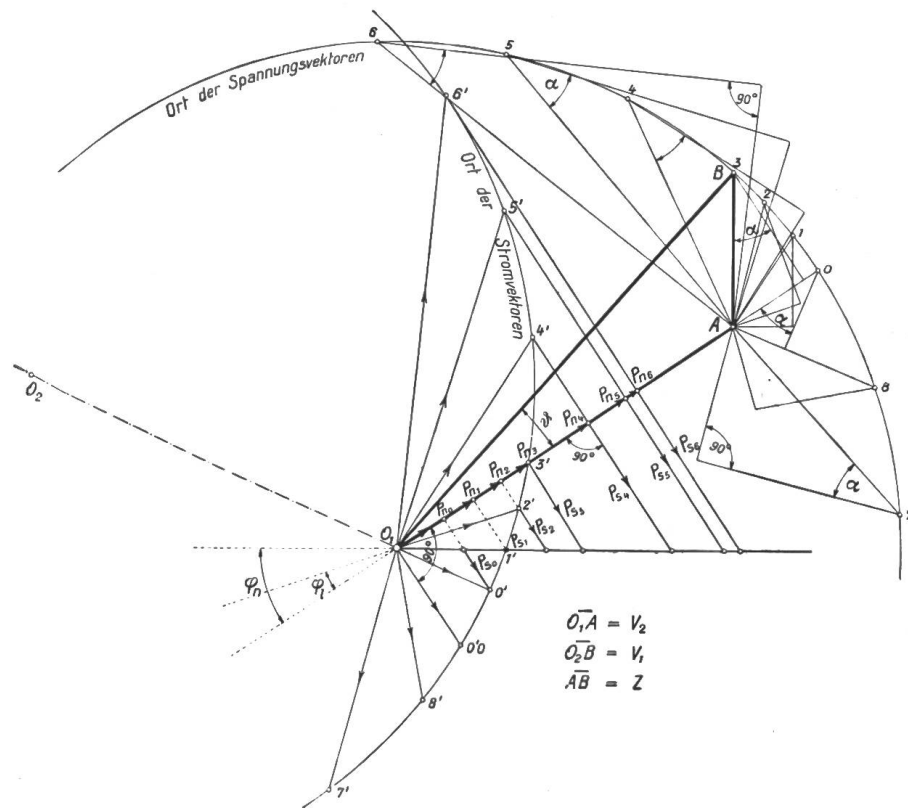


Fig. 2

### Die Beanspruchung des Synchronmotors.

Das entwickelte Diagramm der Fernleitung gibt uns den Zusammenhang zwischen dem Fernleistungsstrom und der erforderlichen Phasenverschiebung, es muss nun untersucht werden, was für Beanspruchungen sich hieraus für den kompensierenden Motor bei gegebener Netzleistung ergeben. In den meisten Fällen wird wohl der Synchronmotor auf der Unterspannungsseite der am Ende der Fernleitung aufgestellten Transformatoren angeschlossen werden (Fig. 3); wenn wir daher in den nachfolgenden Rechnungen alle Leistungen überspannungsseitig verstehen, ist nachträglich noch der Wirkungsgrad der Abwärtstransformation in Berücksichtigung zu ziehen.

Beim Strom  $I_1$  und der zugehörigen Verschiebung  $\varphi_n$  führt die Fernleitung die Leistung:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot V_2 \cos \varphi_1 \text{ in kW}$$

im Netz schreibt sich diese Leistung:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot V_2 \cos \varphi_n \text{ in kW}$$

woraus das Verhältnis der beiden Ströme gegeben ist. Einfacher ist der Zusammenhang im Diagramm zu ersehen, wo wir statt der Ströme die entsprechenden Leistungen eintragen (Fig. 4). Es lässt sich daraus auch deutlich die Aufgabe des Synchronmotors erkennen: zur Aufbringung der nützlichen Leistung  $P_n$  bedarf das Netz bei seiner Phasenverschiebung  $\varphi_n$  die wattlose Leistung  $\overline{PQ} = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$ , die ohne Kompensation vom Kraftwerk zu liefern wäre. Zur Konstanthaltung der Endspannung muss aber bei der gegebenen Nutzleistung  $P_n$  die Phasenverschiebung am Fernleitungsende  $\varphi_1$  betragen entsprechend der wattlosen Leistung  $\overline{PR} = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$ . In unserem Fall ist  $\varphi_n > \varphi_1$ , der Synchronmotor hat also als Kompensator den noch verbleibenden Rest der vom Netz benötigten wattlosen Leistung aufzubringen, nämlich

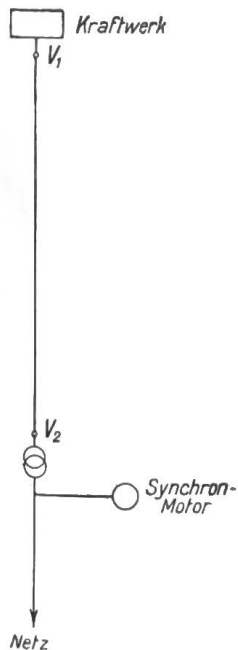


Fig. 3

$$P_s = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n - P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 \text{ in kVA.}$$

Der Ausdruck gilt allgemein für die *Grösse der Beanspruchung eines Synchronmotors als Phasenkompensator*. Ist seine Arbeitsweise als *Phasenregler* gedacht, d. h. soll er am Ende der Fernleitung einen gewünschten Leistungsfaktor konstant halten, so ist im obigen Ausdruck  $\operatorname{tg} \varphi_1$  als Konstante einzusetzen und die erforderliche Beanspruchung des Motors ist proportional der Nutzleistung  $P_n$ . In seiner Funktion als *Spannungsregler* besteht kein linearer Zusammenhang zwischen der Beanspruchung und der Nutzleistung, da gemäss unserem Diagramm jedem Wert des Fernleistungsstroms bzw. der Leistung  $P_n$  ein bestimmter Phasenwinkel  $\varphi_1$  zugeordnet ist. Wie im Diagramm ersichtlich, variiert dieser von  $90^\circ$  Nacheilung über Null zu einem maximalen Wert im Gebiet der Voreilung, woraus schon zu ersehen ist, dass  $P_s$  grösser als  $P_n$  werden kann, ein Betriebsfall, der natürlich wirtschaftlich unmöglich ist. Es wird die nächste Aufgabe sein, die Anwendungsmöglichkeit unseres Reglersystems von diesem Gesichtspunkte aus zu beleuchten.

Der Zusammenhang zwischen der Motorbeanspruchung  $P_s$  und der Nutzleistung  $P_n$  kann durch Eintragung des Diagramms in Fig. 4 in das allgemeine Fernleitungsdiagramm sehr übersichtlich gestaltet werden. Fig. 2 enthält bereits diese Kombination, indem die Stromvektoren  $O_1 O'$ ,  $O_1 1'$ ,  $O_1 2' \dots$  mit den Senkrechten zum festen Vektor  $O_1 A = V_2$  die Leistungs Dreiecke bilden, welche auf  $O_1 A$  zu jedem Stromvektor die zugehörige Netzleistung herausgreifen lassen. Durch Einzeichnung des festen Stromvektors im Netz unter dem

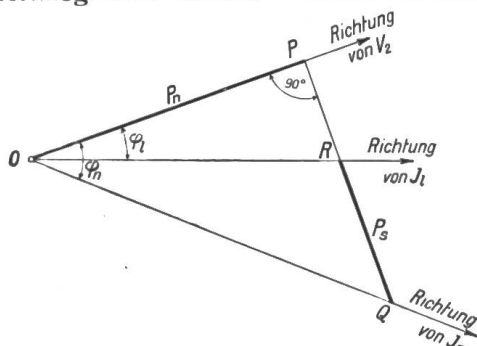


Fig. 4

Winkel  $\varphi_n$  können gemäss Fig. 4 direkt die entsprechenden Beanspruchungen des Synchronmotors ermittelt werden. Unabhängig von der in Fig. 2 gewählten Einteilung findet man zu einer gegebenen Netzleistung  $P_n$  die erforderliche Motorleistung, indem man  $P_n$  in kW von  $O_1$  aus auf dem Vektor  $O_1 A$  abträgt und durch den Endpunkt die Senkrechte fällt; das vom Ortskreis der Stromvektoren und dem festen Vektor der Netzströme heraus geschnittene Stück ist gleich der Motorbeanspruchung in kVA. Im Verlauf der wachsenden Nutzleistung sind vier Belastungsfälle bemerkenswert.

1. Nutzlast  $P_n = 0$  (Punkt  $o'o$  in Fig. 2). Der Synchronmotor liefert einen um  $90^\circ$  wattlos nacheilenden Strom, um den angenommenen Spannungsabfall  $V_1 - V_2$  aufrecht zu erhalten.

2.  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$ , d. h.  $P_s = 0$  (Punkt 1 in Fig. 2). Für diese Leistung ist der Phasenwinkel am Ende der Fernleitung gleich dem Phasenwinkel im Netz, die Beanspruchung des Synchronmotors ist daher gleich Null.

3.  $\varphi_1 = 0$ , d. h.  $P_s = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$  (Punkt 3 in Fig. 2). Der Motor kompensiert die totale vom Netz benötigte wattlose Leistung, d. h. die Leitung führt am Ende keinen wattlosen Strom.

4.  $P_n = P_{n \max}$  (Punkt 6 in Fig. 2). Das Diagramm lässt erkennen, dass für die gegebene Fernleitung mit dem festgelegten Spannungsabfall ein gewisser Wert der Nutzleistung nicht überschritten werden kann. Im gewählten Beispiel ist der hierfür erforderliche Fernleistungsstrom stark voreilend, die Beanspruchung des Synchronmotors ein Vielfaches der Nutzleistung.

Allgemein lässt sich vorerst herauslesen, dass sich für ein gegebenes Bereich der Nutzleistung die Beanspruchung des Synchronmotors als Spannungsregler von einem negativen Maximum (Nacheilung) durch Null gehend zu einem positiven Maximum (Voreilung) bewegt. Die Regelungsmethode kann offenbar dann mit Vorteil zur Anwendung kommen, wenn das nützliche Arbeitsbereich des Synchronmotors, d. h. das Gebiet, in dem er phasenverbessernd arbeitet, so gross ausfällt, dass sich hieraus eine praktisch in Frage kommende Verbilligung der Fernleitung ergibt.

$$\varepsilon_0 = 1 + \varepsilon \cdot \sin(\alpha + \varphi_1) - \sqrt{\{1 + \varepsilon \cdot \sin(\alpha + \varphi_1)\}^2 - \varepsilon \{ \varepsilon + 2 \sin(\alpha + \varphi_1) \}} \quad . \quad . \quad 7a)$$





last den Leitungsfaktor am Ende der Leitung auf eins zu bringen vermag. Damit wäre seine Grösse bereits festgelegt, es bleibt aber noch zu ermitteln, über welchen Bereich der Nutzleistung er phasenverbessernd arbeitet und wie überhaupt die Beanspruchung  $P_s$  mit der Nutzleistung verläuft. Der Berechnung liegen nunmehr zusammenfassend folgende Daten zu Grunde:

$$\begin{aligned} \text{Fernleitung} \quad & l = 50\,000 \text{ m} \\ \text{am Leitungsanfang:} \quad & V_1 = 45\,000 \text{ V} \\ & P_n = 20\,000 \text{ kW} \\ & \cos \varphi_1 \sim 1^*) \\ & p = 12\% \end{aligned}$$

Es berechnet sich hieraus:

$$I = \frac{20\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 45\,000} = 267 \text{ A}, \quad q = \frac{1,75 \times 20\,000 \cdot 50\,000}{(45\,000)^2 \times 12} = 72 \text{ mm}^2$$

Die Drehstromleitung mit 150 cm Drahtabstand weist beim normalen Querschnitt von  $q = 70 \text{ mm}^2$  folgende Daten auf:

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,249^\Omega & \sin \alpha &= 0,55 \\ x_0 &= 0,378^\Omega & \cos \alpha &= 0,835 \\ z_0 &= 0,452^\Omega & P_0 &= \frac{(45\,000)^2}{z_0 \cdot l} = 89\,600 \text{ kW} \end{aligned}$$

Die spezifische Strombelastung  $\sigma_i = \frac{257}{70} = 3,68 \text{ Amp.}$  ist vielleicht etwas zu hoch, in dessen tritt sie nur bei der Spitzenlast auf; jedenfalls sind wir damit an der Grenze der zulässigen Belastung unserer Fernleitung; dies drückt sich auch im Spannungsabfall aus; dieser wird zu:

$$AB = I \cdot \sqrt{3} \cdot Z_0 \cdot l = 257 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,452 \times 50 = 10\,100 \text{ Volt} = 22,4\%, \varepsilon = 0,224.$$

Dieser Wert dürfte bei Regulierung vom Kraftwerk aus kaum mehr zulässig sein, für den Synchronmotor als Spannungsregler erwachsen betriebstechnisch hieraus vorerst keine Schwierigkeiten, den Einfluss des Spannungsabfalls auf die Arbeitsweise des Motors werden wir im übrigen später näher untersuchen.

Gleichung 7a) lässt aus  $\varepsilon$  den konstanten numerischen Spannungsabfall  $\varepsilon_0$  berechnen; obiger Wert entspricht dem Phasenwinkel  $\varphi_1 = 0$  daher lautet Gleichung 7a) Seite 69

$$\varepsilon_0 = 1 + \varepsilon \sin \alpha - \sqrt{(1 + \varepsilon \sin \alpha)^2 - \varepsilon (\varepsilon + 2 \sin \alpha)}$$

die Werte von  $\varepsilon = 0,224$  und  $\sin \alpha = 0,55$  eingesetzt ergibt

$$\varepsilon_0 = 0,143 \text{ d. h. Endspannung } V_2 = 38\,600 \text{ Volt.}$$

Damit sind alle Daten geschaffen, um mit Hülfe der entwickelten Gleichungen zu jeder Nutzleistung  $P_n$  die zugehörige Motorbeanspruchung  $P_s$  zu berechnen. Die erhaltenen Werte beziehen sich auf das Fernleitungsende, wir wollen daher die obigen Daten soweit nötig hierauf umrechnen.

$$\begin{aligned} \text{Fernleitungsdaten} \quad & \varepsilon_0 = 0,143 \quad V_2 = 38\,600 \text{ V} \quad \sin \alpha = 0,55 \\ \text{Am Leitungsende:} \quad & P_n = 20\,000 - 12\% = 17\,600 \text{ kW} \quad \cos \alpha = 0,835 \\ & \cos \varphi_1 = 1 \quad \cos \varphi_n = 0,8 \quad \text{tg } \varphi_n = 0,749 \quad P_0 = 89\,600 \text{ kW} \\ \text{nach früherem ist:} \quad & P_s = P_n \cdot \text{tg } \varphi_n = P_n \cdot \text{tg } \varphi_1 \end{aligned}$$

\*) Angenommen wurde, dass  $\cos \varphi_1$  am Ende  $= 1$ ; am Leitungsanfang wird in Folge der Induktivität der Fernleitung eine kleine Phasenverschiebung eintreten, die wir hier in erster Annäherung vernachlässigen.



wobei  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$  durch unsere Formel 10) Seite 70 gegeben ist. Die oben berechneten Werte in den Ausdruck eingesetzt lässt folgenden Zusammenhang zwischen  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$  und  $P_n$  entstehen:

$P_n$ in kW	0	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
$P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$ in kVA	+12800	+9800	+6100	+2400	-2400	-8000	-15600	-26000	-54800

In Fig. 6 sind die Werte von  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$  in Funktion von  $P_n$  graphisch aufgetragen, durch deren Subtraktion von der  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$ -Linie gemäss der Formel ergab sich hieraus die  $P_s$ -Kurve, d. h. per gesuchte Zusammenhang zwischen der Nutzleistung und der Beanspruchung des Synchronmotors.

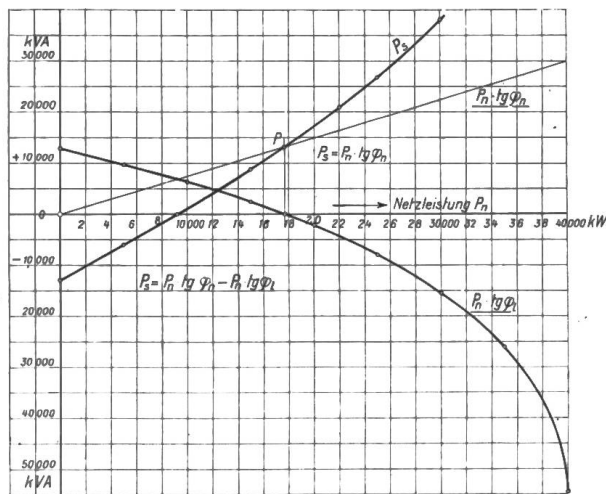


Fig. 6

Wie eingangs der Berechnung angenommen, bringt der Synchronmotor als Spannungsregler den Leistungsfaktor am Fernleitungsende bei der normalen täglichen Spitzenlast von 17 600 kW (am Leitungsende gemessen) auf eins, die erforderliche Beanspruchung erreicht rund 13 500 kVA. Würde der Motor mit dieser Leistung als *Phasenregler* gesteuert, so wäre die jeweilige Beanspruchung durch die  $P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n$ -Gerade gegeben, d. h. der Leistungsfaktor wäre konstant gleich eins von  $P_n = 0$  bis  $P_{n \max}$ . Als *Spannungsregler* arbeitet der Motor phasenverbessernd von der normalen Höchstlast rück-

wärts bis zu rund 9000 kW, nach Voraussetzung ungefähr gleich dem täglichen Mittelwert der Belastung. Sinkt die Belastung unter diesen Betrag, so verschlechtert der regelnde Motor die Phasenverschiebung über  $\varphi_n$  hinaus bis zu  $\varphi_1 = 90^\circ$  Nacheilung für  $P_n = 0$ ; die diesbezügliche Motorbeanspruchung erreicht 13 000 kVA nacheilend. Im praktischen Betrieb würde man den Motor kaum mit grosser Untererregung arbeiten lassen, zumal wenn er noch mechanische Arbeit abzugeben hat, zur Einhaltung der Spannungs Konstanz kann alsdann im Kraftwerk mit der Erregung zurückgegangen werden.

Die Diskussion über die wirtschaftliche Zulässigkeit der berechneten Verhältnisse kann ohne weitere Unterlagen der gegebenen Anlage nur ganz allgemein durchgeführt werden, es lassen sich hierüber aus dem bis jetzt Behandelten ungefähr folgende Gesichtspunkte herauslesen.

### Gesichtspunkte zur wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Regulierungsmethode.

Die Grösse des Synchronmotors bestimmt sich im allgemeinen aus dem bei der Höchstleistung gewünschten günstigsten Leitungsfaktor am Fernleitungsende. (Punkt P in Fig. 6). In Abwägung der Verbilligung der Fernleitung gegenüber der Verteuerung durch die Motoranlage wird man erfahrungsgemäss nur in Ausnahmefällen die vollständige Kompensation der wattlosen Netzleistung erreichen, es sei denn, dass die Synchronmotoren zugleich als Antriebsmotoren mechanische Arbeit abgeben. Dieser Fall ist z. B. überall da möglich, wo die gesamte von der Fernleitung geführte Energie rotierenden Umformern zugeführt wird.

Das nützliche Arbeitsbereich des Synchronmotors als Spannungsregler ist durch die oben herangezogene Höchstleistung und die Netzbelastung gegeben, für die  $\varphi_1 = \varphi_s$  also

$P_s = 0$ . Es liegt im Interesse eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlage, diesen Bereich möglichst auszudehnen. Das heisst graphisch, diejenige  $P_s$ -Kurve zu suchen, die durch den oben bereits festgelegten Punkt P (Fig. 6) gehend, möglichst flach verläuft. Dem entsprechend muss auch das negative Maximum der Beanspruchung ( $P_n = 0$ ) möglichst klein werden. Wir könnten aus den abgeleiteten Formeln die Bedingungen hierfür ableiten, die graphische Methode lässt aber die Zusammenhänge übersichtlicher herauslesen. In Fig. 2 ist, wie auf Seite 68 erläutert, die Beanspruchung des Motors für  $P_n = 0$  durch den Punkt o'o auf dem Ortskreis der Stromvektoren gegeben, während durch  $P_{s3}$  die maximal in Frage kommende positive Beanspruchung bestimmt ist, entsprechend der Höchstleistung  $P_{n3}$ . Den gewünschten Verhältnissen würde ein Ortskreis entsprechen, der, durch  $P_{n3}$  gehend, einen möglichst kleinen Vektor o'o herausschneidet. Bei der auf Seite 66 angegebenen Konstruktion dieses Kreises verlangt dies einen möglichst grossen Neigungswinkel ( $90 - \alpha$ ) der Zentren  $O_1 O_2$  zum festen Vektor  $V_1$  und eine möglichst kleine Differenz  $R - O_1 O_2$ . Da der Winkel  $\alpha$  durch die Fernleitung gegeben ist und nach früherem  $R = m \cdot V_1$  bzw.  $O_1 O_2 = m \cdot V_2$  also  $R - O_1 O_2 = V_1 - V_2$ , sagt obiges in anderen Worten aus: *Das nützliche Arbeitsbereich des Synchronmotors ist für die gegebene in Frage kommende Maximalbeanspruchung um so grösser, je kleiner der Winkel  $\alpha$  der Fernleitung ausfällt und je kleiner der numerische Spannungsabfall der Uebertragung gewählt wird.*

Für die gegebene Fernleitung ist eine Reduktion des numerischen Spannungsabfalls  $V_2 - V_1$  bei konstanter Anfangsspannung  $V$ , gleichbedeutend mit einer Verkleinerung des

Winkels  $\alpha$ . Dieser Fall ist in Fig. 7 zur Anschauung gebracht, in der das nützliche Arbeitsbereich von  $\Delta P_n$  auf  $\Delta P_n'$  gewachsen ist. Demgegenüber steht aber eine Vergrösserung des Kupferquerschnittes, so dass auch in diesem Fall das wirtschaftlich günstigste Mittel zu suchen wäre.

Allgemein ist der Winkel  $\alpha$  einer Fernleitung durch die Anordnung der Drähte und deren gegenseitigen Abstand gegeben; der Durchmesser der Drähte hat nur geringen Einfluss. Der Winkel ist umso kleiner, je mehr die Induktivität der Leitung den Ohm'schen Widerstand übersteigt, woraus der Schluss zu ziehen ist, dass unter Beibehaltung des gleichen relativen Spannungsabfalls  $\varepsilon_0$  eine Fernleitung sich um so günstiger zur Spannungsregulierung durch Synchronmotoren verhält, je höher ihre Betriebsspannung ist. Die

behandelte Reguliermethode wird daher vorzugsweise für Fernleitungen grösserer Uebertragungslänge in Frage kommen, die ihrer relativ hohen Induktivität wegen auch bei kleinem Winkel  $\alpha$  immer noch Werte des numerischen Spannungsabfalls zulassen, die sich für die voranzugehenden Berechnungen der Kompensationsanlage als wirtschaftlich erweisen.

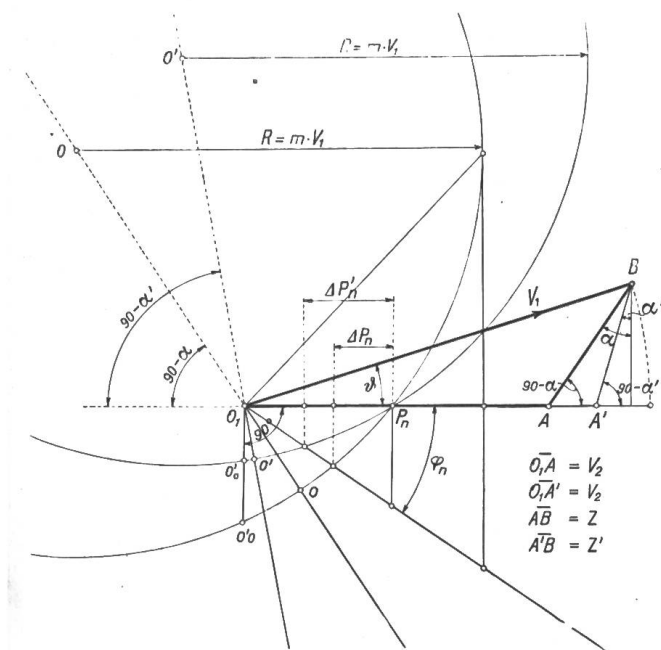


Fig. 7.