Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 56 (1965)

Heft: 14

Artikel: Problematik der Gestaltung elektrischer Netze

Autor: Sacer, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916388

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 09.07.2025

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

Gasanalysen:

A. Freikolbengaserzeuger

Brennstoff: / Bestandteile	Methan	Dieselöl	Schweröl 3000 «Redwod»
CO_2	150 V. a./M.	30 V. a./M.	75 V. a./M.
SO_2	Spuren	Spuren	530 V. a./M.
NO_2+NO	250 V. a./M.	350 V. a./M.	350 V. a./M.
HCHO (Aldehyde)	keine Spuren	2 V. a./M.	4 V. a./M.
Rauchzahl (Vergleichszahl)	2	4	6
CO_2	2 %	2 %	2 %
Luftüberschuss-verhältnis λ	2	1,9	1,9
Alkohol	—	—	1 V. a./M.

V. a./M. = Volumenanteile pro Million

Bemerkung: Die Gaszusammensetzung ändert sich nur wenig mit der Belastung.

Besonders auffällig ist, dass der CO-Gehalt bei einem Luftüberschusskoeffizienten $\lambda = 1{,}8$ vernachlässigbar wird und bei $\lambda = 2...2{,}5$ sein Minimum erreicht.

Der Aldehydeanteil wächst stark an bei $\lambda = 3...3{,}5$ und mehr. Schwach belastete Diesel arbeiten bei solchen Luftüberschussverhältnissen. Bei diesem Vergleich schneidet der Freikolbengasgenerator besser ab; hier beträgt das Luftüberschussverhältnis unter Vollast 2 und im Leerlauf 2,5. Weiter werden durch den starken Spülluftüberschuss die Konzentrationen auf etwa die Hälfte herabgesetzt.

In den vorstehenden Tabellen sind einige Resultate von Gasanalysen, die an einem mit Erdgas, mit Dieselöl und mit Schweröl betriebenem Generator vorgenommen wurden, aufgezeigt. Die Gegenüberstellung dieser Resultate mit denjenigen von Abgasanalysen an klassischen Diesel-, Benzin- und Propanmotoren erhellt eindeutig die von diesem Standpunkt aus vorhandene Überlegenheit der Freikolbenanlagen. (Zu bemerken ist noch, dass das NO_2 sehr schädlich ist, da es in den Atemwegen Salpetersäure bildet.)

B. Dieselmotor

Bestandteile	Vollast	Leerlauf
CO	4000 V.a./M.	1000 V. a./M.
SO_2	vom Öl abhängig	—
NO_2	500...1000 V.a./M.	30 V. a./M.
Aldehyde (HCHO)	100/25/30	10
Rauchzahl (zum Vergleich)	30	10
λ	1,4	4

C. Benzin- oder Propanmotor

Brennstoff / Bestandteile	Benzin		Propan	
	Leerlauf	Vollast	Leerlauf	Vollast
CO	50 000 V. a./M.	3000 V. a./M.	30 000 V. a./M.	10 000 V. a./M.
SO_2	Spuren	—	—	—
HCHO	14 V. a./M.	23 V. a./M.	15 V. a./M.	25 V. a./M.

Adresse des Autors:
J. Wahl, Ingenieur, Société Générale pour l'Industrie, 1200 Genève.

Problematik der Gestaltung elektrischer Netze

von *J. Sacer,* Neuenhof

1. Einleitung

Elektrische Hoch- und Niederspannungsnetze sind fast nirgends auf einmal gebaut worden, sondern allmählich aus Einzelleitungen, entsprechend dem Zuwachs des Energiebedarfs, entstanden und wohl deshalb nur selten als geschlossene Objekte betrachtet worden. Ein Netzgebilde aus Leitungen gleicher Spannungsreihe ist aber ein Objekt für sich, für dessen wirtschaftlichen Aufbau eine ganz bestimmte Gesetzmässigkeit gilt, die erst in neuerer Zeit aufgedeckt wurde [1].

Eine Optimierung von Produktion und Lastverteilung ist von jeher angestrebt worden. Hiezu wird heute die automatische Datenverarbeitung eingesetzt [2]. Was aber noch fehlt, ist eine Optimierung der elektrischen Netze, bzw. ihres Aufbaus, unter Berücksichtigung der geographischen Verhältnisse und sonstiger Schwierigkeiten.

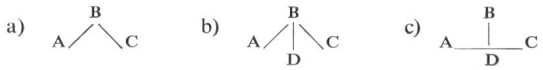
2. Geschichte, Entwicklung

Die elektrische Energie ist in unserem Zeitalter ein Konsumgut ersten Ranges geworden. Ihr Preis ist volkswirtschaftlich von grösster Bedeutung. Jede Massnahme, die zur Senkung dieses Preises beitragen kann, verdient eine eingehende Prüfung.

Produktionsseitig gibt es u. a. folgende Möglichkeiten, den Gestehungspreis der elektrischen Energie zu verringern: Senkung der Kosten von Bau und Ausrüstung der Kraftwerke, Erhöhung des Wirkungsgrades der Turbinen und Generatoren, billigere Brennstoffe bei thermischen Kraftwerken. Im heutigen Stadium der Produktion sind jedoch die Aussichten auf wirkliche Verbilligungen durch diese Möglichkeiten gering. Nur grosse Entdeckungen und grundlegende Erfindungen ermöglichen hie und da grössere Sprünge. So einen Sprung verspricht die Atomenergie für die nächsten Jahre.

Anders verhält es sich mit den Aussichten auf Verbesserungen bei Übertragungs- und Verteilanlagen. Diese Erkenntnis zwingt sich bei Betrachtung des funktionellen Zusammenwirkens aller Teile eines Netzes auf. Mit gleichem Materialaufwand können für die Versorgung eines bestimmten Gebietes verschiedenartige Netze gebaut werden, die keineswegs die gleiche Übertragungsfähigkeit aufweisen. Dies mag schon aus einem einfachen Beispiel mit einigen Bedarfsstellen, deren Zahl sich im Laufe der Zeit vergrössert, hervorgehen.

Fig. 1



Es seien beispielsweise zwei Leitungen *AB* und *BC*, die die Bedarfsstellen *A*, *B* und *C* verbinden, gegeben (Fig. 1a).

Im Laufe der Zeit entsteht eine zusätzliche Bedarfsstelle *D* (Fig. 1b), die auf dem kürzesten Wege angeschlossen werden muss. Es leuchtet sofort ein, dass bei einem bestimmten Verhältnis der Energieabnahme in den Bedarfsstellen *B* und *D* die Lösung nach Fig. 1b wirtschaftlich nicht die beste sein kann, sondern dass die richtige Lösung, diejenige nach Fig. 1c wäre. Das Entstehen der Leitungen *AB* und *BC* ging jedoch zeitlich dem Entstehen der Bedarfsstelle *D* voran, weshalb sich eine unwirtschaftliche Zwangslösung — immer noch wirtschaftlicher als ein eventueller Gesamtumbau — ergab.

Ähnlich verhält es sich in den meisten Fällen von Erweiterungen der Energieversorgung, weshalb beim sukzessiven Aufbau des Netzes kaum ein wirtschaftliches Optimum erreicht werden kann, es sei denn, das Netz werde von Zeit zu Zeit entsprechend umgebaut. Hiezu fehlten aber bis heute die notwendigen, exakten Berechnungsmittel.

Es ist etwa ein Jahrhundert her, dass erstmals die Optimierung einer elektrischen Leitung hinsichtlich des Materialaufwandes durch die richtige Wahl des Querschnittes angeregt wurde, und zwar durch W. Thomson, den späteren Lord Kelvin; diese Optimierung ist als «Kelvin-Regel» allgemein bekannt. Die ersten Leitungen haben Gleichstrom übertragen und waren von bescheidenem Ausmass. Von elektrischen Netzen nach heutiger Vorstellung konnte noch nicht die Rede sein. Erst mit N. Tesla [3] und seinen genialen Schöpfungen, wie die Mehrphasensysteme und der Induktionsmotor, beginnt die Aera der Grossanlagen für die elektrische Energieübertragung. Die ersten Leistungstransformatoren werden gebaut (Déri, Blathy, Zipernowsky), elektrische Zentralen und das Dreiphasensystem treten ihren Siegeszug an. In Europa bauen im Jahre 1891 Dolivo-Dobrowolsky und Ch. Brown die erste Drehstromleitung.

Es folgen wirtschaftliche Studien über das Spannfeld und die Optimierung des Durchhangs. Alle diese Studien liefern sehr nützliche Hinweise für den Praktiker. Die Problematik des Aufbaues eines Netzes bleibt dagegen unberührt, oder zumindest wenig beachtet, obwohl die elektrischen Netze immer zahlreicher, sowie grösser und komplizierter werden.

3. Netzgestaltung

Ein Netz als ein Gebilde von Leitungen, das entsprechend dem Zuwachs der Belastung entstanden ist, scheint zunächst jeglicher Planung zu trotzen und die Möglichkeit einer Optimierung auszuschliessen.

In Wirklichkeit sieht man sich selten vor Netzneubauten gestellt, die nur eine Ausführungsvariante zulassen. Meistens bemüht man sich bei jedem Neubau oder jeder Änderung, eine Optimierung im engeren Bereiche zu erzielen; statt nur eine Lösung ins Auge zu fassen, entwirft man oft drei oder vier Varianten, studiert sie alle nacheinander, bis man sich schliesslich für die scheinbar beste entscheidet.

Die Bezeichnung «scheinbar beste Lösung» ist durchaus am Platze. Es ist klar, dass es bei vielen Bedarfsstellen auch viele Möglichkeiten der Ausführung eines Netzes gibt; nur können die drei oder vier Lösungen, die in Betracht gezogen werden, nicht die absolute Gewähr dafür bieten, dass auch die beste sich darunter befindet, jene Lösung, die dem betreffenden Netz als funktionell einheitlichem Objekt im gesamten am besten entspricht.

Eine Garantie dieser Art könnte nur eine Methode geben, welche eine Optimierung bei gegebenen Bedarfsstellen und Belastungsverhältnissen sichert, d. h. eine genaue Planung des gesamten Netzes ermöglichen würde. Eine solche Methode war jedoch bisher weder in der Praxis noch in der Fachliteratur bekannt. Vorschläge, wonach Schablonen bzw. geometrische vorgegebene Gebilde für die Netzplanung angeboten wurden, erlangten keine Bedeutung für die Praxis, weil sie auf wirtschaftliche Anforderungen keine Rücksicht nehmen konnten. Einem guten Praktiker sitzen die vielen physikalischen und wirtschaftlichen Anforderungen, wenngleich er sie bei der Planung überwiegend nur gefühlsmässig zu berücksichtigen imstande ist, so gut im Bewusstsein, dass er den Gedanken an ein geometrisches Zwangsgebilde für sein elektrisches Netz konsequenterweise ablehnen muss.

Hingegen ist ein geometrisches System, das auf der Wirtschaftlichkeit beruht, bzw. ein entsprechendes Planungsverfahren, etwas anderes. Ein Bedürfnis dafür ist seit langem vorhanden, was auch aus neueren Aufsätzen in Fachzeitschriften zum Ausdruck kommt. Erwähnt seien hier die Studien von Dejou und F. Gaussens (Electri-

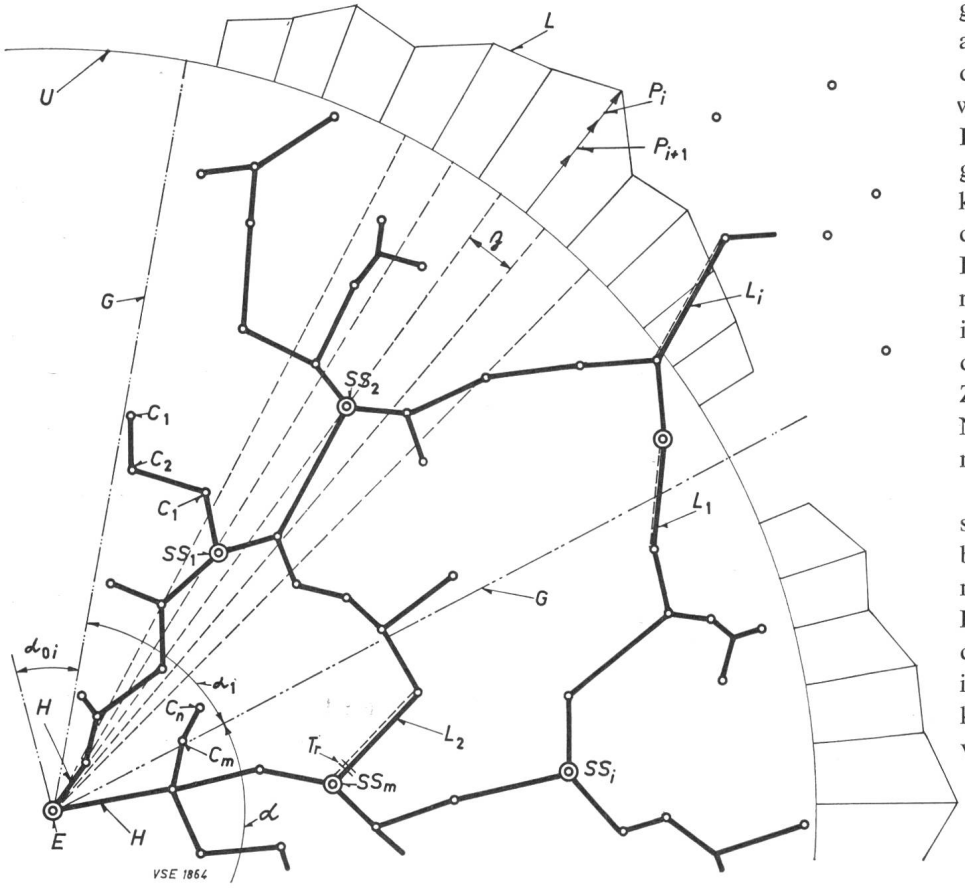


Fig. 2

cité de France, 1961), die eine Lösung anstreben, welche der Verfasser schon mehrere Jahre vorher einigen Werken vorlegte.

Die Tatsache, dass die meisten elektrischen Netze in den Industrieländern schon weitgehend ausgebaut sind, ändert am Bedürfnis nach einer Planungsmethode wenig; vielmehr wird diese bei ausgedehnten und komplizierten Netzen ein vortreffliches Werkzeug, um Erweiterungen und Änderungen wirtschaftlich zu gestalten.

4. Anforderungen und Netzplanung

Die Anforderungen an elektrische Netze, die nicht wirtschaftlicher Natur sind, wie z. B. die Sicherheitsmassnahmen etc., werden durch Einhalten der Vorschriften, Regeln und Leitsätze erfüllt. Sie bedürfen also keiner weiterer Erläuterungen.

Eine andere Art der Anforderungen bilden die wirtschaftlichen Belange, so vor allem die Optimierung des Leiterquerschnittes, des Spannfeldes und des Leiterdurchhanges, mit anderen Worten die Bestimmung der Grössen in den zwei vertikalen Ebenen einer Leitung. Diese Anforderungen werden aufgrund der bisher in der Praxis gut eingeführten Kriterien in bekannter Weise berücksichtigt.

Die Neuheit in der Netzplanung beginnt erst bei der dritten Gruppe von Anforderungen, welche sich vor allem auf die Qualität der Lieferung elektrischer Energie sowie auf das dynamische Verhalten der Belastung beziehen, d. i. bei der Festlegung der dritten Ebene, des Grundrisses, und bei der Wahl der Ausstattung des Netzes. Hier spielen die Änderungen des Netzes in der Zeit die grösste Rolle. Damit tritt automatisch die Zeit als vierte, das elektrische Netz zusätzlich bestimmende Dimension auf. Das ist wohl eine wesentliche Neuerung und gleichzeitig auch eine wichtige Bedingung für die Zuverlässigkeit der Planung.

Nun sind aber die Konfiguration des Netzes und die Ausstattung der Leitungen nicht voneinander unabhängig, sondern eng miteinander verknüpft, was die Lösung trotz methodischem Vorgehen etwas erschwert. Unter Umständen kann nur eine Reihe von sukzessiven Lösungen zum gewünschten, genaueren Ziele führen.

5. Neues Planungsverfahren

Das hier beschriebene Planungsverfahren [4] ermöglicht es, ein neues Netz direkt als ein optimal ausgebildetes Objekt für einen gegebenen Zeitpunkt einzuplanen, oder für ein bestehendes Netz die günstigsten Verbesserungen vorzuschlagen. Die Berücksichtigung der Planungs-Zeitspannen, sowie der Topographie und der Topologie bietet dann keine Schwierigkeit mehr und lässt es zu, das wirtschaftliche Optimum des Netzes, bestehe es aus Freileitungen oder Kabelleitungen, in der Planzeit zu sichern, wodurch eine beachtliche Materialersparnis bei demselben Effekt erzielt werden kann.

Nachstehend sei das neue Verfahren anhand einiger Beispiele erläutert. Mit E ist in Fig. 2 eine Einspeisestelle, z. B. ein einspeisendes Unterwerk bezeichnet. Um E herum liegen die bei Normalbetrieb von E aus zu versorgenden Bedarfsstellen C_1, C_2, C_i, das sind Transformatorenstationen und Hochspannungsbezüger, welche mittlere Leistungen P_1, P_2, P_i beziehen. Die Zahl der von E ausgehenden Hauptleitungen H ist durch die Zahl der Sektoren α_i bestimmt, weil in jedem Sektor nur eine Hauptleitung von E aus verläuft und die eventuellen leeren Sektoren α_{oi} ausgelassen werden.

Die Grenzen G der Sektoren werden folgendermassen festgelegt:

Der ganze Versorgungskreis einer Einspeisestelle ist vorerst in kleine, willkürliche und gleiche Winkel β zu teilen; in jedem Winkel β werden die nominalen Leistungen der zugehörigen Bedarfsstellen, also die den Winkeln β_i zugehörigen Leistungen P_i maßstäblich senkrecht auf den Umkreis U aufgetragen. Die Verteilung der Winkelbelastungen wird durch eine Verbindungslinie L deutlicher gemacht.

Der erste Sektor α_1 beginnt dort, wo die tiefsten Senkungen der Linie L gegenüber dem Umkreis U und die wenigsten Bedarfsstellen auftreten, bzw. wo auf der einen Seite der grösste leere Sektor (α_{oi}) liegt. Gibt es zwei annähernd gleiche Möglichkeiten, so müssen beide überprüft werden.

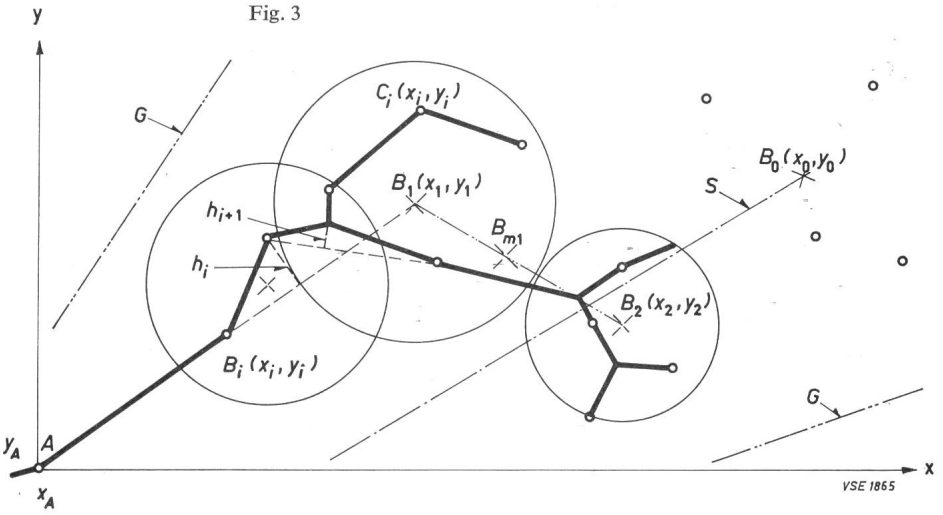
Hierauf werden die Grenzen G der Sektoren der Reihe nach so festgelegt, dass kein Sektor einen Bereich von mehr als 60° über die Schwerpunktslinie der Belastung S des Sektors (Fig. 3) und mindestens einen so grossen Bereich einschliesst, dass für einen zulässigen Querschnitt eine der bekannten wirtschaftlichen Stromdichte entsprechende Belastung vorliegt. Dabei kommen die Grenzen G in die Richtungen der relativ kleinen Belastung des Sektors derart zu liegen, dass jeweils das Grenzdrittel weniger Belastung als das mittlere Drittel einschliesst. Eine Ausnahme hierzu entsteht dann, wenn es sich um einen relativ schmalen Sektor mit einer konzentrierten Belastung handelt. Aus verschiedenen technischen Gründen geht man nämlich nicht über eine bestimmte Querschnittsgrösse hinaus, sondern man wird möglichst wenig verschiedene Leiterquerschnitte anstreben.

Die Fig. 4a zeigt drei Bedarfsstellen und deren geometrische Gegebenheiten. Die Anschlussmöglichkeiten der Bedarfsstelle C sind aus den Fig. 4b...4d ersichtlich. Die Entfernung h ist durch die Gleichung

$$\frac{h}{(a^2+h^2)^{1/2}} + \frac{h\,(P_A - P_c)}{P_A\,(1-2a+h^2)^{1/2}} = \frac{P_c}{P_A}$$

für den praktischen Gebrauch hinreichend genau gegeben, wobei a die in Fig. 4a eingezeichnete Projektionsstrecke und

Fig. 3



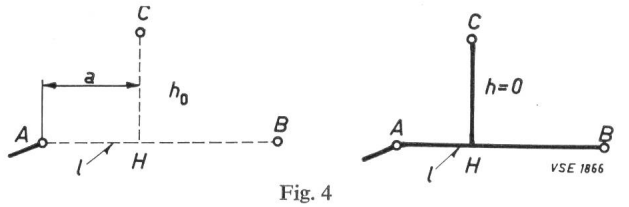


Fig. 4

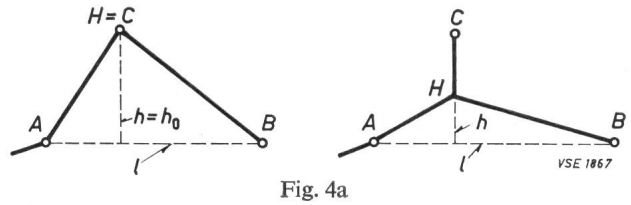


Fig. 4a

P_A, P_c die von den Punkten A und C bezogenen mittleren Leistungen darstellt.

Vom Punkt H im Abstand $h = kh_o$ von der Verbindung AB verläuft zur Bedarfsstelle C eine Stichleitung bzw. Nebenleitung (Fig. 4d). Eine Ausnahme entsteht, wenn der Betriebssicherheit wegen in C eine Schaltstelle gebaut werden muss; dann hat die Leitung nach Fig. 4c zu verlaufen.

Für $S_L = 0{,}1\ S_M$ und für $S_L = 1{,}2\ S_M$ als Beispiele, geben die Kurven I bis V (Fig. 5b) bei verschiedenem Verhältnis P_C/P_A (0,1...0,5) und bei gegebenem Preis der Energieverluste pro Einheit an, wie weit die Leitung sich nach Fig. 4d der Bedarfsstelle C nähern soll, damit die Gesamtkosten ein Minimum ergeben, wenn A und B feste Punkte der Leitung sind.

Die mit 1...5 bezeichneten Kurven in Fig. 5a geben entsprechend die relative Entfernung $k = h/h_o$ an, bei welcher der Leitungsverlauf nach Fig. 4c und derjenige nach Fig. 4b bei verschiedenen Verhältnissen P_C/P_A (0,1...0,5) ohne Rücksicht auf die Betriebssicherheit kostengleich sind. Dabei bedeuten: P_A den jährlichen Mittelwert der Übertragungsleistung in A; P_C den jährlichen Mittelwert der Bedarfsleistung in C; S_L die jährlichen Abschreibungskosten samt Zins für die Leiter; S_M die jährlichen Abschreibungskosten samt Zins für die Masten, Isolatoren und Montage.

Bei der praktischen Gestaltung des Verlaufs einer Leitung mit mehr als drei Bedarfsstellen, wird der Verlauf der Leitung auf die drei Punkte zurückgeführt, indem die Belastungsschwerpunkte mehrerer Bedarfsstellen als fiktive Bestimmungspunkte behandelt werden.

In Fig. 3 ist ein Punkt A eingezeichnet, von dem aus der Verlauf der Leitung im Sektor festgelegt werden soll. In B_o liegt der Gesamtschwerpunkt der Belastung des Sektors. Die Koordinaten x_o und y_o sind durch die zwei Bedingungen

$$\sum P_i \cdot x_i = P_o \cdot x_o \text{ und } \sum P_i \cdot y_i = P_o \cdot y_o$$

gegeben, worin P_i die nominale Bedarfsleistung der Bedarfsstelle, C_i und P_o die Summe dieser Leistungen ist.

Weiter sind zwei Gruppenschwerpunkte B_1 und B_2 eingezeichnet, auf deren Verbindungslinie der gemeinsame Schwerpunkt B_{m1} liegt. Die Gruppenschwerpunkte sind jeweils die Schwerpunkte der Belastung der eingekreisten Bedarfsstellen und dienen als fiktive Bestimmungspunkte der Leitung. Die Gruppen können sich überschneiden.

Für den Verlauf der Hauptleitung zu den Bedarfsstellen C_i gilt, dass die Abweichungen der Hauptleitung in der Richtung der Strecken h — von den jeweiligen Verbindungslinien zwischen den Ausgangspunkten A_i und den Schwerpunkten der Belastung B_i, sowie den Hauptschwerpunkten Bm_i und dem Gesamtschwerpunkt der restlichen Belastung des Sektors als den fiktiven Bestimmungsstationen — die Gesetzmässigkeit, die für drei Stationen Gültigkeit hat, nicht überschreiten dürfen. Im Bereiche innerhalb h werden Bedarfsstellen C_i direkt durch die Hauptleitung, ausserhalb aber durch Stichleitungen, bzw. Nebenleitungen von dieser versorgt.

Dort, wo die Summe der Längen von Stichleitungen zu den Bedarfsstellen quer zur Richtung der Hauptleitung sich der für eine neue Leitung erforderlichen Länge nähert, wird von der Hauptleitung eine Nebenleitung abgezweigt. Als Nebenleitung wird jene Leitung bezeichnet, die zu mehr als einer Bedarfsstelle führt, jedoch kürzer als die Hauptleitung ist.

Wo die örtlichen Verhältnisse den beschriebenen optimalen Verlauf der Leitung nicht zulassen, wird die günstigste Annäherung gewählt.

Nachdem der Verlauf der Leitungen in den Sektoren festgelegt ist, werden die nebeneinanderliegenden Sektoren zusammengefügt. Jede an der Grenze eines Sektors liegende Bedarfsstelle wird daraufhin geprüft, ob die Verbindung zu einer Stelle im andern Sektor nicht kürzer wäre. Ist dies der Fall, so dringt man weiter in den andern Sektor hinein, bis die Kosten der zusätzlichen Energieverluste (Mehrbelastung des Energiepfades im Nachbarsektor) die Ersparnisse an Materialkosten wegen der kürzeren Verbindung aufwiegen. Dies trifft zu, wenn durch einen solchen Anschluss die erzielte Verkürzung der Leitungslänge grösser ist als etwa ein Viertel der Verlängerung des Gesamtübertragungsweges zur betreffenden Bedarfsstelle von der Einspeisestelle aus.

Fig. 5a

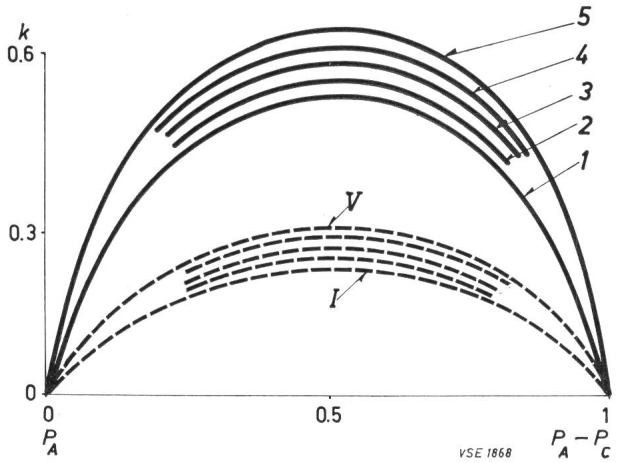
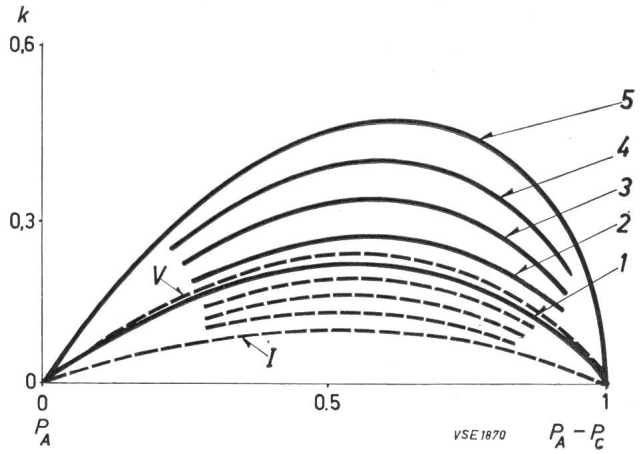


Fig. 5b



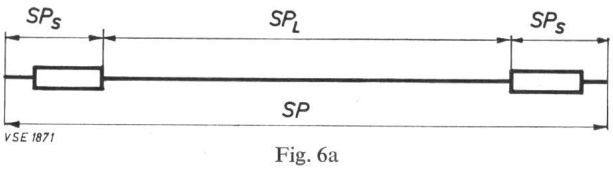


Fig. 6a

Als Beispiel hiezu seien die Bedarfsstellen C_m und C_n von Fig. 2 angeführt.

Ist die Berechnung so weit, so müssen Massnahmen zur Steigerung der Betriebssicherheit von Leitungen und Bedarfsstellen mittels der nachstehend beschriebenen Methode getroffen werden. Solche Massnahmen sind z. B.: die Einschleifung der Leitungen zuzüglich der Wahl der Länge der Leitungsabschnitte, der Bau von Doppelleitungen, das Erden des Sternpunktes über eine Petersen-Spule, die Ausstattung der Leitungsabschnitte mit Blitzschutzseilen, die Wahl der Schalter mit Schnellwiedereinschaltung, die Wahl des selektiven Überstromschutzes, die Verstärkung der Isolationen, der Einbau von Überspannungsableitern, die Reservehaltung.

Diese Massnahmen sind seit langem in der Praxis in Gebrauch und sie wurden bis anhin dem Gefühle nach, ohne Kontrolle der wirtschaftlichen Anforderungen, getroffen.

Die Methode der Kontrolle der Betriebssicherheit geht vom Standpunkt aus, dass für das elektrische Netz neben den drei Längendimensionen auch die vierte — die Zeit — bestimmend ist, d. h. dass im Laufe der Zeit ein elektrisches Netz ständigen Zustandsänderungen unterworfen ist. Betriebsstörungen bedingen Ausfälle von Leitungen, mit entsprechender Änderung der Leistungsfähigkeit, was Schäden verursachen kann. Der Plan, bzw. das Netz soll so ausgeführt werden, dass diese Schäden wirtschaftlich optimal abgegrenzt werden.

Es sei zunächst der Begriff der Betriebssicherheit einer Bedarfsstelle oder Anlage definiert. Es ist jene Zahl, die besagt, wievielmal grösser die Sollbetriebszeit ist, als die Zeit des Stillstandes infolge von Störungen während der Sollbetriebszeit. Nachstehend wird diese Zahl kurz mit BG bezeichnet.

Die Forderung lautet: die Verminderung des jährlichen Schadens aus Betriebsausfällen, die erreicht wird durch Vergrösserung von BG_I auf BG_{II}, muss zumindest gleich sein den jährlichen Aufwendungen für Zinsen und Abschreibungen für die nötigen zusätzlichen Massnahmen.

Die BG-Zahl für einen Leitungsabschnitt nach Fig. 6a wird aus den Störpunktezahlen SP_S für Schaltanlagen und SP_L für Leitungslänge aus den Kurven von Fig. 7 festgelegt. Die SP-Zahlen sind an eine bestimmte Gegend gebunden. Diejenigen von Fig. 7 sind z. B. der Störungsstatistik eines mitteleuropäischen Landes entnommen. Die eingezeichneten Kurven haben folgende Bedeutung:

a_1 gewöhnliche Freileitungen
a Freileitungen mit Blitzschutzseil

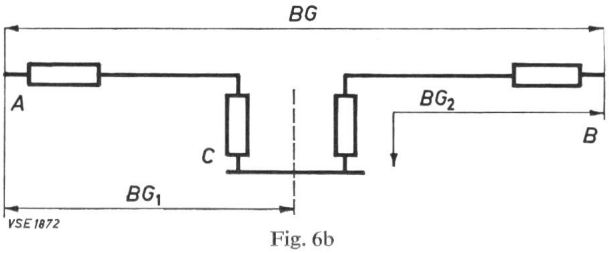


Fig. 6b

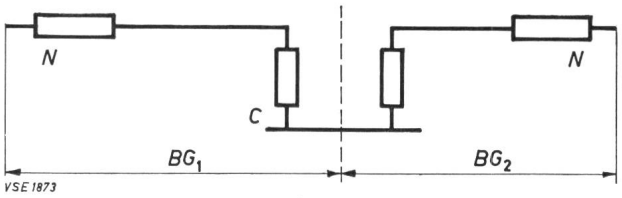


Fig. 6c

b Freileitungen mit Blitzschutzseil und Erdung des Sternpunktes über Petersen-Spule
c wie b, jedoch zusätzlich mit Schaltern mit Schnellwiedereinschaltung
d Kabelleitungen
e Schaltstationen
f, g, h Korrekturen (%)

Bei den Leitungen verstehen sich die SP-Zahlen je 100 km Leitungslänge und bei den Schaltanlagen je zehn Anlagen; $SP = 100$ bedeutet z. B. zehn Abschaltungen einer Anlage pro Jahr.

Für zwei in Serie geschaltete Leitungsabschnitte (Fig. 6b) gilt:

$$\frac{1}{BG} = \frac{1}{BG_1} + \frac{1}{BG_2}$$

Um die BG unterscheiden sich die Werte der Betriebssicherheiten von beiden betrachteten Punkten A und B, wenn nur eine Verbindung zum Netz vorhanden ist, d. h. beim Anschluss entweder in A oder in B.

Für eine Bedarfsstelle C in bezug auf Netz N, (Fig. 6c), oder für B in bezug auf Station A (Fig. 6d), gilt:

$$BG = BG_1 \cdot BG_2$$

Diese Relationen haben prinzipielle Gültigkeit. Zusätzlich sind noch Korrekturen anzubringen.

Mit den BG-Zahlen als Hilfsmittel wird der Plan des Netzes von Fig. 2 fertiggestellt.

Bei den an den Grenzen der Sektoren liegenden Bedarfsstellen wird überprüft, wo zwecks Vermaschung eine Verbindungsleitung, wie z. B. L_I in Fig. 1, zu einer Bedarfsstelle des benachbarten Sektors oder des benachbarten Netzes (L_i) wirtschaftlich erstellt werden kann. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Verbindungsleitung ist durch die Erfüllung folgender Bedingungen gegeben:

$$K \leq \sum P_i \cdot c_{is} \cdot 8760 \cdot \left| 1 - \frac{BG_{\mathrm{Ii}}}{BG_{\mathrm{IIi}}} \right|$$

K sind hier die jährlichen Abschreibungskosten samt Zins für die Verbindungsleitung; c_{is} sind den eingeschleiften Bedarfsstellen C_i zugeordnete Werte des Schadens pro ausgefallene kWh. Oft kann der Wert c_{is} mehr als hundertmal grösser sein als der Verkaufspreis einer kWh. Selbstverständlich wird durch eine solche Verbindungsleitung ein Ausgleich der Belastung im Falle zeitlicher Verschiebungen zwischen den Lastdiagrammen der verbundenen Leitungen erreicht; dadurch werden die Kosten für joulesche Energie-

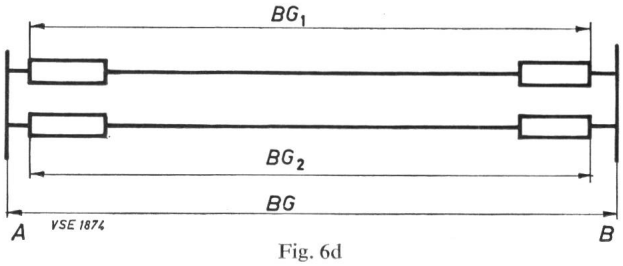


Fig. 6d

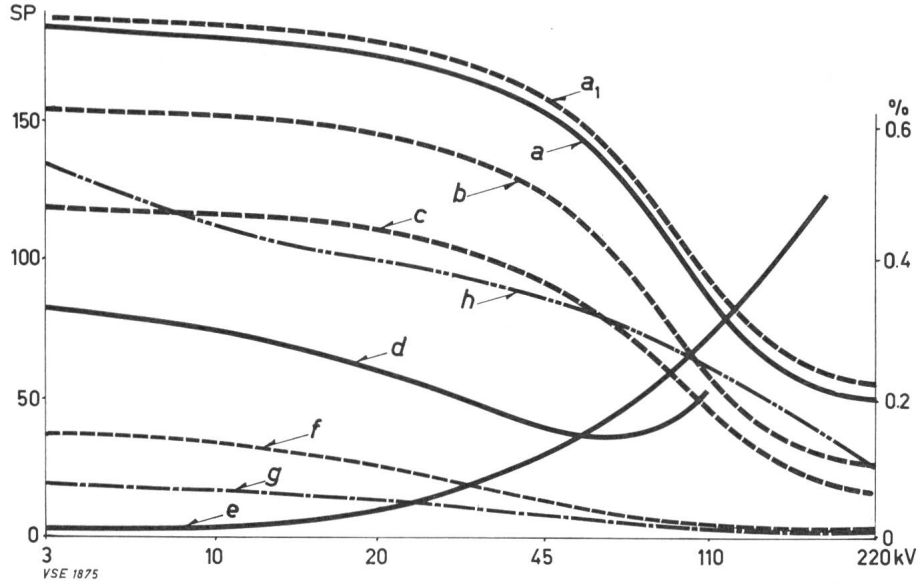


Fig. 7

verluste verkleinert, was auf der rechten Seite der oben erwähnten Gleichung zu berücksichtigen ist. Da dies jedoch auf bekannte Weise geschehen kann, wird es hier nicht weiter erörtert.

Für weitere Verbindungsleitungen gilt dasselbe wie für L_1. Wenn eine solche Leitung aber die Kurzschlußströme über die zulässige Grenze erhöht, erhält sie eine Trennstelle. Eine solche Trennstelle, z. B. T in L_2, Fig. 2, wird nur im Bedarfsfalle überbrückt.

Wenn analog den nebeneinanderliegenden Sektoren zwei oder mehr nebeneinanderliegende Netze zusammengefügt werden, entsteht ein Verbundnetz, wie dies meist in der Praxis der Fall ist.

Die Länge der Leitungsabschnitte, wie z. B. in Fig. 2 von der Schaltstelle SS_1, zur Schaltstelle SS_2, allfällige Doppelleitungen und die übrigen erwähnten Massnahmen zur Steigerung der Betriebssicherheit, werden in gleicher Weise unter Zuhilfenahme von *BG*-Zahlen und im Netzplan nach dem dargelegten Kriterium berücksichtigt, wobei auch dem Vorrang der Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen nachgegangen wird.

Nicht nur Hochspannungsnetze, sondern auch Niederspannungsnetze können nach dem beschriebenen Verfahren für die Ausgestaltung eines elektrischen Netzes geplant werden, mit dem Unterschied jedoch, dass in der Regel keine einzeln abschaltbare Leitungsabschnitte $(SS_i—SS_{i+1})$ und auch keine Verbindungsleitungen (L_i) vorgesehen werden, und dass die Wahl des Querschnittes vor allem vom zulässigen Spannungabfall abhängig ist. Nur in Ausnahmefällen wird eine Querverbindungsleitung zwischen zwei benachbarten Sektoren zwecks Verminderung der Spannungsabfälle nötig sein, wenn nötig mit eingebauten Sicherungen.

Im Vergleich zu den nach der bisherigen Praxis erstellten Netzen, ermöglicht das vorliegende Planungsverfahren im Durchschnitt mehr als 10 % der Materialkosten einzusparen.

Elektrische Netze sind noch immer im Wachsen oder Entstehen begriffen. Entsprechend angewendet, eignet sich das vorliegende Planungsverfahren zur Neuplanung eines Netzes, wie auch zur Überprüfung und Verbesserung bereits bestehender Netze.

Arbeiten und Literatur
(inwieweit nicht schon im Text erwähnt)

[1] a) J. Sacer, Ref. 402 / JNK CIGRE, 1956.
b) J. Sacer, Pat. Anm. 11. 3. 1957/Deutschland.
c) J. Sacer, Pat. Anm. 14. 10. 1961.
Sachgebiet angrenzend:
d) M. Vidmar, Transformation und Energieübertragung, 1945.
e) M. Vidmar, Oblikovanje el. nadzemnih prog, 1953.
[2] Siehe z. B. Bulletin SEV 1965, Nr. 1, S. 23.
[3] In USA; vielmehr bekannt durch drahtlose Übertragung, (Tesla-Transformator, Marconi war sein Angestellter).
[4] Das Planungsverfahren wurde in freier Arbeit entwickelt, in den Industrieländern ist der Schutz beansprucht; Interessenten können Details und Erweiterungen beim Autor nachsuchen.

Adresse des Autors:
J. Sacer, dipl. Elektro-Ingenieur, Ackerstrasse 1, 5432 Neuenhof AG.

Verbandsmitteilungen

Anmeldung zur Meisterprüfung VSEI/VSE

Die nächsten Meisterprüfungen für Elektroinstallateure finden im Oktober und Dezember 1965, sowie im Februar 1966 in Luzern statt. Es wollen sich nur Kandidaten melden, die auch wirklich an diesen Prüfungen teilnehmen. Anmeldungen für spätere Prüfungen werden nicht entgegengenommen.

Anmeldeformulare sowie Reglemente können beim Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektro-Installationsfirmen, Splügenstrasse 6, Postfach, 8027 Zürich, bezogen werden, Telephon (051) 27 44 14.

Die Anmeldung hat bis zum 16. Juli 1965 an oben erwähnte Adresse zu erfolgen, unter Beilage folgender Unterlagen:

1 Anmeldeformular,
1 Lebenslauf,
1 Leumundszeugnis,
1 Lehrabschlusszeugnis eventuell Diplom und sämtliche Arbeitsausweise (Originale).

Im übrigen gilt das Reglement über die Durchführung der Meisterprüfungen im Elektro-Installationsgewerbe vom 15. Dezember 1950. Mangelhafte oder verspätet eingehende Anmeldungen werden zurückgewiesen.

Meisterprüfungskommission VSEI/VSE.

Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique

Am 30. Juni 1965 ist Herr Lucien *Chalmey,* Generalsekretär, in den Ruhestand getreten. Als seinen Nachfolger hat das «Comité de Direction» Herrn dipl. Ing. ETH Roger *Saudan* gewählt. Unserem ehemaligen Mitarbeiter gratulieren wir zu dieser ehrenvollen Wahl recht herzlich.

Sekretariat
VSE

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1; Postadresse: Postfach 8023 Zürich; Telephon (051) 27 51 91; Postcheckkonto 80-4355; Telegrammadresse: Electrunion Zürich.
Redaktor: *Ch. Morel,* Ingenieur.
Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.