Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 60 (1969)

Heft: 11

Artikel: Die Sicherheit bei der Projektierung und im Betrieb der europäischen Stromnetze

Autor: Cash, P.W. / Scott, E.C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916152

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: 08.08.2025

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

Die Sicherheit bei der Projektierung und im Betrieb der europäischen Stromnetze

Von *P. W. Cash* und *E. C. Scott*, London

621.315:001.2

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ermittelt die Ergebnisse einer Untersuchung von über die in 16 europäischen Ländern angewendeten Sicherheitsnormen und -massnahmen bei der Projektierung und im Betrieb elektrischer Netze. Die Ausführungen umfassen 7 Abschnitte:

1. Allgemeines: In diesen kurzen Ausführungen äussern die Autoren ihre Ansichten bezüglich der Sicherheitsmassnahmen, welche bei der Projektierung und im Betrieb der elektrischen Netze berücksichtigt werden müssen.

2. Zusammenfassung des Fragebogens. — Der im September 1963 verteilte Fragebogen wurde später durch zusätzilche Anfragen und durch einen regen Briefwechsel ergänzt. Die eingetroffenen Antworten wurden in den Abschnitten 3, 4, 5 und 6 dieses Berichtes ausgewertet.

3. Statistische Grundlagen der verschiedenen Länder.

4. Betriebssicherheit.

5. Berücksichtigung der Sicherheit während der Projektierung.

6. Der Einfluss der Generatoren grosser Leistung.

7. Schlussfolgerungen. — Die gebräuchlichen Sicherheitsmassnahmen gewährleisten eine höhere Gleichmässigkeit im Netzbetrieb und in der Übertragungsplanung als in der Produktionsplanung. Zur Bestimmung annehmbarer Sicherheitsnormen und deren Anwendung durch eine Koordination der Störanfälligkeit in den verschiedenen Teilen der Verteilnetze können noch zusätzliche Ermittlungen durchgeführt werden.

1. Allgemeines

Der mit der Planung einer Anlage für die Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie beauftragte Ingenieur ist bestrebt, sie mit einer Ausrüstung auszustatten, welche bei der Sicherstellung der Energieversorgung eine angemessene Betriebskontinuität und eine Konstanz der Spannung und der Frequenz bei den geringsten Investitions- und Betriebskosten gewährleistet. Der Betriebsingenieur anderseits wird sich bemühen, diese Ausrüstung rationell einzusetzen, um die Stromversorgung mit den geringsten Betriebskosten zu belasten.

Beide Funktionen sind im Grunde genommen ähnlich: der Planungsingenieur muss die neu konstruierten und eingerichteten Erzeugungs- und Übertragungseinrichtungen auswählen; der Betriebsingenieur muss die künftigen Generatoren und ihren Wirkungsgrad bestimmen sowie den Anschluss an das entsprechende Übertragungsnetz. Beide Fälle befassen sich hauptsächlich mit der Einschätzung des voraussichtlichen Leistungs- und Energiebedarfes, mit der Berechnung und der geographischen Verteilung der erforderlichen Produktionsanlagen zur Deckung dieses Bedarfes und zur Errichtung sicherer Übertragungsleitungen zu den Abnehmern. Der Erfolg dieser Lösungen sowie die bei der Gestaltung dieser Anlagen berücksichtigten Richtlinien bestimmen die sogenannte «Versorgungssicherheit». Die drei wichtigsten Aufgaben werden nachfolgend kurz erläutert.

1.1 Die Abschätzung der Belastung

Die Bewertung der Spitzenleistung und der gesamten Energie erweist sich für jedes Jahr der Planungsperiode ebenso notwendig wie für weitere Betriebsperioden, deren Dauer sich von einigen Minuten bis auf einige Monate erstrecken kann. Die relative Bedeutung dieser beiden Schätzungen bezüglich der Sicherheit der Stromversorgung ist vom Verhältnis der thermischen zur hydraulischen Erzeugung abhängig. In einem vorwiegend thermischen System bestimmt die Beurteilung der Leistung die erforderliche Produktionsausrüstung und dementsprechend die Sicherheitsbasis in den für die Planung wie für den Betrieb massgeblichen Zeitperioden. Die Einschätzung der Energie gewinnt dagegen eine gewisse Bedeutung bei der Auswahl der geeigneten Ausrüstung, der Mischung der Energiequellen sowie der Verwaltung der Brennstoffbeschaffung. In einem vorwiegend hydraulischen System dient die Bewertung der Energie der Auswahl der Energiequellen und demzufolge der Erzeugungsmöglichkeit und der Grundsicherheit.

Die Planung stützt sich im allgemeinen auf eine «mittlere» Bewertung, bei welcher der Ingenieur sich ausdrücklich oder implizit auf die Hypothese gewisser Voraussetzungen stützen muss, bei welchen die Witterungsverhältnisse in gewissen Gegenden eine wichtige Rolle spielen können. Die Einschätzung des Bedarfes kann sowohl in der mittleren Bewertung (beispielsweise in der Neigung einer Leitlinie) wie auch in den Abweichungen gegenüber dem Mittelwert einige Ungewissheiten bieten. Diese Unbestimmtheiten können quantitativ erfasst und in den Berechnungen der erforderlichen Produktionsausrüstungen eingesetzt werden.

Beim kurzfristigen Betrieb berechnet man gewöhnlich nur einen einzigen vorgesehenen Mittelwert, dessen Abweichungen durch die Notstromanlagen oder durch die verfügbaren mitlaufenden Reserven gedeckt werden können. Die Methoden dieser Prognosen stützen sich in bedeutend höherem Masse auf die Erfahrungswerte der kürzlich registrierten Belastungen als auf die Planung.

1.2 Die erforderlichen Produktionsbedingungen

Bei der Projektierung der erforderlichen Produktionsbedingungen kann man, im Zusammenhang mit der Abschätzung des Bedarfes, fünf Faktoren berücksichtigen, nämlich: die Einschätzung der mittleren verfügbaren Energieerzeugung; ihre Abweichungen gegenüber dem Mittelwert; das zulässige Risiko gegenüber dem Bedarf bei ungenügender Produktion; die Anzahl der gedeckten Nachfragen bei einer gegebenenfalls notwendigen kurzfristigen Betriebsunterbrechung und schliesslich die wirtschaftlich verfügbare Notversorgung durch andere Systeme. Eine Kombination dieser Faktoren sowie die Schwankungen bei der Einschätzung des Bedarfes ergeben die notwendigen Energiereserven. Die gesamte für eine bestimmte Ausrüstung vorgesehene Produktionskapazität sollte in Anbetracht des Umfanges dieser Reserve die voraussichtliche mittlere Nachfrage übertreffen.

Beim kurzfristigen Betrieb kennt man den allgemeinen Stand der verfügbaren Energie der Anlage. Die Notanlagen vermitteln eine bestimmte Betriebsreserve und könnten ihrer Wahl gemäss vier Faktoren decken: die Unterschätzung der Nachfrage; die nichtverfügbaren zusätzlichen Produktionsausrüstungen (welche sehr oft rein schätzungsweise einem oder zwei der verfügbaren Grossgeneratoren gleichgesetzt werden); den eventuellen Verlust der äusseren Netzverbindungen und schliesslich die unvorsehbaren Abweichungen des Bedarfes wie auch der Generatorenleistungen, welche bei einem Mangel an genügenden Reserven unzulässige Fre-

quenzschwankungen erzeugen würden. Die Betriebsreserve soll eine gewisse Rücklage und vielleicht eine startbereite feste Notgruppe mit rascher Belastbarkeit umfassen. Die Reserve soll die sehr kurzfristigen Belastungs- und Produktionsabweichungen decken. Diese einigermassen voraussichtlichen Abweichungen können durch die Einschaltung der festen Reservegruppen überbrückt werden, um damit die verfügbaren Reserven zu schonen und sie für irgendwelche andere Notfälle einsetzen zu können. Die Anordnung der Betriebsreserven erfolgt auf Grund der Schnelligkeit des Einsatzes der einzelnen Generatoren, der Notwendigkeit, sämtliche lokale Risiken zu decken, sowie der entsprechenden Kosten.

1.3 Die erforderlichen Übertragungsbedingungen

Nach der Bewertung des Bedarfes und der Energieerzeugung und damit des gesamten Sicherheitsgrades der Anlage muss nun das Verbundnetz bestimmt werden, wobei ebenfalls berücksichtigt werden muss, dass dieses Netz auch gewissen Unzulänglichkeiten infolge von Ausfällen oder Unterhaltsarbeiten ausgesetzt ist. Diese Risiken sowie das zusätzliche Risiko der damit verbundenen Unterbrechung der Energieverteilung können mengenmässig erfasst werden, und man kann unter Berücksichtigung dieser Angaben eine Netzgestaltung wählen, welche diesbezüglich einigermassen zulässige Werte aufweist; oder man kann auch voraussetzen, dass der erforderliche Leistungs- und Energieaustausch durch eine bestimmte Anzahl ausserbetrieblicher Stromkreise ermöglicht wird und das Risiko eines eventuellen Ausfalles ohne weitere Berechnung bewusst in Kauf nehmen.

Das zweite Vorgehen bildet, wie dies die in diesem Bericht erläuterten Planungskriterien der Übertragungen beweisen, die weitaus gebräuchslichte Lösung. Die Planungsingenieure benützen jedoch heute Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Die Betriebsingenieure können die Ausfallwahrscheinlichkeit qualitätiv erfassen, beispielsweise durch eine Umstellung der Produktionsanlagen gemäss einem Plan, der eine höhere Sicherheit, aber eine geringere Wirtschaftlichkeit bietet, unter der Annahme, dass die Witterungseinflüsse die Energieübertragung beeinträchtigen können.

1.4 Allgemeines

Von den Planungs- und Betriebsingenieuren erwartet man, dass sie eine genügende Energieversorgung mit dem geringsten Kostenaufwand ermitteln. Der Planungsingenieur dagegen beschränkt seine Prognosen nicht nur auf einige Monate oder Tage, sondern dehnt sie auf einige Jahre aus, wodurch seine Daten auch grösseren Ungewissheiten ausgesetzt sind. Er verfügt aber anderseits über eine grössere Gestaltungsfreiheit, da er den Umfang und die Natur seiner Anlagen frei wählen kann und ausserdem über mehr Zeit für seine Entscheidungen verfügt. Wurde das System auch richtig geplant, so kann ein Rechenfehler während des Betriebes sehr rasch korrigiert werden. Es kann dagegen auch vorkommen, dass ein Rechenfehler in der Planung während des Betriebes nicht berücksichtigt und nur im Laufe einiger Jahre ausgemerzt werden kann. Anderseits zeitigen Berechnungsfehler bei der Projektierung gewöhnlich weniger schwerwiegende Auswirkungen als Berechnungsfehler, die sich auf den Betrieb beziehen.

Die Planung wie auch der Betrieb müssen die möglichen Risiken berücksichtigen, die sich sowohl aus Unzulänglichkeiten der Ausrüstung wie auch aus fehlerhaften Prognosen der Belastung ergeben können. Der Planungsingenieur muss eine Vielfalt von Entwicklungsmöglichkeiten des Systems verfolgen, und durch die gegenseitige Abwägung ihrer Vorteile kann die Berechnungszeit kaum als ein Begrenzungsfaktor dieser Bewertungsart betrachtet werden. Er kann die Simulationstechnik zur Schätzung der Kosten anwenden, die Analyse zur Beurteilung der Lebensfähigkeit des Netzes und die Wahrscheinlichkeitsberechnung zur Begutachtung der gesamten Sicherheit. Seine Berechnungen sollten somit sämtliche tatsächliche Bedingungen erfassen, welche in einigen Jahren auftauchen können.

Im vorliegenden Fall muss der Betriebsingenieur ein bestimmtes System lenken und verfügt zu diesem Zweck über eine Gesamtheit von Ausrüstungselementen sowie eine sehr ausgedehnte Kenntnis des bisherigen Verhaltens dieses Systems. Bei der unmittelbaren Gewährleistung des Betriebes muss er abklären, ob im Vergleich zu der grossen Anzahl der Ausfallmöglichkeiten der Ausrüstung ein oder einige Fehler auftreten, vielleicht gleichzeitig mit einem Fehler der Bedarfsrechnung, und ebenfalls dafür sorgen, dass kein Teil der Stromversorgung verlorengeht. Dass zu diesem Zweck die Kostenermittlung durch Simulation und die Sicherheitsbewertung durch Wahrscheinlichkeitsrechnung erforderlich sind, ist höchst unwahrscheinlich; dagegen bleiben die Berechnungen der Leitung des Netzes in hohem Masse ausschlaggebend. Die verfügbare Zeit kann gegenwärtig die Inanspruchnahme der Rechenanlagen beschränken, so dass solche Berechnungen ungenauer ausfallen können als bei der Planung; dagegen werden sie in besserer Kenntnis der ursprünglichen Bedingungen des Systems ausgeführt.

Sollte sich trotz all diesen Vorsichtsmassnahmen die Unsicherheit weiterhin ausprägen, so wird der Betriebsingenieur deren Auswirkungen unter Beanspruchung sämtlicher Hilfsmittel des normalen Betriebes und des Notbetriebes minimalisieren. Diese Mittel umfassen unter Umständen das Telephon, die Fernsteuerung und die für den normalen Gebrauch vorgesehenen Anzeigesysteme; bei äusserster Dringlichkeit können Alarmvorrichtungen zur Lastenbeschränkung des gesamten Netzes durch niederfrequente Relais die Belastung abschalten; dieser Vorgang wird durch permanente Befehle an die lokalen Operateure mit selbständigem Wirkungskreis ausgelöst.

2. Zusammenfassung des Fragebogens

Der zum grössten Teil im September 1963 verteilte Fragebogen umfasst vier Abschnitte:

2.1 Vorgängige Fragen für allgemeine statistische Erhebungen der Länder

— Typen und installierte Leistung der Produktionsausrüstungen (Stand 1962—1963 und projektierte Anlagen 1966—1967).
— Anzahl und Leistung der internationalen Verbundleitungen.
— Spitzenbedarf 1962—1963 und Prognosen für 1966—1967.
— Leistungsaustausch beim Spitzenbedarf 1962—1963 und Prognosen 1966—1967.

Fortsetzung in der nächsten Nummer