Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 6

Artikel: Einige Bemerkungen zur Frage der Beleuchtung von Autobahnen

Autor: Richter, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916695

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: 12.12.2025

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

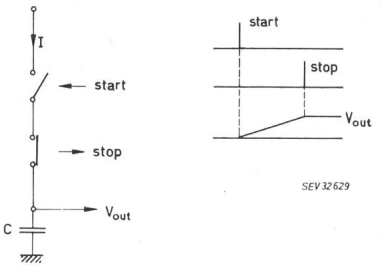

Fig. 4
Principe de conversion temps en amplitude

qui est une autre application du système et utilisée souvent en connexion avec une chambre à étincelles.

L'impulsion de sortie du photomultiplicateur a une longueur de ≈ 15 ns. Une coïncidence de deux impulsions de cette forme donnera un temps de résolution de 7,5 ns. Afin d'obtenir un temps de résolution plus court, et pour supprimer des effets dus aux variations statistiques en amplitude, on passe le signal par un circuit mise-en-forme, avant de le transmettre au circuit «and». Des valeurs jusqu'à 3 ns sont obtenues assez simplement et avec des techniques spéciales, comme passage-par-zéro, des valeurs plus basses que 1 ns ont été obtenues.

Nous avons discuté une coïncidence double: pour avoir une meilleure définition, on met souvent en coïncidence des signaux de plusieurs compteurs. On applique aussi le principe de l'anticoïncidence. Supposons que nous ne voulons pas enregistrer une particule qui passe non seulement par *A* et *B*, mais aussi par *C* (fig. 3). Il est convenu que le signal venant de *C* supprime le voltage de sortie du circuit de coïncidence. C'est ce qu'on appelle une anticoïncidence.

La fig. 3 donne l'arrangement de base pour beaucoup d'expériences. Le discriminateur d'amplitude supprime les signaux parasites et donne seulement une impulsion à l'échelle quand il y a une coïncidence réelle.

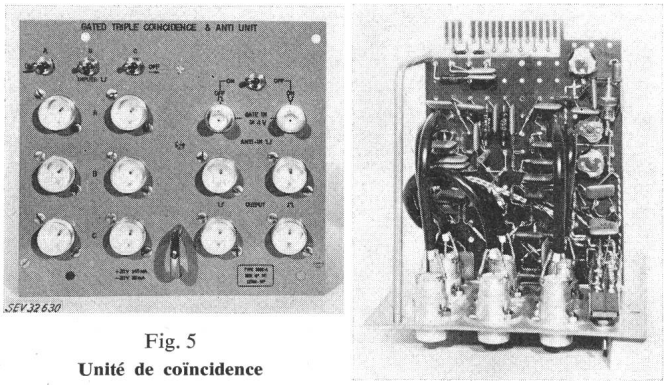

Fig. 5
Unité de coïncidence

Discutons maintenant le principe de conversion temps en amplitude. Dans un tel circuit l'intervalle entre le passage de la particule par les compteurs «*A*» et «*B*» est converti en voltage sur une capacité de stockage (fig. 4). Le signal «start» venant de *A* enclenche le courant *I*, qui commence à charger *C*. Le signal «stop» de *B*, déclenche le courant à son tour. Après l'arrivée d'une impulsion «stop», le voltage sur *C* est converti dans une impulsion avec une amplitude de crête proportionnelle au voltage sur *C* à l'instant du «stop» et transmis à un analyseur d'amplitude multicanaux.

Cette méthode donne la possibilité d'étudier le spectre d'énergie de plusieurs particules à la fois. Un désavantage est que le taux de comptage d'un tel système sera bas, limité principalement par le temps mort de l'analyseur qui est de l'ordre de 100 μs.

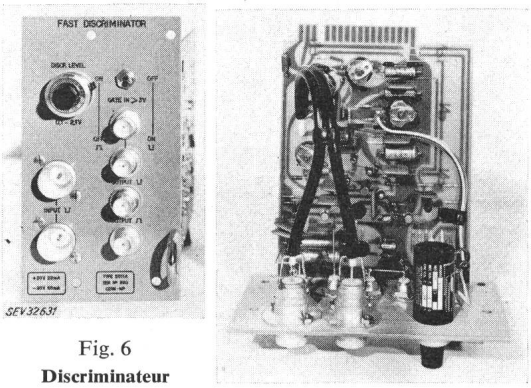

Fig. 6
Discriminateur

En plus de ces instruments de base, beaucoup d'autres sont nécessaires pour exécuter une expérience à présent. Le groupe électronique de la Division NP a développé une gamme d'instruments à cet effet. Tous les circuits sont transistorisés et montés sur des cartes standards. La carte est fixée à une plaque de front: une unité plug-in ainsi formée peut être mise dans une alimentation standard.

Deux exemples sont donnés dans les fig. 5 et 6, un circuit de coïncidence rapide et un discriminateur.

Le temps me manque pour discuter des détails sur ces instruments. Ils peuvent tous accepter un taux de comptage de maximum 10...100 MHz, pendant la durée d'une impulsion de notre synchrotron à protons. Afin de ne pas avoir un changement de sensibilité en fonction du taux, des couplages D.C. ou des circuits «clamping» sont essentiels.

Les recherches actuelles se dirigent vers des circuits capables de travailler sur des taux de 100 MHz ou plus et vers des circuits capables de mesurer un temps inférieur à 1 ns. Mais probablement qu'il faudra encore quelques années avant d'organiser une conférence sur les techniques des impulsions de picosecondes.

Adresse de l'auteur:
H. Verweij, ingénieur, Division physique nucléaire, CERN, Genève.

Einige Bemerkungen zur Frage der Beleuchtung von Autobahnen [1])

Von *J. Richter*, Bern

628.971.6 : 625.711.3

Das Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (ASF) ist mit der Oberaufsicht über unseren Nationalstrassenbau betraut. Es hat vor allem die übergeordneten gesamtschweizerischen Interessen zu wahren und ist auch für den Erlass von Richtlinien verantwortlich. Im Rahmen seines Aufgabenkreises beschäftigt es sich seit einiger Zeit mit der Frage der Autobahnbeleuchtung. Sein Sachbearbeiter gehört auch als Vertreter des Amtes derjenigen Fachgruppe der Schweiz. Beleuchtungs-Kommission an, welche diese Probleme behandelt.

[1]) Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung der Schweiz. Beleuchtungs-Kommission am 15. November 1963 in Zürich.

Die Beleuchtung von Autobahnen wäre ein Ingenieurproblem, und zwar ein zweifaches, denn auf zwei gänzlich verschiedene Fragen aus verschiedenen Ingenieurzweigen sollte Auskunft gegeben werden:

1. Nach dem «Warum»?
2. Nach dem «Wie»?

Die Antwort nach dem «Warum» muss der Verkehrsingenieur zu geben suchen. Er muss nach den Regeln seiner Kunst ermitteln, wo und wann eine Beleuchtung notwendig ist, welche Vor- und Nachteile damit verbunden sind, welche Anforderungen an eine Beleuchtung gestellt werden. Vor allem muss er auch die immer an den Ingenieur gestellte Frage nach der Wirtschaftlichkeit zu beantworten suchen: ob nämlich die dem Aufwand entsprechende Gegenleistung geboten wird.

Erst wenn die Ausgangsfrage bejaht ist, hält die Fakultät der Elektriker Einzug und beantwortet die Frage des «Wie», wie nämlich, ebenfalls auf wirtschaftlichste Weise, den Spezifikationen des Verkehrsfachmannes entsprochen werden kann.

Dieses Vorgehen scheint logisch, wird aber in den wenigsten Fällen angewandt, und zwar aus verschiedenen Gründen. Es fällt schon dem Verkehrsingenieur schwer, einzelne Parameter zu isolieren, welche die Frage der Beleuchtung beeinflussen. Dadurch gerät natürlich bereits die Fundation für jede weitere Arbeit ins Schwanken, wodurch die ingenieurmässige Erledigung verunmöglicht wird. In diesem Moment greift das Ermessen ins Geschehen ein, statt mit Tatsachen wird mit Meinungen argumentiert. Es liegt beinahe in der Natur der Meinung, dass sie im Laufe des Gespräches zur Behauptung wird. Das Gespräch über Autobahnbeleuchtung dauert schon Jahre, und viele der Behauptungen sind schon so tief in uns eingedrungen, dass wir sie als erforschte Tatsachen hinnehmen!

Anderseits liegen natürlich auch Ergebnisse von Erhebungen vor, welche auf sachliche Weise die Kriterien zu ermitteln suchen, nach welchen die Frage der Autobahnbeleuchtungen zu beurteilen ist. Aber auch in diesen Fällen ist das Ergebnis der Untersuchungen sorgfältig auszuwerten. Bevor Vergleiche der Resultate mit denen von andern Anlagen angestellt werden, ist genau abzuklären, ob die Voraussetzungen wirklich derart sind, dass eine Vergleichsbasis überhaupt besteht. Vor Verallgemeinerungen sei besonders gewarnt.

Die Hauptargumente, welche allgemein für eine Autobahnbeleuchtung aufgeführt werden, seien hier kurz wiederholt und unter dem Gesichtswinkel des oben Erwähnten betrachtet.

Das Hauptargument für eine Autobahnbeleuchtung scheint deren günstiger Einfluss auf das Unfallgeschehen zu sein. Die Unfälle in den Dunkelstunden machen auf unsern bestehenden Strassen mit Gemischtverkehr, auf die Fahrleistung bezogen, etwa das Doppelte der Tagesunfälle aus. Aber ist dafür die Dunkelheit als solche verantwortlich? Ist es nicht so, dass eine ganze Reihe anderer Ursachen eben auch zu dieser Zeit einen Einfluss ausüben? Der Alkohol, der zu einem beachtlichen Anteil am Unfallgeschehen beteiligt ist, wird sich naturgemäss vor allem nachts auswirken. Übermüdung, Mangel an Konzentration, ausgelöst durch die Belastung des Körpers und der Seele durch die Tätigkeit während des Tages, ferner der Drang, möglichst bald nach Hause zu kommen, machen sich ebenfalls in gefährlicher Weise bemerkbar. Eine diesbezügliche Studie auf den Expreßstrassen in Detroit ergab, dass sich während der Abendspitzenstunde zwischen 17 und 18 Uhr 3,5mal mehr Unfälle pro Fahrkilometer ereignen als während der entsprechenden Morgenspitze! Die Lichtverhältnisse dürften dabei kaum einen Einfluss ausgeübt haben!

Die Gefahr des Nachtfahrens ist bei den Gemischtverkehrsstrassen besonders ausgeprägt. Weitgehend ungenügende Beleuchtung innerorts und praktisch nicht vorhandene Beleuchtung ausserorts führen auf diesen Anlagen zu den Unfällen, von denen wir täglich in der Zeitung lesen können: Über- und Anfahren von Fussgängern und Radfahrern einerseits, Kollisionen mit festen Objekten oder Verlassen der Fahrbahn andererseits. Die erste Gruppe dieser Unfälle wird hervorgerufen durch die Unhomogenität der Verkehrsteilnehmer — Gemischtverkehr —, die zweite Gruppe durch den oft unkontinuierlichen Strassenverlauf oder ungenügend markierte Hindernisse, welche in den Verkehrsraum reichen. Diese Voraussetzungen sind bei Autobahnen nicht gegeben.

Eine sehr eingehende Untersuchung [2]) über den Effekt der Beleuchtung wurde in den USA an der Connecticut Turnpike angestellt. Diese Autobahn, welche einen mit unseren Autobahnen vergleichbaren Ausbaustandard aufweist, wurde 1958 dem Betrieb übergeben und ist auf eine Strecke von 85 km auf ein Niveau von etwa 10 lx beleuchtet, während die Fortsetzung von etwa 120 km unbeleuchtet ist. Der beleuchtete Abschnitt führt im wesentlichen durch städtische und vorstädtische Verhältnisse und entspricht weitgehend den bei uns vorgesehenen Expreßstrassen. Der unbeleuchtete Abschnitt liegt im Überlandbereich und weist auch entsprechend weniger Verkehr auf. Die Erhebung im beleuchteten Abschnitt zeigte, dass sich auf je 100 Mill. Fahrzeugmeilen tagsüber 74 Unfälle ereignen, nachts mit eingeschalteter Strassenbeleuchtung jedoch 130. Diese beinahe doppelte Unfallhäufigkeit während der Nacht entspricht den bereits bekannten Zahlen, mit dem wesentlichen Unterschied, dass hier die Autobahnbeleuchtung vorhanden war. Die Untersuchung über den unbeleuchteten Abschnitt ergab, dass bei praktisch gleicher Unfallfrequenz während des Tages wie auf der beleuchteten Strecke (72 Unfälle), die Nachtunfallhäufigkeit bei 98 liegt, sich also im unbeleuchteten Abschnitt, auf die gleiche Fahrleistung bezogen, 32 Unfälle weniger ereignen als auf der beleuchteten Strecke.

Aus diesen Zahlen seien keine voreiligen Schlüsse gezogen, obwohl der erwähnte Bericht alle Grundlagen der Erhebung peinlich genau angibt und sich dadurch lobenswert von einigen andern «Erhebungen» unterscheidet, von denen nur die gewünschten Endresultate bekannt werden. Soviel aber darf abgeleitet werden, dass nämlich die Allgemeingültigkeit der Behauptung als widerlegt betrachtet werden kann, wonach die Beleuchtung eine Unfallreduktion von 30 % nach sich zieht. Dabei sei betont, dass hier nur von Autobahnen mit vergleichbarem Ausbaucharakter die Rede ist, keineswegs von Gemischtverkehrsstrassen. Dass eine Wirtschaftlichkeitsberechnung, welche sich auf die genann-

[2]) Traffic Operations as Related to Highway Illumination and Delineation. By: A. Taragin, Bureau of Public Roads; Burton M. Rudy, Conn. State Highway Departement.

ten 30 % Unfallreduktion stützt, zu diskutablen Ergebnissen kommen muss, ergibt sich von selbst.

Es sei nebenbei noch erwähnt, dass auf Autobahnen neben den Auffahrunfällen die Kollision von ab der Fahrbahn geratenen Fahrzeugen mit Pfosten und dergleichen zu den wesentlichsten Unfallursachen gehört. Beleuchtungsmasten längs Autobahnen im Abstand von rund 30 m bilden diesbezüglich keine zu übersehende Gefahr. Die Erfahrungen an der Versuchsstrecke Köln—Leverkusen beweisen dies, trotz dort vorhandenen Leitplanken. — Was die Unfälle allein anbetrifft, dürfte es also schwer halten, Autobahnbeleuchtung zu rechtfertigen.

Das Argument, dass die Beleuchtung eine Verlagerung des Verkehrs vom Tag auf die Nacht bewirke, ist kaum ernsthaft in Betracht zu ziehen und muss eine unbewiesene Behauptung bleiben. Der Verkehr ist nicht Selbstzweck und findet dann statt, wenn das Bedürfnis dazu besteht. Die wenigen Fahrzeugführer, die diesbezüglich freie Wahl haben, dürften kaum ins Gewicht fallen. Wir haben kuriositätenhalber die relative nächtliche Belastung der praktisch durchgehend beleuchteten Zürchseeuferstrasse verglichen mit einer entsprechenden unbeleuchteten Strasse und keinen signifikanten Unterschied feststellen können. Wohl muss angenommen werden, dass der nächtliche Strassenverkehr ansteigt, nicht aber wegen einer allfälligen Beleuchtung sondern wegen der Zunahme des Verkehrs an sich.

Auf die berühmte Frage nach dem sog. «Hell» oder «Dunkel» des Fahrbahnbelages sei hier nicht näher eingetreten. Nur soviel sei angedeutet: Es gibt Lichttechniker mit Namen, welche beweisen könnten, dass sich sowohl der Beton- als auch der Asphaltbelag vom beleuchtungstechnischen Standpunkt besser eignet. Dem Strassenbauer ist bekannt, dass sich die Oberflächenstruktur und Farbe eines jeden Belages infolge des darüberrollenden Verkehrs ändert, was grundsätzlich neue Reflexionsbedingungen für die Beleuchtung schafft.

Es mag der Eindruck entstehen, das ASF sei gegen die Beleuchtung von Autobahnen. Nichts wäre irriger als diese Annahme. Wir sind uns alle einig, dass wir lieber beleuchtete Autobahnen hätten als unbeleuchtete. Der wesentlichste Schönheitsfehler, den die beleuchteten Autobahnen haben, sind die damit verbundenen Kosten. Dies betrifft sowohl die Gestehungskosten im Betrage von wohl rund Fr. 300 000.— pro km (wesentlich niedrigere Zahlen berücksichtigen jeweils nur den elektrischen Teil, vernachlässigen aber die entsprechenden baulichen Aufwendungen), an welche der Bund seinen Beitrag leisten würde, als auch die Unterhalts- und Betriebskosten, welche mit kaum weniger als Fr. 30 000.— pro km und Jahr gänzlich zu Lasten der Kantone als Bauherren und Besitzer der Nationalstrassen gehen. Wir hören oft das Argument, dass die Beleuchtung nur soundsoviel Prozent der Gesamtkosten ausmacht. An der Diskussionstagung der SBK wurde vorgerechnet, dass die Beleuchtung der Nationalstrassen wohl 1/4 Milliarde Franken ausmachen würde (ohne Bauarbeiten), dass das aber eben nur 2,1 % der Totalkosten ausmache...! Abgesehen vom Umstand, dass bei unzähligen andern Sonderwünschen ebenso argumentiert wird und die Summe all dieser wenigen Prozente zu einem noch respektableren Betrag heranwächst, muss sich der verantwortungsbewusste Ingenieur bei jeder Ausgabe überlegen, ob er die entsprechende Gegenleistung erhält.

Das Amt für Strassen- und Flussbau lässt sich in seinen Entscheiden im Interesse des Strassenbenützers, der schliesslich die Kosten zu tragen hat, von dieser genannten ingenieurmässigen Überlegung leiten. Wir werden uns mit unbeleuchteten Überlandautobahnen in guter Gesellschaft befinden, sind doch Tausende von km von Autobahnen auf der ganzen Welt unbeleuchtet und wohl nur wenige 100 km beleuchtet. Weder die Finanzlage des Bundes noch diejenige der Kantone erlauben uns den Luxus von beleuchteten Überlandautobahnen. Noch weniger erlaubt uns dies der angespannte Arbeitsmarkt. Wir sind verpflichtet, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln möglichst viele Kilometer von Autobahnen zu bauen und nicht Perfektionismus zu betreiben.

Die Antwort auf die Frage nach der Beleuchtung von Autobahnen bleibt leider, Spezialfälle ausgenommen, weitgehend dem Ermessen überlassen, welches in dem Seilziehen zwischen unbestreitbarem Komfort und ebenso unbestreitbaren Kosten den Arbiter spielen muss. Mit einzelnen, allgemeingültigen Kriterien kann die Autobahnbeleuchtung kaum gerechtfertigt werden. Lediglich das Verkehrsvolumen könnte zu einem bestimmten Kriterium werden, weil sich hier die Summe aller an sich nicht ausschlaggebenden Einzelargumente wie Komfort, Sicherheit, Leistungsfähigkeit von vielen Verkehrsteilnehmern bildet. Aber wieviele braucht es? Gemäss einer Umfrage, welche an der Diskussionstagung der SBK erwähnt wurde, werden von den verschiedenen nationalen Beleuchtungs-Komitees (nicht Strassenverwaltungen) mittlere tägliche Belastungen zwischen 25 000 und 50 000 Fahrzeugen genannt. Wollte man für unsere schweizerischen Nationalstrassen z. B. 30 000 Fahrzeuge pro Tag als Kriterium anerkennen, so wären in überblickbarer Zukunft ausser den Autobahnen in städtischen und ausgesuchten vorstädtischen Verhältnissen wohl nur noch sehr vereinzelte Strecken zu beleuchten. Die Grauholzstrasse, welche vor den Toren Berns einen Abschnitt der N 1 bildet, weist 1963 z. B. einen durchschnittlichen Tagesverkehr von etwa 9000 Fahrzeugen auf.

Welche Massnahmen sind nun vom ASF beim Autobahnbau zur Erleichterung des Nachtfahrens vorgesehen, und zwar nicht nur in Bezug auf Fahrbahnbeleuchtung, sondern ganz allgemein?

a) Es ist grundsätzlich vorgesehen, die städtischen Expressstrassen (z. T. auch aus Rücksicht auf die Umgebung), zu beleuchten;

b) Es sollen in besonderen Fällen die Kontaktpunkte der Autobahnrampen mit dem Lokalstrassennetz beleuchtet werden;

c) Es werden die meisten Wegweisersignale auf Autobahnen mit ortsfester Beleuchtung versehen;

d) Selbstverständlich werden die Tunnel beleuchtet;

e) Es wird einer gut reflektierenden Strassenmarkierung, also allen Rand-, Leit- und Sicherheitslinien grosse Bedeutung beigemessen;

f) Es werden Leitpfosten-ähnliche Träger mit Rückstrahlern versehen, welche in rund 60 m Abstand auf 80 cm Höhe den Verlauf der Strasse auf grosse Distanzen andeuten;

g) Es werden bei Brücken zusätzliche Rohrleitungen verlegt, um später Kabel durchziehen zu können;

h) Ebenso werden in gewissen Abständen Rohre quer zur Strasse verlegt, um ohne Beschädigung des Strassenkörpers eine allfällige Beleuchtung in einem späteren Zeitpunkt erstellen zu können;

i) Endlich ist zur Zeit in detaillierter Prüfung, ob und in welcher Form durch längs der Autobahn verlegte Kabelkanäle

gleichzeitig den Bedürfnissen der Leitungen der Notrufsäulen, Signal- und Autobahnbeleuchtung entsprochen werden kann.

Mit diesen zum Teil bereits recht weitgehenden Massnahmen, zu denen sich vielleicht noch weitere gesellen werden, glauben wir, dem Bedürfnis des Verkehrs mit wirtschaftlichen Mitteln weitgehend entsprochen und uns die Erweiterungsmöglichkeiten für die Zukunft nicht genommen zu haben.

Zum Abschluss seien noch folgende Bemerkungen erlaubt: Autobahnen sind im Vergleich zu Gemischtverkehrsstrassen wesentlich sicherere Anlagen. Wir wollen dies nicht vergessen, auch wenn in der Presse Autobahnunfälle meistens spektakulärer behandelt werden. Wäre es nicht angebracht, in Bezug auf die Strassenbeleuchtung das Wissen der Fachleute, den guten Willen des Publikums und den Franken des Steuerzahlers dort einzusetzen, wo am meisten Nutzen resultiert: bei den Gemischtverkehrsstrassen!

Adresse des Autors:
Jacques Richter, Sektionschef des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau, Bern.

Lösung von Überspannungsschutzproblemen durch Anlagemodelle

Von *H. Stephanides,* Oberentfelden

621.316.933 : 621.3.001.57

Die Diskussion der Bedingungen des Überspannungsschutzes zeigt, dass die Nachbildung im analogen Anlagemodell gute Möglichkeiten zur Lösung von Überspannungsschutzproblemen bietet. Zur Vermeidung von Verfälschungen müssen in einem solchen Modell die Kettenleiter zur Nachbildung der Leitungen und Kabel sehr eng gestuft werden. Wichtig ist auch die Verwendung einer genau definierten, reproduzierbaren Wellenform und eine gute Nachbildung der Überspannungsableiter. Es wird ein Anlagemodell beschrieben, das diese Anforderungen erfüllt und die exakte Messung aller Überspannungen ermöglicht. Dieses arbeitet mit einer linear ansteigenden Spannungskurve. Oszillogramme zeigen die gute Messgenauigkeit des Modells.

L'examen des conditions du problème de la protection contre les surtensions montre qu'une reproduction dans le modèle analogique des installations offre de bonnes possibilités de solution. Pour éviter des interpolations, il faut que les réseaux récurrents qui reproduisent les lignes et les câbles soient très étroitement échelonnés. Il importe également d'utiliser une forme d'onde exactement définie et reproductible, ainsi qu'une bonne reproduction des parafoudres.

L'auteur décrit un modèle analogique qui satisfait à ces exigences et permet la mesure exacte de toutes les surtensions. Ce modèle fonctionne avec une courbe de tension qui augmente linéairement. Des oscillogrammes montrent la bonne précision de mesure du modèle.

1. Einleitung

Im Gebiete des Überspannungsschutzes von elektrischen Anlagen ist es heute möglich, durch Einsatz verfeinerter Untersuchungsmethoden digitaler und analoger Art sich ein zuverlässiges Bild der Spannungsbeanspruchung einzelner Apparate zu machen. Zweck solcher Untersuchungen ist vor allem die Optimierung des Schutzes, der durch Ableiter erzielt werden kann. Dieses Problem gewinnt immer mehr an Bedeutung infolge der fortschreitenden Reduktion der Prüfspannung der Geräte bestehender Spannungsklasse und der Festlegung relativ niedriger Isolationspegel für die kürzlich eingeführten Höchstspannungen von 525 und 765 kV.

Solange sehr einfache Anlagen betrachtet werden, lässt sich die Schutzwirkung einer Anordnung nach den bekannten rechnerischen und graphischen Methoden [1; 2] [1]) gut überblicken. Sobald jedoch innerhalb der Anlage Kapazitäten oder Induktivitäten den Spannungsverlauf beeinflussen, muss man zur Lösung der Probleme zu komplizierten Hilfsmitteln greifen.

Mit Digitalrechnern kann in Anlehnung an das Bergeronverfahren der Spannungsverlauf in einer Anlage berechnet werden [3], wobei sich durch geeignete Programmierung die meisten Bedingungen nachbilden lassen. Die Resultate bleiben dabei immer genau reproduzierbar und vermitteln wertvolle Erkenntnisse über den Verlauf von Überspannungen. Eine Einschränkung des Anwendungsbereiches ergibt sich jedoch durch die langen Rechenzeiten, da die Aufnahme eines Messpunktes oft eine Stunde benötigen kann. Längere Versuchsreihen werden dadurch oft undurchführbar.

In vorliegendem Bericht wird aus dem obigen Grunde ein analoges Verfahren, das in der Nachbildung der Anlage in einem Anlagemodell besteht, beschrieben. Die gesuchten Spannungskurven können dort augenblicklich am Oszillographenschirm abgelesen werden, was die Arbeit beträchtlich erleichtert. Kleine Abweichungen ergeben sich bei diesen gegenüber den digitalen Berechnungen, da idealisierte Kurven nur näherungsweise nachgebildet werden können und da die Elemente im Modell mit einer Dämpfung behaftet sind. Diese Einflüsse können so klein gehalten werden, dass ihre Wirkung von sekundärer Bedeutung bleibt. Auch die Wellengleichung, deren exakte Lösung die digitalen Rechenmethoden geben, beschreibt nur näherungsweise die tatsächlichen Vorgänge in der Anlage. Eine Reihe von Sekundäreinflüssen wird bei ihrer Ableitung vernachlässigt. Die resultierende Wirkung dieser Einflüsse verursacht meist Fehler, welche diejenigen im analogen Anlagemodell übertreffen.

Da die Abweichungen in beiden Fällen in der gleichen Richtung liegen, ist im analogen Anlagemodell damit die Nachbildung der tatsächlichen Bedingungen sogar meist besser als bei der digitalen Berechnung nach der dämpfungsfreien Wellengleichung.

2. Nachbildung der Leitungen und Kabel

Gegenüber früheren Verwirklichungen ähnlicher Art [4] weist das beschriebene Modell eine flexiblere Anordnung, eine feinere Unterteilung und eine wesentlich gesteigerte Genauigkeit auf. Besondere Bedeutung hat in jedem analogen Modell eine gute Nachbildung der Leitungen und Kabel. Diese enthalten beide kontinuierlich über ihre Länge verteilte Kapazitäten und Induktivitäten, deren Grösse ihr Verhalten bei Wanderwellen bestimmt.

Die direkte Nachbildung mit kontinuierlich verteilten Grössen erfordert einen sehr grossen Aufwand. Einfache Anordnungen erhält man dagegen, wenn die Kapazitäten

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.