Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 52 (1961)

Heft: 21

Rubrik: Communications ASE

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: 16.12.2025

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

Um die gesteuerte Zelle möglichst nahe an der Durchbruchgrenze betreiben zu können, soll dieser eine ungesteuerte Zelle vorgeschaltet werden. Auch hier müssen die gesteuerte und die ungesteuerte Zelle mit einem Widerstand überbrückt sein. Teilspannungen über die Widerstände müssen, entsprechend dem Verhältnis der max. Spitzensperrspannungen beider Zellen, aufgeteilt werden. Die Bemessung der Widerstände erfolgt wie bei der Serieschaltung von ungesteuerten Zellen.

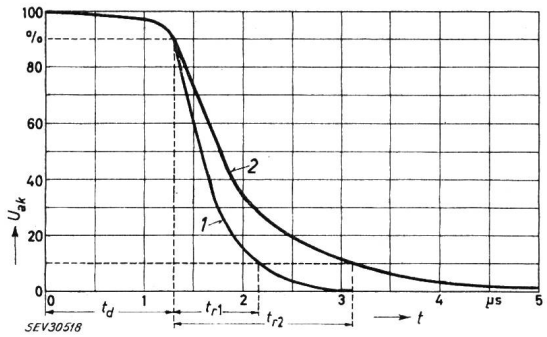

Fig. 18
Einschaltkennlinie einer gesteuerten Siliziumzelle
1 Belastung 1 A; *2* Belastung 40 A
U_{ak} Spannung zwischen Anode und Kathode; t Zeit; t_d Verzögerungszeit; t_{r1}, t_{r2} Abfallzeit entsprechend Kurve *1* bzw. Kurve *2*

Bei Serie- und Parallelschaltung von gesteuerten Zellen sind die gleichen Massnahmen wie bei ungesteuerten Zellen zu treffen. In jedem Fall ist bei der Serieschaltung jede Zelle mit einem Schutzkondensator zu überbrücken. Fig. 18 zeigt die Einschaltkennlinie einer gesteuerten Siliziumzelle.

13. Schlussbetrachtungen

Wir stehen noch mitten in der Entwicklung der Halbleitergleichrichter und es ist nicht ausgeschlossen, dass in absehbarer Zeit neue, bessere Gleichrichter zur Verfügung stehen werden. In den Forschungslaboratorien wird an den besprochenen Gleichrichterarten weiterhin intensiv gearbeitet und man trachtet danach, die Sperrspannungen zu erhöhen, die Überlastkennlinien zu verbessern und die spezifische Belastung zu vergrössern.

Auch in fabrikatorischer Hinsicht wird ständig nach neuen Methoden gesucht, um die Qualität zu steigern und geichzeitig die Herstellungskosten zu verringern. Das Resultat der Forschungsarbeiten ist, dass schon heute Gleichrichteranlagen mit Halbleiterzellen für

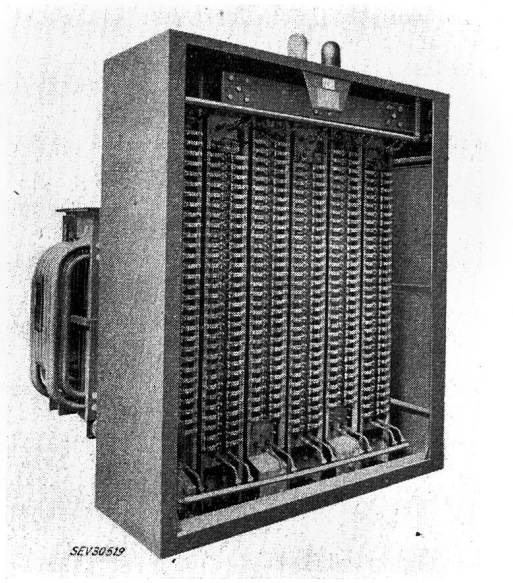

Fig. 19
Teil einer Halbleiter-Gleichrichteranlage

Gleichstromleistungen über 100 MW gebaut werden. In Fig. 19 wird ein Teil einer Anlage für eine Gleichspannung von 300 V und einen Gleichstrom von 50 kA gezeigt.

Literatur

[1] *Jackson, S. P.:* Selection and Application of Metallic Rectifiers, New York, Toronto, London: McGraw-Hill 1957. S. 326.

[2] *Spenke, E.:* Silizium als Baustoff für Leistungsgleichrichter. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 110...115.

[3] *Pfaffenberger, J.:* Die Technik des Siliziums-Gleichrichters. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 115...122.

[4] *Zenneck, H.:* Erfahrungen mit Silizium-Gleichrichtern. Siemens-Z. 32(1958)3, S. 122...128.

[5] *Design Engineers Handbook.* Westinghouse Electronic Components. Pittsburg: Westinghouse Electric Co. 1958.

[6] *Storsand, B.:* 20 000 A Silizium-Gleichrichteranlagen für Elektrolysebetrieb. Bull. Oerlikon –(1959)336/337, S. 140...144.

[7] *Controled Rectifier Manual.* Liverpool N. Y.: General Electric Co. 1960. S. 255.

[8] *Siliziumgleichrichter.* Brown Boveri Mitt. 48(1961)3/4, S. 167...276.

[9] *Westinghouse:* Publ. RB. 397/5.5.1961. London: Westinghouse Brake & Signal Co. Ltd. 1961.

Adresse des Autors:

H. Flückiger, Ingenieur, Westinghouse Bremsen & Signal Gesellschaft, Effingerstrasse 35, Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Der Ausbau der Kraftwerke Oberhasli (KWO)

621.311.21(494.246.1)

1. Das Kraftwerk Gental mit dem Maschinenhaus Fuhren

Nachdem die Wasserkräfte des Aaretales von der Oberaar bis Innertkirchen durch Erstellung der Kraftwerke Oberaar, Handeck I, Handeck II und Innertkirchen bereits voll ausgebaut sind, haben die Kraftwerke Oberhasli AG auch die Konzessionen zur Ausnützung der Wasserkräfte im Gental und Gadmental erworben und als oberste Stufe das KW Gental mit dem Maschinenhaus Fuhren [1]) in den Jahren 1958 bis 1961 erstellt und am 1. Mai 1961 dem Betrieb übergeben. Das aus dem Einzugsgebiet des obern Gentales stammende Wasser (Fig. 1) wird in einer Hangleitung einem Ausgleichbecken bei Teuflaui zugeführt und durch einen Druckstollen unter dem Tellistock durch zum Wasserschloss Birchlaui im Gadmental geleitet. Von da führt eine Druckleitung zum Maschinenhaus Fuhren (Fig. 2) unterhalb Gadmen, in welchem eine Francis-Turbinengruppe von rd. 9600 kW (13 100 PS) Nennleistung und eine Hochdruck-Pumpengruppe für 2000 l/s Fördermenge installiert sind. Die hydraulische Anlage weicht von den üblichen Kraftwerken insofern ab, als das von der Turbine verarbeitete Wasser, zuzüglich dem Pumpenwasser, in einer gemeinsamen Steigleitung wieder hochgeführt und in den bestehenden sog. Gadmerstollen, an welchen bereits die Fassungen Wenden, Stein und Trift angeschlossen sind und der bei Rotlaui im Aaretal in den Zuleitungsstollen Handeck-Innertkirchen mündet, eingeleitet wird. Das Bruttogefälle Teuflaui–Fuhren ist rd. 600 m

[1]) Siehe Bull. SEV 52(1961)11, S. 429.

und die Bruttosteighöhe Fuhren–Gadmerstollen rd. 200 m, so dass das von der Turbine ausgenützte Bruttogefälle rd. 400 m beträgt.

Die elektrische Ausrüstung des Maschinenhauses Fuhren umfasst einen Drehstromgenerator von 14 000 kVA, 13,5 kV, einen Pumpenmotor von 5600 kVA, 13,5 kV und einen Dreiphasentransformator von 14 000 kVA, 13,5/165 kV, sowie die zugehörige Hoch- und Niederspannungs-Schaltanlage. Die Energieübertragung nach der rd. 8 km entfernten Unterstation erfolgt über eine 150-kV-Freileitung mit drei Bronzeseilen von 150 mm² Querschnitt.

Der Betrieb des Kraftwerkes wird vom Kommandoraum in Innertkirchen aus über eine leitungsgerichtete HF-Anlage ferngesteuert und überwacht.

Die Energieproduktion des Kraftwerkes Gental-Fuhren, einschliesslich Mehrproduktion im KW Innertkirchen durch Turbinen- und Pumpenwasser, beträgt 84 GWh pro Jahr, wovon 57 GWh im Sommer und 27 GWh im Winter. Durch diesen Zuwachs erhöht sich die mittlere Gesamtproduktion der Oberhasli-Kraftwerke auf 1409 GWh, wovon 717 GWh auf das Sommer- und 692 GWh auf das Winterhalbjahr entfallen.

Mit der Inbetriebnahme des Kraftwerkes Fuhren erhöht sich die installierte Generatorenleistung aller KWO-Zentralen auf 570 MVA und die maximale Leistungsabgabe ab Generatorenklemmen auf 464 MW.

Im folgenden seien die Hauptangaben des neu in Betrieb gesetzten Kraftwerkes zusammengefasst:

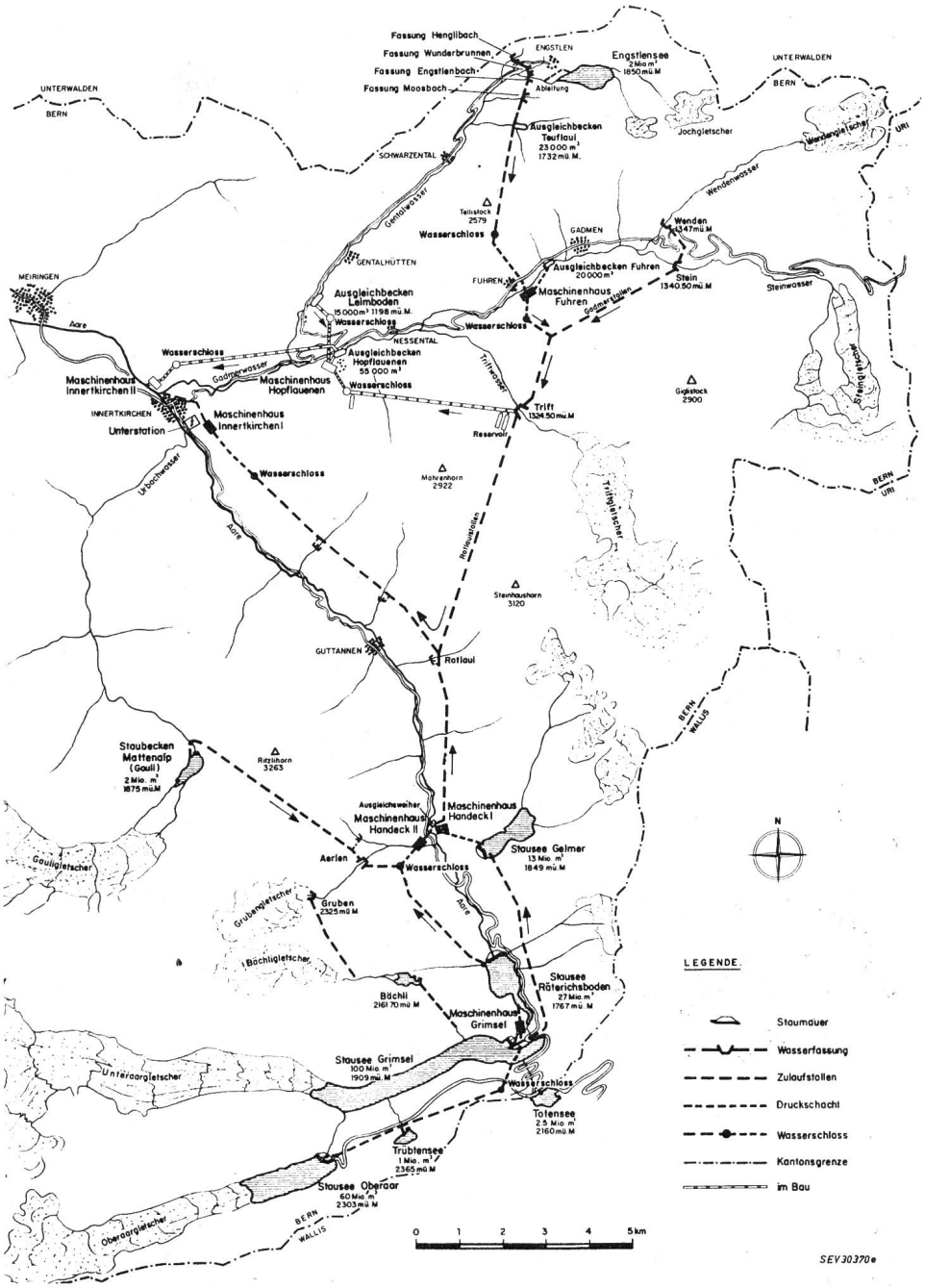

Fig. 1
Übersichtskarte der Anlagen der KWO im Aare-, Gadmen- und Gental

Wasserwirtschaft und Gefälle

Einzugsgebiet	35 km²
Sommerzufluss	$50 \cdot 10^6$ m³
Winterzufluss	$17 \cdot 10^6$ m³
Stauinhalt Ausgleichbecken Teuflaui	23 000 m³
Ausgleichbecken Fuhren	20 000 m³
Bruttogefälle Teuflaui–Fuhren	600 m
Bruttosteighöhe Fuhren–Fenster Schaftelen	200 m
Ausgenütztes Bruttogefälle durch Turbine	400 m

Wasserfassungen und Zulaufstollen

Wasserfassung Henglibach	Kote 1 769,5 m
Hangleitung Henglibach–Engstlenbach	80/100 cm ⌀, 637 m lang
Wasserfassung Engstlenbach	Kote 1 733,0 m
Verbindungsstollen Engstlenbach–Teuflaui	2,00 m ⌀, 1 165 m lang
Ausgleichbecken Teuflaui	Stauziel 1 732 m
Druckstollen Teuflaui–Wasserschloss	2,00 m ⌀, 2 650 m lang

Druck- und Steigleitung

Druckleitung (eingedeckte Rohrleitung)
Birchlaui–Fuhren ... ... 1,10/1,05/1,00 m ⌀, 1 700 m lang
Steigleitung (gepanzerter Druckschacht)
Fuhren–Gadmerstollen (Fenster–Schaftelen) ... ... 1,70 m ⌀, 515 m lang

Ausgleichbecken Fuhren ...	Stauziel 1 152 m
Pumpenzuleitung	1,25 m ⌀, 650 m lang

Maschinenhaus Fuhren

1 Francisturbine zu 13 100 PS, 3 m³/s, 1 000 U./min, gekuppelt mit:
1 Drehstromgenerator 14 000 kVA, 13,5 kV, 50 Hz.
1 Speicherpumpe 2 m³/s, bei 184 m Förderhöhe, 1500 U./min, gekuppelt mit:
1 Pumpenmotor 6 500 PS, 13,5 kV, 1 500 U./min.
1 Drehstromtransformator 14 000 kVA, 13,5/165 kV.

Energieübertragung Fuhren–Innertkirchen

150 kV Freileitung 7,8 km lang, 3 × 150 mm² Bronze.
150 kV Kabelanschlüsse je 0,3 km lang, 3 × 150 mm³ Cu.

Baukosten: Fr. 28 200 000.—.

Mittlere jährliche Energieproduktion der KWO nach Inbetriebnahme des KW Fuhren, inkl. Mehrproduktion im KW Innertkirchen

	Sommer	Winter	Jahr
bisher	660	665	1 325 GWh
KW Fuhren	57	27	84 GWh
Total	717	692	1 409 GWh

2. *Der Weiterausbau der Wasserkräfte im Gadmental*

Wie erwähnt, bildet das Kraftwerk Gental-Fuhren die oberste Stufe einer neuen Kraftwerkgruppe der KWO im Gadmental. Als nächste Stufe ist die Erstellung eines Kraftwerkes bei Hopflauenen, etwa 5 km unterhalb Fuhren, vorgesehen (Fig. 1), mit dessen Bau bereits begonnen wurde. Das Maschinenhaus, auf der linken Talseite unterirdisch angelegt, wird im ersten Ausbau mit einer Maschinengruppe von 55 MVA Generatorleistung und einer weitern Gruppe von 7 MVA Generatorleistung ausgerüstet. Beide Generatoren arbeiten über eine 62-MVA-Dreiphasentransformatorengruppe und eine etwa 4,5 km lange Freileitung auf die 150-kV-Sammelschienen der Freiluftstation Innertkirchen. Das Wasser für die grössere Gruppe wird dem ebenfalls bereits erwähnten Gadmerstollen bei der Wasserfassung Trift entnommen und durch einen Zuleitungsstollen und einen Druckschacht einer Freistrahlturbine von 40 500 kW Nennleistung mit einem Nettogefälle von 450 m zugeführt. Für die kleinere Gruppe wird das Wasser einem Ausgleichbecken im sog. Leimboden im untern Gental entnommen und durch eine Druckleitung einer Freistrahlturbine von 5300 kW Nennleistung mit einem Nettogefälle von 315 m zugeführt.

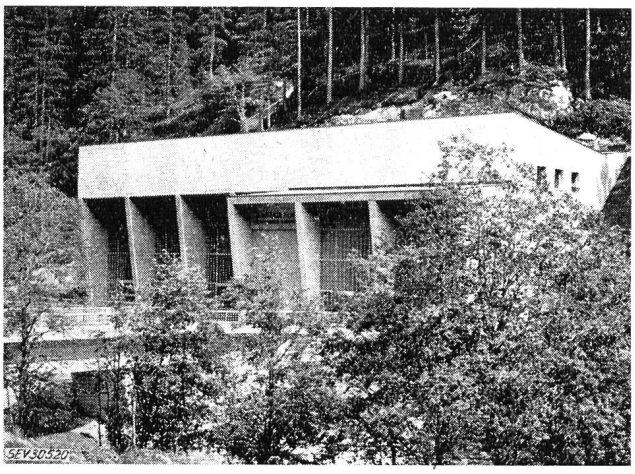

Fig. 2
Maschinenhaus Fuhren
Aussenansicht

Als unterste Stufe wird bei Innertkirchen ein neues Kraftwerk (Innertkirchen II) erstellt, dessen Bau unmittelbar nach Fertigstellung des Kraftwerkes Hopflauenen in Angriff genommen werden soll. Das freistehende Maschinenhaus wird im ersten Ausbau mit einer Maschinengruppe von 37 MVA Generatorleistung ausgerüstet, welche über einen 37-MVA-Drehstromtransformator und eine etwa 1 km lange 150-kV-Ölkabelleitung ebenfalls auf die 150-kV-Sammelschienen der Freiluftstation Innertkirchen arbeitet. Das Betriebswasser für das Kraftwerk Innertkirchen II wird einem Ausgleichbecken bei Hopflauenen, in welches das Abwasser des Kraftwerkes Hopflauenen und das Gadmerwasser eingeleitet wird, entnommen und durch einen Zuleitungsstollen und eine Druckleitung einer Francisturbine von 20 000 kW Nennleistung mit einem Nettogefälle von 225 m zugeführt.

3. *Die KWO nach dem Ausbau*

Nach Fertigstellung der beiden Stufen, welche auf das Frühjahr 1968 vorgesehen ist, werden die KWO über zwei voneinander unabhängige Kraftwerkgruppen verfügen, die jedoch elektrisch zusammengekuppelt und durch den bestehenden Rotlauistollen hydraulisch miteinander verbunden sind. Mit der Inbetriebsetzung der Gadmer Kraftwerke wird sich die mittlere jährliche Energieproduktion der KWO auf 1556 GWh erhöhen, welche sich auf das Sommer- und das Winterhalbjahr praktisch gleichmässig verteilt, während die an den 150-kV-Sammelschienen Innertkirchen verfügbare Spitzenleistung auf 493 MW ansteigen wird.

H. Ludwig

Kurznachrichten über die Atomenergie

621.039.4

Der Mangel an qualifizierten wissenschaftlichen und technischen Arbeitskräften ist eine der Hauptursachen dafür, dass in vielen Teilen der Welt die Fortschritte bei der friedlichen Anwendung der Atomenergie so langsam sind. Aus diesem Grunde ist eine der wichtigsten Formen der Hilfe, die die Internationale Atomenergie Organisation (IAEO) ihren Mitgliedstaaten leistet, die Ausbildung von Studierenden und der Austausch von Wissenschaftern und Sachverständigen.

Im Rahmen des Stipendienprogrammes der IAEO sind bisher 1309 Kandidaten ausgewählt worden, 344 haben ihre Studien bereits abgeschlossen und 352 stehen gegenwärtig in Ausbildung.

Eine Mission neuer Art, eine Ergänzungsmission, hat die IAEO in sechs Länder Südostasiens und des Fernen Ostens — Burma, Thailand, Indonesien, die Philippinen, China und Korea — entsandt.

Ergänzungsmissionen sollen die Verbindung mit Ländern erneuern, die zuvor von vorbereitenden Hilfsmissionen oder ähnlichen Gruppen besucht wurden, und sich dort vom Fortschreiten der Programme zur Entwicklung der Kernenergie überzeugen, bei bestimmten Vorhaben Rat erteilen und feststellen, wie die IAEO diese Projekte fördern könnte.

Es scheint, dass die einzig wirtschaftlichen Mittel der Energieerzeugung mittels Kernspaltung die sog. schnellen Reaktoren darstellen. Als schnelle Reaktoren gelten Kernreaktoren, die ohne jede «Moderierung» oder Abbremsung zu neuen Kernspaltungen verwendet werden (bei mittelschnellen Reaktoren werden die Neutronen in begrenztem Masse abgebremst). Schnelle Neutronen sind besonders wirksam bei der Umwandlung des häufig auftretenden Isotops Uranium-238 in einen andern Kernbrennstoff, Plutonium-239. Demnach ist es möglich, in einem schnellen Reaktor frischen Kernbrennstoff zu «brüten», wobei die erzeugten Mengen grösser sind als der verbrauchte Brennstoff. In den verschiedenen Ländern werden nun grosse Anstrengungen unternommen, die Versuche mit «schnellen Reaktoren» zu fördern.

Das *französische* Programm zur Entwicklung schneller Reaktoren hat sein Zentrum in Cadarache, wo gegenwärtig der Versuchsreaktor «Rapsody» errichtet wird. Dieser Reaktor, der bis Ende 1964 betriebsfertig sein soll, wird vor allem zur Durchführung von Bestrahlungsversuchen an Brennstoffelementen dienen. Es sei geplant, dort eine Modellanlage zu errichten, um Reaktorkerne grösseren Ausmasses mit Plutonium als Brennstoff zu untersuchen. Als zweiter Schritt sei geplant, gegen Ende der Sechzigerjahre einen thermischen Reaktor mit 250 MW Leistung zu bauen, was die Konstruktion eines Prototypleistungsreaktors mit schnellen Neutronen erleichtern würde. Die Verwendung von Plutonium als Brennstoff wird auch weiterhin einen Schwerpunkt des Programms bilden.

In der *Sowjetunion* ist das Problem, die Kernenergie zur Grundlage der Energieerzeugung zu machen, wegen grosser Vorräte an fossilen Brennstoffen nicht akut. Das 1948 angelaufene sowjetische Programm auf dem Gebiet der schnellen Reaktoren kann man in einen theoretischen und einen praktischen Abschnitt gliedern. Der Übergang zum praktischen Stadium hat mit dem Bau und Betrieb eines BR-5 genannten, mit Plutoniumoxyd betriebenen 5000-kW-Reaktors begonnen. Die Arbeiten an einem schnellen Reaktor mit einer elektrischen Leistung von 50 000 kW und einer thermischen Leistung von 250 000 kW ist aufgegeben worden. Gegenwärtig beschäftigen sich die Kernwissenschafter und -techniker mit dem Gedanken, einen grösseren Reaktor mit einer Leistung von 800 000 kW oder vielleicht mehr zu konstruieren.

In *Grossbritannien* interessiert man sich für schnelle Reaktoren vor allem deshalb, weil sie möglicherweise zur Energieerzeugung mit geringen Kapital- und Brennstoffkosten herangezogen werden könnten. Ausserdem besteht Aussicht auf Verwendung der reichlichen Plutoniumvorräte, die aus den mit natürlichem Uran unter Verwendung von Graphit betriebenen Kraft-

werken stammen. Voraussichtlich werden bis 1968 Kernkraftwerke dieser Art mit einer Leistung von etwa 5000 MW im Betrieb stehen. Bis dahin wird auch genügend Plutonium für den Betrieb der ersten schnellen Reaktoren vorhanden sein.

Einen viermonatigen fortgeschrittenen internationalen Ausbildungskurs über die biologischen Wirkungen von Strahlen, der am 24. Oktober 1961 beginnt, führt die IAEO gemeinsam mit der israelischen Regierung am israelischen Radioisotopen-Ausbildungszentrum in der Nähe von Rehovoth durch. Dieser Kurs ist für Studierende gedacht, die sich in der strahlenbiologischen Forschung betätigen oder eingehende Kenntnisse über die Wirkung ionisierender Strahlen auf lebende Materie erwerben wollen.

Auf Wunsch der philippinischen Regierung besuchte eine dreiköpfige Mission im Jahr 1960 die Philippinen, um zu untersuchen, welche Aussichten dort während des nächsten Jahrzehnts für die Kernenergie bestehen. Die Mission bestand aus einem Reaktortechniker und einem Fachmann für Energiewirtschaft vom Sekretariat der IAEO, sowie einem auf Energiequellen spezialisierten Wirtschaftsfachmann von der Abteilung für wirtschaftliche und soziale Fragen der Vereinigten Nationen.

Die Mission befasste sich bei ihrer Untersuchung besonders mit den Aussichten für den Einbau eines Kernkraftwerkes in das Energieversorgungsnetz, das einen grossen Teil der Insel Luzon versorgt. In diesem Zusammenhang wurden vor allem zwei Fragen studiert, und zwar erstens, ob die Situation in der Energieversorgung von Luzon gegen Ende der Sechzigerjahre die Errichtung eines grösseren Kraftwerkes rechtfertigen würde, und zweitens, ob in diesem Falle ein herkömmliches Kraftwerk oder ein Kernkraftwerk vorzuziehen wäre.

Im Bericht der Mission wird die Lage auf dem Energiesektor im betreffenden Gebiet eingehend analysiert und geschätzt, wie weit der Energiebedarf zunehmen wird. Die Verfasser gelangen zum Schluss, dass der Bedarf ausreichen wird, um den Einbau eines grossen thermischen Kraftwerkes (bestehend aus einer Anlage mit 150 MW Leistung oder zwei Anlagen mit je 100 MW Leistung) in das Netz von Luzon gegen Ende dieses Jahrzehnts zu rechtfertigen.

Zur Klärung der Frage, ob eine herkömmliche Anlage oder ein Kernkraftwerk gebaut werden soll, wurde der voraussichtliche Kostenaufwand ziemlich eingehend analysiert, um die jeweiligen Vorteile aufzuzeigen. Die Schlussfolgerung der Mission lautet: «Es ist anzunehmen, dass im Versorgungsnetz von Luzon Kernkraftwerke mit Leistungen von zweimal 100 MW oder einmal 150 MW gegenüber Anlagen mit Ölfeuerung konkurrenzfähig sein könnten, bei denen sich die Brennstoffkosten während ihrer Lebensdauer auf durchschnittlich 40 Cents pro BTU (etwa 252 000 kcal) oder 2,40 Dollar pro Barrel belaufen. Sollten die Ölpreise diesen Betrag überschreiten, so erweitert sich der Bereich, in dem die Kernenergie konkurrenzfähig ist, um ein beträchtliches. Wenn man in Betracht zieht, dass der gegenwärtige Preis für Heizöl ungefähr 38 Cents pro Million BTU beträgt, so gelangt man zum Schluss, dass die Einbeziehung der Kernenergie in die Energieversorgung von Luzon gegen Ende der Sechzigerjahre ernstlich zu erwägen wäre.»

Ein fast vollständiges Bild vom derzeitigen Stand der Arbeiten, die in verschiedenen Teilen der Welt auf dem Gebiet der Plasmaphysik im Gange sind und deren Ziel die Verwirklichung der gesteuerten Kernverschmelzung — einer so gut wie unerschöpflichen Energiequelle für friedliche Zwecke — ist, hat eine in Salzburg veranstaltete einwöchige internationale Konferenz über Forschung auf dem Gebiet der Plasmaphysik und der gesteuerten Kernverschmelzung vermittelt.

Es wurde allgemein der Gedanke vertreten, dass bis zur Lösung des Problems der kontrollierten thermonuklearen Fusion noch etwa 20 Jahre nötig sein werden, falls die Forschungen nicht vom Weg des gesteckten Zieles abweichen.

In Zukunft will man beträchtliche Einsparungen bei den Kernkraftwerken durch Verbesserungen an Reaktormaterialien durch Normung von Reaktorbestandteilen und durch Vereinfachung der Sicherheitsmassnahmen erreichen. Damit soll die elektrische Energie aus Kernspaltung mit der herkömmlichen Energie konkurrenzfähig werden.

Es wird vorausgesagt, dass in Grossbritannien die mit grossen gasgekühlten Reaktoren erzeugte Kernenergie voraussichtlich in etwa fünf Jahren gegenüber der herkömmlichen Energie konkurrenzfähig sein wird. Für die Vereinigten Staaten wird die Prognose gestellt, dass die in einem gegen Ende dieses Jahrzehnts errichteten grossen Kernkraftwerk erzeugte Energie in Gebieten, wo die Preise für Brennstoffe verhältnismässig hoch liegen, mit der thermischen Energie in Konkurrenz treten kann. *Schi.*

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Die Steilheit und die Mischsteilheit des HF-Legierungs- und Drifttransistors

621.382.333.3

[Nach *W. Minner:* Die Steilheit des HF-Legierungs- und Drifttransistors als Funktion der Frequenz und des Arbeitspunktes und ihre Ableitungen. AEÜ 14(1960)9, S. 411...420]

Die frequenzabhängige HF-Steilheit lässt sich nicht aus der Gleichstromkennlinie herleiten. Es wird deshalb eine empirisch ermittelte Gleichung angegeben, die es gestattet, die HF-Steilheit als Funktion der Basis-Emitter-Gleichspannung U_{BE} bis zur doppelten Grenzfrequenz f_α zu berechnen, wenn die Steilheit als Funktion von U_{BE} bei einer, in der Nähe der Grenzfrequenz liegenden Frequenz, aus Messungen vorliegt. Aus den Ableitungen dieser Gleichung können die zu erwartende Mischsteilheit, der Kollektor-Kurzschlußstrom und die Kombinationsfrequenzen höherer Ordnung (wichtig für die Erfassung der Kreuzmodulation) bestimmt werden.

Ausgehend vom HF-Ersatzschaltbild nach *Giacoletto,* wird die Zeitkonstante des Transistors unterteilt in die für die Basis-Emitterstrecke wirksame Zeitkonstante τ_B und die in der Kollektor-Basisstrecke gültige Zeitkonstante τ_C. Für die Berechnung der Mischsteilheit ist τ_B mit der Hochfrequenz (Eingangsfrequenz) und τ_C mit der Zwischenfrequenz (Ausgangsfrequenz) wirksam. Durch vergleichende Messungen der Geradeaussteilheit und der Mischsteilheit ist es somit möglich, die beiden Zeitkonstanten zu trennen. So gilt z. B. für den Drifttransistor OC 615 $\tau_{BO}/\tau_{CO} = 1/2$ und für den Legierungstransistor AF 101 $\tau_{BO}/\tau_{CO} = 4/1$.

Dabei ist

$$\tau_B + \tau_C = (\tau_{BO} + \tau_{CO}) \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_\tau}\right) \qquad (1)$$

U_τ ist eine vom Typ des Transistors abhängige Konstante.

Empirisch wurde für die Steilheit die Gleichung

$$|S| \approx \frac{S_0}{\sqrt[3]{1 + f \cdot 10^{-8}}} \cdot \frac{1}{1 + 2\pi f(\tau_B + \tau_C)} \qquad (2)$$

gefunden, wo S_O die Steilheit bei tiefen Frequenzen und f die Arbeitsfrequenz darstellt.

Das Vorgehen zur Bestimmung von S bei beliebigen Frequenzen und Arbeitspunkten nach Gl. (2) ist nun das folgende:

Durch Messung der Gleichstromcharakteristik $I_C = f(U_{BE})$ erhält man die Konstanten i_O und U_T' in der Beziehung

$$I_C = -i_0 \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_T'}\right) \tag{3}$$

und daraus mittels

$$S_0 = \frac{i_0}{U_T'} \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_T'}\right) \tag{4}$$

den Verlauf der Steilheit S_O als Funktion von U_{BE}. Misst man nun S bei einer Frequenz in der Nähe der Grenzfrequenz, so ergeben sich aus Gl. (2) die Werte von $(\tau_B + \tau_C)$ und mit Gl. (1) diejenigen von $(\tau_{BO} + \tau_{CO})$. Setzt man Gl. (1) und Gl. (4) in Gl. (2) ein, so erhält man:

$$|S| \approx \frac{\frac{i_0}{U_T'} \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_T'}\right)}{\sqrt[3]{1 + f \cdot 10^{-8}}\left[1 + 2\pi f\,(\tau_{BO} + \tau_{CO}) \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_\tau}\right)\right]} \tag{5}$$

Da nun die Werte aller Konstanten bekannt sind, kann die Steilheit bei einer beliebigen Frequenz f bestimmt werden.

Zur Berechnung der Mischsteilheit S_C ist die Gl. (5) abzuwandeln in:

$$S_z| \approx \frac{\frac{i_0}{U_T'} \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_T'}\right)}{\sqrt[3]{1 + f_{HF} \cdot 10^{-8}}\left[1 + 2\pi f_{HF}\left(\tau_{BO} + \tau_{CO}\frac{f_{ZF}}{f_{HF}}\right) \exp\left(\frac{-U_{BE}}{U_\tau}\right)\right]} \tag{6}$$

wo f_{HF} die hochfrequente Eingangsfrequenz und f_{ZF} die Zwischenfrequenz ist. Man muss hier berücksichtigen, dass für den Kollektorstrom der Frequenz f_{ZF} die Zeitkonstante τ_C mit der Zwischenfrequenz f_{ZF} wirksam ist. Aus den Ableitungen der Steilheit S_Z nach U_{BE} kann nun die Mischsteilheit S_C sowohl für kleine, als auch für grosse Eingangssignale gerechnet werden:

$$|S_C| \approx \frac{|S_Z|'}{2}\,\hat{U}_2 + \frac{|S_Z|'''}{16}\,\hat{U}_2^3 \tag{7}$$

worin $|S_Z|'$ und $|S_Z|'''$ die erste und dritte Ableitung von $|S_Z|$ nach U_{BE} darstellen und $\hat{U}_2$ der Scheitelwert der Oszillatorspannung ist.

Aus den Verhältnissen τ_{BO}/τ_{CO} ist ersichtlich, dass für Drifttransistoren S_Z und somit auch S_C stark von der gewählten Zwischenfrequenz abhängig sind.

Experimentell konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gerechneten und gemessenen Werten von S und S_C festgestellt werden. *J. S. Vogel*

Einteilung der Mikrosystemselektronik nach Gesichtspunkten der Festkörperbauelemente

621.382-181.4

[Nach *I. A. Lesk, N. Holonyak, R. W. Aldrich, J. W. Brouillette* und *S. K. Ghandi:* A Categorization of the Solid-State Device Aspects of Microsystems Electronics. Proc. IRE 48(1960)11, S. 1833... 1841]

Unter den Begriff Mikrosystemselektronik fallen alle Arbeiten, welche sich mit der Verkleinerung von elektronischen Bauelementen und Schaltungen befassen. Die praktischen Ziele der Mikrosystemselektronik sind:

1. Erhöhung der Packungsdichte, d. h. Erhöhung der Anzahl Bauelemente pro Gewichts- oder Volumeneinheit.
2. Reduktion von Abmessungen und Gewicht.
3. Erhöhung der Zuverlässigkeit bei verringerter Wartung.
4. Verkleinerung des Leistungsbedarfes.
5. Erniedrigung der Herstellungskosten.

Die Erreichung dieser Ziele der Mikrosystemselektronik kann bei allen Arten von elektronischen Schaltungen versucht werden. Für die einzelnen Schaltungstypen ergeben sich dabei folgende Aufgaben:

Schaltsysteme:
Funktionell neuartige Organisation
Verbesserte Schaltungstechnik.

Grundschaltungen:
Neuartiger Schaltungsaufbau
Bessere Topologie
Günstigere Anordnung der Verbindungen
Entwicklung von Bauelementen.

Bauelemente:
Neue Arten des Aufbaues
Neue Bauelemente.

Die Festkörperelektronik ist zur Zeit das Hauptarbeitsgebiet der Mikrosystemselektronik. Dieses Gebiet soll daher so unterteilt werden, dass neue oder bereits vorhandene Mikrosysteme leicht eingeordnet und mit andern Schaltungen verglichen werden können. Dabei ergeben sich die folgenden vier Kategorien:

1. Grundelemente, einfache Bauelemente

Ein Grundelement ist ein einfachstes brauchbares Bauelement, welches eine physikalische Fundamentaleigenschaft des Festkörpers ausnützt.

Beispiele: Thermistor, Hallgenerator, Elektrolumineszenzzelle, Cryosar, Supraleiter, Schaltkern, Zenerdiode, Tunneldiode usw.

2. Komplexe Bauelemente

Ein komplexes Bauelement enthält mehr als ein Grundelement oder einfacheres komplexes Bauelement, wobei die Eigenschaften der dazwischenliegenden Teile des Festkörpers zur Ausübung von Aufgaben herangezogen werden, welche nicht durch eine elektrische Verbindung oder durch einen Isolator zu erfüllen sind.

Musterbeispiel: Transistor, aufgebaut aus einer leitenden Emitterdiode, welche Minoritätsträger emittiert und einer sperrenden Kollektordiode, welche Minoritätsträger sammelt. Dazwischen liegt die Basisschicht, welche die Aufgabe hat, einen grossen Teil der Minoritätsträger vom Emitter zum Kollektor zu transportieren. Diese Aufgabe könnte nicht von zwei mit Drähten verbundenen Dioden erfüllt werden.

Beispiele: Photodiode, Spacistor, Thyristor, Tunnelemittertransistor, Cryotron usw.

3. Festkörperschaltung

Eine Festkörperschaltung enthält mehr als ein Grundelement oder komplexes Bauelement, wobei aber die dazwischenliegenden Teile des Festkörpers nur zur Bildung einer elektrisch leitenden Verbindung oder zur Isolation herangezogen werden.

Beispiele: Festkörpermultivibrator, Cryosarmatrix, Diodenmatrix monolithischer Struktur usw.

4. Schaltgruppen

Eine Schaltgruppe enthält eine Anzahl gleicher Grundelemente, komplexer Bauelemente oder Festkörperschaltungen, welche alle wenigstens eine gemeinsame Anschlusselektrode besitzen, oder in Serie geschaltet sind.

Beispiele: Ferritkernspeichermatrix, Diodenmatrix mit Drahtverbindungen, Sonnenbatterie aus vielen Elementen usw.

Das hier vorgeschlagene System mit vier Kategorien verlangt, dass eine Schaltung oder ein Bauelement nicht nur durch elektrische Charakteristiken, sondern auch nach Funktions- und Konstruktionsprinzipien beschrieben wird. Im Gegensatz zu andern Einteilungssystemen, welche eine Schaltung nach ihrer Aufgabe (Verstärker, Oszillator usw.) einordnen, ist hiemit ein eindeutiges Klassifizierungssystem geschaffen, welches auch alle in Zukunft zu erwartenden Elemente erfassen sollte. Auch Bauelemente aus andern, der Festkörperelektronik nahestehenden Gebieten, wie z. B. der Molekularelektronik, lassen sich hier befriedigend einordnen. *H. Melchior*

Fortsetzung auf Seite 867