



IPP-PRESSEINFORMATION

28. November 1969

Nr. 17

herausgegeben anläßlich der "Informationstagung 1969"

Magnetohydrodynamischer Generator

Der stark steigende Bedarf an elektrischer Energie macht es notwendig, nach Methoden zu suchen, die Wärmeenergie, die bei der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas entsteht und auch in Kernreaktoren bei den Kernspaltungsprozessen frei wird, noch rationeller als bisher in elektrische Energie umzuwandeln. Der Wirkungsgrad dieses Umwandlungsprozesses ist um so besser, je höher die Temperatur ist, bei der er verläuft.

In konventionellen Dampfkraftwerken erreicht man Wirkungsgrade bis zu 40 %. Da in diesen Anlagen keine wesentliche Steigerung der Temperatur des Arbeitsmittels mehr möglich ist, kann auch keine wesentliche Erhöhung des Wirkungsgrades mehr erwartet werden. In mit Atomenergie betriebenen Großkraftwerken hofft man jedoch, mit Gasturbinen den Wirkungsgrad bis auf 50 % steigern zu können. Die Anwendung der Gasturbinen befindet sich jedoch noch im Planungsstadium.

Eine beträchtliche Temperatursteigerung des Arbeitsmittels und damit auch eine Steigerung des Wirkungsgrades könnte erreicht werden, wenn eine im direkten Konversionsverfahren betriebene Anlage als Vorsatz vor eine konventionelle Kraftwerkanlage geschaltet wird. Von den direkten Umwandlungsverfahren eignet sich jedoch nur das im MHD-Generator zur Anwendung gelangende zum Einsatz in Großkraftwerken, da es Einheiten großer Leistung zu bauen gestattet. Mit diesem Verfahren könnte man Arbeitstemperaturen bis zu 3000° C erzielen. Die Berechnungen ergeben, daß bei der Kombination des MHD-Generators mit der Dampfturbine bzw. mit der Gasturbine Gesamtwirkungsgrade über 50 % erwartet werden dürften.

Die Wirkungsweise eines MHD-Generators beruht darauf, daß auf die elektrischen Ladungsträger (Elektronen, Ionen) in einem elektrisch leitenden Medium die Lorentzkraft wirkt, wenn es durch ein Quermagnetfeld strömt. Diese Kraft wirkt senkrecht zur Magnetfeldrichtung. Als elektrisches Maß für die Größe dieser Kraft ist die Bezeichnung "Elektromotorische Kraft" (EMK) eingeführt, wobei die Größe der EMK gleich dem Produkt $v \times B$ (v = Strömungsgeschwindigkeit, B = Magnetfeldstärke). Diese im Generatorplasma induzierte EMK bewirkt, wenn ein elektrischer Verbraucher über Elektroden an das Plasma angeschlossen wird, einen Stromfluß im Verbraucherstromkreis. Elektrische Energie wird dann auf Kosten der dem Arbeitsmittel zugeführten thermischen Energie an den Verbraucher abgegeben.

Um die Anlagekosten eines Generators möglichst niedrig zu halten, muß pro Volumeneinheit eine möglichst hohe elektrische Leistung umgesetzt werden. Da die Leistungsdichte proportional $\sigma \cdot (vB)^2$ ist (σ = elektrische Leitfähigkeit des Arbeitsmittels), ist es erforderlich, neben genügend hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Magnetfeldstärken auch eine genügend hohe elektrische Leitfähigkeit zu erreichen. Man erhält sie durch Zusatz eines leicht ionisierbaren Materials, wie Caesium oder Kalium, zum Arbeitsmittel. Schon bei Temperaturen größer als 2600°C ist dieses Material in genügendem Maße in Elektronen und Ionen zerlegt, und damit sind die Voraussetzungen für den Stromtransport geschaffen.

In den sogenannten Verbrennungsgeneratoren bilden die Verbrennungsgase das Arbeitsmittel. Da man in diesem Temperaturen bis zu 3000°C erreicht, hat man eine genügend hohe elektrische Leitfähigkeit, so daß die wichtigste Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb gegeben ist. Beim Verbrennungsgenerator sind jedoch noch technische und technologische Probleme zu klären, die im wesentlichen im Dauerbetrieb auftreten, wie z. B. Korrosion der Kanalwände und der Elektroden.

Für kurzzeitige Leistungsabgabe ist der Verbrennungs-MHD-Generator besonders geeignet. Für diesen Zweck erweist er sich einem konventionellen Kraftwerk ökonomisch und auch im Betriebsverhalten überlegen, da er keine langen Anheizzeiten benötigt und deshalb sofort betriebsbereit ist. Solche Kurzzeit-MHD-Generatoren eignen sich z. B. zur Stabilisierung von öffentlichen Netzen bei Stromausfall oder als Energiequellen für physikalische Großexperimente, zum Pulsen von Radaranlagen oder Lasern oder zur Beschleunigung von Gasströmungen in Überschall-Windkanälen.

Im Institut für Plasmaphysik (IPP) wurde in Zusammenarbeit mit der MAN mit dem Bau eines solchen Kurzzeitgenerators begonnen. Die Daten dieses Generators sind plasmaphysikalischen Großexperimenten angepaßt. Die Leistungsabgabe dieses Generators soll 10 MW für eine Betriebsdauer von 10 sec. betragen.

Seit sieben Jahren wird im IPP ebenfalls an dem Problem der direkten Umwandlung von Kernenergie in elektrische Energie mittels MHD-Generatoren gearbeitet. Die Entwicklung dieses Generatortyps ist jedoch noch nicht so weit fortgeschritten wie beim Verbrennungsgenerator. Es sind noch eine Reihe von physikalischen Problemen zu lösen. Sie entstehen im wesentlichen dadurch, daß man die Temperatur des Arbeitsmittels im Kernreaktor nicht so weit erhöhen kann wie im Verbrennungsgenerator. Um trotzdem die notwendige elektrische Leitfähigkeit im Arbeitsmittel zu erzeugen, muß man sich der sog. "Nichtgleichgewichtssionisation" bedienen, indem man die Temperatur der ionisierenden Elektronen über die Gastemperatur erhöht. Da dieser Prozeß jedoch nur in einem reinen Edelgas möglich ist, muß man als Arbeitsmittel ein Edelgas mit einem geringen Alkalimetaldampfanteil verwenden. Die Komplikationen entstehen im Edelgas-Alkali-MHD-Generator dadurch, daß sich die Trägerdichte erst im Generator entsprechend der jeweils örtlich herrschenden Elektronentemperatur einstellen muß. Diese kann im Generator örtlich stark verschieden sein. Es ergeben sich dadurch Verzerrungen in der Leitfähigkeitsverteilung, die den inneren Widerstand des Generators erhöhen. Außerdem können die sog. Plasmainstabilitäten auftreten. Sie zerstören die gewünschte Homogenität der Plasmakonfiguration und vermindern die Effektivität des Generators. Zu beiden Problemkreisen konnten Arbeiten aus dem IPP wesentliche Beiträge liefern.

In mehreren Ländern wurden bereits Edelgas-MHD-Generatoren gebaut. Jedoch konnte in diesen Generatoren die berechnete Leistungsdichte im allgemeinen nicht erreicht werden. Diese Abweichungen wurden durch Verlustmechanismen hervorgerufen, und zwar im wesentlichen durch Kurzschlußströme im Plasma und zwischen benachbarten Elektroden. In dem im IPP gebauten Versuchsgenerator konnten diese Kurzschlußströme durch spezielle Elektrodenanordnungen und Elektrodengeometrien vermieden werden. In diesem Generator wurde die theoretisch erwartete Leistungsdichte erreicht. Sie lag bei 27 W/cm^3 .

Die Versuche an Edelgas-MHD-Generatoren wurden bisher unter relativ günstigen Druckbedingungen durchgeführt. Um den Erfordernissen eines Kernreaktors zu genügen, müßte der Druck sicher noch gesteigert werden. Doch zeigen die bisher erzielten Ergebnisse, daß ein Edelgas-MHD-Generator prinzipiell wie erwartet arbeitet. Es kann jedoch nicht die Frage beantwortet werden, ob dieser Generator wirtschaftlich in Kern-Großkraftwerken eingesetzt werden kann, oder ob er für spezielle Zwecke, wie z. B. in der Weltraumtechnik, seine Anwendung finden wird. Dazu bedarf es noch intensiver physikalischer und technischer Forschungsarbeit. Sollte es aber möglich sein, einen ökonomisch arbeitenden MHD-Generator zu bauen, dann wird dieses Konversionsverfahren von allergrößtem volkswirtschaftlichen Nutzen sein.

(G. Brederlow)