



UN LIBRARY
MAY 11 1961
UNITED NATIONS
CONFERENCE
ON NEW SOURCES
OF ENERGY

CONFÉRENCE
DES NATIONS UNIES
SUR LES SOURCES NOUVELLES
D'ÉNERGIE

Distr.
LIMITED

E/CONF.35/S/12/SUMMARY
10 April 1961

ORIGINAL: ENGLISH

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Agenda item - Point de l'ordre du jour:

II.C.1(b) i - Use of solar energy for mechanical power and electricity
production: By direct conversion to electricity: (i) by
means of thermo-electric converters

Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie
mécanique et d'électricité: Par conversion directe en électricité:
(i) au moyen de convertisseurs thermo-électriques

**THERMOELECTRIC GENERATORS FOR THE CONVERSION OF SOLAR
ENERGY TO PRODUCE ELECTRICAL AND MECHANICAL POWER**

By Kurt KATZ

Central Research Laboratories
Westinghouse Electric Corporation
United States of America

**GENERATEURS THERMO-ELECTRIQUES POUR LA CONVERSION
DE L'ENERGIE SOLAIRE EN VUE DE LA PRODUCTION D'ENERGIE
ELECTRIQUE ET MECANIQUE**

par Kurt KATZ

Laboratoires centraux de recherches
Westinghouse Electric Corporation
Etats-Unis d'Amérique

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

(See notes overleaf)

LES AUTEURS ONT PRESENTE SUR INVITATION A LA CONFERENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ENERGIE DES MEMOIRES QUI SERONT DISTRIBUES COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFERENCE. CES MEMOIRES SONT PUBLIES TELS QUE LES AUTEURS LES ONT REDIGES ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

(Voir notes au verso)

NOTES

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

Summary

The potential applications of thermoelectric power generation are numerous as the spectrum of devices and systems built or planned, to date, testify. This paper, however, is restricted to the utilization of solar energy as the heat source and the conversion thereof to electrical energy by means of thermoelectric conversion (Seebeck-Peltier effect). Solar energy utilization in tropic zone areas of the world, that have not yet achieved any extensive degree of mechanization, offers the hope of an improved standard of living. The pumping of water for irrigation and household uses appears as a logical first generation application of solar thermoelectric power generation.

A solar-thermoelectric generating system offers a static, high reliability, maintenance free system, that is independent of any transported supplies once installed. The maintenance free aspect of this system makes possible the widespread application thereof in nations where technically skilled individuals are at a premium.

The design and performance capability of thermoelectric generators for the conversion of solar energy and relative system economics are the scope of this paper. A brief review of the equations and parameters of importance in predicting performance of a thermoelectric generator, and the status of materials for this mode of energy conversion are presented.

From equation (16) it can be seen that the efficiency of a thermoelectric generating device is the product of the Carnot efficiency and a materials efficiency. Figures II and III represent a plot of this materials efficiency versus temperature for some of the better performing, presently available P and N type thermoelectric materials. Also the classes of materials, namely semiconductor and mixed valency materials, which to date have shown the greatest promise for efficient thermoelectric conversion are discussed.

Two specific facets of the thermoelectric generator per se are presented and these are the mechanics of construction and a detailed analysis of the parameters that effect the system economics. Figures V and VI show a thermoelectric generator that has been operating from focused solar energy. Generators of this type are capable of 20 watts/lbs and a power density of approximately 1 watt/inch³. The performance of this specific generator with respect to power output as a function of temperature differential is cited in Table 1 while the conversion efficiency is presented in Figure IX.

With respect to thermoelectric generator economics, the parameters of importance are the heat transfer aspects of the system, since these establish the amount of thermoelectric materials required, the desired voltage, which in turn defines the number of thermoelectric couples or basic units that must be connected in series, and the generator size. Figure XIII shows how the relative cost of the thermoelectric material varies as a function of the heat flux through the thermoelements. Figure XIV depicts the relative cost per watt of the thermoelectric couples (Figure VII) as a function of open circuit voltage

and generator rating. Viewing these results, which are based on present semi-continuous production technologies and thus assume a fixed manufacturing cost per couple, the generator voltage should be the lowest that the designated system can use, assuming no counter cost is incurred. In the case where the electric energy is fed to a d. c. motor the improved efficiency attained with higher voltage must be balanced off against initial investment. In addition to the basic couple cost there is also the cost of fabrication of the couple housing and its associated cold side heat exchanger that must be considered in the total cost picture. Figure XV represents the relative cost of the generator as a function of size, at various voltages.

Figure XVI shows the effect of coupling solar thermoelectric modules to one motor and pump for irrigation in terms of relative water cost per gallon and acres that can be irrigated per unit.

As a best estimate at this time 7-10 cents/KWH for the cost of electrical energy from a solar-thermoelectric generator appears plausible in the size ranges discussed (50-1000 watts). With time, the efficiency of thermoelectric materials should improve and this plus mass production techniques will in all probability reduce the cost of electric power per KWH further. However, even at the present cost range, solar-thermoelectric power generation appears attractive for many areas of the world.

GENERATEURS THERMO-ELECTRIQUES POUR LA CONVERSION
DE L'ENERGIE SOLAIRE EN VUE DE LA PRODUCTION
D'ENERGIE ELECTRIQUE ET MECANIQUE

par Kurt Katz

Laboratoires centraux de recherches
Westinghouse Electric Corporation
Etats-Unis d'Amérique

Résumé

Les applications possibles de la production d'énergie thermo-électrique sont aussi nombreuses qu'il ressort de la variété des systèmes déjà réalisés ou projetés à cette fin. On s'en tiendra toutefois, dans le présent mémoire, à l'utilisation de l'énergie solaire comme source de chaleur et à sa conversion en énergie électrique par un procédé thermo-électrique (effet de Seebeck-Peltier). L'utilisation de l'énergie électrique dans les régions tropicales du globe qui n'ont pas encore réalisé un degré de mécanisation avancé vient offrir l'espoir d'un relèvement du niveau de vie de leur population. Le pompage de l'eau d'irrigation et certains emplois ménagers semblent devoir constituer la première série logique d'applications de la production thermo-électrique de l'énergie.

Le système thermo-électrique producteur d'énergie solaire est un dispositif statique au fonctionnement éminemment sûr, qui n'exige pas d'entretien et reste indépendant de toutes fournitures

à transporter une fois qu'il est installé. Cette absence d'entretien permet l'application généralisée du système dans les nations où les techniciens bien entraînés sont rares.

On s'intéresse, dans le présent mémoire, à la conception et aux capacités des générateurs thermo-électriques pour la conversion de l'énergie solaire et aux aspects économiques des systèmes qui en font usage. On passe rapidement en revue les équations et les paramètres importants pour les prévisions ayant trait au fonctionnement d'un générateur thermo-électrique, ainsi que l'état actuel des fournitures de matériaux pour ce genre de conversion de l'énergie.

On verra, de par l'équation (16), que le rendement d'une installation thermo-électrique de production de courant est le produit du rendement de Carnot par celui des matériaux employés. Les figures II et III représentent un tracé de ce rendement des matériaux en fonction de la température, pour quelques-uns des matériaux thermo-électriques qui donnent de bons résultats et sont actuellement connus, du type P et N. On examine également les catégories de matériaux, à savoir les semi-conducteurs et les matériaux à valences mixtes qui, jusqu'à présent, semblent promettre le plus comme convertisseurs thermo-électriques.

On mentionne deux aspects spécifiques propres au générateur thermo-électrique montrant que ce sont les détails mécaniques de la construction et l'analyse détaillée des paramètres qui se répercutent sur l'économie du système. Les figures V et VI portent sur un générateur thermo-électrique utilisant pour son fonctionnement l'énergie solaire concentrée. Les générateurs de ce modèle sont capables de livrer 44 watts par kilogramme, avec une densité de puissance de l'ordre du watt par pouce cube. La manière de fonctionner de ce générateur quant à son débit d'énergie en fonction de la différence de température est résumée en figure IX.

En ce qui concerne les questions économiques relatives au générateur thermo-électrique, les paramètres importants sont les aspects des transmissions de chaleur dans l'installation, car ce sont eux qui déterminent les quantités de matériaux à propriétés thermo-électriques nécessaires; le tension cherchée qui, à son tour, détermine le nombre de couples thermo-électriques ou d'unités de

base qu'il faut coupler en série et enfin les dimensions du générateur. La figure XIII indique comment les prix relatifs des matériaux à propriétés thermo-électriques varient en fonction du débit de chaleur dans la masse des thermo-éléments. La figure XIV montre le coût relatif par watt des couples thermo-électriques (figure VII) en fonction de la tension à circuit ouvert et de la capacité nominale du générateur.

Quand on examine ces résultats, qui reposent sur les technologies actuelles de production semi-continue et présupposent donc un prix de fabrication fixe par couple, la tension du générateur s'avère comme devant être la plus faible que le système en cause puisse utiliser, en admettant qu'il n'intervienne pas de frais spéciaux pour réduire ou annuler ces économies. Dans le cas où l'énergie électrique est fournie à un moteur à CC, l'amélioration de rendement qu'autorise la plus forte tension doit être rapprochée des frais de premier établissement. Outre le coût de base du thermocouple, il convient de songer également aux frais de fabrication de son boîtier et de l'échangeur de chaleur à paroi froide qu'on y associe pour se faire une idée d'ensemble de l'investissement requis. La figure XV représente le coût relatif du générateur en fonction de sa taille et pour diverses tensions.

La figure XVI indique l'effet du couplage de modules thermo-électriques sur un moteur et une pompe d'irrigation en fonction du coût relatif de l'eau par gallon et de l'étendue de terrain (en acres) qui peut être irriguée avec chaque unité.

La meilleure évaluation que l'on puisse faire actuellement est de 7 à 10 cents par kwh pour le prix de l'énergie électrique fournie par un générateur thermo-électrique solaire, valeur qui semble acceptable dans la gamme de puissances passée en revue (de 50 à 1000 watts). Le rendement des matériaux thermo-électriques doit normalement s'améliorer avec le temps et ceci, avec l'emploi des techniques de la production en grande série, viendra très probablement apporter une nouvelle réduction au prix de l'énergie électrique par kwh. Néanmoins, même avec les prix actuels, la production solaire d'énergie thermo-électrique semble attrayante pour nombre de régions du monde.

