

Die Energieversorgung thermoelektrischer Wärmepumpen

Dipl.-Ing. J. SCHWARZ, Berlin¹⁾

Mitteilung aus der Bauakademie der DDR, Institut für Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik

Durch Einsatz von Wärmepumpen läßt sich der Verbrauch an Primärenergie senken. Es werden Energiequellen genutzt, die nicht die Primärenergiebilanz belasten. Gegenüber herkömmlichen Wärmepumpen haben thermoelektrische Wärmepumpen Eigenschaften, die ihre Anwendung günstig erscheinen lassen [1].

Thermoelektrische Wärmepumpen, die sich aus Baugruppen mit in Reihe geschalteten Peltierelementen zusammensetzen, müssen aus Gleichstromquellen gespeist werden. Zur Variation des Wärmestromes müssen diese Gleichstromquellen stellbar sein. Es bieten sich zwei Varianten der Ausführung an:

- Ungesteuerter Gleichrichter mit Stelltransformator
- gesteuerter Thyristor-Stromrichter.

Beide Varianten werden im folgenden gegenübergestellt.

Lastbedingungen

Symbole

c	Thermokraft der Peltierbatterien
I	Strom durch die Peltierbatterie
I_{\max}	Strom für maximale Kälteleistung = Maximalstrom
n	Anzahl der parallelen Zweige
P	elektrische Leistung
R	Ohmscher Widerstand der Peltierbatterien
U	Spannung über die Peltierbatterie
WE	Anzahl der Wohnungseinheiten
ϑ_A	Außentemperatur
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen den Lötstellen der Peltierelemente

Index

max entspricht den Maximalwerten bei einer Außentemperatur von -15°C

Tabelle 1 zeigt die sich aus der Aufgabenstellung ergebenden Forderungen an die Stromversorgung [2]. Es wird das in [1] beschriebene Baugruppen-Sortiment eingesetzt (Tabelle 2).

Für die Strom-Spannungs-Kennlinien der Peltierelemente gilt

$$U = c \cdot \Delta T + R \cdot I, \quad (1)$$

d. h., die Spannung setzt sich aus einem Gegenspannungsanteil und einem Ohmschen Anteil zusammen. Ausgehend von Tabelle 1 lassen sich mit den Konstanten

$$R = 0,32 \Omega \cdot \frac{\text{WE}}{n} \quad (2)$$

und

$$c = 0,146 \frac{\text{V}}{\text{K}} \cdot \frac{\text{WE}}{n} \quad (3)$$

bezogene Kennlinien (Bilder 1 und 2) ableiten. Für die Konstanten gilt

$$U_{\max} = 33,6 \text{ V} \cdot \frac{\text{WE}}{n} \quad (4)$$

$$I_{\max} = 80 \text{ A} \cdot n \quad (5)$$

$$P_{\max} = 2,69 \text{ kW} \cdot \text{WE} \quad (6)$$

Die Welligkeit des Gleichstromes hat Einfluß auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpe und soll so klein wie möglich sein. Bild 3 zeigt die zulässige Effektivwertwelligkeit des Stromes nach [3].

Stromversorgung

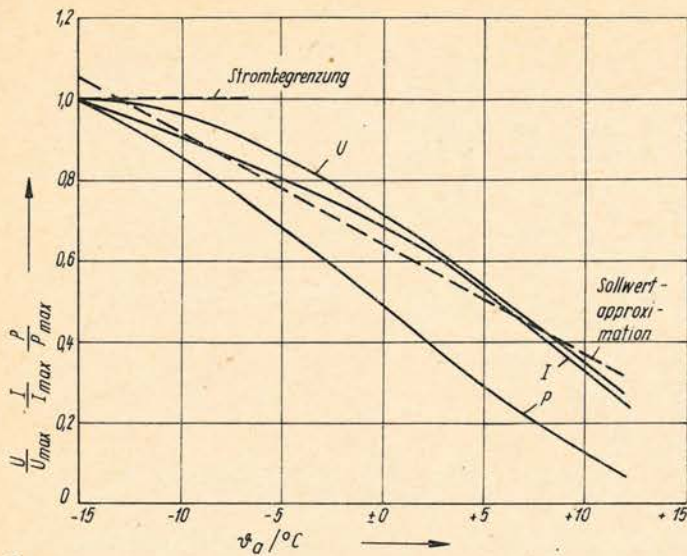
Die ideale Leerlaufgleichspannung einer Drehstrom-Brückenschaltung bei direktem Anschluß an ein 380 V-Drehstromnetz beträgt 513 V. Für 14 Wohnungen (90 Baugruppen) wird bei Reihenschaltung ($n=1$) eine Spannung von 470 V benötigt. Diese Kombination liefert günstige technische und ökonomische Ergebnisse.

Tabelle 1: Leistungsbedarf je Wohnungseinheit und erforderliche Stromstärke (nach [2])

ϑ_A	$+12^\circ\text{C}$	$+5^\circ\text{C}$	$\pm 0^\circ\text{C}$	-15°C
ΔT	17,3 K	34 K	42 K	55 K
Aufgenommene elektrische Leistung	0,18 kW	0,77 kW	1,32 kW	2,69 kW
I für $n = 1$	20 A	42 A	55 A	80 A

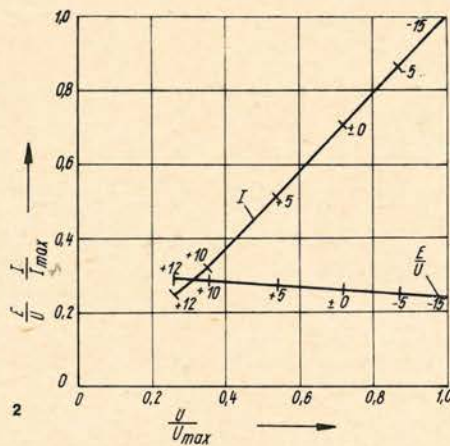
Tabelle 2:	Anzahl der Elementepaare	56
Daten der Peltierelemente-Baugruppen	Ohmscher Widerstand	0,05 Ω
	Thermokraft	$0,0228 \cdot \frac{\text{V}}{\text{K}}$
	maximale Stromstärke Baugruppen je Wohnungseinheit	80 A 6,4

¹⁾ Dipl.-Ing. Jürgen Schwarz ist Mitarbeiter im VEB Kombinat Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. Die Arbeit entstand im Auftrag der Bauakademie der DDR.

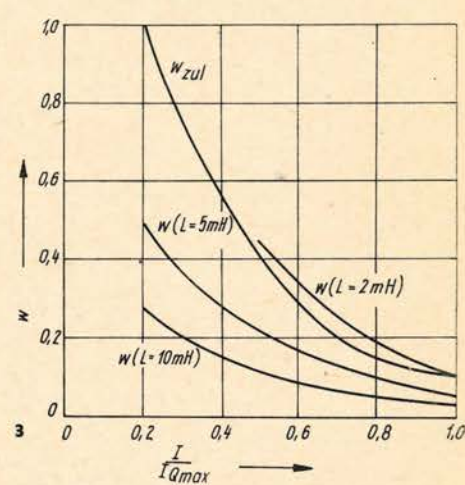


1

- 1 Strom, Spannung und Leistung in Abhängigkeit von der Außentemperatur
- 2 Gegenspannungsanteil und Strom in Abhängigkeit von der Spannung (Parameter: Außentemperatur ϑ_A)
- 3 Welligkeit bei verschiedenen Glättungsdrosseln (14 WE, $n = 1$, B 6 HF gespeist aus 380-V-Drehstromnetz) und zulässige Welligkeit



2



3

Ungesteuerter Gleichrichter mit Stelltransformator

Die Stromversorgung besteht aus einem Ventilsatz, einem Stelltransformator und den erforderlichen Steuer- und Regleinrichtungen. Bild 4 zeigt das Regelschema. Eine Glättungsdrossel ist nicht erforderlich.

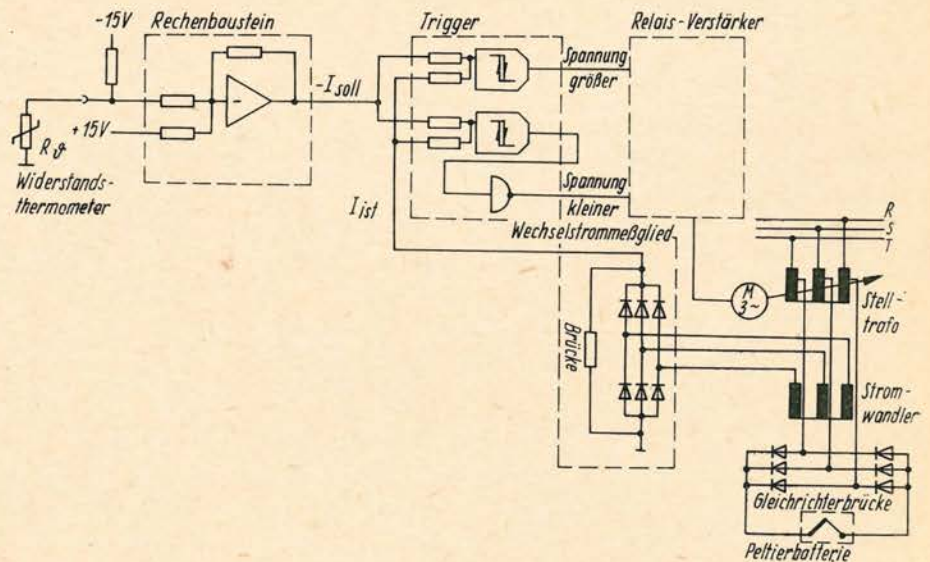
Gesteuerter Thyristor-Stromrichter

Komplette Stromrichter, im allgemeinen für Antriebszwecke entwickelt, können von vielen Herstellern bezogen werden. Bild 5 zeigt das Regelschema unter Ausnutzung der im Gerät meist vorhandenen Regleinrichtungen. Die erforderliche Glättungsdrossel wird nach [4] bzw. [5] dimensioniert. Bild 3 zeigt die auftretende Welligkeit für typische Beispiele.

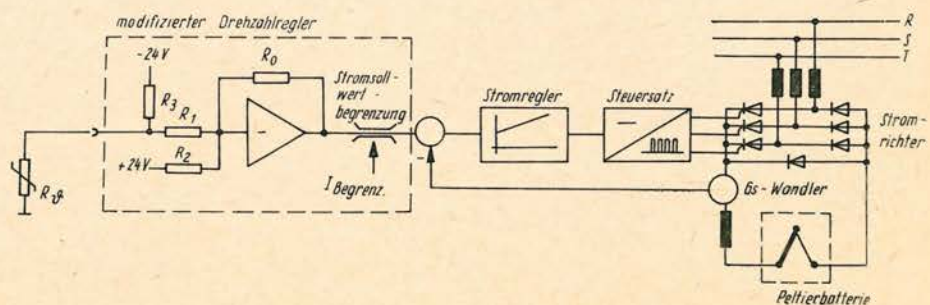
Havarieschaltung

Um Teilbetriebsbereitschaft der Anlage auch im Havariefall zu gewährleisten, wird eine Havarieschaltung vorgesehen.

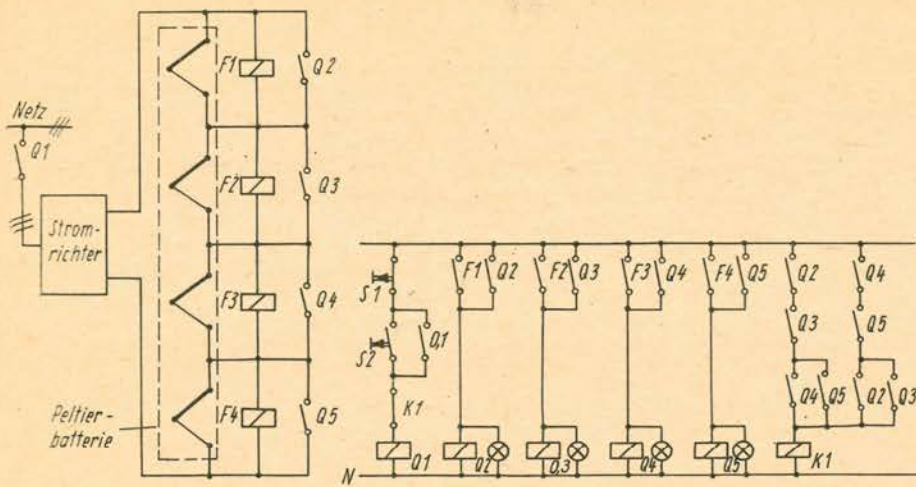
Die Peltierbatterie besteht für 14 Wohnungen aus 5040 Elementen; d. h. mehr als $2 \cdot 10^5$ Lötstellen werden vom Strom durchflossen. Während sich der Kurzschluß eines einzelnen Elementes nicht gra-



4 Regelschema ungesteuerter Gleichrichter mit Stelltransformator



5 Regelschema gesteuerter Thyristor-Stromrichter



6 Havarieschaltung (Prinzipialschaltung)

Tabelle 3: Technischer und ökonomischer Vergleich bei 14 Wohnungen

Parameter	Ungesteuerter Gleichrichter	Gesteuerter Thyristor-Stromrichter
Volumen	≈ 6 m ³	≈ 1 m ³
Wirkungsgrad	0,89	0,95
MTBF	10 000 h	20 000 h
Kosten	1,25	1

Tabelle 4: Optimal angepasste Stromrichter des VEB KEAB

Stromrichtertyp	Anzahl der Wohnungen	n
EGG h 180/203	1	1
EGG h 310/75	9	1
DGG h 480/120	14	1
DGG v 480/420	70	5
DGG h 480/750	126	9

vierend auf das Betriebsverhalten der Anlage auswirkt, würde bei Reihenschaltung der Elemente eine Unterbrechung zum Totalausfall der Anlage führen.

Reihenschaltung für n=1 (Bild 6)

Die Reihenschaltung wird in vier etwa gleich große Gruppen aufgeteilt, über denen die Spannung überwacht wird. Tritt die Gesamtspannung über einem Teilblock auf, dies geschieht bei Unterbrechung in diesem Teilblock, so wird der Teilblock mit dem dazugehörigen Schütz kurzgeschlossen und der Fehler signalisiert. Fällt ein zweiter Block aus, so wird auch er kurzgeschlossen. Bei Störung im dritten Block wird die gesamte Anlage abgeschaltet.

Parallelschaltung (Bild 7)

Für Bauten mit mehr als 14 Wohnungen, d. h. für mehrere parallel geschaltete Kreise, ist die angegebene Havarieschaltung nicht mehr anwendbar. Durch Aufteilung der Stromkreise in mehreren Wärmeaustauschern wird ein Totalausfall bei Unterbrechung in einem Stromkreis vermieden. Die Strom-Ist-Werterfassung ist in jedem Stromkreis getrennt vorzunehmen, wobei das Maximum im Stromrichter weiterverarbeitet wird. Damit werden zu große Ströme in den noch leitenden Stromkreisen verhindert.

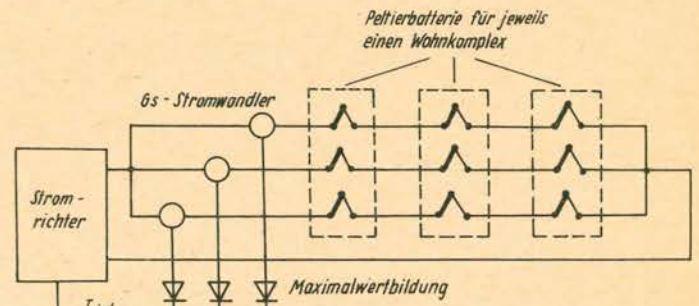
Informationsverarbeitung

Zur Temperaturerfassung ist ein Widerstandsthermometer nach TGL 0-43760 vorgesehen. Um ein nichtlineares Bauelement in der Informationsverarbeitung zu vermeiden, wird eine außentemperaturabhängige Strom-Soll-Wertvorgabe eingesetzt (Bilder 1, 4 und 5).

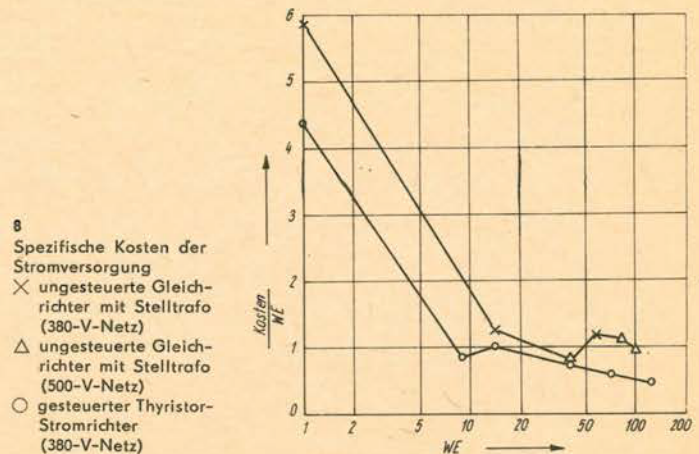
Vergleich und Optimierung (Tabelle 3)

Technischer Vergleich

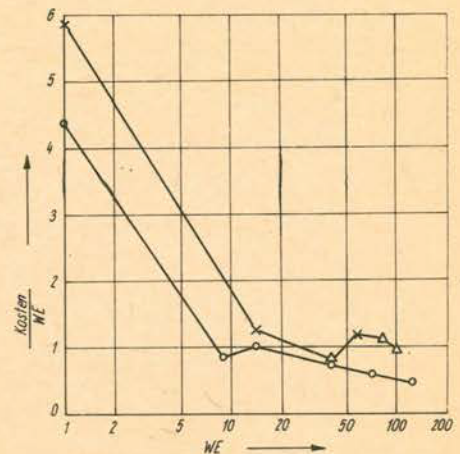
*) Bei dieser Variante sind Peltierbatterien mit einem Maximalstrom von 15...20 A erforderlich.



7 Parallelschaltung zur Vermeidung eines Totalausfalls (Prinzipialschaltung)



8 Spezifische Kosten der Stromversorgung
 × ungesteuerte Gleichrichter mit Stelltrafo (380-V-Netz)
 △ ungesteuerte Gleichrichter mit Stelltrafo (500-V-Netz)
 ○ gesteuerter Thyristor-Stromrichter (380-V-Netz)



Mit Thyristor-Stromrichtern ausgestattete Anlagen sind klein, leicht, zuverlässig und haben einen größeren Wirkungsgrad, sofern sie direkt an das Netz angeschlossen werden. Nachteilig sind der Blindstrombedarf, der u. U. entsprechend den Forderungen des zuständigen Energieversorgungsunternehmens kompensiert werden muß, sowie ein erhöhter Aufwand zur Funkentstörung. Die Thyristor-Stromrichter DGGv müssen forciert belüftet werden.

Mit Stelltransformatoren ausgerüstete Anlagen werden in Verbindung mit Dreipunktreglern durch einen Motorantrieb gesteuert. Dadurch ergibt sich ein nichtstetiges Regelverhalten (Hysterese) und eine kleine Verstellgeschwindigkeit. Anlagen mit Leistungen > 150 kVA (50 WE) erfordern den Einsatz von Schubtransformatoren, die eine Ölauffangwanne und wegen der Geräuschentwicklung ein getrenntes Gebäude benötigen.

Ökonomischer Vergleich

Bei Verwendung leistungsmäßig optimal an den Stromrichter angepaßter Peltierbatterien (Tabelle 4) ergeben sich die in Bild 8 dargestellten spezifischen Kosten.

Zusammenfassung

Ein Vergleich der Varianten „Ungesteuerter Gleichrichter mit Stelltransformator“ und „Gesteuerter Thyristor-Stromrichter“ läßt für den Anwendungsfall der Speisung von thermoelektrischen Wärmepumpen die ökonomische und technische Überlegenheit des Thyristor-Stromrichters eindeutig erkennen.

Literatur

- [1] *Scheel, H.*: Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten der thermoelektrischen Wärmepumpe.
„Stadt- und Gebäudetechnik“ 29 (1975) H. 11, S. 321 und H. 12, S. 379
- [2] *Scheel, H.*: Analyse der Einsatzbedingungen des Wärmepumpenprinzips auf thermoelektrischer Basis.
Dissertation Bauakademie der DDR, 1977
- [3] Thermoelektrische Kühlelemente. Prospekt des VEB Röhrenwerk „Anna Seghers“, Neuhaus am Rennweg 1970
- [4] *Schwarz, J.*: Dimensionierung der gleichstromseitigen Drossel von Thyristor-Stromrichtern zur Speisung von Peltierelementen.
„ELEKTRIE“ (in Vorbereitung)
- [5] *Schwarz, J.*: Analyse des Stromes durch eine von Stromrichtern gespeiste Ohmsch-induktive Last.
„Zeitschrift für elektr. Informations- und Energietechnik“ (in Vorbereitung)

Abstract

Schwarz, J.

Die Energieversorgung thermoelektrischer Wärmepumpen

StG., 31. Jg. (1977) H. 5, S. 150 bis 153, 8 Abb., 4 Tab., 5 Lit.

Thermoelektrische Wärmepumpen müssen aus variablen Gleichstromquellen gespeist werden. Es kommen die Varianten „Ungesteuerter Gleichrichter mit Stelltrafo“ und „Gesteuerter Thyristorstromrichter“ in Frage. Zur Sicherung einer zuverlässigen Wärmeversorgung werden spezielle Havarieschaltungen eingesetzt, die einen Totalausfall verhindern. Ein technischer und ein ökonomischer Vergleich zeigen die eindeutige Überlegenheit der Variante „Gesteuerter Thyristorstromrichter“.

Schwarz, J.

Energy Supply to Thermo-Electric Heat Pumps

Schwarz, J.:

Энергоснабжение термоэлектрических тепловых насосов