

# DIE BESTIMMUNG DER ERWÄRMUNGSVERHÄLTNISSE DER MIT EINER TRANSIENTEN WÄRMEWIDERSTANDS- KENNLINIE GEKENNZEICHNETEN THYRISTOREN

Von

A. KÁRPÁTI, T. KOVÁCS und J. KOCSIS

Lehrstuhl für Automatisation, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 22. September, 1972)

Vorgelegt von Prof. Dr. F. CsÁKI

## Einführung

Der durch die in den elektrischen Stromkreisen als Schaltelemente angewandten Thyristoren fließende Strom weist eine starke zeitliche Änderung auf, die dem jeweiligen Zustand des Stromkreises entspricht. Bei betriebsmäßiger Arbeit ist der Strom periodisch, bei Kurzschluß aber wächst er den Gesetzmäßigkeiten des Stromkreises und des Kurzschlusses entsprechend. Die wechselnde Strombelastung ruft im Thyristor eine wechselnde Verlustleistung hervor, die Temperatur des p-n-Überganges schwankt. Von den Zeitkonstanten, die die Wärmeträgheit des Thyristors beschreiben, sind die Größenordnungen von einigen gleich der Periodendauer der in den Geräten auftretenden Ströme bzw. der Anstiegsgeschwindigkeit des Kurzschlußstromes.

So kann bei betriebsmäßiger Arbeit die Temperatur des p-n-Überganges stark schwanken bzw. auch bei schnellem Abschalten wesentlich erhöht werden. Durch die erste Tatsache wird die thermische Bemessung der in den Geräten angewandten Thyristoren beeinflusst. Wird nämlich bei verschiedenen periodischen Strömen mit dem Temperaturmittelwert des p-n-Überganges gerechnet, dann irrt man sich entweder zugunsten der Sicherheit oder im entgegengesetzten Sinne. Bei Kurzschluß ist die Kenntnis des wärmetransienten Verhaltens der Thyristoren für die geeignete Auswahl bzw. für die Anpassung des Schutzes notwendig.

Im vorliegenden Beitrag wird vorausgesetzt, daß das wärmetechnische Verhalten des Thyristors mit dem durch Messungen bestimmten transienten Wärmewiderstand angegeben ist. Die Erwärmungsverhältnisse werden einerseits im stationären Zustand bei sinusförmigem und impulsförmigem Strom mit veränderlichem Stromflußwinkel, andererseits bei Kurzschlußströmen mit beliebigem Ablauf bestimmt.

Die oben gestellten Aufgaben werden praktisch in drei Phasen gelöst:

Zuerst wird die transiente Wärmewiderstandskurve mit in Reihe geschalteten, parallelen R-C-Gliedern angenähert.

In der zweiten Phase werden die Daten bestimmt, die den periodischen Zustand kennzeichnen.

Schließlich wird die Temperaturänderung des p-n-Überganges bei beliebigem Kurzschlußstrom bestimmt.

### 1. Die Identifikation der transienten Wärmewiderstandskurve durch parallele R-C-Glieder

Abb. 1 zeigt das gesuchte Ersatzschaltbild.

Bei der Näherung durch in Reihe geschaltete R-C-Glieder ergibt sich die folgende Übergangsfunktion:

$$\begin{aligned} \hat{z}(a_1, a_2, \dots, a_m, T_1, T_2, \dots, T_m) &= \sum_{k=1}^m a_k (1 - e^{-t/T_k}) = \\ &= A - \sum_{k=1}^m a_k e^{-t/T_k} \end{aligned} \quad (1)$$

wobei  $A = \sum_{k=1}^m a_k$

$\hat{z}$  [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ] der Wert des angenäherten Wärmewiderstandes,

$a_k$  [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ] die Beiwerte der Näherungsglieder,

$T_k$  [sec] die Zeitkonstanten der Näherungsglieder.

sind.

Auf Grund der transienten Wärmewiderstandskurve können die Beiwerte der Näherungsfunktion nach mehreren Methoden bestimmt werden.

Da die wärmetechnischen Zeitkonstanten des Thyristors ein sehr breites Intervall ( $10^{-3}$ – $10^{+3}$ ) umfassen, muß das Identifikationsverfahren sehr sorgfältig gewählt werden.

Die Güte der Näherung wurde mit der gewogenen quadratischen Fehler-summe bewertet.

Das nichtlineare Gleichungssystem, das sich aus der Minimalisierung der gewogenen quadratischen Fehler-summe ergibt, wurde mit Hilfe der NEWTON-RAPHSON-Methode gelöst [1], [2].

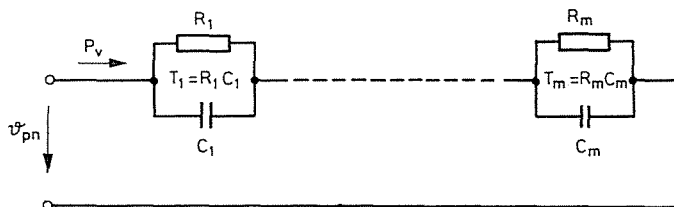


Abb. 1

Es ist bekannt, daß die NEWTON—RAPHSON-Methode nur bei Anfangswerten hinreichender Güte konvergent ist.

Anhand von Katalog- und Literaturangaben wurde vorausgesetzt, daß der Unterschied zwischen den Zeitkonstanten bei einer Näherung mit 6 Exponentialgliedern oder darunter etwa eine Größenordnung beträgt. Auf Grund dieser Annahme wurde für die Bestimmung der Anfangswerte die folgende Methode ausgearbeitet:

Vom stationären Wert der transienten Wärmewiderstandskurve die Momentanwerte in Abzug gebracht, erhält man die in Abb. 2 angegebene Kurve ( $\Delta\hat{z}$ ), die mit der Gl. (2) angegeben wird:

$$\Delta\hat{z} = \sum_{i=1}^m a_i e^{-t/T_i}. \quad (2)$$

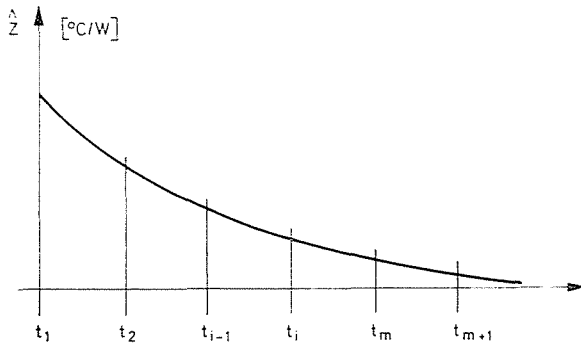


Abb. 2

Bei einer Näherung durch  $m$  R—C-Glieder wird die in Abb. 2 angegebene Kurve in  $m$  Teile unterteilt. Unter den Voraussetzungen für die Zeitkonstanten wird die Kurve im Intervall  $t_m—t_{m+1}$  nur durch die größte Zeitkonstante beeinflusst, d. h. sie kann mit der folgenden Formel angegeben werden:

$$\Delta\hat{z} \cong a_m e^{-t/T_m}. \quad (3)$$

Die zwei unbekanntes in Formel (3) können durch eine einfache Kurvenanpassung bestimmt werden [3]. Man erhält die Anfangswertepaare durch Subtraktion des Einflusses der vorher bestimmten Parameter.

Bei etwaiger Divergenz wird die Konvergenz des Verfahrens durch eine Strategie gesichert, bei der die Einwirkungen der stark abweichenden Zeitkonstanten getrennt sind.

### Die Bestimmung der stationären Temperaturänderung des p-n-Überganges bei periodischer Strombelastung

Die stationäre Temperaturänderung des p-n-Überganges läßt sich bei periodischer Strombelastung mit Hilfe folgender wichtigerer Methoden bestimmen:

a) Aufgrund der Übergangsfunktion, mit Hilfe des Faltungsintegrals. Bei einem sehr breiten Zeitintervallbereich ist die Anwendung nicht zweckmäßig.

b) Durch die Bestimmung der den stationären Zustand beschreibenden Gewichtsfunktion. Es wird das modifizierte Faltungsintegral benutzt [4].

c) In Kenntnis der R—C-Ersatzkette durch eine Fourier-Analyse.

d) Die stationäre Lösung wird mit iterativer, digitaler Simulation bestimmt. (Die Methode setzt die Kenntnis der R—C-Kette voraus).

### Die Bestimmung der Erwärmung bei Kurzschluß

Die Erwärmung des Thyristors während des Kurzschlusses wird mit Hilfe der durch die Identifikation bestimmten R—C-Ersatzkette berechnet.

Die Integration erfolgt nach einer beliebigen Integrationsmethode.

### Einige Berechnungsergebnisse

Nach den oben erwähnten Berechnungsmethoden wurde ein Programmpaket ausgearbeitet, mit dessen Hilfe die zur wärmetechnischen Bemessung der Thyristoren notwendigen Daten bestimmt werden können.

Für die Kontrolle des Programmpakets wurden die Daten des Thyristors Typ T 190N/91A gewählt.

Abb. 3 zeigt den transienten Wärmewiderstand des untersuchten Thyristors.

Bei verstärkter Kühlung (Kurve b) ergeben sich für die Parameter der R—C-Glieder folgende Werte:

$a_1 = 0,00126^\circ \text{ C/W}$	$T_1 = 183,5803 \text{ sec}$
$a_2 = 0,07840^\circ \text{ C/W}$	$T_2 = 167,330 \text{ ,,}$
$a_3 = 0,10570^\circ \text{ C/W}$	$T_3 = 16,660 \text{ ,,}$
$a_4 = 0,06500^\circ \text{ C/W}$	$T_4 = 0,55 \text{ ,,}$
$a_5 = 0,03670^\circ \text{ C/W}$	$T_5 = 0,035 \text{ ,,}$
$a_6 = 0,02160^\circ \text{ C/W}$	$T_6 = 0,00317 \text{ ,,}$

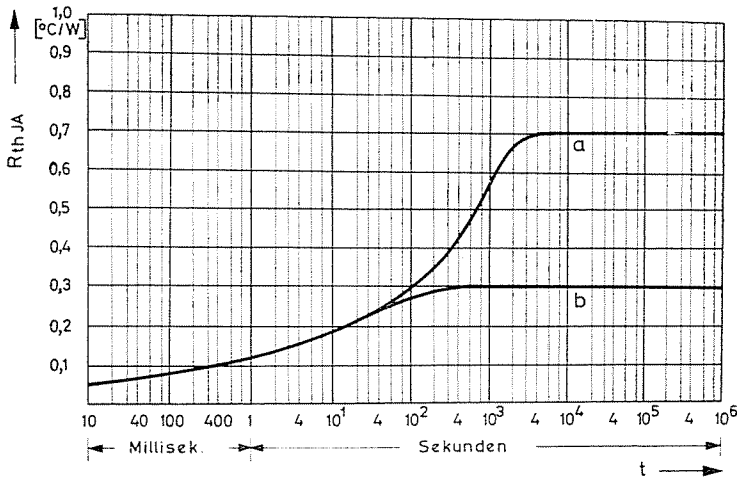


Abb. 3

Die Übergangsfunktion der R—C-Kette mit den obenangegebenen Parametern weicht höchstens um 5% von der Kurve *b* in Abb. 3 ab.

Die berechneten, zulässigen, von der Kühlung unabhängigen Gehäuse-temperatur-Kennlinien für sinusförmigen Strom sind in Abb. 4 dargestellt.

Die Abb. 5, 6 zeigen die stationäre Temperaturschwankung des p—n-Überganges für zwei ausgewählte Fälle.

Abb. 7 zeigt die Erwärmung im Falle eines Kurzschlusses.

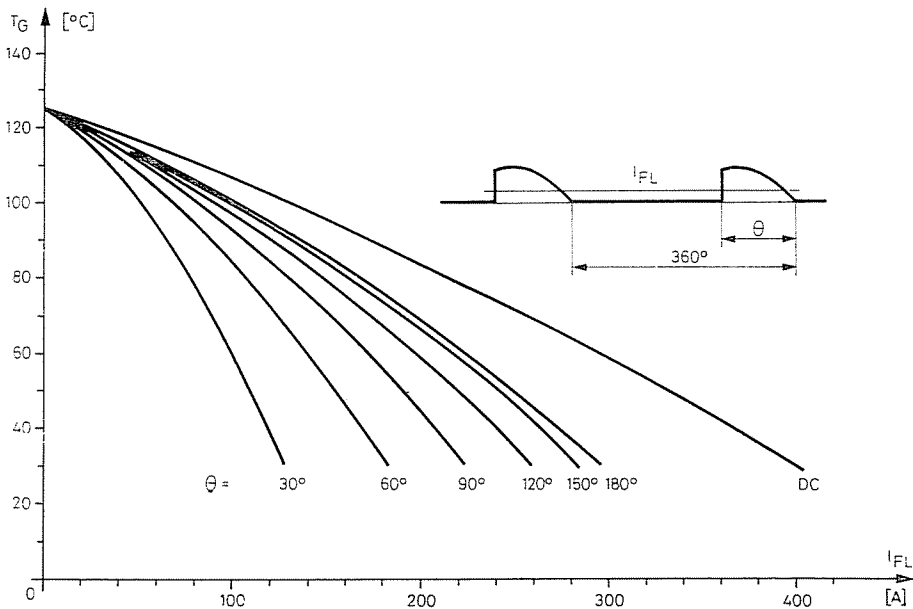


Abb. 4

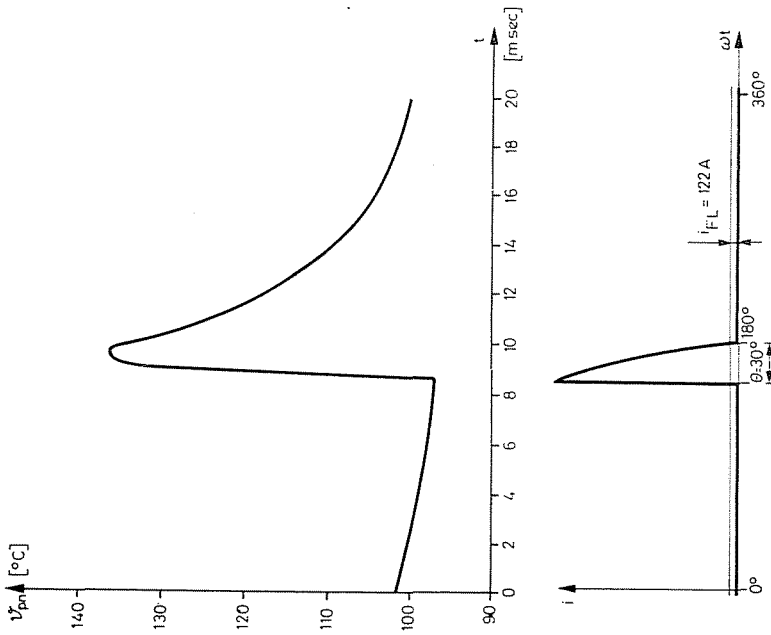


Abb. 5

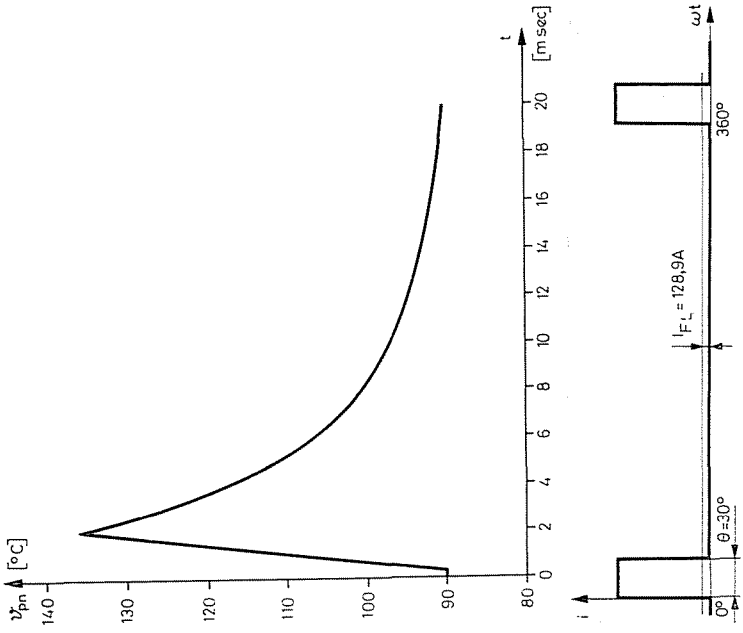


Abb. 6

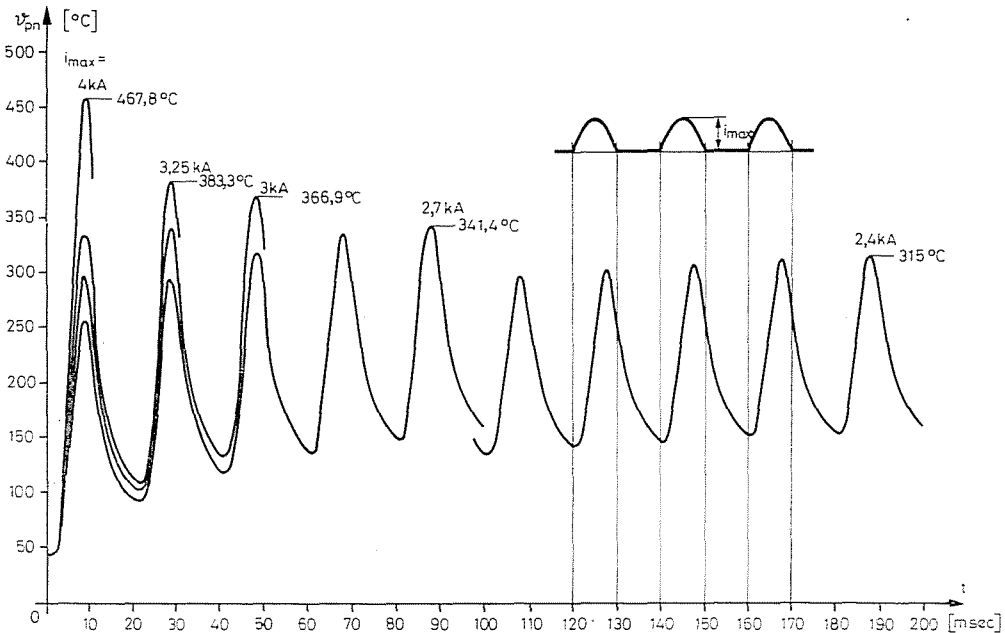


Abb. 7

### Zusammenfassung

Der Beitrag gibt zuerst einen kurzen Überblick über die Untersuchungsmethoden, nach denen die Erwärmungsverhältnisse der mit transienten Wärmewiderstandskennlinien gekennzeichneten Thyristoren bestimmt werden. Im weiteren werden einige Rechenergebnisse gezeigt, die mit Hilfe eines zu diesem Zweck ausgearbeiteten Programmpakets erhalten wurden. Die Rechenergebnisse zeigen, daß die ausgearbeiteten Programme für die Praxis gut brauchbare Ergebnisse bringen.

### Literatur

1. RALL, L. B.: Computational Solution of Nonlinear Operator Equations, J. Wiley et Sons, New York, 1969
2. LŐCS, Gy.—VIGASSY, J.: Fortran programozási nyelv, Műszaki Kiadó, Budapest, 1970
3. CSÁKI, F.—KOCIS, J.: Számítógépes eljárás csak átmeneti (tranzien) hőellenállás görbével. Esetleg diszkrét elemű hőmodellel jellemzett tirisztorok melegedési viszonyainak meghatározására, átmenet (tranzien) áram hatására. Programmbeschreibung, Lehrstuhl für Automatisierung, Technische Universität Budapest, 1971
4. SÓS, T.: Lineáris rendszerek periodikus gerjesztésének új számítási módszere, Mérés és Automatika, 16. évf., 2, 1968

Attila KÁRPÁTI }  
 Tivadar KOVÁCS } 1502 Budapest, Postfach 91. Ungarn  
 Dr. János KOCIS }