

# DIE UNTERSUCHUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT EINES PAUSENLOSEN THYRISTORISIERTEN STROMVERSORGUNGSYSTEMS

Von

A. KÁRPÁTI, E. SZENTAI, I. IPSITS und I. HERMANN

Lehrstuhl für Automatisierung, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 12. April 1975)

Vorgelegt von Prof. Dr. F. CSÁKI

## I. Einführung

Die zwangskommutierten Stromrichter mit Thyristoren werden immer mehr für die stetige Energieversorgung von Verbrauchern angewandt, wo der Betrieb auch beim Ausfall des Wechselstromnetzes aufrechterhalten werden muß. Die Lösungen können in zwei Gruppen unterteilt werden. In dem einen Fall wird die Belastung in normalem Zustand durch das Netz gespeist, der Wechselrichter wird nur bei Netzausfall eingeschaltet. Im anderen Falle wird die Last immer durch den Wechselrichter gespeist und nur der Akkumulator wird mit Hilfe des Wechselstromnetzes geladen.

Die Thyristorwechselrichter haben im Vergleich zu anderen Lösungen Vor- und Nachteile. Ihr Nachteil ist der verhältnismäßig hohe Preis. Die Vorteile sind, daß kein besonderes Bedienungspersonal erforderlich und das automatische Anlassen leicht zu verwirklichen ist, die Ausfallwahrscheinlichkeit und der Wartungsbedarf im Vergleich zu anderen Lösungen kleiner sind.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Einspeisung kann weiter vermindert werden, wenn ein System mit Reserve angewandt wird. Beim Ausfall des speisenden Wechselrichters wird die Last dann automatisch durch den anderen Wechselrichter gespeist. Durch die Verminderung der Reparaturzeit des schadhafte Wechselrichters kann die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erhöht werden.

Das System mit Reserve kann in zwei grundsätzlichen Formen gelöst werden. Abb. 1 zeigt das Blockschaltbild der ersten Lösung. Zum Speisen der Last stehen zwei Wechselrichter gleicher Leistung zur Verfügung. Von

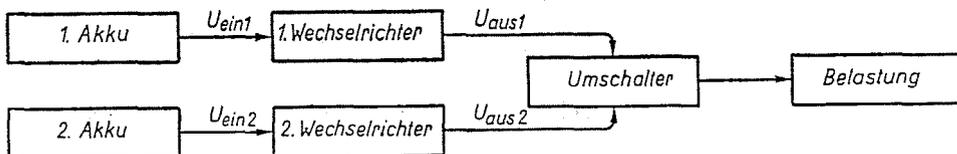


Abb. 1

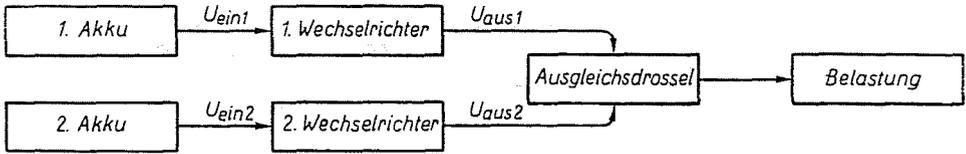


Abb. 2

diesen speist immer nur der eine die Belastung, der andere befindet sich in Bereitschaftszustand im Leerlauf. Der Ausfall der Stromversorgung wird von einer getrennten Automatik festgestellt, die auch das Umschalten durchführt. (Kalte Reserve.)

Nach der zweiten Lösung speisen zwei parallelgeschaltete Wechselrichter die Last. Abb. 2 zeigt das Blockschaltbild der Anordnung. Für das selektive Abschalten muß durch einen entsprechenden Schutz gesorgt werden. (System mit heißer Reserve.) In dieser Arbeit wird ein derartiges System untersucht.

## 2. Kurze Zusammenfassung der bei der Zuverlässigkeitsanalyse angewandten grundlegenden Annahmen und Rechenmethoden

Die Zuverlässigkeit der untersuchten Systeme wird mit ihren MTBF-Werten angegeben. Die Berechnungen werden in Kenntnis der Fehlerraten der Bestandteile nach den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung durchgeführt. Bei den Berechnungen wird angenommen, daß die Fehlerraten zeitlich konstant sind. Die Zuverlässigkeitsanalyse führt auch bei vereinfachenden Voraussetzungen zu Systemen mit mehreren Zuständen.

Das Verhalten derselben kann nach der Theorie der diskreten, homogenen MARKOVschen-Prozesse untersucht werden.

Bei der Zuverlässigkeitsanalyse sind folgende Aufgaben zu lösen:

a) Bestimmung der Fehlerraten der einzelnen Elemente. Die Fehlerraten sind von mehreren Faktoren abhängig. Diese Abhängigkeiten werden entweder Datenbüchern entnommen, oder müssen annähernde Kennlinienscharen bzw. Formeln angewendet werden, die in der Literatur vorliegen. Wegen der speziellen Beanspruchungen ist bei Untersuchung der Wechselrichterschaltungen die Bestimmung der gleichwertigen Belastung oft problematisch.

b) Bestimmung der Fehlerklassen. (In eine Fehlerklasse gehören diejenigen Elemente, deren Fehler die gleichen Auswirkungen haben.)

c) Bestimmung des Zustandsgraphen des Systems. Hier werden die den einzelnen Fehlerklassen entsprechenden grundsätzlichen Fehlerzustände und solche Kombinationen derselben berücksichtigt, die keinen vollen Ausfall verursachen.

d) Bei bekanntem Zustandsgraphen ist der MTBF-Wert des Systems zu bestimmen. Den MTBF-Wert kann man bei dem in Abb. 3 angegebenen Graphen mit  $n$  beliebigen Zustände (wobei 0 das fehlerlose System und  $F$  das ausgefallene System bedeuten) nach [2] mit Hilfe der folgenden Formel berechnen:

$$\text{MTBF} = - \frac{d}{ds} (s \cdot P_F(s)) \Big|_{s=0}, \quad (1)$$

wobei

$P_F(s)$  die LAPLACESche transformierte Funktion der Ausfallwahrscheinlichkeit  $P_F(t)$  ist.

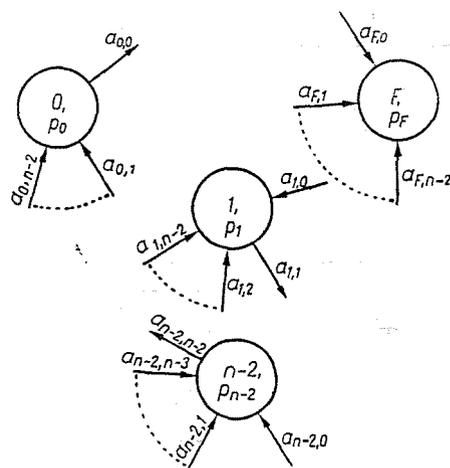


Abb. 3

Die Formel läßt sich auch manuell auswerten, aber die Bestimmung der Funktion  $P_F(s)$  ist auch schon bei Systemen mit 4 bis 5 Zuständen ziemlich schwierig. Eine Variante der Formel, die sich für Berechnungen mit Digitalrechner eignet, wird im Anhang angegeben.

### 3. Untersuchung der Zuverlässigkeit eines Notstromversorgungssystems mit heißer Reserve

Im weiteren wird die Zuverlässigkeit eines praktisch ausgeführten Notstromversorgungssystems mit heißer Reserve untersucht. Das System besteht aus zwei Wechselrichtern gleicher Leistungen. Auch je ein Wechselrichter allein kann die Last speisen. Die Wechselrichter sind dem in Abb. 2 angegebenen vereinfachten Blockschaltbild entsprechend auf der Wechselstromseite parallelgeschaltet.

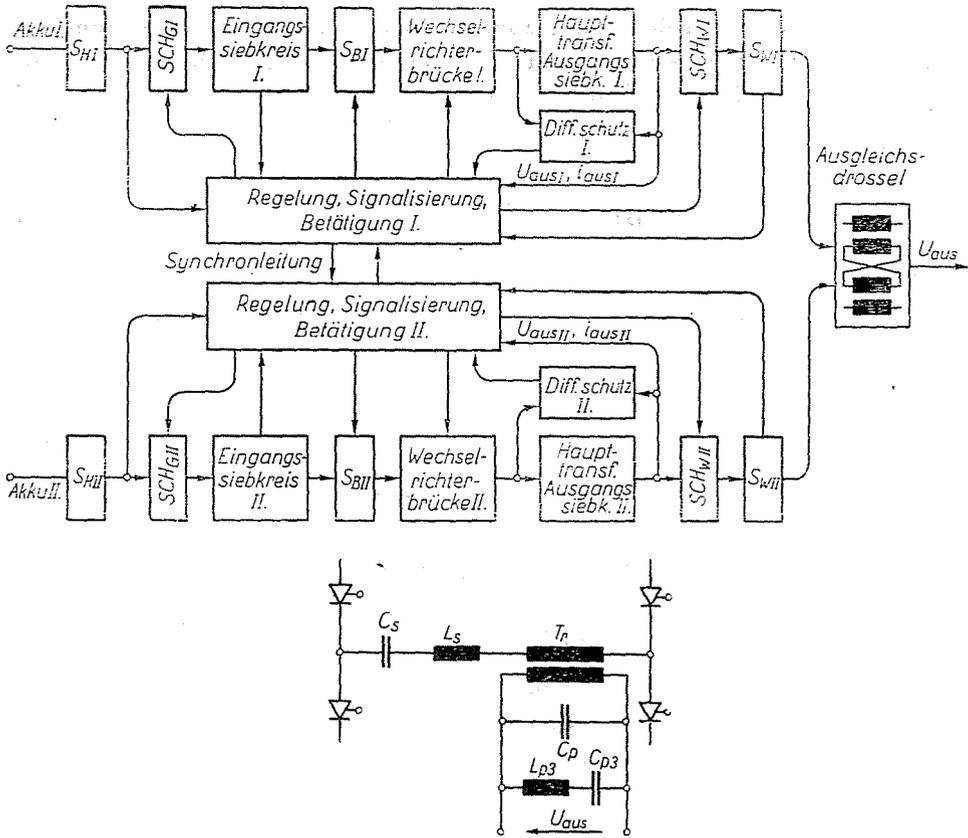


Abb. 4

Die kennzeichnenden Werte eines Wechselrichters sind:  $U_{\text{ein}} = 220 \text{ V}$  d. c.;  $U_{\text{aus}} = 220 \text{ V}$  a. c.;  $P_{\text{aus}} = 6,3 \text{ kVA}$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ ;  $\cos \varphi = 0,9$  (kapazitiv) ...  $0,7$  (induktiv).

Den ausführlichen Aufbau der Einrichtung zeigt das in Abb. 4a angegebene Blockschaltbild. Dementsprechend kann die Arbeitsweise folgenderweise kurz dargelegt werden:

Die Spannung des Akkumulators wird über die Hauptsicherung ( $S_H$ ), über das gleichstromseitige Magnetschütz ( $SCH_G$ ), den Eingangssiebkreis und über eine Schnellschmelzsicherung ( $S_B$ ) an den Eingang der einphasigen Wechselrichterbrücke angeschlossen. Der Ausgang der Brücke speist die in Abb. 4b angegebene Siebkreis-Ausgangstransformatoreinheit. Die gesiebte Wechselspannung wird über Ausgangsmagnetschütz ( $SCH_W$ ) und Sicherung ( $S_W$ ) an die Klemmen des Ausgleichstromwandlers angeschlossen.

Die Ausgangsspannung des Wechselrichters wird durch die zeitlich verschobene Zündung der einzelnen Brückenhälften geregelt. In den Regelkreis

sind der Ausgangsspannung und dem Ausgangsstrom proportionale Signale zurückgeführt. So haben die einzelnen Wechselrichter im Strombereich  $0 \dots I_N$  eine starre, darüber hinaus aber eine strombegrenzende Kennlinie. Den Schutz im Hauptstromkreis geben die Sicherungen  $S_B$  und  $S_W$ . An die Klemmen der Sicherungen schließen sich Signalgeberstromkreise an. Bei Abschaltung irgendwelcher Sicherung trennen die Betätigungsstromkreise, die mit den Signalgeberstromkreisen gekoppelt sind, den schadhafte Wechselrichter mit Hilfe der Schütze  $SCH_G$  und  $SCH_W$  von der Last und vom Akkumulatort ab. Der Gleichlauf der Steueroszillatoren der zwei Wechselrichter wird durch die starre Kopplung ihrer Ausgänge sichergestellt.

Nach gründlicher Untersuchung der Stromkreise des Systems erhält man für die Fehlerzustände den in Abb. 5a angegebenen vereinfachten Graphen. Von den durch die Knotenpunkte der Graphen bezeichneten Fehlerzuständen sind die folgenden die wichtigsten:

- 0 — fehlerfreies System
- 1s — der selektive Trennstromkreis eines der Wechselrichter ist schadhaft geworden. (Wenn das schadhafte abgeschaltet werden müßte, ist das Trennen der zwei Wechselrichter unmöglich)
- 2s — die selektiven Trennstromkreise beider Wechselrichter wurden schadhaft
- 1v — einer der Wechselrichter hat einen Fehler, durch den er für das Speisen der Belastung ungeeignet ist, der Fehler wird aber vom Schutz nicht erfaßt. So bleibt das System ungetrennt, es wird kein Fehlersignal gegeben. (Solche Fehler sind z. B. Bruch im Hauptstromkreis oder Abbruch der Spannungsrückkopplung, infolge deren der schadhafte Wechselrichter seine Ausgangsspannung zu erhöhen beginnt und in Stromreglerbetrieb übergeht.)
- 1sa — Fehler in einer Gruppe von Elementen, die das selektive Abschalten der schadhafte Einheit zur Folge haben, wenn vor diesem Ereignis noch kein 1s-Zustand vorlag.
- F — Ausfall des Gesamtsystems.

Die übrigen Zustände ergeben sich als Kombinationen der oben genannten, die nicht zum Ausfall des Gesamtsystems führen.

Dem Zustandsgraphen entsprechend gibt es 2-, 3- und 4fache Kombinationen (Elemente von mehreren Gruppen können schadhaft werden), ohne Ausfall des Gesamtsystems. Hier ist ein Unterschied zu machen, je nachdem, ob die Fehler der verschiedenen Elementengruppen im gleichen Wechselrichter oder in zwei verschiedenen eingetreten sind. Zu dieser Unterscheidung benutzen wir die Buchstaben  $a$  und  $e$  neben den Zeichen der Zustände.  $e$  bedeutet das Schadhafwerden von zwei oder mehreren Elementengruppen in demselben Wechselrichter,  $a$  den entgegengesetzten Fall. Die neuen Zustände, die als

Kombinationen der grundsätzlichen Zustände kommen, werden so bezeichnet, daß die beteiligten Grundzustände durch Striche getrennt angeführt werden und dabei bezeichnet wird, ob die Fehler in demselben oder in verschiedenen Wechselrichtern eingetreten sind. Für die Übersichtlichkeit ist das System vereinfacht. Die Elementengruppe, die selektiven Ausfall verursacht, müßte nämlich in weitere drei Untergruppen unterteilt werden. Wird nämlich der selektiv abtrennende Stromkreis schadhaf, dann ändert sich die Wirkung der Fehler, die ursprünglich zum selektiven Abschalten führten. Eine Untergruppe verursacht auch weiterhin ein selektives Abschalten, die zweite Untergruppe führt zum Ausfall des Gesamtsystems, die Auswirkung der dritten aber wird ähnlich wie bei den von den Schutzen nicht erfaßten Fehlern sein. Hier wurden keine neue Zustände eingeführt, sondern die obenerwähnte Wirkung wurde mit zusätzlichen Übergängen zu den entsprechenden Hauptzuständen berücksichtigt.

Die zur Berechnung der Graphpunktübergänge notwendigen Fehlerraten sind die folgenden:

- $\lambda_s$  — die Gesamtfehlerrate des selektiven Trennstromkreises.
- $\lambda_d$  — die Gesamtfehlerrate der Elemente, die den Ausfall des Gesamtsystems verursachen. (Hierzu gehören größtenteils die Fehler der Steueroszillatoren und jene Fehler der Regelkreise, die zur Abnahme der Ausgangsspannung führen. Die Ausgangsspannung des Gesamtsystems wird nämlich immer durch die Einheit mit der niedrigeren Spannung bestimmt.)
- $\lambda_v$  — die Gesamtfehlerrate der Elemente, die zu verborgenen Fehlern führen.
- $\lambda_{sa2}, \lambda_{sa3}, \lambda_{sa4}$  — die Gesamtfehlerrate der Elemente, die beim Schadhafwerden des selektiven Trennstromkreises selektiven Ausfall, den Ausfall des Gesamtsystems bzw. einen Übergang in einen Zustand mit verborgenem Fehler verursachen.

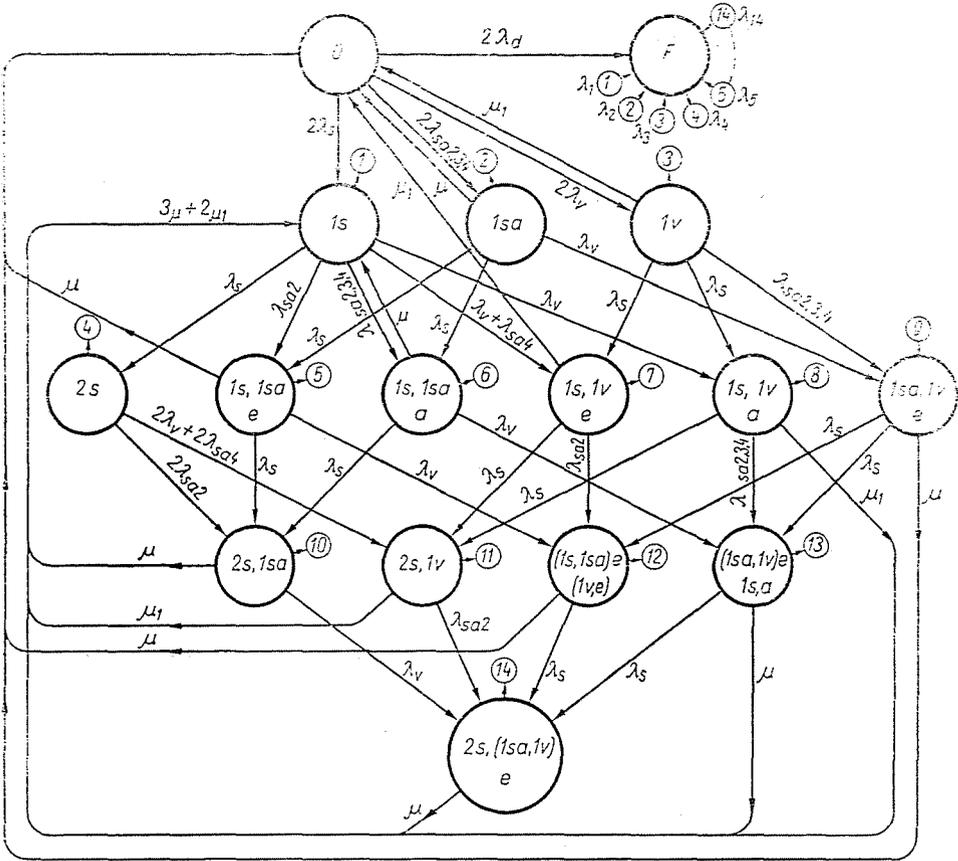
Für die Untersuchung der Auswirkungen der verborgenen Fehler wurden zwei mittlere Reparaturzeiten eingeführt.

$$\tau = 1/\mu \quad \text{ist die Reparaturzeit für signalisierten Fehler und}$$

$$\tau_1 = 1/\mu_1 \quad \text{die Reparaturzeit für die verborgenen Fehler.}$$

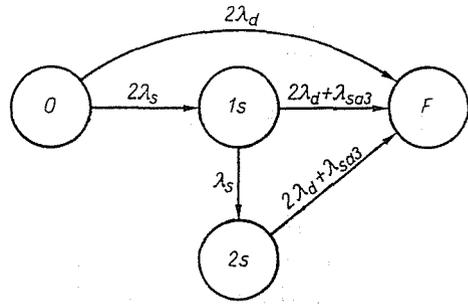
(Die verborgenen Fehler können durch planmäßige Überprüfung des Wechselrichters festgestellt werden.)

Da die Ergebnisse der Berechnungen zeigten, daß die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen mit guter Näherung lastunabhängig sind, wurde die Auswirkung des Lastwechsels beim Ausfall eines einzigen Wechselrichters vernachlässigt. (Das läßt sich dadurch erklären, daß die Elemente der Wechselrichter, um eine große Zuverlässigkeit zu gewährleisten, stark unterbelastet sind.)



Die Fehlerraten zu den Ausgängen (1) (14):  
 $\lambda_1 = 2\lambda_d + \lambda_{sa3}$ ;  $\lambda_4 = 2(\lambda_d + \lambda_{sa3})$ ;  
 $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_5 = \dots = \lambda_{14} = 2\lambda_d + \lambda_v + \lambda_{sa2,3,4}$   
 Außerdem:  
 $\lambda_{sa2,3,4} = \lambda_{sa2} + \lambda_{sa3} + \lambda_{sa4}$

a)



b)

Abb. 5

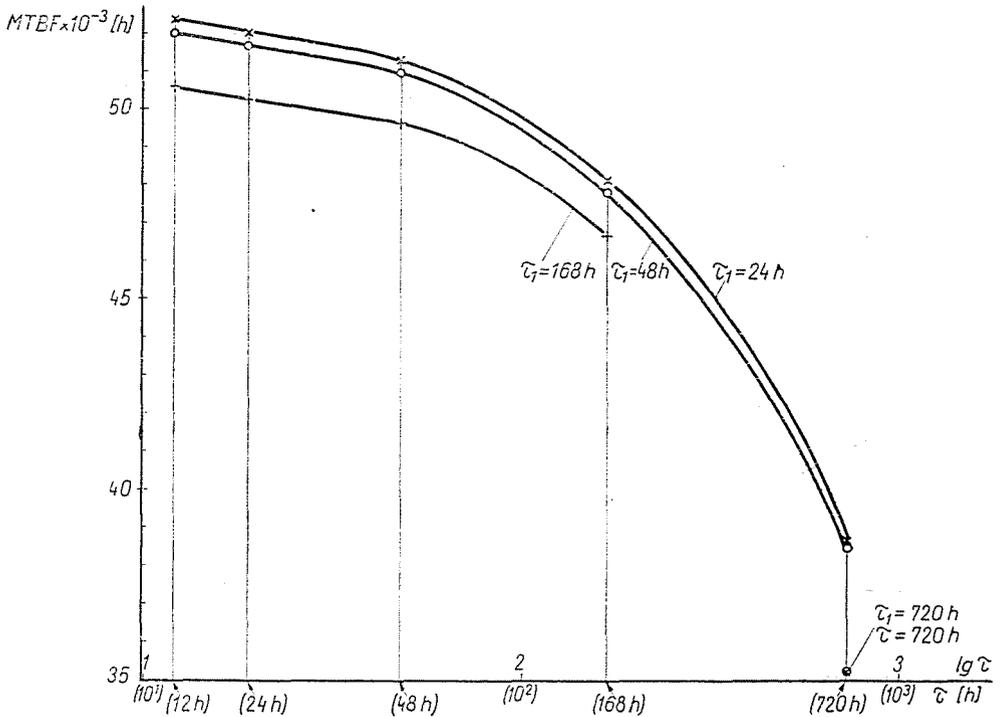


Abb. 6

Es sei hinzugefügt, daß bei einem Fehler Typ Iv der Ausgleichstromwandler seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Demzufolge nimmt die Verzerrung der Ausgangsspannung zu. Im untersuchten Falle blieb sie noch in den zulässigen Grenzen, deshalb wurde diese Wirkung als kein direkter Ausfall des Gesamtsystems betrachtet.

Es wurde angenommen, daß die Schutze für innere Kurzschlüsse selektiv sind.

Der mit diesem System erreichbare maximale Wert ergibt sich bei einer Reparaturzeit gleich 0. In diesem Falle wird der Zustandsgraph des Systems viel einfacher und hat die Form in Abb. 5b. Nach dieser kann der maximale MTBF-Wert mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\text{MTBF}_{\max} = \frac{2\lambda_d^2 + \lambda_s^2 + \lambda_{sa3}^2 + 3(\lambda_d\lambda_s + \lambda_d\lambda_{sa3} + \lambda_s\lambda_{sa3})}{2(\lambda_d + \lambda_s)(\lambda_d + \lambda_{sa3})(2\lambda_d + \lambda_s + \lambda_{sa3})}. \quad (2)$$

Die Auswirkungen der Reparaturzeiten wurden wegen der Kompliziertheit des Systems mit Hilfe des Digitalrechners untersucht. Die Ableitung des bei der Berechnung benutzten Algorithmus ist im Anhang (Punkt 5) mitgeteilt. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden in Abb. 6 zusammengefaßt.

#### 4. Folgerungen

Auf Grund der systemtechnischen Untersuchung und der Berechnungen lassen sich die folgenden Feststellungen machen:

a) Der MTBF-Wert des Systems ändert sich unter der Annahme von Reparaturzeiten von einigen Tagen nur unwesentlich. Das bedeutet, daß das System bei solchen Reparaturzeiten dem maximal erreichbaren MTBF-Wert naheliegt. Hier wird der MTBF-Wert praktisch durch die den Ausfall des Gesamtsystems verursachende Fehlerrate  $\lambda_d$  begrenzt. Um diese zu vermindern, lohnt es sich, Änderungen in der Konstruktion in Erwägung zu ziehen. (Z. B. die Anwendung eines oder zweier Steueroszillatoren, die Beseitigung der Auswirkungen von Regelkreisfehlern, die zum vollen Ausfall führen. Im untersuchten Falle war besonders die letztere wesentlich.)

b) Es ist zweckmäßig, den Wechselrichter mit einem Schutz zu versehen, mit dessen Hilfe auch die bisher verborgenen Fehler feststellbar sind und das System getrennt werden kann.

c) Unsere grundsätzliche Annahme war, daß die Schmelzsicherungen der zwei Wechselrichter bei kurzschlußartigen inneren Fehlern selektiv abschalten. Es muß sehr sorgfältig untersucht werden, ob diese Bedingung erfüllt ist.

d) Ein interessantes Ergebnis, daß der MTBF-Wert des Systems von der Last weitgehend unabhängig ist. Die Ursache wurde schon in vorigem Punkt erwähnt.

#### 5. Anhang. (Ableitung eines auch für die Auswertung mit Digitalrechner geeigneten Algorithmus)

Wie bereits erwähnt, können die Untersuchungen nach der Theorie der diskreten MARKOVschen-Prozesse durchgeführt werden. Der Zustandsgraph eines solchen Systems mit  $n$  Zuständen und die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen sind in Abb. 3 dargestellt. Nach der Literatur [1] wird das Verhalten eines solchen Systems durch folgenden Differentialgleichungen beschrieben:

$$\begin{aligned}
 P'_0 &= \sum_{i=0}^{F-n-1} a_{0,i} \cdot P_i \\
 P'_1 &= \sum_{i=0}^{F-n-1} a_{1,i} \cdot P_i \\
 &\cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \\
 P'_{n-2} &= \sum_{i=0}^{F-n-1} a_{n-2,i} \cdot P_i \\
 &\cdot \quad \cdot \\
 P'_F &= \sum_{i=0}^{F-n-1} a_{F,i} \cdot P_i
 \end{aligned} \tag{3}$$

wobei  $P_i$  die Wahrscheinlichkeitsfunktion des  $i$ -ten Zustandes ist und  $a_{i,j}$  die Winwirkung des  $j$ -ten Graphpunktes auf den Graphpunkt  $i$  enthält. (Fehlerrate der Übergänge.)

Führt man die folgenden Vereinfachungen ein:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{n-2} \\ P_F \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,n-2} & a_{0,F} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,n-2} & a_{1,F} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ a_{n-2,0} & a_{n-2,1} & \dots & a_{n-2,n-2} & a_{n-2,F} \\ a_{F,0} & a_{F,1} & \dots & a_{F,n-2} & a_{F,F} \end{bmatrix}$$

dann kann das Gl.-system (3) in der folgenden einfacheren Form geschrieben werden:

$$\mathbf{P}' = \mathbf{A} \cdot \mathbf{P}. \quad (4)$$

Nach der LAPLACESchen Transformation der Gl. (4) erhält man den Zusammenhang:

$$s \cdot \mathbf{P}(s) - \mathbf{e}_1 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{P}(s) \quad (5)$$

wobei

$$\mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \text{ der Vektor der Anfangswerte ist.}$$

Nach Ordnen der Gl. ergibt sich der Vektor  $\mathbf{P}(s)$  in folgender Form:

$$\mathbf{P}(s) = \mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{e}_1, \quad (6)$$

wobei

$$\mathbf{B} = s \cdot \mathbf{E} - \mathbf{A} \text{ und } \mathbf{E} \text{ die Einheitsmatrix ist.}$$

Zur Bestimmung der MTBF-Wertes des Systems ist nach Gl. (1) die Funktion  $P_F(s)$  notwendig. Die kann aus Vektor  $\mathbf{P}(s)$  wie folgt hergestellt werden:

$$P_F(s) = \mathbf{e}_F^T \cdot \mathbf{P}(s) = \mathbf{e}_F^T \cdot \mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{e}_1 \quad (7)$$

wobei

$$\mathbf{e}_F^T = [0, 0, \dots, 0, 1] \text{ ist.}$$

Der MTBF-Wert des Systems wird unter Berücksichtigung der Gl. (1) folgenderweise berechnet:

$$\text{MTBF} = - \left. \frac{d}{ds} (s \cdot \mathbf{e}_F^T \cdot \mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{e}_1) \right|_{s=0}. \quad (8)$$

Nach Durchführung der Matrixoperationen läßt sich das Ergebnis in der folgenden Form schreiben:

$$\text{MTBF} = - \left. \frac{d}{ds} (s \cdot \mathbf{B}_{n,1}^{-1}) \right|_{s=0}, \quad (9)$$

wobei

$\mathbf{B}_{n,1}^{-1}$  das  $[n, 1]$  Element der Matrix  $\mathbf{B}^{-1}$  ist.

Im weiteren wird die Herstellung des inversen Matrixelementes  $\mathbf{B}_{n,1}^{-1}$  behandelt. Mit Hilfe der adjungierten Matrix läßt sich das Inverse der Matrix  $\mathbf{B}$  in der folgenden Form schreiben:

$$\mathbf{B}^{-1} = \text{adj}(\mathbf{B}) / \det(\mathbf{B}) \quad (10)$$

bzw. ist dementsprechend

$$\mathbf{B}_{n,1}^{-1} = \text{adj}(\mathbf{B}_{n,1}) / \det(\mathbf{B}). \quad (11)$$

Berücksichtigt man die Bildungsregeln der adjungierten Matrix, die Eigenschaften der mit der Gl. (4) definierten Matrix  $\mathbf{A}$  und der mit der Gl. (6) definierten Matrix  $\mathbf{B}$  (für  $\mathbf{A}$  gilt:  $a_{0,F} = a_{1,F} = \dots = a_{F,F} = 0$ ), dann kann das Matrixelement  $\mathbf{B}_{n,1}^{-1}$  in der folgenden Form geschrieben werden:

$$s \cdot \mathbf{B}_{n,1}^{-1} = (-1)^{n+1} \cdot \det(\mathbf{B}_{f,j}(s)) / \det(\mathbf{B}_{a,j}(s)) \quad (12)$$

wobei  $\mathbf{B}_{f,j}$  eine Untermatrix von  $\mathbf{B}$  ist, die so gebildet wird, daß die obere Zeile und die rechtseitige letzte Spalte von  $\mathbf{B}$  weggelassen werden, bzw.  $\mathbf{B}_{a,j}$  eine Untermatrix von  $\mathbf{B}$  ist, die entsteht, wenn die untere Zeile und die rechtseitige letzte Spalte von  $\mathbf{B}$  weggelassen werden.

Setzt man die Gl. (12) in die Gl. (9) ein und bildet man die Ableitung nach  $s$ , kann das Ergebnis in der folgenden Form geschrieben werden:

$$\text{MTBF} = - (-1)^{n+1} \cdot \frac{\det'(\mathbf{B}_{f,j}) \cdot \det(\mathbf{B}_{a,j}) - \det(\mathbf{B}_{a,j}) \cdot \det'(\mathbf{B}_{f,j})}{\det^2(\mathbf{B}_{a,j})} \quad (13)$$

$s \longrightarrow 0,$

wobei der Akzent die Ableitung nach  $s$  der betreffenden Determinanten bedeutet.

Die erste Ableitung der Determinanten kann nach den Regeln der Determinantenrechnung als eine endliche Summe berechnet werden. Die zu summierenden Glieder erhält man als Determinanten von Matrizen, die so entstehen, daß man die einzelnen Zeilen der ursprünglichen Matrix durch ihren ersten Ableitungen ersetzt. Diese Methode läßt sich leicht algorithmisieren, wenn man die Eigenschaften der auszuwertenden Matrizen berücksichtigt. Die Grenzwertbildung  $s \rightarrow 0$  kann einfach durch die Bedingung  $s = 0$  ersetzt werden. Bei der Ableitung der Formel (13) wurde dafür besorgt, daß man bei Berechnung des MTBF-Wertes kein Ergebnis Typ 0/0 erhält.

### Zusammenfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Zuverlässigkeitsuntersuchung eines thyristorisierten pausenlosen Stromversorgungssystems. Es werden die grundsätzlichen Lösungsmöglichkeiten und die bei der Zuverlässigkeitsanalyse zu lösenden Aufgaben kurz zusammengefaßt. Die Untersuchungen werden durch das Anwenden der Theorie der diskreten, homogenen Markovschen-Prozesse durchgeführt. Es werden der Zustandsgraph eines pausenlosen Stromversorgungssystems mit heißer Reserve angegeben und die Ergebnisse der Berechnungen für ein konkretes System mitgeteilt. Schließlich wird ein Algorithmus für die rechentechnische Bestimmung des MTBF-Wertes eines Systems mit  $n$  beliebigen Zuständen angegeben.

### Literatur

1. RÉNYI, A.: Valószínűségszámítás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1954.
2. SZENTAI, E.: Tartalékolt rendszerek megbízhatóságának számítása a felújítás figyelembevételével. MTA—AKI Közlemények, 1966.

Dr. Attila KÁRPÁTI  
 Dr. Endre SZENTAI  
 Imre IPSITS  
 Imre HERMANN

} H-1521 Budapest