

ALGEBRAISCHES MODELL FÜR RELAISEINHEITEN DER EISENBAHNSICHERUNGSANLAGEN

G. TARNAI

Institut für Verkehrstechnik und Organisation,
Technische Universität, H-1521 Budapest

Eingegangen am 21. Dec. 1981

Vorgelegt von Prof. Dr. T. Kelemen

Summary

For the production ultimate control of relay sets, such an algebraic model is needed, which helps to build up an unified operation for electromechanic relay systems, with different operation characteristics, to create the necessary simulating programmes for testing-generators.

In respect of the investigation the relay-set is to consider as a finite initial deterministic Moore type automata.

Die Simulationstechnik ist eine weit und breit angewandte Methode zur Untersuchung des Verhaltens von komplizierten Systemen.

Besonders behauptet sie sich unter anderen in der Prüfung des wahrscheinlichen Verhaltens eines in Projektierung und Entwicklung begriffenen jedoch nicht hergestellten (fertigen) Systems oder in der Untersuchung des Verhaltens bereits vorhandener Systeme unter besonderen Umständen. Auf diesem letzteren Gebiet stellt die Generierung der Testsätze eine spezielle Anwendung zur automatischen Fertigungsendkontrolle von verschiedenen Einrichtungen dar.

Die Kenntnisse über das untersuchte System werden vom Modell erhalten. Bei der Vollführung der Kontrolle wird eigentlich geprüft, ob die Eigenschaften und das Verhalten des Systems mit den durch das Modell beschriebenen Eigenschaften und Verhalten übereinstimmen. Daraus ergibt sich, daß bei der Vorbereitung der Untersuchungen zur Fertigungsendkontrolle der Relaiseinheiten eines komplizierten Systems, so zum Beispiel von Eisenbahnsicherungsanlagen der Modellierung besonders große Bedeutung beigegeben wird.

Die Relaiseinheiten der zeitgemäßen, spurplanmäßigen Sicherungsanlagen sind in schaltungstechnischer Hinsicht so sehr kompliziert, und sie enthalten sowohl bezüglich der angewandten Schaltelemente als auch der Funktionen der einzelnen Elemente, bzw. in Anbetracht der Möglichkeiten und der Zweckmäßigkeit der Variablenzuordnung so viele Spezialitäten, daß weder die zur Abbildung der logischen Stromkreise üblichen Methoden, noch die ausgesprochen zur Modellierung der Stromkreise von Sicherungsanlagen entwickelten und in einfachen Fällen bewährten Methoden genügen, sie direkt zu beschreiben.

Folglich ist ein solches entsprechende Abbildungsmethode verwendendes algebraisches Modell für die zu untersuchenden Relaiseinheiten notwendig, das eine einheitliche Handhabung der verschiedenen mechanisch, magnetisch und elektrisch strukturierten bzw. solche funktionelle Charakteristiken aufweisenden Relais und deren Steuernetze ermöglicht, und das als entsprechende Grundlage zum für die Testgenerierung erforderlichen Simulationsprogramm dienen kann.

Modellierung der Relaisfunktion Konstruierung von Ersatzschaltungen

Gedankenfolge der Modellierung bzw. der Konstruierung von Ersatzschaltungen ist wie folgt. Die Steuernetze der originellen Schaltung werden durch die Eingangsgleichungen beschrieben. Ihre Verbindungen miteinander und mit dem von ihnen gesteuerten Relais wird durch die charakteristische Gleichung hergestellt. Nach Substituierung der Eingangsgleichungen in die charakteristische Gleichung erhalten wir eine solche Zustandsgleichung, die als eine Eingangsgleichung bzw. Steuerfunktion eines Einspulennormalrelais betrachtet werden kann. Die Ersatzschaltung enthält also ein solches einfaches Einspulennormalrelais, in dessen Steuernetzwerk die Steuernetze der originellen Schaltung miteinander und mit dem durch sie gesteuerten Relais in einer der charakteristischen Gleichung des originellen Relais entsprechenden Verbindung stehen.

Die auf diese Weise konstruierten Ersatzschaltungen ermöglichen es, daß unabhängig vom Typ des originellen Relais, *beim Untersuchen des Steuernetzes der Ersatzschaltung nicht nur die originellen Steuernetze geprüft werden, sondern auch das durch sie gesteuerte Relais* (anziehen, nicht anziehen, halten, fallenlassen, Stützkonstruktion, haften usw.), so braucht man keine besondere Methode zum Untersuchen der Speicherelemente. Somit kann die Untersuchung der sequenziellen Netze auf die Untersuchung der Kombinationsnetze zurückgeführt werden. Dies ist umso mehr ein wichtiges Ergebnis, da ungefähr 90% der Relais der Relaiseinheiten ein Speicherelement ist, oder ein Element, das durch externe Rückkoppelung Speichereigenschaften innehat.

Normalrelais

Zu prüfen sind die Zeitverhältnisse der Schaltungsprozesse des Einspulennormalrelais gemäß Abb. 1.

Das Funktionieren des Relais »Q« wird durch das Eingangszeichen »X« gesteuert, sein unmittelbarer Ausgang »q« durch einen Arbeitskontakt, sein inverser (negierter) Ausgang » \bar{q} « aber über einen Ruhekontakt geschaltet. Das Eingangssignal und die Ausgangssignal haben alle gleichfalls entweder einen

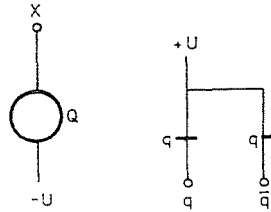


Abb. 1

$\pm U$ Wert (logischer Zustand »1«) oder einen $-U$ Wert (bzw. die entsprechenden Punkte sind spannungslos, logischer Zustand »0«).

Die Zeitverhältnisse der Schaltungsprozesse untersuchten wir gemäß Abb. 2. Dabei haben wir — neben den Eingangs- und Ausgangssignalen — auch den Zustand » Q_A « des Ankers des Relais angegeben.

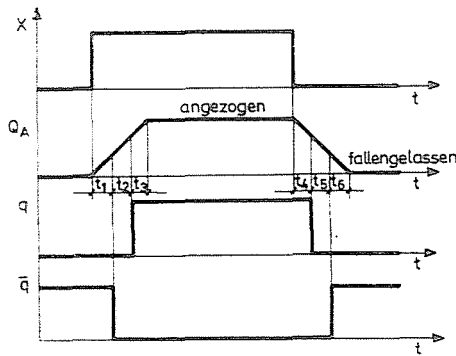


Abb. 2

Das Diagramm wird mit einigen Vereinfachungen dargestellt (zum Beispiel in der Wirklichkeit bewegt sich der Anker nicht mit Beharrungsgeschwindigkeit, oder das Prellen von Kontakten am Ausgang ruft dynamische Hasarde hervor, die hier vernachlässigt wurden).

Sofern die Änderung des Eingangssignals ideal (sprunghaft), oder mindestens im Verhältnis zu den Verzögerungen des gesteuerten Stromkreises sehr kurzzeitig ist, erscheinen die Signalwechsel an den Ausgängen mit folgenden Verzögerungen:

- beim Ansprechen
 - t_1 am Ausgang \bar{q}
 - $t_1 + t_2$ am Ausgang q
- beim Fallenlassen
 - t_4 am Ausgang q
 - $t_4 + t_5$ am Ausgang \bar{q} .

Die Kontakte sind

während der Zeit t_1 und t_4 noch geschlossen.
während der Zeit t_3 und t_6 schon geschlossen.

Die Zeiten t_2 und t_5 sind die Umschaltungszeiten (Flugzeit und Kontaktprellenzeit) und während dieser Zeiten nehmen wir den Wert beider Ausgangszeichen für eine logische »0«.

Im allgemeinen:

$$t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq t_4 \neq t_5 \neq t_6$$

Die Schaltungsprozesse der Abb. 2 modellieren wir, wie es in Abb. 3 zu sehen ist, also mit zwei Verzögerungsgliedern und mit zwei logischen Toren ohne Zeitverzögerung. In der Abbildung haben wir auch das vereinfachte Symbole des Modells angeführt.

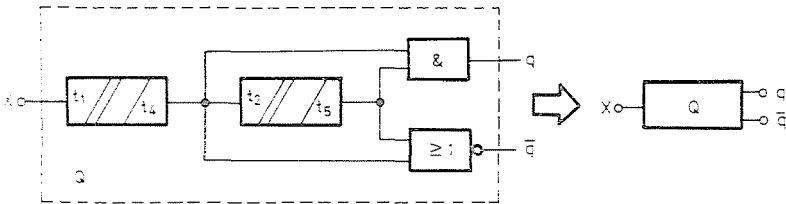


Abb. 3

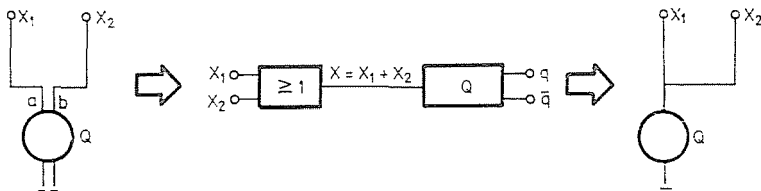


Abb. 4

Bei *Mehrspulenrelais*, wenn sich die Wirkungen der Spulen logisch summieren, läßt sich das Modell einfach ergänzen (Abb. 4). Demgemäß kann das Mehrspulenrelais logisch durch ein solches *Einspulenrelais* vertreten werden, das vom durch Parallelschaltung der das originelle Relais steuernden Netze entstandenen Netz gesteuert wird.

Haltestromrelais

Wir haben schon bis jetzt gewisse Vereinfachungen bei dem Zeitdiagramm gemäß Abb. 2, bzw. bei der Modellkonstruktion vorgenommen, aber die Analyse der Funktion der Haltestromrelais bedarf der Einführung weiterer

Approximationsannahmen. Dabei stützen wir uns auf [4]. Diese Annahmen sind zum Teil erforderlich, weil die Einführung der stetigen Zeitvariable » t « in die logischen Gleichungen mit diskreten Variablen mit Schwierigkeiten verbunden ist, und so verwenden wir statt dessen die diskrete Zeitvariable » t^i «. Daraus folgt, daß der Zustand der Schaltung bloß zu den diskreten Zeitpunkten » t^i « beschrieben werden kann, und diese Beschreibung gibt über die Übergangsprozesse im Intervall

$$t^i < t < t^{i+1}$$

keine Information.

Die Zeitpunkte der Probeentnahme » t^i « sind so festzustellen, daß zu diesen Zeitpunkten eine jede logische Veränderliche einen ständigen Wert habe. Nach einem solchen Zeitpunkt » t^i « verändern wir die Eingangssignale, und durch diese Veränderung ändern sich auch die anderen logischen Variablen (innere Zustände, Ausgangssignale). Diese Änderungen brauchen eine Zeitdauer » Δt «, die in den bisherigen Fällen:

$$\Delta t = t_1 + t_2, \text{ wenn } t_1 + t_2 > t_4 + t_5$$

Und sonst

$$\Delta t = t_4 + t_5.$$

Die Zeitpunkte für Probeentnahmen sind so zu bestimmen, daß die kleinste Zeitdauer zwischen ihnen

$$T_{\min} = t^{i+1} - t^i \geq \Delta t$$

sei.

Auf Grund der bisherigen Festlegungen und zur Ergänzung der Bisherigen können wir folgende Approximationsannahmen treffen:

a) die Relaiskontakte folgen mit einer im vorstehenden bestimmten, totzeitmäßigen Zeitverzögerung vom » Δt « der Eingangssignaländerung an der Relaispule,

b) sofern ein Relais durch den Kontakt von einem oder mehreren anderen Relais gesteuert wird, nehmen wir die resultierende Verzögerung ebenfalls mit einer einzigen totzeitmäßigen diskreten Verzögerung » Δt « in Betracht,

c) wir definieren eine fiktive logische Funktion » Y «, die eine Boole-Funktion ist, die das gegebene Relais steuernde, ideale passive Kombinationsnetz (ohne Verzögerung) beschreibt, in den vorstehenden: $Y = X$,

d) wir definieren eine logische Funktion » y «, die den Änderungen von » Y « mit einer Zeitverzögerung » Δt « folgt, das heißt:

$$y^{i+1} = Y^i,$$

e) die Charakteristik U_{be}/U_{ki} des Relais wird bei langsamer Änderung der Eingangsspannung U_{be} durch die idealisierte Charakteristik gemäß Abb. 5. vertreten.

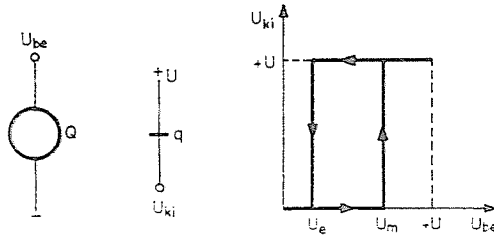


Abb. 5

Die Abb. 6 stellt zwei Grundtype der Haltestromrelais dar. Die Netze S_A , A und B enthalten mindestens je einen Eingangspunkt oder einen Steuerungskontakt und das Netz S_B besteht mindestens aus einem Steuerungskontakt.

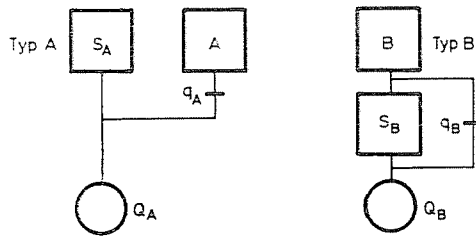


Abb. 6

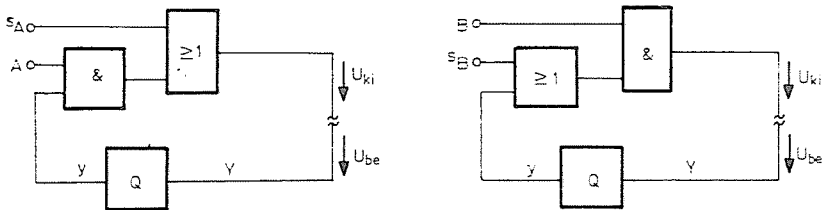


Abb. 7

Die Abb. 7 stellt das Modell der zwei Grundtype dar, das auf Grund der Vorherigen konstruiert wurde. Nehmen wir

$$S_A = 0 \text{ beziehungsweise } S_B = 0$$

$$A = 1, \quad B = 1.$$

Hierbei erhalten wir nach der Aufspaltung der Rückkoppelschleifen bei der langsamen Änderung des laut Abbildung interpretierten Eingangssignals die von Abb. 5 bereits bekannte Charakteristik U_{be}/U_{ki} .

In der Abb. 8. wurde auch die Charakteristik der geschlossenen Schleife angegeben.

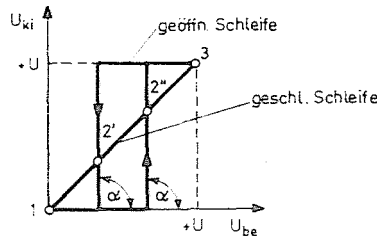


Abb. 8

Im Arbeitspunkt 1 und 3 ist die Spannungsverstärkung

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}}$$

der offenen Schleife kleiner als 1 (Null), so befindet sich das geschlossene System in einem stabilen Zustand.

Im Arbeitspunkt 2' bzw. 2'' ist die Verstärkung der offenen Schleife größer als 1, der Arbeitspunkt ist instabil, das geschlossene System ändert seinen Zustand.

Infolge der Rückkoppelung in den Haltestrom-Schaltungen erhalten wir also ein als binäres Speicherelement verwendbares System, mit zwei stabilen

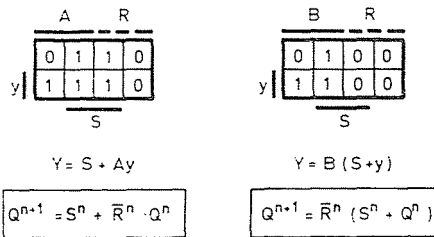


Abb. 9

Zuständen. Die Karnaugh-Tabellen und Steuerungsfunktionen der zwei Grundtype sind in Abb. 9 zu sehen.

$$Q^{n+1} = Y \text{ und } Q^n = y, \text{ weiterhin}$$

$$R^n = \bar{A}, \text{ bzw. beim Typ B: } R^n = B$$

durch diese Substitution wird offensichtlich, daß der Typ A und Typ B mit einem statischen Speicherelement RS gleiche Funktion haben, wobei

- zum Typ A eine Einschreibepriorität und
- zum Typ B eine Löschpriorität paßt.

In der Abb. 10 ist das Modell der zwei Varianten nach äquivalenten Umänderungen (und nach Weglassen der extra Verzögerung) ersichtlich. Diese Form veranschaulicht noch besser die Vorgehenden.

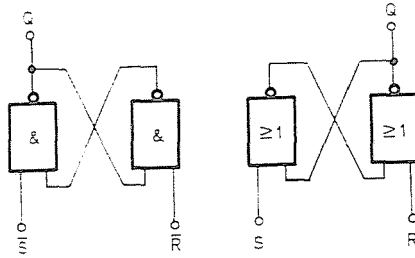


Abb. 10

Haftrelais und Stützrelais

Das Haftrelais ist auf Grund seiner Konstruktion ein Speicherelement von zwei stabilen Zuständen. Auf Grund seiner Funktion, wenn die Steuerbedingung

$$RS = 0$$

erfüllt ist, kann es entweder durch eine Haltestrom-, Einspulenschaltung vom Typ *A* oder *B* ersetzt werden. Die Ersatzschaltung enthält das Komplement des Netzes *R*, das die Enterregung steuert. Dieses Netz beeinflusst nur den Zustand des angezogenen Relais, das mit einem (in der Wirklichkeit nicht existierenden) Reihen-Arbeitskontakt des ersetzenden Relais berücksichtigt werden kann.

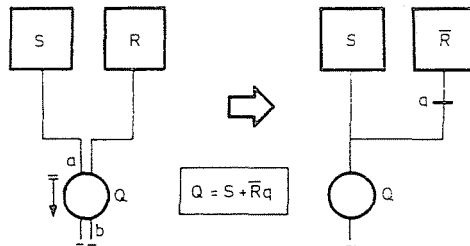


Abb. 11

In Abb. 11 sind ein Zweispulen-Haftrelais und sein Steuernetz, sowie ihre Ersatzschaltung vom Typ *A* zu sehen. Diese Ersatzschaltung mit Einschreibepriorität ist auch dann zufriedenstellend, wenn für die Steuerung

$$RS = 1$$

im angezogenen Zustand des Relais kein Verbot besteht. In Abb. 12 ist ein Stützrelaispaar $Q_S - Q_R$ zu sehen und in Abb. 13 ist das ihm entsprechende

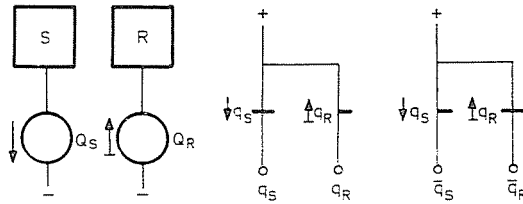


Abb. 12

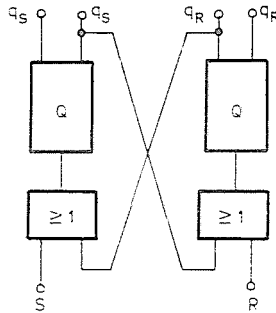


Abb. 13

Modell ersichtlich. Die Wirkung der Stützkonstruktion wird durch die Kopplungen zwischen den beiden Gliedern modelliert. Sofern die Steuerung

$$RS = 1$$

erlaubt ist, kann die originelle Schaltung durch zwei *Einspulen-Normalrelais ersetzt werden*. bei denen parallel zum originellen Steuernetz der (die Stützkonstruktion ersetzende) Ruhekontakt des anderen Gliedes vorhanden ist (Abb. 14).

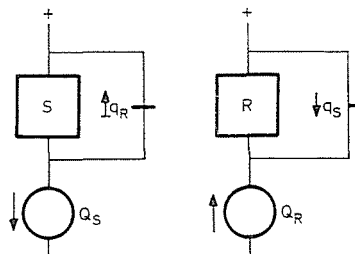


Abb. 14

In dem Fall, wenn das Stützmagetpaar als *Zweizustand-Speicherelement* benutzt wird, also

$$RS = 0,$$

ist sowohl der Haltestrom-Ersatz vom Typ A, als auch vom Typ B befriedigend. Der Ersatz Typ »A« gemäß Abb. 15 enthält — außer Netz »S« — das Komplement des die »Löschung« steuernden Netzes »R«, sowie den fiktiven Arbeitskontakt, der auch beim Ersatz des Haftrelais angewandt wurde. Der Stand des

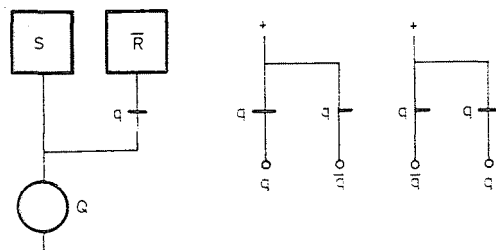


Abb. 15

Ersatzrelais stimmt mit dem Stand des Gliedes Q_S des originellen Relaispaares überein, so sollen die Kontakte des Gliedes Q_R — zwecks richtigen Ausgangszeichens — transformiert werden (Arbeitskontakt statt Ruhekontakt und umgekehrt).

Algebraisches Modell der kompletten Relaiseinheit

Das Modell

Auf Grund der Vorstehenden kann die allgemeine Struktur der Relaiseinheit gemäß Abb. 16 veranschaulicht werden. Die Blöcke der Abbildung:

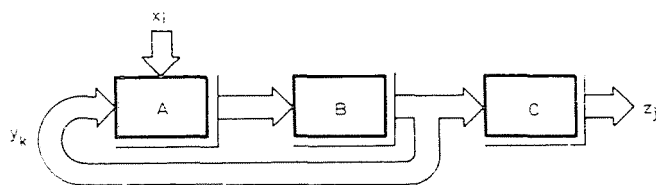


Abb. 16

A) *Eingangnetz*, Gesamtheit der Kombinations-Steuerungsnetze der zu den einzelnen Relais gehörenden Ersatzschaltungen, ohne Zeitverzögerung;

B) *Block der Speicherelemente*, der durch die entsprechenden Verzögerungselemente alle Verzögerungen des Modells enthält, so sind die Rückkopplungsschleifen ohne Zeitverzögerung;

C) *Ausgangnetz*, Kombinationsnetz ohne Zeitverzögerung.

Der in der Abbildung angeführte *Eingangszustand* x_i , *Innenzustand* y_k , bzw. *Ausgangszustand* z_j — die nach und nach eine bestimmte Kombination

der Eingangs-, Innen- bzw. Ausgangsvariablen darstellen — sind zugleich ein Element der Menge X , X bzw. Z der korrespondierenden Zustände:

$$\begin{aligned} x_i &= \{X_1, X_2, \dots, X_v\} & x_i \in X \\ y_k &= \{Y_1, Y_2, \dots, Y_s\} & y_k \in Y \\ z_j &= \{Z_1, Z_2, \dots, Z_r\} & z_j \in Z. \end{aligned}$$

In der Menge der Eingangsvariablen kann kein ausgezeichnetes Zeichen angegeben werden, das das Funktionieren des Netzes synchronisiert, das heißt die Wertänderung eines beliebigen Eingangszeichens könnte die Änderung am inneren Zustand des Netzes zur Folge haben. Die so gearteten Netze heißen *Asynchron-Netze*.

Nach einem Vergleich der bisher zusammengefaßten Charakteristiken mit den einschlägigen Definitionen der Fachliteratur [1] und [4], kann die Relaiseinheit aus dem Gesichtspunkt unserer Untersuchungen als ein mittels Asynchron-Reihenfolgenetz realisierter, *endlich-deterministischer diskreter Moore-Automat* betrachtet werden, der mit dem algebraischen System

$$A = \{X, Y, Z, v, \omega\}$$

definiert wird.

Die Funktion des *folgenden Zustands* definiert den neuen, dem gegenwärtigen folgenden inneren Zustand des Netzes:

$$v: Y \times X \rightarrow Y, \text{ bzw. } v(x_i, y_k) = y_l,$$

die *Ausgangsfunktion* ω aber bestimmt den zum gegebenen inneren Zustand gehörenden Ausgangszustand:

$$\omega: Y \rightarrow Z, \text{ bzw. } \omega(y_k) = z_j.$$

Gültig für unser Modell nehmen wir noch — außer den vorgenannten — alle Aussagen der Literatur [4], die sich auf das algebraische Modell des Asynchron-Reihenfolgenetzes beziehen, einschließlich der Grundhypothesen fürs Funktionieren des Netzwerkes.

So reicht es nun aus, im weiteren die *speziellen Charakteristiken* der Relaiseinheiten zu erörtern.

Anfangszustand, kritische Wettstellung

Wollen wir eine Relaiseinheit untersuchen, aber noch keine Spannung weder den gemeinsamen Speiseschienen, noch den Eingangspunkten angelegt wurde, haben die Normalrelais eine fallengelassene Stellung, die Stellung der Stütz- und Haftrelais ist aber *undefiniert*. Im Prinzip kann jeder bestimmter

Stabil-Zustand des Netzes als Anfangszustand betrachtet werden, ist es jedoch der genaueren Fehlerdiagnose halber zweckmäßig, die Untersuchung von einem definierten Anfangszustand y_0 aus zu beginnen. Der Automat mit einem solchen ausgezeichneten Anfangszustand wird *Inizial-Automat* genannt, und er kann statt mit den gewöhnlichen fünf, mit sechs Parametern gekennzeichnet werden:

$$A = \{y_0, X, Y, Z, v, \omega\} \quad y_0 \in Y.$$

In Anbetracht der Voranstehenden, dienen einige der ersten Kombinationen der zu den Einheitsuntersuchungen angewandten *Eingangsbänder* dazu, das Netzwerk aus einem jeden möglichen Zustand nach der Einschaltung der gemeinsamen Speisespannung in den Anfangszustand y_0 zu setzen (z. B. vereinbarungsgemäß alle Relais fallengelassen sind, bzw. der Zustand der Stützrelais gemäß innerem Schaltplan).

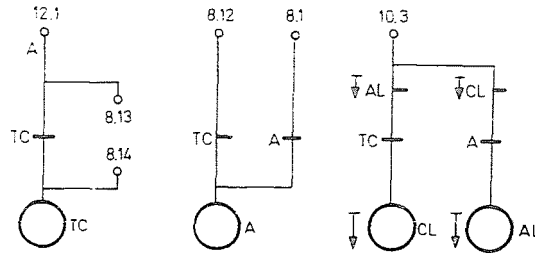


Abb. 17

Auf Grund der Abb. 17 beispielsweise untersuchen wir eine Stellung, in der eine unumsichtige Konstruierung des Eingangsbandes der Prüfungen — auch trotz der spezifizierten Funktion des geprüften wirklichen Netzes — zu einer kritischen Wettstellung oder zur unendlichen Verkettung von instabilen Zuständen, zur Oszillation führt.

Das Relais TC kann betriebsmäßig vom Punkt 12.1 angezogen werden, und es erhält eine Erregung zum Halten ebenfalls von hier. Das Außennetz zwischen Punkt 8.13 und 8.14 enthält die ergänzenden Bedingungen fürs Anziehenlassen.

Bei unseren Untersuchungen können auch die Punkte 8.13 und 8.14 als Eingangspunkt benutzt werden. So wird die Bedingtheit, daß A und TC gleichzeitig nicht ansprechen können aufgehoben. TC kann nach Ansprechen A und nach Schalten auf »Haltung« A (Punkt 8.1) vom 8.14 aus angezogen werden. Legen wir demnächst Punkt 10.3 Spannung an, hängt das Ergebnis auf unvordefinierbarer Weise von den Funktionszeitverhältnissen CL und AL ab, allerdings mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit kann man auf Ausbildung einer Oszillation rechnen.

Die Mächtigkeit der Zustandsmengen

Eine größere Relaiseinheit samt den zwecks Prüfung angeschlossenen externen Relais kann sogar mehr als 50 Relais enthalten.

Falls die Anzahl der Relais

$$S = 50,$$

ist die Zahl der inneren Zustände

$$|Y| = 2^S = 2^{50} \cong 10^{15}.$$

Diese außerordentlich große Zahl vermindert sich auf Grund der organisatorischen Prinzipien der Untersuchungen auf *einige Hunderte*. Dabei spielen die *Zustand-äquivalenz-Klassen* eine wichtige Rolle. Einerseits lassen sich diejenige Relais, die nur zusammen funktionieren können, je in eine mit gemeinsamer Variable gekennzeichnete Klasse organisieren, andererseits sind diejenige inneren Zustände, die sich voneinander nur am Zustand der externen Relais unterscheiden, vom Gesichtspunkt des Eingangsnetzes äquivalent (Kontakte der externen Relais sind nur im Ausgangsnetz vorhanden).

Eine der vorigen entgegengesetzte Wirkung ausüben kann, wenn ein für die Untersuchungen notwendiger innerer Zustand wegen ausschließender Abhängigkeiten nicht eingestellt werden kann, aber dieser verbotene Zustand durch die Einstellung mehrerer zugelassener Zustände ersetzt werden kann.

Die s. g. durch *latente innere Variable* gekennzeichneten Relais — welche keinen Kontakt im Ausgangsnetz haben —, können die bei der Prüfung anzuwendende Teilmenge der inneren Zustände nicht erhöhen, vergrößern können sie aber die *Länge des Eingangsbandes*, 20–40% der Relais der einzelnen Relaiseinheiten sind solche Relais. *Die Erkundung der Zustände* dieser Relais ist mit Hilfe der durch sie gesteuerten solchen Relais möglich, die mindestens mit einem ihrer Kontakte im Ausgangsnetz anwesend sind. Nehmen wir dafür zwei Beispiele.

VE2 in der Schaltung laut Abb. 18 verfolgt den Zustand von VE1 mit einem Kontakt, wenn auf Punkt 13.3 keine Spannung angelegt wird.

Steuert das durch die latente Variable gekennzeichnete Relais ein Speicherelement, so weist nicht jeder Zustand des Speicherelementes eindeutig auf

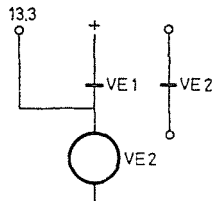


Abb. 18

den Zustand der Steuerstufe hin. In Abb. 19 sind zu sehen ein über ein Einkontaktrelais gesteuertes Haftrelais und der Graph, der drei mögliche Stabilzustände der zwei Relais veranschaulicht. Die erste Ziffer des Zustandekodes bezeichnet den Zustand *uee*, die zweite Ziffer den Zustand *UEE* und zugleich den des dazugehörenden Ausganges.

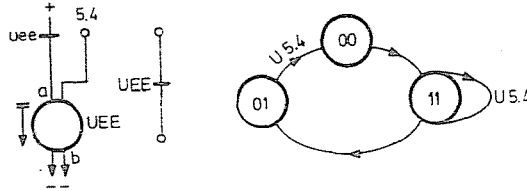


Abb. 19

Ob — bei Zustand 1 des Ausganges — sich die Schaltung im Zustand 11 oder 01 befindet (Ausgang in beiden Fällen 1), kann man mit einem vordeterminierten *diagnostizierenden Versuch* von unitärer Länge entscheiden, zumal Spannung auf Punkt 5.4 angelegt wird. War 11 der Anfangszustand des Versuches, bleibt das Ausgangszeichen auch weiterhin 1, falls er 01 war, wird das Ausgangszeichen 0.

Anzahl der Eingangszustände kann (bei einer größeren Einheit dürfen auch 100 Eingangspunkte bzw. Variablen vorkommen) auch

$$|X| = 2^v = 2^{100} \cong 10^{30}$$

sein, aber die einzelnen Eingangsvariablen beeinflussen den Zustand verhältnismäßig von wenigen Relais, so kann sich in der Praxis auch die Zahl der Eingangszustände auf kaum mehr als einige Hunderte belaufen.

Das Verbot für die *verbotenen Eingangszustände* kann sein:

- unabhängig vom inneren Zustand (z. B. Kurzschließen hervorrufen).
- abhängig vom inneren Zustand (z. B. der Fall laut Abb. 17)

Die *Ausgangsvariablen* werden zu den Paaren der Ausgangspunkte zugeordnet, und ihr Wert wird vom Verbundenheitszustand der Punktpaare bestimmt.

In einer größeren Relaiseinheit 200 Ausgangspunkte angenommen, ist die Zahl der Ausgangsvariablen

$$r = \binom{200}{2} \cong 20\,000.$$

Die Zahl der *Ausgangszustände* wäre da

$$|Z| = 2^r \cong 2^{20\,000} \cong 10^{6000},$$

aber berücksichtigend die Eindeutigkeit der Abbildung

$$\omega: Y \rightarrow Z,$$

sodann die Zustandsäquivalenzen und -deckungen.

$$|Z| \leq |Y|.$$

Die Gleichheit erfüllt sich nur bei einer solchen Relaiseinheit, in der sich kein mit latenter innerer Variable gekennzeichnetes Relais befindet, und ein jedes Relais einen Kontakt im Einkontakt-Ausgangs-Zweipol hat.

Zusammenfassung

Für die Herstellungsendkontrolle der Relaiseinheiten ist ein solches, entsprechende Abbildungsmethode verwendendes algebraisches Modell notwendig, das eine einheitliche Handhabung der verschiedenen mechanisch, magnetisch und elektrisch strukturierten bzw. solche funktionelle Charakteristiken aufweisenden Relais und deren Steueretze ermöglicht, und das als entsprechende Grundlage zum für die Testgenerierung erforderlichen Simulationsprogramm dienen kann.

Die Relaiseinheit kann aus dem Gesichtspunkt unserer Untersuchungen als ein mittels Asynchron-Reihenfolgenetz realisierter, endlich-deterministischer diskreter Moore-Automat betrachtet werden.

Literatur

1. ÁDÁM, A.—KATONA, GY.—BALYINSZKI, J.: Végés automaták (Endliche Automaten) Forschungsinstitut f. Mathematik, Ung. Akademie der Wissenschaften, Budapest (1972).
2. CZÉRE, B.: Handbuch der Eisenbahntechnik 2. Technischer Buchverlag, Budapest (1977).
3. DIVINYI, S.: Bahnhofssicherungsanlage MÁV Domino 70 Ung. Staatl. Eisenbahnen (MÁV), Forschungsinstitut, Bp. (1977).
4. JANOVICS, S.—TÓTH, M.: Methoden der logischen Projektierung, Techn. Buchverlag, Bp. (1973).
5. TARNAI, G.: Eisenbahn-Automatik I, Lehrbuchverlag, Bp. (1966).
6. TARNAI, G.: Anlage für Relaiseinheitsprüfung, Studic. Lehrstuhl f. Verkehrselektrizität u. Automatik an der Techn. Hochschule, Budapest (1974).
7. TARNAI, G.: Digitale Simulation bei der Modellierung der Betätigung von Relaisstromkreisen, Techn. Hochschule f. Verkehr u. Fernmeldetechnik, Győr, Verkehrsautomatik-Abteilung (1977).
8. TARNAI, G.: Mechanische Prüfung der Relaiseinheiten für Eisenbahnautomaten. Közlekedéstudományi Szemle Budapest, 1977, 86—90.
9. TARNAI, G.: Optimale diagnostische Tests der Relaiseinheiten für Eisenbahnautomaten: Materiały na II. Konferencje Naukowa Politechnika Warszawska Institut Transport VI., k. Warszawa, 1978, p. 52—59.
10. TARNAI, G.: Informationsspeicher-Eigenschaft der Stromkreise von Relaiseinheiten in Eisenbahnsicherungsanlagen, Közlekedéstudományi Szemle Budapest, 1979, 217—223.

Dr. Géza TARNAI H-1521 Budapest