

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 53 (1962)  
**Heft:** 21

**Artikel:** Transistorisierte Schaltungseinheiten zur Ansteuerung von Relais : transistorisierte Relais  
**Autor:** Schenkel, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916983>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

$$1 - h_{12B}^* + h_{21B}^* + \Delta h_B^* = 0 \quad (82)$$

Dies ist äquivalent mit:

$$\frac{1}{\Delta h_C^*} = 0 \quad (83)$$

$[\Delta h_C^*]$  bedeutet hier nicht dasselbe wie in Gl. (81).] Gl. (83) kann interpretiert werden, wenn man weiss, dass

$$\frac{1}{\Delta h_C^*} = \Delta h'_C \quad (84)$$

die Determinante der  $h$ -Parameter des umgekehrten Vierpols ist [10]. Also kann der Oszillator auch in diesem Fall als Serie-Parallel-Schaltung zweier Vierpole dargestellt werden.

#### Literatur

- [1] Cote, A. J.: Matrix Analysis of Oscillators and Transistor Applications. IRE Trans. on Circuit Theory, CT-5 (1958)3, S. 181...188.
- [2] Cote, A. J.: Matrix Analysis of RL and RC Oscillators. IRE Trans. on Circuit Theory, CT-6(1959)2, S. 232...233.
- [3] Cote, A. J. und J. B. Oakes: Linear Vacuum-Tube and Transistor Circuits. New York a.o.: McGraw-Hill 1961.
- [4] Toussaint, H.-N.: Schwingerschaltungen. Nachrichtentechn. Fachber. 18(1960), S. 95...103.
- [5] Pritchard, R. L.: Discussion of Matrix Analysis of Transistor Oscillators. IRE Trans. on Circuit Theory, CT-8(1961)2, S. 169...170.

- [6] Hauri, E. R. und A. E. Bachmann: Grundlagen und Anwendungen der Transistoren. Bern: Gen. Dir. PTT., Abt. Forsch. u. Vers., 1962.
- [7] Schaffhauser, H. und M. J. O. Strutt: Experimentelle und theoretische Untersuchung eines frequenzstabilisierten Transistoroszillators für 8 MHz. AEÜ 11(1957)11, S. 455...460; Berichtigung: AEÜ 12(1958)1, S. 48.
- [8] Schaffhauser, H.: Beschreibung eines stabilisierten LC-Transistoroszillators im Niederfrequenzgebiet. Scientia Electr. 4(1958)1, S. 22...30.
- [9] Brodie, J. H.: Matrix Analysis of Oscillators. IRE Trans. on Circuit Theory, CT-7(1960)1, S. 69...70.
- [10] Feldtkeller, R.: Einführung in die Vierpoltheorie der elektrischen Nachrichtentechnik. 3. Aufl. Leipzig: Hirzel 1943.
- [11] Transistor Circuit Engineering. Ed. by R. F. Shea. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1957. (Deutsche Übersetzung: Transistortechnik. Stuttgart: Berliner Union 1960. Auf S. 422 ist falsch angegeben, dass die  $\alpha$ -Matrizen addiert werden.)
- [12] Hauri, E. R.: Zur Theorie der Triodenoszillatoren mit koaxialen Resonatoren. Bull. SEV 44(1953)17, S. 761...768.
- [13] Vasseur, J. P.: Propriété et applications des transistors. Paris: Soc. franç. de documentation électronique 1958.
- [14] Engdahl, J.: Calcul rapide de circuits à transistors à l'aide des paramètres  $h$ . Bull. SEV 52(1961)11, S. 413...419.
- [15] Hauri, E. R.: Transistorverstärker mit Gegenkopplung. Techn. Mitt. PTT 38(1960)6, S. 185...200; 7, S. 228...236.
- [16] Barkhausen, H.: Lehrbuch der Elektronenröhren und ihrer technischen Anwendungen. 3. Bd.: Rückkopplung. Univ. Nachdruck der 4. Aufl. Leipzig: Hirzel 1943.
- [17] Rothe, H. und W. Kleen: Elektronenröhren als Schwingungserzeuger und Gleichrichter. Leipzig: Becker & Erler 1941.
- [18] Terman, F. E.: Radio Engineer's Handbook. New York, London: McGraw-Hill 1943 (S. 481).

#### Adresse des Autors:

E. R. Hauri, dipl. Ingenieur ETH, Abteilung Forschung und Versuche der Generaldirektion der PTT, Speichergasse 6, Bern.

## Transistorisierte Schaltungseinheiten zur Ansteuerung von Relais

### Transistorisierte Relais

Von H. Schenkel, Oberrieden

621.375.4 : 621.318.5

Eine Kombination von konventionellem Relais und vorgehalteter transistorisierter Schaltungseinheit ermöglicht, die Vorteile des Relais auszunützen und gleichzeitig mit für direkte Relaisansteuerung zu schwachem oder zu kurzem Steuersignal auszukommen. Auch können zwischen dem Eingangssignal und der Relaisbetätigung gewisse zeitliche oder amplitudenmässige Zusammenhänge erzielt werden. Solche Schaltungseinheiten erweitern also die Anwendungsmöglichkeiten von Relais in modernen Steuerungen, Überwachungen usw. wesentlich. Es werden die für ein einheitliches Typenprogramm zu beachtenden allgemeinen Gesichtspunkte und die Eigenschaften einzelner Einheiten besprochen.

En faisant précéder un relai classique par une unité de couplage transistorisée, les avantages du relai peuvent être pleinement utilisés, même dans le cas d'un signal trop bref ou trop faible pour commander directement le relai. Une telle combinaison permet en outre de faire intervenir certaines relations temporelles ou amplificatrices entre le signal d'entrée et l'actionnement du relai. Ces unités de couplage augmentent ainsi les possibilités d'utilisation de relais dans des circuits modernes de commande, de contrôle, etc. L'auteur indique ce dont il faut généralement tenir compte pour l'établissement d'une série uniforme de types, puis il décrit les propriétés de certaines unités de couplage.

### 1. Einleitung

Mit den in Steuerungen, Regelungen und Überwachungsschaltungen seit langem in grosser Zahl verwendeten Relais können gewisse Aufgaben nicht ohne weiteres gelöst werden. So ziehen z. B. solche Relais normalerweise nicht oder nicht mit Sicherheit an, wenn das Steuersignal (an die Wicklung angelegte Spannung) ein Impuls von  $\lesssim 10$  ms Dauer ist; Anzug- oder Abfallverzögerungen in der Grössenordnung von Sekunden bis Minuten mit der gleichzeitigen Forderung nach sehr kurzen Rückstellzeiten lassen sich (abgesehen von mechanischen Geräten, die aber eher für Verzögerungszeiten von Minuten an eingesetzt werden) nicht erzeugen. Eine sehr hohe Empfindlichkeit ist nicht vereinbar mit robustem Aufbau, grosser Kontaktbestückung und hoher Kontaktbelastbarkeit. Mit zunehmender Automatisierung wird nun aber das Bedürfnis immer häufiger, Relais auch bei derartigen für die normale Relaisstechnik schwierigen Signalbedingungen verwenden zu können. Zu diesem Zweck

sind in den vergangenen Jahren einfache und betriebssichere elektronische Schaltungen entwickelt worden, die dem Relais vorgeschaltet werden können und ihm so die verlangten Eigenschaften geben.

Die Transistortechnik, insbesondere die Verwendung des Transistors als gesteuerter Schalter, ist für solche Relaisansteuerungsschaltungen gut geeignet. Neben den bekannten Vorteilen von Transistoren (kleine Speiseleistung, mechanisch klein und robust, hohe Betriebssicherheit während langer Lebensdauer) ist hier noch besonders die Tatsache vorteilhaft, dass die für die Relais aus technischen und preislichen Gründen (Spulendaten) günstigste und normalerweise verwendete Betriebsspannung (im Bereich von  $\approx 20...48$  bis ev. 60 V geglättete Gleichspannung oder Halbwellen) direkt als Speisespannung der Transistor-schaltung benützt werden kann. Ein besonderer Speiseteil erübrigt sich also, was vor allem in jenen grossen Relaisanlagen angenehm empfunden wird, wo nur eine oder einige wenige Schaltungseinheiten eingesetzt werden sollen.

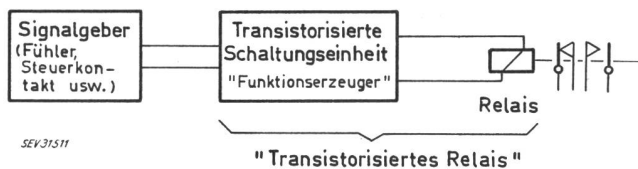


Fig. 1

Grundständige Gliederung von «Transistorrelais» mit Signalgeber

Die transistorisierte Schaltungseinheit zusammen mit dem Relais, das sie ansteuern soll, wird in sprachlich zwar nicht einwandfreier aber doch sehr anschaulicher Weise «transistorisiertes Relais» oder «Transistorrelais» genannt. Solche Einheiten sind von verschiedenen Firmen entwickelt und in die Fabrikation aufgenommen worden. Zum Teil handelt es sich um einfache Verstärker (Kontaktschutzrelais) zum Teil um Schaltungen, die eine bestimmte Zeitdauer erzeugen (Zeitrelais). Fig. 1 zeigt das Relais, die transistorisierte Schaltungseinheit und den Signalgeber.

Der Signalgeber steuert die Schaltungseinheit an und kann aus einem Steuerkontakt, einem temperatur- oder lichtempfindlichem Element, einem Potentiometer, einem magnetischen Näherungsschalter oder aus einer veränderlichen Spannungsquelle usw. bestehen.

Die Schaltungseinheit ist ein «Funktionserzeuger», indem sie zwischen ihrem Eingangssignal und dem das Relais ansteuerndem Ausgangssignal einen sie kennzeichnenden Zusammenhang herstellt: Es kann sich dabei um eine reine Verstärkung handeln, oder um eine einmalige oder eine sich wiederholende Impulserzeugung, um eine zeitliche Verschiebung (Zeitverzögerung) usw. Um die vielfältigen Anwendungsprobleme lösen zu können, muss eine ganze Anzahl verschiedener derartiger funktioneller Zusammenhänge zur Verfügung stehen. Man braucht also eine Typenreihe solcher Schaltungseinheiten, wobei neben der verlangten Vielseitigkeit der funktionellen Zusammenhänge möglichst weitgehende Einheitlichkeit der übrigen Eigenschaften vorhanden sein soll. Dies erleichtert sowohl die Herstellung wie auch die Anwendung der Einheiten.

Die Bezeichnung «Transistorrelais» deutet an, dass es sich um ein von einer Transistorschaltung angesteuertes Relais handelt. Selbstverständlich können nun die zu diesem Zweck gebauten Schaltungseinheiten an Stelle des Relais auch eine anders geartete Last steuern. Insbesondere kann an Stelle des Relais ein transistorisierter Leistungsverstärker treten, mit dem sich kontaktlos z. B. 50 W Ausgangsleistung schalten lassen. Aus diesem Grunde (und weil zudem bei verschiedenartigen «Transistorrelais» einer zweckmässig entworfenen Typenreihe zwar verschiedene Schaltungen aber stets derselbe Relais Typ verwendet wird) ist es günstiger, an Stelle des Begriffs «Transistorrelais» sich die Aufteilung in Geber, Schaltungseinheit und angesteuerte Last zu vergegenwärtigen.

Die Anwendung der Schaltungseinheiten umfassen Fälle in denen:

- a) Das ganze Gerät im wesentlichen aus nur einem Geber, einer Schaltungseinheit und einem Relais besteht;
- b) Diese Kombination mehrfach vorhanden ist, oder
- c) In einer grösseren Relaisanlage nur ein oder einige Relais solche Schaltungseinheiten zugeordnet

haben. Es sind auch Verknüpfungen möglich, indem ein Geber mehrere verschiedenartige Einheiten, oder eine Einheit ihr Lastrelais und gleichzeitig noch weitere Einheiten ansteuert. Allerdings ist man mit solchen Verknüpfungen nicht so frei wie in der Digital-Technik bei Verwendung logischer Bauelemente.

## 2. Typenreihe und gemeinsame Eigenschaften

Um mit den verschiedenen Schaltungseinheiten einer ganzen Typenreihe möglichst viele der in der Praxis auftretenden Anwendungsprobleme lösen zu können, müssen die Einheiten die nötigen funktionellen Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangssignal geben. Das Typenprogramm soll also in dieser Hinsicht vielseitig sein. Weiter ist Einheitlichkeit der übrigen Eigenschaften der Einheiten anzustreben, um sowohl die Behandlung von Anwendungsproblemen wie auch die Fertigung und Kontrolle vereinfachen zu können.

Besondere Beachtung benötigt die Frage der möglichen Signalgeber. Wohl wird man auch in dieser Hinsicht vielseitige Verwendbarkeit der Einheiten anstreben wollen. Es ist jedoch bei der Entwicklung der Schaltungen gerade in diesem Punkt möglichst deutlich das wirklich Nötige abzuklären, damit ein richtiger Mittelweg zwischen vielseitiger Verwendbarkeit einerseits und für die Mehrzahl der Fälle tragbarem Schaltungsaufwand und somit Preis andererseits gefunden wird. Die Schaltungen an sich sind im Prinzip sehr einfach und gut bekannt. Abgesehen von der selbstverständlich nötigen sorgfältigen Auswahl der verwendeten Bauteile und einer einwandfreien Schaltungsbeziehung liegt ein beträchtlicher Aufwand bei der Entwicklung eines solchen Typenprogrammes in eben dieser Optimierung von Schaltungsaufwand und vielseitiger Verwendbarkeit, sowie auch in der Dimensionierung für weitgehend einheitliche elektrische und konstruktive Daten.

### 2.1 Verschiedene funktionelle Zusammenhänge

Eine vielseitig anwendbare Typenreihe enthält etwa Schaltungen mit folgenden funktionellen Zusammenhängen:

- a) Verstärker für un stetig ändernde Eingangssignale (Kontaktschutz);
- b) Kippverstärker, dessen Ausgangssignal auch bei beliebig langsam über das Schaltniveau laufendem Eingangssignal eindeutig und abrupt umschaltet (durch Lichtschranken, temperaturabhängige Widerstände, Potentiometer, magnetische Näherungsschalter usw. gesteuert);
- c) Erzeugung eines einmaligen Ausgangsimpulses bei Auslösung durch einen Eingangsimpuls, wobei die Dauer des Ausgangsimpulses — je nach Schaltung und Ansteuerung — kürzer oder länger als der Eingangsimpuls sein kann;
- d) Impulsgenerator: Erzeugung einer Impulsfolge mit einstellbarer Impulsfolgefrequenz und in gewissen Grenzen wählbarem Impuls / Intervall-Verhältnis; Schaltung freischwingend, kann durch Eingangssignal blockiert werden (Blinkrelais);
- e) Speicher (Flip-Flop) mit zwei getrennten Eingängen oder/und einem Binär-Eingang. (Ersetzt eine Relais-Selbsthalte- und Löseschaltung, wobei der Bedarf an Steuerleistung sowohl für das Aufziehen wie für das Lösen sehr gering ist);
- f) Zeitverzögerer (Anzug- oder Abfallverzögerung; «Zeitrelais»).

Als Erweiterung sind in manchen Fällen zweckmässig:

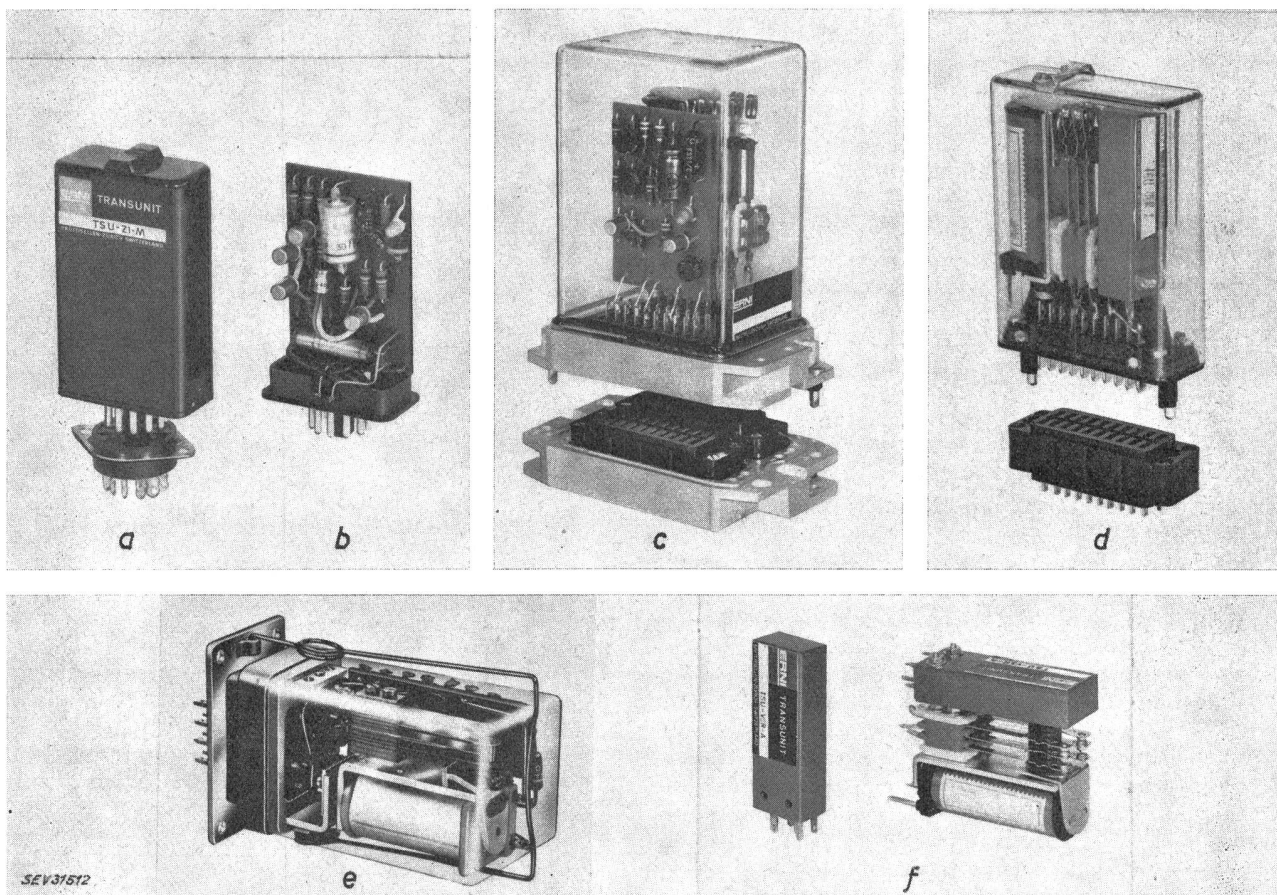


Fig. 2

#### Einige Bauformen von «Transistorrelais»

a steckbare Schaltungseinheit; b Einheit von a ohne Haube; c steckbare Einheit mit transistorisierter Schaltung und Relais; d steckbare Einheit mit Relais und aufgeschraubter Schaltungseinheit; e steckbares «Transistorrelais»: Schaltung und Relais in Haube; f auf Relais aufschraubbare Schaltungseinheit mit Lötanschlüssen

a) Leistungsverstärker (für Schalterbetrieb), der von den oben genannten Einheiten angesteuert werden kann und — je nach Typ — ungefähr 20...100fache Leistungsverstärkung ergibt;

b) Gleichstromverstärker für stetige Aussteuerung durch sehr kleine Signale (mV; z. B. Brückenverstärker) als Vorverstärker zu den erwähnten Einheiten.

### 2.2 Signalgeber

Einige Beispiele sind bereits erwähnt worden. An Stelle einer Aufzählung der vielen in Frage kommenden Geber sei hier auf die Verschiedenartigkeit der von den Gebern gelieferten und von den Eingängen der Schaltungseinheiten zu verwertenden Signale hingewiesen.

In vielen Fällen ist der Geber ein veränderlicher Widerstand: Photowiderstand (auch Photodiode), temperaturabhängiger Widerstand, Potentiometer, Steuerkontakt. Die Schaltung muss nun so ausgelegt sein, dass wahlweise im hochohmigen Zustand des Geberwiderstandes (Steuerkontakt offen, Photowiderstand oder Photodiode dunkel, Temperaturfühler kalt) oder im niederohmigen Zustand (Kontakt geschlossen, Photowiderstand oder -diode hell, Temperaturfühler warm) der Ausgangsstrom fließt und also z. B. ein angeschaltetes Relais angezogen ist.

Das Gebersignal kann niederohmig oder hochohmig sein und schnell oder langsam ändern. Für allgemeine Verwendbarkeit wird man die Schaltung so auslegen, dass der Eingang mit geringer Signalleistung (bei-

spielsweise 100  $\mu$ W) und auch kleiner Signalspannung auskommt und gleichstromgekoppelt ist. Wenn nötig können Spannungsteiler oder Kopplungskondensatoren ausserhalb der Schaltungseinheit vorgeschaltet werden.

### 2.3 Gemeinsame Eigenschaften

Gleiche Eigenschaften der verschiedenen Einheiten sind für das Typenprogramm als Ganzes zweckmässig und mindestens in folgenden Punkten anzustreben:

**Speisespannung.** Es kommt praktisch nur das Einbatteriesystem in Frage, also die Verwendung einer einzigen Speisespannung, die im Bereich von ungefähr 20...60 V liegen soll. Entweder ist nämlich der Umfang des gesamten Gerätes klein, und dann soll auch die Speisung einfach sein, oder dann werden die Schaltungseinheiten in grösseren Relaisystemen verwendet und haben sich der dort vorhandenen einzigen und im angegebenen Bereich liegenden Speisespannung anzupassen. Aus dem selben Grunde erweist es sich als zweckmässig, die Schaltungen so zu entwerfen, dass sie nicht auf gut geglättete Speisespannungen angewiesen sind, sondern auch mit der in Relaisanlagen häufigen Halbwellenspeisung betrieben werden können. Über eingebaute Glättungsglieder werden jene Schaltungsteile gespeist, die an Halbwellen nicht arbeiten können. Man umgeht auf diese Weise die Notwendigkeit, die Glättungsglieder so kräftig zu dimensionieren, dass sie auch den Ausgangsstrom und somit den möglicherweise stark schwankenden Gesamtstrom liefern kön-



nen. — Bei Berücksichtigung all dieser Gesichtspunkte ergibt sich eine Konzeption, die in den meisten Anwendungsfällen angenehm und preislich günstig ist. Die zulässigen Speisespannungen liegen beispielsweise in den Bereichen 24...48 V Halbwellen oder 12...60 V geglättete Gleichspannung ( $\leq 10\%$  Restwelligkeit), wobei die einmal gewählte Spannung um  $\pm 15\%$  variieren darf.

**Ausgangsstrom bzw. Ausgangsleistung.** Die maximal zur Verfügung stehende Ausgangsleistung ergibt sich als Produkt von maximal zulässigem Ausgangsstrom und Speisespannung. Um an den verschiedenen Schaltungseinheiten als Last denselben Relais typ verwenden zu können (vereinfachte Lagerhaltung), sollen die Einheiten ungefähr denselben maximalen Ausgangsstrom haben, dessen Wert typischerweise 50 mA beträgt (siehe auch 3.3).

**Umgebungstemperaturbereich.** Vor allem bei Transistoren, Dioden und einigen Kondensatoren sind die minimale und maximale Betriebstemperatur zu beachten. Es sind heute Transistorschaltungen möglich, die im Bereich von  $-30$  bis über  $+100^\circ\text{C}$  einwandfrei arbeiten, doch dürfte der dafür nötige Aufwand in den meisten Anwendungsfällen von «Transistorrelais» nicht gerechtfertigt sein. Der praktische Bereich der Umgebungstemperatur erstreckt sich von ungefähr  $-10$  oder  $-20^\circ\text{C}$  bis  $+60^\circ\text{C}$ .

**Konstruktiver Aufbau.** Neben der selbstverständlichen Forderung nach geringem Platzbedarf ist für die verschiedenen Einheiten, soweit es möglich und sinnvoll ist, dieselbe Bauform anzustreben. Oft wird eine steckbare Ausführung (mit handelsüblichem Sockel) als günstig erachtet; sie bietet den Vorteil einfacher Befestigungsmöglichkeit und erlaubt ausserdem, die Verdrahtung der Anlage ohne die Einheiten fertig zu stellen (Fig. 2). Elektrisch einfachere Einheiten mit weniger Aufwand werden auch in einer auf das angesteuerte Relais aufschraubbaren Bauform geliefert. Die elektronische Schaltung wird von den meisten Herstellern solcher Einheiten als geätzte Schaltung fabriziert. Um schädlichen Feuchtigkeitseinflüssen vorzubeugen, werden die geätzte Schaltung und die montierten Komponenten mit einem Schutzlack bedeckt.

**Verwendete Komponenten.** Auch in dieser Hinsicht ist möglichst eine Einheitlichkeit im ganzen Typenprogramm anzustreben. Das an sich wünschenswerte Bestreben des Entwicklers, an jedem Punkt die technisch und preislich günstigste Komponente einzusetzen, muss nötigenfalls eingeschränkt werden. Nur so lässt sich eine rationelle Fertigung des gesamten Typenprogramms (Eingangsprüfung, Lagerhaltung, Arbeitsvorbereitung, Fabrikationsvorgang selbst) erzielen.

### 3. Gliederung der Schaltung

Einige der Schaltungen sind sehr einfach und enthalten im wesentlichen z. B. nur zwei Transistoren und einige Widerstände (eine Verstärkerstufe und die Ausgangsstufe). Für die Einheiten, die einen eigentlichen Funktionserzeuger enthalten (Schmitt-Trigger, monostabiler, bistabiler Multivibrator usw.), hat sich in den meisten Fällen die Gliederung in Eingangsstufe — Funktionserzeuger — wenn nötig eine oder mehrere Zwischenstufen (Treiber, Phasenkehrer) — Ausgangsstufe als zweckmässig erwiesen. Die einzelnen Stufen können bei einer solchen Aufteilung günstiger dimensioniert werden, als wenn z. B. der Funktionserzeuger

direkt das Lastrelais ansteuern sollte. Der etwas grössere Aufwand kann auch durch eine vielseitigere Verwendbarkeit der Einheit gerechtfertigt sein. Es gilt hier, wie bereits erwähnt, eine für Anwender und Hersteller wirtschaftliche Lösung zu finden.

#### 3.1 Eingangsstufe

Wird ein Silizium-Transistor verwendet, so können auch hochohmige Signalgeber verwendet werden, ohne dass dem Schaltungseingang ein niederohmiger Abschlusswiderstand parallel geschaltet werden müsste. Man umgeht so eine unerwünschte Erhöhung des notwendigen Signalstromes. Wenn der Geber im Zustand kleinen Signalstromes noch immer mehr Strom abgibt, als der Eingang für das Umschalten benötigt (z. B. Photowiderstand), so ist mit einem Spannungsteiler potentialmässig das Eingangssignal auf einen genügend kleinen Wert zu bringen (siehe z. B. Fig. 6). Zwecks allgemeiner Verwendbarkeit werden solche Spannungsteiler — und auch Vorwiderstände — nicht in die Einheit eingebaut, sondern je nach Bedarf aussen angebracht.

#### 3.2 Funktionserzeuger

Verwendete Schaltungen und Komponenten und die erzielten Daten hängen abgesehen vom technischen Können des Entwicklers von der Wichtigkeit ab, die vom Hersteller den verschiedenen in Betracht kommenden Gesichtspunkten beigemessen wird. Einige Beispiele sind in Abschnitt 4 erwähnt.

#### 3.3 Ausgangsstufe

Während bei gewissen Schaltungseinheiten die Eingangsstufe und teilweise auch Transistoren im Funktionserzeuger langsam durch ihren Arbeitsbereich ge-

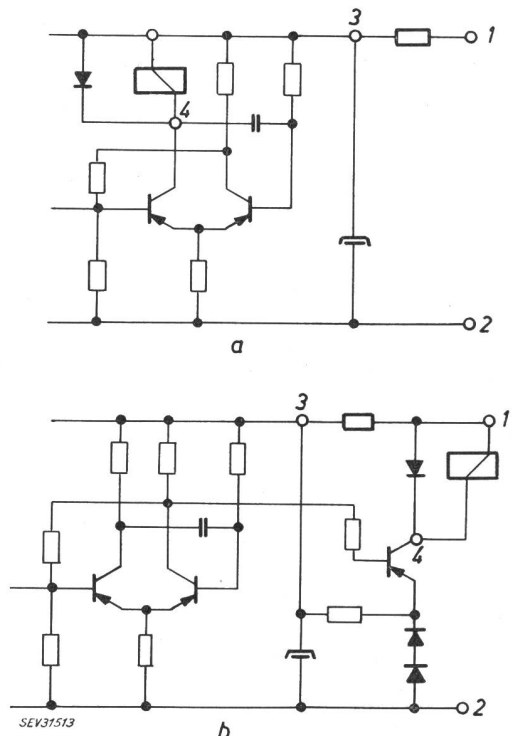


Fig. 3

Ausgang der Schaltungseinheit

a Last am Funktionserzeuger; b separate Ausgangsstufe  
1 Minuspol der Speisung; 2 Pluspol der Speisung; 3 innerer Speisepunkt, geglättete Spannung; 4 Ausgangsklemme

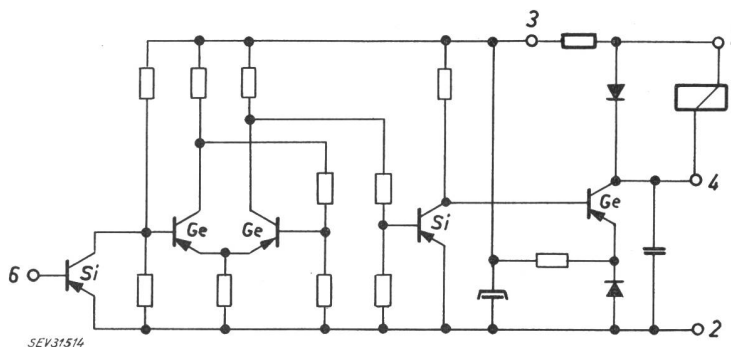
Fig. 4  
Kippverstärker  
6 Eingangsklemme  
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 3

steuert werden können, wird der Ausgangstransistor stets als gesteuerter Schalter betrieben. Dadurch ist ein eindeutiges Ein- und Aus-Schalten des Lastrelais gewährleistet, und ausserdem kann dann bekanntlich für gegebene Ausgangsleistung ein kleinerer Transistortyp verwendet werden.

Zur Frage, ob in Einheiten die einen Flip-Flop oder einen ähnlichen Funktionserzeuger enthalten, einer gesonderten Ausgangsstufe gegenüber der Lösung mit dem Lastrelais im Kollektor eines Transistors des Funktionserzeugers der Vorzug zu geben sei, sind folgende Punkte zu beachten (Fig. 3):

Eine separate Ausgangsstufe hat den Nachteil eines grossen Unterschiedes im Speisestrom zwischen den Zuständen von ein- und ausgeschaltetem Relais. Ein Vorwiderstand zwischen dem Punkt 1 und dem Speiseteil kann daher nicht verwendet werden. Die Speisespannung hat somit in den für den Ausgangstransistor zulässigen Grenzen zu bleiben. Heute zu brauchbaren Preisen erhältliche Transistoren mit einer maximal zulässigen  $U_{cew} \lesssim 100$  V erlauben Speisespannungen von ca. 70 V geglättete Gleichspannung oder 48 V Halbwellen (Mittelwert), beides mit einer zulässigen Überspannung von 15 %. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass im 1-Batteriesystem eine saubere Sperrung des Ausgangstransistors nur mit besonderen Mitteln möglich ist, z. B. mit den in Fig. 3b gezeigten Dioden. Ein Widerstands-Spannungsteiler an ihrer Stelle wäre unzweckmässig, wegen des grossen Verlustes an möglicher Ausgangsspannung und -leistung im leitenden Zustand des Ausgangstransistors. Schliesslich muss auch noch beachtet werden, dass eine solche Ausgangsstufe einen gewissen zusätzlichen Aufwand bedeutet.

Diesen Punkten stehen einige Vorteile gegenüber: Die Glättung der (Halbwellen-) Speisung braucht nicht für den Gesamtstrombedarf, sondern nur für den Anteil von Funktionsgeber und allfälligen Vorstufen dimensioniert zu sein. Dies ist ungefähr ein Viertel des maximalen Gesamtstrombedarfs. Weiter wird in der Schaltungseinheit weniger Verlustleistung erzeugt, weil der Funktionsgeber auf niedrigerem Leistungspegel arbeitet. Mit dem Relais direkt am Funktionsgeber wird bei abgefallenem Relais im Kollektorwiderstand des Partnertransistors auch bei einer — im übrigen unerwünschten — unsymmetrischen Dimensionierung des Funktionsgebers eine mit der Ausgangsleistung vergleichbare Verlustleistung erzeugt, die vor allem



bei einer gedrängten Bauform der Einheit zu unerwünschten Temperaturerhöhungen führen kann. Die Verwendung einer getrennten Ausgangsstufe ermöglicht optimale Dimensionierungen der verschiedenen Funktionsgeber und dennoch gleiche Ausgangsdaten der Einheiten eines Typenprogramms. Schliesslich sei noch erwähnt, dass bei Verwendung von 48 oder 60 V Speisespannung an Stelle von 24 V eine grössere Ausgangsleistung zur Verfügung steht, ohne dass die innere Schaltung an der höheren Spannung betrieben werden muss. Ein Abwägen dieser Vor- und Nachteile führt zum Schluss, dass für Schaltungseinheiten eines vielseitig verwendbaren Typenprogramms die getrennte Ausgangsstufe vorzuziehen ist, während in Einzelfällen u. U. die andere Lösung vorteilhafter sein mag.

Zwischen den Ausgangsklemmen, an denen die Last angeschlossen wird, ist (in die Einheiten eingebaut) eine Diode vorzusehen, damit beim Ausschalten induktiver Lasten keine für den Ausgangstransistor unzulässig grossen Spannungsspitzen auftreten.

#### 4. Beispiele von Schaltungseinheiten

##### 4.1 Verstärker für Kontaktschutz

Die Schaltungen sind einfach, z. B. ein zweistufiger Verstärker besteht aus einem Ausgangstransistor mit einer Vorstufe. Als Signalgeber können Kontaktinstrumente, Kontaktthermometer, Kontaktchronometer und andere elektrische Feinkontakte verwendet werden, ferner auch Kontakte, die aus Gründen des Explosionsschutzes nur sehr kleine, für zündfähige Funken nicht ausreichende Leistungen schalten sollen (eigensichere Ausführungen). Die nötigen Steuerströme betragen je nach Typ 50...500  $\mu$ A, bei einigen Fabrikaten bis 1 mA, so dass jedenfalls ein wirksamer Kontaktschutz und somit ein langer zuverlässiger Betrieb des feinen Steuerkontaktes gewährleistet ist.

##### 4.2 Kippverstärker

Kippverstärkereinheiten eignen sich gut für die Ansteuerung durch langsam variierende Gebersignale (z. B.

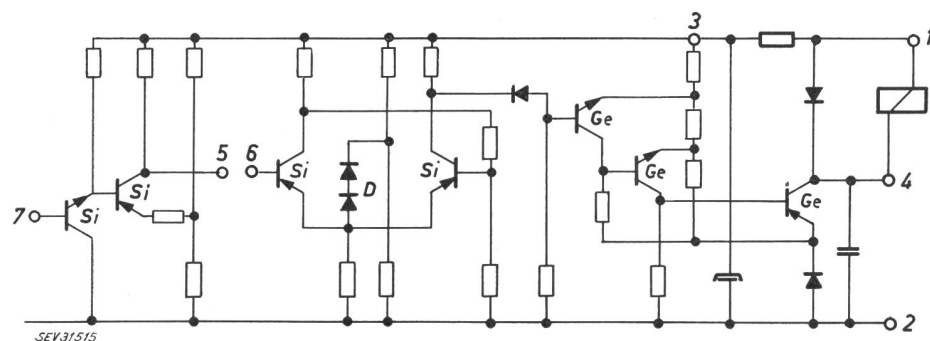


Fig. 5  
Temperaturkompensierter  
Kippverstärker  
5, 6, 7 Bezeichnung siehe im Text  
Weitere Bezeichnungen siehe  
Fig. 3 und 4

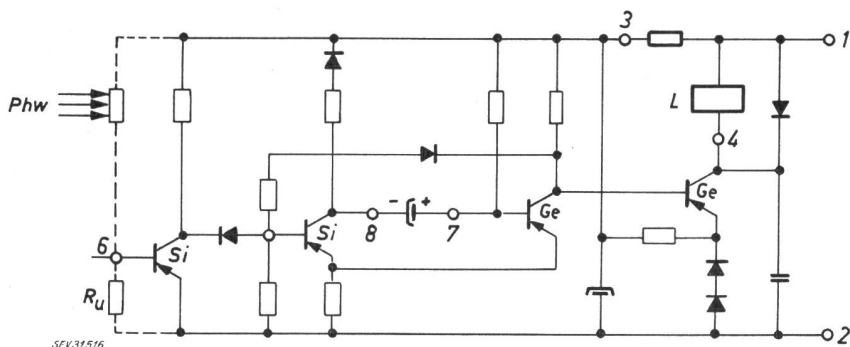


Fig. 6  
Impulserzeuger  
Phw Photowiderstand;  $R_u$  Spannungsteilerwiderstand; L Last; 7, 8 Anschlussklemmen für den  $T_1$ -bestimmenden externen Kondensator  
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 3 und 4

Photowiderstände, Temperaturfühler). Ein Schmitt-Trigger (als Funktionserzeuger) gewährleistet bei beliebig langsam änderndem Eingangssignal ein eindeutiges Kippen des Ausgangssignales. Massgebende Eigenschaften sind die Eingangsempfindlichkeit, die Hysterese (Unterschied zwischen Ein- und Ausschalt-niveau, spannungsmässig oder strommässig) und die Temperaturstabilität der Ein- und Ausschalt-niveaus.

Die Schaltung nach Fig. 4 enthält eine nicht temperaturstabilisierte Eingangsstufe. Die Hysterese an der Eingangsklemme liegt in der Grösse von 5...10 mV, da die Hysterese des Schmitt-Triggers selbst (ungefähr 200 mV) um den Spannungsverstärkungsfaktor der Eingangsstufe reduziert wird. Der für das Kippen der Schaltung nötige Eingangsstrom ist  $\leq 80 \mu\text{A}$  bei einem Spannungspegel von  $\approx 0,5 \text{ V}$ . Bei Spannungssteuerung wirkt sich der Temperaturgang von  $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  der Emitter-Basisstrecke des Eingangstransistors voll aus; bei hochohmiger Steuerung ist dies beim Temperaturgang des Stromverstärkungsfaktors der Fall. Eine solche Schaltung ist also nicht als präziser «Niveauschalter» zu verwenden, sondern nur in jenen Fällen, wo das Signal von einem deutlich unterhalb zu einem deutlich oberhalb des Kippniveaus liegenden Wert langsam sich ändert und der genaue Schaltpegel nicht interessiert.

Die Schaltung nach Fig. 5 enthält zwei Temperaturkompensationen. Die Dioden  $D$  kompensieren den  $U_{eb}$ -Temperaturgang des Schmitt-Triggers. Wenn eine grössere Hysterese (ca. 500 mV) am Eingang wünschenswert ist, kann die Einheit direkt an Klemme 6 angesteuert werden; der nötige Signalstrom beträgt ungefähr  $100 \mu\text{A}$ , die restliche Temperaturdrift  $\approx 0,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  (bei Spannungssteuerung). Bei kurzgeschlossenen Klemmen 5—6 kann man auch über die Eingangsstufe ansteuern. Ihre beiden Komplementärtransistoren sind so geschaltet, dass sie sich die  $U_{eb}$ -Temperaturgänge weitgehend kompensieren (auf ebenfalls  $\approx 0,3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ). Die Hysterese beträgt an Punkt 7 ungefähr 60 mV, der nötige Eingangsstrom ungefähr  $50 \mu\text{A}$ . Die npn-Stufen zwischen Schmitt-Trigger und Ausgangstransistor erleichtern die Ankopplung und die Dimensionierung auf konstanten Speisestrom. Als Spannungswächter eingesetzt kann diese Schaltung z. B. ein 50-V-Niveau auf  $\pm 0,5...1 \text{ V}$  genau in einem Temperaturbereich von  $0...50^\circ\text{C}$  überwachen.

### 4.3 Impulserzeuger

Bei Auslösung durch einen Eingangsimpuls erzeugt die Schaltung einen Ausgangsimpuls der Dauer  $T_1$ . An den meisten derartigen Einheiten ist diese Dauer durch äussere Beschaltung mit einem Widerstand und einem Kondensator wählbar. Je nach Typ und Schaltungsart können Werte von  $\approx 30 \text{ ms}... \approx 500 \text{ s}$  erreicht werden.

Als Funktionserzeuger werden verschiedene Schaltungen angewendet. Verglichen mit einem Schmitt-Trigger mit Kondensatoraufladung gibt ein monostabiler Multivibrator bessere Unabhängigkeit der Impulsdauer von Speisespannungs- und Temperaturschwankungen. Günstige Lösungen (grosse  $T_1$  mit kleinem Temperaturgang) sind auch bei Verwendung von Unijunction-Transistoren im zeitbestimmenden Teil der Schaltung zusammen mit gewöhnlichen Transistoren möglich.

Die Schaltung nach Fig. 6 zeichnet sich durch grosse Vielfalt der möglichen Ansteuerungen und funktionellen Zusammenhänge aus. Das Auslösesignal kann ein kurzer oder langer Impuls mit steilen oder beliebig flachen Flanken sein. Als Signalgeber kommen somit Kontakte (Arbeits- oder Ruhekontakte), Photodioden oder Photowiderstände (Hell- oder Dunkeltasten) usw. in Frage. Wird der Eingangsimpuls an Klemme 6 gegeben, so erzeugt die Schaltung einen Ausgangsimpuls der Dauer  $T_1$ , unabhängig davon, ob der Eingangsimpuls kürzer oder länger ist als  $T_1$ . Bei Ansteuerung an Klemme 7 ist die Dauer des Ausgangsimpulses ebenfalls gleich  $T_1$ , falls der Eingangsimpuls kürzer ist als  $T_1$ ; wenn der Eingangsimpuls länger ist als  $T_1$ , so ist der Ausgangsimpuls gleich lang wie der Eingangsimpuls (Fig. 7). Die gezeigte Schaltung ist geeignet für  $T_1$ -Werte von  $\approx 30 \text{ ms}$  bis einige Sekunden. Die nach beendetem Ausgangsimpuls vor neuer Auslösung abzu-

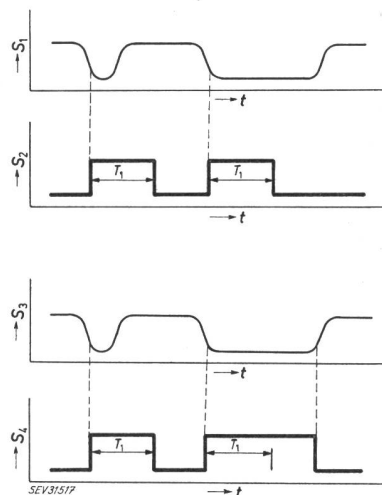


Fig. 7  
Zeitliche Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangssignal in der Schaltung von Fig. 6  
 $S_1$  Eingangssignal an Klemme 6;  $S_2$  zu  $S_1$  gehörendes Ausgangssignal;  $S_3$  Eingangssignal an Klemme 7;  $S_4$  zu  $S_3$  gehörendes Ausgangssignal;  $t$  Zeit;  $T_1$  Impulsdauer des Funktionserzeugers (monostabiler Multivibrator), sofern er nicht durch ein längeres, an die Klemme 7 gleichstromgekoppeltes Eingangssignal festgehalten wird

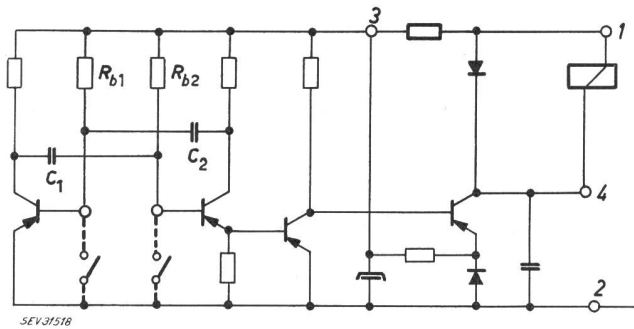


Fig. 8

#### Impulsgenerator

$R_{b1}$ ;  $R_{b2}$   $C_1$ ;  $C_2$  die Impulslänge bzw. das Impulsintervall bestimmenden Widerstände und Kondensatoren

wartende Erholungszeit beträgt  $\approx 70\%$  von  $T_1$ . Treten innerhalb  $T_1$  mehrere Eingangsimpulse auf (z. B. prelender Steuerkontakt), so hat das keine besondere Wirkung auf die Schaltung, und es entsteht trotzdem ein normaler Ausgangsimpuls.

Wird der Germanium-Transistor in der monostabilen Stufe von Fig. 6 durch eine Darlington-Schaltung zweier Silizium-Transistoren ersetzt und die dadurch nötige Umdimensionierung vorgenommen, so sind Impulsdauern bis einige 100 s erreichbar bei einer Temperaturstabilität von  $\Delta T_1/T_1 < \pm 5\%$  im Bereich  $-10...+60^\circ\text{C}$  (sofern nicht der zeitbestimmende Kondensator grössere Änderungen verursacht). Die Erholungszeit liegt in diesem Falle in der Größenordnung von  $5\%$  oder bei geringem zusätzlichem Schaltungsaufwand  $0,5\%$  von  $T_1$ .

#### 4.4 Zeitverzögerungsschaltung («Zeitrelais»)

Bei der Erzeugung einer Zeitverzögerung (Anzug- oder Abfallverzögerung) gelten dieselben Gesichtspunkte wie bei der Impulserzeugung. Auch hier werden verschiedenartige Schaltungen angewendet, und massgebend sind wiederum die erzielbaren Zeiten und deren Speisespannungs- und Temperaturstabilität, so dass monostabile Multivibratoren (mit Siliziumtransistoren) oder Schaltungen mit Unijunction-Transistoren vorteilhaft sind. Die Daten entsprechen den Angaben in Ziff. 4.3. Normalerweise sind für Signalgeber Steuerkontakte vorgesehen.

#### 4.5 Impulsgenerator

Ein astabiler Multivibrator (Fig. 8) erzeugt eine Impulsfolge deren Frequenz und Impuls-Intervall-Verhältnis durch Wahl der Zeitkonstanten  $R_{b1}C_2$  und  $R_{b2}C_1$  bestimmt werden. Bei Relais-Last liegt die maxi-

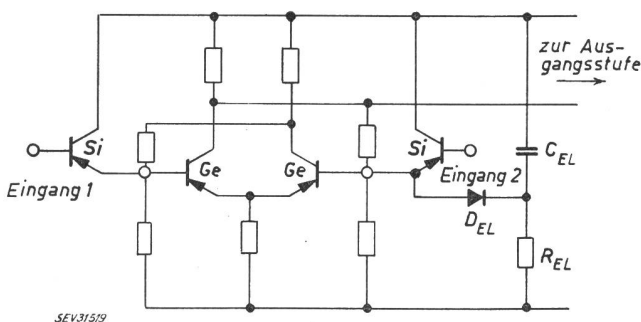


Fig. 9

#### Speicher

Bezeichnungen siehe im Text

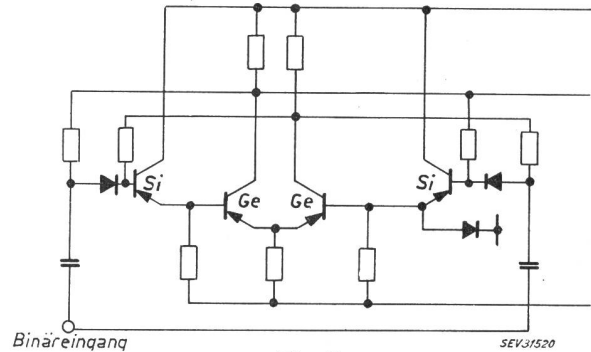


Fig. 10

#### Untersetzer

male Frequenz je nach Relais typ bei  $10... \approx 50$  Hz; die Grenzfrequenz der Schaltung selbst beträgt bei den für diesen Zweck eingesetzten Transistoren  $50...100$  kHz. In Richtung tiefer Frequenzen gibt es grundsätzlich keine Beschränkung. In der einfachen Schaltung nach Fig. 8 sind die maximal zulässigen Widerstände  $R_b \approx 200$  k $\Omega$ , woraus sich z. B. mit  $C = 200$   $\mu\text{F}$  eine Frequenz von  $0,018$  Hz ergibt ( $\approx 1$  Impuls/min). Der Variationsbereich des Impuls-Intervall-Verhältnisses hängt von der verlangten Temperatur- und Langzeitstabilität und von der Grösse der Stromverstärkungsfaktoren der Transistoren des astabilen Multivibrators ab: Für  $< 0,1\%$   $^\circ\text{C}$ -Temperatureinfluss auf die Frequenz und bei  $h_{FEmin} = 10$  erreicht man  $\approx 5...^{1/5}$ , bei  $h_{FEmin} = 50$  ungefähr  $25...^{1/25}$ . Können merklich grössere Temperatureinflüsse in Kauf genommen werden, so ist ein Variationsbereich von  $\approx 20...^{1/100}$  möglich.

Mit Steuerkontakten kann die Schwingung des Multivibrators unterdrückt und dadurch die Impulsfolge solange einer der Kontakte geschlossen ist unterbrochen werden, wobei der Ausgang entweder Dauerstrom führen oder stromlos sein kann.

#### 4.6 Speicher, Untersetzer

Der Funktionsgeber ist ein bistabiler Multivibrator mit beidseitigen Eingangsstufen, der bei Anwendung als Speicher (Fig. 9) an zwei getrennten Eingängen, als Binär-Untersetzer (Fig. 10) vom Eingang über ein Signalleitwerk angesteuert wird.

Beim Speicher kippt Signal am einen Eingang die Schaltung in die eine Lage (so dass z. B. ein am Ausgang angeschlossenes Relais anzieht), die auch beibehalten wird, wenn das Eingangssignal verschwindet. Erst ein Signal am anderen Eingang kippt die Schaltung in die andere Lage. Folgt am einen Eingang auf ein erstes Signal ein zweites vor einem Signal am anderen Eingang, so behält die Schaltung die eingenommene Lage bei. Als Signalgeber kommen Feinkontakte, lichtempfindliche Elemente (Hell- oder Dunkelstasten), temperaturabhängige Widerstände, Potentiometer und magnetische Näherungsschalter [z. B. als Stellungsgeber für translatorische oder rotatorische Bewegungen (Endschalter)] in Frage, wobei an den beiden Eingängen ohne weiteres auch ungleiche Geber eingesetzt sein können. Zu beachten ist, dass die Eingangssignale an den beiden Eingängen nacheinander auftreten müssen. Das nötige Eingangssignal beträgt beispielsweise  $1,5$  V,  $100$   $\mu\text{A}$ .

An der Basis des einen oder anderen Flip-Flop-Transistors lässt sich die Einheit auch als Kippverstärker



(Schmitt-Trigger) mit das Nullpotential einschliessen der Hysterese betreiben, z. B. Einschaltniveau  $-20\text{ V}$ , Ausschaltniveau  $+20\text{ V}$ .

$R_{EL}$ ,  $C_{EL}$ ,  $D_{EL}$  in Fig. 9 erzwingen eine eindeutige Einschaltlage, indem beim Einschalten der Speisespannung der bistabile Multivibrator in jene Lage kippt, für die der Ausgangstransistor und damit die Last stromlos ist (sofern am linken Eingang kein Signal liegt und die volle Speisespannung innerhalb einer vorgeschriebenen Anstiegszeit erreicht wird).

Bei Verwendung als Untersetzter ist darauf zu achten, dass das Eingangssignal einen steilen Anstieg aufweist und prellfrei ist. Bei langsam ansteigendem, prellfreiem Signal müsste ein Kippverstärker, bei scharf ansteigendem und prellendem Signal ein Impulserzeuger vorgeschaltet werden.

### 5. Zusammenfassung

Relais haben gegenüber elektronischen Schaltungen einige beachtliche Vorteile: Galvanische Trennung zwischen Eingang und Ausgang; von einem Eingangskreis werden mehrere galvanisch getrennte Ausgangskreise gesteuert; der elektrische Unterschied im Ausgangskreis (Kontaktwiderstand) zwischen eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand ist sehr gross (Grössenordnung  $\approx 10\text{ m}\Omega/100\text{ M}\Omega$ ). Diese guten Eigenschaften möchte man auch in jenen Fällen ausnützen können, in denen das Relais direkt nicht einge-

setzt werden kann. Durch Vorschalten von transistorisierten Schaltungseinheiten erhält man verbesserte und auch neuartige Eigenschaften: Wesentlich erhöhte Empfindlichkeit, Kippverhalten auch bei langsam änderndem Steuersignal, Aufziehen des Relais auch mit sehr kurzen Steuersignalen, lange und stabile Anzug- und Abfallverzögerungen usw.

Um die Bedürfnisse industrieller Steuerungen, Überwachungen usw. erfüllen zu können, ist eine Typenreihe solcher Einheiten mit verschiedenen funktionellen Zusammenhängen zwischen Eingangs- und Ausgangssignal nötig. In den übrigen Eigenschaften (mögliche Speisespannung, Ausgangsdaten usw.) sollen die Einheiten möglichst übereinstimmen. Bei der Entwicklung der Einheiten sind nach Abklärung der wirklich nötigen technischen Daten zuverlässige Schaltungen zu wählen. Die Schaltungsdimensionierung hat insbesondere auch die Streuungen der Komponenteneigenschaften zu berücksichtigen, sowie die Forderung, die Komponenten weder elektrisch noch thermisch bis an die zulässigen Grenzen auszunützen.

Es hat sich gezeigt, dass bei Beachtung dieser Anforderungen ein betriebssicheres und rationell zu fabrizierendes Produkt entsteht, und dass mit einer solchen Typenreihe die meisten Anwendungsaufgaben gelöst werden können.

Adresse des Autors:

H. Schenkel, Dipl. Ingenieur ETH; Erni & Co., Brüttisellen (ZH).

## Schwall- und Sunkbeeinflussung durch Steuerung der Regulierbewegungen von Kaplan-Turbinen in Flusskraftwerken<sup>1)</sup>

Von G. Lanz, Brackwede

627.85 : 621.243.5—52

Die Bedeutung der Wasserstrassen für Verkehr und Transport ist allgemein bekannt. Sie tragen dazu bei, dass der Verkehr auf dem Lande entlastet wird. Aus diesem Grunde werden Wasserstrassen angelegt, Kanäle neu gebaut und Flüsse zu Kanälen erweitert. Dieser Ausbau der Flüsse, deren Schiffbarmachung und Kanalisierung, bringt für die Erbauer mannigfaltige Aufgaben. Ein Problem, das mit diesen Aufgaben zusammenhängt, soll das Thema dieser Abhandlung sein.

Bei der Schiffbarmachung von Flüssen werden zu meist Staustufen in den natürlichen Lauf des Flusses eingebaut, um eine Anhebung des Wasserspiegels und damit eine langsamere Fliessgeschwindigkeit des Wassers durch den so entstehenden grösseren Flussquerschnitt zu erreichen. Das Übersetzen der natürlichen Flusswassermenge von einer Staustufe zur anderen geschieht bei geringem Gefälle durch Stauwehre oder einfache Überläufe; bei grösseren Gefällen jedoch versucht man, die Wasserkräfte, die hier zwangsläufig entstehen, auszunützen. Deshalb baut man in die Staustufen Wasserkraftwerke mit einer oder mehreren Turbinen ein.

Bei der Kanalisierung eines Flusses ist natürlich die Schiffbarkeit und deren Erhaltung oberstes Gebot. Diesem Gebot müssen sich natürlich auch die in die Staustufen eingebauten Kraftwerke unterordnen. Die Erhaltung der Schiffbarkeit ist also die Bedingung für

die Steuerung der Kraftwerke. Die Kraftwerkbedingungen sind daher den Schiffsbedingungen unterzuordnen. Diese Schiffsbedingungen münden alle in die Forderung eines gleichmässigen Wasserdurchsatzes, d. h. die bei den Staustufen durchgesetzte Flusswassermenge soll möglichst gar nicht oder nur in sehr langen Zeitintervallen verändert werden. Würde man die Wassermenge sehr schnell sperren, so würde sich vor dem Stauwerk ein Schwall, hinter dem Stauwerk aber ein Sunk ausbilden. Schwall und Sunk und die dadurch entstehenden gegenläufigen Wellen gefährden nicht nur die Schifffahrt, sondern auch den Schleusenbetrieb an den Stauwerken und die Wasserbauten allgemein.

Nun sind es aber gerade die Kraftwerke, die in ihrem natürlichen Betrieb eine schnelle Veränderung der Wassermenge erforderlich machen. Wasserkraftwerke haben den Vorteil, dass man sie schnell anfahren und abstellen kann. Dieser Vorteil soll auch in den Flusskraftwerken möglichst erhalten bleiben. Solche Kraftwerke werden meistens als Laufkraftwerke ausgebaut, d. h. sie fahren parallel mit dem Netz, auch wenn man sie nur in Zeiten der Spitzenbelastung einsetzt. Das bedingt aber ein öfteres Anfahren und Abstellen der Maschinen, was mit Rücksicht auf die Wassermengenveränderung im Flusslauf so langsam geschehen muss, dass die Erhaltung der Schifffahrt stets gewährleistet ist. Die hier notwendig werdenden langen Stellzeiten für Lastauf- und -abnahme in Kraftwerken lassen sich auch bei dem er-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten an der 12. Tagung der Schweiz. Gesellschaft für Automatik in Zusammenarbeit mit dem SEV, am 3. Mai 1962 in Bern.