

D. RELAISBERECHNUNG

D.1. GRUNDSÄTZLICHE ERLÄUTERUNGEN

Jeder Kontaktsatz eines Relais hat für Ansprechen und Fehlstrom einen bestimmten Einsatzwert P_A in [p]. Die Summe Σ aller Einsatzwerte ΣP_A ergibt den Gesamteinsatzwert. In graphischen Darstellungen (siehe Anhang) sind für das Ovalrelais 46 die empirisch ermittelten Funktionen $\Theta_A = f(P_A)$ aufgezeichnet, so daß sich zu jedem Wert P_A der zugehörige Θ_A -Wert finden läßt, wobei $\Theta_A = AW$ -Zahl ist. Als Parameter ist der Eisenabstand δ , der sich aus Hub und Trennblech zusammensetzt, angegeben. Diese Θ_A -Größe wird mit einem Sicherheitsfaktor $s = 1,3$ bis $1,5$ multipliziert und bildet den Ausgangswert für die Bestimmung von Windungszahl w und Widerstand R der Relaispule.

Ebenso wie für das Ansprechen sind auch für das Halten Einsatzwerte P_H in [p] ermittelt worden. In den graphischen Darstellungen $\Theta_H = f(P_H)$ sind als Parameter die Vorerregung Θ_{vor} und die Dicke der Trennbleche mit $0,1$ bis $0,5$ mm angegeben. Bei den Haltewerten empfiehlt es sich, wenn möglich, mit einem guten Sicherheitszuschlag, $s \approx 2$, zu arbeiten.

Die Spulen müssen so festgelegt werden, daß sie bei 10% Unterspannung der Batterie und 10% Übertoleranz des Widerstandes die erforderliche Ansprech- bzw. Halte-AW-Zahl erhalten. Bei einer Fehlstrombedingung muß entsprechend mit 10% Überspannung und 10% Untertoleranz der Spule gerechnet werden. Außerdem ist ein Sicherheitsfaktor s zu berücksichtigen.

Beispiel:

Für ein Relais mit $0,9$ mm Hub und $0,1$ mm Trennblech, also $\delta = 1$ mm, wurde bei bestimmter Kontaktbestückung ein Einsatzwert von $P_A = 70$ p ermittelt. Im Kurvenblatt 1 des Anhangs „Anzugskraft als Funktion der Er-

regung $P_A = f(\Theta_A)$ “ liest man dazu bei $\delta = 1 \text{ mm}$ einen Wert $\Theta_A = 114 \text{ AW}$ ab. $\Theta_A \cdot s = 114 \cdot 1,3 \approx 150 \text{ AW}$. Als Haltekraft möge man für die gleiche Kontaktbestückung ein $P_H = 190 \text{ p}$ gefunden haben. Aus dem Kurvenblatt 2 „Haltekraft als Funktion der Halteerregung $P_H = f(\Theta_H)$ “ ermittelt man bei $0,1 \text{ mm}$ Trennblech und $\Theta_{\text{vor}} = 150 (120) \text{ AW}$ einen Wert $\Theta_H = 22 \text{ AW}$. $\Theta_H \cdot s = 22 \cdot 2 \approx 50 \text{ AW}$.

In den Kurvenblättern 5 und 6 des Anhangs sind die Wickelkurve $d = f(w, R)$, $d = \text{Drahtdurchmesser}$, $w = \text{Windungszahl}$, $R = \text{Widerstand}$ und die Prozentkurve $x = f(w\%, R\%)$ dargestellt. In beiden Kurven ist als Parameter die Dicke der Kurzschlußwicklung (0; 1; 2 und 3 mm) eingetragen. Diese Werte werden meistens in Tabellenform angegeben. Aus der Kurve $d = f(w, R)$ kann man in Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser d die Windungszahl w und den Widerstand R eines vollbewickelten Relais ablesen. Diese Kurven wurden auf doppeltlogarithmischem Papier aufgetragen, damit sich Geraden ergeben. Wird nur ein Teil der Wicklung verwendet, so ist aus der Kurve $x = f(w\%, R\%)$ der zu einem gewünschten R -Wert gehörende w -Wert – oder umgekehrt – in % abzulesen. In dieser Prozentkurve sind in Abhängigkeit von einer Prozentskala die Ohm- und Windungsprozente aufgetragen. Man erkennt, daß sich die Kurven mit stärker werdendem Kupfermantel immer mehr zusammenziehen. Bei $x = 100\%$ treffen sich alle Kurven und laufen dann wieder auseinander. Dieser Verlauf erklärt sich daraus, daß der Widerstand pro Windung am Kern geringer ist – Durchmesser klein – als bei vollbewickeltem Relais – Durchmesser groß. Der Verlauf der Kurven ist also durch die geometrischen Abmessungen des Wickelkörpers bestimmt. Zwischen zwei Wicklungen müssen jeweils 4% des Wickelraumes für Isolierzwischenlagen eingesetzt werden.

Beispiel: Es soll ein Relais mit folgenden Wickeldata gebaut werden:

- Wicklung I (12) 300Ω — 7000 Wdg. — $0,15 \text{ mm } \varnothing$ Kupfer-Lack,
- Wicklung II (56) 500Ω — 4200 Wdg. — $0,11 \text{ mm } \varnothing$ Kupfer-Lack.

Die in Klammern gesetzten arabischen Ziffern geben an, auf welche Lötstifte bzw. Löffahnen die Enden der einzelnen Wicklungen gelegt sind. Siehe auch unter B.2.1., die Erläuterungen zu Bild 62.

Aus der Wickelkurve entnimmt man, daß das vollbewickelte Relais bei

$$d = 0,15 \text{ mm CuL}; R = 490 \Omega \text{ und } w = 10000 \text{ Wdg.},$$

$$d = 0,11 \text{ mm CuL}; R = 1530 \Omega \text{ und } w = 16800 \text{ Wdg.}$$

hat.

$$d = 0,15 \text{ mm}; 7000 \text{ Wdg. von } 10000 \text{ Wdg.} =$$

$$70\% w \hat{=} 62\% R \text{ (aus der Prozentkurve),}$$

$$62\% R \text{ von } 490 \Omega = 304 \Omega \sim 300 \Omega,$$

für Isolation $\frac{4\% w}{74\% w} \hat{=} 66\% R$ (aus der Prozentkurve);

$d = 0,11 \text{ mm}$; 4200 Wdg. von 16800 Wdg. =

$$\frac{25\% w}{99\% w} \hat{=} 98,3\% R$$

$$\frac{- 66,0\%}{32,3\% R \text{ (aus der Prozentkurve)}}$$

$$32,3\% \text{ von } 1530 \Omega = 494 \Omega \sim 500 \Omega.$$

Wird ein Kupferdraht mit einem Widerstandsdraht verbunden, so kann nach der gleichen Rechenmethode weitergearbeitet werden. Die Widerstandswerte müssen nur durch einen Faktor $k_{\text{WdSS}} = \frac{\text{Widerstand des Wd}}{\text{Widerstand des Cu}} = 28$ dividiert werden. Ist z. B. die Windungszahl w zu einem vorgegebenen Widerstandswert $R = 5600 \Omega$ bei einem Drahtdurchmesser von $0,07 \text{ mm}$ gesucht, so erhält man $R' = \frac{5600}{28} = 200 \Omega$. Zu R' ist nun über die Wickel- und Prozentkurve, siehe Anhang, Kurvenblätter 5 und 6, für Kupferspulen die Windungszahl zu ermitteln.

Schaltzeiten und ihre Beeinflussung

Zwischen dem Schließen bzw. Öffnen der Stromkreise der aktiven Wicklungen der Relais und Wähler sowie ihrer Kontaktbetätigung liegt eine bestimmte Zeit. Man unterscheidet zwischen Anzugs- und Abfallzeit. Beide setzen sich aus der Anlauf- und der Umschlagszeit zusammen.

Die Anlaufzeit t_{anl} ist die Zeit vom Beginn der Stromein- oder Stromauschaltung der Wicklung bis zum Beginn der Ankerbewegung.

Die Umschlagszeit t_{um} ist die Zeit, die für das Umlegen des Ankers und damit der Kontakte benötigt wird.

Die Anzugs-(Ansprech-)Zeit t_{an} ist die Zeit vom Beginn des Stromflusses bis zur Betätigung – entweder Schließen oder Öffnen – eines Kontaktes.

Die Abfallzeit t_{ab} ist die Zeit von der Unterbrechung des Stromflusses bis zur Betätigung eines Kontaktes.

Die Schaltzeiten sind durch die elektrische und mechanische Trägheit des Relais bedingt. Wie bereits im Abschnitt „Relaisspule und magnetischer Kreis“ beschrieben wurde, steigt der Spulenstrom infolge des induktiven Verhaltens der Relaisspule nicht sprunghaft an, sondern wächst mit einer zeitlichen Verzögerung in einer mehr oder minder steilen Kurve auf den Endwert an, der

durch das Ohmsche Gesetz des Gleichstromkreises festgelegt ist. Das Umgekehrte geschieht beim Abschalten des Spulenstromes, wobei durch Selbstinduktion der Spule ein allmählich abklingender Induktionsstrom entsteht, der die Kontaktbetätigung noch kurzzeitig nach Abschalten des Spulenstromes aufrechterhält. Zu dieser jedem Relais anhaftenden elektrischen Verzögerungszeit kommt noch eine mechanische Verzögerungszeit, die durch die Ankerbewegung (Ankerhub), Betätigung des Kontaktpimpels und der Auslenkung der Kontaktfedern in die Arbeits- oder Ruhelage bedingt ist. Die elektrische Trägheit eines Relais ist rechnerisch durch den Begriff der Zeitkonstanten $T = L/R$ definiert.

Die Anzugs- und Abfallzeiten lassen sich bei festgelegtem magnetischen Relaiskreis (Eisen, Eisenquerschnitt, Länge des magnetischen Weges der Kraftlinien, Streuung usw. und gegebene Kontaktbestückung) durch folgende Mittel beeinflussen:

- a) Dicke des Trennbleches,
- b) Druckfedern,
- c) Windungszahl der Spule,
- d) Kupferdämpfung.

a) Das Trennblech soll das Klebenbleiben des Ankers am Kern nach dem Abschalten des Stromes verhindern; es wird aus unmagnetischen Werkstoffen und in verschiedenen Dicken hergestellt, die in der Tabelle unter B.2.2. angegeben sind.

Die Dicke des Trennbleches bestimmt die Größe des Luftspaltes zwischen Anker und Kern, und zwar nicht nur im angezogenen Zustand, sondern auch im Ruhezustand. Damit jedoch der Ankerhub – Weg des Ankers zwischen Ruhelage und Arbeitslage – bei den Ovalrelais unabhängig von der Dicke des Trennbleches immer gleich ist, wird der Ankerwinkel entsprechend der jeweils verwendeten Trennblechdicke verändert. Bei einem Relais mit 0,3 mm Trennblech besteht der Luftspalt aus dem Ankerhub $+ 0,3$ mm, bei 0,1 mm Trennblech aus Ankerhub $+ 0,1$ mm. Der Luftspalt stellt die magnetisch wirksame Strecke zwischen Joch und Anker dar, er soll möglichst klein sein, weil er den magnetischen Kraftlinien in der Luft einen erheblich höheren Widerstand als im Eisen bietet.

Die Trennblechdicke beeinflusst in gewissen Grenzen die Funktionen des Relais. Ein dickes Trennblech bewirkt wegen des größeren Luftspaltes und des damit verknüpften magnetischen Widerstandes eine etwas längere Zeit bis zur Kontaktbetätigung und eine kürzere Zeit bis zum Ankerabfall als ein dünnes Trennblech.

b) Durch die Anwendung von Druckfedern, die wie normale Kontaktfedern auf dem Relaisjoch angebracht werden, jedoch nicht zur Kontakt-

gabe dienen, kann ebenfalls ein gewisser Einfluß auf die Relaiszeit ausgeübt werden. Den Druck dieser Federn muß der Anker beim Anzug zusätzlich überwinden, so daß daraus eine Anzugsverzögerung resultiert. Wird bei angezogenem Anker der Spulenstrom eines mit Druckfedern bestückten Relais abgeschaltet, so erreicht der Anker sehr schnell seine Ruhelage, da er durch den Druck dieser Federn zusätzlich beschleunigt wird. Mit Druckfedern läßt sich demnach beim Anzug eine Verzögerung, beim Abfall eine Beschleunigung des Relaisankers erzielen.

c) Die Windungszahl hat einen quadratischen Einfluß auf die Selbstinduktion der Spule, d. h., bei doppelter Windungszahl vervierfacht sich die Selbstinduktion. Es treten Unterschiede in den Schaltzeiten zweier Relais mit unterschiedlichen Windungszahlen auf. Für ein schnell anziehendes Relais (Prüfrelais, Stromstoßrelais) kommen demnach nur Relais mit relativ niedrigen Windungszahlen in Frage.

d) Ein Mittel, das besonders für die Abfallverzögerung eingesetzt wird, ist die Kupferdämpfung. Bei kupfergedämpften Relais wird über den Kern ein massives Kupferrohr geschoben, das von den Spulenwindungen umgeben wird (Bild 140). Beim Abschalten des Spulenstromes bricht das magnetische Feld zusammen, wodurch in dem Kupferrohr ein Induktions-

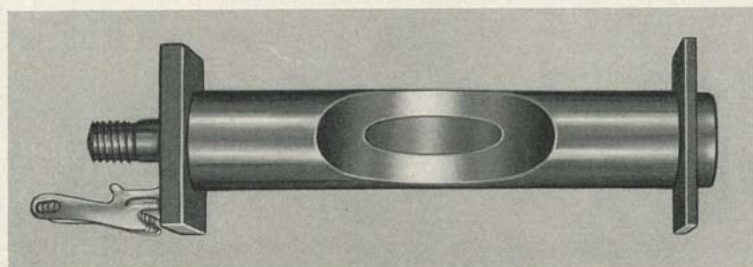


BILD 140
Relaiskern mit Kupfermantel

strom erzeugt wird (wegen der „freien“ Strombahnen auch als „Wirbelstrom“ bezeichnet), der den Relaisanker länger im angezogenen Zustand hält und damit den Abfall verzögert. Drei verschiedene Dicken des Kupferrohres sind üblich: 1 mm, 2 mm und 3 mm Dicke. Die Abfallverzögerung des Relais steigt mit der Dicke des Kupferrohres, weil die Induktionsströme einen größeren Querschnitt zur Verfügung haben und somit einen geringeren Wider-

stand erfahren. Die Mittelwerte der Abfallzeiten eines kupfergedämpften Relais 46 liegen zwischen 50 und 200 ms, wobei die jeweilige Windungszahl, die Dicke des Trennbleches und die Kontaktbelastung des Relais die Abfallzeit beeinflussen. Es ist zu beachten, daß jedes kupfergedämpfte Relais eine gewisse Anzugsverzögerung aufweist, weil beim Einschalten des Spulenstromes eine Gegeninduktion erzeugt wird, die durch den Kupfermantel begünstigt wird. Jedoch ist die Abfallverzögerung der kupfergedämpften Relais erheblich größer als ihre Anzugsverzögerung, die in der Regel nicht ausgewertet wird und nur bei schnellschaltenden Relais störend wirkt.

D.2. BERECHNUNG DER ANSPRECH- UND ABFALLZEITEN

In dem Kurvenblatt 3 des Anhanges ist die Abfallzeit als Funktion der Halteerregung $t_{ab} = f(\Theta_H)$ bei einer Vorerregung von 200 AW aufgetragen. Parameter sind die Kurzschlußwicklungen von 0; 1; 2 und 3 mm Dicke. Die Ermittlung der Halteerregung Θ_H wurde unter D.1. angegeben. In Θ_H sind alle die Zeit beeinflussenden Faktoren, wie Kontaktlast, Hub und Trennblech, enthalten.

Bei geringer Kontaktlast (kleinem Θ_H) werden relativ große Abfallzeiten erreicht, bei großer Kontaktlast (großem Θ_H) sinkt die Abfallzeit stark ab.

Beispiel: Es möge für eine bestimmte Kontaktbestückung ein Einsatzwert $P_H = 300 \text{ p}$ ermittelt worden sein. Im Kurvenblatt 2 „Haltekraft als Funktion der Halteerregung“ $P_H = f(\Theta_H)$ findet man z. B. beim Trennblech 0,2 mm und $\Theta_{vor} = 200 \text{ AW}$: $\Theta_H = 48 \text{ AW}$. Mit diesem Wert geht man in das Kurvenblatt 3 „Abfallzeit als Funktion der Halteerregung“ und ermittelt eine Abfallzeit $t_{ab} = 124 \text{ ms}$ bei 3 mm Cu-Rohr.

Martin Hebel¹ gibt für die Ermittlung der Relaisansprech- und Abfallzeiten Formeln an, die es gestatten, diese Zeiten zu berechnen. Der für die Berechnung der Abfallzeit erforderliche Wert $\frac{w^2}{R}$ kann dem Blatt 3 entnommen werden. Die Zeitkonstante der Kurzschlußwicklung wird damit:

$$T = k \cdot \frac{w^2}{R};$$

$k = \text{Relaiskonstante} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ bis } 5 \cdot 10^{-7}$ (siehe auch die Erläuterungen zu den Bildern 141 und 142).

¹ Lit. Das Fernmelderelais von Martin Hebel

D.3. BEEINFLUSSUNG DER ANSPRECHZEIT

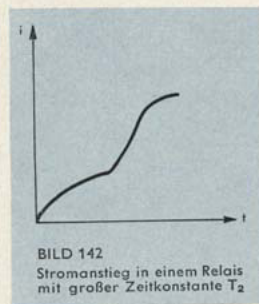
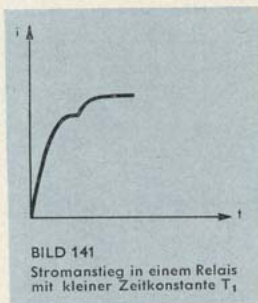
Zur Beeinflussung der Ansprechzeit sind folgende sehr unterschiedliche Schaltanordnungen gebräuchlich:

- Relais mit vielen und mit wenigen Windungen (große bzw. kleine Zeitkonstante),
- Relais mit Vorwiderstand,
- Relais mit Vorerregung,
- Relais mit sekundärer Kurzschluß- oder Dämpfungswicklung,
- Relais mit zwei parallelgeschalteten Wicklungen, die gegensinnig erregt werden,
- Relais mit Elektrolytkondensator und
- Hitzdrahtfedersatz (Thermorelais).

Verschiedene Verzögerungsanordnungen ergeben nur dann auswertbare Verzögerungen, wenn man mit geringer Stromsicherheit arbeitet. Die Kontaktgabe ist dann unsicher, weil der Anker verhältnismäßig langsam angezogen wird.

a) Relais mit vielen und mit wenigen Windungen

Die Bilder 141 und 142 zeigen den Stromanstieg in einem Relais mit kleiner Zeitkonstante T_1 und großer Zeitkonstante T_2 . Der Stromanstieg ist im ersten Fall steiler, der Ansprechwert des Relais ist früher erreicht. Da die Zeitkonstante $T = \frac{L}{R}$ und $L = k \cdot w^2$ ($k = \text{Konstante}$) ist, ergibt sich $T = k \cdot \frac{w^2}{R}$. Die Konstante wurde empirisch ermittelt $k = 2 \cdot 10^{-7}$ bis $5 \cdot 10^{-7}$.



Im Bild 143 ist bei konstantem Wickelraum die Funktion $w = f(R)$ aufgetragen. Man erkennt, daß die Funktion im oberen Teil exakt, im unteren angenähert parabelförmig verläuft. Das bedeutet, daß das vollbewickelte Relais fast eine vom Drahtdurchmesser und der Windungszahl unabhängige Zeitkonstante hat (siehe auch Tafel VI). Bei größerem Durchmesser ist der Füllfaktor kleiner, darum weicht T etwas ab.

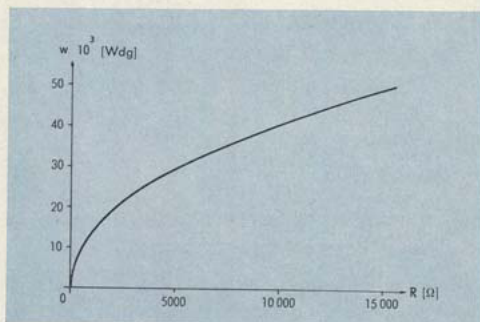


BILD 143
Abhängigkeit der Windungszahl w vom Widerstand R
 $w = f(R)$

Die Gleichung einer Parabel ist:

$$w^2 = 2p \cdot R$$

$2p$ = Parameter der Parabel. w^2 ergibt in die Gleichung

$$T = k \cdot \frac{w^2}{R} \text{ eingesetzt: } T = k \cdot \frac{2p R}{R} = k \cdot 2p = \text{konstant.}$$

Will man ein Relais schnell zum Anzug bringen (Bild 141), so ist ein kleines Verhältnis $\frac{w^2}{R}$ erforderlich, etwa $3 \cdot 10^4$ bis $7 \cdot 10^4$. Das erreicht man dadurch, daß nur ein Teil des Wickelraumes ausgenutzt wird.

Beispiel: Eine Spule erhält $w = 3400$ Wdg. Cu-Draht mit einem Durchmesser $d = 0,11$ mm. Laut Wickel- und Prozentkurve (Anhang, Kurvenblätter 5 und 6) ergibt das einen Widerstand von $R = 210 \Omega$. Damit erreicht man ein Verhältnis

$$\frac{w^2}{R} = 5,5 \cdot 10^4.$$

Bei vollbewickelter Spule $w = 16800$ Wdg. und $R = 1530 \Omega$ ergibt sich bei gleicher Anzugserrgung

$$\frac{w^2}{R} = 18,4 \cdot 10^4.$$

d	w	R	$p \cdot 10^3$	$\frac{w^2}{R} \cdot 10^4$
[mm]	[Wdg.]	[Ω]	[Wdg ² / Ω]	[Wdg ² / Ω]
0,50	1180	5,2	134	26,8
0,30	3150	38,5	129	25,8
0,22	4950	110	110	22,2
0,15	10000	490	102	20,4
0,11	16800	1530	92	18,4
0,08	30500	5300	88	17,6
0,07	37000	8300	82	16,5
0,06	50000	15300	81,6	16,35

TAFEL VI

Das Oszillogramm im Bild 144 zeigt in Schleife ① das Verhalten eines Arbeits-, in Schleife ② eines Ruhekontaktes und in Schleife ③ den Stromanstieg eines Relais mit vielen Windungen.

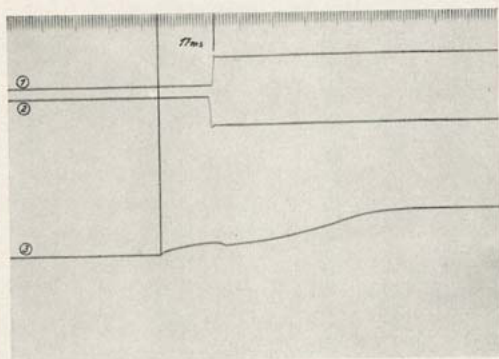


BILD 144

Oszillographische Aufzeichnung des Verhaltens eines Arbeitskontaktes (Schleife 1), eines Ruhekontaktes (Schleife 2) und des Stromanstieges (Schleife 3) eines Relais mit vielen Windungen

b) Relais mit Vorwiderstand

Durch Vorschalten eines Widerstandes R_v kann die Ansprechzeit t_{an} eines Relais verändert werden. Die Ansprechzeit t_{an} ist von der Zeitkonstante T abhängig. Diese ist (siehe Relaisanordnung, Bild 145):

$$T = \frac{L}{R + R_v} = k \frac{w^2}{R + R_v}$$

Mit größer werdendem Vorwiderstand R_v wird zwar der Ausdruck $\frac{w^2}{R + R_v}$ kleiner, gleichzeitig wird aber k größer, weil mit kleiner werdender Vor-

erregung die Permeabilität, die in k enthalten ist, zunimmt, so daß der Gesamtausdruck T größer wird. Im Bild 145 ist die Ansprechzeit t_{an} in Abhängigkeit von $\frac{w^2}{R + R_v}$ aufgetragen. Die Stromsicherheit s ist als Parameter angegeben. Ohne Vorwiderstand R_v ist der Quotient $\frac{w^2}{R} = 15,9 \cdot 10^4$, die Ansprechzeit t_{an} liegt bei 20,2 ms. Durch Einschalten und Vergrößern eines Vorwiderstandes, wobei die Stromsicherheit s kleiner wird, steigt bei sonst gleichbleibenden Relaisdaten die Ansprechzeit an.

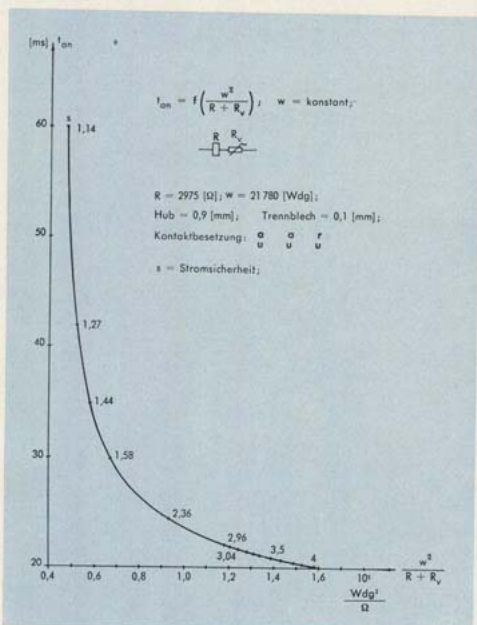


BILD 145

Ansprechzeit eines Relais in Abhängigkeit von der Veränderung des Vorschaltwiderstandes R_v

$$t_{an} = f\left(\frac{w^2}{R + R_v}\right)$$

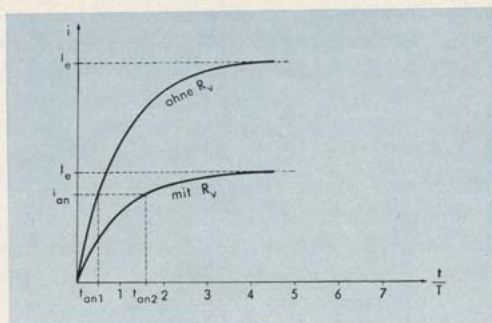
Im Bild 146 ist dieser Vorgang in etwas anderer Darstellung gezeigt. Es ist $i = f\left(\frac{t}{T}\right)$; $i = \text{Erregerstrom}$. Da mit steigendem Vorwiderstand die Stromsicherheit s kleiner wird, nähert sich die Gerade I_e allmählich der Geraden i_{an} , so daß die Ansprechzeit $t_{an} \rightarrow \infty$ geht.

Da bei geringer Stromsicherheit s die Ansprechzeit t_{an} auch von der jeweils augenblicklichen Spannungshöhe und dem Federdruck abhängig ist, kann sie stark streuen.

BILD 146

Veranschaulichung des Einflusses des Vorwiderstandes R_v auf die Ansprechzeit eines Relais:

$$i = f\left(\frac{t}{T}\right)$$



Die Ansprechzeit wird verkürzt, wenn man bei gleichbleibender Erregung den Vorwiderstand der Anordnung erhöht, z. B. dadurch, daß eine Relaiskombination, die bei 24 V arbeitete, an 60 V angeschaltet wird und der Strom durch Einlegen des Vorwiderstandes gleichgehalten wird.

c) Relais mit Vorerregung

Eine Ansprechzeitverkürzung kann auch dadurch erreicht werden, daß das betreffende Relais bis zum Fehlstrom vorerregt wird. Das kann entweder mit Hilfe eines Widerstandes über die Einschaltwicklung oder über eine besondere Wicklung geschehen.

d) Relais mit sekundärer Kurzschluß- oder Dämpfungswicklung

Die Kurzschlußwicklung eines Relais kann entweder aus einem Kupferrohr mit einer Wandung von 1; 2 oder 3 mm bestehen oder aus mehreren Lagen verzinnnten Kupferdrahtes 0,5 mm \varnothing . In den Kurzschlußkreis kann in diesen Fällen nicht eingegriffen werden. Ist das jedoch erforderlich, so muß die

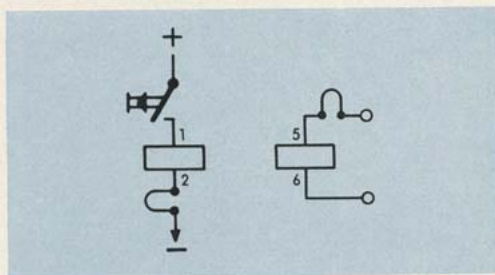


BILD 147

Relais mit offener Kurzschlußwicklung

Kurzschlußwicklung als normale Zweitwicklung ausgelegt und auf Lötstifte geführt werden (siehe Bild 147). Wird ein solches Relais an Spannung gelegt, so fließt im Einschaltaugenblick – wenn die Sekundärwicklung kurzgeschlossen ist – bedingt durch die Gegen-EMK und die Verkettung des primären und sekundären Kreises ein Strom i_2 durch die Kurzschlußwicklung (Transformatoreffekt). Dieser klingt nach einer Zeitkonstante ab, die sich aus den Eigenschaften beider Kreise zusammensetzt, und muß durch einen dem Übersetzungsverhältnis entsprechenden Gegenstrom i'_1 im Primärkreis gedeckt werden. Dieser Gegenstrom überlagert sich dem normalen Strom i_1 in gleicher Richtung und ergibt den resultierenden Strom i_{1R} (Bild 148).

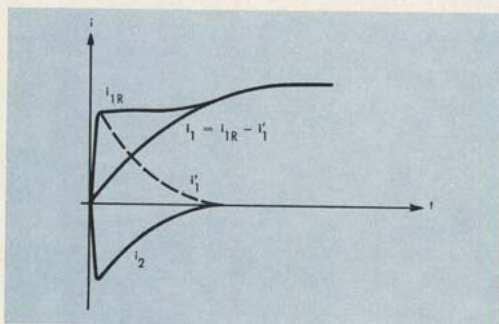


BILD 148
Graphische Darstellung der Stromanstiege bei der Relaisanordnung nach Bild 147

Die magnetischen Wirkungen des Kurzschlußstromes i_2 und des Gegenstromes i'_1 heben sich gegenseitig auf. Das auf den Anker wirkende Magnetfeld wird allein von i_1 aufgebaut. Dieser Strom ist nicht mehr meßbar. Er kann jedoch graphisch ermittelt werden aus dem meßbaren, resultierenden Primärstrom i_{1R} , wie das Oszillogramm, Bild 149, Schleife ②, zeigt und dem Sekundär-

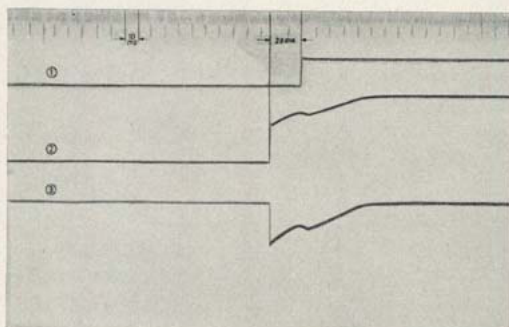


BILD 149
Oszillogramm des Primär- und Sekundärstromes der Relaisanordnung nach Bild 147 (Sekundärwicklung kurzgeschlossen)

strom i_2 , der mit Schleife ③ geschrieben wurde. Man subtrahiert den im Bild 148 gestrichelt dargestellten Strom i'_1 von i_{1R} . Im Bild 148 wurde $w_1 = w_2$ gesetzt, so daß $i'_1 = i_2$ ist; die Verluste blieben unberücksichtigt.

Das Oszillogramm, Bild 150, veranschaulicht den Anzug desselben Relais bei offener Sekundärwicklung. In diesem Fall spricht das Relais bereits nach 12 ms an, also 11 ms früher als mit Kurzschluß der Sekundärwicklung. Mit Schleife ① ist der Stromverlauf eines Arbeitskontaktes geschrieben.

Die Relais mit Kurzschlußwicklung werden hauptsächlich zur Erzeugung einer großen Abfallzeit benutzt. Sie müssen dann gut vorerregt werden. Soll ein Relais nur ansprechverzögert sein, so muß in die Sekundärwicklung ein Ruhekontakt eingeschaltet werden (siehe Bild 151). Es kann auch eine Sperr-

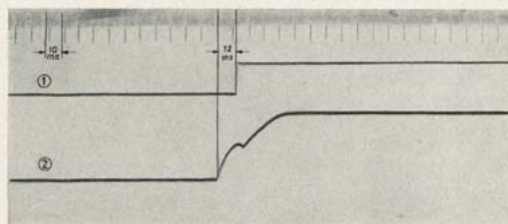


BILD 150
Oszillogramm des Primärstromes bei offener Sekundärwicklung

zelle derart angeordnet werden, daß der induzierte Strom nur beim Einschalten wirksam wird (Bild 152). Die Sperrzellen sind stromabhängig und haben einen relativ hohen Durchlaßwiderstand (Alterung der Zellen). Bei niederohmigen Sekundärwicklungen müssen deshalb Schaltdioden, z. B. Golddrahtdioden, verwendet werden, die einen geringeren Durchlaßwiderstand als Selenzellen haben. Wichtig ist die Abschaltinduktionsspannung (siehe Kurven-

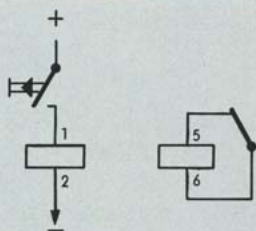


BILD 151
Ansprechverzögertes Relais mit Ruhekontakt in der Kurzschlußwicklung

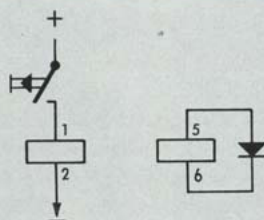


BILD 152
Ansprechverzögertes Relais mit Sperrzelle im Kurzschlußkreis

blatt 4 im Anhang). Die hiermit erreichbaren Ansprechverzögerungen liegen zwischen 10 und 50 ms. Durch einen Widerstand an der Erregerwicklung vergrößert sich die Ansprechverzögerung wesentlich. Im Einschaltaugenblick bekommt das Relais nur eine geringe Erregerspannung.

e) Relais mit zwei parallelgeschalteten Wicklungen, die gegensinnig erregt werden¹

Durch die Schaltungsanordnungen nach Bild 153 mit zwei parallelgeschalteten, ungleichen und gegensinnig erregten Wicklungen mit vorgeschaltetem Widerstand lassen sich die größten Ansprechverzögerungen erreichen. Die Wicklung 4-3 (1500 Wdg.) wird nur mit Fehlstrom erregt. Die Wicklung 1-2 (6100 Wdg.) wird stärker erregt und hat viermal soviel Windungen wie 4-3. Im Einschaltaugenblick wird erst 4-3 wirksam. Die Fehlstrom-AW müssen von dem Feld der Wicklung 1-2 (mit der größeren Zeitkonstante) überwunden werden. Die Ansprechverzögerung wird noch vom Vorwiderstand, der das Potential verschiebt und von der Dämpfung, die die Zeitkonstante vergrößert, begünstigt.

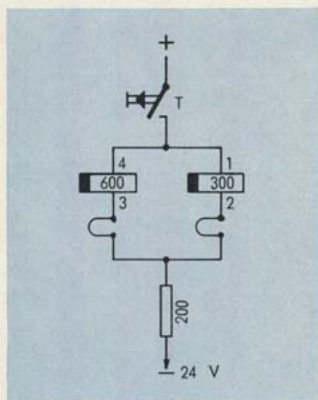


BILD 153
Schaltungsanordnung mit zwei parallelgeschalteten und gegensinnig erregten Wicklungen zur Erreichung großer Ansprechverzögerungen

Das Oszillogramm, Bild 154, zeigt in der Schleife ① den Stromverlauf eines Arbeitskontaktes, in ② den Erregungsverlauf in Wicklung 1-2 und in ③ den der Wicklung 4-3. Aus ② und ③ ist der resultierende Verlauf Θ_R konstruiert. Die Ansprechzeit beträgt $t_{on} = 55$ ms, wie aus der Zeitskala des Oszillogramms zu ersehen ist.

¹ Lit. Unterrichtsblätter der Deutschen Bundespost; Verbindungsaufbau im Fernsprechtsortverkehr und -fernverkehr; Jg. 6, 1953, Heft 21/22 und Jg. 7, 1954, Heft 1/2

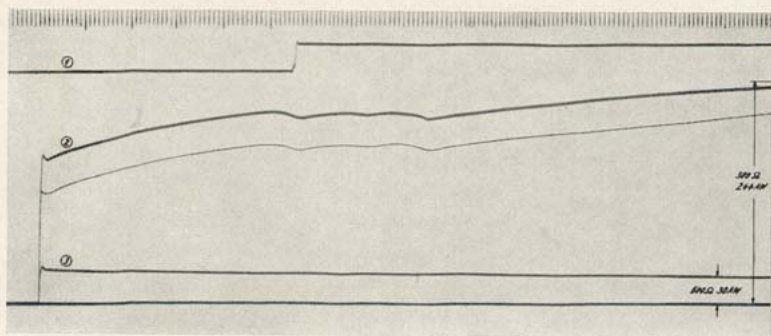


BILD 154
Oszillogramm des Einschaltvorgangs
der Schaltanordnung nach Bild 153

Beim Ausschalten sind beide Wicklungen gleichsinnig in Reihe geschaltet. Dadurch ergibt sich eine u. U. unerwünschte Abfallverzögerung mit der Zeitkonstante:

$$T = \frac{L_1 + L_2 + 2 \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}}{R_1 + R_2}$$

Speziell für Abfallverzögerungen wird diese Anordnung nicht benutzt.

f) Relais mit Elektrolytkondensator

Mit der Schaltungsanordnung nach Bild 155 lassen sich Ansprechzeiten von einigen 100 ms bis zu einigen Sekunden erreichen.

Die Relaisdurchflutung Θ_t in Abhängigkeit von der Zeit errechnet sich zu:

$$\Theta_t = \Theta_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right);$$

es bedeuten:

Θ_t = Durchflutung zur Zeit t

Θ_{\max} = Enddurchflutung ($t \rightarrow \infty$)

$$T = C \cdot R_g, \quad R_g = \frac{R_v \cdot R}{R_v + R}$$

R_v = Vorwiderstand, R = Relaiswiderstand, U = Betriebsspannung.

Die Ansprechzeit ist:

$$t_{\text{an}} = T \cdot \ln \frac{\Theta_{\max}}{\Theta_{\max} - \Theta_{\text{an}}}$$

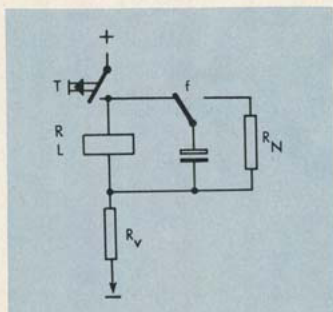


BILD 155
Relaisanordnung mit Ansprechverzögerung durch Einschalten eines Elektrolytkondensators

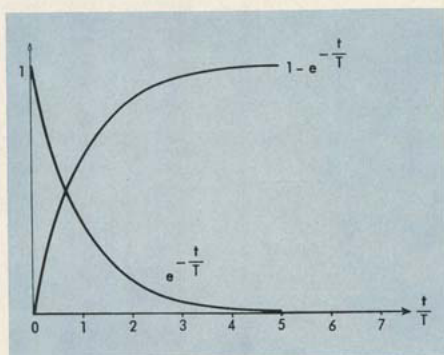


BILD 156
Exponentialkurven zur Veranschaulichung des Strom- und Spannungsverlaufes beim Einschalten der Relaisanordnung nach Bild 155

Für die optimale Dimensionierung gelten nach Brockschmidt¹ folgende Beziehungen:

1. $\left(\frac{w}{R}\right)_{\text{opt}} = 2 \frac{\Theta_{\text{max}}}{U}$ für das Festlegen der Wicklung,
2. $R_v = R$ für das Festlegen des Vorwiderstandes,
3. $C = \frac{2 \cdot t_{\text{an}}}{R} \cdot \frac{1}{\ln \frac{\Theta_{\text{max}}}{\Theta_{\text{max}} - \Theta_{\text{an}}}}$.

Nach dem Anzug entlädt sich der Kondensator über R_N , damit eine Abfall-

¹ Lit. Horst Brockschmidt: „Dimensionierung von Relaisverzögerungsschaltungen mit Hilfe von Kondensatoren“ Nachrichten der Telefonbau und Normalzeit Jg. 1961, Heft 53

verzögerung verhindert wird. In der folgenden Tafel VII sind einige Werte für

$$e^{-\frac{t}{T}} = f\left(\frac{t}{T}\right) \text{ und } 1 - e^{-\frac{t}{T}} = f\left(\frac{t}{T}\right) \text{ aufgetragen.}$$

$\frac{t}{T}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$e^{-\frac{t}{T}}$	1	0,368	0,135	0,050	0,018	0,007	0,002	0,001
$\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$	0	0,632	0,865	0,950	0,982	0,993	0,998	0,999

TAFEL VII

Für die vorliegenden Aufgaben genügt es, wenn man damit rechnet, daß nach etwa $4T$ der Aufladevorgang abgeschlossen ist. Im Bild 156 ist die Tafel VII graphisch dargestellt.

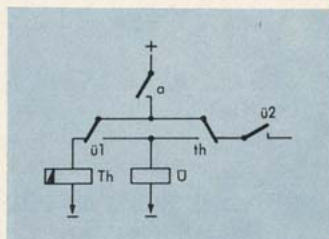
g) Hitzdrahtfedersatz (Thermorelais)

Durch den Hitzdrahtfedersatz sind Verzögerungszeiten von einigen Sekunden bis zu einer Minute erreichbar. Durch Reihenschaltung mehrerer solcher Federsatzes kann man diese Zeiten entsprechend erhöhen. Im Bild 157 wird nach Schließen des Kontaktes a der Hitzdrahtfedersatz (Thermorelais) Th angeheizt. Nach Umschalten des Thermokontaktes th spricht Relais \ddot{U} an und hält sich über seinen eigenen Kontakt $\ddot{u}1$, wobei gleichzeitig der Hitzdrahtfedersatz stromlos wird. Nach Erkalten des Thermosatzes kann über die Kontakte a , th und $\ddot{u}2$ das um die Zeit Δt verzögerte Kriterium abgenommen werden.

Die Verzögerungszeit wird beim Thermorelais bei Arbeitskontakten durch Veränderung der Heizleistung oder der Kontaktöffnung, bei Ruhekontakten durch Heizleistung oder den Kontaktdruck eingestellt. Dabei muß aber der geforderte Minimaldruck von 20 p eingehalten bleiben.

BILD 157

Verzögerungsschaltung mit einem Hitzdrahtfedersatz (Thermorelais)



Den Einfluß der Umgebungstemperatur kann man dadurch ausschalten, daß man zwei in Material und Abmessung gleiche Bimetallfedern verwendet, so daß bei Temperaturschwankungen Kontakthub und Kontaktdruck gleich-

Heizwicklung					a-Seite eines u-Kontaktes		r-Seite eines u-Kontaktes
Widerst. [Ω]	Wdg.	Draht- \varnothing [mm]	Nennstr. [mA]	Heizstg. [W]	Kontakt \varnothing . [mm]	Schaltzeit [s]	Schaltzeit [s]
100	80	0,12	150	2,25	< 0,5 1,0	< 17 \pm 6 25 \pm 8	12 \pm 4
200	80	0,09	120	2,9	< 0,5 1,0	< 12 \pm 4 17 \pm 6	9 \pm 3
300	170	0,07	75	1,7	< 0,5 1,0	< 25 \pm 8 39 \pm 12	18 \pm 6

TAFEL VIII

bleiben. Spannungsschwankungen bedingen Streuungen der Verzögerungszeiten. Legt man Wert auf möglichst konstante Verzögerungszeiten, so muß zwischen zwei Betätigungen eine Wartezeit von etwa 5 Minuten liegen. Werden diese Wartezeiten nicht eingehalten, so verringern sich die Verzögerungszeiten (Tafel VIII).

Hitzdrahtfedersätze werden verwendet bei der

- selbsttätigen Rufweiterleitung eines ankommenden Amtsanrufes,
- Abschaltung der Ruf- und Signalmaschine bei unterlassener oder verzögerter Wahl nach der Belegung,
- Rufweiterleitung bei Reihenanlagen usw.

Thermokontakte geben nicht sofort guten Kontaktschluß, weil sich der Kontakt zunächst mit geringem Druck anlegt, und dieser erst langsam stärker wird. In den Fällen, in denen Wert auf eine saubere Kontaktgabe gelegt wird, müssen Thermokontakte mit Momentschaltung eingesetzt werden.

Auch mit Heißeleitern kann man Verzögerungen bis ca. $\frac{1}{2}$ Minute erzielen. Ebenso lassen sich durch mechanische Hemmwerke und elektronische Mittel Verzögerungen erreichen.

D.4. BEEINFLUSSUNG DER ABFALLZEIT

Zur Erzielung von Abfallverzögerungen und Abfallbeschleunigungen sind folgende Anordnungen bekannt:

- Relais mit Kurzschluß der Anwurfwicklung,
- Relais mit sekundärer Kurzschlußwicklung,

- c) Relais mit sekundärer Kurzschlußwicklung und Kurzschluß der Anwurfwicklung,
- d) Relais mit Reststrom,
- e) Relais mit Kondensator und
- f) Herabsetzung der Ansprech-AW-Zahl auf die Halte-AW-Zahl.

Bei allen in Verzögerungsschaltungen arbeitenden Relais ist zu beachten, daß die Kontaktlast nicht zu groß sein darf, wenn größere Verzögerungszeiten gewünscht werden. Mehr als 3 bis 4 Kontakte sollte ein solches Relais nicht tragen. Es ist auch die günstigste Kontaktbelastung zu wählen, d. h., die a-, r- und u-Kontakte sind so zu einem Federsatz zu kombinieren, daß sie die günstigsten Einsatzwerte, Ansprech- und Abfallwerte ergeben. Der Grund für diese unterschiedlichen Einsatzwerte liegt in dem Druckverlauf dieser Kontakte (siehe Abschnitt B.2.4.). In niederohmigen Kurzschlußkreisen muß darauf geachtet werden, daß nicht durch Kontakte, z. B. Wähler-, Relaiskontakte usw. oder durch längere Leitungswege Widerstände entstehen, die die Abfallzeit erheblich beeinflussen können.

a) Relais mit Kurzschluß der Anwurfwicklung

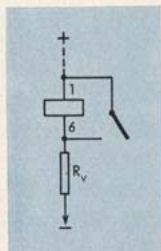
Eine Schaltanordnung, bei der die Anwurfwicklung eines Relais nach dem Ansprechen kurzgeschlossen wird, ist im Bild 158 wiedergegeben.

Die Zeitkonstante dieses Kreises ist $T = \frac{L}{R}$. Der Strom klingt nach $i = I \cdot e^{-\frac{t}{T}}$

ab (siehe Bild 156).

Man erhält große Abfallzeiten, wenn R sehr klein und L groß ist. Da zwischen R und w ($w^2 \hat{=} L$) aber eine feste Beziehung besteht, siehe Abschnitt D.3. unter a), können diese Werte nicht frei gewählt werden. Das Relais muß gut erregt werden, etwa mit 250 bis 350 AW, wenn eine ausreichende Abfallverzögerung erreicht werden soll.

BILD 158
Relais mit Kurzschluß der
Anwurfwicklung



Je nachdem, ob der Kurzschlußkreis nach dem Abfall des Ankers — Öffnen des v-Kontaktes — unterbrochen wird (Bild 159) oder durch den Kontakt der Taste AT geschlossen bleibt (Bild 160), unterscheidet man zwei Fälle.

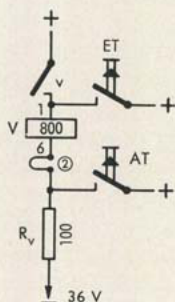


BILD 159
Relaisanordnung, bei der der Kurzschlußkreis nach Öffnen des Kontaktes aufgetrennt wird

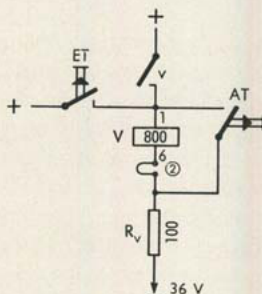


BILD 160
Relaisanordnung, bei der der Kurzschlußkreis nach Öffnen des Kontaktes bestehen bleibt

Das in den Bildern 159 und 160 der Versuchsanordnung dargestellte Relais hat folgende Daten:

800 Ω – 1000 Windungen – 0,11 mm \varnothing Kupfer-Lackdraht,
0,9 mm Hub, 0,3 mm Trennblech, Kontaktbelegung u-a,
 $R_v = 100 \Omega$, Betriebsspannung 36 V.

Das Relais wird in beiden Fällen über die Taste ET eingeschaltet.

In den oberen Schleifen ① der beiden Oszillogramme (Bilder 161 und 162) ist der Stromverlauf über den Arbeitskontakt dargestellt. In den unteren Schleifen ② ist der Stromverlauf in der kurzgeschlossenen Wicklung aufgezeichnet. Der Strom klingt nach einer e-Funktion ab. Beim Abfall des Ankers entsteht durch die Feldänderung eine Stromverstärkung. In der Anordnung nach Bild 159 steigt der Strom mit Beginn der Ankeröffnung an und reißt beim Öffnen des v-Kontaktes ab (Bild 161).

Im Bild 160 wird der Kurzschlußkreis nicht geöffnet, so daß durch den Stromanstieg und die mechanische Entlastung der Anker erneut anziehen kann. Dadurch verringert sich der Strom wieder, der Anker fällt ab. Die magnetische Energie des Kreises ist jetzt so weit gesunken, daß der Arbeitskontakt nicht ein zweites Mal geschlossen werden kann. Bei der Schaltungsanordnung (Bild 160) neigt das Relais zum Wippen. Der Arbeitskontakt öffnet für etwa 9 ms und schließt dann erneut für etwa 3 ms (Bild 162). Nachgeordnete, schnell-

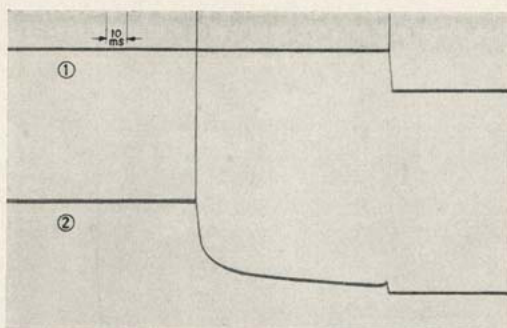


BILD 161
Abklingen des Stromes im Kurzschlußkreis, der beim Öffnen des Kontaktes aufgetrennt wird

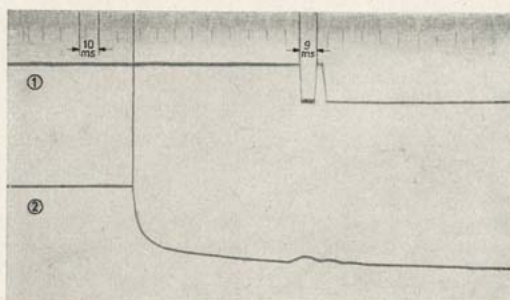


BILD 162
Abklingen des Stromes im Kurzschlußkreis, der beim Öffnen des Kontaktes geschlossen bleibt

ansprechende Schaltelemente, Wähler, Relais usw. können dadurch unbeabsichtigt betätigt werden. Sicherer ist die Anordnung nach Bild 159.

Wird das Relais nicht kurzgeschlossen, sondern treibt die durch das zusammenbrechende Magnetfeld entstehende Spannung einen Strom durch einen Parallelwiderstand (Bild 163), ist die Zeitkonstante $T = \frac{L}{R + R_N}$. Solche un-

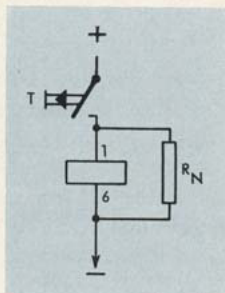


BILD 163
Ungewollte Abfallverzögerung eines Relais durch parallelgeschalteten Funkenlöschwiderstand

gewollten Abfallverzögerungen ergeben sich, wenn parallel zur Wicklung ein hochohmiger Widerstand zur Funkenlöschung geschaltet wird.

b) Relais mit sekundärer Kurzschlußwicklung

Sekundäre Kurzschlußkreise erhält man, wenn eine Zweitwicklung des Relais kurzgeschlossen ist (Bild 164) oder den Relaiskern ein Kupferrohr umgibt (Bild 165).

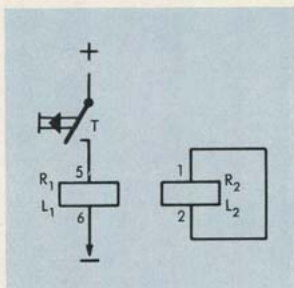


BILD 164
Relais mit auf Lötflächen geführter Kurzschlußwicklung

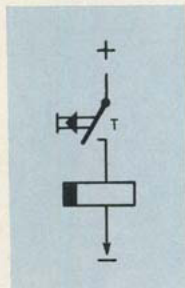


BILD 165
Relais mit Kupferrohr als Kurzschlußwicklung

Für den Fall völliger Verkettung zwischen den beiden Wicklungen können die beiden Amperewindungszahlen gleichgesetzt werden $I_1 \cdot w_1 = I_2 \cdot w_2$.

Der Strom in der Sekundärwicklung klingt bekannterweise nach $i_2 = I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ ab, wobei T die Zeitkonstante des Sekundärkreises ist. Aus der ersten Gleichung gewinnt man $I_2 = I_1 \cdot \frac{w_1}{w_2}$.

Dieser Wert ergibt in die zweite Gleichung eingesetzt:

$$i_2 = I_1 \cdot \frac{w_1}{w_2} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Der Strom wird um so größer sein, je kleiner der Widerstand R₂ ist. Legt man Wert auf eine große Abfallzeit, so bildet man den Kurzschlußkreis als Kupferrohr aus (Bild 165). Will man dagegen einen Arbeitskontakt oder einen Gleichrichter in die Zweitwicklung einschalten, um die evtl. unerwünschte Ansprechverzögerung zu verhindern, so muß die Wicklung auf Lötflächen enden (Bild 166). Der Gleichrichter muß hinsichtlich seiner Durchlaßrichtung so geschaltet sein, daß nur der induzierte Strom beim Ausschalten wirksam wird.

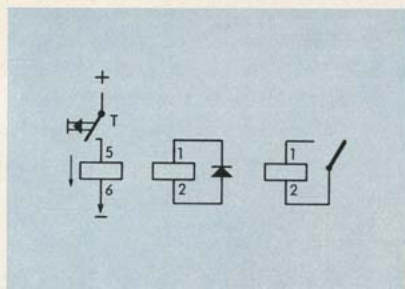


BILD 166
Unerwünschte Ansprechverzögerung, verhindert durch Gleichrichter oder Kontakt im Kurzschlußkreis

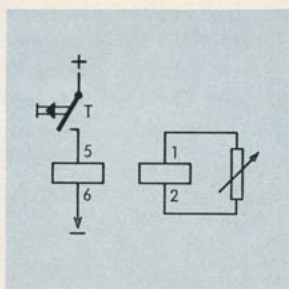
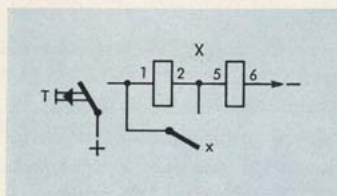


BILD 167
Relais mit regelbarer Abfallzeit durch Regelwiderstand im Kurzschlußkreis

Will man die Abfallzeit verändern, so schaltet man einen regelbaren Widerstand in den Stromkreis der Zweitwicklung (Bild 167).

Die Dämpfungswicklung kann auch der Einschaltwicklung vorgeschaltet werden, so daß sie zum Ansprechen beiträgt (Bild 168).

BILD 168
Dämpfungswicklung und Einschaltwicklung eines Relais in Reihe geschaltet



Aus der im Bild 169 wiedergegebenen Schaltanordnung ist die Einschaltung der drei Oszillographenschleifen ①, ② und ③ ersichtlich. Über den Verlauf der Oszillographenkurven gibt Bild 170 Aufschluß.

Nach Schließen des Kontaktes T springt die Spannung an der Wicklung 1-2

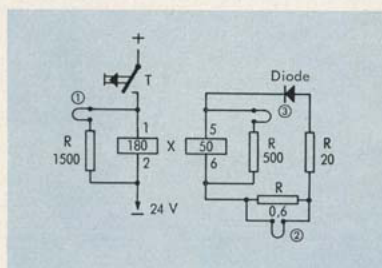


BILD 169
Schaltanordnung zur oszillographischen Aufnahme der Ein- und Ausschaltvorgänge im Primär- und Sekundärkreis eines Relais

auf ihren Endwert. Da die Sperrzelle (Diode) in der Sekundärwicklung den Einschaltestoß sperrt, zeigt die Schleife ② keinen Ausschlag. Den Verlauf der Spannung an der Sekundärwicklung zeigt die Schleife ③. Die Spannung klingt ab. Der Höcker wird durch das Umlegen des Ankers verursacht. Nach Öffnen des Kontaktes T wird die Spannung an beiden Wicklungen umgepolt.

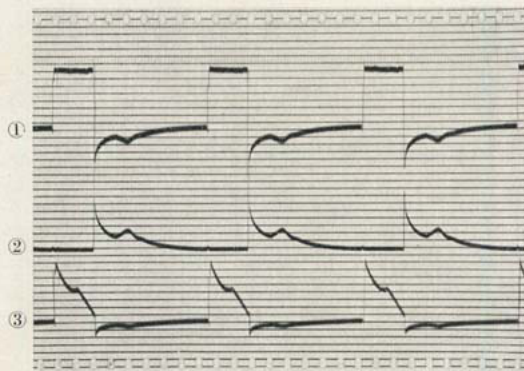


BILD 170
Oszillogramm der Ein- und Ausschaltvorgänge in der Schaltung nach Bild 169

Es kann sich jetzt ein Strom ausbilden, der nach einer in der Schleife ② dargestellten Funktion abklingt. Der höckerartige Stromanstieg kennzeichnet wieder den Abfall des Ankers.

In der graphischen Darstellung (Bild 171) ist die mit der Schaltungsanordnung nach Bild 172 aufgenommene Funktion $t_{ab} = f(R)$ und $t_{an} = f(R)$ dargestellt. Während sich die Ansprechzeit t_{an} bei offener Sekundärwicklung im Vergleich zur kurzgeschlossenen Sekundärwicklung wie 1:3 verhält (7,4:22,2 ms), verändert sich der Abfallwert wie 1:12 (15,2:180 ms). Schon bei kleinem Sekundärwiderstand R fällt die Abfallzeit stark ab. Übergangs- und Zuleitungs-

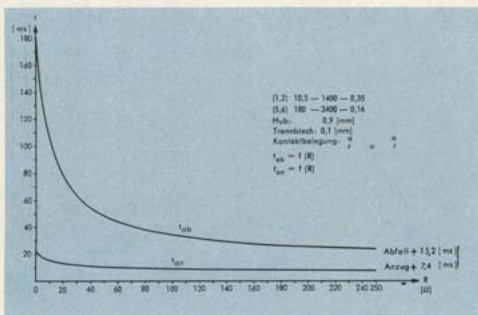


BILD 171
Ansprech- und Abfallzeiten der Relaisanordnung nach Bild 172

BILD 172
Relais mit regelbarem Widerstand in der
Sekundärwicklung

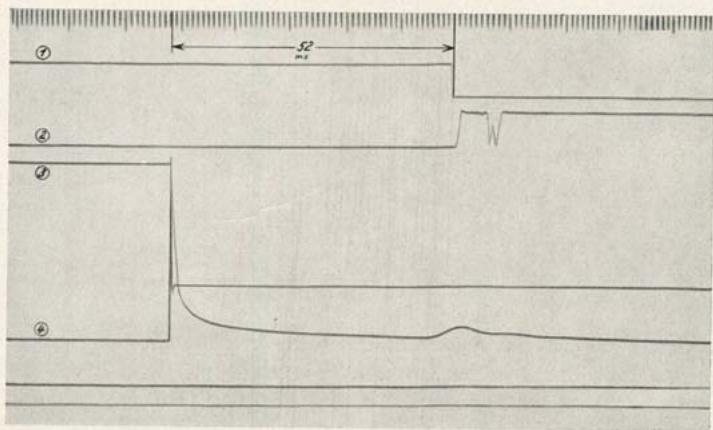
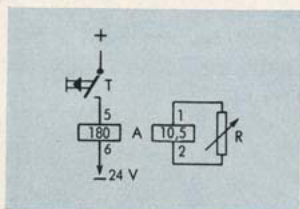


BILD 173
Oszillogramm der Ein- und Ausschaltvorgänge in Primär- und
Sekundärwicklung der Schaltung nach Bild 172 bei $R = 45 \Omega$

widerstände gehen deshalb stark ein. Schaltet man einen Regulierwiderstand ein, der etwa das 5fache des Widerstandes der Sekundärwicklung hat, so kann man damit eine Abfallzeit von ca. 100 bis 25% variieren. Viel größer sollte man das Widerstandsverhältnis nicht wählen, weil sonst die Regelung zu grob ist. Es sei denn, man verwendet sehr fein regulierbare Widerstände.

In den Oszillogrammen (Bild 173 und 174) der Schaltungsanordnung (Bild 172) ist in den Schleifen ① und ② der Stromverlauf über einen Arbeits- bzw. Ruhekontakt aufgezeichnet. In Schleife ③ ist der Stromverlauf in der Primär-, in ④ der in der Sekundärwicklung dargestellt. Im Augenblick des Ausschaltens geht der Strom in der Primärwicklung auf Null. Durch diese Stromänderung $\frac{di}{dt}$ wird in der Sekundärwicklung eine Spannung $e = -L \frac{di}{dt}$ induziert. Der Strom steigt steil an und klingt dann langsam ab. Mit dem Abfall des Ankers entsteht eine Feldänderung, die ein Ansteigen des Stromes

hervorrufft. Durch die mechanische Entlastung des Ankers in Verbindung mit dem ansteigenden Strom zieht der Anker noch einmal an, so daß der schon geschlossene Ruhekontakt wieder öffnet – der Anker wippt.

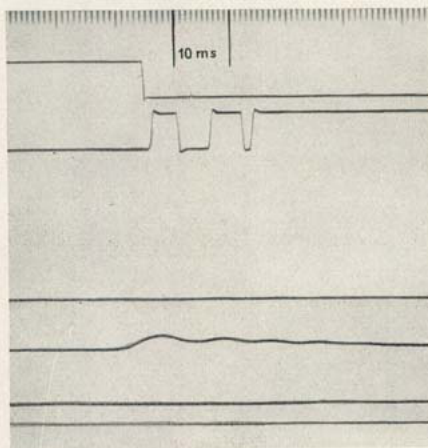


BILD 174

Oszillogramm der Ein- und Ausschaltvorgänge in Primär- und Sekundärwicklung der Schaltung nach Bild 172 bei $R = 0 \Omega$

Dieses Wippen des Ankers ist allen abfallverzögerten Relais eigen, wenn beim Abfall der Verzögerungskreis geschlossen bleibt. Es ist bei $R = 0 \Omega$ am stärksten (Oszillogramm, Bild 174) und wird mit größer werdendem Widerstandswert, z. B. $R = 45 \Omega$ (siehe Oszillogramm, Bild 173), schwächer. Im Falle $R = 0 \Omega$ wird sogar der Arbeitskontakt einmal für den Bruchteil einer Millisekunde wieder geschlossen (siehe kleine Spitze im Oszillogramm, Bild 174, oberste Schleifenaufzeichnung).

Durch Einschalten eines früh öffnenden Arbeitskontaktes in den Sekundärkreis kann dieser oft störende Vorgang vermieden werden (siehe Erläuterungen zu den Bildern 164 bis 167).

c) Relais mit sekundärer Kurzschlußwicklung und Kurzschluß der Anwurfwicklung

Wenn die Anordnung nach Bild 159 zusätzlich mit einer Kurzschlußwicklung arbeitet (Bild 175), so treten die gleichen Erscheinungen auf wie bei der Schaltung nach Bild 160. Mit dieser Anordnung ist die größte Abfallzeit zu erreichen, weil die primären Amperewindungen auch noch mit den sekundären verkettet sind. Die Gesamtzeitkonstante ist:

$$T_g = T_1 + T_2 = \frac{L_1}{R_1} + \frac{L_2}{R_2}$$

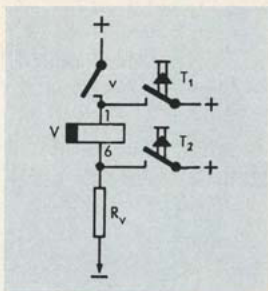


BILD 175
Relaisanordnung mit sehr großer
Abfallzeit

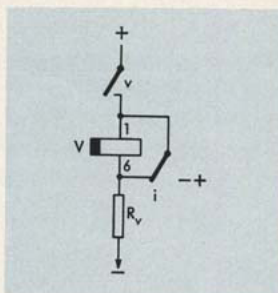


BILD 176
In Nebenstellenanlagen häufig ver-
wendete Verzögerungsschaltung

In Nebenstellenanlagen wird die Schaltungsanordnung nach Bild 176 oft verwendet. Durch den Impulskontakt i wird das V-Relais eingeschaltet und hält sich auch während der Umschlagszeit des i -Kontaktes über den eigenen v -Kontakt.

Bei einem Relais mit Kurzschlußwicklung erzielt man einen praktisch wipffreien Abfall, wenn man beim Öffnen des Primärkreises eine Gegenenerregung wirksam werden läßt. In der Schaltungsanordnung nach Bild 177 möge das V-Relais über den a -Kontakt eingeschaltet und in Abhängigkeit vom v -Kontakt gehalten werden. Das Relais wird von Plus nach Minus im steigenden Sinne vom Strom durchflossen. Die gleiche Stromrichtung bleibt, wenn der i -Kontakt das Relais kurzschließt. In dem Augenblick, in dem sich beim Abfallen der v -Kontakt öffnet, wird die Stromrichtung umgepolt und das Relais gegenerregt. Der Widerstand R_1 ist so groß, daß der Fehlstromwert des Relais nicht überschritten wird, um einen erneuten Anzug über diesen Widerstand zu verhindern.

Weiterhin kann man Relais, die zum Wippen neigen, mit Druckfedern be-

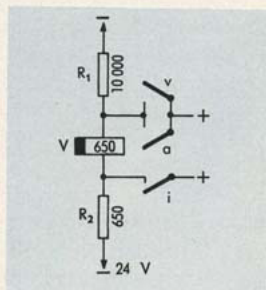


BILD 177
Wipffreie Verzögerungsschaltung

stücken. Dadurch wird zwar die Abfallzeit verringert, aber das Wippen unterbleibt.

Wichtige Kontakte setzt man zweckmäßigerweise nach außen (I 3, II 3, III 3), weil bei schwachem Wippen oft nur die inneren Kontakte (I 1, II 1, III 1) betätigt werden (Bild 62).

Bei Schaltungen, in denen Relais mit kurzer und solche mit langer Umschlagszeit arbeiten, muß auf die zeitlich richtige Folge der Kontaktbetäti-

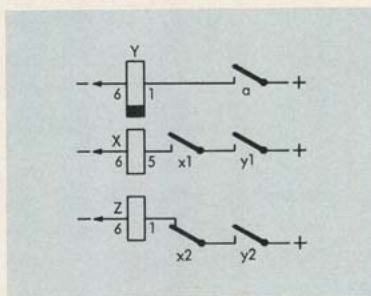


BILD 178
Zusammenwirken von Relais mit
kurzer und langer Umschlagszeit

gungen geachtet werden. Im Bild 178 sei beispielsweise Y ein Relais mit langer, X ein Relais mit kurzer Abfall- und Umschlagszeit. Relais Y sei angezogen, Relais X hält sich nach Anzug in Abhängigkeit von y_1 . Wird durch Kontakt a der Stromkreis von Y geöffnet, so fällt Y schleichend ab – lange Umschlagszeit. Sind die Kontakte y_1 und y_2 so justiert, daß erst y_1 öffnet und dadurch X schnell abfällt bzw. während seiner Abfallbewegung schon x_2 schließt, bevor y_2 öffnet, so erhält Relais Z einen Stromstoß und kommt evtl. zum Ansprechen. Dieser Mangel kann durch Folgekontakte auf Y beseitigt werden. Sie stellen sicher, daß erst y_2 und dann y_1 öffnet.

d) Relais mit Reststrom

Schaltet man den Stromkreis eines Relais nicht gänzlich ab, sondern reduziert den Strom nur bis unter den Abfallwert, so erreicht man dadurch lange Abfallzeiten. Diese streuen jedoch sehr, weil der schwankende Kontaktdruck infolge Justiertoleranzen stark eingeht. Dieses Verfahren hat in der Praxis keine Bedeutung.

e) Relais mit Kondensator

Die Schaltungsanordnung nach Bild 179 ergibt eine Abfallzeit bis zu mehreren Sekunden. Das Relais zieht unverzüglich über die niederohmige Wicklung 1–2 an. Der Elektrolytkondensator hält seine Ladung über +, Taste,

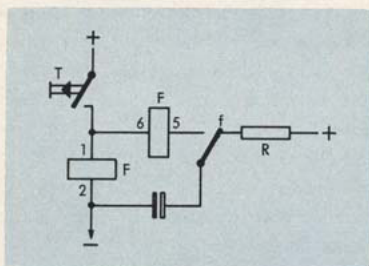


BILD 179

Relaisanordnung mit Kondensator zur Erzielung von Abfallzeiten bis zu mehreren Sekunden

Wicklung 6–5, f-Kontakt, Elektrolytkondensator. Wird die Taste T geöffnet, so entlädt sich der Kondensator über die in Reihe geschalteten und gleichsinnig wirkenden Wicklungen 5–6 und 1–2. Die Wicklung 5–6 besitzt eine sehr große Windungszahl. Der Elektrolytkondensator soll ständig an Spannung liegen, wenn nur selten geschaltet wird, damit er formiert bleibt und seine volle Ladung nach Schließen der Taste sofort zur Abfallverzögerung bereitsteht. Der Widerstand R soll den Ladestrom beim Zurückgehen des f-Kontaktes in die Ruhelage begrenzen.

Die Abfallzeit wird entweder durch entsprechend große Kondensatoren oder, bei feinerer Stufung, durch Fest- oder Regelwiderstände parallel oder in Reihe zum Kondensator eingestellt.

Mit der Anordnung nach Bild 180 kann man ebenfalls eine Abfallverzögerung erzielen. Die Wicklung 1–2 muß die Ansprechbedingung erfüllen; deshalb kann man den Widerstand und damit die Windungszahl nicht beliebig erhöhen, was sich wiederum beim Abfallen bemerkbar macht. Man erreicht nicht die Abfallzeiten wie mit der Anordnung nach Bild 179.

Wird das Relais häufig betätigt, so kann man darauf verzichten, den Elektrolytkondensator im Ruhezustand dauernd an Spannung zu legen wie in Bild 179. Der Schutzwiderstand 5–6, der als bifilare Wicklung ausgebildet

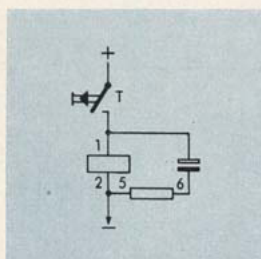


BILD 180

Abfallverzögerungsanordnung mit Kondensator

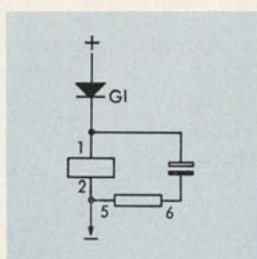


BILD 181

Verzögert abfallendes Überwachungsrelais

werden kann, ist sehr niederohmig und ermöglicht dadurch nach Schließen der Taste eine schnelle Aufladung des Kondensators.

Ein Überwachungsrelais, das bei Ausfall der Spannung verzögert abfallen soll, muß mit einem Gleichrichter GI versehen sein, damit sich der Elektrolytkondensator nicht über an + und - liegende andere Verbraucher entlädt (Bild 181). Die Anordnung nach Bild 182 ergibt eine Ansprech- und eine Abfallverzögerung. Für die Ansprechverzögerung gelten die zu Bild 156 behandelten Erläuterungen. Für die Abfallzeit ist nur der Kondensator-Relaiskreis bestimmend.

Bei der folgenden Anordnung (Bild 182) ergibt sich ebenfalls eine Ansprech- und eine Abfallverzögerung. Beim Anzug sind die beiden Wicklungen 1-2 und 3-4 gegeneinandergeschaltet, so daß nur die Differenz der Erregungen wirksam wird; beim Abfall liegen beide Wicklungen gleichsinnig in Reihe.

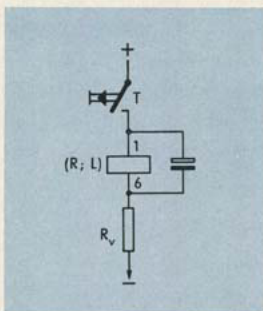


BILD 182
Ansprech- und abfallverzögertes
Relais

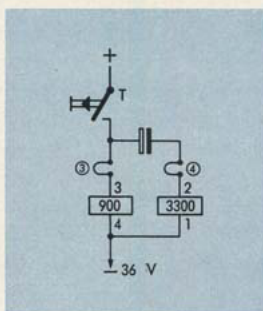


BILD 183
Ansprech- und Abfallverzögerungsschaltung eines Relais
mit zwei Wicklungen, die beim Ansprechen gegensinnig,
beim Abfall gleichsinnig wirken

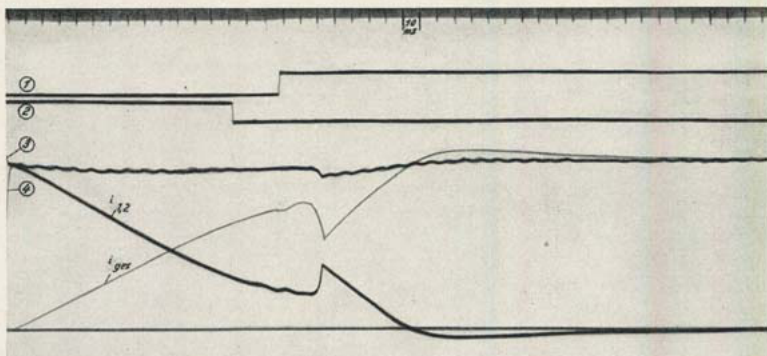


BILD 184 Schaltvorgänge der Relaisanordnung nach BILD 183, oszillographisch aufgezeichnet

Es addieren sich beide Erregungen. Die Spannungsabhängigkeit beider Anordnungen nach den Bildern 182 und 183 ist gleich groß.

Das Oszillogramm in Bild 184 zeigt in den Schleifen ③ und ④ den Verlauf des Stromes in den Wicklungen 3-4 und 2-1 des Relais:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I (12) } 3300 - 21\,000 - 0,08 \text{ CuL} \\ \text{II (34) } 900 - 5300 - 0,09 \text{ CuL} \\ \text{III (56) } 150 - \text{bif} - 0,12 \text{ WdSS} \\ \text{Bv. 3 D} - 325 \text{ a/1.} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{siehe hierzu Abschnitte D.5.} \\ \text{und D.6. „Relaisbauvorschriften“ und „Bezeichnung der} \\ \text{Relaiskontakte“} \end{array}$$

Der Anfangsstrom ist:

$$i_{3-4} = \frac{U}{R} = \frac{36}{900} = 40 \text{ mA und}$$

$$i_{2-1} = \frac{U}{R} = \frac{36}{3300} = 10,9 \text{ mA.}$$

Im Einschaltaugenblick heben sich die Amperewindungen fast auf:

$$\Theta_{3-4} = 0,04 \cdot 5300 = 212 \text{ AW und}$$

$$\Theta_{2-1} = 0,0109 \cdot 21\,000 = 229 \text{ AW}$$

$$\Theta_{\text{res}} = 229 - 212 = 17 \text{ AW.}$$

Der Strom kann etwa binnen 3 ms von 0 auf 40 bzw. 10,9 mA ansteigen, weil keine Gegen-EMK wirksam ist. Der Strom i_{3-4} und damit auch Θ_{3-4} verlaufen fast konstant, nur beim Umlegen des Ankers fällt der Strom etwas ab, weil das Feld dadurch geändert wird.

Der Strom i_{2-1} und auch Θ_{2-1} nehmen in dem Maße ab, wie sich der Kondensator C auflädt. Beim Umlegen des Ankers wird durch die Feldänderung eine Spannung ΔU induziert, die in der Wicklung 2-1 einen Stromanstieg verursacht. Diese Spannung ΔU addiert sich zu der Betriebsspannung, so daß der Kondensator auf einen über der Betriebsspannung liegenden Spannungswert aufgeladen wird. Der Strom i_{2-1} wird mit Abklingen der induzierten Spannung ΔU umgepolt und fließt jetzt in umgekehrter Richtung, bis der Kondensator den Spannungswert der Betriebsspannung wieder angenommen hat. Um den Vorgang in einer kurzen Zeitspanne ablaufen zu lassen, wurde mit einem kleinen Kondensator C gearbeitet.

Aus den Betrachtungen folgt, daß Widerstand und Windungszahl der beiden Wicklungen so bemessen sein müssen, daß sich im Einschaltaugenblick die Erregungen Θ_{1-2} und Θ_{3-4} aufheben oder daß Θ_{2-1} zunächst überwiegt.

$$\Theta_{2-1} - \Theta_{3-4} \leq \Theta_{\text{Fehlstrom}}$$

Die Ladezeitkonstante T_L ist durch den Kondensator C und R_{2-1} , die Entladezeitkonstante T_E durch $R_{1-2} + R_{3-4}$ und C bestimmt. $\Theta_{\text{ges}} = \Theta_{3-4} + \Theta_{2-1}$ ist der resultierende, in das Oszillogramm eingezeichnete Erregungsverlauf ($\hat{=} i_{\text{ges}}$).

In kleinen Fernsprechanlagen wird statt einer Ruf- und Signalmaschine zur Erzeugung des Hörzeichen- und Rufrythmus diese Verzögerungsschaltung

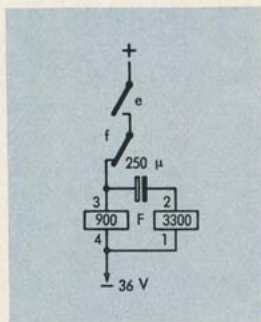


BILD 185
Verzögerungsschaltung zur Erzeugung des Hörzeichen- und Rufrythmus

nach Bild 185 verwendet. Die Ansprechzeit liegt bei etwa einer Sekunde, die Abfallzeit bei etwa 5 Sekunden. Nach Schließen des Einleitungskontaktes e wird der Anker betätigt, der f-Kontakt wird geöffnet, und der Anker fällt verzögert ab. Nach Schließen des f-Kontaktes wiederholt sich das Spiel. Diese Anordnung wird als pulsierende Einrelaisschaltung bezeichnet.

Die Bilder 179 bis 183 und 185 zeigen Abfallverzögerungen durch Kondensatornebenschuß (nach Knoblich).

In den Nomogrammen (Bilder 186 und 187) bedeuten:

- R = Widerstand des gesamten Kreises,
- C = Kapazität,
- U = Betriebsspannung (Spannung an C),
- I_{ab} = Abfallstromstärke des Relais und
- T_v = Verzögerungszeit.

Aus den beiden vorerwähnten Nomogrammen ist es möglich, bei gegebener Betriebsspannung U und gegebenem Abfallstrom I_{ab} den optimalen Widerstand R_{opt} abzulesen. Mit dessen Hilfe und der geforderten Abfallzeit T_{vmax} kann durch eine zweite Gerade die Größe des erforderlichen Kondensators bestimmt werden. Läßt sich der optimale Widerstand R_{opt} nicht einsetzen, sondern nur der Widerstand R, so verringert sich auch die Abfallzeit von T_{vmax} auf T_v . Im Bild 188 (Korrekturkurve) ist die Funktion

$$\frac{T_v}{T_{vmax}} = \frac{R}{R_{opt}} \cdot \ln \frac{2,72 \cdot R_{opt}}{R}$$

dargestellt.

Beispiel: Es sei gegeben: $U = 60 \text{ V}$ und $I_{ab} = 2 \text{ mA}$, nach Bild 186 ergibt sich daraus $R_{opt} = 11 \text{ k}\Omega$.

Es sei eine Abfallzeit von $T_{vmax} = 550 \text{ ms}$ gefordert. Daraus resultiert $C = 50 \mu\text{F}$.

Es soll jedoch ein Relais mit $R = 7700 \Omega$ verwendet werden.

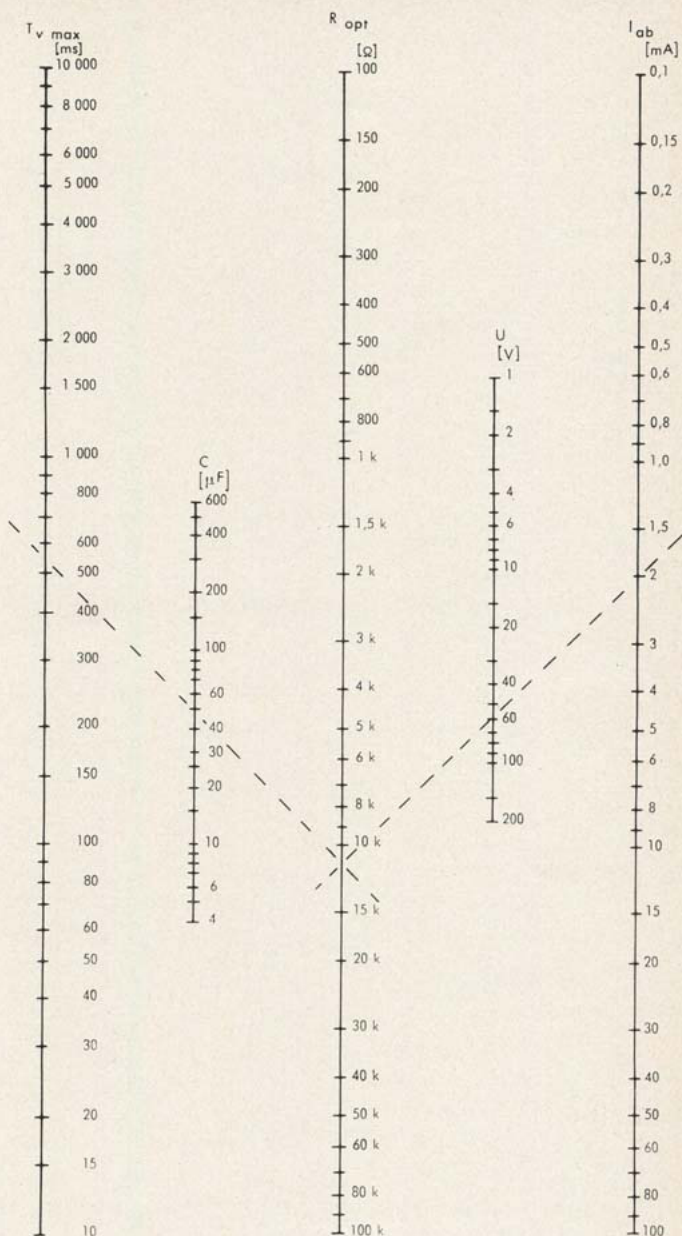


BILD 186
 Nomogramm für die
 Dimensionierung von
 Verzögerungsschaltun-
 gen mit Kondensatoren

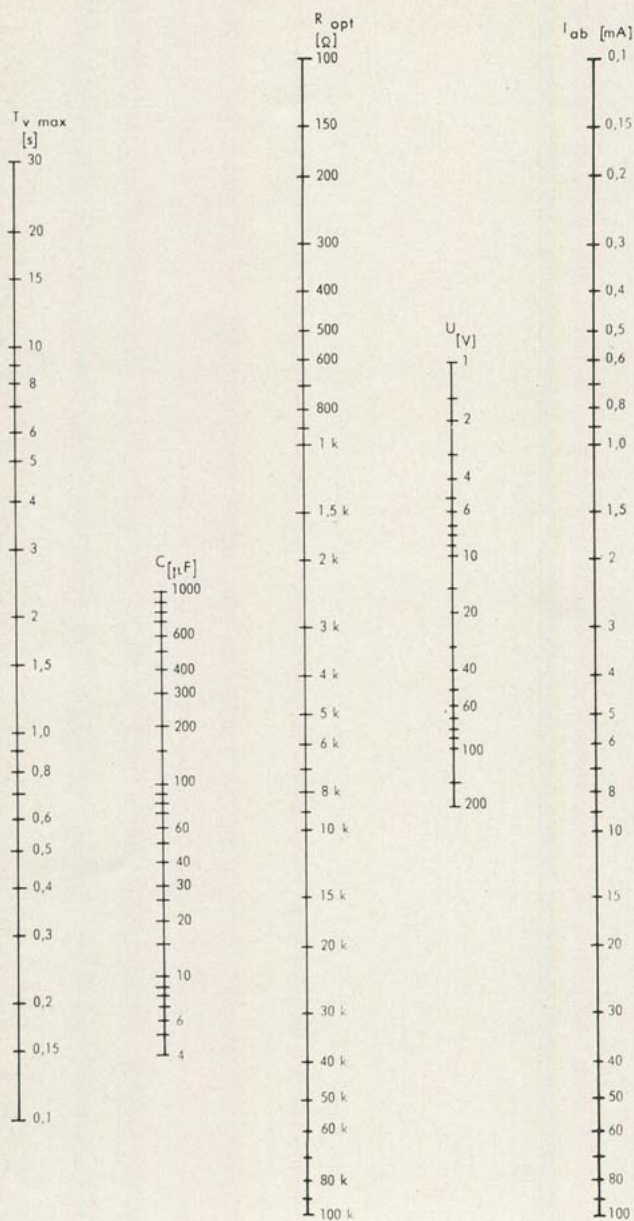


BILD 187

Nomogramm für die Dimensionierung von Verzögerungsschaltungen mit Kondensatoren

$$\frac{R}{R_{\text{opt}}} = \frac{7700}{11000} = 0,7$$

Aus der Kurve (Bild 188) $\frac{T_v}{T_{v\text{max}}} = f\left(\frac{R}{R_{\text{opt}}}\right)$ liest man dazu ab

$$\frac{T_v}{T_{v\text{max}}} = 0,95$$

$$T_v = T_{v\text{max}} \cdot 0,95 = 522,5 \text{ ms.}$$

Die Abfallzeit verringert sich also durch den vorgegebenen Relaiswiderstand um 5%.

Den Nomogrammen liegt eine Näherungsformel zugrunde. Dadurch ist ein mittlerer Fehler von -7% bedingt, d. h., die zu erwartenden Abfallzeiten sind um ca. 7% größer als die berechneten.

Bei der Parallelschaltung von Spule und Kondensator können beim zwanglosen Ausgleich (Entladung des Kondensators) drei Fälle auftreten:

$$1) \frac{R}{2\sqrt{\frac{L}{C}}} > 1; \quad 2) \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{R}{2}; \quad 3) \sqrt{\frac{L}{C}} > \frac{R}{2}.$$

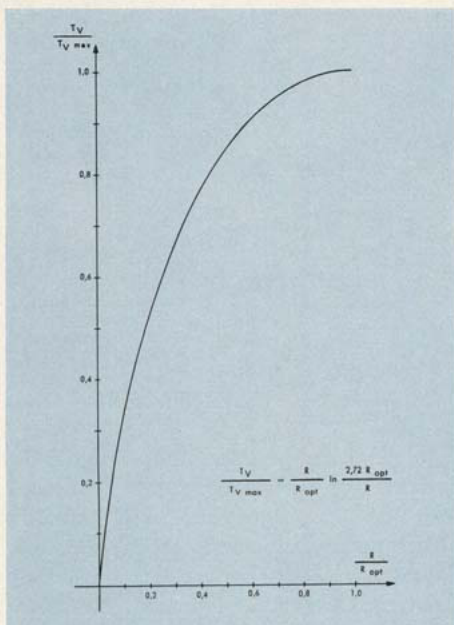


BILD 188
Korrekturkurve

Diese Werte ergeben sich aus der Differentialgleichung:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot R + \frac{1}{C} \int idt = 0;$$

R = Widerstand, L = Induktivität des Relais, C = Kapazität.

Im Fall 1) ist der Schwingkreis überdämpft, es treten keine Schwingungen auf. Dieser sog. aperiodische Fall lag bei den bisher betrachteten Schaltungen für Abfallverzögerung vor.

Im Fall 2) treten ebenfalls keine Schwingungen auf. Er wird als aperiodischer Grenzzustand bezeichnet.

Der Schaltung nach Bild 189 liegt der Fall 3) zugrunde. Der Schwingkreis besteht aus der Induktivität L, dem Widerstand R und der Kapazität C. Wird die Taste T, nachdem zuvor der Kondensator aufgeladen war, geöffnet, so pendelt die im Kondensator aufgespeicherte Energie zwischen den beiden Energiespeichern L und C hin und her. Es entstehen gedämpfte Schwingungen mit der Frequenz

$$\omega = \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R}{2} \frac{L}{C}\right)^2};$$

$\omega_0 =$ Eigenkreisfrequenz bei R = 0.

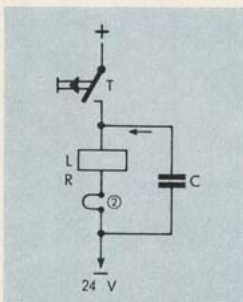


BILD 189
Schaltungsanordnung mit Relais
und Kondensator

Im Oszillogramm (Bild 190), Schleife ②, ist dieser Schwingungsvorgang dargestellt.

Im Abschalt Augenblick liegt durch den Kondensator C noch die Batteriespannung an der Wicklung. Der Kondensator entlädt sich. Der Strom fließt in gleicher Richtung durch das Relais. Nach der Entladung fließt der Strom wegen des zusammenbrechenden Magnetfeldes in gleicher Richtung weiter. Dabei lädt sich der Kondensator wieder umgekehrt auf, Punkt a (Bild 191). Der Strom wird umgepolt, der Kondensator entlädt sich bis Punkt b. Das zusammen-

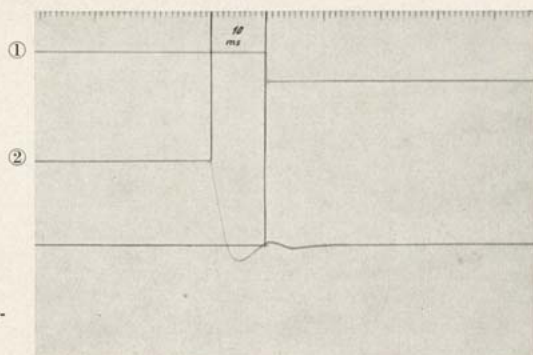


BILD 190
Oszillogramm des Abschaltvorgangs zu Bild 189

brechende Feld läßt den Strom bis c weiterfließen. Dadurch wird der Kondensator erneut aufgeladen usw. Im Punkt c fällt der Anker ab, so daß die folgenden Schwingungen auf das Kontaktsystem keinen Einfluß mehr haben. Durch die Schwingungen, die oberhalb der Nulllinie liegen, wird das magnetische Feld verstärkt, durch die unterhalb liegenden geschwächt.

Wenn kein Kondensator parallel zum Relais läge, würde der Strom beim Abschalten sofort auf 0 (Bild 192) gehen. Das magnetische Feld würde noch kurzzeitig durch die Verkettung mit den Wirbelstromkreisen und der Wick-

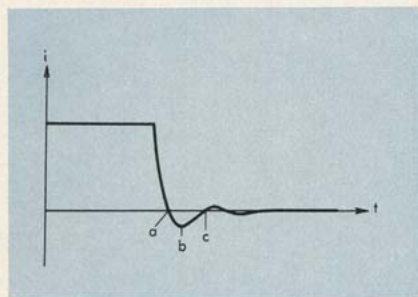


BILD 191
Graphische Darstellung des Abschaltvorgangs zu Bild 189

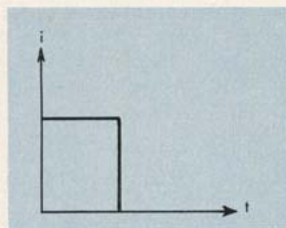


BILD 192
Verlauf des Abschaltstromes in der Schaltung nach Bild 189, wenn kein Kondensator parallelgeschaltet wäre

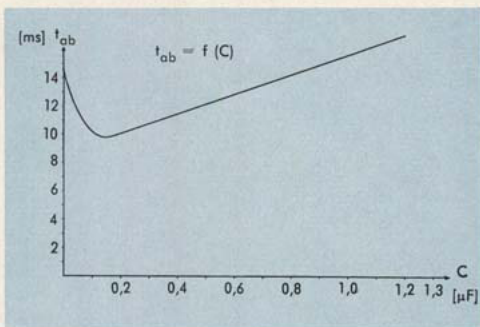


BILD 193
Abhängigkeit der Abfallzeit von der Kapazität des Kondensators

lungskapazität aufrechterhalten und dann nach der Wirbelstromzeitkonstante T_w abklingen. Schaltet man einen kleinen Kondensator C parallel, so wird nach der ersten Umladung des Kondensators (Punkt b) der Strom, der durch die Wicklung fließt, umgepolt und das Relais gegenerregt, es fällt deshalb schneller ab.

Dieser Sachverhalt ist in der graphischen Darstellung (Bild 193) veranschaulicht. Für ein Relais nach Schaltung Bild 194 mit $R = 1000 \Omega$ und $w = 12000$ Windungen ist die Funktion $t_{ab} = f(C)$ aufgetragen. Die Abfallzeit des Relais

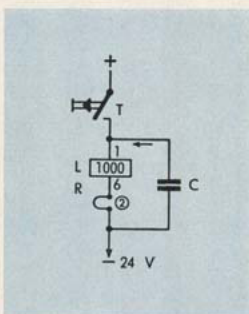


BILD 194
Schaltanordnung mit Relais und Kondensator

beträgt bei $C = 0 \mu\text{F}$: $t_{ab} = 15$ ms. Wird eine kleine Kapazität zum Relais parallelgeschaltet, so wird die Abfallzeit zunächst kleiner. Sie erreicht bei $C = 0,15 \mu\text{F}$ ein Minimum von $t_{ab} = 9,8$ ms und steigt dann wieder an. Bei $C = 0,94 \mu\text{F}$ ist der Abfallwert der gleiche wie bei $C = 0 \mu\text{F}$.

f) Herabsetzung der Ansprech-AW-Zahl auf die Halte-AW-Zahl

Eine Verkürzung der Abfallzeit erreicht man auch dadurch, daß nach voll-

endetem Ankeranzug ein Widerstand in den Stromkreis der Einschaltwicklung gelegt wird, der die Ansprech-AW-Zahl auf die Halte-AW-Zahl herabsetzt (Bild 195).

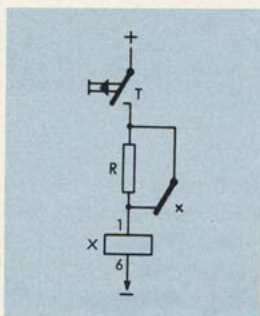


BILD 195
Einschaltung eines Vorwiderstandes nach vollendetem Ankeranzug zur Herabsetzung der AW-Zahl

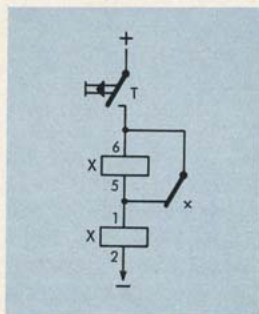


BILD 196
Herabsetzung der AW-Zahl nach vollendetem Ankeranzug durch Einschalten einer Gegenwicklung

Es ist zweckmäßig, den Widerstand durch den Kontakt eines Folgerelais einzuschalten. Ein eigener Kontakt würde zu früh öffnen und u. U. den Ankeranzug behindern. Statt eines Vorwiderstandes kann auch eine zweite Wicklung (Haltewicklung) ein- und die Ansprechwicklung abgeschaltet werden.

Die AW-Zahl kann auch dadurch herabgesetzt werden, daß statt eines Vorwiderstandes eine Gegenwicklung (X 6-5, Bild 196) eingelegt wird. Nachdem das X-Relais über Wicklung 1-2 angesprochen hat, wird durch einen spät öffnenden x-Kontakt am Ende des Ankeranzugs, oder besser durch einen Folgekontakt, die Gegenwicklung 6-5 freigegeben und die Ansprech-AW-Zahl auf die Halte-AW-Zahl herabgesetzt. Beim Öffnen der Taste T kann wegen der reduzierten AW-Zahl

$$\Theta_{\text{red}} = \Theta_{1-2} - \Theta_{5-6}$$

der Anker schnell abfallen.

Die Schaltung bedingt eine kleine Ansprechverzögerung durch die während der Anlaufzeit kurzgeschlossene Wicklung 6-5.

Der Vorteil gegenüber der Schaltanordnung mit Widerstand ist der, daß der Widerstand der Gegenwicklung kleiner als der des Vorwiderstandes gehalten werden kann, und dadurch andere eventuell in diesem Stromkreis liegende Relais weniger beeinflußt werden.

Eine besonders kurze Abfallzeit erhält man durch eine Anordnung nach Bild 197. Das E-Relais wird im Ruhezustand dauernd unter Fehlstrom erregt. Durch Taste T 1 wird es eingeschaltet und hält sich über Taste T 2, wobei

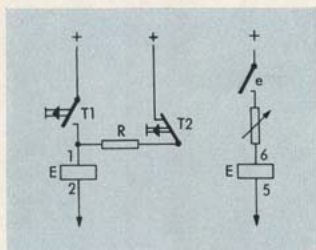


BILD 197
Relaisanordnung mit besonders
kurzer Abfallzeit

gleichzeitig durch Kontakt e die Gegenwicklung 6–5 eingeschaltet wird. Die Halteerregung Θ_H ist jedoch durch den Widerstand R so bemessen, daß das Relais trotz der Gegenerrregung Θ_G sicher gehalten bleibt. Die Ausschaltung geschieht durch Taste T 2. Der Haltekreis wird aufgetrennt, die Gegenerrregung wird wirksam. Zwei Tabellenwerte mögen diesen Sachverhalt verdeutlichen:

Einschalt- erregung Θ_E [AW]	Halte- erregung Θ_H [AW]	Gegen- erregung Θ_G [AW]	Resultierende Erregung Θ_{res} [AW]	Abfallzeit t_{ab} [ms]
340	128	26	102	7,3
340	128	65	63	4,8

TAFEL IX

D.5. RELAISBAUVORSCHRIFT UND SPULENAUFD RUCKZETTEL

Jedes Relais ist durch eine Bauvorschrift, abgekürzt Bv, gekennzeichnet und karteimäßig erfaßt. Beispielsweise lautet eine Relaisbauvorschrift:

3 D – 535/8

Die Kennziffer 3 kennzeichnet den Relaisstyp. Es handelt sich hierbei um ein TN-Ovalrelais 46 bzw. 462. Folgende Typen der TN-Relais sind durch Kennziffern erfaßt:

- Kennziffer 2 = Zwillingrelais,
- Kennziffer 3 = Ovalrelais 46,
- Kennziffer 4 = Wechselstromrelais mit lamelliertem Kern und Kupferring,
- Kennziffer 5 = Rundrelais (Schneidankerrelais).

Von den genannten Relaisstypen wird in der TN-Fernmeldetechnik überwiegend das Ovalrelais 46 mit der Kennziffer 3 verwendet. Das Wechselstromrelais mit der Kennziffer 4 dient dazu, bei Wechselstromspeisung der

Spule eine Kontaktbetätigung wie bei einem Gleichstromrelais zu erzielen, das heißt, das Relais zieht an, sobald es durch den Wechselstrom erregt wird und bleibt während der gesamten Dauer der Erregung angezogen. Die Rundrelais mit der Kennziffer 5 werden nur noch für besondere Schaltzwecke verwendet. Die geometrischen Abmessungen und andere Daten für das Relais 46 und 462 sind der Tabelle X „Ovalrelais 46 und 462“ (unter D.6.) zu entnehmen.

Beim Ovalrelais 46 und 462 folgt der Kennziffer bei der Bauvorschrift ein Buchstabe, der die Widerstandsklasse oder die Anzahl der aktiven Spulen angibt. Die folgende Tabelle zeigt die Einteilung:

- A = Relais mit einer aktiven Wicklung von 1 bis 150 Ohm,
- B = Relais mit einer aktiven Wicklung von 151 bis 2000 Ohm,
- C = Relais mit einer aktiven Wicklung über 2001 Ohm,
- D = Relais mit zwei aktiven Wicklungen ohne Einteilung in Widerstandsklassen,
- E = Relais mit drei aktiven Wicklungen (in Sonderfällen mit mehr als drei aktiven und bifilaren Wicklungen) ohne Einteilung in Widerstandsklassen,
- F = Relais mit zwei oder drei aktiven Wicklungen, es wird als Prüf- und Sperrelais verwendet (keine Widerstandsklassen),
- G = Relais mit zwei oder drei symmetrischen Wicklungen (gleiche Windungszahlen mit gleichen Widerstandswerten; keine Widerstandsklassen),
- H = Relais mit einem Kupferflansch (keine Widerstandsklassen),
- R = Relais mit einem 3 mm dicken Kupfermantel und einer aktiven Wicklung (keine Widerstandsklassen),
- S = Relais mit einem 3 mm dicken Kupfermantel und zwei oder mehr aktiven Wicklungen (keine Widerstandsklassen),
- T = Relais mit einem 2 mm dicken Kupfermantel und einer aktiven Wicklung (keine Widerstandsklassen),
- U = Relais mit einem 2 mm dicken Kupfermantel und zwei oder mehr aktiven Wicklungen (keine Widerstandsklassen),
- V = Relais mit einem 1 mm dicken Kupfermantel und einer aktiven Wicklung (keine Widerstandsklassen),
- W = Relais mit einem 1 mm dicken Kupfermantel und zwei oder mehreren aktiven Wicklungen (keine Widerstandsklassen) und
- X = Relais mit einem 0,5 mm dicken Kupfermantel gewickelt, mit einer oder mehreren aktiven Wicklungen (keine Widerstandsklassen).

Die Relais mit dem Kennbuchstaben R, S, T, U, V, W und X besitzen einen Kupfermantel, der über den Relaiskern gezogen oder gewickelt (bei 0,5 mm)

ist. Dieser Mantel sorgt nach Abschaltung des Spulenstromes eines betätigten Relais für eine verzögerte Rückkehr der Kontakte in ihre Ruhelage. Durch den zylinderförmigen Kupfermantel geht je nach dessen Dicke Wickelraum verloren:

- 3 mm Kupfermantel (3 mm Cu) etwa 52 % des Wickelraumes,
- 2 mm Kupfermantel (2 mm Cu) etwa 36 % des Wickelraumes,
- 1 mm Kupfermantel (1 mm Cu) etwa 20 % des Wickelraumes und
- 0,5 mm Kupfermantel (0,5 mm Cu) etwa 10 % des Wickelraumes.

Die Relais mit dem Kennbuchstaben H erleiden durch die Kupferdämpfung keine Einbuße an Wickelraum, weil sie einen 1,5 mm dicken Kupferflansch besitzen. Allerdings haben diese nur eine geringe Abfallverzögerung von etwa 30 bis 50 ms.

Die in einer Relaisbauvorschrift dem Kennbuchstaben und dem Bindestrich folgende Zahl gibt die laufende Nummer innerhalb der umstehend aufgeführten Kennbuchstabeneinteilung von A bis X an; im vorstehend genannten Beispiel der Relaisbauvorschrift „535“. Folgt dieser Zahl ein kleiner Buchstabe, so besitzt dieses Relais außer der oder den aktiven Wicklungen noch eine oder zwei Widerstandswicklungen (Bifilarspulen). Die dem Schrägstrich der Bauvorschrift folgende Zahl (im Beispiel 8) legt die Kontaktbestückung, den Kontaktwerkstoff, den Ankerhub sowie die Dicke des Trennbleches fest. Sämtliche Relaisdaten, wie Widerstandswerte, Windungszahlen, Drahtdurchmesser, Drahtmaterial, Drahtisolation, Kontaktbestückung, Kontaktmaterial, Kontaktdruck und Prüfwerte, sind auf den Karteikarten der Relaisbauvorschrift eingetragen.

Die Ovalrelais 46 und 462 tragen sichtbar die Kennzeichnung ihrer Bauvorschriften.

Nachstehend ist der Spulenaufdruckzettel eines TN-Ovalrelais wiedergegeben.

I (12)	350 – 4000	– 0,09 CuL
II (23)	1200 – 12500	– 0,11 CuL
III (14)	200 – bif	– 0,10 WdSS
IV (56)	2000 – bif	– 0,07 WdSS

Die Zahlengruppen bedeuten:

- a) Die römischen Ziffern bezeichnen die Lage der einzelnen Wicklungen um den Kern. Die Wicklung I ist die zuerst aufgetragene, d. h. die dem Kern am nächsten liegende Wicklung. Dementsprechend ist die Wicklung IV die äußere Wicklung.
- b) Die in runden Klammern stehenden arabischen Ziffern bezeichnen die Löffahnen bzw. die Lötstifte, und zwar – auf die Löffahnen gesehen, je

nach Einbaulage des Relais (Bild 62) – von oben nach unten bzw. von rechts nach links gezählt.

- c) Die folgende Zahlengruppe 350, 1200, 200 und 2000 gibt den Widerstand der vier Wicklungen in Ohm an.
- d) Die Zahl der Windungen jeder aktiven Wicklung (4000 und 12500) steht zwischen den beiden waagerechten Strichen. Die Abkürzung „bif“ weist darauf hin, daß es sich um eine bifilar-gewickelte Widerstandswicklung handelt.
- e) Anschließend ist der Drahtdurchmesser der einzelnen Wicklungen in mm (0,09; 0,11; 0,10 und 0,07) angegeben.
- f) Dann folgt die Art des Leiterwerkstoffes und seiner Isolierung:
 CuL = Kupferdraht mit Lackisolierung und
 WdSS = Widerstandsdraht mit zwei Schichten Seidenisolation.

Werden zwei Wicklungen eines Relais gleichzeitig vom Strom durchflossen, muß auf die Reihenfolge der Löffahnenziffern der beiden Wicklungen im Zusammenhang mit der Stromrichtung von + nach – geachtet werden. Werden zwei Wicklungen mit steigendem oder fallendem Zählsinn (Löffahnenziffern) vom Strom durchflossen, so unterstützen sich die magnetischen Wirkungen beider Relaiswicklungen. Wird dagegen die eine Relaiswicklung im Sinne einer steigenden Löffahnenzahl, die andere Wicklung dagegen im Sinne einer fallenden Löffahnenzahl vom Strom durchflossen, so sind die magnetischen Wirkungen der Wicklungen infolge ihres entgegengesetzten Stromflusses entgegengesetzt (Relaisabschaltung durch Gegenerrregung).

Der Wicklungssinn des Drahtes einer aktiven Wicklung bleibt gleich (z. B. im Uhrzeigersinn), während bei den Widerstandswicklungen (Bifilarspulen) ein gegenläufiger Wickelsinn notwendig ist, der bekanntlich zur Aufhebung der magnetischen Felder führt und somit bei Stromdurchfluß eine Kontaktbetätigung ausschließt (Bild 65). Beim Wickeln einer aktiven Wicklung ist die in der Bauvorschrift angegebene Windungszahl maßgebend. Da die Drahtdurchmesser vom vorgeschriebenen Nennwert in gewissen Grenzen abweichen dürfen, liegen die tatsächlichen Widerstandswerte der Wicklungen im Durchschnitt $\pm 10\%$ über oder unter dem Widerstandssollwert.

Die Deutsche Bundespost schreibt folgende Toleranzen der Durchmesser vor:

- a) für Cu-Drähte von 0,05 bis einschließlich 0,07 mm $\pm 15\%$,
- b) für Cu-Drähte von 0,08 bis einschließlich 1,0 mm
 und für kombinierte Wicklungen $\pm 10\%$,
- c) für bifilare Wicklungen $\pm 5\%$ und
- d) für Wicklungen mit einem Widerstandswert ≤ 5 Ohm $\pm 20\%$.

Bei Bifilarwicklungen ist der in der Bauvorschrift angegebene Widerstands-

wert maßgebend, der elektrisch gemessen wird und dadurch die Windungszahl des Widerstandsdrahtes bestimmt. Auch bei Bifilarspulen ist eine $\pm 10\%$ -Abweichung vom Sollwert zulässig. In der Regel besitzen die Kupferdrähte der aktiven Wicklungen einen einfachen Lacküberzug (CuL). Bei besonderen Anforderungen wird ein doppelter Lacküberzug (Cu2L) erforderlich. Bei den Widerstandsdrähten wird aus Gründen erhöhter thermischer Beanspruchung ebenfalls ein doppelter Lacküberzug (Wd2L) benutzt.

D.6. BEZEICHNUNG DER RELAIKONTAKTE

Die Bezeichnung der Relaiskontakte ist durch ein Schema festgelegt. Die Kontakte tragen die kleingeschriebene Buchstabenbezeichnung des Relais. Nach der alten Bezeichnungsart wurden die Relais mit höchstens 6 Kontakten bestückt und die Kontakte entsprechend dem im Bild 62 wiedergegebenen Schema bezeichnet, z. B. p2, w2, t6 usw. Die untereinanderstehenden Zahlen 1 bis 6 kennzeichnen die Lötflächen der Spulenanschlüsse.

Nach den Vorschriften der Deutschen Bundespost werden die Kontakte jetzt in einheitlicher Weise bezeichnet. Die einzelnen Kontaktsätze werden von oben nach unten mit den römischen Ziffern I, II und III, auch Lochreihen genannt, bezeichnet, während innerhalb dieser Kontaktsätze die Kontakte mit den arabischen Ziffern 1, 2 und 3 gekennzeichnet werden. Die Kontakte tragen ebenfalls die Buchstabenbezeichnung des zugehörigen Relais, z. B. pI2, wII3, tIII1 usw. (siehe auch Bild 62).

Die Kontaktbestückung soll wegen einer symmetrischen Ankerbelastung gleichmäßig verteilt werden, d. h.:

- | | |
|--|--|
| bei Bestückung mit 1 oder 2 Kontakten: | Kontaktsatz II, |
| bei Bestückung mit 3 Kontakten: | Kontaktsatz I, II und III
je 1 Kontakt, |
| bei Bestückung mit 4 Kontakten: | Kontaktsatz I und III mit je 1 Kontakt
Kontaktsatz II mit 2 Kontakten oder
Kontaktsatz I und III mit je 2 Kontakten, |
| bei Bestückung mit 5 Kontakten: | Kontaktsatz I und II
mit je 2 Kontakten
Kontaktsatz II mit 1 Kontakt und |
| bei Bestückung mit 6 Kontakten: | Kontaktsatz I, II und III mit
je 2 Kontakten. |

TAFEL X: TN-Ovalrelais 46 und 462

Elektrische Kennwerte

Betriebsspannung	12, 24, 36, 48 und 60 Volt für Wicklung und Kontakte; mit Sonderspule bis 250 V	
Polung der Spannung bei Wicklung und Kontakt	beliebig („neutrales“ Relais)	
Höchste Spulenbelastbarkeit	6 Watt (Wärmeaufnahmevermögen der Wicklungen)	
Höchste Schaltspannung	für Kontaktfedersätze bis zu 60 V Gleichspannung für Starkstromfedersätze bis zu 250 V Wechselspannung	
Kontakt-Übergangswiderstand	kleiner als 0,1 Ohm, bei Wolfram (KW 40) etwa 1 Ohm	
Ansprechzeit: Abfallzeit	Verhältnis 1 : 1 für viele Betriebsfälle erreichbar	
Kapazität	kleiner als 10 pF zwischen benachbarten Federn, Federsatz/Relaiskörper und Wicklung/Relaiskörper	
Impulsfrequenz	1 mm Anker folgt 50 Hz Wechselstrom mit 100 Schwin- gungen	
Isolationswiderstand	größer als 500 Meg-Ohm bei 500 Volt Gleichspannung	Wicklung/Relaiskörper Federsatz/Federsatz Federsatz/Relaiskörper Feder/Feder

Konstruktive Kennwerte

Gewicht des Relais	etwa 160 Pond (vollgewickelt und 6 Federsätze)
Abmessungen	Länge = 83 mm, Breite = 26 mm, Höhe = 36,5 mm bei 5 Kontaktfedern ohne Kappe
Einbaulage	möglichst in der Lage, in der die Kontakte seitlich des Relaisjoches liegen und der Anker nicht durch die Schwerkraft beeinflußt wird
Auswechslung	Beschädigte Relaispule kann ohne Auslöten der Feder- sätze und ohne Abschrauben des Joches leicht ausge- wechselt werden
Oberflächen	alle Oberflächen sind schutzbehandelt
Klimafestigkeit	für tropenfeste Ausführung besondere Bauvorschrift
Außentemperatur	in Räumen von -15° bis etwa $+60^{\circ}$ C
Schutzeinrichtungen	1. Staubkappe; 2. Starkstromkappe; 3. Erdungsschrau- ben zur galvanischen Verbindung mit dem Gestell
Wickelfläche	3,5 cm ²
Wickelraum	17 cm ³
Lötfahnen	6 Lötfahnen für 3 galvanisch unabhängige Wicklungen, 18 Lötfahnen (maximal) für die Kontakte
Dämpfungsmantel	Kupfermantel mit 1 mm, 2 mm und 3 mm dicker Wan- dung je nach verlangter Verzögerungszeit; 0,5 mm Kupferwicklung
Anker	2-mm-Anker für Gleichstrombetrieb; 1-mm-Anker für Wechselstrombetrieb mit 50-Hz-Frequenz und mit An- kerhaltefeder beim Relais 462
Ankerhub	0,9 bis 1,2 mm nach Bauvorschrift

Kontaktfedersätze	3 einzeln lösbare Federsätze bis zu 6 Federn je Kontaktsatz
Zusammengesetzte Kontaktfedersätze	siehe Einstellvorschrift Ovalrelais 46 II/46 P/J 13
Wichtige Kontaktwerkstoffe	KW 32 = 85% Palladium + 15% Kupfer KW 40 = Wolfram plattiert auf Kupfer KW 50 = 100% Silber
Kontaktdruck	20 bis 25 Pond je Kontaktstelle bei KW 50, KW 32; 40 bis 50 Pond bei KW 40
Kontaktpimpel	Für hohe Schalthäufigkeit beim Relais 462 aus nylon-ähnlichem Werkstoff
Kontaktabstützung	auf Abstützbock aus Isoliermaterial, keine Stützfedern notwendig
Schaltgeräusch	kaum hörbar (etwa 40 Phon)