

# Funkschau

Radio, Fernsehen, Elektroakustik, Elektronik

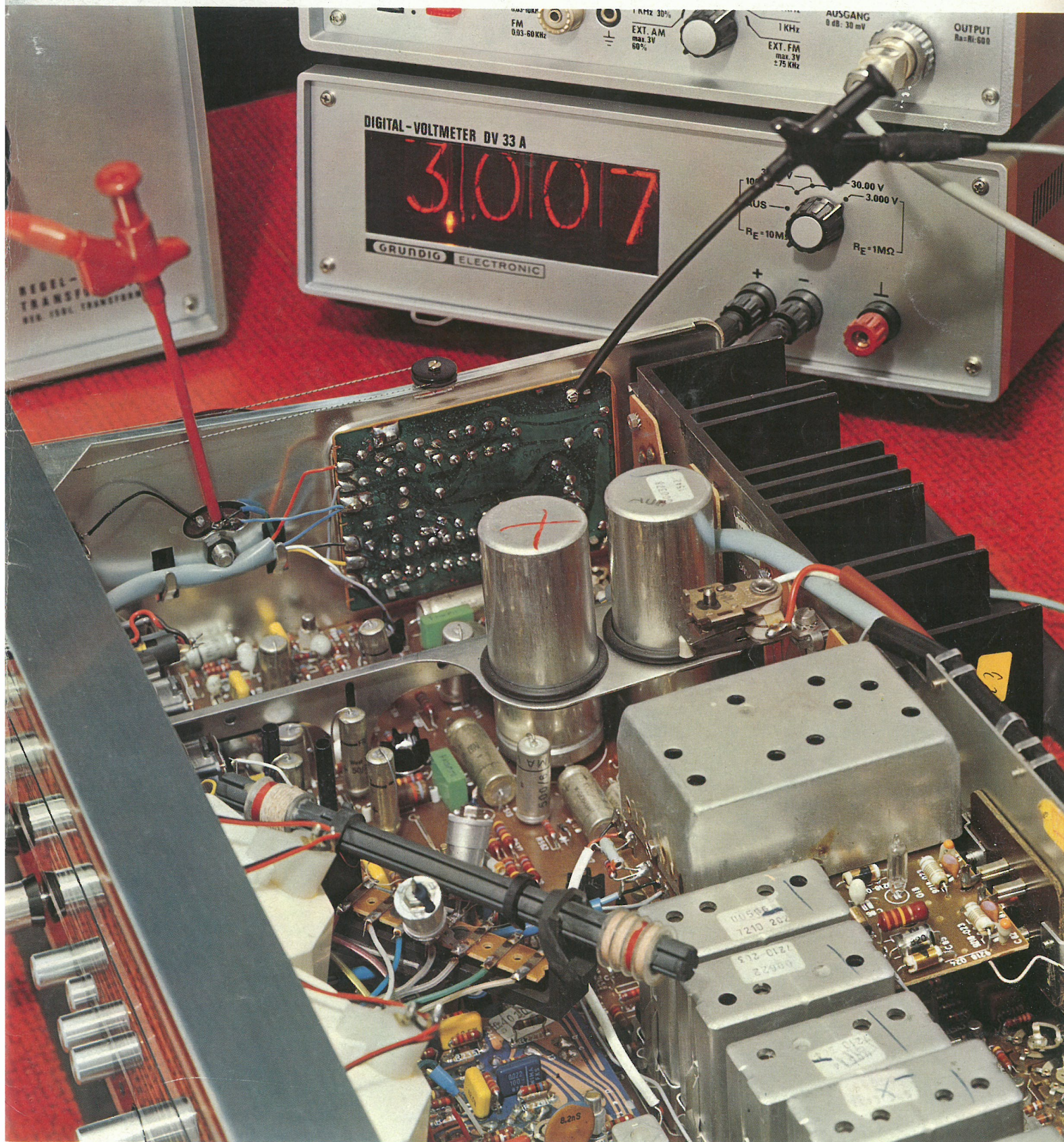
UKW-Empfang mit Ferritantenne  
Feldeffekttransistoren in Hf-Stufen  
Thyristor-gesteuertes Ladegerät  
Hochspannungserzeugung  
durch Spannungs-Verdreifachung  
Elektronischer Rechner selbstgebaut

B 3108 D

21

Zum Titelbild: Das Digitalvoltmeter in der Werkstatt. Einstellen der Spannungsgrenze von 3 V mit maximaler Toleranz von  $\pm 0,6$  V an den Abstimmindioden im Steuergerät RTV 600.  
Aufnahme: Cantzler

2.— DM





# Ein selbstgebauter elektronischer Rechner

## 1. Teil

Mit etwa 190 Transistoren und 230 Dioden entstand das Demonstrationsmodell eines Rechners, der mit dreistelligen Binärzahlen addiert, subtrahiert, multipliziert, dividiert und dies in selbständig ablaufenden Programmen auch langsam vorführt. Dabei werden auch Sonderfälle, wie Multiplikation mit Null und Division durch Null, berücksichtigt. Die Zahlen werden binär mit Tasten eingegeben und die Ergebnisse ebenfalls binär von Lämpchen angezeigt. Den Rechengang leitet man, nachdem die Rechenart eingestellt ist, mit einer Starttaste ein. Mit einer anderen Taste kann man das Programm auch schrittweise ablaufen lassen, wie es normalerweise bei Reparaturen üblich ist, hier aber gibt es die Möglichkeit, den Funktionsablauf zu verfolgen. Bild 1 zeigt die Frontplatte mit Tastatur und Anzeigeteil sowie die aus 39 Druckplatinen bestehende Elektronik des Rechners.

### Das Blockschaltbild

Bild 2 enthält die Blockschaltung, wobei jeder Block mit einer Zahl auf das entsprechende Bild der logischen Darstellung hinweist. Der zentrale Ringschalter ist das alles steuernde Organ des Rechners. Er besteht aus zwei Flipflops, die zyklisch vom Taktgeber gesetzt und rückgesetzt werden. Die dabei entstehenden Impulse aktivieren nacheinander die sechs Flipflops im Schrittschalter (7). Mit einem Schrittschalterdurchgang ist die Addition oder Subtraktion beendet.

Die Operanden für Addition und Subtraktion befinden sich in Speicher A und Speicher B, der auch als Akkumulator bezeichnet werden kann. Der Schrittschalter überträgt sie ins Addierwerk, das einen Übertragzusatz und den für Subtraktion notwendigen Komplementzusatz enthält. Mit Hilfe des Komplementzusatzes verwandelt man die Subtraktion in eine Addition. Bevor das Ergebnis der Addition in den Speicher B gelangt, wird es für kurze Zeit im Zwischenspeicher festgehalten.

Multiplikation und Division werden auf mehrmalige Addition oder Subtraktion zu-

rückgeführt. Dabei sorgt die Operationssteuerung für die entsprechende Anzahl der Schrittschalterdurchläufe. Soll eine Multiplikation ausgeführt werden, so bringt man den Multiplikanden in den Speicher A, den Multiplikator in den Speicher C. Der Multiplikand wird nun so oft zum Inhalt des Speichers B, der zuerst auf Null steht, addiert, wie es der Multiplikator angibt. Der Zähler verfolgt dabei die Schrittschalterdurchgänge. In dem Moment, wo Zählerstand und Inhalt des Speichers C übereinstimmen, gibt der Vergleichler das Signal zur Beendigung der Rechnung.

Bei der Division wird der Dividend in den Speicher B gegeben. Der Divisor, der in Speicher A steht, wird so oft vom Dividenten im Speicher B abgezogen, bis als Ergebnis eine negative Zahl im Speicher B steht. Dann hat der Rechner gerade einmal zu viel subtrahiert. Die negative Zahl ist das Signal, Rückrechnung (eine Addition) einzuleiten, womit der Speicher B den Rest der Division enthält. Die Anzahl der gültigen Schrittschalterdurchläufe kann man am Zählerstand ablesen. Er stellt den ganzzahligen Quotienten dar und wird von Lämpchen angezeigt.

Bei der Division wird der Divident in den Speicher B gegeben. Der Divisor, der in Speicher A steht, wird so oft vom Dividenten im Speicher B abgezogen, bis als Ergebnis eine negative Zahl im Speicher B steht. Dann hat der Rechner gerade einmal zu viel subtrahiert. Die negative Zahl ist das Signal, Rückrechnung (eine Addition) einzuleiten, womit der Speicher B den Rest der Division enthält. Die Anzahl der gültigen Schrittschalterdurchläufe kann man am Zählerstand ablesen. Er stellt den ganzzahligen Quotienten dar und wird von Lämpchen angezeigt.

### Spannungen für Betrieb und Logik

Im Bereich der logischen Schaltung werden nur die Betriebsspannungen +11 V und -11 V verwendet. Man benutzt sie für

den Betrieb und für die Arbeitspunkteinstellung der in den NOR-Gliedern und Flipflops vorhandenen Transistoren und Dioden.

Davon zu unterscheiden sind die sogenannten logischen Spannungen oder Schaltspannungen. Für sie verwendet man nur zwei Potentiale, denen man einen logischen Wert zuordnet. Binär heißt eben zweiwertig, und der Rechner arbeitet mit binären Informationen, in diesem Fall nur mit binären Zahlen, die man mit den beiden Symbolen L und 0 ausdrückt. Aber auch die beiden logischen Spannungswerte bezeichnet man mit L und 0 sowie mit WAHR und FALSCH. In diesem Rechner wurde die Spannung von etwa 0 V den Werten WAHR oder L und die Spannung von -6...-11 V den Werten FALSCH oder 0 (Null oder O) zugeordnet. Diese Toleranz der negativen Spannung ist normalerweise nicht üblich, hier muß man aber berücksichtigen, daß der Rechner möglichst billig herzustellen war. Man hat deswegen auf Begrenzer und andere Impulsregenerierschaltungen verzichtet. Eine Anlage dieses Umfangs, die überdies mit der niedrigen Frequenz von 1,4 kHz arbeitet, ist in ihrem Verhalten nicht sehr kritisch.

Lang anhaltende Spannungspegel mit L- oder 0-Wert sind häufig durch mechanische Schalter gegeben. Sonst arbeitet man im weiten Bereich mit Impulsen verschiedener Länge, die durch Aus- und Einschaltvorgänge der Verknüpfungsglieder und Flip-

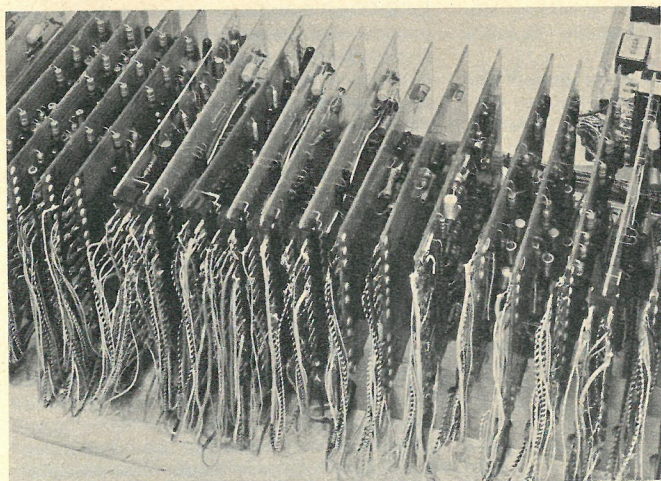


Bild 1a. Blick auf die Druckplatinen des Rechners, gebaut für den Wettbewerb „Jugend forscht“

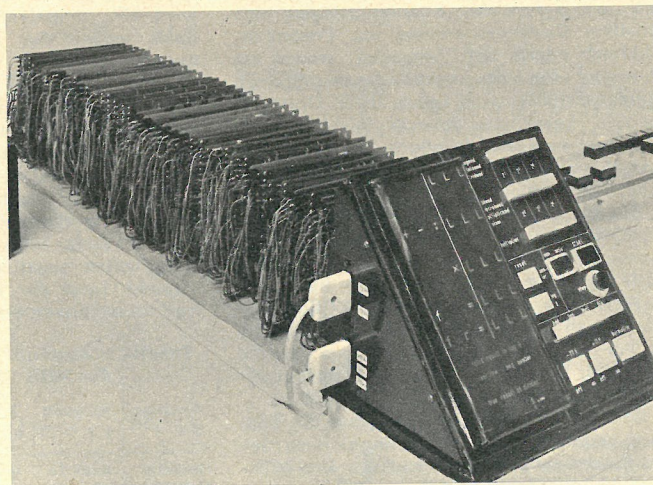


Bild 1b. Die Frontplatte des Rechners mit Bedienungsfeld (rechts) und Leuchtanzeige (links), dahinter die 39 selbstgefertigten Druckplatinen



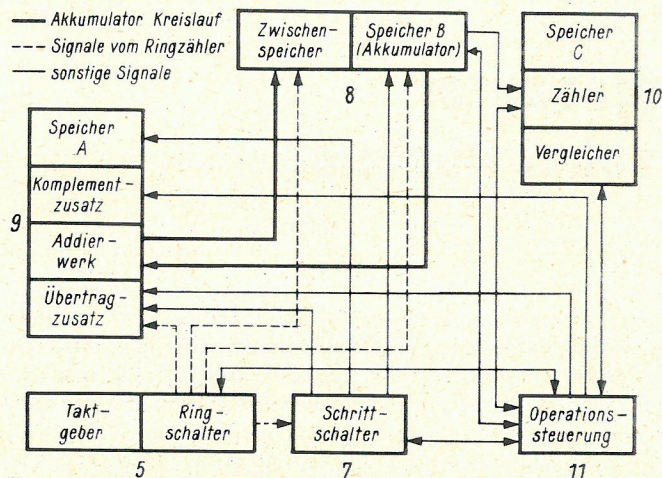


Bild 2. Blockschaltung des Rechners. Die nebenstehenden Zahlen nennen die Bilder mit den logischen Schaltungen

Rechts: Bild 4. Schaltung und Symbol des bistabilen Multivibrators, hier Flipflop genannt. AS = Ausgang Setzen, AR = Ausgang Rücksetzen; ES = Eingang Setzen; ER = Eingang Rücksetzen; WS, WR = Widerstandseingänge (vorbereitende Eingänge); CS, CR = kapazitive Eingänge (Impulseingänge)

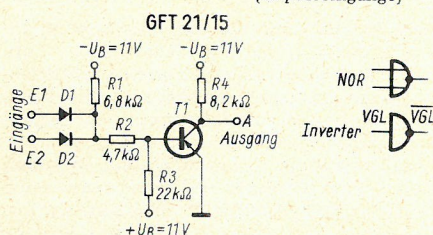
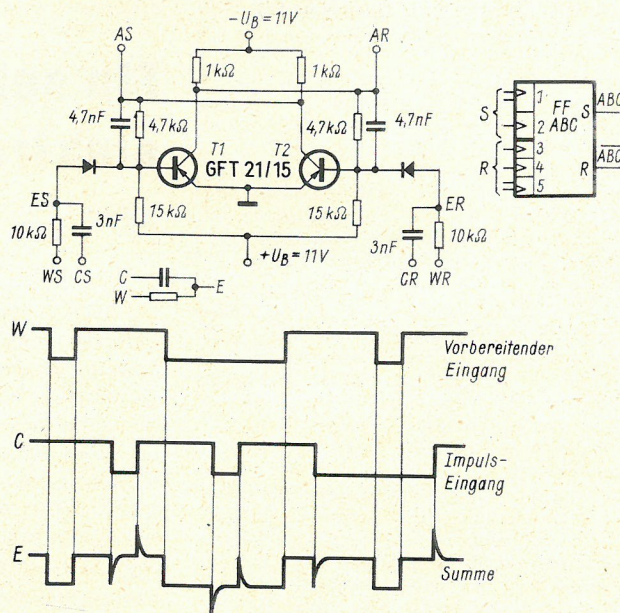


Bild 3. Schaltung des NOR-Gliedes und seine Symbole. Die Anzahl der Eingänge kann auch größer als zwei sein

flops erzeugt werden. Zur Betätigung der Flipflops werden steile Flanken gefordert.

#### NOR-Glieder und Inverter

Bild 3 zeigt das NOR-Glied. Es besteht aus einem ODER-Glied, das von den beiden Dioden und dem Widerstand R1 gebildet wird, und einem nachfolgenden Inverter. Bei offenen Eingängen (d. h. wenn keine Spannung an den Eingängen liegt) leitet der Transistor, was man leicht am Spannungsteilverhältnis  $R1/R2/R3$  erkennen kann. Eine negative Spannung von  $-6...-11$  V an beiden Eingängen oder an einem Eingang, wobei der andere offen bleibt, ändert am Leitzustand des Transistors je nach Spannungshöhe nichts oder nur wenig. Nähert sich die Eingangsspannung an beiden Eingängen oder einem Eingang – gleichgültig, wie negativ die Spannung am anderen ist – 0 V, so liefert der Spannungsteiler eine positive Basisvorspannung am Transistor. Dadurch sperrt der Transistor, womit am Ausgang eine hohe negative Spannung liegt. Eingangsspannungen haben ihren Ursprung in den Ausgängen anderer Verknüpfungsschaltungen sowie Flipflops, oder die Eingänge werden durch Schalter direkt an 0 V und  $-11$  V gelegt.

Bei der Betrachtung logischer Schaltungen sind, wie erwähnt, die eigentlichen Spannungswerte uninteressant. Man sagt dafür: „Die Spannung ist WAHR oder hat einen L-Wert“ bzw. umgekehrt. Die NOR-Funktion stellt man daher in einer Wahrheitstabelle in Form von L- und 0-Eintragungen dar, die man sich für die Dauer der Rechnerbetrachtung unbedingt merken sollte (Tabelle 1).

Benötigt man mehrere Eingänge, so können ohne weiteres Dioden parallel zu den vorhandenen geschaltet werden. Die NOR-Bedingung – daß man nur dann einen L-Ausgang erhält, wenn alle Eingänge FALSCH sind – ändert sich dadurch nicht.

Dieselbe Schaltung benutzt man auch als Inverter; verwendet man nämlich nur einen Eingang, so wird das dort vorhandene Signal am Ausgang immer umgekehrt erscheinen. Daher werden in dieser Beschreibung die beiden in Bild 3 gezeigten Schaltzeichen für dieselbe Schaltung benutzt. Ein inverses Signal wird durch einen Balken kenntlich gemacht. Aus z. B. VGL vor dem Inverter wird  $\overline{\text{VGL}}$ , wenn es nicht mit anderen Zeichen beschrieben wird.

#### Das Flipflop

Ein Flipflop stellt ein Speicherelement dar und ist in dieser Funktion häufig in logischen Schaltungen anzutreffen. Die beiden Transistoren (Bild 4) befinden sich immer in entgegengesetzten Zuständen: Leitet der Transistor T1, dann sperrt T2. Am Ausgang AS liegt in dem Fall eine hohe negative Spannung, an AR dagegen eine von 0 V. Die Verhältnisse drehen sich um, wenn an der Basis von Transistor T1 ein positiver Impuls erscheint und T1 sperrt. Im selben Moment wird die negativ gehende Spannung am Kollektor von T1 über die RC-Kopplung auf die Basis von T2 übertragen und öffnet den Transistor T2. Die Ausgangsspannungen kehren sich dabei entsprechend um. Ein neuer Impuls am Eingang ES derselben Seite kann durch Art der Eingangsschaltung nichts mehr am Zustand ändern, sondern nur ein positiver Impuls am Rücksetzeingang ER; negative Signale erreichen die Basis wegen der Diodenpolung ohnehin nicht.

Daraus folgt, daß ein aktiver Impuls auf der Setz- oder Rücksetzseite an der entsprechenden Basis immer positive Polarität aufweisen muß. Man erzielt ihn, indem der Widerstandseingang mit 0 V vorgespannt wird und am kapazitiven Eingang eine positiv gehende Flanke wirkt, die bei diesem Rechner stets beim Umschaltvorgang von einer hohen negativen Spannung nach 0 V entsteht. Liegt der Wert der Vorspannung weit im negativen Bereich, so wird der posi-

tiv gehende Impuls zwar trotzdem differenziert, wie das Impulsschema in Bild 4 zeigt, überschreitet aber mit seiner Überlagerung nicht den 0-V-Pegel und ist damit an der Basis des zugehörigen Transistors unwirksam.

Damit das Flipflop sich ändert, muß sich der Widerstandseingang vor Eintreffen der positiv gehenden Flanke vorbereitend auf 0-V-Potential befinden. Man nennt ihn deswegen Vorbereitungseingang. Ist der Vorbereitungseingang in Schaltbildern nicht eingetragen – wie in Bild 4, Eingang 2, 3 und 4, beim Flipflop-Symbol –, so liegt er ständig vorbereitend auf 0 V.

Die Kombination aus Vorbereitungseingang und kapazitivem Eingang, in der Folge Impulseingang genannt, stellt also eine Koinzidenzforderung besonderer Form. Deswegen soll der kombinierte Eingang hier als UND-Glied betrachtet werden, das dann und nur dann einen L-Ausgang bzw. WAHREN FF-Eingang liefert, wenn beide Eingänge WAHR sind. Die Vorbereitung soll dabei stillschweigend beachtet werden.

Wie man weiter in Bild 4 sieht, lassen sich mehrere Kombinationseingänge parallel schalten, die sich in ODER-Funktion gegenseitig nicht beeinflussen. Diese ODER-Wirkung braucht nicht mit eingetragen zu werden, sie geht aus der Zeichnungsart des Flipflops hervor. Denn auf der Setz- wie auf der Rücksetzseite des Flipflops werden die UND-Gliedereingänge, soweit mehrere vorhanden sind, symbolisch zusammengefaßt. Die Verknüpfungsglieder zählen in der Beschreibung von oben nach unten. Die Impulseingänge sind an Pfeilspitzen innerhalb der Eingangsglieder erkenntlich. Der Setz- ausgang AS ist dem Setzeingang zugeordnet. AS nimmt genau dann L-Wert an, sobald eines der Setz-UND-Glieder die Wahrheitsbedingung erfüllt, d. h. wenn bei mindestens einem Setz-UND-Glied 0 V bzw. L-Wert an W liegt und eine positive Flanke an C erscheint. Entsprechend verhält es sich auf der Rücksetzseite des Flipflops. Es wird aber auch davon geredet, daß man den oberen oder den unteren Ausgang setzt. Die Zustände der Flipflops werden mit L0 bzw. 0L angegeben, wobei sich die erste Stelle auf den oberen Ausgang bezieht.

Bauelemente, Leitungen, Funktionen und Signale sind mit drei Buchstaben oder Zahlen bezeichnet. Sie sind Abkürzungen, die aus der Tabelle 2 (erscheint im nächsten Heft) hervorgehen. (Fortsetzung folgt)

Tabelle 1. Zustände und Wahrheitstabelle des NOR-Gliedes (Bild 3)

Eingang E1	Eingang E2	Transistor	Ausgang A	E1	E2	A
negativ	negativ	leitet	0 V	0	0	L
negativ	0 V	sperrt	negativ	0	L	0
0 V	negativ	sperrt	negativ	L	0	0
0 V	0 V	sperrt	negativ	L	L	0