



Digitaltechnik - ganz einfach Teil 2

Nachdem wir im ersten Teil unserer Serie die Grundfunktionen der Digitaltechnik behandelt haben, wollen wir uns nun kurz dem allgemeinen Aufbau und der Funktion der verschiedenen Schaltkreissysteme widmen.

Daran anschließend kommen wir zu unseren praktischen Experimenten und bringen den Gattern langsam das Zählen und Speichern bei - wir beginnen hier mit einem der wichtigsten Schaltungselemente der Schaltungstechnik, dem Flip-Flop.

Familienwirtschaft

Blickt man in verschiedene Digitalschaltungen, so stellt man schnell fest, daß es ganz verschiedene Bezeichnungen vor dem eigentlichen Schaltkreistyp gibt. Da finden wir HC-Typen, HCT- und LS-Bezeichnungen oder gar nur Zahlen wie z. B. 4011.

All diese Bezeichnungen kennzeichnen, zu welcher Logikfamilie der Schaltkreis gehört.

Die am meisten angewendeten Logikfamilien sind die mit der Bezeichnung TTL und CMOS. Andere, wie z. B. die ECL-Logikfamilie, spielen nur eine Rolle bei speziellen Einsätzen wie z. B. bei sehr schnellen Frequenzteilern.

Wir wollen uns daher mit den grundlegenden

Eigenschaften und Daten der beiden Schaltkreisfamilien TTL und CMOS kurz soweit beschäftigen, wie es für die praktische Anwendung erforderlich ist.

TTL

Die TTL-Schaltkreisfamilie entwickelte sich bereits sehr früh in der Halbleitertechnik, löste sehr schnell die heute kaum noch bekannten RTL- und DTL-Schaltkreisschaltungen der ersten Stunde ab und galt fast 30 Jahre als die bedeutendste Schaltkreisfamilie. Die moderneren Vertreter dieser Schaltkreisreihe, etwa die 74LS-Reihe, haben nach wie vor eine hohe Bedeutung in der modernen Schaltungstechnik.

TTL bedeutet Transistor-Transistor-Logik und sagt uns nichts anderes, als daß

sowohl Signal-Ein- als auch Auskopplung über Transistoren erfolgt. Im Gegensatz dazu erfolgte dies bei den ersten bipolaren Schaltkreisen über Dioden-Transistor-(DTL) oder Widerstands-Transistor-(RTL) Kombinationen. Die Ausführung mit „normalen“ Transistoren gegenüber der in der MOS- und CMOS-Technik üblichen unipolaren Transistoren gab der Schaltkreisfamilie die Einordnung in die Reihe der bipolaren Schaltkreise.

Die TTL-Baureihen gliedern sich, wie gesagt, in mehrere, historisch gewachsene Reihen. Während zunächst die sogenannten Standard-TTL-Schaltkreise mit der Bezeichnung 74xxx (Abbildung 10) den Markt dominierten, kamen später Reihen mit sehr schnellen Schaltzeiten wie die High-Speed-Reihe 74Sxxx oder aber veringerte Leistungsaufnahme wie die 74Lxxx-Reihe sowie Kombinationen aus beiden Reihen (74LSxxx, Abbildung 11) hinzu. Letztere dominiert heute TTL-Anwendungen.

Kleine Unterschiede

Kennzeichnend für die Grundschialtung von TTL-Gattern (Abbildung 10) ist der Mehrmitter-Eingang, der mehrere Eingänge rückwirkungsfrei miteinander verkoppelt und der sogenannte Totem-Pole-Ausgang, der aus einer Treiberstufe mit zwei im Gegentakt arbeitenden Ausgangstransistoren besteht.

Diese Schaltungsmerkmale sind in allen Schaltkreisen der Standard-TTL-Reihen zu finden, egal, wie komplex deren Innenleben auch ist. Lediglich bei den High-Speed-Baureihen mit dem S in der Typenbezeichnung finden wir statt der Mehrmittertransistoren Schottky-Diodeneingänge (Abbildung 11), da deren Schaltzeiten wesentlich kürzer sind als die von Transistoren.

Nicht alle gleich

Auch ausgangsseitig gibt es Unterschiede. Der Standard-Ausgang ist gemäß Abbildung 12 durch die Totem-Pole-Schaltung gekennzeichnet (Totem-Pole bedeutet zu deutsch Totem-Pfahl und kennzeichnet das Übereinanderordnen der Schal-

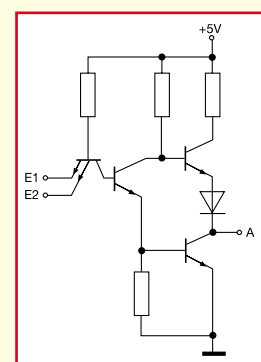


Bild 10: In der Innenschaltung eines Gatters des 7400 gut zu sehen - Mehrmittereingang und Gegentakt-Ausgang.

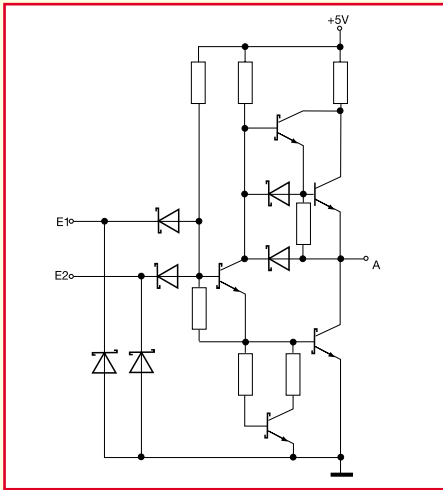


Bild 11: Kennzeichnend für schnelle und leistungssarme TTL-IS sind die Schottky-Dioden-Eingänge. Hier ein Gatter des 74LS00.

tungselemente Widerstand, Diode und Ausgangstransistoren wie das der indianischen Masken an einem sog. Totem-Pfahl). Er kann sowohl TTL-Eingänge ansteuern („treiben“) als auch systemfremde Lasten, wie z. B. einen Transistor oder eine LED über einen Vorwiderstand, wie wir es ja schon aus unseren ersten Experimenten kennen.

Seine Funktionsweise ist schnell erklärt: Die Transistoren werden als Schalter betrieben, und zwar so, daß sie nicht gleichzeitig leiten oder sperren können. Daher ist je nach Schaltzustand immer nur einer der beiden Transistoren leitend und schaltet den Ausgang entweder nach Masse (Ausgangspegel = L) oder zur Betriebsspannung (Ausgangspegel = H) durch.

Eine weitere wichtige Rolle spielt der Tristate-Ausgang. Sein Name sagt alles. Im Gegensatz zum einfachen Totem-Pole-Ausgang, der den Ausgang entweder sperrt oder durchschaltet, ist es hier über eine besondere Steuerung, die sowohl extern als auch intern innerhalb der Schaltkreislogik ausgelöst werden kann, zusätzlich möglich, den Ausgang durch gleichzeitige Sperrung beider Ausgangstransistoren auf einen Pegel zu legen, der weder L noch H (hochohmig gegenüber H und L) ist. Der Vorteil dieser Schaltungsversion (Abbildung 13) ist die Möglichkeit, mehrere Schaltkreisgänge z. B. an einer gemein-

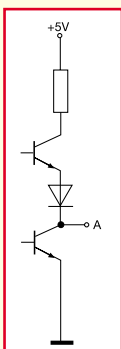
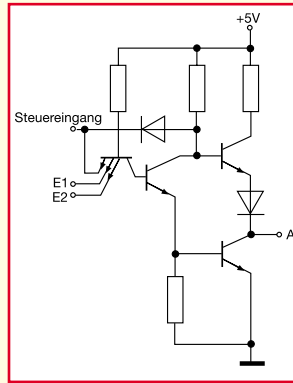


Bild 12: In einer Reihe senkrecht übereinander, die Elemente der TTL-Ausgangsstufe, die der Schaltung den Namen geben - Totem Pole-Ausgang.

Bild 13: Über einen Steuereingang läßt sich ein Tristate-Ausgang, hier des 74L03 hochohmig schalten.



samen Busleitung betreiben, d. h., parallel schalten zu können. Bei einem einfachen Ausgang würde bei Parallelschaltung die Ausgangslast zu groß und es könnten u. a. keine definierten Pegel mehr weitergegeben werden.

Wichtigste Anwenderregel ist beim Tristate-Ausgang die, daß niemals zugleich zwei oder gar noch mehr Ausgänge aktiviert sein dürfen, sie müssen zeitlich nacheinander geschaltet werden. Tristate wird uns später noch oft begegnen.

WIRED mit OC

Die dritte wichtige Ausgangsschaltungsversion ist der Open-Collector-Ausgang OC (Abbildung 14). Wie sein Name schon sagt, weist hier der Ausgangstransistor einen offenen Kollektor auf, der im leitenden Zustand nach Masse schaltet (L-Pegel) und im gesperrten Zustand hochohmig (offen) wird. Dieser Effekt wird zum einen für das Treiben höherer Lasten eingesetzt, zum anderen sind hier je nach Typ des Aus-

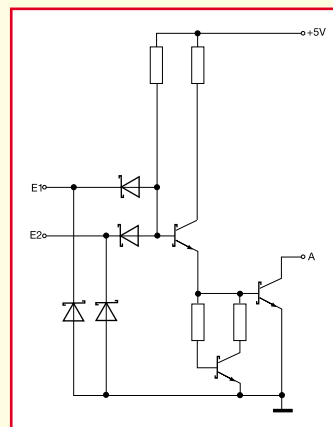


Bild 14: Der Open-Collector-Ausgang gestattet das Schalten systemfremder Spannungen und die WIRED-Verknüpfung am Bus.

gangstransistors höhere Ausgangsspannungen als die Betriebsspannung des Schaltkreissystems möglich. Aber auch Multiplexbetrieb und Parallelschaltung von Ausgängen ist so möglich. Und gerade letztere Möglichkeit wird gern in der Praxis angewandt, um eine zusätzliche logische Ver-

knüpfung zu realisieren. So kann man z. B. mehrere NAND-Gatter so ausgangsseitig zusammenschalten, daß eine zusätzliche AND-Funktion entsteht. Durch Parallelschaltung von AND-Gattern oder OR-Gattern lassen sich dann in Ableitung zusätzliche AND-Verknüpfungen mit kaskadierbaren Eingängen oder zusätzliche NOR-Funktionen erzielen (Abbildung 15).

Das Ganze nennt man je nach eingesetzten Gattern WIRED-AND bzw. WIRED-OR. Elektrisch beruht die Wired-Funktion auf dem Muß des am Open-Kollektor-Ausgang notwendigen externen Widerstands, der die logische Verknüpfung möglich macht.

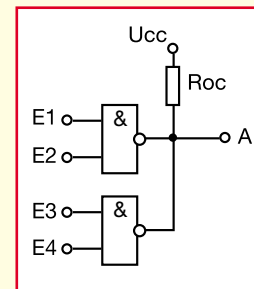


Bild 15: WIRED-AND mit zwei Open-Collector-NAND-Gattern.

TTL - Sonnen- und Schattenseiten

Die TTL-Familie deckt heute nahezu alle denkbaren Anwendungen mit Schaltkreisen niedrigen und mittleren Integrationsgrades ab und ist mit nahezu 1000 Typen am Markt vertreten (ohne Spezialtypen).

Dabei zeichnen sich die TTL-Bausteine durch folgende Vorteile aus, die zum Zeitpunkt ihres Erscheinens am Markt zum Teil neue Maßstäbe setzten:

- kurze Schaltzeiten der Gatter,
- verhältnismäßig hoher Ausgangsstrom, der es gestattet, kleinere Lasten sogar direkt anzusteuern,
- einfach beherrschbare Technologie und damit verbundene hohe Schaltkreisausbeute bei den Chipherstellern.

Der recht hohe Ausgangsstrom hat aber auch Schattenseiten, die vor allem bei der Ur-TTL-Technik einen entscheidenden Nachteil darstellt: auch im Ruhezustand benötigt die stromgesteuerte TTL-Technik einen hohen Ruhestrom. Der relativ hohe Strombedarf der TTL-Schaltkreise erzwang große Chipflächen, um die entstehende Verlustwärme abzuführen. Damit war dem Integrationsgrad der TTL-Technik bei gleicher Chipfläche eine „natürliche“ Grenze gesetzt, weshalb man hochintegrierte Chips wie Speicher und Prozessoren heute ausschließlich in CMOS-Technologie fertigt.

Pegel und Spannungen

Die wichtigsten Daten von TTL-Schalt-

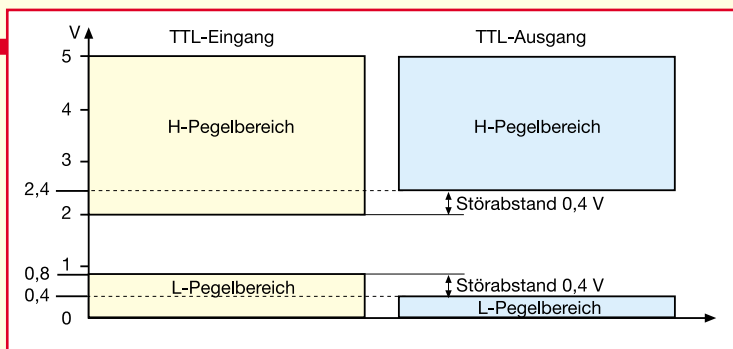


Bild 16:
TTL-Pegel und
Störabstand.

Gleichspannung völlig sperren, sind also extrem hochohmig. Je nach Eingangspotential leitet wiederum der obere oder untere Transistor. Das Ganze erfolgt lediglich spannungsgesteuert, also nahezu leistungslos (zumindest im statischen Betrieb).

Um den leicht unsymmetrischen Betrieb der CMOS-Ausgangsstufe zu kompensieren, sind ihr stets noch 2 Inverterstufen nachgeschaltet, die als Ausgangspuffer die-

kreisen aus Anwendersicht sind die Signalpegel an Ein- und Ausgang, Ein- und Ausgangsströme, die Verzögerungszeiten und die Betriebsspannungsbereiche. Bei weiteren Anwendungen wie taktgesteuerten Schaltkreisen kommen dann z. B. noch Taktfrequenzen u. a. dazu. Solche Daten behandeln wir, wenn wir die entsprechenden Schaltungen kennenlernen.

Ein Begriff, dem wir ja schon im ersten Teil begegnet sind, ist der des Signalpegels, für den normalen Anwender neben der Betriebsspannung die wohl wichtigste Angabe.

Dieses Thema können wir kurz und schmerzlos anhand Abbildung 16 behandeln, sollten die Daten aber nie mehr vergessen. Der Bereich des L-Pegels geht beim TTL-Eingang von 0 bis 0,8 V, der des H-Pegels von 2 bis 5 V. Das heißt, im Spannungsbereich des L-Pegels erkennt jedes TTL-Gatter an seinem Eingang L, ab 2 V dann H.

Und dazwischen?

Heikles Thema, der Spannungsbereich zwischen 0,8 V und 2 V ist „restricted area“, verbotene Zone. Ein Signal, das in diesem Bereich längere Zeit anliegt, kann das Gatter zum Schwingen anregen. Zumindest ist eine Fehlfunktion programmiert. Also wird von einem Ansteuerimpuls verlangt, daß er diesen Bereich möglichst schnell durchläuft. Das Problem wird uns noch wiederbegegnen.

Ausgangsseitig sind die Pegel für H zwischen 2,4 V und 5 V sowie für L zwischen 0 und 0,4 V definiert.

Ist nun ein Gatterausgang mit dem nächsten Gattereingang zusammenschaltet, erkennen wir Differenzen zwischen den Pegeln von Ausgang und Eingang. Da der Gattereingang einen weiteren Bereich für L- und H-Pegel anerkennt, hat man hier eine kleine Pegelreserve, denn Störungen kann es überall geben. Diese Pegelreserve wird Störabstand genannt und ist bei TTL relativ gering, nämlich bei H und L jeweils nur 0,4 V, was TTL etwas stör anfälliger macht als z. B. CMOS.

Letzte wichtige Angabe, alle anderen wollen wir dort behandeln, wo sie wirklich wichtig sind, ist die Betriebsspannung. Diese muß im schmalen Bereich zwischen 4,75 und 5,25 V liegen und ist gut zu stabilisieren. Nur spezielle TTL-ICs weisen einen geringfügig erweiterten Bereich auf. Bei höheren Betriebsspannungen steigt die Verlustleistung sehr schnell an und der

Schaltkreis wird thermisch zerstört.

CMOS - alles anders?

Alles nicht, wenn auch vieles. Da ist zunächst einmal die grundlegende Realisierung in Unipolar-MOS-Technik. Die MOS-Technik hat zahlreiche technologische Vorteile gegenüber TTL, weshalb ihre moderne Version CMOS heute schon in weiten Bereichen die TTL-Technik verdrängt hat. Da wäre zum einen der Aufbau aus hochohmigen Feldeffekttransistoren, die bekanntermaßen nahezu leistungslos ansteuerbar sind und so nur sehr geringe Verlustleistungen aufweisen. Diese steigen erst mit wachsender Betriebsfrequenz.

Dazu kommt der einfache und damit platzsparende Aufbau ohne weitere Schaltungselemente wie Dioden und Widerstände sowie Fortfall von Isolierschichten und die auch dadurch mögliche hohe Integration, die zum alleinigen Einsatz der MOS-Technologie in hochintegrierten Schaltungen geführt hat.

Nachteile waren zuerst die relativ hohen Schaltzeiten, (durch die hohen Kapazitäten innerhalb der MOS-Schaltungen) diese wurden erst später mit Einführung der CMOS-Technik verringert), sowie die zunächst relativ geringen Ausgangsströme.

Erst mit der Fortentwicklung der MOS-Technologie hin zu CMOS durchbrach man die technologischen Schranken, so daß moderne CMOS-Reihen heute in Schaltzeit und Ausgangslaststrom den TTL-Schaltkreisen ebenbürtig sind und diese vielfach direkt ersetzen können.

CMOS ist eine Weiterentwicklung der MOS-Technik und bedeutet im wesentlichen, daß zwei Metalloxid-Feldeffekttransistoren (jeweils ein n- und ein p-Kanalelement) in Serie zwischen Masse und Betriebsspannung liegen (Komplementärtechnik, siehe Abbildung 17). Die Eingänge beider Transistoren sind verbunden. Diese Transistoren können im Idealfall die

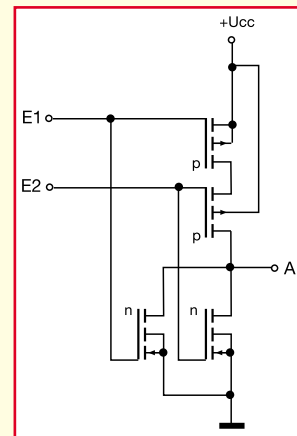


Bild 17:
CMOS-NAND-Gatter. Man erkennt deutlich die komplementäre Ausgangsstufe.

nen und für ein symmetrisches Ausgangssignal sorgen.

CMOS unterscheidet sich auch wesentlich durch einen erweiterten Betriebsspannungsbereich von TTL. Er reicht von 3 V bis 15 V. So kann CMOS sowohl in TTL-Schaltungen mit ihren strengen 5 V eingebunden werden als auch in analoge Schaltungen, die z. B. mit 9 V oder 12 V arbeiten.

Und schließlich sind CMOS-Schaltungen störsicherer als TTL-Schaltkreise. Dies ist durch den gegenüber TTL erweiterten Störabstand von Eingangs- und Ausgangspegel bedingt. Bei 5V-Betriebsspannung erkennt die CMOS-Reihe (4000er-Serie) am Eingang einen L-Pegel zwischen 0 V und 1,5 V und einen H-Pegel zwischen 3,5 V und 5 V. Am Ausgang sind es entsprechend 0 V bis 0,05 V für L und 4,95 V bis 5 V für H (Abbildung 18). Daraus resultiert ein Störspannungsabstand von 1,45 V. Bei höheren Betriebsspannungen vergrößert er sich auf 2,95 V bei 10 V Betriebsspannung (Daten siehe Tabelle 2).

TTL und CMOS zusammenschalten?

Vergleicht man nun die Pegeldiagramme

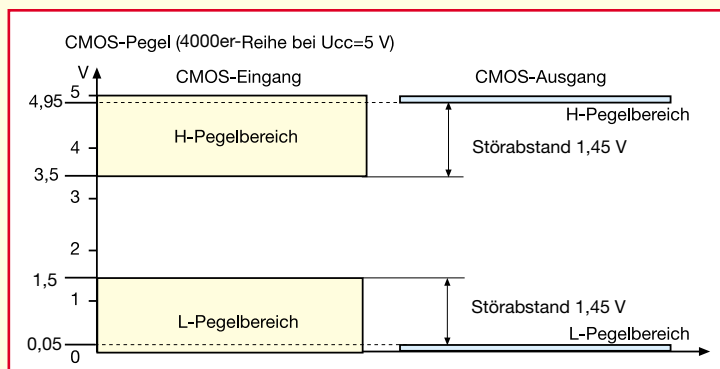


Bild 18: CMOS-Pegel und Störabstand.

Tabelle 2: Ein- und Ausgangsspannungen der CMOS-Reihe 4000 bei $U_{cc} = 5, 10$ und 15 V

U_{cc}	5 V	10 V	15 V
Max. L-Eingangsspannung (V)	1,5	3	4
Min. H-Eingangsspannung (V)	3,5	7	11
Max. L-Ausgangsspannung (V)	0,05	0,05	0,05
Min. H-Ausgangsspannung (V)	4,95	9,95	14,95

von TTL und CMOS, so wird man feststellen, daß man einen TTL-Eingang sogar direkt an einen CMOS-Ausgang anschließen kann, denn sowohl dessen 0,05 V für L als auch die 4,95 V für H liegen innerhalb der entsprechenden TTL-Bereiche.

Umgekehrt geht dies jedoch nicht, wenn man sich das Pegeldiagramm für den CMOS-Ausgang und TTL-Eingang ansieht. Denn der TTL-H-Pegel beginnt bei 2,4 V, während CMOS erst bei 3,5 V ein H erkennt. Die 2,4 V TTL-H liegen im verbotenen Bereich für CMOS. Also hat man sich einen Trick einfallen lassen und schreibt für diese Verbindung einen sogenannten Pull-Up-Widerstand (4,7 k Ω bei 5 V) am Eingang des CMOS-Gatters vor, der das H-Potential für den CMOS-Eingang sicher auf H zieht.

Ganz sicher geht man hier, indem man ein IC der 74HCT-Reihe vorsieht, das nicht nur pin- und funktionskompatibel mit TTL ist, sondern durch interne Maßnahmen auch diesen störenden Pull-Up-Widerstand überflüssig macht.

Übrigens, sowohl die Reihe 74HCxxx als auch die Reihe 74HCTxxx ist pin- und funktionskompatibel mit den entsprechenden TTL-Typen. Folgerichtig finden wir hier auch Typen mit offenem Drain-Anschluß als Äquivalent zum Open Collector bei TTL und auch Typen mit Tristate-Ausgang.

Deshalb folgte man entgegen der ursprünglichen 4000er Reihe bei CMOS bei den HC- und HCT-Typen der bewährten Kennzeichnung und Einordnung in die 74er Bezeichnungsreihe, in die auch die diversen TTL-Reihen eingeordnet sind. Deshalb erkennt man den Unterschied nur noch an der Buchstabenkombination hinter der 74. Sobald ein C darin auftaucht, gehört das IC zur CMOS-Reihe.

Damit kann man als Resümee über CMOS noch einmal deren Vorteile nennen: Sie verbinden in nahezu idealer Weise kurze Schaltzeiten, große Treiberströme, höhere Störabstände, geringe Stromaufnahme, großen Betriebsspannungsbereich und teilweise Pin- und Funktionskompatibilität mit TTL miteinander zu äußerst universell einsetzbaren Bausteinen der Digitaltechnik.

Dynamisch, dynamisch

Nachdem wir nun ausführlich die wichtigsten Schaltkreisfamilien und deren Verhalten kennengelernt haben, wollen wir uns wieder der praktischen Seite zuwen-

den und eine neue Art des Verhaltens von digitalen Schaltgliedern kennenlernen.

Im vorangegangenen ersten Teil haben wir erfahren, daß sich der Zustand am Ausgang eines Gatters oder einer Gatterkombination sofort ändert, wenn sich der Zustand am Eingang ändert, unabhängig von etwa früher vorhandenen anderen Zuständen am Eingang - es verhält sich statisch, weil es einfach keinen anderen Zustand einnehmen kann. Wie auch, es ist nur eine Signalflußrichtung vorhanden, es gibt keine Rückkopplung von Ausgängen auf Eingänge etc.

Nun gibt es aber ungezählte Anwendungen, die es notwendig machen, einen Eingangsimpuls über eine gewisse Zeit zu speichern, bis diese Information zu einem definierten Zeitpunkt durch ein weiteres Eingangssignal gelöscht wird. Solch ein Verhalten nennen die Techniker dynamisch und die zugehörige Schaltung nicht mehr kombinatorisch, sondern sequentiell.

Ein einfacher Vergleich mit Ihrer Digitaluhr gefällig? Würde die Ziffernanzeige nur mit kombinatorischen Schaltelementen angesteuert, so würde sie nach jedem Impuls 1 anzeigen und statt nach dem nächsten Impuls weiterzuzählen, nach diesem wieder allein zur 0 zurückkehren. Also muß der erste Wert zwischengespeichert werden. Er wird erst wieder gelöscht, wenn der nächste Impuls eintrifft. Mehrere solcher Stufen hintereinandergeschaltet, bilden einen einfachen Zähler, der die Information gewissermaßen „durchschiebt“, das Grundprinzip eines Zählers.

Wie sieht eine solche Speicherschaltung nun praktisch aus?

RS-Flip-Flop - der kleinste Speicher

Die einfachste sequentielle Schaltung ist das aus zwei NAND-Gattern mit Rückführungen aufgebaute RS-Flip-Flop (Abbildung 19). Erstmals sehen wir hier in der

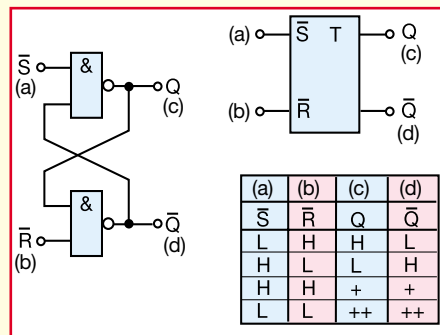


Bild 19: Grundschaltung, Schaltzeichen und Pegeltabelle des RS-Flip-Flops. ++: zufällige Anzeige, logisch verboten; +: keine Änderung.

Digitaltechnik Signalrückführungen vom Gatterausgang auf den Gattereingang, so daß wir es nun nicht mehr allein mit einer Signalflußrichtung zu tun haben.

Das RS-Flip-Flop verfügt über zwei Eingänge: S und R. S steht für englisch „Set“, zu deutsch „Setzen“, R für „Reset“, also „Zurücksetzen“. Diese beiden Eingänge bestimmen nicht nur die Arbeit der Schaltung, sondern geben dem Flip-Flop auch den Namen RS-Flip-Flop.

Um die Funktion dieser Anordnung zu verstehen, nehmen wir nun zunächst wieder unser Experimentierboard zur Hand und bauen nach Abbildung 20 aus zwei NAND-Gattern des 4011, zwei Widerständen und zwei Tastern R und S sowie zwei LEDs samt Vorwiderständen an Q und \bar{Q} ein solches RS-Flip-Flop auf. Das sieht auf dem Papier komplizierter aus, als es ist, dennoch sollte man wieder sorgfältig darauf achten, daß die Verdrahtung übersichtlich bleibt und kein Anschlußpin verwechselt wird. Wer will, kann die beiden Taster und die beiden Leuchtdioden mittels kleiner Klebeetiketten beschriften.

Nach dem Anlegen der Betriebsspannung muß eine der beiden LEDs leuchten, welche, ist egal, das werden wir noch diskutieren.

Durch wechselseitiges Betätigen der Taster muß man nun zwischen den beiden Leuchtdioden umschalten können.

Erarbeiten wir uns nun für alle vier möglichen Schaltzustände der beiden Taster systematisch unsere bekannte Wahr-

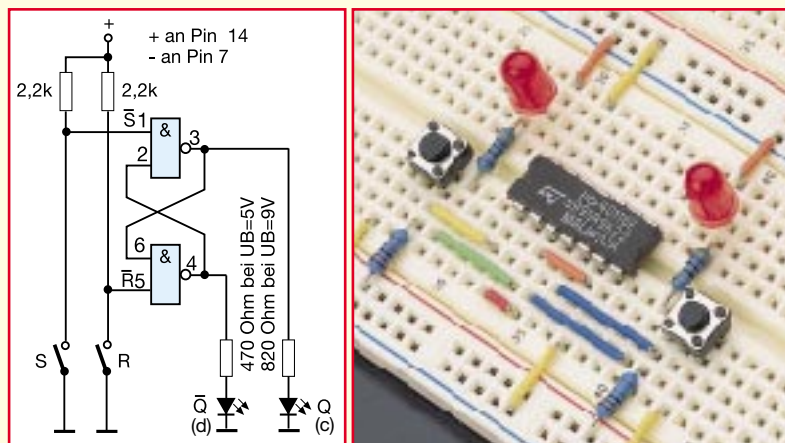


Bild 20: Der Versuchsaufbau für unser RS-Flip-Flop.

heitstabelle, d. h., wir tragen für die Zustände an den Eingängen \bar{S} und \bar{R} die entsprechenden Ausgangspegel von Q und \bar{Q} ein (Abbildung 19). Heraus kommt dabei, daß die Zustände an den beiden Ausgängen nur definiert wechseln, wenn jeweils der andere Taster betätigt wird. Dabei zeigen die Ausgänge stets entgegengesetzte Pegel an, weshalb einer der Ausgänge mit einem Querstrich gekennzeichnet ist, der ihn als inversen Ausgang zu Q ausweist.

Das heißt, das Flip-Flop speichert die Eingabe z. B. des Setz-Tasters solange, bis der Rücksetztaster betätigt wird, also die Information des Setztasters wieder gelöscht wird. Das mehrfache Betätigen desselben Tasters führt zu keiner Änderung der Anzeige, der erste Impuls ist gespeichert (siehe Pegeldiagramm in Abbildung 19). Erst der Pegelwechsel am anderen Eingang führt zum Umschalten der Ausgänge.

Die beiden anderen Zustände, also beide Eingänge gleichzeitig an L oder H, sind für die eigentliche Funktion nicht relevant, da beim ersten Zustand eine zufällige Anzeige auftreten kann und im zweiten Fall sich nichts an der Anzeige ändert.

Bis 1 kann unser Flip-Flop also schon zählen. So unscheinbar diese Schaltung sein mag, sie ist die Grundlage der modernen Speichertechnik. So besteht z. B. der Cache-Speicher unserer Computer aus Millionen dieser RS-Flip-Flops. Diese speichern jeweils nur einen Zustand, L oder H, weshalb man das einzelne Flip-Flop auch als 1-Bit-Speicher bezeichnet. Bei einem Zustandswechsel am jeweils anderen Eingang schaltet die Speicherzelle auf den jeweils anderen Pegel um.

Schaltungstechnisch wird dafür gesorgt, daß verbotene bzw. undefinierte Zustände nicht auftreten können.

Wie Sie anhand Ihrer Experimentierschaltung aber leicht feststellen können, ist die Anzeige beim Zuschalten der Betriebsspannung nicht immer die gleiche. Genau das passiert auch beim Abschalten des Computers - er „vergibt“ die in seinem

RAM gespeicherten Informationen.

Da solch ein Flip-Flop die Grundlage von Zählschaltungen ist, werden wir später Maßnahmen kennenlernen, die das Flip-Flop beim Zuschalten der Betriebsspannung in eine definierte Stellung zwingen - den RESET.

Noch zwei Worte zur Bezeichnung und Zuordnung der Ein- und Ausgänge. Die Eingangsbezeichnungen müssen bei unserer Schaltungsvariante deshalb mit einem Querstrich bezeichnet werden, da sie bei unserer Schaltungsauslegung mit NAND-Gattern nur bei Anlegen an L aktiv werden. Im umgekehrten Falle nennt man dies H-aktiv und erkennt es am fehlenden Querstrich über der Eingangsbezeichnung.

Die Zuordnung S-Eingang zu Q-Ausgang und R-Eingang zu \bar{Q} -Ausgang entspricht der üblichen Verfahrensweise in der Digitaltechnik, sie hat nur die Bedeutung einer einheitlichen Definition, denn die Schaltung ist ja ansonsten symmetrisch aufgebaut.

Das RS-Flip-Flop in Aktion

Nachdem wir die Grundschiung des RS-Flip-Flops wahrscheinlich ausreichend genug diskutiert haben, wollen wir noch eine nützliche Anwendung kennenlernen, die zum einen das Zählen des RS-Flip-Flops (freilich nur bis 1) und zum anderen dessen Funktion als prellfreier Eingabetaster zeigt.

Wir ändern unsere Grundschiung auf dem Experimentierboard durch Ersetzen der beiden Taster mit einem Umschalter, der einfach zwischen R und S umschaltet (Abbildung 21). Als Umschalter sind z. B. Shadow-Computertaster mit einem oder zwei Umschaltern gut geeignet. Beachten Sie, daß sich bei diesen Tastern oft der Mittenkontakt nicht etwa in der Mitte, sondern an erster oder letzter Stelle der drei Kontakte befindet.

Bei jedem L-Impuls an einem der beiden Eingänge wechselt nun der Zustand am Ausgang zwischen H und L. Man zählt also bei jedem Impuls bis 1, bevor der nächste

Impuls (also das Loslassen bzw. Umschalten) des Umschalters dieses gespeicherte Zählergebnis löscht, der nächste Impuls zählt wieder bis 1 usw. Stellt man sich eine Kaskadierung mehrerer solche Bausteine vor, kann nun eine Information gewissermaßen durch mehrere hintereinander geschaltete RS-Flip-Flops „durchreichen“. Dem steht aber der immer wieder folgende Rückstellimpuls entgegen, weshalb man zum echten Zählen auf andere Schaltungslösungen zurückgreift - das im nächsten Teil beschriebene flankengetriggerte Flip-Flop.

Dennoch sollten Sie die kleine Schaltung lassen, wie sie ist, denn sie ist als äußerst nützlicher Impulsgeber für die folgenden Schaltungsbeispiele einsetzbar. Warum so kompliziert und nicht einfach einen Taster für die Erzeugung von L-Impulsen einsetzen?

Der Grund ist einfach. Vergewöhnen wir uns einmal, daß die Schaltzeiten von IC-Gattern sämtlich im ns-Bereich liegen. Ein mechanischer Schalter schließt und öffnet bei seiner Betätigung, durch den Bediener unbeeinflussbar, immer mehrere Male - er prellt. Dies kommt durch Unebenheiten der Kontakte, Federungseigenschaften der Materialien, Bediengeschwindigkeit usw. zustande. Ein Impulseingang, wie ihn ein Gatter darstellt, kann auf solch ein Kontaktprellen dergestalt reagieren, daß es die Prellimpulse als vermeintliche Einzelimpulse registriert und entsprechend die nachfolgende Zählschaltung falsch weiterschaltet, ein Phänomen, das uns noch manchmal Kopfschmerzen machen wird. Da kommen uns die angenehmen Eigenschaften des RS-Flip-Flops zupass, und wir können diese in praktischer Weise anwenden. Da, wie wir wissen, das RS-Flip-Flop nur einmal auf einen Impuls am gleichen Eingang reagiert und dann erst wieder, wenn es durch eindeutiges Schalten „auf die andere Seite“, zurückgesetzt wurde, ist hier auch noch so heftiges Prellen des Kontakts wirkungslos. Am Ausgang erscheint stets ein eindeutiger Pegelwechsel. Deshalb nennt man diese Anwendung des RS-Flip-Flops auch Entprellschalter. Ihn werden wir noch öfter brauchen. Lassen Sie ihn deshalb auf dem Experimentierboard, lediglich die Leuchtdiode an Q kann samt ihrem Vorwiderstand entfernt werden. Kümmern Sie sich bis zum nächsten Heft schon einmal um zwei weitere 4011, damit wir unseren Flip-Flops das Zählen bis 16 beibringen können.

In diesem dritten Teil bauen wir unseren ersten „richtigen“ Zähler, lernen dabei das Binärsystem noch besser kennen, ebenso die verschiedenen Arten von Flip-Flops anwenden und beschäftigen uns mit der Impulserzeugung und der Frequenzteilung.

ELV

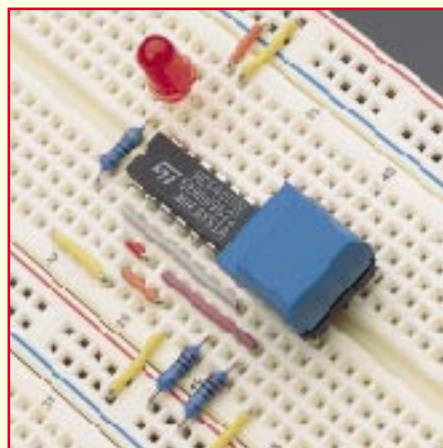
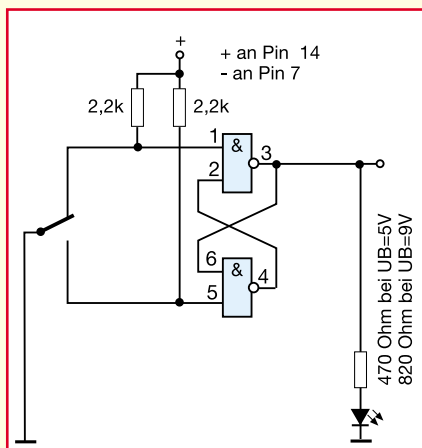


Bild 21: Erste Anwendung des RS-Flip-Flop - die entprellte Impulstaste.