

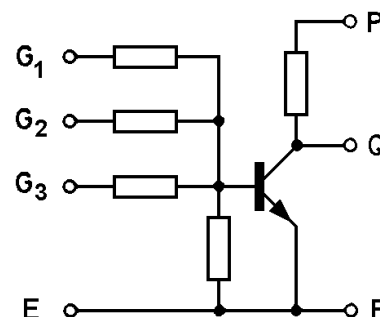
Digitale Schaltungen

RTL-, DTL- und TTL-Schaltungen

Nach der Erfindung des Transistors (1949) waren die Digitalen **Integrierten Schaltungen** (englisch **Integrated Circuit, IC**) der zweite Meilenstein in der Entwicklung der modernen Halbleitertechnologie.

Die ersten Schaltungen waren vom **RTL-Typ (Resistor-Transistor-Logik)**.

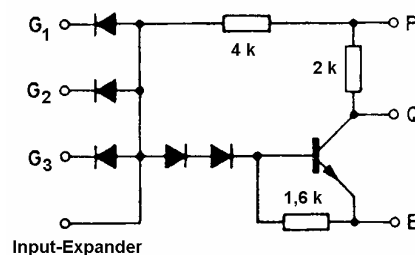
Solange an allen an der Basis des Schalttransistors angeschlossenen Widerständen 0 Volt anliegen (Low-Pegel oder logische 0), ist der Transistor gesperrt und sein Ausgang liegt auf Betriebsspannungspotential (High-Pegel, logische 1). High-Pegel an einem oder mehreren Eingängen schaltet den Ausgang auf LOW. Dies ist die **negierte ODER-Funktion**, englisch **NOR**.



Der Hauptnachteil der RTL-Logik war die geringe Geschwindigkeit, resultierend aus der Zeitverzögerung, die beim Umladen der Basis-Emitter-Kapazität über die Widerstände an der Basis des Schalttransistors auftraten. Diese Logik wurde daher sehr bald von der **DTL-Logik (Dioden-Transistor-Logik)** und später der **TTL-Logik (Transistor-Transistor-Logik)** abgelöst.

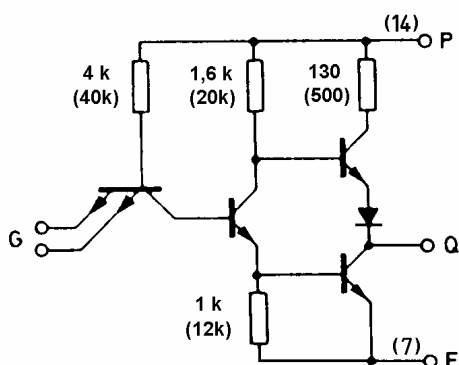
Die Funktion der **DTL-Logik** ist recht einfach am Beispiel des **NAND-Gatters** (Nicht-UND-Gatter) erklärt:

Solange an mindestens einer der Dioden an den Eingängen (G) Null Volt (Potential des (E)-Anschlusses, Masse) anliegen, fließt der vom Anschluss (P) über den Widerstand kommende Strom durch diese Diode(n) nach Masse. Am Verbindungspunkt der Anoden dieser Eingangsdioden liegen dann etwa 0,7 Volt. Der Transistor bekommt keinen Basisstrom, ist gesperrt und am Kollektor liegen +5V (Logikschaltungen werden bevorzugt mit +5V betrieben).



Damit der Transistor leitend wird, braucht er mindestens +0,7 V an seiner Basis. Das wird erst dann erstmalig erreicht, wenn **alle** Eingangsspannungen größer als etwa 1,4 Volt sind. Am Verbindungspunkt herrscht dann ein Pegel von 2,1 V, so dass bei einem Spannungsabfall von $2 \times 0,7$ V über den in Serie mit der Basis liegenden Dioden gerade 0,7 V für die Basis-Emitter-Diode übrig bleiben.

Bei höheren Eingangspegeln als 1,4 V (High-Pegel) sind alle Eingangsdioden gesperrt und der Transistor erhält den maximal möglichen Eingangsstrom. Er schaltet durch und der Pegel am Kollektor geht von +5V auf ca. 0V (Low-Pegel).



Bei der **TTL-Schaltung** (Widerstandswerte in Klammern gelten für die Low-Power-TTL-Familie) funktioniert das Ganze im Prinzip genau so. Die Unterschiede sind:

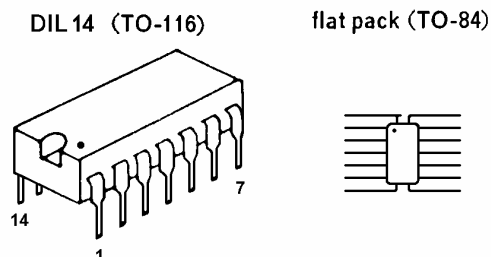
- Die Endstufe ist eine Totem-Pole-Gegentakt-Schaltung, bei der einer der beiden Transistoren immer leitend, der andere gesperrt ist. Dadurch können Lastkapazitäten wesentlich schneller umgeladen werden, was kürzere Schaltzeiten bringt.
- An Stelle der beiden Dioden vor der Basis des Schalttransistors ist eine Transistor-Stufe getreten, die die beiden Endstufentransistoren ansteuert.
- Und statt der Eingangsdioden wird ein Transistor mit mehreren Emittlern in Basisschaltung verwendet. Die Vorteile dieser Schalttechnik sind:

- a) in Basisschaltung ist die Grenzfrequenz einer Verstärkerstufe etwa um den Faktor 100 höher als in Emitterschaltung. Das bedeutet eine höhere Schaltgeschwindigkeit.
- b) Die Kollektor-Basis-Diode ist immer leitend. Allerdings wird die Kollektor-Basis-Diode (und damit der Transistor) bei positiven Eingangsspannungen 'invers' betrieben. Der Basisstrom fließt direkt über den Kollektor zur Steuerstufe. Über die Eingangs-Emitter fließt KEIN Strom, da deren Zener-Spannung höher als 5V ist.

Gehäuseformen

Das am weitesten verbreitete **Gehäuse** ist das Dual-In-Line (DIL) Gehäuse. Der Pinabstand beträgt 1/10" oder 2,54 mm und die beiden Reihen haben einen Abstand von 3/10" (7,62 mm). Der Betriebsspannungsanschluss (+5 V) liegt am Kopf des Gehäuses gegenüber Pin 1, bei DIL 14 also Pin 14, bei DIL 16 ist es Pin 16. Der Masseanschluss liegt diagonal gegenüber bei Pin 7 bzw. Pin 8.

Das "flat pack"-Miniaturgehäuse der IC-Frühzeit ist dem Surface-Mount-Devive (SMD) Gehäuse (auch mit SMT für Surface Mount Technology bezeichnet) gewichen. Es stellt heute den Löwenanteil in der kommerziellen Fertigung.



Nachfolge-Technologien

Alle Technologien hier aufzuzählen würde zu weit führen. Daher werden nur die Familien genannt, die eine gewisse Marktbedeutung erreichten:

ECL	Emitter coupled Logic	Eine sehr schnelle Logikfamilie, die allerdings mit -5,2 V betrieben wurde und heute nicht mehr eingesetzt wird
L-TTL	Low-Power TTL 74 L xx	Eine TTL-Technologie mit geringerer Stromaufnahme und geringerer Schaltgeschwindigkeit (siehe die Bauelemente-werte im TTL-Schaltbild in Klammern).
LS-TTL	Low-Power-Schottky-TTL 74 LS xx	Familie mit gleicher Stromaufnahme wie L-TTL und Schaltzeiten wie normale TTL. War lange Zeit DIE Standardfamilie.
F-TTL	Fast-TTL 74 F xx	Schneller als TTL aber auch höhere Stromaufnahme. Schon bald durch S-TTL abgelöst.
S-TTL	Schottky-TTL 74 S xx	Schnellere Technologie als TTL bei gleicher Stromaufnahme.
AS-TTL	Advanced-Schottky-TTL 74 AS xx	Schnellste TTL-Technologie mit relativ hoher Stromaufnahme
CMOS	Familie mit MOS-Transistoren 40xx und 45xx	Hauptvorteil: sehr geringe Stromaufnahme. War relativ langsam (ähnlich L-TTL). Die Familie enthielt weitere komplexe Schaltungen. Heute kaum mehr verwendet.
HC-MOS	High-Speed-MOS-Familie 74 HC xx und 74 HC xxxx	So schnell wie LS-TTL bei geringerer Stromaufnahme. Löste LS-TTL und CMOS weitgehend ab, da Schaltungen beider Familien enthalten sind. Weiterer Vorteil: hoher Betriebsspannungsbereich von 3 bis 10 Volt.
HCT-MOS	High-Speed-MOS-Familie 74 HCT xx und 74 HCT xxxx	Wie HC-MOS, jedoch mit TTL-Ein- und Ausgangspegeln und 5 Volt Betriebsspannung (Direkter Ersatz von LS-TTL).