

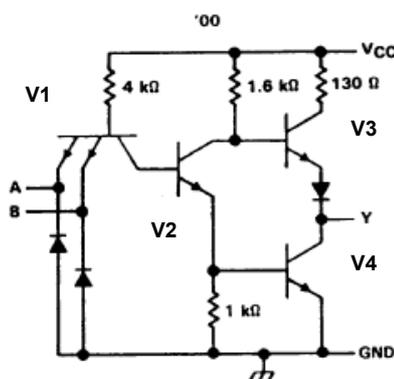
Logikfamilien

1) TTL-Schaltung

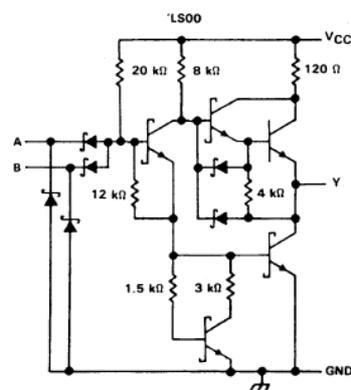
1.1) Funktion

Die Bezeichnung TTL bedeutet Transistor-Transistor-Logik und beschreibt, dass sowohl die Signal-Ein-, als auch die Auskopplung über Transistoren erfolgt.

Wesentliches Merkmal der TTL-Schaltung ist am Eingang der Multi-Emitter-Transistor. Er ist in allen Schaltkreisen der Standard-TTL-Reihen 74xx zu finden, egal, wie komplex deren Innenleben auch ist. Lediglich bei den High-Speed-Baureihen mit dem S oder LS in der Typenbezeichnung finden sich statt der Multi-Emitter-Transistoren Schottky-Diodeneingänge, da deren Schaltzeiten wesentlich kürzer sind als die von Transistoren. Der Multi-Emitter-Transistor besitzt mehrere Emitterzonen, die an eine gemeinsame Basiszone grenzen.



2-fach-NAND 7400

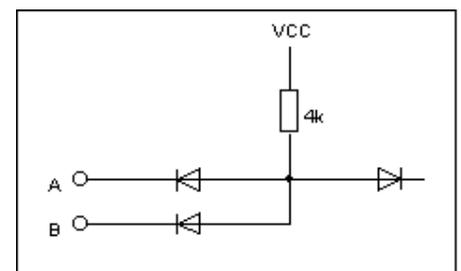


2-fach-NAND 74LS00

Wird jede der PN-Übergänge als Diode dargestellt, lässt sich ein vereinfachtes Ersatzschaltbild zeichnen und die Funktion erklären.

a) Normalbetrieb des Multi-Emitter-Transistors:

Liegen ein oder mehrere Eingänge auf L-Signal, fließt der Basisstrom I_B (ca. 1 mA) über die Basis-Emitter-Diode auf Masse ab. Die Basis-Kollektor-Diode sperrt und damit auch der nachfolgende Transistor V2. Der Transistor V3 der Ausgangsstufe leitet, V4 sperrt. Am Ausgang Y der Schaltung liegt H-Signal.



Ersatzschaltbild

b) Inversbetrieb des Multi-Emitter-Transistors:

Liegt an allen Eingängen H-Signal, arbeitet der Transistor im Inversbetrieb. Die Basis-Emitter-Dioden sperren. Es fließt nur ein kleiner Emittersperrstrom von ca. 40 μ A. Der Basisstrom fließt über die Basis-Kollektor-Diode in die Basis des nachfolgenden Transistors V2. Der Transistor V3 der Ausgangsstufe sperrt, V4 leitet. Am Ausgang liegt L-Signal.

In dieser Betriebsart ist das sichere Sperren von V3 nur dann gegeben, wenn das Potential des Emitters durch die Diode (Pegelschiebdiode) angehoben wird.

Bei TTL-Schaltungen wirkt ein offener Eingang so, als läge er auf H-Pegel.

1.2) TTL-Ausgangsschaltungen

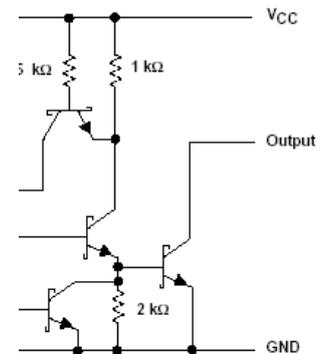
a) Standardausgang

Die Standardausgangsstufe des TTL-Gatters ist eine Gegentaktendstufe. Sie kann mit 10 Standardeingängen belastet werden. Man nennt dies FAN-OUT = 10. Ein Standardeingang hat ein FAN-IN = 1.

b) Open-Collektor-Ausgang:

Bei der Ausgangsstufe mit offenem Kollektor OC fehlen der Transistor V3 und die Pegelverschiebediode. Sie werden beim Schaltungsaufbau durch einen extern beschalteten Widerstand ersetzt. Richtige Größe siehe Datenbuch (Richtwerte: 2,5 k Ω bis 5 k Ω). Im leitenden Zustand schaltet der Transistor nach Masse (L-Pegel) und wird im gesperrten Zustand hochohmig (offen).

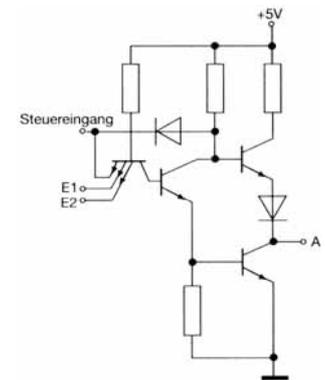
Der Open-Collector-Ausgang wird verwendet, wenn eine größere Spannung als 5V oder ein größerer Strom geschaltet werden soll, z.B. Ansteuerung einer Leuchtdiode. Mehrere Ausgänge können zu einem Wired-OR parallel geschaltet werden.



c) Tri-State-Ausgang

Ein Tri-State-Ausgang kann außer den beiden niederohmigen Zuständen H und L noch einen dritten hochohmigen Zustand annehmen. Der OE-Eingang (Output Enable) entscheidet, ob die Ausgangsstufe im H-Zustand, L-Zustand oder hochohmig arbeitet.

Diese Schaltungsversion bietet die Möglichkeit, mehrere Schaltkreisausgänge an einer gemeinsamen Busleitung zu betreiben. Bei einem Standardausgang würde bei Parallelschaltung die Ausgangslast zu groß und es könnten u. a. keine definierten Pegel mehr weitergegeben werden.



d) Eingangsschutzbeschaltung

Durch parasitäre Kapazitäten auf der Leitung wird das Signal verfälscht. Es können sog. "Überschwingungen" auftreten. Wenn diese Überschwingungen zu große negative Werte annehmen, kann der Multi-Emitter-Transistor beschädigt werden. Daher werden die Eingänge durch Schutzdioden geschützt.

1.3) TTL-Schaltungsvarianten

Standard-TTL z.B. 7400

Sie hat eine große Leistungsaufnahme von 10 mW/Gatter und wurde durch modernere Fertigungstechnologien abgelöst.

Low-Power-TTL z.B. 74L00

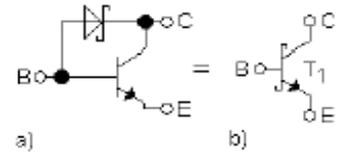
Sie unterscheidet sich vom Standard-TTL durch eine um Faktor 10 hochohmigere Schaltungsauslegung. Dadurch sinkt die Leistungsaufnahme auf 1/10. Ebenso verringern sich die Eingangs- und Ausgangsströme. Die Schaltzeiten verlängern sich auf ca. 30 ns. Auch diese TTL-Variante ist nicht mehr aktuell.

High-Speed-TTL z.B. 74H00

Sie ist speziell auf kurze Schaltzeiten ausgelegt. Die Widerstandswerte sind gegenüber den Standard-TTL's um Faktor 2 niederohmiger. Damit verlaufen die Ladungs- und Entladungsvorgänge wesentlich schneller. Nachteil: große Leistungsaufnahme

Schottky-TTL z.B. 74S00

Eine Schottky-Diode ist eine spezielle Diode mit extrem kurzer Schaltzeit. Sie hat eine niedrige Schwellspannung von ca. 0,35 V. Die Schottky-Diode wird zwischen Basis und Kollektor des Transistors geschaltet und verhindert die Übersteuerung des Transistors. Er kann nur soweit durchschalten, bis U_{CE} ca. 0,35 V ist. Dann fließt der Basisstrom über die Diode auf Masse ab. Da Schottky-Transistoren nur schwach durchsteuern, ist der L-Bereich größer als bei Standardschaltungen. Der Abstand zwischen dem L- und H-Bereich wird verringert (verminderte statische Störsicherheit).



Low-Power-Schottky-TTL z.B. 74LS00

Eine geringere Leistungsaufnahme gegenüber den Schottky-TTL wird durch höhere Widerstandswerte erreicht. Dadurch steigen die Schaltzeiten wieder an. Vorteil: etwa gleich schnell wie ein Standard-TTL, jedoch nur 1/5 der Leistungsaufnahme.

Advanced Schottky-TTL z.B. 74AS00 oder 74ALS00

Durch Anwendung neuer Herstellungstechnologien (Ionenimplantation und Oxidisolierung anstelle von Sperrschichtisolation) konnten die Einzeltransistoren verkleinert werden.

High-Speed-CMOS/TTL z.B. 74HCT00

Diese Bausteine sind HighSpeed-CMOS-Schaltungen, deren Eingänge und Ausgänge TTL-kompatibel sind. Sie sind pincompatibel zu den herkömmlichen TTL-Bausteinen.

High-Speed-CMOS z.B. 74HC00 oder 74HCU00

Dies sind HighSpeed-CMOS-Bausteine, die pincompatibel mit TTL-Bausteinen gleicher Nummer hergestellt wurden. Somit ist ein direkter Austausch der TTL- durch CMOS-Bausteine ohne neues Leiterplattendesign möglich. Die Schaltpegel der HC-Bausteine unterscheiden sich wesentlich von denen der TTL-Bausteine.

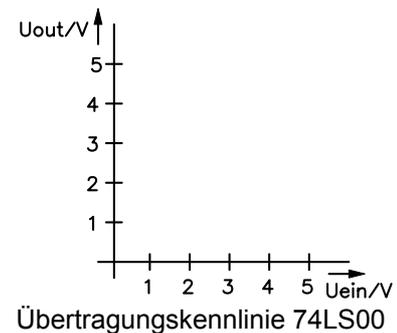
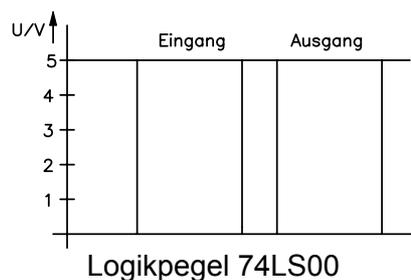
Vergleich der Kennwerte:

Technologie	Familie	Betriebsspannung	Gatterlaufzeit	Schaltfrequenz	Verlustleistung pro Gatter stat.	Verlustleistung pro Gatter dyn. 100 kHz
Standard TTL	74	5 V	10 nS	50 MHz	10 mW	10 mW
Low-Power-TTL	74L	5 V	33 nS	3 MHz	1 mW	1 mW
High-Speed-TTL	74H	5 V	5 nS	80 MHz	23 mW	23 mW
Schottky-TTL	74S	5 V	3 nS	130 MHz	20 mW	20 mW
Low-Power-Schottky-TTL	74LS	5 V	10 nS	50 MHz	2 mW	2 mW
Advanced Schottky-TTL	74AS	5 V	1,7 nS	200 MHz	8,5 mW	8,5 mW
Advanced Low-Power-Schottky-TTL	74ALS	5 V	4 nS	70 MHz	1 mW	1 mW

Fairchild advanced Schottky	74F	5 V	3 nS	125 MHz	5,5 mW	5,5 mW
High-Speed CMOS/TTL	74HCT	5V	10 nS	40 MHz	0,0000025 mW	0,17 mW
High-Speed-CMOS	74HC	2 - 6 V	10 nS	40 MHz	0,0000025 mW	0,17 mW
CMOS	4000	3 - 18V	100 nS	12 MHz	0,001 mW	0,1 mW

1.4) Logikpegel

	74LS00		
	min.	typ.	max.
V_{IH}			
V_{IL}			
V_{OH}			
V_{OL}			
I_{IH}			
I_{IL}			



2) CMOS-Schaltungen

CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor

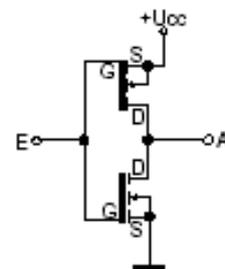
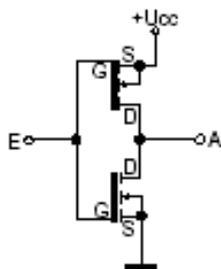
Bei CMOS-Schaltungen werden P-Kanal- und N-Kanal-MOS-Feldeffekt-Transistoren in einer Gegentaktschaltung eingesetzt. Beide FET's sind Anreicherungstypen (selbstsperrend).

2.1) Funktion

Statische Funktion der CMOS-Schaltung

Eingang E = GND : P-Kanal-MOS-FET ist leitend -> Ausgang A = $+U_{CC}$

Eingang E = $+U_{CC}$: N-Kanal-MOS-FET ist leitend -> Ausgang A = GND



Ein Transistor ist im statischen Betrieb immer gesperrt. Es fließt praktisch kein Querstrom von U_{CC} nach GND. Die CMOS-Schaltung hat daher im statischen Betrieb praktisch keine Stromaufnahme.

Dynamische Funktion der CMOS-Schaltung

Wenn sich die Spannung am Eingang A von GND auf U_{CC} ändert, geht der P-Kanal-MOS-FET vom leitenden in den sperrenden Zustand über, der N-Kanal-MOS-FET verhält sich genau umgekehrt. Bei halber Eingangsspannung sind beide Transistoren teilweise leitend, es fließt im Umschaltzeitpunkt ein Querstrom. Die entstehende Verlustleistung ist näherungsweise proportional dem Quadrat der Versorgungsspannung. Damit die beim Übergang durch den Querstrom auftretende Verlustleistung klein bleibt, muss die Eingangsspannung sich schnell ändern. Im Datenbuch sind die Grenzwerte für die maximalen Anstiegs- und Abfallzeiten angegeben.

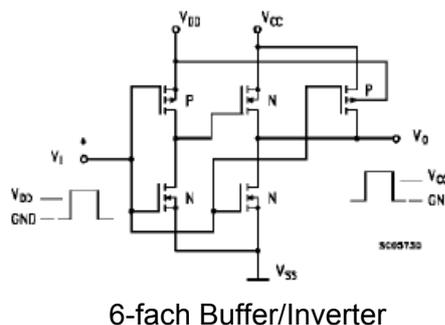
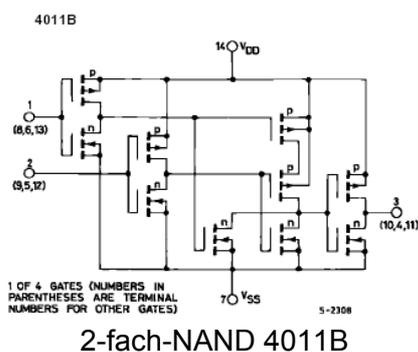
Zum Ansteuern von CMOS-Schaltungen wird kein Strom benötigt, da FET-Transistoren leistungslos gesteuert werden. Nur in der Umschaltphase wird ein geringer Strom benötigt. Die Ursache liegt in der großen Eingangskapazität. Sie muss beim Schalten umgeladen werden. Je höher die Frequenz ist, um so höher ist auch der Leistungsverbrauch von CMOS-Logik der TTL-Logik. Hierzu einige Beispiele:

Frequenz	74ALS00	74HC00
0.1 MHz	1.5 mW	0.05 mW
1.0 MHz	1.7 mW	0.5 mW
2.0 MHz	2.0 mW	1.0 mW
5.0 MHz	2.5 mW	2.5 mW
10 MHz	3.0 mW	4.8 mW (!)

Der Leistungsverbrauch von HCMOS-Logik oberhalb 5 MHz größer als bei ALS-TTL-Logik.

Unbenutzte Eingänge dürfen nicht offen gelassen werden. Sie können sich elektrostatisch oder durch Leckströme auf eine Spannung nahe der Umschaltsschwelle aufladen (ca. $U_{CC}/2$). Es fließen dauernd hohe Querströme, die eine thermische Zerstörung verursachen.

2.2) Beispiele von CMOS-Schaltungen



2.3) Vorteile der CMOS-Technik

- sehr kleine Leistungsaufnahme im statischen Betrieb
- hohe Störsicherheit
- hohes Ausgangssignal
- großer Betriebsspannungsbereich

2.4) Schutzmaßnahmen beim Umgang mit CMOS-Schaltungen:

Die hochisolierende, aber sehr dünne Oxidschicht der Eingangs-MOS-FET's besitzt nur eine eingeschränkte Durchschlagsfestigkeit von ca. 50 V. Die Anwender von CMOS-Bausteinen sind jedoch meistens elektrostatisch auf eine viel höhere Spannung geladen, daher werden die Eingänge mit einer Eingangsschutzschaltung versehen. Dennoch müssen CMOS-Bausteine mit Vorsicht behandelt:

Regeln zum Umgang mit CMOS-ICs

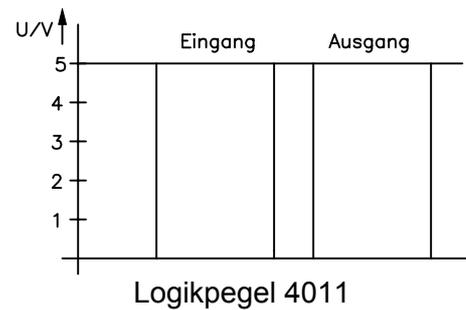
- Jeder Eingang muss an einem definierten Potential liegen, entweder an der Eingangssignalquelle oder an Plus bzw. Masse, je nach Wirkung.
- Auch die Eingangsschutzschaltung muss geschützt werden. Wo sich für die Eingangsdioden leitender Zustand nicht vermeiden lässt, ist der dann mögliche Strom weit unter 10 mA zu begrenzen. Die Dioden haben auch Einfluss auf Zeitkonstanten!
- Die Ausgangsschutzschaltung ist vor anderen Spannungen zu schützen, indem auch hier mögliche Ströme auf 10 mA begrenzt werden.
- Stets sind hohe Eingangssignale vor dem Abschalten der Betriebsspannung abzuschalten, sonst wird die Schutzschaltung beschädigt.
- Statische Aufladungen sind zu vermeiden, wenn der Schaltkreis berührt oder verpackt wird. Am besten sind CMOS-Schaltkreise in leitenden Metallbehältern aufgehoben.
- Lötpistolen sind kein geeignetes Werkzeug für CMOS-ICs!
- Eingänge von Versuchsschaltungen, die nach außen führen, sind mit Widerständen in der Größenordnung von 1 MOhm zu schützen.
- Eingangssignale für getaktete Logikschaltungen sind entsprechend aufzubereiten. Für die Eingabe stets entprellte Kontakte verwenden!
- Anstiegs- und Abfallzeiten des Taktes sollen unter 5 μ s liegen, damit die getaktete Schaltung einwandfrei arbeitet.
- Zur Einhaltung der Logikbedingungen soll jedes Gatter der B-Serie bei 5 V Betriebsspannung höchstens mit 0.8 mA (im Kurzschlussfall: 4 mA) und bei 10 V Betriebsspannung höchstens mit 116 mA belastet werden (Kurzschluss: 11 mA).

2.5) CMOS-Varianten

HLL Low Power CMOS (Philips)
 LV Low Voltage HCMOS
 LVT Low Voltage Technology
 ALVC Advanced Low Voltage CMOS
 AC Advanced CMOS
 ACT Advanced CMOS (TTL-kompatibel)
 LVC Low Voltage CMOS
 ALVT Advanced Low Voltage
 AHC Advanced High-speed CMOS
 AHCT Advanced High-speed CMOS (TTL-kompatibel)

2.6) Logikpegel

	4011		
	min.	typ.	max.
V_{IH}			
V_{IL}			
V_{OH}			
V_{OL}			
I_{IH}			
I_{IL}			



2.7) Pegelanpassung

CMOS ⇒ TTL

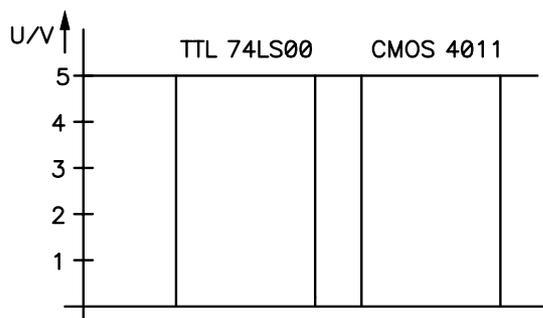
Die CMOS-Ausgangsspannungen liegen im Bereich der TTL-Eingangspegel. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass der CMOS-Baustein genügend Strom zur Ansteuerung der TTL-Schaltung liefert. Die Bausteine 4049 und 4050 sind besonders geeignet.

TTL ⇒ CMOS

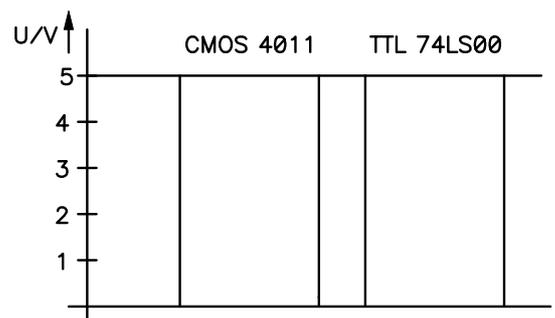
Der TTL-H-Pegel beginnt bei 2.4 V, während CMOS erst bei 3.5 V ein H erkennt. Die 2.4V TTL-H liegen im verbotenen Bereich für CMOS.

Abhilfe:

- Verwendung eines TTL-Baustein mit offenem Kollektor und externem Widerstand von ca. 2 k Ω bis 5 k Ω .
- Anwendung eines HCT-Baustein



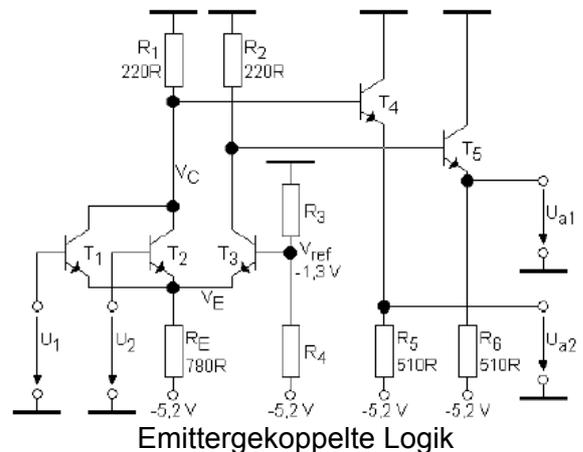
Pegelanpassung



3) ECL-Schaltungen

Sehr kurze Schaltzeiten lassen sich nur erreichen, wenn die Transistoren nicht im Sättigungszustand betrieben werden. Das wird mit einem Differenzverstärker erreicht. Durch die starke Stromgegenkopplung sperrt einer der beiden Transistoren sicher ohne den Sättigungszustand zu erreichen. Da sich die Ausgangspegel schlecht zum Ansteuern weiterer Eingänge eignen, schaltet man einen Emitterfolger als Verstärker nach (FAN-OUT 20 bis 30).

- ECL-Schaltkreise sind die schnellsten Verknüpfungsglieder
- sie haben einen hohen Leistungsbedarf (60 mW/Gatter)
- H-Pegel begrenzt auf $< -0,8V$
- geringe Störsicherheit (0,3V typ. Störabstand)
- hohe Arbeitsfrequenz bis 500 MHz
- kürzeste Gatterlaufzeiten aller Logikfamilien
- Schaltzeit bis min. 1ns
- ECL-Schaltungen müssen wie HF-Schaltungen aufgebaut werden.
- keine Stromspitzen beim Umschalten



4) Datenblätter

TTL-Gatter 74LS00 (2-INPUT-NAND)

recommended operating conditions

	SN54LS00			SN74LS00			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC} Supply voltage	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
V_{IH} High-level input voltage	2			2			V
V_{IL} Low-level input voltage	0.7			0.8			V
I_{OH} High-level output current	-0.4			-0.4			mA
I_{OL} Low-level output current	4			8			mA
T_A Operating free-air temperature	-55			0			70 °C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS †	SN54LS00			SN74LS00			UNIT
		MIN	TYP ‡	MAX	MIN	TYP ‡	MAX	
V_{IK}	$V_{CC} = \text{MIN}, I_I = -18 \text{ mA}$	-1.5			-1.5			V
V_{OH}	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IL} = \text{MAX}, I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$	2.5	3.4		2.7	3.4		V
V_{OL}	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.25			0.25			V
	$V_{CC} = \text{MIN}, V_{IH} = 2 \text{ V}, I_{OL} = 8 \text{ mA}$				0.35			
I_I	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 7 \text{ V}$	0.1			0.1			mA
I_{IH}	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 2.7 \text{ V}$	20			20			µA
I_{IL}	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0.4 \text{ V}$	-0.4			-0.4			mA
$I_{OS} §$	$V_{CC} = \text{MAX}$	-20		-100	-20		-100	mA
I_{CCH}	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 0 \text{ V}$	0.8			0.8			mA
I_{CCL}	$V_{CC} = \text{MAX}, V_I = 4.5 \text{ V}$	2.4			2.4			mA

CMOS-Gatter 4011B (2-INPUT-NAND)
STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (over recommended operating conditions)

Symbol	Parameter		Test Conditions				Value						Unit	
			V _I (V)	V _O (V)	I _O (μ A)	V _{DD} (V)	T _{Low} *		25°C			T _{High} *		
							Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.
I _L	Quiescent Current	HCC Types	0/5			5		0.25		0.01	0.25		7.5	μ A
			0/10			10		0.5		0.01	0.5		15	
			0/15			15		1		0.01	1		30	
			0/20			20		5		0.02	5		150	
		HCF Types	0/ 5			5		1		0.01	1		7.5	
			0/10			10		2		0.01	2		15	
V _{OH}	Output High Voltage		0/5		< 1	5	4.95		4.95			4.95		V
			0/10		< 1	10	9.95		9.95			9.95		
			0/15		< 1	15	14.95		14.95			14.95		
V _{OL}	Output Low Voltage		5/0		< 1	5		0.05			0.05		0.05	V
			10/0		< 1	10		0.05			0.05		0.05	
			15/0		< 1	15		0.05			0.05		0.05	
V _{IH}	Input High Voltage			0.5/4.5	< 1	5	3.5		3.5			3.5		V
				1/9	< 1	10	7		7			7		
				1.5/13.5	< 1	15	11		11			11		
V _{IL}	Input Low Voltage			4.5/0.5	< 1	5		1.5			1.5		1.5	V
				9/1	< 1	10		3			3		3	
				13.5/1.5	< 1	15		4			4		4	
I _{OH}	Output Drive Current	HCC Types	0/5	2.5		5	- 2		- 1.6	- 3.2		- 1.15		mA
			0/5	4.6		5	- 0.64		- 0.51	- 1		- 0.36		
			0/10	9.5		10	- 1.6		- 1.3	- 2.6		- 0.9		
			0/15	13.5		15	- 4.2		- 3.4	- 6.8		- 2.4		
		HCF Types	0/5	2.5		5	- 1.53		- 1.36	- 3.2		- 1.1		
			0/5	4.6		5	- 0.52		- 0.44	- 1		- 0.36		
I _{OL}	Output Sink Current	HCC Types	0/5	0.4		5	0.64		0.51	1		0.36		mA
			0/10	0.5		10	1.6		1.3	2.6		0.9		
			0/15	1.5		15	4.2		3.4	6.8		2.4		
		HCF Types	0/5	0.4		5	0.52		0.44	1		0.36		
			0/10	0.5		10	1.3		1.1	2.6		0.9		
			0/15	1.5		15	3.6		3.0	6.8		2.4		
I _{IH} , I _{IL}	Input Leakage Current	HCC Types	0/18	Any Input		18		\pm 0.1		\pm 10 ⁻⁵	\pm 0.1		\pm 1	μ A
		HCF Types	0/15							\pm 10 ⁻⁵	\pm 0.3		\pm 1	
C _I	Input Capacitance			Any Input					5	7.5			pF	