

# TEXAS INSTRUMENTS Deutschland GmbH

## Applikationsbericht

Interface-Schaltungen mit  
Darlington-Power-Transistoren  
und TTL-Gattern



## **Interface-Schaltungen mit Darlington-Power-Transistoren und TTL-Gattern**

---

Dieser Bericht beschreibt Interface-Schaltungen mit TTL-Gattern (SN7400N, 7404N und 7437N) auf NPN-Darlington-Power-Transistoren (TIP120 - 122 und 140 - 142), mit denen Lastströme in der Größenordnung von 2 bis 10 A geschaltet werden können.

## **Inhalt**

---

### **1.0 Einleitung**

---

### **2.0 Grundsätzliche Aufgaben**

---

### **3.0 Interface-Schaltungen**

- 3.1 NPN-Darlington-Power-Transistor TIP120 mit NAND-Gatter SN7400N bzw. Inverter SN7404N
  - 3.2 NPN-Darlington-Power-Transistor TIP140 mit NAND-Leistungsgatter SN7437N
- 

### **4.0 Einfluß der Miller-Kapazität auf die Flankensteilheit**

---

### **5.0 Schlußbemerkungen**

---



**TEXAS INSTRUMENTS**  
Deutschland GmbH

## 1.0 EINLEITUNG

Bei dem Betrieb eines Transistors als Leistungsschalter ist es erforderlich, den Arbeitspunkt in den Sättigungsbereich zu legen, um den Eigenverbrauch des Transistors möglichst gering zu halten. D.h. in der Sättigung ist zum Schalten eines maximalen Kollektorstromes ein minimaler Basisstrom notwendig.

Es ist nun zu untersuchen, ob die im Datenblatt angegebenen minimalen Ausgangsströme von TTL-Gattern ausreichen, um die Darlington-Power-Transistoren durchzusteuern.

## 2.0 GRUNDSÄTZLICHE AUFGABEN DER INTERFACE-SCHALTUNGEN

Die Interface-Schaltungen haben die Aufgabe mit Hilfe von TTL-Signalen größere Lastströme zu schalten. Unter anderem ist an Anwendungen für die Ansteuerung von Lampen, Schütze, Relais und Magnetventilen gedacht.

Mit den Darlington-Power-Transistoren TIP120, 121, 122 (Betriebsspannungen 60, 80, 100 V) können maximale Kollektorströme von 5 A erreicht werden. Mit den Typen TIP140, 141, 142 können bei gleichen Betriebsspannungen dagegen 10 A geschaltet werden.

Bei impulsartigen Belastungen innerhalb Schaltzeiten von  $t = 0,3$  ms kann der maximale Laststrom um 50% erhöht werden.

## 3.0 INTERFACE-SCHALTUNGEN (Abb. 2)

Um eine Aussage machen zu können, ob mit einem TTL-Gatterausgang ein nachgeschalteter Power-Darlington-Transistor durchgesteuert werden kann,

muß das Ausgangsverhalten des Gatters und das Eingangsverhalten des Transistors bekannt sein.

Das Ausgangsverhalten eines Gatters ergibt sich aus den Daten des Datenblattes. Die Arbeitsgerade wird einmal durch die Ausgangsspannung bei dem Pegel "log 1" ( $V_{out(1)}$ ) und durch den minimalen Kurzschluß-Ausgangsstrom ( $I_{OS}$ ) bestimmt.

Der Arbeitspunkt eines Leistungsschalters sollte im Bereich der Sättigung liegen, um dadurch die Eigenleistung des Transistors gering zu halten. Die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung  $V_{CE(sat)}$  ist aus dem  $I_C$ - $V_{CE}$ -Kennlinienfeld zu entnehmen. Der Schnittpunkt der Arbeitsgeraden des Gatter-Ausgangs mit der  $V_{CE(sat)}$ -Kennlinie im  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld ergibt den Arbeitspunkt des Transistors.

Die angeführten Kennlinienfelder sind nicht im Datenblatt angegeben und werden nachfolgend unter 3.1 bzw. 3.2 dargestellt.

### 3.1 NPN-Darlington-Power-Transistor TIP120 mit NAND-Gatter SN7400N bzw. Inverter SN7404N

Die Werte zur Bestimmung der Arbeitsgeraden sind dem Datenbuch entnommen und betragen bei den Typen SN7400N und SN7404N:

$$V_{out(1)} = 2,4 \text{ V}; I_{Load} = -0,4 \text{ mA}$$

$$I_{OS} = -18 \text{ mA}$$

Im  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld ergibt sich dann folgender Arbeitspunkt (Abb. 1):

Der Arbeitspunkt liegt bei  $V_{BE} \approx 2 \text{ V}$  und  $I_B \approx 5 \text{ mA}$ .

Es ist nun zu prüfen, ob der Leistungstransistor in der Lage ist, mit einem Basisstrom von 5 mA den maximalen Kollektor-Dauerstrom von 5 A zu schalten. Mit Hilfe der minimalen Stromverstärkung  $h_{FE}$  bei maxi-

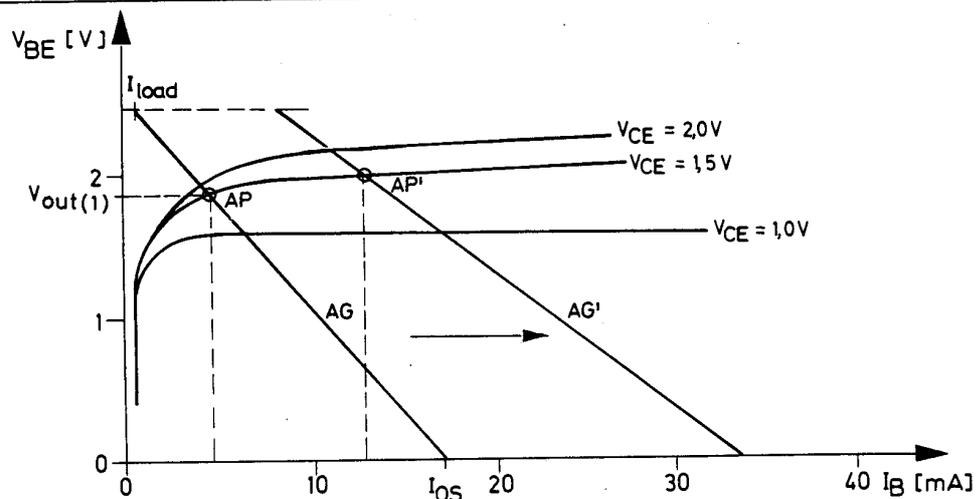


Abb. 1  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld

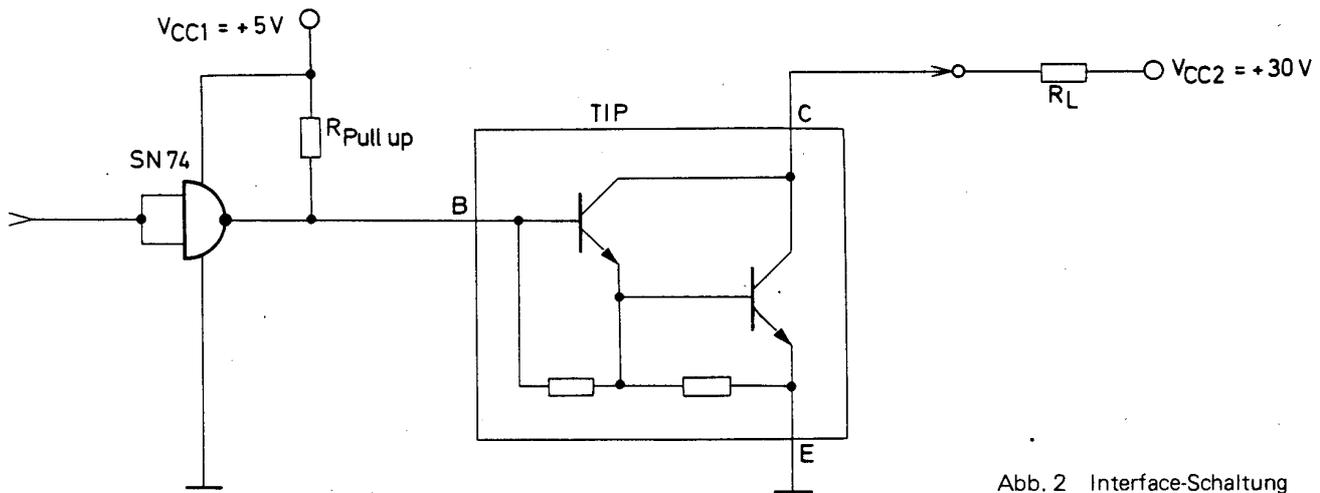


Abb. 2 Interface-Schaltung

malem Laststrom kann der notwendige Basisstrom ermittelt werden. Zu diesem Zweck muß die  $h_{FE}$ -Kennlinie für  $T_C = 25^\circ C$  im Datenblatt umgerechnet werden. Die typische  $h_{FE}$  ist bei 3 A mit 1000 angegeben.

Im  $h_{FE}$ - $I_C$ -Kennlinienfeld erhält man bei  $I_C = 3 A$  und  $T_C = 25^\circ C$  eine  $h_{FE}$  von 3500. Die typische Kennlinie würde also um den Faktor 3,5 unter der  $T_C = 25^\circ C$  Kennlinie liegen. Die  $h_{FE}$  min bei  $I_C = 5 A$  ergibt sich ungefähr zu 420. Der minimal erforderliche Basisstrom errechnet sich nach der Formel

$$I_{Bmin} = \frac{I_{Cmax}}{h_{FEmin}} \approx \frac{5 A}{420} \approx 12 mA$$

Es zeigt sich, daß der Gatter-Ausgangsstrom nicht ausreicht, um den maximalen Laststrom zu schalten. Mit Hilfe eines Pull-up-Widerstandes zwischen  $V_{CC}$  und Gatterausgang kann der Transistor-Eingangsstrom erhöht werden. Da der Gatter-Ausgangsstrom

bei "log 0"-Pegel den Wert  $I_{sink} = 16 mA$  nicht überschreiten darf, ergibt sich für den minimalen Pull-up-Widerstand:

$$R_{Pull\ up} = \frac{V_{CC}}{I_{sink}} = \frac{5 V}{16 mA} \approx 330 \Omega$$

Die Arbeitsgerade im  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld wird um den zusätzlichen Strom

$$J = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{Pull\ up}}$$

nach rechts verschoben. Im neuen Arbeitspunkt  $AP'$  stellt sich ein Basisstrom von ca. 13 mA ein, der in diesem Fall ausreicht, um den maximalen Kollektorstrom zu ziehen.

Auf dem folgenden  $I_C$ - $V_{CE}$ -Kennlinienfeld ist zu erkennen, daß im Sättigungsbereich der Kennlinienverlauf annähernd linear ist (Abb. 3).

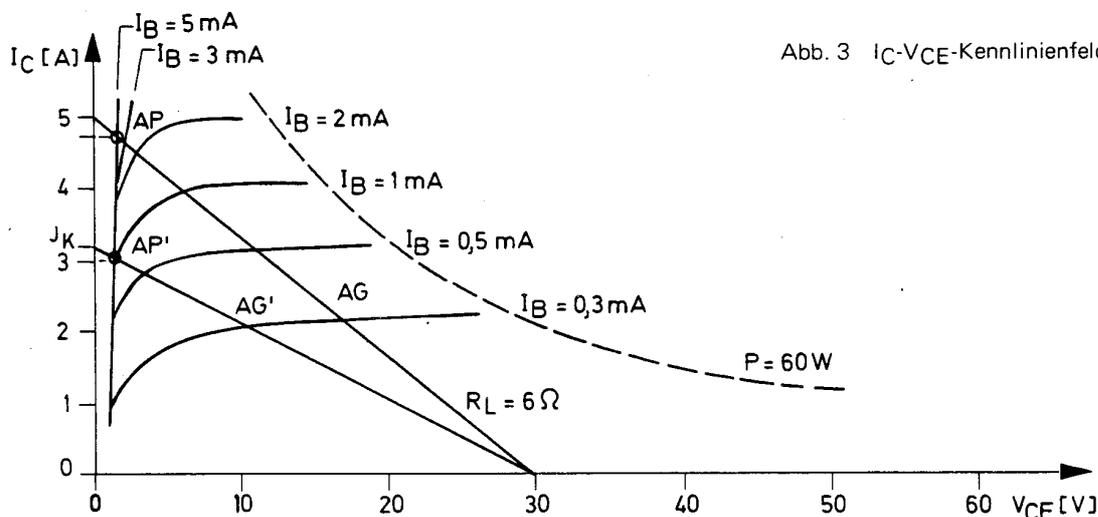


Abb. 3  $I_C$ - $V_{CE}$ -Kennlinienfeld

Bei der gewählten Betriebsspannung  $V_{CC2} = 30\text{ V}$  und einem Lastwiderstand  $R_L = 6\ \Omega$  erhält man im Arbeitspunkt AP einen Kollektorstrom von ca. 4,7 A. Durch den fest vorgegebenen Basisstrom ist der Kollektorstrom nur von der Wahl der Betriebsspannung und vom Lastwiderstand abhängig. Eine Begrenzung des Laststromes bei vorgegebener Betriebsspannung kann durch einen zusätzlichen Serienwiderstand im Lastkreis erreicht werden. Eine Begrenzung des Laststromes auf 3 A entspricht einem Kurzschlußstrom  $I_k$  von ca. 3,2 A und einer daraus resultierenden Arbeitsgerade AG' für

$$R = \frac{V_{CC2}}{I_k} \approx 10\ \Omega.$$

Der Serienwiderstand  $R_S = R - R_L$  würde damit 4  $\Omega$  betragen.

Die Laufzeiten  $t_{on}$  und  $t_{off}$  bei  $V_{CC2} = 30\text{ V}$ ,  $I_C = 5\text{ A}$  und  $R_L \approx 6\ \Omega$  gemessen, ergeben folgende Werte (Abb. 4):

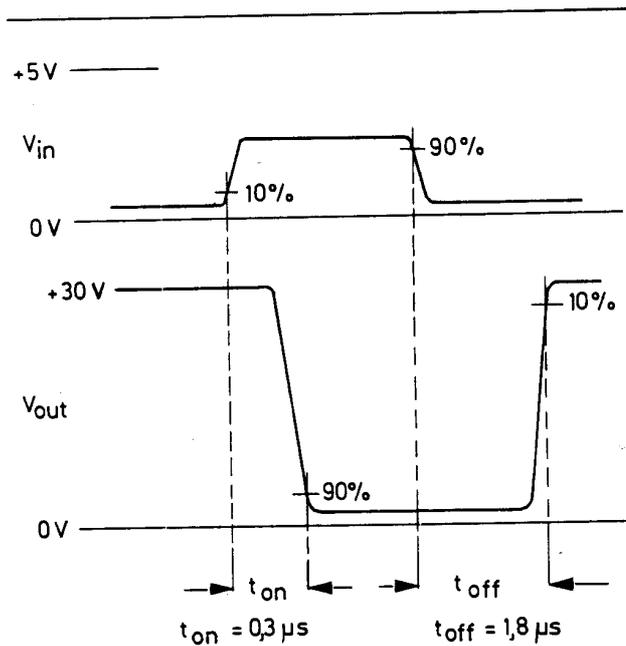


Abb. 4 Laufzeiten  $t_{on}$  und  $t_{off}$

### 3.2 NPN-Darlington-Power-Transistor TIP140 mit NAND-Leistungsgatter SN7437N

Die typische Stromverstärkung  $h_{FE}$  bei  $I_C = 10\text{ A}$  ist dem Datenblatt entnommen und beträgt 500. Der erforderliche Basisstrom  $I_B$  errechnet sich mit 20 mA und liegt wesentlich höher als unter 3.1. Aus diesem Grunde wurde das Leistungsgatter SN7437N

zur Ansteuerung des TIP140 gewählt. Die Werte zur Bestimmung der Arbeitsgeraden betragen:  $V_{OH} = 2,4\text{ V}$ ,  $I_{OH} = -1,2\text{ mA}$   
 $I_{OS} = -20\text{ mA}$

Im  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld ergibt sich folgender Arbeitspunkt (Abb. 5):

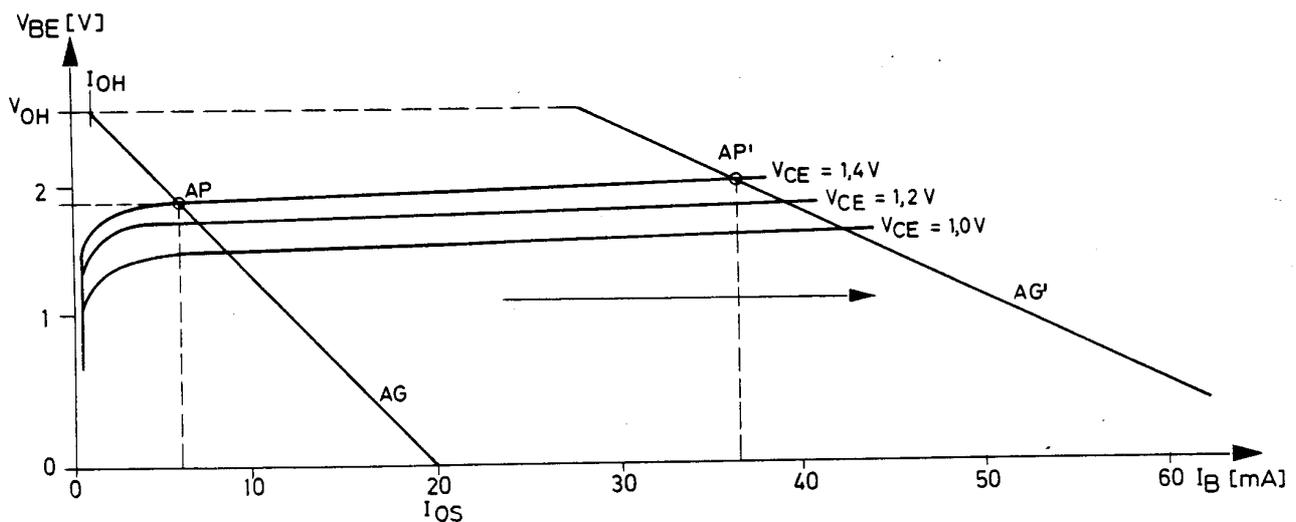


Abb. 5  $V_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinienfeld

Der Arbeitspunkt AP liegt bei  $V_{BE} \approx 2\text{ V}$  und  $I_B \approx 6\text{ mA}$ , d.h. es muß wiederum ein Pull-up-Widerstand hinzugeschaltet werden. Da der Gatterausgangsstrom  $I_{OL} = 48\text{ mA}$  beim SN7437N wesentlich höher ist, ergibt sich ein niedriger Pull-up-Widerstand als beim SN7400N.

$$R_{\text{Pull up}} = \frac{V_{CC}}{I_{OL}} = \frac{5\text{ V}}{48\text{ mA}} \approx 100\ \Omega$$

Durch den niederohmigen Pull-up-Widerstand vergrößert sich der zusätzliche Transistor-Eingangsstrom. Durch die verschobene Arbeitsgerade AG' stellt sich der neue Arbeitspunkt AP' bei einem Basisstrom von  $36\text{ mA}$  ein. Der höhere Basisstrom ist ausreichend, um den maximalen Kollektor-Dauerstrom zu erreichen.

Im folgenden  $I_C$ - $V_{CE}$ -Kennlinienfeld ergibt sich bei der Betriebsspannung  $V_{CC2} = 30\text{ V}$  und einem Lastwiderstand  $R_L = 3\ \Omega$  der Kollektorstrom mit ca.  $9,5\text{ A}$  (Abb. 6):

Die Laufzeiten  $t_{on}$  und  $t_{off}$  wurden bei  $V_{CC2} = 30\text{ V}$ ,  $I_C = 10\text{ A}$  und  $R_L \approx 3\ \Omega$  gemessen.

$$t_{on} = 0,4\ \mu\text{s} \quad t_{off} = 5,0\ \mu\text{s}$$

#### 4.0 EINFLUSS DER MILLER-KAPAZITÄT AUF DIE FLANKENSTEILHEIT

Die Anstiegs- ( $t_r$ ) und Abfallzeiten ( $t_f$ ) bei den angeführten Interface-Schaltungen wurden ausgemessen und ergeben folgende Werte (Abb. 7):

	Schaltung 3.1 (TIP120)	Schaltung 3.2 (TIP140)
$t_f$ [ $\mu\text{s}$ ]	0,2	0,3
$t_r$ [ $\mu\text{s}$ ]	0,4	1,2

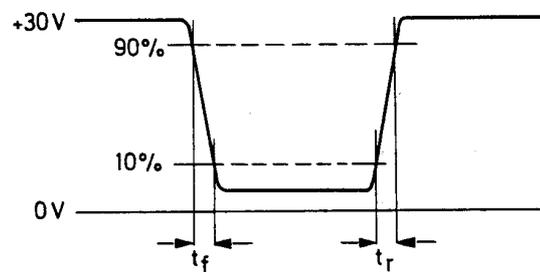


Abb. 7 Anstiegs- und Abfallzeiten

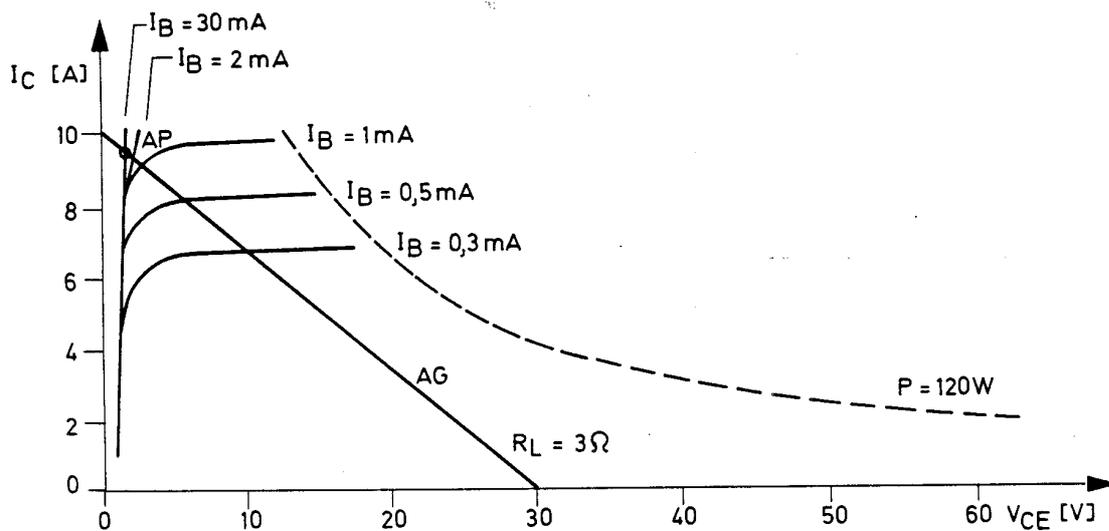


Abb. 6  $I_C$ - $V_{CE}$ -Kennlinienfeld

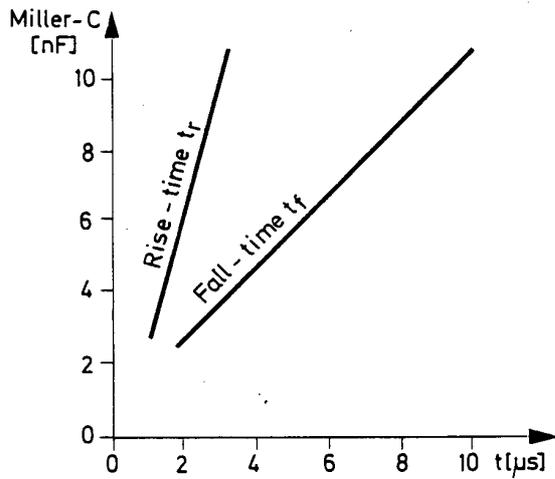
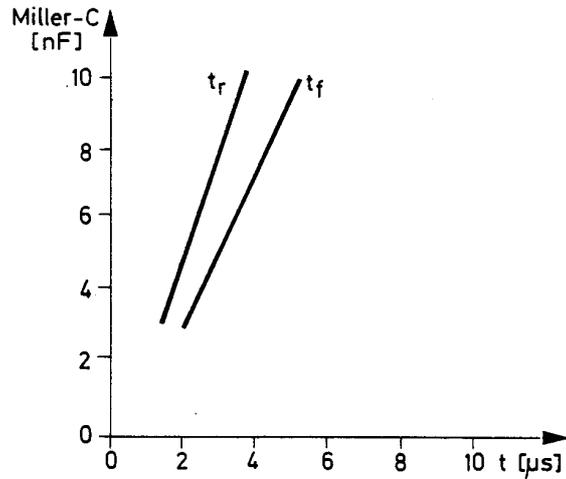


Abb. 8 Schaltung 3.2 (TIP 140)



Schaltung 3.1 (TIP 120)

Da die Störeeigenschaften durch steile Flanken erhöht werden, sollte das Störverhalten durch größere Anstiegs- und Abfallzeiten herabgesetzt werden. Dieses kann man erreichen, indem man zur Basis und zum Kollektor des Darlington-Transistors einen Kondensator, eine sogenannte Miller-Kapazität, parallel schaltet.

Der Einfluß der Miller-Kapazität bei beiden Interface-Schaltungen wird in Abbildung 8 dargestellt.

mit den Typen TIP140 - 142 ist das NAND-Gatter gegen das Leistungsgatter SN7437N auszutauschen.

Da die zu schaltenden Lasten wie Relais, Schütze usw. einen induktiven Anteil haben, dürfen die im Datenblatt angegebenen Induktivitäten nicht überschritten werden. Bei den Typen TIP120 - 122 darf die Induktivität, bei einem Kollektorstrom von 5 A, maximal 4 mH betragen. Mit den Typen TIP140 - 142 können, ohne zusätzliche Maßnahmen, Induktivitäten von 2 mH bei einem Kollektorstrom von 10 A geschaltet werden.

Bei größeren induktiven Lasten ist es erforderlich, zum Schutz des Transistors eine Diode in Sperrichtung parallel zur Last zu schalten. Die Forderungen an die Diode, schnell und hohe Ströme schalten zu können, werden von dem Silizium-Gleichrichter 1N3881 erfüllt (Abb. 9).

### 5.0 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Zum Schalten von Lastströmen bis 5 A mit den Typen TIP120 - 122 ist die Schaltung mit dem NAND-Gatter SN7400N bzw. dem Inverter SN7404N anzuwenden. Bei Lastströmen bis 10 A

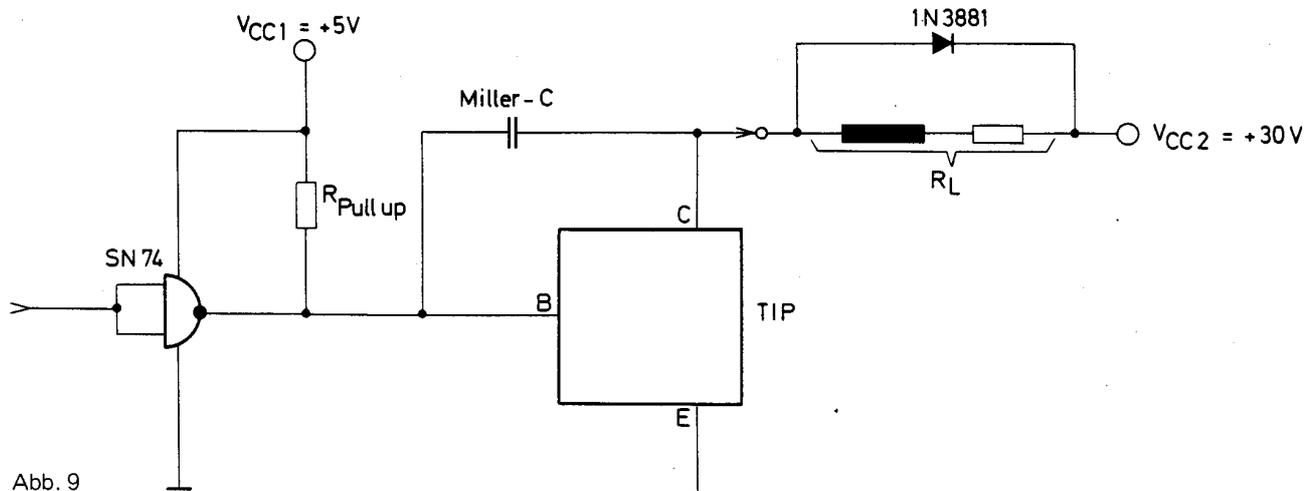


Abb. 9

## Notizen

---

Die vorgeschlagenen Schaltungen, Baugruppen oder Verfahren wurden von Texas Instruments Deutschland (TID) erprobt; darin liegt jedoch keine Gewähr für deren Funktionsfähigkeit.

TID kann auch keine Gewähr dafür übernehmen, daß diese Schaltungen usw. frei von Schutzrechten Dritter sind.

Alle Rechte an diesem Werk sind TID vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung von TID ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren zu vervielfältigen oder zu verbreiten. Dasselbe gilt für das Recht der öffentlichen Wiedergabe.

---

Herausgeber:  
Texas Instruments Deutschland GmbH  
805 Freising · Printed in Germany · TM 969

---

## TID-Fachbuchreihe

### Das TTL-Kochbuch

„Das TTL-Kochbuch“ – erstes, umfassendes Nachschlagewerk über Funktion, Herstellung und Einsatz von Integrierten Schaltungen in deutscher Sprache; angereichert mit zahlreichen Abbildungen und Applikationen. (Über 340 Seiten, Kunststoffeinfband und farbiger Schutzeinschlag)

Herausgeber:  
Texas Instruments Deutschland GmbH

Preis: DM 44,60 (incl. MwSt.)  
Bestell-Nr.: TM 650

Aufgegliedert in 14 übersichtliche Kapitel:

1. Halbleiter-Physik, Wirkungsweise des Transistors, Herstellung von Integrierten Schaltungen.
2. Datenblätter, Erläuterungen der Fachterminologie, der Symbole und Maßeinheiten.
3. Störverhalten der TTL-Schaltungen, Hinweise zum Aufbau.
4. Mathematische Grundlagen: Boole'sche Algebra.
5. Integrierte Schaltungen in Beispielen: Anleitung zum Aufbau verschiedener einfacher Schaltungen.
6. Zähler und Teiler.
7. Schieberegister.
8. Dekoder und Multiplexer.
9. Displays: alphanumerische Anzeigen.
10. Halbleiter-Speicher.
11. Rechenschaltungen: Funktion und Rechnen in verschiedenen Zahlen-Codes.
12. Datenübertragung.
13. MOS-Interface.
14. Applikationen von Integrierten Schaltungen.

### The Integrated Circuits Catalog

for Design Engineers

Exakte Datenblätter, Beschreibungen und Applikationshinweise. Übersichtlich geordnet.  
In englischer Sprache. 1.600 Seiten. Schutzgebühr DM 15,00 (plus MwSt.) Versand: per Nachnahme.

#### Halbleiter auf 1600 Seiten

- TTL-, Linear-, MOS-, ECL- und Hybrid-Schaltkreise
- Strahlungsfeste Bausteine
- Interface-Schaltkreise
- DTL-IC's und integrierte Schaltungen hoher Störempfindlichkeit

- IC's mit extrem hoher Zuverlässigkeit
- Diskrete Komponenten

Herausgeber: Texas Instruments Inc.  
Bestell-Nr.: CC 401

### The TTL Data Book

for Design Engineers

Ergänzungsband zu „The Integrated Circuits Catalog“ - CC 401 - mit Datenblättern, Beschreibungen und Applikationshinweisen aller TTL-Schaltkreise der Serien SN 54/74 erweitert durch die Serie SN 49. 600 Seiten, in englischer Sprache. Schutzgebühr DM 15,00 (plus MwSt.)

#### TTL-Serien:

- Standard Serie SN 54/74
- High Speed Serie SN 54H/74H
- Low Power Serie SN 54L/74L
- Schottky Clamped Serie SN 54S/74S
- Low Power Schottky Serie SN 54LS/74LS
- Serie SN 49

- Radiation-Hardened and Beam-Lead Circuits
- Random-Access Memories

Herausgeber: Texas Instruments Inc.  
Bestell-Nr.: CC 411

### The Optoelectronics Data Book

for Design Engineers

Exakte Datenblätter, Applikationshinweise, Qualitäts- und Lebensdaueruntersuchungen; ergänzt durch Äquivalenzliste.  
In englischer Sprache. 360 Seiten. Schutzgebühr DM 8,- (plus MwSt.)

#### Optoelektronik

- Lichtschranken
- Signal-Photodetektoren
- Avalanche-Photo-Module
- Optische Koppler
- Zifferanzeigen

- Thermo-Druckköpfe
- Tivicon-Röhren
- Laser-Arrays

Herausgeber: Texas Instruments Inc.  
Bestell-Nr.: CC 405

### Pocket Guide

Übersicht für den Entwickler und Projektierer. Über 250 Integrierte Digital-Schaltungen. Taschenformat (105 x 185 mm). In deutscher Sprache. 290 Seiten. Schutzgebühr DM 6,- (plus MwSt.)

#### Integrierte Digital-Schaltungen der Serien:

- SN 74, SN 84, SN 54
- SN 49, SN 498
- SN 74L, SN 84L, SN 54L
- SN 74S, SN 54S
- SN 75, SN 55
- TMS

Herausgeber:  
Texas Instruments Deutschland GmbH  
Bestell-Nr.: TM 693

**Bestellungen:** Ihre Bestellung richten Sie bitte an Texas Instruments Deutschland GmbH, Werbeabteilung, 805 Freising, Haggertystraße 1. Die Auslieferung erfolgt über den für Sie zuständigen TI-Distributor