

Kopplung analoger und digitaler Schaltungen

1. Elektronische Schalter

Feldeffekt-Transistoren (FET) werden unter Nutzung ihres spannungssteuerbaren Widerstandes häufig als elektronische Schalter eingesetzt. Der Quad- CMOS- Schaltkreis 4016B enthält vier identische Schalter, deren Steuerleitungen jeweils separat an äußere Pins angeschlossen sind. Um analoge Signale zu schalten, die sowohl positive als auch negative Polarität haben können, muß der Schaltkreis 4016B mit symmetrischer Betriebsspannung (z.B. +5 V und -5 V) gespeist werden. In diesem Fall muß die Spannung an der Steuerleitung zwischen beiden Betriebsspannungen wechselseitig schalten können.

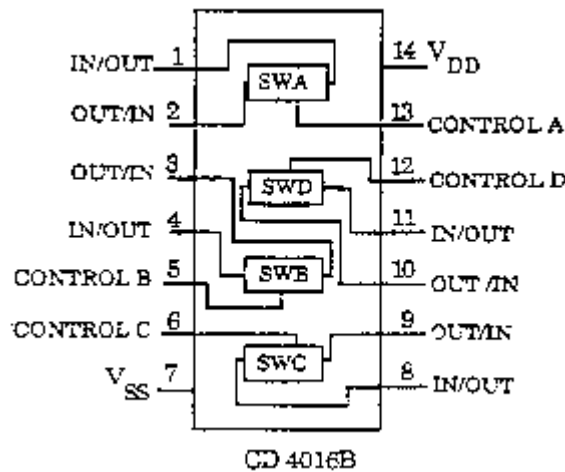


Abb.1 Pinbelegung des 4016B

Bauen Sie die in Abb. 2 gezeigte Schaltung auf und legen Sie ein sinusförmiges Signal am Schaltereingang an! Beobachten Sie mit geeigneten Mitteln das Ausgangssignal im Schalterbetrieb!

- (a) Messen Sie den Widerstand im eingeschalteten Zustand (EIN) durch Verringerung des Ausgangswiderstandes auf z.B. 100 Ω.
- (b) Messen Sie das Verhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangssignal (Signaldämpfung) in dB, wenn der Schalter im Zustand AUS ist. Untersuchen Sie diese Dämpfung für mehrere Frequenzen bis zur Frequenzgrenze des verwendeten Signalgenerators. Wie verändert sich die Signaldämpfung mit dem Lastwiderstand?

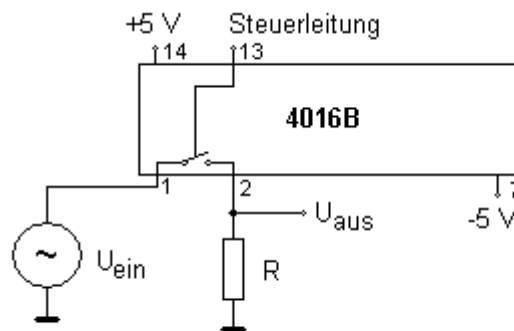


Abb. 2 Analog-Schalter mit 4016B

Achtung: Verbinden Sie alle unbenutzten Eingänge mit den Spannungen V_{SS} oder V_{DD} gemäß Abb. 1 (Warum?) und legen Sie *keinesfalls* Spannungen am Eingang an, wenn der Schaltkreis keine Betriebsspannungen hat! Sehen Sie sich unbedingt die zugehörigen Datenblätter an!

Nehmen wir an, der Schalter soll mit einem (digitalen) TTL- Signal (Rechtecksignal, zwischen 0 und 5 V variierend) angesteuert werden. Dazu brauchen wir eine Treiberschaltung: Das TTL- Signal (0-5 V) muß dazu in ein Rechtecksignal zwischen -5 V und +5 V umgewandelt werden. Das läßt sich mit einer einfachen Transistorstufe realisieren. Bauen Sie die Schaltung gemäß Abb. 3 auf und speisen Sie den TTL- Eingang mit Rechteckimpulsen! Untersuchen Sie das Ausgangssignal der Schaltung - Sie sollten eine Folge von Sinuspulsen, unterbrochen durch Pausen, sehen (vergleichbar dem "Besetzt"- Signal bei der Analogtelefonie).

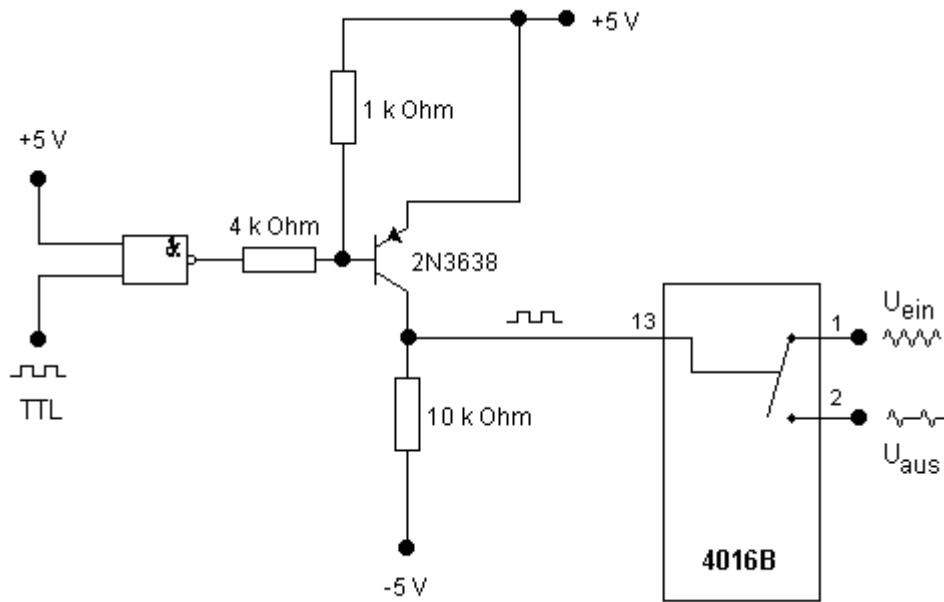


Abb. 3 Ansteuerung mit TTL-Signal

2. Komparator, Schmitt-Trigger

Der Komparator ist eine übliche elektronische Schnittstelle (Interface) zwischen digitalen und analogen Schaltungen. Das Ausgangssignal des Komparators kann nur zwei definierte Zustände ("high": H oder 1, "low": L oder 0) annehmen - je nachdem, ob das Eingangssignal größer oder kleiner als ein bestimmter Wert (Schwellwert) ist. Prinzipiell wäre dazu jeder Differentialverstärker mit hoher Verstärkung geeignet. Es gibt aber Schaltkreise, die dafür optimiert sind, wie z.B. der LM339 Quad-Komparator (vgl. lock-in- Versuch im vorigen Semester). Das Datenblatt für den LM339 steht Ihnen im Praktikum zur Verfügung.

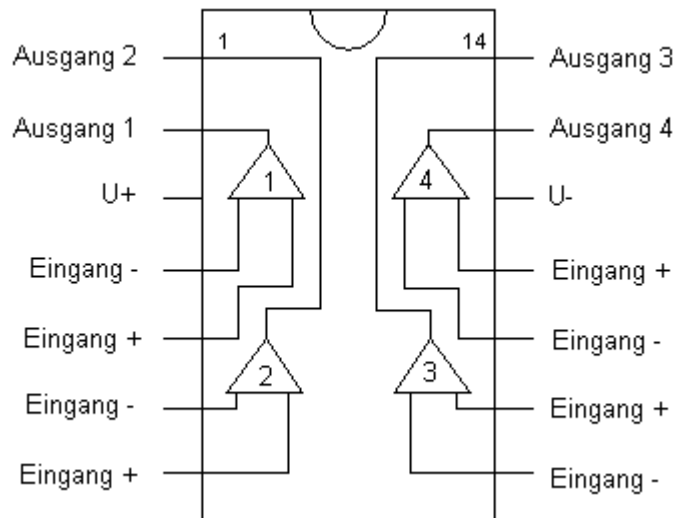


Abb. 4 Pinbelegung des Quad-Komparators LM339

Beschalten Sie den LM339 für eine Eingangsschaltswelle von z.B. 2.5 V. Speisen Sie ihn mit $U_+ = +5\text{ V}$ und $U_- = -5\text{ V}$. Der Komparatorausgang soll ein TTL- NAND- Gatter ansteuern. Der LM339 hat einen sog. offenen Kollektor- Ausgang (*open collector*), daher ist ein zusätzlicher Widerstand erforderlich. Außerdem soll der Komparator mit *Hysteresis* arbeiten. Diese neue Schaltung, als *Schmitt-Trigger* bezeichnet, liefert auch dann saubere Übergänge, wenn das Eingangssignal merklich verrauscht ist.

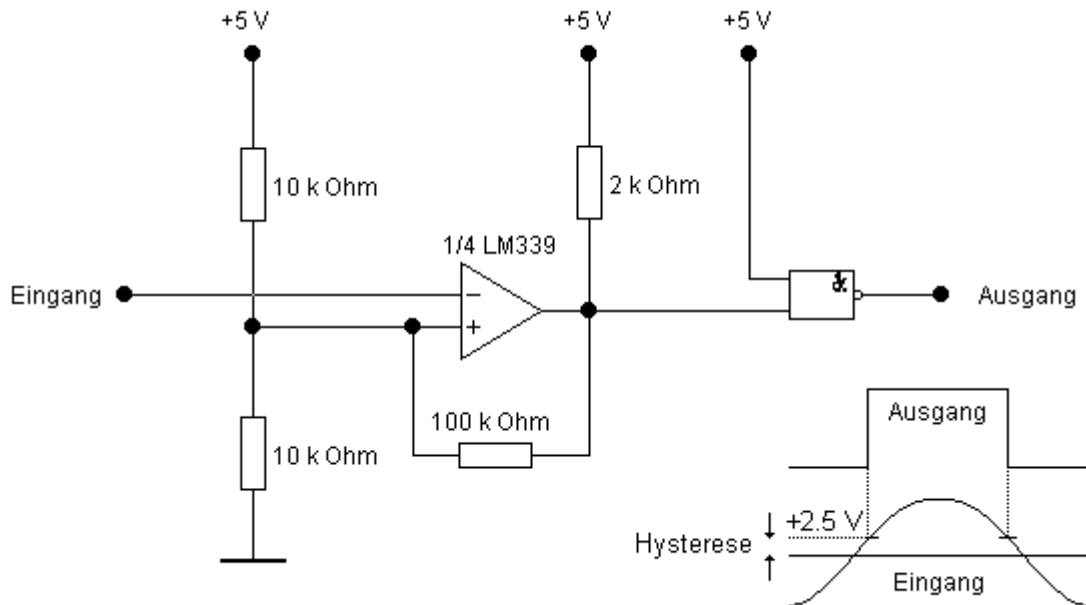


Abb. 5 Gesamtschaltung Schmitt-Trigger

Messen Sie die Größe der Hysterese: Am einfachsten und anschaulichsten läßt sich das machen, indem am Eingang ein sinusförmiges Signal angelegt wird, das gleichzeitig mit dem TTL-Ausgangssignal (Signalflanken) auf dem Schirm des Oszilloskops betrachtet wird. Hysterese sollte möglichst immer eingesetzt werden, weil die schnellen Signalübergänge in logischen Schaltungen Signalspitzen (spikes) verursachen können: Spikes können völlig unbeabsichtigt einen Komparator ohne Hysterese durchschalten!

3. Schnittstelle OPV-TTL, Nulldurchgangs-Detektor

Manchmal ist es erforderlich, das Ausgangssignal eines gewöhnlichen OPV in den Eingang einer Logik- Schaltung einzuspeisen. Weil OPV keine *open collector* - Ausgänge (s.o.) besitzen, ist eine etwas andere Ausgangsbeschaltung (unten gezeigt) erforderlich. Die zusätzliche Diode schützt den Basis- Emitter- Übergang des Transistors, der entweder gesperrt oder in Sättigung ist - je nach Ausgangssignal des OPV. Der OPV ist als sog. *Nulldurchgangs- Detektor* mit zusätzlicher Hysterese beschaltet.

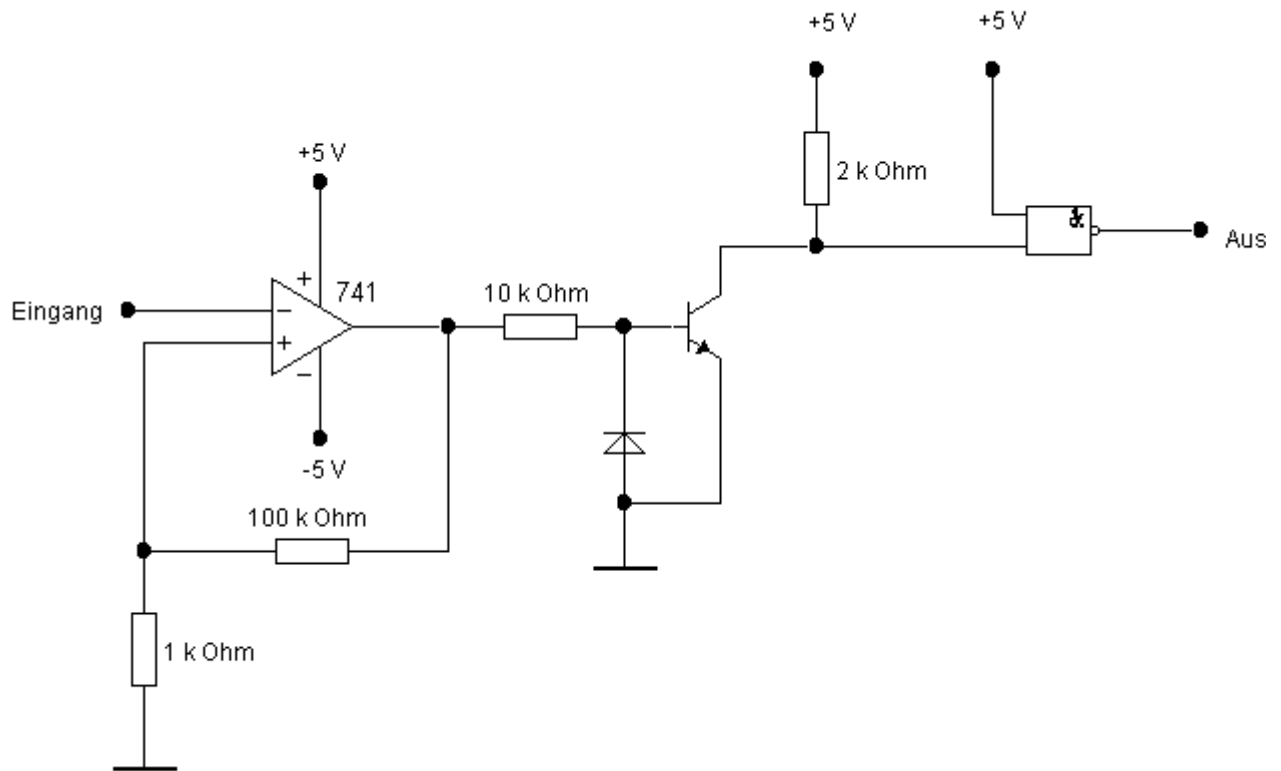


Abb. 6 Gesamtschaltung des Nulldurchgangsdetektors

Messen Sie die Zeitverzögerung zwischen einem Sinussignal mit Nulldurchgang am Eingang und der Signalfanke am TTL-Ausgang! Verfolgen Sie das Signal am OPV-Ausgang: Zeigen Sie, daß die Zeitverzögerung durch die endliche *slew rate* des OPV bedingt ist!

4. Fenster-Komparator

Als nächstes bauen Sie den in Abb. 7 gezeigten sog. *Fenster-Komparator* auf. Erklären und überzeugen Sie sich von seiner Wirkungsweise!

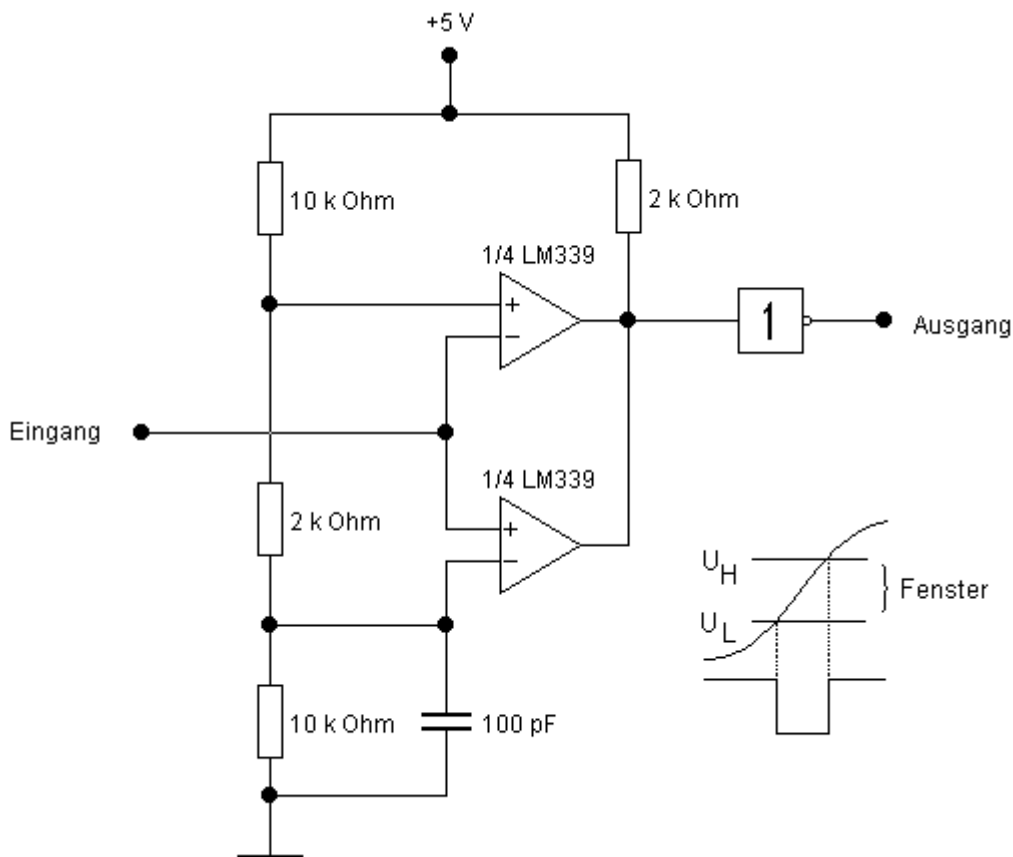


Abb. 7 Gesamtschaltung des Fenster-Komparators

Ein Fenster-Komparator ist z.B. in der Teilchenspektroskopie von Nutzen: Es sollen nur Spannungsimpulse gezählt werden, deren Signalspitzenwert (Peak- Höhe) innerhalb eines engen Intervalls liegt. Steuern Sie den Eingang mit einem sinusförmigen Signal an und zeigen Sie, daß der Ausgang nur dann umgeschaltet wird, wenn das Eingangssignal innerhalb des definierten Intervalls ist!

Da die einzelnen Komparatoren des LM339 offene Kollektorausgänge haben (s.o.), ist es möglich, sie direkt miteinander zu verbinden. *Beachten Sie bitte, daß das mit gewöhnlichen OPV nicht möglich ist!* Der Spannungsteiler am Eingang muß eventuell mit einem Kondensator von z.B. 100 pF überbrückt werden, um selbsterregte (unerwünschte) Schwingungen zu vermeiden.

5. Der Timer-Schaltkreis 555

Der sog. Timer 555 ist eine der populärsten integrierten Schaltungen aller Zeiten. Im Wesentlichen handelt es sich hier um einen Relaxations- Oszillator, bei dem eine Kombination analoger und digitaler Schaltungen verwendet wird. Seine Wirkungsweise und Beschaltung soll hier nur in Grundzügen beschrieben werden, weitere Informationen sind z.B. auch aus den Datenblättern im Praktikum entnehmbar.

Der 555 ist ein komplexer Schaltkreis, der in vielen Anwendungen als astabiler Multivibrator (Takt- Generator) oder monostabiler Puls- Generator eingesetzt wird. Er benötigt einen externen Kondensator und zwei Widerstände für die Beschaltung als astabiler Multivibrator. Sein Blockschaltbild ist in Abb. 8 dargestellt.

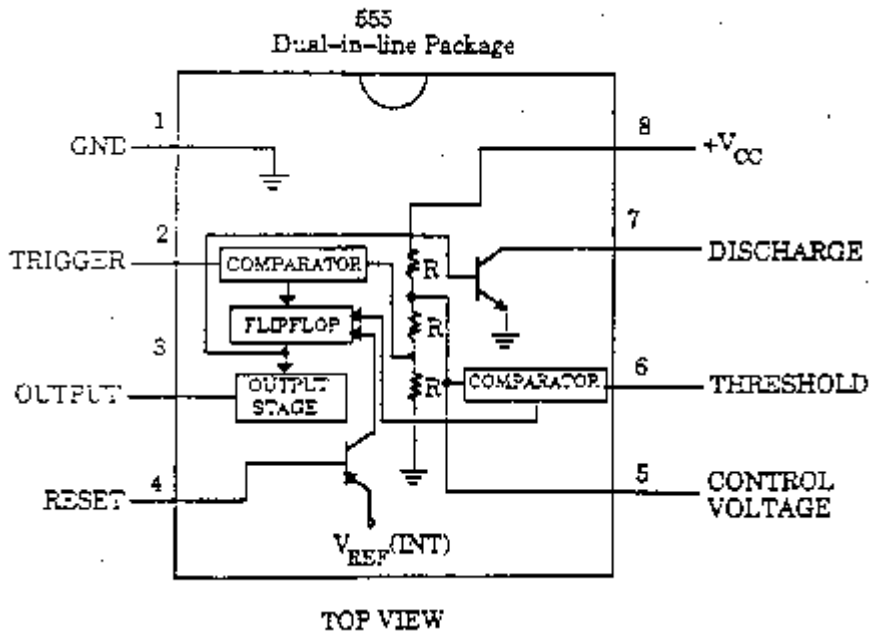


Abb. 8 Blockschaltbild und Pinbelegung des Timers 555

Der die Zeitkonstante bestimmende Kondensator wird stets mit einem Anschluß auf Masse gelegt, mit dem anderen gegen eine positive Spannung. Damit ist die Verwendung von Elektrolytkondensatoren zur Erzielung großer Zeitkonstanten möglich.

Ein Rechteckgenerator mit einem Tastverhältnis von 50% bzw. 1:1 wird mit der Schaltung nach Abb. 9 realisiert. Ein astabiler Multivibrator ist in Abb. 10 gezeigt.

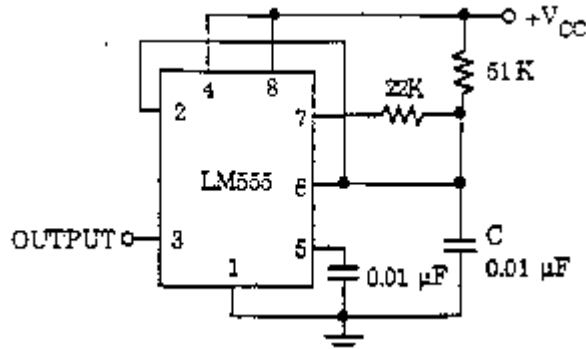


Abb. 9 Rechteckgenerator mit 50% Tastverhältnis

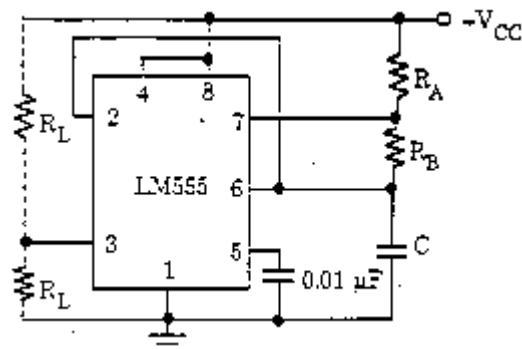


Abb. 10 Astabiler Multivibrator

Das nachfolgende Nomogramm (Abb. 11) erlaubt die Dimensionierung der externen Komponenten für eine festgelegte Frequenz:

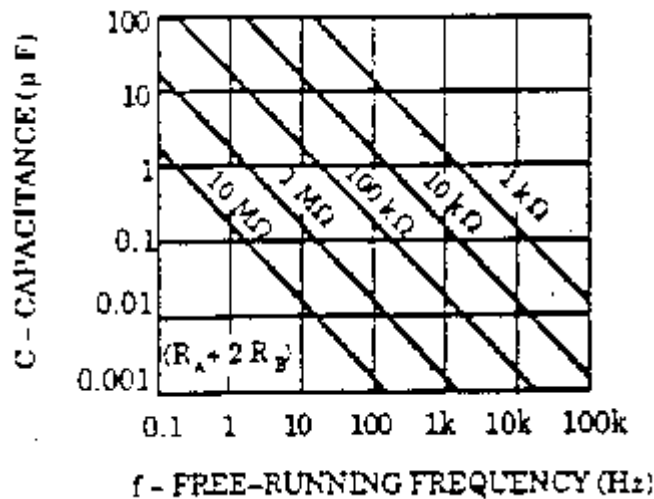


Abb. 11 Nomogramm für externe Beschaltung des 555

Wenn R_B groß im Vergleich zu R_A ist, erhält man ein symmetrisches Rechtecksignal. Für ein asymmetrisches Ausgangssignal ist das Verhältnis R_B/R_A zu verändern.

- Realisieren Sie eine Schaltung für ein symmetrisches Ausgangssignal mit einer Frequenz von 1 kHz! Benutzen Sie eine Betriebsspannung von +5 V!
- Modifizieren Sie diese Schaltung für ein Tastverhältnis von 90% ! Das Tastverhältnis ist definiert mit der Beziehung $T_H/(T_H+T_L)$, wobei die Einzelzeiten T_H bzw. T_L den (logischen) Zuständen "high" bzw. "low" entsprechen. Beachten Sie dabei die Abb. 11 und Abb. 13!
- Wie verändert sich die Frequenz, wenn die Betriebsspannung von 5 V auf 15 V erhöht wird?

Der Timer 555 kann auch als Puls- Generator (monostabile Konfiguration) wie in Abb. 12 beschaltet werden.

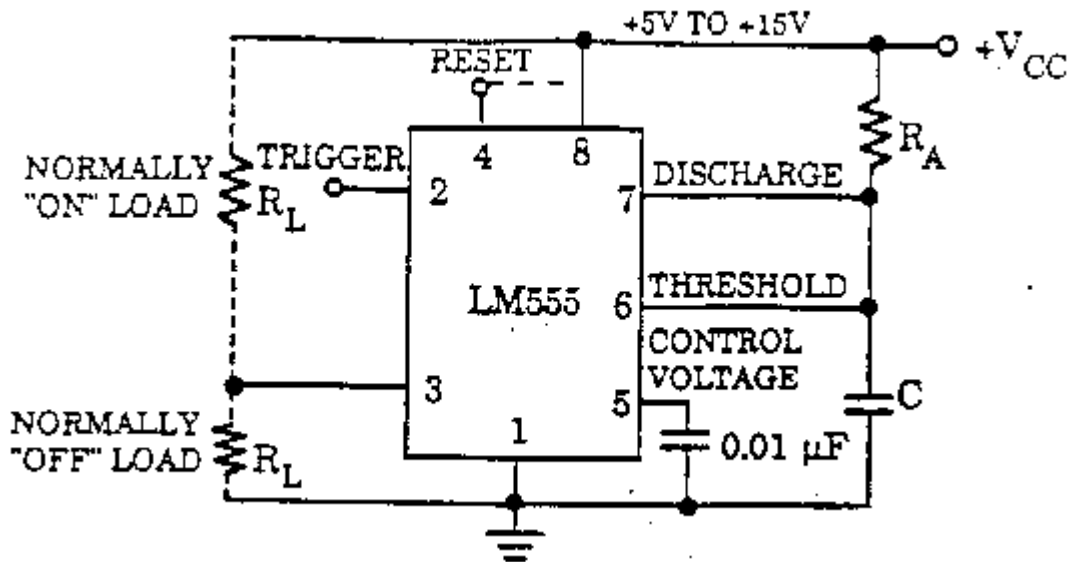


Abb. 12 Pulsgenerator mit Timer 555

An Pin 2 wird ein externes Signal angelegt, das den Signalimpuls triggert (auslöst). Die Dauer dieses Impulses wird durch die Größen von R_A und C festgelegt, wie das Nomogramm in Abb. 13 zeigt.

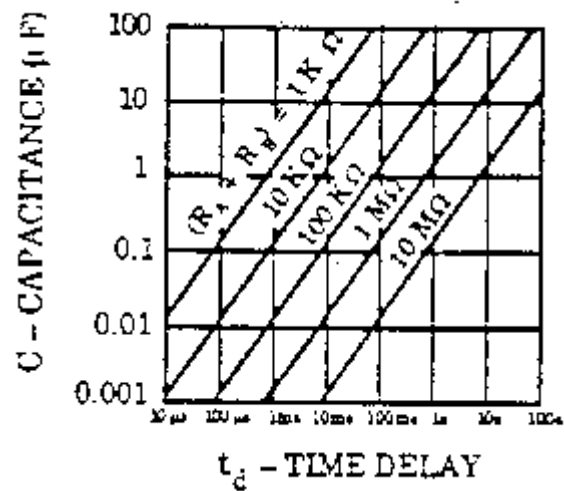


Abb. 13 Nomogramm für die Impulsdauer

Der RESET- Eingang an Pin 4 kann dazu verwendet werden, um das Auslösen des Signalpulses zu unterdrücken oder um einen Impulszyklus zu beenden.

- Bauen Sie eine monostabile Schaltung mit einer Impulsbreite von 5 ms auf! Um die Schaltung zu triggern, speisen Sie ein asymmetrisches Pulssignal vom Generator am Meßplatz ein!
- Wird der Signalimpuls am Ausgang durch die steigende oder fallende Flanke des eingespeisten Triggersignals ausgelöst?
- Wie groß ist die minimal erforderliche Amplitude für das Triggersignal?