



Kapazitiver Näherungssensor

Neue ICs machen die Realisierung von Sensortasten besonders einfach und zuverlässig. Moderne kapazitive Näherungssensoren reagieren auf Kapazitätsänderungen am Eingang in einem weiten Bereich.

Allgemeines

Kapazitive Näherungssensoren können ohne mechanische bewegliche Komponenten Schaltvorgänge auslösen und sind somit absolut verschleißfrei. Im Gegensatz dazu sind mechanische Taster und Schalter, besonders unter rauen Umgebungsbedingungen, immer mit Verschleiß behaftet. Sehr häufig sind Fehlfunktionen in elektronischen Systemen auf einen Defekt dieser Komponenten zurückzuführen.

Besonders schwierig wird es bei mechanischen Tastern und Schaltern, wenn hohe Anforderungen an die Wasser- und Staubdichtigkeit eines Gerätes gestellt werden, da abgesehen von Folientastaturen immer entsprechende Gehäusedurchbrüche erforderlich sind.

Sollen Schaltvorgänge im Außenbereich ausgelöst werden, so kommt noch das Problem hinzu, dass mechanische Taster und Schalter kaum vandalismussicher angebracht werden können. Sensortasten dagegen lassen sich geschützt hinter allen nicht leitenden Gehäuse- und Konstruktionsteilen, Verkleidungen, Glasscheiben, Fliesen oder Gebäudeteilen montieren.

Sensortasten an sich sind nun nichts Neues und wurden bereits vor mehr als 20 Jahren in der Unterhaltungselektronik eingesetzt. Die Funktionsweise dieser Sensortasten beruht auf hochohmigen CMOS-Eingängen, die über Widerstände im M Ω -Bereich entweder mit der Schaltungsmasse oder mit der Versorgungsspannung verbunden sind. Mit dem Finger werden dann je Taster zwei Metallflächen überbrückt, wobei der Eingang auf das jeweils entgegengesetzte Potential (Masse oder Versorgungsspannung) gezogen wird.

Derartige Sensortasten sind natürlich nur für den Innenbereich geeignet. Als großes Problem hat sich die Störanfälligkeit bei Verschmutzungen und Feuchtigkeit herausgestellt. Des Weiteren sind nach diesem Funktionsprinzip arbeitende Sensortasten sehr empfindlich auf ESD.

Moderne Sensortasten hingegen kommen völlig ohne berührbare Kontaktflächen aus und arbeiten entweder auf kapazitiver oder induktiver Basis. Die Schaltflächen können somit ohne einen Kontakt zur „Außenwelt“, auf Wunsch natürlich auch unsichtbar, montiert werden und sind optimal vor Umwelteinflüssen und Vandalismus geschützt. Diese Schaltsysteme sind

zudem absolut verschleiß- und wartungsfrei.

Kapazitive und induktive Näherungsschalter werden bereits seit vielen Jahren eingesetzt. Neue integrierte Schaltkreise erlauben nun eine einfache und kostengünstige Realisierung, ohne dass dann ein Abgleich erforderlich ist. Hinzu kommt, dass diese ICs ein besonders sicheres Schalten und sogar die abgesetzte Montage der Sensorfläche erlauben.

Zunächst basieren alle kapazitiven Näherungsschalter auf dem Prinzip, dass sich bei Annäherung die Kondensator-Geometrie und somit die Kapazität verändert. In konventionellen Schaltungskonzepten arbeitet der Sensor-Kondensator meistens als frequenzbestimmendes Bauelement in einem Oszillator. Durch Annäherung erfolgt entweder eine Frequenzverschiebung oder eine Veränderung der Amplitude, die von der nachfolgenden Elektronik ausgewertet wird.

Die Auswertung der absoluten Kondensatorkapazität ist jedoch mit einigen Nachteilen verbunden. So kann z. B. der Schaltabstand bei Feuchtigkeit und Verschmutzung variieren und eine abgesetzte Montage der Sensorfläche ist im Allgemeinen nicht möglich.

Bei den neuen Sensor-ICs hingegen werden Kapazitätsänderungen ausgewertet, wodurch die absolute Kapazität der Sensorfläche und somit die Größe und Form nahezu keine Rolle mehr spielt.

Unter der Bezeichnung α 4010 steht ein von der Firma alpha microelectronics entwickeltes Sensor-IC zur Verfügung. Abbildung 1 zeigt die interne Struktur dieses komplexen Bausteins, der mit wenig externer Beschaltung auskommt.

Der Schaltkreis detektiert dynamische Kapazitätsveränderungen mit einer Auflösung von 0,5 pF. Dadurch ist das Sensor-IC nicht nur für Näherungsschalter, sondern auch für Füllstandsanzeigen interessant.

Ausgewertet wird vom IC eine schnelle Zunahme oder Abnahme der Umgebungskapazität im Bereich der Sensorfläche, die z. B. durch Annähern eines Fingers entsteht. Die Ansprechcharakteristik kann durch die externe Beschaltung angepasst werden.

Ständig vorhandene Umgebungskapazitäten oder langsame Veränderungen durch Feuchtigkeit, Verschmutzung oder Temperatur werden automatisch kompensiert.

Da alle für einen Näherungsschalter erforderlichen Stufen im IC integriert sind, werden an externer Beschaltung nur noch wenige passive Bauteile benötigt. Die Schaltung ist selbstabgleichend, d. h. selbst bei Bauteiltoleranzen ist kein Abgleich erforderlich. Für den Außeneinsatz ermöglicht dies auch ein Vergießen der Elektronik mit Gießharz.

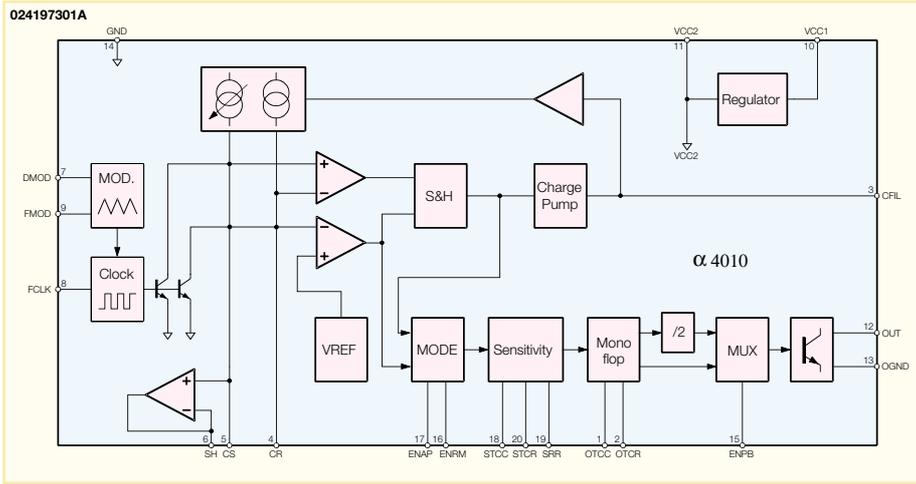


Bild 1: Interner Aufbau des Sensor-ICs α 4010

Doch betrachten wir als Nächstes die externe Beschaltung des Bausteins, die in der Applikationsschaltung in Abbildung 2 zu sehen ist. Der Sensor, dessen Größe und Form in weiten Grenzen automatisch kompensiert wird, ist an CS (Pin 5) anzuschließen. Wie bereits erwähnt, ist auch eine von der Auswerteelektronik abgesetzte Montage des Sensors möglich. Dazu ist der Sensor, d. h. die abgedeckte Metallfläche, über eine abgeschirmte Leitung anzuschließen, dessen Schirm mit SH (Pin 6) zu verbinden ist.

An Pin 4 (CR) ist eine Referenzkapazität erforderlich, die ungefähr in der gleichen Größenordnung wie die Sensor-Kapazität liegen sollte.

Den Ladestrom der Sensor-Kapazität liefert eine Konstantstromquelle und der Ladestrom der Referenzkapazität wird über die automatische Verstärkungsregelung nachgesteuert. Über Differenzial-Verstärker werden die Kondensatorspannungen dann mit einer internen Referenzspannung verglichen. Die Verstärker-Ausgangsspannungen gelangen auf interne „Sample and

Hold“-Stufen, wodurch eine Speicherung der aktuellen Messwerte erfolgt.

Danach folgt eine Ladungspumpe, die mit der externen Kapazität an CFIL (Pin 3) über mehrere „Sample and Hold“-Zyklen den Mittelwert für die Regelung bildet.

Die Kapazität an Pin 3 für die Integration hat einen wesentlichen Einfluss auf die Empfindlichkeit der Schaltung. Je höher die Kapazität, desto langsamer ist die Regelung und desto empfindlicher reagiert die Schaltung auf Kapazitätsänderungen am Eingang. Da die Ladungspumpe nur einen Strom von ca. 0,2 μ A liefert, muss nach dem Einschalten der Betriebsspannung die Ladezeit für die Elkos berücksichtigt werden. Je nach Größe der Kapazität, die zwischen 2,2 μ F und 10 μ F liegen sollte, kann es dann nach dem Einschalten bis zu 60 s dauern, bis die Schaltung betriebsbereit ist.

Der Logikpegel an den mit internen Pull-up-Widerständen versehenen Eingängen ENAP und ENRP (Pin 16, 17) bestimmen, wie das integrierte Monoflop reagieren soll. Liegt ENAP auf „High“-Potential bzw.

wenn dieser Pin unbeschaltet ist, wird ein Ausgangssignal erzeugt, sobald sich die Hand bzw. der Finger dem Sensor nähert. Beim Wegnehmen der Hand hingegen wird ein Signal erzeugt, wenn an ENRM ein „High-Pegel“ liegt. Beide Schaltflanken können auch gleichzeitig aktiviert werden. In diesem Fall wird sowohl beim Annähern als auch beim Wegnehmen der Hand oder eines leitenden Gegenstandes ein Schaltsignal erzeugt.

Der Schaltungsblock Sensitivity mit den externen Anschlüssen STCC, STCR und SRR (Pin 18-Pin 20) bestimmt die Empfindlichkeit. Mit einem Widerstand an STCR und einem Kondensator an STCC wird die Zeitkonstante und somit die Messzeit in der Regelung bestimmt. Die Zeit berechnet sich nach der Formel:

$$t = 25 \cdot R_{STCR} \cdot C_{STCC}$$

Der Widerstandswert darf dann zwischen 20 k Ω und 100 k Ω liegen. Wird auf den Widerstand verzichtet, beträgt die Zeitkonstante laut Datenblatt ca. 1 ms \cdot (C_{STCC}/nF).

Ein optionaler 100-k Ω -Widerstand an SRR (Pin 19) wird als Referenz benötigt, wenn Pin 20 ebenfalls mit einem Widerstand beschaltet ist. Andernfalls ist auch dieser Pin an Massepotential zu legen.

Mit der externen Beschaltung an OTTC (Pin 1) und OTCR (Pin 2) wird die Ausgangs-Impulsbreite des Monoflops eingestellt, die nur dann von Bedeutung ist, wenn der Baustein im Tastermode betrieben wird. OTCC (Pin 1) ist mit einem Kondensator und OTCR (Pin 2) mit einem Widerstand zu beschalten. Die Impulsbreite wird nach der Formel:

$$tpw = 2 \cdot R_{OTCR} \cdot C_{OTCC}$$

berechnet. Wird der Widerstandsanschluss (Pin 2) direkt mit der Schaltungsmasse

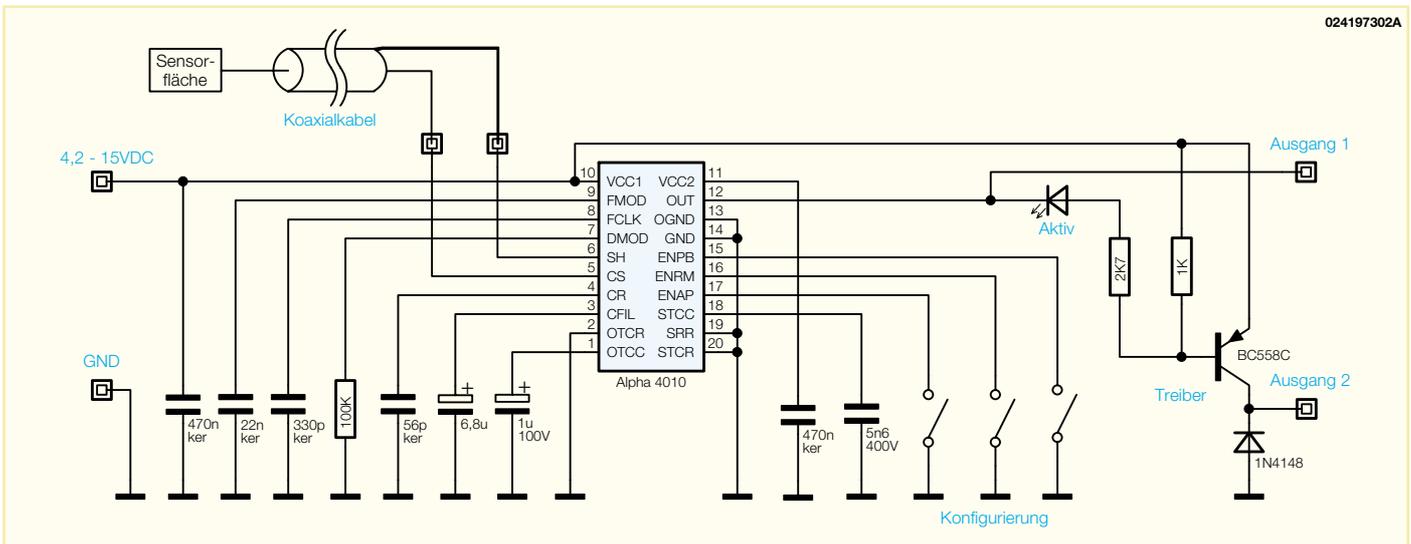


Bild 2: Applikationsschaltung mit dem Sensor-IC α 4010

verbunden, so berechnet sich die Impulszeit nach der Formel:

$$t_{PW} = 1 \text{ ms} \cdot C_{OTCC}/nF$$

Der Logikpegel an Pin 15 (ENPB) bestimmt, ob der Ausgang als Schalter oder als Taster arbeiten soll. In der Schalterfunktion (Togglemode) ist Pin 15 mit der Schaltungsmasse zu verbinden. Andernfalls bleibt der Eingang einfach offen, da ein interner Pull-up-Widerstand vorhanden ist.

Ausgangsseitig verfügt das IC über einen Open-Kollektor-Transistor, der im aktiven Schaltzustand Pin 12 auf Massepotential zieht. Der Transistor im IC darf mit einem Strom von max. 5 mA belastet werden. Um z. B. ein externes Relais ansteuern zu können, ist der Ausgang mit einem zusätzlichen externen Schalttransistor zu beschalten. Eine optional einzusetzende Leuchtdiode kann den aktuellen Betriebszustand des Ausgangs anzeigen. Soll auf die Leuchtdiode verzichtet werden, so ist an der LED-Position in Abbildung 2 eine Lötbrücke zu setzen.

Der Takt-Oszillator des α 4010 ist an Pin 8 extern zugänglich. Bei der im Datenblatt angegebenen Dimensionierung (330 pF) beträgt die Mittenfrequenz typisch 3,1 kHz.

Über eine weitere interne Stufe besteht die Möglichkeit, den Oszillator zu modulieren, wobei die max. Modulationstiefe 50 % beträgt. In diesem Fall ist Pin 7 (DMOD) mit der Schaltungsmasse zu verbinden. Soll keine Modulation des Oszillators erfolgen, bleibt der Pin unbeschaltet.

Die Modulationsfrequenz wird durch einen Kondensator an Pin 9 (FMOD) bestimmt und beträgt ca. $1,3 \text{ Hz}/(C_{FMOD}/\mu\text{F})$. Durch die Modulation der Taktfrequenz ist der Schaltkreis unempfindlich gegenüber Störungen von außen.

Ein integrierter Spannungsregler erlaubt einen großen Betriebsspannungsbereich von 4,2 V bis 15 V. Zur Verringerung der Stromaufnahme bei Batteriebetrieb empfiehlt es sich, den internen Regler jedoch nicht zu nutzen. In diesem Fall sind dann VCC 1 und VCC 2 extern miteinander zu verbinden, wobei der Betriebsspannungs-

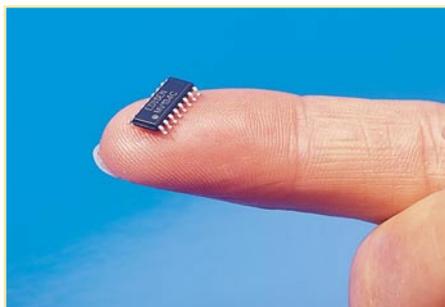


Bild 3: Dieses kleine SMD-IC enthält die Elektronik für 3 komplette Edisen-Sensoren.

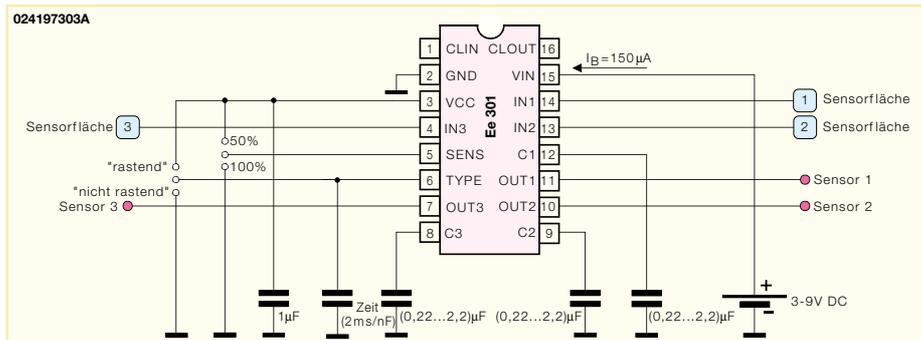


Bild 4: Einfache Beschaltung des 3fach-Edisen-Sensors

bereich in diesem Fall 2,3 V bis 5,5 V beträgt.

Praktischer Aufbau

Mit Hilfe einer kleinen doppelseitigen Leiterplatte ist die praktische Schaltungsrealisierung besonders einfach. Das Sensor-IC und die wenigen erforderlichen Bauteile, alles in SMD-Technik, werden auf einer Platinenseite untergebracht und die Kupferschicht auf der Platinenrückseite kann dann als Sensorfläche dienen.

Die Montage der Sensorplatine ist vom Anwendungsfall abhängig. So besteht z. B. die Möglichkeit, die Platine einfach mit der Sensorfläche in ein Kunststoffgehäuse einzukleben. Alternativ kann die Sensorfläche auch einfach mit einer nicht-leitenden Platte aus Kunststoff oder Glas abgedeckt werden.

Edisen-Sensoren

Die digitalen kapazitiven Näherungssensoren von Edisen (Abbildung 3) arbeiten nach einem patentierten Auswerteverfahren, wobei die eigentlichen Sensorflächen über Miniatur-Koaxialkabel bis zu einer Entfernung von 6 m exportiert werden können. Dadurch entstehen sehr vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Leitfähige Flächen oder Folien auf der Innenseite von Gerätegehäusen oder hinter nicht-leitenden Abdeckungen übernehmen die Funktion der Sensorflächen. Selbst bei sehr beengten Platzverhältnissen ist der Einbau möglich, da die Auswerteelektronik abgesetzt von der Sensorfläche angeordnet werden kann.

Von Edisen wird unter der Bezeichnung Ee301 ein integrierter Schaltkreis mit drei Kanälen angeboten. An diesem Baustein im SO16-Gehäuse sind direkt drei exportierbare Sensorflächen anzuschließen und an externer Beschaltung werden nur noch 4 Keramik-Kondensatoren benötigt. Der Baustein hat mit 3 V-9 V einen recht weiten Betriebsspannungsbereich und ist aufgrund des geringen Stromverbrauchs von nur 90 μA auch für Batterieanwendungen geeignet.

Für die Ansteuerung von Relais oder

einer nachfolgenden Elektronik kann der Baustein Schaltströme bis zu 25 mA liefern. Die einfache Beschaltung des 3fach-Sensors ist in Abbildung 4 zu sehen.

Für alle Kanäle kann die Empfindlichkeit über einen Logikeingang grob und zusätzlich für jeden Kanal getrennt mit einem Kondensator fein eingestellt werden.

Auch das Ausgangs-Schaltverhalten ist über einen Pin des Bausteins konfigurierbar. Wird Pin 6 an Masse gelegt, so arbeiten alle Ausgänge nicht rastend. Sollen die Ausgänge mit einem Fingertip aktiviert und mit dem nächsten Fingertip deaktiviert werden (Toggle-Funktion), so ist Pin 6 mit Pin 3 (VCC) zu verbinden. Als dritte Option steht eine Zeitfunktion zur Verfügung. In diesem Fall ist Pin 6 mit einem Kondensator zu beschalten, wobei die Aktivierungszeit des Ausgangs dann ca. $2 \text{ ms je nF Kapazität}$ beträgt.

Innerhalb der ersten 2 s nach Anlegen der Betriebsspannung führt der Baustein einen Selbstabgleich für alle drei Kanäle durch. Danach besteht dann die volle Betriebsbereitschaft der kompletten Schaltung.

In einem großen Dynamikbereich werden langsame Änderungen der Umgebungskapazität und somit der Sensorkapazität, die durch Temperatur- oder Feuchtigkeitsschwankungen entstehen, automatisch ausgeglet.

Eine schnelle Kapazitätsänderung hingegen entsteht durch die Annäherung eines Fingers oder eines kapazitiv bzw. galvanisch mit dem Erdpotential verbundenen, leitenden Gegenstand an die Sensorfläche. Diese Änderungen werden von der Elektronik ausgewertet und für den Schaltvorgang genutzt. Je besser das Bezugspotential mit Erde verbunden ist, desto empfindlicher kann die Kapazitätsänderung erfasst werden.

Die Auswertung der Sensorkapazität erfolgt in abtastender Arbeitsweise, wodurch das System mehr als 99 % der Zeit inaktiv ist. Dadurch entsteht wiederum eine große Immunität gegenüber Störeinkopplungen von außen. Des Weiteren ermöglicht die abtastende Arbeitsweise den sehr geringen Leistungsverbrauch des Bausteins.