

Zügige Entwicklung von Prototypen kapazitiver Berührungssensoren für beliebige Oberflächen

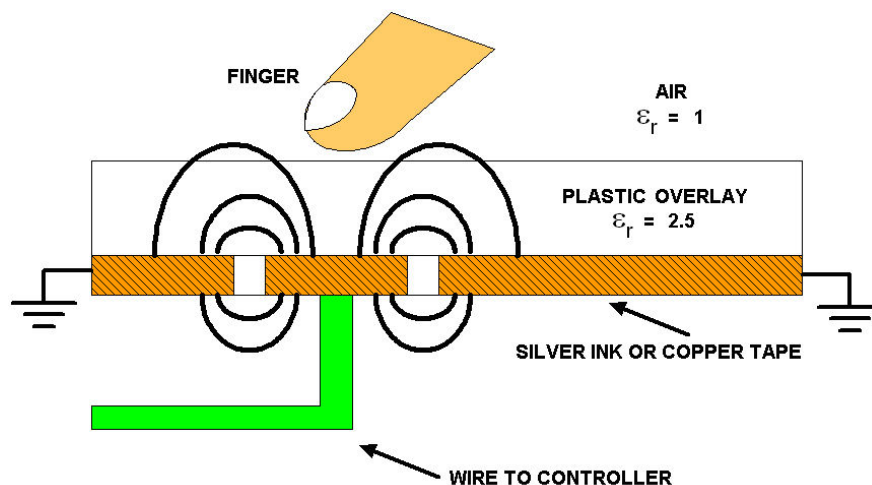
By (Mark Lee, Applications Engineer Senior, Cypress Semiconductor Corp.)

Kapazitive Berührungssensoren geben Konsumenten reizvolle neue Möglichkeiten zur Bedienung von Geräten wie etwa MP3-Playern oder Mobiltelefonen. Da sich Berührungssensoren unter der Oberfläche verbergen lassen, kann das sonst infolge der zahlreichen mechanischen Schalter sehr unebene Bedienfeld ansprechend gestaltet werden. Ein einfaches Auflegen des Fingers reicht für den Zugriff auf Produkt-Features, die sonst durch mechanische Tasten mit entsprechendem Betätigungsweg aktiviert werden müssen. Um Anreize für das Experimentieren mit dieser neuen Technik zu schaffen, beschreibt dieser Beitrag die schnelle Entwicklung von Prototypen kapazitiver Sensoren auf beliebigen nicht leitenden Oberflächen.

Alternativen zu starren und flexiblen Leiterplatten

Angenommen, Sie hätten eine zündende Idee für ein Produkt, das ein Kunststoffgehäuse oder ein Glas-Panel besitzt und bei dem es sich anbietet, die traditionellen mechanischen Drucktasten durch kapazitive, unter der Oberfläche verborgene Sensoren zu ersetzen. Die erste Maßnahme zur Herstellung eines kapazitiven Sensorsystems ist es, eine nicht leitende Oberfläche mit geeigneten Leiterbahnen zu versehen [1]. Der übliche Weg, der zur Implementierung solcher Sensoren besprochen wird, besteht in der Herstellung einer starren oder flexiblen Leiterplatte, was sich allerdings sehr zeitaufwändig gestalten und das Budget für das Prototyping sprengen kann. Gibt es Möglichkeiten, den Zeit- und Kostenaufwand traditioneller Prototyping-Methoden zu vermeiden und den Designprozess gleichzeitig so offen zu gestalten, dass Änderungen und Feinabstimmungen auch nachträglich möglich sind?

Bild 1. Querschnitt durch die Prototyping-Lösung für kapazitive Sensoren



Silberleitlack-Stifte und selbstklebende Kupferfolie bieten sich als kostengünstige und schnell implementierbare Prototyping-Lösung für kapazitive Sensoren an. Eine solche Lösung ist in Bild 1 im Querschnitt wiedergegeben. Die leitenden Strukturen werden per Hand direkt auf das nicht leitende Abdeckmaterial aufgebracht. Drahtbrücken, die den Mikrocontroller mit den Sensorflächen verbinden, ersetzen die Leiterbahnen traditioneller Prototyping-Konzepte.

Sensoren auf Acrylplatte

Zur Demonstration der Technik wurden zwei kapazitive Sensoren auf eine 3 mm dicke Acrylplatte aufgebracht. Ein Sensor wurde mit selbstklebender Kupferfolie, der andere dagegen mit Silberleitlack hergestellt (siehe Bild 2 und 3). Das Auftragen der leitenden Muster auf die Rückseite der Acrylplatte nahm nur wenige Minuten in Anspruch.

Bild 2. Zwei kapazitive Berührungssensoren, direkt aufgebracht auf die Rückseite einer 3 mm starken Acrylplatte. Während der linke Sensor mit Silberleitlack angefertigt wurde, besteht der rechte aus selbstklebender Kupferfolie.

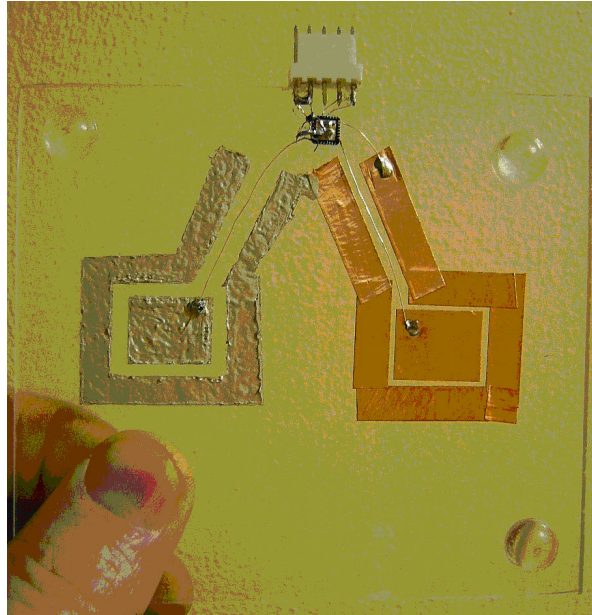
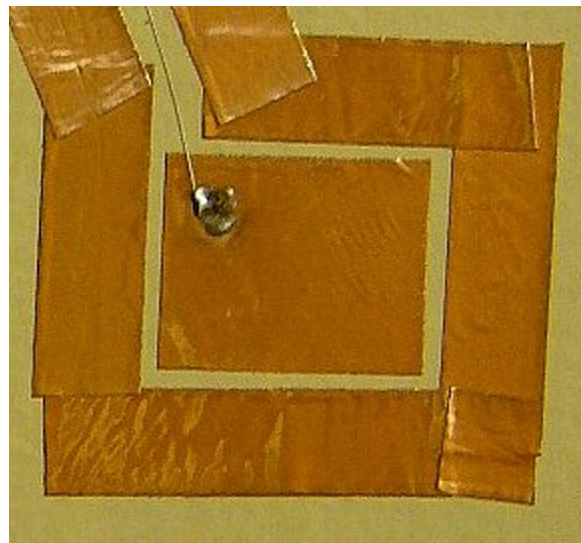


Bild 3. Nahaufnahme des Kupfer-Sensors. Der äußere Ring dient als Masse, während das Rechteck in der Mitte als Sensorfläche fungiert. Der Draht stellt die Verbindung zum PSoC her.



Der Gesamt-Zeitaufwand für das Projekt betrug ungefähr eine Stunde, wovon der Großteil auf das Löten der Verbindungen zum Controller-IC entfiel, das mit den Anschlüssen nach oben auf die Acrylplatte geklebt wurde. An den Rand der Kunststoffplatte wurde für den Zugriff auf das PSoC zusätzlich ein Steckverbinder geklebt, um die Programmierung zu ermöglichen und zur Datenaufzeichnung eine serielle Verbindung zu einem Host-PC zu schaffen.

Silberleitlack-Stift

Meist werden Silberleitlack-Stifte für Reparaturen beispielsweise von beheizbaren Heckscheiben benutzt. Das mit Silberpartikeln hoher Leitfähigkeit angereicherte Trägermaterial auf Acryl-Epoxid-Basis härtet rasch aus und bildet dann eine flexible elektrische Verbindung. Es haftet gut auf den verschiedensten Oberflächen, darunter auch Glas und Acryl. Von verschiedenen Herstellern gibt es diese Stifte in unterschiedlichen Ausführungen. Für die hier präsentierte Demonstration kam ein CircuitWorks Micro Tip Stift der Firma Chemtronics zum Einsatz.

Mit dem Silberleitlack-Stift werden die leitenden Sensorstrukturen direkt auf die vorgesehene Fläche gezeichnet. Bis das Material so weit ausgehärtet ist, dass der Sensor ausprobiert werden kann, dauert es ungefähr eine Stunde. Im vorliegenden Fall ließen wir den Leitlack über Nacht bei Zimmertemperatur aushärten. Der Produktbeschreibung ist zu entnehmen, dass der ausgehärtete Leitlack mit einem LötKolben bei niedriger Temperatur lötlbar ist. Nach früheren Erfahrungen mit diesem Produkt entschieden wir allerdings, den Anschlussdraht mit Hilfe eines zusätzlichen Tropfens Leitlack zu befestigen. Nach dem Aushärten des Leitlacks wurde der Anschlussdraht mit der Sensorfläche verklebt. Grundsätzlich können die leitenden Strukturen komplett freihändig auf die Unterlage gezeichnet werden. Die scharfen Kanten des Sensors in Bild 2 wurden allerdings durch Abkleben mit Klebeband vor dem Aufbringen des Leitlacks erzielt. Nach dem Aushärten des Leitlacks kann die Schablone entfernt werden.

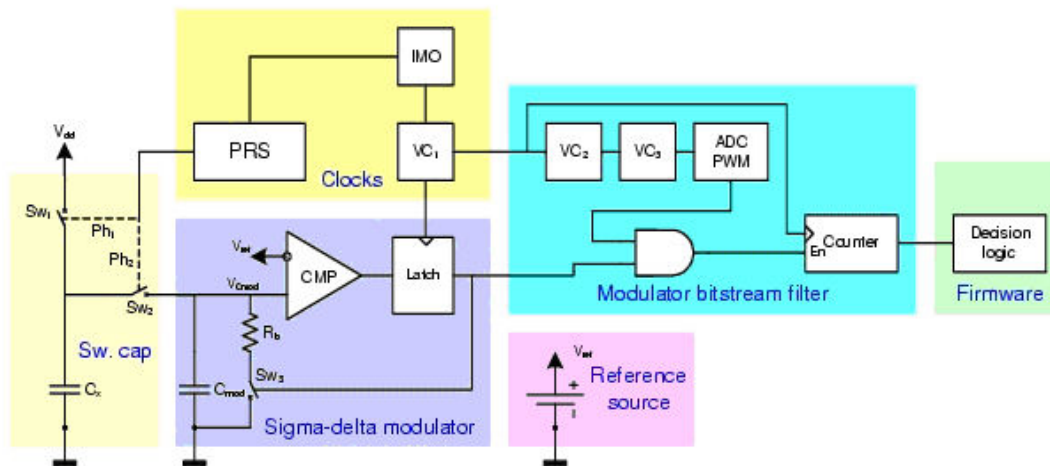
Kupferfolie

Die selbstklebende Kupferfolie wird überwiegend zur Herstellung von Abschirmungen benutzt. In dieser Demonstration wurde das Produkt 1181 von 3M verwendet, bei der es dank einer speziellen elektrisch leitenden Klebeschicht besonders einfach ist, überlappende Folienabschnitte elektrisch miteinander zu verbinden. Im Gegensatz zur Silberleitpaste kann ein Sensor aus Kupferfolie unmittelbar nach dem Aufbringen der Folie getestet werden. Auch das Anlöten des Anschlussdrahts klappt bei dieser Folie hervorragend. Obwohl in dieser Demonstration Kupferfolie verwendet wurde, sind auch die anderen lieferbaren Metalle wie zum Beispiel Aluminium bestens geeignet.

Einzelheiten zur Schaltung

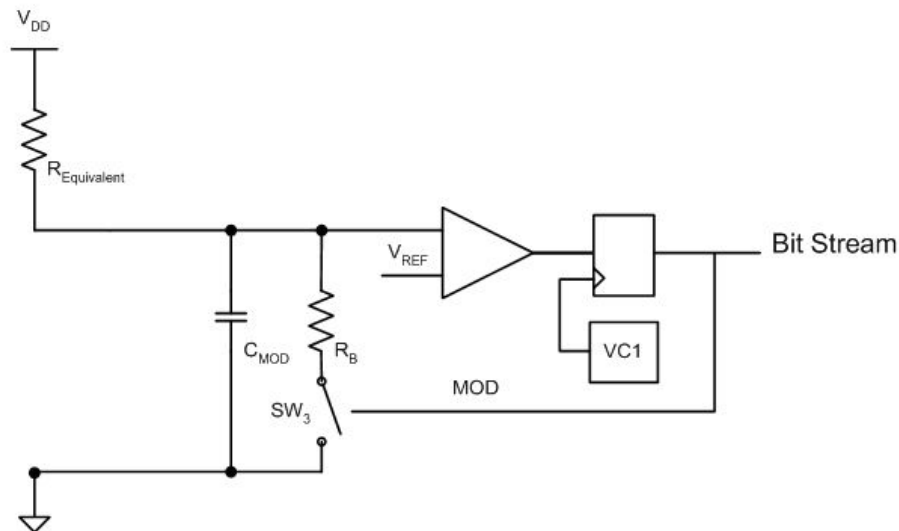
Das manuelle Aufbringen der leitenden Strukturen führt verglichen mit starren und flexiblen Leiterplatten zu Sensoren, deren Eigenschaften nicht gerade ideal sind. Um diesen Umstand auszugleichen, muss ein Abtastverfahren mit hohem Signal-Rauschabstand verwendet werden. Für diese Demonstration wurde deshalb die CSD-Konfiguration des PSoC von Cypress Semiconductor gewählt, wobei der Zusatz ‚SD‘ für ‚Sigma-Delta‘ steht. Es handelt sich dabei um eine neue Abtastmethode, die in den PSoC-Versionen CY8C21x34 und CY8C24x94 verwendbar ist. Bild 4 zeigt die Funktionsblöcke der CSD-Konfiguration.

Bild 4. CSD-Konfiguration für Bausteine des Typs CY8C21x34



Die Ersatzschaltung der CSD-Konfiguration ist in Bild 5 dargestellt. Die Schalter am Eingang der Schaltung wandeln die Sensorkapazität in einen Ersatzwiderstand um, dessen Wert durch das Auflegen eines Fingers verändert wird. Die Widerstandsänderung wiederum hat zur Folge, dass sich der Bitstream am Ausgang des Sigma-Delta-Modulators verändert.

Bild 5. Blockschaltbild der CSD-Konfiguration mit einem Ersatzwiderstand an Stelle des Abtastkondensators

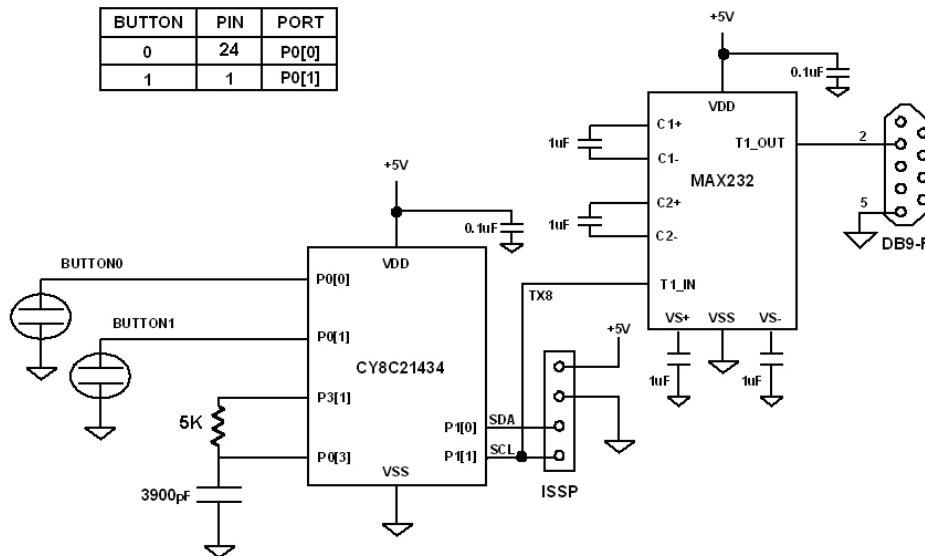


Das CSD User Module gehört als Standard-Funktionsblock zur Modullibliothek von PSoC Designer. Es umfasst API-Routinen für alle elementaren und höheren Funktionen, die zur Herstellung eines praktisch anwendbaren Sensorsystems benötigt werden. Die Selektion des PSoC erfolgt, indem das CSD User Module im Drag-and-Drop-Verfahren aus der Bibliothek entnommen wird. Die Funktionsweise des Sensors auf der System-Ebene ist in C definiert.

Das Projekt wird mit einem zusätzlichen Funktionsblock versehen, der als Kommunikationsverbindung zum Host-Computer dient. Das User Module TX8 implementiert einen nur für den Sendebetrieb konzipierten Block, der serielle Daten mit einer Rate von 115.200 Baud ausgibt. Das System wird damit zu einem programmierbaren Daten-Logger für kapazitive Sensoren.

Das Schaltbild zu diesem Projekt ist in Bild 6 wiedergegeben. Die Schaltung besteht lediglich aus dem PSoC-Chip für kapazitive Sensoren und für die serielle Kommunikation sowie aus einem weiteren Chip für die RS232-Pegelumsetzung. Die Pinbelegungen für die beiden CapSense-Sensoren sind in der Tabelle in Bild 6 dargestellt. Die Programmierung des PSoC erfolgt über den ISSP-Header, an dem Stromversorgung, Masse sowie die Programmier-Pins SCL und SDA herausgeführt sind. Der Anschluss des Host-PC an das Berührungssensor-Board geschieht mittels eines DB9-Steckverbinders.

Bild 6. Schaltplan der kapazitiven Berührungssensor-Schaltung mit dem CSD User Module



Gemessene Performance-Werte

In Bild 7 und 8 sind die gemessenen Performance-Werte des kapazitiven Berührungssensor-Systems aufgeführt. Die Sensor-Zählwerte wurden vom Host-PC mit einem Terminal-Emulationsprogramm erfasst und mit einem Spreadsheet-Programm weiterverarbeitet.

Die eigentliche Performance-Messung erfolgt durch Auflegen eines Fingers auf die Acrylplatte. Die Berührungsfläche ist damit von den leitenden Strukturen des Sensors durch eine 3 mm starke Acrylschicht getrennt. Der Finger wurde zunächst über der mit Silberleitlack hergestellten Struktur aufgelegt, dann abgehoben und anschließend über der Struktur aus Kupferfolie platziert. Dieser Ablauf wurde ein weiteres Mal wiederholt. Bild 7 zeigt die unaufbereiteten Sensordaten. Ein und Aus-Status der Sensoren gehen aus Bild 8 hervor. Wie man erkennt, wechselt das System einwandfrei zwischen beiden Betriebszuständen, ohne dass ein Entprellen erforderlich ist.

Bild 7. Unaufbereitete Sensordaten für beide Sensoren auf einer 3 mm starken Acrylplatte. Die obere Kurve gibt das Verhalten des Silberleitlack-Sensors wieder, während die untere zu dem aus Kupferfolie angefertigten Sensor gehört.

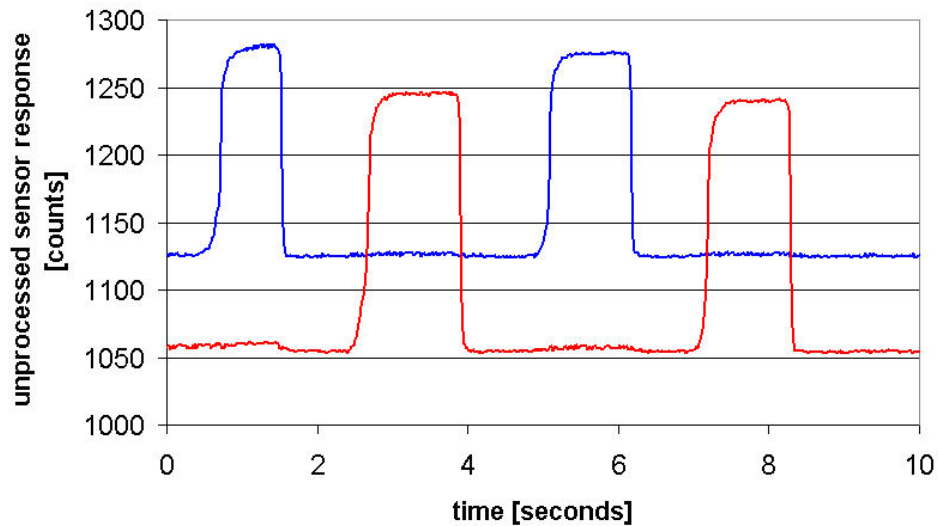
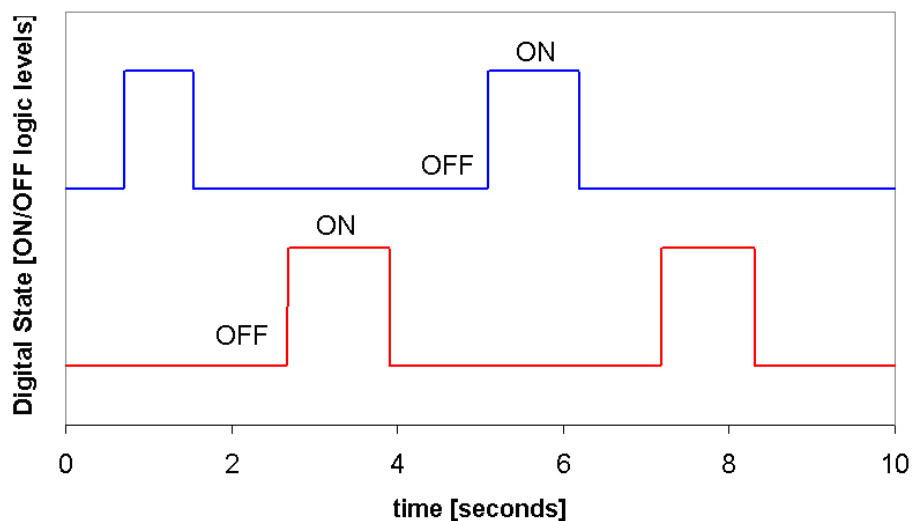


Bild 8. Digitalisierte Schaltzustände für beide Sensoren auf einer 3 mm starken Acrylplatte (obere Kurve: Silberleitlack-Sensor; untere Kurve: Kupferfolien-Sensor).



Sowohl der mit Silberleitlack hergestellte Sensor als auch der Sensor aus Kupferfolie bewähren sich in diesem Prototyp bestens. Dank der ausgezeichneten Leistungsfähigkeit des CSD User Module bringt es der Sensor-Prototyp auf einen hohen Signal-Rauschabstand. Sollte man sich für eine geänderte Platzierung oder Größe der Sensoren entscheiden, lassen sich die entsprechenden Änderungen schnell vornehmen. Man muss lediglich die zu ändernden leitenden Strukturen entfernen und die entsprechenden neuen Muster auftragen. Dieses Verfahren zum Aufbringen eines Sensors auf eine Fläche bewährt sich hervorragend zur Herstellung von Erprobungsträgern, wie sie in der Anfangsphase einer Produktentwicklung häufig benötigt werden.



Literaturhinweise

- [1] Mark Lee, „The art of capacitive touch sensing“, Beilage „Planet Analog“ zur EE Times, 28. Dezember 2006, Seite 4 bis 6
- [2] Applikationsschrift AN2394, „CapSense Best Practices“, Cypress Semiconductor

Cypress Semiconductor
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
Phone: 408-943-2600
Fax: 408-943-4730
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.