



Aufrüstung existierender Full-Speed USB-tauglicher Mobiltelefone auf High-Speed USB ohne komplettes Redesign

Von (Ray Casey, Product Marketing Manager, and Triton Hurd, Senior Applications Engineer, Cypress Semiconductor)

Zum Inhalt

Auf dem Mobiltelefon-Markt hat sich die Nachfrage nach High-Speed USB (HS USB) wesentlich früher eingestellt als erwartet. Hiervon überrascht, mussten die Entwickler bestehende Designs nachrüsten, anstatt HS USB-taugliche Designs völlig neu zu entwickeln. Getrieben wird die Nachfrage nach HS USB durch Consumer-Features wie den Transfer von Musik- und Bilddateien. In existierenden Produkten werden diese Übertragungen ebenso wie weitere Funktionen (z. B. Diagnose, Modemverbindungen und System-Upgrades) mit FS USB abgewickelt. Inzwischen aber ist die Entwicklung eines HS USB-Datenpfads unumgänglich, damit die Anwender angesichts der stark gewachsenen Dateigrößen keine übermäßig langen Wartezeiten in Kauf nehmen müssen. Andere auf FS USB basierende Funktionen müssen dagegen noch nicht auf HS USB umgestellt werden. Hier wäre die Softwareänderung mit größeren Risiken verbunden, und es wären mehr HS-Endpunkte erforderlich, als sie heute verfügbar sind.

Dieser Artikel zeigt, wie Entwickler die High-Speed USB-Funktionalität schrittweise in Mobiltelefon-Designs integrieren können. In der ersten Phase wird der Transfer von Anwenderdateien auf HS USB verlagert, während die übrigen FS USB-Funktionen unangetastet bleiben. In der zweiten Phase wird das gesamte Design von Grund auf HS USB-tauglich entworfen. Durch das Nachrüsten einer HS USB-Schnittstelle in der ersten Phase entstehen zwei USB-Pfade, die auf der Hardware-Ebene mit einem Schalter verbunden werden müssen, was wiederum viele Probleme bezüglich der Signalintegrität und Konformität mit sich bringen kann. Um mit den HS-Signalen saubere Augendiagramme zu erzielen, müssen nämlich bestimmte Design-Kriterien eingehalten werden. Im vorliegenden Artikel wird im Detail darauf eingegangen, welche Fallstricke beim Design mit einem USB-Schalter lauern und wie sie sich umgehen lassen.

Die Autoren:

Ray Casey ist als Product Marketing Manager in der Consumer and Computation Division von Cypress Semiconductor tätig und widmet sich hier speziell der strategischen Produktdefinition. Casey absolvierte ein Elektrotechnik-Studium an der Universität Limerick (Irland) und arbeitet derzeit im kalifornischen San Jose.

Triton Hurd arbeitet als Senior Applications Engineer in der Consumer and Computation Division von Cypress Semiconductor. Sein Haupt-Tätigkeitsfeld sind HS USB-Peripheriefunktionen speziell für den Einsatz in Mobiltelefonen. Hurd studierte Elektrotechnik am Cal Poly in San Luis Obispo (Kalifornien/USA). Er arbeitet seit 4 Jahren bei Cypress, hat seinen Arbeitsplatz zurzeit im noblen San Diego (Kalifornien/USA) und hofft, dass dies auch so bleiben möge.

Einführung

Mobiltelefon-Anbieter müssen ihren Kunden immer mehr Features zu bieten, um die durchschnittlichen Einnahmen pro Teilnehmer zu steigern, obwohl der Markt bereits in die Sättigung gerät nur in begrenztem Umfang neue Kunden gewonnen werden können. Die Handy-Hersteller haben hierauf reagiert und statten ihre Geräte mit neuen Merkmalen aus, um den Mobiltelefon-Anbietern als ihren Kunden entgegenzukommen. Eines dieser Features ist die Kamera, die heute in kaum einem Mobiltelefon fehlt. Der Grundgedanke hierbei ist, dass die Teilnehmer ihre Bilder an andere Handybesitzer übertragen, was den Providern zusätzliche Einnahmen bringt. Als weiterer Trend ist seit einigen Jahren die vermehrte Integration von MP3-Playern zu beobachten. Service Provider können hier einerseits durch den Verkauf von Musik- und Videodateien Einnahmen erwirtschaften, andererseits durch die Airtime, die der Teilnehmer für das Herunterladen seiner Lieblings-Musiktitel verbraucht. Digitalkameras und Media Player gibt es seit längerer Zeit auch als separate Geräte, und hier wie dort erwarten die Anwender die Möglichkeit, Bild- und MP3-Dateien schnell von und nach dem PC zu übertragen.

USB ist mittlerweile die Standard-Schnittstelle für diesen Dateitransfer. MP3-Player, Digitalkameras, Flash-Laufwerke, Harddisks usw. bedienen sich dieser Technik. Die Ausstattung moderner Mobiltelefone mit immer mehr Funktionen, von höher auflösenden Digitalkameras über MP3-Player bis zur PDA-Funktionalität usw., erzeugt beim Anwender eine Nachfrage nach

einer komfortablen Methode zur Übertragung großer Dateien. Was würde sich hier mehr anbieten als die allgemein verbreitete und vertraute USB-Schnittstelle?

Die meisten Handys unterstützen heutzutage Full-Speed USB (FS USB) mit 12 MBit/s, was für den Transfer kleinerer Datenmengen beispielsweise zur Synchronisation von Adressbüchern durchaus genügt. Neue Features wie MP3-Player und hochauflösende Kameras aber überfordern das FS USB-Interface, zumal die Konsumenten durch das HS USB-Interface (High-Speed) mit seinen 480 MBit/s verwöhnt sind, das sie von ihren reinen MP3-Playern und Digitalkameras kennen. Sie sind daher nicht mehr bereit, sich für den Transfer von MP3-Files und Bilddateien von und nach ihrem Mobiltelefon mit der langsamen FS USB-Schnittstelle zu begnügen.

Wie gravierend der Unterschied tatsächlich ist, veranschaulicht ein einfaches Beispiel. Eine 105 MB große Datei soll von einem PC an ein Gerät übertragen werden. Dieser Vorgang dauert mit HS USB 33 Sekunden, mit FS USB aber nahezu 13 Minuten. Legt man die bei Spitzen-Produkten bis zu 8 GB betragende Flash-Speicherkapazität moderner Handheld-Geräte zugrunde, errechnen sich sogar Übertragungszeiten von mehr als 17 Stunden mit FS USB bzw. 44 Minuten mit HS USB. Noch krasser ist der Unterschied bei Geräten mit einer eingebauten Festplatte von 80 GB. 170 Stunden Übertragungszeit bei FS USB und 440 Minuten bei HS USB sprechen eine deutliche Sprache! Nun muss selbstverständlich nicht bei jedem Anschluss an den PC diese gesamte Datenmenge transferiert werden. Dennoch illustriert dieses Beispiel, wie stark sich die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen HS USB und FS USB auf die Attraktivität eines Produkts für den Konsumenten auswirken kann.

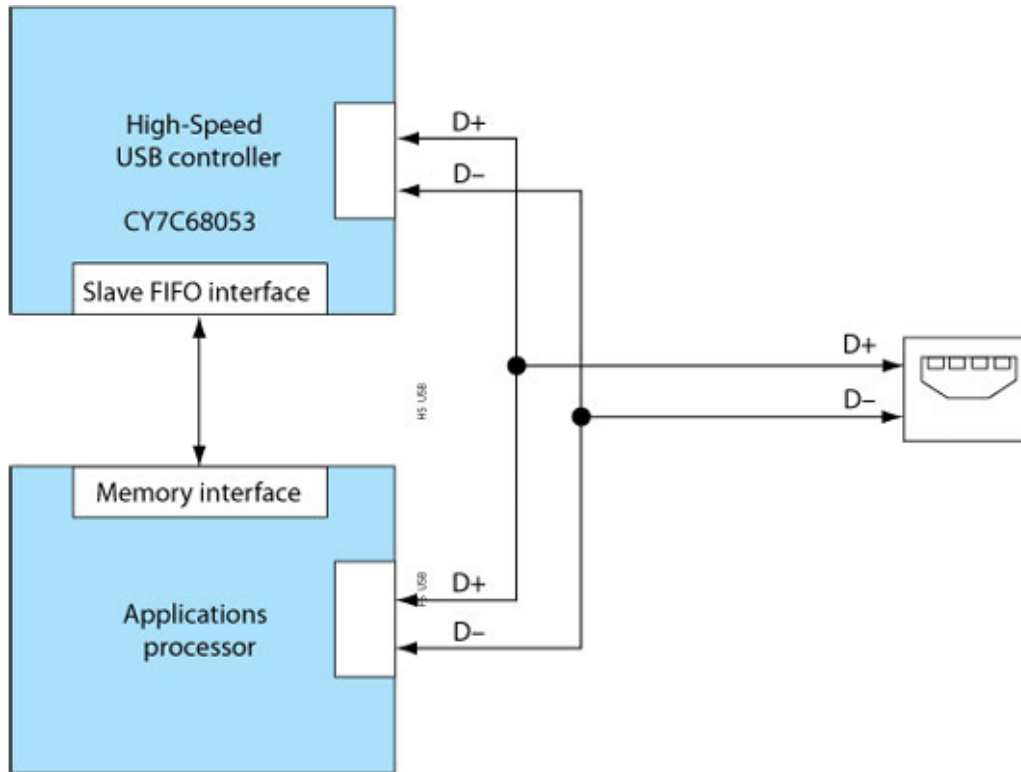
In modernen Mobiltelefonen wird FS USB für verschiedene Zwecke verwendet, nämlich für Diagnosen und Fertigungstests sowie den Modemanschluss. Die erstgenannten Features ermöglichen dem Handy-Hersteller eine unkomplizierte Prüfung des Geräts in der Produktion, um die Qualität zu testen und Ausfälle im Feld zu vermeiden. Die von FS USB gebotene Bandbreite reicht für diese Aufgaben allemal aus. Die letztgenannte Funktion dagegen ermöglicht es, das Handy am Laptop als Modem für den drahtlosen Internetzugang zu verwenden. Die von FS USB gebotene Bandbreite von 12 MBit/s ist diesem Zweck (zumindest theoretisch) angemessen, betrachtet man die gegenwärtigen 2G-Datenstandards wie GPRS und EGDE in der GSM-Welt sowie 1xEV-DO und 1xEV-DO Rev. A in der CDMA-Technik. Selbst die neuen 3G-Standards wie HSDPA und HSUPA sind hiermit gut bedient. Ein Aufrüsten dieser Features auf HS USB würde die Abkehr von praxiserprobter Software und die Einführung eines vollkommen neuen Softwarepakets bedingen. Dies aber kostet Zeit und Ressourcen – beides ein knappes Gut auf dem schnelllebigen Handy-Markt.

Da FS USB also genügend Bandbreite für diese Funktionen bereithält, neigen Handy-Hersteller eher dazu, die existierende Lösung beizubehalten und den HS USB-Support lediglich aufzustocken, indem sie mit einem HS USB-Controller oder PHY eine zusätzliche, breitbandige Pipe für den Transfer großer Datenmengen implementieren, um die Geduld des Konsumenten bei der Nutzung der eingebauten MP3-Player- und Kamerafunktionen auf keine allzu große Probe zu stellen. Dies erlaubt bei entsprechendem Bedarf eine unkomplizierte Aufrüstung existierender Plattformen auf HS USB zusätzlich zur FS USB-Funktionalität. Die Hersteller können deshalb wesentlich schneller mit HS USB-Lösungen auf den Markt kommen, als wenn ein komplettes Redesign auf der Basis von HS USB erforderlich wäre.

Ein weiterer Grund, HS USB auf die eben geschilderte Art zu implementieren, ist die begrenzte Zahl der von existierenden HS USB-Controller gebotenen Endpunkte. In PCs ist für HS USB-Controller meist eine bestimmte Applikation definiert, und beispielsweise 4 oder 8 Endpunkte reichen für die meisten Anwendungen aus. Da die USB-Schnittstelle in Mobiltelefonen jedoch für eine Vielzahl von Aufgaben genutzt wird, steigt der Bedarf an Endpunkten dramatisch: 12, 16 oder sogar mehr als 20 Endpunkte wurden bereits vorgeschlagen. Zahlreiche von Handys unterstützte Funktionen verlangen nach einem oder mehreren Endpunkten: Massenspeicher, Media Transfer Protocol (MTP), Modem (CDC), Device Management, Object Exchange (OBEX) und Debug/Test-Funktionen. Handy-Designer können deshalb mit einer Kombination aus FS und HS USB-Datenpfaden mehr Endpunkte unterstützen als mit einem HS USB-Datenpfad allein.

Wie aber muss der Handy-Hersteller die HS USB-Funktionalität zu einem existierenden, bereits mit FS USB ausgerüsteten Design hinzufügen? Das Nachrüsten als eigenständige Funktion scheidet aus, denn das Mobiltelefon müsste in diesem Fall zwei Mini- oder Micro-USB-Buchsen haben, was abgesehen von den Mehrkosten auch Verwirrung beim Anwender stiften würde. Stattdessen müssen beide USB-Pipes an einem Steckverbinder herausgeführt werden. Bild 1 zeigt, wie dies in erster Näherung aussehen könnte:

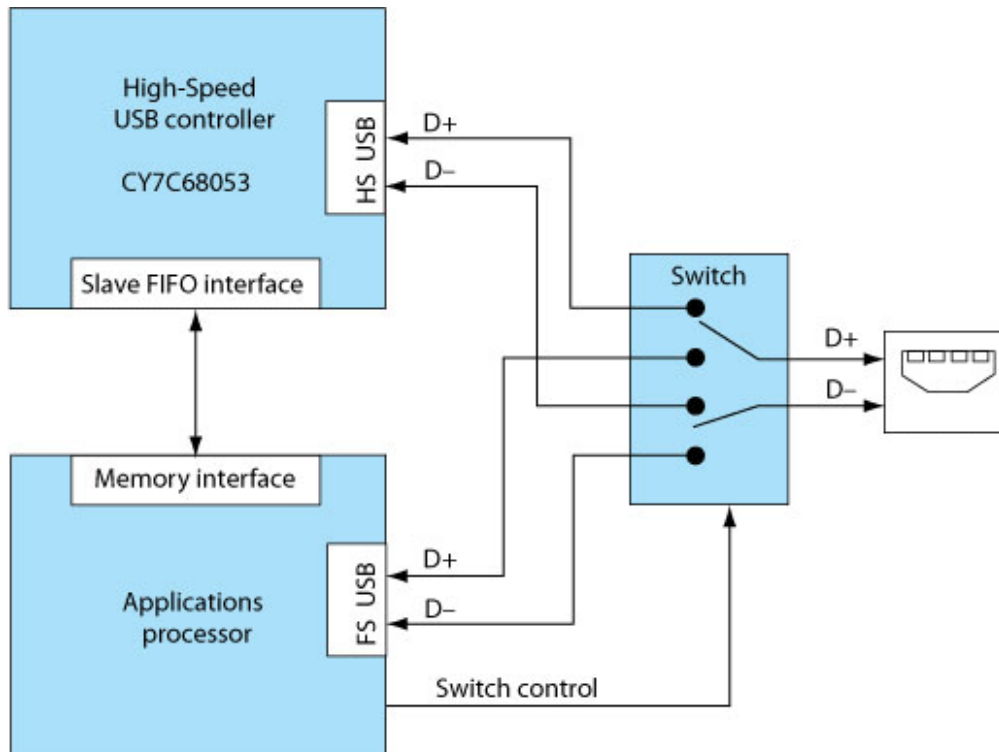
Bild 1. Direktverbindung mit USB-Multiplexing



Jeder Designer, der Erfahrung im Design mit High-Speed-Signalen besitzt, erkennt auf einen Blick, dass hier zwar die Chance auf eine zufriedenstellend arbeitende FS USB-Verbindung besteht, die HS-Verbindung aber niemals korrekt funktionieren wird. Die FS-Leiterbahnen wirken hier nämlich für die HS-Signale wie kleine Antennen, was die Signalqualität beeinträchtigt und dazu führt, dass sich das Augendiagramm zusehends schließt. Abgesehen davon setzt diese Konfiguration natürlich voraus, dass der FS- und der HS-Teil einen Tri-State-Modus unterstützen, um bei HS-Betrieb den FS-Teil hochohmig schalten zu können und umgekehrt. Dies aber wird von den meisten heutigen USB-Produkten nicht unterstützt, da in ihren traditionellen Einsatzgebieten (z. B. PCs) separate Steckverbinder die Regel sind und es niemals nötig ist, mehrere USB-Signale an einem Anschluss herauszuführen.

Die Lösung verlangt also nach einer vollständigen Isolation der Leiterbahnen für HS USB und FS USB. Die beste Lösung, Mobiltelefone heute mit HS USB-Funktionalität auszustatten, besteht darin, den nachgerüsteten HS-Pfad mit Hilfe eines Schalters mit dem FS-Pfad zu multiplexen (Bild 2).

Bild 2. USB-Multiplexing mit Halbleiterschalter



Dies klingt zunächst einfach, kann aber eine Reihe echter Probleme mit sich bringen, was die HS-Signalintegrität und das Bestehen der USB-Konformitätsprüfungen angeht. Auch wenn es auf dem Markt Schalter gibt, die dediziert für HS USB vorgesehen sind, haben auch diese Produkte nachteilige Auswirkungen auf die Signalqualität - in einigen Fällen wurde sogar die USB-Konformitätsprüfung nicht mehr bestanden. Bei der Auswahl des Schalters und beim Entwurf des Leiterplatten-Layouts gilt es einige Dinge zu beachten. Zuerst ist zu untersuchen, wie der ideale HS USB-Datenpfad für sich genommen – d. h. ohne jeden Schalter – aussehen muss.

Über zahlreiche Aspekte eines HS USB-Datenpfads hat der Leiterplatten-Designer die Kontrolle. Diese Aspekte gilt es zu optimieren, um ein möglichst sauberes Augendiagramm zu erhalten. Zunächst ist dafür zu sorgen, dass die Impedanz der Leiterbahnen für D+ und D- genau $45\ \Omega$ beträgt. Dies entspricht exakt der Impedanz an den D+ und D- Pins des Empfängerbausteins und ergibt einen Spannungsteiler, der genau den HS-konformen Logisch-High-Pegel von 400 mV erzeugt. Ein weiterer Aspekt ist das Anpassen der Leiterbahnlängen für D+ und D-. Blendet man zusätzliche Komplikationen wie etwa zusätzliche Bausteine für den Schutz vor elektrostatischen Entladungen (ESD) und elektromagnetischen Interferenzen (EMI) aus, so dürfte man hiermit ein sauberes Augendiagramm erhalten, wie es oben links in Bild 3 zu sehen ist.

Verzerrungen entstehen dagegen, sobald der Schalter in den Datenpfad eingefügt wird. Welcher Art und wie stark diese Verzerrungen sind, hängt von den Eigenschaften des Schalters ab. Als erstes ist auf die Schaltgeschwindigkeit zu achten. Um für HS USB geeignet zu sein, muss der Schalter mit 480 MBit/s schalten können (dies entspricht 240 MHz) – anderenfalls kommt er für diese Aufgabe nicht in Frage. Ist der Schalter allerdings für HS USB spezifiziert, dürfte dies kein Problem sein. Die nächste, vielleicht wichtigste und dennoch häufig übersehene Eigenschaft ist der Serienwiderstand R_{on} des Schalters. Je höher er ist, umso mehr schließt sich das Augendiagramm. Hierbei handelt es sich um das gravierendste Problem beim Erlangen der USB-IF-Zertifizierung.

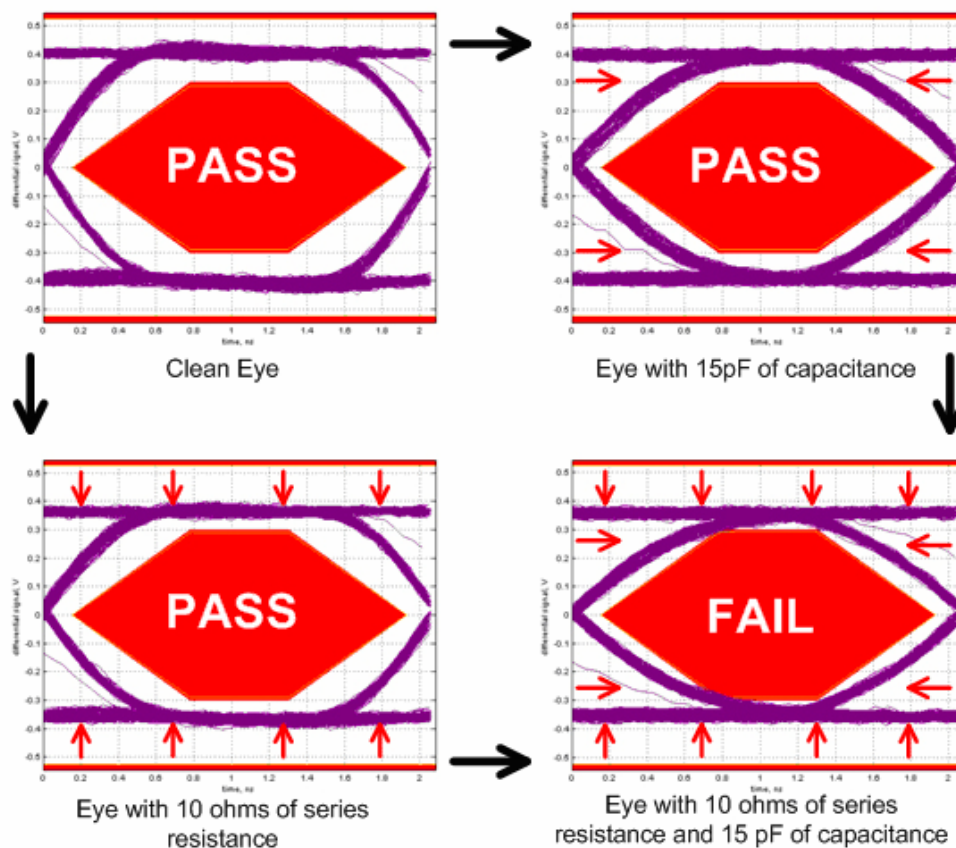
Ein Beispiel soll deutlich machen, wie sich ein höherer Serienwiderstand auf das Augendiagramm auswirkt. Schalter A soll einen typischen Serienwiderstand von $5\ \Omega$ haben, Schalter B einen solchen von $10\ \Omega$. Im Fall von Schalter A ergibt sich damit für die Leiterbahn ein Gesamt-Serienwiderstand von $50\ \Omega$ anstelle von $45\ \Omega$. Für einen einfachen Spannungsteiler resultiert hieraus ein Logisch-High-Pegel von 379 mV anstatt der erforderlichen 400 mV (**?**). Da die Spezifikation für den Nennwert

von 400 mV eine Toleranz von 10 % zulässt, wäre auch ein Logisch-High-Pegel von 360 mV noch spezifikationsgemäß. Bei Verwendung von Schalter B mit $10\ \Omega$ Serienwiderstand erhöht sich der Gesamt-Widerstand der Leiterbahn auf $55\ \Omega$. Der dabei entstehende Logisch-High-Pegel von 360 mV lässt keinerlei Spielraum für Fehler mehr. Die Annahme, diese Lösung könne die Anforderungen erfüllen, ist unrealistisch angesichts der zusätzlichen Ungenauigkeiten in den Abschlusswiderständen und der Leiterbahn-Impedanz. Das Augendiagramm unten links in Bild 3 entstand mit einem um $10\ \Omega$ angehobenen Signalpfad-Widerstand. Wie man sieht, wird das Diagramm oben und unten zusammengestaucht. Auch wenn dieses Augendiagramm die Anforderungen nach wie vor erfüllt, bleibt doch deutlich weniger Spielraum für Fehler.

Auch wenn die Spannungspegel unter Einbeziehung des zusätzlichen Schalter-Widerstands in den zulässigen Bereich fallen, selbst wenn die verschiedenen Toleranzen berücksichtigt werden, können Schalter noch auf andere Weise Auswirkungen auf das Augendiagramm haben. Ein Schalter hebt nämlich auch die Kapazität der Leiterbahn an, was die Steilheit der steigenden und fallenden Signalfanken reduziert. So kann unter Umständen die Ecke des freizuhaltenden Bereichs im Augendiagramm beschnitten werden, wodurch die Anforderungen nicht mehr erfüllt werden. Zur Illustration sei angenommen, dass Schalter A $5\ \text{pF}$ und Schalter B $15\ \text{pF}$ Kapazität hat. Die $10\ \text{pF}$ an zusätzlicher Kapazität von Schalter B gegenüber Schalter A führen zu einer Verkleinerung des freizuhaltenden Bereichs (also der Fehlertoleranz) um nicht weniger als 50 %. Gegenwärtig haben typische Schalter im eingeschalteten Zustand eine Kapazität zwischen 6 und $15\ \text{pF}$. Das Diagramm oben rechts in Bild 3 wurde unter dem Einfluss von $15\ \text{pF}$ zusätzlicher Kapazität aufgenommen.

Wahrscheinlich käme es nicht einmal zu Problemen, wenn ein Schalter lediglich einen zusätzlichen Serienwiderstand oder mehr Kapazität mit sich brächte. Ein realer Schalter aber hat beides, und genau dies kann Probleme mit dem Augendiagramm heraufbeschwören. Man kann davon ausgehen, dass ein idealer Schalter einen niedrigen Serienwiderstand und geringe Kapazität aufweist. Der geringe Serienwiderstand bewirkt, dass der obere und der untere Rand näher an die Mitte des Auges rücken und somit weniger Spielraum für Fehler bleibt. Die zusätzliche Kapazität verlangsamt dagegen die Zustandswechsel und bewirkt ein Vorstoßen in den freizuhaltenden Bereich, sodass die Signalintegritäts-Tests für HS USB nicht bestanden werden. Das Augendiagramm unten rechts in Bild 3 illustriert dies.

Bild 3. Auswirkung zusätzlicher Widerstände und Kapazitäten auf das HS USB-Augendiagramm



Die Wahl eines Schalters mit niedrigen und möglicherweise auch noch richtig aufeinander abgestimmten Ron- und Con-Werten ist deshalb entscheidend, um ein erfolgreiche Design auf Basis eines Schalters zu erhalten.

Als weiteren Faktor in einem solchen Design gilt es den richtigen Zeitpunkt für den Wechsel zwischen FS- und HS USB-Pfad zu berücksichtigen. Meist erfolgt dieser Wechsel heute per Software: der Anwender wählt in einem Menü aus, ob der Massenspeicher- oder der Modem-Modus selektiert werden soll. Daraufhin aktiviert der System-Prozessor (Basisband- oder Applikations-Prozessor) den jeweiligen Signalpfad. In der Grundstellung ist meist der FS USB-Modus aktiviert, da dieser während der Fertigung für Diagnosen und Produktionsprüfungen gebraucht wird. Insgesamt ist diese Art der Betriebsartwahl jedoch umständlich und eher lästig. Langfristig werden Mobiltelefon-Designer deshalb den Verzicht auf Bedienhandlungen des Anwenders wünschen und eine vollständig kombinierte Lösung anstreben.

Fazit

Es ist sicher, dass die Konstrukteure von Mobiltelefonen auf eine völlige Migration zu einem einzigen USB-Pfad hinarbeiten, der eine Koexistenz von FS und HS USB ermöglicht. Durch Optimierung der Software für diese Lösung werden elegantere Designs hervorgebracht werden. Die entstehenden Lösungen werden überdies ausreichend viele Endpunkte für die Unterstützung von Handy-Applikationen enthalten. Bis es so weit ist, müssen Designer, die HS USB sofort unterstützen wollen und eine schnelle Markteinführung von attraktiven Produkten für den Konsumenten wünschen, auf Lösungen setzen, wie sie in diesem Artikel beschrieben wurden.

Damit eine solche Implementierung erfolgreich ist, müssen die Ron- und Con-Werte der verwendeten Schalter berücksichtigt werden. In Frage kommen sollten nur Schalter mit Ron-Werten zwischen 4 und 8 Ω sowie Con-Werten von 5 bis 10 pF. Die Beachtung dieser wenigen Regeln spart wertvolle Zeit beim Austesten der USB-Verbindung und erlaubt es den Mobiltelefon-Designern, schneller mit ihren Produkten auf den Markt zu kommen.



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.