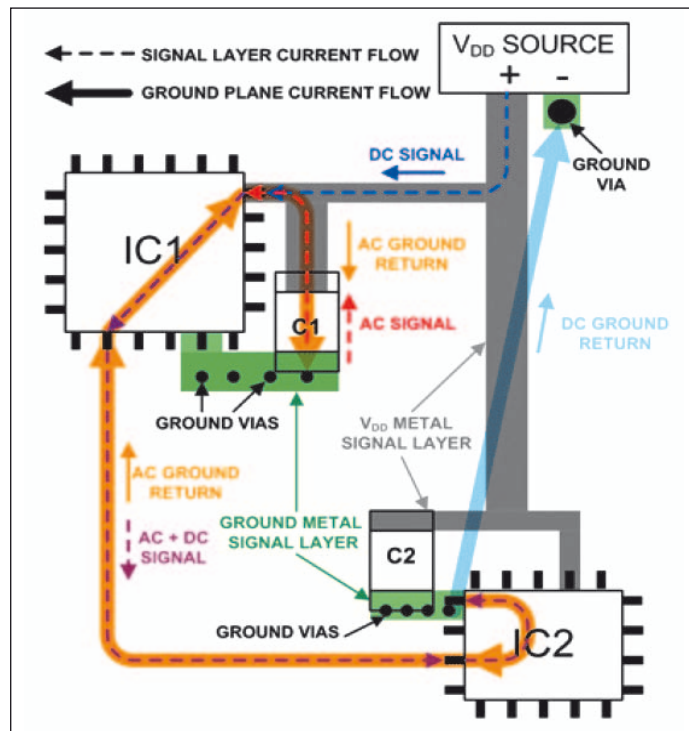


Masseführung auf Platinen mit gemischten Chips, Teil 2

Dieser zweite von drei Teilen nimmt zunächst die Bypasskondensatoren, dann die Art und Weise der Masseflächengestaltung und schließlich die Signalführung oberhalb der Platine näher ins Visier.



Bypasskondensatoren sind wichtig

Wie in Teil 1 klargeworden sein dürfte, kommt eine vollständigere Beschreibung des Signalstromkreises an den Bypasskondensator an jedem IC und an der Stromquelle nicht vorbei. Die skizzenhaft besprochenen Beispiele werden jetzt ausgebaut und konkretisiert. Das kann so aussehen wie im Aufmacherbild. IC1 versorgt dabei ICs mit einem Signal. Hier sind die Pfade für AC und DC eingezeichnet.

Wie zu erwarten, decken sie sich im Massebereich nicht. DC nimmt den direkten Weg, AC ab einer bestimmten Frequenz läuft unterhalb des oberen Signalpfades entlang, obwohl eine durchgehende Massefläche besteht. Die Versorgungsstromleitung ist auf der oberen Ebene in Grau zu erkennen. Verbindungen zur Massefläche erfolgen mit Vias in den grünen Bereichen. Die Signalströme auf der Oberseite werden mit der Farbe Ocker gezeigt. Sie sind am leichtesten zu verstehen, da außerhalb der ICs an die Leitungen gebunden. Die Rückkehrströme haben andere Mög-

lichkeiten, zu fließen. Gleichstromströme wählen den Pfad des geringsten Widerstands, also den kürzesten Abstand. Die hochfrequenten Ströme fließen unter der oberen Signalspur mit einer bestimmten Verbreiterung, die mathematisch

zu fassen ist. Man kann noch tiefer in den Ablauf einsteigen, indem man die Betrachtung im Bereich mittlerer Frequenzen verfeinert. Für die gezeigten praktischen Beispiele wären das Frequenzen zwischen 500 kHz und 1 MHz. Diese Frequenzen sind tief, genug, dass ein signifikanter Teil des Stroms aus der Versorgungsquelle statt praktisch vollständig aus den Kondensatoren fließt.

In diesem Fall fließt ein Teil des Rückkehrstroms unter der Signalspur, aber die Verteilung wird natürlich viel breiter sein als bei deutlich höheren Frequenzen. Und am IC fließt der Rückkehrstrom nicht vollständig durch den Kondensator, sondern teilweise auch durch die Batterie. Mit weiter sinkender Frequenz haben die parasitären Kapazitäten und Induktivitäten immer weniger Auswirkungen, und mehr Strom fließt durch den Gleichstrompfad. Glücklicherweise wird dieser „Mittelfall“ schon von den Versuchen eingeschlossen. Es wurden ja optimale DC- und AC-Pfade geschaffen.

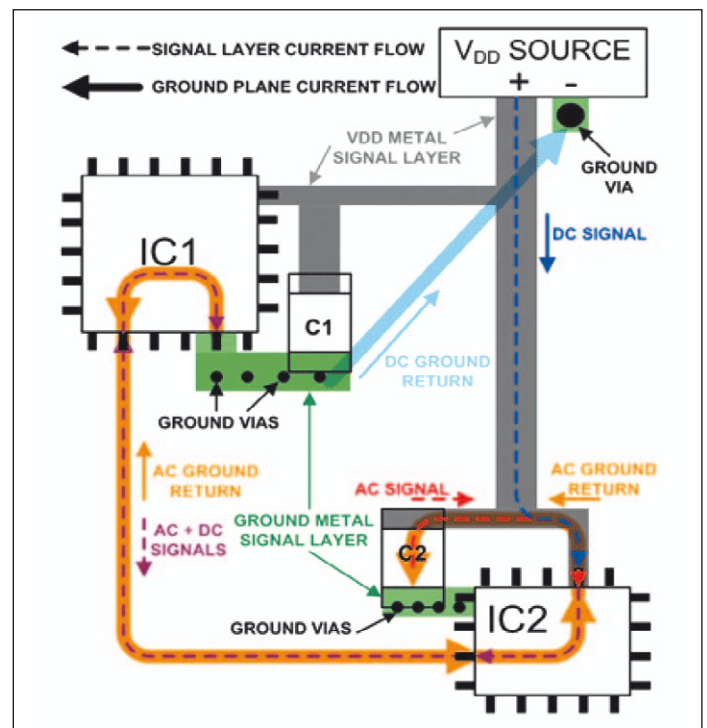


Bild 12: Stromflüsse für den Fall, dass IC1 von IC2 versorgt wird

Originaltitel: "Successful PCB Grounding with Mixed-Signal Chips - Follow the Path of Least Impedance" by Mark Fortunato, Senior Principal Member of Technical Staff, Maxim Integrated Products, Inc., October 2012
frei übersetzt von FS

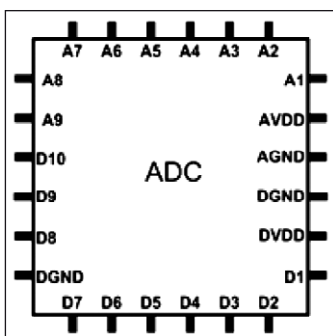


Bild 13: Ein A/D-Konverter hat analoge und digitale Masseanschlüsse.

Dabei sind die Bypasskondensatoren entscheidend, weil sie dafür sorgen, dass HF die ICs als auch die Versorgung umgehen kann. Es gilt: Je größer die Entfernung und somit parasitäre Impedanz zwischen der Versorgungsstromquelle und dem IC und je geringer die Signalfrequenz, umso größere Bedeutung erlangt der Bypasskondensator. Je größer der Abstand und je geringer die kleinste Signalfrequenz, umso größer muss seine Kapazität sein, damit er seine Aufgabe möglichst gut erfüllt.

Der Vollständigkeit halber zeigt Bild 12 die Situation für den Fall, dass IC1 von IC2 versorgt wird. Man beachte die verschiedenen Wege durch die ICs sowie den kürzeren Gleichstrompfad. In diesem Fall ist es C2, der Bypasskondensator für IC2, der diesen mit dem HF-Signalstrom über den VDD-Anschluss versorgt. Der an IC1 gelieferte Strom fließt dort über den Masseanschluss zurück zu IC2.

Masse heißt nicht Nullpotential

An dieser Stelle ist es wichtig, zu verstehen, dass eine Massefläche kein ausgeglichenes Nullpotential bedeutet. Zu allererst weist jede Massefläche, ganz gleich, wie dick das Kupfer ist, einen ohmschen Widerstand auf. Schon deshalb gibt es „Nebensprechen“, wenn z.B. die analogen und die digitalen Rückkehrströme oder zwei ähnliche Ströme einen Teil der Massefläche gemeinsam nutzen. Je größer der Strom, umso größer der entsprechende

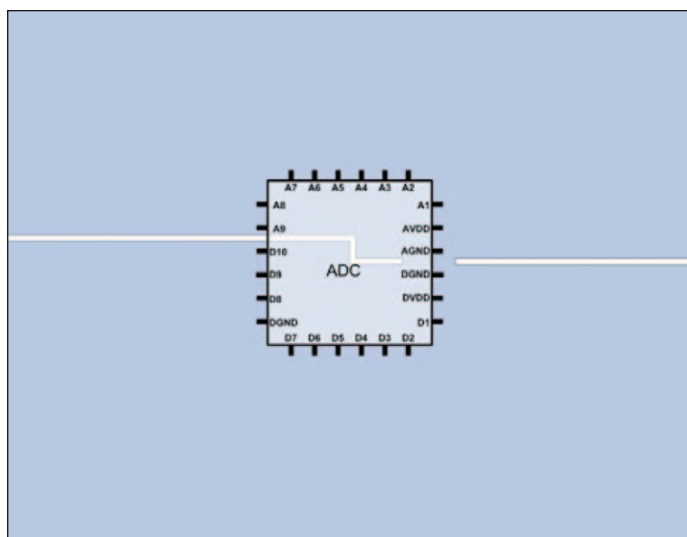


Bild 14: Aufteilung der Massefläche in Analog- und Digitalbereich

Spannungsabfall. Der sorgfältige Entwickler muss daher versuchen, die Masseanschlüsse von verschiedenen Komponenten möglichst nahe zueinander vorzunehmen, idealerweise am selben Punkt. Man spricht von Sternpunktterdung. Das Problem wird immer dann besonders akut, wenn hohe Ausgangsströme fließen. Beispielsweise 100 mA an 0,01 Ohm Leitungswiderstand bedeuten schon eine Störspannung von 1 mV. Selbst wenn die gestörte Signalspannung 10 mV beträgt, kommt ein Fehler von 10% zustande.

Bei hohen Frequenzen und steilen Flanken überwiegt der Einfluss der parasitären Induktivität den Einfluss des Kupferwieder-

stands, wenn die Massefläche nicht konsequent fachgerecht ausgelegt wurde. Je größer die Änderungsgeschwindigkeit des störenden Signals (z.B. Ausgangsstrom), umso größer wird die induzierte Störspannung.

Daher verursachen gemeinsame Rückkehrpfade oft Probleme, wenn sie Digitalsignale mit Analogsignalen führen. Die schnellen Ausgangssignale der Digitalbausteine können eine empfindliche Analogelektronik extrem stören.

Eine andere Ursache für unerwartete Spannungen im Bereich der Masserückführung kann deren elektrische Länge sein. Dies ist die Leitungslänge in Teilen der Wellenlänge des Signals.

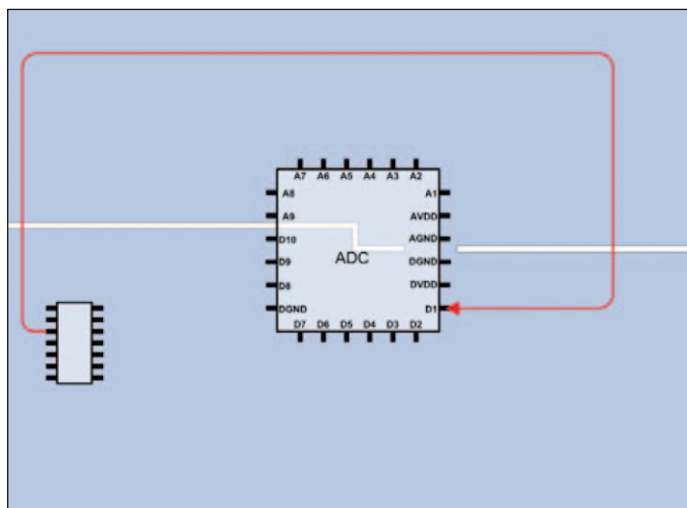


Bild 15: Schlechte Lage einer digitalen Leitung

Unter bestimmten Voraussetzungen (Ein- und Ausgangswiderstand, Wellenwiderstand, konkrete elektrische Länge) kann es zu Resonanzerscheinungen und/oder Reflexionen kommen. Grundsätzlich sollte man elektrisch kurze Verbindungen anstreben (1/10 oder weniger der kleinsten Signalwellenlänge). Wo das nicht möglich ist, sollte man Striplines mit dem Eingangswiderstand angepasstem Wellenwiderstand vorsehen.

Anwendung in der Praxis

Die erlernten Grundlagen versetzen Entwickler in der Lage, die Erdung von gemischten analogdigitalen ICs richtig auszuführen. Letztlich ist es dabei das Ziel, sicherzustellen, dass die digitalen und analogen Ströme nicht den selben Rückkehrpfad gemeinsam benutzen. Oder anders formuliert: Man muss konstruktiv dafür sorgen, dass die Digital- und Analogsignale getrennte Wege gehen. Wenn dies gelingt, dann ist die größere Ursache für Probleme, Störungen und Fehler, hervorgerufen durch die „bösen“ Digitalsignale und sich zeigend an den relativ empfindlichen Analogsignalen, beseitigt.

Eine grundsätzliche Vorgehensweise ist, die Massefläche in einen digitalen und einen analogen Abschnitt aufzutrennen und nur an einem Punkt geschlossen zu lassen, wo digitaler und analoger Massestrom noch zusammenfließen. Dies ist eine gute Ausgangsposition. Wenn man die ICs richtig anordnet, dann ist die Auftrennung meist recht einfach möglich. Bei ADCs und DACs gilt es zu prüfen, ob der Hersteller schon die Voraussetzungen dafür geschaffen hat. Etwa bei dem IC in Bild 13 liegen analoge und digitale Masseanschlüsse direkt beieinander, sodass man kaum eine Wahl hat. Wenn dieser IC Mittelpunkt einer Platine mit sowohl analogen als auch digitalen Schaltkreisen sein soll, dann ist eine Auftrennung der Massefläche gemäß Bild 14 optimal. Es spielt kaum eine Rolle, welche konkrete Funktion

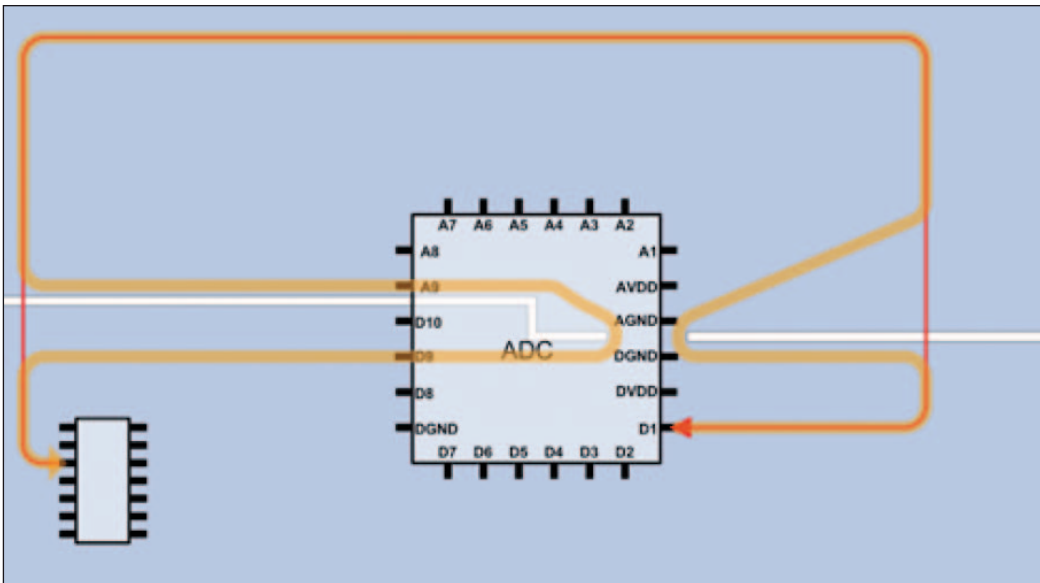


Bild 16: Die Rückkehrströme zeigen die Brisanz der Situation.

die Anschlüsse haben. Entscheidend ist, ob sie zum Analog- oder Digitalteil gehören.

Die digitalen Anschlüsse und die analogen Pins für Masse sind benachbart. Dies ist nicht ungewöhnlich, weil Chipentwickler die Realitäten der Platinenentwicklung kennen. Beachten Sie auch, dass es im Beispiel zwei digitale Pins gibt. Diese zu nutzen ist vorteilhaft oder notwendig, damit der Strom am Übergangspunkt niederohmiger fließen und somit weniger Schaden anrichten kann.

Der Entwickler ordnet nun alle analogen ICs oben und alle digitalen Chips unten an. Der ADC ist die einzige Einheit mit sowohl Analog- als auch Digitalsignalen. Angenommen, die Verteilung der digitalen Komponenten über dem digitalen Teil der Masse und die Anordnung der analogen Komponenten über dem anderen Teil sind gelungen. Das ist noch nicht alles. Man muss nun die Wege des Signals planen.

Dazu bringt Bild 15 einen schlechten Vorschlag für eine digitale Leitung. Warum? Sie ist viel zu lang und läuft weitgehend im Analogbereich. Die meisten Entwickler machen solche plumpen Fehler nicht. Sie sind sich bewusst, dass eine digitale Spur im analogen Bereich Ana-

logsignale kontaminieren kann. Die Bedeutung des Problems wird nicht immer vollständig eingeschätzt. Das wird deutlich, wenn man sich vorstellt, wo der Wechselstromstrom zurückkehren würde. Bild 16 zeigt das in Orange. Man sieht, wie er der Signalspur folgt, bis er auf den Schnitt stößt. An diesem Punkt kann er nur durch den einzelnen

Verbindungspunkt zurückkehren, um zur anderen Seite des Schnitts zu kommen. Folglich fließt hier der digitale Strom nicht nur mit seinem hochfrequenten Gehalt auf der analogen Seite, sondern es sind auch noch zwei nette Schleifenantennen entstanden, die dieses Signal ausstrahlen! Damit die „Schnittmethode“ funktioniert, müssen

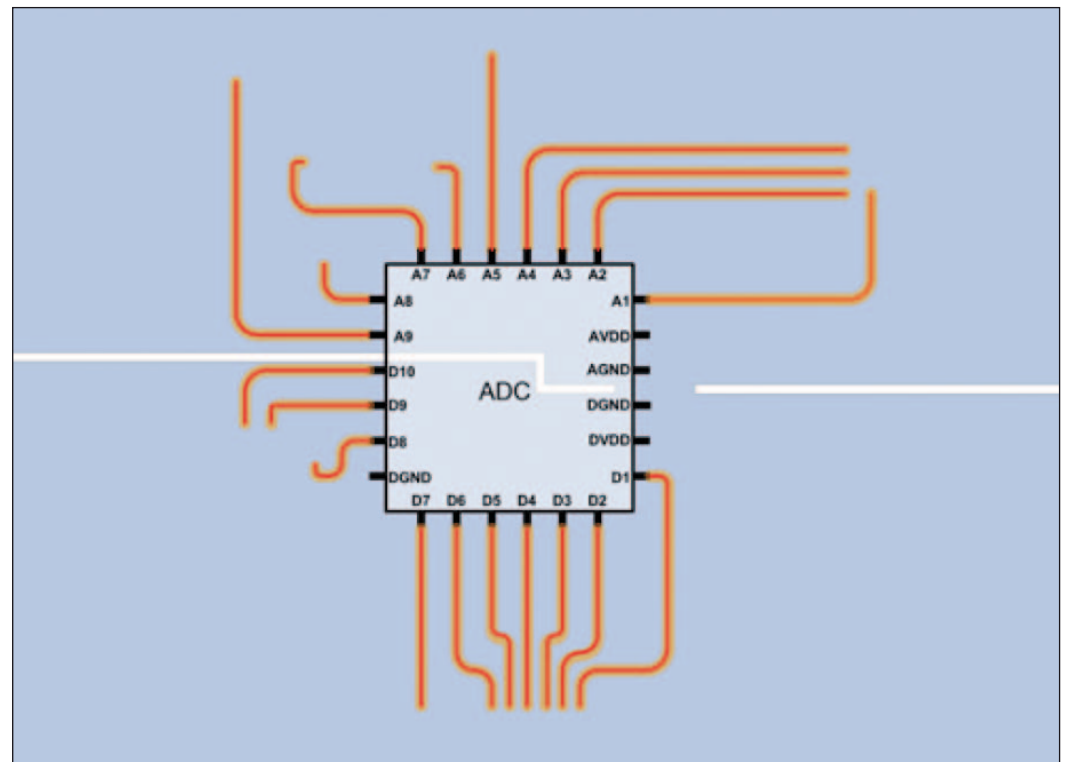


Bild 17: So ist es richtig: analoge Leitungen nur über dem „Analoggebiet“, digitale Leitungen nur über dem „Digitalgebiet“

Entwickler nicht nur sicherstellen, dass die digitalen und analogen Bauteile auf ihrer jeweiligen Seite bleiben, sondern dass es die Spuren auch tun.

Was geschieht, wenn man auch diese Anforderung erfüllt? In Bild 17 ist skizziert, wie diverse einzelne Leitungen verlaufen sollten, ohne den Schnitt zu überqueren. Die Rückkehrströme fließen unter den Signalspuren und reduzieren den Schleifenbereich, weil nur noch die Stärke der Platine die Signalspuren von der Massefläche trennt.

Erforscht man die Rückkehrströme näher, dann stellt man fest, dass keiner der Ströme „versucht“, den Schnitt zu überqueren. Dies ist der Fall, weil darauf geachtet wurde, die Komponenten so zu platzieren, dass sie über ihren Massebereichen liegen und dass die dann bestehende Möglichkeit genutzt wurde, auch all die Verbindungen, digital oder analog, über ihren jeweiligen Bereichen zu realisieren. Dann quert keine Leitung den Spalt. Da aber kein Strom den Schnitt überqueren muss, kann man auf diesen auch verzichten! ◀