

Selbststudium Kapitel 1.3

Liebe Studierende!

In diesem Informationsblatt werden die wichtigsten Inhalte des Kapitels 1.3 zusammengefasst, damit beim Selbststudium der Unterlagen besser ersichtlich wird, welche Teile besonders wichtig und prüfungsrelevant sind.

Da die Unterlagen von Kap. 1.3 in Präsentationsform zur Verfügung stehen ist dieses Dokument als Begleittext verfasst.

Allgemein zu Kapitel 1.3

Nachdem im Kapitel 1.1 und 1.2 die Grundlagen zur Entstehung Berechnung von EMV-Phänomenen behandelt wurde wird in diesem Kapitel die Umsetzung dieser Erkenntnisse erörtert. Um ein elektronisches Gerät sicher gegen elektromagnetische Störungen von außen zu machen und gleichzeitig die Emission elektromagnetischer Felder ausreichend klein zu halten müssen Maßnahmen auf zwei Ebenen gesetzt werden: auf Ebene der Elektronik des Gerätes (Printdesign) und auf der Designebene des Gehäuses.

Kapitel 1.3.1 EMV-gerechtes PCB-Design

Schaltvorgänge und Abblockung, Ground Bounce und In-Chip Decoupling

So gut wie alle elektronischen Systeme arbeiten in irgendeiner Form mit digitalen Signalen, und digitale Signale entstehen durch verschiedenste Schaltvorgänge. Und genau diese Schaltvorgänge bewirken die meisten Probleme in der EMV. Je steiler die Flanke eines geschalteten Signales ist, desto höhere Frequenzanteile kommen darin vor. Das führt zu der wichtigen Erkenntnis, dass man EMV-Probleme grundsätzlich vermeiden kann, indem man mit weniger steilen Flanken arbeitet, bzw. langsamer schaltet. Da man diese Schaltvorgänge, die sich in der elektronischen Schaltung durch Umladevorgänge abbilden lassen, aber nicht gänzlich vermeiden kann, muss man die Emission durch die fließenden Schaltströme begrenzen. Eine wichtige Maßnahme ist die Reduktion der Fläche, die der Stromkreis aufspannt. Der Schaltvorgang benötigt eine gewisse Menge an Ladungsträgern, diese können durch Kapazitäten (= Stützkondensatoren!) zur Verfügung gestellt werden, die möglichst nahe bei den Schaltelementen liegen. Dadurch kann die aufgespannte Fläche des Stromkreises wesentlich reduziert werden. Stützkondensatoren können also die Emission wesentlich verringern, doch muss berücksichtigt werden, dass eine reale Kapazität auch über eine Induktivität verfügt.

Die Induktivitäten dieser Kapazitäten können durch das Auftreten von Resonanzen EMV-Probleme verursachen, bzw. die Wirkung reduzieren. Es ist immer wichtig, die Induktivitäten bei Stützkondensatoren durch kurze Zuleitungen und qualitativ hochwertige Bauelemente gering zu halten.

Diese bisher beschriebenen Grundprinzipien gelten natürlich nicht nur beim Design eines Prints, sondern auch beim Design von Halbleiterbauteilen (siehe z.B. Pinning).

Weiters muss berücksichtigt werden, dass alle Leitungen über eine Induktivität verfügen und durch die fließenden Ströme der digitalen Signale Spannungsabfälle entstehen. Diese Spannungsabfälle an den Induktivitäten verändern die Signalformen. Auch dieser Effekt kann durch den Einsatz von Stützkondensatoren (kürzerer Stromweg) und Reduktion von Induktivitäten (Leitungslänge, Leitungsquerschnitt) begrenzt werden.

Proximity Effekt, Designrichtlinien für Multilayer-Boards

Der Proximity-Effekt beschreibt (vereinfacht gesagt) die Tatsache, dass bei höheren Frequenzen in einem Stromkreis der „Rückstrom“ immer möglichst nahe beim „Hinstrom“ sein will. Wobei in den meisten Fällen der „Hinstrom“ ein digitales Signal u.ä. auf einer entsprechenden Signalleitung ist und der „Rückstrom“ über eine Groundleitung fließt (jeder Stromkreis muss geschlossen sein!). Je näher Hin- und Rückstrom beieinander liegen, desto kleiner ist die aufgespannte Fläche des Stromkreises und desto kleiner ist die dadurch verursachte die Emission. Das bedeutet, dass der Proximity-Effekt für die EMV sehr hilfreich ist! Jedoch darf man diesen Effekt nicht durch schlechtes Printdesign zunichte machen. Man muss also darauf achten, dass man für Hin- und Rückstrom auch die entsprechenden Leitungen zur Verfügung stellt, damit sie nahe beieinander fließen können. Dieses Grundprinzip zieht sich durch alle angegebenen Beispiele in den Unterlagen und kann auch durch entsprechende Berechnungen mit den auftretenden Induktivitäten und Kopplungen dargestellt werden.

Um bei einem Print die beschriebenen Effekte zu analysieren müssen die Stromverläufe auf dem Print sichtbar gemacht werden. Dies kann man durch herkömmliche Schaltungssimulation unter Berücksichtigung der parasitären Induktivitäten und Kapazitäten machen. Weiters kann man mit den entsprechenden Modellen durch numerische Feldsimulation auch die elektromagnetischen Felder auf und um den Print sichtbar machen. Man kann die Ströme und Spannungen auf einem Print auch messtechnisch analysieren. Es gibt die Möglichkeit mit Mikro-Sonden Felder direkt am Print zu messen (Magnetfeld direkt neben einer Leitung entspricht dem Stromfluss auf der Leitung). Eine weitere Möglichkeit diese Felder gleichzeitig am ganzen Print zu messen ist ein sogenannter „Nahfeldscanner“. Wenn durch diese Messungen und Simulationen die Verhältnisse auf dem Print bekannt sind, können entsprechende Gegenmaßnahmen veranlasst werden.

Kapitel 1.3.2 EMV-gerechtes Geräte-Design

In Kapitel 1.3.1 wurden die möglichen Maßnahmen am Print selbst beschrieben, in diesem Kapitel wird nun die Verbindung des Prints zur Umgebung analysiert. Diese Verbindung wird in der Regel über irgendeine Form von elektrischen Leitungen realisiert. In den meisten Fällen können Störfelder von außen in die Leitung besser einkoppeln als auf dem Print selbst. Natürlich gilt das auch umgekehrt: Wo Störgrößen gut einkoppeln können, werden auch Felder, verursacht durch Ströme auf der Leitung, leichter abgestrahlt. Deshalb kommt der Dimensionierung und Verlegung der elektrischen Leitungen in der EMV eine große Bedeutung zu.

EMV-gerechte Verkabelung und Kabelschirmauflegung

Es gibt bei der Dimensionierung der elektrischen Leitungen in einem Gerät drei wesentliche Maßnahmen: Verdrillung, Symmetrierung und Schirmung.

Verdrillung: Die einfache Verdrillung einer Doppelleitung hat schon einen sehr großen Effekt, da das externe Feld durch Verdrillung auf jedem kleinen Teilstück der Leitung in die entgegengesetzte Richtung einkoppelt (siehe Folie 4). Auch dieses Prinzip funktioniert natürlich genauso umgekehrt bei der Abstrahlung von Störsignalen dieser Leitung.

Symmetrierung: Grundsätzlich unterscheidet man zwischen symmetrischer und unsymmetrischer Signalübertragung. Bei der symmetrischen Signalübertragung wird auf beiden Leitungen die gleiche Signalform eingespeist, allerdings mit entgegengesetzten Vorzeichen. Am Ende der symmetrischen Signalübertragung wird die Differenz zwischen den beiden Leitungen gebildet. Das hat den Vorteil, dass Störungen, die auf beiden Leitungen gleich einkoppeln die Übertragung nicht beeinflussen. Ein ideal symmetrisches Signal besteht ausschließlich aus einem Gegentaktsignal hat (Gleichtakt, Gegentaktsignale siehe

Kapitel 1.1). Gegentaktsignale erzeugen wesentlich weniger Emission als Gleichtaktsignale (siehe Kapitel 1.2).

Für die EMV sind symmetrische Signalübertragungen in jedem Fall besser und diese werden auch sehr oft eingesetzt. Allerdings sind nicht alle Doppelleitungen ideal symmetrisch ausgeführt. Wenn auf einer unsymmetrischen Leitung ein symmetrisches Signal (Gegentaktsignal) übertragen wird, dann entsteht bei der Übertragung ein Gleichtaktanteil. Diese Konversion wird durch die CMRR (Common Mode rear rejection) quantifiziert, die CMRR sollte möglichst hoch sein. Der Gleichtaktanteil erzeugt größere Emissionen, da Gleichtaktanteile wesentlich besser abgestrahlt werden. Somit erzeugen unsymmetrisch aufgebaute Leitungen Emissionen. Symmetrisch aufgebaute Leitungen und symmetrisch übertragenen Signale sind für EMV-Betrachtungen in jedem Fall vorzuziehen.

Leitungsschirmung: Leitungen können geschirmt ausgeführt werden, dadurch kann die Einkopplung von externen Störgrößen verringert werden und umgekehrt auch die Emission von der Leitung. Die Schirmung hat im Wesentlichen die Aufgabe, eingekoppelte Störungen gegen Masse abzuleiten. Deswegen ist es entscheidend, wie und wo der Schirm „aufgelegt“ ist. „Aufgelegt“ bedeutet in diesem Fall die Verbindung gegen Masse, ein Schirm kann einseitig oder beidseitig aufgelegt sein. Bei der Betrachtung der Schirmung muss man sich überlegen, wo durch die Signalleitung und durch die Schirmung Schleifen aufgebaut werden, in die magnetische Störungen einkoppeln können. Bei einer einseitigen Auflegung des Schirmes und wenn Quelle und Last eine Erdungsverbindung besitzen, kann die Schirmung einen induzierten Strom nicht ableiten, da die Schirmung keine Schleife für die magnetische Einkopplung bildet. Eine einseitige Schirmung kann aber kapazitive Einkopplungen verhindern (siehe Folie 17). Beidseitige Auflegung des Schirmes verhindert die induktive und kapazitive Einkopplung. Einzig möglicher Nachteil der beidseitigen Auflegung des Schirmes kann die Bildung einer Leiterschleife über Erde sein, die Einkopplungen hervorruft, die ohne Schirm vielleicht nicht vorhanden wären (siehe z.B. potentialfreie Last), dies gilt insbesondere bei niederfrequenten Störungen. In manchen Fällen wird auch eine sogenannte „Hybridmasse“ eingesetzt, dabei wird der Schirm auf einer Seite über eine Kapazität mit Masse verbunden. Dies bewirkt, dass bei niedrigen Frequenzen die Verbindung zur Masse hochimpedant ist (also eigentlich keine Verbindung) und bei hohen Frequenzen niederimpedant. Diese Schirmungsausführung ist somit für einen großen Frequenzbereich geeignet.

Wichtig bei der Ausführung der Schirmung ist auch, dass die Schirmung und die Verbindung zur Masse immer niederohmig ausgeführt, damit die Störströme gut abgeleitet werden können. Im allgemeinen Fall ist aber jedenfalls eine beidseitig aufgelegte Schirmung die beste Lösung.

ESD (Electrostatic Discharge)

Für die EMV ist auch der Schutz vor elektrostatischen Entladungen wichtig, wie sie auch durch Menschen bei der Berührung von Geräten verursacht werden kann. ESD zeichnet sich durch sehr hohe Spannungen, hohe Frequenzanteile aber relativ wenig Energie aus. Grundsätzlich ist es immer wichtig, ESD-Impulse niederimpedant gegen Masse abzuleiten. Wenn der ESD-Impuls auf das Gehäuse eines Gerätes erfolgt, so wird der Impuls zur Gehäusemasse abgeleitet. Bei dieser Ableitung muss darauf geachtet werden, dass der Impuls nicht auf die Elektronik im Gehäuse überspringen kann, deswegen ist ein gewisser Abstand zur Gehäusewand wichtig. Weiters können ESD-Impulse auch hochfrequente elektromagnetische Felder bei der Ableitung bewirken, eine negative Auswirkung dieser Felder auf die Elektronik muss verhindert werden, in den meisten Fällen durch Abstand. Die wirksamste Maßnahme gegen ESD-Auswirkungen ist in jedem Fall das Zurverfügungstellen eines niederimpedanten, kurzen Ableitungsweges gegen Masse, auch durch den Einsatz von Überspannungsableitungen. Besonders empfindliche Bauteilgruppen können durch eigene ESD-Schutzbeschaltungen geschützt werden. In einer Laborumgebung (auch im EMV-Labor!) müssen Maßnahmen eingehalten werden um ESD-Entladungen zu verhindern (siehe Folie 34).

EMV-Bauelemente: Ferrite, Gleichtaktdrosseln, Entstörfilter

Ferrite, Gleichtaktdrosseln: Weiters werden noch zusätzliche mögliche EMV-Maßnahmen auf den Leitungen beschrieben. Eine weitverbreitete Maßnahme für die Unterdrückung von hochfrequenten Störungen auf Leitungen ist der Einsatz von Ferriten. Wenn sich im Ferrit ein hochfrequentes Magnetfeld aufbaut, so entstehen Verluste und das Störsignal wird gedämpft, bei niederen Frequenzen ist der Effekt vernachlässigbar, somit entsteht auf der Leitung ein Tiefpass. Besonders interessant ist diese Wirkungsweise, wenn man zwei Leitungen durch den Ferrit führt, dann erzeugen Gleichtaktanteile ein Magnetfeld und Gegentaktanteile nicht, somit werden durch den Ferrit (die sowieso immer unerwünschten) Gleichtaktsignale wirkungsvoll unterdrückt und gewünschte hochfrequente Gegentaktsignale (z.B. ein Bussignal) können passieren.

Nach dem gleichen Prinzip funktioniert auch die stromkompensierte Drossel, die Wirkungsweise ist auf Folie 39 sehr anschaulich beschrieben. Zu beachten ist noch, dass unterschiedliche Ferrit-Materialien und unterschiedliche Wicklungsarten den Dämpfungsfrequenzverlauf beeinflussen.

Entstörfilter: Filter können grundsätzlich eingesetzt werden, wenn Nutz- und Störsignal in unterschiedlichen Frequenzbereichen liegen. Durch LC-Schaltungen kann erreicht werden, dass Nutzsignale in ihrem Frequenzbereich eine gute Impedanzanpassung vorfinden und Störsignale eine schlechte Anpassung (= großer Impedanzunterschied). Das bedeutet wiederum, dass bei Einsatz eines Filters man die Impedanzverhältnisse auf der zu filternden Leitung kennen muss um den richtigen Filter einzusetzen. Filter leiten die Störsignale gegen Masse ab, deswegen ist eine gute Masseverbindung für die Funktion eines Filters essentiell und Filter werden meist in Metallgehäusen verbaut, die großflächig mit einer geerdeten Schirmwand verbunden sind.

Auf Folie 48 ist eine sehr oft verwendete Kombination auf Filter und stromkompensierter Drossel dargestellt (wichtig für die Prüfung!), die Filter wurden hier durch X- und Y-Kondensatoren realisiert.

Zusätzliche Unterlagen zu diesem Kapitel 1.3:

Auf der Homepage der Lehrveranstaltung ist eine frei verfügbare Application Note von Infineon zur Verfügung gestellt. Diese Application Note beschäftigt sich mit den gleichen Phänomenen wie in Kapitel 1.3, allerdings mehr im Zusammenhang mit dem Einsatz von ICs. Das Dokument ist eine gute Ergänzung zu den vorliegenden Unterlagen.

Weiters ist auch ein Rechenbeispiel zur Berechnung von Gleichtakt- und Gegentaktstörungen verfügbar. Die gesuchten Größen können durchaus mit „normaler“ Schaltungsberechnung ermittelt werden.

Für Fragen stehe ich gerne unter stefan.cecil@seibersdorf-laboratories.at zur Verfügung.

Viel Erfolg und alles Gute!

Beste Grüße,
Stefan Cecil