

# HOCHFREQUENZ BEI DER ENTWICKLUNG UND HERSTELLUNG VON LEITERPLATTEN UND PROTOTYPEN

Von Volker Feyrerabend, [www.APROS-Consulting.com](http://www.APROS-Consulting.com)

Elektronikprodukte entwickeln sich von Jahr zu Jahr weiter und Zulieferer müssen sich den schnellen Entwicklungszyklen der Industrie konsequent stellen um am Puls der Zeit zu bleiben- dies ist nicht neu. Für die Becker & Müller Schaltungsdruck GmbH aus Steinach im Schwarzwald nimmt die Zukunftsorientierung aber genau deshalb einen hohen Stellenwert ein. Auch die Herausforderung bezüglich HF haben sie bereits in ihrem Portfolio integriert - die impedanzkontrollierte Leiterplattenproduktion. Damit wird der fortschreitenden Weiterentwicklung auf dem Elektronikmarkt und im HF Prozess weiterhin Rechnung getragen. Die weiterhin immer kleiner, schneller und leistungsfähiger werdenden Geräte verlangen neue Technologien nicht nur bei Bauteilen sondern und vor allem bei Leiterplatten und beim Prototypen-Herstellungsprozess. Die impedanzkontrollierte Leiterplatte sorgt für saubere Signale zwischen den Bauteilen.

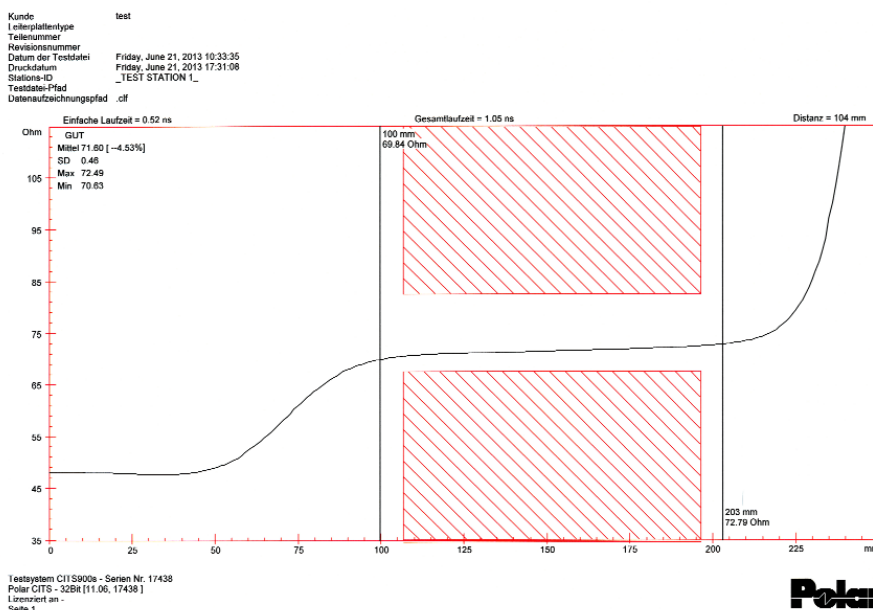
Jedes Bauteil und die Leiterplatten unterliegen engen Fertigungstoleranzen, und die haben wesentlichen Einfluss auf Funktionsweise und Haltbarkeit des fertigen Produkts. So muss auch die Leiterplatte neben mechanischen auch bestimmte elektrische Qualitätskriterien und Funktionseigenschaften aufweisen. Nur so lassen sich solide und sichere Geräte bauen.

## HERAUSFORDERUNGEN DER MINIATURISIERUNG

Applikationsingenieure und Elektronikentwickler der Bauteilehersteller arbeiten Hand in Hand, um den neuen Herausforderungen bezüglich Miniaturisierung und Steigerung der Arbeitsfrequenzen Herr zu

werden. Steigende Frequenzen und kleinere Abstände zwischen den Leiterbahnen führen unweigerlich zu einer größeren gegenseitigen Beeinflussung. Parallel verlaufende Leiterbahnen wirken wie Kapazitäten, deren Blindwiderstände umgekehrt mit der Signalfrequenz abnehmen. Außerdem gilt: je länger die Leitungen parallel verlaufen, desto größer wird die Kapazität. Auf der anderen Seite gilt für immer schmalere Leiterbahnen eine Zunahme der Induktivität. Je größer Kapazität und Impedanz werden, desto niedriger wird die Grenzfrequenz. Damit nimmt eben die Dämpfung hoher Frequenzen immer stärker zu.

Aus einem sauberen Rechtecksignal macht der Tiefpassfilter, der dabei entsteht, ein mehr oder weniger verschliffenes Signal. Im Extremfall bleibt eine Sinusgrundwelle übrig. Bei der Fourieranalyse lässt sich jedes beliebige Signal in einzelne Sinus- und Cosinusschwingungen zerlegen. Dabei variieren die Amplituden und Phasenverschiebungen je nach Signal. Fügt man am Ende der Übertragungsstrecke diese einzelnen Schwingungen wieder zusammen, sollte normalerweise wieder das Originalsignal entstehen. Fehlen jedoch auf Grund des Tiefpassverhaltens der Übertragungsstrecke die eine oder andere Schwingung oder sind deren Amplituden bzw. Phasenlagen verändert, sind Abweichungen vom Originalsignal die zwingende Folge.



Softwareunterstützung bei Impedanzkontrolle- Grafische Darstellung der Systemreports in Hightech-Fertigungsprozess bei Becker & Müller

Wie groß diese Abweichung sein darf, hängt von vielen Faktoren ab. Zum einen muss der Signaleingang der integrierten Schaltung das empfangene Signal natürlich so weiterverarbeiten, als sei es das Originalsignal, zum anderen müssen zwei gleichzeitig generierte Signale an unterschiedlichen Eingängen auch wieder gleichzeitig ankommen (Laufzeit). In der Signalform und der zeitlichen Abfolge der Signale steckt letztendlich die Information, die durch das System verarbeitet werden soll.

Der Hersteller ist für die korrekte Signalweiterleitung innerhalb der integrierten Schaltung verantwortlich. Er definiert in seinem Datenblatt die Spezifikationen, mit denen jedes Bauteil betrieben werden muss, damit keine Fehlfunktionen auftreten.

### EINFLUSS DES DESIGNS

Der Layouter und Elektronikentwickler, der viele dieser Bauteile miteinander verschaltet, muss jetzt dafür Sorge tragen, dass auch der Signalweg - das, was mit dem Signal zwischen den Bauteilen passiert - in der geforderten Spezifikation liegt. Damit beispielsweise ein Schaltkreis die Dauer eines Eingangsimpulses auch richtig an seinem Ausgang ausgeben kann, sind entsprechend steile Flanken an seinem Eingang notwendig. Angenommen, die vorherige Funktionsstufe liefert einen absolut sauberen Rechteckimpuls aber die Übertragungsstrecke dämpft die hohen Signalanteile zu stark, dann ist die Anstiegsflanke des Signals dadurch deutlich flacher, was ein verspätetes Durchschalten der Eingangsstufe zur Folge hat. Damit ergibt sich bereits ein zeitlicher Versatz zwischen den Signalen.

Neben der Dämpfung und damit Verformung von Signalen gibt es ein weiteres Phänomen, das bei hohen Signalfrequenzen auftritt: die Reflexion. Sie kommt immer dann vor, wenn die Signallaufzeit auf der Leiterbahn länger als die Impulsdauer ist. Bei Reflexionen kann es ebenfalls zu Signalverfälschungen kommen. Man betrachtet eine Signalleitung, die Leiterbahn, als eine Parallelschaltung vieler kleinster Kondensatoren und einer Reihenschaltung

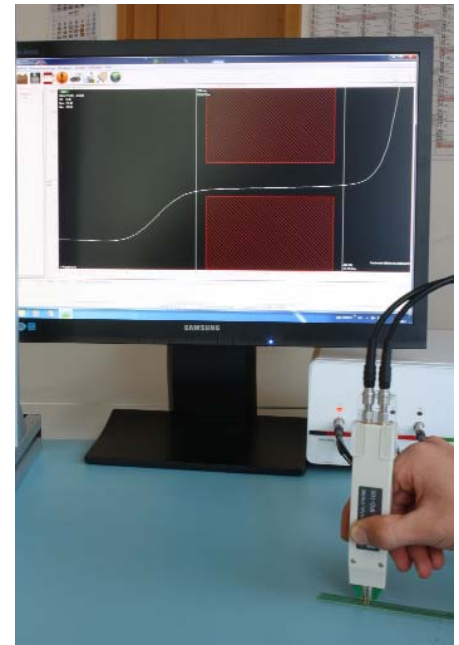
vieler kleinster Induktivitäten und Widerstände. Der Einfachheit halber betrachten wir hier nur die Kapazitäten. In Wirklichkeit ist es etwas komplizierter.

Der Impuls wandert von Kondensator zu Kondensator - der nächste Kondensator wird geladen, während der vorherige entladen wird. Kommt dieser Impuls am Ende der Leitung an, will sich der letzte Kondensator entladen und dabei seine Ladungen dem nächsten Kondensator übergeben. Entscheidend ist nun, was sich am Ende der Leitung befindet - im Extremfall nichts. Die Leitung ist offen. Damit gibt es aber auch keinen nächsten Kondensator. Der letzte Kondensator ist geladen, der vorherige aber entladen. Damit kehrt sich das Ganze um und der letzte Kondensator gibt seine Ladungen an seinen Vorgänger ab. Und so wandert der Impuls zurück, er wird reflektiert.

Dämpfungen und Reflexionen lassen sich in der Praxis nur mit einer sogenannten impedanzkontrollierten Leiterbahn verhindern. Dabei handelt es sich um eine Leistungsanpassung. Hierfür muss folgende Bedingung erfüllt sein: die Ausgangsimpedanz der Vorstufe muss gleich der Eingangsimpedanz der nachfolgenden Stufe sein. Außerdem muss auch der Signalweg die gleiche Impedanz (= Wellenwiderstand) haben. Als Formel geschrieben:  $Z_A = Z_L = Z_E$ . Ist diese Voraussetzung erfüllt, sind die frequenzabhängigen Dämpfungen und Reflexionen stark reduziert oder im Idealfall gar eliminiert.

### 50 OHM TECHNIK

Um dieser Formel gerecht zu werden, verwendet man meist die 50 Ohm-Technik. Dabei sorgt der Bauteilehersteller dafür, dass die Ein- und Ausgangswiderstände (eigentlich: Ein- und Ausgangsimpedanzen) jeweils 50 Ohm aufweisen. Um die oben beschriebene Bedingung einer Anpassung zu erfüllen, muss auch die Leiterbahn diesen Wellenwiderstand von 50 Ohm besitzen. Jede Leiterbahn hat einen i.d.R. nicht bekannten Wellenwiderstand. Dieser Wellenwiderstand hängt von der Geometrie (Leiterbahnbreite, -dicke und



Messprozess bei Becker & Müller

Abstand zur Massefläche) und den elektrischen Kenngrößen des Basismaterials der Leiterplatte (Dielektrizitätszahl) ab. Um einer Leiterbahn einen ganz bestimmten Wellenwiderstand zu geben, müssen all diese Parameter entsprechend kombiniert werden.

### BASIS MATERIALIEN UND BERECHNUNG

Welches Basismaterial verwendet werden kann, bzw. verwendet werden muss, hängt u.a. vom Frequenzbereich ab, in dem die Schaltung betrieben wird. Reicht einfaches FR4 oder sind spezielle HF-Materialien notwendig? Da die HF-Eigenschaften von der Frequenz abhängen, sind die Zusammenhänge in relativ komplizierten Formeln beschrieben. Rechenprogramme helfen dabei, bei einigen vorgegebenen Werten (z.B. Materialkonstante, Plattendicke, Leiterdicke etc.) die restlichen Werte, z.B. für die Leiterbreite, zu ermitteln. Diese Größen sind möglichst genau beim Layouten der Leiterplatten zu übernehmen. Ob der Wellenwiderstand auch bei der fertigen Leiterplatte stimmt, liegt in der Verantwortung des Leiterplattenherstellers. Es gehört viel Erfahrung und Knowhow dazu, um die Fertigungstoleranzen so klein wie möglich zu halten. Ein entscheidender Faktor dafür, ob die notwendigen Werte erreicht werden, bzw. in der Toleranz liegen. Die Firma Becker & Müller, Schaltungsdruck GmbH, aus Steinach im Schwarzwald beispielsweise hat eigens für impedanzkontrollierte Leiterplatten einen speziellen Messplatz und kann die geforderten Eigenschaften exakt protokollieren.

Beschreibung	Milestone	Datum	Uhrzeit	Differential	Teilenummer
# 00:00 Test	90 15	09/05/13	11:50	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	90 71	09/05/13	11:50	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	90 22	09/05/13	11:51	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	90 24	09/05/13	11:51	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	88 30	09/05/13	11:51	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	88 35	09/05/13	11:51	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	90 75	09/05/13	11:52	Ja	DC-M-12
# 00:00 Test	90 80	09/05/13	11:52	Ja	DC-M-12

Screenshot Testreport der Software für „Impedanzkontrollierte Leiterplattenfertigung“

## REFERENZEN

Ralf Mayr, Managing Director der RF Design aus Lorsch (Hessen), entwickelt Geräte für die HF-Technik. Es sind meist Speziallösungen für nationale und internationale Kunden. Darunter sind so namhafte wie das ZDF oder SES-Astra. Für seine Geräte benötigt das Unternehmen hochwertige, impedanzkontrollierte Leiterplatten. Deshalb nutzt Ralf Mayr seit langem das Fachwissen der Becker & Müller GmbH. Auf diese Weise hat sich in den letzten 10 Jahren eine vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit entwickelt. Für Mayr zählt vor allem,

„dass das Board nicht einfach nur produziert wird, sondern die Daten vor der Produktion kritisch begutachtet werden“. Sollten sich dabei Auffälligkeiten oder Unstimmigkeiten ergeben, melden sich die Fachleute von Becker & Müller bei den Entwicklern, um sie gemeinsam zu korrigieren.

Die Entwicklung von komplexen High-Tech Geräten ist heute von einzelnen Bearbeitern im Prozess kaum überschaubar bzw. beherrschbar. Deshalb ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit aller an diesem Herstellungsprozess beteiligten Spezialisten notwendig. Gerade in der Elektronik ist ein sehr breites und tiefgreifendes Wissen aus den Bereichen Digital- und Analogtechnik,

HF- und NF-Technik, Signal- und Leistungselektronik, mechanische und physikalische Materialeigenschaften sowie Wärmemanagement notwendig. Wie eine enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit Früchte trägt zeigen RF Design und Becker & Müller hier immer wieder eindrucksvoll.

■ [www.becker-mueller.de](http://www.becker-mueller.de)

Kontakt und weitere Informationen:  
APROS Int. Consulting + Firmenservices  
Volker Feyerabend  
[info@APROS-Consulting.com](mailto:info@APROS-Consulting.com)