

Passive Intermodulation – Ursachen und Messmöglichkeiten

Kaelus (vordem Summitek Instruments) hatte durch den Erfahrungsaustausch mit Ingenieuren und Technikern in aller Welt die Gelegenheit, Messtechniken für einen breiten Anwendungsbereich zu entwickeln und zu erproben.

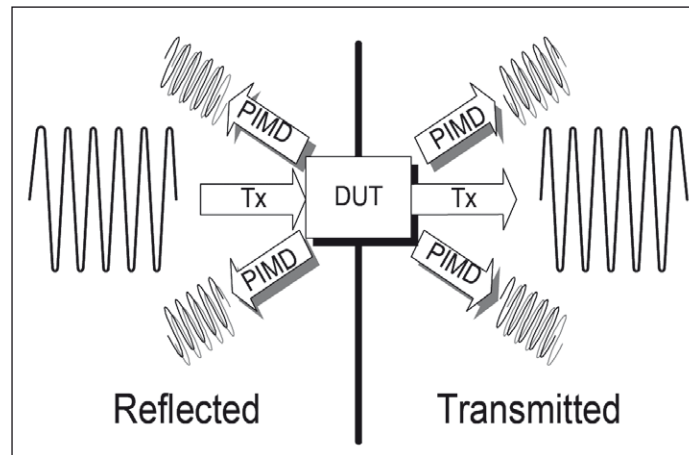


Bild 1: Dynamische IM-Messung, IM3-Verhalten während des Tap Tests

Dabei wurde auch das Problem der Intermodulation (IM) mit Bauteilherstellern, Infrastruktur-Providern, Managern und Service-Providern erörtert. Die von daher erworbenen Erkenntnisse in Kombination mit dem durch die Entwicklung des Passive Intermodulation Analyzers Wissensvorsprung sind die Grundlage dieser Darstellung der zeitgemäßen Messung passiver Intermodulation (Passive IM Distortion, PIMD). Die Untersuchungen haben zu folgenden Erkenntnissen geführt:

- Die fortlaufende Produktion von Low-IM-Erzeugnissen, also die Garantie geringer PIMDs in der kostengünstigen Massenproduktion, ist extrem schwierig zu erreichen.
- Alle bezüglich PIM kritischen Komponenten sollten einer dynamischen Messprozedur unterzogen werden.
- Festfrequenzmessungen genügen oft nicht, um die frequenzabhängigen Charakteristiken von vielen Baugruppen und Geräten ausreichend genau zu ermitteln.

Warum ist PIM so wichtig?

Passive IM ist ein an Bedeutung gewinnendes Problem in draht-

losen Applikationen, da sie ganz entscheidenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von z.B. Telekommunikations-Netzwerken ausüben kann.

Passive IM entsteht immer dann, wenn zwei oder mehr Signale einen nichtlinearen passiven Zwei- oder Vierpol, wie einen Halbleiter, ein anderes Material oder einen koaxialen Steckverbinder, durchlaufen müssen. Immer dann entstehen unerwünschte Signale, deren Frequenzen sich mathematisch bestimmen lassen. Dies kann die Systemleistungsfähigkeit und die Übertragungsqualität mindern.

Die Frage, ob passive IM ein Design-Problem, ein Herstellungsproblem oder ein Instandhaltungsproblem ist, lässt sich leicht so beantworten: Sie ist in jeder Beziehung ein Problem. Ein gutes Design ist notwendig, aber nicht unbedingt ein Garant für den Erfolg. Viele Unternehmen wissen, worauf es hier ankommt und beachten die folgenden gut dokumentierten Design-Regeln:

- Vermeide den Einsatz von ferromagnetischen Materialien.
- Minimiere die Anzahl der Kontaktstellen.
- Sichere ab, dass alle Kontaktstellen unter allen Bedingungen (Temperatur, Druck, Luftfeuchte) sicher und präzise funktionieren, also guten Kontakt geben.
- Wo möglich, sollten Kontakte als Lötstellen oder Steckkontakte ausgeführt werden.
- Vermeide den direkten Kontakt von verschiedenen Metallen.
- Schütze alle Oberflächen vor Oxidation.

Die größere Herausforderung besteht in der Fertigung. Obwohl obige Regeln bedeutungsvoll erscheinen, so ist doch das Vermögen des Herstellers der Schlüssel zum Erfolg. Geringe

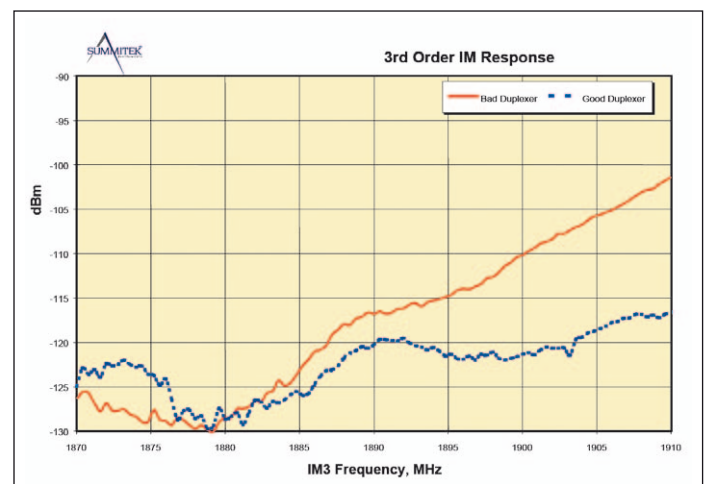


Bild 2: 3rd Order IM Response eines leicht gestressten und eines mechanisch optimal belasteten Duplexers

Quelle:
Passive Intermodulation
Measurement Techniques,
Kaelus/Summitek Instruments,
USA, www.kaelus.com
frei übersetzt, gekürzt und
ergänzt von FS



Bild 3: Benchtop-Gerät der F-Serie

Abweichungen vom idealen Prozess können bereits unakzeptable Ausmaße von passiver IM hervorrufen. Die reale Welt hält zahlreiche Quellen für mögliche Abweichungen vom Ideal bereit. Die wichtigsten sind vielleicht:

- mangelhafte Auswahl und Zusammenstellung der Einzelteile
- ungeeignete Schrauben und Befestigungen
- schlechtes Lot, schlechte Lötverbindungen
- nicht ausreichende oder unvollständige Säuberung von Kontaktstellen und/oder Teilen
- ungeeignetes mechanisches und elektrisches Material

Auch bei Zusammenbau und Installation sind Schwachstellen möglich, durch die PIM entstehen kann. Nach Design und Herstellungskonzept sind Integration und Systeminstallation die nächsten Herausforderungen. Denken Sie immer daran, dass alle Verbindungen potentielle PIM-Entstehungsquellen sein können. Auch jede Verbindungsstelle zwischen Baugruppen und Teilsystemen ist eine mögliche Quelle von Ungemach. Verbindungen, die in Laborumgebung makellos funktionieren, können problematisch werden, wenn mechanischer Stress (Vibration, Druck, Schwingungen, Erschütterungen) auftritt. Dies wird in erster Linie Steckverbinder für (koaxiale) Kabel betreffen.

In anderen Worten: Es ist nicht sicher, dass Einzelkomponen-

ten, die ihre IM-Spezifikationen erfüllen, zusammenschaltet zu einem Gesamtsystem führen, welches auch seine IM-Spezifikationen einhält. Zu beachten sind besonders die folgenden von Mutter Natur herrührenden Einflüsse:

- vom Wind verursachte Vibration
- tägliche Temperaturänderungen
- Feuchte in ihren verschiedenen Formen (Luftfeuchte, Regen, Beschlag)
- thermisches Aufheizen durch die Sonne
- Schmutz in der Umgebungsluft

Jeder dieser Einflüsse kann die Qualität von Bestandteilen des Netzwerks beeinträchtigen und den Kommunikationskanal angreifen. Das Resultat ist eine Performance der Zelle(n), die unter dem Potential des Designs liegt.

Quantifizierung passiver IM

Für eine gute Kommunikation ist es wichtig, ein akzeptables Carrier-to-Interference Ratio (C/I) zu sichern. Das Rauschen des Übertragungskanal muss dabei nicht besonders weit unter dem Rauschen des Empfängers liegen. Eine Quelle von unerwünschten Interferenzen ist passive Intermodulation. Eine typische Spezifikation erfordert einen PIM-Pegel von maximal

-110 dBm, wenn zwei 43-dBm-Träger in das Device Under Test (DUT) eingespeist werden (entsprechend min. -153 dBc). Dies entspricht einem Verhältnis von 1:2.000.000.000.000 oder anders veranschaulicht, dem Versuch, den Abstand der Erde von der Sonne mit einem Fehler von nur einem Zehntel Millimeter zu messen.

Die herkömmliche Methode zur Messung passiver IM verwendet zwei CW-Signale mit festen Frequenzen von je 20 W als Eingangssignale für das DUT und misst die dadurch erzeugten IM-Leistungspegel. Dieses Messverfahren entspricht den Vorgaben des International Standards Committee, welches auch Testmethoden für die Ermittlung passiver IM vorschlägt (IEC TC46 WG6). Um diesen Vorgaben zu entsprechen, sind zwei Synthesizer und zwei High-Power-HF-Verstärker erforderlich, hinzu kommen Filter und ein Duplexer für die Signale. Das interessierende Ausgangssignal muss über einen Low-Noise-Verstär-

ker zu einem Spectrum Analyzer zwecks Anzeige geleitet werden. Ein Leistungsmesser wird genutzt, um die Einspeiseleistungen genau einstellen zu können. Drift-Erscheinungen sind nicht unüblich und begrenzen die Messzeit.

Dieser Rack-and-Stack-Ansatz zum Aufbau eines Messplatzes für passive IM ist ein schwieriges Vorhaben. Da einige diskrete Instrumente, Komponenten und Verbindungskabel erforderlich sind, ist es nicht leicht, die Messresultate immer sicher abzulesen. Ein derartiges Setup ist oft instabil und neigt zu Unzuverlässigkeiten. Eine solche Messung ist zudem sehr zeitintensiv.

Mit seinem umfangreichen Wissen über passive IM hat sich Kaelus zur Verbesserung der Situation Folgendes zum Ziel gesetzt:

- Entwicklung von Messgeräten für qualitativ hochwertige und wiederholgenaue Messungen



Bild 4: Ein Gerät der iPA-Serie



Bild 5: So präsentieren sich die Geräte der iQA-Serie

- einfacher Einsatz und einfache Bedienung der Geräte
- ständige Verbesserung und Überarbeitung der Test Tools
- Standardisierung dieser schwierigen Messung als Basis einer fairen Vergleichsmöglichkeit
- Einklang mit bestehenden und entstehenden Technologietrends und Teststandards
- Zusammenarbeit mit den Kunden und Berücksichtigung derer Empfehlungen und Wünsche

Dies ermöglichte die drei folgenden signifikanten Design Features der Passiven-IM-Analyzer von Kaelus:

- hochintegriertes Design
- Dies minimiert die Anzahl der externen Komponenten und ermöglicht daher verbesserte Wiederholgenauigkeit, Stabilität und Zuverlässigkeit.
- Highspeed-Digitalempfänger-Technologie

Die Geschwindigkeit und Flexibilität bezüglich der Frequenzen macht die Kaelus-Analyzers geeignet für die simultane Messung verschiedener IM-Produkte, für die die Messung und Aufzeichnung einmaliger (transienter) Ereignisse, wie PIM-Burst und Schwankung der IM infolge mechanischem und umgebungsbedingtem Stress, sowie für die Messung der Swept-Frequenz-Intermodulations-Charakteristik, um die Per-

formance in einem bestimmten Frequenzbereich zu verifizieren.

- innovative, neue Testmöglichkeiten

Jedes Messgerät lässt sich leicht nutzen, arbeitet zeiteffizient und zuverlässig und sichert so Produktqualität und Netzwerk-Integrität.

Realitätsnahe Messungen erfolgen mit einem Paar von Trägerfrequenzen an den Bandgrenzen oder in den bevorzugten Bandbereichen des genutzten drahtlosen Standards. Beispielsweise in einem PCS1900-Band typischerweise Carrier 1 1930 MHz und Carrier 2 1990 MHz. Nun kann aber das PIM-Verhalten von Komponenten und Subsystemen erheblich variieren, wenn das Subjekt in eine Stresssituation gerät. Bei einer dynamischen Messung wird das IM-Verhalten bei einer angemessenen Stimulation erfasst. Der Einfluss von Verbindern und Kabeln wird mit erfasst. Sehr zu empfehlen ist, alle senderseitigen Bestandteile einer Basisstation in die Messroutine einzubinden. Geräte von Kaelus erfassen alle PIM-kritischen Komponenten mit dem Tap Test und mit dem Bending Moment Test. Beim Tap Test erfolgt, vereinfacht ausgedrückt, ein Abklopfen des Devices Under Test, wobei die IM erfasst wird. Beispielsweise werden speziell die Abstimmerschrauben abgeklopft. Wenn man damit aufhört, kehrt die IM zu ihren ruhigen Werten zurück. Bild 1 illustriert den Test mit einem PCS1900-Band-

passfilter. Es zeigt ganz deutlich, wie sich die IM durch das Abklopfen ändert. Der Bending Moment Test wird durchgeführt, während eine moderate seitliche Kraft auf den Connector an der DUT wirkt.

Bei gesweepeten Messungen wird die IM-Charakteristik als Funktion der Frequenzen ermittelt. Das in Bild 2 dargestellte Ergebnis demonstriert die Sinnhaftigkeit dieser Messung. In diesem Fall ist ein PCS1900-Band Duplexer mit einem schlecht montierten (überdreht, optisch nicht feststellbar) Connector das DUT. Die gestrichelte Kurve zeigt zum Vergleich das Ergebnis mit korrektem Anschluss. Nur hier wird die Bedingung -115 dBm auf allen Frequenzen erfüllt.

Kaelus bietet portable PIM Analyser und Benchtop PIM Analyser, um das HF-Design von Systemen zu verbessern und um die Produkt-Performance zu verifizieren. Die Geräte der F-Serie (Bild 3) sind komplette PIM-Testlösungen für die Regalmontage und umfassen ein Transceiver-Modul, ein High-Performance-Frontendfilter-Modul, eine Systemsteuerung und intuitive Nutzer-Software. Diese ökonomische Lösung gibt es in verschiedenen Modellvarianten, welche alle üblichen kommerziellen Funkbänder umfassen. Die Produkt-Features:

- vollintegriertes System in kompakter 6U-Größe
- vollkonfigurierbare Frequenzen und Leistungen

- USB Control Interface
- kalibriert für Aus- und Eingangs-PIM-Pegel

iPA Series

Der iPA Series Passive Intermodulation Analyzer (Bild 4) ist der erste batteriebetriebene PIM Test Analyzer und in der Lage, verschiedenste Tests-Szenarien, wie etwa das Messen auf der Spitze eines Turmes oder auf einem Dach, zu bewerkstelligen. Das IEC-konforme 20-W-Design umfasst auch einen Tablet Computer zur Fernsteuerung. Damit ist sicherer Freihandbetrieb möglich.

iQA Series

Der iQA Series PIM Analyzer (Bild 5) ist eine an Features reiche High-Power-PIM-Testlösung. Dieser felderprobte Analyzer erlaubt es Netzwerk-Operatoren, die allgemeine Performance ihrer Systeme durch Lokalisieren und Eliminieren von passiver Intermodulation im HF-Pfad zu verbessern. Das Design umfasst einen integrierten Panel PC mit intuitivem Touchscreen.

Als Standard-Messaufgabe beherrschen alle Analyser die Erfassung von reflektierter und weitergeleiteter PIM, wie im Aufmacherbild skizziert. Es ist jedoch optional auch möglich, bei entsprechenden DUTs, wie dualen Antennen, die reflektierte PIM in zwei Kanälen gleichzeitig zu erfassen (Bild 6). ◀

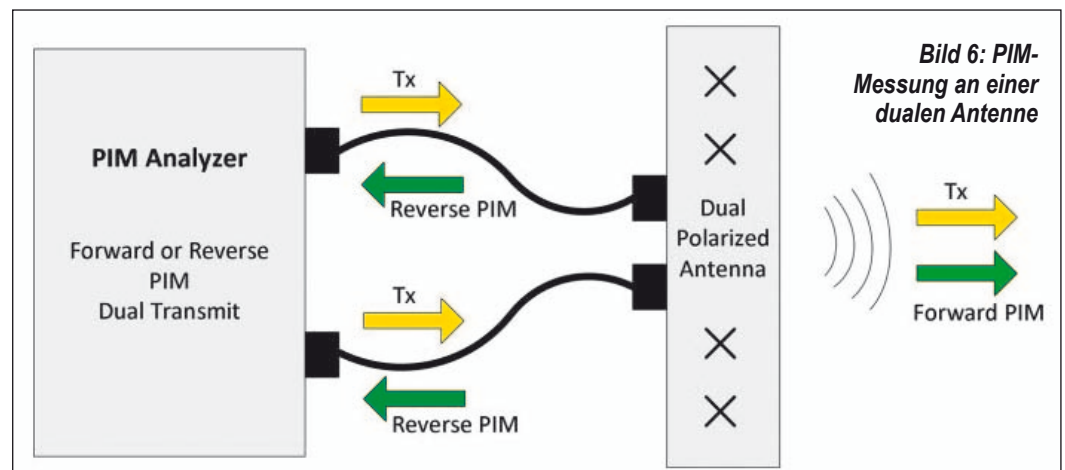


Bild 6: PIM-Messung an einer dualen Antenne