

Stromlose Fehlererkennung

Fehler auf Leiterplatten oder Baugruppen im stromlosen Zustand zu suchen kann eine nicht zu vermeidende Ausgangssituation sein. Dies wird häufig als „unpraktisch“ empfunden, es birgt aber auch große Vorteile in der Fehlersuche. Der folgende Artikel beleuchtet die bereits seit einiger Zeit erfolgreich angewendete Methode und stellt darauf spezialisierte Messmittel einem breiteren Anwenderkreis vor.

Strategien bei der Fehlersuche

Der Kontext, in dem Leiterplatten-Fehler auftreten, bestimmt die Strategie der Suche. So liegt beispielsweise im Fertigungsumfeld der Schwerpunkt auf der Prozesskontrolle. Bewährte Techniken sind dabei die optische / Röntgen-Inspektion, In-Circuit-Test, Boundary-Scan und Funktionstest. Im Umfeld von Entwicklung oder Instandsetzung greifen Diagnosewerkzeuge besser. Hierzu gehört, neben dem Einsatz klassischer Messtechnik wie Digitalmultimeter oder Oszilloskop, vor allem die Analoge Signatur Analyse (ASA), die im Folgenden ausführlich beschrieben wird.

Der funktionelle Pfad

Sehr häufig wird bei der Fehlersuche, nachdem der Prüfling in Betrieb genommen wurde, dem Funktionspfad gefolgt. Komplexe Geräte können über einen eigenen Testmodus verfügen, um die Produktion oder Instandsetzung zu unterstützen.

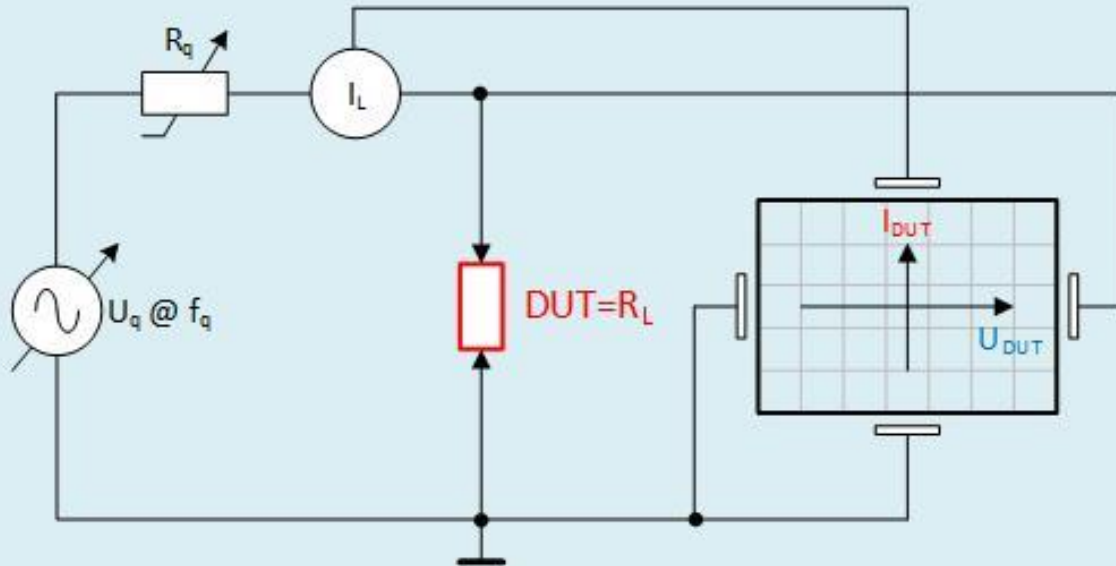
Mit einfach durchführbaren Messungen (z.B. Spannung mit einem DMM) an strategisch geschickten Punkten, verifiziert der Techniker die Funktion am Messpunkt. Oft ist es hilfreich, während einer Messung den Betriebsmodus des Prüflings zu ändern, um weitere Hinweise zu erhalten. Die Fehlerzone ist dann bestimmt, wenn das gemessene Signal nicht dem erwarteten Funktionsprinzip entspricht. Am Beispiel einer defekten Labor-Spannungsquelle erfolgen die ersten Messungen an den verschiedenen internen Versorgungsspannungen. Ist die Versorgung in Ordnung, dann folgt der Techniker dem logischen Signalverlauf: Beginnend beim D/A Wandler → über den Vorverstärker gehend → bis zur Leistungsendstufe.

Nachdem so das fehlerhafte Modul erkannt wurde, kann die problematische Komponente mit Hilfe von weiteren Messungen bestimmt werden. Stimulationen mit einer externen Signalquelle helfen zusätzlich an angrenzenden Bauteilen Fehler zu finden. Oft wird das ganze Modul ausgetauscht, um es separat zu reparieren.

Die Analoge Signatur Analyse (ASA)

Das aufgeführte Messprinzip prägt am Messpunkt ein Sinussignal über die Prüfspitze ein und erfasst dort gleichzeitig den Strom via Shunt-Widerstand und den Spannungsabfall. Vergleichbar mit dem X-Y Modus eines Oszilloskops wird eine Signatur aufgetragen.

ASA Prinzipschaltbild



Quelle des Testsignals (einstellbar)

R_q = Innenwiderstand
 U_q = Testspannung
 f_q = Testfrequenz

Prüfling

R_L = Lastwiderstand = DUT
 I_L = Strom/Laststrom (Überwachung)

Abb. 1: Entsprechend dem Ohm'schen Gesetz kann das Messprinzip als „grafisches Wechselstrom-Widerstandsmessgerät“ verstanden werden. R_q , U_q und f_q sind einstellbare Parameter der Messung.

Bei diskreten Bauteilen entspricht die Signatur den bekannten Kennlinien, z.B. eine Ursprungsgerade bei Widerständen, eine Hysterese bei Spulen oder die Dioden-Kennlinie. In einem realen Netzwerk ist die Signal-Antwort eine komplexe Überlagerung dieser Kennlinien.

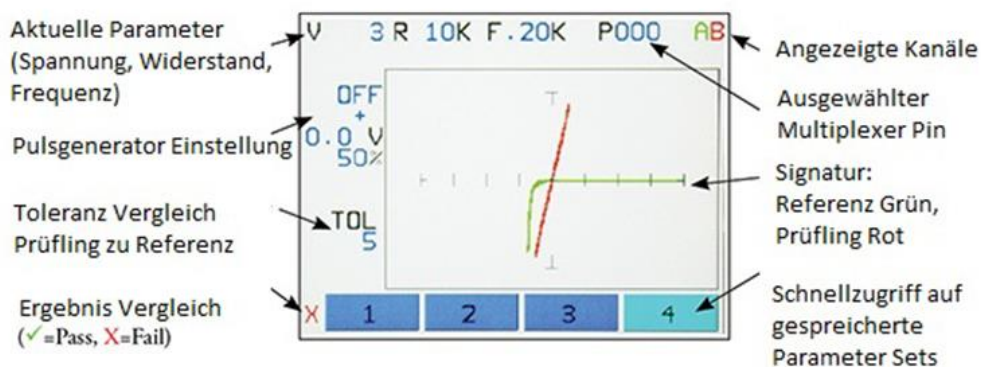


Abb. 2: Die bei der ASA entstandene Figur des defekten Prüflings (rot) im Vergleich zur „Goldenen“ Referenz (grün).

Die Strategie der Fehlersuche mit der ASA folgt nicht dem funktionellen Pfad.

Das Modul bleibt ausgeschaltet (Power OFF Test), damit die Antwort auf das eingespeiste Testsignal nur durch die passive elektronische Charakteristik des Prüflings definiert wird. Diese entspricht der komplexen Impedanz Z am Frequenzpunkt. Die Messung erfolgt wie gewohnt zweipolig, meist in Bezug auf die Masse des Prüflings. Es kann auch zielführend sein, den Bezugspunkt zur Versorgungsspannung zu wechseln oder differentiell über Bauteile hinweg zu messen. Die erzeugte komplexe Kennlinie des Netzwerkpunkts wird mit der funktionierenden Referenz verglichen und weist auf einen Fehler im Netzwerk hin, sollte sie zu stark abweichen.

Nun gilt, es die defekte Komponente zu isolieren, indem die Kennlinienform analysiert und ggf. durch weitere Messungen ergänzt wird. Typische Fehler werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Um hohes Vertrauen in eine erfolgreiche Reparatur zu bekommen, werden möglichst viele Netzwerke gemessen. Es empfiehlt sich, alle Pins einer bestimmten Komponente geschlossen abzutasten. Das ermöglicht, bei einer komponentenspezifischen Häufung defekter Pins, dieses Bauteil sicher als defekt zu erkennen. Zeitsparender ist, das Netzwerk sequenziell an benachbarten Punkten durchzuarbeiten. Damit werden doppelte Messungen vermieden, wenn dasselbe Netzwerk an verschiedene Pins angeschlossen ist.

Vor- und Nachteile des Power-OFF-Tests

- ☑ Die Fehlersuche ist möglich, obwohl der Prüfling nicht im Betriebs- oder Testmodus aktiviert werden kann. Das ist der Fall, wenn eine betroffene Leiterplatte ohne die umgebende Infrastruktur (z.B. Spannungsversorgung oder Steuerung) nicht betrieben werden kann.
- ☑ Baugruppen zu denen das Knowhow verloren ging können weiterhin repariert und verwendet werden. Dies geschieht insbesondere in Reparaturwerkstätten, wenn aus historischen Gründen die Dokumentation fehlt verursacht z.B. durch Insolvenzen oder Brände.
- ☑ Die Fehlersuche ist möglich, obwohl der Prüfling nicht betrieben werden darf. Dies ist insbesondere dann zu empfehlen, wenn bei einer Reparatur nach dem Austausch einer Komponente eine Fehlerfortschreitung im Schaltkreis befürchtet wird.
- ☑ Ein Prototyp kann sicher „eingeschaltet“ werden: wertvolle Prototypen in der Entwicklung sollen bereits vor dem Zuschalten von Versorgungsspannungen von riskanten Fehlern bereinigt werden.
- ☑ Der Messaufbau ist stark vereinfacht. Um Zugang zu den Messpunkten zu erhalten, ist oftmals ein Break-Out erforderlich. Dazu wird das zu messende Board aus dem System gelöst und mit Kabeln verbunden, um die Funktion wiederherzustellen. Es genügt, den Kontakt mit der Messsonde herzustellen – eine Wiederherstellung der Funktion ist nicht erforderlich.
- ☒ Es ist keine funktionelle Analyse der eingebauten IC Komponenten, z.B. Prozessoren möglich. Die Signatur Analyse nimmt üblicherweise Teile der Eingangsschaltung und Ausgangstreiber der Pins wahr. Unterkomponenten, z.B. Register oder Logik, sind mit diesem Messprinzip nicht erfassbar.

Analyse typischer Fehler und Nutzung der Messparameter

Damit das Messergebnis aussagekräftig ist muss das Messgerät richtig eingestellt werden. Die Parameter sind Frequenz, Spannung, Impedanz des Quellsignals und – besonders wichtig – die Schaltschwellen der Signal-Überwachung (um den Prüfling nicht zu beschädigen). Ein solcher Stromschutz ist einstellbar um sich an die verschiedenen Bauteilfamilien anzupassen (MOS etc.).

Parametrisierung der ASA

Am Beispiel von häufigen Fehlerursachen

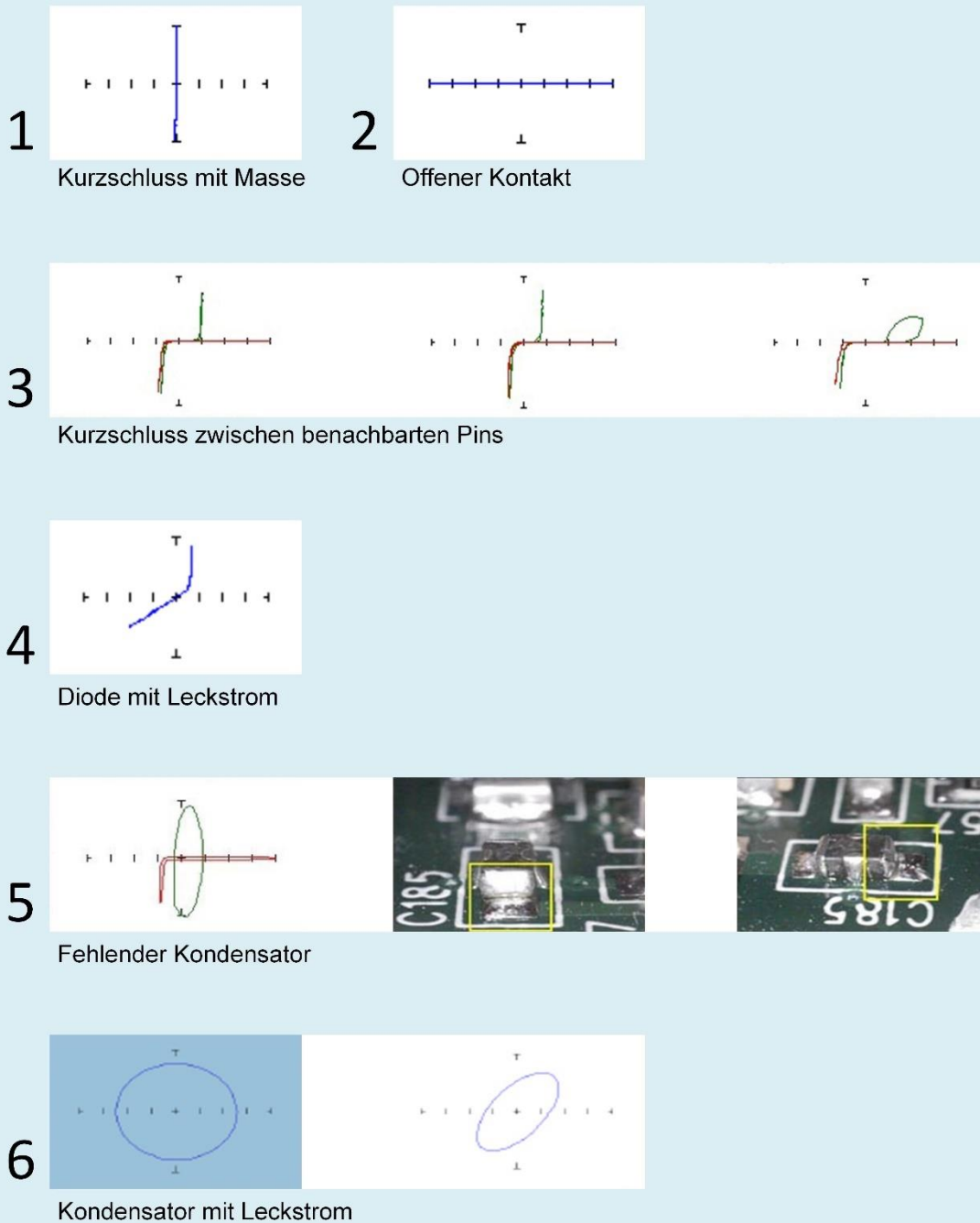


Abb. 3: ASA Signaturen häufiger Fehler

Bei einem Kurzschluss mit Masse bzw. einem offenen Kontakt besteht die Gefahr diesen Fehler mit einem erwarteten sehr hohen Widerstand bzw. einem sehr kleinen Widerstand zu verwechseln (siehe Beispiel 1+2). Es ist daher eine gute Vorgehensweise die Impedanz des Messgerätes an die Situation am Messpunkt im „nicht Fehlerfall“ anzupassen. Dies hat ein besseres Verhältnis des aktuellen Prüflingswiderstands zur Impedanz der Quelle zur Folge, weshalb die sichtbare Kennlinie bei einem erwarteten kleinen Widerstand weniger steil ausfallen wird und daher von der vertikalen Kennlinie des Kurzschlusses unterschieden

werden kann. Analog dazu wird ein großer Widerstand im DUT eine hoch eingestellte Impedanz erfordern um die „Auflösung“ an der horizontalen Linie zu verbessern, die bei falsch eingestellter Impedanz sichtbar ist, um eine korrekte Kennlinie mit geringer Steilheit zu erhalten.

Korrekt eingestellte Parameter sind beim Kurzschluss zwischen zwei benachbarten Pins lediglich die Grundlage. Die der Fehlersuche zu Grunde liegende Idee besteht im Vergleich von Signaturen an verschiedenen Messpunkten. Werden an verschiedenen Pins die gleichen Signaturen angezeigt, obwohl diese aufgrund unterschiedlicher Netzeigenschaften unterschiedlich erwartet werden, dann ist die Fehlerstelle erkannt (siehe Beispiel 3).

Wenn sich Dioden am Messpunkt befinden, dann empfiehlt es sich die Spannung zu erhöhen, um den Durchbruch der Dioden-Kennlinie zu erkennen. Die Wechsellspannung macht die Eigenschaften der Diode in Sperr- und Durchlassrichtung sichtbar. Dabei schützt die Stromerfassung / Strombegrenzung das DUT vor Zerstörung. Ein Stromfluss im Sperrbereich (zu flache Linie im Sperrbereich) zeigt eine Diode mit Leckstrom an (siehe Beispiel 4). Wird die Spannung unterhalb des Durchbruchs angelegt, verschwindet die Diode virtuell aus der Schaltung. Dies ermöglicht dem Techniker das Verhalten des „verbleibenden“ Netzwerks zu betrachten. Befindet sich eine Z-Diode im Netzwerk kann die Zener Spannung geprüft werden.

Bei stark kapazitivem Verhalten des Messpunkts muss die Frequenz niedrig und die Impedanz hoch eingestellt werden, um den kapazitiven Widerstand zu stimulieren, der bei kleiner Frequenz besonders hoch ist. Erst bei einer erfolgreichen Anpassung der Parameter wird die typische Kreisform erkennbar. In Beispiel 5 fehlt die bauchige Signatur einer Kapazität. Hier hat eine kalte Lötstelle des angrenzenden Kondensators den Fehler verursacht. Zeigt sich die Kapazität mit einem gestauchten Signal wie in Beispiel 6, dann ist ein Kondensator mit Leckstrom erkannt.

Sollte sich eine Induktivität am Messpunkt befinden, so ist die Impedanz niedrig einzustellen, da eine Spule gleichstromtechnisch niederohmig ist. Die Frequenz ist zu erhöhen um die induktive Eigenschaft der Spule anzuregen.

Analoge Signatur Analyse Geräte

Eine „Strom über Spannung“- Kennlinie kann mit einem Oszilloskop und einem Sinusgenerator aufgenommen werden. Dies wurde bereits so gemacht bevor Oszilloskope mit einem X/Y-Modus versehen wurden. 1976 ging Bill Hunt, der Gründer von Huntron mit einem speziellen Produkt, dem „Tracker“ in den Markt um die Fehlersuche sowohl flexibler, als auch effizienter zu machen. Huntron pflegt bis heute regelmäßig diese Technik mit neuen Geräten und Software. Weitere Hersteller wie z.B. Polar Instruments, BK Precision, ABI Electronics und Hameg folgten bis in die 1980er Jahre hinein.

Ein eingebauter Stromschutz überwacht und limitiert den, in den Prüfling eingegebenen, Stimulus. Dies verhindert, dass Halbleiterkomponenten durch den Test zerstört werden. Einfach einstellbare Parameter wie Spannung, Frequenz und Impedanz helfen bei der Fehleranalyse. Das automatisch wechselnde Messen an zwei Boards gleichzeitig, legt das Messsignal über das Referenzsignal. Dies zeigt auf einen Blick die Unterschiede der Signaturen. Eingebaute Algorithmen erkennen die unterschiedlichen Linien und geben im „Klartext“ die Fail/Pass Information. Ein Multiplexer (Scanner) tastet viele Prüfpunkte nacheinander ab. Standardisierte Clips für vielpolige Bauteile (Dual In Line, Surface Mounted Design) und Leiterplattenverbinder sind schnell mit dem Scanner zu verbinden. Dieses einfache Vorgehen erhöht die Menge der getesteten Pins und sorgt für eine gute Messabdeckung. Zusätzliche, synchron laufende Generatoren können an den steuernden

Eingang einer Komponente angeschlossen werden. Dies erlaubt das Testen von einfachen aktiven Leistungs-Komponenten wie z.B. Relais oder Transistoren.

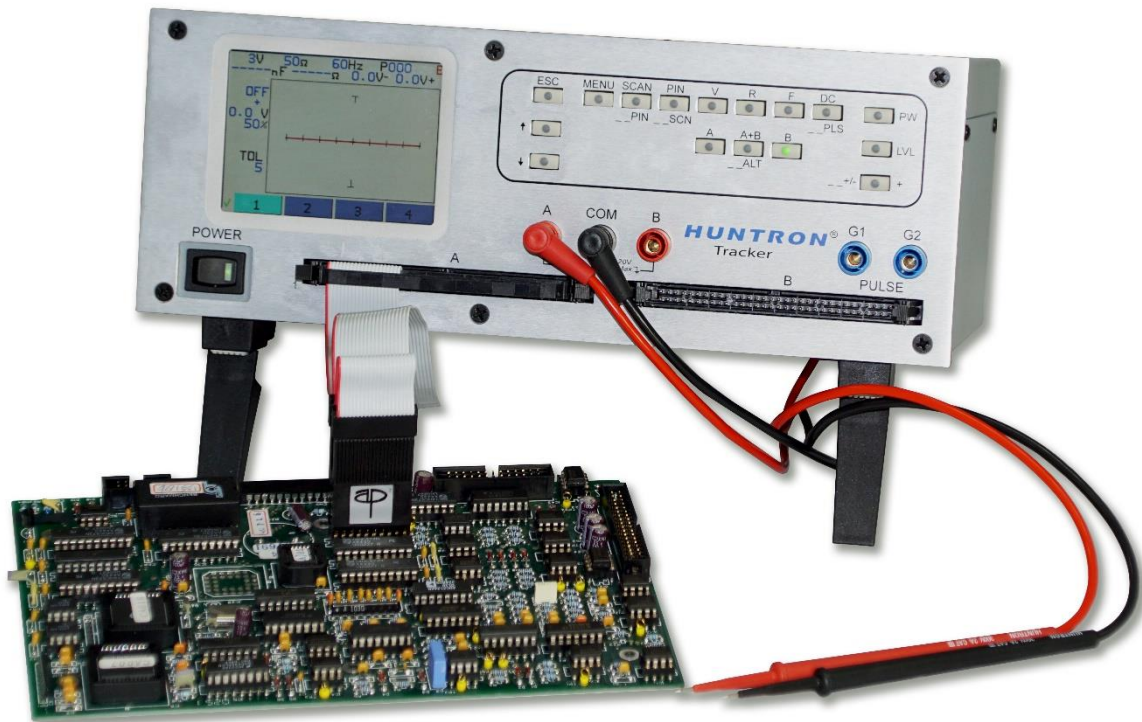


Abb 4: Huntron Tracker 3200S als eigenständiges Tischgerät mit bedienerfreundlichem Touch Screen. Die Messbuchsen und der Scanner sind für eine alternierende Messung doppelt ausgeführt.

Automation

Mit Hilfe robotischer Messsonden (Prober) können viele Prüflinge automatisiert kontaktiert und getestet werden. Fehlerhafte Netzpunkte werden beschleunigt gefunden, was die Produktivität verbessert. Automatisierung ermöglicht eine höhere Testabdeckung. Dies ist durch eine gesteigerte Anzahl der gemessenen Netzwerke und/oder durch eine höhere Anzahl der Messparameter zu erreichen. Mit Hilfe eines internen Multiplexer kann der Bezugspunkt der Messung automatisch umgeschaltet werden. Dies ermöglicht den Test von mehreren Funktionseinheiten auf einem Träger (Nutzen). Automation minimiert Kontaktierungsfehler, da die Testnadel die Andruckkraft auf der Leiterplatte definiert und die Präzision der Stellmotoren die Position der Nadel auf dem Prüfpunkt sicherstellt. Der Automat garantiert, dass alle programmierten Punkte gemessen wurden und ordnet das ermittelte Ergebnis zuverlässig zu. Damit sind menschliche Fehler praktisch ausgeschlossen.



Abb. 5: Der Huntron Access USB Prober ist ein Signatur Analyse Mess-Sondensystem mit Tastkopf. Die Präzision von +/-20 Mikrometer kontaktiert zuverlässig filigrane Surface-Mounted Komponenten.

Synergie durch Software Unterstützung

Die Software speichert die Referenzsignatur in der internen Datenbank. Dadurch können mehrere Referenzen eingelesen werden. Die Verrechnung dieser Signaturen gleicht produktionsbedingte Streuungen oder verschiedenen Bauteiletypen aus und vermeidet Pseudofehler. Wertvolle Referenzbaugruppen werden mechanisch geschont, da die gespeicherte Referenzsignatur eine tatsächliche Messung ersetzt.

Bebilderte Operator-Anweisungen in der Testabfolge beschleunigen die Testdauer und verringern gleichzeitig die, z.B. durch falsche Platzierung der Sonde, verursachte Fehlerrate. Ein vereinfachtes Operator-Interface erleichtert die Bedienung. Programmierschnittstellen machen die Kernfunktion der Software in eigenen Applikationen nutzbar. Einstellungen wie Messpunkte und Parameter und die entsprechenden Ergebnisse können sofort in Testberichten oder Log-Dateien erfasst werden. Wo vorhanden, können CAD Daten importiert werden, um die initiale Konfiguration des Testplans und den Fehleranalyseprozess zu vereinfachen.

Erfahrene Mitarbeiter haben spezielles Fachwissen in der geeigneten Auswahl der Testpunkte und der konfigurierten Testparameter. Das Aufsetzen und Speichern eines Testplans ermöglicht, den Test in der gleichen Qualität zu einem späteren Zeitpunkt zu reproduzieren und das Know-How an einen Kollegen zu übergeben.

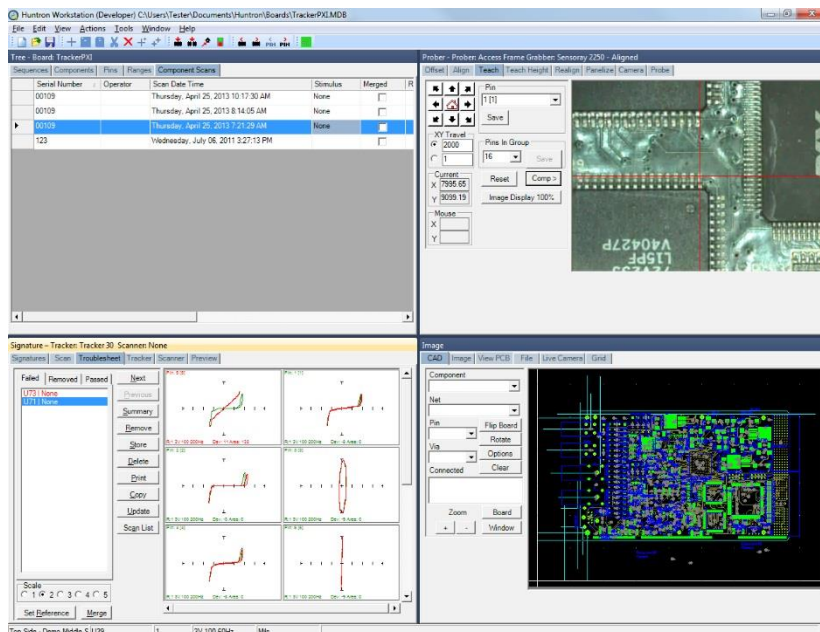


Abb 6: Huntron Workstation Software stellt die Test-Instruktionen übersichtlich auf Board-, Sequenz- und Komponentenebene dar und erlaubt Benutzer-Führung mit eingebundenen bebilderten Arbeitsanweisungen.

Power-OFF-Test und Funktionstest als Kombisystem

Funktionstestsysteme können „blinde Stellen“ haben. So kann es vorkommen, dass eine beschädigte Schutz-Diode oder ein verpolder Elektrolytkondensator im Funktionstest zuerst keine Auffälligkeiten erzeugen, dann jedoch später im dauerhaften Einsatz des Prüflings schon. Einige dieser Fehler werden typischerweise von einem In-Circuit-Tester erkannt. Steht dieser jedoch nicht zur Verfügung – dann kann die ASA als kostengünstige und bedienerfreundliche Alternative einspringen.

Die Integration in ein FKT System ist denkbar einfach, wenn beispielsweise das System über eine Instrumenten Matrix zur Stimulation und Messung verfügt. Zusätzliche Messtellen (z.B. Nadeln im Fixture), die interferenzfrei neben den Ressourcen für den Funktionstest für die Komponentenevaluierung zuständig sind, können über die Prüflingsmatrix hinzugefügt werden.

Erweiterung FKT mit ASA (typische Testsystem Topologie)

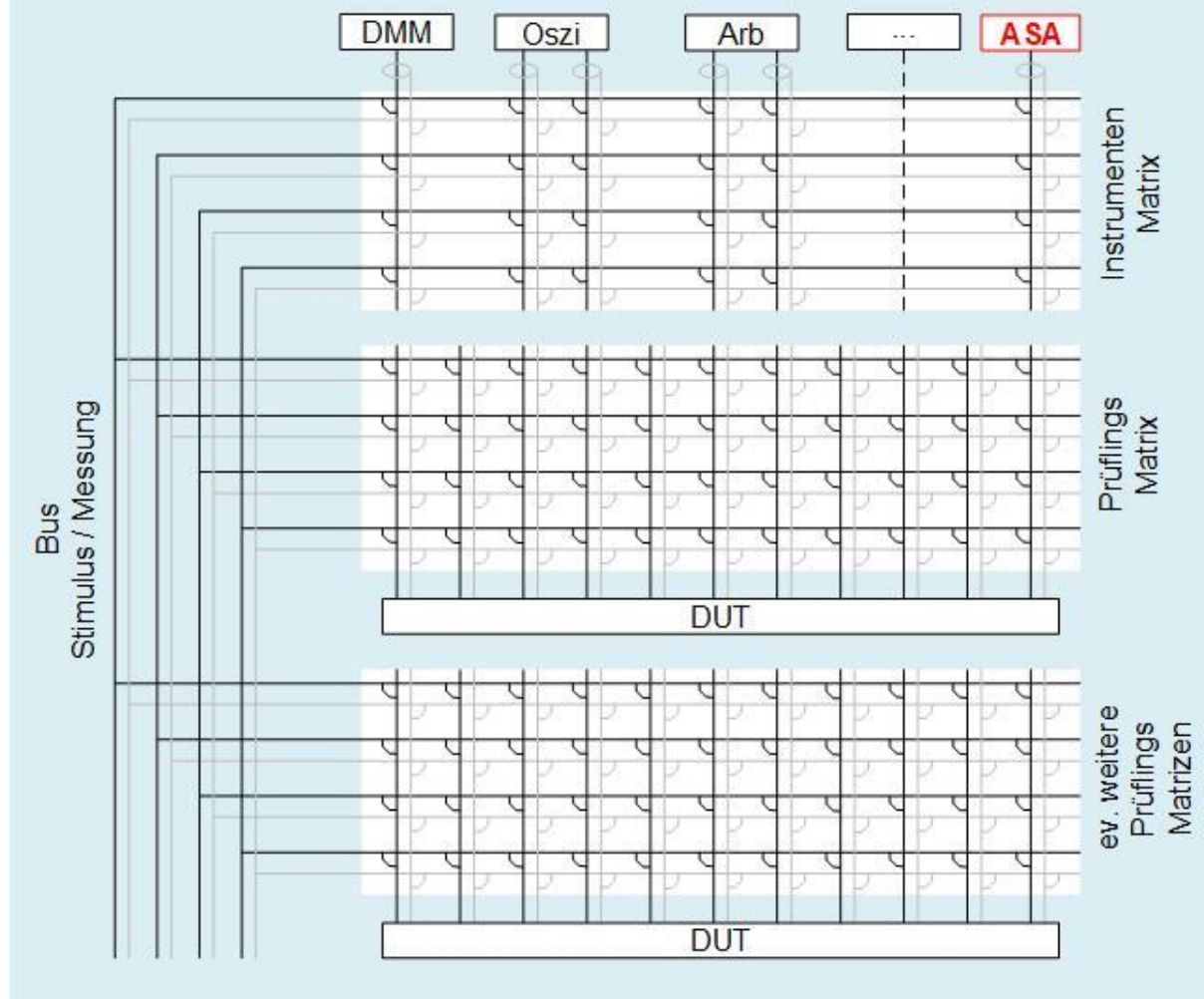


Abb. 7: ASA Instrumentation erweitert auf einfache Weise die typische Architektur eines bestehenden FKT Systems, wie z.B. die LXinstruments OTP² Offene Testplattform.

Remote Schnittstellen (API) zu oben besprochener ASA Software erlauben es die für Tracker bereits definierten spezifischen Abläufe einfach in selbstgeschriebenen Programmen aufzurufen oder in Testplänen von Test-Sequenzern einzubinden. Die Testreihenfolge sehen wir im praktischen Einsatz in zwei Varianten mit folgendem Schwerpunkt und Reihenfolge:

1. Sicherere Inbetriebnahme:
Zuerst Power-OFF Test um massive Risiken für das PCB durch Kurzschluss (Fehlerfortschreitung) zu vermeiden. Anschließend FKT Test.
2. Fehlerdiagnose:
Zuerst FKT Test um die Funktionsgruppe zu isolieren. Anschließend wird zur Diagnose eine Liste von verdächtigen Komponenten mit dem Power-OFF Test durchgemessen.

Besonders attraktiv sind diese Kombilösungen für Branchen in der Elektronik nicht in enormer Masse repariert oder produziert wird wie z.B. spezielle Reparaturwerkstätten, Energieversorger, Bahn oder Militärapplikationen.

Die Firma LX Instruments bietet, basierend auf der flexiblen modularen OTP² Offene Testplattform Funktionstestsysteme an, welche einfach konfiguriert werden können. Einer der Modulbausteine ist die ASA-Funktion. Zusätzliche Software wie z.B. die Reparaturplatz Plugins für die LX Instruments SW Suite ermöglichen die komfortable Kombination von Power ON und Power OFF Tests.

Quelle für Bilder:

Abb. 2-6: Huntron Inc. USA

Alle anderen Abbildungen: StanTronic Instruments GmbH

Über die vorgestellten Produkte

Weitere Informationen finden Sie bei [StanTronic Instruments](#). Wir führen Ihnen diese Lösungen gerne auch in Form einer persönlichen Web-Demonstration vor und beantworten Fragen zu den Besonderheiten Ihres Prüflings.



StanTronic Instruments GmbH

+49 (0) 7031 - 410089 – 12

info@stantronic.com

<http://stantronic.com/Circuit-Board-Debugging/>

Über den Autor



Hanns Jochen Honecker ist Diplom Ingenieur. Er hat langjährige Erfahrung in der Reparatur von Messgeräten sowie im Aufbau und in der Programmierung von Produktions-Test-Systemen.

Besuchen Sie sein Profil [LinkedIn](#) oder [Xing](#)