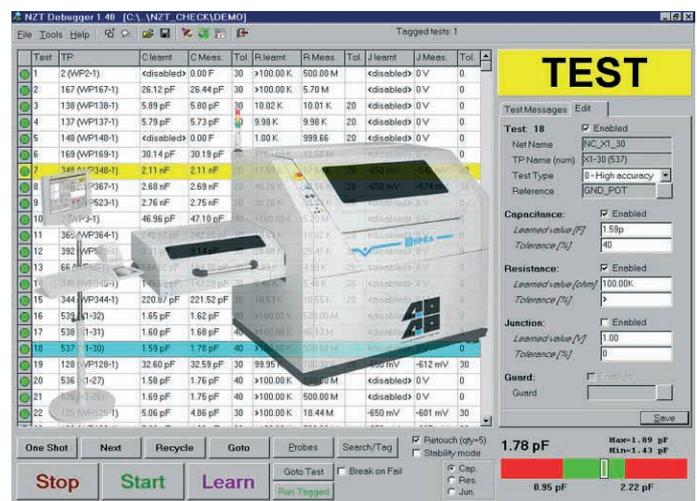


Genauigkeit und Bedeutung von Kapazitätsmessungen

Zusammenhänge zwischen Genauigkeit der Kapazitätsmessungen und Testschärfe bei Netztests

Durch die Anwendung der Methode Netztest [1] wurde die Testzeit der Flying-Probe-Tester erheblich reduziert und zugleich die Testschärfe erhöht. Somit konnte der Anwendungsbereich dieser Testsysteme von dem Prototypentest auch auf den Fertigungstest erweitert werden. Als eine der wesentlichen Eigenschaften des von der Siemens AG patentierten Verfahrens gilt dabei die Messung der Netzkapazitäten. In diesem Beitrag wird der Einfluss der Genauigkeit der Kapazitätsmessungen auf die Testschärfe bei der Anwendung eines Netztests behandelt. ANTUN VUKSIC,

UWE WINKLER



Dr.-Ing. ANTUN VUKSIC
Manager Test Engineering
Antun.vuksic@siemens.com

Siemens AG
I&S IT PS 8 MCH
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München
T +49/89/636-49659
F +49/89/6374315

UWE WINKLER
Vertriebsleiter/Sales Manager
winkler@spea-ate.de

SPEA GmbH
Schützenweg 62
35418 Buseck
T +49/6408/5006-18
F +49/6408/7425

Die Kapazitätswerte der getesteten Netze einer Baugruppe sind repräsentativ für die Summe der Netzleitungslänge (1) und dem Gesamtwert der IC-Pin kapazitäten (2):

$$CL=Lxc' \dots L \text{ ist die Leitungslänge in cm; } \quad (1)$$

c' ist der Kapazitätsbelag in pF/cm

$$C-IC=Cic1+Cic2+Cic3+\dots \text{ Summe aller C-Werte für IC-Pins (Eingänge und Ausgänge) am Netz} \quad (2)$$

Bei der Bestimmung der Toleranzen für die Messungen der Netzkapazitäten sind folgende Fragen von Bedeutung:

- ▶ Wie genau und stabil sind die Spezifikationswerte des Testers bei Kapazitätsmessungen?
- ▶ Wie sieht die Varianz (bzw. Streuung) der Netzkapazitäten der geprüften Baugruppen während der fortlaufenden Fertigung aus?
- ▶ Was bringt eine Erhöhung der Messgenauigkeit in Bezug auf die Fehlererkennung und Fehlerdiagnose?

Ein stabiler Fertigungsprozess mit geringen Fertigungstoleranzen (u.a. niedrige Streuung der Leiterplattenabmessungen) und die Verwendung von ICs des gleichen Herstellers sind die besten Voraussetzungen für die Bildung eines sehr schmalen

Streubereichs der Netzkapazitäten. Somit ist klar, dass eine sehr hohe Genauigkeit des Testers vorzugsweise unter solchen Umständen zum Tragen kommen kann. Um die Bedeutung der Genauigkeit der C-Messungen beim Netztest zu bewerten, werden in diesem Beitrag zunächst die Mindestanforderungen für die Short-Erkennung betrachtet. Anschließend werden die Auswirkungen der C-Toleranzen auf die Diagnose der Short-Fehler beschrieben. Schließlich wird der Zusammenhang zwischen der Genauigkeit der C-Messung und der Testschärfe beim IC-OPEN Test beleuchtet.

Short-Erkennung bei hochohmigen Netzen

Prozentualer Fehler bei der Messung der Netzkapazitäten

Die Messungen der Netzkapazitäten bei hochohmigen Netzen (kein Widerstand zwischen Netz und Ground/Potential) ermöglichen die Erkennung der Shorts zwischen zwei beliebigen Netzen (Abb.1). Beim Short zwischen Netz A und Netz B mit Netzkapazitäten CA und CB wird der Wert auf beiden Netzen auf CA+CB erhöht. Die Abbildung 1 zeigt die Wahrscheinlichkeitsverteilung (pdf, probability density function) für Gut- und Short-Fall. Die Grundlage für die Short-Erkennung liefert die Tatsache, dass an einem der beiden beteiligten Netze zumindest eine Verdoppelung vom ursprünglichen Wert zu beobachten ist.

Anders ausgedrückt: Falls die obere Auswertungsgrenze den doppelten Gut-Wert nicht erreicht, ist die Erkennung des Short an mindestens einem Netz abgesichert:

$$CA_{\text{-max}} < 2 \times CA \quad (3)$$

$$CB_{\text{-max}} < 2 \times CB \quad (4)$$

D.h., dass die Short-Erkennung sogar bei einer pos. Toleranz von +95 Prozent (bezogen auf den Referenzwert) noch funktioniert.

Diese Feststellung ist beruhigend in Bezug auf die oft gespannte Terminalsituation, da beim Debugging der Sollwerte ein großer Toleranzbereich zur Verfügung steht.

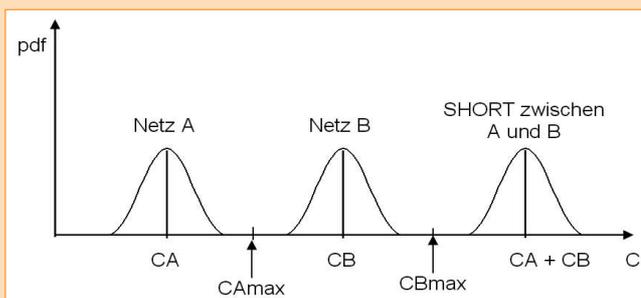


Abb. 1:
Die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Netzkapazitäten für Short zwischen Netz A und B

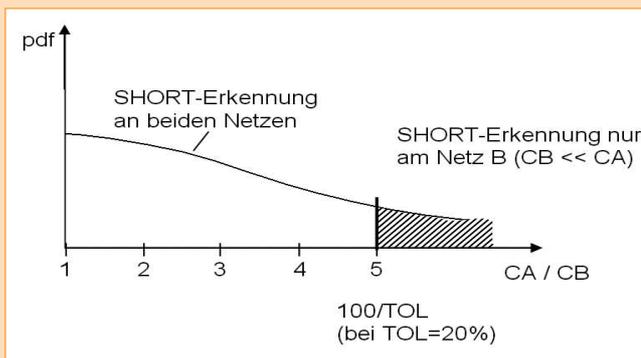


Abb. 2:
Darstellung der Bereiche der Short-Erkennung

Obwohl der Spielraum für die obere Grenze relativ groß ist, kann eine Verbesserung der Genauigkeit (pos. Toleranz) zu positiven Auswirkungen bei der Short-Diagnose führen. Dies wird später gezeigt.

Offsetfehler bei der Messung der Netzkapazitäten

Reale Netze bestehen aus Leitungen mit angeschlossenen ICs und/oder Zweipolen (R/L/C-Bauteilen). Die resultierenden Netzkapazitätswerte liegen deshalb meistens im Bereich von 4 bis 200 pF und darüber. Die Netze ohne Leitungen und ICs (z.B. nicht belegte Steckerpins) erreichen jedoch extrem niedrige C-Werte knapp über 0 pF. Falls zwei solche Netze im Short beteiligt sind, kann dieser Fehler in bestimmten Fällen nur unter Aktivierung der Short-Standardtestschritte für diese Netze erkannt werden.

Für die Definition der Menge „Netze mit kleinen Netzkapazitäten“ ist nicht nur der C-Wert maßgebend, sondern auch die Testergenauigkeit um den Null-Wert (häufig als Offset-Fehler bezeichnet): ▶

$$2 \times CA < C_{\text{off}} \quad (5)$$

$$2 \times CB < C_{\text{off}} \quad (6)$$

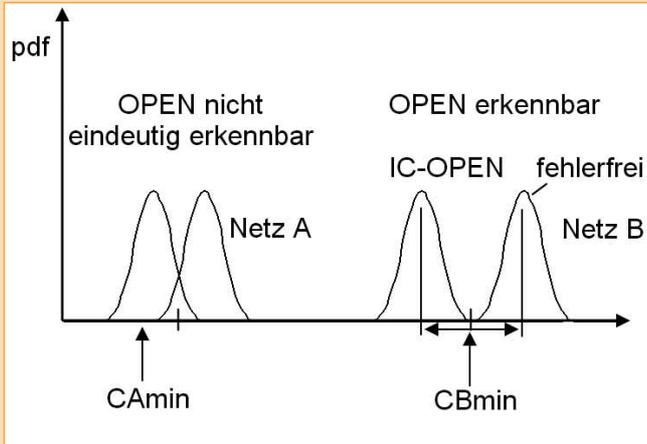


Abb. 3: Die pdf-Darstellung für die Netzkapazitäten für Open-Netz A und B

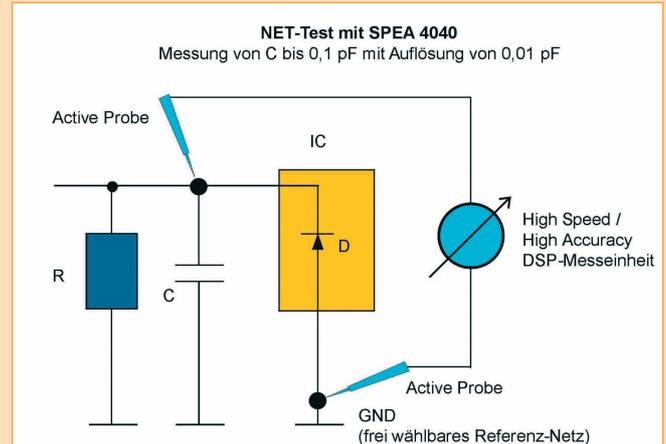


Abb. 4: DSP-Messeinheit

Bei Erfüllung der oberen Bedingungen für beide Netze A und B ist der Tester mit einem Offset-Fehler Coff nicht in der Lage, den Short mit Sicherheit zu erkennen.

Bemerkung

Für Tester mit Coff kleiner 0,5 pF wird die Bedeutung für diese „Lücke“ in der Testschärfe durch folgende Tatsachen relativiert:

- ▶ Die Wahrscheinlichkeit für Short an einem Netzpaar mit sehr kurzen Leitungslängen und ohne Bauteile ist wesentlich geringer als für „normale“ Netzpaare.
- ▶ Solche Netze haben häufig keine Bedeutung für die Funktion der getesteten Baugruppe

Je kleiner der Wert Coff eines Testers, umso geringer ist der Anteil der Netze, die dem Bereich „Netze mit kleinen Netzkapazitäten“ zugeordnet werden können. Daraus resultiert auch die Bedeutung eines möglichst kleinen Offsetfehlers des Flying-Probe-Testers bei C-Messungen in Zusammenhang mit Netztests.

Vorteil enger positiver Toleranzen

Da auch bei großzügig ausgefallenen positiven Toleranzen für die Messwerte der Netzkapazitäten die Shorts erkannt werden, stellt sich die berechtigte Frage:

Welchen Grund hat der Anwender des Flying-Probe-Testers, von hohen Toleranzwerten im Bereich von z.B. 70 Prozent in Bereiche von 20 Prozent oder sogar weniger (falls machbar) umzusteigen?

Bei guter Fertigungsqualität erscheint ein Short in den meisten Fällen als Einzelfehler (ein Fehler pro Baugruppe). Somit ist die direkte Diagnose der beiden beteiligten Netze dann möglich, wenn die beiden Cmax-Werte durch die Einwirkung vom Short überschritten sind. Dies hängt von den Toleranzen ab:

$$CA+CB > (1+TOL/100) \times CA \rightarrow CB/CA > TOL/100 \quad (7)$$

$$CA+CB > (1+TOL/100) \times CB \rightarrow CA/CB > TOL/100 \quad (8)$$

Daraus folgt, dass im Fall $CA/CB > TOL/100$ und zugleich $CB/CA > TOL/100$ eine direkte Erkennung der beiden im Short beteiligten Netze gewährleistet ist. Falls CB immer den kleineren Wert darstellt, ist auch die Erkennung am Netz B immer möglich (für $TOL < 100$ Prozent). Für Werte CA kleiner $100 \times CB/TOL$ sind folglich beide Netze erkennbar. Die Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für die Wahrscheinlichkeitsverteilung für CA/CB und die qualitative Bedeutung für die Menge der Shorts, die im Einzelfehlerfall direkt erkennbar sind.

Worin liegt der Vorteil dieser Diagnose? Als Diagnosehilfsmittel im Fehlerfall verwendet der Netztest die Short-Testschritte (Literatur [2] und [3]) der benachbarten Leitungen für Netze mit fehlerhaft hohen Netzkapazitäten. Diese werden nur im Fehlerfall

und nur für fehlerhafte Netze ausgeführt, so dass der Zeitverlust bei üblicher Fertigungsqualität (Anteil der guten Baugruppen im Bereich von 80 bis 98 Prozent) unerheblich ist. Somit wird also die Diagnose der entfernten Leitungen (die Fehlererkennung dieser Shorts stellt ebenfalls die Verbesserung der Testschärfe zum Standardtest dar) nicht unterstützt. Gerade die Diagnose dieser Fehler wird mit der oben beschriebenen Eigenschaft erleichtert, und zwar umso mehr, je höher die Genauigkeit der C-Messungen (pos. Toleranz) ist.

Folgerungen aus der Erhöhung der Messgenauigkeit der Netzkapazitäten im negativen Toleranzbereich

Eine fehlerhafte Reduzierung der Netzkapazitäten basiert bekanntlich auf zwei Ursachen:

- a) Reduzierung der Leitungslänge durch die Leitungsunterbrechung
- b) Reduzierung der Anzahl der IC-Pins (Ein- und Ausgänge) durch IC-Open-Fehler oder fehlende ICs.

Die erste Fehlerart ist nur bei Baugruppen mit manuell realisierten Änderungsdrähten realistisch. Die Prüfung der unbestückten Leiterplatten sowie die sehr geringe Wahrscheinlichkeit für eine Leitungsunterbrechung im Fertigungsprozess bewirken, dass dieser Fehler in der Praxis meist keine Rolle spielt. Die Erkennung von IC-Open-Fehlern ist im Gegensatz dazu von großer Bedeutung beim Baugruppenfertigungstest. Die Wahrscheinlichkeitsverteilungskurven

in Abbildung 3 zeigen die qualitativ unterschiedlichen Auswirkungen von IC-Open-Fehlern.

Bei hoher Genauigkeit der Flying-Probe-Testsysteme und stabilen Netzkapazitäten im Gut-Fall der getesteten Baugruppen ist ein hoher Grad der Fehlererfassung für Open-Fehler mit NET-Test unter folgenden Bedingungen erreichbar:

- ▶ enge negative Toleranz zum Sollwert
- ▶ klare Trennung der pdf-Flächen für den Gut-Fall und IC-Open (Abb. 3)

Sichere Erkennung von Open Pins durch Kapazitätsmessung

Das Prüfverfahren NET-Test des Flying Probe-Testsystems SPEA 4040 basiert auf den Grundlagen eines Patents der Siemens AG München. Prinzipiell wird bei einer zu testenden Baugruppe immer eine Impedanzanalyse aller Schaltungsknoten gegen einen Referenzpunkt durchgeführt. Dabei werden drei Kenngrößen betrachtet: Widerstand, Kapazität und Dioden (Halbleiterstrecken).

Anhand von CAD-Daten werden die theoretisch zu erwartenden Werte für die einzelnen Netze errechnet und mit Hilfe einer Gut-Baugruppe (Golden Board) verifiziert, wobei ggf. eine minimale Anpassung der errechneten Kenngrößen vorgenommen wird. Diese Werte werden mit einer Toleranz beaufschlagt und als Sollwerte für den Test von weiteren Baugruppen abgespeichert.

SPEA 4040 ist mit Active-Probes zur direkten Signalaufnahme ausgestattet. Das Messsignal wird unmittelbar in der Nähe des Prüflings aktiv aufbereitet, ohne dass es über lange Leitungen zum Messmodul übermittelt werden muss. Durch Kapazitäts-, Widerstands- und Halbleitertests werden die charakteristischen Eigenschaften aller Netze einer Baugruppe im Detail überprüft.

Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der Messung von Kapazitäten zu. Der SPEA 4040 verfügt über eine High-Speed-/High-Accuracy-DSP-Messeinheit (Abb. 4), die in Kombination mit den Active-Probes problemlos kleine Kapazitäten bis 0,1 pF messen kann. Die Auflösung bei diesen Messungen liegt bei 0,01 pF. Durch diese hochgenauen Kapazitätsmessungen

werden Open Pins – auch an Busstrukturen – sicher und präzise erkannt. Ist ein IC-Pin nicht angelötet, so reduziert sich der Kapazitätsbelag an dem Netz – abhängig von den angeschlossenen Bausteintypen – um ca. 5 bis 7 pF. Diese Kapazitätsänderung wird vom SPEA 4040 sicher erfasst und diagnostiziert.

Für die Reparatur der Baugruppe werden alle NET-Test-Fehler, die nicht durch Kurzschlüsse verursacht werden (Kapazität kleiner als erwarteter Wert), in einer anschließenden Analyse betrachtet. Es wird dabei eine Gewichtung auf Bauteilebene vorgenommen.

Je mehr Pins eines Bauteils fehlerhaft sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Bauteil für den Fehler verantwortlich ist. Diese Information mit Prozentangabe ist eine große Hilfe zur Lokalisierung der fehlerhaften Bauteile an Busstrukturen.

Auch alle Arten von Kurzschlüssen stellen für den SPEA 4040 kein Problem dar. Eine eindeutig reproduzierbare Erkennung ist in jedem Fall sichergestellt.

Weitere wesentliche Merkmale des SPEA NET-Test:

Wahl alternativer Referenznetze

Im Gegensatz zu anderen NET-Test-Verfahren bietet SPEA die Möglichkeit der Wahl alternativer Referenznetze, so dass bei Nichteignung des ursprünglich gewählten Netzes problemlos auf ein alternatives Netz umgestellt werden kann.

Analog Testplan Optimization

Bei der kombinierten Durchführung eines analogen ICT-Prüfprogramms mit NET-Test wird das ICT-Testprogramm drastisch reduziert. Der analoge Prüfplan wird automatisch um Bauelementetests reduziert, die bereits mit NET-Test abgedeckt sind.

Fault Detection

Bei durch NET-Test erkannten Fehlern (Netzfehler) werden die exakten Fehlerursachen auf Bauteilebene lokalisiert, indem automatisch gezielte Tests im ICT-Prüfprogramm durchgeführt werden. Hier- ▶

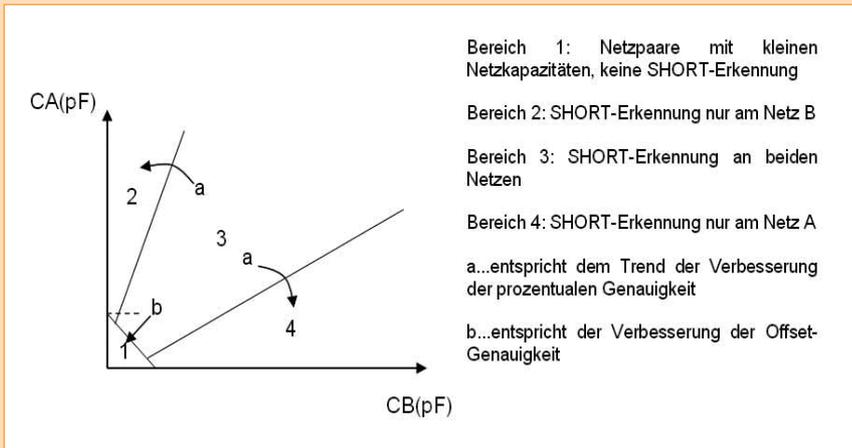


Abb. 5: Erkennungs- und Diagnosebereiche für Short-Fehler

bei werden alle Bauelemente geprüft, die an diesem Netz kontaktiert sind.

Optimierte Verfahrenwege

Auch bei NET-Test erfolgt – wie beim analogen Testplan – eine automatische Optimierung der Verfahrenwege zur Testzeitreduzierung.

Golden Board Detection

Diese Funktion erlaubt die sichere Bestimmung einer Gut-Baugruppe (Golden Board) ohne Verlust und Fehlerschlupf bezogen auf Kurzschlüsse. Hierdurch wird bereits von der ersten Musterbaugruppe an eine bis dato unerreichte hohe Prüfabdeckung gewährleistet.

Validierung

Es können alternative Werte und Eigenschaften für bestimmte Netze festgelegt werden, so dass unterschiedliche Chargen oder Bauteile verschiedener Hersteller erkannt und entsprechend berücksichtigt werden.

Test von Feldrückläufern

Defekte Baugruppen aus dem Feld können effizient mit dem SPEA 4040 getestet werden. Hier werden Defekte an den Eingangs- und Ausgangsbeschaltungen von digitalen und analogen ICs eindeutig erkannt. Die Ein- und Ausgänge der Schaltkreise werden im Hinblick auf geänderte Signaturwerte analysiert.

Zusammenfassung

Im Gegensatz zum Standardtest, erkennt der Flying-Probe-Test in Verbindung mit NET-Test auch die Shorts der entfernten Netze und erhöht somit die Testschärfe für diese Fehlerart auf 100 Prozent. Wie beschrieben, kann die Diagnose der Shorts zwischen entfernten Netzen durch genauere Messungen der Netzkapazitäten im positiven Toleranzbereich erheblich verbessert werden.

Die in diesem Beitrag beschriebenen Auswirkungen der C-Messgenauigkeit beim Netztest definiert durch

- ▶ Pos. Toleranz (pt)
- ▶ Neg. Toleranz (nt)
- ▶ Offset (off)
- ▶ Prozentualer Testerfehler (prozfehl)
- ▶ Fertigungstoleranzen für die Netzkapazitäten (pdfmin, pdfmax)

zeigen die Notwendigkeit für das Verständnis der messtechnischen Zusammenhänge, wenn es sich um die Effizienz der Testsysteme und Testprogramme für Flying-Probe-Test handelt. Deshalb ist die getrennte Behandlung der beiden Toleranzwerte zu empfehlen:

$$pt = pdfmax + off + prozfehl \quad (9)$$

$$nt = pdfmin - off - prozfehl \quad (10)$$

Der Wertebereich zwischen pdfmin und pdfmax entspricht dem Gut-Bereich des Prüflings. Dazu werden noch die Fehler-

anteile des Testers „off“ und „prozfehler“ berücksichtigt.

Die Rolle der Genauigkeit der Flying-Probe-Tester bei Messungen der Netzkapazitäten und die relevanten Trends zeigt zusammenfassend die Abbildung 5.

Mit den gezielten Maßnahmen

- ▶ hohe Testergenauigkeit für C-Werte durch die Anwendung der speziellen Messeinheit für NET-Test
- ▶ automatische Erfassung und Verarbeitung der netzbezogenen statistischen Parameter (pdf) während der fortlaufenden Fertigung

kann die Wirksamkeit vom Netztest im Fertigungsprozess erheblich erweitert werden. Diese Schritte wurden von SPEA mit Hilfe von High-Speed- / High-Accuracy-DSP-Messeinheit am Flying-Probe-Tester 4040 mit Erfolg realisiert. ■

Literatur

- [1] Spea, Buseck: Einsatz von Flying Probern jetzt auch für große Serien, EPP 9/2001, Seiten 58 bis 59
- [2] A. Vuksic: Baugruppentest mittels Flying Prober, EPP 9/1998, Seiten 60 bis 68
- [3] A. Vuksic: Netztest verbessert Flying-Probe-Test, Testkompendium 2003

Dieser Beitrag als PDF und weiterführende Informationen (ähnliche Beiträge, technische Daten, Direktlinks zum Hersteller etc.) sind online verfügbar auf www.duv24.net.

more @click TEG01513 >

How to use

more click !

1. www.duv24.net
2. „more@click“-Code in Suchfeld eingeben
3. Beitrag aufrufen und weiterführende Informationen (ähnliche Beiträge, technische Daten, Direktlinks zum Hersteller etc.) auf www.duv24.net recherchieren.