

# Wie Steckverbinder dimensioniert werden können

*Welche EMV-Eigenschaften müssen Steckverbinder haben, um Störbeeinflussungen zu widerstehen?*

GUNTER LANGER\*



Bild: ANGA Messe

hängige Störfähigkeit von Störgeneratoren enthalten sein.

Diese Zusammenhänge werden am Beispiel eines LVDS-System erläutert

## Physikalische Wirkmechanismen als Grundlage

Die Beeinflussung von Interface-Systeme erfolgt im wesentlichen in den Steckverbindern. Sie erfolgt über klare physikalische Wirkmechanismen, die den Beeinflussungsvorgang beschreiben. Demzufolge kann man aus ihnen die elektromagnetisch verträgliche Konstruktion der Steckverbinder ableiten. Leider sind heutzutage die Konstruktionsprinzipien nicht an diesen Wirkprinzipien ausgerichtet. Der daraus folgende Stand der Technik sind Steckverbinder mit mangelhaften Eigenschaften in Bezug auf Störfestigkeit und Störaussendung. Für die Störfestigkeit wurde das in Vergangenheit durch entsprechend redundante Elektroniksysteme ausgeglichen. Die Anforderungen an Schnelligkeit und Sicherheit sind gestiegen, so das Steckverbinder mit höherer EMV-Qualität erforderlich sind.

Die Beeinflussung von Signalleitungen im Steckverbinder erfolgt nach den Induktionsgesetz (1).  $u_{\text{ind}} = d\Phi/dt = L di_{\text{stör}}/dt$  (Gl. 1)

Der magnetische Fluß  $\Phi$ , der zwischen den Masse-(Schirm-)Kontakten und dem Signalstift hindurchtritt, induziert die Spannung  $u_{\text{ind}}$  in dem Signalstift. Der Fluß  $\Phi$  wird vom Störstrom  $i_{\text{stör}}$  erzeugt, der vom Kabelmantel kommt und über die Massekontakte des Steckverbinders fließt. Die Induktivität  $L$  ist der Parameter für die EMV-Qualität des Steckverbinders. Je dichter das Massekontaktsystem konstruktiv ausgeführt ist, um so geringer ist die Induktivität  $L$  und die induzierte Spannung  $u_{\text{ind}}$  in den Signalstiften. Ziel ist es, die Induktivität so klein zu halten, dass die induzierte Spannung unter der Signalstörschwelle liegt. Wenn der Steckverbinder aus einem vollkommen geschlossenem durchgehenden Metallmantel besteht, ist die Induktivität Null. Die Induktivitätswerte von

**EMV-Dimensionierung:** Steckverbinder gegen Burst und ESD-Störungen schützen

**W**ie müssen Steckverbinder ausgelegt werden, um Störeinkopplungen wie Burst und ESD zu beherrschen? Wie kann die Störfestigkeit von Steckverbindern spezifiziert werden? Welchen Wirkmechanismen folgt die Beeinflussung? Interfacesysteme wie USB, LVDS, Ethernet oder CAN und daraus abgeleitete Echtzeitsysteme und geräteinterne Signalverbindungen wie Daten / Adressbussysteme besitzen eine bestimmte Resistenz gegenüber Störeinflüssen. Die Schwachstellen in den Signalketten sind die Steckverbinder. Jedem Steckverbinder läßt sich eine EMV-Kenngröße zuordnen. Diese Kenngröße ist die Koppel-

induktivität. Sie ist eine allgemeingültige Konstante, die in ihrem Wert nur von der Metallkonstruktion des Steckverbinders abhängig ist. Für jede Bauform eines Steckverbinders lässt sich diese Konstante ermitteln. Die verschiedenen Datenübertragungssysteme besitzen auf Grund ihrer unterschiedlichen Schaltschwellen, Störschwellen und Sicherungsmaßnahmen entsprechend unterschiedliche Anforderungen an den Wert dieser Konstante.

Wenn sowohl die notwendigen Induktivitätswerte für die Anforderungen und die Induktivitätswerte der infrage kommenden Steckverbinder vorliegen, ist eine zielsichere EMV-Dimensionierung möglich. Basis der Anwendung wird eine entsprechende Datensammlung [1] sein, die über einen entsprechenden Zeitraum aufgebaut und ständig ergänzt werden muss. In der Datensammlung sollten ebenfalls Werte für die typab-



\* Gunter Langer  
... ist Geschäftsführer bei Langer EMV  
in Bannewitz.

Elektroniksteckverbindern liegen im Bereich von 1 pH bis 10 nH. Der Wert der Induktivität ist fest dem Aufbau der Metallkonstruktion des Steckverbinders verbunden.

Symetrische Leitungspaare (Bild 1, 2, a, b) besitzen zwei Möglichkeiten der Spannungsinduktion.

$$u_{ind} = u_{COM} = d\Phi/dt = L_{COM} di_{Stör}/dt \text{ (Gl. 2)}$$

Eine Gleichtaktspannung Bild 1, 3 und Gleichung (2) wird in beiden Signalstiften a, b gleichermaßen induziert, wenn das Magnetfeld H zwischen ihnen und dem Massekontakt m hindurchtritt.

Eine Gegentaktspannung Bild 2, 4 und Gleichung (3) wird zwischen beiden Signalstiften a, b induziert, wenn das Magnetfeld H zwischen die Stifte a, b hindurchtritt.

$$u_{ind} = u_{DIF} = d\Phi_{DIF}/dt = L_{DIF} di_{Stör}/dt \text{ (Gl. 3)}$$

Die Spannungsinduktion im Steckverbinder wird von der Induktivität  $L_{COM}$  und  $L_{DIF}$  hervorgerufen. Beide Induktivitätswerte sind für jeden Steckverbindertyp eine konstante Größe, die fest mit seinem konstruktiven Aufbau verbunden ist. Der Anteil des Störgenerators folgt aus seinem  $di/dt$ .

Burst- und ESD-Störimpulse haben unterschiedliche Störwirkung. Um eine allgemeingültige Beschreibung der Beeinflussung zu ermöglichen, muss eine Kenngröße der Störwirkung gebildet werden. Die Kenngröße der Beeinflussungswirkung eines Störgenerators ist sein maximales  $di/dt$ .

Das  $di/dt$  erzeugt nach dem Induktionsgesetz (1,2,3) die Beeinflussung im Steckverbinder. Das Maximum wird im Bereich der Vorderflanke des Störpulses bei idealem Kurzschluss des Generators erreicht. Im Bereich der Anstiegszeit  $T_A$  steigt der Strom des Generators auf  $\hat{I} = \hat{U}_{Gen} / R_{Gen}$  an. Daraus folgt Gleichung 4:

$$(di/dt) = \hat{U}_{Gen} / (R_{Gen} T_A) \text{ (Gl. 4)}$$

Das  $(di/dt)$  ist proportional der Generatorspannung  $\hat{U}_{Gen}$ . Durch Division mit der Generatorspannung ergibt sich die Störwirksamkeit  $k_{GEN}$ :

$$(di_{Stör}/dt) / \hat{U}_{Gen} = 1 / (R_{Gen} T_A) = k_{GEN} \text{ (Gl. 5)}$$

$$\hat{U}_{ind} = L k_{GEN} \hat{U}_{Gen} \text{ (Gl. 6)}$$

Die Konstante  $k_{GEN}$  ist ein Maß für die Störwirksamkeit eines Störgenerators. Die meßtechnisch ermittelten Werte für  $k_{GEN}$  weichen von den berechneten Werten ab. ESD-Generatoren besitzen höhere Werte, die im Wesentlichen durch interne parasitäre Effekte bewirkt werden. Bei Burstgeneratoren sind die Werte kleiner, bedingt durch ein ungünstiges L/R-Verhältnis des Störstromkreises. Für praktische Anwendungen lassen sich Maximalwerte für  $k_{GEN}$  meßtechnisch ermitteln. Dabei muss der Typ der Generators berücksichtigt werden. Die für die Praxis stehen Datensammlungen zur Verfügung [1]. In Tabelle 1 sind Werte angegeben.

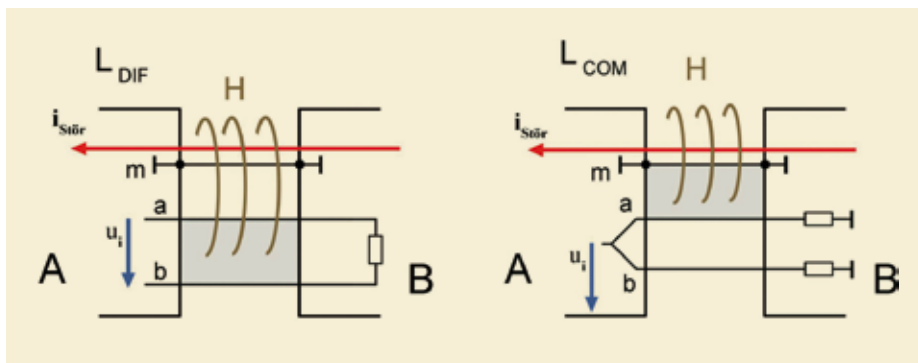
ESD-Generatoren erzeugen zusätzlich zum gewünschten Pulsverlauf hochfrequente Einschwingvorgänge im Bereich 2 bis 3 GHz. [2]. Diese Einschwingvorgänge klingen nach wenigen ns ab. Nur sehr schnelle ICs können durch diese Vorgänge beeinflusst werden (Core Spannungen bei 1 V, Strukturbreiten <100 nm). Der LVDS-Empfänger wirkt wie ein Tiefpass. Er kann nur dem 1-ns-Vorgang folgen und schaltet entsprechend den „LVDS out“.

Der darüberliegende 2,2-GHz-Vorgang erzeugt keine Veränderung des logischen Zustandes am „LVDS out“. Das bedeutet, dass  $k_{GEN}$  Tabelle 1 gültig ist. Für empfindlichere ICs besitzt dieser ESD-Generator einen Wert, der etwa doppelt so hoch ist ( $k_{GEN}$  ca. 7 A/ns kV). Mit derartigen IC ausgerüstete Geräte reagieren empfindlicher.

### Die Störeinkopplung im symmetrischen Leitungssystem

LDIF und LCOM koppeln unterschiedlich Spannung in das LVDS-System. Diese Spannungen stoßen auf zwei unterschiedliche Signalstörsschwellen:

Gegentaktspannung  $u_{DIF}$ : Schaltschwelle  $U_{schwelle} = 360 \text{ mV}$



**Bild 1 und 2:** Induktion einer Gleichtaktspannung im symmetrischen Leitungspaar a, b (links) und einer Gegentaktspannung (rechts)

00213303-001  
62.0 mm x 270.0 mm

# Alles zuerst online!

www.elektronikpraxis.de



Wussten Sie schon, dass alle Fachartikel der **ELEKTRONIKPRAXIS** Redaktion zuerst online erscheinen? Bleiben Sie auf dem Laufenden und verschaffen Sie sich einen Informationsvorsprung mit **www.elektronikpraxis.de**.

Sie finden dort außerdem:

- Whitepaper
- Webcasts
- Business Clips
- Firmendatenbank
- Messeinterviews
- Bildergalerien
- u.v.m.

Schauen Sie doch mal rein!

---> **www.elektronikpraxis.de**

**ELEKTRONIK  
PRAXIS** | Wissen.  
Impulse.  
Kontakte.

Generatortyp	$R_{GEN}$ [ $\Omega$ ]	$T_A$ [ns]	$k_{GEN}$ [A/ns kV] aus $1/R_{GEN} \cdot T_A$	$k_{GEN}$ [A/ns kV] aus gemessenem $di/dt$	Delta
Burst	50	5	4	1,4	-75%
ESD	330	1	3	3,5	+15%

**Tabelle 1:** Berechnete und gemessene Werte für  $k_{GEN}$ . Die Bedingungen für die gemessenen Werte: Die ESD-Pistole wurde direkt auf eine Metallfläche aufgesetzt. Der Burstgenerator besaß ein 50 cm langen externen Leitungsstromweg.

RJ45 Stecksystem	$L_{DIF}$ [pH]	$L_{COM}$ [pH]
Buchse	10...100	400...800
Stecker mit Kabelschirmauflage	5...500	50...4000
Steckkontakte	0,8...30	50...200

**Tabelle 2:** Wertebereich der meßtechnisch ermittelten Koppelinduktivität für RJ45 Stecksysteme, Stand 2010

	Burst 2 kV, mit $k_{GEN}$ 1,4 A/ns kV	ESD CD: 6 kV, mit $k_{GEN}$ 3,5 A/ns kV
$L_{DIF}$ [pH], Schwelle: 360mV	260	35
$L_{COM}$ [pH], Schwelle: 2,5V	900	120

**Tabelle 3:** Aus Bild 7 und 8 entnommene Grenzwerte der Koppelinduktivitäten für 2 kV Burst und 6 kV ESD CD für Bitfehlerzeugung

$\hat{U}_{GEN}$ [kV]	$T_f$ [ns]
1	6,8
1,5	74

**Tabelle 4:** Bitzerstörung TZ bei Burst auf einen CAT 5E Kabelstecker

Gleichtaktspannung  $u_{COM}$ : Begrenzungsspannung der Schutzdioden  $\rightarrow U_{Diode} = 2,5$  bis 5 V

Das Gegentakt-Störersignal Bild 4 ist dem 1 GBit-Gegentakt-Nutzsignal überlagert (C1, C2). Die Differenzspannung ist im Kanal M1 = C2-C1 dargestellt. Für M1 liegt die Schaltschwelle bei 0 Volt, dann haben beide Signale in Summe 360 mV zurückgelegt. Wenn die eingekoppelte Differenzspannung die LVDS Signale um 360 mV reduziert (M1 = 0V), entstehen Bitfehler. Am Ausgang (M2) des LVDS-Empfängers ist der zerstörte Datenstrom erkennbar.

## Wenn die Datenübertragung frei von Bitfehlern sein soll

Bei Gleichtaktstörungen Bild 3 liegt die Störschwelle wesentlich höher. Das Störersignal muss erst die Schaltschwelle der Schutzdioden erreichen. Die Dioden schließen dann die Datensignale kurz, so dass kein Datenempfang möglich ist. Bei Burst entsteht eine Differenzspannung, die nahezu Null ist. Bei ESD setzen sich hochfrequente Einschwingvorgänge der ESD-Pistole durch.

Wenn die Schutzdioden leitfähig werden, geht die Anpassung verloren. Es entstehen Reflexionen, die nach der Laufzeit periodisch Bitfehler wiederholen. Das Störschwellenverhältnis von DIF zu COM liegt etwa bei 1:10. Wenn Datenübertragungssysteme bitfehlerfrei sein sollen, dürfen keine Störspannungen eindringen, die diese Bitfehler erzeugen können. Das heißt, die Koppelinduktivität der Steckverbinder muss so klein sein, dass der standzuhaltende Störstrom des Störgeräts lediglich Spannungen kleiner der

Störschwelle in den Datenleitungen induziert.

$$\hat{U}_{ind} = \hat{U}_{DIF} < U_{Schwelle} = 360 \text{ mV}$$

$$\hat{U}_{ind} = \hat{U}_{COM} < U_{Diode} = 2,5 \text{ bis } 5 \text{ V (Gl. 7)}$$

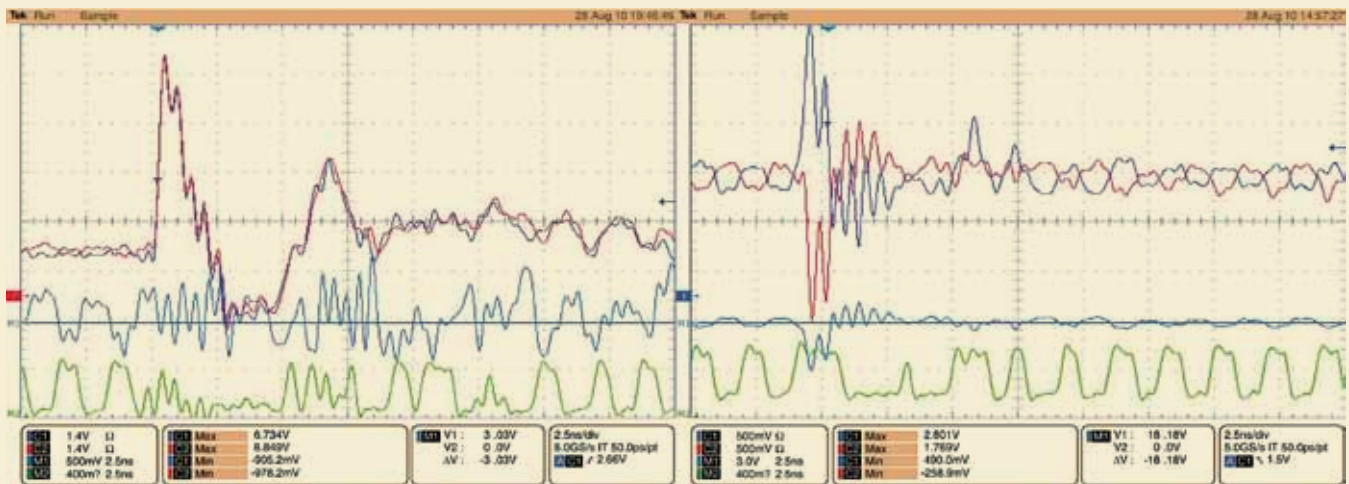
Derartige Systeme können Daten-/Adressbussysteme oder spezielle Echtzeitsysteme sein. Die erforderlichen Induktivitätswerte lassen sich aus der Signalstörschwelle  $U_{Schwelle}$  des Datensystems, der standzuhaltenden Generatorspannung  $\hat{U}_{Gen}$  und der Störfähigkeit  $k_{GEN}$  des Generators berechnen (worst case). Aus Gleichung 6 entsteht:

$$L = U_{Schwelle} / (k_{GEN} \hat{U}_{Gen}) \text{ (Gl. 8)}$$

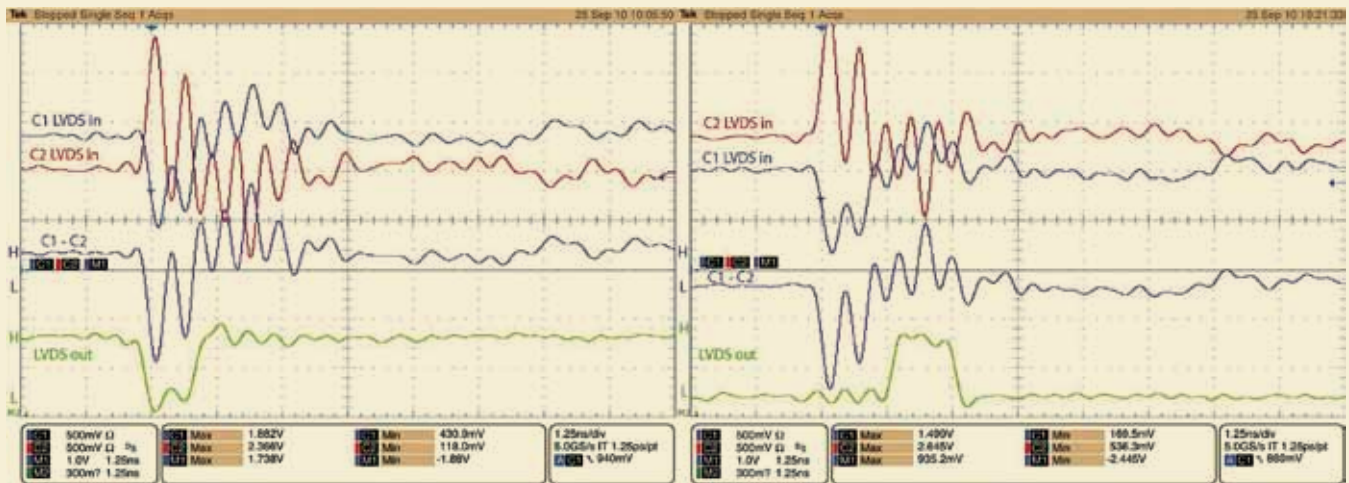
Im Vorfeld der Elektronikentwicklung kann aus der geplanten Störfestigkeit (ESD und BURST in kV) der entsprechende Steckverbinder über seine Koppelinduktivität ausgewählt werden. Vorausgesetzt wird, dass für die infrage kommenden Steckverbinder die Werte der Koppelinduktivität zur Verfügung stehen [1]. Das gilt auch für interne Datenleitungen ohne Fehlersicherung. Das sind meist Einzelleitungen, die im Geräteinneren über Board-zu-Board-Steckverbinder führen. Die Störschwelle entspricht der Schaltschwelle der verwendeten Logikfamilie [3].

## Die Funktionstüchtigkeit hängt vom Steckertyp ab

Aus dem Induktivitätswertebereichen für RJ45-Stecksysteme Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass RJ45-Steckkontakte über den Gegentakteinkoppelpfad ESD-CD Spannungen von 7 bis >30 kV und über den Gleichakteinkoppelpfad 14 bis >30 kV standhalten. Die Buchsen sind wesentlich schlechter. Die Kabelstecker können typabhängig bereits bei



**Bild 3 und 4:** 1 Gbit LVDS-System, Gleichtakt-Störeinkopplung über einen Steckverbinder mit  $L_{COM} = 1 \text{ nH}$ . Der Strom eines 2 kV ESD- Impulses induziert die Spannung  $u_{COM} = C_1, C_2$  (links) und Gegentakt-Störeinkopplung über einen Steckverbinder mit  $LDIF = 2 \text{ nH}$ . Der Strom eines 0,5 kV ESD- Impulses induziert die Spannung  $u_{DIF} = M_1 = C_2 - C_1$ .



**Bild 5 und 6:** Wirkung eines direkt in den Empfängersteckverbinder eingekoppelten 0,2 kV ESD-Impulses auf den LVDS-IC im Signalzustand H (links) und L (rechts)

<0,2 kV Burst gestört werden, sie können auch >8 kV Burst halten. Am Beispiel Burst erkennt man, dass die Funktionstüchtigkeit heutzutage dem Zufall der Typauswahl überlassen wird.

### RJ45-Stecksysteme ohne Fehlersicherung

Das trifft zu, wenn RJ45-Stecksysteme für Datenübertragung ohne Fehlersicherung verwendet werden. Die Werte in Tabelle 3 zeigen die Maximalwerte der Gesamtinduktivität des Stecksystems für die Bitfehlergrenze. Sie gelten ohne Reservefaktor. Der Reservefaktor liegt bei >1,2.

Für sichere Systeme kann eine Reserve von Faktor 10 angestrebt werden. Für HF-Einkopplung sind die Zusammenhänge aus den Gleichungen (1) und (6) ableitbar:  

$$U_{\text{schwelle}} = I_{\text{Stör}} \omega L / \sqrt{2}$$

Die Gleichung gilt im Bereich der Scheitels der HF-Stromes  $I_{\text{Stör}}$ . Je weiter der Zeitverlauf des Störstromes die Schwelle überschreitet, um so größer werden die Bitzerstörungen. Praktisch kann die HF-Stromeinkopplung nach der BCI-Methode erfolgen.

Der Störstrom wird, bevor er in diese Steckverbinder eindringen kann, im Geräteverlauf abgeschwächt. Ein Gerätefaktor kann das berücksichtigen [3]. Ohne diesen Faktor kann eine Worst-Case-Abschätzung erfolgen. Die Koppelinduktivität eines Borad-zu-Board-Steckverbinders ist von seiner Masse- und Signalbelegung abhängig. [3] (...)

Lesen Sie online mehr über verschiedene Strategien, die Bitfehler vermeiden, erkennen und korrigieren. //HEH

Langer EMV: +49(0)351 4300930

### Literaturhinweis:

- [1] Datensammlung Langer EMV-Technik GmbH
- [2] Fachzeitschrift ELEKTRONIK Auflage 5/2010
- [3] Firmenschrift: Steckverbinder Koppelinduktivität, Stand Dezember 2007
- [4] Firmenschrift: EMV-Anforderungen und Prüfverfahren zum Test der Pulsstörfestigkeit von ICs und ASICs

### InfoClick

■ Langer EMV: Produktportfolio

www.elektronikpraxis.de

InfoClick 2561860