

# EMV - elektromagnetische Verträglichkeit Teil 21

**Aspekte für das Schaltungsdesign von Überspannungsschutz-Schaltungen sowie konkrete Schaltungsausführungen beschreibt der vorliegende Artikel**

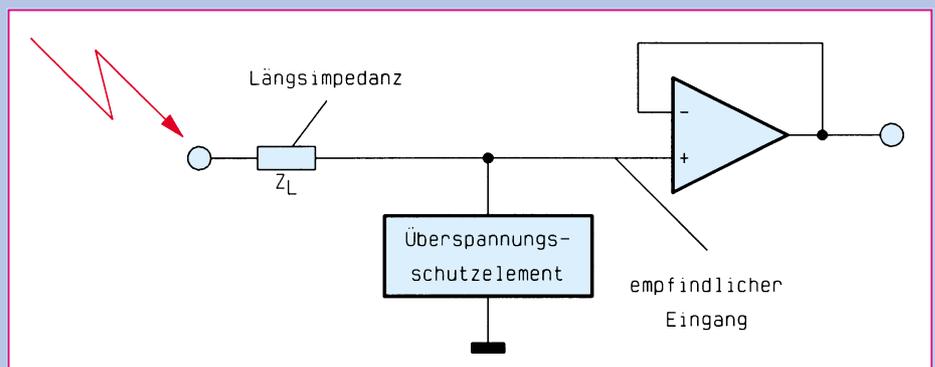
## Allgemeines

Nachdem wir im vorangegangenen Artikel dieser Serie die verschiedenen Überspannungsschutz-Bauelemente betrachtet haben, sollen nun konkrete Schutzschaltungen aufgezeigt werden. Auch wollen wir zeigen, wie ein in Halbleitern integrierter ESD-Schutz auf den Level der einschlägigen Störfestigkeitsnormung erweitert werden kann.

## Schutzschaltungen für Signal- und Dateneingänge

Abbildung 7 zeigt die einfachste Art einer Überspannungsschutz-Schaltung, die

aber dennoch vielfach zur Anwendung kommt.



**Bild 7: Prinzip der Überspannungsschutz-Schaltung für empfindliche Signaleingänge**

Als Überspannungsschutzelemente können hier einfache Dioden, Z-Dioden oder auch Transil-Schutzdioden sowie Varistoren zur Anwendung kommen.

Da der Spannungsbereich dieser Schutzelemente sehr genau vorgegeben ist, eignet sich diese Schutzschaltungsvariante besonders gut zum Schutze von empfindlichen Halbleitereingängen gegen statische Elektrizität. Zu beachten ist hierbei, wie auch schon im vorangegangenen Artikel erwähnt, die teilweise recht hohe Eigenkapazität der Schutzelemente und die sich hieraus ergebende Signal-Grenzfrequenz.

Weiterhin ist die Leiterbahnführung entsprechend zu wählen, so daß es nicht zu Überschlügen direkt auf den empfindlichen Eingang kommt.

Viele Halbleiter, wie z. B. CMOS-Logikbausteine und auch einige Operationsverstärker (z. B. TL 27 L 2 C) sind an ihren Eingängen mit einem Überspannungsschutz (ESD-Protection-Circuits) ausgestattet.

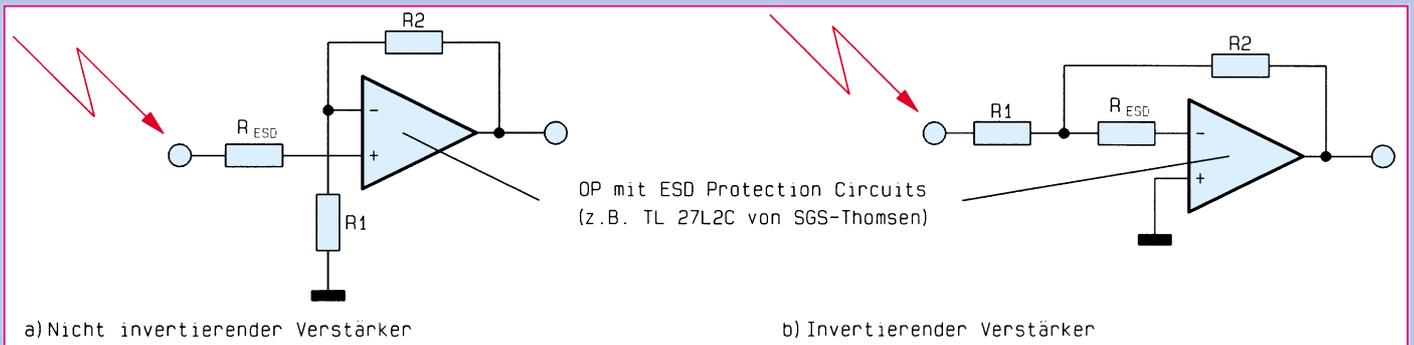
In der Regel ist hiermit ein Überspannungsschutz von bis zu 2 kV ESD gewährleistet, ohne daß eine zusätzliche Beschaltung erforderlich ist.

Die aktuellen EMV-Normen verlangen jedoch eine ESD-Prüfung mit  $\pm 8$  kV bei Luftentladung bzw.  $\pm 4$  kV bei Kontaktentladung. Sollen nun ungeschützte, von außen zugängliche Signaleingänge mit den beschriebenen geschützten Halbleitern realisiert werden, so muß der Überspannungsschutz erweitert werden.

Abbildung 8 zeigt, wie mit einfachen Widerständen (Längsimpedanzen) die ESD-Festigkeit auf den geforderten Level angehoben werden kann.

Aufgrund der hohen Eingangswiderstände bei CMOS-Operationsverstärkern wie dem TL 27 L 2 C führt das Hinzuschalten des Serienwiderstandes  $R_{ESD}$  in der Regel nicht zu funktionellen Einschränkungen. Insbesondere bleibt die Grenzfrequenz der OP-Verstärkerschaltungen weitgehend unverändert.

Die Praxis hat gezeigt, daß mit einem Widerstand  $R_{ESD}$  von 47 k $\Omega$  schon ein



**Bild 8: Erhöhung der ESD-Festigkeit bei Operationsverstärkern**

ausreichender ESD-Schutz von  $\pm 8$  kV erzielt wird. Um eine ausreichende Sicherheit zu haben, aber auch um die schaltungstechnischen Einflüsse möglichst klein zu halten, ist ein Widerstandswert für  $R_{ESD}$  im Bereich zwischen  $56\text{ k}\Omega$  und  $100\text{ k}\Omega$  ein guter Kompromiß.

Wird der ESD-Schutz beim invertierenden Verstärker (Bild 8b) über einen zusätzlichen Widerstand  $R_{ESD}$  realisiert, so kann weiterhin unabhängig hiervon die Verstärkung mit  $R_1$  und  $R_2$  vorgegeben werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß auch der Widerstand  $R_2$  einen ausreichend großen Wert hat, da sonst bei kleinen Werten von  $R_1$  der OP-Ausgang im Falle einer Überspannung Schaden nehmen könnte.

Selbstverständlich kann auch der Widerstand  $R_1$  bei entsprechender Dimensionierung die Funktion von  $R_{ESD}$  übernehmen.

Abbildung 9 zeigt die Variante zur Erhöhung der ESD-Festigkeit bei CMOS-Logikbausteinen.

Wie bei allen Überspannungsschutz-Schaltungen ist auch beim ESD-Schutz eine möglichst niederohmige impedanzarme Ableitung des durch die Spannungsbegrenzung entstehenden Stromimpulses von großer Wichtigkeit. Ein Stromimpuls von einigen Ampere, wie er bei der ESD-Prüfung entstehen kann, führt bei ungeeigneter Masseführung schon zu erheblichen Pegelverschiebungen, was bei Prozessor-systemen oft zum Absturz oder gar zu einem Defekt führt. Abbildung 10 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Bei der ESD-Prüfung an der BNC-Buchse (Masse) entsteht ein Impulsstrom von ca.  $35\text{ A}/5\text{ ns}$ , der über die Leiterplattenmasse, Verschraubung, Gehäuse und schließlich kapazitiv zur Koppelplatte ab-

fließt. Bei einem realistischen Leiterplatten-Massewiderstand von nur  $0,1\ \Omega$  entsteht bereits ein Spannungsabfall von  $3,5\text{ V}$  (!), was eine Fehlfunktion oder gar eine Zerstörung der Schaltung zur Folge haben kann.

### Schutzschaltungen für die Netz-versorgungs- oder Ferndatenlei-tungen

Bei räumlich weit ausgedehnten Netzen, wie z. B. unserem Stromversorgungsnetz, aber auch dem Telefonnetz besteht grundsätzlich die Gefahr der Überspannung durch direkte Blitzschläge, aber viel öfter auch durch indirekte Blitzeinwirkungen. Weiterhin können auch bestimmte Schalthandlungen in der Netzversorgung Überspannungen hervorrufen.

Hierbei handelt es sich, im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen energiearmen Überspannungen, bedingt durch Entladung statischer Elektrizität um energiereiche Überspannungen mit Energie von bis zu  $300\text{ Joule}$ .

In der EMV-Normung finden wir diese Störfestigkeitsanforderung in der EN 61000-4-5 (Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen). Hier wird mit Prüfspannungen von bis zu  $4\text{ kV}$  und Kurzschlußströmen von maximal  $2\text{ kA}$  getestet. Um diese Überspannungsimpulsenergien auf unkritische Werte zu verringern, sind schon relativ leistungsfähige Überspannungsschutz-Elemente erforderlich.

Hauptsächlich kommen hier edelgasgefüllte Überspannungsableiter aber auch entsprechende Varistoren zum Einsatz. Wegen ihrer robusten Konstruktion und der extrem kleinen Ableitwiderstände im gezündeten Zustand benötigen edelgasge-

füllte Überspannungsableiter keine strombegrenzenden Längsimpedanzen.

Beim Einsatz in Versorgungsnetzen (auch Netzwechsellspannung) ist jedoch zu beachten, daß der einmal durch Überspannung gezündete Ableiter niederohmig bleibt, solange der Stromfluß anhält, d. h. ohne den Einsatz von Sicherungselementen würde nach einer aufgetretenen Überspannung ein Kurzschluß in der Netzversorgung verbleiben.

Abbildung 11 zeigt eine Überspannungsschutzschaltung, wie sie vielfach in Telefonnetzen Verwendung findet.

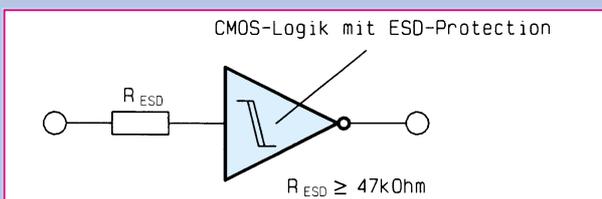
Zum Einsatz kommt hier ein sogenannter zweistufiger Überspannungsschutz, bestehend aus einem Grobschutz und einem Feinschutz. Der Grobschutz wird gebildet durch den am Eingang befindlichen Doppel-Überspannungsableiter A 1. Es handelt sich hierbei praktisch um zwei in Reihe geschaltete Überspannungsableiter, wobei der mittlere gemeinsame Anschluß auf Erdpotential liegt.

Es werden also sowohl positive als auch negative Überspannungen auf den Leitungen  $L_a$  und  $L_b$  nach Masse kurzgeschlossen.

Ein Sicherungselement vor dem Überspannungsableiter ist hier nicht erforderlich, da der Schleifenstrom im Telefonnetz (ca.  $20\text{ mA}$ ) unterhalb des „Haltstromes“ der Überspannungsableiter liegt, d. h. nach einem Zündvorgang setzt die Rekombination unmittelbar ein, und der Überspannungsableiter wird wieder hochohmig. Die Ansprechzeit des Überspannungsableiters liegt üblicherweise im  $\mu\text{s}$ -Bereich.

Da empfindliche Halbleiter in der Regel innerhalb von einer ns durch Überspannung zerstört werden können, ist ein weiterer, schnell ansprechender Schutz, ein sogenannter Feinschutz erforderlich. In der vorliegenden Schaltung wird dieser Feinschutz mit Hilfe der Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  in Verbindung mit den bidirektional wirksamen Varistoren  $R_1$  und  $R_2$  gebildet.

Auch hier werden sowohl positive als auch negative Überspannungen auf den Leitungen  $L_a$  und  $L_b$  begrenzt. Anstelle der



**Bild 9: Erhöhung der ESD-Festigkeit bei CMOS-Logikbausteinen**

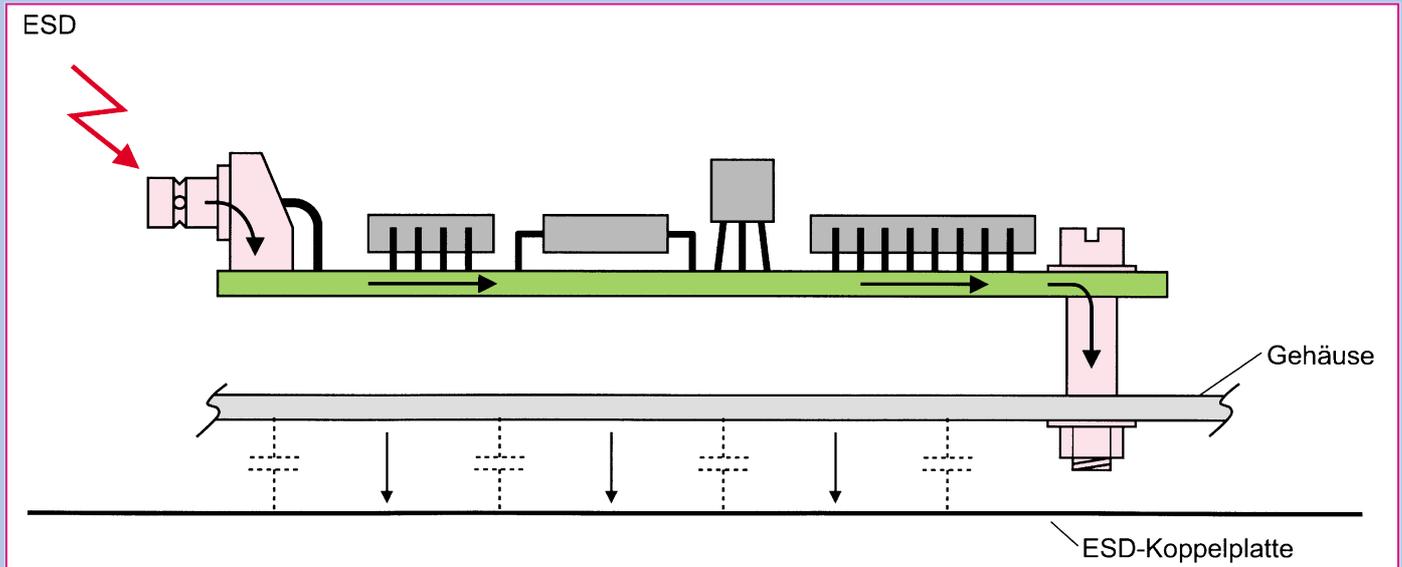


Bild 10: Fehlfunktion bei der ESD-Überspannung bedingt durch zu große Ableitwiderstände

Varistoren können auch entsprechende bidirektionale Transil-Schutzdioden Verwendung finden.

Die genaue Funktionsweise einer mehrstufigen Überspannungsschutz-Schaltung soll anhand der Schaltung aus Abbildung 12 erörtert werden. Beim Auftreten einer Überspannung wird aufgrund der kürzesten Reaktionszeit durch die Suppressor- oder auch Transil-Schutzdiode zuerst eine Spannungsbegrenzung unmittelbar am Eingang des empfindlichen Gerätes vorgenommen. In den ersten wenigen Nanosekunden (ns) wird somit der Überspannungsschutz nur durch dieses Halbleiterbauelement gewährleistet. Nach ca. 20 bis 30 ns beginnt der Varistor zu leiten und nimmt eine Spannungsbegrenzung auf ca. 100 V vor.

Reaktionszeit und Begrenzungsspannung des Varistors müssen so bemessen sein, daß die Transil-Schutzdiode nicht überlastet wird. Nach Ablauf von einigen

Mikrosekunden ( $\mu$ s) zündet der Überspannungsableiter, und die Sicherung SI 1 unterbricht die Spannungsversorgung. Auch hier muß wiederum gewährleistet sein, daß der Varistor bis zum Zündzeitpunkt des

Überspannungsableiters nicht überlastet wird. Im folgenden Teil dieser Artikelserie stellen wir abschließend zum Thema Überspannungsschutz zwei bewährte Schutzschaltungen vor. **ELV**

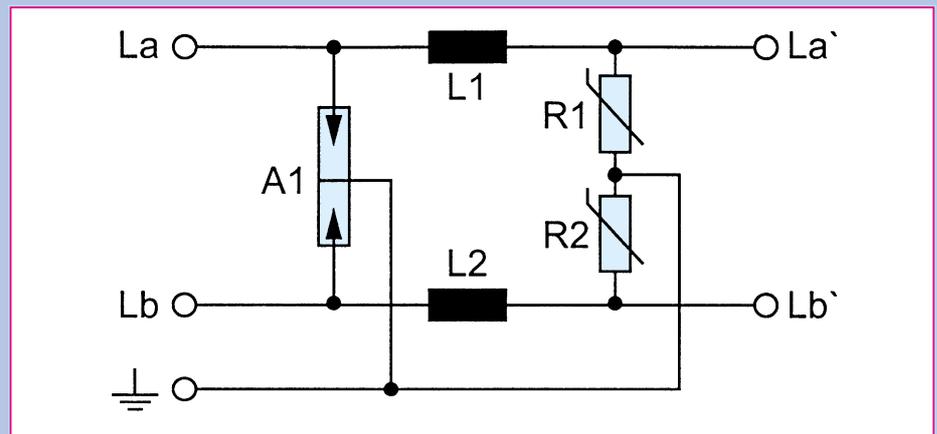


Bild 11: Überspannungsschutz-Einrichtung für das Telefonnetz

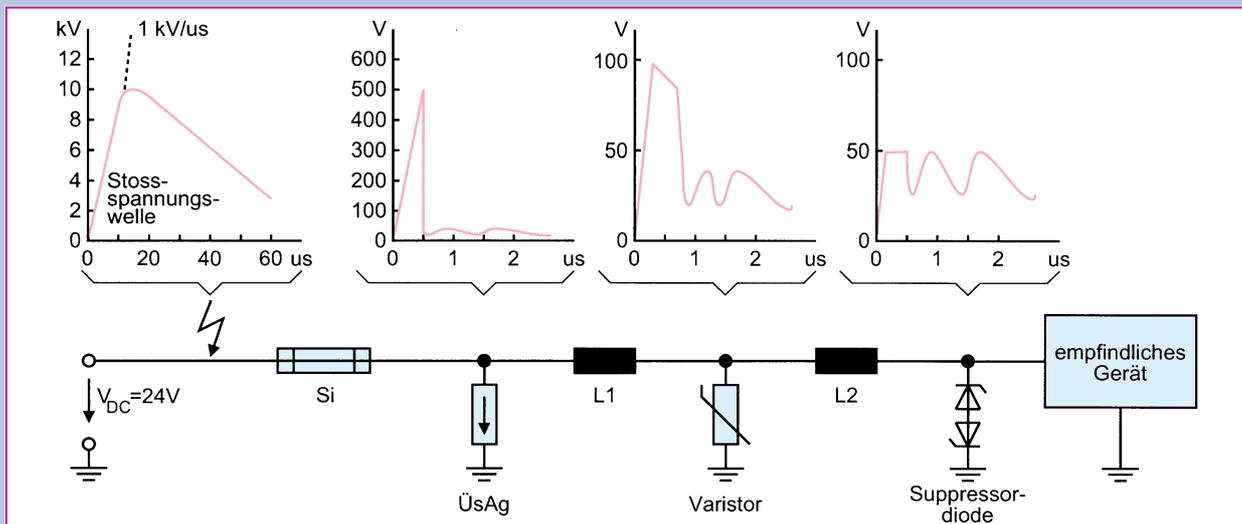


Bild 12: Dreistufige Überspannungsschutz-Schaltung (Staffelschutz)