Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 2

Artikel: Äussere, einschränkende Einflüsse auf den Einsatz von VLSI-Bausteinen

Autor: Silberhorn, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905199

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

A. Beeinflussung von Fernmeldeanlagen

Äussere, einschränkende Einflüsse auf den Einsatz von VLSI-Bausteinen

Von A. Silberhorn

1. Allgemeines

Seit Erfindung des Transistors hat die Halbleitertechnik beachtliche Fortschritte zu verzeichnen.

Wurden bis 1960 vornehmlich diskrete Bauelemente auf Leiterplatten eingesetzt, so findet man ab 1963 schon einfache Transistorkombinationen als logische Gatter auf einem Siliziumkristall, und 1968 folgten bereits Schaltungen mit 100 Transistoren und mehr in der neuen MOS-Technologie. Heute lassen sich bereits 50 000 Schaltelemente auf einen Chip von wenigen Quadratmillimetern vereinen, und 1980 werden die Gross- und Grösstintegration 1 Million und mehr Gatterfunktionen auf einem reduzierten Chip konzentrieren.

Dieser enorme Fortschritt über SSI-, MSI-, LSI-Technik in der Halbleiterkonzentration lieferte die Voraussetzungen für modernste Digitaltechnik, für Mikroprozessoren, Mikrospeicher und Mikrocomputer.

Die Anwendung wurde dabei insbesondere von der Kostenentwicklung forciert. Innerhalb der letzten 14 Jahre ist der Preis pro Funktion praktisch um den Faktor 1000 gefallen.

Darüber hinaus wenden die Industrienationen beträchtliche Mittel auf, um insbesondere die neueste Stufe der Integration, die VLSI-Technik, voranzutreiben. Wie kann diese extrem hochgezüchtete Technologie angesichts der elektrischen Umwelt auch eingesetzt werden?

2. Beeinflussungsmechanismen

Halbleiterelemente sind infolge ihrer hohen Packungsdichte und ihrer niederen Versorgungs- und Schwellspannungen erhöhter Beeinflussung ausgesetzt, die Fehler im Schaltverhalten bewirken und leider sehr häufig zur Zerstörung führen kann.

Dabei ist zunächst zwischen äusseren und inneren Beeinflussungen zu unterscheiden.

Äussere Beeinflussungen treten durch direkte, induktive, kapazitive oder ohmsche Einwirkung in hochintegrierte Halbleiterschaltungen auf oder gelangen durch die Zuführung (Schaltkreise, Stromversorgung, Masseverbindung) zum hochempfindlichen Chip. Hierzu zählen Auswirkungen von Kurzschlüssen, Schaltstösse durch Ab- oder Zuschalten leistungsstarker Verbraucher, atmosphärische Entladungen sowie die in den Zuführungen eingekoppelten kapazitiven (Freileitungen) und induktiven (Hochspannungsleitungen, Bahntraktionen) Beeinflussungen. Weitere mögliche Einwirkungen drohen durch UV- und Röntgenstrahlen (z. B. ReProms), durch Rundfunkbeeinflussung (an Freileitungen) und unter besonderen Bedingungen durch den EMP.

Die innere Beeinflussung kann innerhalb einer elektronischen Baugruppe oder auf einem Halbleiterchip durch Schalten induktiver Kreise, durch Funkenüberschlag, durch Kurzschluss oder ebenfalls durch induktive und insbesondere durch kapazitive Beeinflussung auftreten.

3. Zulässige Grenzen der Beeinflussung

Bei elektrisch betriebenen Bahnlinien und Energieleitungen können in eng benachbarten, parallel verlaufenden Fernmeldekabeln dauernd hohe Fremdspannungen auftreten (16⅔ bzw. 50 Hz, bis zu 100 V und mehr). Aus Gründen des Personenschutzes sind jedoch laut VDE 0228, Teil 1, ohne Übertragerabschluss für Freileitungen und Kabel nur 65 V zulässig. Mit Übertragern steigt diese Grenze für Freileitungen jedoch auf 125 V und für Kabel auf 250 V. Diese hohen Werte können bei Weitverkehrskabelstrecken mit Fernspeisung induziert werden und dort z. B. ungeschützte Verstärker mit hochintegrierten Halbleiterelementen beeinträchtigen. Wie in Tabelle 2, VDE 0228, ersichtlich, liegen im Ortsverbindungsverkehr die Grenzwerte für verschiedene Systeme der Vermittlungstechnik aus Gründen der Funktionssicherheit niedriger (Wählimpulsverzerrung, Gesprächsauslösung).

Höhere Ströme und steilere Wellenfronten treten beim Blitz auf. Sie können erfahrungsgemäss bis zu 300 und 500 kA reichen; üblicherweise ist jedoch von einem durchschnittlichen Blitzstrom von 50 kA und von einer Steilheit zwischen 1 und 5 kV/µs auszugehen. Für direkte Einwirkungen auf nachrichtentechnische Einrichtungen und Kabel erübrigt sich die Diskussion, aber die induktive und kapazitive Einwirkung auf Fernmeldeleitungen zeigt noch beachtliche Grössen. So sind aufgrund der bisher bekannten [1] Messergebnisse bei jedem Gewitter im Mittel etwa 20 Überspannungsimpulse über 30 V und wie mehrjährige Erfahrungen zeigen [2] davon einige sogar über 1000 V zu erwarten.

Was die Beeinflussung durch Rundfunksender angeht, so ist diese vornehmlich durch ihre kapazitive Komponente wirksam, und es kann ihr durch entsprechende Schirmdämpfung bzw. frequenzabhängige Filter begegnet werden. Beeinflussungen durch UV- und Röntgenstrahlen betreffen in der

MOS-Technik vornehmlich hochintegrierte Speicherelemente in Sonderausführung (SAMOS-Transistoren), können jedoch auch bei entsprechendem Energieinhalt andere integrierte Halbleiterelemente beeinträchtigen.

4. Auswirkung der Beeinflussung auf hochintegrierte Halbleiterbausteine

Halbleiterbausteine können durch z. B. infolge des Gate-Oxid-Durchbruches, infolge thermischer Vorgänge, des Lawinen- und zweiten Durchbruches sowie durch andere Auswirkungen beschädigt werden.

Der Durchbruch des Gate-Oxids in MOS-FET wird durch einen elektrostatischen Durchschlag an einer Stelle des Gate-Oxids verursacht, wobei der dabei auftretende Lichtbogen ein Loch (in µm-Grösse) ins Oxid brennt, das sich mit Material der Gate-Elektrode auffüllt. Damit ergibt sich ein niederohmiger Pfad zwischen Gate und Channel, wodurch auch eine Diode entstehen kann. Geht man bei heutiger LSI-Technik für MOS-FET von einer Oxidstärke von d = 60 nm aus, und zieht man als erforderliche Durchbruchsfeldstärke 5...10 MV/cm [3] ins Kalkül, so erhält man eine Durchbruchspannung von ~44 V. Weiter wurde im Experiment nachgewiesen, dass ein Durchbruch stattfindet, wenn eine Energie von zumindest 1,72...2,54 µJ in einer MOS-Struktur umgesetzt wurde. Diese sogenannte statische Durchbruchspannung berücksichtigt jedoch noch keine kurzzeitigen Impulse mit höherer Spannung. In der Literatur [4] gibt es jedoch Hinweise zum Durchbruchsprozess, die besagen, dass Impulse von mehr als 1 µs Dauer keine merklichen Einflüsse ausüben. Viele MOS-Bausteine enthalten Gate-Schutzdioden, die ebenso überlastet werden können. Diese Vorgänge sind einerseits auf «hot spots» in den Grenzübergängen (p-n), anderseits durch Lawinendurchbruch im Falle gesteuerter Dioden [5] zu erklären.

Thermische Vorgänge treten in Halbleitern infolge des Stromdurchganges in p-n-Übergängen, Kanälen, Oberflächenverbindungen und herausführender Verdrahtung auf. Mit steigender Temperatur können bleibende Schäden durch Materialabschmelzungen oder durch unbeabsichtigte Legierung entstehen. Diese Effekte können sowohl durch Überhitzung an den p-n-Übergängen ($T_{s\,Al}$ = 675 °C, T_{Si} = 1400–1500 °C) auftreten wie auch durch Selbsterhitzung der Aluminium- oder Goldverdrahtung. Bei beiden lässt sich eine kritische Stossbelastungskonstante definieren, die dem Produkt aus Leistung $P\sqrt{t}$ proportional ist [5]. Bei der Anschlusskontaktierung spielt noch die beträchtliche, unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit von Silizium und SiO_2 eine bedeutende Rolle. Für spannungsabhängige Widerstände, Thermistoren und Photozellen bestehen ebenso Grenzen der Erwärmung durch die Strombelastung, hier jedoch an keinem Grenzübergang, sondern im Material selbst. Ihre Belastbarkeit liegt für hochstromfeste Elemente etwa zwischen 100 mJ und 100 J [6].

Der Lawinendurchbruch wird durch auftretende Überspannungen an einem Übergang hervorgerufen, wobei ab der Durchbruchspannung der übliche kleine Sperrstrom plötzlich ansteigt. Bei diesem Vorgang können die Valenzelektronen derart beschleunigt werden, dass lawinenartig Ladungsträger sich gegenseitig freistossen. Dadurch verändern sich die Eigenschaften von MOS-FET und die planarer, bipolarer Transistoren.

Bei allen Transistoren tritt ein zweiter Durchbruch auf, wenn diese oberhalb ihrer Nennwerte betrieben werden. Im Grenzübergang entstehen dabei Bereiche hoher Stromdichte durch Überspannungen. Nach etwa 1 ms Aufheizung treten sogenannte «hot spots» auf, so dass der zweite Durchbruch zu Schäden führt infolge der Beanspruchung mit einer Dauer von einigen 100 µs.

Andere Auswirkungen ergeben sich durch Entladungen auf der Chipoberfläche selbst, durch parasitäre Effekte bei sogenannten «floating transistors» infolge von Ladungsverdichtung durch unterschiedliche Oberflächenverhältnisse sowie durch die Korrosion von Anschlussverdrahtungen nicht wasserdichter, stark phosphorhaltiger Kunststoffgehäuse.

5. Schutzmassnahmen

Gegen die äusseren Einwirkungen sind Schutzmassnahmen bereits bei der Halbleiterherstellung und dem -einbau vorzusehen sowie in Form eines sogenannten integrierten Schutzes (On-chip/Off-chip, zumindest jedoch innerhalb der Geräteeinheit) und in Form eines vorgeschalteten Schutzes zu ergreifen. Der letztere soll gegen Dauerbeeinflussung von Energieleitungen (z. B. Kabel mit verbindlichem Reduktionsfaktor, ARS) wie auch gegen Kurzzeitbeeinflussung als Grobschutz (z. B. ÜsAg, Zener-Dioden, Filter) wirken.

Der integrierte Schutz muss mit unterschiedlicher Zielsetzung geplant und zunächst auf dem Chip selbst vorgesehen werden. Hierzu bieten sich an [9]:

– Für Spannungsbegrenzung: Ein Element, das die Spannungen unterhalb der Oxid-Durchbruchspannungen begrenzt. Hierfür werden horizontale n-p-n-Übergänge mit dünner Oxidschicht über dem Eingang benutzt, wobei das Gate mit dem Substrat kurzgeschlossen wird.

– Für Leistungsbegrenzung: Ein Element, das die Entladungsenergie ableitet. Hierzu eignen sich eindiffundierte Dioden oder Widerstände oder horizontale n-p-n-Übergänge mit dicker Oxidschicht.

– Für niedere Eingangskapazität: Hierzu eignen sich ebenfalls eindiffundierte Widerstände oder Kapazitäten.

– Eine andere Schutzschaltung kann auf dem Chip auch durch eine Kombination von MOS-FET und MOS AB (metal oxide stimulated avalanche breakdown device) erreicht werden, was dem Effekt einer gesteuerten Zenerdiode gleichkommt.

Neben diesem On-chip-Schutzelement gibt es für die verbleibenden integrierten Schutzmassnahmen noch eine grosse Auswahl von Elementen:

– Halbleiterelemente wie Zenerdioden, Avalanchedioden, Selendiodenanordnungen, Thyristoren sowie getriggerten Thyristoren, Transzorbs

– Varistoren aus Metalloxiden und Siliziumkarbid

– Überspannungsableiter, Kohleableiter, Gasentladungsableiter, Ventilableiter

Eine Gegenüberstellung von Bell [10] zeigt die wichtigsten Kennwerte, Anwendungen und Nachteile.

Gegen elektrostatische Einwirkungen gibt es beim Einbau hochintegrierter MOS-FET-Bausteine folgendes zu beachten:

– MOS-Elemente stets in leitfähiger Umgebung transportieren, lagern, einbauen

– Keine Schaltspitzen, Potentialdifferenzen beim Einlöten

– Einsatz von MOS-Bausteinen mit (isolierten) Gate-Eingängen und strahlungssicherer Kapselung

– Eventuell Kompatibilität mit anderer Logik und Schutz durch optoelektronische Kopplung sicherstellen

– Trennung aller ein- und ausgehenden Leitungen und insbesondere der Leitungen für Versorgungsspannung und Signalführung

6. Überlegungen zum Einsatz von Schutzmassnahmen gegen Beeinflussung

Die Anwendung dieser Schutzmassnahmen und -schaltungen bedarf für jeden Fall sorgfältiger Überlegung und eines technisch-wirtschaftlichen Kompromisses, da ein 100 %-Schutz sehr kostspielig ist. Hinsichtlich der Kurzzeitbeeinflussung wird immer eine Restfehlerwahrscheinlichkeit verbleiben. Ein hochwertiger Schutz muss allein aus Kostengründen in elektronischen Geräten, zentralen Baugruppen oder wichtigen Speichereinheiten vorbehalten bleiben. Andere Baugruppen und Geräte können einer geeigneten Spannungsfestigkeit genügen, die jedoch angesichts der Beeinflussung zumindest bei 1500 V ohne integrierte Schutzelemente liegen soll. CCITT hat hierzu auch eine Prüfwelle festgelegt, die die Zeiten 10/700 µs realisiert.

Literatur

[1] CCITT-Doc 1/V 1975 (Siemens).

[2] CCITT-Doc 5/V 1977 (ITT).

[3] FET Circuit Destruction Caused by Electrostatic discharge IEEE Transaction on Electron.

[4] *N. Klein* und *H. Gafni:* The maximum dielectric strength of thin silicon dioxide films.

[5] *Livingstonde A.W.:* The design and evaluation of integrated surge protectors for the p-channel metal gate MOS process. Research Department Report No. 535 (1976).

[6] General Electric Semiconductor Products: Transient voltage suppression manual (1976).

[7] *Saito Anayama* and *Shikame:* Reliability and failure analysis of semiconductor integrated logic circuits. Review of Electrical Comm. Labs (Japan), Vol. 21, 5–6, 1973 S. 339...349.

[8] *R. Bäuerlein* und *M. Kobale:* Strahlenbeeinflussung von Bauelementen der Elektronik. Internationale Elektronik Rundschau 23 (1969) 3 S. 64–66.

[9] *Francis de la Moneda, David E. Debar, Kenneth P. Stuby* and *Claude L. Bertni:* Hybrid Protective Device for MOS-LSI Chips. IEEE Transactions on parts, Hybrids and Packaging, Vol. PHP-12, No. 3, September 1976.

[10] Bell Labs: EMP engineering and design principles. Bell 1975, Chapter 7.

Adresse des Autors

A. Silberhorn, Postoberrat, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Postfach 5000, D-6100 Darmstadt.

Neubearbeitung der Technischen Empfehlung Nr. 3 der Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen

Von M. Illgen

1. Einleitung

Die Schiedsstelle für Beeinflussungsfragen (SfB) der Bundesrepublik Deutschland erstellt neben der Behandlung aktueller Beeinflussungsprobleme technische Empfehlungen, die dem Anwender von Schutzmassnahmen praktikable Lösungsmöglichkeiten in die Hand geben sollen. Man muss davon ausgehen, dass in den letzten Jahren auf der Energieseite gewaltige Zuwachsraten – Netzerweiterungen und Stromerhöhungen – zu verzeichnen sind und dass auf der Fernmeldeseite mit dem Übergang von der konventionellen Vermittlungstechnik zur Elektronik die Empfindlichkeit der Bauelemente ganz wesentlich gestiegen ist.

Hier einen Konsens zwischen den beteiligten Partnern zu finden, ist Aufgabe der SfB, deren Ergebnis sich u. a. in der Technischen Empfehlung Nr. 3 (TE 3) niederschlagen wird. Genauso wie der Abnehmer elektrischer Arbeit von den Elektrizitätswerken eine gesicherte Stromversorgung verlangt, so möchte auch der Fernmeldekunde der Deutschen Bundespost ein einwandfrei funktionierendes Fernmeldesystem jederzeit benützen können.

2. Veränderung im letzten Jahrzehnt

Seit Beginn der 60er Jahre ist die Deutsche Bundespost – zuerst langsam, jetzt ausschliesslich – dazu übergegangen, genau wie die anderen Versorgungsunternehmen, statt des «erdfühligen» Bleikabels Fernmeldekabel mit isolierender Aussenhülle (PE oder PVC) zu verlegen. Damit hat man sich der Möglichkeit entsagt, an jeder beliebigen Stelle des Fernmeldenetzes, wenn erforderlich, eine Betriebs- oder Schutzerdung vorzusehen. Die Schutzmassnahmen werden aufwendiger. Wegen des Fehlens niederohmiger Erdungen ist in vielen Fällen der zentrale Einsatz von Überspannungsableitern (ÜsAg) in Frage gestellt; unter Umständen sind kostenaufwendige Erdungsanlagen erforderlich.

Der Reduktionstransformator als passives Schaltelement wird bei der DBP nicht mehr eingesetzt. An seine Stelle ist für Dauerbeeinflussung der Aktive Reduktionsschutz (ARS) getreten. Der ARS mit seinem Ankoppeltransformator und dem Breitbandverstärker ermöglicht auch das Kompensieren höherer Frequenzen, wie sie durch oberwellen-«verseuchte» Starkstromnetze in die Fernmeldeleitungen eingekoppelt werden.

Schwierigkeiten treten weiterhin auch bei Näherungen von Fernmeldekabeln an Erdungsanlagen höherer Bauwerke (z. B. Hochspannungsmaste) bei atmosphärischen Entladungen auf. Die Spannungen werden vorwiegend kapazitiv in den unter der Isolierhülle befindlichen Metallschirm eingekoppelt und erreichen zwischen Mantel und Kabelseele im allgemeinen höhere Werte als beim «erdfühligen» Kabel.

Um die Schutzmassnahmen wirtschaftlich zu gestalten, hat man sich entschlossen, unter bestimmten Voraussetzungen den «latenten Adernreduktionsfaktor bei Zündern der Ableiter» (LARZA) gezielt anzuwenden.

3. Neuerungen

Trotz der zunehmenden Schwierigkeiten beim Festlegen eines optimalen Schutzes sollte der Anwender weitgehend nach Art eines Kochrezeptes die Schutzmassnahmen auswählen können. Zusätzliche Berechnungen für die Spannungen an den Endeinrichtungen, für den LARZA und für den Abstand zu Erdungsanlagen höherer Bauwerke werden sich