



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 059 502 A1** 2010.06.10

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 059 502.0**

(22) Anmeldetag: **28.11.2008**

(43) Offenlegungstag: **10.06.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H03K 5/156** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,
US; AMD Fab 36 Limited Liability Company & Co.
KG, 01109 Dresden, DE**

(72) Erfinder:

**Papageorgiou, Vassilios, Austin, Tex., US; Wiatr,
Maciej, 01097 Dresden, DE; Hoentschel, Jan,
01309 Dresden, DE**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80802 München**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

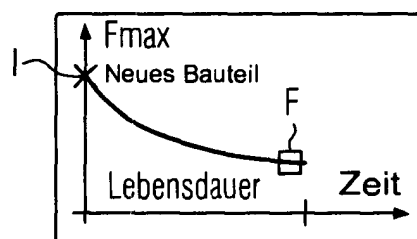
**WO 2007/0 39 516 A1
US 69 03 564 B1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Kompensation der Leistungsbeeinträchtigung von Halbleiterbauelementen durch Anpassung des Tastgrades des Taktsignals**

(57) Zusammenfassung: Die Bauteilleistungsabnahme integrierter Schaltungen wird durch geeignetes Anpassen des Tastgrades des Taktsignals kompensiert. Zu diesem Zweck wird eine Korrelation zwischen dem Tastgrad und den gesamten Leistungseigenschaften der integrierten Schaltung ermittelt und wird während des normalen Anwendungsfalles des Bauelements angewendet, um den Tastgrad zu modifizieren. Somit wird eine effiziente Steuerungsstrategie eingerichtet, da der Tastgrad in effizienter Weise gesteuert werden kann, wobei gleichzeitig eine Änderung der Taktsignalfrequenz und/oder eine Zunahme der Versorgungsspannung nicht erforderlich ist.



Beschreibung

Gebiet der vorliegenden Offenbarung

[0001] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Offenbarung moderne integrierte Schaltungen, etwa CPU's mit kleinsten Transistorelementen und eine Kompensationstechnik zur Verbesserung des Produktleistungsverhaltens.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Die Herstellung moderner integrierter Schaltungen, etwa von CPU's, Speicherbauelementen, ASIC's (anwendungsspezifische integrierte Schaltungen) und dergleichen erfordert die Herstellung einer großen Anzahl an Schaltungselementen auf einer gegebenen Chipfläche gemäß einem spezifizierten Schaltungsaufbau, wobei Feldeffekttransistoren eine wichtige Art an Schaltungselementen repräsentieren, die im Wesentlichen das Leistungsverhalten der integrierten Schaltungen bestimmen. Im Allgemeinen werden eine Vielzahl von Prozesstechnologien aktuell eingesetzt, wobei für viele Arten komplexer Schaltungen mit Feldeffekttransistoren die MOS-Technologie eine der vielversprechendsten Vorgehensweisen auf Grund der guten Eigenschaften im Hinblick auf die Arbeitsgeschwindigkeit und/oder Leistungsaufnahme und/oder Kosteneffizienz ist. Während der Herstellung komplexer integrierter Schaltungen unter Anwendung beispielsweise der MOS-Technologie werden Millionen Transistoren, d. h. n-Kanaltransistoren und/oder p-Kanaltransistoren auf einem Substrat hergestellt, das eine kristalline Halbleiterschicht aufweist. Ein Feldeffekttransistor enthält, unabhängig davon, ob ein n-Kanaltransistor oder ein p-Kanaltransistor betrachtet wird, sogenannte pn-Übergänge, die durch eine Grenzfläche stark dotierter Gebiete, die als Drain- und Sourcegebiete bezeichnet werden, mit einem leicht dotierten oder nicht dotierten Gebiet, etwa einem Kanalgebiet, gebildet sind, das benachbart zu den stark dotierten Gebieten angeordnet ist. In einem Feldeffekttransistor wird die Leitfähigkeit des Kanalgebiets, d. h. der Durchlassstrom des leitenden Kanals, durch eine Gateelektrode gesteuert, die benachbart zu dem Kanalgebiet angeordnet und davon durch eine dünne isolierende Schicht getrennt ist. Die Leitfähigkeit des Kanalgebiets beim Aufbau eines leitenden Kanals auf Grund des Anlegens einer geeigneten Steuerspannung an die Gateelektrode hängt von der Dotierstoffkonzentration, der Beweglichkeit der Ladungsträger und – für eine gegebene Abmessung des Kanalgebiets der Transistorbreitenrichtung – von dem Abstand zwischen dem Sourcegebiet und dem Draingebiet ab, der auch als Kanallänge bezeichnet wird. Somit bestimmt in Verbindung mit der Fähigkeit, rasch einen leitenden Kanal unter der isolierenden Schicht beim Anlegen der Steuerspannung an der Gateelektrode aufzubauen, die Leitfähigkeit des Ka-

nalgebiets wesentlich das Leistungsverhalten von MOS-Transistoren. Da somit die Geschwindigkeit des Erzeugens des Kanals, die von der Leitfähigkeit der Gateelektrode abhängt, und der Kanalwiderstand im Wesentlichen die Transistoreigenschaften festlegen, ist die Reduzierung der Kanallänge – und damit verknüpft die Verringerung des Kanalwiderstands und eine Zunahme des Gatewiderstands – ein wichtiges Entwurfskriterium, um eine Zunahme der Arbeitsgeschwindigkeit der integrierten Schaltungen zu erreichen.

[0003] Gegenwärtig wird der größte Teil der integrierten Schaltungen auf der Grundlage von Silizium auf Grund der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit, der gut verstandenen Eigenschaften des Siliziums und zugehörigen Materialien und Prozesse und der technologischen Erfahrung, die während der letzten 50 Jahre gewonnen wurde, hergestellt. Daher bleibt Silizium mit hoher Wahrscheinlichkeit das Material der Wahl für künftige Schaltungsgenerationen, die für Massenprodukte vorgesehen sind. Ein Grund für die überragende Bedeutung des Siliziums zur Herstellung von Halbleiterbauelementen liegt in den guten Eigenschaften einer Silizium/Siliziumdioxidgrenzfläche, die eine zuverlässige elektrische Isolierung unterschiedlicher Gebiete ermöglicht. Die Silizium/Siliziumdioxidgrenzfläche ist bei hohen Temperaturen stabil und ermöglicht das Ausführen nachfolgender Hochtemperaturprozesse, wie sie z. B. für Ausheizprozesse zur Aktivierung von Dotiermitteln und zum Ausheilen von Kristallschäden erforderlich sind, ohne die elektrischen Eigenschaften der Grenzfläche zu beeinträchtigen.

[0004] Aus den zuvor dargelegten Gründen wird Siliziumdioxid vorzugsweise als Gateisolations-Schicht in Feldeffekttransistoren eingesetzt, die die Gateelektrode, die häufig aus Polysilizium oder metallenthaltenden Materialien aufgebaut ist, von dem Siliziumkanalgebiet trennt. Beim stetigen Verbessern des Leistungsverhaltens von Feldeffekttransistoren wird die Länge des Kanalgebiets zunehmend verringert, um die Schaltgeschwindigkeit und den Durchlassstrom zu verbessern. Da das Transistorleistungsverhalten durch die Spannung gesteuert wird, die der Gateelektrode zugeführt wird, um die Oberfläche des Kanalgebiets in eine ausreichend hohe Ladungsträgerdichte zur Bereitstellung des gewünschten Durchlassstromes bei einer vorgegebenen Versorgungsspannung zu invertieren, ist ein gewisser Grad an kapazitiver Kopplung erforderlich, die durch den durch die Gateelektrode, das Kanalgebiet und das dazwischen angeordnete Siliziumdioxid gebildet wird. Es stellt sich heraus, dass das Verringern der Kanallänge eine Vergrößerung der kapazitiven Kopplung notwendig macht, um das sogenannte Kurzkanalverhalten während des Transistorbetriebs zu vermeiden. Das Kurzkanalverhalten kann zu einem erhöhten Leckstrom und zu einer Abhängigkeit der Schwell-

wertspannung von der Kanallänge führen. Aggressiv skalierte Transistorbauelemente mit einer relativ geringen Versorgungsspannung und damit mit einer geringen Schwellwertspannung weisen eine exponentielle Zunahme des Leckstromes auf, wobei auch eine höhere kapazitive Kopplung der Gateelektrode an das Kanalgebiet erforderlich ist. Daher wird die Dicke der Siliziumdioxidschicht entsprechend verringert, um die erforderliche Kapazität zwischen dem Gate und dem Kanalgebiet zu erzeugen. Z. B. erfordert eine Kanallänge von ungefähr $0,08 \mu\text{m}$ ein Gatedielektrikum aus Siliziumdioxid mit einer Dicke von $1,2 \text{ nm}$. Obwohl im Allgemeinen Transistorelemente mit hoher Geschwindigkeit, die einen äußerst kurzen Kanal besitzen, vorzugsweise für Hochgeschwindigkeitsanwendungen eingesetzt werden, wohingegen Transistorelemente mit einem längeren Kanal für weniger kritische Anwendungen verwendet werden, etwa als Speichertransistorelemente, wenn der relativ hohe Leckstrom, der durch das direkte Tunneln von Ladungsträgern durch eine sehr dünne Siliziumdioxidgateisolationsschicht hervorgerufen wird, einen Wert an für eine Oxiddicke im Bereich von 1 bis 2 nm , der für derartige Schaltungen nicht mehr akzeptabel ist. D. h., die Produktzuverlässigkeit und die Lebensdauer sind stark mit den Kurzkanaleffekten korreliert, d. h. der Stoßionisation und dem Einprägen energiereicher Ladungsträger (HCI) in Verbindung mit ausgeprägten Gateleckstrom. Ferner sind andere Effekte, etwa die negative Vorspannungstemperaturinstabilität (NBTI), die im Wesentlichen p-Kanaltransistoren beeinflusst, zunehmend problematisch, wenn die Größenreduzierung beim CMOS-Bauteilen weiter voranschreitet. Man erwartet, dass diese Effekte noch mehr an Bedeutung gewinnen, wenn die Skalierung der Betriebsspannung der Bauelemente nicht in gleicher Weise verringert wird, wie die kritischen Bauteilabmessungen reduziert werden, woraus sich höhere Durchlassströme und elektrische Feldstärken ergeben. Diese Zuverlässigkeitsphänomene bewirken bekanntlicher Weise ausgeprägte Parameterverschiebungen in der Schwellwertspannung, den Gateleckstrom und den effektiven Durchlassstrom, die ansonsten erforderlich sind, um eine stabile und vorher-sagbare Schaltungsfunktion und ein Produktleistungsverhalten beizubehalten.

[0005] Daher werden große Anstrengungen unternommen, um die Fertigungstechnologien zu verbessern, um damit eine hohe Ausbeute an Produkten zu erreichen, die vorbestimmte Spezifikationen im Hinblick auf das Leistungsverhalten, die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer erfüllen. Beispielsweise sind Verbesserungen im Hinblick auf die Leistungsaufnahme, die mit der Einführung neuer Technologie verknüpft sind, nur dann mit einer Leistungssteigerung verknüpft, wenn die Leistungsfüllkurve, d. h. die Fläche, die durch die zulässige maximale Versorgungsspannung und die maximale thermische Leistung definiert ist, im Wesentlichen unverändert bleibt.

In ähnlicher Weise ist eine weitere Größenreduzierung mit einer Zunahme der Arbeitsgeschwindigkeit des betrachteten Produkts verknüpft, wohingegen die höhere Leistungsaufnahme die zulässige Entwurfsleistung übersteigen kann, wodurch es nicht möglich ist, einen Vorteil aus den reduzierten Abmessungen der Komponenten zu ziehen. Auch in diesem Falle muss ein Produkt, das mit hohem technologischen Aufwand hergestellt wird, weiterhin als ein Produkt der gleichen Spezifikationskategorie betrachtet werden, unabhängig von der fortgeschrittenen Fertigungstechnologie, die möglicherweise mit erhöhten Produktionskosten verknüpft ist. Ferner kann in aggressiv skalierten Halbleitertechnologien trotz vieler Maßnahmen, die zur Gewährleistung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit dieser Produkte vorgenommen werden, eine generelle Zunahme der Beeinträchtigung des Produktleistungsverhaltens im Laufe der Betriebszeit beobachtet werden, dass berücksichtigt werden muss, wenn die diversen Produkte in spezielle Kategorien eingestuft werden, da das jeweilige Produkt die Spezifikationen über die gesamte Lebensdauer des Produkts erfüllen muss. Beispielsweise zeigt sich in modernen Mikroprozessoren diese Art der Leistungsbeeinträchtigung in einer starken Abnahme der maximalen Betriebsfrequenz mit zunehmender Betriebsdauer.

[0006] Um das gewünschte Produktleistungsverhalten über die gesamte Produktlebensdauer zu gewährleisten, beispielsweise 10 Jahre für Mikroprozessorprodukte, müssen geeignet ausgewählte Spezifikationen angewendet werden, in denen entsprechende Sicherheitsgrenzen oder „Sicherheitsband-zonen“ enthalten sind, um sicherzustellen, dass ein Produkt mit Eigenschaften, die einer unteren Grenze der Leistungsspezifikation entsprechen, dennoch innerhalb des spezifizierten Bereichs während der gesamten Lebensdauer bleibt. Dies bedeutet, dass beispielsweise Mikroprozessoren mit einer speziellen anfänglichen maximalen Betriebsfrequenz als Produkte einer tieferen Geschwindigkeitsstufe zu betrachten sind, da die Verschlechterung des Leistungsverhaltens über die gesamte Lebensdauer hinweg schließlich zu einer geringeren maximalen Betriebsgeschwindigkeit führt, die nicht mehr innerhalb der Kategorie liegt, die einer höheren Geschwindigkeitsstufe entspricht.

[0007] [Fig. 1a](#) zeigt schematisch die zeitliche Entwicklung des Produktleistungsverhaltens, beispielsweise in Form der maximalen Betriebsfrequenz F_{max} von Mikroprozessorprodukten über die Lebensdauer, etwa 10 Jahre hinweg, wobei ein Anfangszustand des Produkts, der als I bezeichnet ist, einer gewissen maximalen Betriebsfrequenz entspricht, die im Laufe der Zeit kleiner wird oder abnimmt, um einen deutlich tieferen Zustand F einzunehmen, der das Leistungsverhalten bei der garantierten Lebensdauer des Produkts repräsentiert. Es sollte beachtet werden, dass

die die Zustände I und F verbindende Kurve eine vereinfachte Darstellung ist, die jedoch qualitativ die Leistungsbeeinträchtigung moderner integrierter Schaltungen darstellt.

[0008] [Fig. 1b](#) zeigt schematisch eine Leistungshüllkurve bzw. Einhüllende, in der die Entwurfsleistung einer integrierten Schaltung gegenüber einem Leistungsparameter aufgetragen ist, etwa der maximalen Betriebsfrequenz F_{max} von Mikroprozessoren, wobei eine obere Grenze für die thermische Entwurfsleistung als TPL angegeben ist. Des Weiteren ist eine Fläche dargestellt, in der Produkte mit einer gewissen maximalen Betriebsgeschwindigkeit oder Frequenz enthalten sind, wie sie nach der Herstellung der Bauelemente festgestellt wird, wobei auch die obere Grenze TPL der thermischen Entwurfsleistung eingehalten wird. Des Weiteren ist für die Fläche A eine untere Grenzfrequenz festgelegt, die die ganze zulässige F_{max} angibt, um eine tatsächliche Produktgeschwindigkeit zu spezifizieren, die als „Produktgeschwindigkeit“ für ein Produktsegment angegeben ist. D. h., die Produktgeschwindigkeit repräsentiert das erforderliche Leistungsverhalten des Produkts in den eigentlichen Anwendungen, die jedoch deutlich kleiner ist als die untere Grenze „ F_{max} “ des Bereichs A auf Grund der zeitabhängigen Leistungsbeeinträchtigung. Wie jedoch zuvor mit Bezug zu [Fig. 1a](#) erläutert ist, wird die Produktleistungsabnahme über die Zeit hinweg konventioneller Weise durch eine entsprechende „Leistungssicherheitsbandzone“ berücksichtigt. Beispielsweise besitzt ein Produkt mit der maximalen Betriebsfrequenz I nach der Herstellung den Status F nach der Lebensdauer, wobei der Zustand F über der Produktgeschwindigkeit liegen muss, wodurch eine moderat breite Sicherheitsbandzone erforderlich ist. Folglich müssen Produkte, die eine anfängliche maximale Frequenz besitzen, die innerhalb der Sicherheitsbandzone liegt, in ein tieferes Produktgeschwindigkeitssegment eingestuft werden, wodurch die Wirtschaftlichkeit des gesamten Fertigungsprozesses verringert wird, da hohe Produktgeschwindigkeiten typischerweise mit höheren Preisen verkauft werden können.

[0009] Folglich ist es äußerst wünschenswert, die Sicherheitsbandzone möglichst klein zu machen im Hinblick auf die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des entsprechenden Fertigungsprozesses. Um die Anzahl der Bauteile zu erhöhen, die hohe Leistungsanforderungen erfüllen, kann eine Verbesserung der Technologie, etwa das Fortschreiten zur nächsten Technologiegeneration, oder eine Verbesserung des gesamten Produktaufbaus erforderlich sein, wobei dies jedoch mit signifikanten Prozessmodifikationen verknüpft ist, zu einem erhöhten Forschungs- und Entwicklungsaufwand beitragen, wodurch erhöhte Herstellungskosten entstehen.

[0010] Zusätzlich zur Berücksichtigung der Bauteil-

beeinträchtigung, beispielsweise im Hinblick auf die maximale Betriebsfrequenz, durch Anwenden entsprechender Sicherheitsbandzonen, wurde auch die Widerstellung der maximalen Betriebsfrequenz über die Zeit hinweg auf der Grundlage einer geeigneten Steuerung der Versorgungsspannung während des Betriebs des Systems vorgeschlagen. In diesem Steuerungsschema wird eine Erhöhung der Versorgungsspannung während der Betriebslebensdauer der integrierten Schaltung angewendet, um auch die maximale Betriebsfrequenz anzuheben, wodurch ein gewisses Maß der Bauteilbeeinträchtigung kompensiert wird. Die Zunahme der Versorgungsspannung ist jedoch mit einer entsprechenden Zunahme der Gesamtleistungsaufnahme verknüpft, was wiederum zu einem nicht zulässigen Anstieg der bauteilinternen Betriebstemperatur führen kann. Folglich sind entsprechende Kompensationsverfahren auf die jeweiligen zulässigen Gesamtleistungsaufnahmebereiche des betrachteten Bauelements beschränkt. Des Weiteren müssen geeignet gestaltete periphere Komponenten in das Schaltungssystem eingebunden werden, etwa aufwendige Spannungsregel, um in präziser Weise die Versorgungsspannung auf der Grundlage des Betriebszustands des integrierten Systems einzustellen. Für eine effiziente präzise Kompensation der Leistungsbeeinträchtigung ohne Überschreiten der zulässigen Gesamtleistungsaufnahme ist ferner eine Steuerung der extern zugeführten Versorgungsspannung innerhalb einiger Millivolt erforderlich, wodurch die Gesamtkomplexität des gesamten elektronischen Schaltungssystems weiter erhöht wird.

[0011] Angesicht dieser Situation betrifft die vorliegende Offenbarung Verfahren und Bauelemente zur Verringerung oder zur Kompensation der Leistungsbeeinträchtigung komplexer integrierter Schaltungen, wobei ein oder mehrere der oben erkannten Probleme vermieden oder zumindest in der Auswirkung verringert werden.

Überblick über die vorliegende Offenbarung

[0012] Im Allgemeinen betrifft der hierin offenbarte Gegenstand modernste integrierte Schaltungen und Verfahren zum Betreiben dieser Schaltungen, wobei die Leistungsbeeinträchtigung über die Lebensdauer hinweg auf der Grundlage der Anpassung des Tastgrades eines Taktsignals verringert wird, das zum Betreiben der integrierten Schaltung verwendet wird. Im Allgemeinen ist der Tastgrad des Taktsignals als das Verhältnis des hohen Pegels zu der gesamten Periode eines Taktzyklus zu verstehen, wobei entsprechende Anstiegszeiten und Abfallzeiten vernachlässigt werden. Beispielsweise bedeutet ein Tastgrad von 50% einen hohen Pegel des Taktsignals von 50% der gesamten Periode. Ein Tastgrad von 48% beispielsweise bezeichnet einen hohen Pegel von 48% und entsprechend einen tiefen Pegel von 52%. Da

das Taktsignal, das den diversen Komponenten einer komplexen getakteten integrierten Schaltung zugeführt wird, einen wesentlichen Einfluss auf das Funktionsverhalten der einzelnen Schaltungsbereiche ausübt, kann somit eine Variation des Tastgrades geschwindigkeitskritische Bauteilbereiche beeinflussen, ohne tatsächlich die Taktsignalfrequenz zu modifizieren. Somit kann die Modifizierung des Tastgrades zu einer Verschiebung des gesamten Leistungsverhaltens der integrierten Schaltung auf Grund der entsprechenden Verschiebung des Leistungsverhaltens geschwindigkeitskritischer Signalpfade führen, wobei gleichzeitig die Taktfrequenz des Bauelements beibehalten wird. Somit kann ein entsprechender Kompensationsmechanismus auf der Grundlage der Anpassung des Tastgrades als „neutral“ in Bezug auf Leistungsgrenzen betrachtet werden, wie sie typischerweise in konventionellen Strategien auftreten, in denen die Versorgungsspannung erhöht wird, um die Leistungsbeeinträchtigung zu kompensieren. Durch Bestimmen einer geeigneten Korrelation zwischen dem Tastgrad und den Leistungseigenschaften der betrachteten integrierten Schaltung wird somit ein sehr effizienter Steuerungsmechanismus geschaffen, da beispielsweise der Tastgrad des Taktsignals effizient im Vergleich zu sehr empfindlichen Anpassungen einer entsprechenden Versorgungsspannung, wie dies in konventionellen Strategien angewendet wird, modifiziert werden kann.

[0013] Ein anschauliches hierin offenbartes Verfahren betrifft die Stabilisierung des Leistungsverhaltens eines integrierten Schaltungsbauelements. Das Verfahren umfasst das Bestimmen eines aktualisierten Wertes eines Parameters, der das Leistungsverhalten der integrierten Schaltung kennzeichnet. Des weiteren umfasst das Verfahren das Steuern eines Tastgrades eines Taktsignals des integrierten Schaltungsbauelements auf der Grundlage des aktualisierten Wertes, so dass dieser innerhalb eines spezifizierten Bereichs bleibt.

[0014] Ein noch weiteres anschauliches hierin offenbartes Verfahren betrifft das Betreiben einer integrierten Schaltung. Das Verfahren umfasst das Ermitteln einer Korrelation zwischen einer Leistungseigenschaft der integrieren Schaltung und einem Tastgrad eines Taktsignals, das in der integrierten Schaltung verwendet wird. Das Verfahren umfasst ferner das Steuern des Tastgrades während des Betriebs der integrierten Schaltung zumindest mehrere Male innerhalb der Betriebslebensdauer der integrierten Schaltung auf der Grundlage der Korrelation.

[0015] Ein anschauliches hierin offenbartes elektronisches Schaltungssystem umfasst eine integrierte Schaltung mit einem internen Taktsignalgenerator und einem funktionellen Schaltungsbereich, der so angeschlossen ist, dass dieser ein Taktsignal des Taktsignalgenerators empfängt. Des weiteren um-

fasst das elektronische Schaltungssystem eine Tastgradsteuereinheit, die funktionsmäßig mit dem Taktsignalgenerator verbunden und ausgebildet ist, eine Änderung des Tastgrades des Taktsignals mehrere Male während einer Betriebslebensdauer der integrierten Schaltung zu veranlassen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlicher aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

[0017] [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) schematisch graphische Darstellungen des Leistungsverhaltens über die Lebensdauer hinweg konventioneller moderner integrierter Schaltungen mit CMOS-Transistoren zeigen, die auf der Grundlage einer im wesentlichen konstanten Versorgungsspannung betrieben werden;

[0018] [Fig. 2a](#) schematisch ein Zeitdiagramm eines Taktsignals mit gegebener Frequenz mit unterschiedlichen Tastgraden zeigt, wie sie für eine Kompensation auf Grundlage des Tastgrades gemäß anschaulicher Ausführungsformen angewendet wird;

[0019] [Fig. 2b](#) schematisch ein Diagramm zur Darstellung des Funktionsverhaltens und einer entsprechenden Technik zur Kompensation der Bauteilbeeinträchtigung auf der Grundlage des Anwendens eines geeigneten Tastgrades über die Lebensdauer hinweg einer integrierten Schaltung gemäß anschaulicher Ausführungsformen zeigt; und

[0020] [Fig. 2c](#) schematisch ein elektronisches System mit einer integrierten Schaltung in Verbindung mit einer Tastgradsteuerungseinheit zeigt, die ausgebildet ist, die Bauteilbeeinträchtigung der integrierten Schaltung über die Lebensdauer hinweg zu kompensieren, wobei die Tastgradsteuereinheit als externe Komponente oder interne Komponente gemäß anschaulicher Ausführungsformen vorgesehen ist.

Detaillierte Beschreibung

[0021] Obwohl die vorliegende Offenbarung mit Bezug zu den Ausführungsformen beschrieben ist, wie sie in der folgenden detaillierten Beschreibung sowie in den Zeichnungen dargestellt sind, sollte beachtet werden, dass die folgende detaillierte Beschreibung sowie die Zeichnungen nicht beabsichtigen, den hierin offenbarten Gegenstand auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Offenbarung dar, deren Schutzbereich durch die angefügten

Patentansprüche definiert ist.

[0022] Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Offenbarung elektronische Schaltungssysteme und Verfahren zum Betreiben dieser Systeme, wobei eine Leistungsbeeinträchtigung integrierter Schaltungen verringert oder kompensiert wird auf der Grundlage eines geeigneten Anpassens des Tastgrades eines Taktsignals, wobei in einigen anschaulichen Ausführungsformen die Versorgungsspannung und auch die Taktsignalfrequenz über die Betriebslebensdauer der integrierten Schaltungen hinweg nicht modifiziert werden. In diesem Falle wird ein effizienter Steuerungsmechanismus zum Kompensieren der natürlichen Alterung einer integrierten Schaltung bereitgestellt, ohne dass eine Einschränkung im Hinblick auf die gesamte Leistungsaufnahme erfolgt, die in konventionellen Steuerungsstrategien auf der Grundlage einer Erhöhung der Versorgungsspannung ein kritischer Faktor ist. Des Weiteren steigt die dynamische Leistungsaufnahme während der Kompensation der Leistungsbeeinträchtigung auf der Grundlage des Tastgradmechanismus nicht an, da die Taktfrequenz nicht erhöht wird. Es sollte jedoch beachtet werden, dass bei Bedarf der Kompensationsmechanismus der vorliegenden Offenbarung auch mit anderen Mechanismen kombiniert werden kann, etwa einer moderaten Zunahme der Versorgungsspannung, wenn der Bereich der kompensierenden Wirkung auf der Grundlage einer geeigneten Anpassung des Tastgrades beispielsweise in einem sehr fortgeschrittenen Zustand der bislang angelaufenen Betriebslebensdauer der betrachteten integrierten Schaltung zu erhöhen ist. Da die Leistungsbeeinträchtigung, beispielsweise in Bezug auf die maximale Betriebsgeschwindigkeit während der gesamten Lebensdauer des Bauelements auf der Grundlage einer geeigneten Anpassung des Tastgrades dynamisch verändert werden kann, können die entsprechenden Sicherheitsbandzonen, die zum Spezifizieren einer gewissen Leistungsklasse an Produkt verwendet werden, kleiner gemacht werden, und die Produkte können einem speziellen Leistungssegment zugeordnet werden, das konventioneller Weise einem weniger hohen Produktsegment entsprechen würde. Folglich kann die Verteilung von Produkten in dem Bereich mit hoher Leistung auf der Grundlage kleinerer Toleranzbereiche bewerkstelligt werden, wodurch die Anzahl der Produkte zunimmt, die einem speziellen hohen Leistungsproduktsegment zuzuordnen sind. Somit wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Technologie erhöht, sondern es wird auch das gesamte Leistungsverhalten der Produkte verbessert, da die integrierten Schaltungen mit einem geringeren Leistungsverlust über die gesamte Lebensdauer hinweg betrieben werden können, während nicht in unerwünschter Weise die gesamte Leistungsaufnahme erhöht wird. Entsprechende Parameterwerte zum Abschätzen der aktuellen Leistungseigenschaft können effizient während des Betriebs des be-

trachteten Bauelements ermittelt werden, beispielsweise durch das Messen des Tastgrades und/oder durch geeignetes Auslesen des Status eines entsprechenden Taktsignalgenerators oder einer entsprechenden Struktur zum Steuern des Tastgrades des Taktsignalgenerators. Beispielsweise ist in konventionellen Strategie die Einstellung des Tastgrades für die Erzeugung eines entsprechenden Taktsignals in aufwendigen integrierten Schaltungen, etwa CPU's, „fest verdrahtet“ oder kann während einer abschließenden Testphase der integrierten Schaltung durch Einstellen entsprechender elektronischer Sicherungen eingestellt werden. Gemäß den hierin offenbarten Prinzipien wird jedoch der Tastgrad dynamisch angepasst, beispielsweise durch Ersetzen eines entsprechenden fest verdrahteten Steuerungsschemas für die Tastgradeinstellung durch eine Steuerschaltung, die dynamisch eine entsprechende Steuereinstellung variieren kann. Beispielsweise können mehrere entsprechende „fest verdrahtete“ Konfigurationen als ein „schaltbares“ Array bereitgestellt werden, so dass mehrere unterschiedliche Tastgradwerte ausgewählt werden können, indem eine entsprechende fest verdrahtete Array-Komponente ausgewählt wird. In anderen Fällen wird der Taktsignalgenerator direkt mittels eines elektronischen Schaltungsbereichs gesteuert, wobei dessen aktuelle Einstellung in einem nichtflüchtigen Speicherbereich abgelegt ist, wenn die integrierte Schaltung deaktiviert wird.

[0023] In einigen anschaulichen hierin offenbarten Ausführungsformen wird eine entsprechende Korrelation zwischen dem Tastgrad und dem Leistungsverhalten der integrierten Schaltung im Voraus ermittelt, beispielsweise durch Ausführen beschleunigter Alterungsprüfungen ähnlicher Produkte, die auf der Grundlage unterschiedlicher Tastgrade betrieben werden. Somit kann ein entsprechender Satz an Leistungsdaten und zugehöriger Tastgrad in ein entsprechendes Steuerungsschema eingebunden werden, um in geeigneter Weise den Tastgrad zur Reduzierung der Leistungsbeeinträchtigung über die akkumulierte Lebensdauer der integrierten Schaltung hinweg anzupassen. Wenn etwa eine allgemeine quantitative Abschätzung der Bauteilbeeinträchtigung für eine Vielzahl unterschiedlicher Tastgradwerte erhalten wird, kann eine Steuerungsstrategie eine entsprechende Anpassung des Tastgrades auf der Grundlage der akkumulierten Betriebslebensdauer des Bauelements enthalten, ohne dass tatsächlich eine Messung des aktuellen Leistungsverhaltens der integrierten Schaltung erforderlich ist. D. h., in einer entsprechenden Steuerungsstrategie werden unterschiedliche Tastgradwerte zu vordefinierten Zeiten der akkumulierten Lebensdauer „aktiviert“, wobei diese Zeiten auf der Grundlage eines bauteilinternen Zeitgebers oder auf der Grundlage eines externen Schaltungsbereichs bestimmt werden, der in Verbindung mit der integrierten Schaltung eingesetzt wird.

In noch anderen anschaulichen Ausführungsformen wird eine entsprechende Korrelation zwischen dem Tastgrad und dem Leistungsverhalten des Bauelements auf Anforderung ermittelt, d. h. eine entsprechende Korrelation wird zu diversen Zeitpunkten ermittelt, beispielsweise, wenn ein gewisser Grad an Leistungsbeeinträchtigung erkannt wurde. Auf der Grundlage der entsprechenden aktuellen Korrelation zwischen den Tastgradwerten und dem Bauteilleistungsverhalten wird ein geeigneter Tastgradwert ausgewählt und wird für den weiteren Betrieb des Bauelements angewendet, um damit die Leistungseigenschaft innerhalb eines spezifizierten Bereichs zu halten. Die Bewertung des aktuellen Leistungsverhaltens der integrierten Schaltung kann auf der Grundlage eines speziellen Schaltungsbereichs des integrierten Schaltungsbauelements folgen, der stark mit dem Leistungsverhalten geschwindigkeitskritischer Signalwege innerhalb eines funktionellen Bereichs der integrierten Schaltung korreliert ist. Beispielsweise können Ringoszillatoren und dergleichen in einem Testschaltungsbereich eingebaut werden und können damit in effizienter Weise zur quantitativen Bewertung des aktuellen Leistungsverhaltens der integrierten Schaltung benutzt werden. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird die Korrelation zwischen den aktuellen Leistungswerten und dem Tastgrad auf der Grundlage entsprechender „Bibliothekdaten“ ermittelt, die im Voraus ermittelt werden oder der Tastgrad wird während des Betriebs der integrierten Schaltung variiert, um damit diverse Leistungsdaten zu ermitteln, die mit den jeweiligen Tastgradwerten verknüpft sind. Auf der Grundlage der Überwachung der auf der Grundlage einer gewünschten Zeitauflösung kann somit ein sehr effizienter Kompensationsmechanismus für die natürliche Alterung der integrierten Schaltung erreicht werden, wobei eine weitere Steigerung der Effizienz erreicht werden, indem ein „Echtzeittest“ des Leistungsverhaltens in Reaktion auf eine „Echtzeittest“ des Tastgrades ausgeführt wird.

[0024] In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird eine gewünschte anfängliche Leistung der integrierten Schaltung „wieder hergestellt“, zumindest innerhalb eines spezifizierten Bereichs, indem ein anfänglicher Wert gespeichert wird, der das Anfangsleistungsverhalten der integrierten Schaltung angibt, und indem das aktuelle Leistungsverhalten und die zugehörigen Tastgrade mit dem Anfangswert verglichen werden. Somit kann ein geeigneter Tastgrad erkannt werden, der das anfängliche Leistungsverhalten wieder herstellt, der zumindest das Leistungsverhalten des Bauelements innerhalb eines spezifizierten Bereichs um den anfänglichen Leistungswert herum beibehält.

[0025] Es sollte beachtet werden, dass die hierin offenbarten Prinzipien im Zusammenhang mit modernen integrierten Schaltungen angewendet werden

können, die Schaltungsbereiche auf der Grundlage aufwendiger CMOS-Techniken enthalten, etwa Mikroprozessoren, moderne ASIC's (anwendungsspezifische integrierte Schaltungen), Speicherbauelemente und dergleichen, da hier deutliche Vorteile in Bezug auf die Verringerung der gesamten Produktstreuung hinsichtlich der Leistungseigenschaften typischerweise große Anstrengungen in Bezug auf die Anpassung von Fertigungsprozessen und Schaltungsstrukturen erfordern. Die hierin offenbarten Prinzipien können jedoch auch auf beliebige integrierte Schaltungsbauelemente angewendet werden, in denen eine ausgeprägte Abhängigkeit des Leistungsfalls über die Lebensdauer hinweg beobachtet wird. Sofern daher dies nicht speziell in der Beschreibung oder den angefügten Patentansprüchen dargestellt ist, sollte der hierin offenbarte Gegenstand nicht auf eine spezielle Art an integrierten Schaltungen beschränkt erachtet werden.

[0026] Mit Bezug zu den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2c](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen detaillierter beschrieben, wobei auch bei Bedarf auf die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) verwiesen sein.

[0027] [Fig. 2a](#) zeigt schematisch ein Zeitdiagramm, das ein Taktsignal darstellt, das von einer vordefinierten Frequenz bereitgestellt wird, wobei jedoch der Tastgrad variiert ist. Beispielsweise sind drei unterschiedliche Tastgrade, die durch die Kurven A, B und C repräsentiert sind, für ein Taktsignal gezeigt. D. h., die horizontale Achse repräsentiert die Zeit, wobei für eine gegebene Frequenz ein gewisses Intervall somit eine volle Periode oder einen Zyklus jedes Taktsignals A, B, C repräsentiert. Die vertikale Achse repräsentiert die Signalamplitude in willkürlichen Einheiten. Z. B. verläuft die Amplitude des Taktsignals im Wesentlichen zwischen der unteren und der oberen Grenze einer entsprechenden Versorgungsspannung. In [Fig. 2a](#) repräsentiert die Kurve A das Taktsignal mit einem Tastgrad von 50%, d. h., das Zeitintervall für den oberen Pegel des Signals A ist gleich dem Zeitintervall des unteren Pegels innerhalb einer Takt-signalperiode T. Ein entsprechender Tastgrad wird auch als ein Taktsignal mit „Verschiebung von Null“ bezeichnet. Es sollte beachtet werden, dass typischerweise der Anstieg und der Abfall des Taktsignals eine Dauer besitzt, die deutlich kleiner ist im Vergleich zur vollständigen Periode T. Die Kurve B repräsentiert Taktsignale der gleichen Frequenz, jedoch mit einer „negativen Verschiebung“, d. h. der Tastgrad ist kleiner im Vergleich zur Kurve A. Folglich ist die Dauer des hohen Pegels kleiner im Vergleich zur Dauer des niedrigen Pegels. Beispielsweise beträgt der Tastgrad für 45%, wodurch angegeben ist, dass während der gesamten Periode T das Signal B 45% bei hohem Signalpegel ist, wobei die Hälfte des Anstiegs und der Abfallzeit enthalten sind, während andererseits 55% den tiefen Pegel des Signals B entsprechen, wobei ebenfalls die Hälfte der entspre-

chenden Anstiegs- und Abfallzeiten enthalten ist. Die Kurve C repräsentiert das Taktsignal mit einer „positiven“ Verschiebung, da die entsprechende Zeitdauer des Zustands mit hohem Pegel größer ist im Vergleich zur Kurve A, während die entsprechende Zeitdauer für den tiefen Pegel kürzer ist.

[0028] Wie zuvor erläutert ist, besitzt der Tastgrad des Taktsignals einen Einfluss auf das gesamte Leistungsverhalten geschwindigkeitskritischer Signalwege innerhalb einer integrierten Schaltung. Abhängig von der begrenzenden Schaltung oder den Geschwindigkeitssignalweg der gegebenen Frequenz besitzt die entsprechende begrenzende Schaltung oder der Geschwindigkeitsweg und somit die gesamte integrierte Schaltung eine Präferenz für eine höhere Leistung auf der Grundlage eines negativen oder positiven Tastgrades. D. h., auf Grund der Komplexität moderner integrierter Schaltungen müssen die Taktsignale sehr unterschiedlichen Schaltungsbereichen zugeführt werden, wobei unterschiedliche Signalausbreitungsverzögerungen und dergleichen zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Verformung des Taktsignals führen. Folglich kann durch Modifizieren des anfänglichen Tastgrades des Taktsignals das Funktionsverhalten gewisser Schaltungsbereiche und insbesondere geschwindigkeitskritischer Bereiche beeinflusst werden, woraus sich insgesamt eine Zunahme oder Abnahme des Leistungsverhaltens ergibt, beispielsweise der maximalen Betriebsgeschwindigkeit des betrachteten Bauelements. Für eine gegebene Schaltungskonfiguration kann sich die Reaktion der integrierten Schaltung auf eine Änderung des Tastgrades über die Zeit hinweg auf Grund der natürlichen Alterung des Bauelements ändern, beispielsweise im Hinblick auf die Verschiebung wichtiger Bauteilparameter, etwa der Schwellwertspannung, den Leckstrom und den Durchlassstrom der Transistorelemente. Daher kann die entsprechende Korrelation zwischen dem Tastgrad und einer entsprechenden Reaktion der Schaltung im Hinblick auf das gesamte Leistungsverhalten effizient zum Kompensieren der natürlichen Leistungsbeeinträchtigung verwendet werden.

[0029] [Fig. 2b](#) zeigt schematisch ein Diagramm, das eine Strategie zur Kompensation der Bauteilbeeinträchtigung auf der Grundlage einer geeigneten Anpassung des Tastgrades eines Taktsignals zeigt. In [Fig. 2b](#) repräsentiert die horizontale Achse die akkumulierte Betriebsdauer der integrierten Schaltungen, während die vertikale Achse eine oder mehrere Parameter repräsentiert, die das Leistungsverhalten des Bauelements angeben, beispielsweise die maximale Betriebsgeschwindigkeit, die als F_{max} angegeben ist, und dergleichen können für das quantitative Bewerten des Verhaltens der betrachteten integrierten Schaltung verwendet werden. Wie gezeigt, beginnt zum Zeitpunkt T_0 die Betriebslebensdauer des betrachteten Bauelements, d. h. das Bauelement

wird in ein entsprechendes elektronisches System eingebaut und gemäß den systemspezifischen Betriebsbedingungen betrieben. Zum Zeitpunkt T_0 ist das Leistungsverhalten des betrachteten Bauelements durch einen entsprechenden Wert bestimmt, beispielsweise ein Wert, der die maximale Betriebsgeschwindigkeit und dergleichen repräsentiert. Die Kurve D in [Fig. 2b](#) repräsentiert eine entsprechende Beeinträchtigung des Leistungsverhaltens des Bauelements, wenn dieses unter im Wesentlichen konstanten Bedingungen betrieben wird, d. h. unter Anwendung einer im Wesentlichen konstanten Versorgungsspannung mit einer stabilen Taktfrequenz. Beispielsweise repräsentiert das Verhalten der Kurve D ein entsprechendes Bauteilverhalten, wie es zuvor mit Bezug zu [Fig. 1a](#) erläutert ist. Gemäß einiger anschaulicher Ausführungsformen wird das quantitativ abgeschätzte Leistungsverhalten des Bauelements zur Anfangszeit T_0 gemessen und wird verwendet, um eine gewünschte Bauteilleistung oder eine Sollleistung oder einen Leistungsbereich zu bestimmen, der während der gesamten Funktionslebensdauer der integrierten Schaltung beibehalten werden soll. Beispielsweise wird ein spezifizierter Bereich, der als R angegeben ist, auf der Grundlage des anfänglichen Leistungsverhaltens ausgewählt, der beispielsweise deutlich kleiner Sicherheitsbandzonen ermöglicht, da eine entsprechende Leistungsbeeinträchtigung innerhalb des Bereichs R gehalten werden kann. Nach einer gewissen Zeit, die als T_1 angegeben ist, wird der Tastgrad des entsprechenden Taktsignals in geeigneter Weise angepasst, um die Leistungseigenschaft zu erhöhen, die entlang der Kurve D abgenommen haben kann. Zu diesem Zweck wird eine geeignete Korrelation zwischen dem Tastgrad und dem Leistungsverhalten des Bauelements im Voraus ermittelt, beispielsweise auf der Grundlage entsprechender beschleunigter Alterungsprüfungen und dergleichen, so dass gemäß einigen anschaulichen Ausführungsformen ein spezieller Tastgrad nach der akkumulierten Zeit T_1 angewendet wird, um damit das Leistungsverhalten zuverlässig des Bereichs R zu halten. Es sollte beachtet werden, dass in diesem Falle eine tatsächliche Messung der Leistungseigenschaft nicht erforderlich ist, solange das allgemeine Verhalten der Bauteilleistungsabnahme in geeigneter Weise durch die Kurve D repräsentiert ist und die entsprechende Reaktion des betrachteten Schaltungselements auf eine Änderung des Tastgrades allgemein durch die im Voraus etablierte Korrelation wiedergegeben wird. Mit zunehmender akkumulierter Betriebsdauer werden somit entsprechende geeignete Tastgradwert für das Betreiben des Bauelements angewendet, wobei eine entsprechende Zeitauflösung zum Aktualisieren des Tastgrades im Voraus festgelegt werden kann.

[0030] In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird die aktuelle Leistungseigenschaft des betrachteten Bauelements getestet oder gemessen,

beispielsweise auf der Grundlage eines bauteilinternen Schaltungsbereichs, etwa auf Grundlage eines Ringoszillators und dergleichen, der mit dem tatsächlichen Leistungsvermögen eines funktionellen Schaltungsbereichs verknüpft ist. Beispielsweise wird im Zeitintervall t_1 ein entsprechender Parameterwert bestimmt, etwa der Wert, der F_{max} angibt, und wird im Hinblick auf seine Zulässigkeit bewertet. D. h., es wird bestimmt, ob eine momentane Leistungseigenschaft innerhalb des zulässigen Bereichs R liegt und eine Kompensation erforderlich ist, um das Leistungsverhalten innerhalb des Bereichs R zu halten, bevor eine Aktualisierung der Leistungseigenschaften ausgeführt wird. In einigen anschaulichen Ausführungsformen kann die Steuerungsstrategie auf dem Konzept beruhen, dass die aktuelle Leistung nahe an der anfänglichen Leistung gehalten wird, was bewerkstelligt werden kann, indem ein geeigneter Tastgradwert ausgewählt wird, der für den erforderlichen Grad an Kompensation sorgt. Zu diesem Zweck werden in einigen anschaulichen Ausführungsformen entsprechende Leistungswerte für unterschiedliche Tastgrade bestimmt. Z. B. können entsprechende Leistungswerte **200**, etwa die Werte **200a**, ..., **200f** bestimmt werden, wobei jeder dieser Leistungswerte mit einem entsprechenden Tastgradwert verknüpft ist. Z. B. sei angenommen, dass allgemein das Bauelement eine Tendenz besitzt, seine Leistung bei einer Zunahme des Tastgrades zu erhöhen. Beispielsweise repräsentiert der Wert **200d** den Leistungswert, wenn das Bauelement mit einem Tastgrad betrieben wird, der ein Prozent höher ist im Vergleich zu dem anfänglich verwendeten Tastgrad. In ähnlicher Weise ist der Wert **200c** mit einem Tastgrad verknüpft, der um 2% höher ist und der gleichen. Andererseits können die Werte **200e**, **200f** die Leistungseigenschaft für eine geringeren Tastgrad im Vergleich zu dem anfänglich angewendeten Tastgrad repräsentieren. In einigen anschaulichen Ausführungsformen werden die Leistungswerte **200** und die zugehörigen Tastgradwerte auf „Echtzeitbasis“ gewonnen, was bewerkstelligt werden kann, indem ein Taktsignalgenerator des Bauelements veranlasst wird, mit unterschiedlichen Tastgradwerten innerhalb spezieller kurzer Zeitintervalle zu arbeiten, während die entsprechenden Leistungsparameterwerte gemessen werden, beispielsweise auf der Grundlage eines bauteilinternen Testbereichs, wie dies zuvor erläutert ist. In anderen anschaulichen Ausführungsformen werden die Werte **200** im Voraus ermittelt, beispielsweise auf der Grundlage von Testmessungen, in denen eine Vielzahl entsprechender integrierter Schaltungen unter beschleunigten Testbedingungen betrieben werden. Folglich kann ein entsprechendes Steuerungssystem einen geeigneten Wert der Werte **200** auswählen und der weitere Betrieb des betrachteten Bauelements kann unter Anwendung des neu gewählten Tastgrades fortgesetzt werden. In dem vorliegenden Beispiel wird der Tastgrad entsprechend dem Leistungswert **200c** ausgewählt, so dass

der Leistungswert in der Nähe des anfänglich festgestellten Leistungswertes des Bauelements bleibt. Es sollte jedoch beachtet werden, dass eine entsprechende Steuerungsstrategie auch Zwischenwerte bereitstellen kann, beispielsweise durch Interpolieren einer entsprechenden Korrelation der Leistungseigenschaftswerte und der zugehörigen Tastgrade. Es sollte ferner beachtet werden, dass auch eine gewünschte Zeitauflösung so festgelegt werden kann, dass die Bauteilvariabilität weiter verringert wird.

[0031] Zu einer späteren Zeit t_2 wird die zuvor beschriebene Prozedur wiederholt, um eine entsprechende Bauteilbeeinträchtigung weiter zu kompensieren. Beispielsweise sei angenommen, dass die Beeinträchtigung des betrachteten Bauelements entlang der Kurve E voranschreitet, die dem Tastgrad entspricht, der mit dem Leistungswert **200c** verknüpft ist. Folglich wird der Tastgrad in geeigneter Weise angepasst, indem beispielsweise der mit dem Leistungswert **200a** zum Zeitpunkt t_1 verknüpfte Tastgrad verwendet wird, wodurch das Gesamtleistungsverhalten des Bauelements nahe an der anfänglichen Leistung gehalten wird. Es sollte jedoch beachtet werden, dass in anderen anschaulichen Ausführungsformen entsprechende Leistungseigenschaftswerte unabhängig von den Werten **200a**, ..., **200f**, die mit der Zeit t_1 verknüpft sind, bestimmt werden können, was bewerkstelligt werden kann, indem entsprechende Leistungswerte und zugehörige Tastgradwerte im Voraus während entsprechender Testläufe ermittelt werden, wie dies auch zuvor erläutert ist, oder indem Echtzeitmessungen unter Anwendung bauteilinterner Ressourcen durchgeführt werden. Somit kann beim Feststellen eines geeigneten Tastgradwertes der weitere Betrieb des betrachteten Bauelements unter Anwendung eines aktualisierten Tastgradwertes fortgesetzt werden, wodurch das Gesamtleistungsverhalten des Bauelements innerhalb des Bereichs R gehalten wird.

[0032] [Fig. 2c](#) zeigt schematisch ein elektronisches Schaltungssystem **250** mit einer integrierten Schaltung **210**, deren Betrieb auf der Grundlage einer Tastgradanpassung kompensiert wird, wie dies zuvor erläutert ist. Zu diesem Zweck umfasst das System **250** eine Tastgradsteuereinheit **220**, die funktionsmäßig mit der integrierten Schaltung **210** verbunden ist, und die als eine bauteilinterne Komponente der integrierten Schaltung **210** vorgesehen ist oder die durch ein externes Bauelement repräsentiert ist. Des Weiteren umfasst das elektronische Schaltungssystem **250** eine Versorgungsspannungsquelle **230**, die eine Versorgungsspannung zumindest für die integrierte Schaltung **210** bereitstellt. Die integrierte Schaltung **210** umfasst einen Taktsignalgenerator **213** der ausgebildet ist, ein Taktsignal zumindest mit einer spezifizierten Frequenz bereitzustellen, während ein Tastgrad des Taktsignals einstellbar ist, beispielsweise auf der Grundlage eines Steuersignals, das von der

Tastgradsteuerschaltung **220** bereitgestellt wird. Des weiteren umfasst die integrierte Schaltung **210** zumindest einen funktionellen Schaltungsblock, etwa einem CPU-Kern **212**, einen Speicherbereich **214**, der mit dem Block **212** verbunden ist, und eine Eingangs-/Ausgangs-(I/O-)Schnittstelle **211**. Es sollte jedoch beachtet werden, dass auch ein beliebiger anderer Funktionsschaltungsblock in der integrierten Schaltung **210** abhängig von den gesamten Bauteilerfordernissen vorgesehen sein kann, solange zumindest ein geschwindigkeitskritischer Schaltungsbereich oder Signalweg auf der Grundlage des Taktsignals, das von dem Generator **213** bereitgestellt wird, betrieben wird. In der gezeigten Ausführungsform umfasst die integrierte Schaltung **210** ferner einen Testschaltungsbereich **215**, der geeignete Schaltungselemente und dergleichen aufweist, um damit die Überwachung der tatsächlichen Leistungseigenschaften der integrierten Schaltung **210** zu ermöglichen. Beispielsweise umfasst der Testschaltungsbereich **215** einen Ringoszillator und dergleichen, der auf der Grundlage ähnlicher Schaltungselemente aufgebaut ist, wie ein entsprechender geschwindigkeitskritischer Schaltungsbereich oder Signalweg, beispielsweise der Bereich **212**, so dass das Leistungsverhalten des Testschaltungsbereichs **215** stark mit dem tatsächlichen Leistungsverhalten des geschwindigkeitskritischen Bereiches **212** verknüpft ist, der wiederum im Wesentlichen das gesamte Leistungsverhalten der integrierten Schaltung **210** bestimmt. Folglich können Leistungsbreiten durch die Steuereinheit **220** von dem Testschaltungsbereich **215** gemäß einem geeigneten Zeitablauf ermittelt werden. Beispielsweise kann das Leistungsverhalten des Testschaltungsbereichs **215** und damit der gesamten integrierten Schaltung **210** in einer im Wesentlichen kontinuierlichen Weise oder in zeitlich diskreter Weise mit geeigneten Zeitintervallen überwacht werden. Es sollte beachtet werden, dass in der gezeigten Ausführungsform die Steuereinheit **220** mit dem Taktsignalgenerator **213** und dem Testschaltungsbereich **215** durch bauteilinterne Kommunikationsverbindung, etwa spezielle Signalbusse und dergleichen, in Verbindung ist, wenn die Einheit **222** eine bauteilinterne Komponente der integrierten Schaltung **210** darstellt. In diesem Falle wird die Einheit **220** in dem gleichen Gehäuse **217** untergebracht, das die anderen funktionalen Komponenten der integrierten Schaltung **210** aufweist. Beispielsweise repräsentiert die integrierte Schaltung **210** ein Einzelchipsystem, in welchem die diversen Schaltungsbereiche in einem einzelnen Halbleiterchip untergebracht sind, wodurch ein sehr effizienter Fertigungsprozess erreicht wird. In anderen Fällen werden zwei oder mehr Bereiche der integrierten Schaltung **210** mit der Steuereinheit **220** auf unterschiedlichen Halbleiterchips vorgesehen, die jedoch in einer dreidimensionalen Chipkonfiguration in einem gemeinsamen Gehäuse kombiniert sein können.

[0033] In anderen anschaulichen Ausführungsformen (nicht gezeigt) wird die Einheit **220** als eine externe Komponente vorgesehen, die mit der integrierten Schaltung **210** über die Schnittstelle **211** in Verbindung tritt. Beispielsweise werden geeignete Steuersignale für den Generator **213** und entsprechende Daten aus dem Testbereich **215** über die Schnittstelle **211** übertragen, die damit entsprechende Ressourcen in Verbindung mit der Einheit **220** zur Verfügung stellt. Es sollte beachtet werden, dass eine geeignete Steuerungsstrategie in die Einheit **220** implementiert werden kann und/oder ein entsprechender nicht-flüchtiger Speicher, etwa ein Speicher **216**, vorgesehen ist, wobei alle speziellen Daten gespeichert werden, etwa ein Anfangsleistungswert oder entsprechende Leistungswerte und zugehörige Tastgradwerte für eine Vielzahl unterschiedlicher Werte der akkumulierten Betriebslebensdauer, wie dies zuvor erläutert ist. In anderen anschaulichen Ausführungsformen wird eine entsprechende Steuerungsstrategie eingerichtet, um in kontinuierlicher oder diskreter Weise das Leistungsverhalten des Bauelements **200** während des Betriebs zu überwachen und um einen geeigneten Tastgradwert auszuwählen, der zur Erzeugung eines geeigneten Steuersignals führt, um damit dem Taktsignalgenerator **213** zu aktualisieren, des entsprechenden Tastgrades zu veranlassen.

[0034] Während des Betriebs des Systems **250** überwacht gemäß einiger anschaulicher Ausführungsformen die Einheit **220** das aktuelle Leistungsverhalten der integrierten Schaltung **210** und wählt einen geeigneten Tastgradwert aus, um eine entsprechende Bauteilleistungsabnahme zu kompensieren. Zu diesem Zweck kann eine der zuvor dargelegten Strategien eingesetzt werden. Wie zuvor angegeben ist, kann eine entsprechende Anpassung des Tastgrades bewerkstelligt werden, indem entsprechende Schaltungskomponenten in dem Generator **213**, etwa fest verdrahtete Komponenten, aktiviert werden, wovon jede einen speziellen Tastgrad bietet, oder in dem entsprechende elektronische Sicherungen für diesen Zweck eingesetzt werden. In noch anderen anschaulichen Ausführungsformen ist der Taktsignalgenerator **213** ausgebildet, so dass dieser auf ein mehr oder weniger kontinuierliches Steuersignal reagiert, um damit dem Tastgrad des Taktsignals auf der Grundlage des von der Einheit **220** zugeführten Steuersignals im Wesentlichen kontinuierlich zu ändern. Beispielsweise wird, wie zuvor erläutert ist, ein Anfangswert oder eine Anfangsleistungseigenschaft des Bauelements **210** beispielsweise in den nicht-flüchtigen Speicher **216** gespeichert und kann verwendet werden und kann verwendet werden, um das anfängliche Leistungsverhalten auf der Grundlage eines geeignet ausgewählten Tastgradwertes im Wesentlichen wieder herzustellen. In einigen anschaulichen Ausführungsformen wird das System **250** auf der Grundlage einer im Wesentlichen konstanten Versorgungsspannung, die von der Spannungsquelle

230 bereitgestellt wird, betrieben, um damit nicht in unerwünschter Weise die statische Leistungsaufnahme zu erhöhen. In ähnlicher Weise kann der Taktsignalgenerator **213** so betrieben werden, dass dieser das Taktsignal mit einer speziellen konstanten Taktfrequenz bereitstellt, wodurch ebenfalls eine Zunahme der dynamischen Leistungsaufnahme vermieden wird.

[0035] Es gilt also: Die vorliegende Offenbarung stellt Steuerungsstrategien und elektronische Schaltungssysteme bereit, in denen die Produktleistungsabnahme zurückgeführt oder kompensiert werden kann während der normalen Anwendung des elektronischen Schaltungssystems, indem der Taktsignaltastgrad unter Anwendung einer geeigneten Tastgradsteuerungseinheit eingestellt wird. Somit ist ein schnelleres System für Sicherheitsbandzonen der Produktfrequenz erforderlich, wodurch zusätzliche Produktleistungsspielräume gewonnen werden, die sich auch in einer besseren Wirtschaftlichkeit ausdrücken, da entsprechende integrierte Schaltungen höheren Produktsegmenten, etwa höheren Geschwindigkeitsstufen, zugeordnet werden können. Des Weiteren ist im Gegensatz zu konventionellen Strategien für die Kompensation der Bauteilbeeinträchtigung auf der Grundlage einer Zunahme der Versorgungsspannung die Gesamtleistungsaufnahme nicht erhöht werden, da eine effiziente Kompensation bei einer im Wesentlichen konstanten Versorgungsspannung bei einer festgelegten Taktfrequenz erreicht werden kann.

[0036] Weitere Modifizierungen und Variationen der vorliegenden Offenbarung werden für den Fachmann angesichts dieser Beschreibung offenkundig. Daher ist diese Beschreibung als lediglich anschaulich und für die Zwecke gedacht, dem Fachmann die allgemeine Art und Weise des Ausführens der hierin offenbarten Lehre zu vermitteln. Selbstverständlich sind die hierin gezeigten und beschriebenen Formen als die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen zu betrachten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Stabilisierung des Leistungsverhaltens eines integrierten Schaltungsbaulements, wobei das Verfahren umfasst:

Bestimmen eines aktualisierten Wertes eines Parameters, der das Leistungsverhalten des integrierten Schaltungsbaulements angibt; und Steuern eines Tastgrades eines Taktsignals des integrierten Schaltungsbaulements auf der Grundlage des aktualisierten Wertes, so dass dieser innerhalb eines spezifizierten Bereichs bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: Speichern eines Anfangswertes des Parameters und Vergleichen des Anfangswertes mit dem ak-

tualisierten Wert.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Wert des aktualisierten Wertes zumindest einige Male über eine Betriebslebensdauer des integrierten Schaltungsbaulements hinweg bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Steuern des Tastgrades des Taktsignals umfasst: Ermitteln mehrerer Referenzwerte des Parameters für unterschiedliche Tastgrade und Auswählen eines der unterschiedlichen Tastgrade, der mit einem der Referenzwerte verknüpft ist, der innerhalb des spezifizierten Bereichs liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Betriebsspannung des integrierten Schaltungsbaulements über eine Funktionslebensdauer des integrierten Schaltungsbaulements hinweg im Wesentlichen beibehalten wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Bestimmen des aktualisierten Wertes des Parameters umfasst: Messen einer maximalen Betriebsgeschwindigkeit eines internen Schaltungsbereichs des integrierten Schaltungsbaulements.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Speichern des Anfangswertes des Parameters umfasst: Speichern des Anfangswertes in einem bauteilinternen nicht-flüchtigen Speicher.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Speichern des Anfangswertes des Parameters umfasst: Speichern des Anfangswertes in einem Array aus elektronischen Sicherungen, die in dem integrierten Schaltungsbaulement vorgesehen sind.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Steuern des Tastgrades durch eine Schaltung ausgeführt wird, die extern zu einem Gehäuse, das das integrierte Schaltungsbaulement aufnimmt, vorgesehen ist.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Steuern des Tastgrades durch einen bauteilinternen Schaltungsbereich des integrierten Schaltungsbaulements ausgeführt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die mehreren Referenzwerte während einer Anfangsphase der Betriebslebensdauer des integrierten Schaltungsbaulements ermittelt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die mehreren Referenzwerte zumindest mehrere Male während der Betriebslebensdauer des integrierten Schaltungsbaulements ermittelt werden.

13. Verfahren zum Betreiben einer integrierten Schaltung, wobei das Verfahren umfasst:

Ermitteln einer Korrelation zwischen einer Leistungseigenschaft einer integrierten Schaltung und einem Tastgrad eines Taktsignals, das in der integrierten Schaltung verwendet wird;

Steuern des Tastgrades während des Betriebs der integrierten Schaltung zumindest einige Male während einer Betriebslebensdauer der integrierten Schaltung auf der Grundlage der Korrelation.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei Ermitteln einer Korrelation umfasst: Bestimmen einer ersten Abhängigkeit zwischen dem Tastgrad und einem Parameter, der eine maximale Leistungsfähigkeit der integrierten Schaltung angibt.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei Ermitteln einer Korrelation umfasst: Bestimmen einer zweiten Abhängigkeit zwischen dem Tastgrad und einer akkumulierten Betriebsdauer der integrierten Schaltung.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Bestimmen der ersten Abhängigkeit umfasst: Ermitteln mehrerer Werte des Parameters und Ermitteln eines zugehörigen Tastgrades für jeden der mehreren Werte.

17. Verfahren nach Anspruch 16, das ferner umfasst: Bestimmen eines Anfangswertes eines Parameters und dauerhaftes Speichern des Anfangswertes.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der Anfangswert in einer bauteilinternen Komponente der integrierten Schaltung gespeichert wird.

19. Verfahren nach Anspruch 13, wobei eine Versorgungsspannung der integrierten Schaltung während der Betriebslebensdauer der integrierten Schaltung im Wesentlichen konstant gehalten wird.

20. Elektronisches Schaltungssystem mit:
einer integrierten Schaltung mit einem internen Taktsignalgenerator und einem funktionalen Schaltungsbereich, der angeschlossen ist, ein Taktsignal des Taktsignalgenerators zu empfangen; und
einer Tastgradsteuereinheit, die funktionsmäßig mit dem Taktsignalgenerator verbunden und ausgebildet ist, eine Änderung eines Tastgrades des Taktsignals mehrere Male während einer Funktionslebensdauer der integrierten Schaltung zu veranlassen.

21. Elektronisches Schaltungssystem nach Anspruch 20, das ferner ein Gehäuse aufweist, das die integrierte Schaltung enthält.

22. Elektronisches Schaltungssystem nach Anspruch 21, wobei das Gehäuse die Tastgradsteuerung enthält.

23. Elektronisches Schaltungssystem nach An-

spruch 22, wobei die integrierte Schaltung und die Tastgradsteuereinheit auf einem gemeinsamen Halbleiterchip hergestellt sind.

24. Elektronisches Schaltungssystem nach Anspruch 20, wobei die integrierte Schaltung ferner einen internen Schaltungsbereich zum Bestimmen einer Leistungseigenschaft aufweist, die ein Leistungsverhalten des funktionellen Schaltungsbereichs angibt.

25. Elektronisches Schaltungssystem nach Anspruch 24, wobei die integrierte Schaltung ferner einen nicht-flüchtigen Speicher zum Speichern eines Anfangsparameterwertes der Leistungseigenschaft aufweist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

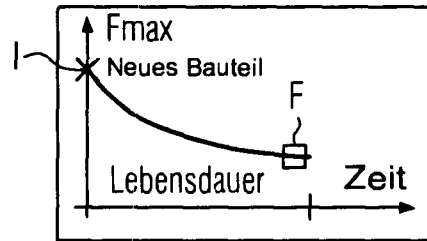


FIG. 1a

(Stand der Technik)

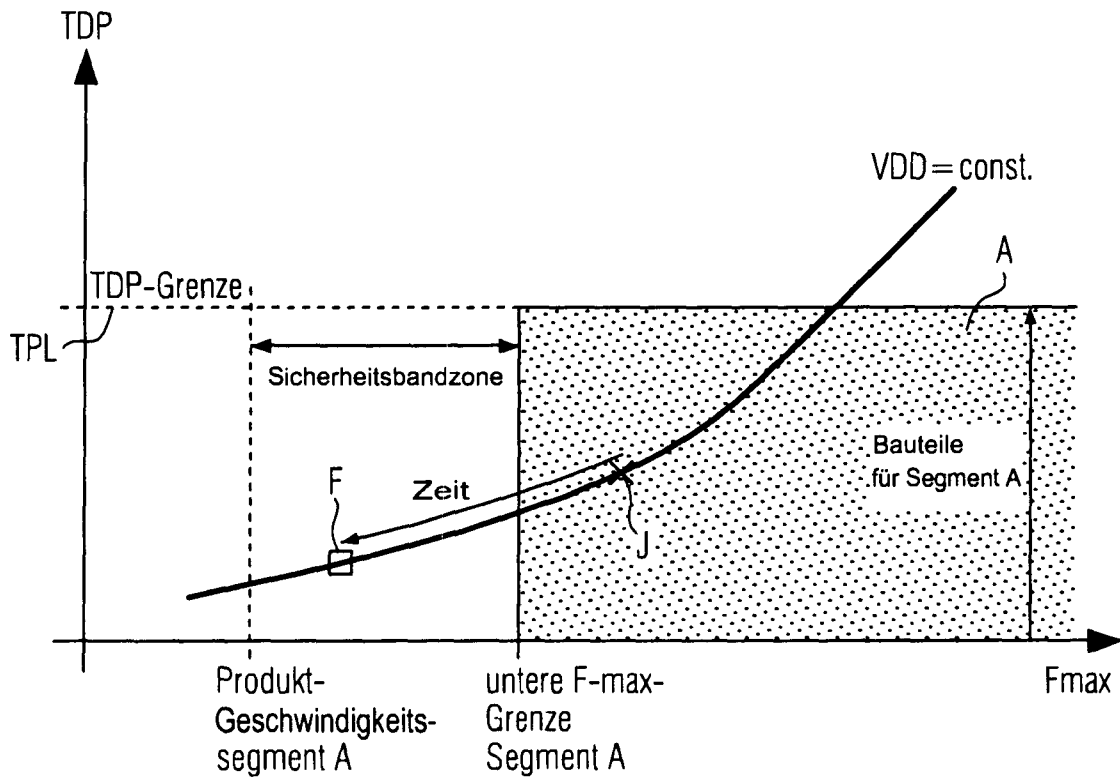


FIG. 1b

(Stand der Technik)

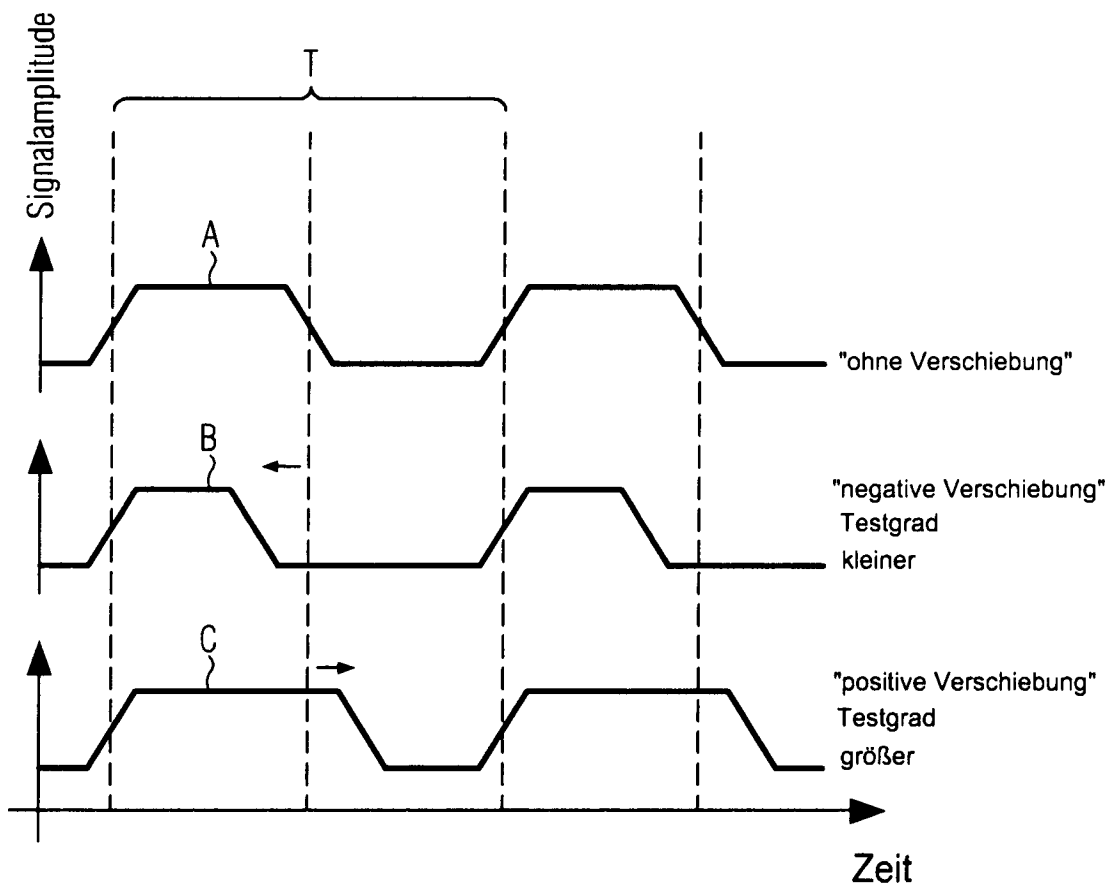


FIG. 2a

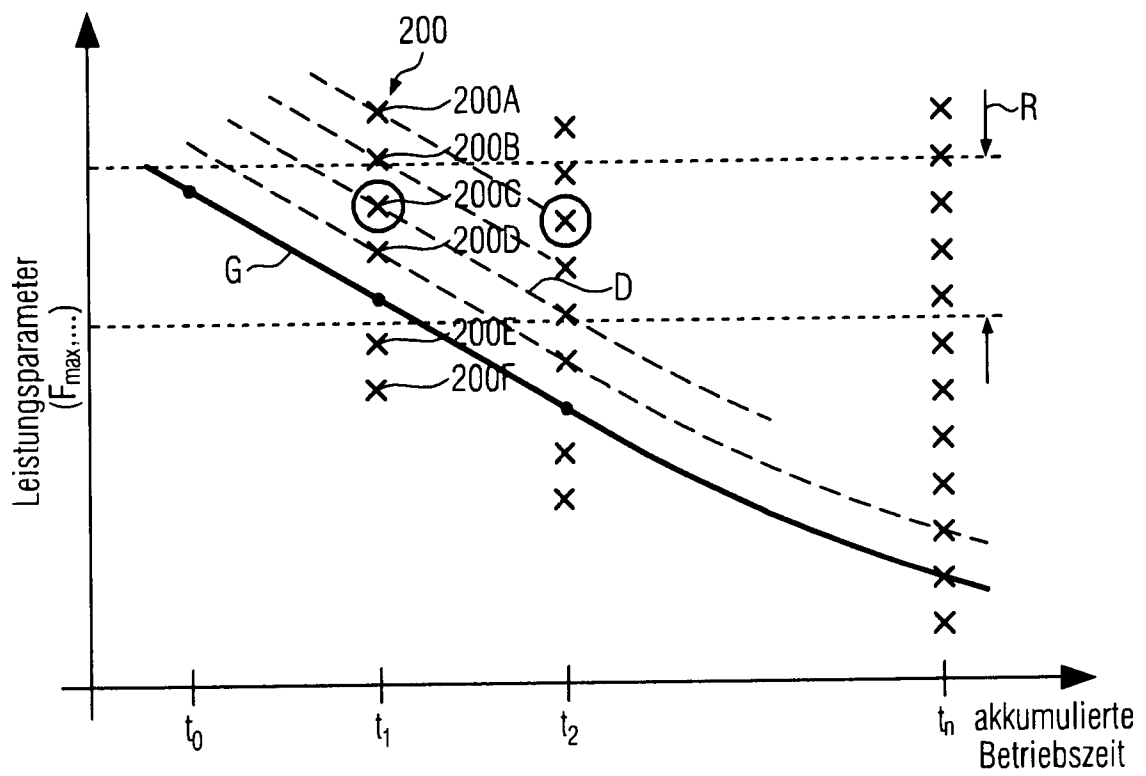


FIG. 2b

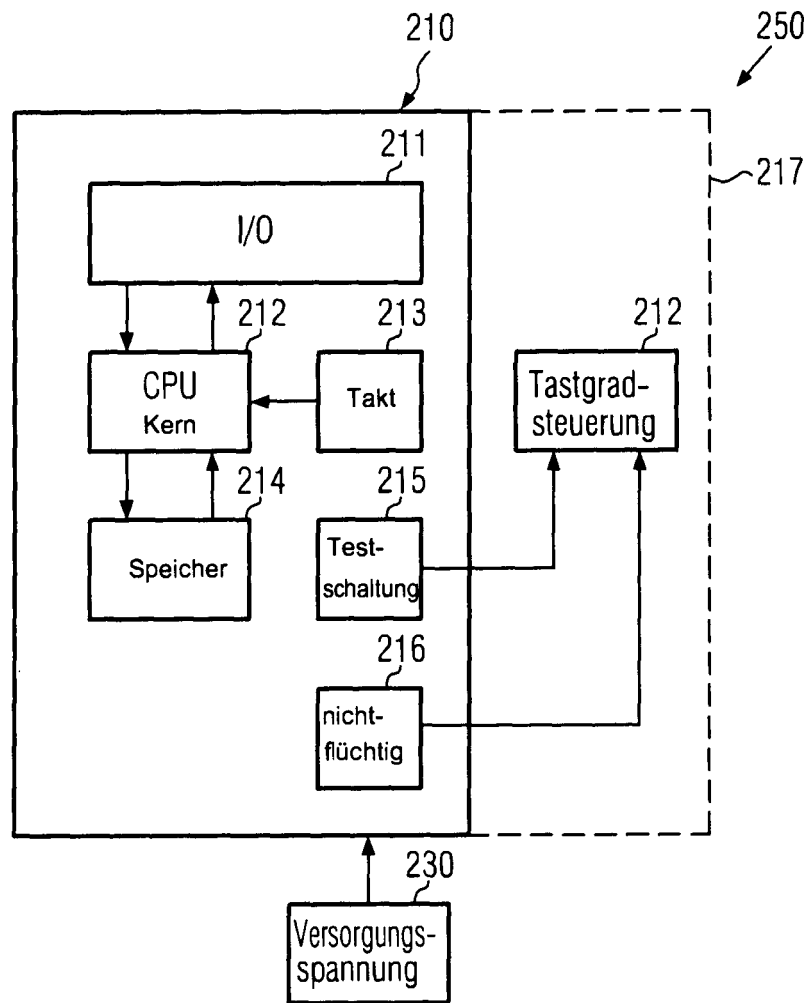


FIG. 2c