

Elektor Helps

Elektronik in
Krisenzeiten

PRODUKTION & BAUTEILE

DAS MOORESche GESETZ UND SEINE GRENZEN

Innovationen in der
Halbleiterindustrie

6

ESD - WAS IST DAS?

Warum der Schutz
so wichtig ist

20



28

**5G/4G-LTE-Module,
Modems und Anwendungen**
Serielle Datentunnel
und mehr



17

**Hochvolt-
DC/DC-Wandler**
Vorteile durch Multi-
phasenanordnungen



22

**PCB-Layout und
Störeinstrahlungen**
CISPR- und EMV-
Richtlinien

INTERVIEW

Buchautor
Warren Gay
über Embedded-
Programmierung

30

Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!

Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Komplettes Webarchiv ab 1970
- ✓ 6x Elektor Doppelheft (Print)
- ✓ 9x Digital (PDF) inkl. Elektor Industry
- ✓ 10% Rabatt im Online-Shop und exklusive Angebote
- ✓ Elektor Jahrgangs-DVD

- ✓ Mit Tausenden von Mitgliedern des Online-Labors gemeinsam entwickeln mit Zugang zu über 1.000 Gerber-Dateien und direktem Kontakt zu unseren Experten!
- ✓ Veröffentlichen Sie Ihr eigenes Projekt oder verkaufen Sie direkt über unseren Shop!

Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



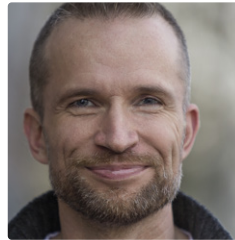
- ✓ Zugang zu unserem Webarchiv
- ✓ 10% Rabatt in unserem Online-Shop
- ✓ 6x Elektor Doppelheft (PDF)
- ✓ Exklusive Angebote
- ✓ Zugang zu über 1.000 Gerber-Dateien



www.elektor.de/mitglied

Von **Jens Nickel**

Chefredakteur



Mit dieser Online-Zeitschrift haben Sie die vorerst letzte, digitale Sonderausgabe der Elektor Industry vor sich. Sie erinnern sich vielleicht, dass wir die monatlichen Ausgaben ins Leben gerufen haben, um eine digitale Brücke zu schaffen zwischen Herstellern und Distributoren auf der einen Seite und Ihnen als Elektronikprofis auf der anderen Seite. So werden Sie in der „messelosen“ Zeit über technologische Innovationen aus der Branche informiert (das war übrigens nur eines der Elemente unserer „Elektor Helps!“-Initiative, mehr darüber unter www.elektormagazine.de/news/elektor-helps).

Nachdem all diese vier monatlichen Ausgaben erschienen sind, ist die Krise zwar noch nicht überwunden, doch es gibt erste Anzeichen, die uns hoffen lassen. Eine der guten Nachrichten erreichte uns aus München: Die Weltleitmesse electronica kann am 10. November sehr voraussichtlich ihre Pforten öffnen. Damit wird es wieder möglich, sich in persönlichen Gesprächen über neue Produkte zu informieren, sein Wissen zu erweitern und mit Gleichgesinnten zu fachsimpeln. Gerade an den Ständen der kleineren Hersteller und Spezial-Distributoren - die in der Krise

nicht die Möglichkeit hatten, in großem Stil online für Neuigkeiten zu trommeln - wird man sicherlich die eine oder andere „Perle“ entdecken, die man gewinnbringend für eigene Entwicklungen einsetzen kann. Noch könnte uns das Virus freilich einen Strich durch die Rechnung machen. Wir bei Elektor drücken jedenfalls die Daumen, dass die electronica und damit auch der (gemeinsam mit der Messe München veranstaltete) Fast Forward Award für Start-ups stattfinden kann! Maßgeschneidert für die electronica wird es dann auch wieder eine gedruckte Ausgabe der Elektronik Industry geben, die in der ersten Novemberwoche erscheinen wird.

Parallel geht es bei Elektor natürlich online und digital weiter, auf unserer Homepage www.elektormagazine.de werden Sie aktuell informiert. Hier finden Sie übrigens auch die Folgen unserer neuen Webinar-Reihe, mit Profis aus der Industrie, selbstständigen Entwicklern und Journalisten vom Fach. Auch zu dieser Ausgabe „Produktion und Bauteile“ wird es ein Webinar geben. Bis dahin viel Spaß beim Lesen!

Das Elektor Investitionsprogramm

Wir bringen Start-ups mit Neukunden, Partnern und Resellern zusammen. Erfahren Sie mehr über die Vorteile sowohl für Start-ups als auch für Investoren!

www.elektormagazine.com/investment-program

elektor
design > share > sell



Schwerpunkt

PRODUKTION & BAUTEILE

Rubriken

5 Impressum

26 Infographic

Fakten und Zahlen

36 Wall of Fame

Elektors Partner in der Elektronikindustrie

40 Inserentenverzeichnis

Unsere Autoren

Nächste Ausgabe

20 ESD - was ist das?

Und warum der Schutz davor so wichtig ist

22 Einfluss des PCB-Layouts auf Störeinstrahlungen

Unter Berücksichtigung der CISPR- und EMV-Richtlinien

25 Stromsparender 3D-Magnetsensor im Miniaturformat

28 5G / 4G LTE-Module, innovative Modems und smarte Anwendungen

30 Embedded-Programmierung und darüber hinaus

Ein Interview mit Warren Gay

Artikel

6 Mooresches Gesetz – nur ein Mythos?

Prognosen, die nicht ewig gelten

10 Verringerung des Energieverbrauchs bei kapazitiven Sensoren

14 Review: Leitungstester Peaktech 2715

Sicherheit geht vor!

17 Hochvolt-DC/DC-Wandler

HV-DC/DC-Designs und
Mehrphasen-LLC-Resonanzwandler

Das Mooresche Gesetz

Kein Heiligtum mehr
in der Halbleiterwelt



6

Impressum

Elektor Industry

Ausgabe 5/2020
Produktion und Bauteile
© 2020
www.elektormagazine.de

Elektor Industry, Deutsche
Ausgabe, wird in 2020 sechs Mal
veröffentlicht.

Hauptsitz des Verlages

Elektor Verlag GmbH
Kackertstr. 10
52072 Aachen
Tel. +49 241 95509-190
Fax +49 241 95509-013

Chefredakteur (V.i.s.d.P.)

Jens Nickel
E-Mail: redaktion@elektor.de

Redaktion

CJ Abate, Jan Buiting, Stuart
Cording, Robert van der Zwan

Anzeigen

Margriet Debeij
Tel. +49 241 955 09-174
E-Mail:
margriet.debeij@elektor.com

Layout

Harmen Heida, Patrick Wielders

Herausgeber

Don Akkermans

Druck

Pijper Media, Stettinweg 15,
9723 HD Groningen

Aufgabe

Elektor Industry bietet Elektronik-
Ingenieuren, Innovatoren
und Start-ups Informationen
über und Einblicke in die
neuesten Produkte, Techniken
und Entwicklungen aus der
Elektronik-Industrie.

Distribution und Lieferung

Elektor Industry erscheint
zugleich auf Deutsch und
Englisch. Die Ausgabe wird
an Elektor Gold-Mitglieder als
gedruckte Version (in 2020
Ausgabe 1 und 6) und an Elektor
Green-Mitglieder als pdf-Datei
verschickt. Das Magazin wird
auf Messen gratis verbreitet
wie z.B. auf der Productronica
(München), electronica
(München), und embedded
world (Nürnberg).

Leserhinweis

Elektor Industry enthält
gesponserte Artikel.
Der Herausgeber bestätigt
alle Trademarks in Verbindung
mit Produkten, Diensten,
Materialien und Firmennamen,
die in dieser Veröffentlichung
erscheinen. Die in der Elektor
Industry vertretenen Ansichten
stimmen nicht zwangsweise mit
denjenigen des Herausgebers
oder der Redaktion überein.

Urheberrecht

Die in dieser Zeitschrift
veröffentlichten Beiträge,
insbesondere alle Aufsätze
und Artikel sowie alle
Entwürfe, Pläne, Zeichnungen
einschließlich Platinen sind
urheberrechtlich geschützt. Ihre
auch teilweise Vervielfältigung
und Verbreitung ist
grundsätzlich nur mit vorheriger
schriftlicher Zustimmung des
Herausgebers gestattet. Die
veröffentlichten Schaltungen
können unter Patent oder
Gebrauchsmusterschutz
stehen. Herstellen, Feilhalten,
Inverkehrbringen und
gewerblicher Gebrauch
der Beiträge sind nur mit
Zustimmung des Verlages und
ggf. des Schutzrechtsinhabers
zulässig. Nur der private
Gebrauch ist frei. Bei den
benutzten Warenbezeichnungen
kann es sich um geschützte
Warenzeichen handeln, die nur
mit Zustimmung ihrer Inhaber
verwendet werden dürfen. Die geltenden
gesetzlichen Bestimmungen
hinsichtlich Bau, Erwerb
und Betrieb von Sende- und
Empfangeinrichtungen und
der elektrischen Sicherheit sind
unbedingt zu beachten. Eine
Haftung des Herausgebers für
die Richtigkeit und Brauchbarkeit
der veröffentlichten Schaltungen
und sonstigen Anordnungen
sowie für die Richtigkeit
des technischen Inhalts der
veröffentlichten Aufsätze
und sonstigen Beiträge ist
ausgeschlossen.

© Elektor International Media
b.v. 2020
www.elektormagazine.de
Printed in the Netherlands



Interview mit Warren Gay

Embedded- Programmierung und mehr

30



Review

Leitungstester
PeakTech 2715
Sicherheit geht vor!

14

ESD - was ist das?



Warum der
Schutz davor
so **wichtig** ist

20

Mooresches Gesetz

Nur ein Mythos?

Prognosen, die nicht ewig gelten

Von Stuart Cording

Intel geriet unlängst in die Schlagzeilen, nachdem die Investoren darüber informiert wurden, dass ein ganz bestimmter Fertigungsprozess des Unternehmens 12 Monate hinter den gesteckten Zielen hinterher hinkt [1]. Ein gefundenes Fressen für alle Verbraucher- und Finanzmagazine! Man neigt aufgrund solcher Ereignisse leicht zu der Annahme, dass Innovationen in der Halbleiterindustrie scheinbar nur durch die immer wieder neue Erfüllung des Mooreschen Gesetzes möglich seien. Dies entspricht allerdings nicht den Tatsachen!

Mehr über Moore

Es war ein Mitbegründer von Intel, Gordon Moore, der mittels empirischer Methoden eine Gesetzmäßigkeit bei der Zunahme der Anzahl von Transistoren auf Silizium-Wafer-Abschnitten, auch *Die* genannt, entdeckte [2]. Im Jahre 1965 erwartete er eine jährliche Verdoppelung der Wachstumsrate, ein Wert, der später auf einen Zeitabschnitt von zwei Jahren korrigiert wurde. In Wirklichkeit handelte es sich bei seiner Aussage eher um eine Vorhersage, die jedoch schließlich zum Gesetz und letztendlich zu einer zu erfüllenden Prophezeiung hochstilisiert wurde. In den Anfangsjahren der rasanten Entwicklung der Computertechnik hat das Gesetz zweifellos auch gute Dienste geleistet, die schließlich zum heutigen breiten Angebot innerhalb der Informationstechnologie führten und vielen heutigen, großen Prozessor-Anbietern zum Durchbruch verhalfen. Eine blinde Verfolgung des Mooreschen Gesetzes ist für große Bereiche der Halbleiterindustrie heute jedoch nur noch von geringer Bedeutung. Auf welche Weise finden bei diesen Unternehmen Innovationen statt, was sind die Ziele, und wie sehen die Ergebnisse aus?

Ausweg Chiplet

Moore fragte auch, unter welchen Umständen wir solche mit Bauteilen „vollgestopften“ Geräte bauen sollten [3]. Moore: „Es kann sich als wirtschaftlicher erweisen, große Systeme aus kleineren Funktionen zusammenzustellen, die sich in separaten Gehäusen befinden und miteinander verbunden sind“. Diese Forderung von Moore ist inzwischen Realität – aber auch gleichzeitig eine Herausforderung, mit der die Halbleiterindustrie zu kämpfen hat, denn analoge Schaltungen profitieren in geringerem Maße von den Verbesserungen bei der Chipherstellung als digitale Schaltungen.



Eine blinde Verfolgung des Mooreschen Gesetzes ist für weite Bereiche der Halbleiterindustrie nur von geringer Bedeutung.

Die DRAM-Hersteller sahen sich zum Beispiel vor große Probleme gestellt, als sie im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrtausends versuchten, die Größe einer Ein-Bit-Speicherzelle auf 100 Nanometer zu reduzieren. Dazu musste ein Kondensator mit geringem Leckstrom entwickelt werden, der bei kleinsten Abmessungen über eine ausreichende Kapazität verfügte. Durch den Übergang in die dritte Dimension mit Verfahren wie dem Trench-Storage oder mit übereinandergestapelten Kondensatoren konnte dieses Problem gelöst werden.

Gezielte Herstellungsverfahren für spezifische Anwendungen haben in den letzten Jahren zur Entwicklung von Chiplets geführt. Ihr Einsatz geht davon aus, dass bestimmte Funktionen, wie zum Beispiel Speicher, FPGA-Technologien und analoge Schnittstellen am besten mit Verfahren hergestellt werden, die auf individuelle Bedürfnisse abgestimmt sind. Die aus Silizium bestehenden Dies werden dann später in ein Gehäuse integriert. Mittels Bonding auf ein Gehäusesubstrat werden die einzelnen Dies zu einem kompletten Bauelement zusammengefügt. Zum Beispiel kann ein analoges Serializer/Deserializer-Chiplet (SERDES) direkt über den Lötperlen (Package Balls), mit denen es verbunden ist, im Chipgehäuse platziert werden. Dies kann die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) möglicherweise verbessern und Layout-Probleme von Leiterplattenentwicklern verringern. Solch eine Verbesserung wäre bei einem monolithischen Chip nachträglich nur schwer durchzuführen.

Die Chiplet-Lösung kann sich auch deswegen als kostensenkend erweisen, weil sich die Ausbeute pro Wafer mit abnehmender Chip-Größe verbessert [5]. Viele kleinere Chips wirken sich daher im Gegensatz zu monolithischen Lösungen positiv auf die Ausbeute bei einem Multi-Chiplet-Bauteil aus – ein Ansatz der von Intel mit seiner chiplet-basierten Architektur Stratix-10 mit einem FPGA als Kernstück verfolgt wird [6]. Dieser ist umgeben von DRAM-Chiplets, Hochgeschwindigkeits-Transceivern und anderen Elementen, die ein Kunde eventuell benötigt. Hersteller und Kunde profitieren auch von den daraus resultierenden, kurzen Entwicklungszeiten, da es einfacher ist, eine Multi-Chiplet-Entwicklung auf den Markt zu bringen, als zu versuchen, mehrere komplexe analoge und digitale IP-Blöcke (IP = Intellectual Property) in einem einzigen Herstellungsprozess zu integrieren.

Ein interessanter Ansatz von Intel ist die Verwendung von *Embedded Multi-Die Interconnect Bridges* (EMIB) [7]. Dabei handelt es sich um winzige Die-Brücken, die in das Gehäusesubstrat eingebettet sind und die Signalführung zwischen den Chips und der Stromzufuhr übernehmen. Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren die

Herstellung von Chips mit unterschiedlichen Geometrien und mit unterschiedlichen Prozesstechnologien in einem einzigen System in Package (SiP). Um die Signalleitungen des Chips mit dem EMIB zu verbinden, werden sogenannte *Standard-Mikrobumps* verwendet. Für die Versorgungsanschlüsse werden *Flip-Chip-Bumps* eingesetzt. Diese Lösung bietet eine bessere Ausbeute und mehr Flexibilität als die *Through-Silicon-Via-Technologie* (TSV), wie sie in anderen Multi-Die-Gehäusen verwendet wird.

Es geht aufwärts

Auch die Branche der nichtflüchtigen Flash-Speicher stand vor einer vergleichbaren Herausforderung: Wie lassen sich noch mehr Bits in einem begrenzten Die-Bereich unterbringen? Es war klar, dass der einzige Weg zur dichteren Packung darin bestehen würde, in die dritte Dimension zu gehen, also aus der Fläche nach oben. Bei den mikroskopisch kleinen, lithografischen Prozessen leiden Flash-Zellen unter Störungen, die unter anderem durch das sogenannte *cell-to-cell-Rauschen* verursacht werden. Ein „weiter so“ nach dem Mooreschen Gesetz (Verwendung eines planaren NAND-Ansatzes aus dotiertem polykristallinem Silizium) würde daher nicht den vorhergesehenen Bedarf an Speicherdichte decken. Kioxia (ehemals Toshiba) entwickelte seinen 3D BiCS Flash (bit column stacked) NAND-Speicher unter Verwendung sogenannter *Ladungsfallen-Zellen* aus Siliziumnitrid und stapelte seine Speicherbits dann vertikal. Die resultierende Struktur gleicht im Prinzip einer Reihe von Hochhäusern mit vielen Etagen. Die jüngste, fünfte Generation von 3D-BiCS-Flash besteht aus 112 Schichten. Dies wird in naher Zukunft die Herstellung von Single-Chip-Flash-Speichern mit einer Kapazität von einem Terabit (128 GB) ermöglichen [8]. Das Wachstum nach oben hört damit nicht auf. Zwar sind Multi-Die-Pakete nicht neu, doch werden sie traditionell gestapelt, wobei die Verbindungen über herkömmliche Bonddrähte hergestellt werden. Dies ist die gleiche Methode, die auch bei der Verbindung des Chips mit den Pins des Gehäuses angewendet wird. Dies ist mit gewissen Herausforderungen verbunden, doch das Ansteigen der Signalfrequenzen aufgrund von parasitären Effekten konnte mittels Speichern wie SSDs und eingebetteten Flash-Speichern (die zu Schnittstellen mit immer höheren Bandbreiten, wie NVMe, PCIe und UFS, führen) im Zaum gehalten werden. Dank ihrer einheitlichen Größe, Herstellungstechnologie und Funktionalität ermöglichen TSVs das Zusammenschalten und Bonden von gestapelten Chips mit dem Substrat des Gehäuses, was zu einer Verdoppelung der Datenraten im Vergleich zu einer drahtgebundenen Lösung führt.

Der letzte Trick bei der Verbesserung der Speicherkapazität bestand darin, mehr als ein Bit pro Zelle zu speichern. Frühe Flash-Speicher verwendeten eine *Single Level Cell-Architektur* (SLC). Inzwischen ist es üblich, zwei (Multiple Level Cell, MLC) oder drei (Triple Level Cell, TLC) Bits pro Zelle zu speichern. Das bedeutet, dass anstelle von zwei Spannungen für Eins und Null nun vier oder acht Spannungsniveaus in jeder Zelle gespeichert werden, die die Werte 0 bis 3 bzw. 0 bis 7 repräsentieren. Dieser Vorteil geht auf Kosten eines erhöhten Verschleißes, was bedeutet, dass das Verfahren nicht für jede Art von Anwendung geeignet ist. SLC-Geräte oder SLC-Partitionen kommen daher weiterhin in den Bereichen zur Anwendung, die ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit erfordern, wie beispielsweise innerhalb eines Bootloaders.

SiC und GaN: Willkommen im Club

Während Silizium in den letzten fünf Jahrzehnten die Hauptstütze der Halbleiterprodukte bildete, wurde auch an Alternativen zur Überwindung seiner Grenzen gearbeitet. In den Bereichen der Leistungsumwandlung und der Stromversorgungen sowie bei Batterieladegeräten, Motor- und Solarwechselrichtern war es das Ziel, den Wirkungsgrad durch die Verbesserung von Schaltgeräten wie IGBTs und MOSFETs zu erhöhen. Dadurch wird es möglich, immer mehr Leistung auf immer kleinerem Raum unterzubringen, Zwangskühlung durch Lüfter überflüssig zu machen und letztlich den Preis pro Gerät oder auf der Ebene der Gesamtbetriebskosten (TCO) aufgrund der daraus resultierenden Energieeinsparungen zu senken. Die Verringerung des Einschaltwiderstands ($R_{DS(ON)}$) reduziert zum Beispiel auch die Verluste im Schalter und damit die abzuführende Wärme. Durch die Erhöhung der Schaltfrequenz können kleinere magnetische Komponenten verwendet werden, was zu kompakteren Geräten mit höherer Leistungsdichte führt. Breitband-Halbleiter (WBG), zu denen Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) gehören, besitzen höhere Bandlücken als Silizium-Bauelemente (2 bis 4 eV gegenüber 1 bis 1,5 eV). Dies stellt die Entwickler aufgrund der höheren Betriebstemperaturen, Frequenzen und Spannungen vor größere Herausforderungen. Sollen höhere Leistungen bei höchsten Leistungsdichten angestrebt werden, so bieten GaN-Transistoren einen Vorteil gegenüber alternativen Lösungen. Sie weisen einen niedrigeren $R_{DS(ON)}$ -Wert auf und arbeiten auch bei höheren Schaltfrequenzen dank des nahezu verlustfreien Schaltens sehr zuverlässig, was nicht zuletzt ihrer Zero Reverse Recovery (Q_{rr})-Eigenschaft zu verdanken ist. Dies eröffnet, im Gegensatz zu einer modernen Lösung auf Siliziumbasis, die Möglichkeit, die Leistungsdichte zu verdoppeln oder den Wirkungsgrad der Stromversorgung um einen Prozentpunkt zu erhöhen [9].

SiC-MOSFETs verbessern ebenfalls den Wirkungsgrad und die Leistungsdichte im Vergleich zu Produkten auf Siliziumbasis und zeichnen sich außerdem noch durch eine höhere Robustheit aus. Sie verkraften dazu noch einen Betrieb bei höheren Spannungen und sind einfacher zu verwenden als die Silizium- oder GaN-Alternativen. Es ist möglich, die gleichen Gate-Treiber, die für Silizium-MOSFETs verwendet werden, auch bei SiC-Bauelementen einzusetzen, wodurch der Wechsel von Silizium zu SiC relativ einfach wird. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass sie eine etwas höhere Gate-Treiberspannung als Silizium-MOSFETs benötigen (18 V gegenüber 15 V), um ihren im Datenblatt angegebenen $R_{DS(ON)}$ -



Gordon Moore auf einer Briefmarke.

Wert zu erreichen. SiC-MOSFETs zeigen auch einen geringeren Anstieg des $R_{DS(ON)}$ bei steigender Temperatur. Da Stromversorgungsschalter bei etwa 100 °C arbeiten, bedeutet dies geringere Verluste und einen höheren Wirkungsgrad während des Betriebs. Ihre niedrigere Q_{OSS} (Drain-Source-Ladung) bedeutet auch, dass sie im sogenannten *hard-switching* CCM (*Continuous-Conduction-Mode*) mit Totem Pole PFC (*Power-Factor-Correction*) eingesetzt werden können, was mit Silizium-MOSFETs nicht möglich ist. Dies kann zu einer PFC mit einem Wirkungsgrad von 99% führen, was wichtig für die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades eines Leistungswandlers ist.

Oldies but Goodies

Die meisten Branchen scheinen zyklische Trends zu durchlaufen, die Jahrzehnte später erneut auftauchen, wobei alte Ideen für eine neue Generation überarbeitet werden. Vinyl erlebte zum Beispiel ein solches Comeback und hat in den letzten Jahren die Nachfrage nach Plattenspielern angekurbelt. Die Modebranche macht ihr Glück, indem sie die Trends von gestern wieder aufgreift, und auch die Halbleiter-Industrie ist diesem Trend nicht abgeneigt, wie das folgende Beispiel zeigt.

Die Motorsteuerung ist seit den Anfängen der Elektronikindustrie ein wichtiges Teilgebiet. Kleine Gleichstrommotoren in Consumer-Anwendungen wurden zum großen Geschäft, vor allem, als Geräte wie Videorekorder immer beliebter wurden. Um sicherzustellen, dass das Band sowohl eingezogen als auch ausgestoßen werden konnte, war eine bidirektionale Steuerung des zugehörigen Motors unerlässlich. Es war nicht zuletzt die Notwendigkeit einen hohen Integrationsdichte in einem einzigen Gerät, die die Entwicklung eines Ein-Chip-H-Brücken-Motorcontrollers vorantrieb: Der TA7291 verfügte über vier bipolare Transistoren, während seine einfache Zwei-Pin-Schnittstelle eine Steuerung im und gegen den Uhrzeigersinn ermöglichte, zusammen mit einer Bremsfunktion, die die Gegen-EMK des Motors nutzte, um ihn schnell zu stoppen [10]. Der in verschiedenen Gehäusen erhältliche Baustein konnte einen Strom von bis zu 2 A über einen Versorgungsbereich von 4,5 V bis 20 V verarbeiten. Über die Motorsteuerungsfunktion hinaus bot er auch eine thermische Abschaltung und einen Überstromschutz. Seit seiner Entwicklung hat sich viel verändert, da viele Hersteller zu effizienteren, bürstenlosen Gleichstrommotoren (BLCD) übergegangen sind. Trotzdem wird auch heute immer noch eine Vielzahl von DC-Anwendungen mit Bürsten entwickelt. In der Zwischenzeit hat ihre Bedeutung aufgrund der Nachfrage nach langlebigen, batteriebetriebenen Geräten zugenommen. Darüber hinaus steht die Miniaturisierung ganz oben auf der Tagesordnung, die winzige Gehäuse für die Integration in kompakte Leiterplatten erfordert.



Die Halbleiterinnovationen sind weitreichend und beschränken sich nicht nur auf Silizium.

Die neueste Entwicklung dieses H-Brücken-Motortreibers ist der TB67H450FNG [11]. Durch die Umstellung auf einen BiCD-Prozess (Bipolar, CMOS, DMOS) ist der Widerstand der Schalter von $4,75 \Omega$ auf nur noch $0,6 \Omega$ gesunken. Neue Gehäuse-Optionen bedeuten, dass der Baustein deutlich leichter ist und die Wärmeableitung nun mit einem kleinen Metallplättchen an der Unterseite des Gehäuses statt über eine aus der Oberseite herausragende Fläche realisiert werden kann. Verbesserungen der Fertigungstechniken bedeuten auch, dass zusätzliche Funktionen, die zu einer robusteren Lösung führen, hinzukommen können. So sind die Schutzfunktionen die gleichen wie bisher, aber es wurde eine Unterspannungssperre und ein neuer Konstantstrom-Regelungsmodus hinzugefügt. Der Baustein ist jetzt bei Spannungen bis zu 50 V betriebsbereit und kann Ströme bis zu 3,5 A treiben.

Stete Miniaturisierung ist nicht alles

Während Teraflops und Zettabytes ($1 \text{ ZB} = 10^{21}$ Bytes) für große Schlagzeilen in der Verbraucherpresse sorgen und Finanzinvestoren ihre Gewinne an den Fortschritt in der Halbleiterherstellung

knüpfen, ist dies nicht die einzige Art und Weise, innerhalb der sich die Halbleiterindustrie innovativ zeigt. Gewiss: Eine ausgeklügeltere Herstellungsmethode führt zu kleineren Chips, und größere Wafer bedeuten mehr Chips pro Wafer. All dies sind Faktoren, die die Preise für die Produkte der Hochtechnologie nach unten treiben können. Allerdings ist damit die Bandbreite der Innovationen bei den Halbleiterherstellern noch lange nicht erschöpft: Neue Herstellungsverfahren und Technologieverbesserungen bringen Silizium-MOSFETs und Transistoren immer näher in Richtung „Perfekter Schalter“, während WBG-Bauelemente wie SiC und GaN das Potenzial aufweisen, ihre Verwandten aus Silizium noch zu übertrumpfen. Das Packaging, die Die-Interconnects und der Chiplet-Aspekt spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle, wenn es darum geht, Innovationen bei Chips auch dann noch aufrecht zu erhalten, wenn die Verbesserungen bei der Wafer-Herstellung einmal zum Stillstand kämen. Und schließlich kommt ein Teil der Innovation auch einfach nur dadurch zustande, dass man gut etablierte Produkte wie zum Beispiel Motortreiber für die Herausforderungen eines neuen Jahrzehnts überarbeitet.

200421-02

WEBLINKS

- [1] Intel's 7nm Is Broken, Company Announces Delay Until 2022, 2023: <https://www.tomshardware.com/news/intel-announces-delay-to-7nm-processors-now-one-year-behind-expectations>
- [2] Moore's Law: https://de.wikipedia.org/wiki/Mooresches_Gesetz
- [3] Cramming More Components onto Integrated Circuits: https://hasler.ece.gatech.edu/Published_papers/Technology_overview/gordon_moore_1965_article.pdf
- [4] Challenges and Future Directions for the Scaling of Dynamic Random-Access Memory (DRAM): https://www.researchgate.net/publication/220497584_Challenges_and_future_directions_for_the_scaling_of_dynamic_random-access_memory_DRAM
- [5] Chiplet: <https://en.wikichip.org/wiki/chiplet>
- [6] Heterogeneous 3D System-in-Package Integration: <https://intel.ly/2CXP97m>
- [7] Embedded Multi-Die Interconnect Bridge: <https://www.intel.com/content/www/us/en/foundry/emib.html>
- [8] KIOXIA Europe GmbH Unveils 5th-Generation BiCS FLASH: <http://bit.ly/kioxia-eim>
- [9] Why GaN Will Be Key to Feeding Power-Hungry 5G Networks: <http://bit.ly/infineon-eim>
- [10] TA7291P, TA7291S/SG, TA7291F/FG Bridge Driver: <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=16128&prodName=TA7291S>
- [11] TB67H450FNG: PWM Chopper Type DC Brushed Motor Driver: <http://bit.ly/toshiba-eim>

Verringerung des Energieverbrauchs bei kapazitiven Sensoren

Von Anders Guldahl, Application Engineer, Energy Micro

Bei der kapazitiven Messung geht es um das Registrieren von Kapazitätsänderungen zwischen zwei oder mehreren Elektroden; eine Technik, die häufig zum Messen von Abständen oder Positionen eingesetzt wird und auch für Größen wie Feuchtigkeit, Füllstände und Beschleunigungen geeignet ist. Angesichts des breiten Anwendungsspektrums finden sich kapazitive Sensoren in den unterschiedlichsten Märkten – von der Industrie über die Automobilentwicklung und die Medizin bis hin zum Endverbraucher. Da außerdem immer mehr Elektronikprodukte mit Touchpads und Touchscreens entwickelt werden, erleben wir beim Einsatz der kapazitiven Sensorik als unverzichtbare Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) zurzeit eine regelrechte Explosion.

Zusätzlich nimmt auch das Bewusstsein für die Umweltaspekte von Produkten zu. Während die kapazitive Abtastung als Ersatz für mechanische Schalter die Zuverlässigkeit und damit die Lebensdauer eines Produkts erhöht, könnte der erhöhte Energieverbrauch der dazu erforderlichen, elektronischen Schaltungen diesen positiven Effekt wieder aufheben. Das vorliegende Whitepaper demonstriert anhand einer Reihe von Anwendungsbeispielen, wie kapazitive Sensoren funktionieren und welche Vorteile sie gegenüber alternativen Lösungen bieten. Anschließend wird untersucht, wie eventuelle Bedenken hinsichtlich des Energieverbrauchs mit Hilfe eines Mikrocontrollers (MCU) ausgeräumt werden können – eines Mikrocontrollers, der zum Beispiel in einem extrem stromsparenden Tiefschlafmodus verbleiben und dennoch in der Lage sein kann, die Signale an den Sensoreingängen schnell und zuverlässig zu erkennen und darauf zu reagieren.

Kapazitive Sensor-Anwendungen

1. Positions- und Wegerfassung

Spezielle kapazitive Sensoren, die hochpräzise Positions- oder Wegmessungen im Nanobereich oder noch genauer ermöglichen, werden meist in Verbindung mit hochentwickelten Steuerungen in High-End-Mess- oder Steuerungssystemen eingesetzt. Diese Systeme verwenden Sensorkonfigurationen mit einer oder zwei Platten, bei denen der Messbereich (zwischen der Sonden- und der Zielelektrode) durch genau definierte Elektrodengeometrien bestimmt wird. Oft dienen dabei noch sogenannte Schutzringe zur Vermeidung von Streueffekten. Die Systeme sind kalibriert, um die erforderliche Genauigkeit zu erreichen und verwenden verschiedene Techniken, um den Einfluss von Umgebungsfaktoren wie Temperatur und Feuchtigkeit zu minimieren. Eine ähnliche Genauigkeit ist zwar auch mit der Laserinterferometrie möglich, dann allerdings zu weitaus höheren Kosten.

Bei der Positions- und Wegerfassung ist die Messung abhängig von der Kapazität, die sich umgekehrt proportional zum Abstand zwischen den beiden Elektroden ändert (**Bild 1**). Dieses Prinzip kann natürlich auch auf weniger anspruchsvolle Anwendungen mit einfachem Elektroden- und Regelkreisen angewendet werden, in denen solch präzise Messungen nicht erforderlich sind (zum Beispiel bei der einfachen Go- bzw. No-Go-Näherungserkennung). Eine Variation der Wegerfassung wird zur Messung der Beschleunigung verwendet. Im Prinzip verhält sich ein Beschleunigungssensor wie eine gedämpfte Masse, die aufgrund ihrer Trägheit beim Beschleunigen eine mit dem Gehäuse verbundene Feder dehnt oder zusammendrückt. Die Verschiebung ist dann ein Maß für die Beschleunigung. Dieses Prinzip wird in den MEMS-Beschleunigungssensoren in Automobil-Airbags und zunehmend auch in privat genutzten, elektronischen Geräten angewendet, zum Beispiel in Mobiltelefonen, Spiele-Konsolen und bildstabilisierten Kameras.

2. Füllstandsmessung

Die Füllstandsmessung kann allgemein in zwei Kategorien unterteilt werden: Messung diskreter Füllstände (z.B. voll oder leer) und kontinuierliche Füllstandsmessung. Die Anwendungen reichen von Haushaltskaffeemaschinen bis hin zum Einsatz in der Chemie, Pharmazie und Lebensmittelverarbeitung. Im Gegensatz zur Positions- und Wegerfassung kommt hier ein anderes Prinzip zur Anwendung: Eine Kapazitätsänderung aufgrund der unterschiedlichen Permittivität der Flüssigkeit K und des freien Raums ϵ_0 (**Bild 2**).

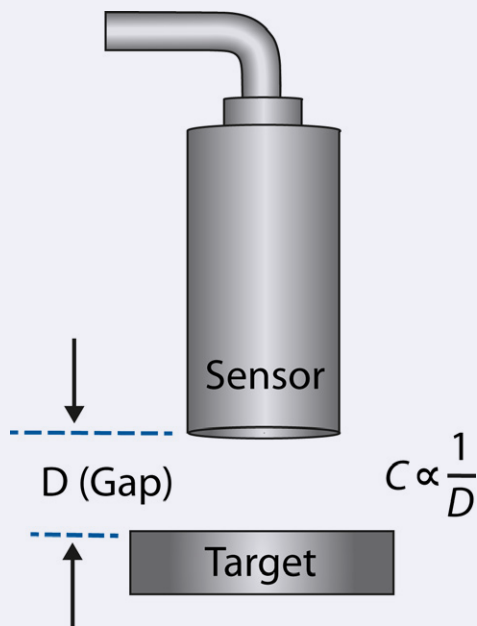


Bild 1. Messprinzip für Positions- und Wegsensoren.

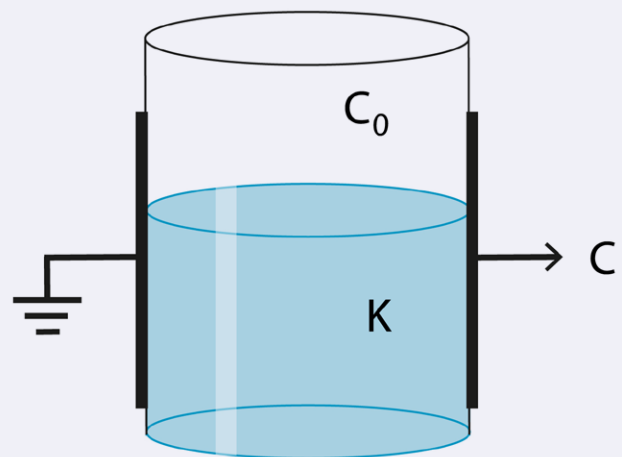


Bild 2. Füllstandsmessung mit kapazitivem Sensor.

Konkurrierende Technologien sind mechanische Schwimmer- und Reedschalter, Ultraschallecholote und leitfähige Elektroden. Alle Verfahren haben Vor- und Nachteile. Leitfähige Elektroden können zum Beispiel nicht zusammen mit brennbaren Flüssigkeiten verwendet werden, und mechanische Lösungen haben oft eine kürzere Lebensdauer und sind daher weniger zuverlässig. Kapazitive Feuchtesensoren nutzen den Einfluss von Feuchtigkeit auf die Dielektrizitätskonstante bestimmter Materialien wie zum Beispiel Polymere. Bei entsprechender Kalibrierung arbeiten solche Sensoren über einen relativen Feuchtebereich (RH) von 5 bis 95 % mit einer Abweichung von nur wenigen Prozent.

3. Touchscreens und Trackpads

Touchscreens werden zunehmend als Ersatz für mechanische Tasten und Schieberegler eingesetzt und sind heute das führende Human Interface Device (HID) in Mobiltelefonen, Tablet-Computern und ähnlichen Produkten. Touchscreens kommen auch in Küchengeräten und Autos zum Einsatz, wo die weit verbreitete Anwendung von Mikrocontrollern die Verwendung von Touchscreens einfacher und oft auch kostengünstiger macht und zusätzliche Vorteile wie eine bessere Ergonomie und eine höhere Zuverlässigkeit bietet. Diese Schnittstellengeräte reichen in ihrer Komplexität von einfachen Single-Touch-Screens bis hin zu Multipoint- und Trackpad-Implementierungen, die Aktionen wie zum Beispiel das Berühren oder Wischen mit mehreren Berührungspunkten auf dem Bildschirm erkennen.

Der Sensor für einen kapazitiven Berührungsschalter kann mit beliebig vielen leitenden Materialien realisiert werden. Für einen einfachen Schalter könnte es sich zum Beispiel um einen Kupferbelag auf einer Leiterplatte handeln. Ein Touchscreen-Display benötigt jedoch logischerweise ein transparentes, leitfähiges Material, das sich auf dem Bildschirm auftragen lässt. Indiumzinnoxid (ITO) ist in diesem Fall eine bewährte Lösung, die 90 % Transparenz (für eine einzelne Schicht) bietet und auch strukturiert werden kann,

um verschiedene Elektrodenkonfigurationen einschließlich eines X-Y-Gitters bereitzustellen.

Um den Berührungspunkt auf einem Touchscreen zu bestimmen, werden zwei Techniken verwendet. Im ersten Fall handelt es sich um eine leitende Schicht auf der Innenseite des Deck-Glases am Bildschirm. Ein elektrostatisches Feld, das durch Anlegen einer Spannung an diese Schicht erzeugt wird, ermöglicht es dann, die durch einen Finger an der Außenseite des Glases erzeugte Kapazität an jedem Punkt des Bildschirms zu messen. Aufgrund des Schichtwiderstands der leitenden Schicht können dann die verschiedenen Kapazitätsmessungen zur Bestimmung der Fingerposition herangezogen werden.

Bei dem Touchscreen vom Typ „projizierte Kapazität“ wird die leitfähige Schicht geätzt, um ein Gittermuster aus Elektroden zu erzeugen. Dies kann entweder auf einer Ebene oder als rechtwinklige Anordnung paralleler Linien auf zwei Ebenen erfolgen. Im einschichtigen Fall wird die durch Berührung des Bildschirms erzeugte Kapazität separat für die Zeilen und Spalten ermittelt. Bei dem zweilagigen Verfahren wird jedoch die Kapazität am Schnittpunkt jeder Zeile und Spalte gemessen. Projizierte kapazitive Touchscreens bieten durch den Einsatz eines zweilagigen Gitters eine höhere Auflösung. Die dort praktizierte, wechselseitige Kapazitätsmessung ermöglicht zudem noch Multi-Touch-Operationen, das heißt, die Möglichkeit, Berührungen mit mehreren Fingern gleichzeitig zu erfassen und zu verfolgen.

Da kein direkter Kontakt zum Sensor besteht, kann diese Art der Touchscreen-Technologie mit ihrer geringeren Auflösung, wenn man ihre Empfindlichkeit erhöht, auch in der Näherungssensorik eingesetzt werden. Sie können dabei so hergestellt werden, dass sie unempfindlich gegen die Auswirkungen von Oberflächenwasser oder anderen Verunreinigungen sind und mit Handschuhen bedient werden können.

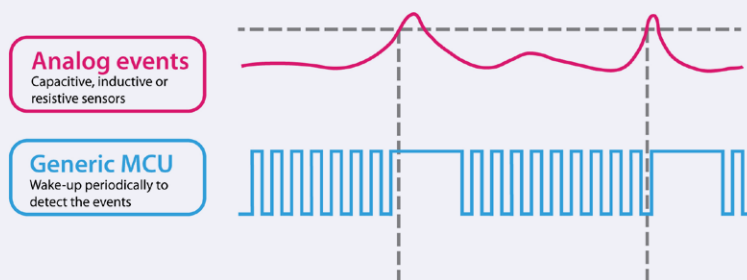


Bild 3. Generische MCUs verschwenden, um die Sensoreingänge zu überwachen, Energie beim Aufwachen aus dem Sleep Mode.

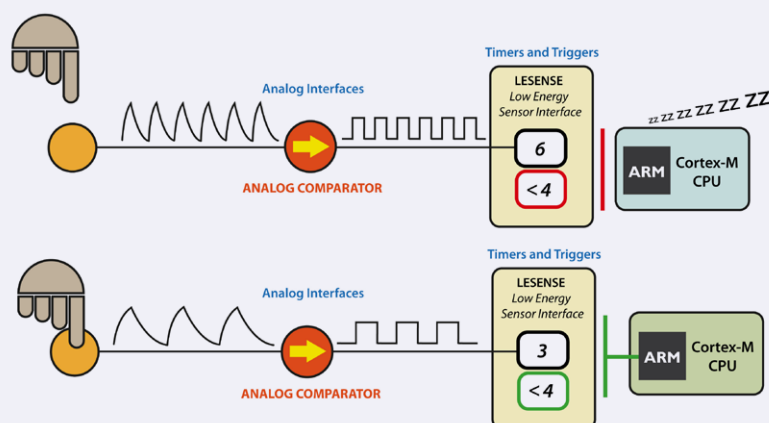


Bild 4. LESENSE reduziert den Energieverbrauch bei verschiedenen Aufwachbedingungen.

Niedriger Energieverbrauch im Verhältnis zur Leistung

Unabhängig von der Anwendung ist ein kapazitiver Sensor ein Eingabegerät, und deshalb muss das System, zu dem es gehört, die eingegebenen Signale rechtzeitig erkennen und darauf reagieren. Dies gilt vor allem nach einer Zeit der Inaktivität, in der das System möglicherweise aus einem Schlafmodus (Sleep Mode) aufwachen muss. Da es bei einem Sleep Mode vor allem darum geht, Energie zu sparen (besonders bei akkubetriebenen Geräten) darf der Prozess der Eingangsüberwachung den Stromverbrauch nicht erhöhen. Hier gewinnt das Low Energy Sensor Interface (LESENSE) in den EFM32-Mikrocontrollern von Energy Micro immer mehr an Bedeutung, da es die Leistung des 32-Bit-CPU-Kerns nicht beeinträchtigt.

Zu lange Aufwachphasen

Bei Niedrigenergie-Anwendungen wird häufig davon ausgegangen, dass hier 8- oder 16-Bit-MCUs aufgrund ihrer geringeren Wirkleistungsaufnahme bevorzugt verwendet würden. Das trifft jedoch nicht ganz zu, denn Energie ist „Leistung mal Zeit“, und tatsächlich kann ein leistungsfähigerer 32-Bit-CPU-Kern wie der ARM Cortex-M3 eine bestimmte Aufgabe meistens in einem Viertel der Zeit erledigen, die ein älterer 16-Bit-CPU-Kern dazu benötigt – zum Beispiel die Tiny Gecko von Energy Micro, die auch im aktiven Modus nur 150 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ verbraucht.

Sind externe Sensoren an eine MCU angeschlossen, so muss der Prozessor regelmäßig aus dem Schlafmodus „geweckt“ werden, um ein externes Ereignis zu identifizieren (Bild 3). Die meisten modernen MCUs verfügen dabei über verschiedene Niedrigverbrauchsmodi, die von „Standby“ über „Schlaf“ bis hin zu „Tiefschlaf“ reichen. Ein großes Problem stellt dabei die zunehmende Zeit dar, die benötigt wird, um aus einem immer tiefer gehenden Niedrigverbrauchsmodus „aufzuwachen“.

Um eine rechtzeitige Reaktion auf ein Ereignis zu gewährleisten, ist es daher oft gar nicht möglich, den tiefst-möglichen Sleep Mode zu verwenden. Auch während der Aufwachphase, in welcher die MCU keine sinnvolle Arbeit leistet, wird natürlich Energie verbraucht. Das Ganze wird durch allzu häufig stattfindende Aufwachphasen noch weiter verschärft – schlimmstenfalls bis hin zu einem Punkt, an dem das System möglicherweise mehr Strom verbraucht als in einem Zustand mit höherer Aktivität.

Die Lösung heißt LESENSE

Eine Sensorschnittstelle, die unabhängig von der MCU arbeiten kann, bietet einen großen Vorteil, vor allem, wenn sie für den Betrieb mit anderen Peripheriegeräten konfiguriert werden kann. Die MCU muss dann nur aufwachen, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind. Genau das bietet Energy Micro mit den MCUs der EFM32 Gecko-Serie und ihrem Low Energy Sensor Interface (LESENSE) in Kombination mit dem Peripheral Reflex System (PRS), wie in Bild 4 dargestellt.

Die LESENSE-Schnittstelle umfasst analoge Komparatoren, einen DAC und ein Sequenzer-Modul mit 32 kHz. Der Sequenzer legt fest, welche Pins mit den Komparatoren verbunden sind und ob der DAC verwendet wird, um eine genauere Referenz des Komparators zu erhalten. Die Komparator-Ausgänge können gezählt und kombiniert werden, so dass die CPU erst dann geweckt wird, wenn eine vorgegebene Anzahl von Bedingungen eingetreten ist. Dazu gehört zum Beispiel das zweimalige Antippen eines Touchscreens innerhalb eines bestimmten Zeitfensters oder die Betätigung eines Touch-Schalters, während eine andere Bedingung erfüllt ist. All dies ist möglich, während sich die MCU in einem Tiefschlafmodus mit einem Stromverbrauch im μA -Bereich befindet.

Da die Sensor-Ergebnisse von LESENSE dem Peripheral Reflex System (PRS) zur Verfügung stehen, kann ein Entwickler noch

komplexere Strukturen verschiedener Zustände zur Überwachung externer Ereignisse ohne CPU-Einfluss festlegen. Während andere moderne MCUs noch On-Chip-Peripheriegeräte enthalten können, geht die Gecko-Architektur von Energy Micro mit ihrer PRS-Lösung sogar noch einen Schritt weiter.

Verwendung von LESENSE mit kapazitiven Sensoren

Aus den oben betrachteten, kapazitiven Sensoranwendungen geht hervor, dass die Messung einer Kapazitätsänderung in der Regel wichtiger ist als eine Absolutmessung. Bei einer kapazitiven Messung fungiert die Kapazität zwischen dem Abtaststift und der Masse als Teil eines RC-Oszillators. Die Frequenz des Oszillators ändert sich in Abhängigkeit dieser Kapazität. So kann eine Schaltfunktion mittels Berührung recht einfach realisiert werden, indem der Sensor-Pin direkt mit dem Touchpad-Bereich der Leiterplatte verbunden wird, ohne dass weitere externe Komponenten erforderlich sind.

Wie in **Bild 4** zu sehen ist, wandelt der Analogkomparator das oszillierende Signal vom Touchpad in einen Impulsstrom um, so dass die LESENSE-Schnittstelle bei jeder steigenden Flanke einen Zähler inkrementieren kann. Der Zähler kann für eine voreingestellte Zeit aktiv sein. Dann wird der Zählerwert in einen Ergebnisbuffer übertragen. Die erhöhte Kapazität eines Fingers, der den Sensor berührt, erzeugt eine niedrigere Frequenz und damit einen geringeren Zählerwert. Dieser Wert wird mit einem Schwellenwert verglichen, und wenn er unter dem Schwellenwert liegt, kann die LESENSE-Schnittstelle mit dem Aufwecken der MCU fortfahren. In den meisten Situationen werden kapazitive Sensoren nur kurz berührt. Daher ist es wichtig, den Stromverbrauch zu minimieren, während das Gerät auf eine Eingabe wartet. Meistens wird dies durch eine Reduzierung der Messrate des Sensors erreicht. Leider besteht der Nachteil in einem längeren Abtastintervall, was zu einer langsameren Reaktionszeit führt, die eindeutig nicht benutzerfreundlich ist. Da die LESENSE-Schnittstelle ein Minimum an Ressourcen verbraucht und unabhängig von der MCU arbeitet, kann eine höhere Abtastfrequenz beibehalten werden, um die Reaktionsfähigkeit des Systems sicherzustellen, ohne dabei die Gesamtsystemleistung und den Energieverbrauch zu beeinträchtigen.

Einflüsse auf den Stromverbrauch

Die Stromaufnahme von Geräten mit kapazitiven Sensoren wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst. Diese beziehen sich überwiegend auf die Abtastfrequenz und die Dicke der oberen Touchpad-Schicht. Die Abtastfrequenz hat einen direkten Einfluss auf den Stromverbrauch; wenn die Abtastfrequenz verdoppelt wird, verdoppelt sich auch die Leistungsaufnahme. Der Einfluss der Schichtdicke auf den Stromverbrauch ist komplizierter. Neben der Tatsache, dass eine dickere Deckschicht zu einer höheren Stromaufnahme führt, kommen hier noch weitere Überlegungen ins Spiel. Mit einer dickeren Abdeckung ist der Kapazitätsunterschied zwischen Berühren und Nicht Berühren kleiner. Um sicherzustellen, dass die beiden Frequenzen korrekt identifiziert werden, muss der Oszillator also über einen längeren Zeitraum laufen. Wie lange, hängt von der Größe des Touchpads, dem dielektrischen Material und dem Leiterplattenaufbau ab. So kann beispielsweise die dynamische Stromaufnahme eines einzelnen Touchpads mit 5 mm Acryl-Overlay 500 nA betragen, so dass eine Vier-Tasten-Anwendung einen Gesamtverbrauch von 3 μ A einschließlich des statischen MCU-Verbrauchs (<1 μ A) aufweist. Um die Benutzer-

freundlichkeit weiter zu verbessern, kann die Abtastgeschwindigkeit nach der ersten Berührung auf 10 Hz erhöht werden, wodurch der Gesamtverbrauch auf 5 μ A steigt.

Fazit

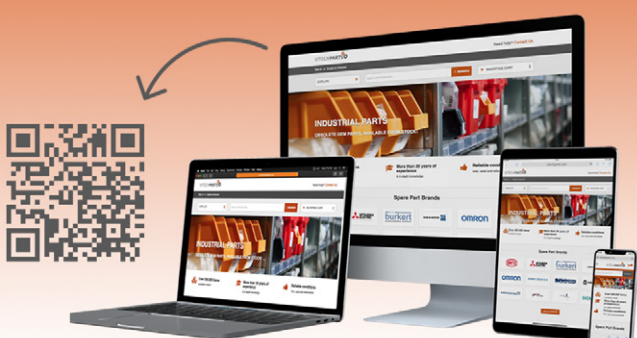
Das Low Energy Sensor Interface (LESENSE) von Energy Micro ist ideal für kapazitive Sensoranwendungen geeignet und ermöglicht es den Geräten der EFM32-Serie, Sensoreingänge zu überwachen, während die MCU in einem Tiefschlafmodus verbleibt. LESENSE arbeitet mit einem Niederfrequenztakt und kann bis zu 16 Sensoren mit einer durchschnittlichen Stromaufnahme von nur 1,2 μ A überwachen. Durch die Verwendung der energiesparenden Peripheriegeräte, zusammen mit den entsprechenden Sequenzer- und Decoderschaltungen, kann LESENSE eine Kombination von Sensorzuständen und Ereignismustern erkennen und auswerten, bevor die MCU geweckt wird. Entwickler können diese Funktionen nutzen, um die Systemleistung zu maximieren und gleichzeitig den Energieverbrauch auf ein absolutes Minimum zu reduzieren.

190284-02



Online store for industrial parts

300.000+ OEM spare parts in stock
Fast worldwide shipment



Order now! www.vitechparts.com

Leitungstester

Peaktech 2715

Sicherheit geht vor!

Von Dr. Thomas Scherer

PeakTech hat mit dem Modell 2715 ein Testgerät für die Hausinstallation im Programm. Damit kann können richtige Elektriker und „Selbstinstallierende“ prüfen, ob alle Steckdosen in einem Gebäude den Vorschriften entsprechen.



In grauer Vorzeit hatte ich einst „Fernmelder“ gelernt. In diesem Kontext durfte ich einmal sämtliche Steckdosen eines Klinik-Neubaus überprüfen. Ich bekam ein einfaches „Prüfgerät“ mit Lämpchen als quasidigitale Anzeige, die „in Ordnung“ (oder eben nicht) signalisierten. Falls nicht musste die Sicherung raus, die Dose aus der Wand und nach Fehlern gesucht werden.

Testgeräte

Heute man wundert sich fast, dass es noch Schraubendreher ohne integrierte MCU gibt. Mittlerweise sollte es bessere Tester geben als damals. Hier der Test eines Testgeräts, das vom Hersteller als „Digitaler Loop/PSC Schleifentester“ angepriesen wird.

PSC steht für „**P**rospective **S**hort circuit **C**urrent“. Das Gerät soll also den geschätzten Kurzschlussstrom einer Leitungsschleife ermitteln. Damit weiß man, ob die Installationen in einem Gebäude niederohmig genug sind, damit die Sicherungen schnell genug auslösen. Womit Elektroniker weniger rechnen: Diese Sicherungen sind recht träge.

Je geringer der Kurzschlussstrom, desto länger braucht die Sicherung zum Auslösen. Ein niedriger Widerstand steht für gute Qualität der verlegten Leitungen und der Klemmen in den Verteilern.

Natürlich sollte ein Leitungstester noch mehr können: Zum Beispiel anzeigen, ob die Polung etc. einer Steckdose den Normen, Regularien und Traditionen entspricht.

Lieferumfang

Aus dem Karton zieht man einen kleinen, schwarzen Kunststoffkoffer (**Bild 1**). Geöffnet zeigt sich der Lieferumfang (**Bild 2**). Oh Wunder: Es gibt sogar eine gedruckte Bedienungsanleitung (**Bild 3**)! Ein PDF findet man auf der Peaktech-Webseite [1]. Der „Kalibrierschein“ des Herstellers indiziert, dass der Tester brauchbar abgeglichen wurde.

Hinten am Tester (**Bild 4**) ist eine Kaltgerätebuchse, in die man zum Test einer Schuko-Steckdose ein (beigelegtes) Kabel steckt. Auf diese Weise wird der Tester durch simplen Kabelwechsel zu Steckdosentypen in anderen Ländern kompatibel. Damit

man auch andersartige Dosen oder eine sogenannte „Kraftsteckdose“ (fünfpolig mit 400 V Drehstrom) testen kann, ist ein Kabel mit Kaltgerätestecker und drei Prüfspitzen in rot, schwarz und grün dabei. Letztere sind nicht nur spitz, sondern mit einer verbreiterten Feder versehen (siehe Vergrößerung von **Bild 5**), die sich für die 4-mm-Löcher diverser Steckdosen eignen.

Batterien

Vor den Test haben die Götter aber Batterien als Hürde gesetzt: Bild 2 zeigt neben Kabeln auch 4 + 2 Stück 1,5-V-AA-Batterien. Die etwa vierfache Kapazität gegenüber einem 9-V-Block ist ein großer Vorteil. Man dürfte mit einem Satz locker ein paar tausend Steckdosen testen können.

Zuerst müssen die Batterien rein ins Gerät. Meines stellte sich recht zickig an. **Bild 6** zeigt die Rückseite mit rausgedrehten Schrauben. Die Kreuzschlitze sind so breit, dass ein kleiner Schraubendreher durchrutscht und ein großer nicht in die Versenkung reinkommt (rote Pfeile). Hier hilft ein Bit, das auch bei



Bild 1. Alles steckt in einem 30 x 23 x 8 cm messenden schwarzen Kunststoffkoffer.



Bild 2. Aufgeklappt gibt der Koffer den Tester, zwei Kabel und sechs Batterien preis.



Bild 4. Oben auf der Stirnseite befindet sich eine Kaltgerätebuchse zum Anschluss von Messkabeln.

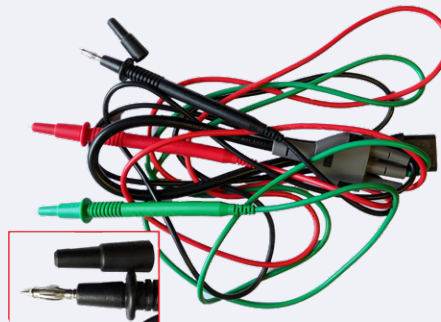


Bild 5. Mit diesem Messkabel kann man ungewöhnliche und fünfpolige Steckdosen testen. Die Prüfspitzen eignen sich auch für 4-mm-Löcher.



Bild 7. Da der Deckel nicht freiwillig abging, brauchte ich Hebelgewalt.

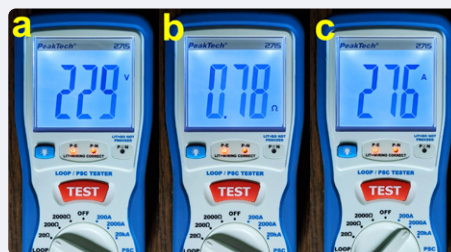


Bild 8. Messen von Spannung, Widerstand und Kurzschlussstrom.



Bild 3. Ein halbwegs brauchbares Handbuch plus Kalibriernachweis sind dabei.

PeakTech
Prof- und Messtechnik GmbH
Werkskalibrierschein
Factory Calibration

LOOP/PSC Tester
PeakTech 2715
Modell 190601751-1906018
Seriennummer 19.06. 2019
Datum der Kalibrierung
Calibration Date 25.07°C ± 0.5°C
Temperatur Environmental Temperature
Luftfeuchtigkeit Humidity 55% ± 20%RH



Bild 6. Beim Batteriefach empfehlen sich mittlere Kreuzschlitz-Bits. Oben bei ??? kann eine Schlaufe befestigt werden. Hätten Sie es gerne am Gürtel, wenn 230 V anliegen?

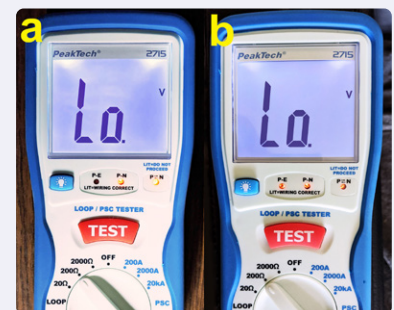


Bild 9. Fehlerfälle. Bild 9a: P und N vertauscht, also Stecker umdrehen. Bild 9b: Schutzleiter fehlt, Gefahr!

breiteren Klingen schlank genug ist. Damit ich oben gut ran kam, musste ich den Aufsteller abmontieren. Der rote Pfeil in **Bild 7** zeigt, wo die Klinge eines normalen Schraubendrehers rein muss, um die seitliche Arretierung zu lösen. Doch der Deckel hielt immer noch sehr fest und ich musste ihn per Schraubendreher aufhebeln.

Steckdosentest

Ein Blick aufs Gerät (Bild 2) zeigt, dass über dem fetten, roten **TEST**-Taster drei LEDs

angebracht sind. Nicht ans Netz angeschlossen sind alle dunkel. Wenn „P-E“ und „P-N“ orange leuchten, aber **nicht** „P-N“, ist alles in Ordnung. Dann liegt Netzspannung sowohl zwischen Phase (L1) und Erde (PE) sowie Phase und Neutralleiter (N) an und die Phase ist rechts, wenn das Kabel des Schukosteckers (Typ „F“) nach unten zeigt, so wie das z.B. in Deutschland üblich (aber nicht per VDE oder DIN vorgeschrieben) ist. Empfohlen wird allerdings Einheitlichkeit in einem Gebäude.

Bild 8 zeigt die korrekte Situation bei mir in meinem Elektronik-Labor. Die richtigen LEDs leuchten (WIRING CORRECT). Dreht man den Wahlschalter weg von OFF nach links oder rechts, wird die Netzspannung angezeigt: Bei mir 229 V in **Bild 8a**. Mein (genaueres) Multimeter behauptet, es wären 231 V_{eff}. Der Fehler liegt also unter 1%. Drückt man kurz auf den Knopf **TEST**, dann wird für fünf Sekunden je nach gewähltem Messbereich entweder der Widerstand zwischen Phase und Neutralleiter (gute 0,78 Ω in **Bild 8b**) oder

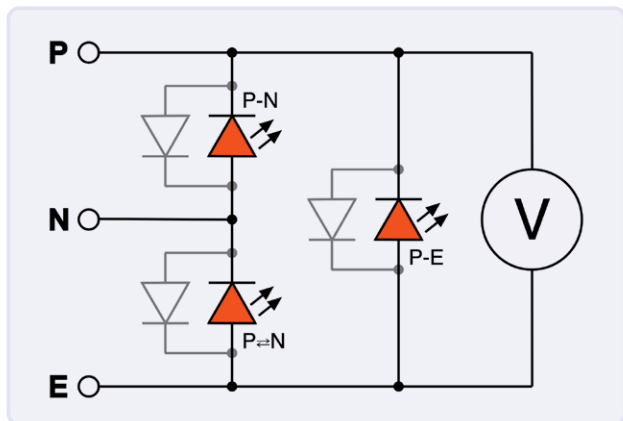


Bild 10. Diese prinzipielle Innenschaltung ergibt sich aus der Tabelle von LEDs versus Spannung zwischen den Anschlüssen.

Status	Potential	P-E	P-N	P=N	Display
unplugged		o	o	o	Lo
correct	P↔NE	•	•	o	230
reverse polarity	PE↔N	o	•	•	Lo
error	PN↔E	•	o	•	230
PE missing	P↔N	•	•	•	Lo
N missing	P↔E	•	•	•	230
Danger!	N↔E	•	•	•	Lo

Tabelle 1. Anschlussweise und LED-Kombination.

der geschätzte Kurzschlussstrom (276 A in **Bild 8c**) angezeigt. Arithmetisch deckt sich das nicht ganz, aber immerhin so ungefähr. Da diese Steckdose mit 16 A abgesichert ist, gab es nichts zu meckern.

Wie wird der Leitungswiderstand gemessen? Ich bemerkte ein kurzes Zucken des Amperemeter-Zeigers am Trenntrafo, den ich für Tester-Experimente nutzte. Der sehr kurze Stromimpuls ist allerdings weit schwächer als der angegebene Messbereich von 20 kA. Ich vermute einen phasensynchronen, impulsartigen Kurzschluss in der Nähe des Nulldurchgangs. Daher bleiben Wert und Integral des Messstroms klein und die Sicherung löst nicht aus. Geschickt gemacht! Manchmal löst beim Testen allerdings der FI-Schutzschalter aus, wie im Elektor-Video [2] zu sehen. Mehr zur Theorie des PSC findet sich im Artikel unter [3].

Fehler

Wie erkennt man falsch beschaltete Steckdosen? **Bild 9** zeigt, welche LEDs leuchten, wenn **a)** der Stecker falsch herum steckt oder **b)** der Schutzleiter fehlt. Die drei LEDs informieren also über einige Fehler. Die zugehörige Tabelle im Handbuch stimmt leider nicht so ganz. Das Ausprobieren der sechs sinnvollen Kombinationen führte zu **Tabelle 1**. Sie zeigt, welche LEDs bei welcher Anschlussweise leuchten, zwischen welchen Anschlüssen Netzpotential liegt, was auf dem Display

steht und was das bedeutet. Interessanterweise ist die LED P=N nur in einer einzigen Zeile aus – wenn nämlich alles in Ordnung ist. Und nur dann sollte man den roten Taster drücken und eine Messung auslösen. In der Zeile darunter („verpolt“) muss man lediglich den Stecker in der Dose umdrehen. In den vier restlichen Fällen empfiehlt sich dringend eine genauere Untersuchung der Steckdose.

Aus Tabelle 1 ergibt sich, wie LEDs und Voltmeter intern verschaltet sind. Das Ergebnis der Knobelei zeigt die Schaltung in **Bild 10**. Elektrisch korrekt hätte die LED P=N eigentlich „N-E“ heißen müssen ;-).

In meinem Kellerlabor sah es gut aus. Kein Fehler, niedrige Widerstände <1Ω und lediglich die Regel „Phase = rechts“ nicht immer eingehalten. Im Erdgeschoss hingegen waren von 17 Steckdosen 3 bedenklich, weil die Erde nicht richtig Kontakt machte. Übel war es im OG: Nur 13 von 18 Steckdosen waren okay – der Rest hatte Probleme mit dem Erdkontakt. Bei einer Steckdose war gar die Feder des Schutzkontaktes weit auseinandergebogen und dafür schön mit Farbe bestrichen, damit der Kontakt auf keinen Fall schützt. Bei den anderen Dosen sollte ich den Elektriker verfluchen, der das vor Jahrzehnten verbrochen hat – damals war ich zu klein zum Aufdiefinger-gucken. Er war schlicht kein Schutzleiter angeschlossen und nicht mal „genullt“!

Fazit

Der Tester kostet für Elektor-Mitglieder knapp über 150 €. Ist das bei dem engen Anwendungsbereich gerechtfertigt? Die Frage stellt sich, wenn man es nur einmal im Leben braucht. Für Elektriker oder Betriebe mit Maschinen ist das aber keine Frage. Schon zwei Stunden Zeitersparnis amortisieren den Leitungstester. Ein klassisches Multimeter kann nämlich keine Kurzschlussströme messen.

Meine Antwort: So viele unzuverlässige Steckdosen hätte ich nie in meinem Haus vermutet. Es ist zwar noch niemand zu Schaden gekommen, aber was noch nicht war, kann ja noch drohen. Von daher hat sich der Test des Testers für mich voll rentiert, denn jetzt weiß ich, dass nach Check und Fix alle Steckdosen im Haus sauber sind. Diese Sicherheit sollte es wert sein!

200246-01



Produktreferenz

➤ **PeakTech 2715 Digitaler LOOP/ PSC Schleifentester**
www.elektor.de/peaktech-2715-digital-loop-psc-tester

WEBLINKS

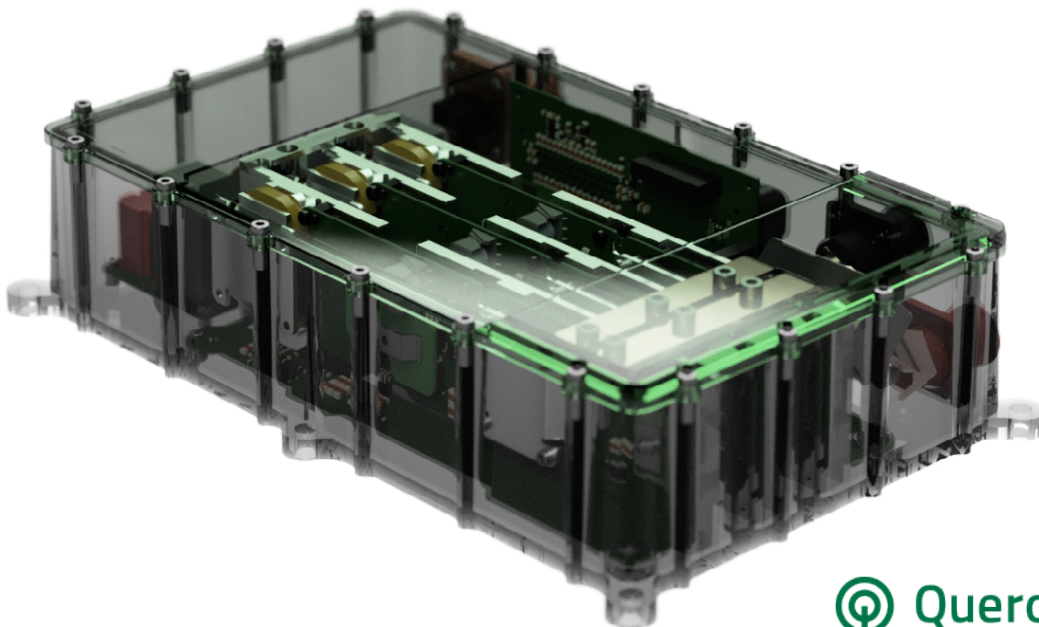
[1] PeakTech: <https://www.peaktech.de>

[2] Elektor-Video: <https://www.youtube.com/watch?v=9dBhz3acowc&>

[3] PSC-Artikel: <https://www.elektormagazine.de/articles/gewusst-wie-berechnung-des-prospektiven-kurzschlussstroms>

Hochvolt- DC⚡DC-Wandler

HV-DC/DC-Designs und
Mehrphasen-LLC-Resonanzwandler



 Querom

Von Tobias Oswald und Anton Mitterreiter (Querom Elektronik GmbH)

Dieser Artikel zeigt, wie mit Hilfe von Multiphasenanordnungen Designhürden bei der Implementierung von LLC-Wandlern in der Umgebung von Hochspannungs-DC-Versorgungen überwunden werden können - und welche Vorteile sich daraus für den Anwender ergeben.

Hochvolt-DC/DC-Wandler sind Schlüsselkomponenten in vielen Wachstumsmärkten. Die aus regenerativen Energiequellen verfügbare Energie liegt in der Regel als Gleichstrom vor. Die zeitlich ungleichmäßige Verteilung dieser großen Menge elektrischer Leistung und die damit verbundene Notwendigkeit diese zu speichern, ist zum Innovationstreiber für Systeme und Komponenten geworden. Während die bestehende Infrastruktur durch die zentrale Erzeugung von Wechselstrom und dessen Verteilung gekennzeichnet ist, kann eine Zwischenspeicherung des Gleichstromes – beispielsweise in Akkus oder durch die Elektrolyse von Wasser – die Effizienz des Gesamtsystems, ohne

die Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom und zurück, deutlich erhöhen. Dafür sind Hochvolt-DC/DC-Wandler die notwendige Schnittstelle zwischen den dezentralen Einzelsystemen zur Energieerzeugung und -speicherung und fungieren gleichermaßen als Leistungsüberträger, Steuer-, Regel- und Diagnosewerkzeug.

Entwicklungsziele

Um die Vorteile der DC-Technik optimal ausschöpfen zu können, sind die Kernziele beim Design von neuen Geräten typischerweise die Steigerung des Wirkungsgrads, sowie die Reduktion von Kosten und Bauvolumen. Dabei führt eine Integration von resonanten LLC-Stufen in einer Multiphasenanordnung mit n Phasen, wie in Bild 1 gezeigt, unter Nutzung einer π/n -Phasenverschiebung zu technologischen Vorteilen gegenüber üblichen Topologien wie beispielsweise der einphasigen „Phase Shifted Fullbridge“ (abk.: PSFB).

Während LLC-Stufen einige inhärente Vorteile bieten, muss der Designer bei ihrem Einsatz allerdings auch einige Nachteile in Kauf nehmen: Dazu gehört unter anderem der vergleichsweise hohe Stromripple

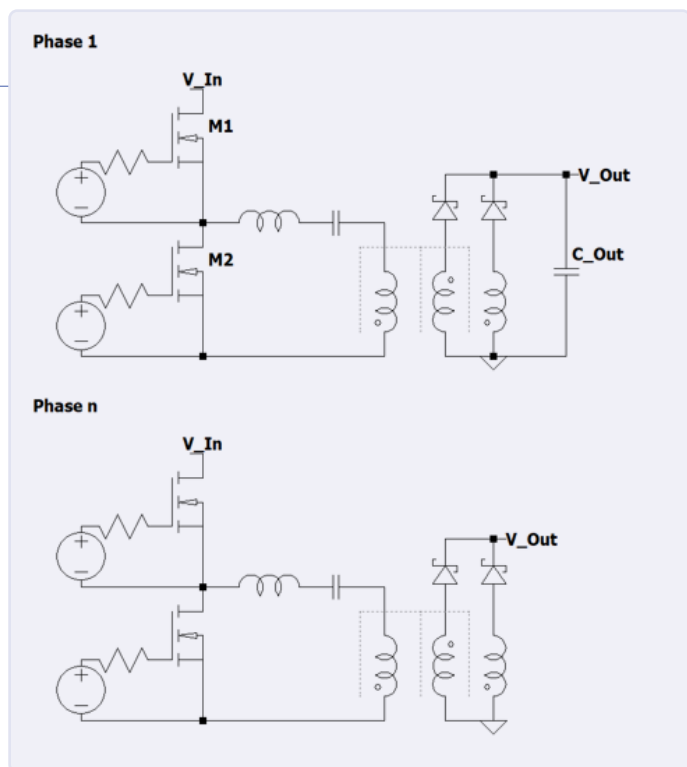


Bild 1.
Prinzipschaltbild.

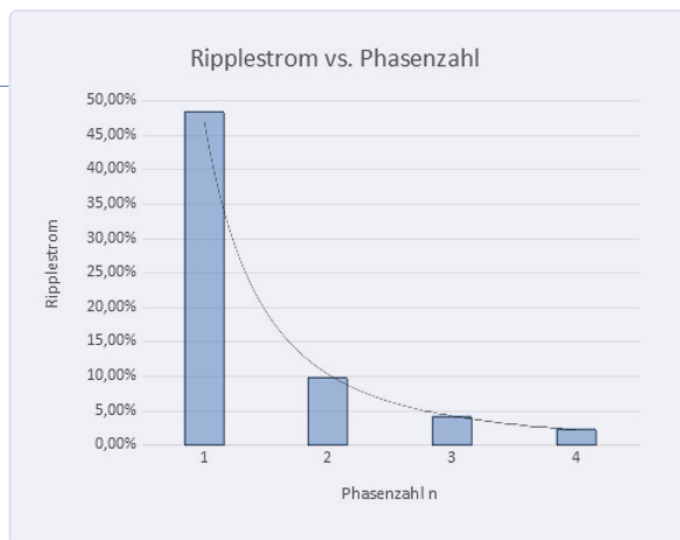


Bild 2. Ripplestrom vs. Phasenzahl.

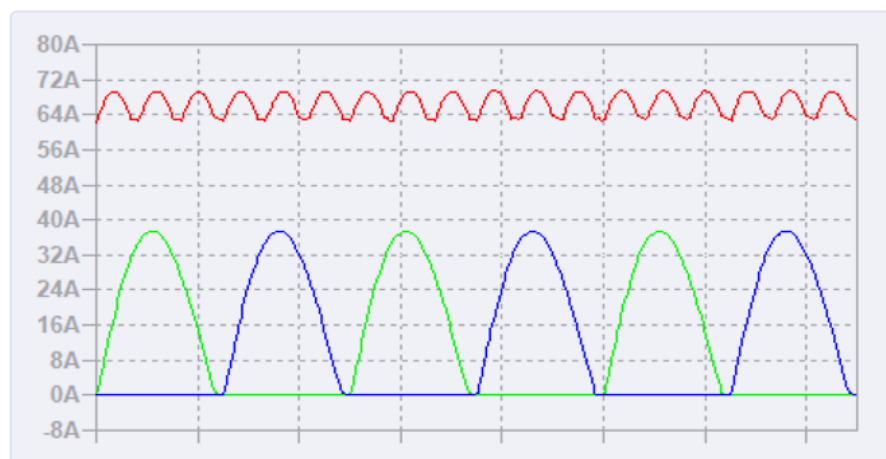


Bild 3. Stromaddition dreier LLC-Phasen.
Gr/Bl: Strom in Gleichrichter einer Phase. Rt: Gesamtstrom dreier Phasen.

am Ausgang, der durch die Stromform im resonanten Netzwerk des LLC bedingt ist und Vorteile wie das sekundäre ZCS (Zero Current Switching) ermöglicht. Werden die in der Praxis nötigen Totzeiten der Primärschalter und deren Auswirkungen auf die Form des fließenden Stromes vernachlässigt, beträgt die Amplitude des Stromripplage auf der Resonanzfrequenz des Wandlers prinzipbedingt etwa 48% des Ausgangsstromes, bezogen auf RMS-Werte.

Bei Topologien mit Ausgangsdrössel ist der Stromripplage dagegen ein Wert, der durch die Auslegung des Ausgangsfilters beeinflusst werden kann. Häufig werden 30% I_{Out} peak-peak-Stromripplage, was ca. 8,7% I_{Out} RMS entspricht, als Designgrundlage gewählt. Der Nachteil des hohen Stromripplage der LLC-Topologie kann durch eine Multiphasenanordnung gemindert werden – durch Addition des sinusförmigen Ausgangsstroms jeder Phase ergibt sich eine Reduktion des Stromripplages bei Erhöhung der Phasenzahl n (Bild 2).

Durch Parallelisierung dreier LLC-Wandlerphasen ist eine Reduktion des Stromripplage in gemeinsam genutzten Ein- und Ausgangskondensatoren fast um den Faktor 12 realisierbar. So beträgt beispielsweise

bei einem Gesamtausgangsstrom von 250 A der Ripplestrom einer PSFB-Stufe typischerweise etwa 22 A_{RMS}.

Der Ripplestrom einer einzelnen LLC-Phase dagegen läge hier bei ~121 A_{RMS}. Bei $n = 2$ beträgt der Ripplestrom noch ~24 A_{RMS} und ab $n = 3$ ist er mit ~11 A_{RMS} geringer als beim einphasigen PSFB (siehe Bild 3).

Dies erlaubt die Verkleinerung der Ausgangskapazität C_{Out} und den Einsatz von kostengünstigeren Bauteilen mit höherem Serienwiderstand, unter gleichzeitiger Beibehaltung von Anforderungen bezüglich maximaler Ripplespannung.

Umgang mit Blindströmen

Eine weitere Herausforderung beim Einsatz der LLC-Topologie für leistungsfähige Konverter sind im primären Schaltungsteil zirkulierende, laststromunabhängige Blindströme. Diese Blindströme reduzieren zusammen mit der benötigten Leistung für die Ansteuerung der beteiligten Halbleiter den Wirkungsgrad im Leichtlastfall.

Der Multiphasen-Designansatz bietet hier die Möglichkeit, durch den

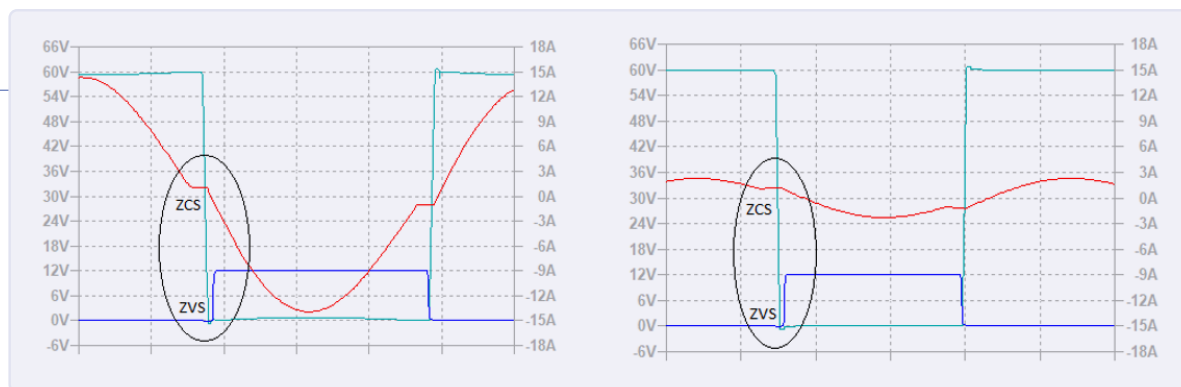


Bild 4. ZVS/ZCS unter Voll- und Leichtlast. Türkis: Drainspannung M2. Blau: Gatespannung M2. Rot: Strom im resonanten Netzwerk.

Einsatz von „Phase Shedding“ - also der Abschaltung von Phasen unter Leichtlast - diese Verlustbeiträge auf $1/n$ zu reduzieren.

Die inhärenten Vorteile der LLC-Topologie bleiben dagegen beim Übergang von $n = 1$ zu $n > 1$ unberührt. Dazu gehören vor allem ZVS (Zero Voltage Switching) der primären und sekundären Halbleiter, sowie annäherndes ZCS der primären und ZCS der sekundären Halbleiter unter allen Lastbedingungen. In **Bild 4** werden Ein- und Ausschaltvorgang von M2 (siehe Bild 1) dargestellt. Für eine bessere Darstellung wurde eine Eingangsspannung V_{in} von 60 V gewählt. Unabhängig vom Laststrom ist sichtbar, dass im Schaltmoment, sobald die Gate-Source-Spannung von M2 (blau) einige Volt überschreitet, sowohl die Drainspannung von M2 (türkis) als auch der von M2 zu übernehmende Strom (rot) bereits nahe Null betragen.

Durch diese Reduktion, respektive Vermeidung harter Schaltflanken und Stromabrissen werden, insbesondere bei Anwendungen mit hohen Eingangsspannungen, die EMV entschärft und der Wirkungsgrad gesteigert, was sowohl das Bauvolumen reduziert als auch die Kosten senkt.

Unabhängig von der Anwendung auf LLC- oder andere Topologien ist die bessere thermische Anbindung der beteiligten Leistungshalbleiter ein weiterer Vorteil von Multiphasen-Anordnungen. Jede Phase des Gesamtgerätes trägt ein n -tel des Gesamtstromes; durch Nutzung von Halbleitern gleicher Technologie, verglichen mit einem einphasigen

Design, aber jeweils einem n -tel Siliziumfläche pro Phase, werden die On-Widerstände der Einzelhalbleiter ver- n -facht und die Kapazitäten sowie die damit assoziierten Schaltverluste durch n geteilt. Dadurch bleibt die Summe der Schalt- und Durchlassverluste aller Phasen äquivalent zu der Summe der Verluste einer einphasigen Lösung, aber die thermische Anbindung kann aufgrund der erhöhten Anzahl an Halbleitern durch eine deutlich größeren Fläche erfolgen, ohne dabei die Eigenschaften des Layouts (z.B. minimale umschlossene Fläche von Kommutierungspfaden) zu verschlechtern.

Fazit

Durch Ausnutzung der beschriebenen Vorteile der n -Phasenordnung ist die eigens für Hochvoltanwendungen entwickelte DC/DC-Wandlerplattform DDH von Querom Elektronik in der Lage, das eingesetzte Material ideal auszunutzen und so eine hohe Leistungsdichte bei sehr guter thermischer Robustheit und geringem Spannungsripple auf der Ausgangsspannung zu bieten.

Weiterhin ermöglicht die n -Phasenordnung kundenspezifische, bauraumoptimierte Designs.

Abgerundet werden diese Eigenschaften durch die umfangreichen Mess- und Steuerfunktionen die per Geräteschnittstelle auf einem Kommunikationsbus sowie per Windows-Software nutzbar sind.

200418-02



Vlakkodem 10
+31 187 602 744

3247 CP Dirksland
www.tbp.nl

the Netherlands
info@tbp.nl





ESD – was ist das?

Und warum der Schutz davor so wichtig ist



Finde uns auf Facebook!
Find us on Facebook!



Elektor Team - Ein Beitrag von BERNSTEIN-Werkzeugfabrik Steinrücke GmbH

Die elektrostatische Entladung, auf Englisch ElectroStatic Discharge (ESD), entsteht durch den schlagartigen Ladungsausgleich zwischen Gegenständen mit einem unterschiedlichen Ladungspotential. Und genau diese Entladung kann hohen elektrischen Strom erzeugen, der die Bauelemente beschädigen oder gar ganz zerstören kann. Dabei ist es noch nicht einmal notwendig, dass das Bauelement im direkten Kontakt mit der Entladung steht, es reicht schon aus, wenn der elektrostatische Vorgang in der Nähe des Bauelementes stattfindet. In diesem Artikel werden Maßnahmen und Materialien erläutert, die vor ESD schützen können.

Auch im Alltag findet solch ein elektrostatischer Vorgang immer wieder statt. Die Blitze beim Gewitter sind da wohl die bekanntesten Beispiele, aber auch beim Griff an die Türklinke kann es zu einem schlagartigen Ladungsausgleich kommen. Und das hat jeder schon einmal erlebt. Wenn wir dieses unangenehme Gefühl auf Bauteile übertragen, kann man sich vorstellen, was das für Auswirkungen auf empfindliche Bauteile haben kann.

Empfindlichkeit von Bauteilen

Die ESD-Empfindlichkeit elektronischer Bauteile steigt mit der zunehmenden Miniaturisierung der Bauelemente an. Weiter bieten immer kleinere Bauelemente immer weniger Platz für Schutzschaltungen auf den Mikrochips. Um Energie zu sparen,

müssen Bauteile mit weniger Leistung auskommen. Um Schäden zum Beispiel auf einer blauen LED zu verursachen, genügen Entladungen von gerade einmal 50 Volt. SMDs sind bereits ab Spannungen von 100 Volt gefährdet. Das Wahrnehmungspotential des Menschen ist dagegen sehr eingeschränkt.

Erst ab Spannungen von 3.500 Volt sind Entladungen fühlbar, ab 4.500 Volt hörbar und ab 10.000 Volt sichtbar.

Fehler erkennen und beheben

ESD-geschädigte Baugruppen sind kaum mit bloßem Auge erkennbar. Bereits winzige Entladungen können zum Totalausfall führen. Die direkten Fehler sind in der Regel bei der Qualitätskontrolle feststellbar. Besonders kritisch sind aber die sogenann-

ten latenten Fehler. Sie treten erst auf, wenn die Produkte im Einsatz sind. Der Aufwand, diese Fehler zu beheben, verursacht die größten Kosten. Bei den meisten ESD-Schäden handelt es sich um latente Schäden. Und genau deshalb ist eine entsprechende Vorsorge zwingend notwendig.

Eine schlagartige Entladung muss verhindert werden. Nur durch ein langsames Ableiten können Potentialunterschiede neutralisiert und empfindliche Bauteile geschützt werden.

So schützen sie sich und ihre Bauteile

ESD-empfindliche Bauteile kann man schützen, indem man sie ausschließlich in ESD geschützter Umgebung lagert, handhabt, verpackt und transportiert. Dafür gibt es eigens entwickelte Arbeitsplatzausstattungen wie auch ESD-gerechte Kleidung. Bei der Kleidung sollten ableitfähige Schuhe, Mäntel und ein Erdungsarmband getragen werden. Bei der Arbeitsplatzausstattung ist auf einen ableitfähigen Tischbelag genauso zu achten wie auf ESD-gerechte Werkbänke, Stühle und Werkzeuge.

Stationärer Arbeitsplatz - arbeiten im EPA-Bereich

Um Arbeiten und Messungen an elektrostatisch gefährdeten Bauteilen sicher und korrekt ausführen zu können, ist ein ESD-sicherer Arbeitsplatz unumgänglich. Beim stationären Aufbau, wie zum Beispiel in ESD-Schutzzonen, sogenannte EPA (engl.

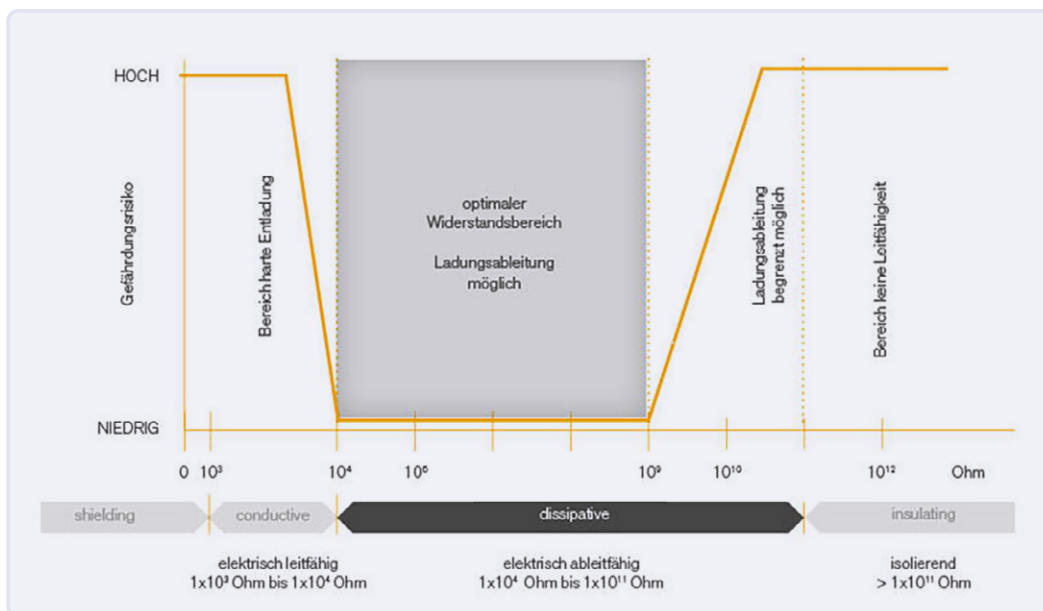


Bild 1. Den optimalen Bereich für den Oberflächenwiderstand bestimmen.

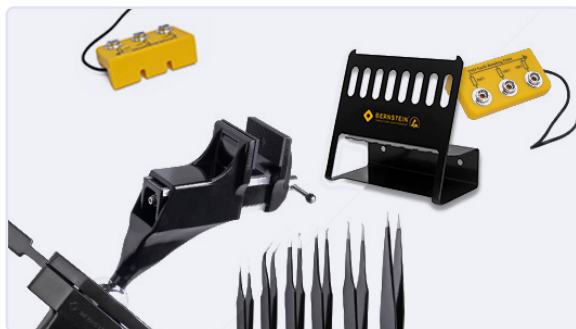


Bild 2. Eine Auswahl von BERNSTEIN Produkten für den ESD-sicheren Arbeitsplatz.

Electrostatic Protected Area), sollten alle Elemente, die mit Mensch und Bauteil in Berührung kommen, ableitfähig sein. Fußmatte, Arbeitsplatzauflage, größere Baugruppen und die Personenerdung erfolgen über sogenannte Erdungsbausteine oder -stecker, während bei Kleidung und bei Werkzeugen immer auf das vorhandene ESD-Logo zu achten ist.

Mobiler Arbeitsplatz – unterwegs arbeiten

Aber was tun, wenn die Bauteile oder Baugruppen montiert sind und sie somit nicht in einem EPA-Bereich bearbeitet, repariert oder gewartet werden können? Dafür gibt es mobile Arbeitsplätze, die einen ESD-sicheren Arbeitsplatz darstellen. Sie bestehen aus einer Arbeitsplatzauflage, einem Armband zur Personenerdung und einem Erdungskabel mit Erdungsstecker. Sollte keine Steckdose vorhanden sein, kann die Erdungsleitung auch an geerdeten metallischen Oberflächen mit Hilfe einer Krokodilklemme angebracht werden. Die statische Entladung findet bei korrektem Aufbau über die Matte statt. Bei dieser

Methode ist jedoch sicher zu stellen, dass der Widerstand „Hand zu Erdung“ kleiner als 3.5×10^7 Ohm ist.

Oberflächenwiderstände

Die Wirksamkeit der Materialien wird klassifiziert nach ihren Widerstandseigenschaften (Bild 1). Dabei spielt der Oberflächenwiderstand eine besondere Rolle: Er ist der elektrische Widerstand einer leitfähigen Schicht an der Oberfläche. Je nach Widerstandseigenschaft unterscheidet man zwischen abschirmenden Materialien, elektrisch leitfähigen, elektrisch ableitenden und isolierenden Materialien.

Messung von Widerständen im ESD-Bereich

Neben dem Oberflächenwiderstand sind noch folgende Widerstände von Bedeutung: der Ableitwiderstand (Widerstand gegen Erde/Schutzleiter), der Durchgangswiderstand, auch Volumenwiderstand genannt (Widerstand, gemessen an gegenüberliegenden Punkten eines Materials) und der Punkt-zu-Punkt-Widerstand (Widerstand von Elektrode zu Elektrode).

Wartung und Reinigung

Neben all den Vorkehrungen ist die Wartung und Reinigung der ableitfähigen Produkte unumgänglich. Erdungsanschlüsse, Matten und Erdungsbausteine sollten wöchentlich inspiziert werden, Armbänder täglich. Bei der Reinigung müssen spezielle Reinigungsmittel verwendet werden, da herkömmliche Haushaltsmittel eine isolierende Schicht hinterlassen können. Die wichtigste Maßnahme ist und bleibt jedoch die Personenerdung.

Und genau das hat sich BERNSTEIN zur Hauptaufgabe gemacht. Als Werkzeughersteller bietet BERNSTEIN ein umfangreiches Sortiment an ESD-gerechten Werkzeugen für den Einsatz in ESD-Schutzbereichen, sowie auch Komplettlösungen für den mobilen Einsatz, wenn Arbeiten außerhalb der Schutzbereiche vorgenommen werden müssen.

Alle Informationen rund um ESD und das komplette Sortiment (Auswahl in Bild 2) sind auf der Webseite zu finden:

www.bernstein-werkzeuge.de.

200413-01

Einfluss des PCB-Layouts auf Störeinstrahlungen

Unter Berücksichtigung der CISPR- und EMV-Richtlinien

Von Mauro Laurenti, LaurTec

Bei Präzisions- oder HF-Anwendungen ist auch die Leiterplatte als elektronische Komponente des Systems zu betrachten. Jede dort vorhandene Leiterbahn ist Teil der Signalkette und muss sorgfältig geplant werden. Dieses Erkenntnis sollte grundsätzlich immer beachtet werden, denn für jedes elektronische System gelten strenge Vorschriften, wie z.B. die CISPR-Normen, die wir an dieser Stelle näher betrachten werden.

CISPR-Normen spielen in vielen Bereichen eine wichtige Rolle, werden auch in Europa angewendet und dienen als Grundlage zur Beurteilung der Konformität elektronischer Systeme aus der Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Dieser Artikel zeigt den Einfluss unterschiedlicher, auf einer Standard-FR4-Leiterplatte erstellten Leiterbahn-Layouts auf die Abstrahlung von Störungen. Letztere können die Zertifizierung des Endprodukts stark beeinträchtigen. Außerdem wird gezeigt, wie eine Leiterplatte so entworfen werden kann, dass eine optimale Leistung und die für die FCC- und CE-Kennzeichnung erforderliche Einhaltung der EMV-Normen erreicht werden.

PCB-Testplatten-Layouts

Die für die Tests verwendeten Leiterplatten wurden aus Standard-FR4-Material mit einem typischen Wert von $\epsilon_r = 4,3$ hergestellt. Die Leiterbahnbreite wurde so bemessen, dass eine Leitungsimpedanz von 50 Ω

bei zweilagigem Aufbau und einer Leiterplattendicke von 1,6 mm erreicht wird. Auf eine Impedanzkontrolle wurde verzichtet. Diese ist für HF-Anwendungen zwar sehr hilfreich, wird aber von vielen Kunden aus Kostengründen vermieden. Dennoch ist es wichtig zu wissen, ob Ihr Leiterplattenhersteller dies unterstützt, denn er kann aufgrund einer ersten Impedanz-Berechnung die Leiterbahnen weiter optimieren und anpassen. Die für die Messungen verwendeten Leiterplatten wurden von PCBWay hergestellt, einer Firma, die neben der Impedanzkontrolle auch andere Materialien für Hochleistungs-Leiterplatten unterstützt. Die entworfenen Exemplare sind in **Bild 1** zusammen mit ihrem Querschnitt dargestellt.

- 50 Ω Microstrip mit unterer Masse am Rand der Leiterbahn (**ID 1-1**)
- 50 Ω Microstrip mit gutem Layout, Masse abdeckende untere Schicht (**ID 1-2**)
- 50 Ω Koplanarer Microstrip am Rand –

- obere Masse ist abgeschnitten (**ID 1-3**)
- 50 Ω Koplanarer Microstrip mit gutem Layout – Masse oben (**ID 1-4**)
- 50 Ω Koplanarer Microstrip mit gutem Layout – Masse oben und unten (**ID 1-5**)
- 50 Ω Koplanarer Microstrip am Rand – obere und untere Masse wird abgeschnitten **ID 1-6**)

Jede Leiterplatte hat zwei SMA-Anschlüsse, um den Anschluss einer 50- Ω -Terminierung auf der einen Seite und den Anschluss des Spektrumanalysators auf der anderen Seite zu ermöglichen. Um die Tests zu erleichtern und eine gute Wiederholbarkeit zu ermöglichen, wurde eine Leiterplattenhalterung mit einem 3-D-Drucker aus PLA-Material hergestellt. Die Leiterplatten wurden in einem Abstand von 6 cm vom Tisch positioniert. Der Abstand zwischen den Mitten der einzelnen Leiterplatten beträgt 2 cm. Die Einzelheiten des Aufbaus sind in **Bild 2** dargestellt.

Messung von Störeinstrahlungen durch Kopplung

Für die Tests wurden zwei Arten von Messungen durchgeführt:

- Kopplung zwischen den Leiterplatten unter Verwendung der PLA-PCB-Vorrichtung (**Bild 2**).
- Kopplung zwischen Leiterplatte **ID 1-1** und einer DC-DC-Wandlerkarte, während eines CISPR-25-Konformitätstests.



Bild 1. Die für die Tests verwendeten Leiterplatten mit den entsprechenden Querschnitten.

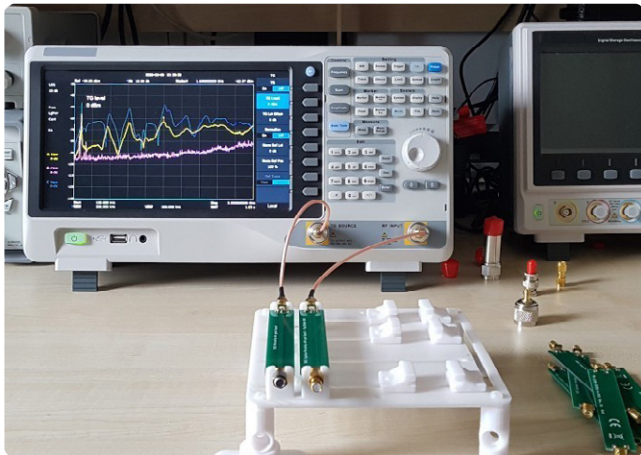


Bild 2. Testaufbau mit Darstellung der Leiterplatten-Befestigungen.

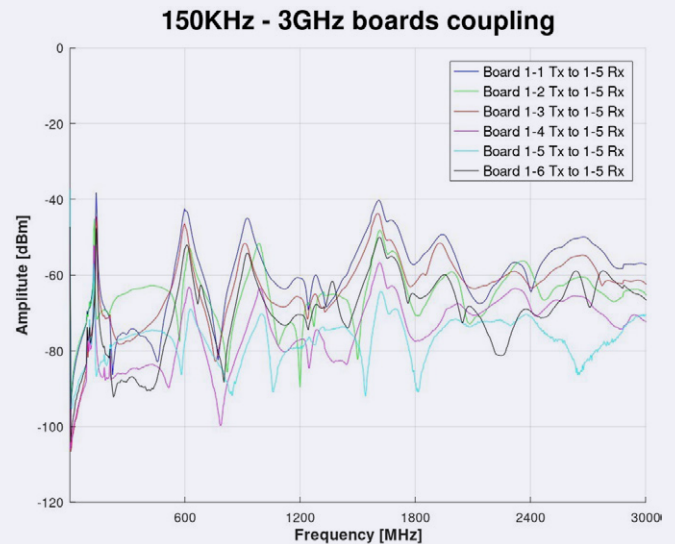


Bild 3. Kopplung zwischen Leiterplatten aufgrund des abgestrahlten Feldes (BW: 150 kHz - 3 GHz).

Testaufbau 1

Bild 3 zeigt mehrere Kurven im Frequenzbereich von 150 kHz bis 3 GHz. Bei der als Referenz verwendeten Empfangs-Platine handelte es sich um den Typ ID 1-5 (koplanarer Microstrip von 50 Ω , bei dem die obere und untere Massenschicht mit Durchkontaktierungen verbunden waren). Die Leiterplatte wurde an den Eingang eines Spektralanalysators angeschlossen und auf der anderen Seite mit einer 50- Ω -Last terminiert. Alle anderen Leiterplatten wurden nacheinander mit dem Ausgang des Tracking-Generators verbunden und ebenfalls mit 50 Ω abgeschlossen, was eine Abtastfrequenz zwischen 150 kHz und 3 GHz ermöglichte. Die Ausgangsleistung des Tracking-Generators betrug 0 dBm, so dass die Amplitude in Bild 3 die Kopplung zwischen den beiden PCBs bzw. dem Parameter S_{21} darstellt. Interessant, wie ein sehr simples Layout, das auf einfachen Routing-Schemata basiert, ein Strahlungsfeld und ein Kopplungsrauschen erzeugen kann, das zwischen 10 und 30 dBm variiert. Die Resonanzeigenschaften der Leiterplatte können diesen Bereich noch etwas beeinflussen. Die Platine mit der ID 1-5 verhält sich besser als die anderen und

weist die höchste Dämpfung auf. Sie wurde als Referenz verwendet, da vermutet wurde, dass sie eine niedrige Kopplung besitzt. Umgekehrt wurde jedoch auch erwartet, dass sie eine schwache Rauschquelle darstellt. Die Leiterplatte ID 1-1 erzielte schlechtere Ergebnisse als die anderen, wobei der obere Microstrip eine Massefläche auf der Unterseite besitzt, die sich genau am Rand der Leiterbahn befindet. Dadurch entsteht ein elektromagnetisches Feld, das den Massebereich zu überschreiten droht, sich über die Leiterplatte hinaus ausbreitet und benachbarte Leiterplatten stört.

Bei den anderen Leiterplatten, die mit einer Masse am Rand der Leiterbahnen ausgelegt sind, handelt es sich um ID 1-3 (rote Linie) und ID 1-6 (schwarze Linie). Beide Layouts zeichnen sich durch eine starke Strahlung aus, so dass die Störpegel nahezu denen von PCB ID 1-5 entsprechen. Diese Layouts machen den Vorteil einer Massefläche fast zunichte: Ein typischer Anwendungsfall, bei dem der Entwickler aus Platzgründen die Leiterbahnen und die Masse nahe am Rand der Leiterplatte anordnen musste. Dies sollte vermieden werden, vor allem bei Signalen mit

hoher Bandbreite. Es überrascht, dass die Platine-ID 1-2 trotz ihres guten Layouts, bei dem die Massenschicht die Leiterbahn richtig bedeckt, bei einer bestimmten Frequenz genauso ungünstig strahlt wie ID 1-3 und ID 1-6. Dies ist auf den Abstand der Massenschicht (unten) zur oberen Leiterbahn zurückzuführen: Bei einer für Standard-Leiterplatten typischen Dicke von 1,6 mm verursacht das durch die Leiterbahn geführte Signal eine hohe Streuinduktivität, wodurch hohe Strahlungsfelder erzeugt werden können. Daher ist es ratsam, ein Layout aus vier und nicht aus zwei Lagen (wie in diesem Testaufbau gezeigt) zu verwenden. Mit einem 4-Lagen-Layout wäre es möglich, die Massefläche im Vergleich zu einem 2-Lagen-Layout in einem geringeren Abstand direkt unter dem für Signale zuständigen Layer zu platzieren. Dies würde die von einem abgestrahlten elektromagnetischen Feld möglicherweise verursachte Streuinduktivität reduzieren.

Ein gutes Beispiel dafür, wie ein reduzierter Masse-Abstand zwischen der Signalleitung und der Massefläche das abgestrahlte, elektromagnetische Feld verringern kann, ist Layout-ID 1-4. In diesem Fall gibt es nur

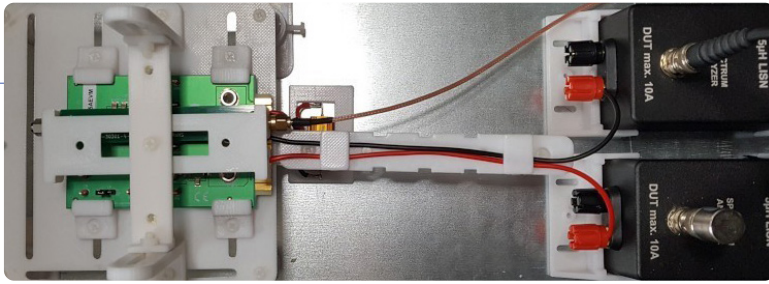


Bild 4. PCB-Testaufbau mit ID 1-1 oben auf dem DC/DC-Wandler-Evaluation-Board.

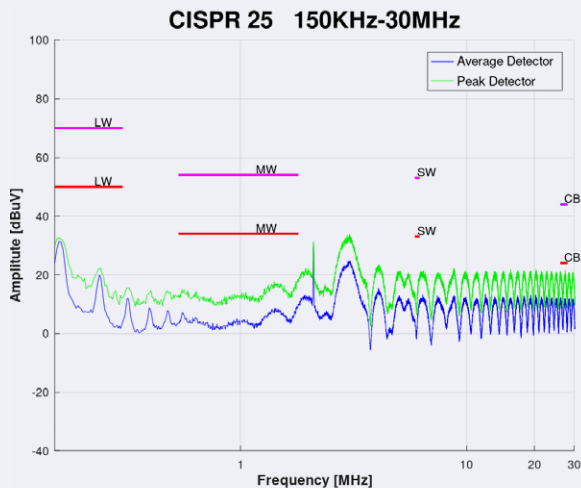


Bild 5. Kopplung aufgrund des abgestrahlten Feldes. Leiterplatten-ID 1-1 (BW: 150 kHz - 30 MHz).

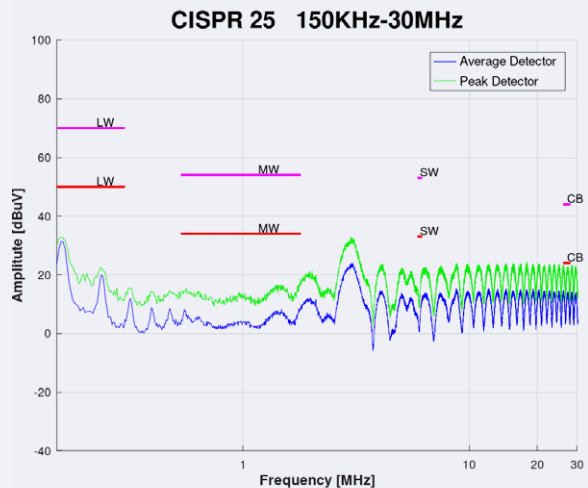


Bild 6. Kopplung aufgrund des abgestrahlten Feldes. Leiterplatten-ID 1-4 (BW: 150 kHz - 30 MHz).

einen Leiterbahn-Layer, und die Massefläche befindet sich darüber. Dennoch erlaubt der Coplanar Microstrip von 50 Ω einen reduzierten Abstand zwischen Masse und der signalführenden Leiterbahn, so dass das elektrische Feld gut durch die Masse absorbiert wird und das magnetische Feld ebenfalls an Intensität verliert, da sich die Leiterbahn mit dem zurückfließenden Signal in der Nähe befindet.

Testaufbau 2

Die Messung am **Testaufbau 1** zeigt zwar, wie sich verschiedene Leiterplatten aus der Strahlungs- und Kopplungsperspektive verhalten, korreliert die Ergebnisse jedoch nicht direkt mit einem bestimmten Standard. Ein Hersteller kann zwar eine -80-dBm-Kopplung ignorieren, doch obwohl diese nicht so groß ist, gibt es verschiedene Standards, die sich genau damit befassen. Daher sollte auch bei einem noch so geringen Rauschen ein entsprechender Test bestätigen, ob sich alle Werte auch wirklich innerhalb der erlaubten Grenzen befinden. In **Testaufbau 2** wurde ein DC/DC-Wandler-Evaluation-Board für einen Klasse-5-Test der CISPR-25-Richtlinie im Light-Control-Mode geprüft. Das Evaluation-Board bestand den Test mit einer recht guten Toleranz von 10 dB. Die Wiederholung des Tests mit der Platine-ID 1-1 wies unter-

schiedliche Ergebnisse auf: Sie befand sich oben auf der Evaluationsplatine in 8 mm Abstand, gespeist mit einem 2,1-MHz-Sinussignal bei einer Amplitude von -10 dBm.

Bild 5 zeigt, wie das 2,1-MHz-Sinussignal, das die PCB-ID 1-1 speiste, ein kräftiges Rauschen abstrahlt, das mit dem Evaluation-Board gekoppelt wird, bei 2,1 MHz deutlich auftaucht und sich dem Rand nähert (der Bereich zwischen 30 MHz und 108 MHz ist nicht dargestellt).

Mit einer Frequenz zwischen den markierten Grenzwerten MW und SW haben wir einen typischen Anwendungsfall für eine Schaltfrequenz: Ein in Fahrzeugen genutzter DC-DC-Wandler. In der Tat hat dieser Frequenzbereich keine wirkliche Grenze, die in CISPR 25 definiert wäre. Dennoch zeigt er deutlich, dass die Leiterplatte mit der ID 1-1 die Zertifizierung des gesamten Systems gefährden kann. Derselbe Testlauf mit ID 1-4, eine Leiterplatte, die mit einem guten Layout entworfen wurde, zeigt dagegen kaum sicht-

bare Rauschspitzen, da die eingekoppelte Energie durch das DC/DC-Wandler-Rauschen abgedeckt wird (**Bild 6**).

Fazit

Es wurden verschiedene PCB-Layouts getestet, um typische Anwendungsfälle zu untersuchen, die auf einer Leiterplatte implementiert werden können. Insbesondere die Leiterbahnen, die sehr nahe am Rand der Leiterplatte liegen und dazu noch teilweise von der Massefläche überdeckt sind, strahlen möglicherweise genug Energie ab, um in anderen Teilen der Leiterplatte eingekoppelt zu werden. Dies kann zu Problemen auf empfindlichen benachbarten Schaltungen führen, aber auch zu Herausforderungen beim Bestehen von EMV-Normen zur Abstrahlung oder Leitfähigkeit. Das richtige Layout ist ein wichtiger Teil der Entwicklung; daher muss die Leiterplatte mit Sorgfalt entworfen werden, wobei sowohl die System- als auch die EMV-Normen berücksichtigt werden müssen.

200402-02

WEBLINKS

- [1] LaurTec „EMC Testing“ Serie - Downloads: <http://www.LaurTec.it>
- [2] Offizielle Webseite von PCBWay: <http://www.pcbway.com>

Stromsparender 3D-Magnetsensor im Miniaturformat Eröffnet neue Design-Optionen

Die Infineon Technologies AG erweitert ihre XENSIV™ 3D-Magnetsensor-Familie TLx493D und stellt auf ihrer hauseigenen Digitalmesse „Virtual Sensor Experience“ einen neuen Baustein für Industrie- und Consumer-Anwendungen vor: den TLI493D-W2BW. Dieser nutzt die aktuellste 3D-Hall-Generation von Infineon und findet in einem extrem kleinen Wafer-Level-Gehäuse Platz. Mit einem um 87 Prozent geringeren Footprint und 46 Prozent weniger Einbauhöhe als bisherige Vergleichsprodukte eröffnet der Sensor neue Design-Optionen.

Aufgrund des kleinen WLB-5-Gehäuses (1,13 mm x 0,93 mm x 0,59 mm) und seiner geringen Stromaufnahme von 7 nA im Power-Down-Modus eignet sich der neue Magnet-Sensor auch für den Einsatz in Anwendungen, die bisher noch widerstandsbasierte oder optische Lösungen nutzten. Magnetsensoren bieten hier zahlreiche Vorteile wie zum Beispiel ihre hohe Genauigkeit oder Robustheit gegenüber Staub und Feuchtigkeit. Zudem sind Magnetsensoren einfacher zu bestücken und bieten mehr Design-Freiheiten.

Vor allem die geringe Höhe des TLI493D-W2BW ist in extrem platzkritischen Anwendungen wie BLDC-Kommutierung in Mikromotoren oder



Kontrollelementen wie Joysticks oder Spielekonsolen entscheidend. Sie ermöglicht Designs mit doppelseitig bestückten Platinen oder die Positionierung des Sensors zwischen zwei Leiterplatten. Damit lässt sich die verfügbare Fläche optimal ausnutzen; zum Beispiel können weitere Komponenten oberhalb des Sensors platziert werden.

Technische Merkmale

Der neue Sensor verfügt über eine integrierte Wake-up-Funktion. Er ist in vier Varianten mit vorkonfigurierten Standard-Adressen verfügbar. Eine höhere Auflösung (typ. 32,5 bis 130 $\mu\text{T}/\text{LSB}_{12}$) im Vergleich zur Vorgänger-Generation erweitert die Einsatzmöglichkeiten. Auch eine XY-Winkelmessung wird unterstützt.

Die Update-Rate beträgt bis zu 5,7 kHz (8,4 kHz für XY), während die Auflösung in den Low-Power-Modi in acht Schritten zwischen 0,05 und 770 Hz eingestellt werden kann. Die Leistungsaufnahme im Power-Down-Modus wird mit 7 nA spezifiziert. Der Versorgungsstrom beträgt 3,4 mA. Der Sensor verfügt über eine I²C-Schnittstelle und einen dedizierten Interrupt-Pin.

Verfügbarkeit

Muster des neuen XENSIV 3D-Sensors TLI493D-W2BW sind bereits verfügbar. Die Serienfertigung startet im August 2020. Weitere Informationen sind unter www.infineon.com/3dmagnetic erhältlich.

200432-02

Sie haben eine Idee für ein Elektronikprojekt? Oder schon eine fertige Schaltung?

Posten Sie Ihr Projekt unter www.elektor-labs.de
(oder senden Sie es an redaktion@elektor.de).
Auch kleine Projekte sind willkommen!

Elektor Labs: Von Lesern für Leser!



Erstellen Sie **jetzt** ein neues Projekt auf
www.elektor-labs.de

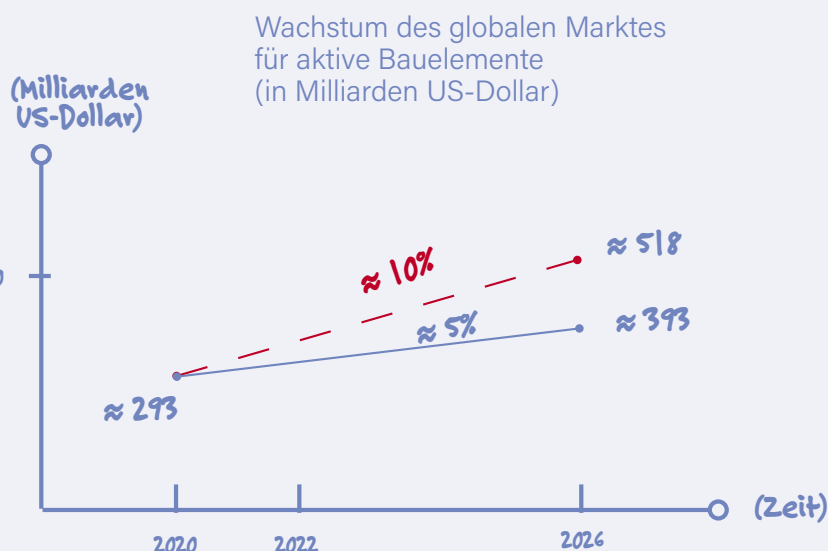
design > share > sell



Produktion und Bauteile

Halbierung des Wachstumspotenzials durch Covid-19

Wenn man von den neuesten Zahlen des Marktforschungsunternehmens Industry Research ausgeht, wird Covid-19 das Wachstumspotenzial des globalen Marktes für aktive Komponenten halbieren. Während frühere Untersuchungen prognostizierten, dass der Markt für aktive Komponenten im Zeitraum von 2018 bis 2022 mit einer Rate von 10% wachsen wird, weisen die jüngsten Untersuchungen vom Juli 2020 auf ein globales Wachstum von rund 5% in den Jahren 2020 bis 2026 hin. Um genauer zu sein: Industry Research errechnet ein jährliches Wachstum von 4,8% bis zum Jahre 2026. Dies ist genau die Wachstumsrate, die der IWF nach der Covid-19-Korrektur für fortgeschrittene Volkswirtschaften für das Jahr 2021 vorher-sagt. Für Schwellen- und Entwicklungsländer wird das jährliche Wachstum im Jahre 2021 nach der Covid-19-Korrektur einen Wert von 5,9% aufweisen.



(Quellen: Industry Research, IWF, Market Research Future, u.a.)

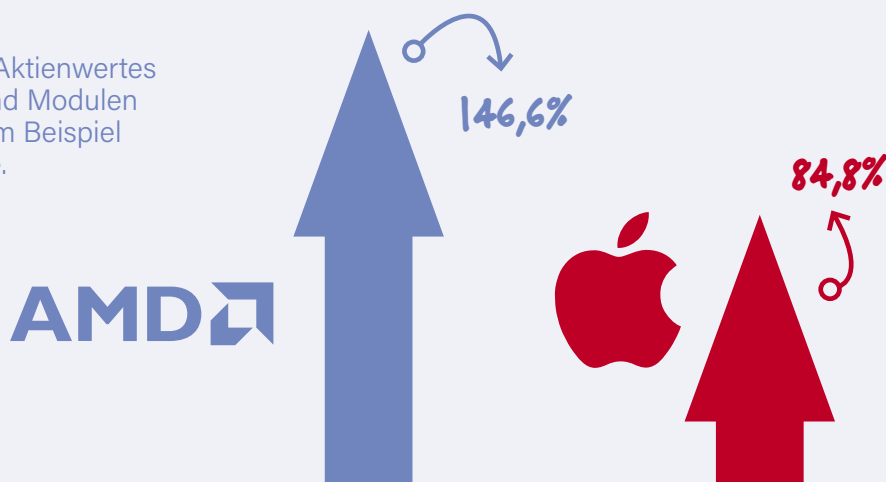
Bauelemente und Module, die großen Gewinner - auf lange Sicht

Aus dem S&P-Aktienindex von 2019 lässt sich nur eine Schlussfolgerung ziehen: Elektronische Bauteile und Module bieten für Investoren größere Anreize als jeder andere Wirtschaftssektor. Alle Wirtschaftssektoren zusammen stiegen im Jahre 2019 in ihrem Wert um 28,5%. Der Halbleiterhersteller AMD war 2019 mit einem Anstieg des Aktienwertes um 146,6% definitiv ein großer Gewinner. Auch Apple, der wichtigste Anwender von elektronischen

Modulen, zählte mit einem Anstieg von 84,8% (was fast einer Verdopplung entspricht), zu den Siegern. Obwohl der Aktienwert der Elektronikindustrie nicht unbedingt den Gesamtumsatz in diesem Wirtschaftssektor widerspiegelt, ist eines sicher: Es wird in den kommenden Jahren nicht an Geld fehlen, um in neue Hardware-Technologien zu investieren, selbst wenn man Covid-19 berücksichtigt.

(Quelle: Finviz.com)

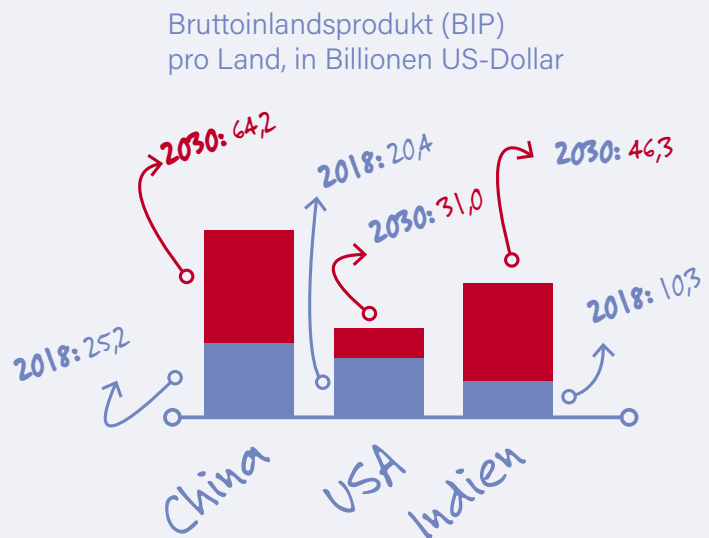
Wachstum des Aktienwertes bei Bauteilen und Modulen im Jahre 2019 am Beispiel AMD und Apple.



Wo müssen Sie aktiv sein?

Wenn Sie mit dem Verkauf oder Vertrieb von elektronischen Bauelementen zu tun haben: Wo sollten Sie aktiv werden? Es gibt drei Länder, in denen Sie auf jeden Fall tätig sein sollten (siehe Grafik). Diese Länder sind gar nicht so schwer zu finden, aber das könnte bei einigen in zehn Jahren schon wieder ganz anders aussehen. Vor allem das enorme Potenzial in Indien sollte nicht unterschätzt werden. Vermutlich werden Indien und die USA, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, innerhalb des nächsten Jahrzehnts ihre Plätze tauschen.

(Quelle: Standard Chartered Bank)



Welche Sektoren steuern den Markt? Einige beeindruckende Zahlen

Welche Sektoren für passive und aktive Bauteile beleben den Markt? Drei davon stehen im Rampenlicht: Der Gaming-Sektor wegen seiner immensen Größe, die Cloud wegen ihres enormen Zuwachses an Daten, und das 5G-Netz wegen seiner beeindruckenden Wachstumsexplosion. Unterziehen wir diese Sektoren einer näheren Betrachtung!

Gaming heißt das Zauberwort

Was wird deutlich, wenn man die Marktgröße des Online-Gaming mit dem Umsatz aller Kinos und Theater weltweit vergleicht? Das Ergebnis: Im Jahre 2019 entfielen 152 Milliarden US-Dollar auf Spiele und nur 43 Milliarden US-Dollar auf die an Kino- und Theaterkassen erzielten Umsätze. Dies sagt sehr viel aus über die Bedeutung des Gamings in der Unterhaltungsindustrie.

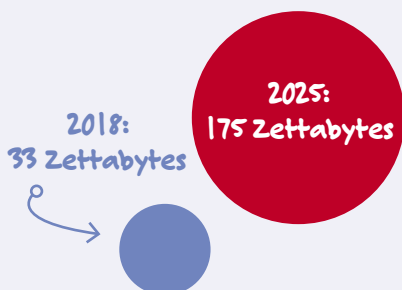
(Quellen: Newzoo, Billboard, Visual Capitalist)



Doppelt so viele Rechenzentren bei fünflichem Speicherplatz

Im Jahr 2018 konnten etwa 33 Zettabytes (1 ZB = 10^{21} Bytes) in der Cloud gefunden werden. Im Jahre 2025 werden es nach Angaben des Marktforschungsunternehmens IDC bereits 175 ZB sein. Dieses fünfmalige Wachstum wird sich jedoch nicht in einer Verfünffachung des Platzbedarfs für alle auf diesem Globus vorhandenen Rechenzentren niederschlagen. Marktforschungen von Forrester weisen jedoch auf eine Verdopplung der Anzahl der Rechenzentren im Jahre 2023 im Vergleich zu 2013 hin.

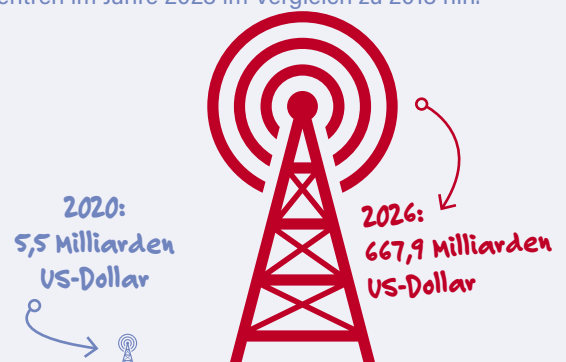
(Quellen: IDC, Forrester)



5G bedeutet Wachstumsexplosion

Das 5G-Netz ist ein fantastisches Versprechen für Anbieter elektronischer Bauteile. Stellen Sie sich einen Markt vor, der im Jahr 2020 einen Wert von 5,5 Milliarden US-Dollar besitzt und im Jahr 2026 noch mehr wert sein wird, nämlich 667,9 Milliarden US-Dollar, was einer atemberaubenden jährlichen Wachstumsrate von 122% entspricht. Ist das ein Traum? Nein, es ist selbst angesichts Covid-19 eine realistische Prognose.

(Quelle: Allied Market Research)



5G / 4G LTE-Module, innovative Modems und smarte Anwendungen

Von Dr.-Ing. Ulrich Pilz, ConiuGo GmbH, Hohen Neuendorf

Basierend auf Telit-Funkmodulen können innovative Firmen wie die ConiuGo GmbH, aber auch ambitionierte Elektronikentwickler sehr einfach Datenlösungen für das Internet of Things anwendungsreif und vermarktungsfähig entwickeln. Dabei ist 4G (LTE) die momentan beste Ausgangsbasis. Denn LTE wird in Koexistenz mit dem späteren 5G errichtet, das heißt: Beide Technologien werden in der Zukunft gemeinsam verfügbar sein und die Netzressourcen dynamisch verteilen. Zudem sind Latenzzeiten, also die zeitlichen Verzögerungen für die Datenpakete, schon bei 4G hervorragend. LTE glänzt mit Latenzzeiten im Millisekunden-Bereich, was für allgemeine technische Anwendungen bestens geeignet ist.

Grundlage: Modul oder Socket-Modem

Alles beginnt mit dem LTE-Modul, das heute in der Regel mit einem SMD- Lötverfahren verarbeitet werden muss. Module mit Anschlüssen am Platinenrand können zur Not auch noch manuell gelötet werden. Für Entwicklungen besser geeignet sind Module, die mit einem Steckverbinder ausgestattet sind. Hier kann auch schon ein Pegelwandler auf der Platine untergebracht werden, der die Signale mit üblicherweise 1,8-V-Level auf 3,3 oder 5 V umsetzt. In **Bild 1** werden aktuelle Module für LTE CAT 1 und LTE CAT M gezeigt, zusammen mit den entsprechenden Socket-Modems.

LTE-Modem mit Schnittstelle für RS-232 und LAN sowie LTE-Anwendungen zum Fernschalten und Fernwirken

Die nächste logische Entwicklungsstufe für praktische Anwendungen von LTE ist das komplett mit Stromversorgung, Pegelanpassung und üblichen Stecker-

bindern ausgestattete LTE-Modem. An Bord ist eine Weitbereichs-Stromversorgung (9...35 V), mit der das Modem auf alle denkbaren Situationen vorbereitet ist. Für M2M-Anwendungen ist auch heute noch die serielle Schnittstelle (z.B. RS-232 D-Sub 9) sinnvoll. Neu hinzu kommen Modems mit einer Ethernet-Verbindung über den bekannten RJ45-Stecker.

Da viele Modems an Mikrocontrollern betrieben werden, ist der USB als Schnittstelle in der Regel weniger gefragt. Denn für den USB sind Treiber erforderlich, was Probleme mit sich bringen kann, wenn nur ein Mikrocontroller ohne Betriebssystem zur Verfügung steht. Fällt die Wahl dennoch auf USB, so ist zu klären, ob der USB auch die Stromversorgung übernehmen soll. Kurzzeitig zieht ein LTE- Modem bis zu 2.000 mA (@ 5 V) und daher ist „externally powered“ auch im Fall eines USB oft die bessere Wahl.

Auf der Grundlage eines LTE-Moduls sind natürlich auch ganze Geräte für die Fernwirktechnik realisierbar. In **Bild 2**

gezeigt ist u.a. das Fernschaltgerät GSM Scout activ LTE, das den Zustand von Eingangsgrößen erfassen und über SMS bzw. E-Mail an den Anwender weiterleiten kann. Natürlich ist auch der umgekehrte Weg Bestandteil der Gerätefunktion: Das Schalten von Relais aus der Ferne über SMS bzw. E-Mail ist ebenfalls möglich.

In Bild 2 sind LTE-Modems in unterschiedlichen Gehäusebauformen und der GSM Scout activ LTE gezeigt.

Echtzeit mit LTE – echt schwierig, aber machbar

Auch im Zeitalter der durch das Netz laufenden IP-Pakete ist eine direkte Verbindung, über die Daten zwischen zwei Mikrocontrollern bzw. Geräten ausgetauscht werden, eine gute Sache, die tagtäglich gebraucht wird. Ein serielles Kabel (RS232 oder RS485) kann sehr einfach einen Host mit einem Client – man spricht auch von DTE und DCE – verbinden und bidirektional Daten transportieren.

Mit den piependen Modems der analogen Telefonwelt, später auch mit ISDN, konnte ein solches seriell Kabel dank der Telefonleitungen Hunderte von Kilometern lang werden. Im Zeitalter von GSM und GPRS kam der große Rückschritt! Wegen der Bezahlung nach Zeittakt war der CSD genannte Dienst teuer, blieb unbeliebt und konnte technisch nicht so recht überzeugen. Bloß nichts ändern, wenn es dann endlich funktionierte!

Mit der digitalen Welt der IP-Technik schien die Tür zur „Echtzeitwelt“ der Mikrocontroller endgültig verschlossen. Denn Datenpakete haben unterschiedliche Laufzeiten, kommen nicht unbedingt in der ursprünglich versendeten Reihenfolge an, können aber auch verloren gehen und müssen ein zweites Mal versendet werden. Das alles zu managen erfordert Rechenpower und Speicher, beides Voraussetzungen, die in Mikrocontrolleranwendungen oft nicht so ohne Weiteres vorhanden sind.

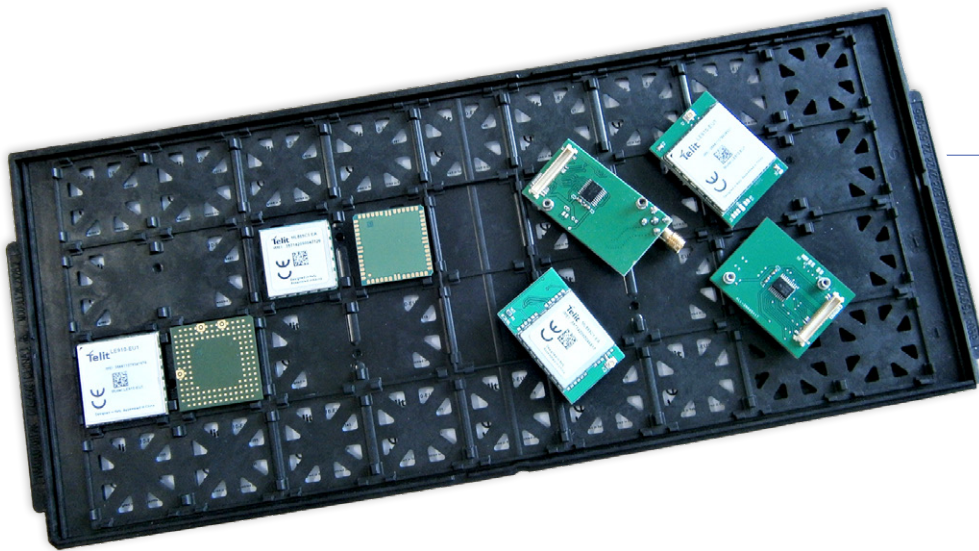


Bild 1. LTE- Module für LTE CAT 1 und CAT M, gemeinsam mit den entsprechenden Socket-Modems.

Doch die geringen Latenzzeiten von LTE schaffen neue Möglichkeiten. Die VORTIX Serial Data Bridge schafft einen virtuellen seriellen Datentunnel durch das LTE- Netz. Zwar nutzt auch diese Technologie eine „IP- Verbindung over LTE“ und das Internet. Entscheidend ist aber, dass an den Schnittstellen zur Anwendung alles genau so ablaufen kann, wie bei einer Echtzeitverbindung üblich. Die Eigenheiten des Versands von Datenpaketen treten nicht nach außen, sondern werden innerhalb der beiden Bridges verarbeitet.

Zwei Betriebsarten sind möglich:

- Das fertige, virtuelle „Datenkabel“, bei dem ein VORTIX-Gerätepaar ohne Anwahl- Prozedur eine direkt nutzbare serielle Verbindung aufbaut.
- Das virtuelle „Einwahlmodem“, bei dem die VORTIX-Geräte mit der Punkt-zu-Punkt-Einwahlprozedur für Modems arbeiten, über <atdt Rufnummer>, <Ring>, <Connect>, Umschalten in den Befehlsmodus mit <+++>.

Mit der VORTIX- Technologie ist es möglich, quer durch das ganze Land und – wenn es sein muss – rund um den Globus eine serielle Datenverbindung aufzubauen (Bild 3). Natürlich eine virtuelle Verbindung über LTE/4G. Diese aber ist im Betrieb stabil wie ein echtes Kabel!

Die bei CSD im GSM-Netz übliche Geschwindigkeitsbegrenzung auf 9.600 Bit/s gilt bei der VORTIX-Technologie nicht mehr. Abgerechnet wird nicht im Zeittakt, sondern nach dem Datenvolumen, wie es bei IP-Verbindungen im LTE- Netz üblich ist. PC und SPS können nun wieder problemlos kommunizieren, ebenso viele fernauslesbare Energiezähler und andere technische Einrichtungen, die die serielle Schnittstelle nutzen.

Für das Gelingen einer LTE-Anwendung wichtig: Eine „richtige“ M2M- SIM-Karte

Für schlechtere Leistung mehr Geld bezahlen? Das passiert in der GSM-Fernwirktechnik leider täglich, wenn Anwender für ihre

Telematik-Lösungen SIM-Kartenverträge nutzen, die für private Anwender gedacht sind. Der früher einheitliche Markt der SIM-Kartenverträge hat schon seit einigen Jahren den Markt der M2M-SIM-Karten hervorgebracht. Und es lohnt sich für Anwender in Industrie und Anlagentechnik, ausschließlich solche SIM-Karten einzusetzen.

M2M-SIM-Karten bieten sehr preiswert moderate Datenraten, weil hier niemand Netflix-Videodaten abrufen, sondern technische Daten, Messwerte und Befehlsketten fließen – und das „uplink“ wie „downlink“, also in beide Richtungen.

M2M-Karten bieten in der Regel landesweites, europaweites und gegebenenfalls auch weltweites Roaming. Das ist wichtig, denn so haben diese Karten sogar im Inland unabhängig vom Provider an jedem Standort Kontakt in das lokal stärkste Netz.

200433-02



Bild 2. Verschiedene Bauformen von LTE-Modems und der GSM Scout active LTE.



Bild 3. Echtzeitverbindung für Daten durch das LTE-Netz mit der VORTIX Serial Data Bridge.



Ein Interview mit Warren Gay

Embedded- Programmierung und darüber hinaus

Von C. J. Abate (United States)

Interessiert an Embedded-Programmierung?
Elektor-Autor Warren Gay spricht über sein neues Buch
„FreeRTOS for ESP32-Arduino“, und gibt Einblicke in
FreeRTOS, ESP32, Arduino und vieles mehr.



Entwickeln Sie Projekte und dokumentieren Sie sie, damit Sie etwas vorführen können!

Interessiert an eingebetteter Programmierung? Warren Gay, ein in Ontario (Kanada) ansässiger erfahrener Programmierer, ist eine ausgezeichnete Informationsquelle für professionelle Programmierer, Studenten und Maker. Hier spricht er über sein neues Buch, *FreeRTOS for ESP32-Arduino* (Elektor, 2020), und gibt Einblicke in FreeRTOS, ESP32, Arduino, Embedded-Techniken und mehr. Sie werden seine Beiträge sicher informativ und inspirierend finden, insbesondere wenn Sie planen, in naher Zukunft mit ESP32 oder Arduino zu arbeiten.

Programmieren und Schreiben

Abate: Sind Sie seit Ihrem Abschluss an der Ryerson University Programmierer oder haben Sie zuerst etwas anderes gemacht?

Gay: Da ich als Jugendlicher mit alten Kurzwellenradios und Fernsehgeräten gebastelt habe, hatte ich ursprünglich an eine Karriere in der Elektronik gedacht. Das änderte sich in der 11. Klasse des Gymnasiums, als ich mich für einen Computerprogrammierungskurs einschrieb. Ich wollte lernen, was diese Laborkittel-Leute mit ihren Computern machten, wie sie ihn mit Lochkarten fütterten und diese „blinkenden Lichter“ beobachteten. Also begann ich auf dem Minicomputer IBM 1130 mit FORTRAN und wurde süchtig danach. Es scheint heute lächerlich, wenn man bedenkt, dass er nur 8 kWords (16 KB) Kernspeicher zum Kompilieren und Ausführen von Programmen hatte.

Abate: An welcher Art von Projekten arbeiten Sie als Senior-Software-Programmierer bei Datablocks?

Gay: Die Leute bei Datablocks (<https://datablocks.net/>) sind großartig. Sie haben es mir ermöglicht, Multi-Threaded-Internet-Server zu entwickeln, um Backend-Services unter Linux abzuwickeln. Die Backend-Software ist in C++ geschrieben, hauptsächlich aus Gründen der Effizienz und um die Standard Template Library (STL) zu nutzen. Die Anforderungen haben mich häufig gezwungen, schwierige Probleme zu lösen, und es war gut, herausgefordert zu werden.

Ich habe auch einen Prozess geschrieben (und unterstütze ihn), der die Logdateien von einem Internet-Server herunterlädt. Alle fünf Minuten wird ein neuer Satz von Logs heruntergeladen und verarbeitet, so dass der Vorgang schnell und parallel ablaufen muss. Als ich das letzte Mal nachgesehen habe, liefen darin, so glaube ich, 37 aktive Threads. Bei all dieser Thread-Parallelität muss man extrem vorsichtig sein.

Abate: Erzählen Sie uns von Ihrem ersten Buch, *Mastering the Raspberry Pi* (Apress, 2014).

Gay: Dieses Buch begann eigentlich mit einem im Eigenverlag erschienenen Buch mit dem Titel *Assimilating the Raspberry Pi*, das on demand von lulu.com gedruckt und verkauft wurde. 2002 hatte ich bereits andere Bücher veröffentlicht, zum Beispiel *Linux Socket Programming by Example* (Que), aber da ich zu dieser Zeit entlassen worden war, beschloss ich bald, über den neuen Raspberry Pi zu schreiben. Bald nachdem das Pi-Buch verfügbar war, erwarb Michelle Lowman von Apress ein Exemplar und überzeugte mich, den Titel *Mastering the Raspberry Pi* bei Apress erneut zu veröffent-

lichen. Zu diesem Zeitpunkt hatte ich das Gefühl, dass der Pi eine Bedienungsanleitung bräuhete, weil er so neu war und es an Dokumentationen mangelte. Daher wurde das Buch als Software/Hardware-Anleitung für Pi-Newbies konzipiert. Abgesehen von der Hardware geht es beim Raspberry Pi im Wesentlichen um Linux, doch wenn man etwa mit SPI oder I²C arbeiten will, findet in diesem Buch die notwendige C-Programmieranleitung dafür.

Abate: Sie haben 2015 dieses Buch mit *Exploring the Raspberry Pi 2 with C++* fortgesetzt. Was war der Anstoß, es zu schreiben?

Gay: Der Pi 2 war gerade mit mehr Speicher und erhöhter Taktrate auf den Markt gekommen. Für eine kreditkartengroße Platine und zu diesem Preis war das cool. Gleichzeitig wollte ich die Leute ermutigen, C++ auf dem Pi und Linux allgemein zu verwenden. Ich habe auch das PiSpy-Programm für dieses Buch entwickelt, um die Hacker-Community mit einem integrierten Logikanalysator zu unterstützen. Das Open-Source-Programm GtkWave wurde zur Anzeige der erfassten Daten verwendet.

Programmiersprachen

Abate: Was sind die Vorteile von C++ für den Raspberry Pi?

Gay: Ich glaube, zu viele Programmierer klammern sich an die Sprache C. Heute ist das so, als würde man ein Auto mit einem Standardgetriebe und ohne Servolenkung fahren. Aber um ehrlich zu sein, meine frühesten Erfahrungen mit g++ in den 1990er Jahren waren alles andere als gut. Mit jeder neuen Version des Gnu-g++-Com-



Bild 1. Ein Projekt mit dem Raspberry Pi 4.

piler erzeugten Programme, die sich früher gut kompilieren ließen, Fehlermeldungen und scheiterten beim Build. Dies war damals ein Ärgernis für viele Open-Source-Projekte. Aber die lange währenden Bemühungen um eine Standardisierung der C++-Sprache mündeten heute in ein einheitliches Niveau der Compiler-Unterstützung. Zusätzlich ist auch die Gnu-Version der *Standard Template Library* (STL) gereift. Durch die große Auswahl an geeigneten Containern in der STL entfällt die Notwendigkeit für C-Programmierer, benutzerdefinierte Lookup-Tabellen und Funktionen zu schreiben. Allein dies erspart einen enormen Aufwand.

In den letzten Jahren scheint es ein großes Interesse an Interpreter-Sprachen wie Python zu geben. Sie eignen sich für schnelles und „schmutziges“ Arbeiten, bei denen Scripting die Regel ist. Aber alle dynamischen Sprachen sind anfällig für Überraschungen durch Laufzeitfehler und daher halte ich die Begeisterung für übertrieben. Die schlimmsten Programmfehler sind die, die beim Endbenutzer auftreten. Im Gegensatz dazu setzt der C++-Compiler ein starkes Type-Checking und statische Validierungen ein, um sicherzustellen, dass das Programm zur Laufzeit funktioniert, lange bevor es ausgeführt wird. Vom Compiler verursachte Fehler können dann vom Programmentwickler angemessen behandelt werden, anstatt dass sie zur Laufzeit böse Überraschungen produzieren. Der offene Ada-Compiler GNAT leistet eine noch bessere Arbeit hinsichtlich der Programmkorrektheit, aber andere Faktoren scheinen seine Anwendung wiederum

schwieriger zu machen. Es ist ermutigend zu sehen, dass der g++-Compiler in gewisser Weise von Ada entlehnt zu sein scheint. Zum Beispiel werden Warnungen für fehlende *Case*-Klauseln in einer *Switch*-Anweisung ausgegeben (wenn kein *Default-Case* vorliegt). Dies ist sehr hilfreich, wenn eine neue Zählkonstante zu einem *enum*-Datentyp hinzugefügt wird, auf den in einer *Switch*-Anweisung verwiesen wird.

Arbeiten mit dem Raspberry Pi

Abate: Angesichts Ihres Interesses am Raspberry Pi müssten Sie handliche RPi-Projekte oder Anwendungen haben, die zu Hause oder am Arbeitsplatz laufen. Was können Sie uns über Ihre interessantesten RPi-Projekte berichten?

Gay: Das PySpy-Programm, das ich für das Buch *Exploring the Raspberry Pi 2 with C++* geschrieben habe, war vielleicht das Interessante für den Raspberry Pi. Dazu gehörte die Entwicklung eines vom Kernel ladbaren Moduls, das dem Kommandozeilenprogramm Zugriff auf Linux-Internas erlauben sollte. Das Ziel war es, die Möglichkeiten des Kernels zu nutzen, um einen DMA-Kanal zuzuweisen, so dass alle GPIO-Eingänge schnell vom DMA-Controller gelesen werden konnten. Die GPIO-Hardware selbst war auf eine effektive Gesamtabtastrate von etwa 1 MHz beschränkt. Eine weitere Herausforderung bestand darin, die DMA-Ressourcen sicher freizugeben, falls der PySpy-Befehl aus irgendeinem Grund unterbrochen werden sollte. Andernfalls könnte ein Ausfall schließlich zu einer „Katastrophe“ führen, da der Kernel zu viele DMA-Kanäle gleichzeitig nutzen will.

Seitdem habe ich mich damit beschäftigt, einen Raspberry Pi 4 headless in ein kleines gebrauchtes Audio/Video-Rackgehäuse mit eingebautem Schaltnetzteil und 5-V-Lüfter zu quetschen, das gut unter meinen zweiten Desktop-Monitor passt. **Bild 1** zeigt den Rand des Pi 4, der unten rechts herausragt. Ein schwarzes USB-Kabel für die interne SSD schaut aus der Frontblende heraus, um an einen USB-3-Port angeschlossen zu werden. Der obere Schalter aktiviert einen CPU-Lüfter, der untere Schalter die Stromversorgung. Die BNC-Anschlüsse waren für verschiedene GPIOs vorgesehen, aber dann doch nicht benötigt. Die Bananenbuchsen liefern +5V (rot) und Masse (schwarz).

FreeRTOS for ESP32-Arduino

Abate: Ihr neues Buch, FreeRTOS for ESP32-Arduino: Practical Multitasking Fundamentals (Elektor, 2020), bietet Lesern, die an Embedded-Programmierung interessiert sind, eine einfache Einführung in FreeRTOS und die ESP32-Arduino-Umgebung (Bild 2). Warum FreeRTOS? Welche Probleme löst es?

Gay: In der Arduino-Welt steuert man Ereignisse aus der *loop()*-Funktion heraus. Die *loop()*-Funktion wird wiederholt aufgerufen, damit Ihr Code jedes verbundene „Gerät“ abfragen kann. Wird eine serielle Eingabe empfangen? Wenn ja, dann wird etwas ausgeführt. Ist eine Taste gedrückt? Dies löst eine andere Aktion aus. Tatsächlich wird Ihre Anwendung zu einer großen Abfrageschleife, die Aktionen einleitet, wenn abgefragte Ereignisse erkannt werden. Je größer aber die

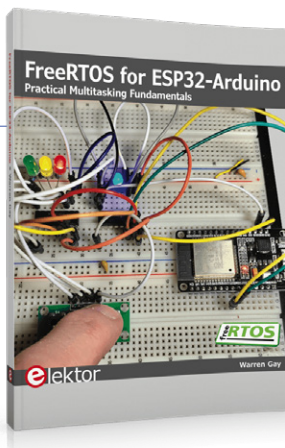


Bild 2. Das neue Buch FreeRTOS for ESP32-Arduino ist im Elektor-Store erhältlich: www.elektor.de/freertos-for-esp32-arduino.

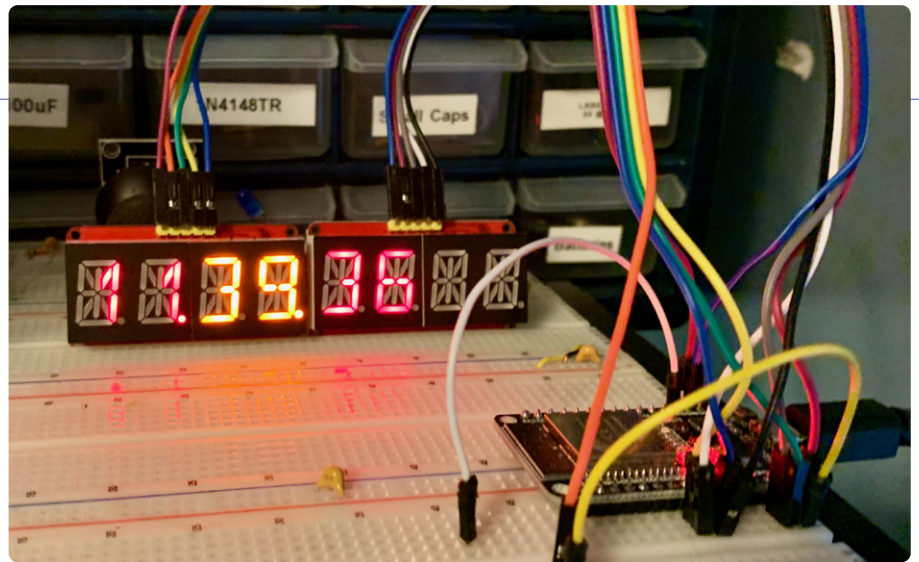


Bild 3. Breadboard mit einer ESP32-SNTP-Uhr.

Menge der abgefragten Ereignisse, desto problematischer wird die Zustandsverwaltung. Übermäßiges Polling und komplexe Zustandsverwaltung führen zu Programmierfehlern, die zeitraubend ermittelt und behoben werden müssen.

Mit FreeRTOS kann man dies in einfacher, dedizierte Tasks aufteilen. Ein Task würde sich auf die eintrudelnden seriellen Daten konzentrieren, ein anderer Task Tasten entprellen und so weiter. Jeder Task wird so geschrieben, als ob er das einzige Programm im System wäre. Dadurch bleibt der Code sauber und einfach, was die Softwarewartung erheblich erleichtert. In vielen Fällen können die einzelnen Tasks die betreffende I/O-Operation blockieren, wodurch das Abfragen überflüssig wird. Eine Alternative besteht darin, Interrupts anzuwenden, um asynchrone Ereignisse wie Tastendrucke zu erkennen. FreeRTOS bietet sichere Mechanismen zur Ereignisbenachrichtigung, von der Interrupt-Service-Routine (ISR) bis zum Servicing-Task. Schließlich kann FreeRTOS auch mit Task-Prioritäten umgehen. Der Task mit der höchsten Priorität erhält um Beispiel beim Lesen oder Schreiben einer Nachrichten-Queue den ersten Zuschlag. Der Arduino-`loop()` hingegen führt alles mit der gleichen Priorität aus.

Arduino-Projekte

Abate: Sind Sie neu bei Arduino oder schon lange dabei?

Gay: Ich habe Arduino fast von Anfang an benutzt. Als erfahrener Anwender nutze ich es aber nur, wenn es bequem ist, denn ich benutze Emacs und make von der

Kommandozeile aus. Für den ESP32 werde ich normalerweise ein ESP-IDF-Projekt mit einem Makefile erstellen. Aber die von vielen Mitgliedern der Community beige-steuerten Arduino-Bibliotheken sind doch ein überzeugender Grund, das Arduino-Framework zu verwenden.

Die Arduino-Umgebung eignet sich sehr gut alle, die lernen, und für diejenigen, die kein Makefile erstellen möchten. Sie beseitigt die vielen unangenehmen Hindernisse, über die Lernende sonst am Anfang stolpern würden. Das beginnt mit dem einfachen Herunterladen und Installieren der Software und dem Erreichen eines schnellen Erfolgs.

Abate: Haben Sie gerade interessante Arduino-Projekte auf Ihrem Labortisch?

Gay: Obwohl nicht auf Arduino basierend, habe ich ein Breadboard einer ESP32-SNTP-Uhr aufgebaut, das sich automatisch mit unserem WLAN-Netzwerk verbindet und die Atomuhrzeit aus dem Zeitserver-Pool der Universität Toronto herunterlädt (Bild 3). Nach diesem Start verwendet sie das vom ESP bereitgestellte SNTP-Protokoll, hält die Uhr synchronisiert und zeigt die Zeit auf 14-Segment-LED-Displays an. Dieses Projekt verwendet das ESP-IDF-Framework, zu dem natürlich FreeRTOS gehört. Einmal pro Minute, zu einer zufälligen Zeit, wird das aktuelle Datum ohne die Jahreszahl angezeigt, zum Beispiel in Form von „WedJul22“.

Es ist geplant, eventuell ein OLED- oder TFT-Display hinzuzufügen, um einige lokale Wetterinformationen über einen Dienst wie openweathermap.org anzuzei-

gen. Die von mir verwendeten 14-Segment-LED-Displays sind wegen der gemischten rot-gelben Ziffernpaare teuer, aber ich habe mich so sehr an diese Anordnung gewöhnt, dass ich vorhabe, sie auch im endgültigen Aufbau zu verwenden. Die Farbunterschiede heben die Stunden-, Minuten- und Sekundenangaben hervor.

ESP32-Projekte

Abate: Welche Art von ESP32-Projekten könnte ein Ingenieur oder Hersteller in Angriff nehmen, nachdem er Ihr Buch gelesen hat?

Gay: Ich glaube, dass die meisten Projekte jenseits des einfachen Blink-Programms geeignete Kandidaten sind. Selbst wenn sie nur die standardmäßige Arduino `loop()`-Funktion (das heißt, den `loopTask`-Task) verwenden, müssen sie möglicherweise ein Ereignis von einer ISR an diesen Task mit einer FreeRTOS-Funktion kommunizieren. Die meisten anderen Projekte würden ebenfalls in separate Tasks unterteilt werden. Der ESP32 verwendet FreeRTOS bereits zur Ausführung von beispielsweise WLAN-, Bluetooth- und TCP/IP-Diensten, warum also nicht diese bereits vorhandenen Dienste nutzen?

Ein paar kreative Projekte, die mich fasziniert haben, sind diejenigen, die OpenCV verwenden, um meine Katze zu erkennen. In einem Projekt hindert das System fremde Katzen daran, die Katzenklappe zu nutzen. Bei einem anderen Projekt wird der Rasensprenger eingeschaltet, wenn eine nicht ortsansässige Katze in meinem Garten gesichtet wird, was ziemlich gemein ist, so dass ich OpenCV besser im Status



*Ich bin ein
großer Anhänger
von Büchern.
Die wichtigste
Fähigkeit, die
man haben kann,
ist zu lernen,
sich selbst etwas
beizubringen.*

eines fortgeschrittenen Projekts belassen sollte.

Projekte, die Drehgeber, entprellte Tasten, Netzwerke oder serielle/MIDI-Daten verwenden, sind nur einige wenige Beispiele, die von FreeRTOS-Diensten profitieren könnten. Drehgeber können einen „Schwungradeneffekt“ unterstützen, der sich am einfachsten durch einen Task realisieren lässt. Mit diesem Schwungradeneffekt kann der Endbenutzer mit einer schnellen Drehung eines Knopfes an mehreren Auswahlpunkten „vorbeidrehen“, denn es nervt wirklich, wenn Endprodukte den Nutzer dazu zwingen, einen Drehknopf immer weiter zu drehen, weil sie das Konzept des Schwungradeneffekts nicht unterstützen.

Tipps für die Embedded-Programmierung

Abate: Haben Sie einen Rat für angehende Software-Entwickler? Vielleicht empfehlen Sie ihnen, Kurse über Hardware oder Embedded-Systeme zu belegen? Oder vielleicht denken Sie, dass es wichtig ist, eine bestimmte Programmiersprache zu lernen?

Gay: Ich glaube, dass man am besten lernt, wenn man sich selbstständig macht. Universitäten versuchen, die Studenten auf das vorzubereiten, was sie brauchen werden, aber es ist eine entmutigende, fast unmögliche Aufgabe, dies in der ihnen zur Verfügung stehenden Zeit zu erreichen. Es ist zum Beispiel unmöglich, dass ein Student in ein oder zwei Semestern ein Experte in C++ wird. Erwartungsgemäß findet dann der größte Teil des Lernens erst später am Arbeitsplatz statt.

Ich habe mehrere Jobs gehabt, bei denen die Software-Wartung als langweilig angesehen wurde (ich habe gelesen, dass dies häufig bei Jung-Ingenieuren vorkommt). Das Problem ist, dass man nicht immer die Art von Aufträgen erhält, die einen motivieren, aber sie müssen dennoch

einen Mehrwert für Ihren Brötchengeber bieten und im Endeffekt diese Brötchen auf Ihren Frühstückstisch bringen. Was ist also zu tun?

Ich glaube, dass die Lösung darin besteht, in der Freizeit Projekte zu entwickeln, so dass Sie herausfinden können, was Sie wirklich lernen wollten. Bauen/Schreiben Sie Projekte und dokumentieren Sie sie, damit Sie etwas vorführen können. Schreiben, perfektionieren und wiederholen. Jeder kann heutzutage Linux zu Hause ausführen, sogar unter Windows! Embedded-Hardware war noch nie billiger oder einfacher zu benutzen. Ihre eigenen Projekte werden Ihre Fähigkeiten schärfen und Ihnen etwas an die Hand geben, das Sie vorführen können, wenn Sie den Arbeitsplatz wechseln oder Ihre Dienstleistungen verkaufen wollen.

Investieren Sie in sich selbst! Ich bin ein großer Anhänger von Büchern. Die wichtigste Fähigkeit, die man haben kann, ist zu lernen, sich selbst etwas beizubringen. Das Wissen, das in sorgfältig vorbereiteten Büchern zu finden ist, wird Ihr Lernen unterstützen. Das Internet ist eine großartige Wissensressource, aber in einem Buch, das von mehreren Personen sorgfältig geprüft wurde, ist die Qualität des Wissens weitaus besser. Kaufen Sie gebrauchte Bücher, die im neuen Zustand ein Vermögen kosten würden!

Bei Computersprachen empfehle ich, sich auf Compilersprachen wie C++ zu konzentrieren. Die Leistungsfähigkeit spielt nach wie vor eine große Rolle und wird dies wahrscheinlich noch eine ganze Weile länger tun (insbesondere bei Embedded-Anwendungen). Korrektheit wird immer wichtiger, da die Industrie Fehler und Exploits bekämpft. Und C++ gewinnt langsam Akzeptanz in der Embedded-Industrie, da die Vendor-Toolchains reifen und die Vorteile der Sprache geschätzt werden.

Abate: Arbeiten Sie an neuen Büchern, Produkten oder speziellen Projekten im Embedded-Bereich?

Gay: Ich fühle mich nach den vielen Büchern der letzten Jahre etwas „ausgeschrieben“. Ich freue mich jetzt darauf, einfach nur zum Spaß zu basteln. Ich bin größtenteils von Neugier getrieben, daher habe ich vor, einige kürzlich gekaufte ATmega32u4-Boards zu untersuchen, die interessanterweise eine USB-Peripherie enthalten. Das Arduino-Framework bietet bereits Software-Unterstützung für Tastatur, Maus und serielle Kommunikation über USB, aber ich möchte noch mehr als das tun. Das Framework enthält eine Plugable USB-Bibliothek, die ich nutzen möchte, aber sie ist nicht gut dokumentiert.

Mein Interesse gilt auch den FPGA-Bausteinen, vor allem, wenn die Preise sinken und Open-Source-Tools verfügbar werden. Aber das könnte bedeuten, noch mehr Zeit vor einem Monitor und einer Tastatur zu verbringen, was ich manchmal schon jetzt als übertrieben empfinde. Dann beginne ich zu denken, dass es an der Zeit ist, in die analoge Welt zurückzukehren und stattdessen einen HF-Empfänger für die Amateurfunkbänder zu bauen. Das Tolle an Hobbys ist, dass man sich aussuchen kann, was man heute machen möchte, ohne es rechtfertigen zu müssen.

200422-01

188 Seiten mit den besten Artikeln über Raspberry Pi im Industrie-Einsatz

Der Raspberry Pi wurde ursprünglich für die Forschung und Lehre entwickelt. Der kleine Bastler-PC hat jedoch bewiesen, dass er auch in der Industrie vielseitig einsetzbar ist. In enger Zusammenarbeit mit ELEKTRONIKPRAXIS haben wir dieses einzigartige Buch über aktuelle Lösungsansätze und Anwendungsbeispiele vom RPi in der Industrie veröffentlicht.

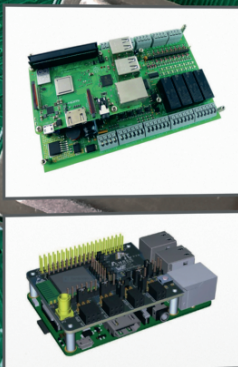
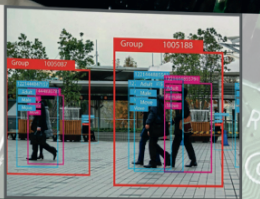
Raspberry Pi goes Industry

elektor

Raspberry Pi goes Industry

Die besten Artikel über Raspberry Pi im Industrie-Einsatz

- Übersicht der Raspberry-Pi-Boards
- 40 Betriebssysteme für Raspberry Pi
- Raspberry Pi für die industrielle Steuerung
- Die besten Anwendungsbeispiele
- Und vieles mehr!



JETZT
24,90 €
im Elektor Shop

elektor

ELEKTRONIK
PRAXIS

Dieses Buch bietet eine anschauliche Übersicht über die Möglichkeiten der industriellen Anwendung des Raspberry Pi. Von Sensoren, Blockchain-Technologie, Industriecontroller über Automatisierung und KI, werden zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für den Raspberry Pi anschaulich erklärt. Außerdem werden unterschiedlichste Tools zur erweiterten Nutzung des Raspberry Pi sowie die verschiedenen Betriebssysteme vorgestellt. Die Möglichkeiten und Grenzen für den Raspberry Pi in der Industrie und konkrete Anwendungsbeispiele liefern ein realistisches Gesamtbild.

Folgende Themen werden beschrieben:

- Raspberry Pi 3 A+
- Raspberry Pi 4 B
- RPi CM3+
- 45 Betriebssysteme für RPi
- RPi und Blockchain Ethereum
- RPi im Industrieinsatz
- und viele weitere Themen

Der Raspberry Pi wurde ursprünglich für die Forschung und Lehre entwickelt. Der kleine Bastler-PC hat jedoch bewiesen, dass er auch in der Industrie vielseitig einsetzbar ist. Aufgrund der zahlreichen Anwendungen des Raspberry Pi in privaten Hobbykellern und Hochschullabors ist er etlichen angehenden Ingenieuren bereits bekannt, daher ist es nicht verwunderlich, dass er schon in unterschiedlichsten industriellen Betrieben zum Einsatz kommt.

ELEKTRONIK
PRAXIS

Wissen.
Impulse.
Kontakte.

Bestellen Sie jetzt:

www.elektor.de/raspberry-pi-goes-industry



Wall of Fame

September 2020

Elektor International Media ist stolz darauf, Ihnen die Wall of Fame 2020 präsentieren zu können! Wir arbeiten mit führenden Elektronikunternehmen zusammen - von globalen Zulieferern bis hin zu Geräteherstellern - um über innovative Produkte und Dienstleistungen im High-Tech-Bereich zu berichten.

Die in der diesjährigen Wall of Fame gelisteten Unternehmen bieten Elektroingenieuren, Makern und Studenten ein breites Spektrum an unverzichtbaren Werkzeugen und Lösungen für die Entwicklung von spannenden Elektronikprojekten und -produkten!



Honeywell
THE POWER OF **CONNECTED**



TRINAMIC
MOTION CONTROL



EMS PROTO



TOUCHLESS AUTOMATION
special micro-handling solution



labcenter
electronics www.labcenter.com



EURO
CIRCUITS



BASLER
the power of sight



M **MOUSER**
ELECTRONICS



SIGLENT®



M **HAMMOND**
W **MANUFACTURING**®



pico®
Technology



Weller[®]

SENSIRION

EBV Elektronik
I An Avnet Company

COMSOL

multi-cb
PRINTED CIRCUIT BOARDS

INFRATec.

ROHDE & SCHWARZ
Make ideas real

congatec

almit

ST
life.augmented

MICROCHIP

infineon

PEAK
System

reichelt
elektronik

T M
E
Electronic Components

DISTRELEC
Distribution with a difference

PCBWay

LPKF
Laser & Electronics

WE
WÜRTH ELEKTRONIK

SCHURTER
ELECTRONIC COMPONENTS

ROHM
SEMICONDUCTOR

RS

PeakTech[®]

**Hier könnte
Ihr Logo stehen.
Informationen unter
+49 (0)241 955 09 186**

Der Elektor Store

Nie teuer, immer überraschend!

Der Elektor Store hat sich vom Community-Store für Elektor-eigene Produkte wie Bücher, Zeitschriften, Bausätze und Module zu einem umfassenden Webshop entwickelt, der einen großen Wert auf überraschende Elektronik legt.

Wir bieten die Produkte an, von denen wir selbst begeistert sind oder die wir einfach ausprobieren wollen. Wenn Sie einen Produktvorschlag haben, sind wir hier erreichbar (sale@elektor.com).

Unsere Bedingungen:

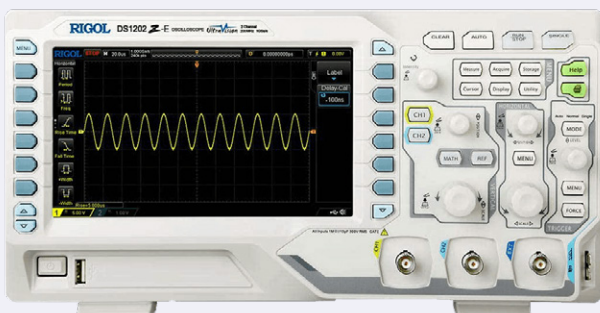
Nie teuer, immer überraschend!



Rigol DS1054Z 4-Kanal-Oszilloskop (50 MHz)

normal ~~449,00 €~~
jetzt 349,00 €

🛒 www.elektor.de/17821



Rigol DS1202Z-E 2-Kanal-Oszilloskop (200 MHz)

normal ~~449,00 €~~
jetzt 349,00 €

🛒 www.elektor.de/19344





Rigol DP832
3-Kanal-Netzgerät
(0-30 V, 0-3 A, 195 W)

normal ~~549,00 €~~
jetzt 449,00 €

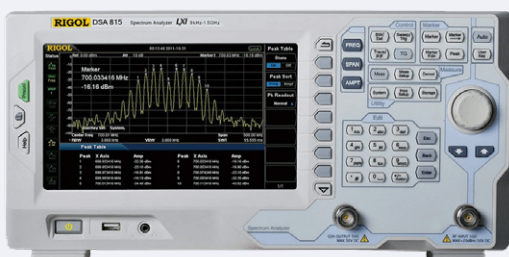
www.elektor.de/17823



Rigol DG2052 Arbiträr-
Funktionsgenerator
(50 MHz)

normal ~~699,00 €~~
jetzt 579,00 €

www.elektor.de/19345



Rigol DSA815-TG Spektrum-
analysator (9 kHz – 1,5 GHz)

normal ~~1.549,00 €~~
jetzt 1.299,00 €

www.elektor.de/19349



Rigol DG2102 Arbiträr-
Funktionsgenerator
(100 MHz)

normal ~~1.149,00 €~~
jetzt 949,00 €

www.elektor.de/19347

Beiträge von: _____ Inserentenverzeichnis _____

ConiuGo

5G / 4G LTE-Module, innovative Modems und smarte Anwendungen



Infineon

Stromsparender 3D-Magnetsensor im Miniaturformat



Bernstein

ESD - was ist das?



Querom

Hochvolt-DC/DC-Wandler



PCBWay

Einfluss des PCB-Layouts auf Störeinstrahlungen



Energy Micro

Verringerung des Energieverbrauchs bei kapazitiven Sensoren



Stuart Cording

Mooresches Gesetz – nur ein Mythos?



CJ Abate

Embedded-Programmierung und darüber hinaus



Thomas Scherer

Review: Leitungstester Peaktech 2715



Robert van der Zwan

Infographic



VitechParts 13

tbp electronics 19



Nächste Ausgabe

Die Ausgabe 6/2020 des Magazins Elektor Industry ist unser Spezial-Heft zur electronica, der Weltleitmesse der Elektronik, die vom 10. bis zum 13. November in München stattfindet. Hintergrundberichte und News aus allen Bereichen der Elektronik kommen von Unternehmen, Branchenspezialisten, Elektor-Redakteuren und freien Autoren.

Die Elektor Industry Ausgabe 6/2020 erscheint am 5. November 2020. Änderungen vorbehalten.

Elektor hilft, Ihr Geschäft zu optimieren



Mit fast sechzig Jahren hat Elektor so schon einiges erlebt aber das Jahr 2020 wird wohl bleibenden Eindruck hinterlassen. Wir haben gesehen, wie große, namhafte Kunden ihre Marketingaktivitäten gekürzt haben, aber wir haben auch Unternehmen gesehen, die stark gewachsen sind wie nie zuvor. Obgleich es einer gewissen Flexibilität bedurfte, waren wir in der Lage, beiden zu helfen.

Wir alle brauchen ein gesundes Geschäft, ob das nun bedeutet, die Dinge etwas zu straffen oder sie auf die nächste Stufe zu heben. Nichtstun ist keine Option.

”

Mein Team ist bereit, in beiden Szenarien zu helfen. Sei es mit kompakten, aber hocheffizienten Content-Marketing-Strategien oder einer kompletten Multichannel-Kampagne, um die Vorteile dieser neuen Markttöffnung zu nutzen - Elektor Helps. In diesen Zeiten ist eine maßgeschneiderte Herangehensweise für unsere Kunden erforderlich, und wir gehen noch einen Schritt weiter. Wir sind davon überzeugt, dass wir gemeinsam mit Ihnen den Unterschied bewirken können.

Ja, das ist eine Herausforderung!”

Margriet Debeij
International Client Manager



Kontaktieren Sie uns auf www.elektor.com/helps-clients



Elektor Industry Edition

Innerhalb der Extra-Editionen von Elektor Industry, die für alle kostenlos zum Download zur Verfügung stehen, bieten wir unseren Kunden eine Reihe von Standard-Elektor-Helps-Paketen an. Da aber jeder Kunde anders ist, bitten wir jeden, der nach einer passenden Lösung sucht, sich mit unserem Kundenteam in Verbindung zu setzen. Wir sind sicher, dass unser Team unter der Leitung von Margriet Debeij immer einen Weg finden wird, um Ihnen zu helfen. Besuchen Sie elektor.com/help-clients, um mehr zu erfahren.

Gewinnen Sie
75.000€

Marketing-Paket von
Elektor und einen Stand
auf der electronica

COMPETE TO
LAUNCH
YOUR STARTUP AT
ELECTRONICA
2020

Ist Ihr Elektronik-Start-up bereit die
Lösungen Ihres Unternehmens auf dem
globalen Markt zu präsentieren?

 DANN BEWERBEN SIE SICH JETZT!

Besuchen Sie elektormagazine.de/fastforward, um die
Regeln, Bedingungen und Konditionen zu lesen und Ihre
Bewerbung einzureichen. Viel Erfolg!

VORTEILE DER FINALISTEN:

- **Erster Preis = 75.000 €** Marketing-Paket von Elektor, plus
einen Stand auf der electronica 2022
- **Zweiter Preis = 50.000 €** Marketing-Paket von Elektor
- **Dritter Preis = 25.000 €** Marketing-Paket von Elektor
- Erhalten Sie einen **exklusiven, besonders preisgünstigen**
(nur 1.905 €!) **Stand (5 m²)** auf der electronica 2020
- Erhalten Sie **große Aufmerksamkeit** vor, während und nach
der electronica 2020. (10.-13.11.2020)



Sign up
here