



USB galvanisch getrennt

USB-Isolator UI 100

Die USB-Schnittstelle hat sich in fast allen Gebieten der Elektronik durchgesetzt. In einigen Bereichen herrschen allerdings besondere Sicherheitsanforderungen oder besonders hohe Anforderungen an die Signalqualität. Hier ist eine galvanische Trennung zwischen Systemkomponenten notwendig und sinnvoll.

Der hier vorgestellte USB-Isolator ist für den Einsatz im privaten Bereich konzipiert. Er basiert auf einem Spezialchip von Analog Devices, der die galvanische Trennung und die Protokollverwaltung übernimmt. Das kompakte Gerät entspricht der USB-2.0-Spezifikation und unterstützt Low- und Full-Speed-USB.

Galvanische Trennung, warum?

Die Forderung nach einer galvanischen Trennung zwischen zwei Schaltungsteilen kann sehr vielfältige Gründe haben. Im Wesentlichen kann eine solche Forderung mit sicherheitstechnischen Aspekten oder verbesserten Eigenschaften hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit begründet werden.

Aus sicherheitstechnischer Sicht gibt es zum einen die Forderung einer sicheren Trennung des PC-Teils von berührunggefährlichen Teilen in einem Gerät, zum anderen können aber auch Probleme auftreten, wenn Schaltungsteile durch die Verbindung zum PC auf Schutzleiterpotential gelegt werden. Letzteres

ist beispielsweise bei PC-gesteuerten Netzgeräten der Fall. Der Gleichspannungsausgang eines geregelten Netzgerätes darf nicht berührunggefährlich sein und muss zudem potentialfrei sein; u. a. darf der Ausgang auch nicht auf Schutzleiterpotential liegen. Die Sicherheit gegen berührunggefährliche Spannungen wird im Allgemeinen durch einen entsprechenden Netztransformator sichergestellt. Die Forderung der Potentialfreiheit gegenüber PE wird in solchen Geräten aber oftmals durch den Anschluss eines PCs an die Schnittstelle aufgehoben. Hier schafft dann nur eine galvanische Trennung von PC und Netzgerät über einen entsprechenden Schnittstellenbaustein Abhilfe.

In Geräten, die keine galvanische Trennung vom 230-V-Netz besitzen, wie beispielsweise Geräte, die nur über ein einfaches Kondensatornetzteil verfügen, darf nur eine PC-Schnittstelle mit einer entsprechenden Potentialtrennung implementiert werden. Mit anderen Konstruktionen lässt sich die gemäß einschlägiger VDE-Vorschriften geforderte Berührungssicherheit nicht gewährleisten.

Auch im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit bietet eine komplette galvanische Trennung

Versorgungsspannung primär:	USB-powered
Versorgungsspannung sekundär:	5 Vdc
Stromaufnahme primär:	max. 10 mA
Stromaufnahme sekundär:	max. 750 mA
	(abhängig vom angeschlossenen Gerät)
USB-Schnittstelle:	USB-2.0-kompatibel
	(Low- und Full-Speed-Modus, 1,5 Mbit/s oder 12 Mbit/s)

sehr große Vorteile. In solchen getrennten Systemen können sich beispielsweise keine störenden Masse- bzw. Schutzleiterströme ausbilden. Hinsichtlich der Funkstöraussendungen bringt die galvanische Trennung, gerade bei den schnellen USB-Signalen, große Vorteile.

Auch in der Audiotechnik werden immer mehr Geräte mit einer USB-Schnittstelle ausgestattet, dabei entstehen durch die Verbindung mit dem PC schnell Masseschleifen und die dazugehörigen störenden Brummgeräusche. Auch hier ist die in der analogen Technik gängige galvanische Trennung sinnvoll.

Anwendungsbereiche

Vor allem in der Medizintechnik, deren Zulassungshürden aus sicherheitstechnischen und Zuverlässigkeits-Gründen besonders hoch gelegt sind, entstand bereits mit der Einführung von USB als Schnittstelle die Forderung nach einer galvanischen Trennung. Denn mit Erscheinen der Schnittstelle ergaben sich nun auch neue Möglichkeiten. So besteht beispielsweise eine moderne Zahnarztstation heute aus einem mit dem Praxis-Server vernetzten PC, ein Monitor versorgt den Arzt online mit allen Informationen, die er benötigt. Außerdem dient solch ein System oft zur multimedialen Unterhaltung|Ablenkung des Patienten, z. B. kann man hier sehr gut Kinder „beschäftigen“. Dank der universellen USB-Schnittstelle erhält nun aber der Arzt die Möglichkeit, eine Oral-Kamera, ein lokales Röntgengerät mit Echtzeitdarstellung auf dem Monitor, einen Drucker, ein USB-Mikroskop oder eine normale Foto-|Videokamera an den PC anzuschließen. Sofort ergäben sich o. a. Probleme, würde man keine galvanische Trennung vorsehen. Dies ist nur ein kleines Beispiel aus der Medizintechnik.

Weitere Beispiele für den unabdingbaren Einsatz einer galvanischen Trennung sind messtechnische Umgebungen wie die Kopplung an Messgeräte, Netzgeräte, Logikanalysatoren, Sensoren. Auch alle Arten von Eingabe- und peripheren Geräten wie Drucker, Kameras usw. zählen zu diesen Anwendungen. Ebenso wichtig ist eine Trennung gegenüber externen (Selbstbau-)Applikationen, z. B. Mikrocontrollerschaltungen.

Den Einsatz im Audio-|Videobereich haben wir ja ebenfalls bereits kurz betrachtet. Insbesondere bei der Kopplung von USB-PC-Soundkarten oder USB-Video-Ein-|Ausgängen mit peripheren Geräten wie Musikinstrumenten, Effektgeräten, Mixern, Wiedergabe- und Aufnahmegeräten sowie Mikrofonen und Verstärkern entstehen schnell unerwünschte Masseschleifen und Brummspannungen, die es zu entkoppeln gilt.

Weitere Anwendungsbereiche sind der Schutz vor Überspannungen, z. B. bei Anschluss eines PCs an eine Telefonzentrale, von USB-Geräten an einen Router mit USB-Hub oder bei Anschluss an Kfz-Systeme (z. B. OBD-Datenlogger), portable Technik, ESD-gefährdete Geräte, bei Einsatz sehr langer USB-Verbindungen, z. B. über Ethernet-Extender.

Abschließend noch ein Beispiel aus der Automobilindustrie: Bei den mit zahlreichen Lithiumzellen und daraus resultierender hoher Bordspannung bestückten Fahrzeugen muss die normale Kfz-Elektronik gegen schädliche Überspannungen aus dem Leistungsteil der

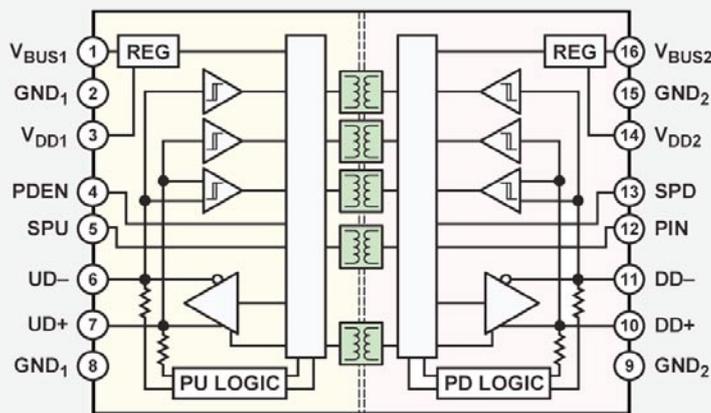


Bild 1: Das Blockschaltbild des USB-Isolator-Bausteins ADuM4160



Wichtiger Hinweis:

Der USB-Isolator UI 100 ist nicht für den Einsatz in medizintechnischen Umgebungen vorgesehen und zugelassen, da keine Zulassungsprüfung vorliegt.

Energieversorgung geschützt werden. Hier verrichtet zwar nicht der USB-Isolator seinen Dienst, aber andere Bausteine aus der iCoupler-Familie sorgen so für sicheren Betrieb.

Der USB-Isolator UI 100

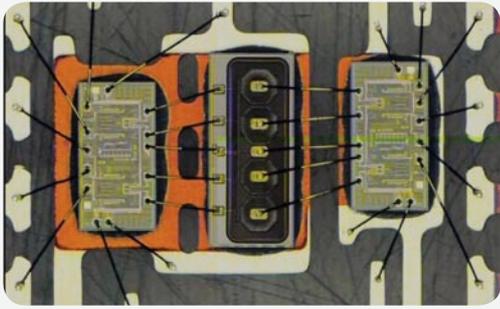
Kommerzielle Lösungen von USB-Isolatoren richten sich an professionelle Anwender und sind entsprechend teuer. Eher für den privaten Einsatz ist der USB-Isolator UI 100 gedacht, eine kleine Schaltung in einem handlichen Gehäuse mit einfacher Bedienung.

Basis für diese kostengünstige Lösung ist ein neuer Spezial-Chip von Analog Devices (Bild 1 zeigt dessen Blockschaltbild, zum Funktionsprinzip siehe „Elektronikwissen“), der die galvanische Trennung sowie die Protokollverwaltung übernimmt. Der UI 100 verhält sich dabei wie ein USB-Hub mit einem USB-Port, er wird einfach in die bestehende Verbindung eingeschleift. Unterstützt werden der Low- und der Full-Speed-USB-Modus (1,5 Mbit/s oder 12 Mbit/s), die Schaltung entspricht den USB-2.0-Spezifikationen. Treiber sind nicht notwendig. Für die Versorgung der Sekundärseite inkl. angeschlossenem USB-Gerät ist ein 5-V-Spannungsversorgungsanschluss vorhanden.

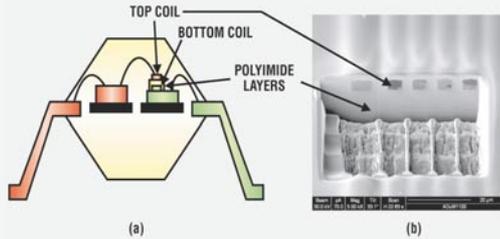
In den Isolationseigenschaften steht der digitale USB-Isolator den herkömmlichen Optokopplern in nichts nach. So weist der hier eingesetzte ADuM4160 eine Isolationsfestigkeit bis 5000 V (1 Minute, UL-Norm 1577) auf, er ist immun gegen Transienten bis über 25 kV/μs und spannungsfest bis 848 V_{SS} (DC|AC).

Schaltungsbeschreibung

Zentrales Element der Schaltung (Bild 2) ist der Baustein ADuM4160, der die galvanische Trennung der USB-Signale vornimmt. Die Versorgung des ICs erfolgt primärseitig durch die Busspannung, sekundärseitig wird eine externe Spannung von 5 V benötigt. Da die



Die Chip-Ansicht der Isolator-Familie ADuM140x (4 Kanäle)



Der interne Aufbau eines iCoupler-Übertragungskanal:
(a) der schematische Aufbau; (b) die Struktur im Halbleiter

iCoupler-Technologie

Der USB-Isolator ADuM4160 gehört zur iCoupler-Familie von Analog Devices. Die iCoupler-Technologie wurde im Jahr 2003 eingeführt und ermöglicht eine einfache, platzsparende Isolation von digitalen Signalen. Bei der iCoupler-Technologie handelt es sich um eine mikro-elektromechanische (MEMS) Nachbildung eines Transformators, die höhere Datenraten zulässt, für größere Immunität gegenüber Transienten sorgt und exaktere Übertragung der Signale ermöglicht als Lösungen mit Optokopplern. Zudem benötigen iCoupler-Produkte deutlich weniger Leistung und externe Bauelemente und die Langzeitstabilität ist höher als bei Optokopplern.

Jeder Übertragungskanal besteht aus einem Treiber, einem Empfänger und dem zugehörigen Transformator, der aus zwei Spulen und einer hoch isolierenden Polyimid-Isolationsschicht besteht. Die Spulen sind dabei übereinander angeordnet, die Isolationsschicht liegt dazwischen. Empfänger, Treiber und Trafo werden über Bonddrähte verbunden und sind gemeinsam in einem Gehäuse untergebracht. Da bestehende Halbleiterprozesse zur Herstellung verwendet werden, können mehrere Kanäle und auch Logikfunktionen zu einem Produkt vereint werden. Im Bild links ist eine Aufnahme der Isolatorfamilie ADuM140x, die 4 Kanäle in unterschiedlichen Konfigurationen zur Verfügung stellt, zu sehen. Die Übertragung der Signale erfolgt flankengetriggert, bei jedem Flankenwechsel am Eingang wird ein entsprechendes Impuls-Signal generiert und von den Trafospulen übertragen. Aus dem empfangenen Impuls-Signal wird auf der Empfängerseite wieder der Ausgangspegel hergestellt.

Bei dem USB-Isolator ADuM4160 wurden neben mehreren Übertragungskanälen noch Spannungsregler für die interne Versorgung und Logikeinheiten für die USB-Funktionalität integriert.

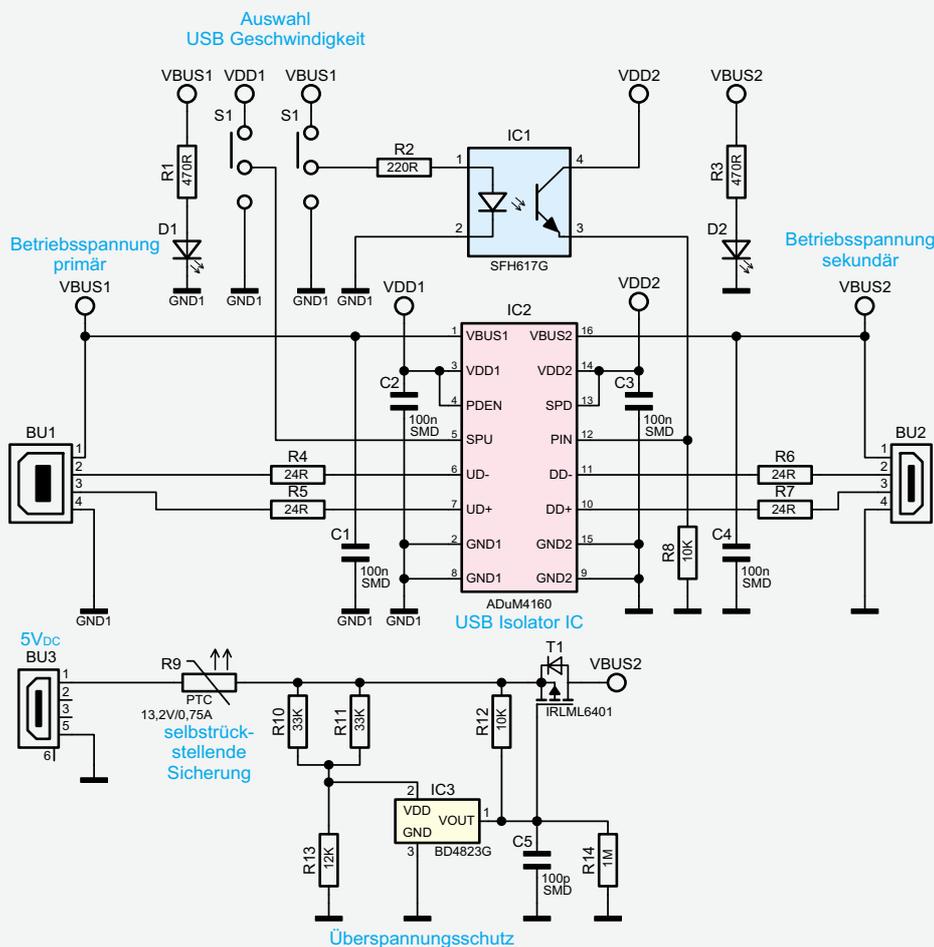


Bild 2: Die Schaltung des USB-Isolators UI 100

Spannungshöhe der USB-Signale im Low- und Full-Speed-Modus maximal 3,6 V betragen darf, sind zwei Spannungsregler in den Baustein integriert.

Über den Schiebeschalter S 1 kann der gewünschte USB-Modus ausgewählt werden. Liegen die beiden Eingänge SPU und PIN auf Masse, wird der Low-Speed-Modus aktiviert. Bei einem Highpegel wird der Full-Speed-Modus verwendet. Über den Optokoppler IC 1 wird die Schalterstellung von S 1 auf die Sekundärseite übertragen.

Da der Baustein ADuM4160 sowie ein angeschlossenes USB-Gerät bei einer Überspannung der sekundären Versorgungsspannung Schaden nehmen können, wurde eine kleine Schutzschaltung vorgesehen. Sie besteht im Wesentlichen aus einem P-Kanal-MOSFET und einem Spannungsüberwachungsbaustein. Der Überwachungsbaustein hat eine Schaltschwelle von 2,3 V, bis zu der der Ausgang auf „low“ gelegt wird. Bei höheren Spannungen geht der Ausgang auf „high“ (externer Pull-up). Der Widerstandsteiler aus R 10, R 11 und R 13 sorgt dafür, dass bei einer Eingangsspannung über 5,5 V der Ausgang auf „high“ liegt

und der Transistor T 1 sperrt, und die Schaltung und das angeschlossene USB-Gerät werden dann nicht versorgt. R 9 ist ein PTC-Widerstand (Kaltleiter) und dient als reversible Sicherung.

Nachbau

Da werkseitig bereits alle SMD-Bauteile bestückt sind, beschränkt sich der Nachbau auf die Bestückung der beiden Buchsen BU 1 und BU 2, des Optokopplers IC 1 und der LEDs D 1 und D 2.

Der Optokoppler ist entsprechend dem Bestückungsdruck einzubauen, seine Einbaulage ergibt sich durch den Punkt an Pin 1.

Bei den Buchsen sollte bei der Bestückung darauf geachtet wer-

den, dass sie plan auf der Platine aufliegen, um die mechanische Beanspruchung der Lötkontakte zu minimieren. Die beiden LEDs müssen polrichtig mit einem Abstand von ca. 13 mm zwischen Platine und Unterkante des LED-Gehäuses eingelötet werden. Die Anode der LED (Plus-Markierung im Bestückungsdruck) ist durch den längeren Anschluss zu erkennen.

Bild 3 zeigt die komplett bestückte Platine des Gerätes. Nachdem alle Bauteile bestückt sind, ist die Platine in das Gehäuseunterteil einzulegen und mit den beiliegenden Schrauben zu befestigen. Als Letztes erfolgt das Verschrauben des Gehäuse-Ober- und -unterteils miteinander.

Inbetriebnahme

Vor jedem Einsatz des UI 100 muss über den Schiebeschalter der gewünschte USB-Modus ausgewählt werden. In der Regel sollten aktuelle Geräte mit USB-Schnittstelle den Full-Speed-Modus verwenden, Ausnahmen sind z. B. ältere USB-Eingabegeräte wie Tastaturen oder Computermäuse.

Danach ist die Primärseite (USB-B-Buchse) des UI 100 mit dem PC zu verbinden und die Spannungsversorgung der Sekundärseite herzustellen. Jetzt kann das USB-Gerät an die sekundärseitige USB-A-Buchse angeschlossen werden. Im Bild 4 ist das so verkabelte Gerät zu sehen. Das USB-Gerät meldet sich wie gewohnt am PC an und kann normal genutzt werden. Eine zusätzliche Treiberinstallation für den USB-Isolator ist nicht notwendig. Sollte das angeschlossene USB-Gerät nicht funktionieren, kann es am gewählten USB-Modus liegen. In diesem Fall sind zunächst alle Kabel vom UI 100 zu entfernen und der Schiebeschalter ist in die andere Stellung zu bringen. **ELV**

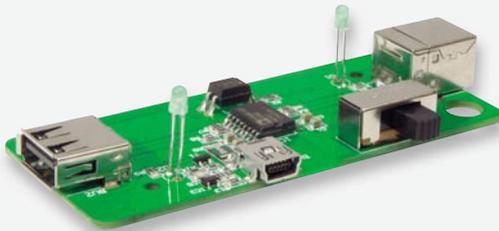
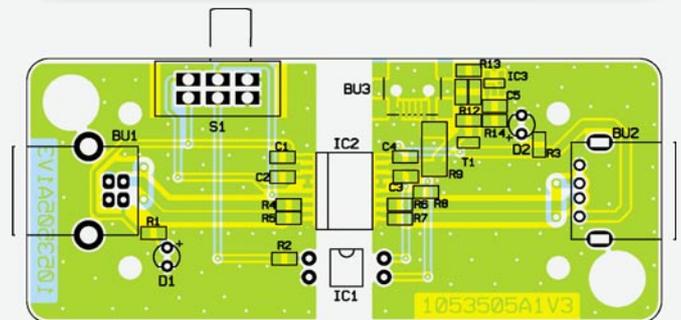
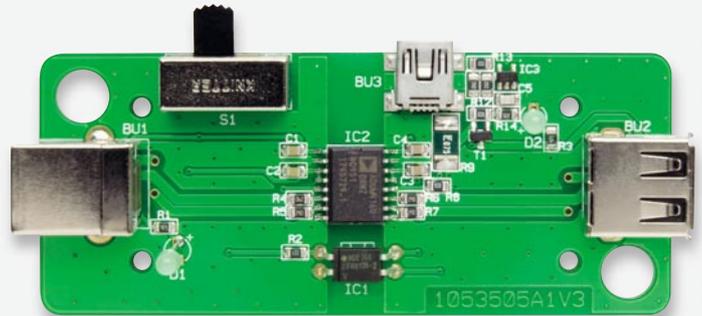


Bild 3: Die einbaufertig bestückte Platine des UI 100



Bild 4: Der einsatzbereit verkabelte USB-Isolator



Ansicht der bestückten Platine des USB-Isolators, Bestückungs-Oberseite

Widerstände:

24 Ω SMD 0805	R4-R7
220 Ω SMD 0805	R2
470 Ω SMD 0805	R1, R3
10 kΩ SMD 0805	R8, R12
12 kΩ 1 % SMD 0805	R13
33 kΩ 1 % SMD 0805	R10, R11
1 MΩ SMD 0805	R14
Polyswitch, 13,2 V, 0,75 A, SMD, 1812	R9

Kondensatoren:

100 pF SMD 0805	C5
100 nF SMD 0805	C1-C4

Halbleiter:

SFH617-2	IC1
ADuM4160BRWZ SMD	IC2
BD4823G SMD	IC3
IRLML6401 SMD	T1
LED, 3 mm, Grün	D1, D2

Sonstiges:

USB-B-Buchse, winkelprent	BU1
USB-A-Buchse, winkelprent, liegend	BU2
USB-B-Buchse, mini, 5-polig, winkelprent, liegend, SMD	BU3
Schiebeschalter, 2x um, winkelprent	S1
1 Gehäuse, STRAPU 2099, Grau, komplett, bearbeitet und bedruckt	