Stromversorgungs-Subsysteme für Photoplethysmographie-Systeme zur Vitalzeichen-Überwachung

Der vorliegende, aus zwei Teilen bestehende Artikel stellt validierte Designs für getaktete Stromversorgung zur Vitalzeichen-Fernüberwachung an Patienten vor. Darin kommen Biosensoren zum Einsatz, die sich durch einen herausragenden Signal-Rauschabstand auf der Systemebene auszeichnen. Während es hier im ersten Teil um eine diskrete Lösung mit optimaler Performance geht, wird im zweiten Teil eine integrierte Lösung für Anwendungen mit beengten Platzverhältnissen präsentiert.

Inhalte dieses Beitrags:

- Auswahl der richtigen Stromversorgungs-Konfiguration anhand der Anforderungen eines PPG-Systems
- Beschreibung geschalteter Stromversorgungs-Referenzschaltungen in diskreter (Teil 1) oder integrierter Ausführung (Teil 2)
- Vorstellung einer Methodik zum Prüfen der Leistungsfähigkeit von Stromversorgungs-Systemen, mit der sich das System in verschiedenen Anwendungs-

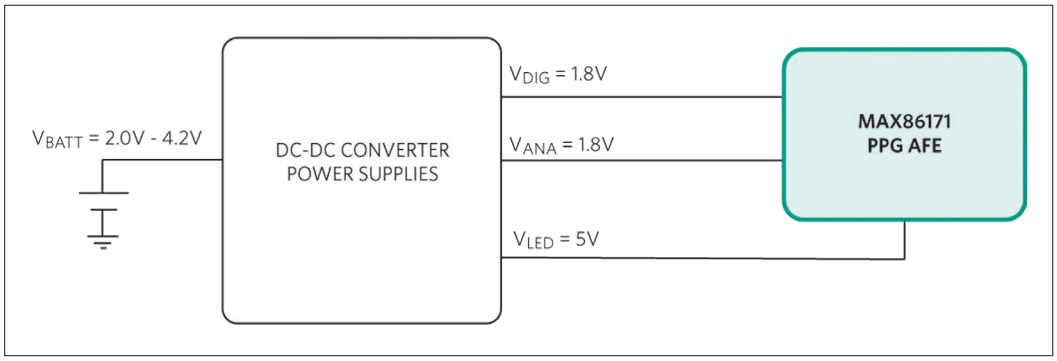

Bild 1: Blockschaltbild eines typischen PPG-Geräts zur Fernüberwachung von Patienten-Vitalzeichen

Grenzwerte des Designs

Eingang		Ausgang (VDIG, VANA, VLED)		Rauschen, RTO
V_{IMIN}	V_{IMAX}	V_{OMIN}	V_{OMAX}	$V_{PP(max)}$
3,0 V[1]	4,2 V[1]	1,6 V	2,0 V	30 mVPP
2,0 V[2]	3,4 V[2]	1,6 V	2,0 V	30 mVPP
		4,7 V	5,3 V	20 mVPP

Anmerkungen:
[1] Sekundärbatterie (LiPo)
[2] Primärbatterie (Li-Knopfzelle)

Tabelle 1

Designkonfiguration

Design-Konfiguration	Batterie-Implementierung	Anmerkungen zum Leiterplatten-Layout
Diskret	Primärbatterie (Knopfzelle) Sekundärbatterie (Li & LiPo)	Implementierung mit separaten diskreten Schaltungen
Integriert	Sekundärbatterie (Li & LiPo)	Verwendung einer einzigen integrierten Schaltung zur Minimierung der Leiterplattenfläche, Ausschließlich für Sekundärbatterien geeignet.

Tabelle 2

Autoren:
Felipe Neira und Marc Smith
Analog Devices
www.analog.com

Wichtige Bauelemente

Bezeichnung	Bauteil	Beschreibung
U1	Gleichspannungswandler	Leistungswandler-Baustein (MAX38640A und MAX20343H)
L1	Induktivität (2,2 µH)	Induktivität mit niedrigem effektivem Serienwiderstand (ESR) als Energiespeicher*
C1	Kondensator (22 µF)	Kondensator mit niedrigem effektivem Serienwiderstand (ESR) als Energiespeicher*

*Bei L1 und C1 handelt es sich um speziell ausgewählte passive Bauelemente, die entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Gleichspannungswandlers sind.

Tabelle 3

fällen und unter transienten Lastbedingungen testen lässt.
- Checkliste zum Validieren der Implementierung.
- Vermittlung von Kenntnissen zur Beseitigung von Implementierungsproblemen.

Dieser Artikel präsentiert fertig validierte Stromversorgungs-Designs für die Fernüberwachung der Vitalzeichen von Patienten mithilfe der PPG-Technik (Photoplethysmographie), wobei Biosensoren mit einem exzellenten Signal-Rauschabstand auf der Systemebene zum Einsatz kommen. Ein PPG-Gerät kann zum Messen von Änderungen des Blutvolumens eingesetzt werden, um daraus Vitalzeichen-Informationen wie etwa die Sauerstoffsättigung des Blutes oder die Herzrate abzuleiten. Im ersten Teil des Beitrags präsentiert Analog diskrete, auf optimale Performance ausgerichtete Stromversorgungs-Lösungen, bei dem es sich um ein Analog Front End (AFE) für optische Pulsoximeter- und Herzratensensor-Lösungen handelt. Im zweiten Teil geht es dagegen um eine integrierte Lösung für Applikationen mit knappen Platzverhältnissen.

Gleichspannungswandler-Baustein

Getaktete Stromversorgungen, auch als Schaltnetzteile bzw. DC/DC- oder Gleichspannungswandler bezeichnet, kommen häufig in Wearables für Medizin- und Healthcare-Anwendungen zum Einsatz, da sie platzsparend sind und einen hohen Wirkungsgrad erreichen. Mit ihnen lassen sich batteriebetriebene Produkte mit längerer Betriebszeit entwickeln. Bei der Entwicklung steht man allerdings vor der Aufgabe, zunächst den passenden Gleichspannungswandler-Baustein auszuwählen und anschließend ein geeignetes Leiterplatten-Layout auszuarbeiten, das die Leistungsfähigkeit des verwendeten Biosensors möglichst umfassend nutzt.

Fertige Designs

Um diesen Arbeitsablauf zu vereinfachen und zu beschleunigen, bietet Analog Devices fertig validierte, d. h. entwickelte, real angefertigte und geprüfte Designs von

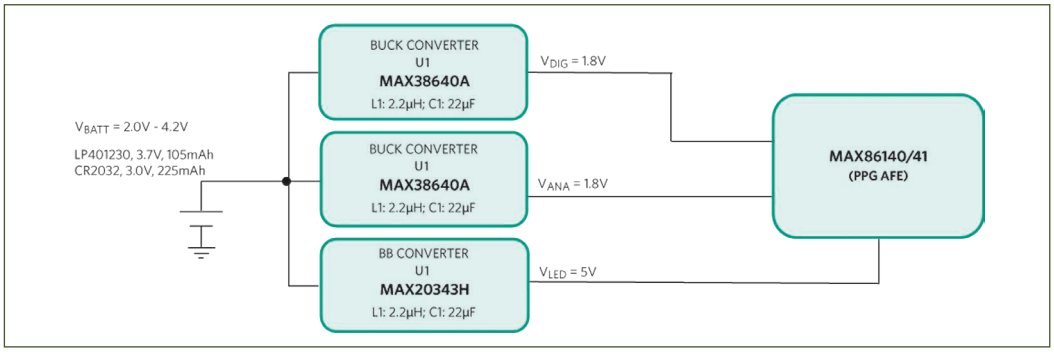

Bild 2: Blockschaltbild eines PPG-Subsystems unter Verwendung diskreter Stromversorgungs-Bausteine

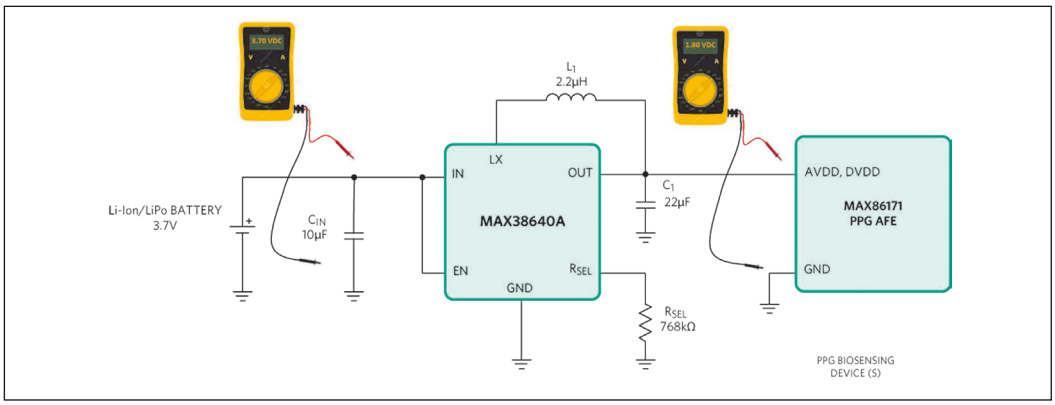

Bild 3: Getaktete Stromversorgung auf Basis des MAX38640A für 1,8 VDC zum Einsatz in Geräten zur Fernüberwachung von Patienten-Vitalzeichen

Schritt	Aktion	Ablauf	Messung	Hilfe erforderlich?
1	DC-Eingangsspannung überprüfen LiPo-Akku LP401230 Li-Knopfzelle CR2032	Messen der Batteriespannung	Wertebereich: 3,0 V – 4,2 V 2,0 V – 3,4 V	Anweisungen zur Fehlerbeseitigung
2	DC-Eingangsspannung überprüfen LiPo-Akku LP401230 Li-Knopfzelle CR2032	Messen der Spannung an C_{IN}	Wertebereich: 3,0 V – 4,2 V 2,0 V – 3,4 V	
3	DC-Ausgangsspannung V_{OUT} überprüfen	Messen der Spannung an C_{OUT}	Wertebereich: 1,71 V – 1,89 V	
4		Messen der Spannung am Verbraucher	Wertebereich: 1,71 V – 1,89 V	
5	Ausgangsrauschen überprüfen	Mit unsymmetrischem 10x-Taskopf (mit Pigtail) oder differenziellem aktivem Tastkopf	Restwelligkeit sollte < 20 mV_{PP} sein	

Tabelle 4

Gemessene Eingangsspannung	Mögliche Ursachen	Maßnahmen	Anmerkungen
0 Volt bzw. kein Messwert	Batterie nicht geladen oder defekt	Batterieabklemmen und Spannung überprüfen. Werden 0 V gemessen, Batterie ersetzen.	Ersetzen Sie die Batterie, wenn sie sich nicht aufladen lässt.
	Keine Verbindung zur Batterie (Leitung IN oder GND)	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit der Verbindung zwischen Batterieanschluss und Eingang des Bausteins überprüfen.	Möglicherweise liegt eine Leitungs-Unterbrechung auf der Leiterplatte vor.
	Kurzschluss zwischen Eingangskondensator und Masse	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit entlang des Kondensators überprüfen.	Defekter Kondensator oder Kurzschluss auf der Leiterplatte
	Kurzschluss zwischen EN-Pin und Masse	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen EN-Pin und Masse überprüfen.	Der EN-Pin muss für den normalen Betrieb auf High liegen.
Messwert < 3,0 V (LiPo-Batterie), Messwert < 2,0 V (LiIon-Batterie)	Batterie unzureichend geladen oder defekt	Batterie abklemmen und Spannung prüfen. Bei weniger als 2,8 V Batterie aufladen.	Ersetzen Sie die Batterie, wenn sie sich nicht aufladen lässt.
3,0 V ≤ Messwert ≤ 4,2 V (LiPo-Batterie) 2,0 V ≤ Messwert ≤ 4,2 V (LiIon-Batterie)		Keine Maßnahme	Eingangsspannung in Ordnung, weiter mit Schritt 2.
Messwert ≥ 4,2 V (LiPo-Batterie), Messwert ≥ 3,4 V (LiIon-Batterie)	Batterie defekt	Batterie ersetzen	

Tabelle 5

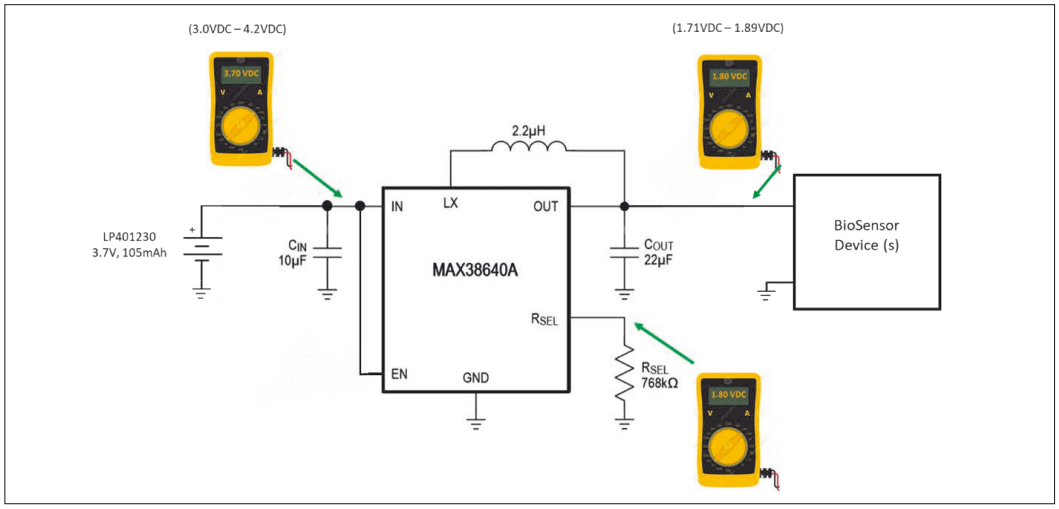

Bild 4: Validierungsplan für das 1,8 VDC Stromversorgungs-Design auf Basis des MAX38640A

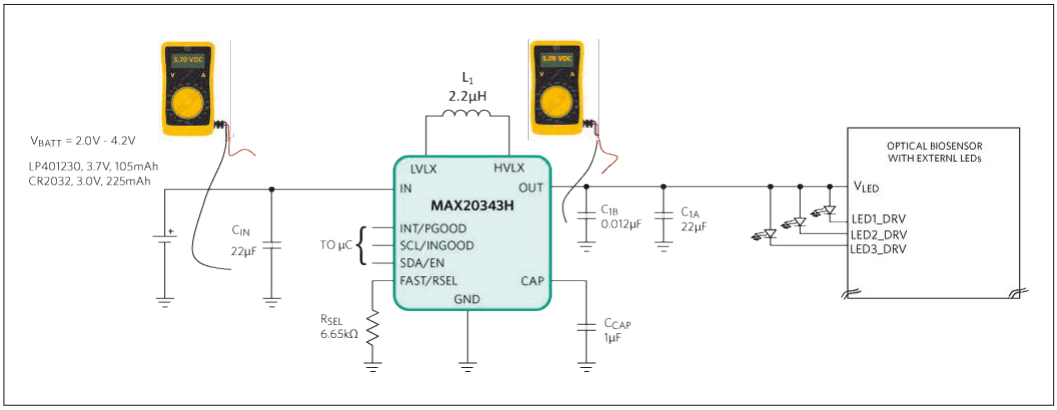

Bild 5: Hilfsmittel zur Fehlerbeseitigung an der getakteten Stromversorgung auf Basis des MAX38640A

Stromversorgungs-Subsystemen an, mit denen der Signal-Rauschabstand (Signal-to-Noise Ratio, SNR) der einzelnen Biosensing-AFEs optimal bewahrt wird. Der vorliegende Artikel beschreibt Einzelheiten der jeweiligen Stromversorgungs-Schaltungen und gibt jedem Beispiel eine Validierungs-Checkliste und eine Fehlerbeseitigungs-Anleitung bei. In Bild 1 ist das Blockschaltbild einer Standard-Stromversorgungslösung zu sehen, wie sie in vielen Anwendungen für die Fernüberwachung von Patienten anzutreffen ist.

Beschreibung des diskreten Designs

Der nachfolgend beschriebene Gleichspannungswandler regelt drei Ausgangsspannungen für ein Subsystem zur Fernüberwachung von Patienten-Vitalzeichen. Die Schaltung zeichnet sich durch gute Netz- und Lastregeleigenschaften aus und weist ein geringes Ausgangsrauschen auf, um die SNR-Eigenschaften des verwendeten Biosensors nicht zu beeinträchtigen. Die Stromversorgung erfolgt durch eine wiederaufladbare Lithium-Polymerbatterie oder eine Lithium-Knopfzelle. In Bild 2 ist das PPG-Subsystem mit einer diskreten Stromversorgungs-Lösung abgebildet.

Signalverlauf am Eingang	Mögliche Ursache	Maßnahmen	Anmerkungen
Amplitude ist nicht korrekt	Induktivität nicht verbunden, IN-Pin nicht verbunden, EN-Pin nicht verbunden oder an Masse gelegt	Batterie abklemmen und sämtliche Verbindungen mit DMM überprüfen	Leiterplatte reparieren, falls notwendig
Tastverhältnis ist nicht korrekt (korreliert nicht mit der Ausgangsspannung)	R_{SEL} hat nicht den korrekten Wert von 768 kΩ. Falscher externer Widerstand.	Batterie abklemmen und R_{SEL} mit DMM prüfen (mit der Widerstands-Messfunktion)	Widerstand durch ein Exemplar mit korrektem Wert ersetzen.
	R_{SEL}-Pin nicht verbunden (V_O = 2,5 V)	Ausgang auf 2,5 V prüfen. Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen Widerstand und R_{SEL}-Pin überprüfen.	Möglicherweise liegt eine Leitungs-Unterbrechung auf der Leiterplatte vor.
	Kurzschluss zwischen R_{SEL}-Pin und Masse (V_O = 0,8 V)	Ausgang auf 0,8 V prüfen. Batterie abklemmen und Widerstand am Kondensator messen.	Möglicherweise liegt ein Kurzschluss auf der Leiterplatte vor.
Verzerrter Signalverlauf mit abgerundeter steigender Flanke	Defekte Verbindung zur Induktivität	Verbindung der Induktivität reparieren. Induktivität ersetzen.	Defekte Verbindung kann höheren Leitungswiderstand verursachen.

Tabelle 6

Getaktete 1,8-V-Stromversorgungsschaltung

Die nachfolgend beschriebene Schaltung auf der Grundlage des nanoPower-Abwärtswandlers MAX38640A (Bild 3) bietet ein- und ausgangsseitig die nötigen typischen Werte für den Einsatz in Anwendungen für die Fernüberwachung der Vitalzeichen von Patienten. Die korrekten Spannungen am Ein- und Ausgang lassen sich mithilfe eines Digitalmultimeters (DMM) überprüfen. Die Ausgangsspannungen der Stromversorgung können unter dem Einfluss verschiedener Faktoren variieren. Dies sind beispielsweise:

- Zunehmende Entladung der Batterie
- Laständerungen (z. B. durch Wechsel der Betriebsart, Rückkehr aus dem Sleep-Modus o. ä.)

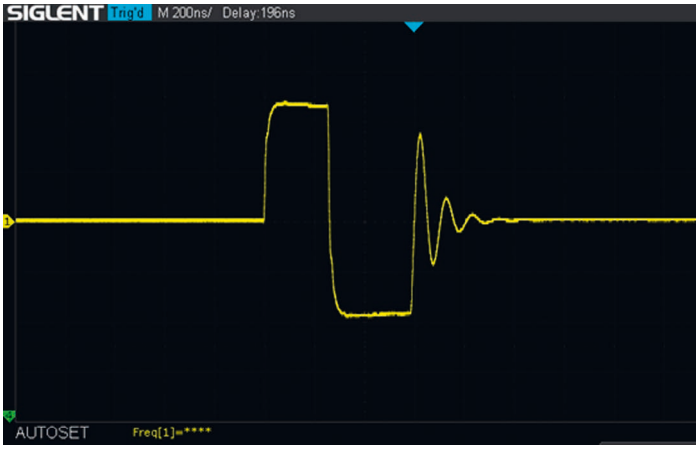

Bild 6: Oszillogramm eines typischen VLX-Signalverlaufs am MAX38640A bei geringer Last

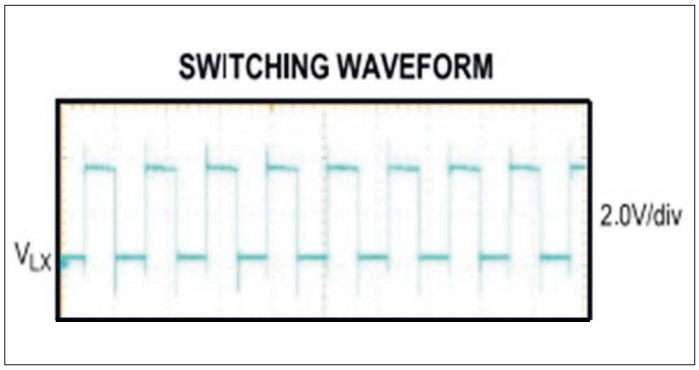

Bild 7: Oszillogramm eines Schaltsignals

Validierungsplan

Der Validierungsplan in Bild 4 soll Hilfestellung beim Überprüfen der bestückten Leiterplatte der getakteten 1,8-V-Stromversorgungsschaltung leisten. Darüber hinaus kann die Checkliste als Vorlage für die Prüfung des fertigen Produkts dienen.

Anhand der als Checkliste angelegten Tabelle 4 lässt sich die korrekte Funktion der analogen oder digitalen 1,8-V-Stromversorgungsschaltung auf Basis des MAX38640A, angeschlossen an eine Biosensing-Schaltung, überprüfen.

Fehlerbeseitigung an der getakteten Stromversorgungsschaltung

Die in Bild 5 aufgeführten Fehlerbeseitigungs-Anweisungen für den MAX38640A-Stromversorgungsschaltung (1,8 V Ausgangsspannung) helfen bei etwaigen Funktionsproblemen. Die Anleitung deckt die häufigsten Probleme ab, die bei der Implementierung solcher getakteten Stromversorgungs-Designs auftreten können.

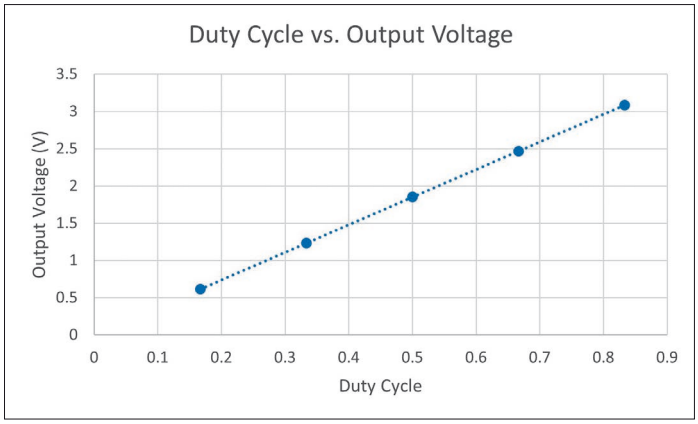

Bild 8: Illustration der Abhängigkeit des Tastverhältnisses von der Ausgangsspannung

Gemessene Ausgangsspannung	Mögliche Ursachen	Maßnahmen	Anmerkungen
0 Volt bzw. kein Messwert	Keine Verbindung zwischen Schaltwandler und C_{OUT}	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen Ausgang und C_{OUT} überprüfen	Möglicherweise Leitungsunterbrechung auf der Leiterplatte.
	Kurzschluss zwischen Ausgangskondensator und Masse	Batterie abklemmen und auf Durchgängigkeit parallel zum Kondensator prüfen.	Möglicherweise Kurzschluss auf der Leiterplatte.
Messwert zu gering (< 1,71 V DC)	Falscher Induktivitätswert, Sättigung der Induktivität oder R_{SEL} mit falschem Widerstandswert.	Batterie abklemmen und Induktivitäts- und/oder Widerstandswerte überprüfen.	
1,71 V ≤ Messwert ≤ 1,89 V		Keine Maßnahme	Korrekte Funktion
Messwert zu hoch (> 1,89 V)	Falscher Widerstandswert von R_{SEL}	Batterie abklemmen und Wert von R_{SEL} überprüfen	

Tabelle 7

Signalverlauf am Eingang	Mögliche Ursache	Maßnahmen	Anmerkungen
Welligkeitsamplitude zu hoch (> 20 mVpp)	Falscher Kapazitätswert, defekter Kondensator	Batterie abklemmen und mit DMM sämtliche Verbindungen überprüfen; Kapazitätswert messen	
Welligkeits-Frequenz entspricht nicht der Rechteckwellen-Frequenz von V_{LX}	geringe Last	Last prüfen	
Zu starkes Breitband-Rauschen	zu hohe Last, Störgrößen aus der Umgebung	Last und Störbeeinflussungen aus der Umgebung prüfen	10x-Pigtail-Tastköpfe oder aktive differenzielle Tastköpfe am Ausgang verwenden, um die Störbeeinflussungen aus der Umgebung zu reduzieren
Übergangsspitzen zu hoch (> 30 mVpp)	Induktive Last, Eingangsstrom nicht angemessen	Leitungsinduktivität prüfen und Eingangsstrom mit Oszilloskop überprüfen	

Tabelle 8

Schritt 1:

Überprüfung der Eingangsspannung: Mit einem Digitalmultimeter, dessen Innenwiderstand mindestens 1 MΩ beträgt (z. B. Fluke 87), wird die Spannung am Eingang des MAX38640A gemessen. Das Minuskabel (schwarz) muss dabei unbedingt mit der Masse, das Pluskabel (rot) dagegen mit dem „IN"-Pin des Bausteins verbunden werden. Sollte der Eingangs-Pin nicht ohne weiteres zugänglich sein, kann die Messung auch am Eingangskondensator C_{IN} erfolgen.

Zum Diagnostizieren und Beheben etwaiger Probleme hilfte die Tabelle 5.

Schritt 2

Überprüfung des Signalverlaufs an der Induktivität: Ein Oszilloskop oder ein digitales Speicheroszilloskop (DSO) wird an den LX-Pin des MAX38640A angeschlossen. Ist der Eingangs-Pin nicht ohne weiteres zugänglich, kann die Messung auch an der Induktivität und dem Kondensator erfolgen. Hinweis: Oszilloskop und Tastköpfe sollten eine Bandbreite von mindestens 200 MHz haben. Wenn die Schaltung mit geringem Laststrom (d. h. weniger als 50 mA) arbeitet, sollte der Signalverlauf aussehen wie in Bild 6 gezeigt. Bei einem hohen Laststrom sollte dagegen eine Rechteckwelle mit geringfügigen Oszillationen an den steigenden und fallenden Flanken aufgezeichnet werden, wie es in Bild 7 zu sehen ist.

Die Amplitude der Rechteckwelle sollte ungefähr gleich der am Eingang liegenden Batteriespannung sein. Die untere Spannung der Rechteckwelle sollte etwa 200 mV bis 300 mV unter dem Massepotenzial liegen (z. B. -250 mV). Das Tastverhältnis ist proportional zur Ausgangsspannung. Bei einer Batteriespannung von 3,6 V stellt sich somit ein Tastverhältnis von ungefähr 50 % ein, wenn die Ausgangsspannung 1,8 V beträgt. Der Zusammen-

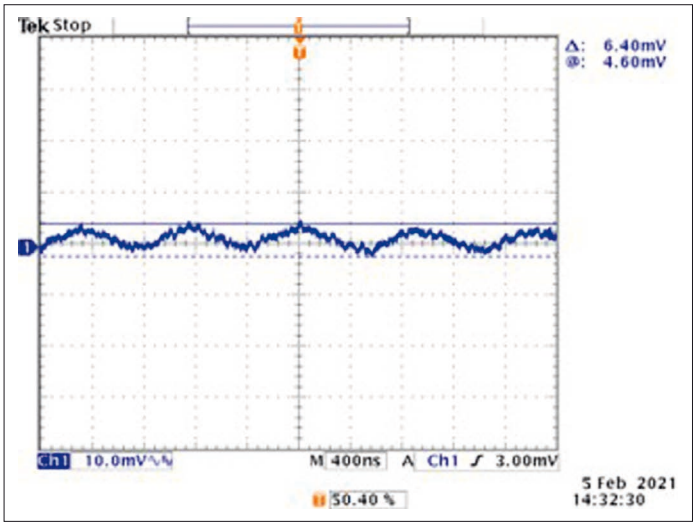

Bild 9: Oszillogramm der Ausgangswelligkeit des MAX38640A

Schritt	Aktion	Ablauf	Messung	Hilfe erforderlich?
1	DC-Eingangsspannung überprüfen, LiPo-Akku LP401230 Li-Knopfzelle CR2032	Messen der Batteriespannung	Wertebereich: 3,0 V – 4,2 V 2,0 V – 3,4 V	Anweisungen zur Fehlerbeseitigung
2	DC-Eingangsspannung überprüfen LiPo-Akku LP401230 Li-Knopfzelle CR2032	Messen der Spannung an C_{IN}	Wertebereich: 3,0 V – 4,2 V 2,0 V – 3,4 V	
3	DC-Ausgangsspannung V_{OUT} überprüfen	Messen der Spannung an C_{OUT}	Wertebereich: 4,75 V – 5,25 V	
4	DC-Ausgangsspannung VOUT überprüfen	Messen der Spannung am Verbraucher	Wertebereich: 4,75 V – 5,25 V	
5	Ausgangsrauschen überprüfen	Mit unsymmetrischem 10x-Taskopf (mit Pigtail) oder differenziellem aktivem Tastkopf	Restwelligkeit sollte < 20 mV_{PP} sein	

Tabelle 9

hang zwischen Tastverhältnis und Ausgangsspannung geht aus Bild 8 hervor. Anhand von Abweichungen vom idealen Rechteckverlauf lassen sich viele Probleme erkennen und beheben. Hierzu kann die Tabelle 6 herangezogen werden

Schritt 3a

Überprüfung der Gleichspannung am Ausgang: Mithilfe eines DMM mit einem Innenwiderstand von 1 MΩ oder größer (z. B. Fluke 87) wird die Spannung am Ausgang des MAX38640A gemessen. Das Minuskabel (schwarz) muss hierbei

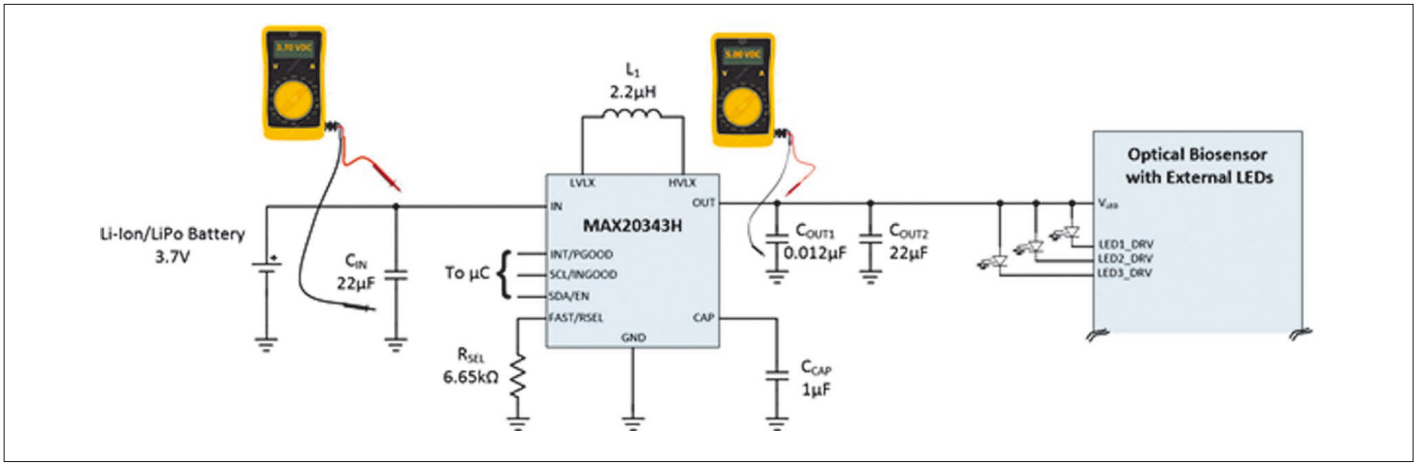

Bild 10: Blockschaltbild der getakteten Stromversorgung auf Basis des MAX20343H für 5,0 VDC zum Einsatz in Geräten zur Fernüberwachung von Patienten-Vitalzeichen

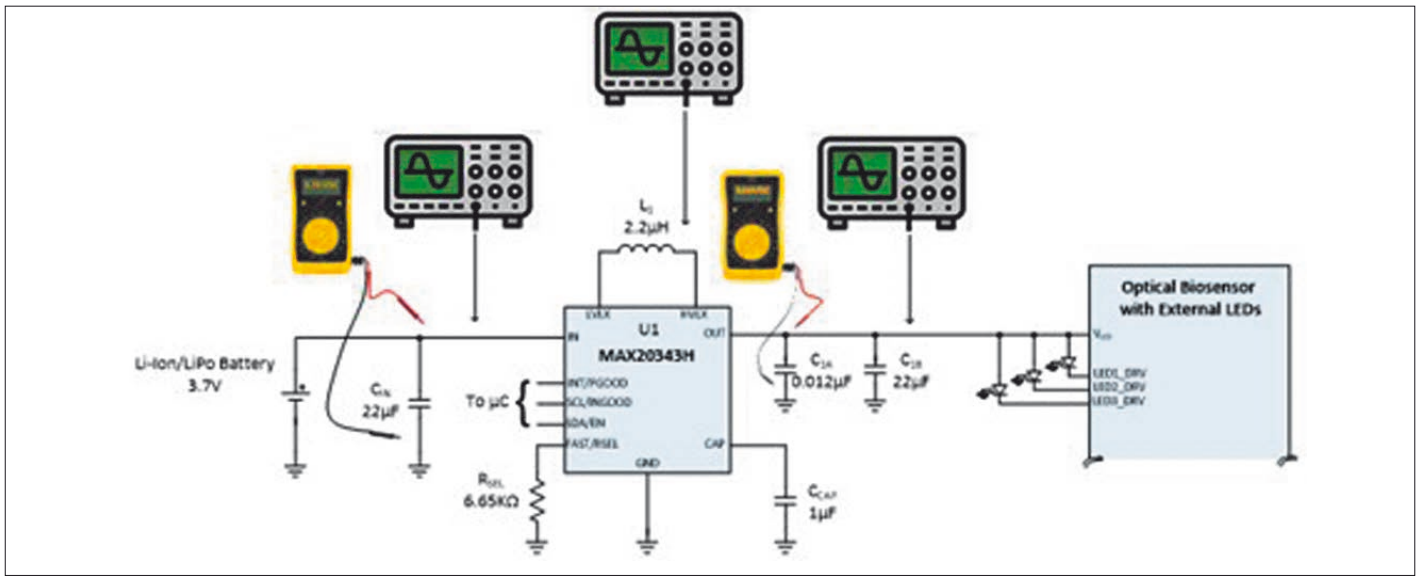

Bild 11: Validierungsplan für die Schaltung auf Basis des MAX20343H

Gemessene Eingangsspannung	Mögliche Ursachen	Maßnahmen	Anmerkungen
0 Volt bzw. kein Messwert	Batterie nicht geladen oder defekt	Batterieabklemmen und Spannung überprüfen. Werden 0 V gemessen, Batterie ersetzen.	Ersetzen Sie die Batterie, wenn sie sich nicht aufladen lässt.
	Keine Verbindung zur Batterie (Leitung IN oder GND)	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit der Verbindung zwischen Batterieanschluss und Eingang des Bausteins überprüfen.	Möglicherweise liegt eine Leitungs-Unterbrechung auf der Leiterplatte vor.
	Kurzschluss zwischen Eingangskondensator und Masse	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit entlang des Kondensators überprüfen.	Möglicherweise liegt ein Kurzschluss auf der Leiterplatte vor.
	Kurzschluss zwischen EN-Pin (SDA/EN) und Masse	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen dem Batterieanschluss und dem Eingang des Bausteins überprüfen.	Der EN-Pin muss für den normalen Betrieb auf High liegen.
Messwert <2,8 V	Batterie unzureichend geladen oder defekt	Batterie abklemmen und Spannung prüfen. Batterie aufladen, wenn Spannung kleiner als 2,8 V.	Ersetzen Sie die Batterie, wenn sie sich nicht aufladen lässt.
2,8 V ≤ Messwert ≤ 4,2 V (LiPo-Batterie) 2,0 V ≤ Messwert ≤ 4,2 V (LiIon-Batterie)		Keine Maßnahme	Eingangsspannung in Ordnung, weiter mit Schritt 2.
Messwert ≥ 4,2 V	Batterie defekt	Batterie ersetzen	

Tabelle 10

mit der Masse, das Pluskabel dagegen mit dem „OUT"-Pin des Bausteins verbunden werden. Sollte der Ausgangs-Pin nicht ohne weiteres zugänglich sein, können die Messleitungen auch an den Ausgangskondensator C_{OUT} angeschlossen werden.

Hilfestellung beim Diagnostizieren und Beheben etwaiger Probleme kann die Tabelle 7 leisten.

Schritt 3b

Welligkeit der Ausgangsspannung prüfen: Mithilfe eines Oszilloskops oder eines DSO wird nun am OUT-Pin des MAX38640A die Welligkeit, d. h. der Wechselspannungsanteil der Ausgangsspannung gemessen. Um die Ausgangsspannung korrekt zu messen und das Einstreuen von HF-Signalen zu minimieren, wird die Verwendung von 10x-Pigtail-Tastköpfen empfohlen. Zur weiteren Abschwächung von Störgrößen aus der Umgebung können auch differenzielle aktive Tastköpfe benutzt werden.

Hinweis: Oszilloskop und Tastköpfe sollten eine Bandbreite von mindestens 200 MHz haben.

Wenn die Schaltung korrekt funktioniert, sollte am Ausgang eine Spannung von 1,8 VDC mit einer geringen überlagerten Welligkeit (Bild 9) liegen.

Etwaige Probleme lassen sich mithilfe der Tabelle 8 diagnostizieren und beheben.

Getaktete 5,0-V-Stromversorgung

Die folgende Schaltung auf der Basis des rauscharmen Auf-/Abwärtswandlers MAX20343H zeigt die typischen ein- und ausgangsseitigen Werte eines korrekt funktionierenden getakteten Stromversorgungs-Bausteins für die Fernüberwachung von Patienten-Vitalzeichen. Wie in Bild 10 gezeigt, lassen sich die Spannungen an den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen mithilfe eines DMM überprüfen. Die Ausgangsspannungen der Stromversorgung können unter dem Einfluss verschiedener Faktoren variieren:

- Zunehmende Entladung der Batterie
- Laständerungen (z. B. durch Wechsel der Betriebsart, Rückkehr aus dem Sleep-Modus o. ä.)

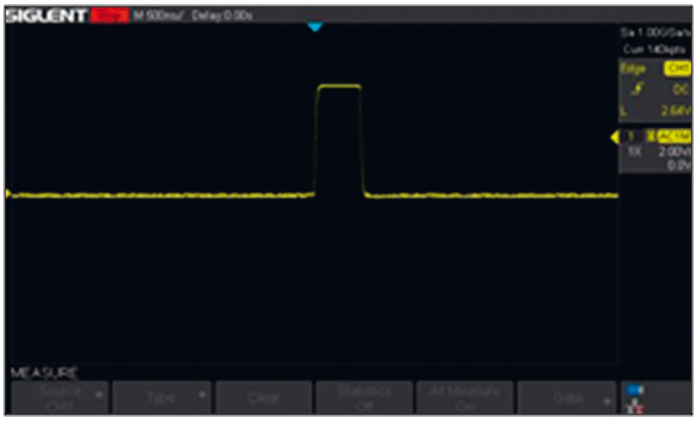

Bild 12: Oszillogramm eines typischen HVLX-Signalverlaufs am MAX20343H bei einem geringen Laststrom von 10 mA

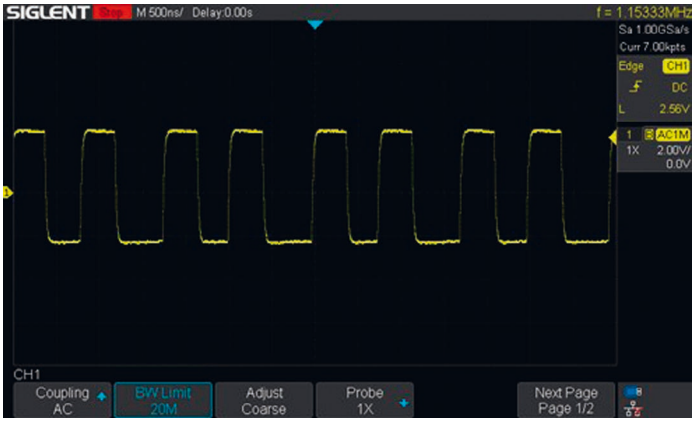

Bild 13: Oszillogramm eines typischen HVLX-Signalverlaufs am MAX20343H bei einem Laststrom von 125 mA

Signalverlauf am Eingang	Mögliche Ursache	Maßnahmen	Anmerkungen
Amplitude ist nicht korrekt	Induktivität nicht verbunden, IN-Pin nicht verbunden, EN-Pin nicht verbunden oder an Masse gelegt	Batterie abklemmen und sämtliche Verbindungen mit DMM überprüfen	Leiterplatte reparieren, falls notwendig
Tastverhältnis ist nicht korrekt (korreliert nicht mit der Ausgangsspannung)	R_{SEL} hat nicht den korrekten Wert (6,65 kΩ). Falscher externer Widerstand.	Batterie abklemmen und R_{SEL} mit DMM prüfen (mit der Widerstands-Messfunktion)	Widerstand durch einen mit dem korrekten Wert ersetzen.
	R_{SEL}-Pin nicht verbunden (V_O = 3,3 V)	Ausgang auf 3,3 V prüfen. Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen Widerstand und R_{SEL}-Pin überprüfen.	Möglicherweise liegt eine Leitungs-Unterbrechung auf der Leiterplatte vor.
	Kurzschluss zwischen R_{SEL}-Pin und Masse (V_O = 5,5 V)	Ausgang auf 5,5 V prüfen. Batterie abklemmen und Widerstand am Kondensator messen.	Möglicherweise liegt ein Kurzschluss auf der Leiterplatte vor.
Verzerrter Signalverlauf mit abgerundeter steigender Flanke	Defekte Verbindung zur Induktivität	Verbindung der Induktivität reparieren. Induktivität ersetzen.	Defekte Verbindung kann höheren Leitungswiderstand verursachen.

Tabelle 11

Validierungsplan für die 5,0-V-Stromversorgungs-schaltung

Der Validierungsplan in Bild 10 soll Hilfestellung beim Überprüfen der bestückten Leiterplatte der getakteten 5,0-V-Stromversorgungs-schaltung leisten. Darüber hinaus kann sie als Vorlage bei der Prüfung des fertigen Produkts dienen. Die Tabelle 9 lässt sich als Checkliste heranziehen, um die Funktion der analogen, getakteten 5,0-V-Stromversorgungsschaltung auf Basis des Bausteins MAX20343H, angeschlossen an eine Biosensing-Schaltung, zu überprüfen.

Fehlerbeseitigung bei der getakteten 5,0-V-Stromversorgungsschaltung

Die folgenden Fehlerbeseitigungs-Anweisungen (Bild 11) sind als Hilfestellung gedacht, wenn Probleme mit der Funktion der getakteten 5,0-V-Stromversorgungsschaltung auftreten. Diese Anleitung deckt die häufigsten Probleme ab, die bei der Implementierung solcher getakteten Stromversorgungs-Designs auftreten.

Fehlerbeseitigung an der getakteten Stromversorgungsschaltung auf Basis des MAX20343H

Schritt 1:

Überprüfung der Eingangsspannung: Mit einem Digitalmultimeter, dessen Innenwiderstand 1 MΩ oder mehr betragen muss (z. B. Fluke 87), wird die Spannung am Eingang des MAX20343H gemessen. Das schwarze Minuskabel muss dabei mit der Masse, das rote Pluskabel dagegen mit dem „IN"-Pin des Bausteins verbunden werden. Sollte der Eingangs-Pin nur unter Schwierigkeiten zugänglich sein, kann die Messung auch am Eingangskondensator C_{IN} erfolgen.

Zum Diagnostizieren und Beheben von Problemen kann die Tabelle 10 benutzt werden:

Schritt 2:

Überprüfung des Signalverlaufs an der Induktivität: Mit einem Oszilloskop oder DSO wird der Signalverlauf am Pin HVLX des MAX20343H erfasst. Wenn der Eingangsstift nicht leicht zugänglich ist, legt man die Sonde auf den Endkondensator der Induktivität.

Hinweis: Oszilloskop und Tastköpfe sollten eine Bandbreite von mindestens 200 MHz haben.

Wenn die Schaltung korrekt funktioniert, sollte am Ausgang eine gepulste Welle mit geringfügigen Oszillationen an den steigenden und fallenden Flanken liegen, wie in Bild 12 gezeigt. Die Amplitude der Welle mit 500-ns-Impulsen sollte ungefähr gleich der Batteriespannung am Eingang sein, und die untere Spannung sollte um maximal 100 mV vom Massepotenzial abweichen. Ausgangsfrequenz und Tastverhältnis der gepulsten Welle sind proportional zum Laststrom. In den Bildern 13 und 14 sind die Ausgangswelle und die Signalfrequenz

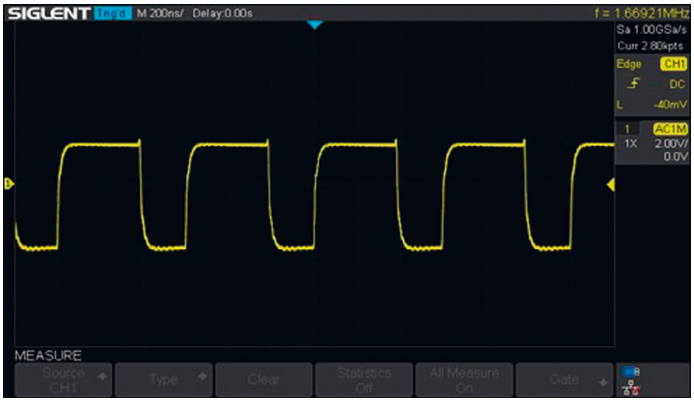

Bild 14: Oszillogramm eines typischen HVLX-Signalverlaufs am MAX20343H bei einem Laststrom von 246 mA

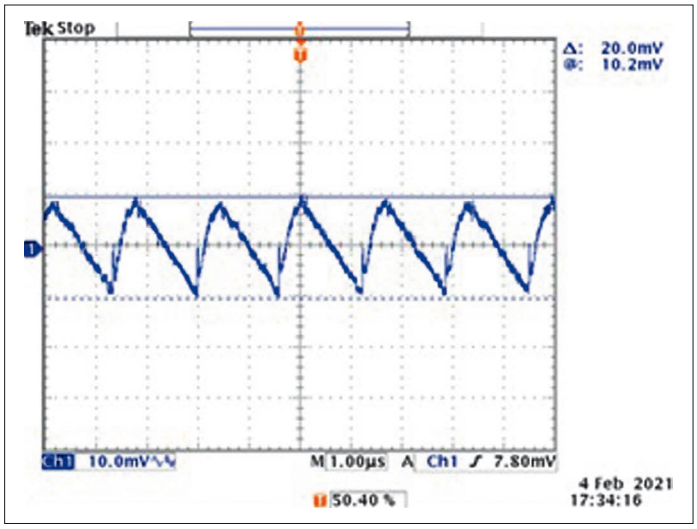

Bild 15: Oszillogramm der Ausgangswelligkeit des MAX20343H (5 V)

Gemessene Ausgangsspannung	Mögliche Ursachen	Maßnahmen	Anmerkungen
0 Volt bzw. kein Messwert	Keine Verbindung zwischen Schaltwandler und C_{OUT}	Batterie abklemmen und Durchgängigkeit zwischen Ausgang und C_{OUT} überprüfen	Möglicherweise Leitungsunterbrechung auf der Leiterplatte.
	Kurzschluss zwischen Ausgangskondensator und Masse	Batterie abklemmen und auf Durchgängigkeit parallel zum Kondensator prüfen.	Möglicherweise Kurzschluss auf der Leiterplatte.
Messwert zu gering (< 4,75 V DC)	Falscher Induktivitätswert, Sättigung der Induktivität oder R_{SEL} mit falschem Widerstandswert.	Batterie abklemmen und Induktivitäts- und/oder Widerstandswerte überprüfen.	
4,75 V ≤ Messwert ≤ 5,25 V		Keine Maßnahme	Korrekte Funktion
Messwert zu hoch (> 5,25 V)	Falscher Widerstandswert von R_{SEL}	Batterie abklemmen und Wert von R_{SEL} überprüfen	

Tabelle 12

bei verschiedenen Lastbedingungen zu sehen.

Abweichungen vom idealen Rechteckverlauf lassen sich nutzen, um eine Vielzahl von Problemen effektiv zu erkennen und zu beheben. Hierfür kann die Tabelle 11 herangezogen werden:

Schritt 3a:

Überprüfung der Gleichspannung am Ausgang: Mithilfe eines DMM mit einem Innenwiderstand von 1 MΩ oder größer (z. B. Fluke 87) wird die Spannung am Ausgang des MAX20343H gemessen. Achten Sie darauf, dass das Minuskabel (schwarz) mit der Masse, das Pluskabel dagegen mit dem „OUT"-Pin des Bausteins verbunden wird. Sollte der Ausgangs-Pin nicht problemlos zugänglich sein, können die Messleitungen auch an den Ausgangskondensator C_{OUT} angeschlossen werden.

Als Hilfe beim Diagnostizieren und Beheben etwaiger Probleme kann die Tabelle 12 herangezogen werden:

Schritt 3b:

Welligkeit der Ausgangsspannung prüfen: Mithilfe eines Oszilloskops oder eines DSO wird nun am OUT-Pin des MAX20343H die Welligkeit, d. h. der Wechselspannungsanteil) der Ausgangsspannung gemessen. Um die Ausgangsspannung korrekt zu messen und das Einstreuen von HF-Signalen zu minimieren, wird die Verwendung von 10x-Pigtail-Tastköpfen empfohlen. Zur weiteren Abschwächung von Störgrößen aus der Umgebung können auch differenzielle aktive Tastköpfe benutzt werden.

Hinweis: Oszilloskop und Tastköpfe sollten eine Bandbreite von mindestens 200 MHz haben.

Wenn die Schaltung korrekt funktioniert, sollte am Ausgang eine Spannung von 1,8 VDC mit einer geringen überlagerten Welligkeit (Bild 15) liegen.

Etwaige Probleme lassen sich mithilfe der Tabelle 13 diagnostizieren und beheben.

Zusammenfassung

Hiermit endet der erste Teil dieses zweiteiligen Artikels, in dem fertig validierte, diskrete Stromversorgungs-Schaltungen für die PPG-basierte Vitalzeichen-Fernüberwachung an Patienten auf der Grundlage des Bausteins MAX86171 vorgestellt wurden. Die beschriebenen Stromversorgungs-Schaltungen können ebenso in PPG-Geräten auf Basis des MAX86141 eingesetzt werden.

Im zweiten Teil dieses Artikels werden fertig validierte integrierte Stromversorgungs-Schaltungen für PPG-Vitalzeichenmonitore auf Basis der Bausteine MAX86171 und MAX86141 präsentiert.

Die entsprechenden Validierungstestdaten für die diskrete und die integrierte Implementierung sind auf der Website von Maxim Integrated (jetzt zu Analog Devices gehörend) unter folgender Adresse zu finden: Power Supply Subsystems for Remote Patient Vital Sign Monitors.

Literaturnachweis

Power Supply Subsystems for Vital Sign Monitors

Designing Accurate, Wearable Optical Heart Rate Monitors ◄

Signalverlauf am Eingang	Mögliche Ursache	Maßnahmen	Anmerkungen
Welligkeitsamplitude zu hoch	Falscher Kapazitätswert, defekter Kondensator	Batterie abklemmen und mit DMM sämtliche Verbindungen überprüfen; Kapazitätswert messen	
Welligkeits-Frequenz entspricht nicht der Rechteckwellen-Frequenz von V_{HVLX}	geringe Last	Last prüfen	
Zu starkes Breitband-Rauschen	zu hohe Last, Störbeeinflussungen aus der Umgebung	Last und Störbeeinflussungen aus der Umgebung prüfen	10x-Pigtail-Tastköpfe oder aktive differenzielle Tastköpfe am Ausgang verwenden, um die Störbeeinflussungen aus der Umgebung zu reduzieren
Übergangsspitzen zu hoch	Induktive Last, Eingangsstrom nicht angemessen	Leitungsinduktivität prüfen und Eingangsstrom mit Oszilloskop überprüfen	

Tabelle 13