



Sehet die Signale

Voll integriertes Analog-Frontend für EKG- und EEG-Anwendungen

In vielen Medizin-Anwendungen sind die analoge Signalaufbereitung und Umwandlung in digitale Daten, sprich das Frontend, eine echte Herausforderung. Wer sich die Entwicklungsarbeit bei EKG und EEG vereinfachen will, ohne bei der Qualität zu sparen, sollte einen Blick auf den ADS1298 von Texas Instruments werfen.

Autor: Achim Leitner

Bei der Präsentation des ADS1298 spart TI nicht mit Superlativen. Laut Pressemitteilung reduziert der „achtkanalige 24-Bit-Baustein [...] die Komponentenzahl und den Stromverbrauch im Vergleich zu diskreten Lösungen um bis zu 95 Prozent. Mit einer Leistungsaufnahme von lediglich einem Milliwatt pro Kanal arbeitet er höchst effizient und bietet Kunden gleichzeitig eine extrem hohe Diagnosegenauigkeit“. Dass ein integrierter Baustein gegenüber diskreten Lösungen die Komponentenzahl senkt, liegt noch auf der Hand. Dass er auch den Strombedarf so deutlich verringert, überrascht eher. Bei den schwachen Signalpegeln der EKG- und EEG-Sensoren ist die Qualität des Frontends aber entscheidend, insofern muss TI auch beim Rauschabstand und der Linearität mit diskreten Lösungen Schritt halten.

Das wirklich Besondere an diesem Analog-Frontend sind neben seiner Performance jedoch die zusätzlichen Features, mit denen sich TI gezielt an Entwickler von Geräten richtet, die Biopotenziale messen. Dahinter stecken die bekannten Elektroenzephalographen (EEG) für die so genannten Hirnströme, bei denen das Gerät in Wahrheit die Potentialschwankungen an der Kopfoberfläche misst, die Elektrokardiographen (EKG), welche die elektrischen Aktivitäten des Herzens aufzeichnen, sowie die weniger bekannten Elektromyographen (EMG) zur Messung der Muskel-Aktivität. Wer die Chips für andere Anwendungen braucht, kann die EKG-spezifischen Komponenten aber abschalten und damit Strom sparen.

Gemeinsam ist den Biopotenzial-Anwendungen, dass sie auf mehreren Kanälen sehr kleine Spannungsschwankung verstärken und sehr exakt in digitale Signale wandeln müssen. Wichtig ist dabei, alle Kanäle gleichzeitig aufzuzeichnen, daher besitzt der erste Baustein der Familie acht separate 24-Bit-Delta-Sigma-Analog-Digital-Wandler, vor denen jeweils eine PGA-Einheit sitzt – das programmable Gain erlaubt eine einstellbare Vorverstärkung. Praktischerweise hat der Chip auch einen Onboard-Oszillator, eine eigene Spannungsreferenz und einen Temperatursensor. Soviel zu den Basics. Applikationsspezifisch für EKG sind ein Verstärker für Right-Leg-Drive, weitere Verstärker für Wilson- und Goldberger-Ableitungen, Funktion zur digitalen Schrittmachererkennung sowie eine kontinuierliche Elektrodenkontaktüberwachung.

Lebendige Geschichte

Die EKG-Terminologie fußt auf Begriffen aus dem frühen 20. Jahrhundert, wie sich beispielsweise auf Wikipedia nachlesen lässt. Bereits 1787 hatte der Italiener Luigi Galvani zufällig an einem

Froschschenkel den Zusammenhang zwischen elektrischem Strom und Muskelaktivität entdeckt. Dass auch das Herz durch elektrische Vorgänge gesteuert wird, erkannte der italienische Physiker Carlo Matteucci bereits 1843. Anno 1882 leitete der englische Physiologe Augustus Desiré Waller an seinem Hund Jimmy das erste Mal ein EKG ab, indem er dessen vier Pfoten in leitfähige Silberchloridlösung tauchte. 1887 konnte er erstmals Herzströme mit Hilfe eines Kapillarelektrometers aufzeichnen. Damit waren die Grundlagen für das EKG gelegt.

Willem Einthoven verbessert 1903 die Instrumente und entwickelte das EKG zu einem brauchbaren Diagnoseverfahren. Seine Terminologie wird noch heute verwendet: Er wollte zunächst auf eine einzige Ableitung standardisieren, bei der der Patient beide Arme in getrennte Lösung taucht (Einthoven I). Da das nicht ausreichte, kamen die weiteren Extremitätenableitungen Einthoven II (rechter Arm – linkes Bein) und Einthoven III (linkes Bein – linker Arm) sowie später die Goldberger-Ableitungen (nach Emanuel Goldberger, 1920er Jahre) hinzu. Hierzu werden jeweils zwei Ableitungspunkte nach Einthoven zusammengeschaltet und gegen die verbliebene Elektrode abgeleitet. Das ist bei avR (augmented voltage Right) der rechte Arm, bei avL (augmented voltage Left) der linke Arm und bei aVF (augmented voltage Foot) das (linke) Bein. Die jüngste Ergänzung sind Wilson-Ableitungen an der Brustwand (nach Frank Norman Wilson, 1930er Jahre): Die Elektroden V1 bis V6 werden an definierten Stellen rund um das Herz angeordnet. Moderne EKG verwenden zwölf Kanäle.

Kanaldichte

Drei EKG-Kanäle sind für die klassischen bipolaren Ableitungen nach Einthoven I bis III zuständig. Hier wird die elektrische Potenzialänderung zwischen den Armen und Beinen gemessen. Die nächsten drei Kanäle dienen der Goldberger-Ableitung. Der ADS1298 berechnet diese Werte digital, ohne weitere Eingänge zu benötigen. Dazu kommen noch sechs unipolare Brustwandableitungen nach Wilson. Für jede Ableitungsart bringt der TI-Baustein die passenden Verstärker mit und bestimmt auch das Wilson-Terminal: Der Mittelwert der Elektroden an beiden Armen und am linken Bein dient den sechs Elektroden auf der Brust als Referenzwert. Für ein 12-Kanal-EKG sind daher neun Elektroden als Eingang und eine zehnte als Ausgang nötig: Der Right-Leg-Drive.

Per Right-Leg-Drive, auch Driven Right Leg Circuit (DRL) genannt, verringert ein EKG die Gleichtakt-Störungen. Üblicherweise →



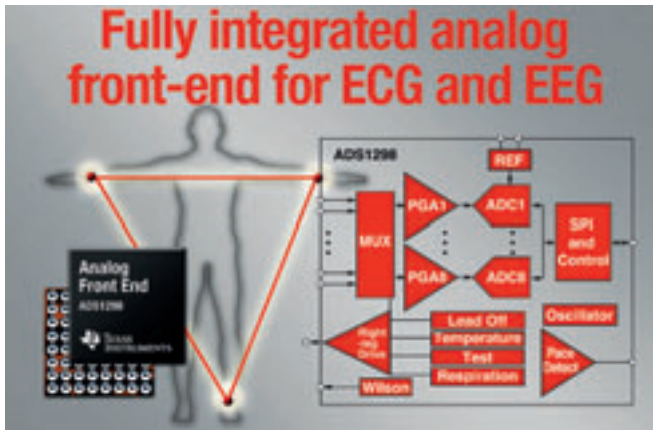
Auf einen Blick

Ungestört messen

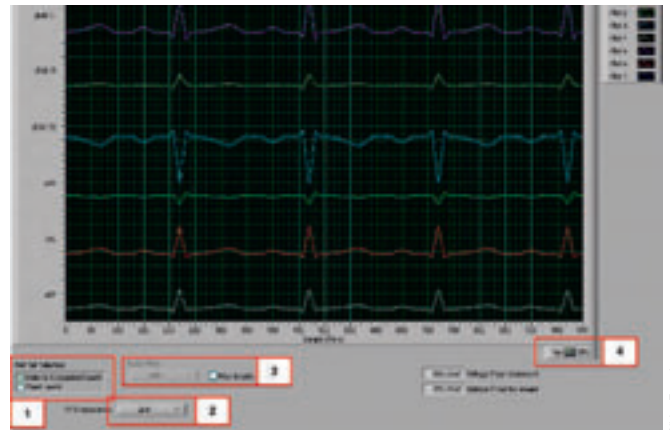
Bei seinem Analog-Frontend ADS1298 hat Texas Instruments viel Wert auf hohe Signalqualität gelegt und an alle wesentlichen Funktionen gedacht, die ein EKG-Entwickler umsetzen muss. Der DRL-Ausgang verringert aktiv die Störungen durch Gleichtakt-Interferenzen, der ADC arbeitet schnell genug, um auch Herzschrittmachersignale zu erkennen und für die Erkennung, ob alle Elektroden richtig sitzen, bietet TI gleich mehrere Lösungen an. Dabei ist der Baustein sehr flexibel gehalten. EKG-Entwickler können sich daher auf die Auswertung der Signale konzentrieren – um deren Aufbereitung kümmert sich der ADS1298.

i **infoDIREKT** www.elektronikjournal.com 503ej10610

✓ Vorteil Die komplette Signalaufbereitung in einem Chip: Spart Strom, Platz und Entwicklungsarbeit.



Das voll integrierte Analog-Frontend verteilt per MUX die Signale auf acht programmierbare Instrumentenverstärker (PGA) mit je einem eigenen Analog-Digital-Wandler. Auch der Right-Leg-Drive-Ausgang wird per MUX an eine der Elektroden geleitet.



Das Performance Demonstration Kit ADS1298ECG FE von TI enthält exemplarische Hard- und Software. Im Bild: 1. Wahl zwischen Einthoven- und Goldberger-Ableitung oder den Wilson-Ableitungen. 2. Abstand zwischen den Messkurven. 3. Notch-Filter. 4. Zoom-Funktion.

Bild: Texas Instruments

dient eine Elektrode am rechten Bein des Patienten dazu, den vom EKG ermittelten Störanteil mit negativer Amplitude zurück zum Patienten zu schicken. Der rechte Fuß eignet sich, weil er die am weitesten vom Herzen entfernte Stelle im Körper ist. Obwohl das DRL-Signal nur wenige Mikroampere beträgt, dämpft das EKG auf diese Weise die typischen Störungen, etwa aus dem 50-Hertz-Stromnetz. Das erwünschte Resultat: Ein höherer Störabstand. Weil beim EEG die gleiche Aufgabe ansteht und die Füße hier ebenfalls die maximale Entfernung von der Messstelle aufweisen, heißt die Funktion dort praktischerweise auch DRL.

Messgrößen

Die Herausforderung beim EKG-Design kommt unter anderem durch den großen Gleichtaktanteil und durch Interferenzsignale: Der Gleichtakt kann bei einer typischen Elektrode bis zu 300 Millivolt betragen. Neben dem 50- oder 60-Herz-Brummen aus dem Stromnetz stören auch Bewegungen des Patienten sowie die Signale eines Herzschrittmacher. Während für eine normale Patientenüberwachung eine Bandbreite von 0,05 bis 30 Hertz genügt, verlangt die Diagnostik bereits 0,05 bis 1000 Hertz. Insofern sind Filtern für die Gleichtaktunterdrückung durchaus Grenzen gesetzt, auch müssen die Filter gegen das Netzbrummen sehr schmalbandig arbeiten.



Dank der geringen Stromaufnahme des ADS1298 und seiner hohen Integration, können unsere Kunden sehr schnell tragbare und preiswerte EKG- und EEG-Geräte entwickeln:

Christoph Gromann ist Manager Medical Marketing EMEA, Focus End Equipment EMEA bei Texas Instruments in Freising.



EEG-Geräten mit einer hohen Kanaldichte. Die Analog-Frontends werden durch die Produkte der Low-Power-DSP-Familie TMS320C5505 ergänzt. Bei einer Stromaufnahme von weniger als 0,15 Milliwatt pro Megahertz ermöglichen

diese Bausteine eine verlängerte Akkulaufzeit in tragbaren Anwendungen zur Patientenüberwachung. Zusammen mit den Analog- und Power-Management-Lösungen bietet TI damit eine komplette Signalkette für EKG- und EEG-Anwendungen.

Künftig will TI auch Varianten mit vier oder sechs Kanälen anbieten (ADS1294 und ADS1296), um Anwendungen mit unterschiedlichen Auflösungen und Kanalkombinationen zu bedienen. Hierzu gehören beispielsweise die Patientenüberwachung (etwa Ruhe- und Belastungs-EKG), Fötusüberwachung, automatisierte externe Defibrillatoren (AED) in Krankenhäusern oder an öffentlichen Orten, sowie Überwachungsgeräte für Sport und Fitness. Der ADS1298 ist ab sofort in einer 64-Pin-TQFP- und einer BGA-Gehäusevariante mit jeweils 64 Anschlüssen erhältlich. In 1000er-Stückzahlen kostet der Chip knapp 24 US-Dollar. Mit dem ADS1298 EVM steht außerdem ein Evaluierungsmodul zur Verfügung. (lei)