

# Biosignalverstärker für EKG und EMG

Dr.-Ing. KLAUS SANDER

Das Elektrokardiogramm, kurz EKG, gibt es nun bereits 100 Jahre. Was damals nur wenigen Forschern möglich war, können wir heute auch zu Hause durchführen.

Der Beitrag beschreibt eine einfache Baugruppe zur Messung von Aktionspotentialen des Herzens oder von Muskeln. Es ist zwar kein Präzisionsmeßgerät; trotzdem ermöglicht diese Baugruppe interessante Experimentiermöglichkeiten. Oder haben Sie schon mal mit einer Handbewegung das Licht eingeschaltet, ohne den Schalter zu berühren?

Die Informationsverarbeitung erfolgt innerhalb eines heutigen Computers durch elektrische Spannungen und Ströme. Ebenso werden die Bewegungen eines Roboters durch Spannungen und Ströme gesteuert. Das sind vielleicht die einzigen Dinge, worin sich Computer und Roboter nicht vom Menschen unterscheiden. Den Beweis dafür hat fast jeder schon einmal am eigenen Körper erlebt.

## ■ EKG, EMG und EEG

Gemeint ist hier nicht die unbeabsichtigte Erfahrung beim Berühren von Netzspannung, sondern das demgegenüber weniger schmerzhaft erlebte eines EKG (Elektrokardiogramms) beim Arzt. Dabei werden die zeitlich aufeinanderfolgenden Aktionspotentiale des Herzens auf einem Papierstreifen aufgezeichnet, um mögliche Krankheiten zu diagnostizieren.

Die Ursachen und Wirkungen der Aktionspotentiale sind kompliziert und noch nicht endgültig geklärt. Eine allgemeinverständliche Beschreibung der Vorgänge ist z. B. in [1] zu finden.

Wie eingangs erwähnt, ist das bekannteste Verfahren das EKG. Neben den Aktionspotentialen des Herzens kann man jedoch auch die von Muskeln (Elektromyogramm, EMG) und des Gehirns (Elektroenzephalogramm, EEG) messen. EKG und EMG sind relativ leicht meßbar, denn die Spannung liegt im Millivoltbereich und die Frequenz im Bereich von einigen zehn Hertz.

Die Messung von Spannungen des Gehirns verlangt dagegen schon mehr Aufwand, denn hier betragen die zu messenden Spannungen nur noch einige Mikrovolt. Aus diesem Grunde wollen wir mit einem EKG- und EMG-Verstärker beginnen. Der EEG-Verstärker bleibt einer möglichen späteren Veröffentlichung vorbehalten. Beim Schaltungsentwurf wird es uns auf eine Weise nicht mehr so einfach gemacht wie den Entwicklern der ersten EKG-Geräte vor etwa 100 Jahren: Heute umgibt uns eine Vielzahl elektrischer Störsignale, die herauszufiltern sind.

## ■ Stromlaufplan

Die Biosignalspannungen liegen, wie bereits bemerkt, bei einigen Millivolt. Um eine für nachfolgende Geräte verarbeitbare Spannung zu erhalten, sind die Biosignale etwa 1000fach zu verstärken. Diese Verstärkung teilen wir zwischen zwei Stufen auf. Entsprechend diesen Voraussetzungen besteht unser Biosignalverstärker aus einem Eingangsverstärker, einem Filter zur Unterdrückung von Störfrequenzen und einer weiteren nachfolgenden Verstärkerstufe.

Als Eingangsverstärker benötigen wir eine hochohmige, symmetrische Differenzverstärkerstufe mit einer guten Gleichaktunterdrückung und einer Verstärkung von 20. Im Stromlaufplan, Bild 1, ist IC1 ein TL 060 (wer so etwas noch hat, kann auch den B 060 verwenden). Mit der angegebene-

nen Dimensionierung erreichen wir nicht ganz den Verstärkungswert 20. Wichtiger als der absolute Spannungswert ist die Signalform. Sind E1 und E2 mit Masse verbunden, wird mit R6 die Ausgangsspannung des OV auf Null abgeglichen. R8, R9, R11, R12, C6, C7 und IC2.1 stellen den Tiefpaß dar, der (bei einer Verstärkung von 1) nur Frequenzen unter etwa 45 Hz passieren läßt. Für die passiven Bauelemente sollten möglichst solche mit niedrigen Toleranzen (Widerstände höchstens 1 %, Kondensatoren 5 bis maximal 10 % oder noch besser) eingesetzt werden. Bei größeren Toleranzen ändert sich die Grenzfrequenz kaum; es kommt aber im Bereich der Grenzfrequenz zu einer Überhöhung der Amplitude. Mit R13 und R14 wird die Verstärkung der zweiten Verstärkerstufe festgelegt, die etwa 50 betragen soll. IC3.2, R1 und R2 (beide 1-%-Werte) halbieren die Betriebsspannung und erzeugen eine künstliche Masse. Dadurch benötigen wir zur Versorgung nur eine 9-V-Batterie (Bild 2).

## ■ Safety first

Aus Sicherheitsgründen dürfen wir die Schaltung nur mit einer Batterie betreiben. Um ausgangsseitig auch netzversorgte Geräte, wie Computer, Oszilloskope oder ähnliches anschließen zu können, ist eine galvanische Trennung notwendig! Es mag sein, daß unsere Netzgeräte, Computer und alles andere in Ordnung sind und die Netztrennung sicher erscheint. Aber sobald in diesen Geräten ein Fehler auftritt, sind wir ungewöhnlich gut leitfähig mit den Elektroden und damit der Netzspannung verbunden. Herkömmliche Geräte entsprechen nicht solchen Forderungen und Vorschriften, wie sie an Medizintechnik gestellt werden. Also zur Wiederholung: nur mit Batterie betreiben und nur über den Trennverstärker an netzversorgte Meßgeräte anschließen. Ab R13 beginnt der Trennverstärker, bestehend aus IC3.1, den beiden Optokopplern und IC6 [3]. Die Rückführung über den zweiten Optokoppler IC5 dient der Linearisierung. Damit setzt dieser Schaltungsteil Spannungen von etwa  $\pm 2$  V um

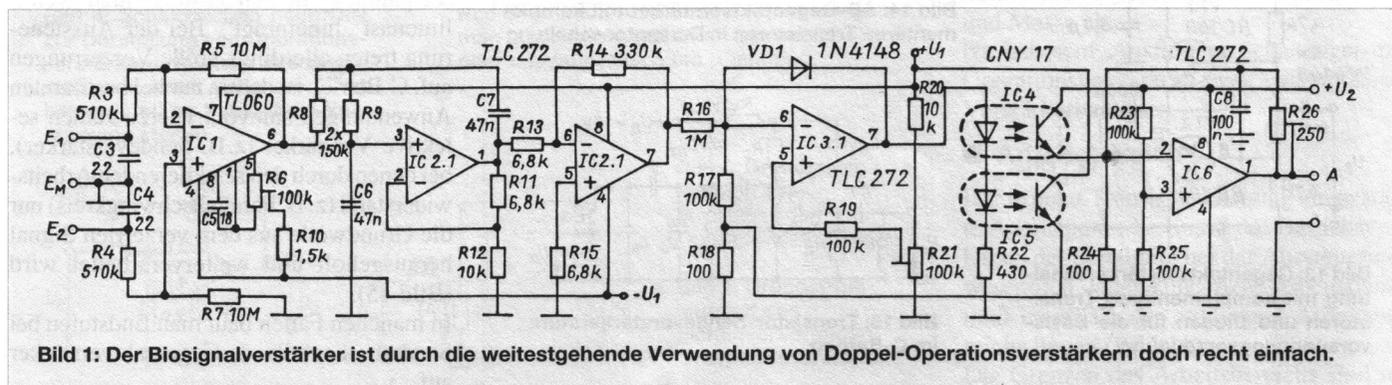


Bild 1: Der Biosignalverstärker ist durch die weitestgehende Verwendung von Doppel-Operationsverstärkern doch recht einfach.