

Abstimmungsgerät ohne Batterie 2/2

Wieviel Energie braucht eine Meinungsäusserung?

Das in der Polyscope-Ausgabe 8/16 vorgestellte Abstimmungsgerät HSRvote gibt es nun in einer Version, die ohne Batterien auskommt. Vier Tasten, welche auf je ein Piezoelement drücken, erzeugen die Energie, um ein Funktelegramm im 2,4-GHz-ISM-Band abzusetzen. Sinnbildlich für grüne Technologie hat das gewählte Gehäuse die Form eines Blattes.

» Patrick Fleischmann, Anapico Ltd., Heinz Mathis, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Text und Bilder

Das Ergebnis eines aktuellen Projekts am ICOM ist der kürzlich entwickelte HSRvote battery free (Bild 1), der vier handelsübliche Piezoscheiben als Tasten verwendet. Die für den Sendevorgang nötige Energie bezieht das Gerät vollständig aus der mechanischen Arbeit eines Tastendrucks. Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Piezotaste. Die Piezoscheibe, bestehend aus einer Metallscheibe und einem darauf befestigten Plättchen aus Piezokeramik, wird mittels eines ringförmigen, doppelseitig klebenden Distanzhalters auf einer Leiterplatte befestigt. Beim Abstimmen drückt der Benutzer mit seinem Daumen von oben auf die Piezoscheibe und verformt sie dadurch. Die Leiterplatte bildet dabei den Anschlag und schützt die Piezoscheibe vor Zerstörung.

Systemübersicht dient dem Verständnis

Die vier Piezotasten werden über separate Brückengleichrichter und via einem Diodennetzwerk der Harvesting-Schaltung zugeführt (Bild 3). Die eigens dafür entwickelte Harvesting-Schaltung speichert die elektrische Energie und liefert eine geregelte Versorgungsspannung von 2,5 V. Sobald die Versorgungsspannung anliegt, bestimmt der Mikrocontroller, welche der vier Tasten betätigt wurde. Danach löst er die Aussendung eines Funktelegramms aus, welches die gedrückte Taste sowie eine Seriennummer zur Identifikation des Geräts enthält. Das Funktelegramm wird von einem Empfänger in Form eines USB-Sticks empfangen und von der PC-Software visualisiert.

Bild 1: HSRvote battery free: PCB Unterseite (links), Oberseite mit Piezotasten (Mitte), Gehäuseprototyp (rechts)



Das Funktionsprinzip der Harvesting-Schaltung

Die Harvesting-Schaltung besteht aus einer Ladungspumpe und einem Spannungsregler. Die Ladungspumpe wurde entwickelt, um die Energieausbeute eines Tastendrucks zu maximieren, ihr Funktionsprinzip wird im Folgenden erläutert.

Eine Piezotaste kann in erster Näherung als eine Ladungsquelle mit Parallelkapazität C_p modelliert werden (Bild 4 oben). Die Ladung Q wird durch den piezoelektrischen Effekt generiert und ist ungefähr proportional zur Auslenkung der Taste. Die Piezotaste

wird nun über eine Diode mit einem externen Kondensator C_L belastet, um die Ladung zu speichern. Ein Speicherkondensator ist nötig, da die Stromstärke der Piezotaste nicht ausreicht, um die Schaltung direkt zu betreiben. Die generierte Ladung verteilt sich proportional auf die Kapazitäten C_p und C_L , wobei der Energietransfer bei $C_L = C_p$ maximal ist. Das Problem dabei ist allerdings, dass die Speicherspannung bei optimaler Belastung sehr hohe Werte annimmt. Bei den Piezotasten des HSRvote battery free beträgt die Ladung Q typischerweise $3,6 \mu\text{As}$ und die Parallelkapazität $C_p = 21 \text{ nF}$. Mit einer Lastkapazität

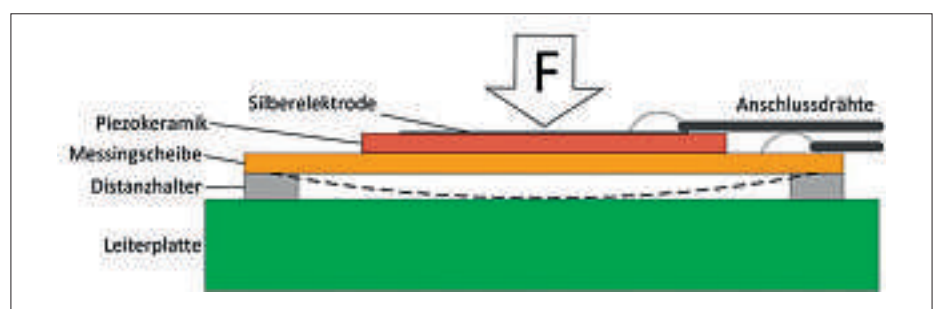


Bild 2: Aufbau einer Piezotaste mit handelsüblicher Piezoscheibe

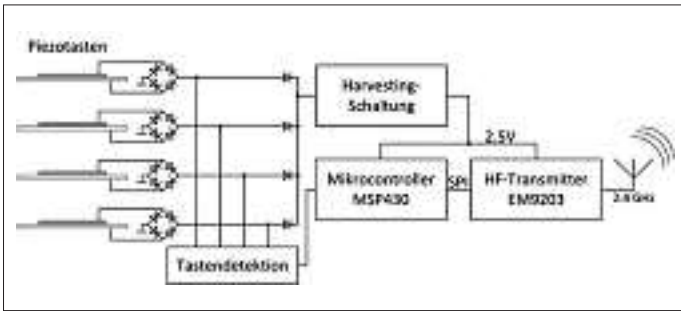


Bild 3: Die Systemübersicht des batterielosen Abstimmungsgeräts HSRvote battery free

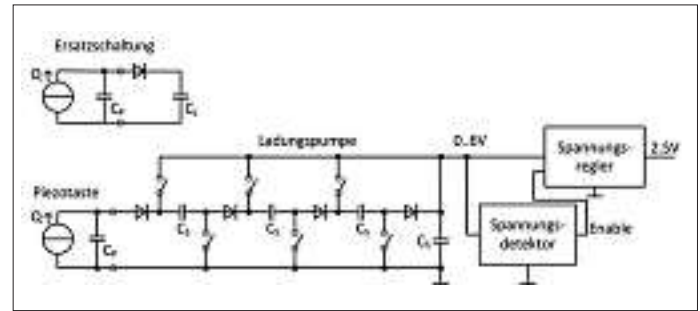


Bild 4: Piezoersatzschaltung und Ladungspumpe (Schalter offen beim Laden, geschlossen beim Entladen)

von $C_L = 21 \text{ nF}$ würde die Speicherspannung also $85,7 \text{ V}$ betragen.

«Capless» Spannungsregler ist am Ausgang stabil

Will man mit der geernteten Energie eine Schaltung betreiben, muss man die Speicherspannung auf eine nutzbare Ausgangsspannung heruntersetzen. Dafür kommt im HSRvote battery free ein linearer Spannungsregler zum Einsatz. Aus energetischer Sicht wäre ein verlustarmer DC/DC-Wandler natürlich besser. Allerdings benötigen nach Kenntnis der Autoren alle am Markt erhältlichen DC/DC-Wandler relativ grosse ($>1 \mu\text{F}$) Glättungskondensatoren. Diese grossen Kondensatoren könnten mit der zur Verfügung stehenden Ladungsmenge nicht auf die nötigen Spannungspegel geladen werden. Selbst lineare Spannungsregler benötigen meist relativ grosse Glättungskondensatoren, um Stabilität zu garantieren. Deshalb wird im HSRvote battery free ein sogenannter «capless» Spannungsregler (XC6215) verwendet, welcher ohne Glättungskondensator am Ausgang stabil ist. Eine weitere Herausforderung für die Realisierung der Harvesting-

Schaltung war der Spannungsdetektor. Dieser ist nötig, um die Ladungspumpe erst dann zu schalten, wenn genügend Ladung gespeichert wurde. Die Problematik dabei ist, dass jeder Spannungsdetektor selbst auch eine minimale Versorgungsspannung benötigt. Der Ausgang des Spannungsdetektors darf aber, auch bei einem langsamen Anstieg der Versorgungsspannung, zu keinem Zeitpunkt einen ungültigen Wert annehmen. Das einzige kommerziell erhältliche Bauteil, welches diese Bedingung erfüllt, wurde im MIC814 von Micrel gefunden.

Ein einziger Tastendruck liefert nur $3,6 \mu\text{As}$

Der Spannungsdetektor und der Spannungsregler funktionieren bis zu einer Versorgungsspannung von 6 V . Die am Ausgang des Spannungsreglers nutzbare Ladung berechnet sich gemäss der Formel $Q = C \times U$ aus der Spannungsdifferenz zwischen der maximalen Eingangsspannung und der Ausgangsspannung des Spannungsreglers, multipliziert mit der Speicherkapazität. Konkret beträgt die Spannungsdifferenz beim HSRvote battery free $6 \text{ V} - 2,5 \text{ V} = 3,5 \text{ V}$. Der Ladungsverbrauch der

Nutzschaltung beträgt $4,6 \mu\text{As}$. Das heisst, es müsste ein Speicherkondensator von $1,3 \mu\text{F}$ auf 6 V geladen werden. Dies würde allerdings voraussetzen, dass eine Ladung von $7,8 \mu\text{As}$ von der Piezotaste bezogen werden kann. Bei einem typischen Tastendruck liefert eine Piezotaste aber nur $3,6 \mu\text{As}$.

Die Lösung des Problems ist die im HSRvote battery free realisierte Ladungspumpe (Bild 4 unten). Anstatt eines einzelnen Kondensators werden darin während eines Tastendrucks mehrere Kondensatoren C_n in Serie aufgeladen. Die Serienkondensatoren sind so ausgelegt, dass sie bei einem typischen Tastendruck auf mindestens 6 V geladen werden. Der Spannungsdetektor überwacht die Ladspannung und schaltet die Kondensatoren parallel, sobald die benötigten 6 V erreicht worden sind. Gleichzeitig wird auch der Spannungsregler aktiviert. Dadurch wird die für die Nutzschialtung zur Verfügung stehende Ladung mit der Anzahl Serienkondensatoren multipliziert.

Dies gilt allerdings nur exakt dann, wenn alle Bauteile als ideal angenommen werden und die Piezotaste eine vernachlässigbare →

accutron
battery trade

Grindelstrasse 12
8303 Bassersdorf
043 266 20 50
www.accutron.ch
info@accutron.ch

AKKUS UND LED-BELEUCHTUNG ALS ENSEMBLE
Hohe Energiedichte und sattes Licht mit Stromersparnis

Wir beraten Sie gerne unter der Telefonnummer 043 266 20 50 oder info@accutron.ch

BRYTEC AG

Ringstrasse 13
 CH - 4123 Allschwil
 Tel.: +41 61 485 60 10
 Fax.: +41 61 485 60 19
 info@brytec.ch
 www.brytec.ch

Ihr Partner für Wärmemanagement

Leading products for your cooling solutions.



Eigenkapazität besitzt. Wird die Eigenkapazität der Piezotaste C_p einberechnet, so wird die nutzbare Ladung maximal, wenn die Gesamtkapazität der in Serie geschalteten Kondensatoren C_s gleich der Eigenkapazität der Piezotaste ist. In der Realität müssen auch die Vorwärtsspannungen der Dioden sowie die Leckströme und Durchbruchspannungen der als Schalter verwendeten Transistoren beachtet werden. Die im HSRvote battery free implementierte Ladungspumpe verwendet vier in Serie geschaltete Kondensatoren mit je 330 nF. So kann mit einer von der Piezotaste bezogenen Ladung von nur 2 μ As eine nutzbare Ladung von 4,6 μ As generiert werden.

Low Power Design hilft beim nötigen Stromsparen

Um mit den nur 4,6 μ As auszukommen, ist rigoroses Stromsparen nötig. Dies beginnt bei der Selektion der Bauteile und endet beim Optimieren der Firmware. Hauptsächlicher Stromverbraucher ist der Transceiver-IC. In einer Machbarkeitsstudie wurden deshalb verschiedene Low Power Transceiver miteinander verglichen und ausgemessen. Ein wichtiges Selektionskriterium war dabei natürlich der Stromverbrauch während des Sendevorgangs. Genauso wichtig ist auch die maximale Datenrate, weil eine kürzere Sendezeit weniger Strom verbraucht. Wird nur ein kurzes Telegramm gesendet, so ist auch der Stromverbrauch für das Aufstarten eine wichtige Grösse. Für die Selektion des geeigneten Transceivers wurde deshalb die gesamte, für die Aussendung eines Telegramms benötigte, Ladung verglichen.

Der verwendete EM9203 von EM Microelectronic verbraucht während des Sendens nur 12,6 mA (bei 0 dBm Ausgangsleistung). Dies ist zwar nicht der niedrigste Sendestrom der verglichenen ICs (nRF51822, ATMEGA256RFR2), dafür hat der EM9203 bei Weitem den niedrigsten Stromverbrauch beim Aufstarten und benötigt deshalb insgesamt am wenigsten Ladung.

Als Mikrocontroller wird ein MSP430G2553 von TI verwendet. Der Mikrocontroller ist nur für eine sehr kurze Zeit nach dem Aufstarten aktiv. Danach bleibt er im tiefst möglichen Schlafzustand (alle Clocks ausgeschaltet), bis ihn der EM9203 mit einem Interrupt aufweckt, wenn er sendebereit ist. Daraufhin übermittelt der Mikrocontroller die zu sendenden Daten an den EM9203 und versetzt sich sofort wieder in den Schlafzustand, während der EM9203 das Telegramm sendet. Dadurch kann der Stromverbrauch des Mikrocontrollers auf ein – im Vergleich zum Transceiver – fast vernachlässigbares Niveau gesenkt werden.

Funkprotokoll

Keiner der derzeit marktüblichen offenen Funkstandards erlaubt einen Betrieb mit nur wenigen μ J Energie pro Übertragungspaket. Das Übertragungsprotokoll muss daher zwangsweise proprietär sein. Um trotzdem Kollisionen zu vermeiden, wurden folgende Ideen in den HSRvote battery free implementiert.

Traditionellerweise wird in einem Funk-system ein Retourkanal zur Bestätigung eingetroffener Nachrichten verwendet. Das ist hier aus Stromspargründen nicht möglich. Der «Retourkanal» ist sozusagen der Nutzer selbst, der visuell eine Bestätigung auf einem projizierten Bildschirm sieht und bei Ausbleiben dieser Bestätigung die Taste erneut drückt – und damit natürlich auch die benötigte Energie erneut zur Verfügung stellt. Der Umstand, dass ein Paket ausgesendet wird, sobald die dafür benötigte Energie durch Tastendruck zur Verfügung steht, erlaubt ausserdem durch nur unwesentlich stärkeren Tastendruck die Auslösung mehrerer Funkübertragungen. Mit Loslassen der Taste sind somit bis zu sechs Aussendungen innerhalb einer Sekunde möglich. Da die einzelnen Aussendungen nur etwa 100 μ s dauern und relativ zufällig innerhalb des Intervalls des Tastendruck verteilt sind, ist die Kollisionswahrscheinlichkeit gegenüber derjenigen der Einzelaussendung deutlich reduziert.

Zusammenfassung

Piezoelektrisches Energy Harvesting ist eine Technologie mit viel Potenzial. An vielen Orten wo heute noch Batterien nötig sind, könnten diese in Zukunft durch Piezotasten ersetzt werden. Eine batterie lose Fernbedienung für den Fernseher könnte beispielsweise schon bald ganz normal sein. Die Weiterentwicklung von stromsparenden Transceiver-Chips, angetrieben durch Wearables wie z. B. Smart Watches, wird dies in naher Zukunft möglich machen. Mit dem HSRvote battery free wurde gleichzeitig ein nützliches Werkzeug für Dozenten und ein Demonstrator für eine zukunftsweisende Technologie entwickelt. Es soll bei Schülern und Studenten das Interesse an der Technik wecken und Lust auf eine Karriere im MINT-Bereich machen. Schulen, die sich für einen HSRvote-Koffer interessieren, finden Kontakt details unter vote.hsr.ch. «

Infoservice

HSR Hochschule für Technik
 Prof. Dr. Heinz Mathis, Institutsleiter ICOM
 Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil
 Tel. 055 222 45 95, icom.hsr.ch