

Dokumentace k výsledku typu funkční vzorek (G_{funk})

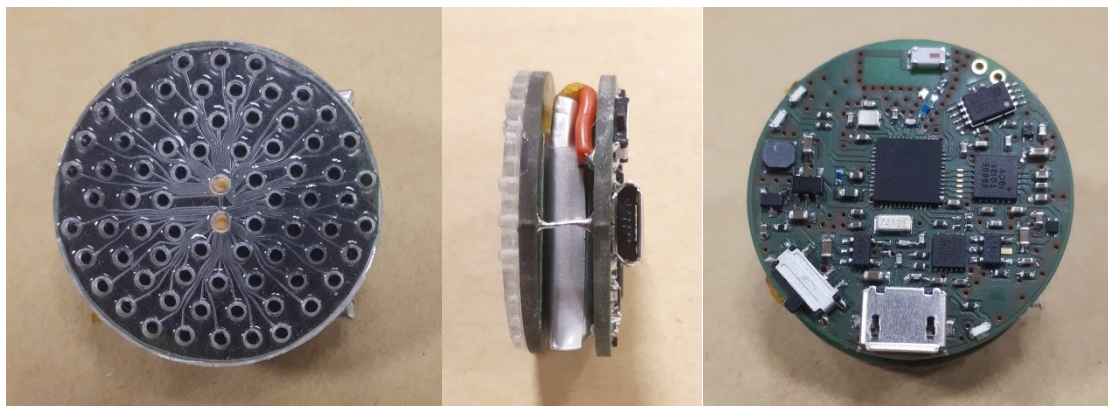
Nositelný senzor salinity potu v1.0

- Autoři:** Martin Pospíšil, Jaromír Hubálek
- Projekty:** H2020 ECSEL JU, ID: 8A20007 - Next generation smart perception sensors and distributed intelligence for proactive human monitoring in health, wellbeing, and automotive systems (NextPerception)
- Součást:** RG-1-02, CEITEC, VUT Brno
- Datum:** 30.7.2023
- Popis:**

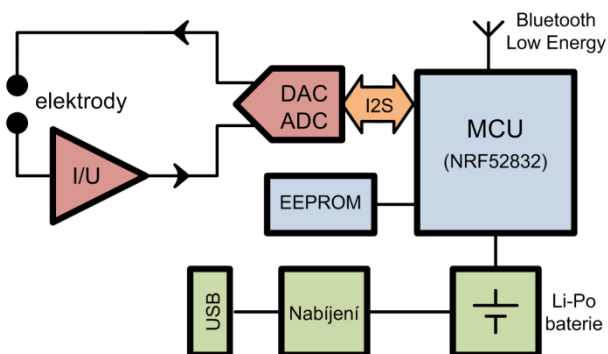
Nositelný snímač salinity měří množství iontů solí v potu člověka vodivostním principem. Měřicí část se skládá ze dvou zlatých terčíkových elektrod. Pomocí D/A převodníku je vytvořeno sinusové napětí o kmitočtu 10.4 kHz, které se přivádí na jednu elektrodu. Střídavý proud, který skrze elektrody projde, je zesílen a převeden na napětí transimpedančním zesilovačem. Toto napětí se snímá A/D převodníkem a dále je zpracováno softwarově. Signál je zbaven zbytku DC posuvu, vyfiltrován dolní propustí a je vypočtena efektivní hodnota napětí. Z článkové konstanty a vypočtené vodivosti se spočítá nejprve měrná vodivost, která se následně přepočítá na salinitu. Ke kalibraci tohoto senzoru bylo využito několik vzorků připravené z umělého potu. Hotový senzor je na Obrázku 1.

Elektronika senzoru je založena na mikrokontroléru NRF52832, který má integrovaný transceiver Bluetooth Low Energy. RF anténu tvoří keramický čip v kombinaci s motivem na DPS. Speciálním návrhem motivu je potlačena citlivost (rozladění) antény na blízkost těla nebo předmětů. Jako A/D a D/A převodník je použit externí (audio) kodek MAX9860, připojený k MCU přes I2S sběrnici. Pro ukládání naměřených vzorků je použita externí paměť EEPROM (512kbit), připojená přes I2C rozhraní. Napájení je zajištěno baterií Li-Pol, senzor má integrovanou nabíječku s konektorem USB. Blokově znázorněno na Obrázku 2. Podrobné schémata a DPS jsou uvedeny v příloze (Obrázky 6-8).

Pro zajištění dostatečného množství potu byl vyvinut mikrofluidní kolektor, který se odlévá z tekutého silikonového elastomeru známého pod označením PDMS. Tento materiál je omyvatelný, flexibilní a biokompatibilní. Kolektor má rovnoměrně rozmístěné póry a z každého póru je vyvedena kapilára do dvou středových pórů, které jsou propojené a tvoří tak celou pro elektrody na kterých musí být kolektor umístěn a tyto dva póry sesazeny s elektrodami. Na Obrázek 3 lze vidět takto odlitý kolektor z PDMS. Celý senzor se umísťuje pod hrudní pás, kde je pocení silné a pás zaručuje přítlak kolektoru ke kůži.



Obrázek 1: Senzor salinity



Obrázek 2: Blokové schéma;



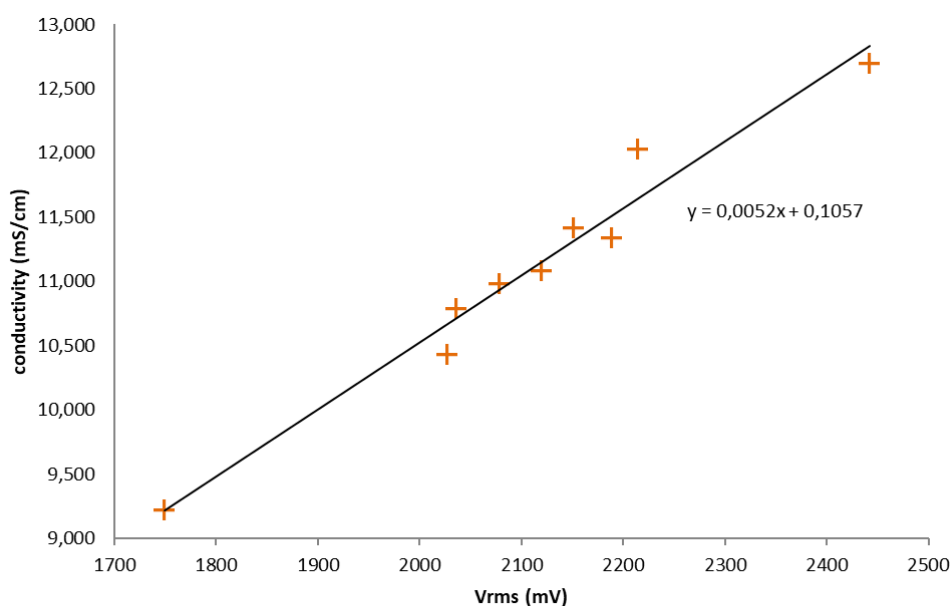
Obrázek 3: Mikrofluidní kolektor potu vyrobený z PDMS

Kalibrace senzoru byla provedena ve dvou krocích. Pomocí tří různých vodivostních standardů (1.3, 4.9, 12.7 mS/cm) byla lineární regresí nejprve určena članková konstanta. Poté byly vyrobeny vzorky umělého potu pro kalibraci.

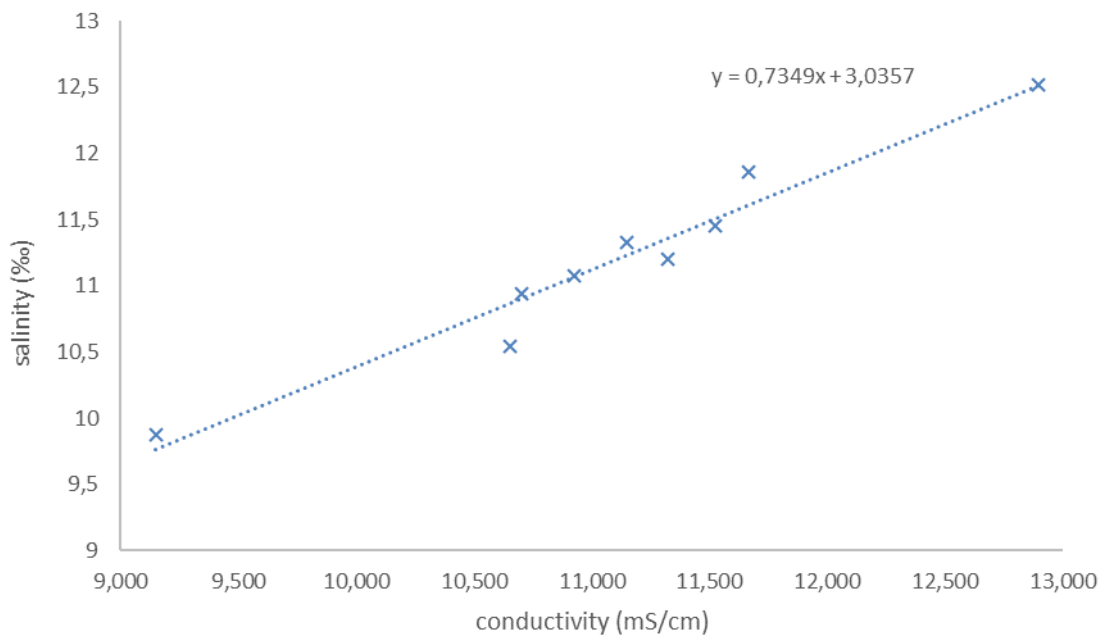
Umělý pot byl vyroben jako roztok 0.5% NaCl, 0.1% KCl, 0.1% močoviny a 0.1% kyseliny mléčné. Pro testování senzoru byly dále připraveny modifikované vzorky se sníženou nebo zvýšenou koncentrací jednotlivých solí:

Artificial sweat	conductivity (mS/cm)	sweat salinity (‰)	blood salinity (‰)	diaphoretic sign
-20% Na	9,15	7,44	9,88	hyponatremia
-20% K	10,70	8,24	10,94	low hyponatremia
-10% Na	10,65	7,93	10,54	low hyponatremia
-10% K	10,93	8,33	11,07	normal
100%	11,32	8,43	11,20	normal
+10% K	11,15	8,53	11,33	normal
+10% Na	11,66	8,93	11,86	low hypernatremia
+20% K	11,52	8,62	11,46	normal
+20% Na	12,90	9,42	12,52	hypernatremia

Pro správné určení salinity byla stanovena kalibrační křivka mezi výstupním efektivním napětím V_{rms} a měrnou vodivostí (Obrázek 4). Kalibrační křivka mezi vodivostí a salinitou byla určena ze změřených hodnot vodivosti a vypočítané salinity umělého potu na základě koncentrací solí a přepočtena k salinitě v krvi, jak je uvedené v předchozí tabulce. Výsledná křivka je na Obrázku 5. Tak stanovená salinita se poté může vyhodnotit na diaforetické ukazatele dle uvedené tabulky.



Obrázek 4: Kalibrační křivka vztahu měrné vodivosti a výstupního efektivního napětí elektronického detektoru

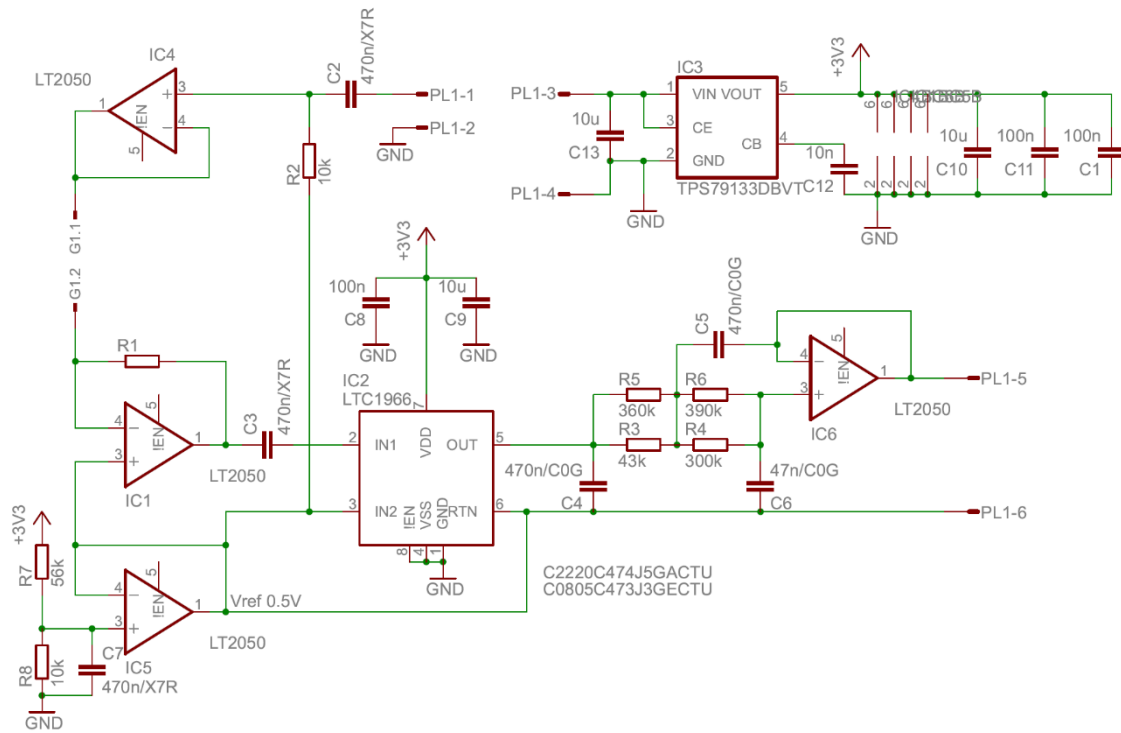


Obrázek 5: Kalibrační křivka salinity v krvi podle změřené měrné vodivosti potu

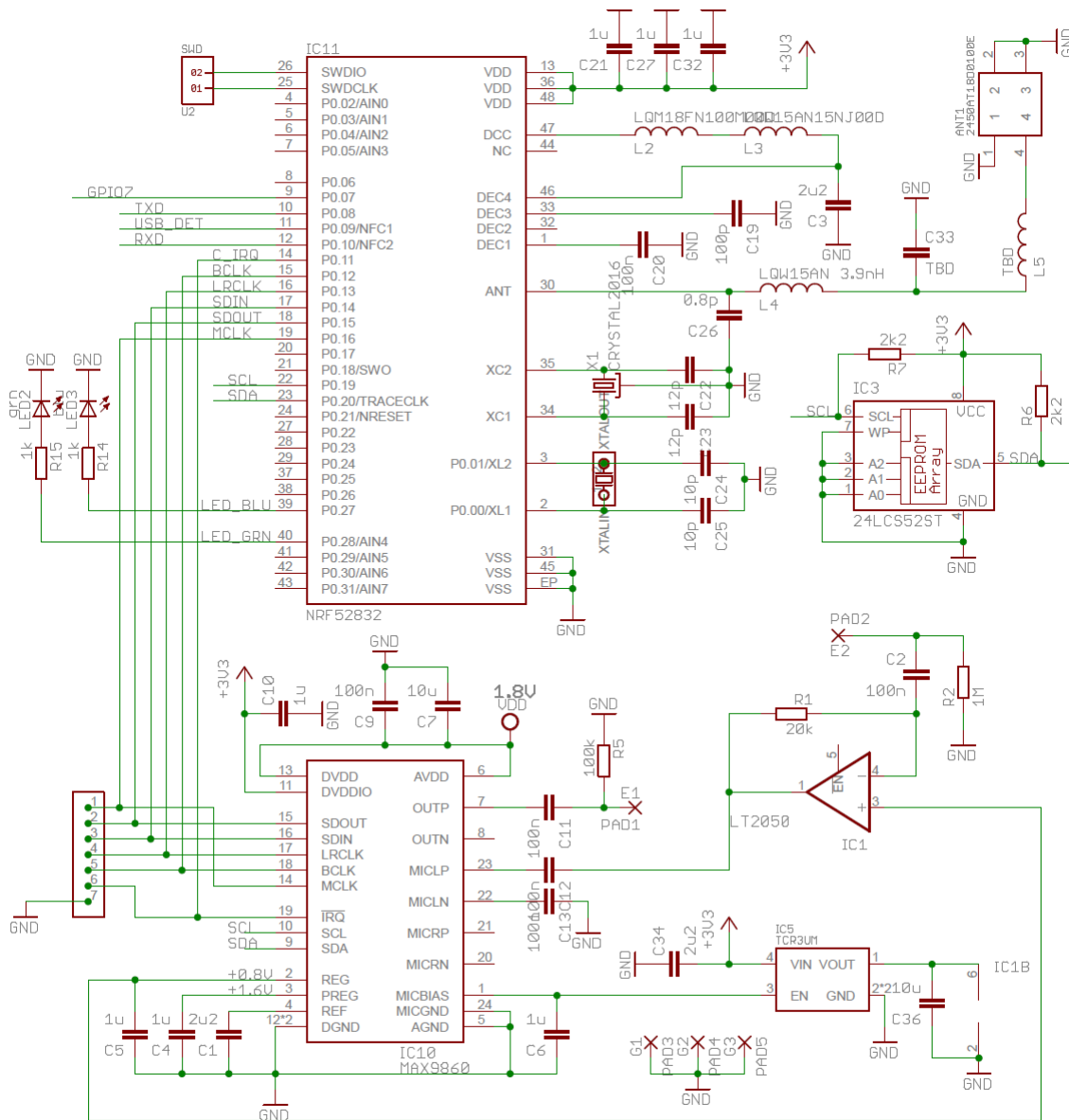
Parametry senzoru:

Rozlišení:	14 bit
Přesnost:	± 5%
Vzorkovací frekvence:	0.5 sps
Maximální dosah komunikace:	5 m
Baterie:	Li-Pol, 180mAh 3,7V
Výdrž v režimu měření:	14 hodin
Paměťový prostor:	64kB (32400 vzorků -18 h záznamu)

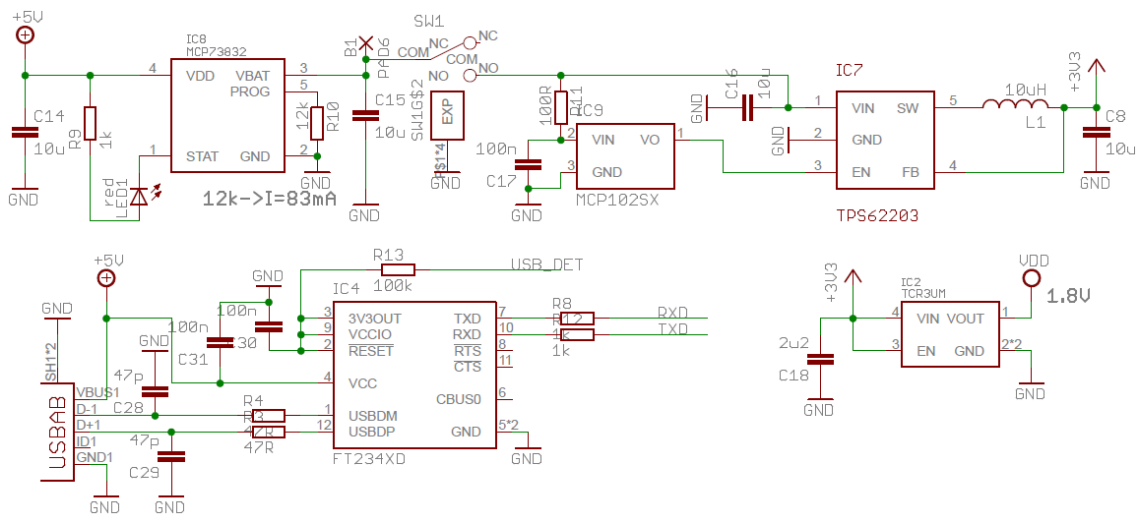
Schemata a DPS



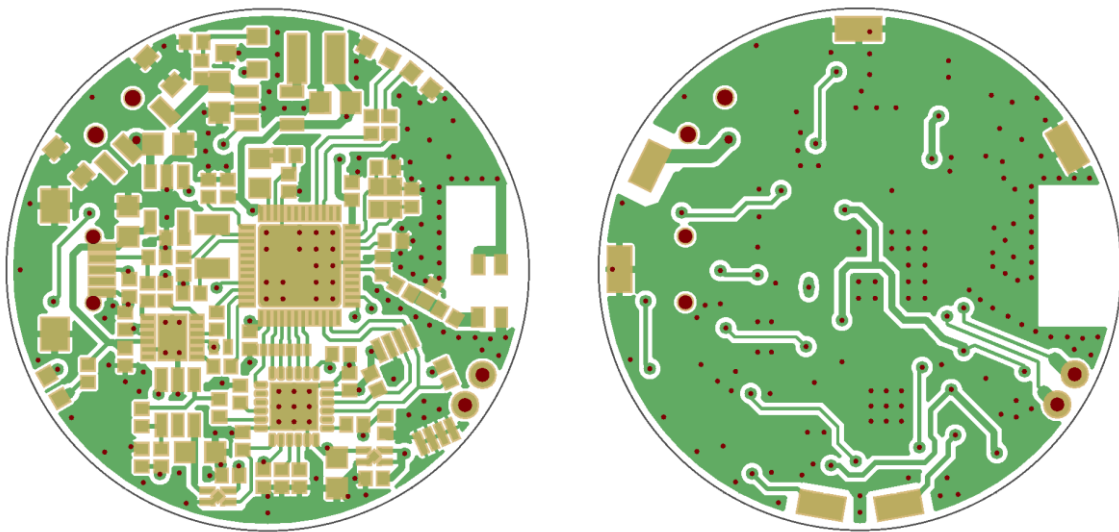
Obrázek 6: schéma analogové části



Obrázek 7: schéma digitální části



Obrázek 4: napájení digitální části + USB



Obrázek 8: DPS senzoru