

# HARDWARE FOR ULTRASONIC ANEMOMETER

Vladan Veselý

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xvesel62@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Stanislav Klusáček

E-mail: klusacek@feec.vutbr.cz

**Abstract:** The article describes the development of hardware for a low cost ultrasonic anemometer. The core of the device is a STM32F103CBT6 processor, a part of the Maple Mini development platform. In addition to ultrasonic measurement circuits, meteorological sensors and communication circuits are also connected to the processor. The paper also discusses various methods to excite ultrasonic transducers and to process the received signal; the latter procedure embodies the basis of the designed instrument. All the electronic components are embedded in a self-heating plastic case. The sensor satisfies all relevant safety and weather resistance requirements.

**Keywords:** Anemometer, Ultrasound, Maple Mini, STM32, IP68

## 1 ÚVOD

Cílem projektu bylo prostudovat veškeré dostupné zdroje a navrhnout kompletní ultrazvukový anemometr tak, aby vyhověl v aplikacích pro jachting. Navržený anemometr bude měřit směr a sílu větru v jachtklubech nebo přímo na plachetnicích.

Významnou předností ultrazvukových anemometrů je jejich přesnost a mechanická odolnost. Přesnost měření těchto snímačů, na rozdíl od klasických mechanických anemometrů, je stejná v celém rozsahu měření, ultrazvukový anemometr navíc dosahuje lepší přesnosti měření směru větru. Ultrazvukové anemometry poskytují jedinou možnost, jak zjistit směr slabého větru.

Cílem tedy bylo sestavit anemometr, který bude měřit s lepšími parametry, než jsou parametry mechanického anemometru a současně bude mít lepší vlastnosti a zejména delší životnost. Vyvinutý ultrazvukový anemometr by měl kromě výše uvedených vlastností současně nabízet i stejnou přesnost měření síly větru jako srovnatelné konkurenční snímače, přesnější měření směru větru a výrazně nižší pořizovací náklady.

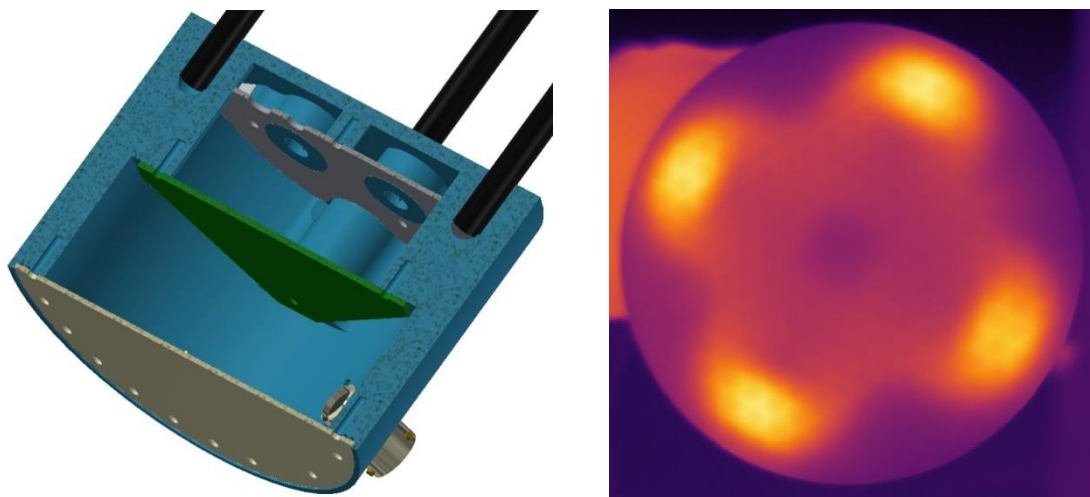
Pro srovnání komerční ultrazvukový anemometr WindSonic od firmy GILL Instruments má měřicí rozsah 0 - 60 m/s, nepřesnost měření rychlosti větru  $\pm 2\%$ , nepřesnost směru větru  $\pm 2^\circ$  a maximální frekvenci měření 4 Hz. Vyvinutý anemometr bude dosahovat stejných parametrů, nepřesnost směru větru bude ve větru do 8 m/s pouze  $\pm 1^\circ$ . Cena vyvinutého anemometru bude dosahovat maximálně 30 % ceny anemometru WindSonic [1].

## 2 VOLBA TOPOLOGIE ANEMOMETRU

Dříve byly pro měření směru a síly větru ultrazvukem využívány poměrně rozměrné anemometry. Tyto anemometry využívaly přímé šíření ultrazvukového signálu mezi měniči. Každá měřená dimenze zde představuje jeden pár ultrazvukových měničů, směr větru je z více párů jednoduše dopočítáván. Postupem času bylo vyvinuto několik dalších topologií ultrazvukových anemometrů. Přístroje začaly být menší, většinou šlo o odrazové ultrazvukové anemometry.

Jak ukazuje obrázek 3, je navržený anemometr taktéž odrazový a je složen ze dvou plastových dílů. Spodní díl slouží k uchycení čtveřice ultrazvukových měničů s uzavřenou konstrukcí. Horní díl slouží jako odrazová plocha. Oba díly jsou spojeny uhlíkovými trubičkami. Zvolená topologie umožňuje dosažení krytí IP68.

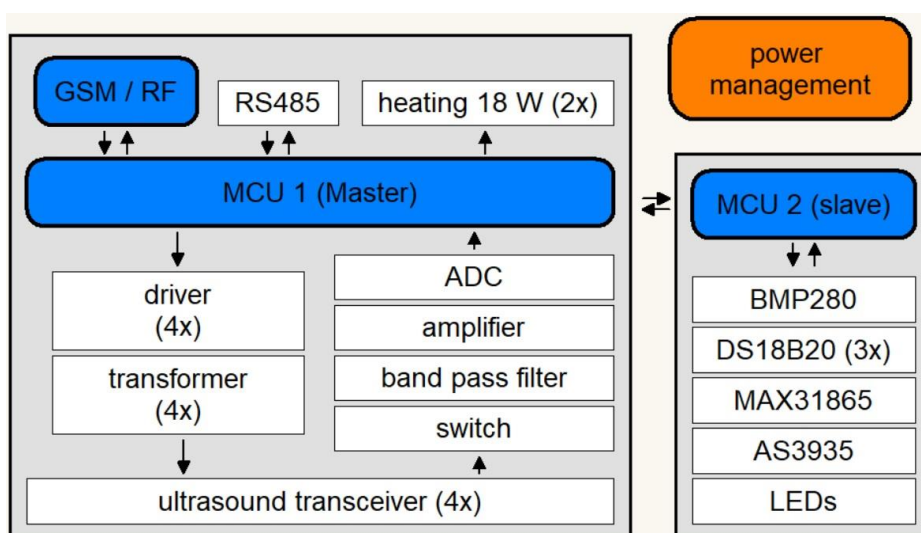
V obou dílech anemometru jsou umístěny topné rezistory, které zabraňují nežádoucímu namrzání. Rezistory jsou doplněny o hliníkové díly, které rozvádí teplo a chrání plastové tělo před lokální tepelnou deformací. Hliníkové díly je možno vidět na obrázcích níže. Obrázek vlevo ukazuje řez spodním dílem anemometru. Na pravé straně je snímek pořízený termokamerou. Jasná místa ukazují topné rezistory, hliníkový díl pro rozvod tepla ve tvaru čtyřlístku je zde také vidět.



**Obrázek 1:** Řez spodním dílem přístroje (vlevo) a snímek distribuce tepla v horním (odrazovém) dílu anemometru

### 3 BUZENÍ ULTRAZVUKOVÝCH MĚNIČŮ, HARDWARE

Centrálním prvkem anemometru je procesor s dostatečnou pamětí a výpočetním výkonem. Použitý procesor STM32F103CBT6 poskytuje i dostatek vstupně-výstupních pinů a dostatek komunikačních rozhraní. Komunikaci s okolím hardwarově zajišťuje RS232 (s komunikační protokolem NMEA0183 využívaným na lodích), RS485 a GSM.



**Obrázek 2:** Hardwarová struktura navrženého anemometru

Na obrázku č. 2 je zobrazena hardwarová struktura navrženého anemometru. Ve schématu je vidět, že přístroj obsahuje dva procesory. Hlavní procesor (master) má na starosti klíčové funkce anemometru. Druhý procesor (slave) je umístěn v horním (odrazovém) dílu anemometru, obsluhuje pouze senzory a LED. Master a Slave je propojen prostřednictvím sériového rozhraní UART.

Při měření generuje master obdélníkový signál o frekvenci 40 kHz. Tento signál spíná tranzistory, které za pomoci transformátorů K4000004 generují budicí signál s amplitudou 60 V. V rámci projektu byly navrženy a testovány i vlastní toroidní transformátory s jádrem FT100A-77. Vlastní transformátory měly lepší parametry, ale byly poměrně drahé a velké. [2]

Kromě již zmíněné části pro buzení ultrazvukových měničů jsou ke zjištění síly a směru větru nutné i obvody pro zpracování signálu. Protože je vždy potřeba zpracovávat signál pouze z jednoho měniče, byl využit běžně používaný přepínač (demultiplexor) typu 74HC4052. Přijatý signál je následně zesílen a navzorkován, poté probíhá jeho digitální zpracování.

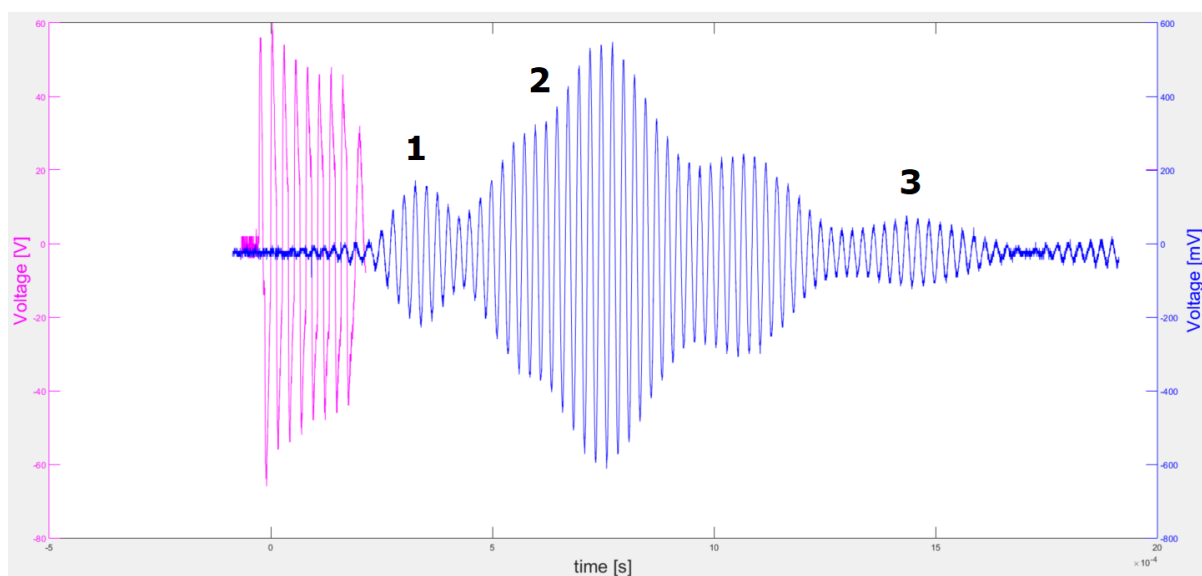
Přístroj je napájen napětím 9 - 48 V DC, to umožňuje napájení ze sítě nebo z palubní baterie plachetnice. Spotřeba samotného anemometru nepřesahuje 50 mA, dalších 24 W může spotřebovat vyhřívání.

#### 4 ZPRACOVÁNÍ PŘIJATÉHO SIGNÁLU

Graf 1 zobrazuje klíčové signály anemometru. Každý signál má jiné měřítko, oba signály mají frekvenci 40 kHz. Modře je zobrazen budicí signál o amplitudě 60 V. Růžovou barvou je vykreslen přijatý, zesílený a vyfiltrovaný signál o maximální amplitudě 600 mV.

Zpracování signálu u přímých (bezodrazových) anemometrů je snadné, zjišťuje se zde pouze poloha největší amplitudy (oblast 2 v grafu 1). Pro odrazové anemometry je ale přijatý signál v oblasti 2 společně se signálem v oblasti 1 nežádoucí. Oblast 2 vzniká přímým šířením ultrazvuku, pro její potlačení by bylo nutné využívat ultrazvukové měniče s malým vyzařovacím úhlem. Oblast 1 vzniká šířením ultrazvuku tělem přístroje, potlačení je možné mechanickou izolací měničů.

Rychlost větru je získávána z křivky v oblasti 3. Jde o odražený ultrazvukový signál. Pozice maxima v oblasti 3 koresponduje s rychlostí větru. Naměřená data byla získávána a ověřována za pomoci experimentální větrného tunelu vlastní konstrukce.



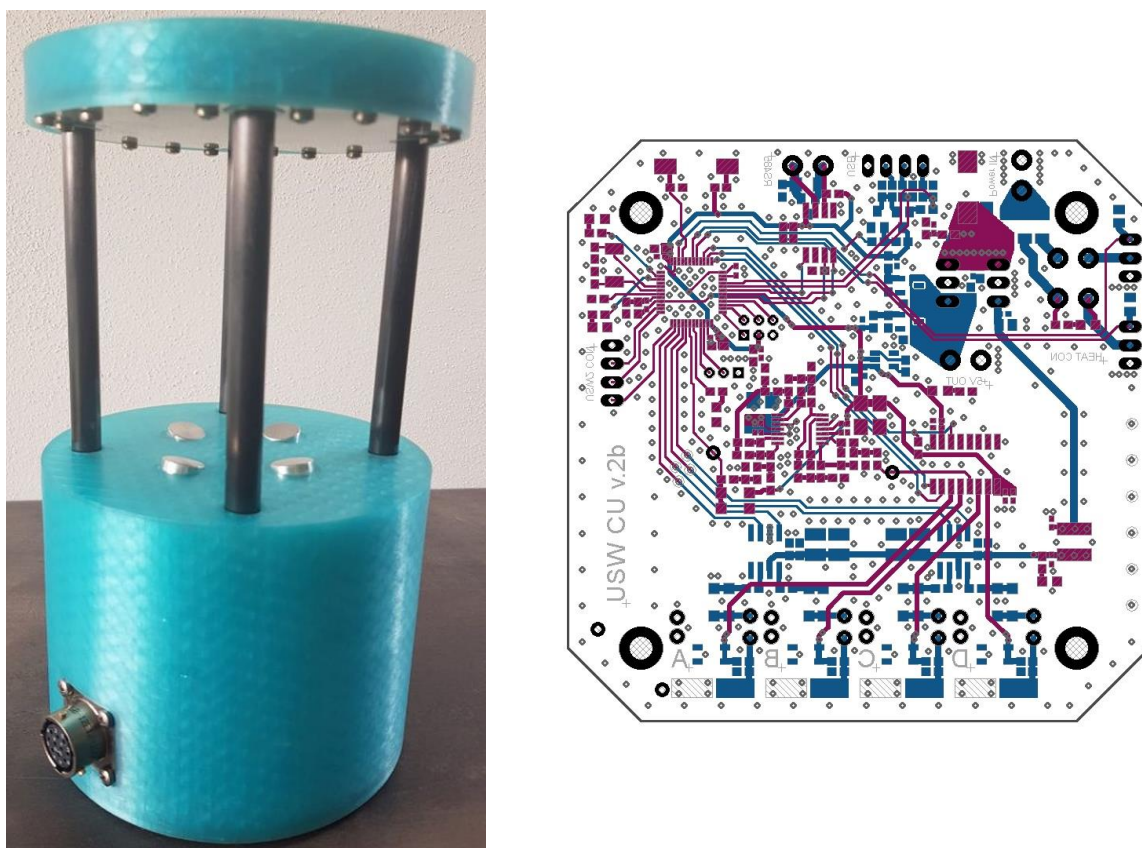
Graf 1: Klíčové signály anemometru

Optimalizace výpočtu směru a síly větru bude nadále zlepšena. Rychlost šíření zvuku ve vzduchu je ovlivňována teplotou, tlakem a vlhkostí vzduchu. Tyto parametry musí být výpočtem zohledněny. [3]

## 5 ZÁVĚR

Byl navržen a realizován kompletní ultrazvukový anemometr, jehož součástí jsou kromě plastového těla s ultrazvukovými měniči a elektronikou i výkonové rezistory pro vyhřívání a senzory meteorologických veličin. Navržený anemometr a deska plošných spojů je na obrázku 3.

Kalibrace měření směru větru byla provedena postupným otáčením přístroje ve větrném tunelu. Získaná kalibrační křivka byla zanesena do výpočtů, poskytuje tak možnost přesného určení směru větru dle požadavků zadaných v úvodní kapitole. Pro dosažení lepších přesností měření síly větru oproti komerčně dostupným přístrojům je nutná kalibrace v akreditované laboratoři.



**Obrázek 3:** Dokončený ultrazvukový anemometr (vlevo), navržená deska plošných spojů

## REFERENCE

- [1] Gill Instruments: meteorological technology: Wind Sensor Technical Information. Gill Instruments [online]. Hampshire, UK: Gill Instruments, 2019 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://gillinstruments.com/products/anemometer/windsonic.htm#windsensor>
- [2] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a cívky*. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5649-X.
- [3] OBRAZ, Jaroslav. *Ultrazvuk v měřicí technice*. Vydání druhé. Praha: SNTL, 1984.