

## First Results From a New Broadband ELF Measurement System

Janusz MLYNARCZYK<sup>1,✉</sup>

Andrzej KULAK<sup>1</sup>, Sławomir KLUCJASZ<sup>1</sup>, Jerzy KUBISZ<sup>2</sup>, and Adam MICHALEC<sup>2</sup>

<sup>1</sup>AGH University of Science and Technology, Department of Electronics, Krakow, Poland

<sup>2</sup>Astronomical Observatory, Jagiellonian University, Krakow, Poland

✉ januszm@agh.edu.pl

We have built a new broadband ELF (extremely low frequency) measurement system (Mlynarczyk *et al.* 2018). It enables us to study atmospheric discharges, in particular those associated with Transient Luminous Events (Pasko 2010, Bór 2013 and references therein), with high temporal resolution. It also allows us to study other natural phenomena in the ELF range and to conduct research on radio wave propagation. The system is composed of two active magnetic antennas and a receiver, and measures the magnetic field component of electromagnetic waves in the ELF range. In the last couple of months we have optimized the most important parts of the system and achieved a significant improvement of its performance. Our active antennas have a bandwidth of 20 mHz to 1 kHz. The receiver uses a Bessel anti-aliasing filter, which has an attenuation of above 35 dB at the Nyquist frequency and an energy bandwidth of 900 Hz. The sampling frequency has been set to 3.0 kHz. Its high accuracy has been achieved through GPS synchronization of local oscillator every hour and use of temperature compensated oscillator. The use of a Bessel filter enables us to measure atmospheric discharges without distortions typical for other types of anti-aliasing filters. The data are stored on Compact Flash memory cards. The system is powered from a 12 V battery and its current consumption depends on the model of memory card, ranging from 57 to 83 mA. The use of battery power and a careful choice of location allows us to perform measurements without a 50-Hz notch filter and use digital filtering in software when processing the data. For the new system, we have also optimized the conversion factor of the analog part, to limit the influence of ADC (analog-to-digital converter) noise near the Nyquist frequency on the current moment waveform reconstructed using our inverse method (Kulak and Mlynarczyk 2011, Mlynarczyk *et al.* 2015). Since the conversion factor determines the maximum amplitude level, its choice is an uneasy trade-off which has to take into account the future location of the measurement station. Typically, we set the maximum amplitude between 28 and 40 nT peak to peak, but in some cases we use higher or lower levels. The minimum discernible signal is determined by the 18-bit ADC. Since the

equipment works outdoor, the antennas have been placed in waterproofed pipes and the receiver in a water-proofed container.

In this work we report on the first results from our newly optimized ELF system. The first continuous observations after optimizations have been carried out simultaneously at two locations: at the Hylaty ELF station (Kulak *et al.* 2014) in the Bieszczady Mountains, and at an external measurement field of Laboratoire Souterrain à Bas Bruit in France.

**Acknowledgments.** This work has been supported by the National Science Centre, Poland, under Grant 2015/19/B/ST10/01055.

### References

- Bór, J. (2013), Optically perceptible characteristics of sprites observed in Central Europe in 2007–2009, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* **92**, 151–177, DOI: 10.1016/j.jastp.2012.10.008.
- Kulak, A., and J. Mlynarczyk (2011), A new technique for reconstruction of the current moment waveform related to a gigantic jet from the magnetic field component recorded by an ELF station, *Radio Sci.* **46**, RS2016, DOI: 10.1029/2010RS004475.
- Kulak, A., J. Kubisz, S. Klucjasz, A. Michalec, J. Mlynarczyk, Z. Nieckarz, M. Ostrowski, and S. Zieba (2014), Extremely low frequency electromagnetic field measurements at the Hylaty station and methodology of signal analysis, *Radio Sci.* **49**, 6, 361–370, DOI: 10.1002/2014RS005400.
- Mlynarczyk, J., J. Bór, A. Kulak, M. Popek, and J. Kubisz (2015), An unusual sequence of sprites followed by a secondary TLE: An analysis of ELF radio measurements and optical observations, *J. Geophys. Res. – Space* **120**, 2241–2254, DOI: 10.1002/2014JA020780.
- Mlynarczyk, J., A. Kulak, S. Klucjasz, J. Kubisz, K. Martynski, and M. Popek (2018), New broadband ELF receiver for studying atmospheric discharges in Central Europe, 2018 Baltic URSI Symposium, Poznan, Polska.
- Pasko, V. (2010), Recent advances in theory of transient luminous events, *J. Geophys. Res.* **115**, A00E09, 1–24, DOI: 10.1029/2009JA014860.

## PIERWSZE WYNIKI Z NOWEGO SZEROKOPASMOWEGO SYSTEMU POMIAROWEGO ELF

### Streszczenie

Nasz zespół zaprojektował nowy szerokopasmowy system pomiarowy ELF (extremely low frequency) (Mlynarczyk *et al.* 2018), w celu prowadzenia badań wyładowań atmosferycznych związanych z Transient Luminous Events (Pasko 2010, Bór 2013 i referencje tam zawarte) na terenie Europy. System składa się z dwóch aktywnych anten magnetycznych i odbiornika, umożliwiających pomiar składowej magnetycznej fal elektromagnetycznych w zakresie ELF (extremely low frequency). W ciągu ostatnich kilku miesięcy zoptymalizowaliśmy najważniejsze komponenty systemu, osiągając znaczącą poprawę parametrów. Anteny aktywne obejmują pasmo pomiarowe od 20 mHz do 1 kHz. Odbiornik wykorzystuje filtr antyaliasingowy o charakterystyce typu Bessela, który ma tłumienie ponad 35 dB na częstotliwości Nyquista i pasmo energetyczne 900 Hz. Częstotliwość próbkowania nowego odbiornika wynosi

3.0 kHz. Wykorzystanie filtra Bessela pozwala na pomiary wyładowań atmosferycznych bez zniekształceń typowych dla innych typów filtrów antyaliasingowych. Zoptymalizowaliśmy także współczynnik konwersji części analogowej systemu, aby ograniczyć wpływ szumu przetwornika analogowo-cyfrowego w pobliżu częstotliwości Nyquista na zrekonstruowany przebieg momentu prądowego otrzymywany poprzez rozwiązania odwrotne (Kulak i Młynarczyk 2011, Młynarczyk i in. 2015). W związku z tym, że współczynnik konwersji determinuje maksymalną rejestrowaną amplitudę, jego wybór jest niełatwym kompromisem, który musi uwzględniać również przyszłą lokalizację stacji pomiarowej. W związku z tym, że aparatura pracuje w warunkach polowych, anteny zostały umieszczone w hermetycznych rurach, a odbiornik w hermetycznym kontenerze.

W tej pracy przedstawiamy nasze pierwsze wyniki z nowego zoptymalizowanego systemu ELF. Pierwsze ciągłe obserwacje są obecnie prowadzone symultanicznie w dwóch lokalizacjach: na stacji Hylaty (Kulak i in. 2014) w Bieszczadach, oraz na zewnętrznym polu pomiarowym Laboratoire Souterrain à Bas Bruit we Francji.