

---

# Návrh kompaktnej dosky plošných spojov pre presné snímanie analógového vstupu

---

## Martin Bučko, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: martin.bucko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

## Vladimír Samaš, Ing.\*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: vladimir.samas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

## Patrik Slušňák, Ing.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline,  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: patrik.slusnak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2257

## Design of a Compact PCB for Accurate Analog Input Measurement

**Abstract:** The article deals with the design and implementation of a measurement system intended for accurate detection of linear displacement in the braking mechanism during brake lining testing. The measurement is carried out using the analogue sensor *Larm LS501*, whose output, due to the mechanical design, utilizes 40% of the available measurement range. The signal from the sensor is converted into digital form using a 16-bit *ADS1115* analogue-to-digital converter, which allows obtaining approximately 13,107 measurement increments over a total displacement of 400 mm. The resulting measurement resolution is approximately 0.0305 mm per increment. The system is controlled by an *ATmega328P* processing unit implemented as an Arduino Nano module, which provides data processing and communication via the *PC interface*. The electronic part is realized on a two-layer printed circuit board with dimensions of 90 × 45 mm, which, in addition to the processor and converter, includes power and filtering components, input connectors, and four additional analogue channels available in 10-bit resolution. The proposed solution provides a compact, easily serviceable, and cost-effective system for precise linear displacement measurement in a brake inertia test stand.

**Keywords:** Analog, *PC interface*, *ATmega328P*.

---

## ÚVOD

Presné meranie otočenia hriadeľa na skúšobnom brzdovom stave je mimoriadne dôležité a predstavuje kľúčový prvok pri testovaní brzdových obložení. Len spoľahlivé a presné snímanie uhla otočenia umožňuje objektívne vyhodnotiť správanie brzdového mechanizmu v rôznych prevádzkových podmienkach. Na tento účel je možné využiť senzor s analógovým výstupom, ktorý poskytuje niekoľko významných výhod. Analógový výstup umožňuje jednoduchšie a rýchlejšie monitorovanie meraných veličín a zároveň nevyžaduje použitie softvéru na spracovanie dát, čo predstavuje podstatný rozdiel oproti digitálnym systémom.

Z uvedeného dôvodu je pri meraní použité zariadenie typu *Larm LS501*, ktorého výstup má analógový charakter. Aby bolo možné s touto informáciou ďalej

pracovať v elektronickom systéme a vyhodnocovať ju pomocou riadiacej alebo meracej elektroniky, je nevyhnutné analógový signál konvertovať na digitálnu formu. Z tohto dôvodu je potrebné navrhnuť dosku plošných spojov, ktorá zabezpečí prevod meraného analógového signálu na digitálny výstup vhodný pre ďalšie spracovanie.

## 1 PROBLEMATIKA

Aktuálny merací systém využíva senzor *Larm LS501*, ktorého výstupom je analógový signál. Podľa technických parametrov senzora je jeho maximálne výstupné napätie pri napájaní zo zdroja [1] 42 V. V praktickej aplikácii sa však využíva len približne 40 % celého analógového rozsahu výstupu senzora, čo je spôsobené konštrukčným usporiadaním a geometriou brzdového mechanizmu, ktorý je so senzorom pevne

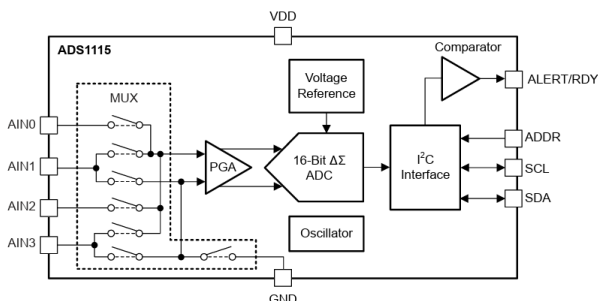
spojený. Na obr. 1 je zobrazený použitý snímač *Larm LS501*.



Obr. 1. Snímač *Larm LS501*

System meria posuv 400 mm a cieľom je dosiahnuť čo najvyššiu presnosť získaných údajov. Presnosť merania v prípade analógového snímača súvisí s parametrami použitého analógovo-digitálneho prevodníka (*ADC*), pričom rozlíšenie prevodníka priamo určuje počet dostupných inkrementov. V praxi sa používajú rôzne rozlíšenia *ADC*, napríklad 10-bit, 16-bit alebo 24-bit [2]. V tomto riešení je zvolené rozlíšenie 16 bitov, ktoré poskytuje celkový počet 32 767 hodnôt. Ide o šestnástu mocninu čísla dva mínus jedna, keďže jedna hodnota je vyhradená pre úroveň 0.

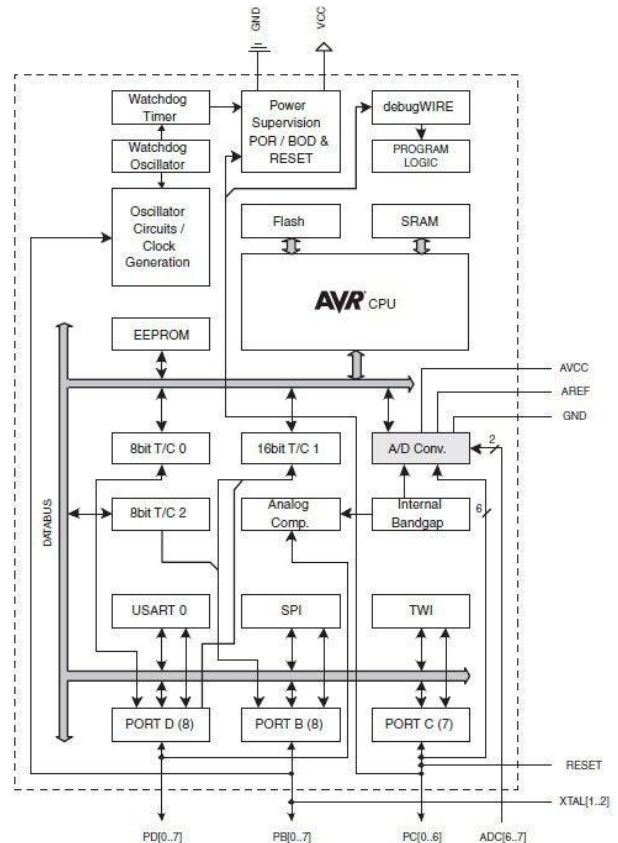
Ako vhodný *ADC* bol zvolený komponent *ADS1115*, ktorý je určený na meranie analógového signálu do 5 V [3]. Z tohto dôvodu je potrebné prispôbiť napájanie senzora tak, aby pracovné napätie neprekročilo 5 V. Bloková schéma zapojenia prevodníka *ADS1115* je znázornená na obr. 2.



Obr. 2. Bloková schéma *ADS1115*

Analógovo-digitálny prevodník nie je jediným prvkom systému. Súčasťou riešenia je aj procesor, v tomto prípade *ATmega328P*, ktorého výkonové

parametre sú dostatočné na dané použitie. Procesor podporuje komunikačný protokol *PC*, čo umožňuje jeho priame prepojenie s prevodníkom *ADS1115* a prenos meraných údajov bez potreby ďalších rozhraní. Alternatívnym riešením by bolo využitie výkonnejších mikrokontrolérov, napríklad z rady *STM32*. Na obr. 3 je znázornená schéma procesora *ATmega328P*.



Obr. 3. Bloková schéma *ATmega328p* [4]

## 2 VÝPOČET PRESNOSTI

### 2.1 Výpočet počtu inkrementov

Rozlíšenie *ADC* 16 bitov maximálny počet úrovní:

$$2^{16} - 1 = 32767. \quad (1)$$

Snímač však využíva len 40 % svojho rozsahu, preto počet využiteľných inkrementov:

$$32767 \cdot 0,40 = 13106,8 \approx 13107. \quad (2)$$

### 2.2 Výpočet dráhy

Celková meraná dráha je 400 mm, Hodnota 1 inkrementu:

$$n = \frac{400}{13106,8} = 0,03052 \text{ mm}. \quad (3)$$

To znamená, že posuv 400 mm je rozdelený na približne 13107 inkrementov a každý inkrement predstavuje 0,03 mm.

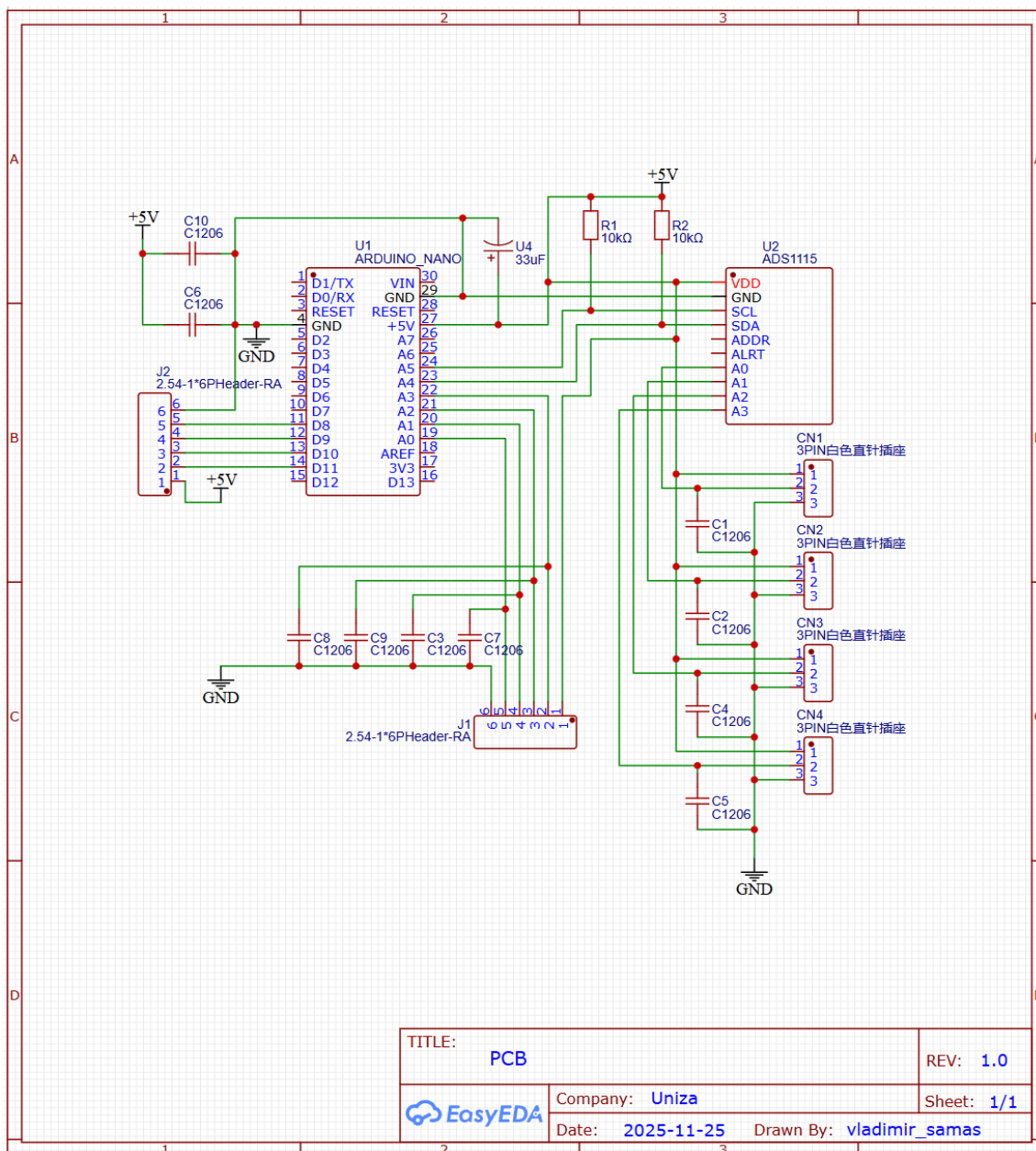
### 3 NÁVRH DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV

Doska plošných spojov využíva procesor *ATmega328P* vo forme modulu *Arduino Nano* [5]. Použitie externého procesora na samostatnej doske plošných spojov prináša viaceré výhody, medzi ktoré patrí jednoduchšia koncepcia návrhu, štandardizované pripojenie a najmä možnosť rýchlej výmeny procesorovej časti v prípade poruchy alebo potreby upgradu. Procesor *ATmega328P* je napájaný stabilizovaným napätím 5 V privádzaným priamo z *USB* konektora. Toto napätie je následne distribuované aj k senzoru a analógovo-digitálnemu prevodníku, ktorý pracuje na rovnakej úrovni napájania.

Rožmery dosky plošných spojov sú 90×45 mm. Ide o dvojvrstvovú *DPS* vyrábanú štandardnou technológiou s hrúbkou substrátu 1,6 mm. Systém je

navrhnutý tak, aby umožňoval meranie až štyroch analógových kanálov prostredníctvom konektorov *CN1* až *CN4*. Okrem toho je možné sledovať štyri ďalšie analógové signály priamo cez vstupné piny procesora *ATmega328P* v rozlíšení 10 bitov, konkrétne na vstupoch *A0* až *A3*.

Odpory *R1* a *R2* s hodnotou 10 kΩ slúžia ako pull-up rezistory pre komunikačný protokol *PC*, čím zabezpečujú správnu úroveň signálov na zbernici pri komunikácii medzi procesorom a prevodníkom *ADS1115*. *PC* je komunikačný protokol na prenos spracovaných údajov z lokálnych senzorov do jedného radiča. Komunikačný protokol *I2C* používa dve zbernice na pripojenie podriadených zariadení k zbernici, čo umožňuje hlavnému zariadeniu pingovať podriadené zariadenia podľa ich konkrétnej adresy [6].

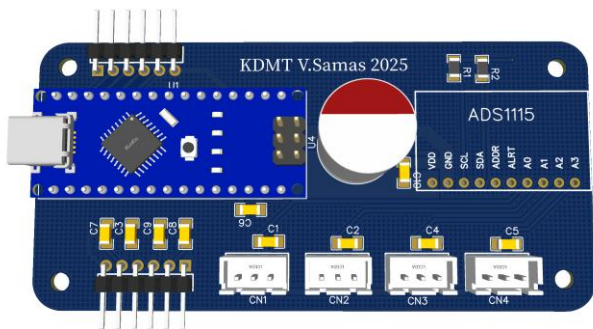


Obr. 4. 3D model dosky plošných spojov

V strede dosky plošných spojov je umiestnený hlavný elektrolytický kondenzátor, ktorý slúži na stabilizáciu napájania a elimináciu poklesov napätia pri dynamických zmenách odberu. Doska je navrhnutá tak, aby bol odpor medzi kondenzátorom a napájanými prvkami - procesorom *ATmega328P* a prevodníkom *ADS1115* - čo najnižší, čím sa zlepšuje filtrácia a znižuje rušenie.

Zemné prepojenie *DPS* je realizované formou mriežkovej medenej plochy, ktorá zabezpečuje kvalitné uzemnenie, znižuje parazitné impedancie a zároveň poskytuje lepšiu mechanickú fixáciu vodivých plôch k substrátu dosky. Na obr.4 je zobrazený 3D model navrhutej dosky plošných spojov.

Schéma dosky plošných spojov, na ktorej je znázornené zapojenie všetkých použitých komponentov vrátane procesora, prevodníka, napájacích vetiev a meracích vstupov, je uvedená na obr. 5. Schéma zobrazuje priradenie jednotlivých signálov k príslušným konektorom, prepojenie komunikačných liniek *PC*, napájacie rozvody a použitý filtrovací hardvér, ktoré spoločne tvoria funkčný elektronický celok meracieho systému.



Obr. 4. 3D model dosky plošných spojov

## ZÁVER

Navrhnutý merací systém predstavuje efektívne riešenie pre presné snímanie posuvu brzdového stavu pri testovaní brzdových obložení. Analógový senzor *Larm LS501* v kombinácii so 16-bitovým prevodníkom *ADS1115* umožňuje dosiahnuť vysoké rozlíšenie merania, ktoré pri využití meracieho rozsahu predstavuje približne 0,0305 mm na jeden inkrement. Takáto úroveň presnosti je dostatočná pre detailné vyhodnotenie dynamiky brzdového

mechanizmu počas skúšok. Použitie procesora *ATmega328P* vo forme modulu *Arduino Nano* prináša jednoduchú implementáciu, priaznivú cenu a možnosť rýchlej výmeny v prípade potreby.

Elektronická časť je realizovaná na dvojvrstvovej doske plošných spojov kompaktných rozmerov (90×45mm), ktorá integruje napájacie vetvy, filtre, komunikačné vstupy a štyri doplnkové analógové vstupy s 10-bitovým rozlíšením.

Výsledný systém je konštrukčne servisovateľný, ekonomicky výhodný a vhodný na ďalšie rozširovanie. Preukázalo sa, že predstavuje spoľahlivý základ pre presné meranie lineárneho posuvu v brzdovom zotrvačnickovom skúšobnom stave a môže byť ďalej využitý aj pri modernizácii.

## Pod'akovanie

*Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu KEGA 031ŽU-4/2023: Rozvoj kľúčových kompetencií absolventa študijného programu Vozidlá a motory.*

## LITERATÚRA

- [1] LARM (2015): *Lankový snímač LS501*. Dostupné na: [https://www.larm.cz/lankovy-snimac-ls501\\_files/](https://www.larm.cz/lankovy-snimac-ls501_files/)
- [2] ABOZEID, K. M. - ABOUDINA, M. M. - KHALIL, A. H. (2015): *8-bit 22nW SAR ADC using output offset cancellation technique*. In: 2015 11th International Computer Engineering Conference, (ICENCO), Cairo, pp. 76-79, <https://doi.org/10.1109/ICENCO.2015.7416328>.
- [3] LAPROVITTA, A. - PERETTI, G. - ROMERO, E. (2014): *Applying the analog configurability test approach in a wireless sensor network application*. In: Journal of Electrical and Computer Engineering, 3, <https://doi.org/10.1155/2014/309193>.
- [4] ULTRA LIBRARIAN (2025): *ATmega328p Pinout: Architecture and Application*. Dostupné na: <https://www.ultralibrarian.com/2023/03/16/atmega328p-pinout-architecture-and-application-ulc/>
- [5] ARDUINO UNO (2017): *Arduino*.
- [6] KALINSKY, D. - KALINSKY, R. (2001): Introduction to I2C. Embedded Syst Program, 14:1101–5.