

INTELLIGENT DIGITIZER WITH VOLTAGE ZOOMING FOR RESISTANCE STRAIN GAUGES

Inteligentní digitalizátor s napěťovou lupou pro odporové tenzometry

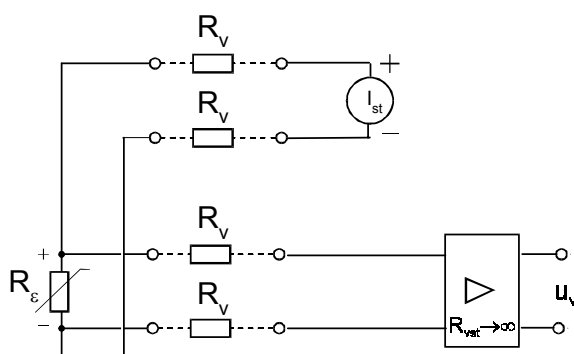
Zdeněk Nývlt

Abstract: The article describes the implementation of integrated circuit XEMICS XE88LC05 with zooming analog to digital converter for measurement with resistance strain gauges. The capability of the circuit to subtract the voltage offset corresponding to the strain gauge resistance for zero relative deformation is a valuable asset allowing to measure changes of resistance after proper amplification (zooming) without cumbersome and complicated bridge arrangement of measuring circuit usually used in this kind of experiments. Zooming ADC forms one part of microcontroller which can be used for adaptive measurement and further processing of measured data.

Keywords: strain gauges, zooming ADC, mechanical stress measurement

1. 0. Úvod

Měření rozložení mechanického napětí soustavou odporových tenzometrů nalepených na sledovaná místa objektu je častým úkolem při návrhu a testování konstrukcí. Z hlediska měřicí techniky jde o úkol měření malých relativních změn odporu odpovídajících deformaci tenzometru. Obvyklou měřicí metodou je přímé měření odporu Ohmovou metodou tj. z podílu spádu napětí a proudu tenzometrem. K vyloučení vlivu odporu přívodů se používá známé připojení tenzometru k měřicímu obvodu dvojicí vodičů přivádějících měřicí proud z dokonalého zdroje proudu I_{st} a další dvojicí sloužící k měření spádu napětí obvodem (voltmetrem, zesilovačem) s velkým vstupním odporem (obr.1). Nevýhodou tohoto čtyřvodičového uspořádání je existence na měřené deformaci nezávislého stálého spádu napětí odpovídající odporu tenzometru při nulové deformaci. Jelikož se zpravidla vyžaduje, aby bylo možné měřit relativní deformace řádově několik μstrain (1ppm), je při hodnotách součinitele deformační citlivosti tenzometrů řádově jednotky nutné měřit napětí nákladným zařízením s velkou rozlišovací schopností.



Obr.1 Čtyřvodičové zapojení pro měření odporu Ohmovou metodou

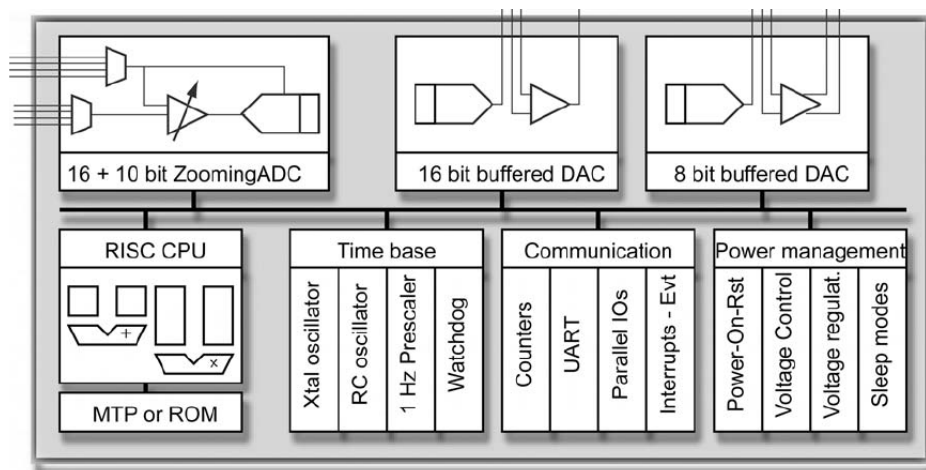
Vyloučení stálé složky napětí odečtením vyžaduje zdroj napětí, jehož stabilita musí být lepší než odpovídá měřeným minimálním změnám deformace. Jinou možností, využívanou právě u můstkových obvodů, je odvození odečítaného napětí ze zdroje sloužícího pro napájení měřeného odporu přesným odporovým děličem. Této možnosti je v zásadě využíváno v nových typech měřicích obvodů s tím rozdílem, že místo náročného proměnného odporového děliče se pro generaci vhodné hodnoty odečítaného napětí použije programově řízeného číslicově analogového převodníku. Požadované stálosti odečítacího napětí se dosahuje použitím stejného referenčního napětí jak pro převodník Č/A tak i pro převodník hodnoty rozdílu napětí úměrného měřené deformaci a stálé složky do číslicového tvaru.

Tyto základní vlastnosti a navíc další možnosti odvozeného od mikroprocesorového řízení má integrovaný obvod pro sběr dat s převodníkem analogově číslicovým využívajícím principu „napěťové lupy“ dodávaný společností XEMICS.

2.0 Architektura obvodu

Integrovaný obvod XE88LC05 je mikropočítač (mikrokontrolér) s architekturou RISC, paměť programu typu FLASH (nebo ROM), spojený s univerzálním analogově – číslicovým (ADC) a číslicově-analogovým (DAC) převodníkem. Centrální procesorová jednotka (CPU) používá Harvardskou architekturu tj. paměť je rozdělena do dvou oddělených částí: *programové* a *datové*. Pro styk s okolím jsou k dispozici celkem tři brány (porty A,B,C) mapované v paměti. Součástí mikropočítače jsou také čtyři 8 -mi bitové čítače se záchytným registrem, možností pracovat v režimu impulsně šířkové modulace (PWM).

Obvod (obr.2) obsahuje dále části pro předzpracování a digitalizaci signálu používající převodník A/Č s napěťovou lupou a rozlišovací schopností až 16 bitů, dále 16-ti a 8-mi bitový převodník Č/A, obvody časové základny generující řídicí impulsy, blok komunikace s okolím zahrnující již zmíněné čítače, komunikační obvod UART (rychlost přenosu až 115 kbaudů) a blok obvodů pro řízení výkonu a odběru z napájecího zdroje. Při frekvenci hodin 32 kHz je odběr CPU asi 10 μ A a při CPU ve stavu HALT je odběr A/Č převodníku asi 190 μ A .



Obr. 2. Základní struktura obvodu

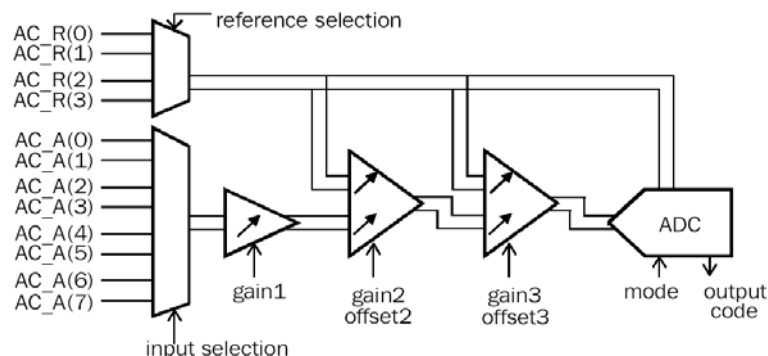
2.1. Blok zpracování analogového signálu

Rozdílový vstupní signál je zesilován zesilovači s programem řízeným zesílením, posuvem základní úrovně (offsetem), vzorkován s frekvencí nastavenou programem, převáděn do číslicového tvaru analogově – číslicovým převodníkem typu Δ - Σ s možností volby rozlišovací schopnosti a doby převodu v širokých instrukcích z mikropočítače.

Vstupní signál je vybírán z jednoho ze čtyřech diferenciálních párů signálů nebo sedem jednoduchých signálů vztahených k referenční svorce A0. Signál je zesílen prvním zesilovačem se zesílením v rozmezí 1 až 10 volitelným programem. Mikropočítačem lze vybrat jedno ze dvou referenčních napětí, upravit jeho hodnotu (řídicí signál *offset2*), odečíst od zesíleného signálu a rozdíl zesílit opět 1 až 10 –krát (řídicí signál *gain 2*). Obdobně je signál upraven ve třetím stupni úpravou posouvacího

napětí (*offset3*) a zesílením rozdílu (*gain3*) s tím, že je možné případně použít druhého referenčního napětí.

Převodník A/Č může pracovat průběžně (konec převodu je signalizován přerušením), nebo být spouštěn na příkaz.



Obr. 3. Zpracování signálu převodníkem A/Č s napěťovou lupou.

Výstupní signál třetího stupně je převeden do číslicového tvaru se šíří výstupního slova až 16 bitů. Ke stálosti převodu přispívá skutečnost, že pro funkci A/Č je použito stejného referenčního napětí.

Pro 16-bitové výstupní slovo převodníku A/Č vyjádřené v binárním kódu D platí

$$D = \sum_{k=0}^{k=B} b_k 2^{-k} = \frac{u_{inADC}}{U_R} + e(n) \quad (1)$$

kde $e(n)$ je relativní hodnota kvantizační chyby převodu pro kterou platí nerovnost

$$-\frac{1}{2} \frac{U_R}{2^B} < e(n) \leq \frac{1}{2} \frac{U_R}{2^B} \quad (2)$$

Vstupní signál převodníku lze vyjádřit ve tvaru

$$u_{inADC} = (u_x G_1 G_2 + U_R G_{02}) G_3 + U_R G_{03} = u_x G_1 G_2 G_3 + U_R (G_{02} G_3 + G_{03}) \quad (3)$$

Pokud použijeme referenčního napětí U_R také pro obvod měřící odpor tenzometru (např. jako vztažné hodnoty v obvodu proudového zdroje I_{st}) je napětí u_x úměrné U_R a jak plyne z rovnice (1) je vliv jeho kolísání na výstupní údaj potlačen.

Celkové zesílení vstupního napětí $G_1 G_2 G_3$ lze volit po krocích, odpovídajících přibližně 10 bitovému binárnímu kódu v rozmezí 0,5 až 1000. Přesnost nastavení zesílení odpovídá hodnotě +/- 5%.

2.2. Struktura ADC

Převodník A/Č je realizovaný kaskádou dvou sigma delta modulátorů prvního řádu a odpovídá architektuře označované jako MASH (Mutli stAge noise Shaper). Signál po prvním převodu je zpětně převeden do analogového tvaru, odečten od původního vstupního signálu a rozdíl (kvantovací chyba po prvním převodu) převeden v druhém opět do číslicového tvaru. Blok převodníku obsahuje veškeré řídicí logické obvody a digitální hřebenový filtr druhého řádu s decimací pro převod sériového výstupního signálu převodníku na paralelní binární kód se šíří výstupního slova 16 bitů.

Převodník pracuje v módech sigma delta a přírůstkovém.

Sigma delta mód: Jedná se o časově kvaziprůběžný převod. Převodník téměř průběžně vzorkuje a průměruje vstupní signál. Bitový řetězec ze sigma delta modulátoru je filtrován zmíněným číslicovým filtrem s decimacním koeficientem OSR, odpovídající hodnotě převzorkování signálu (tj. poměru skutečné vzorkovací frekvence a frekvence stanovené na základě vzorkovacího teorému).

Frekvence vzorků na výstupu převodníků je dána vztahem $f_{out} = f_{mod}/OSR$ [Hz]. Teoretické rozlišení je dáno počtem bitů B_{id} určeným ze vztahu

$$B_{id} = 2 * \log_2(OSR) - 2 \quad [\text{bit}]. \quad (4)$$

V sigma delta modu jsou dále možné dva režimy činnosti: převod *průběžný* (obvykle užívaný) a převod *jednorázový* provedený na příkaz k převodu.

Přírůstkový mód: Tento mód je typicky používán pro převod na žádost. Po žádosti o převod je vykonána inicializační sekvence. Potom je vykonán definovaný algoritmus, jehož výsledkem je výstupní kód. Převodník je dále nečinný až do další žádosti. Při průběžném převodu je interní žádost převodu generována po ukončení každého převodu. V tomto případě je výstup obnovován v pravidelně s frekvencí odpovídající $1/T_{conv}$.

Celý převodní cyklus je tvořen základními převody (elementárními cykly) o počtu N_{elconv} . Každý elementární cyklus tvoří cykly modulátoru o periodě T_{mod} jejichž počet je dán hodnotou OSR (převzorkování). Během elementárního cyklu se převodník chová jako sigma delta modulátor. Při elementární cyklu se na výstupu převodníku uplatní posuv nulové úrovně (offset) Proto se v tomto módu vykonávají dva dílčí elementární cykly s komutací polaritý převáděného signálu takže celkový offset převodníku potlačen. Každý cyklus začíná nulováním, včetně integrátorů v kterých je uložen zapamatován výsledek předchozího převodu.

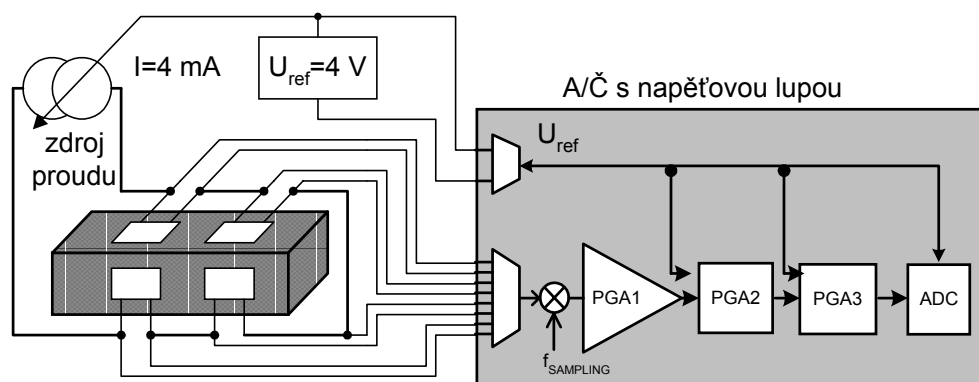
K zjištění hodnoty zbytkové chyby po elementárním převodu jsou přidány periody T_{mod} o počtu N_{algo} Pro výsledné rozlišení vyjádřené počtem bitů platí

$$B_{out} = 2\log_2(OSR) + \log_2(N_{elconv}) + N_{algo} - 1 \quad [\text{bit}]. \quad (5)$$

3. 0 Příklad aplikace obvodu

Čtyřvodičové uspořádání měřicího obvodu na obr. 4 je určeno k měření napětí vyvolaného spádem měřicího proudu na soustavě sériově zapojených čtyř odporových tenzometrů. Pro parametry běžně používaných tenzometrů tj. počáteční odpor $R = 100 \Omega$, součinitel deformační citlivosti $K = 2$ dochází při maximální relativní deformaci $\varepsilon = 1\%$ ke změně odporu $\Delta R = 2 \Omega$. Měřicí proud volíme tak, aby maximální hodnotu výstupního napětí PGA1 byla menší než napájecí napětí $U_N = 5 \text{ V}$, v sledovaném případě volíme $I = 4 \text{ mA}$. Pak $\varepsilon = 1\%$ odpovídá změna napětí $\Delta U = 8 \text{ mV}$. Zesílení ve stupni PGA1 má být co největší, tj. rovno 10, ve stupni PGA2 je odečteno napětí odpovídající nulové deformaci $U_0 = 10 \cdot 100 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 4 \text{ V}$. Rozdíl ΔU za PGA1 je roven 80 mV a ve stupních PGA2 a PGA3 je zesílen 50 krát, vstupní napětí převodníku A/Č je pak 4 V . Rozlišení převodníku může být nastaveno na hodnotu odpovídající 16-ti bitům, tj. při referenčním napětí převodníku $U_{ref} = 4 \text{ V}$ kvantum (1 LSB) odpovídá napětí $q = 4 \cdot 2^{-16} \text{ V} = 30 \mu\text{V}$.

Při daném měřicím proudu I a součiniteli K je obvod schopen rozlišit hodnoty $\pm q/2 = \pm 15 \mu\text{V}$ odpovídající $\varepsilon = \pm (8/15) \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} = \pm 5,3 \mu\text{strain}$. Obvodem lze přitom sledovat změny časové změny deformace odpovídající vzorkovacímu kmitočtu asi 500 Hz .



Obr.4 Příklad použití integrovaného obvodu XE88LC05 pro měření mechanického napětí objektu čtyřmi odporovými tenzometry.

4. 0 Literatura

- [1] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT, 1996.
- [2] Hoffmann, Karl.: An Introduction to Measurements using Strain Gages, Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstsd, 1989
- [3] Miguel, L.: Using the Zooming ADC, Technical Note TN8000.05, www.xemics.com

Tento příspěvek vznikl v rámci činnosti na výzkumném záměru Elektrotechnické fakulty ČVUT VZ15 „Nové metody měření fyzikálních veličin“.