

Měření na D/A a A/D převodnicích

1. Zadání

A. Na D/A převodníku realizovaném pomocí MDAC 08:

- Změřte závislost výstupního napětí převodníku v rozsahu 0 až 10 V na zvolené vstupní kombinaci sousedních kódových slov. Měření proveďte alespoň v 16 bodech celého rozsahu, rovnoměrně pro tři souvislé oblasti minima, středu a maxima.
- Z naměřených hodnot určete chybu nuly ε_0 , chybu měřítka ε_m a integrální nelinearitu I_{NL} v % jmenovitého rozsahu U_r převodníku.
- Změřte dobu ustálení výstupního napětí převodníku v unipolárním režimu při buzení vstupu a_1 (MSB) obdélníkovým signálem TTL o kmitočtu 100 kHz při ostatních vstupech a_2 až a_8 na úrovni L. Přepínač a_1 je v poloze H. Vstupy bitů jsou interně připojeny přes rezistory 2k2 k napětí + 5 V.

B. Na A/D převodníku (např. WSH 570):

- Změřte rozhodovací úrovně vstupního napětí U_{in} při nichž dochází ke změnám výstupních sousedních kódových slov na rozsahu 0 až 10 V. Měření proveďte alespoň v 16 bodech celého rozsahu, rovnoměrně pro tři souvislé oblasti minima, středu a maxima.
- Z naměřených hodnot určete chybu nuly ε_0 , chybu měřítka ε_m a integrální nelinearitu I_{NL} v jednotkách ideální kvantizační úrovně (kvanta) $2^{-n} \cdot U_r$, porovnáním s teoretickou hodnotou rozhodovací úrovně.
- Pomocí osciloskopu ověřte činnost A/D převodníku s postupnou aproximací. Časové průběhy překreslete v odpovídajícím měřítku.
- Pomocí osciloskopu zobrazte průběh napětí na výstupu integrátoru integračního A/D převodníku a změřte závislost doby nulování, prvního a druhého integračního taktu a doby převodu na velikosti vstupního napětí pro tři různé hodnoty tohoto napětí. Zdůvodněte průběhy naměřených závislostí.

2. Popis měřeného předmětu

Zde se vypíše důležité katalogové údaje převodníku MDAC 08

3. Teoretický rozbor

a) vlastností měřeného předmětu

Digitálně-analogové převodníky

Digitálně-analogové převodníky (D/A převodníky) jsou určeny k převodu číslicového signálu na napětí nebo proud. Podle toho rozdělujeme D/A převodníky na převodníky s proudovým a napěťovým výstupem.

D/A převodníky převádějí číslicový signál D na proud nebo napětí podle vztahů:

$$I_a = D \cdot I_r \qquad U_a = D \cdot U_r$$

kde I_r , U_r jsou referenční proud a napětí určující rozsah výstupní veličiny.

Hodnota číslicového signálu D se vyjadřuje ve dvojkovém nebo dvojkově desítkovém (BCD) kódu.

Ve dvojkovém kódu:

$$D_B = \sum_{i=1}^n a_i \cdot 2^{-i}$$

n je počet bitů dvojkového čísla

Bit a_1 s nejvyšší vahou $1/2$ se označuje MSB, bit a_n s nejnižší vahou 2^{-n} se označuje LSB.

Při takto zavedené definici je maximální hodnota číslicového signálu $D_{\max} = 1 - 2^{-n}$ a proto maximální hodnota výstupní veličiny je vždy o 1 LSB menší, než je rozsah převodníku. Veličina $2^{-n} \cdot U_r$ resp $2^{-n} \cdot I_r$ se nazývá kvantum referenčního napětí nebo proudu a určuje rozlišitelnost převodníku.

Ve dvojkově desítkovém kódu:

$$D_{BCD} = 10^{-m} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^4 a_{ij} \cdot 2^{i-1} \cdot 10^{j-1}$$

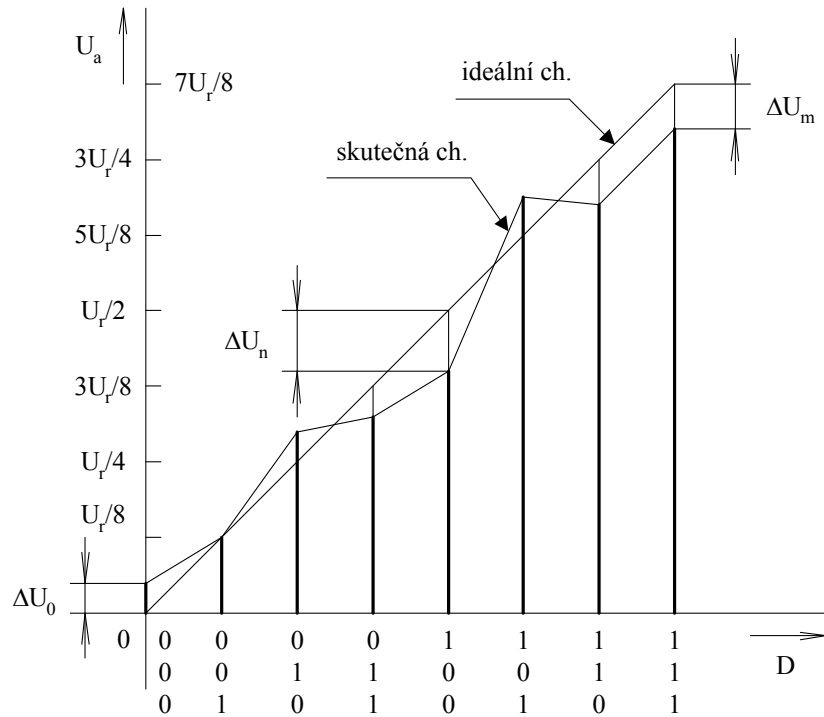
m je počet dekád

a_{ij} jsou bity dekády s nejnižší vahou 10^{-1} MSD

a_{mj} jsou bity dekády s nejnižší vahou 10^{-m} LSD

Je-li referenční napětí konstantní jedná se o klasické převodníky DAC. Při proměnném referenčním napětí se jedná o násobící převodníky MDAC, které realizují násobení časově proměnného referenčního spojitého a vstupního číslicového signálu.

Statické vlastnosti D/A převodníků jsou určeny převodní charakteristikou, která je obvykle lineární (obr. 1).



Obr. 1

Z převodní charakteristiky lze určit:

Chybu nuly (posunu) ε_0

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta U_0}{U_r}$$

Chybu měřítka (zesílení) ε_m

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta U_m - \Delta U_0}{U_r}$$

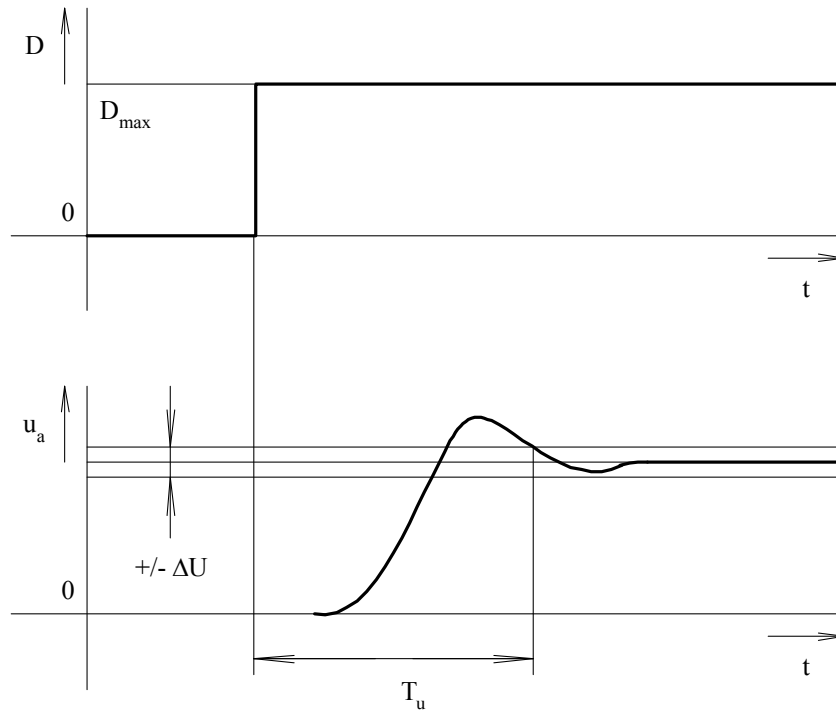
Integrovaná nelinearita I_{NL} jako maximální odchylku výstupního napětí skutečného převodníku od ideální hodnoty v celém rozsahu převodníku

$$I_{NL} = \frac{\max \Delta U_n}{U_r}$$

Všechny tyto chyby se vyjadřují buď v % jmenovitého rozsahu U_r převodníku, nebo v jednotkách ideální kvantizační úrovně (kvanta) $q = 2^{-n} \cdot U_r$.

Dynamické vlastnosti D/A převodníků jsou charakterizovány dobou ustálení T_u (obr. 2), potřebnou k ustálení výstupního signálu na jmenovitou hodnotu se zadanou chybou ΔU (obvykle ± 0.5 LSB).

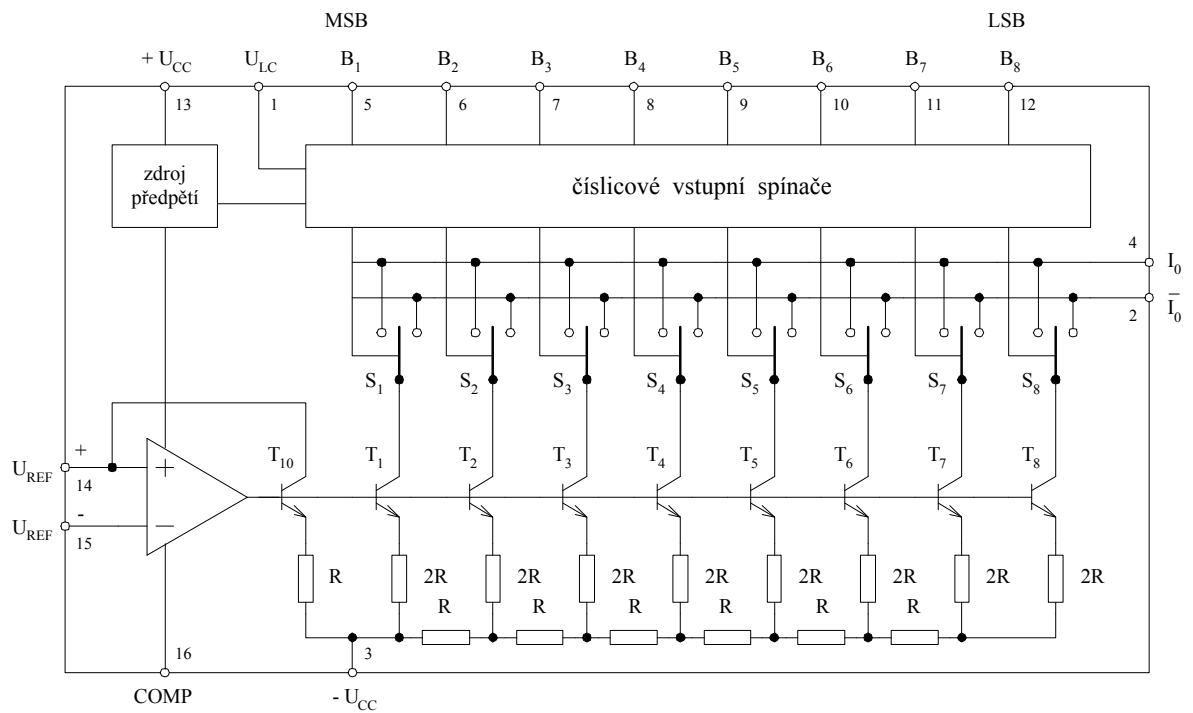
U násobících D/A převodníků se navíc určuje kmitočtový rozsah referenčního napětí kmitočtem f_m , při kterém poklesne výstupní napětí převodníku o 3 dB oproti ss napětí při maximální hodnotě číslicového signálu.



Obr. 2

D/A převodník MDAC 08

D/A převodník MDAC 08 je velmi rychlý násobící D/A převodník s rozlišením 8 bitů, pracující na principu spínaných proudových zdrojů.



Obr. 3

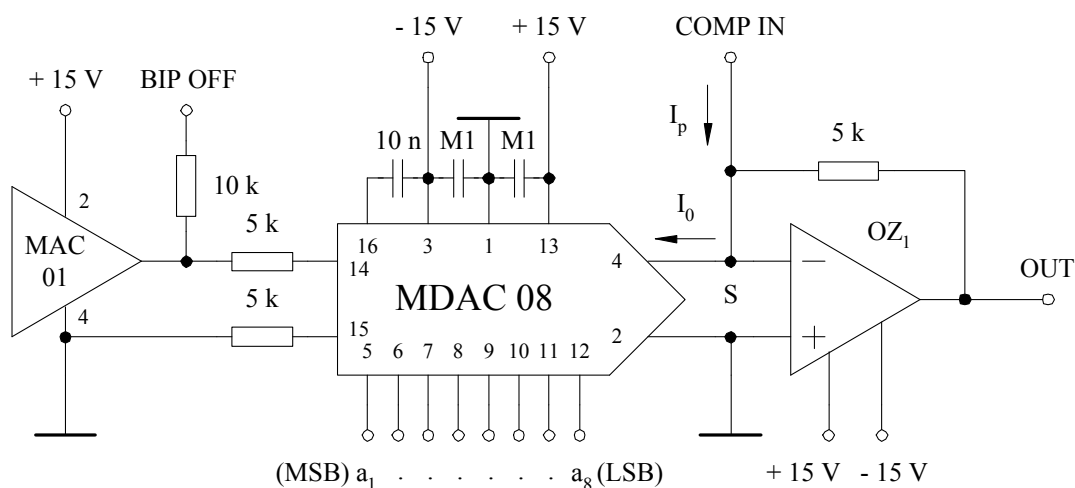
Vstup převodníku je proudový, proudový výstup je řešen jako komplementární. IO v sobě slučuje proudové spínače, váhové odpory a řídicí zesilovač. Analogová reference, přesné vnější odpory, korekční kondenzátor a výstupní zesilovač se připojují vně převodníku.

Převodník MDAC 08 generuje váhové proudy do komplementárních proudových sběrnic I_0 a \bar{I}_0 prostřednictvím spínaných proudových zdrojů s tranzistory T_1 až T_8 a odporovou sítí R-2R viz obr. 3. Při úrovni H na číslicových vstupech B_1 až B_8 připojí spínače S_1 až S_8 příslušné váhové proudy na výstup I_0 a při úrovni L na výstup \bar{I}_0 . Nezávislost váhových proudů na teplotních změnách zajišťuje referenční zdroj proudu s tranzistorem T_{10} a zesilovačem Z, ke kterému se připojuje referenční proud o jmenovité hodnotě 2 mA. Kondenzátor s kapacitou 10 nF připojený mezi vývody 3 a 16 slouží ke kmitočtové kompenzaci zesilovače Z. Číslicové vstupy B_1 až B_8 řídí spínače S_1 až S_8 prostřednictvím převodníku úrovní, přičemž svorkou U_{LC} (LR) lze volit slučitelnost převodníku s obvodou TTL, DTL, CMOS atd.

Vstupní referenční proud I_{REF} je odvozen pomocí vnějšího přesného odporu R_{REF} ze zdroje referenčního napětí U_{REF} . Souběh referenčního proudu a plného výstupního proudu I_{FS} je zachován v rozpětí dvou dekád proměnné unipolární reference a umožňuje použít IO též jako násobící převodník.

Výstupní proudy I_0 , \bar{I}_0 z vysokoimpedančních výstupů se mohou využívat přímo nebo pomocí vnějších odporů, popřípadě pomocí OZ, se mohou převést na napětí.

Převodník pracuje se vstupním přímým binárním kódem při využití přímého proudového výstupu I_0 nebo se vstupním komplementárním binárním kódem, využije-li se doplňkový proudový výstup \bar{I}_0 . Rozhodovací úroveň číslicových vstupů lze z vnějšku nastavit na potřebnou hodnotu. Proto lze k řízení převodníku MDAC 08 použít všechny běžně používané řady log. obvodů.



Obr. 4

Zapojení přípravku D/A převodníku využitého při měření je na obr. 4. Obsahuje kromě vlastního D/A převodníku MDAC 08 zdroj referenčního napětí MAC 01 se jmenovitým referenčním napětím +10 V a invertor se zesilovačem MAC 155, pracujícím ve funkci převodníku proudu na napětí pro realizaci napěťového výstupu převodníku.

Funkce přípravku je následující: Napětí +10 V z MAC 01 je pomocí odporu 5 kΩ převedeno na proud $I_r = 2$ mA, který je přiveden do kladného referenčního vstupu

MDAC 08, kde je vynásoben nastavenou hodnotou číslicového signálu, zadanou pomocí osmi dvupolohových přepínačů. Poté se proud max $-2 \cdot (1 - 2^{-8})$ mA objeví na výstupu I_0 a v invertujícím převodníku proud-napětí s MAC 155 se převede na odpovídající napětí. Zpětnovazební rezistor zesilovače

5 k Ω určuje rozsah výstupního napětí 0 až 10 V (unipolární režim). Jsou-li svorky BIP OFF a COMP IN propojeny, pak do sčítacího bodu S je přiveden proud $I_p = I_r/2$ tj. 1 mA ($I_p = 10 \text{ V}/10 \text{ k}\Omega$) opačného směru než I_0 , který způsobí trvalý posun výstupní napěťové úrovně převodníku o - 5 V, takže rozsah převodníku bude $\pm 5 \text{ V}$ (bipolární režim) a hodnota výstupního napětí je určena dvojkovým kódem s posunutím (MSB určuje polaritu výstupního napětí).

Analogově-digitální převodníky

Analogově číslicové převodníky (A/D převodníky) jsou určeny k převodu napětí nebo proudu na číslicový signál D, jehož hodnota se obvykle vyjadřuje váhovým dvojkovým kódem

$$D = \frac{U_a}{U_r} \pm 2^{-n}$$

přičemž člen $\pm 2^{-n}$ vyjadřuje kvantovací chybu převodníku způsobenou jeho rozlišitelností a nazývá se kvant nebo digit (q).

V předchozím vztahu:

$$D = \sum_{i=1}^n a_i 2^{-i}$$

kde n je počet bitů dvojkového signálu

U_r je rozsah A/D převodníku

a_1 je bit s nejvyšší vahou 2^{-1} (MSB)

a_n je bit s nejnižší vahou 2^{-n} (LSB)

Při převodu časově proměnného signálu - napětí $u_a(t)$ dochází v každém A/D převodníku k časové diskretizaci (**vzorkování**), amplitudové diskretizaci (**kvantování**) a k vyjádření hodnoty signálu dvojkovým kódem (**kódování**).

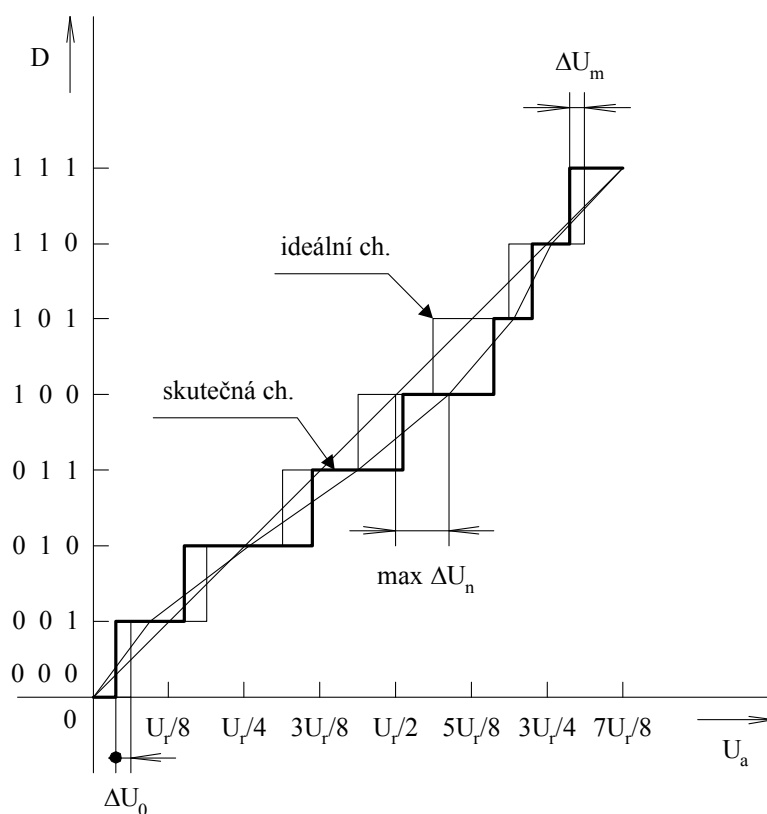
Signál po vzorkování je tvořen impulzy, jejichž amplituda je rovna hodnotě signálu před vzorkováním v okamžiku příchodu vzorkovacího impulsu. Je-li kmitočtové spektrum původního signálu omezeno úhlovým kmitočtem ω_m , je nutno pro nezkrácený přenos signálu volit vzorkovací úhlový kmitočet ω_v minimálně dvakrát vyšší než je hodnota ω_m :

$$\omega_v \geq 2 \cdot \omega_m$$

V tomto případě je splněn Shannon - Kotělnikovův vzorkovací teorém a nedochází k překrývání kmitočtových spekter původního signálu a signálu po vzorkování. Proto se v praxi zařazuje před A/D převodník dolní propust a vzorkovací úhlový kmitočet se volí několikanásobně vyšší, než je mezní úhlový kmitočet propusti.

Při kvantování vzorků signálu dochází z důvodu konečné rozlišitelnosti A/D převodníku k nejednoznačnosti určení hodnoty vzorku, tzv. kvantovací chybě (viz převodní charakteristika). Její velikost se u ideálního A/D převodníku pohybuje v rozsahu $\pm 1/2 \cdot 2^{-n} \cdot U_r = \pm 2^{-(n+1)} \cdot U_r$, tedy $\pm 1/2 \cdot q$.

Statické vlastnosti A/D převodníků jsou určeny převodní charakteristikou, která je obvykle lineární (obr. 5)



Obr. 5

Z převodní charakteristiky lze určit:

Chybu nuly (posunu) ε_0

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta U_0}{U_r}$$

Chybu měřítka (zesílení) ε_m

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta U_m - \Delta U_0}{U_r}$$

Integrální nelinearitu I_{NL} jako maximální odchylku středů kvantizačních úrovní skutečného a ideálního A/D převodníku

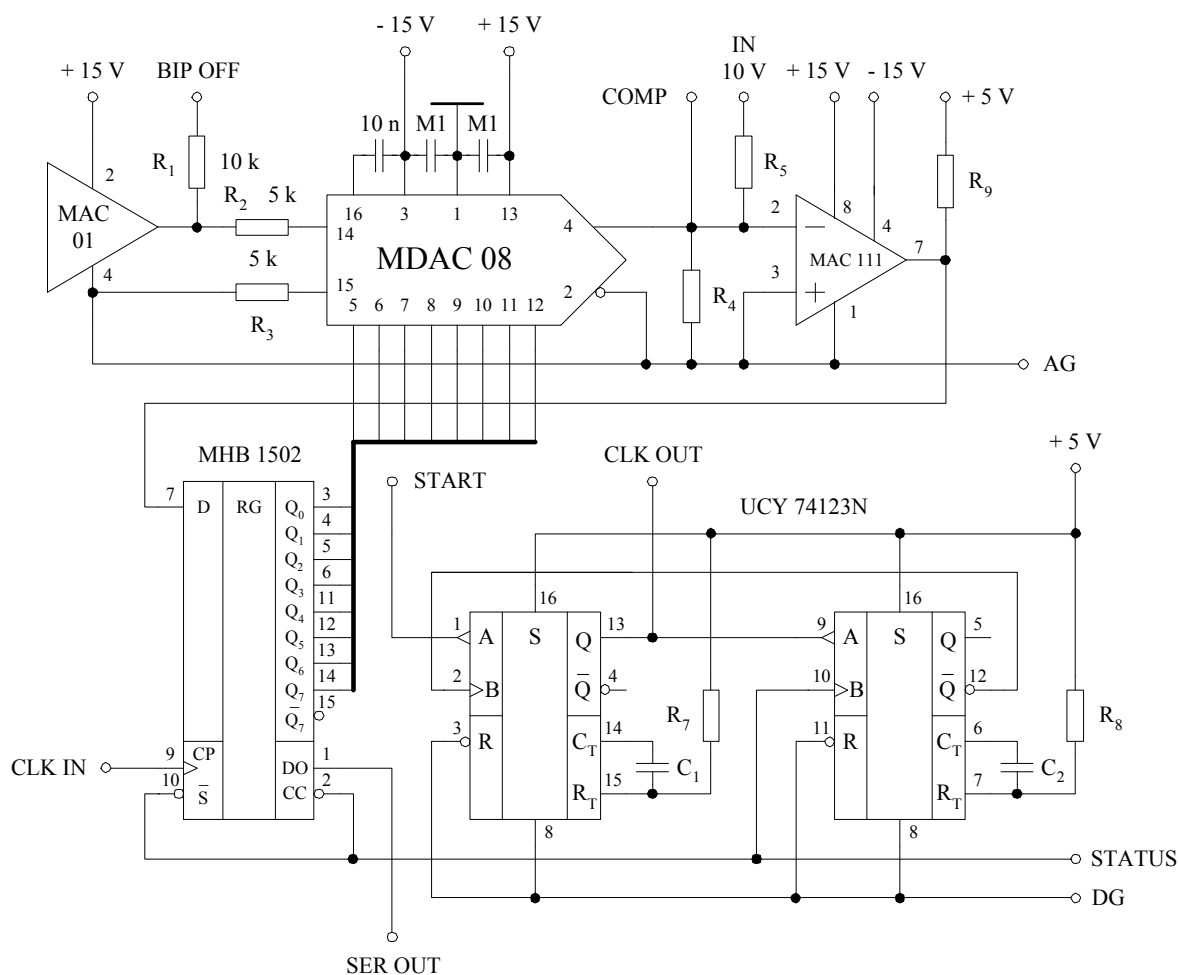
$$I_{NL} = \frac{\max \Delta U_n}{U_r}$$

Všechny tyto chyby se vyjadřují buď v % jmenovitého rozsahu převodníku U_r nebo v jednotkách ideální kvantizační úrovně (kvanta) $2^{-n} \cdot U_r$.

Aproximační A/D převodník

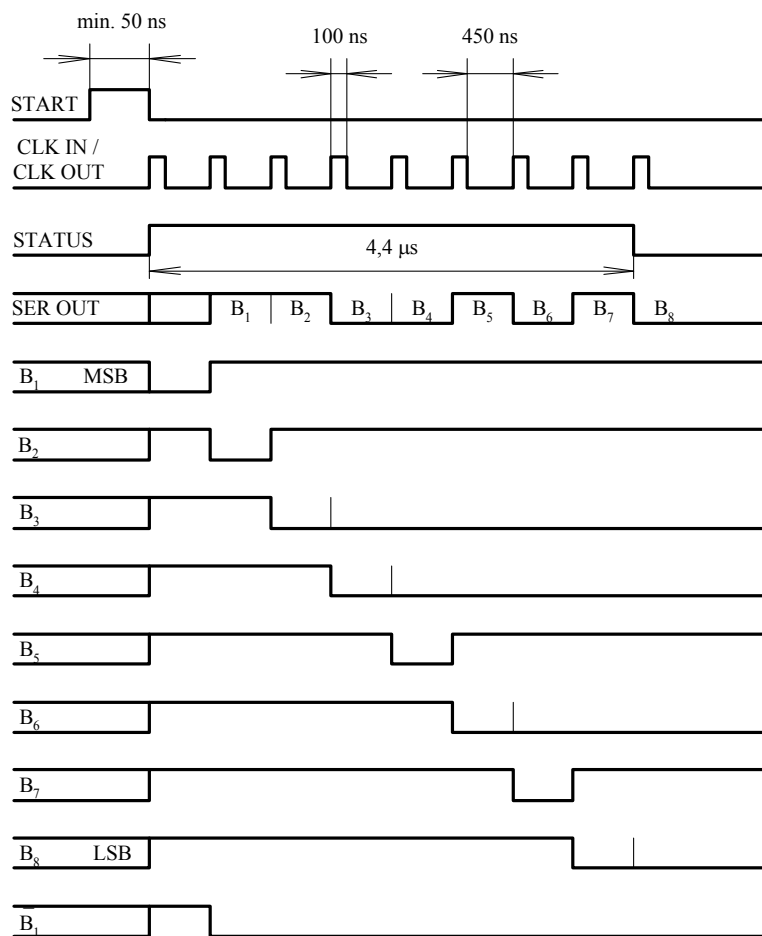
Přípravek aproximačního A/D převodníku (obr.6) je osmibitový a skládá se ze zdroje referenčního napětí MAC 01, D/A převodníku MDAC 08, aproximačního registru MHB 1502, komparátoru MAC 111 a generátoru hodinových impulzů s dvojitým monostabilním klopným obvodem UCY 74123N.

Převodník kóduje vstupní napětí postupnou aproximací připínáním váhových proudů z D/A převodníků na vstup komparátoru, který vyhodnocuje polaritu rozdílu součtu váhových proudů a vstupního proudu, odvozeného odporem R_5 ze vstupního napětí U_{IN} . Převod se spouští sestupnou hranou startovacího signálu START, po jejímž příchodu se spustí generátor hodinových impulzů, který vyše při propojení svorek CLK OUT a CLK IN 9 impulzů.



Obr. 6

Při každém impulzu se postupně připínají váhové proudy D/A převodníku a stav komparátoru rozhoduje, zda jednotlivé váhové proudy jsou přechodně nebo trvale připojeny ke vstupu komparátoru. Na výstupu SER OUT se s zpožděním jednoho hodinového impulzu objevuje výstupní kódové slovo v sériovém tvaru, začínající bitem B_1 s nejvyšší vahou. S náběžnou hranou devátého hodinového impulzu přejde signál STATUS z úrovně H do klidové úrovně L. Platné kódové slovo v paralelním stavu je na výstupu převodníku až do příchodu následujícího startovacího signálu. Doba převodu je max. 5 μ s. Časový diagram činnosti převodníku je na obr. 7. Při nepropojení svorek BIP OFF a COMP je rozsah vstupního napětí převodníku 0 až + 10 V a hodnota vstupního napětí je vyjádřena v přímém dvojkovém kódu (CSB). Při propojení svorek BIP OFF a COMP je napěťový rozsah posunut o polovinu své hodnoty do rozsahu - 5V až + 5 V a vstupní napětí je vyjádřeno v posunutém dvojkovém kódu (COB).



Obr. 7

Integrační A/D převodník s dvojí integrací

Vlastnosti tohoto typu A/D převodníku jsou popsány v návodu k úloze „Základní vlastnosti číslicového voltmetru s měřicím usměrňovačem.“