

Микропроцесорски системи

5. блок: Аналогни улази и излази

др Срђан Митровић, дипл. инж.

зимски семестар, 2016./2017. год.

Садржај:

- 1 **Увод**
- 2 **D/A конверзија**
 - Digital/Analog Conversion
 - PWM and RC filter
 - binary-weighted resistors
 - *R-2R resistor ladder*
- 3 **Аналогни компаратор**
 - Analog Comparator
- 4 **A/D конверзија**
 - Analog/Digital Conversion
 - Conversion Techniques
 - Flash Converter
 - Tracking Converter
 - Successive Approximation Converter
 - Conversion Errors
 - Usage
 - Differential/Bipolar Conversion

A/D, D/A, намена

- микроконтролер обрађује дигиталне информације
- “спољашњи свет” је најчешће аналоган:
 - фототранзистор
 - потенциометар
 - селсин !?
 - ...
- не поседују сви контролери A/D, D/A (цена)



D/A конверзија

Чему служи? Шта подразумева?

- Разматрамо једнодимензионалне сигнале.
- Не разматрамо слику!

Дигитални сигнал представљен са r бита $B = (b_{r-1} \dots b_0)_2$, где је $r \geq 1$, који се налази у опсегу $[0, 2^r - 1]$, желимо да конвертујемо у аналогну вредност V_0 .

Микроконтролери у општем случају имају мале или немају никакве могућности генерисања аналогних излаза^a.

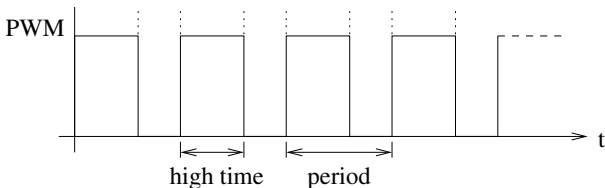
^a чита се *немају*, али ...

Уколико апликација зајтева употребу D/A конвертора, најчешће се проблем мора решавати ван микроконтролера^a.

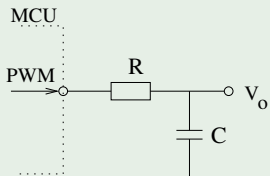
^a кључна реч *најчешће*

Аналогни излаз без D/A конвертора

- употребом само једног пина и једног бита
- користећи PWM (*Pulse-Width Modulation*)
- однос сигнал пауза је пропорционалан дигиталној вредности B

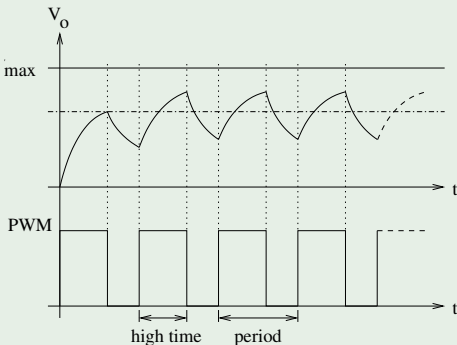


Импулсно ширинска модулација

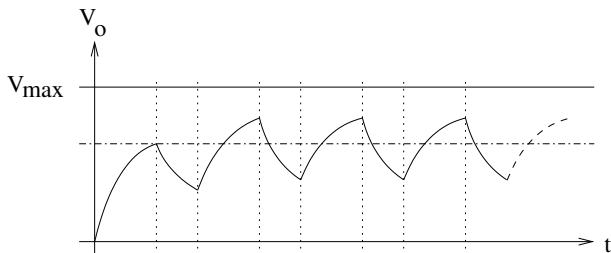


RC филтер

Изразни сигнал



Карактеристике PWM као A/D конвертора

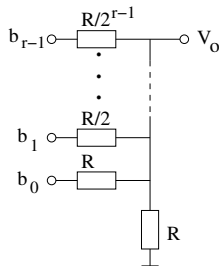


- осцилације зависе од избора R и C , као и од периоде PWM.
- велики R и $C \rightarrow \begin{cases} \text{мање осцилације} \\ \text{дуже време стабилизације} \end{cases}$
- потребан је прецизан тајмер за генерисање PWM сигнала.
- користи се само један пин контролера

Бинарни низ отпорника

- r битни дигитални улаз
- потребни прецизни отпорници
- **тешко остварљив у пракси**

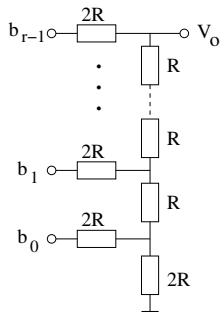
$$V_o = V_{ref} \sum_{i=1}^r \frac{1}{2^i} b_{r-i}$$



Модификација

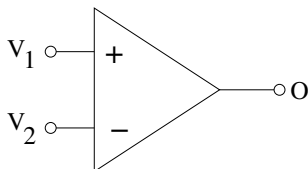
- r битни дигитални улаз
- потребна само два типа отпорника
- лакше остварљив у пракси

$$V_o = V_{ref} \frac{B}{2^r}$$



Аналогни компаратор

- поређење два напона



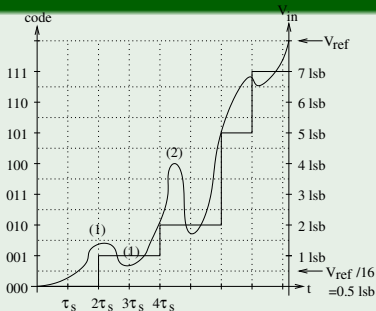
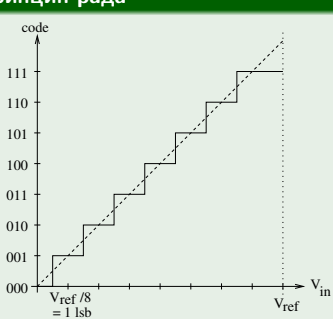
- поређење напона са референтним напоном
 - аутомат за светло са фототранзистором
- када је $V_1 > V_0$ излаз $O = 1$
- када је $V_1 \leq V_0$ излаз $O = 0$
- **метастабилност** када је $V_1 \approx V_0$ (не користи се Шмитово коло)
 - нарочито у комбинацији са прекидима

Аналогно–Дигитална конверзија

„If the voltage value is important, for example if we want to use our photo transistor to determine and display the actual brightness, a simple comparator is not sufficient. Instead, we need a way to represent the analog value in digital form. For this purpose, many microcontrollers include an *analog-to-digital converter* (ADC) which converts an analog input value to a binary value.“^a

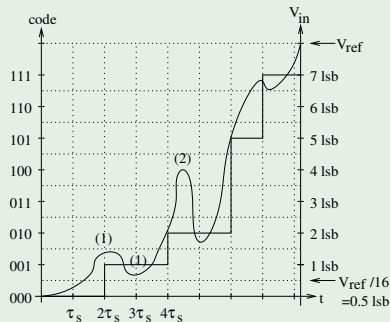
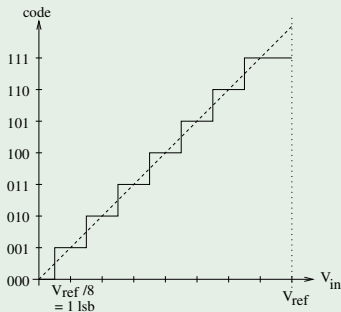
^aG. Gridling & B. Weiss, Introduction to Microcontrollers, Vienna Institute of Technology, 2007

Принцип рада



Аналого–Дигитална конверзија

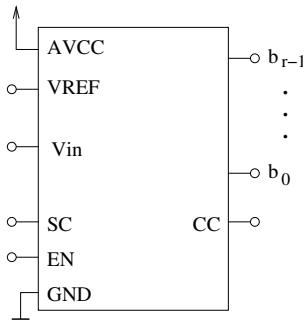
Принцип рада



Шенова теорема

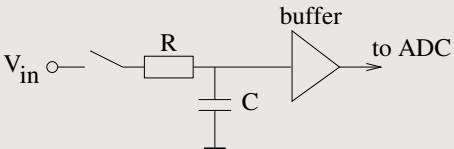
$$f_{max} < \frac{f_s}{2} = \frac{1}{2T_s}$$

Аналого–Дигитална конверзија



- AVCC – напајање
- V_{REF} – референтни напон
- V_{in} – улазни напон
- SC – *Start Conversion bit*
- EN – *adc ENable bit*
- CC – *Conversion Completed*
- GND

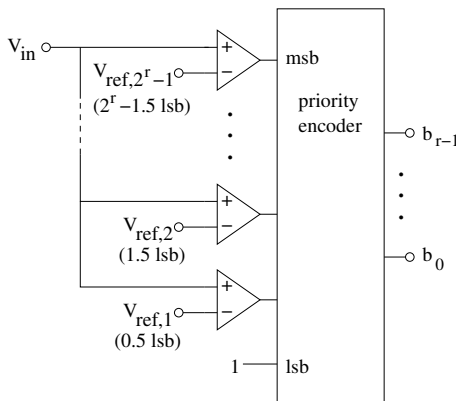
Sample & hold



Технике конверзије

- flash converter
- tracking converter
- successive approximation converter
- ...
 - Wilkinson ADC
 - integrating ADC
 - delta-encoded ADC (counter-ramp)
 - pipeline ADC (subranging quantizer)
 - sigma-delta ADC (delta-sigma ADC)
 - time-interleaved ADC
 - ADC with intermediate FM stage
 - ...

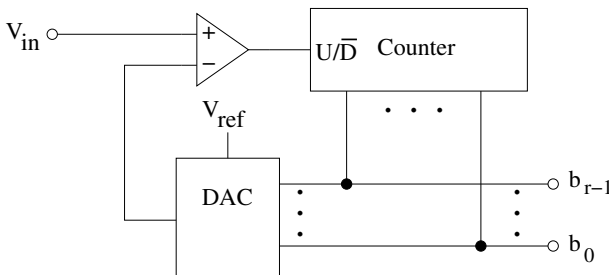
Флеш A/D конвертор



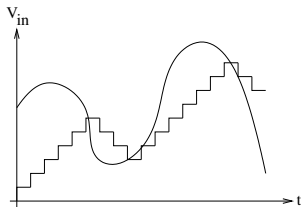
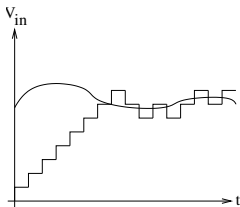
- брзина (flash)
- цена
- димензије

$$V_{ref,i} = \frac{V_{ref} \cdot (2i - 1)}{2^{r+1}}, \quad 1 \leq i \leq 2^r - 1$$

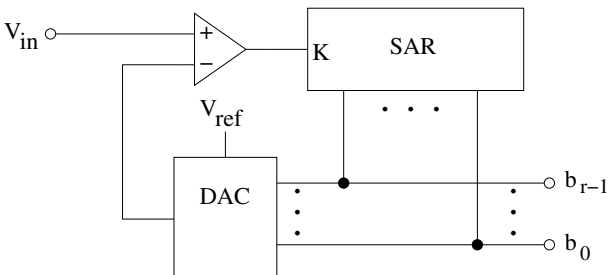
Tracking Converter



- користи DA конвертор за AD конверзију
- исувише спор за већину апликација



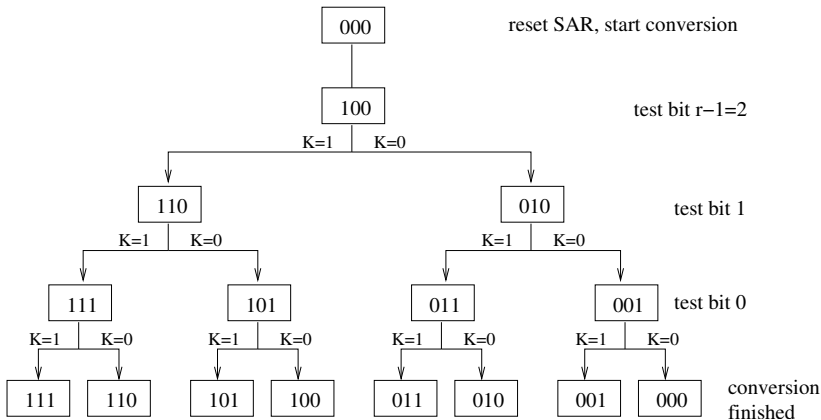
A/D са sukcesивним апроксимацијама



- Користи SAR уместо DAC
- Бинарно претраживање уместо инкрементирања и декрементирања
- Константно време конверзије
- Често се користи у микроконтролерима

Successive Approximation Converter

A/D са sukcesивним апроксимацијама



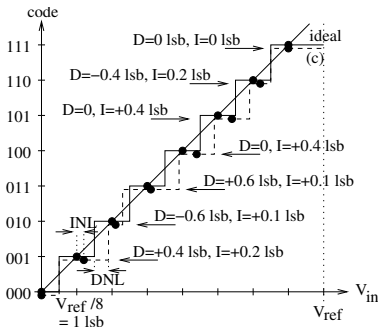
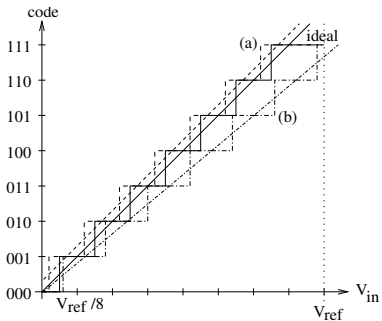
Грешке конверзије

Квантизациона грешка

$$C(V_{in}) = \min \left\{ \left\lfloor \frac{V_{in} - GND}{V_{ref} - GND} \cdot 2^r + 0.5 \right\rfloor, 2^r - 1 \right\}$$

- у идеалном случају је 1 *lsb*
- у реалној примени грешка је већа:
 - offset error
 - gain error
 - DNL (Differential Non-Linearity) error
 - INL (Integral Non-Linearity) error

Грешке конверзије



Slika : Типичне грешке конверзије a/d конвертора. (a) Offset error, (b) gain error(грешка појачања), (c) DNL error and INL error. Функција (c) је намерно померена доле како би се лакше уочила разлика у односу на идеалну функцију..

Практична примена ADC

- Уобичајено 4–16 аналогних улазних канала
- Више канала се **не може истовремено** очитавати ¹
- Старт конверзије може задати корисник, али и други извори trigger-а
- Често постоји непрекидни мод (i-конв. готова, почиње i+1)
- Конверзија има своје трајање
- За конверзију је потребан сигнал такта (власити или спољ.)
- Скалирање такта – може бити потребно
- Сувише брз такт, нетачна конверзија
- Крај конверзије: резултат → регистар
- 10-битни конвертор, 8-битна архитектура?
- Напон ван опсега: lsb, msb или **трајно оштећење**

¹Одабере се канал и започне конверзија. По завршетку конверзије читамо резултат и иницијализујемо следећи канал.

Диференцијална и двострана АД конверзија

- Директно упоређивање два сигнала
- Неки контролери нуде диференцијални улаз
- Улазни опсег $[-V_{ref}/2, V_{ref}/2]$ → негативне вредности
- За представљање нег. бројева → $\left\{ \begin{array}{l} \text{други комплемент} \\ \text{excess representation} \end{array} \right.$
- Подесиво појачање

value	two's complement	excess
3	011	111
2	010	110
1	001	101
0	000	100
-1	111	011
-2	110	010
-3	101	001
-4	100	000