Лекция 7

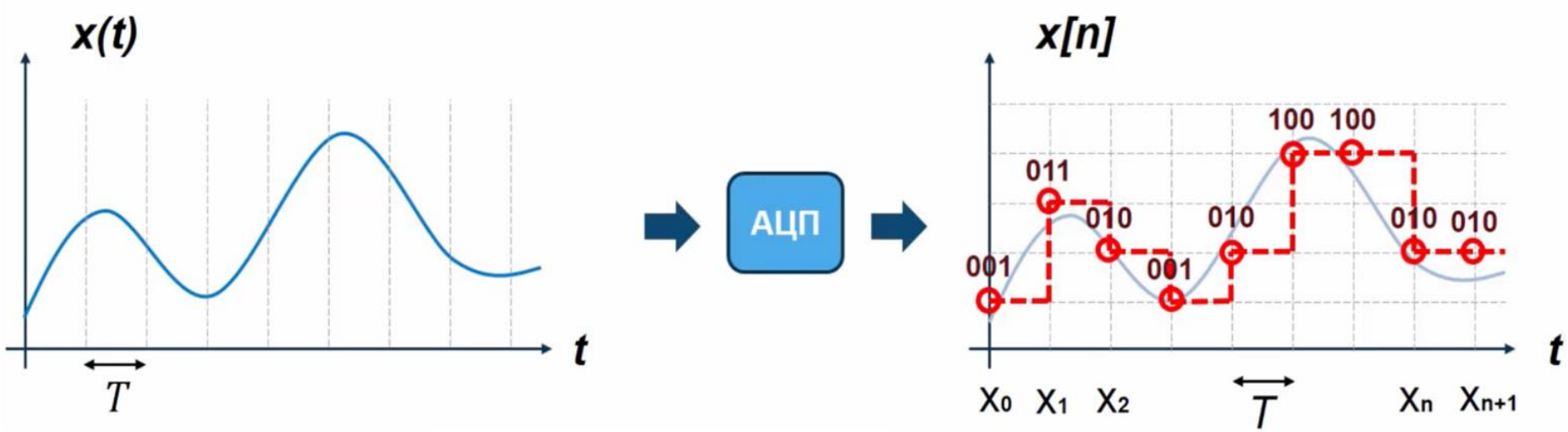
Схемотехника устройств компьютерных систем
Семестр 2

Тема: Сопряжение измерительных и силовых устройств с цифровыми системами

Люлява Даниил Вячеславович, старший преподаватель кафедры ВТ

Дуксин Никита Александрович, преподаватель кафедры ВТ

АЦП (Аналого-цифровой преобразователь)



$$N = \frac{N_{max} * x}{x_{max}}$$

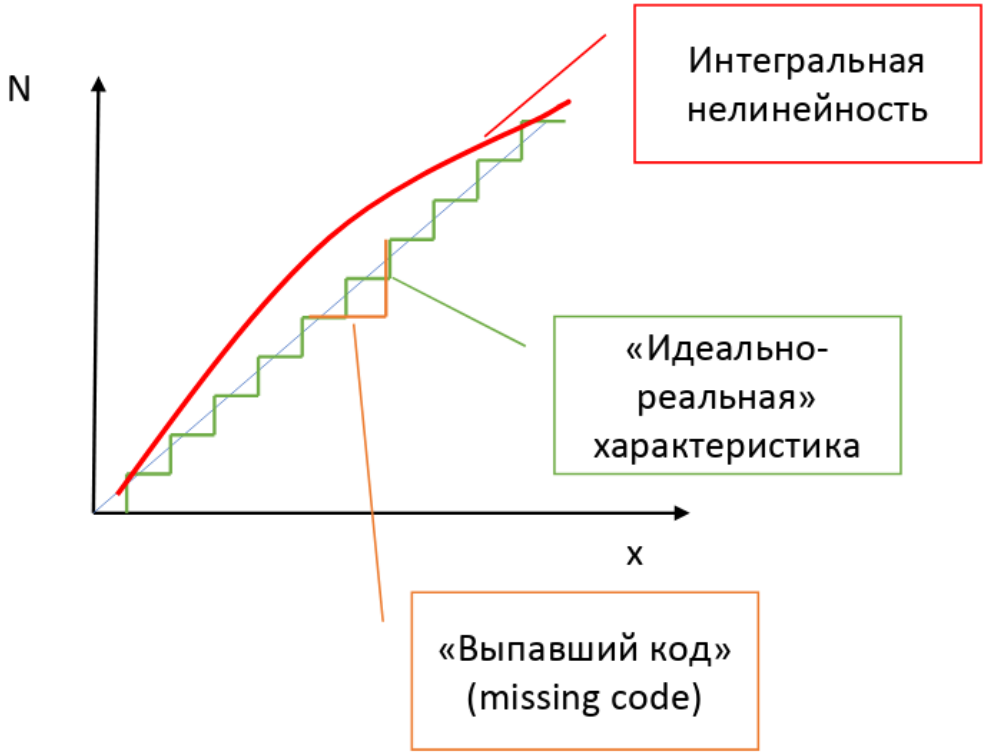
Метрологические характеристики АЦП

- «Точность» и «разрешающая способность» - термины, которые часто путают при практическом использовании
  - Точность – на сколько измеренная величина отличается от значения, измеренного эталонным прибором в системе СИ
  - Разрешающая способность – на сколько одно значение отличается от другого.
  - 10 бит АЦП – 1024 возможных значения. Например, от 0 до 1,023 В (с шагом 1 мВ)
  - У АЦП должен быть точный источник опорного напряжения. На практике – 12-14 бит могут использовать внутренний источник.

Эталоны для АЦП

- полупроводниковые стабилитроны
- нормальный элемента Вестона (химическая батарея)
- квантовый эффект Джозефсона

Основные виды погрешностей АЦП



Характеристики АЦП

- Разрядность (8-16, 24)
- Частота преобразования (от кГц до ГГц)

- Дополнительные характеристики:
  - Интерфейс
  - Диапазон входного напряжения
  - Архитектура (влияет на возможные ошибки измерения)

Производители АЦП – Analog Devices

analog.com/en/products/analog-to-digital-converters.html

Precision and General Purpose ADC Finder

Resolution (Bits)	ADC Throughput Rate (SPS)					
	<1K	1 - 100k	100 - 250k	250 - 500k	500k - 1M	1M - 20M
21 - 32	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17 - 20	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14 - 16	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8 - 13	✓	✓	✓	✓	✓	✓

High-Speed ADC Finder

Resolution (Bits)	ADC Throughput Rate (SPS)				
	10 - 50M	50 - 100M	100 - 250M	250M - 1G	>1G
>/=16	✓	✓	✓	✓	✓
14 - 15	✓	✓	✓	✓	✓
12 - 13	✓	✓	✓	✓	✓
</=11	✓	✓	✓	✓	✓

Производители АЦП – Maxim Integrated

Analog-to-Digital Converters - A

maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters/analog-to-digital-converters.html?utm_source=GoogleAds&utm_campaign=brand-analog-brand-adc&utm_source=google&utm_campaign=corp-brand-analog-campaign&s_kwci

Distribution

Voltage References

Analog-to-Digital Converters - ADCs

We have one of the broadest offerings available of analog-to-digital converter (ADC) products. Our portfolio includes precision analog-to-digital converter ICs with superior conversion performance under 2Msps, and high speed ADC ICs optimized for sample rates over 2Gsps.

Our newest products offer market leading performance for fast conversion speeds and low power consumption. Many of our new analog-to-digital converter ICs provide built-in signal chain features, such as ADCs with integrated programmable gain amplifiers and precision voltage references.

Our broad ADC portfolio also includes many high performance and cost effective solutions for specialized applications, such as simultaneous sampling ADCs and ADCs with built-in power rails.

Precision ADC Selector Guide

Precision ADCs from Maxim feature SAR and sigma-delta architectures, resolution from 8 to 24 bit...

Learn More

All Precision ADCs

Find Products

High-Speed ADCs

Find Products

Successive Approximation ADCs

Find Products

Low Power Precision ADCs

Find Products

Integrated Precision ADCs

Find Products

Simultaneous Sampling ADCs

Find Products

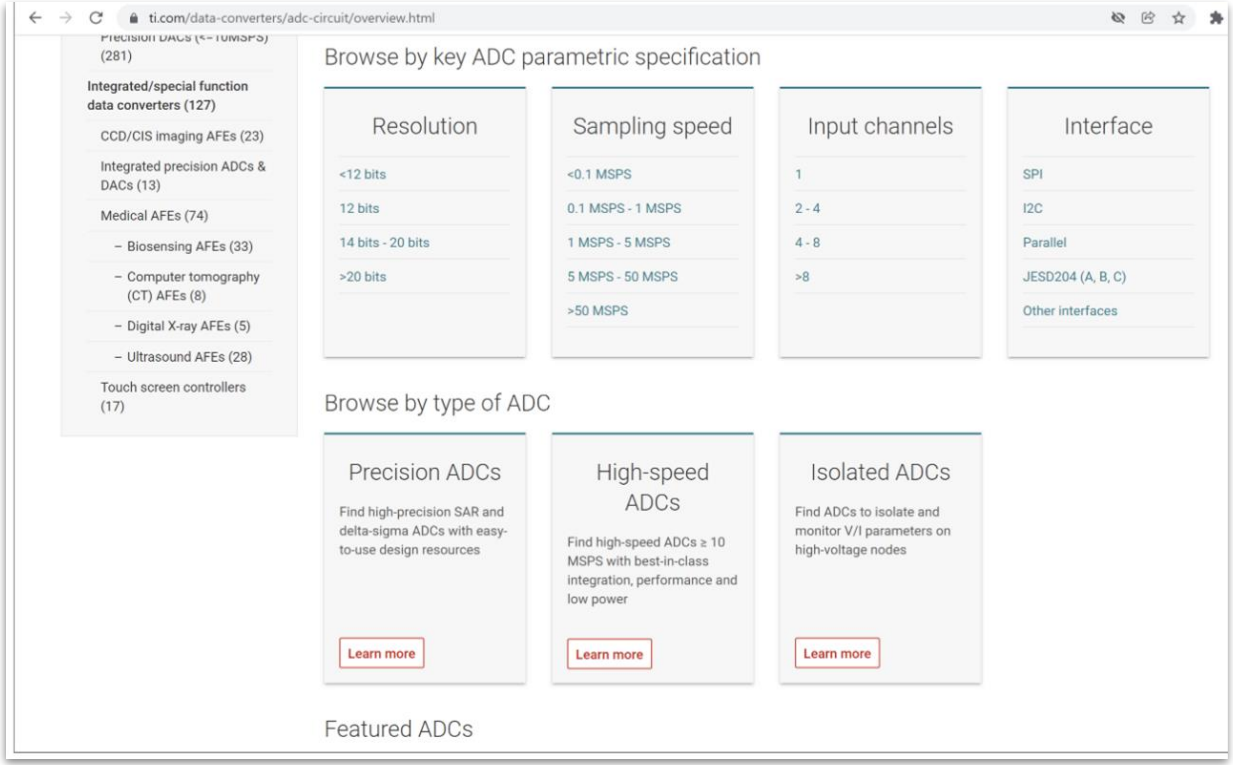
Extended Range Input ADCs

Find Products

Sigma-Delta ADCs

Find Products

Производители АЦП – Texas Instruments



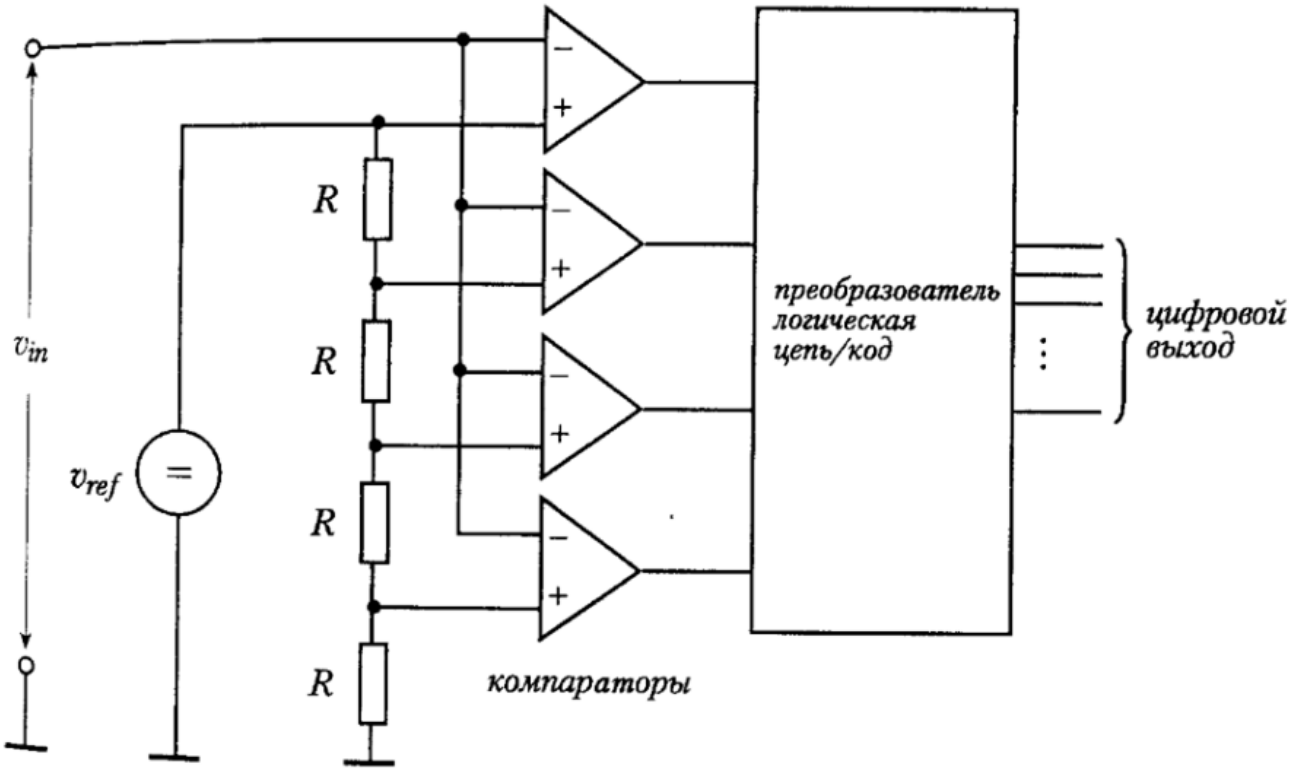
Основные виды архитектур АЦП

АЦП прямого преобразования (flash ADC, direct-conversion ADC)

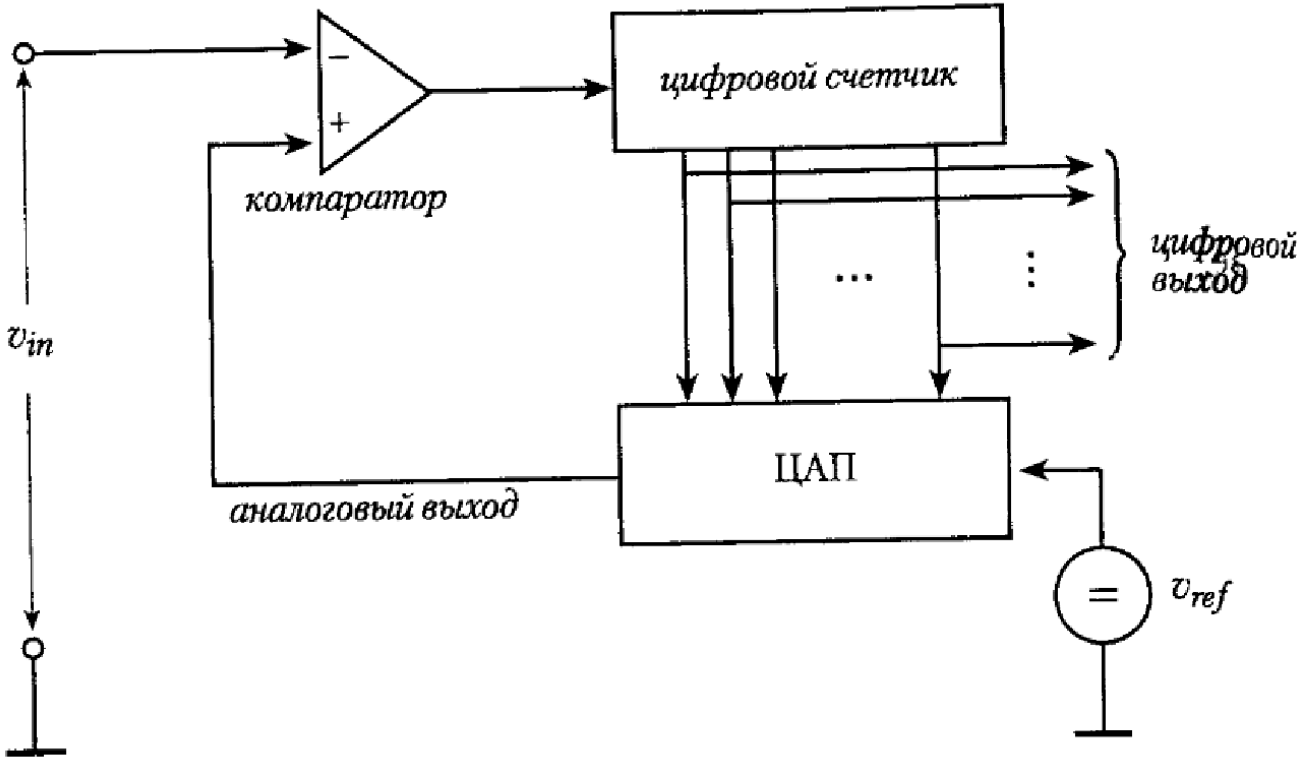
АЦП последовательного приближения (SAR, successive-approximation ADC)

АЦП с архитектурой “сигма-дельта” (sigma-delta)

АЦП прямого преобразования



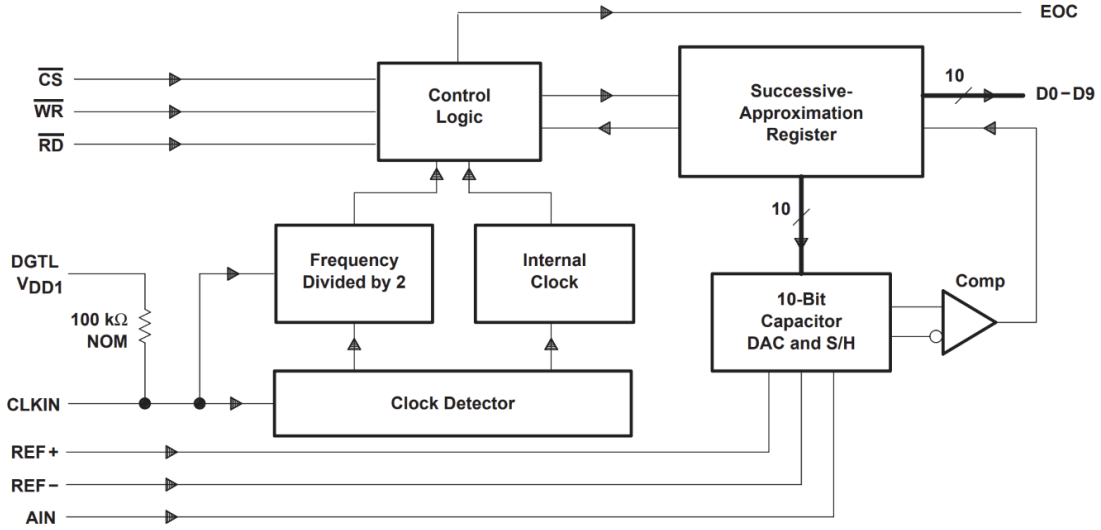
АЦП последовательного приближения



Пример АЦП последовательного приближения с параллельным интерфейсом

TLC1550I, TLC1550M, TLC1551I
10-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS
WITH PARALLEL OUTPUTS
SLAS043G − MAY 1991 − REVISED NOVEMBER 2003

functional block diagram

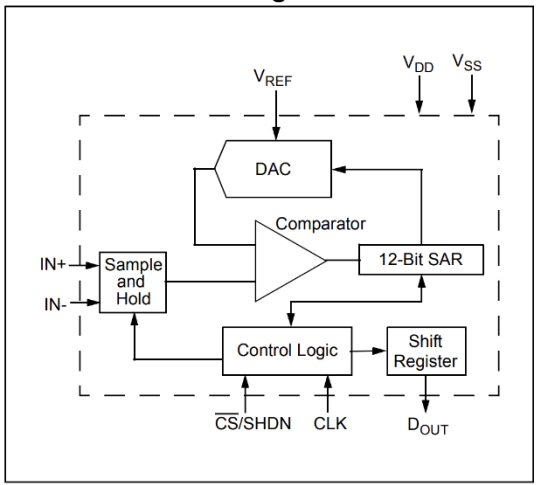


Пример АЦП последовательного приближения с последовательным интерфейсом

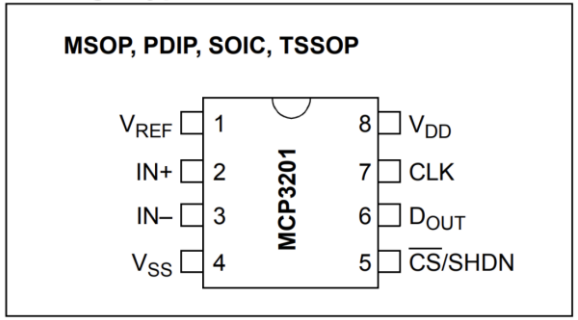
Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

Functional Block Diagram



Package Types



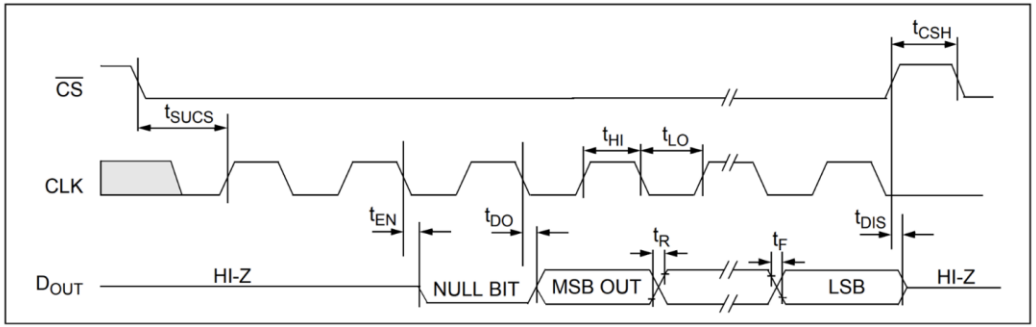
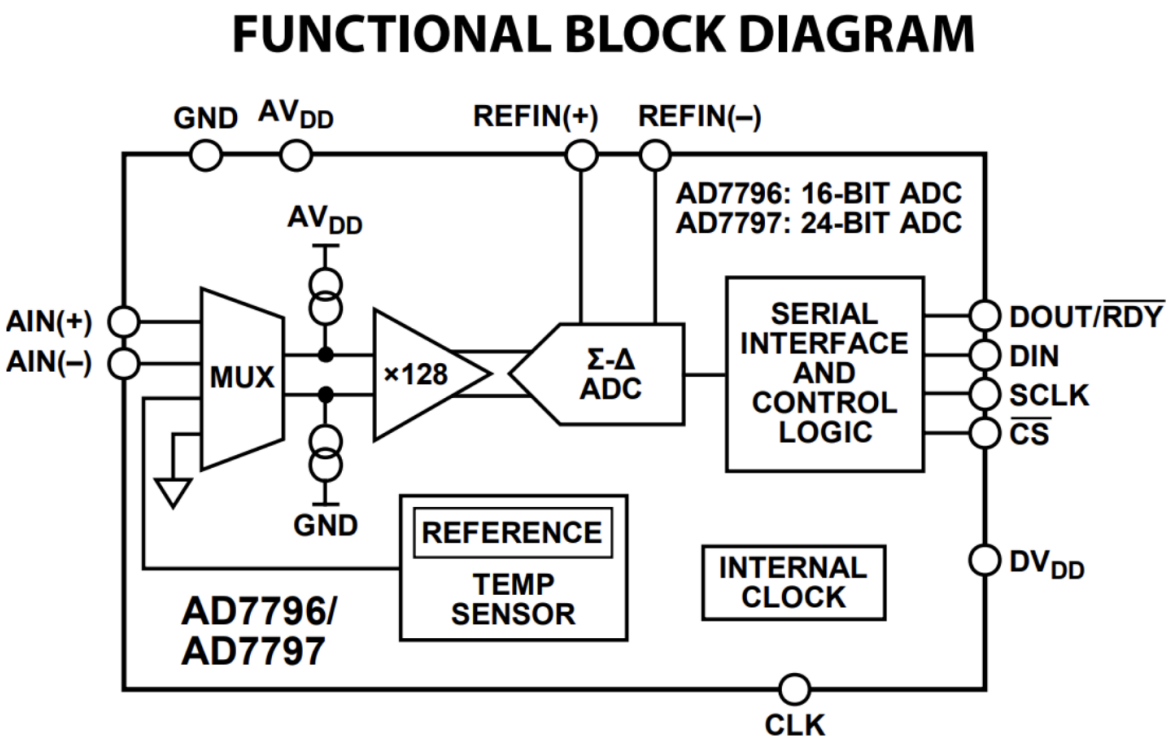
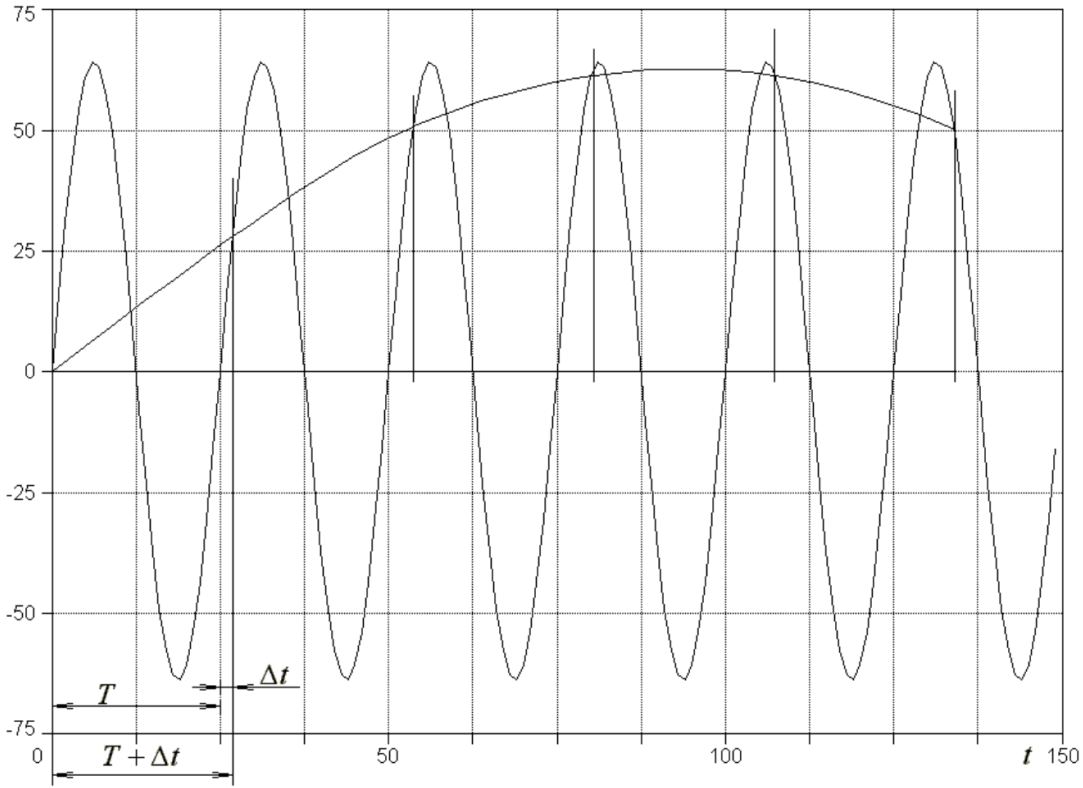


FIGURE 1-1: *Serial Timing.*

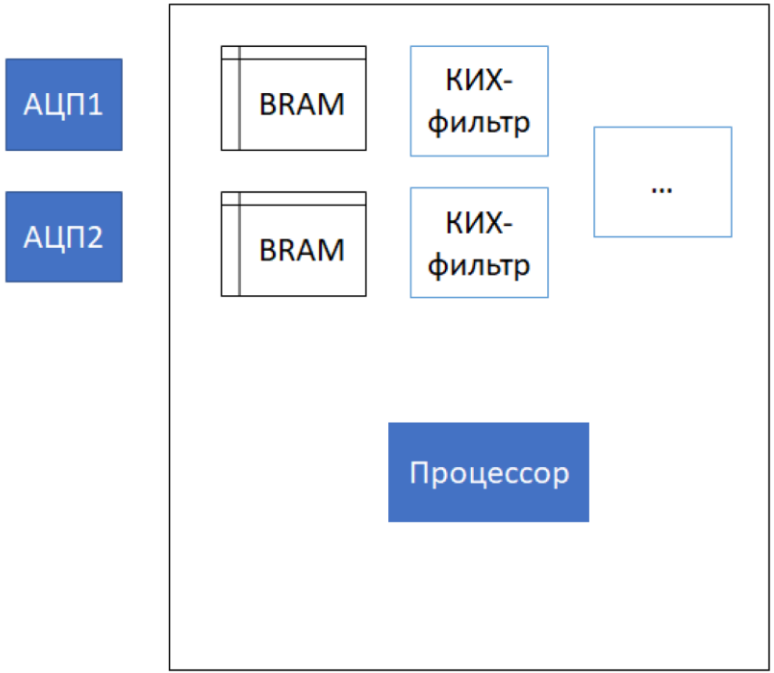
АЦП с архитектурой «сигма-дельта»

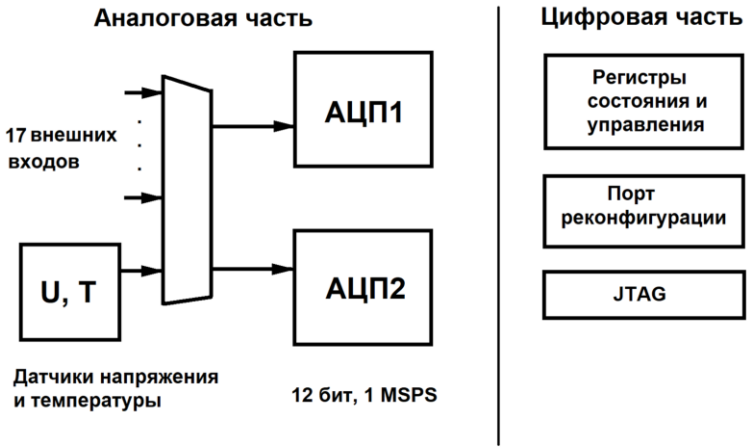


Проблема наложения частот

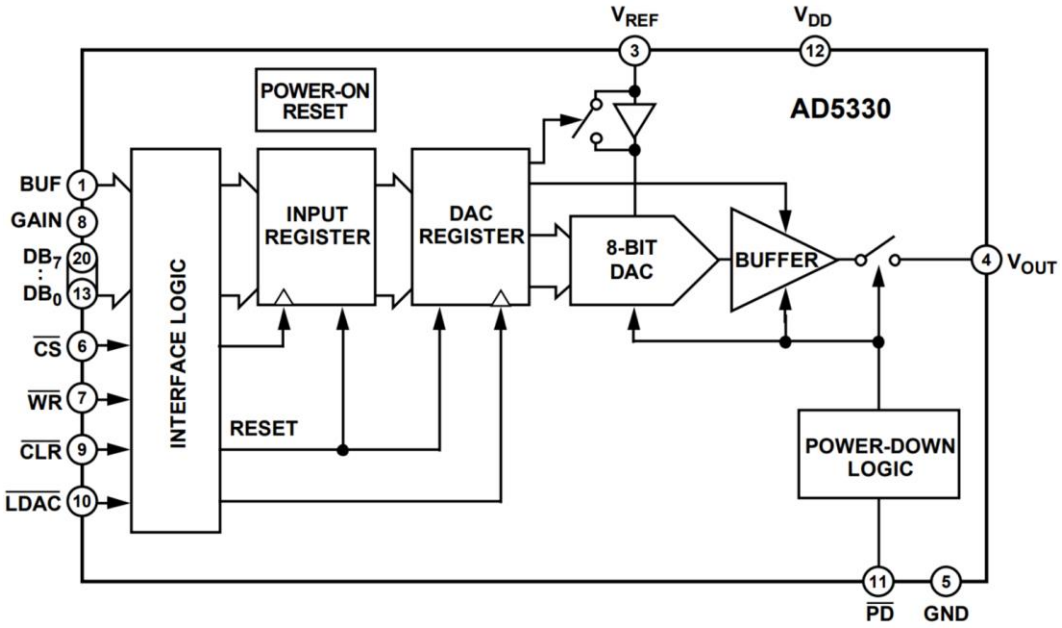


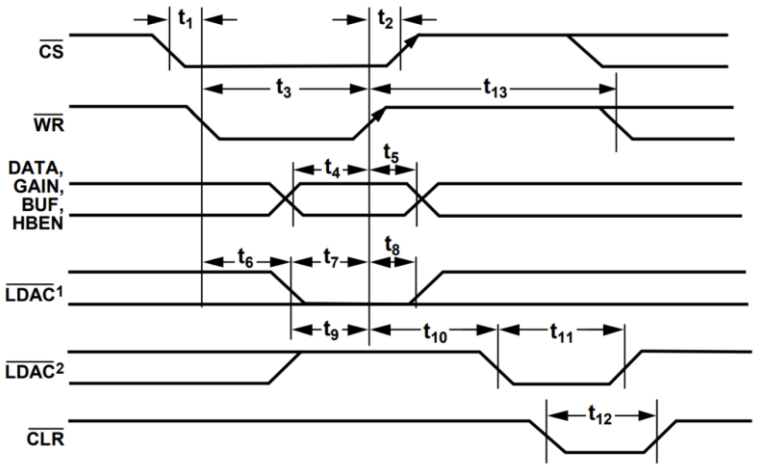
Пример архитектуры системы с управляющим процессором и ускорителем ЦОС





Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)





NOTES:
[1]SYNCHRONOUS LDAC UPDATE MODE
[2]ASYNCHRONOUS LDAC UPDATE MODE

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

Zynq UltraScale+ RFSoC Portfolio

Scalability across the portfolio that meets current and future market needs

Up to 4 GHz Frequency Operation

- 8x or 16x 6.554 GSPS DACs
- 8x 4.096 GSPS or 16x 2.058 GSPS ADCs

View Boards and Kits >

Up to 5 GHz Frequency Operation

- 16x 6.554 GSPS DACs
- 16x 2.220 GSPS ADCs

View Boards and Kits >

Up to 6 GHz Frequency Operation

- 8x or 16x 9.85 GSPS DAC (2 plcs)
- Up to 8x 5.0 GSPS or 16x 2.5 GSPS ADCs

View Boards and Kits >

Up to 7.125 GHz Frequency Operation

- 8x or 6x 9.851 GSPS DACs
- 8x 2.95 GSPS and 2x 5.9 GSPS ADCs or 6x 5.9 GSPS

View Boards and Kits >

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

AMD Zynq™ UltraScale+™ RFSoC Gen 1

Direct-RF Signal Chain Features

		ZU21DR	ZU25DR	ZU27DR	ZU28DR	ZU29DR
Max. RF input Frequency (GHz)				4		
Decimation / Interpolation				1x, 2x, 4x, 8x		
12-bit RF-ADC	# of ADCs	-	8	8	8	16
	Max Rate (GSPS)	-	4.096	4.096	4.096	2.058
14-bit RF-DAC	# of DACs	-	8	8	8	16
	Max Rate (GSPS)	-	6.554	6.554	6.554	6.554
SD-FEC		8	0	0	8	0

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

Programmable Logic

	ZU21DR	ZU25DR	ZU27DR	ZU28DR	ZU29DR
System Logic Cells (K)	930	678	930	930	930
DSP Slices	4,272	3,145	4,272	4,272	4,272
Memory (Mb)	60.5	41.3	60.5	60.5	60.5
GTY Transceivers	16	8	16	16	16
PCIe Gen3x16	2	1	2	2	2
PCIe Gen3x16 / Gen4x8 / CCIX	-	-	-	-	-
100G Ethernet MAC/PCS with RS-FEC	2	1	2	2	2
Maximum I/O Pins	280	347	347	347	408

Processing System Features

	ZU21DR	ZU25DR	ZU27DR	ZU28DR	ZU29DR
Application Processing Unit	Quad-core Arm® Cortex®-A53 MPCore up to 1.33 GHz				
Real-Time Processing Unit	Dual-core Arm Cortex-R5 MPCore up to 533 MHz				
Embedded and External Memory	256 KB On-Chip Memory w/ECC; External DDR4; DDR3; DDR3L; LPDDR4; LPDDR3; External Quad-SPI; NAND; eMMC				
High-Speed Connectivity	4 PS-GTR; PCIe Gen1/2; Serial ATA 3.1; DisplayPort™ 1.2a; USB 3.0; SGMII				
General Connectivity	214 PS I/O; UART; CAN; USB 2.0; I2C; SPI; 32b GPIO; Real Time Clock; Watchdog Timers; Triple Timer Counters				

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

AMD Zynq™ UltraScale+™ RFSoC Gen 2

Direct-RF Signal Chain Features

		ZU39DR
Max. RF input Frequency (GHz)		5
Decimation / Interpolation		1x, 2x, 4x, 8x
12-bit RF-ADC	# of ADCs	16
	Max Rate (GSPS)	2.220
14-bit RF-DAC	# of DACs	16
	Max Rate (GSPS)	6.554
SD-FEC		0

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

Programmable Logic

	ZU39DR
System Logic Cells (K)	930
DSP Slices	4,272
Memory (Mb)	60.5
GTY Transceivers	16
PCIe Gen3x16	2
PCIe Gen3x16 / Gen4x8 / CCIX	-
100G Ethernet MAC/PCS with RS-FEC	2
Maximum I/O Pins	408

Processing System Features

	ZU39DR
Application Processing Unit	Quad-core Arm Cortex-A53 MPCore up to 1.33 GHz
Real-Time Processing Unit	Dual-core Arm Cortex-R5 MPCore up to 533 MHz
Embedded and External Memory	256 KB On-Chip Memory w/ECC; External DDR4; DDR3; DDR3L; LPDDR4; LPDDR3; External Quad-SPI; NAND; eMMC
High-Speed Connectivity	4 PS-GTR; PCIe Gen1/2; Serial ATA 3.1; DisplayPort 1.2a; USB 3.0; SGMII
General Connectivity	214 PS I/O; UART; CAN; USB 2.0; I2C; SPI; 32b GPIO; Real Time Clock; Watchdog Timers; Triple Timer Counters

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

AMD Zynq™ UltraScale+™ RFSoC Gen 3

Direct-RF Signal Chain Features

		ZU42DR		ZU43DR	ZU46DR		ZU47DR	ZU48DR	ZU49DR
Max. RF input Frequency (GHz)		6							
Decimation / Interpolation		1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 8x, 10x, 12x, 16x, 20x, 24x, 40x							
14-bit RF-ADC	# of ADCs	8	2	4	8	4	8	8	16
	Max Rate (GSPS)	2.5	5.0	5.0	2.5	5.0	5.0	5.0	2.5
14-bit RF-DAC	# of DACs	8		4	12		8	8	16
	Max Rate (GSPS)	9.85*		9.85*	9.85*		9.85*	9.85*	9.85*
SD-FEC		0		0	8		0	8	0

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

Programmable Logic

	ZU42DR	ZU43DR	ZU46DR	ZU47DR	ZU48DR	ZU49DR
System Logic Cells (K)	489	930	930	930	930	930
DSP Slices	1,872	4,272	4,272	4,272	4,272	4,272
Memory (Mb)	67.8	60.5	60.5	60.5	60.5	60.5
GTY Transceivers	8	16	16	16	16	16
PCIe Gen3x16	-	-	-	-	-	-
PCIe Gen3x16 / Gen4x8 / CCIX	0	2	2	2	2	2
100G Ethernet MAC/PCS with RS-FEC	0	2	2	2	2	2
Maximum I/O Pins	152	347	360	347	347	408

Processing System Features

	ZU42DR	ZU43DR	ZU46DR	ZU47DR	ZU48DR	ZU49DR
Application Processing Unit	Quad-core Arm Cortex-A53 MPCore up to 1.33 GHz					
Real-Time Processing Unit	Dual-core Arm Cortex-R5F MPCore up to 533 MHz					
Embedded and External Memory	256 KB On-Chip Memory w/ECC; External DDR4; DDR3; DDR3L; LPDDR4; LPDDR3; External Quad-SPI; NAND; eMMC					
High-Speed Connectivity	4 PS-GTR; PCIe Gen1/2; Serial ATA 3.1; DisplayPort™ 1.2a; USB 3.0; SGMII					
General Connectivity	214 PS I/O; UART; CAN; USB 2.0; I2C; SPI; 32b GPIO; Real Time Clock; Watchdog Timers; Triple Timer Counters					

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

AMD Zynq™ UltraScale+™ RFSoC DFE

Direct-RF Signal Chain Features

		ZU63DR		ZU64DR		ZU65DR	ZU67DR	
Max. RF input Frequency (GHz)		7.125						
Decimation / Interpolation		1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 8x, 10x, 12x, 16x, 20x, 24x, 40x						
14-bit RF-ADC	# of ADCs	4	2	8	2	6	8	2
	Max Rate (GSPS)	2.95	5.9	2.95	5.9	5.9	2.95	5.9
14-bit RF-DAC	# of DACs	4		8		6	8	
	Max Rate (GSPS)	10.0*		10.0*		10.0*	10.0*	
Digital Front-End (DFE) Hard IP		Channel Filter, DUC/DDC, Mixer, CFR, Complex Equalizer, PQ, Resampler, DPD						
Low PHY Hard IP		FFT/iFFT, PRACH		-		FFT/iFFT, PRACH	FFT/iFFT, PRACH	
SD-FEC		0		0		0	0	

AMD RFSoC с встроенными блоками АЦП и ЦАП

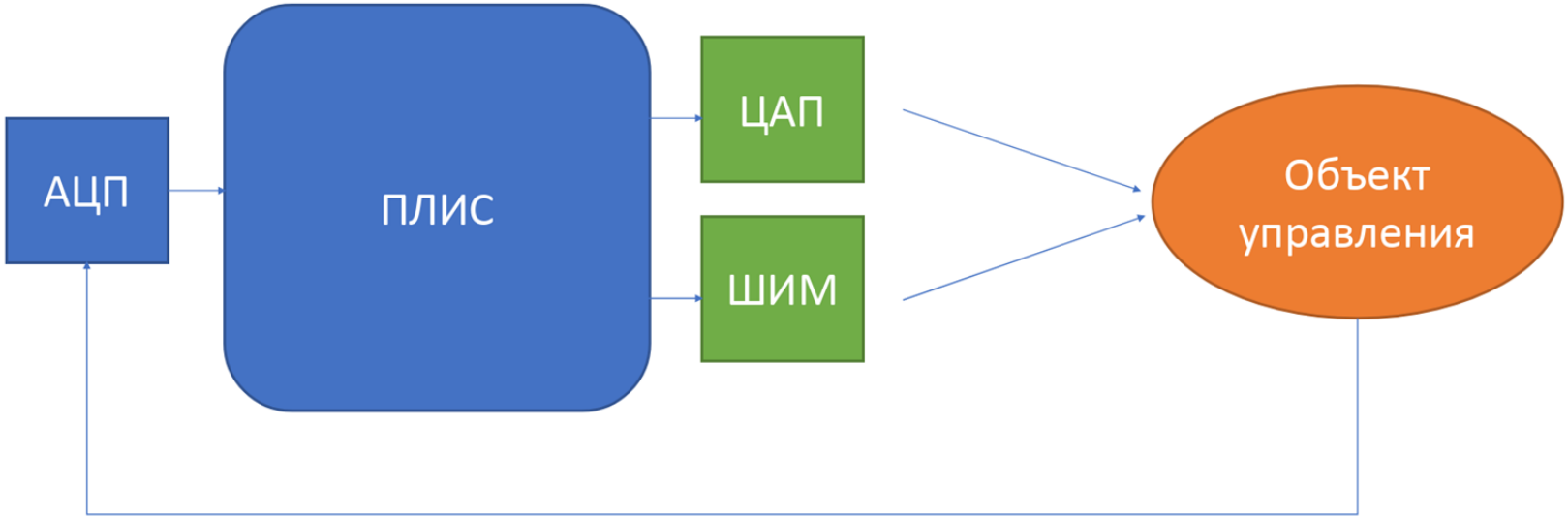
Programmable Logic

	ZU63DR	ZU64DR	ZU65DR	ZU67DR
System Logic Cells (K)	393	328	489	489
DSP Slices	1,200	1,872	1,872	1,872
Memory (Mb)	54.2	38.3	67.8	67.8
GTY Transceivers	4	8	8	8
PCIe Gen3x16	0	0	0	0
PCIe Gen3x16 / Gen4x8 / CCIX	0	0	0	0
100G Ethernet MAC/PCS with RS-FEC	1	1	1	1
Maximum I/O Pins	154	154	154	154

Processing System Features

	ZU63DR	ZU64DR	ZU65DR	ZU67DR
Application Processing Unit	Quad-core Arm® Cortex®-A53 MPCore™ up to 1.33GHz			
Real-Time Processing Unit	Dual-core Arm Cortex-R5F MPCore up to 533MHz			
Embedded and External Memory	256 KB On-Chip Memory w/ECC; External DDR4; DDR3; DDR3L; LPDDR4; LPDDR3; External Quad-SPI; NAND; eMMC			
High-Speed Connectivity	4 PS-GTR; PCIe Gen1/2; Serial ATA 3.1; DisplayPort™ 1.2a; USB 3.0; SGMII			
General Connectivity	214 PS I/O; UART; CAN; USB 2.0; I2C; SPI; 32b GPIO; Real Time Clock; Watchdog Timers; Triple Timer Counters			

Управление силовыми устройствами с помощью ШИМ



Датчики и исполнительные устройства

- В системе управления присутствуют датчики («чувствительные элементы») и «исполнительные устройства»
- Многие датчики представляют собой первичные преобразователи, размещенные в корпусе или на плате
- Для того, чтобы ввести данные о состоянии объекта управления, требуется комбинация АЦП и цифровых интерфейсов различных типов
- Для управления исполнительными устройствами используются цифровые интерфейсы, ЦАП, ШИМ (это цифровой интерфейс, но на него обращается внимание как на альтернативу ЦАП)

Выводы

Для преобразования сигналов между аналоговым и цифровым представлением используются специальные микросхемы – аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи. Они широко используются во встраиваемых устройствах, управляющих бытовыми приборами, устройствами связи, промышленными установками и т.д.

Основными характеристиками АЦП и ЦАП являются разрядность цифрового сигнала и максимальная частота преобразования.

Интерфейсы АЦП и ЦАП не имеют общепринятого стандарта и реализуются производителями микросхем в зависимости от частоты преобразования и назначения микросхемы.

АЦП являются важным элементом систем цифровой обработки сигналов. Теория цифровой обработки сигналов является отдельным большим направлением прикладной науки, а системы цифровой обработки сигналов представляют в настоящее время большой интерес в связи с высокими требованиями к производительности. Представляется перспективной разработка специализированных вычислительных систем, обеспечивающих высокую производительность при обработке потока данных от АЦП.

Дискретное представление цифровых сигналов неминуемо вносит погрешность в измеряемые величины, которые обычно являются аналоговыми. Разрядность АЦП и необходимая частота преобразования требуют отдельного исследования с применением средств математического моделирования.

Вопросы

Спасибо за внимание!