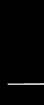
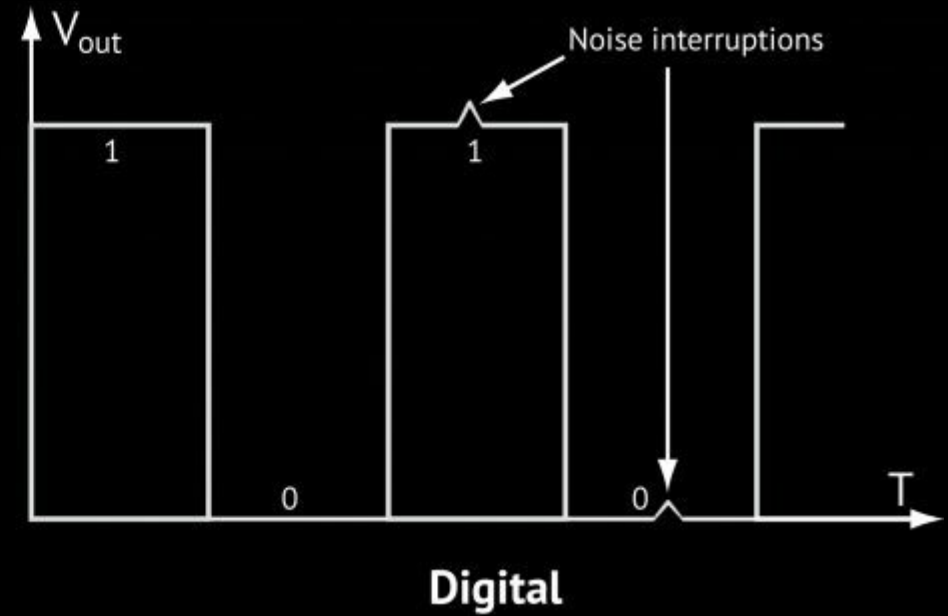
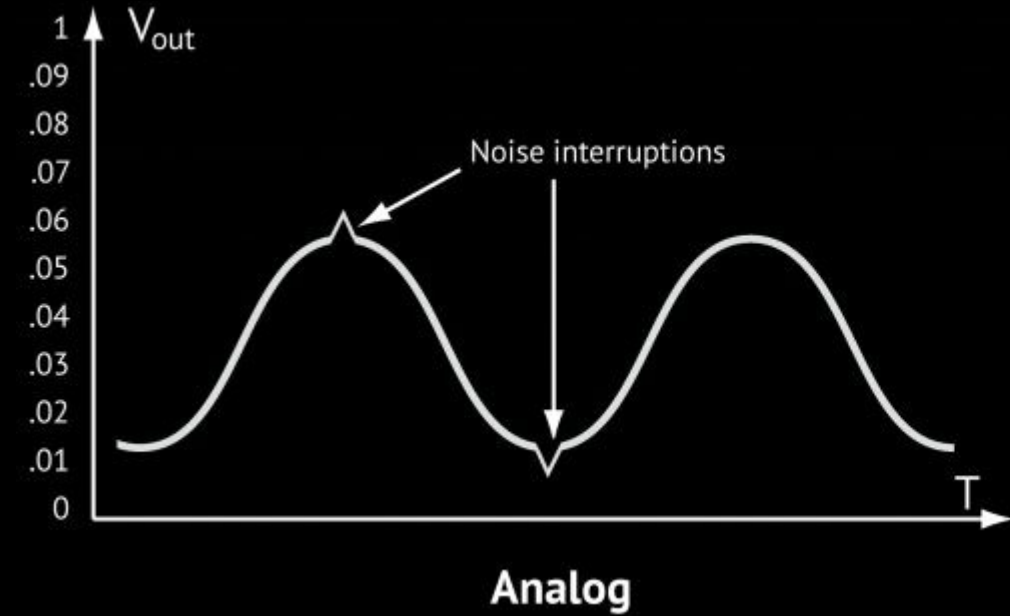


# Преобразование аналоговых сигналов в цифровые и обратно: АЦП и ЦАП

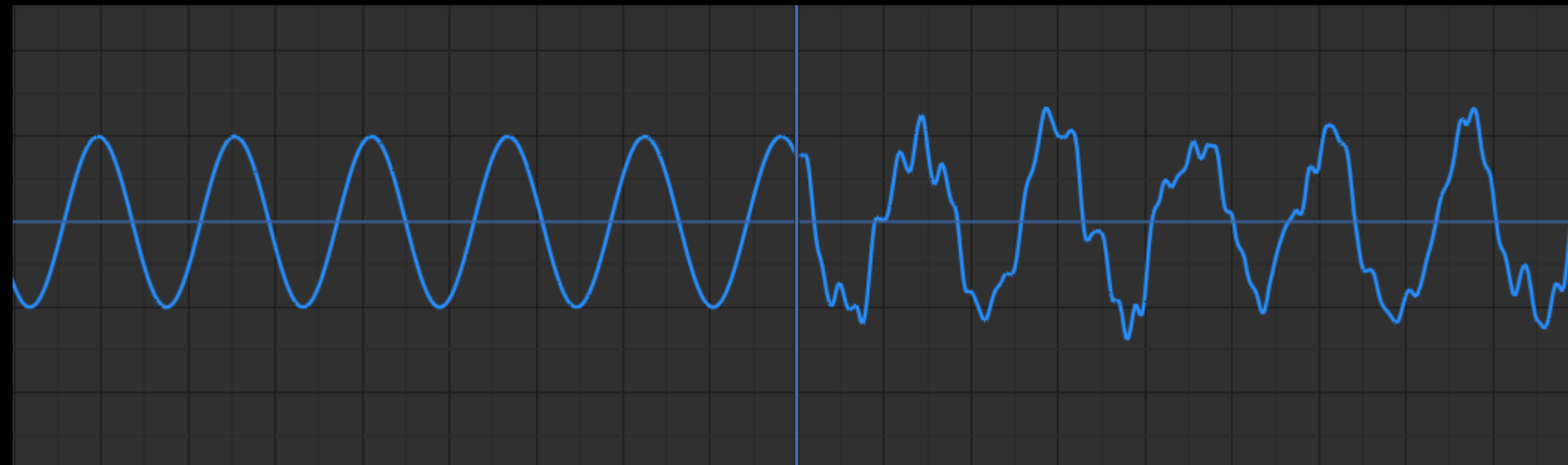
---



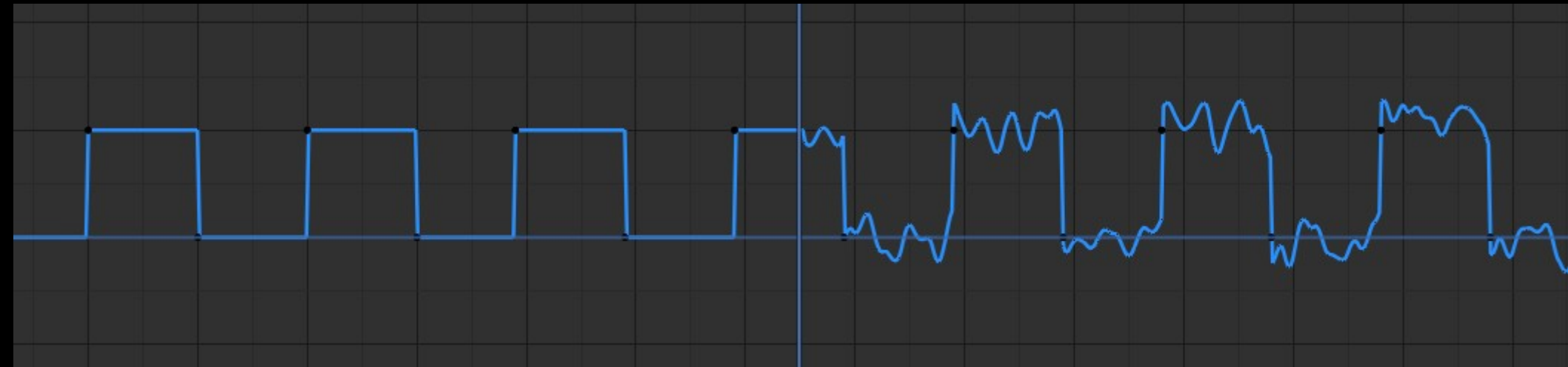
# Аналоговые и цифровые сигналы



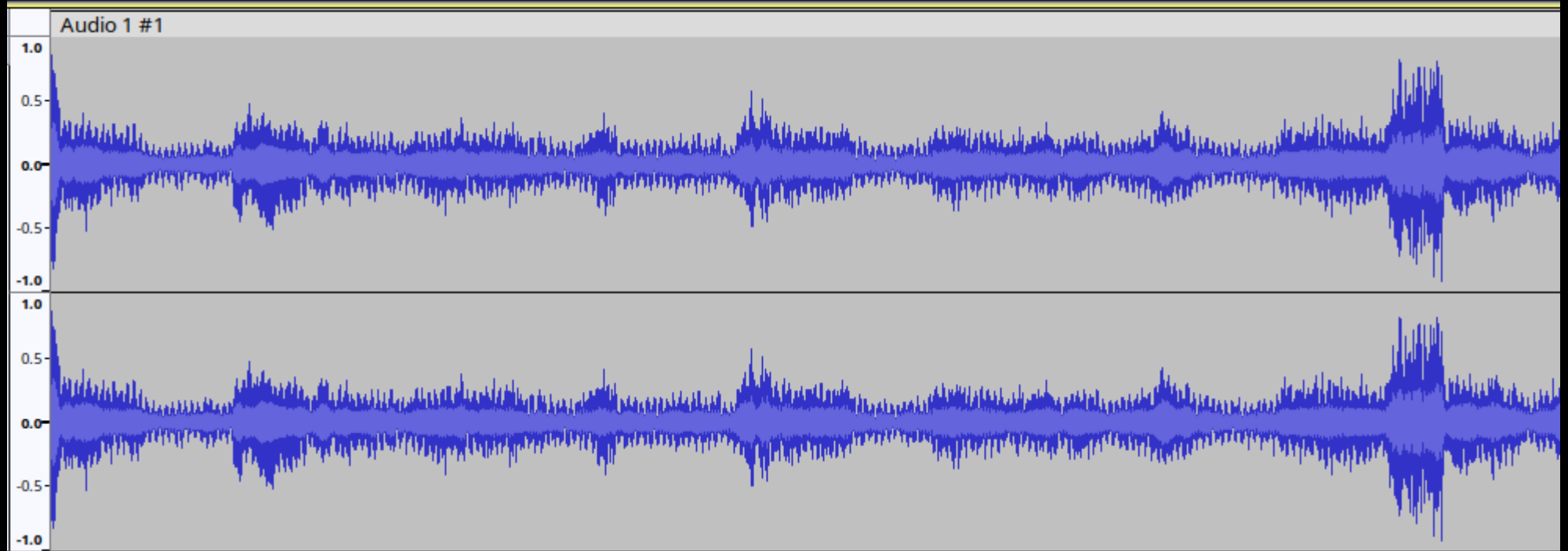
# Электромагнитные помехи



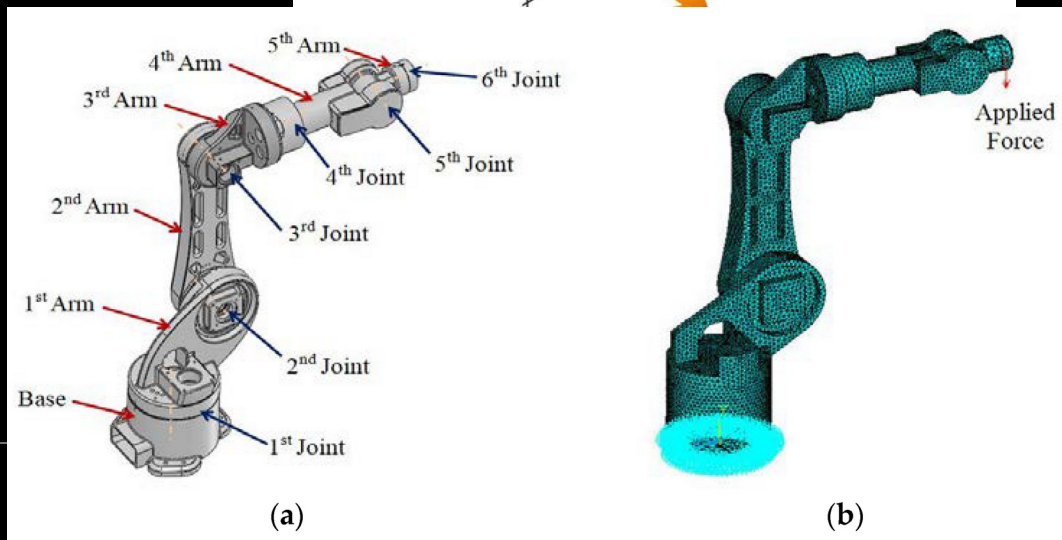
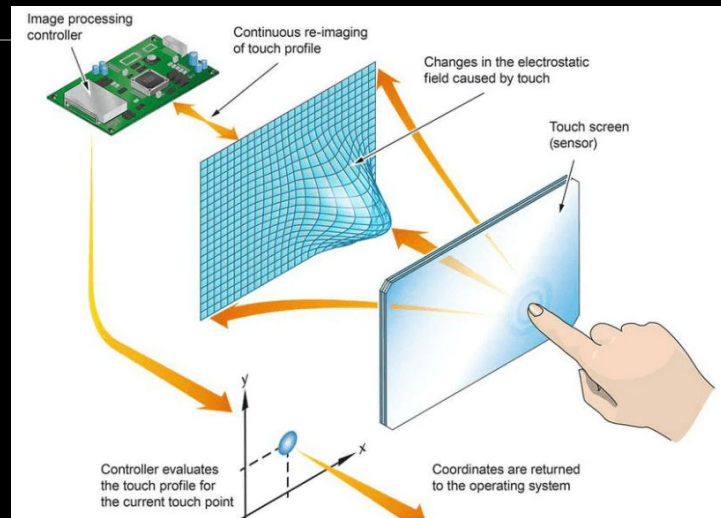
# Цифровые сигналы надежнее



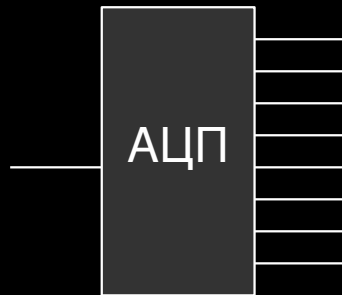
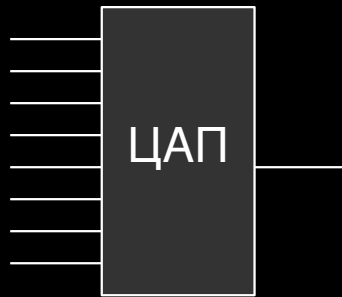
# Но аналоговые сигналы нужны



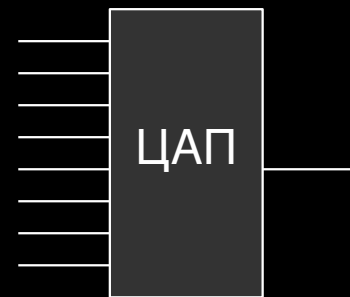
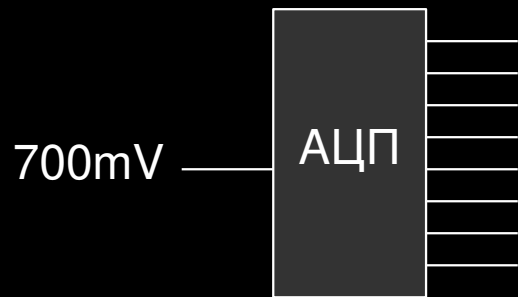
# Разные источники аналоговых данных



# Преобразователи: АЦП, ЦАП

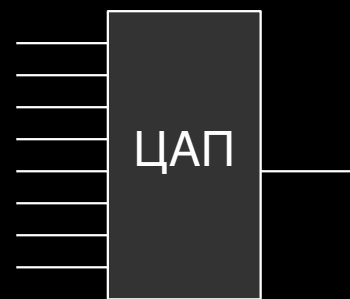
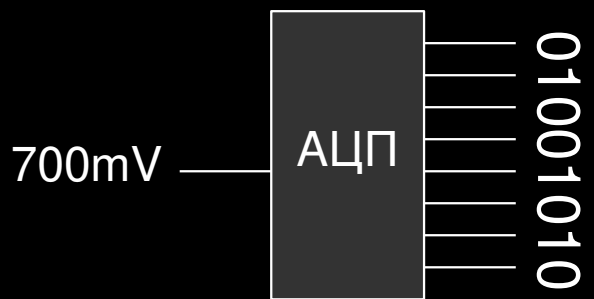


# Преобразователи: АЦП, ЦАП

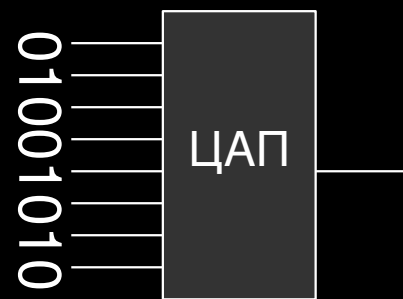
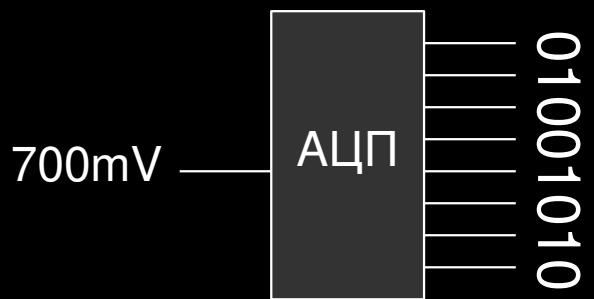




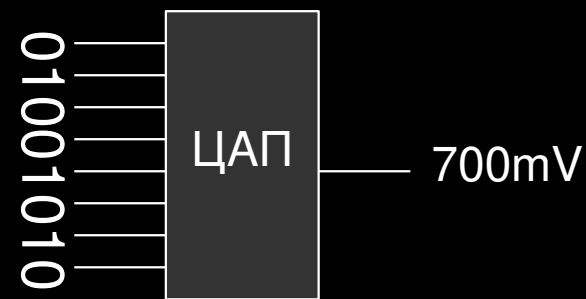
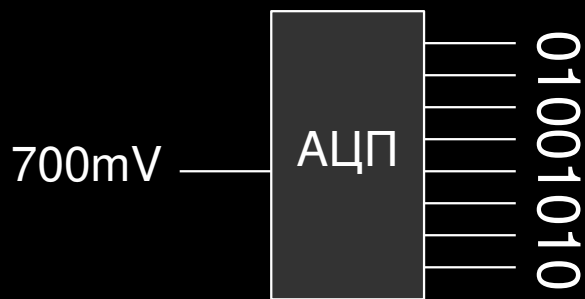
# Преобразователи: АЦП, ЦАП



# Преобразователи: АЦП, ЦАП

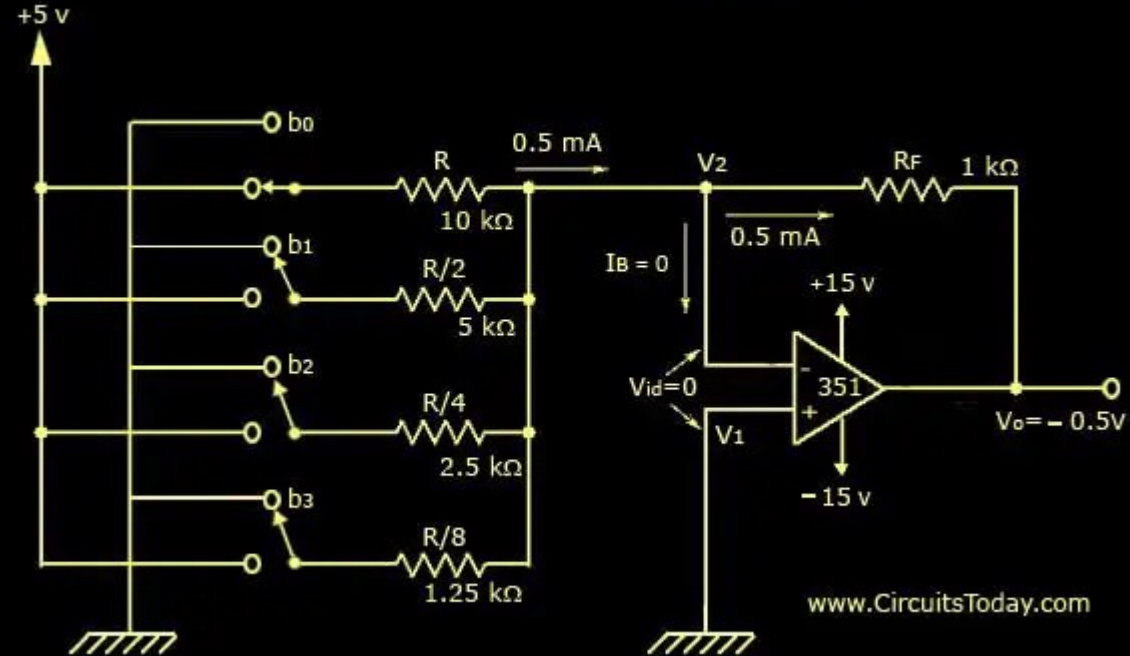


# Преобразователи: АЦП, ЦАП

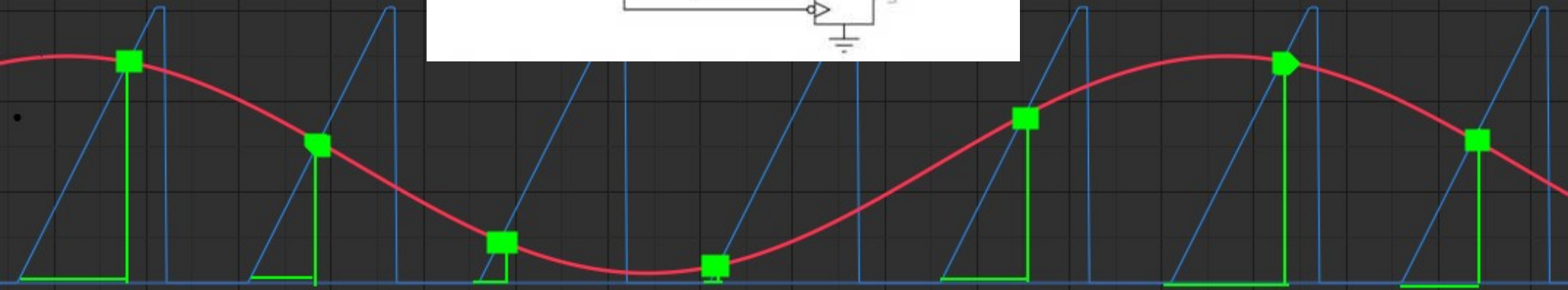
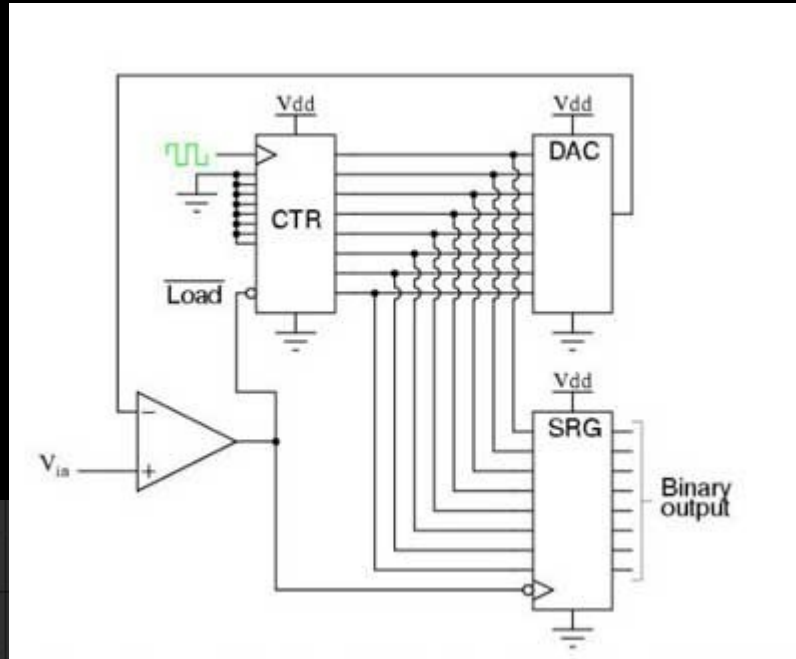


# ЦАП с бинарными резисторами

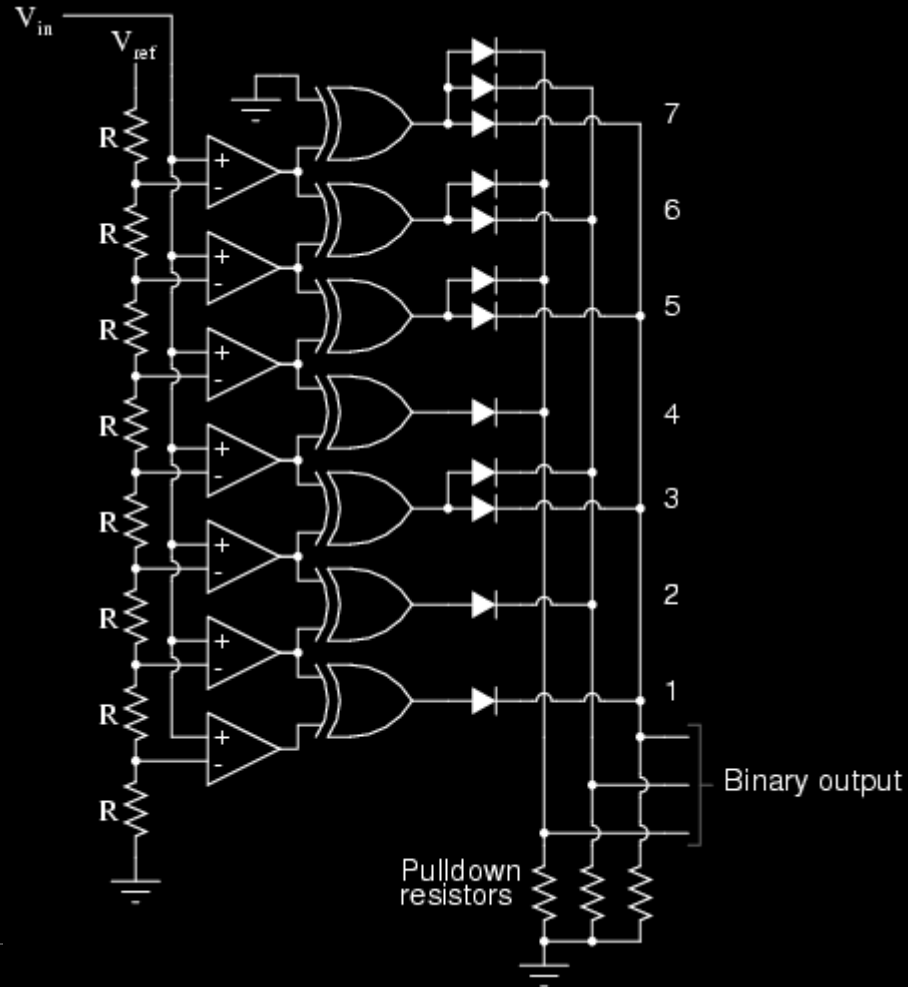
D/A Converter With Binary Weighted Resistors



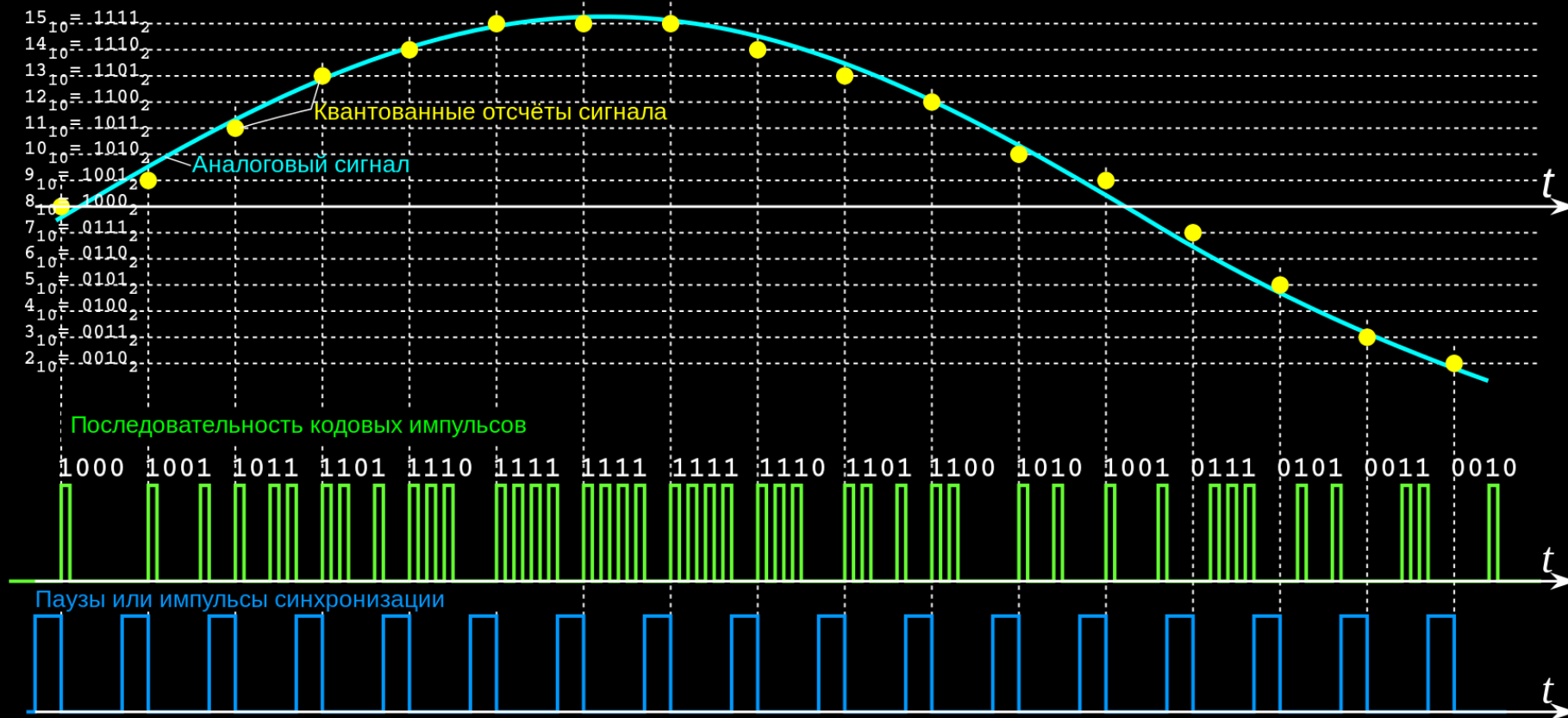
# АЦП с пилообразным генератором



# Flash-ADC



# Запись сигнала: Pulse Code Mod.



# Вертикальное разрешение: уровни квантизации



1bpp



2bpp



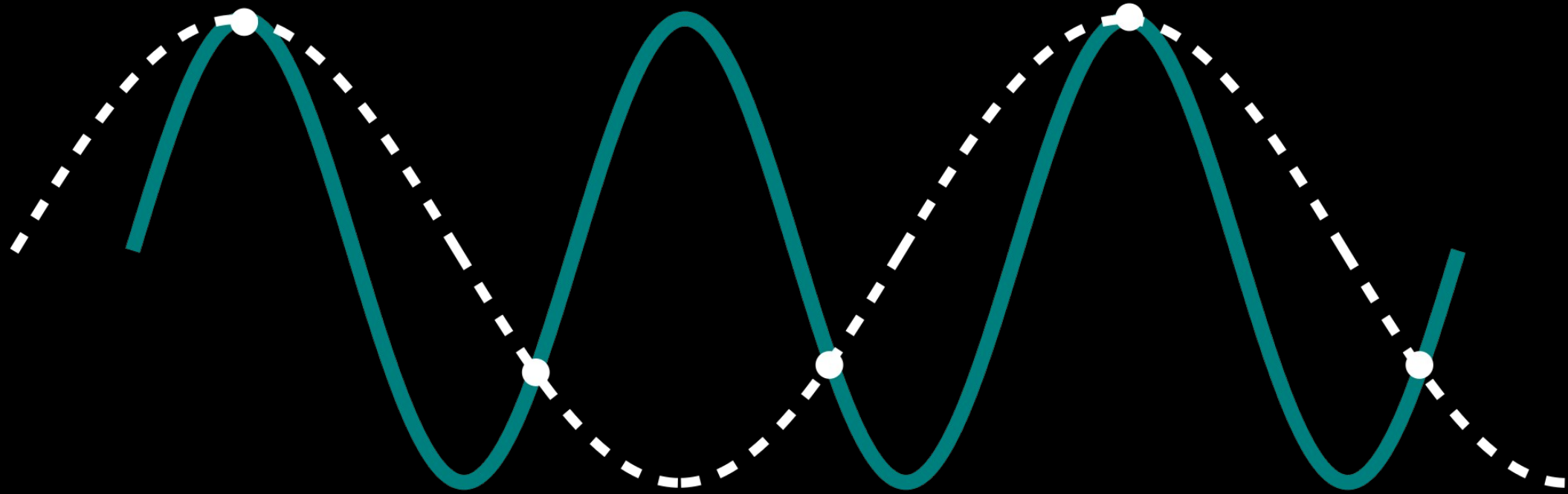
4bpp



8bpp  
(оригинал)

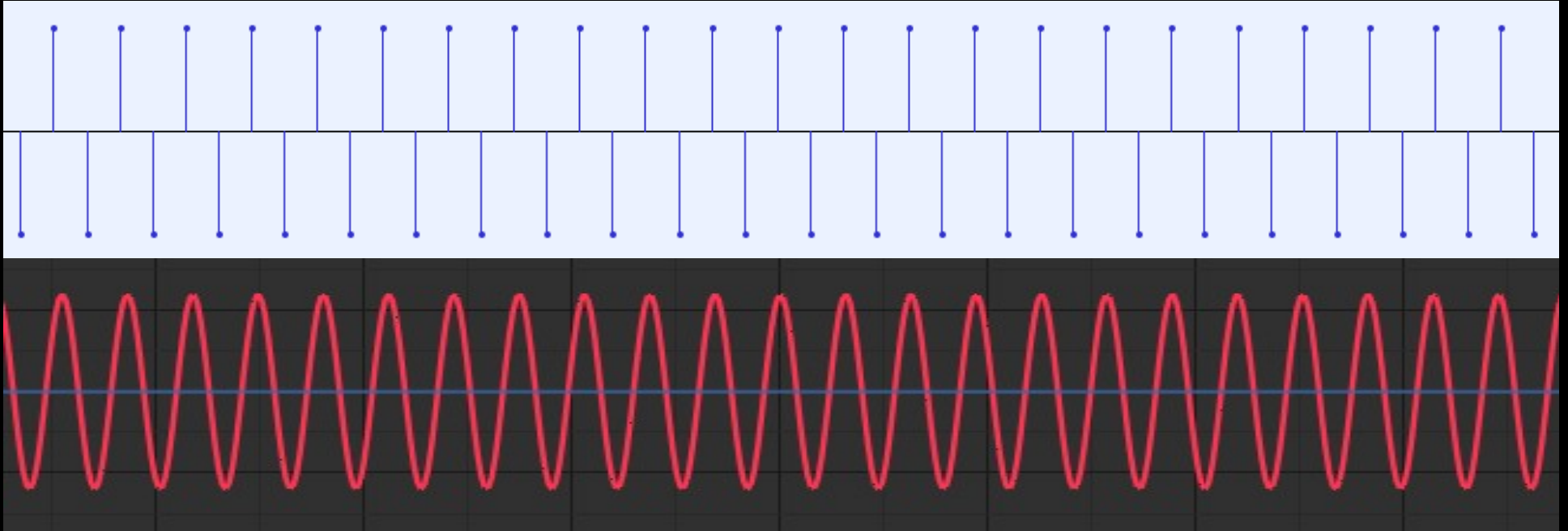


# Горизонтальное разрешение: частота дискретизации



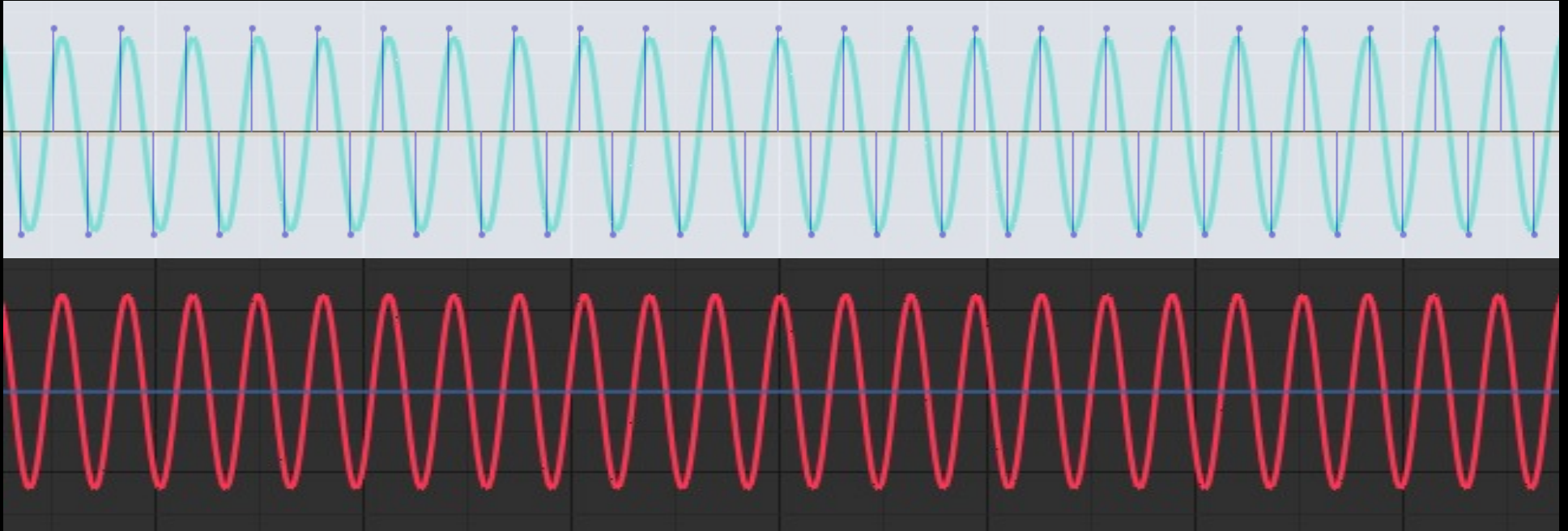
# Теорема отсчетов (Н/С/К)

Макс. частота сигнала  $N \rightarrow$  дискретизируй частотой  $2N$



# Теорема отсчетов (Н/С/К)

Макс. частота сигнала  $N \rightarrow$  дискретизируй частотой  $2N$



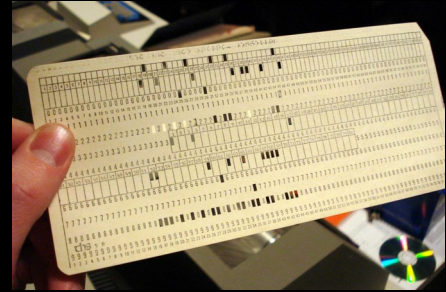
Цифровое аудио использует очень много данных

---

$44100\text{Гц} \times 2 \text{ канала} \times 16 \text{ бит sample} = 172\text{кбайт/с}$

# Цифровое аудио использует очень много данных

$44100\text{Гц} \times 2 \text{ канала} \times 16 \text{ бит sample} = 172\text{кбайт/с}$   
 $= 2205 \text{ перфокарты/с}$



# Цифровое аудио использует очень много данных

44100Гц x 2 канала x 16 бит sample = 172кбайт/сек  
= 2205 перфокарты/сек  
= 2.08 сек/дискета (5.25-DSDD)

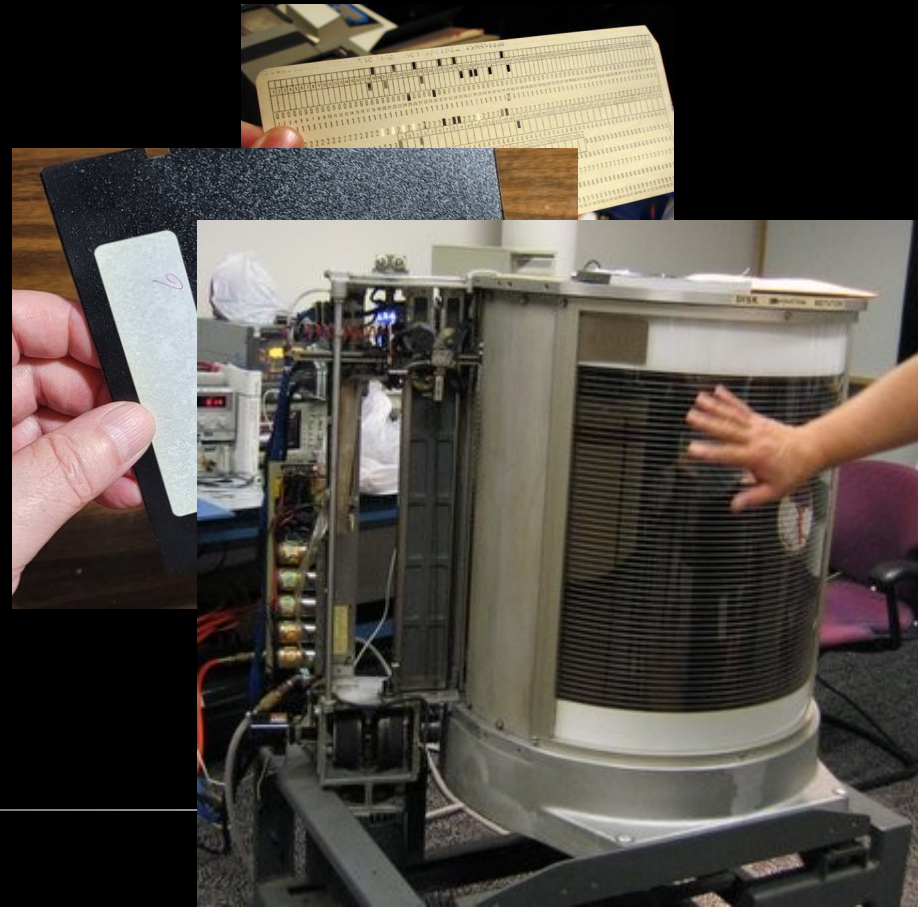


# Цифровое аудио использует очень много данных

$44100\text{Гц} \times 2 \text{ канала} \times 16 \text{ бит sample} = 172\text{кбайт/сек}$   
 $= 2205 \text{ перфокарты/сек}$

$= 2.08 \text{ сек/дискета (5.25-DSDD)}$

$= 386 \text{ сек/жест. диск (IBM 0680)}$





# Цифровое аудио использует очень много данных

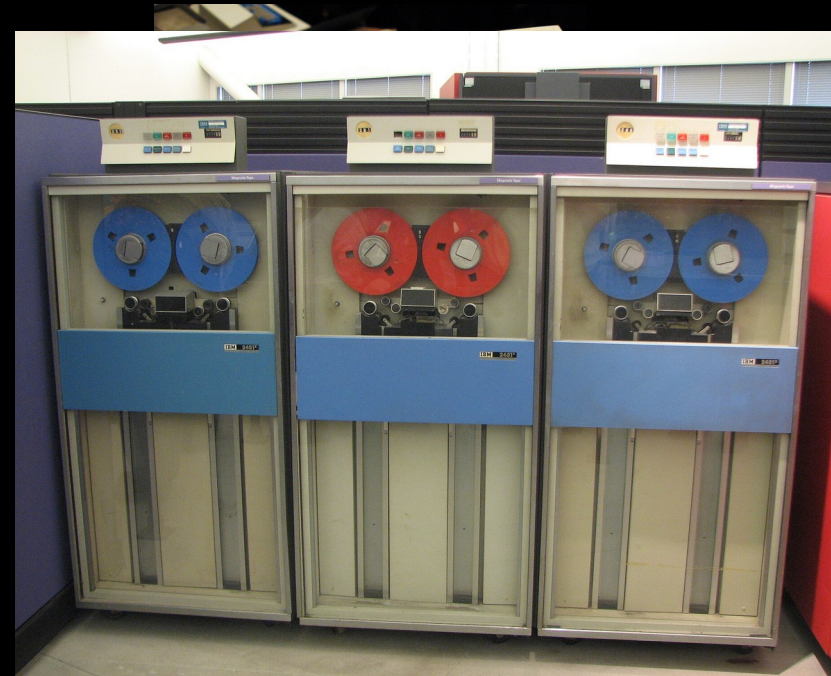
$44100\text{Гц} \times 2 \text{ канала} \times 16 \text{ бит sample} = 172\text{кбайт/сек}$

$= 2205 \text{ перфокарты/сек}$

$= 2.08 \text{ сек/дискета (5.25-DSDD)}$

$= 386 \text{ сек/жест. диск (IBM 0680)}$

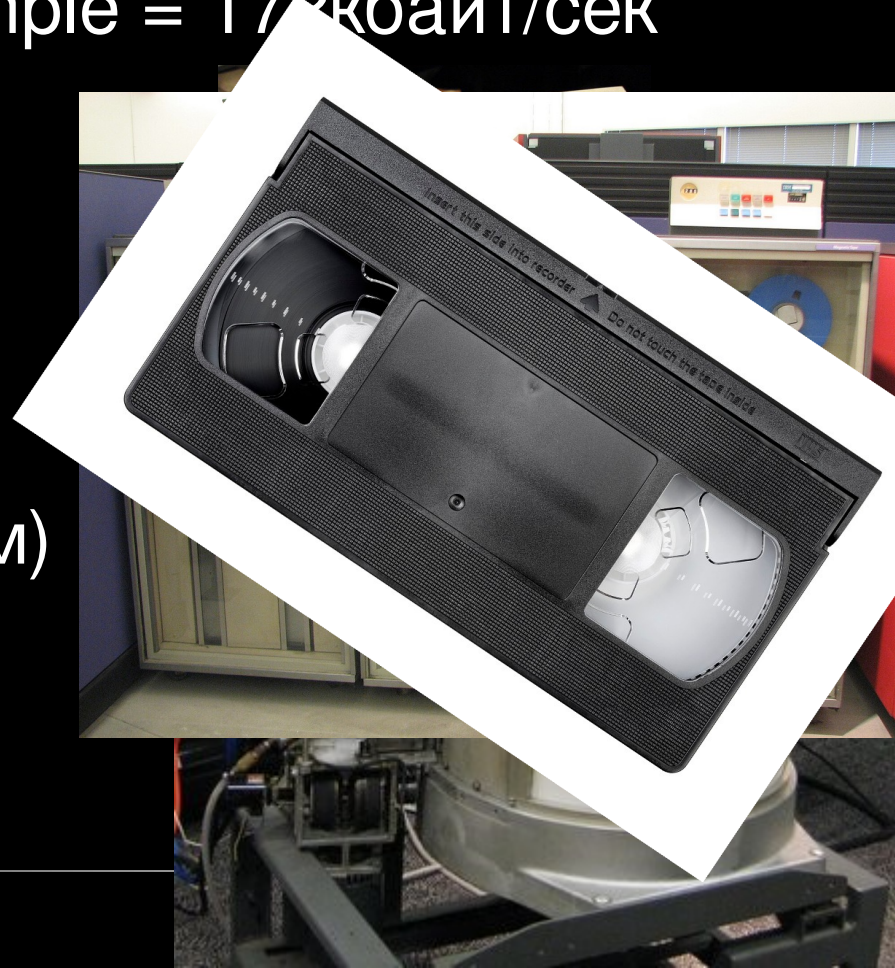
$= 1040 \text{ сек/9-дор. лента (243б/мм)}$





# Цифровое аудио использует очень много данных

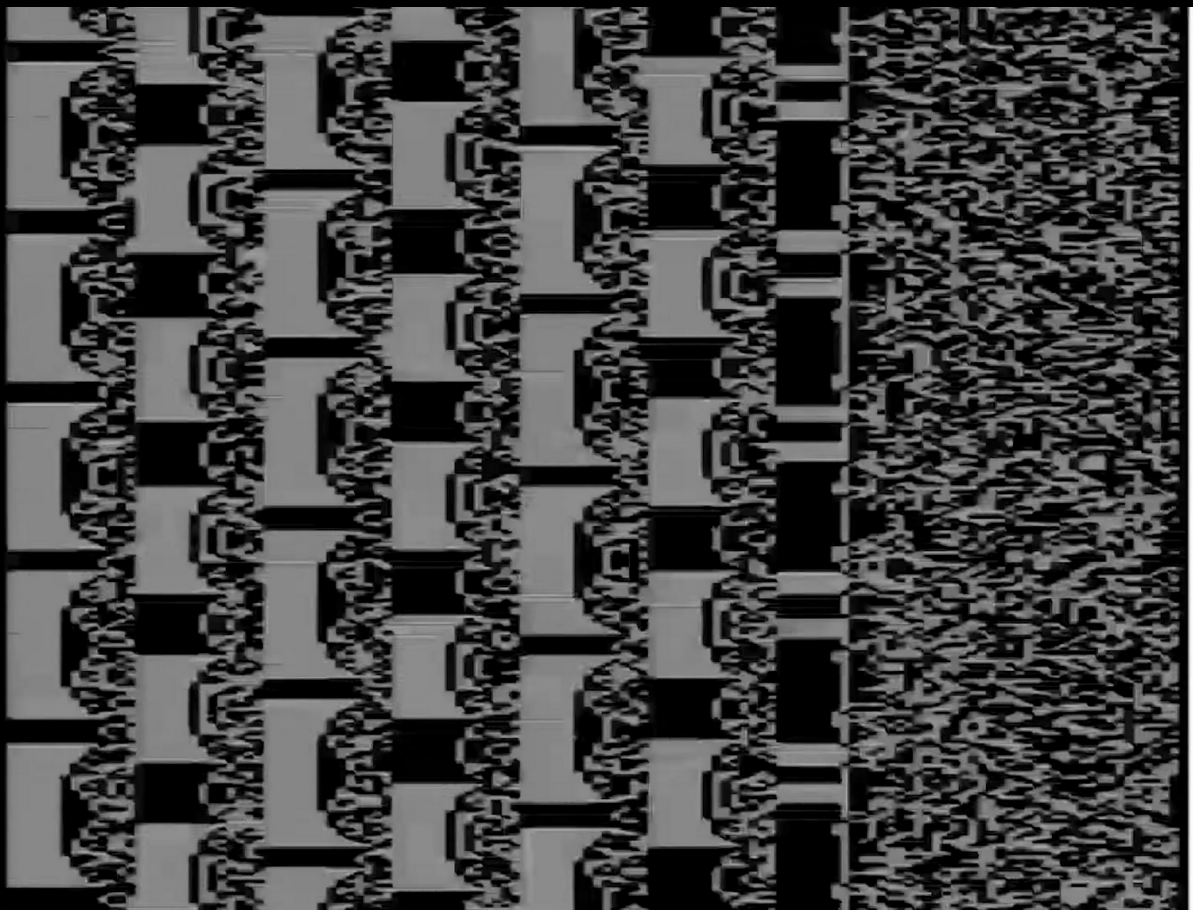
44100Гц x 2 канала x 16 бит sample = 1764 кбайт/сек  
= 2205 перфокарты/сек  
= 2.08 сек/дискета (5.25-DSDD)  
= 386 сек/жест. диск (IBM 0680)  
= 1040 сек/9-дор. лента (243б/мм)  
= 44940 сек/VHS (T-240, SLP)



# PCM-адаптеры

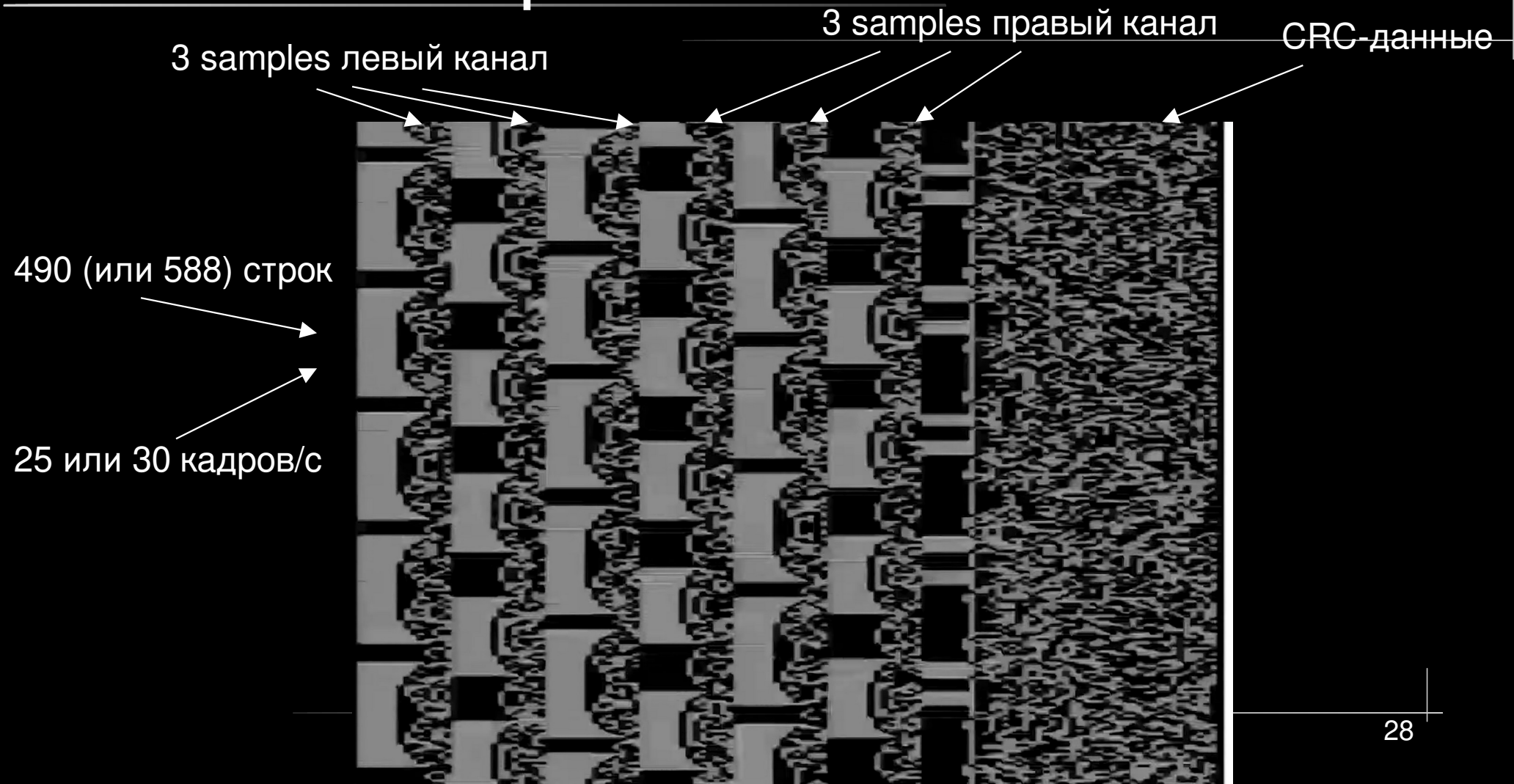


# PCM-адаптеры

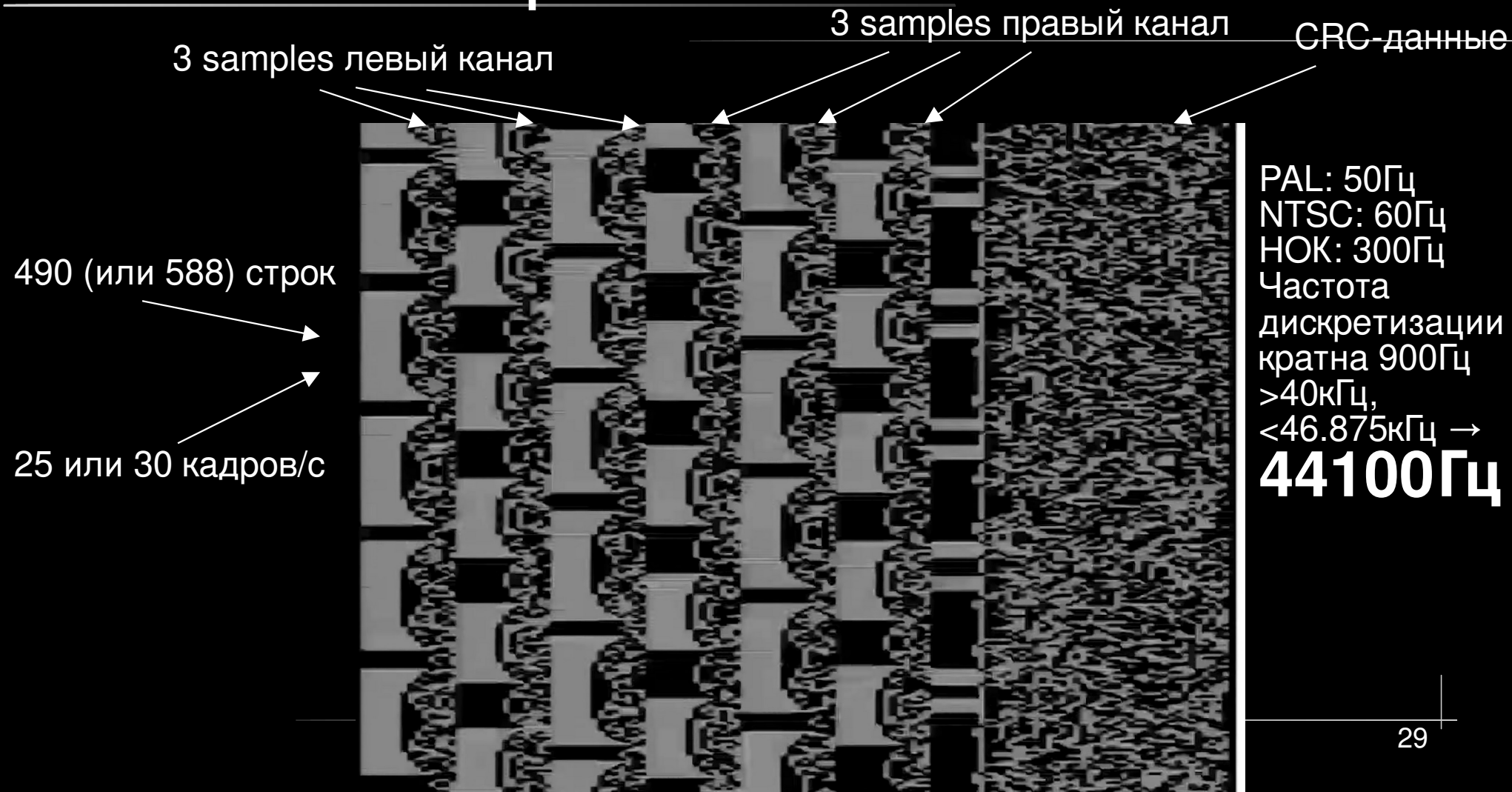




# PCM-адаптеры



# PCM-адаптеры

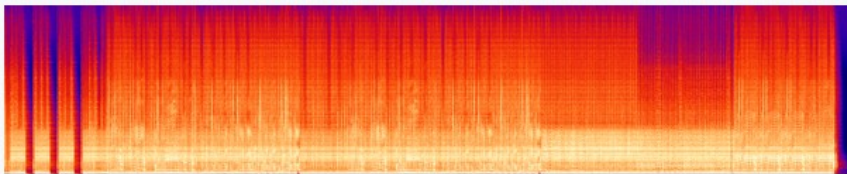


# Сжатие аудио без потерь

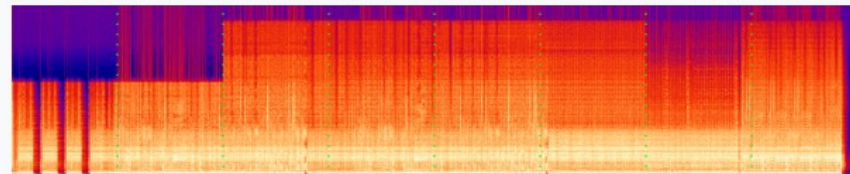
Дельта-кодирование: не значение амплитуды,  
а разность от предыдущего (меньше бит)



# Сжатие аудио с потерями: кодеки

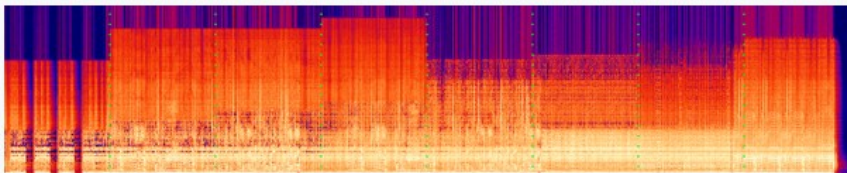


Original Audio

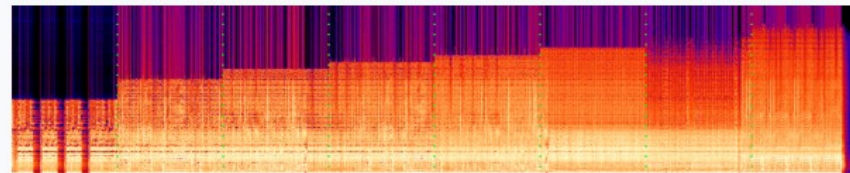


**Deutsch:** Spektrogramm einer Opus-kodierten Musikaufnahme bei unterschiedlichen Durchschnittsbitraten (~32 bis ~160 kbit/s) zeigt deutlich das Tiefpass-Verhalten des Kodierers und die vergleichsweise gute Erhaltung der Bandenergie durch CELT.

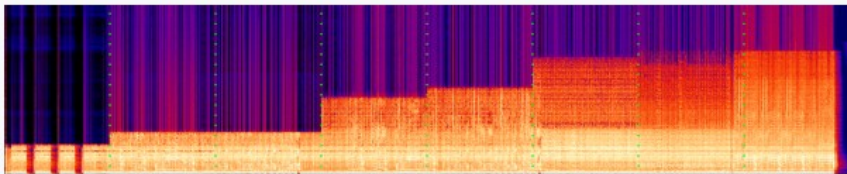
**English:** Spectrogram of a Opus-encoded music recording at different average bitrates (~32 to ~160 kbit/s) clearly show the lowpass behaviour of the encoder and the comparatively good preservation of the band energy with CELT.



AAC

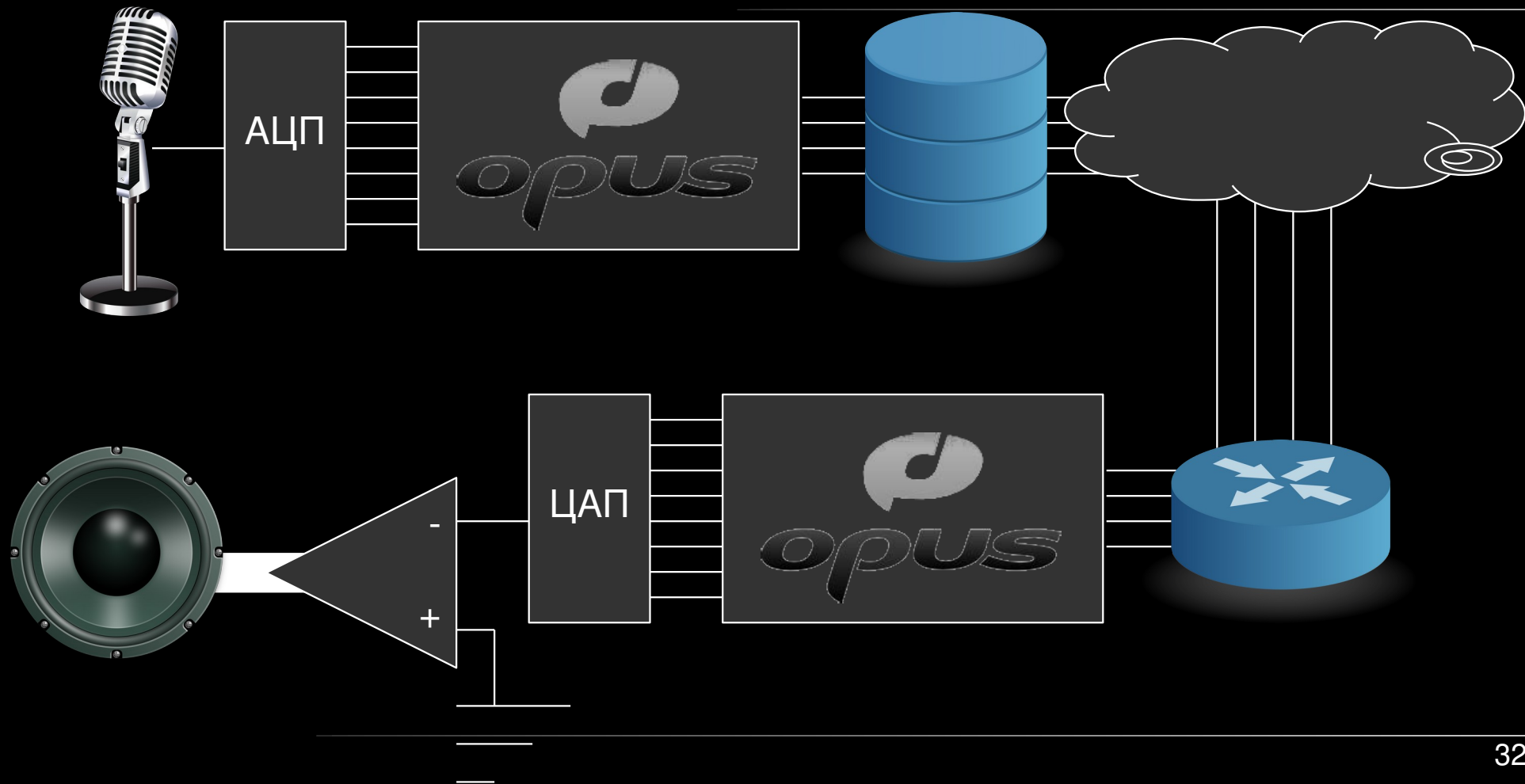


Vorbis



MP3

# Современное цифровое аудио





# Список литературы

---

1. *Maguire R.* The Ghost in the MP3. — 2014. — URL: <https://www.theghostinthemp3.com> ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
2. *Polytechnic Hub.* What do you mean by ADC (Analog to digital converter)? — 2017. — URL: <https://www.polytechnichub.com/mean-adc-analog-digital-converter/> ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
3. *Technology Connections.* Digital audio needed videotape to be possible - and the early days were wild! — 2023. — URL: <https://youtu.be/xSnrQBfBCzY> ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
4. *Tony R. Kuphaldt.* Lessons in Electric Circuits – Volume IV (Digital). — 2007. — URL: [http://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/Digital/DIGI\\_13.html](http://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/Digital/DIGI_13.html) ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
5. *US General Services Administration.* Federal Standard 1037C. — 2000. — URL: [https://web.archive.org/web/20201020083412/https://www.its.blrdoc.gov/fs-1037/dir-039/\\_5829.htm](https://web.archive.org/web/20201020083412/https://www.its.blrdoc.gov/fs-1037/dir-039/_5829.htm) ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
6. *Wikimedia Commons.* Opus (audio codec) — Wikimedia Commons, the free media repository. — 2016. — URL: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Opus\\_\(audio\\_codec\)&oldid=191086672](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Opus_(audio_codec)&oldid=191086672) ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
7. *Wikipedia contributors.* Nyquist–Shannon sampling theorem — Wikipedia, The Free Encyclopedia. — 2023. — URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nyquist%E2%80%93Shannon\\_sampling\\_theorem&oldid=1174270402](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem&oldid=1174270402) ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].
8. *Википедия.* Импульсно-кодовая модуляция — Википедия, свободная энциклопедия. — 2023. — URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=15109&oldid=130031147> ; [Онлайн; загружено 30 сентября 2023].