

Kommunikációs hálózatok 2

Analóg és digitális beszédátvitel



*Németh Krisztián
BME TMIT
2017. február 14.*



A tárgy felépítése



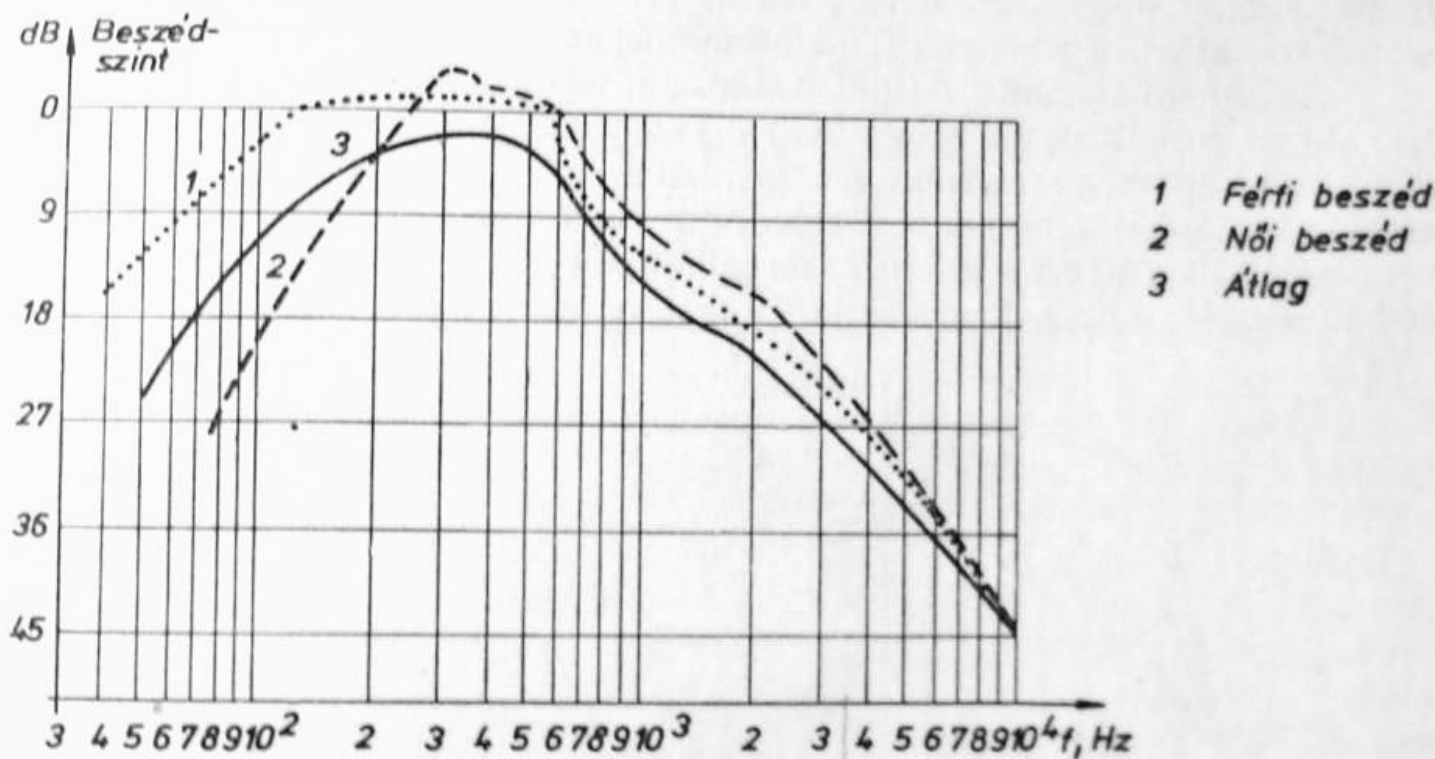
- 1. Bevezetés
 - Bemutakozás, játékszabályok, stb.
 - Technikatörténeti áttekintés
 - Mai távközlő rendszerek architektúrája
 - **Analóg és digitális beszédátvitel** ←
- 2. IP hálózatok elérése távközlő és kábel-TV és optikai hálózatokon
- 3. IPTV, Video on Demand
- 4. VoIP, beszédkódolók
- 5. Mobiltelefon-hálózatok
- 6. Jelzésátvitel
- 7. Gerinchálózati technikák



Analóg beszédátvitel



- Végberendezés: hanghullám $\leftrightarrow$ analóg elektromos jel
- Mit tudunk e jelről?
 - Emberi fül kb. 20 Hz – 20 kHz-t hall meg
 - Ebből a beszédjel felső határa 6-7 kHz



1.2-2. ábra.
Átlagos beszéd frekvenciaspektruma

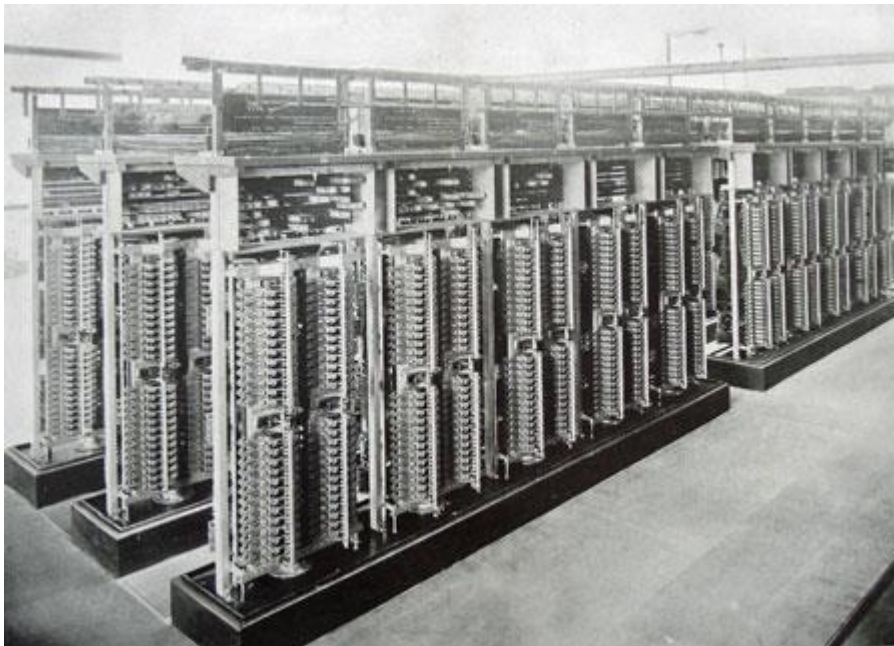


- Hány Hz széles legyen egy beszédcsatorna?
 - cél pusztán az érthető beszéd átvitele
 - + gazdaságosság!
- Korai nyalábolt trónkók FDM-et használtak
 - minél keskenyebb egy beszédcsáv, annál több fér rá egy trónkvonalra
- Manapság: digitális átvitel: TDM, IP
 - de a bitsebesség itt is számít...
 - ...és arányos az átvitt sáv szélességgel (ld. majd: PCM)
- Érthetőség és beszédminőség az átvitt frekvencia függvényében:
 - 500...1000 Hz: rossz
 - 500...1500 Hz: tűrhető
 - 400...2000 Hz: kielégítő
 - 300...2500 Hz: megfelelő
 - 300...3400 Hz: jó
 - 200...3500 Hz: igen jó
- Döntés: **0,3 – 3,4 kHz-es sáv**
 - 3,1 kHz + védősávok = **4 kHz széles lesz egy beszédcsatorna**

Analóg telefonrendszerek



- Kezdetben végponttól végpontig analóg átvitel
 - Analóg végberendezések
 - Analóg nyalábolás a trónkökön (FDM, Frequency Division Multiplexing)
 - (Elektro)mechanikus kapcsolás, galvanikus kapcsolat felépítése a kapcsolón (központon) belül



A digitális technika térhódítása



- Megjelent a digitális technika (II. világháború alatt/után)
- Sok előnnyel az analóghoz képest:
 - egyszerűbb, megbízhatóbb, olcsóbb
 - kisebb helyigény, tápigény
 - a jel/zaj viszony független a hálózat méretétől (igaz, a bithibaarány függhet)
 - kapcsolás megvalósítható mozgó alkatrészek nélkül
 - **magasabb fokú hálózati intelligencia** valósítható meg
 - sokkal **kifinomultabb jelzésátvitel** lehetséges
 - **adat és beszédjelek egységesen kezelhetők**
- Célszerű volt a beszédjelet digitalizálni
 - és így átküldeni egy digitális telefonhálózaton
 - hatalmas átalakítás a hálózatban!

Digitális távbeszélő hálózatok



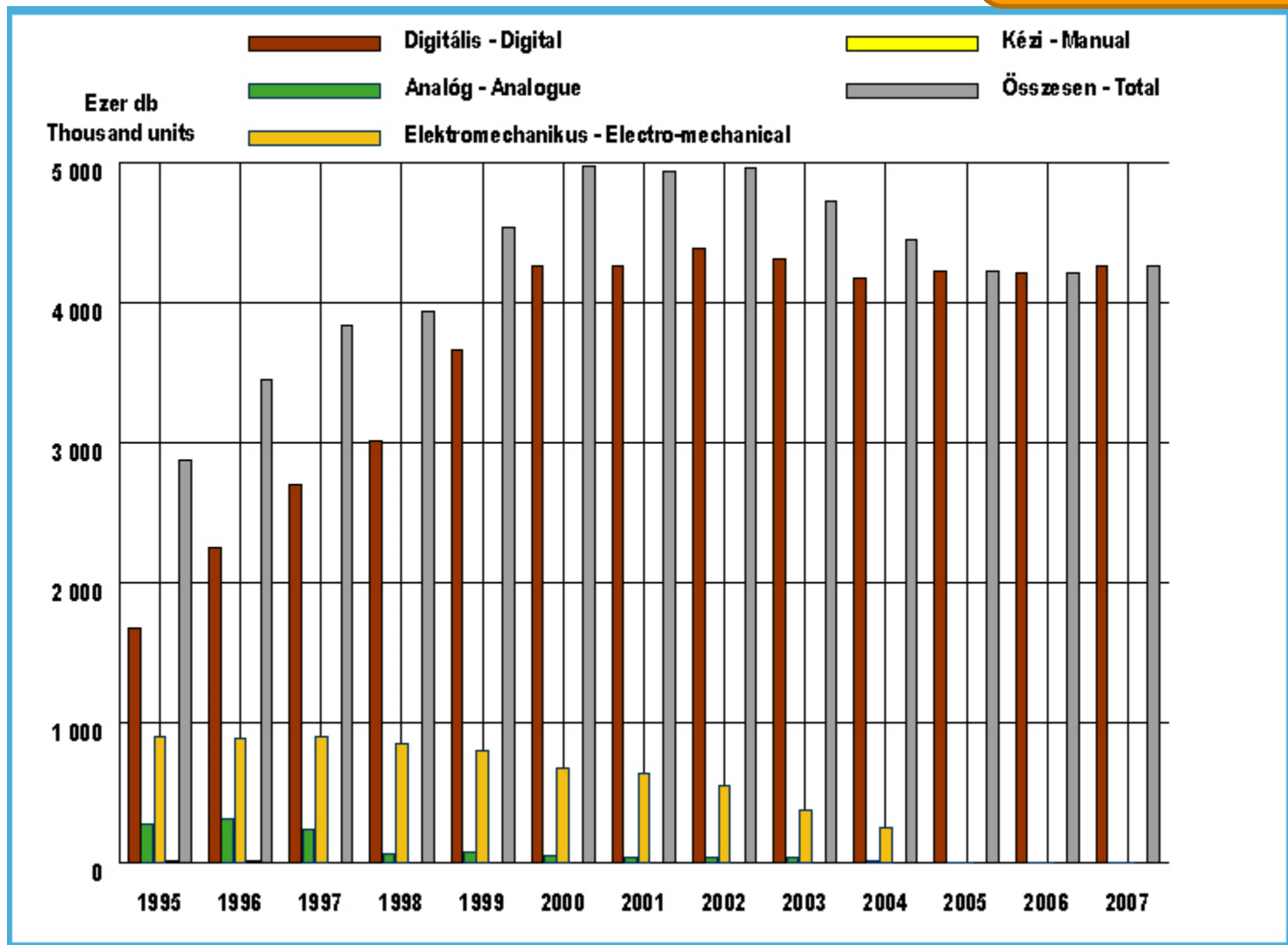
- Először az átviteli utakat digitalizálták (USA: 1960-as, '70-es évek)
 - klasszikusan TDM (Time Division Multiplexing, időosztásos nyalábolás) rendszerek
 - általános célú digitális átviteli hálózatok, nem csak telefonhálózatok jeleire
 - pl. PDH, SDH (lásd majd a Gerinchálózati technikák fejezetet)
 - ma már sokszor IP
- utána hamarosan a központokat is
 - TDM központok: célszámítógépek, a kapcsolás = ügyes másolás a be- és kimenetek között
- a (vezetékes hálózati) végberendezések nagy része ma is analóg!
 - ami nem, az ISDN, ld. nemsokára
 - helyi kapcsolóközpontban történik meg az A/D – D/A átalakítás



- a vezetékes végberendezések javarészt analógok
 - a minőség megfelelő
 - kevesen fizetnek a plusz funkciókért
 - ezek nagy része ráadásul már elérhető analóg végberendezéssel:
 - intelligencia a központban, nem a készülékben!
 - digitális kiegészítések: hívószámkielzés, SMS
 - Id. hamarosan az ISDN-nél!

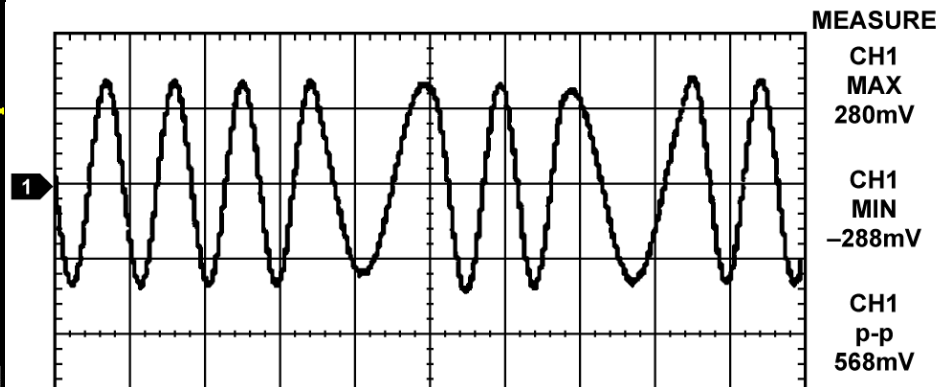
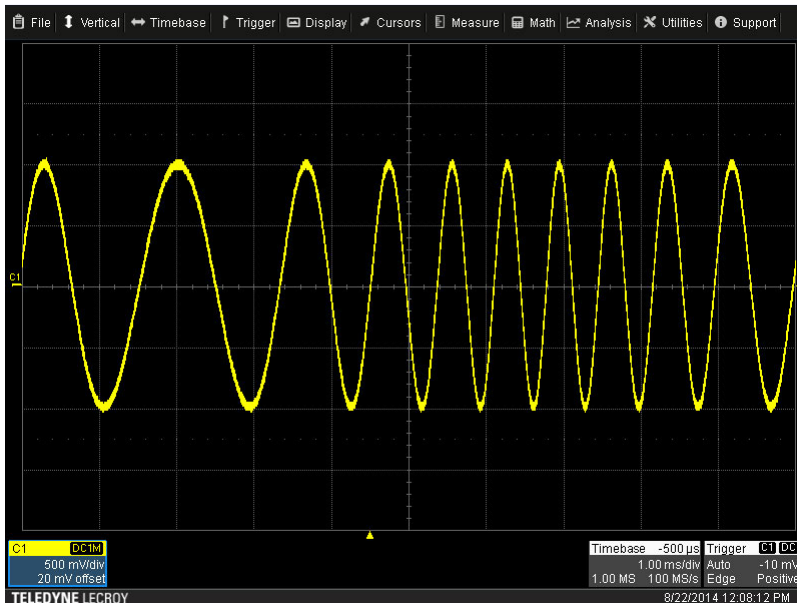
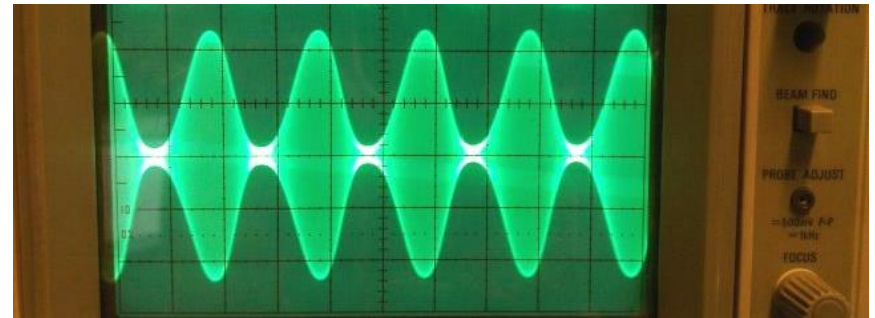
A távbeszélő központok kapacitása és digitalizáltsága Magyarországon (1995-2007)

Ez a dia nem kell a vizsgára, de így kerek a történet



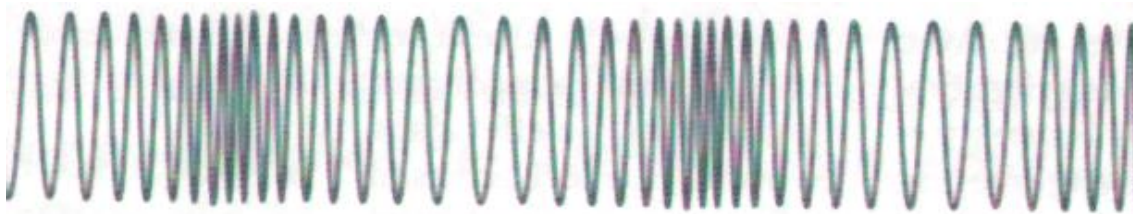
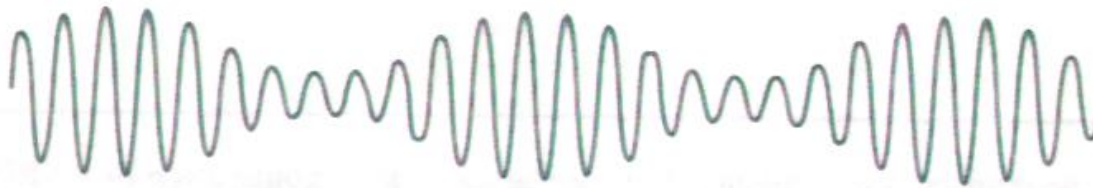
Kis (filozófiai) kitérő: analóg és digitális jelek

□ Az alábbi jelek analóg vagy digitális jelek?



Analóg és digitális jelek

□ Az alábbi jelek analóg vagy digitális jelek?



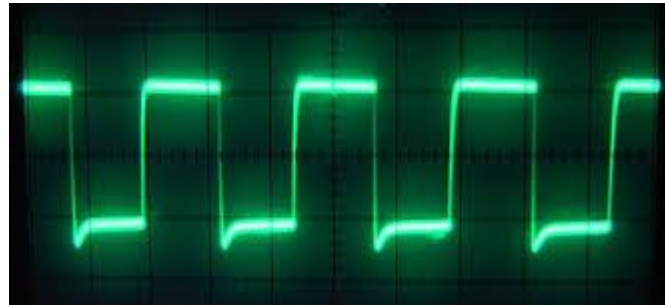
Analóg és digitális jelek

- Minden fizikai közegen megjelenő jel „analóg”
- *Akkor lesz digitális, ha annak értelmezzük*
 - nem feltétlenül négyszögjel, de lehet az is
 - az a fontos, hogy legyen néhány diszkrét állapot, amihez viszonyítunk
 - nem is feltétlenül csak kettő
 - Id. moduláció, vonali kódolás
- Ugyanígy: akkor analóg, ha annak értelmezzük

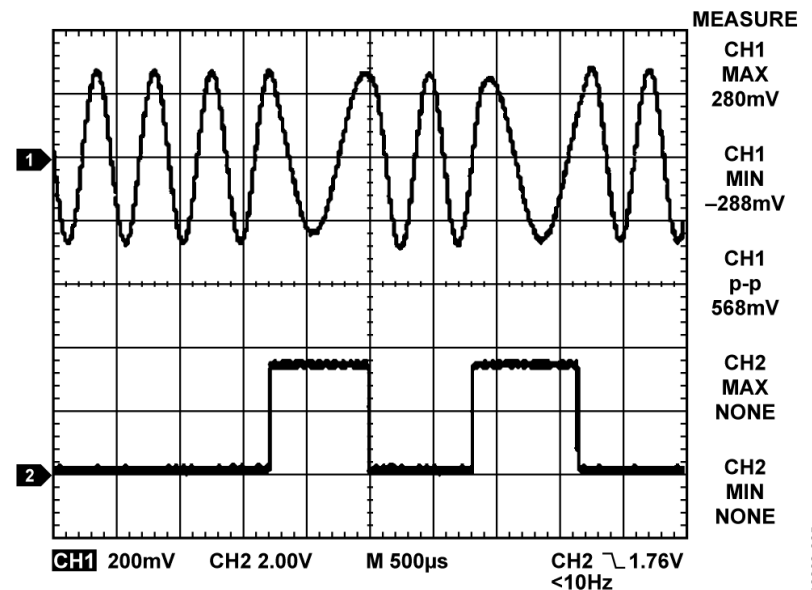
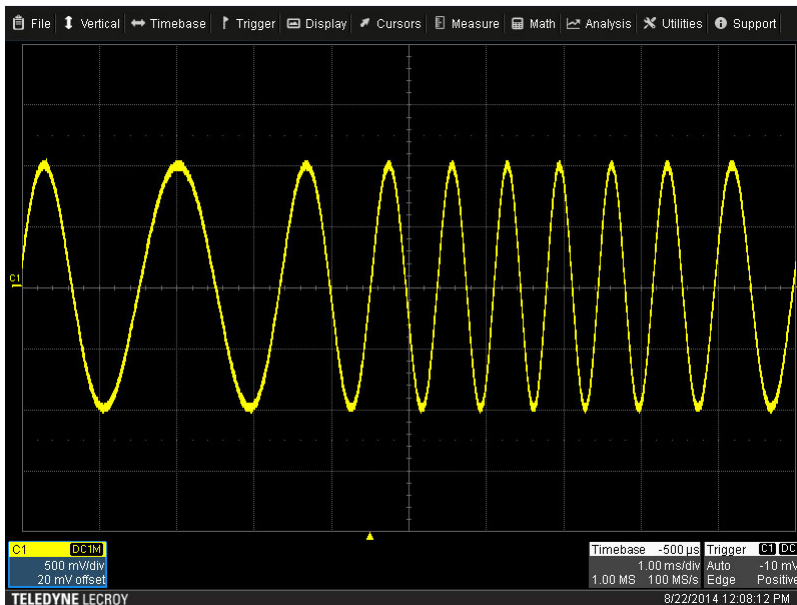
Analóg és digitális jelek

Ezek spec. digitálisnak voltak szánva:

□ négyszögjel:

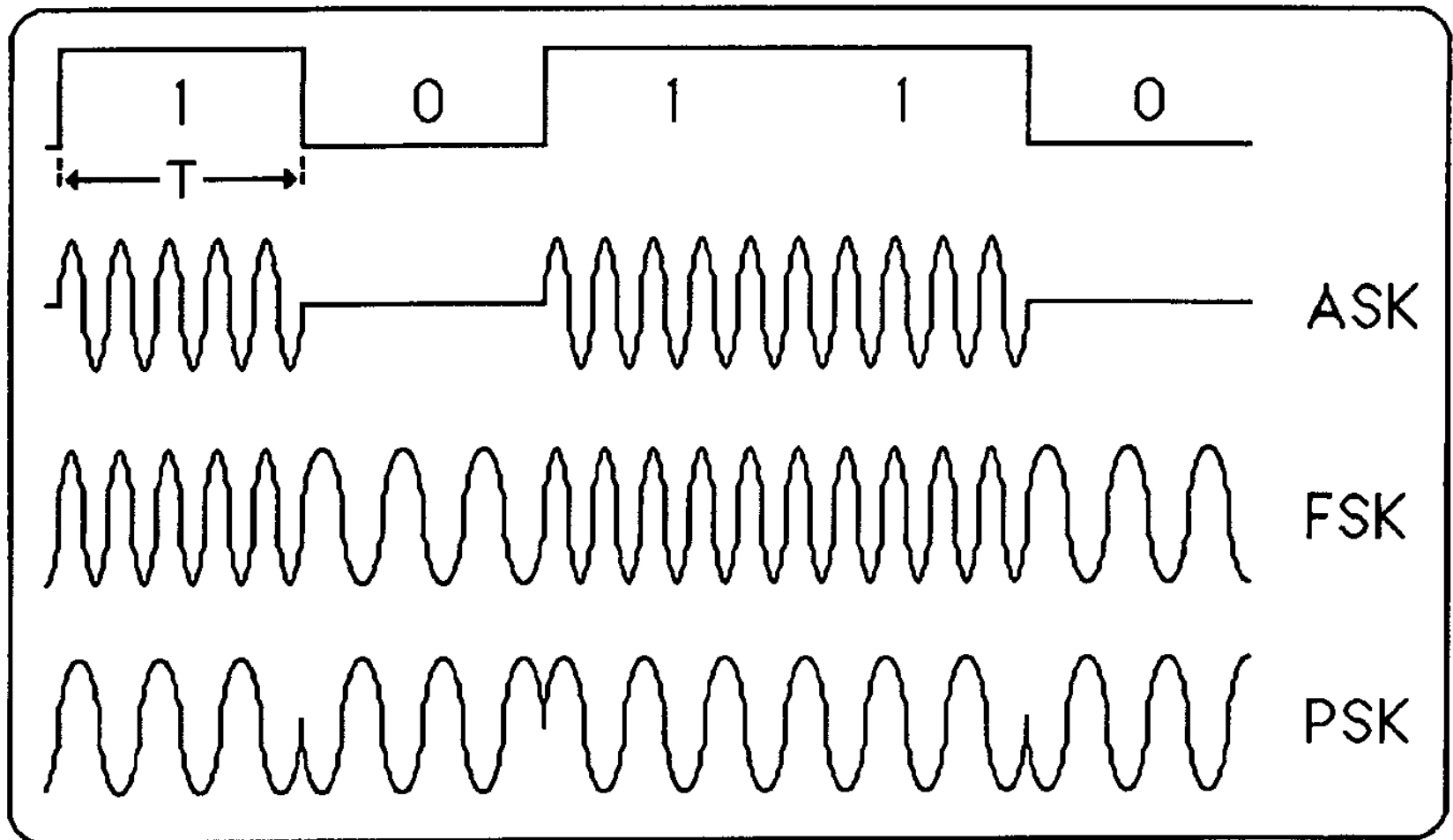


□ FSK (Frequency Shift Keying), frekvenciabillentyűzés:



Analóg és digitális jelek

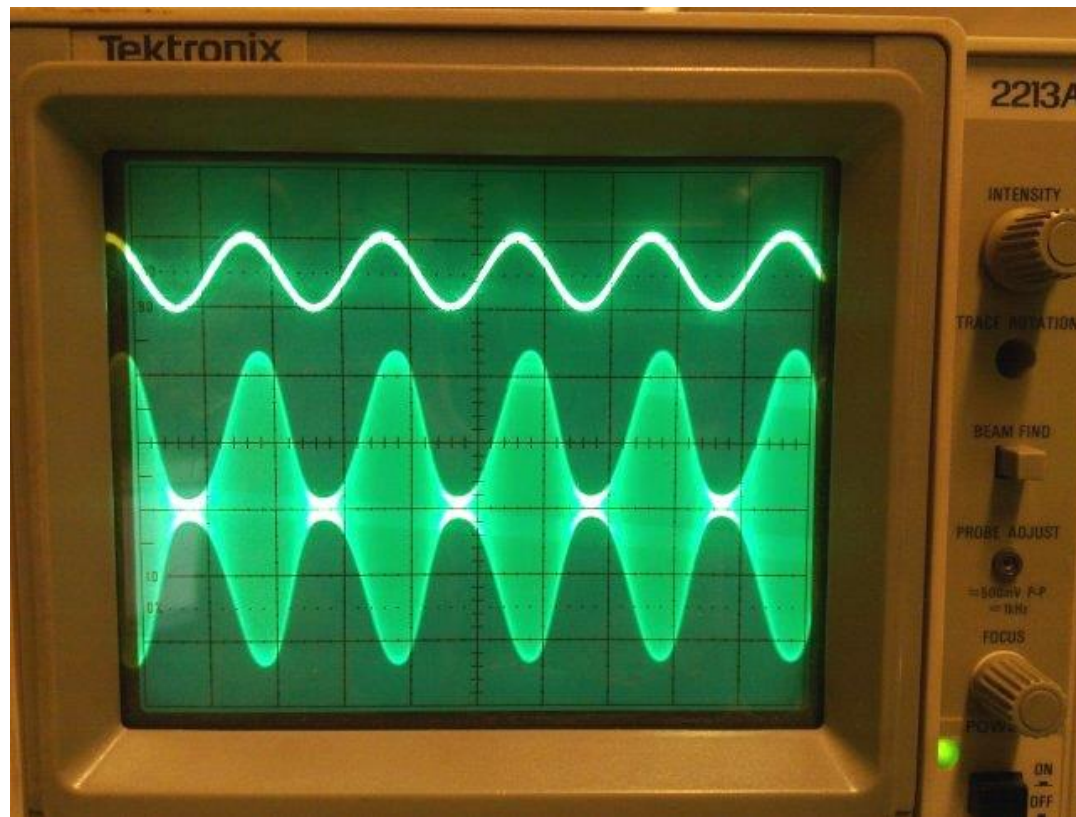
Ezek spec. digitálisnak voltak szánva:



Analóg és digitális jelek

Ezek spec. analógnak voltak szánva:

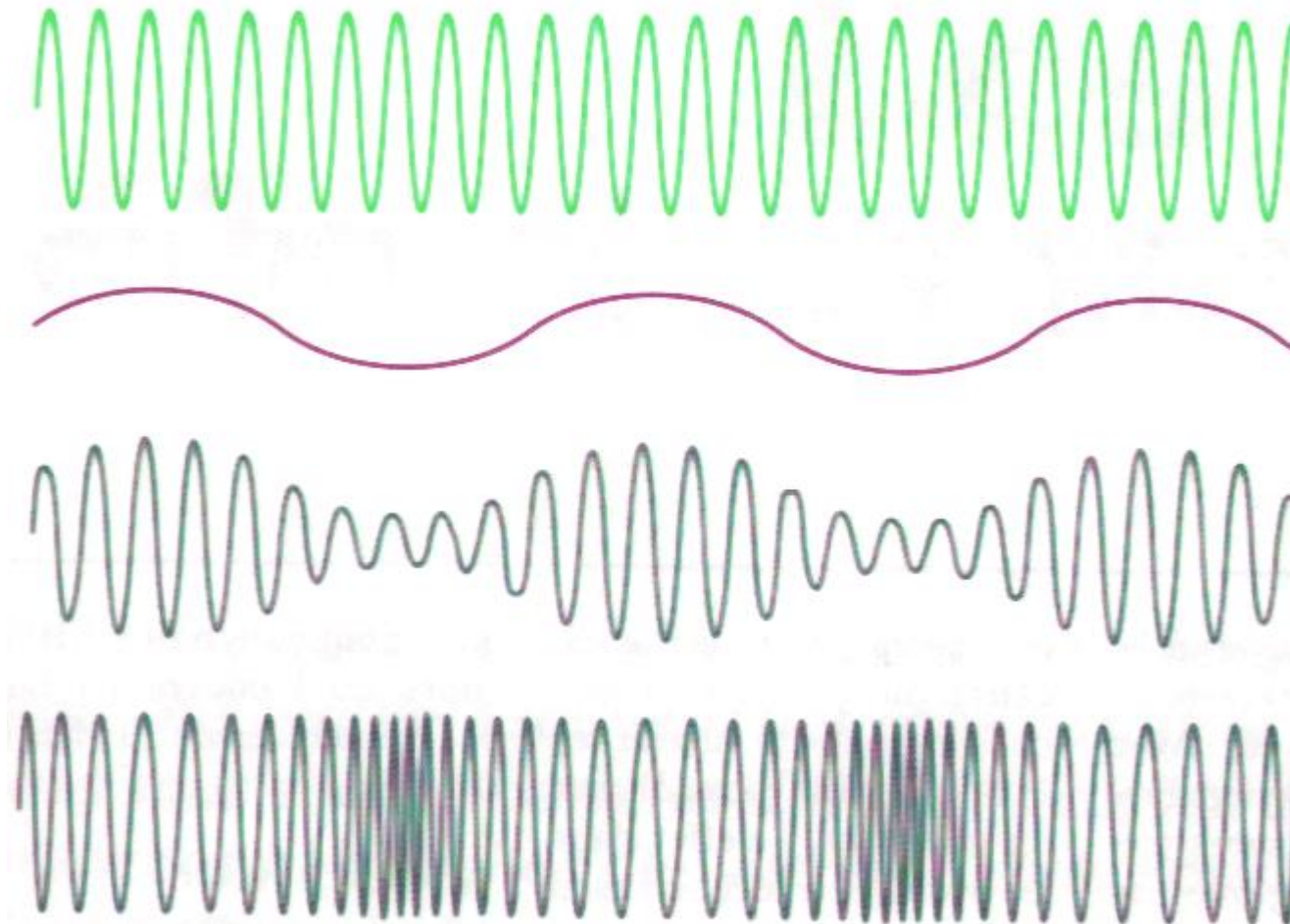
- AM, amplitúdómoduláció



Analóg és digitális jelek

Ezek spec. analógnak voltak szánva:

- AM, FM (frequency modulation, frekvenciamoduláció):



PCM

- ❑ PCM = Pulse Code Modulation, Impulzuskód moduláció
- ❑ Az első, és ma is elterjedt beszéd-digitalizáló (kódoló-dekódoló: kodek)
- ❑ Az elv régóta ismert
 - II. világháborúban már használták titkosításra
 - ❑ digitalizálás után binárisan titkosították
- ❑ Telefonhálózati alkalmazások: 1970-es évektől
- ❑ Mára az A/D átalakítás alapja
- ❑ Vannak újabb, sok szempontból jobb kodekek
 - Id. majd a „4. VoIP, beszédkódolók” fejezetnél
- ❑ Mégis ma is igen sok helyen használják beszédátvitelre
 - kiváló hangminőségű
 - sok helyen a viszonylag nagy adatsebessége („bitrate”) sem gond

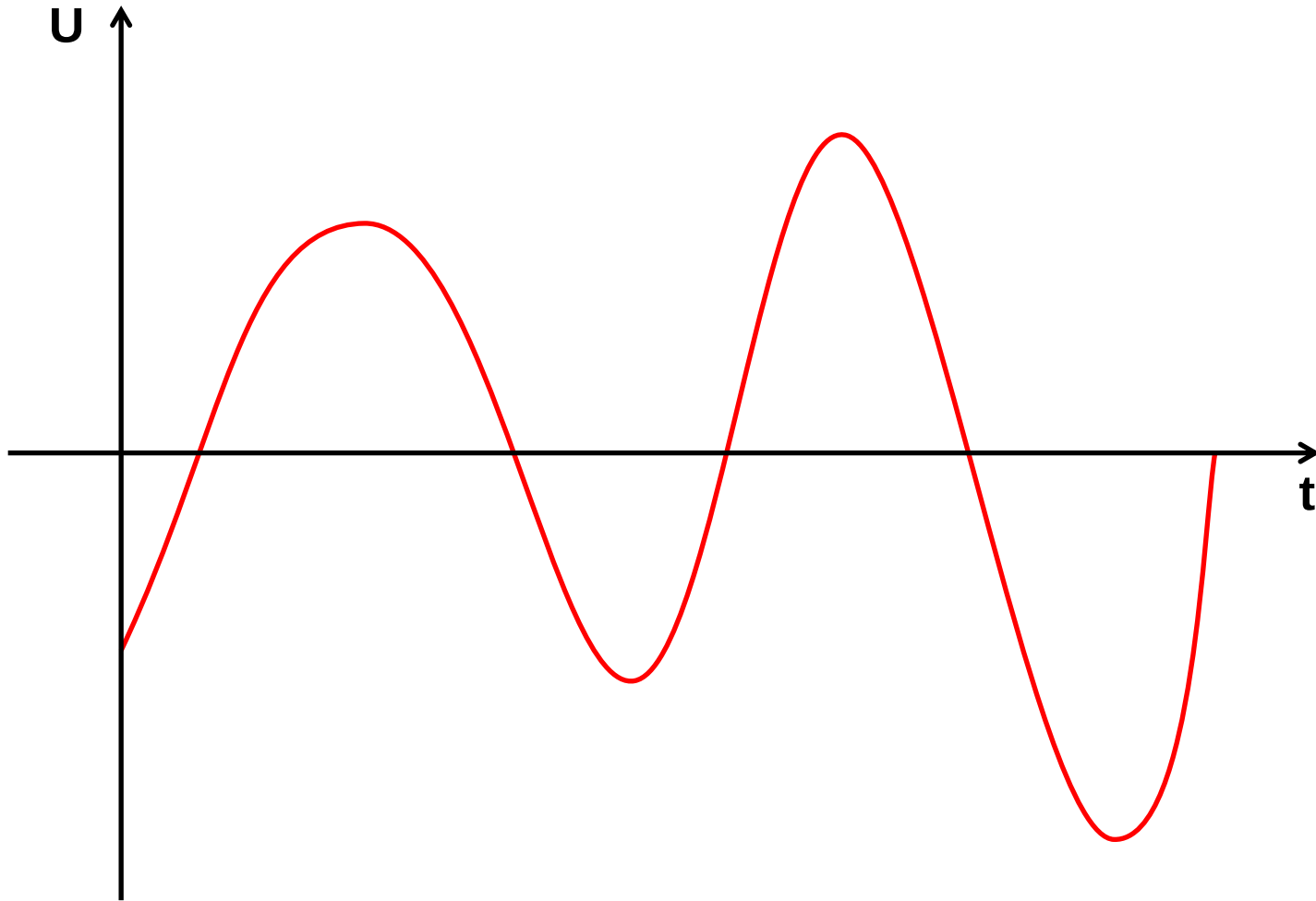


- Adott egy „jel”: feszültség-idő függvény
 - folytonos időben (fv. értelmezési tartománya)
 - folytonos feszültségben (fv. értékkészlete)
- Cél egy bitsorozat előállítása
 - Amiből helyreállítható az eredetihez nagyon hasonló jel
- A-D átalakítás lépései
 - sávszűrés
 - mintavétel
 - kvantálás
 - kódolás
- D-A átalakítás lépései
 - D-A átalakítás a kvantálás inverz karakterisztikjával
 - sávszűrés (simítás)

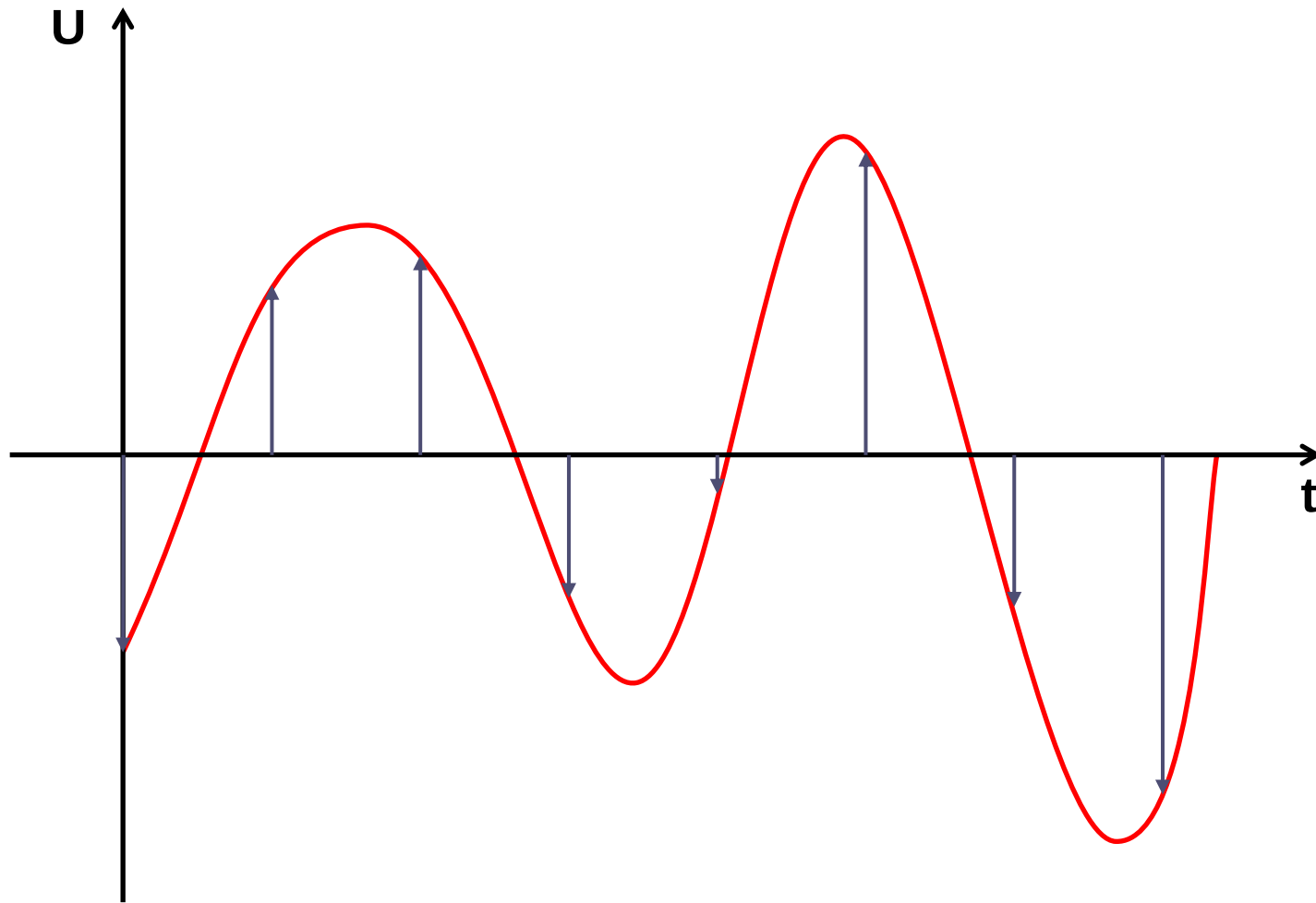
Példa: mintavételezés



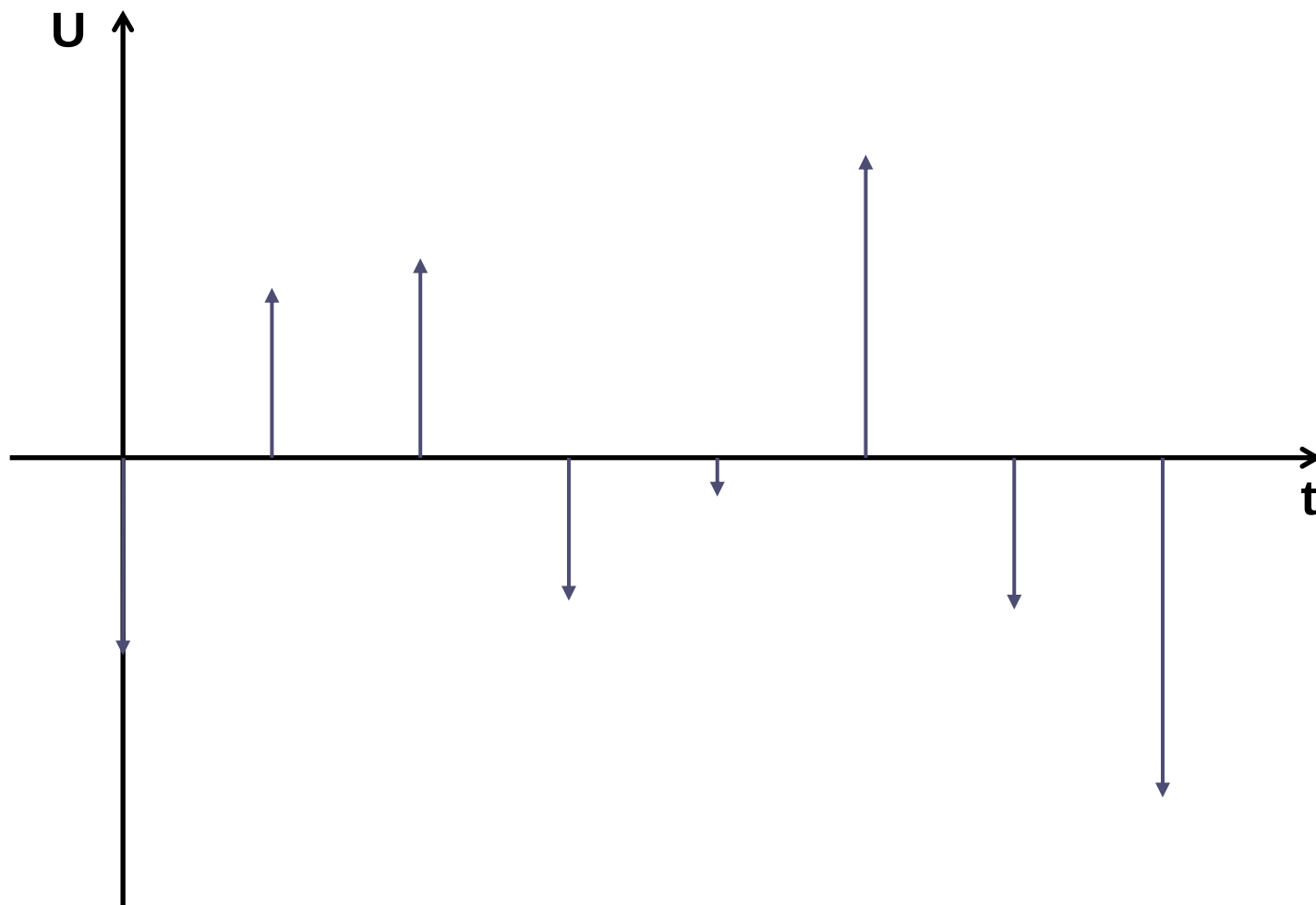
Példa: mintavételezés



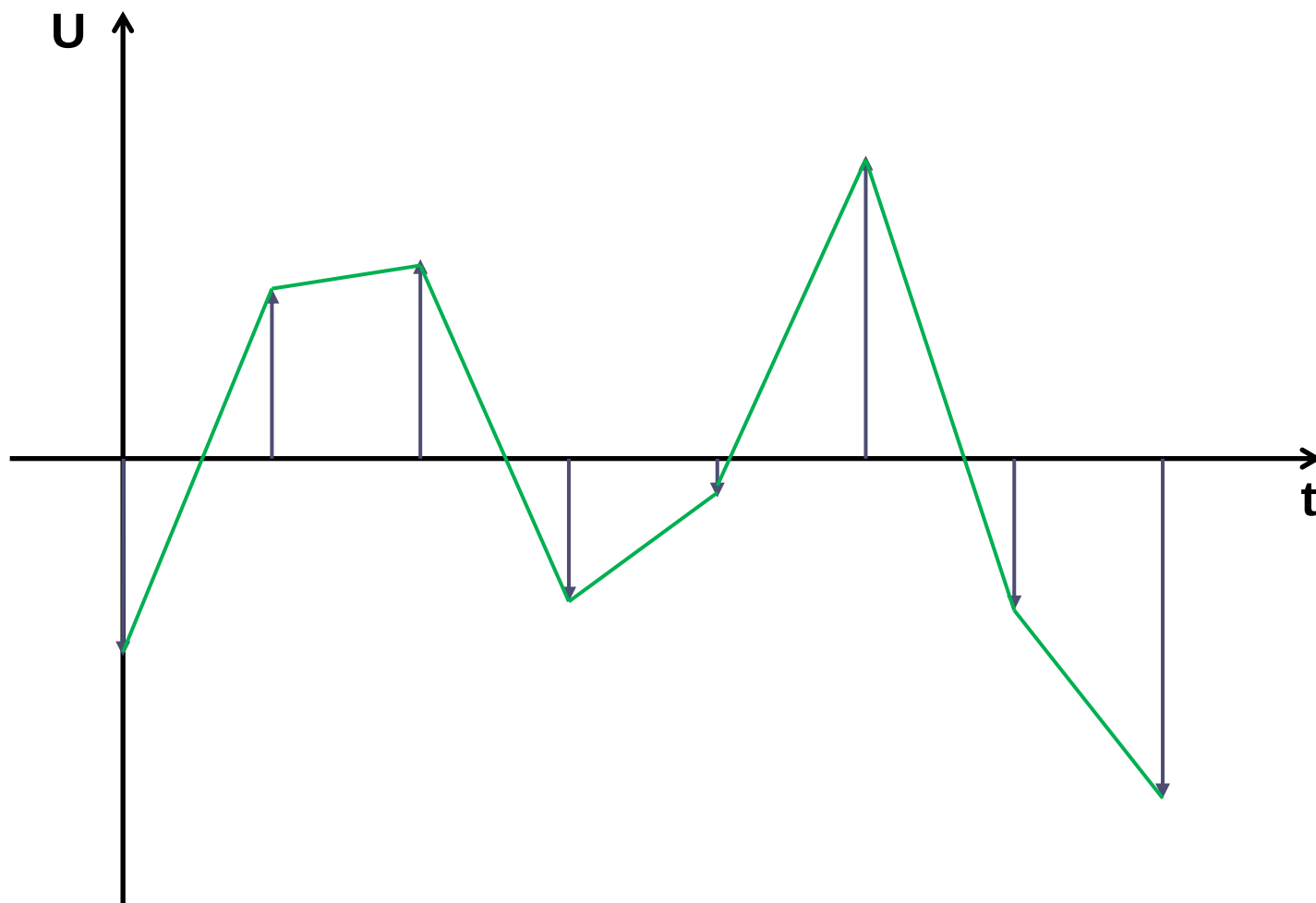
Példa: mintavételezés



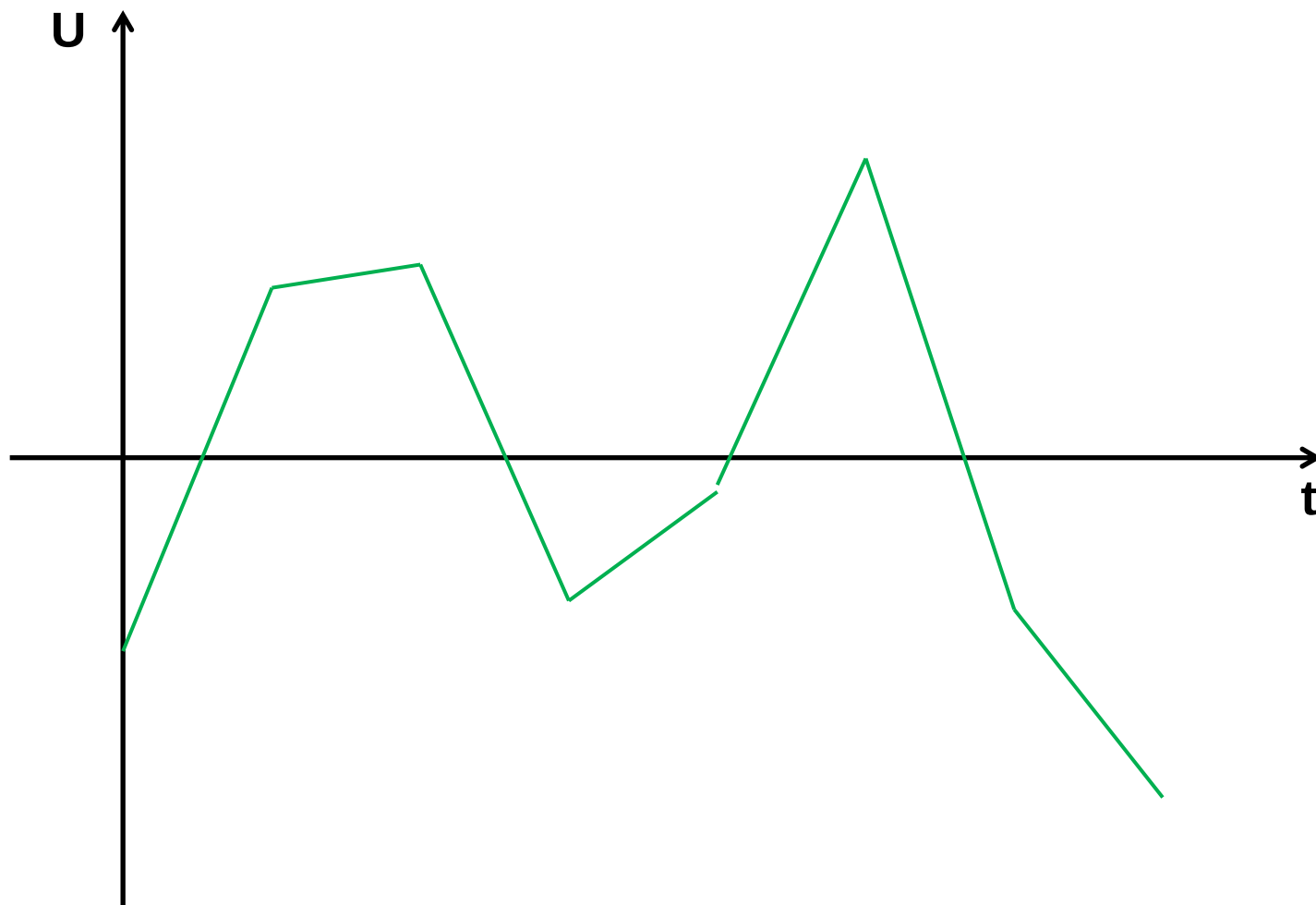
Példa: mintavételezés



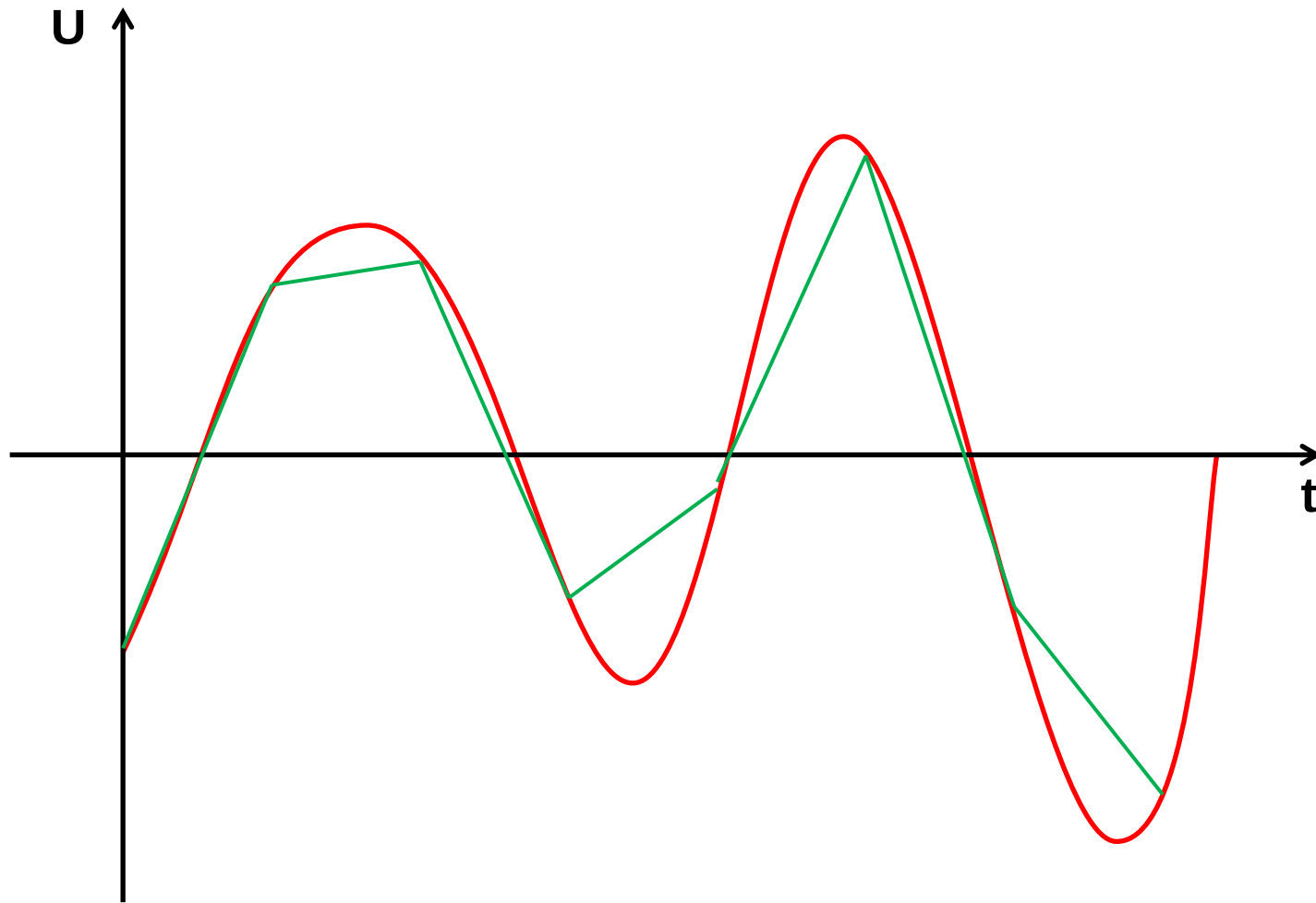
Példa: mintavételezés



Példa: mintavételezés



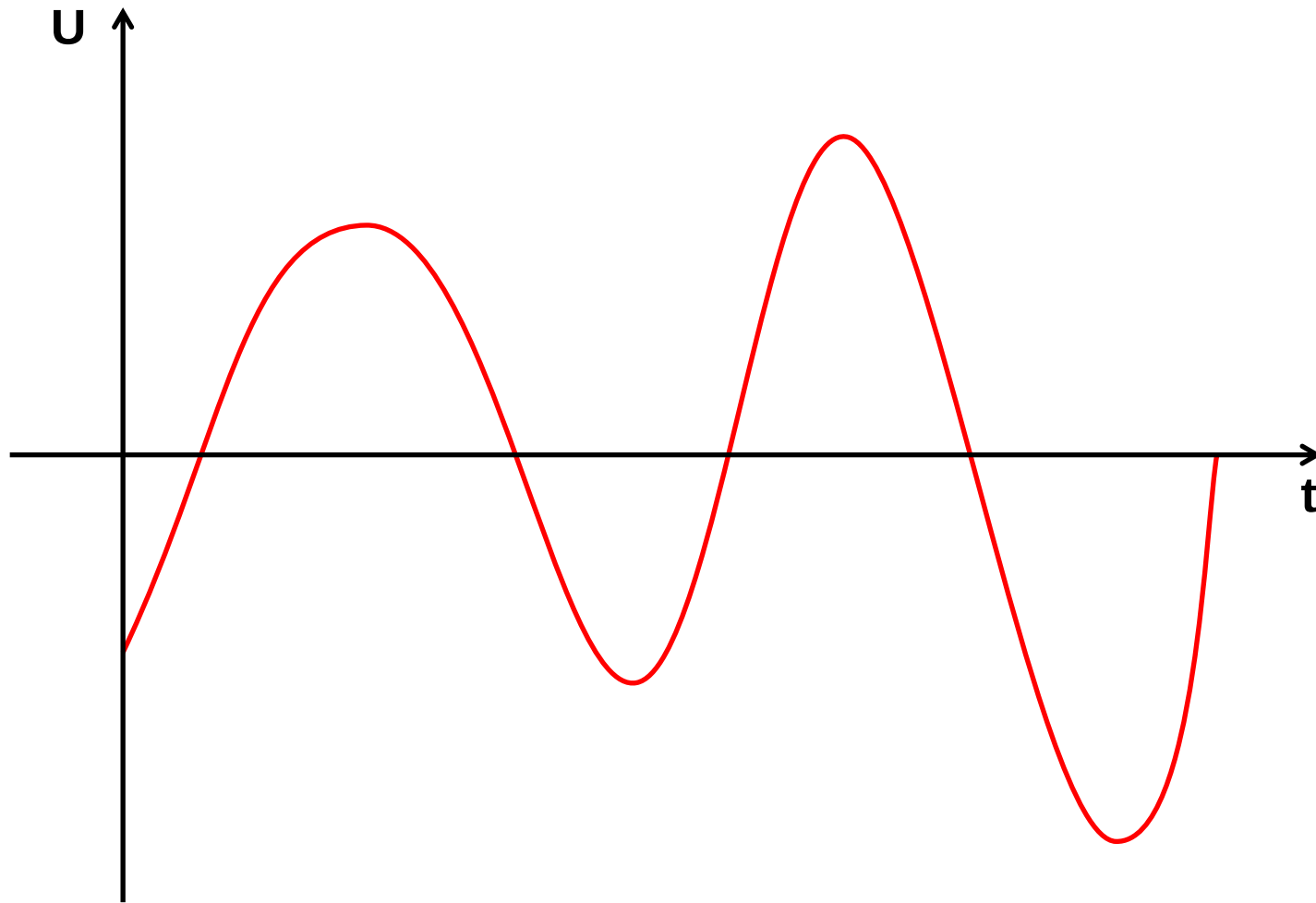
Példa: mintavételezés



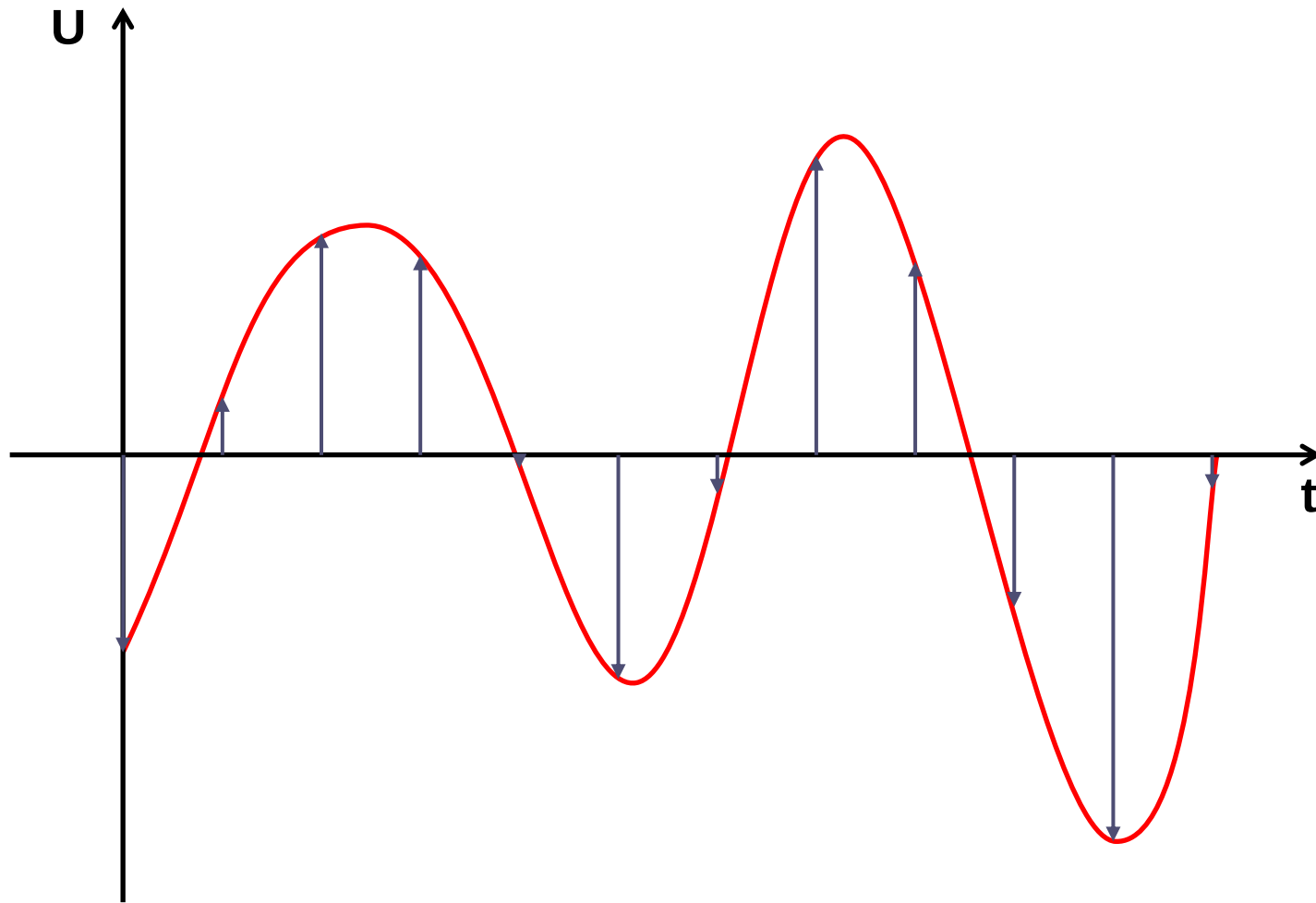
Példa: mintavételezés



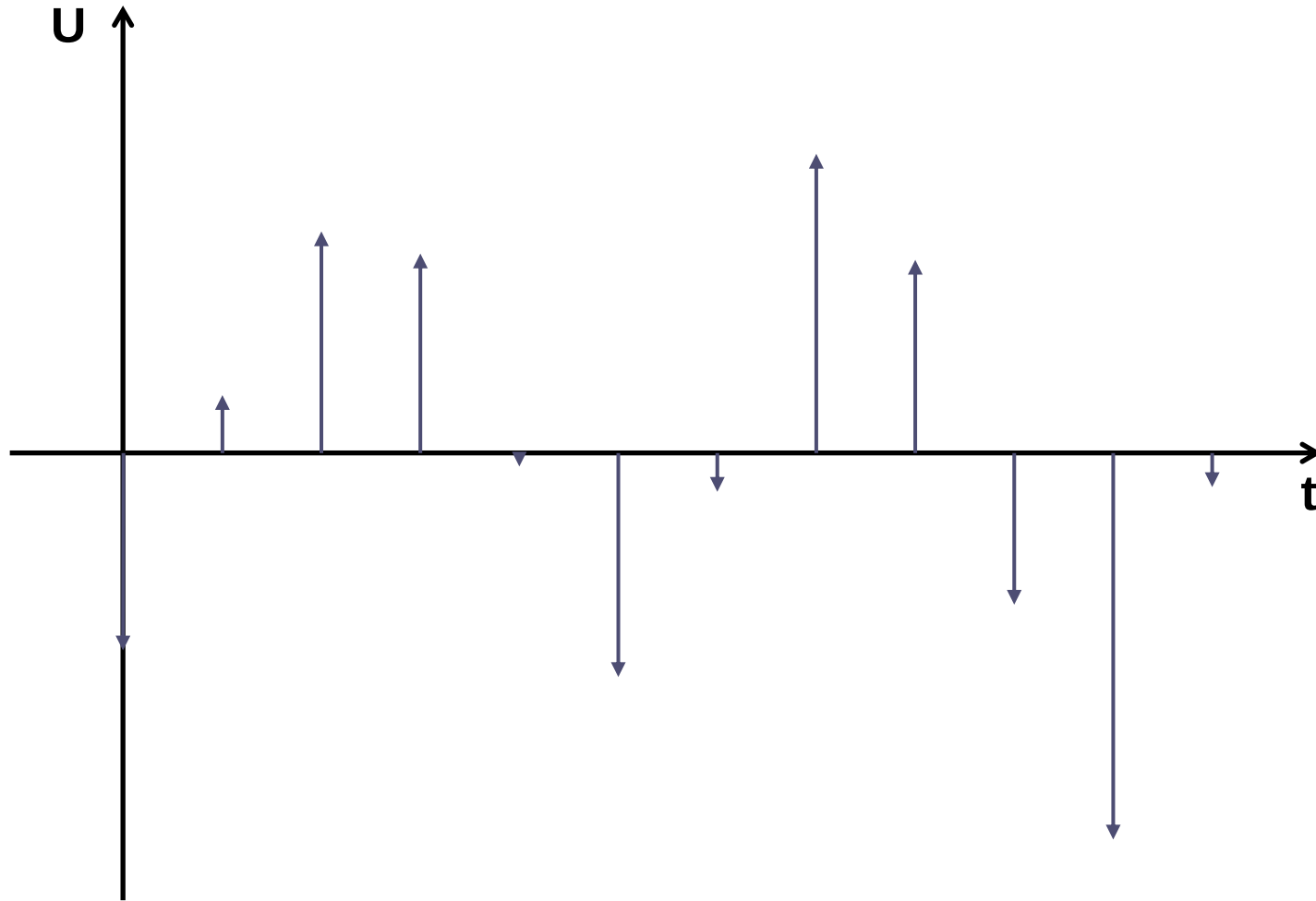
Példa: mintavételezés



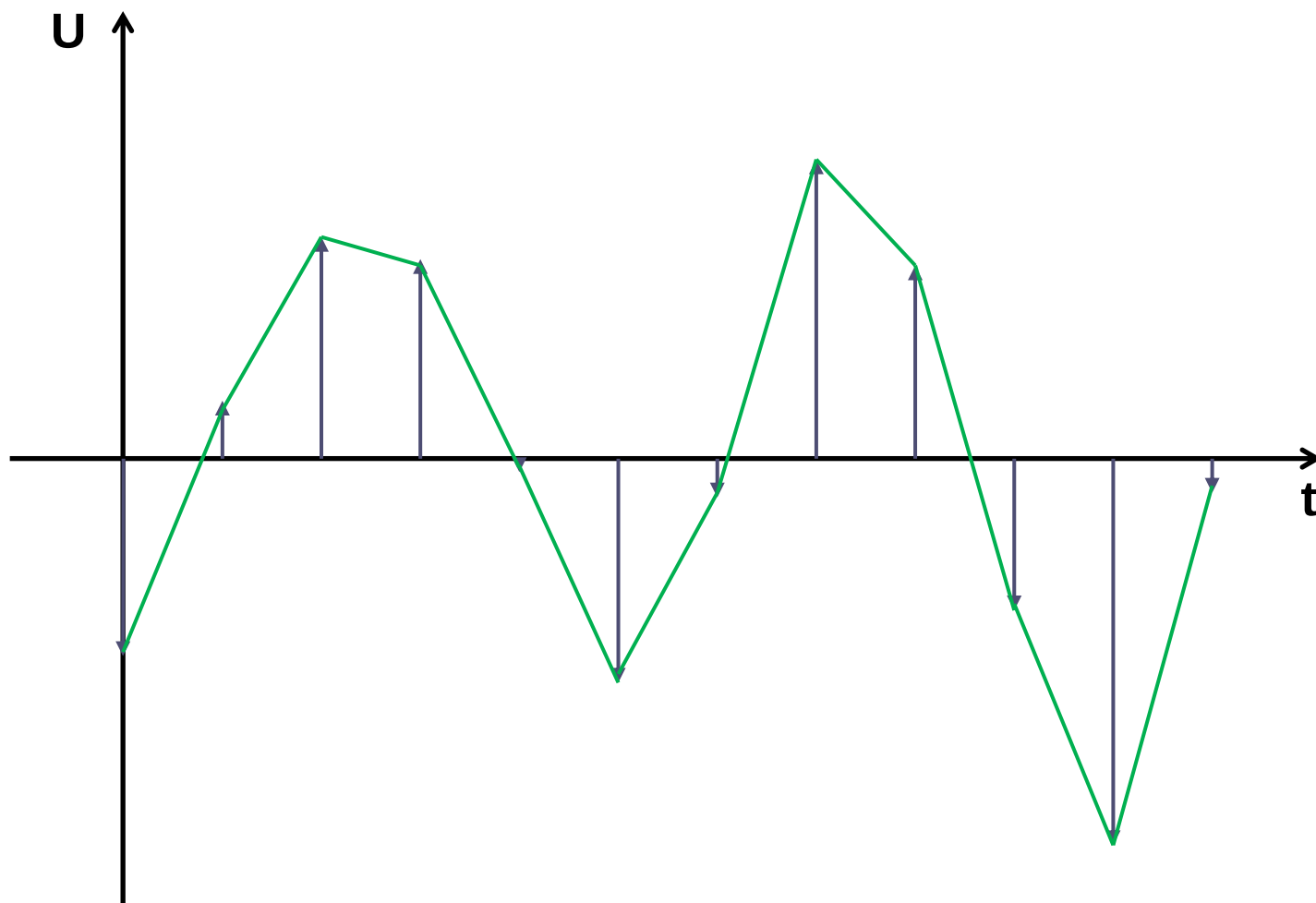
Példa: mintavételezés



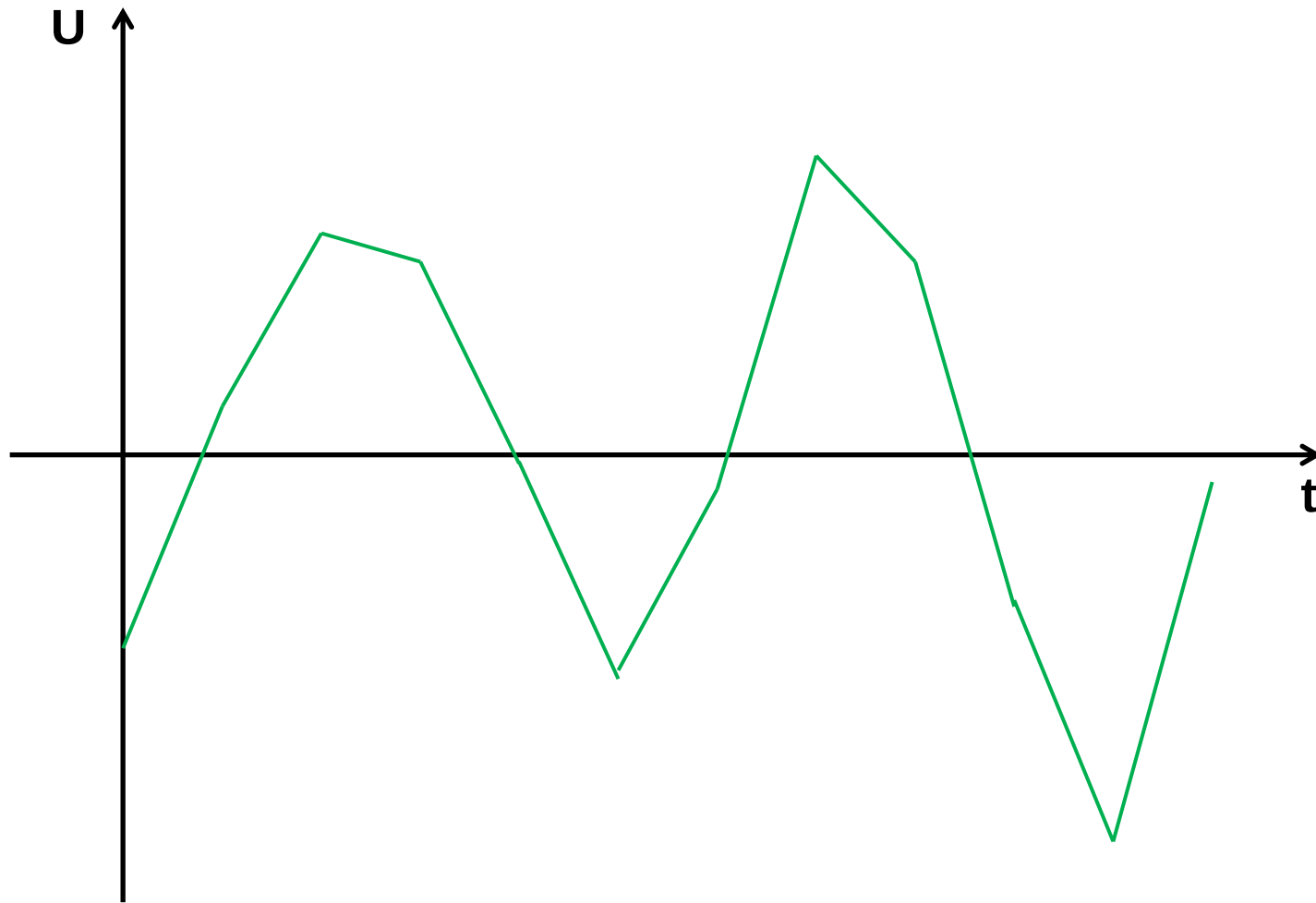
Példa: mintavételezés



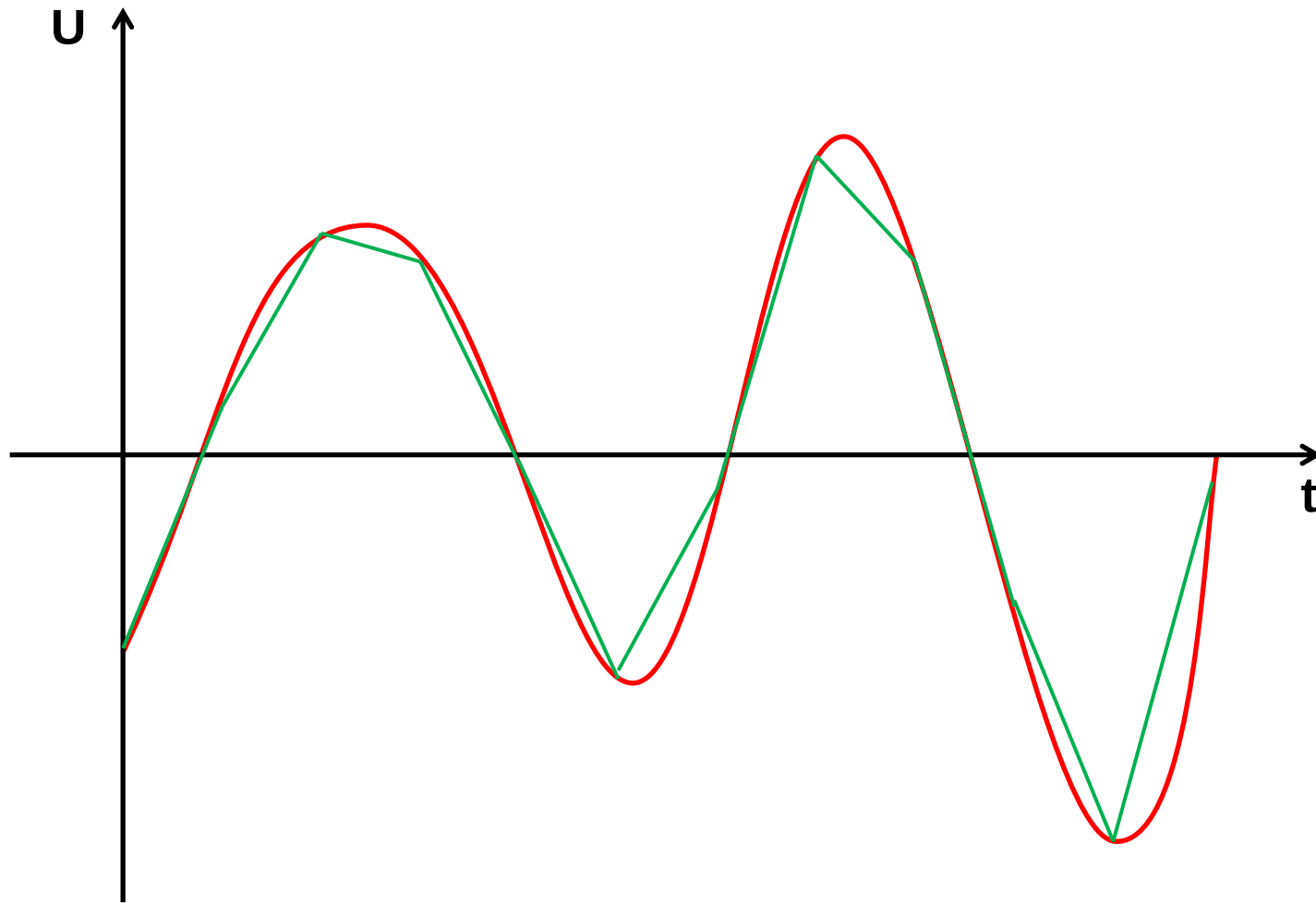
Példa: mintavételezés



Példa: mintavételezés



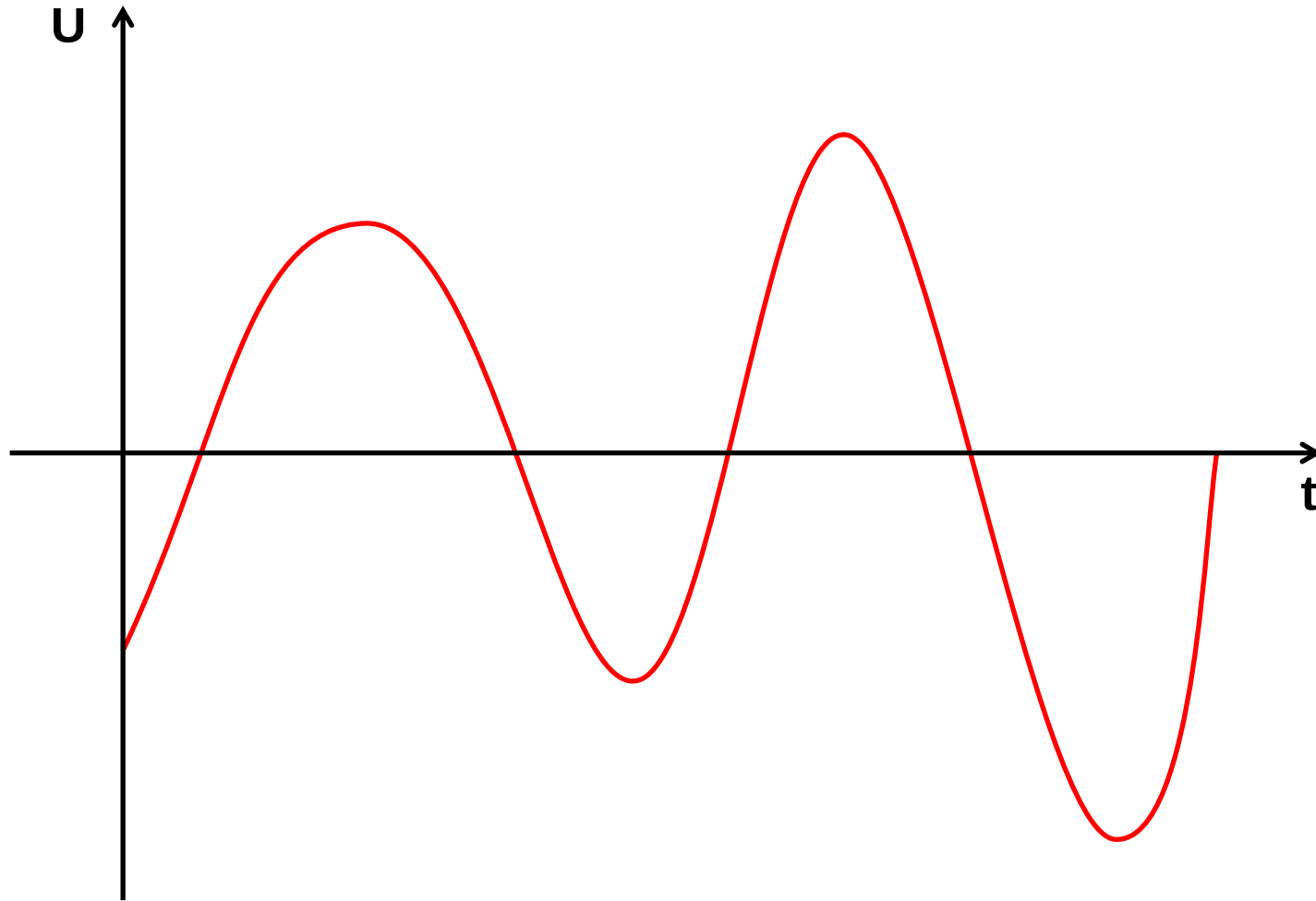
Példa: mintavételezés



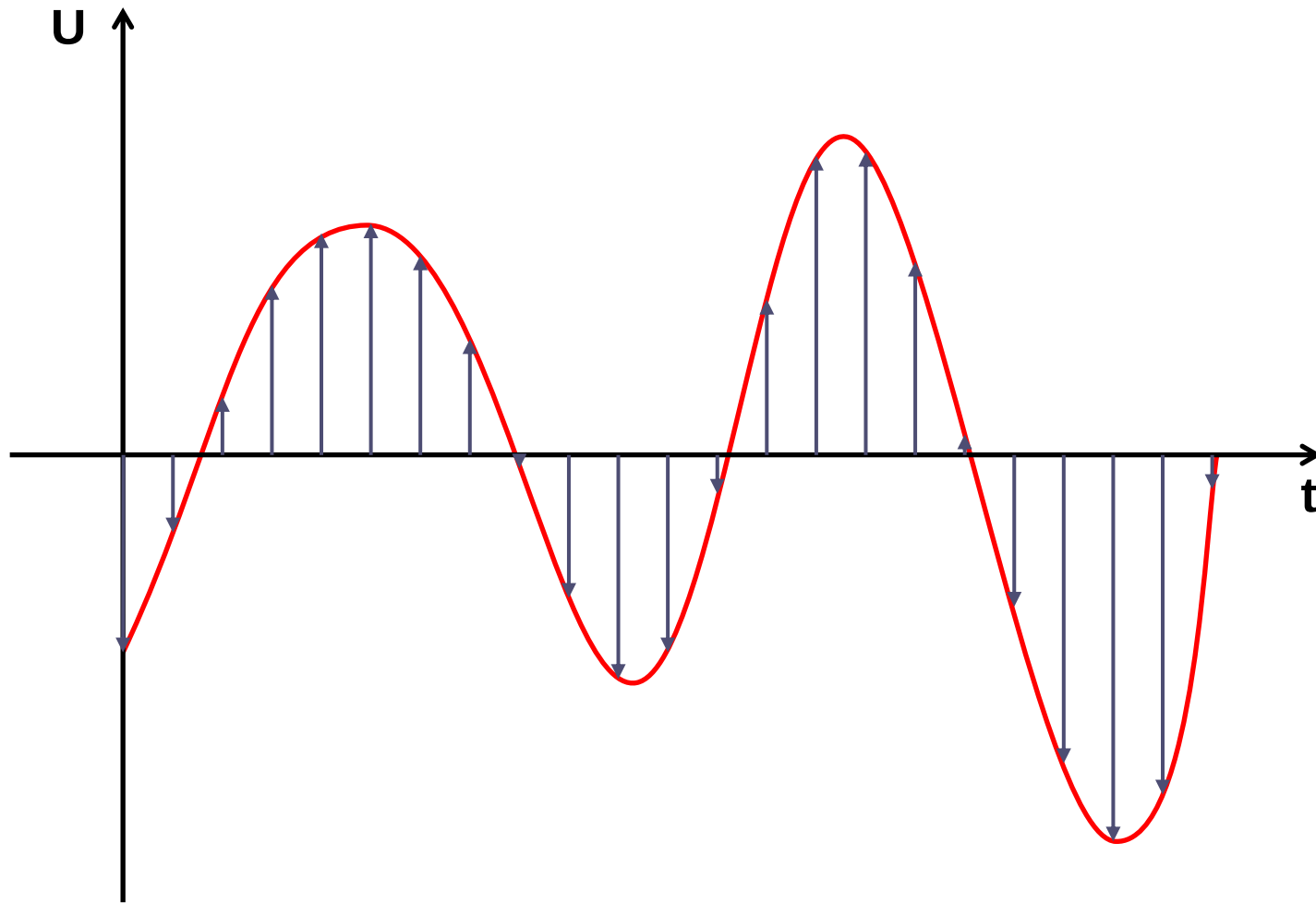
Példa: mintavételezés



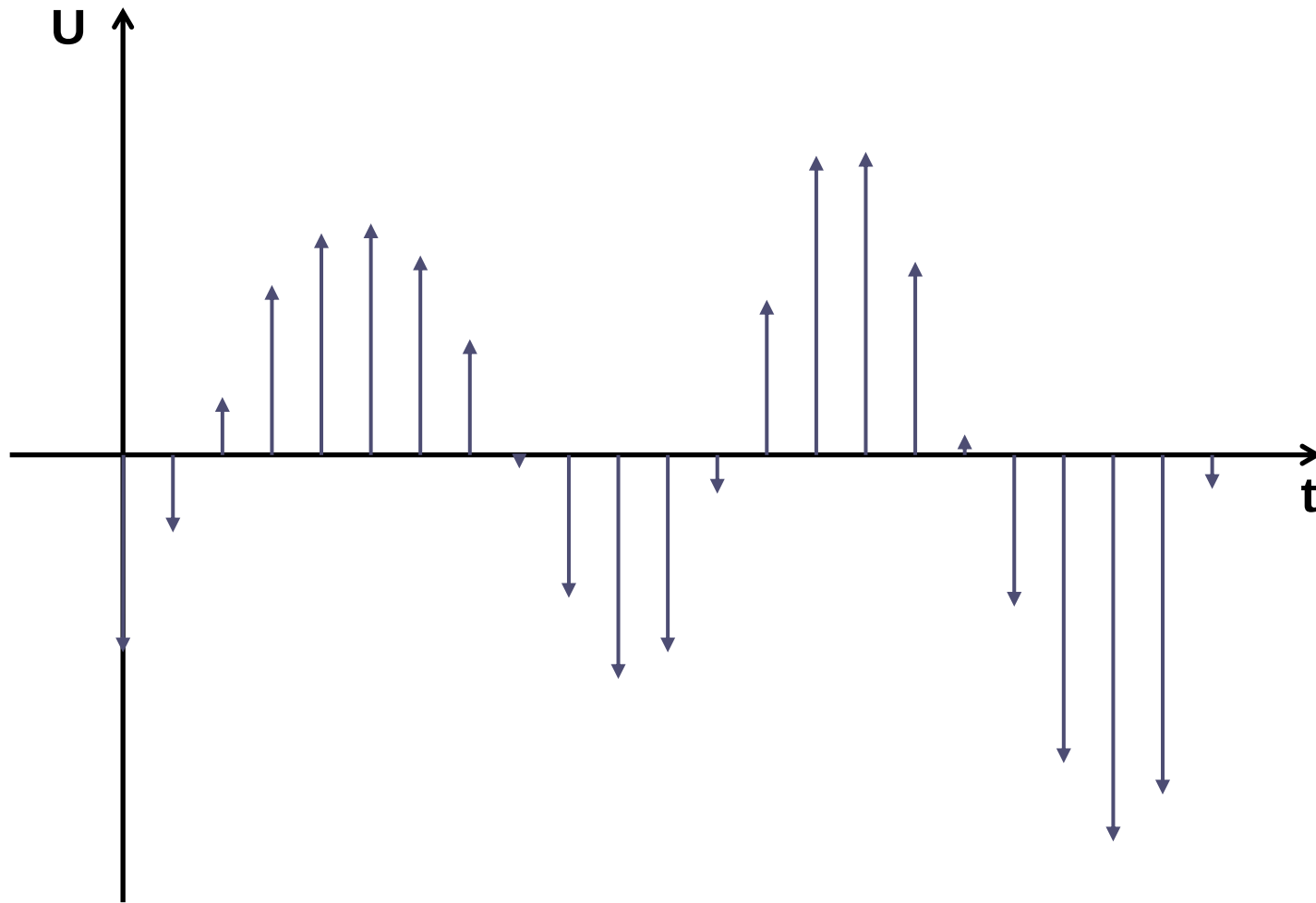
Példa: mintavételezés



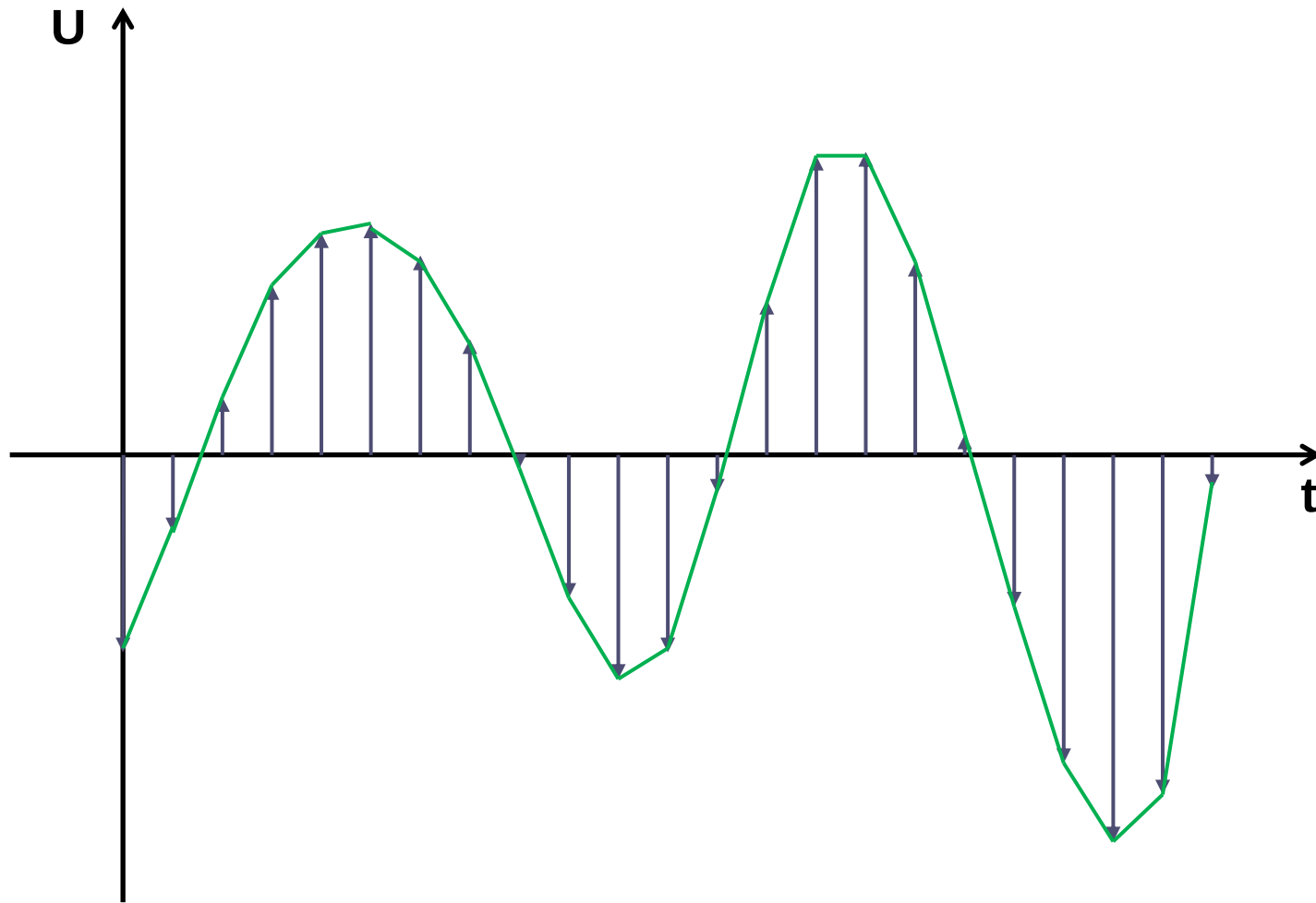
Példa: mintavételezés



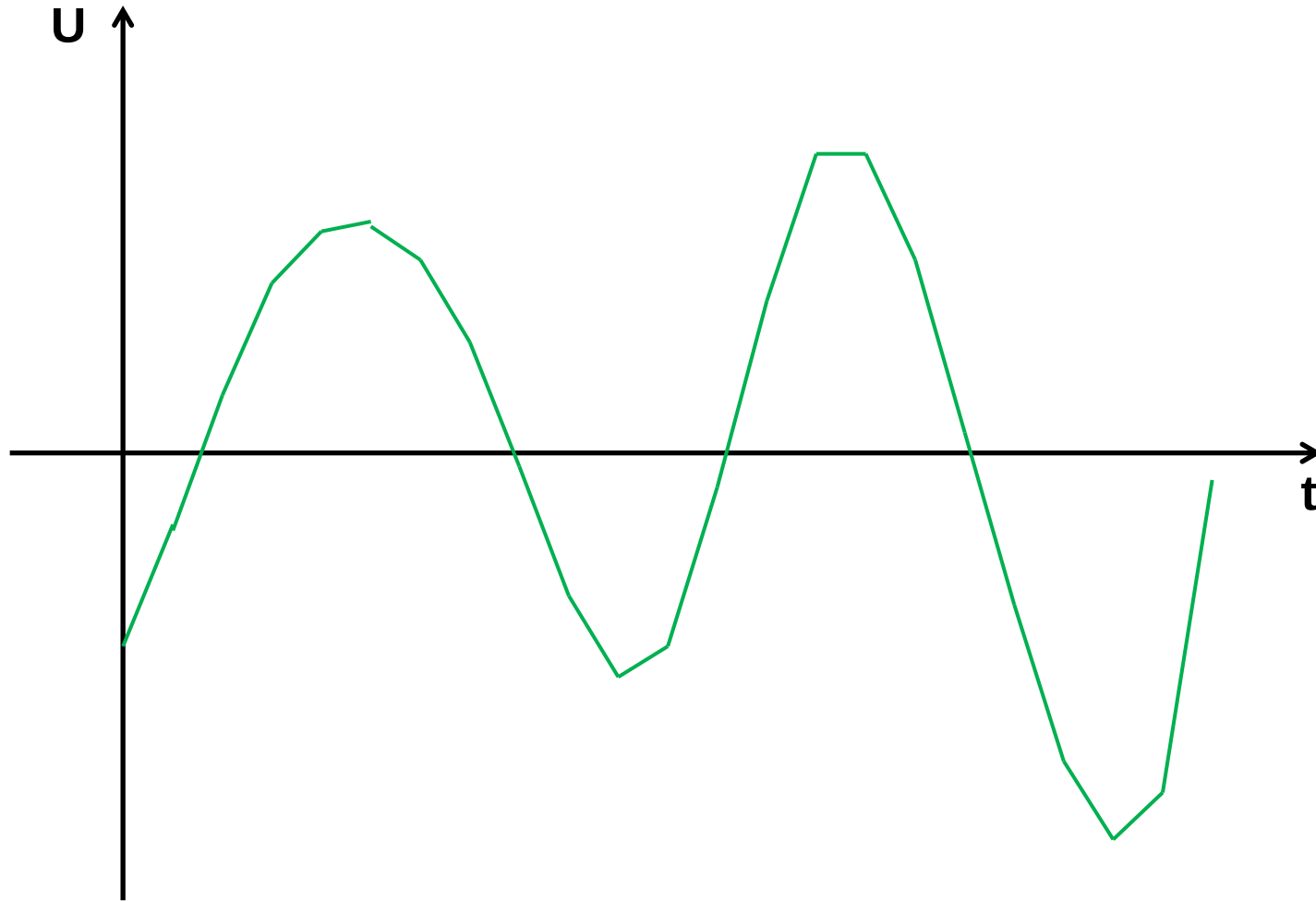
Példa: mintavételezés



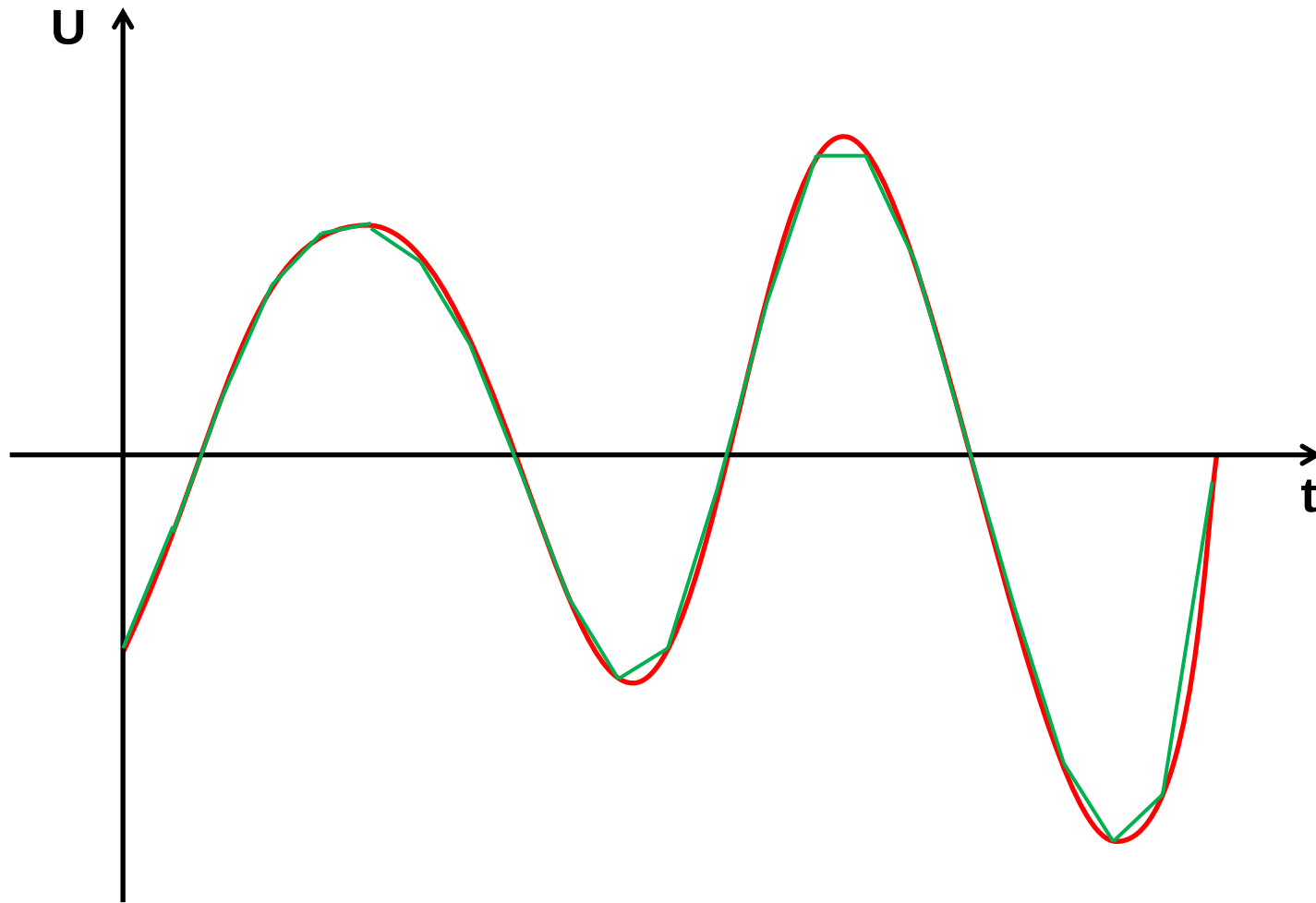
Példa: mintavételezés



Példa: mintavételezés



Példa: mintavételezés



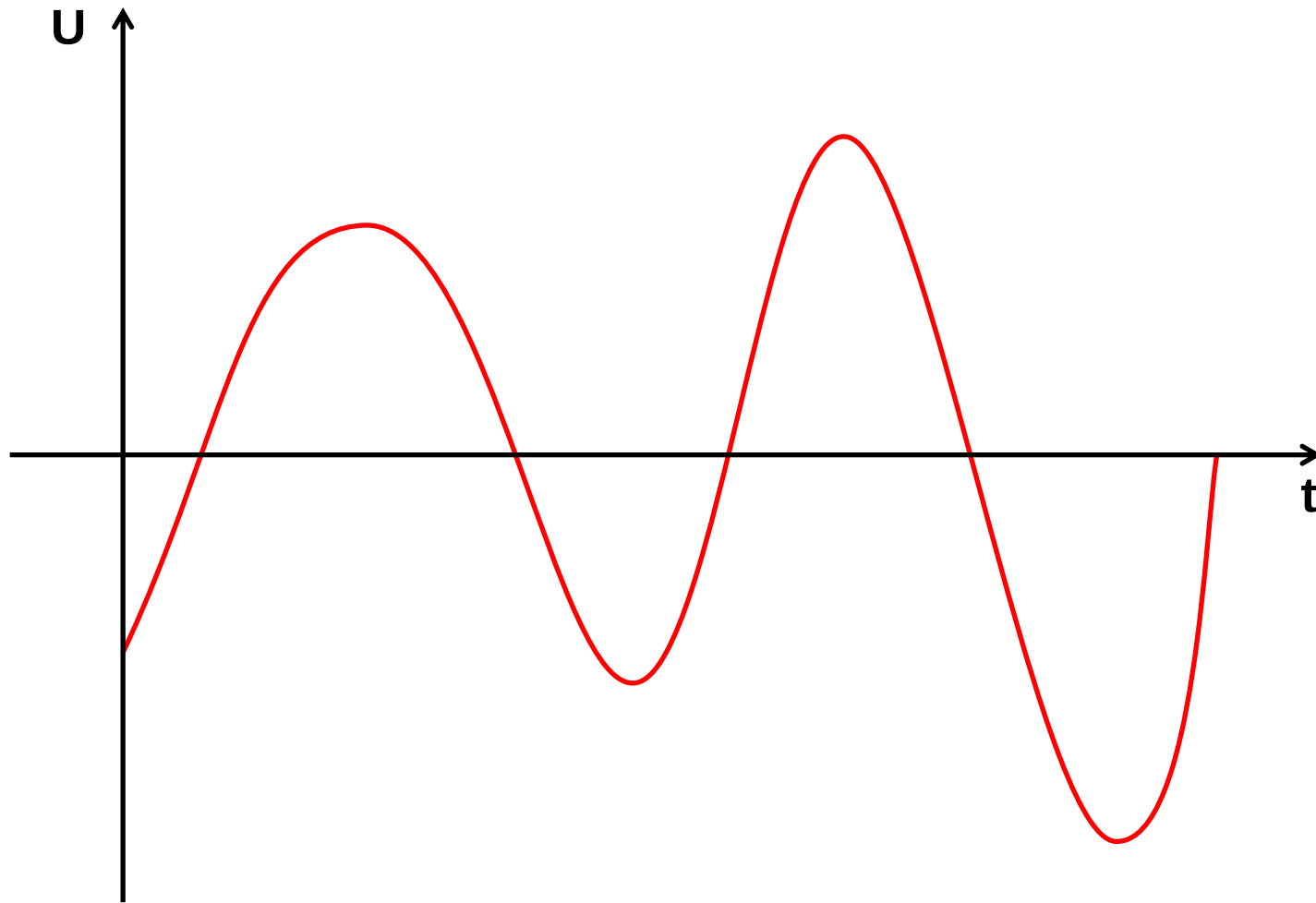
Mintavételezés

- ❑ Minél több mintát veszünk, annál jobban megközelítjük az eredeti jelet
- ❑ Van olyan, hogy *elég* minta a *tökéletes* visszaállításhoz?
- ❑ Nyquist-Shannon mintavételi tétele:
 - Igen! A jel max. frekvenciájának duplája elég mintavételi frekvencia
 - Ekkor visszaállításkor a sávszűrés (!) után *pontosan* az eredeti jelet kapjuk vissza
 - *Wow :)*

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel

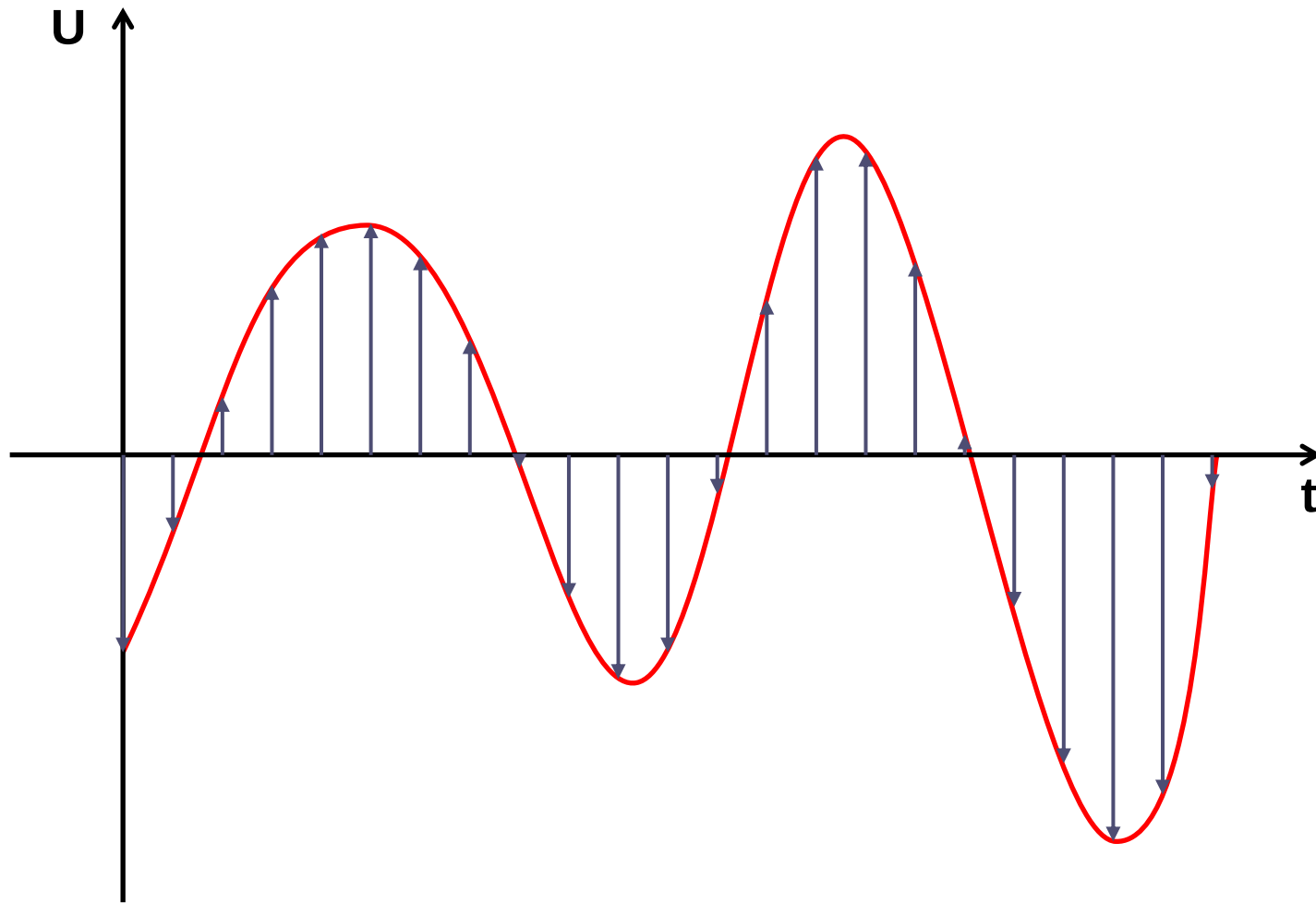


Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



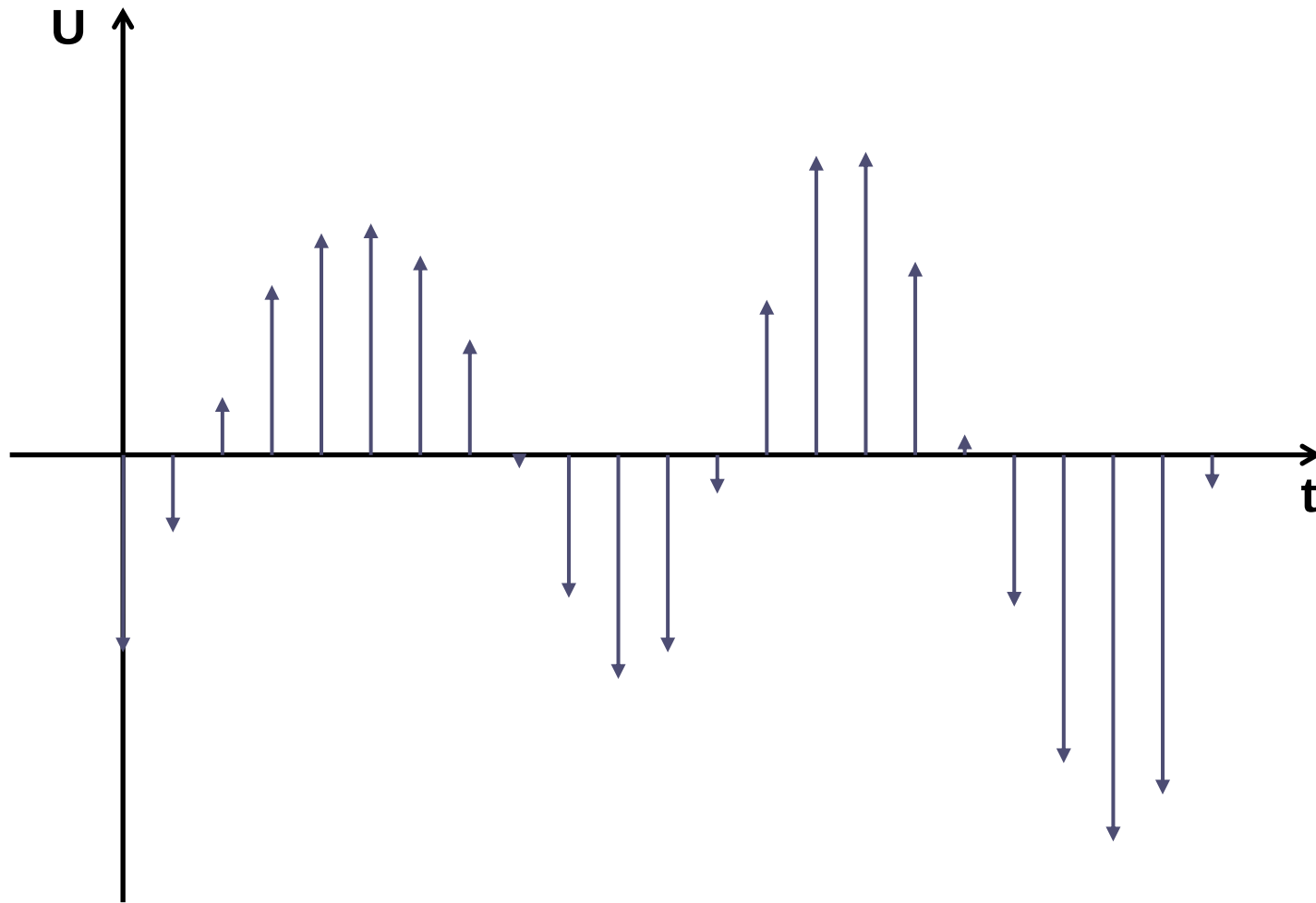
Eredeti jel

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



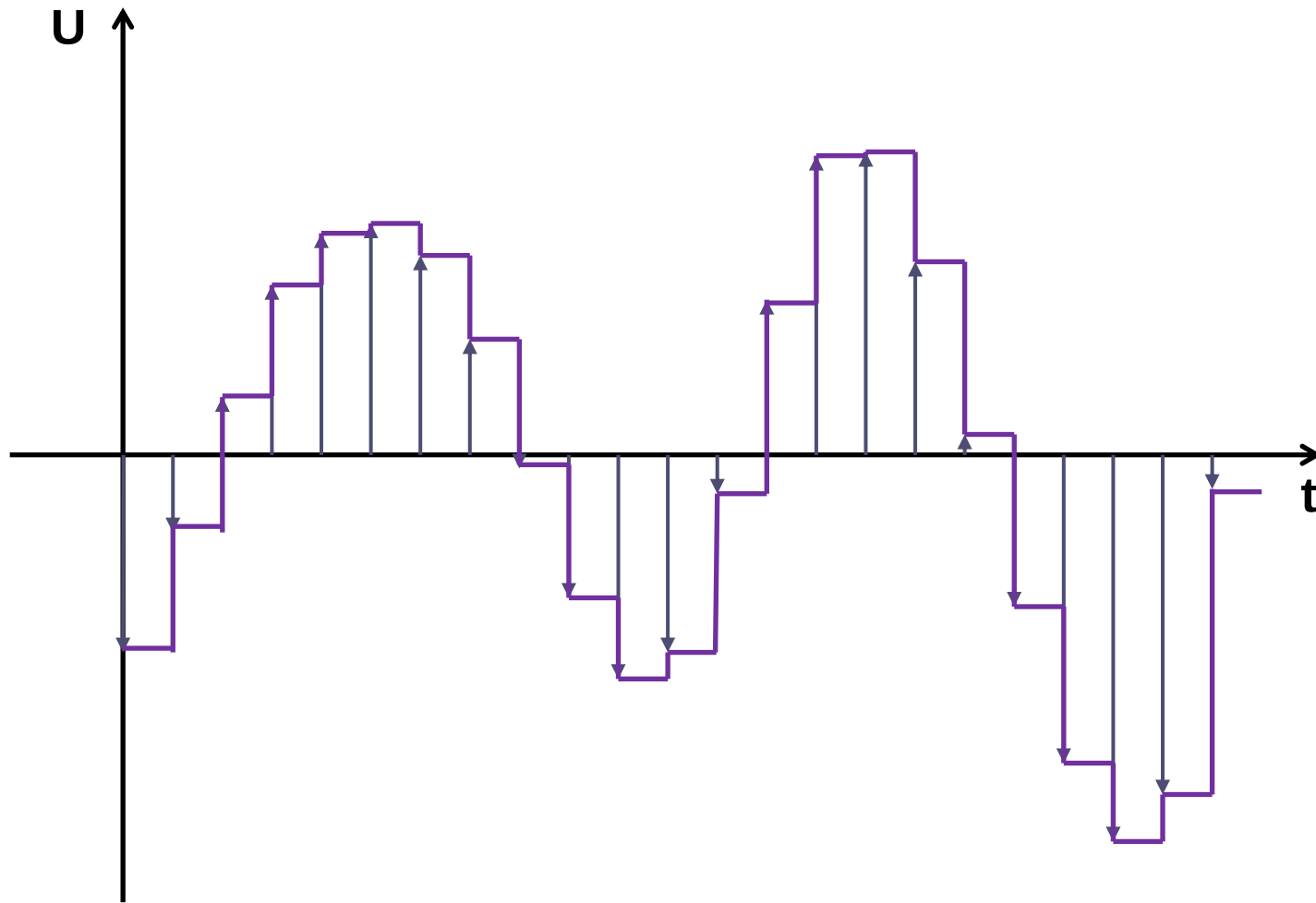
Mintavételezés

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



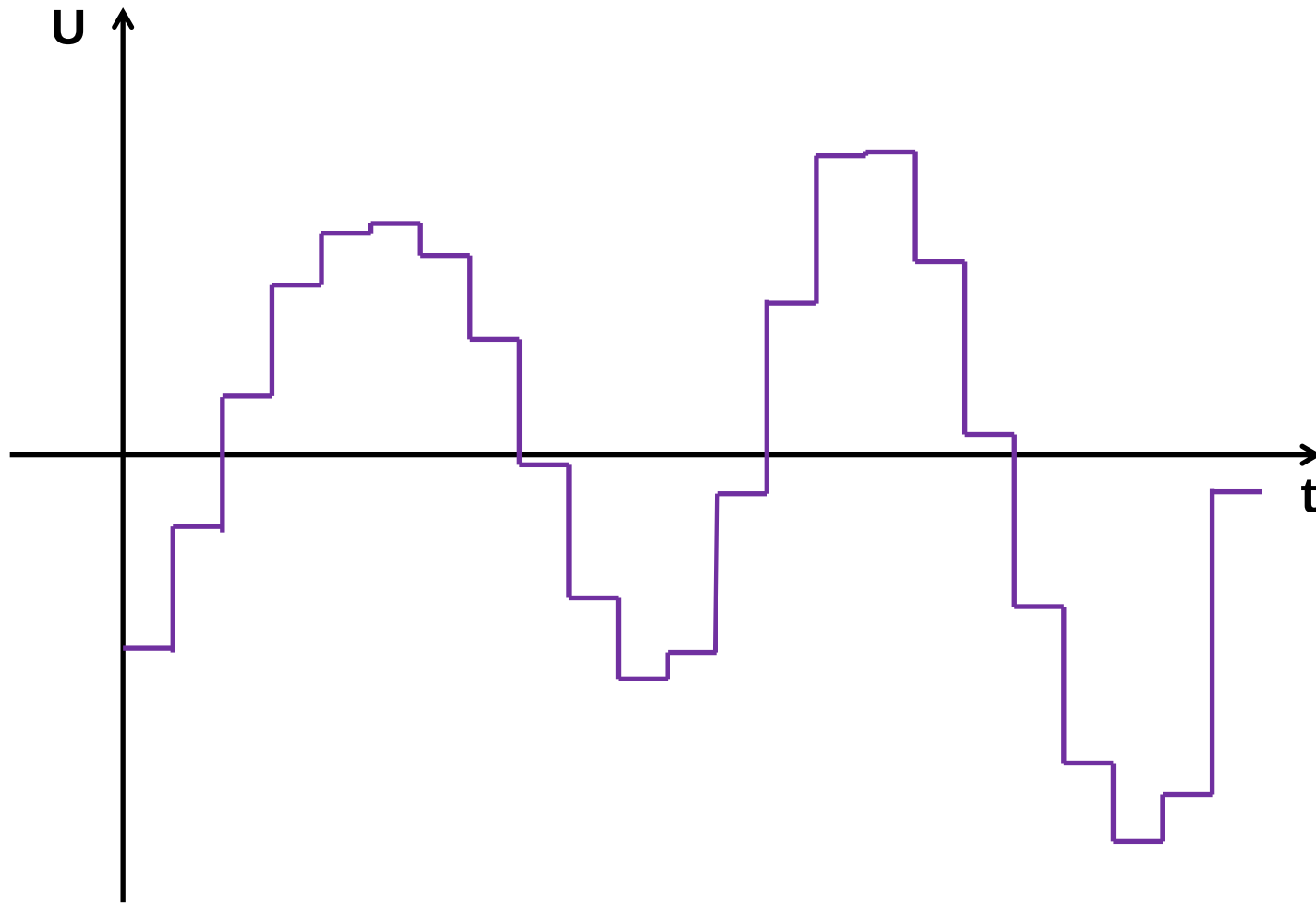
Mintavételezés

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



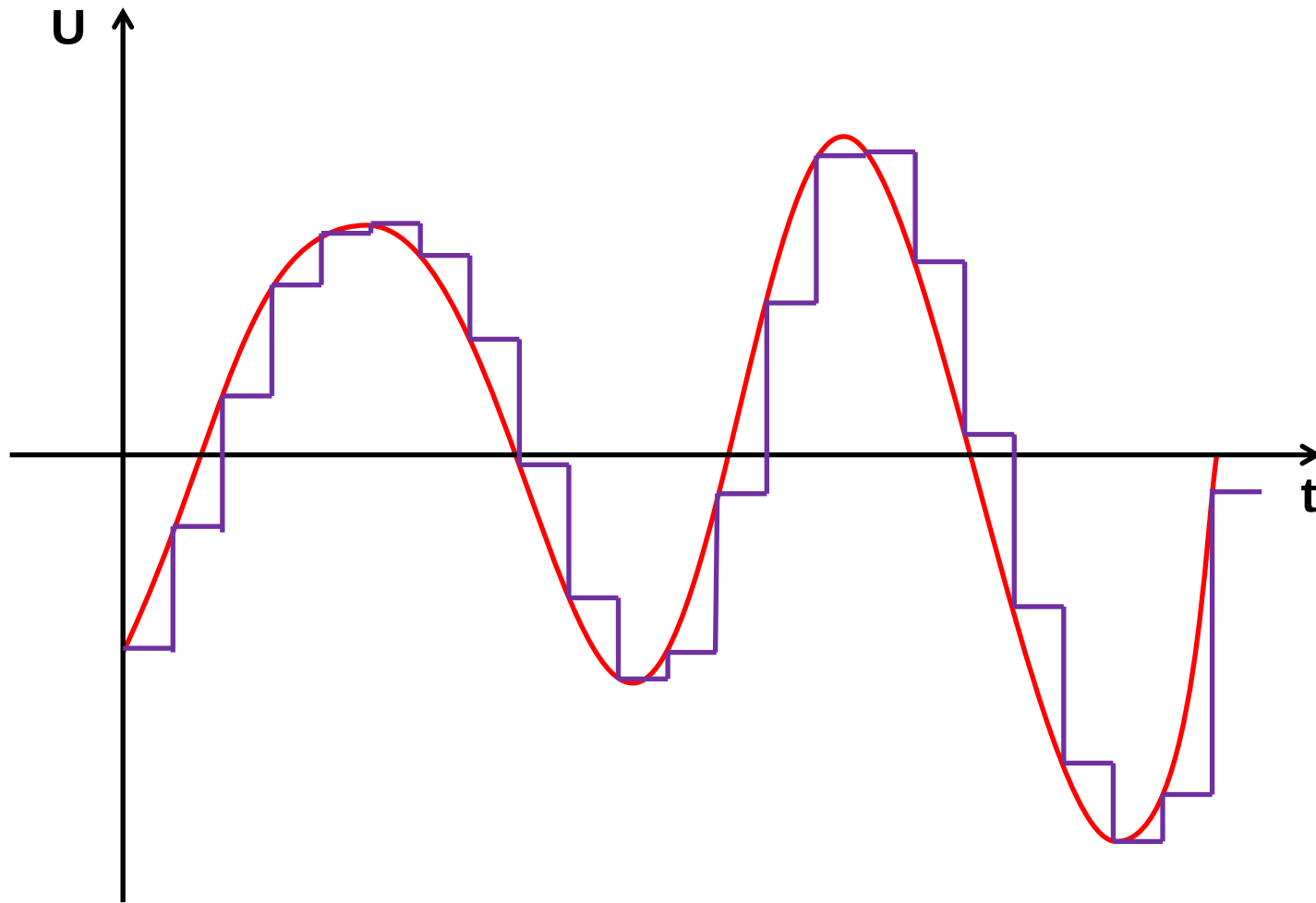
Nulladrendű tartó

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



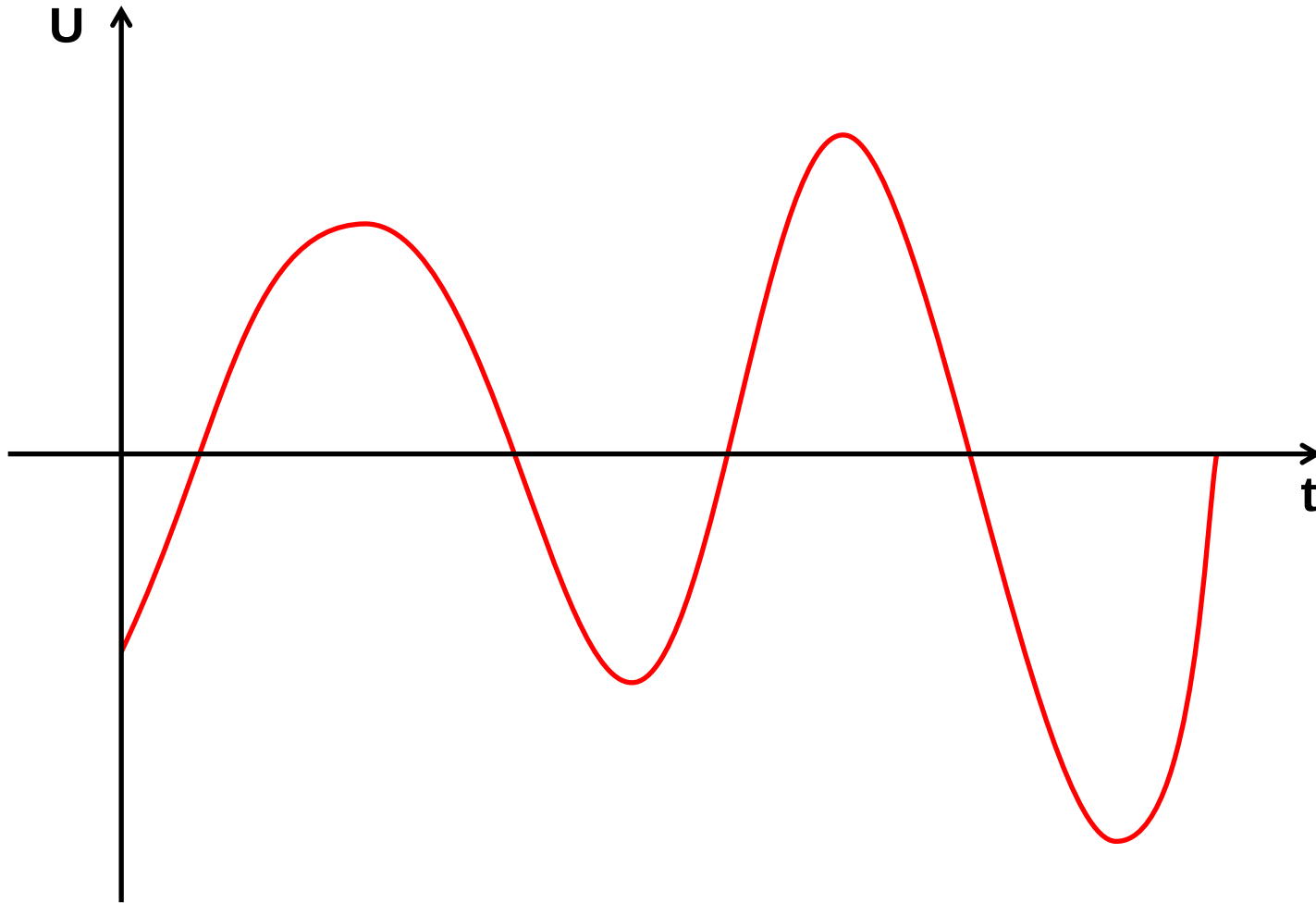
Nulladrendű tartó

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel



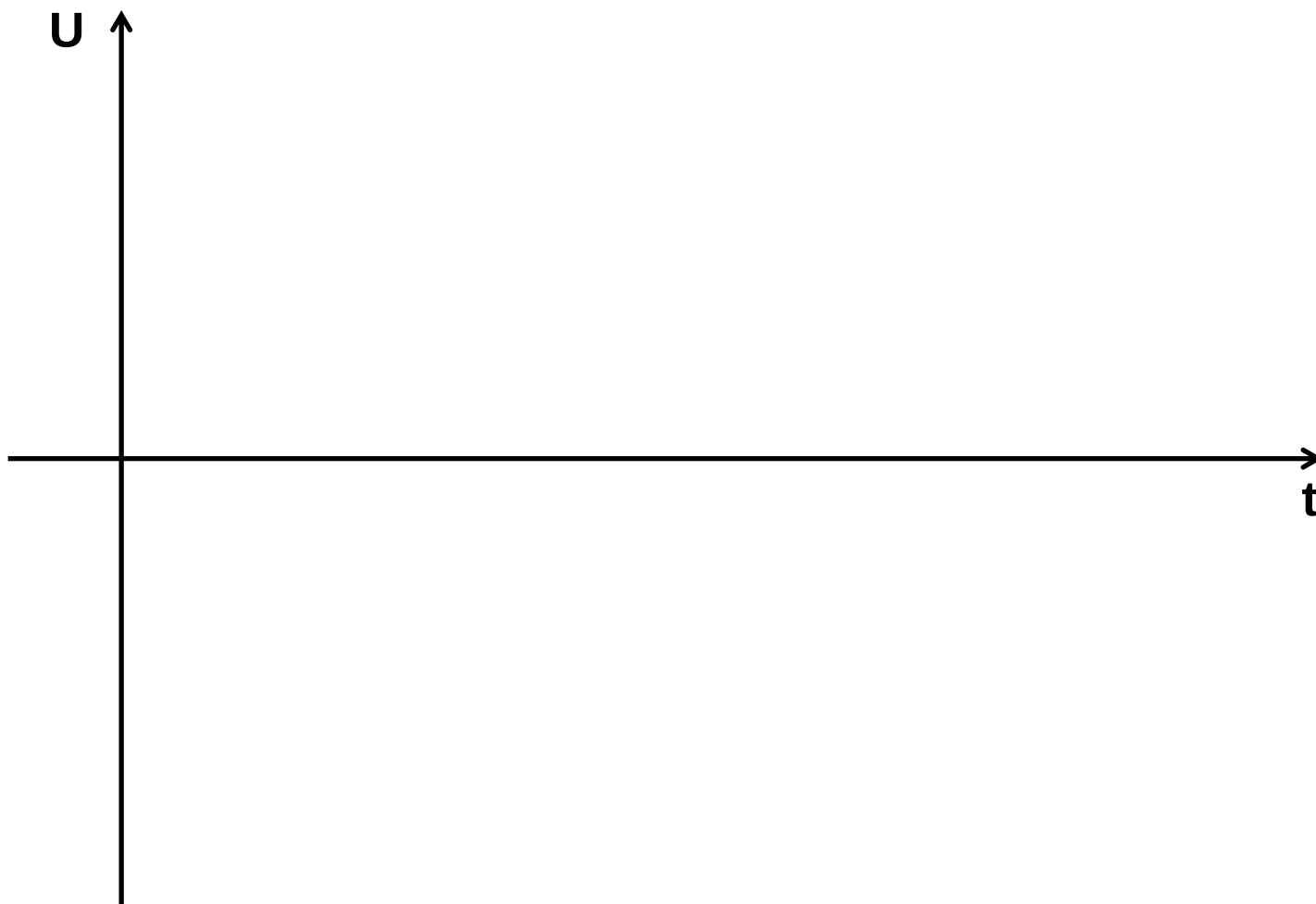
Sávszűrés utáni jel

Mintavételezés visszaállítása sávszűréssel

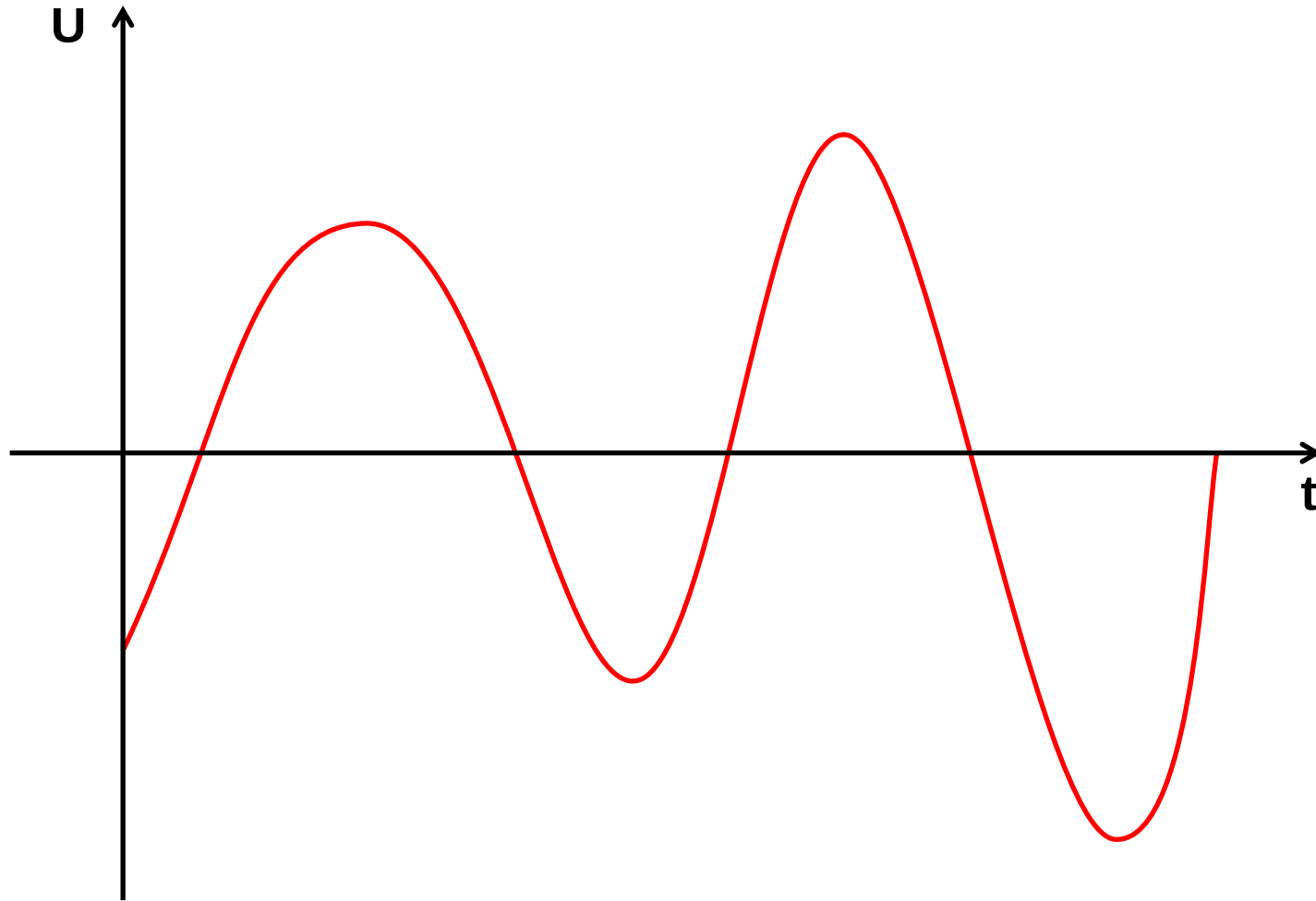


Sávszűrés utáni jel

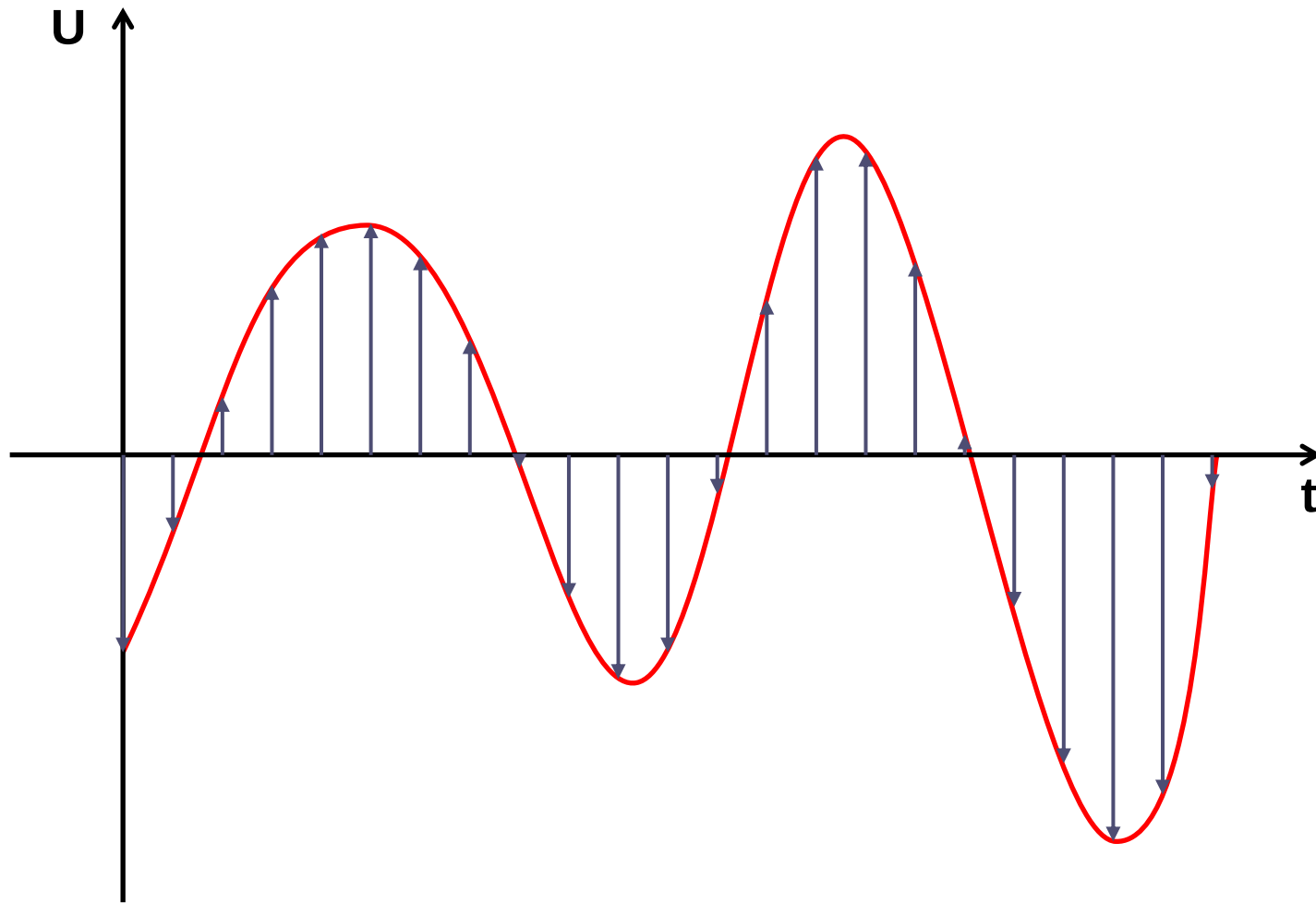
Példa: kvantálás



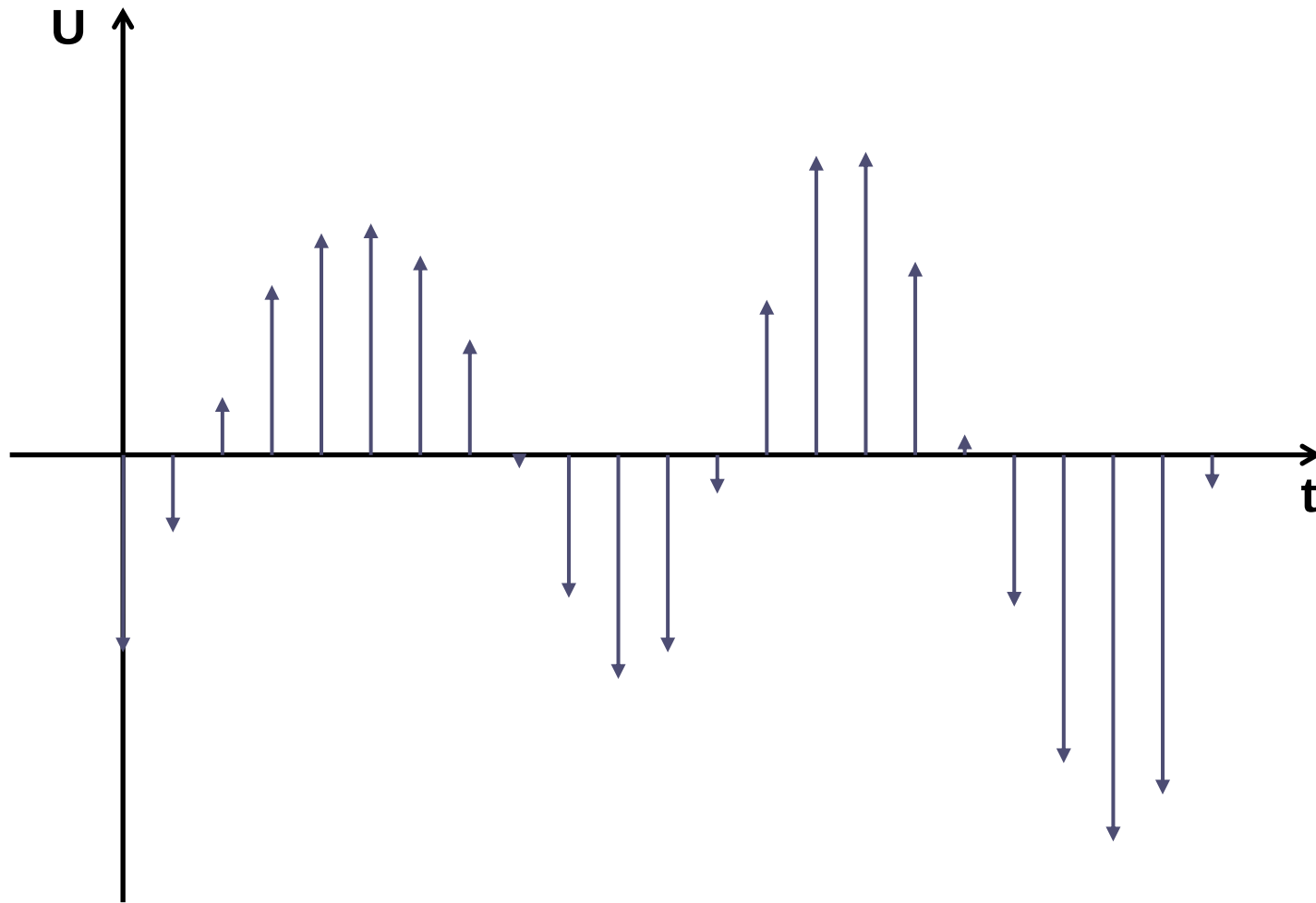
Példa: kvantálás



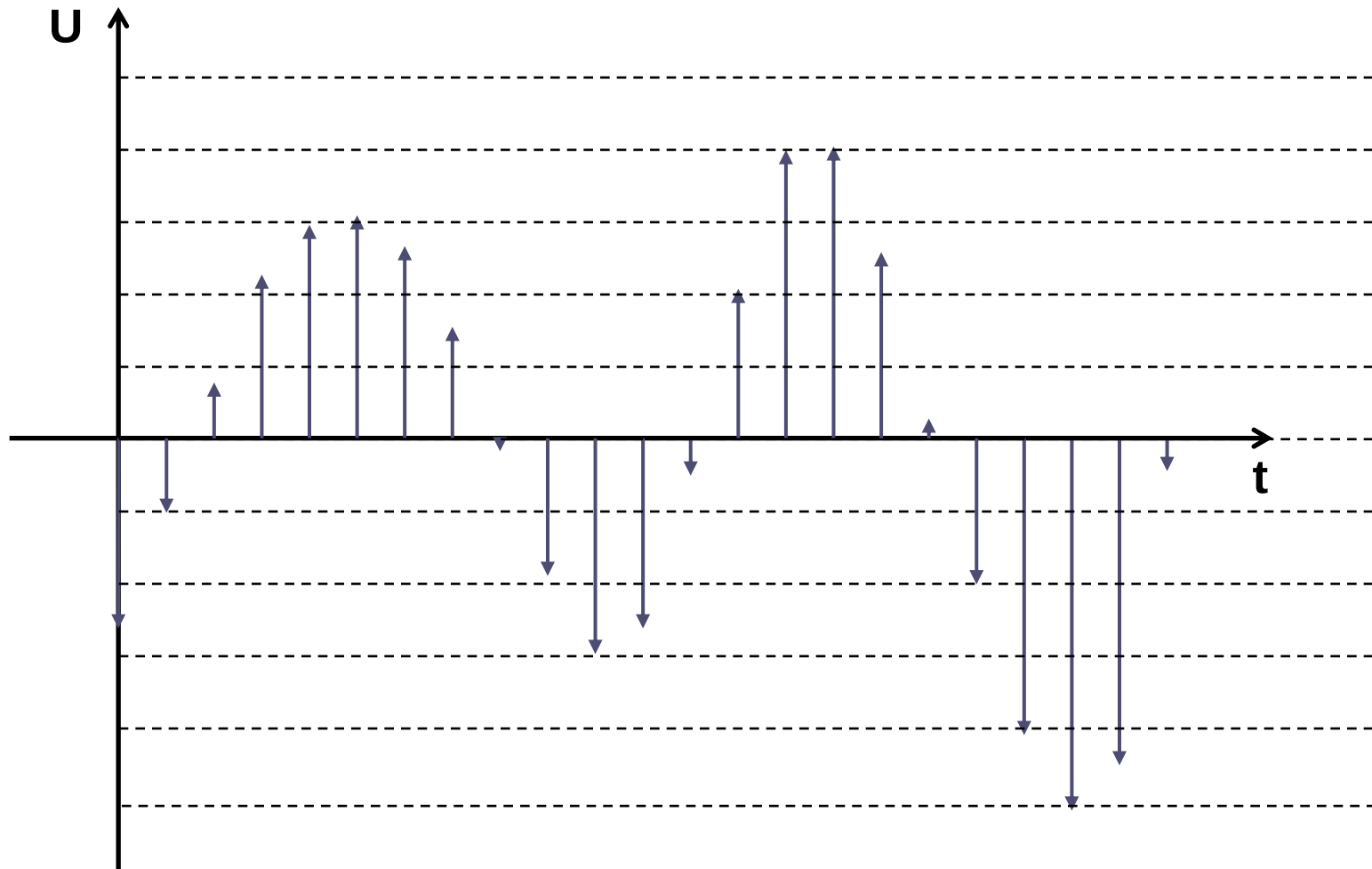
Példa: kvantálás



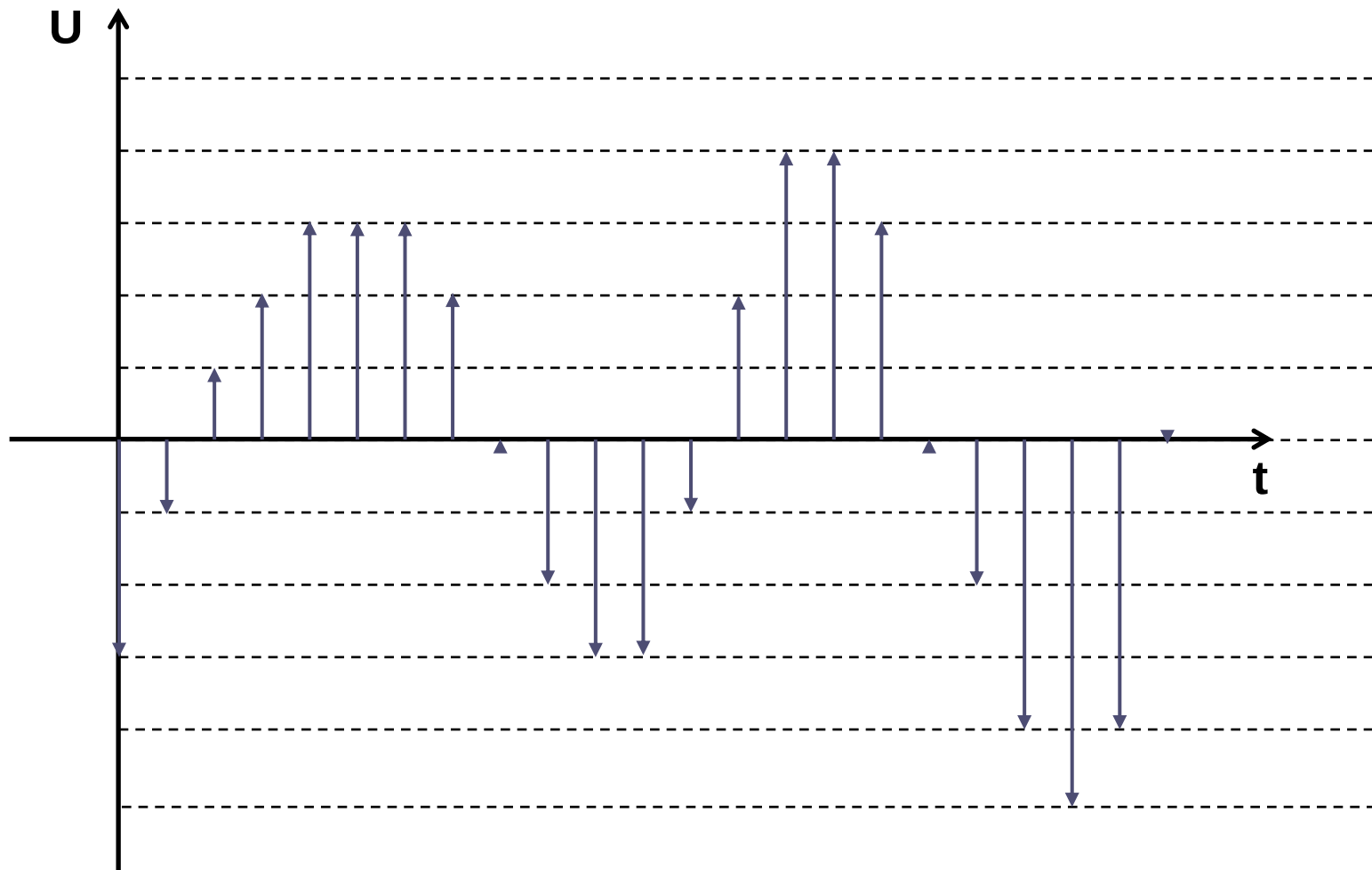
Példa: kvantálás



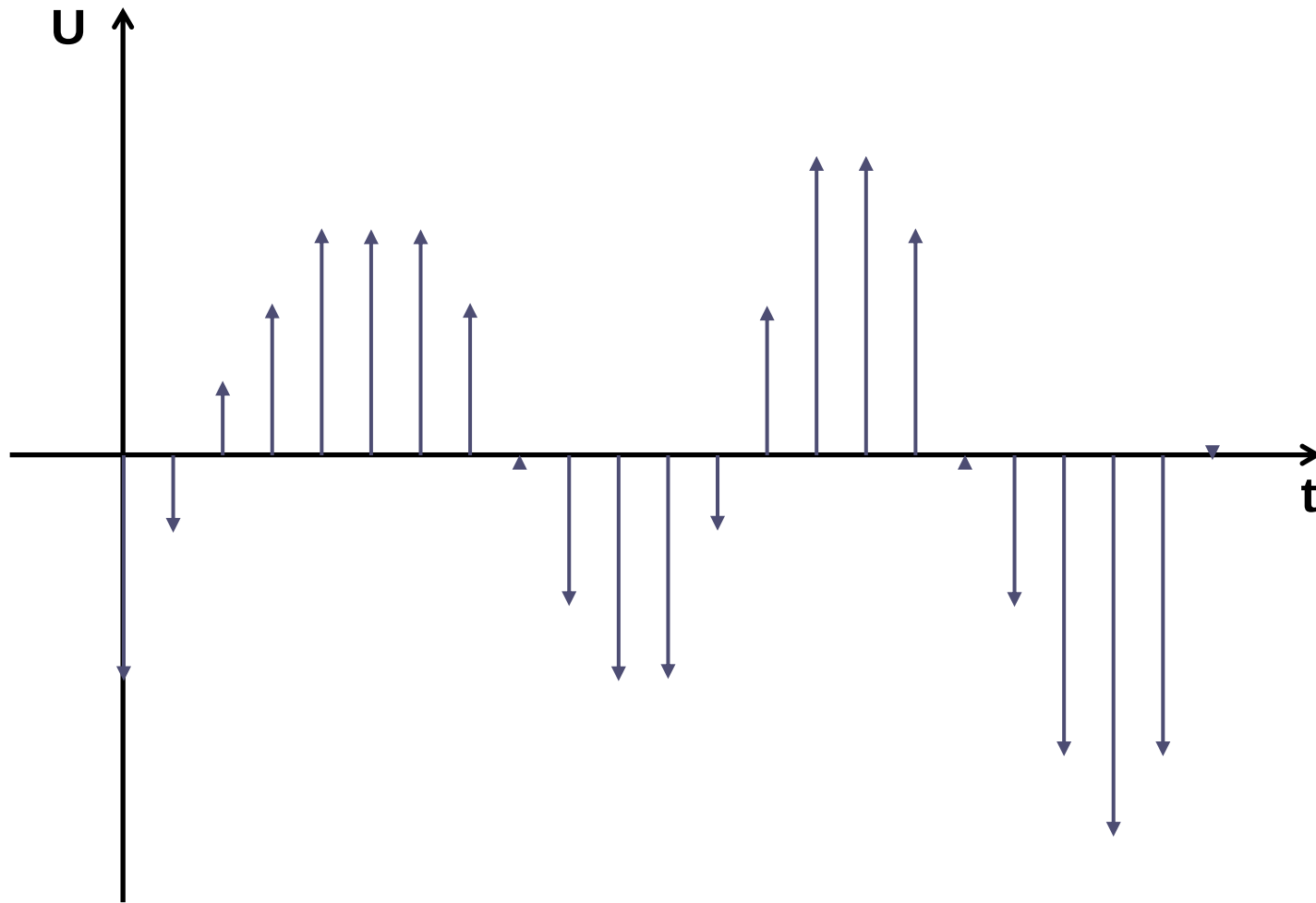
Példa: kvantálás



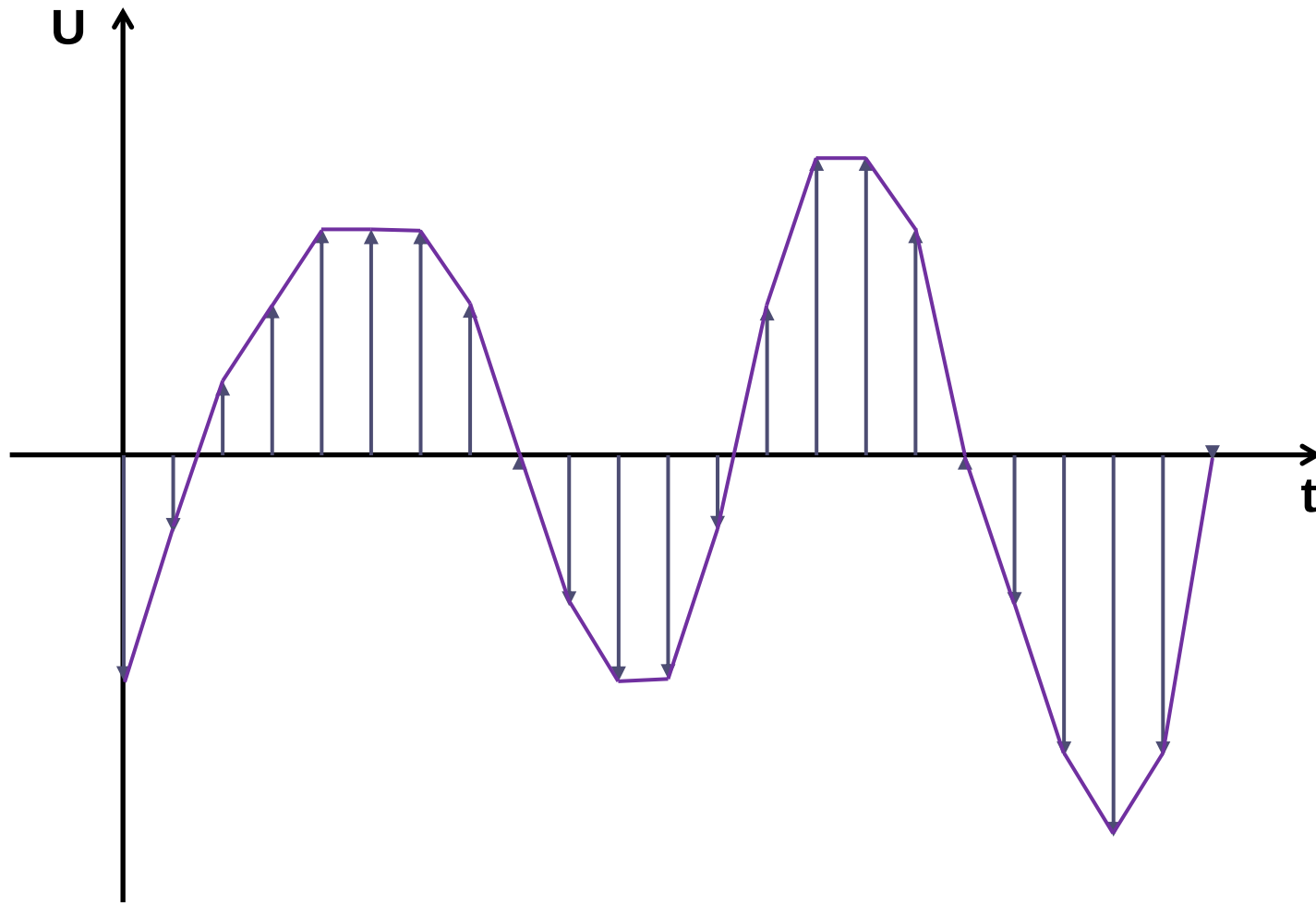
Példa: kvantálás



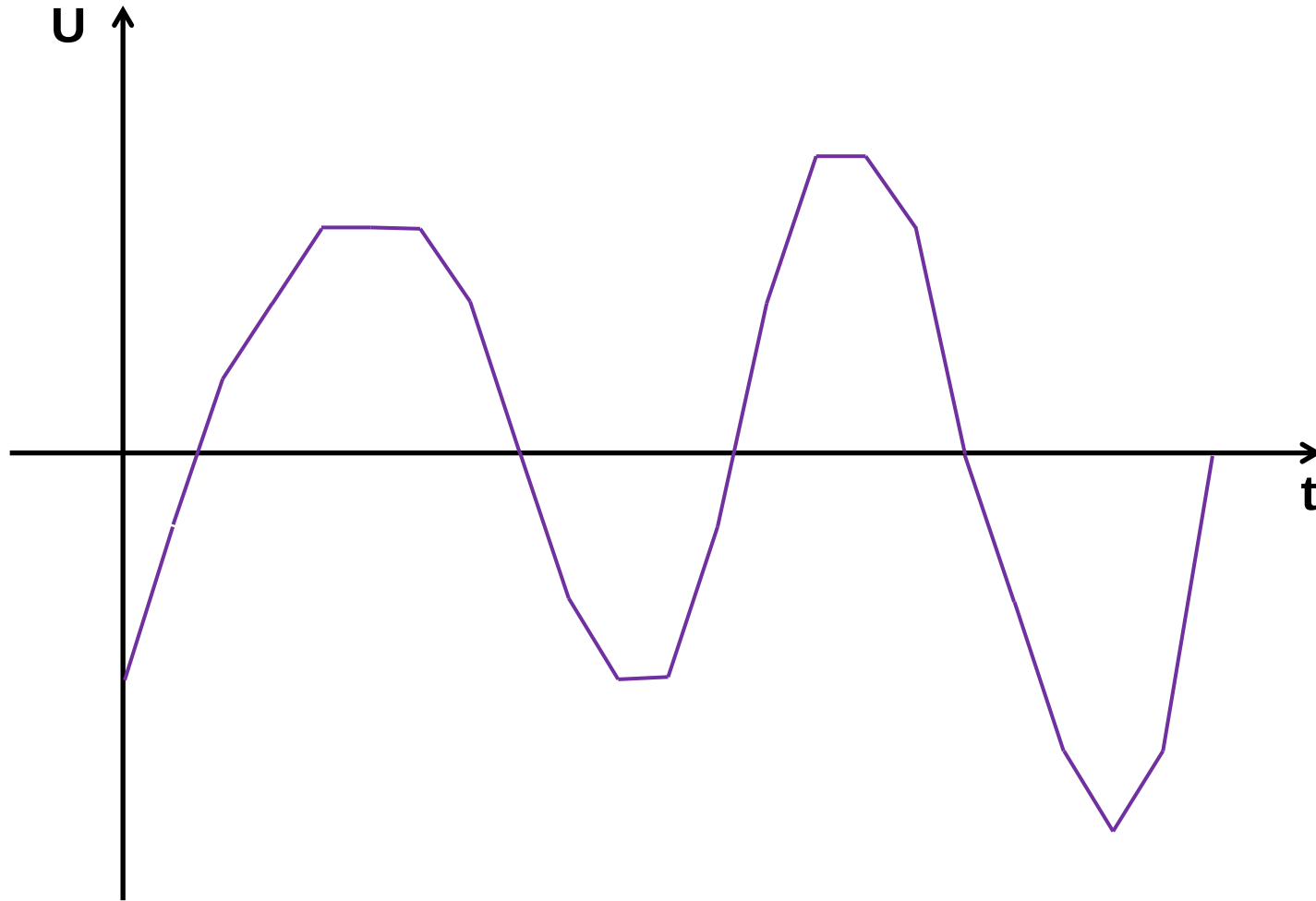
Példa: kvantálás



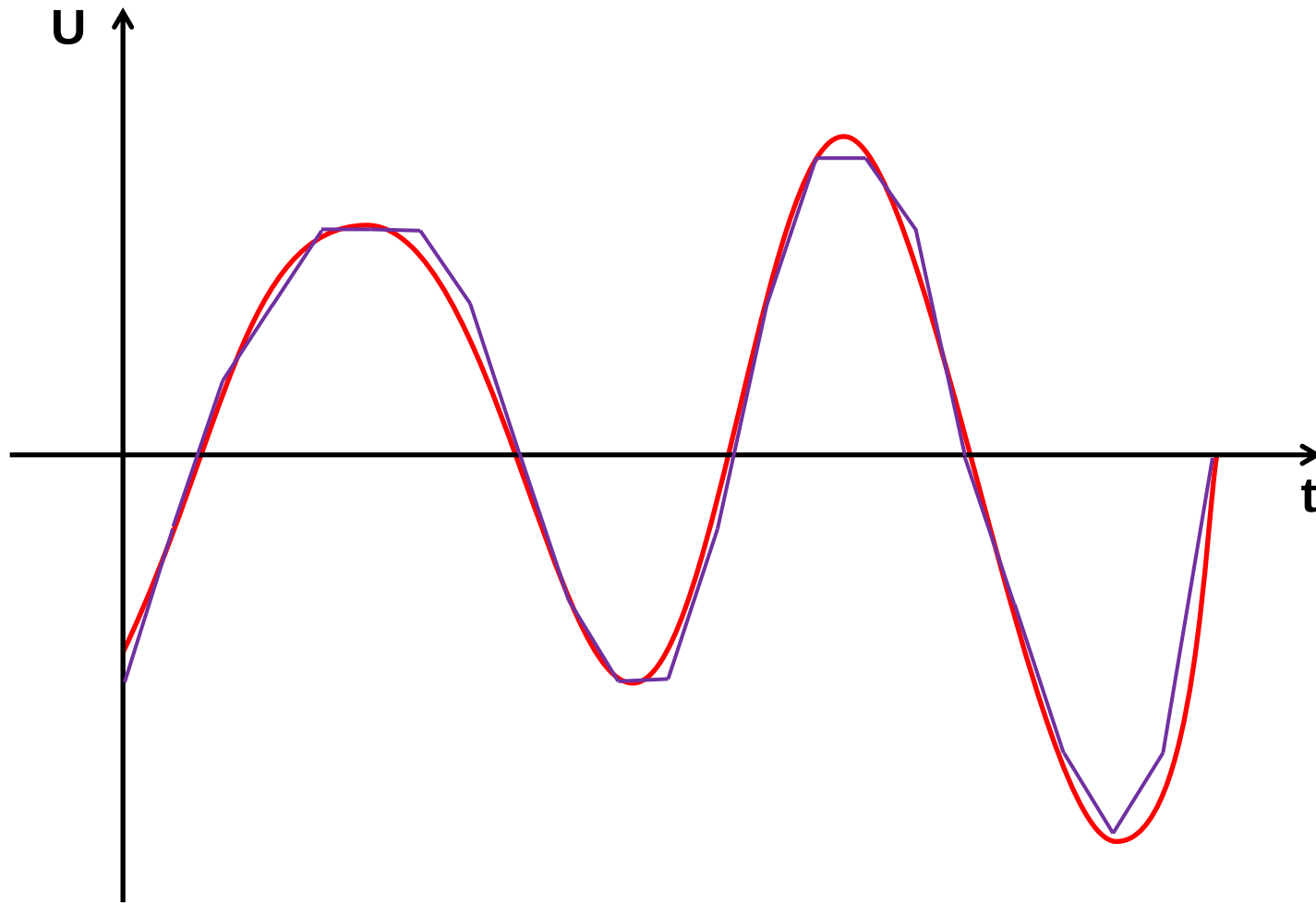
Példa: kvantálás



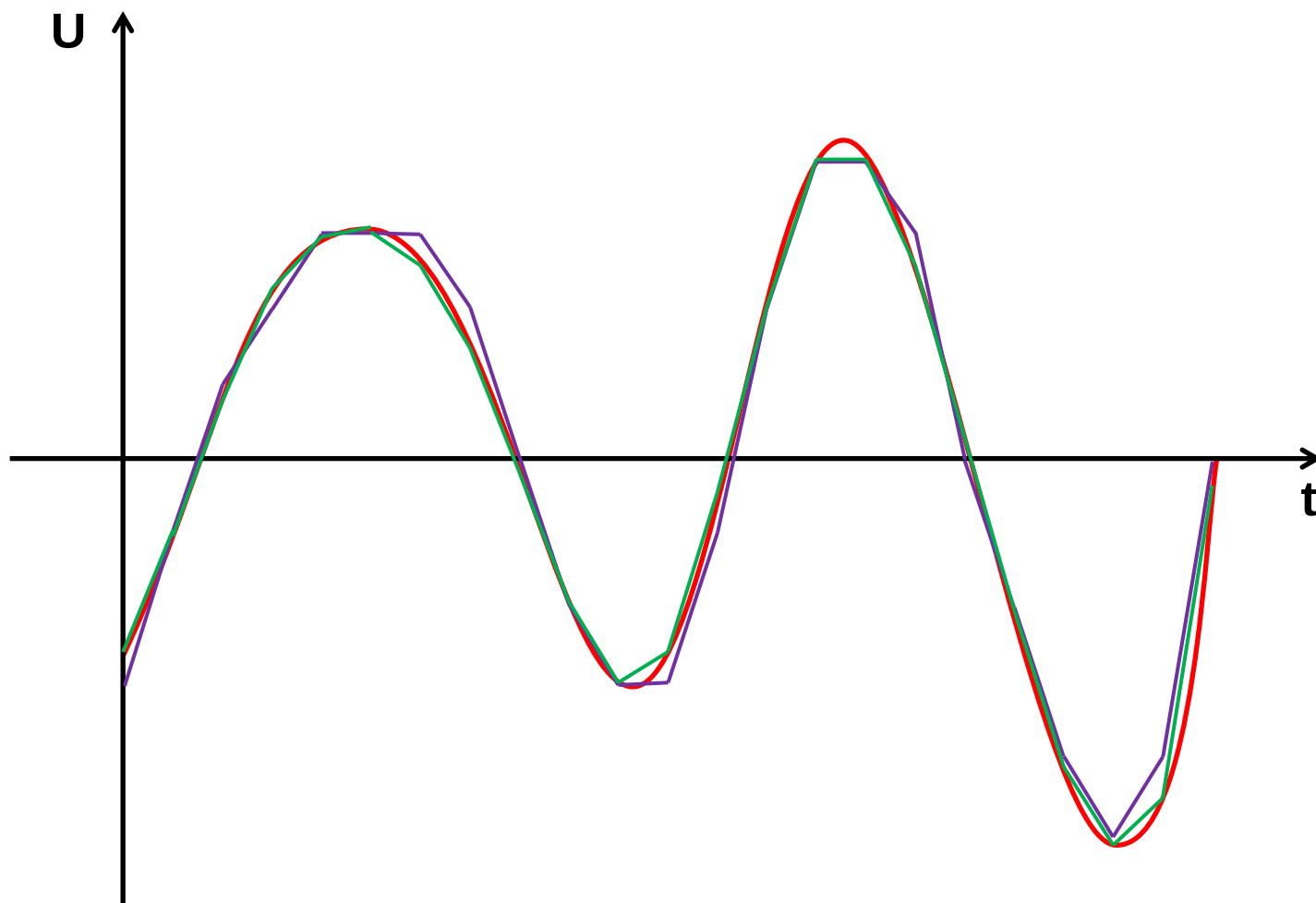
Példa: kvantálás



Példa: kvantálás



Példa: kvantálás



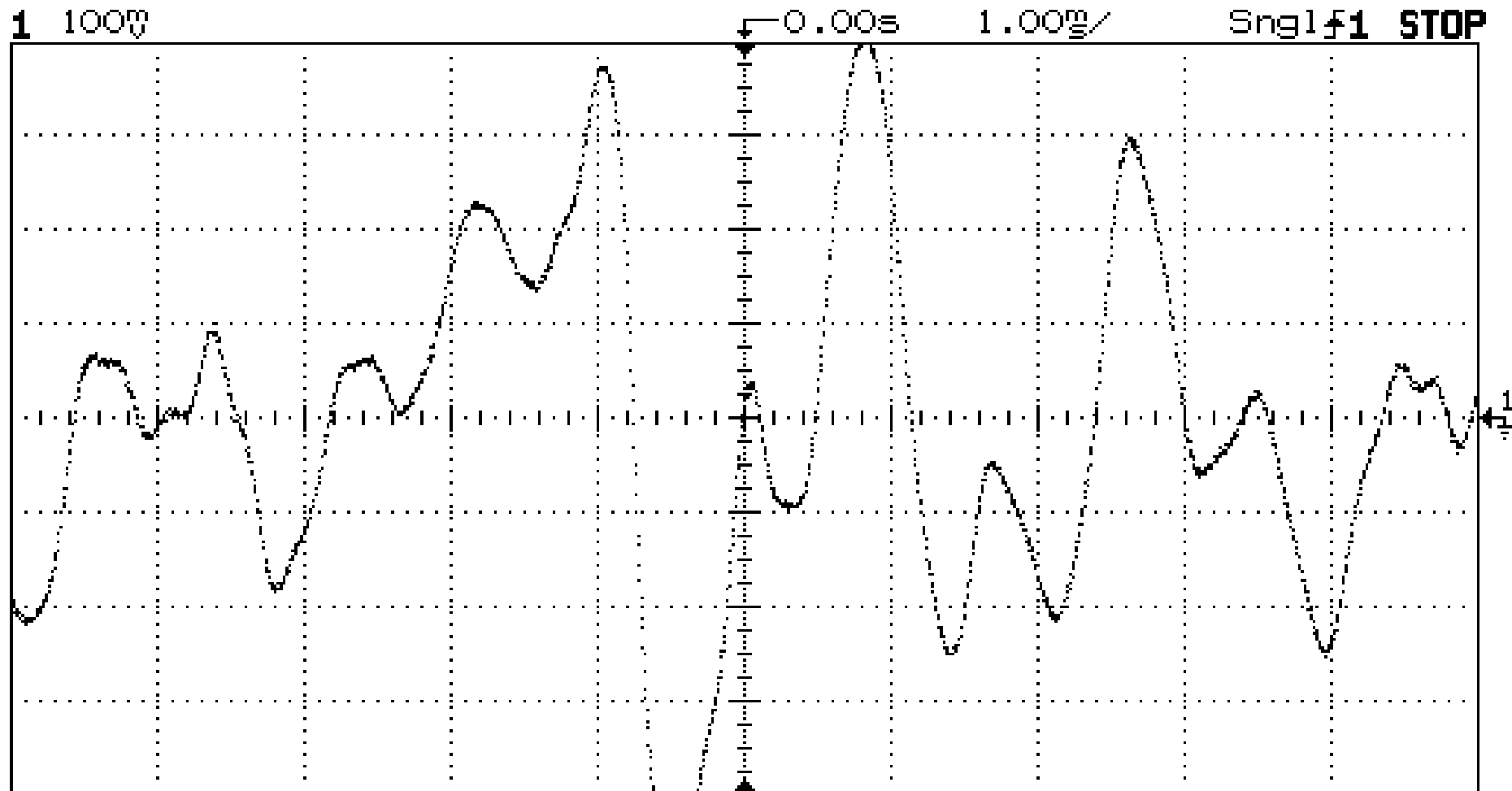
Kvantálás

- ❑ Minél több szintre kvantálunk, annál jobban megközelítjük az eredeti jelet
- ❑ Van olyan, hogy *elég* kvantálási szint a *tökéletes* visszaállításhoz?
- ❑ Nincs :(
 - Mindig marad hiba: a kvantálási torzítás
 - ❑ kevésbé precízen: „kvantálási zaj”
 - Mérnökök lesznek, valami megoldás kell!
 - Megoldás: nem kell tökéletes, legyen csak „elég jó”
 - ❑ Sok kvantálási szint: hosszabb „szavak” (több bit) tárolása
 - ❑ Kevés kvantálási szint: nagyobb torzítás, rosszabb minőség
 - ❑ Alkalmazásfüggő kompromisszum kell

Kvantálás beszédjelhez illesztése

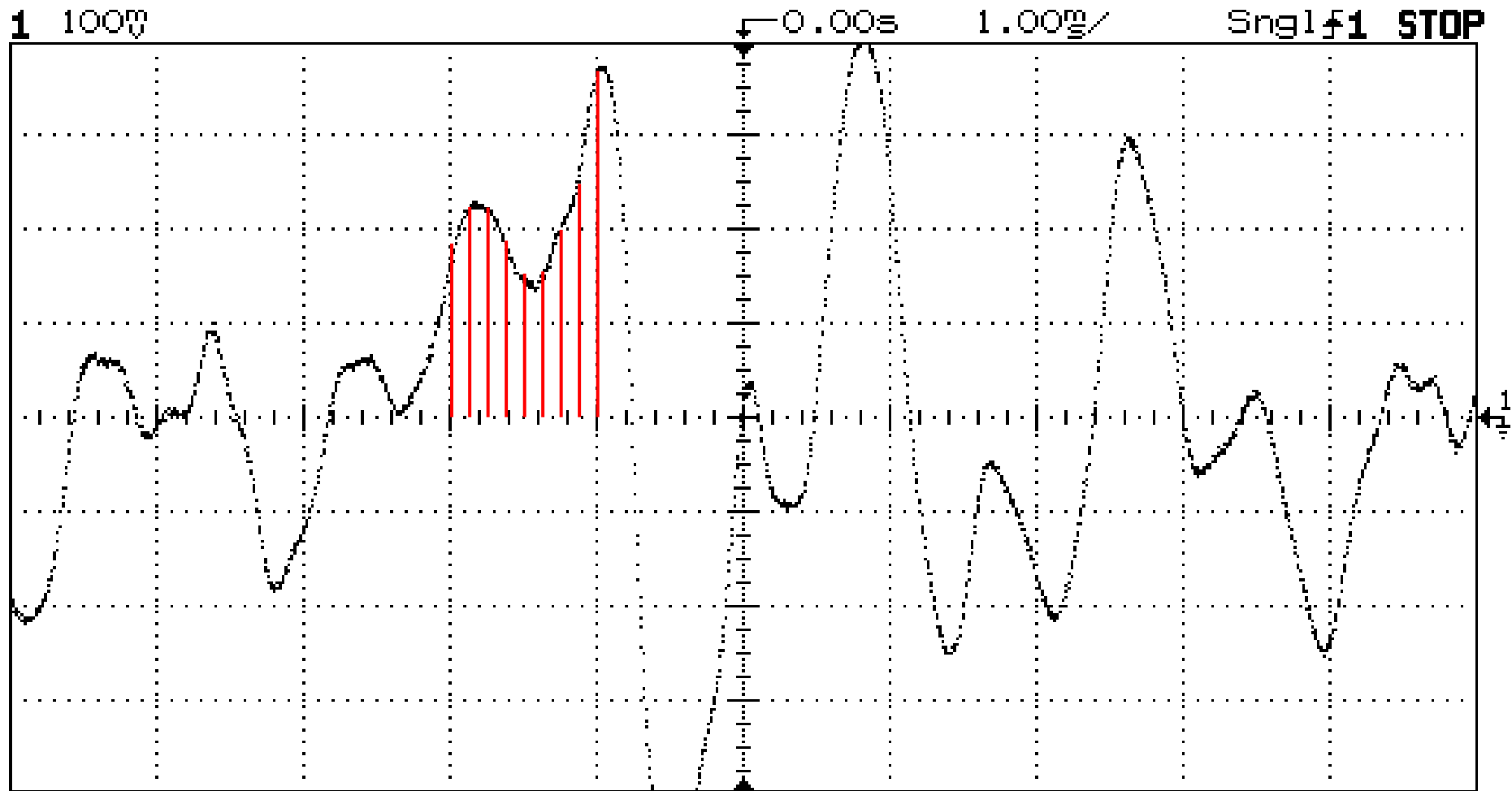
- Egy trükk, hogy kevés kvantálási szinttel jó eredményt érjünk el
- Beszédjel:
 - gyakori mássalhangzók kis amplitúdóval
 - jelentősen befolyásolják a beszéd érthetőségét
 - kis amplitúdó esetén sűrűbb kvantálási szintek kellenének
- Megoldás:
 - *nem egyenletes kvantálás*
 - logaritmikus karakterisztikával (az emberi fül is ilyen)
 - USA: μ törvényű kvantáló (μ -law)
 - Európa: A törvényű kvantáló (A-law)
 - hasonló, de nem kompatibilis, átkódolás kell

PCM kodek egy valódi példán keresztül



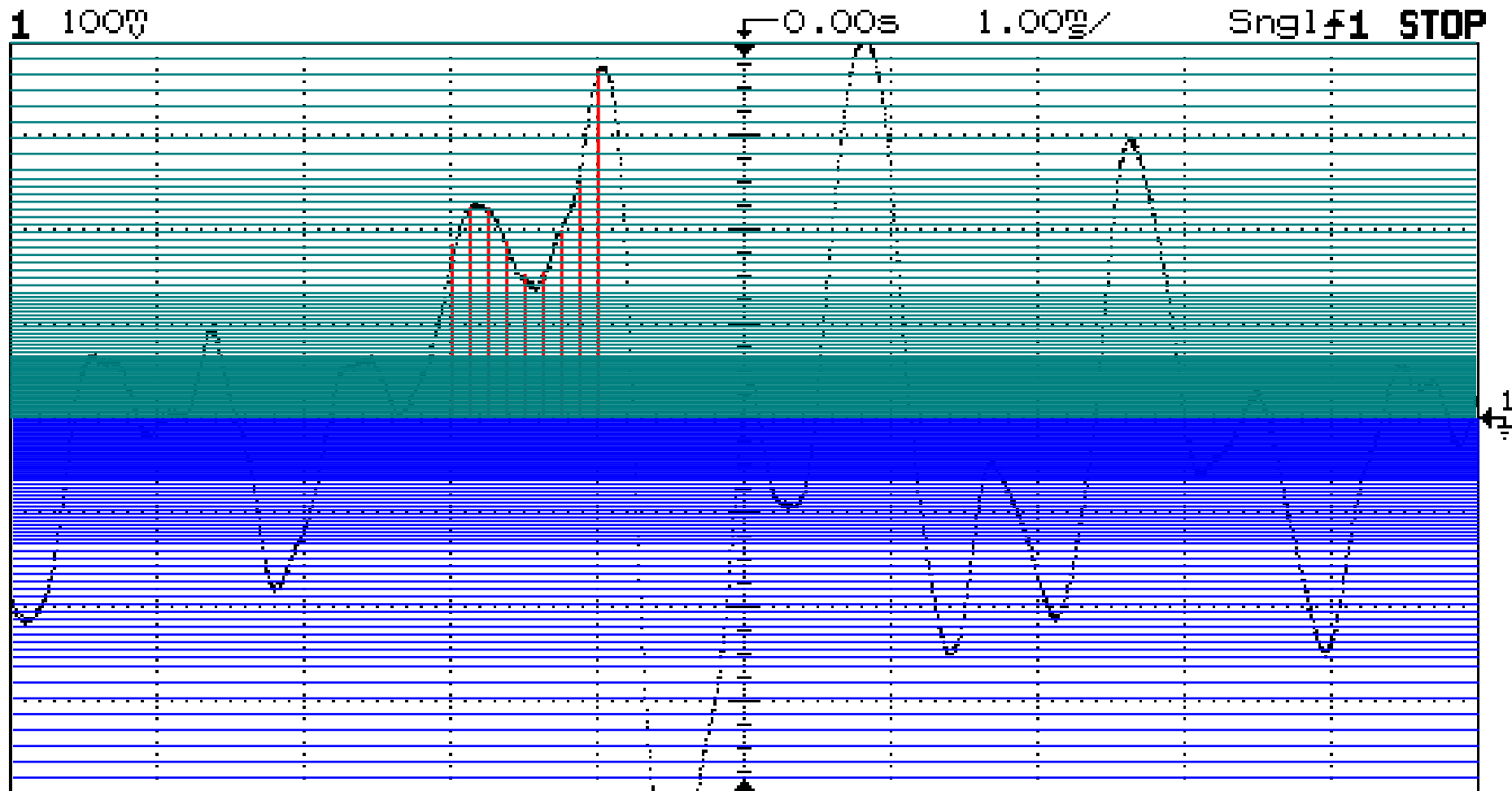
Beszédhang

PCM kodek egy valódi példán keresztül



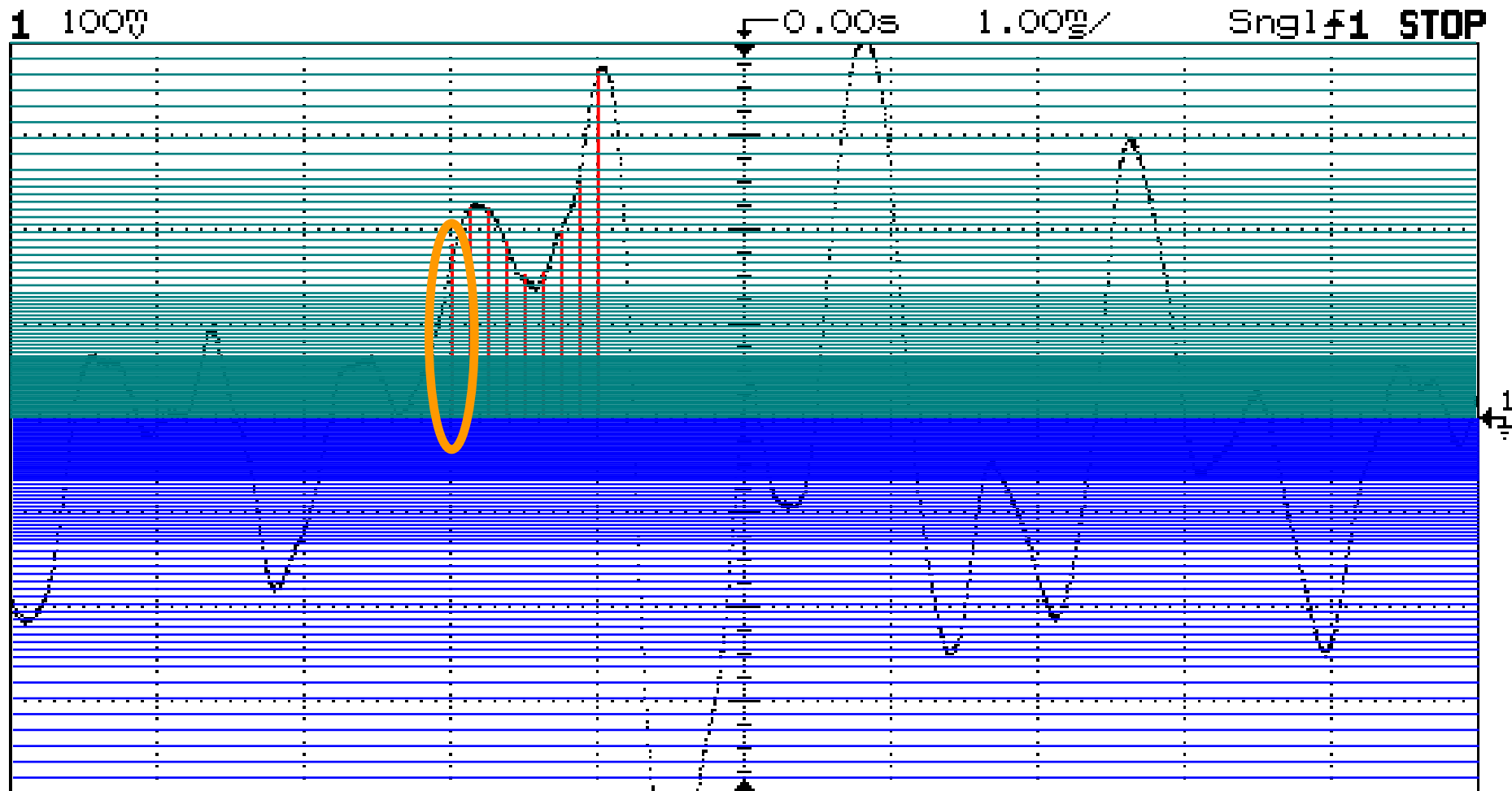
Beszédhang

PCM kodek egy valódi példán keresztül



Beszédhang

PCM kodek egy valódi példán keresztül

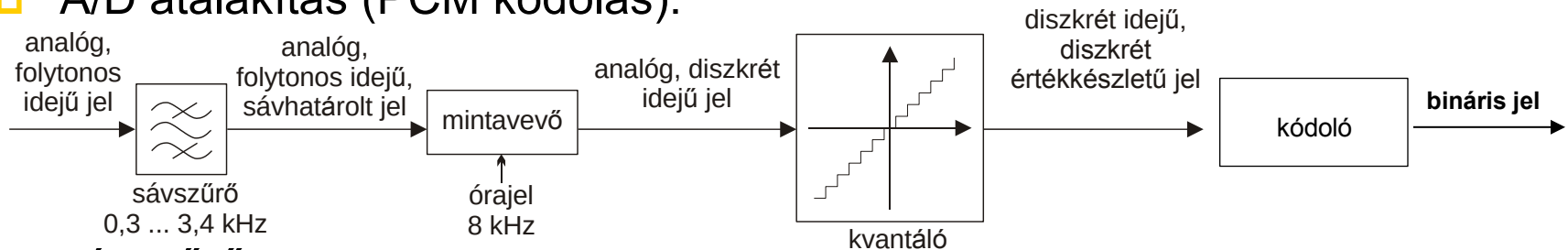


Beszédhang

Vonatkozó bitsorozat (kb. 180 mV-hoz): 10100110 (első bit az előjel)

PCM

□ A/D átalakítás (PCM kódolás):



□ sávszűrő

- A sávnál magasabb frekvenciák a mintavételezés után sávon belüli zajként látszanának
- A korábbiak alapján: 300-3400 Hz-et engedjük át

□ mintavevő

- 8 kHz a mintavételi frekvencia (=másodpercenként 8000 mintát veszünk)
- a max. jelfrekvencia duplája (Nyquist-Shannon mintavételi tétele), kis ráhagyással

□ kvantálás

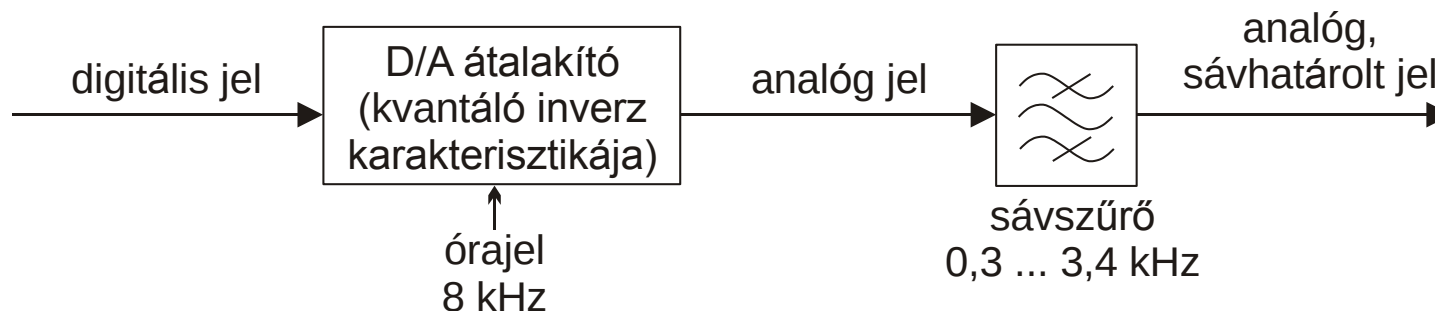
- 256 szintre kvantálunk, ez már tűrhető eredményt ad
- logaritmikus karakterisztikával, ld. a következő diákon

□ kódolás

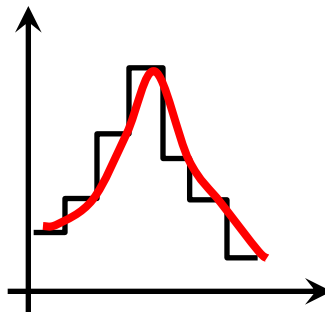
- 256 szint: 8 bit

□ $8000 \text{ minta /sec} \cdot 8 \text{ bit/minta} = 64 \text{ kb/s}$

□ D-A átalakítás (PCM dekódolás):



- sávszűrő szerepe:
kimenet simítása:



PCM: CD

- Audio CD-n is PCM-et használnak
- Mintavételezés: 44.100 Hz
- Kvantálás: 16 bit (65.536 szint)
- Sztereó: 2 független csatorna
- Bitsebesség:
 - $44.100 \text{ minta/s/csatorna} * 16 \text{ bit/minta} * 2 \text{ csatorna} =$
 $= 1.411.200 \text{ bit/s} \approx 1,4 \text{ Mb/s} \approx 176,4 \text{ kB/s}$